การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง ในโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ

Efficiency Comparison between Flat Voided Slab and RC Flat Slab Systems

กรวิชญ์ หงส์ธารารักษ์[1] ปกรณ์ธรรม นันทวิสิทธิ์[2] ธัชวีร์ ลีละวัฒน์[3] พรเพ็ญ ลิมปนิลชาติ[4*]

[1,2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จ.นครปฐม
[3,4] ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จ.นครปฐม
**Corresponding author; E-mail address: pornpen.lim@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงคือโครงสร้างพื้นไร้คานที่มีการนำบอลพลาสติกมาแทนที่คอนกรีตบางส่วนของโครงสร้างพื้น โดยเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในองค์อาคารพาณิชย์ขนาดกลาง ส่งผลให้สามารถลดน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำต่อชิ้นส่วนโครงสร้างอื่น เช่น เสาและโครงสร้างฐานรากได้ ซึ่งส่งผลดีต่อการควบคุมงบประมาณการก่อสร้าง แต่อย่างไรก็ตามพื้นไร้คานประเภทนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในประเทศมากนัก งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาเพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพของพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงเมื่อเทียบกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบทั่วไป ผ่านการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพื้นทั้งสองประเภทข้างต้นในด้านความหนา น้ำหนัก และเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักบรรทุกเมื่อแผ่นพื้นมีขนาดตั้งแต่ 6 เมตร ถึง 12 เมตร นอกจากนี้จากผลการออกแบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง และพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบทั่วไปในองค์อาคาร 5 ชั้นที่มีขนาดความยาวช่วงเสา 9 เมตร ทำให้ทราบว่าระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงสามารถลดน้ำหนักโดยรวมขององค์อาคารลงได้เป็นผลมาจากการใช้บอลพลาสติกแทนที่คอนกรีตบางส่วน ซึ่งทำให้ขนาดของเสาและจำนวนของเสาเข็มลดลงตามไปด้วย จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าอาคารที่ใช้ พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงสามารถลดน้ำหนักที่ถ่ายลงฐานรากได้ถึง 16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบทั่วไป

คำสำคัญ: พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ, พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง, ความยาวช่วงเสา, น้ำหนักบรรทุกโครงสร้าง, ความหนาแผ่นพื้น

Abstract

Flat voided slab is another type of reinforced concrete slab, in which some parts of concrete are replaced with plastic voided shapes. This system leads to reduce its structural dead weight, which is one factor to achieve an advanced structural design with longer span length, less dimension of corresponding structural components, and ease of budget control in the project. However, the use of Flat voided slab system in Thailand is still limited due to lack of know-how, insufficient information to confirm its performance. Therefore, this research aims to study the performance of Flat voided slab compared to Flat slab system with varied slab sizes. The results of thickness, structural dead load and the reducing percentage of their self-weight are compared. Moreover, the effect of using Flat voided slab in structural building is also investigated through the comparison between Flat voided slab and Normal flat slab applied in 5th floor building with span length of 9 m. The result shows that to use Flat voided slab in the building significantly affected the reduction of structural dead load and leaded to the smaller dimension of column and number of piles. Consequently, the distributed loading on the foundation could be reduced up to 16%.

Keywords: RC Flat Slab, Flat Voided Slab, Span length, Structural weight, Slab thickness

1. บทนำ

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นที่นิยมมากในอุตสาหกรรมการก่อสร้างของไทย เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่ก่อสร้างขึ้นมาจากวัสดุที่หาได้ง่าย สามารถก่อสร้างได้หลากหลายรูปแบบ รวมถึงมีกำลัง ความคงทนที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับราคาค่าก่อสร้าง หนึ่งในองค์ประกอบพื้นฐานของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่สำคัญ คือ พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมีหลายระบบด้วยกัน ระบบที่เป็นพื้นฐานและใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีคานรองรับ (Two-way and One-way Reinforced Concrete Slab) แต่อย่างไรก็ตามการใช้งานพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีคานรองรับยังมีข้อจำกัดคือ หากต้องการออกแบบโครงสร้างที่มีความยาวช่วงเสา (Span length) มาก ย่อมส่งผลต่อขนาดของพื้นที่มีความหนามากยิ่งขึ้น รวมทั้งขนาดความลึกของคานที่ต้องรองรับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรขององค์อาคาร ดังนั้นโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ (RC Flat Slab) ซึ่งเป็นระบบการถ่ายแรงจากพื้นลงเสาโดยตรง จึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในโครงสร้างที่มีความยาวช่วงเสามาก เนื่องจากการถ่ายแรงในระบบพื้นไร้คานท้องเรียบนั้นสามารถออกแบบความหนาของพื้นให้มีความหนาน้อยกว่าพื้นในระบบคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีคานรองรับเมื่อพิจารณาที่ความยาวช่วงเสาและน้ำหนักบรรทุกที่เท่ากัน อีกทั้งเนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างคานรองรับพื้น จึงสามารถเพิ่มพื้นที่ใช้สอยระหว่างชั้น หรือสามารถควบคุมความสูงของอาคารให้น้อยกว่าโครงสร้างพื้นแบบมีคานในกรณีที่จำนวนชั้นเท่ากัน

แม้ว่าอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้โครงสร้างพื้นไร้คานมีน้ำหนักน้อยกว่าพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีคานรองรับแล้ว ในปัจจุบันยังมีการพัฒนาระบบพื้นต่างๆเพิ่มขึ้น เพื่อให้สามารถออกแบบโครงสร้างอาคารให้มีพื้นที่

ใช้สอย พร้อมทั้งสามารถรับกำลังของโครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ หนึ่งในนั้นคือการมุ่งเน้นศึกษาการลดน้ำหนักโครงสร้างขององค์อาคาร เพื่อให้สามารถขยายความยาวช่วงเสาได้เพิ่มมากขึ้น เทคโนโลยีระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง (Flat Voided Slab) เป็นพื้นไร้คานอีกประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในต่างประเทศแต่ยังไม่นิยมมากนักในประเทศไทย โดยอาศัยหลักการฝังลูกบอลพลาสติกลงในพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อทดแทนปริมาณคอนกรีตในส่วนที่ไม่จำเป็นต่อการรับแรงของโครงสร้างพื้น ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้คอนกรีตและทำให้โครงสร้างพื้นมีน้ำหนักบรรทุกคงที่ลดลงตามไปด้วย ซึ่งส่งผลต่อการรับน้ำหนักที่ลดลงของโครงสร้างอื่นๆในองค์อาคาร เช่น เสา และฐานราก ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าการใช้พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงมีข้อดี คือ ลดปริมาณการใช้คอนกรีตโดยรวม ลดความสูงชั้นต่อชั้นเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่ใช้พื้นชนิดอื่น รวมไปถึงมีความสามารถในการทนความร้อนอีกด้วย [1]

จากคุณสมบัติของพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบในด้านต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักของโครงสร้าง ความหนาของพื้น และอัตราการลดลงของน้ำหนักของโครงสร้างทั้ง 2 ระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความยาวช่วงเสาของพื้นตั้งแต่ 6 เมตร จนถึง 12 เมตร ซึ่งเป็นความยาวช่วงเสาที่เหมาะสมต่อการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานทั่วไป นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการศึกษาผลของการใช้พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงในองค์อาคารจริงเปรียบเทียบกับโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ เพื่อทำการสังเกตผลกระทบต่อขนาดและจำนวนของชิ้นส่วนโครงสร้างอื่นในองค์อาคารเดียวกัน ได้แก่ เสาและจำนวนเสาเข็ม

2. หลักการออกแบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง (Flat Voided Slab) และพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ (RC Flat Slab) ตามมาตรฐาน ACI 318-14

การออกแบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบเป็นการออกแบบโดยอาศัยการวิเคราะห์แรงด้วยวิธีการออกแบบโดยตรง (Direct Design Method, DDM) เหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่หลักการที่ใช้ในการออกแบบกำลังการรับโมเมนต์ดัด และแรงเฉือนของโครงสร้างพื้นทั้ง 2 ระบบ โดยการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบสามารถออกแบบกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดและเฉือนโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ACI 318-14 [2] ในส่วนของพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงมีการใช้ข้อแนะนำ Design Guide for Voided Concrete Slabs [3] ซึ่งเป็นการออกแบบที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ACI 318-14 เช่นกัน แต่มีข้อกำหนดเพิ่มขึ้นมาสำหรับการออกแบบกำลังการรับโมเมนต์ดัดคือ การออกแบบกำลังต้านแรงดัดต้องตรวจสอบค่า Compression block ให้น้อยกว่า 1.5 นิ้ว หรือ 3.8 เซนติเมตร เพื่อให้แนวสะเทินอยู่ในระยะหุ้มของคอนกรีตเหนือบอลพลาสติก ในส่วนของกำลังต้านทานแรงเฉือนนั้น การตรวจสอบแรงเฉือนทะลุเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบโครงสร้างพื้นไร้คานทั่วไป เนื่องจากโครงสร้างมีการถ่ายแรงจากพื้นลงสู่เสาโดยปราศจากโครงสร้างคาน จึงจำเป็นต้องตรวจสอบความหนาของพื้นในบริเวณนั่นให้มีการเสริมเหล็กและสามารถต้านทานแรงเฉือนทะลุบริเวณรอบเสานั้นได้ ในการออกแบบแรงเฉือนทะลุในระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงจึงต้องทำการคำนวณระยะของพื้นทึบที่ปราศจากลูกบอลพลาสติกเพื่อให้บริเวณดังกล่าวสามารถรับแรงเฉือนทะลุนี้ได้ โดยจากข้อแนะนำการออกแบบของพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงระบุว่าเพื่อเป็นการเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน จำเป็นต้องลดกำลังต้านทานแรงเฉือนทะลุของคอนกรีตปกติลงด้วยค่าปรับแก้ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ดังแสดงในตารางที่ 1

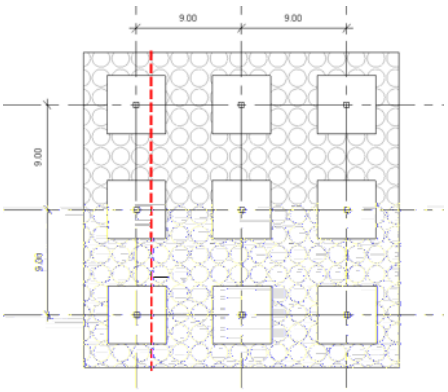
ตารางที่ 1 Shear reduction factor สำหรับแต่ละความหนาของพื้น [4]

ความหนาของพื้น (มิลลิเมตร)	ความสูงของบอลพลาสติกกลวง (มิลลิเมตร)	Shear reduction factor
200	100	0.50
225	120	0.50
250	140	0.50
275	160	0.50
300	180	0.50
325	200	0.50
350	220	0.50
400	270	0.55
450	315	0.55
500	360	0.55
550	405	0.55
600	450	0.55

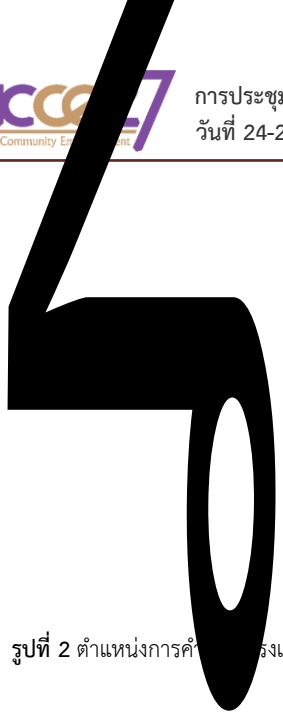
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบพื้น

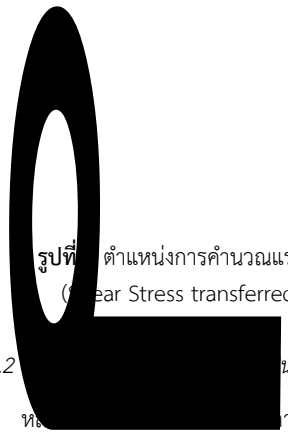
เพื่อเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของความยาวช่วงเสาเมื่อเทียบกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คาน จึงกำหนดขนาดของพื้นที่ใช้ในการศึกษาให้มีขนาดต่างกัน ได้แก่ 6 เมตร x 6 เมตร, 7.5 เมตร x 7.5 เมตร, 9 เมตร x 9 เมตร, 10.5 เมตร x 10.5 เมตร และ 12 เมตร x 12 เมตร ซึ่งเป็นขนาดของพื้นสำหรับอาคารพาณิชย์ที่ส่วนใหญ่ใช้ระบบพื้น Flat Slab ในการคำนวณเลือกใช้น้ำหนักบรรทุกจรตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร [5] สำหรับอาคารประเภทอาคารสรรพสินค้าเท่ากับ 400 กิโลกรัมต่อตารางเมตร น้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติม เท่ากับ 100 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ใช้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเท่ากับ 32 เมกะปาสคาล และกำลังรับแรงดึงที่จุดครากเท่ากับ 390 เมกะปาสคาล ในการออกแบบพื้นทั้ง 2 ระบบ พิจารณาทั้งกำลังต้านทานแรงดัดและกำลังต้านทานแรงเฉือน โดยความสามารถในการรับแรงเฉือนได้แก่ แรงเฉือนแบบทางเดียว (One-way Shear), แรงเฉือนทะลุ (Punching Shear) และแรงเฉือนที่เกิดจากโมเมนต์ดัดไม่สมดุล (Unbalanced Moment) เป็นต้น ซึ่งแต่ละประเภทมีการพิจารณากำลังที่หน้าตัดวิกฤติแตกต่างกัน ดังรูปที่ 1, 2 และ 3



รูปที่ 1 ตำแหน่งการคำนวณแรงเฉือนทางเดียว (One-way Shear)



รูปที่ 2 ตำแหน่งการคำ งเฉือนสองทาง (Two-way Shear)

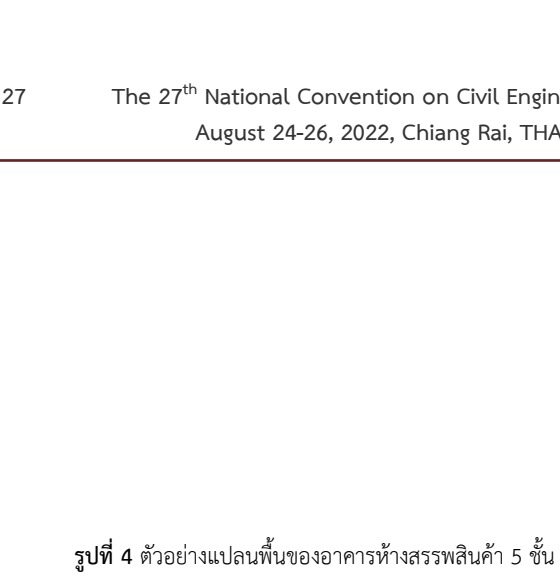


รูปที่ ตำแหน่งการคำนวณแรงเฉือนจากผลของโมเมนต์ที่ไม่สมดุล
(ear Stress transferred by Unbalanced Moment)

3.2 นค้า 5 ชั้น

าพของพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงที่ขนาดความยาวต่างๆ จึงทำการออกแบบอาคารห้างสรรพสินค้า 5 ชั้น โดยเลือกใช้ขนาดความกว้างและความยาวของพื้นจากเสาถึงเสาเท่ากับ 9 เมตร ดังรูปที่ 4 และ 5 โดยในการออกแบบอาคารห้างสรรพสินค้าข้างต้นจะเลือกใช้ระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง และนำมาเปรียบเทียบกับระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ โดยมีการกำหนดน้ำหนักบรรทุกต่างๆ รวมถึงคุณสมบัติของวัสดุดังนี้ น้ำหนักบรรทุกจรอ้างอิงตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคารของพื้นหลังคาคอนกรีตเท่ากับ 100 กิโลกรัมต่อตารางเมตร น้ำหนักบรรทุกจรของอาคารห้างสรรพสินค้าเท่ากับ 400 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และมีน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติมเท่ากับ 100 กิโลกรัมต่อตารางเมตร กำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 35 เมกะปาสคาล และกำลังรับแรงดึงที่จุดคราก เท่ากับ 390 เมกะปาสคาล

จากนั้นทำการออกแบบเสาและเลือกชนิดของเสาเข็มเป็นลำดับถัดไป โดยตำแหน่งที่พิจารณาในการออกแบบ คือ เสาและเสาเข็มต้นกลางที่มีการรับน้ำหนักบรรทุกจากแผ่นพื้นทั้ง 4 ด้าน เนื่องจากเป็นน้ำหนักที่มากที่สุด ซึ่งในการพิจารณาการเลือกขนาดเสาเข็ม ได้เลือกใช้เสาเข็มสปันหรือเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงโดยใช้แรงเหวี่ยง (Prestressed Spun Concrete Piles) ซึ่งใช้งานอย่างแพร่หลายในการก่อสร้าง โดยเสาเข็มสปันที่เลือกใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.6 เมตร ความยาวสูงสุด 19 เมตร ความหนา 0.1 เมตร การรับน้ำหนักปลอดภัย (Recommend Safe Load) 100 ตัน [6]



รูปที่ 4 ตัวอย่างแปลนพื้นของอาคารห้างสรรพสินค้า 5 ชั้น

รูปที่ 5 แปลนอาคารห้างสรรพสินค้า 5 ชั้น แบบ 2D

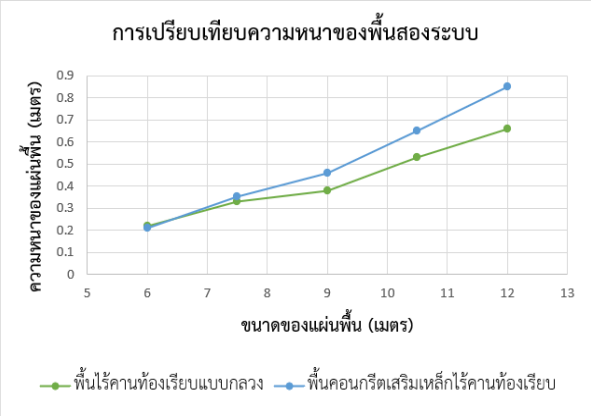
4. วิเคราะห์ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการออกแบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ

จากผลการออกแบบแผ่นพื้นระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ เปรียบเทียบได้ดังตารางที่ และ 2จากรูปที่ 6แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและขนาดของแผ่นพื้นระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ พบว่าที่ความหนาของพื้นที่มีขนาดความยาวช่วง 6 เมตร และ 7.5 เมตร ความหนาของพื้นระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงมีขนาดใกล้เคียงกับพื้นระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ แต่เมื่อขนาดความยาวช่วงของพื้นเพิ่มขึ้นจนถึง 9 เมตร, 10.5 เมตร และ 12 เมตร ความหนาของพื้นระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงจะค่อย ๆ ลดลง จนกระทั่งน้อยกว่าพื้นระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ จึงวิเคราะห์ได้ว่าที่พื้นที่มีขนาดเล็กความหนาของพื้นระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงมีความหนาที่มากกว่าระ พื้นน้ำหนักบผ สกห รห เ

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความหนาของแผ่นพื้นขนาดต่างๆ

ขนาดของแผ่นพื้น (เมตร x เมตร)	ความหนาของแผ่นพื้น (เมตร)	
	พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง (Flat Voided Slab)	พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ (RC Flat Slab)
6 x 6	0.22	0.21
7.5 x 7.5	0.33	0.35
9 x 9	0.38	0.46
10.5 x 10.5	0.53	0.65
12 x 12	0.66	0.85

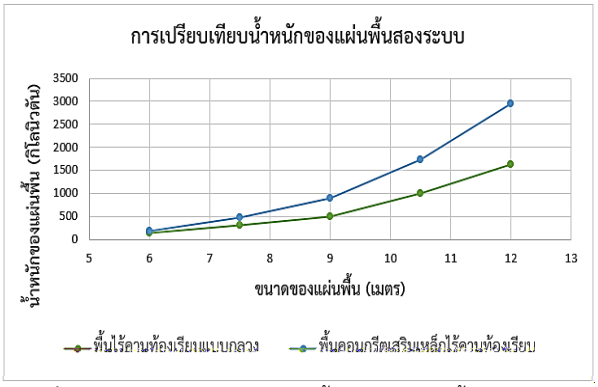


รูปที่ 6 กราฟการเปรียบเทียบความหนาของแผ่นพื้นขนาดต่างๆ

ต่อมาจากการเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกคงที่ของแผ่นพื้นระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบที่ขนาดต่างๆ สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 3 และ จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับขนาดของแผ่นพื้นระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ โดยน้ำหนักของแผ่นพื้นระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงจะน้อยกว่าน้ำหนักของแผ่นพื้นระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบในทุกขนาดของแผ่นพื้นที่ทำการออกแบบ เนื่องจากแผ่นพื้นระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงมีการใช้บอลพลาสติกในการช่วยลดการใช้คอนกรีตทำให้มีน้ำหนักลดลง ส่งผลให้มีน้ำหนักเบากว่าแผ่นพื้นระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ โดยยิ่งมีความยาวช่วงของแผ่นพื้นมากน้ำหนักของแผ่นพื้นระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง ยิ่งลดน้อยลงมากกว่าแผ่นพื้นระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบน้ำหนักของแผ่นพื้นขนาดต่างๆ

ขนาดของแผ่นพื้น (เมตร x เมตร)	น้ำหนักของแผ่นพื้น (กิโลนิวตัน)	
	พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง (Flat Voided Slab)	พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ (RC Flat Slab)
6 x 6	144	181
7.5 x 7.5	303	473
9 x 9	495	894
10.5 x 10.5	996	1,720
12 x 12	1,619	2,938



รูปที่ 7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักของแผ่นพื้นขนาดต่าง ๆ

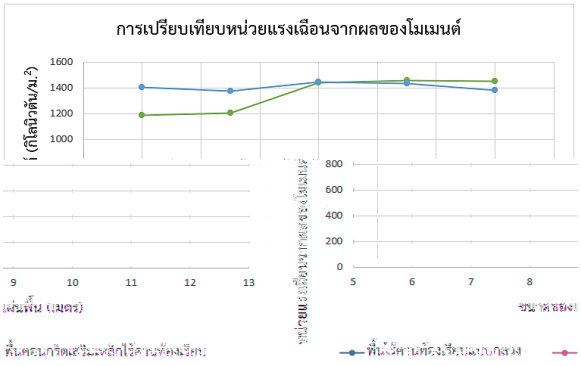
สุดท้ายเป็นการแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่ลดลงของแผ่นพื้นทั้ง 2 ระบบที่ขนาดต่างๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักบรรทุกคงที่ ดังตารางที่ 4 และจากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักบรรทุกคงที่กับขนาดของพื้นที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักจะลดลงมากขึ้นตามขนาดของพื้นที่เพิ่มขึ้นในช่วงความยาวพื้นกว้าง 6 เมตร ถึง 9 เมตร เป็นผลมาจากการแทนที่ปริมาณคอนกรีตด้วยบอลพลาสติก แต่กรณีช่วงความยาวพื้นมากกว่า เมตร 9 ค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่ลดลงจะเริ่มคงที่ดังตัวเลขแสดงเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่ลดลงในตารางที่ 3 เป็นผลมาจากเมื่อแผ่นพื้นมีขนาดใหญ่มากขึ้น พบว่าปัจจัยในการออกแบบแผ่นพื้นจะขึ้นอยู่กับกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดจากผลของโมเมนต์ที่ไม่สมดุล เนื่องจากพื้นต้องใช้ความหนาให้มากพอในการต้านทานผลจากแรงเฉือนจากโมเมนต์ดัดที่ไม่สมดุลนี้ดังแสดงในรูปที่ 9

ตารางที่ 4 ค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักบรรทุกคงที่ของแผ่นพื้น

ขนาดของแผ่นพื้น (เมตร x เมตร)	น้ำหนักของแผ่นพื้น (กิโลนิวตัน)		เปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักบรรทุกคงที่
	พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง (Flat Voided Slab)	พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ (RC Flat Slab)	
6 x 6	144	181	-20%
7.5 x 7.5	303	473	-36%
9 x 9	495	894	-45%
10.5 x 10.5	996	1720	-42%
12 x 12	1619	2938	-45%



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักบรรทุกคงที่ของแผ่นพื้นขนาดต่าง ๆ



รูปที่ 9 กราฟการเปรียบเทียบหน่วยแรงเฉือนจากผลของโมเมนต์ไม่สมดุล

4.2 ผลการออกแบบอาคารห้างสรรพสินค้า 5 ชั้น

จากการออกแบบอาคารห้างสรรพสินค้า 5 ชั้น โดยใช้ระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ จะได้ภาพรวมของการออกแบบของทั้งสองระบบ เช่น ความหนาของพื้น, ขนาดของเสา, น้ำหนักที่ถ่ายลงเสา, น้ำหนักที่ถ่ายลงเสาเข็ม และจำนวนเสาเข็มสปัน ซึ่งเสาเข็มสปันที่เลือกใช้คือเสาเข็มสปันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.6 เมตร ความยาวสูงสุด 19 เมตร ความหนา 0.1 เมตร การรับน้ำหนักปลอดภัย (Recommend Safe Load) 100 ตัน โดยผลการออกแบบที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบและแสดงดังตารางที่ 5

จากตารางที่ 5 แสดงถึงการเปรียบเทียบผลการออกแบบอาคารห้างสรรพสินค้า 5 ชั้น โดยใช้พื้น 2 ระบบแตกต่างกัน จะเห็นว่าอาคารที่เลือกใช้ระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงสามารถลดขนาดของโครงสร้างรับน้ำหนักอื่นได้อย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าขนาดของความหนาพื้นใกล้เคียงกับอาคารที่เลือกใช้ระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ โดยขนาดเสาของอาคารที่เลือกใช้ระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงมีขนาด 0.55 เมตร x 0.55 เมตร ในขณะที่ขนาดเสาของอาคารที่เลือกใช้ระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบมีขนาด 0.60 เมตร x 0.60 เมตร

น้ำหนักของโครงสร้างที่ถ่ายลงเสาสำหรับอาคารที่เลือกใช้พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงเท่ากับ 636 ตัน ในขณะที่อาคารที่เลือกใช้พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบเท่ากับ 750 ตัน ดังตารางที่ 6 ซึ่งแสดงการรวมน้ำหนักในแต่ละชั้นลงเสาชั้นที่ 1 ส่วนในการพิจารณาน้ำหนักขององค์อาคารที่ถ่ายจากเสาลงเสาเข็มของอาคารนั้น จะทำการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรโดยไม่มีการคิดผลของตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (Load factor) พบว่าในอาคารที่เลือกใช้พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงมีค่าน้ำหนักบรรทุกลงเสาเข็ม เท่ากับ 586 ตัน ในขณะที่อาคารที่เลือกใช้พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบมีค่าเท่ากับ 701 ตัน ดังตารางที่ 7 และสุดท้ายคือจำนวนเสาเข็มสปันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.6 เมตร ของอาคารที่เลือกใช้พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงเท่ากับ 6 ต้น ในขณะที่อาคารที่เลือกใช้พื้นคอนกรีตเสริม เหล็กไร้คานท้องเรียบใช้ 8 ต้น ซึ่งจากผลข้างต้นนั้นจะเห็นได้ว่าอาคารที่เลือกใช้พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงสามารถทำให้ขนาดของโครงสร้างรับน้ำหนักลดลงได้แม้ว่าขนาดของความหนาพื้นจะใกล้เคียงกันก็ตาม อีกทั้งยังสามารถลดจำนวนเสาเข็มที่ต้องใช้รับน้ำหนักได้อีกด้วย นอกจากนี้เมื่อมีทำการเปรียบเทียบน้ำหนักโครงสร้างที่ถ่ายลงฐานรากในแต่ละจุดพบว่า อาคารที่ใช้ระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงสามารถลดน้ำหนักลงได้คิดเป็น 16 เปอร์เซ็นต์ของโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมไร้คานท้องเรียบซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของการใช้ระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงในโครงสร้างประเภทพื้นไร้คาน

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบผลการออกแบบอาคารห้างสรรพสินค้า 5 ชั้น

รายละเอียด	หน่วย	ระบบพื้น	
		พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง (Flat Voided Slab)	พื้นคอนกรีต เสริมเหล็ก ไร้คานท้องเรียบ (RC Flat Slab)
ความหนาพื้น	เมตร	0.39	0.40
ขนาดเสา	เมตร^2	0.55 x 0.55	0.60 x 0.60
น้ำหนักลงเสา	ตัน	636	750
น้ำหนักลงเสาเข็ม	ตัน	586	701
จำนวนเสาเข็มสปัน Ø = 0.6 เมตร	ต้น	6	8

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบน้ำหนักประลัยขององค์อาคารที่ถ่ายลงเสาในแต่ละชั้นระหว่างระบบพื้นพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ

ประเภท	น้ำหนักประลัยขององค์อาคาร (ตัน)					
	พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง (Flat Voided Slab)			พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ (RC Flat Slab)		
	พื้น	เสา	รวม	พื้น	เสา	รวม
หลังคา	93	0	93	116	0	116
4	132	3	136	155	4	159
3	132	3	136	155	4	159
2	132	3	136	155	4	159
1	132	3	136	155	4	159
G	0	0	0	0	0	0
น้ำหนักสำหรับการออกแบบเสาชั้น 1 (P_u)	636			750		

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบน้ำหนักประลัยขององค์อาคารที่ถ่ายลงฐานรากระหว่างระบบพื้นพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ

ประเภท	น้ำหนักประลัยขององค์อาคาร (ตัน)					
	พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง			พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ		
	พื้น	เสา	รวม	พื้น	เสา	รวม
หลังคา	75	0	75	94	0	94
4	100	3	102	118	3	121
3	100	3	102	118	3	121
2	100	3	102	118	3	121
1	100	3	102	118	3	121
G	100	3	102	118	3	121
น้ำหนักสำหรับ 1 เสาเข็ม (P_u)	586			701		
จำนวนเสาเข็มสปัน Ø = 0.6 เมตร	6			8		

5. การสรุปผล

จากการออกแบบแผ่นพื้นและออกแบบอาคารห้างสรรพสินค้า 5 ชั้น ของพื้นทั้ง 2 ระบบ ได้แก่ ระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1 ประสิทธิภาพของระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของความยาวช่วงเสาตั้งแต่ 6 เมตร ถึง 12 เมตร

5.1.1 ความหนาของแผ่นพื้น

จะเห็นได้ว่าความหนาของพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบมีขนาดใกล้เคียงกันมากเมื่อพื้นมีขนาด 6 เมตร และ 7.5 เมตร แต่เมื่อขนาดพื้นเพิ่มขึ้นจนถึง 9 เมตร, 10.5 เมตร และ 12 เมตร จะเห็นว่าความหนาของของแผ่นพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ

5.1.2 น้ำหนักของแผ่นพื้น

การออกแบบโดยใช้พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงพบว่ามีน้ำหนักบรรทุกคงที่น้อยกว่าน้ำหนักแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบในทุกขนาดของแผ่นพื้น เป็นผลมาจากการที่แผ่นพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงมีการนำบอลพลาสติกเข้ามาแทนที่ปริมาณคอนกรีต โดยยิ่งมีความยาวช่วงของแผ่นพื้นมากน้ำหนักของแผ่นพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงยิ่งลดน้อยลงมากกว่าแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบอย่างมีนัยสำคัญ

5.1.3 เปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักบรรทุกคงที่

จากความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักบรรทุกคงที่กับขนาดของแผ่นพื้นที่มีขนาดแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงเมื่อเทียบกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบจะลดลงมากขึ้นตามขนาดความยาวช่วงของแผ่นพื้นที่เพิ่มขึ้นในช่วงความยาวพื้นกว้าง 6 เมตร ถึง 9 เมตร โดยมีค่าอยู่ที่ 20 – 45 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลมาจากการแทนที่ปริมาณคอนกรีตด้วยบอลพลาสติก แต่กรณีความยาวช่วงของพื้นมากกว่า 9 เมตร ค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงจะมีแนวโน้มที่จะลดลง เนื่องจากเมื่อแผ่นพื้นมีขนาดใหญ่มากขึ้น จะพบว่าปัจจัยในการออกแบบแผ่นพื้นจะขึ้นอยู่กับกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดจากผลของโมเมนต์ดัดที่ไม่สมดุล เนื่องจากพื้นต้องใช้ความหนาให้มากพอในการต้านทานผลจากแรงเฉือนจากโมเมนต์ดัดที่ไม่สมดุลนี้

5.2 สรุปผลการศึกษาผลของการใช้พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงในองค์อาคารจริง

จากการออกแบบเปรียบเทียบองค์อาคาร 5 ชั้นที่มีความยาวช่วงเสา 9 เมตร โดยใช้ระบบพื้นไร้คานท้องเรียบทั้ง 2 ระบบ พบว่ามีความหนาของพื้นใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต่างกันคือน้ำหนักโดยรวมของอาคารที่ใช้พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงน้อยกว่า ส่งผลต่อการลดขนาดของเสาและลดจำนวนเสาเข็ม โดยทำให้น้ำหนักของโครงสร้างที่ถ่ายลงเสาเข็มลดลงได้ 16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับองค์อาคารพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ

6. การอ้างอิง

[1] Hunter Wheeler. (2018). *Flat Plate Voided Slabs: A Lightweight Concrete Floor System Alternative*. Master's thesis. Kansas State University. United States of America., pp.7-11

[2] ACI (American Concrete Institute). (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary ACI 318-14*, Farmington Hills.

[3] CRSI (Concrete Reinforcing Steel Institute). (2014). *Design Guide for Voided Concrete Slabs.* Schaumburg.

[4] Cobiax Technologies AG. (2010). *Cobiax Engineering Manual Issue 2010*. Switzerland., pp.3

[5] สนอง แก่นแก้ว. (2562). *พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พระราชบัญญัติควบคุมอาคารชุด พ.ศ.2522 พร้อมคำพิพากษาฎีกา*. ร้านหนังสือ "ปณรัชช".

[6] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2563). เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงแบบแรง (Prestressed Concrete Spun Piles). *สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม*.