การศึกษาภาระ และความต้านทานของโครงสร้าง จากการบูรณะอาคารอนุรักษ์ กรณีศึกษา: ตึกโดม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ท่าพระจันทร์

A Study Methods for Loads and Resistances from Restoration of Conservation Building Case Study: Dome Building,Thammasat University Tha Phrachan Campus

อรณิชา ปะลิเตสังข์[1,*], มนัญชยา แก้วอยู่[1], ภูมินทร์ ทองสีบสาย[1], วรวลัญช์ รุ่งอนันต์ชัย[1] และ สหรัฐ พุทธวรรณะ[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
**Corresponding author; E-mail address: onnicha.pal@dome.tu.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการบูรณะปรับปรุงซ่อมแซมและเสริมกำลังฐานรากและโครงสร้างอาคารอนุรักษ์ โดยกรณีศึกษาเป็นตึกโดม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ท่าพระจันทร์ ซึ่งเป็นอาคารหลังแรกของมหาวิทยาลัย เนื่องจากใช้งานตึกโดมมาเป็นเวลานานกว่า 87 ปีจึงทำให้โครงสร้างมีการเสียหายและเสื่อมสภาพ การบูรณะตึกโดมในครั้งนี้เป็นการซ่อมแซมครั้งแรกตั้งแต่ตัวอาคารได้ทำการก่อสร้างมาและเปลี่ยนรูปแบบพื้นที่ใช้สอยใหม่โดยยังคงอัตลักษณ์เดิมของตึกโดมให้ได้มากที่สุดเพื่อเป็นศูนย์การเรียนรู้สืบต่อไป โดยตัวอาคารมีฐานรากเดิมเป็นฐานรากแผ่ท่อนซุง และเป็นอาคารประเภทคอนกรีตเสริมเหล็ก จะทำการบูรณะปรับปรุงซ่อมแซมเสริมกำลังฐานรากเดิมและปรับปรุงโครงสร้างส่วนบนของตึกโดม จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาภาระที่มากระทำและความต้านทานของโครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนล่าง

คำสำคัญ: อาคารอนุรักษ์, เสริมกำลังโครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนล่าง, เปลี่ยนรูปแบบการใช้งาน, ภาระและความต้านทานของโครงสร้าง

Abstract

This article objectives are to study methods for renovating, improving, repairing, and strengthening foundation and building structure conserved by a case study of Dome Building, Thammasat University Tha Phrachan Campus. This is the first building of the university. Due to the use of the dome building for more than 87 years, the structure was damaged and deteriorated. This restoration of the dome building is the first repair since the building was built and changed the new usable area while maintaining the original identity of the dome building as much as possible to be a learning center to continue. The building had its original foundation, that was a timber foundation. and is a reinforced concrete type building It will be renovated, repaired, strengthened the original foundation, and improved the superstructure of the dome building. Then analyzed the structure loads and resistances of superstructure and substructure both before and after the renovation.

Keywords: Conservation Building, Strengthening of super structure and substructure, Change the mode of use, loads and resistances of Structure

1. บทนำ

ตึกโดม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ท่าพระจันทร์ แขวงพระบรมมหาราชวัง เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร เป็นอาคาร 2 ชั้น ยกเว้นมุขกลางของอาคาร 3 ชั้น ความกว้าง 11 เมตร (ไม่นับรวมส่วนยื่นของมุข) ความยาว 111 เมตร มีอายุการใช้งานมาเป็นเวลานาน มากกว่า 87 ปี ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุ เกิดการชำรุดหรือทรุดโทรมของตัวอาคารและงานสถาปัตยกรรมต่าง ๆ จึงมีการเสริมกำลัง และซ่อมแซมฐานรากและโครงสร้าง โดยเริ่มจากการสำรวจสภาพปัญหาตึกโดม ออกแบบการซ่อมแซม เสริมกำลังฐานราก โดยใช้เสาเข็มไมโครไพล์ และมีการเสริมกำลังของคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการติดตั้งแผ่นเหล็กในส่วนของโครงสร้าง รวมถึงปรับปรุงตึกโดมให้รองรับการเป็นศูนย์การเรียนรู้ มธ. ท่าพระจันทร์

โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการบูรณะและซ่อมแซมตึกโดม ซึ่งจัดเป็นอาคารอนุรักษ์ รวมถึงวิเคราะห์ภาระและความสามารถในการต้านทานของแต่ละชิ้นส่วนที่มีการบูรณะ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อาคารอนุรักษ์ คือ อาคารเก่าที่มีคุณค่าทางสถาปัตยกรรม เป็นมรดกทางวัฒนธรรม ซึ่งควรค่าแก่การอนุรักษ์ เพื่อการส่งต่อ การรักษาคุณค่าและความสำคัญ ของมรดกวัฒนธรรมให้คงอยู่

อนุรักษ์และพัฒนาตึกโดม ด้วยหลักการอนุรักษ์โดยเทคนิควิธีระดับสากลที่เป็นไปตามกรรมวิธีที่กรมศิลปากรและ UNESCO ระบุไว้ในฐานะที่เป็นอาคารสำคัญของชาติ

2.1 สภาพปัญหาตึกโดมในปัจจุบัน

1. มุมมองตัวอาคาร บริบทโดยรอบไม่ส่งเสริมความสง่างาม

รูปที่ 1 สภาพโดยรอบตึกโดม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ท่าพระจันทร์

2. การทรุดเอียงของอาคาร บริเวณรอยต่อการเชื่อมอาคาร เกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของโครงสร้างที่เกิดคนละยุคสมัย โดยมีรูปแบบโครงสร้างที่แตกต่างกัน

3. การเสื่อมสภาพของอาคารและวัสดุ (พื้น ผนัง และงานระบบ) อันเนื่องมาจากปัญหาโครงสร้าง วัสดุเสื่อมสภาพ ปัญหาเรื่องปลวก เป็นต้น

2.2 แนวคิดในการอนุรักษ์และพัฒนาตึกโดม

1. ปรับภูมิทัศน์ด้านหน้าตึกโดม ริมแม่น้ำเจ้าพระยา และด้านสนามฟุตบอล จัดทางสัญจรโดยรอบ เพิ่มพื้นที่จัดนิทรรศการกลางแจ้ง ให้เป็นสวนสาธารณะ

2. เสริมความแข็งแรงฐานรากอาคารที่มีปัญหาความทรุดเอียงให้มีความแข็งแรง สามารถรองรับการใช้งานได้อย่างยั่งยืน

3. เปลี่ยนแปลงการใช้สอยภายในตึกโดม ให้เป็นศูนย์การเรียนรู้ธรรมศาสตร์และการเมือง

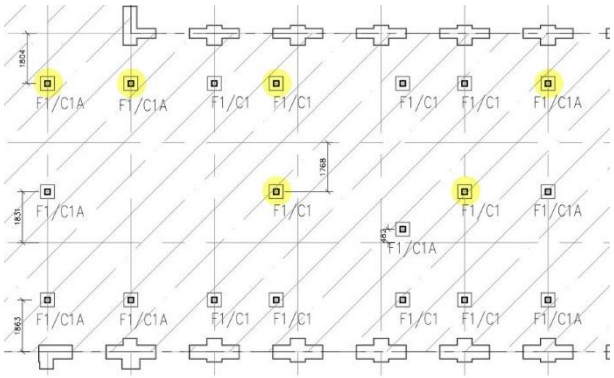
4. การออกแบบโดยคำนึงถึงการใช้งานที่ตอบโจทย์ Universal Design

2.3 แนวทางการอนุรักษ์ตึกโดม [2]

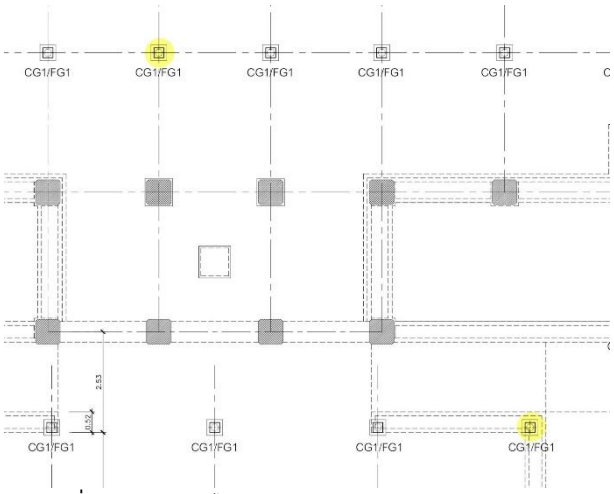
1. สำรวจสภาพเดิมและสภาพปัจจุบันทั้งรายละเอียดทางสถาปัตยกรรม ประวัติศาสตร์ และสภาพความเสียหาย บันทึกเป็นเอกสารภาพ และเขียนแบบโดยละเอียด เพื่อเป็นข้อมูลพิจารณาทำโครงการอนุรักษ์

2. พิจารณาประวัติการบูรณะ รวมถึงการต่อเติมแก้ไขเพื่อพิจารณารื้อถอนส่วนต่อเติม หรือแก้ไขให้ถูกต้อง กำหนดให้แสดงหลักฐานการเปลี่ยนแปลงแก้ไขด้วยวิธีการบันทึกเป็นเอกสาร เขียนแบบหุ่นจำลองหรือวิธีอื่น ๆ

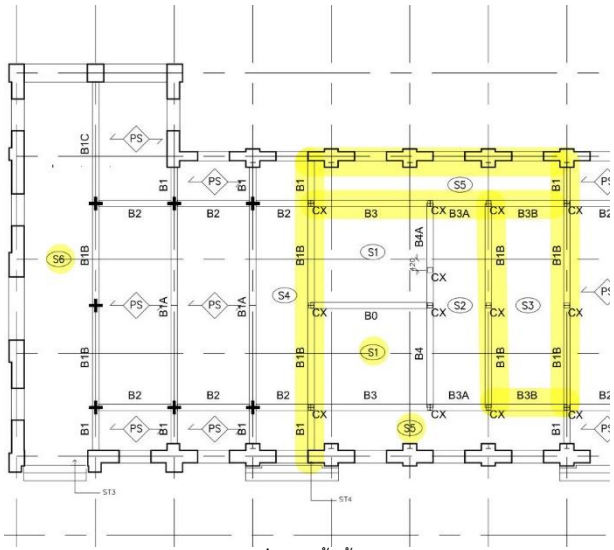
3. งานอนุรักษ์ จะเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์ทางด้านต่าง ๆ อันจำเป็นต้องอาศัยผู้ปฏิบัติงานเฉพาะทาง โดยการศึกษาผังของแต่ละชิ้นส่วนของโครงสร้าง ได้แก่ ฐานราก เสา คาน และพื้น รวมถึงขั้นตอนโดยภาพรวมการบูรณะของตึกโดม



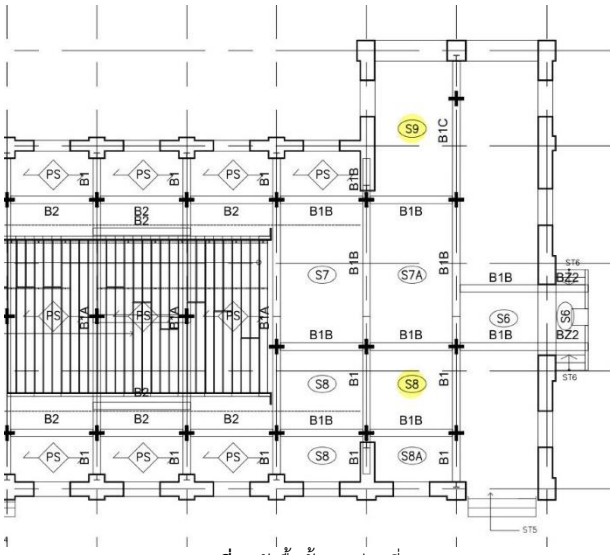
รูปที่ 2 ผังฐานรากและเสา



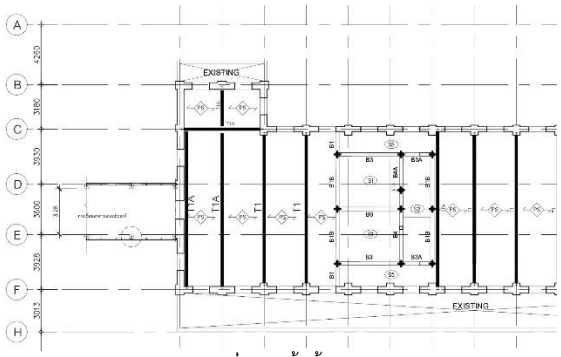
รูปที่ 3 ผังฐานรากบันได ST1 และ DROP OFF (ผังฐานรากและเสา)



รูปที่ 4 ผังพื้นชั้น 1



รูปที่ 5 ผังพื้นชั้น 1 (ส่วนที่2)



รูปที่ 6 ผังพื้นชั้น 2

2.4 วิธีเสริมกำลังและซ่อมแซมโครงสร้าง

2.4.1 เสาเข็มไมโครไพล์ (Micro pile) [1]

เสาเข็มไมโครไพล์ มีหลายประเภท เช่น เสาเข็มสปันไมโครไพล์ เสาเข็มไอไมโครไพล์ เสาเข็มสี่เหลี่ยมไมโครไพล์ โดยใช้คอนกรีตคุณภาพสูงในการผลิต ด้วยเทคนิคทางวิศวกรรม มีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยวิศวกรเฉพาะทางของ KNCON ร่วมกับวิศวกรของทาง SCG เพื่อรองรับการก่อสร้างที่หลากหลาย สามารถเลือกขนาดของเสาเข็มตามความต้องการในการรับน้ำหนักตามหลักวิศวกรรม เหมาะสำหรับการก่อสร้างที่หลากหลาย โดยเฉพาะงานต่อเติม หรืองานเสริมกำลังอาคารเดิม

การตอกเสาเข็มโดยใช้เครื่องตอกขนาดเล็กและเสาแต่ละท่อน มีความยาวประมาณ 1.5-2 เมตร ที่คิดค้นมาใช้สำหรับการตอกเสาเข็มในพื้นที่จำกัด เข้าถึงยาก และต้องมีแรงสั่นสะเทือนขณะตอกน้อย การตอกเสาเข็มไมโครไพล์จึงไม่ก่อให้เกิดความเสียกับอาคารและสิ่งปลูกสร้างข้างเคียง

ปัจจุบันเสาเข็มไมโครไพล์เป็นการตอกเสาเข็มที่เหมาะสำหรับการต่อเติม ปรับปรุงอาคาร ปรับปรุงโรงงาน งานรีโนเวท เพราะมีความสะดวก มีความแข็งแรงเพราะสามารถตอกได้ถึงชั้นดินดานใกล้เคียงกับเสาของตัวอาคารเดิม การติดตั้งเสาเข็มไมโครไพล์สามารถตอกชิดผนัง กำแพง และกระจก โดยไม่เกิดความเสียหาย หน้างานสะอาดไม่เลอะเทอะ ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนดินไปทิ้ง มลพิษทางเสียงน้อย

2.4.2 การเพิ่มชิ้นส่วนเสริมกำลัง (Supplemental Reinforcement Members) [3]

การเพิ่มองค์อาคารใหม่เข้าไปในโครงสร้างเดิม โดยการเพิ่มจุดรองรับให้กับองค์อาคารเดิม ซึ่งจะช่วยลดผลของน้ำหนักบรรทุกหรือลดหน่วยแรงภายในขององค์อาคารเดิมได้ วิธีการนี้ถือเป็นระบบการเสริมกำลังโครงสร้างเช่นเดียวกัน

การเพิ่มองค์อาคารใหม่หรือจุดรองรับนี้อาจอยู่ในรูปแบบของคาน เสา หรือระบบโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยหลายองค์อาคารได้เช่นเดียวกัน ในบางกรณีการเพิ่มองค์อาคารใหม่ นอกจากจะช่วยลดหน่วยแรงภายในองค์อาคารเดิมแล้ว ยังสามารถออกแบบให้องค์อาคารใหม่เปลี่ยนเส้นทาง การถ่ายแรงของโครงสร้างเดิมได้ ซึ่งในกรณีหลังเหมาะสำหรับโครงสร้างเดิมที่มีความเสียหายรุนแรง และไม่คุ้มค่าที่จะซ่อมแซมหรือเสริมกำลัง จึงเพิ่มองค์อาคารใหม่เพื่อเปลี่ยนเส้นทางการถ่ายแรงไม่ให้ผ่าน ชิ้นส่วนที่มีความเสียหายนั้น

ข้อดี: วิธีการเสริมกำลังด้วยการเพิ่มจุดรองรับเหมาะสำหรับโครงสร้างเดิมที่มีกำลังรับน้ำหนักบรรทุก กำลังรับแรงเฉือน แรงดัด หรือแรงบิดไม่เพียงพอ ซึ่งต้องแก้ไขด้วยการลดแรงที่จะถ่ายเข้าสู่องค์อาคารเดิม สามารถใช้เสริมกำลังโครงสร้างที่มีปัญหาเรื่องการแอ่นตัว และรอยร้าวที่มากเกินค่าที่ยอมรับได้ ในสภาวะใช้งาน การเสริมกำลังด้วยวิธีนี้ใช้วิธีการก่อสร้างรวมถึงวัสดุที่ไม่แตกต่างไปจากการก่อสร้างทั่วไป ผู้ปฏิบัติงานมีความคุ้นเคยกับการเสริมกำลังโดยวิธีนี้อยู่แล้ว

ข้อเสีย: ใช้พื้นที่การทำงานค่อนข้างมาก โครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นจากชิ้นส่วน ใช้เวลาค่อนข้างมาก ค่าใช้จ่ายสูง

3. วิธีการออกแบบโครงสร้าง

วิธีการออกแบบแต่ละชิ้นส่วนของโครงสร้าง ใช้วิธีการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design) และวิธีการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (Ultimate Strength Design) เป็นไปตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) [4], [5], [7], [8] และ [9]

3.1 การวิเคราะห์หาภาระที่กระทำของชิ้นส่วนโครงสร้าง

3.1.1 ภาระที่กระทำของชิ้นส่วนฐานราก

• พิจารณาด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design)

$$W = \text{น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)} + \text{น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)} \quad (1)$$

รูปที่ 7 โมเดล 3 มิติ ของโครงสร้างฐานราก

3.1.2 ภาระที่กระทำของชิ้นส่วนเสา

• พิจารณาด้วยวิธีกำลัง (Ultimate Strength Design)

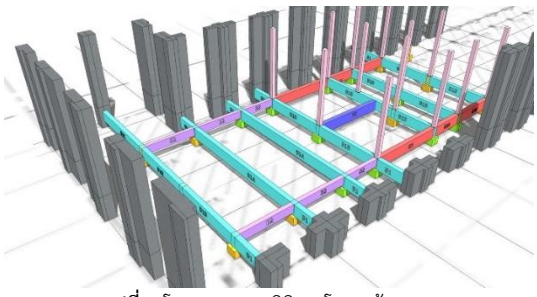
$$U = 1.4LL + 1.7DL \quad (2)$$

3.1.3 ภาระที่กระทำของชิ้นส่วนคาน

• พิจารณาด้วยวิธีกำลัง (Ultimate Strength Design)

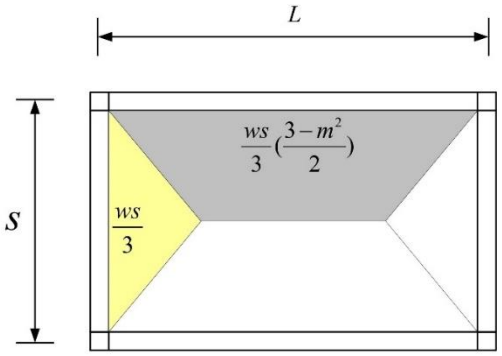
$$U = 1.4LL + 1.7DL \quad (3)$$

• วิเคราะห์น้ำหนักคานต่อเนื่อง



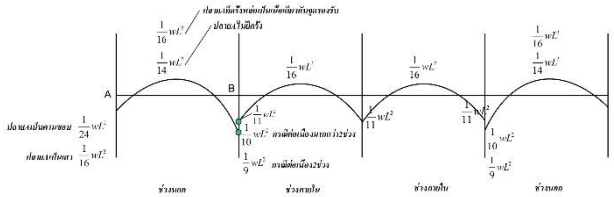
รูปที่ 8 โมเดลแบบ 3 มิติของโครงสร้างคาน

1. วิธีการวิเคราะห์น้ำหนักจากพื้นลงคาน



รูปที่ 9 วิธีการวิเคราะห์น้ำหนักจากพื้นลงคาน

2. วิธีการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้น โดยใช้สัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่เสนอโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.)



รูปที่ 10 วิธีการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้น (วสท.)

3. พิจารณาด้วยวิธี Moment Distribution Method

3.1.4 ภาระที่กระทำของชิ้นส่วนพื้น

พิจารณาด้วยวิธีกำลัง (Ultimate Strength Design)

$$U = 1.4LL + 1.7DL \quad (4)$$

โมเมนต์ที่เกิดขึ้น

$$M = CUS^2 \quad (5)$$

3.2 การวิเคราะห์หาความต้านทานของชิ้นส่วนโครงสร้าง

3.2.1 ความต้านทานของชิ้นส่วนเสา

$$M_n = 0.85 f_c' ab(d - d'' - 0.5a) + A_s' f_y (d - d' - d'') + A_s f_y d'' \quad (6)$$

3.2.2 ความต้านทานของชิ้นส่วนคาน

• Moment Resistance

$$M_n = T\left(\frac{d-a}{2}\right)M \quad (8)$$

• Shear Resistance

$$V_n = V_C + V_S \quad (9)$$

3.2.3 ความต้านทานของชิ้นส่วนพื้น

• Shear Resistance

$$V_R = \varnothing V_C \quad (10)$$

โดยที่ $V_C = 0.53\varnothing\sqrt{f_C'}bd$

• โมเมนต์ดัด

ที่ขอบของคานตัวใน $\left(M^-\right): \frac{1}{9}W_u$ (11)

3.3 ข้อกำหนดทั่วไปในการดำเนินงาน

3.3.1 งานซ่อมปรับปรุงและบูรณะหลังคา

จัดทำหลังคาชั่วคราวและดำเนินการรื้อถอนครอบ กระเบื้อง รางระบายน้ำเดิมออก ซ่อมแซมเสริมความแข็งแรงและทาน้ำยาป้องกันปลวกที่โครงสร้างหลังคาเดิม

ทำโครงสร้างหลังคาใหม่ เพื่อรับน้ำหนักกระเบื้องหลังคาใหม่ ตามแบบวิศวกรรมโครงสร้าง ดำเนินการติดตั้งกระเบื้องใหม่ ตามแบบสถาปัตยกรรม

ดำเนินการติดตั้งรางระบายน้ำฝนและเชิงชายตามรูปแบบและสัดส่วนเดิม

3.3.2 งานซ่อมปรับปรุงและบูรณะฝ้าเพดาน

ฝ้าชายคาภายนอก: ดำเนินการลอกสีฝ้าเพดานเดิมและบัวเดิม ด้วยน้ำยาลอกสี จนถึงวัสดุเดิม ดำเนินการสำรวจและซ่อมแซมปรับปรุงฝ้าเพดานเดิม โดยใช้วัสดุเดียวกับผ้าเดิม ดำเนินการขัดแต่งโป๊วทำสีผ้าเพดานและบัวน้ำ โดยจะระบุสีภายหลัง

3.3.3 งานซ่อมปรับปรุงและบูรณะพื้นไม้

พื้นไม้เดิม: ดำเนินการรื้อถอนพื้นไม้เดิม (นำมาติดตั้งในตำแหน่งใหม่) โดยขัดวัสดุเคลือบผิวออกจนถึงผิวเดิม สำรวจสภาพความเสียหายเพื่อเลือกเก็บพื้นไม้ที่สมบูรณ์ จากนั้นดำเนินการขัดแต่งผิวทำสีและเคลือบผิวด้วยน้ำยารักษาเนื้อไม้ สีใส ชนิดด้าน

พื้นไม้ใหม่: ดำเนินการติดตั้งพื้นไม้ใหม่ จากนั้นดำเนินการขัดแต่งผิวทำสี และเคลือบผิวด้วยน้ำยารักษาเนื้อไม้ สีใส ชนิดด้าน

3.3.4 งานซ่อมปรับปรุงบูรณะและติดตั้งประตู-หน้าต่าง

ประตู-หน้าต่างเดิม : ให้ดำเนินการลอกสีจนถึงผิววัสดุเดิม แล้วสำรวจสภาพความเสียหาย และปรับปรุงซ่อมแซมด้วยวัสดุชนิดเดิม ขัดแต่งทำสี (ระบุสีภายหลังโดยผู้ออกแบบ) แล้วจึงติดตั้งอุปกรณ์ประตู-หน้าต่าง ให้

ดำเนินการเปลี่ยนอุปกรณ์เดิมที่ไม่สามารถใช้งานได้ โดยใช้รูปแบบตามเดิมหรือตามแบบสถาปัตยกรรม

3.3.5 งานซ่อมปรับปรุงและบูรณะผนังทั้งภายนอกและภายใน

ผนังภายในอาคาร: ดำเนินการสกัดผิวฉาบปูนให้ถึงอิฐก่อเดิม ฉาบผนังด้วยวิธีการปูนหมักโบราณ อัตราส่วน 1 : 2 : 4 (ปูนซีเมนต์ขาว : ปูนขาว : ทรายละเอียด) ดำเนินการทาสีรองพื้นบริเวณผนังภายในทั้งหมดจำนวน 1 เที่ยว และดำเนินการทาสีน้ำอะคริลิคสำหรับงานภายใน (เทียบสีจากผนังเดิม)

ผนังภายนอกอาคาร : ดำเนินการทำความสะอาด ทาสีรองพื้นปูเก่าและทาสีน้ำอะคริลิค สำหรับงานภายนอก (เทียบสีจากผนังเดิม)

3.3.6 งานรางระบายน้ำฝน

ดำเนินการติดตั้งรางน้ำฝน รูปแบบและขนาดตามของเดิม (ระบุสีภายหลัง โดยผู้ออกแบบ)

3.3.7 งานซ่อมปรับปรุงบูรณะบันได

บันไดไม้ (ของเดิม): ดำเนินการขัดวัสดุเคลือบผิวออกจนถึงผิวเดิม หากพบความเสียหายให้นำแผ่นใหม่มาเปลี่ยน จากนั้นดำเนินการขัดแต่งผิวทำสีและเคลือบผิวด้วยน้ำยารักษาเนื้อไม้ สีใส ชนิดด้าน

4. ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้าง

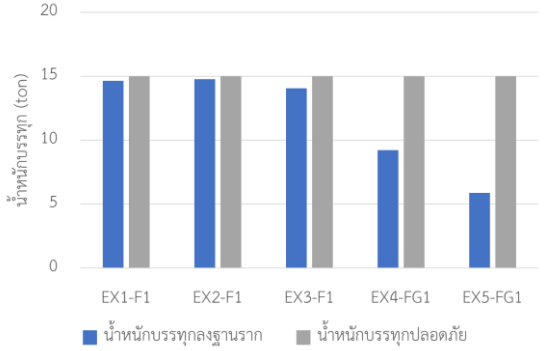
4.1 ฐานราก

ชิ้นส่วนฐานรากที่ศึกษาอยู่บริเวณฝั่งห้องเจ้าหน้าที่สำนักงาน และเวทีประชาชน ซึ่งตำแหน่งของชิ้นส่วนฐานราก ดังรูปที่ 2 และ3

ชิ้นส่วน F1: ขนาดเหล็กเสริม 5DB20 ขนาดของฐานราก 50 cm×50 cm
ชิ้นส่วน FG1: ขนาดเหล็กเสริม 5DB20 ขนาดของฐานราก 40 cm×40 cm

ตารางที่ 1 ภาระของชิ้นส่วนฐานรากที่ทำการศึกษา

	แรงรับน้ำหนักบรรทุกลงฐานราก (ton)	กำลังน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (ton)
EX1-F1	14.64	15
EX2-F1	14.78	15
EX3-F1	14.04	15
EX-FG1	9.21	15
EX-FG1	5.89	15



รูปที่ 11 แผนภูมิแท่งภาระที่กระทำของชิ้นส่วนฐานราก

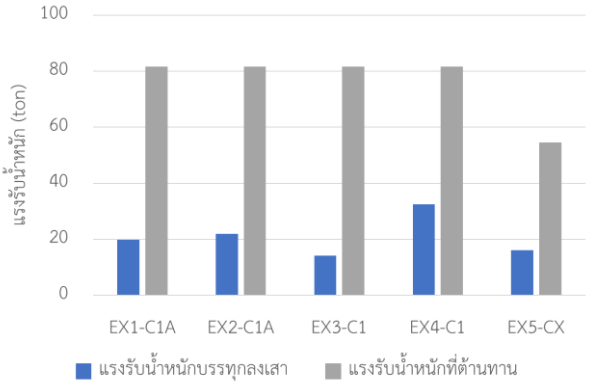
4.2 เสา

ชิ้นส่วนฐานรากที่ศึกษาอยู่บริเวณลานเอนกประสงค์ และศิลาฤกษ์ ซึ่งตำแหน่งของชิ้นส่วนเสา ดังรูปที่ 2

ชิ้นส่วน C1A: ขนาดของเสา 25 cm×25 cm
ชิ้นส่วน C1: ขนาดของเสา 25 cm×25 cm
ชิ้นส่วน CX: ขนาดของเสา 20 cm×20 cm

ตารางที่ 2 ภาระและความต้านทานของชิ้นส่วนเสาที่ทำการศึกษา

	ภาระที่กระทำ (ton)	ความสามารถในการต้านทาน (ton)
EX1-C1A	19.76	81.60
EX2-C1A	21.90	81.60
EX3-C1	14.19	81.60
EX4-C1	32.55	81.60
EX5-CX	16.14	54.50



รูปที่ 12 แผนภูมิแท่งภาระและความต้านทานของชิ้นส่วนเสา

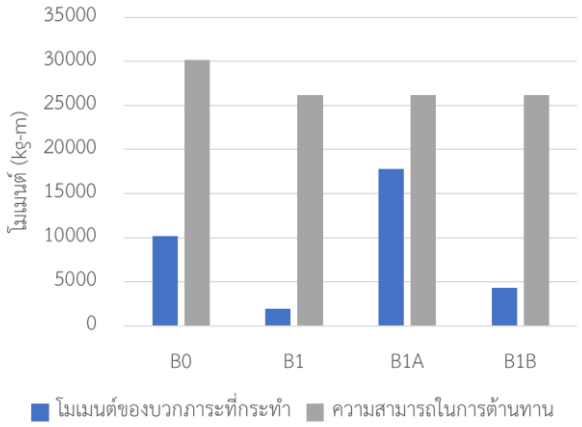
4.3 คาน

ชิ้นส่วนคานที่ศึกษาอยู่ระหว่างห้องเจ้าหน้าที่สำนักงาน และเวทีประชาชน ซึ่งตำแหน่งของชิ้นส่วนคาน ดังรูปที่ 4

ชิ้นส่วน B0: ขนาดของเหล็กเสริม 3DB20 ขนาดของคาน 25 cm×60 cm
ชิ้นส่วน B1/B1A/B1B: ขนาดของเหล็กเสริม 5DB20 ขนาดของคาน 25 cm×60 cm

ตารางที่ 3 โมเมนต์บวกของชิ้นส่วนคานที่ทำการศึกษา

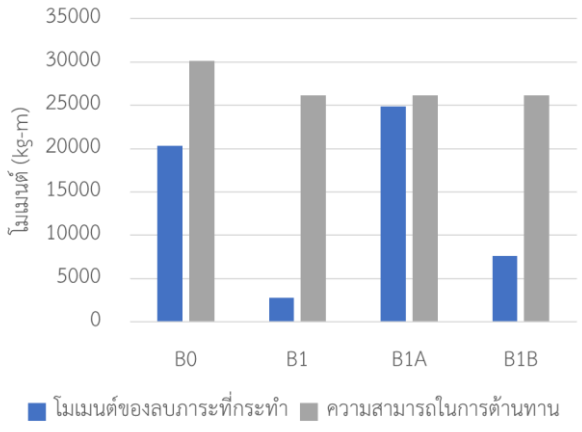
	โมเมนต์บวก	
	ภาระที่กระทำ (kg-m)	ความสามารถในการต้านทาน (kg-m)
B0	10176	30131
B1	1964.94	26159
B1A	17780.57	26159
B1B	4342.30	26159



รูปที่ 13 แผนภูมิแท่งโมเมนต์บวกของชิ้นส่วนคาน

ตารางที่ 4 โมเมนต์ลบของชิ้นส่วนคานที่ทำการศึกษา

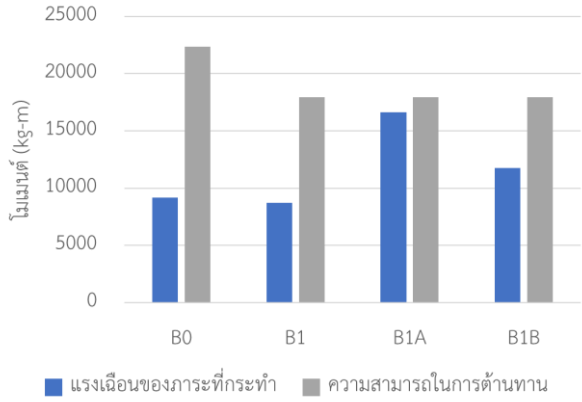
	โมเมนต์ลบ	
	ภาระที่กระทำ (kg-m)	ความสามารถในการต้านทาน (kg-m)
B0	20352	30131
B1	2750.92	26159
B1A	24892.8	26159
B1B	7599	26159



รูปที่ 14 แผนภูมิแท่งโมเมนต์ลบของชิ้นส่วนคาน

ตารางที่ 5 แรงเฉือนของชิ้นส่วนคานที่ทำการศึกษา

	แรงเฉือน	
	ภาระที่กระทำ (kg)	ความสามารถในการต้านทาน (kg)
B0	9180	22349
B1	8700	17926
B1A	16611	17926
B1B	11751	17926



รูปที่ 15 แผนภูมิแท่งแรงเฉือนของชิ้นส่วนคาน

4.4 พื้น

4.4.1 พื้นทางเดียว (one-way slab)

ชิ้นส่วนพื้น S5, S6 ที่ศึกษาอยู่ระหว่างห้องเจ้าหน้าที่สำนักงาน และเวทีประชาชน และชิ้นส่วนพื้น S9 อยู่บริเวณ Private Room ซึ่งตำแหน่งของชิ้นส่วนพื้น ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ตามลำดับ

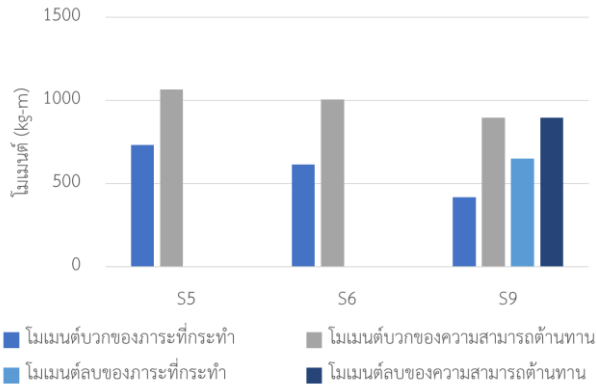
ชิ้นส่วน S5: ขนาดเหล็กเสริม DB12@0.25m

ชิ้นส่วน S6: ขนาดเหล็กเสริม DB12@0.15m

ชิ้นส่วน S9: ขนาดเหล็กเสริม DB12@0.17m

ตารางที่ 6 ภาระและความต้านทานของชิ้นส่วนพื้นทางเดียวที่ทำการศึกษา

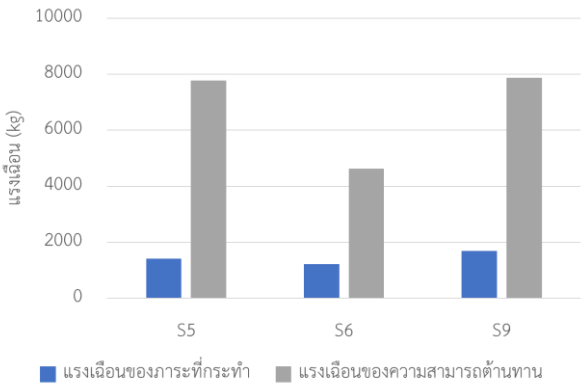
	โมเมนต์ลบ		โมเมนต์บวก	
	ภาระที่กระทำ (kg-m)	ความสามารถในการต้านทาน (kg-m)	ภาระที่กระทำ (kg-m)	ความสามารถในการต้านทาน (kg-m)
S5	0	0	732	1064
S6	0	0	613	1003.60
S9	650.67	895.03	418.29	895.03



รูปที่ 16 แผนภูมิแท่งภาระและความต้านทานของชิ้นส่วนพื้นทางเดียว

ตารางที่ 7 แรงเฉือนของชิ้นส่วนพื้นทางเดียว

	แรงเฉือน	
	ภาระที่กระทำ (kg)	ความสามารถในการต้านทาน (kg)
S5	1416	7768.75
S6	1226	4620.50
S9	1683.60	7866.68



รูปที่ 17 แผนภูมิแท่งแรงเฉือนของชิ้นส่วนพื้นทางเดียว

4.4.2 พื้นสองทาง (two-way slab)

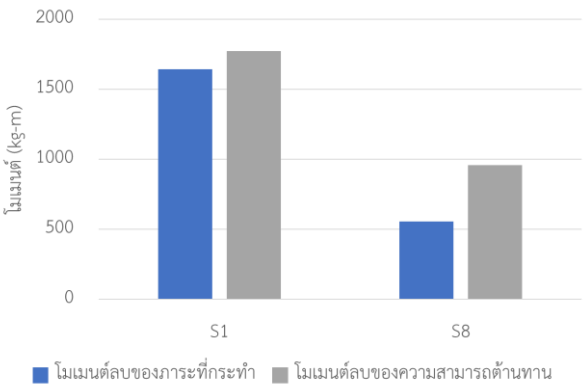
ชิ้นส่วนพื้น S1 อยู่บริเวณห้องน้ำชั้นที่ 1 ติดกับห้องเตรียมอาหาร และชิ้นส่วนพื้น S8 อยู่บริเวณห้องน้ำชั้นที่ 1 ติดกับห้องไฟฟ้า ซึ่งตำแหน่งของชิ้นส่วนพื้น ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ตามลำดับ [10]

ชิ้นส่วน S1: ขนาดเหล็กเสริม RB9@0.15m

ชิ้นส่วน S8: ขนาดเหล็กเสริม RB9@0.15m

ตารางที่ 8 โมเมนต์ลบของชิ้นส่วนพื้นสองทางที่ทำการศึกษา

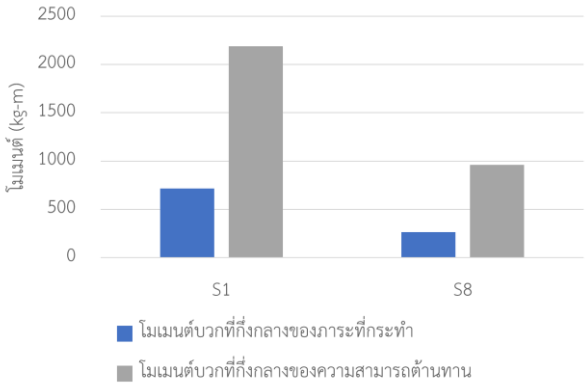
	โมเมนต์ลบ	
	ภาระที่กระทำ (kg-m)	ความสามารถในการต้านทาน (kg-m)
S1	1643	1772.60
S8	556.30	959



รูปที่ 18 แผนภูมิแท่งโมเมนต์ลบของชิ้นส่วนพื้นสองทาง

ตารางที่ 9 โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางของชิ้นส่วนพื้นสองทางที่ทำการศึกษา

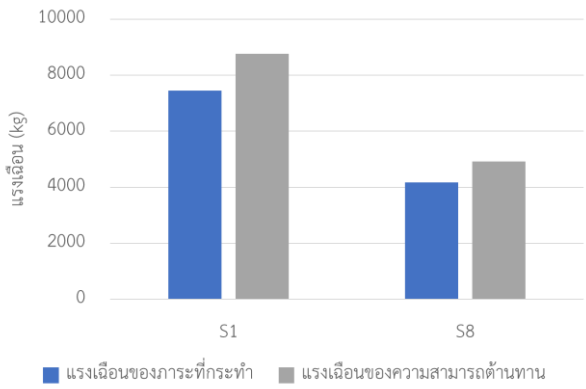
	โมเมนต์บวกที่กึ่งกลาง	
	ภาระที่กระทำ (kg-m)	ความสามารถในการต้านทาน (kg-m)
S1	715.51	2190
S8	264.34	959



รูปที่ 19 แผนภูมิแท่งโมเมนต์บวกที่กึ่งกลางของชิ้นส่วนพื้นสองทาง

ตารางที่ 10 แรงเฉือนของชิ้นส่วนพื้นสองทางที่ทำการศึกษา

	แรงเฉือน	
	ภาระที่กระทำ (kg)	ความสามารถในการต้านทาน (kg)
S1	7442.34	8755.69
S8	4178.15	4915.47



รูปที่ 20 แผนภูมิแท่งแรงเฉือนของชิ้นส่วนพื้นสองทาง

5. สรุปผลการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์การออกแบบชิ้นส่วนการบูรณะปรับปรุงซ่อมแซมตึกโดม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ท่าพระจันทร์ ซึ่งเป็นอาคารอนุรักษ์ที่มีการบูรณะเพื่อเปลี่ยนการใช้งานให้เป็นศูนย์การเรียนรู้และมีจุดมุ่งหมายหลักของการบูรณะคือการคงอัตลักษณ์ภายนอก และกลิ่นอายความเป็นตึกโดมไว้ให้ได้มากที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์ภาระที่กระทำ และความต้านทานของโครงสร้าง พบว่าวิธีการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเพื่อทำการปรับปรุงเป็นแนวทางการออกแบบการก่อสร้างด้วยวิธีกำลัง (Ultimate Strength Design) ในการออกแบบเพื่อปรับปรุงฐานรากใช้วิธีการเสริมเสาเข็มเหล็กไมโครไพล์ (Steel Micro Pile) เมื่อทำการวิเคราะห์หาภาระที่กระทำ และ

ความต้านทานของเสาเข็มพบว่า ในส่วนของปีกด้านซ้ายและขวาของตึกโดม มีการเสริมกำลังด้วยฐานราก F1 และใช้เสาเข็มเดี่ยวที่มีน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยอยู่ที่ 15 ตัน เมื่อวิเคราะห์ภาระที่ต้องรองรับพบว่าอยู่ที่ประมาณ 14-15 ตัน ซึ่งเป็นการออกแบบที่เสี่ยงเกินไป เพราะน้ำหนักบรรทุกที่ลงกับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มแทบจะมีค่าใกล้เคียงกัน สัดส่วนความปลอดภัยมีน้อยมาก หากเป็นไปได้ควรปรับให้น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มมีค่ามากขึ้น โดยอาจใช้วิธีการเปลี่ยนขนาดเข็มใหญ่ขึ้น หรือมีความลึกของเสาเข็มมากขึ้น ให้รับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยได้มากขึ้น เพื่อให้สัดส่วนความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น ในส่วนของการการออกแบบเสา พบว่าเสา C1 และเสา C1A ซึ่งเป็นเสารับน้ำหนักลงฐานรากF1จะมีความต้านทานมากกว่าเสา CX ที่รับน้ำหนักเพียงชั้นเดียวคือชั้น 2 และจากการวิเคราะห์ภาระที่ลงเสา EX4-C1 ซึ่งเป็นจุดที่มีภาระมากที่สุด เพราะเป็นเสาต้นที่อยู่ริมสุดรับน้ำหนักของพื้นทั้งสองชั้นและเป็นจุดที่มีห้องน้ำทำให้ต้องรับภาระมากกว่าในจุดอื่น โดยภาพรวมของภาระที่ลงเสาและความต้านทานที่เสาสามารถรับได้จะเห็นว่าความต้านทานของเสามีมากเกินความจำเป็น จึงอาจจะมีการปรับแก้โดยการลดขนาดหน้าตัดของเสาลง เพื่อลดงบประมาณในการปรับปรุงโครงสร้าง ในส่วนของการการออกแบบคาน พบว่าชิ้นส่วนคานต่อเนื่อง B1, B1A และ B1B ในการออกแบบใช้เหล็กเสริมขนาดเดียวกัน เพื่อมารองรับภาระของคาน B1A ที่มีความยาวมากที่สุดและต้องรับภาระหนักที่สุดจึงทำให้ค่าความต้านทานในคาน B1 ที่ต้องรับภาระไม่มากเท่าคานตัวอื่นมีค่ามากเกินความจำเป็น ทำให้สิ้นเปลืองวัสดุมากเกินไปแต่อาจเป็นการออกแบบเพื่อให้ง่ายต่อการก่อสร้าง เนื่องจากคาน B1 และ คาน B1A เป็นคานที่ต่อเนื่องกัน ในส่วนของการการออกแบบพื้น เมื่อได้ทำการวิเคราะห์พื้นทางเดียว (one way slab) และพื้นสองทาง (two way slab) พบว่าภาระที่กระทำและความต้านทานของโครงสร้างพื้นในบางส่วนมีค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่มากเกินไป อาจทำให้สิ้นเปลืองวัสดุที่ใช้ หรืองบประมาณมากจนเกินไป อาจต้องลดขนาดเหล็กให้ลดลง เพื่อให้เกิดความเหมาะสมแก่ภาระที่กระทำ และสำหรับการบูรณะปรับปรุงตึกโดมในครั้งนี้ ได้ใช้การออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ตามที่ผู้จัดทำเห็นว่าการออกแบบยังมีสัดส่วนความปลอดภัยต่ำอยู่ในหลาย ๆ ชิ้นส่วน หากเป็นไปได้ควรมีการปรับปรุงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากคณะผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือ จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหรัฐ พุทธวรรณะ ในการแนะนำ และติดตามความก้าวหน้างานวิจัย คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา ขอขอบคุณอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณงานบริหารอาคารและสถานที่กองบริหารศูนย์ท่าพระจันทร์ที่มีส่วนร่วมในการให้คำปรึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] พัลลภ วิสุทธิ์เมธานุกูล. (2563). *คู่มือวิศวกรรมฐานราก.* บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน), หน้า 298-301.

[2] โชติวรรณ เกริกสัตยาพร. (2559). *ปัญหาการซ่อมแซมปรับปรุงอาคารเก่าจากกรณีศึกษาตำหนักจิตรลดาปารุสกวัน.* สำนักพิมพ์, หน้า 10-11.

[3] กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2562). *คู่มือการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคาร*(พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์, หน้า 27-31.

[4] วินิต ช่อวิเชียร. *การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน.*

[5] วินิต ช่อวิเชียร. (2560). *การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง*(พิมพ์ครั้งที่6). สำนักพิมพ์.

[6] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2562). *มาตรฐานสำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน.* สำนักพิมพ์.

[7] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2564). *มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง.* สำนักพิมพ์.

[8] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2562). *มาตรฐานการเขียนแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก.* สำนักพิมพ์.

[9] James G McGregor. (1991). Reinforce Concrete Mechanics & Design. Prentice Hall.

[10] Jason Edwards. (2016, June 03). Two-Way Slab Design-Coefficient Method Tables. https://www.scribd.com/doc/314745064/Two-way-Slab-Design-Coefficient-Method-Tables#