

การศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง
(ช่วงเสา 6 7.5 และ 9 เมตร) โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ

โดยใช้โปรแกรม RAM Concept

A STUDY OF OPTIMAL THICKNESSES FOR POST TENSIONED
CONCRETE FLAT SLAB (SPAN LENGTH 6 7.5 AND 9 M)
WITH 3D PLATE FINITE ELEMENT
USING RAM CONCEPT PROGRAM

พัทธนันท์ มณีชนพันธ์

PATTHARNAN MANEECHANAPHAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีปทุม

**A STUDY OF OPTIMAL THICKNESSES FOR POST TENSIONED
CONCRETE FLAT SLAB (SPAN LENGTH 6, 7.5 AND 9 M)
WITH 3D PLATE FINITE ELEMENT
USING RAM CONCEPT PROGRAM**

PATTHARNAN MANEECHANAPHAN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING PROGRAM
IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
SRIPATUM UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2012
COPYRIGHT OF SRIPATUM UNIVERSITY**

ชื่อหัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คาน คอนกรีตอัดแรง (ช่วงเสา 6 7.5 และ 9 เมตร) โดยวิธีไฟไนต์อี- เมนต์แบบแผ่นสามมิติโดยใช้โปรแกรม Ram Concept A STUDY TO OPTIMAL THICKNESSES FOR POST- TENSIONED CONCRETE FLAT SLAB (SPAN LENGTH 6, 7.5 AND 9 M.) WITH 3D PLATE FINITE ELEMENT USING RAM CONCEPT PROGRAM
นักศึกษา	นางสาวพัทธนันท์ มณีชนพันธ์ รหัสประจำตัว 51500824
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตร สุจินดา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมวุธ วิสวไพศาล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ สุวรรณวิทยา)

.....กรรมการ
(ดร.ณัฐวัฒน์ จุฑารัตน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตร สุจินดา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาามหาบัณฑิต

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ เอี่ยมวรฤทธิกุล)
วันที่ เดือน พ.ศ. 2556

ชื่อหัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง (ช่วงเสา 6 7.5 และ 9 เมตร) โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติโดยใช้โปรแกรม RAM Concept
คำสำคัญ	แนวทางการออกแบบ / พื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง / การวิเคราะห์ไฟไนท์อีลีเมนต์แบบแผ่นรับแรงคด
นักศึกษา	นางสาวพัทธนันท์ มณีชนพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตร สุจินดา
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง โดยอาศัยข้อมูลราคาต่อหน่วยของวัสดุคอนกรีต ลวดอัดแรง เหล็กเสริมข้ออ้อย แบบหล่อ รวมถึงค่าแรงในประเทศไทย เพื่อนำมาทดลองออกแบบแผ่นพื้นที่มีความหนาต่างๆ กัน เพื่อหาความหนาที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่ต่ำสุด โดยใช้โปรแกรม RAM Concept ซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์ไฟไนท์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ มีกรณีศึกษาสำหรับการจัดเรียงตำแหน่งของเสาในพื้นที่ทั้งหมด 3 กรณีคือ (1) ลีเหลียมจัตุรัส (2) ลีเหลียมผืนผ้า และ (3) ชิกแซก ซึ่งมีอัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว 0.5 และ 0.75 ระยะช่วงเสา 6 7.5 และ 9 เมตร น้ำหนักบรรทุกจร 200 300 และ 400 kg/m^2 และกำลังอัดประลัย 320 และ 400 ksc โดยมีข้อกำหนดให้เสริมเหล็กรับแรงเฉือน และ Drop Panel ตรงบริเวณหัวเสาที่คอนกรีตไม่สามารถรับแรงเฉือนทะลุได้ ซึ่งค้นพบว่ากรณีที่จากนั้นนำผลของการออกแบบไปหาสมการอย่างง่ายเพื่อใช้ทำนายความหนาที่เหมาะสม ที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำสุด เพื่อช่วยให้วิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปประมาณราคา และเป็นแนวทางในการออกแบบ จากการศึกษาในครั้งนี้ได้สมการทำนายความหนาของแผ่นพื้น ซึ่งมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R^2 อยู่ในช่วง 0.84 ถึง 0.99 และจากการวิจัยพบว่า อัตราส่วนช่วงความยาวต่อความหนาที่เหมาะสม สำหรับแผ่นพื้นที่แนะนำโดย Post-Tensioning Institute มีค่าอยู่ระหว่าง 40 ถึง 45 แต่ผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้มีค่าประมาณ 40 ถึง 52 และจากผลการเปรียบเทียบกับการศึกษาที่คล้ายกันแต่ใช้โปรแกรม CSI SAFE แสดงให้เห็นว่าความหนาที่เหมาะสมแตกต่างกันประมาณ 3% กรณีลีเหลียมจัตุรัส 7% กรณีลีเหลียมผืนผ้า และ 2% กรณีชิกแซก

THESIS TITLE	A STUDY TO DETERMINE OPTIMAL THICKNESS FOR POST-TENSIONED CONCRETE FLAT SLAB (SPAN LENGTH 6, 7.5 AND 9 M) WITH 3D PLATE FINITE ELEMENT USING RAM CONCEPT PROGRAM
KEYWORD	DESIGN GUIDELINES POST TENSIONED FLAT SLABS PLATE BENDING FINITE ELEMENT ANALYSES
STUDENT	MISS. PATTHARNAN MANEECHANAPHAN
THESIS ADVISOR	ASSIST. PROF. DR. CHATR SUCHINDA
LEVEL OF STUDY	MASTER OF ENGINEERING PROGRAM IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY	ENGINEERING, SRIPATUM UNIVERSITY
ACAMEMIC YEAR	2012

ABTRACT

This research presents a study to determine optimal thicknesses for post-tensioned concrete flat slabs based on construction costs in Thailand including concrete, prestressing stand, rebars and formworks including 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 length 6, 7.5 and 9 m, 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 were added at the columns where the concrete cannot resists the punching shear. It was found that in case ofthe slabs requires SSR and in the case of The slabs requires drop panel. The results from the designs were used to determine the equations to predict optimal slab thicknesses. This guideline could help engineers and other interested with their preliminary designs and the construction cost estimations. From this study, the predicting equations have correlation coefficient R^2 the between 0.84 to 0.99 and research indicates that the ratio of length per slab thickness from Post-Tensioning Institute has ranged from 40 to 45, but the results of this study, approximately 40 to 52. The comparison with similar studies shown that the optimal thickness of post-tensioned and reinforced concrete flat slab using CSI SAFE have.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงจากท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตร สุจินดา ที่กรุณาได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ โดยให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยหาวิธีการแก้ปัญหาอุปสรรคต่างๆ ที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นปัญหาทางการศึกษา หรือปัญหาทางด้านการงานและเวลา รวมทั้งให้กำลังใจผู้เขียนด้วยความเมตตา ตั้งแต่เริ่มทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ สุวรรณวิทยา ดร.ณัฐวัฒน์ จุฑารัตน์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมวุธ วิสวไพศาล ที่กรุณาเป็นกรรมการวิทยานิพนธ์ และสละเวลามาดำเนินการสอบวิทยานิพนธ์นี้ ทั้งได้กรุณาให้คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางจนวิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ นายประเสริฐ มณีพันธ์ และ นางพิศมัย มณีพันธ์ บิดาผู้ล่วงลับ มารดาผู้ให้กำเนิด ซึ่งท่านได้วางรากฐานชีวิต พื้นฐานทางความคิดให้ผู้เขียนมีความเชื่อมั่นในสิ่งที่ถูกต้องและเป็นกำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมาอันเป็นแนวทางไปสู่ความสำเร็จของผู้เขียนตลอดจนบุคคลในครอบครัวมณีพันธ์ ที่เป็นกำลังใจผู้เขียนตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ และขอขอบคุณนางมณีนัฐฐา ป้องคำสุรัตน์ พร้อมด้วยเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด

พัทธนันท์ มณีชนพันธ์

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงไร้คาน เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในอาคารทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารสูงและอาคารที่มีช่วงเสายาวมากๆ เนื่องจากสามารถตอบสนองความต้องการทางด้านสถาปัตยกรรม ด้าน โครงสร้าง ด้านความประหยัด และด้านความรวดเร็วในการก่อสร้างได้ดีกว่าระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป แต่การออกแบบระบบพื้นดังกล่าว มีขั้นตอนการคำนวณออกแบบที่ซับซ้อนมาก เช่น การคำนวณค่าของหน่วยแรงที่หน้าตัดวิกฤตต่างๆ ซึ่งค่าของหน่วยแรงเหล่านี้สามารถใช้โปรแกรมช่วยออกแบบโดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ โครงข้อแข็ง เหมือนที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ Adapt-PT (Adapt Corporation, 2012)

อาคารสูงและอาคารที่มีช่วงเสายาวมากๆ เหล่านี้อาจก่อสร้างในที่ดินที่มีรูปร่างไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งสถาปนิกผู้ออกแบบต้องการใช้พื้นที่ดังกล่าวอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และต้องการจัดการใช้งานของพื้นที่ในส่วนต่าง ๆ เหมาะสมมากที่สุด จึงอาจจำเป็นต้องจัดวางตำแหน่งของเสาในลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบในแนวที่ตั้งฉากกัน หรือจัดตำแหน่งของเสาในแต่ละแถวให้มีระยะที่ไม่เท่ากัน ซึ่งการจัดตำแหน่งของเสาแบบนี้จะทำให้การวิเคราะห์โดยวิธี โครงข้อแข็งเหมือน ซึ่งเป็นการมองโครงสร้างในแบบสองมิติให้คำตอบที่ผิดเพี้ยนไปจากพฤติกรรมจริงของโครงสร้างได้ ยิ่งตำแหน่งการจัดวางของเสาแตกต่างไปจากแนวที่ตั้งฉากกันอย่างเป็นระเบียบเท่าใดยิ่งจะทำให้ผลของการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธี โครงข้อแข็งเหมือนผิดเพี้ยนมากขึ้นเท่านั้น (ฉัตร สุจินดา, 2551 และ 2552)

มาตรฐานออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) ได้แนะนำวิธีวิเคราะห์แรงภายในสำหรับพื้นไว้ในข้อกำหนดที่ 13.7 ซึ่งเรียกว่าวิธี โครงข้อแข็งเหมือนหรือ Equivalent Frame Method (EFM) หลักการของวิธีนี้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ระบบพื้นไร้คาน (Flat Slab) ได้โดยมองโครงสร้างพื้นไร้คานที่เป็นสามมิติ ให้เป็นโครงข้อแข็งที่รับแรงในสองทิศทางที่ตั้งฉากกัน ซึ่งในการวิเคราะห์ระบบพื้นไร้คานหนึ่ง ๆ จำเป็นที่จะต้องมองโครงข้อแข็งเหมือนทั้งในสองทิศทาง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นทั้งสองทิศทาง จะเห็นได้ว่าสำหรับการวิเคราะห์โครงข้อแข็งในทิศทางใดทิศทางหนึ่งก็เปรียบเสมือนว่าเป็นการมองโครงสร้างที่มีการถ่ายแรงในสามมิติ ให้เหลือเป็นการถ่ายแรงในสองมิติ

ในปัจจุบันมีโปรแกรมที่ช่วยวิเคราะห์และออกแบบแผ่นพื้นไร้คานโดยใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Method) เช่น RAM Concept V8i Release 3.3 (Bentley Software, 2010) , SAFE V.12 (Computers and Structures, Inc. 2012) และ Adapt Builder 2012 (Adapt Corporation, 2012) เป็นต้น โปรแกรมดังกล่าวใช้วิธีไฟไนต์แบบแผ่น (Plate Element) ในการวิเคราะห์พื้นที่ให้คำตอบของหน่วยแรงที่เกิดจากการกระจายของแรงในทั้งสองทิศทาง ซึ่งเป็นการมองโครงสร้างในแบบสามมิติโดยตรง จัตุร สุจินดา (2551 และ 2552) ได้ศึกษามาแล้วว่าวิธีดังกล่าวให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของโครงสร้างได้มากกว่าสองมิติ สมชาย ตงอาภรณ์ และ จัตุร สุจินดา (2552) ได้ศึกษาหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบสามมิติ โดยใช้โปรแกรม RAM Concept ซึ่งช่วงเสาที่ใช้ศึกษาคือ 8 เมตร และน้ำหนักบรรทุกจร 300 - 500 กก/ม²

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

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาหาสมการอย่างง่าย สำหรับใช้ประมาณความหนาของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงที่เหมาะสมและประหยัด สำหรับใช้ในการออกแบบขั้นต้น (Preliminary Design) โดยที่ผู้ออกแบบไม่ต้องลองผิดลองถูกตั้งแต่เริ่มต้น

1.3 ระเบียบวิธีวิจัย

1.3.1 เลือกรูปแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ที่มีลักษณะของการจัดวางตำแหน่งของเสาที่แตกต่างกัน เพื่อให้ครอบคลุมกับลักษณะของอาคารโดยทั่วไป

1.3.2 วิเคราะห์และออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ด้วยโปรแกรม RAM Concept V8i Release 3.1 (Bentley Software, 2009) โดยจะกำหนด Parameter ต่าง ๆ ซึ่งเป็นตัวแปรต้นของการออกแบบ และทดลองกำหนดความหนาของแผ่นพื้นที่แตกต่างกัน (โดยเพิ่ม หรือลดทีละ 1-2 ซม)

1.3.3 ประมาณค่าวัสดุก่อสร้าง และค่าแรง จากผลของการออกแบบที่ได้ในแต่ละกรณี โดยใช้ข้อมูลราคาต่อหน่วยจากสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า (เมษายน 2555)

1.3.4 คำนวณค่าของความหนาที่เหมาะสมซึ่งทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำที่สุด โดยใช้การคำนวณหาความชันของสมการถดถอย ระหว่างค่าก่อสร้างและความหนาเท่ากับศูนย์

1.3.5 นำผลคำตอบของการออกแบบที่ทำให้ราคาก่อสร้างรวมต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุดของแต่ละกรณีซึ่งมี Parameter แตกต่างกัน มาใช้กำหนดสมการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression) เพื่อใช้เป็นสูตรอย่างง่ายสำหรับการออกแบบเบื้องต้น

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 วิเคราะห์และออกแบบตามมาตรฐานออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) ซึ่งกำหนดค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุก สำหรับน้ำหนักบรรทุกตายตัว 1.4 น้ำหนักบรรทุกจร 1.7 ใช้ตัวคูณลดกำลังสำหรับโมเมนต์ดัด 0.9 และแรงเฉือน 0.85 ซึ่งเหมือนกับค่าที่แนะนำในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง ว.ศ.ท. 1008-38 ของประเทศไทย

1.4.2 รูปแบบแผ่นพื้นที่ศึกษามี 3 กรณี คือสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า และซิกแซก ซึ่งพิจารณาเฉพาะเป็นแบบไม่มีผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall) โครงสร้างบันได หรือช่องเปิดต่าง ๆ

1.4.3 ระยะความยาวกึ่งกลางเสาถึงกึ่งกลางเสา (Span Length) อยู่ในช่วง 6.00 7.50 และ 9.00 เมตร ขึ้นอยู่กับกรณีของแผ่นพื้นที่ศึกษา

1.4.4 ศึกษาเฉพาะคอนกรีตอัดแรงภายหลัง (Post Tension) ที่ใช้ลวดอัดแรงเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2" เกรด 270 *ksi* ในระบบที่มีการยึดเหนี่ยว (Bonded System) ซึ่งต้องมีการอัดน้ำปูน (Grouting)

1.4.5 ศึกษาอัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของพื้น (l/t) ในช่วง 40-45 (Post-Tensioning Institute, 1999) น้ำหนักบรรทุกจร (W_{LL}) ที่ศึกษาคือ 200 300 และ 400 kg/m^2 (ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องการควบคุมการก่อสร้างอาคาร, 2522) กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน (f'_c) 320 *ksc* และ 400 *ksc* และ Parameter รูปทรงของแผ่นพื้นมี 3 กรณีคือ สี่เหลี่ยมจัตุรัส อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว (s/l) = 1.0 สี่เหลี่ยมผืนผ้า อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว (s/l) = 0.5 และ 0.75 และซิกแซกโดยมีระยะเยื้อง (y') = 1.0 และ 2.0 เมตร

1.4.6 ศึกษาเฉพาะแผ่นพื้นรับน้ำหนักบรรทุกกระทำแนวดิ่ง (Gravity Load Resisting) ไม่พิจารณาน้ำหนักบรรทุกกระทำด้านข้าง (Lateral Load Resisting)

1.4.7 กำหนดให้ความหนาที่เหมาะสมของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง คือความหนาที่ทำให้ราคาก่อสร้างรวม (ราคาวัสดุคอนกรีต ลวดอัดแรง เหล็กเส้น แบบหล่อ และค่าแรง) ต่อตารางเมตรต่ำสุด และผ่านตามข้อกำหนดทุกข้อในมาตรฐานออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.5 ข้อจำกัดการวิจัย

1.5.1 ใช้ได้กับเฉพาะอาคารที่มีรูปแบบเหมือน หรือคล้ายกับกรณีศึกษาที่เลือกมาเท่านั้น

1.5.2 ใช้ได้กับเฉพาะอาคารที่มีแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ระบบมีการยึดเหนี่ยว (Bonded System)

1.6 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย

1.6.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่ผ่านมา

1.6.2 ศึกษาการใช้โปรแกรม RAM Concept และกำหนดรูปแบบการจัดเรียงของเสาในแต่ละกรณีศึกษา

1.6.3 วิเคราะห์และออกแบบความหนาของแผ่นพื้น ในแต่ละกรณีศึกษา

1.6.4 รวบรวมราคาต่อหน่วยของวัสดุ และค่าแรงซึ่งเป็นข้อมูลในประเทศไทย

1.6.5 หาความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสม ที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตรต่ำสุด ในแต่ละกรณีศึกษา

1.6.6 หาสมการถดถอย โดยใช้โปรแกรม Eviews 5.1 (Quantitative Micro Software, 2006) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เพื่อใช้ทำนายความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสม

1.6.7 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

บทที่ 2

ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

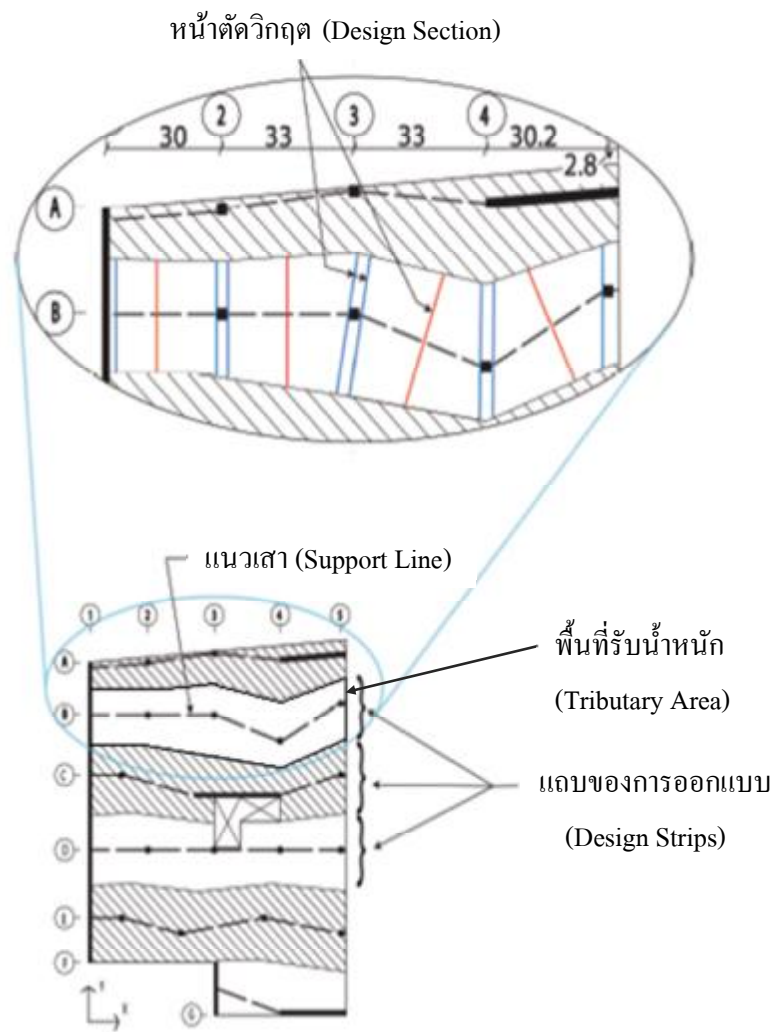
การก่อสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านวิธีการก่อสร้างและหลักการในการวิเคราะห์และออกแบบ ซึ่งได้มีการพัฒนามาโดยตลอด ในปัจจุบันมีมาตรฐานออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) ได้แนะนำขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบแผ่นพื้นไร้คานด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือน และต่อมาวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบแผ่น ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อหาหน่วยแรงเฉลี่ยของแผ่นพื้น ซึ่งถูกอธิบายไว้โดยย่อดังนี้

2.1 วิธีโครงข้อแข็งเสมือนหรือ Equivalent Frame Method (EFM)

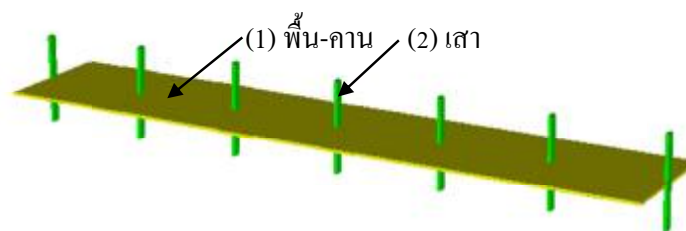
EFM ได้ถูกแนะนำไว้ในหัวข้อ 13.7 ของมาตรฐานออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) กล่าวคือโครงสร้างพื้นคอนกรีตที่มีคานหรือไร้คานสามารถพิจารณาเสมือนว่าเป็นโครงข้อแข็ง เพื่อใช้ประมาณค่าของแรงภายในที่เกิดขึ้นได้ โดยการแบ่งโครงสร้างระบบพื้นทั้งหมดให้เป็นแถบตามแนวของเสา ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าแถบของการออกแบบ (Design Strips) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.1

จากภาพประกอบที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าแนวแถบของการออกแบบ (Design Strips) ได้ถูกกำหนดให้เป็นแนวเชื่อมต่อกจากเสาด้านหนึ่งถึงเสาด้านถัดไป หากแนวของเสามีการบิดเบี้ยวไปจากแนวเส้นตรง แนวแถบของการออกแบบก็จะเลี้ยวไปตามนั้นด้วย ส่วนขอบเขตของแถบให้ถูกกำหนดโดยพื้นที่รับน้ำหนัก (Tributary Area) ซึ่งอาจประมาณโดยใช้ระยะครึ่งหนึ่งของระยะจากเสาด้านหนึ่งถึงเสาด้านถัดไปเป็นตัวกำหนด ดังนั้นจึงอาจทำให้ความกว้างของแถบอาจไม่คงที่ตลอดความยาวของแถบของการออกแบบนั้น ส่วนหน้าตัดวิกฤต (Critical Section) จะถูกกำหนดตรงตำแหน่งที่คาดว่าจะเกิดโดยโมเมนต์บวกสูงสุด (ใกล้กึ่งกลางของช่วง) และโมเมนต์ลบ (ที่ขอบทั้งสองด้านของเสา) ซึ่งตำแหน่งของหน้าตัดวิกฤตจะใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณออกแบบต่อไป

โดยปกติแนวของเสาจะมีสองทิศทางซึ่งตั้งฉากกัน (เช่นแนวนอน-ล่าง และแนวซ้าย-ขวาของแปลน) ซึ่งในโครงข้อแข็งแต่ละชุด จะประกอบด้วย (1) ส่วนของพื้น-คาน ซึ่งเป็นชิ้นส่วนของโครงข้อแข็งในแนวราบและ (2) ส่วนของเสา ซึ่งเป็นชิ้นส่วนของโครงข้อแข็งในแนวตั้ง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.2

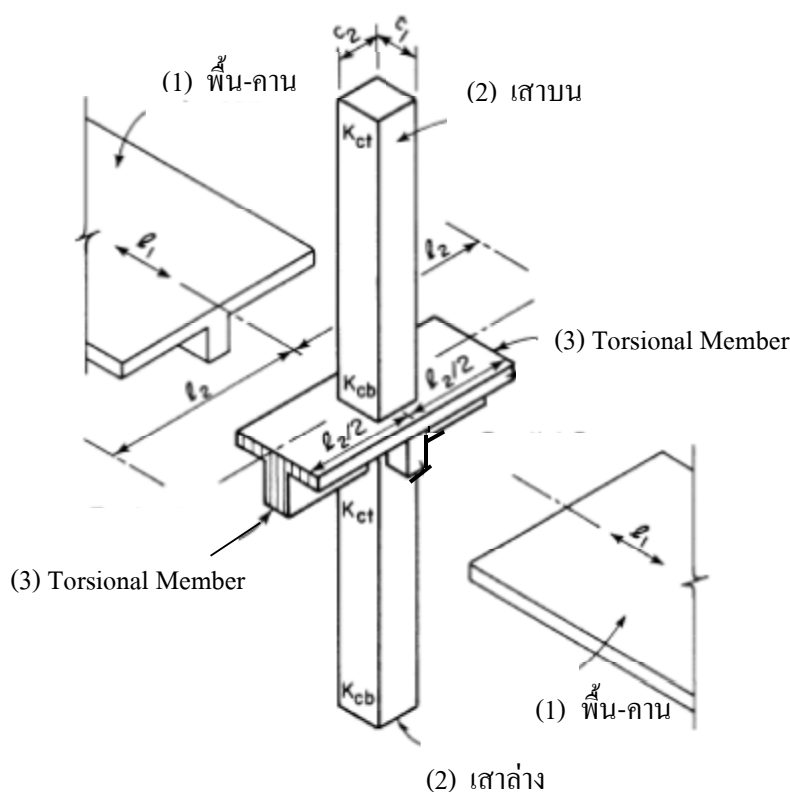


ภาพประกอบที่ 2.1 การแบ่งระบบพื้นออกตามแนวเสาเพื่อกำหนดเป็นโครงข้อแข็งเสมือน



ภาพประกอบที่ 2.2 แบบจำลองโครงข้อแข็งเสมือน ที่ได้จากการแบ่งระบบพื้นออกตามแนวเสา

แต่ถ้าหากกำหนดโครงข้อแข็งเสมือนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนเพียงสองส่วน จะทำให้พฤติกรรมของการกระจายแรงแตกต่างไปจากระบบพื้นที่เป็นสามมิติ เนื่องจากในสามมิติจะมีแถบของแผ่นพื้น ในแนวที่ตั้งฉากกับแถบของการออกแบบที่กำลังพิจารณาคอยช่วยกระจายแรงบางส่วนในลักษณะของการบิด (Torsional Member) ด้วย ดังนั้นวิธีโครงข้อแข็งเสมือนจึงได้กำหนดให้เพิ่มความแข็งของส่วนดังกล่าวนี้ด้วย ซึ่งเป็นส่วนที่ (3) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.3



ภาพประกอบที่ 2.3 การแบ่งระบบพื้นออกตามแนวเสาเพื่อกำหนดเป็นโครงข้อแข็งเสมือน

- (1) ส่วนพื้น-คานในแถบของการออกแบบ
- (2) ส่วนของเสา (บนและล่าง)
- (3) ส่วนพื้น-คานในแนวตั้งฉากกับแถบของการออกแบบ (Torsional Member)

จากภาพประกอบที่ 2.3 สำหรับค่าสติเฟเนส (Stiffness) ของส่วนพื้น-คานในแนวตั้งฉากกับแถบของการออกแบบ (Torsional Member) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$K_t = \sum \frac{9E_{cs} C}{l_2 \left(1 - \frac{c_2}{l_2}\right)^3} \quad (2.1)$$

เมื่อ

K_t คือค่าสติฟเนสของส่วนพื้น-คานในแนวตั้งฉากกับแถบของการออกแบบ Stiffness of the torsional member, (lb-in / rad)

E_{cs} คือค่าโมดูลัสของพื้นคอนกรีต, (psi)

C คือค่าคงที่ของหน้าตัดสำหรับการบิด คำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

l_2 คือความยาว Span ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของ Design Strip ที่กำลังพิจารณา, (in)

c_2 คือความกว้างของเสาในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของ Design Strip ที่กำลังพิจารณา, (in)

$$C = \sum \left(1 - 0.63 \frac{x}{y}\right) \frac{x^3 y}{3} \quad (2.2)$$

เมื่อ

x = ขนาดของหน้าตัดทั้งหมดในด้านที่สั้นกว่า, (in)

y = ขนาดของหน้าตัดทั้งหมดในด้านที่ยาวกว่า, (in)

สำหรับหน่วยแรงที่ได้จากวิธีโครงข้อแข็งเสมือน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

$$s = \frac{Mc}{I} \quad (2.3)$$

เมื่อ

s คือหน่วยแรงที่เกิดขึ้น สำหรับการออกแบบซึ่งจะสนใจแต่หน่วยแรงสูงสุดที่หน้าตัดวิกฤต เครื่องหมาย (+) เมื่อเป็นหน่วยแรงดึง และเครื่องหมาย (-) เมื่อเป็นหน่วยแรงอัด สำหรับที่หน้าตัดวิกฤตที่เกิดโมเมนต์บวกจะสนใจพิจารณาหน่วยแรงดึงที่ผิวด้านล่างของพื้น และสำหรับที่หน้าตัดวิกฤตที่เกิดโมเมนต์ลบ (ที่ขอบของเสา) จะสนใจพิจารณาหน่วยแรงดึงที่ผิวด้านบนของพื้น (เนื่องจากคอนกรีตรับแรงอัดได้ดีแต่รับแรงดึงได้ต่ำ ดังนั้นส่วนมากการออกแบบจึงมักจะมีกรณีควบคุมเนื่องจากแรงดึงเป็นหลัก) ในกรณีของโปรแกรมออกแบบจะตรวจสอบหน่วยแรงในทุก ๆ กรณี เนื่องจากการคำนวณสามารถทำได้โดยอัตโนมัติเช่น โปรแกรม Adapt-PT (Adapt Corporation, 2010)

M คือโมเมนต์ที่คำนวณได้ที่หน้าตัดวิกฤต เครื่องหมาย (+) เมื่อเป็นโมเมนต์ที่ทำให้เกิดโค้งหงาย และเครื่องหมาย (-) เมื่อเป็นโมเมนต์ที่ทำให้เกิดโค้งคว่ำ

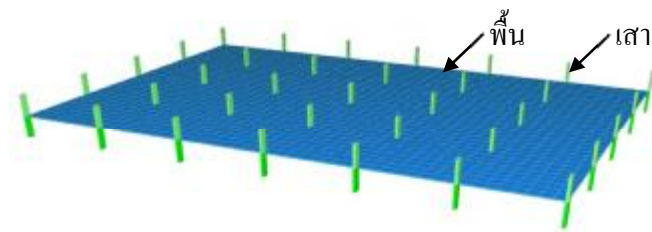
c คือระยะในแนวตั้งจากแกนสะเทิน (Neutral Axis) ของหน้าตัด (กรณีของพื้นคือที่กึ่งกลางของความหนา) ถึงตำแหน่งที่ต้องการคำนวณหน่วยแรงนั้น ๆ เครื่องหมาย (+) เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ใต้แกนสะเทินและเครื่องหมาย (-) เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาอยู่เหนือแกนสะเทินสำหรับผิวบน $c = -\frac{h}{2}$ และ ผิวล่าง $c = +\frac{h}{2}$ เมื่อ h คือความหนาของพื้น

I คือโมเมนต์ออฟอินเนอร์เซีย (Moment of Inertial) ของหน้าตัดวิกฤตที่กำลังพิจารณา

ค่าหน่วยแรงที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.3) สามารถนำไปใช้ตรวจสอบกับค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stresses) ในข้อ 18.4 ของมาตรฐานออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) ได้โดยตรง

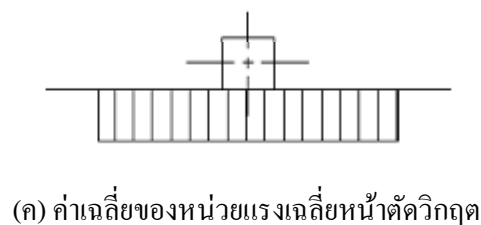
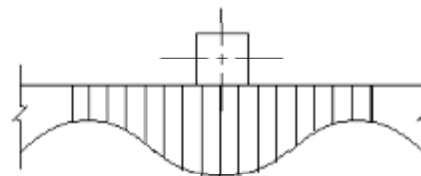
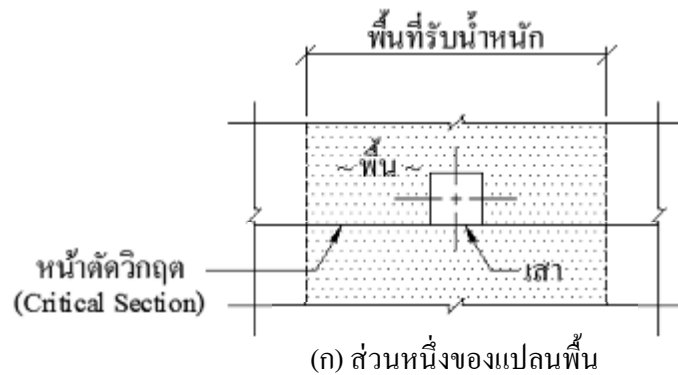
2.2 วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ

เป็นการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของโครงสร้างในแบบสามมิติ ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่ต้องแบ่งระบบพื้นออกเป็นส่วนตัวย่อยหลาย ๆ ส่วนทำให้สามารถประหยัดเวลาในการเตรียมข้อมูล อีกทั้งสามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของโครงสร้างได้มากกว่า การสร้างแบบจำลองสำหรับระบบพื้นนั้น นิยมใช้ไฟไนต์อีลีเมนต์แบบแผ่นรับแรงดัด (Plate Bending Element) สำหรับตัวแผ่นพื้น และใช้อีลีเมนต์โครงข้อแข็ง (Frame Element) สำหรับคาน (ถ้ามี) และเสา ซึ่งการสร้างแบบจำลองนี้สามารถกำหนดในสามมิติได้เลยโดยตรงดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.4 ซึ่งแสดงตัวอย่างของแบบจำลองไฟไนต์อีลีเมนต์ของระบบแผ่นพื้นไร้คาน



ภาพประกอบที่ 2.4 แบบจำลองไฟไนต์อีลีเมนต์ของระบบแผ่นพื้นไร้คาน

เมื่อกำหนดแบบจำลองของระบบพื้นแล้ว จะสามารถคำนวณค่าของหน่วยแรงที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของอีลีเมนต์ออกมาได้ หากต้องการให้คำตอบมีความละเอียดสูงก็ต้องใช้จำนวนชิ้นส่วนของไฟไนต์อีลีเมนต์ให้มากขึ้น ซึ่งจะได้จำนวนจุดที่ได้ค่าของหน่วยแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีทั้งที่ผิวบนและผิวล่างของแผ่นพื้น ค่าหน่วยแรงเหล่านี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ตรวจสอบกับค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI318-99 (ACI Committee 318, 1999) ได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่าหน่วยแรงเฉลี่ย โดยให้สมมุติเหมือนกับการแบ่งระบบแผ่นพื้นออกเป็นแถบของการออกแบบ (Design Strip) เหมือนที่ใช้ในวิธี โครงข้อแข็งเสมือน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.5



ภาพประกอบที่ 2.5 การคำนวณค่าหน่วยแรงเฉลี่ยของหน้าตัด

โดยปกติหน้าตัดวิกฤตของแผ่นพื้น ไร้คานจะมีสามตำแหน่งคือ ขอบทางขวาของเสาทางด้านซ้าย กึ่งกลางของ Span และขอบทางซ้ายของเสาทางด้านขวา สำหรับทุก ๆ ช่วงเสา (Span) โดยที่หน้าตัดวิกฤตที่ขอบเสาจะเกิดหน่วยแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดที่ผิวบน ส่วนที่กึ่งกลางของช่วงเสา (Middle Span) จะเกิดหน่วยแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยที่ผิวล่าง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการออกแบบพื้น ไร้คานคอนกรีตอัดแรง มีดังนี้

Post-Tensioning Institute (1999) ได้แนะนำอัตราส่วนความหนาต่อระยะช่วงเสาของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงประเภทต่างๆ ไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของพื้น (Post-Tensioning Institute, 1999)

ชนิดของพื้น	ช่วงต่อเนื่อง		ช่วงเดี่ยว	
	หลังคา	พื้น	หลังคา	พื้น
พื้นทางเดียว	50	45	45	40
พื้นสองทาง	45-48	40-45	-	-
พื้นสองทางแบบรังผึ้ง 1 เมตร×1 เมตร	40	35	35	30
ความหนาของคานกว้าง	35	30	30	26
พื้นมีคานชอยรองรับทางเดียว	42	38	38	35

ฉัตร สุจินดา (2551) ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการออกแบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติและวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงเฉื่อยที่จะนำไปใช้ในการออกแบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ระหว่างที่วิเคราะห์ได้จากวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติโดยใช้โปรแกรม Adapt-PT และวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติใช้โปรแกรม RAM Concept ซึ่งจากการศึกษาพบว่า กรณีที่มีการจัดวางตำแหน่งของเสาที่ไม่อยู่ในแนวเส้นตรงที่ตั้งฉากกันอย่างเป็นระเบียบ วิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติจะให้ค่าหน่วยแรงเฉื่อยที่มากกว่าในเชิงที่ปลอดภัย (Conservative) เมื่อเทียบกับผลที่ได้จากวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ

ฉัตร สุจินดา (2552) ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ทุดิยภูมิในพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงที่วิเคราะห์ด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติและวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ โดยทั้งสองวิธีใช้โปรแกรม RAM Concept ซึ่งพบว่า การออกแบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ในกรณีที่มีการจัดเรียงของเสาอยู่ในแนวตั้งฉากกัน ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติและวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ ให้ค่าโมเมนต์ทุดิยภูมิใกล้เคียงกัน แต่ในกรณีที่มีการจัดเรียงของเสาไม่อยู่ในแนวที่ตั้งฉากกัน ค่าโมเมนต์ทุดิยภูมิที่ได้จากทั้งสองวิธีมีค่าแตกต่างกันมาก ซึ่งเหตุผลส่วนใหญ่เกิดจากการละเลยที่ไม่พิจารณาผลของการบิดตัวในแถบที่พิจารณา ดังนั้นการออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ในกรณีที่มีการจัดเรียงของเสาไม่อยู่ในแนวตั้งฉากกัน หากเป็นไปได้ จึงควรใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ มากกว่าวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติ

สมชาย ตงอากรณ์ และฉัตร สุจินดา (2553) ทำการศึกษาหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ ในการศึกษาได้ใช้โปรแกรม RAM Concept ซึ่งใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ โดยมีระยะช่วงเสาคือ 8 เมตร

น้ำหนักบรรทุกจร 300 - 500 กก/ม² ผลการทํานายความหนาของแผ่นพื้นได้สมการทํานายความหนา ที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R^2 อยู่ในช่วง 0.94 ถึง 0.99

Tilva, V.K. และคณะ (2554) ได้ศึกษาผลกระทบทางด้านราคาของแผ่นพื้นไร้คานของอาคาร 4 ชั้นในประเทศอินเดียโดยใช้โปรแกรม ETAB วิเคราะห์ตามมาตรฐาน IS 1893 ของประเทศอินเดีย โดยได้เปรียบเทียบแผ่นพื้นแบบที่มี และไม่มีแป้นหัวเสา น้ำหนักบรรทุกตายตัวที่รวมน้ำหนักโครงสร้างแล้ว 1 kN/m² (102 kg/m²) และน้ำหนักบรรทุกจร 4 kN/m² (408 kg/m²) Importance Factor (I) = 1, Response Reduction Factor (R) = 5 โดยมีข้อกำหนดคือ ระยะเสา 6x6 เมตร จำนวนช่วงเสา 3x3 โดยมีกำแพงรับแรงเฉือนที่มุมอาคาร และการวิเคราะห์ผลของแรงกระทำเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงกระทำด้านข้างโดยใช้โปรแกรม ETAB และส่งข้อมูลให้โปรแกรม SAFE คำนวณผลของแรงเฉือนเฉาะทะลุ และกำหนดขนาดของเสา และกำแพงโดยให้กำแพงรับแรงเฉือน 75 % ของแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ผลการศึกษาพบว่าแผ่นพื้นหนา 15 เซนติเมตร ที่มีแป้นหัวเสา 20 เซนติเมตร มีราคาต่ำกว่าแผ่นพื้นหนา 22.5 เซนติเมตร ที่ไม่มีแป้นหัวเสาอยู่ 29 %

ฉัตร สุจินดา (2555) ทำการศึกษาผลกระทบเนื่องจากแรงลม (มยพ. 1311-50) และแรงแผ่นดินไหว (มยพ. 1302-52) ต่อการออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าและสเปคตรัมการตอบสนอง และเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ออกแบบโดยเน้นเฉพาะผลกระทบด้านข้าง ที่มีต่อปริมาณเหล็กเสริมข้ออ้อย โดยศึกษาแปลนอาคารรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจำนวน 6 ช่วงเสาทั้งสองทิศทาง ความสูงอาคาร 7 14 21 และ 28 ชั้น และมีความหนาของแผ่นพื้นคงที่ ผลการศึกษาพบว่า อาคารสูง 21 และ 28 ชั้น ต้องใช้เหล็กเสริมปริมาณมากจนไม่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งอัตราส่วนปริมาณเหล็กเสริมที่พิจารณาแรงลมตาม มยพ. 1311-50 และแรงโน้มถ่วงต่อที่พิจารณาแต่แรงโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียว 1.02 1.72 และ 4.55 เท่า สำหรับอาคารสูง 7 14 และ 21 ชั้นตามลำดับ ส่วนอัตราส่วนปริมาณเหล็กเสริมที่พิจารณาทั้งแรงลมตาม มยพ. 1311-50 แรงแผ่นดินไหว มยพ. 1302-52 ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าและแรงโน้มถ่วง ต่อที่พิจารณาแต่แรงโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียว 2.65 48.30 และ 140.00 เท่า สำหรับอาคารสูง 7 14 และ 21 ชั้นตามลำดับ และปริมาณเหล็กเสริมที่พิจารณาทั้งแรงลมตาม มยพ. 1311-50 และแรงแผ่นดินไหวตาม มยพ. 1302-52 ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีสเปคตรัมการตอบสนองและแรงโน้มถ่วง ต่อที่พิจารณาแต่แรงโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียว 2.01 30.27 และ 71.76 เท่าสำหรับอาคารสูง 7 14 และ 21 ชั้นตามลำดับ

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เป็นการศึกษาถึงการวิเคราะห์และออกแบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติ และอาศัยราคาวัสดุและค่าแรงของต่างประเทศซึ่งได้ทำการศึกษาไว้นานแล้ว ส่วนการศึกษาที่ใช้วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ และใช้ราคาวัสดุและค่าแรงในประเทศไทยก็จำกัดอยู่แต่ระยะช่วงเสาที่ 8 เมตร ผู้วิจัยยังไม่พบถึง

งานวิจัยใดที่ศึกษาการวิเคราะห์และออกแบบพื้นที่ร้านค้าคอนกรีตอัดแรงที่ใช้การวิเคราะห์แบบสามมิติ โดยอาศัยราคาวัสดุและค่าแรงของประเทศไทย ที่พิจารณาการจัดเรียงระยะช่วงเสาที่แตกต่างกัน แต่อย่างใด หากมีการศึกษาถึงผลกระทบของการจัดเรียงระยะช่วงเสาที่แตกต่างกัน ก็จะเป็นประโยชน์มากขึ้นต่อวิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้อง

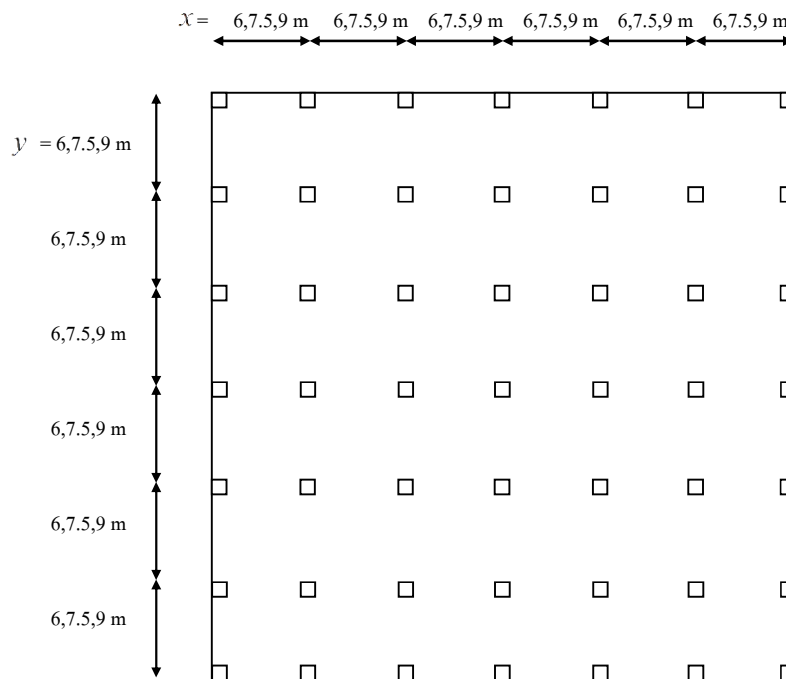
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง

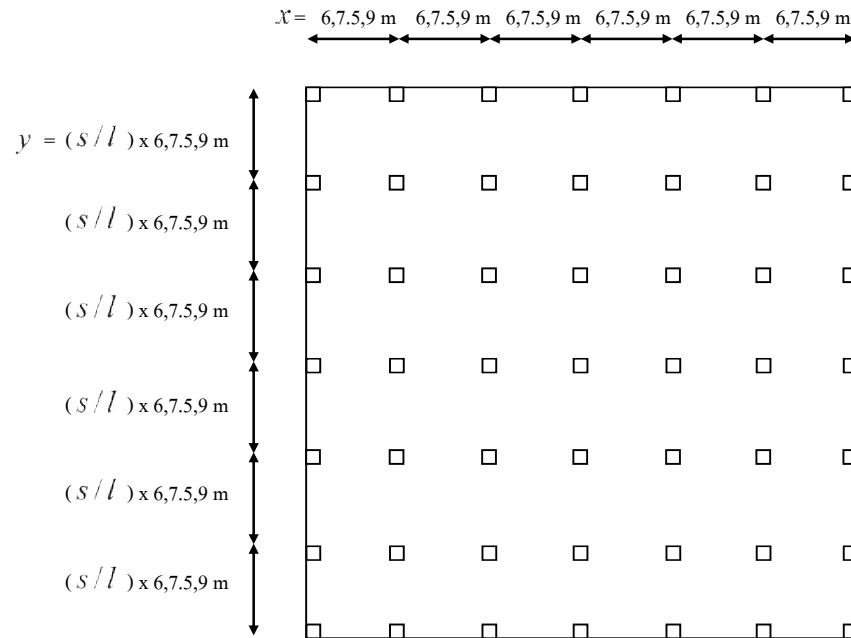
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ซึ่งมีรูปแบบแผ่นพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 3 กรณี คือ (1) สี่เหลี่ยมจัตุรัส (2) ผืนผ้า และ (3) ซิกแซก

3.1.1 กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ภาพประกอบที่ 3.1) มีระยะช่วงเสา คือ 6.7.5 และ 9 เมตร ทั้งในสองทิศทาง (x และ y) ตำแหน่งของเสาจัดอยู่ในแนวเส้นตรงที่ตั้งฉากกันอย่างเป็นระเบียบ



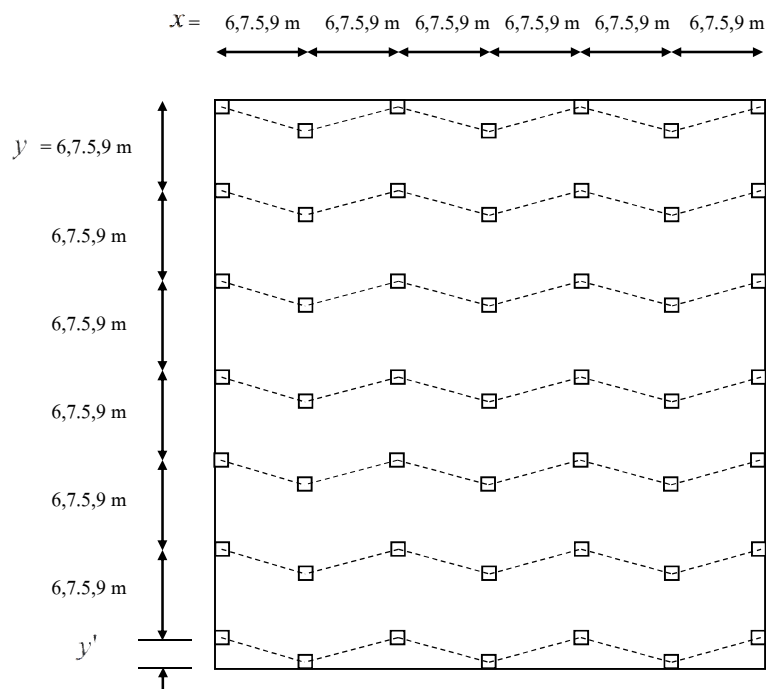
ภาพประกอบที่ 3.1 กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

3.1.2 กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ภาพประกอบที่ 3.2) มีระยะช่วงเสาทั้งในแนวแกน x คือ 6.7.5 และ 9 เมตร และระยะในแนวแกน y จะแปรเปลี่ยนอัตราส่วนช่วงสั้นต่อช่วงยาว (s/l) คือ 0.5 0.75 และ 1.0 ทำให้ระยะ y ที่ $x = 6$ เมตรมีค่า 3 4.5 และ 6 เมตร ระยะ y ที่ $x = 7.5$ เมตรมีค่า 3.75 5.625 และ 7.5 เมตรและระยะ y ที่ $x = 9$ เมตร มีค่า 4.5 6.75 และ 9 เมตร ตามลำดับ ตำแหน่งของเสาจัดอยู่ในแนวเส้นตรงที่ตั้งฉากกันอย่างเป็นระเบียบ



ภาพประกอบที่ 3.2 กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า

3.1.3 กรณีซิกแซก (ภาพประกอบที่ 3.3) มีระยะช่วงเสาที่ตั้งในแนวแกน x และ y คือ 6.75 และ 9 เมตร และมีระยะเอียง $y' = 1.0$ และ 2.0 เมตร ทำให้ตำแหน่งของเสาแตกต่างไปจากแนวที่ตั้งฉากกันในรูปแบบซิกแซกไปมา

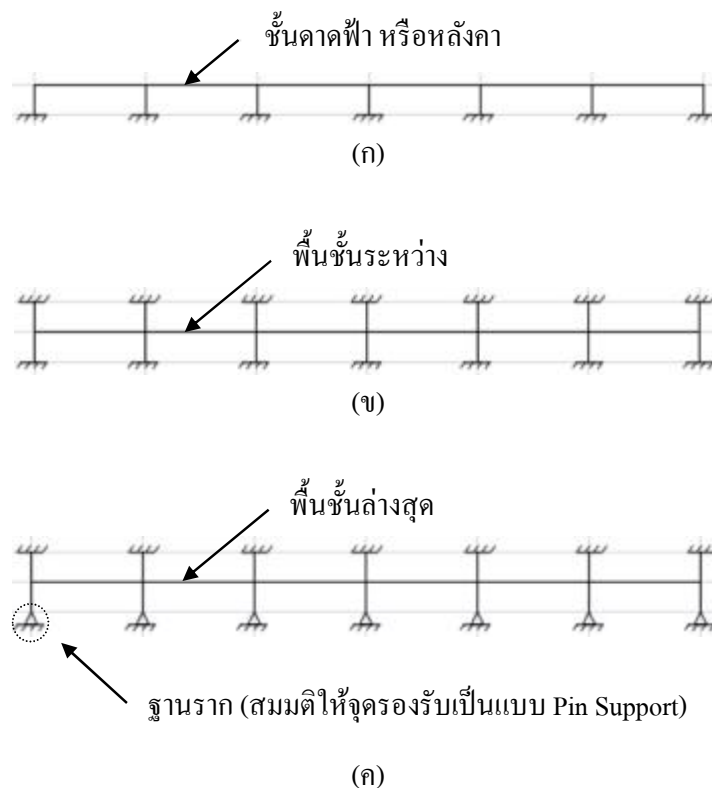


ภาพประกอบที่ 3.3 กรณีซิกแซก

3.2 วิธีการวิเคราะห์และออกแบบระบบแผ่นพื้น

ขั้นตอนในการวิเคราะห์และออกแบบ ได้อธิบายไว้โดยย่อดังนี้

ในกรณีพื้นของชั้นโดยทั่วไปที่ไม่ใช่ชั้นบนหรือล่างสุด นิยมสร้างแบบจำลองให้มีทั้งเสาบนและล่าง ส่วนในกรณีพื้นชั้นที่เป็นคานฟ้าหรือหลังคาจะไม่มีเสาบน ปลายด้านหนึ่งของเสาทั้งบนและล่าง ที่ต่อเชื่อมกับแผ่นพื้น จะกำหนดเป็นจุดรองรับ (Support) ซึ่งมักจะนิยามกำหนดให้เป็น Fixed Support (จุดต่อกับพื้นชั้นถัดไป) ยกเว้นเสาล่างของพื้นชั้นล่างสุด ซึ่งมักจะนิยามกำหนดให้เป็น Pin Support (จุดต่อกับฐานราก) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.4



ภาพประกอบที่ 3.4 แบบจำลองของโครงสร้างของพื้น เสา และจุดรองรับ

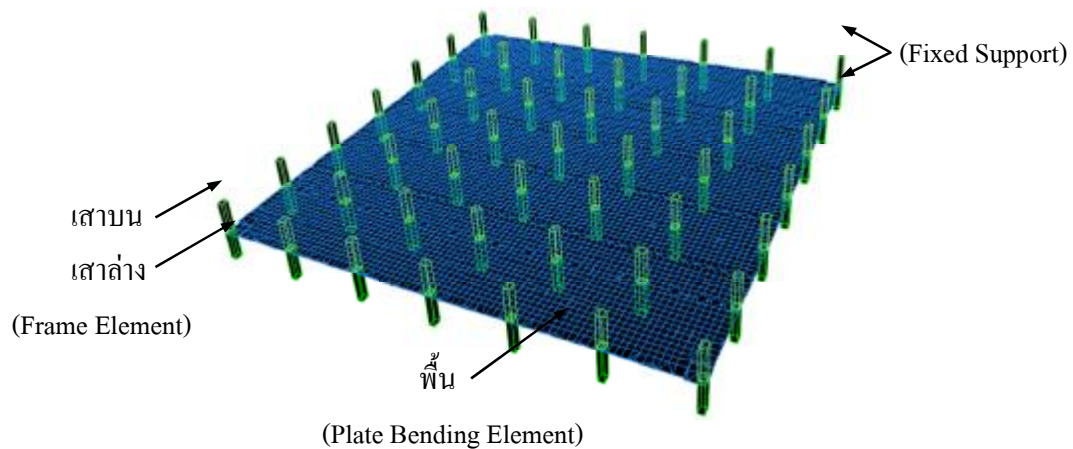
(ก) กรณีชั้นคานฟ้า หรือหลังคา

(ข) กรณีชั้นระหว่าง ที่พิจารณา

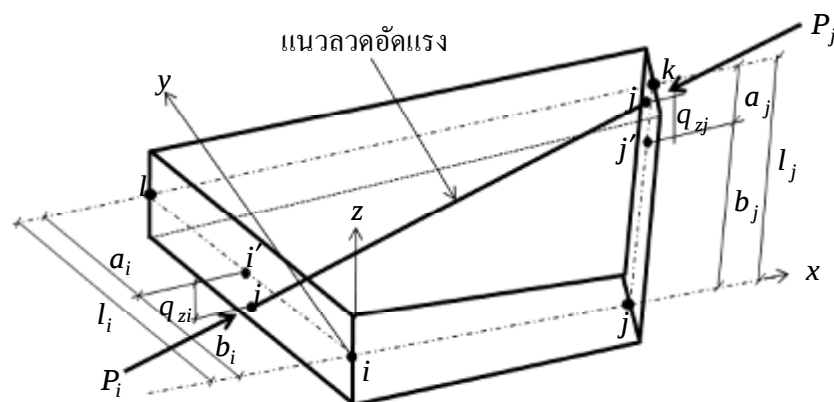
(ค) กรณีชั้นล่าง

3.2.1 วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ

วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์แบบแผ่น เป็นการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของโครงสร้างในแบบสามมิติ สำหรับการสร้างแบบจำลองสำหรับระบบพื้นนั้น นิยมใช้ไฟไนต์อีลีเมนต์แบบแผ่นรับแรงคด (Plate Bending Element) สำหรับตัวแผ่นพื้น และใช้อีลีเมนต์โครงข้อแข็ง (Frame Element) สำหรับคาน (ถ้ามี) และเสา ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.5 แสดงตัวอย่างของแบบจำลองไฟไนต์อีลีเมนต์ของระบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส



ภาพประกอบที่ 3.5 แบบจำลองไฟไนต์อีลีเมนต์ของระบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส



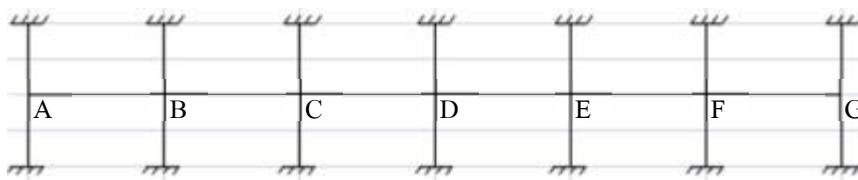
ภาพประกอบที่ 3.6 แบบจำลองไฟไนต์อีลีเมนต์ของพื้นที่มีคดอัดแรงผ่าน

ภาพประกอบที่ 3.5 และ 3.6 แสดงการกำหนดอิลีเมนต์ของระบบพื้น ที่ใช้โปรแกรม RAM Concept V8i Release 3.1 (Bentley Software, 2009) ซึ่งจะสามารถแบ่งอิลีเมนต์ออกมา (Mesh) โดยอัตโนมัติ หากต้องการให้คำตอบมีความละเอียดสูงนั้นก็ต้องใช้จำนวนชิ้นส่วนของไฟไนท์อิลีเมนต์ให้มากขึ้น โดยการกำหนดให้ขนาดของอิลีเมนต์เล็กลง จะได้จำนวนจุดที่ได้ค่าของหน่วยแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีทั้งที่ผิวบนและผิวล่างของแผ่นพื้น ค่าหน่วยแรงเหล่านี้ไม่สามารถนำไปใช้ตรวจสอบกับค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ในมาตรฐาน ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) ได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่าหน่วยแรงเฉลี่ยที่หน้าตัด โดยให้สมมติเหมือนกับการแบ่งระบบแผ่นพื้นออกเป็นแถบของการออกแบบ (Design Strip) เหมือนที่ใช้ในวิธีโครงสร้างข้อแข็งเสมือนดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 2.1

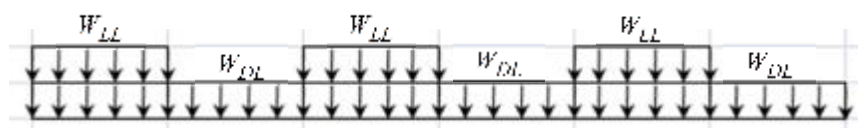
โดยปกติหน้าตัดวิกฤตของแผ่นพื้นไร้คานจะมีสามตำแหน่งคือ ขอบทางขวาของเสาทางด้านซ้าย กึ่งกลางของ Span และขอบทางซ้ายของเสาทางด้านขวา สำหรับทุก ๆ ช่วง (Span) โดยที่หน้าตัดวิกฤตที่ขอบเสาจะเกิดหน่วยแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดที่ผิวบนส่วนที่กึ่งกลางของช่วง (Mid-Span) จะเกิดหน่วยแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยที่ผิวล่าง

ในการวิเคราะห์โดยวิธีโครงสร้างข้อแข็งเสมือน จะต้องมีการจัดรูปแบบน้ำหนักรรทุกจร เพื่อให้เกิดโมเมนต์ที่จุดต่าง ๆ สูงสุด (ภาพประกอบที่ 3.7) แต่ในมาตรฐาน ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) กำหนดไว้ว่า น้ำหนักรรทุกจรมีค่าน้อยกว่า 75 % ของน้ำหนักรรทุกจรที่อนุญาตให้ไม่ต้องจัดรูปแบบน้ำหนักรรทุกจร โดยให้พิจารณาเฉพาะกรณีที่น้ำหนักรรทุกจรลงเต็มแผ่นพื้นทุกช่วงพื้น วิธีการจัดรูปแบบน้ำหนักรรทุกจร เพื่อให้เกิดโมเมนต์ที่จุดต่าง ๆ สูงสุด (ภาพประกอบที่ 3.7) ดังกล่าวคือ (1) โมเมนต์บวกสูงสุดในช่วงใด ๆ จะได้จากการจัดน้ำหนักรรทุกจรลงในช่วงนั้น ๆ และให้จัดน้ำหนักรรทุกจร ทุก ๆ ช่วงเว้นช่วงถัดไป (2) โมเมนต์ลบสูงสุดที่จุดรองรับใด ๆ จะได้จากการจัดน้ำหนักรรทุกจร ลงในช่วงพื้นที่ทั้งสองข้างของที่จุดรองรับ และให้จัดน้ำหนักรรทุกจร ทุก ๆ ช่วงเว้นช่วงถัดไป

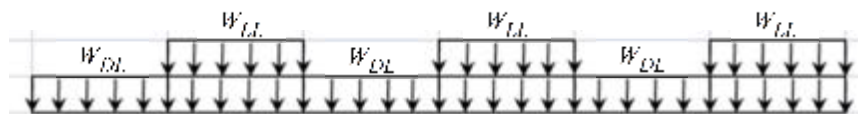
สำหรับการวิเคราะห์วิธีไฟไนท์อิลีเมนต์สามมิติ ได้นำรูปแบบการจัดน้ำหนักรรทุกจรดังกล่าวมาข้างต้นมาประยุกต์ใช้ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.8



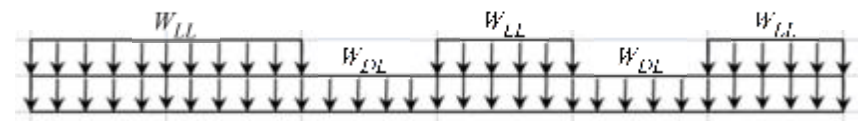
(ก) แบบจำลองโครงสร้างต่อเนื่อง



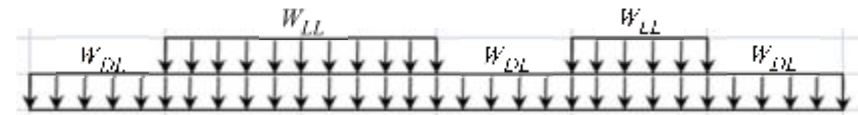
(ข) การจัดน้ำหนักบรรทุกทุกจรให้เกิดโมเมนต์บวกสูงสุดในช่วง AB, CD, EF



(ค) การจัดน้ำหนักบรรทุกทุกจรให้เกิดโมเมนต์บวกสูงสุดในช่วง BC, DE, FG



(ง) การจัดน้ำหนักบรรทุกทุกจรให้เกิดโมเมนต์ลบสูงสุดที่จุด B



(จ) การจัดน้ำหนักบรรทุกทุกจรให้เกิดโมเมนต์ลบสูงสุดที่จุด C

ภาพประกอบที่ 3.7 การจัดน้ำหนักบรรทุกทุกจร (W_{LL}) เพื่อให้เกิดโมเมนต์ที่จุดต่าง ๆ สูงสุด

หลังจากวิเคราะห์และออกแบบความหนาของพื้น ปริมาณลวดอัดแรง และแนวลวดอัดแรงในช่วงใช้งานแล้ว จะต้องมีการตรวจสอบกำลังประลัยของหน้าตัดด้วย โดยที่กำลังประลัยระบุของหน้าตัด (fM_n) ต้องมีค่ามากกว่ากำลังประลัยที่ต้องการ (M_u) ตามมาตรฐาน ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999)

$$fM_n \geq M_u \quad (3.1)$$

$$M_n = \frac{(1.4M_d + 1.7M_l + M_{hyp})}{f} \quad (3.2)$$

เมื่อ

f = ตัวคูณลดกำลังสำหรับโมเมนต์ ใช้ค่าเท่ากับ 0.9

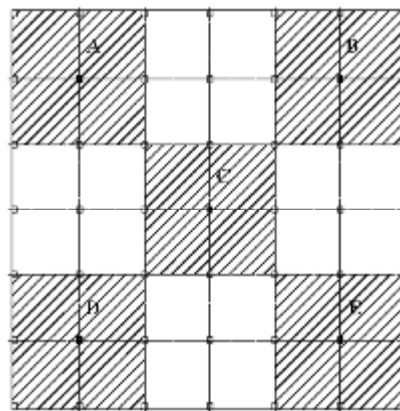
M_n = โมเมนต์คัตประลัยระบุของหน้าตัด

M_u = โมเมนต์คัตประลัยที่ต้องการ

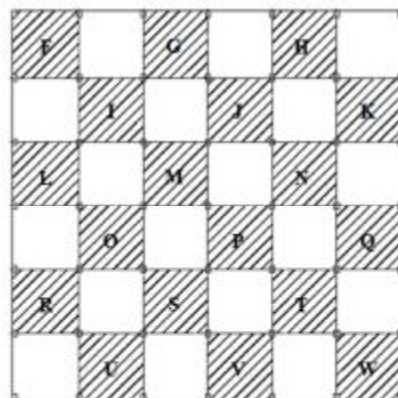
M_d = โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตายตัว

M_l = โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร

M_{hyp} = โมเมนต์หุติยภูมิ



(ก)



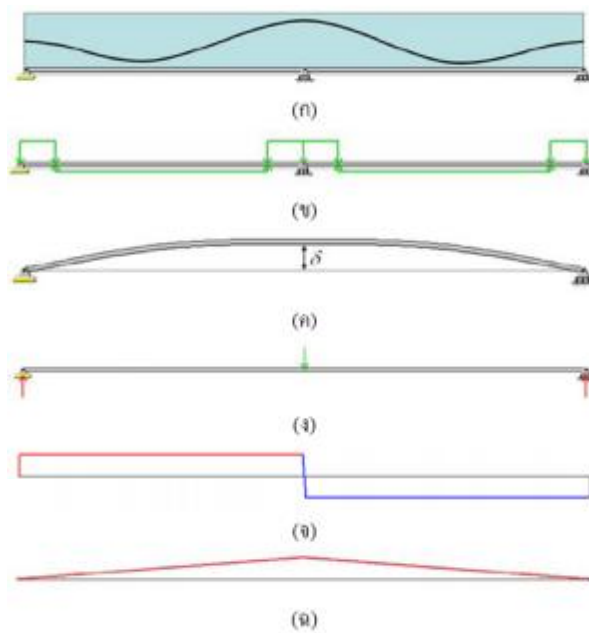
(ข)

ภาพประกอบที่ 3.8 ตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกจรที่ทำให้เกิด

(ก) สำหรับโมเมนต์ลบที่หัวเสา A, B, C, D, E

(ข) สำหรับโมเมนต์บวกสูงสุดที่กึ่งกลางช่วง F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W

กลไกของการเกิดโมเมนต์ทุติยภูมิ (Hyperstatic หรือ Secondary Moment) ในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง (Bommer, 2004) คือการกระทำทุติยภูมิ (Hyperstatic หรือ Secondary Action) เป็นผลของลวดอัดแรงในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง ซึ่งพยายามที่จะเคลื่อนตัวอย่างอิสระที่ตำแหน่งที่มีจุดรองรับ (Support) ในทิศทางที่มีแรงปฏิกิริยาเกิน (Redundant) มาจากแรงปฏิกิริยาที่ทำให้โครงสร้างมีเสถียรภาพ (เกินมาจากโครงสร้างแบบดีเทอร์มิเนต) ซึ่งอธิบายไว้ในภาพประกอบที่ 3.9



ภาพประกอบที่ 3.9 ตัวอย่างคานคอนกรีตอัดแรงต่อเนื่องสองช่วง

ภาพประกอบที่ 3.9 (ก) เป็นโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงของคานต่อเนื่องสองช่วง โดยมีลวดอัดแรงฝังอยู่ในรูปทรงของลวดอัดแรงมีความสูงต่ำ (Profile) ซึ่งมีลักษณะคล้ายเส้นพาลาโบลาโค้งหงายและโค้งคว่ำสลับกัน ลวดอัดแรงที่มีความสูงต่ำจะทำให้เกิดโมเมนต์เนื่องจากแรงอัดที่เอียงจากจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด โดยผู้ออกแบบมักจะกำหนดให้โมเมนต์ที่เกิดจากแรงอัดที่เอียงจากจุดศูนย์ถ่วง เป็นไปในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุก โมเมนต์ที่เกิดขึ้นนี้จะคำนวณได้โดยอ้อม โดยการคำนวณหาน้ำหนักเสมือน (Equivalent Load) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.9 (ข) ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ในส่วนที่ลวดอัดแรงมีรูปทรงคล้ายพาลาโบลาโค้งหงาย จะทำให้เกิดน้ำหนักเสมือนในทิศทางขึ้น แต่ในส่วนที่ลวดมีรูปทรงคล้ายพาลาโบลาโค้งคว่ำ จะทำให้เกิดน้ำหนักเสมือนในทิศทางลง ซึ่งผลรวมของน้ำหนักเสมือนดังกล่าวที่เกิดจากรูปทรงของลวดอัดแรงที่จะต้องเป็นศูนย์ หรือเกิดสมดุลด้วยตัวของมันเอง (Self-Equilibrium) หากพิจารณาว่าแรง

ปฏิกิริยาที่จตุรรองรับแบบลูกล้อ (Roller Support) ตรงกึ่งกลางของคานนี้ เป็นแรงปฏิกิริยาส่วนเกิน (Redundant) และถ้าสมมติว่าตัดแรงดังกล่าวออกไปจากโครงสร้าง ผลของแรงเสมือนที่เกิดจากลวดอัดแรงจะทำให้คานดังกล่าวโก่งตัวขึ้นที่กึ่งกลางเป็นระยะ d ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.9 (ค) แต่ในความเป็นจริงแล้ว สำหรับคานนี้มีจตุรรองรับแบบลูกล้ออยู่ที่กึ่งกลาง ดังนั้นการโก่งตัวขึ้นดังกล่าวจะถูกยับยั้งไว้ด้วยแรงปฏิกิริยา ซึ่งเป็นแรงกระทำแบบจุด กระทำที่กึ่งกลางของคานนี้ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.9 (ง) เนื่องจากแรงดังกล่าวเป็นผลของการยับยั้งการเคลื่อนตัวของคานที่จตุรรองรับ จึงเรียกแรงดังกล่าวว่า แรงปฏิกิริยาทุติยภูมิ (Hyperstatic หรือ Secondary Reaction) และเรียกการกระทำดังกล่าวว่า การกระทำทุติยภูมิ (Hyperstatic หรือ Secondary Action) ซึ่งผลของการกระทำดังกล่าวในโครงสร้างที่เหมือนคาน (Beam-like Structures) เช่นคานและพื้นทางเดียว จะเกิดแรงภายในโครงสร้างขึ้นสองอย่างก็คือ แรงเฉือนทุติยภูมิ (Hyperstatic หรือ Secondary Shear) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.9 (จ) และ โมเมนต์ทุติยภูมิ (Hyperstatic หรือ Secondary Moment) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.9 (ฉ)

แรงเฉือนและโมเมนต์ทุติยภูมิ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.9 (จ) และ (ฉ) เป็นแรงคงค้างที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริมตลอดหน้าตัด ในกรณีที่พิจารณาถึงความแข็งแรง โมเมนต์ที่เกิดขึ้นนี้จะถูกรับด้วยแรงอัดในคอนกรีตและแรงดึงในเหล็กเสริม ซึ่งจากแรงดังกล่าวจะได้ความสัมพันธ์

$$C = T \quad (3.3)$$

$$M_{hyp} = Tz = Cz \quad (3.4)$$

เมื่อ C = แรงอัดทั้งหมดของหน้าตัด
 T = แรงดึงทั้งหมดที่เกิดขึ้นในลวดอัดแรง และเหล็กเสริมที่ไม่ใช่ลวดอัดแรง
 M_{hyp} = โมเมนต์ทุติยภูมิ (Hyperstatic Moment)
 z = แขนโมเมนต์ภายใน

จากข้างต้นที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการรับโมเมนต์ของหน้าตัด จะต้องเกิดแรงต้านภายในขึ้น ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับโมเมนต์ทุติยภูมิ ความสามารถในการรับโมเมนต์นั้นจะต้องเพิ่มเติมจากที่ต้องการ นอกเหนือจากน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ เช่น น้ำหนักบรรทุกตายตัว และน้ำหนักบรรทุกจร ซึ่งมาตรฐาน ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) ได้กำหนดให้พิจารณาผลของการกระทำทุติยภูมิ ในสูตรการคำนวณกำลังการรับแรงของหน้าตัด โดยกำหนดให้ Load Factor

เป็น 1.0 ในผลรวมน้ำหนักบรรทุกสำหรับทุกกรณี เมื่อผลของการกระทำพหุคูณนี้ได้ถูกวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีอีลาสติก ดังแสดงในสมการที่ (3.2)

จะเห็นได้ว่าในโครงสร้างที่เหมือนคาน (Beam-like Structures) ซึ่งมีการสมมติว่าโครงสร้างดังกล่าวเป็นแนวเส้นตรง หน้าตัดของโครงสร้างสมมาตรรอบหนึ่งแกน (แนวดิ่ง) และจุดศูนย์กลางของมวลอัดแรงไม่เอียงไปจากแกนที่สมมาตรของหน้าตัดนั้น ผลของการกระทำพหุคูณจะทำให้เกิดเฉพาะโมเมนต์และแรงเฉือนเท่านั้น แต่หากเงื่อนไขของโครงสร้างไม่ได้เป็นไปตามสมมติฐานข้างต้น จำเป็นต้องพิจารณาผลของการกระทำพหุคูณที่นอกเหนือไปจากโมเมนต์และแรงเฉือน หากมีการคำนวณผลการกระทำพหุคูณในรูปแบบสามมิติด้วยแล้ว ผลดังกล่าวจะทำให้เกิดแรงภายในอื่น ๆ ด้วย อันได้แก่ In-Plane Shear, Axial Force, Torsion, Diaphragm Bending และ Twisting

การวิเคราะห์หาแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง อาจพบว่าผลของแรงเฉือนมีความสำคัญต่อการออกแบบ น้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นจะถ่ายจากแผ่นพื้นลงสู่เสาโดยตรง ทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนที่สูงมากบริเวณรอบหัวเสา แรงเฉือนที่จะต้องตรวจสอบมี 2 ส่วนคือ

ก) แรงเฉือนแบบคานกว้าง (Wide-beam Shear) ลักษณะการเกิดแรงเฉือนคล้ายกับในคาน แผ่นพื้นจะถูกพิจารณาลาย ๆ กับคานกว้างที่มีความลึกน้อย ๆ และมีจุดรองรับคือพื้นตามแนวเสาในทิศตั้งฉาก การเกิดรอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือนจะมีทิศทางแนวทแยง และมีหน้าตัดวิกฤตที่ระยะ d ห่างจากขอบเสา ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.10 ตามมาตรฐาน ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) การออกแบบสำหรับแรงเฉือนชนิดนี้เหมือนกับในคาน ดังแสดงในสมการที่ (3.5) และ (3.6)

$$fV_n \geq V_u \quad (3.5)$$

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} b_w d \quad (3.6)$$

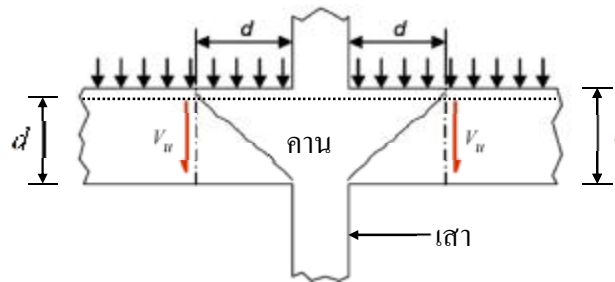
เมื่อ f = ตัวคูณลดกำลังสำหรับแรงเฉือน ใช้ค่าเท่ากับ 0.85

V_n = กำลังเฉือนระบุของหน้าตัด, (kg)

V_u = กำลังเฉือนที่ต้องการ, (kg)

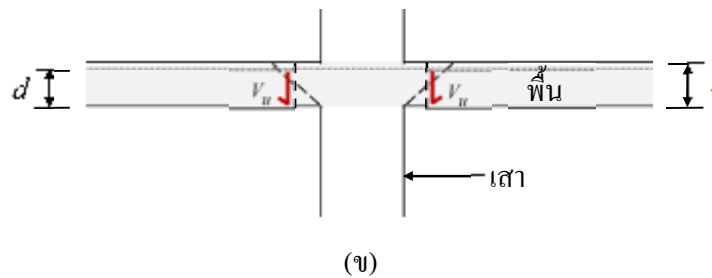
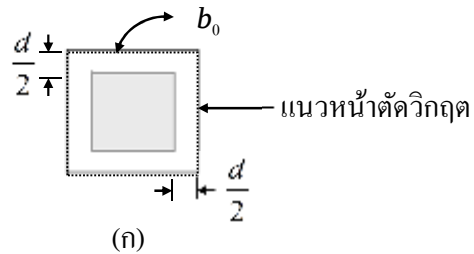
V_c = กำลังเฉือนระบุของคอนกรีต, (kg)

เนื่องจากการออกแบบรับแรงเฉือนชนิดนี้ในแผ่นพื้น โดยทั่วไป จะไม่ใช่เหล็กเสริมรับแรงเฉือน ดังนั้น V_n ในสมการที่ (3.5) จึงมีค่าเท่ากับ V_c ในสมการที่ (3.6) ซึ่งเป็นแรงเฉือนระบุของคอนกรีต



ภาพประกอบที่ 3.10 แรงเฉือนและหน้าตัดวิกฤต แบบคานกว้าง

ข) แรงเฉือนแบบเจาะทะลุ (Punching Shear) แรงเฉือนชนิดนี้จะมีผลต่อแผ่นพื้นไว้คานที่บริเวณหัวเสา หน้าตัดวิกฤตอยู่ห่างจากขอบเสาเท่ากับ $\frac{d}{2}$ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.11ก ทั้งสี่ด้าน ข้อกำหนดการออกแบบแรงเฉือนชนิดนี้เหมือนกับการออกแบบแรงเฉือนทั่วไป ดังแสดงในสมการที่ (3.5) และ (3.6)



ภาพประกอบที่ 3.11 แรงเฉือนและหน้าตัดวิกฤต กรณีแรงเฉือนแบบเจาะทะลุ

(ก) แปลน

(ข) รูปตัดในแนวค้ำ

ในกรณีถ้าไม่มีเหล็กเสริมช่วยในการรับแรงเฉือนใด ๆ V_n จะมีค่าเท่ากับ V_c โดยที่ค่า V_c

สำหรับแรงเฉือนแบบเจาะทะลุนี้ สามารถหาได้จากสมการ (3.7) และ (3.8)

$$V_c = (0.93\sqrt{f'_c} + 0.3f_{pc})b_o d + V_p \quad (3.7)$$

เมื่อ b_o = เส้นรอบรูปหน้าตัดวิกฤต, (cm)
 f_{pc} = หน่วยแรงอัดที่ศูนย์กลางหน้าตัดคอนกรีตทั้งสองทิศทาง, (ksc)
 V_p = แรงประกอบย่อยในแนวตั้งของแรงอัดประสิทธิผลของลวดอัดแรง ที่ผ่านเส้นรอบรูปหน้าตัดวิกฤต V_p อาจใช้ค่าเท่ากับศูนย์ได้ เนื่องจากแผ่นพื้นมีความหนาน้อย มุมเอียงของลวดอัดแรงจึงมีค่าน้อย, (kg)

สมการที่ (3.7) จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อ

- ก) ไม่มีหน้าตัดเสาส่วนใดอยู่ใกล้พื้นที่ไม่ต่อเนื่อง เกินกว่าสี่เท่าของความหนาพื้น
- ข) กำลังอัดประลัยของคอนกรีตต้องมีค่าไม่เกิน 350 ksc
- ค) หน่วยแรงอัดที่ศูนย์กลางของหน้าตัด ในแต่ละทิศทางต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 8.8 ksc และต้องมีค่าไม่มากกว่า 35 ksc

ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กล่าวมาข้างต้น ให้ใช้สมการของ V_c สำหรับแรงเฉือนแบบเจาะทะลุนี้ จากสมการ (3.8)

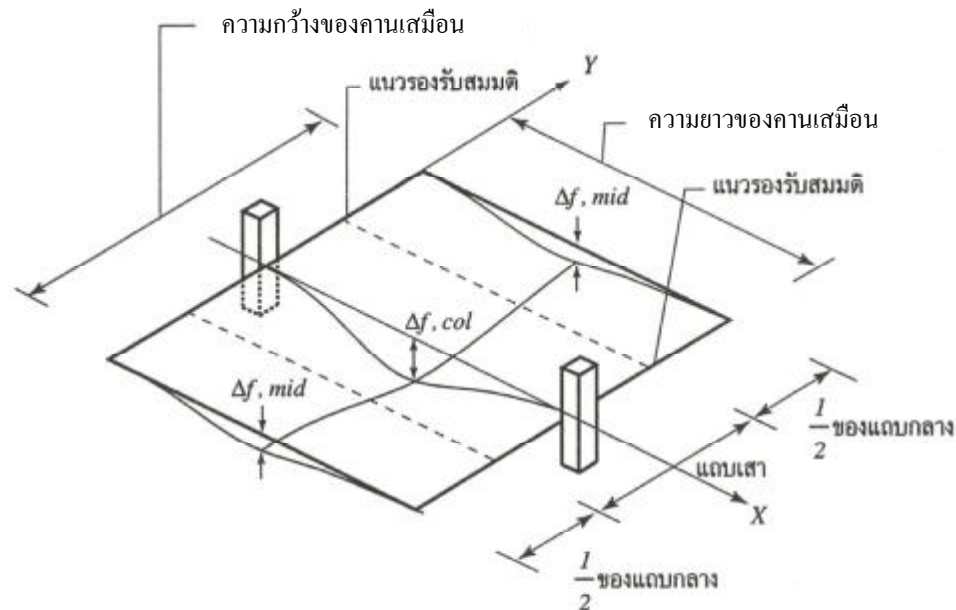
$$V_c = 0.53(1 + 2/b_c)\sqrt{f'_c}b_o d + V_p \leq 1.06\sqrt{f'_c}b_o d \quad (3.8)$$

เมื่อ b_c = อัตราส่วนของด้านยาวต่อด้านสั้นของหน้าตัดเสา
 b_o = เส้นรอบรูปของแนวหน้าตัดวิกฤต, (cm)

การวิเคราะห์หาการโก่งตัวที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ในวิธีโครงสร้างเสมือนซึ่งกระทำได้ง่าย ซึ่งในวิธีนี้จะเสมือนคานที่มีความกว้างเท่ากับระยะครึ่งหนึ่งของช่วงแผ่นพื้นออกไปสองข้างจากแนวเสา ถ้าสมมติว่าที่รองรับสมมติเป็นปลายยึดแน่น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.15 และการโก่งตัวที่กึ่งกลางของคานเสมือน (Δ_f) คำนวณได้จากสมการที่ (3.9)

$$\Delta_f = \frac{wL^4}{384E_c I_{panel}} \quad (3.9)$$

เมื่อ w = น้ำหนักบรรทุกต่อความยาว 1 เมตร ของช่วงความยาว
 L = ช่วงความยาว
 E_c = โมดูลัสอีลาสติคของคอนกรีต
 I_{panel} = โมเมนต์อินเนอร์เซียของคานเสมือน



ภาพประกอบที่ 3.12 การโยงตัวของคานเสมือน

ภาพประกอบที่ 3.12 และสมการที่ 3.9 ค่าการโยงตัวที่กึ่งกลางของคานเสมือนดังกล่าวคำนวณโดยสมมติว่าการโยงตัวนี้เท่ากันตลอดความกว้างของคานเสมือน แต่ในความเป็นจริงโมเมนต์จะกระจายไม่เท่ากันตลอดความกว้างของคานเสมือน ดังนั้นการโยงตัวที่กึ่งกลางจะไม่เท่ากันตลอดความกว้างของคานเสมือนเช่นกัน

ในการวิเคราะห์หาการโยงตัวที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงในการศึกษานี้ใช้วิธีอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความชันของโค้งประสิทธิภาพ Effective Curvature Ratio (ECR) คำนวณจากสมการที่ (3.10) ถึง (3.14)

$$ECR = C_e / C_g \quad (3.10)$$

เมื่อ ECR = อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความชันของโค้งประสิทธิภาพ
 C_e = พื้นที่หน้าตัดของส่วน โค้งประสิทธิภาพ
 C_g = พื้นที่หน้าตัดสุทธิของส่วนโค้ง

พื้นที่หน้าตัดของส่วนโค้งประสิทธิภาพ (C_e) คือค่าที่โดยประมาณจากสมการ (3.11)

$$C_e = (k_c BSR C_g) + ((1 - BSR) C_{ccs}) \quad (3.11)$$

เมื่อ k_c = ตัวคูณการคืบของคอนกรีต มีค่าเท่ากับ 3.35

โดยปกติทั่วไปในวิธีการสำหรับคำนวณหาโมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ (I_e) ของโครงสร้างคอนกรีต คือ Branson's Formula คำนวณจากสมการ (3.12)

$$I_e = (M_{cr} / M_a)^4 I_g + (1 - (M_{cr} / M_a)^4) I_{cr} \quad (3.12)$$

เมื่อ I_e = โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ
 I_g = โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดสุทธิของคอนกรีต
 I_{cr} = โมเมนต์อินเนอร์เซียที่ทำให้คอนกรีตเริ่มแตกร้าว
 M_{cr} = โมเมนต์ที่ทำให้หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตเริ่มแตกร้าว
 M_a = โมเมนต์ที่สูงสุดที่สถานะเกิดการโก่งตัวที่คำนวณได้

จากสมการของ Branson's Formula สมการที่ (3.12) ไม่ได้พิจารณาแรงตามแนวแกน (Axial Force) ในกรณีที่พิจารณาแรงตามแนวแกน เพื่อคำนวณหาโมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ (I_e) ของโครงสร้างคอนกรีต คำนวณจากสมการ (3.13)

$$I_e = (f_{cr} / f_a)^4 I_g + (1 - (f_{cr} / f_a)^4) I_{cr} \quad (3.13)$$

เมื่อ f_{cr} = หน่วยแรงที่ทำให้หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตเริ่มแตกร้าว
 f_a = หน่วยแรงสูงสุดที่สถานะเกิดการโก่งตัวที่คำนวณได้

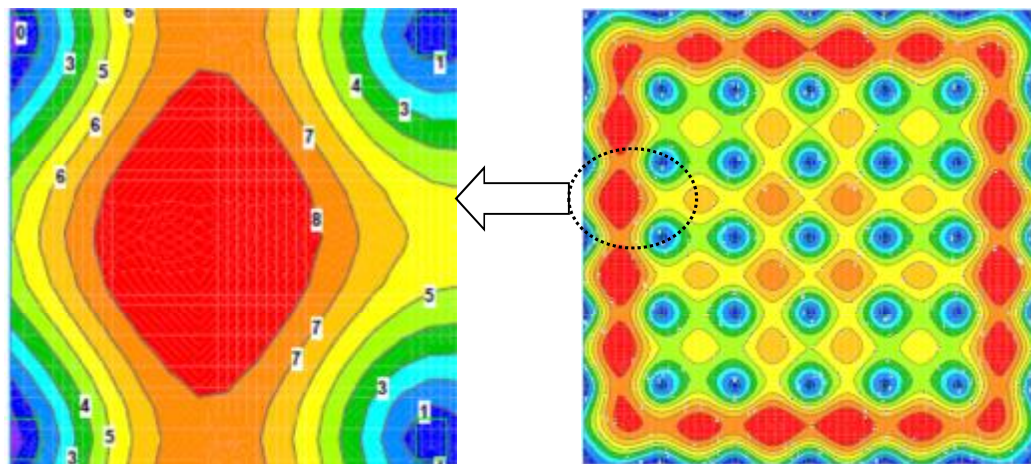
ในกรณีอัตราส่วนของ $(f_{cr} / f_a)^4$ โดยทั่วไปเรียกอัตราส่วนนี้ว่า Branson's Stress Ratio (BSR) ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวนี้ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง, $(f_{cr} / f_a)^4 \leq 1$ ดังสมการที่ (3.14)

$$BSR = \text{Branson's Stress Ratio, } (f_{cr} / f_a)^4 \leq 1.0 \quad (3.14)$$

C_{ccs} = พื้นที่หน้าตัดของส่วนโค้ง ที่พิจารณาการเริ่มแตกร้าว (Cracking) การคืบ (Creep) และการหดตัว (Shrinkage)

จากหลักการวิเคราะห์หาการโก่งตัวดังกล่าวข้างต้น การศึกษานี้ได้นำโปรแกรม RAM Concept V8i Release 3.1 (Bentley Software, 2009) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่วิเคราะห์และออกแบบ

โครงสร้างในรูปแบบสามมิติโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์อยู่แล้ว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้วิธีคำนวณในรูปแบบสองมิติ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้โปรแกรมนี้ยังพิจารณาแรงในแนวระนาบ (In-Plane Force) ในแผ่นพื้นด้วย ตามวิธี Branson's Stress Ratio (*BSR*) ดังนั้นขั้นตอนการออกแบบจึงสามารถหาค่าการโก่งตัวในรูปแบบสามมิติ ที่กำหนดโดยเส้นชั้นความสูง (Deflection Contour Port) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.13 นำมาเปรียบเทียบกับค่าการโก่งตัวที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) ข้อที่ 9.5 ดังแสดงในตารางที่ 3.1



(ก) ภาพขยาย

(ข) สถานะของการตรวจสอบการโก่งตัว

ภาพประกอบที่ 3.13 สถานะของการตรวจสอบค่าการโก่งตัวของแผ่นพื้น

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบระบบแผ่นพื้น

งานศึกษานี้ได้นำโปรแกรม RAM Concept V8i Release 3.1 (Bentley Software, 2009) มาใช้วิเคราะห์และออกแบบแผ่นพื้นไร้คาน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 ตามข้อกำหนดมาตรฐาน ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตอัดแรงสำหรับแผ่นพื้น ต้องไม่เกินค่า ดังแสดงในตารางที่ 3.2

3.3.2 กำหนดรูปแบบการจัดเรียงของเสา ในการศึกษาี้ได้กำหนดไว้ 3 กรณีคือ (1) กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส (2) สี่เหลี่ยมผืนผ้า (3) ชิกแซก ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.1 ถึง 3.3 ตามลำดับ โดยที่กำหนดให้ความหนาของแผ่นพื้น (t) ที่อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของพื้นคือ 40-45 (Post-Tensioning Institute, 1999) ดังแสดงในตารางที่ 3.3 คอนกรีตกำลังอัดประลัย $f'_c = 320 \text{ ksc}$ และ 400 ksc รับน้ำหนักตายตัวที่ไม่ใช่น้ำหนักของตัวพื้นเอง (Super-Imposed Dead Load) W_{SDL}

$= 120 \text{ kg/m}^2$ สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร $W_{LL} = 200$ และ 300 kg/m^2 และ $W_{SDL} = 50 \text{ kg/m}^2$ สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร $W_{LL} = 400 \text{ kg/m}^2$

3.3.3 รวบรวมราคาต่อหน่วยของวัสดุและค่าแรงซึ่งเป็นข้อมูลในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 3.4

3.3.4 ออกแบบแผ่นพื้นของแต่ละกรณีศึกษาโดยกำหนดแบบจำลองของแผ่นพื้นคุณสมบัติของวัสดุ น้ำหนักบรรทุก แนวการวางลวดอัดแรง โดยให้เริ่มต้นใส่ลวดอัดแรงทั้งใน Band และ Uniform Directions ให้มีค่าหน่วยแรงเฉลี่ยต่ำสุดที่ยอมให้ในแผ่นพื้นคอนกรีต 125 psi (8.8 ksc) ตามมาตรฐาน ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) ข้อที่ 18.12.4 จากนั้นได้กำหนดให้โปรแกรม RAM Concept V8i Release 3.1 (Bentley Software, 2009) สร้างแถบของการออกแบบ (Design Strip) และหน้าตัดของการออกแบบ (Design Section) โดยอัตโนมัติ เมื่อ Run โปรแกรมตรวจสอบค่าหน่วยแรงเฉลี่ยของหน้าตัดของการออกแบบ แสดงให้เห็นว่าหน่วยแรงเฉลี่ยที่คำนวณได้นั้น ผ่านตามข้อกำหนดของมาตรฐานที่ได้เลือกไว้หรือไม่ หากไม่ผ่านโปรแกรมจะระบุว่า ไม่ผ่านข้อกำหนดใดบ้าง ที่หน้าตัดของการออกแบบใด ตามตำแหน่งของแปลน (ภาพประกอบที่ 3.14) หากมีหน้าตัดของการออกแบบใดที่ไม่ผ่านเกณฑ์หน่วยแรงดึงสูงสุดที่ยอมให้ จึงปรับโดยการเพิ่มลวดอัดแรงในบริเวณนั้น ในบางครั้งอาจต้องเพิ่มเป็นหัวเสา ที่บริเวณหัวเสา ให้มีความหนาไม่น้อยกว่า $1/4$ เท่าของความหนาแผ่นพื้น และขนาดของแป้นหัวเสา ที่ขยายออกในแต่ละทิศทาง ไม่น้อยกว่า $L/6$ เท่าของระยะจากกึ่งกลางของเสาถึงกึ่งกลางของเสา ตามมาตรฐาน ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) ข้อที่ 13.3.7 (ภาพประกอบที่ 3.15) แต่ในกรณีที่อัตราส่วนช่วงสั้นต่อช่วงยาว (s/l) $= 0.5$ ของพื้นที่มีขนาดบาง การเพิ่มและขยายขนาดของแป้นหัวเสา อาจจะต้องใช้ Band Beam แทน เนื่องจากแป้นหัวเสาใกล้ชิดกันจนทำให้รัศมีของแนวลวดอัดแรงในแนวดิ่งมากกว่าเกินที่ยอมให้โดยความหนาและขนาดของ Band Beam ที่ขยายออกในแต่ละทิศทางจะใช้มาตรฐาน ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) ข้อที่ 13.3.7

ตารางที่ 3.1 ระยะการโก่งตัวสูงสุดที่ยอมให้ ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999)

ลักษณะของแผ่นพื้น	การพิจารณาการโก่งตัว	ค่าที่ยอมให้
1. คาดฟ้าเรียบ ไม่รองรับหรือเชื่อมยึดกับชั้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non-structural) ซึ่งอาจเสียหายจากการโก่งตัวมากได้	การโก่งตัวทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร	$< \frac{L}{180}$
2. พื้น ไม่รองรับหรือเชื่อมยึดกับชั้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non-structural) ซึ่งอาจเสียหายจากการโก่งตัวมากได้	การโก่งตัวทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร	$< \frac{L}{360}$
3. พื้นหรือคาดฟ้า รองรับหรือเชื่อมยึดกับชั้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non-structural) ซึ่งอาจเสียหายจากการโก่งตัวมากได้	ส่วนของการโก่งตัวทั้งหมด ที่เกิดขึ้นหลังจากการเชื่อมยึดกับชั้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง (ผลรวมการโก่งตัวระยะยาวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง และการโก่งตัวทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรใด ๆ ที่เพิ่มขึ้น	$< \frac{L}{480}$
4. พื้นหรือคาดฟ้า รองรับหรือเชื่อมยึดกับชั้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non-structural) ซึ่งไม่น่าจะเสียหายจากการโก่งตัวมากได้		$< \frac{L}{240}$

ตารางที่ 3.2 หน่วยแรงที่ยอมให้ สำหรับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง

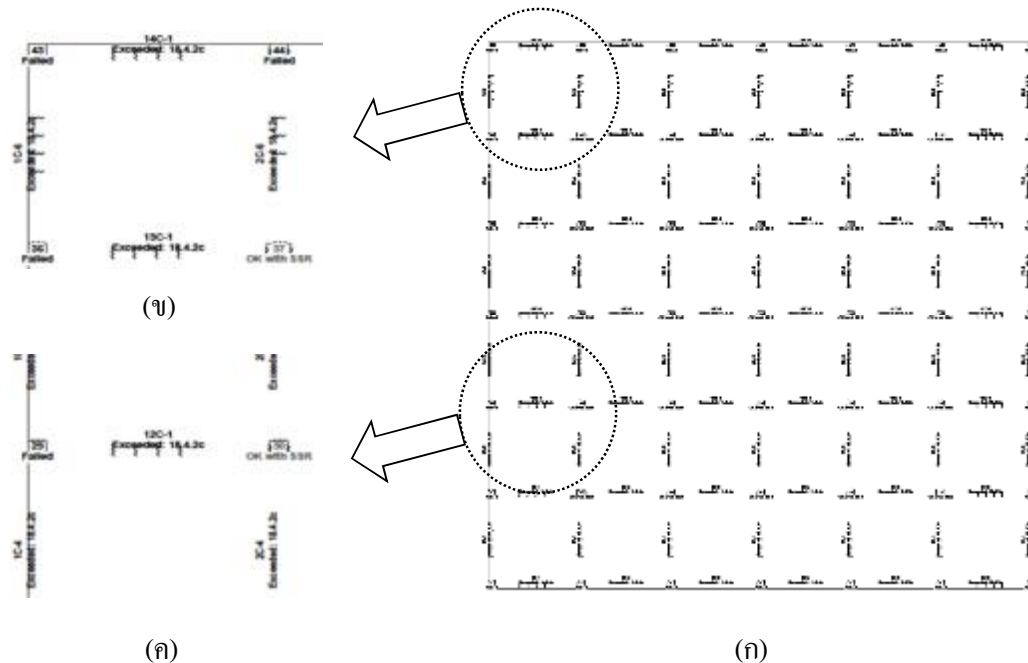
หน่วยแรง	กก/ชม ²
1. หน่วยแรงชั่วคราวในคอนกรีตทันทีที่ถ่ายแรงมาจากเหล็กเสริมอัดแรง ก่อนการเสื่อมลดของแรงดึงอันเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต (Shrinkage) การคืบของคอนกรีต (Creep) และการคลายแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรง (Steel Relaxation) ต้องไม่เกินค่าดังนี้ หน่วยแรงอัด - สำหรับหน่วยแรงที่เกิดจากการอัดแรง หน่วยแรงดึง - สำหรับองค์อาคารที่ไม่เสริมเหล็กเสริมธรรมดาชนิดเหนียว (Bonded reinforcement) ในการช่วยรับแรงดึง - สำหรับองค์อาคารที่มีเหล็กเสริมธรรมดาชนิดเหนียว ซึ่งจะต้องเสริมเหล็กธรรมดาชนิดเหนียวให้สามารถรับแรงดึงทั้งหมดในส่วนของคอนกรีตที่เกิดหน่วยแรงดึง (Tensile zone) โดยที่แรงดึงคำนวณจากสมมติฐานของหน้าตัดไม่แตกร้าว	$0.60 f'_{ci}$ $0.8\sqrt{f'_{ci}}$ $1.6\sqrt{f'_{ci}}$
2. หน่วยแรงในคอนกรีตที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกการใช้งาน (หลังจากการเสื่อมลดทั้งหมด ของแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง) ต้องไม่เกินค่าดังนี้ หน่วยแรงอัด - กรณีโครงสร้างรับหน่วยแรงเนื่องจากแรงดัด หน่วยแรงดึง - หน่วยแรงดึงในบริเวณคอนกรีตซึ่งถูกอัดแรงมาก่อน	$0.45 f'_c$ $1.6\sqrt{f'_c}$
3. หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงจะต้องไม่เกินค่าดังนี้ - ขณะดึงด้วยเครื่องดึงเหล็กเสริมอัดแรง หรือค่าสูงสุดที่แนะนำโดยผู้ผลิตเหล็กเสริมอัดแรงหรือสมอยึด - ทันทีที่ถ่ายแรงเข้าสู่องค์อาคาร	$0.94 f_{py} \leq 0.80 f_{pu}$ $0.70 f_{pu}$

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความหนาของเส้น (Post-Tensioning Institute, 1999)

ชนิดของเส้น	ช่วงต่อเนื่อง		ช่วงเดี่ยว	
	หลังคา	พื้น	หลังคา	พื้น
เส้นทางเดี่ยว	50	45	45	40
เส้นสองทาง	45-48	40-45	-	-
เส้นสองทางแบบบังคัง 1 เมตร × 1 เมตร	40	35	35	30
ความหนาของคานกว้าง	35	30	30	26
เส้นมีคานชอยรองรับทางเดี่ยว	42	38	38	35

ตารางที่ 3.4 ราคาต่อหน่วยของวัสดุและค่าแรง (สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า, 2555)

ประเภท		ราคาต่อหน่วย (บาท)	
		วัสดุ	ค่าแรง
ลวดเกลียวอัดแรง (Low relaxation) 12.7 มม (1/2 นิ้ว) Grade 270 ksi		48/กก	20/กก
คอนกรีตกำลัง อัดประลัย	320 ksc	2,740 / ม ³	340 / ม ³
	400 ksc	3,000 / ม ³	340 / ม ³
เหล็กเสริม (SD-40, $f_y = 4000$ ksc)		23 / กก	2.8 / กก
แบบหล่อ		125 / ม ²	120 / ม ²



ภาพประกอบที่ 3.14 สถานะของการตรวจสอบหน่วยแรงที่หน้าตัดวิกฤตกับ
ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ก่อนการปรับแก้ของการออกแบบ

(ก) สถานะของการตรวจสอบหน่วยแรง

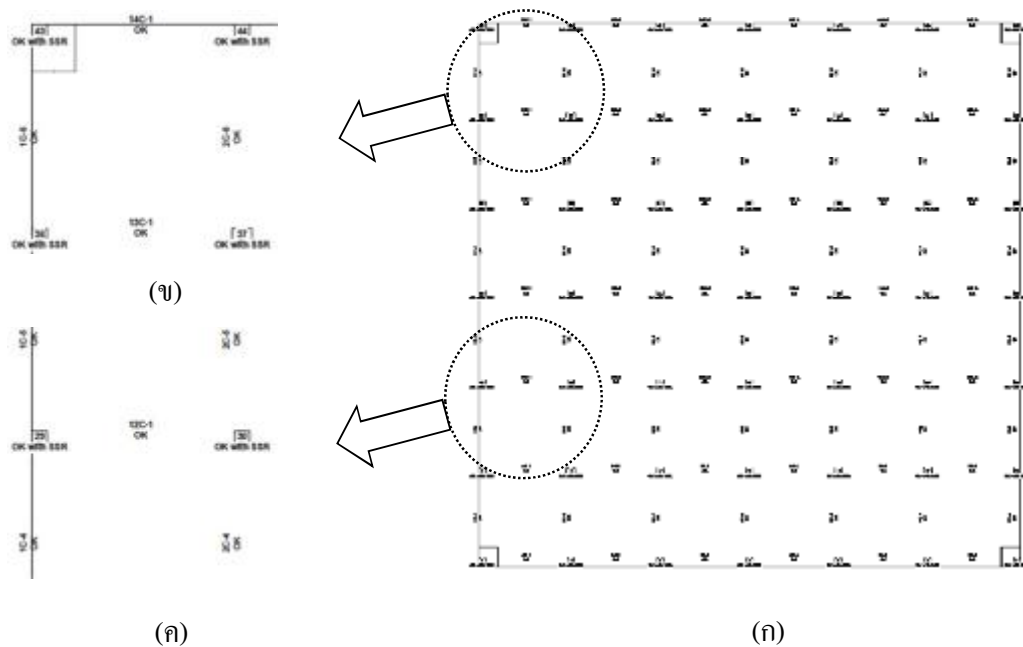
(ข) บริเวณหัวเสา หน่วยแรงเฉือนเจาะทะลุ (Punching Shear)

ไม่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด

(ค) บริเวณที่หน่วยแรงสูงสุดของหน้าตัด

ของการออกแบบ (Design Section) ไม่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด

3.3.5 จากผลการทดลองออกแบบสำหรับแผ่นพื้นแต่ละกรณีศึกษา นำราคาค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตร ที่ได้จากราคาค่าหน่วยในตารางที่ 3.4 มาเขียนกราฟแสดงราคาค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตร (แกน y) และความหนาของแผ่นพื้น (แกน x) และใช้โปรแกรม Excel 2007 (Microsoft Corporation, 2007) เพื่อหาสมการถดถอยของเส้นกราฟในรูปของสมการ Polynomial กำลังสอง จากนั้นนำมาหาความหนาที่เหมาะสม (ที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตรต่ำสุด) คือจุดที่ $\frac{dy}{dx} = 0$ จะได้ความหนาที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกรณีศึกษา



ภาพประกอบที่ 3.15 สถานะของการตรวจสอบหน่วยแรงที่หน้าตัดวิกฤต
กับค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ตามมาตรฐาน หลังการปรับแก้ของการออกแบบ

(ก) สถานะของการตรวจสอบหน่วยแรง

(ข) เสริมเหล็กรับแรงเฉือน Shear Stud Rail (SSR) และ Drop Panel บริเวณหัวเสา เพื่อให้ หน่วยแรงเฉือนเจาะทะลุ (Punching Shear) ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด

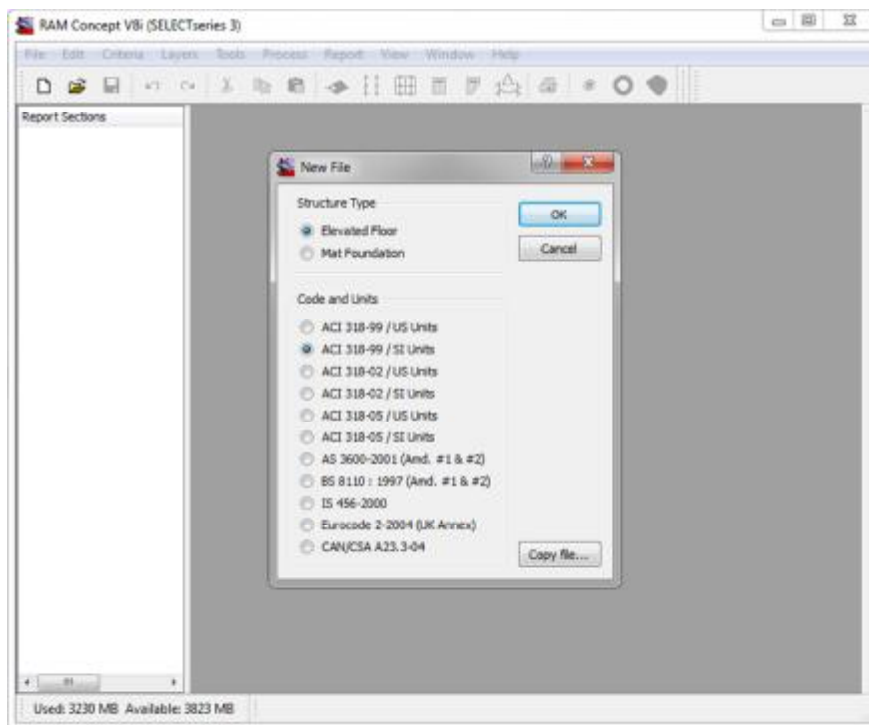
(ค) เพิ่มลวดอัดแรงบริเวณหน้าตัดของการออกแบบ (Design Section) ที่ค่าหน่วยแรงเกินกว่าค่าที่ยอมให้ เพื่อให้ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด

3.3.6 จากข้อมูลความหนาที่เหมาะสม (ที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตรต่ำสุด) สำหรับกรณีศึกษา นำมาหาสมการถดถอยอีกครั้งหนึ่งโดยใช้โปรแกรม EVIEWS 5.1 (Quantitative Micro Software, 2006) โดยกำหนดความหนาที่เหมาะสมเป็นตัวแปรตาม ส่วนกำลังอัดประลัย น้ำหนักบรรทุกจร และพารามิเตอร์ของรูปทรง เช่น s/l สำหรับกรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นตัวแปรต้น จะได้สมการถดถอย และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เพื่อใช้ทำนายความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสม

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ตัวอย่างการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง สำหรับโปรแกรม Ram Concept V8i กรณีพื้นที่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 7.5 x 7.5 ม หนา 16 ซม

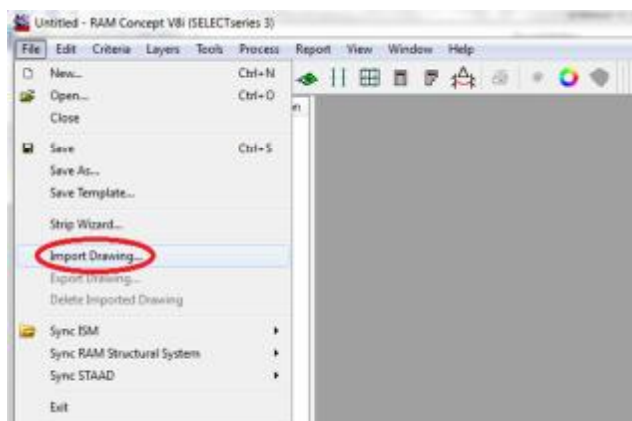
1. เริ่มต้นโปรแกรม Ram Concept V8i โดยเลือกชนิดของโครงสร้างพื้นเป็นแบบ Elevated Floor และเลือกใช้มาตรฐาน ACI318-99/SI Units ดังภาพประกอบที่ 3.16



ภาพประกอบที่ 3.16 แสดงการเริ่มต้นโปรแกรมพร้อมกำหนดมาตรฐานการออกแบบ

2. ทำการสร้าง Model แปลนพื้นในโปรแกรม Autocad โดย save ไฟล์นามสกุล .dxf

3. ทำการ Import Drawing เพื่อ Model แปลนพื้น โดย Import จาก ไฟล์นามสกุล .dxf พร้อมเลือกหน่วย (File Units) Millimeters สำหรับพื้นที่จะทำการ Model ดังภาพประกอบที่ 3.17 และ 3.18 ตามลำดับ



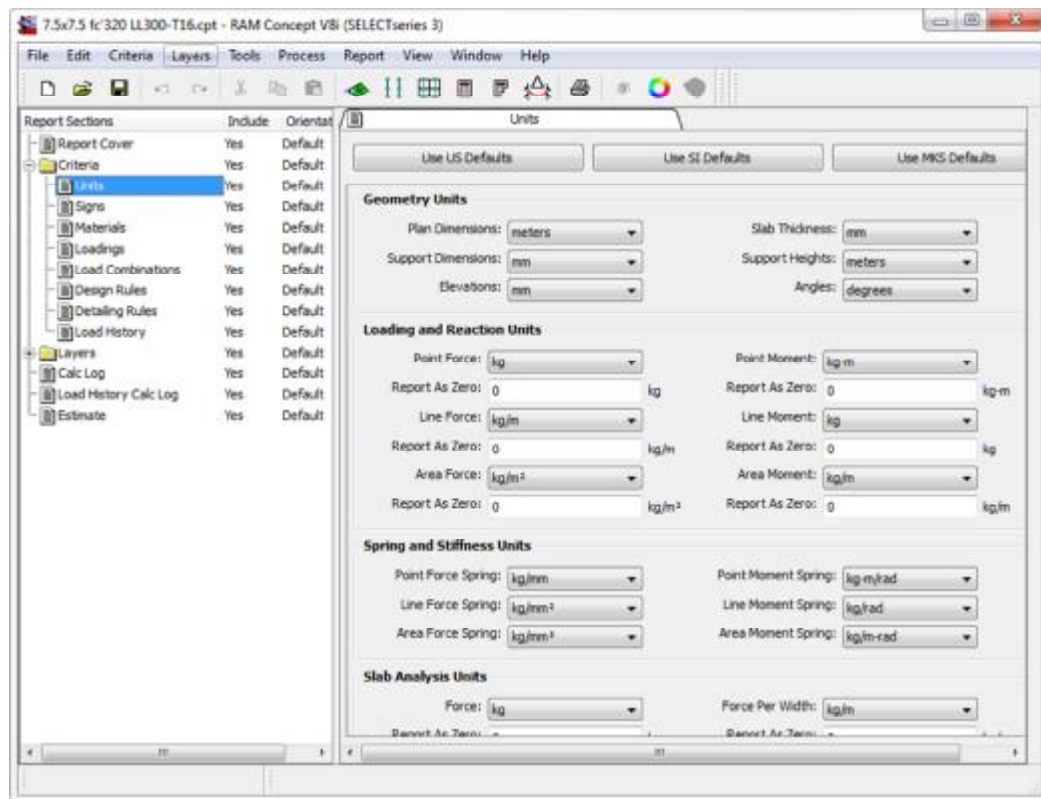
ภาพประกอบที่ 3.2 แสดงการ Import Drawing



ภาพประกอบที่ 3.17 แสดงการเลือกหน่วย (File Units) ที่ทำการ Import

4. กำหนดเกณฑ์การออกแบบ (Criteria) โดยกำหนดหน่วย (Units) คุณสมบัติวัสดุ (Materials) และ Load Combination ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.18, 3.19 และ 3.20 ตามลำดับ

- หน่วย (Units) ที่กำหนด เป็นหน่วยระบบ SI
- คุณสมบัติวัสดุ (Materials) กำหนดให้ กำลังอัดประลัย $f'_c = 320 \text{ ksc}$, เหล็กเสริม (SD-40) , ลวดอัดแรง 12.7 มม (1/2 นิ้ว) Grade 270
- Load Combination ค่าตัวคูณน้ำหนัก $1.4D + 1.7L$



ภาพประกอบที่ 3.18 แสดงการกำหนดหน่วย (Units)

Concrete Mix

Add Concrete Mix

Delete Concrete Mix...

Mix Name	Density (kg/m³)	Density For Lr (kg/m³)	F'c (kg/mm²)	Fc (kg/mm²)	f _{cu} (kg/mm²)	f _{cu} (kg/mm²)	Poisson's Ratio	Ec Calc	User Ec (kg/mm²)	User Ec (kg/mm²)
320 ksc.	2450	Density	2.039	3.263	2.549	4.079	0.2	Code	1530	2549
400 ksc.	2450	Density	2.039	4.079	2.549	5.099	0.2	Code	1530	2549

PT Systems

Add PT System

Delete PT System...

System Name	Type	As (sq. mm)	Eps (kg/mm²)	fse (kg/mm²)	fpy (kg/mm²)	fpu (kg/mm²)	Duct Width (mm)	Max Strands Per Duct	Minimum Radius (meters)
12.7mm Bonded	Bonded	98.7	29880	112.2	171.3	189.7	300	4	2

System Name	Jacking Stress (kg/mm²)	Anchor Friction	Wobble Friction (1/meters)	Angular Friction (1/radians)	Seating Distance (mm)	Long-Term Losses (kg/mm²)
12.7mm Bonded	151.9	0.02	0.003	0.2	6	15.3

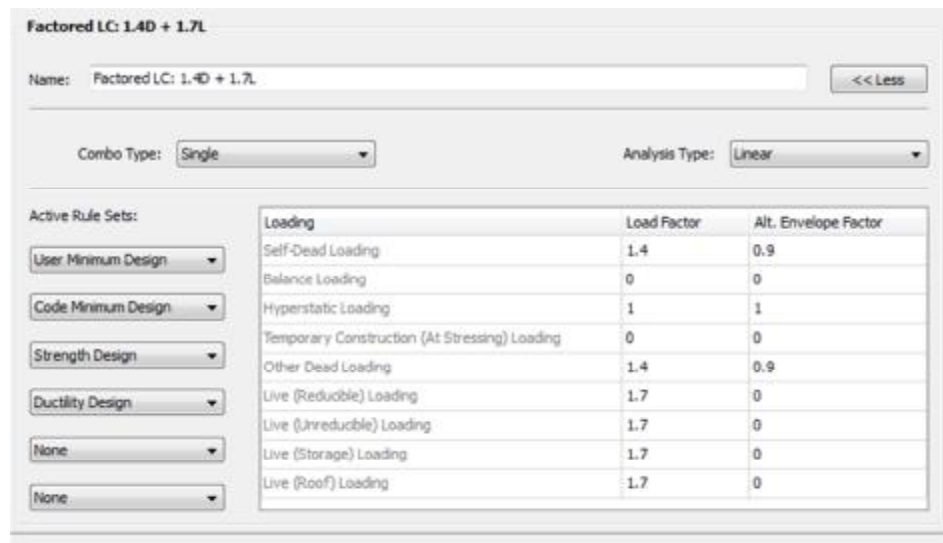
Reinforcing Bars

Add Reinforcing Bar

Delete Reinforcing Bar...

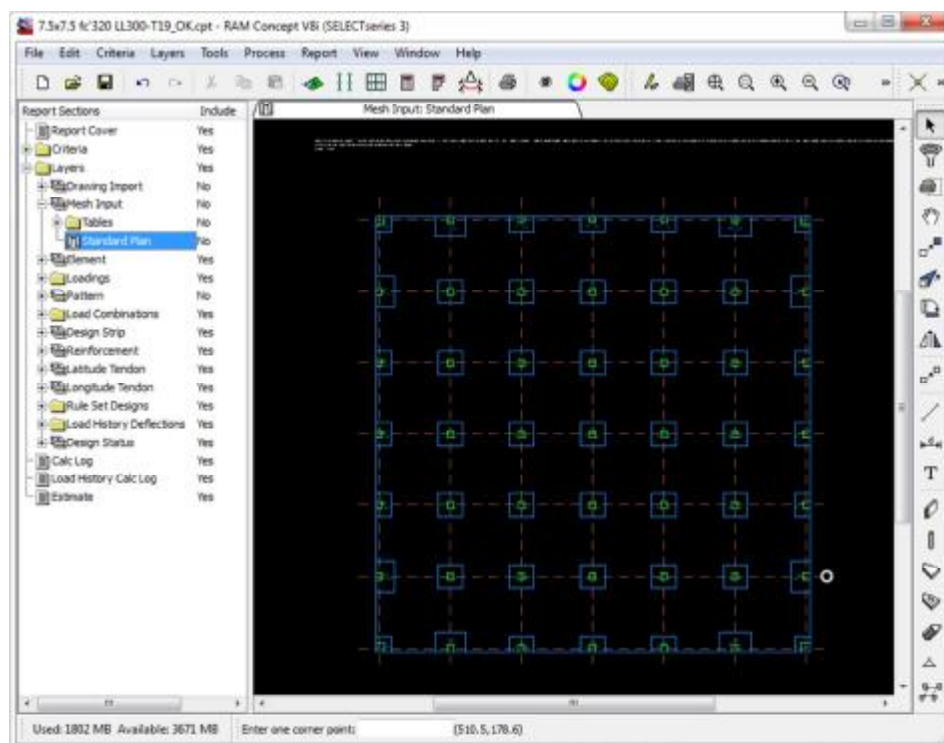
Bar Name	As (sq. mm)	Es (kg/mm²)	Fy (kg/mm²)	Coating	Straight Ld/Db	90 Hook Ld/Db	180 Hook Ld/Db
OB26	201	20390	40	None	Code	Code	Code
OB20	314	20390	40	None	Code	Code	Code
OB25	491	20390	40	None	Code	Code	Code
OB32	819	20390	40	None	Code	Code	Code
OB12	113	20390	42.83	None	Code	Code	Code

ภาพประกอบที่ 3.19 แสดงการกำหนดคุณสมบัติวัสดุ (Materials)



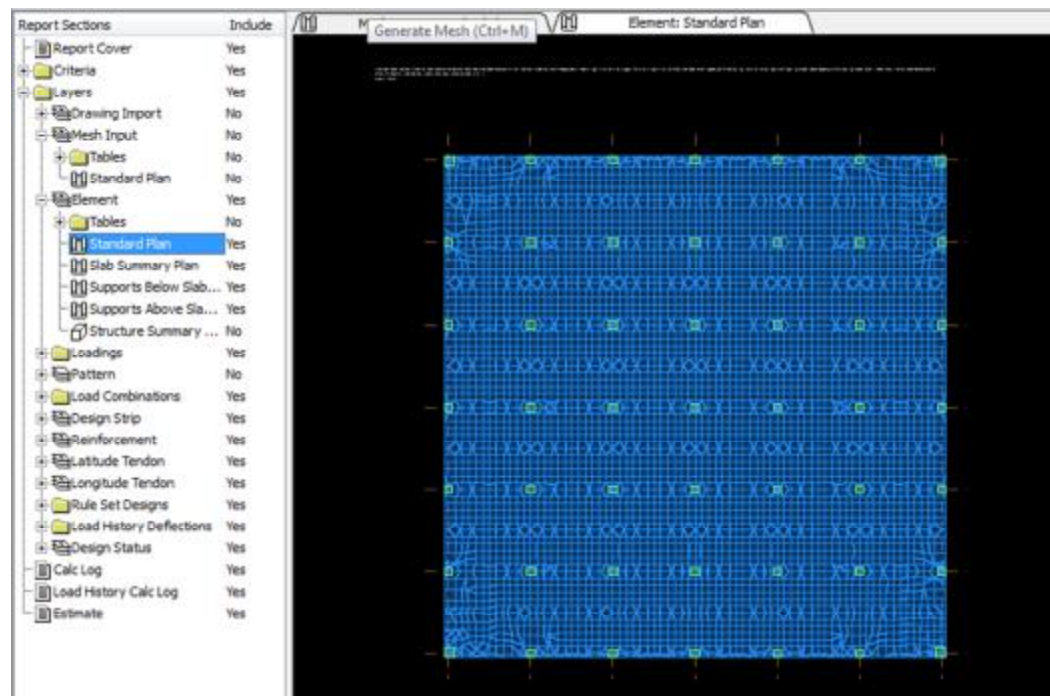
ภาพประกอบที่ 3.20 แสดงการกำหนด Load Combination (ค่าตัวคูณน้ำหนัก)

5. สร้าง Model เสา พื้น และเป็นหัวเสา ใน Layer/Mesh Input/Standard Plan ดังแสดง
ในภาพประกอบที่ 3.21



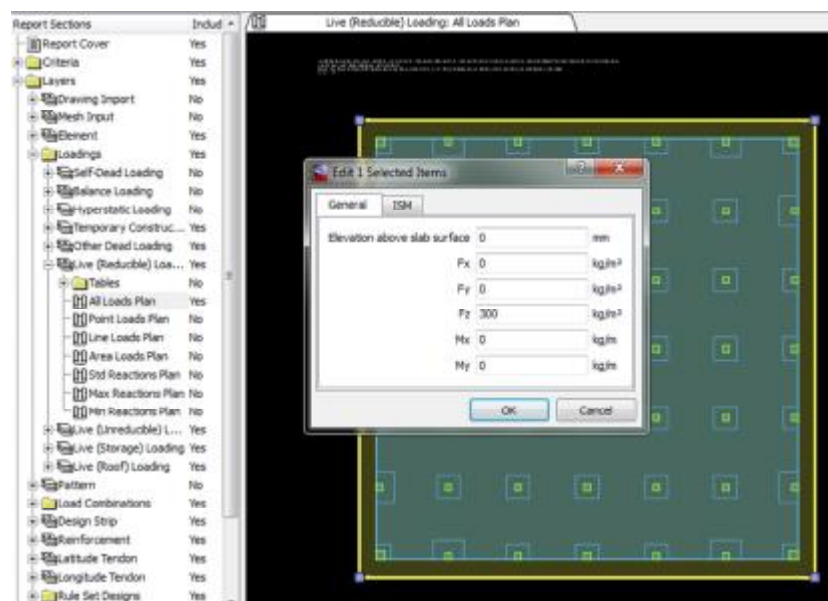
ภาพประกอบที่ 3.21 แสดงการ Model เสา พื้น และเป็นหัวเสา

6. Generate Mesh โครงสร้างที่ทำการ Model ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.22

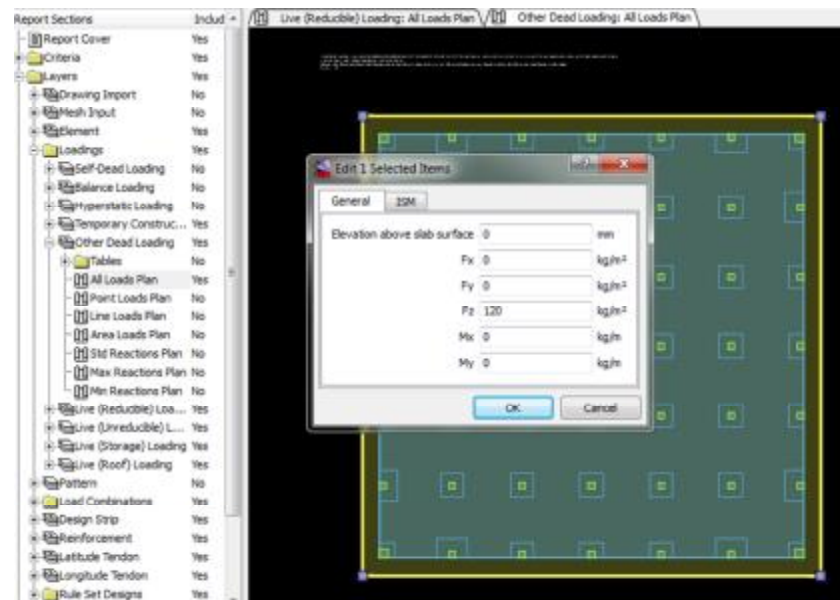


ภาพประกอบที่ 3.22 แสดงการ Generate Mesh โครงสร้างพื้น เสา

7. กำหนดน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) และน้ำหนักเพิ่มเติม Other Dead Loading ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.23 และ ภาพประกอบที่ 3.24 ตามลำดับ

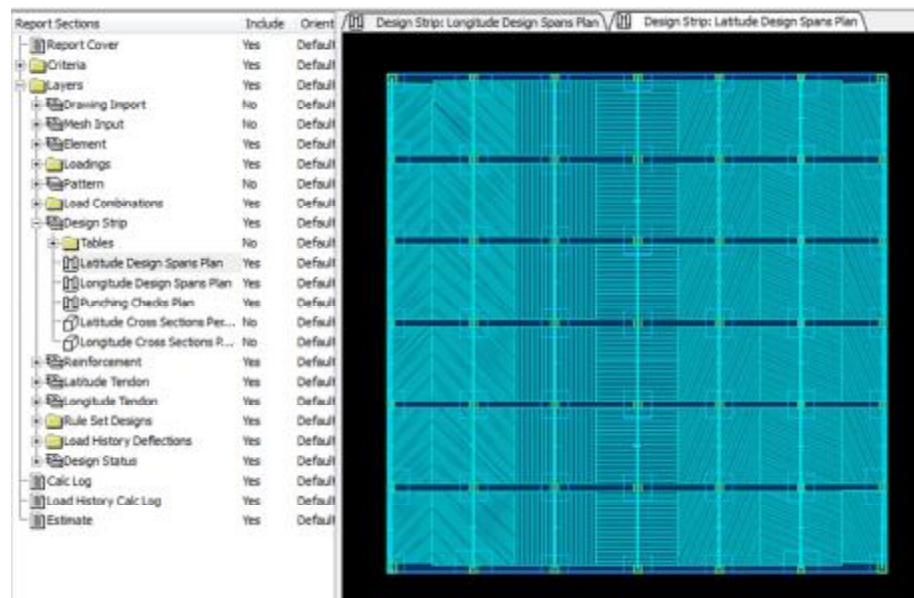


ภาพประกอบที่ 3.23 แสดงการกำหนด Live Load

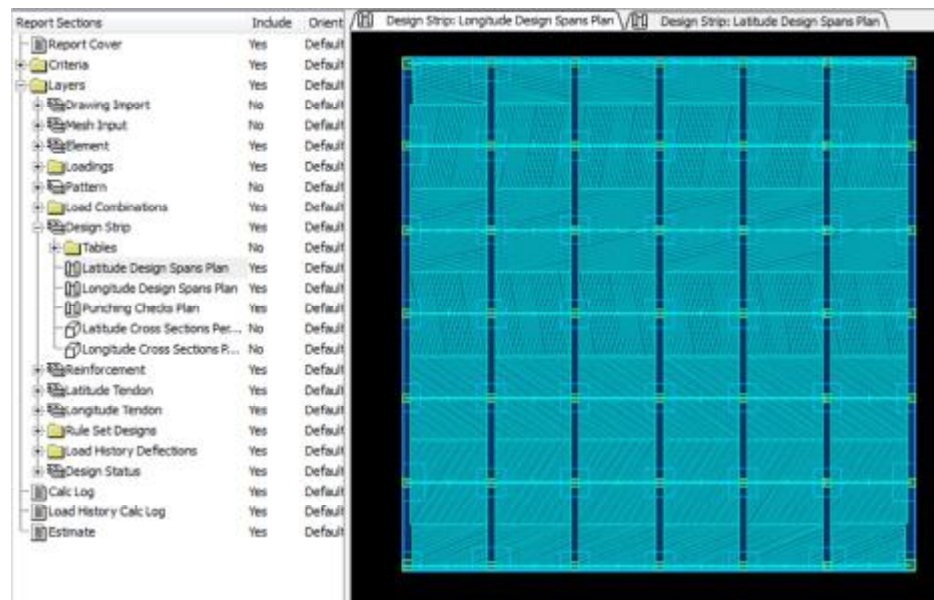


ภาพประกอบที่ 3.24 แสดงการกำหนด Other Dead Loading

8. ทำการ Design Strip พื้นในแนว Latitude และ Longitude ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.25 และ ภาพประกอบที่ 3.26 ตามลำดับ

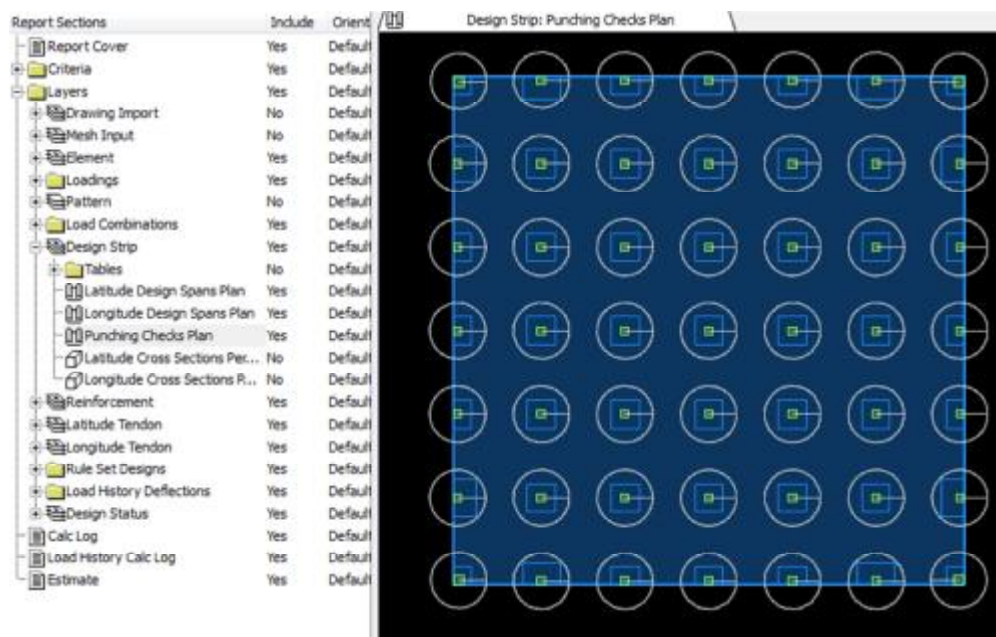


ภาพประกอบที่ 3.25 แสดงการ Design Strip พื้นในแนว Latitude



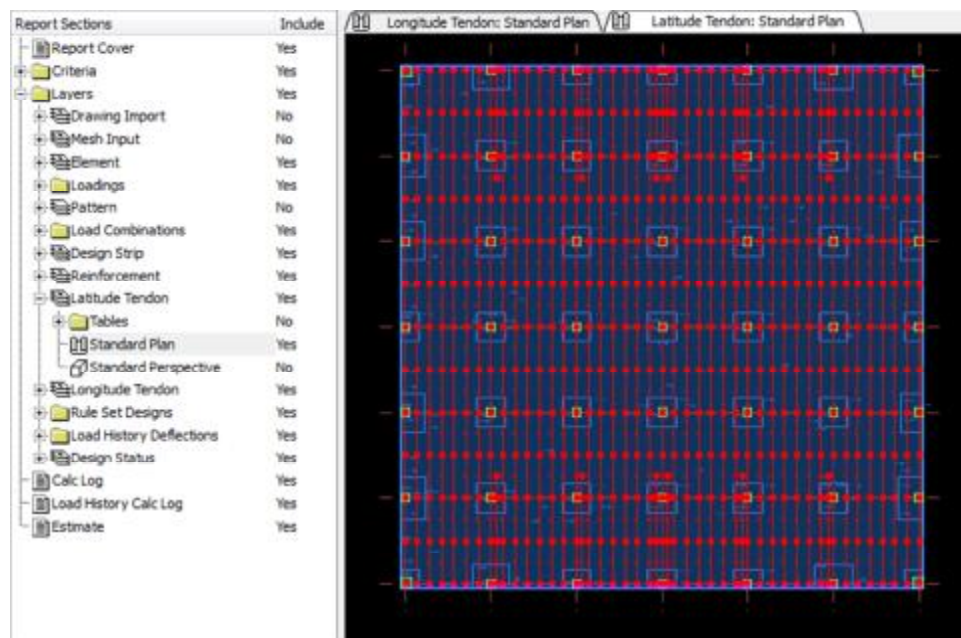
ภาพประกอบที่ 3.26 แสดงการ Design Strip พื้นในแนว Longitude

9. ตรวจสอบ Punching Shear ที่หัวเสา ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.27

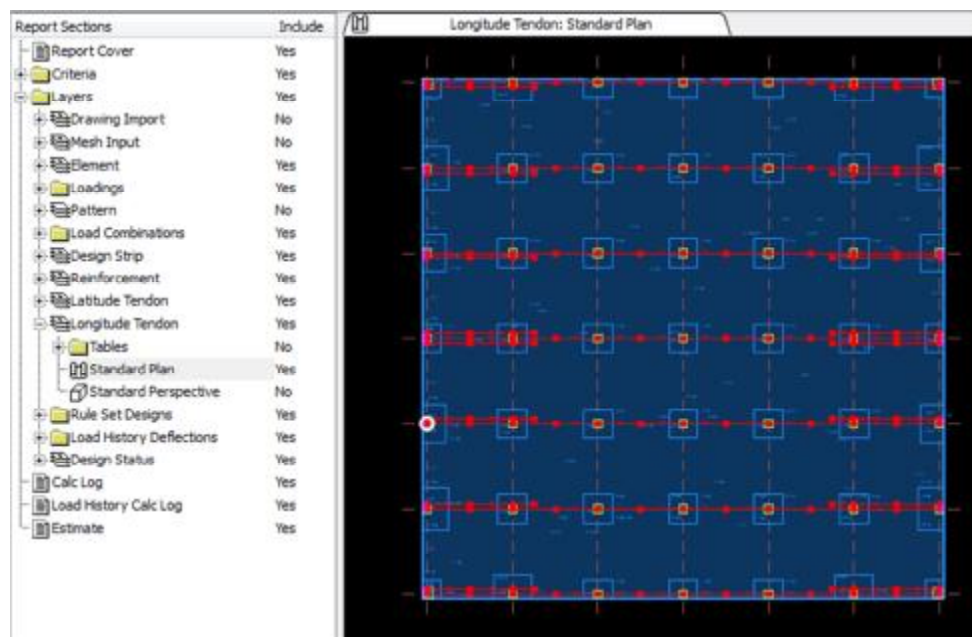


ภาพประกอบที่ 3.27 แสดงการ Check Punching Shear

10. วางลวดอัดแรง ลงในแถบออกแบบ โดยวาง Latitude Tendon และ Longitude Tendon ตามแนว Design Strip ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.28 และ ภาพประกอบที่ 3.29 ตามลำดับ



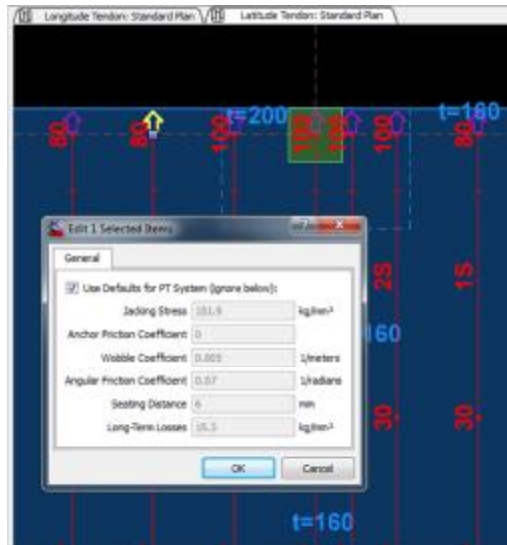
ภาพประกอบที่ 3.28 แสดงวางลวดอัดแรงในแนว Latitude



ภาพประกอบที่ 3.29 แสดงวางลวดอัดแรงในแนว Longitude

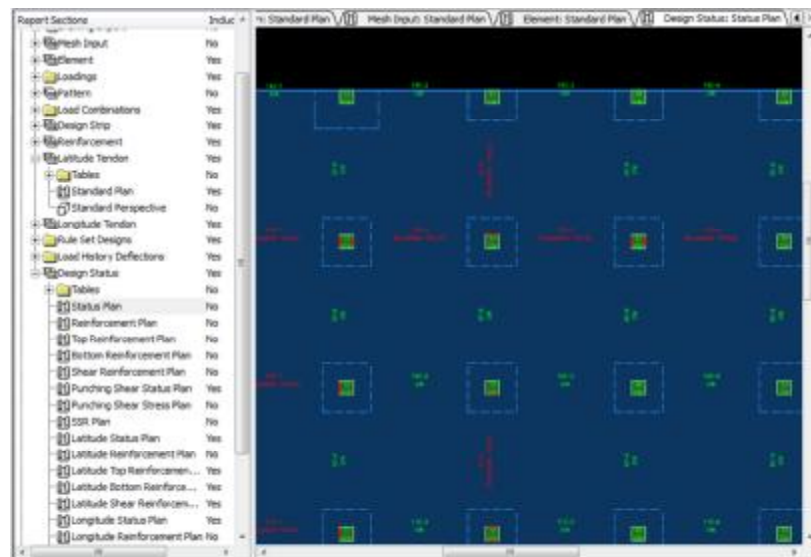
จำนวนลวดอัดแรงต่ำสุดเริ่มจากจำนวน 12 เส้น สำหรับแถบออกแบบด้านใน และจำนวน 6 เส้น สำหรับแถบออกแบบด้านนอก ทั้ง Latitude และ Longitude Tendon

11. กำหนดตำแหน่ง Jacking ที่ปลายลวดอัดแรง โดยใช้ค่า default ของโปรแกรม ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.30

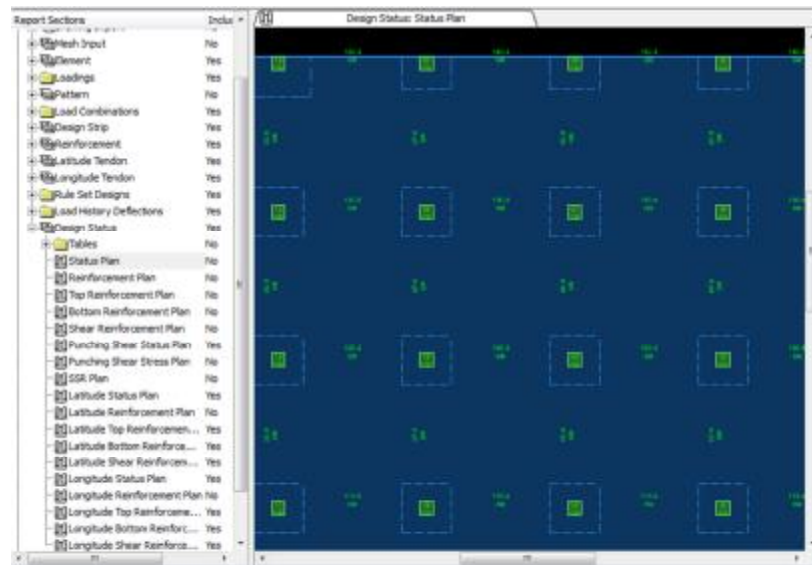


ภาพประกอบที่ 3.30 แสดงการวาง Jacking

12. สั่งรันการวิเคราะห์และออกแบบ โดยกด Ctrl+A เมื่อโปรแกรมรันเสร็จ ดูผลการวิเคราะห์ที่แถบ Layer/Design Status/Status Plan หากผลการวิเคราะห์หน่วยแรงหน้าตัดวิกฤตกับหน่วยแรงที่ยอมให้ไม่ผ่าน โปรแกรมจะแสดงผล ดังในภาพประกอบที่ 3.31 จึงต้องการเพิ่มจำนวนลวดอัดแรงที่ละเอียดๆ จนหน่วยแรงหน้าตัดวิกฤตผ่าน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.32

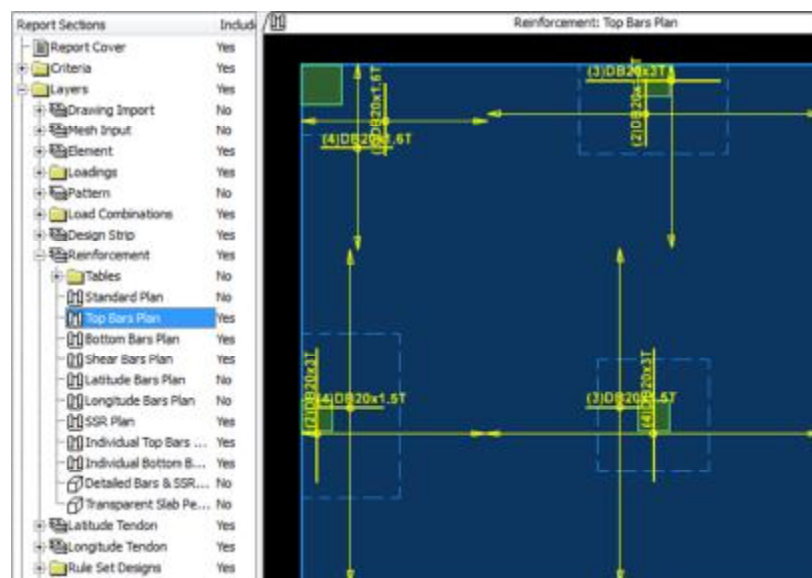


ภาพประกอบที่ 3.31 ผลการวิเคราะห์หน่วยแรงหน้าตัดวิกฤตกับหน่วยแรงที่ยอมให้ไม่ผ่าน



ภาพประกอบที่ 3.32 ผลการวิเคราะห์หน่วยแรงหน้าตัดวิกฤตกับหน่วยแรงที่ยอมให้ผ่าน

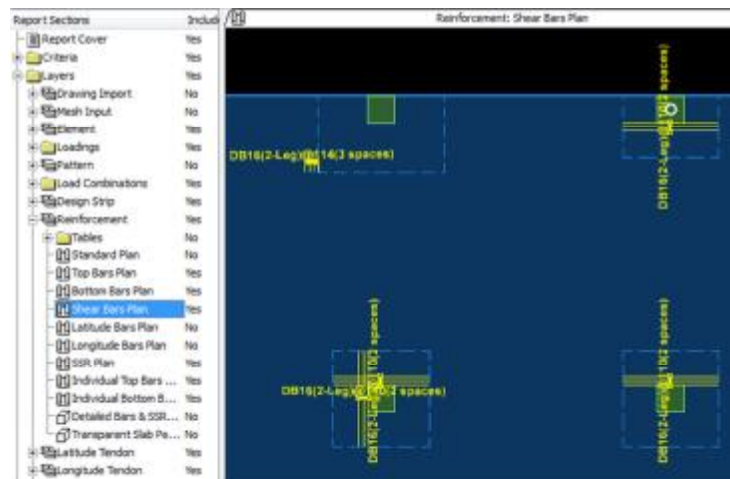
13. โปรแกรมจะแสดงการเสริมเหล็กข้ออ้อย Top Bars Plan, Bottom Bars Plan, Shear Head และ เสริมเหล็กรับแรงเฉือน Shear Stud Rail (SSR) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.33, 3.34, 3.35 และ 3.36 ตามลำดับ



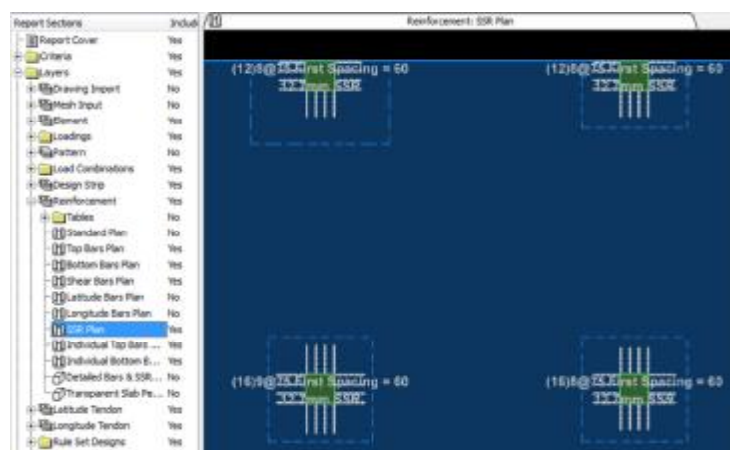
ภาพประกอบที่ 3.33 แสดงการเสริมเหล็กข้ออ้อย Top Bars Plan



ภาพประกอบที่ 3.34 แสดงการเสริมเหล็กข้ออ้อย Bottom Bars Plan



ภาพประกอบที่ 3.35 แสดงเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่หัวเสา (Reinforcement Shear Bars Plan)



ภาพประกอบที่ 3.36 แสดงการเสริม Shear Stud Bar (SSR Plan)

16. โปรแกรมจะแสดงปริมาณวัสดุ ค่าแรง และค่าก่อสร้างรวมทั้งหมดต่อชั้น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.37

Report Sections		Include	Oriental
Report Cover	Yes	Default	
Criteria	Yes	Default	
Units	Yes	Default	
Signs	Yes	Default	
Materials	Yes	Default	
Loadings	Yes	Default	
Load Combinations	Yes	Default	
Design Rules	Yes	Default	
Detailing Rules	Yes	Default	
Load History	Yes	Default	
Layers	Yes	Default	
Calc Log	Yes	Default	
Load History Calc Log	Yes	Default	
Estimate	Yes	Default	

Estimate						
Materials:	2740	per cu. m	x	346	cu. m	= 948100
Labor:	340	per cu. m	x	346	cu. m	= 117600
Total:	3080	per cu. m	x	346	cu. m	= 1066000
Post-Tensioning Costs						
Materials:	48	per kg	x	6478	kg	= 311000
Labor:	20	per kg	x	6478	kg	= 129600
Total:	68	per kg	x	6478	kg	= 440500
Formwork Costs						
Materials:	125	per sq. m	x	2088	sq. m	= 261100
Labor:	120	per sq. m	x	2088	sq. m	= 250600
Total:	245	per sq. m	x	2088	sq. m	= 511700
Mild Steel Reinforcing Costs						
Materials:	23000	per tonnes	x	3.367	tonnes	= 77440
Labor:	2800	per tonnes	x	3.367	tonnes	= 9428
Total:	25800	per tonnes	x	3.367	tonnes	= 86870
SSR Costs						
Materials:	25	per stud	x	3208	studs	= 80200
Labor:	10	per stud	x	3208	studs	= 32080
Total:	35	per stud	x	3208	studs	= 112300
Total Costs						
Materials:	803.3	per sq. m	x	2088	sq. m	= 1678000
Labor:	258.2	per sq. m	x	2088	sq. m	= 539300
Total:	1062	per sq. m	x	2088	sq. m	= 2217000

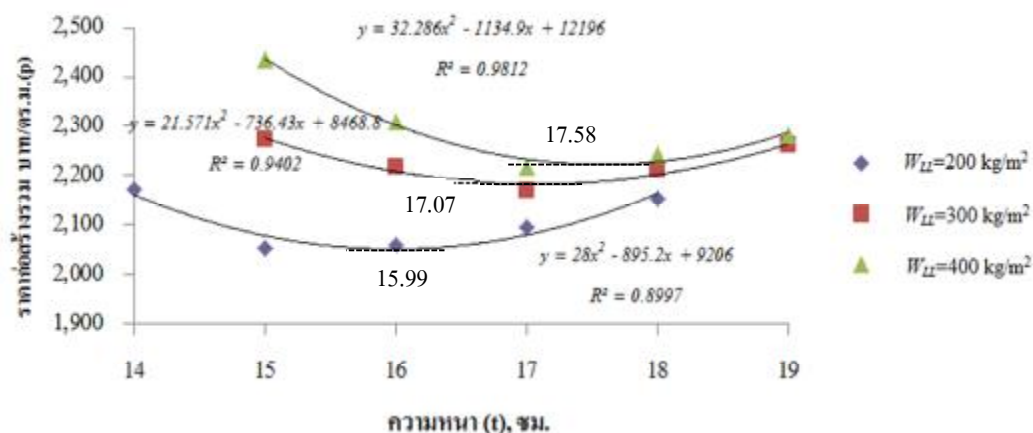
ภาพประกอบที่ 3.37 แสดงปริมาณวัสดุ ค่าแรง และราคาค่าก่อสร้างรวม

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

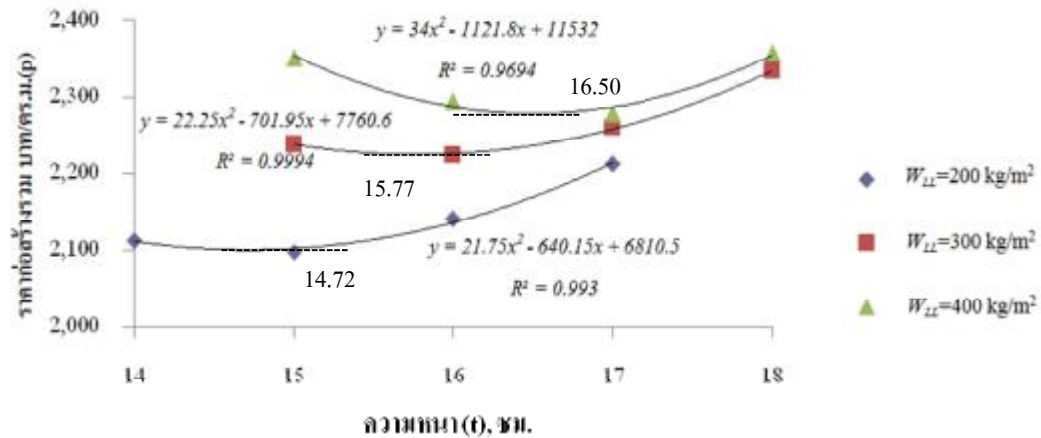
จากการวิเคราะห์และออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง หาคความหนาที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบขั้นต้น (Preliminary Design) ทั้ง 3 กรณีที่ศึกษา ซึ่งได้วิเคราะห์ และออกแบบตามมาตรฐานอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) ได้ผลดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.1 ถึง 4.3 และตารางที่ 4.1 ถึง 4.3

4.1 การวิเคราะห์เพื่อหาความหนาที่เหมาะสม



ภาพประกอบที่ 4.1 กราฟราคาค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตร และความหนาของแผ่นพื้น ที่กำลังอัด
ประลัย $f'_c = 320 \text{ ksc}$ กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส ระยะช่วงเสา 7.5×7.5 ม

จากภาพประกอบที่ 4.1 เมื่อนำค่าสมการที่ได้จากเส้นกราฟ กรณีน้ำหนักบรรทุกจร $W_{LL} = 200$ 300 และ 400 kg/m^2 มาหาความหนาที่เหมาะสม (ที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตรต่ำสุด) คือจุดที่ $\frac{dy}{dx} = 0$ จะได้ความหนาที่เหมาะสม มีค่าเท่ากับ 15.99 17.07 และ 17.58 ซม ตามลำดับ

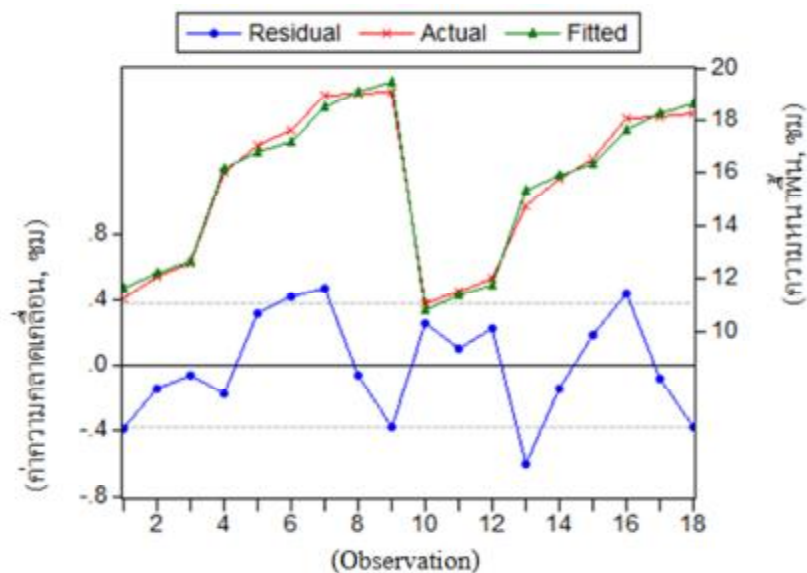


ภาพประกอบที่ 4.2 กราฟราคาค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตร และความหนาของแผ่นพื้นที่กำลังอัด
ประลัย $f'_c = 400 \text{ ksc}$ กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส ระยะช่วงเสา 7.5 x 7.5 ม

จากภาพประกอบที่ 4.2 เมื่อนำค่าสมการที่ได้จากเส้นกราฟ กรณีน้หนักบรรทุกจร $W_{LL} = 200 \text{ } 300 \text{ และ } 400 \text{ kg/m}^2$ นำมาหาความหนาที่เหมาะสม (ที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่อตารางเมตรต่ำสุด) คือจุดที่ $\frac{dy}{dx} = 0$ จะได้ความหนาที่เหมาะสม มีค่าเท่ากับ 14.72 15.77 และ 16.50 ซม ตามลำดับ

ภาพประกอบที่ 4.3 แสดงค่าความหนาที่เหมาะสมจากการออกแบบ (Actual) ค่าความหนาจากสมการ (Fitted) และค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EViews 5.1 (Quantitative Micro Software, 2005) จะสังเกตเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงระหว่าง -0.59 ถึง 0.43 ซม ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R^2 มีค่า 0.99 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และได้สมการทำนายความหนาที่เหมาะสม จากการทำสมการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression) ดังสมการที่ 4.1

$$t = -(1.050 \times 10^{-2} \times f'_c) - (8.917 \times 10^{-6} \times W_{LL}^2) + (1.040 \times 10^{-2} \times W_{LL}) - (4.952 \times 10^{-1} \times S^2) + (9.175 \times S) - 27.182 \quad (4.1)$$



ภาพประกอบที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความหนาที่เหมาะสม (ซม) จากการออกแบบ (Actual) ค่าความหนาจากสมการ (Fitted) และค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

สำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาความหนาที่เหมาะสมของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงนี้ ได้แสดงไว้เฉพาะผลของการวิเคราะห์ที่ศึกษาของกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัสเท่านั้น (ภาพประกอบที่ 4.1 ถึง 4.3) ส่วนกรณีศึกษาอีก 2 กรณีที่เหลือ เป็นไปตามวิธีและขั้นตอนเดียวกันกับของกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส และสามารถหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับทั้ง 3 กรณีศึกษาได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความหนาที่เหมาะสมที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวม (ราคาวัสดุคอนกรีต ลวดอัดแรง เหล็กเส้น แบบหล่อ และค่าแรง) ต่อตารางเมตรต่ำสุด

ลักษณะ	ช่วงเสา (m)	f'_c (ksc)	W_{LL} (kg / m ²)	t (cm)
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	6 x 6	320	200	11.23
			300	12.07
			400	12.56
		400	200	11.03
			300	11.47
			400	12.00

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ความหนาที่เหมาะสมที่ทำให้ราคาก่อสร้างรวม (ราคาวัสดุคอนกรีต
ลดอัดแรง เหล็กเส้น แบบหล่อ และค่าแรง) ต่อดารามเมตรต่ำสุด

ลักษณะ	ช่วงเสา (m)	f'_c (ksc)	W_{LL} (kg / m ²)	t (cm)
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	7.5 x 7.5	320	200	15.99
			300	17.07
			400	17.58
		400	200	14.72
			300	15.77
			400	16.50
	9 x 9	320	200	18.25
			300	18.71
			400	19.10
		400	200	18.07
			300	18.14
			400	18.26
สี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.75$	6 x 4.5	320	200	9.65
			300	11.49
			400	11.67
		400	200	9.51
			300	10.51
			400	10.93
	7.5 x 5.625	320	200	11.07
			300	15.56
			400	15.66
		400	200	10.97
			300	13.39
			400	14.81

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ความหนาที่เหมาะสมที่ทำให้ราคาก่อสร้างรวม (ราคาวัสดุคอนกรีต
ลวดอัดแรง เหล็กเส้น แบบหล่อ และค่าแรง) ต่อดารงเมตรต่ำสุด

ลักษณะ	ช่วงเสา (m)	f'_c (ksc)	W_{LL} (kg / m ²)	t (cm)
สี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.75$	9 x 6.75	320	200	19.53
			300	20.93
			400	22.83
		400	200	19.23
			300	19.31
			400	20.14
สี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.5$	6 x 3	320	200	10.79
			300	11.37
			400	11.72
		400	200	10.30
			300	11.09
			400	12.37
	7.5 x 3.75	320	200	12.60
			300	14.72
			400	14.89
		400	200	12.17
			300	13.94
			400	14.43
	9 x 4.5	320	200	13.86
			300	17.34
			400	18.84
		400	200	12.83
			300	16.09
			400	15.18

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ความหนาที่เหมาะสมที่ทำให้ราคาก่อสร้างรวม (ราคาวัสดุคอนกรีต
ลดอัดแรง เหล็กเส้น แบบหล่อ และค่าแรง) ต่อดารามเมตรต่ำสุด

ลักษณะ	ช่วงเสา (m)	f'_c (ksc)	W_{LL} (kg / m ²)	t (cm)
ซิกแซก $y' = 1.0 \text{ m}$	6 x 6	320	200	10.53
			300	11.02
			400	11.48
		400	200	9.32
			300	10.87
			400	11.06
	7.5 x 7.5	320	200	15.10
			300	15.18
			400	15.42
		400	200	13.70
			300	15.10
			400	15.24
	9 x 9	320	200	17.71
			300	18.07
			400	18.27
		400	200	17.71
			300	17.99
			400	18.13
ซิกแซก $y' = 2.0 \text{ m}$	6 x 6	320	200	10.12
			300	11.47
			400	11.73
		400	200	9.91
			300	10.18
			400	10.33

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ความหนาที่เหมาะสมที่ทำให้ราคาก่อสร้างรวม (ราคาวัสดุคอนกรีต
ลวดอัดแรง เหล็กเส้น แบบหล่อ และค่าแรง) ต่อดารางเมตรต่ำสุด

ลักษณะ	ช่วงเสา (m)	f'_c (ksc)	W_{LL} (kg / m ²)	t (cm)
ซิกแซก $y' = 2.0 \text{ m}$	7.5 x 7.5	320	200	15.19
			300	15.49
			400	15.47
		400	200	14.99
			300	15.33
			400	15.35
	9 x 9	320	200	18.40
			300	18.12
			400	19.86
		400	200	17.98
			300	18.04
			400	19.08

ตรวจสอบระยะเวลา โกงตัวสูงสุดของพื้นที่เกิดขึ้น เทียบกับระยะเวลา โกงตัวสูงสุดที่ยอม
ให้ของ ACI 318-99 (ACI Committee 318, 1999) ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตาราง 4.2 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลา โกงตัวของพื้นที่ กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

f'_c (ksc)	ระยะ ช่วงเสา S . (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg / m ²)	ความหนา พื้น t , (cm)	ระยะเวลา โกงตัวของพื้นที่ (Δ) , (mm)			
				Immediate Live Load (< L / 360)		Long Term Sustained Dead Load (< L / 240)	
				$\Delta_{\max}$	Δ_{allow}	$\Delta_{\max}$	Δ_{allow}
320	6	400	11	2.97	16.67	4.88	25.00
400	6	400	11	3.74		4.82	

ตาราง 4.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบระยะการโก่งตัวของพื้น กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

f'_c (ksc)	ระยะ ช่วงเสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุก W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนา พื้น t , (cm)	ระยะการโก่งตัวของพื้น (Δ), (mm)			
				Immediate Live Load (<L/360)		Long Term Sustained Dead Load (<L/240)	
				Δ max.	Δ allow.	Δ max.	Δ allow.
320	7.5	400	15	6.33	20.83	7.60	31.25
400	7.5	400	15	6.18		6.80	
320	9	400	18	6.90	25.00	7.84	37.50
400	9	400	18	6.88		7.69	

ตาราง 4.3 แสดงการเปรียบเทียบระยะการโก่งตัวของพื้น กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.5$)

f'_c (ksc)	ระยะ ช่วงเสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุก W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนา พื้น t , (cm)	ระยะการโก่งตัวของพื้น (Δ), (mm)			
				Immediate Live Load (<L/360)		Long Term Sustained Dead Load (<L/240)	
				Δ max.	Δ allow.	Δ max.	Δ allow.
320	6	400	11	4.74	16.67	2.62	25.00
400	6	400	11	4.26		2.18	
320	7.5	400	14	4.67	20.83	3.38	31.25
400	7.5	400	14	4.23		3.14	

ตาราง 4.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบระยะการโก่งตัวของพื้น กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.5$)

f'_c (ksc)	ระยะ ช่วงเสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนา พื้น t , (cm)	ระยะการโก่งตัวของพื้น (Δ), (mm)			
				Immediate Live Load ($<L/360$)		Long Term Sustained Dead Load ($<L/240$)	
				Δ max.	Δ allow.	Δ max.	Δ allow.
320	9	400	17	7.21	25.00	4.33	37.50
400	9	400	17	6.45		4.27	

ตาราง 4.4 แสดงการเปรียบเทียบระยะการโก่งตัวของพื้น กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.75$)

f'_c (ksc)	ระยะ ช่วงเสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนา พื้น t , (cm)	ระยะการโก่งตัวของพื้น (Δ), (mm)			
				Immediate Live Load ($<L/360$)		Long Term Sustained Dead Load ($<L/240$)	
				Δ max.	Δ allow.	Δ max.	Δ allow.
320	6	400	11	4.30	16.67	3.27	25.00
400	6	400	11	3.85		3.08	
320	7.5	400	14	5.96	20.83	4.94	31.25
400	7.5	400	14	5.33		4.74	
320	9	400	18	7.17	25.00	5.53	37.50
400	9	400	18	7.38		6.02	

ตาราง 4.5 แสดงการเปรียบเทียบระยะการโก่งตัวของพื้น กรณีซิกแซก ($y' = 1.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะ ช่วงเสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนา พื้น t , (cm)	ระยะการโก่งตัวของพื้น (Δ), (mm)			
				Immediate Live Load ($<L/360$)		Long Term Sustained Dead Load ($<L/240$)	
				$\Delta \text{ max.}$	$\Delta \text{ allow.}$	$\Delta \text{ max.}$	$\Delta \text{ allow.}$
320	6	400	11	5.08	16.67	4.91	25.00
400	6	400	11	4.55		4.65	
320	7.5	400	14	8.54	20.83	6.35	31.25
400	7.5	400	14	8.53		5.74	
320	9	400	17	8.81	25.00	7.49	37.50
400	9	400	17	7.88		7.03	

ตาราง 4.5 แสดงการเปรียบเทียบระยะการโก่งตัวของพื้น กรณีซิกแซก ($y' = 2.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะ ช่วงเสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนา พื้น t , (cm)	ระยะการโก่งตัวของพื้น (Δ), (mm)			
				Immediate Live Load ($<L/360$)		Long Term Sustained Dead Load ($<L/240$)	
				$\Delta \text{ max.}$	$\Delta \text{ allow.}$	$\Delta \text{ max.}$	$\Delta \text{ allow.}$
320	6	400	11	4.65	16.67	4.55	25.00
400	6	400	11	4.16		4.29	

ตาราง 4.5 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบระยะการโก่งตัวของพื้น กรณีซิกแซก ($y' = 2.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะ ช่วงเสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนา พื้น t , (cm)	ระยะการโก่งตัวของพื้น (Δ), (mm)			
				Immediate Live Load ($<L/360$)		Long Term Sustained Dead Load ($<L/240$)	
				$\Delta \text{ max.}$	$\Delta \text{ allow.}$	$\Delta \text{ max.}$	$\Delta \text{ allow.}$
320	7.5	400	14	7.92	20.83	6.21	31.25
400	7.5	400	14	7.08		6.00	
320	9	400	17	7.73	25.00	7.31	37.50
400	9	400	17	7.65		7.19	

จากตารางที่ 4.1 ใช้โปรแกรม EViews 5.1 (Quantitative Micro Software, 2006) เพื่อหาสมการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression) จะได้สมการสำหรับทั้ง 3 กรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 สมการถดถอยเพื่อทำนายความหนาของแผ่นพื้น

กรณี	สมการทำนายความหนา
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	$t = -(1.050 \times 10^{-2} \times f'_c) - (8.917 \times 10^{-6} \times W_{LL}^2) + (1.040 \times 10^{-2} \times W_{LL})$ $- (4.952 \times 10^{-1} \times S^2) + (9.175 \times S) - 27.182$
สี่เหลี่ยมผืนผ้า	$t = -(9.500 \times 10^{-3} \times f'_c) - (2.044 \times 10^{-5} \times W_{LL}^2) - (8.800 \times 10^{-3} \times W_{LL})$ $- (8.120 \times 10^{-2} \times S^2) + (3.645 \times S) - (5.565 \times (s/l)^2) + (10.544 \times (s/l)) - 8.013$
ซิกแซก	$t = -(5.200 \times 10^{-3} \times f'_c) - (8.333 \times 10^{-6} \times W_{LL}^2) + (9.600 \times 10^{-3} \times W_{LL})$ $- (2.981 \times 10^{-1} \times S^2) + (6.999 \times S) + (2.656 \times 10^{-1} \times y') - 21.218$

- เมื่อ t = ความหนาของแผ่นพื้น, (cm)
 f'_c = กำลังอัดประลัยคอนกรีตที่ 28 วัน, (ksc)
 W_{LL} = น้ำหนักบรรทุกจร, (kg / m^2)
 s/l = อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว
 S = ระยะช่วงเสา Span Length, (m)
 y' = ระยะเยื้อง Zigzag, (m)

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าความคลาดเคลื่อน

กรณี	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2)	ค่าความคลาดเคลื่อน Residual (cm)
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	0.99	-0.59 ถึง 0.43
สี่เหลี่ยมผืนผ้า	0.94	-1.54 ถึง 1.78
ซิกแซก	0.99	-0.70 ถึง 0.84

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมของพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง ที่ทำให้ราคาก่อสร้างรวมต่อตารางเมตรต่ำสุด สำหรับการจัดเรียงของเสาที่อยู่ในแนวตั้งฉาก และไม่อยู่ในแนวตั้งฉากที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 กรณี ออกแบบโดยใช้โปรแกรม RAM Concept V8i Release 3.1 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบไฟไนต์อีลิเมนต์สามมิติ ตามมาตรฐาน ACI 318-99 โดยใช้ราคาวัสดุและค่าแรงต่อหน่วยในประเทศไทย จะได้เป็นสมการอย่างง่ายเพื่อใช้หาความหนา t ดังนี้

กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

$$t = -(1.050 \times 10^{-2} \times f'_c) - (8.917 \times 10^{-6} \times W_{LL}^2) + (1.040 \times 10^{-2} \times W_{LL}) - (4.952 \times 10^{-1} \times S^2) + (9.175 \times S) - 27.182 \quad (5.1)$$

กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$t = -(9.500 \times 10^{-3} \times f'_c) - (2.044 \times 10^{-5} \times W_{LL}^2) - (8.800 \times 10^{-3} \times W_{LL}) - (8.120 \times 10^{-2} \times S^2) + (3.645 \times S) - (5.565 \times (s/l)^2) + (10.544 \times (s/l)) - 8.013 \quad (5.2)$$

กรณีซิกแซก

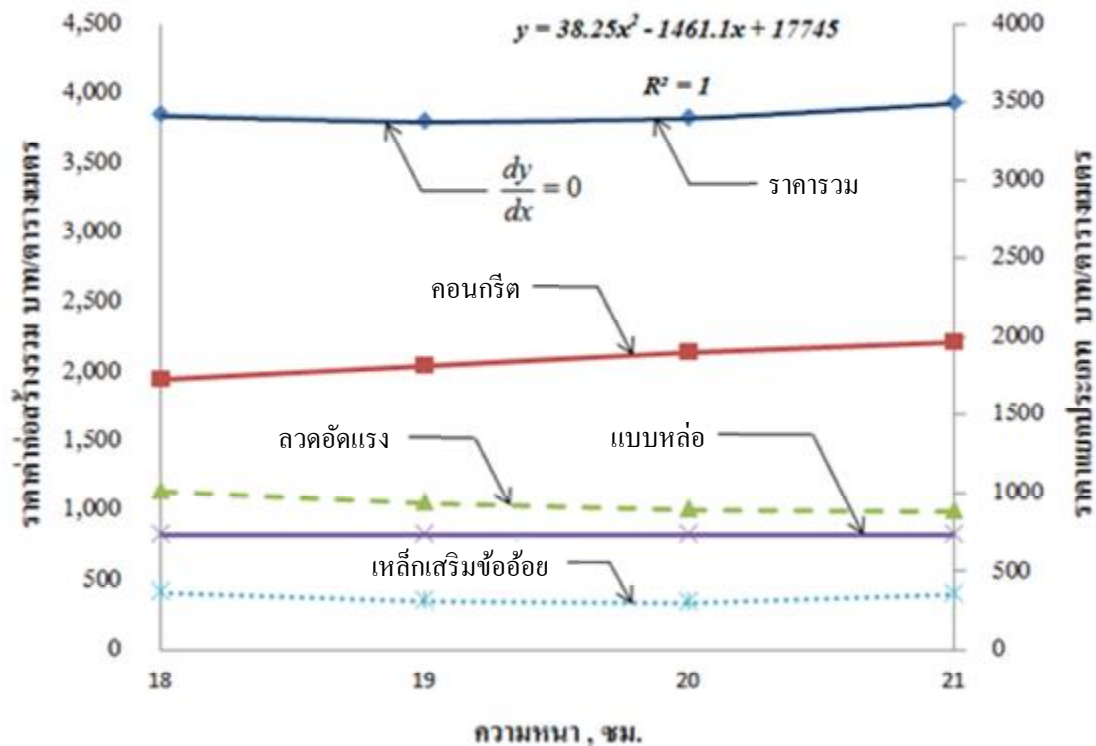
$$t = -(5.200 \times 10^{-3} \times f'_c) - (8.333 \times 10^{-6} \times W_{LL}^2) + (9.600 \times 10^{-3} \times W_{LL}) - (2.981 \times 10^{-1} \times S^2) + (6.999 \times S) + (2.656 \times 10^{-1} \times y') - 21.218 \quad (5.3)$$

เมื่อ	t	= ความหนาของแผ่นพื้น, (cm)
	f'_c	= กำลังอัดประลัยคอนกรีตที่ 28 วัน, (ksc)
	W_{LL}	= น้ำหนักบรรทุกจร, (kg / m ²)
	s / l	= อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว
	S	= ระยะช่วงเสา Span Length, (m)
	y'	= ระยะเยื้อง Zigzag, (m)

สมการที่ 5.1 ถึง 5.3 สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ และประมาณราคาก่อสร้างเบื้องต้น (Preliminary Design and Cost Estimate)

5.2 อภิปรายผล

จากผลของการทดลองออกแบบแผ่นพื้นที่มีความหนาต่าง ๆ กัน เช่นกรณีพื้นที่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 9×9 ม ที่กำลังอัดประลัย $f'_c = 320 \text{ ksc}$ น้ำหนักบรรทุกจร $W_{LL} = 400 \text{ kg/m}^2$ นำมาเขียนกราฟระหว่างราคาก่อสร้างรวมกับความหนาของแผ่นพื้นต่าง ๆ กัน และกราฟระหว่างราคาวัสดุ (รวมค่าแรง) แยกประเภทกับความหนาของแผ่นพื้นต่าง ๆ กัน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 5.1 (สำหรับกรณีอื่น ๆ มีลักษณะคล้ายกัน)



ภาพประกอบที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาก่อสร้างรวม ราคาวัสดุ (ค่าแรง) แยกประเภทกับความหนาของแผ่นพื้น

จากเส้นกราฟของราคาคอนกรีตและเหล็กเสริมข้ออ้อยในภาพประกอบที่ 5.1 จะสังเกตได้ว่าที่ความหนา 18 ซม ราคาเหล็กเสริมต่อตารางเมตรมีค่าสูงกว่าที่ความหนา 20 ซม เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากที่ความหนา 18 ซม มีค่าความลึกประสิทธิภาพน้อยจึงทำให้ปริมาณเหล็กเสริมเพิ่มขึ้น นั่นคือที่ความหนา

18 ซม หรือมากกว่า มีแนวโน้มของปริมาณคอนกรีตเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณเหล็กเสริมลดลงเมื่อความหนาของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้น

จากเส้นกราฟราคาเหล็กเสริมข้ออ้อยต่อตารางเมตรที่ความหนา 18 ซม มีค่าสูงกว่าที่ความหนา 20 ซม ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณหัวเสาของกรณีความหนา 18 ซม มีปริมาณแรงเฉือนเจาะทะลุเกินกว่าที่จะเสริมเหล็กรับแรงเฉือนอย่างเดียวยได้ จึงจำเป็นต้องเพิ่ม Drop Panel และต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือนบริเวณนี้เพิ่มขึ้น ที่ความหนา 20 ซม หรือมากกว่า มีแนวโน้มของปริมาณคอนกรีตและเหล็กเสริมเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้น

จากเส้นกราฟปริมาณลวดอัดแรงต่อตารางเมตร จะสังเกตได้ว่า ที่ความหนาน้อยจะมีปริมาณลวดอัดแรงมาก แต่เมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นให้มากขึ้น ปริมาณลวดอัดแรงจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากที่ความหนาน้อยระยะเยื้องศูนย์กลาง (eccentricity) จะมีค่าน้อยทำให้เกิดแรงยกตัวของลวดอัดแรงน้อย จึงต้องเพิ่มปริมาณลวดอัดแรงให้มากขึ้น ซึ่งในระหว่างขั้นตอนออกแบบพบว่า ที่ความหนาน้อยจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณลวดอัดแรงให้มากกว่าปริมาณต่ำสุด 8.8 กก/ชม²

จากเส้นกราฟปริมาณแบบหล่อต่อตารางเมตร จะสังเกตได้ว่าปริมาณแบบหล่อต่อตารางเมตรมีค่าคงที่สำหรับทุกความหนา เนื่องจากโปรแกรม RAM Concept V8i Release 3.1 (Bentley Software, 2009) ไม่ได้พิจารณาถึงปริมาณแบบหล่อด้านข้างซึ่งถือว่าปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณแบบหล่อทั้งหมด

จากเส้นกราฟค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่ ที่ความหนาน้อยจะมีราคารวมต่อพื้นที่มาก เมื่อเพิ่มความหนาในช่วงกลาง ๆ ค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่จะลดลง แต่เมื่อเพิ่มความหนาต่อไปอีกค่าก่อสร้างรวมต่อพื้นที่จะกลับเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าก่อสร้างรวมเป็นผลรวมของราคาคอนกรีต เหล็กเสริมข้ออ้อย ลวดอัดแรง และแบบหล่อ ซึ่งราคาของคอนกรีตและเหล็กเสริมข้ออ้อยมีแนวโน้มโดยรวมที่เพิ่มขึ้น เมื่อความหนาของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้น แต่ราคาลวดอัดแรงมีแนวโน้มในทางตรงกันข้าม ส่วนราคาไม้แบบนั้นคงที่สำหรับทุกความหนา จึงทำให้ราคารวมต่ำสุดเมื่อความหนาของแผ่นพื้นมีค่าอยู่ในช่วงกลาง ๆ ซึ่งหากหาสมการถดถอยของราคารวม y ที่เป็นฟังก์ชันของความหนาของแผ่นพื้น x แล้วนำมาหาความหนาทำให้ $\frac{dy}{dx} = 0$ จะได้เป็นความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสมที่สุด ลักษณะกรณีศึกษาอื่นอีก 2 กรณีมีลักษณะที่คล้ายกันจึงไม่ได้นำมาแสดงไว้ในที่นี้

จากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี สมการทำนายความหนาที่เหมาะสม มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R^2 ของสมการทำนาย (สมการที่ 5.1 ถึง 5.3) อยู่ในช่วง 0.94 ถึง 0.99 ซึ่งแสดงว่าระดับความสัมพันธ์ของจุดข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นสมการถดถอย อยู่ในเกณฑ์ระดับที่ดี สำหรับความคลาดเคลื่อน

ของการทำนาย (Residual) ของกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัสและซิกแซก อยู่ในช่วง -0.70 ถึง 0.84 ซม. ซึ่งมีค่าไม่เกิน 1 ซม. ถือว่ายอมรับได้ เนื่องจากการกำหนดความหนานิยมกำหนดเป็นจำนวนเต็มของ ซม. อยู่แล้ว แต่ในกรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย อยู่ในช่วง -1.54 ถึง 1.78 ซม. ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนที่เกิน 1 ซม. ทั้งนี้เนื่องจากการนำข้อมูลของช่วงเสาถึงเสาที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มีมากขึ้น ดังนั้นหากต้องการความหนาที่เที่ยงตรงอาจใช้ค่าความหนาจากตารางภาคผนวก ก ได้โดยตรงแทน

จากการวิจัยพบว่า พื้นไร้คานที่เสริม Band Beam สำหรับกรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.5$ มีผลต่อความหนาของพื้นที่เหมาะสม เนื่องจากการนำเมื่อข้อมูลความหนาที่เหมาะสมของกรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้ามาหาสมการถดถอยโดยใช้โปรแกรม EViews 5.1 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายมาประมาณ 3 ซม. ดังนั้นเพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลง และสมการทำนายความหนาของพื้นที่มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น จึงไม่นำข้อมูลความหนาที่เหมาะสมของกรณีดังกล่าวที่เสริม Band Beam มารวมไว้ด้วย

จากการวิจัยพบว่า อัตราส่วนช่วงความยาวต่อความหนาที่เหมาะสม สำหรับแผ่นพื้นที่แนะนำโดย Post-Tensioning Institute มีค่าอยู่ระหว่าง 40 - 45 แต่ผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้ ในกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีค่าประมาณ 45 - 53 กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.75$ มีค่าประมาณ 40 - 60 กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.5$ มีค่าประมาณ 48 - 65 กรณีซิกแซก $y' = 1.0$ ม มีค่าประมาณ 49 - 64 และกรณีซิกแซก $y' = 2.0$ ม มีค่าประมาณ 47 - 60 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความหนาของพื้นที่เหมาะสม ที่ได้จากงานวิจัยมีค่าความหนาน้อยกว่าที่ Post-Tensioning Institute แนะนำ ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุเนื่องจากการกำลังวัสดุ (คอนกรีตและเหล็กเสริม) ที่นิยมใช้ในปัจจุบันแตกต่างไปจากในอดีต ราคาวัสดุ/ค่าแรง ในประเทศไทยต่างจากราคาในต่างประเทศ น้ำหนักบรรทุกของพื้นที่นำมาวิเคราะห์แตกต่างกัน รวมถึงการวิเคราะห์และออกแบบในงานวิจัยนี้ใช้วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ

จากการศึกษางานวิจัยที่คล้ายกันแต่ใช้โปรแกรม CSI SAFE V12.3.2 (ธนัญกรณ์ ต่อศิริกุลวงศ์, 2556) พบว่า

1. ค่าอัตราส่วนช่วงความยาวเสาต่อความหนาที่เหมาะสม ในกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีค่า 35 - 62 กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.75$ มีค่า 37 - 84 กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.5$ มีค่า 39 - 71 กรณีซิกแซก $y' = 1.0$ ม มีค่า 36 - 65 และ กรณีซิกแซก $y' = 2.0$ ม มีค่า 37 - 57 ซึ่งพบว่าความหนาของพื้นที่เหมาะสม ที่ได้จากงานวิจัยมีค่าความหนาน้อยกว่าที่ Post-Tensioning Institute อยู่ที่ 20% สำหรับกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.75$ มีค่าความหนาน้อยกว่าอยู่ที่ 2% สำหรับกรณี

สี่เหลี่ยมผืนผ้า $s/l = 0.5$ มีค่าความหนาน้อยกว่าอยู่ที่ 9% สำหรับกรณีซิกแซก $y' = 1.0$ ม และ มีค่าความหนาน้อยกว่าอยู่ที่ 11% สำหรับกรณีซิกแซก $y' = 2.0$ ม

2. โปรแกรม Ram Concept V8i สามารถเลือกให้เสริมเหล็กรับแรงเฉือนที่หัวเสาทั้งเหล็กเสริม Rebar และ Shear Stud Rail ในขณะที่โปรแกรม CSI SAFE เสริมเหล็กรับแรงเฉือนด้วยเหล็กเสริม Rebar อย่างเดียว

จากการศึกษางานวิจัยที่คล้ายกันแต่เป็นการศึกษาพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คาน โดยใช้โปรแกรม CSI SAFE V12.3.2 (ยอดพล ผลสงเคราะห์, 2556) พบว่า

1.

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้จำกัดรูปแบบของแผ่นพื้น ระบบลวดอัดแรง มาตรฐานการวิเคราะห์ออกแบบ และน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ เฉพาะเท่าที่เห็นว่าสำคัญเท่านั้น อาจมีผลกระทบอื่น ๆ อีกที่มีผลต่อระบบโครงสร้างของแผ่นพื้น ทั้งที่เป็นปัจจัยในเชิงคุณภาพ และในเชิงปริมาณ ซึ่งอาจจะขยายขอบเขตการศึกษาออกไปให้กว้างกว่านี้ได้ในอนาคต ได้แก่

1. ศึกษากรณีพิจารณาเป็นแบบมีผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall) โครงสร้างบันได และช่องเปิดต่าง ๆ
2. ศึกษากรณีพิจารณาเป็นแบบพื้นโค้ง และเฉียง
3. ศึกษาผลกระทบของแรงกระทำด้านข้างของอาคาร เช่น แรงลม และแรงแผ่นดินไหว ที่มีผลต่อความหนาที่เหมาะสมของแผ่นพื้น กรณีที่ใช้แผ่นพื้นเป็นส่วนหนึ่งของระบบการรับแรงด้านข้าง
4. ศึกษาผลกระทบขนาดของเสา และ Band Beam ที่มีต่อความหนาพื้นที่ที่เหมาะสม
5. ศึกษาผลกระทบของ Band Beam ที่มีต่อความหนาพื้นที่ที่เหมาะสม
6. ศึกษาเปรียบเทียบกรณีไม่มี Drop Panel และมี Drop Panel ขนาดต่าง ๆ ในด้านของความประหยัด
7. งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลราคาค่าก่อสร้างของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลของสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า ปี พศ. 2555 หากมีการเปลี่ยนแปลงราคาดังกล่าว อาจใช้ผลการออกแบบปริมาณวัสดุในตารางภาคผนวก ก เพื่อคำนวณราคาค่าสุดท้ายใหม่ได้

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงปริมาณวัสดุของพื้น

ตาราง ก.1 แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg / m ²)	ความหนา พื้น t , (cm)	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m ³)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m ²)
320	6	200	10	150	3,207	4,000	1,347
			11	156	2,817	3,132	1,347
			12	168	2,533	3,060	1,347
			13	181	2,138	4,077	1,347
400	6	200	10	150	2,868	4,195	1,347
			11	156	2,594	2,983	1,347
			12	168	2,457	3,019	1,347
			13	181	2,064	4,171	1,347
320	6	300	11	160	3,409	4,288	1,347
			12	172	3,103	2,922	1,347
			13	181	2,687	3,588	1,347
			14	194	2,336	4,497	1,347
400	6	300	11	160	2,979	4,887	1,347
			12	172	2,728	3,437	1,347
			13	181	2,345	5,053	1,347
			14	194	2,199	4,720	1,347
320	6	400	11	160	3,760	5,019	1,347
			12	172	3,191	4,715	1,347
			13	188	2,203	4,748	1,347
			14	198	2,340	4,374	1,347
400	6	400	11	160	3,382	5,114	1,347
			12	172	2,873	4,170	1,347
			13	188	2,064	5,103	1,347
			14	198	2,099	5,393	1,347

ตาราง ก.1 (ต่อ) แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg / m ²)	ความหนา พื้น t , (cm)	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m ³)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m ²)
320	7.5	200	14	303	6,862	8,863	2,088
			15	325	5,775	5,101	2,088
			16	346	5,130	4,970	2,088
			17	355	5,537	4,432	2,088
400	7.5	200	14	303	6,336	5,433	2,088
			15	325	5,171	5,447	2,088
			16	346	4,520	6,526	2,088
			17	355	5,020	6,713	2,088
320	7.5	300	15	325	7,449	8,598	2,088
			16	346	6,478	6,854	2,088
			17	368	5,624	5,271	2,088
			18	388	4,927	6,558	2,088
400	7.5	300	15	325	6,807	6,158	2,088
			16	346	5,938	5,591	2,088
			17	368	4,974	6,943	2,088
			18	388	4,364	8,915	2,088
320	7.5	400	15	325	8,442	12,128	2,088
			16	346	7,152	8,257	2,088
			17	368	6,101	5,654	2,088
			18	388	5,374	6,392	2,088
400	7.5	400	15	325	7,251	8,902	2,088
			16	346	6,339	6,963	2,088
			17	368	5,235	7,025	2,088
			18	388	4,602	9,152	2,088

ตาราง ก.1 (ต่อ) แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีสีเหลี่ยมจัตุรัส

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg / m ²)	ความหนา พื้น t , (cm)	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m ³)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m ²)
320	9	200	18	546	13,060	12,591	2,992
			19	577	11,740	11,544	2,992
			20	607	11,120	10,782	2,992
			21	637	10,170	11,384	2,992
400	9	200	17	516	13,290	12,502	2,992
			18	546	11,990	11,735	2,992
			19	577	10,950	11,193	2,992
			20	607	10,030	12,029	2,992
320	9	300	18	561	14,010	10,069	2,992
			19	590	12,760	8,175	2,992
			20	616	12,160	8,778	2,992
			21	639	12,170	11,260	2,992
400	9	300	17	533	14,070	8,378	2,992
			18	561	13,190	7,569	2,992
			19	590	11,670	8,263	2,992
			20	612	12,210	8,275	2,992
320	9	400	18	561	14,890	12,841	2,992
			19	590	13,730	10,991	2,992
			20	616	13,100	10,611	2,992
			21	637	14,980	12,435	2,992
400	9	400	17	533	14,820	11,980	2,992
			18	561	13,810	10,456	2,992
			19	590	12,470	8,140	2,992
			20	612	12,730	11,252	2,992

ตาราง ก.2 แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีสีเหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.5$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา $S, (m)$	น้ำหนัก บรรทุกจร $W_{LL},$ (kg/m ²)	ความหนา พื้น $t, (cm)$	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m ³)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m ²)
320	6	200	10	69	1,948	1,018	686
			11	76	1,506	1,190	686
			12	82	1,311	1,310	686
			13	89	1,534	611	686
400	6	200	10	69	1,831	967	686
			11	76	1,367	1,508	686
			12	82	1,311	1,127	686
			13	89	1,450	790	686
320	6	300	10	72	2,173	1,225	686
			11	76	1,955	973	686
			12	82	1,557	1,281	686
			13	89	1,534	979	686
400	6	300	10	72	2,003	1,403	686
			11	76	1,752	903	686
			12	82	1,743	1,453	686
			13	89	1,534	857	686
320	6	400	10	72	2,333	1,476	686
			11	77	2,046	1,228	686
			12	83	1,641	1,760	686
			13	89	1,534	1,319	686
400	6	400	10	72	2,206	1,597	686
			11	76	1,864	1,258	686
			12	83	1,541	1,671	686
			13	89	1,534	1,219	686

ตาราง ก.2 (ต่อ) แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีสีเหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.5$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนา พื้น t , (cm)	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m ³)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m ²)
320	7.5	200	13	140	2,963	1,010	1,060
			14	149	2,708	1,174	1,060
			15	159	2,443	1,248	1,060
			16	170	2,475	1,252	1,060
400	7.5	200	13	140	2,789	1,045	1,060
			14	149	2,519	1,139	1,060
			15	159	2,301	1,453	1,060
			16	170	2,231	1,482	1,060
320	7.5	300	14	151	3,207	1,729	1,060
			15	162	2,789	1,314	1,060
			16	170	2,588	1,520	1,060
			17	180	2,475	1,587	1,060
400	7.5	300	13	142	3,382	1,815	1,060
			14	151	2,963	1,064	1,060
			15	162	2,615	1,524	1,060
			16	170	2,475	1,664	1,060
320	7.5	400	14	152	3,312	2,278	1,060
			15	162	2,963	1,924	1,060
			16	170	2,728	2,024	1,060
			17	180	2,504	2,257	1,060
400	7.5	400	13	145	3,416	2,732	1,060
			14	152	3,068	1,890	1,060
			15	162	2,719	2,012	1,060
			16	170	2,588	1,747	1,060

ตาราง ก.2 (ต่อ) แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีสีเหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.5$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนา พื้น t , (cm)	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m ³)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m ²)
320	9	200	15	236	6,066	1,753	1,515
			16	247	5,773	1,686	1,515
			17	262	5,438	1,517	1,515
			18	277	5,104	1,618	1,515
400	9	200	14	223	5,689	2,878	1,515
			15	233	5,522	1,339	1,515
			16	247	5,104	1,010	1,515
			17	258	4,720	1,700	1,515
320	9	300	17	258	6,359	3,754	1,515
			18	273	5,940	2,666	1,515
			19	288	5,766	2,605	1,515
			20	303	5,641	1,751	1,515
400	9	300	15	244	5,480	2,304	1,515
			16	254	5,522	2,274	1,515
			17	258	5,515	2,903	1,515
			18	273	5,229	2,763	1,515
320	9	400	17	258	6,686	6,763	1,515
			18	273	6,184	4,573	1,515
			19	288	5,892	3,816	1,515
			20	303	5,808	2,953	1,515
400	9	400	15	244	5,731	5,022	1,515
			16	254	5,815	4,692	1,515
			17	258	5,766	4,885	1,515
			18	273	5,139	4,385	1,515

ตาราง ก.3 แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีสีเหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.75$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา $S, (m)$	น้ำหนัก บรรทุกจร $W_{LL},$ (kg/m^2)	ความหนา พื้น $t, (cm)$	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m^3)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m^2)
320	6	200	9	100	2,389	2,064	1,017
			10	108	2,147	1,796	1,017
			11	118	1,793	1,696	1,017
			12	128	1,592	1,872	1,017
400	6	200	9	100	2,250	2,356	1,017
			10	108	2,008	2,073	1,017
			11	118	1,648	1,939	1,017
			12	128	1,534	2,008	1,017
320	6	300	10	109	2,622	2,881	1,017
			11	118	2,244	2,001	1,017
			12	128	2,015	1,466	1,017
			13	138	1,801	1,788	1,017
400	6	300	10	109	2,426	2,336	1,017
			11	118	2,099	1,663	1,017
			12	128	1,820	1,672	1,017
			13	138	1,810	1,786	1,017
320	6	400	10	109	2,784	3,026	1,017
			11	118	2,378	2,716	1,017
			12	128	2,066	1,884	1,017
			13	138	1,913	1,834	1,017
400	6	400	10	109	2,561	2,672	1,017
			11	118	2,182	1,913	1,017
			12	128	1,892	1,899	1,017
			13	138	1,822	2,078	1,017

ตาราง ก.3 (ต่อ) แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีสีเหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.75$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg / m ²)	ความหนา พื้น t , (cm)	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m ³)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m ²)
320	7.5	200	13	215	3,841	2,393	1,574
			14	229	3,501	2,724	1,574
			15	246	3,053	2,949	1,574
			16	262	3,027	2,798	1,574
400	7.5	200	13	215	3,504	2,789	1,574
			14	229	3,257	2,762	1,574
			15	246	2,879	3,423	1,574
			16	262	2,998	2,661	1,574
320	7.5	300	14	229	4,163	6,338	1,574
			15	246	3,759	3,038	1,574
			16	262	3,498	2,728	1,574
			17	276	3,483	2,514	1,574
400	7.5	300	14	229	3,890	3,956	1,574
			15	246	3,431	3,457	1,574
			16	262	3,210	3,641	1,574
			17	276	3,280	3,955	1,574
320	7.5	400	14	230	4,430	7,729	1,574
			15	246	3,864	4,196	1,574
			16	262	3,629	2,913	1,574
			17	276	3,629	3,608	1,574
400	7.5	400	14	230	4,117	5,031	1,574
			15	246	3,576	3,869	1,574
			16	262	3,454	3,192	1,574
			17	276	3,382	3,286	1,574

ตาราง ก.3 (ต่อ) แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีสีเหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.75$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg / m ²)	ความหนา พื้น t , (cm)	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m ³)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m ²)
320	9	200	17	387	7,537	12,757	2,254
			18	409	7,011	11,577	2,254
			19	431	6,428	9,622	2,254
			20	454	6,223	7,609	2,254
400	9	200	18	409	6,537	9,818	2,254
			19	431	6,202	7,559	2,254
			20	454	5,888	5,448	2,254
			21	476	5,613	5,327	2,254
320	9	300	17	389	9,224	14,332	2,254
			18	409	8,395	13,374	2,254
			19	431	7,603	13,082	2,254
			20	454	7,342	11,307	2,254
400	9	300	18	409	7,743	13,675	2,254
			19	431	7,039	12,967	2,254
			20	454	6,725	9,304	2,254
			21	476	6,463	7,176	2,254
320	9	400	18	412	8,841	15,235	2,254
			19	432	8,381	12,757	2,254
			20	454	8,067	10,474	2,254
			21	477	7,582	9,702	2,254
400	9	400	18	409	8,227	14,850	2,254
			19	431	7,331	14,414	2,254
			20	454	7,018	10,960	2,254
			21	476	6,672	7,170	2,254

ตาราง ก.4 แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีซิกแซก ($y' = 1.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา $S, (m)$	น้ำหนัก บรรทุกจร $W_{LL},$ (kg/m^2)	ความหนา พื้น $t, (cm)$	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m^3)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m^2)
320	6	200	10	151	2,755	4,349	1,384
			11	162	2,301	3,426	1,384
			12	172	2,497	3,546	1,384
			13	187	1,964	4,040	1,384
400	6	200	9	139	2,441	4,577	1,384
			10	151	2,377	3,620	1,384
			11	162	2,062	3,760	1,384
			12	172	2,054	4,634	1,384
320	6	300	11	164	2,826	4,611	1,384
			12	176	2,667	3,553	1,384
			13	189	2,686	3,593	1,384
			14	200	2,329	3,937	1,384
400	6	300	11	164	2,295	5,063	1,384
			12	176	2,183	4,718	1,384
			13	187	2,334	4,410	1,384
			14	200	2,107	4,589	1,384
320	6	400	11	165	3,082	5,211	1,384
			12	176	2,910	4,153	1,384
			13	187	2,970	3,601	1,384
			14	200	2,410	4,571	1,384
400	6	400	11	165	2,564	4,682	1,384
			12	176	2,471	4,320	1,384
			13	187	2,459	4,798	1,384
			14	200	2,131	5,367	1,384

ตาราง ก.4(ต่อ) แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีซิกแซก ($y' = 1.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา $S, (m)$	น้ำหนัก บรรทุกจร $W_{LL},$ (kg/m^2)	ความหนา พื้น $t, (cm)$	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m^3)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m^2)
320	7.5	200	14	327	6,691	5,839	2,134
			15	331	6,215	5,629	2,134
			16	352	5,306	4,820	2,134
			17	363	5,607	5,518	2,134
400	7.5	200	14	323	5,721	4,337	2,134
			15	331	5,445	4,695	2,134
			16	352	4,523	7,069	2,134
			17	363	4,868	8,394	2,134
320	7.5	300	14	327	8,553	8,683	2,134
			15	331	7,720	10,613	2,134
			16	352	6,832	8,060	2,134
			17	363	7,028	12,965	2,134
400	7.5	300	14	323	7,569	7,563	2,134
			15	331	7,024	7,607	2,134
			16	352	6,056	6,308	2,134
			17	363	6,344	13,549	2,134
320	7.5	400	14	327	8,907	10,578	2,134
			15	342	7,952	9,822	2,134
			16	352	7,266	9,494	2,134
			17	363	7,460	13,686	2,134
400	7.5	400	14	323	8,835	11,518	2,134
			15	342	7,441	6,910	2,134
			16	352	6,605	7,321	2,134
			17	363	6,895	13,730	2,134

ตาราง ก.4(ต่อ) แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีซิกแซก ($y' = 1.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา $S, (m)$	น้ำหนัก บรรทุกจร $W_{LL},$ (kg/m^2)	ความหนา พื้น $t, (cm)$	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m^3)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m^2)
320	9	200	17	543	15,390	11,209	3,047
			18	558	14,290	12,304	3,047
			19	583	13,360	12,084	3,047
			20	611	12,620	11,381	3,047
400	9	200	17	543	14,380	9,403	3,047
			18	558	13,140	10,032	3,047
			19	583	12,270	11,246	3,047
			20	609	11,480	12,919	3,047
320	9	300	17	567	16,180	9,861	3,047
			18	592	15,370	8,805	3,047
			19	622	13,760	7,847	3,047
			20	620	14,540	11,694	3,047
400	9	300	17	567	14,940	8,011	3,047
			18	592	13,940	7,040	3,047
			19	622	12,540	6,615	3,047
			20	620	13,480	9,956	3,047
320	9	400	17	578	16,880	10,252	3,047
			18	594	15,870	10,467	3,047
			19	625	14,390	9,142	3,047
			20	633	15,140	10,953	3,047
400	9	400	17	578	15,680	8,250	3,047
			18	594	14,600	8,469	3,047
			19	625	13,290	7,544	3,047
			20	633	13,840	9,617	3,047

ตาราง ก.5 แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีซิกแซก ($y' = 2.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา $S, (m)$	น้ำหนัก บรรทุกจร $W_{LL},$ (kg/m^2)	ความหนา พื้น $t, (cm)$	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m^3)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m^2)
320	6	200	11	169	2,377	4,555	1,420
			12	177	2,353	4,216	1,420
			13	192	2,177	2,974	1,420
			14	206	2,177	2,308	1,420
400	6	200	9	146	2,227	3,898	1,420
			10	159	2,059	3,318	1,420
			11	169	2,008	3,520	1,420
			12	177	2,059	4,868	1,420
320	6	300	11	175	3,013	4,113	1,420
			12	186	2,695	2,677	1,420
			13	192	2,647	4,063	1,420
			14	206	2,236	4,458	1,420
400	6	300	10	163	2,625	3,349	1,420
			11	175	2,243	3,321	1,420
			12	186	2,265	3,016	1,420
			13	192	2,295	4,894	1,420
320	6	400	11	175	3,078	4,521	1,420
			12	185	2,724	4,058	1,420
			13	193	2,859	4,941	1,420
			14	206	2,442	4,692	1,420
400	6	400	10	163	2,902	3,760	1,420
			11	175	2,360	3,793	1,420
			12	185	2,177	4,283	1,420
			13	193	2,442	4,832	1,420

ตาราง ก.5 (ต่อ) แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีซิกแซก ($y' = 2.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา $S, (m)$	น้ำหนัก บรรทุกจร $W_{LL},$ (kg/m^2)	ความหนา พื้น $t, (cm)$	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m^3)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m^2)
320	7.5	200	14	325	6,947	9,107	2,180
			15	350	5,926	5,985	2,180
			16	371	4,913	4,827	2,180
			17	371	5,591	12,552	2,180
400	7.5	200	14	325	6,173	6,422	2,180
			15	350	6,964	5,086	2,180
			16	371	4,363	5,544	2,180
			17	371	4,832	13,545	2,180
320	7.5	300	14	325	9,150	12,469	2,180
			15	349	7,932	8,557	2,180
			16	371	6,702	6,228	2,180
			17	371	7,460	12,688	2,180
400	7.5	300	14	325	8,339	9,831	2,180
			15	349	6,941	5,869	2,180
			16	371	5,746	6,368	2,180
			17	371	6,534	13,212	2,180
320	7.5	400	14	328	9,917	12,350	2,180
			15	349	8,308	10,421	2,180
			16	371	7,173	9,275	2,180
			17	371	7,786	13,681	2,180
400	7.5	400	14	328	9,012	10,072	2,180
			15	349	7,512	8,635	2,180
			16	371	6,303	6,917	2,180
			17	371	7,040	13,677	2,180

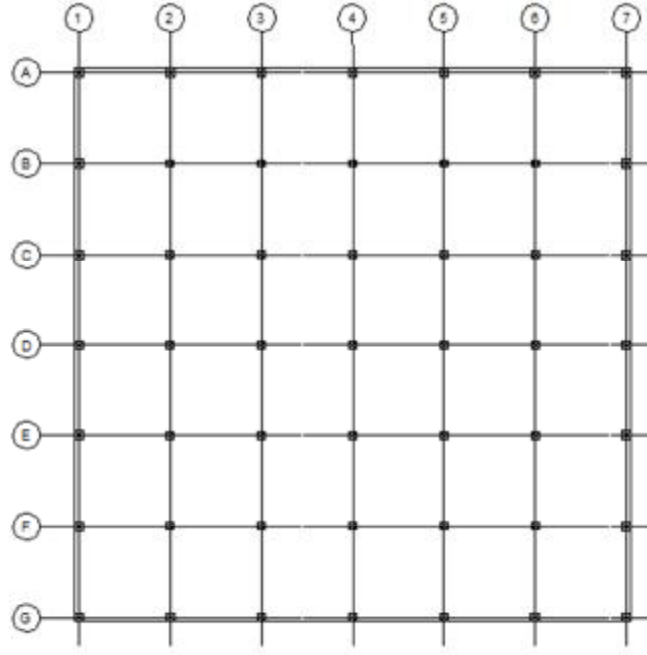
ตาราง ก.5 (ต่อ) แสดงปริมาณวัสดุของพื้น กรณีซิกแซก ($y' = 2.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วง เสา S , (m)	น้ำหนัก บรรทุกจร W_{LL} , (kg / m ²)	ความหนา พื้น t , (cm)	ปริมาณวัสดุ (ต่อชั้น)			
				คอนกรีต (m ³)	ลวดอัดแรง (kg)	เหล็กเสริม (kg)	ไม้แบบ (m ²)
320	9	200	17	572	13,910	8,092	3,101
			18	619	11,630	5,509	3,101
			19	640	11,160	6,175	3,101
			20	671	10,080	7,400	3,101
400	9	200	17	572	12,950	6,955	3,101
			18	619	10,060	6,882	3,101
			19	640	9,725	7,885	3,101
			20	671	8,827	8,811	3,101
320	9	300	17	598	14,900	7,075	3,101
			18	619	14,390	7,584	3,101
			19	640	14,000	7,731	3,101
			20	671	12,930	7,485	3,101
400	9	300	17	598	13,370	5,702	3,101
			18	619	13,040	6,322	3,101
			19	640	12,600	7,293	3,101
			20	671	11,520	7,225	3,101
320	9	400	18	617	16,220	9,185	3,101
			19	642	14,690	9,141	3,101
			20	671	13,570	8,719	3,101
			21	707	12,230	8,497	3,101
400	9	400	18	617	14,690	8,465	3,101
			19	642	13,380	8,407	3,101
			20	671	12,110	8,361	3,101
			21	707	10,510	9,778	3,101

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงรายละเอียดการเสริม

Drop Panel, Band Beam และ Shear Head



ภาพที่ ข.1 ภาพแสดงแปลนพื้นไร่ทานคอนกรีตอัดแรง กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ตาราง ข.1 แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหล็ยมจัตุรัส

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจร W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	6	200	10	ทุกหัวเสา	B3 - B5, D2 - D6, E2 - E6, F3 - F5	-
			11	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			12	ทุกหัวเสา	A1, A7, C1, C7, D1, D7, G1, G7	-
			13	ทุกหัวเสา	D1, D7	-
400	6	200	10	ทุกหัวเสา	B3 - B5, D2 - D6, E2 - E6, F3 - F5	-
			11	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			12	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			13	ทุกหัวเสา	-	-
320	6	300	11	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B3 - B5, D2 - D6, E2 - E6, F3 - F5, G1 - G7	-
			12	ทุกหัวเสา	A2, A4, A6, C2, C6, D2, D6, E2, E6, G2, G4, G6	-
			13	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, C1, C7, D1, D7 E1, E7, G1, G7	-
			14	ทุกหัวเสา	B1, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7	-

ตาราง ข.1 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหล็ยมจัตุรัส

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจร W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	6	300	11	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B3 - B5, D2 - D6, E2 - E6, F3 - F5, G1 - G7	-
			12	ทุกหัวเสา	A2, A4, A6, G2, G4, G6	-
			13	ทุกหัวเสา	B1, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7	-
			14	ทุกหัวเสา	-	-
320	6	400	11	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B2 - B6, C2 - C6, D2 - D6, E2 - E6, F2 - F6, G1 - G7	-
			12	ทุกหัวเสา	A2 - A6, B2 - B6, C2 - C6, D2 - D6, E2 - E6, F2 - F6, G2 - G6	-
			13	ทุกหัวเสา	A2, A6, B2 - B6, C2, C6, D2, D6, E2, E6, F2 - F6, G2, G6	-
			14	ทุกหัวเสา	-	-
400	6	400	11	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B2 - B6, C2 - C6, D2 - D6, E2 - E6, F2 - F6, G1 - G7	-
			12	ทุกหัวเสา	A2 - A6, C2 - C6, D2 - D6, E2 - E6, G2 - G6	-

ตาราง ข.1 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหล็ยมจัตุรัส

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจ W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	7.5	200	14	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1 – B7, C1, C2, C6, C7, D1, D2, D6, D7, E1, E2, E6, E7, F1 – F7, G1 - G7	-
			15	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1 - G7	-
			16	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
			17	-	-	-
400	7.5	200	14	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1 - G7	-
			15	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1 - G7	-
			16	ทุกหัวเสา	A4, D1, D7, G4	-
			17	-	-	-
320	7.5	300	15	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1 – B7, C1, C2, C6, C7, D1, D2, D6, D7, E1, E2, E6, E7, F1 – F7, G1 - G7	-

ตาราง ข.1 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหล็ยมจัตุรัส

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจร W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	7.5	300	16	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1 – B7, C1, C2, C6, C7, D1, D2, D6, D7, E1, E2, E6, E7, F1 – F7, G1 - G7	-
			17	A1, A2, A6, A7, B1, B7, F1, F7, G1, G2, G6, G7	ทุกหัวเสา	-
			18	-	ทุกหัวเสา	-
400	7.5	300	15	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1 – B7, C1, C2, C6, C7, D1, D2, D6, D7, E1, E2, E6, E7, F1 – F7, G1 - G7	-
			16	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C2, C6, C7, D1, D2, D6, D7, E1, E2, E6, E7, F1, F2, F6, F7, G1 - G7	-
			17	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
			18	-	C1, C7, D1, D7, E1, E7	-

ตาราง ข.1 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหล็ยมจัตุรัส

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจร W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	7.5	400	15	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			16	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1 - B7, C1, C2, C6, C7, D1, D2, D6, D7, E1, E2, E6, E7, F1 - F7, G1 - G7	-
			17	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1 - G7	-
			18	ทุกหัวเสา	A1, A2, A6, A7, B1, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G2, G6, G7	-
400	7.5	400	15	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1 - B7, C1, C2, C6, C7, D1, D2, D6, D7, E1, E2, E6, E7, F1 - F7, G1 - G7	-
			16	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1 - B7, C1, C2, C6, C7, D1, D2, D6, D7, E1, E2, E6, E7, F1 - F7, G1 - G7	-
			17	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1 - G7	-
			18	ทุกหัวเสา	A1, A2, A6, A7, B1, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G2, G6, G7	-

ตาราง ข.1 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหล็ยมจัตุรัส

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจ W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	9	200	18	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1 - G7	ทุกหัวเสา	-
			19	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1 - G7	ทุกหัวเสา	-
			20	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1 - G7	ทุกหัวเสา	-
			21	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1 - G7	ทุกหัวเสา	-

ตาราง ข.1 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหล็ยมจัตุรัส

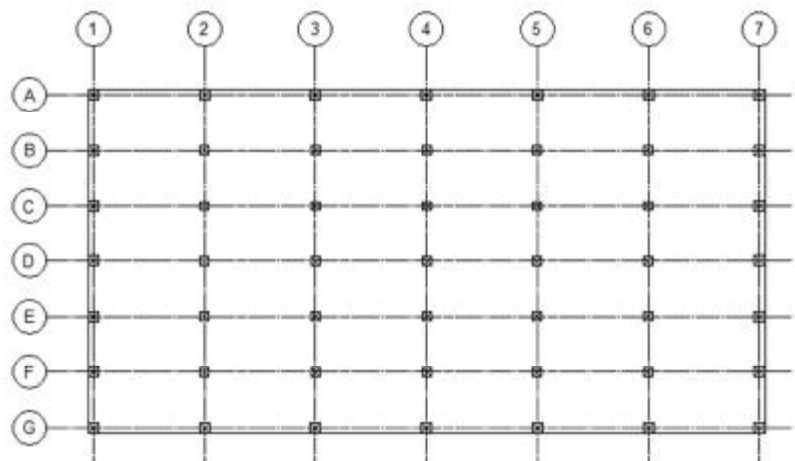
f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจร W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	9	200	17	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1 - G7	ทุกหัวเสา	-
			18	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1 - G7	ทุกหัวเสา	-
			19	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1 - G7	ทุกหัวเสา	-
			20	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1 - G7	ทุกหัวเสา	-

ตาราง ข.1 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหล็ยมจัตุรัส

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจ W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	9	300	18	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			19	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1 - B7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1 - F7, G1 - G7	-
			20	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1 - B7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1 - F7, G1 - G7	-
			21	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1 - G7	ทุกหัวเสา	-
400	9	300	17	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			18	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1 - B7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1 - F7, G1 - G7	-
			19	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1 - B7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1 - F7, G1 - G7	-

ตาราง ข.1 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหล็ยมจัตุรัส

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจ W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	9	300	20	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C2, C6, C7, D1, D2, D6, D7, E1, E2, E6, E7, F1 - F7, G1 - G7	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C3 - C5, C7, D1, D3 - D5, D7, E1, E3 - E5, E7, F1, F2, F6, F7, G1 - G7	-
320	9	400	18	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			19	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			20	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			21	A1 - A7, B1, B2, B6, B7, C1, C2, C6, C7, D1, D2, D6, D7, E1, E2, E6, E7, F1 - F7, G1 - G7	ทุกหัวเสา	-



ภาพที่ ข.2 ภาพแสดงแปลนพื้น ไร่คานคอนกรีตอัดแรง กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ตาราง ข.2 แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.5$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจ W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	6	200	10	A1, A7, G1, G7	-	-
			11	A1, A7, G1, G7	-	-
			12	-	-	-
			13	-	-	-
400	6	200	10	A1, A7, G1, G7	-	-
			11	A1, A7, G1, G7	-	-
			12	-	-	-
			13	-	-	-
320	6	300	10	ทุกหัวเสา	-	-
			11	-	-	-
			12	-	-	-
			13	-	-	-
400	6	300	10	ทุกหัวเสา	-	-
			11	A1, A7, G1, G7	-	-
			12	-	-	-

ตาราง ข.2 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหลื่อมพื้นผ้า ($s/l = 0.5$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	6	300	13	-	-	-
320	6	400	10	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			11	A1, A7, B2 – B6, F2 – F6, G1, G7	-	-
			12	A1, A7, G1, G7	-	-
			13	-	-	-
400	6	400	10	ทุกหัวเสา	-	-
			11	A1, A7, G1, G7	-	-
			12	A1, A7, G1, G7	-	-
			13	-	-	-
320	7.5	200	13	-	-	Grid Line 1 Grid Line 7
			14	A1, A7, G1, G7	A1, A7, G1, G7	-
			15	-	-	-
			16	-	-	-

ตาราง ข.2 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหลื่อมพื้นผ้า ($s/l = 0.5$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	7.5	200	13	-	-	Grid Line 1 Grid Line 7
			14	A1, A7, G1, G7	-	-
			15	-	-	-
			16	-	-	-
320	7.5	300	14	-	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1 Grid Line 7
			15	-	-	Grid Line 1 Grid Line 7
			16	A1, A7, G1, G7	-	-
			17	-	-	-
400	7.5	300	13	B2, B6, F2, F6	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1 Grid Line 7
			14	-	-	Grid Line 1 Grid Line 7

ตาราง ข.2 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหลื่อมพื้นผ้า ($s/l = 0.5$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจร W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	7.5	300	15	-	-	Grid Line 1 Grid Line 7
			16	A1, A7, G1, G7	-	-
320	7.5	400	14	B2, B6, F2, F6	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1 Grid Line 7
			15	-	-	Grid Line 1 Grid Line 7
			16	A1, A7, G1, G7	-	-
			17	-	A1, A7, G1, G7	-
400	7.5	400	13	B3 – B5, F3 – F5	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1, 2 Grid Line 6, 7
			14	B2, B6, F2, F6	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1 Grid Line 7
			15	-	-	Grid Line 1 Grid Line 7
			16	A1, A7, G1, G7	-	

ตาราง ข.2 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหลื่อมพื้นผ้า ($s/l = 0.5$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	9	200	15	B2, B3, B5, B7 F2, F3, F5, F7	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1 Grid Line 7
			16	-	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1 Grid Line 7
			17	-	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1 Grid Line 7
			18	-	-	Grid Line 1 Grid Line 7
400	9	200	14	B3 – B5, F3 – F5	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1, 2 Grid Line 6, 7
			15	B2, B6, F2, F6	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1 Grid Line 7
			16	-	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1 Grid Line 7
			17	-	A1, A7, B1, B7, F1, F7, G1, G7	-

ตาราง ข.2 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหลื่อมพื้นผ้า ($s/l = 0.5$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจ W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	9	300	17	-	A1, A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1, G7	-
			18	-	A1, A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
			19	-	A1, A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
			20	-	A1, A7, G1, G7	-
400	9	300	15	-	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1-7
			16	B3 – B5, F3 – F5	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1, 2 Grid Line 6, 7
			17	-	A1, A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
			18	-	A1, A7, B1, B7, F1, F7, G1, G7	-

ตาราง ข.2 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีที่เหลื่อมพื้นผ้า ($s/l = 0.5$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	9	400	17	-	A1, A7, B1 - B7, C1, C2, C6, C7, D1, D2, D6, D7, E1, E2, E6, E7, F1 - F7, G1, G7	-
			18	-	A1, A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1, G7	-
			19	-	A1, A7, B1, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
			20	-	A1, A7, B1, B7, C1, C7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
400	9	400	15	-	A1, A7, B1, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	Grid Line 1-7
			16	B3 - B5, F3 - F5	A1, A7, G1, G7	Grid Line 1, 2 Grid Line 6, 7
			17	-	A1, A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
			18	-	A1, A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-

ตาราง ข.3 แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.75$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจ W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	6	200	9	ทุกหัวเสา	-	-
			10	ทุกหัวเสา	-	-
			11	ทุกหัวเสา	-	-
			12	ทุกหัวเสา	-	-
400	6	200	9	ทุกหัวเสา	-	-
			10	ทุกหัวเสา	-	-
			11	ทุกหัวเสา	-	-
			12	ทุกหัวเสา	-	-
320	6	300	10	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			11	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			12	ทุกหัวเสา	-	-
			13	ทุกหัวเสา	-	-
400	6	300	10	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			11	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-

ตาราง ข.3 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.75$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจร W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	6	300	12	ทุกหัวเสา	-	-
			13	ทุกหัวเสา	-	-
320	6	400	10	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			11	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			12	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			13	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
400	6	400	10	ทุกหัวเสา	-	-
			11	ทุกหัวเสา	-	-
			12	ทุกหัวเสา	-	-
			13	ทุกหัวเสา	-	-
320	7.5	200	13	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
			14	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, F1, F7, G1, G7	-
			15	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			16	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-

ตาราง ข.3 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.75$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจ W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	7.5	200	13	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
			14	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, F1, F7, G1, G7	-
			15	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			16	ทุกหัวเสา	-	-
320	7.5	300	14	ทุกหัวเสา	A1, A2, A6, A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1, G2, G6, G7	-
			15	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
			16	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			17	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-

ตาราง ข.3 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.75$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจ W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	7.5	300	14	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
			15	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, F1, F7, G1, G7	-
			16	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			17	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
320	7.5	400	14	ทุกหัวเสา	A1, A2, A6, A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F6, F7, G1, G2, G6, G7	-
			15	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
			16	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, F1, F7, G1, G7	-
			17	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
400	7.5	400	14	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-
			15	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, C1, C7 D1, D7, E1, E7, F1, F7, G1, G7	-

ตาราง ข.3 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.75$)

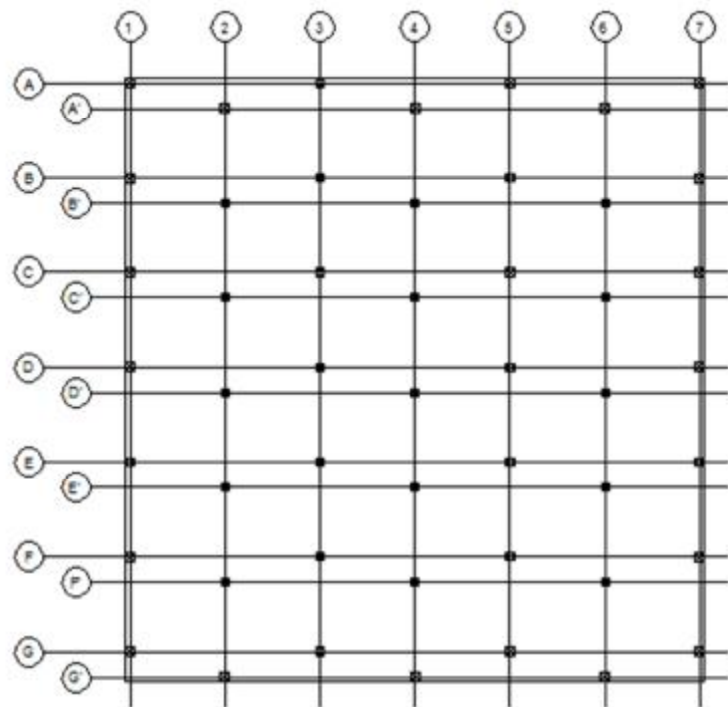
f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจ W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	7.5	400	16	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, F1, F7, G1, G7	-
			17	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
320	9	200	17	A1, A7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
			18	A1, A7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
			19	A1, A7, G1, G7	A1, A7, B1 - B7, C1, C2, C5, C7, D1, D2, D5, D7, E1, E2, E5, E7, F1 - F7, G1, G7	-
			20	A1, A7, G1, G7	A1, A7, B1 - B7, C1, C2, C5, C7, D1, D2, D5, D7, E1, E2, E5, E7, F1 - F7, G1, G7	-
400	9	200	17	A1, A7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
			18	A1, A7, G1, G7	A1, A7, B1 - B7, C1, C2, C5, C7, D1, D2, D5, D7, E1, E2, E5, E7, F1 - F7, G1, G7	-
			19	A1, A7, G1, G7	A1, A7, B1, B2, B5, B7, C1, C2, C5, C7, D1, D2, D5, D7, E1, E2, E5, E7, F1, F2, F5, F7, G1, G7	-
			20	A1, A7, G1, G7	A1, A7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, G1, G7	-

ตาราง ข.3 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.75$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	9	300	17	A1, A7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
			18	A1, A7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
			19	A1, A7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
			20	A1, A7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
400	9	300	18	A1, A7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
			19	A1, A7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
			20	A1, A7, G1, G7	A1, A7, B1 - B7, C1, C2, C5, C7, D1, D2, D5, D7, E1, E2, E5, E7, F1 - F7, G1, G7	-
			21	A1, A7, G1, G7	A1, A7, B1, B2, B5, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F5, F7, G1, G7	-
320	9	400	18	A1, A7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
			19	A1, A7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-

ตาราง ข.3 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($s/l = 0.75$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกทุกจ W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	9	400	20	A1, A7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
			21	A1, A7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
400	9	400	18	A1, A7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
			19	A1, A7, G1, G7	ทุกหัวเสา	-
			20	A1, A7, G1, G7	A1, A7, B1 - B7, C1, C2, C5, C7, D1, D2, D5, D7, E1, E2, E5, E7, F1 - F7, G1, G7	-
			21	A1, A7, G1, G7	A1, A7, B1, B2, B5, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F2, F5, F7, G1, G7	-



ภาพที่ ข.3 ภาพแสดงแปลนพื้นไว้คานคอนกรีตอัดแรง กรณีซิกแซก

ตาราง ข.4 แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีชักแซก ($y' = 1.0\text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	6	200	10	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1, B7, D'2, D'6, F1, F7, G'2, G'4, G'6	-
			11	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, D'2, D'6, G'2, G'4, G'6	-
			12	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B'4, B7, D'2, D'6, F1, F'4, F7, G'2, G'4, G'6	-
			13	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, C'2, C'6, D'2, D'6, E'2, E'6, G'2, G'4, G'6	-
400	6	200	9	ทุกหัวเสา	A1, A3, A4, A5, A7, D2, D'6, F1, F7, G'2 - G'6	-
			10	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, D'2, D'6, F1, F7, G'2, G'4, G'6	-
			11	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, D'2, D'6, F1, F7, G'2, G'4, G'6	-
			12	ทุกหัวเสา	A1, A7, B'4, B5, D'2, D'6, F3 – F5, G'2, G'6	-
320	6	300	11	ทุกหัวเสา	A1, A3, A'4, A5, A7, B3 - B5, C3 – C5, D'2 – D'6, E3 – E5, F3 – F5, G'2 - G'6	-
			12	ทุกหัวเสา	A1, A3, A4, A5, A7, B5, D1, D'2, D'6, D7, F'4, G'2 - G'6	-

ตาราง ข.4 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีซิกแซก ($y' = 1.0\text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	6	300	13	ทุกหัวเสา	A1, A3, A4, A5, A7, B1, B'4, B5, B7, C1, C'2, C'4, C'6, C7, D1, D'2, D'4, D'6, D7, E1, E'2, E'4, E'6, E7, F1, F'4, F7, G'2, G'4, G'6	-
			14	ทุกหัวเสา	A1, A3, A4, A5, A7, C'2, C'6, D'2, D'6, E'2, E'6, G'2, G'4, G'6	-
400	6	300	11	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B3 - B5, C3 - C5 D'2 - D'6, E3 - E5, F3 - F5, G'2 - G'6	-
			12	ทุกหัวเสา	A1, A3, A4, A5, A7, B5, D'2, D'6, F'4, G'2, G'4, G'6	-
			13	ทุกหัวเสา	A1, A3, A4, A5, A7, B3 - B5, C'2, C'4, C'6, D'2, D'4, D'6, E'2, E'4, E'6, F3 - F5, G'2, G'4, G'6	-
			14	ทุกหัวเสา	A1, A3, A4, A5, A7, C'2, C'6, D'2, D'6, E'2, E'6, G'2, G'4, G'6	-
320	6	400	11	ทุกหัวเสา	A1, A3 - A5, A7, B1, B3 - B5, B7, C3 - C5 D'2 - D'6, E3 - E5, F3 - F5, G'2 - G'6	-

ตาราง ข.4 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีซิกแซก ($y' = 1.0\text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	6	400	12	ทุกหัวเสา	A1, A3 – A5, A7, B1, B3 - B5, B7, C3 – C5 D'2 - D'6, E3 – E5, F3 – F5, G'2 - G'6	-
			13	ทุกหัวเสา	A1 - A3, A5, A7, B1, B3 - B5, B7, C1, C4, C7, D1, D'2, D'4, D'6, D7, E1, E4, E7, F1, F3 – F5, F7, G1 – G7	-
			14	ทุกหัวเสา	A1, A3, A'4, A5, A7, B1, B3 – B5, B7, C'2, C'6, D'2, D'6, E'2, E'6, F1, F'4, G1, G'2, G'4, G'6, G7	-
400	6	400	11	ทุกหัวเสา	A1 – A7, B3 - B5, C3 – C5 D'2 - D'6, E3 – E5, F3 – F5, G'2 - G'6	-
			12	ทุกหัวเสา	A1, A3, A'4, A5, A7, B3 – B5, C4, D1, D'2, D'6, D7, E'4, F'4, G2, G3, G'6	
			13	ทุกหัวเสา	A1, A3, A'4, A5, A7, B1, B3 – B5, C2 – C'6, D'2-D'6, E'2 – E'6, F1, F3 – F5, F7, G'2, G3, G'6	
			14	ทุกหัวเสา	A1, A3, A'4, A5, A7, B1, B3 – B5, B7, C2, C'6, D1, D'2, D'6, D7, E'2, E7, F1, F'4, F5, F7, G'2, G3, G'6	

ตาราง ข.4 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีซิกแซก ($y' = 1.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	7.5	200	14	ทุกหัวเสา	A1, A7, B'4, C1 – C7, D1 – D7, E1 – E7, F3, F5, G1, G'2, G'4, G'6, G7	-
			15	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1 - B3, B5 - B7, C1, C2, C'6, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1, F'2, F'4, F'6, F7, G1 – G7	-
			16	ทุกหัวเสา	A1, A'2, A7, B1, B'2, B'6, B7, C1, C'2, C'6, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1, F'2, F'6, F7, G1 - G7	-
			17	-	ทุกหัวเสา	-
400	7.5	200	14	ทุกหัวเสา	A1, A7, C1, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, G1, G7	-
			15	ทุกหัวเสา	A1, A'2, A'6, A7, B1, B'2, B'4, B'6, B7, C1, C'2, C'6, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1, F'4, F7, G1, G7	-

ตาราง ข.4 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีชักแซก ($y' = 1.0\text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	7.5	200	16	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B'2, B'6, B7, C1, C2, C'6, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1, F'2, F'6, F7, G'2, G'4, G'6	-
			17	-	ทุกหัวเสา	-
320	7.5	300	14	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			15	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			16	ทุกหัวเสา	A1 - A7, B1 - B7, C1, C'2, C'4, C'6, C7, D1, D'2, D'4, D'6, D7, E1, E'2, E'4, E'6, E7, F1 - F7, G1 - G7	-
			17	-	ทุกหัวเสา	-
400	7.5	300	14	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B3 - B5, B7, C1 - C7, D1 - D7, E1 - E7, F1, F3 - F5, F7, G1 - G7	-
			15	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			16	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			17	-	ทุกหัวเสา	-

ตาราง ข.4 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีซิกแซก ($y' = 1.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	7.5	400	14	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			15	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			16	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			17	-	ทุกหัวเสา	-
400	7.5	400	14	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			15	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			16	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			17	-	ทุกหัวเสา	-
320	9	200	17	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			18	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			19	B1, B'2, B'6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F7, G'2, G'4, G'6	ทุกหัวเสา	-
			20	B'2, B'6, G'2, G'6	ทุกหัวเสา	-

ตาราง ข.4 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีซิกแซก ($y' = 1.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	9	200	17	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			18	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			19	B1, B'2, B'6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F7, G'2, G'4, G'6	ทุกหัวเสา	-
			20	B'2, B'6, G'2, G'6	ทุกหัวเสา	-
320	9	300	17	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			18	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			19	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			20	A3, A5, B1, B'2, B'4, B'6, B7, C1, C'2, C'6, C7, D1, C'2, C'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1- F7, G'2, G'4, G'6	ทุกหัวเสา	-

ตาราง ข.4 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีซิกแซก ($y' = 1.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	9	300	17	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			18	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			19	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1 - B7, C1, C'2, C'6, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1 - F7, G'2, G'4, G'6	-
			20	ทุกหัวเสา	A3, A5, B1, B'2, B'4, B'6, B7, C1, C'2, C'6, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1 - F3, F5 - F7, G'2, G'4, G'6	-
320	9	400	17	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			18	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			19	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			20	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
400	9	400	17	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			18	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			19	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			20	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-

ตาราง ข.5 แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีชักแซก ($y' = 2.0\text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา $S, (m)$	น้ำหนักบรรทุกจร $W_{LL}, (kg/m^2)$	ความหนาพื้น $t, (cm)$	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	6	200	11	ทุกหัวเสา	A1, A'2, A'6, A7	-
			12	ทุกหัวเสา	A1, A'2, A'6, A7, B1 – B7, C'2 – C'6, D'2 – D'6, E'2 – E'6, F'2 – F'6	-
			13	ทุกหัวเสา	A1, A7, B'2, B'4, B'6, C'2, C'6, D'2, D'6, E'2, E'6, F'2, F'4, F'6	-
			14	ทุกหัวเสา	A1, A7, B'2, B'6, C'2, C'6, D'2, D'6, E'2, E'6, F'2, F'6	-
400	6	200	9	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, G'2, G'6, G7	-
			10	ทุกหัวเสา	A1, A7	-
			11	ทุกหัวเสา	A1, A'2, A'6, A7	-
			12	ทุกหัวเสา	A1, A'2, A'4, A'6, A7, B'2 – B'6, C'2 – C'6, D'2 – D'6, E'2 – E'6, F'2 – F'6	-
320	6	300	11	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G'2, G7	-
			12	ทุกหัวเสา	A1, A7, G'2, G7	-
			13	ทุกหัวเสา	A1, A'2, A'4, A'6, B1 – B7, C'2 – C'6, D'2 – D'6, E'2 – E'6, F'2 – F'6	-

ตาราง ข.5 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีชักแซก ($y' = 2.0\text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	6	300	14	ทุกหัวเสา	A1, A'2, A'6, A7, B'2 – B'6, C'2 – C'6, D'2 – D'6, E'2 – E'6, F'2 – F'6	-
400	6	300	10	ทุกหัวเสา	A1, A7	-
			11	ทุกหัวเสา	A1, A7	-
			12	ทุกหัวเสา	A1, A7	-
			13	ทุกหัวเสา	A1, A'2, A'4, A'6, A7, B'2 – B'6, C'2 – C'6, D'2 – D'6, E'2 – E'6, F'2 – F'6, G3, G5	-
320	6	400	11	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, G1, G'2, G'6, G7	-
			12	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B7, G1, G'2, G'6, G7	-
			13	ทุกหัวเสา	A1, A'2, A'4, A'6, A7, B1 – B7, C'2 – C'6, D'2 – D'6, E'2 – E'6, F1, F3 – F5, F7, G3, G5	-
			14	ทุกหัวเสา	A1, A'2, A'4, A'6, A7, B'2 – B'6, C'2 – C'6, D'2 – D'6, E'2 – E'6, F'2 – F'6	-
400	6	400	10	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-
			11	ทุกหัวเสา	A1, A7, G1, G7	-

ตาราง ข.5 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีซิกแซก ($y' = 2.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	6	400	12	ทุกหัวเสา	A1, A'2, A'4, A'6, A7, G3, G5	-
			13	ทุกหัวเสา	A1, A'2, A'4, A'6, A7, B1 – B7, C'2 – C'6, D'2 – D'6, E'2 – E'6, F3 – F5, G3, G5	-
320	7.5	200	14	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			15	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1, B'2, B'6, B7, C1, C'2, C'6, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1, F'2, F'6, F7, G'2, G'4, G'6	-
			16	ทุกหัวเสา	B1, B'2, B'6, B7, G'2, G'6	-
			17	-	ทุกหัวเสา	-
400	7.5	200	14	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1, B'2, B'6, B7, C1, C2, C'6, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1, F'2, F'6, F7, G'2, G'4, G'6	-
			15	ทุกหัวเสา	B1, B7, G'2, G'6	-
			16	ทุกหัวเสา	-	-
			17	-	ทุกหัวเสา	-

ตาราง ข.5 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีซิกแซก ($y' = 2.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg / m ²)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	7.5	300	14	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			15	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			16	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1, B'2, B'4, B'6, B7, C1, C'2, C'6, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1 – F3, F5 - F7, G'2, G'4, G'6	-
			17	-	ทุกหัวเสา	-
400	7.5	300	14	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			15	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1, B'2, B'6, B7, C1, C'2, C'6, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1, F'2, F'6, F7, G'2, G'4, G'6	-
			16	ทุกหัวเสา	A1, A7, B1, B2, B6, B7, C1, C7, D1, D2, D6, D7, E1, E2, E6, E7, F2, F6, G2, G6	-
			17	-	ทุกหัวเสา	-
320	7.5	400	14	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			15	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-

ตาราง ข.5 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีซิกแซก ($y' = 2.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	7.5	400	16	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			17	B2, B6	ทุกหัวเสา	-
400	7.5	400	14	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			15	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			16	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1, B'2, B'6, B7, C1, C'2, C'6, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1, F'2, F'6, F7, G'2, G'4, G'6	-
			17	-	ทุกหัวเสา	-
320	9	200	17	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	
			18	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1, B'2, B'4, B'6, B7, C1, C'2, C'4, C'6, C7, D1, D'2, D'4, D'6, D7, E1, E'2, E'4, E'6, E7, F1 - F3, F5 - F7, G'2, G'4, G'6	-
			19	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1, B'2, B'4, B'6, B7, C1, C'2, C'4, C'6, C7, D1, D'2, D'4, D'6, D7, E1, E'2, E'4, E'6, E7, F1 - F3, F5 - F7, G'2, G'4, G'6	-

ตาราง ข.5 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีซิกแซก ($y' = 2.0\text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
320	9	200	20	ทุกหัวเสา	A3, A5, B1, B'2, B'4, B'6, B7, C1, C'2, C'4, C'6, C7, D1, D'2, D'4, D'6, D7, E1, E'2, E'4, E'6, E7, F1 - F3, F5 - F7, G'2, G'4, G'6	-
400	9	200	17	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			18	ทุกหัวเสา	A3, A5, B1, B'2, B'6, B7, C1, C'2, C'4, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1, F'2, F'6, F7, G'2, G'4, G'6	-
			19	ทุกหัวเสา	A3, A5, B1, B2, B'6, B7, C1, C'2, C'4, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1, F'2, F'6, F7, G'2, G'4, G'6	-
			20	ทุกหัวเสา	A3, A5, B1, B'2, B'6, B7, C1, C7, D1, D7, E1, E7, F1, F7, G'2, G'4, G'6	-
320	9	300	17	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			18	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			19	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			20	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-

ตาราง ข.5 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีซิกแซก ($y' = 2.0\text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา S , (m)	น้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} , (kg/m^2)	ความหนาพื้น t , (cm)	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	9	300	17	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1, B'2, B'4, B'6, B7, C1, C2, C'6, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1 - F3, F5 - F7, G'2, G'4, G'6	-
			18	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1, B'2, B'4, B'6, B7, C1 - C3, C5 - C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1 - F3, F5 - F7, G'2, G'4, G'6	-
			19	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1, B'2, B'4, B'6, B7, C1 - C3, C5 - C7, D1 - D3, D5 - D7, E1, E'2, E'4, E'6, E7, F1 - F3, F5 - F7, G'2, G'4, G'6	-
			20	ทุกหัวเสา	A1, A3, A5, A7, B1, B'2, B'4, B'6, B7, C1, C'2, C'6, C7, D1, D'2, D'6, D7, E1, E'2, E'6, E7, F1 - F3, F5 - F7, G'2, G'4, G'6	-
320	9	400	18	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			19	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			20	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			21	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-

ตาราง ข.5 (ต่อ) แสดงรายละเอียดการเสริม Drop Panel, Band Beam และ Shear Head กรณีซิกแซก ($y' = 2.0 \text{ m}$)

f'_c (ksc)	ระยะช่วงเสา $S, (m)$	น้ำหนักบรรทุกจร $W_{LL}, (kg/m^2)$	ความหนาพื้น $t, (cm)$	Grid Line No.		
				Drop Panel	Shear Head	Band Beam
400	9	400	18	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			19	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			20	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-
			21	ทุกหัวเสา	ทุกหัวเสา	-

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงข้อมูลของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม

ตาราง ค.1 ข้อมูลของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ข้อมูล	ความหนา พื้น t , (cm)	กำลังอัด คอนกรีต f'_c , (ksc)	น้ำหนัก บรรทุก W_{LL}^2 , (kg / m ²)	น้ำหนัก บรรทุก W_{LL} , (kg / m ²)	ระยะช่วงเสา Span Length S^2 , (m)	ระยะช่วงเสา Span Length S , (m)
1	11.23	320	40,000	200	36	6
2	12.07		90,000	300	36	6
3	12.56		160,000	400	36	6
4	15.99		40,000	200	56.25	7.5
5	17.07		90,000	300	56.25	7.5
6	17.58		160,000	400	56.25	7.5
7	18.95		40,000	200	81	9
8	19.01		90,000	300	81	9
9	19.10		160,000	400	81	9
10	11.03	400	40,000	200	36	6
11	11.47		90,000	300	36	6
12	12.00		160,000	400	36	6
13	14.72		40,000	200	56.25	7.5
14	15.77		90,000	300	56.25	7.5
15	16.50		160,000	400	56.25	7.5
16	18.07		40,000	200	81	9
17	18.14		90,000	300	81	9
18	18.26		160,000	400	81	9

ตาราง ค.2 ข้อมูลของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ข้อมูล	ความหนา พื้น t , (cm)	กำลังอัดคอนกรีต f'_c , (ksc)	(น้ำหนักบรรทุกจร) ² W_{LL}^2 , (kg/m ²)	(น้ำหนักบรรทุกจร) W_{LL} , (kg/m ²)	ระยะช่วงเสา Span Length S^2 , (m)	ระยะช่วงเสา Span Length S , (m)	พารามิเตอร์รูปทรง (s/l)
1	10.79	320	40,000	200	36	6	0.5
2	11.37		90,000	300	36	6	0.5
3	11.72		160,000	400	36	6	0.5
4	9.60		40,000	200	36	6	0.75
5	11.49		90,000	300	36	6	0.75
6	11.67		160,000	400	36	6	0.75
7	12.60		40,000	200	56.25	7.5	0.5
8	14.72		90,000	300	56.25	7.5	0.5
9	14.89		160,000	400	56.25	7.5	0.5
10	11.07		40,000	200	56.25	7.5	0.75
11	15.56		90,000	300	56.25	7.5	0.75
12	15.66		160,000	400	56.25	7.5	0.75
13	13.86		40,000	200	81	9	0.5
14	17.34		90,000	300	81	9	0.5

ตาราง ค.2 (ต่อ) ข้อมูลของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ข้อมูล	ความหนา พื้น t , (cm)	กำลังอัดคอนกรีต f'_c , (ksc)	(น้ำหนักบรรทุกจร) ² W_{LL}^2 , (kg/m ²)	(น้ำหนักบรรทุกจร) W_{LL} , (kg/m ²)	ระยะช่วงเสา Span Length S^2 , (m)	ระยะช่วงเสา Span Length S , (m)	พารามิเตอร์รูปทรง (s/l)
15	18.84	320	160,000	400	81	9	0.5
16	19.53		40,000	200	81	9	0.75
17	20.93		90,000	300	81	9	0.75
18	22.83		160,000	400	81	9	0.75
19	10.30	400	40,000	200	36	6	0.5
20	11.09		90,000	300	36	6	0.5
21	12.37		160,000	400	36	6	0.5
22	9.51		40,000	200	36	6	0.75
23	10.51		90,000	300	36	6	0.75
24	10.93		160,000	400	36	6	0.75
25	12.17		40,000	200	56.25	7.5	0.5
26	13.94		90,000	300	56.25	7.5	0.5
27	14.43		160,000	400	56.25	7.5	0.5
28	10.97		40,000	200	56.25	7.5	0.75

ตาราง ค.2 (ต่อ) ข้อมูลของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ข้อมูล	ความหนา พื้น t , (cm)	กำลังอัดคอนกรีต f'_c , (ksc)	(น้ำหนักบรรทุกจร) ² W_{LL}^2 , (kg/m ²)	(น้ำหนักบรรทุกจร) W_{LL} , (kg/m ²)	ระยะช่วงเสา Span Length S^2 , (m)	ระยะช่วงเสา Span Length S , (m)	พารามิเตอร์รูปทรง (s/l)
29	13.39	400	90,000	300	56.25	7.5	0.75
30	14.81		160,000	400	56.25	7.5	0.75
31	12.83		40,000	200	81	9	0.5
32	16.09		90,000	300	81	9	0.5
33	15.18		160,000	400	81	9	0.5
34	19.23		40,000	200	81	9	0.75
35	19.31		90,000	300	81	9	0.75
36	20.14		160,000	400	81	9	0.75

ตาราง ค.3 ข้อมูลของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม กรณีซิกแซก

ข้อมูล	ความหนาพื้น t , (cm)	กำลังอัดคอนกรีต f'_c , (ksc)	(น้ำหนักบรรทุกจร) ² W_{LL}^2 , (kg/m ²)	(น้ำหนักบรรทุกจร) W_{LL} , (kg/m ²)	ระยะช่วงเสา Span Length S^2 , (m)	ระยะช่วงเสา Span Length S , (m)	พารามิเตอร์รูปทรง y' , (m)
1	10.53	320	40,000	200	36	6	1
2	11.02		90,000	300	36	6	1
3	11.48		160,000	400	36	6	1
4	10.12		40,000	200	36	6	2
5	11.47		90,000	300	36	6	2
6	11.73		160,000	400	36	6	2
7	15.10		40,000	200	56.25	7.5	1
8	15.18		90,000	300	56.25	7.5	1
9	15.24		160,000	400	56.25	7.5	1
10	15.19		40,000	200	56.25	7.5	2
11	15.49		90,000	300	56.25	7.5	2
12	15.47		160,000	400	56.25	7.5	2

ตาราง ค.3 (ต่อ) ข้อมูลของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม กรณีซิกแซก

ข้อมูล	ความหนาพื้น t , (cm)	กำลังอัดคอนกรีต f'_c , (ksc)	(น้ำหนักบรรทุกจร) ² W_{LL}^2 , (kg / m ²)	(น้ำหนักบรรทุกจร) W_{LL} , (kg / m ²)	ระยะช่วงเสา Span Length S^2 , (m)	ระยะช่วงเสา Span Length S , (m)	พารามิเตอร์รูปทรง y' , (m)
13	17.71	320	40,000	200	81	9	1
14	17.99		90,000	300	81	9	1
15	18.27		160,000	400	81	9	1
16	18.04		40,000	200	81	9	2
17	18.12		90,000	300	81	9	2
18	19.86		160,000	400	81	9	2
19	9.32	400	40,000	200	36	6	1
20	10.87		90,000	300	36	6	1
21	11.06		160,000	400	36	6	1
22	9.91		40,000	200	36	6	2
23	10.18		90,000	300	36	6	2
24	10.33		160,000	400	36	6	2

ตาราง ก.3 (ต่อ) ข้อมูลของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม กรณีซิกแซก

ข้อมูล	ความหนาพื้น t , (cm)	กำลังอัดคอนกรีต f'_c , (ksc)	(น้ำหนักบรรทุกจร) ² W_{LL}^2 , (kg/m ²)	(น้ำหนักบรรทุกจร) W_{LL} , (kg/m ²)	ระยะช่วงเสา Span Length S^2 , (m)	ระยะช่วงเสา Span Length S , (m)	พารามิเตอร์รูปทรง y' , (m)
25	13.70	400	40,000	200	56.25	7.5	1
26	15.10		90,000	300	56.25	7.5	1
27	15.42		160,000	400	56.25	7.5	1
28	14.99		40,000	200	56.25	7.5	2
29	15.33		90,000	300	56.25	7.5	2
30	15.35		160,000	400	56.25	7.5	2
31	17.71		40,000	200	81	9	1
32	18.07		90,000	300	81	9	1
33	18.13		160,000	400	81	9	1
34	17.98		40,000	200	81	9	2
35	18.04		90,000	300	81	9	2
36	19.08		160,000	400	81	9	2

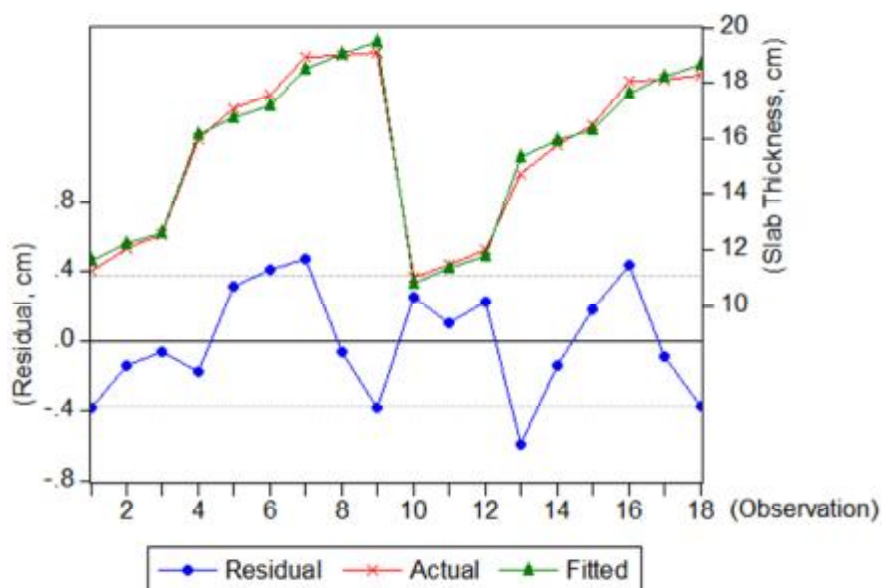
ภาคผนวก ง

ภาพแสดงผลของ Multiple Regression เมื่อพิจารณาตัวแปรต้นทุกตัวและ
กราฟแสดงค่าความหนาที่เหมาะสมจากการออกแบบ (Actual) ค่าความหนาจากสมการ (Fitted)
และค่าความคลาดเคลื่อน (Residual)

Dependent Variable: T
 Method: Least Squares
 Date: 06/03/13 Time: 11:07
 Sample: 1 18
 Included observations: 18

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FC	-0.010556	0.002232	-4.728805	0.0005
LL2	-8.92E-06	1.89E-05	-0.470768	0.6462
LL	0.010358	0.011417	0.907280	0.3821
S2	-0.495185	0.084181	-5.882395	0.0001
S	9.715000	1.264816	7.680960	0.0000
C	-27.18222	4.979318	-5.459025	0.0001
R-squared	0.988832	Mean dependent var	15.52889	
Adjusted R-squared	0.984178	S.D. dependent var	3.011601	
S.E. of regression	0.378814	Akaike info criterion	1.157658	
Sum squared resid	1.722	Schwarz criterion	1.454449	
Log likelihood	-4.418925	F-statistic	212.4928	
Durbin-Watson stat	1.494318	Prob(F-statistic)	0.000000	

ภาพที่ ง.1-1 ผลของ Multiple Regression เมื่อพิจารณาตัวแปรต้นทุกตัว กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

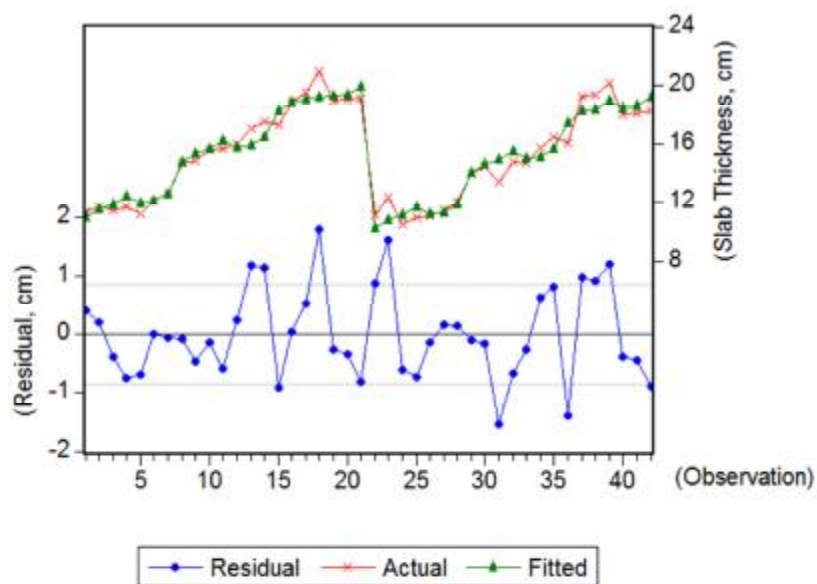


ภาพที่ ง.1-2 กราฟแสดงค่าความหนาที่เหมาะสม (ชม) จากการออกแบบ (Actual) ค่าความหนาจากสมการ (Fitted) และค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส

Dependent Variable: T
 Method: Least Squares
 Date: 06/20/13 Time: 14:41
 Sample: 1 42
 Included observations: 42

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FC_	-0.009510	0.003279	-2.900579	0.0065
LL2	2.04E-05	2.81E-05	0.728214	0.4715
LL	-0.008786	0.017506	-0.501854	0.6190
S2	-0.081205	0.124076	-0.654484	0.5172
S	3.644845	1.862259	1.957217	0.0586
SL2	-5.565106	4.596714	-1.210671	0.2344
SL	10.54417	7.014251	1.503249	0.1420
C	-8.013301	7.810702	-1.025939	0.3122
R-squared	0.940086	Mean dependent var	15.22571	
Adjusted R-squared	0.927751	S.D. dependent var	3.155542	
S.E. of regression	0.848183	Akaike info criterion	2.678204	
Sum squared resid	24.46011	Schwarz criterion	3.009188	
Log likelihood	-48.24228	F-statistic	76.21174	
Durbin-Watson stat	1.638868	Prob(F-statistic)	0.000000	

ภาพที่ ง.2-1 ผลของ Multiple Regression เมื่อพิจารณาตัวแปรต้นทุกตัว กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า

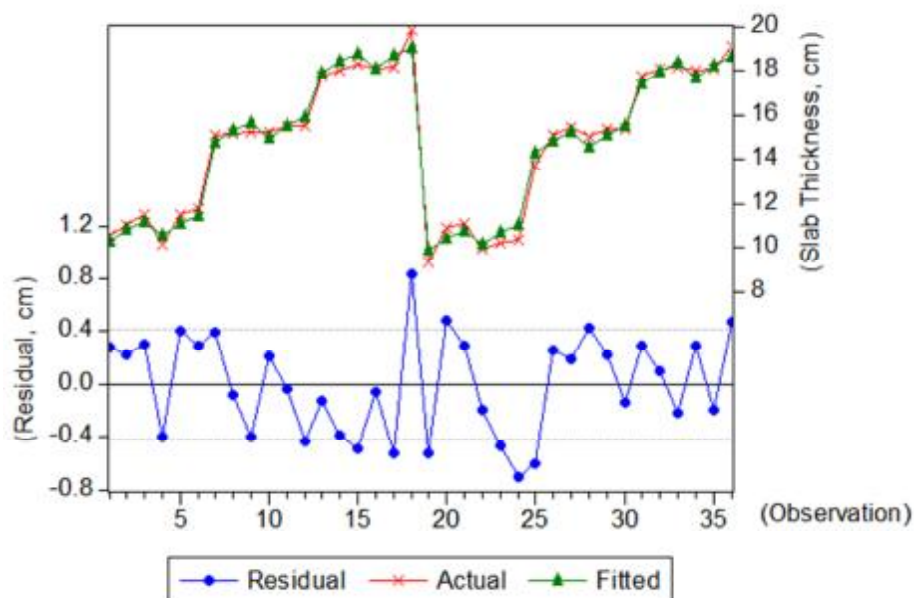


ภาพที่ ง.2-2 กราฟแสดงค่าความหนาที่เหมาะสม (ชม) จากการออกแบบ (Actual) ค่าความหนาจากสมการ (Fitted) และค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กรณีสี่เหลี่ยมผืนผ้า

Dependent Variable: T
 Method: Least Squares
 Date: 04/03/13 Time: 13:29
 Sample: 1 36
 Included observations: 36

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FC_	-0.005167	0.001746	-2.959428	0.0061
LL2	-8.33E-06	-1.48E-05	-0.562535	0.5781
LL	0.009633	0.008929	1.078835	0.2896
S2	-0.298148	0.065839	-4.52841	0.0001
S	6.999444	0.989237	7.0756	0.0000
Y	0.265556	0.139667	1.901353	0.0672
C	-21.21778	3.900052	-5.440384	0.0000
R-squared	0.985895	Mean dependent var	14.68278	
Adjusted R-squared	0.982977	S.D. dependent var	3.211415	
S.E. of regression	0.419	Akaike info criterion	1.270774	
Sum squared resid	5.091267	Schwarz criterion	1.57868	
Log likelihood	-15.87393	F-statistic	337.8412	
Durbin-Watson stat	1.960379	Prob(F-statistic)	0.000000	

ภาพที่ 3.3-1 ผลของ Multiple Regression เมื่อพิจารณาตัวแปรต้นทุกตัว กรณีซิกแซก



ภาพที่ 3.3-2 กราฟแสดงค่าความหนาที่เหมาะสม (ชม) จากการออกแบบ (Actual) ค่าความหนาจากสมการ (Fitted) และค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กรณีซิกแซก

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นางสาวพัทธนันท์ มณีชนพันธ์
วัน เดือน ปีเกิด	12 สิงหาคม 2517
สถานที่เกิด	จังหวัดเชียงใหม่
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2544 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น
ประสบการณ์ในการทำงาน	วิศวกรโยธา/โครงสร้าง บริษัท สเปน จำกัด พ.ศ. 2545 – 2547 บริษัทไทยเอนจิเนียริงคอนซัลแตนท์จำกัด พ.ศ. 2547 – 2553 บริษัท สเปน จำกัด พ.ศ. 2554 – ปัจจุบัน
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	วิศวกรโยธา/โครงสร้าง
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	126/2217 ถ.ติวานนท์ ต.ปากเกร็ด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120