



การเปรียบเทียบต้นทุนของฐานรากแบบเดิมและฐานรากต้านแรงแผ่นดินไหว:

กรณีศึกษาอาคารสำนักงานการตรวจเงินแผ่นดิน

COST COMPARISON OF CONVENTIONAL AND SEISMIC-RESISTANT FOUNDATION SYSTEMS:

A CASE STUDY OF THE STATE AUDIT OFFICE BUILDING

เทวกุล จันทร์ข้ามป้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Corresponding author, E-mail: tawakun.ch@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการก่อสร้างของระบบฐานรากแบบเดิมและฐานรากที่ออกแบบให้ต้านแรงแผ่นดินไหว โดยใช้กรณีศึกษาอาคารสำนักงานการตรวจเงินแผ่นดิน วิธีการศึกษาใช้การวิเคราะห์เชิงปริมาณจากแบบก่อสร้างร่วมกับการประมาณราคาตามหลักวิศวกรรม โดยพิจารณาทางเลือกการออกแบบจำนวน 4 แนวทาง ได้แก่ (1) ฐานรากแบบเดิม (2) การเพิ่มขนาดฐานราก (3) การเพิ่มเหล็กเสริม และ (4) การเชื่อมคานคอดินกับฐานราก ผลการศึกษาพบว่า ฐานรากแบบเดิมมีต้นทุนต่ำที่สุดเท่ากับ 17.16 ล้านบาท ขณะที่การเพิ่มขนาดฐานรากมีต้นทุนสูงที่สุดเท่ากับ 20.53 ล้านบาท หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 19.64 ส่วนแนวทางการเพิ่มเหล็กเสริมและการเชื่อมคานคอดินมีต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.43 และ 8.16 ตามลำดับ โดยรวมต้นทุนของแนวทางฐานรากต้านแรงแผ่นดินไหวมีการเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8.16–19.64 แม้ว่าการออกแบบฐานรากต้านแรงแผ่นดินไหวจะส่งผลให้ต้นทุนเริ่มต้นเพิ่มขึ้น แต่แนวทางการเพิ่มเหล็กเสริมและการเชื่อมคานคอดินมีต้นทุนเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการเพิ่มขนาดฐานรากภายใต้ขอบเขตของกรณีศึกษานี้ งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบฐานรากภายใต้ข้อพิจารณาด้านแผ่นดินไหวสำหรับโครงการอาคารภาครัฐ

คำสำคัญ: ฐานราก; แรงแผ่นดินไหว; การวิเคราะห์ต้นทุน; งานก่อสร้าง

ABSTRACT

This research aims to compare the construction costs of conventional foundation systems and foundations designed to resist seismic forces, using the Office of the Auditor General building as a case study. The study employs a quantitative analysis based on construction drawings combined with engineering-based cost estimation. Four design alternatives were considered: (1) the conventional foundation, (2) increasing the foundation size, (3) increasing reinforcement, and (4) connecting the grade beams to the foundations. The results showed that the conventional foundation had the lowest cost at THB 17.16 million, while increasing the foundation size resulted in the highest cost at THB 20.53 million, representing an increase of 19.64%. The alternatives

involving increased reinforcement and connecting grade beams to the foundations resulted in cost increases of 9.43% and 8.16%, respectively. Overall, the construction costs of the seismic-resistant foundation alternatives increased by 8.16-19.64%. Although the design of seismic-resistant foundations increases initial construction costs, the alternatives involving increased reinforcement and connecting grade beams to the foundations resulted in lower cost increases than increasing the foundation size within the scope of this case study. The findings can serve as supporting information for decision-making in foundation design considering seismic conditions, particularly for public-sector building projects.

KEYWORDS: Foundation; Seismic resistance; Cost analysis; Construction

1. บทนำ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ประเทศไทยเริ่มให้ความสำคัญกับการออกแบบโครงสร้างอาคารให้สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวมากขึ้น [1, 2] โดยเฉพาะหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของอาคาร และโครงสร้างพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญ การออกแบบโครงสร้างให้สามารถรองรับแรงด้านข้างที่เกิดจากแผ่นดินไหวจึงกลายเป็นประเด็นสำคัญในงานวิศวกรรมโยธา โดยเฉพาะในส่วนของฐานรากซึ่งทำหน้าที่ถ่ายแรงจากโครงสร้างส่วนบนลงสู่ชั้นดิน [3] ฐานรากที่ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพของโครงสร้าง และลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากแรงสั่นสะเทือน อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงรูปแบบฐานรากเพื่อให้สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวมักส่งผลให้ต้นทุนการก่อสร้างเพิ่มสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มขนาดฐานราก การเพิ่มปริมาณเหล็กเสริม หรือการใช้ระบบโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งประเด็นด้านต้นทุนดังกล่าวถือเป็นข้อจำกัดสำคัญ โดยเฉพาะในโครงการก่อสร้างของภาครัฐที่มีกรอบงบประมาณชัดเจนและจำกัด ส่งผลให้การตัดสินใจเลือกแนวทางการออกแบบฐานรากจำเป็นต้องพิจารณาทั้งด้านความปลอดภัยและความเหมาะสมเชิงต้นทุนควบคู่กัน แม้ว่าจะมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบฐานรากและพฤติกรรมของโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหวจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นไปที่ด้านสมรรถนะเชิงโครงสร้างเป็นหลัก [4] ขณะที่การศึกษาที่เปรียบเทียบต้นทุนของแนวทางการออกแบบฐานรากในบริบทของโครงการจริง โดยเฉพาะอาคารราชการในประเทศไทยยังมีอยู่อย่างจำกัด ส่งผลให้ผู้เกี่ยวข้องยังขาดข้อมูลเชิงประจักษ์สำหรับใช้ประกอบการตัดสินใจ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนของฐานรากแบบเดิมและฐานรากที่ออกแบบให้สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหว โดยใช้กรณีศึกษาอาคารสำนักงานการตรวจเงินแผ่นดิน ผลการศึกษาคาดว่าจะช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเชิงวิศวกรรมและการบริหารโครงการให้สามารถเลือกใช้แนวทางการออกแบบฐานรากที่เหมาะสม [5] ทั้งในด้านความปลอดภัยและต้นทุนการก่อสร้าง

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 แนวคิดเกี่ยวกับฐานราก

ฐานรากเป็นองค์ประกอบอย่างง่ายและประหยัดต้นทุน ในขณะที่ฐานรากลึก เช่น เสาเข็ม เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีชั้นดินอ่อน หรือไม่สามารถรองรับน้ำหนักได้เพียงพอ

สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาฐานรากประเภทฐานแผ่เดี่ยว ซึ่งเป็นฐานรากตื้นที่ใช้รองรับน้ำหนักจากเสาแต่ละต้น โดยตรง ฐานรากประเภทนี้มีความเหมาะสมสำหรับอาคารที่มีการกระจายน้ำหนักไม่ซับซ้อน และสามารถออกแบบให้รองรับแรงเพิ่มเติม เช่น แรงแผ่นดินไหว ได้โดยการปรับขนาดหรือเสริมเหล็ก ทั้งนี้ ฐานรากมีบทบาทสำคัญต่อความมั่นคงของโครงสร้างโดยรวม [3] เนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นของการถ่ายแรงทั้งหมด หากฐานรากเกิดความเสียหาย อาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของอาคารทั้งระบบ

2.2 ฐานรากภายใต้แรงแผ่นดินไหว

เมื่อเกิดแผ่นดินไหว โครงสร้างอาคารจะได้รับแรงสั่นสะเทือนในลักษณะแรงด้านข้างและแรงเฉื่อย ซึ่งถูกถ่ายลงสู่ฐานราก และชั้นดินรองรับ ส่งผลให้ฐานรากต้องรับแรงที่มีความซับซ้อนมากกว่าสภาวะปกติ ทั้งในด้านแรงดัด แรงเฉือน และแรงยกตัว พฤติกรรมของฐานรากภายใต้แรงแผ่นดินไหว [2] จึงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโครงสร้างและสภาพชั้นดิน ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับฐานรากจากแรงแผ่นดินไหว ได้แก่ การทรุดตัวที่ไม่สม่ำเสมอ (Differential settlement) การหมุนตัวของฐานราก (Rotation) และการวิบัติของโครงสร้างฐานราก (Foundation failure) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของอาคารโดยรวม นอกจากนี้ ยังอาจเกิดการสูญเสียกำลังรับน้ำหนักของดินในบางกรณี เช่น การเกิดสภาพดินเหลว (Liquefaction) ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยง [5]

เพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของฐานราก สามารถดำเนินการได้หลายแนวทาง ได้แก่ การเพิ่มขนาดของฐานรากเพื่อเพิ่มพื้นที่รับแรงและลดความเค้นที่กระทำต่อดิน การเพิ่มเหล็กเสริมเพื่อเพิ่มกำลังและความเหนียว (Ductility) ของโครงสร้าง รวมถึงการเชื่อมต่อฐานรากด้วยคานคอดิน เพื่อให้โครงสร้างสามารถทำงานร่วมกันและกระจายแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการออกแบบโครงสร้างต้านแรงแผ่นดินไหวที่มุ่งเน้นทั้งด้านความแข็งแรงและความสามารถในการดูดซับพลังงานของโครงสร้าง

2.3 มาตรฐานการออกแบบ

จากผลกระทบของแรงแผ่นดินไหวต่อพฤติกรรมของฐานรากดังกล่าวมา การออกแบบฐานรากให้สามารถต้านทานแรงดังกล่าวจำเป็นต้องอ้างอิงมาตรฐานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้โครงสร้างมีความปลอดภัยและสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในประเทศไทยการกำหนดแรงแผ่นดินไหวและหลักเกณฑ์ในการออกแบบโครงสร้างอาคารอ้างอิงตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.) [1] ซึ่งกำหนดวิธีการคำนวณแรงด้านข้างที่กระทำต่อโครงสร้าง รวมถึงข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและการออกแบบเพื่อป้องกันการวิบัติของโครงสร้าง

นอกจากนี้ การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมถึงรายละเอียดของฐานรากและเหล็กเสริม นิยมอ้างอิงตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) [6] โดยเฉพาะมาตรฐานการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (วสท. 011008-21) ซึ่งครอบคลุมหลักเกณฑ์ด้านกำลังรับแรง การจัดวางเหล็กเสริม และข้อกำหนดด้านการก่อสร้าง เพื่อให้โครงสร้างมีความแข็งแรงและสามารถใช้งานได้ตามที่ออกแบบ ในระดับสากลมาตรฐาน ACI 318 [7] เป็นหนึ่งในมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยให้ความสำคัญกับทั้งกำลังและความเหนียวของโครงสร้าง รวมถึงข้อกำหนดด้านรายละเอียดโครงสร้างเพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้นำหลักเกณฑ์จากมาตรฐาน มขผ. วสท. และ ACI 318 มาใช้ร่วมกันในการพิจารณาออกแบบและปรับปรุงฐานราก เพื่อให้ผลการศึกษาเป็นไปตามหลักวิศวกรรมที่ได้รับการยอมรับ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างจริงได้อย่างเหมาะสม

2.4 แนวคิดการวิเคราะห์ต้นทุนงานก่อสร้าง

การวิเคราะห์ต้นทุนในงานก่อสร้างเป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้ในการประเมินค่าใช้จ่ายของโครงการ โดยอาศัยการถอดปริมาณงาน (Quantity takeoff) จากแบบก่อสร้าง และนำมาคำนวณร่วมกับราคาต่อหน่วยของวัสดุและค่าแรงงาน เพื่อให้ได้ต้นทุนรวมของงานก่อสร้างอย่างเป็นระบบ วิธีการดังกล่าวเป็นพื้นฐานของการประมาณราคาในงานวิศวกรรมโยธา [8] และถูกนำมาใช้ในการเปรียบเทียบทางเลือกการออกแบบในเชิงเศรษฐศาสตร์ ในบริบทของโครงการภาครัฐการประมาณต้นทุนมักอ้างอิงตามบัญชีราคากลางของหน่วยงานภาครัฐ ซึ่งกำหนดราคาวัสดุและค่าแรงงานในแต่ละประเภทงานอย่างเป็นมาตรฐาน เพื่อให้การประเมินต้นทุนมีความสอดคล้องและสามารถตรวจสอบได้ การใช้ราคากลางดังกล่าวช่วยลดความคลาดเคลื่อนจากความผันผวนของราคาในตลาด และทำให้สามารถเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างทางเลือกต่าง ๆ ได้อย่างเป็นธรรม

สำหรับการศึกษานี้ การวิเคราะห์ต้นทุนมุ่งเน้นการเปรียบเทียบต้นทุนของงานฐานรากในแต่ละแนวทางการออกแบบ โดยพิจารณาทั้งต้นทุนรวมและร้อยละการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนเมื่อเทียบกับกรณีแนวคิดดังกล่าวช่วยให้สามารถเปรียบเทียบต้นทุนของทางเลือกแต่ละแบบได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ แนวทางการวิเคราะห์ต้นทุนดังกล่าวสอดคล้องกับวิธีการประมาณราคาในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อ 3.3 โดยใช้ข้อมูลปริมาณงานจากแบบก่อสร้างร่วมกับราคาวัสดุและค่าแรงงาน เพื่อให้ได้ผลการเปรียบเทียบต้นทุนที่มีความถูกต้องและเชื่อถือได้

2.5 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเกี่ยวกับฐานรากและการออกแบบโครงสร้างเพื่อรองรับแรงแผ่นดินไหวได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านสมรรถนะของโครงสร้างและความปลอดภัยของอาคาร

ในประเทศไทย สมัชชา จันทรสาขา และคณะ [9] ได้ศึกษาสมรรถนะของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงแผ่นดินไหว โดยใช้การวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง พบว่าการเพิ่มเหล็กเสริมสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงและลดความเสียหายของโครงสร้างได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ นพรัตน์ เจนมันคง [10] ได้เสนอแนวทางการปรับปรุงฐานรากในพื้นที่เสี่ยงแผ่นดินไหว โดยเน้นการเพิ่มความแข็งแรงและความเหนียวของโครงสร้าง ซึ่งช่วยเพิ่มเสถียรภาพของอาคารในระหว่างเกิดแรงสั่นสะเทือน

งานวิจัยในต่างประเทศที่ผ่านมาของ Calvi และคณะ [11] ได้ศึกษาการออกแบบโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหว และพบว่า การเพิ่มองค์ประกอบเชื่อมต่อของโครงสร้างสามารถช่วยกระจายแรงและลดความเสียหายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วน Das [3] ได้อธิบายหลักการออกแบบฐานรากภายใต้แรงแผ่นดินไหว โดยเน้นความสำคัญของการรับน้ำหนักและความสามารถในการต้านทานแรงด้านข้างของดิน ขณะที่ Chopra [2] ได้นำเสนอแนวคิดพลศาสตร์โครงสร้าง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเหนียวและความสามารถในการกระจายพลังงานมีบทบาทสำคัญต่อพฤติกรรมของโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหว นอกจากนี้ แนวทางของ FEMA 356 [12] ยังได้เสนอเกณฑ์การประเมินและปรับปรุงโครงสร้างอาคารเพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงสั่นสะเทือน โดยเน้นการปรับปรุงองค์ประกอบโครงสร้างให้ทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการวิเคราะห์สมรรถนะของโครงสร้างและความปลอดภัยเป็นหลัก ขณะที่การศึกษาที่เปรียบเทียบต้นทุนของแนวทางการออกแบบฐานรากในบริบทของโครงการจริงยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะในอาคารราชการในประเทศไทย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนของฐานรากแบบเดิม

และฐานรากที่ออกแบบให้สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวทั้งในด้านความปลอดภัยและต้นทุนการก่อสร้าง เพื่อเติมเต็มช่องว่างขององค์ความรู้ดังกล่าว

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้ใช้กรณีศึกษาโครงการอาคารสำนักงานการตรวจเงินแผ่นดินแห่งใหม่ ซึ่งตั้งอยู่บริเวณถนนกำแพงเพชร 2 เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ใกล้สถานีกลางบางซื่อ พื้นที่โครงการมีขนาดประมาณ 10-11 ไร่ และมีพื้นที่ใช้สอยรวมประมาณ 82,000 ตารางเมตร ลักษณะอาคารเป็นอาคารสำนักงานสูงประมาณ 30 ชั้น รวมชั้นใต้ดินและฐานราก มีความสูงประมาณ 137 เมตร โครงสร้างหลักเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้ระบบฐานรากเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ และออกแบบให้สามารถรองรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวตามมาตรฐานวิศวกรรมอาคารสูง โครงสร้างส่วนบนประกอบด้วยระบบคานและเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นอาคารเป็นระบบพื้นคอนกรีตหล่อในที่และมีโครงสร้างแกนกลาง ทำหน้าที่รับแรงด้านข้างของอาคาร เช่น แรงลมและแรงแผ่นดินไหว ทั้งนี้ โครงการเริ่มดำเนินการก่อสร้างในช่วงต้นปี พ.ศ. 2564 โครงการกรณีศึกษาประกอบด้วยฐานรากทั้งประเภทฐานรากเดี่ยวและฐานรากรวม รวมจำนวน 202 ต้น โดยมีขนาดฐานรากอยู่ในช่วงประมาณ 1.6×1.6 เมตร ถึง 6.248×7.214 เมตร ข้อมูลดังกล่าวอ้างอิงจากแบบก่อสร้างจริงของโครงการ เพื่อให้การวิเคราะห์ต้นทุนมีความสอดคล้องกับสภาพการออกแบบและการก่อสร้างในทางปฏิบัติ แม้ปัจจุบันอาคารกรณีศึกษาจะไม่สามารถใช้งานได้แล้ว แต่ข้อมูลของอาคารเดิม ได้แก่ แบบก่อสร้างรายละเอียดโครงสร้าง และข้อมูลปริมาณงาน ยังคงสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาได้ เนื่องจากงานวิจัยนี้มีได้มุ่งประเมินสภาพความเสียหายหรือสภาพการใช้งานของอาคารในปัจจุบัน แต่มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนของแนวทางการปรับปรุงรูปแบบฐานรากจากกรณีศึกษาเดียวกัน ภายใต้อำนาจข้อมูลพื้นฐานและเงื่อนไขการออกแบบเดียวกัน การเลือกอาคารดังกล่าวจึงช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแบบก่อสร้างจริงในการถอดปริมาณงานและเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างแนวทางการออกแบบได้อย่างสอดคล้องกัน

ด้านขอบเขตของการศึกษา งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบก่อสร้างของอาคารดังกล่าว ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อแผ่นดินไหวระดับปานกลาง โดยพิจารณาเฉพาะงานฐานรากประเภทฐานแผ่เดี่ยวที่มีการเสริมเหล็กเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว การประมาณต้นทุนในงานวิจัยนี้อ้างอิงจากราคาวัสดุและค่าแรงงานประจำปี พ.ศ. 2568 โดยใช้ข้อมูลจากกรมบัญชีกลาง เพื่อให้สะท้อนต้นทุนในสถานะปัจจุบันมากที่สุด อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้จำกัดขอบเขตเฉพาะต้นทุนในส่วนของงานฐานรากเท่านั้น โดยไม่รวมต้นทุนของโครงสร้างส่วนเหนือดิน และไม่ได้พิจารณาปัจจัยด้านวิศวกรรมโครงสร้างอื่นนอกเหนือจากงานฐานราก

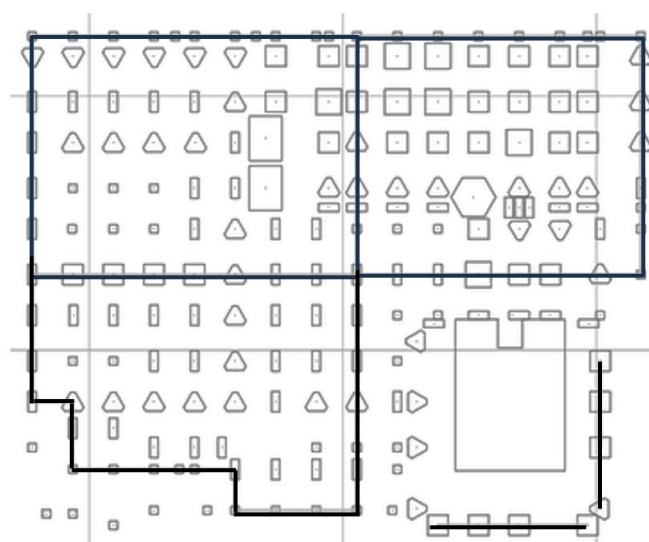
3.2 รูปแบบทางเลือกในการออกแบบ

การกำหนดรูปแบบทางเลือกในการออกแบบฐานรากในงานวิจัยนี้ดำเนินการโดยอ้างอิงจากแบบก่อสร้างเดิมของโครงการ และพิจารณาแนวทางการปรับปรุงฐานรากเพื่อรองรับแรงแผ่นดินไหวตามหลักเกณฑ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.) มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) และมาตรฐาน ACI 318 โดยกำหนดให้ฐานรากแบบเดิม (A1) เป็นกรณีฐาน สำหรับใช้เปรียบเทียบกับแนวทางอื่น

การศึกษานี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบต้นทุนจากปริมาณงานที่ได้จากแบบก่อสร้างของแต่ละแนวทาง โดยการถอดปริมาณงาน และคำนวณต้นทุนดำเนินการด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ร่วมกับราคาวัสดุและค่าแรงตามบัญชีราคากลางประจำปี พ.ศ. 2568 ของกรมบัญชีกลาง ทั้งนี้ กำหนดให้หลักเกณฑ์ด้านราคาและค่าแรงเป็นเงื่อนไขเดียวกันสำหรับทุกแนวทาง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างทางเลือกได้อย่างสอดคล้องกัน สำหรับรูปแบบทางเลือกในการออกแบบ ประกอบด้วย 4 แนวทาง ได้แก่ (1) ฐานรากแบบเดิม (A1) ซึ่งใช้เป็นกรณีฐาน (Baseline) (2) การเพิ่มขนาดฐานราก (A2) โดยเพิ่มพื้นที่ฐานรากเพื่อเพิ่มความสามารถในการรองรับแรงและลดความเค้นที่กระทำต่อดิน (3) การเพิ่มเหล็กเสริมในฐานราก (A3) โดยเพิ่มปริมาณและขนาดเหล็กเสริมเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงและความเหนียวของโครงสร้าง และ (4) การเชื่อมคานาคอดินกับฐานราก (A4) เพื่อให้ฐานรากสามารถทำงานร่วมกันและเพิ่มความต่อเนื่องของระบบโครงสร้าง ทั้ง 4 แนวทางพัฒนาจากแบบก่อสร้างเดิมของโครงการภายใต้หลักเกณฑ์และมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างแนวทางได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้ รายละเอียดของฐานรากประกอบด้วยฐานรากจำนวน 11 รูปแบบ ซึ่งมีขนาดและจำนวนแตกต่างกันตามแบบก่อสร้างเดิม ดังสรุปในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดขนาดและจำนวนฐานรากที่ใช้ในการศึกษาในแต่ละทางเลือก

ชื่อฐานราก	จำนวนฐานราก (ฐาน)	ขนาดเดิม A1	A2 เพิ่มขนาด	A3 เพิ่มเหล็กเสริม	A4 เชื่อมคานคอดิน
P-F1	59	1.6×1.6 ม., 12+12-DB20 รััดรอบ DB12@300mm	1.60×2.20	16+16-DB20 รััดรอบ DB12@200mm	เพิ่มคานคอดินเชื่อมกับฐานรากตามรูปที่ 1 โดยมีขนาดหน้าตัด 0.8×4.0 ม. ขนาดเหล็กเสริมหลัก 3+3-DB25 เหล็กรััดรอบ RB9@150mm เหล็กเสริมพิเศษ 2-DB25
P-F2	60	1.6×4.0 ม., 24+16-DB25 รััดรอบ DB12@300mm	2.20×4.00	24+16-DB28 รััดรอบ DB12@200mm	
P-F3	36	3.7×4.243 ม.	-	-	
P-F4	26	4.0×4.0 ม., 26+26-DB25 รััดรอบ DB12@300mm	4.0×5.4	26+26-DB28 รััดรอบ DB12@200mm	
P-F5	7	5.0×5.0 ม., 40+40-DB25 รััดรอบ DB12@300mm	5.0×6.2	50+50-DB28 รััดรอบ DB12@200mm	
T-F2	2	2.4×5.4 ม.	-	-	
T-F3A	2	4.998×5.770 ม.	-	-	
T-F3B	1	6.248×7.214 ม.	-	-	
T-F3C	2	6.248×7.214 ม.	-	-	
T-F4A	5	5.4×5.4 ม., 38+38-DB32 รััดรอบ DB12@300mm	5.4×7.4	54+54-DB32 รััดรอบ DB12@200mm	
T-F4B	2	5.4×5.4 ม., 42+42-DB32 รััดรอบ DB12@300mm	6.4×6.4	54+54-DB32 รััดรอบ DB12@200mm	



รูปที่ 1 แปลนคานคอดินที่เชื่อมฐานราก

3.3 การประมาณต้นทุน

การประมาณต้นทุนในงานวิจัยนี้ดำเนินการโดยอาศัยวิธีการถอดปริมาณงานจากแบบก่อสร้างฐานรากของโครงการ และนำปริมาณงานที่ได้ไปคำนวณร่วมกับราคาวัสดุและค่าแรงงานตามบัญชีราคากลางประจำปี พ.ศ. 2568 ของกรมบัญชีกลาง ต้นทุนที่พิจารณาครอบคลุมเฉพาะงานฐานราก ได้แก่ งานดินขุด งานทรายหยาบ งานคอนกรีตหยาบ งานคอนกรีต งานเหล็กเสริม งานไม้แบบ งานไม้คร่าว งานตะปู และงานลวดผูกเหล็ก โดยคำนวณต้นทุนรวมของแต่ละแนวทางการออกแบบแยกตามรายการวัสดุและค่าแรง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างทางเลือกได้อย่างเป็นระบบ ทั้งนี้ การประมาณราคาคำเนินการภายใต้สมมติฐานเดียวกันในทุกทางเลือก เพื่อให้ผลการเปรียบเทียบมีความสอดคล้องและลดความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยภายนอก

3.4 วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ผลการวิจัยมุ่งเน้นการเปรียบเทียบต้นทุนการก่อสร้างของฐานรากแต่ละแนวทาง โดยพิจารณาต้นทุนรวม ส่วนต่างของต้นทุน และร้อยละการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนเมื่อเทียบกับฐานรากแบบเดิม ซึ่งใช้เป็นกรณีฐานในการวิเคราะห์ โดยคำนวณร้อยละการเปลี่ยนแปลงของต้นทุน (% Increase) ตามสมการที่ 1 [13] ดังนี้

$$\text{การประเมินร้อยละการเปลี่ยนแปลงของต้นทุน} = \frac{C_i - C_{\text{base}}}{C_{\text{base}}} \times 100 \quad (1)$$

นอกจากนี้ การเปรียบเทียบความเหมาะสมของแต่ละแนวทางพิจารณาจากระดับต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฐานรากแบบเดิม ร่วมกับลักษณะการปรับปรุงรูปแบบฐานรากตามแนวทางการออกแบบที่กำหนด โดยผลการวิเคราะห์นำเสนอในรูปแบบตารางเปรียบเทียบต้นทุนและร้อยละการเปลี่ยนแปลงของต้นทุน เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาเลือกแนวทางที่มีความเหมาะสมเชิงต้นทุนภายใต้ขอบเขตของกรณีศึกษา

4. ผลการวิเคราะห์ต้นทุนฐานราก

4.1 ต้นทุนฐานรากแบบเดิม (A1)

ฐานรากแบบเดิมในงานวิจัยนี้เป็นรูปแบบที่อ้างอิงจากแบบก่อสร้างเดิมของโครงการ ซึ่งออกแบบตามหลักเกณฑ์ทั่วไปของงานฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กโดยยังไม่ได้พิจารณาผลกระทบจากแรงแผ่นดินไหวเพิ่มเติม ทั้งนี้ฐานรากดังกล่าวถูกกำหนดให้เป็นกรณีฐานสำหรับการเปรียบเทียบกับแนวทางการออกแบบอื่น การประมาณต้นทุนดำเนินการโดยการถอดปริมาณงานจากแบบก่อสร้าง และคำนวณต้นทุนร่วมกับราคาวัสดุและค่าแรงงานตามบัญชีราคากลางประจำปี พ.ศ. 2568 ของกรมบัญชีกลาง โดยพิจารณารายการงานหลัก

ผลการคำนวณพบว่า ฐานรากแบบเดิมมีต้นทุนรวมเท่ากับ 17,157,386.46 บาท ซึ่งเป็นต้นทุนต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางอื่น และถูกใช้เป็นค่าฐานสำหรับการวิเคราะห์ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนในแต่ละกรณี รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ต้นทุนฐานรากแบบเดิมตามประเภทงานก่อสร้าง

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา (บาท/หน่วย)		ราคารวม (บาท)		รวม (บาท)
			ค่าวัสดุ	ค่าแรง	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	
1. ดินขุด	4,701	ลบ.ม.	-	99	-	465,433.95	465,433.95
2. ทราขยหยาบ	233	ลบ.ม.	495	91	115,448.85	21,223.93	136,672.78
3. คอนกรีตหยาบ	187	ลบ.ม.	1,610.00	398	300,384.14	74,256.45	374,640.59
4. คอนกรีต	2,810	ลบ.ม.	2,384.00	436	6,699,173.50	1,225,184.42	7,924,357.92
5. DB12 mm.	10,310	กก.	22.07	3.38	227,517.39	34,824.09	262,341.48
6. DB20 mm.	16,204	กก.	21.86	2.92	354,257.82	47,234.38	401,492.20
7. DB25 mm.	160,122	กก.	21.9	2.91	3,506,178.62	465,826.82	3,972,005.44
8. DB32 mm.	56,565	กก.	21.64	2.22	1,223,427.85	125,387.92	1,348,815.77
9. ไม้แบบ	3,314	ตร.ม.	400	133	1,325,496.00	440,727.42	1,766,223.42
10. ไม้คร่าว	497	ตร.ม.	400	115	198,857.60	57,171.56	256,029.16
11. ตะปู	829	กก.	47	10	38,943.73	8,285.90	47,229.63
12. ลวดผูกเหล็ก	7,080	กก.	25	3.55	177,008.87	25,135.26	202,144.13
รวมต้นทุนทั้งหมด					17,157,386.46		

4.2 ต้นทุนกรณีเพิ่มขนาดฐานราก (A2)

แนวทางการเพิ่มขนาดฐานรากเป็นการปรับปรุงรูปแบบฐานรากโดยเพิ่มพื้นที่ฐาน เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงและลดความเค้นที่กระทำต่อดินภายใต้แรงแผ่นดินไหว การออกแบบอ้างอิงตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง โดยยังคงความลึกของฐานรากเท่าเดิม การประมาณต้นทุนดำเนินการโดยการถอดปริมาณงานจากแบบก่อสร้างที่ปรับปรุงแล้ว และคำนวณต้นทุนร่วมกับราคาวัสดุและค่าแรงงานตามบัญชีราคากลางประจำปี พ.ศ. 2568 เช่นเดียวกับกรณีฐาน

ผลการคำนวณพบว่า แนวทางการเพิ่มขนาดฐานรากมีต้นทุนรวมเท่ากับ 20,526,639.11 บาท ซึ่งเพิ่มขึ้นจากฐานรากแบบเดิมเป็นจำนวน 3,369,252.65 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 19.64 ทั้งนี้ การเพิ่มขึ้นของต้นทุนมีสาเหตุหลักมาจากปริมาณงานคอนกรีตและงานดินที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 3 ต้นทุนฐานรากกรณีเพิ่มขนาดตามประเภทงานก่อสร้าง

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา (บาท/หน่วย)		ราคารวม (บาท)		รวม (บาท)
			ค่าวัสดุ	ค่าแรง	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	
1. ดินซุด	5,625	ลบ.ม.	-	99	-	556,805.21	556,805.21
2. ทราหยาบ	288	ลบ.ม.	495	91	142,134.30	26,129.74	168,264.04
3. คอนกรีตหยาบ	230	ลบ.ม.	1,610.00	398	369,633.46	91,375.23	461,008.69
4. คอนกรีต	3,434	ลบ.ม.	2,384.00	436	8,185,549.82	1,497,021.70	9,682,571.52
5. DB12 mm.	13,394	กก.	18.39	2.82	246,360.63	37,708.26	284,068.89
6. DB20 mm.	24,788	กก.	18.25	2.43	452,320.74	60,309.43	512,630.17
7. DB25 mm.	233,319	กก.	18.23	2.42	4,217,527.31	560,335.78	4,777,863.09
8. DB32 mm.	78,659	กก.	18.03	1.85	1,418,345.12	145,364.80	1,563,709.92
9. ไม้แบบ	3,654	ตร.ม.	400	133	1,461,296.00	485,880.92	1,947,176.92
10. ไม้คร่าว	547	ตร.ม.	400	115	218,760.80	62,893.73	281,654.53
11. ตะปู	914	กก.	47	10	42,926.04	9,133.20	52,059.24
12. ลวดผูกเหล็ก	8,366	กก.	25	3.55	209,130.38	29,696.51	238,826.89
รวมต้นทุนทั้งหมด					20,526,639.11		

4.3 ต้นทุนกรณีเพิ่มเหล็กเสริม (A3)

แนวทางการเพิ่มเหล็กเสริมในฐานรากเป็นการปรับปรุงโครงสร้างโดยเพิ่มขนาดและปริมาณเหล็กเสริม เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงและความเหนียวของโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหว โดยยังคงขนาดฐานรากเดิม การประมาณต้นทุนดำเนินการในลักษณะเดียวกับกรณีอื่น โดยถอดปริมาณงานจากแบบที่ปรับปรุง และใช้ราคาวัสดุและค่าแรงตามบัญชีราคากลางประจำปี พ.ศ. 2568

ผลการคำนวณพบว่า แนวทางการเพิ่มเหล็กเสริมมีต้นทุนรวมเท่ากับ 18,775,666.70 บาท ซึ่งเพิ่มขึ้นจากฐานรากแบบเดิมเป็นจำนวน 1,618,280.24 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 9.43 โดยต้นทุนที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากการเพิ่มปริมาณและการปรับเปลี่ยนชนิดของเหล็กเสริม ขณะที่ปริมาณงานดินซุด งานทรายหยาบ งานคอนกรีตหยาบ และงานคอนกรีตยังคงเท่ากับกรณีฐานรากแบบเดิม เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของฐานราก

ตารางที่ 4 ต้นทุนฐานรากกรณีเพิ่มเหล็กเสริมตามประเภทงานก่อสร้าง

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา (บาท/หน่วย)		ราคารวม (บาท)		รวม (บาท)
			ค่าวัสดุ	ค่าแรง	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	
1. ดินขุด	4,702	ลบ.ม.	-	99	-	465,433.95	465,433.95
2. ทราฮายาบ	234	ลบ.ม.	495	91	115,448.85	21,223.93	136,672.78
3. คอนกรีตหยาบ	187	ลบ.ม.	1,610.00	398	300,384.14	74,256.45	374,640.59
4. คอนกรีต	2,811	ลบ.ม.	2,384.00	436	6,699,173.50	1,225,184.42	7,924,357.92
5. DB12 mm.	19,947	กก.	18.38	2.81	366,434.74	56,086.95	422,521.69
6. DB20 mm.	25,926	กก.	18.23	2.43	472,343.94	62,979.19	535,323.13
7. DB25 mm.	56,436	กก.	18.21	2.42	1,027,256.20	136,480.06	1,163,736.26
8. DB28 mm.	178,114	กก.	18.29	2.58	3,256,278.91	459,926.40	3,716,205.31
9. DB32 mm.	86,320	กก.	18.01	1.85	1,553,191.18	159,185.04	1,712,376.22
10. ไม้แบบ	3,314	ตร.ม.	400	133	1,325,496.00	440,727.42	1,766,223.42
11. ไม้คร่าว	498	ตร.ม.	400	115	198,857.60	57,171.56	256,029.16
12. ตะปู	829	กก.	47	10	38,943.73	8,285.90	47,229.63
13. ลวดผูกเหล็ก	8,929	กก.	25	3.55	223,219.48	31,697.17	254,916.64
รวมต้นทุนทั้งหมด					18,775,666.70		

4.4 ต้นทุนกรณีเชื่อมคานคอดิน (A4)

แนวทางการเชื่อมคานคอดินกับฐานรากเป็นการเพิ่มองค์ประกอบ โครงสร้างเพื่อเชื่อมฐานรากแต่ละจุดเข้าด้วยกัน ทำให้โครงสร้างสามารถทำงานร่วมกันและเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงด้านข้างจากแผ่นดินไหว การประมาณต้นทุนดำเนินการ โดยถอดปริมาณงานจากแบบก่อสร้างที่มีการเพิ่มคานคอดิน และคำนวณต้นทุนโดยใช้ราคาวัสดุและค่าแรงตามบัญชีราคากลาง ประจำปี พ.ศ. 2568

ผลการคำนวณพบว่า แนวทางการเชื่อมคานคอดินมีต้นทุนรวมเท่ากับ 18,557,641.26 บาท ซึ่งเพิ่มขึ้นจากฐานรากแบบเดิมเป็น จำนวน 1,400,254.80 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 8.16 โดยต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเกิดจากงานคอนกรีตและเหล็กเสริมของคานคอดินเป็นหลัก

ตารางที่ 5 ต้นทุนฐานราคกรณิเชื่อมคานคอดินตามประเภทงานก่อสร้าง

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาบาท/หน่วย		ราคารวม (บาท)		รวม (บาท)
			ค่าวัสดุ	ค่าแรง	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	
1. ดินขุด	153	ลบ.ม.	-	99	-	15,134.13	15,134.13
2. ทราขยหยาบ	9	ลบ.ม.	495	91	4,068.90	748.02	4,816.92
3. คอนกรีตหยาบ	7	ลบ.ม.	1,610.00	398	10,577.70	2,614.86	13,192.56
4. คอนกรีต	118	ลบ.ม.	2,384.00	436	280,334.56	51,269.24	331,603.80
5. RB9 mm.	6,012	กก.	18.2	3.67	109,361.66	22,073.00	131,434.66
6. DB25 mm.	25,000	กก.	18.21	2.42	454,454.56	60,378.30	514,832.86
7. ไม้แบบ	588	ตร.ม.	400	133	235,180.00	78,197.35	313,377.35
8. ไม้คร่าว	89	ตร.ม.	400	115	35,277.20	10,142.20	45,419.40
9. ตะปู	147	กก.	47	10	6,908.44	1,469.88	8,378.32
10. ลวดผูกเหล็ก	773	กก.	25	3.55	19,321.20	2,743.61	22,064.81
รวมต้นทุนคานคอดินทั้งหมด						1,400,254.80	
รวมต้นทุนฐานราคแบบเดิมทั้งหมด						17,157,386.46	
รวมต้นทุนทั้งหมด						18,557,641.26	

4.5 การเปรียบเทียบต้นทุนทั้งหมด

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบต้นทุนและร้อยละการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนของฐานรากแต่ละแนวทาง

แนวทางการออกแบบ	ต้นทุนรวม (บาท)	ส่วนต่างจากฐานรากเดิม (บาท)	ต้นทุนเพิ่ม (%)
1. ฐานรากแบบเดิม (A1)	17,157,386.46	-	-
2. กรณีเพิ่มขนาดฐานราก (A2)	20,526,639.11	3,369,252.65	19.64
3. กรณีเพิ่มเหล็กเสริม (A3)	18,775,666.70	1,618,280.24	9.43
4. กรณีเชื่อมคานคอดิน (A4)	18,557,641.26	1,400,254.80	8.16

จากผลการเปรียบเทียบต้นทุนพบว่า แนวทางการเพิ่มขนาดฐานราก (A2) มีต้นทุนสูงที่สุด โดยมีต้นทุนเพิ่มขึ้น 3,369,252.65 บาท หรือร้อยละ 19.64 เมื่อเทียบกับฐานรากแบบเดิม (A1) เนื่องจากแนวทางดังกล่าวทำให้ปริมาณงานคอนกรีตและงานดินเพิ่มขึ้น ขณะที่แนวทางการเพิ่มเหล็กเสริม (A3) และการเชื่อมคานคอดิน (A4) มีต้นทุนเพิ่มขึ้น 1,618,280.24 บาท หรือร้อยละ 9.43 และ 1,400,254.80 บาท หรือร้อยละ 8.16 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเฉพาะด้านต้นทุน แนวทางการเชื่อมคานคอดิน (A4) มีการเพิ่มขึ้นของต้นทุนต่ำที่สุด รองลงมาคือแนวทางการเพิ่มเหล็กเสริม (A3) และการเพิ่มขนาดฐานราก (A2) ตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า รูปแบบการปรับปรุงฐานรากที่แตกต่างกันส่งผลต่อต้นทุนการก่อสร้างแตกต่างกัน โดยการเพิ่มขนาดฐานรากมีผลต่อต้นทุนมากที่สุด ขณะที่การเชื่อมคานคอดินมีผลต่อต้นทุนเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดภายใต้กรณีศึกษา

5. บทสรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อพิจารณาเฉพาะต้นทุนการก่อสร้าง แนวทางการเชื่อมคานคอดิน (A4) มีต้นทุนเพิ่มขึ้นต่ำที่สุดที่ร้อยละ 8.16 รองลงมาคือแนวทางการเพิ่มเหล็กเสริม (A3) ที่ร้อยละ 9.43 ขณะที่แนวทางการเพิ่มขนาดฐานราก (A2) มีต้นทุนเพิ่มขึ้นสูงที่สุดที่ร้อยละ 19.64 ดังนั้น ภายใต้ขอบเขตของกรณีศึกษา แนวทาง A4 และ A3 มีต้นทุนเพิ่มขึ้นน้อยกว่า A2 ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า รูปแบบการปรับปรุงฐานรากที่แตกต่างกันส่งผลต่อต้นทุนการก่อสร้างแตกต่างกัน โดยการเชื่อมคานคอดินและการเพิ่มเหล็กเสริมมีต้นทุนเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการเพิ่มขนาดฐานราก อย่างไรก็ตาม การเลือกแนวทางไปใช้ในโครงการจริงควรพิจารณา รวมกับความปลอดภัยและสมรรถนะของโครงสร้าง ตลอดจนเงื่อนไขของชั้นดิน ข้อจำกัดด้านพื้นที่และการบริหารจัดการพื้นที่ ก่อสร้าง และความยากง่ายในการปฏิบัติงานของแต่ละโครงการ

6. การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า แนวทางการปรับปรุงฐานรากเพื่อรองรับการออกแบบที่คำนึงถึงแรงแผ่นดินไหวส่งผลให้ต้นทุนการก่อสร้างเพิ่มขึ้นในทุกกรณี โดยระดับการเพิ่มขึ้นของต้นทุนแตกต่างกันตามลักษณะของการปรับปรุงฐานราก แนวทางการเพิ่มขนาดฐานราก (A2) มีต้นทุนเพิ่มขึ้นสูงที่สุดที่ร้อยละ 19.64 เนื่องจากการปรับขนาดฐานรากส่งผลให้ปริมาณงานคอนกรีตและงานดินเพิ่มขึ้น ขณะที่การเพิ่มเหล็กเสริม (A3) และการเชื่อมคานคอดิน (A4) มีต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.43 และ 8.16 ตามลำดับ เนื่องจากการปรับปรุงองค์ประกอบของโครงสร้างโดยมีผลต่อปริมาณงานโดยรวมแตกต่างจากการเพิ่มขนาดฐานราก ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าลักษณะและขอบเขตของการปรับปรุงฐานรากมีผลโดยตรงต่อต้นทุนการก่อสร้าง ผลการศึกษาด้านต้นทุนดังกล่าวสอดคล้องกับ Boonyapinyo และ Choopool [14] ซึ่งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการก่อสร้างและสมรรถนะด้านแรงแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก และพบว่าการกำหนดระดับความเหนียวและแนวทางการออกแบบเพื่อรองรับแรงแผ่นดินไหวมีผลต่อทั้งต้นทุนและสมรรถนะของโครงสร้าง [15] ทั้งนี้ การออกแบบที่คำนึงถึงสมรรถนะของโครงสร้างควรพิจารณาพร้อมกับต้นทุนและระดับความปลอดภัยที่ต้องการ โดยไม่ควรพิจารณาเฉพาะการเพิ่มปริมาณวัสดุเพียงอย่างเดียว

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบด้านต้นทุนภายใต้กรณีศึกษาที่กำหนด จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าแนวทางที่มีต้นทุนเพิ่มขึ้นต่ำกว่าจะมีสมรรถนะโครงสร้างหรือความปลอดภัยสูงกว่าแนวทางอื่น เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้ดำเนินการวิเคราะห์สมรรถนะโครงสร้างเชิงปริมาณเพิ่มเติม ในเชิงการนำไปใช้ ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาด้านต้นทุนสำหรับวิศวกรผู้ออกแบบและผู้เกี่ยวข้องในการเลือกแนวทางการปรับปรุงฐานราก อย่างไรก็ตาม การเลือกแนวทางไปใช้ในโครงการจริงไม่ควรพิจารณาจากต้นทุนเพียงอย่างเดียว แต่ควรพิจารณาพร้อมกับความปลอดภัยและสมรรถนะของโครงสร้าง เงื่อนไขของชั้นดิน ข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้าง ความสะดวกในการเข้าถึงพื้นที่ การจัดลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง การจัดเก็บและขนย้ายวัสดุ ความพร้อมของแรงงานและเครื่องมือ รวมถึงระยะเวลาก่อสร้าง เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อความเหมาะสมและต้นทุนที่เกิดขึ้นจริงของแต่ละแนวทาง

ดังนั้น ผลการศึกษานี้ควรใช้เป็นข้อมูลประกอบการเปรียบเทียบต้นทุนในระดับกรณีศึกษา และการนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการอื่นควรมีการตรวจสอบรายละเอียดทางวิศวกรรมและสภาพหน้างานของแต่ละโครงการเพิ่มเติม เพื่อให้การเลือกแนวทางการปรับปรุงฐานรากมีความเหมาะสมทั้งในด้านความปลอดภัย ต้นทุน และความสามารถในการก่อสร้างจริง

7. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

เพื่อพัฒนาความสมบูรณ์ของงานวิจัยในประเด็นนี้ การศึกษาครั้งต่อไปควรพิจารณาขยายขอบเขตในหลายมิติ ประการแรก ควรเพิ่มความหลากหลายของรูปแบบฐานรากและดำเนินการวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างควบคู่กับการวิเคราะห์ต้นทุน โดยอาศัยแบบจำลองทางวิศวกรรมหรือโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อให้สามารถประเมินการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะ เช่น กำลังรับแรงและความเหนียวของแต่ละแนวทางได้อย่างเป็นรูปธรรม และสามารถนำมาเปรียบเทียบกับต้นทุนที่เพิ่มขึ้นได้อย่างชัดเจน ประการที่สอง ควรนำแนวคิดต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost) มาใช้ในการประเมิน โดยครอบคลุมทั้งต้นทุนเริ่มต้น ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม และค่าบำรุงรักษา เพื่อให้สามารถประเมินต้นทุนตลอดอายุการใช้งานและเปรียบเทียบผลกระทบ

ด้านต้นทุนของแต่ละแนวทางได้ในระยะยาว นอกจากนี้ ควรพิจารณาความแตกต่างของสภาพชั้นดินและเงื่อนไขของโครงการ เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวอาจส่งผลต่อรูปแบบฐานราก ปริมาณงาน และต้นทุนการก่อสร้าง ประการที่สาม ควรศึกษาปัจจัยด้านการก่อสร้างและการบริหารจัดการพื้นที่ก่อสร้างเพิ่มเติม เช่น ความสะดวกในการเข้าถึงพื้นที่ การจัดลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง การจัดเก็บและขนย้ายวัสดุ ความพร้อมของแรงงานและเครื่องมือ ตลอดจนระยะเวลาการก่อสร้างและผลกระทบต่อกิจกรรมก่อสร้างอื่น เพื่อประเมินความยากง่ายในการปฏิบัติงานจริงและต้นทุนที่อาจเกิดขึ้นเพิ่มเติมจากต้นทุนวัสดุและค่าแรง ประการสุดท้าย ควรขยายการศึกษาไปยังอาคารและโครงการที่มีลักษณะแตกต่างกัน รวมถึงพื้นที่ที่มีสภาพชั้นดินและระดับความรุนแรงของแรงแผ่นดินไหวแตกต่างกัน เพื่อทดสอบความสามารถในการนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้และเพิ่มความทั่วไปของผลการวิจัย

8. ข้อจำกัดของงานวิจัย

การศึกษานี้มีข้อจำกัดบางประการที่ควรพิจารณาในการตีความผลลัพธ์ ประการแรก งานวิจัยอ้างอิงข้อมูลจากกรณีศึกษาอาคารเพียงโครงการเดียว ซึ่งอาจจำกัดการนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับอาคารหรือโครงการที่มีลักษณะแตกต่างกัน ประการที่สอง การวิเคราะห์ต้นทุนในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นเฉพาะต้นทุนการก่อสร้างเบื้องต้น โดยยังไม่ได้รวมต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน เช่น ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงรักษา ประการที่สาม การศึกษามุ่งเน้นการเปรียบเทียบต้นทุนจากปริมาณงานตามแบบก่อสร้างของแต่ละแนวทาง และไม่ได้ดำเนินการวิเคราะห์สมรรถนะโครงสร้างเชิงปริมาณเพิ่มเติม เช่น การประเมินกำลังรับแรงหรือความเหนียวของแต่ละแนวทาง ดังนั้น ผลการเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้จึงควรตีความในขอบเขตของการเปรียบเทียบด้านต้นทุน และการนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการจริงควรมีการตรวจสอบสมรรถนะโครงสร้างเพิ่มเติมตามเงื่อนไขของแต่ละโครงการ ประการสุดท้าย ข้อมูลราคาวัสดุและค่าแรงที่ใช้ในการวิเคราะห์อ้างอิงจากช่วงเวลาเฉพาะ ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามภาวะเศรษฐกิจ ทำให้ผลการเปรียบเทียบต้นทุนมีข้อจำกัดด้านความเป็นปัจจุบัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโยธาธิการและผังเมือง. มยพ. 1301/1302-61. *มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว*, ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2564.
- [2] Chopra, A. K. *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012.
- [3] Das, B. M. and Sivakugan, N. *Principles of Foundation Engineering*, 9th ed. Boston, MA: Cengage Learning, 2018.
- [4] Park, R., Priestley, M. J. N. and Gill, W. D. Ductility of square-confined concrete columns. *Journal of the Structural Division*, 1982, 108 (4), pp. 929–950. DOI: 10.1061/JSDEAG.0005933.
- [5] Kramer, S. L. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.
- [6] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. วสท. 011008-21. *มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง*. กรุงเทพมหานคร: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2564.
- [7] ACI Committee 318. ACI 318-19. *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2019.

- [8] สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. *บัญชีราคาค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568*. กรุงเทพมหานคร: สำนักอำนวยการ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ, 2568.
- [9] สมัชญ์ จันทสาขา และมงคล จิรวรรณ. ผลกระทบของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้างที่มีต่อสเปกตรัมการตอบสนองเพื่อใช้ในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวในเขตกรุงเทพมหานคร. *วารสาร มทร.อีสาน*, 2556, 6 (2), หน้า 31–43.
- [10] นพรัตน์ เจนมั่นคง, ณัฐวดี ธนศิริสถิตย์ และเพชร เครือวิทย์. การศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองฐานรากดินของอาคารเดี่ยวภายใต้แรงแผ่นดินไหว. ใน: *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27*, เชียงราย, 24–26 สิงหาคม 2565, หน้า STR19-1–STR19-10.
- [11] Calvi, G. M., Sullivan, T. J. and Villani, A. Conceptual seismic design of cable-stayed bridges. *Journal of Earthquake Engineering*, 2010, 14 (8), pp. 1139–1171. DOI: 10.1080/13632469.2010.505275.
- [12] Federal Emergency Management Agency. FEMA 356. *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, DC: Federal Emergency Management Agency, 2000.
- [13] Blank, L. and Tarquin, A. *Engineering Economy*, 8th ed. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2018.
- [14] Boonyapinyo, V. and Choopool, N. Seismic performance and cost evaluations of reinforced concrete buildings with various ductility in moderate seismic zone. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 2014, 8 (2), Article 1450005. DOI: 10.1142/S1793431114500055.
- [15] Zameeruddin, M. and Sangle, K. K. Review on recent developments in the performance-based seismic design of reinforced concrete structures. *Structures*, 2016, 6, pp. 119–133. DOI: 10.1016/j.istruct.2016.03.001.