

การศึกษาหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ โดยใช้โปรแกรม Ram Concept

A STUDY TO DETERMINE OPTIMAL THICKNESS FOR POST-TENSIONED CONCRETE FLAT SLAB WITH 3D PLATE FINITE ELEMENT USING RAM CONCEPT PROGRAM

พัทธนันท์ มณีชนพันธ์

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail : pattharnan@gmail.com

ฉัตร สุจินดา

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail : chatr.su@spu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยอาศัยข้อมูลราคาต่อหน่วยของวัสดุคอนกรีต ลวดอัดแรง เหล็กเสริมข้ออ้อย แบบหล่อรวมถึงค่าแรงในประเทศไทย เพื่อนำมาทดลองออกแบบแผ่นพื้นที่มีความหนาต่างๆกันเพื่อหาความหนาที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่ต่ำสุด โดยใช้โปรแกรม RAM Concept ซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์ไฟไนท์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ มีกรณีศึกษาสำหรับการจัดเรียงตำแหน่งของเสาในพื้นที่ทั้งหมด 3 กรณีคือ (1) สี่เหลี่ยมจัตุรัส (2) สี่เหลี่ยมผืนผ้า และ (3) แนวเสาเอียงศูนย์ ซึ่งมีอัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว 0.5 และ 0.75 ระยะช่วงเสา 6 7.5 และ 9 เมตร น้ำหนักบรรทุกจร 200 300 และ 400 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และกำลังอัดประลัย 320 และ 400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดให้เสริมเหล็กรับแรงเฉือน และแป้นหัวเสา ตรงบริเวณหัวเสาที่คอนกรีตไม่สามารถรับแรงเฉือนทะลุได้ จากนั้นนำผลของการออกแบบไปหาสมการอย่างง่ายเพื่อใช้ทำนายความหนาที่เหมาะสม ที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำสุด เพื่อช่วยให้วิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปประมาณราคาและเป็นแนวทางในการออกแบบจากการศึกษาในครั้งนี้ได้ สมการทำนายความหนาของแผ่นพื้นซึ่งมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R^2 อยู่ในช่วง 0.84 ถึง 0.99 และพบว่าอัตราส่วนช่วงเสาคือความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นที่เหมาะสมที่แนะนำโดย Post-Tensioning Institute มีค่าอยู่ระหว่าง 45 ถึง 50 แต่ในขณะที่ผลการศึกษานี้มีค่าอยู่ระหว่าง 49 ถึง 52 และจากผลการเปรียบเทียบกับการศึกษาที่คล้ายกันแต่ใช้โปรแกรม CSI SAFE V12.3.2 พบว่ามีค่าความหนาที่เหมาะสมแตกต่างกันประมาณ +3% กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส +7% กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า และ +2% กรณีแนวเสาเอียงศูนย์

คำสำคัญ : พื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง การวิเคราะห์วิธีไฟไนท์อีลีเมนต์สำหรับแผ่นรับแรงอัด

ABSTRACT

This research presents a study to determine optimal thicknesses for post-tensioned concrete flat slabs based on construction costs in Thailand including concrete, pre-stressing stand, rebar and formworks and labors. The trial designs were performed for various thicknesses to determine the optimal ones that give lowest total cost per area. RAM Concept program based on 3-dimensional plate finite element analyses were used. There are three studied column layouts including (1) square (2) rectangular and (3) zigzag having short to long span ratios 0.5, 0.75 and 1.0, with long span lengths of 6, 7.5 and 9 meters, and with 200, 300 and 400 kg/m² live loads and 320 and 400 kg/cm² ultimate compressive strength concrete. Punching shear reinforcement or necessary drop panel are required to add at the columns where the concrete cannot resist the punching shear. The results from the designs were used to determine the predicted equations for the optimal slab thicknesses. This guideline could help engineers and others interested with their preliminary designs and the construction cost estimations. From this study, the predicting equations have correlation coefficient R² from 0.84 to 0.99. The ratios of span length to slab thickness as recommended from Post-Tensioning Institute ranged from 45 to 50, but the ratios obtained from this study are from 49 to 52. The comparison with similar studies using CSI SAFE V12.3.2 shows that the optimal thicknesses are different by +3% for square, +7% for rectangular, and +2% for zigzag respectively.

KEYWORDS : Post-tensioned Flat Slabs, Plate Bending Finite Element Analyses

บทนำ

ในปัจจุบันระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงไร้คาน เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในอาคารทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารสูงและอาคารที่มีช่วงเสายาวมาก ๆ เนื่องจากสามารถตอบสนองความต้องการทางด้านสถาปัตยกรรม ด้านโครงสร้างด้านความประหยัด และด้านความเร็วในการก่อสร้างได้ดีกว่าระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป แต่การออกแบบพื้นดังกล่าว มีขั้นตอนที่ซับซ้อน เช่น การคำนวณหาค่าของหน่วยแรงที่หน้าตัดวิกฤตต่าง ๆ ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถนำไปโปรแกรมช่วยออกแบบที่ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบโครงข้อแข็งเสมือนที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ Adapt Builder, SAFE เป็นต้น

ในตารางที่ 1 อัตราส่วนช่วงความยาวต่อความหนาของพื้นของ Post Tensioning Institute(1999) ได้มาจากราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงในประเทศสหรัฐอเมริกา และยังกำหนดความหนาที่เหมาะสมเป็นช่วง เช่น สำหรับพื้นสองทางต่อเนื่องมีอัตราส่วนที่เหมาะสมอยู่ช่วง 40 - 45 เป็นต้น Post Tensioning

ตารางที่ 1 อัตราส่วนช่วงความยาวต่อความหนาของพื้นที่แนะนำโดย Post-Tensioning Institute (1999)

ชนิดของพื้น	ความยาวช่วงต่อความลึกของพื้น
พื้นทางเดียว	48
พื้นสองทางมีที่รองรับที่ปลาย	55
พื้นไร้คานท้องเรียบ	45
พื้นไร้คานแบบมีแป้นหัวเสา	50
ความหนาของคานกว้าง	30

Institute (1999) ไม่ได้ระบุหน้าทับบรรทุกของพื้น ซึ่งแน่นอนว่าราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรง สำหรับหน้าทับบรรทุกที่แตกต่างกันก็ย่อมทำให้ความหนาที่เหมาะสมต่างกัน

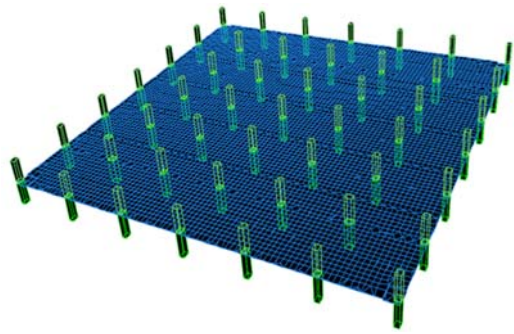
ในปัจจุบันมีโปรแกรมที่ช่วยวิเคราะห์และออกแบบแผ่นพื้นไร้คานโดยใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Method) เช่น RAM Concept, CSI SAFE และ Adapt Builder ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวกล่าว ใช้อีลิเมนต์แบบแผ่น (Plate Element)

ในการวิเคราะห์แผ่นพื้น ซึ่งจะให้คำตอบของหน่วยแรงที่เกิดจากการกระจายของแรงในทั้งสองทิศทาง ซึ่งเป็นการมองโครงสร้างในรูปแบบสามมิติโดยตรง (ฉัตร สุจินดา 2551 และ 2552) ได้ศึกษามาแล้วว่าวิธีดังกล่าว ให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของโครงสร้างได้มากกว่าสองมิติ สมชาย ตงอาภรณ์ และ ฉัตร สุจินดา (2552) ได้ศึกษาหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์แบบสามมิติ โดยใช้โปรแกรม RAM Concept โดยมี ความยาวช่วงเสา คือ 8 เมตร น้ำหนักบรรทุกจรที่ศึกษามี 300 - 500 กก/ตร.ม. ธนัญกรณ์ ต่อศิริสกุลวงศ์ และ ฉัตร สุจินดา (2554) ได้ศึกษาหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์แบบสามมิติ โดยใช้โปรแกรม CSI SAFE โดยมีความยาวช่วงเสา คือ 6 7.5 และ 9 เมตร น้ำหนักบรรทุกจรที่ศึกษามี 200 300 และ 400 กก/ตร.ม.

จากพื้นฐานดังกล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จึงนำโปรแกรม RAM Concept V8i Release 3.1 (Bentley Software, 2009) มาใช้วิเคราะห์และออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง เนื่องจากราคาของโปรแกรม (Academic Version) มีราคาไม่แพงมากและนำผลของการศึกษานี้มาเป็นแนวทางเบื้องต้น สำหรับผู้ที่ออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงต่อไป

บทความวิจัยนี้เป็นการนำโปรแกรม Ram Concept มาทดลองออกแบบเพื่อหาความหนาที่เหมาะสม ที่ให้ราคาต่ำก่อสร้างต่ำสุด โดยอ้างอิงข้อมูลราคาวัสดุค่าก่อสร้างและค่าแรงในประเทศไทย สำหรับความยาวช่วงเสา 6, 7.5 และ 9 เมตร กำลังอัดประลัยคอนกรีต (f_c') สำหรับพื้นคอนกรีตอัดแรง กำหนดใช้ f_c' เท่ากับ 320 กก/ตร.ซม. และ 400 กก/ตร.ซม. โดยกำหนดให้เพิ่มแป้นหัวเสา และเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่หัวเสาเมื่อคอนกรีตไม่สามารถรับแรงเฉือนได้เพียงพอ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณราคาและออกแบบเบื้องต้น ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของสมชาย ตงอาภรณ์ และฉัตร สุจินดา (2552) ที่ศึกษาเฉพาะความยาวช่วงเสา 8 เมตร ในขณะที่งานวิจัยของ ธนัญกรณ์ ต่อศิริสกุลวงศ์ และ ฉัตร สุจินดา (2555) ศึกษาโดยใช้โปรแกรม CSI SAFE

แบบจำลองสามมิติสำหรับระบบแผ่นพื้นไร้คานใช้ไฟไนท์อีลีเมนต์แบบแผ่น (Plate Element) เป็นตัวแผ่นพื้น และใช้อีลีเมนต์โครงข้อแข็ง (Frame Element) เป็นเสา ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แบบจำลองไฟไนท์อีลีเมนต์ของระบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาหาสมการอย่างง่าย สำหรับใช้ประมาณความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงที่เหมาะสมและประหยัด สำหรับใช้ในการออกแบบขั้นต้น (Preliminary Design) โดยที่ผู้ออกแบบไม่ต้องลองผิดลองถูกตั้งแต่เริ่มต้น

ระเบียบวิธีวิจัย

1. เลือกรูปแบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ที่มีลักษณะของการจัดวางตำแหน่งของเสาที่แตกต่างกัน เพื่อให้ครอบคลุมกับลักษณะอาคารโดยทั่วไป
2. วิเคราะห์และออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ด้วยโปรแกรม RAM Concept V8i Release 3.1 โดยจะกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งเป็นตัวแปรต้นของการออกแบบและทดลองกำหนดความหนาของแผ่นพื้นที่แตกต่างกัน (โดยเพิ่มหรือลดทีละ 1-2 ซม.)
3. ประมาณค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรง จากผลการออกแบบที่ได้ในแต่ละกรณี โดยใช้ข้อมูลราคาต่อหน่วยจากสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้าของเดือน เม.ย. 2555
4. คำนวณค่าของความหนาที่เหมาะสมซึ่งทำให้ราคาต่ำก่อสร้างรวมต่ำที่สุด โดยใช้การคำนวณหาความชันของสมการถดถอย ระหว่างค่าก่อสร้างและความหนาเท่าศูนย์
5. นำผลคำตอบของการออกแบบที่ทำให้ราคาต่ำก่อสร้างรวมต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุดของแต่ละกรณีซึ่งมีพารามิเตอร์แตกต่างกัน มาใช้กำหนดสมการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression) เพื่อใช้เป็นสูตรอย่างง่ายสำหรับการออกแบบเบื้องต้น

ขอบเขตงานวิจัย

1. วิเคราะห์และออกแบบตามมาตรฐานออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999)

2. รูปแบบแผ่นพื้นที่ศึกษามี 3 กรณี คือ สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า และแนวเสาเอียงศูนย์ ซึ่งพิจารณาเฉพาะเป็นแบบไม่มีผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall) โครงสร้างบันไดหรือช่องเปิดต่างๆ

3. ระยะความยาวช่วงเสา 6, 7.5 และ 9 เมตร ขึ้นอยู่กับกรณีของแผ่นพื้นที่ศึกษา

4. ศึกษาเฉพาะคอนกรีตอัดแรงภายหลัง (Post Tension) ที่ใช้ลวดอัดแรงเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2" เกรด 270 ksi ในระบบที่มีการยึดเหนี่ยว (Bond System) ซึ่งต้องมีกรอตัน้ำปูน (Grouting)

5. ศึกษาอัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของพื้น ในช่วง 40-45 (Post-Tensioning Institute, 1999) น้ำหนักบรรทุกจร (W_{LL}) ที่ศึกษาคือ 200, 300 และ 400 กก/ตร.ม. (ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องการควบคุมการก่อสร้าง, 2522) โดยมีน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม (Super Impose Dead Load) 120 กก/ตร.ม. สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร 200 และ 300 กก/ตร.ม. และน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม 50 กก/ตร.ม. สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร 400 กก/ตร.ม. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน (f_c') 320 และ 400 กก/ตร.ม. และพารามิเตอร์รูปทรงของแผ่นพื้นมี 3 กรณีคือ สี่เหลี่ยมจัตุรัส อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว (s/l) = 1.0 สี่เหลี่ยมผืนผ้า อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว (s/l) = 0.5 และ 0.75 และแนวเสาเอียงศูนย์ มีระยะเอียง (y') = 1.0 และ 2.0

6. ศึกษาเฉพาะแผ่นพื้นรับน้ำหนักบรรทุกกระทำในแนวตั้ง (Gravity Load Resisting) ไม่พิจารณาน้ำหนักบรรทุกกระทำด้านข้าง (Lateral Load Resisting)

7. กำหนดให้ความหนาที่เหมาะสมของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง คือ ความหนาที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวม (ราคาวัสดุคอนกรีต ลวดอัดแรง เหล็กเส้น แบบหล่อและค่าแรง) ต่อตารางเมตรต่ำสุด และผ่านตามข้อกำหนดทุกข้อในมาตรฐานออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

ข้อจำกัดงานวิจัย

1. ใช้ได้กับเฉพาะอาคารที่มีแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงระบบมีการยึดเหนี่ยว (Bond System)

2. ใช้ได้กับเฉพาะอาคารที่มีรูปร่างแบบเหมือนหรือคล้ายกับกรณีที่ศึกษาที่เลือกมาเท่านั้น

วิธีการดำเนินงานวิจัย

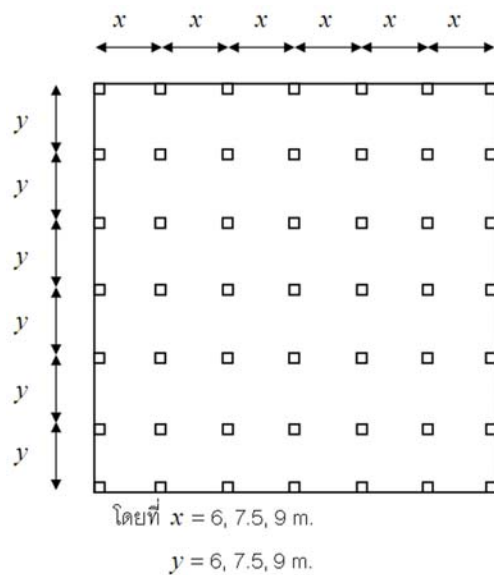
ขั้นตอนการหาความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กำหนดรูปแบบการจัดเรียงของเสา

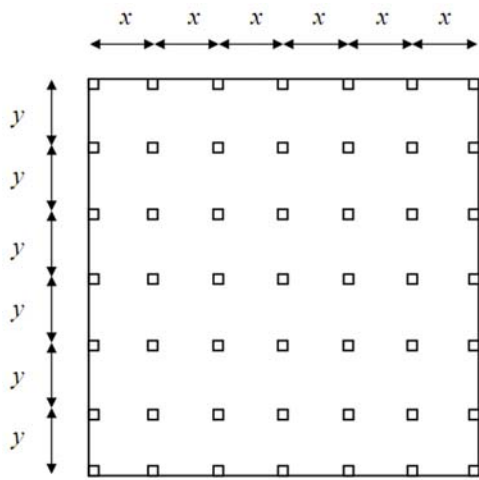
ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดไว้ 3 กรณี คือ

1. **กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส** มีระยะช่วงเสา คือ 6, 7.5 และ 9 เมตร ทั้งสองทิศทาง (x และ y) ตำแหน่งของเสาจัดอยู่ในแนวเส้นตรงที่ตั้งฉากกันอย่างเป็นระเบียบ ดังแสดงภาพที่ 2

2. **กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า** มีระยะช่วงเสาคงที่ในแนวแกน x คือ 6, 7.5 และ 9 เมตร ส่วนระยะในแนวแกน y จะแปรเปลี่ยนอัตราส่วนช่วงสั้นต่อช่วงยาว (s/l) คือ 0.5 และ 0.75 ทำให้ระยะ y ที่ $x = 6$ เมตร มีค่า 3 และ 4.5 เมตร ระยะ y ที่ $x = 7.5$ เมตร มีค่า 3.75 และ 5.625 เมตร และระยะ y ที่ $x = 9$ เมตร มีค่า 4.5 และ 6.75 เมตร ตามลำดับ ตำแหน่งของเสาจัดอยู่ในแนวเส้นตรงที่ตั้งฉากกันอย่างเป็นระเบียบ ดังแสดงภาพที่ 3



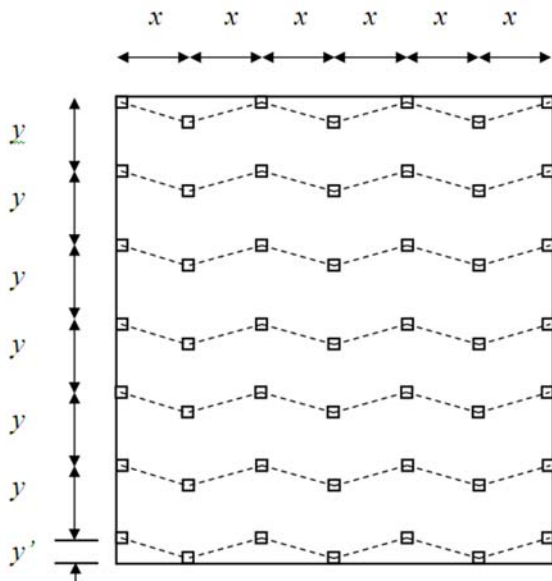
ภาพที่ 2 กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส



โดยที่ $x = 6, 7.5, 9$ m.
 $y = (s/l) \times 6, 7.5, 9$ m.

ภาพที่ 3 กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า

3. กรณีแนวเสาเอียงศูนย์ มีระยะช่วงเสาคงที่ในแนวแกน x และ y คือ 6, 7.5 และ 9 เมตร และมีระยะเอียง $y' = 1.0$ และ 2.0 เมตร ทำให้ตำแหน่งของเสาแตกต่างกันไปจากแนวที่ตั้งฉากกันในรูปแบบซิกแซกไปมา ดังแสดงภาพที่ 4



โดยที่ $x = 6, 7.5, 9$ m.
 $y = 6, 7.5, 9$ m.
 $y' = 1.0, 2.0$ m.

ภาพที่ 4 กรณีแนวเสาเอียงศูนย์

แผ่นพื้นทั้งหมดมีความยาวช่วงเสา คือ 6, 7.5 และ 9 เมตร โดยใช้ความยาวช่วงเสาสูงสุดที่แนะนำโดย Aalami (1989) เสาสูง 3 เมตร (มีทั้งเสาบนและเสาล่าง) เสาและพื้นใช้คอนกรีตกำลังอัดประลัย (fc') 320 กก/ตร.ซม. และ 400 กก/ตร.ซม. รับน้ำหนักตายตัวที่ไม่ใช่ น้ำหนักของตัวพื้นเอง (Super-imposed Dead Load) $W_{SDL} = 120$ กก/ตร.ม. (เช่น คอนกรีต Topping วัสดุปูพื้น ท่อประปา-แอร์ ฝ้าเพดาน) และน้ำหนักบรรทุกจร $W_{LL} = 200, 300$ และ 400 กก/ตร.ม

ราคาต่อหน่วยของวัสดุและค่าแรง

รวบรวมราคาต่อหน่วยวัสดุและค่าแรงซึ่งเป็นข้อมูลในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2

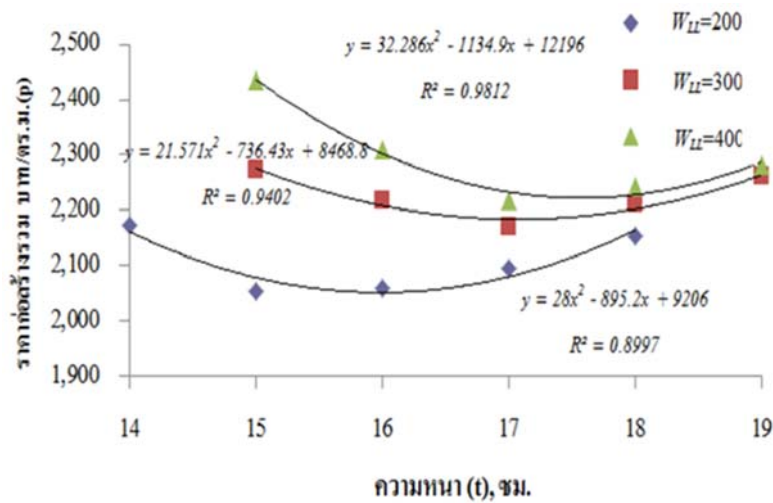
ตารางที่ 2 ราคาต่อหน่วยของวัสดุและค่าแรง

ประเภท	ราคาต่อหน่วย (บาท)		
	วัสดุ	ค่าแรง	
ลวดเกลียวอัดแรง (Low relaxation) 12.7 มม (1/2") Grade 270 ksi	48/กก	20/กก	
คอนกรีตกำลังอัดประลัย	320 ksc.	2,740/ม ³	340/ม ³
	400 ksc.	3,000/ม ³	340/ม ³
เหล็กเสริม (SD40)	23/กก	2.8/กก	
แบบหล่อ	125/ม ²	120/ม ²	

แหล่งที่มาของข้อมูล : ดัชนีเศรษฐกิจการค้า (2555)

นำราคาค่าก่อสร้างที่ได้เขียนกราฟความสัมพันธ์

จากผลการวิจัยสำหรับแต่ละกรณีศึกษา นำราคาค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตรที่ได้ นำมาเขียนกราฟ เช่น กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่กำลังอัดประลัย $fc' = 320$ กก/ตร.ซม. ระยะความยาวช่วงเสา 7.5 x 7.5 ม. ได้แสดงไว้เป็นตัวอย่างดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของราคาค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตร และความหนาของแผ่นพื้นที่กำลังอัดประลัย $fc' = 320$ กก/ตร.ซม. กรณีสีเหลี่ยมจัตุรัส ระยะช่วงเสา 7.5 x 7.5 ม

จากกราฟในภาพที่ 5 แสดงราคาค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตร p และความหนาของแผ่นพื้น t ซึ่งนำมาหาความหนาที่เหมาะสมคือจุดที่ $\frac{dp}{dt} = 0$ จะได้ความหนาที่เหมาะสมสำหรับกรณีการศึกษาต่างๆ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความหนาที่เหมาะสมต่อราคาค่าก่อสร้าง

กรณีพื้น	ช่วงเสา (มxม)	fc' (ksc.)	W_{LL} (กก/ม ²)	t (ซม)
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	6x6	320	200	11.23
			300	12.07
			400	12.56
		400	200	11.03
			300	11.47
			400	12.00
	7.5x7.5	320	200	15.99
			300	17.07
			400	17.58
		400	200	14.72
			300	15.77
			400	16.50
	9x9	320	200	18.25
			300	18.71
			400	19.10
400		200	18.07	
		300	18.14	
		400	18.26	

ตารางที่ 3 (ต่อ) ความหนาที่เหมาะสมต่อราคาค่าก่อสร้าง

กรณีพื้น	ช่วงเสา (มxม)	fc' (ksc.)	W_{LL} (กก/ม ²)	t (ซม)
สี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.75$	6x4.5	320	200	9.65
			300	11.49
			400	11.67
		400	200	9.51
			300	10.51
			400	10.93
	7.5x5.625	320	200	11.07
			300	15.56
			400	15.66
		400	200	10.97
			300	13.39
			400	14.81
	9x6.75	320	200	19.53
			300	20.93
			400	22.83
400		200	19.23	
		300	19.31	
		400	20.14	

ตารางที่ 3 (ต่อ) ความหนาที่เหมาะสมต่อราคาค่าก่อสร้าง

กรณีพื้นที่	ช่วงเสา (มม)	fc' (ksc.)	W_{LL} (กก/ม ²)	t (ซม)	
สี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.5$	6x3	320	200	10.79	
			300	11.37	
			400	11.72	
		400	200	10.30	
			300	11.09	
			400	12.37	
	7.5x3.75	320	200	12.60	
			300	14.72	
			400	14.89	
		400	200	12.17	
			300	13.94	
			400	14.43	
	9x4.5	320	200	13.86	
			300	17.34	
			400	18.84	
		400	200	12.83	
			300	15.18	
			400	16.09	
	ซีกแซก $y' = 1.0$ ม.	6x6	320	200	10.53
				300	11.02
				400	11.48
			400	200	9.32
				300	10.87
				400	11.06
7.5x7.5		320	200	15.10	
			300	15.18	
			400	15.42	
		400	200	13.70	
			300	15.10	
			400	15.24	
9x9		320	200	17.71	
			300	18.07	
			400	18.27	
		400	200	17.71	
			300	17.99	
			400	18.13	

ตารางที่ 3 (ต่อ) ความหนาที่เหมาะสมต่อราคาค่าก่อสร้าง

กรณีพื้นที่	ช่วงเสา (มม)	fc' (ksc.)	W_{LL} (กก/ม ²)	t (ซม)
ซีกแซก $y' = 2.0$ ม.	6x6	320	200	10.12
			300	11.47
			400	11.73
		400	200	9.91
			300	10.18
			400	10.33
	7.5x7.5	320	200	15.19
			300	15.47
			400	15.49
		400	200	14.99
			300	15.33
			400	15.35
	9x9	320	200	18.12
			300	18.40
			400	19.86
		400	200	17.98
			300	18.04
			400	19.08

หาสมการถดถอย

จากข้อมูลในตารางที่ 3 นำมาหาสมการถดถอยโดยใช้โปรแกรม E-view 5.1 โดยกำหนดความหนาที่เหมาะสมเป็นตัวแปรตาม โดยระยะช่วงเสาถึงเสาเป็นตัวแปรต้น จะได้สมการถดถอยเพื่อใช้ทำนายความหนาแผ่นพื้นที่เหมาะสมและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ดังแสดงในตารางที่ 4 เมื่อ

- t = ความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสม (ซม)
- fc' = กำลังอัดประลัยคอนกรีตที่ 28 วัน, (ksc)
- W_{LL} = น้ำหนักบรรทุกจร, (กก/ตร.ม.)
- L = ความยาวช่วงเสา (ม)
- s/l = อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว
- y' = ระยะเอียงซีกแซก, (ม)
- R^2 = Coefficient of Determination

ตารางที่ 4 สมการถดถอยทำนายความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสม

กรณี	สมการทำนายความหนา	R ²	ความคลาดเคลื่อน (Residual), (ซม)
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	$t = - (1.050 \times 10^{-2} \times fc') - (8.917 \times 10^{-6} \times W_{LL}^2) + (1.040 \times 10^{-2} \times W_{LL}) - (4.952 \times 10^{-1} \times L^2) + (9.175 \times L) - 27.182$	0.99	-0.59 ถึง 0.43
สี่เหลี่ยมผืนผ้า	$t = - (9.500 \times 10^{-3} \times fc') - (2.044 \times 10^{-5} \times W_{LL}^2) - (8.800 \times 10^{-3} \times W_{LL}) - (8.120 \times 10^{-2} \times L^2) + (3.645 \times L) - (5.565 \times s/l^2) + (10.544 \times (s/l)) - 8.013$	0.94	-1.54 ถึง 1.78
ซิกแซก	$t = - (5.200 \times 10^{-3} \times fc') - (8.333 \times 10^{-6} \times W_{LL}^2) + (9.600 \times 10^{-3} \times W_{LL}) - (2.981 \times 10^{-1} \times L^2) + (6.999 \times L) + (2.656 \times 10^{-1} \times y') - 21.218$	0.99	-0.70 ถึง 0.84

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลของการทดลองออกแบบแผ่นพื้นที่ความหนาต่างๆ กัน เช่นกรณีพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 9x9 ม ที่กำลังอัดประลัย $fc' = 320$ กก/ตร.ซม. นำหนักบรรทุกจร $W_{LL} = 400$ กก/ตร.ม. นำมาเขียนกราฟระหว่างราคาค่าก่อสร้างรวมกับความหนาของแผ่นพื้นที่ต่างๆ กัน และกราฟระหว่างราคาวัสดุ (รวมค่าแรง) แยกประเภทกับความหนาของแผ่นพื้นที่ต่างๆ กัน ดังแสดงในภาพที่ 6 (สำหรับกรณีอื่นๆ มีลักษณะคล้ายกัน)

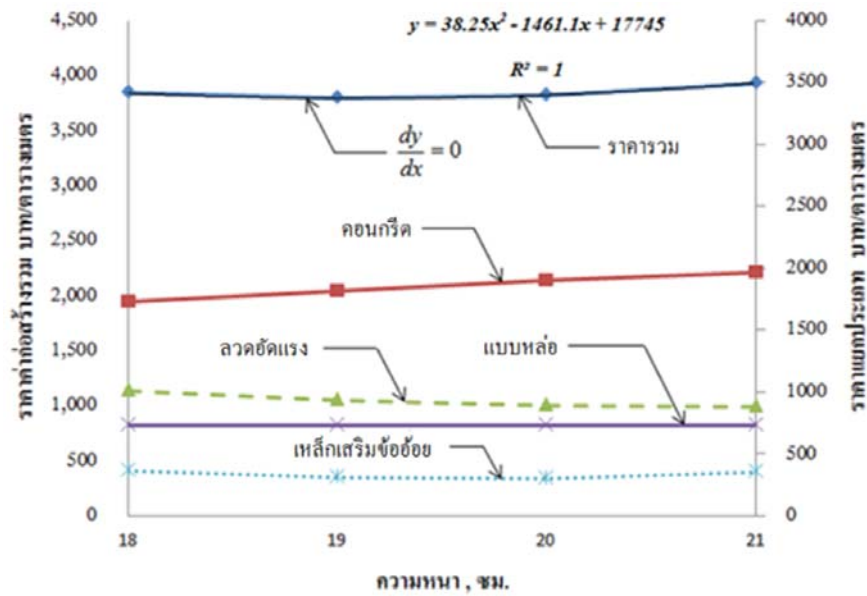
จากเส้นกราฟของราคาคอนกรีตและเหล็กเสริมข้อ้อย ในภาพที่ 6 จะสังเกตเห็นได้ว่าที่ความหนา 18 ซม ราคาเหล็กเสริมต่อตารางเมตรมีค่าสูงกว่าที่ความหนา 20 ซม เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากที่ความหนา 18 ซม มีค่าความลึกประสิทธิผลน้อยจึงทำให้ปริมาณเหล็กเสริมเพิ่มขึ้น นั่นคือที่ความหนา 18 ซม หรือมากกว่า มีแนวโน้มของปริมาณคอนกรีตเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณเหล็กเสริมลดลงเมื่อความหนาของแผ่นพื้นที่เพิ่มขึ้น

จากเส้นกราฟปริมาณลวดอัดแรงต่อตารางเมตร จะสังเกตเห็นได้ว่า ที่ความหนาน้อยจะมีปริมาณลวดอัดแรงมาก แต่เมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นที่มากขึ้น ปริมาณลวดอัดแรงจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากที่ความหนาน้อยระยะเยื้องศูนย์กลาง (eccentricity) ที่มีค่าน้อยทำให้เกิดแรงยกตัวของลวดอัดแรงน้อย จึงต้องเพิ่มปริมาณลวดอัดแรงให้มากขึ้น ซึ่งในระหว่างขั้นตอนออกแบบพบว่าที่ความหนาน้อยจำเป็นจะต้องเพิ่มปริมาณลวดอัดแรงให้มากกว่าปริมาณต่ำสุด 8.8 กก/ตร.ซม.

จากเส้นกราฟปริมาณแบบหล่อต่อตารางเมตร จะสังเกตเห็นได้ว่าปริมาณแบบหล่อต่อตารางเมตร มีค่าคงที่สำหรับทุกความหนา เนื่องจากโปรแกรม RAM Concept V8i ไม่ได้พิจารณาถึงปริมาณแบบหล่อ ด้านข้างซึ่งถือว่ามึปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณแบบหล่อทั้งหมด

จากเส้นกราฟค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่ ที่ความหนาน้อยจะมีราคารวมต่อพื้นที่มาก เมื่อเพิ่มความหนาในช่วงกลางๆ ค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่จะลดลง แต่เมื่อเพิ่มความหนาต่อไปอีก ค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่จะกลับเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าก่อสร้างรวมเป็นผลรวมของราคาคอนกรีต เหล็กเสริมข้อ้อย ลวดอัดแรง และแบบหล่อ ซึ่งราคาของคอนกรีตและเหล็กเสริมข้อ้อยมีแนวโน้มโดยรวมที่เพิ่มขึ้น เมื่อความหนาของแผ่นพื้นที่เพิ่มขึ้น แต่ราคาลวดอัดแรงมีแนวโน้มในทางตรงกันข้าม ส่วนราคาแบบหล่อนั้นคงที่สำหรับทุกความหนา จึงทำให้ราคารวมต่ำสุดเมื่อความหนาของแผ่นพื้นที่มีค่าอยู่ในช่วงกลางๆ ซึ่งหากหาสมการถดถอยของราคารวม ที่เป็นฟังก์ชันของความหนาของแผ่นพื้นที่แล้วนำมาหาความหนาทำให้ $\frac{dy}{dx} = 0$ จะได้เป็นความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสมที่สุด ลักษณะกรณีศึกษาอื่นอีก 2 กรณี คือ สี่เหลี่ยมผืนผ้าและซิกแซก มีลักษณะที่คล้ายกันจึงไม่ได้นำมาแสดงไว้ในที่นี้

จากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี สมการทำนายความหนาที่เหมาะสม มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R²) ของสมการทำนายดังแสดงในตารางที่ 4 อยู่ในช่วง 0.94 ถึง 0.99 ซึ่งแสดงว่าระดับ

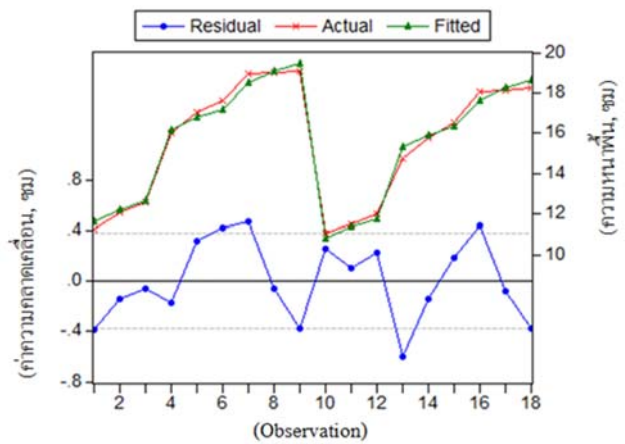


ภาพที่ 6 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างราคา ค่าก่อสร้างรวม ราคาวัสดุ (ค่าแรง) แยกประเภทกับความหนาของแผ่นพื้น กรณีพื้นที่เหลี่ยมจัตุรัส 9x9 ม ที่กำลังอัดประลัย $fc' = 320$ กก/ตร.ซม. น้ำหนักบรรทุกจร $W_{LL} = 400$ กก/ตร.ม.

ความสัมพันธ์ของจุดข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นสมการถดถอยอยู่ในเกณฑ์ระดับที่ดีมาก สำหรับความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (Residual) ของกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัสและซิกแซกอยู่ในช่วง -0.70 ถึง 0.84 ซม. ซึ่งมีค่าไม่เกิน 1 ซม. ถือว่ายอมรับได้ เนื่องจากการกำหนดความหนานิยามกำหนดเป็นจำนวนเต็มของ ซม. อยู่แล้ว แต่ในกรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย อยู่ในช่วง -1.54 ถึง 1.78 ซม. ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนที่เกิน 1 ซม. ทั้งนี้เนื่องจากการนำข้อมูลของช่วงเสาที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มีมากขึ้น

จากภาพที่ 7 แสดงกราฟเปรียบเทียบความหนาที่เหมาะสมของจุดข้อมูล (Actual) จากตารางที่ 4 และของที่ทำนายได้ (Fitted) จากสมการในตารางที่ 4 และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (Residual) โดยใช้โปรแกรม Eviews 5.1 สำหรับกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส ได้กราฟดังแสดงในภาพที่ 7

จากการศึกษานี้พบว่า แผ่นพื้นไร้คานที่เสริม Band Beam สำหรับกรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.5$ มีผลต่อความหนาของพื้นที่เหมาะสม เนื่องจากการนำเมื่อข้อมูลความหนาที่เหมาะสมของกรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า มาหาสมการถดถอยโดยใช้โปรแกรม



ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่าความหนาที่เหมาะสม (ซม) จากการออกแบบ (Actual) ค่าความหนาจากสมการ (Fitted) และค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

EvIEWS 5.1 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายมาก ประมาณ 3 ซม ดังนั้นเพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลง และสมการทำนายความหนาของพื้นมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น จึงไม่ได้ นำข้อมูลความหนาที่เหมาะสมของกรณีดังกล่าวที่เสริม Band Beam มารวมไว้ด้วย

จากการวิจัยพบว่าบริเวณที่มุมเสาของแผ่นพื้นไร้คาน และบริเวณเสาริมนอกของทุกกรณี มีการเสริมแบนหัวเสาและเสริมเหล็กรับแรงเฉือนที่หัวเสา เนื่องจากบริเวณดังกล่าว เส้นรอบรูปของหน้าตัดเดือนทะเลลุ่มีค่าน้อยไม่ครบทั้ง 4 ด้าน

จากสมการทำนายความหนาที่ได้ เมื่อแทนค่าด้วยตัวแปรต้นและตัวแปรตาม มาหาค่าความหนาที่เหมาะสมพบว่า อัตราส่วนช่วงเสาต่อความหนาที่เหมาะสมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 49, 54 และ 52 สำหรับกรณีพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า และซิกแซกตามลำดับ ซึ่งค่าที่แนะนำไว้โดย Post-Tensioning Institute (1999) มีค่าอยู่ระหว่าง 45 - 50 จะเห็นได้ว่าความหนาของพื้นที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยมีค่าความหนาน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ Post-Tensioning Institute (1999) แนะนำ 3% สำหรับกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส 12% สำหรับกรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า และ 9% สำหรับกรณีซิกแซก ทั้งนี้อาจจะมีส่วนเนื่องจากการกำลังวัสดุคอนกรีต และเหล็กเสริมที่นิยมใช้ในปัจจุบันแตกต่างไปจากอดีต ราคาวัสดุ และค่าแรงในประเทศไทยต่างจากราคาในประเทศสหรัฐอเมริกา น้ำหนักบรรทุกของพื้นที่นำมาวิเคราะห์แตกต่างกัน รวมถึงวิธีวิเคราะห์และออกแบบในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ

จากการเปรียบเทียบผลงานวิจัยที่คล้ายกันแต่ใช้โปรแกรม CSI SAFE V12.3.2 (ธนัญกรณ์, 2556) พบว่า

1. อัตราส่วนของความหนาที่ได้จากการศึกษานี้ต่อที่ได้จากโปรแกรม SAFE เป็น 1.11, 1.04 และ 1.06 สำหรับกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า และแนวเสาเอียงศูนย์ตามลำดับ

2. ค่าอัตราส่วนของปริมาณคอนกรีตที่ได้จากการศึกษานี้เมื่อเทียบกับโปรแกรม SAFE มีค่า 0.99, 1.18 และ 1.06 เท่า สำหรับกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า และแนวเสาเอียงศูนย์ตามลำดับ ซึ่งพบว่า กรณีพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสและแนวเสาเอียงศูนย์มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในกรณีพื้นสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีค่าต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากโปรแกรม RAM Concept มีการเสริมคานกว้าง

3. ค่าอัตราส่วนของปริมาณลวดอัดแรงที่ได้ จากการศึกษานี้เมื่อเทียบกับโปรแกรม SAFE เป็น 1.14, 0.63 และ 1.34 สำหรับกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า และแนวเสาเอียงศูนย์ตามลำดับ พบว่าในกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัสและแนวเสาเอียงศูนย์มีค่าเกินกว่า 1 ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาที่ใช้โปรแกรม SAFE เสริมลวดอัดแรงตลอดความยาวช่วงแผ่นพื้น ส่วนโปรแกรม RAM Concept เสริมลวดอัดแรงเฉพาะตรงบริเวณที่หน่วยแรงดึงไม่ผ่านมาตรฐานเท่านั้น

4. ค่าอัตราส่วนของปริมาณเหล็กเสริมที่ได้ จากการศึกษานี้เมื่อเทียบกับโปรแกรม SAFE เป็น 0.89, 0.58 และ 0.45 สำหรับกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า และแนวเสาเอียงศูนย์ตามลำดับ ซึ่งพบว่าทุกกรณีมีค่าน้อยกว่า 1 ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาที่ใช้โปรแกรม SAFE กำหนดระยะการตัดเหล็ก (Curtaiment) ตามมาตรฐาน ในขณะที่โปรแกรม RAM Concept จะใส่เหล็กเสริมเฉพาะตรงบริเวณที่หน่วยแรงเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดบวกระยะฝัง

5. โปรแกรม RAM Concept สามารถเลือกให้เสริมเหล็กรับแรงเฉือนที่หัวเสาทั้งชนิดเหล็กปลอกหรือ Shear Stud Rail ในขณะที่โปรแกรม SAFE สามารถออกแบบให้เสริมได้เฉพาะเหล็กชนิดเหล็กปลอก

ข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้จำกัดรูปแบบของแผ่นพื้น ระบบลวดอัดแรง มาตรฐานการวิเคราะห์ออกแบบ และน้ำหนักบรรทุกที่กระทำเฉพาะเท่าที่เห็นว่าสำคัญเท่านั้น อาจมีผลกระทบอื่นๆอีกที่มีผลต่อระบบโครงสร้างของแผ่นพื้น ทั้งที่เป็นปัจจัยในเชิงคุณภาพ และในเชิงปริมาณ ซึ่งอาจจะขยายขอบเขตการศึกษาออกไปให้กว้างกว่านี้ได้ในอนาคต ได้แก่

1. ศึกษากรณีพิจารณาเป็นแบบมีผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall) โครงสร้างบันได และช่องเปิดต่างๆ
2. ศึกษากรณีพิจารณาเป็นแบบพื้นโค้ง และเฉียง
3. ศึกษาผลกระทบของแรงกระทำด้านข้างของอาคาร เช่น แรงลม และแรงแผ่นดินไหว ที่มีผลต่อความหนาที่เหมาะสมของแผ่นพื้น กรณีที่ใช้แผ่นพื้นเป็นส่วนหนึ่งของระบบการรับแรงด้านข้าง

4. ศึกษาผลกระทบขนาดของเสา และ Band Beam ที่มีต่อความหนาพื้นที่เหมาะสม
5. ศึกษาผลกระทบของ Band Beam ที่มีต่อความหนาพื้นที่เหมาะสม
6. ศึกษาเปรียบเทียบกรณีไม่มีแป้นหัวเสา และมีแป้นหัวเสารูปแบบต่างๆ ในด้านของความประหยัด
7. ศึกษาผลของกรณีที่มีช่วงเสาแตกต่างกันในแนวเสา (Column Line) เดียวกัน

เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา ประจำปี 2537-2538.
2538. **มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง ว.ส.ท. 1008-38.** กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

ฉัตร สุจินดา. 2551. **การเปรียบเทียบผลการออกแบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติและวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13, โรงแรมจอมเทียน ปาล์ม บีช พัทยา. ชลบุรี.

ฉัตร สุจินดา. 2552. **การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ทุดิยามิในพื้นที่คานคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติ และวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14, สุสัสมมนาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.

สมชาย ตงอาภรณ์ และฉัตร สุจินดา. 2552. **การศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบสามมิติ.** เอกสารการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 5, โรงแรมเดอะกรีนเนอรี รีสอร์ท นครราชสีมา.

ธัญญกรณ์ ต่อศิริสกุลวงศ์ และฉัตร สุจินดา. 2554. **การศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบสามมิติโดยใช้โปรแกรม CSI SAFE.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16, โรงแรมเดอะชานีย์ พัทยา ชลบุรี.

สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. 2555. **ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง.** กรุงเทพฯ: สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า.

The Post-Tensioning Institute. 1999. **Design Fundamentals of Post-Tensioned Concrete Floors,** Phoenix, AZ.

ACI Committee 318. 2008. **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-08) and Commentary (ACI318R-08).** Farmington Hill, MI.

Aalami, B.O. 1989. **Design of Post-Tensioned Floor Slab,** ACI, Concrete International, 11(6), June: 59-61.



>> พัทชนันท์ มณีชนพันธ์

สำเร็จการศึกษา ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีปทุม ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ประสบการณ์ทำงาน ปัจจุบัน วิศวกรรมโยธา/โครงสร้าง บริษัท สเปน จำกัด



>> Chatr Suchinda

Chatr Suchinda was born in Thailand, in 1967. He received the B. Eng. degree in 1989 and M. Eng. degree in 1991 from Kasetsart University, Bangkok, Thailand. After graduated, he worked as a structural engineer at Arun Chaiseri Consulting Engineers firm designing structures for many high rise buildings in Bangkok including Bai Yok 2 and Thai Wah towers. After he received the Ph.D. degree in 2000 from Georgia Tech, he worked as a structural engineer in PT System of Georgia, USA. He designed many residential, office and class room buildings in Georgia, Florida, South Carolina and other states. After went back to Thailand in 2003, he joined department of Civil Engineering at Sripatum University. He teaches Reinforced concrete design, Theory of Structures, Structural Analysis and Finite Element Analysis courses. His research interests are Structure Reliability, Reinforced and Post-tensioned Concrete, Fiber-reinforced Plastic and Finite Element Analysis.