



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การกำหนดตารางงานแต่ละทรัพยากรด้วยเทคนิคทางพันธุศาสตร์

Optimizing individual resource assignment using genetic algorithm

ชาญวิทย์ กังพานิช* และ สุนีรัตน์ กุศลาลัย

Chanwit Kangpanit* and Suneerat Kusalasai

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand 10900

Received June 2012

Accepted November 2012

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์หา กำหนดเวลาทำงานของกิจกรรมมักอาศัยวิธีเส้นทางวิกฤต (Critical Path Method, CPM) ที่พิจารณาลำดับการทำงานตามความสัมพันธ์ทางเทคนิคและทฤษฎีการจัดสรรทรัพยากรในการตรวจสอบภาพรวมความต้องการทรัพยากรในแต่ละวัน ซึ่งเทคนิคการพิจารณาความต้องการทรัพยากรนี้มีได้คำนึงถึงตารางการทำงานของทรัพยากรแต่ละรายในโครงการก่อสร้างทั่วไป หัวหน้างานจะเป็นผู้ทำหน้าที่จัดสรรและระบุหน้าที่ของคนงานหรือเครื่องจักรให้ทำงานในแต่ละกิจกรรม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วหัวหน้างานจะจัดสรรทรัพยากรเมื่อใกล้ถึงกำหนดเวลาเริ่มต้นของแต่ละงาน ทำให้ไม่ทราบตารางเวลาที่แน่นอนของคนงานแต่ละราย แม้ว่าหัวหน้างานจะสามารถจัดสรรทรัพยากรได้อย่างต่อเนื่องและมีต้นทุนที่ต่ำ แต่บางครั้งการจัดสรรของหัวหน้างานอาจทำให้เกิดการโยกย้ายงานภายในกิจกรรมทำให้การดำเนินงานของทรัพยากรบางรายขาดประสิทธิภาพอันเนื่องมาจากขาดความต่อเนื่องในการเรียนรู้ในการทำงาน (learning curve effect) บทความนี้ได้เสนอแนวทางการใช้เทคนิคทางพันธุศาสตร์ (Genetic Algorithm, GA) เพื่อช่วยในการค้นหารูปแบบการกำหนดแผนการทำงานของกิจกรรมและตารางการทำงานของแต่ละทรัพยากรที่ทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทรัพยากรมีค่าต่ำที่สุด กรณีที่มีทรัพยากรเพียงพอต่อความต้องการ โดยมีดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของแผนงานที่ประกอบไปด้วยจำนวนการบอกเลิกจ้างและการจ้างกลับเข้าทำงาน จำนวนวันว่างงาน และจำนวนรวมทรัพยากรที่โครงการต้องการ โดยได้แสดงการเปรียบเทียบการจัดสรรทรัพยากรที่ได้จากแผนงาน 5 รูปแบบ ได้แก่ 1) early start schedule 2) late start schedule 3) M_x schedule 4) RRH schedule และ 5) RID schedule ผ่านโครงการตัวอย่าง จากผลการศึกษพบว่าในกรณีที่ผู้ไม่คิดรวมวันว่างงาน แผนงาน M_x ใช้ต้นทุนในการจัดสรรทรัพยากร และจำนวนรวมทรัพยากรที่โครงการต้องการต่ำสุด ส่วนในกรณีที่คิดรวมวันว่างงาน แผนงาน RID ใช้ต้นทุนในการจัดสรรทรัพยากรต่ำที่สุด และ แผนงาน RID และ RRH ให้จำนวนรวมทรัพยากรที่โครงการต้องการต่ำสุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเลือกหา กำหนดเวลาทำงานควรมีการวางแผนตารางการทำงานของทรัพยากรควบคู่กันไปเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงสุดตามที่ผู้วางแผนต้องการ ซึ่งไม่มีรูปแบบของแผนงานใดที่ส่งผลให้ตารางการทำงานของทรัพยากรมีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับทุกกรณี

คำสำคัญ : แผนงานก่อสร้าง การจัดสรรทรัพยากร การปรับเรียบทรัพยากร เทคนิคทางพันธุศาสตร์ ตารางการทำงานทรัพยากร

*Corresponding Author.

Email address: kkn_keaw@hotmail.com

Abstract

Construction activities are mostly determined by the technique known as critical path method (CPM) based on technical relationships and by resource allocation techniques which is used to examine daily resource requirement. These resource allocation techniques analyze the overall resource profile of a project without considering working timetable of any individual resource. Generally, in practice, an assigned foreman designated by a project manager will be responsible for assigning resources to a particular activity. Most of the time, this assignment is done when an activity is about to start. Therefore, working timetables of an individual resource cannot be known in advance. Although most foremen can allocate resources at low cost, there are many occasions that workers are forced to be idle between jobs or to suddenly change to different tasks. These could result in inefficiency as they affect workers' income and their learning process. This paper proposes the use of genetic algorithm technique to assist in the search for a work plan resulting in the most cost-effective working timetable of an individual resource in a construction project with unlimited resources. In this study, the efficiency is measured in three dimensions including: the number of releases and re-hires, the number of resource idle days and the total number of resources required. To identify the most cost-effective schedule, five different schedules of a project example were generated. They are 1) early start schedule 2) late start schedule 3) min M_x schedule 4) min RRH schedule and 5) min RID schedule. Then the respective resource allocations are compared. The results show that, in the case that idle days were considered unpaid days, the M_x schedule delivered the lowest cost as well as the lowest number of resource requirement. In the case that resources were paid on idle days, the RID schedule was found to incur the lowest cost while RRH & RID schedules required the least number of total resources. Based on the study's findings, it is recommended that, schedule analysis should be carried out with the planning of the individual resource timetable to be able to manage project resource efficiently and cost-effectively.

Keywords : Construction scheduling, Resource assignment, Resource leveling, Genetic algorithms, Resource working timetable

1. บทนำ

การวางแผนงานโดยทั่วไปผู้วางแผนมักใช้วิธีเส้นทางวิกฤตเพื่อวิเคราะห์หา กำหนดเวลาการทำงานของกิจกรรม ซึ่งแผนงานดังกล่าวอาจก่อให้เกิดความผันผวนของความต้องการการใช้ทรัพยากรในแต่ละวันทำให้การดำเนินงานของทรัพยากรขาดประสิทธิภาพ จากการค้นคว้างานวิจัยในอดีตพบว่านักวิจัยหลายท่านได้พัฒนาหลักการเพื่อลดความผันผวนของอัตราการใช้ทรัพยากรรายวันที่เรียกกันว่าการจัดทรัพยากรให้เรียบ โดยเทคนิคดังกล่าวประกอบด้วย Minimum Moment Method (M_x) [1, 3-4, 9, 10, 14], Absolute difference between resource consumption in consecutive time periods (Abs-Diff) [12], Deviation between actual resource usage and the desirable or uniform resource usage (Res-Dev) [2, 11, 13], Sum of squares of resource change (SRC) [1, 6], Release and

Re-Hire (RRH) [7], Resource Idle Days (RID) [7] อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการใช้เทคนิคการจัดทรัพยากรที่กล่าวมานั้นคือกำหนดเวลาทำงานของแต่ละกิจกรรมที่ทำให้จำนวนรวมการใช้ทรัพยากรในแต่ละวันหรือ Resource profile ตลอดระยะเวลาโครงการอยู่ในรูปแบบที่กำหนดไม่ว่าจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือรูปภูเขา โดยมีได้พิจารณาถึงตารางการทำงานของแต่ละทรัพยากร ดังนั้นแผนงานดังกล่าวอาจทำให้ 1) แผนการทำงานของคนงานแต่ละคนขาดความต่อเนื่องทำให้เกิดการบอกเลิกจ้างและจ้างกลับตลอดช่วงระยะเวลาโครงการ กรณีทรัพยากรเป็นเครื่องจักรหนักที่มาจากการทำงานอาจจำเป็นต้องจ่ายค่าเช่าในวันที่เครื่องจักรไม่ได้ใช้งาน 2) ขาดแรงดึงดูดและจูงใจต่อคนงานที่เป็นช่างฝีมือเนื่องจากขาดความมั่นคงของรายได้ 3) ประสิทธิภาพการทำงานอันเนื่องมาจากการเรียนรู้งาน (Learning curve effect) ขาดความต่อเนื่อง 4) ผู้รับเหมาอาจจำเป็นต้องรักษาระดับ

ทรัพยากรในช่วงที่ความต้องการทรัพยากรอยู่ในระดับต่ำ เพื่อป้องกันการขาดแคลนหากต้องการภายหลัง [7]

จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการก่อสร้างหลายรายพบว่าโดยทั่วไปวิศวกรควบคุมงาน (Site engineer) หรือหัวหน้างาน (Foreman) มักถูกมอบหมายให้ทำหน้าที่จัดสรรคนงานหรือเครื่องจักรให้ทำงานในแต่ละกิจกรรม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการจัดสรรอาจเป็นรายวันหรือรายสัปดาห์ หรือเมื่อถึงกำหนดเริ่มต้นของแต่ละงาน ทำให้ไม่ทราบตารางที่แน่นอนของคนงานแต่ละรายและตารางการใช้งานแต่ละเครื่องจักรล่วงหน้า แม้ว่าหัวหน้างานจะจัดสรรทรัพยากรได้อย่างต่อเนื่องและมีต้นทุนที่ต่ำ แต่บางครั้งการจัดสรรของหัวหน้างานอาจทำให้เกิดการโยกย้ายงานภายในกิจกรรมทำให้การดำเนินงานของทรัพยากรบางรายขาดประสิทธิภาพอันเนื่องมาจากขาดความต่อเนื่องในการเรียนรู้ในการทำงาน (Learning curve effect)

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะเสนอแนวทางการจัดสรรทรัพยากรแต่ละราย โดยอาศัยเทคนิคทางพันธุศาสตร์ (Genetic algorithm, GA) รวมถึงการเปรียบเทียบกำหนดเวลาการทำงานในรูปแบบที่แตกต่างกันโดยอาศัยดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของแผนงานที่พิจารณาถึงตารางการทำงานของแต่ละทรัพยากร

2. การจัดทรัพยากรให้เรียบ (Resource leveling)

เทคนิค Resource leveling มีวัตถุประสงค์ที่จะพยายามลดความผันผวนของจำนวนรวมการใช้ทรัพยากรในแต่ละวัน โดยมีให้ระยะเวลาของโครงการเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำได้โดยการเลื่อนกิจกรรมที่ไม่วิกฤต (Noncritical activity) ภายในระยะเวลาลอยตัวรวม (Total float) ในการเลื่อนกิจกรรมแต่ละครั้งค่าดัชนีชี้วัดความเรียบของการใช้ทรัพยากรจะถูกตรวจสอบให้เป็นไปตามรูปแบบที่ผู้วางแผนกำหนด ซึ่งมีนักวิจัยได้เสนอดัชนีในการคำนวณ Resource leveling หลายดัชนีด้วยกันดังนี้

2.1 โมเมนต์รอบแกน x

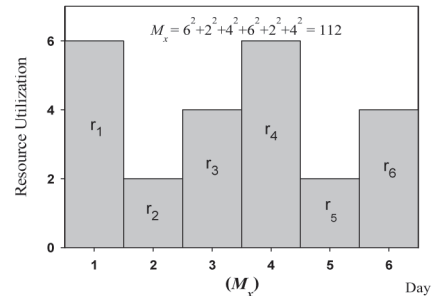
โมเมนต์รอบแกน x หรือ Minimum moment method (M_x) [1, 3 – 4, 9, 10, 14] คือ ผลรวมกำลังสองของจำนวนการใช้ทรัพยากรในแต่ละวัน คำนวณได้ตามสมการที่ 1 ซึ่งการเลื่อนกิจกรรมที่ไม่วิกฤตแต่ละครั้งค่า M_x ภายหลังการเลื่อนควรมีค่าลดลง โดยค่า M_x ที่น้อยที่สุดจะทำให้ resource

profile มีลักษณะเข้าใกล้รูปทรงสี่เหลี่ยม

$$M_x = \sum_{t=1}^T (r_t)^2 \quad (1)$$

โดยที่

- r_t = ระดับการใช้ทรัพยากรในวันที่ t
- r_T = ระดับการใช้ทรัพยากรในวันสุดท้ายของโครงการ
- t = ระยะเวลา (วัน)

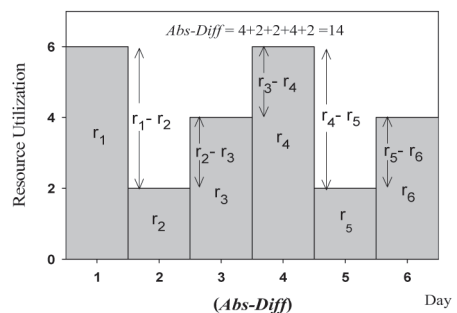


รูปที่ 1 รูปที่ 1 โมเมนต์รอบแกน $x(M_x)$

2.2 ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของผลต่างความต้องการทรัพยากรในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกัน

ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของผลต่างความต้องการทรัพยากรในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกันหรือ Absolute difference between resource consumption in consecutive time periods (Abs-Diff) [12] คือผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความแตกต่างระหว่างการใช้ทรัพยากรในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกัน หรือผลรวมการเปลี่ยนแปลงระดับการใช้ทรัพยากรรายวัน คำนวณได้ตามสมการที่ 2

$$Abs - Diff = \left[\sum_{t=2}^T |r_{t-1} - r_t| \right] \quad (2)$$

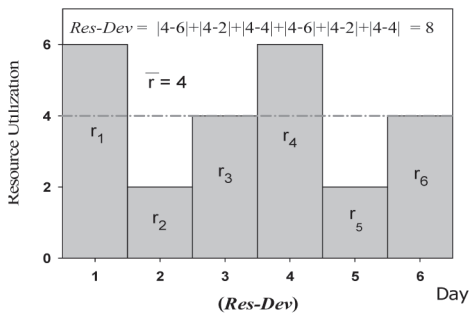


รูปที่ 2 ค่าสัมบูรณ์ของผลต่างความต้องการทรัพยากรในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกัน (Abs-Diff)

2.3 ค่าเบี่ยงเบนระหว่างการใช้ทรัพยากรที่เกิดขึ้นจริงและการใช้ทรัพยากรที่ต้องการ

ค่าเบี่ยงเบนระหว่างการใช้ทรัพยากรที่เกิดขึ้นจริงและการใช้ทรัพยากรที่ต้องการ หรือ Deviation between actual resource usage and the desirable or uniform resource usage (Res-Dev) [2, 11, 13] คือผลรวมความแตกต่างหรือระยะห่างระหว่างอัตราการใช้ทรัพยากรในแต่ละวันกับอัตราการใช้ทรัพยากรเฉลี่ย คำนวณได้ตามสมการที่ 3

$$Res-Dev = \left[\sum_{t=1}^T |\bar{r} - r_t| \right] \quad (3)$$

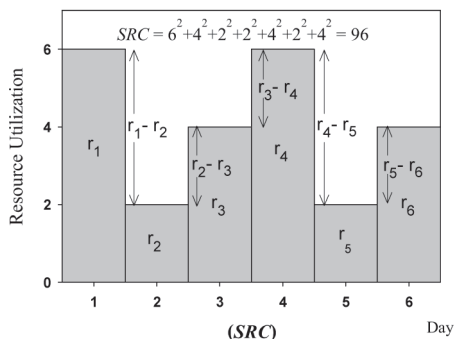


รูปที่ 3 ค่าเบี่ยงเบนระหว่างการใช้ทรัพยากรที่เกิดขึ้นจริงและการใช้ทรัพยากรที่ต้องการ (Res-Dev)

2.4 ผลรวมกำลังสองของทรัพยากรที่เปลี่ยนแปลง

ผลรวมกำลังสองของทรัพยากรที่เปลี่ยนแปลง หรือ Sum of squares of resource change (SRC) [1, 6] คือผลรวมกำลังสองของผลต่างการใช้ทรัพยากรที่ต่อเนื่องกัน คำนวณได้ตามสมการที่ 4

$$SRC = \left[\sum_{t=2}^T r_1^2 + (r_{t-1} - r_t)^2 + r_T^2 \right] \quad (4)$$



รูปที่ 4 ผลรวมกำลังสองของทรัพยากรที่เปลี่ยนแปลง (SRC)

2.5 การเลิกจ้างแล้วจ้างกลับ

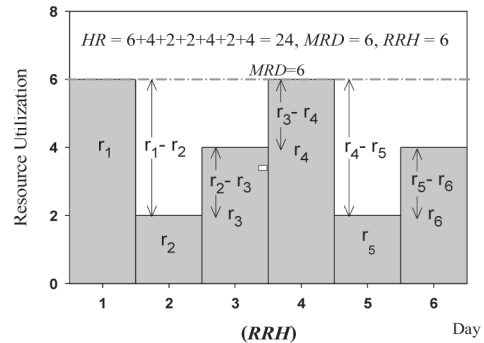
การเลิกจ้างแล้วจ้างกลับ หรือ Release and re-hire (RRH) [7] คือจำนวนรวมทั้งหมดของทรัพยากรที่จำเป็นต้องปล่อยออกไปในช่วงความต้องการทรัพยากรต่ำ และมีการจ้างเพิ่มในช่วงความต้องการสูง คำนวณได้ตามสมการที่ 5 ถึง 8

$$RRH = H - MRD \quad (5)$$

$$H = \frac{1}{2} \times HR \quad (6)$$

$$HR = \left[r_1 + \sum_{t=2}^T |r_{t-1} - r_t| + r_T \right] \quad (7)$$

$$MRD = \text{Max}(r_1, r_2, \dots, r_T) \quad (8)$$

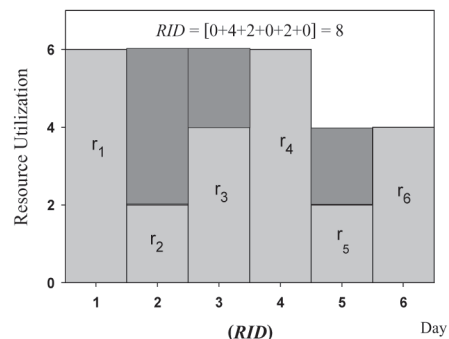


รูปที่ 5 จำนวนครั้งการเลิกจ้างแล้วจ้างกลับ

2.6 วันที่ไม่มีการใช้งานทรัพยากร

วันที่ไม่มีการใช้งานทรัพยากร หรือ Resource idle days (RID) [7] คือผลรวมของจำนวนทรัพยากรไม่ถูกกำหนดหน้าที่รับผิดชอบระหว่างการจ้างงานตลอดระยะเวลาโครงการ คำนวณได้ตามสมการที่ 9

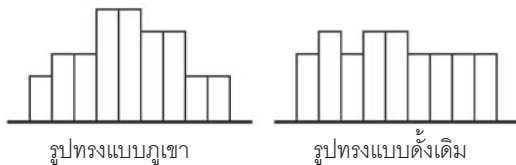
$$RID = \sum_{t=1}^T \left[\text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \text{Max}(r_1, r_2, \dots, r_t) \\ \text{Max}(r_t, r_{t-1}, \dots, r_T) \end{array} \right\} - r_t \right] \quad (9)$$



รูปที่ 6 วันที่ไม่มีการใช้งานทรัพยากร (RID)

รูปที่ 1 ถึงรูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าความเรียบของทรัพยากรของโครงการก่อสร้างตัวอย่างซึ่งมีระยะเวลาทำงานรวม 6 วัน ความต้องการการใช้ทรัพยากรในแต่ละวันเท่ากับ 6, 2, 4, 6, 2 และ 4 ตามลำดับ

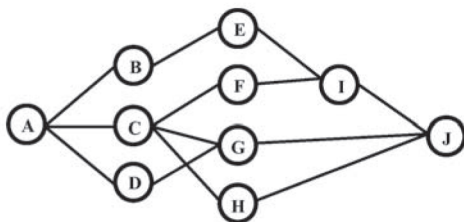
วิธีการจัดเรียบทรัพยากรแบบ M_x , Abs-Diff, Res-Dev และ SRC เป็นการจัดทรัพยากรที่ทำให้ resource profile มีลักษณะเข้าใกล้รูปทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งเป็นรูปแบบดั้งเดิม ส่วนหลักการ RRH และ RID นั้นเป็นความพยายามที่ทำให้จำนวนครั้งการเลิกจ้างและจ้างกลับรวมถึงจำนวนวันว่างงานที่น้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลให้ Resource profile มีรูปทรงภูเขาโดยจำนวนทรัพยากรที่ต้องการสูงสุดของยอดเขามีโอกาสที่จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากแผนงานที่มีการปรับเรียบตามความต้องการใช้ทรัพยากรรูปแบบดั้งเดิมดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 รูปทรงแบบภูเขา และรูปทรงแบบดั้งเดิม

3. การกำหนดเวลาทำงานของทรัพยากร

ตัวอย่างต่อไปนี้ต้องการแสดงให้เห็นว่ากำหนดเวลาทำงานหนึ่งๆ สามารถมีรูปแบบการจัดสรรแต่ละทรัพยากรให้เข้าทำงานได้หลากหลายรูปแบบ รูปที่ 8 แสดงโครงข่ายของโครงการ ขั้นตอนการทำงานของโครงการตัวอย่างซึ่งมีข้อมูลรายละเอียดตามตารางที่ 1 และสมมติให้ผู้วางแผนงานสามารถเลือกใช้ทรัพยากร ซึ่งในกรณีตัวอย่างนี้เป็นคนงานจากจำนวนทั้งหมด 15 คน ซึ่งมีค่าจ้างรายวันแสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 8 โครงข่ายของโครงการตัวอย่าง

ตารางที่ 1 ข้อมูลขั้นตอนการทำงาน ระยะเวลาทำงาน และทรัพยากรที่ต้องการ

กิจกรรม	เวลา (วัน)	กิจกรรม ก่อนหน้า	ทรัพยากร ที่ต้องการต่อวัน
A	3	-	3
B	2	A	4
C	6	A	3
D	3	A	4
E	3	B	5
F	2	C	5
G	6	C,D	2
H	2	C	4
I	3	E,F	2
J	2	G,H,I	5

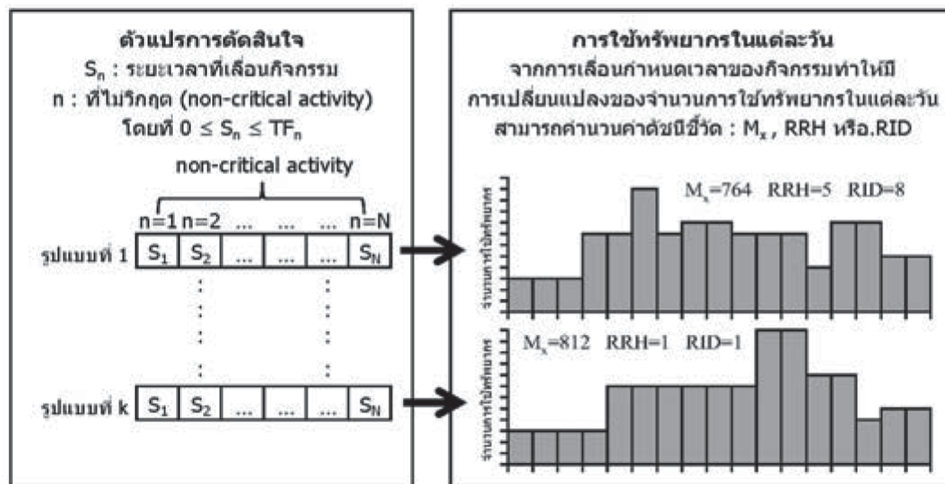
ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าใช้จ่ายรายวันของทรัพยากร

คนที่	คนงาน	ค่าแรง	คนที่	คนงาน	ค่าแรง
1	สมชาย	230	9	รักชาติ	230
2	สมศรี	230	10	สมใจ	295
3	มานะ	240	11	หมาย	300
4	ยุทธ	290	12	สามารถ	270
5	ยืนยง	270	13	ไกรสร	200
6	กร	250	14	กานต์	310
7	ประทีป	260	15	สมจิต	220
8	ชาย	275			

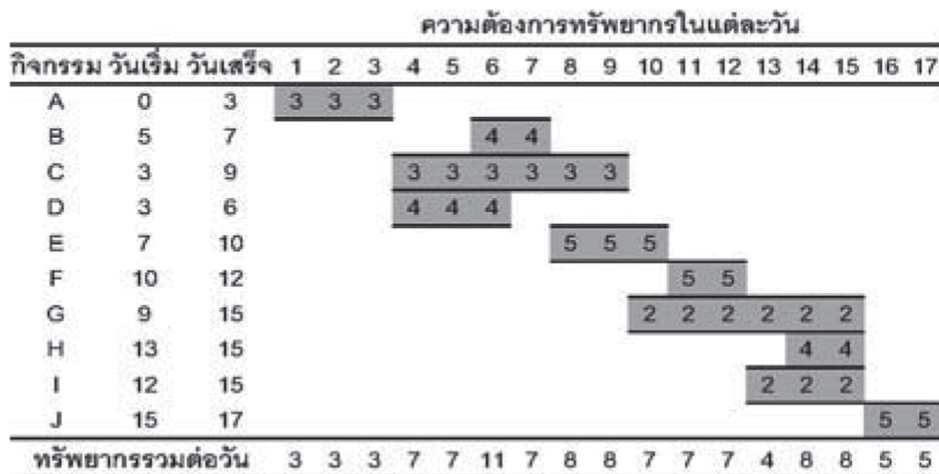
จากความสัมพันธ์ทางเทคนิค และระยะเวลาทำงานของแต่ละกิจกรรม สามารถวิเคราะห์หาคำหนดเวลาทำงานของกิจกรรมที่ทำให้จำนวนการใช้ทรัพยากรในแต่ละวันใกล้เคียงกับรูปแบบที่กำหนดได้จากหลายวิธี ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วิธีเทคนิคทางพันธุศาสตร์ (Genetic algorithm, GA) ซึ่ง GA เป็นเทคนิคในการช่วยหาคำตอบที่เหมาะสมและช่วยลดระยะเวลาในการค้นหาคำตอบในกรณีที่มีจำนวนตัวแปรในการคำนวณค่อนข้างมาก [8] ในการวิเคราะห์หาคำหนดเวลาทำงานของกิจกรรมทำได้โดยการใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นตามหลักการทางพันธุศาสตร์ซึ่งโปรแกรมจะสร้าง, พัฒนา และเปรียบเทียบโครโมโซมหลายรูปแบบ โดยแต่ละ

โครโมโซมจะมีค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งแต่ละยีนหมายถึงวันเริ่มต้นงานของแต่ละกิจกรรม (S_n) ดังนั้นค่ายีนที่โปรแกรมเลือกได้จะถูกกำหนดจากระยะเวลาลอยตัวรวม (Total Float, TF_n) ที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรมที่ไม่วิกฤต เพื่อลดค่าดัชนีชี้วัดดังแสดงในรูปที่ 9 (ซ้าย)

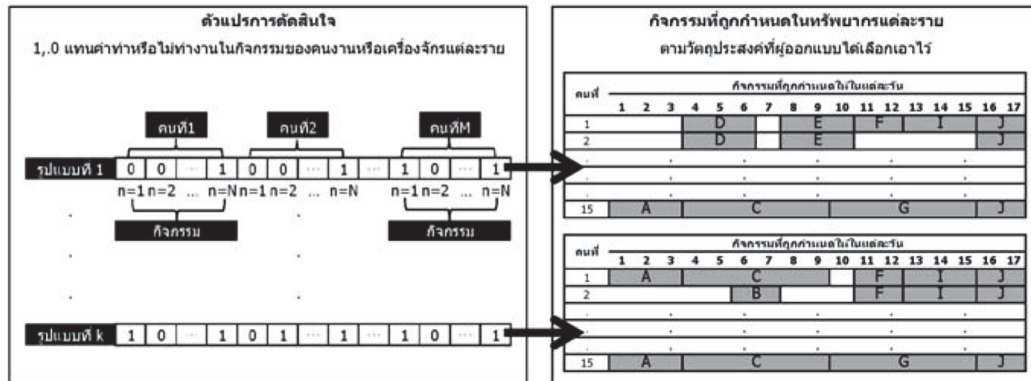
รูปที่ 9 (ขวา) แสดงตัวอย่างของ Resource profile ที่ได้จากการกำหนดเวลาทำงานของกิจกรรม 2 รูปแบบซึ่งให้ค่าดัชนีชี้วัดความเรียบที่แตกต่างกัน รูปแบบที่ 1 ให้ค่า M_x ที่ต่ำกว่าแต่ค่า RRH และ RID สูงกว่ารูปแบบที่ k ซึ่งเมื่อกำหนดให้โปรแกรมวิเคราะห์หาค่ากำหนดเวลาทำงานที่ทำให้ค่า M_x น้อยที่สุดพบว่าได้ผลดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 รูปแบบการจัดโครโมโซมเพื่อหาแผนงาน/กำหนดเวลาโดยการลดดัชนีชี้วัดความเรียบ



รูปที่ 10 แผนงาน/กำหนดเวลาทำงานของโมเมนตรอบแกน X (M_x schedule)



รูปที่ 11 รูปแบบการจัดโครโมโซมเพื่อหากิจกรรมที่ถูกกำหนดให้ในแต่ละทรัพยากร

เมื่อได้กำหนดเวลาการทำงานของกิจกรรมตามรูปที่ 10 ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคทางพันธุศาสตร์ในการกำหนดทรัพยากรเข้าทำงานในแต่ละกิจกรรมโดยมีรูปแบบการจัดสรร 3 วัตถุประสงค์ดังนี้ 1. ต้นทุนทรัพยากรต่ำที่สุด 2. ลดจำนวนวันว่างงานของแต่ละรายรวมต่ำที่สุด และ 3. ลดจำนวนครั้งของการไล่ออกและจ้างกลับของแต่ละทรัพยากรให้ต่ำที่สุด โดยวิธีการจัดรูปแบบโครโมโซมเพื่อหาคำตอบเป็นไปตามรูปที่ 11 (ซ้าย) ซึ่งโครโมโซมจะแบ่งเป็นโครโมโซมย่อยที่หมายถึงทรัพยากรแต่ละราย ในแต่ละโครโมโซมย่อยได้แบ่งเป็นยีนซึ่งหมายถึงทุกกิจกรรมที่ทรัพยากรมีโอกาสเข้าทำงานในโครงการ โดยที่ 1,0 บอกถึงการทำหรือไม่ทำงานในแต่ละกิจกรรมนั้นๆ ซึ่งผลของการจัดสรรทรัพยากรแต่ละรายแสดงในรูปที่ 11 (ขวา) และผลจากการจัดทรัพยากรแต่ละรายที่ให้ต้นทุนทรัพยากรต่ำที่สุดแสดงดังรูปที่ 12 และผลการจัดสรรทรัพยากรแต่ละรายที่ลดจำนวนวันว่างงานของแต่ละรายรวมต่ำที่สุดแสดงดังรูปที่ 13 และผลการจัดสรรทรัพยากรแต่ละรายที่ลดจำนวนของการไล่ออกและจ้างกลับให้ต่ำที่สุดแสดงดังรูปที่ 14

คนที่	กิจกรรมที่ถูกกำหนดให้ในแต่ละวัน																	RRH	RID	ต้นทุน
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
1	D						E		F		I		J					1	1	2,990
2	D						E		F		H		J					2	2	2,760
3	D						E		F		H							2	2	2,400
4																		0	0	-
5							B											0	0	540
6							D				E		F		H			2	2	2,500
7							B				E		F		H			1	3	1,820
8							B											0	0	550
9	A						C						F		I		J	1	1	3,680
10																		0	0	-
11																		0	0	-
12							B											0	0	540
13	A						C						G		J			0	0	3,400
14																		0	0	-
15	A						C						G		J			0	0	3,740
	3	3	3	7	7	11	7	8	8	7	7	7	4	8	8	5	5	9	11	24,920

รูปที่ 12 แผนการจัดสรรทรัพยากรที่ให้ต้นทุนต่ำสุด

คนที่	กิจกรรมที่ถูกกำหนดให้ในแต่ละวัน																	RRH	RID	ต้นทุน
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
1							D				E		F		I		J	1	1	2,990
2							D				E		F		H		J	2	2	2,760
3							D				E		F					1	1	1,920
4															H			0	0	580
5																		0	0	540
6																		0	0	1,250
7																		0	0	1,300
8																		0	0	550
9	A														F		I	1	1	3,680
10																		0	0	590
11																		0	0	900
12																		0	0	540
13	A														G		J	0	0	3,400
14																		0	0	620
15	A														G		J	0	0	3,740
	3	3	3	7	7	11	7	8	8	7	7	7	4	8	8	5	5	5	5	25,360

รูปที่ 13 แผนการจัดสรรทรัพยากรที่ลดจำนวนวันว่างงานของแต่ละรายรวมต่ำที่สุด

คนที่	กิจกรรมที่ถูกกำหนดให้ในแต่ละวัน																	RRH	RID	ต้นทุน
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
1							D				E		F		I		J	1	1	2,990
2							D				E		F		H		J	2	2	2,760
3							D				E		F					0	0	1,200
4															H			0	0	580
5																		0	0	540
6																		0	0	1,250
7																		1	3	1,820
8																		0	0	550
9	A														F		I	1	1	3,680
10																		0	0	590
11																		0	0	900
12																		0	0	540
13	A														G		J	0	0	3,400
14																		0	0	930
15	A														G		J	0	0	3,740
	3	3	3	7	7	11	7	8	8	7	7	7	4	8	8	5	5	5	7	25,470

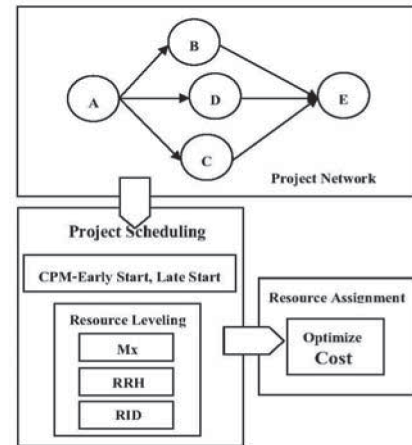
รูปที่ 14 แผนการจัดสรรทรัพยากรที่ลดจำนวนครั้งของการไล่ออกและจ้างกลับให้ต่ำที่สุด

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นได้ว่าผู้วางแผนมีทางเลือกหลากหลายในการจัดสรรกิจกรรมให้แต่ละทรัพยากรเพื่อเข้าทำงาน ซึ่งผู้วางแผนสามารถกำหนดเกณฑ์การจัดสรรเพื่อให้ได้กำหนดเวลาทำงานของแต่ละทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพตรงตามความต้องการ ซึ่งแผนการจัดสรรที่เกิดขึ้นมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ในการเลือก

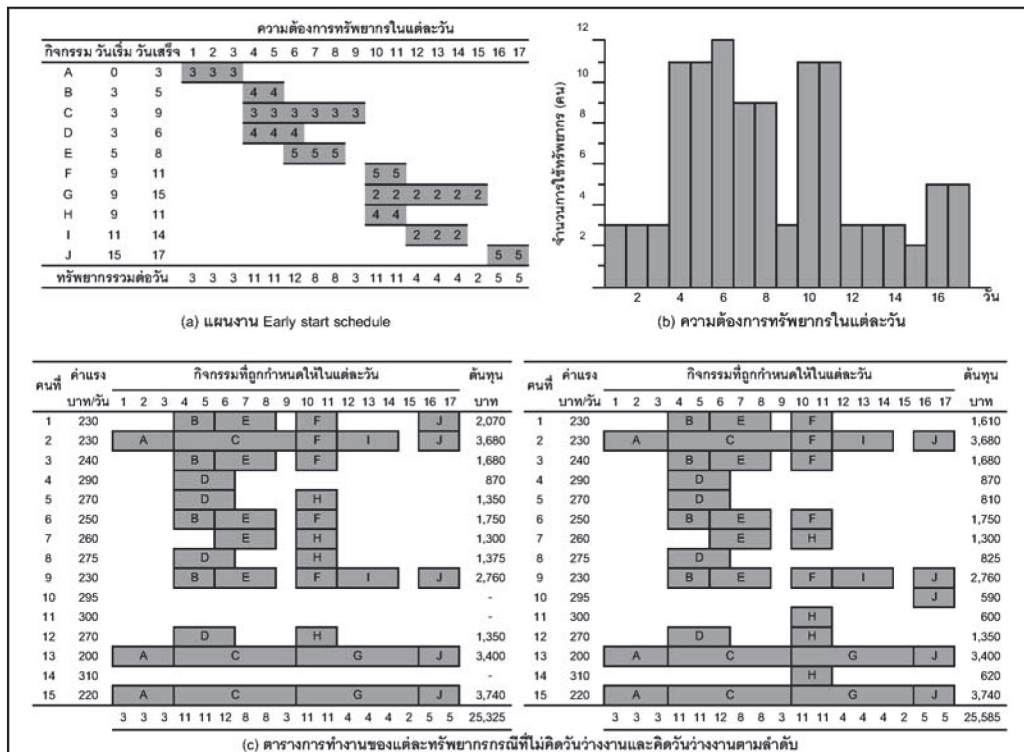
4. รูปแบบของแผนงานที่มีผลต่อประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากรแต่ละราย

ในส่วนที่จะกล่าวดังต่อไปนี้นี้จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของรูปแบบกำหนดเวลาทำงานที่มีต่อการจัดสรรทรัพยากรโดยอาศัยโครงการตัวอย่างเดียวกันในรูปที่ 8 ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์เป็นไปตามแผนภาพในรูปที่ 15 ซึ่งเริ่มจากการรับข้อมูลโครงข่ายที่ประกอบด้วยกิจกรรม ระยะเวลาทำงาน ความสัมพันธ์ทางเทคนิค จากนั้นวิเคราะห์หา กำหนดเวลาทำงานที่เร็วที่สุดและที่ช้าที่สุดและอาศัยเทคนิคทางพันธุศาสตร์ (genetic algorithm) ในการวิเคราะห์หาแผนงานตามหลักการจัดเรียงทรัพยากรเพื่อวิเคราะห์หาแผนการทำงานตามวิธีแบบ Mx, RRH และ RID ตามลำดับ เมื่อได้กำหนดเวลาทำงานของกิจกรรมทั้ง 5 รูปแบบ จึงทำการกำหนดทรัพยากรให้กับแต่ละกิจกรรมโดยอาศัยเทคนิคทางพันธุศาสตร์ ตามแนวทางที่กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ ในการศึกษานี้จะทำการเปรียบเทียบการจัดสรรทรัพยากรสำหรับเฉพาะกรณีที่ทำให้ต้นทุนทรัพยากรที่ถูกที่สุด โดยผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 16 ถึง 20 จากรูปจะเห็นว่าในแต่ละรูปแบบ

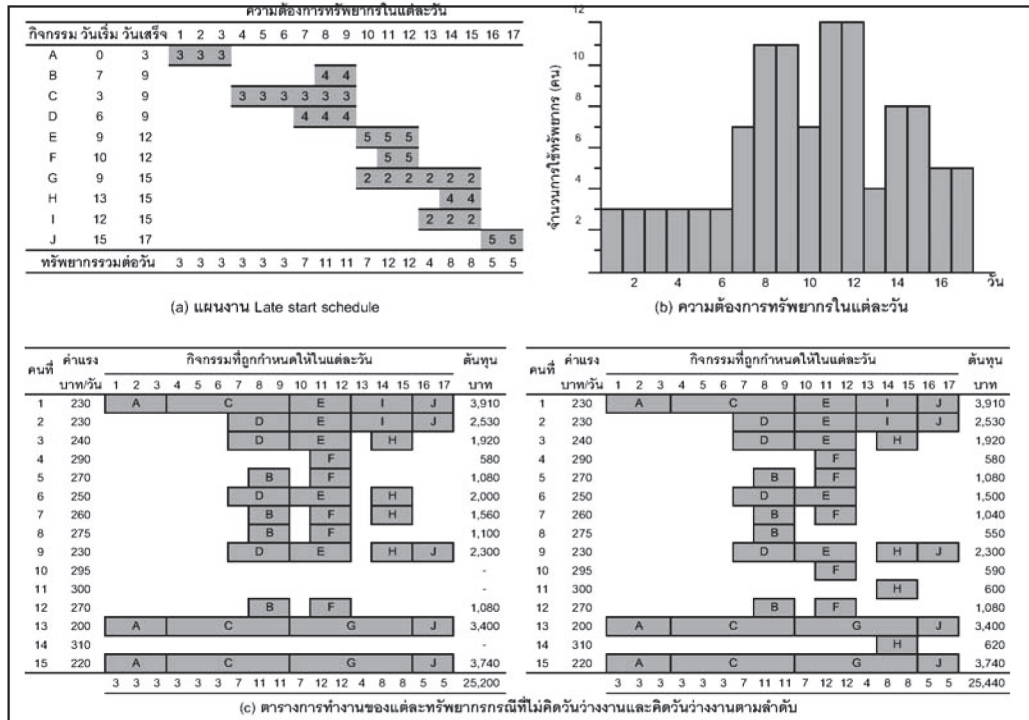
เปรียบเทียบต้นทุนทรัพยากรมี 2 กรณี คือ 1) ต้นทุนค่าใช้จ่ายไม่คิดวันที่ว่างงาน ส่วนใหญ่จะเกิดกับทรัพยากรที่เป็นแรงงานได้รับค่าแรงเป็นรายวัน 2) ต้นทุนค่าใช้จ่ายคิดรวมวันว่างงาน (idle days) โดยคิดตั้งแต่วันที่เริ่มงานจนถึงวันสุดท้ายของการทำงาน ส่วนมากเป็นกรณีการเช่าเครื่องจักร



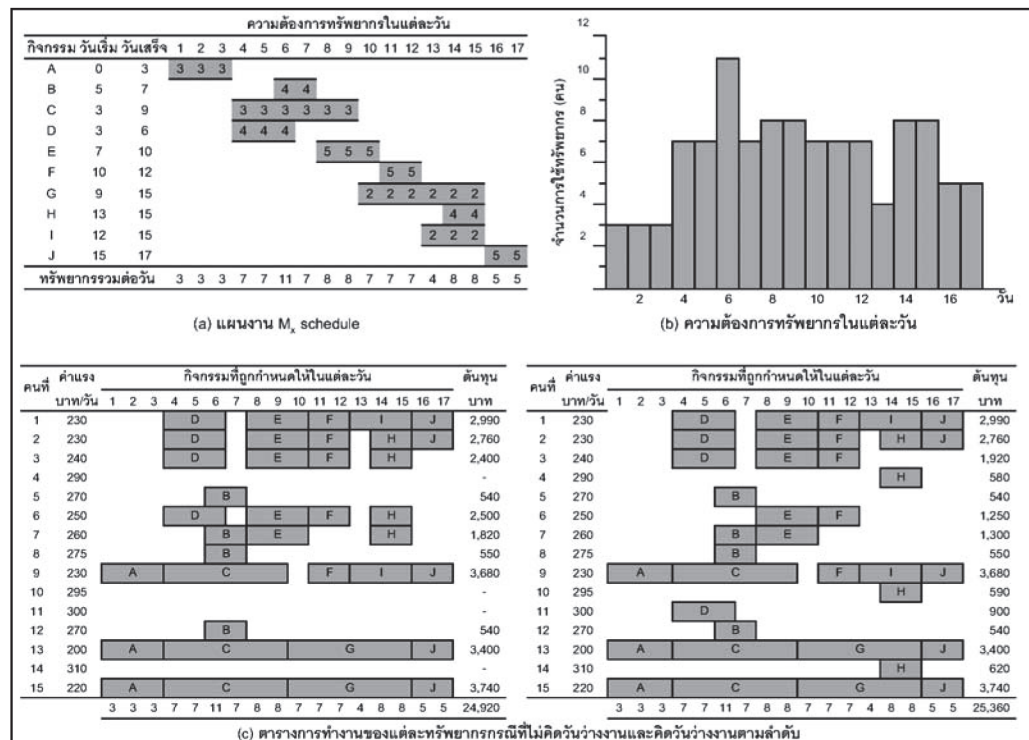
รูปที่ 15 ขั้นตอนการวิเคราะห์



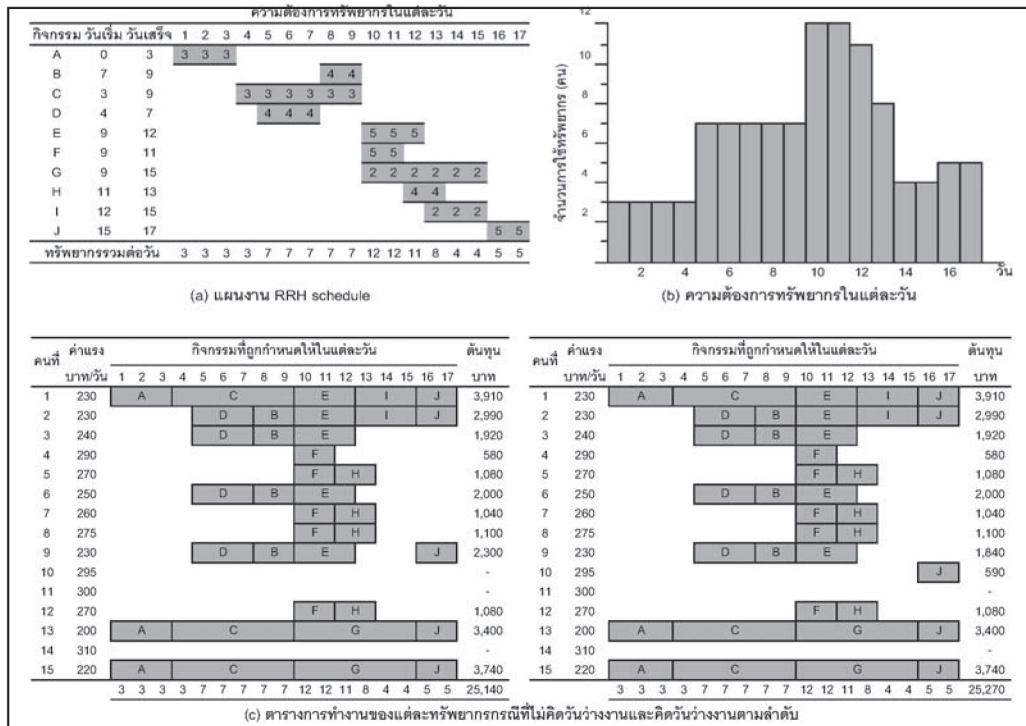
รูปที่ 16 กำหนดเวลาและตารางการทำงานของแต่ละทรัพยากรตามแผนงาน Early start schedule



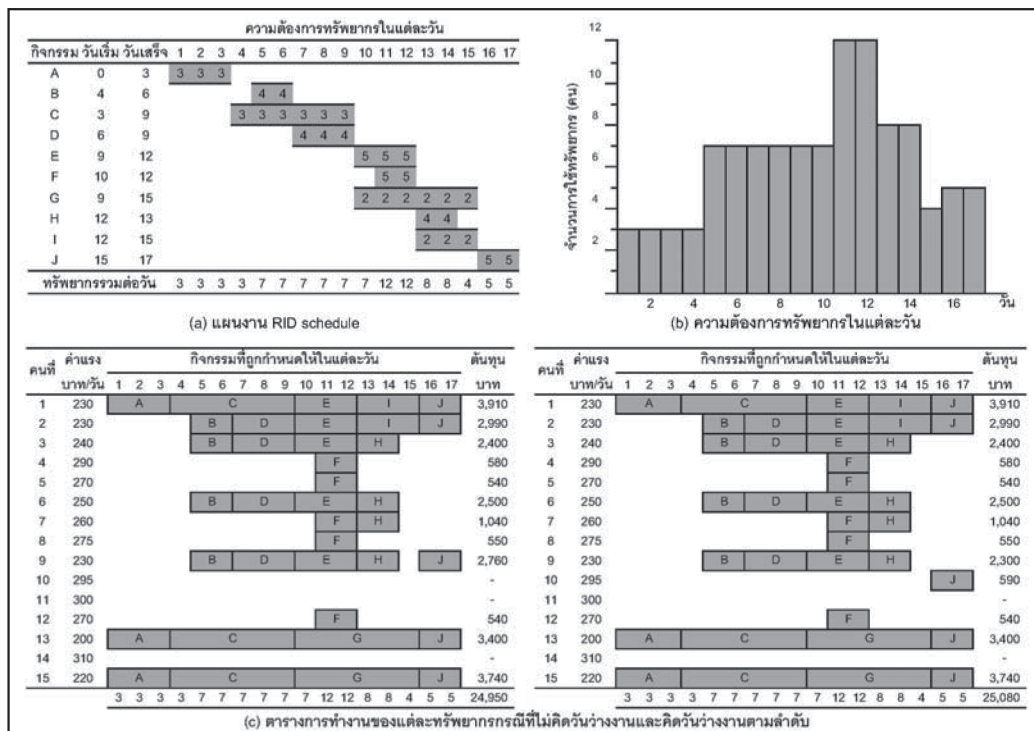
รูปที่ 17 กำหนดเวลาและตารางการทำงานของแต่ละทรัพยากรตามแผนงาน Late start schedule



รูปที่ 18 กำหนดเวลาและตารางการทำงานของแต่ละทรัพยากรตามแผนงาน M_x Schedule



รูปที่ 19 กำหนดเวลาและตารางการทำงานของแต่ละทรัพยากรตามแผนงาน RRH Schedule



รูปที่ 20 กำหนดเวลาและตารางการทำงานของแต่ละทรัพยากรตามแผนงาน RID Schedule

ตารางที่ 3 สรุปค่าดัชนีชี้วัดของการจัดสรรทรัพยากรแต่ละรายรวมในแต่ละแผนงาน

		แผนงาน					
		Early start	Late start	Mx	RRH	RID	
การจัดทรัพยากรแต่ละรายรวม	ไม่คิดรวมวัน ว่างงาน	ต้นทุนทรัพยากร (บาท)	25,325	25,200	24,920	25,140	24,950
		จำนวนครั้ง เลิกจ้าง-จ้างกลับ (ครั้ง)	11	8	9	1	1
		จำนวนวันว่างงาน (วัน)	22	8	11	3	1
		จำนวนทรัพยากรสูงสุดต่อวัน	12	12	11	12	12
	คิดรวมวัน ว่างงาน	ต้นทุนทรัพยากร (บาท)	25,585	25,440	25,360	25,270	25,080
		จำนวนครั้ง เลิกจ้าง-จ้างกลับ (ครั้ง)	8	5	5	0	0
		จำนวนวันว่างงาน (วัน)	12	5	5	0	0
		จำนวนทรัพยากรสูงสุดต่อวัน	15	15	15	13	13

ตารางที่ 3 แสดงสรุปผลที่ได้จากการจัดสรรทรัพยากรจากทั้ง 5 แผนที่มีต้นทุนทรัพยากรที่น้อยที่สุดโดยอาศัยเทคนิคทางพันธุศาสตร์จากโครงการตัวอย่างนี้พบว่าทั้งกรณีคิดค่าใช้จ่ายและไม่คิดค่าใช้จ่ายทรัพยากรในวันที่ว่างงาน แผนงานแบบ Early start จะมีค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการใช้ทรัพยากรสูงที่สุด และมีค่า RID ค่า RRH และจำนวนรวมทรัพยากรที่ต้องการในโครงการสูงกว่าแผนงานรูปแบบอื่น ในกรณีไม่คิดค่าใช้จ่ายทรัพยากรในวันที่ว่างงาน (คิดเฉพาะวันทำงาน) แผนงานที่ได้จากการปรับเรียงความต้องการทรัพยากรด้วยวิธี M_x มีต้นทุนค่าใช้จ่ายทรัพยากรที่ต่ำที่สุด (24,920 บาท) และจำนวนรวมทรัพยากรที่ต้องการต่ำที่สุด (11 คน) แต่มีจำนวนครั้งของการบอกเลิกจ้างและจ้างกลับเข้าทำงานรวมถึงจำนวนวันว่างงานที่ค่อนข้างสูง ในขณะที่กรณีคิดค่าใช้จ่ายทรัพยากรในวันที่ว่างงาน แผนงาน RID ที่ได้จากการพยายามลดจำนวนวันว่างงานจะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด (25,080 บาท) และแผนงาน RRH และ RID จะมีจำนวนรวมความต้องการทรัพยากรต่ำที่สุด (13 คน) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบแผนการจัดสรรทรัพยากรระหว่างกรณีคิดค่าใช้จ่ายและไม่คิดค่าใช้จ่ายทรัพยากรในวันที่ว่างงาน พบว่าทั้ง 5 แผนงาน มีการเลือกจัดทรัพยากรที่แตกต่างกัน โดยกรณีคิดค่าใช้จ่ายทรัพยากรในวันที่ว่างงานจะมีจำนวนรวมทรัพยากรที่ถูกเลือกใช้ในโครงการ (Pool) สูงกว่า เนื่องจากเมื่อโปรแกรมพบว่าแผนการทำงานของทรัพยากรรายหนึ่งเกิดการขาดช่วง การเลือกใช้ทรัพยากรใหม่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำกว่าการยอมให้ทรัพยากรเดิมทำงาน แม้ว่าทรัพยากรใหม่จะมีอัตราค่าจ้างที่สูงกว่า ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 20 (c ซ้าย) ทรัพยากรคนที่ 9 มีอัตราค่าจ้าง 230 บาท

ต่อวัน ถ้าไม่คิดค่าใช้จ่ายในวันที่ว่างงานพบว่าเริ่มงานวันที่ 5 ต่อเนื่องถึงวันที่ 14 และหยุด 1 วันจึงจะเริ่มงานใหม่ในวันที่ 16 สิ้นสุดงานวันที่ 17 แต่หากคิดค่าใช้จ่ายในวันที่ว่างงาน โปรแกรมจะเลือกให้ คนที่ 9 สิ้นสุดงานในวันที่ 14 และเลือกให้คนที่ 10 ซึ่งมีอัตราค่าจ้าง 295 บาทต่อวันทำงานในวันที่ 16 และ 17 แทน ดังแสดงในรูปที่ 20 (c ขวา) เนื่องจากหากคิดค่าใช้จ่ายในวันที่ทรัพยากรไม่ได้ทำงาน การจัดทรัพยากรแบบแรกจะเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับการจ้าง คนที่ 9 ทั้งหมด 13 วันคิดเป็นเงิน $230 \times 13 = 2,990$ บาท แต่การจัดแบบหลังจะมีค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการจ้างคนที่ 9 เป็นเวลา 10 วัน และคนที่ 10 เป็นเวลา 2 วัน รวมเป็นเงิน $(230 \times 10) + (295 \times 2) = 2,890$ บาท ซึ่งมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า เป็นต้น

5. สรุปผล

บทความนี้แสดงแนวทางการนำเทคนิคทางพันธุศาสตร์ (Genetic algorithm, GA) มาใช้ในการจัดสรรทรัพยากรแต่ละรายได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำหนดตารางเวลาทำงาน ไม่ว่าจะเป็นต้นทุนทรัพยากรที่น้อยที่สุด, ลดจำนวนครั้งในการไล่ออกแล้วจ้างกลับ และลดจำนวนวันว่างงานจากที่กล่าวไว้ในบทความนี้เนื่องจากเทคนิคการจัดทรัพยากรให้เรียบเป็นการวิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานของแต่ละกิจกรรมที่ทำให้จำนวนรวมของทรัพยากรในแต่ละวันเป็นไปตามรูปแบบที่กำหนด แต่ไม่ได้วิเคราะห์ตารางการทำงานของแต่ละทรัพยากรจึงไม่สามารถรับประกันได้ว่าต้นทุนทรัพยากรจะต่ำที่สุดหรือตารางการทำงานของแต่ละทรัพยากรจะต่อเนื่องหรือไม่ เนื่องจากแผนหนึ่งแผนสามารถมีรูปแบบการจัดสรร/กำหนดตารางการทำงานของทรัพยากร

ได้หลากหลายรูปแบบแสดงผ่านโครงการตัวอย่าง อีกทั้งพบว่าแผนงานที่ปรับเรียบทรัพยากรด้วยดัชนีชี้วัดที่แตกต่างกันก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายและจำนวนรวมทรัพยากรที่ต้องการแตกต่างกัน ดังนั้นการวิเคราะห์หากกำหนดเวลาทำงานควรมีการวางแผนตารางการทำงานของทรัพยากรควบคู่กันไป เนื่องจากไม่มีรูปแบบของแผนงานใดที่ส่งผลให้ตารางการทำงานของทรัพยากรมีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับทุกกรณี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ahuja H. N. Construction performance control by networks. New York: Wiley; 1976.
- [2] Akpan E. O. P. Resource smoothing: A cost minimization approach. *Production Planning & Control: The management of Operations*. 2000; 11(8): 775–780.
- [3] Bandelloni M, Tucci M, Rinaldi R. Optimal resource leveling using non-serial dynamic programming. *European Journal of Operational Research*. 1994; 78(2): 162–177.
- [4] Burgess A. R, Killebrew J. B. Variation in activity level on a cyclical arrow diagram. *Journal of Industrial Engineering*. 1962; 13(2): 76–83.
- [5] Chan W. T, Chua D. K. H, Kannan G. Construction resource scheduling with genetic algorithms. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1996; 122(2): 125–132.
- [6] Easa S. M. Resource leveling in construction by optimization. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1989; 115(2): 302–316.
- [7] El-Rayes K, Dho H. J. Optimizing resource leveling in construction project. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2009; 135(11): 1172–1180.
- [8] Goldberg D. E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning, Addison-Wesley, Reading, Mass. 1989
- [9] Harris R. B. Precedence and arrow networking techniques for construction. New York: Wiley; 1978.
- [10] Hegazy T. Optimization of resource allocation and leveling using genetic algorithms. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1999; 125(3): 167–175.
- [11] Mattila K. G, Abraham D. M. Resource leveling of linear schedules using integer linear programming. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1998; 124(3): 232–244.
- [12] Senouci A. B, Adeli H. Resource scheduling using dynamics model of Adeli and Park. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2001; 127(1): 28–34.
- [13] Son J, Mattila K. G. Binary resource leveling model: Activity splitting allowed. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2004; 130(6): 887–894.
- [14] Son J, Skibniewski M. J. Multi-heuristic approach for resource leveling problem in construction engineering: Hybrid approach. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1999; 125(1): 23–31.