ประสิทธิภาพของระบบพื้นพลาสติกกลวงในโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงสองทางแบบมีคานรองรับ

The Performance of Voided Slab System in Two-way RC Slab Structure

เจตนิพัทธ์ พรชยานนท์[1] นักษา กาญจนคีรีรัตน์[2] เอื้ออังกูร พุทธัง[3] ธัชวีร์ ลีละวัฒน์[4] พรเพ็ญ ลิมปนิลชาติ[5,*]

[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จ.นครปฐม
[4,5] ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จ.นครปฐม
**Corresponding author; E-mail address: pornpen.lim@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

การลดน้ำหนักของโครงสร้างอาคารถือเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่ช่วยลดต้นทุนการก่อสร้าง ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีมากมายเพื่อตอบโจทย์การลดน้ำหนักของโครงสร้าง หนึ่งในนั้นคือระบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวง ซึ่งเมื่อถูกนำไปใช้งานในโครงสร้างอาคาร จะส่งผลให้สามารถลดขนาดส่วนประกอบโครงสร้างให้มีขนาดที่เล็กลง เช่น เสา คาน รวมถึงความสามารถในการลดจำนวนเสาและเสาเข็มได้อีกด้วย ทำให้มีพื้นที่ที่สามารถใช้งานได้เพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปแผ่นพื้นพลาสติกกลวงถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีการใช้งานร่วมกับระบบแผ่นพื้นไร้คาน แต่อย่างไรก็ตามระบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวงที่ใช้งานร่วมกับระบบพื้นแบบมีคานรับสองทางยังไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควร ในการศึกษานี้จึงได้มุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นพลาสติกกลวงแบบมีคานรองรับสองทิศทาง เมื่อเทียบกับโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั่วไป โดยขั้นตอนการศึกษาแบ่งเป็นการเปรียบเทียบ ความหนา น้ำหนักบรรทุกคงที่ อัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ลดลงของแผ่นพื้น ที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดตั้งแต่ 4 ถึง 10 เมตร โดยจากการศึกษาพบว่าแผ่นพลาสติกกลวงเริ่มมีประสิทธิภาพต่อการลดน้ำหนักโครงสร้างเมื่อมีขนาด 7.5 เมตร เป็นต้นไป จากนั้นทำการออกแบบโครงสร้างอาคาร 3 ชั้น ขนาด 6 × 8 เมตร ที่มีการใช้งานแผ่นพื้นทั้ง 2 ระบบ พบว่าการใช้แผ่นพลาสติกกลวง มีประสิทธิภาพช่วยลดน้ำหนักโครงสร้างได้บางส่วน ส่งผลต่อการน้ำหนักโครงสร้างที่ถ่ายลงฐานรากได้ 6 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่ออกแบบด้วยแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

คำสำคัญ: ระบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวง, ระบบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีคานรองรับสองทิศทาง, ความยาวช่วงเสา, น้ำหนักบรรทุกโครงสร้าง, ความหนาแผ่นพื้น

Abstract

Weight reduction of RC slabs is the key factor affected the cost optimization of project. Several technologies have been developed for Decades to deal with this achievement. Voided RC slab system is one of those solutions by replacing the plastic voided shape instead of concrete. The structural dead load can be reduced, while the sufficient capacity can be remained. Void slab system is typically used with the flat slab system aboard, but rarely utilized in the system of Two-way RC slab supported with beams. Therefore, the objective of this study is to investigate the performance of Voided slabs compared to Normal RC slabs under Two-way slab analysis supported with beams in structural building. There are two parts in this study. First, the various slab sizes of Voided and Normal RC slabs (from 4 to 10 m) were compared in thickness, dead load, and the reduction percentage of their self-weight. The results show that the benefit of utilized Voided slab was observed from slab size of 7.5 m onwards. Consequently, the efficiency of Voided slab system was extended into the practical design of the 3rd floor building with dimension of 6x8 m compared to conventional Two-way RC slab design. The investigation found that to use Void slab system in this design system was not significantly shown in slab thickness and other corresponding structural elements. However, the structural dead load was reduced and affected the lower distributed load on the foundation up to 6 percent compared to Normal RC slab building.

Keywords: Plastic Voided Slab, Two-way Reinforced Concrete Slab with Beams, Span length, Structural weight, Slab thickness

1. บทนำ

การรับแรงและน้ำหนักของอาคารมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง จึงต้องมีการคำนวณส่วนประกอบต่างๆภายในอาคารและออกแบบให้มีความเหมาะสมต่อการรับแรงของโครงสร้างส่วนต่างๆ เพื่อควบคุมคุณภาพและราคาของการก่อสร้าง รวมทั้งความปลอดภัยของ

ผู้ใช้งาน การลดน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่ง ที่ช่วยลดต้นทุนการก่อสร้าง ซึ่งในปัจจุบันมีเทคโนโลยีต่างๆ ที่ช่วยให้อาคารมีน้ำหนักโครงสร้างที่เบาขึ้น เป็นผลทำให้สามารถลดขนาดของชิ้นส่วนประกอบโครงสร้างให้มีขนาดที่เล็กลง เช่น เสา หรือคาน และยังสามารถลดจำนวนของเสา ทำให้มีพื้นที่ที่สามารถใช้งานได้เพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้มากขึ้น เช่น การเสริมเหล็กและคอนกรีต รวมไปถึงค่าใช้จ่ายสำหรับการขนส่งอุปกรณ์ต่างๆ

ระบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวง (Plastic Voided Slab System) เป็นระบบแผ่นพื้นที่มีการนำลูกบอลพลาสติกกลวงมาวางอยู่ตรงกลางของแผ่นพื้นทดแทนตำแหน่งของคอนกรีตส่วนตรงกลาง โดยลูกบอลพลาสติกดังกล่าวถูกผลิตขึ้นโดยการใช้พลาสติกจากขยะรีไซเคิล ทำให้ช่วยลดปัญหาของภาวะโลกร้อน ซึ่งระบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวง ถือเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญที่ช่วยในการลดน้ำหนักโครงสร้างได้เป็นอย่างมาก

จากที่กล่าวมาในงานก่อสร้างทั่วไประบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวง มีการใช้งานร่วมกับระบบแผ่นพื้นไร้คาน (Flat Slab) อย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ในลักษณะของอาคารพาณิชย์ แต่อย่างไรก็ตามการใช้งานของระบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวงในระบบพื้นแบบมีคานรับสองทางยังไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควร ในการศึกษานี้จึงเลือกศึกษาเทคโนโลยีระบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวง (Plastic Voided Slab System) มาใช้เป็นส่วนสำคัญในการออกแบบพื้นโครงสร้างของอาคารในระบบมีคานรองรับแบบสองทิศทาง (Two-way Slab with beams) โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ ได้แก่ ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นพื้นพลาสติกกลวงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีคานรองรับสองทิศทาง เมื่อแผ่นพื้นมีขนาดตั้งแต่ 4×4 เมตร จนถึง 10×10 เมตร รวมทั้งศึกษาผลกระทบของการนำแผ่นพื้นพลาสติกลวงมาใช้ในโครงสร้างอาคาร เมื่อเทียบกับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมทั้งเปรียบเทียบคุณสมบัติที่ส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนโครงสร้างอื่นๆ เช่น คาน เสา และเสาเข็ม ที่ทำการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 6×8 เมตร จำนวน 3 ชั้น

2. หลักการออกแบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวง

ในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป [1] และมีพลาสติกกลวงมีการออกแบบอ้างอิงตามมาตรฐาน ACI 318-14 [2] โดยขั้นตอนในการออกแบบเริ่มจากการพิจารณาการเลือกความหนา และขนาดของลูกบอลพลาสติกที่เหมาะสม โดยมีการเลือกตามข้อแนะนำการออกแบบพื้นพลาสติกกลวง [3] ดังนี้

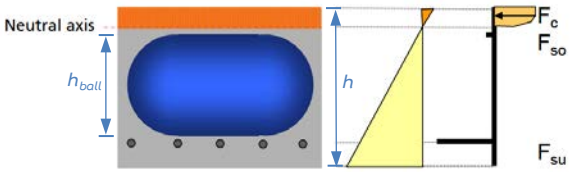
ความหนาขั้นต่ำของพื้น (h_{min}) เป็นการกำหนดความหนาขั้นต่ำพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงสองทางที่ทำการออกแบบ ซึ่งสามารถหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$h_{min} = \frac{\text{เส้นรอบรูปแผ่นพื้น (เมตร)}}{165} \qquad (1)$$

จากนั้นนำความหนาของพื้นขั้นต่ำที่ได้มาทำการเลือกขนาดของลูกบอลพลาสติก ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าความหนาของพื้นที่เลือกใช้และความหนาของพื้นเทียบเท่าโดยคำนวณมาจากค่าเปอร์เซ็นต์ที่ลดการใช้คอนกรีต (Concrete Saving, *%CS*) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากบริษัทผู้ผลิตดัง**ตารางที่ 1** โดยค่าที่ทำการเลือกใช้ควรน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับค่าความหนาขั้นต่ำ ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณ แสดงได้ดังนี้

$$(h)(1\text{-}\%CS) \leq h_{min} \qquad (2)$$

ในการออกแบบกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นพลาสติกกลวง ตามข้อแนะนำการออกแบบ [4] ระบุว่าควรออกแบบให้ความลึกของแกนสะเทิน (Neutral axis depth, *c*) มีค่าน้อยกว่า 1.5 นิ้ว หรือ 3.8 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะของผิวคอนกรีตเหนือลูกบอลพลาสติก เพื่อป้องกันการเกิดการแตกร้าวบริเวณลูกบอลพลาสติก ดัง**รูปที่** 1



รูปที่ 1 ความลึกของแกนสะเทิน [6]

ตารางที่ 1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์แผ่นพื้นพลาสติกกลวง [5]

ความหนาของแผ่นพื้นที่เลือกใช้ (h) (เมตร)	เปอร์เซ็นต์ที่ลดการใช้คอนกรีต (%CS)	ความสูงของชนิดลูกบอลพลาสติก (h_{ball}) (มิลลิเมตร)	ความหนาแผ่นพื้นเทียบเท่า (h_{min}) (เมตร)
0.22	24	100	0.17
0.23	23	100	0.18
0.24	27	120	0.18
0.25	26	120	0.19
0.26	29	140	0.18
0.27	28	140	0.19
0.28	31	160	0.19
0.29	30	160	0.20
0.30	32	180	0.20
0.31	31	180	0.21
0.32	33	200	0.21
0.33	32	200	0.22
0.34	31	200	0.23
0.35	33	220	0.23
0.36	32	220	0.24
0.37	31	220	0.26
0.38	33	240	0.25
0.39	32	240	0.27

0.40	34	260	0.26
0.41	33	260	0.27
0.42	32	260	0.29
0.43	31	260	0.30
0.44	31	260	0.30
0.45	30	315	0.32

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษางานวิจัย สามารถแบ่งการศึกษางานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.1 การออกแบบและเปรียบเทียบพื้น 2 ระบบที่มีขนาดแตกต่างกัน

การออกแบบแผ่นพื้นงานวิจัยในครั้งนี้ เป็นการออกแบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ในระบบแผ่นพื้นที่มีคานรองรับแบบสองทิศทาง ที่มีขนาดแผ่นพื้นทั้งหมด 10 ขนาด ดัง**ตารางที่ 5** เพื่อนำผ ลลัพธ์ ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำหนักบรรทุกคงที่ ความหนาของแผ่นพื้น และอัตราการลดลงของน้ำหนักบรรทุกคงที่ ระหว่างแผ่นพื้นพลาสติกกลวงเทียบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก มาทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์

โครงสร้าง	กำลังอัดคอนกรีต (เมกะปาสคาล)	กำลังรับแรงดึงที่จุดคราก (เมกะปาสคาล)
หลังคาและพื้น	30	390
คานและเสา	28	390

โดยข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ ประกอบไปด้วยกำลังรับแรงดึงที่จุดคราก (f_y) เท่ากับ 390 เมกะปาสคาล กำลังอัดคอนกรีต (f'_c) เท่ากับ 30 เมกะปาสคาล และใช้น้ำหนักบรรทุกจรอ้างอิงตามมาตรฐานของข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร (2522) [7] แสดง**ดังตารางที่ 2** ตามลำดับ

ตารางที่ 2 มาตรฐานของน้ำหนักบรรทุกจร [7]

โครงสร้าง	น้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน (กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร)
หลังคา	50
กันสาด หรือ หลังคาคอนกรีต	100
ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
อาคารชุด หอพัก โรงแรม	200
สำนักงาน ธนาคาร	250
อาคารพาณิชย์มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน ห้องโถง บันได ทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม	300

3.2 การออกแบบและเปรียบเทียบอาคารพาณิชย์สำนักงาน เมื่อมีการใช้พื้นทั้ง 2 ระบบ

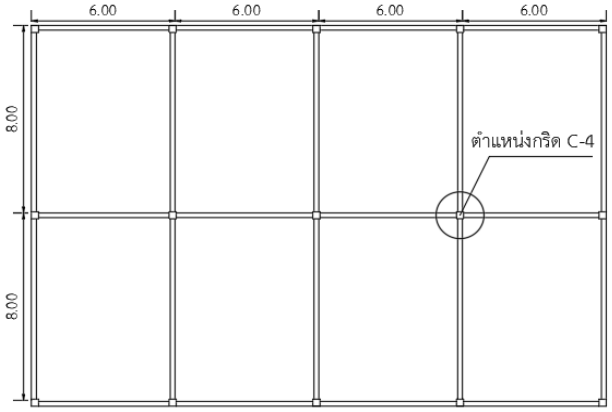
แบบอาคารพาณิชย์สำนักงานที่ใช้ในการออกแบบ เป็นอาคารพาณิชย์สำนักงาน 3 ชั้น โดยสมมติให้แผ่นพื้นของอาคารในแต่ละช่วงมีขนาด 6 x 8 เมตร ความสูงของเสาในองค์อาคารของพื้นทั้ง 2 ระบบมีความยาวเท่ากันทั้งสองอาคาร และกำหนดให้แผ่นพื้นชั้นที่ 4 เป็นเสมือนหลังคาของอาคาร

การออกแบบอาคารจะพิจารณาถึงการวิเคราะห์โครงสร้างเป็นแบบแผ่นพื้นที่มีการถ่ายแรงสองทิศทางที่มีการถ่ายน้ำหนักลงคานทั้ง 4 ด้านที่ถ่ายน้ำหนักลงสู่เสา รวมทั้งเสาเข็มตามลำดับ ซึ่งการออกแบบจะพิจารณาเพียงน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจรเท่านั้น โดยค่าน้ำหนักบรรทุกจรของหลังคาและแผ่นพื้นจะแสดงดัง**ตารางที่ 3** นอกจากนั้นยังมีการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ เพื่อใช้ในการออกแบบองค์อาคาร ประกอบด้วย หลังคาและพื้น รวมถึงคานและเสา ซึ่งจะแสดงดัง**ตารางที่ 4** ซึ่งการออกแบบเสาเลือกใช้เสาที่ตำแหน่ง C-4 ดัง**รูปที่ 2** เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่รับน้ำหนักบรรทุกมากที่สุด รวมไปถึงเป็นตำแหน่งที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม

ตารางที่ 3 น้ำหนักบรรทุกจรของหลังคาและแผ่นพื้นที่ใช้ในการออกแบบ

น้ำหนักบรรทุกจรของหลังคา (กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร)	น้ำหนักบรรทุกจรของแผ่นพื้น (กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร)
50	300

ตารางที่ 4 กำลังอัดคอนกรีต กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของหลังคาและพื้น



รูปที่ 2 แปลนโครงสร้างอาคารพาณิชย์สำนักงาน

4. วิเคราะห์ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการออกแบบและเปรียบเทียบระบบแผ่นพื้น

ผลการออกแบบแผ่นพื้นระบบต่างๆ แสดงใน**ตารางที่ 5** และ **ตารางที่ 6** ซึ่งเป็นตารางที่รวบรวมผลการออกแบบของแผ่นพื้นพลาสติกกลวงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นพื้นตั้งแต่ 4 เมตร ถึง 10 เมตร การวิเคราะห์ผลงานวิจัย เป็นการนำผลลัพธ์ได้จากการออกแบบแผ่นพื้น มาทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ โดยแบ่งตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

4.1.1. ความหนาของแผ่นพื้น

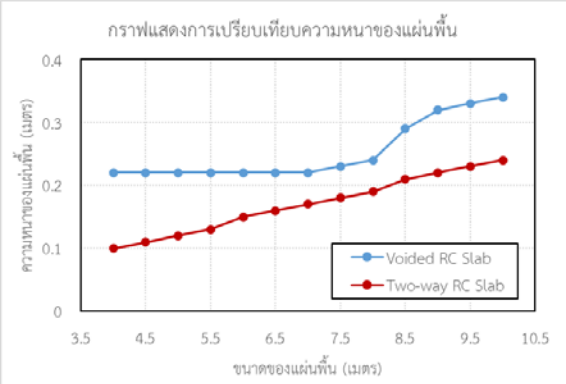
จากการวิเคราะห์ดัง**รูปที่ 3** พบว่า ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีขนาดที่เล็กกว่าความหนาของแผ่นพื้นพลาสติกกลวง ในทุกๆขนาดของแผ่นพื้นที่ทำการออกแบบ เนื่องจากเป็นการออกแบบโครงสร้างพื้นแบบรับน้ำหนักสองทิศทางที่มีคานรองรับ ดังนั้นในการออกแบบจึงพิจารณากำลังรับแรงดัดเป็นหลัก โดยไม่ได้ทำการพิจารณาถึงกำลังรับแรงเฉือนแบบโครงสร้างที่ใช้ระบบแผ่นพื้นไร้คาน เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแล้วความหนาของแผ่นพื้นพลาสติกกลวง ในระบบดังกล่าวมีค่ามากกว่าแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เนื่องจากมีขนาดของลูกบอลพลาสติกกลวงเป็นหนึ่งในปัจจัยที่กำหนดความหนาของแผ่นพื้น

ตารางที่ 5 ตารางสรุปผลการออกแบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวง

ขนาดของแผ่นพื้น (เมตร×เมตร)	ความหนาแผ่นพื้น (เมตร)	น้ำหนักบรรทุกคงที่ (กิโลนิวตัน)	ความสูงของลูกบอลพลาสติกที่ใช้ (มิลลิเมตร)
4×4	0.22	64	100
4.5×4.5	0.22	81	100
5×5	0.22	100	100
5.5×5.5	0.22	121	100
6×6	0.22	144	100
6.5×6.5	0.22	170	100
7×7	0.22	197	100
7.5×7.5	0.23	239	100
8×8	0.24	269	120
8.5×8.5	0.29	352	160
9×9	0.32	417	200
9.5×9.5	0.33	486	200
10×10	0.34	563	200

ตารางที่ 6 ตารางสรุปผลการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

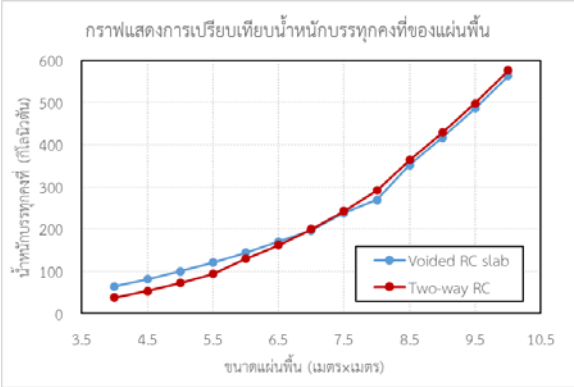
ขนาดของแผ่นพื้น (เมตร×เมตร)	ความหนาแผ่นพื้น (เมตร)	น้ำหนักบรรทุกคงที่ (กิโลนิวตัน)
4×4	0.10	38
4.5×4.5	0.11	53
5×5	0.12	72
5.5×5.5	0.13	94
6×6	0.15	130
6.5×6.5	0.16	162
7×7	0.17	200
7.5×7.5	0.18	243
8×8	0.19	292
8.5×8.5	0.21	364
9×9	0.22	428
9.5×9.5	0.23	498
10×10	0.24	576



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบความหนาของแผ่นพื้น

4.1.2. น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

จากผลการเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้นทั้ง 2 ระบบ พบว่ามีน้ำหนักบรรทุกคงที่ของทั้ง 2 ระบบ ไม่ค่อยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญดัง**รูปที่ 4** แต่อย่างไรก็ตามหากสังเกตโดยละเอียดพบว่าช่วงแผ่นพื้นมีขนาด 4 เมตร ถึง 7 เมตร แผ่นพื้นพลาสติกกลวงมีน้ำหนักบรรทุกคงที่มากกว่า เนื่องจากความหนาของพื้นที่มีขนาดเล็กในแผ่นพื้นพลาสติกกลวงยังคงถูกกำหนดความหนาขั้นต่ำไว้ด้วยขนาดของลูกบอลพลาสติก ถึงแม้ว่าในความเป็นจริงนั้นหากพิจารณาการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป จะสามารถลดความหนาของพื้นได้มากกว่านี้ก็ตาม แต่ในช่วงแผ่นพื้นที่มีขนาด 7.5 เมตร ถึง 10 เมตร พบว่าแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีน้ำหนักบรรทุกคงที่มากที่สุด ซึ่งเป็นขนาดของแผ่นพื้นที่เริ่มเห็นประสิทธิภาพของการใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวงทดแทนแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงสรุปได้ว่าสำหรับอาคารที่ใช้แผ่นพื้นขนาดเล็กถึง 7 เมตร การเลือกใช้แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบรับแรงสองทิศทางและมีคานรองรับ มีความเหมาะสมมากกว่าการใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวง แต่ในอาคารขนาดใหญ่ที่มีแผ่นพื้นขนาดตั้งแต่ 7 เมตรขึ้นไป การใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวง มีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากลูกบอลพลาสติกสามารถแทนที่น้ำหนักคอนกรีต ทำให้ลดกำลังโครงสร้างได้บางส่วน โดยที่ยังสามารถต้านทานกำลังรับแรงดัดได้อย่างปลอดภัย



รูปที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกคงที่ของแผ่นพื้น

รูปที่ 5 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักบรรทุกคงที่

4.1.3. อัตราการลดลงของน้ำหนักบรรทุกคงที่

จากการนำข้อมูลน้ำหนักบรรทุกคงที่ของแผ่นพื้นทั้ง 2 แบบ มาจัดทำตารางแสดงการเปรียบเทียบอัตราการลดลงของน้ำหนักบรรทุกคงที่ของแผ่นพื้นพลาสติกกลวงเทียบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ดัง**รูปที่ 5** พบว่า ค่าที่แสดงจากกราฟจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ค่าเป็นบวกกับช่วงที่ค่าติดลบ ซึ่งกราฟแสดงให้เห็นว่า ช่วงแผ่นพื้นที่มีขนาดตั้งแต่ 4 เมตร ถึง 7 เมตร แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กมีน้ำหนักบรรทุกคงที่น้อยกว่า ซึ่งประสิทธิภาพของลูกบอลพลาสติก เริ่มเห็นผลตั้งแต่แผ่นพื้นมีขนาด 7.5 เมตรเป็นต้นไป นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากกราฟ ยังแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้นที่มีขนาด 8 เมตร จะมีประสิทธิภาพในการลดน้ำหนักบรรทุกคงที่ได้ชัดเจนที่สุด

4.2 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์การออกแบบโครงสร้างอาคาร

จากการวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติแผ่นพื้นพลาสติกกลวงทั้งสองผลิตภัณฑ์และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังหัวข้อที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ช่วงขนาดของแผ่นพื้น 8X8 เมตร เป็นจุดเปลี่ยนที่เริ่มเห็นประสิทธิภาพของระบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวง เป็นผลในการตัดสินใจ ในการออกแบบอาคารพาณิชย์สำนักงานขนาด 6X8 เมตร จำนวน 3 ชั้น เพื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมีการเลือกใช้ความหนาของแผ่นพื้นเท่ากับ 8X8 เมตร เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลสรุปรวมของการออกแบบโครงสร้างอาคาร

จาก**ตารางที่ 7** และ**ตารางที่ 8** เป็นการนำผลการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารที่ใช้แผ่นพื้นพลาสติกลวงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐาน ACI 318-14 ซึ่งประกอบด้วย หลังคา แผ่นพื้น คานยาว คานสั้น เสา และเสาเข็มตามลำดับ ซึ่งหัวข้อที่ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบสามารถแบ่งได้ดังนี้

ตารางที่ 7 ผลการออกแบบโครงสร้างอาคารที่ใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวง

ผลการออกแบบอาคารที่ใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวง			
มาตรฐานการออกแบบ		ACI 318-14	
ขนาดของแผ่นพื้น		น้ำหนักประลัย	จำนวน (Unit)
ประเภท (Type)	ขนาด (เมตร)		
หลังคา (Roof)	6X8X0.24	585	กิโลกรัม/เมตร^2
พื้น 3 ชั้น (Slab)	6X8X0.24	985	กิโลกรัม/เมตร^2
คานยาว (Long Beam)	0.25X0.40X8	408	กิโลกรัม/เมตร
คานสั้น (Short Beam)	0.20X0.35X6	298	กิโลกรัม/เมตร
เสา (Column)	0.30X0.30	-	-
เสาเข็ม (Pile Footing)	3 I- 0.35X0.35	140	ตัน

ตารางที่ 8 ผลการออกแบบโครงสร้างอาคารที่ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ผลการออกแบบอาคารที่ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก			
มาตรฐานการออกแบบ		ACI 318-14	
ขนาดของแผ่นพื้น		น้ำหนักประลัย	จำนวน (Unit)
ประเภท (Type)	ขนาด (เมตร)		
หลังคา (Roof)	6X8X0.19	627	กิโลกรัม/เมตร^2
พื้น 3 ชั้น (Slab)	6X8X0.19	1,027	กิโลกรัม/เมตร^2
คานยาว (Long Beam)	0.25X0.45X8	444	กิโลกรัม/เมตร
คานสั้น (Short Beam)	0.20X0.35X6	298	กิโลกรัม/เมตร
เสา (Column)	0.30X0.30	-	-
เสาเข็ม (Pile Footing)	4 I- 0.35X0.35	144	ตัน

4.2.1. หลังคา และพื้น

ขนาดของพื้นโครงสร้างอาคารที่ใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวง มีการออกแบบความหนาของหลังคาและแผ่นพื้นเท่ากับ 0.24 เมตร ซึ่งเป็นค่าความหนาที่มากกว่าเมื่อเทียบกับโครงสร้างอาคารที่ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีค่าความหนาเพียง 0.19 เมตร

4.2.2. คาน

เมื่อพิจารณาเพียงคานยาวของโครงสร้างอาคารที่ใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวงของผลิตภัณฑ์เทียบโครงสร้างอาคารที่ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่า ความลึกของคานยาวที่ใช้ในโครงสร้างอาคารที่ใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวง มีค่าเท่ากับ 0.40 เมตร ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าความหนาของคานยาวที่ใช้ในโครงสร้างอาคารที่ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีค่าเท่ากับ 0.45 เมตร แต่เมื่อพิจารณาที่คานสั้นของชิ้นส่วนโครงสร้าง พบว่าโครงสร้างอาคารที่ใช้แผ่นพื้นทั้งสองประเภท มีขนาดของคานสั้นที่เท่ากัน

4.2.3. เสา (Column)

การออกแบบเสาเป็นการออกแบบเสาปลอกเดี่ยวของชั้นล่างสุด เนื่องจากเป็นเสาที่รับน้ำหนักประลัยต่อโครงสร้างอาคารทั้งหมดที่มากที่สุด โดยการออกแบบจะไม่คำนึงถึงการเกิดโมเมนต์ดัดกระทำที่เสา เนื่องจากองค์อาคารที่พิจารณาไม่มีการคิดแรงกระทำทางด้านข้าง โดยการออกแบบขนาดของเสา ถูกออกแบบเพื่อต้านทานน้ำหนักที่กระทำลงสู่เสาทั้งสอง ดังแสดงใน**ตารางที่ 9** และ**ตารางที่ 10** ซึ่งจากผลการออกแบบ พบว่า หน้าตัดของเสาที่ใช้ในโครงสร้างอาคารทั้งสองประเภทมีขนาดหน้าตัดที่เท่ากันในการรับแรงกระทำ แสดงว่า ถึงแม้โครงสร้างที่ใช้พื้นพลาสติกกลวงจะส่งผลต่อการลดลงของน้ำหนักบรรทุกคงที่ แต่ยังเห็นผลไม่ชัดเจน ที่ทำให้สามารถลดขนาดหน้าตัดของเสาลงได้

ตารางที่ 9 ผลการรับน้ำหนักประลัยของเสาชั้นแรกในโครงสร้างที่ใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวง

ชิ้นส่วนของการรับน้ำหนักโครงสร้าง	พื้น (ตัน)	คาน (ตัน)	เสา (ตัน)	ผลรวมน้ำหนัก (ตัน)
พื้นชั้นหลังคา	28	5	0	33
พื้นชั้นที่ 3	47	5	0.83	53
พื้นชั้นที่ 2	47	5	0.83	53
พื้นชั้นที่ 1	0	0	0.83	1
น้ำหนักโครงสร้างถ่ายลงสู่เสาชั้นที่ 1				**140**

ตารางที่ 10 ผลการรับน้ำหนักประลัยของเสาชั้นแรกในโครงสร้างที่ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตารางที่ 11 ผลการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มในโครงสร้างที่ใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวง

ตารางที่ 12 ผลการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มในโครงสร้างที่ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชิ้นส่วนของการรับน้ำหนักโครงสร้าง	พื้น (ตัน)	คาน (ตัน)	เสา (ตัน)	ผลรวมน้ำหนัก (ตัน)
พื้นชั้นหลังคา	24	4	0.0	28
พื้นชั้นที่ 3	36	4	0.7	41
พื้นชั้นที่ 2	36	4	0.7	41
พื้นชั้นที่ 1	36	4	0.7	41
น้ำหนักโครงสร้างถ่ายลงสู่เสาเข็ม				**152**

4.2.4. เสาเข็ม

เสาเข็มที่เลือกใช้ในการออกแบบ เป็นเสาเข็มตอกรูปตัวไอ ซึ่งเป็นประเภทของเสาเข็มที่นิยมในงานก่อสร้าง โดยเลือกใช้เสาเข็มที่มีขนาด 0.35×0.35 เมตร และมีการกำหนดการรับน้ำหนักที่ปลอดภัยของเสาเข็มมีค่าเท่ากับ 50 ตัน จาก**ตารางที่ 11** และ**ตารางที่ 12** แสดงผลของการรวมน้ำหนักบรรทุกลงฐานรากโดยไม่มีการพิจารณาตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก (Load Factor) พบว่าเสาเข็มของโครงสร้างอาคารที่ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กมีการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 152 ตัน ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่าการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มในโครงสร้างที่ใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวงที่มีการรับน้ำหนักเท่ากับ 144 ตัน เมื่อคำนวณผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่า การรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มในอาคารทั้งสองประเภท มีผลต่างการรับน้ำหนักประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เมื่อทำการคำนวณเสาเข็มที่ต้องใช้ต่อฐานราก พบว่าจำนวนของเสาเข็มในโครงสร้างที่ใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวง มีค่าเท่ากับ 3 ต้น ซึ่งน้อยกว่าโครงสร้างที่ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการใช้เสาเข็มทั้งหมด 4 ต้น แสดงให้เห็นว่าการใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวง ส่งผลต่อการลดน้ำหนักของโครงสร้างลง และช่วยลดจำนวนการใช้เสาเข็มลงได้บางส่วน

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

5.1 การเปรียบเทียบแผ่นพื้นพลาสติกกลวงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากผลการออกแบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวง เทียบกับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กระบบที่มีคานรองรับ 2 ทิศทาง ที่มีขนาด 4 ถึง 10 เมตร พบว่า

1. ความหนาของแผ่นพื้นพลาสติกกลวงยังมีความหนามากกว่าการใช้แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดาในทุกขนาดของความยาวช่วงเสา
2. น้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้นทั้ง 2 ระบบ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามสามารถสังเกตได้ว่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ของแผ่นพื้นพลาสติกกลวงเริ่มมีค่าน้อยกว่า เมื่อมีขนาดตั้งแต่ 7.5 เมตรขึ้นไป
3. การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดน้ำหนักบรรทุกคงที่ของแผ่นพื้นพลาสติกกลวงเทียบกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่าเริ่มเห็นประสิทธิภาพที่

ชิ้นส่วนของการรับน้ำหนักโครงสร้าง	พื้น (ตัน)	คาน (ตัน)	เสา (ตัน)	ผลรวมน้ำหนัก (ตัน)
พื้นชั้นหลังคา	23	4	0.0	26
พื้นชั้นที่ 3	35	4	0.7	39
พื้นชั้นที่ 2	35	4	0.7	39
พื้นชั้นที่ 1	35	4	0.7	39
น้ำหนักโครงสร้างถ่ายลงสู่เสาเข็ม				**144**

ชัดเจนขึ้นที่แผ่นพื้นขนาด 7.5 เมตรขึ้นไป โดยจะเห็นประสิทธิภาพที่ชัดเจนที่สุดในช่วงความยาว 8 เมตร

5.2 การเปรียบเทียบการออกแบบโครงสร้างอาคารพาณิชย์สำนักงานจำนวน 3 ชั้น

การใช้แผ่นพื้นพลาสติกกลวงในโครงสร้างอาคารพาณิชย์สำนักงานที่มีขนาด 6✕8 เมตร จำนวน 3 ชั้น พบว่าสามารถลดน้ำหนักขององค์อาคารลงได้บางส่วน โดยเห็นได้จากการลดขนาดหน้าตัดของคานยาว และจำนวนเสาเข็มที่เลือกใช้ลงได้ รวมถึงเมื่อเทียบน้ำหนักโครงสร้างที่ถ่ายลงสู่ฐานราก พบว่า ในโครงสร้างที่ใช้พื้นพลาสติกกลวงสามารถลดน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่ฐานรากได้ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการใช้แผ่นพื้นพลาสติดกลวงในระบบพื้นที่มีคานรองรับสองทิศทาง ยังไม่สามารถแสดงประสิทธิภาพในการลดความหนาของแผ่นพื้นได้ ซึ่งเป็นปัจจัยต่อการลดระดับความสูงของอาคาร

6. เอกสารอ้างอิง

[1] มงคล จิรวัชรเดช. (2557). *การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, หน้า 3/1-5/23.

[2] ACI (American Concrete Institute). (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete ACI 318-14*, pp.94-97.

[3] Hunter Wheeler. (2018). *Flat Plate Voided Slabs.* Master's thesis. Kansas State University, United States of America.

[4] Concrete Reinforcing Steel Institute (2014). *Design Guide for Voided Concrete Slabs-Addendum*, pp. 5-24

[5] Heinze Cobiax Deutschland GmbH (2018). *Cobiax"Lightweight concrete slabs"(Technology Manual),* pp. 60-63.

[6] Cobiax Technologies AG. (2010). *Cobiax Engineering Manual Issue 2010*. Switzerland., pp.19

[7] ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร(2544). *คู่มือประกอบการใช้บังคับข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร*. หน้า 17-21.