การใช้การวิเคราะห์ฟอลท์ทรีในการแสดงผลกระทบจากปัจจัยเสี่ยงต่อเวลาในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย

เทอดธิดา ทิพย์รัตน์*
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย วังใหม่ ปทุวัน กรุงเทพ 10330

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเวลาในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยเพื่อวางแผนการก่อสร้าง โดยประยุกต์ใช้วิธีฟอลท์ทรี (Fault Tree Analysis : FTA) การวิจัยเริ่มจากรวบรวมและศึกษาเอกสารและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมก่อสร้างบ้านพักอาศัยและปัจจัยที่ทำให้งานล่าช้า และวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของความเสี่ยงที่ทำให้เกิดความล่าช้าแล้วแสดงในรูปแผนภาพฟอลท์ทรีของแต่ละกิจกรรม จากนั้นจึงเก็บข้อมูลน้ำหนักความสำคัญ ความน่าจะเป็น และผลกระทบของแต่ละสาเหตุต่อเวลาในการก่อสร้างของแต่ละกิจกรรม โดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการประชุมระดมสมอง แล้วทำการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญด้วยวิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี่ ส่วนค่าคาดหวังของเวลาที่ล่าช้าในแต่ละกิจกรรมของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ฟอลท์ทรีในเชิงปริมาณ โดยทำการวิจัยในกิจกรรมก่อสร้างอาคารบ้านพัก 8 กิจกรรม พบว่า ลำดับของกิจกรรมเรียงตามผลกระทบจากความล่าช้าคือ งานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้างบนดิน งานประปาและสุขาภิบาล งานดิน งานเสาเข็มและฐานราก งานไฟฟ้า งานก่อนงานก่อสร้าง และการเตรียมงานก่อสร้าง ตามลำดับ โดยสาเหตุที่มีระดับความเสี่ยงที่จะทำให้การก่อสร้างบ้านพักล่าช้าสูงสุดคือ 1) สถานะการเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคง 2) เจ้าของเงินจ่ายเงินแก่ผู้รับเหมาล่าช้า และ 3) ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน วิธีการที่นำเสนอสามารถระบุกิจกรรมที่มีความเสี่ยงสูงสุดและสามารถระบุสาเหตุพื้นฐานของความเสี่ยงในแต่ละกิจกรรม อีกทั้งยังสามารถประเมินและจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุพื้นฐานที่มีผลกระทบต่อหลายกิจกรรม ทำให้ผู้จัดการโครงการสามารถจัดการมาตรการจัดการความเสี่ยงในแต่ละกิจกรรมและภาพรวมของโครงการได้

คำสำคัญ : การวิเคราะห์ฟอลท์ทรี / การก่อสร้างบ้านพักอาศัย / ความล่าช้า

* *อาจารย์ ภาควิชาบริหารงานก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์*

The Use of Fault Tree Analysis to Visualize the Impact of Risk Factors on House Construction Duration

Thoedtida Thipparat*

Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Uthenthawai Campus, Wangmai, Phatumwan, Bangkok, 10330

Abstract

This research aimed to analyze the factors having an impact on house construction duration. The methodology was composed of studying the literature associated with the activities of house construction and factors causing the delay. Problems and delay causes in house construction were collected and combined with the brainstorming results. Fault Tree Analysis (FTA) was used to analyze the root causes of the delay problems. Weights, probabilities of occurrences, and consequences of delay causes were collected by using questionnaires and brainstorming. Fuzzy Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to determine the weights of the delay causes. Factors affecting house construction duration were analyzed qualitatively and quantitatively by using FTA. This study focused on 8 activities of house construction; all the activities were ranked based on their impact on the delay factors including 1) architectural work, 2) construction, 3) water system and sanitary work, 4) cut and fill, 5) pile and foundation, 6) electrical work, 7) pre-construction, and 8) preparation. Top three causes of the delay were composed of contractor's financial condition, payment delay from owners in construction work, and labour shortage. The proposed approach can help a project manager prioritize risky activities and risk factors having an impact on activity and the entire project. The suitable proactive risk measures can be developed to undertake the risks.

Keywords : Delay / Fault Tree Analysis / House Construction

* *Lecturer, Department of Construction Management, Faculty of Engineering and Architecture.*

1. บทนำ

เนื่องจากโครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัยได้รับผลกระทบจากปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าหลากหลายปัจจัย เช่น ปัจจัยด้านการเงิน แรงงาน วัสดุ เครื่องจักร อุปกรณ์ก่อสร้าง คุณภาพ กระบวนการก่อสร้าง สัญญา สภาพภูมิประเทศที่ไม่เหมาะสมกับการทำงานและชุมชนในบริเวณสถานที่ก่อสร้าง ปัจจัยดังกล่าวนอกจากจะมีผลกระทบต่อระยะเวลาในการก่อสร้างแล้ว ยังมีผลกระทบต่อต้นทุน และคุณภาพของโครงการก่อสร้างด้วย ปัจจัยเหล่านี้เกี่ยวข้องกับบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง คือ ผู้ว่าจ้าง ผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงานก่อสร้างและผู้รับจ้าง ทั้งนี้เนื่องจากโครงการก่อสร้างถูกดำเนินงานภายใต้ขีดจำกัดของงบประมาณ กำหนดระยะเวลา และคุณภาพของงาน พร้อมทั้งยังมีกิจกรรมที่มีความซับซ้อนของงานและมีผู้เกี่ยวข้องมากมาย พบว่าในแต่ละกิจกรรมการก่อสร้างอาจมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นได้ จึงทำให้งานก่อสร้างล่าช้า ผลกระทบจากปัจจัยเหล่านี้ทำให้เวลาในการดำเนินการก่อสร้างในแต่ละกิจกรรมมีความไม่แน่นอน [1] เครื่องมือที่ใช้ในการวางแผนงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยจึงจำเป็นต้องสามารถพิจารณาปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้า เพื่อให้แผนการก่อสร้างสามารถสะท้อนเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานก่อสร้างแท้จริงได้

โดยทั่วไปเทคนิคหรือเครื่องมือในการวางแผนที่นิยมใช้มี 3 เทคนิคคือ เทคนิคแบบ Gantt chart หรือ Bar chart, Critical Path Method หรือ CPM และ Project Evaluation and Review Technique หรือ PERT ในปัจจุบันได้มีเครื่องมือที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการวางแผนโครงการอีกหลายวิธี ได้แก่ เทคนิคการวางแผนงานแบบเชิงเส้น หรือ Linear Scheduling Techniques และเทคนิคการจำลองสถานการณ์ หรือ Simulation Technique เป็นต้น [2]

การศึกษาครั้งนี้เป็นการนำหลักการบริหารความเสี่ยงมาใช้ร่วมกับวิธี CPM และ วิธี PERT เนื่องจากวิธี CPM เป็นวิธีการวางแผนงานที่อาศัยโครงข่ายในการบอกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมตั้งแต่ต้นจนจบ ซึ่งแสดงระยะเวลาที่แสดงบนกิจกรรมเป็นเวลาที่แน่นอน (Deterministic) จึงต้องใช้กับโครงการที่เคยทำหรือสร้างขึ้นแล้ว ซึ่งผู้วางแผนรู้ถึงขั้นตอนการทำงานและระยะเวลาที่ใช้เป็นอย่างดี ดังนั้นข้อจำกัดของวิธี CPM คือไม่สามารถวางแผนโครงการโดยวิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตได้ แม้ว่าวิธี PERT จะเป็นวิธีการคำนวณระยะเวลาโครงการ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาแต่ละกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งนำหลักความน่าจะเป็นเข้ามาใช้ในการหาระยะเวลา โดยคิดค่าเฉลี่ยจากตัวเลขจำนวน 3 ตัวของแต่ละกิจกรรม คือ 1. ระยะเวลาดีที่สุดหรือ (Optimistic, a) 2. ระยะเวลามากที่สุดหรือ (Pessimistic, b) 3. ระยะเวลาที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดหรือ (Most Likely, m) จากตัวเลขจำนวน 3 ตัวข้างต้น อย่างไรก็ตามวิธี PERT มีข้อจำกัดคือ การประมาณการเวลาดีที่สุด เวลาที่มากที่สุด และเวลาที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดอาศัยประสบการณ์ของผู้ประเมินเป็นหลักทำให้ไม่สามารถอธิบายได้ว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดเวลาที่ดีที่สุดหรือเวลาที่มากที่สุดคือปัจจัยใด ทำให้ผู้จัดการโครงการไม่สามารถกำหนดมาตรการเร่งงานโดยการส่งเสริมปัจจัยที่ทำให้เกิดเวลาที่ดีที่สุดหรือกำหนดมาตรการจัดการความเสี่ยงในเชิงรุกเพื่อลดผลกระทบจากปัจจัยที่ทำให้เกิดเวลาที่มากที่สุดได้ [3]

บทความวิจัยนี้อภิปรายถึง สาเหตุของความล่าช้าในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยและประมาณการเวลาที่ล่าช้าในระดับกิจกรรมเพื่อประมาณการเวลาก่อสร้างของโครงการ ผู้วิจัยได้เสนอแบบจำลองที่ช่วยในการวางแผนงานในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยด้วยการนำวิธีการประเมินความเสี่ยงมาใช้ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์ฟอลท์ทรี Fault Tree Analysis (FTA) ในการประเมินความเสี่ยง ผู้ประเมินทั่วไปจะแสดงความรู้สึกที่มีต่อค่าระดับความสำคัญ ค่าโอกาส และค่าผลกระทบของปัจจัยเสี่ยงหรือสาเหตุของความล่าช้าในงานก่อสร้าง สำหรับวิธี FTA การวิเคราะห์ฟอลท์ทรีเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ระบบ (System Analysis) อย่างหนึ่ง ที่ใช้หลักการการอนุมาน (Deductive Principle) โดยเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ (Undesired Event) ของระบบถูกกำหนดขึ้น จากนั้น ระบบจะถูกวิเคราะห์ในรายละเอียด ลักษณะการทำงานและสิ่งแวดล้อม เพื่อหาหนทางหรือหาสาเหตุที่มีความเป็นไปได้ในการทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ [4] นอกจากนี้ การวิเคราะห์ฟอลท์ทรี ยังถูกนำมาใช้ในการหาสาเหตุที่มีความเป็นไปได้สูงในการทำให้ระบบเกิดความล้มเหลว

ในการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุของความล่าช้า ผู้วิจัยได้เสนอแบบจำลองที่ช่วยในการตัดสินใจด้วยการนำวิธีการประเมินความเสี่ยงมาบูรณาการกับวิธีการตัดสินใจแบบ Analytic Hierarchy Process (AHP) ซึ่งวิธี AHP ถูกออกแบบให้สามารถเปรียบเทียบ ใช้เพื่อตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดจากการเปรียบเทียบด้วยหลายเกณฑ์ โดยใช้เพียงการเปรียบเทียบทีละคู่ นอกจากนี้ยังทำให้ การตัดสินใจมีความเป็นเหตุเป็นผลมากกว่าการใช้ความรู้สึกตัดสินซึ่งมักจะมีความไม่แน่นอนสูง [5] อย่างไรก็ตามสำหรับผู้ประเมินทั่วไปนั้น การแสดงความรู้สึกที่มีต่อค่าระดับความสำคัญ ค่าโอกาส และค่าผลกระทบของสาเหตุของความล่าช้าในงานก่อสร้างและการกำหนดค่าระดับความสำคัญ ค่าโอกาส และค่าผลกระทบของสาเหตุของความล่าช้าในงานก่อสร้างมักจะอยู่ในรูปคำอธิบายทางภาษา ซึ่งส่งผลให้กระบวนการตัดสินใจตกอยู่ในสภาพไม่แน่นอน (Uncertainty) เหมาะกับการนำทฤษฎีฟัซซี่เซต (Fuzzy set theory) มาใช้ในการจำลองตัวแปรทางภาษาที่คลุมเครือเหล่านี้เพื่อสามารถอธิบายกระบวนการตัดสินใจและสร้างความชัดเจนในการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนได้ดีขึ้น [3]

บทความวิจัยนี้อภิปรายถึง การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของความล่าช้าในงานก่อสร้างบ้านพักอาศัย เพื่อวางแผนงานก่อสร้างสำหรับเป็นข้อมูลให้กับผู้จัดการโครงการในการกำหนดมาตรการจัดการความเสี่ยงที่เหมาะสมในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย โดยพิจารณาปัจจัยที่ทำให้งานก่อสร้างล่าช้า ผู้วิจัยได้เสนอแบบจำลองที่ช่วยในการวางแผนด้วยการนำวิธี FTA และ fuzzy AHP มาใช้ ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี FTA จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CPM วิธี PERT และเวลาในการก่อสร้างจริง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความล่าช้าในโครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัย

ความล่าช้าในการก่อสร้างแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1) ความล่าช้าที่เกิดขึ้นในงานก่อสร้างที่เจ้าของโครงการสามารถยอมรับในผลของความล่าช้าได้ (Excusable delay) ความล่าช้าประเภทนี้แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ได้รับค่าชดเชยในเรื่องเงินจากเจ้าของโครงการแต่ไม่ได้รับการชดเชยในเรื่องเวลาที่สูญเสียไป (Non-compensable delay) สาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดความล่าช้าประเภทนี้เป็นสาเหตุจากปัจจัยภายนอก [6] และกลุ่มที่ได้รับการชดเชยทั้งด้านเงินและเวลา (Compensable delay) [7] 2) ความล่าช้าที่เกิดขึ้นในงานก่อสร้างเนื่องจากผู้รับจ้างในกรณีที่เจ้าของโครงการไม่สามารถยอมรับในผลของความล่าช้าได้ (Non-excusable delay) ผู้รับจ้างจะไม่ได้รับการชดเชยในเรื่องเงินและเวลาจากเจ้าของโครงการ และ 3) ความล่าช้าในขณะดำเนินงานก่อสร้างที่เกิดจากทั้งผู้รับจ้างและเจ้าของโครงการ เป็นความล่าช้าตั้งแต่ 2 กิจกรรมขึ้นไปที่เกิดในเวลาเดียวกัน (Concurrent delay) นอกจากนี้สาเหตุความล่าช้าได้ถูกแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1) ความล่าช้าที่เกิดจากผู้ว่าจ้าง 2) ความล่าช้าที่เกิดจากผู้รับจ้าง 3) ความล่าช้าที่เกิดจากมีสิ่งกีดขวางทางกายภาพ และ 4) ความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากปัจจัยภายนอก [8-10]

ปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าในโครงการก่อสร้างโดยทั่วไปประกอบด้วย 1) ปัจจัยด้านการเงิน 2) ปัจจัยจากผู้ออกแบบ 3) ปัจจัยจากเจ้าของโครงการ 4) ปัจจัยที่เกิดจากเจ้าของโครงการ 5) ปัจจัยจากกฎระเบียบและข้อกฎหมาย 6) ปัจจัยจากผู้รับจ้าง 7) ปัจจัยที่เกิดจากเรื่องสิ่งแวดล้อม 8) ปัจจัยที่เกิดจากเทคโนโลยีการก่อสร้าง 9) ปัจจัยจากการบริหารจัดการ 10) ปัจจัยจากผู้รับเหมาย่อย 11) ปัจจัยจากสภาพแวดล้อมในสถานที่ทำงาน 12) ปัจจัยด้านวัสดุ [11]

สาเหตุของความล่าช้าในการก่อสร้างอาคารบ้านพัก สามารถแบ่งตามช่วงของการก่อสร้าง ดังนี้ ช่วงก่อนการก่อสร้าง ช่วงเตรียมงานก่อสร้าง ช่วงงานดิน ช่วงงานเสาเข็มและฐานราก ช่วงงานโครงสร้างบนดิน ช่วงงานสถาปัตยกรรม ช่วงงานประปาและสุขาภิบาล และ ช่วงงานไฟฟ้า สาเหตุที่ทำให้ในแต่ละช่วงของการก่อสร้างมีความล่าช้ามีดังนี้ 1) สาเหตุของความล่าช้าในช่วงก่อนงานก่อสร้าง ประกอบด้วย 11 สาเหตุ เช่น ความล่าช้าในการติดต่อราชการ กฎระเบียบข้อบังคับท้องถิ่น และ แบบที่ขอก่อสร้างผิดพระราชบัญญัติ 2) สาเหตุของความล่าช้าในช่วงเตรียมงานก่อสร้าง ประกอบด้วย 15 สาเหตุ เช่น หาผู้รับเหมาย่อยที่มีความชำนาญยาก ผู้รับเหมาขาดสภาพคล่องทางการเงิน และ ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน 3) สาเหตุของความล่าช้าในช่วงงานดิน

ประกอบด้วย 11 สาเหตุ เช่น ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน คนงานขาดงานเสมอ และ ขาดแคลนอุปกรณ์ที่ต้องใช้งาน 4) สาเหตุของความล่าช้าในช่วงงานเสาเข็มและฐานราก ประกอบด้วย 14 สาเหตุ เช่น รถปูนส่งไม่เป็นเวลา ฝนตกทำงานไม่ได้ และ วาง Line เสาเข็มผิด 5) สาเหตุของความล่าช้าในช่วงงานโครงสร้างบนดิน ประกอบด้วย 28 สาเหตุ เช่น แบบเปลี่ยนแปลง รายละเอียดในแบบก่อสร้างไม่สมบูรณ์ และ เจ้าของเงินจ่ายเงินแก่ผู้รับเหมาล่าช้า 6) สาเหตุของความล่าช้าในช่วงงานสถาปัตยกรรม ประกอบด้วย 25 สาเหตุ เช่น แบบไม่ชัดเจน แบบขัดแย้ง มีการเปลี่ยนแปลงแบบ และ การประสานงานที่ไม่ดีระหว่างเจ้าของกับผู้ออกแบบ 7) สาเหตุของความล่าช้าในช่วงงานประปาและสุขาภิบาล ประกอบด้วย 19 สาเหตุ เช่น ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน คนงานขาดงานเสมอ และคนงานขาดทักษะการทำงานเฉพาะ 8) สาเหตุของความล่าช้าในช่วงงานไฟฟ้า ประกอบด้วย 16 สาเหตุ เช่น เจ้าของงานจ่ายเงินให้ผู้รับเหมาล่าช้า สถานะการเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคง และ ความล่าช้าจากวัสดุเสียหายไม่ได้คุณภาพ [12]

2.2 วิธี PERT

วิธี PERT พัฒนาขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2501 โดยกองทัพเรือสหรัฐร่วมกับ บูซ แอลเลน และ แฮมิลตัน (Booz Allen and Hamilton) และ ล๊อกฮีด แอร์คราฟต์ (Lockheed Aircraft) วัตถุประสงค์การพัฒนาคือการใช้ในการบริหารโครงการขีปนาวุธโพลาริส (Polaris) ซึ่งเป็นโครงการขนาดใหญ่ซึ่งประกอบด้วยผู้รับเหมาช่วง (Subcontractor) มากกว่า 9,000 ราย เบื้องต้นลักษณะของโครงการเป็นการวิจัยและพัฒนาและมีการผลิตส่วนประกอบใหม่ๆ ซึ่งไม่เคยมีผู้ใดผลิตมาก่อน อุปสรรคในการวางแผนคือการประมาณระยะเวลาในการดำเนินการต่างๆ ซึ่งโครงการลักษณะนี้จะไม่สามารถกำหนดลงไปได้อย่างแน่นอน จึงได้มีการนำแนวความคิดของความน่าจะเป็น (probability concept) เข้ามาประกอบเข้ากับวิธีการเดิม เช่น วิธี CPM ทำให้วิธี PERT สามารถนำไปใช้กับโครงการที่มีเวลาดำเนินงานไม่แน่นอน ข้อแตกต่างระหว่างวิธี PERT และวิธี CPM คือ เวลาในการทำกิจกรรม โดยเวลาในการทำกิจกรรมของวิธี PERT จะเป็นเวลาโดยประมาณซึ่งคำนวณได้ด้วยการใช้ความน่าจะเป็น ส่วนเวลาในวิธี CPM เป็นเวลาแน่นอนซึ่งคำนวณได้จากข้อมูลที่เคยทำมาก่อน เช่น อัตราการทำงานของงานแต่ละประเภท อัตราการทำงานของเครื่องจักร เป็นต้น วิธี PERT จึงเหมาะกับการใช้ในโครงการที่ไม่เคยทำมาก่อน หรือโครงการซึ่งไม่สามารถเก็บรวบรวมเวลาของการทำกิจกรรมได้ เช่น โครงการพัฒนาวิจัย งานก่อสร้าง [13]

วิธี PERT คำนวณระยะเวลาโครงการ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาแต่ละกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยคิดค่าเฉลี่ยจากตัวเลขจำนวน 3 ตัวของแต่ละกิจกรรม คือ 1. ระยะเวลาดีที่สุดหรือ (Optimistic, a) 2. ระยะเวลามากที่สุดหรือ (Pessimistic, b) 3. ระยะเวลาที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดหรือ (Most Likely, m) จากตัวเลขจำนวน 3 ตัวข้างต้น ระยะเวลาในการปฏิบัติงานเทคนิค PERT ซึ่งมีค่าไม่แน่นอน ซึ่งมีการแจกแจงความน่าจะเป็นในรูปแบบเบต้า (Beta Distribution) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกิจกรรมได้ โดยสมการในการคิดค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาของ PERT คือสมการที่ 1 และ 2

$$\mu = \frac{(a + 4m + b)}{6} \quad \textbf{(1)}$$

$$SD = \frac{(b - a)}{6} \quad \textbf{(2)}$$

นำค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนมาหาค่ามาตรฐานจากสมการที่ 3 [13,14]

$$Z = \frac{T_i - \sum Te}{\sqrt{\sum \sigma^2}} \quad \textbf{(3)}$$

โดยที่ T_i คือ เวลาของโครงการที่กำหนดขึ้น

เนื่องจากตัวเลขจำนวน 3 ตัวของแต่ละกิจกรรมที่กล่าวถึงข้างต้นถูกประมาณการโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้ประเมินเป็นหลัก ทำให้ไม่สามารถอธิบายได้ว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดเวลาที่ดีที่สุดหรือปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานจนทำให้ใช้เวลามากที่สุดคือปัจจัยใด ทำให้ผู้จัดการโครงการไม่สามารถกำหนดมาตรการเร่งงานโดยการส่งเสริมปัจจัยที่ทำให้เกิดเวลาที่ดีที่สุดหรือกำหนดมาตรการจัดการความเสี่ยงในเชิงรุกเพื่อลดผลกระทบจากปัจจัยที่ทำให้เกิดเวลาที่มากที่สุดได้ [1]

2.3 วิธี FTA

วิธี FTA ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1961 โดย H.A. Watson of Bell Telephone Laboratories ร่วมมือกับ U.S. Air Force เพื่อใช้ศึกษา The Minuteman Missile Launch Control System วิธี FTA ถูกใช้เป็นเครื่องมือ ในการวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยและใช้ในการวิธีเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบที่มีความซับซ้อน ในปี 1965 ผ่านการจัดสัมมนาด้านความปลอดภัย [15] FTA เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ระบบ (System Analysis) อย่างหนึ่ง ที่ใช้หลักการการอนุมาน (Deductive Principle) โดยเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ (Undesired Event) ของระบบถูกกำหนดขึ้น แล้วระบบจะถูกวิเคราะห์ในรายละเอียด ลักษณะการทำงานและสิ่งแวดล้อม เพื่อระบุหนทางหรือสาเหตุที่มีความเป็นไปได้ในการทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ [4] นอกจากนี้ วิธี FTA ถูกนำมาใช้ในการหาสาเหตุที่มีความเป็นไปได้สูงในการทำให้ระบบเกิดความล้มเหลว

วิธี FTA แสดงสาเหตุและความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ขึ้นในระบบ โดยแสดงเป็นโมเดลทางรูปภาพ (Graphic Model) ความผิดพลาดหรือสาเหตุที่ทำให้ระบบเกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ สาเหตุอาจเกิดจากความผิดพลาดของมนุษย์ ความผิดพลาดขององค์ประกอบในระบบ หรือความผิดพลาดอื่นๆ ที่ทำให้เกิดความล้มเหลวของระบบได้ วิธี FTA มี 4 ขั้นตอน คือ การนิยามระบบ (System Definition) การสร้างแผนภาพฟอลท์ทรี (Fault Tree Construction) การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Evaluation) และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Evaluation)

วิธี FTA เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง ซึ่งจะช่วยในการชี้บ่งสาเหตุรากเหง้าของความเสี่ยง (Root Cause) ทั้งนี้เพื่อทำการขจัดสาเหตุรากเหง้าอันจะทำให้ความเสี่ยงนั้นๆ ไม่กลับมาอีกซึ่งเป็นการแก้ปัญหาแบบยั่งยืน ซึ่งทำให้สามารถหาแนวทางป้องกันได้ก่อนที่ความล้มเหลวจะเกิดขึ้น [4] FTA เป็นวิธีที่ทำให้เห็นถึงความเชื่อมโยงของแต่ละเหตุการณ์แต่ละสาเหตุได้เป็นอย่างดี และแสดงด้วยแผนภาพที่เข้าใจง่าย วิธีการสร้างแผนผัง FTA กล่าวโดยสรุป คือ เหตุการณ์ที่ยังสามารถวิเคราะห์ต่อลงไปได้อีกจะเขียนแทนด้วยสี่เหลี่ยม (□) ส่วนเหตุการณ์ที่เกิดได้ตามปรกติ ไม่ต้องวิเคราะห์ต่อจะเขียนแทนด้วยวงกลม (O) ส่วนสัญลักษณ์ที่ใช้เชื่อมต่อแต่ละเหตุการณ์เข้าด้วยกัน มี 2 แบบคือ เหตุการณ์ที่เชื่อมกันด้วย “และ” ($\cap$) หมายถึงว่า จะต้องเกิดเหตุการณ์ที่เป็นสาเหตุย่อยทุกเหตุการณ์พร้อมกันจึงจะเกิดเหตุการณ์นั้นขึ้นได้ ซึ่งแตกต่างไปจากเหตุการณ์ที่เชื่อมด้วย “หรือ” ($\cup$) ซึ่งหมายถึงว่า หากเกิดเหตุการณ์ที่เป็นสาเหตุย่อยเพียงเหตุการณ์เดียว ก็จะทำให้เกิดเหตุการณ์นั้น [4] ได้จุดเด่นของ FTA คือไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลมาเพื่อวิเคราะห์เหมือนกับข้อมูลอื่นๆ ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบระบบแก้ปัญหาเพื่อให้การบริหารงานตรวจสอบภายในมีประสิทธิภาพ [16,17]

โดยทั่วไปในการเขียนสาเหตุของความเสี่ยงจะได้จากการระดมความคิดทั้งหมด โดยเริ่มจากต้นเหตุใหญ่ของความเสี่ยงซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วย คน เครื่องมือ สภาพแวดล้อม วิธีการทำงานและวัตถุดิบ แล้วแต่ละองค์กรที่เก็บรวบรวมสาเหตุของความเสี่ยงนั้นได้จาก Fault Tree Diagram ของความเสี่ยงทั้งหมด สาเหตุที่เป็นสาเหตุพื้นฐานซึ่งเขียนอยู่ในสัญลักษณ์วงกลม (O) จะถูกนำมาเป็นตัวตั้งในการวิเคราะห์หามาตรการจัดการความเสี่ยง แล้วทำการประเมินความเหมาะสมเมื่อคัดเลือกมาตรการจัดการความเสี่ยงจากคะแนนความเหมาะสมและดุลพินิจของทุกคนที่เกี่ยวข้องแล้ว การวิเคราะห์ฟอลท์ทรีปกติเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative model) แต่มักจะถูกนำไปใช้ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วย (Quantitative model) เพื่อหาข้อสรุปต่างๆ ให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณจะใช้ค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ต่างๆ มาเกี่ยวข้อง โดยหาค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์จากข้อมูลทางสถิติหรือจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ การวิเคราะห์เชิงปริมาณมีการคำนวณค่าความน่าจะเป็นมีหลักการคำนวณดังต่อไปนี้ กรณีที่ความสัมพันธ์ของเหตุการณ์พื้นฐาน คือ “หรือ” (Or Gate) กำหนดให้ S = q1 หรือ q2 หรือ q3 หรือ...หรือ qn จะได้ว่า

$$P(S) = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - q_i) \quad \textbf{(4)}$$

เมื่อ q_i เป็นเหตุการณ์ที่อิสระต่อกัน

กรณี ที่ความสัมพันธ์ของเหตุการณ์พื้นฐาน คือ “และ” (And Gate) กำหนดให้ S = q1 และ q2 และ q3 และ...และ qn จะได้ว่า

$$P(S) = 1 - \prod_{i=1}^{n} q_i \quad \textbf{(5)}$$

เมื่อ q_i เป็นเหตุการณ์ที่อิสระต่อกัน

วิธี FTA ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของโครงการก่อสร้างถนนขององค์การบริหารส่วนตำบล โดยแสดงถึงปัญหาและสาเหตุของปัญหางานก่อสร้างถนนของ อบต. ข้อมูลความน่าจะเป็นในการเกิดปัญหาได้ถูกรวบรวมโดยใช้แบบสอบถามและทำการวิเคราะห์ความสำคัญของสาเหตุหรือปัจจัยโดยใช้การวิเคราะห์ฟอลท์ทรีในเชิงปริมาณ ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่เป็นสาเหตุเบื้องต้นจำนวน 43 ปัจจัย [18]

2.4 วิธี Fuzzy AHP

วิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process-AHP) เป็นกระบวนการตัดสินใจที่ดีและมีประสิทธิภาพมากที่สุดวิธีหนึ่ง โดยเป็นการแบ่งองค์ประกอบของปัจจัยออกเป็นส่วนๆ ในรูปของแผนภูมิตามลำดับชั้นและทำการ กำหนดค่าของการวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ทีละคู่ (Pair wise Comparisons) โดยใช้สเกลเปรียบเทียบความสำคัญตั้งแต่ 1 ถึง 9 ซึ่ง 1 หมายความว่ามีค่าน้ำหนักความสำคัญเท่ากัน สำหรับ 2 ถึง 9.หมายความว่ามากกว่าตามลำดับและนำค่าจากการวินิจฉัยเปรียบเทียบมาทำการคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์ (Relative Importance Weights) เพื่อพิจารณาว่าปัจจัย และทางเลือกใดมีค่าลำดับความสำคัญสูงที่สุด AHP นั้นสามารถช่วยในการตัดสินใจที่ซับซ้อนและช่วยในการรวมกันระหว่างปัจจัยที่สามารถวัดค่าได้ (Objective Factor) เข้าด้วยกันเป็นอย่างดี [19] วิธีนี้ยังทำให้ความผิดพลาดของการตัดสินใจลดลง เพราะต้องทำการตรวจสอบค่าอัตราส่วนความเที่ยงตรง (Consistency Ratio: CR) ด้วยโดยค่า CR ที่มีค่าน้อยกว่า 0.10 แสดงว่าผู้ที่ตัดสินใจมีความเที่ยงตรงของการใช้เหตุผลอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่า AHP จะสามารถช่วยในการตัดสินใจที่ซับซ้อนได้ แต่ไม่สามารถจัดการความไม่แน่นอนในข้อมูลของปัจจัยจากความคิดเห็น (Subjective Factor) ของผู้เชี่ยวชาญได้ [20]

เนื่องจากข้อมูลของปัจจัยจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญอยู่ในลักษณะคำอธิบายทางภาษา (Linguistic Term) เช่น ปัจจัยมีความสำคัญมากกว่าอย่างมากที่สุด ปัจจัยมีความสำคัญมากกว่าอย่างมาก ปัจจัยมีความสำคัญเท่ากัน ปัจจัยมีความสำคัญน้อยกว่าและปัจจัยมีความสำคัญน้อยกว่ามาก จากนั้นจะดำเนินการเปลี่ยนคำอธิบายนี้ให้อยู่ในรูปเชิงปริมาณ คือ ในรูปของตัวเลข (Crisp Number) โดยใช้ค่าระดับ (Scale) ต่างๆ กัน ในความเป็นจริงนั้นคำอธิบายทางภาษานี้มีความไม่แน่นอนและคลุมเครือ (Vagueness) อยู่มาก เช่น คำอธิบายที่ว่าปัจจัยมีความสำคัญมากกว่าอย่างมาก ของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนอาจมีความหมายเชิงปริมาณไม่เท่ากัน ซึ่งในการวิเคราะห์และตัดสินใจแก้ปัญหาซึ่งข้อมูลที่มีความไม่แน่นอนและคลุมเครือเช่นนี้ ฟัซซี่เซต (Fuzzy Set) เป็นทางเลือกหนึ่งที่นิยมใช้กันแพร่หลาย เช่น ในระบบการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปรับอากาศโดยปรับอุณหภูมิตามความรู้สึกของคนใช้ ระบบการควบคุมการสุกของข้าวในหม้อหุงข้าว ตามลักษณะของข้าวและวิธีการหุง ระบบการควบคุมการซักของเครื่องซักผ้า ตามลักษณะของผ้าและความสกปรกของผ้า ระบบการปรับโฟกัสของเครื่องถ่ายวิดีโอ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ฟัซซี่เซตในระบบการเงิน การจัดหลักทรัพย์การลงทุน (Portfolio Management) การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการในอุตสาหกรรม [21,22] หรือแม้แต่ใช้ตัดสินใจวิเคราะห์หาทางเลือกที่เหมาะสม [23,24] ในการวิจัยครั้งนี้ได้แยกส่วนต่างๆ ของ AHP ออกเป็นขั้นตอนที่ชัดเจนเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการสร้างเครื่องมือ มีการกำหนดตัวแปรและสูตรที่เกี่ยวข้องกับทุกขั้นตอน และกำหนดรูปแบบตัวเลขฟัซซี่ เพื่อแทนค่าที่มาจากการประเมินหรือการแสดงความคิดเห็น การคำนวณทั้งหมดเป็นไปตามแบบของฟัซซี่ เพื่อให้ได้น้ำหนักของข้อกำหนดทางเทคนิคมาเรียงลำดับในแบบของฟัซซี่ ให้ a_i แทนตัวเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู จะได้ว่า $\forall a_i \in \Re$ ตัวเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูเขียนได้ดังนี้

$$a_i = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}, for\ i = 1,2,...,m \quad \textbf{(6)}$$

เมื่อ $x_1 < x_2 < x_3 < x_4$ เป็นค่าระดับที่ผู้ประเมินใช้ในการตัดสินใจ และ m = จำนวนของตัวเลขฟัซซีที่จะทำการวิเคราะห์

การคำนวณสำหรับตัวเลขฟัซซีใช้วิธี *α-cut* โดยกำหนดให้ A และ B เป็นตัวเลขฟัซซีที่เป็นบวก สำหรับค่า *α-cut* ของ A และ B จะมีค่า $A_\alpha = \lfloor a^-_\alpha , a^+_\alpha \rfloor$ และ $B_\alpha = \lfloor b^-_\alpha , b^+_\alpha \rfloor$ สำหรับการคำนวณสำหรับตัวเลขฟัซซี $[+, -, \times, \div]$ ของ A และ B มีดังนี้

$$(A+B)_\alpha = \left[a^-_\alpha + b^-_\alpha, a^+_\alpha + b^+_\alpha\right] \quad \textbf{(7)}$$

$$(A-B)_\alpha = \left[\min(a^-_\alpha - b^-_\alpha, a^+_\alpha - b^+_\alpha), \max(a^-_\alpha - b^-_\alpha, a^+_\alpha - b^+_\alpha)\right] \quad \textbf{(8)}$$

$$(A\cdot B)_\alpha = \left[\min(a^-_\alpha \cdot b^-_\alpha, a^-_\alpha \cdot b^+_\alpha, a^+_\alpha \cdot b^-_\alpha, a^+_\alpha \cdot b^+_\alpha),\ \max\left(a^-_\alpha \cdot b^-_\alpha, a^-_\alpha \cdot b^+_\alpha, a^+_\alpha \cdot b^-_\alpha, a^+_\alpha \cdot b^+_\alpha\right)\right] \quad \textbf{(9)}$$

$$(A/B)_\alpha = [\min(a^-_\alpha / b^-_\alpha, a^-_\alpha / b^+_\alpha, a^+_\alpha / b^-_\alpha, a^+_\alpha / b^+_\alpha),\ \max(a^-_\alpha / b^-_\alpha, a^-_\alpha / b^+_\alpha, a^+_\alpha / b^-_\alpha, a^+_\alpha / b^+_\alpha)] \quad \textbf{(10)}$$

สำหรับ $\alpha \in [0,1]$.

ในการวิจัยนี้ได้กำหนดให้ใช้ตัวเลขฟัซซีแบบสี่เหลี่ยมคางหมูในการคำนวณ $[+, -, \times, \div]$ ของตัวเลขฟัซซี่ จะได้ว่า $A = (a_1, a_2, a_3, a_4,)$

$$A + B = (a_1, a_2, a_3, a_4) + (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \quad \textbf{(11)}$$

$$A - B = (a_1, a_2, a_3, a_4) - (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1) \quad \textbf{(12)}$$

$$A \cdot B = (a_1, a_2, a_3, a_4) \cdot (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3, a_4 b_4) \quad \textbf{(13)}$$

$$A / B = (a_1, a_2, a_3, a_4) / (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 / b_4, a_2 / b_3, a_3 / b_2, a_4 / b_1) \quad \textbf{(14)}$$

โดยที่ $[+, -, \times, \div]$ แทนการบวก การลบ การคูณ และการหารแบบฟัซซี่

การวิจัยนี้ใช้วิธีจุดศูนย์พื้นที่ (Centroid Method) เพื่อหาตัวเลขปกติที่เป็นตัวแทนตัวเลขฟัซซีนั้น สำหรับตัวเลขฟัซซีแบบสี่เหลี่ยมคางหมูและตัวเลขฟัซซีแบบสามเหลี่ยมแสดงในสมการที่ 15 และ 16 ตามลำดับ

$$e = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4)/4 \quad \textbf{(15)}$$

$$e = (x_1 + 2x_2 + x_3)/4 \quad \textbf{(16)}$$

3. ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

3.1 ขั้นตอนการศึกษาและเกณฑ์การประเมิน

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย โดยใช้วิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซีในการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยดังกล่าวเพื่อคัดเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีสำคัญสูงมาทำการวิเคราะห์ค่าคาดหวังของเวลาที่ล่าช้าในแต่ละกิจกรรมของการก่อสร้างบ้านพักอาศัย ซึ่งการวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์ฟอลท์ทรีในเชิงปริมาณในการวิเคราะห์ค่าคาดหวังของเวลาที่ล่าช้า จากนั้นจึงวิเคราะห์เวลาของโครงการโดยใช้วิธี PERT ตามลำดับ ตารางที่ 1 แสดงเครื่องมือ ขั้นตอนและผลลัพธ์จากเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 1 เครื่องมือ ขั้นตอนและผลลัพธ์จากเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือวิจัย	ขั้นตอน	ผลลัพธ์
วิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี่	การระบุปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าที่สำคัญ	ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในแต่ละกิจกรรม สำหรับคัดกรองปัจจัยสำคัญ
วิธีการวิเคราะห์ฟอลท์ทรีในเชิงปริมาณ	การประเมินปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้า	ค่าคาดหวังของเวลาที่ล่าช้าในแต่ละกิจกรรมก่อสร้างบ้านพักอาศัย
วิธี PERT	การประมาณเวลาในการก่อสร้างของโครงการ	เวลาในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย

การวิจัยนี้มีขั้นตอนทั้งหมด 8 ขั้นตอน ดังนี้

1. รวบรวม ศึกษา ค้นคว้า เอกสารและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การวิเคราะห์วิธี FTA โครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัย และผลกระทบจากความล่าช้าในโครงการก่อสร้าง

2. รวบรวม สำรวจ ความเสี่ยงและสาเหตุของความเสี่ยงในกิจกรรมต่างๆ ในโครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัย ที่ทำให้เกิดความล่าช้า ทั้งจากเอกสารอ้างอิงและจากการสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้องในโครงการก่อสร้างเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทำการระบุปัจจัยเสี่ยงในโครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัย

3. วิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงด้วยวิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี่ ในขั้นตอนนี้ทำการรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ วิศวกร ผู้ควบคุมงาน ผู้รับจ้าง และผู้ว่าจ้างรวม 4 ราย เพื่อเลือกปัจจัยเสี่ยงที่มีระดับความสำคัญสูงในแต่ละกิจกรรมก่อสร้าง จากนั้นจึงนำผลการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงที่มีความสำคัญสูงมาพิจารณารวมกันระหว่างวิศวกร ผู้ควบคุมงาน ผู้รับจ้างและผู้ว่าจ้าง ด้วยการประชุมกลุ่มจำนวน 1 ครั้ง โดยมีเข้าร่วมประชุมกลุ่มรวม 49 คน

4. วิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็น และผลกระทบของปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดความล่าช้าในแต่ละกิจกรรมของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยโดยการส่งแบบสอบถามไปยังวิศวกร ผู้ควบคุมงาน ผู้รับจ้าง และผู้ว่าจ้างจำนวน 49 คนซึ่งเป็นผู้เข้าร่วมประชุมกลุ่มในขั้นตอนที่ 3 ผลการตอบแบบสอบถามจะใช้ค่าคาดหวังของเวลาที่ล่าช้าในแต่ละกิจกรรมก่อสร้างบ้านพักอาศัยการวิเคราะห์ด้วยวิธี FTA

5. สร้างแผนภาพฟอลท์ทรีซึ่งแสดงสาเหตุของความล่าช้าในแต่ละกิจกรรมของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี FTA เชิงคุณภาพ

6. นำสาเหตุที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี FTA เชิงคุณภาพ มาวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการเกิดความล่าช้าของกิจกรรมต่างๆ ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยด้วยวิธี FTA เชิงปริมาณ

7. เปรียบเทียบผลการประมาณการเวลาโครงการด้วยวิธีที่นำเสนอ วิธี CPM วิธี PERT และเวลาในการก่อสร้างจริง

8. เสนอแนะมาตรการจัดการความล่าช้าในโครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัย

9. สรุปผล และข้อเสนอแนะของงานวิจัย

การดำเนินงานศึกษาครั้งนี้ แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ทำการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเก็บข้อมูลการจัดกลุ่มประเภทของสาเหตุความล่าช้าในงานก่อสร้างบ้านพักอาศัย

ส่วนที่ 2 ทำการประชุมระดมสมอง ที่ปรึกษาควบคุมงาน ผู้รับเหมาก่อสร้าง ผู้ออกแบบ เจ้าของโครงการ รวม 49 ท่าน เพื่อรวบรวมรายงานสาเหตุของความล่าช้าที่มักพบของในงานก่อสร้างบ้านพักอาศัย เพื่อนำไปใช้จัดทำเป็นแบบสอบถามและเพื่อเปรียบเทียบความสำคัญของสาเหตุของความล่าช้า

ส่วนที่ 3 ใช้แบบสอบถามร่วมกับการประชุมระดมสมองเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลความคิดเห็นจากที่ปรึกษาควบคุมงาน ผู้รับเหมาก่อสร้าง ผู้ออกแบบ และ

เจ้าของโครงการ รวม 49 ท่าน เพื่อรวบรวมข้อมูล ได้แก่ ความน่าจะเป็นที่พบสาเหตุความล่าช้า ผลกระทบของสาเหตุความล่าช้า เวลาที่ดีที่สุดในการดำเนินงานก่อสร้างในแต่ละกิจกรรม

3.2 การเก็บข้อมูลด้วยการประชุมระดมสมอง

การศึกษาครั้งนี้พิจารณาการก่อสร้างบ้านพักอาศัย ผู้เกี่ยวข้องร่วมในการก่อสร้าง ประกอบด้วย เจ้าของงาน ที่ปรึกษาควบคุมงาน ผู้รับเหมา และ ผู้รับเหมาช่วง เนื่องจากงานวิจัยต้องการข้อมูลเกี่ยวกับสาเหตุความล่าช้าในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย งานวิจัยจึงได้กำหนดผู้ที่จะเข้าร่วมประชุมระดมสมองเป็นตัวแทนจากบริษัทเจ้าของงาน บริษัทที่ปรึกษาควบคุมงาน บริษัทผู้รับเหมาก่อสร้าง บริษัทผู้รับเหมาช่วงก่อสร้าง บริษัทออกแบบ และเจ้าของโครงการ โดยจะต้องเป็นผู้มีประสบการณ์ และผ่านการดำเนินการในขั้นตอนต่างๆ ของการก่อสร้างบ้านพักอาศัย จำนวนผู้เข้าร่วมประชุมกลุ่มรวม 49 ท่าน ผู้ควบคุมการประชุมจะแสดงข้อมูลสาเหตุความล่าช้าที่รวบรวมได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องให้ผู้เข้าร่วมประชุมรับทราบ

การวิจัยครั้งนี้โครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัยมูลค่าระหว่าง 1 ถึง 5 ล้านบาท ที่มีการก่อสร้างในเขตกรุงเทพมหานคร โดยพิจารณา 8 กิจกรรม คือ 1. ก่อนงานก่อสร้าง 2. เตรียมงานก่อสร้าง 3. งานดิน 4. งานเสาเข็มและฐานราก 5. งานโครงสร้างบนดิน 6. งานสถาปัตยกรรม 7. งานประปาและสุขาภิบาล และ 8. งานไฟฟ้า เนื่องจากสาเหตุที่ทำให้แต่ละกิจกรรมล่าช้ามีจำนวนมาก [17] การวิจัยนี้จึงพิจารณาสาเหตุพื้นฐาน (Basic Event: BE) ของความล่าช้าในแต่ละกิจกรรมก่อสร้างจำนวน 3 สาเหตุ โดยเลือกสาเหตุพื้นฐานด้วยการพิจารณาความถี่และความสำคัญของสาเหตุพื้นฐาน [17] ทำให้สามารถสรุปสาเหตุพื้นฐานสำคัญ 3 อันดับแรกในแต่ละกิจกรรมได้ ยกตัวอย่างเช่น สาเหตุพื้นฐานในช่วงก่อนการก่อสร้าง คือ ความล่าช้าในการติดต่อราชการ (BE11) ธนาคารยังไม่อนุมัติเงินทุน (BE12) ขาดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานก่อสร้าง (BE13) เป็นต้น ผู้เชี่ยวชาญที่เข้าร่วมประชุมระดมสมองจะระบุลักษณะและตัวอย่างเหตุการณ์ที่เป็นสาเหตุความล่าช้าที่พบบ่อยและมีความสำคัญเพิ่มเติมจากสาเหตุที่ระบุในงานวิจัยในอดีตและ 24 สาเหตุพื้นฐานที่แสดงข้างต้น จากนั้นจึงสรุปสาเหตุพื้นฐานของความล่าช้าที่มักพบในแต่ละกิจกรรมก่อสร้างในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย

จากสาเหตุพื้นฐานของความล่าช้าในแต่ละกิจกรรมในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย งานวิจัยได้พัฒนาแบบสอบถามเพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมประชุมเกี่ยวกับความน่าจะเป็นที่พบสาเหตุพื้นฐานและผลกระทบจากสาเหตุพื้นฐานต่อกิจกรรมก่อสร้างบ้านพักอาศัย แบบสอบถามจะถูกสร้างขึ้นในรูปแบบของมาตรประมาณค่า (Rating Scale) เพื่อสอบถามความคิดเห็นจากกลุ่มตัวอย่าง แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 เป็นคำถามที่เกี่ยวกับข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้กรอกแบบสอบถามซึ่งชุดคำถามประกอบด้วย เพศ อายุ วุฒิการศึกษา สาขาที่จบการศึกษา ลักษณะขององค์กร ตำแหน่งงานในปัจจุบัน ประสบการณ์ในการทำงาน และลักษณะโครงการ

ส่วนที่ 2 เป็นคำถามเกี่ยวกับความน่าจะเป็นที่พบสาเหตุพื้นฐานและผลกระทบจากสาเหตุพื้นฐานต่อกิจกรรมก่อสร้างบ้านพักอาศัย ด้านระยะเวลางานก่อสร้าง

ส่วนที่ 3 เป็นคำถามเกี่ยวกับระยะเวลาในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในแต่ละกิจกรรม อันประกอบด้วย 1. ระยะเวลาดีที่สุดหรือ (Optimistic, a) 2. ระยะเวลามากที่สุดหรือ (Pessimistic, b) และ 3. ระยะเวลาที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดหรือ (Most Likely, m)

แบบสอบถามกำหนดให้ผู้เข้าร่วมประชุมให้ข้อมูลในลักษณะของมาตรประมาณค่า (Rating Scale) ระดับความน่าจะเป็น (Probability: P) และความรุนแรง (Consequence: C) ของปัญหา ซึ่งกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนเป็น 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุดซึ่งมีคะแนนตั้งแต่ 5 ไปถึง 1 ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ระดับความน่าจะเป็นและความหมาย

ระดับความน่าจะเป็น	ระดับ	ร้อยละความน่าจะเป็น
โอกาสเกิดน้อยที่สุด	1	0-20
โอกาสเกิดน้อย	2	>20-40
โอกาสเกิดปานกลาง	3	>40-60
โอกาสเกิดมาก	4	>60-80
โอกาสเกิดมากที่สุด	5	>80-100

ตารางที่ 3 ระดับผลกระทบและความหมาย

ระดับผลกระทบ	ระดับ	ร้อยละผลกระทบ
ผลกระทบน้อยที่สุด	1	0-20
ผลกระทบน้อย	2	>20-40
ผลกระทบปานกลาง	3	>40-60
ผลกระทบมาก	4	>60-80
ผลกระทบมากที่สุด	5	>80-100

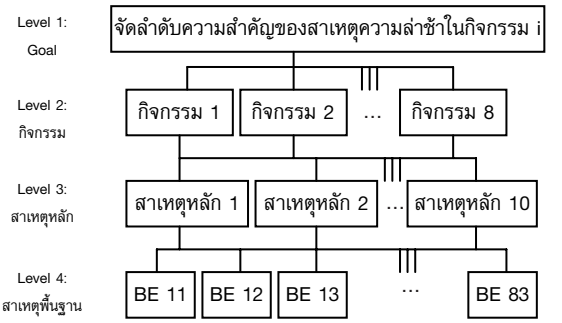
ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามจะถูกนำมาคำนวณค่าดัชนีความล่าช้า (Delay Index : DI) ดังแสดงในสมการที่ 17

$$DI = P \times C \quad \textbf{(17)}$$

ในการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้า การวิจัยนี้จะนำข้อมูล มาประเมินดัชนีความล่าช้าถ่วงน้ำหนัก (Weighted Delay Index: WDI) ค่า WDI เป็นผลคูณระหว่างค่าน้ำหนักความสำคัญของกิจกรรม ค่าน้ำหนักความสำคัญของสาเหตุพื้นฐาน ค่าระดับความรุนแรงของผลกระทบและค่าโอกาสหรือความน่าจะเป็นของสาเหตุพื้นฐาน ดังแสดงในสมการที่ 18

$$WDI = w_a \times w_i \times P_i \times C_i \quad \textbf{(18)}$$

โดยน้ำหนักความสำคัญของกิจกรรม (w_a) วิเคราะห์จากเวลาเฉลี่ยในการดำเนินงานก่อสร้างในแต่ละกิจกรรมซึ่งคำนวณจากสมการที่ 1 ข้อมูลน้ำหนักความสำคัญของกิจกรรมรวบรวมจากแบบสอบถามตอนที่ 3 ส่วนน้ำหนักความสำคัญของสาเหตุพื้นฐาน (w_i) ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Fuzzy AHP โดยข้อมูลรวบรวมจากการประชุมกลุ่มของผู้เชี่ยวชาญเพื่อทราบข้อมูลการเปรียบเทียบเป็นคู่ของสาเหตุหลักและสาเหตุของพื้นฐานในแต่ละกิจกรรมก่อสร้าง การศึกษาครั้งนี้แบ่งประเภทของสาเหตุหลักออกเป็น 10 ด้าน คือ 1. ด้านการเงิน 2. ด้านสังคมและชุมชน 3. ด้านวัสดุ 4. ด้านเครื่องจักร 5. ด้านเอกสารและสัญญา 6. ด้านผู้รับเหมาช่วงและแรงงาน 7. ด้านแบบก่อสร้าง 8. ด้านคุณภาพงานก่อสร้าง 9. ด้านกระบวนการก่อสร้าง และ 10. ด้านอื่นๆ ตามลำดับ รูปที่ 1 แสดงลำดับชั้นการวิเคราะห์น้ำหนักความสำคัญด้วยวิธี Fuzzy AHP



รูปที่ 1 ลำดับชั้นการวิเคราะห์น้ำหนักความสำคัญด้วยวิธี Fuzzy AHP

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความล่าช้าถ่วงน้ำหนักของสาเหตุพื้นฐานทั้งหมดที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัย จะถูกใช้ในการระบุสาเหตุพื้นฐานสำหรับการประเมินความล่าช้าของแต่ละกิจกรรม

การวิจัยนี้ได้กำหนดให้พิจารณาค่าผลรวมของผลกระทบ (C_a) ในแต่ละกิจกรรมจากผลบวกของผลกระทบจากแต่ละสาเหตุพื้นฐาน (C_i) ที่มีต่อกิจกรรมที่กำลังพิจารณา ส่วนค่าคาดหวังของผลกระทบ ($C_{\exp}$) วิเคราะห์

จากผลคูณระหว่างค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล่าช้าในกิจกรรมที่กำลังพิจารณา ($P(S)$) ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากวิธี FTA กับค่าผลรวมของผลกระทบจากทุกสาเหตุพื้นฐานในกิจกรรมที่กำลังพิจารณา (C_a) ดังแสดงในสมการที่ 19 และ 20 ตามลำดับ กิจกรรมจะถูกเรียงลำดับตามค่าคาดหวังโดยกิจกรรมที่มีค่าคาดหวังสูงสุดเป็นกิจกรรมที่เสี่ยงมากที่สุด

$$C_a = \sum_{i=1}^{n} C_i \quad \textbf{(19)}$$

โดย แทนค่าระดับผลกระทบจากสาเหตุ

$$C_{\exp} = C_a \times P(S) \quad \textbf{(20)}$$

4. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็น ระดับผลกระทบ และค่า *WDI* ของสาเหตุพื้นฐานของกิจกรรมก่อสร้าง ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยค่า *WDI* ได้จากการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแบบเฉพาะที่ (Local Weight: LWt) ที่ได้จากการเปรียบเทียบคู่ของสาเหตุพื้นฐานและวิเคราะห์ด้วยวิธี Fuzzy AHP ส่วนค่าน้ำหนักแบบรวม (Global Weight: GWt) ได้จากการถ่ายทอดน้ำหนักความสำคัญของค่าน้ำหนักแบบเฉพาะที่ในแต่ละระดับชั้นของโครงสร้างลำดับชั้นของการตัดสินใจ (รูปที่ 1) ค่าน้ำหนักความสำคัญของกิจกรรม (w_a) วิเคราะห์จากเวลาเฉลี่ยในการดำเนินงานก่อสร้างในแต่ละกิจกรรมซึ่งคำนวณจากสมการที่ 1 โดยข้อมูลน้ำหนักความสำคัญของกิจกรรม ความถี่ และผลกระทบจากสาเหตุของความล่าช้ารวบรวมจากแบบสอบถามตอนที่ 3

จากการวิเคราะห์ค่า *WDI* ที่มีค่าสูงสุด 3 อันดับแรกในแต่ละกิจกรรม พบว่า กิจกรรมที่ 1 งานก่อนงานก่อสร้าง มีสาเหตุพื้นฐานคือ ธนาคารยังไม่อนุมัติเงินทุน (BE11) เจ้าของงานไม่มีเงินทุนในการก่อสร้าง (BE12) ขาดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานก่อสร้าง (BE13) กิจกรรมที่ 2. การเตรียมงานก่อสร้าง มีสาเหตุพื้นฐานคือ ผู้รับเหมาขาดสภาพคล่องทางการเงิน (BE21) ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน (BE22) ขาดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการก่อสร้าง (BE23) กิจกรรมที่ 3. งานดิน มีสาเหตุพื้นฐานคือ ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน (BE31) คนงานขาดงานเสมอ (BE32) พื้นที่คับแคบรถขนดินเข้าไม่ได้ (BE33) กิจกรรมที่ 4 งานเสาเข็มและฐานราก มีสาเหตุพื้นฐานคือ ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน (BE41) คนงานขาดงานเสมอ (BE42) คนงานขาดทักษะการทำงานเฉพาะ (BE43) กิจกรรม 5. งานโครงสร้างบนดิน มีสาเหตุพื้นฐานคือ เจ้าของเงินจ่ายเงินแก่ผู้รับเหมาล่าช้า (BE51) สถานะ การเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคง (BE52) ความล่าช้าในการเข้าแบบเสา เทคอนกรีตเสา (BE53) กิจกรรมก่อสร้าง 6. งานสถาปัตยกรรม มีสาเหตุพื้นฐานคือ ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน (BE61) เจ้าของเงินจ่ายเงินแก่ผู้รับเหมาล่าช้า (BE62) สถานะ การเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคง (BE63) กิจกรรมที่ 7. งานประปาและสุขาภิบาล มีสาเหตุพื้นฐานคือ ผู้รับเหมาช่วงรับงานในหลายๆ โครงการ ทำให้ทำงานไม่ต่อเนื่อง (BE71) เจ้าของเงินจ่ายเงินแก่ผู้รับเหมาล่าช้า (BE72) สถานะการเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคง (BE73) กิจกรรมที่ 8. งานไฟฟ้า มีสาเหตุพื้นฐานคือ เจ้าของงานจ่ายเงินให้ผู้รับเหมาล่าช้า (BE81) สถานะการเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคง (BE82) ผู้รับเหมาช่วงรับงานหลายๆ โครงการ ทำให้ทำงานไม่ต่อเนื่อง (BE83) สาเหตุพื้นฐานเหล่านี้ถูกแสดงในรูปที่ 2 ด้วยแผนภาพฟอลท์ทรีเพื่อประเมินผลกระทบจากสาเหตุพื้นฐานสำหรับการวางแผนงานก่อสร้างบ้านพักอาศัย

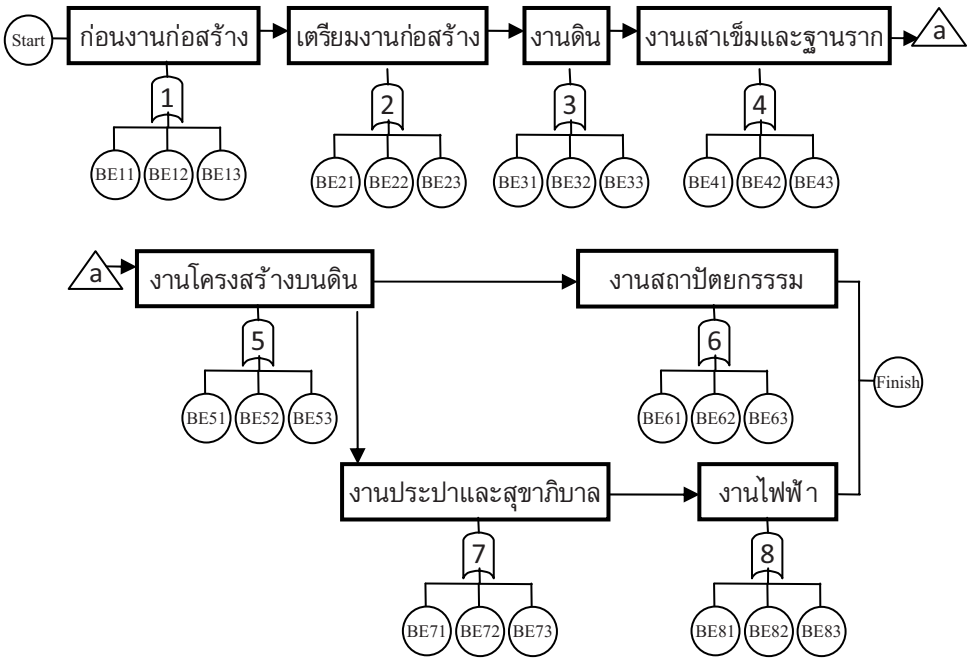
ตารางที่ 4 สาเหตุพื้นฐานและเวลาในการดำเนินกิจกรรมก่อสร้างบ้านพักอาศัย

สาเหตุพื้นฐาน	ประเภทของสาเหตุ น้ำหนักความสำคัญและความสัมพันธ์ระหว่างประเภทและสาเหตุพื้นฐาน										LWt	GWt	w_a	P_i	C_i	WDI	อันดับภายในกิจกรรม	อันดับในโครงการ
	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1								
1. ช่วงก่อนงานก่อสร้าง																		
BE11	/										4.19	0.84	3.17	3.09	3.75	36.73	2	17
BE12	/										4.40	0.88	3.32	2.79	3.50	32.43	3	21
BE13	/										4.23	0.85	3.21	3.05	4.00	39.13	1	15
2. ช่วงเตรียมงานก่อสร้าง																		
BE21	/										4.07	0.81	3.06	3.56	3.00	32.64	2	20
BE22						/					4.33	0.65	2.45	3.47	3.00	25.53	3	24
BE23	/										4.40	0.88	3.32	3.30	3.00	32.88	1	19
3. ช่วงงานดิน																		
BE31						/					3.93	0.59	4.45	3.23	4.00	57.53	1	10
BE32						/					3.77	0.57	4.30	2.93	3.00	37.81	2	16
BE33				/							3.84	0.38	2.87	3.09	3.00	26.59	3	23
4. ช่วงงานเสาเข็มและฐานราก																		
BE41						/					4.19	0.63	4.75	3.23	3.50	53.75	1	11
BE42						/					3.93	0.59	4.45	2.86	2.50	31.84	3	22
BE43						/					4.09	0.61	4.60	3.09	2.50	35.56	2	18
5. ช่วงงานโครงสร้างบนดิน																		
BE51	/										4.28	0.86	21.09	3.63	3.00	229.72	1	3
BE52	/										4.21	0.84	20.60	3.53	2.50	181.83	2	5
BE53									/		3.95	0.40	9.81	3.23	2.50	79.23	3	9
6. ช่วงงานสถาปัตยกรรม																		
BE61						/					4.07	0.61	14.96	3.42	2.50	127.93	3	7
BE62	/										4.44	0.89	21.83	3.40	2.50	185.56	2	4
BE63	/										4.23	0.85	20.85	3.40	3.50	248.10	1	1

ตารางที่ 4 สาเหตุพื้นฐานและเวลาในการดำเนินกิจกรรมก่อสร้างบ้านพักอาศัย (ต่อ)

สาเหตุพื้นฐาน	ประเภทของสาเหตุ น้ำหนักความสำคัญและความสัมพันธ์ระหว่างประเภทและสาเหตุพื้นฐาน										LWt	GWt	w_a	P_i	C_i	WDI	อันดับภายในกิจกรรม	อันดับในโครงการ
	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1								
7. ช่วงงานประปาและสุขาภิบาล																		
BE71						/					4.09	0.61	13.81	3.35	2.50	115.67	3	8
BE72	/										4.35	0.87	19.70	3.47	2.50	170.88	2	6
BE73	/										4.14	0.83	18.79	3.51	3.50	230.87	1	2
8. ช่วงงานไฟฟ้า																		
BE81	/										4.26	0.85	4.81	3.40	2.50	40.90	2	13
BE82	/										4.21	0.84	4.75	3.47	2.50	41.25	1	12
BE83						/					4.12	0.62	3.51	3.28	3.50	40.29	3	14

BE แทนสาเหตุพื้นฐาน P แทนค่าความน่าจะเป็น C แทนค่าผลกระทบ w_a คือน้ำหนักความสำคัญของกิจกรรม BE11 คือ ธนาคารยังไม่อนุมัติเงินทุน BE12 คือ เจ้าของงานไม่มีเงินทุนในการก่อสร้าง BE13 คือ ขาดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานก่อสร้าง BE21 คือ ผู้รับเหมาขาดสภาพคล่องทางการเงิน BE22 คือ ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน BE23 คือ ขาดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการก่อสร้าง BE31 คือ ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน BE32 คือ คนงานขาดงานเสมอ BE33 คือ พื้นที่คับแคบรถขนดินเข้าไม่ได้ BE41 คือ ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน BE42 คือ คนงานขาดงานเสมอ BE43 คือ คนงานขาดทักษะการทำงานเฉพาะ BE51 คือ เจ้าของเงินจ่ายเงินแก่ผู้รับเหมาล่าช้า BE52 คือ สถานะ การเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคง BE53 คือ ความล่าช้าในการเข้าแบบเสา เทคอนกรีตเสา BE61 คือ ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน BE62 คือ เจ้าของเงินจ่ายเงินแก่ผู้รับเหมาล่าช้า BE63 คือ สถานะการเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคง BE71 คือ ผู้รับเหมาช่วงรับงานในหลายๆ โครงการ ทำให้ทำงานไม่ต่อเนื่อง BE72 คือ เจ้าของเงินจ่ายเงินแก่ผู้รับเหมาล่าช้า BE73 คือ สถานะ การเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคง BE81 คือ เจ้าของงานจ่ายเงินให้ผู้รับเหมาล่าช้า BE82 คือ สถานะการเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคง BE83 คือ ผู้รับเหมาช่วงรับงานหลายๆ โครงการ ทำให้ทำงานไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 2 แผนภาพฟอลท์ทรีในการประเมินความเสี่ยงเพื่อวางแผนงานก่อสร้างบ้านพักอาศัย

เมื่อนำสาเหตุพื้นฐานที่แสดงในแผนภาพฟอลท์ทรีมาทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงและเวลาของกิจกรรมก่อสร้างดังแสดงในตารางที่ 5 โดยผลการวิเคราะห์ค่า $C_{\exp}$ ได้จากผลคูณระหว่างค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล่าช้าในกิจกรรมที่กำลังพิจารณา ($P(S)$) ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากวิธี FTA (คอร์ลัมที่ 9 ในตารางที่ 5) กับค่าผลรวมของผลกระทบจากทุกสาเหตุพื้นฐานในกิจกรรมที่กำลังพิจารณา (C_a)(คอร์ลัมที่ 10 ในตารางที่ 5) ตัวอย่างเช่น ค่า $C_{\exp}$ ของกิจกรรมที่ 1 “ก่อนงานก่อสร้าง” มีค่า C_a เท่ากับ 0.75+0.70+0.80 หรือ 2.25 มีค่า $P(S)$ เท่ากับ 0.93 ดังนั้นค่า $C_{\exp}$ เท่ากับ 2.10 เนื่องจากกิจกรรมนี้มีเวลาที่สั้นที่สุดเท่ากับ 10 วัน ดังนั้นเวลาที่ล่าช้าไปเนื่องจากความเสี่ยง BE1 BE2 และ BE3 เท่ากับ 10×2.25 หรือ 22.5 วัน เวลาที่ล่าช้าคาดหวังเท่ากับ 10×2.10 หรือ 21.02 วัน ดังนั้นเวลาคาดหวังเท่ากับ 10+21.02 หรือ 31.02 วัน ส่วนเวลาที่ยาวนานที่สุดของกิจกรรมนี้เท่ากับ 10+22.5 หรือ 32.5 วัน หากใช้ค่า $C_{\exp}$ จัดลำดับกิจกรรมที่มีความเสี่ยงที่จะล่าช้าสูงพบว่า กิจกรรมก่อสร้างที่มีค่า $C_{\exp}$ สูงสุดไปยังต่ำสุดคือ 1) ก่อนงานก่อสร้าง 2) งานดิน 3) เตรียมงานก่อสร้าง 4) งานสถาปัตยกรรม 5) งานประปาและสุขาภิบาล 6) งานไฟฟ้า 7) งานเสาเข็มและฐานราก และ 8) งานโครงสร้างบนดิน ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเวลาที่ล่าช้าในแต่ละกิจกรรมพบว่ากิจกรรมที่มีระยะเวลาที่ล่าช้าสูงสุดไปยังต่ำสุดคือ 1) งานสถาปัตยกรรม 2) งานโครงสร้างบนดิน 3) งานประปาและสุขาภิบาล 4) งานไฟฟ้า 5) งานเสาเข็มและฐานราก 6) งานดิน 7) ก่อนงานก่อสร้าง และ 8) เตรียมงานก่อสร้าง ตามลำดับ

ตารางที่ 5 สาเหตุพื้นฐานและเวลาในการดำเนินกิจกรรมก่อสร้างบ้านพักอาศัย

กิจกรรม	BEi1		BEi2		BEi3		G	P	C	เวลา										
	P	C	P	C	P	C				Delay	o	m	p	μ	SD	ES	EF	LS	LF	TF
1. ก่อนงานก่อสร้าง	61.8	75	55.8	70	61	80	∪	0.93	2.25	22.5	10.00	31.02	32.50	27.76	3.75	0.00	27.76	0.00	27.76	0.00
2. เตรียมงานก่อสร้าง	71.2	60	69.4	60	66	60	∪	0.97	1.80	18	10.00	27.46	28.00	24.64	3.00	27.76	52.40	27.76	52.40	0.00
3. งานดิน	64.6	80	58.6	60	61.8	60	∪	0.94	2.00	30	15.00	43.32	45.00	38.88	5.00	52.40	91.28	52.40	91.28	0.00
4. งานเสาเข็มและฐานราก	64.6	70	57.2	50	61.8	50	∪	0.94	1.70	51	30.00	78.05	81.00	70.53	8.50	91.28	161.82	91.28	161.82	0.00
5. งานโครงสร้างบนดิน	72.6	60	70.6	50	64.6	50	∪	0.97	1.60	243	152.00	388.26	395.20	350.04	40.53	161.82	511.86	161.82	511.86	0.00
6. งานสถาปัตยกรรม	68.4	50	68	50	68	70	∪	0.97	1.70	332	195.00	515.77	526.50	464.10	55.25	511.86	975.96	511.56	975.96	0.00
7. งานประปาและสุขาภิบาล	67	50	69.4	50	70.2	70	∪	0.97	1.70	153	90.00	238.40	243.00	214.43	25.50	511.86	726.29	618.82	833.25	106.96
8. งานไฟฟ้า	68	50	69.4	50	65.6	70	∪	0.97	1.70	102	60.00	158.56	162.00	142.71	17.00	726.29	869.00	833.25	975.96	106.96

สาเหตุพื้นฐานที่มีความสำคัญสูงสุดคือ 1) สถานะการเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคง (BE63 BE73 BE52 BE82) 2) เจ้าของเงินจ่ายเงินแก่ผู้รับเหมาล่าช้า (BE51 BE62 BE72 BE81) 3) ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน (BE61 BE31 BE41) 4) ผู้รับเหมาช่วงรับงานในหลายๆ โครงการทำให้ทำงานไม่ต่อเนื่อง (BE71 BE83) 5) ความล่าช้าในการเข้าแบบเสา เทคอนกรีตเสา (BE53) และ 6) ขาดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานก่อสร้าง (BE13) ตามลำดับ พบว่าสาเหตุพื้นฐานสำคัญที่มีผลกระทบต่อหลายกิจกรรม เช่น สาเหตุจากสถานะการเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคง และเจ้าของเงินจ่ายเงินแก่ผู้รับเหมาล่าช้า มีผลกระทบต่องานโครงสร้างบนดิน งานสถาปัตยกรรม งานประปาและสุขาภิบาล และงานไฟฟ้า ในขณะที่สาเหตุจากผู้รับเหมาขาดแคลนคนงานมีผลกระทบต่องานดิน งานเสาเข็มและฐานราก และงานสถาปัตยกรรม เป็นต้น โดยผลการประมาณเวลาการก่อสร้างบ้านพักอาศัยมูลค่าประมาณ 5 ล้านบาทจำนวน 1 หลัง ด้วยการใช้วิธี FTA ร่วมกับวิธี PERT พบว่าเวลาในการดำเนินงานรวมประมาณ 976 วัน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานประมาณ 70 วัน ตามลำดับ

5. การทดสอบแบบจำลอง

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธี FTA ในการประเมินปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าเพื่อประมาณเวลาในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย โดยพิจารณาผลกระทบจากสาเหตุความล่าช้าในการดำเนินการก่อสร้าง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้เครื่องมือดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบกับผลการประมาณเวลาด้วยวิธี CPM และ PERT อีกทั้งเปรียบเทียบกับเวลาในการก่อสร้างจริง โดยการวิเคราะห์ค่าเฟกเตอร์ทดสอบ (Test Factor) ด้วยสมการที่ 21

$$\text{Test Factor} = MR/AE \quad \textbf{(21)}$$

โดย MR คือการประมาณเวลาโครงการโดยวิธีการประมาณเวลา AE คือการประเมินเวลาในการก่อสร้างจริง (903 วัน) ตารางที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฟกเตอร์ทดสอบของวิธีที่เสนอ กับวิธี CPM และ PERT พบว่าวิธี CPM ให้ค่าเวลาที่ต่ำที่สุด (412 วัน) ทั้งนี้เพราะผู้ประเมินมิได้พิจารณาผลกระทบจากความเสี่ยงที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของเวลาในการก่อสร้าง วิธี PERT ให้ค่าเวลาเท่ากับ 713 วัน โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 79 วัน ส่วนวิธี FTA ร่วมกับวิธี PERT ให้ค่าประมาณเวลาของการก่อสร้างสูงสุดคือ 976 วัน โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 70 วัน อย่างไรก็ตามวิธี FTA ร่วมกับวิธี PERT ที่นำเสนอในการวิจัยนี้สามารถระบุกิจกรรมที่มีความเสี่ยงสูงสุดโดยการวิเคราะห์ค่า $C_{\exp}$ และสามารถระบุสาเหตุพื้นฐานที่เป็นสาเหตุที่แท้จริงของความล่าช้าที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรมทำให้ผู้จัดการโครงการสามารถกำหนดมาตรการจัดการกับสาเหตุของความล่าช้าในแต่ละกิจกรรมได้ อีกทั้งวิธีการที่นำเสนอ

ยังสามารถประเมินและจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุพื้นฐานที่มีผลกระทบต่อหลายกิจกรรม ทำให้ผู้จัดการโครงการสามารถจัดการมาตรการจัดการความเสี่ยงในภาพรวมของโครงการได้อีกด้วย ในขณะที่วิธี PERT จะไม่สามารถระบุสาเหตุของเวลาที่ยาวนานที่สุดหรือเวลาที่ดีที่สุดได้ทำให้ไม่สามารถบริหารความเสี่ยงและความไม่แน่นอนของเวลาในการก่อสร้างได้

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฟกเตอร์ทดสอบของวิธีที่เสนอกับวิธี CPM และวิธี PERT

วิธี	ประมาณเวลา	SD	ค่าเฟกเตอร์ทดสอบ
CPM	412	-	0.46
PERT	731	79	0.81
FTA และ PERT	976	70	1.08

6. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเวลาในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยเพื่อวางแผนการก่อสร้างบ้านพักอาศัย โดยประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยฟอลท์ทรี (Fault Tree Analysis: FTA) การวิจัยเริ่มจากรวบรวมและศึกษาเอกสารและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมในงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยและปัจจัยที่ทำให้งานล่าช้า และทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของความล่าช้าแล้วแสดงในรูปแผนภาพฟอลท์ทรีของแต่ละกิจกรรม จากนั้นจึงเก็บข้อมูลความน่าจะเป็นและผลกระทบของแต่ละสาเหตุต่อกิจกรรมก่อสร้าง โดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการประชุมระดมสมอง แล้วทำการวิเคราะห์ค่าคาดหวังของความล่าช้าในแต่ละกิจกรรมของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยด้วยการวิเคราะห์ฟอลท์ทรีในเชิงปริมาณ ผลการวิจัยพบว่า สาเหตุเบื้องต้นมีจำนวน 24 สาเหตุ สาเหตุพื้นฐานที่มีความสำคัญสูงสุดคือ 1) สถานะการเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคง 2) เจ้าของเงินจ่ายเงินแก่ผู้รับเหมาล่าช้า และ 3) ผู้รับเหมาขาดแคลนคนงาน ตามลำดับตามลำดับ พบว่าสาเหตุพื้นฐานสำคัญที่มีผลกระทบต่อหลายกิจกรรม เช่น สาเหตุจากสถานะการเงินของผู้รับเหมาไม่มั่นคงและเจ้าของเงินจ่ายเงินแก่ผู้รับเหมาล่าช้า มีผลกระทบต่องานโครงสร้างบนดิน งานสถาปัตยกรรม งานประปาและสุขาภิบาล และงานไฟฟ้า ในขณะที่สาเหตุจากผู้รับเหมาขาดแคลนคนงานมีผลกระทบต่องานดิน งานเสาเข็มและฐานราก และงานสถาปัตยกรรม เป็นต้นตามลำดับ โดยเรียงลำดับด้วยการวิเคราะห์ค่า WDI ลำดับของกิจกรรมเรียงตามผลกระทบจากความล่าช้าคือ งานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้างบนดิน งานประปาและสุขาภิบาล งานดิน งานเสาเข็มและฐานราก งานไฟฟ้า งานก่อนงานก่อสร้าง และการเตรียมงานก่อสร้าง ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีประมาณเวลาอื่นๆ พบว่า วิธี CPM ให้ค่าเวลาที่ต่ำที่สุดทั้งนี้เพราะผู้ประเมินมิได้พิจารณาผลกระทบจากความเสี่ยงที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของเวลาในการก่อสร้าง รองลงมาคือวิธี PERT ส่วนวิธี FTA ร่วมกับวิธี PERT ให้ค่าประมาณเวลาของการก่อสร้างสูงที่สุด ประโยชน์ที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอคือ การระบุกิจกรรมที่มีความเสี่ยงสูงสุดโดยการวิเคราะห์ค่า $C_{\exp}$ และการระบุสาเหตุพื้นฐานที่เป็นสาเหตุที่แท้จริงของความเสี่ยงในแต่ละกิจกรรม ประโยชน์ดังกล่าวนี้ทำให้ผู้จัดการโครงการสามารถกำหนดมาตรการจัดการความเสี่ยงในเชิงรุกของแต่ละกิจกรรมได้ อีกทั้งวิธีการที่นำเสนอยังสามารถประเมินและจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุพื้นฐานที่มีผลกระทบต่อหลายกิจกรรมพร้อมๆ กัน ผลการประเมินดังกล่าวทำให้ผู้จัดการโครงการสามารถจัดหามาตรการจัดการความเสี่ยงในภาพรวมของโครงการ วิธีการที่นำเสนอสามารถช่วยลดข้อจำกัดของวิธี PERT ซึ่งไม่สามารถระบุสาเหตุของเวลาที่ยาวนานที่สุดหรือเวลาที่ดีที่สุดได้ทำให้ผู้จัดการโครงการไม่สามารถบริหารความเสี่ยงและความไม่แน่นอนของเวลา

ในการก่อสร้างด้วยวิธี PERT ได้ แต่วิธีการที่นำเสนอสามารถทำให้ผู้จัดการโครงการสามารถจัดการมาตรการจัดการความเสี่ยงในแต่ละกิจกรรมและภาพรวมของโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. เอกสารอ้างอิง

1. Rehman, T.S., and Ogunlana, S.O., 2008, "Problems causing delays in major construction projects in Thailand", *Construction Management and Economics*. Vol. 26, No. 1, pp. 395-408.

2. Vinitnanrat, S., 2008, "Project management technique and decision making", [Internet] [updated 2006 May 10; cited 2009 Jan 11].Available from: http://www.kmutt.ac.th/ev/inmage/5CPM__PERT.pdf

3. Ahuja, V, and Thiruvengadam, V., 2004, "Project scheduling and monitoring", *Construction Innovation*, Vol. 4, No. 1, pp. 19-31.

4. Vesely, W. E., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., and Haasl, D. F., 1981. *Fault tree handbook*. Washington, D. C.: U.S. Nuclear Regulatory Commission.

5. Saaty, T.L., Vargas, L.G., 2012. *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. International Series in Operations Research & Management Science, Vol. 175, Springer.

6. Ramanathan, C., Narayanan, S.P., and Idrus, A.B., 1995, "Construction Delays Causing Risks on Time and Cost- a Critical Review", *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, Vol. 12, No. 1, pp. 37-57.

7. Kartam, S., 1999, "Generic Methodology for Analyzing Delay Claims", *Construction Engineering and Management*, Vol. 125, No. 6, pp. 409-419.

8. Scott, S., 1997, "Delay Claim in U.K. Contracts" *Construction Engineering and Management*, Vol. 123, No. 3, pp. 238-244.

9. Wongsarapee, S., 2008, "A Study of Factor that Cause Road Construction Delay in Department of Highways", Master of Engineering Thesis, Construction Engineering and Management Program, King Mongkut's University of Technology Thonburi

10. Puagsopa, S., 2006, "Causes of Contractor's Delays in Large Building Construction Projects", Master of Engineering Thesis, Civil Engineering Program, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok.

11. Muhammad, F.S., 1996. *Contractor-Caused Delay in Construction Project : A Case Study of Three Construction Sites in Pakistan*, Master of Engineering Thesis, Civil Engineering Program, Asian Institute of Technology.

12. Rattanatheerawong, W., 2004, "A Study to Prevent and Correct for Construction Delays", Master of Engineering Thesis, Construction Engineering and Management Program, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

13. Damrianan, J., "Construction Technique and Construction Simulation", [Internet] [updated 2007 Oct 9; cited 2012 Dec 25].Available from: http://www.thaicontractors.com/content/cmenu/1/22/91.html

14. Thitiwat, T., 2008, "Construction Planning" [Internet] [updated 2008 Feb 18; cited 2012 Dec 25].Available from: http://www.moe.go.th/moe/th/blog/view-blog.php?memberid=984&blogid=658

15. Brown, D. B., 1967. *Systems analysis and design for safety: Safety systems engineering*. New Jersey: Prentice-Hall.

16. Hadipriono, F. C., 2001, "Forensic study for causes of fall using fault tree analysis", *Journal of Performance of Constructed Facilitie.s* Vol. 15, No. 3, pp. 98-103.

17. Sianipar, P. R. M., and Adams, T. M., 1997, "Fault-tree model of bridge deterioration due to

interaction", *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 3, No. 3, pp. 103-110.

18. Tunoud, P., 2006, An Analysis of the Significance of Factors Affecting the Quality of Road Construction Projects in Sub district Administration Organization Using Fault Tree Analysis, Master of Engineering Thesis, Civil Engineering Program, Chulalongkorn University.

19. Cheng, C.H. and Mon, D.L., 1994, "Evaluating weapon system by analytic hierarchy process based on fuzzy scales", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 63, No. 1, pp. 1–10.

20. Zhu, K.L., Jing, Y. and Chang, D.Y., 1999, "A discussion on extent analysis method and applications of fuzzy AHP", *Journal of Operational Research*, Vol. 116, No. 1, pp. 450-456.

21. T.L. Ward, T.L., 1985, "Discounted fuzzy cash flow analysis", Proc. Fall Ind. Eng. Conf., Inst. Industr. Eng., pp. 476-481.

22. Chiu, C. and Park, C.S., 1994, "Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion", *Eng. Econom*, Vol. 39, No. 2, pp. 113-138.

23. Cheng, C.H. and Mon, D.L., 1994, "Evaluating weapon system by analytic hierarchy process based on fuzzy scales", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 63, No. 1, pp. 1–10.

24. Cheng, C. H., 1996, "Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function", *European Journal of Operational Research*, Vol. 96, No. 1, pp. 343–350.