การศึกษาเปรียบเทียบการเลือกใช้คอนกรีตหล่อในที่และหล่อสำเร็จในโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรด้วยวิธีการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน

A Comparative Study of Precast and Cast-in Place Concrete in Construction Home Project by Life Cycle Cost Analysis

รัชชานนท์ เอี่ยมรอด* และ นคร กกแก้ว
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
Ratchanon Aiemrod*, Nakhon Kokkaew
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,
Wangmai, Patumwan, Bangkok, 10330, Thailand
***Corresponding Author E-mail:** 6470351321@student.chula.ac.th
Received: May 30, 2024; **Revised:** Sep 16, 2024; **Accepted:** Sep 16, 2024

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการก่อสร้างสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ และยังมีแนวโน้มที่จะมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ส่งผลต่อความต้องการวัสดุ แรงงาน เพื่อลดปัญหาด้านแรงงาน เจ้าของโครงการได้หันมาใช้วิธีการก่อสร้างใหม่ ๆ มากขึ้น เช่น ระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ เป็นต้น งานวิจัยนี้เป็นการเสนอแนวทางการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของคอนกรีตหล่อในที่และหล่อสำเร็จ โดยใช้การวิเคราะห์ความอ่อนไหวและมอนติคาร์โล โดยแบ่งช่วงเวลาของโครงการออกเป็น ช่วงเตรียมการ (Preparing phase) ช่วงระหว่างการก่อสร้าง (Construction phase) และช่วงดำเนินงาน (O&M phase) พร้อมทั้งวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการด้วยวิธีการวิเคราะห์ความอ่อนไหว จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโครงการตัวอย่าง 6 โครงการ ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรเสี่ยงสำคัญที่ส่งผลต่อต้นทุนรวมตลอดอายุการใช้งานมากที่สุด 3 ลำดับแรกของทั้ง 2 ระบบการก่อสร้าง คือ ต้นทุนก่อสร้าง ต้นทุนการซ่อมแซมหลัก และต้นทุนซ่อมแซมเล็กน้อย ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของโครงการก่อสร้างประเภทบ้านจัดสรร ทั้ง 6 โครงการจากการจำลองเลือกใช้คอนกรีตหล่อในที่และคอนกรีตหล่อสำเร็จ

คำสำคัญ: ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน, คอนกรีตหล่อสำเร็จ, คอนกรีตหล่อในที่, มอนติคาร์โล

Abstract

Construction industry plays a significant role in economic growth, and the industry will continue to grow with the economic expansion. However, the industry is known for its labor-intensiveness, In order to shorten construction time and address labor issues, developers have explored new systems of construction such as a precast system. This paper is to present a comparative study of precast and cast-in place concrete system in construction home project by life cycle cost analysis by dividing project period into 3 phase (Preparing phase, Construction phase and O&M phase). In modelling life cycle costs, sensitivity analysis and Monte Carlo simulation will be employed to incorporate uncertainty of material and labor costs into the proposed model. The study also found that in 6 home projects, there have risk factors that impact to life

cycle cost by using sensitivity analysis are construction cost, major repair and minor repair. The result from this study is life cycle cost from precast and cast -in place systems

Keywords: life cycle cost, precast system, cast-in place system, monte carlo

1. บทนำ

อุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ ไม่ว่าจะเป็นทั้งในด้านเศรษฐกิจและด้านสังคม โดยอุตสาหกรรมก่อสร้างได้รับการสนับสนุนจากงบประมานภาครัฐสำหรับการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมประเทศ เช่น ถนน ระบบขนส่งสาธารณะ โรงพยาบาล สถานศึกษา เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนและสนับสนุนการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมอื่น ๆ

แนวโน้มอุตสาหกรรมการก่อสร้างในอนาคตจะยังคงเติบโตอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีแรงขับเคลื่อนหลักจากการลงทุนโครงการขนาดใหญ่ของภาครัฐ ดังนั้นการขยายตัวทางการลงทุนของภาคการก่อสร้าง ทั้งโครงสร้างพื้นฐานและโครงการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ต่าง ๆ ย่อมส่งผลต่อความต้องการวัสดุก่อสร้าง ซึ่งความต้องการนี้ย่อมส่งผลต่อราคาวัสดุที่สูงขึ้น ซึ่งตรงกับดัชนีวัสดุก่อสร้าง (CMPI) ที่จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นในระดับค่อนข้างสูงในช่วงปี 2023–2024 (ประมาณ 6–7% ต่อปี) ส่วนคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 2–3% ต่อปี [1]

คอนกรีต ถือเป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งมีทั้งการใช้ในโครงการในรูปแบบของการหล่อในที่ (Cast-in place systems) และในรูปแบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast concrete systems)

ที่ผ่านมา พบว่า อุตสาหกรรมคอนกรีตหล่อสำเร็จของภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก มีการเติบโตในระดับสูง และมีมูลค่าทางตลาดมากที่สุดในโลก เนื่องจากมีปัจจัยสนับสนุนที่ดี โดยมีอัตราการเติบโตประมาณ 6.6% ต่อปี [2]

ในส่วนของบริษัทผู้พัฒนาอสังหาริมทรัพย์มองว่า ระบบคอนกรีตสำเร็จรูปมีส่วนช่วยทำให้การพัฒนาโครงการเป็นไปได้รวดเร็ว และลดต้นทุนแรงงาน โดยศูนย์วิจัยกสิกรไทย ระบุว่า การใช้ระบบคอนกรีตสำเร็จรูปนั้น มีส่วนช่วยทำให้ต้นทุนรวมของโครงการก่อสร้างลดลงโดยเฉลี่ย 15% ต่อโครงการ โดยเกิดจากการลดการใช้แรงงานประมาณ 50% และระยะเวลาก่อสร้างที่เร็วขึ้นประมาณ 30% เมื่อเทียบกับระบบหล่อในที่ (Cast-in place) [3] ซึ่งเป็นระบบก่อสร้างแบบเดิมที่นิยมใช้กัน

อย่างไรก็ตาม ระบบหล่อสำเร็จยังมีค่าใช้จ่ายแฝง (Hidden costs) ที่เกิดขึ้นทั้งในระหว่างและหลังการติดตั้ง โดยโครงการระบบหล่อสำเร็จ มักประสบกับปัญหาในการจ่ายค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นในช่วงการใช้งานที่สูงขึ้น เช่น แผ่นผนังร้าว หรือ เกิดการรั่วซึม [4] ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการประเมินต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน

ปัญหาหนึ่งที่เจ้าของอาคารหรือผู้ใช้อาคาร (Building owners or users) พบบ่อยในปัจจุบัน คือ บริษัทพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ (Developers) นั้นมักจะมุ่งเน้นพิจารณาต้นทุนรวมจาก 1) ค่าใช้จ่ายในการออกแบบ และ 2) ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างตัวอาคาร โดยอาจไม่คำนึงหรือละเลยต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เนื่องจากโครงการเมื่อพัฒนาและขายแล้วเสร็จ บริษัทพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ (Developers) จะโอนกรรมสิทธิ์ให้ผู้ซื้อและนิติบุคคลเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและซ่อมแซมบำรุงรักษา ซึ่งต้นทุนการดำเนินงานและซ่อมแซมบำรุงรักษา (O&M) ถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของต้นทุนวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (กรณีรวมต้นทุนการใช้งานอื่น ๆ เช่น ค่าไฟฟ้า เป็นต้น) ดังนั้นหากไม่นำต้นทุนการดำเนินงานและซ่อมแซมบำรุงรักษามารวมในการประเมินต้นทุนรวม อาจส่งผลต่อการประเมินต้นทุนการก่อสร้างที่ไม่ครอบคลุมครบถ้วน เพราะเน้นต้นทุนของบริษัทพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ (Developers) เพียงด้านเดียว

ดังนั้นเพื่อให้การจัดการต้นทุนในการก่อสร้างให้เกิดความคุ้มค่าต่อเจ้าของอาคารหรือผู้ใช้อาคาร (Building owners or users) บริษัทพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ (Developers) ควรพิจารณาถึงต้นทุนและค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของสิ่งปลูกสร้างที่ใช้การก่อสร้างระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast concrete) และระบบการก่อสร้างคอนกรีตแบบหล่อในที่ (Cast-in place) โดยรวมต้นทุนหลักที่สำคัญและต้นทุน

แฝงต่าง ๆ ของการก่อสร้างทั้ง 2 ระบบ โดยเฉพาะระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast concrete) โดยใช้การวิเคราะห์ต้นทุนค่าใช้จ่ายตลอดวัฏจักรวงจรชีวิตของอาคาร (Life-cycle cost analysis: LCCA) ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตั้งแต่ช่วงก่อนการก่อสร้างและเตรียมการ ก่อสร้าง และช่วงดำเนินงานหรือใช้งาน (Preconstruction-Construction-Operation) โดยในช่วงดำเนินการจะเป็นช่วงที่ต้องการตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น โดยนำปัจจัยเสี่ยงของค่าใช้จ่ายในอนาคตมาประกอบการพยากรณ์ด้วย

จากสิ่งที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น บทความนี้ต้องการเสนอแนวทางการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบต้นทุนตลอดอายุการใช้งานที่แตกต่างกันของ 1) ระบบหล่อในที่ และ 2) ระบบหล่อสำเร็จ การศึกษานี้จะเน้นเปรียบเทียบมูลค่าต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของระบบคอนกรีตหล่อในที่และ ระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยกำหนดช่วงเวลาของข้อมูลเป็น 3 ช่วง คือ

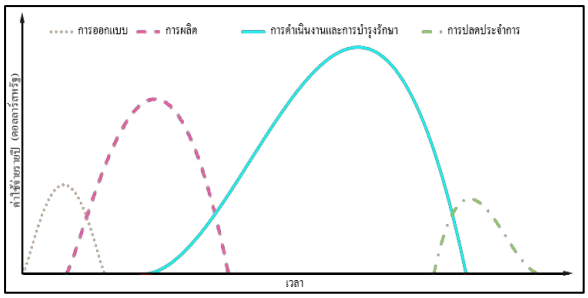
- ช่วงเตรียมการ (Preparing phase)
- ช่วงระหว่างการก่อสร้าง (Construction phase)
- ช่วงดำเนินงาน (O&M phase)

ประเภทสิ่งปลูกสร้างที่ทำการศึกษา คือ โครงการบ้านจัดสรรในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life-Cycle Cost)

ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life-Cycle Cost: LCC) เป็นการคำนวณมูลค่าปัจจุบัน (Present value) ของต้นทุนตลอดช่วงอายุของสินทรัพย์ ตั้งแต่การออกแบบ ก่อสร้าง ดำเนินการจนถึงการรื้อทำลายหรือเปลี่ยนใหม่ ดังแสดงใน**รูปที่ 1**



รูปที่ 1 Life-Cycle Cost ของโครงการ ดัดแปลงจาก [5]

โดยการคำนวณนี้จะใช้เป็นตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการประเมินความเหมาะสมของโครงการสำหรับค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ซึ่งในกระบวนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่แตกต่างกันจะต้องแปลงให้เป็นมูลค่าเงินให้เป็นปัจจุบัน [6]

Life Cycle Cost (LCC) ยังเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจเปรียบเทียบการลงทุนในแต่ละทางเลือก เพื่อให้เกิดความมั่นใจต่อการลงทุนนั้น ๆ อีกด้วย [6]

ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตสามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$LCC = \sum_{t=0}^{T} \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

โดย LCC คือ มูลค่าปัจจุบัน (Present value หรือ PV) ของต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต; C_t คือ ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ณ ปีที่ t ; T คือ ช่วงระยะเวลาของวัฏจักรชีวิต (ปี); i คือ อัตราคิดลด (Discount rate)

2.2 ระบบหล่อในที่และระบบหล่อสำเร็จ

ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ประเภทบ้านนั้นมีเป้าหมาย คือ การรับจ้างสร้างบ้านในที่ดินลูกค้า ออกแบบเขียนแบบเพื่อขอใบอนุญาติ ดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จ ซึ่งจากอดีตที่ผ่านมาธุรกิจการสร้างอสังหาริมทรัพย์ประเภทบ้านนั้นมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง และในเขตตัวเมืองเพราะมีการขยายตัวของประชากรอย่างรวดเร็วส่งผลถึงความต้องการในการมีที่พักอาศัยเพิ่มขึ้น [7] ส่วนธุรกิจก่อสร้างประเภทอาคารสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนโดมิเนียมนั้น ยังคงมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกันดังที่ได้กล่าวไป ซึ่งจากธุรกิจการสร้างอสังหาริมทรัพย์ทั้ง 2 ประเภทนั้น ในปัจจุบันนี้เจ้าของอาคารหรือเจ้าของโครงการมีความรู้ความเข้าใจในระบบการก่อสร้างมากขึ้นกว่าแต่ก่อนและมีส่วนในการตัดสินใจเลือกระบบการก่อสร้างเองมากขึ้น โดยระบบการก่อสร้างในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ระบบหล่อในที่ และ ระบบหล่อสำเร็จ

ระบบหล่อในที่ (Cast-in place system: CIP) คือ ระบบก่อสร้างที่สร้างชิ้นส่วนหรือองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เป็นโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างที่ต้องสร้าง ณ สถานที่ก่อสร้าง

โดยจะมีแบบหล่อไว้เป็นตัวแบบ เช่น เสา คาน พื้น เป็นต้น ซึ่งระบบนี้สามารถลดหรือขยายต่อเติมองค์ประกอบหรือชิ้นส่วนโครงสร้างสิ่งก่อสร้างได้ค่อนข้างสะดวก

ส่วนระบบหล่อสำเร็จ (Precast concrete system: PC) คือ ระบบการก่อสร้างที่ใช้วัสดุหรือชิ้นส่วนสำเร็จรูปมาประกอบและติดตั้ง ณ สถานที่ก่อสร้าง ซึ่งชิ้นส่วนสำเร็จรูปต่าง ๆ นั้นต้องมีการรองรับมาตรฐานทางด้านวิศวกรรม และยังสามารถช่วยลดการเวลาในการก่อสร้างรวมไปถึงค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน [8] ระบบหล่อสำเร็จยังถูกนิยามว่าเป็น ระบบก่อสร้างที่ผลิตชิ้นส่วนอาคารออกเป็นส่วน ๆ แล้วนำมาติดตั้งประกอบกัน ณ ที่ก่อสร้าง หรือผลิตจากโรงงานเสร็จแล้ว แล้วสามารถนำไปเคลื่อนย้ายเพื่อนำไปใช้สอยได้ทันที [9]

ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ของระบบหล่อในที่ และระบบหล่อสำเร็จ เช่น งานวิจัยของ [10] ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ของระบบหล่อในที่และระบบหล่อสำเร็จ ของงานอาคารในประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ไม่ได้ศึกษาในมิติของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

2.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เป็นการวิเคราะห์ระดับของผลกระทบของตัวแปรตาม (Output variable) เช่น ต้นทุนรวม หรือผลตอบแทน เป็นต้น ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของชุดของตัวแปรต้น (Input variables) เช่น ต้นทุนวัสดุ ค่าขนส่ง อัตราดอกเบี้ย เป็นต้น อีกทั้งการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ยังใช้เพื่อทดสอบความมั่นคงของข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์บนสมมติฐานของช่วงพิสัยของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้นของการศึกษา โดยช่วงพิสัยของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้นขึ้นกับดุลพินิจของผู้วิจัย [11] ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสถียรของผลลัพธ์ โดยจะทดสอบจากการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต้นในการศึกษานั้น ๆ เพื่อหาว่าการเปลี่ยนค่านั้น ๆ มีผลกระทบต่อตัวแปรตามในระดับใด ซึ่งวิธีนี้จะเป็นวิธีที่ทำให้ได้กลุ่มของ “ตัวแปรเสี่ยงที่สำคัญ (Key risk variables)” ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนา [12]

3. ตัวแบบการประเมินต้นทุนรวมตลอดอายุการใช้งาน

จากทฤษฎีที่ได้กล่าวมา สามารถนำมาสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการการประเมินต้นทุนรวมตลอดอายุของระบบคอนกรีตหล่อในที่และระบบหล่อสำเร็จรูปผ่านตัวแปรทั้ง 7 (ตัวแปร k) ได้แก่

- งานออกแบบ (k = 1)
- งาน Preliminary (k = 2)
- งานก่อสร้าง (k = 3)
- Contingency cost (k = 4)
- ต้นทุน Admin & legal (k = 5)
- งาน Minor repair (k = 6)
- งาน Major repair (k = 7)

โดยรายละเอียดของตัวแบบสำหรับแต่ละระบบการก่อสร้างเป็นดังนี้

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของระบบหล่อในที่ ดังสมการที่ (2)

$$LCC[CIP] = \sum_{t=0}^{t=T_{CIP}} \frac{C_{CIP,k,t}}{(1+i)^t} \quad \text{โดยที่ } k \in \{1,2,3,\ldots,7\} \tag{2}$$

โดยที่ $LCC[CIP]$ คือ มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวมตลอดอายุการใช้งานของระบบหล่อในที่; $C_{CIP,k,t}$ คือ ต้นทุนของงาน k ณ ปีที่ t โดยมีงานทั้งหมด 7 รายการ; i คือ อัตราคิดลดโดยใช้อัตราเงินเฟ้อ (ซึ่งผู้วิจัยใช้อัตราคิดลดเป็นอัตราเงินเฟ้อของประเทศไทยที่ย้อนหลัง 10 ปี โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ ที่ ร้อยละ 2) ; T_{CIP} คือ ระยะเวลารวมช่วงก่อสร้างและช่วงใช้งาน; โดย $C_{CIP,t} = C_{CIP,pp,t} + C_{CIP,cp,t} + C_{CIP,OM,t}$

เมื่อ $C_{CIP,pp,t}$ คือ ต้นทุนทั้งหมดของงานในช่วงเตรียมการ(Preparing phase) มี 1 รายการ คือ งานออกแบบ (k = 1); $C_{CIP,cp,t}$ คือ ต้นทุนทั้งหมดของงานในช่วงก่อสร้าง (Construction phase) มี 4 รายการ ได้แก่ งาน Preliminary (k = 2), งานก่อสร้าง (k = 3), ต้นทุน Contingency cost (k = 4), ต้นทุน Admin & legal (k = 5); $C_{CIP,OM,t}$ คือ ต้นทุนทั้งหมด

ของงานในช่วงดำเนินการ (O&M phase) มี 2 รายการ ได้แก่ งาน Minor repair ($k = 6$), งาน Major repair ($k = 7$)

ในทำนองเดียวกันตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนระบบหล่อสำเร็จ ใช้ตัวแปรเดียวกันแต่เปลี่ยนจาก CIP เป็น PC

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของระบบหล่อสำเร็จ ดังสมการที่ (3)

$$LCC[PC] = \sum_{t=0}^{t=T_{PCF}} \frac{C_{PC,k,t}}{(1+i)^t} \quad \text{โดยที่ } k \in \{1,2,3,\ldots,7\} \tag{3}$$

4. ระเบียบวิธีวิจัย

รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนของงานวิจัยมีเป็นดังต่อไปนี้

4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยทำการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำทฤษฎีและงานวิจัยมารองรับและเป็นต้นแบบให้กับงานวิจัยของผู้จัดทำ ทั้งหนังสือ บทความทางวิชาการ วิทยานิพนธ์ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดวัฏจักรวงจรชีวิตของโครงการที่ใช้ 1) ระบบคอนกรีตหล่อในที่ และ 2) ระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ

4.2 เก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

หลังจากศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วเสร็จ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตในการคำนวณและตัวแปรที่สำคัญในแต่ละละช่วงเวลาของโครงการ ได้แก่ 1) ช่วงเตรียมการ 2) ช่วงก่อสร้าง และ 3) ช่วงดำเนินการ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากโครงการตัวอย่าง เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical model) สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของระบบหล่อในที่และระบบหล่อสำเร็จ ซึ่งรายละเอียดของการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุน (LCC)

4.3 เก็บรวบรวมข้อมูลจากโครงการตัวอย่าง

ข้อมูลจากโครงการตัวอย่างนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์หาต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของระบบคอนกรีตหล่อในที่ และระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยจำแนกต้นทุนออกตามช่วง ได้แก่ 1) ช่วงการเตรียมการ 2) ช่วงการก่อสร้าง และ 3) ช่วงการใช้งานและบำรุงรักษา

4.4 วิเคราะห์หาตัวแปรเสี่ยงที่สำคัญของต้นทุนรวมของทั้ง 2 ระบบก่อสร้าง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis)

หลังจากได้ค่า LCC ของโครงการทั้งหมดที่เก็บรวบรวมได้แล้ว ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์หาตัวแปรเสี่ยงของต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (LCC) จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ โดยใช้การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เพื่อให้ทราบตัวแปรเสี่ยงสำคัญที่ส่งผลให้ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (LCC) มีการเปลี่ยนแปลงจากมากสุดไปน้อยที่สุด พร้อมทั้งสร้าง Tornado diagram เพื่อช่วยบ่งชี้ว่าตัวแปรไหนที่เป็นปัจจัยเสี่ยงสำคัญ (Risk factor) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (LCC)

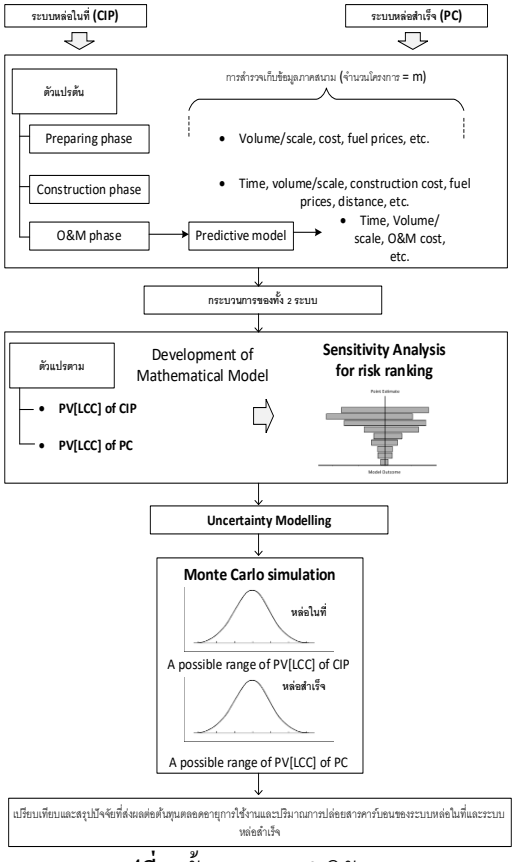
4.5 การวิเคราะห์ LCC ที่นำปัจจัยความไม่แน่นอนของตัวแปรมาประกอบการวิเคราะห์

เมื่อทราบตัวแปรเสี่ยงที่สำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ผู้วิจัยจะนำตัวแปรเสี่ยงเหล่านั้นมาสร้างเป็นสมการเพื่อพยากรณ์ค่าที่เป็นไปได้ของตัวแปร และนำตัวแปรนั้นไปใช้ในการวิเคราะห์ช่วงที่เป็นไปได้ของต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Range of possible LCCs) ของทั้ง 2 ระบบ โดยใช้การจำลอง Monte Carlo

4.6 วิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ของทั้ง 2 ระบบก่อสร้าง

จากผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวและผลการวิเคราะห์ช่วงที่เป็นไปได้ของต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Range of possible LCCs) ของทั้ง 2 ระบบ โดยใช้ Monte Carlo simulation ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ว่ามีปัจจัยทส่งผลต่อต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (LCC)

ซึ่งระเบียบหรือขั้นตอนการทำวิจัยเป็นดัง**รูปที่ 2**



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำวิจัย

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1 ข้อมูลช่วงเตียมการและก่อสร้าง

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบหาสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนตลอดอายุการใช้งานที่แตกต่างกันของ 1) ระบบหล่อในที่ และ 2) ระบบหล่อสำเร็จนั้น ตัวผู้ทำวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์และขอข้อมูลภาคสนามจากสถานที่ก่อสร้างอาคารประเภทโครงการบ้านจัดสรร 6 แห่ง โดยทั้ง 6 โครงการนั้น มีวิศวกรที่รับผิดชอบโครงการการก่อสร้างเป็นผู้ให้ข้อมูล ซึ่งหลังจากทำการเก็บข้อมูลภาคสนามเสร็จ

จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนระบบหล่อในที่และระบบหล่อสำเร็จ ในหัวข้อที่ 3 งานวิจัยนี้กำหนดให้อายุการใช้งานของโครงการของระบบทั้งสอง (Service life) เป็น 52 ปี (ก่อสร้าง 2 ปี และใช้งาน 50 ปี) [13] และจำลองค่าใช้จ่ายจากการซ่อมแซมตัวอาคาร รวมไปถึงรวบรวมข้อมูลภาคสนามและจากการสัมภาษณ์ของช่างประจำโครงการ

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโครงการตัวอย่างทั้ง 6 โครงการ สรุปผลการวิเคราะห์หาต้นทุนในช่วงก่อนและระหว่างการก่อสร้างได้ดังแสดงใน**ตารางที่ 1–2**

ตารางที่ 1 ต้นทุนในช่วงเตรียมการและก่อสร้างของแต่ละโครงการ ในระบบหล่อในที่

โครงการ	PV[$C_{CIP,pp,t}$]	PV[$C_{CIP,cp,t}$]
1	23,000.00	4,581,420.20
2	35,000.00	6,121,144.62
3	20,000.00	7,695,526.92
4	20,000.00	8,123,416.51
5	20,000.00	8,611,971.10
6	25,000.00	5,392,067.70

ตารางที่ 2 ต้นทุนในช่วงเตรียมการและก่อสร้างของแต่ละโครงการ ในระบบหล่อสำเร็จ

โครงการ	PV[$C_{PC,pp,t}$]	PV[$C_{PC,cp,t}$]
1	23,000.00	5,883,647.49
2	35,000.00	7,987,336.17
3	20,000.00	9,672,749.63
4	20,000.00	9,887,794.40
5	20,000.00	10,490,383.02
6	25,000.00	7,386,425.34

5.2 ข้อมูลช่วงการใช้งาน

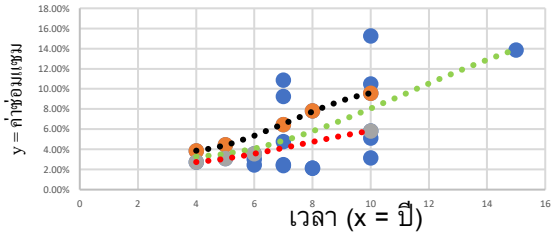
5.2.1 การเก็บข้อมูลต้นทุนซ่อมแซมเล็กน้อย

ต้นทุนซ่อมแซมเล็กน้อย (Minor repair cost) เป็นต้นทุนที่เกิดในช่วงการใช้งาน (O&M phase) ที่มีการซ่อมแซมหรือต่อเติมในชิ้นส่วนหรือองค์ประกอบในโครงสร้างหลักบางส่วน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการสอบถามข้อมูลจากเจ้าของ และช่างประจำที่ต่อเติมบ้านของโครงการตัวอย่างนั้น ๆ เพื่อหาระยะเวลาในการซ่อมแซมที่เกิดขึ้น เนื่องจากการเก็บข้อมูลในส่วน O&M phase นั้น เป็นการเก็บข้อมูลที่ต้องใช้เวลาและมีอุปสรรคในการเก็บข้อมูล เพราะการประเมินต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของโครงการตัวอย่างนั้นต้องเก็บข้อมูลในส่วนที่เป็นอนาคต

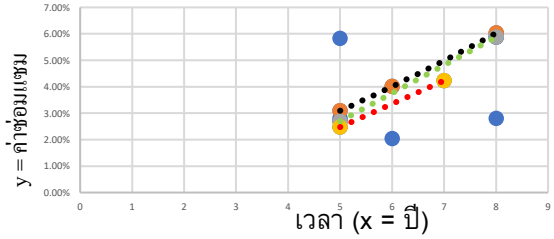
ของช่วง O&M phase ด้วย ดังนั้นผู้วิจัยต้องทำการเก็บข้อมูลจากโครงการตัวอย่างต่าง ๆ ของ**การซ่อม Minor repair ว่าซ่อมทุกปีเท่าไหร่ และ คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของของค่าก่อสร้างรวม**โดยผู้วิจัยจะทำการสอบถามช่างประจำโครงการตัวอย่างที่มีความชำนาญในการรับทำงานซ่อมแซมหรือต่อเติมโครงการตัวอย่างนั้น ๆ โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นราคาซ่อมแซมงานนั้น ๆ ต่อพื้นที่ ซึ่งผู้วิจัยต้องนำค่าที่ได้มาเปลี่ยนเป็นราคาซ่อมที่คิดเป็นร้อยละของค่าก่อสร้างและระยะเวลาหรือความถี่ในการซ่อมงานนั้น ๆ

หลังจากนั้นผู้วิจัยจะนำค่าร้อยละของค่าซ่อมแซม และความถี่ในการซ่อม จากทุก ๆ โครงการตัวอย่าง มาวิเคราะห์หาสมการเพื่อพยากรณ์ต้นทุนของการซ่อม Minor repair โดยใช้วิธี “Envelope method” [14],[15]

โดยผลการวิเคราะห์หาสมการเพื่อพยากรณ์ต้นทุนของการซ่อมแบบ Minor repair โดยใช้วิธี “Envelope method” ของโครงการตัวอย่างระบบหล่อในที่ และระบบหล่อสำเร็จ เป็นดังแสดงใน**รูปที่ 3–4** ตามลำดับ



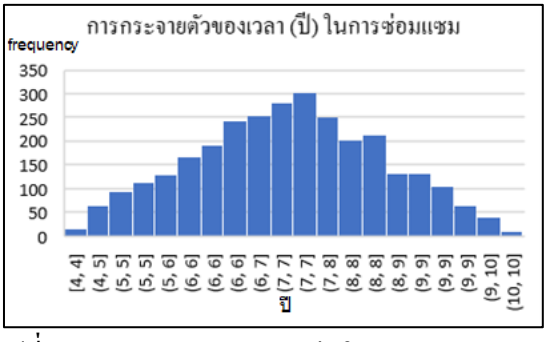
รูปที่ 3 ข้อมูลค่าซ่อมแซมของระบบหล่อในที่



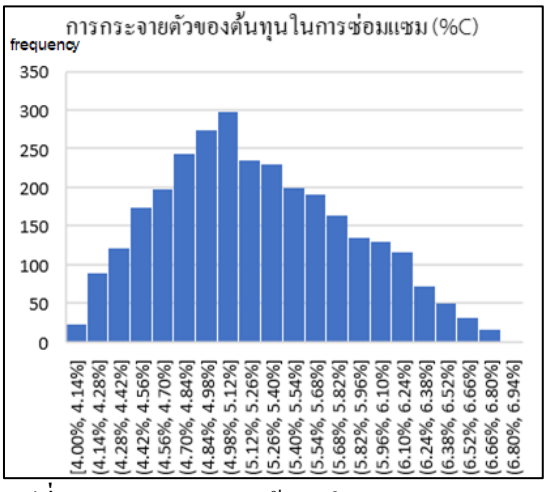
รูปที่ 4 ข้อมูลค่าซ่อมแซมของระบบหล่อสำเร็จ

ซึ่งผลลัพธ์ดัง**รูปที่ 3–4** นั้นเกิดจากการพลอตค่าของค่าร้อยละของค่าซ่อมแซม และ ความถี่ในการซ่อม และทำการสร้างสมการพยากรณ์ (Regression) 3 เส้น เพื่อทำการตีขอบเขตในการจำลองการกระจายตัวของค่า y (ค่าซ่อมแซม) และ ค่า x (เวลา) เป็นดังเส้นประ สีดำ สีเขียว และ สีแดง

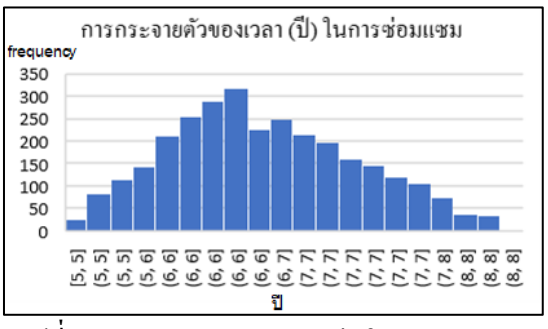
ผู้วิจัยจะทำการจำลองการกระจายตัวของเวลาการซ่อม Minor repair ซึ่งพอได้เวลาที่ใช้ในการซ่อม Minor repair ผู้วิจัยนำค่าเวลาได้กลับไปแทนสมการ พยากรณ์ทั้ง 3 สมการที่เป็นขอบเขตของการหาระยะเวลาและปริมาณต้นทุนในการซ่อม Minor repair ดัง**รูปที่ 5–8**



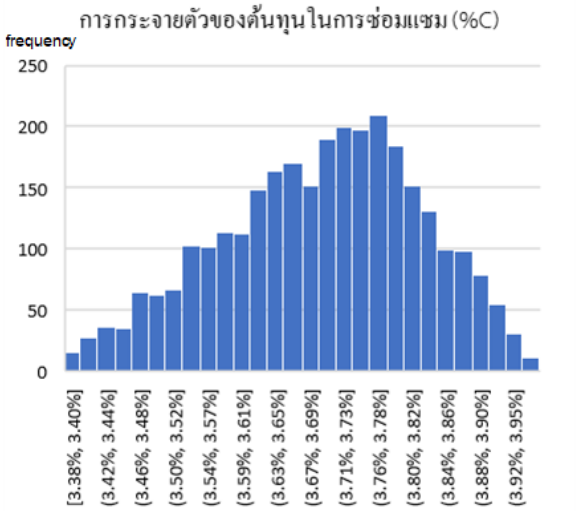
รูปที่ 5 การกระจายตัวของเวลา (ปี) ในการซ่อมแซมแบบ Minor repair ของระบบหล่อในที่



รูปที่ 6 การกระจายตัวของต้นทุนในการซ่อมแซมแบบ Minor repair ของระบบหล่อในที่ (คิดเป็น % ของ Construction cost)



รูปที่ 7 การกระจายตัวของเวลา (ปี) ในการซ่อมแบบ Minor repair ของระบบหล่อสำเร็จ



รูปที่ 8 การกระจายตัวของต้นทุนในการซ่อมแบบ Minor repair ของระบบหล่อสำเร็จ (คิดเป็น % ของ Construction Cost)

จาก**รูปที่ 4** ผู้วิจัยได้ใช้ Envelope method เพื่อสร้างการกระจายตัวของเวลา (ปี) ในการซ่อมแซมแบบ Minor repair ของระบบหล่อในที่ โดยเลือกใช้การกระจายตัวแบบสามเหลี่ยม (Triangular distribution) ที่อยู่ในช่วงเวลาในการจ่ายค่า Minor repair ทุก 4–10 ปี โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7 ปี ดัง**รูปที่ 6** ส่งผลให้ ส่วนค่าใช้จ่าย Minor repair ที่คิดเป็น % จากตัวแปร Construction cost มีการกระจายตัวอยู่ที่ 4–6.8% ดังแสดงใน**รูปที่ 6** โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.88% ของตัวแปร Construction cost ที่เป็นมูลค่าเงินปัจจุบัน

ในทำนองเดียวกัน ของในระบบหล่อสำเร็จพบว่าช่วงเวลาในการเกิดของค่า Minor repair มีตั้งแต่ 5–8 ปี โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 6 ปี ในส่วนของค่าใช้จ่าย Minor repair ที่คิดเป็นร้อยละของตัวแปร Construction cost มีช่วงการกระจายตัวอยู่ที่ 3.36–3.96% โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.75% ของ Construction cost ที่เป็นมูลค่าเงินปัจจุบัน ดังแสดงใน**รูปที่ 7–8**

หลังจากทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและสร้างกรอบพื้นที่ในการสุ่ม หรือ ที่เรียกว่า Envelope Area เพื่อหาเวลาที่อาจเกิดค่าใช้จ่ายที่เป็น Minor repair และร้อยละค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นแล้วเสร็จ ผู้วิจัยจะนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณค่าของต้นทุนตลอดอายุการใช้งานที่เป็นไปได้ของโครงการตัวอย่างนั้น ๆ โดยใช้การจำลอง Monte Carlo ในหัวข้อที่ 7

5.2.2 การเก็บข้อมูลต้นทุนซ่อมแซมหลัก

ต้นทุนซ่อมแซมหลัก (Major repair cost) เป็นต้นทุนที่เกิดจากการซ่อมครั้งใหญ่และมีการรื้อถอนของเจ้าของบ้านหรือลูกค้าของเจ้าของโครงการ โดยมีองค์ประกอบโครงสร้างหลักหลาย ๆ ส่วน ซึ่งในที่นี้ ผู้วิจัยใช้เวลาและราคาต่อพื้นที่ในการซ่อมครั้งใหญ่ของโครงการตัวอย่างนั้น จากการสอบถามช่างซ่อมแซมประจำตามโครงการตัวอย่างนั้นๆ โดยจากการสอบถามช่างประจำโครงการตัวอย่างนั้น ๆ พบว่ามีระยะเวลาประมาณ 15 ปี ของทั้ง 2 ระบบ ในการซ่อมใหญ่หรือมีการรื้อถอน การประมาณการค่าใช้จ่าย Major repair cost เป็นดังแสดงใน**ตารางที่3–4**

ตารางที่ 3 ข้อมูล Major repair Cost ของโครงการตัวอย่างระบบหล่อในที่

โครงการตัวอย่างที่	Major repair Cost (บาท)
1	598,748.80
2	692,640.00
3	704,761.20
4	985,088.00
5	1,021,644.00
6	692,640.00

ตารางที่ 4 ข้อมูล Major repair cost ของโครงการตัวอย่างระบบหล่อสำเร็จ

โครงการตัวอย่างที่	Major repair Cost (บาท)
1	1,272,341.20
2	1,539,200.00
3	1,566,136.00
4	1,970,176.00
5	2,043,288.00
6	1,539,200.00

ดังนั้นต้นทุนรวมทั้ง 3 ช่วง ของระบบหล่อในที่และระบบหล่อสำเร็จจะเป็นไปตาม**ตารางที่ 5–6** ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ต้นทุนทั้ง 3 ช่วงของระบบหล่อในที่

โครงการ	PV[$C_{CIP,pp,t}$]	PV[$C_{CIP,cp,t}$]	PV[$C_{CIP,OM,t}$]
1	23,000.00	4,581,420.20	2,825,970.58
2	35,000.00	6,121,144.62	3,545,772.82
3	20,000.00	7,695,526.92	4,038,555.05
4	20,000.00	8,123,416.51	4,815,484.64
5	20,000.00	8,611,971.10	5,045,381.11
6	25,000.00	5,392,067.70	3,339,535.87

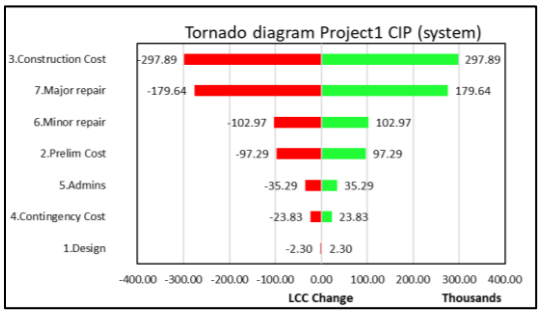
ตารางที่ 6 ต้นทุนทั้ง 3 ช่วงของระบบหล่อสำเร็จ

โครงการ	PV[$C_{PC,pp,t}$]	PV[$C_{PC,cp,t}$]	PV[$C_{PC,OM,t}$]
1	23,000.00	5,883,647.49	5,083,077.91
2	35,000.00	7,987,336.17	6,425,084.45
3	20,000.00	9,672,749.63	6,937,570.48
4	20,000.00	9,887,794.40	8,034,316.21
5	20,000.00	10,490,383.02	8,390,915.38
6	25,000.00	7,386,425.34	6,279,564.71

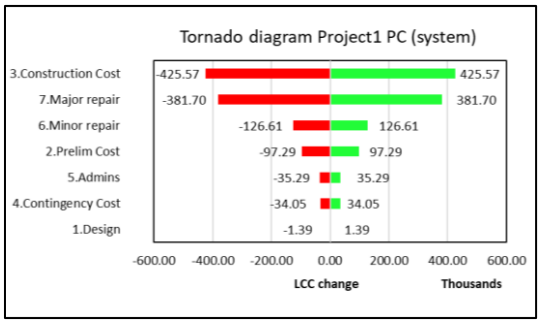
6. การวิเคราะห์ความอ่อนไหว

หลังจากเก็บข้อมูลได้แล้วนั้น ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) ของตัวแปรที่ศึกษาทั้ง 7 ตัวแปร โดยในการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) จะเป็นการเพิ่มและลดตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งในระดับค่าเท่า ๆ กัน เช่น ±10% หรือ ±20% จากค่าเฉลี่ย หรือค่าที่ได้ในกรณีฐาน (Base case) ในตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนระบบหล่อในที่และระบบหล่อสำเร็จ เพื่อใช้เปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงค่านั้นว่าส่งผลใต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าผลลัพธ์ ซึ่งในกรณีนี้ คือ ค่า ต้นทุนงานคอนกรีตตลอดอายุการใช้งานโครงการ (Life-cycle cost: LCC) ว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อยเพียงใด เพื่อให้ได้กลุ่มของตัวแปรเสี่ยงที่สำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน

หลังจากที่ทำการ Sensitivity Analysis เรียบร้อยแล้วนั้น ผู้วิจัยจะนำผลที่ได้มาสร้าง Tornado diagram หรือ แผนภาพทอร์นาโด โดยแผนภาพทอร์นาโด จะลำดับตัวแปรที่ช่วยบ่งชี้ว่าตัวแปรใดที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงต้นทุนตลอดอายุการใช้งานมากที่สุด และลำดับรอง ๆ ลงมา ตัวอย่างของการสร้างแผนภาพทอร์นาโด ของโครงการที่ 1 (Project #1) เป็นดังแสดงใน**รูปที่ 9–10**



รูปที่ 9 แผนภาพทอร์นาโดของโครงการตัวอย่างที่ 1 ระบบหล่อในที่



รูปที่ 10 แผนภาพทอร์นาโดของโครงการตัวอย่างที่ 1 ระบบหล่อสำเร็จ

ซึ่งทุกโครงการก่อสร้างนั้นมีตัวแปรเสี่ยง 3 อันดับแรกที่ส่งผลต่อต้นทุนตลอดอายุการงานเหมือนกัน จึงเป็นเหตุให้ ผู้วิจัยนั้นใช้ตัวแปรเสี่ยง 3 อันดับแรก ได้แก่ 1) Construction cost 2) Major repair cost และ3) Minor repair cost

หลังจากที่สร้างแผนภาพทอร์นาโดแล้วเสร็จ ผู้วิจัยได้คัดกรองตัวแปรที่ส่งผลต่อต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของโครงการตัวอย่างนั้น ๆ โดยผู้วิจัยจะทำการเลือก ตัวแปร 3 อันดับแรกที่เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อต้นทุนตลอดอายุการใช้ของโครงการตัวอย่างนั้น ๆ มากที่สุด เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถนำตัวแปรที่ถูกคัดกรองนั้น มาวิเคราะห์หาช่วงค่าที่เป็นไปได้ของต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน โดยใช้วิธีการจำลอง Monte Carlo ดังมีรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

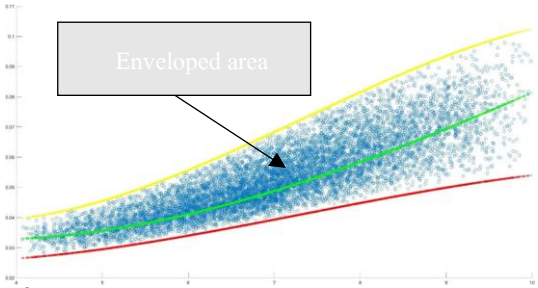
7. การวิเคราะห์ความเสี่ยงของค่าใช้จ่ายในช่วงการใช้งาน โดยวิธี Monte Carlo

ในการสร้างแบบจำลองของการกระจายตัวของเวลาในการเกิดขึ้นของกิจกรรม Minor repair และ การกระจายตัวของค่าใช้จ่ายที่เป็นไปได้ของตัวแปร Minor repair cost เพื่อให้ได้การกระจายตัวของค่าที่เป็นไปได้ของต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน ผู้วิจัยนั้นได้เลือกใช้ โปรแกรม MATHLAB R2022b ในการสร้างแบบจำลองมอนติคาโล

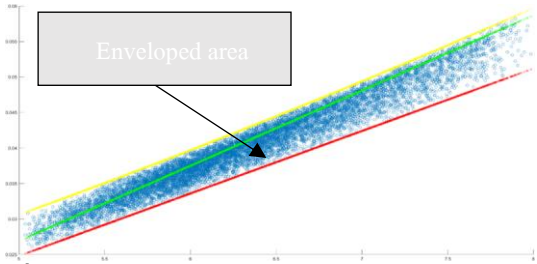
จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่า วิธี Envelope method ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการหาการกระจายตัวของเวลาในการจ่ายค่าซ่อม Minor repair cost และ การกระจายตัวของค่าใช้จ่ายของตัวแปร Minor repair cost ที่มาจากการสร้างสมการพยากรณ์ 3 สมการ แต่นั่นเป็นเพียงแค่ 1 ผลลัพธ์ของการหาค่าที่เป็นไปได้ของต้นทุนตลอดการใช้งาน ดังนั้นเพื่อให้ผลลัพธ์ของการหาค่าที่เป็นไปได้ของต้นทุนตลอดการใช้งานนั้นมีค่าความแม่นยำมากขึ้น ผู้วิจัยจึงต้องเลือกเวลาอื่นๆใน Envelope ของ สมการพยากรณ์ 3 สมการ ของการจ่ายค่าซ่อม Minor repair cost และ ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ของตัวแปร Minor repair cost ที่มาจากการสร้างสมการพยากรณ์ 3 สมการ ให้ได้ผลลัพธ์ของการหาค่าที่เป็นไปได้ของต้นทุนตลอดการใช้งานมากขึ้น

นั่นจึงเป็นเหตุให้ผู้วิจัยนั้นต้องสร้างแบบจำลองของการกระจายตัวของเวลาในการค่า Minor repair cost และการกระจายตัวของค่าใช้จ่ายของตัวแปร Minor repair cost เพื่อให้ได้การกระจายตัวของค่าที่เป็นไปได้ของต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน ด้วยการจำลองโดยวิธี Monte Carlo ทั้งระบบหล่อในที่และระบบหล่อสำเร็จ

ผลลัพธ์ของต้นทุนในการซ่อม Minor repair cost จากการสุ่มความถี่ของเวลาในการจ่ายค่าซ่อมแซม Minor repair cost 10,000 ครั้ง ภายใต้ของเขตของสมการพยากรณ์ 3 สมการของระบบหล่อในที่และหล่อสำเร็จ เป็นดัง**รูปที่ 11–12** ตามลำดับ



รูปที่ 11 ผลการสุ่มช่วงเวลาและต้นทุนของกิจกรรม Minor repair ของระบบหล่อในที่ โดยวิธี Envelope method (แกน x = ปี, แกน y = % ค่าซ่อมแซม)

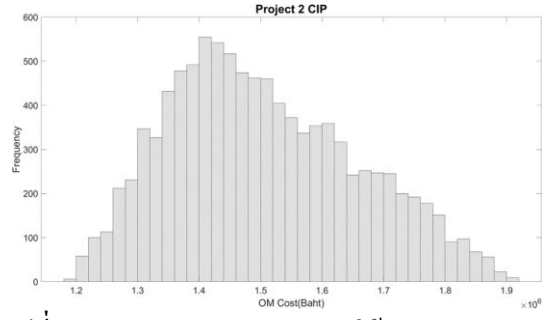


รูปที่ 12 ผลการสุ่มช่วงเวลาและต้นทุนของกิจกรรม Minor repair ของระบบหล่อสำเร็จ โดยวิธี Envelope method (แกน x = ปี, แกน y = % ค่าซ่อมแซม)

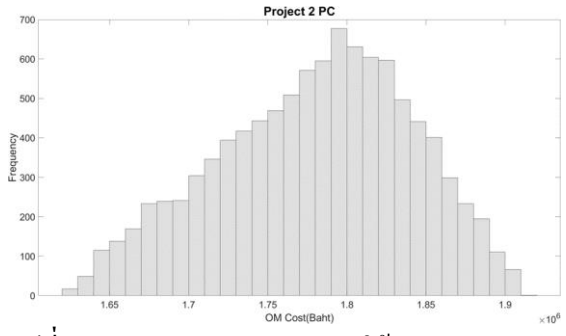
หลังจากได้ผลลัพธ์ของต้นทุนในการซ่อม Minor repair cost จากการสุ่มความถี่ของเวลาในการจ่ายค่าซ่อมแซม Preventive maintenance cost 10,000 ครั้ง (Number of simulations = 10,000 ครั้ง)

จากนั้นผู้วิจัยได้สร้างกราฟกราฟการกระจายตัวของค่าใช้จ่าย Minor repair cost ดังแสดงใน**รูปที่ 13–14**

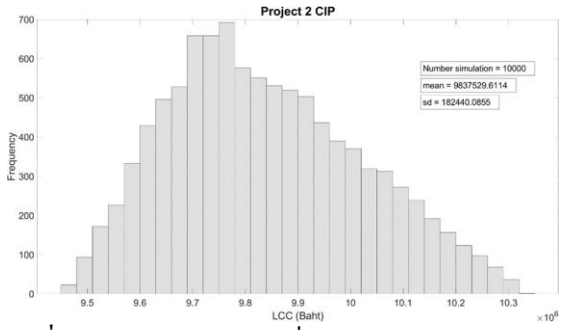
จาก**รูปที่ 13–14** เมื่อทราบถึงการกระจายตัวของค่าใช้จ่าย Minor repair cost แล้ว เราสามารถหาช่วงหรือค่าที่เป็นไปได้ของต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Range of possible LCCs) ซึ่งมีลักษณะเป็นกราฟแท่ง โดยการนำการกระจายตัวของค่าใช้จ่าย Minor repair cost ไปรวมกับค่าคงที่ได้แก่ Major repair cost และ Construction cost โดยทำทุกโครงการตัวอย่าง ดัง**รูปที่ 15–16**



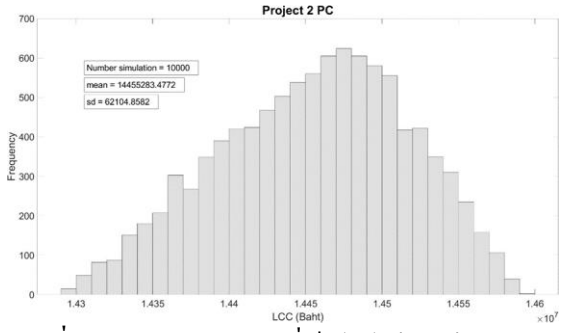
รูปที่ 13 กราฟการกระจายตัวของค่าใช้จ่าย Minor repair cost ของระบบหล่อในที่ ในโครงการตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 14 กราฟการกระจายตัวของค่าใช้จ่าย Minor repair cost ของระบบหล่อสำเร็จ ในโครงการตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 15 กราฟแท่งแสดงค่าที่เป็นไปได้ของต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของโครงการตัวอย่างที่ 2 ระบบหล่อในที่



รูปที่ 16 กราฟแท่งแสดงค่าที่เป็นไปได้ของต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของโครงการตัวอย่างที่ 2 ระบบหล่อสำเร็จ

จากที่ได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโครงการตัวอย่างทั้ง 6 โครงการ และได้ประเมินวิเคราะห์หาค่าต้นทุนตลอดอายุการใช้ (LCC) ของระบบการก่อสร้างคอนกรีตทั้ง 2 ระบบ และการประเมินช่วงของต้นทุนตลอดอายุการใช้ (LCC) ที่เป็นไปได้จากต้นทุนในอนาคตที่อาจเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากความไม่แน่นอน โดยใช้วิธี Monte Carlo simulation และ Envelope method โดยในการศึกษานี้ พิจารณาความไม่แน่นอนเฉพาะต้นทุน Minor repair cost เท่านั้น เนื่องจากเป็นต้นทุนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต

โดยสรุปผลการประเมินเปรียบเทียบด้านต้นทุนตลอดอายุการใช้ (LCC) ของทั้ง 2 ระบบการก่อสร้าง เป็นดังแสดงใน**ตารางที่ 7–8**

ตารางที่ 7 ผลการประเมินต้นทุนตลอดอายุการใช้ (LCC) ของระบบคอนกรีตหล่อในที่

โครงการตัวอย่าง	ช่วงของ LCC ที่เป็นไปได้ (ล้านบาท)	ค่าเฉลี่ย (ล้านบาท)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (บาท)
1	ใช้ระบบการก่อสร้างแบบผสมซึ่งยังเก็บข้อมูลช่วงการใช้งานไม่ครบ		
2	9.22–10.12	9.83	182,440.08
3	11.36–12.26	11.76	192,846.52
4	13.41–14.11	13.73	136,817.88
5	13.39–13.99	13.68	135,223.31
6	8.32–9.22	8.76	189,024.56

ตารางที่ 8 ผลการประเมินต้นทุนตลอดอายุการใช้ (LCC) ของระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ

โครงการตัวอย่าง	ช่วงของ LCC ที่เป็นไปได้ (ล้านบาท)	ค่าเฉลี่ย (ล้านบาท)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (บาท)
1	ใช้ระบบการก่อสร้างแบบผสมซึ่งยังเก็บข้อมูลช่วงการใช้งานไม่ครบ		
2	14.22–14.57	14.45	62,104.85
3	16.50–16.75	16.63	60,730.91
4	17.76–18.06	17.94	64,395.85
5	18.73–19.03	18.90	60,574.21
6	13.98–14.23	14.13	60,512.08

8. อภิปรายผลวิจัยและสรุปผลการศึกษา

จากการวิจัยการศึกษาเชิงเปรียบเทียบต้นทุนตลอดอายุการใช้งานและปริมาณการปล่อยสารคาร์บอนของระบบหล่อในที่และระบบหล่อสำเร็จโดยวิธีมอนติคาร์โลและวิธีสัมประสิทธ์ ผู้วิจัยพบว่ามีตัวแปรเสี่ยง 3 ตัวแปรที่ส่งผลต่อต้นทุนตลอดอายุการใช้งานมากที่สุดไม่ว่าจะมองในมุมมองของระบบการก่อสร้างแบบหล่อในที่และแบบหล่อสำเร็จตัวแปรเสี่ยง 3 ตัวแปรที่ส่งผลต่อต้นทุนตลอดอายุการใช้งานมากที่สุด ได้แก่ 1) Construction cost 2) Major repair cost และ 3) Minor repair cost

ซึ่งหลังจากผู้วิจัยได้นำ 3 ตัวแปรเสี่ยงนี้ไปทำการจำลองมอนติคาร์โลเพื่อหาค่าต้นทุนตลอดอายุการใช้งานที่เป็นไปได้นั้น พบว่าอัตราส่วนของต้นทุนตลอดอายุการใช้งานที่เป็นไปได้ของระบบหล่อในที่ต่อต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของระบบหล่อสำเร็จนั้น อยู่ที่ 0.60–0.73 ซึ่งจากเอกสารและงานวิจัยที่ได้เคยกล่าวไว้ว่า การเลือกใช้ระบบการก่อสร้างแบบหล่อสำเร็จนั้น จะช่วยทำให้ต้นทุนรวมของโครงการก่อสร้างลดลง โดยลดลงเฉลี่ยประมาณอยู่ที่ 15% ซึ่งเอกสารของศูนย์วิจัยกสิกรไทย ระบุว่า ระบบการก่อสร้างแบบหล่อสำเร็จมีต้นทุนก่อสร้างรวมลดลงเนื่องจากการลดของต้นทุนแรงงานประมาณ 50% ของต้นทุนค่าแรงรวมทั้งหมด และระบบการก่อสร้างแบบหล่อสำเร็จยังช่วยลดระยะเวลาก่อสร้างประมาณ 30% ของระยะเวลาเดิมที่ใช้กรณีเป็นระบบหล่อในที่ [3] ทำให้การก่อสร้างเสร็จเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับระบบหล่อในที่ (Cast-in place) หรือระบบก่อสร้างเดิมซึ่งช่วยให้เจ้าของโครงการส่งมอบโครงการให้ลูกค้าได้เร็ว ได้รับกระแสเงินจากการปิดการขายได้เร็วขึ้น (Early cash flow from sales)

ผลที่ได้จากการศึกษานี้ สำหรับในส่วนของต้นทุนรวมในช่วง Construction phase ของระบบการก่อสร้างแบบหล่อในที่ ในโครงการตัวอย่างทั้ง 6 นั้นมากกว่าต้นทุนรวมในช่วง Construction phase ของระบบหล่อสำเร็จซึ่งต่างจากเอกสารของศูนย์วิจัยกสิกรไทย [3] ทั้งนี้เนื่องจาก ในการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบของระบบการก่อสร้างแบบหล่อในที่และหล่อสำเร็จ ของการศึกษานี้ไม่ได้คำนึงถึงมิติเวลาที่แตกต่างกันของการก่อสร้างทั้ง 2 ระบบ โดยงานวิจัยกำหนดให้ระยะเวลาเท่ากันในการก่อสร้างทั้งสองระบบการก่อสร้าง เนื่องจากเป็นการเปรียบเทียบแบบปรับเปลี่ยนโครงการตัวอย่างที่ศึกษา ให้เป็นระบบหล่อในที่ (Cast-in place) และระบบหล่อสำเร็จ (Precast) เพื่อให้เป็นการเปรียบเทียบแบบโครงการเดียวกันแต่ใช้ระบบการก่อสร้างที่แตกต่างกัน

อย่างไรก็ตาม หากนำปัจจัยด้านเวลาที่แตกต่างกันของระบบการก่อสร้างทั้ง 2 มาประกอบการพิจารณา และใช้ข้อมูลของ [3] ที่ระบุว่า ระบบการก่อสร้างแบบหล่อสำเร็จช่วยลดระยะเวลาก่อสร้างประมาณ 30% ของระยะเวลาเดิมที่ใช้กรณีเป็นระบบหล่อในที่ และประเมินเบื้องต้นถึงต้นทุนค่าแรงที่อาจลดลงได้ เช่นในกรณีที่ก่อสร้างในระบบเดิมใช้เวลา 1 ปี หากโครงการใช้ระบบหล่อสำเร็จจะใช้ระยะเวลาประมาณ 8 เดือนครึ่ง ซึ่งหากใช้โครงการตัวอย่างที่ 2 ซึ่งมีต้นทุนในช่วงการก่อสร้างประมาณ 6,121,144 บาท และ 7,987,336 บาท สำหรับระบบหล่อในที่ และ สำหรับระบบหล่อสำเร็จ ตามลำดับ ระยะเวลาที่ลดได้จากการใช้ระบบหล่อสำเร็จ 1.5 เดือนของโครงการ จะช่วยลดต้นทุนค่าแรงได้ประมาณ 425,360 บาท และค่าดำเนินการประมาณ 552,970 บาท รวมประมาณ 978,330 บาท โดยใช้เกณฑ์ค่าแรงที่ประมาณ 30% ของค่าวัสดุ และค่าดำเนินการประมาณ 30% ของต้นทุนทางตรงรวม (Factor F = 1.3) ตามเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง รายละเอียดการประมาณการเป็นดังต่อไปนี้

- ต้นทุนทางตรง = 7,987,336 / 1.3 = 6,144,104 บาท
- ต้นทุนวัสดุ (Material cost) = 6,144,104 / 1.3 = 4,726,234 บาท
- ต้นทุนค่าแรง (Labor cost) = 4,726,234 × 0.3 = 1,417,870 บาท
- ค่าดำเนินการ (Overhead cost)
  = 7,987,336 - 6,144,104
  = 1,843,232 บาท
- ประมาณการต้นทุนที่ลดลงได้
  = 0.3 × (1,417,870 + 1,843,232) = 978,330 บาท

จากการประมาณการต้นทุนที่ลดลงได้ = 978,330 บาท ต้นทุนในช่วงการก่อสร้างสำหรับระบบหล่อสำเร็จ จะปรับลดเหลือ 7,987,336 - 978,330 = 7,009,006 บาท หรือลดลงได้ประมาณ 12% เทียบกับ 15% ตามเอกสารของ Kasikorn [3] ส่วนค่าแรง ลดลงประมาณ 425,360 บาท จากต้นทุนค่าแรงรวม 1,417,870 บาท หรือประมาณ 30% เทียบกับประมาณ 50% ตามการประเมินของ [3]

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Lunkam. "Industry trends. Construction materials business." krungsri.com. https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Construction-Construction-Materials/Construction-Materials/IO/io-construction-materials-21 (accessed Feb. 01, 2023).

[2] Grand View Research, "Precast Concrete Market Size & Share Report," Grand View Research, Inc., San Francisco, CA, USA, Rep. GVR-2-68038-360-7, 2023.

[3] Kasikorn Research Center. "Pre-cast construction answers current and future problems." kasikornresearch.com. https://www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-econ/business/Pages/z3155-Precast-Construction.aspx (accessed May. 01, 2023).

[4] Baanlaesuan. "Why is Precast Thailand bad in the eyes of consumers." baanlaesuan.com. https://www.baanlaesuan.com/79663/dontmiss/pros-2. (accessed Apr. 01, 2023).

[5] *Maynard's Industrial and Systems Engineering Handbook*, 6th ed., McGraw Hill, New York, USA, 2022, pp. 3.251–3.260.

[6] Nirutt Amonkanarat, "Life Cycle Cost Assessment of Building Envelope Improvement," M.E Thesis. Dept. Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit Univ., Bangkok, Thailand, 2019.

[7] Thattree Suthiwaree, "The comparison of attitudes and decision trend between precast concrete structural and normal construction in Bangkok Metropolitan Area," M.B.A Independent Study, Dept. Social Sciences, Srinakharinwirot Univ., Bangkok, Thailand, 2012.

[8] S. Sombattip. "Management of building construction with precast concrete," B.E. Project, Dept. Civil Engineering, Burapha Univ., Chonburi, Thailand, 2011.

[9] K. Tochaiwat, "Precast Concrete Construction System and Value Appraisal of Residences in Housing Projects," *Thai Valuers Association*, pp. 1–3, 2017, [Online]. Available: https://www.tva.or.th/Files/Name2/CONTENT5a5c45f280525a260432e785647388146644893.pdf.

[10] T. Vasishta, M. H. Mehany and J. Killingsworth, "Comparative life cycle assesment (LCA) and life cycle cost analysis (LCCA) of precast and cast–in–place buildings in United States," *Journal of Building Engineering*, vol. 67, 2023, Art. no. 105921, doi: 10.1016/j.jobe.2023.105921.

[11] A. Punpukdee. "Sensitivity Analysis." gotoknow.org. https://www.gotoknow.org/posts/251763 (accessed Mar. 01, 2023).

[12] W. Kenton. "Sensitivity Analysis Definition." investopedia.com. https://www.investopedia.com/terms/s/sensitivityanalysis.asp. (accessed Mar. 01, 2023).

[13] *Typical Life Expectancy of Building Components*, eTool Pty Ltd., 2015. [Online]. Available: https://etoolglobal.com/wp-content/uploads/2015/10/BuildingComponentLifeExpectancy.pdf.

[14] N. Kokkaew and N. Chiara, " Modelling completion risk using stochastic critical path-envelope method: a BOT highway project application," *Construction Management and Economics*, vol. 28, no. 12, pp. 1239–1254, 2010, doi: 10.1080/01446193.2010.521755.

[15] D. Vose, "Modelling correlation and dependencies," in *Risk analysis: a quantitative guide*, 3rd ed., New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 2008, ch. 13, sec. 13.4, pp. 380–390.