



วิธีโปรแกรมเป้าหมายแบบฟัซซีสำหรับการแก้ปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ของงานโครงการที่มีทรัพยากรอย่างจำกัดและหลายทางเลือก

Fuzzy goal programming approach for multi-objective multi-mode resource constrained project scheduling problem

บุษบา พุกษาพันธุ์รัตน์* และศรัณย์ เจริญสุข

Busaba Phruksaphanrat* and Saran Jaremsuk

หน่วยวิจัยเฉพาะทาง ISO-RU ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์จังหวัดปทุมธานี 12120

ISO-RU, Industrial Engineering Department, Thammasat University, Pathumtani, 12120.

Received August 2013

Accepted April 2014

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอตัวแบบโปรแกรมเป้าหมายแบบฟัซซีสำหรับปัญหาหลายวัตถุประสงค์ของงานโครงการชนิดหลายทางเลือกที่มีเงื่อนไขของทรัพยากร โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อให้มีระยะเวลาการทำงานของโครงการและต้นทุนรวมของโครงการน้อยที่สุด ตัวแบบงานโครงการชนิดหลายทางเลือกที่มีเงื่อนไขของทรัพยากรที่มีอยู่ในปัจจุบัน มักมีการกำหนดวัตถุประสงค์เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งเท่านั้น นอกจากนั้นสมการต้นทุนของโครงการยังไม่ครอบคลุมต้นทุนรวมทั้งหมดของโครงการ ซึ่งส่งผลให้การหาคำตอบในการจัดลำดับงานโครงการคลาดเคลื่อนไปในการแก้ปัญหาด้วยตัวแบบหลายวัตถุประสงค์สำหรับโครงการชนิดหลายทางเลือกที่มีเงื่อนไขของทรัพยากรในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการหาคำตอบด้วย 3 วิธีการคือ 1) วิธีโปรแกรมเป้าหมาย 2) โปรแกรมเชิงเส้นแบบฟัซซี และ 3) โปรแกรมเป้าหมายแบบฟัซซีชนิดตามลำดับความสำคัญ เป็นตัวเลือกในการหาคำตอบ ซึ่งพบว่าวิธีการทั้งหมดสามารถนำไปใช้แก้ปัญหางานโครงการได้โดยวิธีโปรแกรมเป้าหมายแบบฟัซซีชนิดตามลำดับให้คำตอบที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าวิธีการอื่น เนื่องจากผู้ตัดสินใจสามารถปรับค่าของคำตอบได้ตามความเหมาะสม ทำให้มีทางเลือกในการตัดสินใจได้หลากหลาย

คำสำคัญ : งานโครงการชนิดหลายทางเลือกที่มีเงื่อนไขของทรัพยากรฟัซซีเซต โปรแกรมเป้าหมาย โปรแกรมเชิงเส้นแบบฟัซซี โปรแกรมเป้าหมายแบบฟัซซีชนิดตามลำดับ

Abstract

This research proposes fuzzy goal programming model for multi-objective multi-mode resource constrained project scheduling problem. Objectives of the problem are minimization of the total time and the total cost of the project. Currently, objective in a multi-mode resource constrained project scheduling problem is often limited to a single objective function. Moreover, all elements of cost functions in a project are not included in the cost objective function. Incomplete total project cost causes errors in finding the project scheduling time. In this research there methods; 1) goal programming, 2) fuzzy linear programming and 3) preemptive fuzzy goal programming are used to solve the multi-objective multi-mode resource constrained project scheduling problem. These methods can find the compromise solution of the problem. However, the proposed

*Corresponding author. Tel.: 02-564-3003; fax: 02-564-3017

Email address: lbusaba@engr.tu.ac.th.

preemptive fuzzy goal programming is more flexible than the others because it can adjust to find variety of alternative solutions.

Keywords : Multi-mode resource constrained project scheduling problem, Fuzzy set, Goal programming, Fuzzy linear programming, Preemptive fuzzy goal programming

1. บทนำ

การจัดลำดับงานโครงการมีความสำคัญเนื่องจากส่งผลกระทบต่อต้นทุนและกำหนดส่งมอบภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด งานวิจัยเกี่ยวกับการจัดลำดับงานโครงการมีการวิจัยกันมาหลายทศวรรษจึงเกิดวิธีการที่แตกต่างกันมากมาย โดยสามารถแบ่งเป็นงานวิจัยที่พิจารณาการจัดลำดับงานโครงการที่มีทรัพยากรทางเลือกเดียว [1-7] และงานวิจัยที่พิจารณาทรัพยากรหลายทางเลือกหรืออาจเรียกว่าปัญหาการจัดลำดับงานโครงการที่มีทรัพยากรอย่างจำกัดและมีหลายทางเลือก (multi-mode resource-constrained project scheduling problem, MRCSP) [8-12]. โดยทางเลือกของการดำเนินงานโครงการ หรือ โหมด (mode) จะมีระยะเวลาต้นทุน และการใช้ทรัพยากรที่ต่างกัน เช่น การเลือกใช้ระหว่างพนักงานประจำและบริษัทเหมาช่วงงาน (subcontract) หรือ การเลือกใช้ระหว่างเครื่องจักรพื้นฐานและเครื่องจักรความเร็วสูง เป็นต้น

Liang [1] เสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของงานโครงการชนิดทางเลือกเดียวซึ่งมี 3 สมการวัตถุประสงค์ คือ 1) ลดค่าต้นทุนรวม 2) ลดค่าต้นทุนในการเร่งเวลาและ 3) ลดเวลาที่เสร็จของโครงการให้น้อยที่สุดโดยวิธีในการหาคำตอบนั้นงานวิจัยนี้ใช้วิธีโปรแกรมเป้าหมายแบบฟัซซี่ชนิดสองเฟสแต่ในงานวิจัยไม่ได้พิจารณาถึงข้อจำกัดเกี่ยวกับทรัพยากรและสมการต้นทุนรวมยังไม่ครอบคลุมทั้งหมด Kim [2] ได้พิจารณาปัญหางานโครงการที่มีทรัพยากรทางเลือกเดียวเช่นกัน และพิจารณาเป้าหมายเป็นต้นทุนการเร่งของเวลาและต้นทุนทางด้านคุณภาพโดยใช้วิธีกำหนดการจำนวนเต็มเชิงเส้นแบบผสม (mixed integer linear programming, MILP) Sakellaropoulos[3] และ Chen [4] พิจารณาสมการวัตถุประสงค์ด้วยต้นทุนการเร่งเวลาและต้นทุนแปรผันทางอ้อมของโครงการและใช้วิธีกำหนดการเชิงเส้นและจำนวนเต็ม (linear/integer programming, LP/IP) กับวิธีเชิงเส้นแบบฟัซซี่ (fuzzy linear programming, FLP) ในการหาคำตอบ แต่ในงานวิจัยบางส่วนก็พิจารณาเพียง

ต้นทุนการเร่งเท่านั้นในสมการวัตถุประสงค์ โดยวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาประกอบไปด้วยวิธีกำหนดการเชิงเส้น วิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm, GA) และวิธีกำหนดการจำนวนเต็มเชิงเส้นแบบผสม [5-7]

แต่อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้วทรัพยากรสำหรับงานโครงการอาจมีทางเลือกมากกว่าหนึ่งทางเลือก ดังนั้นจึงมีการวิจัยเกี่ยวกับการจัดลำดับงานโครงการที่มีทรัพยากรอย่างจำกัดและมีหลายทางเลือกพัฒนาเพิ่มเติมขึ้น โดยวิธีการส่วนใหญ่ที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะเป็นวิธีฮิวริสติกหรือเมตาฮิวริสติก (heuristic and meta-heuristic methods) [8-12] เนื่องจากปัญหามีความซับซ้อน และมีงานวิจัยบางส่วนที่เป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ [8-12] ทั้งนี้ตัวแบบที่นำเสนอส่วนใหญ่จะพิจารณาเป้าหมายเพียงเป้าหมายเดียวเท่านั้น นอกจากนี้สมการต้นทุนของโครงการที่นำมาใช้ก็ยังไม่ครอบคลุมต้นทุนรวมทั้งหมดของโครงการ ซึ่งอาจส่งผลให้คำตอบคลาดเคลื่อนไปได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการนำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบหลายวัตถุประสงค์ (multiobjective model) สำหรับงานโครงการชนิดหลายทางเลือกที่มีเงื่อนไขของทรัพยากร โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อให้มีระยะเวลาการทำงานของโครงการและต้นทุนรวมของโครงการน้อยที่สุด เนื่องจากเห็นว่าการพิจารณาทั้ง 2 วัตถุประสงค์ควรพิจารณาพร้อมกัน เพื่อที่จะให้ได้ผลของคำตอบที่มีความสอดคล้องกันมากที่สุดกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในการตัดสินใจโดยวิธีการหาคำตอบที่มีหลายเป้าหมายมีด้วยกันหลายวิธี [1,8,13-14] แต่ส่วนใหญ่จะใช้วิธีฮิวริสติกและเมตาฮิวริสติกในการหาคำตอบเนื่องจากความซับซ้อนของปัญหาแต่ในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบวิธีการหาคำตอบแบบแน่นอน (exact solution) ที่นิยมคือวิธีโปรแกรมเป้าหมาย (goal programming) วิธีเชิงเส้นแบบฟัซซี่ (fuzzy linear programming) และโปรแกรมเป้าหมายแบบฟัซซี่ชนิดตามลำดับความสำคัญ (preemptive fuzzy goal programming) ที่เป็นวิธีผสมผสานระหว่างวิธีโปรแกรม

เป้าหมายสำหรับปัญหาการจัดลำดับงานโครงการที่มีทรัพยากรอย่างจำกัดและมีหลายทางเลือก

2. ต้นทุนของงานโครงการ

ต้นทุนของโครงการคือ ต้นทุนที่ใช้สำหรับดำเนินโครงการให้ลุล่วงตามเป้าหมาย เป็นผลรวมระหว่างต้นทุนทางอ้อม (indirect cost) กับต้นทุนทางตรง (direct cost) โดยที่ต้นทุนทางอ้อมหมายถึง ค่าต้นทุนที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับโครงการ เช่น ค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าบริหาร ค่าที่ปรึกษา ดอกเบี้ย เป็นต้น ซึ่งจะแปรผันตรงกับเวลา เมื่อเวลาเพิ่มต้นทุนทางอ้อมก็จะเพิ่ม ต้นทุนทางตรงหมายถึง ค่าต้นทุนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับโครงการ เช่น ค่าแรงงาน ค่าวัสดุอุปกรณ์ เป็นต้น ซึ่งจะแปรผกผันกับเวลา เมื่อเวลาลดต้นทุนทางตรงจะเพิ่มตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่ส่วนใหญ่จะพิจารณาเพียงแค่ต้นทุนการเร่งโครงการและต้นทุนแปรผันชนิดทางอ้อมของโครงการซึ่งยังไม่ครอบคลุมทั้งหมด งานวิจัยนี้พิจารณาต้นทุนของโครงการให้ครอบคลุมมากกว่าเดิม คือพิจารณาต้นทุนคงที่ทางตรง ต้นทุนการเร่ง ต้นทุนคงที่ชนิดทางอ้อม ต้นทุนค่าปรับและดอกเบี้ยดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบสมการวัตถุประสงค์ของต้นทุนงานโครงการในงานวิจัยต่างๆ

ต้นทุนที่พิจารณา	[1,15]	[3,5,8]	[2,4,6,7]	ตัวแบบที่นำเสนอ
ต้นทุนคงที่	✓			✓
ทางตรง				
ต้นทุนการเร่ง	✓	✓	✓	✓
ต้นทุนคงที่ชนิดทางอ้อม	✓			✓
ต้นทุนแปรผันชนิดทางอ้อม		✓		✓
ต้นทุนค่าปรับ	✓			✓
ดอกเบี้ย				✓

3. ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ดัชนี

i ดัชนีสำหรับกิจกรรม ($i = 1, \dots, N$)

m ดัชนีทางเลือกในการดำเนินงาน(mode) ของกิจกรรมหรือประเภททรัพยากร($m = 1, \dots, M$)

k ดัชนีสำหรับทรัพยากร($k = 1, \dots, K$)

ตัวแปรตัดสินใจ

x_{im} $\begin{cases} \text{เท่ากับ 1 ถ้ากิจกรรมที่ } i \text{ ได้เริ่มกิจกรรมด้วย} \\ \text{ทางเลือก (mode)} m \\ \text{เท่ากับ 0 ถ้ากิจกรรมที่ } i \text{ ไม่ได้เริ่มกิจกรรมด้วย} \\ \text{ทางเลือก (mode)} m \end{cases}$

p_{im}, n_{im} ค่าเบี่ยงเบนทางบวกและลบสำหรับระยะเวลาปกติของกิจกรรม i ด้วยทางเลือก m

d^+, d^- ค่าเบี่ยงเบนทางบวกและลบสำหรับระยะเวลาทั้งหมดของโครงการ

พารามิเตอร์

$d_{im}, d(\min)_{im}, d(\max)_{im}, d(\text{nor})_{im}$ ระยะเวลาทำงาน, ระยะเวลาที่น้อยที่สุด, มากที่สุด และปกติ ของการทำงาน กิจกรรม/ในโหมด m ตามลำดับ

t_i เวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงกิจกรรมที่ i เสร็จ

f_{im} ต้นทุนคงที่ทางตรงของกิจกรรม i ในโหมด m

v_{im} ต้นทุนการเร่งโครงการต่อช่วงเวลาของกิจกรรม/ในโหมด m

f_{im} ต้นทุนคงที่ทางอ้อมของกิจกรรม i ในโหมด m

v_{im} ต้นทุนแปรผันทางอ้อม ต่อช่วงเวลาของกิจกรรม i ในโหมด m

t_{nc} กำหนดเวลาแล้วเสร็จของโครงการตามเงื่อนไข

c ค่าปรับต่อช่วงเวลาตามเงื่อนไขของโครงการ

it	ดอกเบี้ยต่อช่วงเวลา
r_{imk}	จำนวนทรัพยากรที่ใช้ของกิจกรรมในโหมด m ของทรัพยากรชนิด k
R_k	จำนวนทรัพยากรที่จำกัดในแต่ละกิจกรรมของทรัพยากรชนิด k
re_{imk}	ต้นทุนในการใช้ของกิจกรรมในโหมด m ของทรัพยากรชนิด k
λ	ระดับความพึงพอใจที่ยอมรับได้ (Acceptable satisfactory level) สำหรับเป้าหมาย 1 และ 2
λ_1, λ_2	ระดับความพึงพอใจ (Satisfactory level) สำหรับเป้าหมายที่ 1 และ 2
λ_1^*	ระดับความพึงพอใจที่ยอมรับได้ (Acceptable satisfactory level) สำหรับเป้าหมายที่ 1
ρ_1, ρ_2	ค่าเบี่ยงเบนทางบวกจากเป้าหมายที่ 1 และ 2
η_1, η_2	ค่าเบี่ยงเบนทางลบจากเป้าหมายที่ 1 และ 2
A	ลำดับของกิจกรรม ซึ่งกิจกรรมที่ i จะมีลำดับก่อนหน้ากิจกรรมที่ j

3.1 ตัวแบบงานโครงการที่มีหลายวัตถุประสงค์โดยทรัพยากรมีจำกัดและมีหลายทางเลือก

การแก้ปัญหางานโครงการที่มีทรัพยากรจำกัดและมีหลายทางเลือก โดยทั่วไปมักกำหนดวัตถุประสงค์เพียงวัตถุประสงค์เดียว เช่น ระยะเวลาของโครงการน้อยที่สุดหรือต้นทุนของโครงการต่ำที่สุด [2,4,9-12,16] แต่ในความเป็นจริงแล้ว วัตถุประสงค์ทั้งสองมีความสำคัญต่อการจัดการงานโครงการ โดยผู้จัดการโครงการอาจยอมให้โครงการล่าช้าลงเล็กน้อยเพื่อให้มีต้นทุนรวมของโครงการที่ต่ำลงซึ่งงานวิจัยที่พิจารณาหลายเป้าหมายยังมีอยู่ไม่มากนักและโดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีวิวิธวิธีและเมตาฮีริสติกซึ่งอาจไม่ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาการแก้ปัญหางานโครงการที่มี 2 วัตถุประสงค์ภายใต้ทรัพยากรที่จำกัดโดยใช้วิธีการหาคำตอบแบบแน่นอน วัตถุประสงค์ที่พิจารณาประกอบไปด้วย 1) วัตถุประสงค์ของระยะเวลาของโครงการที่น้อย

ที่สุด (z_1) ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่งานวิจัยส่วนใหญ่มักกำหนดขึ้นสำหรับปัญหางานโครงการ [2,4,12,15,16] ดังสมการที่ (1) เนื่องจากต้องการให้งานที่ดำเนินการอยู่เสร็จทันเวลาแต่ในความเป็นจริงแล้วจะต้องมีการพิจารณาต้นทุนไปพร้อมกัน ซึ่งอาจไม่จำเป็นที่จะต้องมีค่าเวลาดำสุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอเป็น 2 เป้าหมาย โดยมีการผ่อนปรนเป้าหมายของเวลาดำสุด เพื่อให้ได้ต้นทุนที่ต่ำลงโดยไม่ทำให้เกิดกำหนดส่งมอบ ดังนั้นวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ ต้นทุนรวมของโครงการที่ต่ำที่สุด (z_2) ดังสมการที่ (2) ซึ่งประกอบไปด้วยต้นทุนทางตรงคือ ต้นทุนในการเร่งโครงการ ต้นทุนคงที่ทางอ้อม ต้นทุนแปรผันทางอ้อม ต้นทุนทางอ้อมหากโครงการล่าช้ากว่ากำหนด (ค่าปรับ) ดอกเบี้ยเงินกู้ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากระยะเวลาการทำงานมากกว่าเวลาปกติ และต้นทุนในการใช้ทรัพยากร

$$\min z_1 = t_N \quad (1)$$

$$\min z_2 = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N (f_{im} \cdot x_{im}) + \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N (p_{im} \cdot x_{im} \cdot v_{im}) + \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N (f_{im} \cdot x_{im}) + \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N (v_{im} \cdot t_N) + (c \cdot d^-) + (it \cdot d^+) + \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N (r_{imk} \cdot re_{imk} \cdot x_{im}) \quad (2)$$

เงื่อนไขในการพิจารณาประกอบไปด้วย

$$\sum_{m=1}^M x_{im} = 1 \quad \text{for } i = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$t_i \leq \sum_{m=1}^M t_j - (d_{jm} \cdot x_{jm}) \quad \text{for all } (i,j) \in A \quad (4)$$

$$t_N = \sum_{m=1}^M t_j - (d_{jm} \cdot x_{jm}) \quad (5)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N (r_{imk} \cdot x_{im}) \leq R_k \quad \text{for } k = 1, \dots, K \quad (6)$$

$$d_{im} = d(\text{nor})_{im} + (n_{im} - p_{im}) \quad \text{for } i = 1, \dots, N; m = 1, \dots, M \quad (7)$$

$$t_N = t_{nc} + (d^- - d^+) \quad (8)$$

$$d(\min)_{im} \leq d_{im} \leq d(\max)_{im} \quad (9)$$

$$n_{im} \cdot p_{im} = 0 \quad (10)$$

$$d^+ \cdot d^- = 0 \quad (11)$$

$$d^+, d^-, n_{im}, p_{im} \geq 0 \quad (12)$$

สมการที่ (3) คือข้อจำกัดของกิจกรรมที่เลือกโหมดการทำงานได้เพียงแบบเดียว สมการที่ (4) แสดงถึงลำดับ

ก่อนหลังของกิจกรรม สมการที่(5) แสดงค่าของระยะเวลาทั้งหมดของกิจกรรม สมการที่ (6) แสดงข้อจำกัดของการใช้ทรัพยากรของแต่ละกิจกรรม สมการที่(7)และ (8) แสดงค่าเบี่ยงเบนของระยะเวลาของแต่ละกิจกรรมเมื่อเทียบกับระยะเวลาปกติ และการเบี่ยงเบนของระยะเวลาทั้งหมดของโครงการเมื่อเทียบกับกำหนดส่งมอบ สมการที่ (9) แสดงข้อจำกัดสำหรับกำหนดช่วงของค่าระยะเวลาการทำงานของกิจกรรม สมการที่ (10) และ (11) แสดงความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนทั้งทางบวกและทางลบของระยะเวลาทำงานปกติและระยะเวลาทั้งหมดของโครงการ สมการที่ (12)แสดงตัวแปรที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ (Non-Negativity) โดยกำหนดให้กิจกรรมเริ่มต้นที่เวลาเท่ากับ 0

การแก้ปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ ด้วยวิธีแบบแน่นอนมีวิธีการด้วยกันหลายวิธี แต่ละวิธีจะมีแนวทางการเลือกคำตอบที่เหมาะสมหรือคำตอบเอฟฟิเชียนท์(efficient solution) จากเซตคำตอบที่เป็นไปได้แตกต่างกัน โดยวิธีการหาคำตอบที่ได้รับความนิยมคือวิธีโปรแกรมเป้าหมาย และวิธีโปรแกรมเชิงเส้นแบบฟัซซี่[14] โดยวิธีการของโปรแกรมเป้าหมายที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นวิธีโปรแกรมเป้าหมายที่ใช้การจัดลำดับความสำคัญของเป้าหมาย (preemptive goal programing) โดยปัญหาที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เหมาะสมกับวิธีโปรแกรมเป้าหมายที่ใช้การจัดลำดับความสำคัญ เพราะผู้ตัดสินใจมองความสำคัญของเป้าหมายแรกคือระยะเวลาของโครงการที่ต้องทันตามกำหนดก่อนหรืออยู่ช่วงเวลาที่ยุติตัดสินใจยอมรับได้แล้วจึงพิจารณาเรื่องของต้นทุนโครงการให้ต่ำสุด ส่วนวิธีโปรแกรมเชิงเส้นแบบฟัซซี่มีความยืดหยุ่นในการปรับค่าเป้าหมายเพื่อให้ได้คำตอบที่พึงพอใจ โดยหลักการของวิธีการทั้งสองสามารถนำมารวมกับเป็นวิธี โปรแกรมเป้าหมายแบบฟัซซี่ซึ่งในงานวิจัยนี้วิธีการทั้ง 3 ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้และเปรียบเทียบ

3.2 การแก้ปัญหาทางโครงการที่มีหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธีที่ 1 วิธีโปรแกรมเป้าหมาย

ในการสร้างตัวแบบที่มีหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธีโปรแกรมเป้าหมายนั้น จะยึดหลักการที่จะทำให้ค่าเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมาย (τ_1 และ τ_2) ของแต่ละวัตถุประสงค์มีค่าต่ำที่สุดดังสมการที่ (13)lex ในสมการนี้หมายถึงการพิจารณาคำตอบตามลำดับในนี้จะหา

คำตอบของค่าเบี่ยงเบนที่ต่ำที่สุดของเป้าหมายที่ 1 ก่อน แล้วจึงพิจารณาค่าเบี่ยงเบนที่ต่ำที่สุดของเป้าหมายที่ 2 ที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ต้องไม่ทำให้เป้าหมายแรกลดลงซึ่งสมการวัตถุประสงค์ทั้ง 2 สมการสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเป้าหมาย (goal function) ดังสมการ (14) และ(15)

$$\text{lex min}=[(\rho_1 + \eta_1), (\rho_2 + \eta_2)] \quad (13)$$

$$z_1 - \rho_1 + \eta_1 = \tau_1 \quad (14)$$

$$z_2 - \rho_2 + \eta_2 = \tau_2 \quad (15)$$

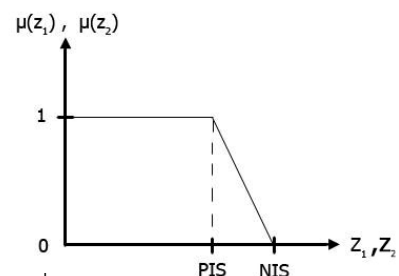
$$\rho_1, \eta_1 \geq 0 \quad (16)$$

$$\rho_2, \eta_2 \geq 0 \quad (17)$$

สมการ (16) และ (17)นั้นเป็นการกำหนดให้ค่าตัวแปรที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ (Non-Negativity)โดยมีข้อจำกัดอื่นตามสมการ (3)-(12)

3.3 การแก้ปัญหาทางโครงการที่มีหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธีที่ 2 สมการเชิงเส้นแบบฟัซซี่

ในการสร้างตัวแบบที่มีหลายเป้าหมายด้วยวิธีโปรแกรมเชิงเส้นแบบฟัซซี่นั้นจะต้องกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก(membership function) ของวัตถุประสงค์ทั้ง 2 ก่อนโดยจะใช้การกำหนดขอบเขตจากค่าอุดมคติที่ดีที่สุด (positive-ideal solution, PIS) และค่าอุดมคติที่แย่ที่สุด(negative-Ideal solution, NIS) ของแต่ละวัตถุประสงค์[14] เพื่อมากำหนดเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของทั้ง 2 เป้าหมาย ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของวัตถุประสงค์ทั้งสอง

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเป้าหมายที่ 1, $\mu(z_1)$ แสดงดังสมการ (18)และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเป้าหมายที่ 2, $\mu(z_2)$ แสดงดังสมการ (19)

$$\mu(z_1) = 1 - \left(\frac{z_1 - PIS}{NIS - PIS} \right) \quad (18)$$

$$\mu(z_2) = 1 - \left(\frac{z_2 - PIS}{NIS - PIS} \right) \quad (19)$$

ดังนั้นตัวแบบของโปรแกรมเชิงเส้นแบบฟัซซี่คือ

$$\max = \lambda$$

$$\lambda \leq \mu(z_1) \quad (20)$$

$$\lambda \leq \mu(z_2) \quad (21)$$

โดยมีสมการ (3)-(12), (20) และ (21) เป็นข้อจำกัด โดยในการเลือกคำตอบเฟฟฟิเซียนท์ที่เหมาะสมของวิธีโปรแกรมเชิงเส้นแบบฟัซซี่จะทำการปรับคำตอบโดยการเปลี่ยนฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

3.4 การแก้ปัญหาทางงานโครงการที่มีหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธีที่ 3 โปรแกรมเป้าหมายแบบฟัซซี่ชนิดตามลำดับความสำคัญ

ในการสร้างตัวแบบที่มีหลายเป้าหมายด้วยวิธีโปรแกรมเป้าหมายแบบฟัซซี่ชนิดตามลำดับความสำคัญนั้นจะต้องทำการพิจารณาระดับความพึงพอใจของวัตถุประสงค์ที่ทำให้ค่าระยะเวลาของโครงการมีค่าน้อยที่สุดก่อน (λ_1^*) แล้วจึงทำให้ระดับความพึงพอใจของวัตถุประสงค์ค่าต้นทุนรวมของโครงการทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุดมีค่าที่สูงมีขั้นตอนคือ

ขั้นที่ 1 $\max = \lambda_1$

$$\text{ภายใต้เงื่อนไข} \quad \lambda_1 \leq \mu(z_1) \quad (22)$$

(1)-(12), (14), (18) และ (19)

ขั้นที่ 2 $\max = \lambda_2$

$$\text{ภายใต้เงื่อนไข} \quad \lambda_1^* \leq \mu(z_1) \quad (23)$$

$$\lambda_2 \leq \mu(z_2) \quad (24)$$

(1)-(12), (15), (18) และ (19)

4. กรณีศึกษาและผลการวิจัย

กรณีศึกษาที่นำมาพิจารณานี้ดัดแปลงมาจากงานวิจัย [8] โดยมีข้อมูลกิจกรรมและทรัพยากรดังตารางที่ 2 ข้อมูลเวลาและต้นทุนดังตารางที่ 3 ดอกเบี้ยต่อวัน (i) \$2,000 ค่าต้นทุนแปรผันทางอ้อมต่อวัน (vi_{im}) \$7,000 ค่าต้นทุนคงที่ทางอ้อม (fi_{im}) \$20,000 ค่าปรับของโครงการหากล่าช้ากว่ากำหนดต่อวัน (c) \$6,000 ระยะเวลาส่งมอบของโครงการ (t_{nc}) 86 วันจำนวนที่จำกัดของทรัพยากรชนิด R1 และ R2 เท่ากับ 9 และ 4 คนตามลำดับค่าต้นทุนในการใช้ทรัพยากรชนิด R1 (re_{im1}) และ R2 (re_{im2}) คือ \$2,000 และ \$4,000 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ข้อมูลกิจกรรมและทรัพยากรของกรณีศึกษา

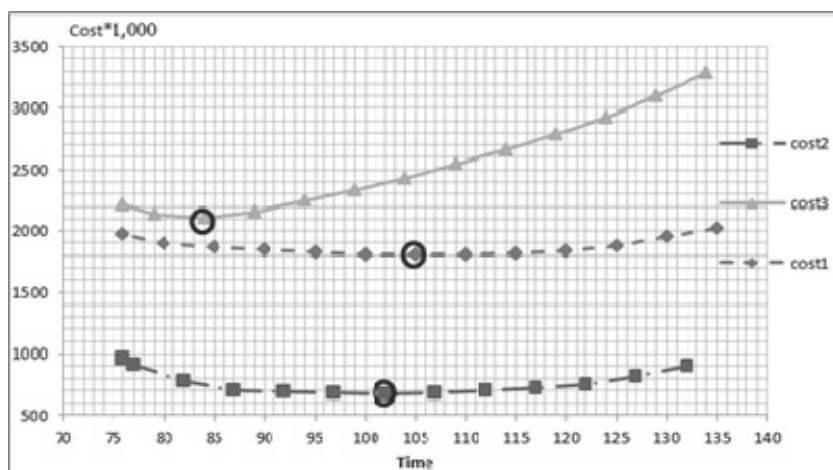
กิจกรรม ที่ ID	ระยะเวลา สั้นสุด (วัน)	ต้นทุนการ เร่งต่อ ช่วงเวลา	ต้นทุนคงที่ ทางตรง \$ (x1,000)
		\$ (x1,000)	
1	0	0	0
2	32	13	7
	13	19	12
3	23	14	8
	9	21	14
4	15	16	8
5	22	14	8
	11	19	13
6	18	15	8
	6	23	15
7	11	19	13
	20	14	8
8	18	12	7
9	14	14	8
10	8	21	14
	24	14	8
11	10	19	13

ตารางที่ 3 ข้อมูลเวลาและต้นทุนที่เกี่ยวข้องของกรณีศึกษา

กิจกรรม ที่ ID	กิจกรรม ตามหลัง	โหมด ที่	R1 (คน)	R2 (คน)	เวลาปกติ (วัน)
1	2,3,4	1	0	0	0
2	5	1	5	0	45
		2	0	3	18
3	5	1	7	0	39
		2	0	4	15
4	5	1	6	0	24
5	6,7	1	2	0	36
		2	0	3	18
6	8	1	4	0	27
		2	0	2	9
7	8	1	0	4	18
		2	5	0	33
8	9	1	4	0	30
9	10	1	2	0	20
10	11	1	0	2	13
		2	4	0	39
11	12	1	0	2	18

จากข้อมูลในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่ผ่านมา มีการพิจารณาต้นทุนเป็นเป้าหมายของปัญหา งานโครงการใน 2 ลักษณะคือ ผลรวมของต้นทุนการเร่งเวลาของโครงการและต้นทุนแปรผันทางอ้อมของโครงการต่ำสุด (ต้นทุนรวมแบบที่ 1) และผลรวมของต้นทุนทางตรงคงที่ของโครงการ ต้นทุนการเร่งเวลาของโครงการ ค่าต้นทุนทางอ้อมคงที่ของโครงการและต้นทุนค่าปรับหากโครงการล่าช้ากว่ากำหนดต่ำสุด (ต้นทุนรวมแบบที่ 2) ซึ่งยังไม่ครอบคลุมค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการ ในตัวแบบที่นำเสนอ (ต้นทุนรวมแบบที่ 3) จะพิจารณาค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการ ซึ่งเมื่อทำการทดลองหาต้นทุนที่ต่ำที่สุดทั้งหมดแล้วพบว่า การพิจารณาต้นทุนรวมทั้งหมดจะมีผลให้เวลาโครงการมีค่าต่ำกว่าการใช้ตัวแบบต้นทุนรวมแบบเดิมทั้ง 2 แบบ ดังกราฟในรูปที่ 2

การแก้ปัญหาด้วยวิธีที่ 1 โปรแกรมเป้าหมายสามารถหาคำตอบได้ โดยผลที่ได้จะอิงตามเป้าหมายหลักคือ ระยะเวลาของโครงการที่สั้นที่สุด 76 วัน ซึ่งห่างจากกำหนดส่งมอบมาก แล้วจึงพิจารณาหาทางเลือกที่ทำให้มีต้นทุนรวมของโครงการต่ำภายใต้ระยะเวลาของโครงการที่ไม่เกิน 76 วัน ซึ่งมีต้นทุนที่สูงคือ \$1,604,000 ผู้ตัดสินใจไม่สามารถปรับเปลี่ยนหาคำตอบเอฟเฟกต์อื่นได้



รูปที่ 2 กราฟแสดงต้นทุนต่ำสุดและระยะเวลาของโครงการของการพิจารณาเป้าหมายที่แตกต่างกัน

การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีที่ 2 โปรแกรมเชิงเส้นแบบพีซี คำตอบที่ได้เป็นผลมาจากการสร้างสมมูลของระดับความพึงพอใจของทั้งสองเป้าหมายซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.69 โดยระยะเวลาของโครงการมีค่าเท่ากับ 84.88 วันสูงกว่าวิธีโปรแกรมเป้าหมาย ใกล้กับกำหนดส่งมอบ และต้นทุนรวมของโครงการมีค่าเท่ากับ \$1,424,000.38 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าวิธีโปรแกรมเป้าหมาย โดยวิธีโปรแกรมเชิงเส้นแบบพีซีสามารถปรับแก้ค่าตอบอื่นได้ แต่ต้องใช้เวลาหาคำตอบซ้ำหลายรอบ (แต่ละรอบของการคำนวณปัญหานี้ใช้เวลาไม่เกิน 2 วินาที ในทุกวิธีการ ด้วยคอมพิวเตอร์ Intel (r) Core (TM) i5-3470 CPU @ 3.2 GHz) โดยการปรับค่าให้มีขอบเขตที่กว้างขึ้นหรือแคบลงจากช่วงของ $NIS-PIS$ ทำให้ผู้ตัดสินใจเลือกคำตอบเอฟฟิเชียนท์อื่นที่ต้องการได้ยาก

การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีที่ 3 โปรแกรมเป้าหมายแบบพีซีชนิดตามลำดับความสำคัญในงานวิจัยนี้จะให้ลำดับความสำคัญของเป้าหมายที่ 1 สูงกว่าเป้าหมายที่ 2 เพื่อให้ผู้ตัดสินใจพอใจกับคำตอบของเป้าหมายที่ 1 ก่อนจึงหาคำตอบที่ดีที่สุดของเป้าหมายที่ 2 ภายใต้ระยะเวลาของโครงการที่ผู้ตัดสินใจยอมรับได้ ซึ่งสามารถปรับค่าลำดับความสำคัญได้จากค่าระดับความพึงพอใจที่ยอมรับได้ เช่น หากผู้ตัดสินใจต้องการระดับความพึงพอใจอยู่ที่ λ_1^* เท่ากับ 0.75 ซึ่งคือระยะเวลาไม่เกิน 84 วัน ก็สามารถกำหนดระดับความพึงพอใจนั้นได้เมื่อได้ระดับที่พอใจสำหรับเป้าหมายแรกแล้วก็พยายามหาทางเลือกที่ทำให้มีต้นทุนที่ต่ำด้วย ซึ่งอยู่ที่ \$1,445,000.51 หากกำหนดระดับความพึงพอใจให้เท่ากับวิธีโปรแกรมเชิงเส้นแบบพีซีคือ λ_1^* เท่ากับ 0.69 ก็จะทำให้ได้คำตอบที่เหมือนกับวิธีโปรแกรมเชิงเส้นแบบพีซีหรือหากปรับระดับความพึงพอใจ λ_1^* เท่ากับ 1 ก็จะทำให้ได้คำตอบที่เหมือนกับวิธีโปรแกรมเป้าหมาย โดยการปรับเปลี่ยนระดับความพึงพอใจสามารถทำได้อย่างสะดวก โดยกำหนดค่าในสมการที่ (23) โดยไม่ต้องแก้ไขฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทำให้สามารถคัดเลือกคำตอบเอฟฟิเชียนท์อื่นได้

การเปรียบเทียบการใช้วิธีแก้ปัญหาทั้ง 3 วิธี สรุปไว้ดังตารางที่ 4 โดยคำตอบของทั้ง 3 วิธีเป็นคำตอบที่เป็นเอฟฟิเชียนท์ เป็นคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาที่มีหลายเป้าหมาย ซึ่งแตกต่างจากวิธีฮิวริสติกที่อาจไม่ได้คำตอบแบบเอฟฟิเชียนท์ที่ได้ของการเลือกโหมดของแต่ละกิจกรรมและเวลาที่ใช้ของแต่ละกิจกรรมแสดงดังตารางที่ 5

ซึ่งในที่นี้หมายถึงบุคลากรที่แตกต่างกัน โดยในโหมดที่ 2 บุคลากรมีความสามารถมากกว่าในโหมดที่ 1 จะทำให้ใช้เวลาลดลงได้แต่ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากทั้ง 3 วิธีการหาคำตอบ

ตัวแบบ	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
ระยะเวลาของโครงการ(วัน)	76	85	84
ต้นทุนโครงการ(ล้านบาท)	1.604	1.424	1.445
ระดับความพึงพอใจเป้าหมายที่ 1, λ_1	-	0.69	0.75
ระดับความพึงพอใจเป้าหมายที่ 2, λ_2	-	0.69	0.61
ความยืดหยุ่น	ไม่มี	มี, แต่ต้องใช้เวลาในการปรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเป้าหมายจนกว่าจะได้คำตอบที่พึงพอใจ	มี, ง่ายในการเลือกคำตอบโดยการปรับค่าระดับความพึงพอใจของเป้าหมายที่ 1 หาคำตอบ

จากผลการเลือกโหมดของแต่ละกิจกรรมในทั้ง 3 วิธีนั้น พบว่ามีการเลือกโหมดที่เหมือนกัน เวลาการทำงานในแต่ละกิจกรรม ส่วนใหญ่ให้ผลเหมือนกัน จะมีแตกต่างกันบางส่วนคือกิจกรรมที่ 2, 4, 5, 6 และ 10 โดยวิธีโปรแกรมเป้าหมายจะใช้เวลาน้อยกว่าวิธีอื่นเนื่องจากกำหนดเป้าหมายหลักเป็นการลดเวลาของโครงการ ซึ่งไม่สามารถผ่อนปรนได้ ส่วนวิธีโปรแกรมเชิงเส้นแบบพีซีให้ผลแตกต่างจากโปรแกรมเป้าหมายแบบพีซีชนิดตามลำดับความสำคัญเพียงกิจกรรมเดียวคือกิจกรรมที่ 5 คือใช้เวลามากกว่า แต่ต้นทุนลดลงเล็กน้อย โดยทั้ง 2 วิธีสามารถปรับแก้ค่าตอบได้เหมือนกัน แต่วิธีโปรแกรมเป้าหมายแบบพีซีชนิดตามลำดับความสำคัญสามารถปรับแก้ค่าคำตอบเอฟฟิเชียนท์ได้ง่ายกว่าวิธีโปรแกรมเชิงเส้นแบบพีซี

ตารางที่ 5 ผลการเลือกโหมดและเวลาที่ใช้ของแต่ละกิจกรรมของ 3 วิธีการหาคำตอบ 3 วิธี

กิจกรรม	โหมด	เวลาของวิธีที่ 1 (วัน)	เวลาของวิธีที่ 2 (วัน)	เวลาของวิธีที่ 3 (วัน)
2	2	15	18	18
3	2	15	15	15
4	1	15	18	18
5	2	11	12	11
6	1	26	27	27
7	1	18	18	18
8	1	18	18	18
9	1	14	14	14
10	1	8	13	13
11	1	10	10	10

5. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเป้าหมายแบบฟัซซี่สำหรับปัญหาหลายวัตถุประสงค์ของงานโครงการชนิดหลายทางเลือกที่มีเงื่อนไขของทรัพยากรโดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อให้มีระยะเวลาการทำงานของโครงการและต้นทุนรวมของโครงการน้อยที่สุด ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีโปรแกรมเป้าหมาย โปรแกรมเชิงเส้นแบบฟัซซี่ที่ได้เคยมีผู้นำเสนอ และโปรแกรมเป้าหมายแบบฟัซซี่ชนิดตามลำดับความสำคัญที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ซึ่งพบว่าวิธีการทั้ง 3 สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาทางโครงการได้ โดยวิธีโปรแกรมเป้าหมายแบบฟัซซี่ชนิดตามลำดับให้คำตอบที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าวิธีการเนื่องจากผู้ตัดสินใจสามารถปรับค่าของคำตอบได้ตามความเหมาะสม ทำให้มีทางเลือกในการตัดสินใจได้หลากหลาย

งานวิจัยนี้เป็นการพิจารณาการใช้ทรัพยากรของโครงการเพียง 1 โครงการ แต่ในความเป็นจริงแล้ว อาจมีการดำเนินโครงการหลายโครงการไปพร้อมๆ กัน ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาตัวแบบสำหรับงานโครงการหลายโครงการที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกันต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Liang T-F. Fuzzy multi-objective project management decisions using two-phase fuzzy goal programming approach. *Com & Ind Eng*, 2009;57: 1407-1416.
- [2] Kim JY, Kang CW, Hwang I.A. practical approach to project scheduling: considering the potential quality loss cost in the time–cost tradeoff problem. *Int J. of Proj Manage.* (2011);30: 264–272.
- [3] Sakellariopoulos S, Chassiakos AP. Project time–cost analysis under generalised precedence relations. *Adv Eng Softw.* 2004;35: 715–724.
- [4] Chen S-P, Tsai M-J. Time–cost trade-off analysis of project networks in fuzzy environments. *Euro J. Oper Res*, 2009; 212: 386–397.
- [5] Babu A, Suresh N. Project management with time, cost, and quality considerations. *J Oper Res*, 1996; 88: 320-327.
- [6] Yang I-T. Performing complex project crashing analysis with aid of particle swarm optimization algorithm. *Int J Proj Manage.* 2006;25: 637–646.
- [7] Matthew JL, Bruce P-J. Extending project time–cost analysis by removing precedence relationships and task streaming. *Inter J of Proj Manage.* 2006;24: 529–535.
- [8] Wuliang P, Chengen W. A multi-mode resource-constrained discrete time–cost tradeoff problem and its genetic algorithm based solution. *Inter J. of Proj Manage.* 2008;27: 600–609.
- [9] Coelho J, Vanhoucke M. Multi-mode resource-constrained project scheduling using RCPSP and SAT solvers. *Euro J Oper Res.* 2011;213: 73–82.

- [10] Peteghen VV, Vanhoucke M. A genetic algorithm for the preemptive and non-preemptive multi-mode resource-constrained project scheduling problem. *Euro J Oper Res*, 2009;20: 409-418.
- [11] Wang L, Fang C. An effective shuffled frog-leaping algorithm for multi-mode resource-constrained project scheduling problem. *InformSci*, 2011;181: 4804-4822.
- [12] Heilmann R. A branch-and-bound procedure for the multi-mode resource-constrained project scheduling problem with minimum and maximum time lags. *Euro J Oper Res*. 2001;144: 348-365.
- [13] Yang JB, Li D. Normal vector identification and interactive tradeoff analysis using minimax formulation in multiobjective optimization. *IEEE T Fuzzy syst*, 2002;32(3): 305-319.
- [14] Li YJ, Hwang CL. *Fuzzy multiple objective decision making: Methods and Applications*; Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1994.
- [15] Ghoddousi P, Eshtehadian E, Jooybanpour S, Javanmardi A. Multi-mode resource-constrained discrete time-cost-resource optimization in project scheduling using non-dominated sorting genetic algorithm. *Automat Constr*. 2013;30: 216-227.
- [16] Long LD, Ohsato A. Fuzzy critical chain method for project scheduling under resource constraints and uncertainty. *Int J. of Proj Manage*. 2008;26: 688-698.