



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมโยธา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง วิธีการประเมินกำลังองค์อาคารอย่างง่ายโดยไม่ทดสอบ Load Test

Estimation on Building Load Capacity without Load Test

นามผู้วิจัย นายณัฐพล สิวะโสง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ทรงพล จารุวิศิษฐ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทรงวุฒิ เสงพระธานี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ก่อโชค จันทรวงกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

วิธีการประเมินกำลังงัดอาคารอย่างง่ายโดยไม่ทดสอบ Load Test

Estimation on Building Load Capacity without Load Test

โดย

นายณัฐพล ลีวไรสง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฉัฐพล สิวะโส 2554: วิธีการประเมินกำลังองค์อาคารอย่างง่ายโดยไม่ทดสอบ

Load Test ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ทรงพล จารุวิศิษฐ์,
Ph.D. 261 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการประมาณความสามารถในการรับน้ำหนักหรือความแข็งแรงขององค์อาคารต่างๆ อย่างง่าย อันได้แก่ คาน เสา พื้น และ ฐานราก โดยอาศัยตัวแปรด้านขนาดของส่วนโครงสร้างองค์อาคารจากลักษณะทางกายภาพที่สามารถมองเห็นได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประเมินราคาอาคารสำหรับการซื้อขายหรือการรับประกันเป็นหลัก ซึ่งอาจให้ความความคลาดเคลื่อนได้มากกว่าการประมาณกำลังเพื่อวัตถุประสงค์ในด้านความแข็งแรงทางวิศวกรรม โดยได้ทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับขนาดองค์อาคารจากแบบก่อสร้างของอาคารที่ก่อสร้างจริงในปัจจุบัน มาหาความสัมพันธ์กับกำลังรับน้ำหนักขององค์อาคาร ภายใต้มาตรฐานข้อกำหนดการออกแบบ สำหรับคานได้นำข้อมูลจากการวิเคราะห์กำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด ความยาวคาน และค่า Moment of Inertia ไปสร้างสมการประมาณกำลังด้วยการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis), สำหรับเสา จะใช้ข้อมูลปริมาณหลักในหน้าตัดไปสร้างสมการความสัมพันธ์กับพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสาด้วยการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression) ด้วยสมการเส้นตรง ซึ่งจะทำได้สามารถวาดกราฟ Interaction diagram ของเสาได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์กำลังและเปรียบเทียบผลต่อไป, พื้น ใช้ค่าน้ำหนักที่รับได้สูงสุดของแผ่นพื้น (Wu) ไปสร้างสมการความสัมพันธ์กับพื้นที่รับน้ำหนักของพื้นแต่ละแผ่น ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression) ด้วยสมการเลขชี้กำลัง, ฐานราก ใช้ข้อมูลน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม ไปประมาณน้ำหนักบรรทุกที่รับได้สูงสุด (Pu)

เมื่อทำการประมาณกำลังขององค์อาคารต่างๆ แล้ว จึงหาค่าเปอร์เซ็นต์ต่างจากการประมาณเทียบกับค่ากำลังโครงสร้างจริงของคานและเสา หรืออัตราส่วนค่ากำลังรับน้ำหนักที่รับได้น้ำหนักบรรทุกจากการประมาณของพื้นและฐานราก และหาค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (pf) โดยใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นทางสถิติ โดยประยุกต์จากทฤษฎีการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการเกิดการวิบัติ

Nuttapol Siwthaisong 2011: Estimation on Building Load Capacity without Load Test. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Mr. Songpol Charuvisit, Ph.D. 261 pages.

This research has been conducted to establish the simplify estimation method or procedure to estimate the building load capacity. The estimation is based on the variables in terms of structural sizing and dimensions which can be easily clarify from building visual inspection or directly from construction drawings such as beam span length and cross section, etc. Main objective is to obtain preliminary building capacity information for other decisions such as building cost evaluation for trading or insurance, which the estimation accuracy can be less than estimation for engineering purpose. The building information used in this study has been collected from actual construction drawings. The ultimate load capacity of the building components are then calculated and statistically analyzed and compared under Ultimate Strength Design assumptions.

For beam, relationships between beam section moment capacity and span length with section inertia are statistically determined using Multiple Regression Analysis. For column, relationship between steel reinforcement ratio of column section and the column load transfer floor area is statistically determined instead, using Linear Simple Regression Analysis. With the approximated reinforcement ratio, the column interaction diagram can be obtained for further analysis and to compare with real column capacity. For floor, the maximum ultimate load capacity (W_u) is statistically determined from the area of floor slab using Exponential Simple Regression Analysis. And for foundation, the allowable service pile capacity is used to estimate the maximum ultimate transferred load (P_u) of the footing. With the obtained estimation expressions of all building components, the estimation errors in terms of percentage of estimation difference for beam and column elements, or the ratio of estimated load capacity to the approximated load transferred for floor and footing are calculated and compared with capacity of real structures. The estimation consistency (P_f) of beam and column is also statistically calculated based on the statistic theory of probability of failure.

For beam and column, it is found that the estimation error is around 30% and the estimation consistency (p_f) is about 0.40 and 0.57, respectively. For floor and footing, the ratio of estimated load capacity to approximated load transferred is larger than 1. The estimation was also compared with the results from computer modeling of buildings, which the estimation error is also found to be not more than 30%.

From all results of the estimation errors for beam and column or the ratio of load transferred for floor and footing, it can be concluded that the estimation accuracy obtained by using the proposed methods to estimate the capacity of building components is in the acceptable level for using to obtain the basic information for the purpose of building cost estimation (less than 30% error), in which if more database of the input building information is obtained, more estimation accuracy is also achievable even for the engineering purpose.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ทรงพล จารุวิศิษฐ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงวุฒิ เสงี่ยมพระธานี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ ดร.บารเมศ วรรณะภูติ ประธานการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ไม้เรียง ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่างๆรวมทั้งตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ โชติกไกร บริษัท พีพีเอส ดีไซน์ จำกัด บริษัท อินฟาร์ เทคโนโลยีเซอร์วิส จำกัด บริษัท โปรเจค แพลนนิ่ง เซอร์วิส จำกัด และบริษัทอื่นๆ ที่ไม่ประสงค์จะออกนาม ที่ได้เอื้อเฟื้อแบบอาคารสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ซึ่งได้ให้ความช่วยเหลือต่อการปฏิบัติงานด้านต่างๆ

ขอขอบคุณพี่น้องนิสิตปริญญาเอกและปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโครงสร้างทุกท่านที่ได้สนับสนุนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

ท้ายที่สุด คุณประโยชน์อันใดซึ่งได้จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณ สมาชิกในครอบครัวที่เป็นกำลังใจให้ตลอดมา และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน

ณัฐพล ล้วนไธสง

พฤษภาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(11)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(16)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	28
ผลและวิจารณ์	72
สรุปและข้อเสนอแนะ	203
สรุป	203
ข้อเสนอแนะ	208
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	217
ภาคผนวก	220
ภาคผนวก ก สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของ หน้าตัดคาน	221
ภาคผนวก ข เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างจากการประมาณค่า	235
ภาคผนวก ค ตัวอย่างแบบอาคาร	240
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	261

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตัวอย่างรายละเอียดการเก็บข้อมูลหน้าตัดคาน จากแบบโครงสร้างอาคารจริง	35
2	กำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดที่สภาวะต่างๆ	45
3	ตัวอย่างข้อมูลหน้าตัดเสา ของอาคารหอพัก 7 ชั้น	46
4	ตัวอย่างข้อมูลน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างต่อพื้นที่รับน้ำหนักของเสาของอาคารหอพัก 5 ชั้น	48
5	ตัวอย่างข้อมูลเปอร์เซ็นต์เหล็กของหน้าตัดเสา	49
6	ตัวอย่างข้อมูลเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมของหน้าตัดเสาต่อพื้นที่รับน้ำหนักรวมของอาคาร	50
7	กำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดที่สภาวะต่างๆ	58
8	กำลังของหน้าตัดเสานขนาด 35x35 cm. พื้นที่รับน้ำหนักรวม 105.275 m ² ที่สภาวะต่างๆ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ	60
9	ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลแผ่นพื้น	61
10	ตัวอย่างข้อมูลหน้าตัดคานที่ทำการแบ่งหมวดและหาค่าทางสถิติเบื้องต้นสำหรับหน้าตัดคาน 15x40 cm.	74
11	ตัวอย่างข้อมูลทางสถิติของช่วงความยาวคานช่วงต่างๆ ของหน้าตัด 15x40	75
12	สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน : Simple Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร)	79
13	ค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานและพื้นที่ของหน้าตัดคานขนาดต่างๆ ที่ความยาว 4-4.5 เมตร	81
14	ค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดจากสมการที่ได้จากกราฟประมาณกำลังของหน้าตัด กับ ข้อมูลที่ได้จากสถิติ	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	ค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานที่ได้จากสมการประมาณ กำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานจาก ค่า Moment of Inertia	84
16	ค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานที่ได้จากสมการประมาณ กำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานจาก ค่ารากที่สองของ Moment of Inertia	85
17	สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคาน จากค่า Moment of Inertia และ ความยาวคาน (Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก ของอาคารพักอาศัย 5 อาคาร)	88
18	สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคาน จาก ค่า Moment of Inertia และ ความยาวคาน (Multi Regression แบบ ถ่วงน้ำหนัก ของอาคารพักอาศัย 5 อาคาร และอาคารสาธารณะ 2 อาคาร)	89
19	ตัวอย่างการแทนค่าเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของข้อมูลทางสถิติ	91
20	ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคารโดยวิธีแทนค่าด้วยข้อมูล สถิติ	92
21	ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคารทั้ง 5 อาคาร จากวิธีแทนค่า ด้วยสถิติ	94
22	ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของ หน้าตัดคานด้วยสมการ Regression จากความยาวคาน ของแต่ละ อาคาร (ข้อมูลจากอาคารพักอาศัย 5 อาคาร)	95
23	ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของ หน้าตัดคานด้วยสมการ Regression ตัวแปรเดียว ของทั้ง 5 อาคาร	97
24	ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของ หน้าตัดคานด้วยสมการ Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก (หลายตัวแปร $f(I), f(l)$) จากอาคารพักอาศัย 5 อาคาร	98

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
25	ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของ หน้าตัดคานด้วยสมการ Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก (หลายตัวแปร $f(I), f(I)$) ของทั้ง 5 อาคาร	99
26	ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของ หน้าตัดคานด้วยสมการ Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก (หลาย ตัวแปร $f(I), f(I)$) จากอาคารพักอาศัย 5 อาคาร + อาคารสาธารณะ 2 อาคาร	100
27	ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของ หน้าตัดคานด้วยสมการ Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก (หลายตัวแปร $f(I), f(I)$) ของทั้ง 7 อาคาร	101
28	ค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของการประมาณกำลังรับโมเมนต์คัดของ หน้าตัดคาน จากค่า Min	102
29	สมการที่ใช้ประมาณกำลังของหน้าตัดคาน จากวิธี Multi Regression จากค่า Min	103
30	น้ำหนักบรรทุกทุกคงที่ของของเสาแต่ละตำแหน่งจากอาคารพักอาศัย 6 อาคาร	105
31	ตัวอย่างข้อมูลเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมของหน้าตัดเสาต่อพื้นที่รับน้ำหนัก รวมของอาคาร	106
32	กำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดที่สภาวะต่างๆ จาก การประมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา	115
33	ตัวอย่างกำลังของหน้าตัดเสานขนาด 35×35 พื้นที่รับน้ำหนักรวม 44.71 m^2 ที่สภาวะต่างๆ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ ทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53, 54)	117
34	สรุปเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟ ของหน้าตัดจริง และจากการประมาณทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53, 54) ของทุกอาคาร ในแต่ละชั้น	117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
35	สรุปเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟ ของหน้าตัดจริง และจากการประมาณทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) ของทุกอาคาร	119
36	น้ำหนักบรรทุกคงที่ของของเสาแต่ละตำแหน่งจากอาคารพักอาศัย 6 อาคาร	121
37	สรุปเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟ ของหน้าตัดจริง และจากการประมาณทั้ง 2 สมการ ของทุกอาคาร	122
38	ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลแผ่นพื้น	134
39	ค่าอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น(R)	135
40	น้ำหนักที่กระทำกับฐานรากแต่ละฐานสูงสุด จากอาคาร 6 อาคาร	141
41	ตัวอย่างค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf) ของหน้าตัดคาน ระหว่างโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจริงกับโมเมนต์ดัดที่ได้จากการประมาณ	145
42	ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf) เฉลี่ย ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจริงกับกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากการประมาณ ของอาคารทั้ง 5 อาคาร	146
43	ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf) เฉลี่ย ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจริงกับกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากการประมาณ ของอาคารทั้ง 7 อาคาร	146
44	ตัวอย่างค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf)ของน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสา ระหว่างน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับเสากับน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวม	148
45	ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf)เฉลี่ย ของน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสา ระหว่างน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับเสากับน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวม	149

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
46	ตัวอย่างการเก็บข้อมูลและเปรียบเทียบค่ากำลังรับรับโมเมนต์คดของหน้าตัดจริงกับค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการทำแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์	152
47	ตัวอย่างการเก็บข้อมูลและเปรียบเทียบค่ากำลังรับรับโมเมนต์คดของหน้าตัดจากการประมาณ(สมการในตารางที่ 29) กับค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการทำแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์	153
48	ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของแบบจำลองกับค่าทางสถิติจากการประมาณ ของอาคารพักอาศัย 5 อาคาร	154
49	ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของแบบจำลองกับค่ากำลังรับ โมเมนต์คดของอาคารจริง ของอาคารพักอาศัย 5 อาคาร	155
50	ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของแบบจำลองกับค่าทางสถิติจากการประมาณ	156
51	ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของแบบจำลองกับค่ากำลังรับ โมเมนต์คดของอาคารจริง	156
52	ตัวอย่างค่ากำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดเสาจากหน้าตัดจริงและจากการประมาณเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักจากแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์	158
53	ค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกทุกของหน้าตัดเสาที่ได้จากแบบจริงและจากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสาเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	159
54	จำนวนหน้าตัดเสาที่แรงจากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่นำมาวาดในกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาจริง แล้วแรงนั้นอยู่นอกกราฟ	162

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
55	ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานที่คำนวณได้จากแบบกับที่ได้จากการประมาณสมการ Multi Regression (7 อาคาร)	166
56	เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของข้อมูลจากการประมาณกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคาน ของอาคารตัวอย่าง	167
57	ตัวอย่างข้อมูลและการเปรียบเทียบค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดจากการประมาณ(สมการ 5 อาคาร) กับค่าแรงได้จากแบบจำลองโครงสร้าง	169
58	ตัวอย่างข้อมูลและการเปรียบเทียบค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดจากแบบจริง กับค่าแรงได้จากแบบจำลองโครงสร้าง	170
59	ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของแบบจำลอง	171
60	ตัวอย่างค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf)ของหน้าตัดคานระหว่างโมเมนต์คดของหน้าตัดคานจริงกับโมเมนต์คดที่ได้จากการประมาณ	174
61	ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf)เฉลี่ย ของกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดจริงกับกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดจากการประมาณของอาคารทั้ง 5 อาคาร	175
62	กำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดที่สภาวะต่างๆ ($\phi = 0.7$)	180
63	กำลังของหน้าตัดเสาขนาด 30x50 พื้นที่รับน้ำหนักรวม 41 m ² ที่สภาวะต่างๆ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ	181
64	สรุปเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณของอาคารสาธารณะ 2 4 ชั้น	182
65	สรุปเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณทั้ง 2 สมการของอาคารบ้าน 3 ชั้น	183

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
66	เปรียบเทียบน้ำหนักรที่ไดจากการประมาณกับน้ำหนักรที่ไดจาก แบบจำลอง	186
67	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ต่างของน้ำหนักรที่ไดจากการประมาณกับน้ำหนักร ที่ไดจากแบบจำลอง	187
68	ตัวอย่างค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (pf) ของน้ำหนักรที่กระทำ กับหน้าตัดเสา ระหว่างน้ำหนักรบรรทุกทุกครั้งที่กระทำกับเสากับ น้ำหนักรบรรทุกทุกครั้งที่ไดจากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรรวม	193
69	ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (pf) ของน้ำหนักรที่กระทำกับเสา (เปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักรจากแบบจำลองกับน้ำหนักรบรรทุกทุกครั้งที่ จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรรวม)	194
70	ตารางบันทึกข้อมูลแผ่นพื้นอาคารสาธารณะ 2	197
71	ตารางบันทึกข้อมูลแผ่นพื้นอาคารบ้าน 3 ชั้น	199
72	ค่า R และ R_{app} เฉลี่ยของอาคารวนศาสตร์ 2 และบ้าน 3 ชั้น	201
73	น้ำหนักรที่กระทำกับฐานรากแต่ละฐานสูงสุด จากอาคาร สาธารณะ 2 และบ้าน 3 ชั้น	202
74	สรุปค่าจากการแทนค่าด้วยวิธีต่างๆ ของหน้าตัดคาน	204
75	สรุปค่าจากการแทนค่าด้วยวิธีต่างๆ หน้าตัดคาน ของอาคารตัวอย่าง	205
76	น้ำหนักรบรรทุกทุกครั้งที่ของของเสาแต่ละตำแหน่ง	205
77	สรุปค่าจากการแทนค่าด้วยวิธีต่างๆ ของเสา	206
78	สรุปค่าจากการแทนค่าด้วยวิธีต่างๆ ของเสาอาคารตัวอย่าง	206
79	คุณสมบัติเชิงสถิติของน้ำหนักรบรรทุกจร	209
80	อัตราส่วนอัตราส่วนน้ำหนักรที่ไดจากโมเดลกับน้ำหนักรปลอดภัย ของเสาเข็ม	210

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
81	แรงที่ได้จากการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดเสาขนาด 68x80 cm. และ 15x23.5 cm.	212
82	แรงที่ได้จากการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดเสาขนาด 20x40 cm. และ 40x20 cm.	213
83	แรงที่ได้จากการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดเสาขนาด 20x40 cm. และ 30x30 cm.	215
ตารางผนวกที่		
ก1	สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน : Simple Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร)	222
ก2	สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Continuous Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร)	223
ก3	สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Cantilever Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร)	224
ก4	สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Simple + Continuous Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร)	225
ก5	สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Simple Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร+ อาคารสาธารณะ 2 อาคาร)	226
ก6	สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Continuous Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร+ อาคารสาธารณะ 2 อาคาร)	228

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก7 สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Cantilever Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร+ อาคารสาธารณะ 2 อาคาร)	230
ก8 สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Simple Beam + Continuous Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร+ อาคารสาธารณะ 2 อาคาร)	232
ข1 เปรอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ใต้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ ทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	236
ข2 เปรอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ใต้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารคอนโด 5 ชั้น	236
ข3 เปรอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ใต้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารคอนโด 7 ชั้น	237
ข4 เปรอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ใต้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ ทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารหอพักอาศัย 7 ชั้น	237
ข5 เปรอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ใต้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	238
ข6 เปรอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ใต้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารสาธารณะ 12 ชั้น	238
ข7 เปรอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ใต้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ ทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารสาธารณะ 3 (11 ชั้น)	239

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนภูมิมาตรฐาน AHP	6
2	ขั้นตอนการทำงานของระบบ Mid – Rise	10
3	กราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา	14
4	กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนกับ Y	19
5	การกระจายของกำลังรับน้ำหนักและแรงจากน้ำหนักบรรทุกใน ชิ้นส่วนโครงสร้างแสดงถึงความน่าจะเป็นของวิบัติของโครงสร้าง	21
6	ความน่าจะเป็นของการวิบัติของโครงสร้าง	22
7	การหาความน่าจะเป็นของการวิบัติในพจน์ของ R และ S	23
8	ฟังก์ชันความหนาแน่นของการวิบัติ	24
9	การแจกแจงปกติมาตรฐาน	26
10	คานช่วงเดียว (Simple Beam)	29
11	คานต่อเนื่อง(Continuous Beam)	29
12	คานยื่น (Cantilever Beam)	30
13	ตัวอย่างหน้าตัดคานที่เก็บรวบรวมข้อมูล	30
14	รายละเอียดแบบของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	38
15	พื้นที่พื้นที่พิจารณาในการรับน้ำหนักของอาคารในแต่ละชั้น	40
16	กราฟความเกี่ยวพันของหน้าตัดเสา (Interaction Diagram)	45
17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รับน้ำหนักของอาคารกับ เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมของหน้าตัดเสา	52
18	Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา จากแบบก่อสร้างจริง และ จากวิธีทางสถิติ	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	กราฟความเกี่ยวพันของหน้าตัดเสาจากการประมาณปริมาณเหล็กเสริม (Interaction Diagram)	59
20	แบบแปลนคานของอาคารที่จะทำแบบจำลอง	67
21	แปลนคานของแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์	68
22	วิเคราะห์หาแรงกระทำกับโครงสร้างอาคาร	68
23	กราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานขนาด 20x40 cm. ที่ตำแหน่งจุดรองรับ (At Support)	77
24	กราฟความสัมพันธ์กำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานขนาด 20x40 cm. ที่ตำแหน่งกึ่งกลางคาน (At MidSpan)	77
25	กราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากพื้นที่หน้าตัดคาน ช่วงความยาวคาน 4-4.5 m.	81
26	กราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากค่า Moment of Inertia ที่ช่วงความยาวคาน 5.5-6.0 m.	83
27	กราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากค่า รากที่สองของค่า Moment Of Inertia ที่ช่วงความยาวคาน 5.5-6.0 m.	85
28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รับน้ำหนักของอาคารกับเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมของหน้าตัดเสา	108
29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รับน้ำหนักของอาคารกับเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมของหน้าตัดเสา โดยแบ่งพื้นที่การรับน้ำหนักออกเป็นช่วงๆ ละ 10 m^2	109
30	Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา จากแบบก่อสร้างจริง และจากวิธีทางสถิติ	111

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
31	กราฟความเกี่ยวพันของหน้าตัดเสา (Interaction Diagram) ขนาด 35x35 cm. จากการประมาณปริมาณเหล็กเสริม	116
32	เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดจริงกับหน้าตัด จากการประมาณในแต่ละชั้นของทั้ง 7 อาคาร	118
33	เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดจริงกับหน้าตัด จากการประมาณ	120
34	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ ของแผ่นพื้นทางเดียว	136
35	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ ของแผ่นพื้นสองทาง	137
36	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ ของแผ่นพื้นทางเดียวของปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุด(ρ_{min})	139
37	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ ของแผ่นพื้นสองทางของปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุด(ρ_{min})	139
38	แบบแปลนโครงสร้างคานจากแบบจริงกับแบบจำลองด้วย คอมพิวเตอร์	150
39	แรงที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร	151
40	ตัวอย่าง Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาที่ได้จากหน้าตัดจริง, จากการประมาณจากสมการที่ 53, ค่าแรงที่ได้จากแบบจำลอง โครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ที่อยู่ใน Interaction Diagram)	161
41	ตัวอย่าง Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาที่ได้จากหน้าตัดจริง, จากการประมาณจากสมการที่ 53, ค่าแรงที่ได้จากแบบจำลอง โครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ที่อยู่ใน ไม่อยู่ใน Interaction Diagram)	161

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
42	ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยคอมพิวเตอร์ของอาคาร ตัวอย่าง	168
43	กราฟความเกี่ยวพันของหน้าต่างคเสา (Interaction Diagram) จาก ปริมาณเหล็กเสริมจากการประมาณ	180
44	กราฟความเกี่ยวพันของหน้าต่างคเสา (Interaction Diagram) ของ หน้าต่างคเสา ขนาด 30x50 cm จากหน้าต่างจริงและจากการประมาณ	181
45	เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ได้กราฟของหน้าต่างจริงกับหน้าต่าง จากการประมาณของอาคารสาธารณะ 2	183
46	เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ได้กราฟของหน้าต่างจริงกับหน้าต่าง จากการประมาณของอาคารบ้าน 3 ชั้น	184
47	ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยคอมพิวเตอร์ของอาคาร ตัวอย่าง	185
48	ตัวอย่าง Interaction Diagram ของหน้าต่างคเสาที่ได้จากหน้าต่างจริง, จากการประมาณ, คำนวณน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์และจากการประมาณค่าจากพื้นที่รับ น้ำหนักรวมของอาคาร สาธารณะ 2	189
49	ตัวอย่าง Interaction Diagram ของหน้าต่างคเสาที่ได้จากหน้าต่างจริง, จากการประมาณ, คำนวณน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่อยู่นอก Interaction Diagram ของ อาคาร สาธารณะ 2	189
50	ตัวอย่าง Interaction Diagram ของหน้าต่างคเสาที่ได้จากหน้าต่างจริง, จากการประมาณ, คำนวณน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์และจากการประมาณค่าจากพื้นที่รับ น้ำหนักรวมของอาคารบ้าน 3 ชั้น	190

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
51	Fixed End Moment ที่กระทำกับหน้าตัดกลาง	210
52	เปรียบเทียบแรงที่ได้จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์กับแรงที่ได้จากการประมาณค่า ใน Interaction Curve ของหน้าตัดเสา	211
53	หน้าตัดเสาที่มีหน้าตัดต่างกันแต่เสริมเหล็กปริมาณเท่ากัน	212
54	Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาที่มีพื้นที่หน้าตัดต่างกัน	212
55	หน้าตัดเสาที่มีหน้าตัดเท่ากันแต่เสริมเหล็กปริมาณต่างกัน	213
56	Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาที่มีพื้นที่หน้าตัดที่เท่ากัน	214
57	หน้าตัดเสาที่มีหน้าตัดต่างกันแต่เสริมเหล็กปริมาณเท่ากัน	214
58	Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาที่มีหน้าตัดต่างกัน	215

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ว.ศ.ท.	=	สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์
a	=	ความลึกของบล็อกหน่วยแรงอัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเทียบเท่าในคอนกรีต มีค่า $= \beta_1 c$
a	=	ระดับนัยสำคัญ
ACI	=	America Concrete Institute
Ag	=	เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเสาปलอกเดียว
AHP	=	Analytic Hierarchy Process
As	=	เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กเสริมรับแรงดึง
As'	=	เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กเสริมรับแรงอัด
Ast	=	เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กขี้นในเสา
ASTM	=	the American Society for Testing and Materials
Av	=	เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่มีระยะเรียงเท่ากับ s
b	=	ความกว้างของผิวด้านรับแรงอัดของส่วนโครงสร้างที่รับแรงอัด
b	=	อัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นของแผ่นพื้นสองทาง
β_1	=	ตัวคูณประกอบสำหรับความลึกของบล็อกหน่วยแรงอัดเทียบเท่า ($=a/c$)
BS	=	British Standards
c	=	ระยะจากขอบผิวที่เกิดแรงอัดสูงสุดไปยังแกนสะเทินของรูปตัดคานหรือรูปตัดเสา

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

C	=	สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์คัต สำหรับแผ่นพื้นสองทาง
d	=	ความลึกประสิทธิภาพ ระยะจากผิวนอกสุดด้านรับแรงอัดไปยัง จุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมรับแรงดึง
d	=	ระยะจากจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมรับแรงดึงถึงผิวนอกสุดของ คอนกรีตที่รับแรงอัด
d'	=	ระยะจากผิวนอกสุดด้านรับแรงอัดไปยังจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริม รับแรงอัด
DB	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของเหล็กเส้น
DL	=	น้ำหนักบรรทุกคงที่
Ec	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
ϵ_x	=	หน่วยการยืดหดตัวของคอนกรีต
Es	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม
ϵ_s	=	หน่วยการยืดหดตัวของเหล็กเสริมรับแรงดึง
ϵ_{σ}	=	หน่วยการยืดหดตัวของเหล็กเสริมรับแรงดึง
$\epsilon_{s'}$	=	หน่วยการยืดหดตัวของเหล็กเสริมรับแรงอัด
ϵ_u	=	หน่วยการยืดหดตัวสูงสุดของคอนกรีต
ϵ_v	=	หน่วยการยืดหดตัวสูงสุดของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 0.003
ϵ_{ψ}	=	หน่วยการยืดหดตัวของเหล็กเสริมที่จุดคราก
ϕ	=	ตัวคูณลดกำลังต้านทาน

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

f_c'	=	กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน
f_s	=	หน่วยแรงดึงของเหล็กเสริมรับแรงดึง
f_s'	=	หน่วยแรงอัดของเหล็กเสริมรับแรงอัด
f_y	=	หน่วยแรงดึงหรือหน่วยแรงอัดที่จุดครากของเหล็กเสริม
I	=	โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัด
L	=	ระยะด้านยาวของแผ่นพื้น
L	=	ความยาวคาน
LL	=	น้ำหนักบรรทุกจร
m	=	อัตราส่วนระหว่างด้านสั้นและด้านยาวมีค่าเท่ากับ S/L
μ	=	ค่าเฉลี่ยของประชากร
Mean	=	ค่าเฉลี่ย
M_n	=	กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุด ของโครงสร้าง
μ	=	โมเมนต์ดัดประลัยที่กระทำ
μ CANTI	=	กำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดของคานยื่น (ton.m)
μ MID	=	กำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดที่ Mid Span (ton.m)
μ SUP	=	กำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดที่ Support (ton.m)
μ_{canti}	=	โมเมนต์ดัดประลัยที่ของคานยื่น
μ_{mid}	=	โมเมนต์ดัดประลัยที่กึ่งกลางคาน
μ_{sup}	=	โมเมนต์ดัดประลัยที่จุดรองรับ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

N	= อัตราส่วนโมดูลัส
n	= จำนวนข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง
P_0	= กำลังต้านทานแรงอัดของเสาต้น
P_f	= ความน่าจะเป็นเกิดการวิบัติ
P_f	= ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ
P_n	= กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของเสา
P_u	= แรงอัดประลัยที่กระทำ
r	= อัตราส่วนของเนื้อที่เหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่ประสิทธิภาพของคอนกรีต
R	= ค่าอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น
R	= ค่าอัตราส่วนน้ำหนักที่รับได้ของฐานรากต่อน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
R^2	= ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบพหุคูณ
R_{app}	= อัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นจากสมการประมาณกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น
R_{app}	= ค่าอัตราส่วนน้ำหนักที่รับได้ของฐานรากต่อน้ำหนักที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสา ต่อน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

ρ_b	= อัตราส่วนของเหล็กเสริมซึ่งทำให้เกิดภาวะสมดุลก่อนเกิดการวิบัติ
ρ_β	= อัตราส่วนเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุล
ρ_{min}	= อัตราส่วนเหล็กเสริมที่ต้องการน้อยที่สุด
R_u	= ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับด้านทาน โมเมนต์คดปลาย
σ	= ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
S, L	= ระยะจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางระหว่างที่รองรับด้านสั้นและด้านยาวตามลำดับ
σ^2	= ค่าความแปรปรวน
SD	= ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SF	= Safety Factor
t	= ความหนาของแผ่นพื้น
W_u	= น้ำหนักบรรทุกที่คูณด้วยตัวคูณแล้วต่อหน่วยพื้นที่
$\bar{x}$	= ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกลุ่มตัวอย่าง

วิธีการประเมินกำลังองค์อาคารอย่างง่ายโดยไม่ทดสอบ Load Test

Estimation on Building Load Capacity without Load Test

คำนำ

การที่จะประเมินกำลังโครงสร้างของอาคารที่ก่อสร้างในอดีต หรืออาคารที่ผ่านการใช้งานมานานหลายปี โดยแบบก่อสร้างอาคารและแบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอาคารอาจสูญหายไป หรือไม่สามารถหาแบบโครงสร้างของอาคารนั้นได้ และอาคารเก่าที่ถูกทิ้งร้างในช่วงประสบปัญหาสถานะเศรษฐกิจ ปี 2540 จนไม่สามารถดำเนินการก่อสร้างให้แล้วเสร็จ เป็นสิ่งที่กระทำได้ลำบาก ซึ่งถ้าหากต้องการทราบกำลังที่แท้จริงของโครงสร้างอาคาร จำเป็นต้องมีการทดสอบทางวิศวกรรม ซึ่งการทดสอบที่นิยมมีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีก็มีจุดมุ่งหมายแตกต่างกันออกไป การทดสอบทางวิศวกรรมมีทั้งการทดสอบแบบทำลายและไม่ทำลาย ซึ่งแต่ละการทดสอบย่อมมีจุดประสงค์ของการทดสอบที่แตกต่างกัน เช่นถ้าต้องการทราบกำลังของโครงสร้างคอนกรีต อาจต้องทำการเจาะทดสอบ (Core Testing) แล้วนำแท่งคอนกรีตไปทดสอบหาลำดับรับแรงอัด หรือทำการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เครื่อง Rebound Hammer โดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับของ Steel Hammer การทดสอบวิธีนี้สามารถนำไปประเมินหาลำดับรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต ณ สภาพปัจจุบันได้ หรือถ้าหากต้องการทราบค่าการแอ่นตัวของคาน พื้น หรือการนำหนักสูงสุดของโครงสร้าง อาจต้องทำการทดสอบด้วยวิธี Load Test ซึ่งแต่ละวิธีที่ยกตัวอย่างมาข้างต้นนั้น เป็นวิธีการที่ค่อนข้างมีความยุ่งยากในการทดสอบ อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายสูงในการทดสอบอีกด้วย

ผู้ที่ต้องการทราบกำลังของโครงสร้างอาคารนั้นๆ ไม่สามารถที่จะประเมินกำลังโครงสร้างได้ด้วยตนเองจำเป็นต้องจ้างบริษัทที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านในการทดสอบแต่ละประเภท การทดสอบอาจใช้ระยะเวลานาน และมีความยุ่งยาก หากผู้ที่ต้องการทราบกำลังของโครงสร้างอาคารนั้น ไม่ใช่เจ้าของอาคารจำเป็นต้องขออนุญาตเจ้าของอาคารเพื่อทำการทดสอบ ซึ่งอาจเกิดความยุ่งยากและไม่สะดวกในการทดสอบ โดยหากผู้ที่ต้องการทราบกำลังของโครงสร้างอาคารต้องการผลที่รวดเร็ว เพื่อตัดสินใจอย่างหนึ่งอย่างใด เช่น การประเมินกำลังอาคารเพื่อพิจารณาเช่าอาคารหรือซื้ออาคารเพื่อต่อเติม ตกแต่ง หรือเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์การใช้งาน การประเมินกำลังอาคารเพื่อทำประกันภัย ก็ไม่สามารถทำได้ อีกทั้งค่าทดสอบนั้นอาจมีราคาที่สูงและอาจจะไม่คุ้มค่าในการทดสอบ เพราะยังไม่ได้ตัดสินใจที่จะเช่าหรือซื้ออาคารนั้น

ด้วยเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงถูกจัดทำขึ้นเพื่อหาวิธีการประมาณการรับน้ำหนักของอาคารอย่างง่าย ในรูปแบบของตัวแปรด้านขนาดของส่วนโครงสร้าง องค์อาคารต่างๆ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ง่ายและรวดเร็วจากแบบก่อสร้าง หรือประเมินได้ด้วยตาเปล่า จากลักษณะทางกายภาพที่สามารถมองเห็น เช่นขนาดของคาน ความยาวคาน เป็นต้น ทั้งนี้การประเมินกำลังของอาคารในการศึกษานี้ สามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องมีการทดสอบทางวิศวกรรม เช่น Load Test ที่มีความยุ่งยากและใช้เวลาในการทดสอบ แต่อาศัยข้อมูลขนาดขององค์อาคารที่เก็บรวบรวมได้จากอาคารที่ก่อสร้างจริงในปัจจุบัน หรือดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จ แต่ยังคงมีข้อมูลในการก่อสร้างเก็บรักษาอยู่ มาหาความสัมพันธ์กับกำลังรับน้ำหนักขององค์อาคารตามทฤษฎี ภายใต้มาตรฐานข้อกำหนดตามการออกแบบ โดยพิจารณาตัวแปรด้านขนาดขององค์อาคารต่างๆ เป็นหลัก ซึ่งทำให้สามารถประเมินสภาพอาคารได้อย่างคร่าวๆ และรวดเร็ว ท้ายสุดจึงนำความสัมพันธ์ดังกล่าวจะสามารถนำมาใช้ในการประเมินกำลังโครงสร้างของอาคารอย่างง่ายได้ เพื่อใช้ในการประมาณราคาโครงสร้างของอาคารเพื่อทำประกันภัยอาคาร หรือตัดสินใจเกี่ยวกับอาคารที่วิเคราะห์หรือต้องการทราบกำลังได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาวิธีอย่างง่ายและรวดเร็วในการประเมินกำลังของโครงสร้างอาคารโดยไม่ต้องทำการทดสอบ Load Test
2. เพื่อสร้างแบบจำลองอาคารอย่างง่ายในการประเมินกำลังอาคารเพื่อทำการเปรียบเทียบผล
3. เพื่อทำการศึกษาการจัดทำฐานข้อมูลองค์อาคารในรูปแบบตาราง ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆ อีกต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

1. ข้อมูลที่จัดเก็บรวบรวมเป็นข้อมูลในโครงการก่อสร้างจริง โดยข้อมูลในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 9 อาคาร ประกอบด้วยอาคารที่จัดเก็บข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ของโครงสร้างอาคารต่างๆ 7 อาคาร และอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการประมาณกำลังโครงสร้างอาคาร 2 อาคาร
2. ข้อกำหนดต่างๆ ในการออกแบบ เช่น ค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน ค่าในการออกแบบ ถูกต้องตามข้อกำหนด หรือกฎหมายของท้องถิ่นนั้นๆ เช่น น้ำหนักบรรทุกจร แรงลม เป็นต้น (ข้อมูลอาคารของงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลภายในประเทศ)
3. จากข้อมูลที่ได้และใช้ในการวิเคราะห์จะถือว่าอาคารก่อสร้างจริงถูกต้องตามแบบและตามฐานข้อมูลที่สร้างขึ้น
4. ไม่พิจารณาปัจจัยด้านเวลา และการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง
5. งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประมาณกำลังโครงสร้างของอาคารเพื่อใช้ประโยชน์ในการการประมาณราคาของโครงสร้างอาคารเพื่อใช้ทำประกันภัย ซึ่งไม่ได้มุ่งเน้นในการประมาณกำลังทางด้านวิศวกรรมโครงสร้าง โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณกำลังยังยอมรับได้สำหรับการประมาณราคาของโครงสร้างอาคาร

การตรวจเอกสาร

1. งานวิจัยที่ผ่านมา

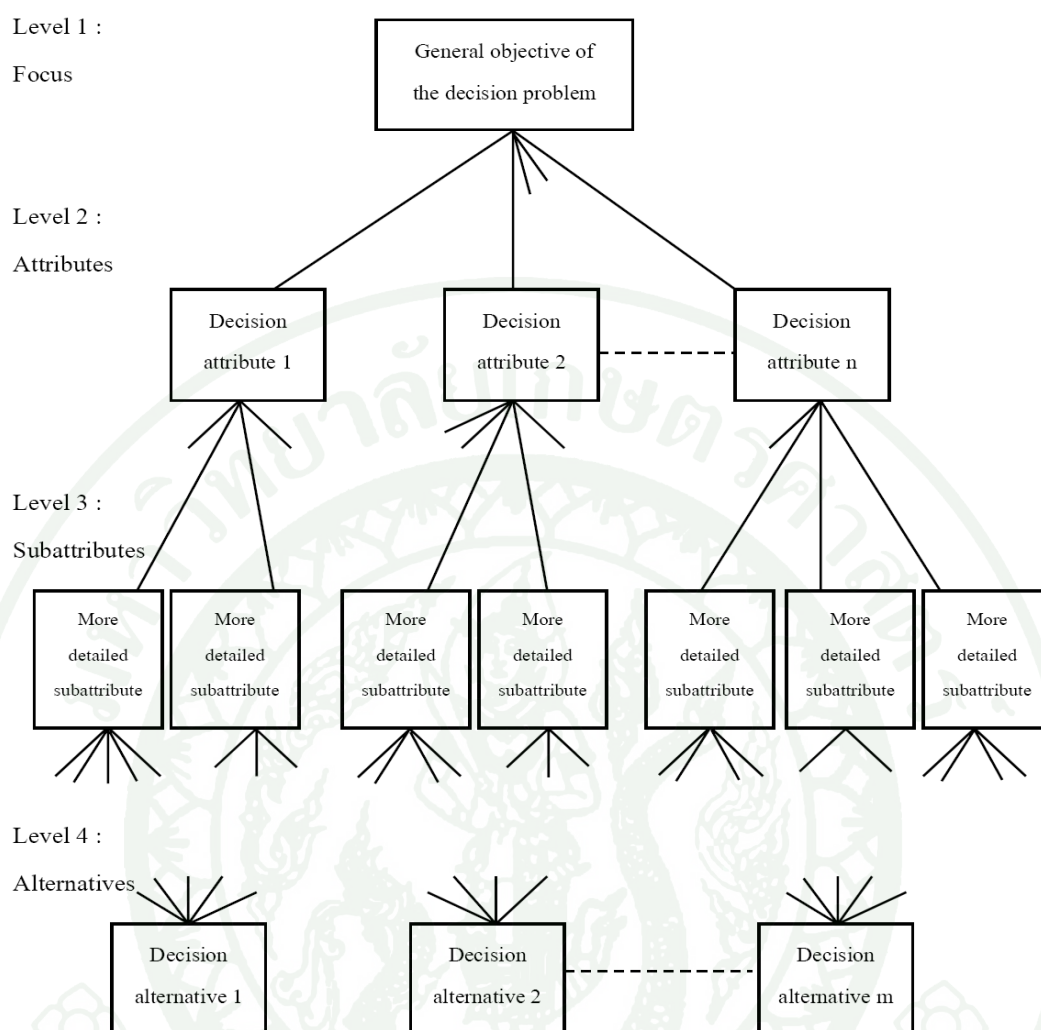
การที่จะประเมินกำลังโครงสร้างของอาคารที่ก่อสร้างในอดีต หรืออาคารที่ผ่านการใช้งานมานานหลายปี อาคารเก่าที่ถูกทิ้งร้างในช่วงประสบปัญหาสภาวะเศรษฐกิจ ปี 2540 จนไม่สามารถดำเนินการก่อสร้างให้แล้วเสร็จเป็นสิ่งที่อาจทำได้ยาก จึงทำให้เกิดแนวความคิดและงานวิจัยเพื่อที่จะหาวิธี หรือสร้างระบบประเมินอาคารที่ถูกทิ้งร้างเนื่องจากยุติการก่อสร้างทั้งในเชิงการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และในเชิงวิศวกรรม หรือประเมินสภาพอาคารที่ใช้งานอยู่จริง แต่ต้องการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์การใช้ประโยชน์ของอาคาร เพื่อให้อาคารสามารถใช้ประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น อย่างเช่นในการศึกษาของ ไตรรัตน์ (2547) ได้ทำการศึกษาและวิจัยเรื่องสถานการณ์อาคารขนาดใหญ่ที่ยุติการก่อสร้างในเขตกรุงเทพมหานคร วัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลของอาคารขนาดใหญ่ที่ยุติการก่อสร้าง นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 จนถึง พ.ศ. 2543 ในด้านสภาพทางกายภาพและข้อมูลทางการเงิน โครงการประโยชน์สำหรับการวิจัยนี้คือ การวางแผนแก้ปัญหาโครงการอสังหาริมทรัพย์ที่ยุติการก่อสร้างให้สามารถดำเนินโครงการต่อไปได้ ซึ่งเป็นการวางแผนการใช้พื้นที่โครงการที่ยุติการก่อสร้าง และเป็นแนวทางในการ วางแผนการลดปัญหาผลพิษอันเกิดจากโครงการและมีส่วนในการคลี่คลายปัญหานี้ที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ในภาคอสังหาริมทรัพย์ จากการศึกษาโครงการอาคารขนาดใหญ่ที่ยุติการก่อสร้าง มีทั้งสิ้น 294 โครงการ โดยการนับจำนวนโครงการดังกล่าว นับตามการยื่นขออนุญาตปลูกสร้างอาคาร สำหรับจำนวนอาคารนั้น มีทั้งสิ้น 508 หลัง แบ่งทำเลที่ตั้งอาคารเป็น 3 พื้นที่ใหญ่ ๆ คือ กรุงเทพฯ ชั้นใน กรุงเทพฯชั้นกลาง และกรุงเทพฯชั้นนอก จากผลการศึกษาสรุปได้เป็น 2 ประเด็น

ประเด็นแรกคือ การปรับปรุงโครงการเหล่านี้ให้สอดคล้องกับความต้องการตลาด ตัวอย่างเช่น “มีโครงการที่อยู่อาศัยราคาสูงในเมืองที่ก่อสร้างค้างมาก ในขณะที่ประชาชนระดับกลาง-ล่าง ยังมีความต้องการที่อยู่อาศัย การปรับปรุงทางด้านกายภาพโครงการเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวในหลักการแล้วสามารถทำได้ภายใต้ความร่วมมือกันของทุกฝ่ายทั้งภาครัฐที่จะกำหนดความยืดหยุ่นในเรื่องกฎระเบียบข้อบังคับ ภาคเอกชนที่ต้องปรับแผนการตลาด-การลงทุนที่เหมาะสม หรือแม้กระทั่งการปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์จากอาคารใช้สอยแบบผสม (ที่อยู่อาศัย-สำนักงาน-พาณิชย์-ที่จอดรถ) มาเป็นใช้สอยเฉพาะอย่างตามศักยภาพของพื้นที่และตามสภาพ

การก่อสร้างจริง เช่น ปรับเป็นอาคารชุดพักอาศัยสูงปานกลาง ราคาปานกลางในเมือง (low rise city condo)”

ส่วนประเด็นที่สองเป็นประเด็นทางวิชาการ คือ “การศึกษาให้ลึกซึ่งถึงแนวคิดทฤษฎีของการปรับเปลี่ยนพื้นที่ใช้สอยของอาคาร ในสภาพที่เปลี่ยนแปลงไปของสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจเพราะอายุอาคารเหล่านี้ประมาณ 30-50 ปี ในขณะที่วงจรธุรกิจและการเปลี่ยนแปลงทางสังคม วัฒนธรรมจะเปลี่ยนทุก 5-10 ปี อาคารที่มีประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ในวันนี้อาจเป็นอาคารร้างในอนาคต เพราะการออกแบบที่ยึดติดกับอาคารใช้สอยเฉพาะเกินไป”

ในด้านการประเมินสภาพของอาคาร ได้มีการศึกษาเพื่อที่จะพยายามในการประเมินสภาพของอาคาร โดยเฉพาะอาคารที่ถูกทิ้งไว้ในช่วงเศรษฐกิจถดถอยปี 2540 โดยการพิจารณาเหตุผลด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อพิจารณาสภาพอาคาร โดยรวมว่ามีความเหมาะสมที่จะพัฒนาอาคารต่อไปอีกหรือไม่ โดยการศึกษาของ กฤษ (2545) ได้พัฒนาระบบประเมินสภาพอาคารที่ถูกทิ้งร้างในช่วงเศรษฐกิจถดถอย การพิจารณาเหตุผลด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปสร้างเกณฑ์หรือประเด็นที่ต้องการประเมิน แล้วนำเกณฑ์ที่ได้ไปหาค่าน้ำหนักจากวิธีทางคณิตศาสตร์ (Analytic Hierarchy Process; AHP) โดยให้กลุ่มผู้มีประสบการณ์ทางด้านอาคารเป็นผู้ให้น้ำหนัก



ภาพที่ 1 แผนภูมิมาตรฐาน AHP

ที่มา: กฤษ (2545)

โดย Analytic Hierarchy Process หรือเรียกย่อว่า AHP เป็นกระบวนการวินิจฉัยเหตุผลด้านต่างๆ เพื่อนำผลที่ได้มาช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งสามารถนำวิธีการนี้มาประยุกต์ใช้ได้ในการวางแผนธุรกิจหลายสาขา เช่น การตัดสินใจทางการตลาด การวางแผนด้านขนส่ง การวางแผนเชิงกลยุทธ์สำหรับการลงทุน การวิเคราะห์ผลตอบแทนและต้นทุน นอกจากนี้ยังใช้ได้ในการวางแผนจัดงบประมาณของภาครัฐ การประเมินผลทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรม การแพทย์ การวางแผนนโยบายทางด้านเศรษฐกิจ สังคม การศึกษา การปกครอง การต่างประเทศ และการทหาร เป็นต้น ข้อดีของวิธี AHP นี้ ก็คือสามารถที่จะจัดลำดับความสำคัญก่อนหลังของปัญหาที่มีความซับซ้อนยุ่งยาก หรือปัญหาที่ต้องพิจารณาเหตุผลทุกด้าน ทุกตัวบุคคล และทุกช่วงเวลา ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในเวลาพร้อม ๆ กัน เพื่อให้ได้ผลการตัดสินใจที่เป็นประโยชน์มากที่สุด ทั้งนี้จากการทำแบบสอบถามจำนวน 15 ชุด โดยส่งไปยังวิศวกรผู้มีประสบการณ์ 8 – 12 ปีขึ้นไป

โดยผู้ที่ตอบแบบสอบถามทั้งหมด เคยทำงานในเขตกรุงเทพมหานคร ผลที่ได้จากแบบสอบถาม กล่าวโดยสรุปตัวเลขน้ำหนักในแต่ละเกณฑ์ที่ได้ จากการศึกษาความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามได้ให้ความสำคัญ อันดับที่หนึ่ง ในเรื่องความมั่นคงแข็งแรงของอาคารทั้งในส่วนอันดับที่สอง ด้านกายภาพของอาคารที่เสื่อมสภาพ ด้านความยากง่ายในการแก้ไขเปลี่ยนแปลง และอันดับที่สาม ด้านค่าใช้จ่าย

จึงนำผลที่ได้ไปเทียบเป็นเกรดหรือคะแนนร้อยละของสภาพอาคารนั้นๆ ว่าอาคารหลังนั้นอยู่ในเกณฑ์ใด ระบบวิธีการประเมินดังกล่าวสามารถจัดลำดับสภาพการทั้งร้างที่มีผลการตัดสินใจจากมากไปหาน้อยได้ ซึ่งการสำรวจและการให้คะแนนสภาพทั้งร้างต่อเกณฑ์ต่างๆ นั้นต้องใช้ผู้ชำนาญหลายด้าน เช่นงานโครงสร้าง งานสถาปัตยกรรม งานระบบ เป็นต้น เพื่อเข้าถึงรายละเอียด และสามารถวิเคราะห์สภาพที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนและแม่นยำกว่าผู้ที่ถนัดเพียงด้านใดด้านหนึ่ง อย่างไรก็ตาม วิธีการประเมินดังกล่าวเป็นเพียงเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจคัดเลือกอาคารที่ถูกปล่อยทิ้งร้างที่จะพัฒนาต่อไปเท่านั้น แต่ยังไม่สามารถบอกระดับความมั่นคงแข็งแรงของอาคารได้อย่างชัดเจน

Iyoda *et al.* (1999) ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบประเมินสาเหตุและระดับความชำรุดเสียหายของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่เปิดใช้แล้ว เหตุผลของการศึกษาเนื่องจากความชำรุดที่เกิดกับอาคารมีด้วยกันหลายสาเหตุ จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดความชำรุดกับอาคารนั้น และประเมินถึงระดับความชำรุดว่าจะส่งผลกระทบต่ออาคารมากน้อยเพียงใด เพื่อนำไปสู่แผน

การซ่อมบำรุงต่อไป โดยระดับความชำรุดจะวัดจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีขององค์อาคาร เพราะจะเป็นตัวแปรของความเสียหายที่เกิดขึ้น ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำระบบประเมินที่ได้ไปตัดสินระดับความชำรุด ตลอดจนบ่งบอกถึงสาเหตุของการชำรุดเสียหายของอาคารได้ อย่างไรก็ตามการศึกษานี้พิจารณาในส่วนที่เกิดความเสียหายเท่านั้น

Hyo-Gyoung Kwak and Jieun Kim (2008) ได้ศึกษาการออกแบบที่เหมาะสม (Optimum Design) ของคอนกรีตเสริมเหล็กโครงระนาบ (plane frames) จากฐานข้อมูลที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ทั้งส่วนของหน้าตัดคาน เสา โดยฐานข้อมูลได้ถูกออกแบบและจัดเรียงลำดับตามลำดับการต้านทานกำลังของหน้าตัด และกำหนดหมายเลขให้กับชิ้นส่วนแต่ละชิ้น จากนั้นจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์สมการการถดถอย (Regression Equation) ระหว่างหมายเลขของหน้าตัดกับกำลังต้านทานของหน้าตัด ทำให้ได้มาซึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาสมการต่อเนื่อง (Continuous Solution) ที่เหมาะสมและรวดเร็ว โดยวิธีการนี้สามารถนำมาใช้ในการออกแบบเบื้องต้นสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโครงระนาบได้จริง เพราะข้อมูลชิ้นส่วนมาจากฐานข้อมูลที่ได้ออกแบบมานั้นครอบคลุมกับทุกรูปแบบของการออกแบบไว้แล้ว โดยเป็นการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างไว้ก่อนหน้าและให้โปรแกรมเลือกชิ้นส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการรับแรงของโครงสร้างชิ้นส่วนต่างๆ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการออกแบบที่เหมาะสม (Optimum Design) ของคอนกรีตเสริมเหล็กโครงระนาบ (plane frames) ซึ่งก็ยังไม่ใช่เป็นฐานข้อมูลของอาคารที่ก่อสร้างจริง จึงไม่สามารถนำไปประเมินกำลังของอาคารที่ต้องการทราบกำลังได้

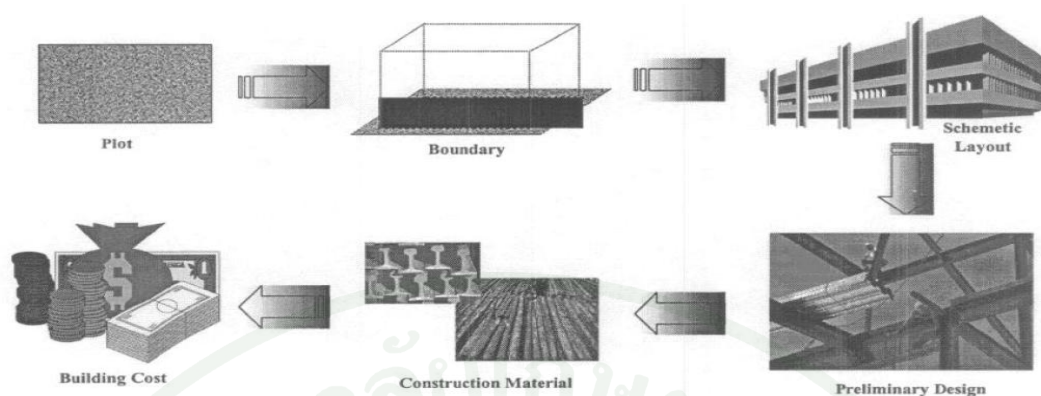
นอกจากนี้ยังมีอีกหลายการศึกษาที่พิจารณาเพื่อประเมินอาคารในด้านราคาเป็นหลัก เช่น ได้พัฒนาระบบฐานข้อมูลและโปรแกรมสำหรับประเมินราคาอาคารสำนักงาน อาคารพาณิชย์ โรงงาน โรงสีข้าวเพื่อกำหนดมาตรฐานจำนวนเงินเอาประกันอัคคีภัย โดยการศึกษาวิจัยนี้เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านราคาและองค์ประกอบราคาของอาคารสำนักงาน ข้อมูลด้านราคาได้แบ่งตามดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง และดัชนีค่าจ้างแรงงาน โดยจำแนกตามลักษณะประเภทงาน และเพื่อให้ข้อมูลราคาที่ี้สามารถปรับเปลี่ยนได้เมื่อเวลาเปลี่ยนไป จึงต้องปรับราคาให้อยู่ในฐานเวลาเดียวกัน แล้วจึงปรับราคาให้เป็นปีที่ต้องการทราบราคาโดยใช้ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง และดัชนีค่าจ้างแรงงานจากนั้นจึงใช้ทฤษฎีทางสถิติทำการแบ่งระดับราคา เป็นระดับราคาต่ำ ราคาปานกลาง ราคาสูง และสร้างตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับราคาและลักษณะขององค์ประกอบราคาของประเภทงาน โดยงานวิจัยนี้ส่วนของฐานข้อมูลได้รับการออกแบบและบันทึกลงในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซล (เศรษฐพงศ์, 2539; เอกสิทธิ์, 2541) รวมทั้งใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์

แอสเซส ร่วมกับโปรแกรมไมโครซอฟท์วิช่วลเบสิก (พจนพร, 2545; วณิดา, 2545) ซึ่งข้อดีของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาทำให้สามารถแก้ไขข้อมูลหรือเพิ่มเติมข้อมูลได้ในภายหลัง ทำให้ข้อมูลเป็นปัจจุบันอยู่เสมอ และมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ก็ยังเป็นการจัดทำฐานข้อมูลเพื่อทำการประเมินราคาของอาคารเท่านั้นยังไม่มีทำการประเมินกำลังโครงสร้างของอาคาร

ได้มีการนำระบบประมาณราคามาใช้ควบคู่กับการออกแบบอาคาร เช่น พงษ์พันธุ์ (2541) โดยได้พัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับออกแบบและประมาณราคาเบื้องต้นสำหรับอาคารขนาดกลาง โดยได้ใช้เทคนิคระบบฐานความรู้ซึ่งเป็นทฤษฎีหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์มาพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ชื่อ Mid – Rise ขึ้นมา ระบบ Mid – Rise นี้ เป็นระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นเป็นระบบความรู้สำหรับออกแบบอาคารเบื้องต้น โดยระบบจะพิจารณาทั้งในส่วนของการออกแบบทางสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม สำหรับอาคารสำนักงานถึงพักอาศัยในเบื้องต้น และยังสามารถประเมินราคาก่อสร้างอาคาร ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเบื้องต้นด้วย

ในการสร้างระบบ Mid – Rise นี้ ได้รวบรวมวิธีการที่ผู้เชี่ยวชาญใช้ทำงานจริง โดยได้ดำเนินการดังนี้

- สร้างฐานความรู้ ที่ใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งที่ตั้งโครงการกับกฎหมายที่มีผลบังคับใช้ว่าสามารถสร้างเป็นอาคารสำนักงานหรือไม่ ตลอดจนความสูงที่ยอมรับให้สร้างได้
- สร้างฐานความรู้ สำหรับออกแบบทางสถาปัตยกรรม โดยทำการตรวจสอบกับข้อกำหนดต่างๆ ที่จะต้องมีตามกฎหมาย เช่น ระยะร่นรอบอาคาร ความสูงที่ยอมให้ในการก่อสร้างได้ เป็นต้น
- สร้างตารางช่วยในการตัดสินใจเลือกระบบโครงสร้าง และรูปแบบช่องลิฟต์ในอาคาร
- สร้างฐานข้อมูล สำหรับช่วยในการออกแบบโครงสร้างพื้น คาน เสา และฐานราก สำหรับประมาณราคาในเบื้องต้น



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของระบบ Mid – Rise

ที่มา: พงษ์พันธุ์ (2541)

การทดสอบความถูกต้องของระบบ Mid – Rise โดยทำการทดสอบกับอาคารที่ทำการออกแบบ ซึ่งเป็นอาคารสำนักงาน คอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 5 ชั้น ขนาด 30x36 เมตร มีระยะช่วงเสา 6 เมตร 1 หลัง ทำการเปรียบเทียบราคากับวิศวกรโยธาระดับสามัญวิศวกร จำนวน 2 ท่าน ผลที่ได้จาก Mid – Rise ในส่วนราคาของงานโครงสร้าง 9,444,546 บาท และเมื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบจริงจากทั้ง 2 ตัวอย่าง มีราคา 8,984,971 บาท และ 9,061,057 บาท ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความแตกต่างอยู่ที่ +4.87% และ +4.06% ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในการออกแบบเพื่อประเมินราคาก่อสร้างในเบื้องต้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่เน้นเฉพาะการจัดทำฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการประเมินราคาด้านอาคาร โดยการถอดแบบอย่างละเอียด และวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นระบบ แล้วนำฐานข้อมูลไปทดสอบเพื่อหาความถูกต้องของฐานข้อมูล ซึ่งมีงานวิจัยจำนวนน้อยที่จะพิจารณาถึงด้านการประเมินกำลังการรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร เนื่องจากทำได้ยากและไม่สามารถสรุปได้เป็นค่าเดียว เพราะกำลังรับน้ำหนักมีความแตกต่างกันหลายรูปแบบตามลักษณะองค์อาคาร เช่น คานรับแรงดัด เสารับแรงอัด แรงดัด เป็นต้น อีกทั้งยังมีการรับน้ำหนักในแนวตั้ง แนวราบหรือผสมกัน โดยทั่วไปการประเมินการรับน้ำหนักของโครงสร้าง จะต้องทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุโครงสร้างและทำการวิเคราะห์โครงสร้างอีกด้วย

การทดสอบทางวิศวกรรม

การทดสอบทางวิศวกรรมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มีทั้งการทดสอบแบบทำลายและไม่ทำลาย ซึ่งล้วนแต่มีวัตถุประสงค์เดียวกันคือต้องการประเมินคุณสมบัติและค่ากำลังของวัสดุต่างๆ ของโครงสร้างอาคาร และต้องอาศัยเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ทันสมัย ต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ผล ซึ่งการทดสอบนั้นต้องจะกระทำโดยบริษัทที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านเท่านั้น ลักษณะการทดสอบที่ได้ในภาคสนามไปใช้งาน ฉันทมนต์ กัมปนานนท์ และจุลเศรษฐ์ ฤกษ์ณะภักดี ได้บรรยายสรุปและเสนอแนะไว้ 2 ลักษณะคือ

- นำไปแปรผลเป็นค่าคุณสมบัติหรือค่ากำลังวัสดุโดยตรง เช่น ค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต โดยอาศัยกราฟหรือสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีที่ทดสอบได้กับค่ากำลังวัสดุที่ต้องการ
- นำไปเปรียบเทียบกับผลทดสอบที่องค์อาคารส่วนอื่นๆ เพื่อประเมินความแตกต่างของคุณภาพหรือกำลังค่าวัสดุของคอนกรีตระหว่างตำแหน่งที่ทดสอบกับองค์อาคารทั่วไป อย่างไรก็ตามการทดสอบในสนามข้างต้นส่วนใหญ่จะไม่ใช้การทดสอบโดยตรงแต่ต้องอาศัยการแปรผลจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีที่ทดสอบได้กับค่าคุณสมบัติ หรือค่ากำลังวัสดุที่ต้องการ ความถูกต้องความน่าเชื่อถือของผลทดสอบซึ่งขึ้นอยู่กับความถูกต้องของค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นหลัก

การทดสอบมีทั้งการประเมินกำลังวัสดุคอนกรีต เหล็กเสริม ตำแหน่งเหล็กเสริม ความหนาของคอนกรีตหุ้ม ฯลฯ จะต้องดำเนินการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบที่เป็นที่ยอมรับ (เอกสิทธิ์, 2544) เช่น มาตรฐาน ASTM, BS และมาตรฐานของ ACI นอกจากนี้แล้ว หากต้องการทราบกำลังของอาคารนั้นๆ อย่างถูกต้อง จะต้องทำการทดสอบทางวิศวกรรมอย่างละเอียด เช่น การทำ Load Test แล้วทำการวิเคราะห์ค่าเพื่อหาลำกำลังรับน้ำหนักของอาคาร

แต่การทดสอบดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นทำได้ยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งในบางโอกาสที่จำเป็นต้องการประเมินกำลังของอาคารเพื่อใช้ในการตัดสินใจที่จะปรับปรุงอาคาร เช่าหรือซื้ออาคารนั้นๆ อาจมีระยะเวลาในการพิจารณาจำกัด ด้วยความต้องการข้อมูลที่รวดเร็วเพื่อใช้ในการตัดสินใจ การทดสอบทางวิศวกรรมอย่างละเอียดนั้นจะทำให้ยากและซับซ้อน ใช้เวลาและ

ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง อีกทั้งถ้าหากต้องการทำการทดสอบอย่างละเอียดในอาคารนั้น อาจจะต้องทำการขออนุญาตเจ้าของอาคารในการทดสอบ ซึ่งอาจเป็นการยุ่งยากและไม่สามารถกระทำได้ในบางครั้ง

2. การวิเคราะห์กำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุดของหน้าตัดคาน

การวิเคราะห์กำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุดของหน้าตัดคาน จะวิเคราะห์ตามข้อกำหนดมาตรฐานของ ACI 318 – 89 หรือ ว.ส.ท. ด้วยวิธีกำลัง (Strength Design Method)

2.1 กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดัด

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad \text{หรือ} \quad M_n = 0.85 f_c' ab \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (1)$$

$$\text{เมื่อ} \quad a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b} = \frac{\rho f_y}{0.85 f_c'} d \quad (2)$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad (3)$$

b = ความกว้างหน้าตัด (cm.)

d = ความลึกประสิทธิภาพจากผิวบนของคานถึงจุดศูนย์กลางเหล็กเสริม (cm.)

A_s = เนื้อที่เหล็กเสริม (cm².)

f_c' = กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต (ksc.)

f_y = กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็ก (ksc.)

E_s = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (ksc.)

2.2 กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงอัด

เหล็กเสริมรับแรงอัดมีกำลังถึงจุดคราก

$$M_n = (A_s - A_s') f_y (d - 0.5a) + A_s' f_y (d - d') \quad (4)$$

เหล็กเสริมรับแรงอัดมีกำลังไม่ถึงจุดคราก

$$M_n = 0.85f_c'ba(d - 0.5a) + A_s'f_y(d - d') \quad (5)$$

$$\text{เมื่อ } a = \frac{A_s f_y}{0.85f_c' b} = \frac{\rho f_y}{0.85f_c'} d \quad (6)$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad (7)$$

b = ความกว้างหน้าตัด (cm.)

d = ความลึกประสิทธิภาพจากผิวบนของคานถึงจุดศูนย์ถ่วงเหล็กเสริมรับแรงดึง (cm.)

d' = ความลึกประสิทธิภาพจากผิวบนของคานถึงจุดศูนย์ถ่วงเหล็กเสริมรับแรงอัด (cm.)

A_s = เนื้อที่เหล็กเสริมรับแรงดึง (cm².)

A_s' = เนื้อที่เหล็กเสริมรับแรงอัด (cm².)

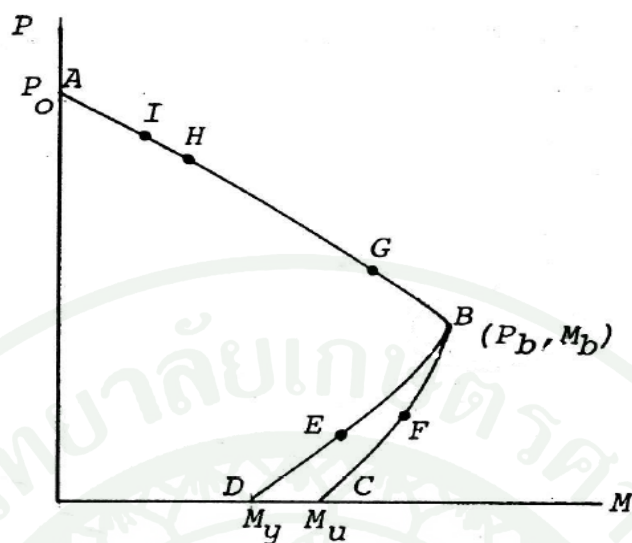
f_c' = กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต (ksc.)

f_y = กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็ก (ksc.)

E_s = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (ksc.)

3. กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสารูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเหล็กสองด้าน

บนกราฟความเกี่ยวพัน ค่า P_o ที่จุด A คือแรงครากของหน้าตัด ค่าโมเมนต์ที่จุด C และจุด D คือโมเมนต์ดัดประลัย M_u และโมเมนต์ดัดขณะเหล็กเสริมเกิดการคราก M_y ของหน้าตัดเสาที่มีลักษณะเป็นคาน ค่า P_b และ M_b ที่จุด B เรียกว่าสถานะแรงกระทำพอดี (Balance Loading) หมายความว่าความเครียดที่ผิวบนของคานเท่ากับ 0.003 ในขณะที่ความเครียดในเหล็กรับแรงดึงเป็น ϵ_y ช่วง BD ของกราฟความเกี่ยวพันเรียกว่า บริเวณอัดและช่วง BC เรียกว่าบริเวณดึง ช่วง BD เรียกว่าบริเวณที่เหล็กเริ่มเกิดการครากกล่าวคือ ความเครียดในเหล็ก A_s เป็น ϵ_y และความเครียดที่ผิวบนของหน้าตัดน้อยกว่า 0.003



ภาพที่ 3 กราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา

ที่มา: ต่อกุล (2528)

แรงครากของหน้าตัด ที่จุด A

$$P_o = 0.85f'_c(A_g - A_{st}) + A_s f_y \quad (8)$$

โมเมนต์ดัดประลัย M_u ที่จุด C

$$M_u = 0.85f'_c \beta_1 c \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) = A_s f_y \left(\frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (9)$$

ที่สถานะแรงกระทำพอดี

$$P_b = 0.85f'_c b \beta_1 c_b + A'_s f_s - A_s f_y \quad (10)$$

$$M_u = A'_s f_y \left(\frac{h}{2} - d \right) + C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{\beta_1 c_b}{2} \right) + A_s f_y \left(d - \frac{h}{2} \right) \quad (11)$$

จุดซึ่งความเครียดในเหล็กเสริมรับแรงดึงเป็นศูนย์

$$P = 0.85f'_c b \beta_1 c + A_s f_y \quad (12)$$

$$M = A_s' f_y \left(\frac{h}{2} - d' \right) + C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (13)$$

4. สถิติพื้นฐาน

4.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิตหมายถึง ค่าที่ได้จากการนำข้อมูลทั้งหมดมารวมกัน แล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด สำหรับวิธีการคำนวณสามารถหาได้ 2 วิธี คือ การคำนวณค่าเฉลี่ยสำหรับข้อมูลที่ไม่แจกแจงความถี่ และการคำนวณค่าเฉลี่ยสำหรับข้อมูลที่แจกแจงความถี่

4.1.1 การคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตสำหรับข้อมูลที่ไม่แจกแจงความถี่

ถ้าให้ $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ เป็นข้อมูลตัวที่ 1 ถึงตัวที่ N สูตรในการคำนวณคือ

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (14)$$

กรณีเป็นข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง

เมื่อ

$\bar{X}$

คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกลุ่มตัวอย่าง

$\sum X$

คือ ผลรวมของข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง

n

คือ จำนวนข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง

4.1.2 การคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตสำหรับข้อมูลที่แจกแจงความถี่

ถ้าให้ $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ เป็นข้อมูลชุดหนึ่งที่มีความถี่เป็น $f_1, f_2, f_3, \dots, f_N$ ตามลำดับค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลชุดนี้คำนวณได้จากสูตร

$$\bar{X} = \frac{f_1 x_1 + f_2 x_2 + f_3 x_3 + \dots + f_n x_n}{n} \quad (15)$$

กรณีเป็นข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกลุ่มตัวอย่าง

$\sum X$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดจากกลุ่มตัวอย่าง โดย $n = \sum f$

4.1.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD)

การคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานใช้หลักการเดียวกันกับการคำนวณส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย แต่หลักการคำนวณหาค่าสัมบูรณ์โดยการยกกำลังสองของผลต่างแทน

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความแตกต่างของข้อมูลแต่ละตัวกับตัวกลางเลขคณิตของข้อมูลชุดนั้น บางครั้งใช้สัญลักษณ์แทนด้วย S และความแปรปรวน (Variance) คือกำลังสองของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S^2)

ก. ข้อมูลที่ไม่ได้แจกแจงความถี่ (Ungrouped data)

ถ้า X_i แทนข้อมูลแต่ละค่าจำนวน N ตัว

$$SD = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (16)$$

หรือ
$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N X_i^2}{N} - (\bar{X})^2} \quad (17)$$

ความแปรปรวน
$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N} \quad (18)$$

หรือ
$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^2}{N} - (\bar{X})^2 \quad (19)$$

ข. ข้อมูลที่ได้มีการแจกแจงความถี่ (Grouped data)

จากตารางแจกแจงความถี่ จำนวน k ชั้น

ถ้า $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ แทนจุดกลางชั้นของข้อมูลในแต่ละชั้น

$f_1, f_2, f_3, \dots, f_k$ แทนความถี่ของข้อมูลในแต่ละชั้น

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (20)$$

$$\text{หรือ } SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i X_i^2}{N} - (\bar{X})^2} \quad (21)$$

$$\text{ความแปรปรวน } S^2 = \frac{\sum_{i=1}^k f_i (X_i - \bar{X})^2}{N} \quad (22)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^k f_i X_i^2}{N} - (\bar{X})^2 \quad (23)$$

การวัดการกระจายของข้อมูลด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นวิธีการวัดการกระจายที่ดีที่สุด และนิยมใช้กันมากที่สุดในทางสถิติ

4.2 การประมาณค่าสถิติของประชากร (Estimation)

การประมาณแบบช่วงเป็นการคำนวณหาช่วงของค่าสถิติของตัวอย่างสองค่า โดยมีความเชื่อมั่นในระดับหนึ่งว่าค่าพารามิเตอร์ของประชากรจะมีค่าเท่ากับค่าใดค่าหนึ่งที่อยู่ระหว่างค่าสถิติของตัวอย่างสองค่านี้

4.3 การประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร 1 กลุ่ม

การประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร 1 กลุ่ม หมายถึง การประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร โดยนำค่าเฉลี่ยของตัวอย่างมาประมาณทั้งนี้ถ้าเป็นค่า จะเป็นการประมาณค่าแบบจุดของค่าเฉลี่ยของประชากร (μ) สำหรับการประมาณค่าแบบช่วงของค่าเฉลี่ยของประชากร สามารถทำ

ได้โดยนำค่าเฉลี่ยของตัวอย่างมาประมาณค่าโดยทั้งนี้ต้องมีกระบวนการที่สำคัญคือ การกำหนดช่วงความเชื่อมั่น จากข้างต้น จะเห็นได้ว่า ค่า มีอยู่ด้วยกัน 3 ค่าคือค่าที่อยู่ตรงกลางกับค่าที่อยู่บริเวณปลายเส้นตรง อีก 2 ค่า ค่าที่อยู่ตรงจุดกึ่งกลางเรียกว่าค่าเฉลี่ยแบบจุด ค่าที่อยู่ปลายด้านซ้ายเรียกว่าขีดจำกัดความเชื่อมั่นล่าง หรือ ขีดจำกัดล่าง ค่าที่อยู่ปลายด้านขวาเรียกว่า ขีดจำกัดความเชื่อมั่นบน หรือขีดจำกัดบนค่าศัพท์ที่เกี่ยวข้อง คือคำว่า ช่วงความเชื่อมั่น ซึ่งหมายถึงค่าที่บ่งบอกว่าผู้วิจัยคาดว่าจะมีค่าผิดพลาดไม่เกินช่วงที่กำหนด เช่น ช่วงความเชื่อมั่น 90% หมายความว่า จะมีค่าที่ผิดพลาดจากการคำนวณ 10% ช่วงความเชื่อมั่น 95% หมายความว่า จะมีค่าที่ผิดพลาดจากการคำนวณ 5% ช่วงความเชื่อมั่น 99% หมายความว่า จะมีค่าที่ผิดพลาดจากการคำนวณ 1% จากคำว่าช่วงความเชื่อมั่น ทำให้ทราบว่าต้องมีค่าที่เกี่ยวข้องอีก 2 ค่า คือค่า ต่ำสุดที่ยอมรับได้ เรียกว่า ขีดจำกัดล่าง และค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ เรียกว่า ขีดจำกัดบน สำหรับค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้จากการคำนวณ จะเรียกว่า ระดับนัยสำคัญแทนด้วยสัญลักษณ์ α (แอลฟา) เช่น ช่วงความเชื่อมั่น 90% หมายความว่า จะมีค่าที่ผิดพลาดจากการคำนวณ 10% นั่นคือ มีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10 ($\alpha = 0.10$) ช่วงความเชื่อมั่น 95% หมายความว่า จะมีค่าที่ผิดพลาดจากการคำนวณ 5% นั่นคือ มีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ช่วงความเชื่อมั่น 99% หมายความว่า จะมีค่าที่ผิดพลาดจากการคำนวณ 1% นั่นคือ มีระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.01 ($\alpha = 0.01$)

4.3.1 การประมาณค่าเฉลี่ยหนึ่งกลุ่มประชากรแบบช่วง เมื่อทราบความแปรปรวนของประชากร

จากการแจกแจงตัวอย่าง เมื่อประชากรมีการแจกแจงปกติ ที่ค่าเฉลี่ย μ และความแปรปรวน σ^2 เมื่อทำการแปลงค่าของ σ^2 ให้เป็นค่า Z มาตรฐานที่มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0 ($\sigma^2 = 0$) และความแปรปรวนเท่ากับ 1 ($\sigma^2 = 1$) จะได้ว่า

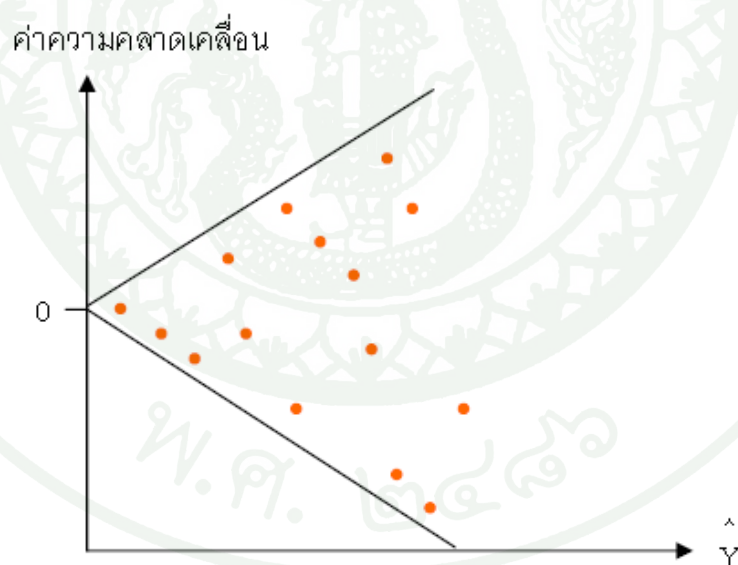
$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad (24)$$

ถ้าให้ค่าเฉลี่ยของประชากร μ มีโอกาสตกอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น $(1-\alpha) \%$ หรือที่ระดับนัยสำคัญ α จะได้ว่า ค่าเฉลี่ยของประชากร μ จะมีค่าอยู่ระหว่าง

$$\bar{X} - Z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (25)$$

4.3.2 การวิเคราะห์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weight Estimation)

Weight Estimation เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ให้ความสำคัญหรือให้น้ำหนักข้อมูลแต่ละค่าไม่เท่ากัน นั่นคือ จะให้น้ำหนักเป็น $1/\text{variance}$ หมายความว่าข้อมูลที่มีความแปรปรวนหรือมีค่าการกระจายสูงจะมีความสำคัญหรือมีน้ำหนักน้อยกว่าข้อมูลที่มีความแปรปรวนต่ำ โดยการวิเคราะห์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weight Estimation) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนัก ใช้วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างสมการพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยมีเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยแบบถ่วงน้ำหนัก ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมีการกระจายมากขึ้นเมื่อ Y มีค่ามากขึ้น ดังภาพที่ 4 ซึ่งเทคนิค Weighted Least Square (WLS) เป็นเทคนิคที่ให้ความสำคัญหรือให้น้ำหนักแก่ข้อมูลแต่ละค่าไม่เท่ากัน นั่นคือ จะให้น้ำหนักเป็น $1/\text{variances}$ หมายความว่า ข้อมูลที่มีความแปรปรวนหรือมีค่าการกระจายสูงจะมีความสำคัญ หรือมีน้ำหนักน้อยกว่าข้อมูลที่มีความแปรปรวนต่ำ



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนกับ $\hat{Y}$

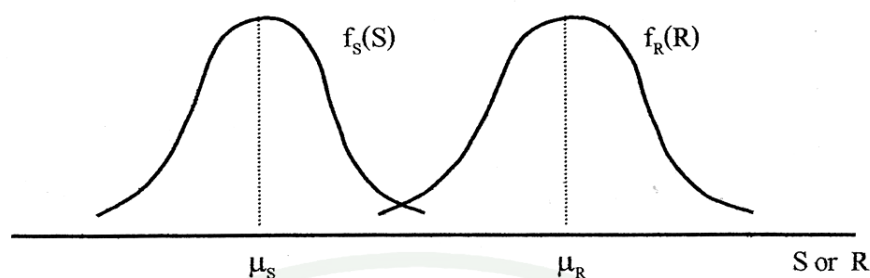
ที่มา: ปรีวัตร (ม.ป.ป.)

5. ทฤษฎีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือทางโครงสร้าง

วัตถุประสงค์ในการออกแบบโครงสร้างเป็นเพียงการออกแบบที่เหมาะสมด้วยความเสี่ยงที่ยอมรับได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น เพราะเมื่อโครงสร้างถูกใช้งาน ณ เวลาใด ๆ ตลอดอายุการใช้งาน ถึงแม้โครงสร้างจะได้รับการออกแบบมาโดยสมบูรณ์ที่สุดก็ตามก็สามารถจะเกิดความเสียหายได้เนื่องจากพฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีความไม่แน่นอน จากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง และกำลังของวัสดุ เช่น กำลังรับแรงดึงของเหล็ก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ซึ่งเป็นกำลังต้านทานแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง ดังนั้นการวิบัติของโครงสร้างอาจเกิดขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกสูงกว่ากำลังต้านทานของชิ้นส่วนโครงสร้าง ซึ่งความน่าเชื่อถือของโครงสร้างจะแปรเปลี่ยนกับความน่าจะเป็นที่จะเกิดการวิบัติ การก่อสร้างและการใช้สอยอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ตัวแปรของความน่าเชื่อถือคือยังเกี่ยวกับขนาดวัสดุชิ้นส่วนโครงสร้าง การเสริมเหล็ก ฝีมือการก่อสร้าง กิจกรรมการใช้สอยพื้นที่ การเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งในบางกรณีเราไม่สามารถที่จะรู้ข้อมูลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ในการพิจารณาความไม่แน่นอนเหล่านี้เราต้องใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น และสถิติการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้าง อย่างสมเหตุสมผลกับความไม่แน่นอนในการออกแบบทางวิศวกรรมโครงสร้าง และปัญหาการตัดสินใจอย่างมีเหตุผล

5.1 การจำลองน้ำหนักบรรทุกและความต้านทาน

ลักษณะของการกระจายของกำลังรับแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง เปรียบเทียบกับลักษณะการกระจายของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอันเกิดจากน้ำหนักบรรทุก ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว กำลังของโครงสร้างจะต้องสูงกว่าน้ำหนักบรรทุกเสมอ แต่ถ้าเมื่อใดที่แรงกระทำ (S) มีค่ามากกว่ากำลังต้านทานโครงสร้าง (R) จะหมายถึงโอกาสวิบัติของโครงสร้างที่เกิดขึ้นตามแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การกระจายของกำลังรับน้ำหนักและแรงจากน้ำหนักบรรทุกทุกในชิ้นส่วนโครงสร้างแสดงถึงความน่าจะเป็นของโครงสร้าง

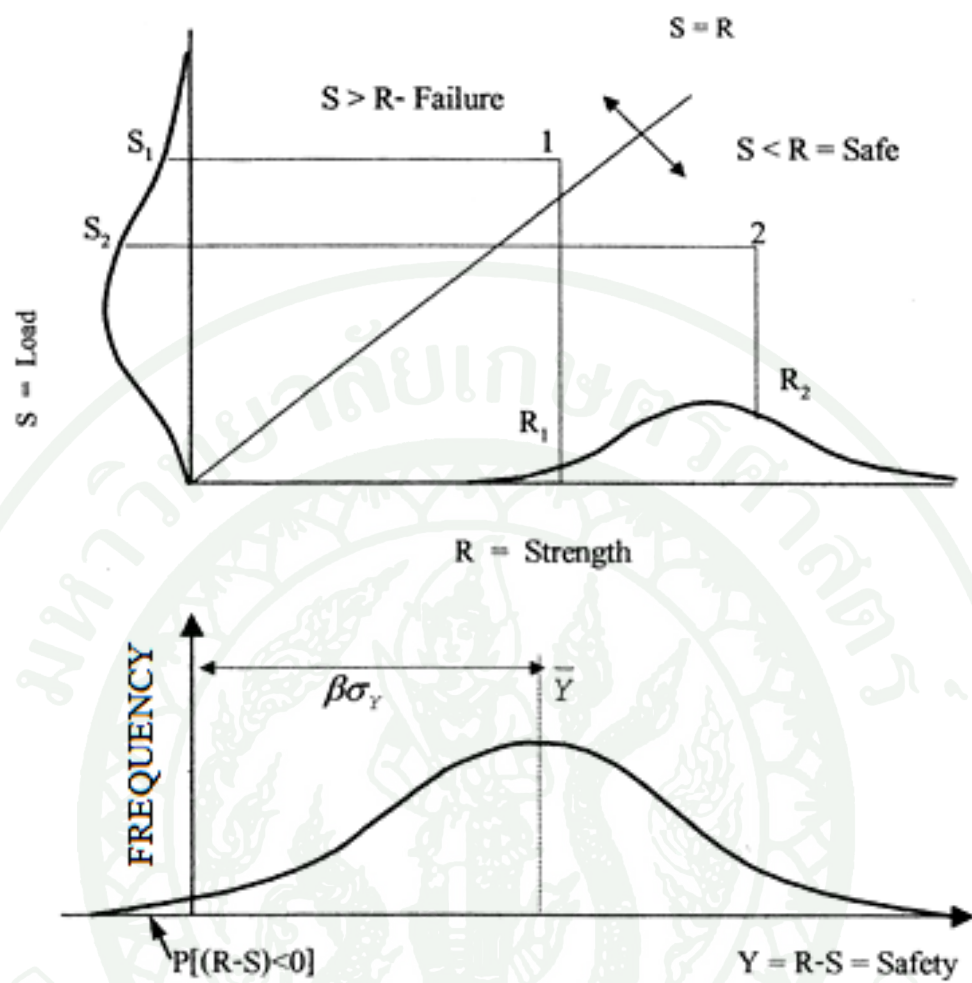
ที่มา: MacGregor (1983)

ถ้าหาก ($R < S$) โอกาสการวิบัติของโครงสร้างนั้นจะเกิดขึ้นกล่าวคือ พื้นที่ใต้กราฟที่ทับซ้อนกัน Overlap Region เป็นความน่าจะเป็นของการวิบัติ (P_f) จากรูปที่ 5 $f_S(S)$, $f_R(R)$ จะบอกถึงความน่าจะเป็นของการวิบัติ ยิ่งทับกันมากความน่าจะเป็นของการวิบัติก็จะยิ่งสูง หากทับกันน้อยความน่าจะเป็นของการวิบัติก็จะน้อยตาม (หมายถึงจะได้ความปลอดภัยมากขึ้น) ดังนั้นจึงสามารถนิยามความน่าจะเป็นของการวิบัติ (p_f) โดยเขียนให้อยู่ในรูปของความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่จะเกิดการวิบัติได้ดังนี้

$$p_f = P(R \leq S) \quad (26)$$

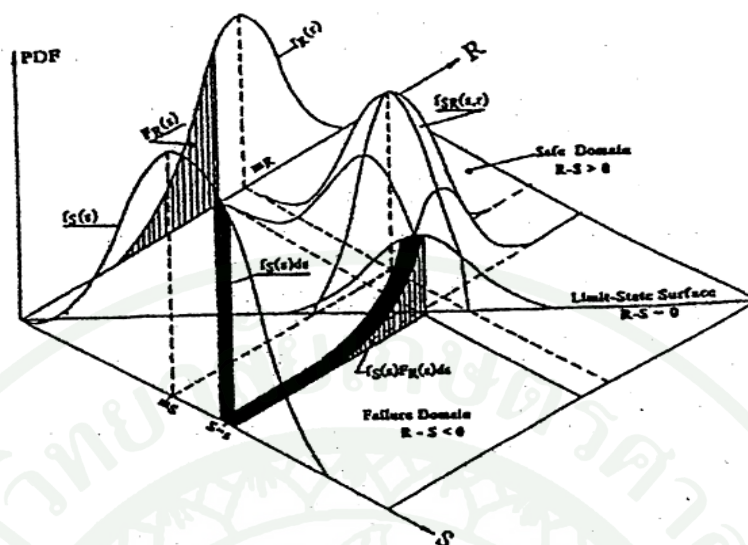
$$\text{หรือ } p_f = P(R - S \leq 0) \quad (27)$$

สมมติให้ $F_R(x)$ และ $F_S(x)$ เป็นฟังก์ชันการแจกแจงของ R และ S ตามลำดับ และ $F_R(x)$, $F_S(x)$ เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็น เมื่อ x คือค่าของตัวแปร R และ S ใดๆ ที่พิจารณาของฟังก์ชันนั้นๆ มีลักษณะการแจกแจงทางสถิติของ R และ S เป็นอิสระต่อกันไม่ขึ้นกับเวลาดังแสดงในรูปที่ 6 โดยที่ความน่าจะเป็นในการวิบัติหมายถึง ปริมาตรภายใต้ Probability density function บนบริเวณที่เกิดการวิบัติ เมื่อ ($R \leq S$) การหาปริพันธ์ความน่าจะเป็นเปรียบเทียบกับ R และ S ดังแสดงในภาพที่ 6

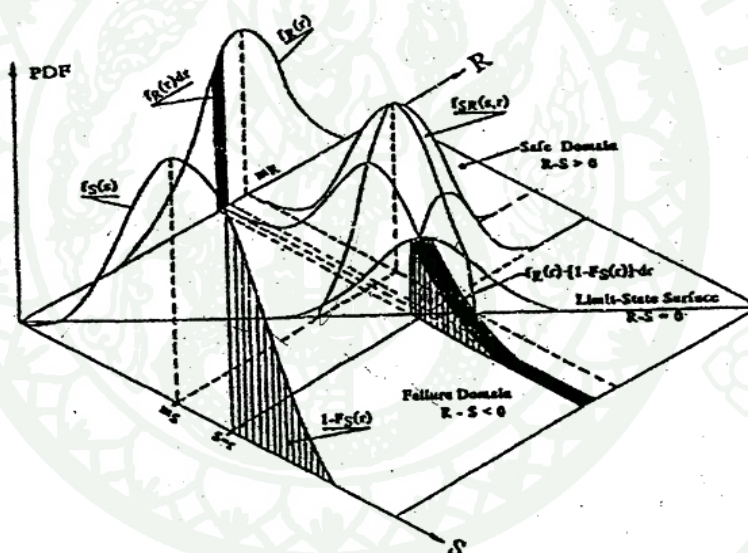


ภาพที่ 6 ความน่าจะเป็นในการวิบัติของโครงสร้าง

ที่มา: Mirza and MacGregor (1982)



(a) Integration wrt S



(b) Integration wrt R

ภาพที่ 7 การหาความน่าจะเป็นของการวิบัติในพจน์ของ R และ S

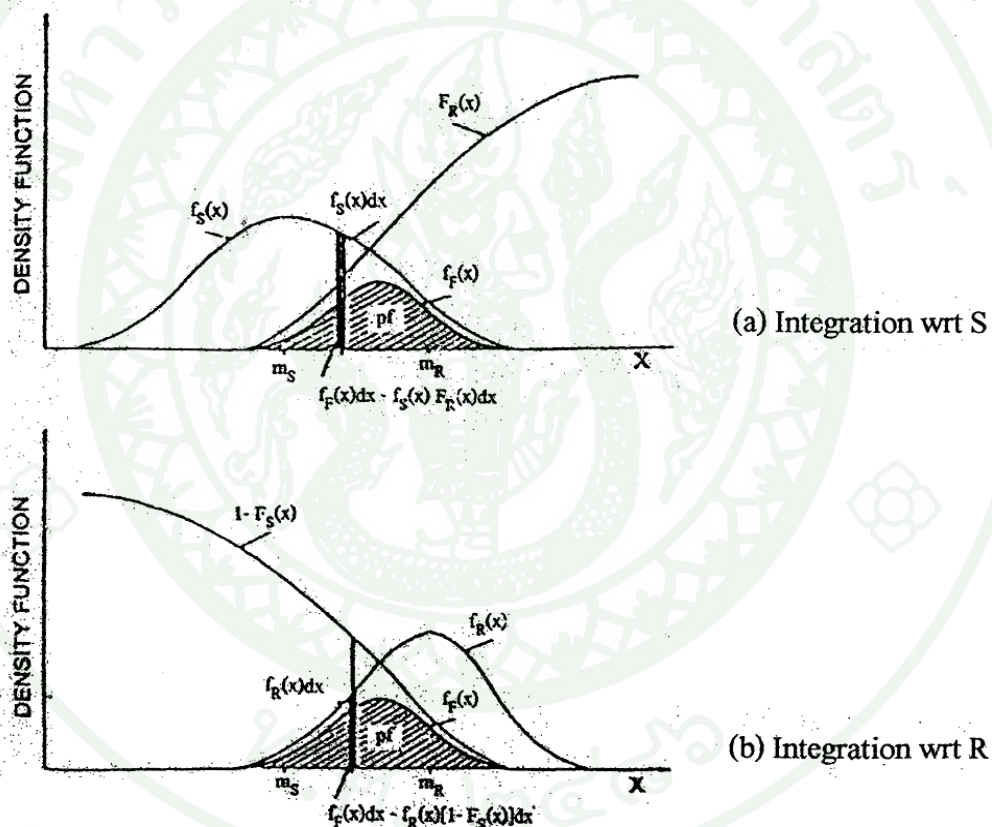
ที่มา: Ouyornprasert (1988)

จากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นที่จะเกิดการวิบัติ p_f สามารถเขียนให้อยู่ใน Convolution Integral ได้ดังนี้

$$p_f = \int_0^{\infty} f_s(x) F_R(x) dx \quad (28)$$

$$\text{หรือ} \quad p_f = \int_0^{\infty} f_R(x) [1 - F_s(x)] dx \quad (29)$$

จากสมการ (28) และ (29) อธิบายแทนได้ด้วย Probability density function ของการวิบัติ $f_f(x)$ ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 8



ภาพที่ 8 ฟังก์ชันความหนาแน่นของการวิบัติ

ที่มา: Ouyornprasert (1988)

บนพื้นฐานของ $f_F(x)$ สามารถที่จะเขียนอยู่ในรูป p_f ได้ดังนี้

$$p_f = \int_0^\infty f_F(x) dx \quad (30)$$

$$\text{เมื่อ} \quad f_F(x) = f_s(x)F_R(x) \quad (31)$$

$$\text{หรือ} \quad f_F(x) = f_R(x)(1-F_s(x)) \quad (32)$$

เมื่อ R และ S มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ความน่าจะเป็นการวิบัติ (p_f) ของโครงสร้างหาได้ดังสมการที่ (33)

$$p_f = P[(R-S) < 0] = P[M < 0] \quad (33)$$

$$\text{โดย } M = R - S \quad (34)$$

เมื่อ M เป็นขอบเขตของความปลอดภัย เมื่อ R และ S เป็นตัวแปรอิสระและมีการแจกแจงแบบปกติ, M จะมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติด้วย โดยค่าเฉลี่ยของค่า M, μ_M และ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ M, σ_M หาได้โดย

$$\mu_M = \mu_R - \mu_S \text{ และ } \sigma_M = (\sigma_R^2 + \sigma_S^2)^{1/2} \quad (35)$$

เมื่อความน่าจะเป็นการวิบัติ (p_f) หาได้จาก

$$p_f = P(M < 0) \quad (36)$$

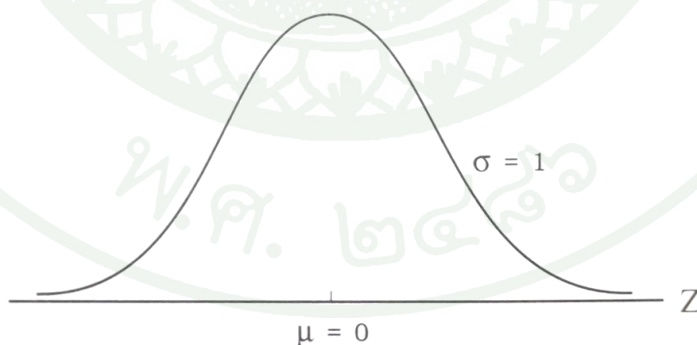
$$= F_M(0) = \Phi\left(\frac{0 - \mu_M}{\sigma_M}\right) \quad (37)$$

$$p_f = \Phi\left[\frac{\mu_S - \mu_R}{(\sigma_R^2 + \sigma_S^2)^{1/2}}\right] \quad (38)$$

งานวิจัยนี้ได้นำทฤษฎีความน่าจะเป็นการวิบัติ (pf) ที่ได้นำเสนอข้างต้นมาประยุกต์ใช้เพื่อประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณกำลังโครงสร้างอาคาร โดยมีแนวคิดคือถ้าหาก $\mu_s - \mu_R = 0$ แสดงว่าค่าจากการประมาณมีค่าเท่ากับค่ากำลังของหน้าตัดจริง เมื่อนำไปหาค่าความน่าจะเป็นการวิบัติ (pf) จะได้ค่าเท่ากับ 0.5 โดยถ้าหากค่าจากการประมาณมีค่าน้อยกว่า 0.5 ($pf < 0.5$) แสดงว่ากำลังที่ได้จากการประมาณมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังที่หน้าตัดรับได้จริง ถ้าหากค่าจากการประมาณมีค่ามากกว่า 0.5 ($pf > 0.5$) แสดงว่ากำลังที่ได้จากการประมาณมีค่ามากกว่าค่ากำลังที่หน้าตัดรับได้จริง โดยค่าความน่าจะเป็นการวิบัติ (pf) ในงานวิจัยนี้จะเรียกว่า “ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (p_r)”

5.2 การแจกแจงปกติ

ความสำคัญของคะแนนมาตรฐานคะแนนมาตรฐานจะบอกให้ทราบว่าค่าสังเกตนั้นๆ อยู่ห่างจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นกี่เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอยู่ในทิศทางใดเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย เนื่องจาก $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$ ค่าสังเกตที่มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยจะมีคะแนนมาตรฐานเป็นบวก ส่วนค่าสังเกตที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยเลขคณิตจะมีคะแนนมาตรฐานเป็นลบ ค่าสังเกตที่มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยเลขคณิตพอดีจะมีคะแนนมาตรฐานเป็น ศูนย์



ภาพที่ 9 การแจกแจงปกติมาตรฐาน

ที่มา: สรชัย (2553)

การแปลงหรือหาคะแนนมาตรฐานเป็นการแปลงแบบเชิงเส้น (Linear Transformation) การแปลงแบบเชิงเส้นนี้ไม่ทำให้การแจกแจงของค่าสังเกตก่อนและหลังการแปลงเปลี่ยนไปและค่าเฉลี่ยเลขคณิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลหลังการแปลงก็หาได้โดยวิธีง่ายๆ หนึ่งค่าที่ได้จากการแปลงแบบเชิงเส้นของข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติจะยังคงมีการแจกแจงแบบปกติ นอกจากนี้คะแนนมาตรฐานของการแจกแจงแบบใดๆ ก็ตามที่คำนวณจากข้อมูลประชากรทั้งหมดประชากรทั้งหมด (กล่าวคือใช้สูตร $z = \frac{X_i - \mu}{\sigma}$ เมื่อ i คือ 1, 2, 3, ..., N) คะแนนมาตรฐานนั้นจะมีค่าเฉลี่ยเลขคณิต (μ) เป็น 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เป็น 1 ทำให้ได้ว่าคะแนนมาตรฐานจากข้อมูลเดิมที่มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเลขคณิต μ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ ที่มีค่าใดๆ จะมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเลขคณิต $\mu = 0$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\sigma = 1$

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. แบบแปลนอาคาร ฐานงานโครงสร้าง และงานสถาปัตยกรรม
2. เครื่องคอมพิวเตอร์
3. โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง ประกอบด้วยโปรแกรม SAP2000, ETABS

วิธีการ

1. คาน

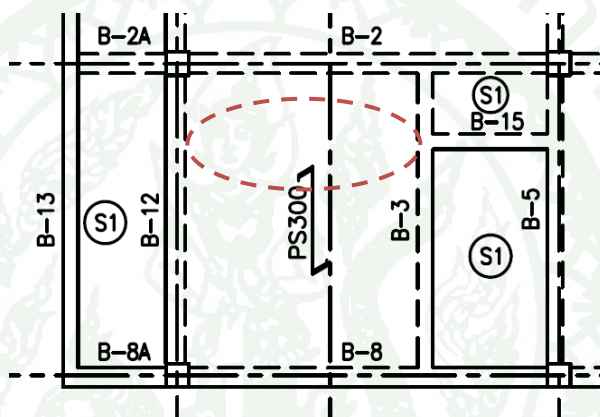
1.1 รวบรวมข้อมูลหน้าตัดคาน

จากแบบโครงสร้างของคานอาคารทำการรวบรวมข้อมูลของหน้าตัดคานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย ขนาดของหน้าตัดคาน ความกว้าง(b) ความลึก (h) ของหน้าตัดคาน ปริมาณเหล็กเสริมทั้งเหล็กเสริมรับแรงอัด (A_s') และเหล็กเสริมรับแรงดึง (A_s) ทั้งที่จุดรองรับ (Support) และที่กึ่งกลางคาน (Mid Span) ความยาวของคาน รวมทั้ง กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (f_y) และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (f_c')

การเก็บรวบรวมข้อมูลประเภทคานโดยจะแบ่งประเภทคานที่เก็บรวบรวมเป็น 3 ประเภท คือ คานช่วงเดียว (Simple Beam) คานต่อเนื่อง (Continuous Beam) และ คานยื่น (Cantilever Beam) ซึ่งสาเหตุที่แบ่งการจัดเก็บข้อมูลของหน้าตัดคานออกเป็น 3 ประเภทนั้น เนื่องจาก คานแต่ละประเภทย่อมมีพฤติกรรมในการรับแรงไม่เหมือนกัน ยกตัวอย่างเช่น คานช่วงเดียว (Simple Beam) การรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานนั้น ส่วนมาก โมเมนต์คดสูงสุดของคานประเภทนี้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นสูงสุดบริเวณกึ่งกลางคาน ดังนั้นการเสริมเหล็กเพื่อรับกำลังโมเมนต์คดของหน้าตัดคานจึงจะเสริมมากบริเวณกึ่งกลางคาน คานต่อเนื่อง (Continuous Beam) คานประเภทนี้ การรับโมเมนต์ของคานประเภทนี้จะมีการรับโมเมนต์คดของหน้าตัดสูงสุดของคานทั้ง

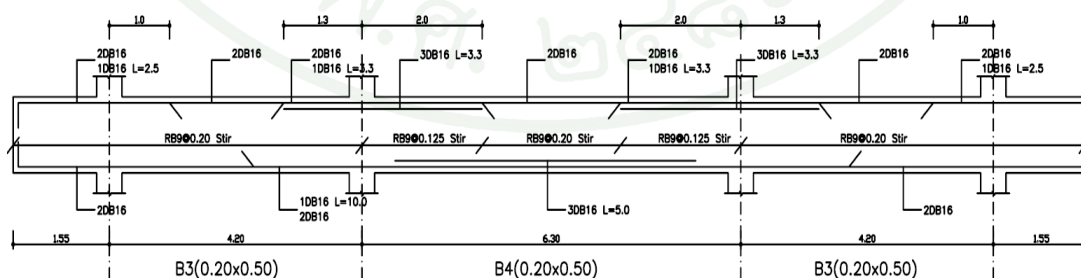
บริเวณกึ่งกลางคาน รวมทั้งบริเวณใกล้จุดรองรับของคาน หรือบริเวณใกล้กับเสานั้นเอง ทำให้มีการเสริมเหล็กทั้ง สองบริเวณนี้มากเป็นพิเศษเพื่อให้สามารถรับกำลังโมเมนต์ดัดได้ และคานยื่น (Cantilever Beam) คานชนิดนี้โมเมนต์ดัดสูงสุดของหน้าตัด จะเกิดใกล้จุดรองรับคาน หรือ ใกล้เสา จึงทำให้มีการเสริมเหล็กมากเป็นพิเศษเช่นเดียวกัน

คานช่วงเดียว (Simple Beam) คือคานช่วงเดียวหรือคานที่ไม่ได้ยึดรั้งกับเสา หรือเป็นคานย่อยที่มีหลายช่วง แต่ไม่มีการวิ่งเหล็กต่อเนื่องกันระหว่างช่วงคาน ดังภาพตัวอย่าง ของคาน B15 (ตามเส้นขีดประ) ถือเป็นคานช่วงเดียว ดังภาพที่ 10



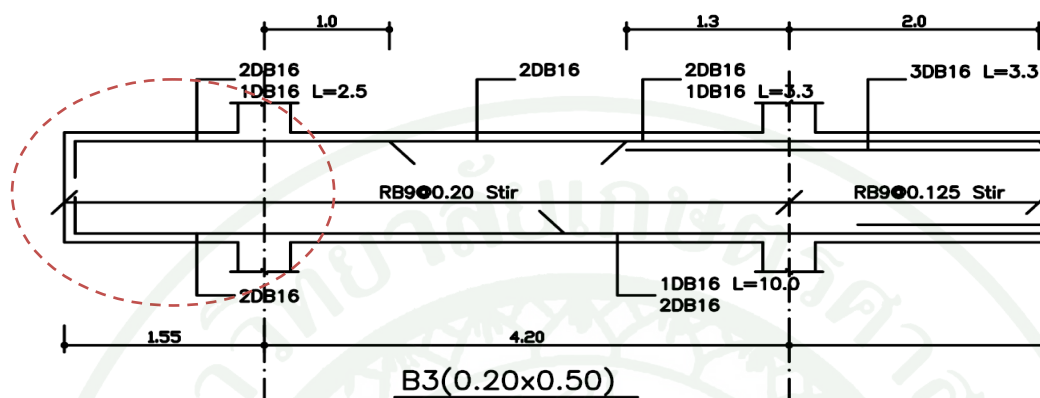
ภาพที่ 10 คานช่วงเดียว (Simple Beam)

คานต่อเนื่อง (Continuous Beam) คือคานที่ยึดระหว่างเสาหลักของอาคารที่มีช่วงต่อเนื่องกันตั้งแต่ 2 ช่วงขึ้นไป อีกทั้งมีการวิ่งเหล็กต่อเนื่องกันไประหว่างคานทั้งสอง ดังภาพที่ 11



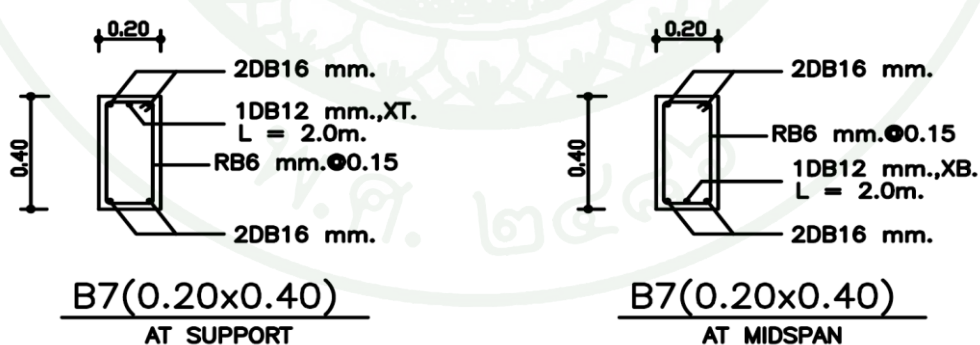
ภาพที่ 11 คานต่อเนื่อง(Continuous Beam)

คานยื่น (Cantilever Beam) คือคานที่ยื่นออกไปจากเสาหรือคานหลัก โดยมีจุดรองรับเพียงจุดเดียว ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 คานยื่น (Cantilever Beam)

1.1.1 ข้อมูลปริมาณเหล็กเสริมของหน้าตัดคาน การเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณเหล็กเสริมของหน้าตัดคานโดยข้อมูลที่เก็บรวบรวมนั้นจะประกอบด้วยปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดคานนั้นๆ โดยรวบรวมข้อมูลเหล็กเสริมของหน้าตัดคานทั้งที่จุดรองรับ (Support) และที่กึ่งกลางคาน (Mid Span) โดยจะเก็บรวบรวมปริมาณเหล็กเสริมตามแบบที่แสดง ทั้งที่เป็นเหล็กเสริมบนและเหล็กเสริมล่าง ดังแสดงดังภาพที่ 13

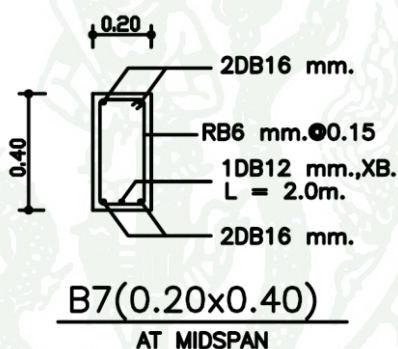


ภาพที่ 13 ตัวอย่างหน้าตัดคานที่เก็บรวบรวมข้อมูล

1.1.2 วิเคราะห์กำลังของหน้าตัดคาน เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลของหน้าตัดคานแล้วเสร็จ จึงนำข้อมูลหน้าตัดคานที่รวบรวมมาวิเคราะห์กำลังรับโมเมนต์ดัดประลัย (M_u) ของหน้าตัด โดยจะคำนวณหา กำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัด ตามมาตรฐานของ ว.ส.ท. และ ACI 318-89 ดังตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1

คานรูปตัวยูปลีเหลี่ยมพื้นผ้า ขนาด 20×40 cm. ดังภาพ เสริมเหล็กรับแรงดึง ($2DB16 + 1DB12$) $A_s = 5.15 \text{ cm}^2$. เหล็กเสริมรับแรงอัด ($2DB16$) $A_s = 4.02 \text{ cm}^2$. โดย $f_y = 4000 \text{ ksc}$ และ $f'_c = 280 \text{ ksc}$ โดยค่า $d = 35.6 \text{ cm}$. และ $d' = 4.4 \text{ cm}$. โดยคำนวณหา กำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของคานนี้ตามมาตรฐาน ACI 318-89 ได้ดังนี้



วิธีทำ

1. คุณสมบัติวัสดุ

กำลังครากเหล็กเสริม (f_y)	=	4000	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นเหล็กเสริม E_s	=	2.04×10^6	ksc
กำลังอัดคอนกรีต (f'_c)	=	280	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีต $E_c = 15100 \sqrt{f'_c}$	=	252671	ksc
ตัวคูณลดกำลัง ϕ	=	0.9	
ตัวคูณ β_1	=	0.8	
ตัวคูณลดกำลัง ϕ (แรงเฉือน)	=	0.85	

2. กำลังรับโมเมนต์คดปลาย

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนของเหล็กเสริม} = \rho = \frac{A_s}{bd} &= \frac{5.15}{20 \times 35.6} = 0.00723 \\ 0.00723 &> \frac{14}{f_y} = 0.0035 \end{aligned}$$

หน้าตัดใช้ได้

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนของเหล็กเสริม} = \rho' &= \frac{A_s}{bd} = \frac{4.02}{20 \times 35.6} = 0.00565 \\ \text{ดังนั้น } \rho - \rho' &= \frac{A_s - A_s'}{bd} = \frac{5.15 - 4.02}{20 \times 35.6} = 0.00159 \end{aligned}$$

$$\text{แต่อัตราส่วน } \rho_b = 0.85\beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \frac{6120}{6120 + f_y} = 0.02879$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b = 0.75 \times 0.02879 = 0.02159$$

$$(\rho - \rho')_{\min} = 0.85\beta_1 \frac{f_c' d'}{f_y d} \frac{6120}{6120 - 4000} = 0.01698$$

$$\rho - \rho' = 0.00159 < (\rho - \rho')_{\min} = 0.01698$$

แสดงว่าเหล็กเสริมรับแรงอัดมีกำลังไม่ถึงจุดคราก ดังนั้น หาหน่วยแรงอัดในเหล็กเสริมรับแรงอัด f_s' ที่เกิดขึ้นจริง

$$\text{พิจารณาจากสมการ } c = -R \pm \sqrt{R^2 + Q}$$

$$\text{เมื่อ } R = \frac{6120 A_s' - A_s f_y}{1.7 f_c' b \beta_1} \text{ และ } Q = \frac{6120 d' A_s'}{0.85 f_c' b \beta_1}$$

$$\text{ตำแหน่งของแนวแกนสะเทิน } c = 4.83 \text{ cm.}$$

$$\text{ดังนั้น } f_s' = \frac{4.83 - 4.4}{4.83} (6120) = 547.18 \text{ ksc}$$

$$\begin{aligned} \text{ตรวจสอบค่า } \rho - \rho' \frac{f_s'}{f_y} &= 0.00723 - 0.00565 \frac{547.18}{4000} \\ &= 0.00646 < 0.75\rho_b = 0.02159 \\ &\text{แสดงว่าเหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดคราก} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{u1} &= \phi 0.85 f_c' b a \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= \frac{(0.9)(0.85)(280)(20)(0.8 \times 4.83)(35.6 - \frac{0.8 \times 4.83}{2})}{1000 \times 100} = 5.57 \text{ ton.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{u2} &= \phi A_s' f_s' (d - d') \\ &= (0.9)(4.02)(547.18)(35.6 - 4.4) = 0.62 \text{ ton.m} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } M_{u1} + M_{u2} = 5.57 + 0.62 = 6.19 \text{ ton.m}$$

1.1.3 ตัวอย่างตารางการจัดเก็บข้อมูล จากการเก็บข้อมูลหน้าตัดคานของอาคาร จากแบบงานโครงสร้างของอาคาร 7 อาคาร ซึ่ง 5 อาคารเป็นอาคารประเภทอาคารพักอาศัยและ 2 อาคารเป็นอาคารประเภทอาคารสาธารณะ โดยทำการเก็บข้อมูลที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับงาน โครงสร้างอาคารเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าลึงรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัด โดยข้อมูลที่เก็บ วิเคราะห์ที่สำคัญ ได้แก่ ขนาดหน้าตัดของคาน ประกอบด้วย ความกว้าง ความลึก ของหน้าตัด ความยาวของคาน ปริมาณเหล็กเสริมในคาน ทั้งที่บริเวณที่จูดรองรับ และบริเวณกึ่งกลางคาน คำนึงรับแรงอัดของคอนกรีต และคำนึงรับแรงดึงของเหล็กเสริม โดยข้อมูลที่เก็บแสดงตัวอย่าง ดังตารางที่ 1

จากตารางตารางที่ 1 ตัวอย่างรายละเอียดการเก็บข้อมูลหน้าตัดคาน จากแบบ โครงสร้างอาคารจริง โดย

ช่องที่ 1 จะเป็นชื่อของอาคารที่เก็บข้อมูล

ช่องที่ 2 จะเป็นชื่อคานที่เก็บข้อมูล

ช่องที่ 3 เป็นชั้นของคานาที่เก็บข้อมูล

ช่องที่ 4 – 5 เป็นขนาดหน้าตัดของคานา โดยช่องที่ 4 เป็นความกว้างของหน้าตัด และช่องที่ 5 เป็นความลึกของหน้าตัด

ช่องที่ 6 เป็นประเภทของคานา ประกอบด้วย Simple Beam Continuous Beam และ Cantilever Beam

ช่องที่ 7 เป็นความยาวของช่วงความยาวคานาในแต่ละช่วงคานา

ช่องที่ 8 เป็นจำนวนคานาที่มีขนาดและความยาวเดียวกัน

ช่องที่ 9 – 10 เป็นปริมาณเหล็กเสริมที่อยู่บริเวณจุดรองรับ (END Supp) โดยช่องที่ 9 เป็นปริมาณเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบน และช่องที่ 10 เป็นปริมาณเหล็กเสริมที่อยู่ด้านล่าง

ช่องที่ 11 - 12 เป็นปริมาณเหล็กเสริมที่อยู่บริเวณกึ่งกลางคานา (MID Span) โดยช่องที่ 11 เป็นปริมาณเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบน และช่องที่ 12 เป็นปริมาณเหล็กเสริมที่อยู่ด้านล่าง

ช่องที่ 13 - 14 เป็นปริมาณเหล็กเสริมที่อยู่บริเวณจุดรองรับของคานาอื่น (CANTI Supp) โดยช่องที่ 13 เป็นปริมาณเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบน และช่องที่ 14 เป็นปริมาณเหล็กเสริมที่อยู่ด้านล่าง

ช่องที่ 15 เป็นปริมาณเหล็กปลอกที่เสริมอยู่ในช่วงความยาวคานา

ช่องที่ 16 – 18 เป็นค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดประลัย (M_u) ของหน้าตัดคานาที่จุดต่างๆ ของหน้าตัด โดยช่องที่ 16 เป็นค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดที่จุดรองรับ (M_u SUPP) ช่องที่ 17 เป็นค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดที่จุดกึ่งกลางคานา (M_u MID) และช่องที่ 18 เป็นค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดที่จุดรองรับของคานาอื่น (M_u CANTI)

ช่องที่ 19 เป็นค่ากำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดคานา

ตารางที่ 1 ตัวอย่างรายละเอียดการเก็บข้อมูลหน้าตัดคาน จากแบบโครงสร้างอาคารจริง

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
อาคาร	ชื่อ คาน	ชั้น	หน้าตัด		ประเภท คาน	ความยาว (ม.)	จำนวน	END Supp		MID Span		CANTI Supp		เหล็กปลอก	Mu SUPP (ton.m)	Mu MID (ton.m)	Mu CANTI (ton.m)	Vu (Ton)
			กว้าง (ซม.)	ลึก (ซม.)				บน	ล่าง	บน	ล่าง	บน	ล่าง					
หอพัก 5 ชั้น	B1	1	15	30	Simple Beam	1.1	3	2RB9	2RB9	2RB9	2RB9	0	0	RB6mm@0.15m	1.514	1.514	0.000	4.705
หอพัก 5 ชั้น	B1	1	15	30	Simple Beam	1.4	3	2RB9	2RB9	2RB9	2RB9	0	0	RB6mm@0.15m	1.514	1.514	0.000	4.705
หอพัก 5 ชั้น	B2	1	20	40	Simple Beam	2	2	2DB12	2DB12	2DB12	2DB12	0	0	RB6mm@0.15m	3.170	3.170	0.000	7.753
หอพัก 5 ชั้น	B2	1	20	40	Simple Beam	1.2	1	2DB12	2DB12	2DB12	2DB12	0	0	RB6mm@0.15m	3.170	3.170	0.000	7.753
หอพัก 5 ชั้น	B2	1	20	40	Simple Beam	1.4	1	2DB12	2DB12	2DB12	2DB12	0	0	RB6mm@0.15m	3.170	3.170	0.000	7.753
หอพัก 5 ชั้น	B2	1	20	40	Simple Beam	4.5	1	2DB12	2DB12	2DB12	2DB12	0	0	RB6mm@0.15m	3.170	3.170	0.000	7.753
หอพัก 5 ชั้น	B2	1	20	40	Simple Beam	4.15	1	2DB12	2DB12	2DB12	2DB12	0	0	RB6mm@0.15m	3.170	3.170	0.000	7.753
หอพัก 5 ชั้น	B2	1	20	40	Simple Beam	4.24	1	2DB12	2DB12	2DB12	2DB12	0	0	RB6mm@0.15m	3.170	3.170	0.000	7.753
หอพัก 5 ชั้น	B2	1	20	40	Simple Beam	3.45	1	2DB12	2DB12	2DB12	2DB12	0	0	RB6mm@0.15m	3.170	3.170	0.000	7.753
หอพัก 5 ชั้น	B2	1	20	40	Simple Beam	3.45	1	2DB12	2DB12	2DB12	2DB12	0	0	RB6mm@0.15m	3.170	3.170	0.000	7.753

1.2 วิเคราะห์ข้อมูลจากข้อมูลที่เก็บรวบรวม

1.2.1 ข้อมูลสถิติของหน้าตัดคานในแต่ละช่วงความยาวคาน

เมื่อรวบรวมข้อมูลของหน้าตัดคานของแต่ละอาคารที่มีขนาดเดียวกันทั้งหมด จึงนำข้อมูลของหน้าตัดมาทำการแบ่งช่วงของหน้าตัดคานตามความยาวต่างๆ โดยแบ่งออกเป็นช่วงความยาวคาน ช่วงละ 0.5 เมตร แล้วจึงนำข้อมูลมาจัดกลุ่มข้อมูล และหาค่าทางสถิติเบื้องต้น โดยแบ่งการจัดเก็บข้อมูลของกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคานที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้งที่ตำแหน่ง Support และ ตำแหน่ง Mid Span ของคาน โดยแบ่งออกเป็นค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของคานทั้ง 3 ประเภท คือ คานช่วงเดียว (Simple Beam) คานต่อเนื่อง (Continuous Beam) และคานยื่น (Cantilever Beam)

1.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคานกับความยาวคานสำหรับแต่ละขนาดหน้าตัดคาน

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคานกับความยาวคานสำหรับแต่ละขนาดหน้าตัดคานนี้ ใช้เพื่อประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานหน้าตัดหนึ่งๆ โดยหน้าตัดที่ต่างกันกราฟ(สมการ)ความสัมพันธ์ที่ต่างกัน เพื่อแก้ปัญหาของการจัดเก็บข้อมูลกำลังโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัด ซึ่งบางช่วงความยาวคานนั้น ไม่มีข้อมูลที่จะจัดเก็บได้ กราฟนี้จึงถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดจะเป็นฟังก์ชันกับความยาวของคาน

$$Mu = f(L) \quad (39)$$

โดยที่ Mu คือค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดและ L คือความยาวช่วงคาน แล้วนำข้อมูลกำลังรับโมเมนต์ดัดเฉลี่ยของหน้าตัด (ซึ่งจะประกอบด้วยค่าเฉลี่ยต่ำสุด (min), สูงสุด (max) และค่ากลาง(mean)) มาทำการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Regression) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) และสมมติให้กำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความยาวคาน ซึ่งจะทำให้ได้สมการที่ใช้ประมาณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด โดยค่า x เป็นค่าความยาวคาน (หน่วยเป็นเมตร) และ y เป็นกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด (หน่วยเป็น ตัน เมตร)

1.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานกับ Moment of Inertia และความยาวของคาน

จากวิธีที่สร้างสมการข้างต้นทั้งวิธีประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดทั้งจากวิธีประมาณจากช่วงความยาวคาน จากวิธีประมาณจากค่า Moment Of Inertia ของหน้าตัด ซึ่งทั้งสองวิธีดังกล่าวก็ยังประสบปัญหาในการใช้งาน ดังนั้น วิธีสร้างสมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจาก Moment of Inertia และความยาว ของหน้าตัด นี้จะช่วยแก้ปัญหา ดังที่กล่าวมาข้างต้นได้

โดยวิธีการนี้จะใช้ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวเนื่องกันระหว่างค่า Moment of Inertia ของหน้าตัดคาน กับช่วงความยาวคานของข้อมูลที่ได้ดำเนินการจัดเก็บเป็นสถิติไว้จากข้างต้น มาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธี การวิเคราะห์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weight Estimation) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ให้ความสำคัญหรือให้น้ำหนักข้อมูลแต่ละค่าไม่เท่ากัน นั่นคือ จะให้น้ำหนักเป็น $1/\text{Variance}$ หมายความว่าข้อมูลที่มีความแปรปรวนหรือมีค่าการกระจายสูงจะมีความสำคัญหรือมีน้ำหนักน้อยกว่าข้อมูลที่มีค่าความแปรปรวนต่ำ โดยกำหนดให้ ค่ากำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัด เป็นฟังก์ชันกับค่า Moment of Inertia ของหน้าตัด และความยาวของหน้าตัด โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Mu} = f(I) + f(l) \quad (40)$$

โดยที่ ค่า Mu คือค่า กำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด I คือ ค่า Moment of Inertia ของหน้าตัด และค่า l คือ ค่าความยาวของหน้าตัด

1.3 ความคลาดเคลื่อนจากการประมาณ

เมื่อได้ข้อมูลทางสถิติของหน้าตัดคานรวมทั้งสมการเพื่อใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานทุกหน้าตัดแล้ว จึงนำข้อมูลทางสถิติของหน้าตัดคานรวมทั้งสมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานนั้น ไปประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานของอาคารที่จัดเก็บข้อมูลมา พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ต่างกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน

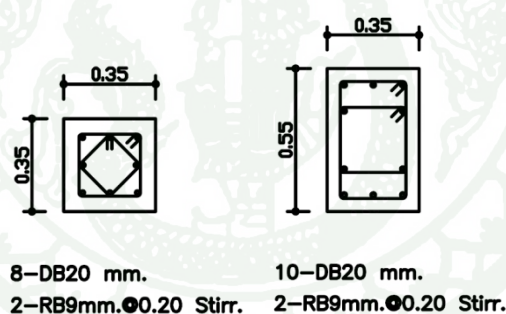
ที่จัดเก็บข้อมูลกับค่ากำลังรับ โมเมนต์คดของคานที่ได้จากการประมาณ โดยการเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณกำลังนั้น โดยค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างนั้นหาได้จากสมการที่ 41

$$\text{เปอร์เซ็นต์ต่าง} = \left| \frac{\text{Momentจริง} - \text{Momentสถิติ}}{\text{Momentจริง}} \times 100 \right| \quad (41)$$

2. เสา

2.1 จัดเก็บข้อมูล

จัดเก็บข้อมูลหน้าตัดเสาของอาคารทั้งหมดจำนวน 7 อาคาร โดยข้อมูลที่จัดเก็บ ประกอบด้วย ขนาดหน้าตัดของเสา (กว้างxลึก) ความสูงของเสา ปริมาณเหล็กเสริม (As) กำลังรับ แรงอัดของคอนกรีต (f_c') กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (f_y) รวมทั้งพื้นที่การรับน้ำหนักของเสาแต่ละต้น โดยการจัดเก็บข้อมูลหน้าตัดเสาในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะหน้าตัดเสาในแนวแกนหลัก เท่านั้น



ภาพที่ 14 รายละเอียดแบบของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

โดยมีรายละเอียดในการจัดเก็บข้อมูลประกอบด้วย

1. ชื่ออาคาร

2. ประเภทเสา โดยจะแบ่งประเภทของเสาที่จัดเก็บออกเป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ เสาขอบ โดยจะเป็นเสาที่อยู่รอบนอกของอาคาร เสามุมเป็นเสาที่อยู่บริเวณมุมของอาคาร และ เสาในเป็นเสาที่อยู่ภายในอาคาร

3. จำนวนชั้น (รวมคาบฟ้า)

4. ชื่อเสา เป็นชื่อเสาของอาคารนั้นๆ ที่ทำการจัดเก็บข้อมูล

5. ชั้นที่พิจารณา เป็นข้อมูลของชั้นที่ทำการจัดเก็บข้อมูล โดยชั้น 0 จะหมายถึง เสาตอม่อที่รับน้ำหนักของอาคารทุกชั้น

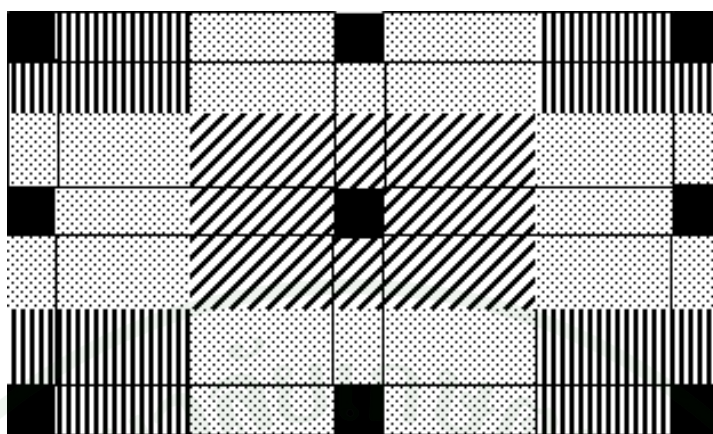
6. จำนวนชั้นที่รับน้ำหนัก หมายถึง จำนวนชั้นที่อยู่ถัดไปของเสาด้านนั้นที่รับน้ำหนัก

7. ตำแหน่ง คือตำแหน่งของเสาด้านนั้นในข้อมูลของอาคารที่จัดเก็บ

8. หน้าตัด คือขนาดของหน้าตัดของเสา โดยจะประกอบด้วยความกว้าง และ ความสูงของหน้าตัด

9. ความสูงระหว่างชั้น คือ ความสูงของแต่ละชั้นของเสาแต่ละต้น

10. พื้นที่รับ Load คือ พื้นที่ที่เสาด้านนั้นรับน้ำหนัก โดยจะคิดว่าเสาด้านนั้นจะมีพื้นที่ในการรับน้ำหนัก เป็นครึ่งหนึ่งของช่วงความกว้างระหว่างเสาในแต่ละด้าน ดังแสดงในภาพตัวอย่าง โดยจะมีพื้นที่การจัดเก็บแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่ใหญ่ๆ คือ พื้นที่สามมุม(พื้นที่เส้นแนวตั้ง) พื้นที่เสานอก(พื้นที่ลายจุด)และพื้นที่เสาใน(พื้นที่เส้นแนวทแยง) ซึ่งสาเหตุที่ทำการแบ่งพื้นที่การจัดเก็บน้ำหนักเสา ออกเป็น 3 พื้นทีนั้น เนื่องจากในแผ่นพื้น 1 แผ่น ถ้าหากเป็นพื้นเสริมเหล็กสองทางนั้น การถ่ายน้ำหนักของพื้นลงสู่เสา น้ำหนักของพื้นจะถูกแบ่งน้ำหนักออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน ดังนั้น การรับน้ำหนักของเสา จึงคิดประมาณน้ำหนักที่ของแผ่นพื้นกระทำต่อเสาด้านนั้นแบ่งออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน ดังนั้น เสาในจึงมีการรับน้ำหนักของแผ่นพื้นทั้ง 4 แผ่น ส่วนเสานอกนั้นจะมีการรับน้ำหนักของแผ่นพื้นเพียง 2 แผ่น และสามมุมนั้น จะมีการรับน้ำหนักของแผ่นพื้นเพียง 1 แผ่น(กรณีพื้นที่ทางเดียว น้ำหนักที่ถูกถ่ายลงมาสู่เสา สามารถใช้พื้นที่ของพื้นสองทางได้เหมือนกัน เนื่องจาก น้ำหนักที่ถ่ายลงสู่เสามีค่าเท่ากัน) ดังแสดงการพิจารณาการรับน้ำหนักของเสา แต่ละต้นดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 พื้นที่ที่พิจารณาในการรับน้ำหนักของอาคารในแต่ละชั้น

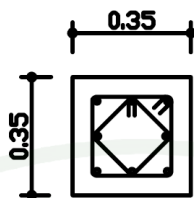
11. ค่ากำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดเสา จะประกอบด้วย 4 สภาวะคือ Ultimate Strength of Beam, Balance Loading, Zero Tension และ Axial Load Strength

12. ค่าน้ำหนักที่สามารถรับได้ของหน้าตัดจะประกอบด้วย 4 สภาวะคือ Ultimate Strength of Beam, Balance Loading, Zero Tension และ Axial Load Strength

2.2 วิเคราะห์กำลังหน้าตัดของเสา

วิเคราะห์กำลังหน้าตัดของเสา โดยวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักสูงสุด และกำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุด และนำค่าที่ได้ไปวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดกับแรงดัด (Interaction Diagram) ตามมาตรฐานของ ACI 318-89 โดยวิธีกำลัง

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณหาค่ารับโมเมนต์ดัด และค่ารับน้ำหนักของเสา



8-DB20 mm.

2-RB9mm. @ 0.20 Stirr.

วิธีทำ

คุณสมบัติวัสดุ

กำลังครากเหล็กเสริม (f_y)	=	4000	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นเหล็กเสริม E_s	=	2.04×10^6	ksc
กำลังอัดคอนกรีต (f_c)	=	280	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีต $E_c = 15100 \sqrt{f_c}$	=	252671	ksc
ตัวคูณลดกำลัง ϕ	=	0.7	
ตัวคูณ β_1	=	0.9	

1. แรงที่จุด A (จากภาพที่ 3) ของหน้าตัด (Axial Load Strength)

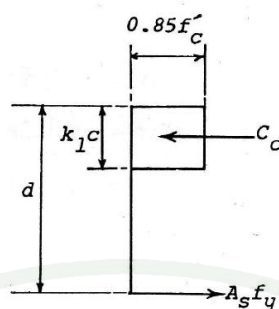
จากสูตร

$$P_o = 0.85f_c' (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y$$

$$P_o = 386051.44 \quad \text{kg}$$

$$P_o = 386.05 \quad \text{ton}$$

2. โมเมนต์ดัดประลัย ที่จุด C (จากภาพที่ 3) (Ultimate Strength of Beam)



ใช้วิธีการของ ACI โดยไม่คิดแรงในเหล็กรับแรงอัดซึ่งจะเกิดข้อผิดพลาดไม่มากนัก

$$M_n = 0.85 f'_c \beta_1 c (d - \beta_1 c/2) = A_s f_y (d - \beta_1 c/2)$$

หาระยะ $\beta_1 c$ จากสมดุลของแรง

$$A_s f_y = 0.85 f'_c b \beta_1 c$$

$$\beta_1 c = A_s f_y / 0.85 f'_c b$$

$$\beta_1 c = 4.52$$

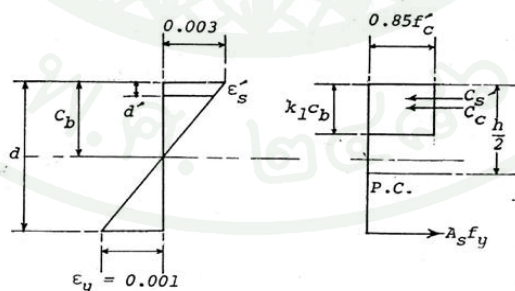
$$M_n = 973586.97 \quad \text{kg.cm}$$

$$M_n = 973.59 \quad \text{ton.cm}$$

$$M_n = 9.74 \quad \text{ton.m}$$

3. ที่สภาวะแรงกระทำพอดี ที่จุด B (จากภาพที่ 3) (Balance Loading)

จากการแจกแจงความเครียด



$$\frac{C_b}{35 - C_b} = \frac{0.003}{0.001}$$

$C_b = 17.19$ และ $\epsilon_s' = 0.00180 < 0.0019$ (ϵ_y) นั่นคือเหล็กรับแรงอัด A_s' ยังไม่เกิดการคราก
ต้องคำนวณหา f_s' ใหม่

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad f_s' &= E_s \epsilon_s' = E_s \frac{0.003(c_b - d')}{c_b} \\ f_s' &= 3635.02 \text{ ksc} \end{aligned}$$

จากสมการ

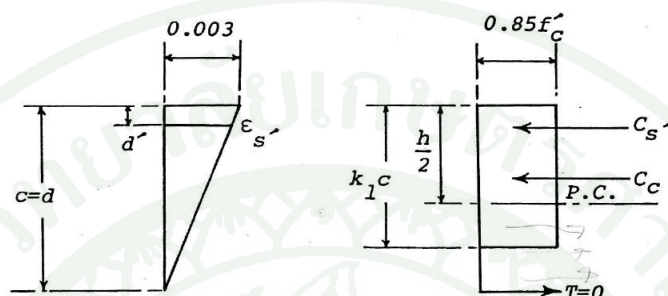
$$\begin{aligned} P_b &= C_c + C_s' - T \\ C_c &= 0.85f_c' b \beta_1 C_b \\ &= 127395.62 \text{ kg} \\ C_s' &= A_s f_s' \\ &= 34241.87 \text{ kg} \\ T &= A_s f_y \\ &= 37680 \text{ kg} \\ P_b &= 123960.49 \text{ kg} \\ P_b &= 123.96 \text{ ton} \end{aligned}$$

คิดโมเมนต์รอบศูนย์พลาสติก ที่ระยะ $h/2$ จากผิวล่างของพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากหน้าตัดและเหล็กเสริมมีลักษณะสมมาตร

$$\begin{aligned} M_n &= A_s f_y (h/2 - d') + C_c (h/2 - \beta_1 c_b/2) + A_s f_y (d - h/2) \\ A_s f_y (h/2 - d') &= 362963.80 \\ C_c (h/2 - \beta_1 c_b/2) &= 1255261.67 \\ A_s f_y (d - h/2) &= 399408 \\ M_n &= 2017633.47 \text{ kg.cm} \\ M_n &= 2017676.33 \text{ kg.m} \\ M_n &= 20.18 \text{ ton.m} \end{aligned}$$

4. ที่จุดซึ่งความเครียดในเหล็กรับแรงดึงเป็นศูนย์ (Zero Tension)

เนื่องจากความเครียดในเหล็กรับแรงดึงเป็นศูนย์ ระยะ C เท่ากับความลึกประสิทธิผลจากการแจกแจงความเครียด



$$\epsilon_s' = 0.00226 > 0.0019 (\epsilon_y)$$

นั่นคือเหล็กรับแรงอัด A_s' เกิดการคราก

จากสมการ

$$P = C_c + C_s'$$

$$C_c = 210665.70 \quad \text{kg.}$$

$$C_s' = 37680 \quad \text{kg.}$$

$$P = 248345.7 \quad \text{kg.}$$

$$P = 248.35 \quad \text{ton.}$$

คิดโมเมนต์ดัดรอบศูนย์พลาสติก

$$M = A_s' f_y (h/2 - d') + C_c (h/2 - \beta_1 c/2)$$

$$A_s' f_y (h/2 - d') = 399408 \quad \text{kg.cm}$$

$$C_c (h/2 - \beta_1 c/2) = 1022781.97 \quad \text{kg.cm}$$

$$M = 1422189.97 \quad \text{kg.cm}$$

$$M = 14221.90 \quad \text{kg.m}$$

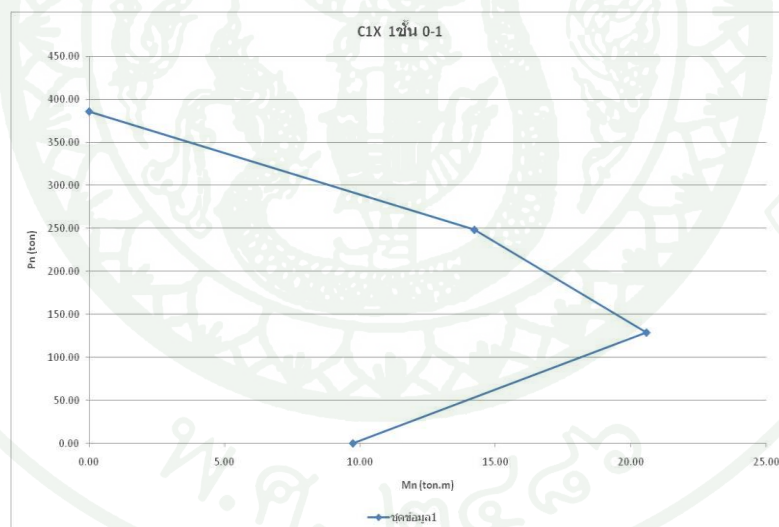
$$M = 14.22 \quad \text{ton.m}$$

โดยนำค่ากำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดที่สภาวะต่างๆ กัน มาสรุปเป็นตารางได้ดังที่แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดที่สภาวะต่างๆ

ลำดับที่	สภาวะ	P (ton)	M (ton.m)
1	Axial Load Strength	386.05	0.00
2	Ultimate Strength of Beam	0.00	9.74
3	Balance Loading	123.96	20.18
4	Zero Tension	248.35	14.22

จากค่าการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดเสาที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อนำค่าที่ได้ มาวาดกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา จะได้กราฟ Interaction diagram ของหน้าตัดเสา ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 กราฟความเกี่ยวพันของหน้าตัดเสา (Interaction Diagram)

หลังจากวิเคราะห์หาลำดับรับโมเมนต์คัตและกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดเสาแล้ว จึงนำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้มาจัดเก็บในตาราง ซึ่งประกอบด้วยค่ากำลังรับน้ำหนัก และกำลังรับโมเมนต์คัตที่สภาวะต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างข้อมูลหน้าตัดเสา ของอาคารหอพัก 7 ชั้น

อาคาร	ประเภทเสา	จำนวน ชั้น (รวม คานฟ้า)	ชื่อ เสา	ชั้นที่ พิจารณา	จำนวน ชั้นที่รองรับ น้ำหนัก	ตำแหน่ง	หน้าตัด (cm.)		ความสูง ระหว่างชั้น (m.)	พื้นที่รับ Load/ชั้น	โมเมนต์ (ton.m)				LOAD (ton)			
							กว้าง	สูง			Ultimate Strength of Beam	Balance Loading	Zero Tension	Axial Load Strength	Ultimate Strength of Beam	Balance Loading	Zero Tension	Axial Load Strength
หอพัก 7 ชั้น	เสาขอบ	8	C1	0	8	A4	35	35	3	12.89	6.82	14.40	9.96	0.00	0.00	90.20	173.84	270.24
หอพัก 7 ชั้น	เสาขอบ	8	C1	0	8	A5	35	35	3	9.97	6.82	14.40	9.96	0.00	0.00	90.20	173.84	270.24
หอพัก 7 ชั้น	เสาขอบ	8	C1	0	8	A6	35	35	3	7.35	6.82	14.40	9.96	0.00	0.00	90.20	173.84	270.24
หอพัก 7 ชั้น	เสาขอบ	8	C1	0	8	A7	35	35	3	7.35	6.82	14.40	9.96	0.00	0.00	90.20	173.84	270.24
หอพัก 7 ชั้น	เสาใน	8	C2	0	8	C4	30	55	3	16.81	18.26	37.51	24.74	0.00	0.00	145.41	281.69	403.39
หอพัก 7 ชั้น	เสาใน	8	C2	0	8	C5	30	55	3	18.36	18.26	37.51	24.74	0.00	0.00	145.41	281.69	403.39
หอพัก 7 ชั้น	เสาใน	8	C2	0	8	C6	30	55	3	18.36	18.26	37.51	24.74	0.00	0.00	145.41	281.69	403.39
หอพัก 7 ชั้น	เสามุม	8	C1	0	8	E2	35	35	3	7.16	6.82	14.40	9.96	0.00	0.00	90.20	173.84	270.24
หอพัก 7 ชั้น	เสานอก	8	C1	0	8	E4	35	35	3	7.09	6.82	14.40	9.96	0.00	0.00	90.20	173.84	270.24
หอพัก 7 ชั้น	เสานอก	8	C1	0	8	E5	35	35	3	7.35	6.82	14.40	9.96	0.00	0.00	90.20	173.84	270.24

หมายเหตุ ชั้น 0 หมายถึง ตอม่อ

2.3 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) ของอาคาร

เก็บรวบรวมข้อมูลน้ำหนักคงที่ของอาคาร โดยพิจารณาน้ำหนักคงที่ของ พื้น ผนัง คาน และเสา โดยรวบรวมน้ำหนักคงที่ของทุกส่วนอาคารแล้วแปลงเป็นน้ำหนักบรรทุกต่อพื้นที่ (น้ำหนักทั้งหมดในพื้นที่ที่เสารับน้ำหนัก) โดยแบ่งเสาออกเป็น 3 ประเภทคือ เสามุม เสานอก และ เสาใน ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 4

หาน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) โดยประมาณที่ถ่ายลงเสา โดยจะรวบรวมน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่างๆ ในพื้นที่ที่เสานั้นรับน้ำหนัก เช่น น้ำหนักของกำแพง น้ำหนักของพื้น น้ำหนักคาน รวมทั้งน้ำหนักของเสาชั้นถัดไป มาสรุปเป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ (มีหน่วยเป็น kg/m^2) ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อประมาณน้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลงสู่เสาหรือฐานรากได้

จัดเก็บพื้นที่การรับน้ำหนักของเสาต่อ 1 ชั้น โดยการจัดเก็บพื้นที่การรับน้ำหนักของเสาโดยประมาณ โดยคิดว่าพื้นที่การรับน้ำหนักของเสาด้านนั้นรับน้ำหนักเป็นครึ่งหนึ่งของช่วงความยาวคานแต่ละช่วง ดังภาพที่ 15 โดยแบ่งประเภทของเสาออกเป็นเสามุม เสานอก และเสาใน

ตารางที่ 4 ตัวอย่างข้อมูลน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างต่อพื้นที่รับน้ำหนักของเสาของอาคารหอพัก 5 ชั้น

อาคาร	ประเภท เสา	จำนวนชั้น (รวมคานฟ้า)	ชื่อเสา	ชั้นที่ พิจารณา	จำนวนชั้นที่ รองรับ น้ำหนัก	ชั้น	ตำแหน่ง	พื้นที่รับ Load/ ชั้น (m ²)	DEAD LOAD (Kg)					
									พื้น	ผนัง	คาน	เสา	รวม	น้ำหนักรวม/พื้นที่รับ Load ต่อชั้น (kg/m ²)
หอพัก 5 ชั้น	เสามุม	6	C1	0	6	0 - 1	A1	4.19	1080	2527	1215	192	5014	1198
หอพัก 5 ชั้น	เสานอก	6	C1	0	6	0 - 1	A2	6.16	1560	3102	1514	192	6368	1033
หอพัก 5 ชั้น	เสานอก	6	C1	0	6	0 - 1	A5	6.07	1536	2484	1716	192	5928	976
หอพัก 5 ชั้น	เสามุม	6	C1	0	6	0 - 1	A6	4.10	1056	1881	1492	192	4621	1128
หอพัก 5 ชั้น	เสานอก	6	C1	0	6	0 - 1	B1	8.37	2153	2116	1487	192	5948	710
หอพัก 5 ชั้น	เสาใน	6	C1	0	6	0 - 1	B2	12.32	3132	3118	1801	192	8243	669
หอพัก 5 ชั้น	เสาใน	6	C1	0	6	0 - 1	B5	12.15	3066	3924	2046	192	9228	760
หอพัก 5 ชั้น	เสานอก	6	C1	0	6	0 - 1	B6	8.20	2112	3214	1948	192	7466	911
หอพัก 5 ชั้น	เสานอก	6	C1	0	6	0 - 1	C1	9.45	2338	2693	1583	192	6806	720
หอพัก 5 ชั้น	เสาใน	6	C1	0	6	0 - 1	C3	12.60	2202	3325	1782	192	7501	595
หอพัก 5 ชั้น	เสาใน	6	C1	0	6	0 - 1	C5	11.84	2739	2591	1225	192	6747	570
หอพัก 5 ชั้น	เสานอก	6	C1	0	6	0 - 1	C6	10.07	1742	3148	1852	192	6934	688

หลังจากเก็บข้อมูลน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ของแต่ละอาคารแล้วเสร็จจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นค่าน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ที่กระทำกับพื้นที่รับน้ำหนักของเสาแต่ละตำแหน่ง โดยตำแหน่งเสาประกอบด้วย เสามุม เสานอก และเสาใน

2.4 ปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา

เก็บข้อมูลขนาดของหน้าตัดเสา พื้นที่ของหน้าตัดเสา(Ag) ปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา(As) รวมทั้งคำนวณเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมในหน้าตัดเสา โดยเก็บข้อมูลของหน้าตัดเสาในทุกๆ ชั้น และแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของเหล็กเสริมในหน้าตัด ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวอย่างข้อมูลเปอร์เซ็นต์เหล็กของหน้าตัดเสา

ลำดับ ที่	ชื่อ เสา	จำนวน ชั้นรวม คาน้ำฟ้า	จำนวน ชั้น	จำนวน ชั้นรับ น้ำหนัก	คอนกรีต 7 ชั้น							
					หน้าตัด		เหล็กเสริม		Ag (cm ²)		As (cm ²)	% เหล็ก
1	C1	8	0	8	35	35	8	DB	20	1225	25.13	2.05
2	C1	8	1	7	35	35	8	DB	20	1225	25.13	2.05
3	C1	8	2	6	30	30	8	DB	20	900	25.13	2.79
4	C1	8	3	5	30	30	8	DB	20	900	25.13	2.79
5	C1	8	4	4	30	30	8	DB	20	900	25.13	2.79
6	C1	8	5	3	30	30	4+4	DB	16+12	900	12.57	1.40
7	C1	8	6	2	30	30	4+4	DB	16+12	900	12.57	1.40
8	C1	8	7	1	30	30	4+4	DB	16+12	900	12.57	1.40
9	C2	8	0	8	35	55	10	DB	20	1925	31.42	1.63
10	C2	8	1	7	35	55	10	DB	20	1925	31.42	1.63
11	C2	8	2	6	30	50	10	DB	20	1500	31.42	2.09
12	C2	8	3	5	30	50	10	DB	20	1500	31.42	2.09
13	C2	8	4	4	30	30	8	DB	16	900	16.08	1.79
14	C2	8	5	3	30	30	8	DB	16	900	16.08	1.79

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การรับน้ำหนักของเสากับปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา

จากข้อมูลเปอร์เซ็นต์เหล็กของหน้าตัดเสาของอาคารแต่ละชั้น จึงนำข้อมูลปริมาณเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์กับพื้นที่การรับน้ำหนักรวมของเสาแต่ละต้น ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตัวอย่างข้อมูลเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมของหน้าตัดเสาต่อพื้นที่รับน้ำหนักรวมของอาคาร

อาคาร	จำนวนชั้น (รวม คานฟ้า)	ชื่อเสา	ประเภท เสา	ชั้นที่ พิจารณา	จำนวนชั้น ที่รองรับ น้ำหนัก	ชั้น	ตำแหน่ง	หน้าตัด (cm. ²)		พื้นที่รับ Load (m ²)		%
								กว้าง	ลึก	ต่อชั้น	รวม	
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	0	7	0 - 1	E3	40	40	7.5	52.5	1.51
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	1	6	1 - 2	E3	40	40	7.5	45	1.51
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	2	5	2 - 3	E3	40	40	7.5	37.5	1.51
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	3	4	3 - 4	E3	40	40	7.5	30	1.51
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	4	3	4 - 5	E3	40	40	7.5	22.5	1.51
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	5	2	5 - 6	E3	40	40	7.5	15	1.51
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	6	1	6 - 7	E3	40	40	7.5	7.5	1.51
หอพัก 5 ชั้น	6	C1	เสามุม	0	6	0 - 1	A1	20	40	4.19	25.12	4.02
หอพัก 5 ชั้น	6	C1	เสามุม	1	5	1 - 2	A1	20	40	4.19	20.94	3.52
หอพัก 5 ชั้น	6	C1	เสามุม	2	4	2 - 3	A1	20	40	4.19	16.75	2.51

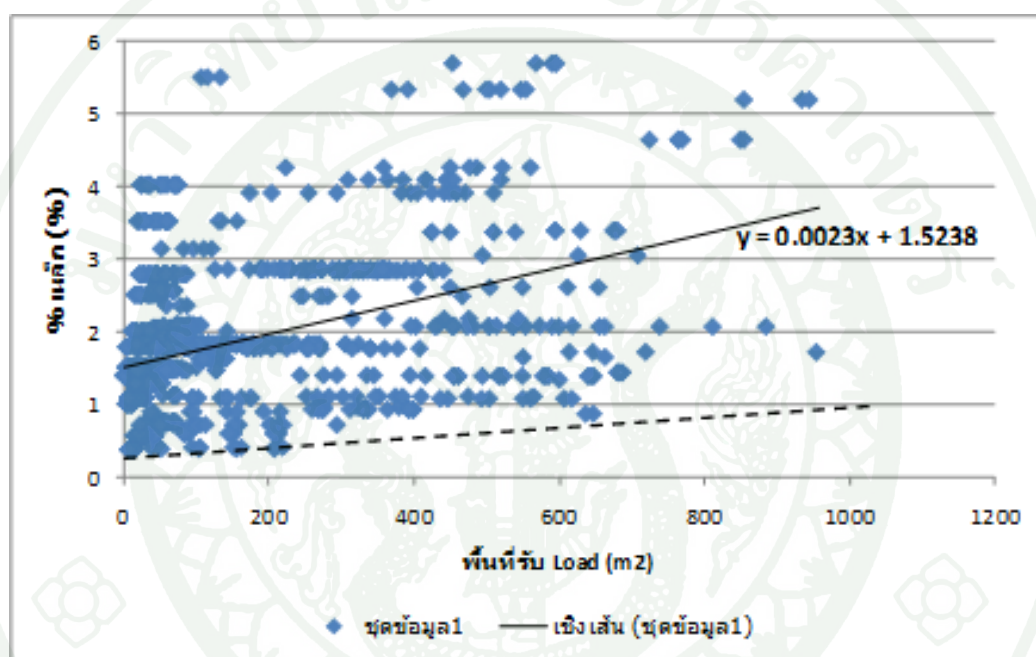
ตารางที่ 6 (ต่อ)

อาคาร	จำนวนชั้น (รวม คาดฟ้า)	ชื่อเสา	ประเภท เสา	ชั้นที่ พิจารณา	จำนวนชั้น ที่รองรับ น้ำหนัก	ชั้น	ตำแหน่ง	หน้าตัด (cm. ²)	พื้นที่รับ (m ²)	Load	% เหล็ก
หอพัก 5 ชั้น	6	C1	เสามุม	3	3	3 - 4	A1	20 40	4.19	12.56	2.01
หอพัก 5 ชั้น	6	C1	เสามุม	4	2	4 - 5	A1	20 40	4.19	8.37	1.51
หอพัก 5 ชั้น	6	C1	เสามุม	5	1	5 - 6	A1	20 40	4.19	4.19	1.01
หอพัก 7 ชั้น	8	C1	เสาขอบ	0	8	0 - 1	A8	35 35	7.35	89.425	2.05
หอพัก 7 ชั้น	8	C1	เสานอก	1	7	1 - 2	A8	35 35	12.775	82.075	2.05
หอพัก 7 ชั้น	8	C1	เสานอก	2	6	2 - 3	A8	30 30	12.775	69.3	2.79
หอพัก 7 ชั้น	8	C1	เสานอก	3	5	3 - 4	A8	30 30	12.775	56.525	2.79

จากตารางที่ 6 เนื่องจากถ้าหากต้องการประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักและค่ากำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดเสานั้น ซึ่งลักษณะทางกายภาพของเสาต้นที่ต้องการประมาณกำลังนั้นมีเพียงสิ่งเดียวที่สามารถรู้ได้ ก็คือ ขนาดของหน้าตัดเสา ซึ่งจะไม่สามารถรู้ได้เลยว่าจำนวนเหล็กเสริมที่อยู่ในหน้าตัดเสานั้น มีปริมาณเท่าไร นอกจากจะต้องทำการตรวจสอบด้วยวิธีที่ยุ่งยากซับซ้อน ดังนั้น การจัดเก็บข้อมูลปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดของเสา (เปอร์เซ็นต์เหล็ก) นั้นเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งถ้าหากมีข้อมูลมากพอสมควร ก็จะช่วยให้ทราบได้ว่าแนวโน้มของปริมาณเหล็กที่เสริมอยู่ในหน้าตัดเสานั้น มีปริมาณการเสริมเหล็กโดยส่วนใหญ่อยู่ที่ปริมาณเท่าใด และเนื่องจากปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสาแต่ละต้นนั้นมีปริมาณเหล็กเสริมที่ไม่เท่ากัน จึงต้องหาค่าตัวแทนปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสาขึ้นมา จึงได้นำข้อมูลพื้นที่การรับน้ำหนักของเสาแต่ละต้นมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา โดยกำหนดให้ปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเป็นฟังก์ชันของค่าพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสา หรือเขียนเป็นสมการ

$$\rho = f(A) \quad (31)$$

โดยที่ ρ คือค่าปริมาณเหล็กเสริมในเสาและ A คือพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสา แล้วทำการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Regression) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) โดยให้พื้นที่รับน้ำหนักรวมของหน้าตัดเสามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณเหล็กเสริม จะได้กราฟ และสมการดังแสดงในภาพที่ 17 ซึ่งค่า x หมายถึงพื้นที่รับน้ำหนักรวมของหน้าตัดเสา (หน่วยเป็นตารางเมตร) และค่า y คือปริมาณเหล็กเสริม (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)

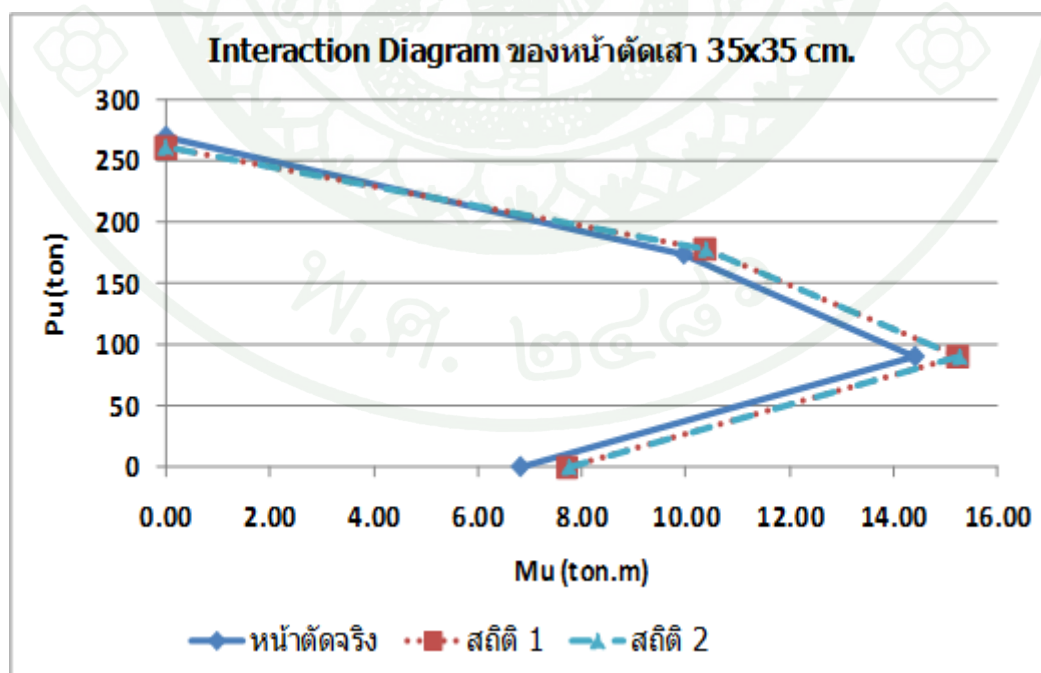


ภาพที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รับน้ำหนักของอาคารกับเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมของหน้าตัดเสา

จากภาพที่ 17 ปริมาณเหล็กเสริมกับพื้นที่รับน้ำหนักของเสา จากการเก็บข้อมูลหน้าตัดเสา 7 อาคาร โดยแกนนอนจะเป็นพื้นที่รับน้ำหนักรวมของอาคาร และแกนตั้งจะเป็นเปอร์เซ็นต์เหล็กที่เสริมในหน้าตัด ซึ่งพบว่า แนวโน้มของปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดนั้น จะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่การรับน้ำหนักของเสาเพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อที่จะประมาณกำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสา จึงทดลองหาเส้นแนวโน้มของข้อมูล โดยพิจารณาจากเส้นขอบล่างของข้อมูล (เส้นประ) จะเห็นว่าเมื่อพื้นที่การรับน้ำหนักรวมของเสาเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์เหล็กในหน้าตัดเสาก็เพิ่มขึ้นด้วย จึงเลือกใช้สมการเชิงเส้นตรง ซึ่งน่าจะเป็นสมการตัวแทนของปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา

เมื่อได้สมการที่ใช้ในการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมของหน้าตัดเสาแล้ว จึงนำค่าสมการที่ได้ไปทำการประมาณหาเปอร์เซ็นต์เหล็กในหน้าตัดเสาของอาคารที่จัดเก็บข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบกัน โดยนำค่าสมการที่ได้มาแทนค่าด้วยพื้นที่การรับน้ำหนักของอาคารแล้วทำการคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดเสาและกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสาที่สภาวะต่างๆ แล้วจึงนำค่าที่ได้มาวาดกราฟ Interaction Diagram เพื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดจากแบบโครงสร้างจริง กับค่าที่ได้จากการประมาณ

ทำการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการรับน้ำหนักและโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสา ระหว่างหน้าตัดเสาของโครงสร้างจริงจากแบบก่อสร้าง กับหน้าตัดของเสาโดยใช้เปอร์เซ็นต์เหล็กจากสถิติ โดยการเปรียบเทียบค่าพื้นที่ที่ได้กราฟ Interaction Diagram โดยสาเหตุที่เปรียบเทียบด้วยค่าพื้นที่ที่ได้กราฟของ กราฟ Interaction Diagram นั้น กราฟ Interaction Diagram นั้น จะมีแกนหลักอยู่ 2 แกนคือ ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัด และค่ากำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดเสา การที่จะทำการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลกำลังรับน้ำหนักและโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสา จากแบบก่อสร้างจริง กับข้อมูลที่ได้จากสถิติ นั้น จะหาจุดที่ใช้เปรียบเทียบความถูกต้องลำบาก ดังนั้น การใช้พื้นที่ที่ได้กราฟ เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลนั้น จึงน่าจะเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกที่สุด (และน่าจะมีความผิดพลาดน้อยด้วย)



ภาพที่ 18 Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา จากแบบก่อสร้างจริง และจากวิธีทางสถิติ

จากภาพที่ 18 จะแสดงกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา ประกอบด้วยกราฟจากการคำนวณกำลังของหน้าตัดจากแบบก่อสร้างของโครงสร้างอาคาร กราฟจากการคำนวณเพื่อประมาณกำลังของหน้าตัดจากพื้นที่รับน้ำหนักทั้งสองสมการ

2.6 คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสาจากการประมาณกำลังรับน้ำหนัก

หลังจากได้สมการที่ใช้ในการประมาณหาปริมาณเหล็กเสริมของหน้าตัดเสาแล้ว จึงนำค่าสมการที่ได้มาประมาณหาปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา พร้อมทั้งคำนวณหา ค่ากำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดเสา พร้อมทั้งวาดกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา ดังแสดงการคำนวณดังตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 3 การคำนวณหา กำลังรับโมเมนต์คัต และกำลังรับน้ำหนักของเสาจากปริมาณเหล็กเสริมที่ได้จากการประมาณ

วิธีทำ

คุณสมบัติวัสดุ

กำลังครากเหล็กเสริม (f_y)	=	3000	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นเหล็กเสริม E_s	=	2.04×10^6	ksc
กำลังอัดคอนกรีต (f'_c)	=	240	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีต $E_c = 15100 \sqrt{f'_c}$	=	233928	ksc
ตัวคูณลดกำลัง ϕ	=	0.7	
ตัวคูณ β_1	=	0.85	
พื้นที่รับน้ำหนักรวม(ทุกชั้นที่คำนวณน้ำหนักลงเสา)=		44.71	m ²
สมการประมาณปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัด	y =	0.0023x + 1.5238	
หน้าตัด	=	35 x 35	cm.
พื้นที่หน้าตัด A_g	=	1225	cm ²
ปริมาณเหล็กเสริมที่ได้จากสมการ ρ	=	1.63	%
พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมจากการประมาณ $A_s \text{ total}$	=	19.926	cm ²
A_s'	=	9.963	cm ²

$$A_s = 9.963 \text{ cm}^2$$

1. แรงที่จุด A (จากภาพที่ 3) ของหน้าตัด (Axial Load Strength)

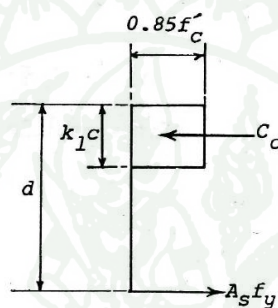
จากสูตร

$$P_o = 0.85f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y$$

$$P_o = 305614.00 \text{ kg}$$

$$P_o = 305.61 \text{ ton}$$

2. โมเมนต์ดัดปลายที่จุด C (จากภาพที่ 3) (Ultimate Strength of Beam)



ใช้วิธีการของ ACI โดยไม่คิดแรงในเหล็กรับแรงอัดซึ่งจะเกิดข้อผิดพลาดไม่มากนัก

$$M_n = 0.85 f'_c \beta_{1c} (d - \beta_{1c}/2) = A_s f_y (d - \beta_{1c}/2)$$

หาระยะ β_{1c} จากสมมูลของแรง

$$A_s f_y = 0.85 f'_c b \beta_{1c}$$

$$\beta_{1c} = A_s f_y / 0.85 f'_c b$$

$$\beta_{1c} = 4.19$$

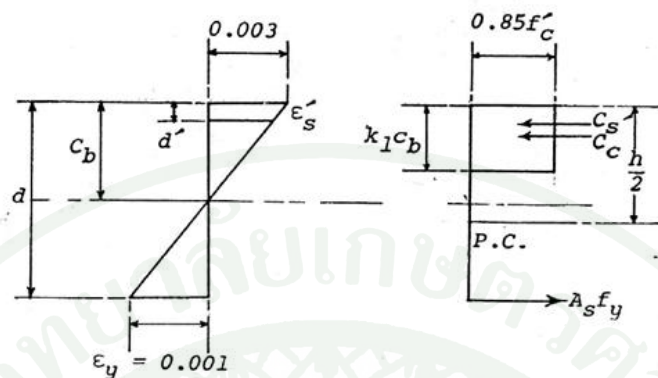
$$M_n = 777332.86 \text{ kg.cm}$$

$$M_n = 777.33 \text{ ton.cm}$$

$$M_n = 7.77 \text{ ton.m}$$

3. ที่สภาวะแรงกระทำพอดี ที่จุด B (จากภาพที่ 3) (Balance Loading)

จากการแจกแจงความเครียด



$$\frac{C_b}{35 - C_b} = \frac{0.003}{0.001}$$

$C_b = 18.86$ และ $\epsilon_s' = 0.00190 > 0.00147 (\epsilon_y)$ นั่นคือเหล็กรับแรงอัด A_s' เกิดการคราก

จากสมการ

$$P_b = C_c + C_s' - T$$

$$C_c = 0.85f_c' b \beta_1 c_b$$

$$= 114440.58 \quad \text{kg}$$

$$C_s' = A_s' f_s'$$

$$= 29889.49 \quad \text{kg}$$

$$T = A_s f_y$$

$$= 29889.49 \quad \text{kg}$$

$$P_b = 114440.58 \quad \text{kg}$$

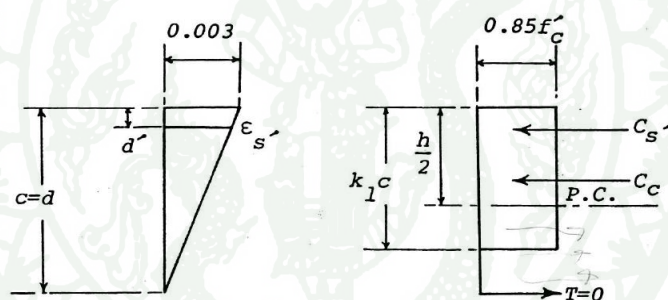
$$P_b = 114.44 \quad \text{ton}$$

คิดโมเมนต์รอบศูนย์พลาสติก ที่ระยะ $h/2$ จากผิวล่างของพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากหน้าตัด
และเหล็กเสริมมีลักษณะสมมาตร

$$\begin{aligned}
M_n &= A_s' f_y (h/2 - d') + C_c (h/2 - k_1 c_b/2) + A_s f_y (d - h/2) \\
A_s' f_y (h/2 - d') &= 316828.56 \\
C_c (h/2 - k_1 c_b/2) &= 1085578.05 \\
A_s f_y (d - h/2) &= 316828.56 \\
M_n &= 1719235.17 \quad \text{kg.cm} \\
M_n &= 17192.35 \quad \text{kg.m} \\
M_n &= 17.19 \quad \text{ton.m}
\end{aligned}$$

4. ที่จุดซึ่งความเครียดในเหล็กรับแรงดึงเป็นศูนย์ (Zero Tension)

เนื่องจากความเครียดในเหล็กรับแรงดึงเป็นศูนย์ ระยะ C เท่ากับความลึกประสิทธิภาพจากการแจกแจงความเครียด



$$\epsilon_s' = 0.00226 > 0.00147 (\epsilon_y)$$

นั่นคือเหล็กรับแรงอัด A_s' เกิดการคราก

จากสมการ

$$\begin{aligned}
P &= C_c + C_s' \\
C_c &= 170538.90 \\
C_s' &= 29889.49 \\
P &= 200428.39 \quad \text{kg} \\
P &= 200.43 \quad \text{ton}
\end{aligned}$$

คิดโมเมนต์ดัดรอบศูนย์พลาสติก

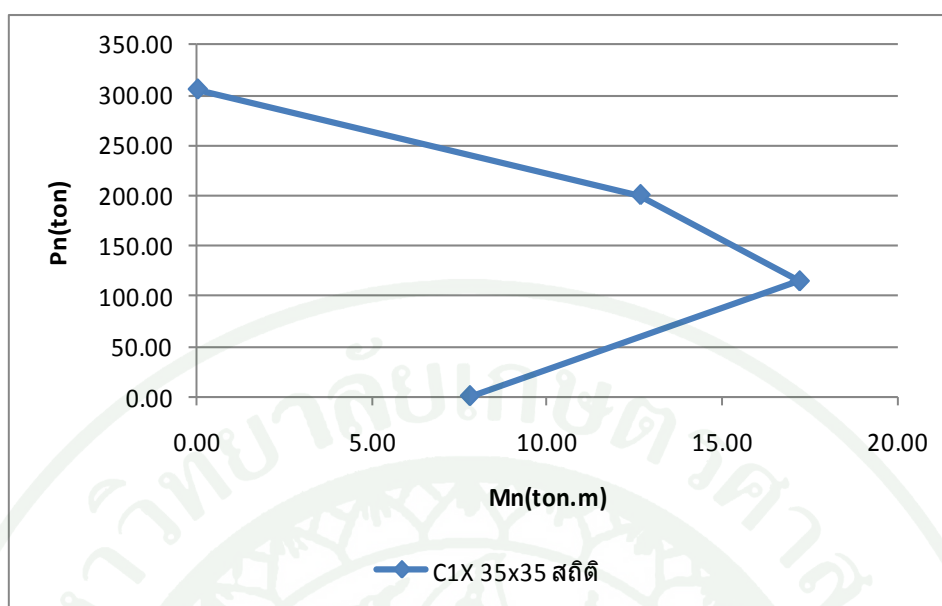
$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s' f_y (h/2 - d') + C_c (h/2 - \beta_1 c/2) \\
 A_s' f_y (h/2 - d') &= 316828.56 \\
 C_c (h/2 - \beta_1 c/2) &= 947769.94 \\
 M_n &= 1264598.50 \quad \text{kg.cm} \\
 M_n &= 12645.99 \quad \text{kg.m} \\
 M_n &= 12.65 \quad \text{ton.m}
 \end{aligned}$$

โดยนำค่ากำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดที่สภาวะต่างๆ กัน มาสรุปเป็นตารางได้ดังที่แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 กำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดที่สภาวะต่างๆ

ลำดับที่	สภาวะ	P (ton)	M (ton.m)
1	Axial Load Strength	305.61	0.00
2	Ultimate Strength of Beam	0.00	7.77
3	Balance Loading	114.44	17.19
4	Zero Tension	200.43	12.65

จากค่าการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดเสาที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อนำค่าที่ได้ มาวาดกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา จะได้กราฟ Interaction diagram ของหน้าตัดเสา ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 กราฟความเกี่ยวพันของหน้าตัดเสาจากการประมาณปริมาณเหล็กเสริม (Interaction Diagram)

2.7 Interaction Curve ของหน้าตัดเสา

เมื่อนำสมการที่ได้จากกราฟปริมาณเหล็กเสริมกับพื้นที่หน้าตัดเสา มาประมาณเพื่อหาปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา และนำปริมาณเหล็กเสริมที่ได้ไปคำนวณหาค่ารับน้ำหนักและโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสาที่สภาวะต่างๆ แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปวาด Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา และคำนวณหาพื้นที่ได้กราฟของเสาแต่ละต้น แล้วจึงนำพื้นที่ได้กราฟที่ได้มาเปรียบเทียบและหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ได้กราฟ ระหว่างพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดเสาจริงกับพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดเสาที่ได้จากวิธีทางสถิตยศาสตร์ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 กำลังของหน้าตัดเสาขนาด 35x35 cm. พื้นที่รับน้ำหนักรวม 105.275 m² ที่สภาวะต่างๆ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ

สภาวะ	หน้าตัดจริง		สถิติ	
	LOAD	โมเมนต์	LOAD	โมเมนต์
Ultimate Strength of Beam	0.00	6.82	0.00	7.72
Balance Loading	90.20	14.40	90.20	15.23
Zero Tension	173.84	9.96	177.75	10.37
Axial Load Strength	270.24	0.00	261.05	0.00
พื้นที่	2455.2		2587.7	

เมื่อคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของหน้าตัดเสาทั้งจากแบบก่อสร้างจริงและจากการประมาณทั้งสองสมการแล้วเสร็จจึงนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของหน้าตัดในแต่ละชั้นของอาคารต่างๆ

3. พื้นที่

3.1 จัดเก็บข้อมูล

จัดเก็บข้อมูลแผ่นพื้นของอาคารทั้งหมดจำนวน 7 อาคาร โดยข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วย ขนาดของแผ่นพื้น (กว้างxยาวx หนา) ปริมาณเหล็กเสริม (As) กำลังรับแรงอัดของนกรีต (fc') กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (fy) ดังแสดงในตัวอย่างตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลแผ่นพื้น

อาคาร	พื้น	ชั้น	ขนาด			จำนวน	ประเภทพื้น	โมเมนต์คัลที่รับได้ช่วงสั้น (kg.m)			โมเมนต์คัลที่รับได้ช่วงยาว (kg.m)			น้ำหนักที่รับได้ ช่วงสั้น kg/m ²			น้ำหนักที่รับได้ ช่วงยาว kg/m ²			น้ำหนักที่รับได้ kg/m ²	ปริมาณที่เกิดขึ้น	R
			กว้าง	ยาว	หนา			ขอบคาน	ระหว่าง	ขอบของ	ขอบคาน	ระหว่าง	ขอบของ	ขอบคาน	ระหว่าง	ขอบของ	ขอบคาน	ระหว่าง	ขอบของ			
			(cm.)	(cm.)	(cm.)			ตัวใน	ช่วงพื้น	คานขอบ	ตัวใน	ช่วงพื้น	คานขอบ	ตัวใน	ช่วงพื้น	คานขอบ	ตัวใน	ช่วงพื้น	คานขอบ			
คอนโด 7 ชั้น	S4	1	150	500	15	1	One Way Slab	3740.63	3740.63	3740.63				14962.50	23275.00	39900.00				14963	1084	13.80
คอนโด 7 ชั้น	S4	1	500	500	15	1	Two Way Slab	3740.625	3740.625	3740.625	3740.63	3740.625	3740.625	2579.74	2579.74	5159.48	2579.74	3400.57	5159.48	2580	1084	2.38
คอนโด 7 ชั้น	S4	1	300	400	15	1	Two Way Slab	3740.63	3740.625	3740.625	3740.63	3740.625	3740.625	7104.70	9446.02	14331.90	10137.20	13407.26	19791.67	7105	1084	6.55
คอนโด 7 ชั้น	S4	1	300	400	15	1	Two Way Slab	3740.63	3740.63	3740.63	3740.625	3740.625	3740.625	6157.41	8149.51	12224.26	8482.14	11233.11	16625.00	6157	1084	5.68
คอนโด 7 ชั้น	S4	1	400	500	15	1	Two Way Slab	3740.625	3740.625	3740.625	3740.63	3740.625	3740.625	4250.71	5702.17	8658.85	5702.17	7541.58	11132.81	4251	1084	3.92
คอนโด 7 ชั้น	S1	1	225	295	12.5	1	Two Way Slab	675.00	675	675	675.00	675	675	2306.81	3072.20	4662.00	3252.03	4301.08	6349.21	2307	1000	2.31
คอนโด 7 ชั้น	S1	1	140	225	12.5	1	Two Way Slab	675.00	675.00	675.00	675	675	675	5094.49	6752.70	10069.82	8399.70	11109.28	16399.42	5094	1000	5.09

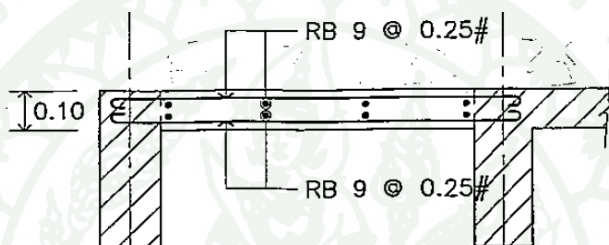
ตารางที่ 9 (ต่อ)

อาคาร	พื้น	ชั้น	ขนาด			จำนวน	ประเภทพื้น	โมเมนต์คัลที่รับได้ช่วงสั้น (kg.m)			โมเมนต์คัลที่รับได้ช่วงยาว (kg.m)			น้ำหนักที่รับได้ ช่วงสั้น kg/m ²			น้ำหนักที่รับได้ ช่วงยาว kg/m ²			น้ำหนักที่รับได้ kg/m ²	ปริมาณ น้ำหนักที่เกิดขึ้น kg/m ²	R
			กว้าง	ยาว	หนา			ขอบคาน	ระหว่าง	ขอบของ	ขอบคาน	ระหว่าง	ขอบของ	ขอบคาน	ระหว่าง	ขอบของ	ขอบคาน	ระหว่าง	ขอบของ			
			(cm.)	(cm.)	(cm.)			ตัวใน	ช่วงพื้น	คานขอบ	ตัวใน	ช่วงพื้น	คานขอบ	ตัวใน	ช่วงพื้น	คานขอบ	ตัวใน	ช่วงพื้น	คานขอบ			
คอนโด 7 ชั้น	S2	1	170	700	12.5	1	One Way Slab	882.00	882.00	882.00				2746.71	4272.66	7324.57				2747	1000	2.75
คอนโด 7 ชั้น	S1	1	190	235	12.5	1	Two Way Slab	675.00	675	675	675.00	675	675	3961.45	5281.94	-	5666.08	7479.22	-	3961	1000	3.96
คอนโด 7 ชั้น	S1	1	210	240	12.5	1	Two Way Slab	675.00	675.00	675.00	675	675	675	3098.41	4136.79	6222.00	3733.20	4937.46	7288.63	3098	1000	3.10
คอนโด 7 ชั้น	S2	1	200	470	12.5	2	One Way Slab	882.00	882.00	882.00				1984.50	3087.00	5292.00				1985	1000	1.98
คอนโด 7 ชั้น	S1	1	100	450	12.5	1	One Way Slab	675.00	675.00	675.00				6075.00	9450.00	16200.00				6075	1000	6.08
คอนโด 7 ชั้น	S3	1	300	450	12.5	1	Two Way Slab	882	882	882	882	882	882	1707.32	2289.72	-	2969.70	3920.00	-	1707	1000	1.71

3.2 วิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น

หลังจากเก็บข้อมูลแผ่นพื้นของอาคารทุกอาคาร แล้วจึงนำข้อมูลแผ่นพื้นที่จัดเก็บมา คำนวณหาลำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุดของแผ่นพื้น (M_{max}) รวมทั้งคำนวณหาน้ำหนักที่แผ่นพื้น สามารถรับ (W_u) ได้ด้วย ดังแสดงตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 4 การคำนวณหาลำลังรับโมเมนต์ดัดของแผ่นพื้นทางเดียว ของอาคารพักอาศัย 3 ชั้น และน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น (W_u)



วิธีทำ

1. คุณสมบัติวัสดุ

กำลังครากเหล็กเสริม (f_y)	=	2400	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นเหล็กเสริม (E_s)	=	2.04×10^6	ksc
กำลังอัดคอนกรีต (f_c)	=	210	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีต $E_c = 15100\sqrt{f_c}$	=	218820	ksc
ตัวคูณลดกำลัง ϕ	=	0.9	

2. หน้าตัดพื้น

กว้าง (S)	=	100	cm.
ยาว (L)	=	400	cm.
หนา	=	10	cm.
d	=	7.5	cm.

ตรวจสอบว่าเป็นพื้นทางเดียว $L > 2S$ TRUE

เหล็กเสริมที่ขอบคานตัวใน	= RB9 @ 0.25 m.	เนื้อที่หน้าตัดเหล็ก	= 2.54 cm ²
เหล็กระหว่างช่วงพื้น	= RB9 @ 0.25 m.	เนื้อที่หน้าตัดเหล็ก	= 2.54 cm ²
ที่ขอบของคานขอบ	= RB9 @ 0.25 m.	เนื้อที่หน้าตัดเหล็ก	= 2.54 cm ²

3. หากำลังรับโมเมนต์โมเมนต์เหล็กเสริม

โดยที่ $b = 100$ cm.

หาโมเมนต์เหล็กเสริมที่ขอบคานตัวใน (M_u)

$$\text{จาก } \rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$\rho = \frac{2.54}{100 * 7.5} = 0.0034$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{0.85 * f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 * f'_c}} \right)$$

$$0.0034 = \frac{0.85 * 210}{2400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 * 210}} \right)$$

$$R_u = 7.9 \text{ ksc}$$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$7.9 = \frac{M_u}{0.9 * 100 * 7.5}$$

$$M_u = 399.94 \text{ kg.m}$$

$$M = \frac{1}{9} W_u l^2$$

$$W_u = 3599.44 \text{ kg/m}^2 \quad \text{--- (1)}$$

หาโมเมนต์เหล็กเหล็กระหว่างช่วงพื้น (M_+)

$$\text{จาก } \rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$\rho = \frac{2.54}{100 \times 7.5} = 0.0034$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 \cdot f'_c}} \right)$$

$$0.0034 = \frac{0.85 \cdot 210}{2400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 \cdot 210}} \right)$$

$$R_u = 7.9 \quad \text{ksc}$$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$7.9 = \frac{M_u}{0.9 \cdot 100 \cdot 7.5}$$

$$M_u = 399.94 \quad \text{kg.m}$$

$$M = \frac{1}{14} W_u l^2$$

$$W_u = 5599.13 \quad \text{kg/m}^2 \quad \text{--- (2)}$$

หาโมเมนต์เหล็กเสริมที่ขอบคานขอบ (M_-)

$$\text{จาก } \rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$\rho = \frac{2.54}{100 \cdot 7.5} = 0.0034$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{0.85 * f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 * f'_c}}\right)$$

$$0.0034 = \frac{0.85 * 210}{2400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 * 210}}\right)$$

$$R_u = 7.9 \quad \text{ksc}$$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$7.9 = \frac{M_u}{0.9 * 100 * 7.5^2}$$

$$M_u = 399.94 \quad \text{kg.m}$$

$$M = \frac{1}{24} W_u l^2$$

$$W_u = 9598.50 \quad \text{kg/m}^2 \quad \text{--- (3)}$$

จาก W_u (1) - (3) น้ำหนักที่รับได้ปลอดภัยสูงสุดของแผ่นพื้น คือ 3599.44 kg/m^2

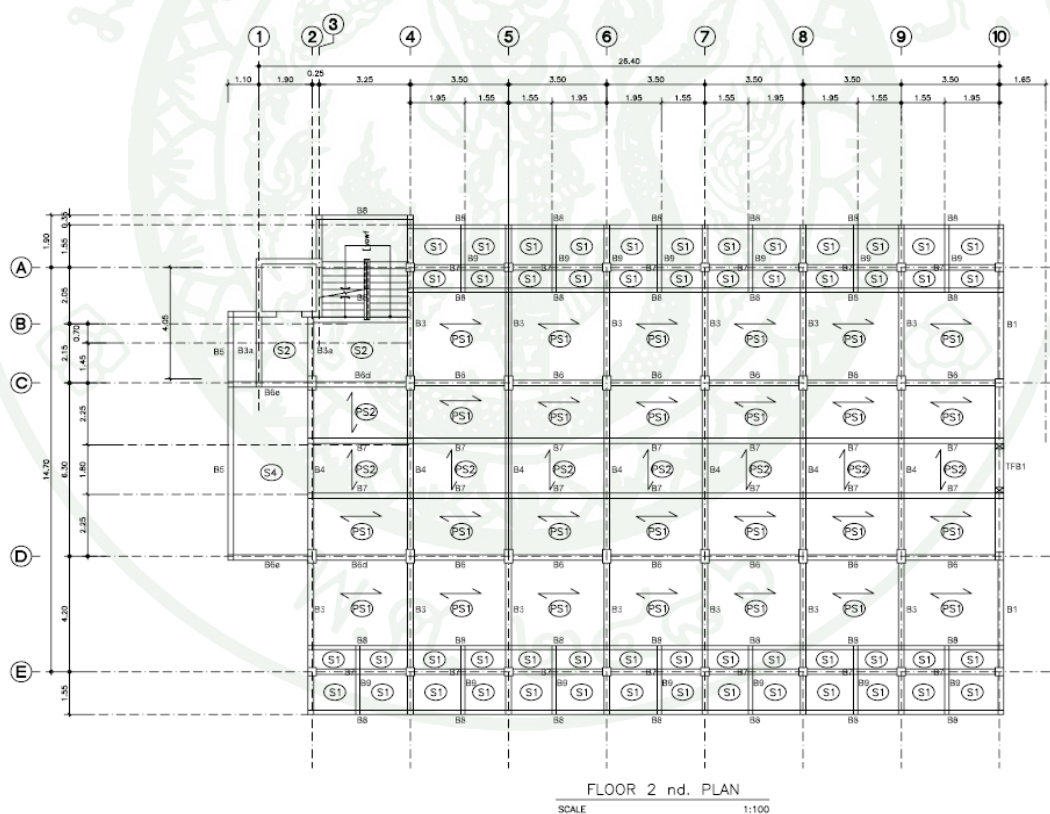
4. ฐานราก

สำหรับฐานรานั้นจะจัดเก็บข้อมูลของจำนวนเสาเข็มของฐานรากแต่ละฐานเพื่อคำนวณหาน้ำหนักที่ฐานรากแต่ละฐานที่รับได้ โดยใช้ค่า Safety Factor = 2 เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่กระทำกับฐานรากที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยคอมพิวเตอร์ และน้ำหนักที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของหน้าตัดเสา

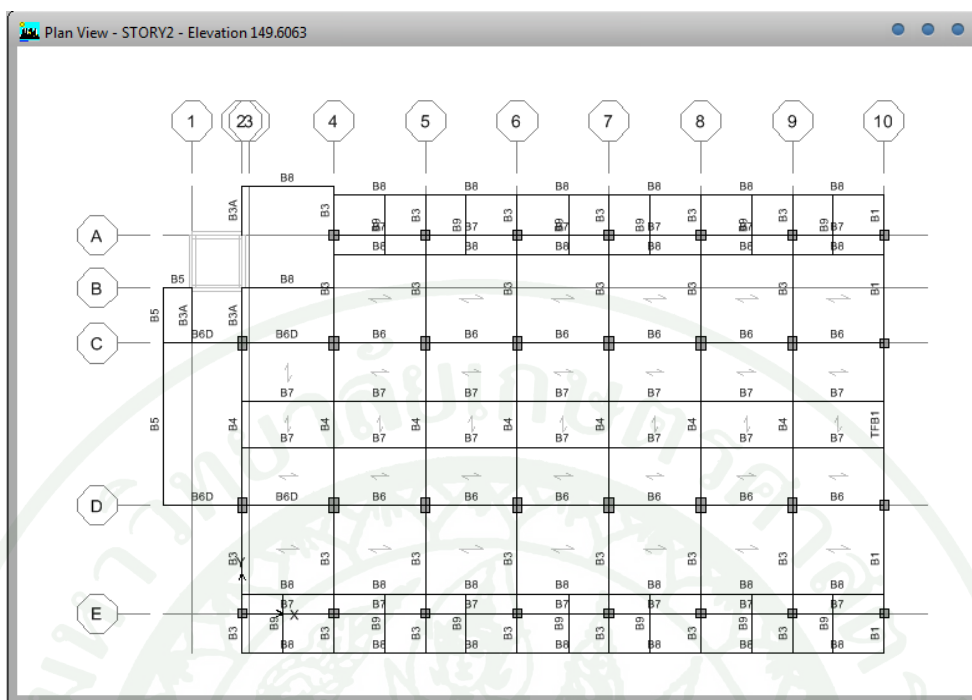
5. แบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การสร้างแบบจำลองโครงสร้างของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ตามแบบก่อสร้างของอาคารตัวอย่าง โดยจำลองขนาดของโครงสร้างอาคารให้เหมือนกับแบบก่อสร้างของอาคารตัวอย่างมากที่สุด เพื่อวิเคราะห์หาค่าแรงที่เกิดขึ้นที่กระทำกับโครงสร้างของอาคารตัวอย่าง โดยมีขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโครงสร้างของอาคารดังนี้

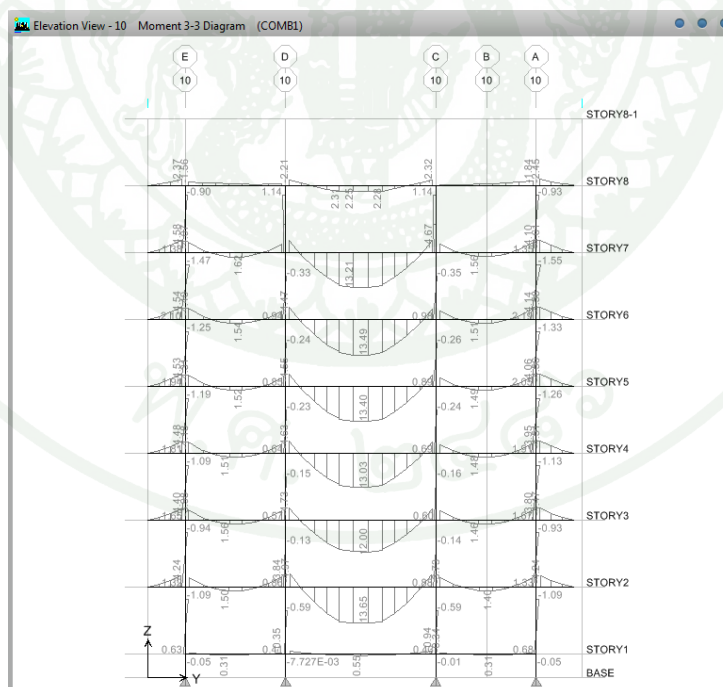
1. นำแบบก่อสร้างของอาคารตัวอย่าง มาสร้างแบบจำลองโครงสร้างของอาคารด้วยโปรแกรม ETABS โดยจำลองโครงสร้างของอาคารให้เหมือนกับแบบก่อสร้างจริงมากที่สุด ทั้งขนาดของโครงสร้างต่างๆ รวมทั้งน้ำหนักต่างๆ ที่กระทำกับโครงสร้างอาคาร แล้ววิเคราะห์หาค่าแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับอาคาร ดังภาพตัวอย่าง



ภาพที่ 20 แบบแปลนคานของอาคารที่จะทำแบบจำลอง



ภาพที่ 21 แปลนคานของแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 22 วิเคราะห์หาแรงกระทำกับโครงสร้างอาคาร

3. นำค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคาร ไปเปรียบเทียบกับค่าแรงที่ประมาณได้จากสมการที่ใช้ประมาณกำลังของโครงสร้างของอาคาร

4. เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของกำลังของหน้าตัดอาคาร

6. การวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (p_r)

1. วิเคราะห์ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (p_r) ของกำลังโครงสร้างหน้าตัดคานที่ได้จากแบบก่อสร้างจริง กับค่ากำลังของหน้าตัดคานที่ได้จากการประมาณ โดยมีตัวอย่างการคำนวณการวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (p_r) ดังนี้

ตัวอย่างที่ 5 คานหน้าตัด 20x40 cm. ยาว 2 m. โดยมีค่า Moment of Inertia ของหน้าตัด 0.001067 m⁴ หน้าตัดรับโมเมนต์คัตได้ 3.170 ton.m โดยจากการจัดเก็บข้อมูลหน้าตัด 20x40 (จากคาน 13 รูปแบบ) มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.628

วิธีทำ

$$P_f = \phi \left[\frac{\mu_s - \mu_R}{(\sigma_R^2 + \sigma_s^2)^{1/2}} \right] \quad (42)$$

$$\mu_s = 3.77 \text{ (ค่าโมเมนต์จากการประมาณ)}$$

$$\mu_R = 3.17 \text{ (ค่าโมเมนต์ของหน้าตัดจริงจากแบบ)}$$

$$\sigma_R = 2.63$$

$$\sigma_s = 0.35 \text{ (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการประมาณกำลังหน้าตัด)}$$

$$P_f = \phi \left[\frac{3.77 - 3.17}{(2.63^2 + 0.35^2)^{1/2}} \right]$$

$$P_f = \phi(0.226) = 0.59$$

2. หาค่าค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (p) ของหน้าตัด เหล็กทั้งอาคาร ของอาคารทั้งหมดที่จัดเก็บข้อมูล

7. การประมาณกำลังโครงสร้างของอาคารตัวอย่าง

หลังจากที่ได้ข้อมูลทางสถิติและสมการที่ใช้ประมาณกำลังของอาคารต่างๆ แล้ว จึงได้นำข้อมูลรวมทั้งสมการที่ได้ มาประมาณกำลังของอาคารตัวอย่าง ดังเนื้อหาที่จะกล่าวถึงในส่วนนี้ โดยอาคารที่ใช้เป็นอาคารตัวอย่างนั้น ไม่ได้ใช้เป็นข้อมูลทางสถิติในการหาความสัมพันธ์สมการที่ใช้ในการประมาณกำลังองค์อาคารในส่วนก่อนหน้า อาคารตัวอย่างที่ใช้ทดสอบการประมาณกำลังนี้ ประกอบด้วย อาคารประเภทอาคารสาธารณะ 1 อาคาร และอาคารพักอาศัย 1 อาคาร โดยมีวิธีทดสอบในการประมาณกำลังของอาคาร โครงสร้างของอาคารตัวอย่างดังนี้

7.1 คาน

7.1.1 เก็บข้อมูลหน้าตัดคานทั้งหมดของอาคารตัวอย่าง พร้อมทั้งวิเคราะห์หาค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานทุกชิ้นส่วน

7.1.2 เปรียบเทียบค่ากำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคานตัวอย่างกับค่าโมเมนต์ดัดของหน้าตัดที่ได้จากการประมาณ พร้อมทั้งหาเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของข้อมูล

7.1.3 หาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของข้อมูลทั้งหมด

7.2 เสา

7.2.1 เก็บข้อมูลหน้าตัดเสาทั้งหมดของอาคารตัวอย่าง พร้อมทั้งวิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสา และวาดกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาแต่ละต้น คำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของหน้าตัดเสาด้านนั้นด้วย และเก็บข้อมูลพื้นที่การรับน้ำหนักรวมของหน้าตัดเสาดังกล่าวด้วย

7.2.2 เปรียบเทียบค่าพื้นที่ใต้กราฟของเสาอาคารตัวอย่างกับพื้นที่ใต้กราฟของเสาที่ได้จากการประมาณ พร้อมทั้งหาเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของข้อมูล

7.2.3 หาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของข้อมูลทั้งหมด

7.3 พื้น

7.3.1 เก็บข้อมูลขนาดของแผ่นพื้น ของอาคารตัวอย่าง และคำนวณหาค่าน้ำหนักสูงสุดที่แผ่นพื้นแต่ละแผ่นรับได้ เปรียบเทียบกับสมการประมาณกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น

7.4 ฐานราก

จัดเก็บข้อมูลจำนวนเสาเข็มในฐานราก เพื่อคำนวณหากำลังรับน้ำหนักสูงสุด (P_u) ของเสาเข็ม แล้วนำไปเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่กระทำกับฐานรากจากการประมาณค่า ต่อไป

ผลและวิจารณ์

คาน

รวบรวมข้อมูลหน้าตัดคาน

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลอาคารจำนวน 7 อาคาร ประกอบด้วย อาคารหอพักอาศัย 7 ชั้น, อาคารคอนโด 5 ชั้น, อาคารคอนโด 7 ชั้น, อาคารพักอาศัย 5 ชั้น, อาคารพักอาศัย 3 ชั้น, อาคารสาธารณะ (3) 11 ชั้น, อาคารสาธารณะ(1) 12 ชั้น

จากแบบโครงสร้างของคานอาคาร ทำการรวบรวมข้อมูลของหน้าตัดคานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย ขนาดของหน้าตัดคาน ความกว้าง(b) ความลึก (h) ของหน้าตัดคาน ปริมาณเหล็กเสริมทั้งเหล็กเสริมรับแรงอัด (A_s') และเหล็กเสริมรับแรงดึง (A_s) ทั้งที่จูดรองรับ (Support) และที่กึ่งกลางคาน (Mid Span) ความยาวของคาน รวมทั้ง กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (f_y) และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (f_c')

โดยคานที่รวบรวมประกอบด้วยจำนวนหน้าตัดคานจากอาคารทั้งหมด 7 อาคาร ซึ่งรวบรวมหน้าตัดคานทั้งหมดจำนวน 5255 ชิ้นส่วน 114 รูปแบบ ซึ่งแตกต่างกันตามปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัด โดยแบ่งหน้าตัดออกเป็น 21 ขนาด คือหน้าตัด 15x30, 15x35, 15x40, 15x80, 15x100, 20x40, 20x50, 20x60, 20x70, 20x80, 20x90, 25x40, 25x50 25x60, 25x80, 25x90, 25x100, 30x50, 30x60, 30x80 และ 40x100 จำนวน 2, 2, 9, 1, 1, 13, 11, 6, 8, 11, 4, 3, 9, 8, 5, 5, 2, 1, 2, 7 และ 2 รูปแบบ ตามลำดับ

1.2 วิเคราะห์ข้อมูลจากที่เก็บรวบรวม

1.2.1 ข้อมูลสถิติของหน้าตัดคานในแต่ละช่วงความยาวคาน

เมื่อรวบรวมข้อมูลของหน้าตัดคานของแต่ละอาคารที่มีขนาดเดียวกันทั้งหมด จึงนำข้อมูลของหน้าตัดมาทำการแบ่งช่วงของหน้าตัดคานตามความยาวต่างๆ โดยแบ่งออกเป็นช่วงความยาวคาน ช่วงละ 0.5 เมตร แล้วจึงนำข้อมูลมาจัดกลุ่มข้อมูล และหาค่าทางสถิติเบื้องต้น

ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 10 โดยในตารางเป็นตัวอย่างการจัดกลุ่มข้อมูลหน้าตัดคานขนาด 15x40 cm. ที่ช่วงความยาว 2.0 – 2.5 เมตร โดยในตารางนี้จะแสดงค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคานที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้งที่ตำแหน่ง Support และ ตำแหน่ง Mid Span ของคานโดยแบ่งออกเป็นค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของคานทั้ง 3 ประเภท คือ คานช่วงเดียว (Simple Beam) คานต่อเนื่อง (Continuous Beam) และ คานยื่น (Cantilever Beam) โดยค่าที่แสดงในตารางนั้น จะแสดงค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากอาคารต่างๆ กันที่นำมารวมกันเพื่อหาค่าทางสถิติเบื้องต้น ซึ่งประกอบด้วยค่าทางสถิติที่สำคัญ 5 ค่าด้วยกัน คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าต่ำสุด (Min) ค่าสูงสุด (Max) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย (95% Confidence) ซึ่งค่าทางสถิติ ดังกล่าวนี้จะใช้เป็นค่าตัวแทนกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัย (μ) ของหน้าตัดคานที่ช่วงความยาวคานนั้นๆ เพื่อใช้เป็นค่ากำลังตัวแทนที่ใช้ในการประมาณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของอาคารอื่นๆ ต่อไป

ตารางที่ 10 ตัวอย่างข้อมูลหน้าตัดคานที่ทำการแบ่งหมวดและหาค่าทางสถิติเบื้องต้นสำหรับหน้าตัดคาน 15x40 cm.

ช่วงคาน	จำนวน	Simple Beam		จำนวน	Continuous Beam		จำนวน	Cantilever Beam		จำนวน	ไม่แยกประเภทคาน	
		Mu SUP	Mu MID		Mu SUP	Mu MID		Mu CANTI	Mu SUP		Mu MID	
2.0 - 2.5		3.31	3.31		2.52	2.52		-			3.31	3.31
		3.31	3.31		2.52	2.52		-			3.31	3.31
		-	-		2.52	2.52		-			2.52	2.52
		-	-		2.52	2.52		-			2.52	2.52
		-	-		-	-		-			2.52	2.52
		-	-		-	-		-			2.52	2.52
	MEAN	2	3.31	3.31	4	2.52	2.52	0	-	6	2.78	2.78
	Min		3.31	3.31		2.52	2.52		-		2.52	2.52
	Max		3.31	3.31		2.52	2.52		-		3.31	3.31
	STD		0.00	0.00		0.00	0.00		-		0.41	0.41
	ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย		0.00	0.00		0.00	0.00		-		0.32	0.32
	ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย (Min)		3.31	3.31		2.52	2.52		-		2.46	2.46
	ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย (Max)		3.31	3.31		2.52	2.52		-		3.11	3.11

หมายเหตุ Mu SUP = กำลังรับโมเมนต์ดัดปลายของหน้าตัดที่ Support (ton.m) , Mu MID = กำลังรับโมเมนต์ดัดปลายของหน้าตัดที่ Mid Span (ton.m) ,
Mu CANTI = กำลังรับโมเมนต์ดัดปลายของหน้าตัดของคานยื่น (ton.m)

ตารางที่ 11 ตัวอย่างข้อมูลทางสถิติของช่วงความยาวคานช่วงต่างๆ สำหรับหน้าตัดคาน 15x40 cm.

ช่วงความยาวคาน	ค่าสถิติ	15x40						
		Simple Beam		Continuous Beam		Cantilever Beam	Simple + Continuous Beam	
		Mu SUP	Mu MID	Mu SUP	Mu MID	Mu CANTI	Mu SUP	Mu MID
2.0 - 2.5	MEAN	3.31	3.31	2.52	2.52	-	2.78	2.78
	Min	3.31	3.31	2.52	2.52	-	2.52	2.52
	Max	3.31	3.31	2.52	2.52	-	3.31	3.31
	ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย (Min)	3.31	3.31	2.52	2.52	-	2.46	2.46
	ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย (Max)	3.31	3.31	2.52	2.52	-	3.11	3.11
2.5 - 3.0	MEAN	-	-	-	-	-	-	-
	Min	-	-	-	-	-	-	-
	Max	-	-	-	-	-	-	-
	ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย (Min)	-	-	-	-	-	-	-
	ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย (Max)	-	-	-	-	-	-	-
3.0 - 3.5	MEAN	3.86	3.86	3.24	3.46	-	3.70	3.76
	Min	2.52	2.52	3.05	3.10	-	2.52	2.52
	Max	4.82	4.82	3.62	3.62	-	4.82	4.82
	ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย (Min)	3.49	3.49	3.06	3.36	-	3.40	3.47
	ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย (Max)	4.24	4.24	3.43	3.57	-	3.99	4.04

จากตารางที่ 11 ซึ่งแสดงค่าทางสถิติของกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานนี้ จะเห็นว่าบางช่วงความยาวของหน้าตัดคานนั้น จะไม่มีข้อมูลของกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัด ถ้าเอาเฉพาะกำลังรับโมเมนต์คดในตารางนี้ไปประเมินกำลังอาคารอื่น ก็จะไม่มีความสัมพันธ์กับกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานในช่วงความยาวอื่นๆ ซึ่งอาจจะทำให้ไม่สามารถประเมินกำลังอาคารได้

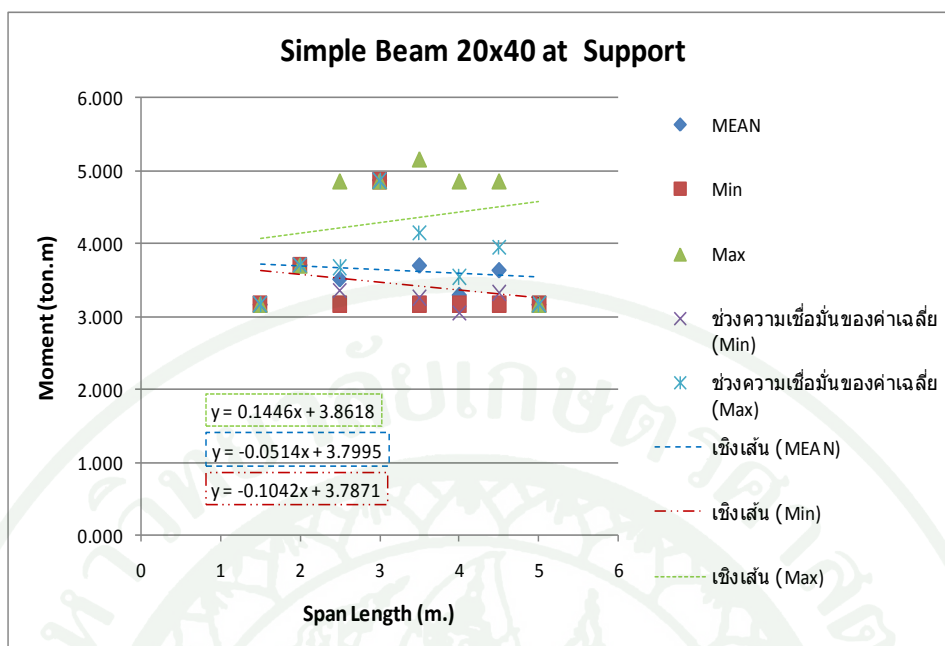
1.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับโมเมนต์คดประลัยของหน้าตัดคานกับความยาวคาน สำหรับแต่ละขนาดหน้าตัดคาน

กราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์คดประลัยของหน้าตัดคานนี้ ใช้เพื่อประมาณกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคาน หน้าตัดหนึ่งๆ โดยหน้าตัดที่ต่างกันจะมีกราฟ (สมการ) ความสัมพันธ์ที่ต่างกัน เพื่อแก้ปัญหาของการจัดเก็บข้อมูลกำลังรับโมเมนต์คดประลัยของหน้าตัด ซึ่งบางช่วงความยาวคานนั้น ไม่มีข้อมูลที่จะจัดเก็บได้ กราฟนี้จึงถูกพัฒนาขึ้นมา เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยกำลังรับโมเมนต์คดประลัยของหน้าตัดจะมีความสัมพันธ์กับความยาวของคาน

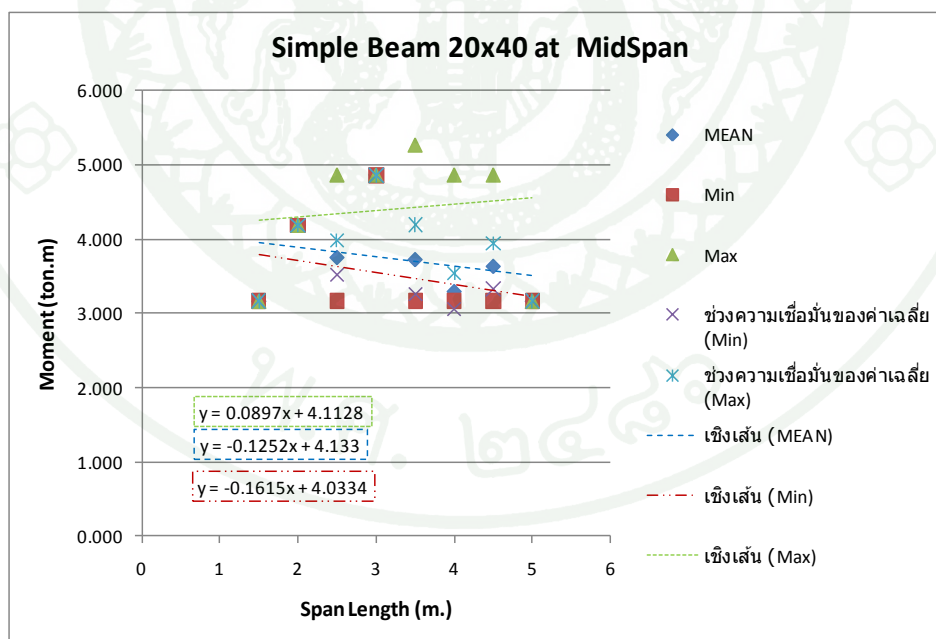
$$Mu = f(L) \quad (43)$$

โดยที่ Mu คือค่ากำลังรับโมเมนต์คดและ L คือความยาวช่วงคาน แล้วนำข้อมูลกำลังรับโมเมนต์คดเฉลี่ยของหน้าตัด (ซึ่งจะประกอบด้วยค่าเฉลี่ยต่ำสุด (min), สูงสุด (max) และค่ากลาง(mean)) มาทำการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Regression) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) และสมมติให้กำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความยาวคาน ซึ่งจะทำให้ได้สมการที่ใช้ประมาณค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัด โดยค่า x เป็นค่าความยาวคาน (หน่วยเป็นเมตร) และ y เป็นกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัด (หน่วยเป็นตัน เมตร)

โดยกราฟจะแสดงเส้นแนวโน้มของหน้าตัดอยู่ 3 เส้นด้วยกัน คือ เส้นแนวโน้มของค่ากำลังรับโมเมนต์คดต่ำสุดของหน้าตัด (Min) เส้นแนวโน้มของค่ากำลังรับโมเมนต์คดเฉลี่ย (Mean) และเส้นแนวโน้มของค่ากำลังรับโมเมนต์คดสูงสุด (Max)



ภาพที่ 23 กราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานขนาด 20x40 cm. ที่ตำแหน่งจุดรองรับ (At Support)



ภาพที่ 24 กราฟความสัมพันธ์กำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานขนาด 20x40 cm. ที่ตำแหน่งกึ่งกลางคาน (At MidSpan)

จากกราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน เมื่อสร้างกราฟของหน้าตัดทุกขนาดตามที่เก็บรวบรวมข้อมูลมาแล้ว จะได้สมการเพื่อประมาณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน ที่ช่วงความยาวต่างๆ ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 12 โดยข้อมูลที่แสดงในตารางนั้นที่ 12 ประกอบด้วยสมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดกับความยาวคานของอาคารประเภทอาคารพักอาศัย 1 ชุด ของคานประเภท Simple Beam ส่วนคานประเภทอื่นๆ (Continuous Beam และ Cantilever Beam และสมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดกับความยาวคานของอาคารประเภทอาคารพักอาศัย + อาคารสาธารณะ 1 ชุด ประกอบด้วย Simple Beam, Continuous Beam และ Cantilever Beam) จะแสดงในภาคผนวก ก ตารางผนวกที่ ก1 - ก8

ตารางที่ 12 สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน : Simple Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร)

Simple Beam										
หน้าตัด	Mean		Min		Max		Min Confidence		Max Confidence	
	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN
15x30	Mu = 0.4986(L) + 1.1633	Mu = 0.4986(L) + 1.1633	Mu = 1.2924(L) - 0.4249	Mu = 1.2924(L) - 0.4249	Mu = 2.1605* Mu = 2.1606*	Mu = 2.1606*	Mu = 0.6339(L) + 0.8926	Mu = 0.6339(L) + 0.8926	Mu = 0.3632(L) + +1.4341	Mu = 0.3632(L) + +1.4341
15x35	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*
15x40	Mu = 0.0375(L) + 3.3988	Mu = 0.0375(L) + 3.3988	Mu = 0.0246(L) + 2.8338	Mu = 0.0246(L) + 2.8338	Mu = 0.06(L) + 3.5723	Mu = 0.06(L) + 3.5723	Mu = 0.0324(L) + 3.3242	Mu = 0.0324(L) + 3.3242	Mu = 0.0425(L) + 3.4735	Mu = 0.0425(L) + 3.4735
20x40	Mu = -0.0514(L) + 3.7995	Mu = -0.1252(L) + 4.133	Mu = -0.1042(L) + 3.7871	Mu = -0.1615(L) + 4.0334	Mu = 0.1446(L) + 3.8618	Mu = 0.0897(L) + 4.1128	Mu = -0.1047(L) + 3.827	Mu = -0.1743(L) + 4.1358	Mu = 0.0019(L) + 3.772	Mu = -0.0761(L) + 4.1302
20x50	Mu = - 0.0364(L) + 7.5578	Mu = 0.0194(L) + +7.3799	Mu = 6.8239*	Mu = 6.7893*	Mu = 0.0412(L) + 7.7653	Mu = 0.2395(L) + 7.2064	Mu = -0.0241(L) + 7.1513	Mu = -0.0341(L) + 7.1476	Mu = -0.0487(L) + 7.9643	Mu = 0.0728(L) + 7.6121
20x60	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25x40	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*
25x50	Mu = 0.085(L) + 7.3025	Mu = -0.4159(L) + 16.172	Mu = 0.085(L) + 7.3025	Mu = -0.4159(L) + 16.172	Mu = 0.085(L) + 7.3025	Mu = -0.4159(L) + 16.172	Mu = 0.085(L) + 7.3025	Mu = -0.4159(L) + 16.172	Mu = 0.085(L) + 7.3025	Mu = -0.4159(L) + 16.172
25x60	Mu = 17.326*	Mu = 40.750*	Mu = 17.326*	Mu = 40.750*	Mu = 17.326*	Mu = 40.750*	Mu = 17.326*	Mu = 40.750*	Mu = 17.326*	Mu = 40.750*
30x60	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

n/a ไม่มีข้อมูลหน้าตัด , * ข้อมูลหน้าตัดมีชุดเดียว Unit : Mu =ton.m , L = m.

จากตัวอย่างสมการทั้งหมดที่แสดงข้างต้น เป็นสมการที่ใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคานในช่วงความยาวต่างๆ ทั้งที่ Support และ Mid Span ของข้อมูลหน้าตัดคาน โดยเป็นสมการเส้นตรง ที่ใช้ในการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานสาเหตุที่ใช้สมการเส้นตรงในการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคานในแต่ละช่วงความยาวนี้ ก็เนื่องจากมีสมมุติฐานว่า ถ้าหากความยาวคานเพิ่มขึ้น กำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานก็ควรจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าข้อมูลกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคานตามความยาวคานช่วงต่างๆ บางช่วงมีข้อมูลน้อย และขึ้นอยู่กับค่าความยาวคานเพียงอย่างเดียว อาจไม่ละเอียดเพียงพอ จึงลองหาความสัมพันธ์อื่นๆ เช่น พิจารณาตัวแปรพื้นที่ของหน้าตัดคาน

1.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานกับพื้นที่ของหน้าตัดคานสำหรับแต่ละช่วงความยาวคาน

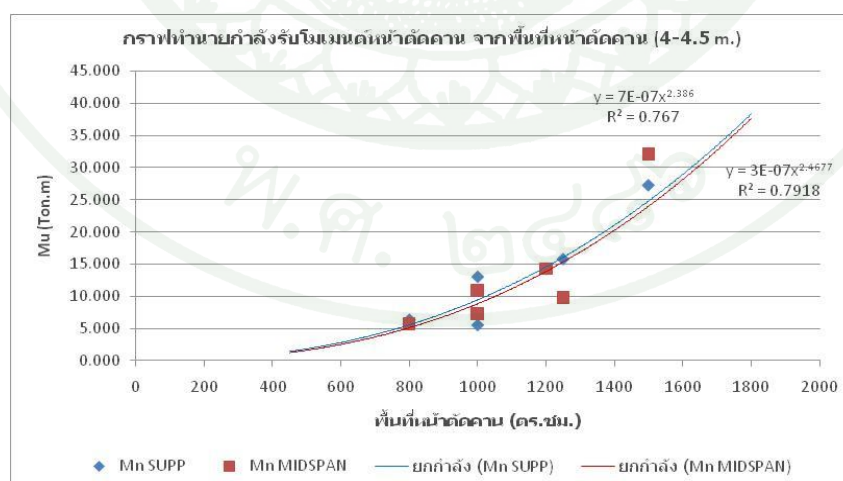
การประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากพื้นที่ของหน้าตัดคานนี้ ใช้เพื่อแก้ปัญหาคณณข้อมูลหน้าตัดคานที่จัดเก็บนั้นมีข้อมูลไม่เพียงพอ ซึ่งสำหรับข้อมูลบางขนาดหน้าตัดนั้นอาจไม่สามารถหาได้ ในที่นี้จึงได้หาความสัมพันธ์เพื่อประมาณค่า ตามช่วงความยาวของกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคานจากพื้นที่ของหน้าตัดคานขึ้นมา

โดยขั้นตอนในการหาความสัมพันธ์เพื่อประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยนี้จะนำพื้นที่ของหน้าตัดคานและกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานในช่วงความยาวที่แบ่งช่วงไว้มาเฉลี่ยเพื่อเป็นค่ากำลังตัวแทนของพื้นที่หน้าตัดในช่วงความยาวนี้ ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 13 แล้วนำข้อมูลพื้นที่หน้าตัดกับกำลังรับโมเมนต์ดัดไปหาความสัมพันธ์เพื่อประมาณ กำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากพื้นที่หน้าตัดคานที่ทราบได้

ตารางที่ 13 ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานและพื้นที่ของหน้าตัดคานขนาดต่างๆ ที่ความยาว 4-4.5 เมตร

หน้าตัด (cm)	พื้นที่ (cm ²)	Mu SUP (ton.m)	Mu MID (ton.m)
15x30	450	n/a	n/a
15x35	525	n/a	n/a
15x40	600	n/a	n/a
20x40	800	6.38	5.67
20x50	1000	13.06	7.26
25x40	1000	5.56	10.94
20x60	1200	14.29	14.29
25x50	1250	15.83	9.77
25x60	1500	27.31	32.16
30x60	1800	n/a	n/a

n/a ไม่มีข้อมูลหน้าตัด



ภาพที่ 25 กราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากพื้นที่หน้าตัดคาน ช่วงความยาวคาน 4-4.5 m.

จากภาพที่ 25 จะเป็นกราฟที่ใช้ความสัมพันธ์กำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของคานในช่วงความยาวคานต่างๆ ที่กำหนด โดย แกน x จะเป็นค่า พื้นที่หน้าตัดคาน(Area Section) และแกน y เป็นค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดประลัย (Mu) ของหน้าตัด ซึ่งจะมีสมการที่ใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคาน ซึ่งถ้าหากทราบค่าพื้นที่หน้าตัดคานนั้นๆ ก็จะสามารถประมาณกำลังโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคานที่ไม่ทราบได้

แต่ข้อเสียของวิธีนี้ก็คือ หากหน้าตัดคานซึ่งมีรูปร่างหน้าตัดต่างกัน แต่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันก็จะมีค่าประมาณกำลังรับ Mu เท่ากันได้ ยกตัวอย่างเช่น ที่ช่วงความยาวคาน 4.0 - 4.5 เมตร ของหน้าตัดคานขนาด 20x50 และ 25x40 ซึ่งจะมีพื้นที่หน้าตัดคานเท่ากัน คือ 1000 cm² จะมีค่าประมาณ Mu เท่ากันคือมีค่าดังสมการ

$$\text{Mu SUPP} = 3^{-7} x^{2.4677} \quad (44)$$

$$\text{Mu MID} = 7^{-7} x^{2.386} \quad (45)$$

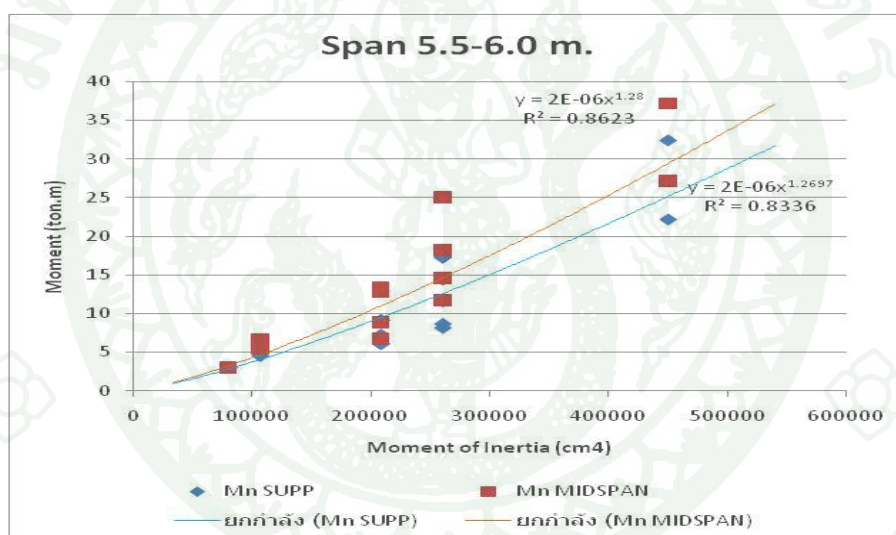
ตารางที่ 14 ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากสมการที่ได้จากกราฟประมาณกำลังของหน้าตัดกับ ข้อมูลที่ได้จากสถิติ

หน้าตัด (cm)	พื้นที่ (cm ²)	Mu Supp จากกราฟ (ton.m)	Mu Supp จากสถิติ Mean (ton.m)	Mu Mid จากกราฟ (ton.m)	Mu Mid จากสถิติ Mean(ton.m)
20x50	1000	10.07	13.06	7.59	7.26
25x40	1000	10.07	5.56	7.59	10.94

จากตารางที่ 14 จะเห็นว่าคานที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน แต่มีขนาดรูปร่างหน้าตัดต่างกัน เมื่อแทนค่าลงในสมการเพื่อประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน ก็จะได้กำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่ผิดจากค่าที่ควรจะเป็นได้

1.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานกับค่า Moment of Inertia (สำหรับแต่ละช่วงความยาวคาน)

จากจุดอ่อนการประมาณค่า M_u จากตัวแปรพื้นที่หน้าตัดคานข้างต้น ในหัวข้อนี้ จึงได้ ลองหาความสัมพันธ์ในการประมาณค่า M_u จากค่า Moment of Inertia ของหน้าตัดคานนั้นๆ เพื่อแก้ปัญหากรณีที่คานมีรูปร่างหน้าตัดต่างกันแต่พื้นที่เท่ากัน เนื่องจากค่า I จะแตกต่างกันตาม ขนาดรูปร่างของคาน โดยแกน x จะเป็นค่า Moment of Inertia และแกน y เป็นค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดประลัย (M_u) ของหน้าตัด ซึ่งจะมีสมการเส้นตรงที่ใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคาน ซึ่งถ้าหากทราบค่า Moment of Inertia ของตัดคานนั้นๆ ก็จะสามารถประมาณกำลังโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคานที่ไม่ทราบได้



ภาพที่ 26 กราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากค่า Moment of Inertia ที่ช่วงความยาวคาน 5.5-6.0 m.

จากภาพที่ 26 จะเป็นกราฟที่ใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของคาน ที่ช่วงความยาวคานต่างๆ ที่กำหนด โดยแกน x จะเป็นค่า Moment of Inertia ของหน้าตัด และแกน y เป็นค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัด ซึ่งจะมีสมการที่ใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคาน ซึ่งถ้าหากทราบค่า Moment of Inertia ของหน้าตัดคานนั้นๆ ก็จะสามารถประมาณกำลังโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคานที่ไม่ทราบได้

เมื่อทดลองแทนค่า Moment of Inertia ของหน้าตัดที่ต้องการประมาณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของคาน โดยทดลองแทนค่าหน้าตัดของคานที่มีความยาว 5.5 – 6.0 เมตร จากกราฟจะได้สมการ ดังนี้

$$\text{Mu SUP} = 2^{-6} x^{1.2697} \quad (46)$$

$$\text{Mu MID} = 2^{-6} x^{1.28} \quad (47)$$

ตารางที่ 15 ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่ได้จากสมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจาก ค่า Moment of Inertia

หน้าตัด	I (cm ⁴)	Mu Sup (ton.m)	Mu Mid (ton.m)
30x60	540000	37.97	43.51
30x80	1280000	113.59	131.30

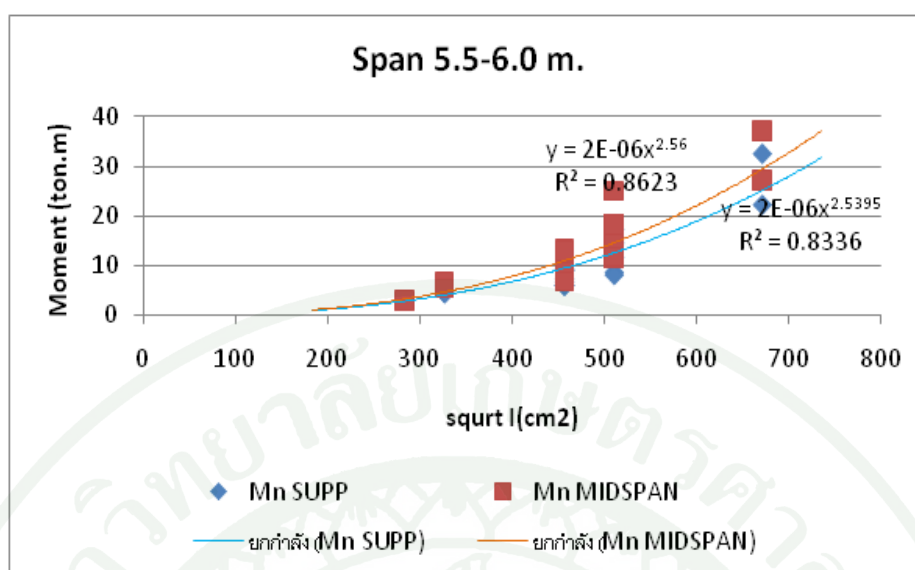
จะเห็นว่าเมื่อหน้าตัดที่มีความลึกเพิ่มขึ้นต่างกันไม่มาก แต่เมื่อแทนค่าลงในสมการประมาณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดนั้น จะทำให้ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดที่ประมาณนั้น อาจสูงกว่าค่าที่เป็นจริงมาก เนื่องจากค่า I ของหน้าตัดนั้นมาจาก สมการ $bh^3/12$ ซึ่งถ้าหน้าตัดคานมีความลึกต่างกันนิดเดียวแต่จะทำให้ค่า I ต่างกันมาก จึงอาจทำให้ค่าโมเมนต์ดัดที่ประมาณอาจมีค่ากำลังสูงกว่าความเป็นจริงได้

1.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานกับค่า รากที่สองของค่า Moment of Inertia ของหน้าตัด (สำหรับแต่ละช่วงความยาวคาน)

จากปัญหาล้างต้น จึงพิจารณาค่า $\sqrt{I}$ เพื่อลดผลความแตกต่างของค่า I จากการยกกำลังสามของค่า h เมื่อทดลองแทนค่ารากที่สองของค่า Moment of Inertia ของหน้าตัดที่ต้องการประมาณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของคาน โดยทดลองแทนค่าหน้าตัดของคานที่มีความยาว 5.5 – 6.0 เมตร จากกราฟจะได้สมการ ดังนี้

$$\text{Mu SUP} = 2^{-6} x^{2.5395} \quad (48)$$

$$\text{Mu MID} = 2^{-6} x^{2.56} \quad (49)$$



ภาพที่ 27 กราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากค่า รากที่สองของค่า Moment Of Inertia ที่ช่วงความยาวคาน 5.5-6.0 m.

ตารางที่ 16 ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่ได้จากสมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจาก ค่ารากที่สองของ Moment of Inertia

หน้าตัด	I (cm ⁴)	$\sqrt{I}$ (cm ²)	Mu Sup (ton.m)	Mu Mid (ton.m)
30x60	540000	734.85	38.00	43.50
30x80	1280000	1131.37	113.67	131.30

จะเห็นว่าเมื่อหน้าตัดที่มีความลึกเพิ่มขึ้นต่างกันไม่มาก แต่เมื่อแทนค่าลงในสมการประมาณค่ากำลัง รับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดนั้น จะทำให้ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดที่ทำประมาณนั้น อาจจะสูงกว่าค่าที่เป็นจริงมาก

จากที่ทดลองข้างต้น เป็นความสัมพันธ์เชิงตัวแปรเดียว การแทนค่ากำลังของหน้าตัดด้วยค่าทางสถิติ การประมาณจากสมการเส้นตรงของช่วงความยาวคานกับกำลังรับ โมเมนต์ดัด สมการเส้นตรงของพื้นที่หน้าตัดคานกับกำลังรับโมเมนต์ดัด สมการเส้นตรงของ Moment of Inertia กับกำลังรับโมเมนต์ดัด และค่า สมการเส้นตรงกับค่า $\sqrt{I}$ แล้วนั้น แต่ละวิธีก็ยังไม่สามารถที่

จะประเมินกำลังของหน้าตัดคานได้ คำนึง จึงได้พิจารณาความสัมพันธ์จากหลายตัวแปรพร้อมกัน โดยวิธีการสร้างสมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจาก Moment of Inertia และความยาว ของหน้าตัด

1.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานกับ Moment of Inertia และความยาว ของคาน (Multi Regression) สำหรับแต่ละช่วงความยาวคาน

จากวิธีที่สร้างสมการข้างต้น ทั้งวิธีประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากช่วงความยาวคาน จากวิธีประมาณจากค่า Moment Of Inertia ของหน้าตัด ซึ่งทั้งสองวิธีดังกล่าวก็ยังประสบปัญหาในการใช้งาน ดังนั้น วิธีสร้างสมการเพื่อประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจาก Moment of Inertia และความยาว ของหน้าตัด โดยจะสามารถช่วยให้ประมาณกำลังโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน ของค่า I และ ความยาวคานไปได้พร้อมๆ กัน

โดยวิธีการนี้จะใช้ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันระหว่างค่า Moment of Inertia ของหน้าตัดคาน กับช่วงความยาวคานของข้อมูลที่ได้ดำเนินการจัดเก็บเป็นสถิติไว้จากข้างต้น มาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธี การวิเคราะห์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weight Estimation) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ให้ความสำคัญหรือให้น้ำหนักข้อมูลแต่ละค่าไม่เท่ากัน นั่นคือ จะให้น้ำหนักเป็น $1/\text{Variance}$ หมายความว่าข้อมูลที่มีความแปรปรวนหรือมีค่าการกระจายสูงจะมีความสำคัญหรือมีน้ำหนักน้อยกว่าข้อมูลที่มีค่าความแปรปรวนต่ำ โดยกำหนดให้ ค่ากำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดเป็นฟังก์ชันกับค่า Moment of Inertia ของหน้าตัด และความยาวของหน้าตัด โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Mu = f(I) + f(L) \quad (50)$$

โดยที่ ค่า Mu คือค่า กำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด I คือ ค่า Moment of Inertia ของหน้าตัด (m^4) และค่า L คือ ค่าความยาวของหน้าตัด (m.)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี การวิเคราะห์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weight Estimation) ของข้อมูลหน้าตัดคานทั้งหมด ทำให้ได้สมการที่ใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดดังแสดงในตารางที่ 17 จะแสดงสมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน จากค่า Moment of Inertia และความยาวของคาน โดยเก็บข้อมูลเฉพาะอาคารประเภท

อาคารพักอาศัยเท่านั้น โดยแบ่งตารางของสมการออกเป็น 4 ตาราง คือ Simple Beam Continuous Beam Cantilever Beam และ Simple + Continuous Beam โดยทั้ง 4 ตารางนั้น จะประกอบด้วยสมการที่ใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดคาน อยู่ทั้งหมด 5 ค่า คือ ค่า Mean Min Max Min Confidences และ Max Confidences พร้อมทั้งแสดงค่า R^2 ของสมการไว้ด้วย ส่วนในตารางที่ 19 จะแสดงสมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดคาน จากค่า Moment of Inertia และความยาวของคาน โดยเก็บข้อมูลอาคารประเภทอาคารพักอาศัยและอาคารสาธารณะ โดยแบ่งตารางของสมการออกเป็น 4 ตาราง คือ Simple Beam Continuous Beam Cantilever Beam และ Simple + Continuous Beam โดยทั้ง 4 ตารางนั้น จะประกอบด้วยสมการที่ใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดคาน อยู่ทั้งหมด 5 ค่า คือ ค่า Mean Min Max Min Confidences และ Max Confidences พร้อมทั้งแสดงค่า R^2 ของสมการไว้ด้วย

ตารางที่ 17 สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน จากค่า Moment of Inertia และ ความยาวคาน (Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนักของอาคารพักอาศัย 5 อาคาร)

5 อาคาร								
Simple Beam			Continuous Beam		Cantilever Beam		Simple + Continuous Beam	
Mean	$M_{sup} = 2887.536(I) +$	$R^2 = 0.903$	$M_{sup} = 5133.095(I) +$	$R^2 = 0.760$	$M_{canti} = 6783.252(I) +$	$R^2 = 0.866$	$M_{sup} = 4483.324(I) +$	$R^2 = 0.825$
	$0.015(L) + 1.000$		$0.602(L) - 2.215$		$0.976(L) - 3.111$		$0.133(L) - 0.063$	
	$M_{mid} = 4125.608(I) +$	$R^2 = 0.693$	$M_{mid} = 4517.636(I) +$	$R^2 = 0.786$			$M_{mid} = 4348.625(I) +$	$R^2 = 0.816$
	$0.036(L) + 0.347$		$0.824(L) - 2.145$				$0.348(L) - 0.313$	
Min	$M_{sup} = 2893.508(I) -$	$R^2 = 0.918$	$M_{sup} = 4458.289(I) +$	$R^2 = 0.775$	$M_{canti} = 6349.126(I) +$	$R^2 = 0.819$	$M_{sup} = 4052.530(I) +$	$R^2 = 0.602$
	$0.040(L) + 0.762$		$0.177(L) - 1.041$		$1.328(L) - 4.026$		$0.020(L) + 0.191$	
	$M_{mid} = 3972.827(I) +$	$R^2 = 0.650$	$M_{mid} = 3903.635(I) +$	$R^2 = 0.786$			$M_{mid} = 3952.241(I) +$	$R^2 = 0.557$
	$0.033(L) + 0.194$		$0.442(L) - 1.151$				$0.281(L) - 0.291$	
Max	$M_{sup} = 3091.952(I) +$	$R^2 = 0.875$	$M_{sup} = 5889.177(I) +$	$R^2 = 0.778$	$M_{canti} = 9320.011(I) +$	$R^2 = 0.962$	$M_{sup} = 5586.100(I) +$	$R^2 = 0.606$
	$0.045(L) + 1.008$		$0.943(L) - 3.509$		$0.086(L) - 7.014$		$0.547(L) - 0.936$	
	$M_{mid} = 4367.055(I) +$	$R^2 = 0.737$	$M_{mid} = 6046.592(I) +$	$R^2 = 0.778$			$M_{mid} = 5346.401(I) +$	$R^2 = 0.535$
	$0.075(L) + 0.314$		$1.197(L) - 4.435$				$0.983(L) - 1.632$	
Min Confidence	$M_{sup} = 2769.158(I) +$	$R^2 = 0.898$	$M_{sup} = 4674.578(I) +$	$R^2 = 0.742$	$M_{canti} = 6834.709(I) +$	$R^2 = 0.861$	$M_{sup} = 4543.171(I) +$	$R^2 = 0.374$
	$0.014(L) + 1.014$		$0.548(L) - 1.747$		$0.662(L) - 2.815$		$0.252(L) + 0.441$	
	$M_{mid} = 3981.025(I) +$	$R^2 = 0.664$	$M_{mid} = 3919.626(I) +$	$R^2 = 0.797$			$M_{mid} = 3683.046(I) +$	$R^2 = 0.376$
	$0.035(L) + 0.377$		$0.790(L) - 1.566$				$0.749(L) + 0.140$	
Max Confidence	$M_{sup} = 3005.959(I) +$	$R^2 = 0.892$	$M_{sup} = 5591.762(I) +$	$R^2 = 0.757$	$M_{canti} = 6731.727(I) +$	$R^2 = 0.868$	$M_{sup} = 5376.497(I) +$	$R^2 = 0.386$
	$0.015(L) + 0.986$		$0.657(L) - 2.683$		$1.290(L) - 3.407$		$0.418(L) - 0.115$	
	$M_{mid} = 4270.138(I) +$	$R^2 = 0.715$	$M_{mid} = 5099.554(I) +$	$R^2 = 0.763$			$M_{mid} = 4310.785(I) +$	$R^2 = 0.297$
	$0.038(L) + 0.317$		$0.765(L) - 2.274$				$1.154(L) - 753$	

ตารางที่ 18 สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคาน จากค่า Moment of Inertia และ ความยาวคาน (Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนักของอาคารพักอาศัย 5 อาคาร และอาคารสาธารณะ 2 อาคาร)

7 อาคาร									
	Simple Beam		Continuous Beam		Cantilever Beam		Simple + Continuous Beam		
Mean	$M_{sup} = 6051.590(I) - 0.362(L) + 0.421$	$R^2 = 0.642$	$Ms_{up} = 6158.765(I) + 0.588(L) - 3.212$	$R^2 = 0.685$	$M_{canti} = 6662.120(I) - 0.262(L) - 0.974$	$R^2 = 0.745$	$M_{sup} = 5779.461(I) + 0.084(L) - 0.474$	$R^2 = 0.706$	
	$M_{mid} = 6584.342(I) - 0.099(L) - 0.457$	$R^2 = 0.701$	$M_{mid} = 5661.230(I) + 0.719(L) - 3.049$	$R^2 = 0.639$			$M_{mid} = 5488.563(I) + 0.316(L) - 0.764$	$R^2 = 0.698$	
Min	$M_{sup} = 5780.459(I) - 0.328(L) - 0.161$	$R^2 = 0.626$	$M_{sup} = 5583.900(I) + 0.578(L) - 3.640$	$R^2 = 0.619$	$M_{canti} = 6103.758(I) - 0.024(L) - 1.710$	$R^2 = 0.685$	$M_{sup} = 5065.681(I) + 0.025(L) - 0.587$	$R^2 = 0.633$	
	$M_{mid} = 6215.882(I) - 0.181(L) - 0.718$	$R^2 = 0.645$	$M_{mid} = 5107.243(I) + 0.748(L) - 3.595$	$R^2 = 0.573$			$M_{mid} = 4825.409(I) + 0.169(L) - 0.704$	$R^2 = 0.611$	
Max	$M_{sup} = 6342.550(I) - 0.324(L) + 1.124$	$R^2 = 0.617$	$M_{sup} = 6802.664(I) + 0.517(L) - 2.540$	$R^2 = 0.691$	$M_{canti} = 7027.690(I) - 0.232(L) + 0.013$	$R^2 = 0.722$	$M_{sup} = 6396.985(I) + 0.142(L) - 0.035$	$R^2 = 0.696$	
	$M_{mid} = 6971.477(I) - 0.010(L) - 0.028$	$R^2 = 0.707$	$M_{mid} = 6402.358(I) + 0.674(L) - 2.485$	$R^2 = 0.655$			$M_{mid} = 6248.418(I) + 0.434(L) - 0.554$	$R^2 = 0.712$	
Min Confidence	$M_{sup} = 5904.628(I) - 0.341(L) + 0.093$	$R^2 = 0.652$	$M_{sup} = 5778.740(I) + 0.645(L) - 3.288$	$R^2 = 0.651$	$M_{canti} = 6378.572(I) - 0.180(L) - 1.031$	$R^2 = 0.724$	$M_{sup} = 5376.272(I) + 0.123(L) - 0.608$	$R^2 = 0.693$	
	$M_{mid} = 6367.051(I) - 0.096(L) - 0.569$	$R^2 = 0.673$	$M_{mid} = 5267.500(I) + 0.797(L) - 3.194$	$R^2 = 0.600$			$M_{mid} = 5067.361(I) + 0.342(L) - 0.728$	$R^2 = 0.666$	
Max Confidence	$Ms_{up} = 6198.566(I) - 0.383(L) + 0.750$	$R^2 = 0.608$	$M_{sup} = 6585.813(I) + 0.515(L) - 3.128$	$R^2 = 0.682$	$M_{canti} = 6945.644(I) - 0.344(L) - 0.916$	$R^2 = 0.752$	$M_{sup} = 6182.723(I) + 0.045(L) - 0.339$	$R^2 = 0.673$	
	$M_{mid} = 6799.106(I) - 0.099(L) - 0.348$	$R^2 = 0.716$	$M_{mid} = 6103.426(I) + 0.624(L) - 2.895$	$R^2 = 0.636$			$M_{mid} = 5909.810(I) + 0.290(L) - 0.800$	$R^2 = 0.695$	

1.3 ความคลาดเคลื่อนจากการประมาณ

เมื่อได้ข้อมูลทางสถิติของหน้าตัดคานรวมทั้งสมการเพื่อใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานของหน้าตัดคานทุกหน้าตัดแล้ว จึงนำข้อมูลทางสถิติของหน้าตัดคานรวมทั้งสมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานนั้น ไปประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานของอาคารที่จัดเก็บข้อมูลมา พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ต่างกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่จัดเก็บข้อมูลกับค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของคานที่ได้จากการประมาณ โดยการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณกำลังนั้น ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 19 โดยค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างนั้นหาได้จาก สมการที่ (51)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ต่าง} = \left| \frac{\text{Moment}_{\text{จริง}} - \text{Moment}_{\text{สถิติ}}}{\text{Moment}_{\text{จริง}}} \times 100 \right| \quad (51)$$

ตารางที่ 19 ตัวอย่างการแทนค่าเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของข้อมูลทางสถิติ

ลำดับ ที่	อาคาร	ชื่อ ถาน	ชั้น	หน้าตัด		ประเภท	ความ ยาว	จำนวน	END Supp		MID Span		CANTI Supp		เหล็ก ปลอก	ค่าจากการคำนวณหน้าตัด				ค่าเฉลี่ยของหน้าตัดทุก อาคาร				% ต่าง		
				กว้าง	ลึก				บน	ล่าง	บน	ล่าง	บน	ล่าง		Mu SUPP	Mu MID SPAN	Mu CANTI	Vu	Mu sup	Mu mid	Mu CANTI	Mn sup	Mn mid	Mn CANTI	
1	หอพัก 5 ชั้น	B1	1	15	30	Simple Beam	1.1	3	2RB9	2RB9	2RB9	2RB9	-	-	RB6mm @0.15m	1.51	1.51	-	4.71	1.51	1.51	-	0.00	0.00	-	
2	หอพัก 5 ชั้น	B1	1	15	30	Simple Beam	1.4	3	2RB9	2RB9	2RB9	2RB9	-	-	RB6mm @0.15m	1.51	1.51	-	4.71	1.51	1.51	-	0.00	0.00	-	
3	หอพัก 5 ชั้น	B2	1	20	40	Simple Beam	2	2	2DB12	2DB12	2DB12	2DB12	-	-	RB6mm @0.15m	3.17	3.17	-	7.75	3.17	3.17	-	0.00	0.00	-	
4	หอพัก 5 ชั้น	B2	1	20	40	Simple Beam	1.2	1	2DB12	2DB12	2DB12	2DB12	-	-	RB6mm @0.15m	3.17	3.17	-	7.75	3.17	3.17	-	0.00	0.00	-	
5	หอพัก 5 ชั้น	B2	1	20	40	Simple Beam	1.4	1	2DB12	2DB12	2DB12	2DB12	-	-	RB6mm @0.15m	3.17	3.17	-	7.75	3.17	3.17	-	0.00	0.00	-	
6	หอพัก 5 ชั้น	B2	1	20	40	Simple Beam	4.5	1	2DB12	2DB12	2DB12	2DB12	-	-	RB6mm @0.15m	3.17	3.17	-	7.75	3.17	3.17	-	0.00	0.00	-	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
123	หอพัก 5 ชั้น	B4	ดาดฟ้า	20	40	Continuous Beam	4.15	1	4DB16	2DB16	2DB16	4DB16	-	-	RB6mm @0.15m	6.68	6.68	-	7.10	4.14	4.14	-	38.09	38.09	-	
124	หอพัก 5 ชั้น	B5	ดาดฟ้า	20	40	Cantilever Beam	1.5	1	-	-	-	-	2DB20	2DB20	RB6mm @0.20m	-	-	5.60	7.29	-	-	5.48	-	-	2.20	
125	หอพัก 5 ชั้น	B5	ดาดฟ้า	20	40	Continuous Beam	4.4	1	5DB20	2DB20	2DB20	2DB20	-	-	RB6mm @0.20m	11.43	8.48	-	7.29	4.14	4.14	-	63.80	51.23	-	
126	หอพัก 5 ชั้น	B5	ดาดฟ้า	20	40	Continuous Beam	4.5	1	5DB20	2DB20	2DB20	2DB20	-	-	RB6mm @0.20m	11.43	8.48	-	7.29	4.14	4.14	-	63.80	51.23	-	
																					เฉลี่ย	15.60	13.81	0.36		
																					เฉลี่ย		14.36			

1.3.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคาร โดยการแทนค่าด้วยข้อมูลสถิติของหน้าตัด คานในแต่ละช่วงความยาวคาน

หลังจากแทนค่าข้อมูลทางสถิติของหน้าตัดคานเพื่อใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์
ดัดของหน้าตัดคานของหน้าตัดคานทุกหน้าตัดแล้ว จึงหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยความ
คลาดเคลื่อนของการประมาณกำลังหน้าตัดคาน จากอาคารทั้ง 5 อาคาร โดยได้ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วน
ต่างเฉลี่ยของอาคารทั้ง 5 อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคารโดยวิธีแทนค่าด้วยข้อมูลสถิติ

อาคาร	ค่าทางสถิติ	แยกประเภทคาน				Simple+ Continuous			
		% ต่าง				% ต่าง			
		Mu SUPP	Mu MID	Mu CANTI	เฉลี่ยทั้ง อาคาร	Mu SUPP	Mu MID	Mu CANTI	เฉลี่ย ทั้ง อาคาร
คอนกรีต 7 ชั้น	Min	14.88	15.47	31.61	15.90	16.06	17.89	31.61	17.64
	Mean	12.29	13.78	8.90	12.85	16.85	15.56	8.90	15.88
	Max	36.83	49.40	26.22	42.37	53.28	59.66	26.22	55.14
	Min	11.82	14.36	12.48	13.07	13.54	14.23	12.48	13.83
	Confidence								
	Max	15.87	17.98	13.32	16.77	22.67	21.52	13.32	21.71
	Confidence								
หอพัก 5 ชั้น	Min	15.60	13.81	0.36	14.36	23.10	22.14	0.36	22.07
	Mean	15.77	11.91	3.71	13.59	37.85	34.72	3.71	35.49
	Max	37.40	32.71	128.14	37.32	87.50	69.55	128.14	79.73
	Min	12.12	10.24	8.44	11.11	31.66	29.54	8.44	30.06
	Confidence								
	Max	20.53	16.75	51.35	19.44	46.14	39.95	51.35	43.25
	Confidence								

ตารางที่ 20 (ต่อ)

อาคาร	ค่าทางสถิติ	แยกประเภทลาน				Simple+ Continuous			
		% ต่าง				% ต่าง			
		Mu	Mu	Mu	เฉลี่ยทั้ง อาคาร	Mu	Mu	Mu	เฉลี่ย ทั้ง อาคาร
		SUPP	MID	CANTI		SUPP	MID	CANTI	
หอพัก อาศัย 3 ชั้น	Min	10.11	12.91	6.80	11.13	9.48	12.11	6.80	10.47
	Mean	9.69	13.52	11.84	11.62	10.29	14.95	11.84	12.56
	Max	17.14	21.00	49.64	21.55	23.75	27.61	49.64	27.62
	Min	7.66	10.49	4.06	8.67	7.17	10.14	4.06	8.28
	Confidence								
	Max	14.22	18.38	15.35	16.22	13.56	18.36	15.35	15.91
	Confidence								
หอพัก อาศัย 7 ชั้น	Min	26.99	22.93	4.74	22.32	33.15	26.44	4.74	26.52
	Mean	17.20	15.31	4.51	14.72	20.02	17.33	4.51	16.82
	Max	13.21	15.59	4.39	13.09	19.66	24.68	4.39	19.84
	Min	16.02	13.11	4.30	13.22	22.86	19.02	4.30	18.76
	Confidence								
	Max	11.46	11.07	2.68	10.14	16.00	14.65	2.68	13.67
	Confidence								
หอพัก อาศัย 5 ชั้น	Min	7.79	10.13	10.40	9.06	12.64	17.98	10.40	14.96
	Mean	9.78	9.85	11.71	9.95	9.25	10.37	11.71	9.95
	Max	15.90	17.29	15.59	16.52	21.11	19.74	15.59	20.08
	Min	8.19	9.64	11.46	9.09	7.61	9.42	11.46	8.72
	Confidence								
	Max	11.81	10.88	12.99	11.46	11.49	11.66	12.99	11.67
	Confidence								

โดยค่าที่แสดงในตารางที่ 20 จะเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของอาคารที่เก็บข้อมูลกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานของอาคารทั้งหมด 5 อาคาร โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) แบบแยกประเภทคาน คือ นำข้อมูลกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานที่จัดเก็บโดยแบ่งประเภทคาน ออกเป็น 3 ประเภท ประกอบด้วย คานช่วงเดียว คานต่อเนื่อง และคานยื่น มาแทนค่าเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของอาคาร

2) ไม่แยกประเภทคาน ในที่นี้ใช้ชื่อว่า "Simple + Continuous" คือ นำข้อมูลกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานที่จัดเก็บ โดยไม่ได้แบ่งประเภทของคาน โดยจัดเก็บข้อมูลกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดของทุกหน้าตัดคานมาหาค่าตัวแทนกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัด แล้วจึงนำไปแทนค่าหาเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของอาคาร

จากค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคารจากตารางที่ 20 นำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของทั้ง 5 อาคารได้ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคารทั้ง 5 อาคาร จากวิธีแทนค่าด้วยสถิติ

ค่าทางสถิติ	แยกประเภทคาน				Simple+ Continuous			
	% ต่าง				% ต่าง			
	Mu SUPP	Mu MID	Mu CANTI	เฉลี่ยทั้งอาคาร	Mu SUPP	Mu MID	Mu CANTI	เฉลี่ยทั้งอาคาร
Min	15.07	15.05	10.78	14.55	18.89	19.31	10.78	18.33
Mean	12.95	12.87	8.14	12.55	18.85	18.59	8.14	18.14
Max	24.10	27.20	44.80	26.17	41.06	40.25	44.80	40.48
Min 5% Confidence	11.16	11.57	8.15	11.03	16.57	16.47	8.15	15.93
Max 5% Confidence	14.78	15.01	19.14	14.81	21.97	21.23	19.14	21.24

จากตารางที่ 21 จะแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคาร ทั้ง 5 อาคาร โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของข้อมูลที่แยกประเภทของคาน ทั้งอาคารต่ำสุดคือค่า Min Confidences 11.03 % และสูงสุดคือค่า Max 26.17 % ส่วนข้อมูลที่ไม่แยกประเภทคานมีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ย ต่ำสุดอยู่ที่ 15.93 และสูงสุดคือ 40.49 %

จากค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยจะเห็นว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยที่มีค่า ส่วนต่างเฉลี่ยต่ำๆ นั้น โดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามากได้ ดังนี้ Min 5% Confidence ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าต่ำสุด (Min) Max 5% Confidence และ ค่าสูงสุด (Max) จะเห็นได้ว่าค่าทางสถิติที่มีค่าส่วนต่างเฉลี่ยไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ จะมีเพียง 3 ค่าคือ ค่า เฉลี่ย (Mean) ค่าต่ำสุด (Min) และค่า Min 5% Confidence

1.3.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดคาน ด้วยสมการ Regression จากความยาวคาน (ข้อมูลจากอาคารพักอาศัย 5 อาคาร)

หลังจากแทนค่ากำลังรับโมเมนต์ตัดจากสมการเพื่อใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์ตัดของหน้าตัดคานของหน้าตัดคานทุกหน้าตัดแล้ว จึงหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ย ความคลาดเคลื่อนของการประมาณกำลังรับน้ำหนักคาน จากอาคารทั้ง 5 อาคาร โดยได้ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคารทั้ง 5 อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดคานด้วยสมการ Regression จากความยาวคาน ของแต่ละอาคาร (ข้อมูลจากอาคารพักอาศัย 5 อาคาร)

อาคาร	ค่าทางสถิติ	แยกประเภทคาน				Simple + Continuous			
		% ต่าง				% ต่าง			
		Mu sup	Mu mid	Mu	เฉลี่ยทั้งอาคาร	Mu sup	Mu mid	Mu	เฉลี่ยทั้งอาคาร
		CANTI				CANTI			
	Mean	17.13	19.48	16.34	18.16	19.60	17.74	16.34	18.50
หอพัก 7	Min	27.51	18.92	18.10	22.83	35.65	27.51	18.10	30.57
ชั้น	Min	17.63	18.14	14.12	17.60	23.74	18.54	14.12	20.61
	Confidence								

ตารางที่ 22 (ต่อ)

อาคาร	ค่าทางสถิติ	แยกประเภทถนน				Simple + Continuous			
		% ต่าง				% ต่าง			
		Mu sup	Mu mid	Mu	เฉลี่ยทั้ง	Mu sup	Mu mid	Mu	เฉลี่ยทั้ง
					CANTI				อาคาร
คอนโด 5 ชั้น	Mean	31.12	31.84	18.98	31.11	38.42	39.87	18.98	38.56
	Min	23.01	23.63	0.79	22.66	23.66	22.82	0.79	22.58
	Min	27.92	27.91	12.64	27.46	38.66	35.34	12.64	36.28
	Confidence								
คอนโด 7 ชั้น	Mean	18.64	20.99	11.48	19.55	25.50	27.43	11.48	25.99
	Min	15.42	17.28	47.46	17.34	17.34	18.65	47.46	18.93
	Min	16.45	17.15	10.05	16.59	23.49	24.14	10.05	23.38
	Confidence								
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	Mean	27.33	21.72	22.42	24.36	19.02	18.67	26.94	19.49
	Min	15.71	21.01	43.19	20.36	15.07	22.88	43.19	20.92
	Min	24.71	21.32	25.33	23.20	14.57	16.94	25.33	16.52
	Confidence								
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	Mean	9.08	19.07	3.36	13.19	10.50	19.27	3.36	13.93
	Min	12.14	21.16	16.79	16.66	19.53	25.15	16.79	21.88
	Min	8.10	19.12	3.21	12.75	11.28	19.13	3.21	14.21
	Confidence								

จากค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคารจากตารางที่ 22 นำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของทั้ง 5 อาคารได้ดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดคานด้วย
สมการ Regression ตัวแปรเดียว ของทั้ง 5 อาคาร

ค่าทางสถิติ	แยกประเภทคาน				Simple + Continuous			
	% ต่าง				% ต่าง			
	Mu sup	Mu mid	Mu	เฉลี่ยทั้ง อาคาร	Mu sup	Mu mid	Mu	เฉลี่ยทั้ง อาคาร
			CANTI				CANTI	
Mean	20.66	22.62	14.52	21.27	22.61	24.60	15.42	23.29
Min	18.76	20.40	25.27	19.97	22.25	23.40	25.27	22.98
Min Confidence	18.96	20.73	13.07	19.52	22.35	22.82	13.07	22.20

จากตารางที่ 23 จะแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคาร ทั้ง 5 อาคาร โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของข้อมูลที่แยกประเภทของคาน ทั้งอาคารต่ำสุดคือค่า Min Confidence 19.520 % และสูงสุดคือค่า Mean 21.272 % ส่วนข้อมูลที่ไม่แยกประเภทคานมีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ย ต่ำสุดคือค่า Min Confidence 22.200 % และสูงสุดคือค่า Mean 23.293 %

1.3.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดคานด้วยสมการ Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก (หลายตัวแปร $f(I), f(I)$) จากอาคารพักอาศัย 5 อาคาร

หลังจากแทนค่ากำลังรับโมเมนต์ตัดจากสมการเพื่อใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานของหน้าตัดคานทุกหน้าตัดแล้ว จึงหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของการประมาณกำลังหน้าตัดคาน จากอาคารทั้ง 5 อาคาร โดยได้ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคารทั้ง 5 อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดคานด้วย
สมการ Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก (หลายตัวแปร $f(I), f(I)$) จากอาคารพัก
อาศัย 5 อาคาร

อาคาร	ค่าทางสถิติ	แยกประเภทคาน				Simple + Continuous			
		% ต่าง				% ต่าง			
		Mu sup	Mu mid	Mu เฉลี่ยทั้ง CANTI อาคาร	เฉลี่ยทั้ง อาคาร	Mu sup	Mu mid	Mu เฉลี่ยทั้ง CANTI อาคาร	เฉลี่ยทั้ง อาคาร
หอพัก 7 ชั้น	Mean	19.09	20.76	34.53	21.02	19.40	17.48	34.53	19.65
	Min	27.86	20.40	26.31	24.29	23.25	17.42	26.31	20.78
	Min Confidence	20.19	20.61	34.20	21.44	19.74	25.14	34.20	23.32
คอนโด 5 ชั้น	Mean	33.45	36.89	7.93	34.37	34.92	37.05	7.93	35.16
	Min	21.40	26.59	4.33	23.42	27.29	29.96	4.33	27.91
	Min Confidence	31.16	34.48	3.43	31.95	52.32	58.24	3.43	53.75
คอนโด 7 ชั้น	Mean	21.95	30.45	31.58	26.37	30.68	32.92	31.58	31.79
	Min	16.51	23.23	21.67	19.93	23.31	25.06	21.67	24.10
	Min Confidence	18.58	23.73	30.67	21.46	40.34	37.87	30.67	38.84
อาคารพัก อาศัย 5 ชั้น	Mean	23.71	22.77	13.12	22.43	25.28	26.93	13.12	25.06
	Min	13.32	20.74	22.46	17.47	16.16	23.72	22.46	20.14
	Min Confidence	20.43	22.69	13.08	20.88	42.80	46.04	13.08	41.90
อาคารพัก อาศัย 3 ชั้น	Mean	22.05	40.07	14.75	29.71	26.32	41.46	14.75	32.30
	Min	16.74	29.39	27.28	23.41	21.17	32.82	27.28	27.02
	Min Confidence	21.46	39.99	16.83	29.57	40.79	62.62	16.83	48.81

จากค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคารจากตารางที่ 24 นำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์
ส่วนต่างเฉลี่ยของทั้ง 5 อาคารได้ดังแสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดคานด้วย
สมการ Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก (หลายตัวแปร $f(I), f(I)$) ของทั้ง 5 อาคาร

ค่าทางสถิติ	แยกประเภทคาน				Simple + Continuous			
	% ต่าง				% ต่าง			
	Mu sup	Mu mid	Mu CANTI	เฉลี่ยทั้ง อาคาร	Mu sup	Mu mid	Mu CANTI	เฉลี่ยทั้ง อาคาร
Mean	24.05	30.19	20.38	26.78	27.32	31.17	20.38	28.79
Min	19.17	24.07	20.41	21.70	22.24	25.80	20.41	23.99
Min Confidence	22.36	28.30	19.64	25.06	39.20	45.98	19.64	41.33

จากตารางที่ 25 จะแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคาร ทั้ง 5 อาคาร โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของข้อมูลที่แยกประเภทของคาน ทั้งอาคารต่ำสุดคือค่า Min 21.703 % และสูงสุดคือค่า Mean 26.778 % ส่วนข้อมูลที่ไม่แยกประเภทคานมีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยต่ำสุดคือค่า Min 23.991% และสูงสุดคือค่า Min Confidences 41.325 %

1.3.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดคานด้วยสมการ Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก (หลายตัวแปร $f(I), f(I)$) จากอาคารพักอาศัย 5 อาคาร + อาคารสาธารณะ 2 อาคาร

หลังจากแทนค่าข้อมูลทางสถิติของหน้าตัดคานรวมทั้งสมการเพื่อใช้ประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานของหน้าตัดคานทุกหน้าตัดแล้ว จึงหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของการประมาณกำลังหน้าตัดคาน จากอาคารทั้ง 5 อาคารและอาคารสาธารณะ 2 อาคาร โดยได้ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคารทั้ง 7 อาคาร ดังแสดงในตารางที่

ตารางที่ 26 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดคานด้วย
สมการ Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก (หลายตัวแปร $f(I), f(l)$) จากอาคารพัก
อาศัย 5 อาคาร + อาคารสาธารณะ 2 อาคาร

อาคาร	ค่าทางสถิติ	แยกประเภทคาน				Simple + Continuous			
		% ต่าง				% ต่าง			
		Mu sup	Mu mid	Mu	เฉลี่ยทั้งอาคาร	Mu sup	Mu mid	Mu	เฉลี่ยทั้งอาคาร
				CANTI				CANTI	
หอพัก 7 ชั้น	Mean	25.03	27.61	34.58	26.94	20.05	22.50	34.58	22.27
	Min	27.53	26.61	24.71	26.89	20.74	19.00	24.71	20.23
	Min	24.30	25.67	31.10	25.45	19.34	20.19	31.10	20.61
	Confidence								
คอนโด 5 ชั้น	Mean	45.50	44.80	0.23	43.83	44.29	44.52	0.23	43.10
	Min	30.65	32.63	15.17	31.16	33.49	33.45	15.17	32.93
	Min	38.50	40.73	3.30	38.55	39.85	41.21	3.30	39.43
	Confidence								
คอนโด 7 ชั้น	Mean	49.26	53.30	29.02	50.58	49.23	49.73	29.02	48.83
	Min	36.94	39.56	18.48	37.62	32.84	32.49	18.48	32.21
	Min	42.68	47.13	24.22	44.25	41.36	42.44	24.22	41.34
	Confidence								
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	Mean	30.14	24.89	12.69	26.32	39.92	32.46	12.69	34.30
	Min	21.27	22.21	16.90	21.35	25.48	25.97	17.87	25.09
	Min	29.17	25.09	13.37	26.02	33.95	30.18	13.37	30.56
	Confidence								
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	Mean	23.38	38.19	13.55	29.36	32.45	47.00	13.55	37.55
	Min	15.65	25.89	28.06	21.38	20.10	31.05	28.06	25.78
	Min	19.89	34.69	17.05	26.44	27.40	43.39	17.05	33.87
	Confidence								
สาธารณะ ๕ 3	Mean	24.06	20.69	72.79	28.58	26.62	13.06	72.79	26.36
	Min	21.35	29.21	89.33	33.16	21.83	25.84	89.33	31.89
	Min	21.44	25.54	81.36	30.61	22.87	21.47	81.36	29.45
	Confidence								

ตารางที่ 26 (ต่อ)

อาคาร	ค่าทางสถิติ	แยกประเภทคาน				Simple + Continuous			
		% ต่าง				% ต่าง			
		Mu sup	Mu mid	Mu	เฉลี่ยทั้ง	Mu sup	Mu mid	Mu	เฉลี่ยทั้ง
		CANTI อาคาร				CANTI อาคาร			
	Mean	47.52	48.25	47.22	47.79	44.60	47.68	47.22	46.29
	Min	51.29	52.20	48.22	51.26	47.45	51.49	48.22	49.30
สาธารณะ	Min								
1	Confidence	48.20	49.45	47.39	48.63	45.55	48.95	47.39	47.27

จากค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคารจากตารางที่ 26 นำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของทั้ง 7 อาคารได้ดังแสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยโดยการประมาณกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดคานด้วยสมการ Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก (หลายตัวแปร $f(I), f(I)$) ของทั้ง 7 อาคาร

ค่าทางสถิติ	แยกประเภทคาน				Simple + Continuous			
	% ต่าง				% ต่าง			
	Mu sup	Mu mid	Mu	เฉลี่ยทั้ง	Mu sup	Mu mid	Mu	เฉลี่ยทั้ง
	CANTI อาคาร				CANTI อาคาร			
Mean	34.98	36.82	30.01	36.20	36.73	36.71	30.01	36.96
Min	29.09	30.84	31.90	30.68	28.85	31.33	34.55	31.06
Min	32.03	35.47	31.11	34.28	32.90	35.40	31.11	34.65
Confidence								

จากตารางที่ 27 จะแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคาร ทั้ง 7 อาคาร โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของข้อมูลที่แยกประเภทของคาน ทั้งอาคารต่ำสุดคือค่า Min 30.681% และสูงสุดคือค่า Mean 36.199 % ส่วนข้อมูลที่ไม่แยกประเภทคานมีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยต่ำสุดคือค่า Min 31.063% และสูงสุดคือค่า Mean 36.956 %

1.4 สรุป

จากการทดลองประมาณค่ากำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดคานทั้ง 3 วิธีคือ การแทนค่าด้วยข้อมูลค่าเฉลี่ยของหน้าตัด การประมาณด้วยสมการจากกราฟ Regression และ การประมาณด้วยสมการจากกราฟ Multi regression แบบถ่วงน้ำหนัก พบว่าค่าที่ให้เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยต่ำสุด คือ ค่าจากข้อมูลประเภท **Min** ดังแสดงในตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของการประมาณกำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดคาน จากค่า Min

ประเภทข้อมูล	เปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ย	
	แยกประเภทคาน	Simple + Continuous Beam
ข้อมูลค่าเฉลี่ยหน้าตัด	14.55	18.33
สมการ Regression (5 อาคาร)	19.97	22.98
สมการ Multi Regression (5 อาคาร)	21.70	23.99
สมการ Multi Regression (7 อาคาร)	30.68	31.06

จากตารางที่ 28 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ส่วนต่าง ของกำลังรับโมเมนต์คัตจริงของหน้าตัด และการประมาณ โดยการประมาณค่ากำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดคาน ประกอบด้วย การแทนค่าด้วยข้อมูลค่าเฉลี่ยของหน้าตัด การประมาณด้วยค่าสมการจากกราฟ Regression และ การประมาณด้วยค่าสมการจากกราฟ Multi regression แบบถ่วงน้ำหนัก พบว่า ค่าสมการแบบ Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก ชนิดแยกประเภทของหน้าตัดคาน สามารถนำไปใช้ในการประมาณกำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดคานได้เหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถนำไปใช้ประมาณกำลังของหน้าตัดคานได้ทุกหน้าตัด ซึ่งแตกต่างจาก 2 วิธีข้างต้น ซึ่งจำเป็นต้องมีหน้าตัดที่เหมือนกับที่มีข้อมูลอยู่เท่านั้น จึงจะสามารถประมาณกำลังรับโมเมนต์คัตคานได้ โดยสมการที่ใช้ในการประมาณค่าที่ดีที่สุด สามารถสรุปดังแสดงในตารางที่ 29

ตารางที่ 29 สมการที่ใช้ประมาณกำลังของหน้าตัดคาน จากวิธี Multi Regression จากค่า Min

	Simple Beam	R^2	Continuous Beam	R^2	Cantilever Beam	R^2
สมการ Multi Regression (5 อาคาร)	$M_{sup} = 2893.508(I) - 0.040(L) + 0.762$	0.918	$M_{sup} = 4458.289(I) + 0.177(L) - 1.041$	0.775	$M_{canti} = 6349.126(I) + 1.328(L) - 4.026$	0.819
	$M_{mid} = 3972.827(I) + 0.033(L) + 0.194$	0.650	$M_{mid} = 3903.635(I) + 0.442(L) - 1.151$	0.786		
สมการ Multi Regression (7 อาคาร)	$M_{sup} = 5780.459(I) - 0.328(L) - 0.161$	0.626	$M_{sup} = 5583.900(I) + 0.578(L) - 3.640$	0.619	$M_{canti} = 6103.758(I) - 0.024(L) - 1.710$	0.685
	$M_{mid} = 6215.882(I) - 0.181(L) - 0.718$	0.645	$M_{mid} = 5107.243(I) + 0.748(L) - 3.595$	0.573		

นอกจากนี้ยังได้คำนวณค่า R^2 (ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบพหุคูณ) ด้วย โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็นค่าสถิติที่จะบอกว่า การเปลี่ยนแปลงของ y เป็นผลมาจากตัวแปรอิสระทั้ง k ร้อยละเท่าใด ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจใช้สำหรับอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระทั้งหมด หรืออาจบอกว่าตัวแปรอิสระทั้งหมดสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้ร้อยละ $R^2 \times 100$

ส่วนการประมาณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดคานของหน้าตัดคาน จากข้อมูลหน้าตัดโดยที่ไม่ได้แยกประเภทของคาน (Simple + Continuous Beam) ประกอบด้วย การแทนค่าด้วยข้อมูลค่าเฉลี่ยของหน้าตัด การประมาณด้วยสมการจากกราฟ Regression และการประมาณด้วยสมการจากกราฟ Multi regression แบบถ่วงน้ำหนัก นั้นจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยสูงกว่าชนิดแยกประเภทคาน

2. เสา

2.1 จัดเก็บข้อมูล

จัดเก็บข้อมูลหน้าตัดเสาของอาคารทั้งหมดจำนวน 7 อาคาร โดยข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วย ขนาดหน้าตัดของเสา (กว้างxลึก) ความสูงของเสา ปริมาณเหล็กเสริม (A_s) กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (f_c') กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (f_y) รวมทั้งพื้นที่การรับน้ำหนักของเสาแต่ละต้น โดยข้อมูลเสาที่รวบรวมประกอบด้วยจำนวนหน้าตัดเสาจากอาคารทั้งหมด 7 อาคาร ซึ่งรวบรวมหน้าตัดเสาทั้งหมดจำนวน 1352 ต้น 72 รูปแบบ โดยแตกต่างกันตามปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัด แบ่งออกเป็น 20 ขนาด คือ 20x40, 25x25, 30x30, 30x40, 30x45, 30x50, 35x35, 35x55, 40x40, 50x80, 60x80, 65x85, 70x120, 70x130, 80x80, 80x130, 90x90, 90x120, 95x95 และ 100x130 โดยมีรูปแบบการเสริมเหล็กแตกต่างกัน จำนวน 6, 3, 3, 4, 3, 1, 1, 1, 8, 1, 11, 4, 3, 1, 2, 2, 4, 7, 2 และ 5 รูปแบบ ตามลำดับ

หลังจากจัดเก็บข้อมูลจึงนำข้อมูลที่จัดเก็บมาวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดเสา โดยวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักสูงสุด และกำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุด และนำค่าที่ได้ไปวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดกับแรงดัด (Interaction Diagram) ตามมาตรฐานของ ACI 318-89 โดยวิธีกำลัง

2.2 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) ของอาคาร

การที่จะประมาณน้ำหนักคงที่ (Dead Load) ที่กระทำกับเสาของอาคารนั้นจำเป็นต้องมีการรวมน้ำหนักของโครงสร้างอาคารส่วนต่างๆ เช่น น้ำหนักคงที่ของพื้น คาน ผนัง เป็นต้น ซึ่งอาจจะต้องใช้เวลาในการประมาณน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสา การจัดเก็บข้อมูลน้ำหนักบรรทุกคงที่ของอาคารนี้ ใช้เพื่อประมาณหาน้ำหนักที่กระทำกับเสา ถ้าหากทราบพื้นที่การรับน้ำหนักรวมของหน้าตัดเสาแล้ว ก็จะสามารถประมาณน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสาได้

จากการจัดเก็บข้อมูลน้ำหนักที่กระทำกับเสาของเสาแต่ละต้น รวมทั้งพื้นที่การรับน้ำหนักของเสาแต่ละต้นแล้ว จะทำให้ได้น้ำหนักที่เสาแต่ละต้นรับน้ำหนักรวมทั้งพื้นที่การรับน้ำหนักของเสาแต่ละต้นในชั้นนั้นๆ ซึ่งเมื่อหาอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักที่กระทำกับเสากับพื้นที่

การรับน้ำหนักของหน้าตัดเสาแล้ว ก็จะได้น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับหน้าตัดเสาจากพื้นที่การรับน้ำหนักของเสานั้นเอง

หลังจากเก็บข้อมูลน้ำหนักบรรทุกคงที่ของแต่ละอาคารแล้วเสร็จจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับพื้นที่รับน้ำหนักของเสาแต่ละตำแหน่ง โดยตำแหน่งเสาประกอบด้วย เสามุม เสานอก และเสาใน ดังแสดงในตารางที่ 30

ตารางที่ 30 น้ำหนักบรรทุกคงที่ของของเสาแต่ละตำแหน่งจากอาคารพักอาศัย 6 อาคาร

ประเภท เสา	DEAD LOAD Model(kg/m ²)						เฉลี่ย
	คอนโด 5 ชั้น	หอพัก 5 ชั้น	หอพัก 3 ชั้น	คอนโด 7 ชั้น	หอพัก 7 ชั้น	สาธารณะ1 12 ชั้น	
เสามุม	1,136.88	1,055.96	1,073.79	1,631.34	1,534.23	1,012.45	1,240.77
เสานอก	973.05	938.89	846.57	929.95	979.53	998.13	944.35
เสาใน	796.78	754.69	749.96	824.04	945.17	834.32	817.49

จากตารางที่ 30 ค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) เฉลี่ยที่ได้จากการสร้างแบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากอาคาร 6 อาคาร (เนื่องจาก อีก 1 อาคารไม่มีแบบงานสถาปัตยกรรม ทำให้ไม่สามารถสร้างแบบจำลองอาคารได้ สาเหตุที่ใช้น้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองอาคาร เนื่องจากได้เปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยจากการถ่วงน้ำหนักโดยไม่ใช้แบบจำลองพบว่ามีความต่างกันไม่มากนัก จึงใช้น้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ที่กระทำกับแผ่นพื้นของเสาแต่ละต้น พบว่าเสาหมุนั้นจะมีค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยมากที่สุดเนื่องจากพื้นที่ในการรับน้ำหนักของ เสาที่อยู่บริเวณของมุมของอาคารนั้น จะน้อยกว่าพื้นที่ของเสาต้นใน และเสาต้นนอก ทำให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ได้ จึงสูงกว่าเสาต้นนอกและเสาต้นใน โดยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับแผ่นพื้นนี้ในแต่ละชั้นจะไม่แตกต่างกันมาก

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การรับน้ำหนักของเสากับปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา

จากข้อมูลเปอร์เซ็นต์เหล็กของหน้าตัดเสาของอาคารแต่ละชั้น จึงนำข้อมูลปริมาณเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์กับพื้นที่การรับน้ำหนักรวมของเสาแต่ละต้น ดังแสดงในตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ตัวอย่างข้อมูลเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมของหน้าตัดเสาต่อพื้นที่รับน้ำหนักรวมของอาคาร

อาคาร	จำนวน ชั้น (รวม คานฟ้า)	ชื่อเสา	ประเภท เสา	จำนวน ชั้นที่ พิจารณา	จำนวน ชั้นที่ รองรับ น้ำหนัก	ชั้น	ตำแหน่ง	หน้าตัด (cm. ²)		พื้นที่รับ Load (m ²)		%เหล็ก
								กว้าง	ลึก	ต่อชั้น	รวม	
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	0	7	0 - 1	E3	40	40	7.50	52.50	1.51
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	1	6	1 - 2	E3	40	40	7.50	45.00	1.51
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	2	5	2 - 3	E3	40	40	7.50	37.50	1.51
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	3	4	3 - 4	E3	40	40	7.50	30.00	1.51
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	4	3	4 - 5	E3	40	40	7.50	22.50	1.51
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	5	2	5 - 6	E3	40	40	7.50	15.00	1.51
คอนโด 7 ชั้น	7	C2	เสานอก	6	1	6 - 7	E3	40	40	7.50	7.50	1.51
หอพัก 5 ชั้น	6	C1	เสามุม	0	6	0 - 1	A1	20	40	4.19	25.12	4.02
หอพัก 5 ชั้น	6	C1	เสามุม	1	5	1 - 2	A1	20	40	4.19	20.94	3.52
หอพัก 5 ชั้น	6	C1	เสามุม	2	4	2 - 3	A1	20	40	4.19	16.75	2.51
หอพัก 5 ชั้น	6	C1	เสามุม	3	3	3 - 4	A1	20	40	4.19	12.56	2.01
หอพัก 5 ชั้น	6	C1	เสามุม	4	2	4 - 5	A1	20	40	4.19	8.37	1.51
หอพัก 5 ชั้น	6	C1	เสามุม	5	1	5 - 6	A1	20	40	4.19	4.19	1.01

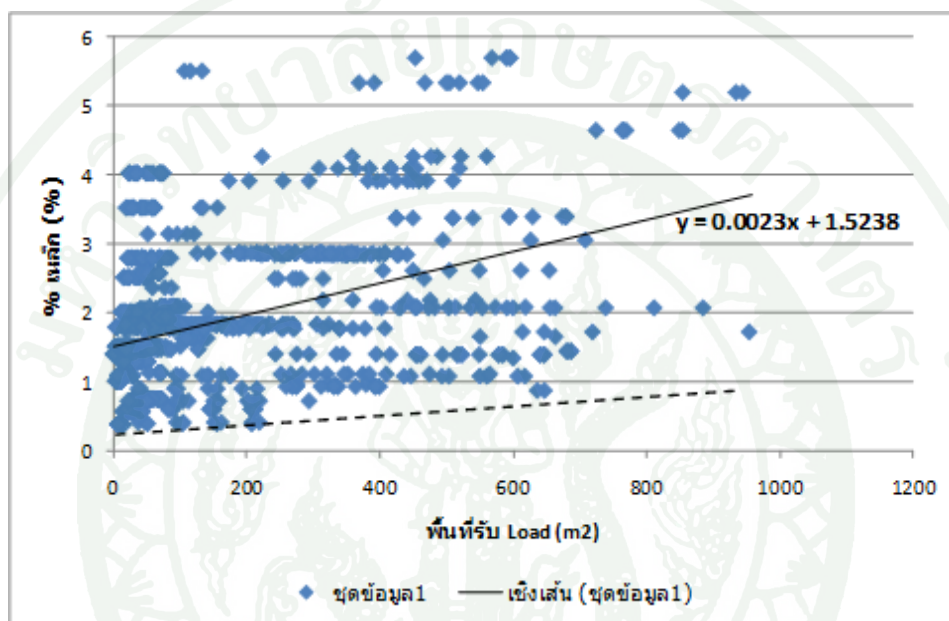
ตารางที่ 31 (ต่อ)

อาคาร	จำนวน ชั้น (รวม คาน้ำฟ้า)	ชื่อเสา	ประเภท เสา	ชั้นที่ พิจารณา	จำนวน ชั้นที่ รองรับ น้ำหนัก	ชั้น	ตำแหน่ง	หน้าตัด (cm. ²)	พื้นที่รับ	Load (m ²)	%เหล็ก	
หอพัก 7 ชั้น	8	C1	เสาขอบ	0	8	0 - 1	A8	35	35	7.35	89.43	2.05
หอพัก 7 ชั้น	8	C1	เสานอก	1	7	1 - 2	A8	35	35	12.78	82.08	2.05
หอพัก 7 ชั้น	8	C1	เสานอก	2	6	2 - 3	A8	30	30	12.78	69.30	2.79
หอพัก 7 ชั้น	8	C1	เสานอก	3	5	3 - 4	A8	30	30	12.78	56.53	2.79
หอพัก 7 ชั้น	8	C1	เสานอก	4	4	4 - 5	A8	30	30	12.78	43.75	2.79
หอพัก 7 ชั้น	8	C1	เสานอก	5	3	5 - 6	A8	30	30	12.78	30.98	1.40

จากตารางที่ 31 เนื่องจากถ้าหากต้องการประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักและค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดเสานั้น ซึ่งลักษณะทางกายภาพของเสาต้นที่ต้องการประมาณกำลังนั้นมีเพียงสิ่งเดียวที่สามารถรู้ได้ ก็คือ ขนาดของหน้าตัดเสา ซึ่งจะไม่สามารถรู้ได้เลยว่าจำนวนเหล็กเสริมที่อยู่ในหน้าตัดเสานั้น มีปริมาณเท่าไร นอกจากจะต้องทำการตรวจสอบด้วยวิธีที่ยากซับซ้อน ดังนั้น การจัดเก็บข้อมูลปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดของเสา (เปอร์เซ็นต์เหล็ก) นั้น เป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งถ้าหากมีข้อมูลมาก พอสมควร ก็จะช่วยให้ทราบได้ว่าแนวโน้มของปริมาณเหล็กที่เสริมอยู่ในหน้าตัดเสานั้น มีปริมาณการเสริมเหล็กโดยส่วนใหญ่อยู่ที่ปริมาณเท่าใด และเนื่องจากปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสาแต่ละต้นนั้นมีปริมาณเหล็กเสริมที่ไม่เท่ากัน จึงต้องหาค่าตัวแทนปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสาขึ้นมา จึงได้นำข้อมูลพื้นที่การรับน้ำหนักของเสาแต่ละต้นมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา โดยกำหนดให้ปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัด เป็นฟังก์ชันของค่าพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสา หรือเขียนเป็นสมการ

$$\rho = f(A) \quad (52)$$

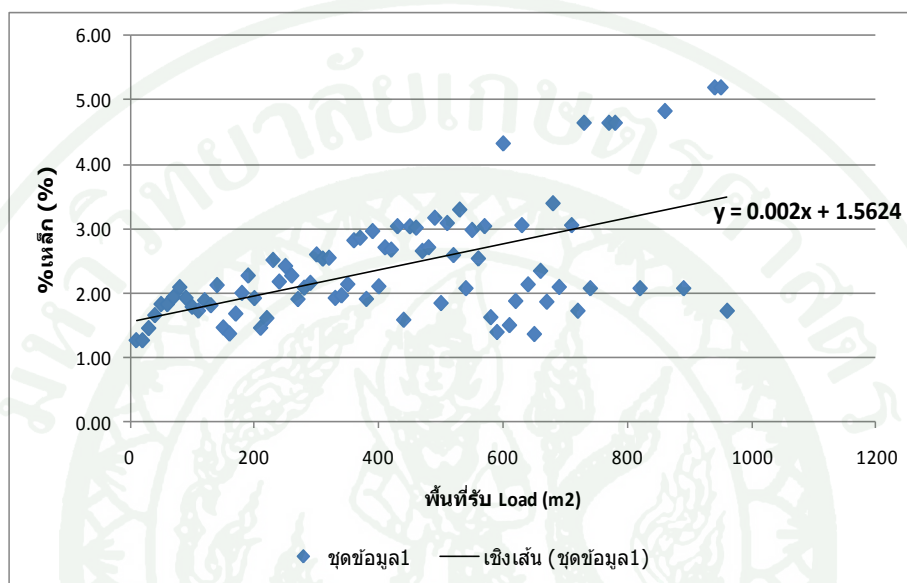
โดยที่ p คือค่าปริมาณเหล็กเสริมในเสาและ A คือพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสา แล้วทำการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Regression) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) โดยให้พื้นที่รับน้ำหนักรวมของหน้าตัดเสามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณเหล็กเสริม จะได้กราฟ และสมการดังแสดงในภาพที่ 28 ซึ่งค่า x หมายถึงพื้นที่รับน้ำหนักรวมของหน้าตัดเสา (หน่วยเป็นตารางเมตร) และค่า y คือปริมาณเหล็กเสริม (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)



ภาพที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รับน้ำหนักของอาคารกับเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมของหน้าตัดเสา

จากภาพที่ 28 ปริมาณเหล็กเสริมกับพื้นที่รับน้ำหนักของเสา โดยแกนนอนจะเป็นพื้นที่รับน้ำหนักรวมของอาคาร และแกนตั้งจะเป็นเปอร์เซ็นต์เหล็กที่เสริมในหน้าตัด ซึ่งพบว่า แนวโน้มของปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดนั้น จะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่การรับน้ำหนักของเสาเพิ่มขึ้น ดังนั้น เพื่อที่จะประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสา จึงทดลองหาเส้นแนวโน้มของข้อมูล โดยพิจารณาจากเส้นขอบล่างของข้อมูล (เส้นประ) จะเห็นว่าเมื่อพื้นที่การรับน้ำหนักรวมของเสาเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์เหล็กในหน้าตัดเสาก็เพิ่มขึ้นด้วย จึงเลือกใช้สมการเชิงเส้นตรง ซึ่งน่าจะเป็นสมการตัวแทนของปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา

นำข้อมูลปริมาณเหล็กเสริมของหน้าตัดมาจัดกลุ่มพื้นที่ในการรับน้ำหนักของอาคารใหม่ โดยแบ่งพื้นที่การรับน้ำหนักออกเป็นช่วงๆ ช่วงละ 10 ตารางเมตร เมื่อนำมาวาดกราฟหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เหล็กของหน้าตัด แล้วนำมาวาดกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าเปอร์เซ็นต์เหล็กในหน้าตัดเสากับพื้นที่การรับน้ำหนักรวมของอาคาร ดังแสดงดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รับน้ำหนักของอาคารกับเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมของหน้าตัดเสา โดยแบ่งพื้นที่การรับน้ำหนักออกเป็นช่วงๆ ละ 10 m²

จากภาพที่ 29 ปริมาณเหล็กเสริมกับพื้นที่รับน้ำหนักของเสา โดยแกนนอนจะเป็นพื้นที่รับน้ำหนักรวมของอาคาร และแกนตั้งจะเป็นเปอร์เซ็นต์เหล็กที่เสริมในหน้าตัด เนื่องจากสามารถเห็นได้ว่าปริมาณเหล็กเสริมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่การรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน จึงทดลองหาเส้นแนวโน้มของข้อมูล โดยเลือกใช้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ซึ่งน่าจะสามารถใช้เป็นสมการตัวแทนของปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสาได้ โดยพิจารณาจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของแต่ละชั้นของอาคาร

จากภาพที่ 28 และ 29 ทำให้ได้สมการที่ใช้ประมาณค่าเปอร์เซ็นต์เหล็กปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา ประกอบด้วย

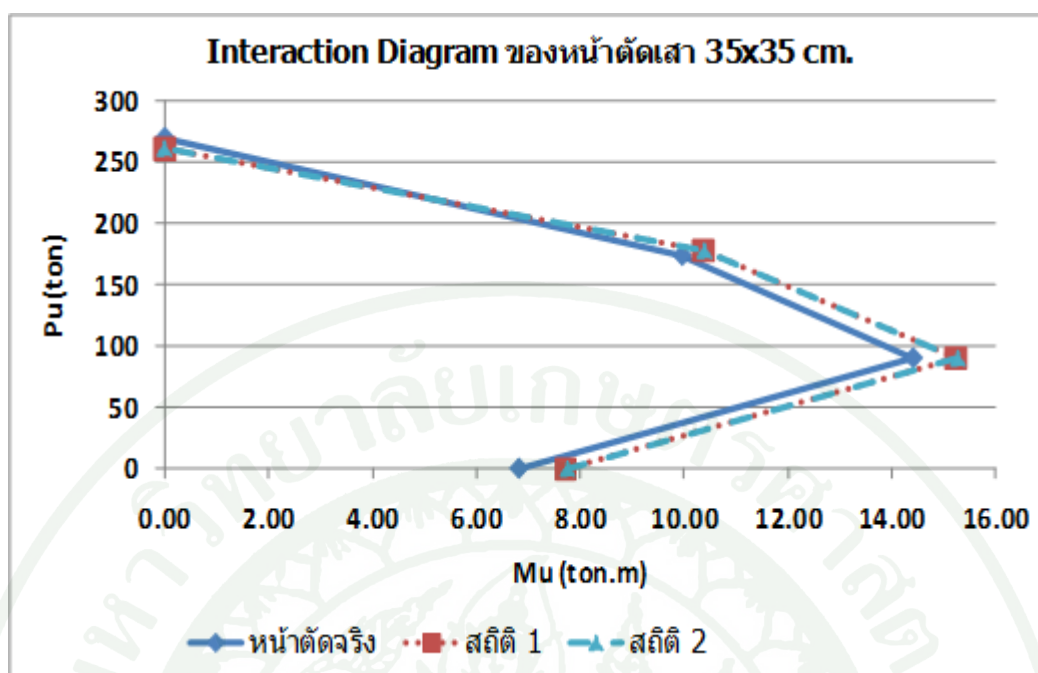
$$\rho = 0.0023(A) + 1.5238 \quad (\text{สำหรับภาพที่ 28}) \quad (53)$$

$$p = 0.0020(A) + 1.5624 \quad (\text{สำหรับภาพที่ 29}) \quad (54)$$

ซึ่งค่า A หมายถึงพื้นที่รับน้ำหน้ารวมของหน้าตัดเสา (หน่วยเป็นตารางเมตร) และค่า p คือปริมาณเหล็กเสริม (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)

เมื่อได้สมการที่ใช้ในการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมของหน้าตัดเสาแล้ว จึงนำค่าสมการที่ได้ไปประมาณหาเปอร์เซ็นต์เหล็กในหน้าตัดเสาของอาคารที่จัดเก็บข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบกัน โดยนำค่าสมการที่ได้มาแทนค่าด้วยพื้นที่การรับน้ำหน้าของอาคารแล้วทำการคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดเสาและกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสาที่สถานะต่างๆ แล้วจึงนำค่าที่ได้มาวาดกราฟ Interaction Diagram เพื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างๆ ของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดจากแบบโครงสร้างจริง กับค่าที่ได้จากการประมาณ

ทำการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการรับน้ำหนักและโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสา ระหว่างหน้าตัดเสาของโครงสร้างจริงจากแบบก่อสร้าง กับหน้าตัดของเสาจากการประมาณจากสมการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์เหล็ก โดยการเปรียบเทียบค่าพื้นที่ที่ได้กราฟ Interaction Diagram โดยสาเหตุที่เปรียบเทียบด้วยค่าพื้นที่ที่ได้กราฟของ Interaction Diagram โดยมีแกนหลัก อยู่ 2 แกน คือค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด และค่ากำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดเสา การที่จะทำการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลกำลังรับน้ำหนักและโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสา จากแบบก่อสร้างจริง กับข้อมูลที่ได้จากสถิตินั้น จะหาจุดที่ใช้เปรียบเทียบความถูกต้องลำบาก ดังนั้น การใช้พื้นที่ที่ได้กราฟ เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลนั้น จึงน่าจะเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกที่สุด



ภาพที่ 30 Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา จากแบบก่อสร้างจริง และจากวิธีทางสถิติ

จากภาพที่ 30 จะแสดงกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา ประกอบด้วยกราฟจากการคำนวณกำลังของหน้าตัดจากแบบก่อสร้างของโครงสร้างอาคาร(เส้นทึบ) กราฟจากการคำนวณเพื่อทั้งสองสมการ(เส้นประจุด และเส้นประขาว)

2.4 ค้นหาปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสาจากการประมาณกำลังรับน้ำหนัก

หลังจากได้สมการที่ใช้ในการประมาณหาปริมาณเหล็กเสริมของหน้าตัดเสาแล้ว จึงนำค่าสมการที่ได้มาประมาณหาปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา พร้อมทั้งค้นหา ค่ากำลังรับน้ำหนักของและกำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดเสา พร้อมทั้งวาดกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา ดังแสดงการคำนวณดังตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 6 การคำนวณหาค่ารับโมเมนต์ดัด และค่ารับน้ำหนักของเสาจากปริมาณเหล็กเสริมที่ได้จากการประมาณ

วิธีทำ

คุณสมบัติวัสดุ

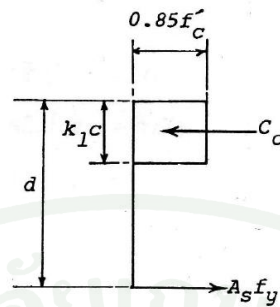
กำลังครากเหล็กเสริม (f_y)	=	3000	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นเหล็กเสริม (E_s)	=	2.04×10^6	ksc
กำลังอัดคอนกรีต (f'_c)	=	240	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีต $E_c = 15100\sqrt{f'_c}$	=	233928	ksc
ตัวคูณลดกำลัง ϕ	=	0.7	
ตัวคูณ β_1	=	0.85	
พื้นที่รับน้ำหนักรวม(ทุกชั้นที่ถ่ายน้ำหนักลงเสา)	=	44.71	m ²
สมการประมาณปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัด	y =	$0.0023x + 1.5238$	
หน้าตัด	=	35 x 35	cm.
พื้นที่หน้าตัด A_g	=	1225	cm ²
ปริมาณเหล็กเสริมที่ได้จากสมการ ρ	=	1.63	%
พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมจากการประมาณ $A_{s \text{ total}}$	=	19.926	cm ²
$A_{s'}$	=	9.963	cm ²
A_s	=	9.963	cm ²

1. แรงที่จุด A (ดังภาพที่ 35) ของหน้าตัด (Axial Load Strength)

จากสูตร

$$\begin{aligned}
 P_o &= 0.85f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \\
 P_o &= 305614.00 \quad \text{kg} \\
 P_o &= 305.61 \quad \text{ton}
 \end{aligned}$$

2. โมเมนต์ดัดปลาย ที่จุด C (Ultimate Strength of Beam)



ใช้วิธีการของ ACI โดยไม่คิดแรงในเหล็กรับแรงอัดซึ่งจะเกิดข้อผิดพลาดไม่มากนัก

$$M_n = 0.85f'_c \beta_1 c \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) = A_s f_y \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

หาระยะ $\beta_1 c$ จากสมดุลของแรง

$$A_s f_y = 0.85f'_c b \beta_1 c$$

$$\beta_1 c = A_s f_y / 0.85f'_c b$$

$$\beta_1 c = 4.19$$

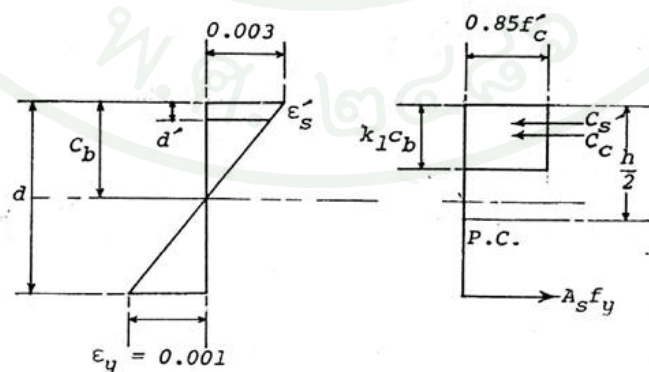
$$M_n = 777332.86 \quad \text{kg.cm}$$

$$M_n = 777.33 \quad \text{ton.cm}$$

$$M_n = 7.77 \quad \text{ton.m}$$

3. ที่สภาวะแรงกระทำพอดี ที่จุด B (Balance Loading)

จากการแจกแจงความเครียด



$$\frac{C_b}{35 - C_b} = \frac{0.003}{0.001}$$

$$C_b = 18.86 \quad \text{และ} \quad \square'_s = 0.00190 > 0.00147 (\square_y) \quad \text{นั่นคือเหล็กรับแรงอัด } A'_s \text{ เกิดการคราก}$$

จากสมการ

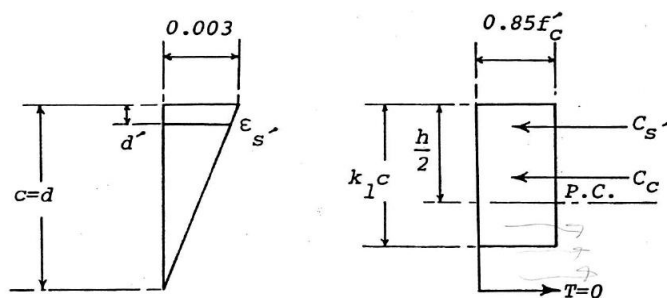
$$\begin{aligned}
 P_b &= C_c + C_s' - T \\
 C_c &= 0.85f_c' b \beta_1 c_b \\
 &= 114440.58 \quad \text{kg} \\
 C_s' &= A_s' f_s' \\
 &= 29889.49 \quad \text{kg} \\
 T &= A_s f_y \\
 &= 29889.49 \quad \text{kg} \\
 P_b &= 114440.58 \quad \text{kg} \\
 P_b &= 114.44 \quad \text{ton}
 \end{aligned}$$

คิดโมเมนต์รอบศูนย์กลางพลาสติก ที่ระยะ $h/2$ จากผิวล่างของพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากหน้าตัดและเหล็กเสริมมีลักษณะสมมาตร

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s' f_y (h/2 - d') + C_c (h/2 - k_1 c_b/2) + A_s f_y (d - h/2) \\
 A_s' f_y (h/2 - d') &= 316828.56 \\
 C_c (h/2 - k_1 c_b/2) &= 1085578.05 \\
 A_s f_y (d - h/2) &= 316828.56 \\
 M_n &= 1719235.17 \quad \text{kg.cm} \\
 M_n &= 17192.35 \quad \text{kg.m} \\
 M_n &= 17.19 \quad \text{ton.m}
 \end{aligned}$$

4. ที่จุดซึ่งความเครียดในเหล็กรับแรงดึงเป็นศูนย์ (Zero Tension)

เนื่องจากความเครียดในเหล็กรับแรงดึงเป็นศูนย์ ระยะ C เท่ากับความลึกประสิทธิภาพจากการแจกแจงความเครียด



$$\rho'_s = 0.00226 > 0.00147 (\rho_{y'})$$

นั่นคือเหล็กรับแรงอัด A'_s เกิดการคราก

จากสมการ

$$\begin{aligned} P &= C_c + C'_s \\ C_c &= 170538.90 \\ C'_s &= 29889.49 \\ P &= 200428.39 \quad \text{kg} \\ P &= 200.43 \quad \text{ton} \end{aligned}$$

คิดโมเมนต์ดัดรอบศูนย์พลาสติก

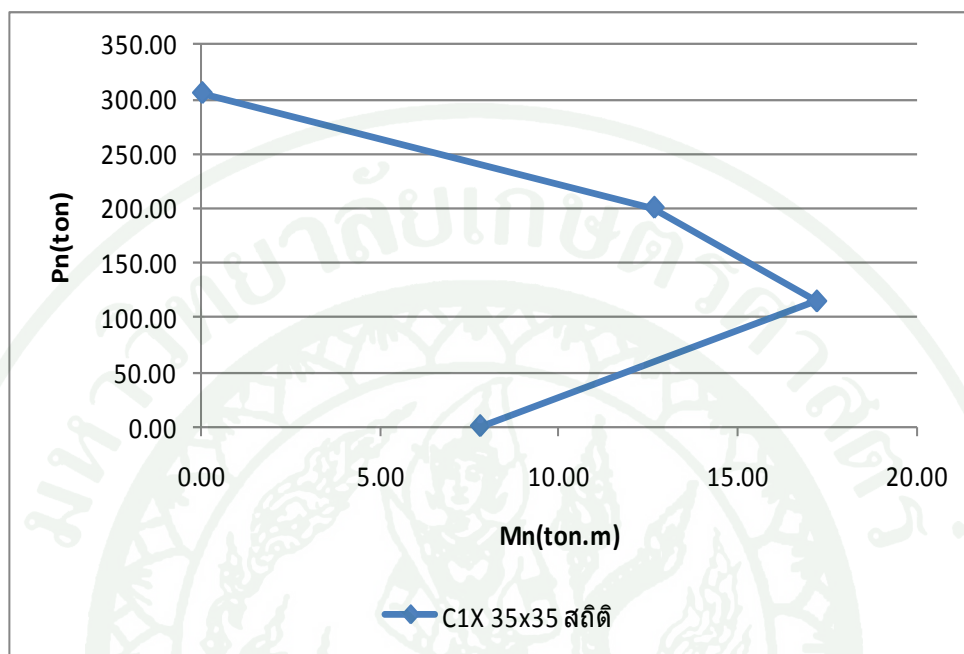
$$\begin{aligned} M_n &= A'_s f_y (h/2 - d') + C_c (h/2 - \beta_1 c/2) \\ A'_s f_y (h/2 - d') &= 316828.56 \\ C_c (h/2 - \beta_1 c/2) &= 947769.94 \\ M_n &= 1264598.50 \quad \text{kg.cm} \\ M_n &= 12645.99 \quad \text{kg.m} \\ M_n &= 12.65 \quad \text{ton.m} \end{aligned}$$

โดยนำค่ากำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดที่สภาวะต่างๆ กัน มาสรุปเป็นตารางได้ดังที่แสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 32 กำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดที่สภาวะต่างๆ จากการประมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา

ลำดับที่	สภาวะ	P (ton)	M (ton.)
1	Axial Load Strength	305.61	0.00
2	Ultimate Strength of Beam	0.00	7.77
3	Balance Loading	114.44	17.19
4	Zero Tension	200.43	12.65

จากค่าการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดเสาที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อนำค่าที่ได้ มาวาดกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา จะได้กราฟ Interaction diagram ของหน้าตัดเสา ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 กราฟความเกี่ยวพันของหน้าตัดเสา (Interaction Diagram) ขนาด 35x35 cm.

จากการประมาณปริมาณเหล็กเสริม

2.5 Interaction curve ของหน้าตัดเสา

เมื่อนำสมการที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของปริมาณเหล็กเสริมกับพื้นที่หน้าตัดเสา มาประมาณเพื่อหาปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา และนำปริมาณเหล็กเสริมที่ได้ไปคำนวณหา กำลังรับน้ำหนักและโมเมนต์คดของหน้าตัดเสาที่สภาวะต่างๆ แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปวาดกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา และคำนวณหาพื้นที่ได้กราฟของเสาแต่ละต้น แล้วจึงนำพื้นที่ ได้กราฟที่ได้มาเปรียบเทียบและหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ได้กราฟ ระหว่างพื้นที่ได้กราฟ ของหน้าตัดเสาจริงกับพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดเสาที่ได้จากวิธีทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ตัวอย่างกำลังของหน้าตัดเสาขนาด 35x35 พื้นที่รับน้ำหนักรวม 44.71 m² ที่สภาวะต่างๆ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54)

สภาวะ	หน้าตัดจริง		สมการ (53)		สมการ (54)	
	LOAD	โมเมนต์	LOAD	โมเมนต์	LOAD	โมเมนต์
Ultimate Strength of Beam	0.00	6.82	0.00	5.44	0.00	5.52
Balance Loading	81.82	13.99	80.11	12.03	80.11	12.10
Zero Tension	165.65	10.54	140.30	8.85	140.62	8.89
Axial Load Strength	270.24	0.00	213.93	0.00	214.53	0.00
พื้นที่ได้กราฟ	2430.40		1654.50		1669.34	

เมื่อคำนวณหาพื้นที่ที่ได้กราฟของหน้าตัดเสาทั้งจากแบบก่อสร้างจริงและจากการประมาณทั้งสองสมการแล้วเสร็จจึงนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของหน้าตัดในแต่ละชั้นของอาคารต่างๆ ทั้ง 7 อาคาร แล้วนำข้อมูลมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของแต่ละชั้น ดังแสดงในตารางที่ 34 และหาค่าเฉลี่ยของแต่ละอาคารดังแสดงในตารางที่ 35

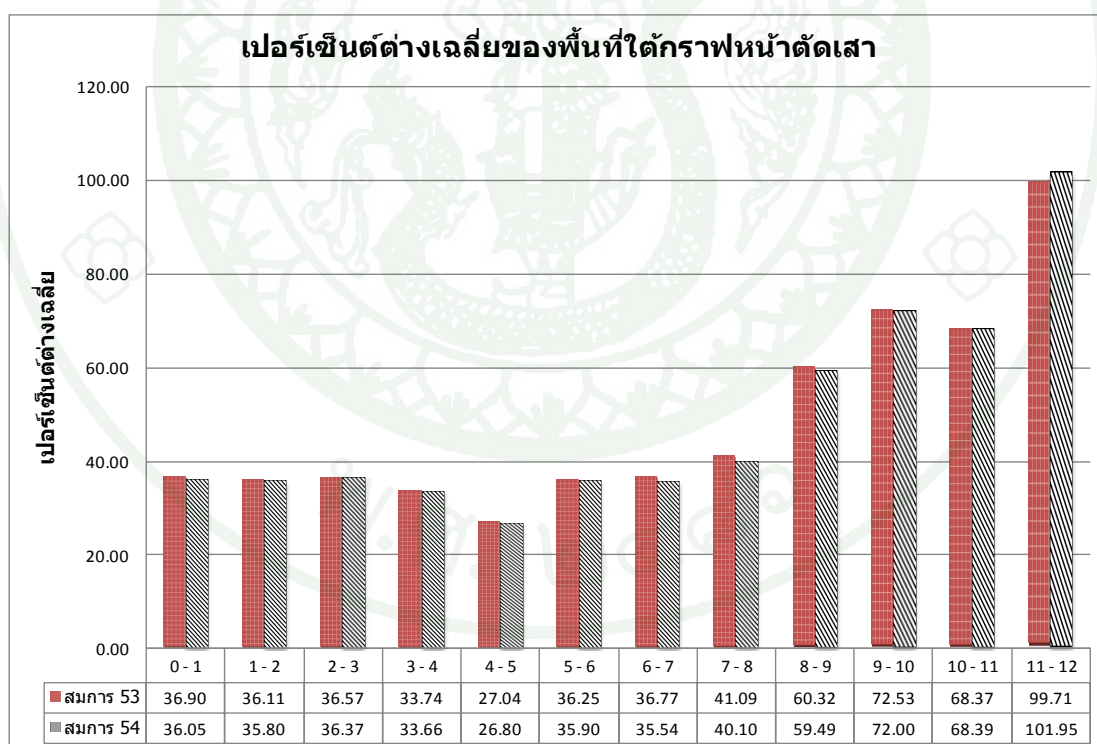
ตารางที่ 34 สรุปเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ ทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) ของทุกอาคารในแต่ละชั้น

ชั้นที่	จำนวน อาคาร	จำนวนเสา (ต้น)	เปอร์เซ็นต์ต่าง	
			สมการ (53)	สมการ (54)
0 - 1	7	196	36.90	36.05
1 - 2	7	192	36.11	35.80
2 - 3	7	185	36.57	36.37
3 - 4	7	182	33.74	33.66
4 - 5	6	144	27.04	26.80
5 - 6	6	144	36.25	35.90
6 - 7	4	92	36.77	35.54
7 - 8	3	70	41.09	40.10

ตารางที่ 34 (ต่อ)

ชั้นที่	จำนวน อาคาร	จำนวนเสา (ต้น)	เปอร์เซ็นต์ต่าง	
8 - 9	3	53	60.32	59.49
9 - 10	2	47	72.53	72.00
10 - 11	2	47	68.37	68.39
11 - 12	1	13	99.71	101.95

จากตารางที่ 34 เมื่อนำข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟของหน้าตัดจริง และการประมาณทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) ของทุกอาคารในแต่ละชั้นไปแสดงผลในรูปแบบของแผนภูมิแท่ง ดังแสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ใต้กราฟของหน้าตัดจริงกับหน้าตัดจากการประมาณในแต่ละชั้นของทั้ง 7 อาคาร

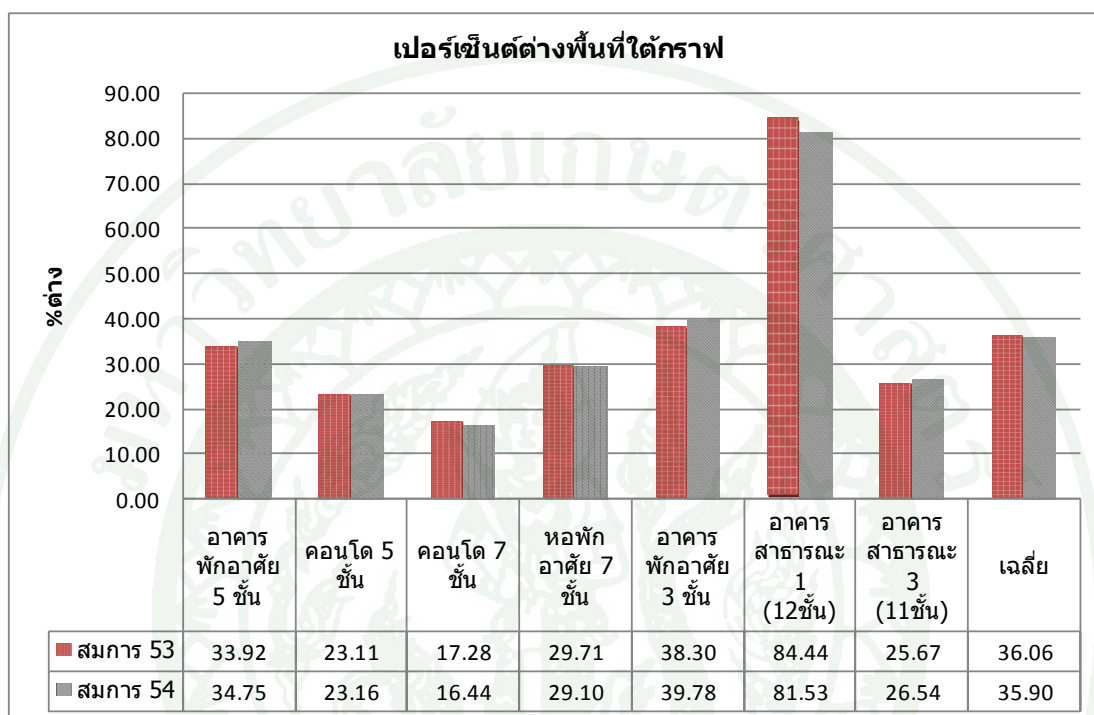
จากตารางที่ 34 หรือภาพที่ 32 จะพบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟจากหน้าตัดเสาที่คำนวณจากแบบ กับ พื้นที่ได้กราฟที่ได้จากการประมาณทั้งสองสมการ พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยตั้งแต่ชั้นที่ 8 – 12 นั้น มีค่าแตกต่างกันมาก สาเหตุคาดว่ามาจากการที่แรง(น้ำหนักที่ถ่ายสู่เสา) ที่กระทำกับเสาในชั้นบนนั้น น้อยกว่าเสาในชั้นล่าง ทำให้ต้องการพื้นที่หน้าตัดเสนาน้อยกว่า(เสานาคนเล็กกว่า)เสาดันที่อยู่ชั้นล่าง และปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการสามารถใช้เพียงปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำก็ได้ แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติมักต้องการให้การก่อสร้างทำงานได้ง่าย ทางผู้ออกแบบจึงกำหนดให้ขนาดของหน้าตัดเสาชั้นบน นั้นเท่ากับหน้าตัดเสาชั้นล่างๆ จึงทำให้เมื่อประมาณค่าปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสาชั้นบนๆ แล้วจึงได้ค่าที่ต่างจากเสาจริงมากทำให้ ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟเสาจึงแตกต่างกันตาม

จากข้อมูลเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดเสาในแต่ละอาคาร ของอาคารทั้ง 7 อาคาร จึงนำมาหาค่าเฉลี่ยของทุกอาคาร โดยดังแสดงในตารางที่ 35

ตารางที่ 35 สรุปเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ ทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) ของทุกอาคาร

อาคาร	จำนวนเสา (ต้น)	เปอร์เซ็นต์ต่าง (ABS)	
		สมการ (53)	สมการ (54)
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	192	33.92	34.75
คอนโด 5 ชั้น	120	23.11	23.16
คอนโด 7 ชั้น	117	17.28	16.44
หอพักอาศัย 7 ชั้น	246	29.71	29.10
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	128	38.30	39.78
อาคารสาธารณะ1 (12ชั้น)	186	84.44	81.53
อาคารสาธารณะ 3 (11ชั้น)	376	25.67	26.54
เฉลี่ย		36.06	35.90

จากตารางที่ 35 เมื่อนำข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดจริง และจากการประมาณทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) ของทุกอาคารไปแสดงผลในรูปแบบของ แผนภูมิแท่ง ดังแสดงในภาพที่ 33



ภาพที่ 33 เปอร์เซนต์ส่วนต่างของพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดจริงกับหน้าตัดจากการประมาณของ 7 อาคาร

จากตารางที่ 35 หรือภาพที่ 33 จะแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดเสาในแต่ละอาคาร ทั้ง 7 อาคาร พบว่า จากการแทนค่าสมการเพื่อประมาณปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสาของสมการทั้งสองสมการ พบว่าอาคารที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างมากที่สุดคืออาคารสาธารณะ 1 12 ชั้น มีเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ย 84.44% และ 81.53 % จากสมการ 53 และ 54 ตามลำดับ และอาคารที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างน้อยที่สุดคืออาคารคอนโด 7 ชั้น มีเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ย 17.28 % และ 16.44 % จากสมการ 53 และ 54 ตามลำดับ

2.6 สรุป

น้ำหนักบรรทุกคงที่

หลังจากเก็บข้อมูลน้ำหนักบรรทุกคงที่ของแต่ละอาคารแล้วเสร็จจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับพื้นที่รับน้ำหนักของเสาแต่ละตำแหน่ง โดยตำแหน่งเสาประกอบด้วย เสามุม เสานอก และเสาใน ดังแสดงในตารางที่ 36

ตารางที่ 36 น้ำหนักบรรทุกคงที่ของของเสาแต่ละตำแหน่งจากอาคารพักอาศัย 6 อาคาร

ประเภทเสา	DEAD LOAD Model(kg/m ²)						เฉลี่ย
	คอนโด 5 ชั้น	หอพัก 5 ชั้น	หอพัก 3 ชั้น	คอนโด 7 ชั้น	หอพัก 7 ชั้น	สาธารณะ 1	
เสามุม	1,136.88	1,055.96	1,073.79	1,631.34	1,534.23	1,012.45	1,240.77
เสานอก	973.05	938.89	846.57	929.95	979.53	998.13	944.35
เสาใน	796.78	754.69	749.96	824.04	945.17	834.32	817.49

โดยค่าจากตารางที่ 36 น้ำหนักบรรทุกคงที่ของของเสาแต่ละตำแหน่ง สามารถนำไปใช้ในการหาน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับเสาในแต่ละตำแหน่งได้

จากข้อมูลการเก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์เหล็กของหน้าตัดเสาของอาคารแต่ละชั้นรวมทั้งพื้นที่ในการรับน้ำหนักรวมของเสาแต่ละต้น แล้วจึงนำข้อมูลปริมาณเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมในหน้าตัดเสามาหาความสัมพันธ์กับพื้นที่การรับน้ำหนักรวมของเสาแต่ละต้น จะได้สมการที่ใช้ในการประมาณค่าปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา ดังสมการที่ (53) และ (54)

$$\rho = 0.0023(A) + 1.5238 \quad (53)$$

$$\rho = 0.0020(A) + 1.5624 \quad (54)$$

ซึ่งค่า A หมายถึงพื้นที่รับน้ำหน้ารวมของหน้าตัดเสา (หน่วยเป็นตารางเมตร) และค่า ρ คือปริมาณเหล็กเสริม (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)

เมื่อนำค่าสมการที่ (53) และ (54) มาประมาณหาค่าปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา แล้วจึงนำปริมาณเหล็กเสริมที่ประมาณได้ไปคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักและโมเมนต์คดของหน้าตัดเสาพร้อมทั้งวาดกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา พร้อมทั้งคำนวณหาพื้นที่ได้กราฟเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดเสาจริง

จากการเปรียบเทียบพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดเสาที่ได้จากแบบก่อสร้าง กับพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดเสาที่ได้จากการประมาณ ของอาคาร 7 อาคาร ดังแสดงเปอร์เซ็นต์ต่างในตารางที่ 37

ตารางที่ 37 สรุปเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ ทั้ง 2 สมการ ของทุกอาคาร

อาคาร	จำนวนเสา (ต้น)	เปอร์เซ็นต์ต่าง	
		สมการ (53)	สมการ (54)
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	192	56.78	58.98
คอนโด 5 ชั้น	120	22.46	22.50
คอนโด 7 ชั้น	117	8.01	9.13
หอพักอาศัย 7 ชั้น	246	12.47	13.14
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	128	14.76	16.09
อาคารสาธารณะ 1 (12ชั้น)	186	54.20	51.59
อาคารสาธารณะ 3 (11ชั้น)	376	25.67	26.54
เฉลี่ย		36.06	35.90

จากตารางที่ 37 ค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟของสมการประมาณปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา ทั้งสองสมการแทบจะไม่แตกต่างกัน แต่สมการที่ให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ต่างของพื้นที่ได้กราฟที่ต่ำที่สุดคือสมการที่ 54

3. พื้นและฐานราก

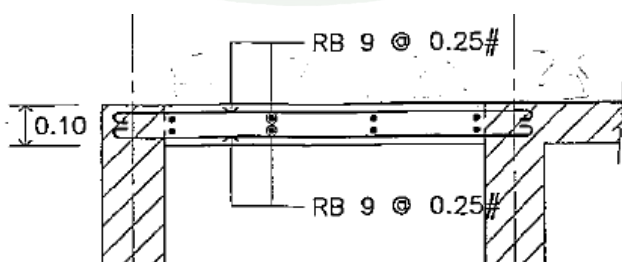
3.1 จัดเก็บข้อมูล

จัดเก็บข้อมูลแผ่นพื้นของอาคารทั้งหมดจำนวน 7 อาคาร โดยข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วย ขนาดของแผ่นพื้น (กว้างxยาวx หนา) ปริมาณเหล็กเสริม (A_s) กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (f_c') กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (f_y) แล้วจึงนำข้อมูลแผ่นพื้นที่จัดเก็บมาคำนวณหา กำลังรับโมเมนต์คดของแผ่นพื้น รวมทั้งคำนวณหาน้ำหนักที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดได้ของแผ่นพื้นนั้นๆ ด้วย แล้วจึงนำมาหาค่าอัตราส่วน(R) ของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกรวมที่คาดว่าจะเกิดขึ้นของแต่ละอาคาร โดยน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นประมาณจากน้ำหนักของตัวแผ่นพื้นเอง รวมกับ น้ำหนักจรของแผ่นพื้นตามข้อกำหนดของ วสท. ของอาคารแต่ละประเภท ดังแสดงตัวอย่าง ของข้อมูลแผ่นพื้นดังตารางที่ 38

3.2 วิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น

หลังจากเก็บข้อมูลแผ่นพื้นของอาคารทุกอาคาร แล้วจึงนำข้อมูลแผ่นพื้นที่จัดเก็บมาคำนวณหา กำลังรับโมเมนต์คดสูงสุดที่รับได้ของแผ่นพื้น รวมทั้งคำนวณหาน้ำหนักที่สามารถรับได้ของแผ่นพื้นนั้นๆ ด้วย ดังแสดงตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 7 พื้นกว้าง 1 เมตร ยาว 4 เมตร หนา 0.1 เมตร เป็นพื้นประเภทพื้นทางเดียว f_c' 210 ksc f_y 2400 ksc (SR24) คำนวณหา กำลังรับโมเมนต์คดสูงสุดของแผ่นพื้น และน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น



วิธีทำ

1. คุณสมบัติวัสดุ

กำลังครากเหล็กเสริม (f_y)	=	2400	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นเหล็กเสริม (E_s)	=	2.04×10^6	ksc
กำลังอัดคอนกรีต (f_c)	=	210	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีต $E_c = 15100\sqrt{f_c}'$	=	218820	ksc
ตัวคูณลดกำลัง ϕ	=	0.9	

2. หน้าตัดพื้น

กว้าง (S)	=	100	cm.
ยาว (L)	=	400	cm.
หนา	=	10	cm.
d	=	7.5	cm.

ตรวจสอบว่าเป็นพื้นทางเดียว $L > 2S$ TRUE

เหล็กเสริมที่ขอบคานตัวใน	= RB9 @ 0.25 m.	เนื้อที่หน้าตัดเหล็ก	= 2.54 cm^2
เหล็กระหว่างช่วงพื้น	= RB9 @ 0.25 m.	เนื้อที่หน้าตัดเหล็ก	= 2.54 cm^2
ที่ขอบของคานขอบ	= RB9 @ 0.25 m.	เนื้อที่หน้าตัดเหล็ก	= 2.54 cm^2

3. หากำลังรับโมเมนต์โมเมนต์เหล็กเสริม

โดยที่ b	=	100	cm.
----------	---	-----	-----

หาโมเมนต์เหล็กเสริมที่ขอบคานตัวใน (M-)

$$\text{จาก } \rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$\rho = \frac{2.54}{100 * 7.5} = 0.0034$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{0.85f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f_c'}}\right)$$

$$0.0034 = \frac{0.85 * 210}{2400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 * 210}}\right)$$

$$R_u = 7.9 \quad \text{ksc}$$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$7.9 = \frac{M_u}{0.9 * 100 * 7.5}$$

$$M_u = 399.94 \quad \text{kg.m}$$

$$M = \frac{1}{9} W_u l^2$$

$$W_u = 3599.44 \quad \text{kg/m}^2 \quad \text{----(1)}$$

หาโมเมนต์เหล็กเหล็กระหว่างช่วงพื้น ($M+$)

$$\text{จาก } \rho = \frac{A_s}{b d}$$

$$\rho = \frac{2.54}{100 * 7.5} = 0.0034$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 f'_c}}\right)$$

$$0.0034 = \frac{0.85 * 210}{2400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 * 210}}\right)$$

$$R_u = 7.9 \quad \text{ksc}$$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$7.9 = \frac{M_u}{0.9 * 100 * 7.5}$$

$$M_u = 399.94 \quad \text{kg.m}$$

$$M = \frac{1}{14} W_u l^2$$

$$W_u = 5599.13 \quad \text{kg/m}^2 \quad \text{----(2)}$$

หาโมเมนต์เหล็กเสริมที่ขอบคานขอบ (M_u)

$$\text{จาก } \rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$\rho = \frac{2.54}{100 * 7.5} = 0.0034$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{0.85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}\right)$$

$$0.0034 = \frac{0.85 * 210}{2400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 * 210}}\right)$$

$$R_u = 7.9 \quad \text{ksc}$$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi bd^2}$$

$$7.9 = \frac{M_u}{0.9 * 100 * 7.5}$$

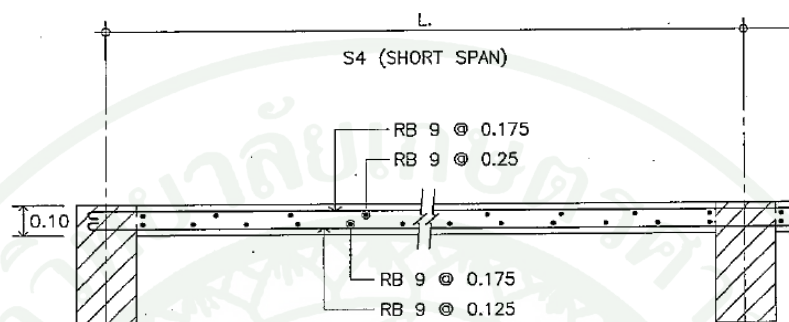
$$M_u = 399.94 \quad \text{kg.m}$$

$$M = \frac{1}{24} W_u l^2$$

$$W_u = 9598.50 \quad \text{kg/m}^2 \quad \text{----(3)}$$

จากค่า W_u ทั้ง 3 ค่า น้ำหนักที่รับได้ปลอดภัยสูงสุดของแผ่นพื้น คือ 3599.44 kg/m²

ตัวอย่างที่ 8 พื้นกว้าง 4 เมตร ยาว 5 เมตรหนา 0.1 เมตร เป็นพื้นประเภทพื้นสองทาง f_c' 210 ksc f_y 2400 ksc (SR24) คำนวณหาค่ารับโมเมนต์ดัดสูงสุดของแผ่นพื้น และน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น โดยใช้วิธีที่ 2 ของ วสท.



วิธีทำ

1. คุณสมบัติวัสดุ

กำลังครากเหล็กเสริม (f_y)	=	2400	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นเหล็กเสริม E_s	=	2.04×10^6	ksc
กำลังอัดคอนกรีต (f_c)	=	210	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีต $E_c = 15100\sqrt{f_c'}$	=	218820	ksc
ตัวคูณลดกำลัง ϕ	=	0.9	

2. หน้าตัดพื้น

กว้าง (S)	=	400	cm.
ช่องว่างระหว่างแผ่นพื้น	=	380	cm.
ยาว (L)	=	500	cm.
หนา	=	10	cm.
d	=	7.5	cm.
$m = S/L$	=	$400/500 = 0.8$	

ช่วงสั้น

เหล็กเสริมที่ขอบคานด้านใน	= RB9 @ 0.175 m.	เนื้อที่หน้าตัดเหล็ก	= 3.64 cm ²
เหล็กระหว่างช่วงพื้น	= RB9 @ 0.125 m.	เนื้อที่หน้าตัดเหล็ก	= 5.09 cm ²
ที่ขอบของคานขอบ	= RB9 @ 0.175 m.	เนื้อที่หน้าตัดเหล็ก	= 3.64 cm ²

ช่วงยาว

เหล็กเสริมที่ขอบคานตัวใน	= RB9 @ 0.25 m.	เนื้อที่หน้าตัดเหล็ก	= 2.54 cm ²
เหล็กระหว่างช่วงสั้น	= RB9 @ 0.175 m.	เนื้อที่หน้าตัดเหล็ก	= 3.64 cm ²
ที่ขอบของคานขอบ	= RB9 @ 0.25 m.	เนื้อที่หน้าตัดเหล็ก	= 2.54 cm ²

3. สัมประสิทธิ์โมเมนต์ตัด C

กรณีที่ 2 ไม่ต่อเนื่องกันด้านเดียว

$m = 0.8$ จะได้ ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ตัด C ดังนี้

ช่วงสั้น	$-M_{disc}$	=	0.027
	$+M$	=	0.041
	$-M_{cont}$	=	0.055
ช่วงยาว	$-M_{disc}$	=	0.021
	$+M$	=	0.031
	$-M_{cont}$	=	0.041

4. หาค่าลจรับโมเมนต์โมเมนต์เหล็กเสริม**ช่วงสั้น**

หาโมเมนต์เหล็กเสริมที่ขอบคานตัวใน (M_-)

$$\text{โดยที่ } b = 100 \text{ cm.}$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$\rho = \frac{3.64}{100 * 7.5} = 0.0048$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{0.85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}\right)$$

$$0.0048 = \frac{0.85 * 210}{2400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 * 210}}\right)$$

$$R_u = 11.1 \text{ ksc}$$

$$\text{จาก } R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$11.11 = \frac{M_u}{0.9 \cdot 100 \cdot 7.5^2}$$

$$M_u = 561.9 \quad \text{kg.m}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } M_u &= C w_u S^2 \\ W_u &= 638.57 \quad \text{kg/m}^2 \quad \text{---(1)} \end{aligned}$$

หาโมเมนต์เหล็กเหล็กระหว่างช่วงพื้น (M_+)

$$\text{โดยที่ } b = 100 \quad \text{cm.}$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{A_s}{b d}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{5.09}{100 \cdot 7.5} \\ &= 0.0068 \end{aligned}$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{0.85 f'_c}} \right)$$

$$0.0068 = \frac{0.85 \cdot 210}{2400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{0.85 \cdot 210}} \right)$$

$$R_u = 15.6 \quad \text{ksc}$$

$$\text{จาก } R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$15.6 = \frac{M_u}{0.9 \cdot 100 \cdot 7.5^2}$$

$$M_u = 789.8 \quad \text{kg.m}$$

จาก

$$M_u = C w_u S^2$$

$$W_u = 1203.89 \quad \text{kg/m}^2 \quad \text{---(2)}$$

หาโมเมนต์หลักเสริมที่ขอบคานขอบ (M-)

โดยที่ $b = 100 \text{ cm.}$

จาก $\rho = \frac{A_s}{bd}$

$$\rho = \frac{3.64}{100 * 7.5}$$

$$= 0.0048$$

จาก $\rho = \frac{0.85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}\right)$

$$0.0048 = \frac{0.85 * 210}{2400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 * 210}}\right)$$

$$R_u = 11.1 \text{ ksc}$$

จาก $R_u = \frac{M_u}{\phi bd^2}$

$$11.11 = \frac{M_u}{0.9 * 100 * 7.5^2}$$

$$M_u = 561.9 \text{ kg.m}$$

จาก

$$M_u = Cw_u S^2$$

$$W_u = 1300.78 \text{ kg/m}^2 \text{ ----(3)}$$

ช่วงยาว

หาโมเมนต์หลักเสริมที่ขอบคานตัวใน (M-)

โดยที่ $b = 100 \text{ cm.}$

จาก $\rho = \frac{A_s}{bd}$

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{2.54}{100 * 7.5} \\ &= 0.0034\end{aligned}$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{0.85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}\right)$$

$$0.0034 = \frac{0.85 * 210}{2400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 * 210}}\right)$$

$$R_u = 7.9 \quad \text{ksc}$$

$$\text{จาก } R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$7.9 = \frac{M_u}{0.9 * 100 * 7.5^2}$$

$$M_u = 399.9 \quad \text{kg.m}$$

จาก

$$M_u = C_w S^2$$

$$W_u = 609.66 \quad \text{kg/m}^2 \quad \text{----(4)}$$

หาโมเมนต์เหล็กเหล็กระหว่างช่วงพื้น (M_+)

$$\text{โดยที่ } b = 100 \quad \text{cm.}$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{A_s}{b d}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{3.64}{100 * 7.5} \\ &= 0.0048\end{aligned}$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{0.85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}\right)$$

$$0.0048 = \frac{0.85 * 210}{2400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 * 210}}\right)$$

$$R_u = 11.1 \quad \text{ksc}$$

$$\text{จาก } R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$11.11 = \frac{M_u}{0.9 * 100 * 7.5^2}$$

$$M_u = 561.9 \quad \text{kg.m}$$

จาก

$$M_u = C_w S^2$$

$$W_u = 1132.94 \quad \text{kg/m}^2 \quad \text{----(5)}$$

หาโมเมนต์เหล็กเสริมที่ขอบคานขอบ (M-)

$$\text{โดยที่ } b = 100 \quad \text{cm.}$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{A_s}{b d}$$

$$\sigma = \frac{2.54}{100 * 7.5}$$

$$= 0.0034$$

$$\text{จาก } \rho = \frac{0.85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}\right)$$

$$0.0034 = \frac{0.85 * 210}{2400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 * 210}}\right)$$

$$R_u = 7.9 \quad \text{ksc}$$

$$\text{จาก } R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$7.9 = \frac{M_u}{0.9 \cdot 100 \cdot 7.5^2}$$

$$M_u = 399.9 \quad \text{kg.m}$$

จาก

$$M_u = C_w S^2$$

$$W_u = 1190.29 \quad \text{kg/m}^2 \quad \text{---(6)}$$

จากค่า W_u ทั้ง 6 ค่า น้ำหนักที่รับได้ปลอดภัยสูงสุดของแผ่นพื้นคือ 609.66 kg/m^2

3.3 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลแผ่นพื้น

หลังจากคำนวณหาค่ารับโมเมนต์ค้ดของแผ่นพื้นรวมทั้งคำนวณหาน้ำหนักที่บรรทุกที่พื้นสามารถรับได้ ของทุกอาคาร และนำข้อมูลมาจัดเก็บ ดังแสดงในตารางที่ 38

ตารางที่ 38 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลแผ่นพื้น

อาคาร	พื้น	ชั้น	ขนาด			จำนวน	ประเภทพื้น	โมเมนต์ดัดที่รับได้ช่วงสั้น (kg.m)			โมเมนต์ดัดที่รับได้ช่วงยาว (kg.m)			น้ำหนักที่รับได้ ช่วงสั้น kg/m ²			น้ำหนักที่รับได้ ช่วงยาว kg/m ²			น้ำหนักที่รับได้ kg/m ²	ประมาณน้ำหนักที่เกิดขึ้น kg/m ²	R
			กว้าง	ยาว	หนา			ขอบคาน	ระหว่าง	ขอบของ	ขอบคาน	ระหว่าง	ขอบของ	ขอบคาน	ระหว่าง	ขอบของ	ขอบคาน	ระหว่าง	ขอบของ			
			(cm.)	(cm.)	l(cm.)			ตัวใน	ช่วงพื้น	คานขอบ	ตัวใน	ช่วงพื้น	คานขอบ	ตัวใน	ช่วงพื้น	คานขอบ	ตัวใน	ช่วงพื้น	คานขอบ			
คอนโด 7 ชั้น	S4	1	150	500	15	1	One Way Slab	3740.63	3740.63	3740.63	-	-	-	14962.50	23275.00	39900.00	-	-	-	14963	1084*	13.80
คอนโด 7 ชั้น	S4	1	500	500	15	1	Two Way Slab	3740.62	3740.62	3740.62	3740.63	3740.625	3740.62	2579.74	2579.74	5159.48	2579.74	3400.57	5159.48	2580	1084*	2.38
คอนโด 7 ชั้น	S4	1	300	400	15	1	Two Way Slab	3740.63	3740.62	3740.62	3740.63	3740.625	3740.62	7104.70	9446.02	14331.90	10137.20	13407.26	19791.67	7105	1084*	6.55
คอนโด 7 ชั้น	S4	1	300	400	15	1	Two Way Slab	3740.63	3740.63	3740.63	3740.625	3740.625	3740.62	6157.41	8149.51	12224.26	8482.14	11233.11	16625.00	6157	1084*	5.68
คอนโด 7 ชั้น	S1	1	225	295	12.5	1	Two Way Slab	675.00	675	675	675.00	675	675	2306.81	3072.20	4662.00	3252.03	4301.08	6349.21	2307	1000*	2.31
คอนโด 7 ชั้น	S1	1	140	225	12.5	1	Two Way Slab	675.00	675.00	675.00	675	675	675	5094.49	6752.70	10069.82	8399.70	11109.28	16399.42	5094	1000*	5.09
คอนโด 7 ชั้น	S2	1	170	700	12.5	1	One Way Slab	882.00	882.00	882.00	-	-	-	2746.71	4272.66	7324.57	-	-	-	2747	1000*	2.75
คอนโด 7 ชั้น	S1	1	190	235	12.5	1	Two Way Slab	675.00	675	675	675.00	675	675	3961.45	5281.94	-	5666.08	7479.22	-	3961	1000*	3.96
คอนโด 7 ชั้น	S1	1	210	240	12.5	1	Two Way Slab	675.00	675.00	675.00	675	675	675	3098.41	4136.79	6222.00	3733.20	4937.46	7288.63	3098	1000*	3.10
คอนโด 7 ชั้น	S2	1	200	470	12.5	2	One Way Slab	882.00	882.00	882.00	-	-	-	1984.50	3087.00	5292.00	-	-	-	1985	1000*	1.98
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
รวม						14	One Way Slab															3.65
						100	Two Way Slab															4.45

*น้ำหนักประมาณที่เกิดขึ้น = 1.4DL+1.7LL

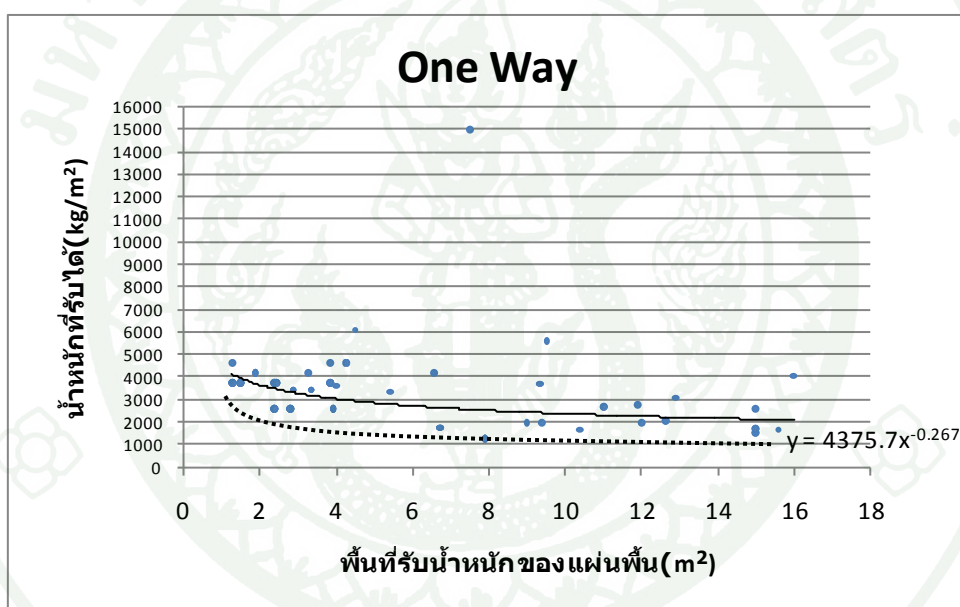
หลังจากคำนวณหาค่าอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น(R) ของอาคารแต่ละอาคาร ทั้ง 7 อาคารแล้วเสร็จจึงมาหาค่าเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (R) ของอาคารที่เก็บรวบรวมทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 39

ตารางที่ 39 ค่าอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น(R)

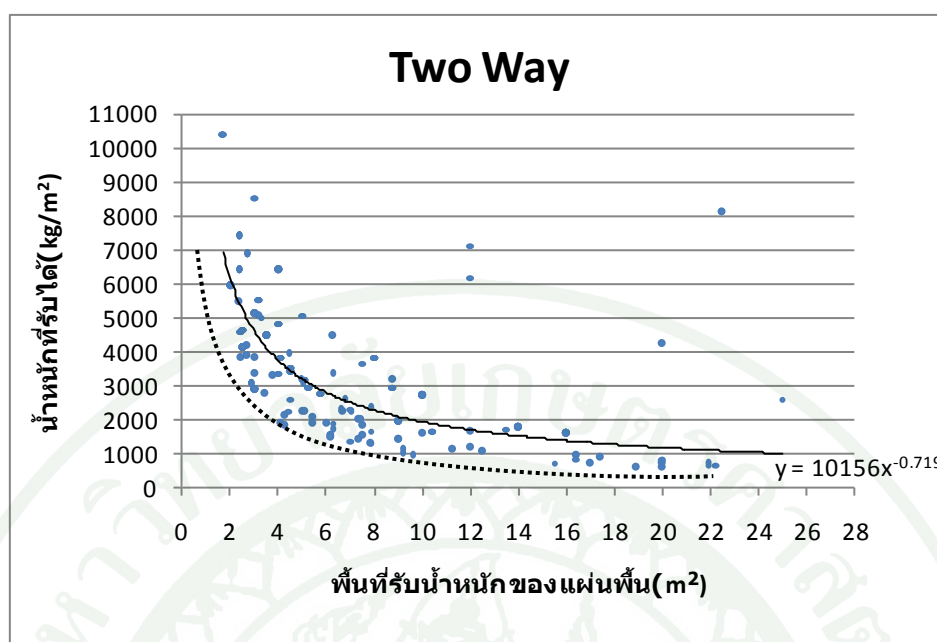
อาคาร	จำนวน(แผ่น)	Type	R
คอนโด 5 ชั้น	30	One Way Slab	3.33
	5	Two Way Slab	1.14
คอนโด 7 ชั้น	14	One Way Slab	3.65
	100	Two Way Slab	4.45
หอพัก 7 ชั้น	1	One Way Slab	2.21
	57	Two Way Slab	4.35
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	124	One Way Slab	5.00
	61	Two Way Slab	6.71
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	46	One Way Slab	4.82
	57	Two Way Slab	3.80
	46	Cantilever One Way Slab	1.31
สาธารณะ 3	15	One Way Slab	2.67
	60	Two Way Slab	3.37
สาธารณะ 1	76	One Way Slab	7.13
	167	Two Way Slab	3.66
	13	Cantilever One Way Slab	1.86
เฉลี่ย	306	One Way Slab	5.16
	507	Two Way Slab	4.22
	59	Cantilever One Way Slab	1.30

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น

หลังจากคำนวณหาน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นของอาคารทั้งหมด 7 อาคารแล้วเสร็จ จึงนำค่าน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นมาหาความสัมพันธ์ ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้น โดยพื้นที่ของแผ่น = ด้านกว้าง x ด้านยาว โดยการคิดพื้นที่ของแผ่นพื้นนั้นจะคิดตาม Span ของคาน (สำหรับพื้นยื่น(Cantilever Slab) ไม่ได้ใช้พื้นที่ในการถ่าน้ำหนัก เนื่องจาก มีคานรองรับแผ่นพื้นเพียงด้านเดียว)กับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นโดยแบ่งประเภทแผ่นพื้นออกเป็น พื้นทางเดียว และพื้นสองทาง ดังแสดงกราฟความสัมพันธ์ของแผ่นพื้น ทางเดียว และแผ่นพื้นสองทางดังแสดงในภาพที่ 34 และ 35



ภาพที่ 34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นทางเดียว



ภาพที่ 35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นสองทาง

ดังนั้นเพื่อที่จะประมาณน้ำหนักที่รับได้สูงสุดของแผ่นพื้น จึงทดลองหาเส้นแนวโน้มของข้อมูล โดยพิจารณาจากเส้นขอบล่างของข้อมูล (เส้นประ) จะเห็นว่าเมื่อพื้นที่การรับน้ำหนักของพื้นเพิ่มขึ้น น้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นจะลดลงโดยเป็นแนวโน้มเส้นโค้ง จึงเลือกใช้สมการเชิงเส้นแนวโน้มยกกำลัง ซึ่งน่าจะเป็นสมการตัวแทนของปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา จากภาพที่ 34 และ 35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น ทำให้ได้ค่าสมการที่ใช้ในการประมาณน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นโดยเป็นสมการยกกำลัง ดังนี้

$$\text{แผ่นพื้นทางเดียว} \quad W_u = 4375.7(A)^{-0.267} \quad (55)$$

$$\text{แผ่นพื้นสองทาง} \quad W_u = 10156(A)^{-0.719} \quad (56)$$

จากการหาค่าเฉลี่ยค่าอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น(R) ของอาคารพักอาศัยทั้ง 7 อาคารนั้น พบว่า สำหรับพื้นทางเดียว มีค่าเฉลี่ยค่าอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น(R) เฉลี่ย คือ 5.16 และพื้นสองทางมีค่าเฉลี่ยค่าอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น(R) เฉลี่ย คือ 4.22 แสดงว่า จะเห็นว่าแผ่นพื้นได้รับการ

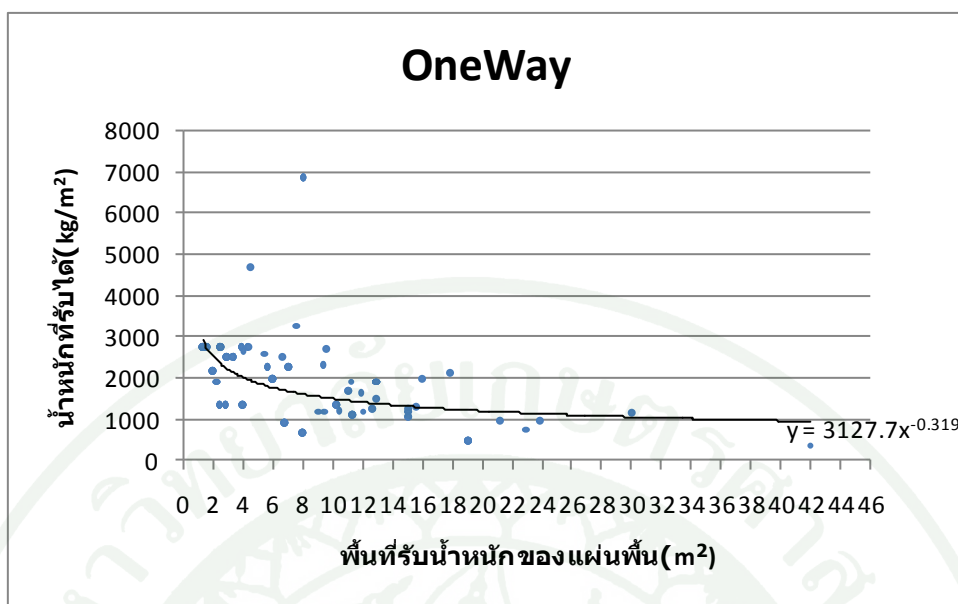
ออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าที่เกิดขึ้นจริง (เนื่องจากค่า R มากกว่า 1 มาก) ดังนั้นจึงพิจารณาหาวิธีประมาณกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้นโดยอาศัยปริมาณเหล็กที่ต้องการน้อยสุด ($\rho_{\min}$)

3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นจากการใช้ปริมาณเหล็กที่ต้องการน้อยสุด($\rho_{\min}$)

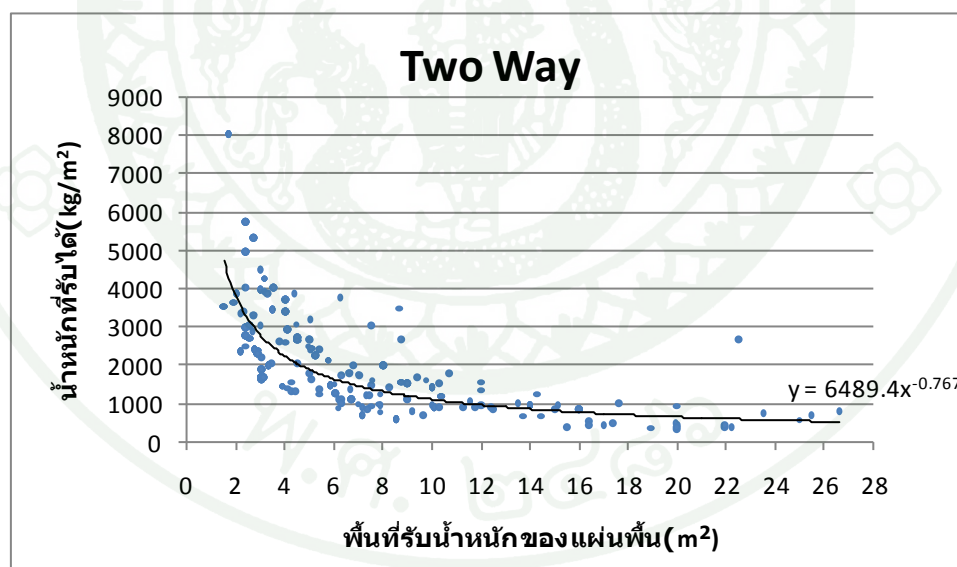
เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นจากการใช้ปริมาณเหล็กที่ต้องการน้อยสุด ($\rho_{\min}$) จึงได้ทดลองหาวิธีการอย่างง่ายเพื่อใช้ในการประมาณค่าในการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น โดยอาศัยค่าปริมาณเหล็กน้อยสุดที่ต้องการของแผ่นพื้น ($\rho_{\min}$) โดยใช้อัตราส่วนของเนื้อที่หน้าตัดเหล็กต่อเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของแผ่นพื้น ไม่น้อยกว่าค่าต่อไปนี้ คือ

แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กกลมผิวเรียบ SR 24	=	0.0025
แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กข้ออ้อย SD 30	=	0.0020
แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กข้ออ้อย SD 40	=	0.0018

แล้วนำมาคำนวณหาน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นของทั้ง 7 อาคาร หลังจากนั้นจึงนำมาวาดกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นจากการใช้ปริมาณเหล็กที่ต้องการน้อยสุด($\rho_{\min}$) โดยแบ่งประเภทแผ่นพื้นออกเป็น พื้นทางเดียว และพื้นสองทาง ดังแสดงกราฟความสัมพันธ์ของแผ่นพื้น ทางเดียว และแผ่นพื้นสองทางดังแสดงในภาพที่ 36 และ 37



ภาพที่ 36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นทางเดียว
ของปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุด ($\rho_{\min}$)



ภาพที่ 37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นสองทาง
ของปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุด ($\rho_{\min}$)

จากภาพที่ 36 และ 37 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น ซึ่งได้ค่าสมการที่ใช้ในการประมาณน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นโดยเป็นสมการยกกำลัง ดังนี้

$$\text{แผ่นพื้นทางเดียว} \quad W_u = 3127.7(A)^{-0.319} \quad (57)$$

$$\text{แผ่นพื้นสองทาง} \quad W_u = 6489.4(A)^{-0.767} \quad (58)$$

จากกราฟสมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น พบว่า ค่าสมการของแผ่นพื้นทางเดียวที่ได้จากการคำนวณด้วยปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุด ($\rho_{\min}$) โดยส่วนมากจะมีค่าน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นมากกว่า 1000 kg/m^2 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณน้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้นหนา 12.5 cm. และน้ำหนักบรรทุกจร (300 kg/m^2) และคูณ Load factor ตามการคำนวณออกแบบด้วยวิธีกำลังแล้ว ดังนั้นจึงนำเสนอสมการดังกล่าวเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักที่แผ่นพื้นสามารถรับได้เป็นอย่างน้อย

ส่วนค่าสมการของแผ่นพื้นสองทางที่ได้จากการคำนวณด้วยปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุด ($\rho_{\min}$) จะมีค่าน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นมากกว่า 1000 kg/m^2 ในกรณีที่พิจารณาสำหรับพื้นหนา 12.5 cm. และน้ำหนักบรรทุกจร 300 kg/m^2 พื้นที่ของแผ่นพื้นไม่เกิน 14 ตารางเมตรเท่านั้น สมการที่ได้จากความสัมพันธ์ข้างต้น (สมการ 58) จึงเหมาะสมจะใช้ได้กับพื้นสองทางที่มีพื้นที่น้อยกว่า 14 ตารางเมตร ส่วนถ้าหากมีพื้นที่มากกว่า 14 ตารางเมตรนั้น ควรใช้สมการที่ (56) ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากการคำนวณจากปริมาณเหล็กจริงของแผ่นพื้น

3.6 น้ำหนักรวมที่ถ่ายลงฐานราก

การประมาณน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่ฐานราก

น้ำหนักที่ถ่ายลงฐานราก(ton) = น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load จากตารางที่ 36) x พื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสาแต่ละต้น (m^2)

สำหรับฐานรากนั้นจะจัดเก็บข้อมูลของจำนวนเสาเข็มของฐานรากแต่ละฐานเพื่อคำนวณหาน้ำหนักที่ฐานรากแต่ละฐานที่รับได้ โดยใช้ค่า Safety Factor = 2 เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่กระทำกับฐานรากที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยคอมพิวเตอร์ และน้ำหนักที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของหน้าตัดเสา ดังแสดงในตารางที่ 40

ตารางที่ 40 น้ำหนักที่กระทำกับฐานรากแต่ละฐานสูงสุด จากอาคาร 6 อาคาร

อาคาร	ฐานราก	จำนวน เข็ม	รับน้ำหนัก ปลอดภัย (จากแบบ) /ตัน	รับ น้ำหนัก ได้ (ton) SF = 2	น้ำหนักสูงสุด จากแบบจำลอง โครงสร้าง (คอมพิวเตอร์) (ton)	น้ำหนัก จากการ ประมาณ (พื้นที่รับ น้ำหนัก รวม)สูงสุด (ton)	อัตราส่วน น้ำหนักที่รับ ได้ต่อน้ำหนัก จาก แบบจำลอง	อัตราส่วน น้ำหนักที่ รับได้ต่อ น้ำหนัก จากการ ประมาณ
คอนโด 5 ชั้น	F1	1	65	130	127.14	125.92	1.02	1.03
คอนโด 7 ชั้น	F1	1	35	70	11.10	10.99	6.31	6.37
คอนโด 7 ชั้น	F2	2	90	360	152.25	98.01	2.36	3.67
คอนโด 7 ชั้น	F3	3	90	540	167.27	155.72	3.23	3.47
คอนโด 7 ชั้น	F4	4	90	720	233.99	235.76	3.08	3.05
คอนโด 7 ชั้น	F5	5	90	900	248.15	258.92	3.63	3.48
คอนโด 7 ชั้น	F6	6	90	1080	242.02	216.73	4.46	4.98
หอพัก 7 ชั้น	F2	2	60	240	167.21	182.15	1.44	1.32
หอพัก 7 ชั้น	F3	3	60	360	196.41	233.01	1.83	1.54
สาธารณะ 1	F1	2	120	480	290.06	323.82	1.65	1.48
สาธารณะ 1	F4	3	195	1170	1018.35	1454.94	1.15	0.80
สาธารณะ 1	F5	4	195	1560	937.24	1098.16	1.66	1.42
สาธารณะ 1	F6	5	195	1950	1398.61	1579.89	1.39	1.23

ตารางที่ 40 (ต่อ)

อาคาร	ฐานราก	จำนวน เข็ม	รับน้ำหนัก ปลอดภัย (จากแบบ) /ตัน	รับ น้ำหนัก ได้ (ton) SF = 2	น้ำหนักสูงสุด จากแบบจำลอง โครงสร้าง (คอมพิวเตอร) (ton)	น้ำหนัก จากการ ประมาณ (พื้นที่รับ น้ำหนัก รวม)สูงสุด (ton)	อัตราส่วน น้ำหนักที่รับ ได้ต่อน้ำหนัก จาก แบบจำลอง	อัตราส่วน น้ำหนักที่ รับได้ต่อ น้ำหนัก จากการ ประมาณ
อาคาร พักอาศัย 5 ชั้น	F1	2	30	120	105.8	136.51	1.13	0.88
อาคาร พักอาศัย 5 ชั้น	F2	3	30	180	131.95	160.65	1.36	1.12
อาคาร พักอาศัย 5 ชั้น	F3	4	30	240	139.62	159.57	1.72	1.50
อาคาร พักอาศัย 3 ชั้น	F1	1	45	90	105.06	129.39	0.86	0.70
อาคาร พักอาศัย 3 ชั้น	F2	1	30	60	51.29	66.28	1.17	0.91

จากตารางที่ 40 น้ำหนักที่กระทำกับฐานรากแต่ละฐานสูงสุด จากอาคาร 6 อาคาร พบว่าเมื่อหาอัตราส่วนน้ำหนักที่รับได้ของฐานรากต่อน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์ พบว่ามีเฉพาะอาคารพักอาศัย 3 ชั้น ฐานราก F1 เท่านั้น ที่มีค่าต่ำกว่า 1 และ ค่าอัตราส่วนน้ำหนักที่รับได้ของฐานรากต่อน้ำหนักจากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของ หนึ่งคัดเสา พบว่ามี สาธารณะ 1 ฐานราก F4, อาคารพักอาศัย 5 ชั้น ฐานราก F1 และอาคารพักอาศัย 3 ชั้น ฐานราก F1, F2 ที่มีค่าต่ำกว่า 1 ซึ่งน้ำหนักที่ได้จากการประมาณอาจให้ค่าน้ำหนักที่มากกว่า น้ำหนักที่ฐานรากรับได้จริง(SF = 2) เล็กน้อย

ค่าอัตราส่วนน้ำหนักที่รับได้ของฐานรากต่อน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์(R) และค่าอัตราส่วนน้ำหนักที่รับได้ของฐานรากต่อน้ำหนักที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสา(Dead Load จากตารางที่ 36) ต่อน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์(R_{app}) โดยส่วนมากมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าจำนวนเสาเข็มในฐานรากยังรับน้ำหนักได้ปลอดภัยภายใต้ $SF = 2$

จะเห็นว่า R , R_{app} มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าการประมาณน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่ฐานรากจากการประมาณด้วยพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสา(ตารางที่ 36) มีค่าใกล้เคียงกับน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่ฐานรากจากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าน้ำหนักประมาณด้วยพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสา (ตารางที่ 37) ก็สามารถนำไปใช้ในการประมาณน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่ฐานรากได้

4. ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ

สำหรับค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf) จากการเปรียบเทียบข้อมูลกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจริงกับกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากการประมาณนี้ ถ้าหากมีค่าใกล้เคียงกับ 0.500 ก็จะแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการประมาณนั้นมีความใกล้เคียงกับหน้าตัดจริงมากที่สุด เพราะว่าจากการแจกแจงปกติ ความสำคัญของคะแนนมาตรฐานคะแนนมาตรฐานจะบอกให้ทราบว่าค่าสังเกตนั้นๆ อยู่ห่างจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นกี่เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอยู่ในทิศทางใดเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย เนื่องจาก $Z = \frac{X-\mu}{\sigma}$ ค่าสังเกตที่มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยจะมีคะแนนมาตรฐานเป็นบวกส่วนค่าสังเกตที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยเลขคณิตจะมีคะแนนมาตรฐานเป็นลบ ค่าสังเกตที่มีค่า เท่ากับค่าเฉลี่ยเลขคณิตพอดีจะมีคะแนนมาตรฐานเป็นศูนย์ ซึ่งถ้าหากค่า $Z = 0$ แล้วแสดงว่าค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจริงเท่ากับค่าโมเมนต์ดัดจากการประมาณ จึงทำให้ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf) เท่ากับ 0.5

4.1 ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf) ของคาน

วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของกำลังโครงสร้างหน้าตัดคานที่ได้จากแบบก่อสร้างจริง กับค่ากำลังของหน้าตัดคานที่ได้จากการประมาณ โดยมีตัวอย่างการคำนวณ การหาค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf) ดังนี้

ตัวอย่างที่ 9 คานหน้าตัด 20x40 cm. ยาว 2 m. โดยมีค่า Moment of Inertia ของหน้าตัด 0.001067 m⁴ หน้าตัดรับโมเมนต์คดได้ 3.170 ton.m โดยจากการจัดเก็บข้อมูลหน้าตัด 20x40 (จากคาน 13 รูปแบบ) มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.628

วิธีทำ

จากสมการประมาณกำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคาน

$$M_{sup} = 2893.508(I) - 0.040(L) + 0.762$$

$$M_{sup} = 2893.508(0.001067) - 0.040(2) + 0.762$$

$$M_{sup} = 3.768 \text{ ton.m}$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการประมาณของหน้าตัด 20x40 (σ) = 0.349

จากสมการ

$$p_f = \Phi \left[\frac{\mu_s - \mu_R}{(\sigma_R^2 + \sigma_s^2)^{1/2}} \right]$$

$$\mu_s = 3.768 \text{ (ค่าโมเมนต์จากการประมาณ)}$$

$$\mu_R = 3.170 \text{ (ค่าโมเมนต์ของหน้าตัดจริงจากแบบ)}$$

$$\sigma_R^2 = 2.628$$

$$\sigma_s^2 = 0.349$$

$$p_f = \Phi \left[\frac{3.768 - 3.170}{(2.628^2 + 0.349^2)^{1/2}} \right]$$

$$p_f = \Phi(0.226) = 0.59$$

4.2 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของกำลังรับน้ำหนักของคาน

หาค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(p_f) ของหน้าตัดคาน เหล็กทั้งอาคาร ของอาคารทั้งหมดที่จัดเก็บข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 41

ตารางที่ 41 ตัวอย่างค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (p_f) ของหน้าตัดคาน ระหว่างโมเมนต์คัตของหน้าตัดคานจริงกับโมเมนต์คัตที่ได้จากการประมาณ

อาคาร	ชื่อคาน	ชั้น	หน้าตัด		I	ประเภทคาน	ความยาว	จำนวน	Mu SUP	Mu MID	Mu CANTI	ประมาณกำลัง			P _f		
			กว้าง	ลึก								(สมการ Multi regression)			Support	Mid Span	Cantilever
												Mu SUP	Mu MID	Mu CANTI			
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB1	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	3.25	2	6.71	6.71	-	10.43	9.94	-	0.787	0.77	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB1	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	3.50	22	6.71	6.71	-	10.58	10.15	-	0.796	0.78	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB2	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	4.20	5	9.28	9.28	-	11.00	10.72	-	0.64	0.62	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB2	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	4.05	3	9.28	9.28	-	10.91	10.60	-	0.63	0.61	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB2	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	6.30	5	9.28	9.28	-	12.27	12.45	-	0.73	0.76	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB3	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	3.50	4	9.28	9.28	-	10.58	10.15	-	0.61	0.57	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB3	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	3.25	4	9.28	9.28	-	10.43	9.94	-	0.59	0.56	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB3c	1	20	50	0.002083	Cantilever Beam	1.55	2	-	-	9.28	-	-	12.53	-	-	0.85
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB3c	1	20	50	0.002083	Cantilever Beam	1.90	2	-	-	9.28	-	-	12.87	-	-	0.87
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB4	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	4.05	2	9.28	9.28	-	10.91	10.60	-	0.63	0.61	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB4	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	2.15	2	9.28	9.28	-	9.77	9.03	-	0.54	0.47	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	B1	2	20	50	0.002083	Continuous Beam	4.20	1	17.12	6.77	9.28	11.00	10.72	-	0.09	0.81	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	B1	2	20	50	0.002083	Cantilever Beam	1.55	2	-	-	9.28	-	-	12.53	-	-	0.85

ตารางที่ 42 ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (p_f) เหล็ก ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจริง กับกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากการประมาณของอาคารทั้ง 5 อาคาร

อาคาร	ค่าทางสถิติ	P_f			เฉลี่ยทั้งอาคาร
		Mu sup	Mu mid	Mu CANTI	
หอพัก 7 ชั้น	Min	0.14	0.28	0.09	0.24
คอนโด 5 ชั้น	Min	0.48	0.54	0.22	0.50
คอนโด 7 ชั้น	Min	0.42	0.50	0.76	0.47
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	Min	0.41	0.35	0.04	0.37
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	Min	0.39	0.56	0.00	0.43
เฉลี่ย 5 อาคาร	Min	0.37	0.45	0.22	0.40

ตารางที่ 43 ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (p_f) เหล็ก ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจริง กับกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากการประมาณของอาคารทั้ง 7 อาคาร

อาคาร	ค่าทางสถิติ	P_f			เฉลี่ยทั้งอาคาร
		Mu sup	Mu mid	Mu CANTI	
หอพัก 7 ชั้น	Min	0.26	0.38	0.09	0.34
คอนโด 5 ชั้น	Min	0.47	0.51	0.00	0.48
คอนโด 7 ชั้น	Min	0.74	0.72	0.63	0.73
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	Min	0.49	0.35	0.03	0.40
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	Min	0.39	0.50	0.00	0.38
สาธารณะ 3	Min	0.37	0.58	0.83	0.52
สาธารณะ 1	Min	0.42	0.38	0.37	0.40
เฉลี่ย 7 อาคาร	Min	0.45	0.48	0.29	0.46

จากตารางที่ 42 และ 43 ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (p_f) เหล็ก ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจริงกับกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากการประมาณทั้งสองสมการ มีค่าเฉลี่ย p_f อยู่ที่ 0.40 และ 0.46 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 0.5 แสดงว่าสมการประมาณกำลังโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานนั้นให้ค่าที่ต่ำกว่าค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่รับได้จริง แสดงว่าการประมาณกำลังของโครงสร้างของหน้าตัดคานนั้นยังอยู่ในด้านที่ปลอดภัย (Safe Side) เนื่องจากน้ำหนักที่รับได้ยังน้อยกว่ากำลังของหน้าตัดคานที่รับได้

4.3 วิเคราะห์ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf)ของเสา

4.3.1 ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf)ของเสา

วิเคราะห์ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf)ของเสาน้ำหนักที่กระทำต่อหน้าตัดเสาจากพื้นที่การรับน้ำหนักรวมทั้งหมด โดยวิเคราะห์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำกับเสาด้านนั้นๆ ที่เกิดขึ้นจริง เทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสาด้านนั้น โดยมีตัวอย่างการคำนวณ การหาค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf)ดังนี้

ตัวอย่างที่ 10 อาคารคอนกรีต 7 ชั้น เสาขนาด 50x50 cm. ตำแหน่ง D4 เป็นเสาใน มีพื้นที่รับน้ำหนัก 7 ชั้น รวม 131m² น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับเสา(จากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์) คือ 103.88 ton.

วิธีทำ

จากตารางน้ำหนักบรรทุกคงที่ของของเสาแต่ละตำแหน่ง(ตารางที่ 38)

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่รับน้ำหนักรวม} &= 131 \text{ m}^2 \\ \text{เสาเป็นเสาใน น้ำหนักบรรทุกคงที่จากตารางที่ 63} &= 817.49 \text{ kg/m}^2 \\ \text{ประมาณน้ำหนักที่กระทำกับเสา} &= 817.49 \times 131 = 107.09 \text{ ton.} \end{aligned}$$

จากสูตร

$$p_f = \phi \left[\frac{\mu_s - \mu_R}{(\sigma_R^2 + \sigma_s^2)^{1/2}} \right]$$

$$\begin{aligned} \mu_s &= 107.09 \text{ (ค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่จากการประมาณ)} \\ \mu_R &= 103.88 \text{ (ค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับเสา)} \\ \sigma_R^2 &= 0 \\ \sigma_s^2 &= 71.50 \text{ kg/m}^2 \\ p_f &= \phi \left[\frac{107.09 - 103.88}{(0^2 + 71.50^2)^{1/2}} \right] \\ p_f &= \phi (0.045) = 0.52 \end{aligned}$$

4.3.2 วิเคราะห์ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf)ของหน้าตัดเสา

การวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(pf)ของหน้าตัดเสา โดยทำการคำนวณค่า pf ของเสาแล้วนำค่า pf มาเฉลี่ยทั้งอาคาร ของอาคารทั้งหมดที่จัดเก็บข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 44

ตารางที่ 44 ตัวอย่างค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(p_f)ของน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสา ระหว่างน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับเสากับน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวม

ชื่อเสา	จำนวนชั้นที่ รองรับ น้ำหนัก	ชั้น	ตำแหน่ง	หน้าตัด (cm.)		ความสูง ระหว่าง ชั้น (m.)	พื้นที่รับ Load รวม (m ²)	Load จากการ วิเคราะห์ โครงสร้างด้วย คอมพิวเตอร์ (ton)	พื้นที่รับ น้ำหนักรวม ทุกชั้น (m ²)	Load ประมาณ จากพื้นที่รับ น้ำหนักรวม (ton)	p_f
				กว้าง	สูง						
C2	3	0 - 1	A1	50	50	3	6.25	16.07	13	15.51	0.50
C2	3	0 - 1	C1	50	50	3	6.25	15.92	13	15.51	0.50
C2	3	0 - 1	A2	50	50	3	13.13	24.12	23	21.84	0.48
C2	3	0 - 1	C2	50	50	3	10.00	23.46	20	18.89	0.47
C2	4	0 - 1	B3	50	50	3	8.00	31.89	30	24.53	0.46
C2	7	0 - 1	D3	50	50	3	8.00	39.82	36	34.00	0.46
C2	7	0 - 1	E3	50	50	3	7.50	32.32	53	49.58	0.62
C3	7	0 - 1	F3	50	50	3	10.50	76.44	74	69.41	0.45
C3	7	0 - 1	G3	50	50	3	9.50	32.32	67	62.80	0.71
C2	7	0 - 1	H3	50	50	3	8.10	43.92	29	36.11	0.49
C1	1	0 - 1	A4	30	30	3	6.00	7.07	6	5.67	0.49
C2	4	0 - 1	B4	50	50	3	16.00	48.92	48	39.24	0.45

ตารางที่ 45 ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(p_f)เฉลี่ย ของน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสา ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่กระทำกับเสากับน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวม

อาคาร	p_f
คอนโด 5 ชั้น	0.49
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	0.50
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	0.54
คอนโด 7 ชั้น	0.50
หอพัก 7 ชั้น	0.49
สาธารณะ 1	0.52
เฉลี่ย	0.51

จากตารางที่ 45 ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(p_f)เฉลี่ย ของน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสา ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่กระทำกับเสากับน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของอาคารทั้ง 6 อาคารมีค่าเฉลี่ย p_f อยู่ที่ 0.51 ซึ่งมากกว่า 0.5 แสดงว่าน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่กระทำต่อหน้าตัดเสาที่ได้จากการประมาณนั้น โดยเฉลี่ยแล้วจะให้ค่าสูงกว่าน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสาจริงเล็กน้อย

จากการประมาณน้ำหนักที่ถ่ายลงเสาจากการหาพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสานั้นให้ค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หมายความว่าถ้าหากจะปรับปรุงเสริมกำลังของโครงสร้างเสา ซึ่งน้ำหนักที่ประมาณที่ได้มากกว่าน้ำหนักที่เกิดขึ้นจริง เมื่อนำค่าน้ำหนักที่ประมาณไปใช้คำนวณในการปรับปรุงองค์อาคาร ก็จะทำให้ห้องค้ำอาคารรับน้ำหนักได้มากขึ้นกว่าน้ำหนักที่เกิดขึ้นจริง ทำให้ห้องค้ำอาคารมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามในที่นี้ค่าประมาณกำลังดังกล่าวไม่ได้มีจุดมุ่งหมายเพื่อการนำไปใช้ในการวิเคราะห์กำลังทางวิศวกรรม แต่นำไปใช้ทางด้านการประเมินเพื่อวัตถุประสงค์ทางด้านราคาและการตัดสินใจต่างๆ หรือการประเมินราคาในด้านการปรับปรุงโครงสร้างอย่างคร่าวๆ ดังนั้นจำเป็นต้องทำการทดสอบวิเคราะห์กำลังที่แท้จริงของโครงสร้างเพื่อความปลอดภัยเพิ่มเติม

5. แบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

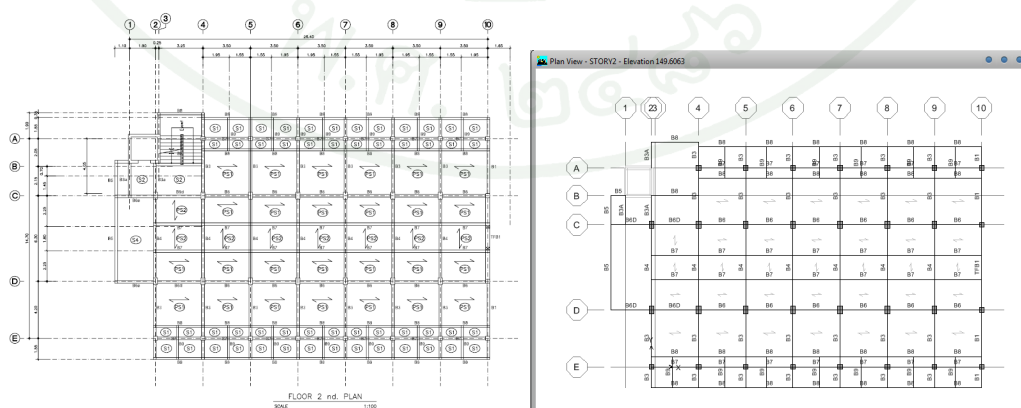
การสร้างแบบจำลองโครงสร้างของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้จะประกอบด้วยแบบจำลองอาคารอยู่ 2 กลุ่มด้วยกัน กลุ่มแรกคือ แบบจำลองโครงสร้างของอาคารกลุ่มที่เก็บข้อมูล

ของอาคารเพื่อมาใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาสมการในการประมาณค่ากำลังของโครงสร้างต่างๆ และกลุ่มที่สองคือ แบบจำลองโครงสร้างของอาคารตัวอย่าง ที่จะนำมาใช้ในการทดสอบการประมาณเพื่อเปรียบเทียบหาความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า โดยในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะกลุ่มแรกก่อน

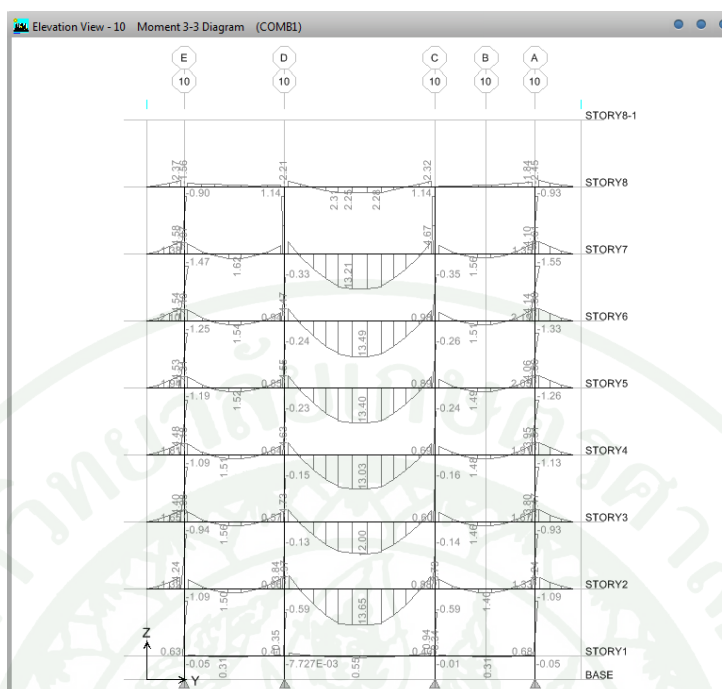
สาเหตุที่ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ เนื่องจากต้องการทราบแรงที่กระทำกับโครงสร้างของอาคารที่เกิดขึ้นจริง และเพื่อใช้เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นจริงในส่วนโครงสร้างอาคารกับกำลังรับแรงของชิ้นส่วนอาคารจากแบบก่อสร้าง และกำลังรับแรงของชิ้นส่วนอาคารจากการจัดเก็บข้อมูลสถิติ (สำหรับคานสมการในตารางที่ 29 สำหรับเสาสมการที่ 53) ว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด โดยทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ตามแบบก่อสร้างของอาคารตัวอย่าง และจำลองขนาดของโครงสร้างอาคารให้เหมือนกับแบบก่อสร้างของอาคารตัวอย่างมากที่สุด เพื่อวิเคราะห์หาค่าแรงที่เกิดขึ้นที่กระทำกับโครงสร้างของอาคารตัวอย่าง โดยมีขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโครงสร้างของอาคารดังนี้

5.1 แบบจำลองโครงสร้างอาคาร

นำแบบก่อสร้างของอาคารตัวอย่าง มาสร้างแบบจำลองโครงสร้างของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างประกอบด้วยโปรแกรม ETABS และ SAP2000 โดยจำลองโครงสร้างของอาคารให้เหมือนกับแบบก่อสร้างจริงมากที่สุด ทั้งขนาดของโครงสร้างต่างๆ รวมทั้งน้ำหนักต่างๆ ที่กระทำกับโครงสร้างอาคาร แล้ววิเคราะห์หาค่าแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับอาคาร ดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 แบบแปลนโครงสร้างคานจากแบบจริงกับแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 39 แรงที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร

5.2 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างและค่าที่ได้จากการประมาณกำลังรับน้ำหนักของคาน

นำค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปเปรียบเทียบกับค่าแรงที่ประมาณได้จากสมการที่ใช้ประมาณกำลังของโครงสร้างของอาคาร (สมการในตารางที่ 29) และค่ากำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดจริง แล้วจึงนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของหน้าตัดคานในแต่ละหน้าตัด และหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของทั้งอาคารต่อไป โดยจะแสดงค่ากำลังดังแสดงใน ตารางที่ 46 ซึ่งแสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลและเปรียบเทียบค่ากำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดจริงกับค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการทำแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์และ ตารางที่ 47 ซึ่งแสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลและเปรียบเทียบค่ากำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดจากการประมาณ (สมการในตารางที่ 29) กับค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการทำแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 46 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลและเปรียบเทียบค่ากำลังรับรับโมเมนต์คดของหน้าตัดจริงกับค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการทำแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์

อาคาร	ชื่อ คาน	ชั้น	หน้าตัด			ประเภทคาน	ความยาว (m.)	จำนวน	หน้าตัดจริง			Model		% ต่าง						
			กว้าง (cm.)	ลึก (cm.)	I (m ⁴)				Mu	Mu	Mu	Mu sup (ton.m)	Mu mid (ton.m)	Mu CANTI (ton.m)	Mu sup	Mu mid	Mu CA NTI			
									SUP (ton.m)	MID (ton.m)	CANTI (ton.m)									
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB1	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	3.25	2	6.71	6.71		0.84	0.53		87.38	92.06				
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB1	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	3.5	22	6.71	6.71		0.84	0.53		87.38	92.06				
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB2	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	4.2	5	9.28	9.28		1.43	0.55		84.55	94.05				
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...			
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB3	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	3.5	4	9.28	9.28		5.68	4.31		38.79	53.57				
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB3	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	3.25	4	9.28	9.28		5.68	4.31		38.79	53.57				
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB3c	1	20	50	0.002083	Cantilever Beam	1.55	2			9.28			11.89			28.10			
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB3c	1	20	50	0.002083	Cantilever Beam	1.9	2			9.28			9.94			7.13			
						Cantilever Beam	135		จำนวนที่ค่าโมเดล			Sup	7	เฉลี่ย	-2.557	0	-19.38			
						Simple Beam	355		มากกว่าหน้าตัดคาน			Mid	0	เฉลี่ยทั้ง						
						Continuous Beam	454		จากแบบจริง			Cantilever	88	อาคาร	-18.13					
						รวมหน้าตัดคาน	944													

ตารางที่ 47 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลและเปรียบเทียบค่ากำลังรับรับโมเมนต์คดของหน้าตัดจากการประมาณ (สมการในตารางที่ 29) กับค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการ
ทำแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์

อาคาร	ชื่อคาน	ชั้น	หน้าตัด		I (m ⁴)	ประเภทคาน	ความยาว (m.)	จำนวน	สถิติ			Model			% ต่าง		
			กว้าง \\(cm.)	ลึก (cm.)					Mu sup (ton.m)	Mu mid (ton.m)	Mu CANTI (ton.m)	Mu sup (ton.m)	Mu mid (ton.m)	Mu CANTI (ton.m)	Mu sup	Mu mid	Mu CANTI
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB1	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	3.25	2	10.43	9.94	-	0.84	0.53	-	91.88	94.64	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB1	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	3.5	22	10.58	10.15	-	0.84	0.53	-	91.99	94.74	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB3	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	3.25	4	10.43	9.94	-	5.68	4.30	-	45.56	56.67	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB3c	1	20	50	0.002083	Cantilever Beam	1.55	2	-	-	12.53	-	-	11.89	-	-	5.13
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB4	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	4.05	2	10.91	10.60	-	11.19	3.05	-	-2.50	71.15	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	GB4	1	20	50	0.002083	Continuous Beam	2.15	2	9.77	9.03	-	7.68	4.99	-	21.33	44.79	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	B1	2	20	50	0.002083	Continuous Beam	4.2	1	11.00	10.72	-	4.60	1.62	-	58.14	84.85	-
หอพักอาศัย 7 ชั้น	B1	2	20	50	0.002083	Cantilever Beam	1.55	2			12.53			4.60			63.24
						Cantilever Beam		135	จำนวนที่ค่าโมเมนต์			Sup	140	เฉลี่ย	-34.21	-4.78	-5.59
						Simple Beam		355	มากกว่าค่าสถิติ			Mid	42	เฉลี่ยทั้งอาคาร	-27.18		
						Continuous Beam		454				Cantilever	2				
รวมหน้าตัดคาน								944									

5.2.1 การใช้สมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากสมการ Multi Regression 5 อาคาร

เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานระหว่างกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากการประมาณ (จากสมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากสมการ Multi Regression 5 อาคาร) และกำลังรับโมเมนต์ดัดจากการทำแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับแต่ละอาคาร ของอาคารประเภทอาคารพักอาศัยจำนวน 5 อาคารแล้ว จึงนำมาหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ต่างของแต่ละอาคารดังแสดงในตารางที่ 48

ตารางที่ 48 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของแบบจำลองกับค่าจากการประมาณ ของอาคารพักอาศัย 5 อาคาร

อาคาร	ค่าทางสถิติ	% ต่าง Model กับ ประมาณ				จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด	ชิ้นส่วนที่ค่าแรงมากกว่าการประมาณ	ส่วนที่แรงมากกว่าคิดเป็น %
		Mu sup	Mu mid	Mu CAN TI	เฉลี่ย			
หอพัก 7 ชั้น	Min	-34.22	-4.78	-5.59	-27.19	944	144	15.25
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	Min	-15.18	-9.73	-29.45	-16.73	658	185	28.12
คอนโด 7 ชั้น	Min	-14.32	-0.45	0	-10.76	358	26	7.26
คอนโด 5 ชั้น	Min	-19.09	-31.08	0	-21.62	280	172	61.43
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	Min	-64.39	-59.03	-88.06	-67.22	457	253	55.36
เฉลี่ย	Min	-29.44	-21.02	-24.62	-28.70	2697	780	28.92

จากตารางที่ 48 หลังจากหาค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานระหว่างค่าการประมาณ (จากสมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากสมการ Multi Regression 5 อาคาร) และค่าจากการทำแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ของอาคารประเภทอาคารพักอาศัยจำนวน 5 อาคาร โดยมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ต่างจากการเปรียบเทียบกำลังรับโมเมนต์ดัดเฉลี่ยของทั้ง 5 อาคาร เท่ากับ 28.70 เปอร์เซ็นต์

สำหรับกรณีการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับค่าจากหน้าตัดจริงตามแบบก่อสร้างได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 49

ตารางที่ 49 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของแบบจำลองกับค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของอาคารจริง
ของอาคารพักอาศัย 5 อาคาร

อาคาร	% ต่าง Model กับ หน้าตัดจริง				จำนวน ชิ้นส่วน ทั้งหมด	ชิ้นส่วนที่ แรงมากกว่า หน้าตัดจริง	ส่วนที่แรง มากกว่าคิด เป็น %
	Mu sup	Mu mid	Mu CANTI	เฉลี่ย			
หอพัก 7 ชั้น	-2.56	0.00	-19.38	-18.14	944	95	10.06
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	-16.41	0.00	-6.03	-15.96	658	185	28.12
คอนโด 7 ชั้น	-7.26	-0.90	-24.53	-3.09	358	34	9.50
คอนโด 5 ชั้น	-40.85	0.00	0.00	-40.85	280	94	33.57
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	-53.50	0.00	-59.30	-54.80	457	181	39.61
เฉลี่ย	-24.12	-0.18	-21.85	-26.56	2697	589	21.84

หลังจากเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานระหว่างกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจริงและกำลังรับโมเมนต์ดัดจากการทำแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ของอาคารประเภทอาคารพักอาศัยจำนวน 5 อาคาร โดยมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ต่างจากการเปรียบเทียบกำลังรับโมเมนต์ดัดเฉลี่ยของทั้ง 5 อาคาร เท่ากับ 26.56 เปอร์เซ็นต์

จะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์ต่างเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักไม่ว่าจะเปรียบเทียบด้วยค่าที่ได้จากการประมาณหรือใช้ค่าจริงของกำลังรับแรงของหน้าตัด ดังนั้นจึงพอสามารถอนุมานได้ว่า การใช้สมการประมาณกำลังของโครงสร้างที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้จะเพียงพอในการใช้ประมาณกำลังของโครงสร้างคาน

5.2.2 การใช้สมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากสมการ Multi Regression 7 อาคาร

สำหรับกรณีการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับค่าจากการประมาณ (จากสมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากสมการ Multi Regression 7 อาคาร) ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 50

ตารางที่ 50 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของแบบจำลองกับค่าทางสถิติจากการประมาณ

อาคาร	ค่าทางสถิติ	% ต่าง Model กับ สถิติ				จำนวนชั้นส่วนทั้งหมด	ชั้นส่วนที่แรงมากกว่าสถิติ	ส่วนที่แรงมากกว่าคิดเป็น %
		Mu sup	Mu mid	Mu CANTI	เฉลี่ย			
หอพัก 7 ชั้น	Min	-11.65	0.00	-1.62	-7.69	944	205	21.72
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	Min	-29.73	-27.86	-9.76	-26.90	658	185	28.12
คอนโด 7 ชั้น	Min	-14.53	0.00	-2.70	-11.98	358	14	3.91
คอนโด 5 ชั้น	Min	-27.72	-41.11	0.00	-31.59	280	132	47.14
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	Min	-69.35	-48.51	-75.74	-65.10	457	207	45.30
สาธารณะ 1	Min	-111.25	-59.30	-223.72	-91.83	1270	457	35.98
เฉลี่ย	Min	-42.18	-29.46	-52.26	-39.18	3967	1200	30.25

จากตารางที่ 50 หลังจากหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของกำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดคานระหว่างกำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดจากการประมาณ (จากสมการประมาณกำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดคานจากสมการ Multi Regression 7 อาคาร) และกำลังรับโมเมนต์คัตจากการทำแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ของอาคารประเภทอาคารพักอาศัยจำนวน 6 อาคาร โดยมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ต่างจากการเปรียบเทียบกำลังรับโมเมนต์คัตเฉลี่ยของทั้ง 6 อาคาร เท่ากับ 39.18เปอร์เซ็นต์

สำหรับกรณีการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับค่าจากหน้าตัดจริงตามแบบก่อสร้างได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 51

ตารางที่ 51 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของแบบจำลองกับค่ากำลังรับโมเมนต์คัตของอาคารจริง

อาคาร	% ต่าง Model กับ หน้าตัดจริง				จำนวนชั้นส่วนทั้งหมด	ชั้นส่วนที่แรงมากกว่าสถิติ	ส่วนที่แรงมากกว่าคิดเป็น %
	Mu sup	Mu mid	Mu CANTI	เฉลี่ย			
หอพัก 7 ชั้น	-2.56	0.00	-15.31	-14.37	944	88	9.32
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	-16.41	0.00	-6.03	-15.96	658	185	28.11

ตารางที่ 51 (ต่อ)

อาคาร	% ต่าง Model กับ หน้าตัดจริง				จำนวน ชิ้นส่วน ทั้งหมด	ชิ้นส่วนที่แรง มากกว่าสถิติ	ส่วนที่แรงมากกว่า คิดเป็น %
	Mu sup	Mu mid	Mu CANTI	เฉลี่ย			
คอนโค 7 ชั้น	-7.26	-0.90	-24.53	-3.09	358	34	9.49
คอนโค 5 ชั้น	-40.85	0.00	0.00	-40.85	280	94	33.57
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	-53.50	0.00	-59.30	-54.78	457	181	39.60
สาธารณะ 1	-130.64	-44.57	-119.16	-98.99	1270	595	46.85
เฉลี่ย	-24.12	-0.18	-21.03	-25.81	3967	1177	29.67

จากตารางที่ 51 หลังจากหาค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานระหว่างกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากการประมาณ (จากสมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากสมการ Multi Regression 7 อาคาร) และกำลังรับโมเมนต์ดัดจากการทำแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ของอาคารประเภทอาคารพักอาศัยจำนวน 6 อาคาร โดยมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ต่างจากการเปรียบเทียบกำลังรับโมเมนต์ดัดเฉลี่ยของทั้ง 6 อาคาร เท่ากับ 25.81 เปอร์เซ็นต์ จากการเปรียบเทียบค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากการประมาณค่ากับค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าหากนำค่าสมการในการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน ก็น่าจะเพียงพอในการใช้ประมาณกำลังของโครงสร้างคานของอาคารที่ต้องการได้

5.3 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างและค่าที่ได้จากการประมาณกำลังรับน้ำหนักของเสา

5.3.1 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังรับน้ำหนัก (ของหน้าตัดเสาจากแบบจริงกับน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์)

นำค่าน้ำหนักที่ถ่ายสู่เสาแต่ละต้นจากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาทำการเปรียบเทียบค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของหน้าตัดเสาที่ได้จากก่อสร้างแบบจริง และค่าน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของหน้าตัดเสา (จากตารางที่ 29) ดังแสดงในตารางที่ 52

ตารางที่ 52 ตัวอย่างค่ากำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดเสาจากหน้าตัดจริงและจากการประมาณเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักจากแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

อาคาร	ชื่อ เสา	ประเภท	ชั้น	ตำแหน่ง	หน้าตัด		ความสูง ระหว่าง ชั้น (m.)	พื้นที่รับ Load รวม ทุกชั้น (m ² .)	กำลังรับน้ำหนักของเสา (ton.)		เปอร์เซ็นต์ต่าง		
					กว้าง (cm.)	ลึก (cm.)			ประมาณ น้ำหนัก	Model	หน้าตัด จริง	ค่าประมาณเทียบ กับ Model	ค่า Model เทียบ กับหน้าตัดจริง
หอพัก 7 ชั้น	C1	เสานอก	0 - 1	A4	35	35	3	99.43	182.16	167.16	270.24	8.23	38.14
หอพัก 7 ชั้น	C1	เสานอก	0 - 1	A5	35	35	3	92.05	168.64	167.21	270.24	0.85	38.12
หอพัก 7 ชั้น	C1	เสานอก	0 - 1	A6	35	35	3	89.43	163.84	145.85	270.24	10.98	46.03
หอพัก 7 ชั้น	C1	เสานอก	0 - 1	A7	35	35	3	89.43	163.84	149.15	270.24	8.96	44.81
หอพัก 7 ชั้น	C1	เสานอก	0 - 1	A8	35	35	3	89.43	163.84	146.38	270.24	10.65	45.83
หอพัก 7 ชั้น	C1	เสานอก	0 - 1	A9	35	35	3	89.43	163.84	145.77	270.24	11.03	46.06
หอพัก 7 ชั้น	C1	เสามุม	0 - 1	A10	35	35	3	44.71	100.47	94.49	270.24	5.96	65.03
หอพัก 7 ชั้น	C2	เสานอก	0 - 1	C2	35	55	3	119.10	218.21	164.87	403.39	24.45	59.13
หอพัก 7 ชั้น	C2	เสาใน	0 - 1	C4	35	55	3	140.84	233.01	196.35	403.39	15.74	51.33
หอพัก 7 ชั้น	C2	เสาใน	0 - 1	C5	35	55	3	134.14	221.93	196.47	403.39	11.47	51.30
หอพัก 7 ชั้น	C2	เสาใน	0 - 1	C6	35	55	3	128.63	212.81	179.48	403.39	15.66	55.51
หอพัก 7 ชั้น	C2	เสาใน	0 - 1	C7	35	55	3	128.63	212.81	177.25	403.39	16.71	56.06

ตารางที่ 52 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของน้ำตัดเสาคโดยเปรียบเทียบระหว่างกำลังรับน้ำหนักของน้ำตัดเสาคจากแบบจริงกับน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักของน้ำตัดเสาคกับแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบครบทั้ง 6 อาคารแล้วจะได้ค่าเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 53

ตารางที่ 53 ค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกทุกของน้ำตัดเสาคที่ได้จากแบบจริงและจากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสาคเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

อาคาร	เปอร์เซ็นต์ต่าง เปรียบเทียบระหว่าง	
	ค่าประมาณกับค่า จากแบบจำลอง	ค่าน้ำตัดจริงกับค่า จากแบบจำลอง
คอนโด 5 ชั้น	15.23	70.01
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	25.63	74.15
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	25.72	55.70
คอนโด 7 ชั้น	28.88	76.16
หอพัก 7 ชั้น	14.69	74.89
สาธารณะ 1	15.64	64.19
เฉลี่ย	20.97	69.18

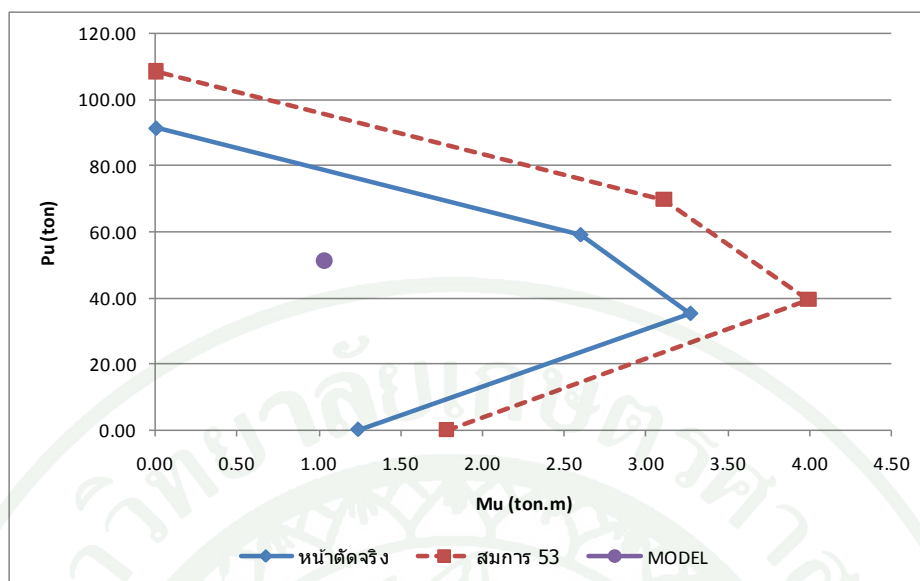
จากตารางที่ 53 จะแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกทุกของน้ำตัดเสาคที่ได้จากแบบจริงและจากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสาคเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยระหว่างค่าน้ำหนักที่ได้จากการประมาณเปรียบเทียบกับน้ำหนักจากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของอาคารทั้ง 6 อาคาร โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 20.97 เปอร์เซ็นต์ และค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกจากแบบจริงเปรียบเทียบกับน้ำหนักจากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของอาคารทั้ง 6 อาคาร โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 69.18 เปอร์เซ็นต์

ค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกจากแบบจริงเปรียบเทียบกับน้ำหนักจากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของอาคารตัวอย่าง ที่มีค่าเฉลี่ยสูงเนื่องจากการเปรียบเทียบระหว่าง น้ำหนักในแนวแกนที่หน้าตัดเสาได้รับได้ เพียงอย่างเดียว จึงทำให้ค่าน้ำหนักที่รับได้ของหน้าตัดจึงมีค่าสูงมาก ถ้าหากพิจารณากำลังของหน้าตัดเสาในการรับทั้งน้ำหนักบรรทุกทุกและรับโมเมนต์ค้ดร่วมด้วย ค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกจากแบบจริงกับจากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ น่าจะมีค่าใกล้เคียงกันยิ่งขึ้น

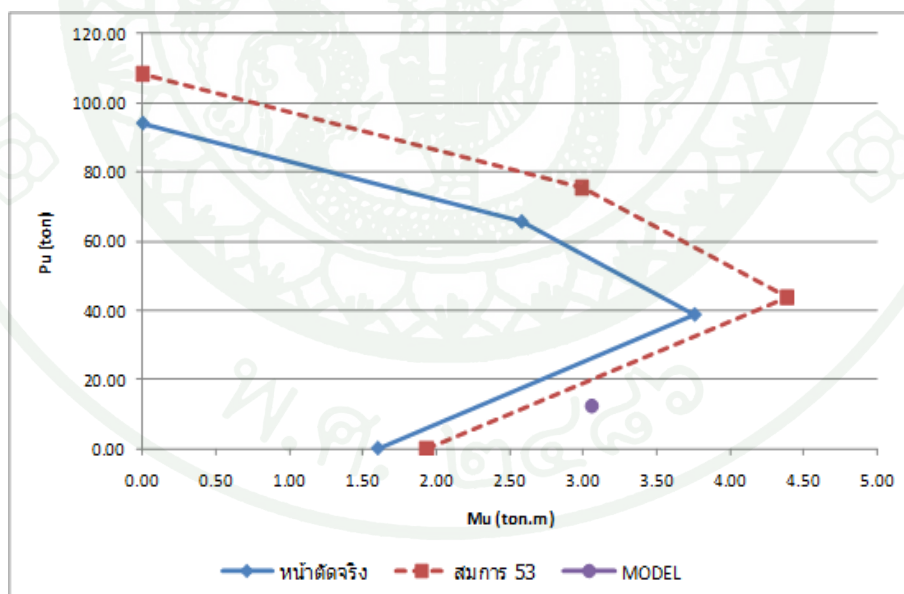
จากการเปรียบเทียบน้ำหนักที่เสาได้รับได้เปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่าสูงนั้น ซึ่งถ้าหากจะปรับปรุงเสริมกำลังของโครงสร้างเสา ซึ่งน้ำหนักที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่าน้อยกว่าน้ำหนักที่เสาได้รับได้ เมื่อจะทำการปรับปรุงองค์อาคาร ก็จะทำให้ห้องค้อาคารรับน้ำหนักได้มากขึ้นกว่าน้ำหนักที่เกิดขึ้นจริง ทำให้ห้องค้อาคารมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามในที่นี้ค่าประมาณกำลังดังกล่าวไม่ได้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์กำลังทางวิศวกรรมแต่นำไปใช้ทางด้านการประเมินเพื่อวัตถุประสงค์ทางด้านราคาและการตัดสินใจต่างๆ หรือการประเมินราคาในด้านการปรับปรุงโครงสร้างอย่างคร่าวๆ ดังนั้นจำเป็นต้องทำการทดสอบวิเคราะห์กำลังที่แท้จริงของโครงสร้างเพื่อความปลอดภัยเพิ่มเติม

5.3.2 การเปรียบเทียบด้วย Interaction Diagram (ของหน้าตัดจริงเปรียบเทียบกับค่าแรงที่ได้จากการสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์)

นำค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับหน้าตัดเสาแต่ละต้นมาวาดกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาจริงของอาคารทั้ง 6 อาคาร ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 40



ภาพที่ 40 ตัวอย่าง Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาที่ได้จากหน้าตัดจริง, จากการประมาณจากสมการที่ 53, ค่าแรงที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ที่อยู่ใน Interaction Diagram)



ภาพที่ 41 ตัวอย่าง Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาที่ได้จากหน้าตัดจริง, จากการประมาณจากสมการที่ 53, ค่าแรงที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ที่อยู่ใน ไม่อยู่ใน Interaction Diagram)

ตารางที่ 54 จำนวนหน้าตัดเสาที่แรงจากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่นำมา
วาดในกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาจริง แล้วแรงนั้นอยู่นอกกราฟ

อาคาร	จำนวน	หน้าตัดจริง	สมการประมาณ
คอนโด 5 ชั้น	120	0	1
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	192	21	0
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	128	38	19
คอนโด 7 ชั้น	117	0	0
หอพัก 7 ชั้น	246	0	0
สาธารณะ 1	186	0	0
รวม	989	59	20

หลังจากนำค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์กับหน้าตัด
เสาแต่ละต้นมาใส่ในกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาจริงของอาคารทั้ง 6 อาคาร จาก
หน้าตัดเสาทั้งหมด 989 ต้น พบว่ามีแรงที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วย
โปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่ามากกว่าค่าแรงที่รับได้จากหน้าตัดจริง(อยู่ภายนอกพื้นที่ Interaction
Diagram)จำนวน 2 อาคาร จำนวน 59 ต้น และพบว่ามีแรงที่แบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วย
โปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่ามากกว่าค่าแรงที่รับได้จากการสมการประมาณเปอร์เซ็นต์เหล็กจำนวน
2 อาคาร จำนวน 20 ต้น สำหรับเสาที่มีอยู่แรงกระทำอยู่ในพื้นที่ Interaction Diagram (ตัวอย่าง
ภาพที่ 40)นั้น แสดงว่าเสานั้นสามารถรับแรงได้ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ได้
ส่วนเสาที่มีอยู่แรงกระทำอยู่นอกพื้นที่ Interaction Diagram (ตัวอย่างภาพที่ 41)นั้น แสดงว่าเสา
อาจจะไม่สามารถรับแรงได้ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ได้ซึ่งก็มีเป็นส่วนน้อย
เท่านั้น ดังนั้นจึงพอสามารถอนุมานได้ว่าการใช้สมการประมาณปริมาณเหล็กในหน้าตัดเสา
สามารถนำไปใช้ในการประมาณหาปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสาเพื่อใช้ในการประมาณกำลังรับ
แรงของหน้าตัดเสาได้

6. การประมาณกำลังโครงสร้างของอาคารตัวอย่าง

หลังจากที่ได้ข้อมูลทางสถิติและสมการที่ใช้ประมาณกำลังของอาคารต่างๆ แล้ว จึงได้นำข้อมูลรวมทั้งสมการที่ได้ มาประมาณกำลังของอาคารตัวอย่าง ตัวเนื้อหาที่จะกล่าวถึงในบทนี้ โดยอาคารที่ใช้เป็นอาคารตัวอย่างนั้น ไม่ได้ใช้เป็นข้อมูลทางสถิติในการหาความสัมพันธ์สมการที่ใช้ในการประมาณกำลังโครงสร้างอาคารในบทก่อนหน้านี้ อาคารตัวอย่างที่ใช้ทดสอบการประมาณกำลังนี้ประกอบด้วย อาคารประเภทอาคารสาธารณะ 1 อาคาร และอาคารพักอาศัย 1 อาคาร โดยมีวิธีทดสอบในการประมาณกำลังของอาคาร โครงสร้างของอาคารตัวอย่างดังนี้

1. คาน

1.1 เก็บข้อมูลหน้าตัดคานทั้งหมดของอาคารตัวอย่าง พร้อมทั้งวิเคราะห์หาลำกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานทุกชิ้นส่วน

1.2 เปรียบเทียบค่ากำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคานตัวอย่างกับค่าโมเมนต์ดัดของหน้าตัดที่ได้จากการประมาณ พร้อมทั้งหาเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของข้อมูล

1.3 หาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของข้อมูลทั้งหมด

2. เสา

2.1 เก็บข้อมูลหน้าตัดเสาทั้งหมดของอาคารตัวอย่าง พร้อมทั้งวิเคราะห์หาลำกำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสา และวาดกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาแต่ละต้น คำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของหน้าตัดเสาดังนั้นด้วย และเก็บข้อมูลพื้นที่การรับน้ำหนักรวมของหน้าตัดเสาดังด้วย

2.2 เปรียบเทียบค่าพื้นที่ใต้กราฟของเสาอาคารตัวอย่างกับพื้นที่ใต้กราฟของเสาที่ได้จากการประมาณ พร้อมทั้งหาเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของข้อมูล

2.3 หาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของข้อมูลทั้งหมด

3. พื้น

3.1 เก็บข้อมูลขนาดของแผ่นพื้น ของอาคารตัวอย่าง และคำนวณหาค่าน้ำหนักสูงสุดที่แผ่นพื้นแต่ละแผ่นรับได้ เปรียบเทียบกับสมการประมาณกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น

6.1 คาน

6.1.1 กำลังรับโมเมนต์ดัดโดยประมาณของหน้าตัดคาน

นำสมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก มาประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานของอาคารตัวอย่าง โดยแสดงวิธีการประมาณกำลังของหน้าตัดคาน ดังตัวอย่างที่ 11

ตัวอย่างที่ 11 หน้าตัดคานขนาด 20x60 cm. ยาว 5 m. เป็นคานประเภทคานอย่างง่าย (Simple Beam) อาคารเป็นอาคารประเภทอาคารสาธารณะ

วิธีทำ

จากสมการประมาณกำลังหน้าตัดคานสมการ Multi Regression (7 อาคาร) จากตารางที่ 26

$$\text{Simple Beam} \quad M_{\text{sup}} = 5780.459(I) - 0.328(L) - 0.161$$

$$M_{\text{mid}} = 6215.882(I) - 0.181(L) - 0.718$$

$$\text{Continuous Beam} \quad M_{\text{sup}} = 5583.900(I) + 0.578(L) - 3.640$$

$$M_{\text{mid}} = 5107.243(I) + 0.748(L) - 3.595$$

$$\text{Cantilever Beam} \quad M_{\text{canti}} = 6103.758(I) - 0.024(L) - 1.710$$

ใช้สมการสำหรับคานอย่างง่าย Simple Beam

$$\begin{aligned} I &= \frac{bh^3}{12} = \frac{0.20 \times 0.60^3}{12} \\ &= 0.003600 \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{sup}} &= 5780.459(I) - 0.328(L) - 0.161 \\
 &= 5780.459(0.0036) - 0.328(5) - 0.161 \\
 &= 19.01 \quad \text{ton.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{mid}} &= 6215.882(I) - 0.181(L) - 0.718 \\
 &= 6215.882(0.0036) - 0.181(5) - 0.718 \\
 &= 20.75 \quad \text{ton.m}
 \end{aligned}$$

หลังจากประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานของอาคารตัวอย่างทุกชิ้นส่วนคานแล้วเสร็จ จึงนำข้อมูลที่ประมาณไปเปรียบเทียบกับกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากแบบก่อสร้างจริงของอาคารตัวอย่าง ดังแสดงตัวอย่างการจัดเก็บข้อมูลและการเปรียบเทียบ ดังตารางที่

55

ตารางที่ 55 ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่คำนวณได้จากแบบกับที่ได้จากการประมาณสมการ Multi Regression (7 อาคาร)

อาคาร	ชื่อคาน	ชั้น	หน้าตัด		I(m ⁴)	ประเภทคาน	ความยาว (m)	จำนวน	Mu Sup (ton.m)	Mu Mid (ton.m)	Mu CANTI (ton.m)	ประมาณกำลัง				% ต่าง	
			กว้าง (cm)	ลึก (cm)								Mu Sup (ton.m)	Mu Mid (ton.m)	Mu CANTI (ton.m)	Mu sup	Mu mid	Mu CANTI
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	0.75	4	8.48	10.35	-	8.37	8.59	-	1.28	17.07	-
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	1.25	8	8.48	10.35	-	8.21	8.50	-	3.22	17.95	-
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	1.65	1	8.48	10.35	-	8.08	8.42	-	4.77	18.65	-
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	1.95	1	8.48	10.35	-	7.98	8.37	-	5.93	19.17	-
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	3.45	1	8.48	10.35	-	7.49	8.10	-	11.73	21.79	-
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	2.45	2	8.48	10.35	-	7.81	8.28	-	7.86	20.05	-
สาธารณะ2	B1A	1	20	60	0.003600	Cantilever Beam	0.40	24	-	-	14.696	-	-	20.254	-	-	37.82
สาธารณะ2	B1A	1	20	60	0.003600	Simple Beam	5.00	6	14.70	14.70	-	19.01	20.75	-	29.35	41.22	-
สาธารณะ2	B2	1	20	60	0.003600	Continuous Beam	5.50	12	14.70	14.70	-	19.64	18.91	-	33.65	28.64	-
สาธารณะ2	B2	1	20	60	0.003600	Simple Beam	5.50	2	14.70	14.70	-	18.85	20.66	-	28.23	40.61	-
สาธารณะ2	B2	1	20	60	0.003600	Simple Beam	3.00	1	14.70	14.70	-	19.67	21.12	-	33.81	43.69	-

จากการแทนค่าสมการ Multi regression แบบถ่วงน้ำหนักเพื่อประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานของอาคารตัวอย่าง และหาความคลาดเคลื่อนจากการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัด (ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ย) ดังแสดงในตารางที่ 56

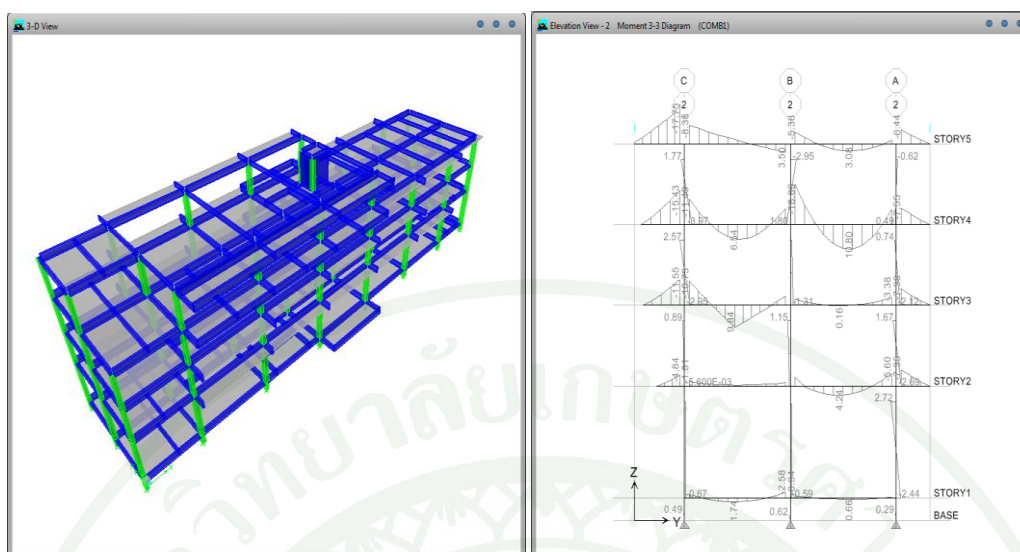
ตารางที่ 56 เปอร์เซนต์ส่วนต่างเฉลี่ยของข้อมูลจากการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน ของอาคารตัวอย่าง

อาคาร	สมการที่ใช้	% ต่าง			เฉลี่ยทั้งอาคาร
		μ_{sup}	μ_{mid}	μ_{CANTI}	
สาธารณะ 2	สมการ 5 อาคาร	34.76	32.22	23.81	32.56
	สมการ 7 อาคาร	34.37	35.25	24.48	33.82
บ้าน 3 ชั้น	สมการ 5 อาคาร	23.29	22.32	21.60	22.82
	สมการ 7 อาคาร	22.71	24.41	17.32	22.93

ตารางที่ 56 แสดงค่าเปอร์เซนต์ส่วนต่างเฉลี่ยของอาคารตัวอย่าง โดยมีค่าเปอร์เซนต์ส่วนต่างเฉลี่ยของการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน(สมการ 5 อาคาร)ค่าเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจริง โดยมีค่าเปอร์เซนต์ส่วนต่างเฉลี่ยของทั้งอาคาร เท่ากับ 32.56 เปอร์เซนต์ และ 22.82 เปอร์เซนต์ จากอาคารสาธารณะ2 และบ้าน 3 ชั้น ตามลำดับ และมีค่าเปอร์เซนต์ส่วนต่างเฉลี่ยของทั้งอาคารจากการใช้สมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน(สมการ 7 อาคาร)เท่ากับ 33.82 เปอร์เซนต์ และ 22.93 เปอร์เซนต์ จากอาคารสาธารณะ2 และบ้าน 3 ชั้น ตามลำดับ

6.1.2 แบบจำลองโครงสร้างอาคาร

ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม ETABS ตามแบบก่อสร้างของอาคารตัวอย่าง โดยจำลองขนาดของโครงสร้างอาคารให้เหมือนกับแบบก่อสร้างของอาคารตัวอย่างมากที่สุด เพื่อวิเคราะห์หาค่าแรงที่เกิดขึ้นที่กระทำกับโครงสร้างของอาคารตัวอย่าง



ภาพที่ 42 ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยคอมพิวเตอร์ของอาคารตัวอย่าง

นำค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ไปเปรียบเทียบกับค่าแรงที่ประมาณได้จากสมการที่ใช้ประมาณกำลังของโครงสร้างของอาคารและค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดคานของหน้าตัดจริง แล้วจึงนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของหน้าตัดคานในแต่ละหน้าตัด และหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของทั้งอาคารต่อไป โดยจะแสดงค่ากำลังดัง ตารางที่ 57 และ 58

ตารางที่ 57 ตัวอย่างข้อมูลและการเปรียบเทียบค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดจากการประมาณ(สมการ 5 อาคาร) กับค่าแรงได้จากแบบจำลองโครงสร้าง

อาคาร	ชื่อย่อ	ชั้น	หน้าตัด		I(m ⁴)	ประเภทคาน	ความยาว (m.)	จำนวน	ประมาณกำลัง			Model			% ต่าง		
			กว้าง (cm.)	ลึก (cm.)					Mu sup (ton.m)	Mu mid (ton.m)	Mu CANTI (ton.m)	Mu sup (ton.m)	Mu mid (ton.m)	Mu CANTI (ton.m)	Mu sup	Mu mid	Mu CANTI
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	0.75	4	8.48	10.35	-	8.86	5.05		-4.42	51.23	-
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	1.25	8	8.48	10.35	-	8.86	5.05		-4.42	51.23	-
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	1.65	1	8.48	10.35	-	8.86	5.05		-4.42	51.23	-
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
สาธารณะ2	B10	2	20	70	0.005717	Continuous Beam	5.5	1	21.00	21.00		16.98	22.99		19.13	-9.48	
สาธารณะ2	B11	2	20	70	0.005717	Cantilever Beam	1.45	6			29.33		17.13				41.58
สาธารณะ2	B11	2	20	70	0.005717	Cantilever Beam	1.75	6			29.33		17.13				41.58
สาธารณะ2	B12	2	20	60	0.003600	Continuous Beam	5.5	2	21.75	32.25		9.99	9.62		55.031	58.56	
								56				Sup	120	เฉลี่ย	-22.479	-12.42	-9.50
								75	จำนวนที่ค่าโมเดล มากกว่าค่าสถิติ			Mid	71	เฉลี่ยทั้ง อาคาร	-17.71		
								189				Cantilever	24				
รวมหน้าตัดคาน								320					47	215			

ตารางที่ 58 ตัวอย่างข้อมูลและการเปรียบเทียบค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดจากแบบจริง กับค่าแรงได้จากแบบจำลองโครงสร้าง

อาคาร	ชื่อคาน	ชั้น	หน้าตัด		I(m ⁴)	ประเภทคาน	ความยาว (m.)	จำนวน	หน้าตัดจริง			Model			% ต่าง		
			กว้าง (cm.)	ลึก (cm.)					Mu SUPP (ton.m)	Mu MID (ton.m)	Mu CANTI (ton.m)	Mu sup (ton.m)	Mu mid (ton.m)	Mu CANTI (ton.m)	Mu sup	Mu mid	Mu CANTI
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	0.75	4	5.13	6.25		8.86	5.05		-72.75	-72.75	
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	1.25	8	5.11	6.27		8.86	5.05		-73.43	-73.43	
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	1.65	1	5.09	6.28		8.856	5.05		-73.97	-73.97	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
สาธารณะ2	B10	2	20	70	0.005717	Continuous Beam	5.50	1	25.42	23.60		16.98	22.99		33.19	2.56	
สาธารณะ2	B11	2	20	70	0.005717	Cantilever Beam	1.45	6			34.20			17.13			49.90
สาธารณะ2	B11	2	20	70	0.005717	Cantilever Beam	1.75	6			34.59			17.13			50.48
สาธารณะ2	B12	2	20	60	0.003600	Continuous Beam	5.50	2	15.98	15.33		9.99	9.62		37.525	37.23	
						Cantilever Beam		56				Sup	174	เฉลี่ย	-39.07	-15.48	-7.75
						Simple Beam		75		จำนวนที่ค่าโมเมนต์ มากกว่าค่าสถิติ		Mid	90	เฉลี่ยทั้ง อาคาร	-30.76		
						Continuous Beam		189				Cantilever	3				
รวมหน้าตัดคาน								320					215	267			

โดยจากตารางที่ 57 เป็นตัวอย่างข้อมูลและเปรียบเทียบค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากการประมาณ(สมการ 5 อาคาร) กับค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้าง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของทั้งอาคาร และจากตารางที่ 58 เป็นตัวอย่างการเก็บข้อมูลและเปรียบเทียบค่ากำลังรับรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากหน้าตัดจริงกับค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการทำแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของทั้งอาคาร

ตารางที่ 59 ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของแบบจำลอง

อาคาร	ค่าทางสถิติ	% ต่าง Model กับ สมการประมาณ				% ต่าง Model กับ หน้าตัดจริง			
		Mu sup	Mu mid	Mu CANTI	เฉลี่ยทั้งอาคาร	Mu sup	Mu mid	Mu CANTI	เฉลี่ยทั้งอาคาร
สาธารณะ2	สมการ 5 อาคาร	-39.07	-15.48	-7.75	-30.76	-22.48	-12.42	-9.50	-17.71
	สมการ 7 อาคาร	-14.18	-15.84	-8.65	-14.06				
บ้าน 3 ชั้น	สมการ 5 อาคาร	-16.89	-26.36	-16.91	-20.69	0.000	0.000	-16.26	-16.26
	สมการ 7 อาคาร	-22.84	-32.11	-20.87	-27.09				

จากการเปรียบเทียบค่ากำลังโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานของอาคารสาธารณะ2 ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ กับค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่ได้จากการประมาณพบว่า จากชิ้นส่วนหน้าตัดคานทั้งหมด 320 ชิ้นส่วน โดยมีค่าเฉลี่ยของทั้งอาคารอยู่ที่ 30.76 เปอร์เซ็นต์ และ 14.06 เปอร์เซ็นต์ จากสมการ 5 อาคาร และ 7 อาคาร ตามลำดับ และค่าที่ได้จากการสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ กับค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากหน้าตัดที่ได้จากแบบก่อสร้างจริง โดยมีค่าเฉลี่ยของทั้งอาคารอยู่ที่ 17.71 เปอร์เซ็นต์

จากการเปรียบเทียบค่ากำลังโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานของอาคารบ้าน 3 ชั้น ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ กับค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่ได้จากการประมาณพบว่า จากชิ้นส่วนหน้าตัดคานทั้งหมด 147 ชิ้นส่วน โดยมีค่าเฉลี่ยของทั้งอาคารอยู่ที่ 20.69เปอร์เซ็นต์ และ 27.09 เปอร์เซ็นต์ จากสมการ 5 อาคาร และ 7 อาคาร ตามลำดับ และค่าที่ได้จากการสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ กับค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานจากหน้าตัดที่ได้จากแบบก่อสร้างจริง โดยมีค่าเฉลี่ยของทั้งอาคารอยู่ที่ 16.26 เปอร์เซ็นต์

จากการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์กับค่ากำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดคานจากหน้าตัดที่ได้จากแบบก่อสร้างจริง โดยมีค่าเฉลี่ยของทั้งสองอาคารอยู่ที่ประมาณ 17 เปอร์เซนต์ ดังนั้นแรงค่าที่ได้จากการประมาณต่างจากค่าแรงที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งต่างกันประมาณ 30 เปอร์เซนต์ ก็น่าจะเพียงพอยอมรับได้ (เพื่อวัตถุประสงค์ในการเป็นข้อมูลสำหรับการประมาณราคาอาคาร)

6.1.3 การวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (p) ของกำลังรับน้ำหนักของคาน

1. วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของกำลังโครงสร้างหน้าตัดคานที่ได้จากแบบก่อสร้างจริง กับค่ากำลังของหน้าตัดคานที่ได้จากการประมาณ โดยมีตัวอย่างการคำนวณ การหาค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (p) ดังนี้

ตัวอย่างที่ 12 คานหน้าตัด 20x60 cm.ยาว 5 m. รับ โมเมนต์คัตได้ 14.696 ton.m มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.674

วิธีทำ

จากสมการประมาณกำลังรับโมเมนต์คัตของหน้าตัดคาน

$$M_{sup} = 2893.508(I) - 0.040(L) + 0.762$$

$$M_{sup} = 2893.508(0.0036) - 0.040(5) + 0.762$$

$$M_{sup} = 10.979 \text{ ton.m}$$

$$\text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน}(\sigma) = 2.397$$

$$P_f = \Phi \left[\frac{\mu_s - \mu_R}{(\sigma_R^2 + \sigma_s^2)^{1/2}} \right]$$

$$\mu_s = 10.979 \text{ (ค่าโมเมนต์จากการประมาณ)}$$

$$\mu_R = 14.696 \text{ (ค่าโมเมนต์ของหน้าตัดจริงจากแบบ)}$$

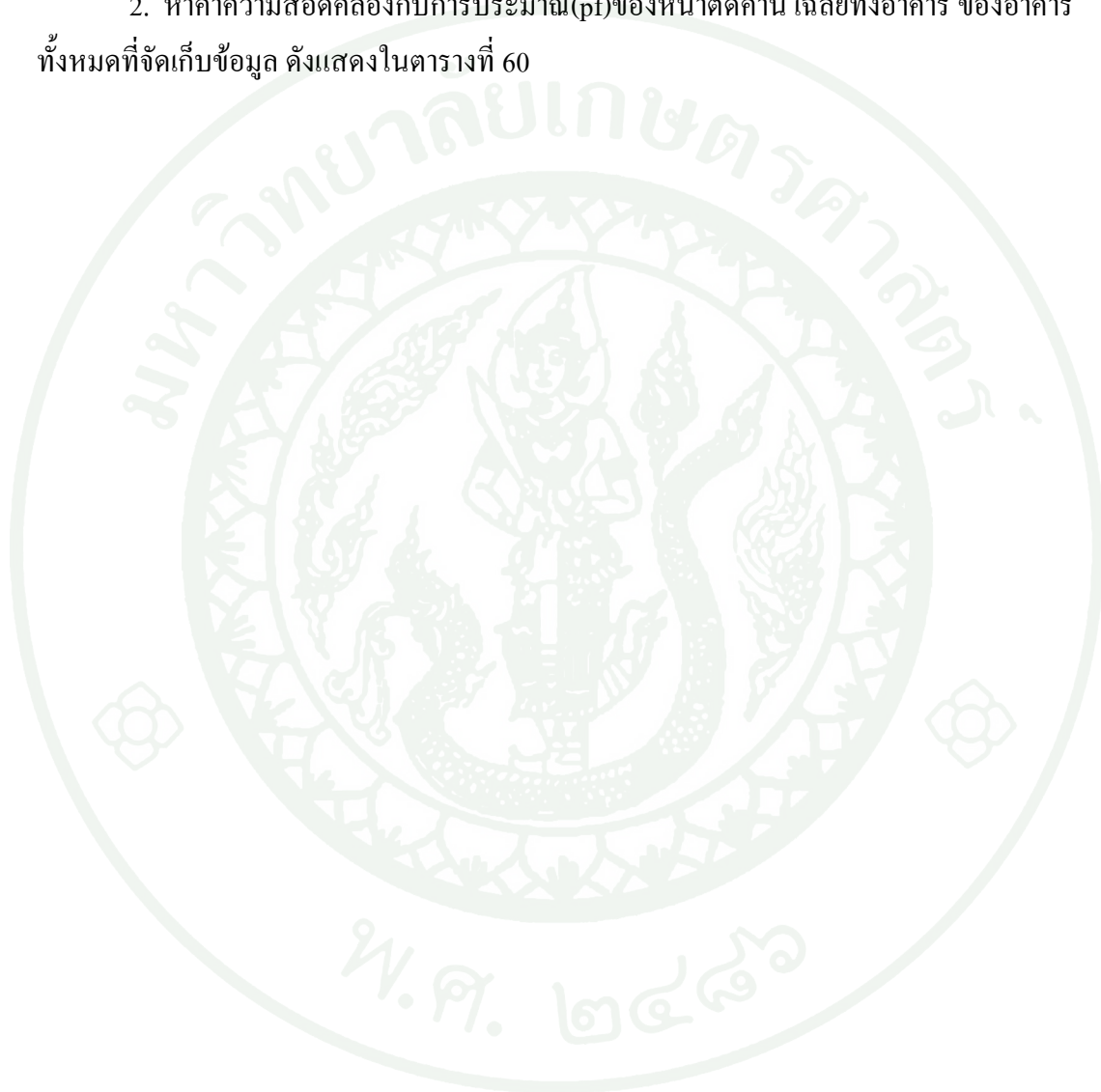
$$\sigma_R^2 = 1.674$$

$$\sigma_s^2 = 2.397$$

$$P_f = \Phi \left[\frac{10.979 - 14.696}{(1.674^2 + 2.397^2)^{1/2}} \right]$$

$$p_f = \Phi(-1.271) = 0.10$$

2. หาค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(p_f)ของหน้าตัดคาน เหล็กทั้งอาคาร ของอาคาร
ทั้งหมดที่จัดเก็บข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 60



ตารางที่ 60 ตัวอย่างค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(p_f)ของหน้าตัดคาน ระหว่างโมเมนต์ค้ดของหน้าตัดคานจริงกับโมเมนต์ค้ดที่ได้จากการประมาณ

อาคาร	ชื่อกาน	ชั้น	หน้าตัด		I (m ⁴)	ประเภทคาน	ความยาว (m ²)	จำนวน	Mu SUP (ton.m)	Mu MID (ton.m)	Mu CANTI (ton.m)	โมเมนต์ประมาณกำลัง (ton.m)			P _f		
			กว้าง (cm)	ลึก (cm)								Mu SUP	Mu MID	Mu CANTI	Sup	Mid	Cantilever
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	0.75	4	8.48	10.35	-	5.13	6.25	0.00	0.00		
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	1.25	8	8.48	10.35	-	5.11	6.27	0.00	0.00		
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	1.65	1	8.48	10.35	-	5.10	6.28	0.00	0.00		
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	1.95	1	8.48	10.35	-	5.08	6.29	0.00	0.00		
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	3.45	1	8.48	10.35	-	5.02	6.34	0.00	0.00		
สาธารณะ2	B1	1	20	45	0.001519	Simple Beam	2.45	2	8.48	10.35	-	5.06	6.31	0.00	0.00		
สาธารณะ2	B1A	1	20	60	0.003600	Cantilever Beam	0.40	24	-	-	14.70		19.36			1.00	
สาธารณะ2	B1A	1	20	60	0.003600	Simple Beam	5.00	6	14.70	14.70	-	10.98	14.66	0.11	0.49		
สาธารณะ2	B2	1	20	60	0.003600	Continuous Beam	5.50	12	14.70	14.70	-	15.98	15.33	0.67	0.63		
สาธารณะ2	B2	1	20	60	0.003600	Simple Beam	5.50	2	14.70	14.70	-	10.96	14.68	0.11	0.50		
สาธารณะ2	B2	1	20	60	0.003600	Simple Beam	3.00	1	14.70	14.70	-	11.06	14.59	0.11	0.48		
สาธารณะ2	B2	1	20	60	0.003600	Continuous Beam	1.85	2	14.70	14.70	-	15.34	13.72	0.59	0.31		
สาธารณะ2	B2	1	20	60	0.003600	Continuous Beam	1.15	1	14.70	14.70	-	15.21	13.41	0.57	0.26		

ตารางที่ 61 ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(p_f)เฉลี่ย ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจริง กับกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากการประมาณของอาคารทั้ง 5 อาคาร

อาคาร	ค่าทางสถิติ	p_f			
		Mu sup	Mu mid	Mu CANTI	เฉลี่ยทั้งอาคาร
สาธารณะ 2	สมการ 5 อาคาร	0.24	0.26	0.79	0.30
	สมการ 7 อาคาร	0.49	0.44	0.76	0.49
บ้าน 3 ชั้น	สมการ 5 อาคาร	0.22	0.32	0.38	0.28
	สมการ 7 อาคาร	0.31	0.36	0.49	0.35

จากตารางที่ 61 ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(p_f)เฉลี่ย ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจริงกับกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากการประมาณ (สมการ multi regression จากอาคารพักอาศัย 5 อาคาร) ของอาคารสาธารณะ 2 และบ้าน 3 ชั้น มีค่าเฉลี่ย p_f อยู่ที่ 0.30 และ 0.280 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 0.5 แสดงว่าสมการประมาณกำลังโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานนั้นให้ค่าที่ต่ำกว่าค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่รับได้จริง

ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(p_f)เฉลี่ย ของกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจริงกับกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดจากการประมาณ (สมการ multi regression จากอาคาร 7 อาคาร) ของอาคารสาธารณะ 2 และบ้าน 3 ชั้น มีค่าเฉลี่ย p_f อยู่ที่ 0.493 และ 0.351 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 0.5 แสดงว่าสมการประมาณกำลังโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานนั้นให้ค่าที่ต่ำกว่าค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่รับได้จริง

จะเห็นว่าสมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานสำหรับอาคารสาธารณะ 2 สมการที่ให้ค่าใกล้เคียง 0.5 มากที่สุดคือ สมการ multi regression จากอาคาร 7 อาคาร เนื่องจากสมการประมาณนี้มีการจกเก็บข้อมูลของอาคารประเภทอาคารสาธารณะรวมอยู่ด้วย จึงทำให้การประมาณกำลังของอาคารสาธารณะ 2 นี้ มีค่าใกล้เคียง 0.5

จากการหาค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(p_f) จากสมการ Multi Regression 5 และ 7 อาคาร พบว่ามีค่าน้อยกว่า 0.5 ทุกอาคาร แสดงว่าสมการประมาณกำลังโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานนั้นให้ค่าที่ต่ำกว่าค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่รับได้จริง ซึ่งถ้าหากนำไป

ประมาณกำลังของอาคารอื่นๆ ก็จะทำให้ได้ค่ากำลังที่ต่ำกว่าค่าที่อาคารรับได้จริง ซึ่งถ้าหากนำไปใช้ในการประมาณกำลังเพื่อปรับปรุงอาคารก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเสริมกำลังของอาคารลดน้อยลง เพื่อให้ได้กำลังตามต้องการ

6.2 เสา

6.2.1 ปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสาจากการประมาณ

หลังจากได้สมการที่ใช้ในการประมาณหาปริมาณเหล็กเสริมของหน้าตัดเสาแล้วคือ สมการที่ (3-2) จึงนำค่าสมการที่ได้มาประมาณหาปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา พร้อมทั้งคำนวณหา ค่ากำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสา และวาดกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา ดังแสดงในตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 13 การคำนวณหา กำลังรับโมเมนต์ดัด และกำลังรับน้ำหนักของเสาจากปริมาณเหล็กเสริมที่ได้จากการประมาณ

วิธีทำ

คุณสมบัติวัสดุ

กำลังครากเหล็กเสริม (f_y)	=	3000	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นเหล็กเสริม E_s	=	2.04×10^6	ksc
กำลังอัดคอนกรีต (f'_c)	=	240	ksc
โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีต $E_c = 15100\sqrt{f'_c}$	=	233928	ksc
ตัวคูณลดกำลัง ϕ	=	0.7	
ตัวคูณ β_1	=	0.85	

พื้นที่รับน้ำหนักรวม	=	41.25	m ²
สมการประมาณปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัด	$y =$	0.0023x + 1.5238	(สมการ 53)
หน้าตัด	=	30 x 50	cm.
พื้นที่หน้าตัด A_g	=	1500	cm ²
ปริมาณเหล็กเสริมที่ได้จากสมการ ρ	=	1.62	%

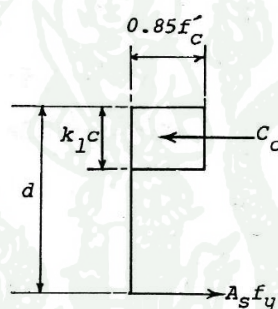
พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมจากการประมาณ A_s total	=	14.28	cm ²
A_s'	=	12.14	cm ²
A_s	=	12.14	cm ²

1. แรงที่จุด A (ดังภาพที่ 35) ของหน้าตัด (Axial Load Strength)

จากสูตร

$$\begin{aligned}
 P_o &= 0.85f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \\
 P_o &= 373887.23 \quad \text{kg} \\
 P_o &= 373.89 \quad \text{ton}
 \end{aligned}$$

2. โมเมนต์ดัดประลัย ที่จุด C (Ultimate Strength of Beam)



ใช้วิธีการของ ACI โดยไม่คิดแรงในเหล็กรับแรงอัดซึ่งจะเกิดข้อผิดพลาดไม่มากนัก

$$M_n = 0.85f'_c \beta_1 c \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) = A_s f_y \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

หาระยะ $\beta_1 c$ จากสมมูลของแรง

$$A_s f_y = 0.85f'_c b \beta_1 c$$

$$\beta_1 c = A_s f_y / 0.85f'_c b$$

$$\beta_1 c = 5.95$$

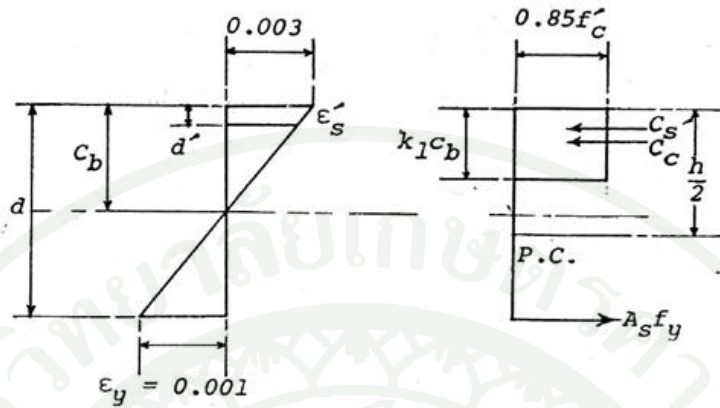
$$M_n = 149551.71 \quad \text{kg.cm}$$

$$M_n = 1479.55 \quad \text{ton.cm}$$

$$M_n = 14.80 \quad \text{ton.m}$$

3. ที่สภาวะแรงกระทำพอดี ที่จุด B (Balance Loading)

จากการแจกแจงความเครียด



$$\frac{C_b}{35 - C_b} = \frac{0.003}{0.001}$$

$C_b = 29.26$ และ $\epsilon'_s = 0.00234 > 0.00147 (\epsilon_y)$ นั่นคือเหล็กรับแรงอัด A_s' เกิดการคราก
 $f_s' = 3000 \text{ ksc}$

จากสมการ

$$\begin{aligned} P_b &= C_c + C_s' - T \\ C_c &= 0.85 f'_c \cdot b \cdot \beta_1 c_b \\ &= 152199.57 \text{ kg} \\ C_s' &= A_s' f_s' \\ &= 36420.19 \text{ kg} \\ T &= A_s f_y \\ &= 36420.19 \text{ kg} \\ P_b &= 152199.57 \text{ kg} \\ P_b &= 152.20 \text{ ton} \end{aligned}$$

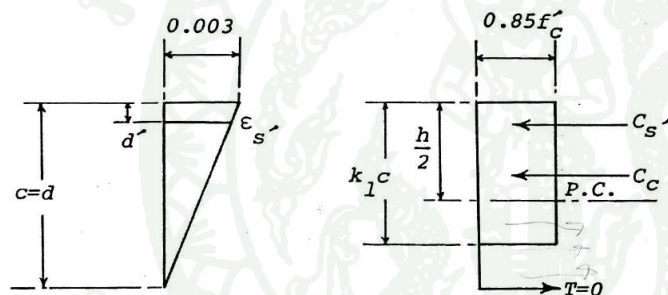
คิดโมเมนต์รอบศูนย์พลาสติก ที่ระยะ $h/2$ จากผิวล่างของพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากหน้าตัดและเหล็กเสริมมีลักษณะสมมาตร

$$M_n = A_s' f_y (h/2 - d') + C_c (h/2 - k_1 c_b/2) + A_s f_y (d - h/2)$$

$$\begin{aligned}
 A_s' f_s' (h/2 - d') &= 677415.49 \\
 C_c (h/2 - k_1 c_b/2) &= 1912447.66 \\
 A_s f_y (d - h/2) &= 677415.49 \\
 M_n &= 3267278.63 & \text{kg.cm} \\
 M_n &= 32672.79 & \text{kg.m} \\
 M_n &= 32.67 & \text{ton.m}
 \end{aligned}$$

4. ที่จุดซึ่งความเค้นในเหล็กรับแรงดึงเป็นศูนย์ (Zero Tension)

เนื่องจากความเค้นในเหล็กรับแรงดึงเป็นศูนย์ ระยะ C เท่ากับความลึกประสิทธิผลจากการแจกแจงความเค้น



$$\epsilon_s' = 0.00256 > 0.00147 (\epsilon_y)$$

นั่นคือเหล็กรับแรงอัด A_s' เกิดการคราก

จากสมการ

$$\begin{aligned}
 P &= C_c + C_s' \\
 C_c &= 226807.2 \\
 C_s' &= 36420.19 \\
 P_n &= 263227.39 & \text{kg} \\
 P_n &= 263.23 & \text{ton}
 \end{aligned}$$

คิดโมเมนต์ดัดรอบศูนย์พลาสติก

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s' f_y (h/2 - d') + C_c (h/2 - \beta_1 c/2) \\
 A_s' f_y (h/2 - d') &= 677415.49
 \end{aligned}$$

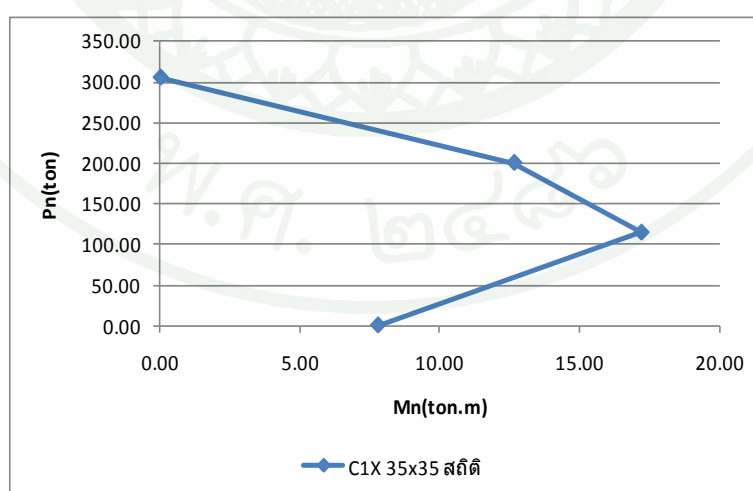
$C_c (h/2 - \beta_1 c/2)$	=	1467442.58	
M_n	=	2144858.07	kg.cm
M_n	=	21448.58	kg.m
M_n	=	21.45	ton.m

โดยนำค่ากำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดที่สภาวะต่างๆ กัน มาสรุปเป็นตารางได้ดังที่แสดงในตารางที่ 62

ตารางที่ 62 กำลังรับน้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดเสาที่สภาวะต่างๆ ($\phi = 0.7$)

ลำดับที่	สภาวะ	P (ton)	M (ton.m)
1	Axial Load Strength	261.72	0.00
2	Ultimate Strength of Beam	0.00	10.36
3	Balance Loading	106.54	22.87
4	Zero Tension	184.26	15.01

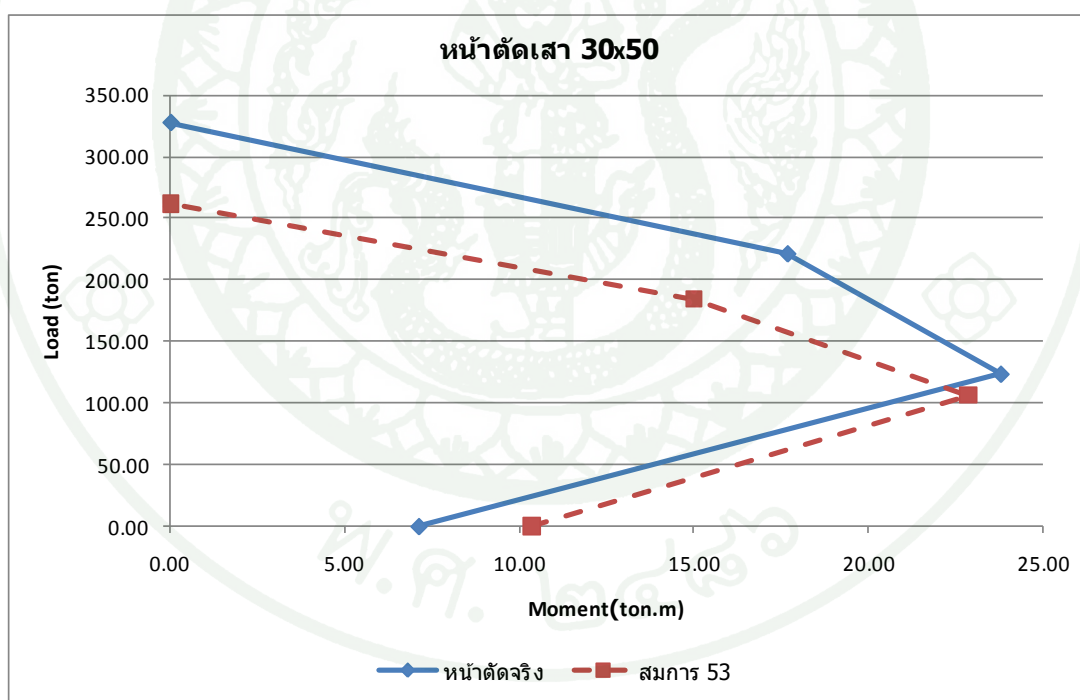
จากค่าการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดเสาที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อนำค่าที่ได้ มาวาดกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา จะได้กราฟ Interaction diagram ของหน้าตัดเสา ดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 กราฟความสัมพันธ์ของหน้าตัดเสา (Interaction Diagram) จากปริมาณเหล็กเสริมจากการประมาณ

ตารางที่ 63 กำลังของหน้าตัดเสาขนาด 30x50 cm. พื้นที่รับน้ำหนักรวม 41 m² ที่สภาวะต่างๆ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ

สภาวะ	หน้าตัดจริง		สมการ (53)	
	LOAD	โมเมนต์	LOAD	โมเมนต์
Ultimate Strength of Beam	0.00	7.11	0.00	10.36
Balance Loading	123.50	23.80	106.54	22.87
Zero Tension	221.10	17.69	184.26	15.01
Axial Load Strength	327.56	0.00	261.72	0.00
พื้นที่	4873.20		6800.40	



ภาพที่ 44 กราฟความเกี่ยวพันของหน้าตัดเสา (Interaction Diagram) ของหน้าตัดเสา ขนาด 30x50 cm จากหน้าตัดจริงและจากการประมาณ

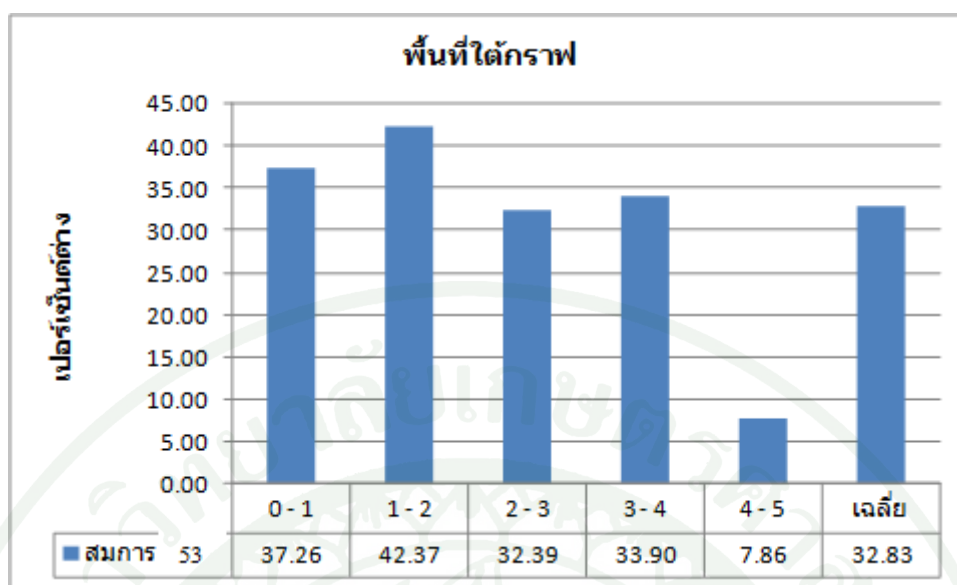
6.2.2 พื้นที่ใต้กราฟของ Interaction Curve หน้าตัดเสา

เมื่อนำสมการที่ได้จากกราฟปริมาณเหล็กเสริมกับพื้นที่หน้าตัดเสา มาประมาณ เพื่อหาปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา และนำปริมาณเหล็กเสริมที่ได้ไปคำนวณหาค่ารับน้ำหนักและโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสาที่สภาวะต่างๆ แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปวาดกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา และคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของเสาแต่ละต้น แล้วจึงนำพื้นที่ใต้กราฟที่ได้มาเปรียบเทียบและหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ใต้กราฟ ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟของหน้าตัดเสาจริงกับพื้นที่ใต้กราฟของหน้าตัดเสาที่ได้จากวิธีทางสถิตยศาสตร์ในตารางที่ 64 และ 65

ตารางที่ 64 สรุปเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ ของอาคารสาธารณะ 2-4 ชั้น

ชั้นที่	จำนวนเสา	ค่าเปอร์เซ็นต์ต่าง (สมการ 53)
0 – 1	24	37.26
1 – 2	24	42.37
2 – 3	24	32.39
3 – 4	24	33.90
4 – 5	14	7.86
เฉลี่ย	110	32.83

จากตารางที่ 64 เมื่อนำข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟของหน้าตัดจริงและจากการประมาณจากสมการที่ 53 ของอาคารสาธารณะ 2-4 ชั้น ในแต่ละชั้นไปแสดงผลในรูปแบบของแผนภูมิแท่ง ดังแสดงในภาพที่ 45



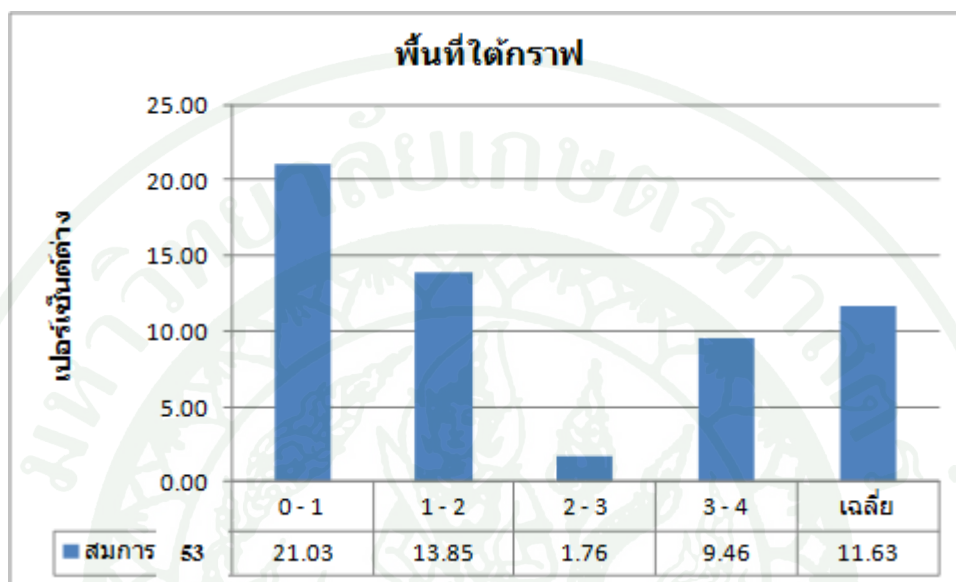
ภาพที่ 45 เปอร์เซนต์ส่วนต่างของพื้นที่ใต้กราฟของหน้าตัดจริงกับหน้าตัดจากการประมาณของอาคารสาธารณะ 2

จากตารางที่ 64 หรือภาพที่ 45 จะพบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟจากหน้าตัดเสาที่คำนวณจากแบบ กับ พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการประมาณมีเปอร์เซนต์ส่วนต่างเฉลี่ย 32.83

ตารางที่ 65 สรุปเปอร์เซนต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ ทั้ง 2 สมการของอาคารบ้าน 3 ชั้น

ชั้นที่	จำนวนเสา	ค่าเปอร์เซนต์ต่าง (สมการ 53)
0 - 1	15	21.03
1 - 2	15	13.85
2 - 3	15	1.76
3 - 4	12	9.46
เฉลี่ย	57	11.63

จากตารางที่ 65 เมื่อนำข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดจริงและจากการประมาณจากสมการที่ 53 ของอาคารบ้าน 3 ชั้น ในแต่ละชั้นไปแสดงผลในรูปแบบของแผนภูมิแท่ง ดังแสดงในภาพที่ 46

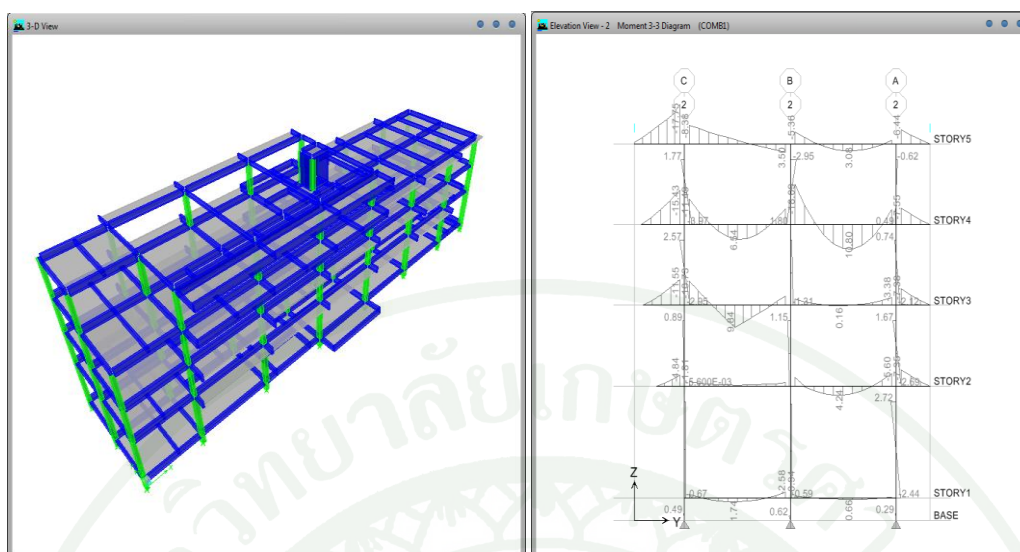


ภาพที่ 46 เปอร์เซนต์ส่วนต่างของพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดจริงกับหน้าตัดจากการประมาณของอาคารบ้าน 3 ชั้น

จากตารางที่ 65 หรือภาพที่ 46 จะพบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟจากหน้าตัดเสาที่คำนวณจากแบบ กับ พื้นที่ได้กราฟที่ได้จากการประมาณมีเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ย 11.63

6.2.3 แบบจำลองโครงสร้างอาคาร

ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ตามแบบก่อสร้างของอาคารตัวอย่าง โดยจำลองขนาดของโครงสร้างอาคารให้เหมือนกับแบบก่อสร้างของอาคารตัวอย่างมากที่สุด เพื่อวิเคราะห์หาค่าแรงที่เกิดขึ้นที่กระทำกับโครงสร้างของอาคารตัวอย่าง



ภาพที่ 47 ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยคอมพิวเตอร์ของอาคารตัวอย่าง

หลังจากสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยคอมพิวเตอร์ และวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเพื่อหาค่าแรงกระทำต่อชิ้นส่วนอาคารต่างๆ จึงนำค่าแรงที่กระทำกับโครงสร้างอาคารมาเปรียบเทียบในชิ้นส่วนของคานและเสาต่อไป

6.2.4 เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการประมาณกับน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการทำแบบจำลองโครงสร้างอาคาร

เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับหน้าตัดเสา ที่ได้จากการประมาณกับน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการทำแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกที่เฉลี่ย (ตารางที่ 31) ได้จากการเก็บข้อมูลน้ำหนักบรรทุกคงที่ของเสาแต่ละตำแหน่งที่ได้จากการเก็บรวบรวมจากอาคาร 6 อาคาร มาใช้ประมาณน้ำหนักที่กระทำกับเสาแต่ละต้น

นำค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาแต่ละตำแหน่งมาประมาณน้ำหนักที่กระทำกับเสา แล้วเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ โดยขั้นตอนการหาน้ำหนักของอาคารจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของอาคารนั้น หาได้ดังตัวอย่างที่ 14

ตัวอย่างที่ 14 คำนวณน้ำหนักที่ถ่ายลงเสาของอาคารสาธารณะ 2 โดยเสาเป็นตอม่อ เป็นเสามุมพื้นที่รับน้ำหนักรวม(ตอม่อ – คานฟ้า)ทั้งหมดเท่ากับ 41 ตารางเมตร

วิธีทำ

$$\begin{aligned}
 \text{เสามุม น้ำหนักบรรทุกคงที่} &= 1240.77 && \text{kg/m}^2 \\
 \text{น้ำหนักบรรทุกจร} &= 300 && \text{kg/m}^2 \\
 \text{พื้นที่รับน้ำหนักรวม} &= 41 && \text{m}^2 \\
 \text{น้ำหนักที่กระทำกับเสา (Factor Load)} &= (1.4(1240.77 \times 41) + 1.7(300 \times 41))/1000 \\
 &= 92.13 && \text{ton.}
 \end{aligned}$$

หลังจากได้น้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสาทุกๆ ด้านแล้ว จึงนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของน้ำหนักเสา ระหว่างน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสาจากการประมาณกับน้ำหนักที่ได้จากการทำแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยคอมพิวเตอร์ ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 66

ตารางที่ 66 เปรียบเทียบน้ำหนักที่ได้จากการประมาณกับน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลอง

อาคาร	ประเภท	ชื่อเสา	ชั้น	ตำแหน่ง	หน้าตัด		พื้นที่รับ Load ทุกชั้น (m ²)	กำลังรับน้ำหนักของเสา (ton)			เปอร์เซ็นต์ต่าง(%)	
					กว้าง (cm)	ลึก (cm)		ประมาณ น้ำหนัก	Model น้ำหนัก	หน้าตัดจริง	ประมาณ น้ำหนัก	Model กับหน้าตัดจริง
สาธารณะ2	เสามุม	C1	0 - 1	A1	30	50	41	100.01	77.71	327.56	28.70	76.28
สาธารณะ2	เสานอก	C2	0 - 1	A2	40	50	124	198.19	219.61	452.25	9.75	51.44
สาธารณะ2	เสานอก	C3	0 - 1	A3	40	50	166	240.04	256.92	489.20	6.57	47.48
สาธารณะ2	เสานอก	C4	0 - 1	A4	50	50	173	242.26	254.37	635.66	4.76	59.98
สาธารณะ2	เสานอก	C4	0 - 1	A5	50	50	155	174.43	185.00	635.66	5.71	70.90
สาธารณะ2	เสานอก	C3	0 - 1	A6	40	50	130	191.67	213.94	489.20	10.41	56.27
สาธารณะ2	เสานอก	C2	0 - 1	A7	40	50	98	171.45	184.62	452.25	7.13	59.18

ตารางที่ 66 (ต่อ)

อาคาร	ประเภท	ชื่อ เสา	ชั้น	ตำแหน่ง	หน้าตัด		กำลังรับน้ำหนักของ เสา (ton)			เปอร์เซ็นต์ต่าง(%)		
					กว้าง (cm)	ลึก (cm)	พื้นที่รับ Load ทุก ชั้น (m ²)	ประมาณ น้ำหนัก Model	น้ำหนัก Model ตัดจริง	ประมาณ น้ำหนัก เทียบกับ โมเดล	Model กับหน้า ตัดจริง	
อาคารณะ2	เสามุม	C1	0 - 1	A8	30	50	33	89.08	68.59	327.56	29.87	79.06
อาคารณะ2	เสาใน	C2	0 - 1	B1	40	50	74	115.30	132.83	452.25	13.20	70.63
อาคารณะ2	เสานอก	C4	0 - 1	B2	50	50	184	243.21	265.42	635.66	8.367	58.25
อาคารณะ2	เสาใน	C5	0 - 1	B3	50	60	220	210.91	259.10	756.48	18.60	65.75
อาคารณะ2	เสาใน	C5	0 - 1	B4	50	60	220	183.63	224.29	756.48	18.13	70.35
อาคารณะ2	เสาใน	C5	0 - 1	B5	50	60	198	106.67	130.18	756.48	18.06	82.79

ตารางที่ 67 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ต่างของน้ำหนักที่ได้จากการประมาณกับน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลอง

อาคาร	เปอร์เซ็นต์ต่างน้ำหนักจากการ ประมาณน้ำหนักเปรียบเทียบกับ แบบจำลอง (%)	เปอร์เซ็นต์ต่างน้ำหนักจาก แบบจำลองเปรียบเทียบกับ น้ำหนักหน้าตัดจริง(%)
อาคารณะ 2	11.88	75.70
บ้าน 3 ชั้น	49.28	69.19

จากการประมาณน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสาแต่ละต้นเพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ ของอาคารตัวอย่าง (อาคารอาคารณะ2) โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของน้ำหนักที่ได้จากการประมาณกับแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ เท่ากับ 11.88 เปอร์เซ็นต์ และค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกจากแบบจริงเปรียบเทียบกับน้ำหนักจากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 75.70 เปอร์เซ็นต์

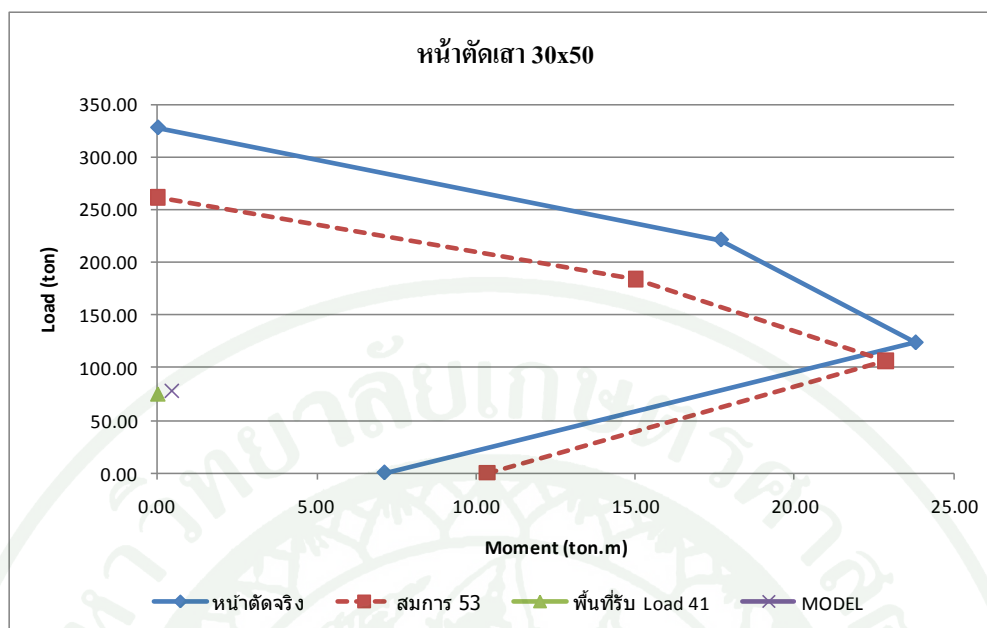
จากการประมาณน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสาแต่ละต้นเพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ ของอาคารตัวอย่าง (บ้าน 3 ชั้น) โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของน้ำหนักที่ได้จากการประมาณกับแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ เท่ากับ 49.28 เปอร์เซ็นต์ และค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากแบบจริงเปรียบเทียบกับน้ำหนักจากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 69.19 เปอร์เซ็นต์

ค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากแบบจริงเปรียบเทียบกับน้ำหนักจากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของอาคารตัวอย่าง ที่มีค่าเฉลี่ยสูงเนื่องจากการเปรียบเทียบระหว่าง น้ำหนักในแนวแกนที่หน้าตัดเสารับได้ เพียงอย่างเดียว จึงทำให้ค่าน้ำหนักที่รับได้ของหน้าตัดจึงมีค่าสูงมาก ถ้าหากพิจารณากำลังของหน้าตัดเสาในการรับทั้งน้ำหนักบรรทุกและรับ โมเมนต์ดัดร่วมด้วย ค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากแบบจริงกับจากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ น่าจะมีค่าใกล้เคียงกันยิ่งขึ้น

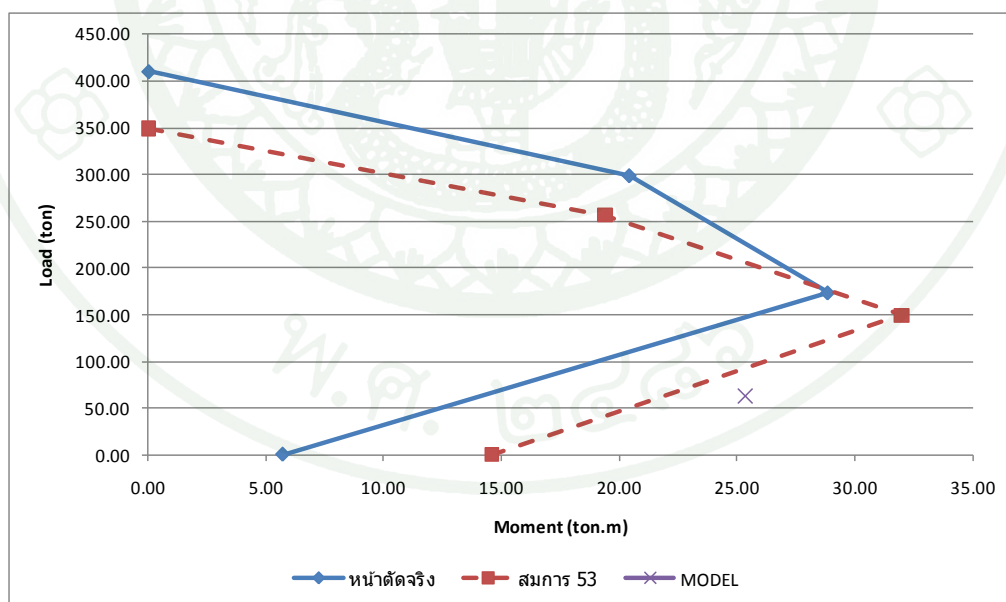
6.2.5 กราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดจริงเปรียบเทียบกับค่าแรงที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้าง

อาคารสาธารณะ 2

นำค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์กับหน้าตัดเสาแต่ละต้นมาใส่ในกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาจริงของอาคารสาธารณะ 2 ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 48



ภาพที่ 48 ตัวอย่าง Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาที่ได้จากหน้าตัดจริง, จากการประมาณ, คำนวณน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และจากการประมาณค่าจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของอาคาร สาธารณะ 2

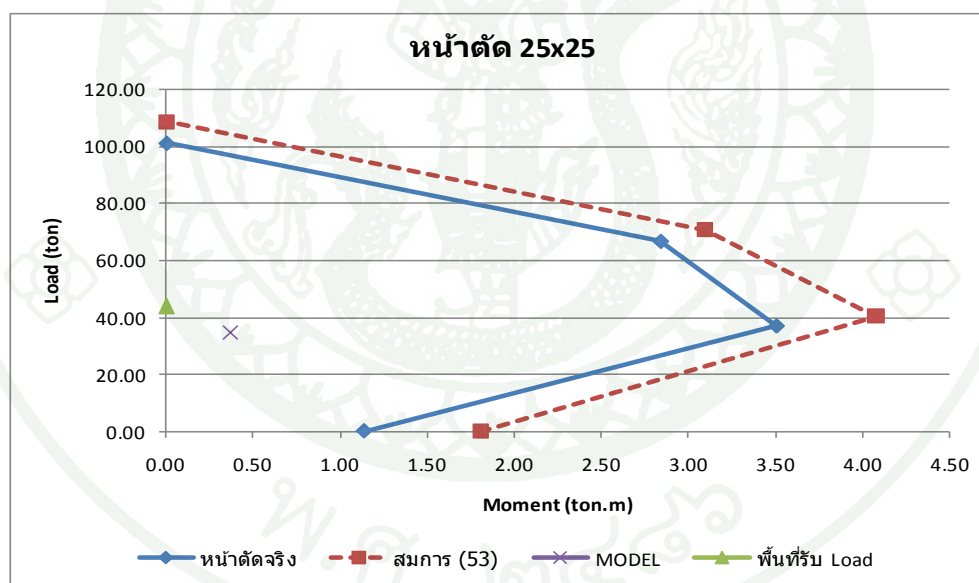


ภาพที่ 49 ตัวอย่าง Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาที่ได้จากหน้าตัดจริง, จากการประมาณ, คำนวณน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่อยู่นอก Interaction Diagram ของ อาคารสาธารณะ 2

หลังจากนำค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ กับหน้าตัดเสาแต่ละต้นมาใส่ในกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาจริงของอาคารสาธารณะ 2 จากหน้าตัดเสาทั้งหมด 110 ต้น พบว่ามีแรงที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่ามากกว่าค่าแรงที่รับได้จากหน้าตัดจริงจำนวน 6 ต้น และพบว่าพบว่ามีแรงที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่ามากกว่าค่าแรงที่รับได้จากการสมการประมาณเปอร์เซ็นต์เหล็กจำนวน 2 ต้น

บ้าน 3 ชั้น

นำค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์กับหน้าตัดเสาแต่ละต้นมาใส่ในกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาจริงของอาคารบ้าน 3 ชั้น ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 50



ภาพที่ 50 ตัวอย่าง Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาที่ได้จากหน้าตัดจริง, จากการประมาณ, คำนวณที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และจากการประมาณค่าจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของอาคารบ้าน 3 ชั้น

หลังจากนำค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ กับหน้าตัดเสาแต่ละต้นมาใส่ในกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาจริงของอาคารบ้าน 3 ชั้น จากหน้าตัดเสาทั้งหมด 57 ต้น พบว่าค่าแรงที่กระทำกับหน้าตัดเสาที่ได้จากการวิเคราะห์ โครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีค่าน้อยกว่า กราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดจริงและ จากการประมาณ

หลังจากนำค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ กับหน้าตัดเสาแต่ละต้นมาใส่ในกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาจริงของอาคารทั้ง 2 อาคาร พบว่ามีแรงที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่ามากกว่าค่าแรงที่รับได้จากหน้าตัดจริง(อยู่ภายนอกพื้นที่ Interaction Diagram)จากอาคาร สาธารณะ 2 จำนวน 6 ต้น และพบว่ามีแรงที่แบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีค่ามากกว่าค่าแรงที่รับได้จากการสมการประมาณเปอร์เซ็นต์เหล็ก จำนวน 2 ต้น สำหรับเสาที่มีอยู่ แรงกระทำอยู่ภายในพื้นที่ Interaction Diagram (ตัวอย่างภาพที่ 48) นั้น แสดงว่าเสานั้นสามารถรับ แรงได้ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ได้ ส่วนเสาที่มีอยู่แรงกระทำอยู่นอก พื้นที่ Interaction Diagram (ตัวอย่างภาพที่ 49) นั้น แสดงว่าเสาอาจจะไม่สามารถรับแรงได้ได้จาก การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ได้ซึ่งก็มีส่วนน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงพอสามารถอนุมาน ได้ว่าการใช้สมการประมาณปริมาณเหล็กในหน้าตัดเสาสามารถนำไปใช้ในการประมาณหาปริมาณ เหล็กเสริมในหน้าตัดเสาเพื่อใช้ในการประมาณกำลังรับแรงของหน้าตัดเสาได้

6.2.6 วิเคราะห์ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (p_r) ของกำลังโครงสร้างเสา

1) วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของค่าประมาณน้ำหนักที่กระทำต่อหน้าตัดเสาจาก พื้นที่การรับน้ำหนักรวมทั้งหมด โดยวิเคราะห์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำกับเสาด้านนั้นๆที่ได้จาก แบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการประมาณจาก พื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสาด้านนั้น โดยมีตัวอย่างการคำนวณ การหาค่าความสอดคล้องกับการ ประมาณ (p_r) ดังนี้

ตัวอย่างที่ 15 อาคารสาธารณะ 2 เสาขนาด 40x50 cm. ตำแหน่ง B1 เป็นเสาใน มีพื้นที่รับน้ำหนัก 5 ชั้น รวม 74 m^2 น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับเสาคือ 63.35 ton.

วิธีทำ

จากตารางน้ำหนักบรรทุกคงที่ของของเสาแต่ละตำแหน่งจากอาคารพักอาศัย 6 อาคาร

พื้นที่รับน้ำหนักรวม = 74 m^2

ประมาณน้ำหนักที่กระทำกับเสา = $817.49 \times 74 = 60.49$ ton.

จากสูตร

$$P_f = \phi \left[\frac{\mu_s - \mu_R}{(\sigma_R^2 + \sigma_S^2)^{1/2}} \right]$$

μ_s = 60.49 (ค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่จากการประมาณ)

μ_R = 63.35 (ค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำกับเสา)

σ_R^2 = 0

σ_S^2 = 71.50 kg/m^2

$$P_f = \phi \left[\frac{60.49 - 63.35}{(0^2 + 71.50^2)^{1/2}} \right]$$

$$P_f = \phi (-0.121) = 0.45$$

2) หาค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (pf) ของหน้าตัดคาน เหล็กทั้งอาคารของอาคารทั้งหมดที่จัดเก็บข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 68

ตารางที่ 68 ตัวอย่างค่าความสอดคล้องกับการประมาณ (p_f) ของน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสา ระหว่างน้ำหนักบรรทุกคงที่ ที่กระทำกับเสากับน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวม

อาคาร	ชื่อ เสา	จำนวนชั้น ที่รองรับ น้ำหนัก	ชั้น	ตำแหน่ง	หน้าตัด		ความสูง ระหว่าง ชั้น (m)	พื้นที่รับ Load รวม(m^2)	DEAD Load (ton)	Load ประมาณ (ton)	p_f
					กว้าง (cm)	สูง (cm)					
สาธารณะ 2	C1	5	0 - 1	A1	30	50	3	41	42.72	51.18	0.51
สาธารณะ 2	C2	5	0 - 1	A2	40	50	3	124	108.51	117.34	0.57
สาธารณะ 2	C3	5	0 - 1	A3	40	50	3	166	131.42	156.76	0.68
สาธารณะ 2	C4	5	0 - 1	A4	50	50	3	173	132.64	163.37	0.71
สาธารณะ 2	C4	5	0 - 1	A5	50	50	3	155	95.50	146.38	0.83
สาธารณะ 2	C3	4	0 - 1	A6	40	50	3	130	104.94	122.77	0.63
สาธารณะ 2	C2	4	0 - 1	A7	40	50	3	98	93.87	92.55	0.49
สาธารณะ 2	C1	4	0 - 1	A8	30	50	3	33	38.05	40.95	0.50
สาธารณะ 2	C2	5	0 - 1	B1	40	50	3	74	69.35	60.70	0.45
สาธารณะ 2	C4	5	0 - 1	B2	50	50	3	184	133.16	174.00	0.77
สาธารณะ 2	C5	5	0 - 1	B3	50	60	3	220	126.86	179.85	0.77

ตารางที่ 69 ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(p_f)ของน้ำหนักที่กระทำกับเสา (เปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักจากแบบจำลองกับน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวม)

อาคาร	p_f
อาคาร 2	0.60
บ้าน 3 ชั้น	0.55

จากตารางที่ 69 ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ(p_f)เฉลี่ยของน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสา ระหว่างน้ำหนักจากแบบจำลองกับน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของอาคารอาคาร 2 มีค่า p_f เท่ากับ 0.60 อาคาร บ้าน 3 ชั้น มีค่า p_f เท่ากับ 0.55 ซึ่งมากกว่า 0.5 แสดงว่าค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำต่อหน้าตัดเสาที่ได้จากการประมาณนั้นโดยเฉลี่ยแล้วจะให้ค่าสูงกว่าน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสาจริง

6.3 พื้น

6.3.1 จัดเก็บข้อมูล

จัดเก็บข้อมูลแผ่นพื้นของอาคารอาคาร 2 และอาคารบ้าน 3 ชั้น โดยข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วย ขนาดของแผ่นพื้น (กว้างxยาวx หนา) ปริมาณเหล็กเสริม (A_s) กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (f_c') กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (f_y) แล้วจึงนำข้อมูลแผ่นพื้นที่จัดเก็บมาคำนวณหาลำกำลังรับโมเมนต์ดัดของแผ่นพื้น รวมทั้งคำนวณหาน้ำหนักที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดได้ของแผ่นพื้นนั้นๆ ด้วย แล้วจึงนำมาหาค่าอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น(R) ของแต่ละอาคาร โดยน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นประมาณจากน้ำหนักของตัวแผ่นพื้นเอง รวมกับ น้ำหนักจรของแผ่นพื้นตามข้อกำหนดของ วสท. ของอาคารแต่ละประเภท ดังแสดงตัวอย่าง ของข้อมูลแผ่นพื้นดังตารางที่ 70

6.3.2 น้ำหนักโดยประมาณที่แผ่นพื้นรับได้

จากสมการที่ (56) สมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นที่ใช้ในการประมาณน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น (W_u) โดยเป็นสมการยกกำลัง ดังนี้

$$\text{แผ่นพื้นสองทาง} \quad W_u = 10156(A)^{-0.719} \quad ; x \geq 14 \quad (56)$$

จากสมการที่ (57) และ (58) สมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นจากปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุด ($\rho_{\min}$) ที่ใช้ในการประมาณน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น โดยเป็นสมการยกกำลัง ดังนี้

$$\text{แผ่นพื้นทางเดียว} \quad W_u = 3127.7(A)^{-0.319} \quad (57)$$

$$\text{แผ่นพื้นสองทาง} \quad W_u = 6489.4(A)^{-0.767} \quad ; x < 14 \quad (58)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ของแผ่นพื้น (m^2)

W_u คือ น้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น (kg/m^2)

จากสมการที่ (56) ถึง (58) เป็นสมการที่ใช้ในการประมาณกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น สำหรับแผ่นพื้นทางเดียวและแผ่นพื้นสองทาง โดยสมการสำหรับประมาณกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้นนั้นสำหรับแผ่นพื้นทางเดียวจะใช้สมการที่ (57) ซึ่งเป็นสมการของปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุด ($\rho_{\min}$) ส่วนแผ่นพื้นสองทางนั้นจะใช้สมการที่ (58) ซึ่งเป็นสมการของปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุด ($\rho_{\min}$) ในการประมาณสำหรับแผ่นพื้นที่มีพื้นที่ไม่เกิน $14 m^2$ ถ้าเกิน $14 m^2$ จะใช้สมการที่ (56) ในการประมาณน้ำหนัก ดังแสดงตัวอย่างในการประมาณน้ำหนักดังตัวอย่างที่ 16

ตัวอย่างที่ 16 แสดงการประมาณหาน้ำหนักที่เกิดขึ้นจากข้อกำหนดและคำนวณหาน้ำหนักที่แผ่นพื้นรับได้จากสมการสำหรับประมาณน้ำหนัก

แผ่นพื้นขนาด $2.75 \times 8.00 m$, หนา $10 cm$, เป็นแผ่นพื้นประเภทพื้นทางเดียว

แผ่นพื้นขนาด $3.00 \times 5.50 m$, หนา $12 cm$, เป็นแผ่นพื้นประเภทพื้นสองทาง

แผ่นพื้นขนาด $2.25 \times 4.00 m$, หนา $15 cm$, เป็นแผ่นพื้นประเภทพื้นสองทาง

วิธีทำ

แผ่นพื้นขนาด 2.75x8.00 m. เป็นแผ่นพื้นประเภทพื้นทางเดียว พื้นที่ = 22 m²

$$\begin{aligned}
 \text{ประมาณน้ำหนัก} &= 1.4\text{DL} + 1.7\text{LL} \\
 &= 1.4(240 + 50) + 1.7(300) \\
 &= 916 \quad \text{kg/m}^2 \\
 \text{จากสมการที่ (57) } W_u &= 3127.7(A)^{-0.319} \\
 &= 3127.7 \times 22^{-0.319} \\
 &= 1167 \quad \text{kg/m}^2
 \end{aligned}$$

แผ่นพื้นขนาด 3.00x5.50 m. เป็นแผ่นพื้นประเภทพื้นสองทาง พื้นที่ = 16.50 m²

$$\begin{aligned}
 \text{ประมาณน้ำหนัก} &= 1.4\text{DL} + 1.7\text{LL} \\
 &= 1.4(288 + 50) + 1.7(300) \\
 &= 983 \quad \text{kg/m}^2 \\
 \text{จากสมการที่ (4-2) } W_u &= 10156(A)^{-0.719} \\
 &= 10156 \times 16.50^{-0.719} \\
 &= 1353 \quad \text{kg/m}^2
 \end{aligned}$$

แผ่นพื้นขนาด 2.25x4.00 m. เป็นแผ่นพื้นประเภทพื้นสองทาง พื้นที่ = 9 m²

$$\begin{aligned}
 \text{ประมาณน้ำหนัก} &= 1.4\text{DL} + 1.7\text{LL} \\
 &= 1.4(360 + 50) + 1.7(300) \\
 &= 1084 \quad \text{kg/m}^2 \\
 \text{จากสมการที่ (4-4) } W_u &= 6489.4(A)^{-0.767} \\
 &= 6489.4 \times 9^{-0.767} \\
 &= 1203 \quad \text{kg/m}^2
 \end{aligned}$$

หลังจากเก็บข้อมูลแผ่นพื้น และคำนวณหาน้ำหนักที่กระทำกับแผ่นพื้นแล้วเสร็จ
จึงจัดเก็บข้อมูลดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 70 ตารางบันทึกข้อมูลแผ่นพื้นอาคารสาธารณะ 2

อาคาร	ชื่อ แผ่น พื้น	ชั้น	ขนาด			พื้นที่ (m ²)	จำนวน	ประเภทพื้น	โมเมนต์คดที่รับได้ช่วงสั้น (kg.m)			โมเมนต์คดที่รับได้ช่วงยาว (kg.m)			น้ำหนักที่รับได้ (Wu)ช่วงสั้น kg/m ²			น้ำหนักที่รับได้(Wu) ช่วงยาว kg/m ²			น้ำหนักที่ รับได้ (Wu) kg/m ²	ประมาณ น้ำหนักที่ เกิดขึ้น (Wu) kg/m ²	ประมาณ น้ำหนักที่ รับได้ จาก สมการ (Wu)kg/m ² 2	R	R _{app}
			กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	หนา (cm.)				ขอบคาน ตัวใน	ระหว่าง ช่วงพื้น	ขอบของ คานขอบ	ขอบคาน ตัวใน	ระหว่าง ช่วงพื้น	ขอบของ คานขอบ	ขอบคาน ตัวใน	ระหว่าง ช่วงพื้น	ขอบของ คานขอบ	ขอบคาน ตัวใน	ระหว่าง ช่วงพื้น	ขอบของ คานขอบ					
สาธารณะ2	S1	1	275	800	10	22.00	1	One Way Slab	491.06	1022.63	298.69				584.40	1893.12	947.90				1893	916	1167	2.07	1.27
สาธารณะ2	S3	2	300	550	12	16.50	2	Two Way Slab	2193.08	2193.08	2193.08	479.23	479.23	479.23	3880.18	5119.22	7760.35	918.06	1210.17	1836.12	3880	983.2	1353	3.95	1.38
สาธารณะ2	S3	2	300	475	12	14.25	1	Two Way Slab	2193.08	2193.08	2193.08	479.23	479.23	479.23	3880.18	5119.22	7760.35	918.06	1210.17	1836.12	3880	983.2	1504	3.95	1.53
สาธารณะ2	S3	2	75	300	12	2.25	1	One Way Slab	479.23	479.23	479.23				7667.64	11927.44	20447.04				11927	983.2	2415	12.13	2.46
สาธารณะ2	S4	2	175	800	12	14.00	4	One Way Slab	714.78						466.80						467	983.2	1348	0.47	1.37
สาธารณะ2	S5	2	145	800	12	11.60	5	One Way Slab	860.99						819.01						819	983.2	1431	0.83	1.46
สาธารณะ2	S4	3	215	800	12	17.20	2	One Way Slab	584.82						253.03						253	983.2	1262	0.26	1.28
สาธารณะ2	S4	3	145	800	12	11.60	3	One Way Slab	860.99						819.01						819	983.2	1431	0.83	1.46
สาธารณะ2	S6	4	300	550	15	16.50	14	Two Way Slab	1125.00	1673.44	1125.00	829.69	1125.00	829.69	1940.99	3810.19	3881.99	1589.44	2840.91	3178.88	1589	1084	1353	1.47	1.25

ตารางที่ 70 (ต่อ)

อาคาร	ชื่อ แผ่น พื้น	ชั้น	ขนาด			พื้นที่ (m ²)	จำนวน	ประเภทพื้น	โมเมนต์ดัดที่รับได้ช่วงสั้น			โมเมนต์ดัดที่รับได้ช่วงยาว			น้ำหนักที่รับได้ (Wu)ช่วงสั้น			น้ำหนักที่รับได้(Wu) ช่วงยาว			น้ำหนักที่ รับได้ (Wu) kg/m ²	ปริมาณ น้ำหนักรู้ เกิดขึ้น kg/m ²	ปริมาณ น้ำหนักรู้ รับได้ จาก สมการ (Wu)kg/m2	R	R _{app}	
			กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	หนา (cm.)				ขอบคาน ตัวใน	ระหว่าง ช่วงพื้น	ขอบของ คานขอบ	ขอบคาน ตัวใน	ระหว่าง ช่วงพื้น	ขอบของ คานขอบ	ขอบคาน ตัวใน	ระหว่าง ช่วงพื้น	ขอบของ คานขอบ	ขอบคาน ตัวใน	ระหว่าง ช่วงพื้น	ขอบของ คานขอบ						
สาธารณะ2	S6	4	400	550	15	2200	10	TwoWay Slab	1125.00	1673.44	1125.00	829.69	1125.00	829.69	1091.81	2143.23	2183.62	894.06	1598.01	1788.12	894	1084	1100	0.82	1.02	
สาธารณะ2	S44	4	170	800	13	13.60	6	One Way Slab	1418.92						1349.74						1350	1017	1360	1.33	1.34	
สาธารณะ2	S6	5	300	55	15	16.5	2	Two Way Slab	1125.0	1673.4	1125.0	829.69	1125.00	829.69	1940.99	3810.19	3881.99	1589.44	2840.91	3178.88	1589	1084	1353	1.47	1.25	
สาธารณะ2	S01	5	175	80	10	14.0	3	One Way Slab	1190.7						777.60						778	916	1348	0.85	1.47	
สาธารณะ2	S0	5	280	80	12	22.4	3	Cantileve r Slab	454.86						116.04						116	983		0.12	0.00	
สาธารณะ2	S7	6	165	24	20	4.04	1	Two Way Slab	2067.1	3665.8	2067.1	1626.1	1626.19	1626.1	11232.2	26298.5	22464.4	10298.5	13575.3	20597.0	26299	1252	2223	21.0	1.78	
			5					One Way Slab	9	1	9	9		9	1	9	2	2	2	4				1		
								Two Way Slab																เฉลี่ย	1.35	1.43
								Two Way Slab																เฉลี่ย	2.23	1.19

ตารางที่ 71 ตารางบันทึกข้อมูลแผ่นพื้นอาคารบ้าน 3 ชั้น

อาคาร	ชื่อ แผ่น พื้น	ชั้น	ขนาด			พื้นที่ (m ²)	จำนวน	ประเภทพื้น	โมเมนต์คดที่รับได้ช่วงสั้น			โมเมนต์คดที่รับได้ช่วงยาว			น้ำหนักที่รับได้ (Wu)ช่วงสั้น			น้ำหนักที่รับได้(Wu) ช่วงยาว			น้ำหนักที่ รับได้ (Wu) kg/m ²	ประมาณ น้ำหนักที่ เกิดขึ้น (Wu) kg/m ²	ประมาณ น้ำหนักที่ รับได้ จาก สมการ (Wu)kg/m2	R	R _{app}
			กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	หนา (cm.)				ขอบคาน ตัวใน	ระหว่าง ช่วงพื้น	ขอบของ คานขอบ	ขอบคาน ตัวใน	ระหว่าง ช่วงพื้น	ขอบของ คานขอบ	ขอบคาน ตัวใน	ระหว่าง ช่วงพื้น	ขอบของ คานขอบ	ขอบคาน ตัวใน	ระหว่าง ช่วงพื้น	ขอบของ คานขอบ					

บ้าน 3 ชั้น	S1	1	190	400	10	7.60	1	One Way Slab	399.94	399.94	399.94	-	-	-	997.07	1551.00	2658.86	-	-	-	997	746	1638	1.34	2.20
บ้าน 3 ชั้น	S1	1	120	200	10	2.40	1	Two Way Slab	399.94	399.94	399.94	293.63	496.13	293.63	3085.94	4084.33	6171.88	3515.63	7830.26	7031.25	3086	746	3316	4.14	4.44
บ้าน 3 ชั้น	S1	1	80	4.45	10	0.04	1	Two Way Slab	399.94	399.94	399.94	-	-	-	5624.12	8748.63	14997.66	-	-	-	5624	746	83800	7.54	112.33
บ้าน 3 ชั้น	RS	2	120	400	10	4.80	1	One Way Slab	496.13	668.25	496.13	-	-	-	3100.78	6496.88	8268.75	-	-	-	3101	746	1896	4.16	2.54
บ้าน 3 ชั้น	RS	2	200	400	10	8.00	1	Two Way Slab	496.13	668.25	496.13	293.63	496.13	293.63	1265.63	2257.60	2531.25	1265.63	2818.89	2531.25	1266	746	1317	1.70	1.77
บ้าน 3 ชั้น	S1	2	110	194	10	2.13	2	Two Way Slab	399.94	399.94	399.94	496.13	496.13	496.13	3577.13	4735.34	7154.26	7069.32	9318.65	14138.64	3577	746	3628	4.80	4.86
บ้าน 3 ชั้น	S1	2	194	335	10	6.50	2	Two Way Slab	399.94	399.94	399.94	-	-	-	997.07	1551.00	2658.86	-	-	-	997	746	1544	1.34	2.07
บ้าน 3 ชั้น	S1	2	145	400	10	5.80	1	Two Way Slab	399.94	399.94	399.94	-	-	-	1711.98	2663.08	4565.28	-	-	-	1712	746	1685	2.29	2.26
บ้าน 3 ชั้น	S1	2	110	475	10	5.23	1	One Way Slab	399.94	399.94	399.94	-	-	-	2974.74	4627.38	7932.64	-	-	-	2975	746	1846	3.99	2.47
บ้าน 3 ชั้น	S1	3	225	400	10	9.00	1	Two Way Slab	399.94	399.94	399.94	399.94	399.94	399.94	847.64	1122.16	1695.28	1362.07	1795.45	2724.14	848	746	1203	1.14	1.61

ตารางที่ 71 (ต่อ)

อาคาร	ชื่อ แผ่น พื้น	ชั้น	ขนาด			พื้นที่ (m ²)	จำนวน	ประเภทพื้น	โมเมนต์คดที่รับได้ช่วงสั้น			โมเมนต์คดที่รับได้ช่วงยาว			น้ำหนักที่รับได้ (Wu)ช่วงสั้น			น้ำหนักที่รับได้(Wu) ช่วงยาว			น้ำหนักที่ รับได้ (Wu) kg/m ²	ประมาณ น้ำหนักที่ เกิดขึ้น (Wu) kg/m ²	ประมาณ น้ำหนักที่ รับได้ จาก สมการ (Wu)kg/m2	R	R _{app}
			กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	หนา (cm.)				(kg.m)	(kg.m)	kg/m2	kg/m2	น้ำหนักที่ รับได้ (Wu) kg/m ²												
บ้าน 3 ชั้น	S1	3	220	400	10	8.80	1	Two Way Slab	399.94	399.94	399.94	399.94	399.94	399.94	879.06	1163.83	1758.12	1424.68	1877.99	2849.37	879	746	1224	1.18	1.64
บ้าน 3 ชั้น	RS	3	70	445	10	3.12	1	One Way Slab	496.13	668.25	496.13	-	-	-	9112.50	19092.86	24300.00	-	-	-	9113	746	2177	12.22	2.92
บ้าน 3 ชั้น	RS	3	110	475	10	5.23	1	One Way Slab	496.13	668.25	496.13	-	-	-	3690.19	7731.82	9840.50	-	-	-	3690	746	1846	4.95	2.47
บ้าน 3 ชั้น	RS	3	395	400	10	15.80	1	Two Way Slab	496.13	668.25	496.13	496.13	668.25	496.13	943.55	1679.60	-	963.57	1713.19	-	944	746	781	1.26	1.05
บ้าน 3 ชั้น	RS	3	395	420	10	16.59	1	Two Way Slab	496.13	668.25	496.13	496.13	668.25	496.13	943.55	1679.60	-	963.57	1713.19	-	944	746	753	1.26	1.01
บ้าน 3 ชั้น	RS	3	100	400	10	4.00	1	One Way Slab	496.13	668.25	496.13	-	-	-	4465.13	9355.50	11907.00	-	-	-	4465	746	2010	5.99	2.69
บ้าน 3 ชั้น	RS	3	100	420	10	4.20	1	One Way Slab	496.13	668.25	496.13	-	-	-	4465.13	9355.50	11907.00	-	-	-	4465	746	1979	5.99	2.65
								One Way Slab															เฉลี่ย	5.52	2.56
								Two Way Slab															เฉลี่ย	3.01	2.73

หลังจากคำนวณหาน้ำหนักที่กระทำกับแผ่นพื้นและน้ำหนักที่แผ่นพื้นรับได้จากสมการที่ (56) ถึง (58) ของอาคารสาธารณะ 2 และอาคารบ้าน 3 ชั้น แล้ว จึงนำมาหาค่าอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (R) และอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นจากสมการประมาณกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น (สมการที่ 56 ถึง 58) ต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (R_{app}) ของอาคารสาธารณะ 2 และอาคารบ้าน 3 ชั้น ดังแสดงในตารางที่ 72

ตารางที่ 72 ค่า R และ R_{app} เฉลี่ยของอาคารสาธารณะ 2 และบ้าน 3 ชั้น

อาคาร	ชนิดแผ่นพื้น	R	R_{app}
สาธารณะ 2	One Way Slab	1.35	1.43
	Two Way Slab	2.23	1.19
บ้าน 3 ชั้น	One Way Slab	5.52	2.56
	Two Way Slab	3.01	2.73

จากการหาค่าอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (R) และอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นจากสมการประมาณกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น (สมการที่ 56 ถึง 58) ต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (R_{app}) ของอาคารสาธารณะ 2 และอาคารบ้าน 3 ชั้น พบว่าทั้งค่า R และค่า R_{app} นั้น มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าน้ำหนักที่กระทำกับแผ่นพื้นจากการประมาณมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นจากการคำนวณจากแบบก่อสร้างจริงของแผ่นพื้น และน้อยกว่าค่าประมาณน้ำหนักที่แผ่นพื้นรับได้จากสมการประมาณกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น (สมการ 56 ถึง 58) ซึ่งช่วยให้สามารถประมาณกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของแผ่นพื้นได้ โดยการประมาณค่าน้ำหนักที่แผ่นพื้นรับได้นั้น ยังมีความปลอดภัยในการรับน้ำหนักบรรทุกด้วย

6.4 น้ำหนักรวมที่ถ่ายลงฐานราก

สำหรับฐานรานั้นจะจัดเก็บข้อมูลของจำนวนเสาเข็มของฐานรากแต่ละฐานเพื่อคำนวณหาน้ำหนักที่ฐานรากแต่ละฐานที่รับได้ เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่กระทำกับฐานรากที่ได้

จากแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยคอมพิวเตอร์ และน้ำหนักที่ได้จากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของหน้าตัดเสา ดังแสดงในตารางที่ 73

ตารางที่ 73 น้ำหนักที่กระทำกับฐานรากแต่ละฐานสูงสุด จากอาคาร สาธารณะ 2 และบ้าน 3 ชั้น

อาคาร	ฐาน ราก	จำนวน เข็ม	เข็มรับ น้ำหนัก ปลอดภัย/ ค้ำ	รับ น้ำหนัก ได้ SF = 2 (ton)	น้ำหนักจาก แบบจำลอง สูงสุด(ton)	น้ำหนัก จากการ ประมาณ สูงสุด (ton)	อัตราส่วน น้ำหนักที่รับได้ ต่อน้ำหนักจาก แบบจำลอง	อัตราส่วน น้ำหนักที่รับ ได้ต่อ น้ำหนักจาก การประมาณ
สาธารณะ 2	F1	1	50	100	77.71	100.01	1.29	1.00
สาธารณะ 2	F2	1	130	260	219.61	198.19	1.18	1.31
สาธารณะ 2	F3	2	90	360	263.62	254.15	1.37	1.42
สาธารณะ 2	F4	2	125	700	265.42	252.86	2.64	2.77
สาธารณะ 2	F5	2	125	700	259.10	210.91	2.70	3.32
บ้าน 3 ชั้น	F1	1	30	60	79.030	128.24	0.76	0.47

จากตารางที่ 73 น้ำหนักที่กระทำกับฐานรากแต่ละฐานสูงสุด จากอาคารสาธารณะ 2 และอาคารบ้าน 3 ชั้น พบว่าเมื่อหาค่าอัตราส่วนน้ำหนักที่รับได้ของฐานรากต่อน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่ามีเฉพาะอาคารบ้าน 3 ชั้น ฐานราก F1 เท่านั้น ที่มีค่าต่ำกว่า 1 และค่าอัตราส่วนน้ำหนักที่รับได้ของฐานรากต่อน้ำหนักจากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของหน้าตัดเสา พบว่ามี อาคารบ้าน 3 ชั้น ฐานราก F1 ที่มีค่าต่ำกว่า 1 ซึ่งค่าการรับน้ำหนักเสาเข็มของฐานรากอาจจะใกล้เคียงกับการประมาณและใกล้เคียงจากแบบจำลองโปรแกรมด้วยคอมพิวเตอร์ด้วย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการเก็บข้อมูลอาคารทั้ง 7 อาคาร ประกอบด้วยอาคารพักอาศัย จำนวน 5 อาคาร และอาคารสาธารณะ 2 อาคาร เพื่อรวบรวมข้อมูลหน้าตัดของอาคารต่างๆ คาน, เสา, พื้น และฐานราก เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างสมการเพื่อประมาณกำลังการรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน, ประมาณปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา เพื่อใช้ในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักและโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสา, หาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รับน้ำหนักกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น และประมาณน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่ฐานราก โดยจากการสร้างสมการเพื่อประมาณกำลังของโครงสร้างคาน, เสา พื้น และฐานราก สามารถสรุป การประมาณกำลังขององค์อาคารต่างๆ ได้ดังนี้

1. คาน

สมการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานด้วยสมการ Multi Regression แบบถ่วงน้ำหนัก (ในที่นี้ใช้ 2 ตัวแปรคือ I และ L) จากอาคารพักอาศัย 5 อาคาร

$$\begin{aligned} \text{Simple Beam} & : M_{\text{sup}} = 2893.508(I) - 0.040(L) + 0.762 \\ & M_{\text{mid}} = 3972.827(I) + 0.033(L) + 0.194 \\ \text{Continuous Beam} & : M_{\text{sup}} = 4458.289(I) + 0.177(L) - 1.041 \\ & M_{\text{mid}} = 3903.635(I) + 0.442(L) - 1.151 \\ \text{Cantilever Beam} & : M_{\text{canti}} = 6349.126(I) + 1.328(L) - 4.026 \end{aligned}$$

โดยที่ M_{sup} คือ ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่จุดรองรับ (Support) (ton.m)

M_{mid} คือ ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานที่กึ่งกลางคาน (Middle Span) (ton.m)

M_{canti} คือ ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานของคานยื่น (Cantilever) (ton.m)

I คือ ค่า Moment of Inertia ของหน้าตัด (m^4)

L คือ ความยาวคาน (m)

สมการประมาณกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดคานด้วยสมการ **Multi Regression** แบบถ่วงน้ำหนัก (ในที่นี้ใช้ 2 ตัวแปรคือ **I** และ **L**) จากอาคารพักอาศัย 5 อาคาร + อาคารสาธารณะ 2 อาคาร

$$\begin{aligned} \text{Simple Beam} &: M_{\text{sup}} = 5780.459(I) - 0.328(L) - 0.161 \\ &M_{\text{mid}} = 6215.882(I) - 0.181(L) - 0.718 \\ \text{Continuous Beam} &: M_{\text{sup}} = 5583.900(I) + 0.578(L) - 3.640 \\ &M_{\text{mid}} = 5107.243(I) + 0.748(L) - 3.59 \\ \text{Cantilever Beam} &: M_{\text{canti}} = 6103.758(I) - 0.024(L) - 1.710 \end{aligned}$$

โดยที่ M_{sup} คือ ค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานที่จุดรองรับ (Support) (ton.m)
 M_{mid} คือ ค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานที่กึ่งกลางคาน (Middle Span) (ton.m)
 M_{canti} คือ ค่ากำลังรับโมเมนต์คดของหน้าตัดคานของคานยื่น (Cantilever) (ton.m)
I คือ ค่า Moment of Inertia ของหน้าตัด (m^4)
L คือ ความยาวคาน (m)

โดยจากสมการประมาณกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดคาน เมื่อนำข้อมูลมาประมาณกำลังของหน้าตัดคานและหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยจากการประมาณ และค่าความสอดคล้องจากการประมาณค่า เฉลี่ยทุกอาคาร ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 74 และ 75

ตารางที่ 74 สรุปค่าจากการแทนค่าด้วยวิธีต่างๆ ของหน้าตัดคาน

เปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ย	
ข้อมูลค่าเฉลี่ยหน้าตัด	14.55
สมการ Regression (จากข้อมูลหน้าตัด 5 อาคาร)	19.97
สมการ Multi Regression (จากข้อมูลหน้าตัด 5 อาคาร)	21.70
สมการ Multi Regression (จากข้อมูลหน้าตัด 7 อาคาร)	30.68
โมเดล	
สมการ Multi Regression (จากข้อมูลหน้าตัด 5 อาคาร)	27.45
สมการ Multi Regression (จากข้อมูลหน้าตัด 7 อาคาร)	39.18
ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ	
สมการ Multi Regression (จากข้อมูลหน้าตัด 5 อาคาร)	0.40
สมการ Multi Regression (จากข้อมูลหน้าตัด 7 อาคาร)	0.46

ตารางที่ 75 สรุปค่าจากการแทนค่าด้วยวิธีต่างๆ หน้าตัดคาน ของอาคารตัวอย่าง

เปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ย		
ประเภทข้อมูล	บ้าน 3 ชั้น	อาคารสาธารณะ 4 ชั้น
สมการ Multi Regression (จากข้อมูลหน้าตัด 5 อาคาร)	22.82	32.56
สมการ Multi Regression (จากข้อมูลหน้าตัด 7 อาคาร)	22.93	33.82
โมเดล		
สมการ Multi Regression (จากข้อมูลหน้าตัด 5 อาคาร)	20.87	30.76
สมการ Multi Regression (จากข้อมูลหน้าตัด 7 อาคาร)	27.09	14.06
ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ		
สมการ Multi Regression (จากข้อมูลหน้าตัด 5 อาคาร)	0.28	0.30
สมการ Multi Regression (จากข้อมูลหน้าตัด 7 อาคาร)	0.35	0.49

2. เสา

สมการที่ใช้ในการประมาณค่าปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา

$$\rho = 0.0023(A) + 1.5238$$

โดยค่า A เป็นค่าพื้นที่รับน้ำหนักรวมของเสา (m^2)

ρ เป็นปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา (%)

ตารางที่ 76 น้ำหนักบรรทุกคงที่ของของเสาแต่ละตำแหน่ง (Service Load)

ประเภทเสา	DEAD LOAD (kg/m^2)
เสามุม	1,240.77
เสานอก	944.35
เสาใน	817.49

โดยจากสมการประมาณปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสา เมื่อนำข้อมูลมาประมาณปริมาณเหล็กเสริมและเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยจากการประมาณ และค่าความสอดคล้องจากการประมาณค่า ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 77 และ 78

ตารางที่ 77 สรุปค่าจากการแทนค่าด้วยวิธีต่างๆ ของเสา

ประเภทข้อมูล	เปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ย
เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟ	35.06
โมเดล	
น้ำหนักที่ได้จากการประมาณกับแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์	20.97
น้ำหนักบรรทุกทุกจากแบบจริงเปรียบเทียบกับน้ำหนักจากแบบจำลอง	69.18
ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ P_f	
น้ำหนักที่ได้จากการประมาณกับแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์	0.51

ตารางที่ 78 สรุปค่าจากการแทนค่าด้วยวิธีต่างๆ ของเสาอาคารตัวอย่าง

ประเภทข้อมูล	เปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ย	
	บ้าน 3 ชั้น	อาคารสาธารณะ 4 ชั้น
เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของพื้นที่ได้กราฟ	11.63	32.83
โมเดล		
น้ำหนักที่ได้จากการประมาณกับแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์	49.28	11.88
น้ำหนักบรรทุกทุกจากแบบจริงเปรียบเทียบกับน้ำหนักจากแบบจำลอง	69.19	75.70
ค่าความสอดคล้องกับการประมาณ P_f		
น้ำหนักที่ได้จากการประมาณกับแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์	0.55	0.60

3. พื้น

สมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นพื้นกับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น ดังนี้

แผ่นพื้นทางเดียว $W_u = 3127.7(A)^{-0.319}$

แผ่นพื้นสองทาง $W_u = 6489.4(A)^{-0.767}$; $A < 14$

แผ่นพื้นสองทาง $W_u = 10156(A)^{-0.719}$; $A \geq 14$

เมื่อ A คือ พื้นที่ของแผ่นพื้น (m^2)

W_u คือ น้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้น (Factor Load, DL = 1.4, LL = 1.7) (kg/m^2)

เมื่อนำค่าสมการประมาณน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นไปประมาณอาคารตัวอย่างและหาค่าเฉลี่ยค่าอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นต่อน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (R_{app}) พบว่าอาคารตัวอย่างทั้งสองอาคารมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าน้ำหนักที่กระทำกับแผ่นพื้นจากการประมาณน้ำหนักที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าค่าประมาณน้ำหนักที่แผ่นพื้นรับได้จากสมการประมาณกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้น แสดงว่าสมการที่ใช้ในการประมาณน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นสามารถนำไปใช้ประมาณน้ำหนักที่รับได้ของแผ่นพื้นของอาคารที่ต้องการทราบค่าได้

4. ฐานราก

จากการประมาณน้ำหนักที่คาดว่าจะถ่ายลงสู่ฐานราก พบว่าเมื่อหาค่าอัตราส่วนน้ำหนักที่รับได้ของฐานราก ($SF = 2$) ต่อน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่ามีเฉพาะอาคารพักอาศัย 3 ชั้น ฐานราก F1 เท่านั้น ที่มีค่าต่ำกว่า 1

ค่าอัตราส่วนน้ำหนักที่รับได้ของฐานราก ($SF = 2$) ต่อน้ำหนักจากการประมาณจากพื้นที่รับน้ำหนักรวมของหน้าตัดเสา พบว่ามี วนศาสตร์ 1 ฐานราก F4, อาคารพักอาศัย 5 ชั้น ฐานราก F1 และอาคารพักอาศัย 3 ชั้น ฐานราก F1, F2 ที่มีค่าต่ำกว่า 1

น้ำหนักที่ได้จากการประมาณอาจให้ค่าน้ำหนักที่มากกว่าน้ำหนักที่ฐานรากรับได้จริงเล็กน้อย ซึ่งถ้าหากใช้ Safety Factor ที่สูงกว่า 2 ก็จะทำให้ค่าน้ำหนักที่ฐานรากรับได้อาจจะมากกว่าน้ำหนักบรรทุกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

จากการประมาณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคานแล้วเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ต่าง, ประมาณปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดเสาและเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ต่างของพื้นที่ได้กราฟ พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ต่างเฉลี่ยประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน่าจะเพียงพอในการที่จะใช้ประมาณ กำลังขององค์อาคาร เพื่อใช้ในการประมาณราคาในด้านการทำประกันภัย หรือประมาณราคาในการซ่อมแซม ปรับปรุง เสริมกำลังของอาคารได้

ข้อเสนอแนะ

1. จากการสร้างสมการเพื่อประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน และกำลังรับ น้ำหนักและกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสานั้น โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างเฉลี่ยของการ ประมาณกำลังไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน่าจะเพียงพอในการที่จะใช้ประมาณกำลังขององค์อาคาร เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประมาณราคาในด้านการทำประกันภัย หรือประมาณราคาซื้อขาย อาคาร ในการซ่อมแซม ปรับปรุง เสริมกำลังของอาคารได้

2. ถ้าหากต้องการให้การประมาณค่ากำลังของโครงสร้างอาคารมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ขนาดในการจัดเก็บข้อมูลของอาคารต่างๆ อาจกำหนดเป็นสัดส่วนของประชากรถ้าขนาดกลุ่มของ ประชากรมีเป็น “จำนวนร้อย” ควรใช้กลุ่มตัวอย่าง อย่างน้อยร้อยละ 25 ถ้าประชากรเป็น “จำนวน พัน” ใช้กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 10 ถ้าประชากรเป็นจำนวนเป็น “จำนวนหมื่น” ใช้กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 1 (บุญเรียง, 2539) หรืออาจใช้สูตรของ TARO YAMANE ในการคำนวณหาขนาดของตัวอย่าง กลุ่มเป้าหมาย โดยถ้ากลุ่มจำนวนของอาคารที่ต้องการใช้ประมาณค่ามีค่าใหญ่มาก (∞) ขนาดของ การจัดเก็บข้อมูลของอาคารที่ ความคลาดเคลื่อนของขนาดกลุ่มตัวอย่าง $\pm 10\%$ และความเชื่อมั่น 95 % ควรมีการจัดเก็บข้อมูลของอาคารจำนวน 100 อาคาร

3. สำหรับนำหน้ากบรทุกจรรยาที่กระทำกับโครงสร้างอาคาร มีผู้ที่ได้วิจัยและทำการวิเคราะห์ ข้อมูลนำหน้ากบรทุกจรรยา (สุชาติ, 2531) เฉพาะในเขตกรุงเทพมหานคร ดังตารางที่ 79

ตารางที่ 79 คุณสมบัติเชิงสถิติของน้ำหนักบรรทุกจร

ชนิดของอาคาร	ค่าที่ระบุ (kg/m ²)	ค่าเฉลี่ย (kg/m ²)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	สัมประสิทธิ์ การแปรผัน	ค่าเฉลี่ย/ค่าที่ ระบุ
พักอาศัย	150	182.40	33.93	0.186	1.216
สำนักงาน	250	350.00	63.85	0.180	1.400
สถานศึกษา	300	163.30	21.12	0.133	0.544
อาคารจอดรถ	400	157.20	27.35	0.174	0.393

จากตารางที่ 80 สำหรับอาคารพักอาศัย คำนวณค่าน้ำหนักที่กระทำกับแผ่นพื้นกำหนดพื้นหนา 12.5 cm.

$$\begin{aligned} W_u &= 1.4(300+50) + 1.7(182.40) \\ &= 800 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

อาคารสำนักงาน คำนวณค่าน้ำหนักที่กระทำกับแผ่นพื้นกำหนดพื้นหนา 12.5 cm.

$$\begin{aligned} W_u &= 1.4(300+50) + 1.7(350) \\ &= 1085 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

โดยจากการจัดเก็บข้อมูลแผ่นพื้นของอาคารทั้ง 7 อาคาร ซึ่งส่วนมากสามารถรับน้ำหนักบรรทุก (Wu) ได้มากกว่า 1000 kg/m² ซึ่งถ้าหากมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนประเภทการใช้งานอาคารจากอาคารประเภทอาคารพักอาศัย เปลี่ยนมาเป็นอาคารสำนักงาน ก็ยังสามารถที่จะเปลี่ยนประเภทการใช้งานได้ หรืออาจมีค่าใช้จ่ายในการเสริมกำลังของอาคารไม่มากนัก

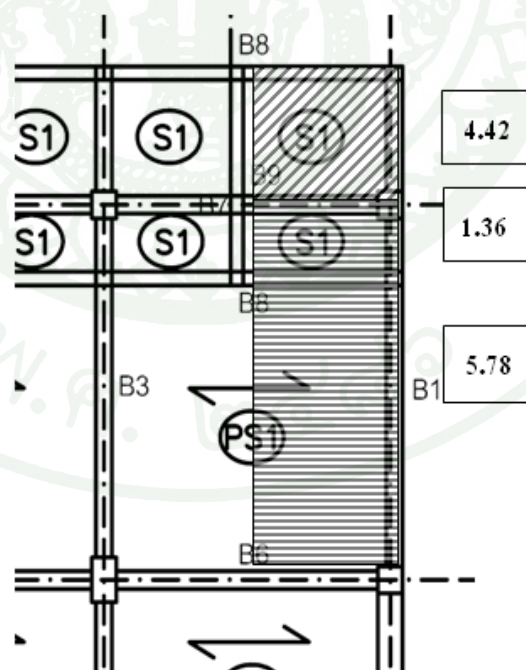
4. สำหรับฐานราก ในงานวิจัยนี้การประมาณน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่ฐานรากนั้น เป็นค่าน้ำหนักที่รวมกับ Factor Load แล้วทุกอาคาร แต่ค่าน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มที่ได้จากแบบนั้นจะเป็นค่าน้ำหนักปลอดภัยจาก Service Load เมื่อนำค่ากำลังกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (SF=2) มาเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่ฐานราก ค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มจริง อาจจะไม่เท่ากับ 2 เหมือนอย่างที่ใช้ในการประมาณ

ดังนั้นจึงทดลองหาน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่ฐานรากจาก Service Load เพียงอย่างเดียว เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม โดยจากการทดลองหาอัตราส่วนอัตราส่วนน้ำหนักที่ได้จากโมเดลกับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็ม (Service Load) ของอาคารพักอาศัย 4 อาคาร พบว่าค่าอัตราส่วนของอาคารส่วนมากมีค่ามากกว่า 1 ดังแสดงในตารางที่ 80

ตารางที่ 80 อัตราส่วนอัตราส่วนน้ำหนักที่ได้จากโมเดลกับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็ม

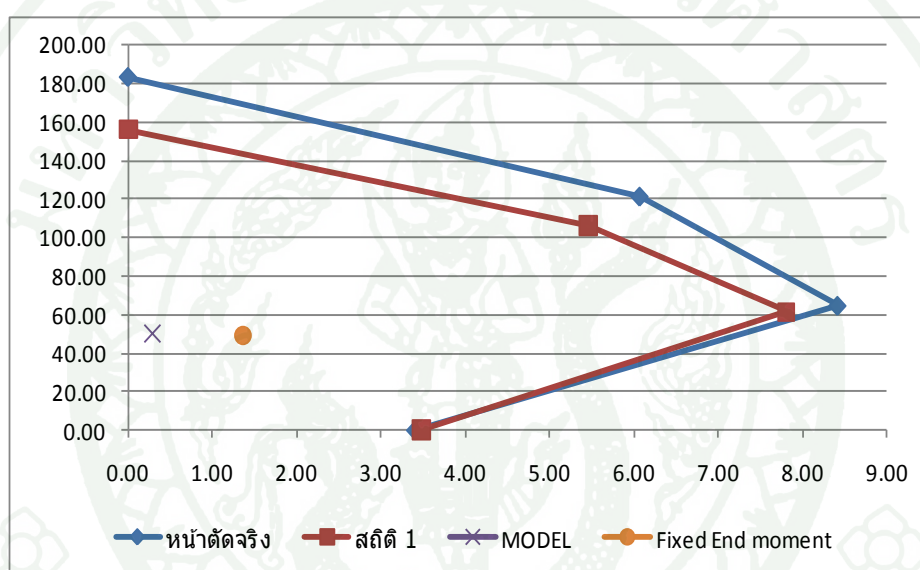
อาคาร	อัตราส่วนน้ำหนักที่ได้จาก โมเดลกับน้ำหนักปลอดภัย ของเสาเข็ม (Service Load)	อัตราส่วนน้ำหนักที่ได้จากโมเดล กับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็ม (Factor Load)
อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	0.84	1.17
หอพักอาศัย 7 ชั้น	1.37	1.89
คอนโด 7 ชั้น	1.98	2.72
อาคารพักอาศัย 5 ชั้น	1.30	1.78

5. การประมาณค่าแรงที่กระทำกับหน้าตัดเสาอย่างง่ายนั้นสามารถประมาณได้เฉพาะน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่หน้าตัดเสาเท่านั้น ส่วนค่าแรงโมเมนต์ดัดของหน้าตัดนั้น ประมาณค่าได้ยากเนื่องจากแรงโมเมนต์ดัดที่กระทำกับหน้าตัดเสานั้น มีมาจากหลายสาเหตุ เช่น แรงลม ช่วงความยาวคานที่ต่างกัน น้ำหนักบรรทุกทุก เป็นต้น จึงทดลองหาวิธีการอย่างง่ายในการประมาณแรงโมเมนต์ดัดที่กระทำกับเสา จากค่า Fixed End Moment ของหน้าตัดคาน ดังแสดงตัวอย่าง



ภาพที่ 51 Fixed End Moment ที่กระทำกับหน้าตัดคาน

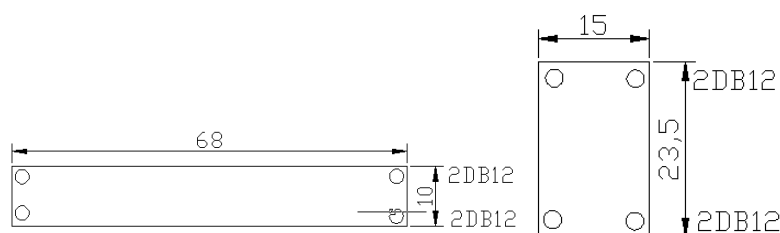
โดยจากการคำนวณค่า Fixed End Moment ของคาน ในตัวอย่าง เป็นค่า Fixed End Moment ของคานยื่นคือ 4.42 ton.m และคานต่อเนื่อง คือ 5.78 ton.m ซึ่งเมื่อรวมแรงที่กระทำกับหน้าตัดเสาแล้วจะประมาณค่าโมเมนต์ที่กระทำกับหน้าตัดเสา คือ 1.36 ton.m เมื่อนำค่าโมเมนต์ที่ได้มาวาดลงในกราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัด ซึ่งค่าโมเมนต์และน้ำหนักที่กระทำกับหน้าตัดเสา ก็ยังอยู่ใน Interaction Diagram ของหน้าตัดเสา จึงน่าจะใช้เป็นวิธีการในการประมาณค่าแรงที่กระทำกับหน้าตัดเสาอย่างง่ายได้ โดยจากภาพที่ 52 จุดจากบาท เป็นค่าแรงที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ส่วนจุดวงกลม เป็นค่าแรงที่ได้จากการประมาณค่า



ภาพที่ 52 เปรียบเทียบแรงที่ได้จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์กับแรงที่ได้จากการประมาณค่าใน Interaction Curve ของหน้าตัดเสา

6. การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ต่างของพื้นที่ใต้กราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเสานั้น ข้อพึงระวังสำหรับการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟ คือ พื้นที่ใต้กราฟอาจจะมียพื้นที่ที่เท่ากันแต่หน้าตัดของเสาต่างกัน ซึ่งอาจจะเกิดกรณีนี้ได้ ดังแสดงตัวอย่างดังนี้

6.1 หน้าตัดต่างกันมีการเสริมเหล็กเท่ากัน โดยตัวอย่างนี้เป็นเป็นการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดเสาในแนวแกนหลัก (แกน x) โดยมีหน้าตัดเสาดังภาพที่ 53

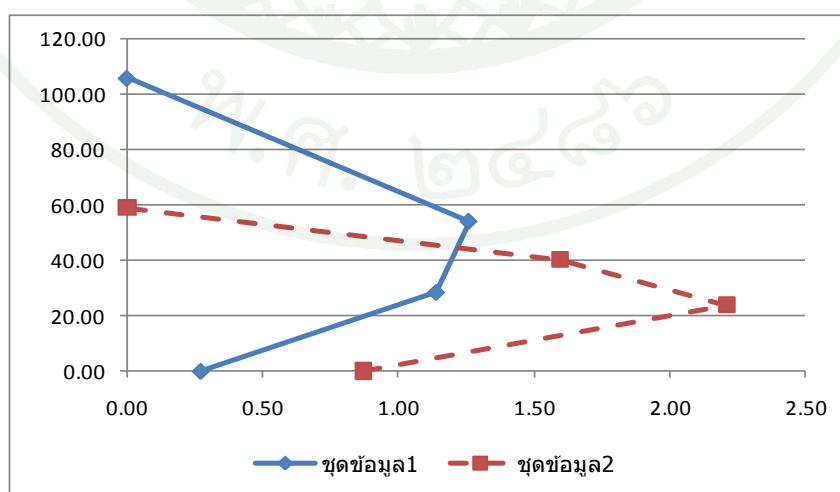


ภาพที่ 53 หน้าตัดเสาที่มีหน้าตัดต่างกันแต่เสริมเหล็กปริมาณเท่ากัน

โดยหลังจากวิเคราะห์หาค่าแรงที่หน้าตัดเสารับได้ดังแสดงในตารางที่ 81

ตารางที่ 81 แรงที่ได้จากการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดเสาขนาด 68x80 cm. และ 15x23.5 cm.

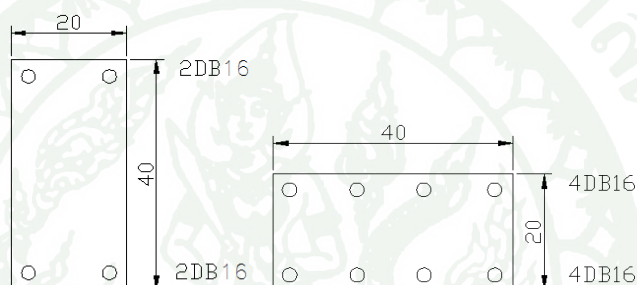
สถานะ	68x10 cm.		15x23.5 cm.	
	P (ton)	M (ton.m)	P (ton)	M (ton.m)
1 Intimate Strength of Beam	0.00	0.27	0.00	0.87
2 Balance Loading	28.55	1.14	23.82	2.21
3 Zero Tension	54.27	1.26	40.25	1.60
4 Axial Load Strength	105.95	0.00	59.18	0.00
พื้นที่ใต้กราฟ	83.65		83.11	



ภาพที่ 54 Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาที่มีพื้นที่หน้าตัดต่างกัน

จากตารางที่ 81 เป็นตัวอย่างการคำนวณค่าแรงที่รับได้ของหน้าตัดเสาขนาด 68x10 cm. และ 15x23.5 cm. เสริมเหล็ก DB 12 ที่มุมของหน้าตัดเสาทุกมุม เมื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดเสาแล้วจะได้พื้นที่ได้กราฟเกือบเท่ากัน แต่กรณีนี้จะพบได้ยากมาก เพราะถ้าหากการวิเคราะห์กำลังรับแรงของเสานั้น เปรียบเทียบกันเฉพาะในแกนหลักของหน้าตัดเสา(แกน x) เท่านั้น พื้นที่ได้กราฟที่มีโอกาสจะเท่ากันนั้นจึงอาจเป็นไปได้ยาก

6.2 หน้าตัดเท่ากันมีการเสริมเหล็กต่างกัน โดยตัวอย่างนี้เป็นเป็นการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดเสาในแนวแกนหลัก (แกน x) โดยมีหน้าตัดเสาดังภาพที่ 55

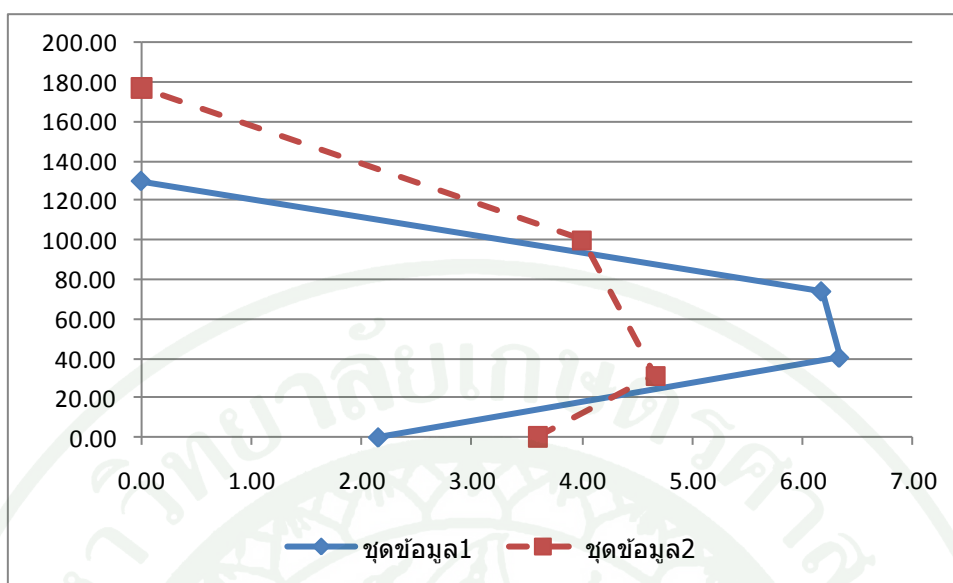


ภาพที่ 55 หน้าตัดเสาที่มีหน้าตัดเท่ากันแต่เสริมเหล็กปริมาณต่างกัน

โดยหลังจากวิเคราะห์หาค่าแรงที่หน้าตัดเสารับได้ดังแสดงในตารางที่ 82

ตารางที่ 82 แรงที่ได้จากการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดเสาขนาด 20x40 cm. และ 40x20 cm.

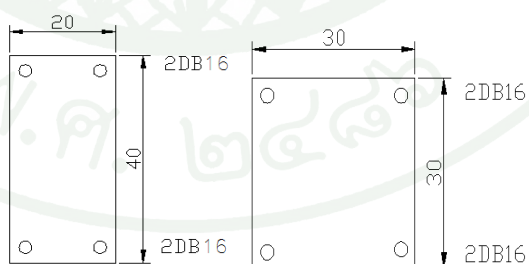
สถานะ	20x40 cm.		40x20 cm.	
	P (ton)	M (ton.m)	P (ton)	M (ton.m)
1 Intimate Strength of Beam	0.00	2.15	0.00	3.59
2 Balance Loading	40.41	6.34	31.12	4.67
3 Zero Tension	73.99	6.18	99.80	4.00
4 Axial Load Strength	129.98	0.00	177.18	0.00
พื้นที่ได้กราฟ	554.83		581.20	



ภาพที่ 56 Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาที่มีพื้นที่หน้าตัดที่เท่ากัน

จากตารางที่ 82 เป็นตัวอย่างการคำนวณค่าแรงที่รับได้ของหน้าตัดเสาขนาด 20x40 cm. และ 40x20 cm. เมื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดเสาแล้วจะได้พื้นที่ได้กราฟเกือบเท่ากัน

6.3 หน้าตัดต่างกันมีการเสริมเท่าหลักเท่ากัน โดยตัวอย่างนี้เป็นเป็นการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดเสาในแนวแกนหลัก (แกน x) โดยมีหน้าตัดเสาดังภาพที่ 57

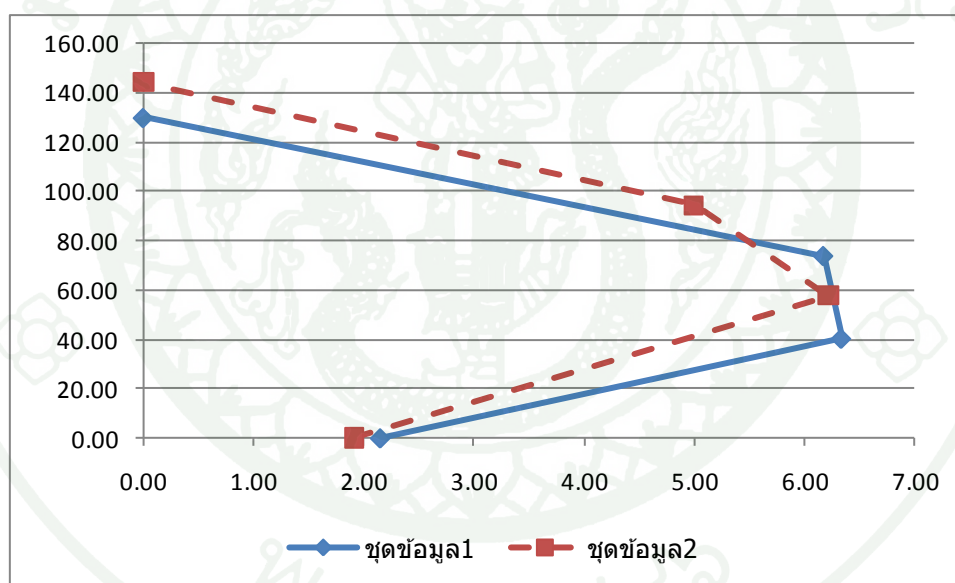


ภาพที่ 57 หน้าตัดเสาที่มีหน้าตัดต่างกันแต่เสริมเหล็กปริมาณเท่ากัน

โดยหลังจากวิเคราะห์หาค่าแรงที่หน้าตัดเสารับได้ดังแสดงในตารางที่ 83

ตารางที่ 83 แรงที่ได้จากการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดเสาขนาด 20x40 cm. และ 30x30 cm.

สถานะ		20x40 cm.		30x30 cm.	
		P (ton)	M (ton.m)	P (ton)	M (ton.m)
1	Intimate Strength of Beam	0.00	2.15	0.00	1.91
2	Balance Loading	40.41	6.34	57.67	6.22
3	Zero Tension	73.99	6.18	94.38	5.00
4	Axial Load Strength	129.98	0.00	144.26	0.00
พื้นที่ได้กราฟ		554.83		564.9	



ภาพที่ 58 Interaction Diagram ของหน้าตัดเสาที่หน้าตัดต่างกัน

จากตารางที่ 83 เป็นตัวอย่างการคำนวณค่าแรงที่รับได้ของหน้าตัดเสาขนาด 20x40 cm. และ 30x30 cm. เมื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ได้กราฟของหน้าตัดเสาแล้วจะได้พื้นที่ได้กราฟเกือบเท่ากัน

จากตัวอย่างทั้ง 3 กรณีที่กล่าวมาข้างต้น ถ้าหากพื้นที่ใต้กราฟ Interaction Diagram จะเท่ากันนั้นก็สามารถที่จะเป็นไปได้ ดังข้อที่ 6.1 – 6.3 แต่ ในกรณีที่ 6.1 -6.2 นั้น โอกาสเป็นไปได้ น้อยมาก เนื่องจากในงานวิจัยนี้จะพิจารณาแรงที่หน้าตัดเสารับได้ในแนวแกนหลัก (แกน x) เท่านั้น ส่วนกรณีข้อ 6.3 จะเห็นว่าพื้นที่ Interaction Diagram มีพื้นที่เกือบเท่ากัน และเส้นกราฟ Interaction Diagram ก็มีเส้นในแนวใกล้เคียงกัน

7. สำหรับการประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน เนื่องจากโดยทางทฤษฎีการวิเคราะห์โครงสร้าง ค่า Moment ความยาวคาน (L) มีความสัมพันธ์กันเช่น ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในหน้าตัดคานของ Simple Beam มี Uniform Load กระทำ ค่า M_{max} คือ $wL^2/8$ ส่วนค่า Moment of Inertia (I) ของหน้าตัด ก็มีความสัมพันธ์กับค่า Moment ของหน้าตัดเช่นเดียวกัน จากสมการ $\sigma = Mc/I$

ดังนั้นหากใช้ตัวแปรด้านความยาว (L) และค่า I มาใช้ในการประมาณค่า Moment ของหน้าตัดคาน จึงอาจพิจารณา ในด้าน L^2 และค่า I ดังนั้นสมการสมการการพิจารณาอาจอยู่ในรูปแบบ $Moment = k_1L^2 + k_2I$ อาจจะทำได้ผลการวิเคราะห์ที่ดีขึ้นได้

8. ในลำดับถัดไป ถ้าหากมีการเปรียบเทียบผลที่ได้จากประมาณกำลังโครงสร้างกับผลการทดสอบในสนามจริง เช่นการทดสอบ Load Test กับการประมาณค่า ก็จะทำให้การประมาณค่ากำลังของโครงสร้างอาคารน่าเชื่อถือยิ่งขึ้นได้

9. เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเวลาและงบประมาณ ในเบื้องต้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอผลการศึกษาในส่วนของการประเมินกำลังของคาน เสา พื้น และฐานรากเท่านั้น สำหรับการประเมินกำลังองค์อาคารรูปแบบอื่นๆ เช่น พื้นประเภท Flat Slab, Post tension ควรจะพิจารณาเป็นการศึกษาในลำดับถัดไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กมล วิริยโชค. 2541. การพัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับการประเมินราคาอาคารสูงอาคารสำนักงานและอาคารพักอาศัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- กฤษ จิตราภรณ์. 2545. การพัฒนาระบบประเมินสภาพอาคารที่ถูกทิ้งร้างในช่วงเศรษฐกิจถดถอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จักรพันธ์ แสงสุวรรณ. 2543. การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยรังสิต.
- ณัฐมนต์ กัมปนานนท์, จุลเศรษฐ์ กฤษณะภักดี. 2545. เอกสารประกอบการอบรมเทคนิคและวิธีการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตในสนาม. เทคโนโลยีการทดสอบคอนกรีต, สถาบันราชภัฏนครราชสีมา.
- ต่อกุล กาญจนาลัย. 2528. พฤติกรรมของคอนกรีตเสริมเหล็ก. ฟิสิกส์เซเมนต์ การพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- ไทรรัตน์ จารุทัศน์. 2546. สถานการณ์โครงการอาคารขนาดใหญ่ที่ยุติการก่อสร้างในเขตพื้นที่มหานครและพื้นที่ต่อเนื่อง. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ปรีวัตร เชื้อนแก้ว. ม.ป.ป. การวิเคราะห์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนัก. แหล่งที่มา: http://www.wijai48.com/journal/journal_topics.htm, 30 เมษายน 2554.
- พงษ์พันธุ์ อิศโรทัยกุล. 2541. ระบบฐานความรู้สำหรับการออกแบบและการประมาณราคาเบื้องต้นสำหรับอาคารขนาดกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พจนพร ธรรมโกสิทธิ์. 2545. การพัฒนาระบบฐานข้อมูลและโปรแกรมสำหรับประเมินราคาอาคารสำนักงาน 4 – 8 ชั้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พิรพันธ์ จิรวัดเดช. 2547. แนวทางการแก้ปัญหากฎหมายที่ส่งผลกระทบต่อการฟื้นฟูโครงการขนาดใหญ่ที่ยุติการก่อสร้างในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วินิช ช่อวิเชียร. 2545. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป. สัมพันธ์พาณิชย์, กรุงเทพฯ.

วนิดา กรัฑาเวทย์. 2545. การพัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับการประเมินราคาอาคารบ้านพักอาศัย 3 ชั้น และอาคารโรงงานอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เศรษฐพงศ์ ศรีวิริยานนท์. 2539. การพัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับการประเมินราคาอาคาร : การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สรชัย พิศาลบุตร. 2553. สถิติวิศวกรรม, วิทยพัฒน์, กรุงเทพฯ

อำนาจ วังจัน. 2553. ความน่าจะเป็นและสถิติ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ.

เอกสิทธิ์ จิรายวนนท์. 2541. การพัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับการประเมินราคาอาคาร : พาณิชย์ 1 – 6 ชั้น โรงงานอุตสาหกรรมขนาดย่อม และโรงสีข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ. 2544. การซ่อมแซมและการบำรุงรักษาโครงสร้าง คสล. เอกสาร
 ประกอบการสัมมนาเรื่องการบำรุงรักษาและซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต ของสมาคม –
 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ เรื่องการบำรุงรักษาและซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต.
 21-22 กุมภาพันธ์ 2544, กทม., น. 146-158.

American Concrete Institute. 1995. **Building Code Requirements for Reinforced Concrete**
(ACI 318-89), Detroit, MI .

Hyo-Gyoung Kwak and Jieun Kim. 2008. Optimum design of reinforced concrete plane frames
 based on predetermined section database, **Computer – Aided Design**. 40 : 396 – 408.

Iyoda, T. Uomoto, T. and T. Yajima. 1999. “ **Development of a System for Evaluation**
of Existing Reinforced Concrete Structure,” The Seventh East Asia-Pacific
 Conference on Structural Engineering & Construction, Kochi, Japan, pp. 1508-1513

MacGregor, J.G. 1983. **Load And Resistance Factor for Concrete Design.**, ACI Journal.

Mirza, S.A. and J.G. MacGregor. 1982. **Probabilistic Study of R.C. Member.** National
 Preacher Council of Canada. Ottawa.

Ouyornprasert, W. 1989. **Accurate Structural Reliability Analysis Utilizing Efficient**
Intigration Method. Institute of Engineering Mechanics, University of Innsbruck,
 Austria.

Ranganathan, R. 1990. **Reliability Analysis and Design of Structures**, Tata McGrew-Hill
 Publishing Company Limited, New Delhi, India.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน

ตารางผนวกที่ ก1 สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน : Simple Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร)

Simple Beam										
หน้าตัด	Mean		Min		Max		Min Confidence		Max Confidence	
	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN
15x30	Mu = 0.4986(l) + 1.1633	Mu = 0.4986(l) + 1.1633	Mu = 1.2924(l) - 0.4249	Mu = 1.2924(l) - 0.4249	Mu = 2.1605* Mu = 2.1606*	Mu = 2.1605* Mu = 2.1606*	Mu = 0.6339(l) + 0.8926	Mu = 0.6339(l) + 0.8926	Mu = 0.3632(l) +1.4341	Mu = 0.3632(l) +1.4341
15x35	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*
15x40	Mu = 0.0375(l) + 3.3988	Mu = 0.0375(l) + 3.3988	Mu = 0.0246(l) + 2.8338	Mu = 0.0246(l) + 2.8338	Mu = 0.06(l) + 3.5723	Mu = 0.06(l) + 3.5723	Mu = 0.0324(l) + 3.3242	Mu = 0.0324(l) + 3.3242	Mu = 0.0425(l) + 3.4735	Mu = 0.0425(l) + 3.4735
20x40	Mu = -0.0514(l) + 3.7995	Mu = -0.1252(l) + 4.133	Mu = -0.1042(l) + 3.7871	Mu = -0.1615(l) + 4.0334	Mu = 0.1446(l) + 3.8618	Mu = 0.0897(l) + 4.1128	Mu = -0.1047(l) + 3.827	Mu = -0.1743(l) + 4.1358	Mu = 0.0019(l) + 3.772	Mu = -0.0761(l) + 4.1302
20x50	Mu = - 0.0364(l) + 7.5578	Mu = 0.0194(l) +7.3799	Mu = 6.8239*	Mu = 6.7893*	Mu = 0.0412(l) + 7.7653	Mu = 0.2395(l) + 7.2064	Mu = -0.0241(l) + 7.1513	Mu = -0.0341(l) + 7.1476	Mu = -0.0487(l) + 7.9643	Mu = 0.0728(l) + 7.6121
20x60	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25x40	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*
25x50	Mu = 0.085(l) + 7.3025	Mu = -0.4159(l) + 16.172	Mu = 0.085(l) + 7.3025	Mu = -0.4159(l) + 16.172	Mu = 0.085(l) + 7.3025	Mu = -0.4159(l) + 16.172	Mu = 0.085(l) + 7.3025	Mu = -0.4159(l) + 16.172	Mu = 0.085(l) + 7.3025	Mu = -0.4159(l) + 16.172
25x60	Mu = 17.326*	Mu = 40.750*	Mu = 17.326*	Mu = 40.750*	Mu = 17.326*	Mu = 40.750*	Mu = 17.326*	Mu = 40.750*	Mu = 17.326*	Mu = 40.750*
30x60	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

n/a ไม่มีข้อมูลหน้าตัด , * ข้อมูลหน้าตัดมีชุดเดียว

ตารางผนวกที่ ก2 สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Continuous Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร)

Continuous Beam										
หน้าตัด	Mean		Min		Max		Min Confidence		Max Confidence	
	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN
15x30	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15x35	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15x40	Mu = 0.4393(l) + 1.5579	Mu = 0.6676(l) + 0.9302	Mu = 0.3819(l) + 1.6153	Mu = 0.6102(l) + 0.9876	Mu = 0.4557(l) + 1.5415	Mu = 0.684(l) + 0.9138	Mu = 0.4193(l) + 1.5779	Mu = 0.6475(l) + 0.9503	Mu = 0.4591(l) + 1.5378	Mu = 0.6876 + 0.9102
20x40	Mu = 0.4142(l) + 4.6405	Mu = 0.6682(l) + 3.9837	Mu = 0.2733(l) + 3.7455	Mu = 0.4894(l) + 3.2518	Mu = 0.4679(l) + 5.376	Mu = 0.74(l) + 4.3644	Mu = 0.4217(l) + 4.325	Mu = 0.6661(l) + 3.7745	Mu = 0.4067(l) + 4.9561	Mu = 0.5142(l) + 4.9213
20x50	Mu = 1.2318(l) + 5.4288	Mu = 0.9836(l) + 6.3316	Mu = 0.1732(l) + 6.9336	Mu = 0.0731(l) + 7.7524	Mu = 1.8831(l) + 4.3293	Mu = 2.2536(l) + 3.4885	Mu = 1.1825(l) + 5.1726	Mu = 0.931(l) + 6.0918	Mu = 1.2811(l) + 5.685	Mu = 1.0362(l) + 6.5714
20x60	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*
25x40	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25x50	Mu = 0.7759(l) + 9.1941	Mu = 0.8096(l) + 8.6713	Mu = -0.3435(l) + 11.863	Mu = 0.2801(l) + 8.8363	Mu = 1.4938(l) + 9.0417	Mu = 1.9188(l) + 9.5284	Mu = 0.5205(l) + 9.4763	Mu = 0.6957(l) + 7.8112	Mu = 1.0313(l) + 8.912	Mu = 0.9235(l) + 9.5313
25x60	Mu = -1.2262(l) + 34.025	Mu = 1.4269(l) + 16.858	Mu = -3.2756(l) + 41.954	Mu = -0.676(l) + 25.127	Mu = 0.8537(l) + 25.929	Mu = 4.3574(l) + 4.0757	Mu = -0.8773(l) + 27.619	Mu = 2.0079(l) + 9.2517	Mu = -1.5752(l) + 40.431	Mu = 0.8459(l) + 24.465
30x60	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159

n/a ไม่มีข้อมูลหน้าตัด , * ข้อมูลหน้าตัดมีชุดเดียว

ตารางผนวกที่ ก3 สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Cantilever Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร)

Cantilever Beam						
หน้าตัด	ทุกช่วง	Mean	Min	Max	Min Confidence	Max Confidence
	Mu Cantilever	Mu Cantilever	Mu Cantilever	Mu Cantilever	Mu Cantilever	Mu Cantilever
15x30	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15x35	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15x40	Mu=3.444*	Mu=3.444*	Mu=3.444*	Mu=3.444*	Mu=3.444*	Mu=3.444*
20x40	Mu = 0.2088(l) + 6.7341	Mu = - 0.4286(l) + 7.5108	Mu = 0.1215(l) + 5.3198	Mu = 2.3229(l) + 5.2481	Mu = -0.8093(l) + 7.9051	Mu = -0.0178(l) + 7.1166
20x50	Mu = 3.1703(l) + 5.7095	Mu = 5.144(l)+2.45	Mu = 8.1979(l) - 4.6765	Mu = 3.662(l) + 5.9079	Mu = 5.5857(l) + 1.4192	Mu = 4.7022(l) + 3.4808
20x60	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25x40	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25x50	Mu = -1.3191(l) + 14.445	Mu = -1.5939(l) + 15.647	Mu = 7.3751(l) - 6.7759	Mu = -7.5495(l) + 30.536	Mu = 0.1972(l) + 11.169	Mu = -3.3851(l) + 20.125
25x60	Mu = 35.757*	Mu = 35.757*	Mu = 35.757*	Mu = 35.757*	Mu = 35.757*	Mu = 35.757*
30x60	Mu = 43.750*	Mu = 43.750*	Mu = 43.750*	Mu = 43.750*	Mu = 43.750*	Mu = 43.750*

n/a ไม่มีข้อมูลหน้าตัด

* ข้อมูลหน้าตัดมีชุดเดียว

ตารางผนวกที่ ก4 สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Simple + Continuous Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร)

Simple + Continuous Beam										
หน้าตัด	Mean		Min		Max		Min Confidence		Max Confidence	
	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT
15x30	Mu = 0.4986(l) + 1.1633	Mu = 0.4986(l) + 1.1634	Mu = 1.2924(l) - 0.4249	Mu = 1.2924(l) - 0.4250	Mu = 2.1605*	Mu = 2.1606*	Mu = 0.6339(l) + 1.4341	Mu = 0.6339(l) + 1.4342	Mu = 0.3632(l) + +1.4341	Mu = 0.3632(l) + +1.4342
15x35	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*
15x40	Mu = 0.0593(l) + 3.1453	Mu = 0.0638(l) + 3.144	Mu = 0.0686(l) + 2.5603	Mu = 0.0686 + 2.5603	Mu = 0.06(l) + 3.5723	Mu = 0.06(l) + 3.5723	Mu = 0.062(l) + 3.0404	Mu = 0.0669(l) + 3.039	Mu = 0.0566(l) + 3.2502	Mu = 0.0606(l) + 3.2491
20x40	Mu = 0.6138(l) + 3.1815	Mu = 0.9135(l) + 2.4283	Mu = 0.3318(l) + 2.6251	Mu = 0.5442(l) + 2.1496	Mu = 0.4679(l) + 5.376	Mu = 0.74(l) + 4.3644	Mu = 0.6056(l) + 2.8337	Mu = 0.9164(l) + 2.0906	Mu = 0.6221(l) + 3.5293	Mu = 0.9105(l) + 2.766
20x50	Mu = 0.7788(l) + 5.6723	Mu = 0.6808(l) + 6.2938	Mu = 0.0219(l) + 6.5726	Mu = 0.1766(l) + 6.2211	Mu = 1.4836(l) + 4.4836	Mu = 1.9134(l) + 3.3622	Mu = 0.6854(l) + 5.6212	Mu = 0.5555(l) + 6.3224	Mu = 0.8721(l) + 5.7234	Mu = 0.8062(l) + 6.2652
20x60	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*	Mu = 14.290*
25x40	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*	Mu = 5.564*	Mu = 10.943*
25x50	Mu = -0.0799(l) + + 12.273	Mu = 0.4873(l) + 9.936	Mu = -0.5198(l) + + 12.422	Mu = 0.385(l) + 8.4488	Mu = 0.0365(l) + 14.422	Mu = 0.4538(l) + 14.938	Mu = -0.1414(l) + + 11.834	Mu = 0.7907(l) + 7.5536	Mu = -0.0184(l) + + 12.713	Mu = 0.387(l) + 11.569
25x60	Mu = -1.669(l) + 36.44	Mu = 2.3588(l) + 11.775	Mu = -3.2756(l) + + 41.954	Mu = -0.676(l) + 25.127	Mu = 0.8537(l) + 25.929	Mu = 5.6843(l) - 3.162	Mu = -1.2362(l) + + 29.576	Mu = 2.5976(l) + 6.0352	Mu = -2.1017(l) + + 43.303	Mu = 2.12(l) + 17.515
30x60	Mu = -22.382(l) + + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159

n/a ไม่มีข้อมูลหน้าตัด * ข้อมูลหน้าตัดมีชุดเดียว

ตารางผนวกที่ ก5 สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Simple Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร+ อาคารสาธารณะ 2 อาคาร)

Simple Beam										
หน้าตัด	Mean		Min		Max		Min Confidence		Max Confidence	
	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN
15x30	Mu = 0.4986(l) + 1.1633	Mu = 0.4986(l) + 1.1633	Mu = 1.2924(l) - 0.4249	Mu = 1.2924(l) - 0.4249	Mu = 2.1605*	Mu = 2.1606*	Mu = 0.6339(l) + 0.8926	Mu = 0.6339(l) + 0.8926	Mu = 0.3632(l) + 1.4341	Mu = 0.3632(l) + 1.4341
15x35	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*
15x40	Mu = -0.3713(l) + 6.1323	Mu = -0.2775(l) + 5.354	Mu = -0.1154(l) + 4.0507	Mu = -0.1154(l) + 4.0507	Mu = -0.6332(l) + 8.5865	Mu = -0.4459(l) + 7.0259	Mu = -0.1038(l) + 4.2115	Mu = -0.1398(l) + 4.5142	Mu = -0.6388(l) + 8.053	Mu = -0.4021(l) + 6.1712
15x80	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15x100	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*
20x40	Mu = -0.0982(l) + 5.2895	Mu = 0.2632(l) + 4.47704	Mu = 0.1688(l) + 3.0291	Mu = 0.3194(l) + 2.6026	Mu = -0.6153(l) + 10.118	Mu = -0.11(l) + 9.162	Mu = 0.021(l) + 4.3631	Mu = 0.3367(l) + 3.9384	Mu = -0.2174(l) + 6.216	Mu = 0.1897(l) + 5.6024
20x50	Mu = -0.4203(l) + 11.412	Mu = -0.8244(l) + 14.199	Mu = -0.4956(l) + 9.205	Mu = -0.7625(l) + 10.453	Mu = -0.1323(l) + 11.814	Mu = -0.394(l) + 14.664	Mu = -0.5459(l) + 11.118	Mu = -0.9973(l) + 13.83	Mu = -0.2947(l) + 11.705	Mu = -0.6514(l) + 14.563
20x60	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20x70	Mu = -2.118(l) + 36.722	Mu = -0.8706(l) + 27.294	Mu = -2.118(l) + 36.722	Mu = -0.8706(l) + 27.294	Mu = -2.118(l) + 36.722	Mu = -0.8706(l) + 27.294	Mu = -2.118(l) + 36.722	Mu = -0.8706(l) + 27.294	Mu = -2.118(l) + 36.722	Mu = -0.8706(l) + 27.294
20x80	Mu = 9.0946(l) + 3.0611	Mu = 10.722(l) - 2.0909	Mu = 9.0946(l) + 3.0611	Mu = 10.722(l) - 2.0909	Mu = 9.0946(l) + 3.0611	Mu = 10.722(l) - 2.0909	Mu = 9.0946(l) + 3.0611	Mu = 10.722(l) - 2.0909	Mu = 9.0946(l) + 3.0611	Mu = 10.722(l) - 2.0909
20x90	Mu = -2.0755(l) + 155.71	Mu = -1.453(l) + 166.03	Mu = -2.0755(l) + 155.71	Mu = -1.453(l) + 166.03	Mu = -2.0755(l) + 155.71	Mu = -1.453(l) + 166.03	Mu = -2.0755(l) + 155.71	Mu = -1.453(l) + 166.03	Mu = -2.0755(l) + 155.71	Mu = -1.453(l) + 166.03

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

Simple Beam										
หน้าตัด	Mean		Min		Max		Min Confidence		Max Confidence	
	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN
25x40	Mu = -0.1944(l) + 7.7344	Mu = 0.382(l) + 6.7886	Mu = -0.0997(l) + 7.1101	Mu = 0.573(l) + 5.5949	Mu = -0.2992(l) + 8.3567	Mu = 0.191(l) + 7.9823	Mu = -0.0612(l) + 6.8696	Mu = 0.6467(l) + 5.1342	Mu = -0.3377(l) + 8.5972	Mu = 0.1173(l) + 8.4429
25x50	Mu = 0.085(l) + 7.3025	Mu = -0.4159(l) + 16.172	Mu = 0.085(l) + 7.3025	Mu = -0.4159(l) + 16.172	Mu = 0.085(l) + 7.3025	Mu = -0.4159(l) + 16.172	Mu = 0.085(l) + 7.3025	Mu = -0.4159(l) + 16.172	Mu = 0.085(l) + 7.3025	Mu = -0.4159(l) + 16.172
25x60	Mu = 0.5789(l) + 19.957	Mu = 6.0872(l) - 0.0109	Mu = 0.6528(l) + 19.453	Mu = 6.2302(l) - 1.0156	Mu = -0.0859(l) + 24.486	Mu = 6.4853(l) + 2.3821	Mu = 0.7163(l) + 19.021	Mu = 6.3569(l) - 1.879	Mu = 0.4416(l) + 20.892	Mu = 5.8085(l) + 1.8572
25x80	Mu = 59.682*	Mu = 59.682*	Mu = 59.682*	Mu = 59.682*	Mu = 59.682*	Mu = 59.682*	Mu = 59.682*	Mu = 59.682*	Mu = 59.682*	Mu = 59.682*
25x90	Mu = 2.1695(l) + 67.115	Mu = 2.4406(l) + 62.778	Mu = 73.624	Mu = 70.1	Mu = 4.339(l) + 60.607	Mu = 4.8811(l) + 55.456	Mu = 0.8372(l) + 76.135	Mu = -0.9418(l) + 72.925	Mu = 5.1762(l) + 58.095	Mu = 5.8229(l) + 52.631
25x100	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
30x60	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
35x50	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
30x80	Mu = 0.2974(l) + 46.51	Mu = 2.1936(l) + 43.487	Mu = 0.4608(l) + 43.261	Mu = 2.1515(l) + 38.167	Mu = 0.0225(l) + 50.047	Mu = 1.9327(l) + 49.586	Mu = 0.6085(l) + 42.937	Mu = 2.5623(l) + 37.218	Mu = 0.0137(l) + 50.084	Mu = 1.8248(l) + 49.755
40x100	Mu = 183.153*	Mu = 183.153*	Mu = 183.153*	Mu = 183.153*	Mu = 183.153*	Mu = 183.153*	Mu = 183.153*	Mu = 183.153*	Mu = 183.153*	Mu = 183.153*

n/a ไม่มีข้อมูลหน้าตัด , * ข้อมูลหน้าตัดมีชุดเดียว

ตารางผนวกที่ 6 สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Continuous Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร+ อาคาร
สาธารณะ 2 อาคาร)

Continuous Beam										
หน้าตัด	Mean		Min		Max		Min Confidence		Max Confidence	
	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN
15x30	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15x35	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15x40	Mu = 0.6939(l) + 0.6696	Mu = 0.8876(l) + 0.1024	Mu = 0.7194(l) + 0.3698	Mu = 0.9131(l) - 0.1974	Mu = 0.6896(l) + 0.7673	Mu = 0.8833(l) + 0.2001	Mu = 0.7072(l) + 0.5824	Mu = 0.9009(l) + 0.0153	Mu = 0.6806(l) + 0.7567	Mu = 0.8743(l) + 0.1896
15x80	Mu = 10.721*	Mu = 7.675*	Mu = 10.721*	Mu = 7.675*	Mu = 10.721*	Mu = 7.675*	Mu = 10.721*	Mu = 7.675*	Mu = 10.721*	Mu = 7.675*
15x100	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20x40	Mu = 0.2095(l) + 5.8979	Mu = 0.461(l) + 5.2309	Mu = 0.2658(l) + 3.712	Mu = 0.4868(l) + 3.2401	Mu = -0.0855(l) +8.9836	Mu = 0.221(l) + 7.9234	Mu = 0.3027(l) + 5.0494	Mu = 0.5449(l) + 4.4818	Mu = 0.1163(l) + 6.7463	Mu = 0.221(l) + 7.9234
20x50	Mu = 0.7358(l) +7.9458	Mu = 0.2493(l) + 10.156	Mu = -0.2907(l) + 9.2785	Mu = -0.5899(l) + 11.103	Mu = 1.2711(l) + 7.5583	Mu = 1.3499(l) + 9.1719	Mu = 0.7143(l) + 7.4909	Mu = 0.2858(l) + 9.3255	Mu = 0.7572(l) + 8.4006	Mu = 0.2127(l) + 10.987
20x60	Mu = 2.1463(l) + 18.053	Mu = 2.1463(l) + 18.053	Mu = 2.1717(l) + 17.591	Mu = 2.1717(l) + 17.594	Mu = 2.0363(l) + 20.168	Mu = 2.0363(l) + 20.168	Mu = 2.1958(l) + 17.505	Mu = 2.1958(l) + 17.505	Mu = 2.0968(l) + 18.601	Mu = 2.0968(l) + 18.601
20x70	Mu = -1.5477(l) + 39.227	Mu = 0.1397(l) + 25.387	Mu = -1.7041(l) + 39.745	Mu = -0.0042(l) + 25.864	Mu = -1.3913(l) +38.709	Mu = 0.2835(l) + 24.91	Mu = -1.7009(l) + 39.735	Mu = -0.0013(l) +25.854	Mu = -1.3945(l) + 38.719	Mu = 0.2806(l) + 24.92
20x80	Mu = 1.0843(l) + 22.504	Mu = 1.0844(l) + 22.506	Mu = 0.0803(l) + 22.371	Mu = 0.0799(l) + 22.376	Mu = 2.1203(l) + 21.131	Mu = 2.1214(l) + 21.129	Mu = 0.8758(l) + 21.466	Mu = 0.8756(l) + 21.471	Mu = 1.2928(l) + 23.542	Mu = 1.2931(l) + 23.54

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

Continuous Beam										
หน้าตัด	Mean		Min		Max		Min Confidence		Max Confidence	
	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN
20x90	Mu = -3.0442(l) + 165.71	Mu = -3.1473(l) + 170.19	Mu = 1.1986(l) + 129.14	Mu = 1.2361(l) + 132.45	Mu = -6.7832(l) + 200.34	Mu = -7.0269(l) + 206	Mu = 2.8827(l) + 114.85	Mu = 2.9744(l) + 117.7	Mu = -8.9712(l) + 216.56	Mu = -9.2691(l) + 222.67
25x40	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25x50	Mu = 1.147(l) + 8.1979	Mu = 1.1619(l) + 7.6988	Mu = -0.3435(l) + 11.863	Mu = 0.2801(l) + 8.8363	Mu = 2.2553(l) + 7.404	Mu = 2.2553(l) + 7.404	Mu = 0.754(l) + 8.8453	Mu = 1.0042(l) + 6.9557	Mu = 1.5401(l) + 7.5505	Mu = 1.3197(l) + 8.4419
25x60	Mu = -0.3759(l) + 24.355	Mu = 0.1801(l) + 19.62	Mu = -1.3188(l) + 26.295	Mu = -0.9288(l) + 24.125	Mu = 3.7989(l) + 7.2862	Mu = 3.9508(l) + 4.7665	Mu = -0.3612(l) + 21.329	Mu = 0.3927(l) + 15.805	Mu = -0.3907(l) + 27.38	Mu = -0.0324(l) + 23.435
25x80	Mu = 1.3434(l) + 40.146	Mu = 4.0565(l) + 11.449	Mu = -1.8689(l) + 50.712	Mu = 1.3744(l) + 20.233	Mu = 5.2831(l) + 27.135	Mu = 7.2893(l) + 0.8142	Mu = -1.1762(l) + 48.484	Mu = 1.9897(l) + 18.265	Mu = 3.8629(l) + 31.808	Mu = 6.1232(l) + 4.6334
25x90	Mu = - 6.4072(l) + 144.98	Mu = -6.8862(l) + 146.57	Mu = -11.972(l) + 172.11	Mu = -12.189(l) + 171.71	Mu = -0.5921(l) + 118.68	Mu = -1.0598(l) + 120.78	Mu = -8.9258(l) + 156.1	Mu = -9.286(l) + 156.65	Mu = 3.8885(l) + 133.85	Mu = -4.4865(l) + 136.49
25x100	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1
35x50	Mu = 19.058*	Mu = 14.499*	Mu = 19.058*	Mu = 14.499*	Mu = 19.058*	Mu = 14.499*	Mu = 19.058*	Mu = 14.499*	Mu = 19.058*	Mu = 14.499*
30x60	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159
30x80	Mu = -0.2011(l) + 86.037	Mu = -4.1966(l) + 103.01	Mu = -9.0345(l) + 131.55	Mu = -5.7951(l) + 92.354	Mu = 85.032	Mu = -3.2314(l) + 101.73	Mu = -0.4105(l) + 87.108	Mu = -3.9377(l) + 99.397	Mu = 0.0083(l) + 84.966	Mu = -4.4555(l) + 106.63
40x100	Mu = 183.520*	Mu = 182.333*	Mu = 182.456*	Mu = 181.300*	Mu = 227.667*	Mu = 225.202*	Mu = 182.063*	Mu = 180.918*	Mu = 184.977*	Mu = 183.748*

n/a ไม่มีข้อมูลหน้าตัด * ข้อมูลหน้าตัดมีชุดเดียว

ตารางผนวกที่ ก7 สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Cantilever Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5 อาคาร+ อาคาร
สาธารณะ 2 อาคาร)

Cantilever Beam					
หน้าตัด	ทุกช่วง	Mean	Min	Max	Min Confidence
	Mu Cantilever	Mu Cantilever	Mu Cantilever	Mu Cantilever	Mu Cantilever
15x30	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15x35	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15x40	Mu=3,444*	Mu=3,444*	Mu=3,444*	Mu=3,444*	Mu=3,444*
15x80	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15x100	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20x40	Mu = 0.0987(l) + 6.2654	Mu = 0.1814(l) + 5.0836	Mu = 0.691(l) + 7.2216	Mu = 0.1851(l) + 6.3864	Mu = 0.1851(l) + 6.3864
20x50	Mu = 0.6449(l) + 10.89	Mu = 1.6189(l) + 6.5878	Mu = -0.329(l) + 14.287	Mu = 0.7871(l) + 10.193	Mu = 0.5027(l) + 11.586
20x60	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20x70	Mu= -8.3496(l) + 42.599	Mu = -7E-07(l) + 70.918	Mu = -18.549(l) + 70.918	Mu = -3.654(l) + 29.459	Mu = -13.045(l) + 55.738
20x80	Mu = 2.5218(l) + 25.17	Mu = 1.4185(l) + 20.13	Mu = 2.8868(l) + 28.724	Mu = 2.7189(l) + 21.943	Mu = 2.3248(l) + 28.491
20x90	Mu = -1.0494(l) + 128.29	1.6031(l) + 117.68	Mu = -11.66(l) + 170.73	Mu = 3.6006(l) + 109.69	Mu = -5.6994(l) + 146.89

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

Cantilever Beam					
หน้าตัด	ทุกช่วง	Mean	Min	Max	Min Confidence
	Mu Cantilever	Mu Cantilever	Mu Cantilever	Mu Cantilever	Mu Cantilever
25x40	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25x50	$\text{Mu} = -0.0626(l) + 12.245$	$\text{Mu} = 0.7766(l) + 7.9437$	$\text{Mu} = -0.6117(l) + 15.059$	$\text{Mu} = 0.1125(l) + 11.347$	$\text{Mu} = -0.2377(l) + 13.142$
25x60	$\text{Mu} = 28.223^*$	$\text{Mu} = 27.147^*$	$\text{Mu} = 35.757^*$	$\text{Mu} = 26.250^*$	$\text{Mu} = 30.197^*$
25x80	$\text{Mu} = -23.669(l) + 149.31$	$\text{Mu} = -23.669(l) + 149.31$	$\text{Mu} = -23.669(l) + 149.31$	$\text{Mu} = -23.669(l) + 149.31$	$\text{Mu} = -23.669(l) + 149.31$
25x90	$\text{Mu} = 28.179(l) + 64.8$	$\text{Mu} = 28.179(l) + 64.8$	$\text{Mu} = 28.179(l) + 64.8$	$\text{Mu} = 28.179(l) + 64.8$	$\text{Mu} = 28.179(l) + 64.8$
25x100	$\text{Mu} = 6.0171(l) + 145.81$	$\text{Mu} = 24.069(l) + 52.545$	$\text{Mu} = 1E-13(l) + 176.9$	$\text{Mu} = 13.239(l) + 108.5$	$\text{Mu} = -1.2048(l) + 183.12$
35x50	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
30x60	$\text{Mu} = 43.750^*$	$\text{Mu} = 43.750^*$	$\text{Mu} = 43.750^*$	$\text{Mu} = 43.750^*$	$\text{Mu} = 43.750^*$
30x80	$\text{Mu} = 29.291(l) - 22.006$	$\text{Mu} = 29.291(l) - 22.006$	$\text{Mu} = 29.291(l) - 22.006$	$\text{Mu} = 29.291(l) - 22.006$	$\text{Mu} = 29.291(l) - 22.006$
40x100	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

n/a ไม่มีข้อมูลหน้าตัด * ข้อมูลหน้าตัดมีชุดเดียว

ตารางผนวกที่ ก8 สมการความสัมพันธ์ของกำลังรับโมเมนต์ของหน้าตัดคาน: Simple Beam + Continuous Beam (สมการ Regression อาคารพักอาศัย 5
อาคาร+ อาคารสาธารณะ 2 อาคาร)

Simple Beam + Continuous Beam										
หน้าตัด	Mean		Min		Max		Min Confidence		Max Confidence	
	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN
15x30	Mu = 0.4986(l) + 1.1633	Mu = 0.4986(l) + 1.1634	Mu = 1.2924(l) - 0.4249	Mu = 1.2924(l) - 0.4250	Mu = 2.1605*	Mu = 2.1606*	Mu = 0.6339(l) + 1.4341	Mu = 0.6339(l) + 1.4342	Mu = 0.3632(l) +1.4341	Mu = 0.3632(l) +1.4342
15x35	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*	Mu = 2.603*	Mu = 2.941*
15x40	Mu = -0.0481(l) + 4.8541	Mu = 0.1686(l) + 3.7668	Mu = 0.0513(l) + 3.4647	Mu = 0.113(l) + 3.3106	Mu = -0.3993(l) + 7.9816	Mu = -0.0193(l) + 5.921	Mu = 0.0787(l) + 3.6107	Mu = 0.1004(l) + 3.7746	Mu = -0.1748(l) + 6.0975	Mu = 0.2368(l) + 3.759
15x80	Mu = 10.721*	Mu = 7.675*	Mu = 10.721*	Mu = 7.675*	Mu = 10.721*	Mu = 7.675*	Mu = 10.721*	Mu = 7.675*	Mu = 10.721*	Mu = 7.675*
15x100	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*	Mu = 61.620*
20x40	Mu = 0.0703(l) + 5.5176	Mu = 0.4383(l) + 4.7992	Mu = 0.1688(l) + 3.0291	Mu = 0.3194(l) + 2.6026	Mu = -0.3581(l) + 10.016	Mu = 0.1141(l) + 8.9247	Mu = 0.1615(l) + 4.6658	Mu = 0.5141(l) + 4.0358	Mu = -0.0209(l) + 6.3694	Mu = 0.3624(l) + 5.5625
20x50	Mu = 0.2037(l) + 9.7517	Mu = -0.2918(l) + 12.948	Mu = -0.4505(l) + 8.9345	Mu = -0.5471(l) + 9.8398	Mu = 0.9453(l) + 8.962	Mu = 0.8965(l) + 11.476	Mu = 0.041(l) + 9.7875	Mu = -0.4663(l) + 12.832	Mu = 0.3663(l) + 9.716	Mu = -0.1174(l) + 13.065
20x60	Mu = 2.1463(l) + 18.053	Mu = 2.1463(l) + 18.053	Mu = 2.1717(l) + 17.594	Mu = 2.1717(l) + 17.594	Mu = 2.0363(l) + 20.168	Mu = 2.0363(l) + 20.168	Mu = 2.1958(l) + 17.505	Mu = 2.1958(l) + 17.505	Mu = 2.0968(l) + 18.601	Mu = 2.0968(l) + 18.601
20x70	Mu = -1.5087(l) + 37.507	Mu = -0.008(l) + 25.024	Mu = -1.5907(l) + 37.378	Mu = -0.0815(l) + 24.865	Mu = -1.9269(l) + 43.245	Mu = 0.3858(l) + 22.711	Mu = -1.5854(l) + 37.52	Mu = -0.0763(l) + 25.008	Mu = -1.432(l) + 37.495	Mu = 0.3858(l) + 22.711

ตารางผนวกที่ ก8 (ต่อ)

Simple Beam + Continuous Beam										
หน้าตัด	Mean		Min		Max		Min Confidence		Max Confidence	
	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN
20x80	Mu = 0.8737(l) + 24.797	Mu = 0.8518(l) + 25.04	Mu = 0.0545(l) + 23.011	Mu = 0.0321(l) + 23.257	Mu = 1.5254(l) + 26.968	Mu = 1.5042(l) + 27.208	Mu = 0.9252(l) + 21.387	Mu = 0.903(l) + 21.634	Mu = 0.8223(l) + 28.206	Mu = 0.8007(l) + 28.446
20x90	Mu = -3.1751(l) +166.55	Mu = -3.3724(l) + 174.35	Mu = 5.1888(l) + 94.126	Mu = 3.6326(l) + 111.81	Mu = -6.818(l) + 200.68	Mu = -5.0856(l) + 198.72	Mu = 3.5148(l) + 108.61	Mu = 2.1524(l) + 124.61	Mu = -9.865(l) + 224.49	Mu = -8.8972(l) + 224.09
25x40	Mu = -0.1944(l) + 7.7344	Mu = 0.382(l) + 6.7886	Mu = -0.0997(l) + 7.1101	Mu = 0.573(l) + 5.5949	Mu = -0.2992(l) + 8.3567	Mu = 0.191(l) + 7.9823	Mu = -0.0612(l) + 6.8696	Mu = 0.6467(l) + 5.1342	Mu = -0.3377(l) + 8.5972	Mu = 0.1173(l) + 8.4429
25x50	Mu = 0.0646(l) + 12.09	Mu = 0.6076(l) + 9.7553	Mu = -0.5198(l) + 12.422	Mu = 0.385(l) + 8.4488	Mu = 0.3054(l) + 14.604	Mu = 0.5653(l) + 15.185	Mu = -0.048(l) + 11.709	Mu = 1.0451(l) + 6.8475	Mu = 0.1772(l) + 12.471	Mu = 0.5186(l) + 11.376
25x60	Mu = -0.4129(l) + 23.878	Mu = 0.6539(l) + 19.229	Mu = -1.4476(l) + 26.788	Mu = -1.2835(l) + 26.036	Mu = 2.4473(l) + 15.33	Mu = 4.1892(l) + 10.273	Mu = -1.0098(l) + 24.811	Mu = 0.2665(l) + 19.109	Mu = 0.184(l) + 22.944	Mu = 1.0412(l) + 19.349
25x80	Mu = 1.4199(l) + 41.09	Mu = 4.2064(l) + 13.298	Mu = -1.7022(l) + 52.767	Mu = 1.5998(l) + 23.013	Mu = 5.2496(l) + 26.722	Mu = 7.3486(l) + 1.5451	Mu = -1.0293(l) + 50.295	Mu = 2.1974(l) + 20.827	Mu = 3.8692(l) + 31.886	Mu = 6.2153(l) + 5.7691
25x90	Mu = -2.0681(l) + 105.6	Mu = -2.2394(l) + 104.41	Mu = -6.7799(l) + 127.9	Mu = -6.7918(l) + 122.64	Mu = 2.999(l) + 86.026	Mu = 2.8817(l) + 84.943	Mu = -4.2875(l) + 114.02	Mu = -4.3969(l) + 112.3	Mu = 0.1512(l) + 97.179	Mu = -0.0819(l) + 96.512
25x100	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1	Mu = -2.8724(l) + 233.1
35x50	Mu = 19.058*	Mu = 14.499*	Mu = 19.058*	Mu = 14.499*	Mu = 19.058*	Mu = 14.499*	Mu = 19.058*	Mu = 14.499*	Mu = 19.058*	Mu = 14.499*
30x60	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159	Mu = -22.382(l) + 122.09	Mu = 3.8032(l) + 10.159

ตารางผนวกที่ ก8 (ต่อ)

Simple Beam + Continuous Beam										
หน้าตัด	Mean		Min		Max		Min Confidence		Max Confidence	
	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN	Mu SUPPORT	Mu MIDSPAN
30x80	Mu = 4.9799(l) + 35.345	Mu = 1.9852(l) + 46.239	Mu = -1.6282(l) + 49.555	Mu = -1.6827(l) + 49.847	Mu = 4.5724(l) + 39.639	Mu = 2.5851(l) + 50.856	Mu = 5.3874(l) + 31.052	Mu = 2.9673(l) + 37.885	Mu = 4.5724(l) + 39.639	Mu = 1.0031(l) + 54.593
40x100	Mu = 0.0611(l) + 182.88	Mu = -0.1367(l) + 183.77	Mu = -0.1162(l) + 183.68	Mu = -0.3088(l) + 184.54	Mu = 7.419(l) + 149.77	Mu = 7.0082(l) + 151.62	Mu = -0.1817(l) + 183.97	Mu = -0.3724(l) + 184.83	Mu = 0.3039(l) + 181.79	Mu = 0.0991(l) + 182.71

n/a ไม่มีข้อมูลหน้าตัด * ข้อมูลหน้าตัดมีชุดเดียว



ตารางผนวกที่ ข1 เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ได้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ
ทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารพักอาศัย 5 ชั้น

ชั้นที่	จำนวนเสา (ต้น)	เปอร์เซ็นต์ต่าง		เปอร์เซ็นต์ต่าง (ABS)	
		สมการ (53)	สมการ (54)	สมการ (53)	สมการ (54)
0 - 1	32	23.24	21.45	23.24	21.45
1 - 2	32	-22.96	-26.28	25.97	26.28
2 - 3	32	-29.74	-30.95	29.74	30.95
3 - 4	32	-40.03	-44.18	42.62	44.18
4 - 5	32	-38.43	-42.74	41.02	42.74
5 - 6	32	-38.35	-42.88	40.90	42.88
เฉลี่ย	192	-24.38	-27.60	33.92	34.75

ตารางผนวกที่ ข2 เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ได้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ
ทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารคอนโด 5 ชั้น

ชั้นที่	จำนวนเสา (ต้น)	เปอร์เซ็นต์ต่าง		เปอร์เซ็นต์ต่าง (ABS)	
		สมการ (53)	สมการ (54)	สมการ (53)	สมการ (54)
0 - 1	20	40.72	40.31	40.72	40.31
1 - 2	20	33.45	32.83	33.45	32.83
2 - 3	20	24.10	23.44	24.10	23.44
3 - 4	20	13.27	12.50	13.27	12.50
4 - 5	20	-1.59	-2.62	1.59	2.62
5 - 6	20	-25.50	-27.23	25.50	27.23
เฉลี่ย	120	14.07	13.21	23.11	23.16

ตารางผนวกที่ ข3 เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ใต้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณทั้ง 2
สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารคอนโด 7 ชั้น

ชั้นที่	จำนวนเสา (ต้น)	เปอร์เซ็นต์ต่าง		เปอร์เซ็นต์ต่าง (ABS)	
		สมการ (53)	สมการ (54)	สมการ (53)	สมการ (54)
0 - 1	23	16.81	16.13	16.81	16.13
1 - 2	21	24.03	23.29	24.03	23.29
2 - 3	17	18.38	17.61	18.38	17.61
3 - 4	14	17.42	16.62	17.42	16.62
4 - 5	14	12.92	11.99	12.92	11.99
5 - 6	14	13.68	12.66	13.68	12.66
6 - 7	14	14.42	13.30	14.42	13.30
เฉลี่ย	117	17.28	16.44	17.28	16.44

ตารางผนวกที่ ข4 เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ใต้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ
ทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารหอพักอาศัย 7 ชั้น

ชั้นที่	จำนวนเสา (ต้น)	เปอร์เซ็นต์ต่าง		เปอร์เซ็นต์ต่าง (ABS)	
		สมการ (53)	สมการ (54)	สมการ (53)	สมการ (54)
0 - 1	31	28.83	28.64	28.83	28.64
1 - 2	31	29.02	28.57	29.02	28.57
2 - 3	31	43.04	42.72	43.04	42.72
3 - 4	31	43.72	43.32	43.72	43.32
4 - 5	31	21.95	21.25	21.95	21.25
5 - 6	31	22.88	22.06	22.88	22.06
6 - 7	31	23.81	22.87	23.81	22.87
7 - 8	23	23.13	22.08	23.13	22.08
8 - 9	6	27.48	26.47	27.48	26.47
เฉลี่ย	246	29.71	29.10	29.71	29.10

ตารางผนวกที่ ข5 เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ได้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณทั้ง 2
สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารพักอาศัย 3 ชั้น

ชั้นที่	จำนวนเสา (ต้น)	เปอร์เซ็นต์ต่าง		เปอร์เซ็นต์ต่าง (ABS)	
		สมการ (53)	สมการ (54)	สมการ (53)	สมการ (54)
0 - 1	32	-35.16	-36.22	35.16	36.22
1 - 2	32	-40.70	-42.15	40.70	42.15
2 - 3	32	-39.34	-40.96	39.34	40.96
3 - 4	32	-37.99	-39.78	37.99	39.78
เฉลี่ย	128	-38.30	-39.78	38.30	39.78

ตารางผนวกที่ ข6 เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ได้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณทั้ง 2
สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารสาธารณะ 12 ชั้น

ชั้นที่	จำนวนเสา (ต้น)	เปอร์เซ็นต์ต่าง		เปอร์เซ็นต์ต่าง (ABS)	
		สมการ (53)	สมการ (54)	สมการ (53)	สมการ (54)
0 - 1	22	-61.65	-55.70	81.04	75.15
1 - 2	22	-26.82	-22.61	59.72	55.87
2 - 3	19	-31.44	-27.28	59.97	56.01
3 - 4	19	-26.94	-23.41	56.41	52.96
4 - 5	13	-52.24	-47.61	57.80	53.88
5 - 6	13	-100.10	-94.92	100.10	94.92
6 - 7	13	-91.22	-87.26	91.42	87.73
7 - 8	13	-82.47	-79.68	83.67	81.29
8 - 9	13	-133.86	-132.34	133.86	132.34
9 - 10	13	-122.32	-121.63	122.32	121.63
10 - 11	13	-110.94	-111.73	110.94	111.73
11 - 12	13	-99.71	-101.95	99.71	101.95
เฉลี่ย	186	-71.84	-68.76	84.44	81.53

ตารางผนวกที่ ข7 เปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของพื้นที่ได้กราฟ ของหน้าตัดจริงและจากการประมาณ
ทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 53 ,54) อาคารสาธารณะ3 (11 ชั้น)

ชั้นที่	จำนวนเสา (ต้น)	เปอร์เซ็นต์ต่าง		เปอร์เซ็นต์ต่าง (ABS)	
		สมการ (53)	สมการ (54)	สมการ (53)	สมการ (54)
0 - 1	36	32.47	34.45	32.50	34.45
1 - 2	34	39.89	41.60	39.89	41.60
2 - 3	34	41.40	42.90	41.40	42.90
3 - 4	34	24.53	26.24	24.72	26.26
4 - 5	34	26.97	28.34	26.97	28.34
5 - 6	34	14.43	15.64	14.43	15.64
6 - 7	34	17.45	18.25	17.45	18.25
7 - 8	34	16.47	16.93	16.47	16.93
8 - 9	34	19.62	19.66	19.62	19.66
9 - 10	34	22.74	22.37	22.74	22.37
10 - 11	34	25.81	25.05	25.81	25.05
เฉลี่ย	376	25.65	26.54	25.67	26.54

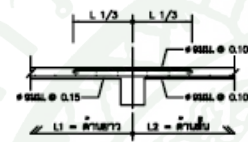


รายการประกอบแบบสำหรับโครงสร้าง

- เหล็กทรงกลมเป็นเหล็ก ที่รับแรงความตึงอัด (fy) ไม่น้อยกว่า 2,400 กก./ซม.² หรือเป็นไปตามที่วิศวกรโยธาแบบ หรือกำหนด (SPECIFICATION)
- เหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและแรงดึง 9 มม. เป็น เหล็กกลมเส้นใยเหล็ก MLD STEEL ที่รับแรงความตึงอัด (fy) ไม่น้อยกว่า 2,400 กก./ซม.² (4) และต้องได้มาตรฐาน มอก. 20-2527
- เหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม. ขึ้นไปเหล็กเส้นใยเหล็ก STRENGTH STEEL ที่รับแรงความตึงอัด (fy) ไม่น้อยกว่า 4,000 กก./ซม.² คือเป็นเหล็กเส้น 50-40 (8) และต้องได้มาตรฐาน มอก. 24-2527
- คอนกรีตสำหรับโครงสร้างทั้งหมด จะต้องใช้ค่ารับแรงอัดประสิทธิ 304 แอมเพกคัลต่อตารางนิ้ว 8 8"x12" (4) ที่หล่อในบริเวณงานไม่น้อยกว่า 280 กก./ซม.² เมื่อเทลงบนพื้นผิวที่เรียบ มีอายุ 28 วัน โดยใช้วิธีบีบอัด 1 นาทีตาม ปฐกษ. 1 ตาม มอก. 15-2524 การเทคอนกรีตในส่วนโครงสร้างตาม ตามวิธีที่แนบมาในแบบร่าง ที่รับแรงดึงสูงสุด ให้พิจารณาในแบบ หรือตามส่วนประกอบนี้ ที่แนบมา ตามที่แนบมาโดยวิศวกร ความละเอียด เหล็กเส้นต้องเหลื่อมกันตาม เหล็กเส้นต้องเหลื่อมกัน หรือที่รองรับแรงดึง 1/5 ของส่วน ความ 5 ซม. จากที่แนบมาของโครงสร้างตามแบบร่าง
- ความหนาของคอนกรีตที่หล่อเสริม (CONCRETE COVER) นอก จากที่ระบุในแบบไว้เป็นค่าอื่น ควรจะเป็นไปตามรายการ ดังนี้
2.5 ซม. สำหรับพื้น
2.5 ซม. สำหรับคานทั่วไป
3.0 ซม. สำหรับเสา
3.5 ซม. สำหรับคานที่ฝังในดิน
10.0 ซม. สำหรับฐานราก
- คอนกรีตแบบ (LEAN CONCRETE) ให้ใช้คอนกรีตความหนา 1:3:5
- สิ่งต่างๆที่ต้องทำการฝังในคอนกรีต เช่น ANCHOR BOLTS , LUGS , PIPES ต้องฝังอยู่ในแบบให้เรียบร้อยและมั่นคง ก่อนเทคอนกรีตเสมอ
- รูและช่องว่าง จะต้องยึดติดกับคอนกรีตที่แบบไว้เป็นอย่างดี และอุดด้วย คอนกรีตเสริมแรง
- การก่อสร้างให้เป็นไปตามแบบร่างทั่วไปสำหรับการก่อสร้าง อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก พ.ร.บ.2538 และมาตรฐานสำหรับ อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (มาตรฐาน พ.ร.บ. 1001 8) 804 2.5.5. รูปประกอบ

รายละเอียดและข้อกำหนดเกี่ยวกับการเสริมเหล็กพื้นและคาน

- การเสริมเหล็กในคาน ค.ส.ล. (เพื่อรับแรงดึง) แต่ไม่ได้ระบุในแบบร่าง (ในแบบร่างหรือคานในบริเวณที่รับแรงดึง) จะต้องใช้เหล็กเส้นยาวกว่า โดยยึดตามข้อกำหนดของ วิศวกรโยธา 1/3 ของส่วนยาว หรือตามที่วิศวกรโยธา



และการเสริมเหล็กพื้นคาน สำหรับคานที่มีขนาดกว้างกว่าที่กำหนดในแบบร่าง คานที่เสริมเหล็กด้วยเหล็กเส้นยาวกว่า จะต้องใช้เหล็กเส้นยาวกว่า โดยยึดตามข้อกำหนดของ วิศวกรโยธา

- ถ้าไม่มีระบุในแบบ รูปของเหล็กในคาน ค.ส.ล. ที่มีขนาดเส้นผ่า 0.80 ซม. ให้เสริมเหล็กเส้นขนาด 2-8 มม. x 0.04 ม. สำหรับคาน



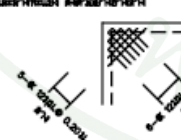
- ถ้าไม่มีระบุในแบบ รูปของเหล็กในคาน ค.ส.ล. ที่มีขนาดเส้นผ่า 0.80 ซม. ให้เสริมเหล็กเส้นขนาด 2-8 มม. x 0.04 ม. สำหรับคาน



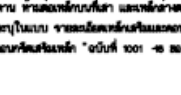
- ถ้าไม่มีระบุในแบบ รูปของเหล็กในคาน ค.ส.ล. ที่มีขนาดเส้นผ่า 0.80 ซม. ให้เสริมเหล็กเส้นขนาด 2-8 มม. x 0.04 ม. สำหรับคาน



- ถ้าไม่มีระบุในแบบ รูปของเหล็กในคาน ค.ส.ล. ที่มีขนาดเส้นผ่า 0.80 ซม. ให้เสริมเหล็กเส้นขนาด 2-8 มม. x 0.04 ม. สำหรับคาน



- ถ้าไม่มีระบุในแบบ รูปของเหล็กในคาน ค.ส.ล. ที่มีขนาดเส้นผ่า 0.80 ซม. ให้เสริมเหล็กเส้นขนาด 2-8 มม. x 0.04 ม. สำหรับคาน



- ถ้าไม่มีระบุในแบบ รูปของเหล็กในคาน ค.ส.ล. ที่มีขนาดเส้นผ่า 0.80 ซม. ให้เสริมเหล็กเส้นขนาด 2-8 มม. x 0.04 ม. สำหรับคาน



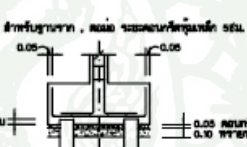
- ถ้าไม่มีระบุในแบบ รูปของเหล็กในคาน ค.ส.ล. ที่มีขนาดเส้นผ่า 0.80 ซม. ให้เสริมเหล็กเส้นขนาด 2-8 มม. x 0.04 ม. สำหรับคาน

รายละเอียดและข้อกำหนดเกี่ยวกับการเสริมเหล็กพื้นและคาน

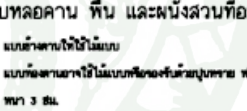
- สำหรับพื้น ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา



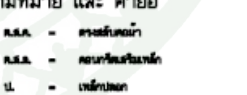
- สำหรับคาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา



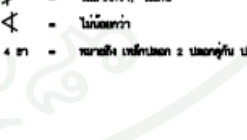
- สำหรับฐานราก , คาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา



- สำหรับคาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา



- สำหรับคาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา



- สำหรับคาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา



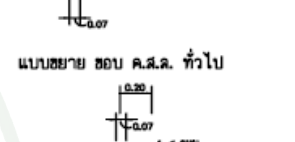
- สำหรับคาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา



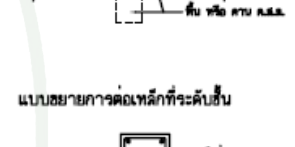
- สำหรับคาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา

รายละเอียดและข้อกำหนดเกี่ยวกับการเสริมเหล็กพื้นและคาน

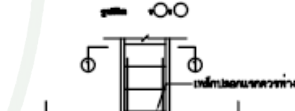
- สำหรับพื้น ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา



- สำหรับคาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา



- สำหรับฐานราก , คาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา



- สำหรับคาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา



- สำหรับคาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา



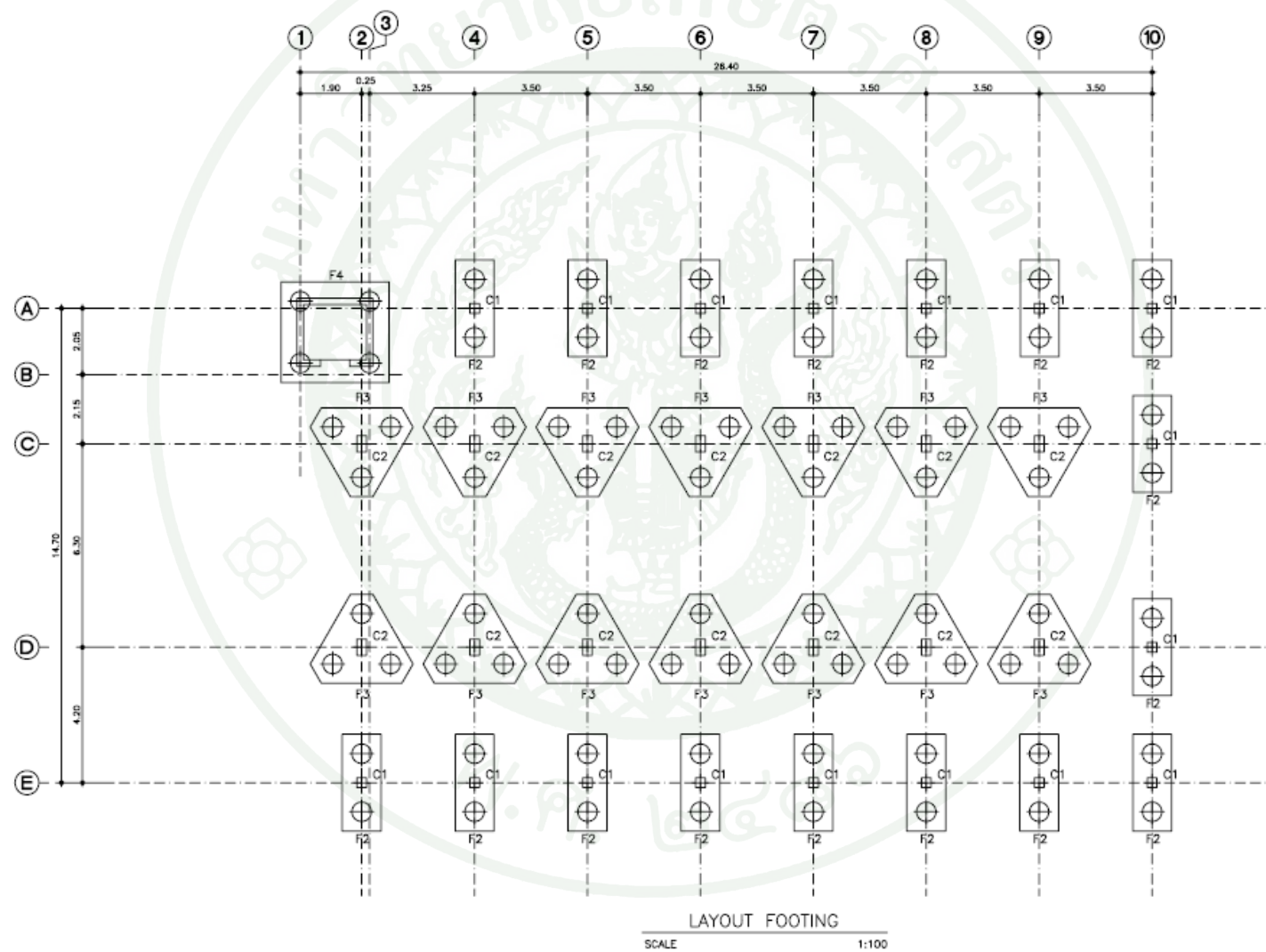
- สำหรับคาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา

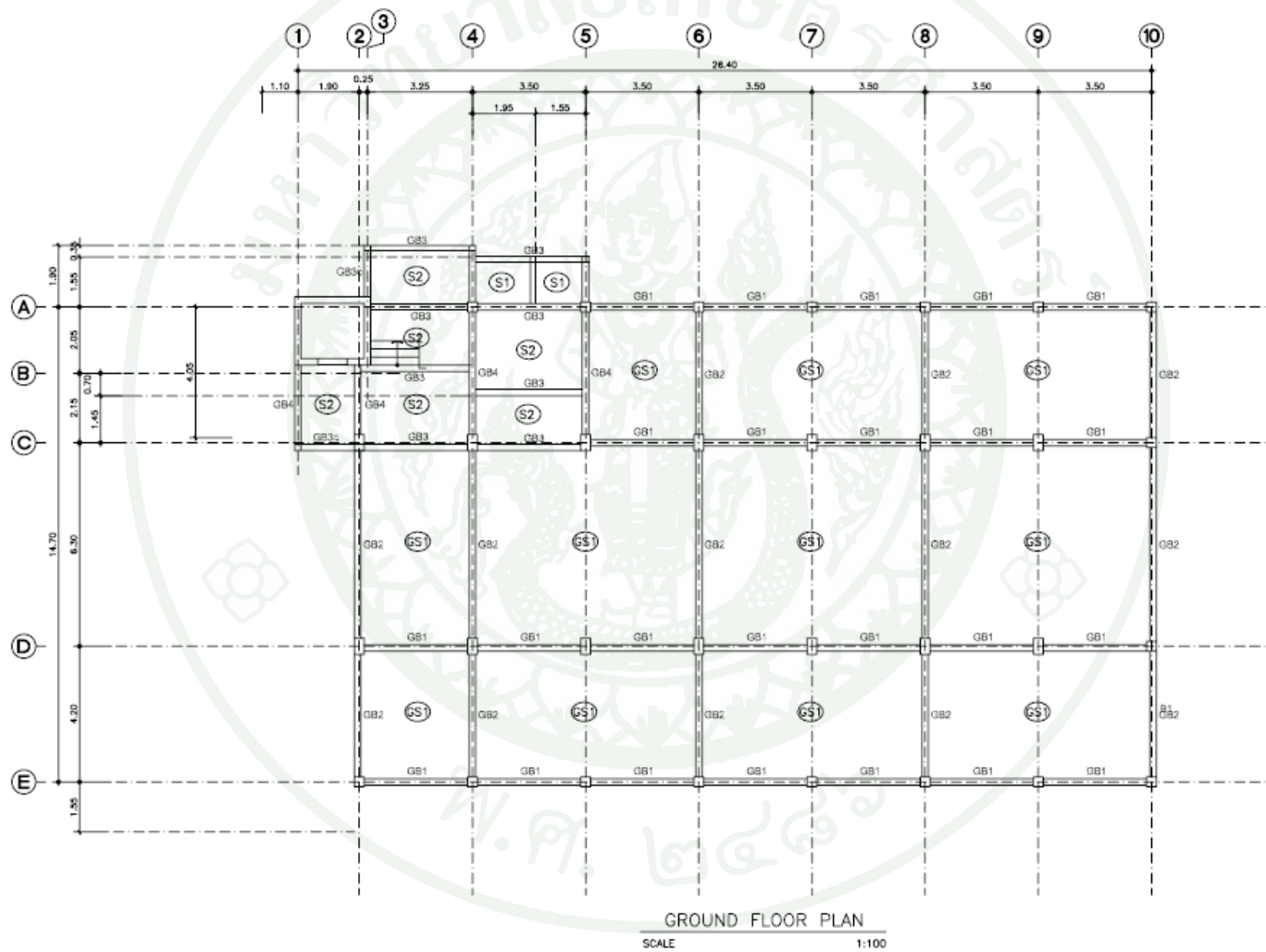


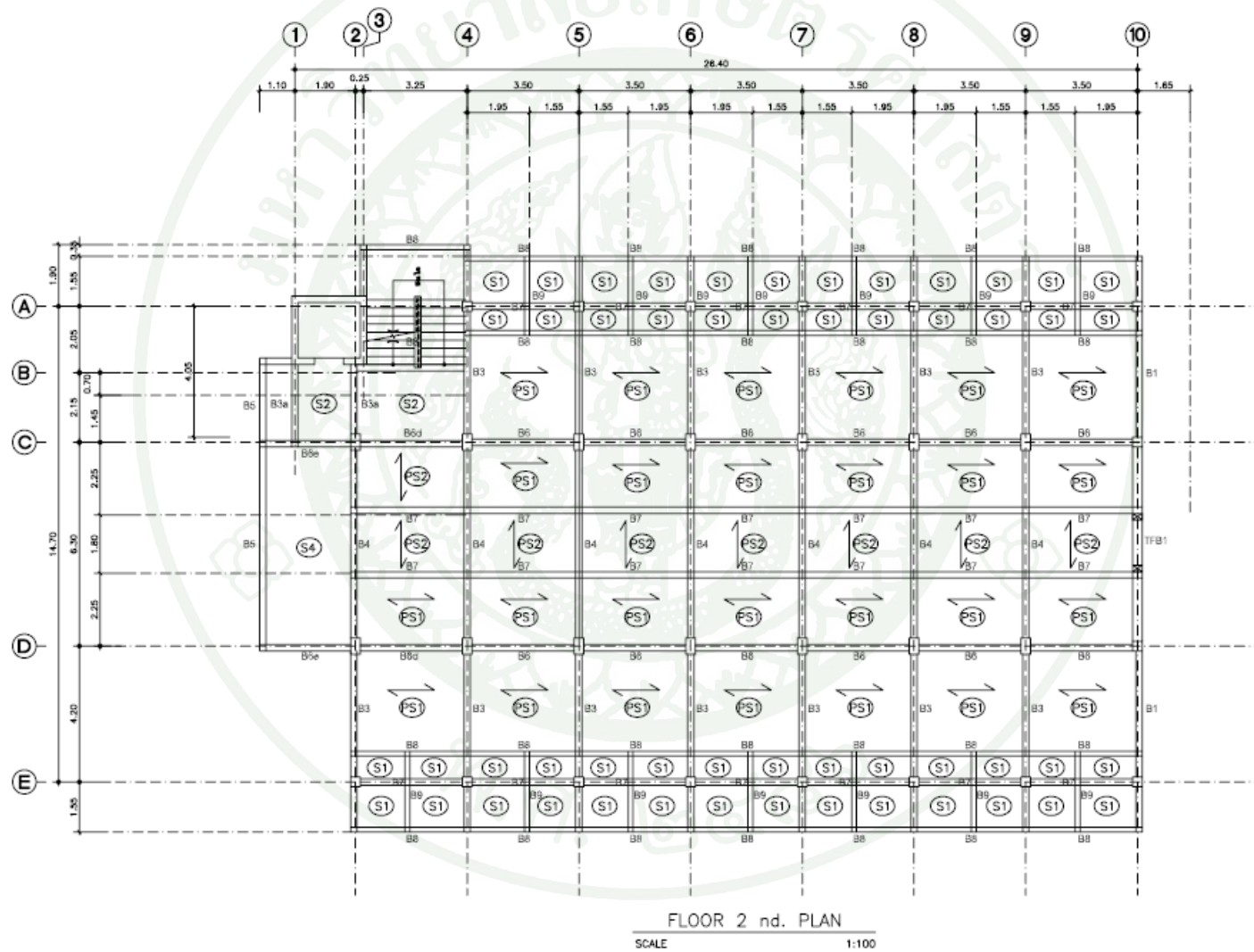
- สำหรับคาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา

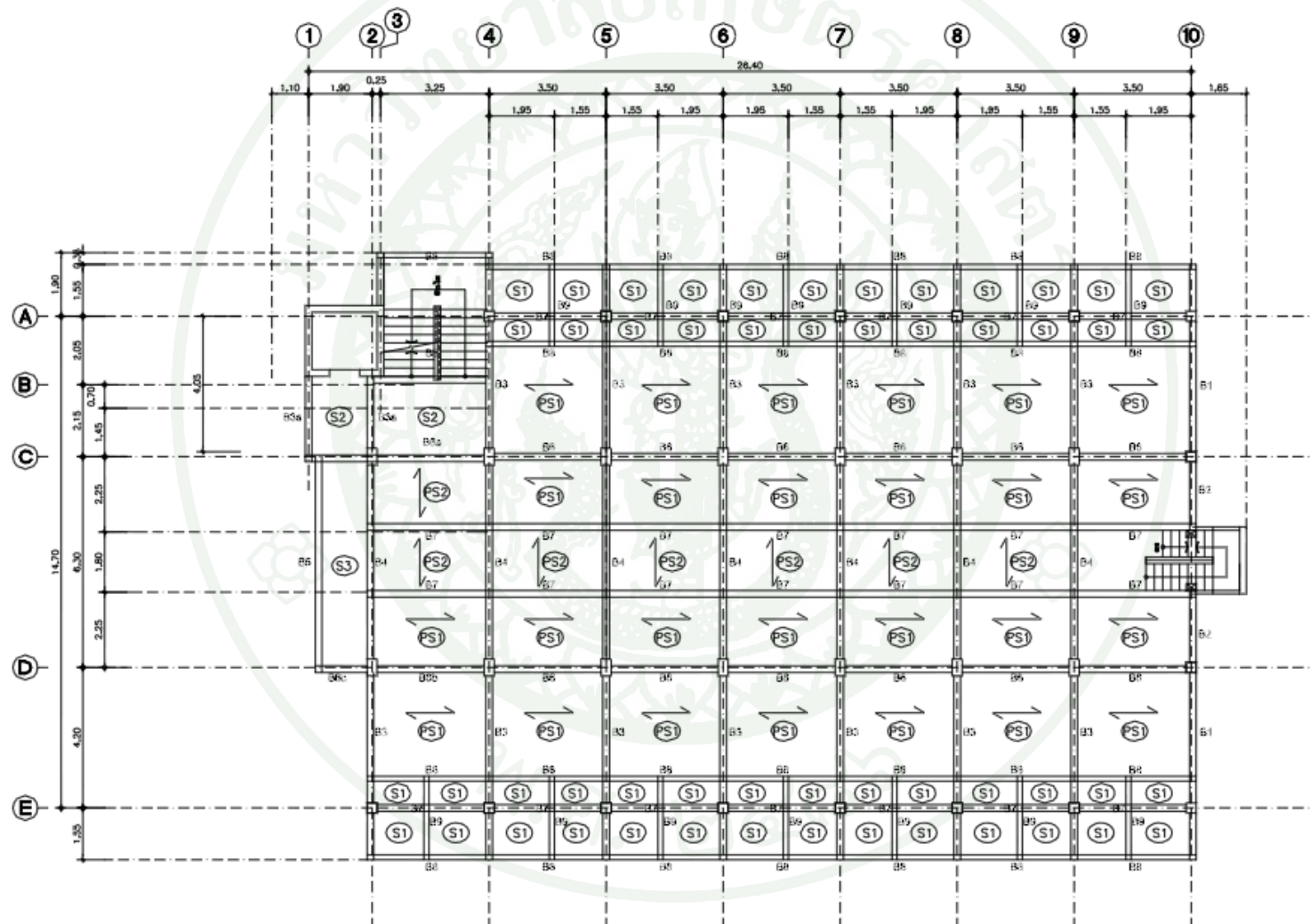


- สำหรับคาน ระยะเวลาการเสริมเหล็ก 2.5 ซม. หรือตามที่วิศวกรโยธา

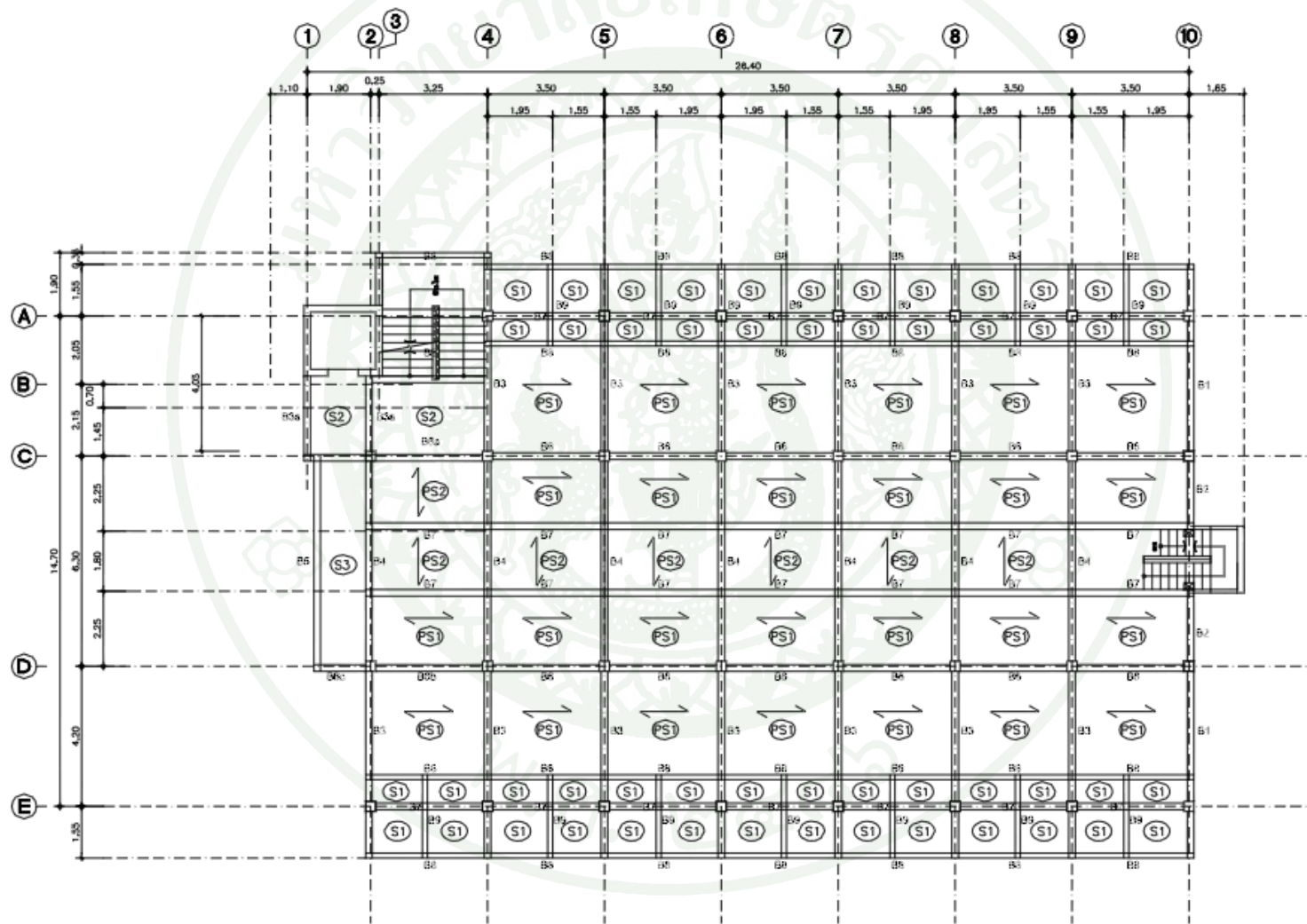




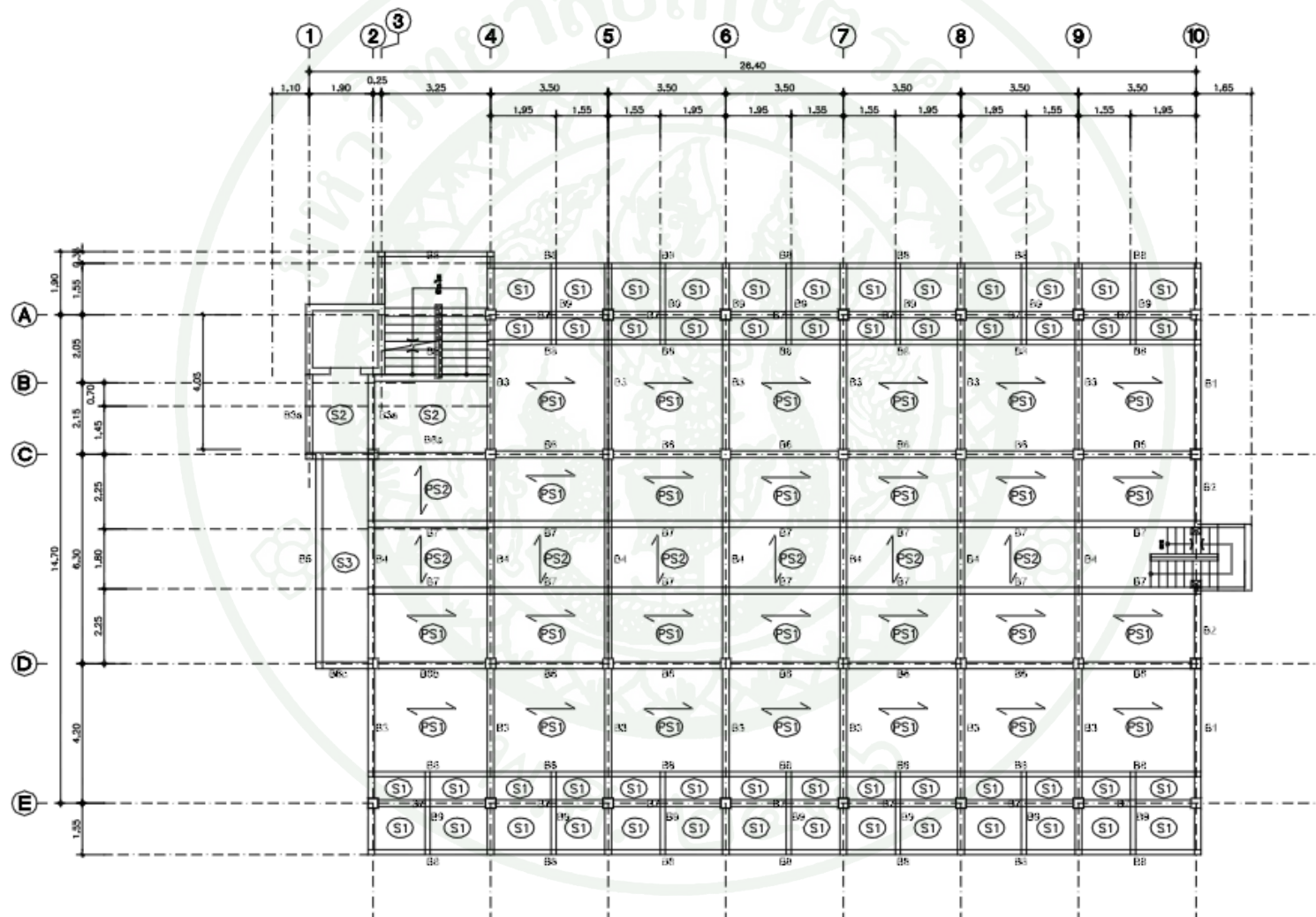




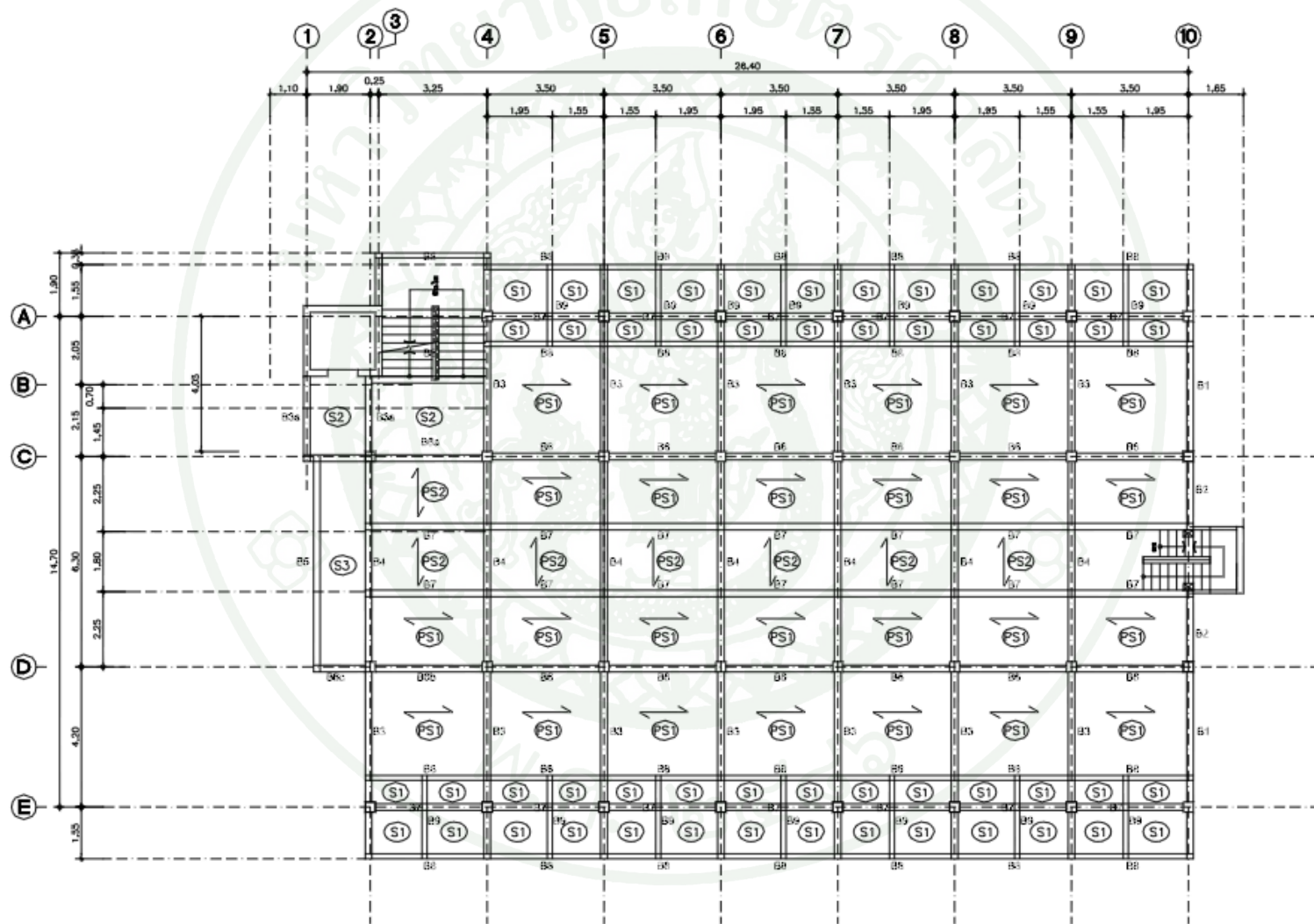
FLOOR 3 rd. PLAN
SCALE 1:100



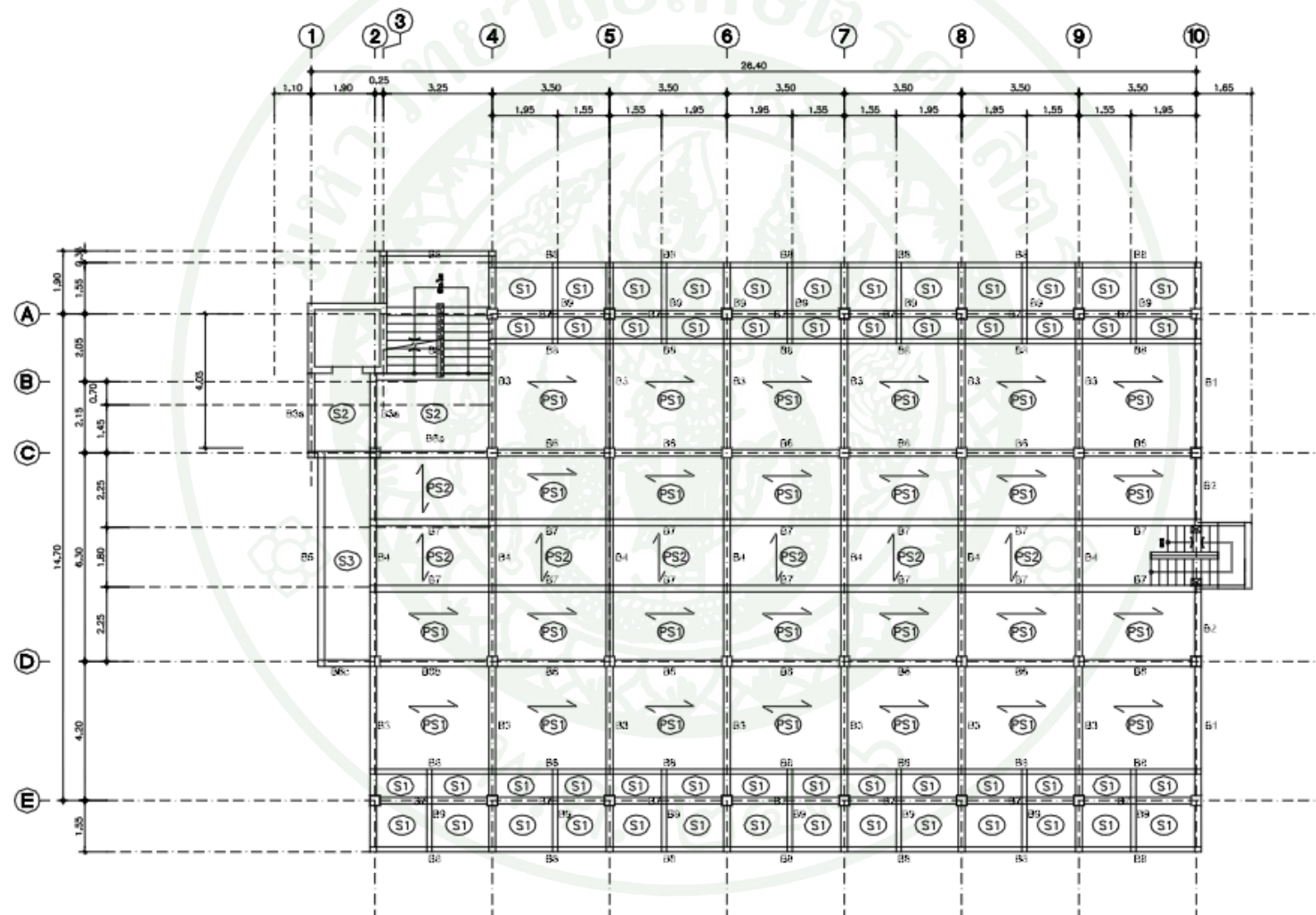
FLOOR 4 th. PLAN
SCALE 1:100



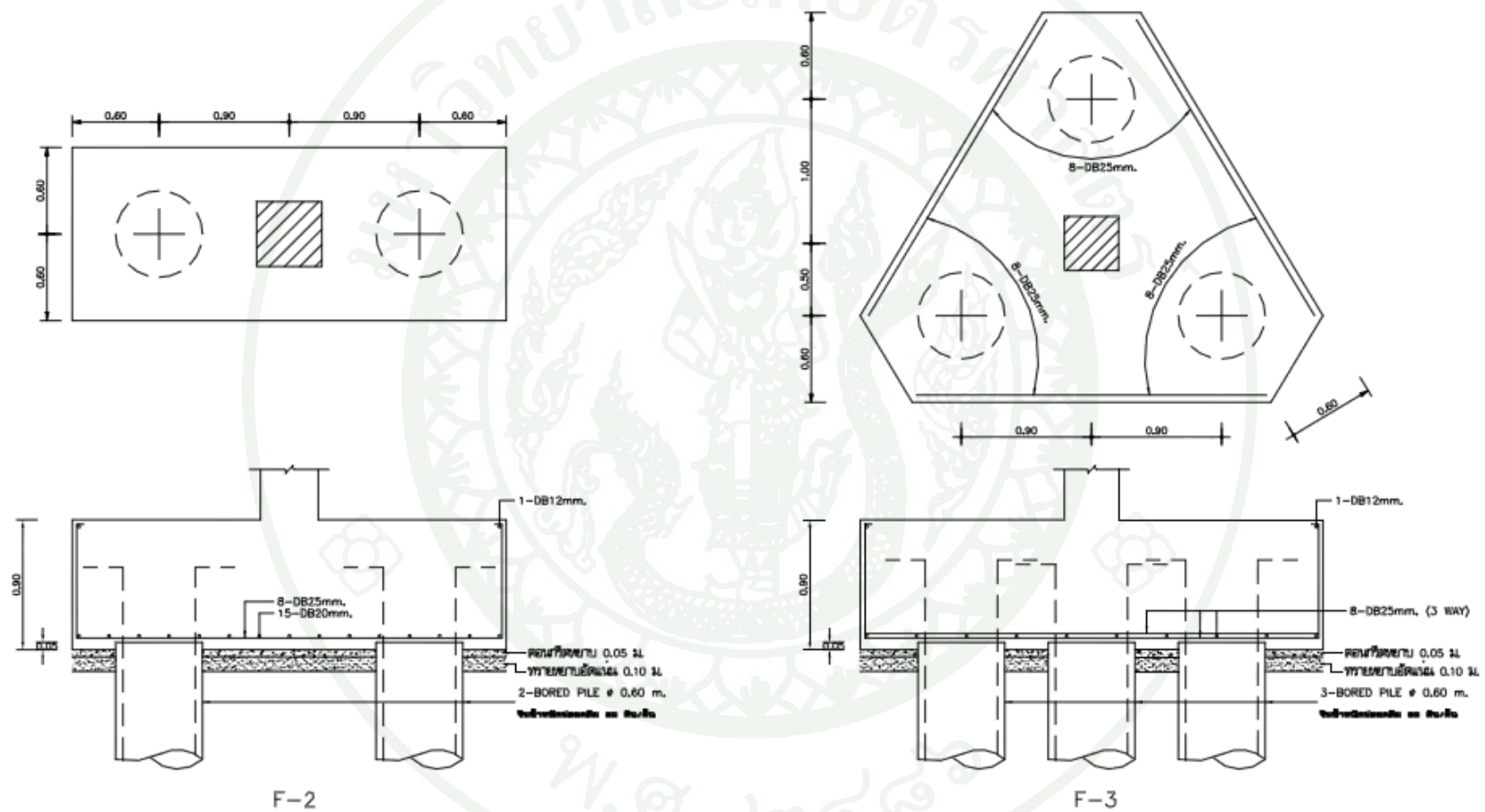
FLOOR 5 th. PLAN
SCALE 1:100



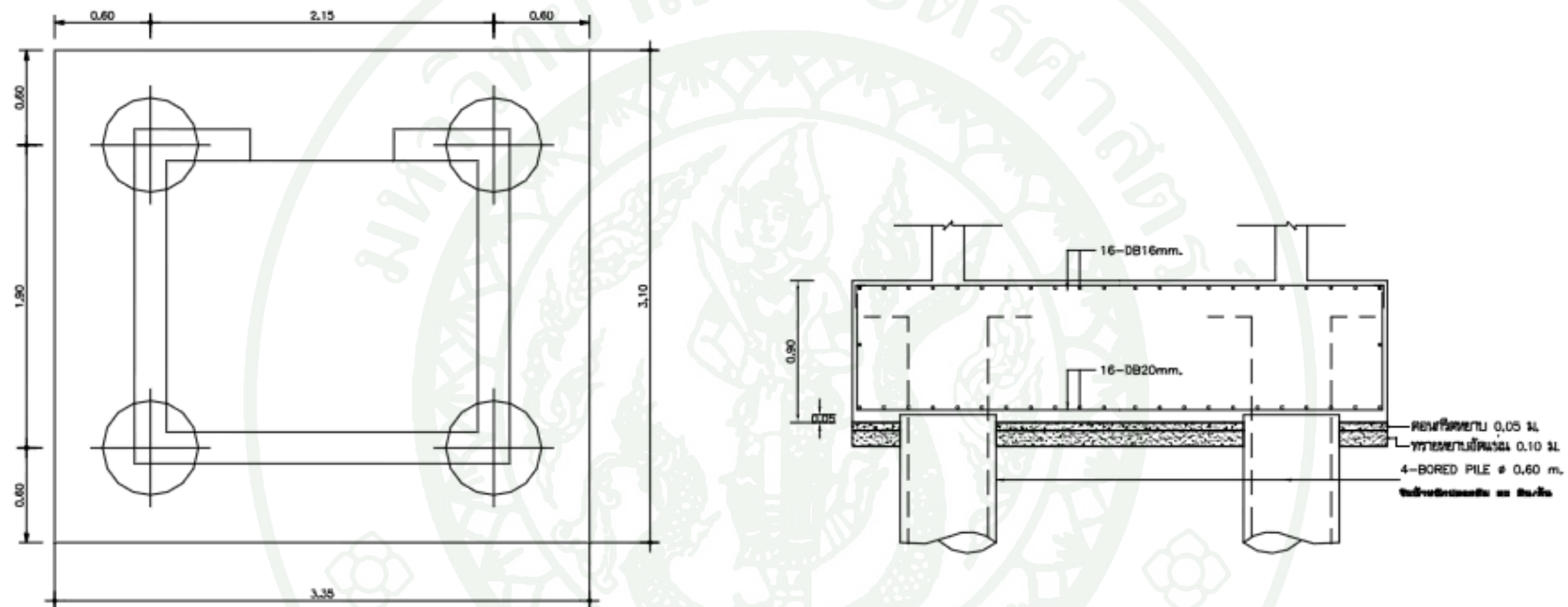
FLOOR 6 th. PLAN
SCALE 1:100



FLOOR 7 th. PLAN
SCALE 1:100



DETAIL FOOTING
SCALE 1:25



F-4

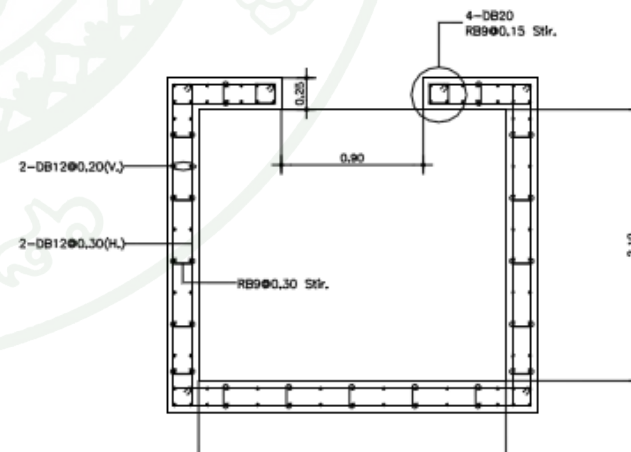
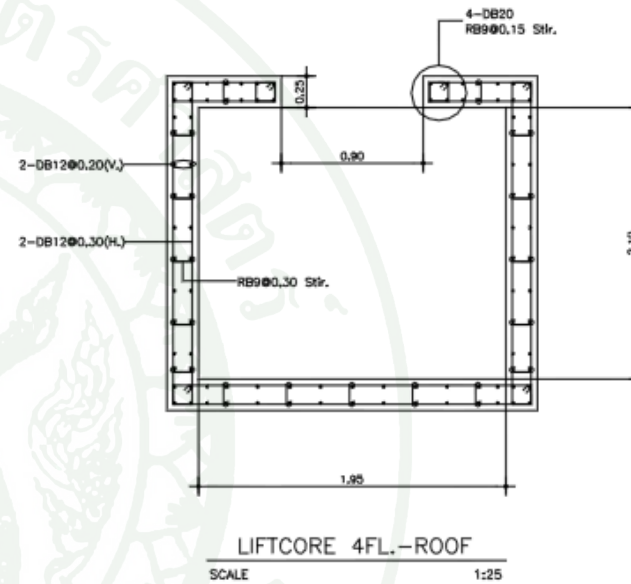
DETAIL FOOTING

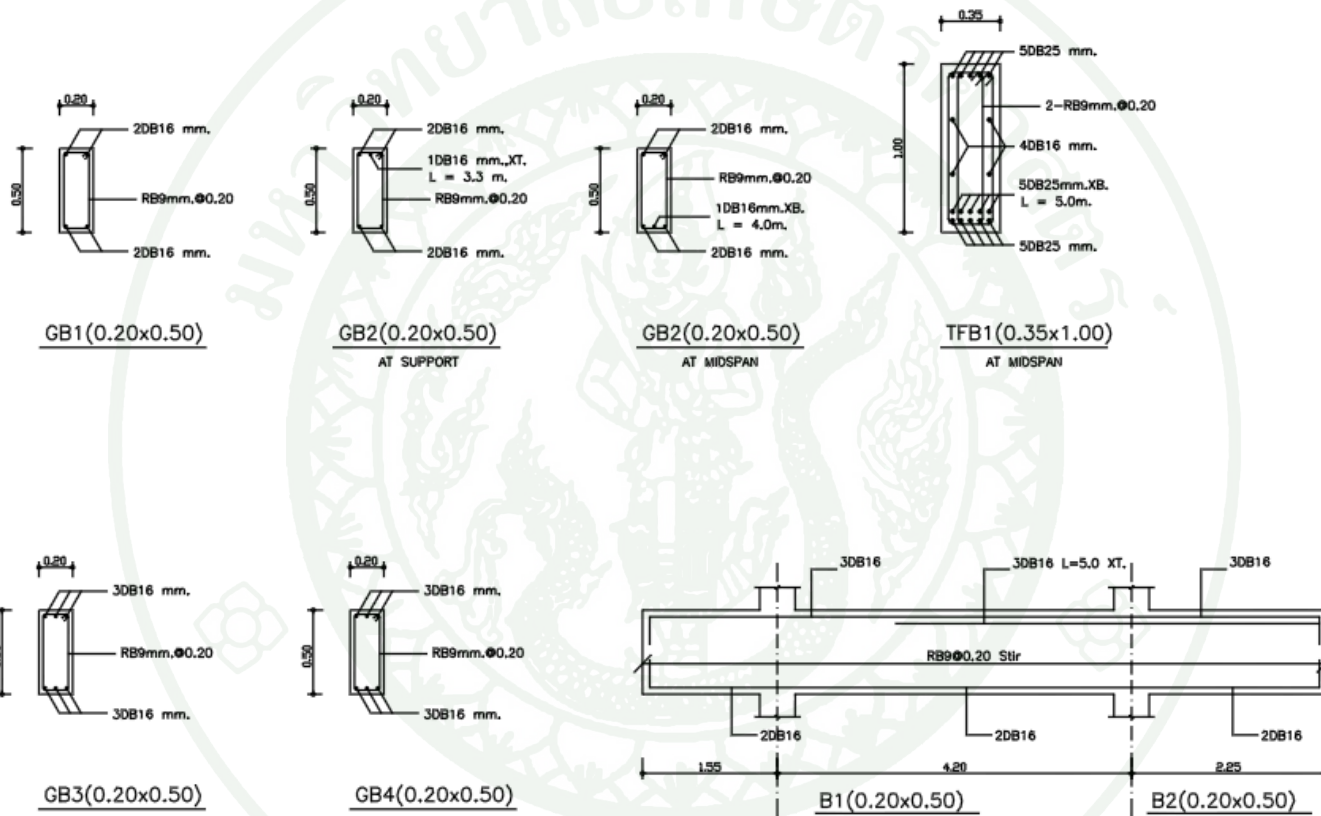
SCALE

1:25

ทิศทาง ↑ ชั้นใต้ดิน	 4DB16 + 4DB12 mm, 2-RB9mm, Ø0.25 Stir.	 8DB16 mm, 2-RB9mm, Ø0.25 Stir.
ทิศทาง ↑ ชั้นใต้ดิน	 8-DB20 mm, 2-RB9mm, Ø0.20 Stir.	 10-DB20 mm, 2-RB9mm, Ø0.20 Stir.
ทิศทาง ↑ ดาดฟ้า	 8-DB20 mm, 2-RB9mm, Ø0.20 Stir.	 10-DB20 mm, 2-RB9mm, Ø0.20 Stir.
ชั้น ดาดฟ้า	C-1	C-2

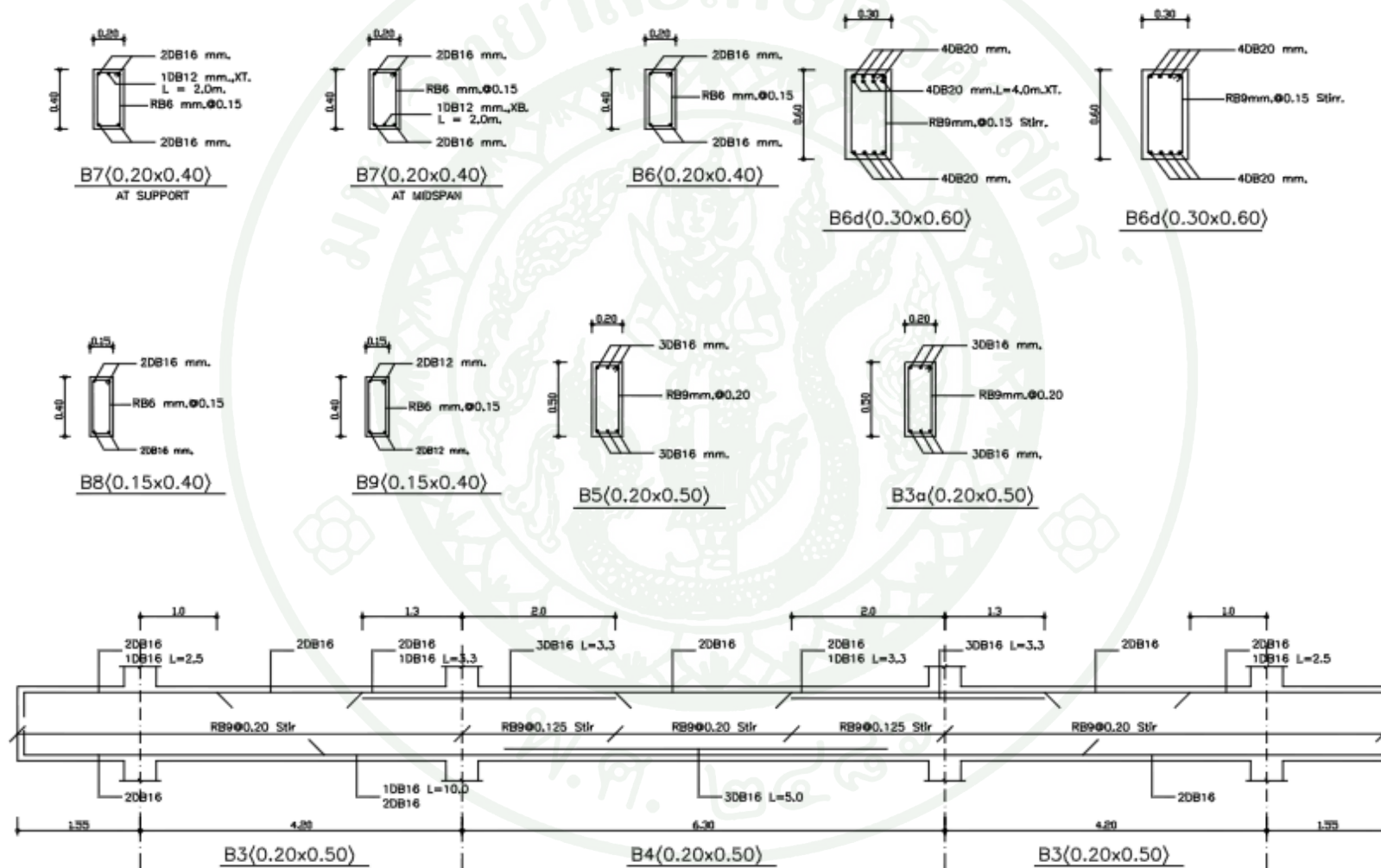
DETAIL COLUMN
SCALE 1:25

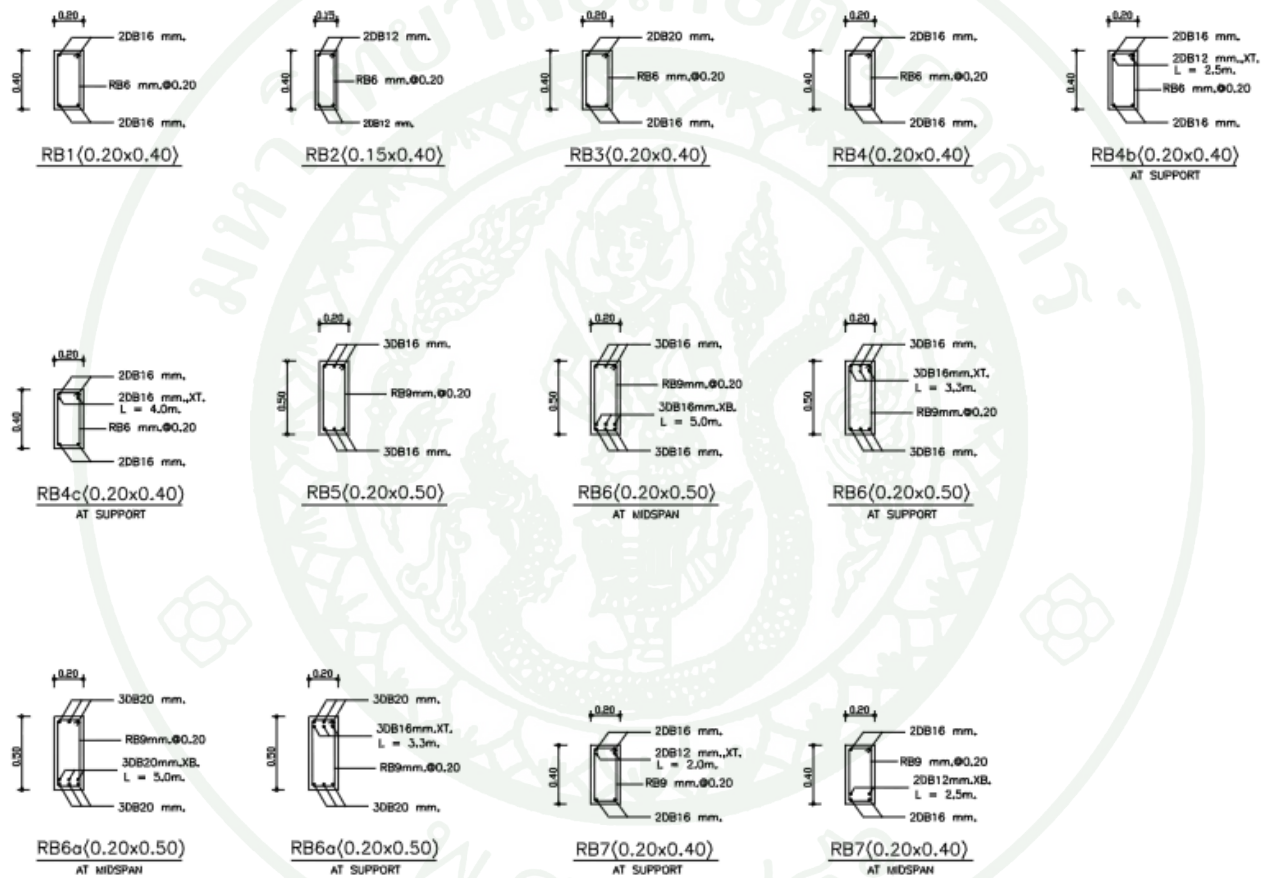




DETAIL BEAM

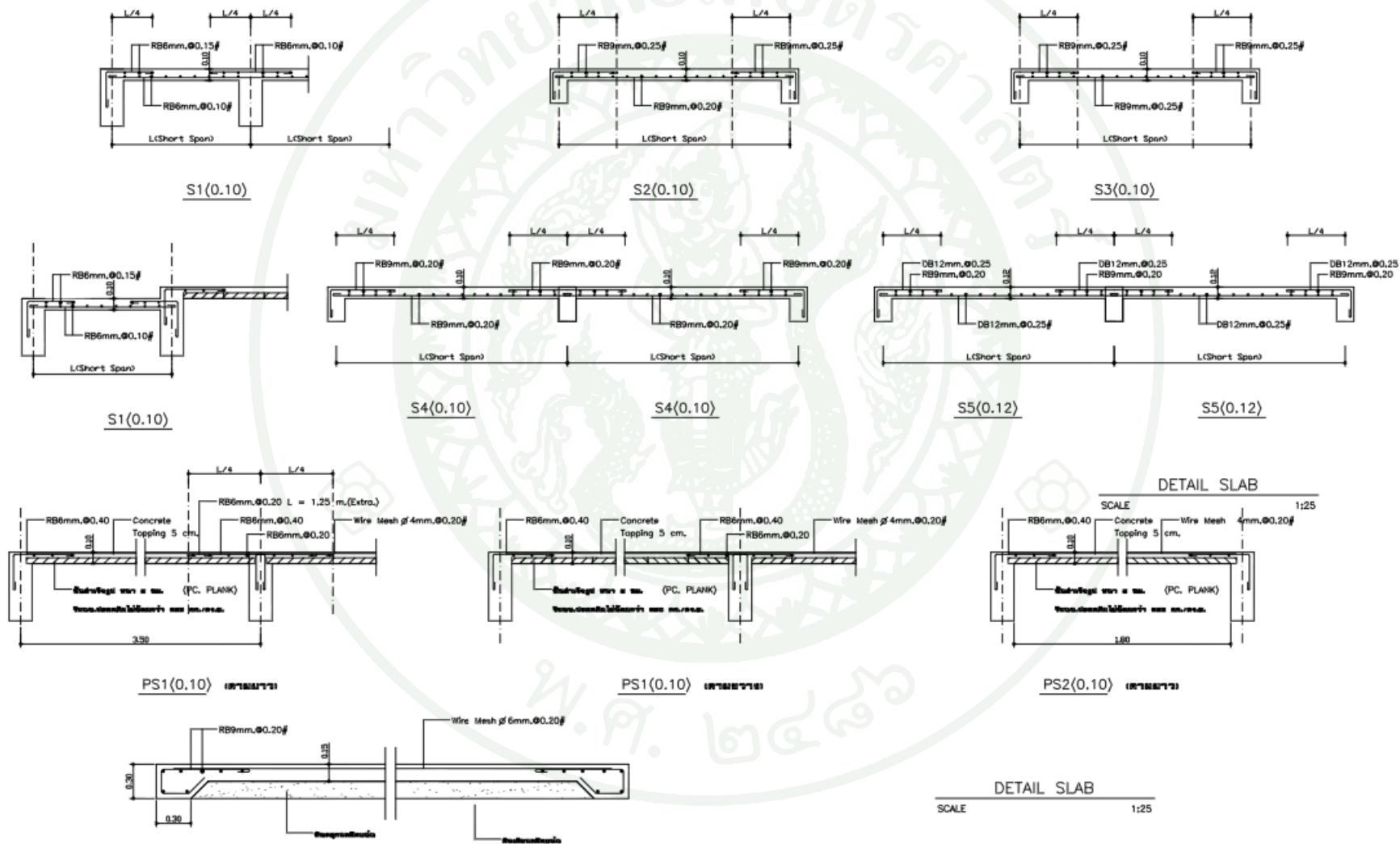
SCALE 1:25

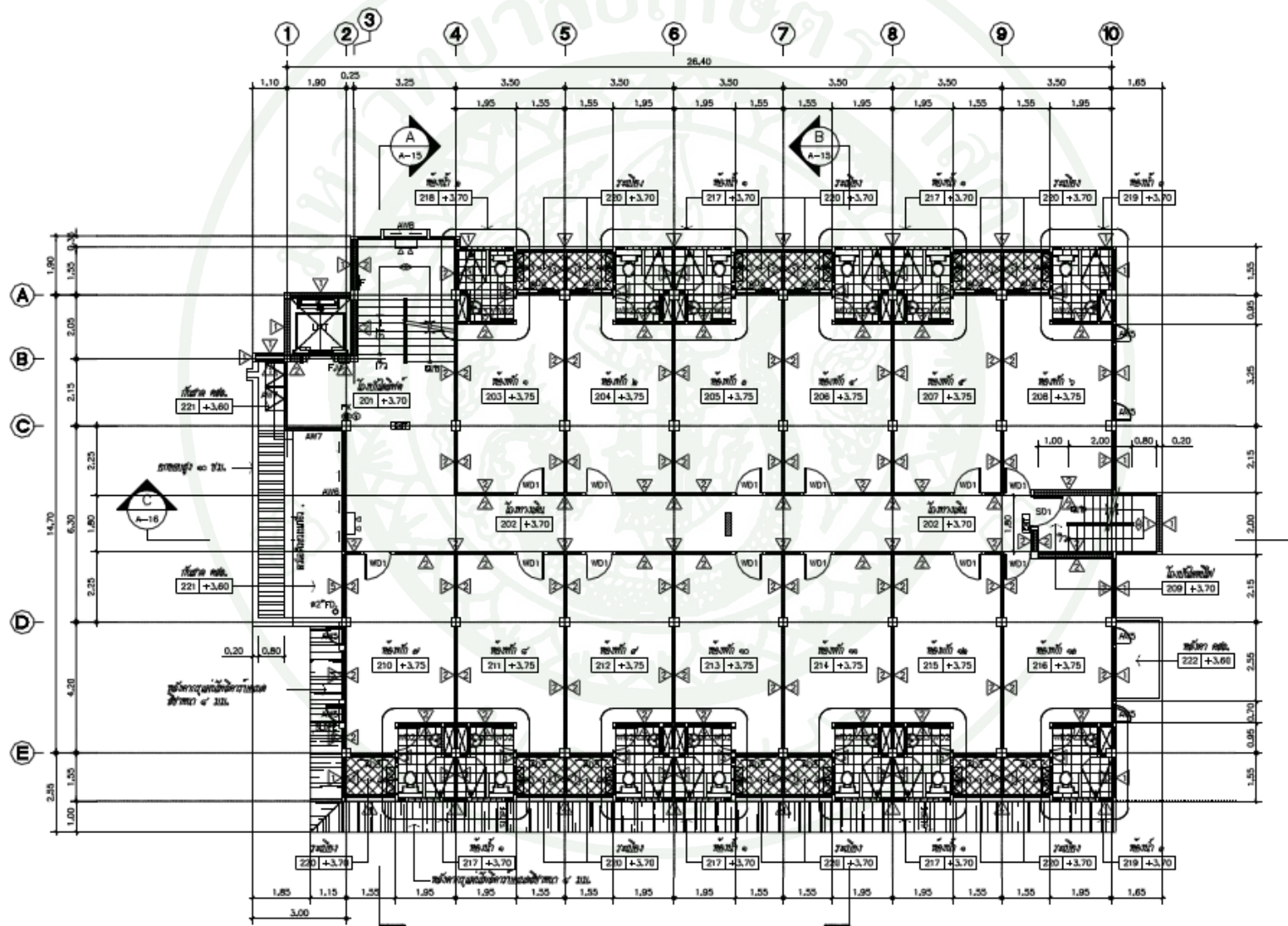


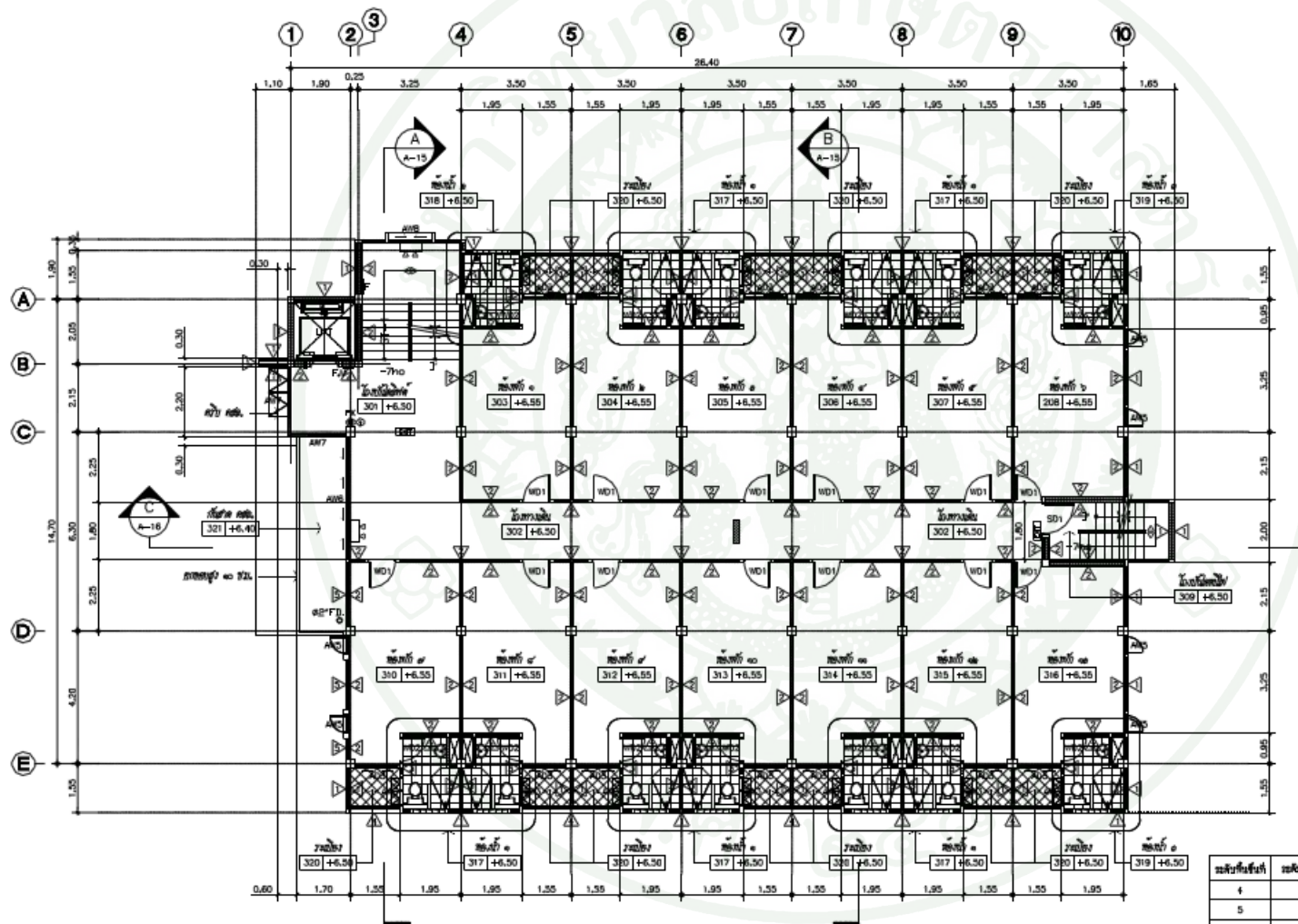


DETAIL BEAM

SCALE 1:25







ระดับชั้น	ระดับชั้น/ท.ล.	ระดับชั้น/ท.ล.	ระดับชั้น/ท.ล.	ระดับชั้น/ท.ล.
4	EL.+9.30	EL.+9.30	EL.+9.30	EL.+9.30
5	EL.+12.10	EL.+12.15	EL.+12.10	EL.+12.00
6	EL.+14.90	EL.+14.95	EL.+14.90	EL.+14.80
7	EL.+17.70	EL.+17.75	EL.+17.70	EL.+17.60

หน้า 1 จาก 1

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายณัฐพล สิวะไชย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 13 เมษายน 2526
สถานที่เกิด	อ.พุทไธสง จ.บุรีรัมย์
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-