

ความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติโดยใช้โปรแกรม CSI SAFE

OPTIMAL THICKNESSES FOR POST-TENSIONED CONCRETE FLAT SLAB WITH 3D PLATE FINITE ELEMENT USING CSI SAFE PROGRAM

ธนัญกรณ์ ต่อศิริสกุลวงศ์

วิศวกรรมโยธา

บริษัท อารีญา พร็อพเพอร์ตี้ จำกัด (มหาชน)

E-mail : tanunkorn@hotmail.com

ฉัตร สุจินดา

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : chatr.su@spu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยใช้โปรแกรม CSI SAFE ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ มีกรณีศึกษาทั้งหมด 3 กรณีคือ (1) สี่เหลี่ยมจัตุรัส (2) สี่เหลี่ยมผืนผ้าอัตราส่วนช่วงสั้นต่อช่วงยาว 0.5 และ 0.75 (3) แนวเสาเอียงศูนย์โดยมีระยะเอียง 1 และ 2 เมตร น้ำหนักบรรทุกทุกจร 200, 300 และ 400 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ระยะช่วงเสา 6, 7.5 และ 9 เมตร กำลังอัดประลัยของคอนกรีต 320 และ 400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นได้นำผลการออกแบบไปหาสมการอย่างง่ายเพื่อใช้ทำนายความหนาที่เหมาะสม เพื่อช่วยให้วิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปประมาณราคาและเป็นแนวทางการออกแบบเบื้องต้น จากการศึกษาในครั้งนี้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $R^2 = 0.84$ ถึง 0.98 และได้อัตราส่วนช่วงเสาต่อความหนาของแผ่นพื้น มีค่าเท่ากับ 44, 54 และ 49 สำหรับแผ่นพื้นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า และแนวเสาเอียงศูนย์ตามลำดับ

คำสำคัญ : แผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง, วิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์สำหรับแผ่นพื้น, ความหนาที่เหมาะสม

ABSTRACT

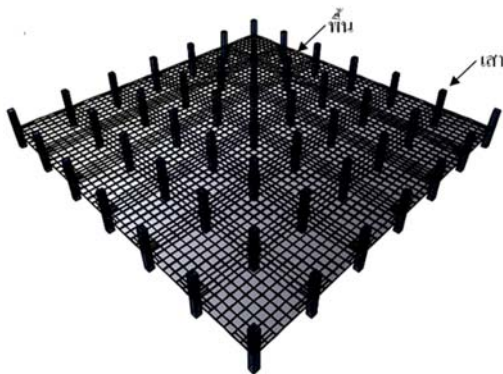
This research studies the determination of optimal thicknesses for post-tensioned concrete flat slabs. The CSI SAFE program based on 3-dimensional plate finite element analyses was used. There are three study cases including (1) squares, (2) rectangles with varying short to long span ratios of 0.5 and 0.75, and (3) zigzags with eccentricities of 1 and 2 meters. The floor live loads being studied are 200, 300 and 400 kg/m². The span lengths are 6, 7.5 and 9 m. with 320 and 400 kg/cm² concrete ultimate strengths. The design results were used to determine the predicting equations for the optimal slab thicknesses. This guideline could help engineers and other interested parties for preliminary design and the construction cost estimation. From this study, the predicting equations have correlation coefficient R^2 between 0.84 and 0.98, and the spans to depth ratios of the concrete flats are 44, 54 and 49 for the square, rectangle and zigzag flats respectively.

KEYWORDS : post-tensioned concrete flat slabs, finite element analysis for plates, optimal thicknesses for post-tensioned flat plate

ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงไร้คานเป็นที่นิยมนกันอย่างแพร่หลายในอาคารทั่วไป และอาคารที่มีช่วงยาวมากๆ เนื่องจากราคาค่าก่อสร้างต่ำกว่าและมีระยะเวลาก่อสร้างสั้นกว่าระบบพื้นคาน

คอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปการวิเคราะห์โดยวิธีโครงสร้างข้อแข็งเสมือน ซึ่งเป็นการมองโครงสร้างในแบบสองมิติให้คำตอบผิดเพี้ยนไปจากพฤติกรรมจริงของโครงสร้างได้ ยิ่งตำแหน่งการจัดวางของเสาแตกต่างกันไปจากแนวที่ตั้งฉากกันอยู่เป็นระเบียบเท่าใดยิ่งจะทำให้ผลของการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีโครงสร้างข้อแข็งเสมือนผิดเพี้ยนมากขึ้น (ฉัตร สุจินดา, 2551 และ 2552) นอกจากนี้ สมชาย ตงอาภรณ์ (2553) ยังได้เสนอวิธีการหาความหนาที่เหมาะสมของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง จากวิธีการวิเคราะห์ด้วย วิธีไฟไนท์อีลีเมนต์สามมิติ โดยจำลองลักษณะของแผ่นพื้นที่ระยะช่วงเสาที่ 8 เมตร ซึ่งทำให้ได้สมการหาความหนาของแผ่นพื้นใช้ได้เฉพาะช่วงเสาที่ 8 เมตร ในปัจจุบันมีโปรแกรมที่ช่วยวิเคราะห์และออกแบบแผ่นพื้นไร้คานซึ่งใช้วิธีไฟไนท์อีลีเมนต์ (Finite Element Method) เท่าที่ผู้ศึกษาได้ทราบมา มีอยู่ 3 โปรแกรม (1) CSI SAFE V12.3.2 (Computers and Structures, Inc., 2012) (2) RAM Concept V8i Release 3.3 (Bentley Software, 2010) และ (3) Adapt Builder V8.0 (Adapt Corporation, 2010) ซึ่งโปรแกรมหดงกล่าวใช้วิธีอีลีเมนต์แบบแผ่น (Plate Element) ซึ่งให้คำตอบของหน่วยแรงที่เกิดจากการกระจายของแรงในแผ่นพื้นทั้งสองทิศทาง ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์ไฟไนท์อีลีเมนต์เป็นการมองโครงสร้างในแบบสามมิติโดยตรงโดยไม่ต้องมองโครงสร้างในแบบสองมิติหลายๆ ครั้ง ซึ่งแน่นอน



รูปที่ 1 แบบจำลองไฟไนท์อีลีเมนต์ของระบบแผ่นพื้นไร้คาน

ว่าผลของการวิเคราะห์ในแบบสามมิตินี้ย่อมจะให้คำตอบของการกระจายแรงที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของโครงสร้างได้มากกว่า

งานวิจัยนี้จึงได้นำโปรแกรม CSI SAFE V12.3.2 เพื่อใช้วิเคราะห์ และการออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงที่ระยะช่วงเสา 6, 7 และ 9 เมตร และนำผลของการศึกษานี้ซึ่งมีตัวอย่างของรูปแบบพื้นต่างๆ มาเป็นแนวทางเบื้องต้น สำหรับผู้ที่ออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาหาสมการอย่างง่ายสำหรับใช้ประมาณความหนาของแผ่นพื้น ที่ราคาค่าก่อสร้างต่ำสุด ที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบขั้นต้น สำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง โดยการวิเคราะห์ และออกแบบในงานวิจัยนี้ ได้เลือกคำตอบของการออกแบบที่ดีที่สุด โดยพิจารณาถึงราคาค่าก่อสร้างรวมที่ต่ำที่สุด

คำถามการวิจัย

ความหนาที่เหมาะสมของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงจะเป็นเท่าใด ที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างต่ำสุด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์

ขอบเขตการวิจัย

1. ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์ และออกแบบแผ่นพื้นไร้คาน คอนกรีตอัดแรงตามข้อกำหนดของมาตรฐานออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999)

2. ใช้วัสดุคอนกรีตอัดแรงขนาดเส้น ฝาคูศูนย์กลาง 1/2" เกรด 270 (18,980), มีตัวแปรได้แก่ กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ระยะช่วงเสา อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาวน้ำหนักบรรทุกจร และลักษณะการจัดเรียงเสาทั้งแบบที่เป็นและไม่เป็นแนวที่ตั้งฉากกันอยู่เป็นระเบียบ

ระเบียบวิธีวิจัย

1. เลือกรูปแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ที่มีลักษณะของการจัดวางตำแหน่งของเสา และระยะห่างของเสาที่แตกต่างกัน เพื่อให้ครอบคลุมกับลักษณะของอาคาร

โดยทั่วไป

2. วิเคราะห์และออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ด้วยโปรแกรม CSI SAFE V12.3.2 โดยจะกำหนดตัวแปรเสริม (Parameter) ต่างๆ ซึ่งเป็นตัวแปรต้นของการออกแบบ และทดลองกำหนดความหนาของแผ่นพื้นที่แตกต่างกัน (โดยเพิ่มหรือลดทีละ 1-2 ซม)

3. คำนวณราคาค่าวัสดุก่อสร้าง และค่าแรง จากปริมาณวัสดุที่ได้จากการออกแบบที่ได้ในแต่ละกรณี

4. คำนวณค่าของความหนาที่เหมาะสมซึ่งทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำที่สุด โดยคำนวณหาความหนาของแผ่นพื้นที่ทำให้ความชันของสมการถดถอย ระหว่างค่าก่อสร้าง และความหนาเท่ากับศูนย์

5. นำผลของคำตอบสำหรับการออกแบบที่ดีที่สุดในแต่ละกรณีซึ่งมี ตัวแปรเสริม (Parameter) แตกต่างกันไป ใช้กำหนดสมการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression) เพื่อใช้เป็นสูตรอย่างง่ายสำหรับหาความหนาของแผ่นพื้นเบื้องต้น

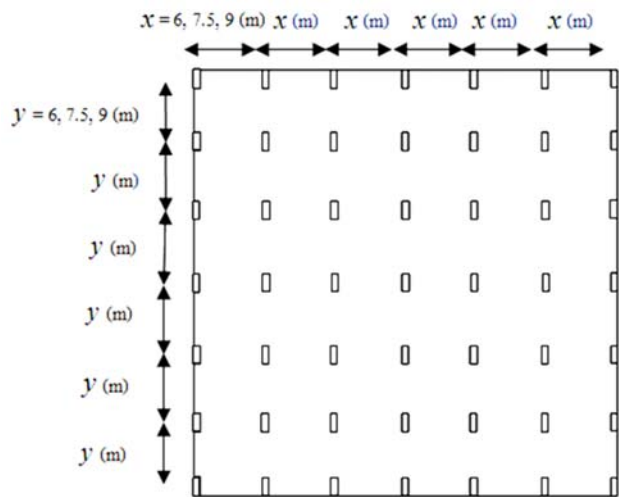
ขอบเขตการวิจัย

1. วิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์ และออกแบบตามมาตรฐานออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI318-99(ACI Committee 318, 1999) ซึ่งคล้ายกับมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง วสท. 1008-38 ของประเทศไทย

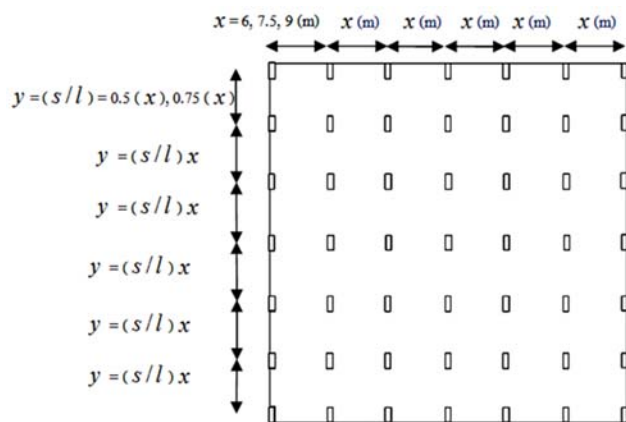
2. ศึกษาแผ่นพื้น 3 กรณีคือ (1) สี่เหลี่ยมจัตุรัส (2) สี่เหลี่ยมผืนผ้าและ (3) แนวเสาเอียงศูนย์ ซึ่งพิจารณาเฉพาะเป็นแบบไม่มีระบบผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall) โครงสร้างบันไดหรือช่องเปิดต่างๆ

3. ศึกษาและกำหนดขนาดของเสาที่เพียงพอต่อการรับน้ำหนักบรรทุกกระทำแนวตั้ง (Gravity Load) และแรงกระทำด้านข้าง (Lateral Load) ที่ความสูงไม่เกิน 30 เมตรตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 (แรงลม) และ มยผ. 1302-52 (แรงแผ่นดินไหว) และพิจารณากำลังต้านทานแรงเฉือนเจาะทะลุของแผ่นพื้น โดยให้คอนกรีตรับแรงเฉือน และอาจมีการเสริมเหล็กช่วยต้านทานแรงเฉือน หรือมีการเพิ่มแป้นหัวเสากรณีที่คอนกรีตไม่สามารถต้านทานแรงเฉือนได้

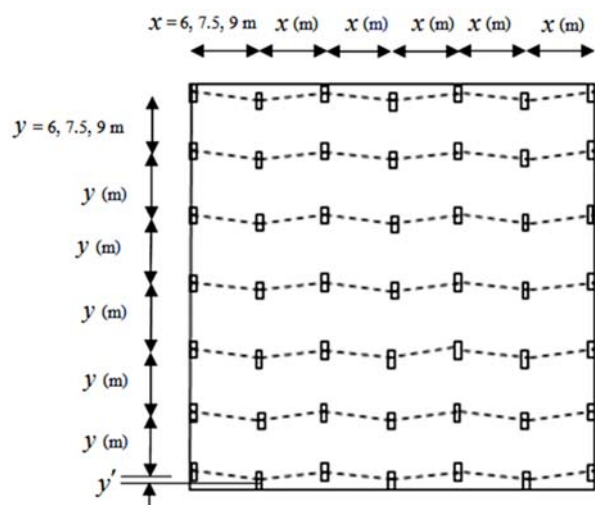
4. ศึกษาช่วงเสา (Span) ที่ระยะ 6, 7.5 และ 9 เมตร



รูปที่ 2 กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส



รูปที่ 3 กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า



รูปที่ 4 กรณีแนวเสาเอียงศูนย์

5. ศึกษาเฉพาะคอนกรีตอัดแรงภายหลัง (Post Tension) ที่ใช้ลวดอัดแรงเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2" เกรด 270 ksi (18,980 ksc) ในระบบที่มีการยึดเหนี่ยว (Bonded System) ซึ่งต้องมีการอัดน้ำปูน (Grouting)

6. น้ำหนักบรรทุกจร (W_{LL}) ที่ศึกษาคือ 200, 300 และ 400 kg/m² น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม (Super Impose Dead Load) คือ 120 kg/m² สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร 200 และ 300 kg/m² และน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม 50 kg/m² สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร 400 kg/m² กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน (f'_c) ศึกษากรณี 320 และ 400 ksc

7. ออกแบบแผ่นพื้น และเหล็กเสริมในแผ่นพื้น โดยพิจารณาเฉพาะน้ำหนักบรรทุกกระทำแนวตั้ง (Gravity Load Resisting) โดยไม่พิจารณาน้ำหนักบรรทุกกระทำด้านข้าง (Lateral Load Resisting) เนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหว

8. กำหนดให้ความหนาที่เหมาะสมของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง คือ ความหนาที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวม (ราคาวัสดุคอนกรีต ลวดอัดแรง เหล็กเส้น แบบหล่อ และค่าแรง) ต่อดารางเมตรต่ำสุดโดยอาศัยราคาวัสดุ และค่าแรงต่อหน่วยจากสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า (2555) และสำนักงานการศึกษาขั้นพื้นฐาน (2555) และผ่านตามข้อกำหนดทุกข้อในมาตรฐานออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI318-99 (ACI Committee 318, 1999)

ข้อจำกัดการวิจัย

1. ใช้ได้กับเฉพาะอาคารที่มีรูปแบบเหมือน หรือคล้ายกับกรณีศึกษา และช่วงเสาระหว่าง 6 ถึง 9 เมตรเท่านั้น
2. ใช้ได้กับเฉพาะอาคารที่มีแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงในระบบที่มีการยึดเหนี่ยว (Bonded System)

ตารางที่ 1 ราคาต่อหน่วยของวัสดุ และค่าแรง สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า (2555)* และสำนักงานการศึกษาขั้นพื้นฐาน (2555)**

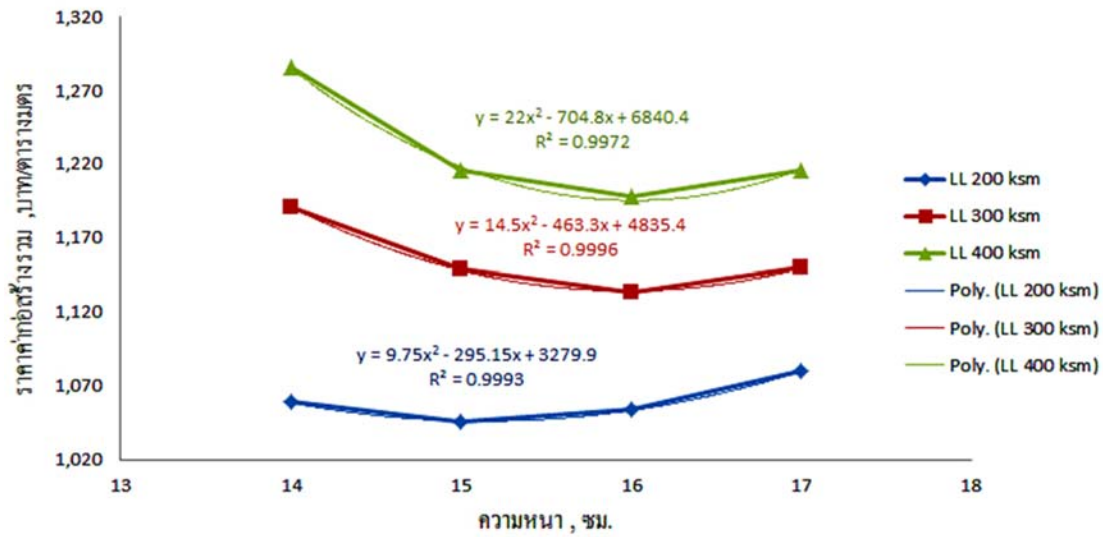
ประเภท	ราคาต่อหน่วย (บาท)		
	วัสดุ*	ค่าแรง**	
ลวดเกลียวอัดแรง (Lowrelaxation) 12.7 มม (1/2 นิ้ว) Grade 270	48/กก	20/กก	
คอนกรีตกำลังอัดประลัย	320 ksc	2,740 / ม ³	340 / ม ³
	400 ksc	3,000 / ม ³	340 / ม ³
เหล็กเส้น (SD-40)	23 / กก	2.8/ กก	
แบบหล่อ	125 / ม ²	120 / ม ²	

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

จากผลของการทดลองออกแบบสำหรับแต่ละกรณีศึกษา นำราคาค่าก่อสร้างรวมต่อดารางเมตรที่ได้นำมาเขียนกราฟ เช่นกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส ช่วงเสา 7.5 เมตร ได้แสดงไว้เป็นตัวอย่างไว้ในรูปที่ 5

จากกราฟในรูปที่ 5 แสดงราคาค่าก่อสร้างรวมต่อดารางเมตร p ตามแกน y และความหนาของแผ่นพื้น t ตามแกน x ซึ่งนำมาหาความหนาที่เหมาะสม (ที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่อดารางเมตรต่ำสุด) คือจุดที่ $\frac{dy}{dx} = 0$ จะได้ความหนาที่เหมาะสมซึ่งกรณีตัวอย่างนี้ค่าความหนาแผ่นพื้นที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 15.14, 15.98 และ 16.02 ซม. ตามลำดับ

จากข้อมูลความหนาที่เหมาะสมสำหรับทุกกรณีศึกษา จะนำไปโปรแกรม EViews 5.1 (Quantitative Micro Software., 2006) ไปใช้ในการหาสมการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression) จะได้สมการสำหรับทั้ง 3 กรณีศึกษาดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 5 ตัวอย่างกราฟราคาค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตร และความหนาของแผ่นพื้นที่กำลังอัดประลัย $f'_c = 320 \text{ ksc}$ กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัสช่วงเสา 7.5 เมตร

ตารางที่ 2 สมการถดถอยเพื่อทำนายความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง

กรณี	สมการทำนายความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	$t = -(1.004 \times 10^{-3} \times f'_c) - (4.098 \times 10^{-5} \times W_{LL}^2) + (2.853 \times 10^{-2} \times W_{LL}) + (8.666 \times 10^{-1} \times L^2) - (10.391 \times L) + 40.509$
สี่เหลี่ยมผืนผ้า	$t = -(4.680 \times 10^{-3} \times f'_c) - (1.233 \times 10^{-5} \times W_{LL}^2) + (1.264 \times 10^{-2} \times W_{LL}) + (15.126 \times (s/l)^2) - (16.540 \times (s/l)) + (3.006 \times 10^{-1} \times L^2) - (2.253 \times L) + 16.869$
แนวเสาเอียง ศูนย์	$t = -(8.063 \times 10^{-3} \times f'_c) - (1.663 \times 10^{-5} \times W_{LL}^2) + (1.602 \times 10^{-2} \times W_{LL}) + (7.448 \times 10^{-2} \times L^2) + (1.389 \times L) + (0.407 \times y') - 5.288 \times 10^{-1}$

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความคลาดเคลื่อน

กรณี	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2)	ค่าความคลาดเคลื่อน Residual (cm)
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	0.98	-0.86 ถึง 1.08
สี่เหลี่ยมผืนผ้า	0.95	-1.20 ถึง 1.71
แนวเสาเอียง ศูนย์	0.83	-2.60 ถึง 1.68

- t = ความหนาปกติของแผ่นพื้น, (cm)
- f'_c = กำลังอัดประลัยคอนกรีตที่ 28 วัน
รูปทรงกระบอก, (ksc)
- W_{LL} = น้ำหนักบรรทุกจร, (kg/m²)
- s/l = อัตราส่วนช่วงเสาด้านสั้นต่อด้านยาว
- L = ระยะห่างช่วงเสา Span, (m)
- y' = ระยะเยื้อง Zigzag, (m)

สรุปและอภิปรายผล

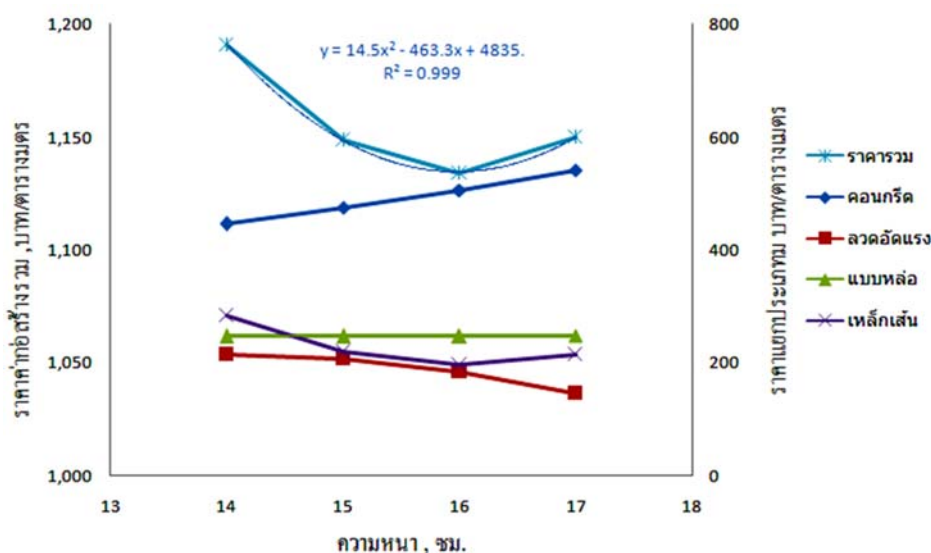
งานวิจัยนี้เป็นการทดลองออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง พิจารณาเฉพาะน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง เพื่อหาความหนาที่เหมาะสมของแผ่นพื้นที่จะทำให้ได้ราคา ค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตรต่ำสุดจากราคาต่อหน่วยของวัสดุ และค่าแรงในประเทศไทย โดยสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า (2555) และสำนักงานการศึกษาขั้นพื้นฐาน (2555) สำหรับลักษณะการจัดเรียงของเสาที่อยู่ในแนวตั้งฉาก และไม่อยู่ในแนวตั้งฉากที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 กรณีโดยใช้โปรแกรม CSI SAFE V12.3.2 ในการออกแบบซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์สามมิติตามมาตรฐานออกแบบ ACI 318-99 และ วสท. 1008-38 โดยได้สมการทำนายความหนาของแผ่นพื้น โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2 โดยสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ

ความหนาแผ่นพื้น t และประมาณราคาค่าก่อสร้างเบื้องต้น (Preliminary Design and Cost Estimate) ได้

จากผลของการทดลองออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงที่ความหนาต่างๆ กันเช่นกรณีพื้นที่เหลี่ยมจัตุรัสระยะช่วงเสา 7.5 เมตร คอนกรีตกำลังอัดประลัย $f'_c = 320$ ksc น้ำหนักบรรทุกจร $W_{LL} = 300$ kg/m² นำมาเขียนกราฟระหว่างราคาค่าก่อสร้างรวม และราคาวัสดุ (รวมค่าแรง) แยกประเภทกับความหนาของแผ่นพื้นต่างๆ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 6 (สำหรับกรณีอื่นๆ มีลักษณะคล้ายกัน)

จากภาพประกอบที่ 6 จะสังเกตได้ว่าที่ความหนาน้อยจะมีปริมาณเหล็กเสริมมาก และเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นให้มากขึ้น ปริมาณเหล็กเสริมจะลดลงทั้งนี้เนื่องจากระยะแขนของแรงคู้ของแรงในเหล็กเสริมมีระยะเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณคอนกรีตจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้น

จากเส้นกราฟปริมาณลวดอัดแรงต่อตารางเมตร จะสังเกตได้ว่าที่ความหนาน้อยจะต้องใช้ปริมาณลวดอัดแรงมาก แต่เมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นให้มากขึ้น ปริมาณลวดอัดแรงจะลดลงทั้งนี้เนื่องจากที่ความหนาน้อยระยะเยื้องศูนย์ (eccentricity) จะมีค่าน้อยทำให้เกิดแรงยกตัวของลวดอัดแรงน้อย จึงต้องเพิ่มปริมาณลวดอัดแรงให้มากขึ้น นอกจากนี้ในระหว่างขั้นตอนออกแบบพบว่าเมื่อช่วงเสา และน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มมากขึ้น



ภาพประกอบที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างรวม และราคาวัสดุ แยกประเภท (รวมค่าแรง) กับความหนาของแผ่นพื้น กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

จะต้องเพิ่มปริมาณลวดอัดแรงให้มากขึ้นกว่าปริมาณแรงอัดต่ำสุดที่มาตรฐานกำหนด (8.8 ksc)

จากเส้นกราฟปริมาณแบบหล่อต่อตารางเมตร จะสังเกตได้ว่า มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น เนื่องจากพิจารณาถึงปริมาณแบบหล่อด้านข้างจะขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นพื้นแต่ถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณแบบหล่อทั้งหมด จากเส้นกราฟค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่ ที่ความหนาน้อยจะมีราคา รวมต่อพื้นที่มาก เมื่อเพิ่มความหนาในช่วงกลางๆ ค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่จะลดลง แต่เมื่อเพิ่มความหนาต่อไปอีกค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่จะกลับเพิ่มขึ้นอีก เนื่องจากค่าก่อสร้างรวมเป็นผลรวมของราคาคอนกรีต เหล็กเส้น ลวดอัดแรง และแบบหล่อ ซึ่งราคาของคอนกรีตโดยรวมที่เพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้น แต่ราคาลวดอัดแรง และเหล็กเสริม และแบบหล่อมิแวนใหม่ในทางตรงกันข้าม จึงทำให้ราคารวมจะต่ำสุดเมื่อความหนาของแผ่นพื้นมีค่าอยู่ในช่วงกลางๆ ซึ่งหากหาสมการถดถอยของราคารวม y ที่เป็นฟังก์ชันของความหนาของแผ่นพื้น x แล้วนำมาหาความหนาทำให้ $\frac{dy}{dx} = 0$ จะได้ความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสมที่สุด ลักษณะกรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า และแนวเสาเอียงศูนย์ ก็มีลักษณะที่คล้ายกันกับกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัสจึงไม่นำมาแสดงไว้ในที่นี้

ในขั้นตอนการออกแบบได้ปรับปริมาณลวดอัดแรงให้เหมาะสมเพื่อให้หน่วยแรงดึง และหน่วยแรงอัดสูงสุด ผ่านค่าที่สูงสุดยอมให้ตามมาตรฐาน และได้ตรวจสอบกำลังการรับแรงประลัยให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยได้อย่างปลอดภัย และสุดท้ายได้ตรวจสอบค่าระยะการโก่งตัวของพื้นสูงสุด ทั้งกรณีการโก่งตัวทันที และการโก่งตัวระยะยาว ซึ่งพบว่าค่าการโก่งตัวมีค่าน้อยกว่าค่ายอมให้สูงสุดตามมาตรฐาน

ในการศึกษานี้ พบว่า บริเวณหัวเสาของแผ่นพื้นทั้ง 4 มุมของอาคาร และบริเวณเสาริมสำหรับทุกกรณีศึกษา ต้องเสริมทั้งแป้นหัวเสา และเหล็กรับแรงเฉือนที่หัวเสาไปพร้อมๆ กัน เนื่องจากพบว่าทางเลือกดังกล่าวประหยัดกว่าการเพิ่มความหนาตลอดทั้งแผ่นพื้นเพื่อให้กำลังรับแรงเฉือนบริเวณเสาดันดังกล่าวผ่านตามมาตรฐาน

จากสมการทำนายความหนาที่ได้ เมื่อนำค่าตัวแปรต้นมาแทนค่า และนำค่าตัวแปรตามที่ได้ มาเฉลี่ยหาอัตราส่วนช่วงเสา

ต่อความหนาของแผ่นพื้นได้ค่าเท่ากับ 44, 54 และ 49 สำหรับสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า และ แนวเสาเอียงศูนย์ ตามลำดับ ซึ่งค่าที่แนะนำไว้โดย Post-Tension Institute หรือ PTI (2006) $\left(\frac{L}{t}\right) = 45$ สำหรับพื้นที่ทรงเรียบ และ 50 สำหรับพื้นที่มีแป้นหัวเสาเมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนช่วงเสาต่อความหนาของแผ่นพื้นจากการศึกษานี้คิดเป็น 98 (จัตุรัส) 120 (ผืนผ้า) และ 109 (แนวเสาเอียงศูนย์) เปรอ์เซ็นต์ของ PTI สำหรับกรณีพื้นไร้คาน ทรงเรียบ และคิดเป็น 88 (จัตุรัส) 108 (ผืนผ้า) และ 102 (ซิกแซก) เปรอ์เซ็นต์ของ PTI สำหรับกรณีพื้นไร้คานแบบมีแป้นหัวเสา ซึ่งค่าที่ได้จะใกล้เคียงกับกรณีพื้นไร้คานแบบมีแป้นหัวเสาของ PTI มากที่สุด $\left(\frac{L}{t}\right) = 50$ เนื่องจากการศึกษาส่วนใหญ่มีแป้นหัวเสาในแผ่นพื้น สาเหตุที่ค่าอัตราส่วนช่วงเสาต่อความหนาของแผ่นพื้นที่มีค่าแตกต่างไปจาก PTI นั้นอาจมีเนื่องจากการการศึกษานี้ใช้การวิเคราะห์โครงสร้างวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ มีน้ำหนักบรรทุกจร และราคาต่อหน่วยของวัสดุรวมค่าแรงในประเทศไทย ซึ่งต่างจากของ PTI

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษานี้ได้จำกัดรูปแบบของแผ่นพื้น ระบบลวดอัดแรง มาตรฐานการวิเคราะห์ออกแบบ และน้ำหนักบรรทุกที่กระทำเฉพาะเท่าที่เห็นว่าสำคัญเท่านั้น แต่อาจมีผลกระทบอื่นๆ อีกที่มีผลต่อระบบโครงสร้างของแผ่นพื้น ทั้งที่เป็นปัจจัยในเชิงคุณภาพ และในเชิงปริมาณซึ่งอาจจะขยายขอบเขตการศึกษาออกไปให้กว้างกว่านี้ได้ในอนาคต ได้แก่

1. ศึกษากรณีพิจารณาให้มีผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall) โครงสร้างบันได และช่องเจาะต่างๆ
2. ศึกษาผลกระทบของแรงกระทำด้านข้างของอาคาร เช่น แรงลม และแรงแผ่นดินไหว ที่มีผลต่อความหนาที่เหมาะสมของแผ่นพื้น กรณีที่ใช้แผ่นพื้นเป็นส่วนหนึ่งของระบบการรับแรงด้านข้าง
3. ศึกษาผลกระทบขนาดของเสาที่มีต่อความหนาที่เหมาะสม
4. ศึกษากรณีระยะช่วงเสาในแนวเสาเดียวกัน ที่มีระยะที่แตกต่างกัน
5. ศึกษากรณีแผ่นพื้นที่มีส่วนยื่น

บรรณานุกรม

คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ. 2538. **มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (ว.ส.ท. 1008-38).** วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ. กทม.

ฉัตร สุจินดา. 2551. **การเปรียบเทียบผลการออกแบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติและวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ.** การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13. โรงแรมจอมเทียน ปาล์ม บีช, เมืองพัทยา.

ฉัตร สุจินดา. 2552. **การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ทุดิถีภูมิในพื้นที่ไร้คานคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติและวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14. สรุสมัมนาคาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

สมชาย ตงอาภรณ์ และฉัตร สุจินดา. 2553. **การศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ.** การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 5. STR-03.

สำนักสารสนเทศและดัชนีเศรษฐกิจการค้า. 2555. **ราคาสินค้า (ราคาวัสดุก่อสร้าง)** (ออนไลน์). เข้าถึงเมื่อ 10 พฤษภาคม 2555 จาก: http://www.indexpr.moc.go.th/PRICE_PRESENT/tablecsi_region.asp?DDYear=2555&DDProvince=10&B1=%B5%A1%C5%A7.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สำนักอำนวยการ. 2555. **รายการประมาณราคา ปิงบประมาณ** (ออนไลน์). เข้าถึงเมื่อ 3 กุมภาพันธ์ 2556 จาก <http://design.obec.go.th/>

ACI Committee 318. 1999. **Building code Requirements for Structural Concrete (ACI318-99) and Commentary (ACI318R-99).** American Concrete Institute Farmington Hill, Michigan.

ACI Committee 318. 2011. **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-11).** American Concrete Institute. Farmington Hill, Michigan.

Computers and Structures Inc., 2012. **CSI SAFE V12.3.2 Program.** Computers and Structures, Incorporated, New York.

Lin, T. Y.and Burns, NED H. 1981. **Design of Prestressed Concrete Structures.** 4th ed. John Wiley & Sons Inc: Canada.

PTI. 2006. **Post-Tensioning Manual.** 6th ed. Post Tensioning Institute. Phoenix, Arizona.

Quantitative MicroSoftware. 2007. **EViews Version 5.1 Program.** Irvine, California.