

การศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก
โดยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติโดยใช้โปรแกรม CSI SAFE
A Study to Determine Optimal Thickness for Reinforced Concrete Flat Slab
using 3D Plate Finite Element using CSI SAFE Program

ยอด ผลสงเคราะห์ (Yod Phonsongkhroh)¹

ฉัตร สุจินดา (Chart Suchinda)²

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม yod.civil@gmail.co.th

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม chart.su@spu.ac.th

บทคัดย่อ : บทความนี้นำเสนอการศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยอาศัยข้อมูลราคาต่อหน่วยของวัสดุคอนกรีต เหล็กเส้น แบบหล่อ และค่าแรงในประเทศไทย เพื่อนำมาทดลองออกแบบแผ่นพื้นที่มีความหนา และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ กัน โดยใช้โปรแกรม CSI SAFE ซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์ไฟไนต์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ มีกรณีศึกษาคือ สี่เหลี่ยมผืนผ้าแปรเปลี่ยนอัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว 0.50 0.75 และ 1.00 น้ำหนักบรรทุกจร 200 และ 400 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ระยะช่วงเสา 6 และ 8 เมตร และกำลังอัดประลัยคอนกรีต 320 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นได้นำผลของการออกแบบไปหาสมการอย่างง่ายเพื่อใช้ทำนายความหนาที่เหมาะสม ที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำสุด เพื่อช่วยให้วิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปประมาณราคา และเป็นแนวทางในการออกแบบ

ABSTRACT : The paper presents a study to determine optimal thicknesses for reinforced concrete flat slabs based on construction unit costs in Thailand including concrete, rebars, formworks and labors. The trial designs were performed for various parameters including thicknesses, and live loads. CSI SAFE program based on 3-dimensional plate finite element analyses were used. There are studied column layouts including rectangular varying short to long span ratios 0.5 0.75 and 1.0 with 200 and 400 kg/m² live loads 6 and 8 m span lengths and 320 kg/cm² concrete ultimate strength. Then, the results from these designs were used to determine the prediction equations for estimating the optimum slab thicknesses which give the lowest total construction cost. This guideline could help engineers and other interested parties for preliminary design and the construction cost estimation.

KEYWORDS : Design guidelines, Plate Bending Finite Element Analyses, Reinforced Concrete Flat Slab.

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ระบบพื้นไร้คานเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในอาคารขนาดกลางและขนาดใหญ่ทั่วไป พื้นไร้คานเหล่านี้ที่ใช้ระบบคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีข้อได้เปรียบในด้านการก่อสร้างและราคาค่าลงทุน ที่ต่ำกว่าระบบคาน อีกทั้งระบบพื้นไร้คานสามารถติดตั้งงานระบบต่างๆ ที่อยู่ใต้ท้องพื้นเช่นงานระบบดับเพลิงระบบไฟฟ้า และระบบปรับอากาศสะดวกกว่าระบบพื้นที่รองรับด้วยคาน และยังสามารถลดความซับซ้อนของรูปทรงของแบบหล่อได้อีกด้วย แต่ขั้นตอนในการคำนวณออกแบบระบบพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความซับซ้อนมากกว่าระบบพื้นรองรับด้วยคาน การวิเคราะห์โครงสร้างในแบบสองมิติอาจได้คำตอบที่ผิดเพี้ยนไปจากพฤติกรรมจริงของโครงสร้าง ACI 318-99 [1] ได้แนะนำเกี่ยวกับความหนาของแผ่นพื้นซึ่งจะต้องมีการควบคุมมิให้พื้นมีค่าการโก่งตัวมากเกินไปจึงกำหนดความหนาต่ำสุดของแผ่นพื้นไว้เป็นอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 1

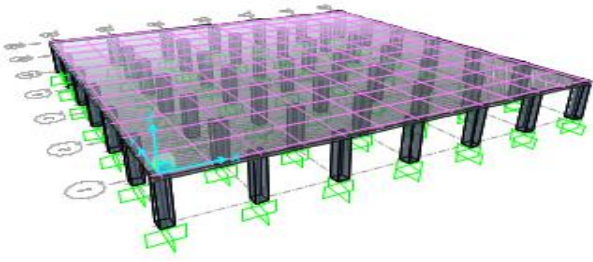
ตารางที่ 1 ความหนาต่ำสุดของระบบแผ่นพื้นไร้คาน[1]

| ระบบแผ่นพื้นสองทาง | ความหนาต่ำสุด, t (cm) | | |
|---|-----------------------|------------|------------|
| | $f_y 3000$ | $f_y 4000$ | $f_y 5000$ |
| แผ่นพื้นท้องเรียบแบบไม่มีเป็นหัวเสา (flat plate) $t_{\min} = 12.50$ cm | $l_n / 33$ | $l_n / 30$ | $l_n / 28$ |
| แผ่นพื้นท้องเรียบแบบมีเป็นหัวเสา (flat slab) $t_{\min} = 12.50$ cm | $l_n / 36$ | $l_n / 33$ | $l_n / 31$ |

f_y = กำลังครากของเหล็กเสริม (kg/cm^2)

l_n = ความยาว (clear span) ในด้านยาวของแผ่นพื้น (cm)

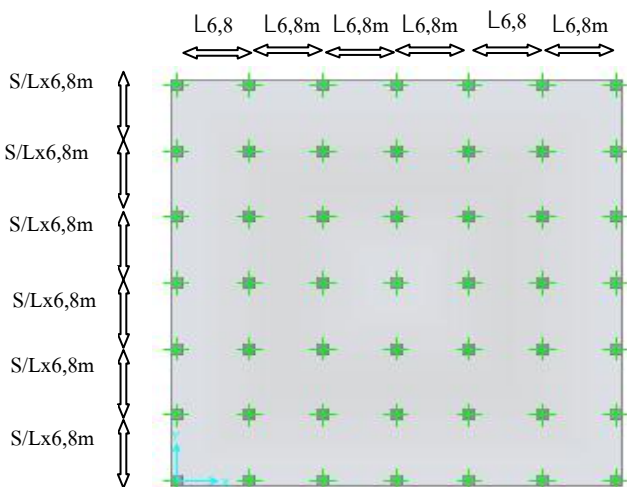
ปัจจุบันมีโปรแกรมช่วยวิเคราะห์และออกแบบระบบแผ่นพื้นไร้คานซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์ไฟไนต์อีลีเมนต์ (Finite Element Method) เช่น RAM Concept [2], Adapt Builder [3] และ CSI SAFE [4] โปรแกรมเหล่านี้ใช้อีลีเมนต์แบบแผ่น (Plate Element) ซึ่งให้คำตอบของหน่วยแรงที่เกิดจากการกระจายของแรงทั้งสองทิศทาง ซึ่งวิธีนี้เป็นการมองโครงสร้างในแบบสามมิติโดยตรง และแน่นอนว่าจะให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของโครงสร้างได้มากกว่าแบบสองมิติ ซึ่งฉัตร สุจินดา [5,6] ได้ศึกษามาแล้วว่าให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของโครงสร้างได้มากกว่าสองมิติ สมชาย ตงอาภรณ์ และฉัตร สุจินดา [7] ได้ศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์แบบสามมิติ โดยใช้โปรแกรม RAM Concept [2] ธนัญกรณ์ ต่อศิริสกุลวงศ์ และฉัตร สุจินดา [8] ได้ศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์แบบสามมิติ โดยใช้โปรแกรม CSI SAFE [4] บทความนี้เป็น การทดลองออกแบบเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา (ไม่ได้อัดแรง) ด้วยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์แบบสามมิติโดยใช้โปรแกรม CSI SAFE [4] ที่ให้ราคาค่าก่อสร้างต่ำสุดโดยใช้ข้อมูลราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงในประเทศไทย โดยแปรเปลี่ยนน้ำหนักบรรทุกจร, กำลังครากของเหล็กเสริม และ อัตราส่วนช่วงเสาด้านสั้นต่อด้านยาวที่แตกต่างกัน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณราคาและออกแบบเบื้องต้นต่อไป การสร้างแบบจำลองสามมิติสำหรับระบบพื้นไร้คานใช้ไฟไนต์อีลีเมนต์แบบแผ่น (Plate Element) เป็นตัวแผ่นพื้น และใช้อีลีเมนต์โครงข้อแข็ง (Frame Element) เป็นเสา ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของระบบแผ่นพื้น ไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก (กรณีควบคุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส)

2. ขั้นตอนการหาความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสม

2.1 รูปแบบการจัดเรียงของเสา ในการศึกษานี้ได้ กำหนดไว้เป็น 2 กรณีคือ สี่เหลี่ยมจัตุรัส และ สี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีอัตราส่วนช่วงเสาด้านสั้นต่อด้าน ยาว $s/l=0.5, 0.75$ และ 1.0 ตามลำดับ กรณีที่ใช้ $s/l=0.5$ เนื่องจากต้องการให้ข้อมูลที่จะนำไปสร้างสมการลดถอย ครอบคลุมกรณีเช่นช่องทางเดินของอาคาร แผ่นพื้น ทั้งหมดมีระยะช่วงเสา (Span Length) ด้านยาวคงที่คือ 6 และ 8 เมตร เสาล่างสูง 3 เมตร เสาและพื้นใช้คอนกรีต กำลังอัดประลัย $f'_c=320 \text{ kg/cm}^2$ รับน้ำหนักตายตัวที่ไม่ใช่น้ำหนักของตัวพื้นเอง (Super-Imposed Dead Load) $W_{sdl}=120 \text{ kg/m}^2$ ซึ่งอาจรวมถึงคอนกรีตฉาบที่ผิว บนหนา 3 ซม., $(2323 \times 0.03=70 \text{ kg/m}^3)$ วัสดุปูพื้น, งาน ท่อระบบที่แขวนอยู่ด้านล่าง+ฝ้าเพดาน (50 kg/m^2) และ รับน้ำหนักบรรทุกจร $W_{ll}=200$ และ 400 kg/m^2



ภาพที่ 2 แบบกรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่แปรเปลี่ยนอัตราส่วน ช่วงสั้นต่อช่วงยาว (S/L) 0.5, 0.75 และ 1.0

2.2 รวบรวมราคาต่อหน่วยของวัสดุและค่าแรงซึ่งเป็นข้อมูลในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 3 นำราคา ต่อหน่วยของวัสดุและค่าแรงมาหารราคา รวมของแต่ละ ความหนาดังที่แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ราคาต่อหน่วยของวัสดุค่าแรงและราคารวม ต่อตารางเมตรกรณี SD40

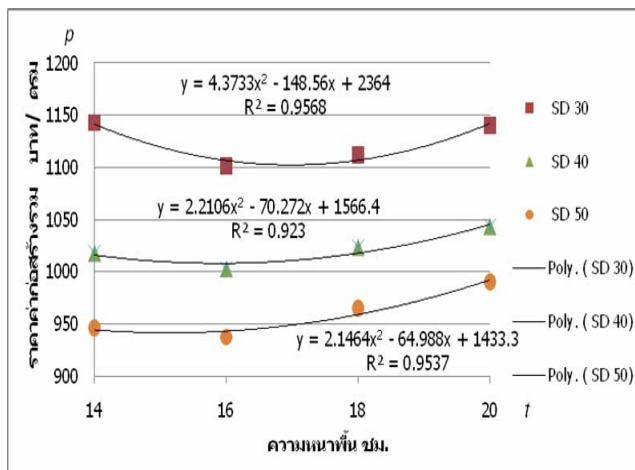
| ความหนา แผ่นพื้น | ประเภท วัสดุ / ค่าแรง | ปริมาณ | ราคาต่อ หน่วย | ราคา รวม |
|------------------|-----------------------|---------------------|---------------|----------|
| 14 | คอนกรีต | 0.14 m ³ | 386 | 386 |
| | เหล็กเส้น | 29.89 kg. | 24.5 | 387 |
| | ไม้แบบ | 1m ² | 245 | 245 |
| | รวม | | | 1018 |
| 16 | คอนกรีต | 0.16 m ³ | 440 | 440 |
| | เหล็กเส้น | 24.30 kg. | 24.5 | 317 |
| | ไม้แบบ | 1 m ² | 245 | 245 |
| | รวม | | | 1003 |
| 18 | คอนกรีต | 0.18 m ³ | 490 | 490 |
| | เหล็กเส้น | 21.81 kg. | 24.5 | 285 |
| | ไม้แบบ | 1 m ² | 245 | 245 |
| | รวม | | | 1023 |
| 20 | คอนกรีต | 0.20 m ³ | 548 | 548 |
| | เหล็กเส้น | 20.28 kg. | 24.5 | 250 |
| | ไม้แบบ | 1m ² | 245 | 245 |
| | รวม | | | 1043 |

ตารางที่ 3 ราคาต่อหน่วยของวัสดุและค่าแรง

| ประเภท | ราคาต่อหน่วย (บาท) | |
|---|-----------------------|----------------------|
| | วัสดุ | ค่าแรง |
| แบบหล่อ (เฉลี่ยใช้งาน 3 ครั้ง) | 125 / m ² | 120 / m ² |
| คอนกรีตกำลังอัดประลัย $f'_c = 320 \text{ kg/cm}^2$ | 2070 / m ³ | 100 / m ³ |
| เหล็กเส้น SD-30 | 22.2 / kg | 2 / kg |
| เหล็กเส้น SD-40 | 22.5 / kg | 2 / kg |
| เหล็กเส้น SD-50 | 22.8 / kg | 2 / kg |

แหล่งที่มาของข้อมูล : ดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ [9] และกรมบัญชีกลาง กระทรวงการคลัง [10]

2.3 จากผลของการทดลองออกแบบสำหรับแต่ละกรณีศึกษานำราคาต่อก่อสร้างรวมต่อตารางเมตร นำมาเขียนกราฟ ตัวอย่างเช่นในกรณีควบคุมสี่เหลี่ยมจัตุรัสได้แสดงไว้เป็นตัวอย่างในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าก่อสร้างโดยรวมแยกตามประเภทเหล็กเสริมต่อตารางเมตร กับความหนากรณีควบคุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส

จากกราฟในภาพที่ 3 แสดงราคาต่อก่อสร้างรวมต่อตารางเมตร p และความหนาของแผ่นพื้น t ซึ่งใช้นำมาหาความหนาที่เหมาะสม (ที่ทำให้ราคาต่อก่อสร้างรวมต่อตารางเมตรต่ำสุด) คือจุดที่ $\frac{dp}{dt} = 0$ จะได้ ความหนาที่เหมาะสมสำหรับกรณีศึกษาต่าง ๆ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 4 ความหนาที่เหมาะสมที่ให้ราคารวมต่ำสุดสำหรับกรณีศึกษา Span length 6 m

| Span length 6 m | | LL (kg/m ²) | f_y (ksc) | t ที่ เหมาะ สม (cm) |
|-----------------|--|------------------------------|----------------|--------------------------------|
| 1 | ควบคุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส ($s/l = 1.0$) | 200 | 3000 | 14.89 |
| | | 200 | 4000 | 14.34 |
| | | 200 | 5000 | 13.82 |
| | | 400 | 3000 | 16.98 |
| | | 400 | 4000 | 15.89 |
| | | 400 | 5000 | 15.18 |
| 2 | สี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.75$) | 200 | 3000 | 10.33 |
| | | 200 | 4000 | 9.15 |
| | | 200 | 5000 | 8.34 |
| | | 400 | 3000 | 14.31 |
| | | 400 | 4000 | 14.29 |
| | | 400 | 5000 | 13.86 |
| 3 | สี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.50$) | 200 | 3000 | 9.67 |
| | | 200 | 4000 | 9.61 |
| | | 200 | 5000 | 6.86 |
| | | 400 | 3000 | 10.25 |
| | | 400 | 4000 | 8.57 |
| | | 400 | 5000 | 9.07 |

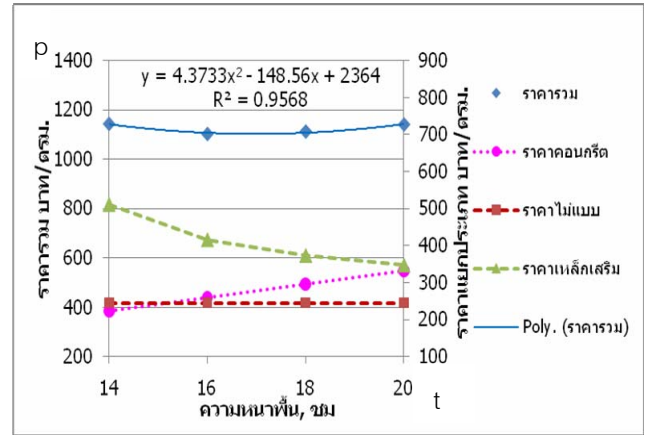
ตารางที่ 5 ความหนาที่เหมาะสมที่ให้ราคาต่ำสุด สำหรับกรณีศึกษา Span length 8 m

| Span length 8 m | | LL (kg/m ²) | ค่า f_y (ksc) | t ที่ เหมาะ ส้ม (cm) |
|-----------------|--|----------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 1 | ควบคุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส ($s/l = 1.0$) | 200 | 3000 | 11.44 |
| | | 200 | 4000 | 10.80 |
| | | 200 | 5000 | 10.34 |
| | | 400 | 3000 | 13.44 |
| | | 400 | 4000 | 12.33 |
| | | 400 | 5000 | 11.25 |
| 2 | สี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.75$) | 200 | 3000 | 16.83 |
| | | 200 | 4000 | 14.65 |
| | | 200 | 5000 | 13.11 |
| | | 400 | 3000 | 20.67 |
| | | 400 | 4000 | 20.29 |
| 3 | สี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.50$) | 200 | 3000 | 11.98 |
| | | 200 | 4000 | 10.55 |
| | | 200 | 5000 | 10.23 |
| | | 400 | 3000 | 17.38 |
| | | 400 | 4000 | 16.15 |
| | | 400 | 5000 | 16.10 |

3. อภิปรายผลการศึกษา

จากตารางที่ 4 และ 5 กรณีควบคุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส สังเกตได้ว่าช่วงความยาว 8 เมตรความหนาที่เหมาะสมกับมีค่าน้อยกว่าช่วงความยาว 6 เมตรเนื่องจากช่วงความยาว 8 เมตรต้องการเป็นหัวเสาเพื่อต้านทานแรงเฉือนที่หัวเสาเมื่อมีเป็นหัวเสาทำให้ความหนาพื้นลดลงส่วนช่วงความยาว 6 เมตรไม่ต้องการเป็นหัวเสาเพื่อต้านทานแรงเฉือนหัวเสา ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างราคา

ค่าก่อสร้างรวมและราคาวัสดุและค่าแรงแยกประเภท สำหรับกรณีควบคุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส สำหรับกรณีอื่นมีลักษณะคล้ายกัน



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างรวมราคาวัสดุและค่าแรงแยกประเภท กับความหนาของแผ่นพื้น (กรณีควบคุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส)

ตารางที่ 6 สมการถดถอยเพื่อทำนายความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสม

| สี่เหลี่ยมจัตุรัส | |
|----------------------------|--|
| สมการทำนายความหนา | $t = -1.791666667 * \text{Span_length} + 0.007866666667 * LL + 7.75e-008 * fy^2 - 0.00139 * fy + 27.84166667$ |
| R2 | 0.990 |
| ความคลาดเคลื่อน | -0.27 ถึง 0.39 |
| กรณีควบคุมสี่เหลี่ยมผืนผ้า | |
| สมการทำนายความหนา | $t = 2.643333333 * \text{Span_length} + 13.07333333 * (s/l) + 0.0206 * LL + 1.425e-007 * fy^2 - 0.0020175 * fy - 14.15666667$ |
| R ² | 0.91 |
| ความคลาดเคลื่อน | -2.10 ถึง 3.04 |

เมื่อ t = ความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสม (cm)

LL = น้ำหนักบรรทุกจร (kg/m^2)

(s/l) = อัตราส่วนช่วงสั้นต่อช่วงยาว

R^2 = Coefficient of Determination

Span_length = ความยาวช่วงเสา (m)

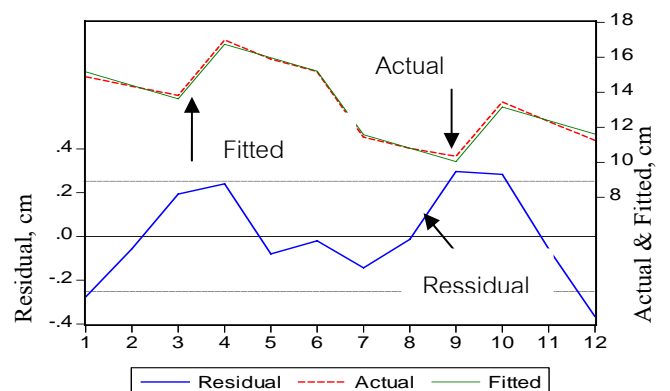
f_y = กำลังครากของเหล็กเสริม (kg/cm^2)

3.1 จากเส้นกราฟของราคาคอนกรีตและเหล็กเส้นในภาพที่ 4 จะสังเกตได้ว่าที่ความหนา 16 ซม ราคาเหล็กเส้นต่อตารางเมตรสูงกว่าที่ความหนา 17 ซม ก่อนข้างมากทั้งนี้เนื่องจากที่บริเวณหัวเสาของกรณีความหนา 16 ซม มีค่าหน่วยแรงเฉือนเจาะทะลุ (Punching Shear) มากกว่าพื้นที่ที่มีความหนา 17 ซม ดังนั้นปริมาณเสริมเหล็กเส้นบริเวณหัวเสาที่ความหนา 16 ซม จึงมีปริมาณมากกว่าพื้นที่ที่มีความหนา 17 ซม ส่วนในกรณีความหนาสูงสุดของแต่ละกรณีศึกษาจะไม่ต้องเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมแผ่นพื้นจากปริมาณต่ำสุด จากเส้นกราฟปริมาณไม้แบบต่อตารางเมตร จะสังเกตได้ว่ามีค่าคงที่สำหรับทุกความหนา เนื่องจากโปรแกรม CSI SAFE ไม่ได้พิจารณาถึงปริมาณไม้แบบด้านข้างเพราะว่ามีปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณไม้แบบทั้งหมด ซึ่งเป็นข้อสมมุติฐานที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง จากเส้นกราฟค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่ เมื่อความหนาน้อยจะมีราคารวมต่อพื้นที่มาก และเมื่อเพิ่มความหนาในช่วงกลาง ๆ ค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่จะลดลง แต่เมื่อเพิ่มความหนาต่อไปอีกค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่จะกลับเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากค่าก่อสร้างรวมเป็นผลรวมของราคาคอนกรีต เหล็กเส้น และแบบหล่อ ซึ่งปริมาณของคอนกรีตมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของเหล็กเสริมมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อความหนาของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้น และส่วนปริมาณแบบหล่อนั้นคงที่สำหรับทุกความหนา ดังนั้นจึงทำให้ราคารวมต่ำสุดเมื่อความหนาของแผ่นพื้น จึงมีค่าอยู่ในช่วงกลาง ๆ ซึ่งหากหาสมการถดถอยของราคารวม p ที่เป็น

ฟังก์ชันของความหนาของแผ่นพื้น t แล้วนำมาหาความหนาทำให้ $\frac{dp}{dt} = 0$ จะได้เป็นความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสมที่สุด (ที่ทำให้ราคาก่อสร้างรวมต่ำสุด)

3.2 สมการอย่างง่ายเพื่อใช้ทำนายความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสมของกรณีศึกษา ในตารางที่ 5 ใช้ตัวแปรต้น Span_length และ LL เป็นพารามิเตอร์กำลังหนึ่ง และใช้ตัวแปรต้น f_y เป็นพารามิเตอร์ทั้งกำลังหนึ่งและกำลังสอง เนื่องจากกรณีศึกษาได้แปรเปลี่ยนค่า f_y สามค่าคือ 3000, 4000 และ 5000 ksc สมการถดถอย มีค่า Coefficient of Determination R^2 อยู่ระหว่าง 0.990 ถึง 0.911 ซึ่งแสดงว่าระดับความสัมพันธ์ของจุดข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นสมการถดถอย อยู่ในระดับที่ดีมาก

3.3 กราฟเปรียบเทียบความหนาที่เหมาะสมของจุดข้อมูล (Actual) จากตารางที่ 3 และ 4 ที่ทำนายได้ (Fitted) จากสมการในตารางที่ 5 และความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (Residual) โดยใช้โปรแกรม EViews 5.1 [11] เช่นของกรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้กราฟดังแสดงไว้ในภาพที่ 5 ซึ่งจะให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (Residual) มีค่าคือในช่วง -0.27 ถึง 0.39 ซม ตารางที่ 5 ได้รวบรวมช่วงความคลาดเคลื่อน (Residual) กรณีที่ศึกษาเอาไว้



Data Points

ภาพที่ 5 กราฟแสดงความหนาที่เหมาะสม ที่ได้จากการออกแบบ (Actual), ที่ได้จากสมการทำนาย (Fitted) และความคลาดเคลื่อนของค่าทั้งสอง (Residual) (กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า $S/L=0.5$ และ 0.75)

4. สรุป

จากการศึกษาเพื่อที่จะหาความหนาที่เหมาะสมของพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ทำให้ราคาก่อสร้างรวมต่อตารางเมตรต่ำสุด สำหรับการจัดเรียงของเสาที่อยู่ในแนวตั้งฉาก เมื่อพิจารณากรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้า แปรเปลี่ยนอัตราส่วนช่วงเสาด้านสั้นต่อด้านยาว $s/l=0.5, 0.75$ และ 1.0 โดยใช้ราคาวัสดุและค่าแรงในประเทศไทยจากสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้ากระทรวงพาณิชย์ จะได้เป็นสมการอย่างง่าย ดังในตารางที่ 5 ซึ่งมีค่า Coefficient of Determination R^2 อยู่ในช่วง 0.990 และ 0.911 และมีความคลาดเคลื่อน (Residual) อยู่ในช่วง -0.27 ถึง 0.39 ซม สำหรับกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส และ -2.10 ถึง 3.04 ซม สำหรับกรณีควมมุมสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งสมการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการประมาณและออกแบบเบื้องต้นได้ในกรณีที่อาคารมีการจัดเรียงของเสาใกล้เคียงกับกรณีศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] ACI Committee 318, 1999. Building code requirements for structural concrete: (ACI 318-99); and commentary (ACI 318R-99). American Concrete Institute.
- [2] RAM International, 2010. RAM Concept V8i.
- [3] Adapt Corporation, 2009. Adapt Builder.
- [4] Computers and Structures Inc., 2009, CSI SAFE 12.
- [5] ฉัตร สุจินดา, 2551. 14-16 พค. การเปรียบเทียบผลการออกแบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีโครงสร้างข้อแข็งเสมือนสองมิติ และวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13, โรงแรมจอมเทียน ปาล์มบีช พัทยา.
- [6] ฉัตร สุจินดา, 2552. 13-15 พค. การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ทกยภูมิในพื้นที่ไร้คานคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีโครงสร้างข้อแข็งเสมือนสองมิติ และวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14, สุระสัมมนาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา.
- [7] สมชาย ตงอาภรณ์ และฉัตร สุจินดา, 2552. 20-22 ตค. การศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบสามมิติ. เอกสารการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 5, โรงแรมเดอะกรีนเนอรี รีสอร์ท นครราชสีมา.
- [8] ธนัญกรณ์ ต่อศิริสกุลวงศ์ และฉัตร สุจินดา. 2554. 18-20 พค. การศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบสามมิติโดยใช้โปรแกรม CSI SAFE. เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16, โรงแรมเดอะชานย์ พัทยา จ. ชลบุรี.
- [9] ดัชนีเศรษฐกิจการค้ากระทรวงพาณิชย์, 2554. มิ.ย. ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง.
- [10] กรมบัญชีกลาง กระทรวงการคลัง, 2554. มิ.ย. บัญชีค่าแรงงาน/ดำเนินการ สำหรับการถอดแบบคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2.
- [11] Quantitative Micro Software, 2005. EView 5.1.