



การสร้างแผนงานอัตโนมัติของโครงการโดยใช้วิธี CONSTRAINT SATISFACTION PROBLEM AUTOMATED PROJECT SCHEDULE GENERATION USING CONSTRAINT SATISFACTION PROBLEM

มงคล อัสวดีลลภฤทธิ¹ และพาสิต ล่อธีรพงศ์²

¹อาจารย์ประจำ, บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

¹ E-mail: mongkol.uss@gmail.com, ² E-mail: pasit.lor@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการก่อสร้างประกอบไปด้วยกิจกรรมหลายประเภท ที่จะต้องดำเนินการร่วมกันตามช่วงเวลาต่าง ๆ ของโครงการ ซึ่งงานต่าง ๆ เหล่านี้จะมี constraint เข้ามาเกี่ยวข้องจำนวนมาก เช่น constraint ด้านเวลา constraint ด้านลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง constraint ด้านนโยบายจากฝ่ายบริหาร constraint ด้านทรัพยากร และ constraint ด้านความปลอดภัย เป็นต้น constraint เหล่านี้จะมีทั้งแบบตายตัว (Fixed constraint) และแบบมีเงื่อนไข (Conditional constraint) สำหรับ constraint แบบตายตัวนั้น สามารถใช้วิธีการวางแผนงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน (Conventional scheduling method) เช่น วิธีสายงานวิกฤต (Critical Path Method : CPM) ได้ ส่วน constraint แบบมีเงื่อนไขเป็น constraint ที่สามารถสร้างแผนงานได้หลายทางเลือก constraint เหล่านี้มีความซับซ้อนโดยวิธีการวางแผนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะทำการโมเดลทางเลือกต่าง ๆ ให้ครบถ้วนได้ยาก ซึ่งในทางปฏิบัติหากมีการกำหนด constraint แบบมีเงื่อนไข ผู้วางแผนงานจะต้องลองสร้างแนวทางเลือกที่คาดว่าจะเป็นไปได้ทีละหนึ่งแนวทาง จากนั้นจึงตรวจสอบกับ constraint ที่กำหนดไว้ หากพบว่าแนวทางเลือกดังกล่าวขัดแย้งกับ constraint ที่กำหนดไว้ ก็จะต้องลองหาแนวทางเลือกอื่นต่อไปจนกว่าจะได้แผนงานที่เป็นไปได้ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลา งานวิจัยนี้ได้พัฒนาซอฟต์แวร์ที่เรียกว่า CSP SCHEDULER ที่สามารถใช้ในการโมเดล constraint ต่าง ๆ ที่มีลักษณะเป็น constraint แบบตายตัว และแบบมีเงื่อนไขได้ CSP SCHEDULER สามารถวางแผนงานโดยการสร้างความสัมพันธ์ของกิจกรรมตาม constraint ที่กำหนดให้ ซึ่งให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของแผนทางเลือกต่าง ๆ ที่เป็นไปได้อย่างอัตโนมัติ ซอฟต์แวร์การวางแผนงานนี้จะใช้วิธีคอนสเตรนทซาทิสแฟคชั่นพรีออบเบล็ม (Constraint Satisfaction Problem : CSP) มาใช้ในการวางแผนงานโครงการ งานวิจัยนี้ได้ใช้กรณีศึกษาการวางแผนงานปรับปรุงอาคารสำนักงานที่มี constraint ลักษณะเป็นเงื่อนไข โดยใช้ CSP SCHEDULER ในการวางแผนงาน ซึ่งผลที่ได้พบว่าโปรแกรมสามารถสร้างแผนทางเลือก 4 แผนงานที่เป็นไปได้อย่างอัตโนมัติ ทำให้ผู้วางแผนงานมีแผนทางเลือกมากขึ้น และสามารถสร้างแผนงานที่สอดคล้องกับ constraint ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการทำงานจริงได้อีกทั้งแผนงานที่ได้สามารถนำไปใช้ในการควบคุมและบริหารจัดการโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

คำสำคัญ: คอนสเตรนทซาทิสแฟคชั่นพรีออบเบล็ม, โครงการก่อสร้าง, แผนงานทางเลือก

ABSTRACT

In a construction project, it involves numerous different types of activity and constraint. The construction constraints can be referred to time limitation, technological and managerial issues, resource restriction, safety problems, and so on. All these construction constraints can be classified either into fixed or conditional constraints. The fixed constraint can be planned and scheduled by the conventional scheduling approach such as the Critical Path Method (CPM) while the conditional constraint is characterized the greater complexity of the problems which the conventional scheduling methods have proven inadequate for scheduling in this kind of situation. In practice, the project planner must generate possible solutions compliance to the defined constraints. If the solution violates any given constraints, it is required to find out other alternatives which may cause time-consuming consequently. Attempting to treat this drawback, the authors developed an Automate Project Network Generation System using a computer science technique called CSP SCHEDULER that can be applied to both fixed and conditional constraints and can help to automatically formulate the interdependencies of activities under given constraints in form of several project networks. The proposed software program with utilizing "Constraint Satisfaction Problem (CSP)" generates solutions. A building renovation project has been used as a case study to demonstrate the practicality of the proposed software system. The project contained examples of conditional constraints. Conditional constraints can result in several planning alternatives. For this case study, four possible project networks are automatically generated by CSP SCHEDULER. The planner could then use predefined criterion to explore and prioritize the resulting project networks. CSP SCHEDULER can be used as a planning tool capable of handling fixed and conditional constraints normally found in real-life construction planning problems. The proposed method has the potential to transform the way construction schedules are generated and managed.

KEYWORDS: Constraint Satisfaction Problem, construction project, alternative schedule

1. บทนำ

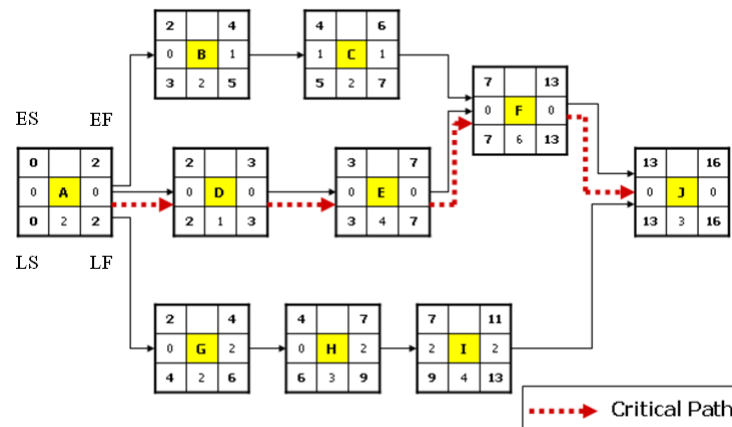
โครงการก่อสร้างมีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่าง ๆ ที่ต้องดำเนินงานจำนวนมาก ทำให้มีข้อจำกัด หรือเงื่อนไขบังคับในการทำงาน (Constraint) ที่ต้องคำนึงถึงจำนวนมาก ซึ่งเป็น constraint ที่มาจากผู้เกี่ยวข้องต่าง ๆ ในโครงการ เช่น เจ้าของโครงการ, ผู้รับเหมา, ผู้ขายวัสดุก่อสร้าง และผู้รับเหมาช่วง เป็นต้น โดยเจ้าของโครงการมักจะกำหนดความต้องการต่าง ๆ ตามสัญญา ทั้งในส่วนของระยะเวลาแล้วเสร็จของโครงการ และความต้องการพิเศษอื่น ๆ เพื่อให้โครงการสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ เช่น กำหนดให้ผู้รับเหมาสามารถดำเนินการปรับปรุงอาคารในบริเวณใดบริเวณหนึ่งก่อนก็ได้ แต่ห้ามดำเนินการพร้อม ๆ กัน เนื่องจากเหตุผลด้านความปลอดภัย หรือ กำหนดให้ผู้รับเหมาดำเนินการปรับปรุงได้ทีละพื้นที่ เนื่องจากอาคารต้องเปิดใช้งานตลอดเวลา เป็นต้น ส่วนผู้รับเหมาก็มี constraint ที่เกิดขึ้นจากการทำงาน เช่น พื้นที่ก่อสร้างที่จำกัดทำให้ผู้รับเหมาไม่สามารถดำเนินการงานต่าง ๆ ในบริเวณที่จะขวางทางเข้า-ออก ประตูของโครงการ ที่มีอยู่จำนวน 2 ประตูในระยะเวลาเดียวกัน รวมถึง constraint ด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

Constraint ที่กล่าวถึงข้างต้นพบว่ามีทั้งแบบตายตัว (Fixed constraint) และแบบมีเงื่อนไข (Conditional constraint) สำหรับคอนสเตรนตแบบตายตัวนั้น สามารถใช้วิธีการวางแผนงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้ เช่น วิธีสายงานวิกฤต (Critical Path Method: CPM) ได้ ส่วน constraint แบบมีเงื่อนไข อาจมีหลายทางเลือกตามเงื่อนไขต่างๆ ที่โครงการกำหนดขึ้น อีกทั้ง constraint เหล่านี้มีความซับซ้อน และนำไปสู่แผนทางเลือกต่างๆ ซึ่งวิธีการวางแผนงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถโมเดลให้ครบถ้วนได้ยาก ทั้งนี้ในทางปฏิบัติหากมีการกำหนด constraint แบบมีเงื่อนไข ผู้วางแผนงานจะต้องลองสร้างแนวทางเลือกที่คาดว่าจะเป็นไปได้ทีละหนึ่งแนวทาง จากนั้นจึงตรวจสอบกับ constraint ที่กำหนดไว้ หากพบว่าแนวทางเลือกดังกล่าวขัดแย้งกับ constraint ที่กำหนดไว้ ผู้วางแผนจะต้องลองหาแนวทางเลือกอื่นต่อไปจนกว่าจะได้แผนงานที่เป็นไปได้ ซึ่งทำให้กระบวนการวางแผนงานต้องใช้เวลาและมีความสลับซับซ้อน โดยปัจจุบันโปรแกรมวางแผนงานต่างๆ ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อโมเดล constraint ที่มีหลายๆ แนวทางเลือกดังกล่าว

2. แนวทางการวางแผนงานในปัจจุบัน

การวางแผนงานที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบันนั้น จะมีการวางแผนงานด้วยวิธีสายงานวิกฤต (Critical Path Method : CPM) [1-4] ซึ่งวิธีนี้จะมีการวางแผนงานโดยคำนึงถึง constraint ด้านเวลา และความสัมพันธ์ของกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกันเป็นหลัก ส่วนในกรณีที่ต้องการวางแผนให้สอดคล้องกับ constraint อื่นๆ ของโครงการก่อสร้าง เช่น constraint ด้านนโยบายจากฝ่ายบริหาร, ด้านความปลอดภัย, ด้านข้อจำกัดของพื้นที่การทำงาน และด้านทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เป็นต้น [5-9] ซึ่งมีทั้ง constraint แบบตายตัว และแบบมีเงื่อนไข การวางแผนงานจะต้องนำ constraint ที่กำหนดไว้ข้างต้นมาวางแผนงานโดยมีขั้นตอนการวางแผนงานให้สอดคล้องกับ constraint ต่างๆ ดังนี้

2.1 Constraint ที่มีลักษณะเป็น constraint แบบตายตัวจะสามารถสร้างแผนงานได้เพียงหนึ่งแนวทาง เช่น constraint ด้านเวลา (Time constraint) และ constraint ด้านลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง (Technological constraint) เป็นต้น การวางแผนงานจะใช้การคำนวณโดยวิธีการกำหนดเวลาไปข้างหน้า (Forward pass) และวิธีการกำหนดเวลาย้อนกลับ (Backward pass) เพื่อคำนวณหาเวลาเริ่มต้นเร็วที่สุด (ES), เวลาเริ่มต้นช้าที่สุด (LS), เวลาสิ้นสุดเร็วที่สุด (EF) และ เวลาสิ้นสุดช้าที่สุด (LF) ของแต่ละกิจกรรม จากรูปที่ 1 จะแสดงการวางแผนงานของกิจกรรม A-J ด้วยวิธี CPM โดยแสดงในรูปของโครงข่ายความสัมพันธ์ (Network diagram) และแสดงถึงกิจกรรมที่อยู่ในสายงานวิกฤต (Critical path) ของโครงการด้วย ซึ่งในแต่ละกิจกรรมจะมีระยะเวลาและขั้นตอนการทำงานที่สัมพันธ์กัน



รูปที่ 1 โครงข่ายความสัมพันธ์ของกิจกรรม

2.2 Constraint ที่มีลักษณะเป็น constraint แบบมีเงื่อนไข จะมีแนวทางเลือกที่สามารถวางแผนงานได้หลายแนวทาง เช่น constraint ด้านนโยบายจากฝ่ายบริหาร (Managerial constraint), ด้านความปลอดภัย (Safety constraint), ด้านข้อจำกัดของพื้นที่การทำงาน (Working Area constraint) และ constraint ด้านทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด (Resource constraint) เป็นต้น การวางแผนงานผู้วางแผนงานจะต้องกำหนดแนวทางต่างๆที่เป็นไปได้ทีละหนึ่งแนวทาง เพื่อกำหนดลำดับความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรม จากนั้นจึงนำไปสร้างแผนงานด้วยวิธี CPM ได้ โดยตรวจสอบกับ constraint ที่กำหนดไว้ หากพบว่าแนวทางเลือกดังกล่าวขัดแย้งกับ constraint ที่กำหนด ผู้วางแผนงานจะต้องลองหาแนวทางเลือกอื่นต่อไปจนกว่าจะได้แผนงานที่เป็นไปได้ โดยจะสังเกตว่าการวางแผนงานด้วยวิธี CPM นั้น สามารถวางแผนให้เป็นไปตาม constraint แบบตายตัว ซึ่งสามารถสร้างแผนงานได้เพียงหนึ่งทางเลือกเท่านั้น หากกำหนดให้เป็น constraint แบบมีเงื่อนไข จะทำให้มีแนวทางเลือกในการวางแผนงานได้หลายแนวทาง ซึ่งการวางแผนงานด้วยวิธี CPM สามารถใช้วางแผนงานได้ แต่เป็นกระบวนการที่ใช้เวลา และผู้วางแผนงานต้องใช้ความพยายามในการสร้างแผนทางเลือกต่างๆ เพื่อวางแผนงานให้สอดคล้องกับ constraint ที่มีลักษณะเป็นทางเลือกต่างๆที่กล่าวถึงข้างต้น [10-15]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาลักษณะของ constraint และวิธีการวางแผนงานให้สอดคล้องกับ constraint แบบตายตัว และแบบมีเงื่อนไข โดยได้พัฒนาซอฟต์แวร์เรียกว่า “CSP SCHEDULER” ที่สามารถใช้ในการโมเดล constraint ต่างๆที่มีลักษณะเป็นแบบตายตัว และแบบมีเงื่อนไขได้อย่างอัตโนมัติ

3. การพัฒนาซอฟต์แวร์วางแผนงาน “CSP SCHEDULER”

ประเด็นหลักในการศึกษานี้จะเป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์ โดยมีการสร้างระบบการวางแผนงานตาม constraint ต่างๆที่กำหนดไว้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกแผนงานที่เหมาะสมกับ constraint ต่างๆ ของโครงการที่มีลักษณะซับซ้อน และมีเงื่อนไขต่างๆ จำนวนมาก ซึ่งระบบนี้จะมีการวางแผนงานโดยใช้วิธีคอนสเตรนทซาทิสแฟคชั่นพรีอบเบิลิม (Constraint Satisfaction Problem : CSP) ที่มีการใช้เทคนิคการแพร่ขยายความสัมพันธ์ของ constraint (Constraint propagation technique) ไปยังแต่ละกิจกรรม และมีการใช้เทคนิคการตรวจสอบความสอดคล้อง (Consistency checking technique) กับ constraint ที่กำหนดโดยอัตโนมัติ ซึ่งเทคนิคนี้สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมและพบได้ในงานวิจัยของ Freuder, Kumar และ Tsang [16-18] อีกทั้งยังมีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยต่างๆ เช่น Lorterapong and Ussavdilokrit, ILOG SCHEDULE (Le Pape) and SPIKE (Johnston) [19-21] โดยเทคนิคนี้จะเข้ามาช่วยในกระบวนการสร้างแผนทางเลือกที่เป็นไปได้อย่างอัตโนมัติ โดยพิจารณาจาก constraint ต่างๆเป็นหลัก และระบบจะพิจารณาตัดแนวทางเลือกที่เป็นไปไม่ได้ออกไปให้คงเหลือแผนงานที่เหมาะสมกับ constraint ที่กำหนด

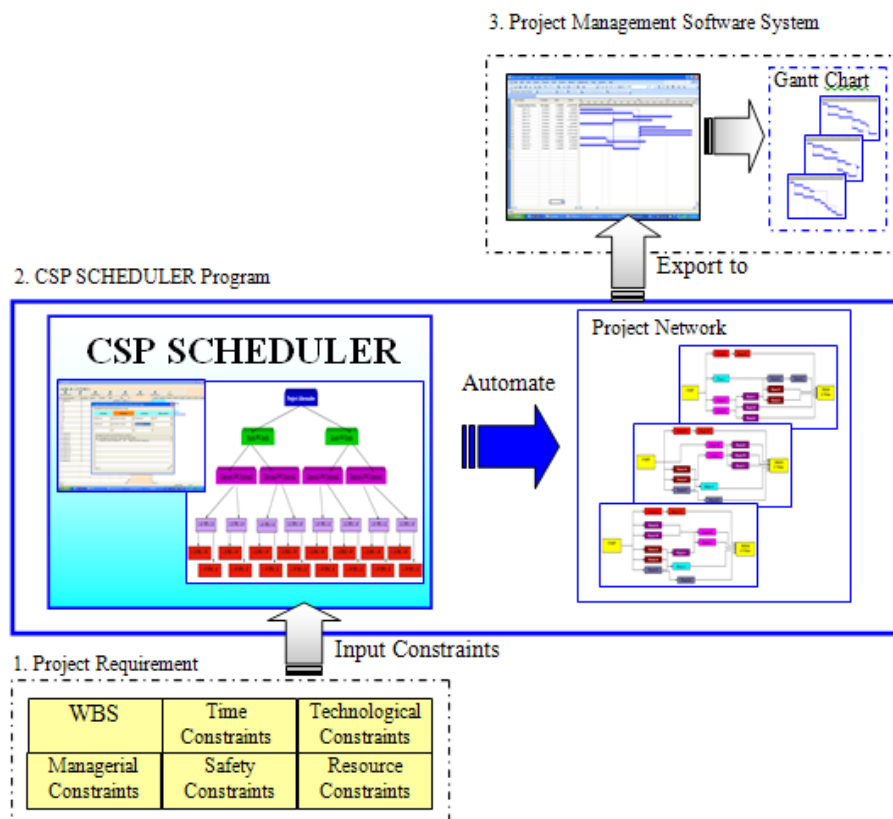
ระบบการวางแผนงานนี้จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ Project Requirement, CSP SCHEDULER Program และ Project Management Software System โดยมีแผนภาพแสดงการทำงานของระบบตามรูปที่ 2 ซึ่งระบบนี้จะมีการพัฒนาเป็นโปรแกรม CSP SCHEDULER เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนงาน โดยระบบการวางแผนงานจะมีรายละเอียดของส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

1) Project Requirement

หน้าที่หลักของ Project Requirement คือ 1) ผู้วางแผนงานจะต้องกำหนดโครงสร้างของกิจกรรม (Work Breakdown Structure : WBS) โดยป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม CSP SCHEDULER โดยให้ป้อนข้อมูลของกิจกรรม ทั้งหมดของโครงการที่ละกิจกรรมจนครบ ซึ่งโปรแกรมก็จะมีการรับข้อมูลรายชื่อของกิจกรรมไปบันทึกเก็บไว้ในฐานข้อมูล (Database) 2) ผู้วางแผนงานจะต้องกำหนด constraint ต่างๆที่เกิดขึ้นของโครงการ โดยป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม CSP SCHEDULER ซึ่งผู้วางแผนงานสามารถกำหนดความสัมพันธ์ทั้งในระดับ Work package หรือในระดับ Project Object จากนั้นโปรแกรม CSP SCHEDULER จะเก็บข้อมูลต่างๆไว้ในฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการวางแผนงานต่อไป

2) CSP SCHEDULER Program

หน้าที่หลักของ CSP SCHEDULER Program คือ การสร้างแผนงานตามความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมให้สอดคล้องกับ constraint ที่กำหนดไว้ ซึ่งโปรแกรมนี้อาจทำงานได้โดยรับข้อมูลโครงสร้างของกิจกรรม (Work Breakdown Structure) และ constraint ต่างๆที่กำหนดมาจาก Project Requirement โดยนำข้อมูลที่ได้อ่านมาหาความสัมพันธ์ของกิจกรรมตามวิธี CSP ที่มีการใช้เทคนิคการแพร่ขยายความสัมพันธ์ของ constraint ไปยังแต่ละกิจกรรม และใช้เทคนิคการตรวจสอบความสอดคล้องกับ constraint ที่กำหนดเพื่อกำหนดขอบเขตของระยะเวลาที่เป็นไปได้ของกิจกรรมต่างๆให้สอดคล้องกับ constraint ที่กำหนดได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ CSP SCHEDULER Program จะสร้างแผนทางเลือกที่เป็นไปได้อย่างอัตโนมัติในรูปแบบของแผนภูมิแกนต์ (Gantt chart) เพื่อให้ผู้วางแผนงานเลือกไปใช้งานต่อไป และสามารถปรับแผนงานตาม constraint ที่เปลี่ยนแปลงไปได้



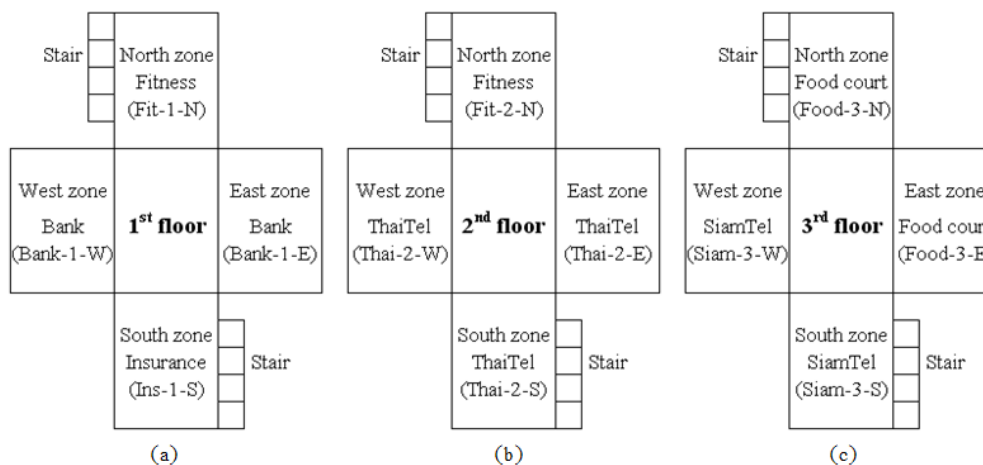
รูปที่ 2 องค์ประกอบหลักของระบบการสร้างแผนโครงการโดยใช้ CSP SCHEDULER

3) Project Management Software System

ภายหลังจากที่ CSP SCHEDULER Program สร้างโครงข่ายความสัมพันธ์ (Project network) ตามแนวทางเลือกต่างๆ ที่สอดคล้องกับ constraint ที่กำหนด ผู้วางแผนงานสามารถนำข้อมูลความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมตามแนวทางเลือกที่เป็นไปได้ ไปใช้ในการส่งต่อหรือป้อนข้อมูลให้กับซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการบริหารโครงการ (Project Management Software) เพื่อที่จะสามารถนำไปเชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมแผนงานของโครงการต่อไป

4. กรณีศึกษา

CSP SCHEDULER ได้ถูกนำไปใช้ในการวางแผนโครงการ กรณีศึกษา งานปรับปรุงภายในอาคารสำนักงานที่กำลังเปิดใช้งานอยู่ จำนวน 3 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นจะมีลูกค้า สถานออกกำลังกาย (Fitness), ธนาคาร(Bank), ศูนย์อาหาร(Food court), ศูนย์บริการโทรศัพท์ 1 (ThaiTel), ศูนย์บริการโทรศัพท์ 2 (SiamTel) และบริษัทประกันภัย (Insurance) เข้าพื้นที่อยู่ และแต่ละชั้นแบ่งออกเป็น 4 Zone ตามรูปที่ 3(a)-3(c) ซึ่งในแต่ละ Zone จะมีการกำหนดรายละเอียดของพื้นที่ไว้ เช่น Fit-1-N พื้นที่ส่วนสถานออกกำลังกาย ชั้นที่ 1 ฝั่ง North Zone เป็นต้น



รูปที่ 3 การแบ่งพื้นที่สำหรับงานปรับปรุงภายในอาคารชั้นที่ 1-3

โดยงานปรับปรุงพื้นที่ภายในอาคารจะมี constraint ที่เกิดขึ้นทั้ง constraint แบบตายตัว และแบบมีเงื่อนไข โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 Constraint แบบตายตัวของโครงการ

Constraint Code No.	Fixed Constraint Description
	Time Constraint
TIM-01	Project duration is 17 weeks
TIM-02	Duration of <i>Fit-1-N</i> is 5 weeks
TIM-03	Duration of <i>Bank-1-E</i> is 8 weeks
TIM-04	Duration of <i>Bank-1-W</i> is 6 weeks
TIM-05	Duration of <i>Ins-1-S</i> is 6 weeks
TIM-06	Duration of <i>Fit-2-N</i> is 5 weeks
TIM-07	Duration of <i>Thai-2-E</i> is 4 weeks
TIM-08	Duration of <i>Thai-2-W</i> is 8 weeks
TIM-09	Duration of <i>Thai-2-S</i> is 8 weeks
TIM-10	Duration of <i>Food-3-N</i> is 4 weeks
TIM-11	Duration of <i>Food-3-E</i> is 6 weeks
TIM-12	Duration of <i>Siam-3-W</i> is 5 weeks
TIM-13	Duration of <i>Siam-3-S</i> is 4 weeks

ตารางที่ 2 Constraint แบบมีเงื่อนไขของโครงการ

Constraint Code No.	Conditional Constraint Description
	Safety Constraint
SAF-01	พื้นที่ปรับปรุงบริเวณ North Zone และ South Zone ห้ามดำเนินการพร้อม ๆ กัน โดยให้ดำเนินการบริเวณ Zone ใดก่อนก็ได้ให้แล้วเสร็จทุกชั้นก่อน จึงจะไปทำ Zone อื่นต่อไปได้ เนื่องจากบันไดหนีไฟทั้ง 2 จุด อยู่ในบริเวณดังกล่าว จึงต้องมีพื้นที่ทางเข้าบันไดหนีไฟไว้ใช้กรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้อย่างน้อย 1 จุด
	Managerial Constraint
MNG-01	พื้นที่ปรับปรุง ThaiTel ห้ามดำเนินการปรับปรุงพร้อมกับ SiamTel โดยให้ดำเนินการบริเวณพื้นที่ ThaiTel หรือ SiamTel พื้นที่ใดก่อนก็ได้ให้แล้วเสร็จทุกชั้นก่อน จึงจะไปทำพื้นที่อื่นต่อไปได้ เพื่อให้มีพื้นที่สำหรับให้บริการลูกค้าบางส่วนในระหว่างดำเนินการปรับปรุงพื้นที่
MNG-02	พื้นที่ที่ใช้ในการปรับปรุงเป็น Food Court ให้ดำเนินการปรับปรุงได้ทีละ Zone จากพื้นที่ทั้งหมด 2 Zone โดยให้ดำเนินการบริเวณพื้นที่ใดก่อนก็ได้ เนื่องจากต้องมีพื้นที่อย่างน้อย 1 Zone ไว้สำหรับเป็นที่รับประทานอาหารของพนักงานตลอดเวลา
MNG-03	พื้นที่ที่ใช้ในการปรับปรุงเป็น Bank ให้ดำเนินการปรับปรุงได้ทีละ Zone จากพื้นที่ทั้งหมด 2 Zone โดยให้ดำเนินการบริเวณพื้นที่ใดก่อนก็ได้ เนื่องจากต้องมีพื้นที่อย่างน้อย 1 Zone ไว้สำหรับให้บริการลูกค้าตลอดเวลา

5. การโมเดล constraint และการวางแผนโดย CSP SCHEDULER

จาก constraint ที่กำหนดไว้ข้างต้น สามารถนำมาทำแบบจำลองในโปรแกรม CSP SCHEDULER โดยลำดับการป้อนข้อมูล constraint ที่จะใช้ในการวางแผนงานนั้น จะมีข้อแนะนำให้กำหนด constraint ด้านเวลา ทั้งระยะเวลาโครงการ และระยะเวลาของแต่ละกิจกรรม (Time Constraint) เป็นอันดับแรก เพื่อกำหนดค่าขอบเขตเริ่มต้นที่เป็นไปได้ให้กับทุกตัวแปรของแต่ละกิจกรรม

จากนั้นจึงกำหนดในส่วนของ constraint ที่ไม่สามารถยืดหยุ่นได้ (Rigid constraint) นั่นคือ constraint ด้านลำดับความสัมพันธ์ของงาน (Technological Constraint) และจึงกำหนด constraint แบบมีเงื่อนไข หรือ constraint ที่สามารถยืดหยุ่นได้ (Soft Constraint) เช่น constraint ด้านความปลอดภัย (Safety Constraint) และ constraint ด้านนโยบายจากฝ่ายผู้บริหาร (Managerial Constraint) เป็นต้น ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ป้อนข้อมูลกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงาน ทั้ง constraint ด้านระยะเวลาโครงการ และระยะเวลาดำเนินการในแต่ละกิจกรรม (Time Constraint) ได้ในโปรแกรม CSP SCHEDULER โดย constraint TIM01-TIM13 กำหนดให้โครงการปรับปรุงจะต้องดำเนินการแล้วเสร็จภายใน 17 สัปดาห์ และกำหนดให้พื้นที่ปรับปรุงบริเวณต่างๆ มีระยะเวลาดำเนินการตามตารางที่ 1 ผู้วางแผนงานจะต้องป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรม CSP SCHEDULER ตามรูปที่ 4

Activity Name	Duration	Start	Finish
Fit-1-N	5	0	5
Bank-1-E	8	0	8
Bank-1-W	6	0	6
Ins-1-S	6	0	6
Fit-2-N	5	0	5
Thai-2-E	4	0	4
Thai-2-W	8	0	8
Thai-2-S	8	0	8
Food-3-N	4	0	4
Food-3-E	6	0	6
Siam-3-W	5	0	5
Siam-3-S	4	0	4

รูปที่ 4 การป้อนข้อมูลกิจกรรมและ constraint ระยะเวลาดำเนินการในแต่ละกิจกรรม

2) ดำเนินการป้อนข้อมูล constraint ต่างๆที่กำหนดไว้ในส่วนต่อมา ทั้ง constraint แบบตายตัวและแบบมีเงื่อนไข โดยตัวอย่างการป้อนข้อมูลตามรายละเอียด ดังนี้

- Constraint SAF-01 กำหนดให้พื้นที่ปรับปรุงบริเวณ North Zone และ South Zone ห้ามดำเนินการพร้อมๆ กัน โดยให้ดำเนินการบริเวณ Zone ใดก่อนก็ได้ให้แล้วเสร็จทุกชั้นก่อน จึงจะไปทำ Zone อื่นต่อไปได้ เนื่องจากบันไดหนีไฟทั้ง 2 จุด อยู่ในบริเวณดังกล่าว จึงต้องมีพื้นที่ทางเข้าบันไดหนีไฟไว้ใช้กรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้อย่างน้อย 1 จุด นั่นหมายถึง พื้นที่ปรับปรุงที่บริเวณ North Zone จะดำเนินการก่อนบริเวณ South Zone หรือ พื้นที่ปรับปรุงที่บริเวณ South Zone จะดำเนินการก่อนบริเวณ North Zone ก็ได้ ซึ่ง constraint นี้จะเห็นว่ามีลักษณะเป็น constraint แบบมีเงื่อนไข ซึ่งสามารถโมเดล constraint ด้านความปลอดภัยนี้ (Safety constraint) นี้ได้ใน โปรแกรม CSP SCHEDULER โดยจะมีการสร้าง Project zone entity ขึ้นมา 4 entities คือ North Zone, South Zone, East Zone and West Zone entities ตาม รูปที่ 5 จากนั้นก็กำหนด constraint ที่เกี่ยวข้องกับ Project zone entity นั้นต่อไป ซึ่งความสัมพันธ์ของ entity จะเป็นไปตาม Allen และ Ussavadi lokrit [22-23] โดยสามารถป้อนข้อมูลให้ North zone Not overlaps South zone นั่นคือ North Zone ดำเนินการแล้วเสร็จก่อนจึงจะเริ่ม South Zone หรือ South Zone ดำเนินการแล้วเสร็จก่อนจึงจะเริ่ม North Zone เป็นทางเลือกสำหรับการวางแผนงาน ตาม รูปที่ 6

No.	Safety Object
1	North Zone
2	South Zone
3	East Zone
4	West Zone

รูปที่ 5 การสร้าง Project Zone Entity

No.	Safety Constraint Type Multi Alternative
1	North Zone [FS] South Zone OR South Zone [FS] North Zone

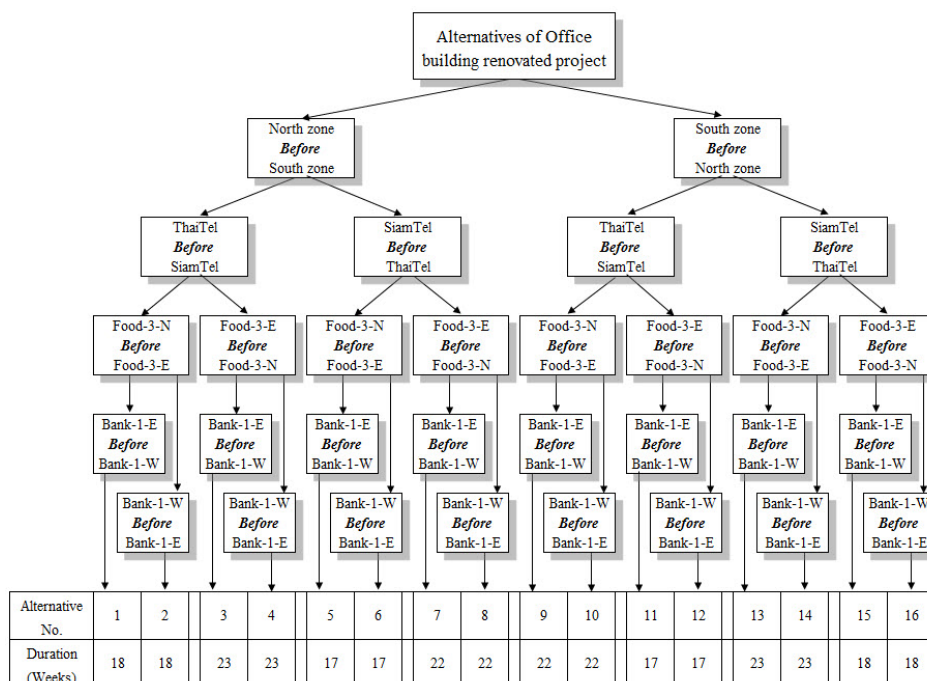
รูปที่ 6 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Project Zone Entity : North and South Zone

- Constraint MNG-02 กำหนดให้พื้นที่ที่ใช้ในการปรับปรุงเป็น Food Court ให้ดำเนินการปรับปรุงได้ที่ละ Zone จากพื้นที่ทั้งหมด 2 Zone โดยให้ดำเนินการบริเวณพื้นที่ใดก่อนก็ได้ เนื่องจากต้องมีพื้นที่อย่างน้อย 1 Zone ไว้สำหรับเป็นที่รับประทานอาหารของพนักงานตลอดเวลา โดยผู้วางแผนงานสามารถป้อนข้อมูล constraint ในโปรแกรมให้การปรับปรุงพื้นที่ Food Court ชั้น 3 โซน North (Food-3-N) ดำเนินการก่อน หรือดำเนินการภายหลังจากการปรับปรุงพื้นที่ Food Court ชั้น 3 โซน East (Food-3-E)ได้ตามรูปที่ 7

No.	Activity	Relation	Activity	Alternative	Activity	Relation	Activity
M10001	Food-3-N	[FS]	Food-3-E	OR	Food-3-E	[FS]	Food-3-N
M10002	Bank-1-E	[FS]	Bank-1-W	OR	Bank-1-W	[FS]	Bank-1-E

รูปที่ 7 การป้อนข้อมูล constraint ด้านนโยบายจากฝ่ายบริหาร

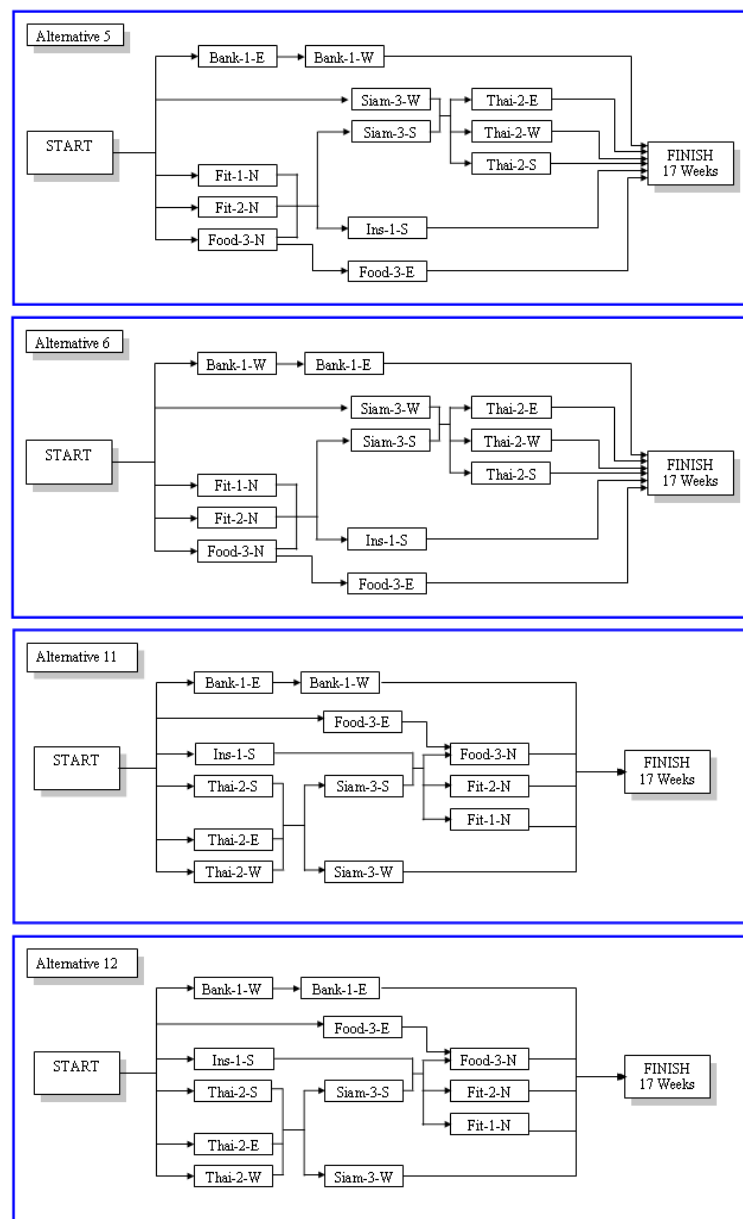
หลังจากการป้อนข้อมูล constraint ต่าง ๆ ที่กำหนดตามตัวอย่างการป้อนข้อมูลข้างต้นจนครบถ้วนแล้ว โปรแกรม CSP SCHEDULER จะดำเนินการคำนวณหาแผนงานตามแนวทางเลือกต่าง ๆ ตาม constraint ที่กำหนดไว้ ซึ่งผลลัพธ์ของการวางแผนงานจะได้แผนทางเลือกทั้งหมด 16 แผนงาน รายละเอียดตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนทางเลือกตาม constraint ที่กำหนด

จากรูปที่ 8 พบว่ามีแผนทางเลือกที่สอดคล้องกับ constraint ที่กำหนดจำนวน 4 แผนงาน ที่มีระยะเวลาแล้วเสร็จภายใน 17 สัปดาห์ นั่นคือทางเลือกที่ 5,6,11 และ 12 ตามโครงข่ายความสัมพันธ์ที่แสดงในรูปที่ 9 ซึ่งโปรแกรมจะค้นหาทางเลือกแรก ที่สอดคล้องกับ constraint ที่กำหนดไว้ และแสดงผลให้ผู้วางแผนงานพิจารณาได้ จากนั้นโปรแกรมสามารถที่จะค้นหาทางเลือกอื่น ๆ ที่สอดคล้องกับ constraint ที่กำหนดไว้ เพื่อให้ผู้วางแผนงานได้พิจารณาต่อไป ส่วนทางเลือกอื่น ๆ อีก 12 ทางเลือก มีระยะเวลาแล้วเสร็จมากกว่า 17 สัปดาห์ ไม่สอดคล้องกับ constraint TIM-01 ที่กำหนดไว้ ดังนั้น CSP SCHEDULER จึงไม่พิจารณาแผนทาง

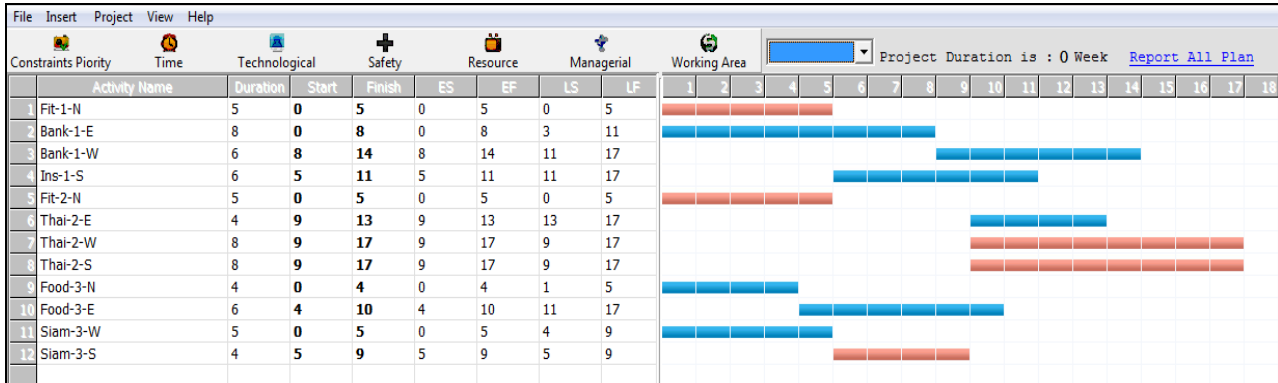
เลือกที่ไม่เป็นไปตาม constraint ที่กำหนดดังกล่าว ทั้งนี้หากผู้วางแผนงานกำหนดให้ระยะเวลาโครงการ TIM-01 (Project Duration) แล้วเสร็จก่อน 17 สัปดาห์ จะทำให้แผนทางเลือกที่สอดคล้องกับ constraint ที่กำหนดไว้ทั้งหมดมีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 แผนงาน หรืออาจจะไม่มีแผนทางเลือกที่สอดคล้องกับ constraint ที่กำหนดไว้ก็เป็นได้ เนื่องจากคอนสเตรนท์ TIM-01 กำหนดระยะเวลาโครงการสั้นลง ในทางกลับกันหากกำหนดให้ระยะเวลาโครงการ TIM-01 (Project Duration) แล้วเสร็จหลังจาก 17 สัปดาห์ จะทำให้มีแผนทางเลือกที่สอดคล้องกับ constraint ที่กำหนดไว้มากกว่าหรือเท่ากับ 4 แผนงาน เพื่อให้ผู้วางแผนงานได้พิจารณาเลือกใช้แผนงานที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 9 โครงข่ายความสัมพันธ์ตามแนวทางเลือกที่เป็นไปได้

6. การแสดงผลโดยใช้ Project Management Software System

จากการใช้ CSP SCHEDULER ในการโมเดล constraint และใช้ในการวางแผนงาน ทำให้ได้แผนทางเลือกที่เป็นไปได้จำนวน 4 แผนงาน ซึ่งสามารถแสดงผลข้อมูล ในรูปของแผนภูมิแกนต์ (Gantt chart) โดยใช้โปรแกรม CSP SCHEDULER หรือ Project Management Software ทั่วไป ซึ่งสามารถยกตัวอย่างการแสดงผลตามแนวทางเลือกที่ 5 ได้ดัง รูปที่ 10



รูปที่ 10 แผนภูมิแกนต์ (Gantt chart) ตามแนวทางเลือกที่ 5

7. การวิเคราะห์ผล

จากการวางแผนงานโดยใช้โปรแกรม CSP SCHEDULER ซึ่งใช้วิธี CSP ที่กล่าวถึงข้างต้น ผลลัพธ์ที่ได้ทำให้การวางแผนงานสามารถวางแผนให้เป็นไปตาม constraint ด้านเวลา (Time constraint), constraint ด้านความปลอดภัย (Safety constraint) และ constraint ด้านนโยบายจากฝ่ายบริหาร (Managerial constraint) ที่มีลักษณะเป็น constraint แบบตายตัวและแบบมีเงื่อนไขได้ทั้งหมด จากนั้นโปรแกรมสามารถสร้างแผนทางเลือกที่เป็นไปได้ จำนวน 4 แผนงาน ตาม constraint ที่กำหนดอย่างอัตโนมัติ โดยที่ผู้วางแผนงานไม่ต้องลงมือสร้างแผนงานเองที่ละแผนงานซึ่งต้องใช้เวลา จากนั้นผู้วางแผนงานสามารถพิจารณาเลือกใช้แผนงานที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยหากกำหนดให้ระยะเวลาแล้วเสร็จของโครงการจะต้องแล้วเสร็จภายใน 17 สัปดาห์ จะมีทางเลือกที่ 5, 6, 11 และ 12 เท่านั้น ที่สอดคล้องกับ constraint ทุก constraint ที่กำหนดไว้ ตามรายละเอียดดังนี้

- แนวทางเลือกที่ 5 และ 6 ใช้ระยะเวลาดำเนินการ 17 สัปดาห์ โดยจะวางแผนให้งานบริเวณ North Zone ดำเนินการก่อนงานบริเวณ South Zone, งานบริเวณพื้นที่ SiamTel ดำเนินการก่อนงานบริเวณพื้นที่ ThaiTel, งานปรับปรุงพื้นที่ Food Court บริเวณ North Zone ดำเนินการก่อนบริเวณ East Zone และงานปรับปรุง Bank จะดำเนินการที่บริเวณ East Zone หรือ West Zone ก่อนก็ได้
- แนวทางเลือกที่ 11 และ 12 ใช้ระยะเวลาดำเนินการ 17 สัปดาห์ โดยจะวางแผนให้งานบริเวณ South Zone ดำเนินการก่อนงานบริเวณ North Zone, งานบริเวณพื้นที่ ThaiTel ดำเนินการก่อนงานบริเวณพื้นที่ SiamTel, งานปรับปรุงพื้นที่ Food Court บริเวณ East Zone ดำเนินการก่อนบริเวณ North Zone และงานปรับปรุง Bank จะดำเนินการที่บริเวณ East Zone หรือ West Zone ก่อนก็ได้

8. สรุปผล

งานวิจัยนี้อธิบายถึงลักษณะของ constraint ที่พบในโครงการก่อสร้าง ซึ่งมีทั้งแบบตายตัว (Fixed constraint) และแบบมีเงื่อนไข (Conditional constraint) รวมถึงวิธีการวางแผนงานให้สอดคล้องกับ constraint ทั้งสองแบบดังกล่าว สำหรับ constraint แบบตายตัวนั้น สามารถใช้วิธีการวางแผนงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่นวิธีสายงานวิกฤต (CPM) ได้ ส่วน constraint แบบมีเงื่อนไขอาจมีหลายทางเลือกตามเงื่อนไข และ constraint ต่างๆที่กำหนด ซึ่ง constraint เหล่านี้มีความซับซ้อน และนำไปสู่แผนทางเลือก

ต่าง ๆ ที่วิธีการวางแผนงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันโมเดล constraint ให้ครบถ้วนได้ยาก งานวิจัยนี้ได้พัฒนาซอฟต์แวร์ CSP SCHEDULER โดยมีการสร้างระบบการวางแผนงาน เพื่อช่วยวางแผนงานโครงการตาม constraint ต่าง ๆ ที่มีลักษณะเป็น constraint แบบตายตัว และ constraint แบบมีเงื่อนไขได้ CSP SCHEDULER สามารถวางแผนงานโดยการสร้างความสัมพันธ์ของกิจกรรมตาม constraint ที่กำหนดให้ และให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของแผนทางเลือกที่เป็นไปได้ได้อย่างอัตโนมัติ โปรแกรมการวางแผนงานนี้จะนำวิธีคอนสเตรนทซาทิสแฟคชั่นพรีอบเบลิม (Constraint Satisfaction Problem) มาใช้วางแผนงานโครงการ โดยวิธี CSP มีการใช้เทคนิคการแพร่ขยายความสัมพันธ์ของ constraint (Constraint propagation technique) ไปยังแต่ละกิจกรรม และมีการใช้เทคนิคการตรวจสอบความสอดคล้อง (Consistency checking technique) กับ constraint ที่กำหนดโดยอัตโนมัติ

โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้กรณีศึกษาการวางแผนงานปรับปรุงอาคารสำนักงานที่มีทั้ง constraint แบบตายตัว และแบบมีเงื่อนไขมาลองใช้วางแผนงานด้วย CSP SCHEDULER ซึ่งผลที่ได้พบว่าโปรแกรมสามารถสร้างแผนทางเลือกที่เป็นไปได้ตาม constraint ที่กำหนด จำนวน 4 แผนงานอย่างอัตโนมัติ จากนั้นผู้วางแผนงานสามารถพิจารณาเลือกใช้แผนงานที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ทั้งนี้แผนทางเลือกที่ได้ สามารถนำไปใช้แสดงผลหรือใช้เป็นข้อมูลร่วมกับซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการบริหารโครงการทั่วไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผู้วางแผนงานมีแผนทางเลือกมากขึ้น และสามารถสร้างแผนงานที่สอดคล้องกับ constraint ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการทำงานจริงได้อย่างอัตโนมัติ อีกทั้งแผนงานสามารถนำไปใช้ในการควบคุมและบริหารจัดการโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] O'Brien, J., and Plotnick, F. CPM in construction management, McGraw-Hill, New York, 2006.
- [2] Ostrowski, V.M. (2006). Construction CPM scheduling-precision without accuracy. AACE Int. Trans., CDR.S03.1-CDR.So3.4.
- [3] Lu, M., and Lam, H.-C. (2008). Critical path scheduling under resource calendar constraints. J. Constr. Eng. Manage. 134, No.1, 25-31.
- [4] Hegazy, T., and Menesi, W. (2010). Critical Path Segments Scheduling Technique. J. Constr. Eng. Manage. 136 No.10, 1078-1085.
- [5] Lorterapong, P. and Moselhi, O. 1996. Constraint-Directed Scheduling for Multi-Storey Building Projects. Proceeding of The 13th International Symposium on Automation and Robotics in Construction , 483-491.
- [6] Assaf, S.A., Al-Khalil, M. and Al-Hazmi, M. (1995). Causes of Delay in Large Building Construction Projects. Journal of Management in Engineering 11 ,No. 2 , 45-50.
- [7] Arditi, D. and Gunaydin, H.M. (1998). Factors that affect process quality in the life cycle of building projects. J. Constr. Eng. Manage. 124 , No. 3 , 194-203.
- [8] Odeh, A.M. and Battaineh, H.T. (2002). Causes of construction delay : traditional contracts. International Journal of Project Management 20 , 67-73.
- [9] Ussavadiolkrit, M. and Lorterapong, P. (2009). The significance of constraints in high-rise building construction project planning. **Research and Development Journal**, Engineering Institute of Thailand 20, No. 1, 69-78.
- [10] Pultar M. (1990). Progress-based construction scheduling. J. Constr. Eng. Manage. 116, No.4, 670-688.
- [11] Jaafari, A. (1984). Criticism of CPM for project planning analysis. J. Constr. Eng. Manage. 110, No.2, 222-233.
- [12] El-Bibany, H. (1997). Parametric Constraint Management in Planning and Scheduling : Computational Basis. J. Constr. Eng. Manage. 123, No.3, 348-353.
- [13] Choo H.J., Tommelein I.D., Ballard G. and Zabelle T. R. (1999). WorkPlan: constraint-based database for work package scheduling. J. Constr. Eng. Manage. 125, No.3, 151-160.
- [14] Hegazy, T. (2002). Computer-based construction project management. Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J.
- [15] Kim, K. A Resource-constrained CPM (RCPM) Scheduling and Control Technique with Multiple Calendars. Philosophy of Doctoral Dissertation, Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2003.
- [16] Freuder, E.C. (1989). Partial Constraint Satisfaction. Proceedings of the 11th international joint conference on Artificial intelligence, Michigan, 278-283.

-
- [17] Kumar, V. (1992). Algorithm for Constraint Satisfaction Problems : A Survey. AI Magazine. 13, No.1, 32-44.
- [18] Tsang, E. Foundations of constraint satisfaction, Academic Press Limited, First Edition, 1993.
- [19] Lorterapong, P. and Ussavadiokrit, M. (2013). Construction Scheduling Using the Constraint Satisfaction Problem Method. J. Constr. Eng. Manage. 139, No. 4, 414-422.
- [20] Le Pape, C. (1994). Implementation of resource constraints in ILOG SCHEDULE : a library for the development of constraint-based scheduling systems. Intelligent Systems Engineering. 3, No.2, 55-66.
- [21] Johnston, M.D. (1990). SPIKE : AI scheduling for NASA's Hubble Space Telescope. Proceedings of the Sixth Conference on Artificial Intelligence Applications, California, 184-190.
- [22] Allen, J.F. (1983). Maintaining knowledge about temporal intervals communications of the ACM 26, No.11, 832-843.
- [23] Ussavadiokrit, M. Development of Construction Project Plan using Constraint Satisfaction Problem. Ph.D. Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 2012.