วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.05.002

บทความวิจัย

การศึกษาเพื่อหาค่าความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้าง

พงษ์นรินทร์ จงรักษ์ถาวร สายันต์ ศิริมนตรี และ ชนะชัย ทองโฉม*

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: tchanach@engr.tu.ac.th

วันที่รับบทความ: 25 มีนาคม 2564; วันที่ทบทวนบทความ: 4 พฤษภาคม 2564; วันที่ตอบรับบทความ: 13 พฤษภาคม 2564
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 24 พฤษภาคม 2564

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้าง โดยใช้หลักการหาความเหมาะสมด้วยระเบียบวิธีฟังก์ชันพหุนาม ในการวิเคราะห์โครงสร้างใช้วิธีโครงข้อแข็งเสมือน โดยใช้โปรแกรม ADAPT-PT/RC 2015 ในการช่วยคำนวณ ความกว้างของคานที่ศึกษามี 3 กรณี คือ 1/3 1/4 และ 1/5 ของความกว้างแผ่นพื้น ความยาวช่วงของพื้นในแต่ละกรณีเท่ากับ 15 18 และ 20 เมตร ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักบรรทุกจรจะกำหนดให้แปรเปลี่ยนไปตามประเภทการใช้สอยของอาคาร ได้แก่ ส่วนพักอาศัย ส่วนสำนักงาน และส่วนที่จอดรถ มีค่าเท่ากับ 200 300 และ 400 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยมีการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกคงที่ ที่นอกเหนือจากน้ำหนักของพื้นเอง 120 และ 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร จากนั้นนำผลที่ได้จากการออกแบบไปหาฟังก์ชันพหุนาม เพื่อหาค่าความหนาที่เหมาะสม เพื่อเป็นข้อมูลให้วิศวกรสามารถนำไปเป็นแนวทางออกแบบเบื้องต้นและประมาณราคา จากการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มีค่าเท่ากับ 1.0 และสรุปผลได้ว่า สำหรับส่วนพักอาศัย ส่วนสำนักงาน และส่วนที่จอดรถ กรณีความกว้างของคานเท่ากับ 1/3 ของความกว้างพื้น อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของพื้นที่เหมาะสม เท่ากับ 34 32 และ 33 ตามลำดับ กรณีความกว้างของคานเท่ากับ 1/4 ของความกว้างแผ่นพื้น อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของพื้นที่เหมาะสม เท่ากับ 33 31 และ 32 ตามลำดับ กรณีความกว้างของคานเท่ากับ 1/5 ของความกว้างแผ่นพื้น อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของพื้นที่เหมาะสม เท่ากับ 31 29 และ 30

คำสำคัญ: แผ่นพื้นไร้คาน; คอนกรีตอัดแรง; ระบบดึงภายหลังชนิดมีคานกว้าง; ทฤษฎีโครงเสมือน; ความหนาที่เหมาะสม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.05.002

บทความวิจัย

Study on Optimum Thickness of Post-Tension Concrete Flat Slab with Band Beam

Pongnarin Jongrukthavorn, Sayan Sirimontree and Chanachai Thongchom*

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University

* Corresponding author, E-mail: tchanach@engr.tu.ac.th

Received: 25 March 2021; Revised 4 May 2021; Accepted: 13 May 2021
Online Published: 24 May 2021

Abstract: This paper aims to find the optimum thickness for post-tensioned slabs with band beam using the polynomial optimization method. In the structural analysis, the equivalent frame method using the ADAPT-PT/RC 2015 software is used. In this study, three widths of the band beam were used such as 1/3, 1/4 and 1/5 of the slab width. The span length of the floor slab in each case was 15, 18 and 20 meters, respectively. The value of live load was 200, 300 and 400 kg/m^2 which depending on the type of building's usability, including residential, office and parking areas, were used. In addition to the weight of the floor itself, the superimposed dead loads such as 120 and 300 kg/m^2 were taken into account in the analysis process. The results of the design are then used to find the appropriate thickness using the polynomial optimization method to provide information for engineers to guide the design and estimate the cost. Based on the analysis, it was found that the correlation coefficient (R^2) was 1.0. For residential, office and parking areas, the width of the band beam is 1/3 of the floor width, the suitable ratio of span length to slab's optimum thickness are 34, 32, and 33, respectively. For the width of the band beam is 1/4 of the width of the slab, the suitable ratio of span length to slab's optimum thickness are 33, 31, and 32, respectively. In the case of band beam width equal to 1/5 of the width of the slab, the suitable ratio of span length to slab's optimum thickness is 31, 29 and 30.

Keywords: Flat slab; Post-tensioned concrete; Band beam; Equivalent frame method; Optimum thicknesses

บทความวิจัย

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.05.002

1. บทนำ

ปัจจุบันโครงการอสังหาริมทรัพย์ลูกผสม ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมามีความต้องการระบบโครงสร้างที่สามารถทำให้โครงสร้างอาคารมีช่วงความยาวที่ยาวขึ้น เพื่อให้ได้ประโยชน์ใช้สอยสูงสุดมีมากขึ้น ดังนั้นระบบโครงสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้าง ที่มีลักษณะแผ่นพื้นท้องเรียบโดยมีส่วนเพิ่มความหนาบริเวณแถบเสายาวตลอดช่วงแผ่นพื้น ซึ่งสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่าพื้นไร้คานทั่วไป อีกทั้งยังสามารถเพิ่มความยาวช่วงได้มากกว่าพื้นไร้คานทั่วไปอีกด้วย ซึ่งการที่จะหาราคาที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องยากและเสียเวลา เนื่องจากต้องคำนวณซ้ำๆ หลายๆ ครั้ง และผลการวิเคราะห์ที่ได้อาจไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมที่สุด

Post-Tensioning Institute [1] มีข้อแนะนำเกี่ยวกับความหนาของแผ่นพื้นต่ำสุดที่ไม่ต้องตรวจสอบการแอ่นตัว ไว้เป็นอัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาพื้นดังตารางที่ 1 ได้แสดงค่าความยาวช่วงต่อความหนาพื้นของชนิดของพื้นต่างๆ ประกอบด้วย พื้นทางเดียว พื้นสองทาง พื้นไร้คานแบบมีแป้นหัวเสา พื้นสองทางแบบรังผึ้ง และความกว้างของคาน, B/3 โดยที่อัตราส่วนของ LL/DL ต้องมีค่าน้อยกว่า 1 เมื่อ LL = น้ำหนักบรรทุกจร (กิโลกรัม/ตารางเมตร) DL = น้ำหนักบรรทุกตายตัวของพื้นทั้งหมด (กิโลกรัม/ตารางเมตร)

ในโครงการที่มีความต้องการช่วงความยาวของพื้นที่มาก ซึ่งจะส่งผลต่อน้ำหนักคงที่ของพื้นโดยตรง ดังนั้นจึงมีข้อสงสัยว่า ค่าอัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาพื้นในตารางที่ 1 ยังคงใช้ได้กับระบบดังกล่าวได้หรือไม่

ตารางที่ 1 อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของพื้น [1]

ชนิดของพื้น	ความยาวช่วงต่อความหนาพื้น
พื้นทางเดียว	48
พื้นสองทาง	45
พื้นไร้คานแบบมีแป้นหัวเสา	50
พื้นสองทางแบบรังผึ้ง (5ft × 5ft)	35
ความกว้างของคาน, B/3	30

นอกจากนั้นการแปรเปลี่ยนความกว้างของคานจะส่งผลต่อความหนาต่ำสุดที่แนะนำอย่างไรและส่งผลกับราคาค่าก่อสร้างอย่างไร ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลช่วยในการออกแบบและประมาณราคาเบื้องต้น

ในปัจจุบันมีโปรแกรมช่วยวิเคราะห์และออกแบบระบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์ไฟไนท์อีลีเม้นท์ (Finite Element Analysis) เช่น RAM Concept [2] และ CSI SAFE [3] ซึ่งเป็นการมองโครงสร้างในแบบสามมิติโดยตรง ฉัตร สุจินดา [4] ได้ศึกษาแล้วว่าวิธีการดังกล่าวให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของโครงสร้างได้มากกว่าสองมิติ สมชาย ตงอาภรณ์ และฉัตร สุจินดา [5] ได้ศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสม สำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์แบบสามมิติ โดยใช้โปรแกรม RAM Concept โดยมี Span Length คือ 8 เมตร โดยได้ศึกษาน้ำหนักบรรทุกจร 300-500 กิโลกรัม/ตารางเมตร พัทธนันท์ มณีชนพันธ์ ได้ศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสม สำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง (ช่วงเสา 6 7.5 และ 9 เมตร) โดยวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์แบบสามมิติ โดยใช้โปรแกรม RAM Concept [2]

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.05.002

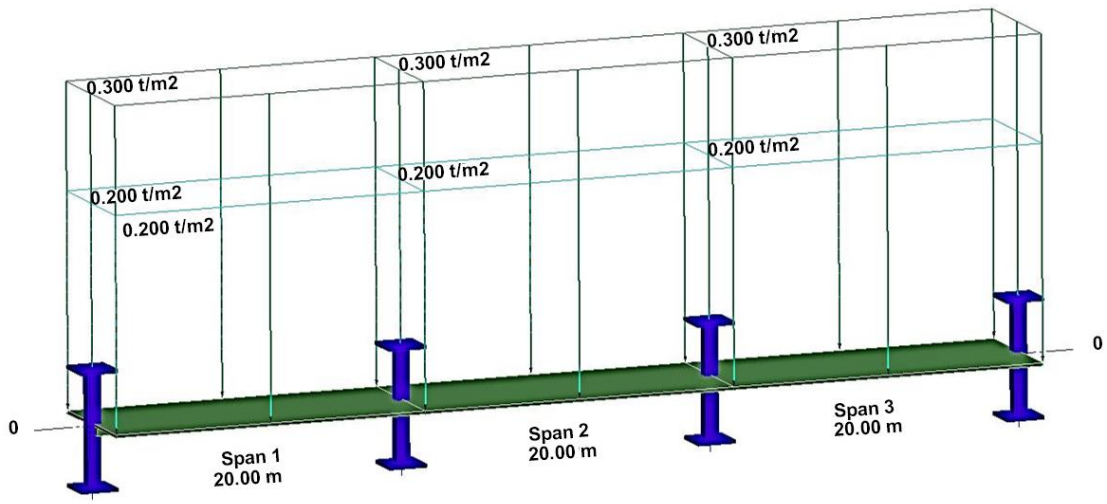
ในงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์หลักการในการหาความเหมาะสมด้วยระเบียบวิธีฟังก์ชันพหุนาม การออกแบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้างใช้การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติ (Equivalent Frame Method) โดย [6] วินัย สังหิตกุล ได้ศึกษาการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับพื้นคอนกรีตไร้คานอัดแรงภายหลัง และ [7] อดินันท์ ธีรานุพัฒนา ได้ศึกษาการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นคอนกรีตไร้คานอัดแรงภายหลังด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ ซึ่งการวิเคราะห์โดยวิธีดังกล่าวสามารถใช้โปรแกรม ADAPT-PT/RC [8] ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายในประเทศไทยมาทดลองออกแบบเพื่อหาความหนาที่เหมาะสม ที่ให้ราคาค่าก่อสร้างต่ำสุดโดยใช้ข้อมูลราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงในประเทศไทย

2. ขั้นตอนการศึกษา

2.1 แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์

การสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์โครงสร้างระบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้างจะใช้ วิธีโครงข้อแข็งเสมือน (Equivalent Frame Method) โดยใช้โปรแกรม ADAPT-PT/RC [8] ในการช่วยคำนวณ แบบจำลองของระบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้าง แสดงในรูปที่ 1 โดยรูปที่ 1(ก) แสดงแนวกึ่งกลางแผ่นพื้น รูปที่ 1(ข) แนวขอบแผ่นพื้น และรูปที่ 1(ค) ตั้งฉากแนวกึ่งกลางแผ่นพื้น

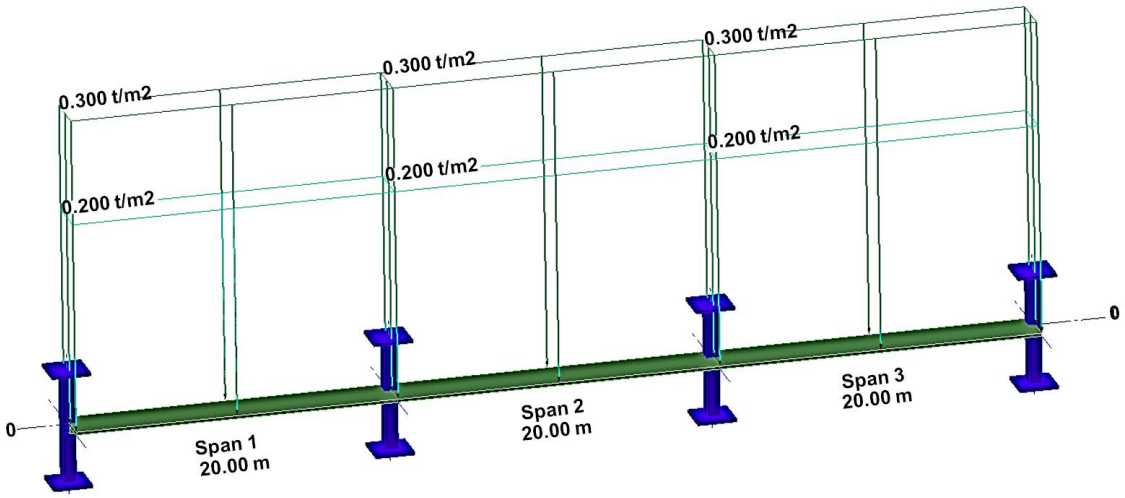
ในการวิเคราะห์และออกแบบจะพิจารณาเฉพาะน้ำหนักกระทำในแนวดิ่ง (Gravity Load) ซึ่งประกอบด้วยน้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้น (Dead Load, DL)



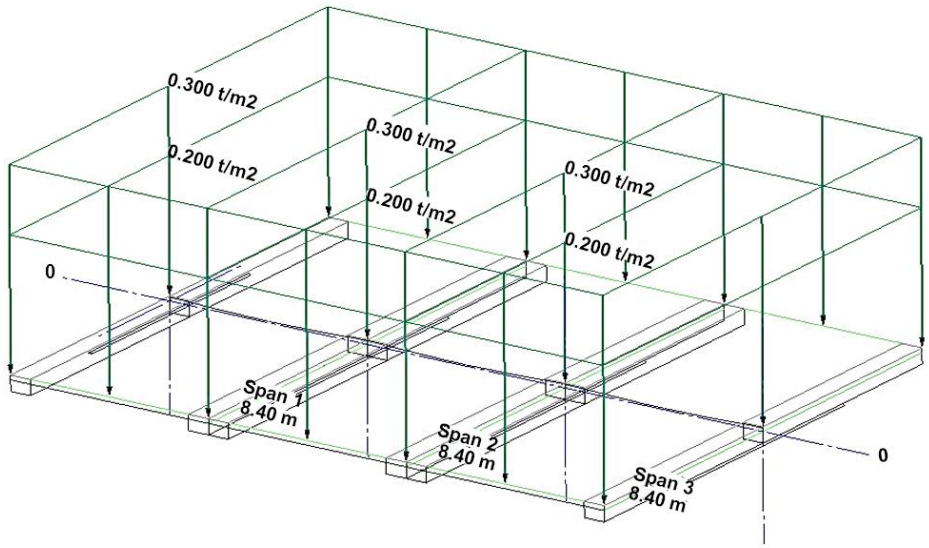
(ก)

รูปที่ 1 แบบจำลองของระบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้าง โดยโปรแกรม ADAPT-PT/RC 2015: (ก) แนวกึ่งกลางแผ่นพื้น

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.05.002



(ข)



(ค)

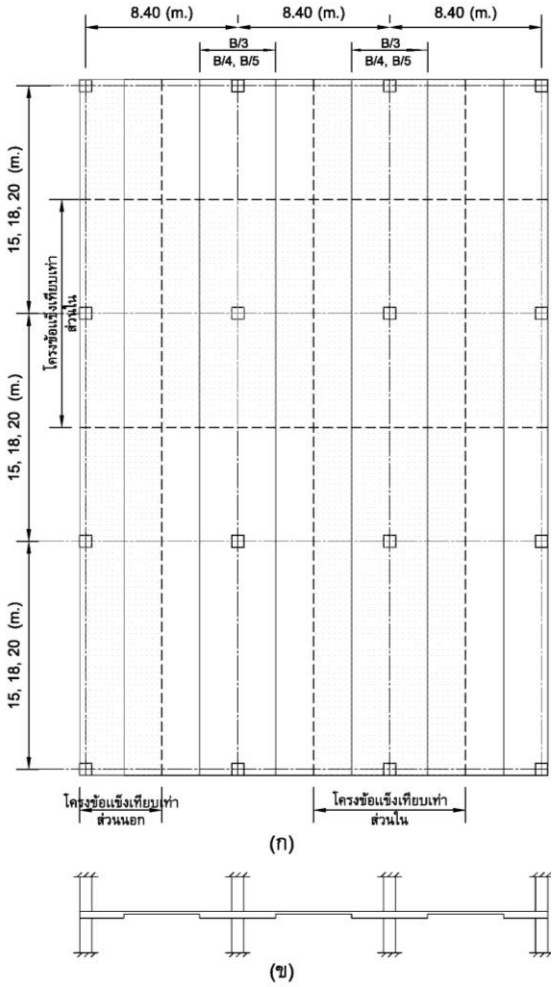
รูปที่ 1 (ต่อ) แบบจำลองของระบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้าง โดยโปรแกรม ADAPT-PT/RC 2015: (ข) แนวขอบแผ่นพื้น (ค) ตั้งฉากแนวกึ่งกลางแผ่นพื้น

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.05.002

น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เพิ่มขึ้นที่ไม่รวมน้ำหนักพื้น (Super-Imposed Dead Load, SDL) และน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load, LL) ซึ่งแบ่งตามประเภทตามการใช้งาน ตัวแปรหลักที่ใช้ศึกษา ได้แก่ ความยาวช่วง (L) และ ความหนาของคาน (D) เพื่อพิจารณาหาความหนาที่เหมาะสมในแต่ละกรณี การวิเคราะห์และออกแบบจะคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมอัดแรงที่เพียงพอต่อการต้านน้ำหนักบรรทุกใช้งาน โดยไม่ทำให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเกินกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ จากนั้นทำการตรวจสอบการรับน้ำหนักสูงสุดของพื้นที่สภาวะประลัยโดยผลจากน้ำหนักบรรทุกคูณด้วยตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load factor) ต้องไม่เกินกว่ากำลังต้านทานของพื้น พร้อมทั้งทำการตรวจสอบแรงเฉือนและออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือน นอกจากนั้นจะพิจารณาการแอ่นตัวที่สภาวะใช้งาน ทั้งที่เกิดขึ้นในทันที และ ตามเวลา ทั้งนี้ในการคำนวณจะเป็นไปตามมาตรฐาน ACI 318-08 [9] และมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง [10] หลังจากนั้นคำนวณหาค่าของวัสดุ ได้แก่ ปริมาณคอนกรีต ปริมาณเหล็กเสริม ค่าแรง และราคาค่าก่อสร้าง

2.2 กรณีศึกษาและขั้นตอนการวิเคราะห์หาความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสม

แปลนแสดงตำแหน่งพื้นและเสาที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังรูปที่ 2 ความกว้างแผ่นพื้น (B) = 8.4 เมตร ความกว้างของคาน (Band Beam) จะทำการศึกษาเป็น 3 กรณี ได้แก่ B/3 B/4 B/5 สำหรับความยาวช่วงที่ศึกษามี 3 ช่วง ได้แก่ 15 18 และ 20 เมตร ตามลำดับ เสาบนและล่างมีความสูงเท่ากับ 3.5 เมตร มีขนาดหน้าตัด 0.80×0.80 เมตร โดยเสาใช้คอนกรีต



รูปที่ 2 (ก) แบบแปลน (ข) รูปด้าน ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมและราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำสุด

ที่มีกำลังอัดประลัย fc'= 240 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และพื้นใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัย fc'= 320 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร พื้นรับน้ำหนักบรรทุกจร ตามสภาพการใช้งานของอาคารเป็น ที่พักอาศัย สำนักงาน และ ที่จอดรถ คือ 200 300 และ 400 กิโลกรัม/ตารางเมตร ตามลำดับ น้ำหนักคงที่ไม่รวม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.05.002

น้ำหนักของตัวพื้น ในแต่ละประเภทของการใช้อาคารเท่ากับ 120 และ 300 กิโลกรัม/ตารางเมตร ในการออกแบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้าง จะเป็นการอัดแรงโดยสมบูรณ์ (Fully Prestress) คือให้มีปริมาณลวดอัดแรงเพียงพอสำหรับต้านทานโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุก และใช้เหล็กเสริมอื่นที่จำเป็นตามที่มาตรฐาน [9, 10] กำหนด

การคำนวณราคาค่าวัสดุและค่าแรงจะใช้ข้อมูลในปัจจุบันของประเทศไทย โดยมีแหล่งที่มาจาก ดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ [11] และกรมบัญชีกลาง กระทรวงการคลัง [12] ดังแสดงในตารางที่ 2 จากปริมาณวัสดุที่ได้จากการออกแบบในแต่ละกรณีจะได้ปริมาณและราคาค่าก่อสร้าง

ตารางที่ 2 ราคาต่อหน่วยของวัสดุและค่าแรง

ประเภท	ราคาต่อหน่วย (baht)	
	ค่าวัสดุ	ค่าแรง
คอนกรีตกำลังอัดประลัย (fc') เท่ากับ 320 kg/cm^2	2357 (ต่อ m^3)	150 (ต่อ m^3)
เหล็กเส้น SD-40	19.1 (ต่อ kg)	3.3 (/ kg)
ลวดเกลียวอัดแรง (Low relaxation) 12.7 mm.(1/2นิ้ว) Grade 270	45.2 (ต่อ kg)	20 (ต่อ kg)
ไม้แบบ (คิด25%)	135 (ต่อ m^2)	135 (ต่อ m^2)

แหล่งที่มาข้อมูล: ดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ [11] และกรมบัญชีกลาง กระทรวงการคลัง [12]

ตารางที่ 3 แสดงตัวอย่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ ในกรณีความกว้างของคานเท่ากับ B/3 เป็นที่พักอาศัย รับน้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และมีน้ำหนักตายตัวเพิ่มเติมที่ไม่รวมน้ำหนักของพื้นเท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร มีความยาวช่วงเท่ากับ 15 เมตร

ตารางที่ 3 ตัวอย่างแสดงปริมาณและราคาค่าก่อสร้างรวมของกรณีพื้นใช้งานเป็นที่พักอาศัย มีความกว้างของคาน B/3 ความยาวช่วง 15 เมตร

ความกว้างของคาน B/3 (cm)	ประเภทวัสดุ / ค่าแรง	ปริมาณ (unit)	ราคาค่าวัสดุรวมค่าแรง (baht)	ราคาค่าก่อสร้างรวม (baht)
40	คอนกรีต	314.74 m^3	2,507	789,047.16
	เหล็กเส้น	4,471.23 kg	22.4	100,155.53
	ลวดเกลียวอัดแรง	9,598.60 kg	65.2	625,828.72
	ไม้แบบ	1,392.11 m^2	270	375,869.16
	รวม			**1,890,900.58**
42	คอนกรีต	323.16 m^3	2,507	810,174.15
	เหล็กเส้น	3,886.03 kg	22.4	87,046.99
	ลวดเกลียวอัดแรง	9,428.30 kg	65.2	614,725.16
	ไม้แบบ	1,397.60 m^2	270	377,353.08
	รวม			**1,889,299.38**
44	คอนกรีต	331.59 m^3	2,507	831,301.14
	เหล็กเส้น	3,829.98 kg	22.4	85,791.53
	ลวดเกลียวอัดแรง	9,294.80 kg	65.2	606,020.96
	ไม้แบบ	1,403.10 m^2	270	378,837.00
	รวม			**1,901,950.64**

ข้อมูลที่ได้จาก ตารางที่ 3 สามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างรวมและความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้างในลักษณะของฟังก์ชันพหุนามได้ดังแสดงในรูปที่ 3

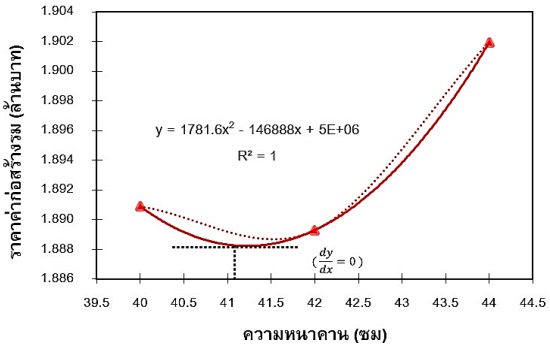
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.05.002

2.3 การสร้างฟังก์ชันพหุนาม

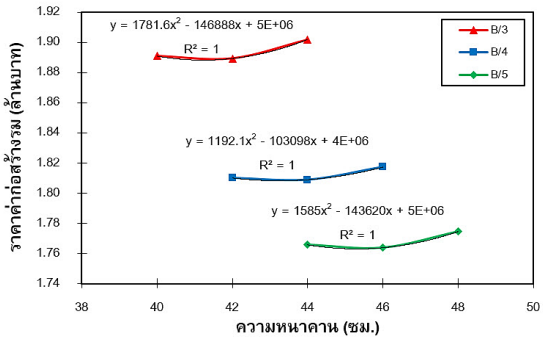
การสร้างฟังก์ชันพหุนามของผลรวมราคาค่าก่อสร้างรวม กับความหนาของแต่ละกรณีศึกษา เมื่อความชันของเส้นโค้ง ($\frac{d_y}{d_x}$ = 0) มีค่าเท่ากับศูนย์ คือ ค่าความหนาที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำสุด รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าก่อสร้างรวม และความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้างของกรณีศึกษาที่อัตราส่วน B/3 (โดย B คือ ความกว้างแผ่นพื้น) สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และมีน้ำหนักตายตัวเพิ่มเติมเท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ที่ช่วงความยาว (L) เท่ากับ 15 เมตร

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าก่อสร้างรวมและความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้างของทุกกรณีศึกษา (B/3 B/4 และ B/5) สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และมีน้ำหนักตายตัวเพิ่มเติมเท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สำหรับความยาวช่วงเท่ากับ 15 เมตร

โดยตารางที่ 4 5 และ 6 แสดงความหนาที่เหมาะสมที่ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำสุด สำหรับความยาวช่วง 15 18 และ 20 เมตร ตามลำดับ และตารางที่ 7 แสดงค่าสรุปอัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้างสำหรับความยาวช่วง 15 18 และ 20 เมตร ตามลำดับในกรณีความกว้างของคานต่างๆ (B/3 B/4 และ B/5) ที่น้ำหนักบรรทุกที่ต่างกัน



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าก่อสร้างรวมและความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้าง ในกรณี B/3 และ L เท่ากับ 15 เมตร



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าก่อสร้างรวมและความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้าง ทุกกรณีศึกษา สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และมีน้ำหนักตายตัวที่ไม่ใช่น้ำหนักของพื้นเอง 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ความยาวช่วง 15 เมตร

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.05.002

ตารางที่ 4 ความหนาที่เหมาะสมที่ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำสุด สำหรับความยาวช่วง 15 เมตร

ลำดับ	กรณีศึกษาความกว้างแผ่นพื้น	SDL (kg/m^2)	LL (kg/m^2)	ความหนาพื้น (cm)	ความหนาคาน (cm)
1	B/3	300	200	19	41.22
	B/4	300	200	19	43.24
	B/5	300	200	19	45.31
2	B/3	300	300	19	42.70
	B/4	300	300	19	44.75
	B/5	300	300	19	50.91
3	B/3	120	400	19	40.47
	B/4	120	400	19	42.67
	B/5	120	400	19	45.79

ตารางที่ 5 ความหนาที่เหมาะสมที่ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำสุด สำหรับความยาวช่วง 18 เมตร

ลำดับ	กรณีศึกษาความกว้างแผ่นพื้น	SDL (kg/m^2)	LL (kg/m^2)	ความหนาพื้น (cm)	ความหนาคาน (cm)
1	B/3	300	200	19	51.18
	B/4	300	200	19	53.22
	B/5	300	200	19	56.25
2	B/3	300	300	19	53.43
	B/4	300	300	19	54.50
	B/5	300	300	19	59.51
3	B/3	120	400	19	53.43
	B/4	120	400	19	54.50
	B/5	120	400	19	59.51

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.05.002

ตารางที่ 6 ความหนาที่เหมาะสมที่ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำสุด สำหรับความยาวช่วง 20 เมตร

ลำดับ	กรณีศึกษาความกว้างแผ่นพื้น	SDL (kg/m^2)	LL (kg/m^2)	ความหนาพื้น (cm)	ความหนาคาน (cm)
1	B/3	300	200	19	57.27
	B/4	300	200	19	59.30
	B/5	300	200	19	63.35
2	B/3	300	300	19	61.22
	B/4	300	300	19	63.23
	B/5	300	300	19	68.27
3	B/3	120	400	19	59.49
	B/4	120	400	19	61.51
	B/5	120	400	19	66.53

ตารางที่ 7 อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้าง สำหรับความยาวช่วง 15 18 และ 20 เมตร

ชนิดของพื้น	กรณีศึกษาความกว้างของคาน	SDL (kg/m^2)	LL (kg/m^2)	ความหนาพื้น (cm)	ความยาวช่วงต่อความหนาคาน
ความกว้างของคาน	B/3	300	200	19	34
		300	300	19	32
		120	400	19	33
	B/4	300	200	19	33
		300	300	19	31
		120	400	19	32
	B/5	300	200	19	31
		300	300	19	29
		120	400	19	30

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.05.002

3. อภิปรายผลการศึกษา

ขั้นตอนการออกแบบพื้นที่ได้ ความหนาของพื้นที่ทำให้ได้ปริมาณลวดอัดแรง จะคำนึงถึงค่าหน่วยแรงดึง และหน่วยแรงอัดที่สภาวะต่างๆ และค่าระยะโก่งตัวของพื้น ทั้งกรณีการโก่งตัวทันที และการโก่งตัวระยะยาวต้องมีค่าน้อยกว่าค่าที่ยอมให้ตามข้อกำหนด ACI 318-08 [10] และมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง [11]

จากตารางแสดงปริมาณและราคาค่าก่อสร้างรวม ซึ่งผลรวมค่าก่อสร้างรวมคือราคาคอนกรีต เหล็กเสริม ลวดอัดแรง และไม้แบบ โดยที่ปริมาณคอนกรีตเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของพื้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ต่างกับปริมาณเหล็กเสริมที่เมื่อความหนาของพื้นเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณเหล็กเสริมลดลงทั้งนี้ก็เนื่องจากความหนาของพื้นที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณลวดอัดแรงก็พบว่าที่ความหนาน้อยจะมีปริมาณลวดอัดแรงมาก และเมื่อเพิ่มความหนาของพื้นปริมาณลวดอัดแรงจะลดลงเนื่องมาจากที่ระยะยกตัวของลวดอัดแรง (Sag) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้น้ำหนักบรรทุกของพื้น และความยาวช่วงที่เพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

จากเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างรวม (y) และความหนา (x) แล้วหาฟังก์ชันพหุนามกำลังสอง ที่ความชันเป็นศูนย์ ($\frac{d_y}{d_x} = 0$) จะได้ความหนาที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำสุดได้

จากข้อแนะนำ Post-Tensioning Institute [1] อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของพื้น สำหรับชนิดของพื้นความกว้างของคาน (B/3) มีค่าเท่ากับ 30 เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้างที่ได้จากการศึกษาสำหรับส่วนพักอาศัย ส่วนสำนักงาน และส่วนที่จอดรถ เท่ากับ 34 32 และ 33 ตามลำดับ พบว่ามีความน้อยกว่า ซึ่งกล่าวได้ว่าอัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของพื้น ตามข้อแนะนำของ Post-Tensioning Institute [1] สามารถใช้ได้กับกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้

4. บทสรุป

จากการศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้างโดยใช้หลักการหาความเหมาะสมด้วยระเบียบวิธีฟังก์ชันพหุนาม ใช้การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติ (Equivalent Frame Method) โดยใช้โปรแกรม ADAPT-PT/RC ในการช่วยคำนวณ จะเป็นการอัดแรงโดยสมบูรณ์ (Fully Prestress) คือให้มีปริมาณลวดอัดแรงเพียงพอสำหรับต้านทานโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุก การวิเคราะห์และออกแบบจะคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมอัดแรงเพียงพอต่อการต้านน้ำหนักบรรทุกใช้งานโดยไม่ทำให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเกินกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ จากนั้นทำการตรวจสอบการรับน้ำหนักสูงสุดของพื้นที่สภาวะประลัยโดยผลจากน้ำหนักบรรทุกคูณด้วยตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load factor) ต้องไม่เกินกว่ากำลังต้านทานของพื้น พร้อมทั้งทำการตรวจสอบแรงเฉือนและออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือน นอกจากนั้นจะพิจารณาการแอ่นตัวที่สภาวะใช้งาน ทั้งที่เกิดขึ้นในทันที และ ตามเวลา ทั้งนี้ในการคำนวณจะเป็นไปตามมาตรฐาน ACI 318-08 [10] และมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง [11] หลังจากนั้นคำนวณหาค่าของวัสดุ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.05.002

ได้แก่ ปริมาณคอนกรีต ปริมาณเหล็กเสริม ค่าแรง และราคาค่าก่อสร้างที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำสุด โดยให้ความกว้างแผ่นพื้น เท่ากับ 8.4 เมตร เสามีขนาดหน้าตัดที่ใหญ่เพียงพอ ความกว้างของคาน (Band beam) จะทำการศึกษาเป็น 3 กรณี คือ 1/3 1/4 และ 1/5 ของความกว้างแผ่นพื้น โดยมีความยาวช่วงในแต่ละกรณีเท่ากับ 15 18 และ 20 เมตร ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร ได้แก่ ส่วนพักอาศัย ส่วนสำนักงาน และส่วนที่จอดรถ มีค่าเท่ากับ 200 300 และ 400 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ และน้ำหนักบรรทุกตายตัวเพิ่มเติม มีค่าเท่ากับ 120 และ 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยการคำนวณราคาจะอ้างอิงราคาวัสดุและค่าแรงที่เป็นข้อมูลในประเทศไทยจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างรวม และความหนาของแต่ละกรณีศึกษา แล้วหาฟังก์ชันพหุนามกำลังสอง ที่ความชันเป็นศูนย์ ($\frac{dy}{dx} = 0$) จะได้ความหนาที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำสุดได้

สำหรับความสัมพันธ์ของค่าก่อสร้างรวม และความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้าง ในทุกกรณีมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มีค่าเท่ากับ 1.0 และสรุปผลได้ว่าสำหรับส่วนพักอาศัย ส่วนสำนักงาน และส่วนที่จอดรถ กรณีความกว้างของคานเท่ากับ 1/3 ของความกว้างพื้น อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาพื้นที่เหมาะสม เท่ากับ 34 32 และ 33 กรณีความกว้างของคานเท่ากับ 1/4 ของความกว้างแผ่นพื้น อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาพื้นที่เหมาะสม เท่ากับ 33 31 และ 32 และ กรณีความกว้างของคานเท่ากับ 1/5 ของความกว้างแผ่นพื้น อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาพื้นที่เหมาะสมเท่ากับ 31 29 และ 30

จากข้อแนะนำ Post-Tensioning Institute [1] เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้างที่ได้จากการศึกษาสำหรับส่วนพักอาศัย ส่วนสำนักงาน และส่วนที่จอดรถ พบว่ามีความน้อยกว่า ซึ่งกล่าวได้ว่าตามข้อแนะนำของ [1] สามารถใช้ได้กับกรณีศึกษาในงานวิจัย และสำหรับค่าอัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลังชนิดมีคานกว้างที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการออกแบบเบื้องต้นและประมาณราคาได้ในกรณีที่อาคารมีน้ำหนักบรรทุกของพื้น และความยาวช่วงที่ใกล้เคียงอีกด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

[1] P.R. Gupta, Post-tensioning manual, 6th Ed., The Post-Tensioning Institute, Phoenix, AZ, USA. 2006, pp.174.

[2] RAM Concept V8i, RAM International., Available: https://www.bentley.com/en/products/product-line/structural-analysis-software/ram-concept (Accessed on 24 May 2021)

[3] CSI SAFE 12, Computers and Structures Inc., Available: https://www.csiamerica.com/products/safe (Accessed on 24 May 2021)

ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.05.002

[4] C. Suchinda, A comparison of post-tensioned concrete flat slabs designing results between 2D equivalent frame method and 3D plate finite element method, The 13th National Convention on Civil Engineering, Proceeding, 2008, Art. No. STR-010. (in Thai)

[5] S. Tongarporn and C. Suchinda, A study to determine optimal thicknesses for post-tension concrete flat slab using 3D plate finite element, The 5th Annual Concrete Conference, Proceeding, 2009, Art. No. STR-7. (in Thai)

[6] W. Sanghitkul, Optimum design of post-tensioned flat plate, Thesis, Chulalongkorn University, Thailand, 1996. (inThai)

[7] A. Teeranupatana, Optimum design of post-tensioned flat plates by the simple method, Thesis, Chulalongkorn University, Thailand, 1999. (in Thai)

[8] ADAPT structural concrete software, ADATP-PT/RC 2015, Available: https://adaptsolutions.files.wordpress.com/2010/01/pt_rc_2015_user_manual_08282015_v1_0_final.pdf (Accessed on 24 May 2021)

[9] ACI 318-08, Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and Commentary, 2008.

[10] EIT1008-38, Building code requirements for reinforced concrete by the strength design Method, 2015. (in Thai).

[11] Construction materials price index for November 2017, Economic Indices, Ministry of Commerce, 2017. (in Thai)

[12] Labor/operation index for quantities take-off and estimating the appraisal cost for construction work, The Comptroller General's Department, Ministry of Finance, 2017. (in Thai)