

การวางแผนงานก่อสร้างที่เหมาะสมภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากร ร่วมกับวิธีการแบ่งส่วน เวลาของกิจกรรม

Construction Planning Optimization under Limited Resources with Critical Part Segment

ธานิน คำทิพย์,^{1*} ชีวินทร์ ลีมีศิริ²

Thanin Kumtip,^{1*} Cheevin Limsiri²

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

บทคัดย่อ

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

คำสำคัญ : การวางแผนงานที่เหมาะสม วิธีการแบ่งส่วนเวลาของกิจกรรม 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) วิธีการปรับระดับสมดุลของทรัพยากร (Resource Leveling: RL) และวิธีการบริหารการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ (Resource Allocation: RA) ซึ่งแต่ละวิธีจะมีเป้าหมายในการจัดการกับความต้องการที่แตกต่างกันของนักวางแผน การวางแผนด้านทรัพยากรเฉพาะคู่ใดคู่หนึ่ง เป็นการละเอียดถึงผลกระทบต่อทรัพยากรอื่น ๆ ที่ไม่ได้พิจารณาในเวลานั้น แผนจึงไม่สมเหตุสมผลขั้นตอนการวางแผนงานในโครงการก่อสร้างนับเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากที่สุด ซึ่งความสำเร็จของการบริหารโครงการอยู่ที่ใช้ทรัพยากรด้านต่าง ๆ ที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด อันจะส่งผลต่อต้นทุนของโครงการ และมีผลกำไรจากการบริหารโครงการ¹ โดยทรัพยากรหลักของโครงการก่อสร้างจะประกอบด้วย เวลา ต้นทุน วัสดุ แรงงาน และเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งทรัพยากรในแต่ละประเภทจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน² เช่นถ้าใช้จำนวนทรัพยากรประเภทแรงงานหรือเครื่องจักรในการดำเนินงานมาก จะส่งผลให้เวลาในการดำเนินงานเร็วขึ้น และมีค่าต้นทุนที่สูงขึ้นตามมา ดังนั้นแนวทางการวางแผนงานที่เหมาะสมคือการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณการใช้ทรัพยากรแต่ละประเภทในแต่ละกิจกรรมให้สอดคล้องกับช่วงเวลาในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างเหมาะสมที่สุด อันจะส่งผลให้ต้นทุนของโครงการต่ำที่สุด โดยในปัจจุบันงานก่อสร้างโดยทั่วไปนิยมใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมาใช้ในการวางแผนงานซึ่งส่วนใหญ่ใช้วิธีการคำนวณแผนงานด้วย CPM ซึ่งมีข้อจำกัดหลายประการ ดังที่มีผู้ศึกษากล่าวไว้ดังนี้ Kim and de la Garza (2003) กล่าวว่า โปรแกรม Primavera P3 และ MS Project การแสดงผลของตารางการจัดการด้านทรัพยากรมีความไม่ถูกต้องเนื่องจากการคิดค่าเวลาเลื่อนของกิจกรรมไม่สอดคล้องกับช่วงเวลาของทรัพยากร³ Herold (2004) กล่าวว่า การคำนวณใน CPM ยกเมื่อความสัมพันธ์ของงานไม่เป็นไปตามลำดับ⁴ Hegazy and Menesi (2008) กล่าวว่า การวิเคราะห์ตารางเวลาไม่ใช่ว่าจะสามารถคำนวณตามกิจกรรมที่ต่อกัน ยังต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดทรัพยากรที่มีใช้ร่วมกันด้วย⁵ Kelleher (2004) กล่าวว่า จากผลการสำรวจบริษัทชั้นนำที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างพบว่า การวางแผนด้วยวิธี CPM ยังไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงเป็นเรื่องยากที่จะสามารถวางแผนให้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่ต้องการการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในช่วงการปฏิบัติการจริงมีผลต่อแผนงานที่วิเคราะห์ไว้จำเป็นต้องวิเคราะห์ใหม่ไม่สามารถใช้ในการควบคุมแผนงานให้เป็นไปตามแผนงานได้

และบริษัทมีความต้องการวิธีการวางแผนที่ง่ายในการกำหนดหรือเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในระหว่างการทำงานจริง⁶ Sakka and Sayegh (2007) กล่าวว่า CPM ไม่สามารถระบุผลกระทบที่เกิดจากค่าเปลี่ยนแปลงของระยะเวลา และต้นทุนของโครงการ⁷ ดังนั้นการวางแผนงานด้วย CPM จึงยังไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขในการทำงานจริง ดังเช่นกรณีที่เกิดกิจกรรมในแผนงานสามารถชะลองานไว้ก่อนเพื่อระดมทรัพยากรที่มีอยู่ไปดำเนินการ หรือกรณีที่เกิดกิจกรรมหนึ่ง ๆ กำหนดประเภทของทรัพยากรประเภทหนึ่งเป็นหลักในการดำเนินงาน แต่ในห้วงเวลาเดียวกันยังคงมีทรัพยากรอีกประเภทที่ว่างอยู่ และสามารถนำมาพิจารณากำหนดให้ดำเนินงานในกิจกรรมนั้น ๆ ได้ ซึ่งถือว่าการบริหารโครงการนั้นยังไม่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ จากแนวคิดในการวางแผนงานก่อสร้างของผู้วิจัยในอดีตจะมุ่งเน้นไปที่การแลกเปลี่ยนระหว่างต้นทุนกับเวลา การปรับสมดุลการใช้ทรัพยากร ภายใต้สมมติฐานในการกำหนดการใช้ประเภทและจำนวนของทรัพยากรในลักษณะแผนงานปกติ และลักษณะแผนงานที่เร่งรัดในแต่ละกิจกรรมให้สามารถดำเนินการได้เร็วขึ้นด้วยการเพิ่มจำนวนทรัพยากร โดยวิธีที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นการนำวิธีสายงานวิกฤตเป็นต้นแบบในการคำนวณ แต่ด้วยข้อจำกัดในขั้นตอนการคำนวณเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดในแต่ละกิจกรรมทำให้ไม่สามารถพิจารณาการวางแผนการใช้ทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้ ดังนั้นบทความนี้มีเป้าหมายที่จะศึกษาวิธีการวางแผนงานที่เหมาะสมด้วยวิธีการแบ่งส่วนเวลาของกิจกรรม (Critical part segment: CPS) และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผนงานที่พิจารณาปัจจัยในทุกด้านพร้อมกันได้แก่ ปัจจัยด้านเวลา ต้นทุน และทรัพยากรต่างๆ ของโครงการ เพื่อให้ได้วางแผนที่เหมาะสมที่สุด และทดสอบประเมินผลเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาต่างๆ

วัตถุประสงค์

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

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการวางแผนงานก่อสร้างที่สอดคล้องกับการดำเนินงานจริงของบริษัทรับ

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

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการวางแผนงาน

โครงการก่อสร้างประกอบไปด้วยงานหลายประเภท และมีเงื่อนไขต่างๆ หลากหลายชนิดเช่นเงื่อนไขเกี่ยวกับระยะเวลาการก่อสร้างตามสัญญา เงื่อนไขด้านทรัพยากร เงื่อนไขด้านความปลอดภัยในการทำงาน กระแสเงินสดหมุนเวียนในโครงการ และเงื่อนไขอื่นๆ ที่อาจมาจากนโยบาย หรือความประสงค์ทางธุรกิจของฝ่ายบริหาร ดังนั้นการดำเนินงานในธุรกิจก่อสร้างจึงจำเป็นต้องวางแผนให้สอดคล้องกับเงื่อนไขหรือปัจจัยที่จะส่งผลต่อการดำเนินงานในด้านต่างๆ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดดังแสดงใน Figure 1

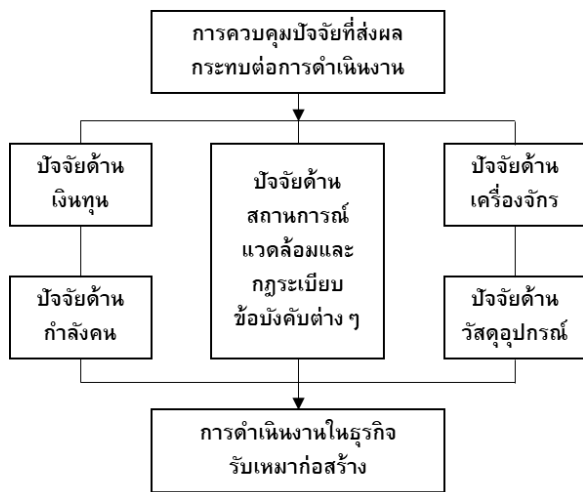


Figure 1 Factors affecting construction business⁸

การวางแผนงานเป็นขั้นตอนที่ต้องทำโดยผู้ที่มีความรู้ในด้านเทคนิคการวางแผน และมีประสบการณ์ในงานนั้นๆ ทั้งนี้แผนงานที่ดีจะต้องมีความถูกต้องในเชิงตรรกะด้านความสัมพันธ์ของงานต่างๆ และสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง โดยการวางแผน (Planning) คือกระบวนการกำหนดวัตถุประสงค์ของการทำงานและแจกแจงรายละเอียดของขั้นตอนงานต่างๆ ที่ต้องทำเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์เหล่านั้นและกำหนดการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ขั้นตอนในการวางแผนงานก่อสร้างด้วยวิธีสายงานวิกฤตมีขั้นตอนประกอบด้วย การกำหนดกิจกรรม (Activity) คือขั้นตอนงานย่อยอันหนึ่งจากเนื้องานทั้งหมดของโครงการ

ก่อสร้างที่จะต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จกิจกรรมต้องมีขอบเขตเนื้องานที่ต้องทำแน่นอนชัดเจน และเป็นเอกเทศ คือไม่มีส่วนของกิจกรรมหนึ่งที่ซ้อนทับกับกิจกรรมอื่นๆ การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม หรือการจัดเรียงกิจกรรมต่างๆ เป็นลำดับก่อนหลัง คือการกำหนดให้กิจกรรมหนึ่งนั้นมีความสัมพันธ์ในเชิงเวลากับกิจกรรมอื่นๆ อย่างไร เช่นกิจกรรมก่อสร้างหนึ่งอาจจะไม่สามารถเริ่มดำเนินการได้จนกระทั่งกิจกรรมหนึ่งได้ถูกดำเนินการแล้วเสร็จ (Activity dependency or relationships) โดยที่กิจกรรมที่ติดกันซึ่งต้องเริ่มดำเนินงานก่อนเรียกว่า“Predecessor” และกิจกรรมที่ติดกันซึ่งต้องทำทีหลังเรียกว่า“Successor” การกำหนดระยะเวลาของกิจกรรมคือระยะเวลาที่ต้องใช้เพื่อดำเนินการตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นระยะเวลาของกิจกรรม (Duration) เป็นค่าที่ได้จากการประมาณโดยใช้ความรู้สึก และหรือประสบการณ์ของผู้วางแผน ซึ่งระยะเวลาจะมีความสัมพันธ์กับ“อัตราผลผลิต” (Productivity) และจำนวนทรัพยากรที่ใช้ดำเนินงาน ได้แก่จำนวนแรงงาน และเครื่องจักร เป็นต้น โดยเป็นผลให้ระยะเวลาของกิจกรรมมีผลโดยตรงต่อต้นทุนของกิจกรรมนั้นเช่นกัน เนื่องจากกิจกรรมก่อสร้างเป็นงานที่มีอัตราผลผลิตซึ่งเปรียบได้กับอัตราความเร็วของการทำงานซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามปัจจัยของจำนวนคนงาน

$$Productivity = \frac{Quantity\ of\ work\ output}{Man \cdot hour} \tag{1}$$

$$Duration = \frac{Quantity\ of\ work\ output}{Productivity \times Men} \tag{2}$$

$$Labour\ cost = Duration \times Payrate \tag{3}$$

การคำนวณค่าเวลาของกิจกรรมด้วย “วิธีสายงานวิกฤต” (Critical Path Method: CPM) โดยค่าเวลาของกิจกรรมมีค่าเวลาต่างๆ 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 (สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม,2552) จะมีปัญหาเกี่ยวกับจำนวนและประเภทของแรงงานที่มีอยู่ การเพิ่มหรือลดจำนวนแรงงานเพื่อให้การ

ดำเนินงานเป็นไปตามแผนงานเป็นไปอย่างจำกัด ประกอบกับแรงงานส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรเมื่อถึงฤดูเก็บเกี่ยวจะขาดแคลนแรงงานเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการวางแผนงานจำเป็นต้องใช้การวางแผนตามห้วงระยะเวลา ด้วยการพิจารณาจำนวนและประเภทแรงงานที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพที่สุดจึงจะ

ส่งผลต่อต้นทุนโครงการที่ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงใช้วิธีการเปรียบเทียบอัตราผลผลิตของแรงงานแต่ละประเภทมาใช้ในการวางแผน¹⁰ เพื่อให้เกิดอัตราการใช้งานของแรงงานในแต่ละประเภทที่ยังไม่ได้ใช้งานในช่วงเวลานั้นๆ มาใช้งานแทน ดังแสดงใน Figure 2

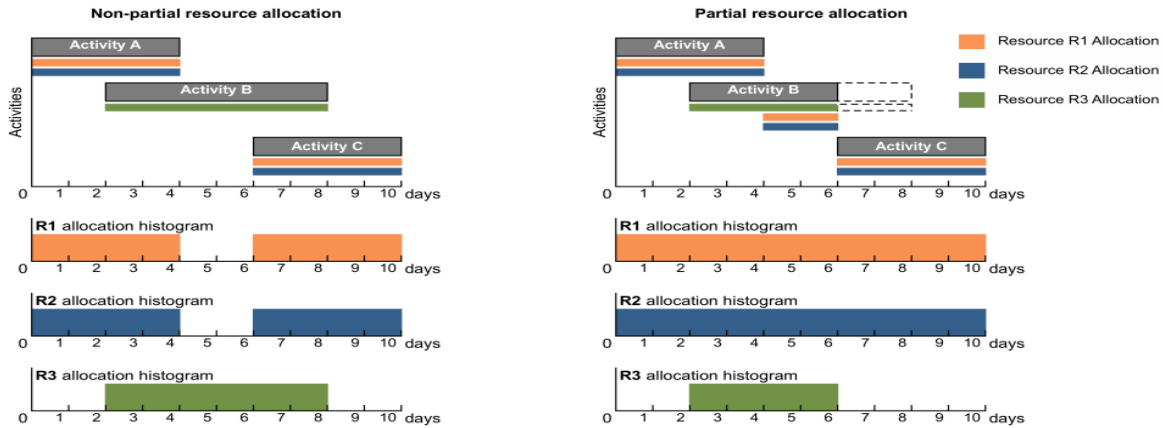


Figure 2 Comparison the use of specific resources and mixed resources

การวัดค่าประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับรูปแบบและวิธีการในการคำนวณซึ่งวิธี resource improvement coefficient (RIC)¹¹ เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้สมการในการคิดคำนวณจากการใช้ทรัพยากรในแต่ละวัน

ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียง 1 ตามการคาดหวังในการใช้ทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพ ดังแสดงใน Figure 3 ด้วยสมการดังนี้

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

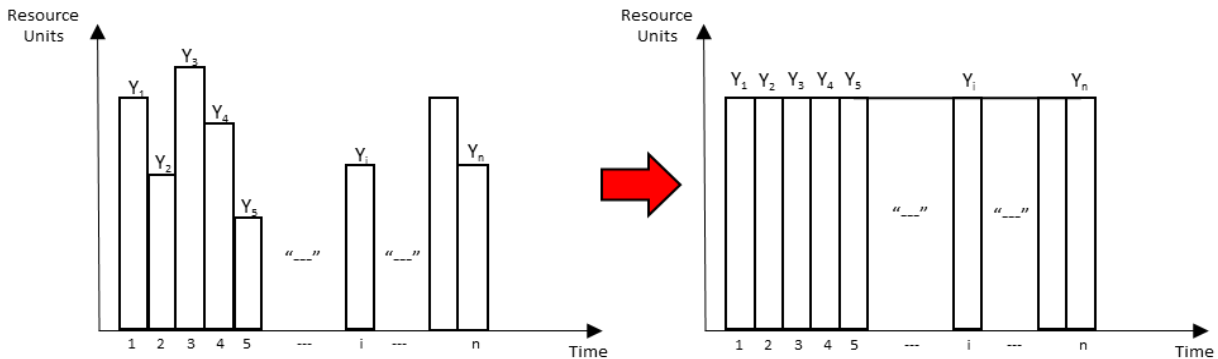


Figure 3 Expectation of efficient use of resources

การวางแผนวิธีการแบ่งส่วนเวลาของกิจกรรม (Critical part segment: CPS) เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาในการวางแผนให้มีความใกล้เคียงกับสภาพการดำเนินงานจริง¹² ในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง เช่น ในกรณีที่มีการแย่งชิงทรัพยากรที่ต้องใช้ในกิจกรรมในช่วงเวลาเดียวกันซึ่งผลรวมในเวลานั้นทำให้เกิดความต้องการทรัพยากรจากที่เตรียมไว้จึงจำเป็นต้องทำการเลื่อนกิจกรรมย่อยหนึ่งออกไปก่อน (แบ่งกิจกรรม) เพื่อรอทรัพยากรในการดำเนินงานต่อไปตามข้อจำกัดของทรัพยากร

ในช่วงเวลานั้นเป็นต้น รวมทั้งช่วยในการกำหนดกิจกรรมย่อยที่อยู่ในสายงานวิกฤตจากกรณีความสัมพันธ์ในการเริ่มงานไม่ได้เป็นไปในรูปแบบ Finish to Start(FS) เช่น การแก้ปัญหาความสับสนในการคำนวณระยะเวลาโครงการ และการกำหนดกิจกรรมที่วิกฤต เช่นงานโครงการหนึ่งมีแผนงานติดตั้งระบบไฟฟ้าในพื้นที่เดียวกันกับการติดตั้งเครื่องจักรโดยมีเงื่อนไขในการกำหนดลำดับงานคือ จะดำเนินการติดตั้งระบบไฟฟ้าได้ก็ต่อเมื่อได้ดำเนินการติดตั้งเครื่องจักรไปแล้ว 5 วัน กำหนดเป็นลักษณะความสัมพันธ์ Start to Start (SS(5)) ซึ่งความสัมพันธ์

ลักษณะนี้ วิธี CPM ไม่สามารถคำนวณระยะเวลาลอยตัวของกิจกรรมได้เนื่องจากหากพิจารณาในสายทางวิกฤตจะไม่สามารถกำหนดกิจกรรมวิกฤตได้ เนื่องจากกิจกรรมวิกฤตที่ได้นั้นไม่ได้มีระยะเวลาสิ้นสุดที่วิกฤต เป็นต้น

ซึ่งการวางแผนวิธี CPM และโปรแกรมคำนวณที่มีอยู่ไม่สามารถแสดงกิจกรรมย่อยที่เป็นกิจกรรมวิกฤตได้ โดยที่วิธี CPM จะเป็นเพียงการกำหนดกิจกรรมเป็น 2 กิจกรรมย่อยคือการติดตั้งเครื่องจักร 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

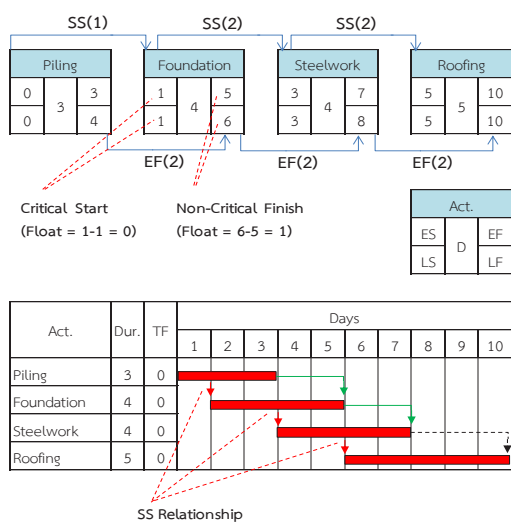


Figure 4 An example of plan that show confusion in type of relationship

วิธีการเจเนติกอัลกอริทึมส์ (Genetic Algorithms: GA)

เป็นกระบวนการค้นหาคำตอบ (Search Algorithms) ที่เลียนแบบหลักการธรรมชาติ โดยการจำลองแบบวิธีการทำงานของวิวัฒนาการทางธรรมชาติ แล้วนำมาปรับประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาต่างๆ เพื่อใช้หาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุดกับปัญหา^{13,14,15} ถูกพัฒนาขึ้นโดย Holland ในปี 1973 โดยใช้หลักการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ดีจากบรรพบุรุษไปสู่ลูกหลานเป็นแนวทางการหาคำตอบ และใช้การอ้างอิงข้อมูลของประชากรในรุ่นก่อนหน้าสำหรับการสร้างจุดค้นหา (Search Point) ภายใต้ขอบเขตที่เป็นไปได้ของคำตอบ ผวนกับฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) หรือฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) เป็นตัวกำหนดลักษณะคำตอบของปัญหา เจเนติกอัลกอริทึมส์ จะใช้โครโมโซม (Chromosome) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตที่ต้องการแก้ และจะมีกระบวนการพัฒนาลักษณะคำตอบของปัญหาให้ดีขึ้นตามขั้นตอนตามหลักการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต ผู้ที่มีความเหมาะสมกว่าจะดำรงชีวิตอยู่ต่อไป และสามารถถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ดีส่งต่อไปยังลูกหลานได้ การพัฒนาลักษณะของประชากรให้ดีขึ้นจะต้องผ่านกระบวนการทางธรรมชาติหลายกระบวนการเช่น การคัดเลือกโครโมโซมที่มีความเหมาะสมเพื่อนำมาใช้ขยายพันธุ์ (Reproduction) การแลกเปลี่ยนลักษณะทางพันธุกรรมที่ดีระหว่างโครโมโซม (Crossover) และการผ่าเหล่า (Mutation) เป็นต้น กระบวนการต่างๆ เหล่านี้จะทำให้ได้ลักษณะของโครโมโซมที่มีความแตกต่างกันไปตามลักษณะของยีนส์ (Genes) ที่อยู่ภายในโครโมโซม ในขณะเดียวกันโครโมโซมแต่ละตัวซึ่งมีค่าความเหมาะสมที่ต่างกันจะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อกำหนดว่าโครโมโซมใดควรจะยังคงอยู่เพื่อใช้ในการขยายพันธุ์ในประชากรรุ่นถัดไป และโครโมโซมใดควรจะตัดออก ดังนั้นโครโมโซมที่มีลักษณะด้อยย่อมมีแนวโน้มที่จะสูญพันธุ์ไปในที่สุด ในขณะที่โครโมโซมที่ดีมีแนวโน้มที่จะขยายพันธุ์ต่อไปตามรุ่นประชากร (Generation) ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการพัฒนาทิศทางในการค้นหาคำตอบของกระบวนการซึ่งการใช้โครโมโซมจำนวนหลายตัวในการหาคำตอบพร้อมๆ กันในแต่ละรุ่นประชากรเป็นผลทำให้เจเนติกอัลกอริทึมส์มีความสามารถในการหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

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) กลุ่มเวลาเริ่มของกิจกรรมย่อยจะเป็นค่าคำตอบที่ใช้กำหนดเวลาของแผนงานมีค่าเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าศูนย์ซึ่งเวลาเริ่มของกิจกรรมเหล่านี้จะเป็นไปตามเงื่อนไขของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่กำหนดเสมือนกับการปรับเลื่อนกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมย่อยต่างๆ เป็นลำดับภายในระยะเวลาของตัวกิจกรรมนั้นเมื่ออยู่การคำนวณ CPS แบบคำนวณไปข้างหน้าจะทำให้ได้ระยะเวลาของโครงการทั้งหมด ซึ่งการกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมยังคงส่งผลกระทบต่อระดับการจัดสรรทรัพยากร และกระแสเงินสดอีกด้วย

$$ST_i = ES_i + S_i \tag{5}$$

โดยที่ ST_i คือเวลาเริ่ม (Start time) ของกิจกรรม i และ S_i คือตัวเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ส่วนตัวแปรตัดสินใจกลุ่มการเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงานนั้น เป็นการกำหนดให้กิจกรรมก่อสร้างต่างๆ สามารถมีทางเลือกส่วนผสมต่างๆ กันได้ โดยตัวแปรตัดสินใจกลุ่มนี้จะกำหนดให้เป็นค่าสุ่ม (Random) กำหนดเป็นจำนวนทรัพยากรของแต่ละประเภทในการดำเนินกิจกรรมนั้นๆ เช่น 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 **ฟังก์ชันวัตถุประสงค์** กำหนดเป็นมูลค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุดของโครงการ (Minimize TC) ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านระยะเวลาความสัมพันธ์ในการทำงานของกิจกรรม และการใช้ทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนทางตรง (DC) ต้นทุนทางอ้อม (IC) ค่าปรับกรณีล่าช้า (LC) โบนัส หรือโอกาสในการหารายได้เพิ่มขึ้น (IN) รวมถึงค่าเสียโอกาสในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ (RO)

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

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

โดยที่ C_{ik} คือชุดทางเลือกด้านต้นทุนทางตรงในการทำงานที่ k ใดๆ สำหรับกิจกรรมที่ i ใดๆ ; X_{ik} คือตัวแปรแบบ Binary ที่มีค่า = 1 เมื่อชุดทางเลือกที่ k ใดๆ 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_p คือจำนวนวันที่เร็วกว่าระยะเวลาที่กำหนดในสัญญา ; RO คือตัวแปรแบบ Binary ที่มีค่า = 1 ถ้าใช้ทรัพยากรเกินจากที่กำหนด และ Penalty คือมูลค่ารวมต่อหน่วยเวลาของอัตราค่าเสียโอกาสในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่

ฟังก์ชันข้อจำกัด แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม และกลุ่มขีดจำกัดของทรัพยากรหรือปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนการคำนวณ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจัดการปัญหาในเรื่องการจัดตารางเวลางานก่อสร้าง (Construction Scheduling Problems) ที่พิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากขึ้นโดยใช้การแบ่งส่วนเวลาในกิจกรรม (CPS) ในการแก้ปัญหาเรื่องการจัดตารางเวลางาน และใช้วิธีการแก้ปัญหา (Solving Algorithms) เพื่อให้ได้แผนงานก่อสร้างที่มีเหมาะสมโดยมีต้นทุนต่ำที่สุด ดังนั้นเพื่อให้ผู้อ่านได้เข้าใจถึงลำดับความคิดในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้อ้างอิงจากลำดับขั้นตอนในการทำงานโดยงานวิจัยนี้ได้ใช้กลุ่มคำสั่งที่ใช้ทำงานอัตโนมัติใน โปรแกรม Microsoft Excel มาช่วยในการวนรอบในการค้นหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณ ประกอบด้วยข้อมูลทั่วไปของโครงการสำหรับการอ้างอิง ข้อมูลส่วนนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ ชื่อโครงการ ระยะเวลา อัตราค่าปรับ ต้นทุนทางอ้อม อัตราค่าแรงและค่าเสียโอกาสในการใช้หรือหาเพิ่มของทรัพยากร และข้อมูลใช้สำหรับการคำนวณ เป็นส่วนของข้อมูลที่จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณได้แก่ ชื่อกิจกรรมในแผนงานโครงการ ชุดตัวเลือกระยะเวลาของการทำงานที่ขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ประเภทและจำนวนของทรัพยากรที่มีอยู่ ชนิดความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม ข้อจำกัดด้านเวลา และข้อจำกัดอื่นๆ

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างพื้นที่สำหรับใช้ในการคำนวณ จะอ้างอิงจากกระบวนการทำงานของแบบจำลองตามหลักการ โดยจะเริ่มจากการสุ่มค่าตั้งต้นให้กับตัวแปรตัดสินใจ จากฐานข้อมูลด้านกิจกรรมที่มีและจำนวนทรัพยากรในประเภทต่างๆ ที่ใช้เพื่อให้ได้ตัวเลขด้านเวลาในการทำงานในกิจกรรมนั้นๆ เพื่อหาเวลารวมทั้งหมดของโครงการ โดยกำหนดให้กิจกรรมหนึ่งมีทางเลือกในการใช้ทรัพยากรในแต่ละประเภท และกำหนดได้ว่ากิจกรรมนั้นสามารถทำ OT หรือ แบ่งกิจกรรมย่อยได้หรือไม่ สุดท้ายจะได้ชุดตั้งต้นของเวลาในแต่ละกิจกรรมที่มีการสุ่มค่าตั้งต้นเพื่อนำไปใช้คำนวณด้านเวลาและต้นทุนโครงการต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณหาแผนงานที่เหมาะสม ในการเริ่มต้นการคำนวณเพื่อหาแผนงานที่เหมาะสมจะดำเนินการเลือกชุดตัวแปรตั้งต้นเพื่อนำมาคำนวณค่าของระยะเวลาของโครงการตามวิธีคิดตามแบบวิธี 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 รวมทั้งการกำหนดจำนวนมากที่สุดและน้อยที่สุดของแรงงานในแต่ละประเภทที่จะสามารถนำมาพิจารณาในการเลือกใช้ได้ในกิจกรรมนั้นๆ รวมถึงการกำหนดว่ากิจกรรมใดสามารถทำได้นอกจากเวลาปกติในช่วงแต่ละวัน (OT) และกิจกรรมใดสามารถแบ่งย่อยกิจกรรมได้โดยไม่กระทบต่อปัจจัยด้านอื่นๆ (Split) และหลังจากนั้นจะเป็นการสุ่มเวลาเริ่มต้นของกิจกรรมย่อยที่อยู่ภายในขอบเขตเวลาจากการคำนวณด้วยวิธี CPM ตาม Table 2 อันจะส่งผลไปสู่การจัดสรรทรัพยากรเพื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขต่างๆ ที่มีอยู่ ตาม Figure 6 โดยเริ่มจากการสุ่มค่าจำนวนแรงงานในแต่ละประเภท สำหรับการดำเนินกิจกรรมนั้นๆ ซึ่งจะคำนวณออกมาเป็นเวลาที่ต้องใช้สำหรับกิจกรรมนั้นๆ รวมถึงค่าใช้จ่ายโดยรวมของกิจกรรมนั้นๆ ด้วย หากตรงตามเงื่อนไข จะบันทึกข้อมูลเอาไว้ ซึ่งผลที่ได้ในรอบการสุ่มครั้งนี้ คือ จะใช้ แรงงานประเภท R1 = 13 คน R2 = 13 คน ใช้เวลาทั้งสิ้น = 23 วัน จะเกิดค่าปรับจำนวน 1 วันคิดเป็นต้นทุนโครงการ = 88,019 บาท แล้วจะเริ่มค้นหาชุดคำตอบในชุดต่อไป

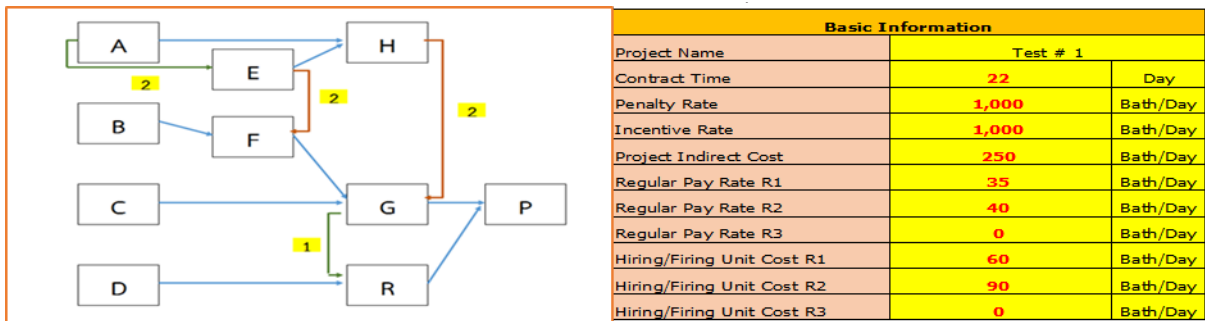


Figure 5 Example of project data

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	1	2	3	4	Min	Max	Min	Max		Min	Max	Min	Max					
1	A	100																																										
2	B	250																																										
3	C	200																																										
4	D	150																																										
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	0	0
B	0	250	6	6	0	2	3	1856	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
C	1	200	4	6	0	1	3	1353	1	0	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	0	0
E	1	250	4	5	0	1	4	1615	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
F	0	100	4	3	0	0	3	780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
G	1	250	4	3	0	0	6	1560	0	0	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	0	1	0
R	1	350	6	3	0	0	6	1980	0	0	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
O	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															
R1 Limit									15	15	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	15	15
RIC _{R2} =	1.183616					R2 MAX	13		6	3	3	3	3	3	9	11	11	5	8	13		
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
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
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
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	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								0.00	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

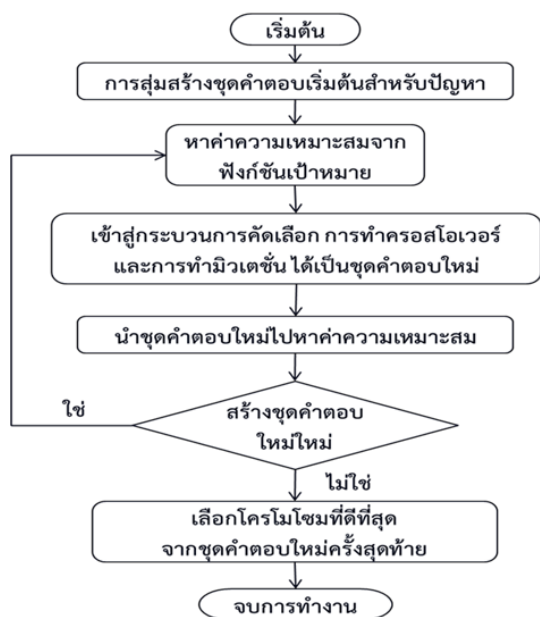


Figure 6 Finding the suitable plan

ผลการทดลอง

แผนงานก่อสร้างที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะได้แผนงานที่เหมาะสมตามที่ผู้วางแผนต้องการโดยสอดคล้องกับเงื่อนไขต่างๆ ของการบริหารโครงการ โดยสามารถเปรียบเทียบมูลค่าต้นทุนโครงการที่ได้จากแบบจำลองกับค่าตั้งต้นจากการสุ่มเริ่มแรกดัง Table 3 โดยใช้วิธีกำหนดค่าตามเงื่อนไขของวิธีการต่างๆ 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 ในการหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดจะพบว่าต้นทุนโครงการอยู่ที่ 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

8. นิคม โกเอี่ยม. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการดำเนินธุรกิจรับเหมาก่อสร้างของผู้รับเหมาในจังหวัดลำปาง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2547
9. มงคล อัครดิลลฤทธิ. การพัฒนาแผนโครงการก่อสร้างโดยใช้วิธีคอนสเตรนทีซาทิสแฟกชันพร้อมเบลิ้ม. 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 แสงประดิษฐ์. การประยุกต์ใช้เงินเนติกอัลกอริทึมในการจัดทำแผนงานที่มีต้นทุนการก่อสร้างต่ำ. 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.