การวางแผนงานก่อสร้างที่เหมาะสมด้วยการแบ่งส่วนเวลา

Optimization Scheduling Construction with Critical Part Segments

ธานิน คำทิพย์*, ชีวินทร์ ลิ้มศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา 30000

*E-mail: k_panu2306@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวางแผนงานก่อสร้างมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความอยู่รอดของบริษัทในอุตสาหกรรมการก่อสร้างเนื่องจากงานก่อสร้างมีองค์ประกอบและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในงานก่อสร้างต่างๆ ส่งผลต่อต้นทุนในการดำเนินงาน ซึ่งหากไม่สามารถควบคุมให้เป็นไปตามแผนงานได้จะส่งผลต่อความล่าช้าของงานและจะเกิดค่าต้นทุนที่สูงมีผลต่อกำไรหรือขาดทุนของบริษัท ปัจจุบันนิยมใช้วิธีการวางแผนงานก่อสร้างด้วยวิธีสายงานวิกฤตแต่ด้วยข้อจำกัดของวิธีการในการคำนวณหาค่าต้นทุนโครงการทำให้การวางแผนยังไม่เหมาะสม รวมทั้งไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้พัฒนาโมเดลในการวางแผนงานที่เหมาะสมด้วยการแบ่งส่วนเวลาเพื่อให้สามารถใช้วางแผนงานในด้านการใช้ทรัพยากรในแผนงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและทำให้มูลค่าต้นทุนโครงการโดยรวมต่ำที่สุด โดยการหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริธึมส์ ซึ่งจากการผลการทดสอบกับโครงการตัวอย่างทำให้ได้แผนงานที่มีต้นทุนโครงการต่ำกว่าในการวางแผนด้วยวิธีสายงานวิกฤตและการเร่งรัดกิจกรรม

คำสำคัญ: การวางแผนงานก่อสร้าง, การแบ่งส่วนเวลา, เจเนติกอัลกอริธึมส์

Abstract

Construction scheduling is significant very much to the survival of a company in construction industry. The constraints in construction, if can't control inspire follow the framework will have delay and will higher capital affect to profit or loss affect build the survival of a company. Generally, Companys like to plan the construction work with critical part method (CPM) but it has many limitations of the ways in the calculation seek capital project value make planning still inappropriate to suit and don't correspond fact state. The researcher has then to develop the model in planning work that is appropriate with Critical Part Segments (CPS) for construction scheduling in the sense of using resource in the framework builds to are valuable topmost efficiency and make capital project cost generally lowest, by use Genetic Algorithm in finding answer. From of test the example project can make the framework that have project capital lower in planning with CPM and cash activity.

Keywords : Construction Scheduling, Critical Part Segments, Genetic Algorithm

1. บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากข้อมูลมูลค่าผลิตภัณฑ์ประชาชาติในสาขาการก่อสร้างมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกปีตามความต้องการงานก่อสร้างเพื่อประโยชน์การใช้สอยต่างๆ ส่งผลทำให้มีผู้ประกอบการเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากปัญหาความขาดแคลนด้านทรัพยากรในการก่อสร้างและการแข่งขันที่สูงจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้บริหารจำเป็นต้องตะหนักถึงการวางแผนงานก่อสร้างเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีขึ้น มีต้นทุนที่ลดลง และสามารถแข่งขันกับประเทศอื่นๆ ในระดับสากลได้ [1]

งานก่อสร้างมีลักษณะเฉพาะตัว มีขั้นตอนการดำเนินการตามหลักวิชาการ ซึ่งต้องใช้ทรัพยากรต่างๆ และเวลาในการดำเนินการ ดังนั้นการวางแผนและจัดตารางเวลาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อให้เพื่อให้โครงการแล้วเสร็จได้คุณภาพตามที่กำหนด ทันเวลาที่กำหนด และมีค่าใช้จ่ายอยู่ในกรอบงบประมาณที่ได้จัดเตรียมไว้ และป้องกันความล่าช้าของโครงการ

จากงานวิจัยเชิงสำรวจในประเทศไทย [2] พบว่าสาเหตุสำคัญของความล่าช้าคือความไม่มีประสิทธิภาพในการวางแผนและการจัดตารางเวลางานก่อสร้าง และความไม่สมเหตุสมผลของแผนงาน โดยการขาดแคลนแรงงานในโครงการก่อสร้างเป็นผลมาจากแรงงานส่วนใหญ่มาจากภาคการเกษตร เมื่อถึงฤดูกาลเพาะปลูกและเก็บเกี่ยว แรงงานกลุ่มนี้จะหยุดงานหรือลาออกเพื่อกลับไปทำการเกษตร ทำให้จำนวนแรงงานในอุตสาหกรรมก่อสร้างมีจำนวนลดลงและเกิดการขาดแคลนในที่สุด ซึ่งหากผู้วางแผนไม่ได้เตรียมการไว้ในกรณีที่จำนวนแรงงานมีการเปลี่ยนแปลงผันผวน ก็จะทำให้งานล่าช้าและต้องจ่ายค่าทำงานล่วงเวลา

ในปัจจุบันมีการวางแผนเพื่อมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาตามวัตถุประสงค์ต่างๆ 3 รูปแบบได้แก่ การจัดตารางเวลา, การจัดการด้านทรัพยากร และการควบคุมต้นทุน [3] และงานวิจัยจำนวนมากที่ผ่านมามักแยกคิดปัญหาเป็นส่วน เช่นวิเคราะห์ Time-Cost , Resource Allocation หรือ Resource Leveling โดยไม่รวมทุกอย่างเข้าไว้ด้วยกัน [4] ซึ่งในการวางแผนแบบบูรณาการเพื่อให้เกิดความสมเหตุสมผล ดังนั้นในการวางแผนจำเป็นต้องพัฒนานาแบบโมเดลที่สามารถพิจารณาปัจจัยทุกด้านมารวมกันด้านและลดข้อจำกัดในการสมมติฐานต่างๆที่ใช้ในการวางแผนในอดีตที่ผ่านมา

วิธีการวางแผนด้วย Critical Path Method ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาและใช้กันอย่างกว้างขวางแต่ มีข้อวิจารณ์มากมายต่อการใช้ CPM ซึ่งปัจจุบันนักวิจัยได้พัฒนาเทคนิคต่างๆ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการวางแผนงานด้วย CPM ให้ดีขึ้นเช่น Time – Cost Trade – Off, Resource Allocation และ Resource Leveling แต่ด้วยข้อจำกัดในการจัดตารางด้วย CPM ยังไม่สามารถวางแผนการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายที่จะหาวิธีการใหม่ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้การวางแผนที่เหมาะสมที่สุดและหาคำตอบสำหรับการวางแผนงานก่อสร้างด้วยการพิจารณาเงื่อนไขทุกด้านพร้อมกันได้แก่ ระยะเวลา ต้นทุน และทรัพยากรต่างๆของโครงการ เพื่อให้สะท้อนความเป็นจริงที่เหมาะสมของโครงการก่อสร้าง

1.2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตสาสตร์ในการจัดการปัญหาในเรื่องการจัดตารางเวลางานก่อสร้าง (Construction Scheduling Problems) ที่พิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างให้ได้แผนงานที่ใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงมากขึ้น โดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริธึมส์เพื่อให้ได้แผนงานที่มีมีต้นทุนโครงการต่ำที่สุด

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้มุ่งเน้นพิจารณาถึงเงื่อนไขต่างที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างอย่างสมเหตุสมผลให้ได้โมเดลที่ใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงโดยมุ่งเน้นที่ปัจจัยสำคัญได้แก่ เวลา (Time), ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (Activity relationship), ต้นทุน (Cost), กระแสเงินสด (Cash flow) และทรัพยากร (Resource)

1.3.2 กิจกรรมในงานก่อสร้างบางกิจกรรมสามารถแบ่งได้โดยกำหนดให้อัตราผลิตภาพคงที่

1.3.3 วิธีการแก้ปัญหาในการหาค่าคำตอบจะคัดเลือกวิธีที่ได้มีการศึกษาและพิสูจน์มาในระดับหนึ่งแล้วว่ามีประสิทธิภาพดีกว่า

1.3.4 โมเดลปัญหาต้นแบบจะพัฒนาขึ้นจากซอฟแวร์สำนักงานพื้นฐานที่สามารถใช้งานได้ทั่วไป

1.3.5 กรณีตัวอย่างใช้จากงานวิจัยที่ได้ศึกษามาแล้วโดยมีการเพิ่มเติมข้อมูลบางส่วนที่เกี่ยวข้องเพื่อผลในการเปรียบเทียบ

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. การวางแผน (Planning) คือกระบวนการกำหนดวัตถุประสงค์ของการทำงาน และแจกแจงรายละเอียดของขั้นตอนงานต่างๆ ที่ต้องทำเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์เหล่านั้น และกำหนดการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด การวางแผนนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับงาน แบบ โครงการ เช่นงานก่อสร้างเนื่องจากเป็นงานที่มีเนื้องานที่เป็นเอกลักษณ์ ไม่ซ้ำเดิม รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานโครงการก่อสร้างจึงต้องถูกกำหนดขึ้นใหม่ทุกครั้ง [5]

2.2. ข้อด้อยของวิธี CPM และโปรแกรมสำเร็จ

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจากผลการสำรวจของนักวิจัยหลายท่านพบว่าการวางแผนในบริษัทต่างๆยังนิยมใช้การวางแผนด้วยวิธี CPM และโปรแกรมสำเร็จรูป แต่ผู้ใช้งานยังประสบปัญหาในการใช้ที่เกี่ยวกับการที่แผนงานที่ได้ไม่ได้สะท้อนถึงสภาพความเป็นจริงมากนัก สืบเนื่องมากจากข้อกัดของโปรแกรมและวิธีการของ CPM เนื่องจากโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีอยู่เป็นเพียงเครื่องคำนวณที่ช่วยในการคิดประมวลผลตามข้อมูลที่ผู้วางแผนออกแบบให้ดำเนินการคำนวณ ยังมีข้อด้อยที่ผู้วิจัยหลายท่านได้ระบุไว้ดังนี้

Wickwire and Ockman [6] กล่าวว่า ระยะเวลาเลื่อน กิจกรรมบนเส้นวิกฤต และสถานะโครงการ ยังมีค่าไม่ถูกต้อง เนื่องจากต้องมีการพิจารณาถึงเงื่อนไขระยะเวลาเริ่มของกิจกรรมในลักษณะดำเนินการก่อน (Lead) หรือดำเนินการหลัง (Lag) และเงื่อนไขของวันดำเนินการไม่ได้นำมาพิจารณาในระยะเวลารวมของโครงข่ายและจำนวนวันของกิจกรรม

Lowsley and Linnett [7] กล่าวว่า ความสัมพันธ์ในรูปแบบ Start-to-Start (SS) หรือ Finish-to-Finish (FF) ขึ้นอยู่กับเวลาของกิจกรรมแต่การดำเนินการจริงอาจเป็นไปได้ยาก

Street [8] กล่าวว่า ความไม่สมเหตุสมผลของระยะเวลาของกิจกรรมที่ได้จากการคำนวณระยะเวลาที่เหลือแบบไม่ถูกต้อง

Kim and de la Garza [9] กล่าวว่า โปรแกรม Primavera P3 และ MS Project ผลของตารางการจัดการด้านทรัพยากรมีความไม่ถูกต้องเนื่องจากการคิดค่าเวลาเลื่อนของกิจกรรมไม่สอดคล้องกับห้วงของทรัพยากร

Scavino [10], Kim and de la Garza [11] กล่าวว่า การลดความซับซ้อนของขั้นตอนการวางแผนขึ้นอยู่กับการวางแผนที่สามารถหาค่าเวลาเลื่อนละกิจกรรมที่วิกฤตได้

Herold [12] กล่าวว่าการคำนวณใน CPM ยากเมื่อความสัมพันธ์ของงานไม่เป็นไปตามลำดับ

Hegazy and Menesi [13] กล่าวว่า การวิเคราะห์ตารางเวลาไม่ใช่ว่าจะสามารถคำนวณตามกิจกรรมที่ต่อกันยังต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดทรัพยากรที่มีใช้ได้ร่วมด้วย

Hegazy and Menesi [14], Livengood and Anderson [15] กล่าวว่า การวิเคราะห์ตารางเป็นเรื่องที่ยากหากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะความสัมพันธ์ตลอดเวลาในห้วงการดำเนินงาน

Winter [16] กล่าวว่า โปรแกรมการวางแผนที่ใช้รูแบบ CPM สามารถวามแผนตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ได้แต่หากมีปัจจัยอื่นที่มากระทบต่อกิจกรรมจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง

Sakka and El-Sayegh [17] กล่าวว่า CPM ไม่สามารถระบุผลกระทบที่เกิดจากค่าเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาและต้นทุนของโครงการ

Lowsley and Linnett [18] กล่าวว่า การวิเคราะห์ด้วย CPM สามารถมีค่าผิดพลาดได้จากรายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการวางแผน และเมื่อกำหนดความสัมพันธ์ลักษณะ SS และ FF ทำให้เวลาเพียงบางส่วนของกิจกรรมเป็นวิกฤตซึ่งโปรแกรมที่มีไม่สามารถวิเคราะห์ได้

2.3. การวางแผนเพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำ

การวางแผนงานโดยทั่วไปผู้วางแผนมักใช้วิธีเส้นทางวิกฤตเพื่อวิเคราะห์หากำหนดเวลาการทำงานของกิจกรรม ซึ่งแผนงานดังกล่าวอาจก่อให้เกิดความผันผวนของความต้องการใช้ทรัพยากรในแต่ละวันทำให้การดำเนินงานของทรัพยากรขาดประสิทธิภาพ นักวิจัยหลายท่านได้พัฒนาหลักการเพื่อลดความผันผวนของอัตราการใช้ทรัพยากรรายวันที่เรียกกันว่าการจัดทรัพยากรให้เรียบโดยเทคนิค Minimum Moment Method (MX), Absolute difference between resource consumption in consecutive time periods (Abs-Diff), Deviation between actual resource usage and the desirable or uniform resource usage (Res-Dev), Sum of squares of resource change (SRC), Release and Re-Hire (RRH) , Resource Idle Days (RID) อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการใช้เทคนิคการจัดทรัพยากรที่กล่าวมานั้นคือกำหนดเวลาทำงานของแต่ละกิจกรรมที่ทำให้จำนวนรวมการใช้ทรัพยากรในแต่ละวันหรือ Resource profile ตลอดระยะเวลาโครงการอยู่ในรูปแบบที่กำหนดไม่ว่าจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือรูปภูเขา โดยมิได้พิจารณาถึงตารางการทำงานของแต่ละทรัพยากร ดังนั้นแผนงานดังกล่าวอาจทำให้ 1) แผนการทำงานของคนงานแต่ละคนขาดความต่อเนื่องทำให้เกิดการบอกเลิกจ้างและจ้างกลับตลอดช่วงระยะเวลาโครงการ กรณีทรัพยากรเป็นเครื่องจักรนักที่มาจากการเช่าอาจจำเป็นต้องจ่ายค่าเช่าในวันที่ไม่ได้ใช้งาน 2) ขาดแรงดึงดูดและจูงใจต่อคนงานที่เป็นช่างฝีมือเนื่องจาก ขาดความมั่นคงของรายได้ 3) ประสิทธิภาพการทำงานอันเนื่องมาจากการเรียนรู้งาน (Learning curve effect) ขาด ความต่อเนื่อง 4) ผู้รับเหมาอาจจำเป็นต้องรักษาระดับทรัพยากรในช่วงที่ความต้องการทรัพยากรอยู่ในระดับต่ำเพื่อป้องกันการขาดแคลนหากต้องการภายหลัง

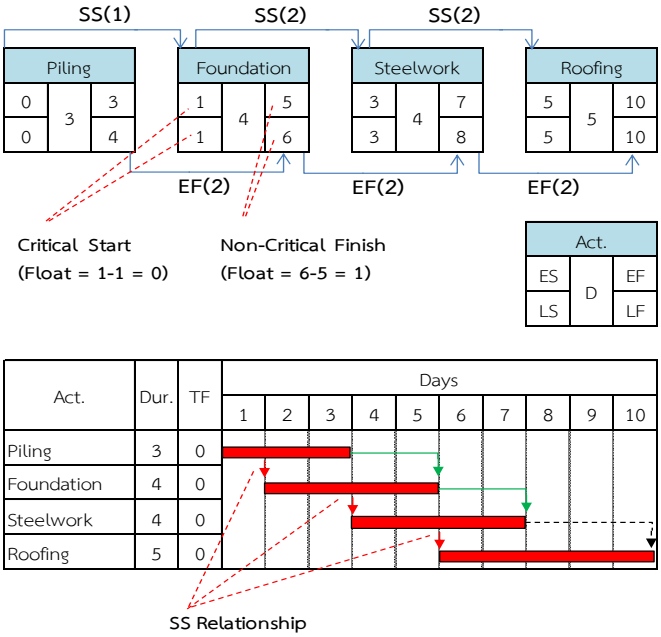
2.4. Critical Part Segment (CPS) Scheduling Technique

การวางแผนวิธี CPS เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาในการวางแผนให้มีความใกล้เคียงกับสภาพการดำเนินงานจริงในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านปัจจัยต่างที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้างเช่นในกรณีที่มีการแย่งชิงทรัพยากรที่ต้องใช้ในกิจกรรมในช่วงเวลาเดียวกันซึ่งผลรวมในเวลานั้นทำให้เกิดความต้องการทรัพยากรจากที่เตรียมไว้จึงจำเป็นต้องทำการเลื่อนกิจกรรมย่อยหนึ่งออกไปก่อน (แบ่งกิจกรรม) เพื่อรอทรัพยากรในการดำเนินงานต่อไปตามข้อจำกัดของทรัพยากรในช่วงเวลานั้นเป็นต้น รวมทั้งช่วยในการกำหนดกิจกรรมย่อยที่อยู่ในสายงานวิกฤตจากกรณีความสัมพันธ์ในการเริ่มงานไม่ได้เป็นไปในรูปแบบ FS เช่นลักษณะความสัมพันธ์ชนิด SS ที่มีลักษณะ Lead/Lag เช่นกรณีของกิจกรรมที่มีในลักษณะ SS(2) คือกิจกรรม j จะสามารถดำเนินการได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรม i ดำเนินการแล้วเสร็จ 2 วันซึ่งทำให้ทั้งกิจกรรม i และ j ในวิธี CPM เป็นกิจกรรมที่อยู่บนเส้นวิกฤตแต่แท้จริงแล้วเมื่อมีการคำนวณระยะเวลาแบบ CPS จะพบว่ากิจกรรม i จะวิกฤตเพียงระยะเวลา 2 วันแรกเท่านั้น โดยวิธี CPM ผู้วางแผนจะได้ผลลัพธ์ในเรื่องระยะเวลาเริ่มต้นเร็วที่สุดหรือช้าที่สุดและเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุดหรือช้าที่สุดได้ในแต่ละกิจกรรมและระยะเวลาแล้วเสร็จของโครงการ และรู้เวลาลอยตัวของกิจกรรมว่าสามารถล่าช้าได้เท่าไรที่จะไม่กระทบต่อระยะเวลาของโครงการ และทำให้รู้ถึงกิจกรรมใดเป็นกิจกรรมบนเส้นวิกฤตที่ต้องควบคุมให้การดำเนินงานเป็นไปตามแผนงานซึ่งหากไม่เป็นไปตามแผนงานจะทำให้เกิดความล่าช้าและระยะเวลาของโครงการไม่เป็นไปตามกรอบระยะเวลาที่กำหนด

การแก้ปัญหาความสับสนในการคำนวณระยะเวลาโครงการและการกำหนดกิจกรรมที่วิกฤต เช่นงานโครงการหนึ่งมีแผนงานติดตั้งระบบไฟฟ้าในพื้นที่เดียวกับการติดตั้งเครื่องจักรโดยมีเงื่อนไขในการกำหนดลำดับงานคือจะดำเนินการติดตั้งระบบไฟฟ้าได้ก็ต่อเมื่อได้ดำเนินการติดตั้งเครื่องจักรไปแล้ว 5 วัน กำหนดเป็นลักษณะความสัมพันธ์ SS(5) ซึ่งความสัมพันธ์ลักษณะนี้ที่วิธี CPM ไม่สามารถคำนวณระยะเวลาลอยตัวของกิจกรรมได้ เนื่องจากหากพิจารณาในสายทางวิกฤตจะไม่สามารถกำหนดกิจกรรมวิกฤตได้

เนื่องจากกิจกรรมวิกฤตที่ได้นั้นไม่ได้มีระยะเวลาสิ้นสุดที่วิกฤต เป็นต้น [18] [19] ซึ่งการวางแผนวิธี CPM และโปรแกรมคำนวณที่มีอยู่ไม่สามารถแสดงกิจกรรมย่อยที่เป็นกิจกรรมวิกฤตได้ โดยที่วิธี CPM จะเป็นเพียงการกำหนดกิจกรรมเป็น 2 กิจกรรมย่อยคือการติดตั้งเครื่องจักร และกิจกรรมติดตั้งระบบไฟฟ้า และมีรูปแบบความสัมพันธ์ SS

ตัวอย่างจากการวางแผนโดยเปลี่ยนลักษณะความสัมพันธ์และแบ่งย่อยกิจกรรมเป็นต่อวันหรือต่อห้วงเวลาแล้วทำให้ทราบส่วนกิจกรรมในห้วงเวลาใดเป็นวิกฤต [20] ดังรูปที่ 1

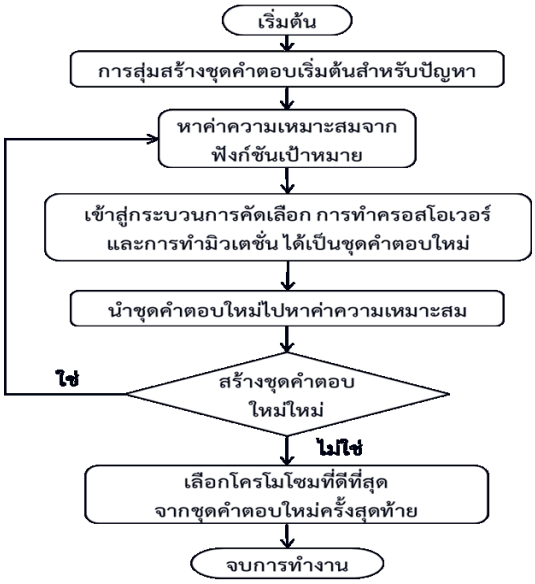


รูปที่ 1 ตัวอย่างแผนงานที่แสดงความสับสนในลักษณะความสัมพันธ์

2.5. การใช้ Genetic Algorithm ในการวางแผน

การหาคำตอบที่เหมาะสมของ GA ซึ่งใช้วิธีการสุ่มหาคำตอบโดยการนำกลุ่มของคำตอบ (Population) ถูกแปลงให้อยู่ในรูปของรหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding) และจำนวนยีนส์ที่อยู่ภายในโครโมโซมจะขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ต้องใช้ในการแก้ปัญหา โดยมีขั้นตอนเริ่มต้นจากการสุ่มสร้างชุดคำตอบเริ่มต้นสำหรับปัญหาซึ่งอยู่ภายใต้ขอบเขตที่เป็นไปได้ของคำตอบในรูปแบบของกลุ่มโครโมโซม ซึ่งเรียกกันว่าประชากรรุ่นพ่อ-แม่ (Parent Population) โครโมโซมแต่ละตัวจะมีค่าความเหมาะสมที่ได้มาจากการคำนวณตามฟังก์ชันเป้าหมายเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสมบูรณ์ของตัวโครโมโซมเอง จากนั้นประชากรโครโมโซมทั้งหมดจะถูกถอดรหัสเพื่อแปลความหมาย (Chromosome Decoding) ให้เป็นค่าตัวแปรที่ต้องใช้ในการคำนวณเพื่อแก้ปัญหา หลังจากนั้นค่าต่างๆ ที่ได้จะถูกส่งไปประมวลผลในฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) เพื่อหาค่าความสมบูรณ์หรือค่าความเหมาะสมของคำตอบที่ได้จากแต่ละโครโมโซม ชุดโครโมโซมทั้งหมดที่ผ่านการหาค่าความเหมาะสมจะเข้าสู่กระบวนการ GA Operation โดยในลำดับแรกจะเป็นการหาค่าความน่าจะเป็นในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซม ซึ่งพิจารณาให้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมของคำตอบหรือค่าฟิตเนสสูงกว่าสามารถมีโอกาสอยู่รอดและกระจายอยู่ในประชากรรุ่นถัดไปได้มากกว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมหรือค่าฟิตเนสต่ำ ในลำดับถัดมาชุดโครโมโซมที่เหลือรอดจากประชากรในรุ่นก่อนหน้าทั้งหมดเข้าสู่กระบวนการ การทำครอสโอเวอร์ (Cross Over) และการทำมิวเตชั่น (Mutation) ได้เป็นชุดโครโมโซมใหม่โดยการเปลี่ยนแปลงในระดับยีนส์ การดำเนินการดังกล่าวเป็นไปเพื่อเพิ่มความหลากหลายและเป็นการขยายขอบเขตการค้นหาคำตอบให้ครอบคลุมขอบเขตของคำตอบให้มากที่สุด หลังจากผ่านกระบวนการทำงานของเจเนติกโอเปอเรเตอร์แล้วชุดโครโมโซมใหม่ที่ได้เรียกว่าออฟสปริง (Offspring) เหล่านี้จะถูกนำกลับเข้าสู่กระบวนการเดิมอีกครั้ง

จนกระทั่งประชากรแต่ละรุ่นมีแนวโน้มให้ค่าความเหมาะสมของคำตอบใกล้เคียงกัน หรือสิ้นรอบการประมวลผลตามที่ได้กำหนดจึงจะทำให้ได้คำตอบสำหรับปัญหา ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การหาคำตอบที่เหมาะสมของ GA

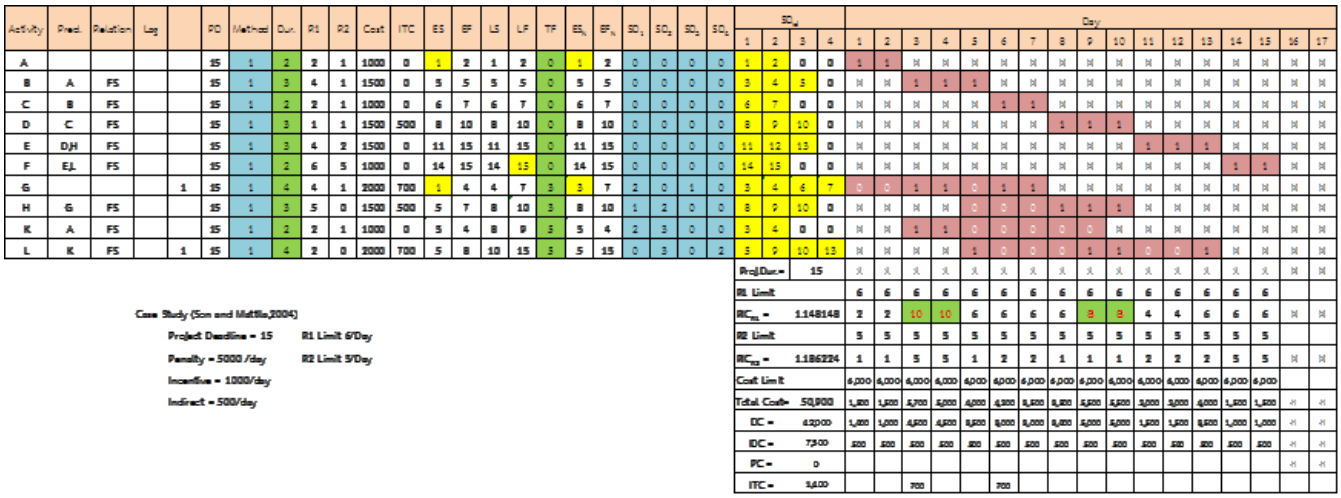
3. วิธีดำเนินการศึกษา

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

ตัวแปรตัดสินใจ กำหนดให้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มเวลาการเริ่มของกิจกรรมย่อย (Activity segment's start time) และกลุ่มการเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงาน (Work resource combination) กลุ่มเวลาเริ่มของกิจกรรมย่อยจะเป็นค่าคำตอบที่ใช้กำหนดเวลาของแผนงาน มีค่าเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าศูนย์ ซึ่งเวลาเริ่มของกิจกรรมเหล่านี้จะเป็นไปตามเงื่อนไขของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่กำหนด เสมือนกับเป็นการปรับเลื่อนกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมย่อยต่างๆเป็นลำดับภายในระยะเวลาลอยตัวที่กิจกรรมนั้นมีอยู่ การคำนวณ CPS แบบคำนวณไปข้างหน้าจะทำให้ได้ระยะเวลาของโครงการทั้งหมด ซึ่งการกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมยังคงส่งผลกระทบโดยตรงต่อระดับการจัดสรรทรัพยากรและกระแสเงินสด อีกด้วย

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ เป็นการกำหนดให้ผลรวมต้นทุนโครงการมีค่าต่ำที่สุด

ฟังก์ชั่นข้อจำกัดแบ่งออกเป็น 2 คือกลุ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม และกลุ่มขีดจำกัดของทรัพยากรหรือปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง



Activity	Pred.	Relation	Lag		PD	Method	Dur.	P1	P2	Cost	ITC	ES	EF	LS	LF	TF	EE_k	EF_k	SD_1	SD_2	SD_3	SD_4
A					15	1	2	2	1	1000	0	1	2	1	2	0	1	2	0	0	0	0
B	A	FS			15	1	3	4	1	1500	0	5	5	5	5	0	5	5	0	0	0	0
C	B	FS			15	1	2	2	1	1000	0	6	7	6	7	0	6	7	0	0	0	0
D	C	FS			15	1	3	1	1	1500	500	8	10	8	10	0	8	10	0	0	0	0
E	D,H	FS			15	1	3	4	2	1500	0	11	15	11	15	0	11	15	0	0	0	0
F	E,L	FS			15	1	2	6	5	1000	0	14	15	14	15	0	14	15	0	0	0	0
G				1	15	1	4	4	1	2000	700	1	4	4	7	3	3	7	2	0	1	0
H	G	FS			15	1	3	5	0	1500	500	5	7	8	10	3	8	10	1	2	0	0
K	A	FS			15	1	2	2	1	1000	0	5	4	8	9	3	5	4	2	3	0	0
L	K	FS		1	15	1	4	2	0	2000	700	5	8	10	15	5	5	15	0	3	0	2

Case Study (Son and Mattila,2004)
Project Deadline = 15
Penalty = 5000 /day
Incentive = 1000/day
Indirect = 500/day
R1 Limit 6/Day
R2 Limit 5/Day

SD_4	Day																
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	2	0	0	1	1	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	M	M	M	M	1	1	1	1	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	6	7	0	0	M	M	M	M	M	1	1	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	8	9	10	0	M	M	M	M	M	M	M	1	1	1	M	M	M	M	M	M	M
	11	12	13	0	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	1	1	1	M	M	M	M
	14	15	0	0	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	1	1	M	M
	3	4	6	7	0	0	1	1	0	1	1	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	8	9	10	0	M	M	M	M	0	0	0	1	1	1	M	M	M	M	M	M	M
	3	4	0	0	M	M	1	1	0	0	0	0	0	M	M	M	M	M	M	M	M
	5	9	10	13	M	M	M	M	1	0	0	0	1	1	0	0	1	M	M	M	M
Proj.Dur.=	15				ส	ส	ส	ส	ส	ส	ส	ส	ส	ส	ส	ส	ส	ส	ส	M	M
R1 Limit					6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
RIC_{R1} =	1.148148				2	2	10	10	6	6	6	6	8	8	4	4	6	6	6	M	M
R2 Limit					5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
RIC_{R2} =	1.186224				1	1	5	5	1	2	2	1	1	1	2	2	2	5	5	M	M
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=	50,900				1,400	1,400	2,700	2,600	4,000	4,300	3,500	3,400	3,500	3,500	3,000	3,000	4,000	1,400	1,400	ส	ส
DC =	42,000				1,000	1,000	2,200	2,100	3,500	3,800	3,000	2,900	3,000	3,000	2,500	2,500	3,500	1,000	1,000	ส	ส
IDC =	7,300				500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	ส	ส
PC =	0																			ส	ส
ITC =	1,400						700			700											

รูปที่ 3 ตัวอย่างการสร้างโมเดลด้วย Spreadsheet

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ได้ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Excel™ ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปประเภท Spreadsheet ที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยตัวโมเดลปัญหาจะถูกบันทึกเป็นไฟล์หนึ่งไฟล์ ที่ประกอบด้วยแผ่นงาน (Sheet) แผ่นเดียวที่ใช้ป้อนบันทึกสูตรของสมการต่างๆทั้งหมดของโมเดล และจัดวางอย่างเป็นระเบียบเพื่อความสะดวกในการป้อนข้อมูลนำเข้า (Input) และแสดงข้อมูลผลลัพธ์ (output) ให้เข้าใจได้ง่าย แผ่นคำนวณที่เป็นตัวโมเดลทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3

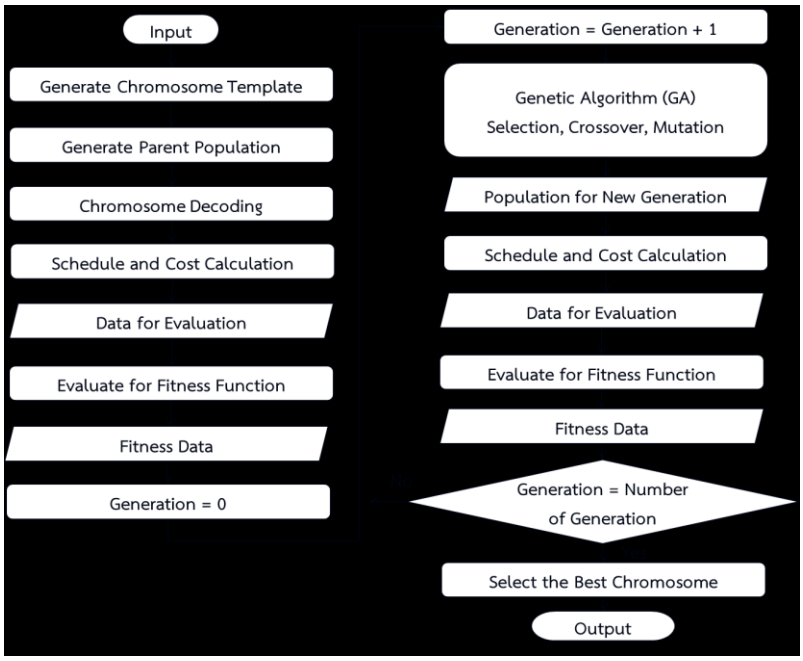
ในระหว่างการพัฒนาโมเดลได้ใช้ข้อมูลโครงการก่อสร้างที่งานวิจัยของ Son and Mattila [21] ซึ่งเป็นโจทย์ปัญหาที่มีขนาดเล็กกะทัดรัดเหมาะสำหรับการทดสอบความถูกต้องในการสร้างโมเดล ส่วนประกอบของโมเดลบน Excel แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ ข้อมูลนำเข้า ตัวแปรตัดสินใจ การคำนวณแผนงานโครงการ การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ มีรายละเอียดดังนี้

3.1. ข้อมูลนำเข้า เป็นการป้อนข้อมูลจากผู้ใช้งาน เป็นตัวโจทย์ปัญหาแผนงานโครงการก่อสร้างที่ต้องการหาคำตอบ โมเดลปัญหาแบบบูรณาการเป็นโมเดลที่ซับซ้อนเนื่องจากพิจารณาปัจจัยหลายด้านพร้อมกัน ดังนั้นจึงต้องการข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก ซึ่งต้องได้มาจากการจัดเตรียมของผู้วางแผน ทั้งนี้ได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้ 1.กลุ่มข้อมูลนำเข้าด้านกิจกรรมก่อสร้าง 2.กลุ่มข้อมูลนำเข้าด้านเงื่อนไขทางการเงิน 3.กลุ่มข้อมูลนำเข้าด้านขีดจำกัดของทรัพยากรหลักของโครงการ รายละเอียดข้อมูลนำเข้าในแต่ละกลุ่มมีดังนี้

3.2. ตัวแปรตัดสินใจ ประกอบด้วย 2 กลุ่มคือ กลุ่มตัวแปรเวลาเลื่อน (Start Delay) ของกิจกรรมย่อยใดๆ (คอลัมน์ SD) มีค่าเป็นจำนวนเต็มที่มากกว่าศูนย์ ซึ่งจะเป็นค่าคำตอบที่ใช้ปรับเลื่อนกำหนดเริ่มของกิจกรรมต่างๆ (Activity's start time) ภายในระยะเวลาโฟลทที่กิจกรรมนั้นมีอยู่ โดยที่เวลาเริ่มของจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่กำหนดด้วยและกลุ่มการเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงาน (Work resource combinations) ตัว แปรตัดสินใจกลุ่มนี้จะกำหนดให้เป็นค่าแบบ Binary (คอลัมน์ Method) โดยหากค่าในคอลัมน์นี้เท่ากับ 1 หมายถึงทางเลือก Estimate I ได้ถูเลือกใช้ แต่หากมีค่าเท่ากับ 2 จะหมายถึงทางเลือก Estimate II ได้ถูกเลือกใช้ โดยที่ชุดข้อมูลทางเลือกที่ถูกเลือกจะประกอบไปด้วย จำนวนทรัพยากรดำเนินงานเงินงวดงาน และระยะเวลาของกิจกรรม ซึ่งค่าข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปคำนวณเป็นแผนงานและนำไปประเมินค่าต่อไป คำตอบที่แสดงการเลือกทางเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงานทางเลือกใดแสดงว่าทางเลือกนั้นเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดกับแผนงานโครงการ

3.3. การคำนวณแผนงานโครงการ แบ่งเป็นส่วนการคำนวณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้อง 3 ส่วน ได้แก่ 1.ส่วนค่าเวลาของกิจกรรม 2.ส่วนค่าระดับการจัดสรรทรัพยากรดำเนินงานและ 3.ส่วนค่ากระแสเงิน สด

3.4. การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เป็นแบบ Multi-objective ประกอบไปด้วยค่า Dur. และ TC การ Optimization ของโมเดลปัญหาที่สร้างขึ้นนี้ จะเป็นการ Minimization ของค่าฟังชันวัตถุประสงค์



รูปที่ 4 แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณโดยรวม

4.การวางแผนด้วยวิธี CPS

ตารางที่ 1 ตัวอย่างแผนงานที่มีลักษณะความสัมพันธ์ของงานซับซ้อน

Act.	Pred.	Const.							Traditional			Interruptible		Method I				Method II			
		Time	Tech.	MGT.	Cost/ Day	Space	Resource		Relationship	Lag	T/P	Yes/No	Cost.	Dur.	Cost/ Day	Resource		Dur.	Cost/ Day	Resource	
							R 1	R 2								R 1	R 2			R 1	R 2
A		15	No	No	6,000	No	6	3				No		2	1,000	2	1				
B	A	15	No	No	6,000	No	6	3	SS	1	T	No		3	1,500	4	1	2	2,100	5	1
C	B	15	No	No	6,000	No	6	3	SS	1	T	No		2	1,000	2	1				
D	C	15	No	No	6,000	No	6	3	SS	1	T	Yes	500	3	1,500	1	1				
E	D,H	15	No	No	6,000	No	6	3	FS			No		3	1,500	4	2				
F	E,L	15	No	No	6,000	No	6	3	FS			No		2	1,000	6	3				
G		15	No	No	6,000	No	6	3				Yes	700	4	2,000	4	1	3	2,800	4	2
H	G	15	No	No	6,000	No	6	3	FS			Yes	500	3	1,500	5	0				
K	A	15	No	No	6,000	No	6	3	FS			No		2	1,000	2	1				
L	K	15	No	No	6,000	No	6	3	FS			Yes	700	4	2,000	2	0	3	3,200	2	1

จากกรณีศึกษาในการวางแผนงานประกอบด้วย 10 กิจกรรมมีความสำพันธ์ระหว่างกิจกรรมดังตารางที่ 1 โดยกำหนดให้ในแต่ละกิจกรรมมีทางเลือกในการวางแผนได้ 2 แนวทาง และจำกัดเงื่อนไขของปัจจัยต่างๆประกอบด้วยระยะเวลาโครงการไม่เกิน 15 วัน กระแสเงินสดต่อวันไม่เกิน 6,000 บาท และจำนวนทรัพยากร R1 ไม่เกิน 6 คน R2 ไม่เกิน 3 คน

จากการกำหนดข้อมูลใน โปรแกรม Microsoft Excel™ ดังรูปที่ 5 จะได้แผนงานตามการความสัมพันธ์ของกิจกรรมและทรัพยากรในแต่ละกิจกรรมในรูปแบบการวางแผนงานด้วยวิธี CPM ซึ่งจะพบว่าในวันที่ 3 – 7 มีการใช้ทรัพยากร R1 เกินกว่าที่มีอยู่และเมื่อพิจารณาในเรื่องข้อจำกัดด้านทรัพยากรทำให้ระยะเวลาโครงการเกินกว่าที่กำหนดเป็น 17 วัน ดังรูปที่ 6 และกรณีการแลกเปลี่ยนระหว่างเวลากับต้นทุนจะทำให้โครงการมีระยะเวลาตามที่กำหนดแต่ทำให้ค่าต้นทุนโครงการเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 7 และเมื่อใช้วิธี CPS มาใช้ในการวางแผนและหาคำตอบโดยวิธี GA จะได้แผนงานที่เหมาะสมตรงตามเงื่อนไขต่างๆที่กำหนด ดังรูปที่ 8

Activity	Pred.	Relation	Lag	Part	PD	Method	Dur.	R1	R2	Cost	ITC	ES	EF	LS	LF	AF	SD	ITD
A				1,3	15	1	2	2	1	1000	0	1	2	1	2	3	1	0
B	A	FS		1	15	1	3	4	1	1500	0	3	5	3	5	3	3	0
C	B	FS		1	15	1	2	2	1	1000	0	6	7	6	7	3	6	0
D	C	FS		1	15	1	3	1	1	1500	500	8	10	8	10	3	8	1
E	D,H	FS		1,2	15	1	3	4	2	1500	0	11	13	11	13	3	11	0
F	E,L	FS		1,2,3	15	1	2	6	3	1000	0	14	15	14	15	3	14	0
G				2	15	1	4	4	1	2000	700	1	4	4	7	5	1	1
H	G	FS		2	15	1	3	5	0	1500	500	5	7	8	10	5	5	1
K	A	FS		3	15	1	2	2	1	1000	0	3	4	8	9	4	3	0
L	K	FS		3	15	1	4	2	0	2000	700	5	8	10	13	4	5	1

Case Study (Son and Mattila,2004)
Project Deadline = 15 R1 Limit 6/Day
Penalty = 5000 /day R2 Limit 3/Day
Incentive = 1000/day
Indirect = 500/day

SD_{id}	1	2	3	4
Proj.Dur.=	15			
R1 Limit				
RIC_{R1} =	1.2703704			
R2 Limit				
RIC_{R2} =	1.1862245			
Cost Limit				
Total Cost=	49,500			
DC =	42,000			
IDC =	7,500			
PC =	0			
ITC =	0			

Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	1															
			1	1	1												
						1	1										
								1	1	1							
											1	1	1				
														1	1		
1	1	1	1	0	0	0											
				1	1	1	0	0	0								
			1	1	0	0	0	0	0								
			1	1	1	1	0	0	0	0	0						
RIC_R1	6	6	10	10	11	9	9	3	1	1	4	4	4	6	6		
RIC_R2	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3		
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=	3,500	3,500	5,000	5,000	5,500	5,000	5,000	4,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,500	1,500		
DC =	3,000	3,000	4,500	4,500	5,000	4,500	4,500	3,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,000	1,000		
IDC =	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500		
PC =																	
ITC =																	

รูปที่ 5 การวางแผนงานด้วยโปรแกรม Microsoft Excel™

Activity	Pred.	Relation	Lag	Part	PD	Method	Dur.	R1	R2	Cost	ITC	ES	EF	LS	LF	AF	SD	ITD
A				1,3	15	1	2	2	1	1000	0	1	2	3	4	3	1	0
B	A	FS		1	15	1	3	4	1	1500	0	3	5	5	7	3	5	0
C	B	FS		1	15	1	2	2	1	1000	0	6	7	8	9	3	8	0
D	C	FS		1	15	1	3	1	1	1500	500	8	10	10	12	3	10	1
E	D,H	FS		1,2	15	1	3	4	2	1500	0	11	13	13	15	3	13	0
F	E,L	FS		1,2,3	15	1	2	6	3	1000	0	14	15	16	17	3	16	0
G				2	15	1	4	4	1	2000	700	1	4	6	9	5	1	1
H	G	FS		2	15	1	3	5	0	1500	500	5	7	10	12	5	10	1
K	A	FS		3	15	1	2	2	1	1000	0	3	4	10	11	4	3	0
L	K	FS		3	15	1	4	2	0	2000	700	5	8	12	15	4	5	1

Case Study (Son and Mattila,2004)
Project Deadline = 15 R1 Limit 6/Day
Penalty = 5000 /day R2 Limit 3/Day
Incentive = 1000/day
Indirect = 500/day

SD_{id}	1	2	3	4
Proj.Dur.=	17			
R1 Limit				
RIC_{R1} =	1.0493827			
R2 Limit				
RIC_{R2} =	1.1709184			
Cost Limit				
Total Cost=	60,500			
DC =	42,000			
IDC =	8,500			
PC =	10,000			
ITC =	0			

Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	1	0	0													
			0	0	1	1	1										
						0	0	1	1								
								0	0	1	1	1					
										0	0	1	1	1			
														0	0	1	1
1	1	1	1	0	0	0	0	0									
				0	0	0	0	0	1	1	1						
		1	1	0	0	0	0	0	0	0							
				1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
RIC_R1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
RIC_R2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
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=	3,500	3,500	3,500	3,500	4,000	4,000	4,000	3,500	1,500	3,500	3,500	3,500	2,000	2,000	2,000	6,500	6,500
DC =	3,000	3,000	3,000	3,000	3,500	3,500	3,500	3,000	1,000	3,000	3,000	3,000	1,500	1,500	1,500	1,000	1,000
IDC =	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
PC =																5,000	5,000
ITC =																	

รูปที่ 6 ตารางแผนงานที่พิจารณาในเรื่อง RA

Activity	Pred.	Relation	Lag	Part	PD	Method	Dur.	R1	R2	Cost	ITC	ES	EF	LS	LF	AF	SD	ITD
A				1,3	15	1	2	2	1	1000	0	1	2	2	3	3	1	0
B	A	FS		1	15	2	2	5	1	2100	0	3	4	4	5	3	4	0
C	B	FS		1	15	1	2	2	1	1000	0	5	6	6	7	3	6	0
D	C	FS		1	15	1	3	1	1	1500	500	7	9	8	10	3	8	1
E	D,H	FS		1,2	15	1	3	4	2	1500	0	10	12	11	13	3	11	0
F	E,L	FS		1,2,3	15	1	2	6	3	1000	0	13	14	14	15	3	14	0
G				2	15	2	3	4	2	2800	700	1	3	5	7	5	1	1
H	G	FS		2	15	1	3	5	0	1500	500	4	6	8	10	5	8	1
K	A	FS		3	15	1	2	2	1	1000	0	3	4	9	10	4	6	0
L	K	FS		3	15	2	3	2	1	3200	700	5	7	11	13	4	11	1

Case Study (Son and Mattila,2004)
Project Deadline = 15 R1 Limit 6/Day
Penalty = 5000 /day R2 Limit 3/Day
Incentive = 1000/day
Indirect = 500/day

SD_{id}	1	2	3	4
Proj.Dur.=	15			
R1 Limit				
RIC_{R1} =	1.0217133			
R2 Limit				
RIC_{R2} =	1.171875			
Cost Limit				
Total Cost=	51,200			
DC =	43,700			
IDC =	7,500			
PC =	0			
ITC =	0			

Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	1	0														
			0	1	1												
					0	1	1										
							0	1	1	1							
										0	1	1	1				
													0	1	1		
1	1	1	0	0	0	0											
					0	0	0	0	1	1	1						
			0	0	0	1	1	0	0	0							
				0	0	0	0	0	0	0	1	1	1				
RIC_R1	6	6	4	5	5	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6		
RIC_R2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
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=	4,300	4,300	3,300	2,600	2,600	2,500	2,500	3,500	3,500	3,500	5,200	5,200	5,200	1,500	1,500		
DC =	3,800	3,800	2,800	2,100	2,100	2,000	2,000	3,000	3,000	3,000	4,700	4,700	4,700	1,000	1,000		
IDC =	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500		
PC =																	
ITC =																	

รูปที่ 7 ตารางแผนงานที่ใช้ TCT และ RA

ตารางที่ 2 ผลการหาคำตอบตามเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนด ด้วยวิธี GA

TC	R1	R2	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	D1	D2	D3	E1	E2	E3	F1	F2	G1	G2	G3	G4	H1	H2	H3	K1	K2	L1	L2	L3	L4
50900	6	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	6	7	8	9	10	3	4	5	11	12	13
50900	8	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	6	7	8	9	10	3	4	5	8	9	10
50900	8	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	6	7	8	9	10	3	4	5	7	8	9
50900	8	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8
50900	8	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8
50900	8	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	6	7	8	9	10	3	4	5	7	9	10
50900	8	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	6	7	8	9	10	3	4	5	6	8	9
50900	8	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	6	7	8	9	10	3	4	5	8	10	11
50900	8	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	6	7	8	9	10	3	4	5	9	10	12
50900	10	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	3	5	6	7	8	9	10	3	4	5	8	10	11
50900	10	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	5	6	7	8	9	10	3	4	5	7	8	11

Activity	Pred.	Relation	Lag	Part	PD	Method	Dur.	R1	R2	Cost	ITC	ES	EF	LS	LF	AF	SD	ITD	SD_{kl} 1	2	3	4	Day 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
A				1,3	15	1	2	2	1	1000	0	1	2	1	2	3	1	0	1	2			1	1															
B	A	FS		1	15	1	3	4	1	1500	0	3	5	3	5	3	3	0	3	4	5				1	1	1												
C	B	FS		1	15	1	2	2	1	1000	0	6	7	6	7	3	6	0	6	7								1	1									
D	C	FS		1	15	1	3	1	1	1500	500	8	10	8	10	3	8	1	8	9	10									1	1	1						
E	D,H	FS		1,2	15	1	3	4	2	1500	0	11	13	11	13	3	11	0	11	12	13												1	1	1			
F	E,L	FS		1,2,3	15	1	2	6	3	1000	0	14	15	14	15	3	14	0	14	15															1	1		
G				2	15	1	4	4	1	2000	700	1	4	4	7	5	1	1	1	2	6	7	1	1	0	0	0	1	1									
H	G	FS		2	15	1	3	5	0	1500	500	5	7	8	10	5	8	1	8	9	10						0	0	0	1	1	1						
K	A	FS		3	15	1	2	2	1	1000	0	3	4	8	9	4	3	0	3	4					1	1	0	0	0	0	0							
L	K	FS		3	15	1	4	2	0	2000	700	5	8	10	13	4	5	1	5	11	12	13					1	0	0	0	0	0	1	1	1			
																			Proj.Dur.=		15																
																			R1 Limit				6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
																			RIC_{R1} =		1		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
																			R2 Limit				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
																			RIC_{R2} =		1.1096939		2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	3		
																			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=		50,900		3,500	3,500	3,000	3,000	4,000	4,200	3,500	3,500	3,500	3,500	4,700	4,000	4,000	1,500	1,500		
																			DC =		42,000		3,000	3,000	2,500	2,500	3,500	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,500	3,500	3,500	1,000	1,000		
																			IDC =		7,500		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500		
																			PC =		0																		
																			ITC =		1,400							700					700						

Case Study (Son and Mattila,2004)

Project Deadline = 15 R1 Limit 6/Day

Penalty = 5000 /day R2 Limit 3/Day

Incentive = 1000/day

Indirect = 500/day

รูปที่ 8 ตารางแผนงานที่ใช้วิธี CPS

5. สรุปผล

จากตัวอย่างของแผนงานจะพบว่าการวางแผนงานด้วยวิธี CPM มีข้อจำกัดอยู่หลายประการในการวางแผนและที่สำคัญที่สุดคือข้อจำกัดในการเลื่อนกิจกรรมที่ไม่ได้อยู่บนเส้นวิกฤตที่จะสามารถเริ่มต้นในการดำเนินการในช่วงเวลาที่มีค่าลอยตัวของกิจกรรมซึ่งเมื่อทำการเลื่อนในลักษณะรูปแบบต่างๆแล้วยังไม่สามารถเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรหรือสุดท้ายคือต้นทุนที่ต่ำที่สุด แต่เมื่อดำเนินการวางแผนด้วยวิธี CPS ตามกรณีตัวอย่างจะพบว่าต้นทุนโครงการที่มีจำนวนกิจกรรม 10 กิจกรรม มีค่าต้นทุนรวมที่ 50,900 บาท น้อยกว่าการวางแผนด้วย CPM ที่มีต้นทุนรวมที่ 60,500 บาท ตามข้อจำกัดในเรื่องทรัพยากร

บรรณานุกรม

[1] วิสูตร จิระดำเกิง. (2554). **การวางแผนงานและแผนกำหนดเวลางานก่อสร้าง 2nd Edition**. ปทุมธานี: วรรณกวี. 592 หน้า.

หทัยจรี แสงประดิษฐ. (2546). **การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริธึมส์ในการจัดทำแผนงานที่มีต้นทุนการก่อสร้างต่ำ.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 97 หน้า.

[2] Toor, S.R. and Ogunlana, S.O. (2008) **Problems causing delays in major construction projects in Thailand,** Construction Management and Economics 26(4), 395-408.

[3] R. Gupata, P. Jain, S.Das. (2015). **Last thirty years of Construction Management Research**. International Journal of Advance Research in Engineering, Science and Technology. India : 100-111

[4] Hegazy, T. and Ersahin, T. (2001) **Simplified spreadsheet solutions II: overall schedule optimization**, Journal of Construction Engineering and Management 127(6), 469-75.

[5] วชรภูมิ เบญจโอหาร. (2553). **การบริหารงานก่อสร้าง, เอกสารประกอบการสอนวิชาการบริหารงานก่อสร้าง**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, พิมพ์ครั้งที่ 5, 180 หน้า.

[6] Wickwire, J. M., and Ockman, S. (2000). **Industry crisis: Construction scheduling software**. AACE International Transactions, CDR.02.1-CDR.02.8.

[7] Lowsley, S., and Linnett, C. (2006). **About Time: Delay Analysis in Construction**. RICS Business Services Limited, UK.

[8] Street, I. A. (2000). **The pitfalls of CPM scheduling on construction projects.** Cost Engineering Journal, AACE International, 42(8), 35-37.

[9] Kim, K., and de la Garza, J. M. (2003). **Phantom float.** Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 129(5), 507-517.

[10] Scavino, N. J. (2003). **Effect of multiple calendars on total float and critical path**. Cost Engineering Journal, AACE International, 45(6), 11-15.

[11] Kim, K., and de la Garza, J. M. (2005b). **Critical path method with multiple calendars.** Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 131(3), 330-342.

[12] Herold, S. C. (2004). **Enhanced PDM - Concepts and benefits.** AACE International Transactions, PS.09.1-PS.09.8.

[13] Hegazy, T. and Menesi, W. (2008a). **Delay analysis considering dynamic resource allocation and multiple baselines**. AACE International Transactions, CDR.14.1-CDR.14.8.

[14] Hegazy, T., and Menesi, W. (2008b). **Delay analysis under multiple baseline updates.** Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 134(8), 575-582.

[15] Livengood, J. and Anderson, M. (2006). **A continuously changing as-planned baseline**. AACE International Transactions, CDR 08.1-CDR08.8

[16] Winter, R. M. (2003). **Computing the near-longest path**. AACE International Transactions, PS.11.1PS.11.9.

[17] Sakka, Z. I., and El-Sayegh, S. M. (2007). **Float consumption impact on cost and schedule in the construction industry**. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 133(2), 124–130.

[18] Lowsley, S., and Linnett, C. (2006). **About Time: Delay Analysis in Construction**. RICS Business Services Limited, UK.

[19] Moder, J. J., Phillips, C. R., and Davis, E. W. (1983). **Project Management with CPM, PERT, and Precedence Diagramming**. Van Nostrand Reinhold Company, NY, USA.

[20] Hegazy, T., and Menesi, W. (2010). **Critical Path Segments (CPS) scheduling technique**. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 136(10).

[21] Son J, Mattila K. G. (2004). **Binary resource leveling model: Activity splitting allowed.** Journal of Construction Engineering and Management. 130(6): 887–894.