

บทที่ 3 โมเดลปัญหาการวางแผนแบบบูรณาการ การบริหารทรัพยากรโครงการ

3.1 แนวคิดและหลักการ

การทบทวนหลักการวางแผนและควบคุมโครงการก่อสร้างทำให้เห็นได้ว่าการวางแผนงานก่อสร้างเป็นภาระที่ต้องอาศัยการคิดคำนวณประมาณการปัจจัยด้านต่างๆจำนวนมาก ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้มีความสัมพันธ์ระหว่างกันอยู่หลากหลายรูปแบบ และสามารถนำมาสร้างเป็นโมเดลปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อน ส่วนการควบคุมโครงการเป็นภาระที่ต้องใช้ความพยายามสูงในการเก็บรวบรวมข้อมูลผลการดำเนินงานจริงและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับแผนงานฐานที่จัดเตรียมไว้ จนนำไปสู่มาตรการแก้ไขผลความแตกต่างที่เกิดขึ้น ซึ่งมาตรการแก้ไขที่นำมาใช้จะทำให้ต้องปรับปรุงแผนงานกลับไปให้ติดตั้งแผนงานฐานเดิม หรือเป็นการวางแผนซ้ำอีกรอบเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งจบโครงการ

การวางแผนงานโครงการจึงเป็นส่วนงานที่น่าสนใจและที่เป็นจุดเน้นของการวิจัยนี้ โดยเฉพาะการพัฒนาเทคนิคการสร้างโมเดลปัญหาการวางแผนให้มีประสิทธิภาพและใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง โมเดลปัญหาการวางแผนที่มีในงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมาอยู่หลากหลายรูปแบบแสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนของปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามโมเดลปัญหาการวางแผนแบบบูรณาการควรจะเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพดี เนื่องจากได้พิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อโครงการอย่างรอบด้านและอย่างรอบคอบ



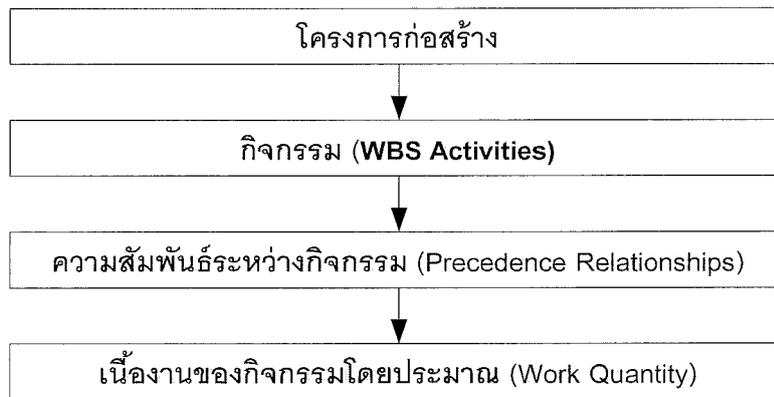
รูปที่ 3.1 ประเภททั่วไปของทรัพยากรหลักของโครงการ

เป้าหมายทั่วไปของการวางแผนโครงการก็คือการกำหนดจัดสรรใช้ทรัพยากรทั้งหมดของโครงการเพื่อทำให้โครงการแล้วเสร็จสมบูรณ์และให้เกิดประโยชน์สูงสุด คำว่าทรัพยากรมักใช้หมายความถึงเฉพาะแต่แรงงาน/เครื่องจักร (ทรัพยากรดำเนินงาน) แต่ความจริงแล้วทุกสิ่งสามารถมองให้อยู่ในรูปของทรัพยากรได้ทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็น เวลา ต้นทุน วัสดุ แรงงาน/เครื่องจักร เงินสด และทรัพยากรต่างๆเหล่านี้มีความสัมพันธ์ระหว่างกันอย่างซับซ้อน เช่น การใช้ต้นทุนมากขึ้นควรทำให้ระยะเวลาโครงการน้อยลง การใช้ระยะเวลาโครงการมากขึ้นอาจทำให้ต้นทุนลดลงหรือมากขึ้นได้ การใช้แรงงานมากควรทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นและระยะเวลาโครงการน้อยลง เป็นต้น

โมเดลปัญหาการวางแผนงานแต่ละรูปแบบเลือกพิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรแต่ละคู่ เช่น โมเดลปัญหาการแลกเปลี่ยนระหว่างเวลากับต้นทุน เลือกพิจารณา

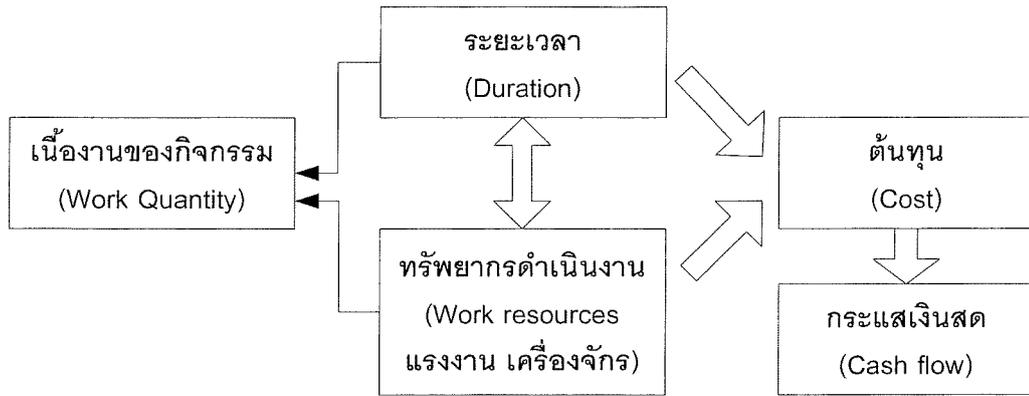
ความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรเวลากับต้นทุนของโครงการ โมเดลปัญหากระแสเงินสด เลือกพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรเวลากับกระแสเงินสด การเลือกพิจารณาเฉพาะคู่ความสัมพันธ์เสมือนกับเป็นการมองข้ามความสัมพันธ์ของทรัพยากรอื่นๆที่เหลือ ทั้งที่ทรัพยากรต่างๆมีความเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กันทั้งหมด จึงทำให้โมเดลปัญหาการวางแผนแต่ละรูปแบบไม่มีความสมบูรณ์ โมเดลปัญหาการวางแผนแบบบูรณาการที่รวมเอาโมเดลปัญหาการวางแผนหลากหลายรูปแบบเข้าไว้ด้วยกันจึงควรเป็นโมเดลปัญหาที่สมเหตุผลที่สุด

โมเดลปัญหา TCT และ RCPSP สามารถบูรณาการรวมกันได้ จากขั้นตอนการวางแผนโครงการที่เริ่มต้นจากการกำหนดแบ่งกิจกรรมก่อสร้างต่างๆด้วย WBS และการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเหล่านั้น และจากการกำหนดแบ่งกิจกรรมนี้เองที่ทำให้สามารถประมาณเนื้อหาของแต่ละกิจกรรมตามที่ปรากฏในแบบก่อสร้างได้



รูปที่ 3.2 แผนภาพขั้นตอนเริ่มต้นของการวางแผนโครงการ

จากปริมาณเนื้อหาของแต่ละกิจกรรมนี้เองที่ผู้วางแผนต้องจัดสรรทรัพยากรประเภทต่างๆ ให้แก่กิจกรรมอย่างเหมาะสม ทรัพยากรหลัก (Common resources) เบื้องต้นที่ถูกประมาณจัดสรรให้กับกิจกรรมควรจะเป็น ระยะเวลา (Duration) และทรัพยากรดำเนินงาน (Work resources เช่น แรงงาน เครื่องจักร) ซึ่งทรัพยากรทั้งสองกลุ่มนี้ไม่มีลำดับการจัดสรรที่แน่นอน หากแต่ทรัพยากรทั้งสองกลุ่มนี้กลับมีความสัมพันธ์ระหว่างกันอยู่ (ทรัพยากรวัสดุก็ต้องถูกจัดสรรให้กับกิจกรรมตามปริมาณเนื้อหาเช่นกัน แต่ทรัพยากรวัสดุมีลักษณะที่เป็นจำนวนคงที่ ไม่แปรผันกับทรัพยากรประเภทอื่นๆ)



รูปที่ 3.3 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรหลักประเภทต่างๆ

การจัดสรรทรัพยากรหลัก (Common resources) ทั้งสองกลุ่มนี้เองที่ทำให้เกิดเป็นต้นทุน (Cost) ของกิจกรรม (ต้นทุนดังกล่าวนี้ไม่ใช่ต้นทุนทั้งหมดของกิจกรรม แต่เป็นต้นทุนส่วนที่มีความแปรผันกับระยะเวลาและทรัพยากรดำเนินงาน ไม่รวมต้นทุนค่าวัสดุและอื่น ๆ ที่ไม่แปรผันกับทรัพยากรอื่น ๆ) และต้นทุนส่วนนี้เองที่ประกอบกับเงื่อนไขด้านการเงินต่างๆ ที่ส่งผลต่อกระแสเงินสดออกและเข้าทำให้เกิดมีความสัมพันธ์กับกระแสเงินสดของโครงการ

จากความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรหลักกลุ่มต่างๆ ดังแสดงในรูปภาพข้างบน ซึ่งให้เห็นว่าโมเดลปัญหา TCT ที่พิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับต้นทุน แท้จริงแล้วเวลาและต้นทุนยังต้องสัมพันธ์กับทรัพยากรดำเนินงานอีกด้วย ซึ่งถูกแยกพิจารณาในโมเดลปัญหา RCPS ในแง่ที่เป็นการจัดสรรทรัพยากร (ดำเนินงาน) ไม่เกินกว่าจำนวนที่มีอยู่ (Resource allocation) และการปรับสมดุลระดับการจัดสรรทรัพยากร (ดำเนินงาน) ให้ราบเรียบ (Resource leveling) ซึ่งส่งผลต่อเนื่องถึงกระแสเงินสดของโครงการ ความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรหลักกลุ่มต่างๆ สามารถนำมาสร้างเป็นโมเดลปัญหาการวางแผนแบบบูรณาการ การ optimization โมเดลปัญหาแบบใหม่นี้จะเป็นการหาแผนงานคำตอบที่สมเหตุสมผลและพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างรอบด้าน

หากพิจารณาต่อไป การจัดสรรทรัพยากรหลักกลุ่มต่างๆ เหล่านี้ ควรมีลำดับเริ่มต้นจากการจัดสรรทรัพยากรดำเนินงาน (แรงงาน/เครื่องจักร) ซึ่งจำนวนที่จัดสรรจะส่งผลต่อระยะเวลาของกิจกรรมนั้น ในทิศทางที่ยิ่งจำนวนทรัพยากรดำเนินงานมากยิ่งทำให้ระยะเวลาของกิจกรรมลดลง แม้มั่นใจได้ว่าความสัมพันธ์นี้มีอยู่จริง แต่ไม่อาจจะระบุได้แน่ชัดว่าความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนนี้เป็นแบบใดและอาจไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งในทางปฏิบัติผู้วางแผนต้องเป็นผู้กำหนดจำนวนที่สัมพันธ์กันนี้

ลำดับต่อไปคือผลของการจัดสรรทรัพยากรดำเนินงานและระยะเวลาที่ทำให้เกิดเป็นต้นทุนของกิจกรรม โดยที่ต้นทุนของกิจกรรมทั้งหมดควรเป็นต้นทุนทางตรง (Direct cost) เท่านั้น ประกอบด้วย ค่าวัสดุ ค่าแรงงาน/เครื่องจักร ค่าวัสดุเป็นต้นทุนที่ไม่แปรผันกับทรัพยากรอื่น ๆ แต่ขึ้นกับปริมาณเนื้อหาของกิจกรรมเท่านั้น ต้นทุนของกิจกรรมที่นำมาพิจารณาจึงเป็นเฉพาะต้นทุนค่าแรงงาน/เครื่องจักร ซึ่งจะต้องแปรผันโดยตรงกับจำนวนทรัพยากรดำเนินงานที่ได้จัดสรรไปแล้ว ผลรวมของต้นทุนของกิจกรรมทั้งหมดจะเป็นต้นทุนทางตรงของโครงการ ต้นทุนส่วนอื่นๆ ของ

โครงการ ได้แก่ ต้นทุนทางอ้อม ค่าดำเนินการที่สำนักงานใหญ่ จะแปรผันตามระยะเวลาของโครงการ

ลำดับสุดท้าย จากต้นทุนของกิจกรรมและของโครงการที่เกิดขึ้นจะสามารถนำไปคำนวณหากระแสเงินสดออกและเข้าของโครงการตามช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งกระแสเงินสดของโครงการนอกจากจะขึ้นกับต้นทุนที่เกิดขึ้นแล้วยังขึ้นกับเงื่อนไขทางการเงินต่างๆอีก ได้แก่ ระยะเวลาเครดิตของค่าใช้จ่ายประเภทต่างๆ การคิดเงินงวดงานและระยะเวลาการเบิกจ่าย เงินประกันผลงาน เงินเบิกล่วงหน้า อัตราดอกเบี้ยของเงินกู้ (เบิกเกินบัญชี) และวงเงินเครดิตที่เข้าถึงได้ ความเชื่อมโยงของทรัพยากรหลักกลุ่มต่างๆของโครงการที่อธิบายข้างต้นมาเหล่านี้ จะสามารถนำมาสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์และเป็นโมเดลปัญหาการวางแผนงานแบบบูรณาการที่เหมาะสมแบบใหม่ได้ ซึ่งจะเรียกว่า Integrated Common Resource Project Scheduling Problem (ICRPSP)

ทรัพยากรหลัก (Common resources) กลุ่มต่างๆก็มีขอบเขตจำกัดของแต่ละกลุ่มอยู่ ระยะเวลาของโครงการถูกกำหนดไว้ก่อนในสัญญาก่อสร้าง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ให้สำหรับดำเนินการก่อสร้างจนแล้วเสร็จสมบูรณ์ หากเกินกว่านี้ก็มักปรับเงิน ต้นทุนของโครงการก็ถูกกำหนดด้วยงบประมาณของการก่อสร้างที่กำหนดมาจากราคาโครงการที่ชนะการประมูล ส่วนทรัพยากรดำเนินงานถูกจำกัดด้วยจำนวนแรงงานและเครื่องจักรที่มีอยู่ในโครงการหรือที่จัดเตรียมไว้ได้ และกระแสเงินสดของโครงการต้องถูกจำกัดด้วยวงเงินเครดิตจากแหล่งเงินทุนที่โครงการสามารถเข้าถึงได้ ด้วยข้อจำกัดของทรัพยากรหลักต่างๆเหล่านี้เองที่นำมาใช้ในการสร้างโมเดลปัญหาแบบใหม่ ICRPSP ขึ้น

3.2 สมการของโมเดลปัญหา ICRPSP

ส่วนประกอบหลักของโมเดลปัญหา ICRPSP แบ่งเป็น 3 ส่วนเหมือนกับโมเดลปัญหาการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยทั่วไป (Optimization problems) คือ ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ฟังก์ชันข้อจำกัด (Constraint functions) ซึ่งรายละเอียดของส่วนประกอบหลักของโมเดลที่สร้างขึ้นมีดังนี้

ตัวแปรตัดสินใจ กำหนดให้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มเวลาเริ่มของกิจกรรม (Activity's start time) และกลุ่มการเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงาน (Work resource combinations) กลุ่มเวลาเริ่มของกิจกรรมจะเป็นค่าคำตอบที่ใช้กำหนดเวลาของแผนงาน มีค่าเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าศูนย์ ซึ่งเวลาเริ่มของกิจกรรมเหล่านี้จะเป็นไปตามเงื่อนไขของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่กำหนด เสมือนกับเป็นการปรับเลื่อนกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมต่างๆเป็นลำดับภายในระยะเวลาโพลทที่กิจกรรมนั้นมีอยู่ การคำนวณ CPM จะทำให้ได้ระยะเวลาของโครงการทั้งหมด และการกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมยังส่งผลกระทบต่อระดับการจัดสรรทรัพยากรและกระแสเงินสดอีกด้วย

Decision variables 1: S_i = เวลาเลื่อน (Shifting time) ของกิจกรรมที่ i

$$ST_i = ES_i + S_i$$

สมการที่ (3.1)

โดยที่ให้ ST_i = เวลาเริ่ม (Start time) ของกิจกรรมที่ i
 S_i = เป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

ส่วนตัวแปรตัดสินใจกลุ่มการเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงานนั้น เป็นการกำหนดให้กิจกรรมก่อสร้างต่างๆ สามารถมีทางเลือกส่วนผสมต่างๆกันได้ เช่น กิจกรรม A ใด ๆ มีทางเลือกการใช้ส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงานเป็น

- ทางเลือกที่ 1 จำนวนทรัพยากรประเภทที่ 1 (WR_1) เท่ากับ 5 หน่วย
 จำนวนทรัพยากรประเภทที่ 2 (WR_2) เท่ากับ 10 หน่วย จึงทำให้มี
 ระยะเวลา (D) เท่ากับ 7 วัน จึงทำให้มี
 ต้นทุน (ทางตรงไม่รวมวัสดุ) (C_{rw}) เท่ากับ 100,000 บาท
- ทางเลือกที่ 2 จำนวนทรัพยากรประเภทที่ 1 (WR_1) เท่ากับ 8 หน่วย
 จำนวนทรัพยากรประเภทที่ 2 (WR_2) เท่ากับ 15 หน่วย จึงทำให้มี
 ระยะเวลา (D) เท่ากับ 5 วัน จึงทำให้มี
 ต้นทุน (ทางตรงไม่รวมวัสดุ) (C_{rw}) เท่ากับ 190,000 บาท
- ทางเลือกที่ 3 เป็นต้น

ซึ่งจะเห็นว่าข้อกำหนดทางเลือกต่างๆให้กับกิจกรรมใดๆ ต้องกำหนดเตรียมไว้ก่อนหน้าด้วยเทคนิคการประมาณอัตราผลผลิต เวลาและต้นทุน ซึ่งอาจได้จากสถิติหรือประสบการณ์ของผู้วางแผน ความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรหลัก (Common resources) ทั้งสามกลุ่ม (WR, D, C_{rw}) ที่ซับซ้อนไม่ได้ถูกแสดงรายละเอียดที่มาอย่างชัดเจนในการวิจัยนี้ แต่อย่างไรก็ตามทิศทางความสัมพันธ์ที่สมเหตุสมผลจำเป็นต้องรักษาไว้ ดังเช่นในตัวอย่างนี้ ทางเลือกที่ 1 เป็นทางเลือกที่ใช้ทรัพยากรดำเนินงานน้อยกว่าทางเลือกที่ 2 ดังนั้นระยะเวลาของทางเลือกที่ 1 ต้องมากกว่าทางเลือกที่ 2 และต้นทุนของทางเลือกที่ 1 ต้องน้อยกว่าทางเลือกที่ 2 จึงจะถือว่ามีทิศทางความสัมพันธ์ที่สมเหตุสมผล เป็นต้น

ตัวแปรตัดสินใจกลุ่มนี้จะกำหนดให้เป็นค่าแบบ Binary โดยหากทางเลือกใดมีค่าเป็น 1 แสดงว่าได้ถูกเลือกใช้ และค่าที่เป็น 0 คือการไม่ถูกเลือก

Decision variables 2: x_{ij} = ตัวแปร binary ที่ใช้เลือกทางเลือกที่ j ของรูปแบบส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงานของกิจกรรมที่ i

โดยที่ให้ $\sum_j x_{ij} = 1; \forall i$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ กำหนดให้เป็นแบบ Multi-objective ซึ่งเป็นการบูรณาการเป้าหมายด้านการบริหารทรัพยากรหลัก (Common resources) หลายอันของโครงการเข้าด้วยกัน ประกอบด้วย ต้นทุนทั้งหมดของโครงการ (Total project cost: TC) และระดับการจัดสรรทรัพยากร (Resource fluctuation) โดยเป็นการหาค่าน้อยที่สุด (Minimization) ต้นทุนทั้งหมดของโครงการ แบ่งออกเป็น ต้นทุนทางตรงค่าวัสดุ (C_m) ต้นทุนทางตรงค่าทรัพยากรดำเนินงาน (C_{wr}) ต้นทุนทางอ้อมและต้นทุนค่าดำเนินการที่สำนักงานใหญ่ (IC) และต้นทุนอีกส่วนหนึ่งที่เป็นผลกระทบมาจากกระแสเงินสดของโครงการคือ ต้นทุนทางการเงิน (FC) ที่เสียไปในรูปของดอกเบี้ยของเงินลงทุน ได้สมการต้นทุนทั้งหมดของโครงการ

$$TC = C_m + C_{wr} + IC + FC \quad \text{สมการที่ (3.2)}$$

ส่วนค่าดัชนีที่ใช้วัดระดับการจัดสรรทรัพยากรที่นำมาใช้คือ RRH, RID โดยปรับปรุงจาก (El-Rayes and Jun 2009)

Objective function:

$$\text{Minimize } (w_1RRH + w_2RID + w_3TC) \quad \text{สมการที่ (3.3)}$$

โดยที่ w_1, w_2 , และ w_3 คือค่าถ่วงน้ำหนักตามความสำคัญและเพื่อการปรับขนาดสเกลของตัวเลข ของวัตถุประสงค์ย่อยต่างๆทั้ง 3 พจน์

ฟังก์ชันข้อจำกัด แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม และกลุ่มขีดจำกัดของทรัพยากรหลัก ดังนี้

Subject to 1: กลุ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมแบบ Finish-to-Start (FS) ที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณค่าเวลาต่างๆของกิจกรรม ด้วย CPM

$$\text{FS:} \quad ST_i \geq FT_h; \forall h \quad \text{สมการที่ (3.4)}$$

$$FT_i \geq ST_i + D_i \quad \text{สมการที่ (3.5)}$$

Subject to 2: กลุ่มขีดจำกัดของทรัพยากรหลักได้แก่ เวลา ทรัพยากรดำเนินงาน และวงเงินเครดิต

$$\text{เวลา} \quad \text{Max}(FT_i) \leq T \quad \text{สมการที่ (3.6)}$$

Metwally (2005) ซึ่งเป็นโจทย์ปัญหาที่มีขนาดเล็กกระทัดรัดเหมาะสำหรับการทดสอบความถูกต้องในการสร้างโมเดล

ส่วนประกอบของโมเดลบน Excel แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ ข้อมูลนำเข้า ตัวแปรตัดสินใจ การคำนวณแผนงานโครงการ การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ มีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 ข้อมูลนำเข้า

ส่วนข้อมูลนำเข้าคือพื้นที่สำหรับป้อนข้อมูลนำเข้าจากผู้ใช้งาน เป็นตัวโจทย์ปัญหาแผนงานโครงการก่อสร้างที่ต้องการหาคำตอบ โมเดลปัญหาแบบบูรณาการเป็นโมเดลที่ซับซ้อนเนื่องจากพิจารณาปัจจัยหลายด้านพร้อมกัน ดังนั้นจึงต้องการข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก ซึ่งต้องได้มาจากการจัดเตรียมของผู้วางแผน ทั้งนี้ได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้ 1.กลุ่มข้อมูลนำเข้าด้านกิจกรรมก่อสร้าง 2.กลุ่มข้อมูลนำเข้าด้านเงื่อนไขทางการเงิน 3.กลุ่มข้อมูลนำเข้าด้านขีดจำกัดของทรัพยากรหลักของโครงการ รายละเอียดข้อมูลนำเข้าในแต่ละกลุ่มมีดังนี้

1.กลุ่มข้อมูลนำเข้าด้านกิจกรรมก่อสร้าง มีข้อมูลที่ต้องนำเข้าได้แก่ รายชื่อกิจกรรม ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม ปริมาณแรงงาน จำนวนทรัพยากรแต่ละประเภทที่ใช้ ต้นทุนทางตรง เงินงวดงาน และระยะเวลาของกิจกรรม ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดทำแผนงานโครงการก่อสร้าง และยังได้กำหนดให้กิจกรรมก่อสร้างบางกิจกรรมมีทางเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงานจำนวน 2 ทางเลือก

จำนวนกิจกรรมของแต่ละโครงการที่แตกต่างกันไปเป็นตัวกำหนดขนาดของโมเดลปัญหา หากมีจำนวนกิจกรรมมากจะทำให้โมเดลปัญหามีขนาดใหญ่ ซึ่งรายชื่อกิจกรรมเหล่านี้ได้มาจากการแบ่งแยกย่อยทำโครงสร้างกระจายงานย่อย (WBS)

ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเป็นข้อมูลที่แสดงแทนด้วย Predecessor(s) ของแต่ละกิจกรรม โดยรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมกับ predecessor กำหนดให้มีค่าตั้งต้นเป็นแบบ Finish-to-Start (FS)

ปริมาณแรงงานของกิจกรรมเป็นตัวเลขที่ได้จากขอบเขตของกิจกรรมตามที่กำหนดแบ่งออกมา โดยกำหนดให้มีหน่วยพื้นฐานเดียวกันทุกกิจกรรมคือ man.months ซึ่งเป็นการแปลงหน่วยแรงงานจริงๆที่อาจแตกต่างกันไปในแต่ละกิจกรรม ให้กลายเป็นหน่วยเดียวกัน ทั้งนี้ต้องนำปริมาณแรงงานจริงมาพิจารณาประกอบกับความยากง่ายและอัตราผลผลิตของงานนั้นๆ

ในแต่ละทางเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงาน (option) จะกำหนดให้มี จำนวนทรัพยากรแต่ละประเภทที่ใช้ (กำหนดให้มี 2 ประเภท) ต้นทุนทางตรง เงินงวดงาน และระยะเวลาของกิจกรรม ในทางปฏิบัติจะเป็นตัวเลขที่ได้จากการประมาณให้เหมาะสมตามปริมาณแรงงานและสภาพที่หน้างาน และให้มีความสอดคล้องกันในแต่ละกิจกรรม ซึ่งโมเดลที่สร้างขึ้นนี้มีการพิจารณาระยะเวลากิจกรรมเหล่านี้แบบเป็นค่าที่รู้ได้แน่นอน (deterministic values) ที่กำหนดขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลหลักสำหรับการวางแผน

Activity	Predecessors	WorkQ (men.mths.)	Option 1					Option 2				
			Res. 1	Res. 2	DC/mth	Paymt/mth	Dur.(mth)	Res. 1	Res. 2	DC/mth	Paymt/mth	Dur.(mth)
A	-	30	2	3	100	149.3	1	0	0	0	0	0
B	-	49	3	4	105	156.7	2	5	8	250	156.7	1
C	A,B	16	4	6	110	164.2	1	3	5	90	164.2	2
D	A	15	3	3	105	156.7	1	0	0	0	0	0
E	B	32	5	6	115	171.7	3	4	4	192.5	171.7	2
F	A	50	4	3	105	156.7	2	3	2	63.3	156.7	3

รูปที่ 3.5 กลุ่มข้อมูลนำเข้าด้านกิจกรรมก่อสร้าง

ดังนั้นผู้วางแผนสามารถกำหนดทางเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงานของกิจกรรมต่างๆตามที่เป็นไปได้จริง จากนั้นโมเดลนี้จะหาทางเลือกส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดให้เป็นคำตอบโดยไม่จำเป็นที่ทุกกิจกรรมต้องมีทางเลือกเสมอไป อย่างไรก็ตามโมเดลที่สร้างขึ้นนี้จำกัดให้สามารถป้อนจำนวนทางเลือกส่วนผสมได้สูงสุด 2 ทางเลือก ในแต่ละทางเลือกให้มีทรัพยากรได้สูงสุด 2 ประเภท ทั้งนี้เป็นโจทย์ปัญหาที่อ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Liu and Wang (2008) และ Elazouni and Metwally (2005) เพื่อให้ขนาดของโมเดลปัญหาที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสม ซึ่งข้อจำกัดนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดของโจทย์ปัญหา

2.กลุ่มข้อมูลนำเข้าด้านเงื่อนไขทางการเงิน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อกระแสเงินสดออกและเข้าของโครงการ โดยมีความสัมพันธ์เบื้องต้นกับต้นทุนทางตรงของกิจกรรม ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่ ภาษี ค่าดำเนินการที่สำนักงานใหญ่ เงินเบิกล่วงหน้า เงินประกันผลงาน อัตราดอกเบี้ยเงินเบิกเกินบัญชี อัตราดอกเบี้ยวงเงินเครดิตที่ไม่ได้ใช้ มูลค่าโครงการ ต้นทุนทางตรงรวม และอัตราส่วนมูลค่าโครงการต่อต้นทุนทางตรง ปัจจัยต่างๆเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณหากระแสเงินสดของโครงการ ในทางปฏิบัติปัจจัยต่างๆเหล่านี้สามารถหาได้จากเงื่อนไขของสัญญาก่อสร้างที่ทำกับเจ้าของงาน สัญญาว่าจ้างหรือซื้อของกับผู้รับเหมาช่วงและร้านค้า และสัญญากู้เงินกับแหล่งเงินทุนของโครงการ

	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA
23 Financial Conditions							
24 Tax		3.9	/mth				
25 Overhead		32.4	/mth				
26 Advance Payment		10%	< pay back at the end				
27 Retainage		5%	< get back 1 mth. aft. Completion				
28 Interest rate		0.80%	/mth				
29 Unused credit on Overdraft		0.20%	/mth				
30 Contract price		1612.1					
31 Direct cost		1080.0					
32 Contract price/Direct cost		1.49					

รูปที่ 3.6 กลุ่มข้อมูลนำเข้าด้านเงื่อนไขทางการเงิน

3.กลุ่มข้อมูลนำเข้าด้านขีดจำกัดของทรัพยากรหลักของโครงการ เป็นข้อมูลนำเข้ากลุ่มสุดท้ายที่ใช้เป็นขอบเขตของจำนวนทรัพยากรหลักต่างๆได้แก่ เวลา ทรัพยากรดำเนินงาน และ

วงเงินเครดิต (ขีดจำกัดด้านต้นทุนทางตรง รวมอยู่ในกลุ่มข้อมูลนำเข้าที่ 2) ขอบเขตของจำนวนทรัพยากรหลักเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ในการกำหนดพื้นที่เป็นไปได้ของการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด เป็นข้อมูลที่นำไปใช้กับฟังก์ชันข้อจำกัดของโมเดลปัญหา

	W	X	Y	Z	AA
16	Additional Information				
17		Credit limit	500		
18		Resource limit	12		
19		Contract time	5		

รูปที่ 3.7 กลุ่มข้อมูลนำเข้าด้านขีดจำกัดของทรัพยากรหลักของโครงการ

3.3.2 ตัวแปรตัดสินใจ

ส่วนตัวแปรตัดสินใจของโมเดลนี้ถูกกำหนดให้ประกอบด้วย 2 กลุ่มคือ กลุ่มตัวแปรเวลาเลื่อน (Shifting time) ของกิจกรรมใดๆ (คอลัมน์ Shift ดังแสดงในรูปข้างล่าง) มีค่าเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าศูนย์ ซึ่งจะเป็นค่าคำตอบที่ใช้ปรับเลื่อนกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมต่างๆ (Activity's start time) ภายในระยะเวลาโพลทที่กิจกรรมนั้นมีอยู่ โดยที่เวลาเริ่มของกิจกรรมยังจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่กำหนดด้วย

	A	N	O	P	Q	R	S	T
1	Selected Option							
2	Activity	Res. 1	Res. 2	DC/mth	Paymt/mth	Dur.(mth)	Sel.1?	Shift
3	A	2	3	100	149.3	1	1	0
4	B	3	4	105	156.7	2	1	0
5	C	4	6	110	164.2	1	1	0
6	D	3	3	105	156.7	1	1	0
7	E	5	6	115	171.7	3	1	0
8	F	4	3	105	156.7	2	1	0

รูปที่ 3.8 ส่วนตัวแปรตัดสินใจ

และกลุ่มการเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงาน (Work resource combinations) ตัวแปรตัดสินใจกลุ่มนี้จะกำหนดให้เป็นค่าแบบ Binary (คอลัมน์ Sel.1? ย่อมาจากคำว่า Select Option 1? ดังแสดงในรูปข้างบน) โดยหากค่าในคอลัมน์นี้เท่ากับ 1 หมายถึงทางเลือก Option 1 ได้ถูกเลือกใช้ แต่หากมีค่าเท่ากับ 0 จะหมายถึงทางเลือก Option 2 ได้ถูกเลือกใช้ โดยที่ชุดข้อมูลของทางเลือกที่ถูกเลือกจะประกอบไปด้วย จำนวนทรัพยากรดำเนินงานแต่ละประเภท ต้นทุนทางตรง เงินงวดงาน และระยะเวลาของกิจกรรม ซึ่งค่าข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปคำนวณเป็นแผนงานและนำไปประเมินค่าต่อไป คำตอบที่แสดงการเลือกทางเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงานทางเลือกใดแสดงว่าทางเลือกนั้นเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดกับแผนงานโครงการ

3.3.4 การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ส่วนการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนดให้เป็นแบบ Multi-objective ดังสมการที่ (3.3) ประกอบไปด้วยค่า RRH, RID, และ TC โดยที่กลุ่มค่าดัชนีความผันผวนของทรัพยากรมักมีพื้นฐานการคำนวณอ้างอิงจากค่า r_t หรือค่าผลรวมความต้องการใช้ทรัพยากรต่อหน่วยเวลา การสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบ Multi-objective กำหนดให้ใช้ผลรวมแบบถ่วงน้ำหนัก โดยที่ค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละค่า (w_1 , w_2 , และ w_3) จะกำหนดให้ตามความสำคัญของวัตถุประสงค์ย่อย ซึ่งหากต้องการให้วัตถุประสงค์ย่อยใดมีความสำคัญมากกว่าอันที่เหลือจะต้องกำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนักของวัตถุประสงค์ย่อยนั้นมีค่ามาก ๆ หรือในทางกลับกันด้วย เพราะจะทำให้ขนาดการเปลี่ยนแปลงของค่าวัตถุประสงค์ย่อยนั้นมีนัยยะสำคัญมากขึ้น

นอกจากนี้ยังใช้ค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อการปรับขนาดสเกลตัวเลขของค่าวัตถุประสงค์ย่อยต่าง ๆ ให้สมดุลกัน เช่น ค่า TC จะมีขนาดตัวเลขในหลักร้อย (เป็นการทอนหน่วยจาก 10^4 เป็น หลักร้อย) ซึ่งมากกว่าค่า RRH และ RID ที่มีขนาดตัวเลขใกล้เคียงกันในหลักสิบเท่านั้น ดังนั้นค่าถ่วงน้ำหนัก w_1 , w_2 , และ w_3 ในเบื้องต้นเพื่อการปรับขนาดสเกลของตัวเลขเท่านั้นควรเป็น 2, 10, และ 1 ตามลำดับ โดยยังไม่ได้ปรับการถ่วงน้ำหนักตามความสำคัญ

การ Optimization ของโมเดลปัญหาที่สร้างขึ้นนี้ จะเป็นการ Minimization ของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

	V	W	X	Y	Z	AA
25				R1	R2	W
26			RRH	26	30	2
27			RID	0	0	10
28			Total Cost	134.9		1
29			Objective function			246.9

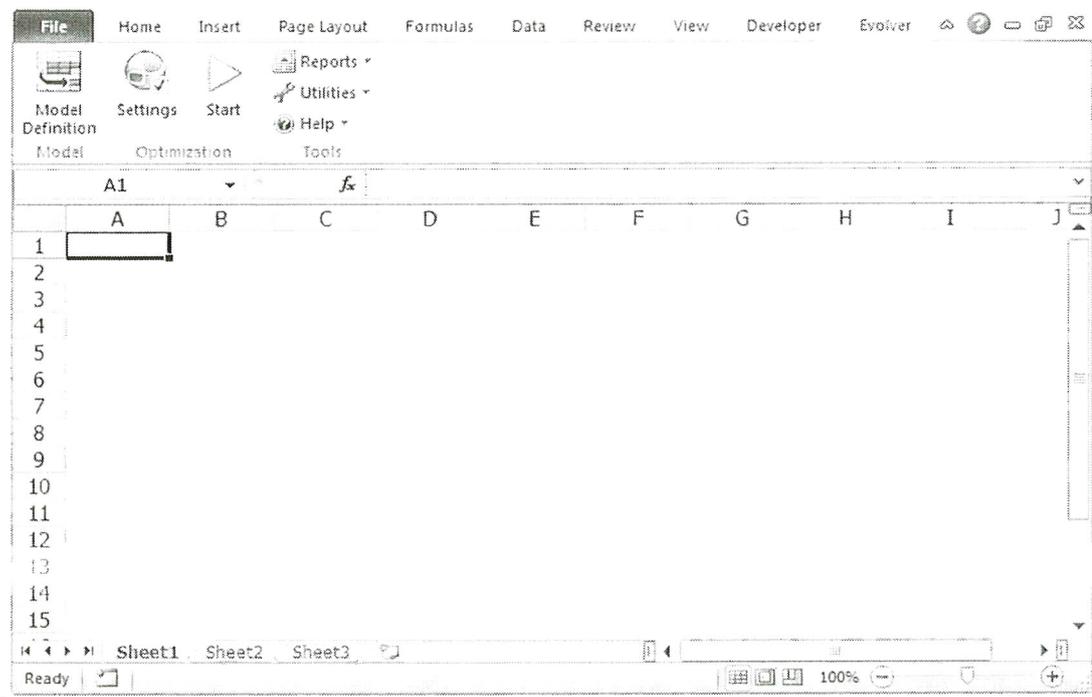
รูปที่ 3.10 ส่วนการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

3.4 วิธีการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบ

โมเดลปัญหาที่พัฒนาขึ้นนี้ได้เลือกใช้วิธีการหาคำตอบแบบ Genetic Algorithms (GAs) โดยโปรแกรมสำเร็จรูปคือ EvolverTM ของบริษัท Palisade Corp. ซึ่งเป็นโปรแกรม Add-in ใน Microsoft Excel ซึ่งหลังจากติดตั้งโปรแกรมแล้วจะปรากฏในเมนูของ Microsoft Excel เพื่อรอการเรียกใช้ต่อไป ดังแสดงในรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.11 หน้าต่างแสดงโปรแกรม Evolver ของ Palisade Corp.



รูปที่ 3.12 เมนู Ribbon ของ Evolver ที่ได้ติดตั้ง Add-in แล้ว

ขั้นตอนการใช้งาน Evolver คล้ายคลึงกับโปรแกรม Solver คือเริ่มจากการกำหนดส่วนประกอบหลักของโมเดลซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ตัวแปรตัดสินใจ และฟังก์ชันข้อจำกัด หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลนำเข้าของโมเดลทั้ง 3 ส่วนนี้แสดงดังในรูปข้างล่าง

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สามารถกำหนดได้ว่าเป็น Optimization แบบการMinimization หรือ Maximization และโดยการกำหนดเซลล์ที่จะใช้คำนวณค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

Evolver- Model

Optimization Goal: [Dropdown]

Cell: =AA29

Adjustable Cell Ranges

Minimum	Range	Maximum	Values	
0 <=	=T3:T8 <=	3	Integer	Add... Delete
0 <=	=S3:S8 <=	1	Integer	

Group

Constraints

Description	Formula	Type	
	= 0 <= \$Z\$25 <= \$AA\$22	Hard	Add... Edit...
	= 0 <= \$Z\$23 <= \$AA\$23	Hard	Delete
	= \$Z\$21 <= \$AA\$21	Hard	

OK Cancel

รูปที่ 3.13 หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลส่วนประกอบหลักของโมเดล

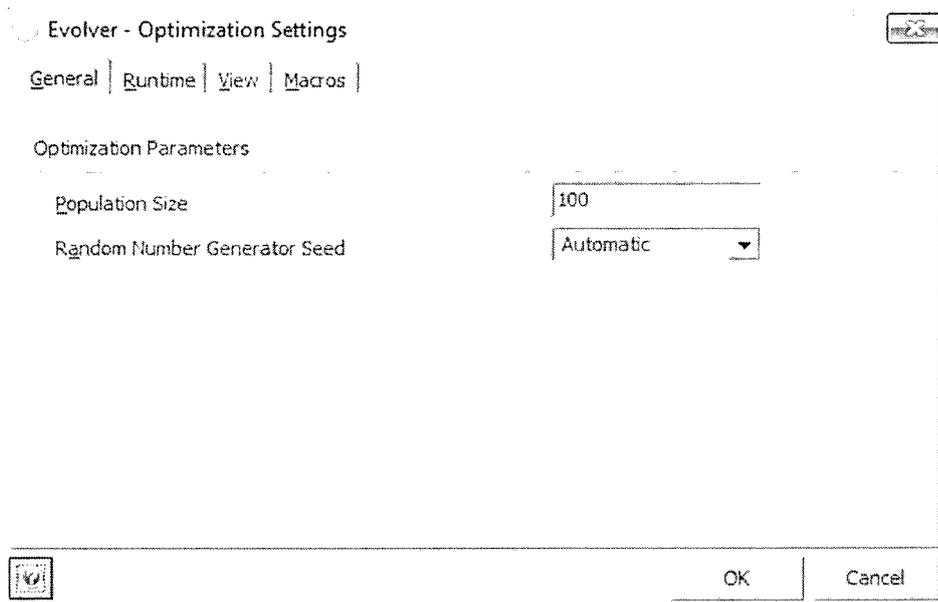
ตัวแปรตัดสินใจกำหนดให้เป็นกลุ่มเซลล์ที่เรียกว่า Adjustable Cell Ranges ซึ่งโปรแกรม Evolver จะบังคับให้กำหนดขอบเขตบนและล่างของค่าตัวแปรตัดสินใจต่างๆทั้งหมดด้วย นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดชนิดของค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็มหรือจำนวนจริงก็ได้

ฟังก์ชันข้อจำกัดสามารถป้อนข้อมูลแบ่งเป็นชุดๆตามต้องการได้ โดยอ้างอิงไปที่กลุ่มเซลล์ที่มีสูตรฟังก์ชันข้อจำกัดที่ต้องการ จากนั้นกำหนดขอบเขตบนและล่างที่เหมาะสม ทั้งนี้ยังสามารถกำหนดชนิดของฟังก์ชันข้อจำกัดเป็นแบบ Soft หรือ Hard constraints ก็ได้

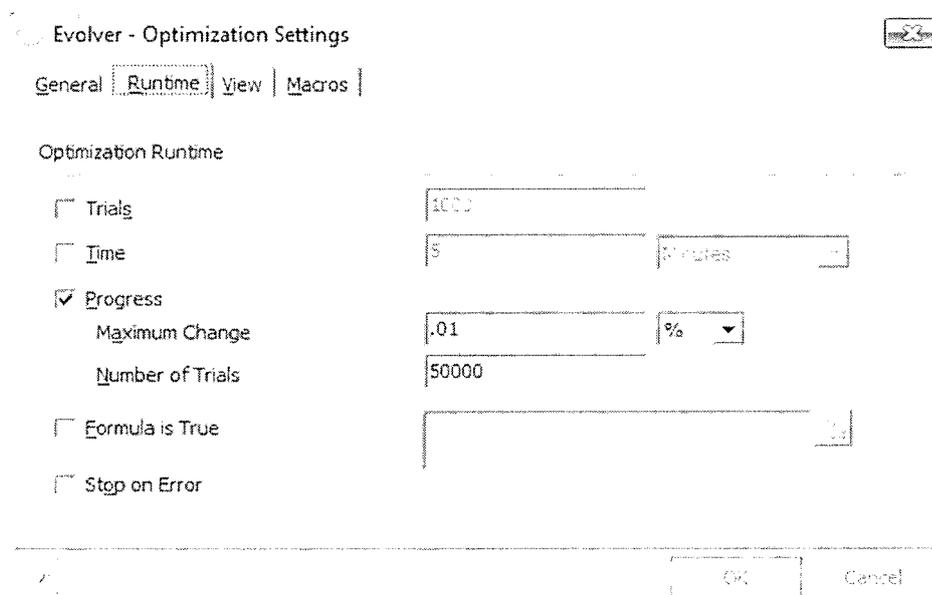
หลังจากที่ได้กำหนดส่วนประกอบหลักของโมเดลเสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ GAs ที่จะใช้ในการหาคำตอบ ได้แก่ ค่า Population size, Random seed, Crossover rate, Mutation rate และเงื่อนไขการสิ้นสุด (Runtime)

ค่า Population Size จะเป็นตัวกำหนดความหลากหลายของกลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้ในแต่ละรุ่นประชากร ค่า Random Number Generator Seed เป็นวิธีการหาตัวเลขสุ่มที่ต้องใช้ในการหาคำตอบ ค่า Crossover rate และ Mutation rate เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมปฏิบัติการทางพันธุกรรม ในกระบวนการวิวัฒนาการของ GAs รวมทั้งการกำหนดเงื่อนไขการสิ้นสุด (Runtime) ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถบังคับความพยายามในการค้นหาคำตอบให้เป็นไปตามต้องการได้อีกด้วย

เงื่อนไขการสิ้นสุด (Runtime) สามารถเลือกใช้ได้หลายลักษณะได้แก่ การกำหนดจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ที่ถูกพิจารณา (Trials) การกำหนดระยะเวลาของการค้นหา หรือการกำหนดเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงของคำตอบที่ดีขึ้นภายในจำนวน Trials ที่กำหนด



รูปที่ 3.14 หน้าต่างสำหรับป้อนค่าพารามิเตอร์ Population Size ของ GAs



รูปที่ 3.15 หน้าต่างสำหรับป้อนค่าเงื่อนไขการจบ Runtime

จากการทดสอบเบื้องต้นเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ GAs ที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการหาคำตอบของโมเดลต่อไป ได้ค่าที่เหมาะสมดังนี้ Population Size = 100; Random Number Generator Seed = Automatic; Crossover rate = 0.5; Mutation rate = 0.1

เงื่อนไขการสิ้นสุด (Runtime) ที่เหมาะสมกำหนดให้ใช้เป็นเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงที่ดีที่สุดของคำตอบ = 0.01% ภายในจำนวน Trials = 20,000 (อย่างไรก็ตามภายหลัง เมื่อทดสอบกับขีดจำกัดของ Constraints ของโมเดล ได้ปรับจำนวน Trials เป็น = 50,000 เนื่องจากต้องการให้เกิดความพยายามในการหาคำตอบมากขึ้น)

3.5 การทดสอบ

โมเดลที่สร้างขึ้นได้ถูกทดสอบกับโจทย์ปัญหาที่อ้างอิงจากงานวิจัยของ Liu and Wang (2008) ที่ก็ได้อ้างอิงโจทย์ข้อมูลโครงการก่อสร้างมาจากงานวิจัยของ Elazouni and Metwally (2005) ทั้งนี้เพื่อการอ้างอิงเปรียบเทียบผลประสิทธิภาพที่ชัดเจน ความจำเป็นอีกประการคือข้อมูลโครงการก่อสร้างที่สำรวจเก็บได้จากบริษัทก่อสร้างในประเทศ (เป็นทั้งบริษัทก่อสร้างสัญชาติไทยและสัญชาติต่างประเทศ) มักไม่ครบถ้วนตามที่ต้องการ หรือบริษัทไม่อนุญาตให้ข้อมูลแก่คณะวิจัย โดยเฉพาะข้อมูลโครงการที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนและกระแสเงินสด อย่างไรก็ตามจากการสำรวจพบว่าบริษัทก่อสร้างสัญชาติต่างประเทศจัดเตรียมข้อมูลโครงการสำหรับการวางแผนอย่างละเอียด ซึ่งสามารถนำมาใช้กับโมเดลปัญหาได้

โจทย์ปัญหาที่อ้างอิงจากงานวิจัยของ Liu and Wang (2008) จึงเป็นข้อมูลโครงการก่อสร้างที่ถูกเลือกใช้ในการวิจัยนี้ โดยต้องปรับปรุงเพิ่มเติมข้อมูลบางส่วนให้เหมาะสมกับความต้องการของโมเดลปัญหา ICRPSP ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ ดังต่อไปนี้

1. โครงการก่อสร้างประกอบด้วยกิจกรรมทั้งหมด 10 กิจกรรม เพิ่มเติมกิจกรรมใหม่อีก 4 กิจกรรมจากเดิมที่มี 6 กิจกรรม ทั้งนี้เพื่อให้โมเดลปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นและซับซ้อนขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากโจทย์ปัญหาเดิมของ Liu and Wang (2008) มีความเรียบง่ายเกินไป มีความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่ไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม กิจกรรมเดิมทั้ง 6 กิจกรรมกำหนดให้มีข้อมูลอื่นๆ ดังเดิม

2. ให้มีทางเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงานของแต่ละกิจกรรมไม่เกิน 2 ทางเลือก
3. ให้มีทรัพยากรดำเนินงานทั้งหมด 2 ประเภท ได้แก่ Resource 1 และ 2
4. ให้มีเงื่อนไขทางการเงินและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระแสเงินสดเหมือนเดิม

ดังแสดงตารางในรูปที่ 3.16 ถึง 3.18 ข้างล่าง

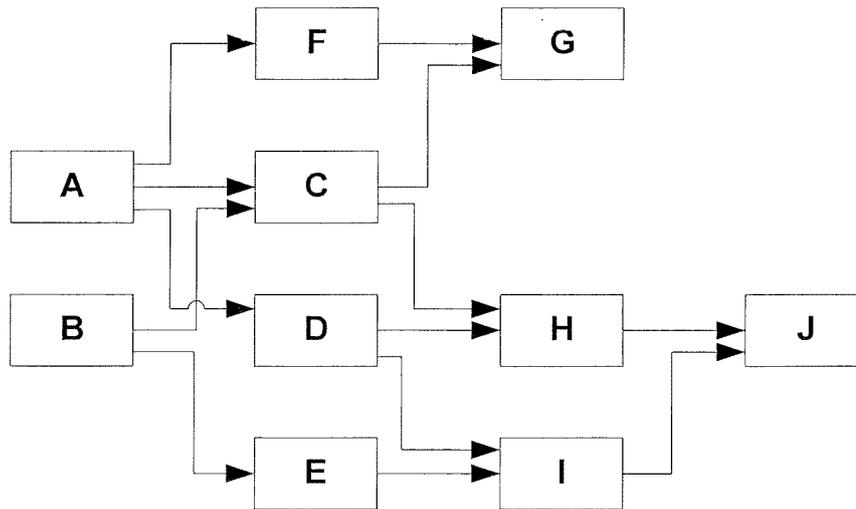
Activity	Predecessors			Option 1 (Normal mode)				
				Res. 1	Res. 2	DC/mth	Paym t/mth	Dur.(mth)
A	-			2	3	100.0	149.3	1
B	-			3	4	105.0	156.7	2
C	A	B		3	5	45.0	82.1	2
D	A			3	3	105.0	156.7	1
E	B			5	6	115.0	171.7	3
F	A			3	2	63.3	104.5	3
G	C	F		5	4	55.0	99.5	6
H	C	D		3	4	97.0	134.3	4
I	D	E		6	4	95.0	141.8	3
J	H	I		5	6	110.0	164.2	2
Activity	Successors			Option 2 (Crashing mode)				
				Res. 1	Res. 2	DC/mth	Paym t/mth	Dur.(mth)
A	C	D	F	2	3	100.0	149.3	1
B	C	E		5	8	250.0	313.5	1
C	G	H		4	6	110.0	164.2	1
D	H	I		3	3	105.0	156.7	1
E	I			4	4	192.5	257.5	2
F	G			4	3	105.0	156.7	2
G	-			7	6	100.0	149.3	4
H	J			5	5	120.0	179.1	3
I	J			5	3	140.0	212.7	2
J	-			7	7	235.0	328.4	1

รูปที่ 3.16 ตารางข้อมูลโจทยปัญหาโครงการตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

Financial Conditions

Tax	3.9 /mth
Overhead	32.4 /mth
Advance Payment	10% < pay back at the end
Retainage	5% < get back 1 mth. aft. Completion
Interest rate	0.80% /mth
Unused credit on Overdraft	0.20% /mth
Contract price	3500.4
Direct cost	2345.0
Contract price/Direct cost	1.49

รูปที่ 3.17 ตารางข้อมูลโจทยด้านเงื่อนไขทางการเงิน



รูปที่ 3.18 แผนภาพเน็ตเวิร์คของกิจกรรมของโครงการก่อสร้าง

การทดสอบโมเดล ICRPSP แบ่งออกเป็น 5 ประเด็น ซึ่งจะเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพและขีดจำกัดของโมเดลในด้านต่างๆอย่างครอบคลุม ซึ่งใน 5 ประเด็นนี้จะเกี่ยวข้องกับข้อมูลนำเข้ากลุ่มที่เป็นฟังก์ชันข้อจำกัดที่เป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อคำตอบของโมเดล และรวมถึงปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อคำตอบของโมเดลโดยตรง ได้แก่

1. ผลของคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) เนื่องจากวิธีการหาคำตอบแบบ Genetic Algorithms (GAs) ที่เลือกใช้ในการวิจัยนี้ เป็นการค้นหาคำตอบแบบสุ่มด้วยหลักการ Stochastic search โดยเริ่มสุ่มคำตอบอื่นๆ จากคำตอบเริ่มต้น ดังนั้นวิธีการหาคำตอบแบบ GAs จึงต้องกำหนดค่าคำตอบเริ่มต้นก่อนเริ่มค้นหาทุกครั้ง และทำให้คำตอบเริ่มต้นที่กำหนดอาจส่งผลต่อคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการค้นหาในแต่ละครั้ง (Runtime) ประเด็นการทดสอบนี้จึงจะทำให้เข้าใจว่าควรใช้ค่าคำตอบเริ่มต้นอย่างไรเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยจะกำหนดค่าคำตอบเริ่มต้นหลายๆชุดคำตอบที่ต่างกันเพื่อทดสอบทีละชุดแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบนี้ยังสามารถนำมาใช้กับการทดสอบในประเด็นถัดไปที่เหลือได้

2. ผลของข้อจำกัดด้านระยะเวลาสัญญาของโครงการ (Contract time) โมเดล ICRPSP เป็นโมเดลปัญหาแบบบูรณาการที่ผสมรวมโมเดลปัญหาการวางแผนหลายรูปแบบเข้าด้วยกัน ซึ่งทำให้ฟังก์ชันข้อจำกัดที่ต้องใช้ประกอบด้วยหลายกลุ่ม ซึ่งได้แก่ ระยะเวลาสัญญาของโครงการ ทรัพยากรดำเนินงาน และวงเงินเครดิต การทดสอบในประเด็นนี้จะทำให้เห็นว่าข้อจำกัดด้านระยะเวลาสัญญาของโครงการส่งผลอย่างไรต่อคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้ โดยจะกำหนดค่าระยะเวลาเป็นหลายๆค่าเพื่อทดสอบทีละค่าแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน คือกำหนดให้ทดสอบกับค่าระยะเวลาสัญญาของโครงการที่ 8, 9, 10, 11, 12, และ 13 เดือน ทั้งนี้การกำหนดค่าที่ใช้ทดสอบเหล่านี้เป็นผลมาจากการทดสอบในประเด็นที่ 1 ทำให้เห็นว่าคำตอบแผนงานจะต้องการใช้ระยะเวลาโครงการอยู่ระหว่าง 10 ถึง 13 เดือน การกำหนดค่าระยะเวลาที่ใช้ทดสอบจึงเป็นการบีบข้อจำกัดไปในทิศทางที่แคบลงเรื่อยๆ เพื่อดูผลคำตอบที่จะได้

3. ผลของข้อจำกัดด้านจำนวนทรัพยากรดำเนินงาน (Work resource limit) เป็นการทดสอบกับข้อจำกัดของโมเดลอีกกลุ่มหนึ่ง ซึ่งโมเดล ICRPSP ที่สร้างขึ้นนี้กำหนดให้มีทรัพยากรดำเนินงานได้ 2 ประเภท (R1 และ R2) โดยจะกำหนดค่าจำนวนทรัพยากรดำเนินงานเป็นหลายๆค่าเพื่อทดสอบที่ละค่าแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน คล้ายกับประเด็นทดสอบที่ 2 ดังนี้ จำนวนทรัพยากรดำเนินงาน R1 และ R2 เท่ากันเท่ากับ 8, 9, และ 10 หน่วย ช่วงค่าที่ทดสอบนี้ได้มาจากการสังเกตผลคำตอบของการทดสอบประเด็นที่ 1 นั้นเอง

4. ผลของข้อจำกัดด้านวงเงินเครดิต (Credit limit) วงเงินเครดิตก็เป็นข้อจำกัดของโมเดลอีกกลุ่มหนึ่งในจำนวนสามกลุ่มที่มีอยู่ โดยจะกำหนดค่าวงเงินเครดิตเป็น 150, 160, 165, 175, 200, 225, 250, และ 275 เพื่อทดสอบที่ละค่าแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน

5. ผลของการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Multi-objective function weighting) เนื่องจากโมเดล ICRPSP เป็นโมเดลปัญหาแบบ Multi-objective ที่เกิดจากวัตถุประสงค์ย่อยหลายวัตถุประสงค์รวมเข้าด้วยกัน ได้แก่ ด้านความผันผวนของระดับการใช้ทรัพยากร และด้านต้นทุนรวม โดยคำนวณเป็นค่าดัชนีสำหรับแต่ละวัตถุประสงค์ย่อยดังกล่าว คือ RRH, RID, และ TC การรวมวัตถุประสงค์ย่อยเหล่านี้ใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักความสำคัญและหาผลรวม (Weighted sum) การกำหนดค่าน้ำหนักถ่วงที่แตกต่างกันในแต่ละวัตถุประสงค์ย่อย ควรจะส่งผลกระทบต่อคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้ โดยปกติแล้วหากวัตถุประสงค์ย่อยใดได้ค่าที่ดีก็จะทำให้วัตถุประสงค์ย่อยที่เหลือได้ค่าที่แย่ลง จากสมการที่ 3.3 จะกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1: w_2: w_3$ สำหรับวัตถุประสงค์ย่อย RRH: RID: TC ตามลำดับเป็น 2:10:10, 2:10:8, 2:10:6, 2:10:4, 2:10:2, 2:10:1, 2:10:0.500, 2:10:0.250, 2:10:0.167, 2:10:0.125, 2:10:0.100, และ 2:10:0.010 ทั้งนี้เป็นการปรับเฉพาะค่า w_3 จากมากไปน้อยในสัดส่วนที่เทียบกับค่า $w_1: w_2$ ทั้งนี้เพื่อให้การทดสอบครอบคลุมช่วงที่ค่าน้ำหนักที่เป็นไปได้ทำการทดสอบที่ละค่าแล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

ตารางที่ 5 ข้างล่างนี้สรุปประเด็นการทดสอบโมเดล ICRPSP ทั้งหมดที่ออกแบบไว้ โดยจัดเรียงแบ่งตามกลุ่มประเด็นหลักทั้ง 5 ประเด็น

ตารางที่ 5 ประเด็นการทดสอบโมเดล ICRPSP

ประเด็นทดสอบที่	รายละเอียด	จำนวน Runtime
1. Initial solution		40
1.1 สุ่มคำตอบอย่างง่าย ครั้งที่ 1	โดยการสุ่มเลือกทางเลือกของกิจกรรมต่างๆและให้ค่าเวลาเลื่อนทั้งหมดเป็นศูนย์ (ได้เป็นแผนงานอย่างรวดเร็ว)	10
1.2 สุ่มคำตอบอย่างง่าย ครั้งที่ 2	โดยการสุ่มเลือกทางเลือกของกิจกรรมต่างๆและให้ค่าเวลาเลื่อนทั้งหมดเป็นศูนย์ (ได้เป็นแผนงานอย่างรวดเร็ว) โดยให้ได้ Total score เพิ่มมากขึ้น	10

1.3 สุ่มคำตอบอย่าง ซ้ำซ้อนครั้งที่ 1	โดยการสุ่มเลือกทางเลือกของกิจกรรมต่างๆ และให้ค่าเวลาเลื่อนทั้งหมด เป็น 1 (ไม่ใช่แผนงานอย่างรวดเร็ว) โดยให้ได้ Total score เพิ่มมากขึ้น	10
1.4 ใช้คำตอบที่ดีที่สุด	โดยใช้คำตอบที่ดีที่สุดที่พบจากการทดสอบทั้ง 3 ชุด	10
2. Contract time		70
2.1.1 ไม่เกิน 8 กับ คำตอบเริ่มต้นที่สุ่ม	ใช้คำตอบเริ่มต้นอย่างง่ายที่สุ่ม (สุ่มเลือกทางเลือกของกิจกรรมต่างๆ และให้ค่าเวลาเลื่อนทั้งหมดเป็นศูนย์) โดยไม่ให้มีระยะเวลาโครงการเกิน กว่า 8 เดือนที่กำหนด	5
2.1.2 ไม่เกิน 8 กับ คำตอบเริ่มต้นที่ดีที่สุด	ใช้คำตอบเริ่มต้นที่ดีที่สุด ที่ได้จาก 2.1.1	5
2.2.1 ไม่เกิน 9 กับ คำตอบเริ่มต้นที่ดีที่สุด	ใช้คำตอบเริ่มต้นที่ดีที่สุด ที่ได้จาก 2.1.1 ซึ่งมีระยะเวลาโครงการเท่ากับ 8 เดือน ซึ่งไม่เกิน 9 เดือน	5
2.2.2 ไม่เกิน 9 กับ คำตอบเริ่มต้นที่สุ่ม	ใช้คำตอบเริ่มต้นอย่างง่ายที่สุ่มโดยไม่ให้มีระยะเวลาโครงการเกินกว่า 9 เดือนที่กำหนด	5
2.3 ไม่เกิน 10	ใช้คำตอบเริ่มต้นมาตรฐาน (เป็นชุดคำตอบเริ่มต้นที่ใช้กับ 1.1)	20
2.4 ไม่เกิน 11	ใช้คำตอบเริ่มต้นมาตรฐาน (เป็นชุดคำตอบเริ่มต้นที่ใช้กับ 1.1)	10
2.5 ไม่เกิน 12	ใช้คำตอบเริ่มต้นมาตรฐาน (เป็นชุดคำตอบเริ่มต้นที่ใช้กับ 1.1)	10
2.6 ไม่เกิน 13	ใช้คำตอบเริ่มต้นมาตรฐาน (เป็นชุดคำตอบเริ่มต้นที่ใช้กับ 1.1)	10
3. Work resource limit		75
3.1.1 ไม่เกิน 8 กับ ระยะเวลาไม่เกิน 13	ทรัพยากรประเภท R1, R2 แต่ละประเภทไม่เกิน 8 พร้อมกับการสร้าง ขีดจำกัดด้านระยะเวลาของโครงการไม่เกิน 13 และใช้คำตอบเริ่มต้น มาตรฐาน	10
3.1.2 ไม่เกิน 8 กับ ระยะเวลาไม่เกิน 15	ทรัพยากรประเภท R1, R2 แต่ละประเภทไม่เกิน 8 พร้อมกับการสร้าง ขีดจำกัดด้านระยะเวลาของโครงการไม่เกิน 15 และใช้คำตอบเริ่มต้น มาตรฐาน	10
3.1.3 ไม่เกิน 8 กับ ระยะเวลาไม่เกิน 15 กับ คำตอบเริ่มต้นที่สุ่ม	ทรัพยากรประเภท R1, R2 แต่ละประเภทไม่เกิน 8 พร้อมกับการสร้าง ขีดจำกัดด้านระยะเวลาของโครงการไม่เกิน 15 และใช้คำตอบเริ่มต้น อย่างง่ายที่สุ่ม	10
3.2.1 ไม่เกิน 9 กับ ระยะเวลาไม่เกิน 13	ทรัพยากรประเภท R1, R2 แต่ละประเภทไม่เกิน 9 พร้อมกับการสร้าง ขีดจำกัดด้านระยะเวลาของโครงการไม่เกิน 13 และใช้คำตอบเริ่มต้น	10

	มาตรฐาน	
3.2.2 ไม่เกิน 9 กับ ระยะเวลาไม่เกิน 15	ทรัพยากรประเภท R1, R2 แต่ละประเภทไม่เกิน 9 พร้อมกับการสร้าง ขีดจำกัดด้านระยะเวลาของโครงการไม่เกิน 15 และใช้คำตอบเริ่มต้น มาตรฐาน	10
3.2.3 ไม่เกิน 9 กับ ระยะเวลาไม่เกิน 15 กับ คำตอบเริ่มต้นที่สุ่มที่ 1	ทรัพยากรประเภท R1, R2 แต่ละประเภทไม่เกิน 9 พร้อมกับการสร้าง ขีดจำกัดด้านระยะเวลาของโครงการไม่เกิน 15 และใช้คำตอบเริ่มต้น อย่างง่ายที่สุ่ม	5
3.2.4 ไม่เกิน 9 กับ ระยะเวลาไม่เกิน 15 กับ คำตอบเริ่มต้นที่สุ่มที่ 2	ทรัพยากรประเภท R1, R2 แต่ละประเภทไม่เกิน 9 พร้อมกับการสร้าง ขีดจำกัดด้านระยะเวลาของโครงการไม่เกิน 15 และใช้คำตอบเริ่มต้น อย่างง่ายที่สุ่ม	5
3.2.5 ไม่เกิน 9 กับ ระยะเวลาไม่เกิน 15 กับ คำตอบเริ่มต้นที่สุ่มที่ 2 และเพิ่มจำนวน trials	ทรัพยากรประเภท R1, R2 แต่ละประเภทไม่เกิน 9 พร้อมกับการสร้าง ขีดจำกัดด้านระยะเวลาของโครงการไม่เกิน 15 ใช้คำตอบเริ่มต้นอย่าง ง่ายที่สุ่มชุดเดียวกับ 3.2.4 และปรับเพิ่มจำนวน trials เพื่อสิ้นสุดการ ค้นหาคำตอบ เป็น 50,000	5
3.3 ไม่เกิน 10	ทรัพยากรประเภท R1, R2 แต่ละประเภทไม่เกิน 10 และใช้คำตอบ เริ่มต้นมาตรฐาน	10
4. Credit limit		90
4.1 ไม่เกิน 150	กำหนดให้วงเงินเครดิตไม่เกินกว่า $\$150 \times 10^3$ และใช้คำตอบเริ่มต้น มาตรฐาน	20
4.2 ไม่เกิน 160	กำหนดให้วงเงินเครดิตไม่เกินกว่า $\$160 \times 10^3$	10
4.3 ไม่เกิน 165	กำหนดให้วงเงินเครดิตไม่เกินกว่า $\$165 \times 10^3$	10
4.4 ไม่เกิน 175	กำหนดให้วงเงินเครดิตไม่เกินกว่า $\$175 \times 10^3$	10
4.5 ไม่เกิน 200	กำหนดให้วงเงินเครดิตไม่เกินกว่า $\$200 \times 10^3$	10
4.6 ไม่เกิน 225	กำหนดให้วงเงินเครดิตไม่เกินกว่า $\$225 \times 10^3$	10
4.7 ไม่เกิน 250	กำหนดให้วงเงินเครดิตไม่เกินกว่า $\$250 \times 10^3$	10
4.8 ไม่เกิน 275	กำหนดให้วงเงินเครดิตไม่เกินกว่า $\$275 \times 10^3$	10
5. Multi-objective function weighting		110
5.1 2:10:2	กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1 : w_2 : w_3 = 2:10:2$ และใช้คำตอบเริ่มต้น มาตรฐาน	10

5.2 2:10:4	กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1 : w_2 : w_3 = 2:10:4$	10
5.3 2:10:6	กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1 : w_2 : w_3 = 2:10:6$	10
5.4 2:10:8	กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1 : w_2 : w_3 = 2:10:8$	10
5.5 2:10:10	กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1 : w_2 : w_3 = 2:10:10$	10
5.6 2:10:0.500	กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1 : w_2 : w_3 = 2:10:0.500$	10
5.7 2:10:0.250	กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1 : w_2 : w_3 = 2:10:0.250$	10
5.8 2:10:0.167	กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1 : w_2 : w_3 = 2:10:0.167$	10
5.9 2:10:0.125	กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1 : w_2 : w_3 = 2:10:0.125$	10
5.10 2:10:0.100	กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1 : w_2 : w_3 = 2:10:0.100$	10
5.11 2:10:0.010	กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1 : w_2 : w_3 = 2:10:0.010$	10

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ เริ่มจากการป้อนข้อมูลนำเข้าที่เป็นโจทย์ปัญหาใส่ลงในแผ่นคำนวณที่เป็นพื้นที่ของโมเดลปัญหาในโปรแกรม Microsoft Excel จากนั้นจึงเรียกโปรแกรม Evolver เพื่อกำหนดกลุ่มเซลล์ต่างๆที่ใช้เป็นส่วนประกอบหลักของโมเดล พร้อมทั้งการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของ GAs ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดให้คำตอบเริ่มต้น (Initial solution) ซึ่งโปรแกรมจะค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยเปรียบเทียบการปรับปรุงจากคำตอบเริ่มต้นนี้ โปรแกรมจะใช้เวลาในการค้นหาคำตอบแต่ละครั้ง (runtime) ระหว่าง 5-10 นาที โดยจะการสิ้นสุดการค้นหาเมื่อมีสถานะตรงกับเงื่อนไขการสิ้นสุดที่กำหนดไว้ (เป็นเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงที่ดีที่สุดของคำตอบ = 0.01% ภายในจำนวน Trials = 20,000 อย่างไรก็ตามภายหลัง เมื่อทดสอบกับขีดจำกัดของ Constraints ของโมเดล ได้ปรับจำนวน Trials เป็น = 50,000)

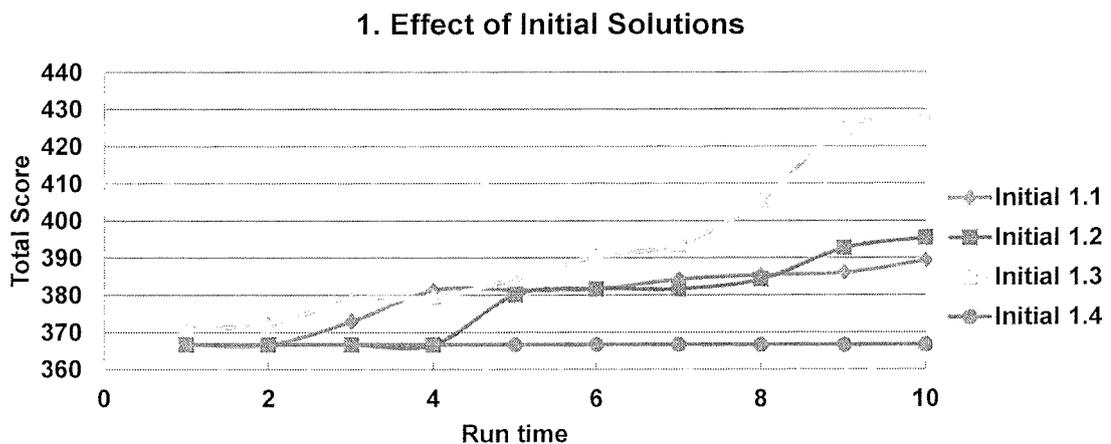
ชุดทดสอบแต่ละชุดจะถูกทดสอบซ้ำหลายๆครั้ง (runtime) จำนวน 5 หรือ 10 ครั้งตามที่เหมาะสม ทั้งนี้พิจารณาจากคำตอบที่ได้ในแต่ละครั้งว่าเหมือนเดิมหรือต่างจากครั้งก่อนหน้าอย่างไร เนื่องจากวิธีการหาคำตอบแบบ GAs ทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดแบบประมาณและอาจไม่เหมือนกันในแต่ละครั้ง (runtime) จึงจำเป็นต้องทำซ้ำหลายๆครั้งเพื่อให้มั่นใจกับคำตอบที่ได้

3.6 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

ข้อมูลผลการทดสอบทั้งหมดทั้ง 5 ประเด็นแสดงเป็นตารางในภาคผนวก 2 ในที่นี้จะสรุปผลการทดสอบในรูปแบบกราฟเพื่อการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ในแต่ละประเด็นดังต่อไปนี้ เพื่อความสะดวกในการอ่านให้เข้าใจได้ง่ายจึงอธิบายผลการวิเคราะห์เป็นข้อๆ

3.6.1 ประเด็นที่ 1 ผลของคำตอบเริ่มต้น (Initial Solutions)

- จากกราฟผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่าคำตอบเริ่มต้นที่กำหนดมีผลต่อค่า Total Score (คือค่า Weighted sum ของ Multi-objective function) ที่ได้จากคำตอบที่ดีที่สุดของการค้นหาแต่ละครั้ง โดยจะเห็นว่า
- คำตอบเริ่มต้นอย่างง่ายชุดที่ 1 และ 2 (Initial 1.1 และ 1.2) (ดูตารางที่ 5 ประกอบ) ได้ผลค่า Total Score ที่ดีใกล้เคียงกันโดยเฉลี่ย
- ในขณะที่คำตอบเริ่มต้นอย่างซับซ้อน (Initial 1.3) กลับให้ผลค่า Total Score ที่แย่กว่าโดยเฉลี่ย
- และคำตอบเริ่มต้นที่กำหนดขึ้นด้วยคำตอบที่ดีที่สุด (Initial 1.4) นั้นไม่สามารถหาคำตอบที่ดีขึ้นกว่าคำตอบเริ่มต้นได้ โดยให้ผลค่า Total Score ที่ดีที่สุดเท่ากับของคำตอบเริ่มต้นทุกครั้ง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ใช้เป็นคำตอบเริ่มต้นเป็นคำตอบที่ Optimum

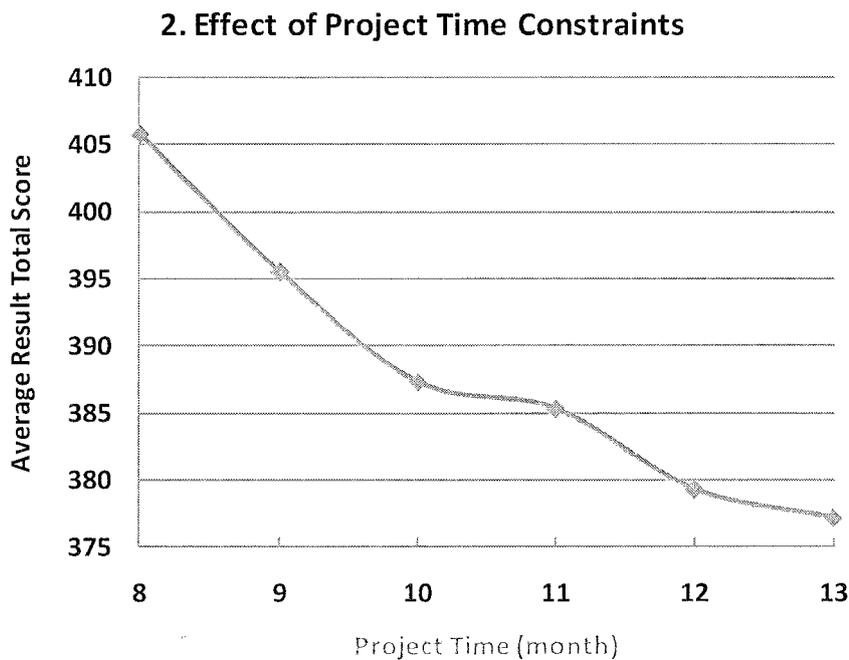


รูปที่ 3.19 แผนภาพ Effect of Initial Solutions ที่มีต่อค่า Total Score

- ดังนั้นการกำหนดคำตอบเริ่มต้นอย่างง่าย หรือแผนงานอย่างรวดเร็ว ช่วยให้การค้นหาคำตอบมีอิสระเพียงพอสำหรับการได้คำตอบที่ดีที่สุด การทดลองในประเด็นต่อไปจึงใช้การกำหนดคำตอบเริ่มต้นเป็นแผนงานอย่างรวดเร็วนี้เอง
- การทดลองประเด็นที่ 1 นี้กำหนดค่าที่เป็นฟังก์ชันข้อจำกัดไว้อย่างเกินความต้องการ เพื่อให้เกิดสภาพเสมือนไม่มีขอบเขตจำกัดในการหาคำตอบ ได้แก่ วงเงินเครดิต = 600, ระยะเวลาสัญญา = 15, และ MRD = 30 ในขณะที่คำตอบที่ดีที่สุดที่พบมีค่า Max. OD. = 245, PT = 13, และ MRD R1 = 10, MRD R2 = 10

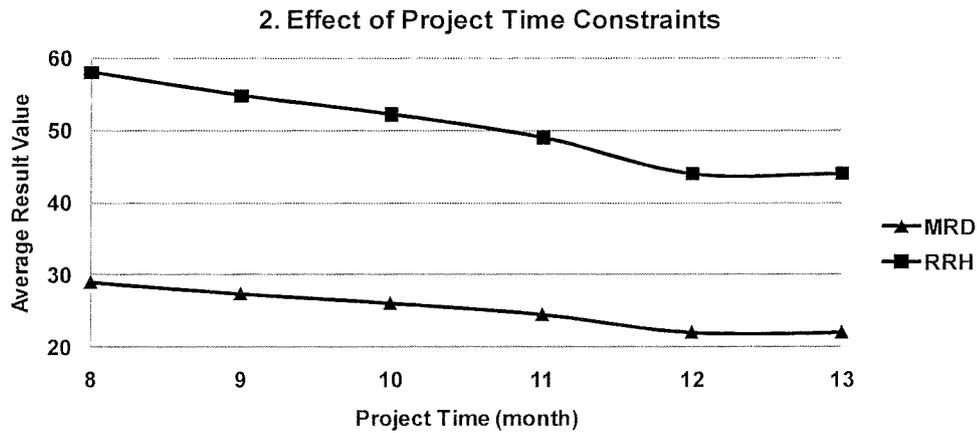
3.6.2 ประเด็นที่ 2 ผลของข้อจำกัดด้านระยะเวลาสัญญาของโครงการ (Contract time)

- จากกราฟผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่า ระยะเวลาสัญญาของโครงการ มีผลต่อค่า Total Score (คือค่า Weighted sum ของ Multi-objective function) โดยเฉลี่ยที่ได้จากคำตอบที่ดีที่สุดของการค้นหาแต่ละครั้ง
- โดยจะเห็นได้ว่า หากระยะเวลาสัญญาของโครงการมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า Total Score โดยเฉลี่ยลดลง
- โดยที่ความสัมพันธ์นี้จะอยู่ในค่าช่วงหนึ่งเท่านั้น (ที่ขึ้นกับโจทย์) สำหรับโจทย์ของการทดลองนี้ได้ว่า หากระยะเวลาสัญญามากกว่า 13 จะไม่ส่งผลต่อค่า Total Score และหากต่ำกว่า 8 จะไม่สามารถหาคำตอบได้
- ซึ่งค่า Total Score ที่ใช้ในการทดลองเป็นค่าที่สะท้อนต้นทุนรวมและประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากรของโครงการ ดังนั้นจึงหมายถึงว่าหากระยะเวลาสัญญาของโครงการมากขึ้นจะส่งผลให้ต้นทุนรวมของโครงการลดลง และประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากรของโครงการดีขึ้น ซึ่งเป็นไปในทางที่ต้องการนั่นเอง



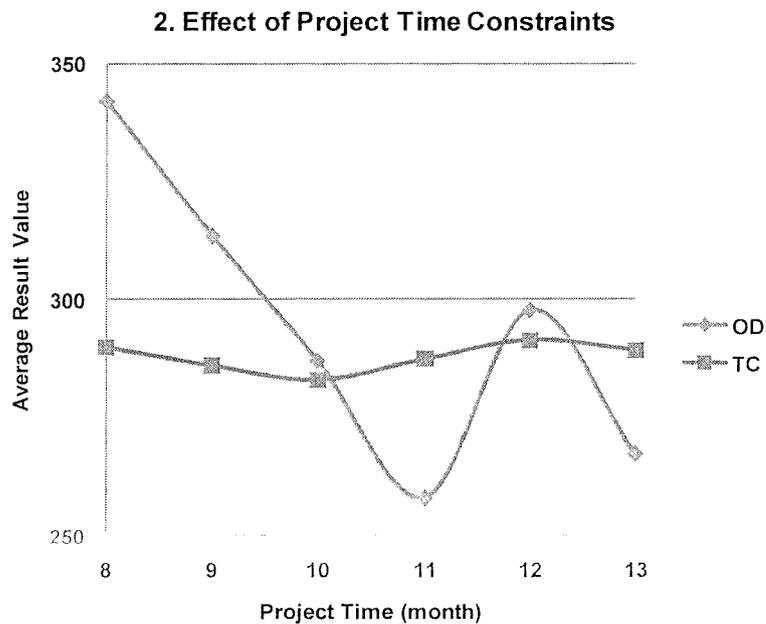
รูปที่ 3.20 แผนภาพ Effect of Project Time Constraints ที่มีต่อค่า Total Score

- เมื่อพิจารณาแยกส่วน จะเห็นว่าหากระยะเวลาสัญญาของโครงการมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า MRD (เป็นค่าผลรวมของ R1 และ R2) และ RRH (เป็นค่าผลรวมของ R1 และ R2) โดยเฉลี่ยลดลง ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากรของโครงการดีขึ้น



รูปที่ 3.21 แผนภาพ Effect of Project Time Constraints ที่มีต่อค่า MRD และ RRH

- ในขณะที่ หากระยะเวลาสัญญาของโครงการมากขึ้นจะส่งผลให้ ค่า Total Cost แท้จริงแล้ว โดยเฉลี่ยลดลงและเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่า ค่า Total Cost นั้นสัมพันธ์กับระยะเวลาสัญญา ทั้งแปรผันตามและแปรผกผัน เนื่องจากส่วนประกอบที่เป็นต้นทุนทางอ้อมจะแปรผันตาม แต่ต้นทุนทางตรงจะแปรผกผัน แต่เนื่องจากต้นทุนทางตรงมีขนาดมากกว่าจึงทำให้ trend ของกราฟนั้นมี Total Cost ต่ำลง
- ระยะเวลาสัญญาของโครงการดูจะไม่มีความสัมพันธ์กับค่า Max. Overdraft



รูปที่ 3.22 แผนภาพ Effect of Project Time Constraints ที่มีต่อค่า Max.OD.,และ Total Cost

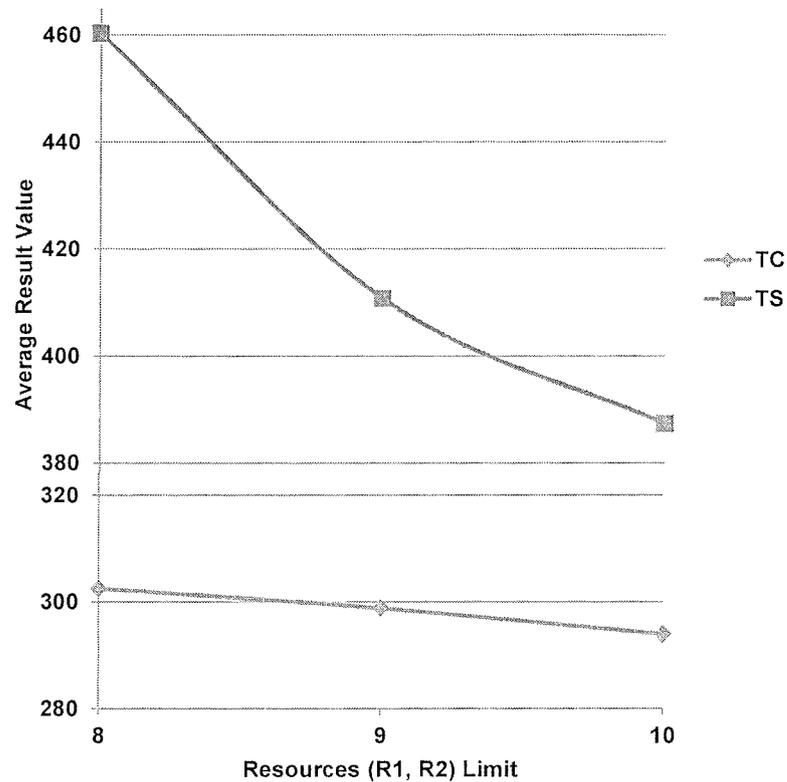
- นอกจากนี้ยังมีผลการทดลองที่สังเกตุดูผลของคำตอบเริ่มต้นร่วมกับระยะเวลาสัญญาของโครงการ (ประเด็นที่ 2.1.1, 2.1.2, 2.2.1, 2.2.2) ได้ผลการทดลองที่ยืนยันว่าคำตอบเริ่มต้นมีผลต่อคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการค้นหา โดยที่หากเริ่มต้นด้วยคำตอบเริ่มต้นที่

เป็นคำตอบที่ดีอยู่แล้ว จะทำให้ไม่ได้คำตอบที่ดีขึ้นและสุดท้ายอาจได้คำตอบที่แย่กว่า การเริ่มต้นจากคำตอบเริ่มต้นที่สุ่มแบบอย่างง่าย ทั้งนี้อธิบายได้ว่าการเริ่มคำตอบ เริ่มต้นด้วยคำตอบที่ดีจะทำให้การค้นหาติดกับอยู่ในหุบเหวของ Local Optima และไม่สามารถออกจากหุบเหวไปเจอคำตอบที่ดีกว่าได้

3.6.3 ประเด็นที่ 3 ผลของข้อจำกัดด้านจำนวนทรัพยากรดำเนินงาน (Work resource limit)

- ผลการทดลองด้านจำนวนทรัพยากร พบว่ามีผลกระทบอยู่ในช่วงค่าแคบๆ คือหาก กำหนดค่าจำนวนทรัพยากรต่ำกว่า 10 จะทำให้หาคำตอบได้ยาก อาจได้คำตอบบ้าง ไม่ได้บ้าง และหากกำหนดค่ามากกว่า 10 ขึ้นไปจะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้เหมือนกัน แต่ ใช้จำนวนทรัพยากรเท่ากันเท่ากับ 10
- จากกราฟผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่า จำนวนทรัพยากร มีผลต่อค่า Total Score โดย เฉลี่ยที่ได้จากคำตอบที่ดีที่สุดของการค้นหาแต่ละครั้ง
- โดยจะเห็นว่า หากจำนวนทรัพยากรมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า Total Score โดยเฉลี่ยลดลง อธิบายได้ว่าการกำหนดจำนวนทรัพยากรน้อยเกินไปทำให้หาคำตอบได้ยาก การ กำหนดจำนวนทรัพยากรที่พอเหมาะทำให้มีความยืดหยุ่นในการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ และการกำหนดจำนวนทรัพยากรที่มากเกินไปความต้องการจะไม่เกิดผลกระทบใด
- หากพิจารณาที่ค่า Total Cost จะเห็นได้ว่าหากจำนวนทรัพยากรมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า Total Cost โดยเฉลี่ยลดลงเช่นกัน เหตุผลอธิบายได้เช่นเดียวกันกรณีของค่า Total Score

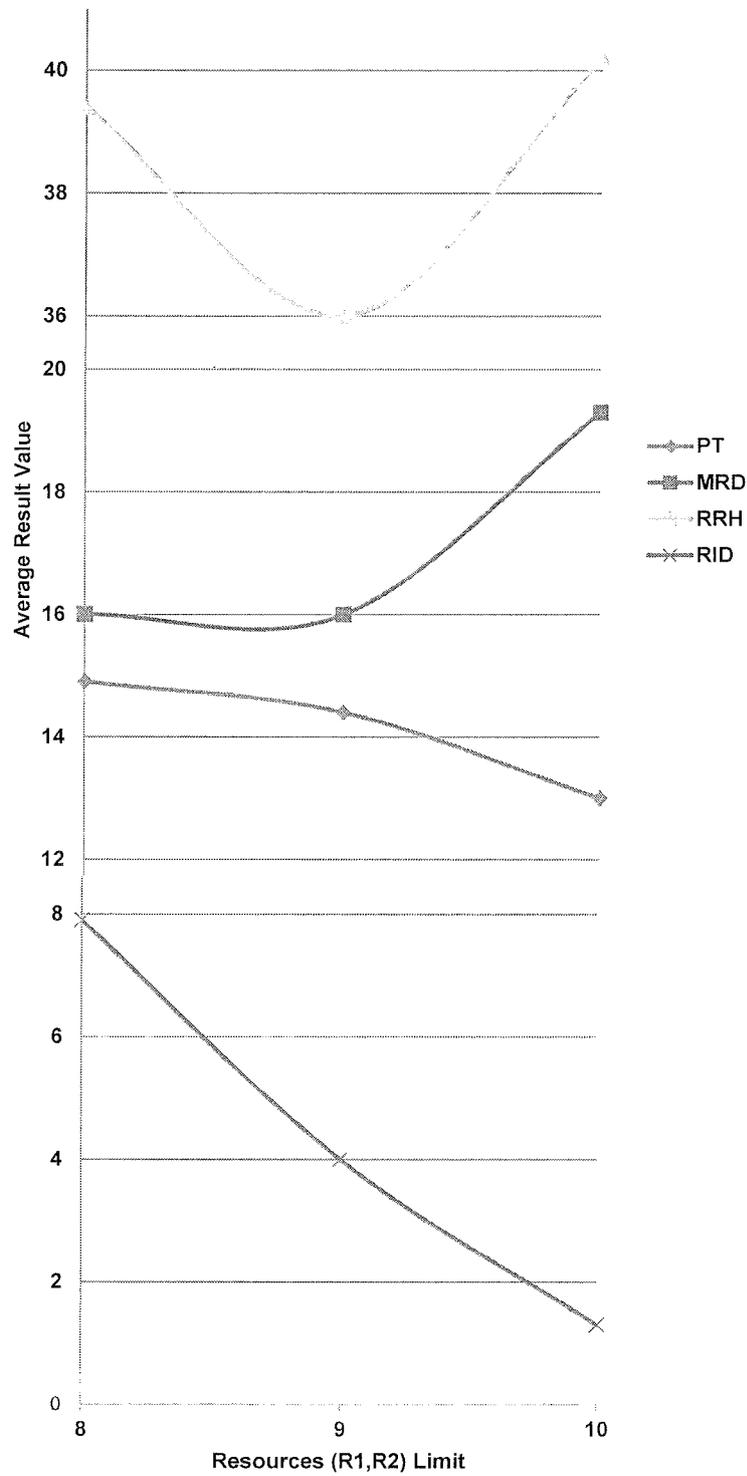
3. Effect of Resources Limit



รูปที่ 3.23 แผนภาพ Effect of Resources R1, R2 ที่มีต่อค่า Total Cost และ Total Score

- ส่วนกลุ่มค่าดัชนีความผันผวนของการจัดสรรทรัพยากร MRD, RRH, RID ได้รับผลกระทบโดยตรงต่อจำนวนทรัพยากรที่จำกัด โดยที่หากจำนวนทรัพยากรมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า MRD โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามด้วย
- ที่น่าสนใจคือจำนวนทรัพยากรที่น้อยเกินไปทำให้หาคำตอบที่ดีที่สุดยากจึงทำให้ค่า RID มีค่าสูง เมื่อจำนวนทรัพยากรมากขึ้นได้คำตอบที่ดีที่สุด ค่า RID โดยเฉลี่ยจึงต่ำลงหรือหมายถึงดีขึ้น ส่งผลอย่างมากต่อค่า Total Score เนื่องจากเป็นค่าที่ถ่วงน้ำหนักมาก
- ส่วนค่า RRH โดยเฉลี่ยมีการปรับลงและขึ้นในช่วงแคบๆ ซึ่งน่าจะอธิบายได้ด้วยจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ที่มีอยู่
- ประเด็นสุดท้าย คือค่า Project Time ที่ปรับลดลงโดยเฉลี่ย เมื่อมีจำนวนทรัพยากรมากขึ้น ซึ่งสมเหตุสมผลกัน

3. Effect of Resources Limit



รูปที่ 3.24 แผนภาพ Effect of Resources R1, R2 ที่มีต่อค่า Project Time, MRD, RRH, และ RID

- การทดลองประเด็นที่ 3.1.1, 3.1.2, และ 3.1.3 ที่กำหนดจำนวนทรัพยากรไว้ให้เท่ากับ 8 นั้น ทำให้ได้ผลคำตอบบ้างและไม่ได้คำตอบบ้าง ซึ่งการทดลองเหล่านี้เป็นการทดลองแบบหลายปัจจัยพร้อมกัน
- กล่าวคือประเด็นที่ 3.1.1 หากกำหนดจำนวนทรัพยากร = 8 และระยะเวลาสัญญา = 13 จะทำให้ไม่มีคำตอบ
- แต่หากเพิ่มระยะเวลาสัญญาเป็น = 15 จะทำให้ได้คำตอบบ้างไม่ได้บ้าง
- ส่วนประเด็นที่ 3.1.3 กำหนดจำนวนทรัพยากร = 8 และระยะเวลาสัญญา = 15 พร้อมกับสุ่มคำตอบเริ่มต้นแบบอย่างง่ายใหม่ และเพิ่มจำนวน Trials ในการค้นหา เป็น 50,000 trials จะทำให้ได้คำตอบและเป็นคำตอบที่ดี
- ในทำนองเดียวกัน การทดลองประเด็นที่ 3.2.1 ถึง 3.2.5 กำหนดจำนวนทรัพยากรไว้ให้เท่ากับ 9 นั้น ทำให้ได้ผลคำตอบบ้างและไม่ได้คำตอบบ้าง ซึ่งการทดลองเหล่านี้เป็นการทดลองแบบหลายปัจจัยพร้อมกัน โดยที่
- ประเด็นที่ 3.2.1 กำหนดจำนวนทรัพยากร = 9 และระยะเวลาสัญญา = 13 ได้ผลว่าไม่มีคำตอบ อธิบายได้ในทำนองเดียวกันว่าเป็นการกำหนดข้อจำกัดที่บีบคั้นเกินกว่าจะมีอิสระในการค้นหาคำตอบได้
- ประเด็นที่ 3.2.2 จึงขยายค่าระยะเวลาสัญญา = 15 ทำให้ได้ผลคำตอบบ้างไม่ได้บ้าง
- การทดลองในประเด็นถัดมาคือ ประเด็นที่ 3.2.3 และ 3.2.4 จึงทดลองปรับเปลี่ยนคำตอบเริ่มต้นเป็นแบบอย่างง่ายที่สุ่มขึ้นมาใหม่ครั้งที่ 1 และ 2 ที่ไม่ซ้ำกัน ซึ่งพบว่าสามารถหาคำตอบได้ และได้คำตอบที่ดีที่สุดที่เท่ากันทั้งสองประเด็น
- ประเด็นที่ 3.2.5 ได้ปรับเพิ่มจำนวน Trials ของการค้นหาให้มากขึ้นเป็น 50,000 trials พบว่าทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดบ่อยขึ้น จึงแสดงให้เห็นว่าคำตอบเริ่มต้น จำนวน Trials สำหรับค้นหา เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้
- จากการทดลองประเด็นที่ 3.1.1 ถึง 3.2.5 ทำให้เห็นว่าข้อจำกัดจำนวนทรัพยากรที่ 8 และ 9 นั้นได้สร้างข้อจำกัดอย่างมากในการค้นหาคำตอบ (เกือบจะไม่มีคำตอบที่เป็นไปได้) แต่การปรับแต่งค่าจำนวน Trials และ คำตอบเริ่มต้น จะมีส่วนช่วยให้สามารถค้นหาคำตอบที่ดีในพื้นที่ข้อจำกัดที่แคบได้

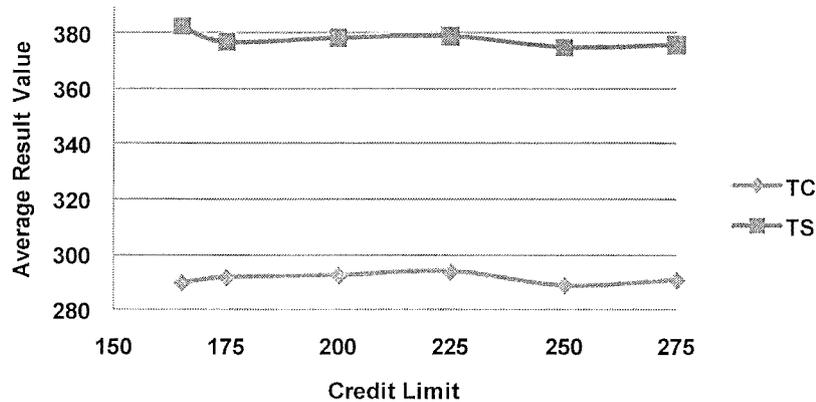
3.6.4 ประเด็นที่ 4 ผลของข้อจำกัดด้านวงเงินเครดิต (Credit limit)

- จากกราฟผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่า ข้อจำกัดด้านวงเงินเครดิตมีผลต่อค่า Total Score โดยเฉลี่ยในช่วงแคบๆ มีขนาดของผลกระทบไม่มากนัก โดยจากการพิจารณา

คำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้ในแต่ละครั้งพบว่า มีคำตอบที่ได้หลากหลายมาก แต่โดยเฉลี่ยแล้วให้ค่า Total Score ที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

- ลักษณะผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าวงเงินเครดิตที่มีต่อค่า Total Cost คล้ายกับของ Total Score คือ มีขนาดของผลกระทบโดยเฉลี่ยในช่วงแคบๆไม่มากนัก

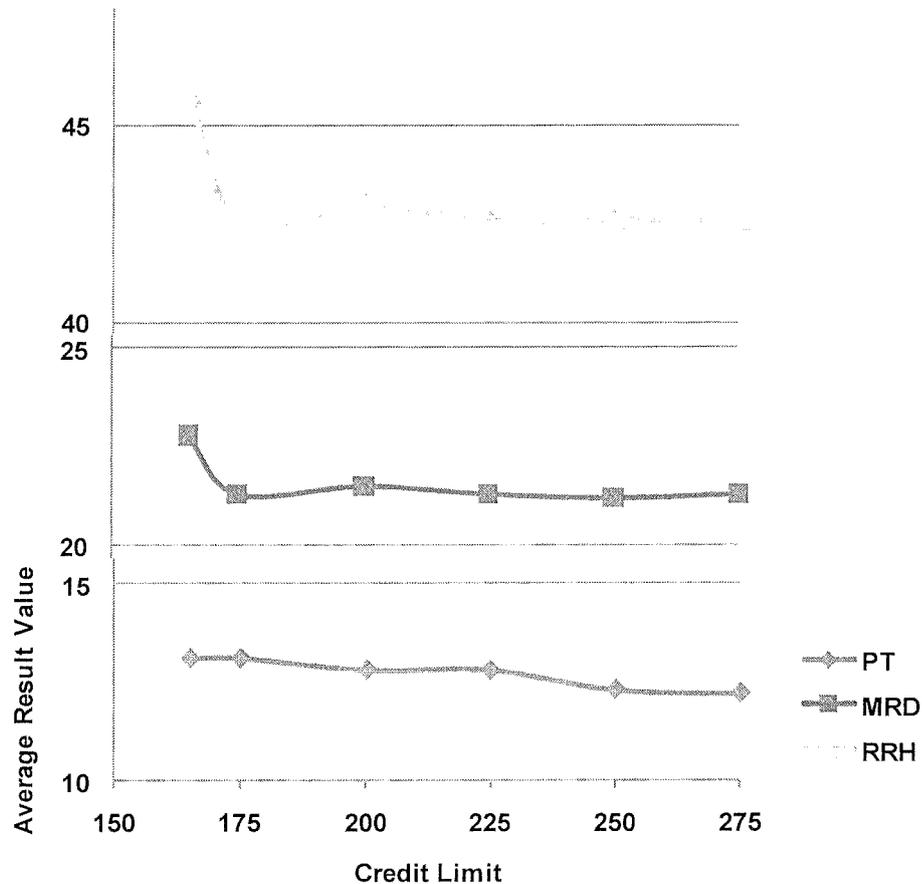
4. Effect of Credit Limit



รูปที่ 3.25 แผนภาพ Effect of Credit Limit ที่มีต่อค่า Total Cost และ Total Score

- ส่วนกลุ่มค่าดัชนีความผันผวนของการจัดสรรทรัพยากร MRD และ RRH ได้รับผลกระทบต่อค่าวงเงินเครดิตที่เพิ่มขึ้น ในลักษณะที่คล้ายกันคือทำให้ค่า MRD และ RRH ลดลงโดยเฉลี่ย แต่ทั้งนี้เกิดขึ้นในช่วงแคบๆที่วงเงินเครดิตมีอยู่น้อยจนเกือบจะไม่มีความเป็นไปได้ ซึ่งทำให้หาคำตอบที่ดีที่สุดได้ยากและทำให้ได้ค่า MRD และ RRH ที่สูง อย่างไรก็ตามเมื่อค่าวงเงินเครดิตมีอย่างเพียงพอแล้ว การเพิ่มค่าขึ้นของวงเงินเครดิตต่อไปก็ไม่มีผลกระทบกับการจัดสรรทรัพยากรมากนัก
- ส่วนค่า Project Time ก็ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของค่าวงเงินเครดิต โดยที่ค่า Project Time โดยเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยในช่วง 13 ถึง 12 อธิบายได้ว่าเมื่อวงเงินเครดิตมีอยู่อย่างจำกัด (น้อย) ทำให้ต้องเลือกทางเลือกการดำเนินกิจกรรมที่ใช้ระยะเวลา นานกว่าเพื่อชะลอกระแสเงินออก อย่างไรก็ตามด้วยการใช้ Multi-objective Function จึงทำให้ช่วงของการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากจะพิจารณาผลกระทบของหลายปัจจัยร่วมกัน

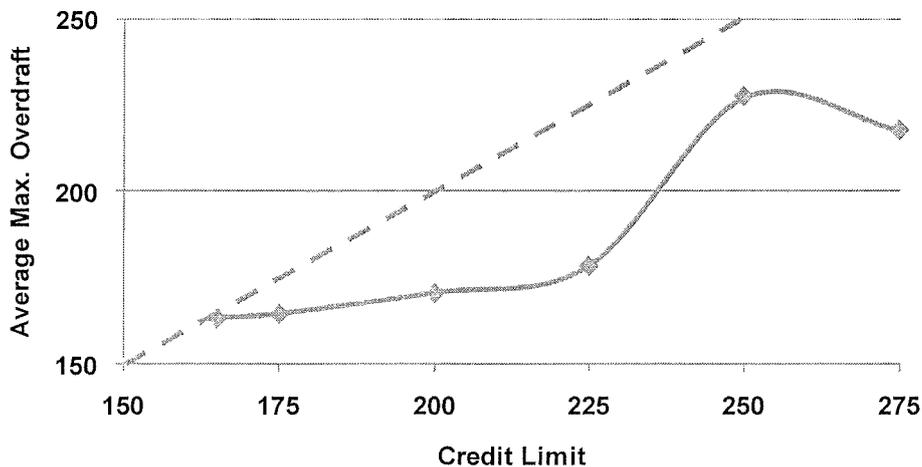
4. Effect of Credit Limit



รูปที่ 3.26 แผนภาพ Effect of Credit Limit ที่มีต่อค่า Project Time, MRD และ RRH

- ผลการทดลองในประเด็นข้อจำกัดด้านวงเงินเครดิตพบว่า จำนวนวงเงินเครดิตมีผลต่อค่า Max.Overdraft ของคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้ โดยที่จำนวนวงเงินเครดิตที่ต่ำเกินไปคือที่ต่ำกว่า 165 จะทำให้ไม่สามารถหาคำตอบได้เลย (ประเด็นทดสอบที่ 4.1 และ 4.2 ที่กำหนดให้วงเงินเครดิต = 150 และ 160 ตามลำดับ)
- และจากกราฟข้างล่าง หากวงเงินเครดิตสูงเกินความต้องการ คือสูงกว่า 250 (จนถึง 600) ก็ไม่ส่งผลต่อค่า Max.Overdraft ของคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้

4. Effect of Credit Limit



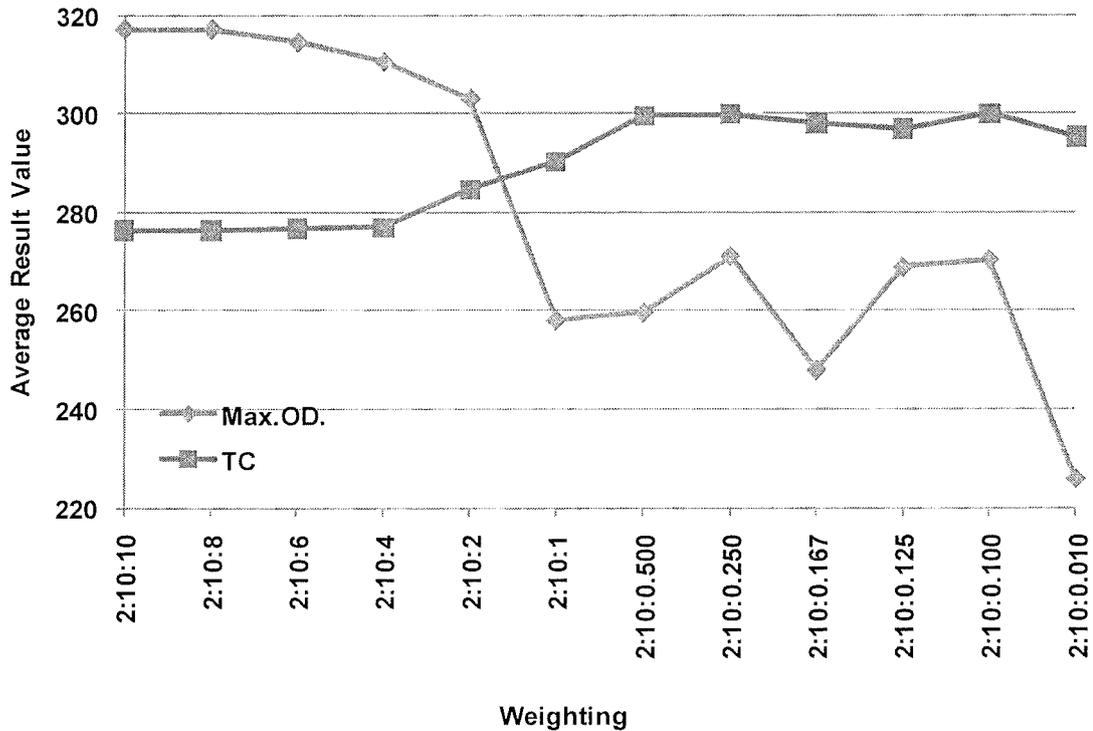
รูปที่ 3.27 แผนภาพ Effect of Credit Limit ที่มีต่อค่า Max.Overdraft

3.6.5 ประเด็นที่ 5 ผลของการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Multi-objective function weighting)

- จากกราฟผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่า ค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละวัตถุประสงค์ย่อยมีผลต่อค่า Total Cost, Max. Overdraft, Project Time, MRD, และ RRH โดยเฉลี่ย แต่มีขนาดของผลกระทบไม่มากนัก บางกรณียังคงได้คำตอบที่ดีที่สุดคำตอบเดิม
- ทั้งนี้ไม่ได้พิจารณาค่า Total Score เนื่องจากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละประเด็นทดลองทำให้ค่า Total Score ที่ได้ไม่อยู่บนพื้นฐานเดียวกันที่จะเปรียบเทียบกันได้
- เมื่อพิจารณาแยกส่วน จะเห็นได้ว่าค่าถ่วงน้ำหนักของวัตถุประสงค์ย่อย Total Cost จะส่งผลโดยตรงต่อค่า Total Cost โดยเฉลี่ยจากคำตอบที่ได้ โดยที่หากค่าถ่วงน้ำหนักนี้มีค่าความสำคัญ (เมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ย่อยอื่นๆ) น้อยกว่าจะทำให้ได้คำตอบที่มีค่า Total Cost โดยเฉลี่ยมากขึ้น อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์นี้จะเกิดขึ้นในช่วงแคบๆ จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่า ช่วงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนคือประเด็น 2:10:4 ไปจนถึง 2:10:0.500 ส่วนช่วงนอกจากนี้จะได้ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ที่คงที่ในแนวขนาน ทั้งนี้ น่าจะขึ้นกับโจทย์ด้วย
- ในทางตรงข้าม หากค่าถ่วงน้ำหนักของวัตถุประสงค์ย่อย Total Cost มีความสำคัญน้อยลงจะทำให้ค่า Max. Overdraft โดยเฉลี่ยที่ได้จากคำตอบมีค่าลดลง ซึ่งอธิบายได้ว่า จากการวิเคราะห์ในประเด็นการทดสอบก่อนหน้า พบว่าค่า Max.Overdraft มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับค่า MRD, RRH ซึ่งการลดความสำคัญของวัตถุประสงค์ย่อย

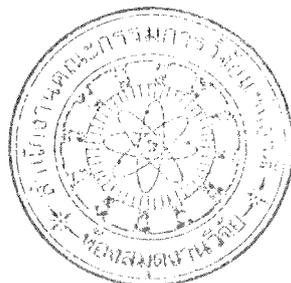
Total Cost จะเสมือนกับเพิ่มความสำเร็จของวัตถุประสงค์ย่อย MRD และ RRH ดังนั้นจึงทำให้ได้ค่า Max.Overdraft ลดลงหรือได้ผลที่ดีขึ้นนั่นเอง

5. Effect of Multi-objective Function Weighting

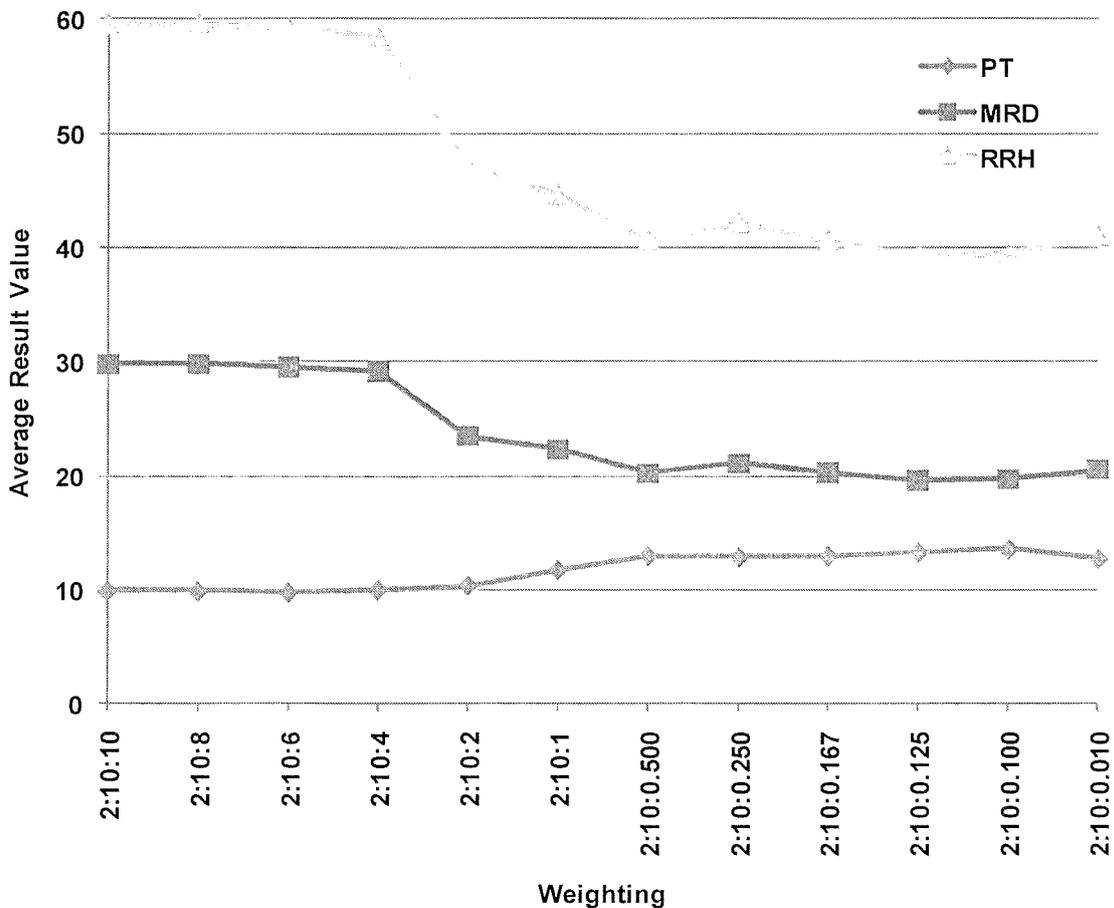


รูปที่ 3.28 แผนภาพ Effect of Multi-objective function weighting ที่มีต่อค่า Max. Overdraft และ Total Cost

- และ หากค่าถ่วงน้ำหนักของวัตถุประสงค์ย่อย Total Cost มีความสำคัญน้อยลง จะเสมือนกับเพิ่มความสำเร็จของวัตถุประสงค์ย่อย MRD และ RRH ดังนั้นจึงทำให้เห็นผลกระทบต่อค่า MRD และ RRH ค่อนข้างชัดเจน กล่าวคือ ทำให้ได้ค่า MRD และ RRH ลดลงโดยเฉลี่ยหรือได้ผลที่มีประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากรดีขึ้นนั่นเอง
- ส่วนความสัมพันธ์กับค่า Project Time นั้นพบว่าหากค่าถ่วงน้ำหนักของวัตถุประสงค์ย่อย Total Cost มีความสำคัญน้อยลงจะทำให้ค่า Project Time เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย ทั้งนี้อธิบายได้ว่า Project Time กับค่า MRD, RRH น่าจะมีความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างกันอยู่ เมื่อค่า MRD, RRH ลดลงทำให้ค่า Project Time เพิ่มขึ้น



5. Effect of Multi-objective Function Weighting



รูปที่ 3.29 แผนภาพ Effect of Multi-objective function weighting ที่มีต่อค่า Project Time, MRD, และ RRH

3.7 สรุปผลการพัฒนา

การสร้างโมเดลปัญหาการวางแผนแบบบูรณาการการบริหารทรัพยากรโครงการ (Integrated Common Resource Project Scheduling Problem: ICRPSP) ขึ้นมาในการวิจัยนี้ เพื่อที่จะได้เครื่องมือใหม่ ที่สามารถวางแผนงานโครงการก่อสร้างอย่างสมบูรณ์รอบด้าน พิจารณา ปัจจัยสำคัญต่างๆที่เกี่ยวข้องไปพร้อมกันในคราวเดียว ซึ่งจะทำให้ได้แผนงานที่ประสิทธิภาพดี สมเหตุสมผล สอดคล้องกับสภาพข้อจำกัดจริงของทรัพยากรหลักต่างๆของโครงการ อันได้แก่ เวลา ต้นทุน วัสดุ แรงงาน/เครื่องจักร และเงินสด ซึ่งโมเดลปัญหาการวางแผนงานในงานวิจัยอื่นๆที่ผ่านมาไม่ได้พิจารณาทรัพยากรหลักของโครงการเหล่านี้รอบด้านในคราวเดียวกัน ดังนั้นแผนงาน คำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากโมเดล ICRPSP นี้จึงให้แผนงานที่มีประสิทธิภาพดีกว่า

ขั้นตอนการพัฒนาโมเดล ICRPSP นั้นได้จัดทำขึ้นเป็นลำดับ โดยเริ่มจากการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ของโมเดลปัญหาสำหรับการหาคำตอบที่ดีที่สุด ทั้งนี้สมการที่สร้างขึ้นจะสะท้อนเงื่อนไข ข้อจำกัด และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของทรัพยากรหลักต่างๆ รวมทั้งสมการที่ใช้ใน

การวัดประสิทธิภาพของแผนงานคำตอบ ที่ใช้ดัชนีหลายอันประกอบกันในการชี้วัดประสิทธิภาพ หลังจากได้ผลการแล้วจึงการโปรแกรมลงใน Spreadsheet ที่เลือกใช้คือ Microsoft Excel ได้ผลเป็นไฟล์ที่ใช้คำนวณค่าของโมเดลปัญหาและเพื่อการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องมือสำเร็จรูปคือ EvolverTM ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของโมเดล ICRPSP

การทดสอบโมเดล ICRPSP ที่สร้างขึ้นแล้ว ได้ทดสอบกับโจทย์ของโครงการก่อสร้าง ตัวอย่างที่อ้างอิงมาจากงานวิจัยอื่นที่เป็นที่ยอมรับ โดยออกแบบการทดสอบออกเป็น 5 ประเด็น เพื่อให้ครอบคลุมปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อแผนงานคำตอบที่ดีที่สุด ได้แก่ ผลของคำตอบเริ่มต้น ผลของข้อจำกัดด้านระยะเวลาสัญญา ผลของข้อจำกัดด้านจำนวนทรัพยากรดำเนินงาน ผลของข้อจำกัดด้านวงเงินเครดิต และผลของการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ได้ผลสรุปดังนี้

คำตอบเริ่มต้นส่งผลต่อแผนงานคำตอบที่ดีที่สุดที่ค้นหาได้ โดยคำตอบเริ่มต้นควรกำหนดให้เป็นแผนงานอย่างรวดเร็วหรืออย่างง่ายที่มีความยืดหยุ่นในการหาคำตอบที่ดีต่อไป และไม่ควรใช้คำตอบเริ่มต้นเป็นแผนงานที่ดีอยู่แล้ว หรือแผนงานที่ซับซ้อน เพราะจะทำให้ไม่มีความยืดหยุ่นในการหาคำตอบที่ดีกว่าต่อไป และจะทำให้การค้นหาติดกับของใน Local optima

ข้อจำกัดด้านระยะเวลาสัญญา ส่งผลแผนงานคำตอบที่ดีที่สุดที่ค้นหาได้ โดยที่สัมพันธ์กับโจทย์ปัญหา ซึ่งในแต่ละโจทย์ปัญหาจะมีแผนงานอย่างรวดเร็ว (Earliest start) ที่ให้ค่าระยะเวลาของโครงการอย่างรวดเร็วอยู่แล้ว หากกำหนดค่าระยะเวลาสัญญาน้อยกว่าค่าระยะเวลาของโครงการอย่างรวดเร็ว มากเกินไปจะทำให้ไม่มีคำตอบ แต่หากกำหนดค่าระยะเวลาสัญญามากกว่าค่าระยะเวลาของโครงการอย่างรวดเร็ว มากเกินไปก็จะไม่ส่งผลต่อคำตอบที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตามจากการพิจารณาคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้พบว่า ค่าระยะเวลาของโครงการอย่างรวดเร็วเท่ากับ 10 เดือน แต่ค่าระยะเวลาของโครงการของคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากับ 13 เดือน จึงแสดงว่าแผนงานที่ดีควรยืดระยะเวลาโครงการจากอย่างรวดเร็วออกไปอีก 3 เดือน

ข้อจำกัดด้านจำนวนทรัพยากรดำเนินงาน ส่งผลแผนงานคำตอบที่ดีที่สุดที่ค้นหาได้ หากกำหนดค่าจำนวนทรัพยากรต่ำเกินไปจะทำให้ไม่มีคำตอบหรือหาคำตอบที่ดีได้ยาก (ไม่ยืดหยุ่น) อย่างไรก็ตามหากจำนวนทรัพยากรมากเกินความต้องการจะไม่เกิดผลกระทบใด โดยในช่วงที่มีความอ่อนไหว จำนวนทรัพยากรที่มากกว่าจะให้แผนงานคำตอบที่ดีกว่า เนื่องจากทำให้ Total Cost, Project Time, RID ลดลง

ข้อจำกัดด้านวงเงินเครดิต ส่งผลแผนงานคำตอบที่ดีที่สุดที่ค้นหาได้ โดยจากการพิจารณาคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้ในแต่ละครั้งพบว่า มีคำตอบที่ได้หลากหลายไม่ซ้ำกัน โดยที่จำนวนวงเงินเครดิตที่ต่ำเกินไปจะทำให้ไม่สามารถหาคำตอบได้เลย และหากจำนวนวงเงินเครดิตสูงเกินความต้องการก็จะไม่ส่งผลต่อแผนงานคำตอบที่ค้นหาได้ นอกจากนี้จำนวนวงเงินเครดิตยังมีผลต่อค่า Max.Overdraft ของคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้ โดยหากวงเงินเครดิตมากขึ้นจะทำให้ค่า Max.Overdraft ของคำตอบเพิ่มมากขึ้น (แต่ Total Score ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก) ทั้งนี้เกิดขึ้นในช่วงที่มีความอ่อนไหว

ค่าถ่วงน้ำหนักของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ส่งผลต่อแผนงานคำตอบที่ดีที่สุดที่ค้นหาได้ในช่วงแคบๆ ซึ่งหากฟังก์ชันที่มีความอ่อนไหวแล้วค่าถ่วงน้ำหนักจะไม่มีผลต่อแผนงานคำตอบที่ค้นหาได้ โดยที่ค่าถ่วงน้ำหนักที่มากหรือให้ความสำคัญมากกับวัตถุประสงค์ย่อยใด จะได้คำตอบที่ให้ค่าวัตถุประสงค์ย่อยนั้นดีขึ้น แต่กลับต้องแลกด้วยค่าวัตถุประสงค์ย่อยที่เหลือแยกลง

ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าโมเดล ICRPSP ที่สร้างขึ้นเพื่อบูรณาการปัจจัยของทรัพยากรหลักทั้งหมดของโครงการ สามารถได้รับผลกระทบจากค่าปัจจัยของทรัพยากรหลักทั้งหมดของโครงการ โดยทำให้ได้แผนงานคำตอบของโมเดลดีหรือไม่ดี และมีคำตอบหรือไม่มีคำตอบได้ ดังนั้นโมเดลนี้จึงสามารถเป็นเครื่องมือช่วยนักวางแผนตัดสินใจกำหนดค่าปัจจัยของทรัพยากรหลักทั้งหมดของโครงการที่เหมาะสมหรือตามจำนวนที่มีอยู่ เพื่อให้ได้แผนงานคำตอบที่ดีที่สุดและมีประสิทธิภาพดีขึ้นได้