



การจัดการโครงการก่อสร้างโดยวิธีการหาเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่

CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT BY USING THE FUZZY CRITICAL PATH METHOD

สิรางค์ กลั่นคำสอน

กลุ่มวิจัยการจัดการการผลิตและอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

Corresponding author: sirang@eng.src.ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการหาเส้นทางวิกฤตสำหรับโครงการก่อสร้างบ้าน เวลาของกิจกรรมซึ่งมีความไม่แน่นอน กำหนดให้เป็นเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู วิธีการคำนวณเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่มี 3 ขั้นตอนคือ การหาเส้นทางเดินหน้าเพื่อหาเวลาเริ่มกิจกรรมเร็วสุด การหาเส้นทางย้อนกลับเพื่อหาเวลาเริ่มกิจกรรมช้าสุดและการหาเส้นทางเวลารวมที่ล่าช้าได้ ผลการศึกษาพบว่ากิจกรรมบนเส้นทางวิกฤตที่ไม่สามารถล่าช้าได้คือ การเตรียมพื้นที่ การวางผังการก่อสร้าง การขุดเจาะเสาเข็ม งานฐานราก โครงสร้าง การเทพื้นคอนกรีตชั้นล่าง การประกอบโครงสร้างหลังคาบ้าน การวางโครงสร้างชั้น 2 การวางโครงสร้างบันได การเทพื้นคอนกรีตชั้น 2 การฉาบผนัง การตกแต่งปูพื้นกระเบื้องและพื้นไม้และการตกแต่งภูมิทัศน์

คำสำคัญ: การจัดการ โครงการ; การก่อสร้าง; วิธีการหาเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the critical path of a house construction project. The uncertain duration of activities is set to be the trapezoidal fuzzy numbers. The calculation of the fuzzy critical path has three steps, which are the calculation of the forward pass to determine the earliest start time, the calculation of the backward pass to determine the latest start time and the calculation of the total float pass. The results show that the activities on the fuzzy critical path are the land preparation, construction layout, stake drilling, foundation works, concrete foundation pouring of the basement, roof structure, the second floor construction, ladder structure, concrete foundation pouring of the second floor, wall plastering, tile and wood flooring and landscape decoration.

KEYWORD: Project management; Construction; Fuzzy Critical Path Method

1. บทนำ

การจัดการโครงการ (Project management) เป็นกระบวนการวางแผน การดำเนินงาน การติดตามและการควบคุมโครงการใดๆ ที่กำลังศึกษาเพื่อให้บรรลุเป้าหมายทางการเงินและทางด้านเวลา [1] การจัดการเวลาของโครงการเป็นกระบวนการที่สำคัญของการจัดการโครงการในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อให้โครงการแล้วเสร็จภายในระยะเวลาที่กำหนดตามความต้องการของลูกค้า การจัดการเวลากิจกรรมของโครงการมีปัจจัยที่ขึ้นกับขั้นตอนการดำเนินงานของแต่ละโครงการโดยทั่วไป ขั้นตอนการดำเนินงานของแต่ละโครงการประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์ขอบเขตของโครงการ (Scope) และการสร้างโครงสร้างแบบลำดับชั้นของงานย่อยหรือที่เรียกว่า “Work Breakdown Structure” หรือ (WBS) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการกำหนดนโยบายและขั้นตอนในการจัดการโครงการ 2) การกำหนดกิจกรรมหรืองานย่อยของโครงการ (Activities) เป็นการระบุกิจกรรมที่จำเป็นขอบเขต และผู้รับผิดชอบ รวมถึงกลุ่มกิจกรรม 3) กำหนดทรัพยากรของแต่ละกิจกรรม (Resources) อาทิเช่น เครื่องจักร อุปกรณ์ และแรงงานประเภทต่าง ๆ เป็นต้น 4) ประมาณการระยะเวลาของกิจกรรม (Activity duration) หมายถึงระยะเวลาที่ต้องการในการทำกิจกรรมให้แล้วเสร็จ 5) พิจารณาความสัมพันธ์ของกิจกรรม (Activity dependencies หรือ Activity relationships) เป็นการพิจารณาลำดับก่อนและหลังของกิจกรรม 6) ประเมินตารางเวลาของโครงการ (Project schedule) เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของกำหนดการโครงการ 7) ติดตามและควบคุมตารางเวลาของโครงการ (Monitor and control the project schedule) ให้เป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้

โครงการก่อสร้างโดยทั่วไปประกอบด้วยงานย่อยหลายขั้นตอนที่มีความเชื่อมโยงและดำเนินการร่วมกันขึ้นกับหลายปัจจัยสรุปตามลำดับได้ดังนี้ 1) การเตรียมพื้นที่ ขนย้ายเครื่องมืออุปกรณ์และจัดเตรียมที่พักคนงาน 2) การวางผังการก่อสร้างหรืออาคาร 3) งานเสาเข็มตอกหรือเสาเข็มเจาะ การทดสอบความแข็งแรงและการรับน้ำหนักเพื่อเตรียมหล่อฐานราก 4) งานฐานรากของโครงสร้าง ประกอบด้วย ฐานรากและเสาตอม่อ นอกจากนี้ ทำการก่อสร้างโครงสร้างชั้น 1 ที่ประกอบด้วย คานคอดิน เสา คาน และพื้นชั้นล่างและมีการวางระบบสุขาภิบาล 5) การก่อสร้างโครงสร้างแต่ละชั้น การประกอบโครงหลังคาและโครงสร้างระบบสุขาภิบาล 6) การก่อโครงสร้างหลังคา โครงสร้างบันไดและโครงสร้างระบบสุขาภิบาล 7) การก่อผนัง การติดตั้งวงกบไม้ประตูดหรือหน้าต่าง การติดตั้งระบบสาธารณูปโภค เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบประปาหรือระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น 8) การฉาบผนังและติดตั้งฝ้าเพดาน 9) การตกแต่งพื้นผิววัสดุ การติดตั้งประตูและหน้าต่าง การติดตั้งเฟอร์นิเจอร์หรือเครื่องใช้ตามที่ลูกค้าต้องการ และ 10) การสำรวจความสมบูรณ์ของการก่อสร้าง ในทางปฏิบัติขั้นตอนดังกล่าวอาจมีการสลับลำดับการดำเนินงาน ดำเนินงานร่วมกันหรือดำเนินงานแยกจากกัน เวลาการดำเนินงานของแต่ละขั้นตอนมีการวางแผนไว้ล่วงหน้า อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบของโครงการก่อสร้างในทางปฏิบัติ คือ การเกิดความคลาดเคลื่อนของเวลาในการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนที่อาจส่งผลให้เกิดความล่าช้าของเวลาเสร็จโครงการซึ่งนำไปสู่การเกิดค่าปรับให้แก่ผู้รับเหมา

ดังนั้น การบริหารโครงการก่อสร้างจึงมีความสำคัญที่ต้องดำเนินการให้มีประสิทธิภาพ เครื่องมือในการบริหารโครงการที่สำคัญเครื่องมือหนึ่งคือ “วิธีการหาเส้นทางวิกฤติ” (Critical path method) ได้ถูกพัฒนาครั้งแรกในช่วง ค.ศ. 1950 โดย Morgan R. Walker และ James E. Kelley Jr. วิธีเส้นทางวิกฤติเป็นการจัดการตารางกิจกรรมของโครงการตั้งแต่กิจกรรมแรกถึงกิจกรรมสุดท้ายในการหาเส้นทางของกิจกรรมให้มีระยะเวลาที่สั้นที่สุด ประโยชน์ของวิธีเส้นทางวิกฤติเพื่อทำการหางานวิกฤติ (Critical activities)

ที่ไม่สามารถล่าช้าได้ทำให้ทราบถึงกำหนดการแล้วเสร็จของโครงการ ผลของวิธีเส้นทางวิกฤติสามารถนำไปเปรียบเทียบกับผลการปฏิบัติงานจริงของโครงการ พารามิเตอร์ที่สำคัญของวิธีเส้นทางวิกฤติประกอบด้วยค่าของเวลากิจกรรม อย่างไรก็ตาม เวลากิจกรรมมีความผันแปรจึงมีการนำเสนอแนวคิดของทฤษฎีฟัซซี่ (Fuzzy theory) ร่วมกับผลกระทบที่มีต่อเวลากิจกรรมของโครงการ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อจัดการกิจกรรมของโครงการก่อสร้างบ้านจากบริษัทกรณีศึกษาโดยใช้วิธีการหาเส้นทางวิกฤติแบบฟัซซี่เพื่อให้เวลาเสร็จโครงการสั้นที่สุด

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตกับการจัดการโครงการพบในงานวิจัยของ [2] ซึ่งนำเสนอวิธีการจัดการโครงการโดยสมมติว่าระยะเวลาของกิจกรรมเป็นเลขจำนวนฟัซซี่แบบสามเหลี่ยม วิธีการปรับปรุงเส้นทางย้อนกลับได้ถูกพัฒนาขึ้นร่วมกับสมการเชิงเส้นตรงเพื่อกำจัดคำตอบที่เป็นค่าลบและคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ การจัดการโครงการโดยใช้โปรแกรมเชิงเป้าหมายแบบฟัซซี่และโปรแกรมเชิงเส้นหลายวัตถุประสงค์ที่ขัดแย้งกัน ได้ถูกพัฒนาใน [3] วัตถุประสงค์เพื่อหาต้นทุนรวมและเวลาเสร็จของโครงการที่ต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขของต้นทุนที่ต่ำที่สุดซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนทางตรง ต้นทุนทางอ้อม ค่าปรับระยะเวลาของกิจกรรมและงบประมาณ ผลการศึกษาพบว่าเวลาเสร็จของโครงการที่ต่ำที่สุดมักมีความขัดแย้งกับต้นทุนที่ต่ำที่สุด ระบบการจัดการโครงการให้ประสบความสำเร็จโดยใช้ระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกได้ถูกนำเสนอโดย [4] พารามิเตอร์ที่ศึกษาผลกระทบที่มีต่อคุณภาพของโครงการคือ เวลาและต้นทุนของโครงการ ผลการศึกษาพบว่าต้องทำให้เกิดความสมดุลระหว่างขอบเขต (ขนาดและเป้าหมายโครงการ) เวลาเสร็จโครงการและงบประมาณจึงจะทำให้โครงการมีเวลาและต้นทุนต่ำที่สุด โดยไม่คุณภาพหรือความสำเร็จของโครงการสูงสุด งานวิจัยของ [5] ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตในการตัดสินใจเลือกโครงการที่ดีที่สุดภายใต้ความไม่แน่นอน โครงสร้างได้ถูกออกแบบ 3 ส่วนคือ Fuzzification, Defuzzification และ Interface system จากการศึกษาพบว่ากำไรของโครงการขึ้นกับระดับของอัตราผลตอบแทน ผลกระทบทางเศรษฐกิจจากการใช้เทคโนโลยีที่เพิ่มมากขึ้นและความสามารถของอุปกรณ์

การใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นในการประเมินความล่าช้าของเวลาโครงการถูกพบในงานวิจัยของ [6] โดยพบว่าความถี่ของสภาพอากาศและประสิทธิภาพของแรงงานที่ระดับต่างกันส่งผลต่อความล่าช้าของโครงการก่อสร้าง การประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตได้ถูกนำมาใช้ในการบริหารความเสี่ยงของโครงการดังที่กล่าวใน [7] ได้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงการโดยพบว่าจำนวนความเสี่ยงและมูลค่าของความเสี่ยงของงานย่อยส่งผลต่อมูลค่ารวมของความเสี่ยงของทั้งโครงการ และ [8] ใช้ฟัซซี่ลอจิกประเมินความเสี่ยงทางการเงินจากการสูญเสียงบประมาณ โดยพบว่าความเสี่ยงทางการเงินขึ้นกับมูลค่าของโครงการและช่วงเวลาดำเนินโครงการ รวมถึงงานวิจัยของ [9,10] ได้ใช้วิธีเส้นทางวิกฤติแบบฟัซซี่เมื่อระยะเวลาของกิจกรรมมีความไม่แน่นอนสำหรับการจัดการโครงการเพื่อหาเส้นทางวิกฤติโดยใช้ค่าช่วงความเชื่อมั่นทางสถิติและวิธีการจัดลำดับระยะทางแบบฟัซซี่

ทฤษฎีฟัซซี่เซตถูกพบในการจัดการโครงการก่อสร้างและการขนส่ง โครงการก่อสร้างโดยทั่วไปนั้นมีปัจจัยความเสี่ยงหลายประการที่ส่งผลต่อระยะเวลาของโครงการ อาทิเช่น สภาพอากาศ คุณสมบัติของดิน หรือ ความผิดพลาดจากการออกแบบ เป็นต้น

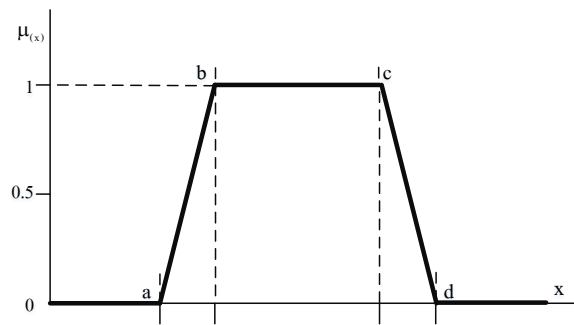
ซึ่งส่งผลให้การใช้วิธีการหาเส้นทางวิกฤตที่มีเวลาคงที่เกิดความไม่แม่นยำ ดังนั้น จึงมีการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองต่าง ๆ ดังแสดงใน [11] ที่มีการประเมินความเสี่ยงของโครงการก่อสร้างที่มีแหล่งของความเสี่ยงไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากระดับที่แตกต่างกันของปัจจัยความเสี่ยง ประเภทความเสี่ยงและผลที่เกิดจากความเสี่ยง การเกิดความเสี่ยงมีลักษณะของฟัซซี่ในรูปของเวลา ต้นทุน คุณภาพและความปลอดภัย งานวิจัยของ [12] ได้ใช้วิธีเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่กับอุตสาหกรรมการบินบริการขนส่งของท่าอากาศยาน โดยพบว่าวิธีเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่สามารถช่วยปรับปรุงการขนถ่ายและการให้บริการภาคพื้นดินของอาคารคลังสินค้าโดยสามารถปรับปรุงความเร็วและคุณภาพการให้บริการเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้แล้ว [13,14] ได้ใช้วิธีเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่สำหรับโครงการก่อสร้างโดยพิจารณาความเสี่ยงของโครงการที่มีความไม่แน่นอนของเวลากิจกรรมซึ่งประกอบด้วย เวลาเสร็จโครงการ เวลาเร็วสุดเริ่มกิจกรรม เวลาช้าสุดเริ่มกิจกรรม เวลาเร็วสุดเสร็จกิจกรรม เวลาช้าสุดเสร็จกิจกรรม รวมถึงพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม

แบบจำลองของวิธีเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่ได้มีการพัฒนาร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ สำหรับการหาเส้นทางวิกฤต ดังเช่นในงานวิจัยของ [14] ได้ใช้วิธีการจำลองปัญหาแบบมอนติคาร์โลสำหรับการหาเส้นทางวิกฤตสำหรับโครงการก่อสร้างเมื่อระยะเวลาของโครงการเป็นแบบฟัซซี่และมีความสัมพันธ์กับปัจจัยความเสี่ยง การประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงกับวิธีเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่ ถูกนำเสนอใน [15,16] ที่ได้ใช้วิธีเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่เมื่อระยะเวลาของกิจกรรมมีความไม่แน่นอนเพื่อหาเส้นทางที่สำคัญที่สุด และ [17] ได้ใช้วิธีเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงเพื่อกำหนดตารางเวลาสำหรับโครงการก่อสร้างเพื่อลดความล่าช้าจากการขาดแคลนวัสดุก่อสร้างโดยมีเวลาเสร็จงานและต้นทุนต่ำที่สุด วิธีการของ “Petri Nets” ได้ถูกพบใน [18] สำหรับการจัดการโครงการที่มีกิจกรรมเชื่อมโยงกันในโครงข่ายเพื่อหาเส้นทางวิกฤต วิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ในการหาเส้นทางวิกฤตภายใต้สภาวะแบบฟัซซี่ของกระบวนการผลิตได้ถูกนำเสนอใน [19] โดยพิจารณาเกณฑ์ทางด้านเวลา ต้นทุน ความเสี่ยงและคุณภาพของการผลิต งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ได้กล่าวมาตั้งสมมติฐานให้เลขฟัซซี่เป็นแบบสามเหลี่ยม ส่วนงานวิจัยของ [20] ใช้วิธีเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่โดยมีเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูของค่าเวลาของแต่ละกิจกรรมสำหรับโครงการก่อสร้าง

3. วิธีการวิจัย

วิธีการหาเส้นทางวิกฤตเมื่อใช้เลขฟัซซี่จะมีขั้นตอนเหมือนกับวิธีการหาเส้นทางวิกฤตเมื่อเวลาของกิจกรรมมีค่าแน่นอน โดยใช้เวลาของกิจกรรมและความสัมพันธ์ของกิจกรรมในการสร้างตารางเวลาของโครงการ อย่างไรก็ตาม เวลาของกิจกรรมการก่อสร้างบ้านมักจะไม่แน่นอนซึ่งสามารถแสดงค่าความไม่แน่นอนของเวลาโดยใช้เลขฟัซซี่ (Fuzzy number) เลขฟัซซี่มีหลายประเภท โดยพบว่าสำหรับโครงการก่อสร้างนั้นค่าของเวลากิจกรรมสามารถประมาณการได้โดยใช้เลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู [2,12,13,19,20]

ระยะเวลาของกิจกรรมกำหนดให้เป็นเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal fuzzy number) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยกำหนดให้ $X=(a_1, b_1, c_1, d_1)$ และ $Y=(a_2, b_2, c_2, d_2)$



รูปที่ 1 เลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู

ฟังก์ชันสมาชิกของเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูแสดงในสมการที่ 1

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & ; c \leq x \leq d \end{cases} \quad (1)$$

เครื่องหมายทางพีชคณิต (Algebraic operations) ของเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูกรณีเครื่องหมายบวกแสดงดังสมการที่ (2)

$$X + Y = (a_1, b_1, c_1, d_1) + (a_2, b_2, c_2, d_2) = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2) \quad (2)$$

เครื่องหมายทางพีชคณิต (Algebraic operations) ของเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูกรณีเครื่องหมายลบแสดงดังสมการที่ (3)

$$X - Y = (a_1, b_1, c_1, d_1) - (a_2, b_2, c_2, d_2) = (a_1 - d_2, b_1 - c_2, c_1 - b_2, d_1 - a_2) \quad (3)$$

ในการแปลงเลขจำนวนฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูให้เป็นเลขจำนวนจริง (Defuzzification) แสดงดังสมการที่ (4)

$$R = \frac{(c^2 + d^2 + cd) - (a^2 + b^2 + ab)}{3 * [(c + d) - (b + a)]} \quad (4)$$

ขั้นตอนของวิธีการหาเส้นทางวิกฤติเมื่อเวลาของกิจกรรมเป็นเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูแสดงดังต่อไปนี้

3.1 วิธีการหาเส้นทางวิกฤติแบบฟัซซี่ (Fuzzy critical path method)

ขั้นตอนวิธีการหาเส้นทางวิกฤติแบบฟัซซี่มีดังต่อไปนี้

3.1.1 กำหนดระยะเวลาของกิจกรรมของการก่อสร้างบ้านโดยใช้ข้อมูลจากบริษัทกรณีศึกษาซึ่งเป็นผู้รับเหมาก่อสร้าง จากนั้นสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม โดยกำหนดเวลาเริ่มต้นเท่ากับ (0,0,0) และเวลาเสร็จโครงการเท่ากับ (0,0,0) เป้าหมายเพื่อหากิจกรรมที่ไม่สามารถล่าช้าได้ (Critical activity) ซึ่งจะส่งผลต่อเวลาเสร็จของโครงการและหากิจกรรมที่สามารถล่าช้าได้ (Non-critical activity) ที่สามารถกำหนดเวลาเพื่อได้ กำหนดให้ D_i = ระยะเวลาฟัซซี่ของกิจกรรม i ใดๆ (วัน)

3.1.2 เส้นทางเดินหน้า (Forward pass) เพื่อหาเวลาฟัซซี่เสร็จกิจกรรม i ใดๆ ดังแสดงในสมการที่ (5)

$$EF_i = ES_i + D_i \quad (5)$$

เวลาเริ่มกิจกรรมเร็วสุดของกิจกรรม i ใดๆ แสดงดังสมการที่ (6) โดยที่ $k =$ กิจกรรมก่อนหน้า i

$$ES_i = \max[EF_1, EF_2, \dots, EF_k] \quad k \in K \quad (6)$$

เมื่อ $EF_i =$ เวลาพีชชีเสร็จกิจกรรม i ใดๆ โดย $EF_0 =$ เวลาพีชชีเสร็จกิจกรรมเร็วสุดเมื่อเริ่มต้นโครงการ $= (0,0,0,0)$

$ES_i =$ เวลาเริ่มกิจกรรมเร็วสุดของกิจกรรม i ใดๆ

3.1.3 เส้นทางย้อนกลับ (Backward pass) เพื่อหาเวลาพีชชีเริ่มกิจกรรมช้าสุดของกิจกรรม i ใดๆ ดังแสดงในสมการที่ (7)

$$LS_i = LF_i - D_i \quad (7)$$

เวลาเสร็จกิจกรรมช้าสุดของกิจกรรม i ใดๆ แสดงดังสมการที่ (8) โดยที่ $j =$ กิจกรรมตามหลัง i

$$LF_i = \min[LS_1, LS_2, \dots, LS_j] \quad j \in J \quad (8)$$

เมื่อ $LS_i =$ เวลาพีชชีเริ่มช้าสุดของกิจกรรม i ใดๆ

$LF_i =$ เวลาพีชชีเสร็จช้าสุดของกิจกรรม i ใดๆ

3.1.4 หาเวลารวมที่ล่าช้าได้ (Total float หรือ Slack time) ค่าเวลาเพื่อที่ล่าช้าได้คือเวลาของกิจกรรมหรือทั้งเส้นทางของโครงการที่สามารถล่าช้าได้ตั้งแต่เวลาเริ่มกิจกรรมที่เร็วที่สุดโดยไม่ทำให้เวลาเสร็จของโครงการได้รับผลกระทบดังสมการที่ (9)

$$TF_i = LF_i - EF_i \quad (9)$$

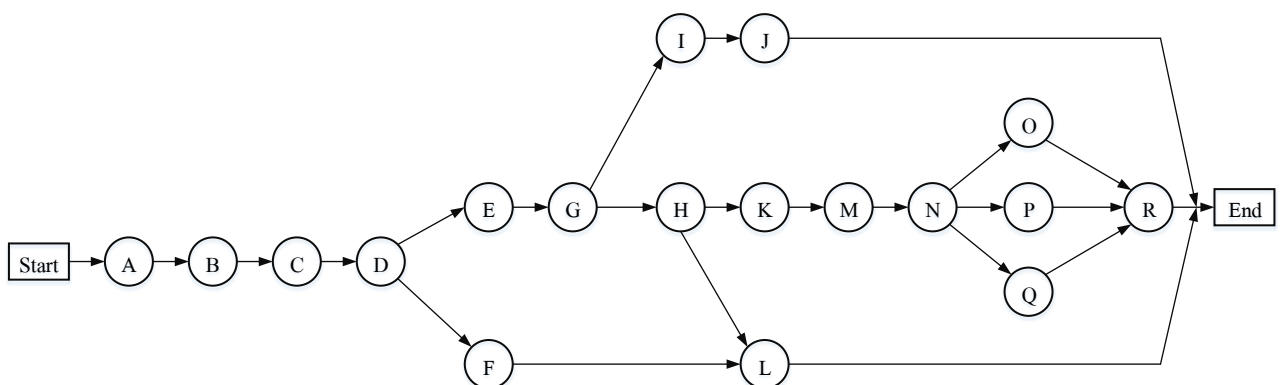
เมื่อ $TF_i =$ เวลารวมพีชชีที่ล่าช้าได้ของกิจกรรม i ใดๆ

3.2 กรณีศึกษา

งานวิจัยนี้พัฒนาแบบจำลองเพื่อหาเส้นทางวิกฤติของโครงการก่อสร้างบ้านเมื่อเวลาของกิจกรรมมีค่าเป็นเลขพีชชีแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ข้อมูลเวลาและกิจกรรมก่อนหน้าได้มาจากการบันทึกข้อมูลของบริษัทผู้รับเหมาก่อสร้างรายหนึ่งซึ่งเป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลเวลาของกิจกรรมการสร้างบ้านของบริษัทกรณีศึกษา

กิจกรรม	รายละเอียดกิจกรรม	กิจกรรมก่อนหน้า	ระยะเวลาพัชชี (วัน)
A	เตรียมพื้นที่ ปรับระดับดิน เครื่องมือและอุปกรณ์	-	(7,12,15,30)
B	วางผังการก่อสร้างและตำแหน่งเสาเข็ม	A	(3,4,5,7)
C	ขุดเจาะเสาเข็มและการทดสอบความแข็งแรงและการรับน้ำหนักเพื่อเตรียมหล่อฐานราก	B	(5,7,10,15)
D	งานฐานรากโครงสร้าง คานคอดิน พื้นชั้นล่าง	C	(12,14,18,21)
E	เทพื้นคอนกรีตชั้นล่าง	D	(7,10,12,14)
F	วางโครงสร้างระบบสุขาภิบาล/ไฟฟ้ารอบบ้าน	D	(14,21,24,30)
G	ประกอบโครงสร้างหลังคาบ้าน	E	(45,50,55,60)
H	วางโครงสร้างชั้น 2	G	(35,38,42,45)
I	มุงกระเบื้องหลังคา	G	(10,13,15,22)
J	ติดตั้งรางน้ำฝน	I	(3,4,7,8)
K	วางโครงสร้างบันได	H	(8,11,13,14)
L	วางโครงสร้างระบบสุขาภิบาล/ไฟฟ้าชั้น 2	H,F	(8,11,14,22)
M	เทพื้นคอนกรีตชั้น 2	K	(7,8,14,21)
N	ก่อฉาบผนัง	M	(52,60,66,75)
O	ติดตั้งวงกบ ประตู หน้าต่าง	N	(5,7,9,12)
P	ติดตั้งฝ้าเพดาน	N	(10,13,15,21)
Q	ตกแต่งปูพื้นกระเบื้องและพื้นไม้	N	(14,21,30,36)
R	ตกแต่งภูมิทัศน์	O,P,Q	(3,5,6,7)



รูปที่ 2 โครงข่ายกิจกรรมของการสร้างบ้านของบริษัทกรณีศึกษา

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลของเส้นทางเดินหน้าสำหรับกิจกรรมการสร้างบ้านแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลเวลาเสร็จกิจกรรมของการสร้างบ้านสำหรับบริษัทกรณีศึกษา

กิจกรรม	เวลาเริ่มกิจกรรมเร็วสุด (วัน)	ระยะเวลาพัชชี (วัน)	เวลาเสร็จกิจกรรมเร็วสุด (วัน)
เริ่ม	(0,0,0,0)	(0,0,0,0)	(0,0,0,0)
A	(0,0,0,0)	(7,12,15,(30	(7,12,15,(30
B	(7,12,15,(30	(3,4,5,(7	(10,16,20,(37
C	(10,16,20,(37	(5,7,10,(15	(15,23,30,(52
D	(15,23,30,(52	(12,14,18,(21	(27,37,48,(73)
E	(27,37,48,(73)	(7,10,12,(14	(34,47,60,(87)
F	(27,37,48,(73)	(14,21,24,(30	(41,58,72,(103)
G	(34,47,60,(87)	(45,50,55,(60	(79,97,115,(147)
H	(79,97,115,(147)	(35,38,42,(45	(114,135,157,(192)
I	(79,97,115,(147)	(10,13,15,(22	(89,110,130,(169)
J	(89,110,130,(169)	(3,4,7,(8	(92,114,137,(177)
K	(79,97,115,(147)	(8,11,13,(14	(87,108,128,(161)
L	(114,135,157,(192)	(8,11,14,(22	(122,146,171,(214)
M	(87,108,128,(161)	(7,8,14,(21	(94,116,142,(182)
N	(94,116,142,(182)	(52,60,66,(75	(146,176,208,(257)
O	(146,176,208,(257)	(5,7,9,(12	(151,183,217,(269)
P	(146,176,208,(257)	(10,13,15,(21	(156,189,223,(278)
Q	(146,176,208,(257)	(14,21,30,(36	(160,197,238,(293)
R	(160,197,238,(293)	(3,5,6,(7	(163,202,244,(300)
สิ้นสุด	(163,202,244,(300)	(0,0,0,0)	(163,202,244,(300)

4.2 ผลของเส้นทางย้อนกลับ

ผลของเส้นทางย้อนกลับแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลเวลาเสร็จกิจกรรมของการสร้างบ้านสำหรับบริษัทกรณีศึกษา

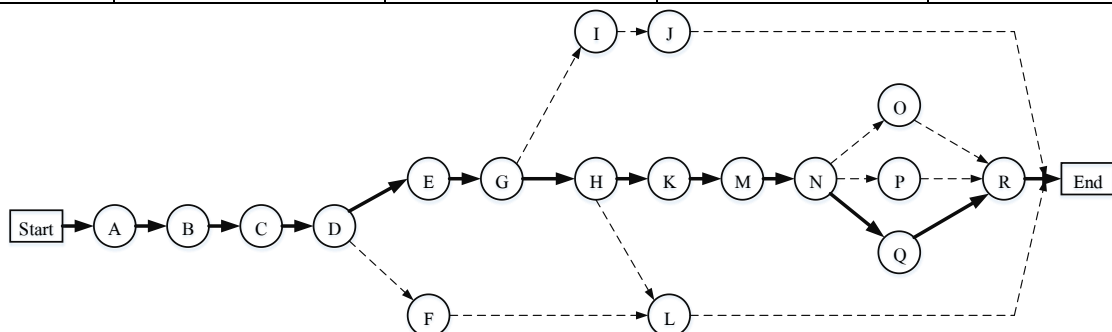
กิจกรรม	เวลาเสร็จกิจกรรมล่าสุด (วัน)	ระยะเวลาพัชชี (วัน)	เวลาเริ่มกิจกรรมล่าสุด (วัน)
เริ่ม	(0,0,0,0)	(0,0,0,0)	(-182,-84,4,101)
A	(-152,-69,16,108)	(7,12,15,30)	(-182,-84,4,101)
B	(-145,-64,20,111)	(3,4,5,7)	(-152,-69,16,108)
C	(-130,-54,27,116)	(5,7,10,15)	(-145,-64,20,111)
D	(-109,-36,41,128)	(12,14,18,21)	(-130,-54,27,116)
E	(-95,-24,51,135)	(7,10,12,14)	(-109,-36,41,128)
F	(141,188,233,292)	(14,21,24,30)	(111,164,212,278)
G	(-35,31,101,180)	(45,50,55,60)	(-95,-24,51,135)
H	(10,73,139,215)	(35,38,42,45)	(-35,31,101,180)
I	(155,195,240,297)	(10,13,15,22)	(133,180,227,287)
J	(163,202,244,300)	(3,4,7,8)	(155,195,240,297)
K	(24,86,150,223)	(8,11,13,14)	(10,73,139,215)
L	(163,202,244,300)	(8,11,14,22)	(141,188,233,292)
M	(45,100,158,230)	(7,8,14,21)	(24,86,150,223)
N	(120,166,218,283)	(52,60,66,75)	(45,100,158,230)
O	(156,196,239,297)	(5,7,9,12)	(144,187,232,292)
P	(156,196,239,297)	(10,13,15,21)	(135,181,226,287)
Q	(156,196,239,297)	(14,21,30,36)	(120,166,218,283)
R	(163,202,244,300)	(3,5,6,7)	(156,196,239,297)
สิ้นสุด	(163,202,244,300)	(0,0,0,0)	(163,202,244,300)

4.3 ผลของเวลารวมที่ล่าช้าได้

ผลของเวลารวมที่ล่าช้าได้แสดงในตารางที่ 4 เส้นทางวิกฤติคือเส้นทางที่มีเวลารวมที่ล่าช้าเท่ากับ 0 ทั้งเส้นทาง (หรือ Total float เท่ากับ 0)

ตารางที่ 4 ผลของเวลารวมที่ล่าช้าได้ของการสร้างบ้านสำหรับบริษัทกรณีศึกษา

กิจกรรม	เวลาเสร็จกิจกรรมช้าสุด (วัน)	เวลาเสร็จกิจกรรมเร็วสุด (วัน)	เวลารวมที่ล่าช้าได้ (วัน)	เวลารวมที่ล่าช้าได้ (Defuzzification)
เริ่ม	(0,0,0,0)	(0,0,0,0)	(-182,-84,4,101)	0
A	(-152,-69,16,108)	(7,12,15,30)	(-182,-84,4,101)	0
B	(-145,-64,20,111)	(10,16,20,37)	(-182,-84,4,101)	0
C	(-130,-54,27,116)	(15,23,30,52)	(-182,-84,4,101)	0
D	(-109,-36,41,128)	(27,37,48,73)	(-182,-84,4,101)	0
E	(-95,-24,51,135)	(34,47,60,87)	(-182,-84,4,101)	0
F	(141,188,233,292)	(41,58,72,103)	(38,116,175,251)	144.91
G	(-35,31,101,180)	(79,97,115,147)	(-182,-84,4,101)	0
H	(10,73,139,215)	(114,135,157,192)	(-182,-84,4,101)	0
I	(155,195,240,297)	(89,110,130,169)	(-14,65,130,208)	97.2
J	(163,202,244,300)	(92,114,137,177)	(-14,65,130,208)	97.2
K	(24,86,150,223)	(87,108,128,161)	(-137,-42,42,136)	0
L	(163,202,244,300)	(122,146,171,214)	(-51,31,98,178)	63.91
M	(45,100,158,230)	(94,116,142,182)	(-137,-42,42,136)	0
N	(120,166,218,283)	(146,176,208,257)	(-137,-42,42,136)	0
O	(156,196,239,297)	(151,183,217,269)	(-113,-21,56,146)	16.91
P	(156,196,239,297)	(156,189,223,278)	(-122,-27,50,141)	10.32
Q	(156,196,239,297)	(160,197,238,293)	(-137,-42,42,137)	0
R	(163,202,244,300)	(163,202,244,300)	(-137,-42,42,137)	0
สิ้นสุด	(0,0,0,0)	(0,0,0,0)	(-182,-84,4,101)	0



รูปที่ 3 ผลเส้นทางวิกฤตการสร้างบ้านของบริษัทกรณีศึกษา

-
- [12] Han, T.C. *et al.* Application of fuzzy critical path method to airport's cargo ground operation systems. *Journal of Marine Science and Technology*, 2006, 14(3), pp. 139-146. Corpus ID: 1821465
- [13] Ökmen, Ö. and Öztas, A. A CPM-based scheduling method for construction projects with fuzzy sets and fuzzy operations. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 2014, 56(2), pp. 1-8.
- [14] Ökmen, Ö. and Öztas, A. Uncertainty evaluation with fuzzy schedule risk analysis model in activity networks of construction projects. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 2014, 56(2), pp. 9-20.
- [15] Chen, S.P. and Hsueh, Y.J. A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks. *Applied Mathematical Modelling*, 2008, 32, pp. 1289-1297. DOI: 10.1016/j.apm.2007.04.009
- [16] Kaur, P. and Kumar, A. Linear programming approach for solving fuzzy critical path problems with fuzzy parameters. *Applied Soft Computing*, 2014, 21, pp. 309–319. DOI: 10.1016/j.asoc.2014.03.017
- [17] Castro-Lacouture, D. *et al.* Construction project scheduling with time, cost, and material restrictions using fuzzy mathematical models and critical path method. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2009, 135 (10), pp. 1096–1104. DOI: 10.1061/ ASCE 0733-9364 2009 135:10 1096
- [18] Boushaala, A.A.M. *et al.* An approach for project scheduling using PERT/CPM and Petri Nets (PNs) tools. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2013, 3(5), pp. 3200–3206. DOI: 10.6084/m9.figshare.1093976.v1
- [19] Mehlaawat, M.K. and Gupta, P. A new fuzzy group multi-criteria decision making method with an application to the critical path selection. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016, 83, pp. 1281-1296. DOI: 10.1007/s00170-015-7610-4
- [20] Kurij, K. *et al.* . Analysis of construction dynamic plan using Fuzzy Critical Path Method. *TEHNIKA-NAŠE GRAĐEVINARSTVO*, 2014, 69(2), pp. 209–215. UDC: 69:519.876.3
- [21] Nasution, S. *Techniques and applications of fuzzy theory to critical path methods*, Indonesia: Academic Press, 1999