



การประยุกต์วิธีทางกราฟฟิกร่วมกับระบบฐานข้อมูลเพื่อพัฒนา
โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง
สำหรับบ้านพักอาศัย

โดย

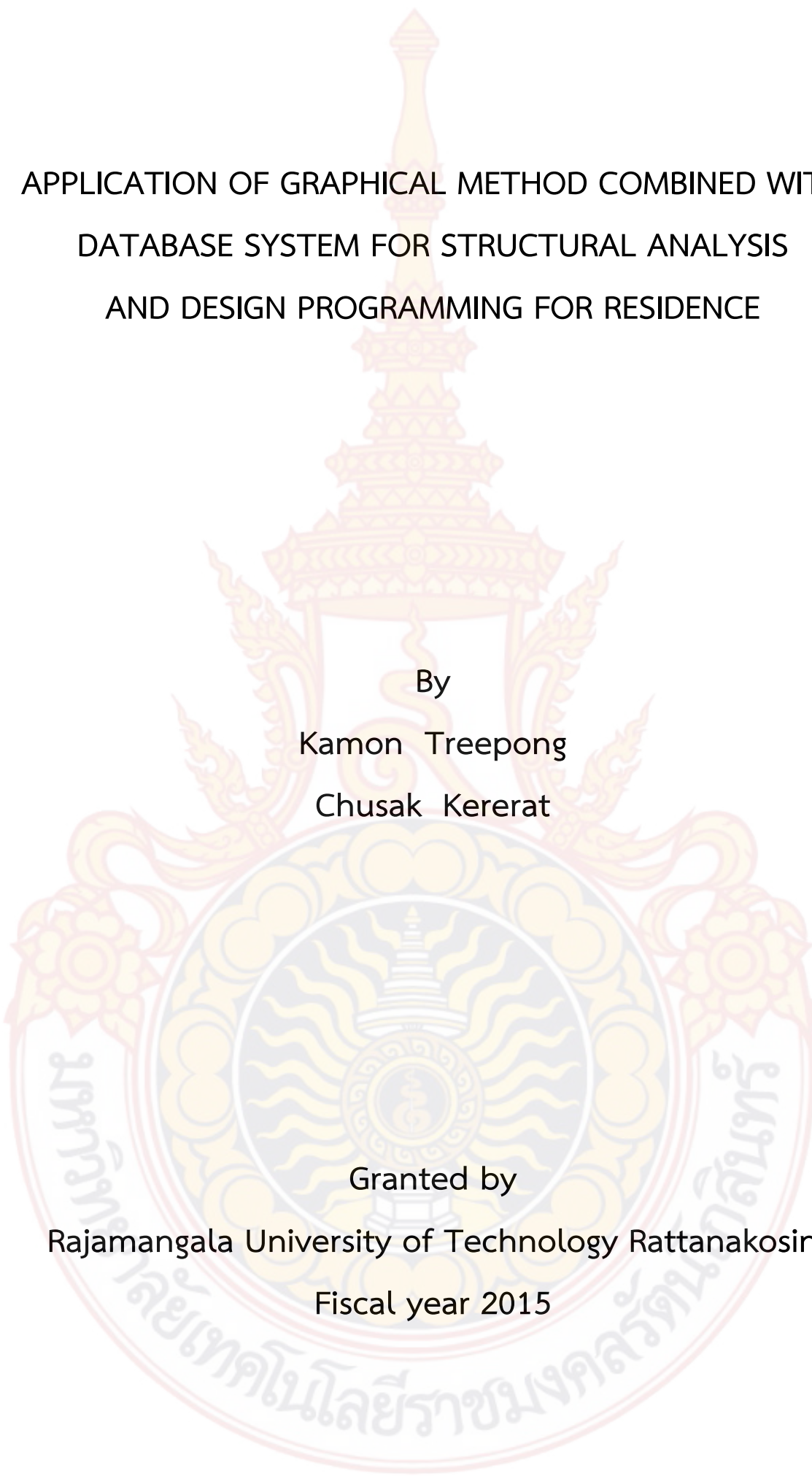
กมล ตรีผอง

ชูศักดิ์ ศีรีรัตน์

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2558



APPLICATION OF GRAPHICAL METHOD COMBINED WITH
DATABASE SYSTEM FOR STRUCTURAL ANALYSIS
AND DESIGN PROGRAMMING FOR RESIDENCE

By
Kamon Treepong
Chusak Kererat

Granted by
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Fiscal year 2015

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ขอขอบคุณ นางสาวทรงพร แซ่แต่ ซึ่งเป็นผู้ช่วยวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้เงินสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี

กมล ตรีทอง และคณะ

เมษายน 2558



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : Inno 017/2558

ชื่อโครงการ : การประยุกต์วิธีทางกราฟฟิกร่วมกับระบบฐานข้อมูลเพื่อพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างสำหรับบ้านพักอาศัย

ชื่อนักวิจัย : นายกมล ตรีผอง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ ศิริรัตน์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาวิชวลเบสิก 6.0 สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับการออกแบบคานเหล็กอยู่ในโปรแกรมเดียวกันสำหรับบ้านพักอาศัยไม่เกิน 2 ชั้น การพัฒนาโปรแกรมสามารถนำเข้าข้อมูลในรูปแบบกราฟฟิกด้วยการสร้างแปลนบ้านบนหน้าจอ การวิเคราะห์คานใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การออกแบบพื้นและคานคอนกรีตเสริมเหล็กใช้วิธีหน่วยแรงใช้งานตามมาตรฐาน วสท. 1007-34 การออกแบบพื้นสองทางใช้วิธีที่ 3 (ว.ส.ท. 9103) การแสดงผลสามารถแสดงผลหน้าตัดรายละเอียดการเสริมเหล็กโครงสร้างและตารางข้อมูลรายละเอียดการออกแบบได้ทั้งทางจอภาพและเครื่องพิมพ์ ผลจากการใช้งานโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นพบว่าข้อมูลการวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กมีผลตรงกับการคำนวณด้วยมือ สำหรับการออกแบบพื้นสองทางให้ค่าปริมาณเหล็กเสริมที่น้อยกว่าผลการออกแบบด้วยโปรแกรม VisStructure 4 ซึ่งเป็นโปรแกรมเชิงพาณิชย์ ข้อมูลการวิเคราะห์คานมีผลตรงกับการคำนวณด้วยมือ และโปรแกรม SUTStructor การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีผลตรงกับการคำนวณด้วยมือ แต่ให้ค่าแตกต่างกับโปรแกรม VisStructure 4 แต่อย่างไรก็ตามโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ออกแบบบ้านพักอาศัย 2 ชั้นได้โดยมีค่าความปลอดภัยเพียงพอ

คำสำคัญ: วิธีทางกราฟฟิก, โปรแกรมคอมพิวเตอร์, โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก, โครงสร้างเหล็ก

E-mail Address : treep18@hotmail.com

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม พ.ศ. 2557 – กันยายน พ.ศ. 2558

Abstract

Code of Project : Inno 017/2558
Project Name : Application of Graphical Method combined with Database System for Structural Analysis and Design Programming for Residence
Research Name : Mr. Kamon Treepong and Assist.Prof.Dr.Chusak Kererat

This research was to develop computer program for structural analysis and design which focused on reinforced concrete structure combined with steel structure by using visual basic 6.0 language. The developed program can be used for reinforced concrete incorporating with steel structure for the residence not exceeds 2 stories. The input data can be obtained from graphical input method. Finite element method was used for structural analysis and structural design under working stress design method with standard of EIT 1007-34 and two-way slab was designed under method 3 of EIT 9103 standard. The output can be shown the details of steel reinforcement including analysis and design data in both on screen and print out. According to program operation, the results of structural analysis and design in both by developed program and by hand were the same. The comparison of two-way slab design between by developed program and by VisStructure 4 program (commercial program) was different in which the quantities of steel reinforcement by developed program were smaller than that by VisStructure 4 program. However, the developed program can be sufficient safety design for the 2 stories of residence.

Keywords: Graphical Method, Computer Program, Reinforced Concrete Structure, Steel Structure

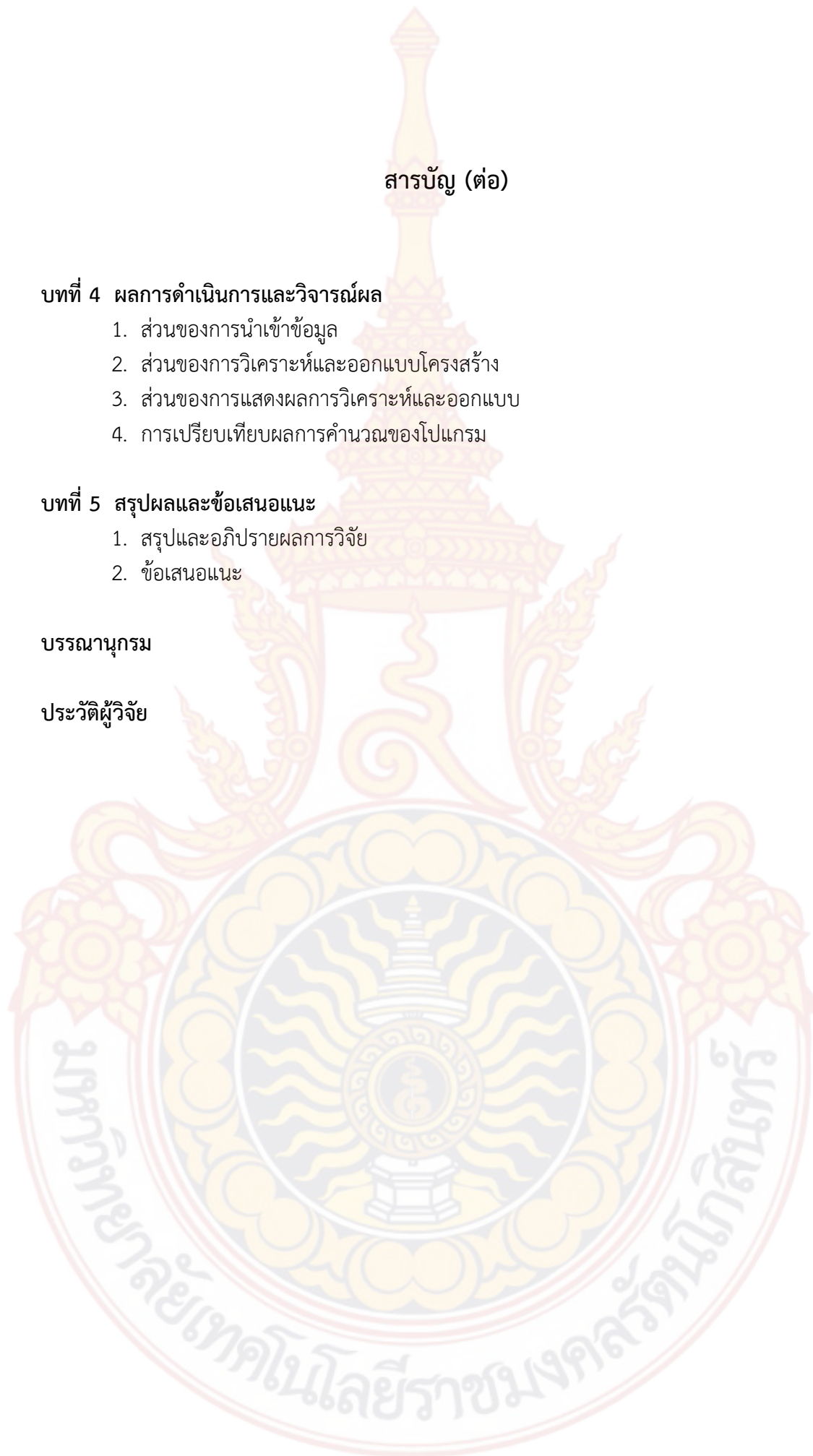
E-mail Address : treep18@hotmail.com
Period of Project : October 2014 – September 2015

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์	1
3. กรอบแนวคิดการวิจัย	2
4. ขอบเขตของการวิจัย	2
5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ Visual Basic	3
2. ทฤษฎีการวิเคราะห์คานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	4
3. การหาพื้นที่เฟนสมมาตริกซ์ของเอลิเมนต์คาน	8
4. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน	19
5. การคำนวณหาโมเมนต์ต้านทานของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว	21
6. การคำนวณหาโมเมนต์ต้านทานของคานคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งแรงดึงและแรงอัด	23
7. การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	27
8. การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	32
9. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเสา	40
10. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับฐานราก	45
11. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงหลังคา	50
12. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	52
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	55
1. ขั้นตอนการดำเนินงาน	55
2. แนวคิดสำหรับการทำงานของโปรแกรม	56
3. ผังการดำเนินการของโครงการ	57
4. แผนภาพลำดับการทำงานของโปรแกรมโดยรวม	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินการและวิจารณ์ผล	59
1. ส่วนของการนำเข้าสู่ข้อมูล	59
2. ส่วนของการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง	65
3. ส่วนของการแสดงผลการวิเคราะห์และออกแบบ	88
4. การเปรียบเทียบผลการคำนวณของโปรแกรม	94
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	181
1. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย	181
2. ข้อเสนอแนะ	182
บรรณานุกรม	157
ประวัติผู้วิจัย	158



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความลึกของคานชั้นต่ำกรณีไม่ได้คำนวณหาระยะการโก่ง	29
2	ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	33
3	ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ลบ (วิธีที่สามตามมาตรฐานของ วสท.)	35
4	ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บวกจากน้ำหนักคงที่ (วิธีที่สามตามมาตรฐานของ วสท.)	36
5	ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บวกจากน้ำหนักจร (วิธีที่สามตามมาตรฐานของ วสท.)	37
6	ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก	40
7	ข้อมูลจำเพาะของกระเบื้องคอนกรีตโมเนีย โดยประมาณ	50
8	แรงลม ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6/2557 (กรณีไม่เอกสารอ้างอิง)	51
9	การเปรียบเทียบผลการคำนวณของพื้นสองทางสำหรับแปลนบ้านที่ 1	96
10	การเปรียบเทียบผลการคำนวณของพื้นสองทางสำหรับแปลนบ้านที่ 2	97
11	การเปรียบเทียบผลการคำนวณของพื้นทางเดียวสำหรับแปลนบ้านที่ 2	105
12	การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับคานต่อเนื่องที่ ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 1	107
13	การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับคานต่อเนื่องที่ ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2	110
14	การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงภายในชิ้นส่วนคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจาก แปลนบ้านที่ 1	121
15	การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงภายในชิ้นส่วนคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจาก แปลนบ้านที่ 2	123
16	การเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์และแรงเฉือนของคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่าง จากแปลนบ้านที่ 1	134
17	การเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์และแรงเฉือนของคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่าง จากแปลนบ้านที่ 2	136
18	การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจาก แปลนบ้านที่ 1	148
19	การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจาก แปลนบ้านที่ 2	153
20	การเปรียบเทียบผลการคำนวณขนาดคานเหล็กเสริม ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด และแรง เฉือนสูงสุดของคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 1	170
21	การเปรียบเทียบผลการคำนวณขนาดคานเหล็กเสริม ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด และแรง เฉือนสูงสุดของคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2	172

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การแบ่งเอลิเมนต์ของคาน	8
2 ฟังก์ชันรูปร่างของเอลิเมนต์คาน	10
3 ส่วนตัดของคาน	13
4 คานที่มีโมเมนต์ m และแรงเฉือน V กระทำ, ซึ่ง m และ V มีทิศทางเป็นบวก	13
5 ลักษณะของโหลดกระจายที่กระทำบนเอลิเมนต์คาน	15
6 คานเอลิเมนต์	16
7 คานยึดปลายทั้งสองด้านและมีโหลดกระจายสม่ำเสมอกระทำ	16
8 แบบจำลองคาน	16
9 พฤติกรรมการต้านทานโมเมนต์ดัด	21
10 การเสริมเหล็กในคานเพื่อรับแรงดึงและแรงอัด	23
11 ลักษณะการเกิดพฤติกรรมแรงดัด	27
12 ลักษณะการเกิดพฤติกรรมแรงเฉือน	28
13 ลักษณะการเกิดพฤติกรรมแรงบิด	28
14 ระยะเสริมเหล็กคอกม้าและเหล็กเสริมพิเศษตามมาตรฐาน ACI	28
15 การถ่ายน้ำหนักของพื้นเสริมเหล็กทางเดียว	30
16 การถ่ายน้ำหนักของพื้นเสริมเหล็กสองทาง	30
17 แผ่นพื้นชนิดเสริมเหล็กสองทาง	34
18 ลักษณะการต่อเนื่องของพื้นสองทางในการออกแบบพื้นสองทางวิธีที่ 3	35
19 การหาเหล็ก ตามเหล็ก และงอเหล็ก	39
20 การแบ่งพื้นที่รับน้ำหนัก	43
21 แรงปฏิกิริยาปลายคานถ่ายน้ำหนักลงหัวเสา	44
22 วงระยะของการโก่งตัวของเสา	45
23 ฐานรากเดี่ยว	46
24 ฐานรากเสาเข็ม	46
25 ฐานรากแผ่รับน้ำหนักตามแนวแกนอย่างเดียว	47
26 ฐานรากเสาเข็มรับน้ำหนักตามแนวแกนอย่างเดียว	48
27 ผังการดำเนินการของโครงการ	57
28 ลำดับการทำงานของโปรแกรม	58
29 หน้าต่างโปรแกรมหลัก	59
30 การตั้งค่าหน้าต่างนำเข้าสู่ข้อมูล	60
31 ไอคอนสำหรับการสร้างแปลนบ้าน	60
32 การป้อนตำแหน่งคานและเสา โดยการคลิกลงที่หน้าต่าง	61
33 การป้อนตำแหน่งโดยการพิมพ์ระยะห่างลงในกล่องข้อความแสดงระยะ	61

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
34 การสร้างคานฝาก	62
35 เสาก่อนยายตำแหน่ง	62
36 เสาลังย้ายตำแหน่ง	62
37 การสร้างพื้น	63
38 การจัดกลุ่มคานต่อเนื่อง	63
39 ตัวอย่างแปลนบ้านที่ 1	64
40 ตัวอย่างแปลนบ้านที่ 2	64
41 ตารางบันทึกพิกัดแปลนบ้าน	65
42 การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ	66
43 แบบฟอร์มคุณสมบัติวัสดุ	66
44 เมนูบาร์ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	67
45 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นต่อเนื่อง	67
46 หน้าต่างการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	68
47 การแบ่งกลุ่มพื้น	68
48 รูปหน้าตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	69
49 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	70
50 การคลิกเลือกการวิเคราะห์คานคอนกรีต	71
51 การเลือกคานเพื่อนำไปวิเคราะห์	71
52 โมเดลคานที่ต้องการวิเคราะห์	72
53 โมเดลคานที่Support เป็น Pin Support	72
54 ข้อความแจ้งเตือนการออกแบบคานฝาก	73
55 การสร้างโมเดลคานฝากอัตโนมัติ	73
56 การป้อนรายละเอียดของผนังที่วางบนคานที่นำมาวิเคราะห์	74
57 โมเดลน้ำหนักบรรทุกทุกที่กระทำกับคาน	75
58 การกำหนดหน้าตัดคาน	76
59 ตารางบันทึกน้ำหนักที่กระทำกับคาน	76
60 การแบ่งเอลิเมนต์คาน	77
61 การแสดงผลการแบ่งเอลิเมนต์คาน	78
62 การแสดงผลการวิเคราะห์คาน	79
63 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	80
64 หน้าจอการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
65 การกำหนดรายละเอียดการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	81
66 แสดงเหล็กเสริมคานตามขวาง	82
67 การเปลี่ยนจำนวนเหล็กเสริมคาน	82
68 การเปลี่ยนขนาดเหล็กเสริมคาน	82
69 ภาพรูปตัดคาน	83
70 การออกแบบเหล็กปลอก	83
71 การคลิกเลือกการวิเคราะห์คานเหล็ก	84
72 โมเดลคานเหล็กที่ต้องการวิเคราะห์	84
73 การเลือกชั้นคุณภาพเหล็ก	85
74 การเลือกหน้าตัดคานเหล็ก Wide Flange	86
75 ผลการวิเคราะห์คานเหล็ก	87
76 ตารางบันทึกผลออกแบบคานเหล็ก	87
77 การแสดงผลการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	88
78 การแสดงรูปตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	89
79 การแสดงผลการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กตามยาว	89
80 การแสดงผลการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กตามขวาง	89
81 การจัดพิมพ์แปลนบ้าน	90
82 การจัดพิมพ์รายละเอียดการเสริมเหล็กพื้นคสล.	91
83 การจัดพิมพ์ข้อมูลการออกแบบพื้นคสล.	91
84 การจัดพิมพ์รายละเอียดการเสริมเหล็กคานคสล.แนวขวาง	92
85 การจัดพิมพ์หน้าตัดรายละเอียดการเสริมเหล็กคานคสล.	92
86 การจัดพิมพ์ข้อมูลการออกแบบคานคสล.	93
87 การจัดพิมพ์รายละเอียดหน้าตัดคานเหล็ก	93
88 การจัดพิมพ์ข้อมูลการออกแบบคานเหล็ก	94
89 แปลนบ้านที่ 1 สำหรับใช้ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	95
90 แปลนบ้านที่ 2 สำหรับใช้ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	95
91 กราฟแห่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมทางด้านสั้นของแปลนบ้านที่ 1	98
92 กราฟแห่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมทางด้านสั้นของแปลนบ้านที่ 2	99
93 กราฟแห่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมบนด้านสั้นของแปลนบ้านที่ 1	100
94 กราฟแห่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมบนด้านสั้นของแปลนบ้านที่ 2	100
95 กราฟแห่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมทางด้านยาวของแปลนบ้านที่ 1	101

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
96 กราฟแห่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมลางด้านยาวของแปลนบ้านที่ 2	102
97 กราฟแห่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมบนด้านยาวของแปลนบ้านที่ 1	103
98 กราฟแห่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมบนด้านยาวของแปลนบ้านที่ 2	103
99 แปลนบ้านที่ 1 สำหรับการคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	106
100 แปลนบ้านที่ 2 สำหรับการคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	107
101 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับด้านซ้ายคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 1	113
102 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับด้านซ้ายคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 2	114
103 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับด้านขวาคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 1	115
104 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับด้านขวาคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 2	116
105 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านซ้ายคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 1	117
106 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านซ้ายคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 2	118
107 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของโมเมนต์ฐานรองรับด้านขวาคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 1	119
108 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านขวาคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 2	120
109 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงเฉือนภายในชิ้นส่วนด้านซ้ายของคานแปลนบ้านที่ 1	126
110 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงเฉือนภายในชิ้นส่วนด้านซ้ายของคานแปลนบ้านที่ 2	127
111 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงเฉือนภายในชิ้นส่วนด้านขวาของคานแปลนบ้านที่ 1	128
112 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงเฉือนภายในชิ้นส่วนด้านขวาของคานแปลนบ้านที่ 2	129
113 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของโมเมนต์ภายในชิ้นส่วนด้านซ้ายของคานแปลนบ้านที่ 1	130
114 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของโมเมนต์ภายในชิ้นส่วนด้านซ้ายของคานแปลนบ้านที่ 2	131

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
115 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของโมเมนต์ภายในชั้นส่วนด้านขวาของคาน แปลนบ้านที่ 1	132
116 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของโมเมนต์ภายในชั้นส่วนด้านขวาของคาน แปลนบ้านที่ 2	133
117 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านซ้ายของคานแปลน บ้านที่ 1	140
118 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านซ้ายของคานแปลน บ้านที่ 2	141
119 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ที่ช่วงกลางของคานแปลนบ้านที่ 1	142
120 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ที่ช่วงกลางของคานแปลนบ้านที่ 2	143
121 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านขวาของคานแปลน บ้านที่ 1	144
122 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านขวาของคานแปลน บ้านที่ 2	145
123 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงเฉือนที่สูงสุดของคานแปลนบ้านที่ 1	146
124 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงเฉือนที่สูงสุดของคานแปลนบ้านที่ 2	147
125 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมช่วงหัวเสาด้านซ้ายของคาน แปลนบ้านที่ 1	160
126 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมช่วงหัวเสาด้านซ้ายของคาน แปลนบ้านที่ 2	161
127 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคานของคาน แปลนบ้านที่ 1	162
128 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคานของแปลน บ้านที่ 2	163
129 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมช่วงหัวเสาด้านขวาของคาน แปลนบ้านที่ 1	164
130 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมช่วงหัวเสาด้านขวาของคาน แปลนบ้านที่ 2	165
131 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณระยะห่างเหล็กหลอกของคานแปลนบ้านที่ 1	166
132 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณระยะห่างเหล็กหลอกของคานแปลนบ้านที่ 2	167
133 แปลนบ้านที่ 1 สำหรับคำนวณคานเหล็ก	168
134 แปลนบ้านที่ 2 สำหรับคำนวณคานเหล็ก	169

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
135	กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ดัดสูงสุดที่รับได้ของคานเหล็กแปลอน บ้านที่ 1	176
136	กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ดัดสูงสุดที่รับได้ของคานเหล็กแปลอน บ้านที่ 2	177
137	กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงเฉือนสูงสุดที่รับได้ของคานเหล็กแปลอน บ้านที่ 1	178
138	กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงเฉือนสูงสุดที่รับได้ของคานเหล็กแปลอน บ้านที่ 2	179



บทที่ 1

บทนำ

ในบทนำจะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ของการศึกษา กรอบแนวคิด การวิจัย ขอบเขตของการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความเป็นมาและความสำคัญ

การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเป็นงานที่ค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยากในการคำนวณ ด้วยมือ จึงเป็นเหตุให้ปัจจุบันได้มีผู้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างมากมาย แต่โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมักจะมีการใช้งานที่แยกจากกันโดยสิ้นเชิง กล่าวคืออาจจะต้องใช้โปรแกรมหนึ่งสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างและใช้อีกโปรแกรมหนึ่งสำหรับการออกแบบโครงสร้าง ซึ่งต้องแยกส่วนการทำงานและการป้อนข้อมูลนำเข้า เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นการป้อนข้อมูลตัวเลข ซึ่งทำให้เกิดความคล่องตัวในการใช้งาน นอกจากนี้โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมามากใช้เฉพาะสำหรับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตหรือออกแบบโครงสร้างเหล็ก ซึ่งในการออกแบบบ้านพักอาศัยนั้นต้องมีทั้งโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็ก จึงทำให้การใช้งานไม่สะดวก

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทำให้มีแนวคิดว่าจะพัฒนาโปรแกรมที่สามารถรองรับทั้งใน ส่วนของการวิเคราะห์โครงสร้างและส่วนของการออกแบบทั้งคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กอยู่ใน โปรแกรมเดียวกัน และสามารถใช้งานได้โดยการนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาใช้ในออกแบบองค์ อาคารต่างๆได้เลย โดยใช้วิธีทางกราฟฟิกในลักษณะของการวาดแปลน และแปลผลจากรูปแปลนให้เป็นข้อมูลตัวเลขซึ่งถูกจัดเก็บในลักษณะของฐานข้อมูลเพื่อช่วยให้สามารถใช้งานได้ง่ายเพิ่มความรวดเร็วในการทำงาน อีกทั้งสามารถเรียกแสดงผลในภายหลังได้

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับการออกแบบคานเหล็ก
2. เพื่อประยุกต์ใช้วิธีทางกราฟฟิกในการนำเข้าข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง
3. เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบบ้านพักอาศัยที่มีทั้งโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กได้

3. กรอบแนวคิดการวิจัย

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และโครงสร้างเหล็ก เพื่อลดความยุ่งยากและความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการคำนวณ โดยการ พัฒนาโปรแกรมในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาวิธีการนำเข้าสู่ข้อมูลโดยใช้การวาดตำแหน่งชิ้นส่วน ต่างๆของโครงสร้างเช่น เสา คาน ด้วยเมาส์ ซึ่งจะนำเข้าสู่ข้อมูลด้วยกราฟิกในลักษณะแปลนบ้านเป็น ชั้นๆ และนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์แล้วออกแบบโครงสร้างในแต่ละชั้นจากส่วนบนสุดคือหลัง ลงมาสู่ส่วนล่างสุดคือฐานราก การแสดงผลของโปรแกรมจะแสดงในรูปกราฟิกคือจะแสดงหน้าตัด ของโครงสร้าง ขนาด ระยะการเสริมเหล็ก จำนวนเหล็กเสริม

4. ขอบเขตของการศึกษา

1. ใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก (Visual Basic) ในการพัฒนาโปรแกรม
2. โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะครอบคลุมการวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ หล่อในที่ สำหรับการออกแบบคานจะครอบคลุมทั้งคานคอนกรีตเสริมเหล็กและคานเหล็ก
3. ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์โครงสร้างคาน
4. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กใช้วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Method) โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมามุ่งเน้นประโยชน์ในการใช้ในการออกแบบ บ้านพักอาศัยไม่เกิน 2 ชั้นเท่านั้น

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้งานโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และโครงสร้างเหล็กได้
2. ทราบเทคนิคการใช้วิธีทางกราฟิกในการนำเข้าสู่ข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์โครงสร้าง
3. สามารถนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและ โครงสร้างเหล็กได้ พร้อมทั้งจัดทำรายการคำนวณได้
4. สามารถนำไปเผยแพร่ต่อสาธารณะ ซึ่งเป็นการประชาสัมพันธ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ต้องอาศัยความเข้าใจสองส่วนเป็นสำคัญ ได้แก่ โปรแกรมที่ใช้สำหรับเขียนรหัสคำสั่ง และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมทั้งการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ Visual Basic (ธาริน สิทธิธรรมชารี, 2554)

Visual Basic เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ (Programming Language) ที่พัฒนาโดยบริษัท ไมโครซอฟท์ ซึ่งเป็นบริษัทยักษ์ใหญ่ที่สร้างระบบปฏิบัติการ Window NT ที่เราใช้อยู่ในปัจจุบันโดยตัวภาษาเองมีรากฐานมาจากภาษา Basic ซึ่งย่อมาจาก Beginners All Purpose Symbolic Instruction ถ้าแปลให้得其ความหมายก็คือ “ชุดคำสั่งหรือภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับผู้เริ่มต้น” ภาษา Basic มีจุดเด่นคือผู้ที่ไม่มีความรู้เรื่องการเขียนโปรแกรมเลยก็สามารถเรียนรู้และสามารถนำใช้งานได้ อย่างง่ายและรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับ การเรียนภาษาคอมพิวเตอร์อื่นๆ เช่น ภาษาซี (C), ปาสคาล (Pascal), ฟอรัมแทน (Fortran) หรือ แอสเซมบลี (Assembler)

ไมโครซอฟท์ได้พัฒนาโปรแกรมภาษา Basic มานานนับสิบปี ตั้งแต่ภาษา MBASIC (Microsoft Basic), BASICA (Basic Advanced), GWBASIC และ QuickBasic ซึ่งได้ติดตั้งมาพร้อมระบบปฏิบัติการ MS DOS ในที่สุดโดยใช้ชื่อว่า QBASIC โดยแต่ละเวอร์ชันที่ออกมานั้นได้มีการพัฒนาและเพิ่มคำสั่งต่างๆเข้าไปโดยตลอด ในอดีตโปรแกรมภาษาเหล่านี้ล้วนทำงานใน Text Mode คือเป็นตัวอักษรล้วนๆไม่มีภาพกราฟิกสวยงามแบบระบบ Window อย่างในปัจจุบันจนกระทั่งเมื่อระบบปฏิบัติการ Window ได้รับความนิยมอย่างสูงละเข้ามาที่ Dos ไมโครซอฟท์ก็เล็งเห็นว่าภาษาใน Text Mode นั้นคงถึงกาลที่หมดสมัย จึงได้พัฒนาปรับปรุงโปรแกรมภาษา Basic ของตนเองออกมาใหม่ เพื่อสนับสนุนการทำงานในระบบ Window ทำให้ Visual Basic ถือกำเนิดขึ้นมาแต่บัดนั้น

Visual Basic เวอร์ชันแรกคือเวอร์ชัน 1.0 ออกมาสู่สายตาประชาชนตั้งแต่ปี 1991 โดยในช่วงแรกนั้นยังไม่มีความสามารถต่างจากภาษา QBASIC มากนัก แต่จะเน้นเรื่องเครื่องมือที่ช่วยในการเขียนโปรแกรมบนวินโดวส์ ซึ่งปรากฏว่า Visual Basic ได้รับความนิยมและประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีไมโครซอฟท์จึงพัฒนา Visual Basic ให้ดีขึ้นเรื่อยๆ ทั้งในทางด้านประสิทธิภาพความสามารถ และเครื่องมือต่างๆเช่น เครื่องมือตรวจสอบแก้ไขโปรแกรม (debugger) สภาพแวดล้อมของการพัฒนาโปรแกรม การเขียนโปรแกรมแบบวินโดวส์ย่อย (MDI) และอื่นๆอีกมาก

สำหรับ Visual Basic ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมคือ Visual Basic เวอร์ชัน 6.0 ซึ่งออกมาในปี 1998 ได้เพิ่มความสามารถในการเขียนโปรแกรมติดต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูล รวมทั้งปรับปรุงเครื่องมือและการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented Programming) ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นพร้อมทั้งเพิ่มเครื่องมือต่างๆอีกมากมายที่ทำให้ทำงานง่ายและสะดวกขึ้นกว่าเดิม

2. ทฤษฎีการวิเคราะห์คานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (เดช พุทธเจริญทอง, 2541)

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีเชิงตัวเลขวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาสมการเชิงอนุพันธ์และเป็นวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์อย่างกว้างขวาง ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง เช่น วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และความเค้นของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล โครงสร้างเครื่องบิน ตัวอาคาร สะพานและโครงสร้างอื่นๆ ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดีไม่ว่าวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นอยู่ในสภาพยืดหยุ่น (Elastic) หรือในสภาพยืดตัว (Plastic) นอกจากนี้จะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ตามที่กล่าวมาแล้ว ยังสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านพลศาสตร์ เช่น การสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนเครื่องจักร การสั่นสะเทือนของโครงสร้าง รวมทั้งยังใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านการถ่ายเทความร้อนการไหลของของไหล การถ่ายเทมวล เป็นต้น

ตามที่กล่าวมาแล้ว เราสามารถจะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ปัญหาของโครงสร้าง เช่น หากการกระจัด ความเค้น - ความเครียด และใช้วิเคราะห์ปัญหาของการถ่ายเทความร้อน การไหลของของเหลว เป็นต้น ในที่นี้จะเน้นการประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ปัญหาของโครงสร้างระบบทางกล

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างสามารถหาได้จากวิธีพื้นฐาน 2 วิธีคือ วิธีแรง หรือวิธียืดหยุ่น (Force or Flexibility Method) และ วิธีการกระจัดหรือวิธีสทิฟเนส (Displacement or Stiffness Method) วิธีแรกสามารถจะหาแรงภายในและแรงปฏิกิริยาโดยอาศัยสมการสมดุลของแรงและสมการเงื่อนไขการกระจัดส่วนวิธีที่สองจะสามารถหาการกระจัดที่สมมุติขึ้นโดยเงื่อนไขความต่อเนื่องของเอลิเมนต์ที่แต่ละจุดต่อหรือที่ขอบบริเวณที่สัมผัสกันไม่ว่าก่อนและหลังไหลดกระทำยังคงมีความต่อเนื่องเหมือนเดิม ดังนั้นสมการจะเขียนอยู่ในเทอมของการกระจัดของแต่ละจุดต่อ และค่าของการกระจัดก็สามารถหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการกระจัด การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น นิยมใช้วิธีการกระจัด หรือสทิฟเนสสมการไฟไนต์เอลิเมนต์มากกว่า ทั้งนี้เพราะสามารถจะหาสมการสมดุลและผลเฉลยได้สะดวกกว่า รวมทั้งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวก็นิยมใช้วิธีการกระจัดด้วย

หลักการทั่วไปของไฟไนต์เอลิเมนต์ก็คือ จะแบ่งโครงสร้างออกเป็นส่วนย่อยๆ ซึ่งเรียกว่า เอลิเมนต์ ฟังก์ชันการกระจัด (Displacement Function) ที่นำมาแทนเอลิเมนต์จะต้องเป็นฟังก์ชันที่ต่อเนื่อง แต่ละเอลิเมนต์จะโยงด้วยจุดต่อ (Node) หรือเส้นขอบหรือผิวรอยเอลิเมนต์สัมผัสกัน และอาศัยคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างหรือชิ้นส่วน เราสามารถจะหาการกระจัด ความเค้น – ความเครียด ที่เกิดขึ้นที่จุดต่อต่างๆ ของแต่ละเอลิเมนต์ที่ประกอบกันเป็นโครงสร้างหรือชิ้นงาน

ขั้นตอนของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วน เช่น สปริง ท่อน โลหะ เพลลา โครงข้อหมุน โครงข้อแข็ง แผ่นโลหะ ถึงความดัน เป็นต้น ภายใต้อาณัติต่างๆ ของ โหลด มีขั้นตอนต่างๆไปดังนี้

2.1 แบ่งโครงสร้างเป็นเอลิเมนต์ย่อยและการเลือกชนิดของเอลิเมนต์

การแบ่งโครงสร้างออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย จะต้องคำนึงรูปร่างลักษณะของโครงสร้างเดิมคือแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Model) จะต้องเหมือนหรือสอดคล้องกับโครงสร้างเดิมให้มากที่สุด คือบริเวณที่มีส่วนเว้า ส่วนโค้ง หรือมีรู หรือตรงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างฉับพลันก็จำเป็นต้องแทนค่าด้วยเอลิเมนต์ที่มีขนาดเล็กเพียงพอที่จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำ ส่วนบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากนั้นก็อาจแทนด้วยเอลิเมนต์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ถ้าแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยจำนวนไฟไนต์เอลิเมนต์มากเกินไปจนความจำเป็นจะทำได้ใช้จ่ายในการคำนวณสูง และอาจจะทำให้ไม่สามารถหาผลเฉลยได้ถ้าเครื่องคอมพิวเตอร์มีความละเอียดในการคำนวณไม่เพียงพอ ส่วนการเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์นั้น จะต้องคำนึงถึงรูปร่างลักษณะของโครงสร้าง และการกระทำของโหลด รวมทั้งความละเอียดของผลเฉลยที่ผู้วิเคราะห์ต้องการ คืออาจเลือกใช้เอลิเมนต์ชนิดมิติเดียว สองมิติ สามมิติ หรือเอลิเมนต์ชนิดแกนสมมาตร

2.2 การเลือกฟังก์ชันการกระจัด

จะต้องเลือกฟังก์ชันการกระจัดภายในเอลิเมนต์ ให้สอดคล้องกับจำนวนจุดต่อของเอลิเมนต์ หรือสอดคล้องกับระดับความเสรีของเอลิเมนต์ ฟังก์ชันการกระจัดที่นิยมใช้กันคือ พอลิโนเมียลฟังก์ชัน ซึ่งอาจจะเป็นพอลิโนเมียลกำลังหนึ่ง กำลังสอง กำลังสาม ส่วนฟังก์ชันที่เป็นอนุกรมทางเรขาคณิตก็สามารถใช้ได้แต่ไม่นิยมทั้งนี้เพราะพอลิโนเมียลฟังก์ชันให้ความสะดวกในการวิเคราะห์มากกว่าในกรณีปัญหาสองมิติ ฟังก์ชันการกระจัดที่จุดต่อจะเขียนอยู่ในเทอมของพิกัดระนาบ เช่น $x - y$ เป็นต้น ฟังก์ชันการกระจัดที่จะเลือกให้ผลเฉลยที่ความต่อเนื่องทั้งภายในเอลิเมนต์และแบบจำลองของระนาบรวม

2.3 กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด/การกระจัด และความเค้น/ความเครียด

การหาสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของแต่ละเอลิเมนต์ จำเป็นต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการกระจัดและความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดในกรณีของปัญหามิติเดียว การยึดตัว u ของเอลิเมนต์ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง เช่น ทิศทาง x จะมีความสัมพันธ์

กับความเครียด ϵ_x ในกรณีที่มีค่า ϵ_x มีค่าน้อย $\epsilon_x = du/dx$ และถ้าวัสดุอยู่ในช่วงยืดหยุ่น จากกฎของฮุก ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดคือ $\sigma_x = E\epsilon_x$ ซึ่ง σ_x คือความเค้นในทิศทาง x และ E คือ ค่านมอดูลัสของความยืดหยุ่น ผลเฉลยของการกระจัด ความเค้น ความเครียดโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะต้องแม่นยำเพียงพอ ย่อมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาใช้ในการคำนวณ และความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการกระจัด และความเค้นกับความเครียดจะมีลักษณะเป็นสมการเชิงเส้นหรือไม่เป็นสมการเชิงเส้น

2.4 ทาสทิฟเนสเมทริกซ์และสมการของเอลิเมนต์

การหาสทิฟเนสเมทริกซ์ของเอลิเมนต์และสมการของแรงของแต่ละเอลิเมนต์สามารถหาได้หลายวิธี แต่ในโปรแกรมจะเลือกใช้วิธีสมดุลโดยตรง (Direct Equilibrium Method) ซึ่งเป็นวิธีอย่างง่ายที่สุด โดยสามารถหาสทิฟเนสเมทริกซ์ และสมการของแรงในเทอมการกระจัดที่จุดต่อเอลิเมนต์ได้โดยเงื่อนไขการสมดุลของแรงในเอลิเมนต์ ส่วนมากจะใช้หาสทิฟเนสเมทริกซ์ของเอลิเมนต์มิติเดียว เช่น เอลิเมนต์สปริง ท่อนโลหะ เพลลา และคานเป็นต้น

จากวิธีดังกล่าว สมการสมดุลของแรงในเทอมของสทิฟเนสเมทริกซ์ และการกระจัดที่จุดต่อของเอลิเมนต์สมการดังกล่าว สามารถเขียนในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \vdots \\ f_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdot & \cdot & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdot & \cdot & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & \cdot & \cdot & k_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdot & \cdot & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ d_n \end{Bmatrix} \quad (1)$$

หรือ

$$\{f\} = [k]\{d\} \quad (2)$$

ซึ่ง $\{f\}$ คือเมทริกซ์ของแรงที่กระทำที่จุดต่อ $[k]$ คือสทิฟเนสของเอลิเมนต์ และ $\{d\}$ คือการกระจัดที่จุดต่อซึ่งยังไม่ทราบค่า n คือจำนวนของระดับความเสรีของเอลิเมนต์

2.5 หากการรวมของระบบและกำหนดเงื่อนไขขอบ

สมการรวมของระบบโครงสร้างสามารถหาได้จากการรวมสมการของแต่ละเอลิเมนต์ในข้อที่ 2.4 เข้าด้วยกัน ด้วยวิธีซ้อนทับ (Superposition Method) หรือเรียกว่าวิธีสทิฟเนสโดยตรง

(Direct Stiffness Method) โดยอาศัยหลักของการสมดุลของแรงที่จุดต่อของเอลิเมนต์ เขียนในรูปของเอลิเมนต์เมทริกซ์ได้คือ

$$\{f\} = [k]\{d\} \quad (3)$$

ซึ่ง $\{f\}$ คือ เมทริกซ์รวมของแรงที่กระทำที่จุดต่อ $[k]$ คือสทิตินสมเมทริกซ์รวมของระบบ และ $\{d\}$ คือ เมทริกซ์รวมของการกระจัดของระบบซึ่งอาจยังไม่ทราบค่าบางค่า และบางตัวอาจจะไม่ทราบค่าเนื่องจากเมทริกซ์ $[k]$ ในสมการ (3) เป็นเมทริกซ์เอกฐาน (Singular Matrix) ทั้งนี้เพราะตัวกำหนด (Determinant) เท่ากับศูนย์ จึงไม่สามารถหาค่า $\{d\}$ โดยตรงจากสมการ (3) ได้ จึงจำเป็นต้องอาศัยเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) หรือเงื่อนไขบังคับ (Constraints) หรือจุดรองรับ (Supports) เพื่อช่วยทำให้เมทริกซ์ $[k]$ ในสมการ (3) ไม่เป็นเมทริกซ์เอกฐานและสามารถหาค่าการกระจัดที่แต่ละจุดต่อต้องการได้

2.6 ทหการกระจัดของระบบ

หลังจากกำหนดเงื่อนไขของหรือเงื่อนไขบังคับลงในสมการ (3) แล้ว จะหการกระจัด $d_1 d_2 d_3 \dots d_n$ ได้โดยการแก้สมการพีชคณิตพร้อมๆกันคือ

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ f_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ d_n \end{Bmatrix} \quad (4)$$

การหการกระจัด $\{d\}$ อาจจะใช้วิธีของเกาส์ (Gauss's Elimination Method) หรือวิธีสมสุมติ (Iteration) การกระจัด $\{d\}$ หรือการกระจัด $\{d\}$ อาจหาได้โดยคูณสมการ (2-4) ด้วย $[k]^{-1}$ ตลอด ($[k]$ จะต้องไม่ใช่เมทริกซ์เอกฐาน)

2.7 การหาค่าความเครียดและความเค้น

ในการวิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกล นอกจากต้องการทราบการกระจัดแล้วยังต้องการทราบค่าของความเครียด ความเค้น หรือค่าของโมเมนต์ และแรงเฉือน ค่าต่างๆเหล่านี้สามารถหาได้โดยอาศัยพื้นฐานความรู้ทางด้านกลศาสตร์ของแข็งอาทิเช่น ปัญหามิติเดียว ถ้า

ทราบค่าการกระจัด u ก็สามารถหาความเครียดจาก $\epsilon_x = du / dx$ และหาค่าความเค้นจาก

$$\sigma_x = E\epsilon_x$$

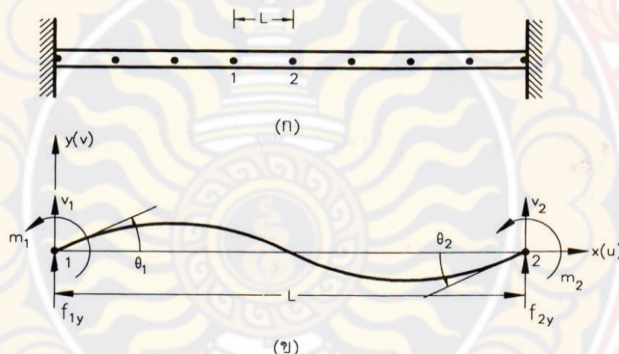
2.8 การตีความผลลัพธ์

จากผลลัพธ์ที่คำนวณได้ในข้อที่ 2.6 และ 2.7 ก็สามารถจะทราบค่าได้ว่าที่จุดต่อใดของเอลิเมนต์ หรือบริเวณใดของโครงสร้างหรือชิ้นส่วนที่จะต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ เช่น บริเวณที่มีความกระจัดสูง หรือบริเวณใดมีความเค้นสูง และเราสามารถจะลดขนาดของการกระจัด หรือความเค้นนั้นได้อย่างไร ทั้งนี้ต้องเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะหรือมิติของโครงสร้างหรือชิ้นส่วนให้เหมาะสมยิ่งขึ้นหรืออาจจะต้องเลือกใช้วัสดุชนิดอื่นที่เหมาะสมกว่า

3. การหาสทิงเฟสเมทริกซ์ของเอลิเมนต์คาน (เดช พุทธเจริญทอง, 2541)

ตามทฤษฎีทั่วไปของคาน จะสมมติให้คานอยู่ในสภาพตรง มีเนื้อที่หน้าตัดคงที่ตลอดความยาว ขณะที่ถูกโหลดกระทำตามแนวขวางหรือในกรณีที่มีโมเมนต์ดัดกระทำ คานจะโก่งเพียงเล็กน้อย คือคานจะโก่งอยู่ในช่วงยืดหยุ่น (Elastic) ความยาวของคานในแนวแกนสะเทินไม่เปลี่ยนแปลง และระนาบของหน้าตัดคานก่อนหลัง - หลังที่ถูกโหลดกระทำจะยังมีสภาพเหมือนเดิม

สมมติให้แบบจำลองเอลิเมนต์คานภาพที่ 1 ยาว L ที่จุด 1 และ 2 มีโมเมนต์ดัด m_1 m_2 และแรงเฉือน f_{1x} f_{2y} กระทำตามลำดับ ส่วน v_1 v_2 และ θ_1 θ_2 เป็นการกระจัดและมุมเอียง (Slope) ที่จุดต่อ 1 และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 การแบ่งเอลิเมนต์ของคาน

(ก) คานที่แบ่งออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย

(ข) แบบจำลองเอลิเมนต์คาน

ที่แต่ละจุดต่อ โมเมนต์ m จะมีค่าเป็นบวก ถ้าทิศทางของโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา มุมเอียง θ จะเป็นบวก ถ้ามีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา แรงเฉือนและการกระจัดมีค่าเป็นบวก ถ้ามีทิศทางเดียวกับทิศทางของพิกัด y ภาพที่ 1(ข) จากทฤษฎีเบื้องต้นของคานจะทราบว่

$$EI \frac{d^4 v}{dx^4} = 0 \quad (5)$$

โดย v คือ การกระจัดหรือการโก่งตัวของคาน ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับแกน y E คือโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ และ I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดของคาน ส่วนทางด้านขวามือของสมการที่ (6) เท่ากับศูนย์นั้นก็เพราะว่าในการหาสถิติพเนสของคานจะสมมุติให้ไม่มีโหนดกระทำระหว่างจุดต่อ 1 และ 2 เนื่องจากแต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์คานจะมีตัวแปร 2 ตัวคือ v และ θ หนึ่งเอลิเมนต์ประกอบไปด้วย 2 จุดต่อ ซึ่งจะมีตัวแปร 4 ตัว ดังนั้นแบบจำลองการกระจัดหรือการโก่งตัวของเอลิเมนต์คานตลอดความยาว L ควรจะเป็นสมการพอลิโนเมียลกำลังสามคือ

$$v(0) = a_1 + a_2 x + a_3 x^2 + a_4 x^3 \quad (6)$$

โดยมีค่าคงตัว a_1 a_2 a_3 และ a_4 รวม 4 ค่า ซึ่งจะสอดคล้องกับระดับชั้นความเสรีของเอลิเมนต์คาน และโดยอาศัยเงื่อนไขของเอลิเมนต์คาน สามารถหาค่าคงได้ดังนี้

จุดต่อที่ 1:

$$v(0) = v_1 = a_1 \quad (7a)$$

จุดต่อที่ 2:

$$\frac{dv}{dx} = \theta_1 = a_2 \quad (7b)$$

$$v(0) = a_1 + a_2 L + a_3 L^2 + a_4 L^3 = v_2 \quad (7c)$$

$$\frac{dv(L)}{dx} = a_2 + 2a_3 L + 3a_4 L^2 = \theta_2 \quad (7d)$$

จากสมการ (7) ประกอบด้วย 4 สมการย่อย มีค่าคงตัวที่ไม่ทราบค่า 4 ตัว ดังนั้นสามารถหาค่า a_1 a_2 a_3 และ a_4 ได้ คือ

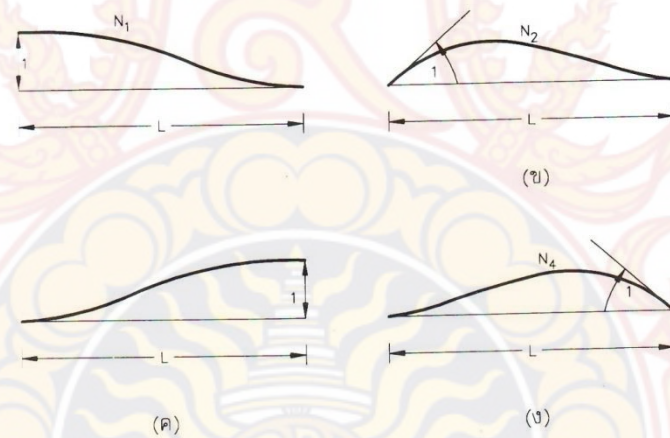
$$a_1 = v_1, a_2 = \theta_1, a_3 = -\frac{3}{L^2}(v_1 - v_2) - \frac{1}{L}(2\theta_1 + \theta_2)$$

$$\text{และ } a_4 = \frac{2}{L^3}(v_1 + v_2) + \frac{1}{L^2}(\theta_1 + \theta_2)$$

แทนค่า a_1 a_2 a_3 และ a_4 ลงในสมการที่ (6) ผลที่ได้ คือ

$$v(x) = v_1 + \theta_1 x + \left[-\frac{3}{L^2}(v_1 - v_2) - \frac{1}{L}(2\theta_1 + \theta_2) \right] x^2 + \left[\frac{2}{L^3}(v_1 + v_2) + \frac{1}{L^2}(\theta_1 + \theta_2) \right] x^3 \quad (8)$$

สำหรับฟังก์ชันรูปร่างของเอลิเมนต์ สามารถหาได้โดยพิจารณาจากภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ฟังก์ชันรูปร่างของเอลิเมนต์คาน

จากภาพที่ 2(ก) สามารถหาฟังก์ชันรูปร่าง N_1x ได้คือ สมมุติให้จุดต่อ 1 เคลื่อนที่ในทิศทาง y เท่ากับ 1 หน่วย นั่นคือ $v(0) = 1$ ส่วน $\theta(0) = 0$, $v(L) = 0$ ดังนั้น จากสมการที่ (2)

$$v(0) = 1 = a \text{ หรือ } a = 1 \quad (9a)$$

และ

$$v(L) = 0 \quad (9b)$$

เพราะว่า

$$\theta = v'(x) = a_2 + 2a_3x + 3a_4x^2$$

ดังนั้น

$$v'(0) = a_2 = 0 \quad (9c)$$

และ

$$v'(L) = a_2 + 2a_3L + 3a_4L^2 = 0 \quad (9d)$$

จากสมการ (9) ทั้งสี่สมการ สามารถหา a_1 a_2 a_3 และ a_4 ได้ คือ

$$a_1 = 1, a_2 = 0, a_3 = -3/L^2 \text{ และ } a_4 = 2/L^3$$

ดังนั้นฟังก์ชันรูปร่าง $N_1(x)$ คือ

$$N_1(x) = v(x) = 1 - 3\left(\frac{x}{L}\right)^2 + 2\left(\frac{x}{L}\right)^3 \quad (10)$$

ในกรณีของฟังก์ชันรูปร่าง $N_2(x)$ ภาพ 2-2 (ข) ก็จะสมมุติให้มุม θ ที่จุดต่อ 1 ซึ่งเคลื่อนที่เป็นมุมเท่ากับ 1 หน่วย หรือ $v'(0) = \theta(0) = 1$ ส่วน $v(0) = 0, v(L) = 0$ และ $\theta(L) = 0$ จากสมการที่ (2)

$$v_2(0) = 0 = a_1 \quad \text{หรือ} \quad a_2 = 0 \quad (11a)$$

$$v_2'(0) = 1 = a_2 \quad \text{หรือ} \quad a_2 = 1 \quad (11b)$$

$$v_2(L) = 0 = a_1 + a_2L + a_3L^2 + a_4L^3 \quad (11c)$$

$$\text{และ } v_2'(L) = 0 = a_2 + 2a_3L + 3a_4L^2 \quad (11d)$$

จากสมการที่ (11) สามารถหาค่า a_1 a_2 a_3 และ a_4 ได้ คือ

$$a_1 = 0, a_2 = 1, a_3 = -2/L, a_4 = 1/L^2$$

ดังนั้นฟังก์ชันรูปร่างของภาพที่ 2(ข) คือ

$$N_2(x) = v(x) = x \left(1 - 2\frac{x}{L} + \frac{x^2}{L^2} \right) = x \left(1 - \frac{x}{L} \right)^2 \quad (12)$$

ในทำนองเดียวกัน สามารถหาฟังก์ชันรูปร่าง $N_3(x)$ และ $N_4(x)$ ในภาพที่ 2(ค) และ 2(ง) ได้ คือ

$$N_3(x) = 3 \left(\frac{x}{L} \right)^2 - 2 \left(\frac{x}{L} \right)^3 \quad (13)$$

$$\text{และ } N_4(x) = \frac{x^2}{L} \left(\frac{x}{L} - 1 \right) \quad (14)$$

ถ้าให้ $[N]$ เป็นเมทริกซ์ของฟังก์ชันรูปร่าง คือ

$$[N] = [N_1 N_2 N_3 N_4] \quad (15a)$$

และ $\{d\}$ เป็นเมทริกซ์ของการกระจัด v และมุมเอียง θ คือ

$$\{d\} = [v_1 \theta_1 v_2 \theta_2]^T \quad (15b)$$

สมการที่ (6) จึงเขียนในรูปของเมทริกซ์ในเทอมของฟังก์ชันรูปร่าง $[N]$ และการกระจัด $\{d\}$ ได้ ดังนี้

$$\{y\} = [N]\{d\} \quad (15c)$$

จะเห็นว่าฟังก์ชันรูปร่าง $N_1 = 1$ ที่จุดต่อ 1 และ $N_1 = 0$ ที่จุดต่อ 2 ส่วน N_2 จะเป็นฟังก์ชันกับ θ_1 , คือ $\frac{dN_2}{dx} = \theta_1 = 1$ ที่จุดต่อ 1, ส่วนฟังก์ชัน N_3 และ N_4 ลักษณะคล้ายกับ N_1 และ N_2 ตามลำดับ

ถ้าพิจารณาเฉพาะส่วน dx ของคานภาพที่ 3 จะเห็นว่าความเครียดในทิศทาง x

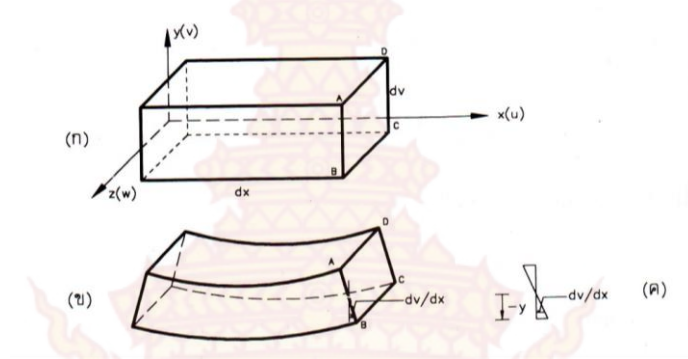
$$\epsilon_x = du / dx \quad (16)$$

u คือ การกระจัดในแนวแกนทิศทาง x จากภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในแนวแกนทิศทาง x และการกระจัด (การโก่ง) ในทิศทาง y ของคานาคือ

$$\frac{u}{L} = \frac{dv}{dx} \quad \text{หรือ} \quad u = -y \frac{dv}{dx} \quad (17)$$

แทน u ลงในสมการที่ (17) ลงในสมการที่ (16)

$$\epsilon_x = -y \frac{d^2 v}{dx^2} \quad (18)$$

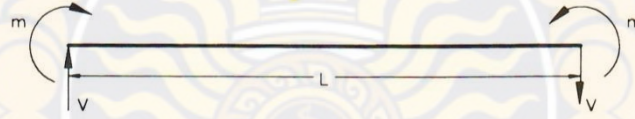


ภาพที่ 3 ส่วนตัดของคาน (ก) ก่อนการเปลี่ยนรูป (ข) หลังจากเปลี่ยนรูป
(ค) มุมเอียงของหน้าตัด ABCD

และจากทฤษฎีเบื้องต้นของคานตรงตามภาพที่ 4 ที่โค้งเพียงเล็กน้อย m

$$M = EI \frac{d^2 v}{dx^2}, \quad V = EI \frac{d^3 v}{dx^3} \quad (19)$$

ซึ่ง m คือ โมเมนต์ตัด และ V คือแรงเฉือน



ภาพที่ 4 คานที่มีโมเมนต์ m และแรงเฉือน V กระทำ (m และ V มีทิศทางเป็นบวก)

โดยอาศัยทฤษฎีเบื้องต้นของคานตรงสมการที่ (19) และสมการที่ (8) ก็สามารถจะหาแรงเฉือน f_{1y} , f_{2y} และโมเมนต์ m_1 และ m_2 ที่เกิดขึ้นบนเอลิเมนต์คานได้ดังนี้

$$F_{1y} = V = EI \frac{d^3 v(0)}{dx^3} = \frac{EI}{L^3} (12v_1 + 6L\theta_1 - 12v_2 + 6L\theta_2) \quad (20ก)$$

$$m_1 = -m = EI \frac{d^2 v(L)}{dx^2} = \frac{EI}{L^3} (6Lv_1 + 4Lq_1 - 6Lv_2 + 2L^2 q_2) \quad (20ข)$$

$$F_{1y} = -V = EI \frac{d^3 v(0)}{dx^3} = \frac{EI}{L^3} (-12v_1 - 6L\theta_1 + 12v_2 - 6L\theta_2) \quad (20ค)$$

$$m_2 = m = EI \frac{d^2 v(L)}{dx^2} = \frac{EI}{L^3} (6Lv_1 + 2L^2\theta_1 - 6Lv_2 + 4L^2\theta_2) \quad (20ง)$$

สมการที่ (20) เป็นสมการสมดุลของแรงเฉือน และโมเมนต์ดัด เหตุที่มีเครื่องหมายลบนำสมการที่ (20ข) และ สมการที่ (20ค) เพราะทิศทางของโมเมนต์ดัด และแรงเฉือนในแบบจำลองเอลิเมนต์ของคานภาพที่ 3(ข) และคานในภาพที่ 4 กำหนดทิศทางของโมเมนต์ดัด และแรงเฉือนต่างกัน สมการที่ (20) เขียนในรูปของรูปของสมการเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} f_{1y} \\ m_1 \\ f_{2y} \\ m_2 \end{Bmatrix} = \frac{EI}{L} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ q_1 \\ v_2 \\ q_2 \end{Bmatrix} \quad (21)$$

หรือ $\{F\} = [k]\{d\}$

ซึ่ง $\{F\} = [f_{1y} \ m_1 \ f_{2y} \ m_2]^T$

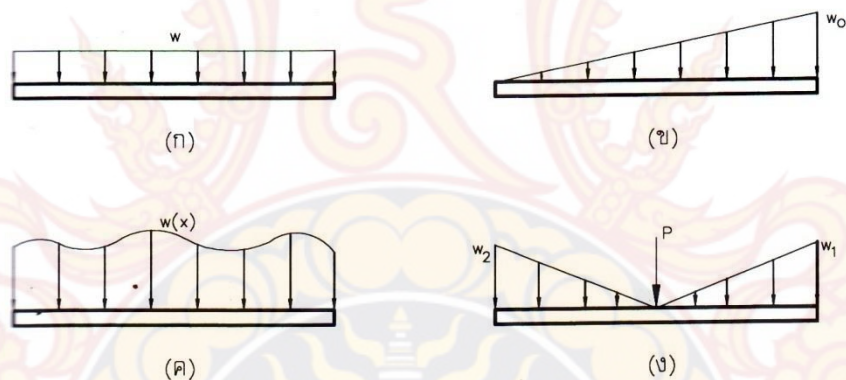
$\{d\} = [v_1 \ \theta_1 \ v_2 \ \theta_2]^T$

และสทึพเนสมทริกซ์ของเอลิเมนต์คาน $[k]$ คือ

$$[k] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 6L & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (22)$$

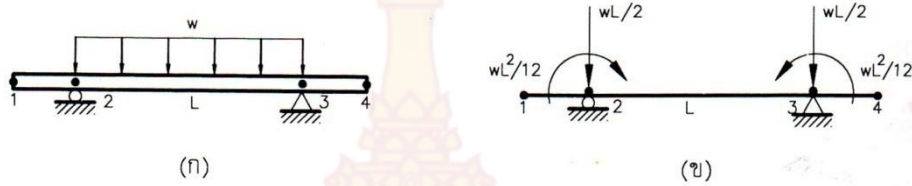
สมการที่ (21) แสดงให้เห็นว่าแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดกับการกระจัดและมุมเอียง สัมพันธ์กันด้วยสทริกซ์เมทริกซ์ของเอลิเมนต์ $[k]$

คานส่วนมากจะรับโหลดลักษณะกระจาย การกระจายของโหลดอาจจะเป็นแบบสม่ำเสมอ กระจายแบบลักษณะสามเหลี่ยม และกระจายไม่สม่ำเสมอ เช่น ภาพที่ 5(ก) ภาพที่ 5(ข) และภาพที่ 5(ค) ตามลำดับ ในบางครั้งคานอาจจะรับโหลดแบบผสมระหว่างโหลดที่กระทำเป็นจุดและโหลดกระจายภาพที่ 5 (ง)

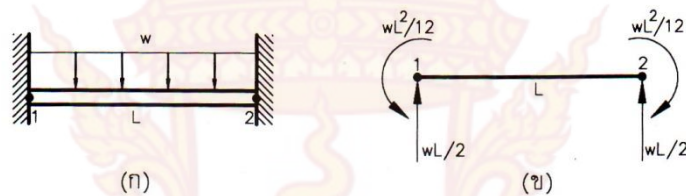


ภาพที่ 5 ลักษณะของโหลดกระจายที่กระทำบนเอลิเมนต์คาน

การวิเคราะห์คานที่มีโหลดกระจายกระทำด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เราจะสมมุติให้โหลดที่กระจายนั้นรวมกันเป็นจุด , กระทำที่จุดต่อของแต่ละเอลิเมนต์ เช่น ภาพที่ 6(ก) มีโหลด w กระจายสม่ำเสมอกระทำบนเอลิเมนต์คาน สามารถจำลองการกระทำของโหลดเหล่านั้นได้ เช่น ภาพที่ 6(ข) คือ แทนโหลดที่กระจายสม่ำเสมอ w ด้วยแรงที่กระทำเป็นจุด และโมเมนต์ตัดที่ปลายแต่ละด้านของเอลิเมนต์คาน และเรียกแรงเหล่านี้ว่า แรงสมมูล (Equivalent Forces) แต่ละคานเป็นแบบยึดปลายแน่น (Fixed Ends) แรงและโมเมนต์ตัดที่จำลองจะมีทิศทางตรงข้าม เช่น ภาพที่ 7(ข)

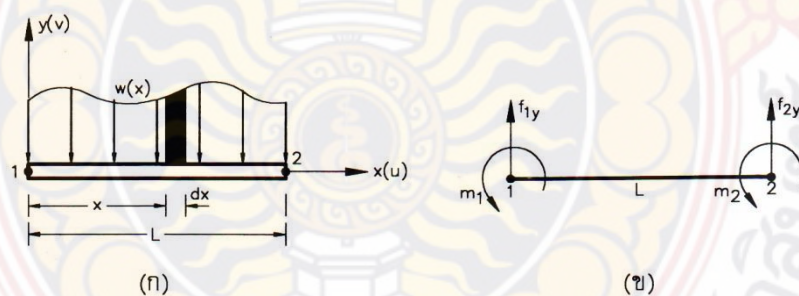


ภาพที่ 6 คานเอลิเมนต์ (ก) คานเอลิเมนต์ที่มีโหลดกระจายสม่ำเสมอ W กระทำ
 (ข) แบบจำลองการรับโหลดสมมูลของคานเอลิเมนต์ในภาพ (ก)



ภาพที่ 7 คานยึดปลายทั้งสองด้านและมีโหลดกระจายสม่ำเสมอกระทำ

การจำลองโหลดจากโหลดที่กระจาย มาเป็นแรงสมมูล กระทำที่จุดต่อของเอลิเมนต์คานนั้น สามารถทำได้โดยวิธีงานสมมูล (Work Equivalence Method) นั่นคืองานที่เกิดจากโหลดกระจาย เช่น ภาพที่ 8(ก)



ภาพที่ 8 แบบจำลองคาน (ก) เอลิเมนต์คานที่มีโหลดกระจายกระทำ
 (ข) แบบจำลองแรงและโมเมนต์ตัดของเอลิเมนต์คาน (ก)

$$W_1 = \int_0^L w(x)v(x)dx \quad (23)$$

ซึ่ง $v(x)$ คือระยะโก่งของคาน และงานที่เกิดจากแรงและโมเมนต์ดัดสมมูลตามภาพที่ 8(ข) คือ

$$W_2 = m_1\theta_1 + m_2\theta_2 + f_{1y}v_1 + f_{2y}v_2 \quad (24)$$

สามารถจะหา m_1 m_2 f_{1y} และ f_{2y} ได้โดยกำหนดงาน $W_1 = W_2$ ในเทอมของการกระจัด θ_1 θ_2 v_1 และ v_2 ที่กำหนดให้ ตัวอย่างเช่น สมมติให้โหลดที่กระทำบนเอลิเมนต์คานเป็นแบบกระจายสม่ำเสมอ จากสมการที่ (23) แทนค่า $w(x)$ ด้วย $-w$ และใช้ค่า $v(x)$ จากสมการที่ (8) ดังนั้น

$$w_1 = \int_0^L w(x)v(x)dx = -\frac{wL}{2}(v_1 - v_2) - wL(v_1 - v_2) + \frac{wL^2}{3}(2\theta_1 - \theta_2) \quad (25)$$

เพราะว่า $W_1 = W_2$ หรือด้านขวาของสมการที่ (24) เท่ากับด้านขวาของสมการที่ (25) ถ้ากำหนดให้ที่จุดต่อ 1: $\theta_1 = 1$ ส่วน $\theta_2 = v_2 = v_1 = 0$ ผลที่ได้คือ

$$m_1(1) = -\left(\frac{wL}{4} - \frac{2}{3}wL^2 + \frac{L^2w}{2}\right) = -\frac{wL^2}{12} \quad (26)$$

ในทำนองเดียวกัน ถ้าให้ $\theta_2 = 1$ และ $\theta_1 = v_2 = v_1 = 0$ ผลที่ได้คือ

$$m_2(1) = -\left(\frac{wL^2}{4} - \frac{wL^2}{3}\right) = \frac{wL^2}{12} \quad (27)$$

สำหรับ f_{1y} และ f_{2y} ก็หาได้ในทำนองเดียวกันคือ กำหนดให้ $v_1 = v_2 = \theta_1 = \theta_2 = 0$ และ

$v_2 = 1$, $v_1 = \theta_1 = \theta_2 = 0$ ตามลำดับ ผลที่ได้ คือ

$$f_{1y}(1) = -\frac{wL}{2} + wL - wL = -\frac{wL}{2} \quad (28)$$

$$f_{2y}(1) = \frac{wL}{2} + wL - wL = \frac{wL}{2} \quad (29)$$

จะเห็นว่าทิศทางแรง และโมเมนต์ดัดที่แต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์คานจะมีทิศทางเช่นเดียวกับในกรณีของภาพที่ 6(ข)

ในการที่เอลิเมนต์คานมีโหนดกระจายหรือโหนดกระทำเป็นจุดกระทำ สมการสมดุลของแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างในพิกัดรวมคือ แรงที่แท้จริงจะเท่ากับแรงประสิทธิผล (Effective Force) ลบด้วยแรงสมมูล คือ

$$\{F\} = [K]\{d\} - \{F_0\} \quad (30)$$

ซึ่ง $\{F_0\}$ คือ แรงสมมูลที่กระทำที่จุดต่อในพิกัดรวมของโครงสร้าง ส่วนในตารางแรงสมมูล แรงปฏิกิริยา $\{F_0\}$ คือ แรงที่กระทำที่จุดต่อเอลิเมนต์ในพิกัดเฉพาะที่ ส่วน $\{F\}$ นั่นก็คือ แรงซึ่งรวมทั้งแรงปฏิกิริยาและโมเมนต์ในพิกัดรวม ในกรณีที่ไม่มีแรงหรือโมเมนต์ดัดภายนอกอื่นกระทำ ($F = 0$) ดังนั้นสมการที่ (30)

$$\{F_0\} = [K]\{d\} \quad (31)$$

ซึ่งถ้าทราบ $\{F_0\}$ และ $[K]$ ก็สามารถหาค่า $\{d\}$ ได้โดยคูณด้วย $[K]^{-1}$ ตลอด เช่นในกรณี 4 ของตารางแรงสมมูล

$$\{F_0\} = \begin{bmatrix} -\frac{wL}{12} & -\frac{wL^2}{12} & \frac{wL}{12} & \frac{wL^2}{12} \end{bmatrix}^T \quad (32)$$

ในกรณีของพิกัดเฉพาะที่ แรงที่แท้จริงที่จุดต่อต่างๆ $\{f\}_{act}$ ของเอลิเมนต์คานโครงสร้างก็คล้ายกับสมการที่ (30) คือ

$$\{f\}_{act} = [k]\{d\} - \{f_0\} \quad (33)$$

ซึ่ง $\{f_0\}$ คือแรงสมมูลในพิกัดเฉพาะที่ของคานาเอลิเมนต์ และ $[k]\{d\} = \{f\}_{eff}$ คือ แรงประสิทธิผลที่เกิดขึ้นที่จุดต่อของเอลิเมนต์ในพิกัดเฉพาะที่

4. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน (สถาพร โภคา, 2544)

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress) เป็นการออกแบบให้หน่วยแรงที่กำหนดใช้บรรทุกบนโครงสร้างนั้นต้องไม่เกินกว่าหน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ (Allowable Working) ซึ่งจะเป็นค่าที่อยู่ในช่วงของกราฟที่ยังเป็นเส้นตรง กล่าวคือเป็นช่วงที่วัสดุยังมีความยืดหยุ่นและมีอัตราส่วนหน่วยแรงการยืดหดตัวที่เป็นปฏิภาคกัน

4.1 หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต

4.1.1 ตามมาตรฐาน วสท. 1007 - 34 กำหนดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตไว้ดังนี้

- 1) หน่วยแรงอัดที่ผิว (f_c) = $0.45f_c'$
- 2) หน่วยแรงดึงที่ผิวฐานรากและกำแพงคอนกรีตล้วน (f_c) = $0.42\sqrt{f_c'}$
- 3) คานที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (v_c) = $0.29\sqrt{f_c'}$
- 4) ตงที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (v_c) = $0.32\sqrt{f_c'}$
- 5) โครงสร้างที่เสริมเหล็กถูกตั้งหรือค่อม (v_c) = $1.32\sqrt{f_c'}$
- 6) พื้นและฐานรากรับแรงเฉือนตามแนวเส้นขอบ (v_c) = $0.53\sqrt{f_c'}$
- 7) รับเต็มพื้นที่ (f_c) = $0.25f_c'$
- 8) รับไม่เกินกว่าหนึ่งในสามของเนื้อที่ (f_c) = $0.37f_c'$

4.1.2 ตามกฎกระทรวงควบคุมอาคาร ฉบับที่ 6 ถ้าไม่มีผลทดสอบจากหน่วยแรงที่เชื่อถือได้ ก็กำหนดให้ใช้ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตไว้ดังนี้

- 1) หน่วยแรงอัดของคอนกรีตล้วน (f_c) = $0.333f_c'$ แต่ต้องไม่เกิน 60 กก./ตร. ซม.
- 2) หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีตเสริมเหล็ก (f_c) = $0.375f_c'$ แต่ต้องไม่เกิน 65 กก./ตร. ซม.

4.2 หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม

ตามกระทรวงควบคุมอาคาร ฉบับที่ 6 และมาตรฐาน วสท. 1007 - 34 กำหนดให้ใช้ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมไว้ดังนี้

- 4.2.1 หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับเหล็กเสริม (f_s) เมื่อโครงสร้างรับแรงดึง

1) เหล็กเส้นกลม ที่มีกำลังคราก (f_y) ตั้งแต่ 2,400 กก./ตร.ซม. $f_s =$ ไม่เกิน 1,200 กก./ตร.ซม.

2) เหล็กข้ออ้อย ที่มีกำลังคราก ($f_y = 2,400 - 3,500$ กก./ตร.ซม. $f_s = 0.5f_y$ แต่ไม่เกิน 1,500 กก./ตร.ซม.

3) เหล็กข้ออ้อย ที่มีกำลังคราก (f_y) ตั้งแต่ 4,000 กก./ตร.ซม. ขึ้นไป $f_s =$ ไม่เกิน 1,700 กก./ตร.ซม.

4) เหล็กขั้ว ให้ใช้ร้อยละ 50 ของหน่วยแรงพิสูจน์ $f_s =$ ไม่เกิน 2,400 กก./ตร.ซม.

4.2.2 หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับเหล็กเสริม (f_s) เมื่อโครงสร้างแรงอัด

1) เสาปลอกเกลียวเหล็กเส้นกลม $f_s =$ ไม่เกิน 1,200 กก./ตร.ซม. และเหล็กข้ออ้อยและเหล็กขั้ว $f_s = 0.4f_y$ แต่ไม่เกิน 2,100 กก./ตร.ซม.

2) เสาปลอกเดี่ยว ให้ใช้ร้อยละ 85 ของค่าที่กำหนดในเสาปลอกเกลียว แต่ไม่เกิน 1,750 กก./ตร.ซม.

3) เสาแบบผสม เหล็กรูปพรรณ $f_s =$ ไม่เกิน 1,200 กก./ตร.ซม. และเหล็กหล่อ $f_s =$ ไม่เกิน 700 กก./ตร.ซม.

4.3 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้สูงสุด (v) ที่เกิดขึ้นในองค์อาคาร จะเกิดขึ้นที่ระยะ d ห่างจากที่รองรับ โดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

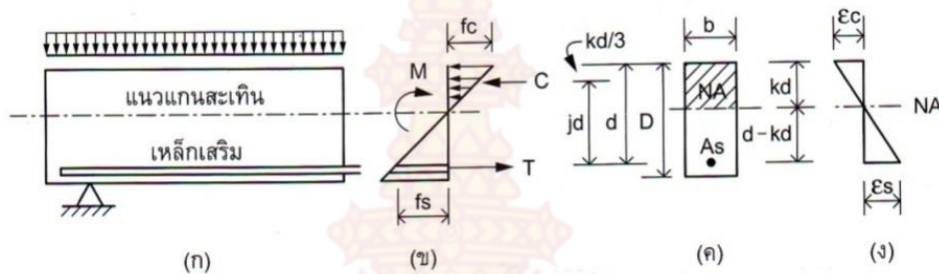
$$v = \frac{V}{bd} \quad (34)$$

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (v_c) สำหรับองค์อาคารคอนกรีต ยอมให้เกิดหน่วยแรงเฉือนได้ไม่เกินดังนี้

$$v_c = 0.29\sqrt{f'_c} \quad (35)$$

กรณีหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ ก็ต้องออกแบบเปลี่ยนขนาดองค์อาคารเสียใหม่หรืออาจออกแบบให้ใช้เหล็กปลอกหรือเหล็กค้ำเสริมเพื่อดำเนินงานหน่วยแรงเฉือนในส่วนที่เกินได้

5. การคำนวณหาโมเมนต์ต้านทานของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดิ่งอย่างเดียว (สถาพร โภคา, 2544)



ภาพที่ 9 พฤติกรรมการต้านทานโมเมนต์ดัด (ก) แสดงสภาพคานคอนกรีตที่เสริมเหล็กรับแรงดิ่ง เฉพาะด้านล่าง (ข) แสดงผังความเค้นที่เกิดขึ้นกับคอนกรีตและเหล็กเสริม (ค) แสดงหน้าตัด โดยคอนกรีตเหนือแรงแกนสะเทินรับแรงอัดและใต้แกนสะเทินเป็นเหล็กรับแรงดิ่ง (ง) แสดงผังความเครียด โดยคอนกรีตเกิดการหดตัวและเหล็กเกิดการยืดตัว

การคำนวณหาตำแหน่งแนวแกนสะเทินก็คือการคำนวณหาค่า k นั้นเองโดยมีวิธีวิเคราะห์ ดังนี้

กรณีที่ 1 : เมื่อทราบค่า f_c f_s

จากภาพที่ 9(ง)

$$\frac{\epsilon_c}{\epsilon_s} = \frac{f_c / E_c}{f_s / E_s} = \frac{f_c \cdot E_s}{f_s \cdot E_c} = n \frac{f_c}{f_s} \quad (36)$$

จากภาพที่ 9(ค)

$$\frac{\epsilon_c}{\epsilon_s} = \frac{kd}{d - kd} = \frac{k}{1 - k} \quad (37)$$

จากสมการที่ (36) เท่ากับ (37)

$$\frac{k}{1 - k} = n \frac{f_c}{f_s} \quad (38)$$

$$k = \frac{1}{1 + \left(\frac{f_s}{n \cdot f_c} \right)} \quad (39)$$

กรณีนี้ที่ 2 : เมื่อทราบค่า n p
จากภาพที่ 9(ข) เมื่อ

$$T = C \quad (40)$$

$$f_s \cdot A_s = \frac{1}{2} f_c \cdot b \cdot kd \quad (41)$$

$$M_s = T \cdot jd = f_s \cdot A_s \cdot jd \quad (42)$$

$$A_s = \frac{M}{f_s \cdot jd} \quad (43)$$

$$\begin{aligned} M_c &= C \cdot jd = \frac{1}{2} f_c \cdot b \cdot kd \cdot jd \\ &= \frac{1}{2} f_c \cdot k \cdot j \cdot bd^2 \end{aligned} \quad (44)$$

$$R = \frac{1}{2} f_c \cdot k \cdot j \quad (45)$$

$$M_c = R \cdot bd^2 \quad (46)$$

$$d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} \quad (47)$$

เมื่อทราบร้อยละของเหล็กเสริม $\rho = \frac{A_s}{bd}$ หรือ $A_s = \rho bd$ นำไปแทนค่าในสมการที่ (39)

$$f_s \cdot \rho bd = \frac{1}{2} f_c \cdot b \cdot kd \quad (48)$$

$$f_s = \frac{1/2 f_c \cdot b \cdot kd}{\rho bd} = \frac{f_c \cdot k}{2\rho} \quad (49)$$

$$\frac{f_s}{f_c} = \frac{k}{2\rho} \quad (50)$$

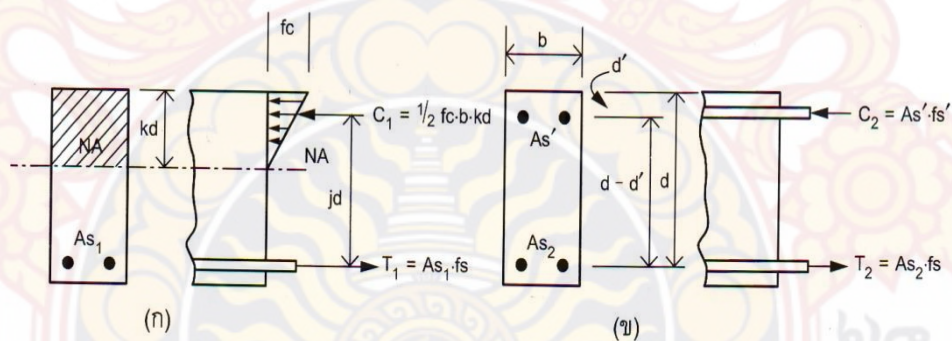
จากสมการที่ (37)

$$\frac{k}{2p} = \frac{n(1-k)}{k} \quad (51)$$

$$k = \frac{\sqrt{2np + (np)^2} - np}{n} \quad (52)$$

6. การคำนวณหาโมเมนต์ต้านทานของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับทั้งแรงดึงและแรงอัด (สถาพร โภคา, 2544)

คานคอนกรีตที่ออกแบบให้คอนกรีตส่วนเหนือแกนสะเทินรับแรงอัดทั้งหมด และเหล็กเสริมใต้แกนสะเทินรับแรงดึงทั้งหมด แต่ในบางกรณีคอนกรีตที่อยู่เหนือแกนสะเทินไม่สามารถต้านทานแรงอัดได้ทั้งหมด ก็จำเป็นต้องขยายหน้าตัดคานให้ใหญ่มากขึ้นจนกว่าคอนกรีตจะสามารถต้านทานแรงอัดคอนกรีตได้ทั้งหมด แต่ก็อาจไม่เหมาะสมด้านความสวยงามทางสถาปัตยกรรมและขนาดน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเป็นภาระต่อโครงสร้าง จึงจำเป็นต้องออกแบบเหล็กเสริมช่วยรับแรงอัดเพิ่มเติม จึงทำให้คานคอนกรีตนี้มีทั้งเหล็กเสริมรับแรงดึงด้านล่างและเหล็กเสริมรับแรงอัดด้านบน



ภาพที่ 10 การเสริมเหล็กในคานเพื่อรับแรงดึงและแรงอัด (ก) ความเค้นและคานคอนกรีตที่เสริมเหล็กรับแรงดึงเฉพาะด้านล่างอย่างเดียว (ข) แสดงเหล็กเสริมเพิ่มเติมที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด

การคำนวณหาเหล็กเสริมรับแรงอัด (A_s')

$$M_1 = \frac{1}{2} f_c \cdot k \cdot j \cdot b d^2 = R \cdot b d^2 = A_{s1} \cdot f_s \cdot j d \quad (53)$$

$$M_2 = A_s' \cdot f_s (d - d') = A_{s1} \cdot f_s (d - d') \quad (54)$$

$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_s \cdot j \cdot d} \quad (55)$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_s \cdot (d - d')} \quad (56)$$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กที่เสริมรับแรงดึงทั้งหมด

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = \frac{M_1}{f_s \cdot j \cdot d} + \frac{M_2}{f_s \cdot (d - d')} \quad (57)$$

สำหรับการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด พิจารณาจากการสมดุลของแรงดังนี้

$$C_2 = T_2 \quad (58)$$

$$A_s' \cdot f_s' = A_{s2} \cdot f_s \quad (59)$$

ในช่วงอีลาสติก หน่วยแรงในเหล็กจะเป็นปฏิภาคกับระยะแนวแกนสะเทิน นั่นคือ

$$\frac{f_s}{f_s'} = \frac{d - kd}{kd - d'} \quad (60)$$

$$f_s' = \frac{f_s \cdot kd - d'}{d - kd} = \frac{f_s \cdot k - \left(\frac{d'}{d}\right)}{1 - k} \quad (61)$$

ตามมาตรฐานของ วสท. กำหนดให้หน่วยแรง f_s' มีค่าเป็นสองเท่าของหน่วยแรงที่คำนวณได้จากทฤษฎีอีลาสติก

$$f_s' = \frac{2f_s \cdot k - \left(\frac{d'}{d}\right)}{1 - k} \quad (62)$$

แทนค่า f_s' ลงในสมการสมดุล

$$A_s' \cdot f_s' = A_{s2} \cdot f_s \quad (63)$$

$$2A_s' \cdot f_s \frac{k - \left(\frac{d'}{d}\right)}{1-k} = A_{s2} \cdot f_s \quad (64)$$

$$2A_s' = \frac{A_{s2} \cdot f_s}{f_s} \left(\frac{1-k}{k - \left(\frac{d'}{d}\right)} \right) \quad (65)$$

$$A_s' = \frac{1}{2} \cdot A_{s2} \left(\frac{1-k}{k - \left(\frac{d'}{d}\right)} \right) \quad (66)$$

$$k = \frac{1}{2} \left(\frac{1-k}{k - \left(\frac{d'}{d}\right)} \right) \quad (67)$$

$$A_s' = K \cdot A_{s2} \quad (68)$$

การคำนวณหาตำแหน่งแนวแกนสะเทินก็คือการคำนวณหาค่า k นั้นเอง โดยวิธีวิเคราะห์หาได้ดังนี้
กรณีที่ 1 : เมื่อทราบค่า n , f_s และ f_c สามารถหา k ได้ตามสมการที่ (2-67)

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{n \cdot f_c}} \quad (69)$$

กรณีที่ 2: เมื่อทราบค่า A_s , A_s' , b , d

จากสมการสมดุลพบว่าแรงอัดทั้งหมด = แรงดึงทั้งหมด

$$C_1 + C_2 = T_1 + T_2 \quad (70)$$

$$\frac{1}{2} f_c \cdot b \cdot kd + A_s' \cdot f_s' = A_{s1} \cdot f_s + A_{s2} \cdot f_s \quad (71)$$

$$\frac{1}{2} f_c \cdot b \cdot kd + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_s \quad (72)$$

จากการวิเคราะห์หน่วยแรงการยึดหดตัวของคอนกรีตและเหล็กเสริม จะได้

$$f_s = n \cdot f_c \frac{(d + kd)}{(kd)} = n \cdot f_c \frac{1 - k}{k} \quad (73)$$

$$f_s' = 2f_s \frac{(kd - d)}{(d - kd)} \quad (74)$$

แทนค่าสมการที่ (73) ลงในสมการที่ (74) จะได้

$$f_s' = 2n \cdot f_c \frac{(kd - d)}{kd} \quad (75)$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad (76)$$

$$A_s = \rho bd \quad (77)$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{bd} \quad (78)$$

$$A_s' = \rho' bd \quad (79)$$

นำสมการที่ (77), (78) และ (79) ไปแทนค่าลงในสมการที่ (72)

$$\frac{1}{2} f_c \cdot b \cdot kd + \left((\rho' bd)(2n \cdot f_c) \frac{(kd - d')}{(kd)} \right) = \left((\rho bd) \cdot n \cdot f_c \frac{(kd - d')}{(kd)} \right) \quad (80)$$

จากสมการที่ (80) หารลดด้วย $f_c \cdot bd$ และคูณด้วย $2k$ จะได้

$$k^2 + 4np'kd \frac{(k - d')/d}{kd} = 2n \cdot pd \frac{1 - k}{d} \quad (81)$$

$$k^2 + 2nk(p + 2p') = 2n \left(p - 2p' \frac{d'}{d} \right) \quad (82)$$

$$k^2 + 2nK(p + 2p') + n^2(p + 2p')^2 = 2n(p + 2p' \frac{d'}{d}) + n^2(p + 2p')^2 \quad (83)$$

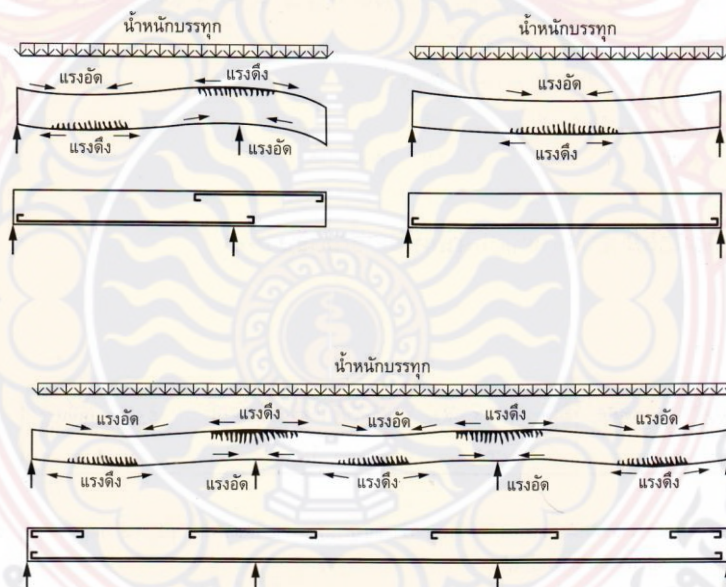
$$(k + n(p + 2p'))^2 = 2n \left(p + 2p' \frac{d'}{d} \right) + n^2(p + 2p')^2 \quad (84)$$

$$k + n(p + 2p') = \sqrt{2n \left(p + 2p' \frac{d'}{d} \right) + n^2(p + 2p')^2} \quad (85)$$

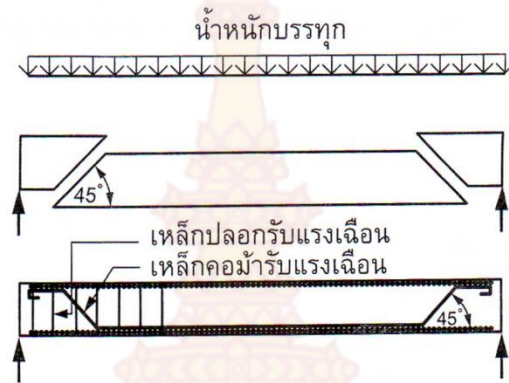
$$k = \sqrt{2n \left(p + 2p' \frac{d'}{d} \right) + n^2(p + 2p')^2} - n(p + 2p') \quad (86)$$

7. การออกแบบคานาคอนกรีตเสริมเหล็ก (สถาพร โภคา, 2544)

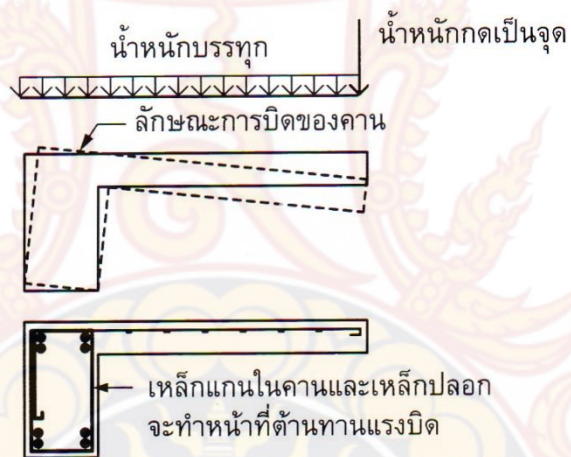
คานาเป็นโครงสร้างแนวราบ เมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุกกระทำ ก็จะเกิดโมเมนต์ดัดที่ท้องคาน หรือการแอ่นตัวและเกิดแรงดึง ฉะนั้นจึงต้องเสริมเหล็กต้านทานที่ท้องคาน ขณะเดียวกันก็จะเกิดโมเมนต์ดัดที่หัวเสา ซึ่งก็จะเสริมเหล็กต้านทานที่หัวเสาเช่นกัน นอกจากนี้ยังเกิดแรงเฉือนและแรงบิด ในคานได้ด้วย ซึ่งต้องใช้เหล็กปลอกเสริมต้านทาน การเสริมเหล็กต่างๆ ต้องใส่ให้ตรงตามตำแหน่งที่เกิดพฤติกรรมนั้น ซึ่งแสดงด้วยรูปตัวอย่างดังนี้



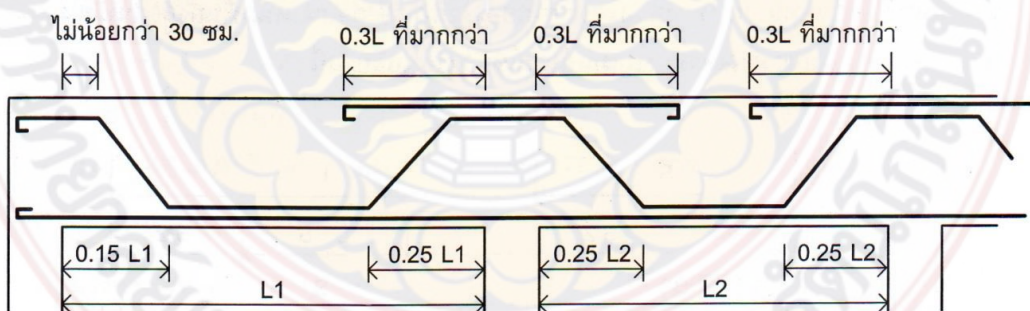
ภาพที่ 11 ลักษณะการเกิดพฤติกรรมแรงดัด (ก) พฤติกรรมคานยื่นและการเสริมเหล็กรับแรงดึง (ข) พฤติกรรมคานช่วงเดียวและการเสริมเหล็กรับแรงดึง (ค) พฤติกรรมคานหลายช่วงและการเสริมเหล็กรับแรงดึง



ภาพที่ 12 ลักษณะการเกิดพฤติกรรมแรงเฉือน



ภาพที่ 13 ลักษณะการเกิดพฤติกรรมแรงบิด



ภาพที่ 14 ระยะเสริมเหล็กค่อมและเหล็กเสริมพิเศษตามมาตรฐาน ACI

7.1 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตามข้อกำหนดมาตรฐาน วสท. 1007-34 แนะนำความลึกของคานชั้นต่ำ (กรณีไม่ได้คำนวณหาระยะการโค้ง) ไว้ดังนี้

ตารางที่ 1 ความลึกของคานชั้นต่ำกรณีไม่ได้คำนวณหาระยะการโค้ง

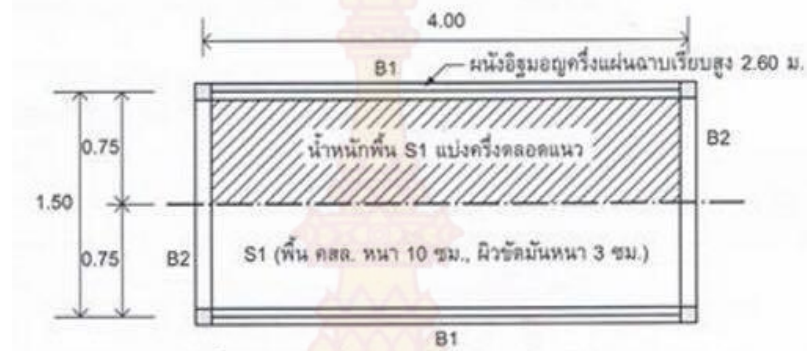
สำหรับคานช่วงเดียว	สำหรับคานสองช่วง	สำหรับคานสามช่วงขึ้นไป	สำหรับคานยื่น
L/16	L/18.5	L/21	L/8

1. ประมาณอัตราส่วนหน้าตัดคานได้จากความกว้างของคานต่อความลึกของคาน 1 : 2 , 1:3 เช่นคานขนาด 0.15×0.30 , 0.20×0.40 , 0.20×0.60 เป็นต้น
2. ประมาณความลึกของคานเทียบกับช่วงความยาวของคาน 1:10 เช่น คานยาว 6.00 เมตร ก็ควรจะมีควมลึกโดยประมาณ 60 เซนติเมตร เป็นต้น
3. ความกว้างของหน้าตัดคานไม่ควรกว้างมากกว่าหน้าตัดของเสา
4. เหล็กเสริมแกนต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 9 มิลลิเมตร
5. การเสริมเหล็กในคานที่มีเหล็กตั้งแต่สองชั้นขึ้นไป ช่องว่างระหว่างเหล็กแต่ละชั้นต้องไม่แคบกว่า 2.5 เซนติเมตร และเหล็กที่อยู่ชั้นบนต้องเรียงให้ตรงกับเหล็กชั้นล่าง
6. เหล็กปลอกต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร และระยะห่างของเหล็กปลอกไม่ควรมากกว่าความกว้างของคานหรือครึ่งหนึ่งของความลึกคาน หรือ 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กแกนหรือ 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก อย่างไม่อย่างหนึ่งที่มีค่าน้อยกว่า

7.2 ลักษณะการถ่ายน้ำหนักพื้นสู่คาน

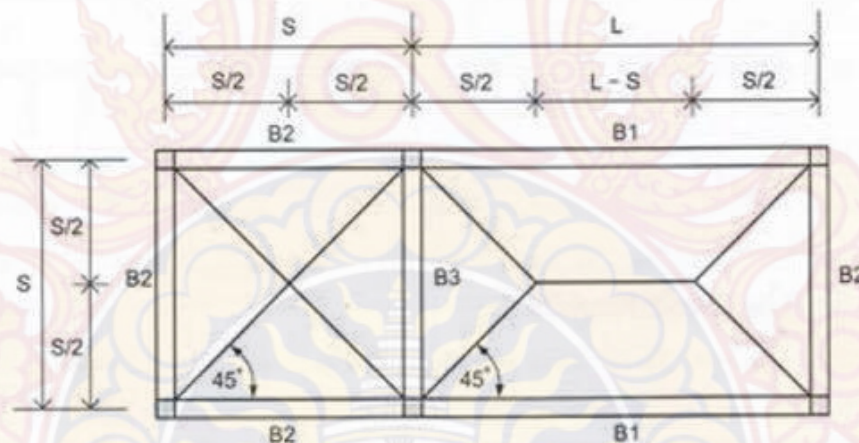
การถ่ายน้ำหนักพื้นลงสู่คาน พิจารณาจากลักษณะของพื้นซึ่งแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ พื้นเสริมเหล็กทางเดียวและพื้นเสริมเหล็กสองทาง ซึ่งลักษณะการถ่ายน้ำหนักแสดงได้ดังภาพที่ 15 และภาพที่ 16

1. ประเภทพื้นเสริมเหล็กทางเดียวหรือลักษณะของแผ่นพื้นสำเร็จรูป การแบ่งน้ำหนักพื้นลงคาน B1 ทำได้โดยแบ่งครึ่งช่วงสั้นของพื้นตลอดแนว



ภาพที่ 15 การถ่ายน้ำหนักของพื้นเสริมเหล็กทางเดียว

2. ประเภทพื้นเสริมเหล็กสองทาง การแบ่งน้ำหนักพื้นเสริมเหล็กสองทางตามมาตรฐานของ วสท. จะถ่ายน้ำหนักลงสู่คานทั้ง 4 ด้าน ด้วยการแบ่งพื้นที่เป็น 45 องศา และประมาณค่าของโมเมนต์โดยใช้น้ำหนักเฉลี่ยดังนี้



ภาพที่ 16 การถ่ายน้ำหนักของพื้นเสริมเหล็กสองทาง

แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น

$$\text{แรงเฉือนเฉลี่ย ด้านยาว} = \frac{wS^2}{4} \left(\frac{2-m}{m} \right) \quad (87)$$

$$\text{แรงเฉือนเฉลี่ย ด้านสั้น} = \frac{wS^2}{4} \quad (88)$$

การถ่ายน้ำหนักพื้นเพื่อหาค่าโมเมนต์ในคาน สำหรับการถ่ายหนักเพื่อหาค่าโมเมนต์ในคาน นั้นจะคำนวณจากน้ำหนักพื้นแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ ดังนี้

น้ำหนักพื้นถ่ายลงคาน :

$$B1 = \frac{wS}{3} \left(\frac{3-m^2}{2} \right) \quad (89)$$

น้ำหนักพื้นถ่ายลงคาน :

$$B2 = \frac{wS}{3} \quad (90)$$

น้ำหนักพื้นถ่ายลงคาน :

$$B3 = 2 \left(\frac{wS}{3} \right) \quad (91)$$

7.3 แรงเฉือนในคานและการเสริมเหล็กต้านทาน

คานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปมักจะมีหน้าตัดที่เพียงพอต่อการต้านทานแรงเฉือน (shearing) แต่ในบางครั้งต้องแบกรับน้ำหนักมาก ทำให้คอนกรีตไม่สามารถต้านทานแรงเฉือนได้เพียงพอ จึงต้องออกแบบเหล็กปลอกหรือเหล็กค่อมาช่วยต้านทานแรงเฉือนส่วนเกินนั้น ตามมาตรฐาน วสท. 1007-34 กำหนดไว้ดังนี้

เกณฑ์บังคับหน่วยแรงและเหล็กเสริม

1. หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (f_v) จะต้องไม่เกิน 1200 กก./ตรม. สำหรับเหล็กเส้นกลมไม่เกิน 1500 กก./ตรม. สำหรับเหล็กข้ออ้อย SD30 และ SD40 ตามลำดับ
2. หน่วยแรงเฉือน (v) จะต้องไม่เกิน $1.32\sqrt{f_c}$ สำหรับหน้าตัดที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน
3. ระยะเรียงของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนต้องไม่เกิน $d/2$ และถ้าหน่วยแรงเฉือนเกินกว่า $0.795\sqrt{f_c}$ ระยะเรียงต้องไม่เกิน $d/4$

4. เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมแรงเฉือน (A_v) จะต้องไม่น้อยกว่า 0.0015 ของเนื้อ $b \times s$ (โดย b คือความกว้างของหน้าตัดคาน, s คือระยะเรียงของเหล็ก)

การคำนวณเหล็กปลอกรับแรงเฉือน (Stirrup)

$$A_v = \frac{V' \cdot s}{f_v \cdot d} \quad (92)$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_v \cdot d}{V'} \quad (93)$$

การคำนวณเหล็กค้ำรับแรงเฉือน เหล็กค้ำรับแรงเฉือนอาจเป็นเส้นเดียวหรือหลายเส้นที่ขนานกันและมีระยะห่างที่รองรับเท่ากันให้คำนวณจากสูตรดังนี้

$$A_v = \frac{v}{f_v \cdot \sin \alpha} \quad (94)$$

สำหรับเหล็กค้ำที่ขนานกัน แต่มีระยะห่างจากที่รองรับต่าง ๆ กัน ให้คำนวณจากสูตรดังนี้

$$A_v = \frac{V \cdot s}{f_v \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha)} \quad (95)$$

โดยที่ v' ต้องมีค่าไม่เกิน $0.398bd\sqrt{f_c'}$

8. การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก (สถาพร โภคา, 2544)

พื้น (Slab) เป็นโครงสร้างส่วนหนึ่งของอาคารที่มีความสำคัญมาก เพราะทำหน้าที่รองรับน้ำหนักบรรทุกต่างๆ แล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่คานและเสาต่อไป การเลือกใช้ชนิดหรือประเภทของโครงสร้างพื้นจึงต้องพิจารณาให้เกิดความเหมาะสมทั้งด้านความแข็งแรง ความสวยงาม และประหยัด รวมทั้งให้สอดคล้องกับประโยชน์ใช้สอยด้วย โครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวิธีการออกแบบหลายลักษณะ เช่น พื้นวางบนดินบดอัดแน่น พื้นคอนกรีตหล่อบนคาน พื้นคอนกรีตระบบไร้คาน พื้นคอนกรีตอัดแรงหล่อในที่ หรือพื้นคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จรูป ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอยู่มาก

8.1 พื้นชนิดเสริมเหล็กหลักทางเดียว

พื้นคอนกรีตหล่อในที่ชนิดเสริมเหล็กหลักทางเดียว (One Way Slab) นี้ เป็นการเรียกตามวิธีการคำนวณโครงสร้างโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างความกว้างหรือด้านสั้นของแผ่นพื้น

ต่อต้านความยาวของแผ่นพื้นต้องมีค่าไม่เกิน 0.50 โดยอาจมีช่วงพื้นช่วงเดียวหรือหลายช่วงติดต่อกัน หรือเป็นพื้นยื่น

ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบพื้นทางเดียว

1) พื้นเสริมเหล็กหลักทางเดียว (One Way Slab) ถ้าไม่ได้คำนวณระยะโคง มาตรา วสท. 1007 – 34 แนะนำความหนาขั้นต่ำไว้ดังนี้ (S หมายถึงด้านสั้นของพื้น)

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

สำหรับพื้นช่วงเดียว	สำหรับพื้นสองช่วง	สำหรับพื้นสามช่วง	สำหรับพื้นยื่น
S/20	S/24	S/28	S/10

2) กรณีเป็นพื้นโรงงาน โกดัง พื้นถนน หรือพื้นใดที่มีความเสียดสีมาก ควรเพิ่มความหนาอีกอย่างน้อย 1.5 ซม.

3) เหล็กเสริมต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 6 มม.

4) ระยะเรียงของเหล็กต้องไม่เกิน 3 เท่าของความหนาพื้น หรือไม่เกิน 30 ซม. ใดๆ อย่างหนึ่งที้อยกว่า

5) เหล็กเสริมกันร้าว (A_s^t) ในพื้นแบบเสริมหลักทางเดียว ใช้ดังนี้

$$A_s^t = 0.0025 * b * D \quad \text{สำหรับเหล็กเส้นกลม SR 24}$$

$$A_s^t = 0.0020 * b * D \quad \text{สำหรับเหล็กข้ออ้อย SD 30}$$

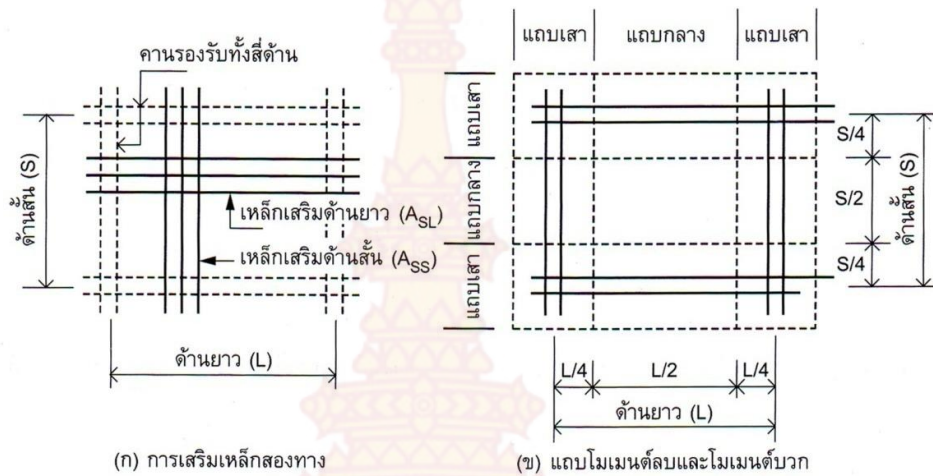
และ $A_s^t = 0.0018 * b * D \quad \text{สำหรับเหล็กข้ออ้อย SD 40}$

6) การออกแบบเสริมเหล็กในแผ่นพื้นให้คิดต่อความกว้างเพียง 1 ม.

7) ระยะต่อทาบและระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก ดูรายละเอียดในตารางที่ 2 และตารางที่ 3

8.2 พื้นชนิดเสริมเหล็กหลักสองทาง

พื้นคอนกรีตหล่อในที่ชนิดเสริมเหล็กหลักสองทาง (Two Way Slab) นี้ เป็นการเรียกตามวิธีการคำนวณโครงสร้างเช่นเดียวกับพื้นระบบเสริมเหล็กทางเดียว โดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างความกว้างของแผ่นพื้นต่อความยาวของแผ่นพื้นมีค่าเกิน 0.50 จึงต้องคำนวณโครงสร้างพื้นนี้เป็นชนิดเสริมเหล็กสองทาง (โดยไม่ต้องเสริมเหล็กกันร้าว) และต้องมีคานรองรับทั้งสี่ด้านอาจมีพื้นเพียงผืนเดียวหรือหลายพื้นติดต่อกัน



ภาพที่ 17 แผ่นพื้นชนิดเสริมเหล็กสองทาง

ข้อกำหนดเบื้องต้นในการออกแบบพื้นสองทาง

1) พิกัด แถบกลาง (Middle Strip) มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงพื้นโดยสมมาตรกับเส้นแบ่งกึ่งกลางของช่วง และต่อเลยออกไปในช่วงพื้นในทิศทางที่คิดโมเมนต์ แถบเสา (Column Strip) มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงพื้นโดยมีขนาดเท่ากับพื้นที่ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ 1 ใน 4 ของช่วงพื้นสองฝั่ง ที่อยู่นอกแถบกลาง

2) ความหนาต่ำสุดของแผ่นพื้นสองทาง ให้ถือเอาค่าที่มากที่สุดระหว่างความยาวเส้นรอบรูปหารด้วย 180 หรือ 8 ซม.

3) หน้าตัดวิกฤตสำหรับคำนวณโมเมนต์ สำหรับโมเมนต์ลบคิดที่ขอบโดยรอบของช่วงพื้นตรงขอบคานรองรับ สำหรับโมเมนต์บวก คิดที่เส้นแบ่งกึ่งกลางช่วงพื้น

การวางเหล็กเสริม ให้ทำการวางเหล็กด้านสั้น (A_{ss}) ก่อนจากนั้นจึงวางเหล็กด้านยาว (A_{sl}) วางทับบนเหล็กด้านสั้นทั้งนี้เพราะเหล็กที่เสริมช่วงสั้นจะให้ความแข็งแรงมากกว่าช่วงยาว

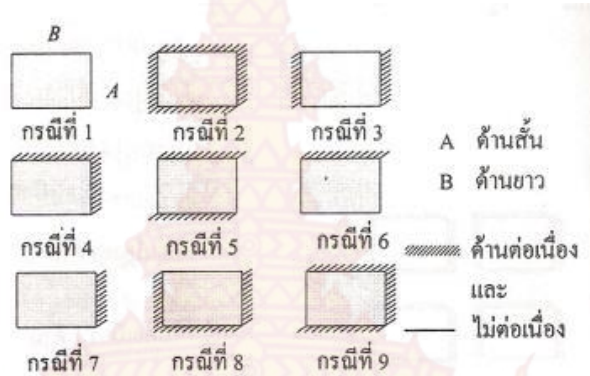
การออกแบบแผ่นพื้นให้พิจารณาที่ความกว้าง 1.00 ม. และพิจารณาน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจายเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 1007 – 34 ได้กำหนดวิธีการออกแบบแผ่นพื้นไว้ 3 วิธี ซึ่งสำหรับโปรแกรมนี้ได้ใช้วิธีที่สามในการออกแบบพื้นสองทาง

การคำนวณออกแบบวิธีที่สามตามมาตรฐานของ ว.ส.ท. ได้จำแนกพื้นสองทางเป็น 9 กรณี โดยพิจารณารวมทั้งการยึดรั้ง หรือสภาพความต่อเนื่องของที่รองรับกับขนาดมิติ (ด้านสั้นหรือด้านยาว) ของที่รองรับนั้น

$$M_A = CwA^2 \quad (96)$$

$$M_B = CwB^2 \quad (97)$$

อนึ่งในตารางสัมประสิทธิ์สำหรับโมเมนต์ลบไม่ปรากฏค่าสัมประสิทธิ์สำหรับโมเมนต์ลบ ณ ด้านที่ไม่ต่อเนื่อง แต่ ว.ส.ท. ระบุให้คิดโมเมนต์ลบเท่ากับ $1/3$ ของโมเมนต์บวกที่หน้าตัดวิกฤต สำหรับใช้ในการคำนวณ



ภาพที่ 18 ลักษณะการต่อเนื่องของพื้นสองทางในการออกแบบพื้นสองทางวิธีที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ลบ (วิธีที่สามตามมาตรฐานของ วสท.)

อัตราส่วน $m = A/B$		case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9
1.00	Ca neg		0.045		0.050	0.075	0.071		0.033	0.061
	Cb neg		0.045	0.076	0.050			0.071	0.061	0.033
0.95	Ca neg		0.050		0.055	0.079	0.075		0.038	0.065
	Cb neg		0.041	0.072	0.045			0.067	0.056	0.029
0.90	Ca neg		0.055		0.060	0.080	0.079		0.043	0.068
	Cb neg		0.037	0.070	0.040			0.062	0.052	0.025
0.85	Ca neg		0.060		0.066	0.082	0.083		0.049	0.072
	Cb neg		0.031	0.065	0.034			0.057	0.046	0.021
0.80	Ca neg		0.065		0.071	0.083	0.086		0.055	0.075
	Cb neg		0.027	0.061	0.029			0.051	0.041	0.017
0.75	Ca neg		0.069		0.076	0.085	0.088		0.061	0.078
	Cb neg		0.022	0.056	0.024			0.044	0.036	0.014
0.70	Ca neg		0.074		0.081	0.086	0.091		0.068	0.081
	Cb neg		0.017	0.050	0.019			0.038	0.029	0.011
0.65	Ca neg		0.077		0.085	0.087	0.093		0.074	0.083
	Cb neg		0.014	0.043	0.015			0.031	0.024	0.008

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์กลับ (วิธีที่สามตามมาตรฐานของ วสท.) (ต่อ)

อัตราส่วน $m = A/B$		case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9
0.60	Ca neg		0.081		0.089	0.088	0.095		0.080	0.085
	Cb neg		0.010	0.035	0.011			0.024	0.018	0.006
0.55	Ca neg		0.084		0.092	0.089	0.096		0.085	0.086
	Cb neg		0.007	0.028	0.008			0.019	0.014	0.005
0.50	Ca neg		0.086		0.094	0.090	0.097		0.089	0.088
	Cb neg		0.006	0.022	0.006			0.014	0.010	0.003

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บวกจากน้ำหนักคงที่ (วิธีที่สามตามมาตรฐานของ วสท.)

อัตราส่วน $m = A/B$		case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9
1.00	Ca DL	0.036	0.018	0.018	0.027	0.027	0.033	0.027	0.020	0.023
	Cb DL	0.036	0.018	0.027	0.027	0.018	0.027	0.033	0.023	0.020
0.95	Ca DL	0.040	0.020	0.021	0.030	0.028	0.036	0.031	0.022	0.024
	Cb DL	0.033	0.016	0.025	0.024	0.015	0.024	0.031	0.021	0.017
0.90	Ca DL	0.045	0.022	0.025	0.033	0.029	0.039	0.035	0.025	0.026
	Cb DL	0.029	0.014	0.024	0.022	0.013	0.021	0.028	0.019	0.015
0.85	Ca DL	0.050	0.024	0.029	0.036	0.031	0.042	0.040	0.029	0.028
	Cb DL	0.026	0.012	0.022	0.019	0.011	0.017	0.025	0.017	0.013
0.80	Ca DL	0.056	0.026	0.034	0.039	0.032	0.045	0.045	0.032	0.029
	Cb DL	0.023	0.011	0.020	0.016	0.009	0.015	0.022	0.015	0.010
0.75	Ca DL	0.061	0.028	0.040	0.043	0.033	0.048	0.051	0.036	0.031
	Cb DL	0.019	0.009	0.018	0.013	0.007	0.012	0.020	0.013	0.007
0.70	Ca DL	0.068	0.030	0.046	0.046	0.035	0.051	0.058	0.040	0.033
	Cb DL	0.016	0.007	0.016	0.011	0.005	0.009	0.017	0.011	0.006

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บวกจากน้ำหนักคงที่ (วิธีที่สามตามมาตรฐานของ วสท.) (ต่อ)



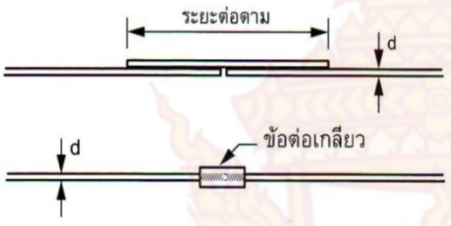
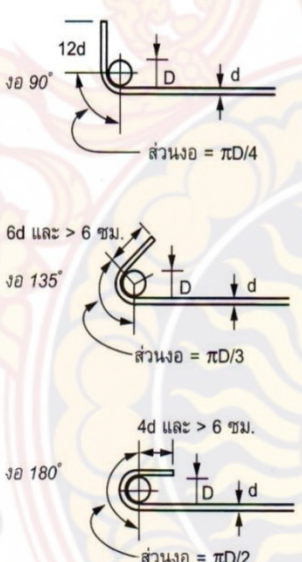
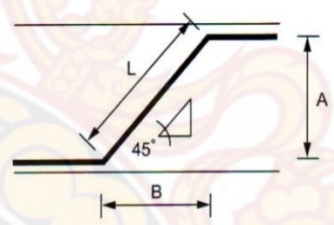
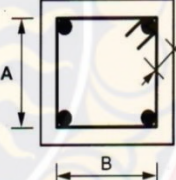
อัตราส่วน		case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9
m = A/B										
0.65	Ca DL	0.074	0.032	0.054	0.050	0.036	0.054	0.065	0.044	0.034
	Cb DL	0.013	0.006	0.014	0.009	0.004	0.007	0.014	0.009	0.005
0.60	Ca DL	0.081	0.034	0.062	0.053	0.037	0.056	0.073	0.048	0.036
	Cb DL	0.010	0.004	0.011	0.007	0.003	0.006	0.012	0.007	0.004
0.55	Ca DL	0.088	0.035	0.071	0.056	0.038	0.058	0.081	0.052	0.037
	Cb DL	0.008	0.003	0.009	0.005	0.002	0.004	0.009	0.005	0.003
0.50	Ca DL	0.095	0.037	0.080	0.059	0.039	0.061	0.089	0.056	0.038
	Cb DL	0.006	0.002	0.007	0.004	0.001	0.003	0.007	0.004	0.002

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บวกจากน้ำหนักจร (วิธีที่สามตามมาตรฐานของ วสท.)

อัตราส่วน		case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9
m = A/B										
1.00	Ca LL	0.036	0.027	0.027	0.032	0.032	0.035	0.035	0.028	0.030
	Cb LL	0.036	0.027	0.032	0.032	0.027	0.032	0.035	0.030	0.028
0.95	Ca LL	0.040	0.030	0.031	0.035	0.034	0.038	0.036	0.031	0.032
	Cb LL	0.033	0.025	0.029	0.029	0.024	0.029	0.032	0.027	0.025
0.90	Ca LL	0.045	0.034	0.035	0.039	0.037	0.042	0.040	0.035	0.036
	Cb LL	0.029	0.022	0.027	0.026	0.021	0.025	0.029	0.024	0.022
0.85	Ca LL	0.050	0.037	0.040	0.043	0.041	0.046	0.045	0.040	0.039
	Cb LL	0.026	0.019	0.024	0.023	0.019	0.022	0.026	0.022	0.020
0.80	Ca LL	0.058	0.041	0.045	0.048	0.044	0.051	0.051	0.044	0.0425
	Cb LL	0.023	0.017	0.022	0.020	0.016	0.019	0.023	0.019	0.017

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บวกจากน้ำหนักจร (วิธีที่สามตามมาตรฐานของ วสท.) (ต่อ)

อัตราส่วน		case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9
m = A/B										
0.75	Ca LL	0.061	0.045	0.051	0.052	0.047	0.055	0.056	0.049	0.046
	Cb LL	0.019	0.014	0.019	0.016	0.013	0.016	0.020	0.016	0.013
0.70	Ca LL	0.068	0.049	0.057	0.057	0.051	0.060	0.063	0.054	0.050
	Cb LL	0.016	0.012	0.016	0.014	0.011	0.013	0.017	0.014	0.011
0.65	Ca LL	0.074	0.053	0.064	0.062	0.055	0.064	0.070	0.059	0.054
	Cb LL	0.013	0.010	0.014	0.011	0.009	0.010	0.014	0.011	0.009
0.60	Ca LL	0.081	0.058	0.071	0.067	0.059	0.068	0.077	0.065	0.059
	Cb LL	0.010	0.007	0.011	0.009	0.007	0.008	0.011	0.009	0.007
0.55	Ca LL	0.088	0.062	0.080	0.072	0.063	0.073	0.085	0.070	0.063
	Cb LL	0.008	0.006	0.009	0.007	0.005	0.006	0.009	0.007	0.006
0.50	Ca LL	0.095	0.066	0.088	0.077	0.067	0.078	0.092	0.076	0.067
	Cb LL	0.006	0.004	0.007	0.005	0.004	0.005	0.007	0.005	0.004

<p>การทาบสำหรับเหล็กเส้นกลม</p> 	<p>ระยะทาบต้อง</p> <p>SR24 > 48 เท่าของ d หรือ > 60 ซม. (แรงดึง) SR24 > 40 เท่าของ d หรือ > 60 ซม. (แรงอัด)</p>
<p>การทาบสำหรับเหล็กข้ออ้อย</p> 	<p>ระยะทาบต้อง</p> <p>SD50 > 36 เท่าของ d หรือ > 30 ซม. (แรงดึง) SD40 > 30 เท่าของ d หรือ > 30 ซม. (แรงดึง) SD30 > 24 เท่าของ d หรือ > 30 ซม. (แรงดึง) SD50 > 30 เท่าของ d หรือ > 30 ซม. (แรงอัด) SD40 > 24 เท่าของ d หรือ > 30 ซม. (แรงอัด) SD30 > 20 เท่าของ d หรือ > 30 ซม. (แรงอัด)</p>
<p>การต่อตาม</p>  <p>หมายเหตุ :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. การต่อทาบหรือการต่อตาม ห้ามใช้กับเหล็กเส้นที่มีขนาดใหญ่กว่า $\varnothing 25$ มม. 2. การต่อเหล็กเส้นที่มีขนาดใหญ่กว่า $\varnothing 25$ มม. ควรใช้วิธีการเชื่อม 3. ควรหลีกเลี่ยงการต่อเหล็กในบริเวณที่เกิดแรงดึงสูงสุด 	<p>ระยะต่อตามต้อง</p> <p>> 80 เท่าของ d หรือใช้ข้อต่อเกลียว ตามมาตรฐานผู้ผลิตนั้นๆ แต่ไม่ควรใช้นิยมใช้กับแรงดึง</p>
<p>การงอปลาย</p>  <p>เมื่อ $6d$ และ > 6 ซม. ส่วนงอ = $\pi D/4$</p> <p>เมื่อ $6d$ และ > 6 ซม. ส่วนงอ = $\pi D/3$</p> <p>เมื่อ $4d$ และ > 6 ซม. ส่วนงอ = $\pi D/2$</p> <p>หมายเหตุ : การดัดเหล็กทุกเส้นต้องใช้วิธีดัดเย็น</p>	<p>ระยะค่อม้า</p>  <p>เมื่อ $A = B$, $L = \sqrt{A^2 + B^2}$</p> <p>เหล็กปลอก</p>  <p>ความยาว 1 ปลอก = $2A + 2B + (2 \times 6d) + (2 \pi d/3)$</p>

ภาพที่ 19 การทาบเหล็ก ตามเหล็ก และงอเหล็ก

ตารางที่ 6 ระยะเวลาคอนกรีตหุ้มเหล็ก

ส่วนโครงสร้าง	ระยะหุ้มต่ำสุด (ชม.)
1. ฐานรากและองค์อาคารส่วนที่สัมผัสผิวดินตลอดเวลา	7.5
2. คอนกรีตที่สัมผัสกับดินหรือถูกแดดฝน	
- สำหรับเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 16 มม.	5
- สำหรับเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. และเล็กกว่า	4
3. คอนกรีตที่มาสัมผัสกับดินหรือถูกแดดฝน	
3.1 ในแผ่นพื้นผนังและตง	
- สำหรับเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 44 มม.	4
- สำหรับเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มม. และเล็กกว่า.	2
3.2 ในคาน	
- เหล็กเสริมหลักหรือเหล็กกึ่งตั้ง	3
3.3 ในเสา	
- เหล็กปลอกเดี่ยวหรือเหล็กปลอกเกลียว	3.5
3.4 ในคอนกรีตเปลือกบางและพื้นแผ่นพับ	
- สำหรับเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 16 มม.	2
- สำหรับเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. และเล็กกว่า.	1.5
4. ให้เพิ่มความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กได้ตามความเหมาะสม เมื่ออยู่ใน สภาวะรุนแรง หรือบรรยากาศที่อาจก่อให้เกิดผุกร่อน	
5. กรณีใช้ร่วมกับมาตรฐานอื่น เช่น การป้องกันอัคคีภัย คอนกรีตหล่อสำเร็จ โครงสร้างเปลือกบาง ฯลฯ ให้ใช้ค่ามากเป็นเกณฑ์บังคับ	

9. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเสา (กวี หวังนิเวศน์กุล, 2548)

9.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเสา

เสา (Column) เป็นโครงสร้างในแนวตั้งและเป็นโครงสร้างหลักของอาคารที่ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักบรรทุกต่างๆจากโครงสร้างคานหรือโครงสร้างพื้นไร้คาน แล้วถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงเสาจากชั้นบนสุดลงสู่เสาชั้นล่างๆ จนถึงเสาตอม่อและฐานราก โดยทั่วไปแล้วเสาคจะทำหน้าที่รับแรงอัด

แต่บางกรณีเสาจะทำหน้าที่รับแรงดัดร่วมด้วย เช่น เสาที่มีบำหูข้างเสาที่มีความสูงมาก เสาที่มีแรงดันด้านข้าง หรือเสาที่อยู่ใกล้กับที่มีแรงสั่นสะเทือน ลักษณะหน้าตัดของเสามักเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้ากรณีมีแรงดัดร่วมด้วย หรือเป็นเสากลม ขึ้นอยู่กับความต้องการของสถาปนิกผู้ออกแบบด้วย

การออกแบบกำลังของเสา ต้องพิจารณาเกี่ยวกับความสูงของเสาด้วย เสาที่มีความสูงมากก็จะมีโอกาสโก่งเดาะแตกหักได้ง่ายกว่าเสาที่สั้นกว่า เหล็กแกนในเสาจะทำหน้าที่ต้านทานแรงอัดร่วมกับคอนกรีต และต้านทานแรงอัด เหล็กปลอกในเสามีความสำคัญมาก จะช่วยยึดเหล็กแกนและช่วยต้านทานการปริแตกของเสาเมื่อต้องการรับแรงกดมากๆ

การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบ่งออกตามมาตรฐานของ วสท. ได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- 1) เสาสั้น คือเสาที่อัตราความสูงต่อหน้าแคบของเสา (h/t) ไม่เกิน 15
- 2) เสายาว เสาที่มีค่า h/t มากกว่า 15 ต้องคำนวณออกแบบลดการรับกำลังของเสาให้

น้อยลง

ข้อกำหนดเกี่ยวกับเสาตามมาตรฐาน วสท. 1007-34 มีดังต่อไปนี้

1) ด้านแคบที่สุดของเสาหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของเสา ต้องไม่น้อยกว่า 20 ซม. ยกเว้นเสาที่อยู่ระหว่างเสาหลักหรือเสาที่ไม่มีชั้นต่อเนื่อง ต้องมีด้านแคบไม่น้อยกว่า 5 ซม.

2) พื้นที่หน้าตัดเหล็กแกนในเสา (A_s) ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.01 และไม่เกิน 0.08 ของพื้นที่หน้าตัดเสาคอนกรีต (A_g)

3) เหล็กแกนเสาต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า \varnothing 12 มม. จำนวนไม่น้อยกว่า 4 เส้นสำหรับเสาสี่เหลี่ยมปลอกเดี่ยว และไม่น้อยกว่า 6 เส้นสำหรับเสากลมปลอกเกลียว

4) เหล็กแกนเสาต้องเรียงห่างกันไม่น้อยกว่า $1\frac{1}{2}$ เท่าของขนาดเหล็กแกนนั้นหรือ $1\frac{1}{2}$ เท่าของขนาดมวลหยาบใหญ่สุด หรือไม่น้อยกว่า 4 ซม.

5) เหล็กปลอกเดี่ยวต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า \varnothing 6 มม. ระยะเรียงไม่เกิน 16 เท่าของขนาดเหล็กแกนนั้น หรือ 48 เท่าของขนาดเหล็กปลอกนั้นหรือไม่เกินด้านแคบของเสา

6) ขนาดเหล็กปลอกเสาสี่เหลี่ยม ควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า

6 มม. เมื่อใช้รัตรอบเหล็กแกน ที่มีขนาดไม่เกิน \varnothing 20 มม.

9 มม. เมื่อใช้รัตรอบเหล็กแกน ที่มีขนาดระหว่าง \varnothing 20 มม. – \varnothing 28 มม.

12 มม. เมื่อใช้รัตรอบเหล็กแกน ที่มีขนาดใหญ่กว่า \varnothing 28 มม. ขึ้นไป

7) เหล็กปลอกเกลียวต้องพันต่อเนื่องกันไปและมีขนาดเล็กกว่า \varnothing 6 มม. ระยะเรียงไม่เกิน $\frac{1}{6}$ เท่าของแกนเสาคอนกรีตหรือไม่แคบกว่า $1\frac{1}{2}$ เท่าของขนาดมวลหยาบใหญ่สุด หรือไม่เกิน 7 ซม. แต่ไม่แคบกว่า 3 ซม.

8) ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก ต้องไม่น้อยกว่า 3.5 ซม.

9.2 การออกแบบเสาสั้น

เสาสั้น (Short Column) หมายถึงเสาที่มีค่าอัตราส่วนความสูงต่อหน้าแคบของเสา (h/t) ไม่เกินค่า 15 เมื่อได้รับแรงอัดตามแนวแกน เสาจะมีการหดตัวลงและมีการขยายตัวด้านข้าง ซึ่งก็จะเกิดแรงดันด้านข้างไปดันเหล็กแกนเสาให้โค้งออกฉะนั้นเหล็กปลอกจึงทำหน้าที่รัดเหล็กแกนเสาและต้านทานการโค้งของเหล็กแกน เหล็กปลอกในเสาแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ เหล็กปลอกเดี่ยวและเหล็กปลอกเกลียว

1) การออกแบบเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมและใช้เหล็กปลอกเดี่ยวรัตรอบ ซึ่งจะมี ความสามารถรับน้ำหนักปลอดภัยสูงสุดตามแกนเสาได้ 85 % ของเสาที่เสริมด้วยเหล็กปลอกเกลียว คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$P = 0.85A_g(0.25f_c' + f_{sp}p_g) \quad (98)$$

2) การออกแบบเสาหน้าตัดกลมและใช้เหล็กปลอกเกลียวรัตรอบ คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$P = P = A_g(0.25f_c' + f_{sp}p_g) \quad (100)$$

เมื่อ P = น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้โดยปลอดภัย (กก.)

A_g = พื้นที่หน้าตัดเสาทั้งหมด (ตร.ซม.)

f_c' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)

f_s = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเหล็กเสริมกำหนดให้ใช้ได้ร้อยละ 40 ของกำลังครากแต่ต้องไม่เกิน 2100 กก./ตร.ซม. ในที่นี้ถ้าเป็นเหล็กเส้นกลมกำหนดให้ใช้ = 960 กก./ตร.ซม. สำหรับเหล็กข้ออ้อย SD30 และ 1600 กก./ตร.ซม. สำหรับเหล็กข้ออ้อย SD40

p_g = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดเหล็กแกนต่อพื้นที่หน้าตัดเสาคอนกรีต จำนวนของเหล็กเกลียว (P_s) ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$p_s = 0.45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_y} \quad (100)$$

และ

$$S = \frac{4A_s}{P_s D_c} \quad (101)$$

เมื่อ $P_s =$ ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของเหล็กปลอกเกลียวกับปริมาตรของแกนเสาคอนกรีตวัดถึงขอบนอกของเหล็กปลอกเกลียว

$S =$ ระยะห่างของเหล็กปลอกเกลียว (ซม.)

$A_s =$ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กปลอกเกลียว (ตร.ซม.)

$D_c =$ เส้นผ่านศูนย์กลางแกนเสากลางในปลอกเกลียว (ซม.)

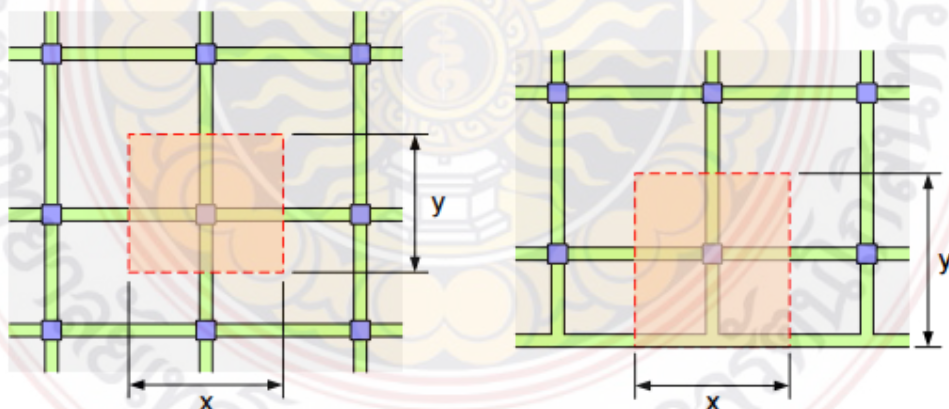
$A_c =$ พื้นที่หน้าตัดแกนเสากลางในปลอกเกลียว (ตร.ซม.)

$f_y =$ หน่วยแรงครากของเหล็กเสริมกำหนดให้ใช้ได้ไม่เกิน 4000 กก./ตร.ซม.

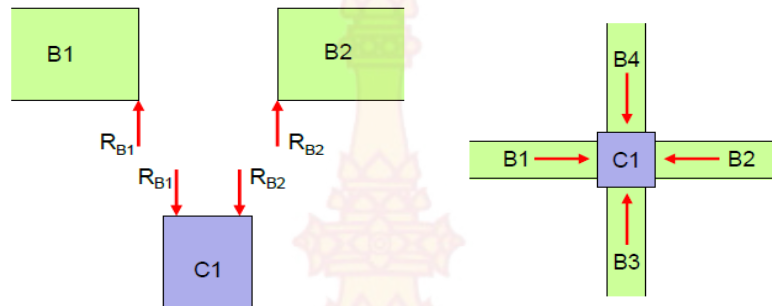
โดยถ้าเป็นเหล็กเส้นกลม = 2400 กก./ตร.ซม., 3000 กก./ตร.ซม. สำหรับเหล็กข้ออ้อย SD30 และ 4000 กก./ตร.ซม. สำหรับเหล็กข้ออ้อย SD40

9.3 การถ่ายน้ำหนักลงเสา

การถ่ายน้ำหนักลงเสาอาจนับได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการออกแบบเสาเพราะถ้าคำนวณ น้ำหนักลงเสาผิดก็อาจทำให้เสารับน้ำหนักไม่ได้และเกิดการวิบัติได้ การคำนวณน้ำหนักลงเสามีทั้ง แบบประมาณและแบบละเอียดแต่ผู้ออกแบบที่มีประสบการณ์จะมีความคิดอยู่แล้วว่าผลที่คำนวณได้ ควรจะประมาณเท่าใด ถ้ามีความผิดพลาดในการคำนวณ ผลที่ได้ไม่เป็นไปตามคาดก็จะตรวจสอบพบและแก้ไขได้ โดยทั่วไปก่อนออกแบบเสาเราจะออกแบบพื้นและคานมาก่อนทำให้รู้ขนาดและคำนวณ น้ำหนักได้วิธีในการคำนวณน้ำหนักลงสู่มีสองวิธีคือ วิธีพื้นที่รับน้ำหนัก (Tributary Area Method) ดังรูปที่ 20 และวิธีแรงปฏิกิริยาปลายคาน (Beam Reaction Method) ดังรูปที่ 21



ภาพที่ 20 การบ่งพื้นที่รับน้ำหนัก



ภาพที่ 21 แรงปฏิกิริยาปลายคานถ่ายน้ำหนักลงหัวเสา

9.4 การออกแบบเสายาว

เสายาว (Long Column) หมายถึงเสาที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยมากเมื่อเทียบกับความสูงของเสานั้น ซึ่งตรวจสอบได้จากค่าอัตราส่วน (h/t) ที่มีค่ามากกว่า แสดงว่าเป็นเสายาว ซึ่งการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสายาวก็จะมีความสามารถในการรับน้ำหนักน้อยกว่าเสาสั้นเมื่อเทียบหน้าตัดที่เท่ากัน เนื่องจากเสายาวจะมีความชะลูดมากและจะเกิดการโก่งงอตัวของเสาหลักการออกแบบขนาดหน้าตัดเสายาวจะทำการออกแบบการรับกำลังเหมือนเสาสั้นก่อน จากนั้นจึงใช้ตัวคูณลดค่า (R) คุณลดความสามารถในการรับกำลังของเสาให้ลดน้อยลง เพื่อให้เสายาวนั้นสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย

$$P' = PR \quad (102)$$

เมื่อ P' = ความสามารถในการรับน้ำหนักโดยปลอดภัยของเสายาว (กก.)
 P = ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาสั้น (กก.)
 R = ตัวคูณลดกำลัง (ต้องมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ ถ้ามากกว่าให้ใช้เท่ากับ 1 เท่านั้น)

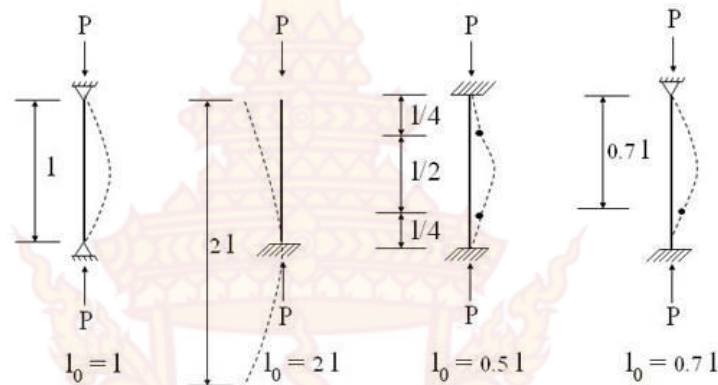
กรณีที่เป็นเสายาวรับน้ำหนักตามแนวแกนอย่างเดียว ให้ใช้ค่า R ดังนี้

$$R = \frac{h}{1.07 - 0.008r} \quad (103)$$

เมื่อ h = ความสูงของเสา (ซม.)

r = รัศมีจายเรชั่น (Radius Of Gyration) สำหรับเสาสี่เหลี่ยม $r = 0.3t$ และ
สำหรับเสากลม $r = 0.25D$

ความสูงประสิทธิผลของเสา (Effective Length of Column ; h') คือช่วงระยะของการโก่งตัวของเสา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของการยึดที่ปลายเสา ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 วงระยะของการโก่งตัวของเสา

ความยาวประสิทธิผล (Effective Length) สามารถจำแนกได้เป็น 4 กรณีดังต่อไปนี้

- Hing : Hing >> $K = 1 : l' = l$
- Fix : Free >> $K = 2 : l' = 2l$
- Fix : Fix >> $K = 0.5 : l' = 0.5l$
- Fix : Hing >> $K = 0.7 : l' = 0.7l$

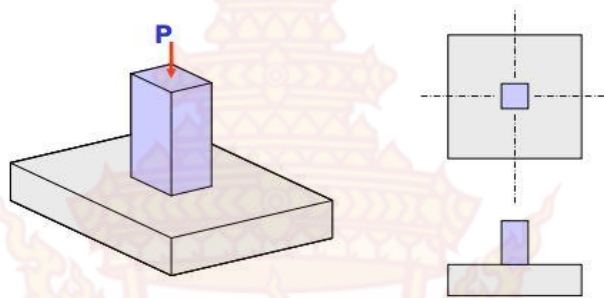
10. ทฤษฎีเกี่ยวกับฐานราก

ฐานราก (Footing) คือโครงสร้างของอาคารส่วนที่อยู่ใต้ผิวดิน ทำหน้าที่แบกรับน้ำหนักจากเสาแล้วถ่ายลงสู่ดิน ในสมัยโบราณ การก่อสร้างบ้านเรือนอาจใช้ท่อนซุงมาวางเรียงในกันหลุมเพื่อแบกรับน้ำหนัก หรือใช้ไม้ตียึดเป็นรูปกากบาทที่โคนเสา เพื่อให้ฐานรากต้านทานน้ำหนักและไม่ทรุดตัวเร็ว ในปัจจุบันนี้ ฐานรากมักเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กแทบทั้งหมด เพราะก่อสร้างได้ง่าย รวดเร็ว และมีความแข็งแรงทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ดี

การแบ่งประเภทของฐานราก สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

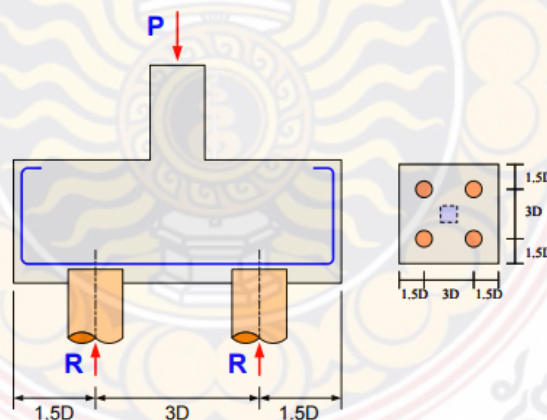
1) ฐานรากแผ่ (Spread Footing) คือ ฐานรากที่แบกรับน้ำหนักจากตัวอาคารแล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินนั้นโดยตรง ดังภาพที่ 23 ฉะนั้นการเลือกใช้ฐานรากแผ่จึงต้องคำนึงถึงปัจจัย

ทางด้านขนาดของน้ำหนักที่บรรทุกว่ามีมากหรือไม่ และกลสมบัติของดินที่สามารถแบกรับน้ำหนักในท้องถิ่นนั้นๆ เช่น ในบริเวณภาคกลางและเขต กทม. กำหนดให้ดินมีความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัย 2 ตัน/ตร.ม. ภาคเหนือ ภาคอีสาน และภาคใต้ ดินจะมีความสามารถรับน้ำหนักปลอดภัยได้ประมาณ 8 - 15 ตัน/ตร.ม. และบริเวณที่อยู่ใกล้เชิงเขาหรือหาดทราย จะสามารถรับน้ำหนักปลอดภัยได้โดยประมาณ 15 - 30 ตัน/ตร.ม.



ภาพที่ 23 ฐานรากเดี่ยว

2) ฐานรากเสาเข็ม (Piling Footing) คือ ฐานรากที่แบกรับน้ำหนักจากตัวอาคารแล้วถ่ายลงสู่ตัวเสาเข็มก่อน จากนั้นเสาเข็มก็จะทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินที่ลึกลงไป ดังภาพที่ 24 การเลือกใช้ฐานรากที่มีเสาเข็มรองรับนี้ จะต้องคำนึงถึงปัจจัยทางด้านขนาดของน้ำหนักบรรทุกที่มีมากเกินไปกว่ากลสมบัติของดินจะรับได้หรือไม่ หรือกลสมบัติของดินในท้องถิ่นนั้นๆ อ่อนตัวมากๆ ถ้าไม่ใช้เสาเข็มรองรับ ก็อาจจะทำให้ตัวอาคารนั้นๆ ทรงตัวอยู่ไม่ได้



ภาพที่ 24 ฐานรากเสาเข็ม

จากกฎกระทรวงควบคุมอาคาร ฉบับที่ 6 กำหนดไว้ว่าถ้าไม่ผลการทดสอบของดินจริง ให้ใช้ค่าความฝืด หรือ เสียดทานของดินรอบเสาเข็มดังนี้

1) ดินที่อยู่ในระดับความลึกไม่เกิน 7 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ให้ใช้หน่วยแรงฝืดของดินไม่เกิน 600 กก/ตร.ม.

2) ดินที่อยู่ลึกกว่า 7 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ให้ใช้หน่วยแรงฝืดดินดังนี้

หน่วยแรงฝืด = $600 + 220e$ กก/ตร.ม.

เมื่อ e = ความยาวของเสาเข็มส่วนที่เกินจาก 7 ม.

วิธีการหาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มสั้น เช่น เสาเข็มขนาด $\text{Ø}6" \times 6.00$ ม. จะคำนวณได้โดยการเอาเส้นรอบรูปเสาเข็มคูณด้วยความยาวเสาเข็ม แล้วคูณกับค่าหน่วยแรงฝืดที่กำหนดดังนี้ $\pi (0.15) \times 6.00 \times 6.00 = 1696$ กก/ตันโดยสรุป

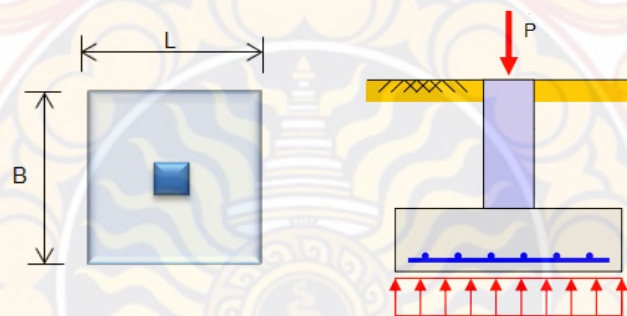
เสาเข็มขนาด $\text{Ø}6" \times 6.00$ ม. รับน้ำหนักปลอดภัยได้ 1700 กก/ตัน

เสาเข็มขนาด $\text{Ø}5" \times 5.00$ ม. รับน้ำหนักปลอดภัยได้ 1200 กก/ตัน

เสาเข็มขนาด $\text{Ø}4" \times 4.00$ ม. รับน้ำหนักปลอดภัยได้ 750 กก/ตัน

เสาเข็มขนาด $\text{Ø}3" \times 3.00$ ม. รับน้ำหนักปลอดภัยได้ 400 กก/ตัน

10.1 การกระจายน้ำหนักของฐานราก

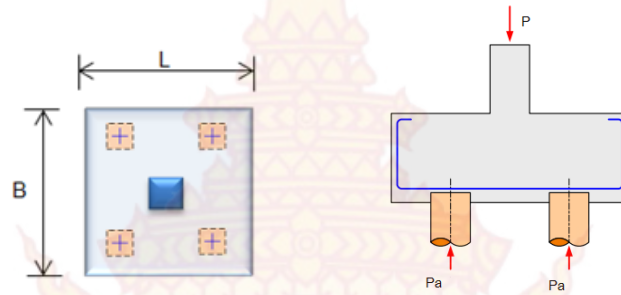


ภาพที่ 25 ฐานรากแผ่รับน้ำหนักตามแนวแกนอย่างเดียว

กรณีฐานรากแผ่ เมื่อมีน้ำหนักตามแนวแกนกระทำอย่างเดียว ให้ถือว่าหน่วยแรงดันขึ้นของดินมีค่าสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุดตลอดหน้าตัดฐานราก ดังภาพที่ 25 หน่วยแรงดันขึ้นของดิน (p) คำนวณได้ดังนี้

$$p = \frac{P}{A} = \frac{P}{BL} \quad (104)$$

เมื่อ	p	=	หน่วยแรงดันขึ้นของดินใต้ฐานรากแผ่ (กก/ตร.ม.)
	P	=	น้ำหนักรวมทั้งหมดจากฐานราก (กก.)
	A	=	พื้นที่ด้านกว้างและด้านยาวของฐานราก (ม.)



ภาพที่ 26 ฐานรากเสาเข็มรับน้ำหนักตามแนวแกนอย่างเดียว

กรณีฐานรากเสาเข็ม เมื่อมีน้ำหนักตามแนวแกนกระทำอย่างเดียว ให้ถือว่าเสาเข็มทุกต้นแบกรับน้ำหนักบรรทุกทุกจากฐานรากเฉลี่ยเท่ากันทุกต้น ดังภาพที่ 26 คำนวณได้ดังนี้

$$P_a = \frac{P}{N} \quad (105)$$

เมื่อ	P_a	=	น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดที่เสาเข็มแต่ละต้นแบกรับ (กก/ต้น)
	P	=	น้ำหนักรวมทั้งหมดจากฐานราก (กก.)
	N	=	จำนวนเสาเข็มทั้งหมดที่อยู่ใต้ฐานรานั้น (ต้น)

10.2 หน้าตัดวิกฤตสำหรับรับแรงเฉือน

ความสามารถในการต้านทานแรงเฉือนของฐานรากจะขึ้นอยู่กับความหนาประสิทธิผล

(d) การพิจารณาหน้าตัดวิกฤตสำหรับแรงเฉือนแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 พิจารณาแรงเฉือนแบบคานกว้าง (Diagonal Shear) แรงเฉือนหรือรอยแตกร้าวจะจากขอบเสาและเอียงลาดไปเป็นมุม 45 องศา และยาวตลอดความกว้างของฐานราก แรงเฉือนที่ทำให้เกิดการแตกร้าวคือ แรงดันของดินหรือเสาเข็ม คำนวณได้ดังนี้

$$v = \frac{V}{Bd} \quad (106)$$

เมื่อ v = หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น (กก./ตร.ซม.)
 V = แรงดันดินหรือเสาเข็มใต้พื้นที่ 1234 (กก.)
 B = ความกว้างตลอดแนวแรงเฉือน (ซม.)
 d = ความหนาประสิทธิผลของฐานราก (ซม.)
 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $v_c = 0.29\sqrt{fc'}$

กรณีที่ 2 พิจารณาแรงเฉือนแบบเจาะทะลุ (Punching Shear) แรงเฉือนหรือรอยแตกร้าวแบบเจาะทะลุจะคิดที่ระยะ $d/2$ ห่างจากขอบเสาโดยรอบ แรงเฉือนที่ทำให้เกิดการแตกร้าวคือแรงดันของดินหรือเสาเข็ม คำนวณได้ดังนี้

$$v = \frac{V}{bd} \quad (107)$$

เมื่อ v = หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น (กก./ตร.ซม.)
 V = แรงดันดินหรือเสาเข็มที่อยู่นอกพื้นที่ 5678 (กก.)
 b = ความยาวแนวเฉือนจากขอบเสาโดยรอบ (ซม.)
 = $[2(a + d) + 2(b + d)]$ หรือ $4(a + d)$ ถ้าหน้าตัดเสาเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส
 d = ความหนาประสิทธิผลของฐานราก (ซม.)
 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $v_c = 0.53\sqrt{fc'}$

10.3 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบฐานราก

ข้อกำหนดทั่วไปและมาตรฐานวสท. 1007-34 กำหนดไว้ดังนี้

- 1) ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็ก ต้องไม่น้อยกว่า 7.50 ซม.
- 2) ความหนาประสิทธิผล (d) ของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้องไม่น้อยกว่า 15 ซม. สำหรับฐานแผ่หรือฐานรากเสาเข็มสั้นและถ้าเป็นฐานรากเสาเข็มยาว ต้องหนาไม่น้อยกว่า 30 ซม.
- 3) เสาต่อม่อที่เป็นเสากลมหรือเสาเหลี่ยมใดๆ ให้คิดขอบของเสานั้นเหมือนกับเสารูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

4) ก่อนเทคอนกรีตฐานราก ต้องมีทรายหยาบและคอนกรีตหยาบรองพื้น 5 – 10 ซม. เพื่อป้องกันดินโคลนหรือสิ่งสกปรกเปื้อนเหล็กเสริมในฐานราก

5) ประมาณน้ำหนักฐานรากเบื้องต้น 10 – 15% ของน้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลงมาจากเสาตอม่อ

11 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงหลังคา

ชั้นส่วนรับแรงดึงในโครงหลังคาทำหน้าที่ยึดโยงโครงหลังคาในแนวระนาบ เพื่อป้องกันไม่ให้โครงสร้างหลังคาเกิดการบิดเบี้ยวจากแรงลมหรือแรงกระทำด้านข้าง เรียกว่า Tie Rod หรือ Bracing

ถ้าเป็น Tie Rod มักใช้วัสดุเป็นลวดสลึงยึดเป็นรูปกากบาทจากหัวเสาข้างหนึ่งไขว้ไปอีกหัวเสาข้างหนึ่งและมีเกลียวเร่ง (Turn Buckle) เป็นอุปกรณ์ชั้นให้ Tie Rod อยู่ในสภาพที่ตึงตลอดเวลา แต่ถ้าเป็น Bracing มักเป็นโครงสร้างถักรอง (Sub Truss) ทำหน้าที่ยึดหรือยันระหว่างโครงถักหลัก (Main Truss) เพื่อให้โครงถักหลักตั้งมั่นในแนวตั้ง ไม่ล้มหรือไม่แกว่ง ตั้งอยู่ในแนวตรงตามที่กำหนด โดยทั่วไปโครงถักรองมักติดตั้งห่างกันโดยประมาณ 8.00 – 12.00 เมตร

ชั้นส่วนรับแรงดึงในโครงสร้างหลังคา อีกชั้นหนึ่งคือ ท่อนเหล็กที่ทำหน้าที่ยึดแป (Sag Rod) เพื่อไม่ให้แปโก่งทางด้านข้าง หรือไม่ให้แปล้มทางด้านข้าง มาตรฐาน AISC กำหนดให้ Sag Rod ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า $\varnothing 5/8$ " หรือ $\varnothing 15$ มม. และไม่จำเป็นต้องตรวจสอบการโก่งตัว

11.1 การกำหนดขนาดของแป

แป (Purlins) จัดเป็นโครงสร้างประเภทคาน ใช้รองรับรับวัสดุหลังคา เช่น กระเบื้องลอนคู่ กระเบื้องลูกฟูก ระยะห่างของแปโดยทั่วไปประมาณ @ 1.00 เมตร แต่ถ้าเป็นวัสดุหลังคาที่เป็นแผ่นโลหะบางๆ (Metal Sheet) ซึ่งมีน้ำหนักเบามาก ระยะห่างของแปก็สามารถห่างได้มากขึ้นอีกประมาณ @ 1.20 – 3.00 เมตร สำหรับกระเบื้องซีแพคโมเนียมีข้อมูลจำเพาะ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ข้อมูลจำเพาะของกระเบื้องคอนกรีตโมเนีย โดยประมาณ

จำนวนแผ่นต่อตารางเมตร	ขนาดแผ่น (กว้าง x ยาว)	น้ำหนัก / แผ่น (กิโลกรัม)	ระยะช่วงห่างของระแนง (เมตร)
10	33 x 42	4 - 5	0.32 – 0.34

ปัจจุบันนี้ในงานโครงหลังคาเหล็ก นิยมใช้เป็นแปเหล็กตัวซีบางหรือเหล็กกล่อง ขนาดโดยทั่วไปสามารถประมาณการเบื้องต้นได้ดังนี้ เช่น

C - 75×40×15×2.3 มม. สำหรับช่วงห่างของจันทันหรือโครงถัก ไม่เกิน 3 เมตร

C - 100×50×20×3.2 มม. สำหรับช่วงห่างของจันทันหรือโครงถัก ไม่เกิน 4 เมตร

C - 125×50×20×3.2 มม. สำหรับช่วงห่างของจันทันหรือโครงถัก ไม่เกิน 5 เมตร

C - 150×50×20×3.2 มม. สำหรับช่วงห่างของจันทันหรือโครงถัก ไม่เกิน 6 เมตร

หลังจากนั้น จึงทำการคำนวณตรวจสอบหาขนาดที่แท้จริงของแปที่สามารรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัยต่อไป

11.2 การคำนวณแรงลมที่กระทำต่อหลังคา

กรณีที่ไม่มีการอ้างอิงใดๆ สำหรับการกำหนดค่าของแรงลม ให้ใช้ตามตารางที่ 8 หรืออาจคำนวณตามสูตรสำเร็จก็ได้ ดังนี้

ตารางที่ 8 แรงลม ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6/2557 (กรณีไม่เอกสารอ้างอิง)

ความสูงอาคาร	แรงลม (กก./ตร.ม.)
ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	50
ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	80
ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	120
ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 40 เมตร	160

สูตรสำเร็จของ Duchemin 's Formular ,

$$P_n = \frac{P(2\sin\theta)}{(1 + \sin^2\theta)} \quad (108)$$

เมื่อ P_n = แรงลมที่กระทำตั้งฉากกับแนวหลังคา (กก./ตร.ม.)

P = แรงลมตามแนวระนาบตามกฎกระทรวงกำหนดไว้

θ = มุมเอียงลาดของหลังคาเป็นองศา

จากมาตรฐาน วสท. 1018 - 46 (มาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคาร, พิมพ์ครั้งที่ 2) ได้กำหนดวิธีการคำนวณแรงลมร่วมกับน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ โดยการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน จะต้องออกแบบให้ค่าหน่วยแรงสูงสุดในองค์อาคารที่พิจารณา อันเป็นผลมา

จากการรวมแรงลมสถิตเทียบเท่า (W) เข้ากับน้ำหนักบรรทุกคงที่ (D) และน้ำหนักบรรทุกจร (L) ในรูปแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้ ต้องมีค่าไม่เกินหน่วยแรงที่ยอมให้

รูปแบบที่ 1 D + W

รูปแบบที่ 2 D + W + L

(กรณีรูปแบบที่ 2 ให้ปรับค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ให้เพิ่มขึ้นได้อีกร้อยละ 33)

12. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มงคล จิรวีชรเดช (2543) ได้พัฒนาเว็บไซต์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน โดยอ้างอิงตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย(ว.ส.ท.) และ Building code requirements for structural concrete of the American Concrete Institute (ACI 318-95) เพื่อพัฒนาการให้บริการทางวิชาการและวิชาชีพผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้ภาษา HTML (Hypertext Markup Language) เป็นส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้ ส่วนโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบรวมถึงการสร้างรายการคำนวณจะใช้ภาษา Javascript เมื่อได้ผลจากการออกแบบแล้วจะใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Java ในการแสดงภาพกราฟฟิกส์ของแบบที่ได้ เว็บไซต์นี้สามารถใช้ในการออกแบบส่วนอาคารพื้นฐานได้แก่ พื้น บันได คาน เสา และฐานราก

มนัส กุลตั้งกิจเสรี และคณะ (2543) ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และสามารถใช้งานได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยภาษาที่ใช้ในการพัฒนาคือ ภาษาจาวา วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้คือ วิธีสถิตินิสโดยตรง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ แรงตามแนวแกน แรงเฉือน และโมเมนต์ ที่ปลายแต่ละชิ้นส่วน และการเคลื่อนที่ของจุดข้อต่อปลายชิ้นส่วน โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้จะพิจารณาการวิเคราะห์โครงสร้างในแบบสถิตในช่วงอิลาสติกเชิงเส้นของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในระนาบ 2 มิติ โดยผู้ใช้ต้องกำหนดคุณสมบัติและจำนวนของจุดต่อชิ้นส่วน ฐานรองรับ และ แรงที่กระทำต่อโครงสร้างซึ่งได้แก่ แรงกระทำแบบจุด, แรงกระทำกระจายแบบสม่ำเสมอ, แรงกระทำกระจายรูปสามเหลี่ยม และแรงกระทำคู่ควบ เพื่อให้โปรแกรมนำไปคำนวณ จากนั้นจึงแสดงผลลัพธ์ออกมาบนเว็บเพจ

ศักดิ์ดา กตวทวารักษ์ (2545) ได้พัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์และออกแบบคานต่อเนื่องคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบคานต่อเนื่องคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นงานที่ซับซ้อนและยุ่งยากในการคำนวณด้วยมือ ดังนั้นงานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ Visual Basic Application (VBA) on Microsoft Excel เพื่อความสะดวกรวดเร็วได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำโปรแกรมที่สร้างขึ้นมานี้ มี

ขั้นตอนการวิเคราะห์คานต่อเนื่องซึ่งกระทำโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบเมตริก (Matrix Analysis Method) และออกแบบคานต่อเนื่องคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Method) และวิธีกำลัง (Strength Method) ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.1007-34 และ ว.ส.ท.1008-38 ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการทดสอบโปรแกรมคำนวณที่สร้างขึ้นพบว่าสามารถนำมาใช้วิเคราะห์และออกแบบได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว แม่นยำ

วงศ์เทพ ตั้งศิริกุล (2545) ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างข้อแข็งยึดหยุ่นที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต ซึ่งหมายถึงโครงสร้างข้อแข็งยึดหยุ่นที่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระทำต่อโครงสร้างและการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างอย่างไม่เป็นเชิงเส้น โดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิกในการเขียนและพัฒนาโปรแกรม ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์โครงสร้างข้อแข็งที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงขนาดใหญ่และโครงสร้างที่มีผลกระทบต่อเนื่องจากแรงกระทำแนวแกนได้

สรกานต์ ศรีทองอ่อน และ ชัยธร ชาติพิฤกษ์พันธุ์ (2549) ได้พัฒนาแนวคิดการป้อนข้อมูลและแสดงผลสำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างหมุนด้วยวิธีสติเฟนส โดยทั่วไปนั้น สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ แต่ปัญหาคือความล่าช้าในการกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ความไม่สะดวกในการตรวจสอบข้อมูลที่หน้าตัดของแต่ละชั้นส่วนกรณีที่มีหลายหน้าตัด ซึ่งหากข้อมูลผิดพลาดก็จะมีผลทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดตามไปด้วยและความไม่สะดวกในการพิจารณาผลลัพธ์แรงภายในชั้นส่วนโดยเฉพาะการเลือกค่าสูงสุดเพื่อนำไปใช้ออกแบบงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อ “ซีซีทีทรีส รุ่น 1.70” เพื่อทำการแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น โดยการป้อนข้อมูลใช้แนวคิดของวิศวกรในการกำหนดรูปทรงมาตรฐานของโครงสร้างหมุน อีกทั้งสามารถแสดงกราฟิกโครงสร้างหมุนให้แยกสีในการแสดงชั้นส่วนเมื่อมีเนื้อที่หน้าตัดต่างกัน และในการแสดงผลให้แสดงกราฟิกแยกสีของแรงดึงและแรงอัดและแสดงเส้นหนาในค่าสูงสุดร่วมกับการแสดงค่าสูงสุดของแรงภายใน ซึ่งช่วยทำให้การเลือกชั้นส่วนในการออกแบบทำได้รวดเร็วและชัดเจนยิ่งขึ้น

จิรายุทธ สืบสุข (2549) ได้พัฒนาโปรแกรม SUTFoundation เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์และออกแบบฐานรากซึ่งได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อการวิเคราะห์กำลังรับแรงแบกทานของดินสำหรับฐานรากตื้นและการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มทั้งแนวตั้งและแนวราบและการออกแบบฐานรากทั้งฐานรากแผ่ฐานรากร่วมฐานรากแพและฐานรากเสาเข็มซึ่งมีคุณลักษณะเด่นในการคำนวณกำลังรับแรงแบกทานของดินสำหรับฐานรากตื้นที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบเอียงศูนย์และโมเมนต์ดัดของฐานรากรูปสี่เหลี่ยม, ฐานรากวงกลมและฐานรากแถบ สามารถคำนวณแบบลดระดับน้ำใต้ดินเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของกำลังรับน้ำหนักประลัย และสำหรับฐานรากเสาเข็มสามารถคำนวณกำลังรับน้ำหนักประลัยแนวตั้งของเสาเข็มในชั้นดินหลายชั้นสามารถเลือกใช้พารามิเตอร์

คำนวณวิเคราะห์การเสียรูปของเสาเข็มโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนในเสาเข็มและแรงดันดินรอบเสาเข็มที่เกิดขึ้นเมื่อเสาเข็มรับแรงในแนวราบ คำนวณกำลังรับน้ำหนักประลัยแนวราบของเสาเข็มได้

เกษม กาญจนานนทชัย และคณะ (2552) ได้พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ 2 มิติ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และนำผลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก โดยภาษาที่ใช้ในการพัฒนาคือ วิชวลเบสิก ข้อมูลนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์ใช้วิธีการป้อนผ่านทางคีย์บอร์ด จากผลการพัฒนาพบว่าโปรแกรมสามารถคำนวณให้ค่าที่มีความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ และสามารถแสดงผลได้ทั้งแบบตัวเลขและกราฟฟิก

สมพงษ์ เกตุเทียน , วิทวัส ผินแสง และสิทธิพล ศรีอัมพร (2556) ได้พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับโครงสร้างเหล็ก เป็นโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างทางด้านวิศวกรรมโยธา ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเสา คาน และพื้น ใช้โปรแกรมวิชวลเบสิกที่เหมาะสมกับการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางด้านวิศวกรรมโยธาโดยทั่วไปโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับโครงสร้างเหล็ก เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้งาน สามารถป้อนข้อมูลโครงสร้างด้วยวิธีการคลิก โดยใช้อุปกรณ์ชี้ตำแหน่ง (Mouse) แทนที่การป้อนข้อมูลในลักษณะที่ต้องพิมพ์ด้วยแป้นพิมพ์ (Text Keying) ซึ่งด้วยวิธีป้อนข้อมูลแบบนี้จะทำให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง เพื่อช่วยลดปัญหาความยุ่งยากและความผิดพลาดในการคำนวณด้วยมือ นั้นเป็นความจำเป็นอย่างหนึ่งที่ต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานและแนวคิดสำหรับการทำงานของโปรแกรมซึ่งมีหลายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.1 การรวบรวมข้อมูล

- 1) รวบรวมและศึกษาทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กจากหนังสือ หรือเอกสารประกอบการเรียนที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้อง
- 2) รวบรวมข้อมูลและศึกษาดำรงที่เกี่ยวกับการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยวิซวลเบสิก

1.2 การออกแบบ

ออกแบบหน้าจอ การใช้รูปแบบในการนำเข้าสู่ข้อมูลด้วยวิกราฟฟิก ความเชื่อมโยงระหว่างการวิเคราะห์และออกแบบ การจัดเก็บข้อมูล รวมถึงการแสดงผล

1.3 การสร้างโปรแกรม

- กำหนดรูปแบบการสร้างโปรแกรมอย่างคร่าวๆ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ
- 1) ส่วนของการนำเข้าสู่ข้อมูล (Input Data Mode) เป็นส่วนข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบ ได้แก่ การกำหนดตำแหน่งและขนาดของโครงสร้างและคุณสมบัติของวัสดุ
 - 2) ส่วนของการวิเคราะห์และออกแบบเป็นส่วนการกำหนดลำดับและขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับโครงสร้างเหล็ก
 - 3) ส่วนของการแสดงผลการวิเคราะห์และออกแบบเป็นส่วนของการแสดงผลลัพธ์ทั้งทางจอภาพและเครื่องพิมพ์

1.4 การทดสอบโปรแกรมแก้ไขปรับปรุง

- 1) ทดสอบการป้อนข้อมูลในรูปแบบกราฟิก
- 2) ตรวจสอบผลการคำนวณของโปรแกรม โดยการนำค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้คำนวณด้วยมือและโปรแกรมเชิงพาณิชย์อื่นๆ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

3) ตรวจสอบการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมทั้งการแสดงผลทางจอภาพและเครื่องพิมพ์

1.5 สรุปประสิทธิภาพ และข้อเสนอแนะ

สรุปการทำงานของโปรแกรมในส่วนการนำเข้าข้อมูล การวิเคราะห์ ออกแบบโครงสร้าง และการแสดงผลสามารถใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ สะดวกและรวดเร็วเพียงใด การเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์มีความแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งหากมีข้อแตกต่างโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่ และระบุข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อในอนาคต เพื่อเป็นแนวคิดสำหรับผู้พัฒนาโปรแกรมรุ่นต่อไป

1.6 จัดทำคู่มือการใช้งานและรูปเล่มโครงการ

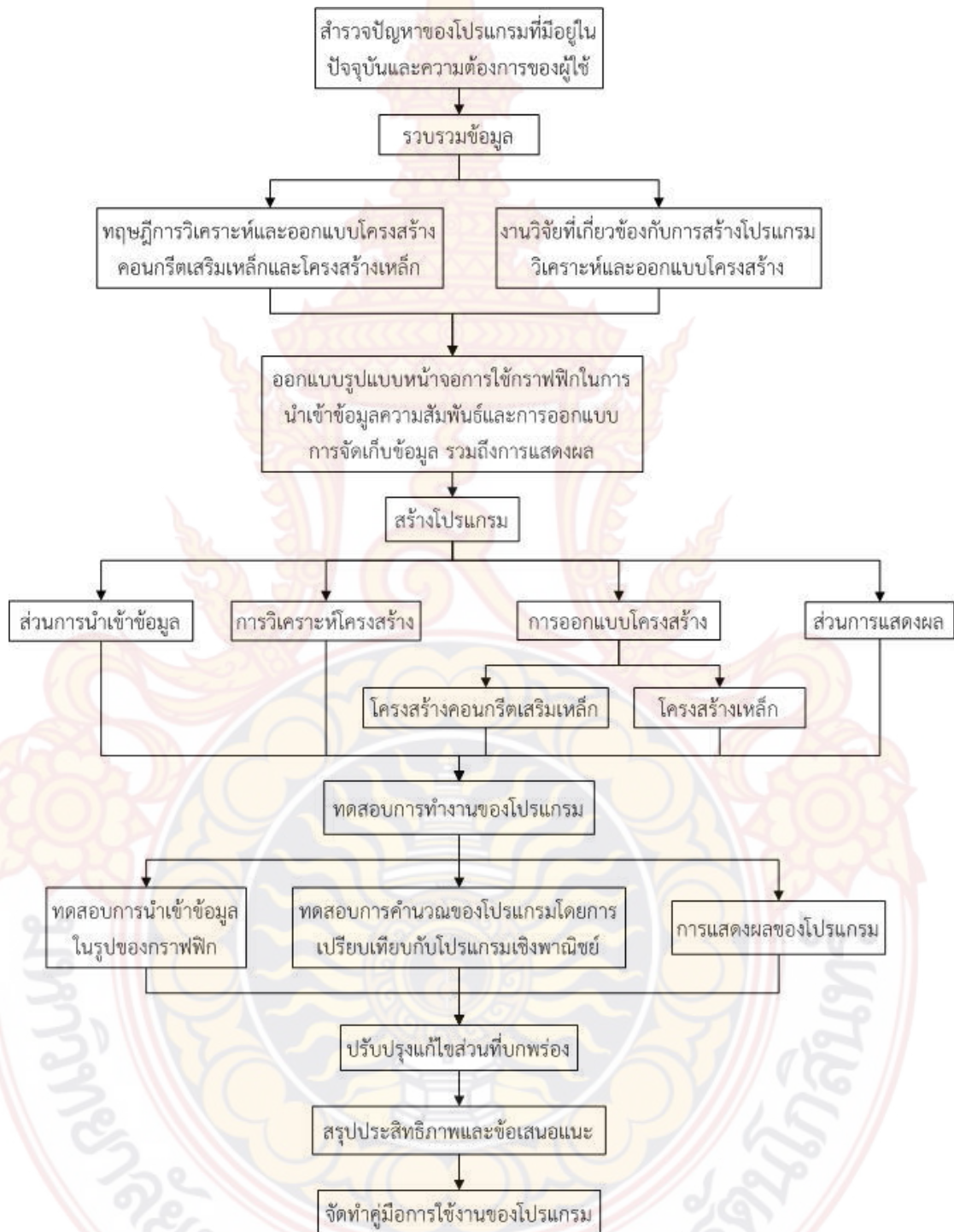
คู่มือการใช้งานโปรแกรมเป็นคู่มือที่มีประโยชน์มากสำหรับผู้ใช้งานเบื้องต้น โดยเนื้อหาจะมีภาพประกอบพร้อมคำบรรยาย ผลการวิเคราะห์และออกแบบและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ผู้ใช้งานสามารถศึกษาการใช้งานตามตัวอย่างของโปรแกรมได้

2. แนวคิดสำหรับการทำงานของโปรแกรม

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และโครงสร้างเหล็ก เพื่อลดความยุ่งยากและความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการคำนวณ โดยการพัฒนาโปรแกรมในโครงการนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาวิธีการนำเข้าข้อมูลโดยใช้การวาดตำแหน่งชิ้นส่วนต่างๆของโครงสร้างเช่น เสา คาน ดัวยเมาส์ ซึ่งจะนำเข้าข้อมูลด้วยกราฟิกในลักษณะแปลนบ้านเป็นชั้นๆ และนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์แล้วออกแบบโครงสร้างในแต่ละชั้นจากส่วนบนสุดคือหลังลงมาสู่ส่วนล่างสุดคือฐานราก โดยในส่วนชั้นหลังคานั้นจะมีรูปแบบลักษณะโครงสร้างให้เลือกจะรับข้อมูลเป็นความยาว ความลาดชัน และน้ำหนักบรรทุก การแสดงผลของโปรแกรมจะแสดงในรูปแบบกราฟิกคือจะแสดงหน้าตัดของโครงสร้าง ขนาด ระยะการเสริมเหล็ก จำนวนเหล็กเสริม

3. แผนผังการดำเนินการของงานวิจัย

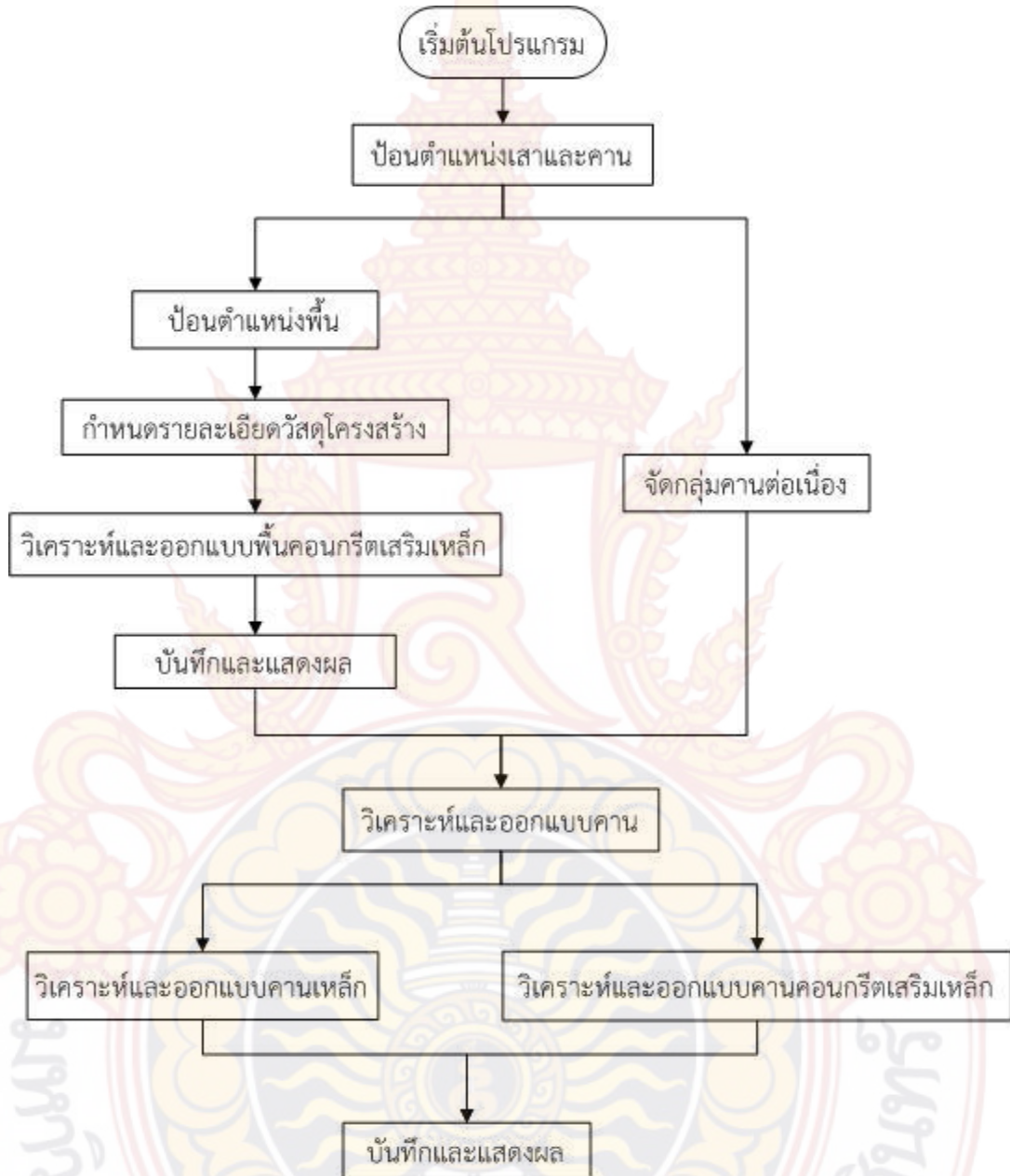
การดำเนินการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับโครงสร้างเหล็ก สามารถแสดงเป็นลำดับขั้นตอนได้ ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 แผนผังการดำเนินการงานวิจัย

4. แผนผังลำดับการทำงานของโปรแกรมโดยรวม

สำหรับการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้น จะประกอบไปด้วย ข้อมูลนำเข้า การวิเคราะห์ การออกแบบ และการแสดงผล ซึ่งสามารถแสดงเป็นลำดับขั้นตอนได้ ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 แผนผังลำดับการทำงานของโปรแกรมโดยรวม

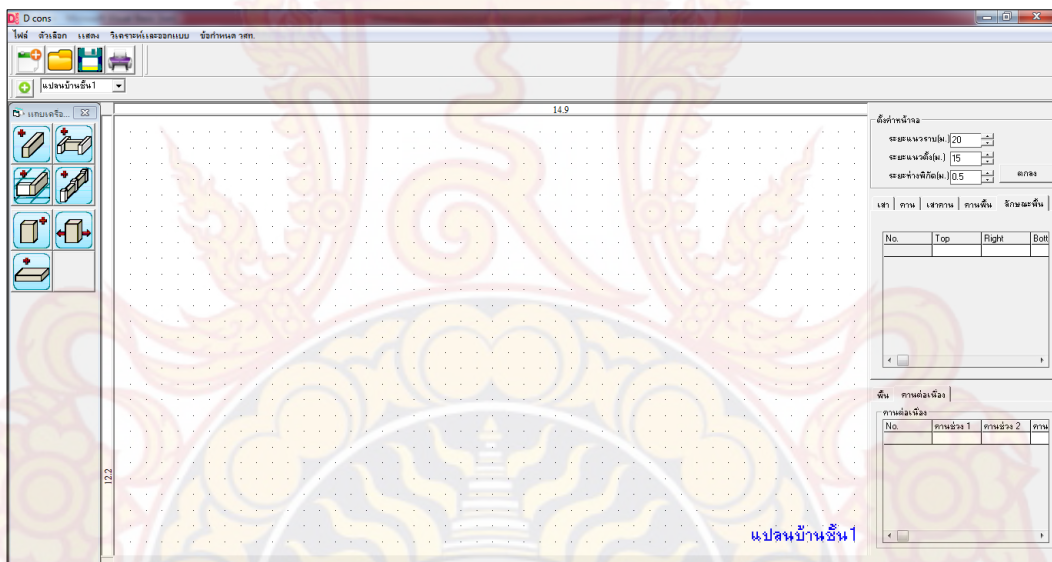
บทที่ 4

ผลการดำเนินการและวิจารณ์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม และผลการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างที่โปรแกรมคำนวณได้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ส่วนของการนำเข้าสู่ข้อมูล

โปรแกรมจะนำเข้าสู่ข้อมูลในรูปแบบของกราฟฟิก โดยให้ผู้ใช้ทำการสร้างและกำหนดตำแหน่งแปลนบ้านพักอาศัยในหน้าจอนำเข้าสู่ข้อมูลของโปรแกรม ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 หน้าต่างโปรแกรมหลัก

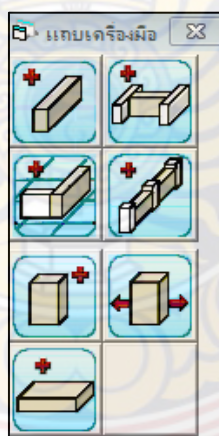
1.1 การกำหนดขนาดหน้าจอ

สำหรับการกำหนดค่าหน้าจอนั้นเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาทางด้านขวามือของโปรแกรมจะมีตัวกำหนดขนาดหน้าจอ ให้ทำการกำหนดระยะแนวราบและระยะแนวตั้งให้มีขนาดมากกว่าแปลนที่จะป้อนเล็กน้อย ซึ่งตัวโปรแกรมได้กำหนดระยะแนวราบเริ่มต้นไว้ที่ 20 เมตร และระยะแนวตั้งเริ่มต้นไว้ที่ 15 เมตรดังภาพที่ 30 นอกจากนี้ยังมีส่วนของการตั้งค่าระยะห่างค้ำยัน ค่าระยะห่างค้ำยันก็คือค่าของความละเอียดระยะห่างจุดค้ำยัน หากต้องการให้การป้อนค่าระยะแปลนบ้านมีความละเอียดเพียงใดก็ให้ตั้งค่าในส่วนนี้

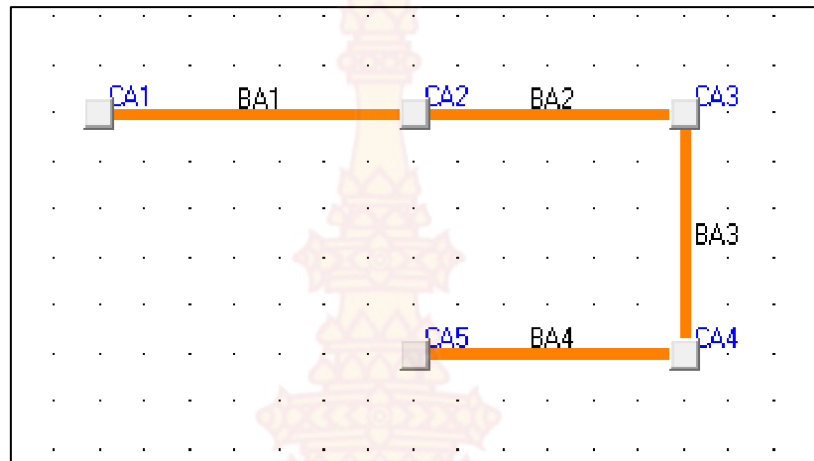
ภาพที่ 30 การตั้งค่าหน้าต๋างนำเข้าข้อมูล

1.2 การป้อนแปลนบ้าน

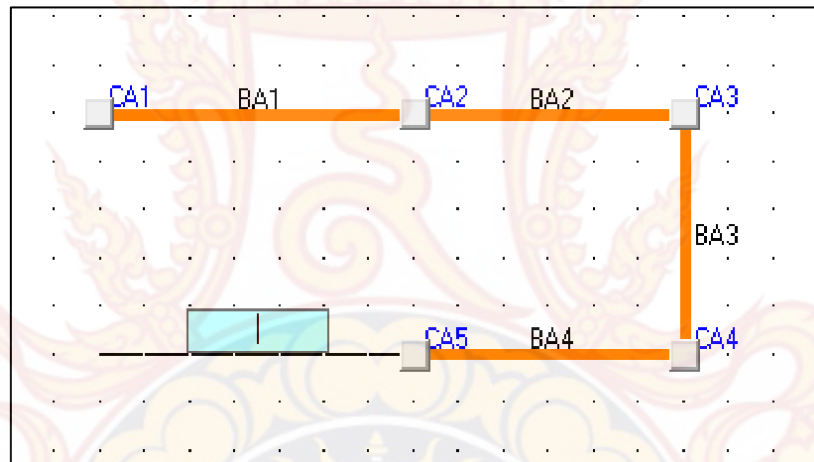
ขั้นตอนการสร้างแปลนจะประกอบไปด้วย การสร้างและกำหนดตำแหน่งของเสา คาน และพื้น โดยผู้ใช้งานจะต้องคลิกที่ไอคอนสร้าง เสา คาน และพื้น ดังภาพที่ 31 หลังจากนั้นให้ทำการคลิกสร้างลงในส่วนของหน้าต๋างนำเข้าข้อมูล ซึ่งการสร้างแปลนบ้านนั้นต้องทำการสร้างเสาและคานก่อน จึงจะสามารถสร้างพื้นได้ โดยการสร้างเสาและคานนั้นสามารถสร้างพร้อมกันในครั้งเดียวได้ ซึ่งจะมีการกำหนดตำแหน่งอยู่ 2 วิธี คือ การป้อนตำแหน่งโดยการคลิกลงที่หน้าต๋างโดยตรงการ ดังภาพที่ 32 และการป้อนตำแหน่งโดยการพิมพ์ระยะห่างลงในกล่องข้อความแสดงระยะการ ดังภาพที่ 33 ในกรณีที่เป็นคานฝากจะต้องทำการสร้างอีกวิธีหนึ่งโดยการคลิกไอคอนสร้างคานฝากหลังจากนั้นคลิกเลือกคานหลัก 2 ตัว ทำการใส่ระยะห่างของคานฝากกับจุดเริ่มต้น แล้วกดปุ่ม Enter โปรแกรมจะยึดจุดเริ่มต้นที่ตำแหน่งเสาด้านซ้ายบน ดังภาพที่ 34 ที่แสดงค่า x และ y กรณีที่ผู้ใช้งานต้องการย้ายตำแหน่งเสาสามารถทำได้โดยการคลิกที่ไอคอนย้ายตำแหน่งเสา หลังจากนั้นคลิกเมาส์ซ้ายที่เสาที่ต้องการย้ายตำแหน่ง เลื่อนเมาส์แล้วคลิกขวาที่ตำแหน่งที่ต้องการวางเสา ดังภาพที่ 35 และภาพที่ 36 หากต้องการพิมพ์ระยะก็ให้ทำในลักษณะเดียวกับการป้อนตำแหน่งเสา



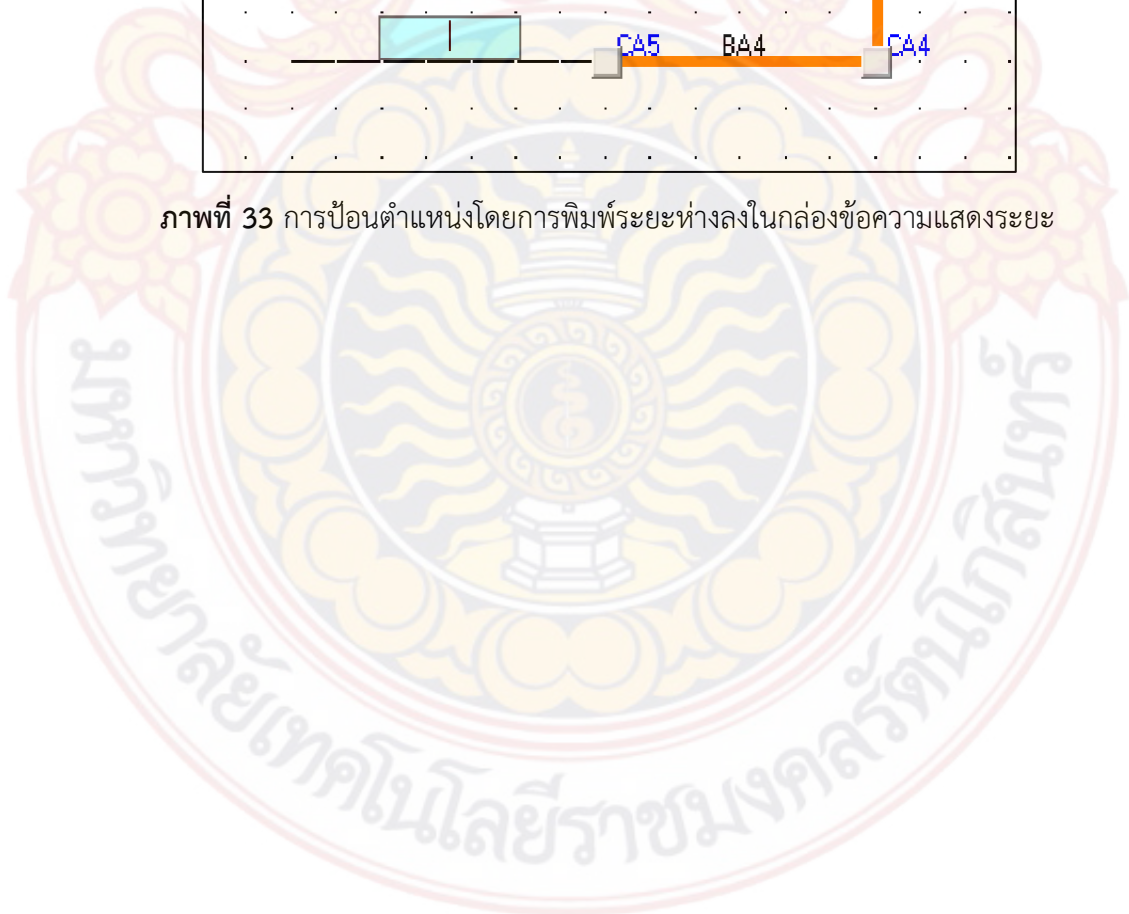
ภาพที่ 31 ไอคอนสำหรับการสร้างแปลนบ้าน

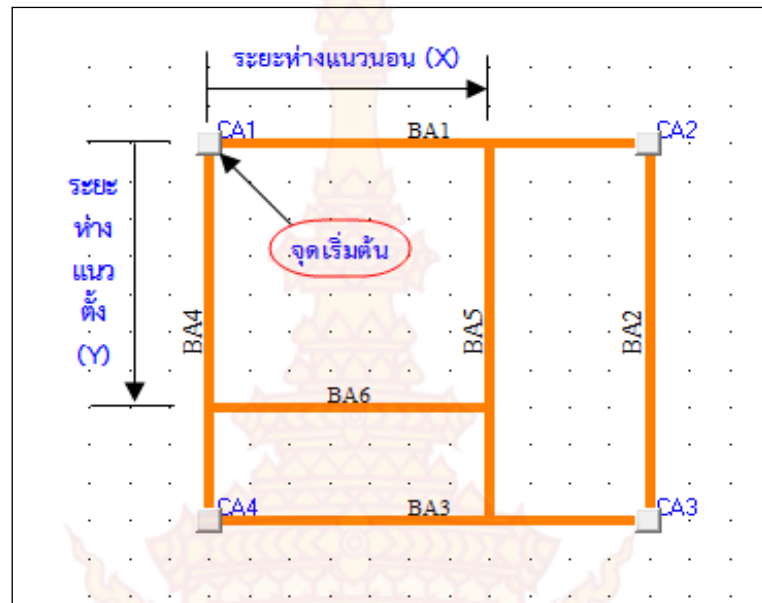


ภาพที่ 32 การป้อนตำแหน่งคานและเสา โดยการคลิกลงที่หน้าต่าง

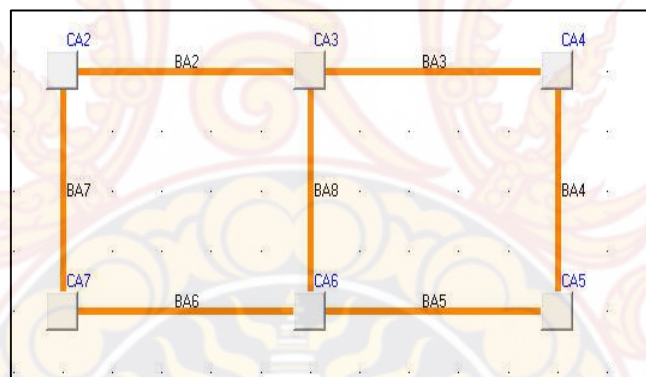


ภาพที่ 33 การป้อนตำแหน่งโดยการพิมพ์ระยะห่างลงในกล่องข้อความแสดงระยะ

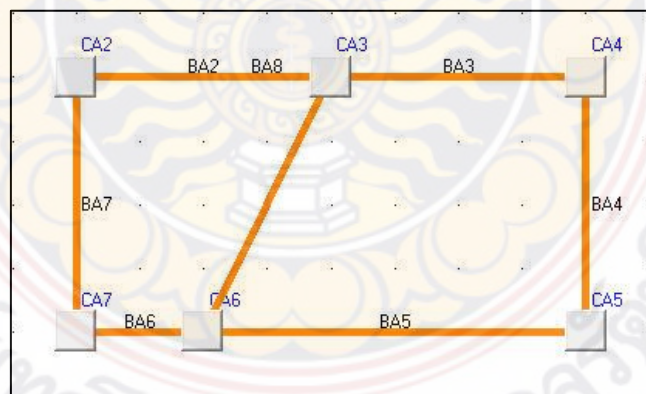




ภาพที่ 34 การสร้างคานฉลัก

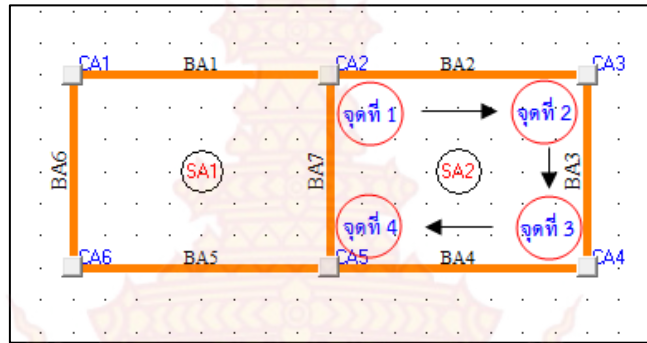


ภาพที่ 35 เสาก่อนย้ายตำแหน่ง



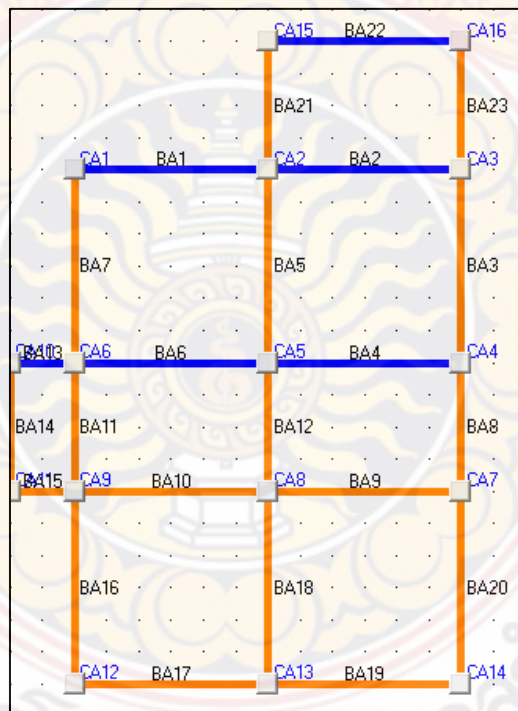
ภาพที่ 36 เสาลังย้ายตำแหน่ง

การสร้างพื้น เมื่อทำการสร้างเสาและคานเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ผู้ใช้คลิกไอคอนสร้างพื้น จากนั้นคลิกตำแหน่งที่ต้องการสร้างพื้นทั้งหมด 4 ตำแหน่ง โดยจะต้องคลิกป้อนค่าในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและตำแหน่ง ดังภาพที่ 37



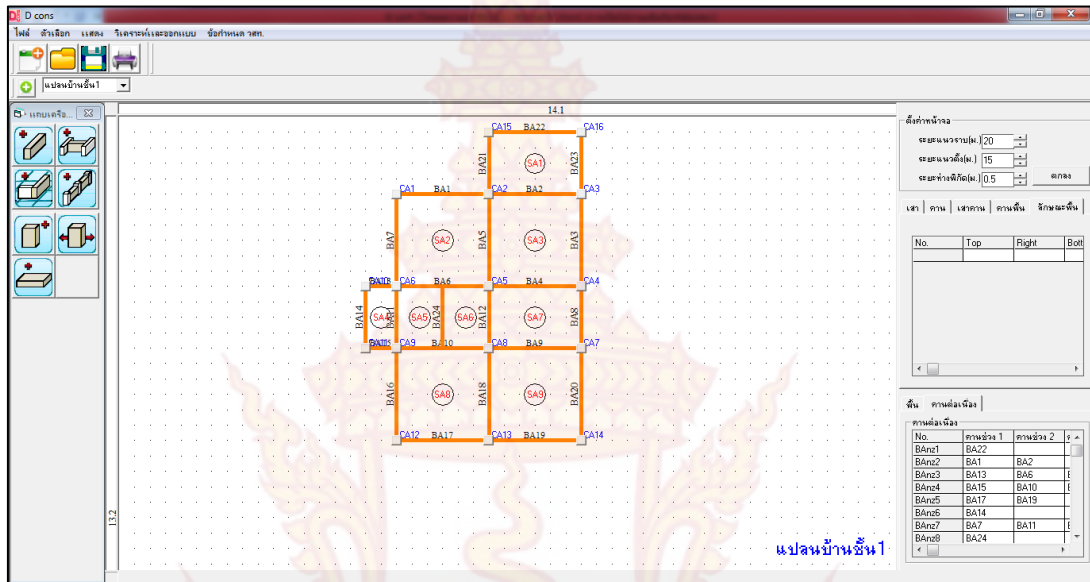
ภาพที่ 37 การสร้างพื้น

การจัดกลุ่มคานต่อเนื่อง หลังจากสร้างแปลนบ้านเสร็จแล้วให้ผู้ใช้ทำการจัดกลุ่มคานต่อเนื่องสำหรับใช้ในการวิเคราะห์คานภายหลังโดยการคลิกไอคอนสร้างกลุ่มคาน หลังจากนั้นคลิกเลือกที่คานโปรแกรมจะทำการจัดกลุ่มคานให้อัตโนมัติ โดยการที่จับกลุ่มแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ดังภาพที่ 38

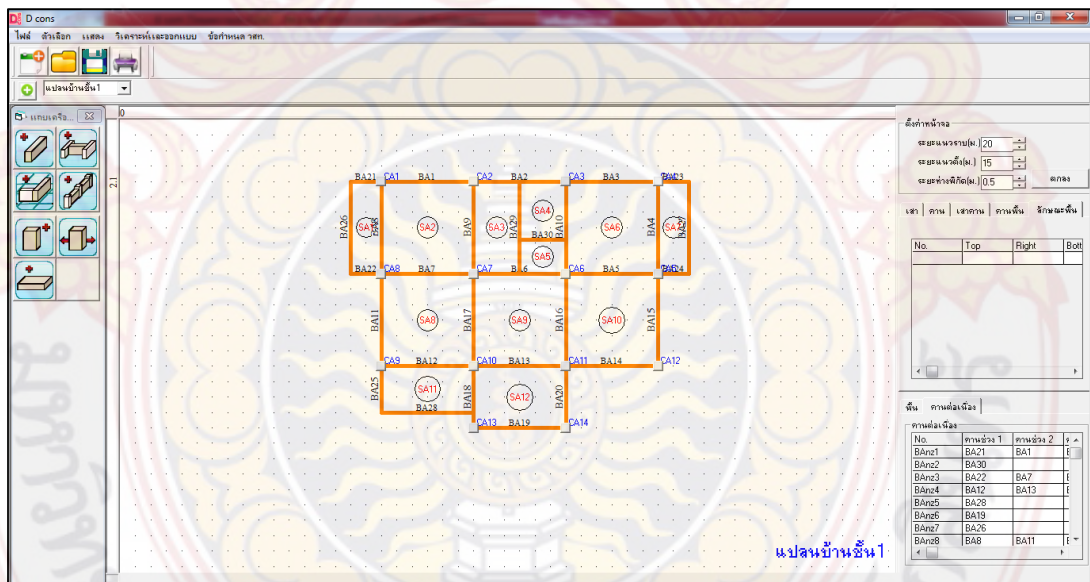


ภาพที่ 38 การจัดกลุ่มคานต่อเนื่อง

แปลนบ้านของโปรแกรมจะมีลักษณะตัวอย่าง ดังภาพที่ 39 และภาพที่ 40 สำหรับค่าพิกัดตำแหน่งต่างๆโปรแกรมจะบันทึกไว้ในตารางด้านขวามือของโปรแกรม ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 39 ตัวอย่างแปลนบ้านที่ 1



ภาพที่ 40 ตัวอย่างแปลนบ้านที่ 2

เสา | คาน | เสาคาน | คานพื้น | ลักษณะพื้น

ตำแหน่งเสา

No.	X-Point	Y-Point
CA1	5.5	5
CA2	8.5	5
CA3	11.5	5
CA4	11.5	8
CA5	8.5	8
CA6	5.5	8
CA7	11.5	10
CA8	8.5	10
CA9	5.5	10
CA10	4.5	8

พื้น | คานต่อเนื่อง | เสาต่อเนื่อง | ฐานราก

ตำแหน่งพื้น

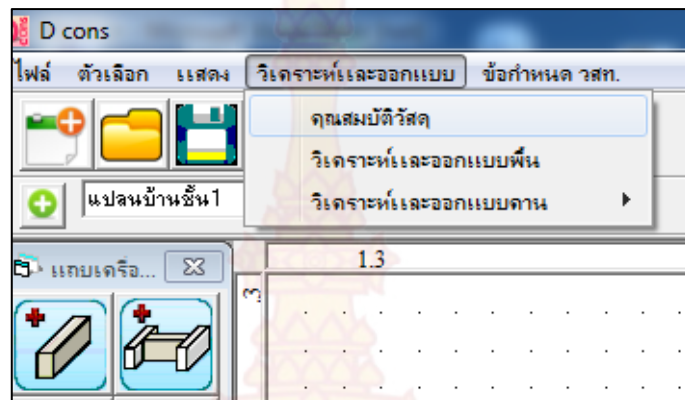
No.	X1	Y1	X2
SA1	8.5	3	
SA2	5.5	5	
SA3	8.5	5	
SA4	4.5	8	
SA5	5.5	8	
SA6	7	8	
SA7	8.5	8	
SA8	5.5	10	

ภาพที่ 41 ตารางบันทึกพิกัดแปลนบ้าน

2. ส่วนของการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง

2.1 การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ

คุณสมบัติของวัสดุโครงสร้างซึ่งหลักๆก็จะประกอบไปด้วยคอนกรีตและเหล็ก เมื่อผู้ใช้ป้อนข้อมูลแปลนบ้านเรียบร้อยแล้วให้ทำการคลิกเลือกการกำหนดคุณสมบัติวัสดุที่อยู่ในเมนูบาร์ออกแบบด้านบน ดังภาพที่ 42 เมื่อทำการคลิกเลือกแล้วก็จะปรากฏแบบฟอร์มที่ใช้กำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง ดังภาพที่ 43



ภาพที่ 42 การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ

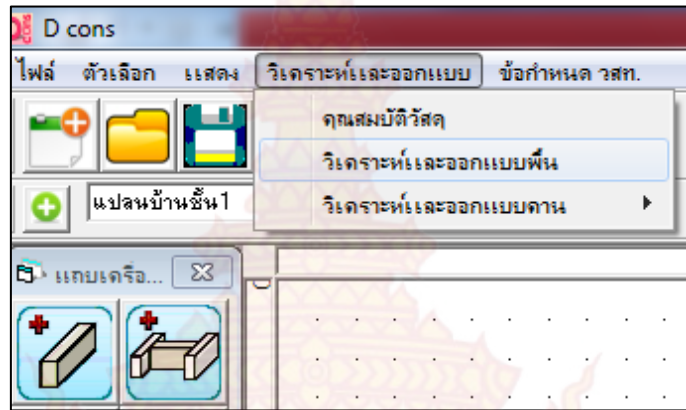


ภาพที่ 43 แบบฟอร์มคุณสมบัติวัสดุ

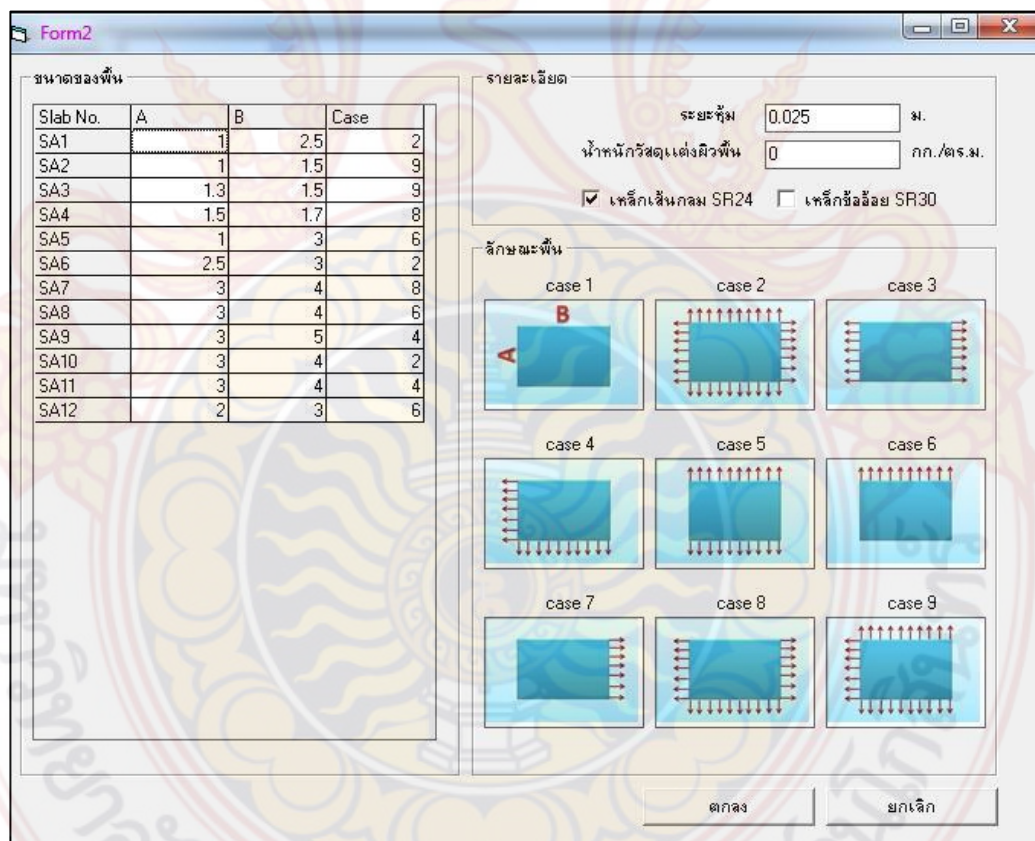
2.2 การวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

การวิเคราะห์และออกแบบพื้นนั้นสำหรับพื้นสองทางจะใช้วิธีที่ 3 (ว.ส.ท. 9103) ซึ่งขั้นตอนการออกแบบพื้นนั้นให้ผู้ใช้คลิกเลือกการออกแบบพื้นที่อยู่ในเมนูบาร์ออกแบบด้านบน ดังภาพที่ 44 จากนั้นจะปรากฏแบบฟอร์มหน้าต่างแสดงข้อมูลระยะและลักษณะการต่อเนื่องของพื้น ซึ่งจะแสดงในตาราง นอกจากนั้นยังมีข้อมูลระยะหุ้มของคอนกรีต น้ำหนักวัสดุตกแต่งพื้น และประเภทเหล็กเสริมที่ใช้ ดังภาพที่ 45 ทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและทำการป้อนค่าต่างๆ

เรียบร้อยแล้ว ให้ทำการกดตกลง โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ขึ้นมาดังภาพที่ 46



ภาพที่ 44 เมนูบาร์ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก



ภาพที่ 45 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นต่อเนื่อง

No.	Asap	Asan	Aibp
SA2	1.29	3.09	
SA4	0.52	1.17	
SA5	0.24	0.46	
SA6	1.29	3.09	
SA8	1.29	3.09	
SA9	1.29	3.09	
SA10	1.45	2.53	
SA11	0.93	1.39	

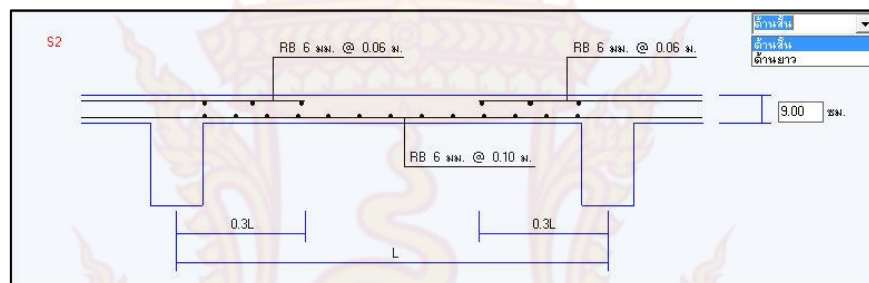
ภาพที่ 46 หน้าต่างการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

คลิกปุ่มกำหนดกลุ่มพื้นอัตโนมัติเพื่อทำการจัดกลุ่มพื้นที่มีลักษณะและการรับน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งการจัดกลุ่มพื้นนั้นโปรแกรมจะแบ่งกลุ่มพื้นที่จากระยะห่างของเหล็กเสริมเมื่อใช้เหล็กเสริมขนาดเดียวกัน โดยโปรแกรมจะแบ่งกลุ่มพื้นที่สองทางได้สูงสุด 2 กลุ่มและกลุ่มพื้นที่ทางเดียวได้สูงสุด 2 กลุ่ม หลังจากนั้นโปรแกรมก็จะแสดงกลุ่มพื้นที่ทำการจัดกลุ่มแล้วและจะแสดงพื้นที่เหล็กที่ต้องการไว้ในตารางดังภาพที่ 47

No.	Asap	Asan	Aibp
SA2	2.24	4.46	
SA3	2.39	6.53	
SA4	3.36	5.9	
SA6	1	2.11	
SA7	2.09	3.09	
SA8	2.95	4.45	
SA9	2.62	4.06	
SA10	1.71	3.43	
SA11	2.33	3.85	

ภาพที่ 47 การแบ่งกลุ่มพื้น

คลิกปุ่มออกแบบขนาดเหล็กโปรแกรมจะทำการออกแบบขนาดเหล็กเสริมของกลุ่มพื้นที่จัดกลุ่มมาแล้วให้ โดยจะแสดงเป็นรูปตัด ดังภาพที่ 48 ซึ่งขนาดเหล็กที่ออกแบบได้นั้นในชั้นแรกถ้าผู้ใช้ได้เลือกเหล็กเส้นกลมเป็นเหล็กเสริมโปรแกรมจะยึดขนาดเหล็กเป็น 6 มิลลิเมตร แต่ระยะห่างจะต่างกันไปตามความต้องการของกลุ่มพื้นที่นั้นๆ และหากผู้ใช้ได้เลือกเหล็กข้ออ้อยเป็นเหล็กเสริมโปรแกรมจะยึดขนาดเหล็กเป็น 10 มิลลิเมตร แต่ระยะห่างจะต่างกันไปตามความต้องการของกลุ่มพื้นที่นั้นๆ หากผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนขนาดเหล็กก็สามารถทำได้โดยการคลิกที่ชื่อพื้นที่ในตารางแสดงผลกลุ่มพื้นที่แล้วมาเลือกเปลี่ยนขนาดเหล็กเสริมต่างๆในช่องแสดงขนาดเหล็กที่โปรแกรมได้สร้างไว้ ดังภาพที่



ภาพที่ 48 รูปหน้าตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้นที่เดี่ยวทั้งหมด |
 พื้นที่สองทางทั้งหมด |
 พื้นที่เดี่ยวแบ่งกลุ่ม |
 พื้นที่สองทางแบ่งกลุ่ม

หน้าตัดเหล็กเสริมที่ต้องการ

No.	Asap(cm ²)	Asan(cm ²)	Asbp(cm ²)	Asbn(cm ²)	tds(m)
S1	1.73	3.62	2.16	2.96	0.08
S2	0.53	1.02	0.68	0.58	0.08

พื้นที่เดี่ยว |
 พื้นที่สองทาง

เหล็กเสริมล่างด้านสั้น

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.)

ระยะห่าง(ม.) พื้นที่เหล็กที่ออกแบบ (ตร.ซม.)

เหล็กเสริมบนด้านสั้น

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.)

ระยะห่าง(ม.) พื้นที่เหล็กที่ออกแบบ (ตร.ซม.)

เหล็กเสริมล่างด้านยาว

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.)

ระยะห่าง(ม.) พื้นที่เหล็กที่ออกแบบ (ตร.ซม.)

เหล็กเสริมบนด้านยาว

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.)

ระยะห่าง(ม.) พื้นที่เหล็กที่ออกแบบ (ตร.ซม.)

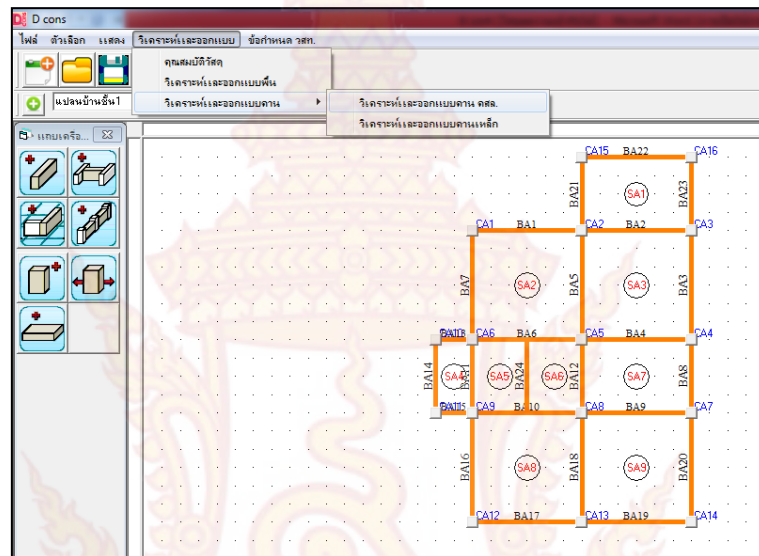
ภาพที่ 49 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.3 การวิเคราะห์และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

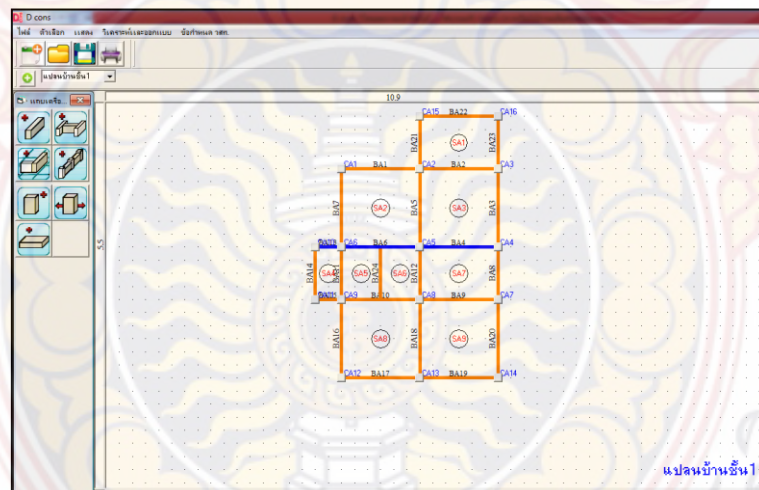
ผู้ใช้งานต้องทำการวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กให้เสร็จสิ้นก่อน จึงจะสามารถทำการวิเคราะห์และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้ ซึ่งการวิเคราะห์และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีรายละเอียดดังนี้

คลิกเลือกการวิเคราะห์คานคอนกรีตเหล็กที่อยู่ในเมนูบาร์วิเคราะห์คาน คสล. ดังภาพที่ 50 ทำการคลิกเลือกคานในแปลนบ้านที่ต้องการวิเคราะห์ ดังภาพที่ 51 ซึ่งคานที่เลือกมาวิเคราะห์นั้น ต้องทำการจัดกลุ่มคานต่อเนื่องไว้แล้ว โปรแกรมจะสร้างโมเดลคานขึ้นมาโดยโปรแกรมจะทำการถ่ายน้ำหนักพื้นที่คานรับน้ำหนักมาให้เรียบร้อยแล้วดังภาพที่ 52 ซึ่งฐานรองรับริมด้านซ้ายและขวาตัวโปรแกรมจะใช้เป็น Fix Support ในการสร้างโมเดล ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนเป็น Pin Support ได้

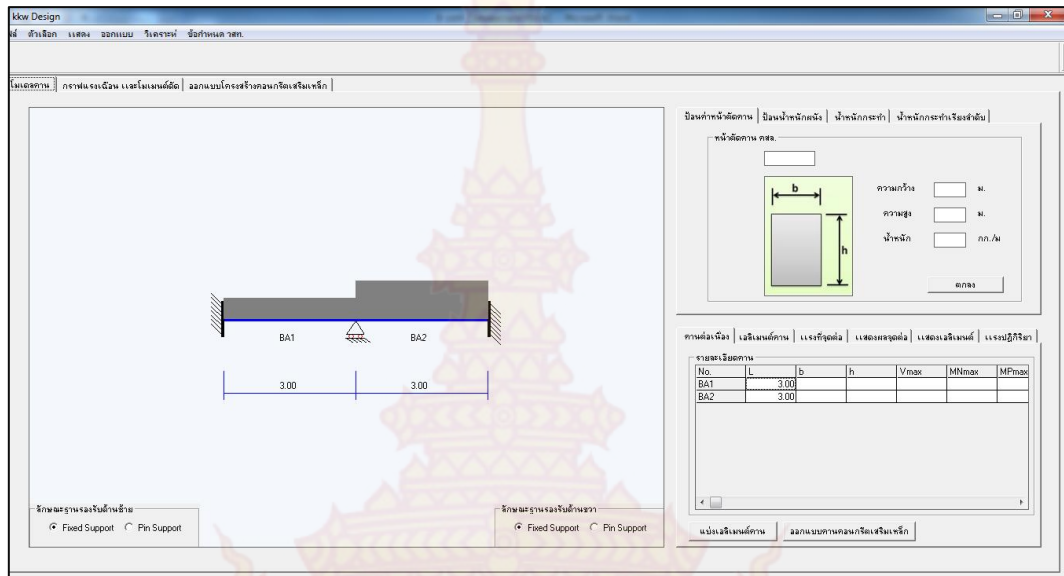
โดยเลือกที่มุมด้านล่าง ดังภาพที่ 53 หากกลุ่มคานที่ผู้ใช้เลือกมาทำการวิเคราะห์และออกแบบเป็นกลุ่มคานที่มีหน้าน้ำจากคานฝากกระทำอยู่ โปรแกรมจะขึ้นข้อความแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ทำการวิเคราะห์และออกแบบคานฝากเสียก่อน ดังภาพที่ 54 เมื่อคลิกปุ่มตกลงที่ข้อความแจ้งเตือนโปรแกรมจะทำการสร้างโมเดลคานฝากขึ้นมาทันที ดังภาพที่ 55



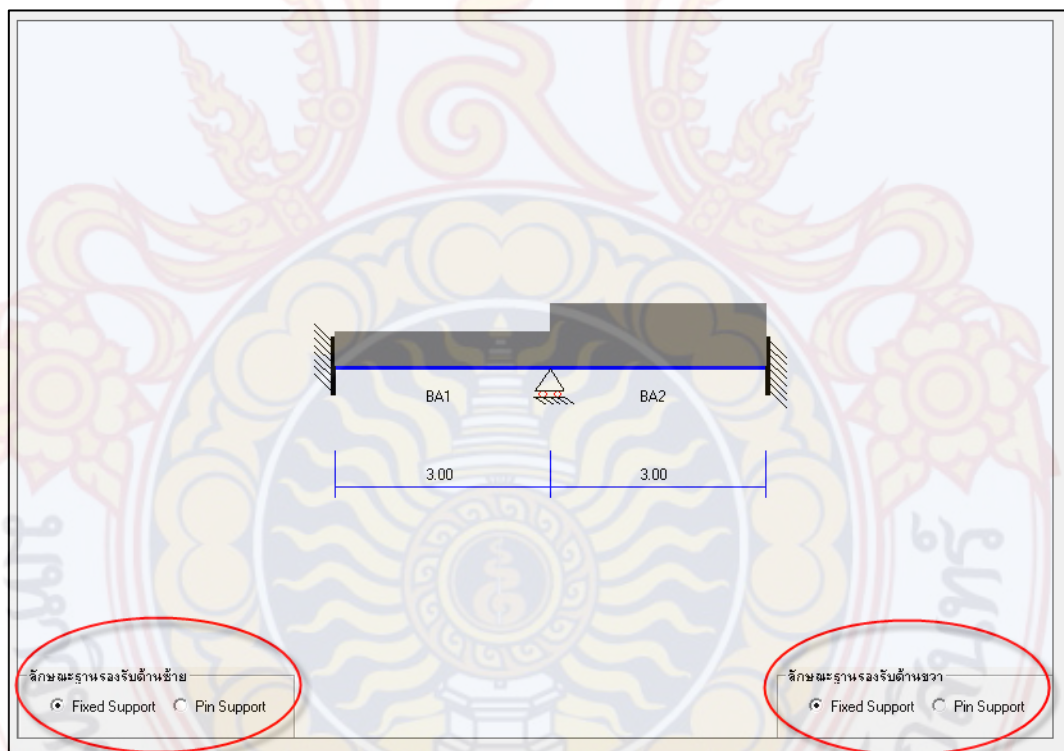
ภาพที่ 50 การคลิกเลือกการวิเคราะห์คานคอนกรีต



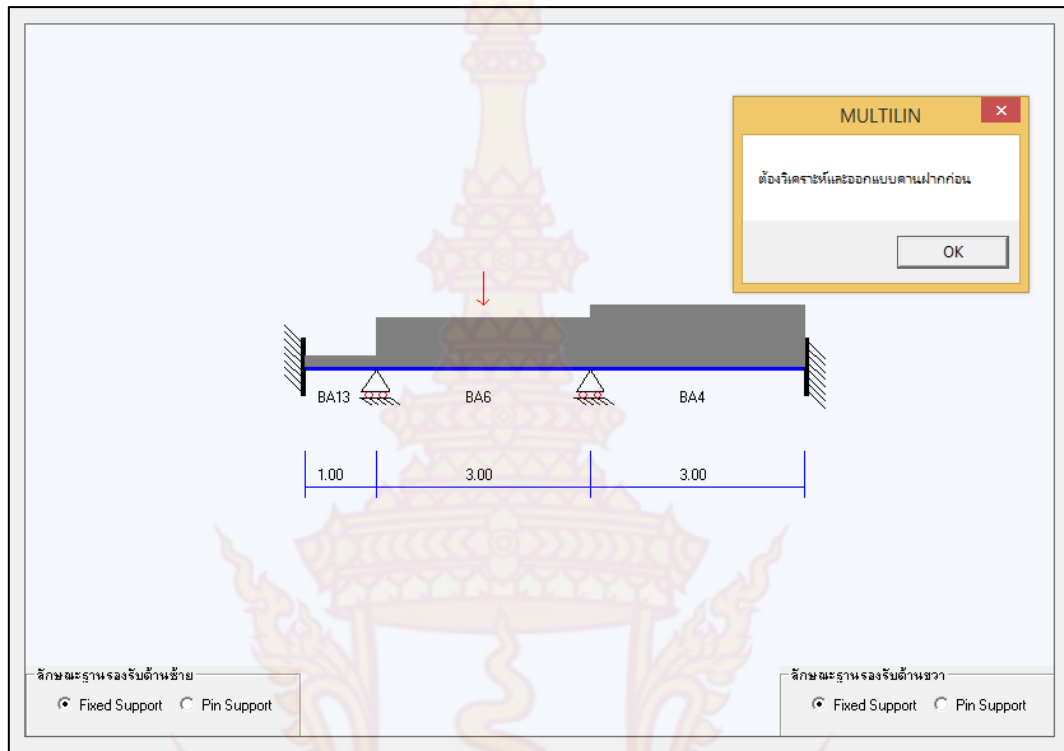
ภาพที่ 51 การเลือกคานเพื่อนำไปวิเคราะห์



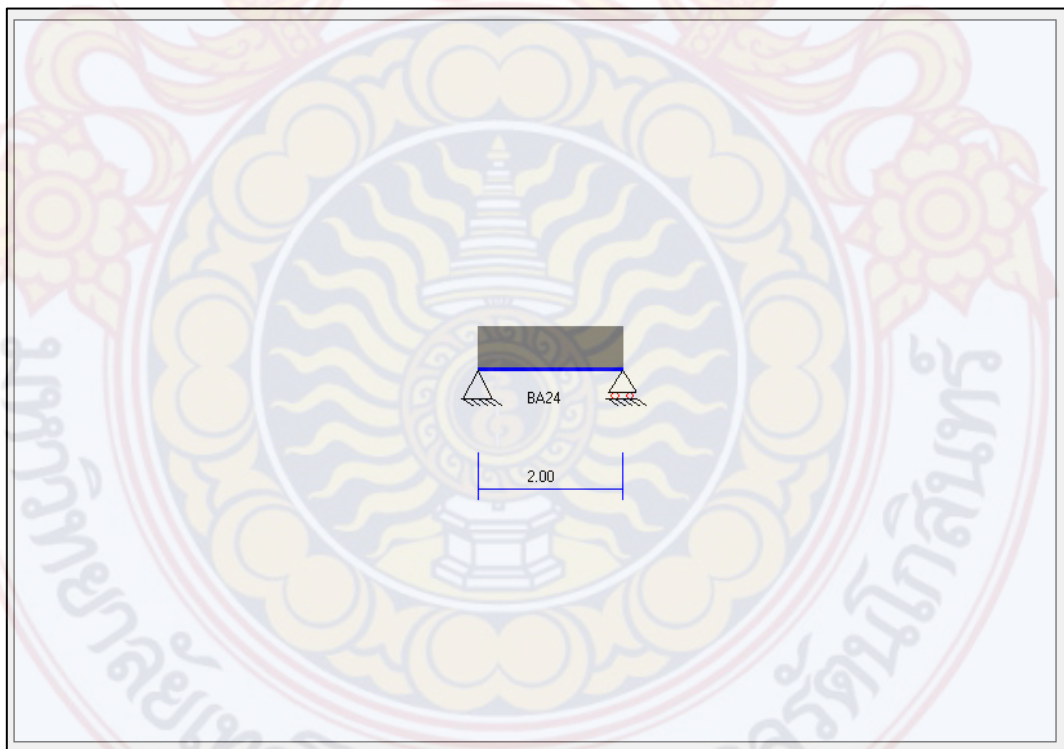
ภาพที่ 52 โมเดลคานาที่ต้องการวิเคราะห์



ภาพที่ 53 โมเดลคานาที่จุดรองรับเป็น Pin Support



ภาพที่ 54 ข้อความแจ้งเตือนการออกแบบคานาฝาก



ภาพที่ 55 การสร้างโมเดลคานาฝากอัตโนมัติ

ในกรณีที่คานที่นำมาวิเคราะห์มีน้ำหนักจากผนังกระทำอยู่ด้วย ให้ทำการเพิ่มน้ำหนักจากผนังโดยการคลิกชื่อช่วงคานในตาราง แล้วเพิ่มน้ำหนักที่ละช่วง ดังภาพที่ 56 โปรแกรมจะทำการบันทึกค่าลงในตารางและเพิ่มน้ำหนักในโมเดล ดังภาพที่ 57

ป้อนน้ำหนักผนัง | **น้ำหนักกระทำ** | น้ำหนักกระทำเรียงลำดับ

น้ำหนักผนัง

BA2

ผนังสิริมอลญเต็มแผ่น ▾

350 กก./ตร.ม.

ความสูงกำแพง (y) 2 ม.

จุดเริ่ม(x1) 0.5 ม. ความกว้างผนัง (x2) 1 ม.

ตกลง

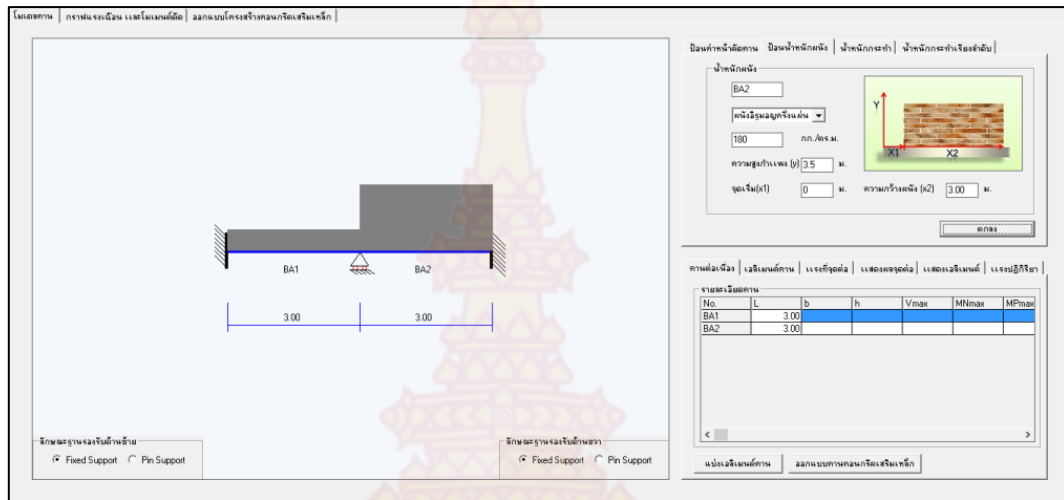
คานต่อเนื่อง | **เอลิเมนต์คาน** | แสดงผลจุดต่อ | แสดงเอลิเมนต์ | คานทั้งหมด

รายละเอียด

No.	L	b	h	Vmax	Mmax
BA2	3.00	0.20	0.40		
BA3	2.00	0.20	0.40		
BA4	3.00	0.20	0.40		

แบ่งเอลิเมนต์คาน ลอกแบบคาน

ภาพที่ 56 การป้อนรายละเอียดของผนังที่วางบนคานที่นำมาวิเคราะห์



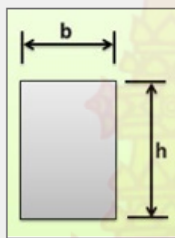
ภาพที่ 57 โมเดลน้ำหนักรบรรทุกที่กระทำกับคาน

การกำหนดหน้าตัดคาน ในเบื้องต้นโปรแกรมจะกำหนดหน้าตัดที่เหมาะสมมาแล้ว หากผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดคานสามารถทำได้โดยการคลิกชื่อคานที่ต้องการในตาราง และใส่ขนาดความสูงและความกว้าง แล้วกดตกลง โปรแกรมจะทำการบันทึกค่าขนาดหน้าตัดและน้ำหนักคานใหม่ ดังภาพที่ 58 น้ำหนักที่กระทำกับคานทั้งหมดจะถูกบันทึกไว้ในตารางน้ำหนักที่กระทำกับคาน ดังภาพที่ 59

ป้อนค่าหน้าตัดคาน | ป้อนน้ำหนักคาน | **น้ำหนักกระทำได้** | น้ำหนักกระทำได้เรียงลำดับ

หน้าตัดคาน คสล.

BA2



ความกว้าง ม.
 ความสูง ม.
 น้ำหนัก กก./ม

ตกลง

คานต่อเนื่อง | เอลิเมนต์คาน | แรงที่จุดต่อ | แสดงผลจุดต่อ | แสดงเอลิเมนต์ | แรงปฏิกิริยา

รายละเอียดคาน

No.	L	b	h	Vmax	MNmax	MPmax
BA1	3.00	0.15	0.30			
BA2	3.00					

ภาพที่ 58 การกำหนดหน้าตัดคาน

ป้อนค่าหน้าตัดคาน | ป้อนน้ำหนักคาน | **น้ำหนักกระทำได้** | น้ำหนักกระทำได้เรียงลำดับ

น้ำหนักกระทำได้

Beam No.	Load No.	W(kg/m)	X1	X2
BA1	SA2	462.00	6.5	9.5
BA2	SA3	462.00	9.5	12.5
BA2	SA1	393.56	9.5	12.5
BA2	WwallBA2	630.00	9.5	12.5
BA1	WdoBA1	108.00	6.5	9.5

ภาพที่ 59 ตารางบันทึกน้ำหนักที่กระทำกับคาน

การวิเคราะห์คาน หลังจากที่กำหนดหน้าตัดคานเสร็จแล้ว ให้ผู้ใช้ทำการแบ่งเอลิเมนต์คาน โดยการคลิกปุ่มแบ่งเอลิเมนต์คาน เพื่อใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์ต่อไป ดังภาพที่ 60 โดยการ

แบ่งเอลิเมนต์คาน หากคานช่วงนั้นมีน้ำหนักสม่ำเสมอตลอดคาน โปรแกรมจะแบ่งเป็น 2 เอลิเมนต์ โดยแบ่งที่ตรงกลาง แต่หากคานมีน้ำหนักที่กระทำไม่สม่ำเสมอ โปรแกรมจะแบ่งเอลิเมนต์ตรงจุดต่างน้ำหนักที่กระทำ จำนวนเอลิเมนต์จะขึ้นอยู่กับจำนวนจุดต่าง จากนั้นให้ผู้ใช้คลิกปุ่มวิเคราะห์คาน ดังภาพที่ 61 โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์และบันทึกข้อมูล โมเมนต์ แรงเฉือน และแรงปฏิกิริยาไว้ เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการออกแบบคาน ดังภาพที่ 62

ป้อนค่าหน้าตัดคาน | ป้อนน้ำหนักคาน | น้ำหนักกระทำ | น้ำหนักกระทำเรียงลำดับ

น้ำหนักคาน

BA2

ชนิดอิฐมวลฉนวน

180 กก./ตร.ม.

ความสูงกำแพง (y) 3.5 ม.

จุดเริ่ม(x1) 0 ม. ความกว้างผนัง (x2) 3.00 ม.

ตกลง

คานต่อเนื่อง | เอลิเมนต์คาน | แรงที่จุดต่อ | แสดงผลจุดต่อ | แสดงเอลิเมนต์ | แรงปฏิกิริยา

รายละเอียดคาน

No.	L	b	h	Vmax	MNmax	MPmax
BA1	3.00	0.15	0.30	1873.79	-1047.58	41
BA2	3.00	0.15	0.30	2464.13	-1268.96	63

แบ่งเอลิเมนต์คาน | ออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ภาพที่ 60 การแบ่งเอลิเมนต์คาน

ป้อนค่าหน้าตัดคาน	ป้อนน้ำหนักคาน	น้ำหนักกระทำ	น้ำหนักกระทำเรียงลำดับ
น้ำหนักกระทำ			
Beam No.	Load No.	W(kg/m)	X1 X2
BA1	SA2	462.00	6.5 9.5
BA2	SA3	462.00	9.5 12.5
BA2	SA1	393.56	9.5 12.5
BA1	WwallBA1	630.00	6.5 9.5
BA2	WwallBA2	630.00	9.5 12.5
BA1	WdoBA1	108.00	6.5 9.5
BA2	WdoBA2	108.00	9.5 12.5

คานต่อเนื่อง	เอลิเมนต์คาน	แรงที่จุดต่อ	แสดงผลจุดต่อ	แสดงเอลิเมนต์	แรงปฏิกิริยา	
รายละเอียด						
No.	Node i	Node j	V1(FEM)	M1(FEM)	V2(FEM)	M2(FEM)
BA1	6.5	8	900.00	225.00	900.00	-22
BA1	8	9.5	900.00	225.00	900.00	-22
BA2	9.5	11	1195.17	298.79	1195.17	-29
BA2	11	12.5	1195.17	298.79	1195.17	-29

วิเคราะห์คาน คสล.

ภาพที่ 61 การแสดงผลการแบ่งเอลิเมนต์คาน

ป้อนค่าหน้าตัดคาน	ป้อนน้ำหนักคาน	น้ำหนักกระทำ	น้ำหนักกระทำเรียงลำดับ	
น้ำหนักกระทำ				
Beam No.	Load No.	W(kg/m)	X1	X2
BA1	SA2	462.00	6.5	9.5
BA2	SA3	462.00	9.5	12.5
BA2	SA1	393.56	9.5	12.5
BA1	WwallBA1	630.00	6.5	9.5
BA2	WwallBA2	630.00	9.5	12.5
BA1	WdoBA1	108.00	6.5	9.5
BA2	WdoBA2	108.00	9.5	12.5

คานต่อห้อง	เอคิเมนต์คาน	แรงที่จุดต่อ	แสดงผลจุดต่อ	แสดงเอคิเมนต์	แรงปฏิกิริยา
รายละเอียด					
No.	Node j	V1	M1	V2	M2
BA1	8	1726.21	826.21	73.79	413.10
BA1	9.5	-73.79	-413.10	1873.79	-1047.58
BA2	11	2316.55	1047.58	73.79	634.48
BA2	12.5	-73.79	-634.48	2464.13	-1268.96

ภาพที่ 62 การแสดงผลการวิเคราะห์คาน

การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อผู้ใช้ทำการวิเคราะห์คานเสร็จแล้ว ให้ทำการกดปุ่ม ออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังภาพที่ 63 จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างในส่วนออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กขึ้นมา ดังภาพ 64 ด้านขวาบนของหน้าจอจะมีส่วนใส่รายละเอียดการออกแบบ ซึ่งจะมีชั้นคุณภาพเหล็กหลักและระยะหุ้ม ให้ผู้ใช้ทำการกรอกรายละเอียดดังกล่าว จากนั้นให้ผู้ใช้กดปุ่มออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังภาพ 65 ซึ่งด้านล่างปุ่มออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีตารางค่าโมเมนต์และแรงเฉือนของคานแต่ละช่วงแสดงอยู่

โปรแกรมคำนวณโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

บ้านพักอาศัย | บ้านพักนักเรียน | บ้านพักเกษตรกร | บ้านพักเกษตรกรเรียงลำดับ

บ้านพักนักเรียน

BA2

ผนังอิฐมวลเบาคอนกรีตฉนวน

180 กก./ตร.ม.

ความสูงกำแพง (y) 3.5 ม.

จุดเริ่ม(x1) 0 ม. ความกว้างผนัง (x2) 3.00 ม.

ตกลง

คานต่อเนื่อง | เสาเข็มตอกคาน | แรงที่จุดต่อ | แสดงผลจุดต่อ | แสดงเสาเข็มตอก | แรงปฏิกิริยา

รายละเอียดคาน

No.	L	b	h	Vmax	MNmax	MPmax
BA1	3.00	0.15	0.30	1873.79	-1047.58	4
BA2	3.00	0.15	0.30	2464.13	-1268.96	6

แบ่งเสาเข็มตอกคาน | ออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ภาพที่ 63 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

โปรแกรมคำนวณโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

การคำนวณ | ผลการคำนวณ |

ชนิดคาน: เสาเข็มตอกคาน SP24 เสาเข็มตอก SP30
ขนาดเสาเข็มตอกคาน: 5 (500)

รายละเอียดเสาเข็มตอกคาน

No.	ML	MM	MR
BA1	-826.21	413.1	-104
BA2	-1047.58	534.48	-126

เลือกคาน: เสาเข็มตอก SP24 เสาเข็มตอก SP30
ขนาด: 5 (500)

ตกลง | ปิดหน้าต่างนี้

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

เลือกชนิดคาน:

เลือกจำนวน:

ภาพที่ 64 หน้าจอการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

หน้าแรก | ปริมาณเหล็กเสริม

รายละเอียด

เหล็กข้ออ้อย SD30

ระยะท่อนคานกรัด(ม.) 0.025

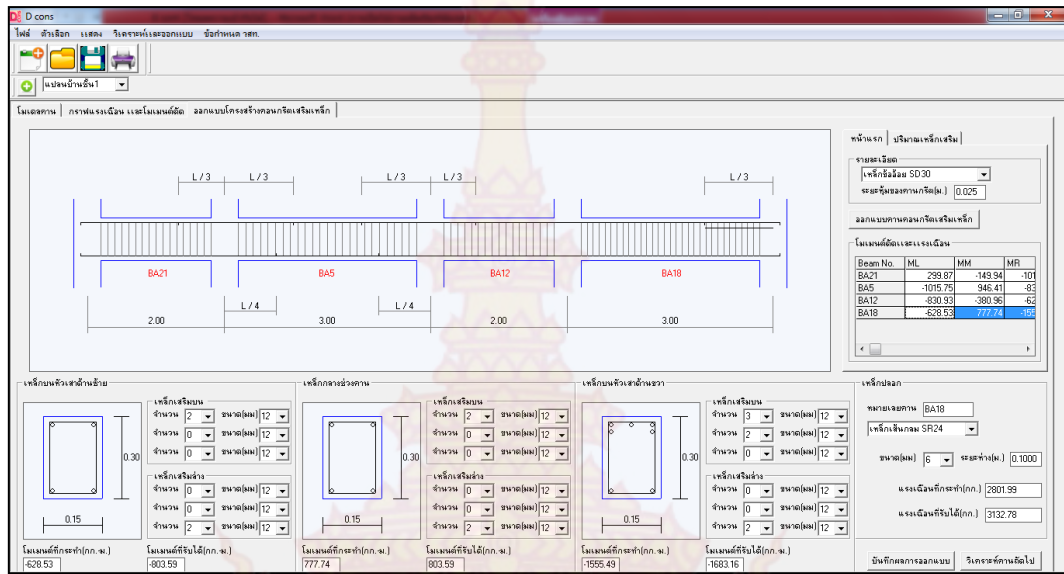
ออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมเมนต์ตัดและแรงเฉือน

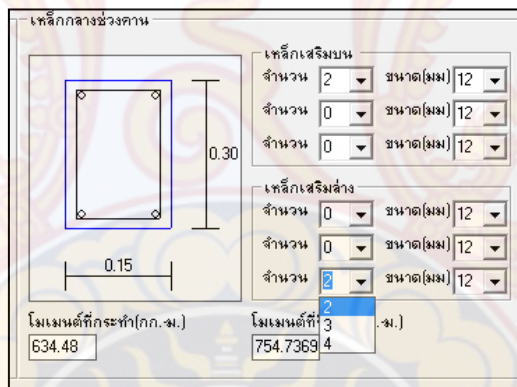
Beam No.	ML	MM	MR
BA21	299.87	-149.94	-101
BA5	-1015.75	946.41	-83
BA12	-830.93	-380.96	-62
BA18	-628.53	777.74	-155

ภาพที่ 65 การกำหนดรายละเอียดการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

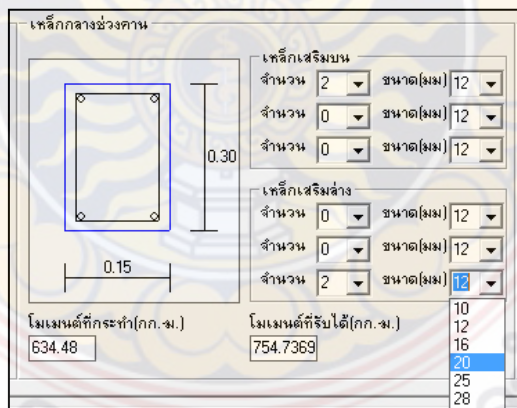
คลิกปุ่มออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กแล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณและแสดงผลเป็นรูปการเสริมเหล็กแนวขวาง ดังภาพ 66 จากนั้นให้ผู้ใช้คลิกที่ชื่อคานในตารางขวามือของหน้าจอ โปรแกรมจะแสดงรูปหน้าตัดคาน ซึ่งจะแสดง 3 จุด คือ ริมด้านซ้าย ตรงกลาง และริมด้านขวา ดังภาพ 67 ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนจำนวนเหล็กเสริมและขนาดเหล็กเสริมได้ ดังภาพ 68 และภาพ 69 เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนและขนาดเหล็กเสริมแล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณของโมเมนต์ที่ได้รับได้ใหม่ ดังภาพ 70 หากโมเมนต์ที่คานรับได้น้อยกว่าโมเมนต์ที่กระทำในขั้นตอนการคลิกปุ่มตกลงเพื่อบันทึกจะไม่สามารถบันทึกผลได้ โปรแกรมจะขึ้นข้อความแจ้งเตือนให้ทำการปรับจำนวนและขนาดใหม่



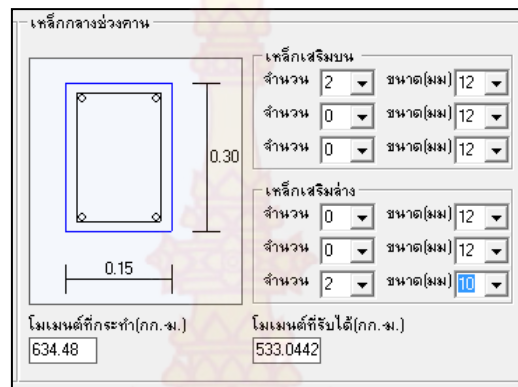
ภาพที่ 66 แสดงเหล็กเสริมคานตามขวาง



ภาพที่ 67 การเปลี่ยนจำนวนเหล็กเสริมคาน

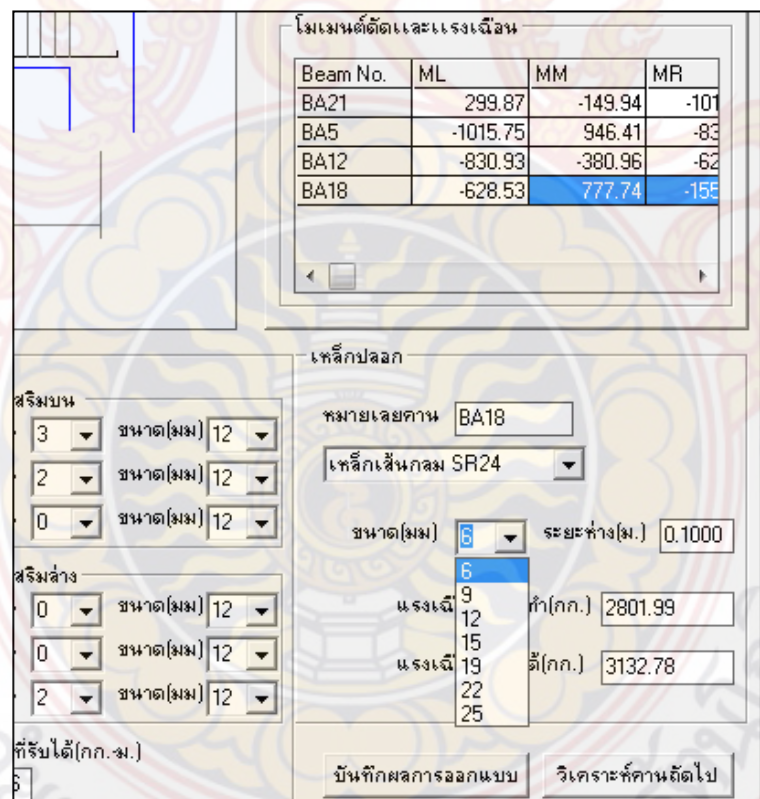


ภาพที่ 68 การเปลี่ยนขนาดเหล็กเสริมคาน



ภาพที่ 69 ภาพรูปตัดคาน

การออกแบบเหล็กปลอก คลิกชื่อคานในตารางด้านขวาบนของหน้าจอ หลังจากนั้นด้านขวาล่างจะมีส่วนของการออกแบบเหล็กปลอกคาน ให้ผู้ใช้เลือกชั้นคุณภาพเหล็กปลอกคาน และเลือกขนาดเหล็กปลอกคาน โปรแกรมจะทำการคำนวณระยะของเหล็กปลอกคานออกมา ดังภาพที่ 70

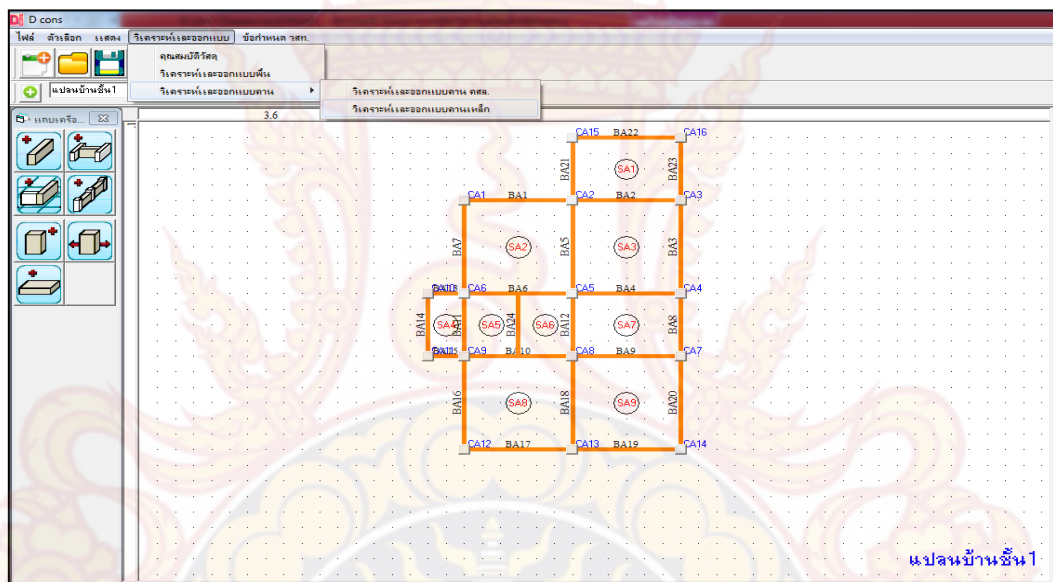


ภาพที่ 70 การออกแบบเหล็กปลอก

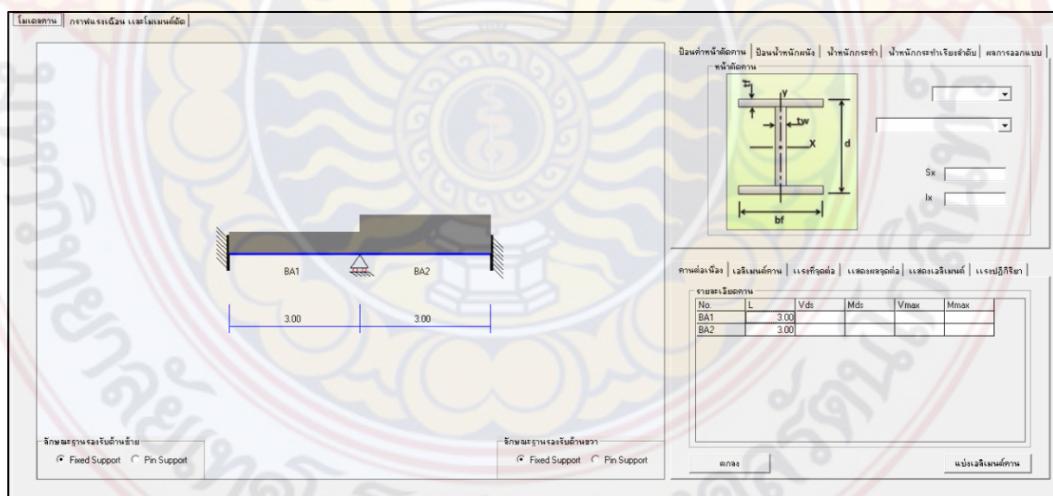
2.4 การวิเคราะห์และออกแบบคานเหล็ก

ผู้ใช้งานต้องทำการวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กให้เสร็จสิ้นก่อน เช่นเดียวกับการวิเคราะห์และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงจะสามารถทำการวิเคราะห์และออกแบบคานเหล็กได้ ซึ่งการวิเคราะห์และออกแบบคานเหล็กมีขั้นตอนดังนี้

คลิกเลือกการวิเคราะห์คานเหล็กที่อยู่ในเมนูบาร์วิเคราะห์คานเหล็ก ดังภาพที่ 71 จากนั้นทำการคลิกเลือกคานในแปลนบ้านเพื่อสร้างโมเดลคาน ซึ่งการสร้างโมเดลคานและการใส่หน้าหนังสือเพิ่มเติมจะทำในรูปแบบเดียวกันกับการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โมเดลคานเหล็กดังภาพที่ 72



ภาพที่ 71 การคลิกเลือกการวิเคราะห์คานเหล็ก

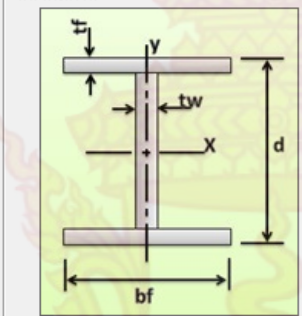


ภาพที่ 72 โมเดลคานเหล็กที่ต้องการวิเคราะห์

การกำหนดหน้าตัดคานเหล็ก ซึ่งโปรแกรมจะใช้คานเหล็กเป็นเหล็ก Wide Flange ให้ผู้ใช้งานเลือกชั้นคุณภาพเหล็ก ดังภาพที่ 73 และขนาดเหล็ก Wide Flange ดังภาพที่ 74 โดยขนาดหน้าตัดโปรแกรมจะกำหนดให้ใช้ขนาดเดียวกันทั้งกลุ่มคาน หลังจากเลือกขนาดหน้าตัดคานเหล็ก Wide Flange โปรแกรมจะทำการคำนวณโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนสูงสุดที่คานรับได้ ดังแสดงข้อมูลในตารางในภาพที่ 74

ป้อนค่าหน้าตัดคาน | ป้อนน้ำหนักคาน | น้ำหนักกระทำ | น้ำหนักกระทำเรียงลำดับ | ผลการออกแบบ

หน้าตัดคาน



SS 400
SS 490
SS 540
SM 400
SM 490
SM 520
SM 570

ix

คานต่อเนื่อง | เอลิเมนต์คาน | แรงที่จุดต่อ | แสดงผลจุดต่อ | แสดงเอลิเมนต์ | แรงปฏิกิริยา

รายละเอียดคาน

No.	L	Vds	Mds	Vmax	Mmax
BA1	3.00				
BA2	3.00				

ตกลง แบ่งเอลิเมนต์คาน

ภาพที่ 73 การเลือกชั้นคุณภาพเหล็ก

ป้อนค่าหน้าตัดคาน | ป้อนน้ำหนักผืน | น้ำหนักกระทำ | น้ำหนักกระทำเรียงลำดับ | ผลการออกแบบ

หน้าตัดคาน

SS 400

100 x 50 x 5 x 7

Sx 37.5

Ix 187

คานต่อเนื่อง | เอลิเมนต์คาน | แรงที่จุดต่อ | แสดงผลจุดต่อ | แสดงเอลิเมนต์ | แรงปฏิกิริยา

รายละเอียดคาน

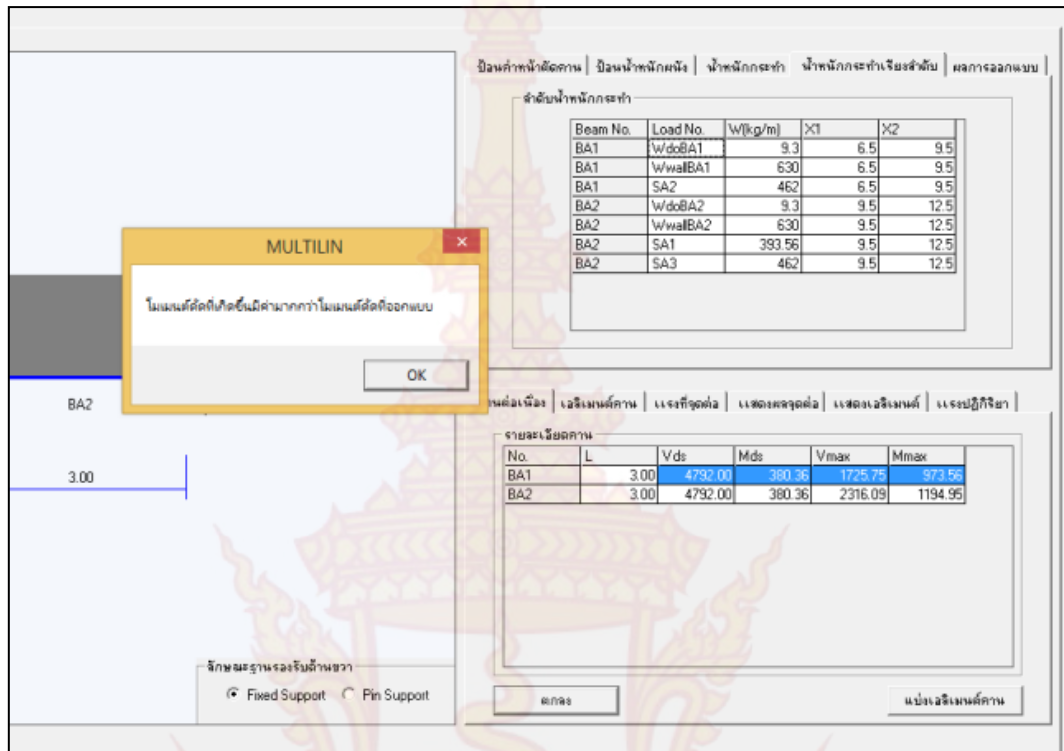
No.	L	Vds	Mds	Vmax	Mmax
BA1	3.00	4792.00	380.36		
BA2	3.00	4792.00	380.36		

ตกลง

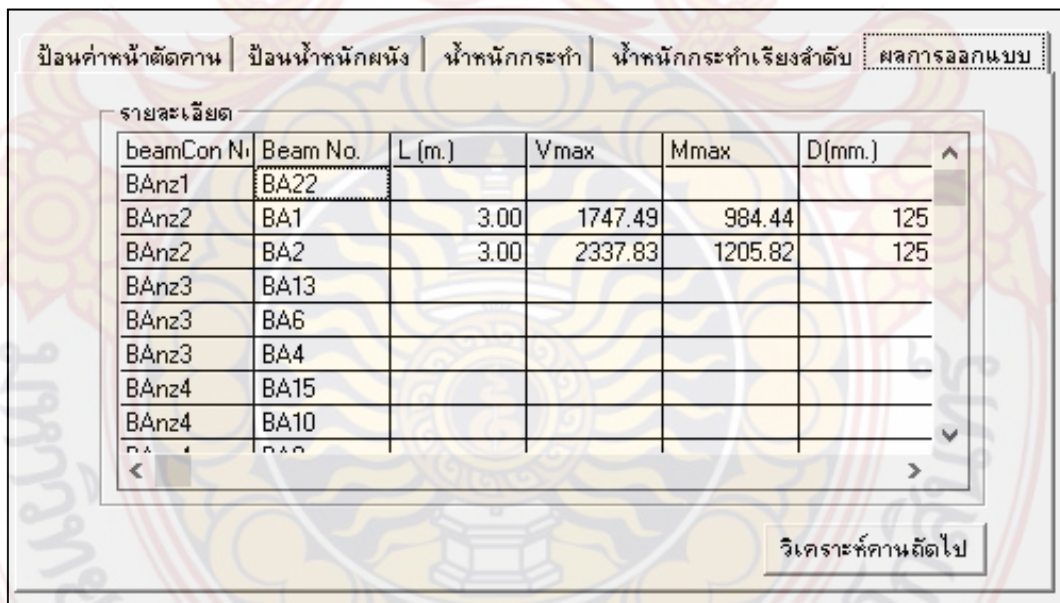
แบ่งเอลิเมนต์คาน

ภาพที่ 74 การเลือกหน้าตัดคานเหล็ก Wide Flange

การแบ่งเอลิเมนต์และการวิเคราะห์คานจะมีขั้นตอนและวิธีการเช่นเดียวกับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อดำเนินการเสร็จแล้วจะคำนวณได้ค่าแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น ซึ่งจะแสดงอยู่ในตาราง ดังภาพที่ 75 จากนั้นให้ผู้ใช้คลิกปุ่มตกลงเพื่อทำการบันทึกผล แต่หากโมเมนต์ดัดสูงสุดหรือแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าโมเมนต์ดัดสูงสุดและแรงเฉือนสูงสุดที่ออกแบบ โปรแกรมจะแสดงข้อความแจ้งบอกให้ผู้ใช้ทำการเลือกหน้าตัดคานเหล็กใหญ่ ดังภาพที่ 76 ให้ผู้ใช้ทำการเลือกหน้าตัดคานเหล็กใหม่ที่ใหญ่กว่าเดิมและทำตามขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นใหม่อีกครั้งและทำการบันทึกการออกแบบ หลังจากคลิกปุ่มตกลงแล้วโปรแกรมจะบันทึกค่าการออกแบบลงตารางไว้ จากนั้นให้ผู้ใช้คลิกปุ่มวิเคราะห์คานถัดไป เพื่อทำการวิเคราะห์และออกแบบคานกลุ่มถัดไป



ภาพที่ 75 ผลการวิเคราะห์คานเหล็ก

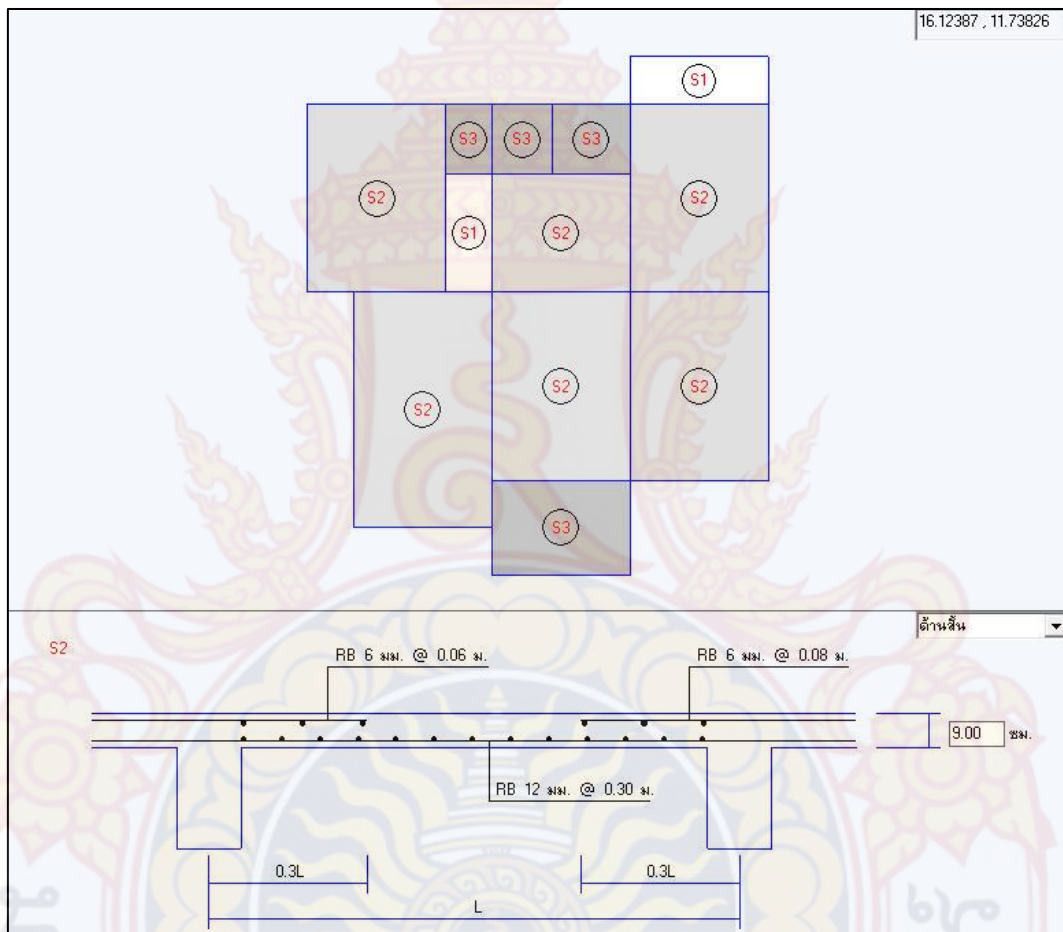


ภาพที่ 76 ตารางบันทึกผลออกแบบคานเหล็ก

3. ส่วนของการแสดงผลการวิเคราะห์และออกแบบ

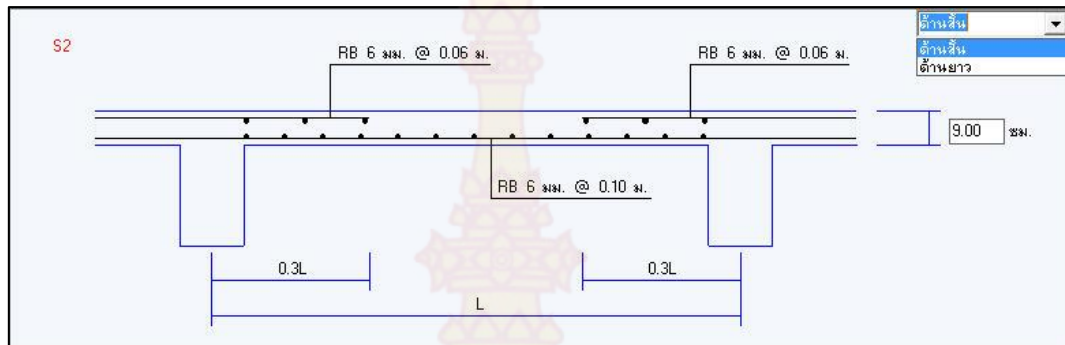
3.1 ส่วนแสดงผลการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

1) ส่วนของแปลนบ้าน โปรแกรมจะแสดงเป็นชื่อพื้นที่ได้ทำการแบกกลุ่มพื้นมาแล้วในขั้นตอนการออกแบบและเพื่อให้เห็นความชัดเจนขึ้นตัวโปรแกรมได้ทำการแบ่งพื้นที่เป็นสีที่มีแตกต่างกันดังภาพที่ 77



ภาพที่ 77 การแสดงผลการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

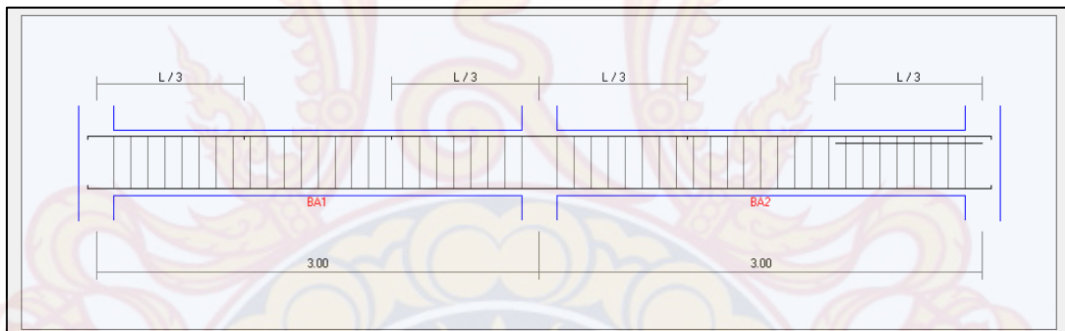
2) ส่วนของรูปตัดพื้น ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย ปริมาณเหล็กเสริมพื้น และความหนาพื้น โดยปริมาณเหล็กเสริมพื้นทางเดียวจะแสดงเหล็กเสริมในหน้าตัดเดียว คือ หน้าตัดด้านสั้น ส่วนพื้นสองทางนั้นจะแสดงใน 2 หน้าตัด คือ ด้านยาวและด้านสั้น ซึ่งสามารถเลือกได้ที่ช่องแสดงรูปด้านที่มุมขวาด้านบน ดังภาพที่ 78 สำหรับความหนา โปรแกรมจะแสดงความหนาน้อยที่สุดที่พื้นต้องการไว้ในกล่องแสดงความหนาพื้น ดังภาพที่ 78



ภาพที่ 78 การแสดงรูปตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.2 ส่วนแสดงผลการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

1) ส่วนของรูปตัดตามยาว โปรแกรมจะแสดงลักษณะ และตำแหน่งของการเสริมเหล็กของกลุ่มคาน ดังภาพที่ 79



ภาพที่ 79 การแสดงผลการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กตามยาว

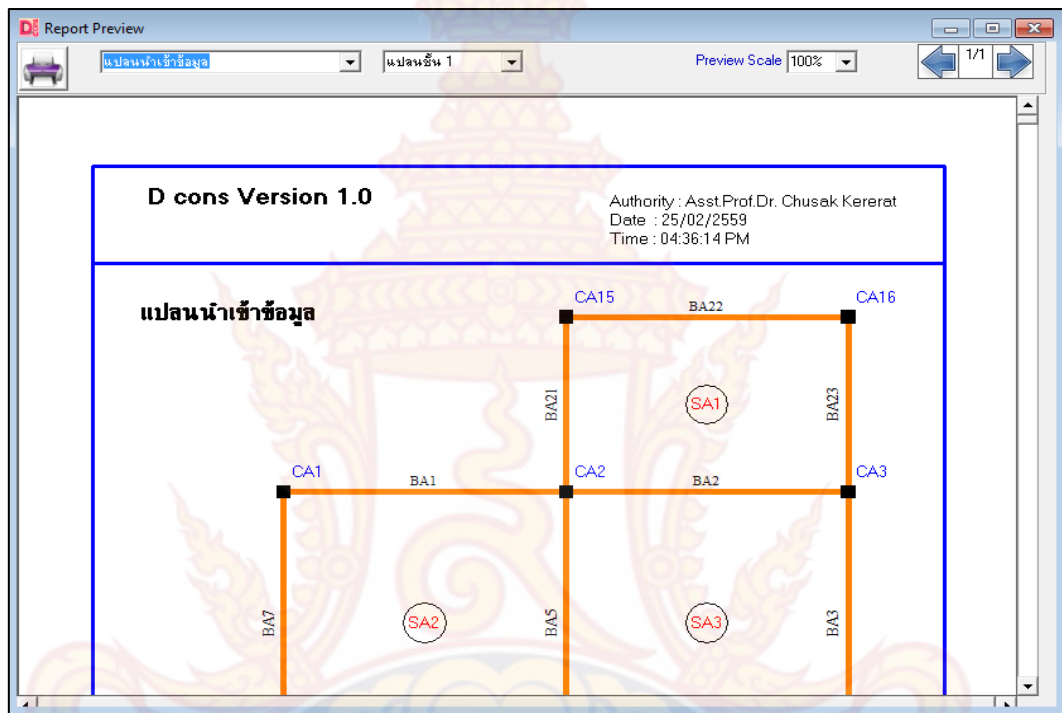
2) ส่วนของรูปตัดตามขวาง โปรแกรมจะแสดงจำนวนและขนาดของการเสริมเหล็กของคานแต่ละช่วง ซึ่งประกอบด้วย หัวเสาด้านซ้าย กลางคาน และหัวเสาด้านขวา ดังภาพที่ 80

เหล็กบนหัวเสาด้านซ้าย		เหล็กกลางช่วงคาน		เหล็กบนหัวเสาด้านขวา	
	เหล็กเสริมบน จำนวน 3 ขนาด(มม.) 12 จำนวน 0 ขนาด(มม.) 12 จำนวน 0 ขนาด(มม.) 12 เหล็กเสริมล่าง จำนวน 0 ขนาด(มม.) 12 จำนวน 0 ขนาด(มม.) 12 จำนวน 2 ขนาด(มม.) 12		เหล็กเสริมบน จำนวน 2 ขนาด(มม.) 12 จำนวน 0 ขนาด(มม.) 12 จำนวน 0 ขนาด(มม.) 12 เหล็กเสริมล่าง จำนวน 0 ขนาด(มม.) 12 จำนวน 0 ขนาด(มม.) 12 จำนวน 2 ขนาด(มม.) 12		เหล็กเสริมบน จำนวน 2 ขนาด(มม.) 12 จำนวน 2 ขนาด(มม.) 12 จำนวน 0 ขนาด(มม.) 12 เหล็กเสริมล่าง จำนวน 0 ขนาด(มม.) 12 จำนวน 0 ขนาด(มม.) 12 จำนวน 2 ขนาด(มม.) 12
โมเมนต์ที่กระทำ(กก.ม.) -1047.58	โมเมนต์ที่รับได้(กก.ม.) 1113.1086	โมเมนต์ที่กระทำ(กก.ม.) 634.48	โมเมนต์ที่รับได้(กก.ม.) 754.7369	โมเมนต์ที่กระทำ(กก.ม.) -1268.96	โมเมนต์ที่รับได้(กก.ม.) 1466.609

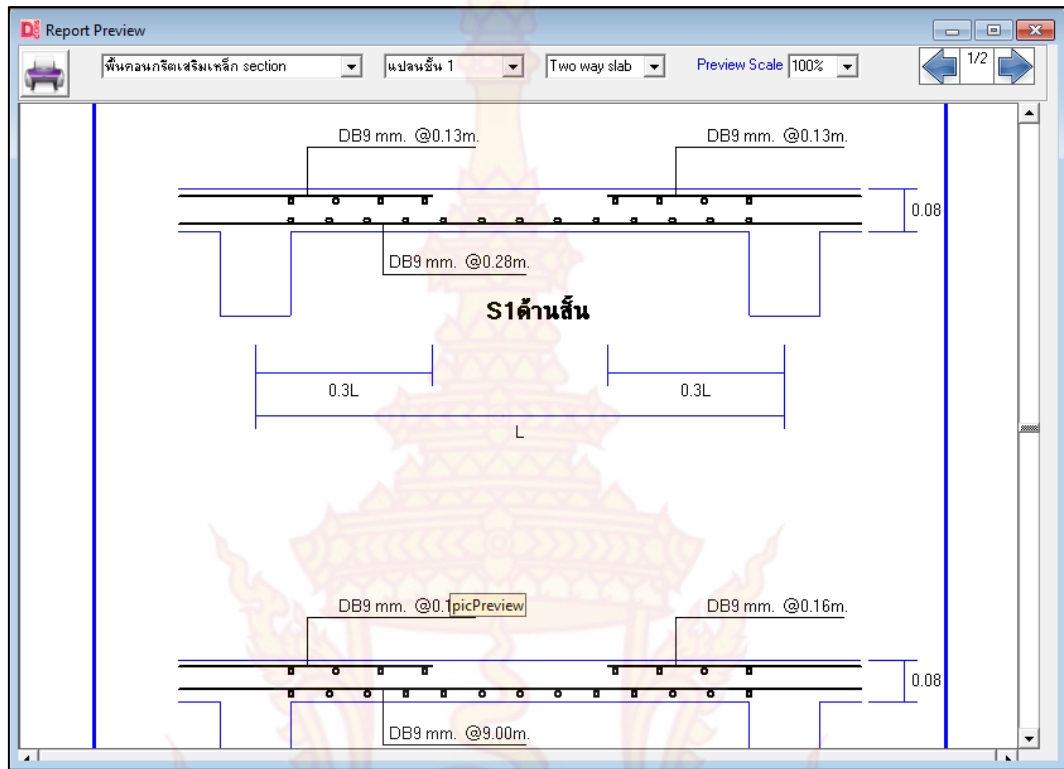
ภาพที่ 80 การแสดงผลการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กตามขวาง

3.3 ส่วนการจัดพิมพ์

เป็นส่วนการแสดงผลการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง ทางจอภาพบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 81 ถึง ภาพที่ 88 และสามารถสั่งพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ได้



ภาพที่ 81 การจัดพิมพ์แปลนบ้าน



ภาพที่ 82 การจัดพิมพ์รายละเอียดการเสริมเหล็กพื้นคสล.

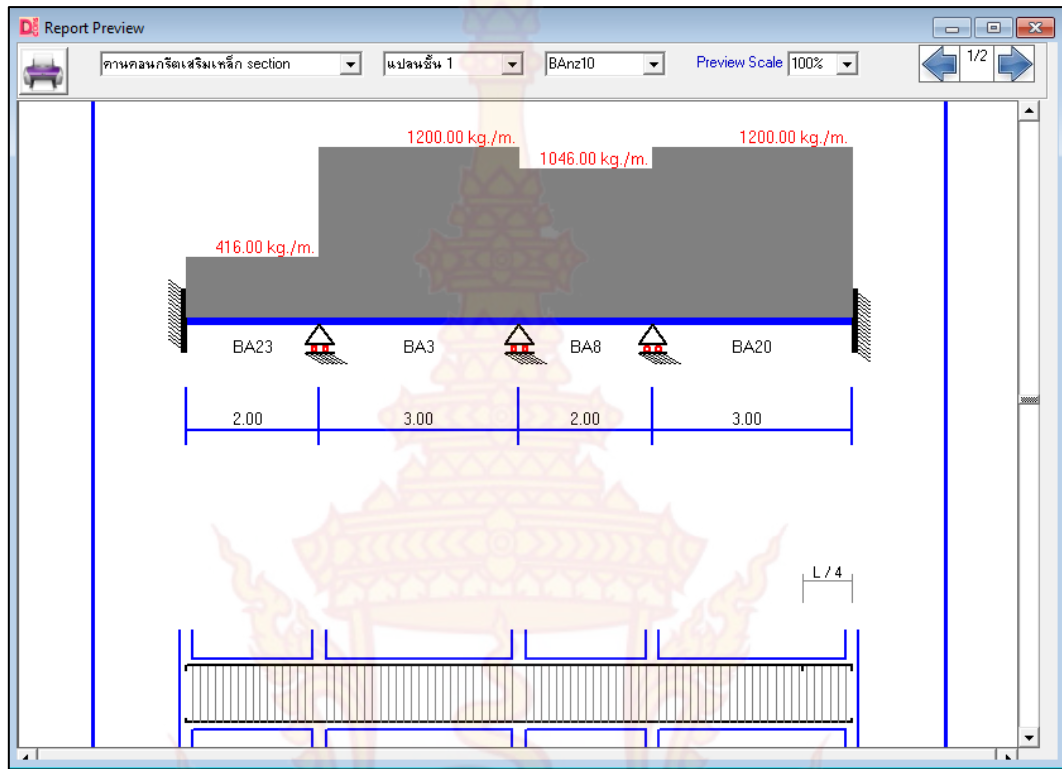
Report Preview

พื้นคสลกริดเสริมเหล็ก Data | แปลงชั้น 1 | Two way slab | Preview Scale 100%

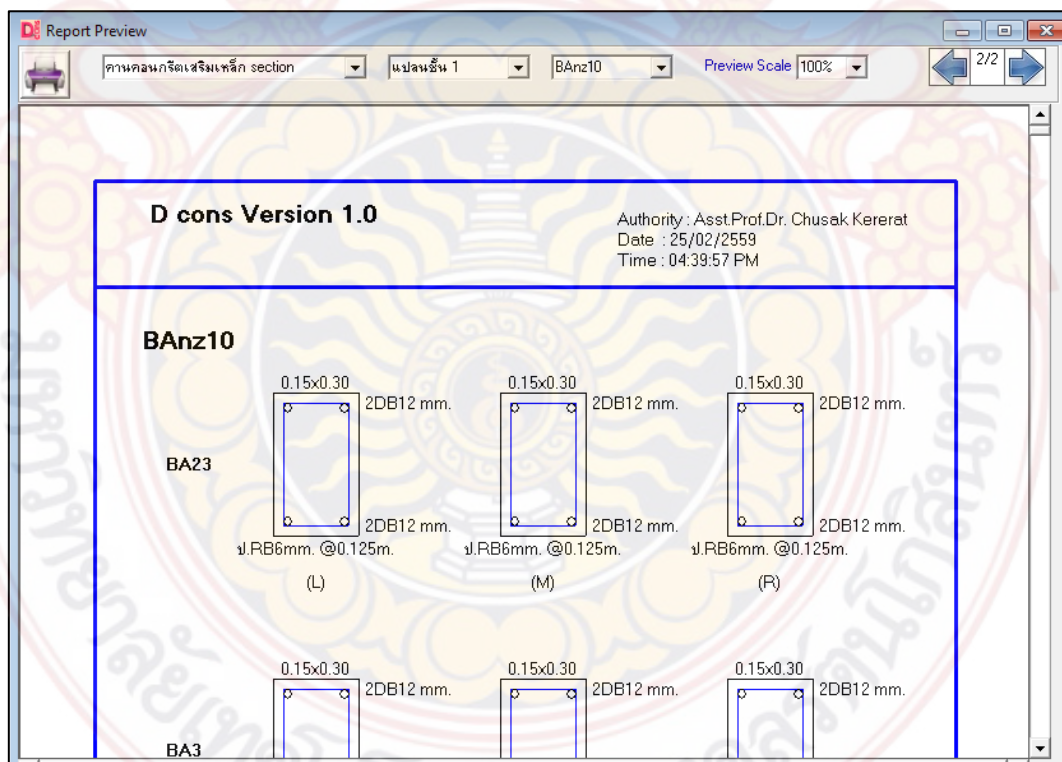
ชื่อพื้น	โมเมนต์ต่อ ด้านสั้น (กก.-ม.)	โมเมนต์บวก ด้านสั้น (กก.-ม.)	โมเมนต์ต่อ ด้านยาว (กก.-ม.)	โมเมนต์บวก ด้านยาว (กก.-ม.)	เหล็กบน ด้านสั้น (ตร.ซม./ม.)	เหล็กล่าง ด้านสั้น (ตร.ซม./ม.)	เหล็กบน ด้านยาว (ตร.ซม./ม.)	เหล็กล่าง ด้านยาว (ตร.ซม./ม.)
SA1	170.63	103.74	34.58	36.38	3.25	1.98	0.66	0.84
SA2	207.90	119.02	207.90	119.02	3.97	2.27	3.97	2.76
SA3	253.64	105.08	137.21	93.96	4.84	2.00	2.62	2.18
SA4	44.81	30.73	10.24	6.74	0.85	0.59	0.20	0.16
SA5	71.73	34.84	40.66	19.63	1.37	0.66	0.78	0.46
SA6	71.73	34.84	40.66	19.63	1.37	0.66	0.78	0.46
SA7	152.15	73.62	37.42	28.03	2.90	1.40	0.71	0.65
SA8	207.90	119.02	207.90	119.02	3.97	2.27	3.97	2.76
SA9	207.90	119.02	207.90	119.02	3.97	2.27	3.97	2.76

ชื่อคุ่มพื้น	ความหนา (ซม.)	เหล็กบน ด้านสั้น (ตร.ซม./ม.)	เหล็กล่าง ด้านสั้น (ตร.ซม./ม.)	เหล็กบน ด้านยาว (ตร.ซม./ม.)	เหล็กล่าง ด้านยาว (ตร.ซม./ม.)	d (ซม.)
S1	8.00	4.84	2.27	3.97	2.76	5.05
S2	8.00	1.37	1.40	0.78	0.84	5.05

ภาพที่ 83 การจัดพิมพ์ข้อมูลการออกแบบพื้นคสล.



ภาพที่ 84 การจัดพิมพ์รายละเอียดการเสริมเหล็กคานคสล.แนวขวาง



ภาพที่ 85 การจัดพิมพ์หน้าตัดรายละเอียดการเสริมเหล็กคานคสล.

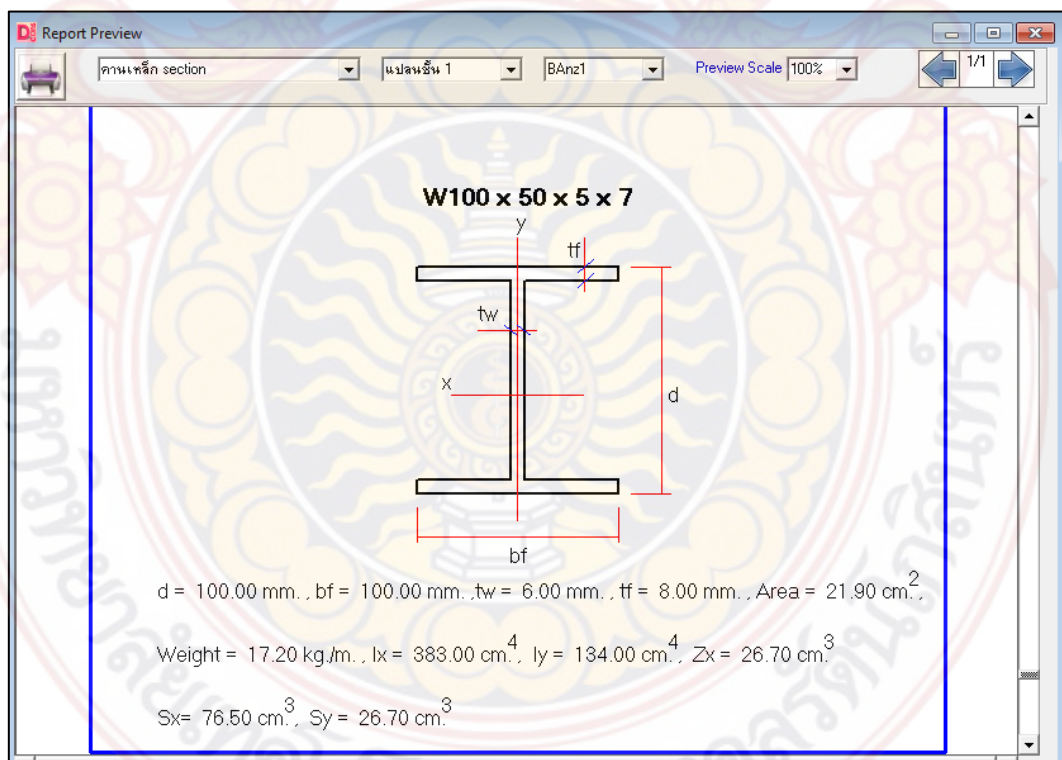
Report Preview

ภาพคณกรัดเสริมเหล็ก Data | แปลนชั้น 1 | BAnz9 | Preview Scale 100%

ชื่อคาน	ขนาด (ม.)	ยาว (ม.)	ชื่อ Load	W(กก./ม.) / P(กก.)	X1	X2
BA21	0.15 x 0.30	2.00	WdoBA21 SA1	108.00 308.00	0.00 0.00	2.00 2.00
BA5	0.15 x 0.30	3.00	Wwall1 WdoBA5 SA3 SA2	630.00 108.00 462.00 462.00	0.00 0.00 0.00 0.00	3.00 3.00 3.00 3.00
BA12	0.15 x 0.30	2.00	WdoBA12 SA7 SA6	108.00 308.00 281.53	0.00 0.00 0.00	2.00 2.00 2.00
BA18	0.15 x 0.30	3.00	Wwall2 WdoBA18 SA9 SA8	630.00 108.00 462.00 462.00	0.00 0.00 0.00 0.00	3.00 3.00 3.00 3.00

ชื่อคาน	ตำแหน่ง	แรงเฉือน (กก.)	โมเมนต์คัต (กก.-ม.)	เหล็กบน (ตร.ซม.)	เหล็กล่าง (ตร.ซม.)	d (ซม.)	d' (ซม.)
BA21	L	1073.81	299.87	0.46	1.84	26.30	3.70
	M		-149.94	1.84	0.00	26.30	3.70
	R		-1015.75	2.92	0.46	26.30	3.70
BA5	L	2554.61	-1015.75	2.92	0.68	26.30	3.70
	M		946.41	0.00	2.72	26.30	3.70

ภาพที่ 86 การจัดพิมพ์ข้อมูลการออกแบบคานคสล.



ภาพที่ 87 การจัดพิมพ์รายละเอียดหน้าตัดคานเหล็ก

Report Preview

คานเหล็ก Data | แปลนชั้น 1 | BAnz3 | Preview Scale 100%

BAnz3
ออกแบบคานเหล็ก เหล็ก SS 400 $f_y = 2396$ กก./ตร.ซม. $E = 2100000$ กก./ตร.ซม.

ชื่อคาน	หน้าตัด	ยาว (ม.)	ชื่อ Load	W(กก./ม.) / P(กก.)	X1	X2
BA13	W125 x 125 x 6.5 x 9	1.00	Wwall2	630.00	0.00	1.00
			WdoBA13	23.80	0.00	1.00
			SA4	154.00	0.00	1.00
BA6	W125 x 125 x 6.5 x 9	3.00	SA5	231.00	0.00	1.50
			Wwall4	630.00	0.00	3.00
			WdoBA6	23.80	0.00	3.00
			SA2	462.00	0.00	3.00
			BA24	1206.26	1.50	1.50
			SA6	231.00	1.50	3.00
BA4	W125 x 125 x 6.5 x 9	3.00	WdoBA4	23.80	0.00	3.00
			SA3	462.00	0.00	3.00
			SA7	393.56	0.00	3.00

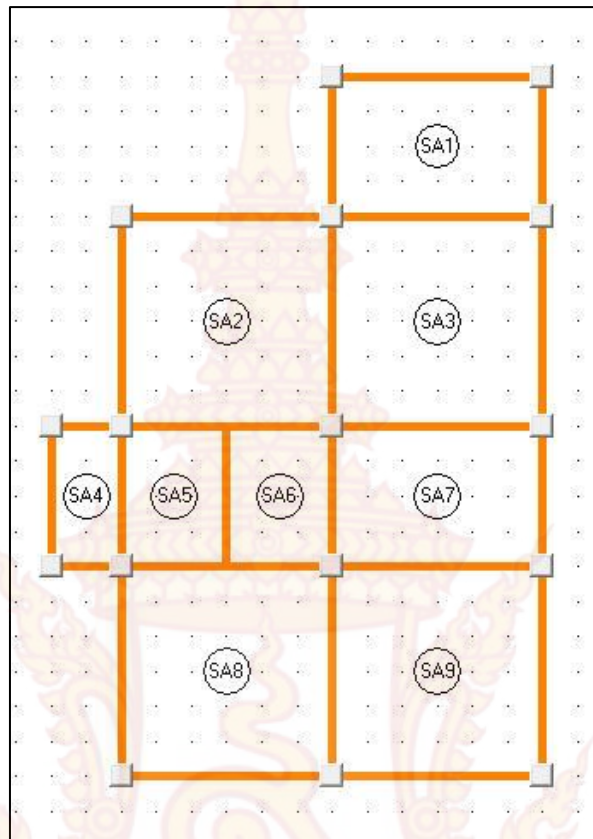
ชื่อคาน	หน้าตัด	แรงเฉือนกระทำ (กก.)	โมเมนต์คัตกระทำ (กก.-ม.)	แรงเฉือนออกแบบ (กก.)	โมเมนต์คัตออกแบบ (กก.)	Lc (ม.)	Cb'
BA13	W125 x 125 x 6.5 x 9	2257.17	1302.83	7787.00	2150.65	1.31	1.00

ภาพที่ 88 การจัดพิมพ์ข้อมูลการออกแบบคานเหล็ก

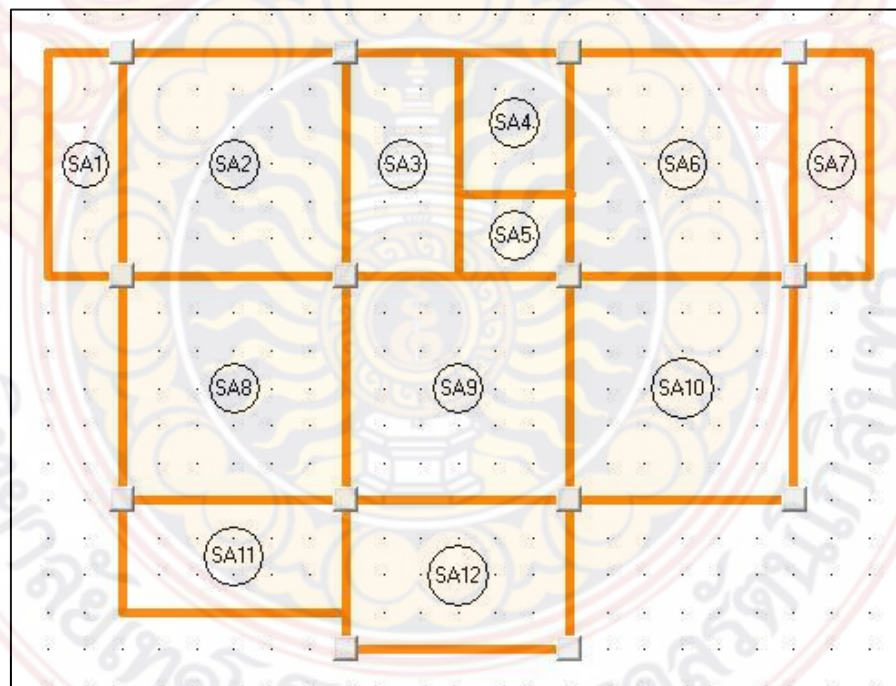
4. การเปรียบเทียบผลการคำนวณของโปรแกรม

4.1 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในการเปรียบเทียบผลการคำนวณได้นำเอาปริมาณความต้องการเหล็กเสริมที่คำนวณได้ของพื้นที่แต่ละพื้นที่ในแปลนบ้าน มาเปรียบเทียบกันระหว่างการคำนวณด้วยมือ การคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 และการคำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ว่ามีความใกล้เคียงกันเพียงใด สำหรับแปลนบ้านที่ได้ยกตัวอย่างในการคำนวณนั้นมี 2 ตัวอย่างด้วยกัน ดังภาพที่ 89 และ ภาพที่ 90 โดยวิธีการวิเคราะห์และออกแบบพื้นสองทางนั้นสำหรับการคำนวณด้วยมือและการคำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะใช้วิธีที่ 3 (ว.ส.ท. 9103) ส่วนการคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 จะใช้วิธีที่ 2 (ว.ส.ท. 9102) ซึ่งมีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้ น้ำหนักบรรทุกจร = 150 กก./ตร.ม. , น้ำหนักวัสดุคงที่แตงผิวพื้น = 120 กก./ตร.ม. , ระยะหุ้มคอนกรีต 2.5 ซม. , กำลังอัดของคอนกรีต $f'_c = 180$ กก./ตร.ซม.



ภาพที่ 89 แปลนบ้านที่ 1 สำหรับใช้ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก



ภาพที่ 90 แปลนบ้านที่ 2 สำหรับใช้ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของพื้นสองทางสำหรับแปลนบ้านที่ 1

หมายเลข พื้น	ความ กว้าง (ม.)	ความ ยาว (ม.)	ความ หนา (ซม.)	พื้นที่เหล็กเสริมต่อความยาว 1 เมตร											
				เหล็กกลางด้านสั้น			เหล็กบนด้านสั้น			เหล็กกลางด้านยาว			เหล็กบนด้านยาว		
				(ตร.ซม.)			(ตร.ซม.)			(ตร.ซม.)			(ตร.ซม.)		
				ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
SA1	2.00	3.00	8	1.98	1.96	2.19	3.25	3.23	2.89	0.84	0.85	1.89	0.66	0.66	1.02
SA2	3.00	3.00	8	2.27	2.27	3.57	3.97	3.97	3.89	2.76	2.76	3.57	3.97	3.97	3.89
SA3	3.00	3.00	8	2.00	2.00	2.99	4.84	4.86	3.25	2.18	2.18	2.99	2.62	2.62	3.25
SA4	1.00	2.00	8	0.59	0.59	0.65	0.85	0.85	0.86	0.16	0.16	0.47	0.20	0.20	0.26
SA5	1.50	2.00	8	0.66	0.66	0.81	1.37	1.37	1.09	0.46	0.46	0.60	0.78	0.78	0.65
SA6	1.50	2.00	8	0.66	0.66	0.81	1.37	1.37	1.09	0.46	0.46	0.60	0.78	0.78	0.65
SA7	2.00	3.00	8	1.40	1.39	1.66	2.90	2.89	2.19	0.65	0.66	1.33	0.71	0.71	1.45
SA8	3.00	3.00	8	2.27	2.27	3.57	3.97	3.97	3.89	2.76	2.76	3.57	3.97	3.97	3.89
SA9	3.00	3.00	8	2.27	2.27	3.57	3.97	3.97	3.89	2.76	2.76	3.57	3.97	3.97	3.89

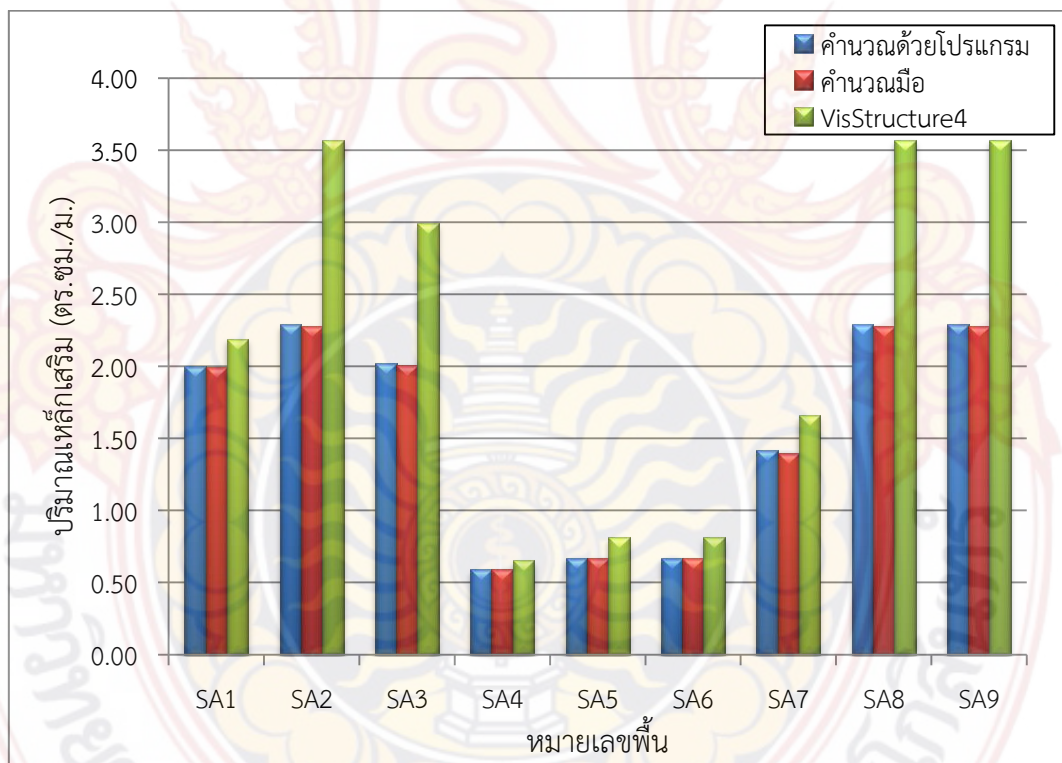
หมายเหตุ ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของพื้นสองทางสำหรับแปลนบ้านที่ 2

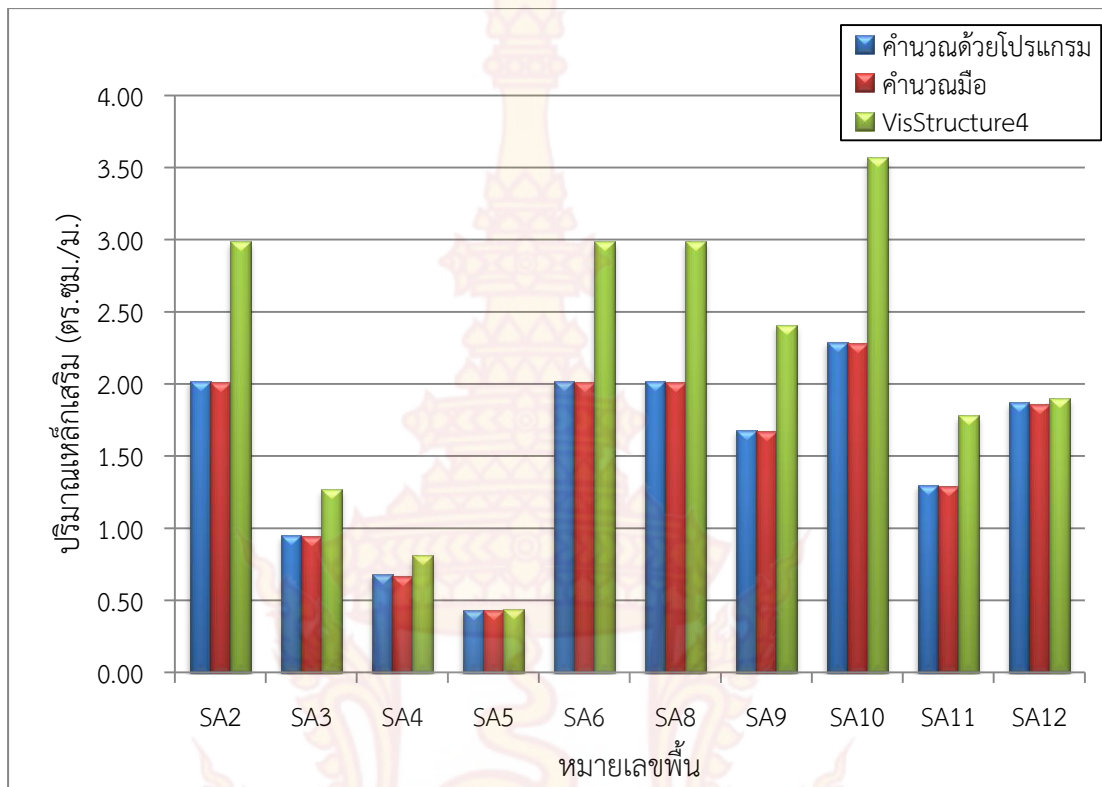
หมายเลข พื้น	ความ กว้าง (ม.)	ความ ยาว (ม.)	ความ หนา (ซม.)	พื้นที่เหล็กเสริมต่อความยาว 1 เมตร											
				เหล็กกล้าด้านสั้น			เหล็กบนด้านสั้น			เหล็กกล้าด้านยาว			เหล็กบนด้านยาว		
				(ตร.ซม.)			(ตร.ซม.)			(ตร.ซม.)			(ตร.ซม.)		
				ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
SA2	3	3	8	2.00	2.00	2.99	4.84	4.85	3.25	2.18	2.18	2.99	2.62	2.62	3.25
SA3	1.5	3	8	0.94	0.94	1.27	1.74	1.74	1.69	0.26	0.26	0.75	0.24	0.24	0.81
SA4	1.5	1.9	8	0.67	0.66	0.81	1.50	1.53	1.09	0.45	0.44	0.75	0.52	0.51	0.81
SA5	1.1	1.5	8	0.37	0.37	0.44	0.75	0.76	0.59	0.24	0.26	0.32	0.40	0.40	0.35
SA6	3	3	8	2.00	2.00	2.99	4.84	4.86	3.25	2.18	2.18	2.99	2.62	2.62	3.25
SA8	3	3	8	2.00	2.00	2.99	4.84	4.86	3.25	2.18	2.18	2.99	2.62	2.62	3.25
SA9	3	3	8	1.66	1.66	2.41	3.57	3.57	2.62	2.02	2.02	2.41	3.57	3.57	2.62
SA10	3	3	8	2.27	2.27	3.57	3.97	3.97	3.89	2.76	2.76	3.57	3.97	3.97	3.89
SA11	1.5	3	8	1.29	1.29	1.78	1.86	1.86	1.35	0.42	0.42	0.89	0.48	0.48	0.97
SA12	2	3	8	1.85	1.83	1.90	2.95	2.93	2.50	1.02	1.02	1.59	1.30	1.35	1.73

หมายเหตุ ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 9 และตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณความต้องการเหล็กเสริมของพื้นสองทางในแปลนบ้านที่ 1 และแปลนบ้านที่ 2 โดยจะยึดความหนาพื้นเท่ากัน พบว่าผลการออกแบบปริมาณเหล็กเสริมพื้นด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับผลการออกแบบปริมาณเหล็กเสริมพื้นที่คำนวณด้วยมือ ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม VisStructure4 นั้นจะมีความต่างกัน โดยปริมาณเหล็กเสริมด้านล่างรับโมเมนต์บวกโปรแกรม VisStructure4 จะมีค่ามากกว่า ส่วนปริมาณเหล็กเสริมด้านบนรับโมเมนต์ลบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะมีค่ามากกว่า ซึ่งเหตุผลที่เกิดความต่างขี้นั้นเกิดมาจากการใช้วิธีการออกแบบที่ต่างกัน โดยโปรแกรม VisStructure4 ใช้วิธีที่สองของ ว.ส.ท. ส่วนโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใช้วิธีที่สามของ ว.ส.ท. กล่าวคือ สัมประสิทธิ์โมเมนต์ของการออกแบบพื้นวิธีที่สอง กับการออกแบบพื้นวิธีที่สามมีความแตกต่างกันในแต่ ละกรณี โดยกรณีคิดค่าสัมประสิทธิ์แบ่งมาจากลักษณะการต่อเนื่องของพื้น และอัตราส่วนด้านสั้นกับ ด้านยาว ซึ่งการออกแบบพื้นวิธีที่สามจะมีการแบ่งกรณีคิดสัมประสิทธิ์ที่ละเอียดมากกว่า และเมื่อ เทียบปริมาณเหล็กเสริมแล้วโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นมีความประหยัดกว่า



ภาพที่ 91 กราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมล่างด้านสั้นของแปลนบ้านที่ 1

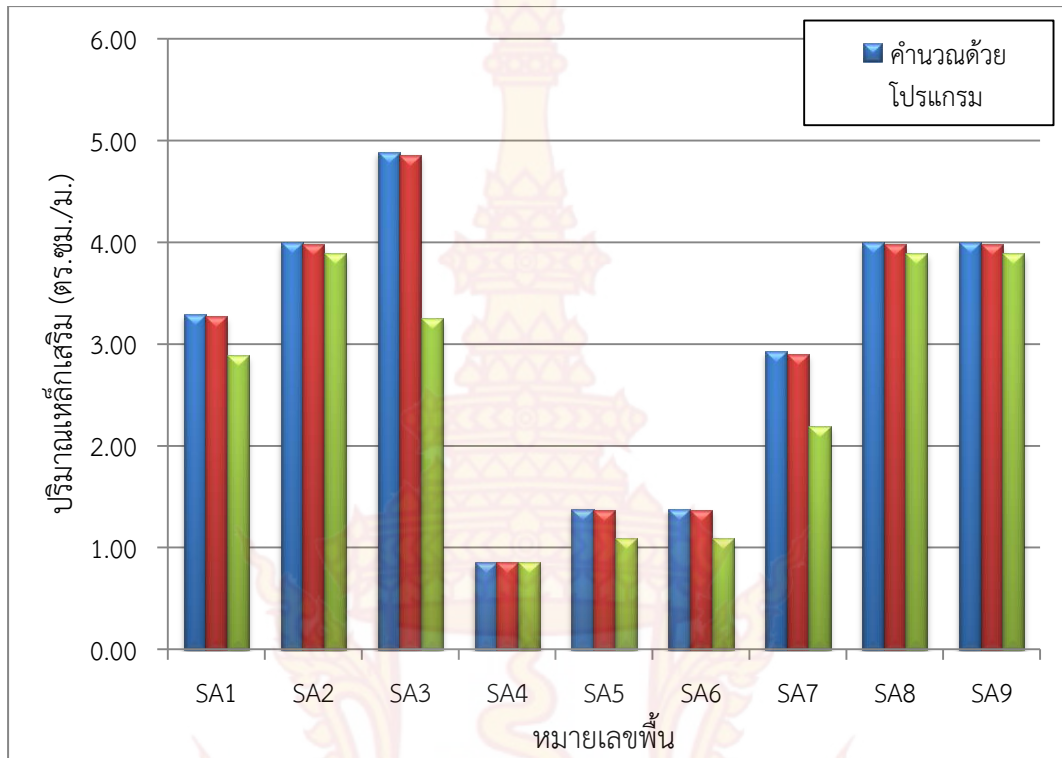


ภาพที่ 92 กราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมทางด้านสั้นของแปลนบ้านที่ 2

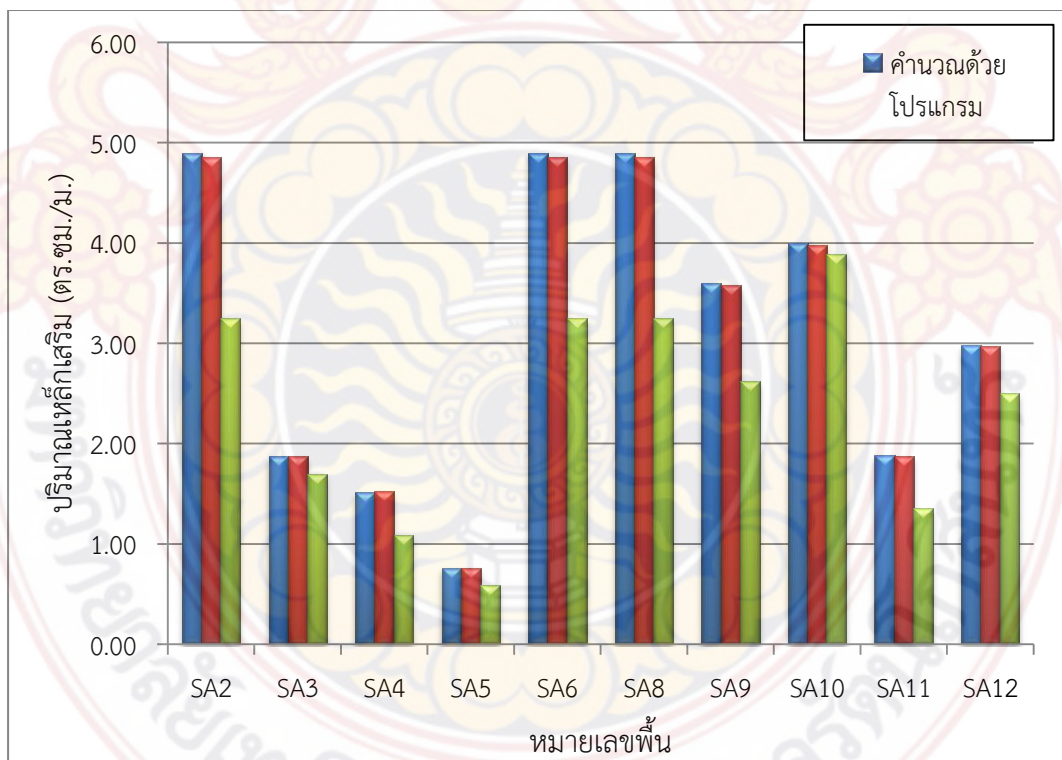
ภาพที่ 91 และภาพที่ 92 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมทางด้านสั้น พบว่าการเปรียบเทียบกับคำนวณด้วยมือนั้นไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนการเปรียบเทียบกับโปรแกรม VisStructure4 นั้นมีค่าแตกต่างกัน โดยโปรแกรม VisStructure4 มีค่ามากกว่า ซึ่งเกิดจากสัมประสิทธิ์โมเมนต์บวกของการออกแบบพื้นวิธีที่สอง มีค่ามากกว่าการออกแบบพื้นวิธีที่สาม โดยปริมาณเหล็กเสริมแต่ละพื้นจะมีความแตกต่างที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดจากสาเหตุดังนี้

1) กรณีการคิดสัมประสิทธิ์โมเมนต์พื้นที่แบ่งจากอัตราส่วนด้านสั้นกับด้านยาวพื้นแตกต่างกัน โดยยิ่งขนาดความแตกต่างของส่วนด้านสั้นกับด้านยาวพื้นเพิ่มขึ้น ช่วงระยะห่างสัมประสิทธิ์โมเมนต์พื้นที่ของการออกแบบวิธีที่สอง และวิธีที่สามก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

2) กรณีการคิดสัมประสิทธิ์โมเมนต์พื้นที่แบ่งจากลักษณะการต่อเนื่องของพื้น ซึ่งการออกแบบวิธีที่สาม แบ่งกรณีไว้ละเอียดมากกว่า



ภาพที่ 93 กราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณหลักเสริมบนด้านสั้นของแปลงบ้านที่ 1

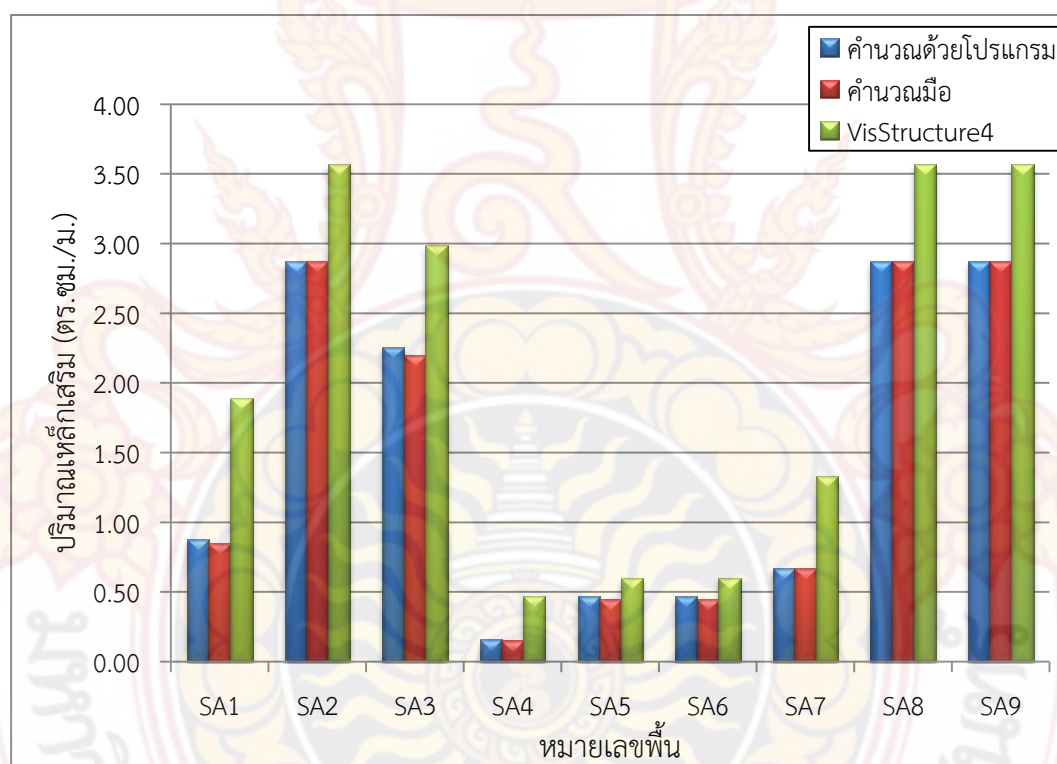


ภาพที่ 94 กราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณหลักเสริมบนด้านสั้นของแปลงบ้านที่ 2

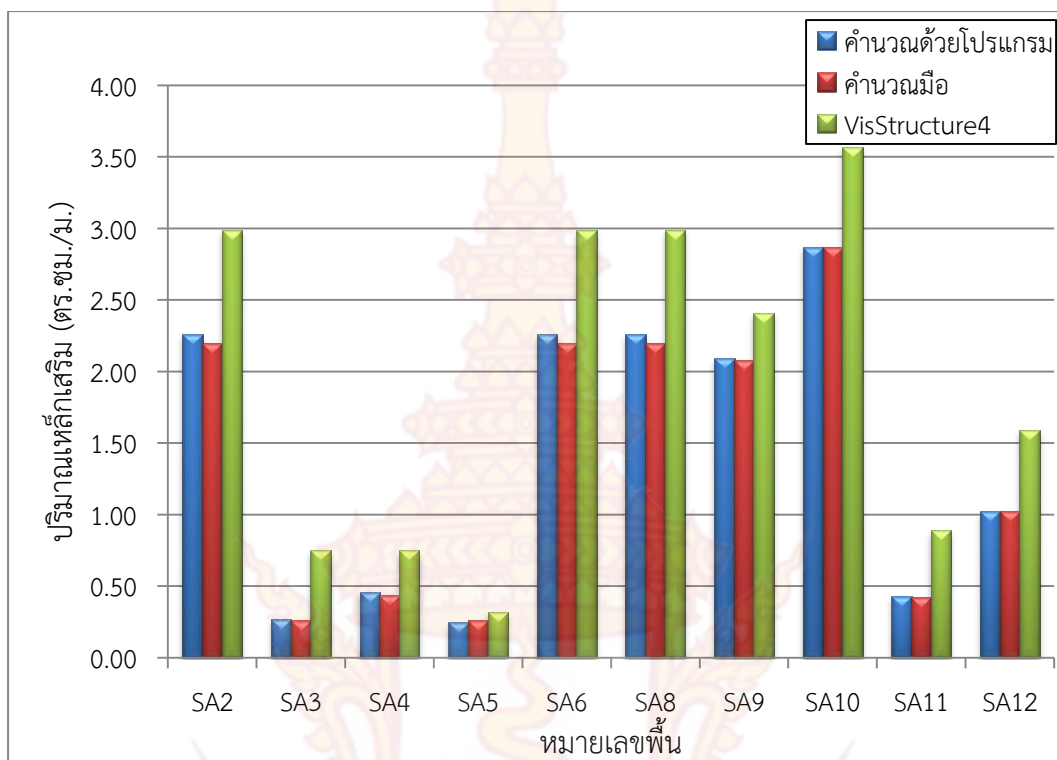
ภาพที่ 93 และภาพที่ 94 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมบนด้านสั้น พบว่าการเปรียบเทียบกับค่าคำนวณด้วยมือนั้นไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนการเปรียบเทียบกับโปรแกรม VisStructure4 นั้นมีค่าแตกต่างกัน โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น มีค่ามากกว่า ซึ่งเกิดจากสัมประสิทธิ์โมเมนต์ลบของการออกแบบพื้นที่สอง มีค่าน้อยกว่าการออกแบบพื้นที่สาม โดยปริมาณเหล็กเสริมแต่ละพื้นที่จะมีความแตกต่างที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดจากสาเหตุดังนี้

1) กรณีการคิดสัมประสิทธิ์โมเมนต์พื้นที่แบ่งจากอัตราส่วนด้านสั้นกับด้านยาวพื้นที่แตกต่างกัน โดยยิ่งขนาดความแตกต่างของส่วนด้านสั้นกับด้านยาวพื้นที่เพิ่มขึ้น ช่วงระยะห่างสัมประสิทธิ์โมเมนต์พื้นที่ของการออกแบบวิธีที่สอง และวิธีที่สามก็จะลดน้อยลง

2) กรณีการคิดสัมประสิทธิ์โมเมนต์พื้นที่แบ่งจากลักษณะการต่อเนื่องของพื้นที่ ซึ่งการออกแบบวิธีที่สาม แบ่งกรณีไว้ละเอียดมากกว่า



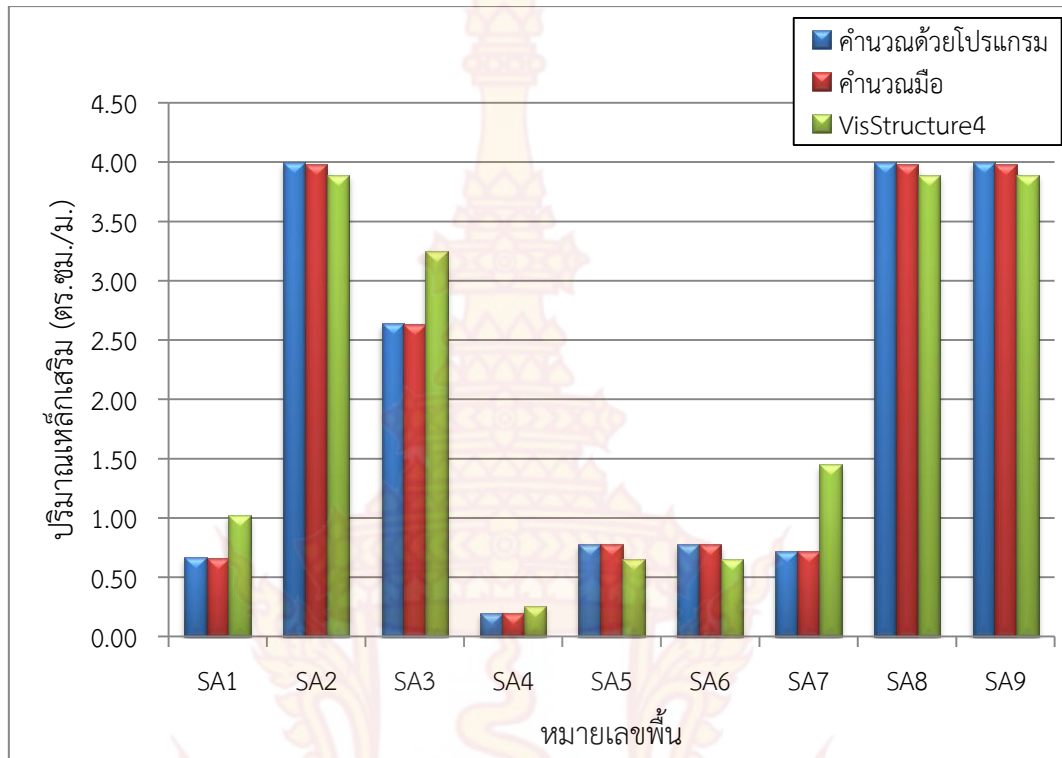
ภาพที่ 95 กราฟแห่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมล่างด้านยาวของแปลนบ้านที่ 1



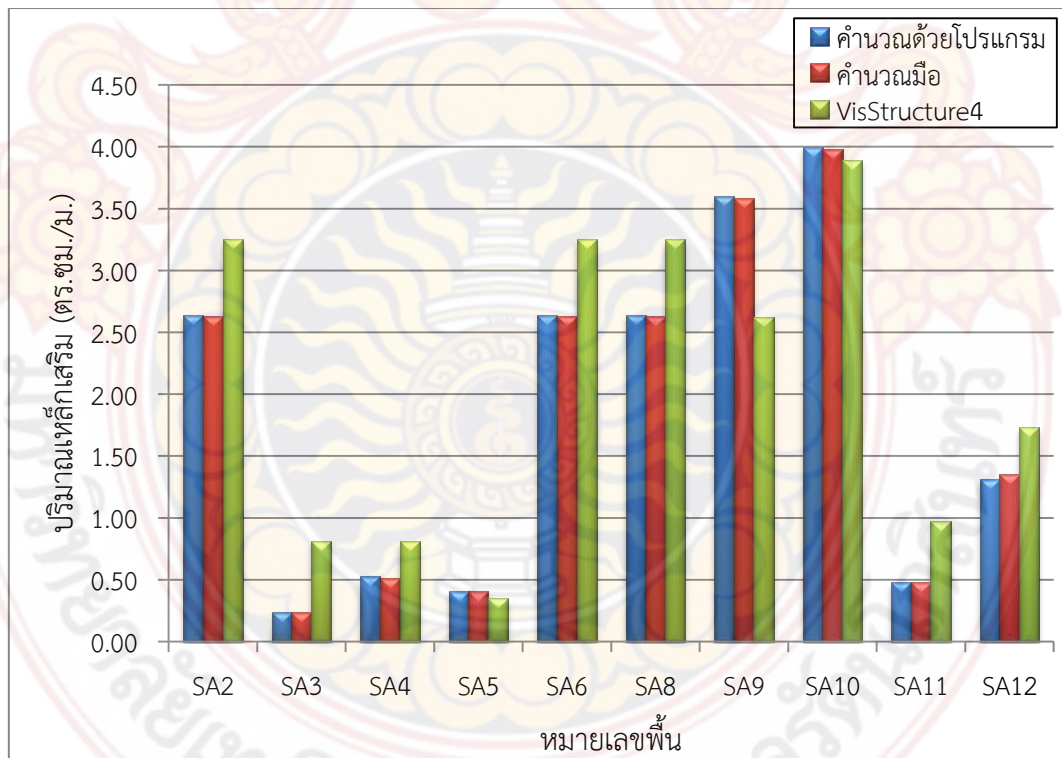
ภาพที่ 96 กราฟแห่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมล่างด้านยาวของแปลนบ้านที่ 2

ภาพที่ 95 และภาพที่ 96 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมล่างด้านยาว พบว่าการเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือนั้นไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนการเปรียบเทียบกับโปรแกรม VisStructure4 นั้นมีค่าแตกต่างกัน โดยโปรแกรม VisStructure4 มีค่ามากกว่า ซึ่งเกิดจากสัมประสิทธิ์โมเมนต์บวกของการออกแบบพื้นวิธีที่สอง มีค่ามากกว่าการออกแบบพื้นวิธีที่สาม โดยปริมาณเหล็กเสริมแต่ละพื้นจะมีความแตกต่างที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดจากสาเหตุดังนี้

- 1) กรณีการคิดสัมประสิทธิ์โมเมนต์พื้นที่แบ่งจากอัตราส่วนด้านสั้นกับด้านยาวพื้นแตกต่างกัน โดยยิ่งขนาดความแตกต่างของส่วนด้านสั้นกับด้านยาวพื้นเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของสัมประสิทธิ์โมเมนต์พื้นที่ของการออกแบบวิธีที่สอง และวิธีที่สามก็จะเพิ่มขึ้นด้วย
- 2) กรณีการคิดสัมประสิทธิ์โมเมนต์พื้นที่แบ่งจากลักษณะการต่อเนื่องของพื้น ซึ่งการออกแบบวิธีที่สาม แบ่งกรณีไว้ละเอียดมากกว่า



ภาพที่ 97 กราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมบนด้านยาวของแปลนบ้านที่ 1



ภาพที่ 98 กราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมบนด้านยาวของแปลนบ้านที่ 2

ภาพที่ 97 และภาพที่ 98 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมบนด้านยาว พบว่าการเปรียบเทียบกับค่าคำนวณด้วยมือนั้นไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนการเปรียบเทียบกับโปรแกรม VisStructure4 นั้นมีค่าแตกต่างกัน โดยในพื้นที่ที่มีขนาดด้านสั้นกับด้านยาวต่างกันมากโปรแกรม VisStructure4 มีค่ามากกว่า และในพื้นที่ที่มีขนาดด้านสั้นกับด้านยาวใกล้เคียงกัน ยกเว้นพื้นที่ต่อเนื่องสามด้านและมีด้านสั้นเป็นไม่ต่อเนื่อง โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะมีค่ามากกว่า ซึ่งเกิดจากสัมประสิทธิ์โมเมนต์ลบของการออกแบบพื้นวิธีที่สองกับออกแบบพื้นวิธีที่สาม มีความแตกต่างกัน โดยปริมาณเหล็กเสริมแต่ละพื้นจะมีความแตกต่างที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดจากสาเหตุดังนี้

1) กรณีการคิดสัมประสิทธิ์โมเมนต์พื้นที่แบ่งจากอัตราส่วนด้านสั้นกับด้านยาวพื้นแตกต่างกัน โดยยิ่งขนาดด้านสั้นกับด้านยาวมีความแตกต่างกันมากขึ้น ความแตกต่างของสัมประสิทธิ์โมเมนต์พื้นที่ของการออกแบบวิธีที่สองจะมีค่ามากกว่า แต่ถ้าขนาดด้านสั้นกับด้านยาวมีขนาดใกล้เคียงกันยกเว้นพื้นที่ต่อเนื่องสามด้านและมีด้านสั้นเป็นไม่ต่อเนื่อง ความแตกต่างของสัมประสิทธิ์โมเมนต์พื้นที่ของการออกแบบวิธีที่สามจะมีค่ามากกว่า

2) กรณีการคิดสัมประสิทธิ์โมเมนต์พื้นที่แบ่งจากลักษณะการต่อเนื่องของพื้น ซึ่งการออกแบบวิธีที่สาม แบ่งกรณีไว้ละเอียดมากกว่า

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณของพื้นที่ทางเดียวในแปลนบ้านที่ 2 โดยได้นำเอาโมเมนต์ดัดขอบซ้าย โมเมนต์ดัดกลางช่วง และโมเมนต์ดัดขอบขวา มาเปรียบเทียบกับพบว่าผลการคำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับผลการคำนวณด้วยมือ ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนผลการคำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับผลคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 มีความแตกต่างกันเล็กน้อยซึ่งสาเหตุเกิดมาจากการปัดเศษทศนิยม

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของพื้นที่ทางเดียวสำหรับแปลนบ้านที่ 2

หมายเลข พื้นที่	ความ กว้าง (ม.)	ความ ยาว (ม.)	ความ หนา (ซม.)	โมเมนต์ตัดต่อความยาว 1 เมตร								
				โมเมนต์ตัดขอบซ้าย (กก.-ม.)			โมเมนต์ตัดกลางช่วง (กก.-ม.)			โมเมนต์ตัดขอบขวา (กก.-ม.)		
				ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
SA1	1	3	8	19.25	19.25	19.00	33.00	33.00	33.00	46.20	46.20	46.00
SA7	1	3	8	46.20	46.20	46.00	33.00	33.00	33.00	19.25	19.25	19.00

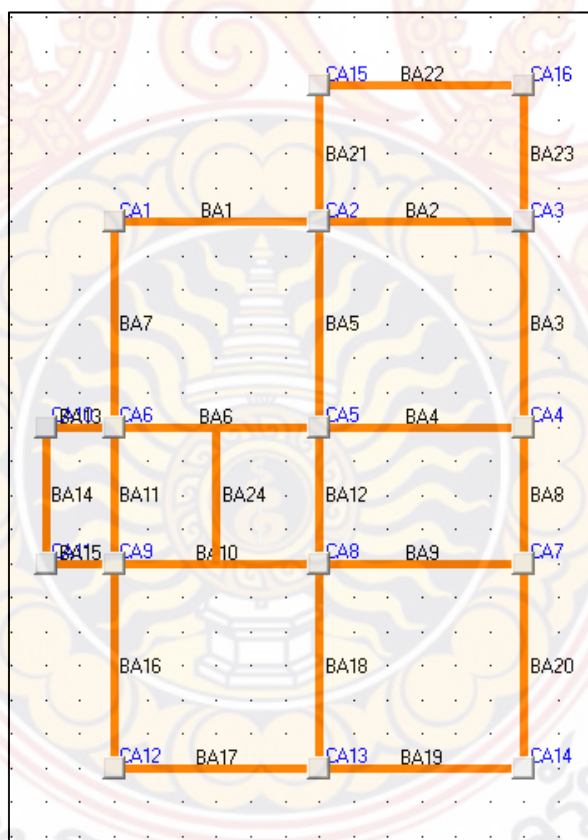
หมายเหตุ ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

4.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

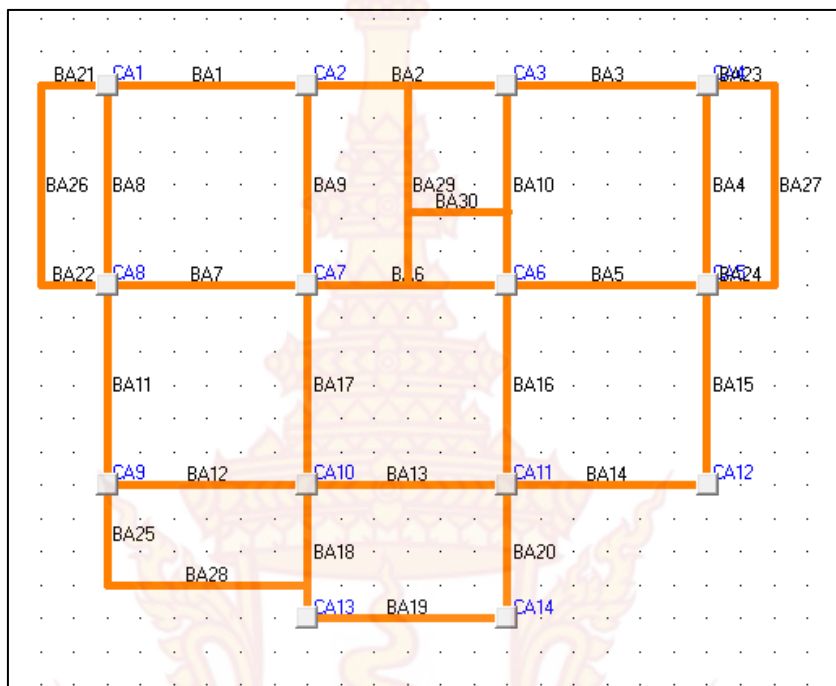
สำหรับคานที่ยกตัวอย่างในการคำนวณนั้นนำมาจากแปลนบ้านที่ 1 และแปลนบ้านที่ 2 ดังภาพที่ 99 และภาพที่ 100 ถูกใช้ในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้ น้ำหนักบรรทุกจร = 150 กก./ตร.ม. , น้ำหนักวัสดุตกแต่งผิวพื้น = 120 กก./ตร.ม. , ระยะหุ้มคอนกรีต 2.5 ซม. , กำลังอัดของคอนกรีต $f_c' = 180$ กก./ตร.ซม.

ส่วนการวิเคราะห์คานคอนกรีตเสริมเหล็กได้นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบด้วยแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ และแรงภายในชิ้นส่วนคานมาเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยโปรแกรม SUTStructor ดังตารางที่ 12 และตารางที่ 13

ส่วนการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้นำค่าที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นตามมาตรฐาน (ว.ส.ท. 1007-34) ซึ่งประกอบด้วยค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด แรงเฉือนสูงสุด ปริมาณเหล็กเสริมคานมาเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 และการคำนวณด้วยมือ



ภาพที่ 99 แปลนบ้านที่ 1 สำหรับการคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็ก



ภาพที่ 100 แปลนบ้านที่ 2 สำหรับการคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 1

หมายเลข	แรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับ (กก.)				โมเมนต์ที่ฐานรองรับ (กก.-ม.)			
	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor		โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor	
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา
Banz 1								
BA22	751.32	751.32	751.32	751.32	376.16	376.16	376.16	376.16
Banz 2								
BA1	1726.21	4190.33	1726.21	4190.33	826.21	0.00	826.21	0.00
BA2	4190.33	2462.13	4190.33	2464.12	0.00	-1268.95	0.00	-1268.95

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่าง
จากแปลนบ้านที่ 1 (ต่อ)

หมายเลข คาน	แรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับ (กก.)				โมเมนต์ที่ฐานรองรับ (กก.-ม.)			
	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor		โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor	
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา
Banz 3								
BA13	-1524.05	5258.53	-1524.05	5258.53	-582.35	0.00	-582.35	0.00
BA6	5258.53	4461.25	5258.53	4461.25	0.00	0.00	0.00	0.00
BA4	4461.25	1180.98	4461.25	1180.98	0.00	-458.33	0.00	-458.33
Banz 4								
BA15	-1524.05	5258.53	-1524.05	5258.53	-582.35	0.00	-582.35	0.00
BA10	5258.53	4461.25	5258.53	4461.25	0.00	0.00	0.00	0.00
BA9	4461.25	1180.98	4461.25	1180.98	0.00	-458.33	0.00	-458.33
Banz 5								
BA17	1918.13	2655.00	1918.13	2655.00	1018.12	0.00	1018.13	0.00
BA19	2655.00	736.88	2655.00	736.88	0.00	-309.38	0.00	-309.38
Banz 6								
BA14	949.76	949.76	949.75	949.75	316.58	-316.58	316.58	-316.58
Banz 7								
BA7	1939.88	2891.40	1939.88	2891.40	1039.88	0.00	1039.88	0.00
BA11	2891.40	2891.40	2891.40	2891.40	0.00	0.00	0.00	0.00
BA16	2891.40	1939.88	2891.40	1939.88	0.00	-	0.00	-
						1039.88		1039.88

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่าง
จากแปลนบ้านที่ 1 (ต่อ)

หมายเลข คาน	แรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับ (กก.)				โมเมนต์ที่ฐานรองรับ (กก.-ม.)			
	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor		โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor	
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา
Banz 8								
BA24	1301.00	1301.00	1301.00	1301.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Banz 9								
BA21	-241.81	3628.42	-241.81	3628.42	-299.87	0.00	-299.87	0.00
BA5	3628.42	3230.13	3628.42	3230.13	0.00	0.00	0.00	0.00
BA12	3230.13	2780.34	3230.13	2780.34	0.00	0.00	0.00	0.00
BA18	2780.34	2801.99	2780.34	2801.99	0.00	-1555.49	0.00	-1555.49
Banz 10								
BA23	-16.50	2656.50	-16.50	2656.50	-149.66	0.00	-149.66	0.00
BA3	2656.50	2904.99	2656.50	2904.99	0.00	0.00	0.00	0.00
BA8	2904.99	2609.26	2904.99	2609.26	0.00	0.00	0.00	0.00
BA20	2609.26	1970.20	2609.26	1970.20	0.00	-1070.20	0.00	-1070.20

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่าง
จากแปลนบ้านที่ 2

หมายเลข คาน	แรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับ (กก.)				โมเมนต์ที่ฐานรองรับ (กก.-ม.)			
	โปรแกรมที่ พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor		โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor	
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา
Banz 1								
BA21	0.00	4242.09	0.00	44242.09	0.00	0.00	0.00	0.00
BA1	4242.09	4023.33	4242.09	4023.33	0.00	0.00	0.00	0.00
BA2	4023.33	4023.33	4023.33	4023.33	0.00	0.00	0.00	0.00
BA3	4023.33	4242.09	4023.33	4242.09	0.00	0.00	0.00	0.00
BA23	4242.09	0.00	4242.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Banz 2								
BA30	883.16	883.16	883.16	883.16	0.00	0.00	0.00	0.00
Banz 3								
BA22	0.00	4897.84	0.00	4897.84	0.00	0.00	0.00	0.00
BA7	4897.84	4549.81	4897.84	4549.81	0.00	0.00	0.00	0.00
BA6	4549.81	4389.11	4549.81	4389.11	0.00	0.00	0.00	0.00
BA5	4389.11	4903.79	4389.11	4903.79	0.00	0.00	0.00	0.00
BA24	4903.79	0.00	4903.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Banz 4								
BA12	1170.57	3835.79	1170.57	3835.79	504.85	0.00	504.85	0.00
BA13	3835.79	4351.21	3835.79	4351.21	0.00	0.00	0.00	0.00
BA14	4351.21	1685.99	4351.21	1685.99	0.00	-785.99	0.00	-785.99
Banz 5								
BA28	638.32	638.32	638.32	638.32	0.00	0.00	0.00	0.00
Banz 6								
BA19	752.34	752.34	752.34	752.34	376.17	-376.17	376.17	-376.17

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่าง
จากแปลนบ้านที่ 2 (ต่อ)

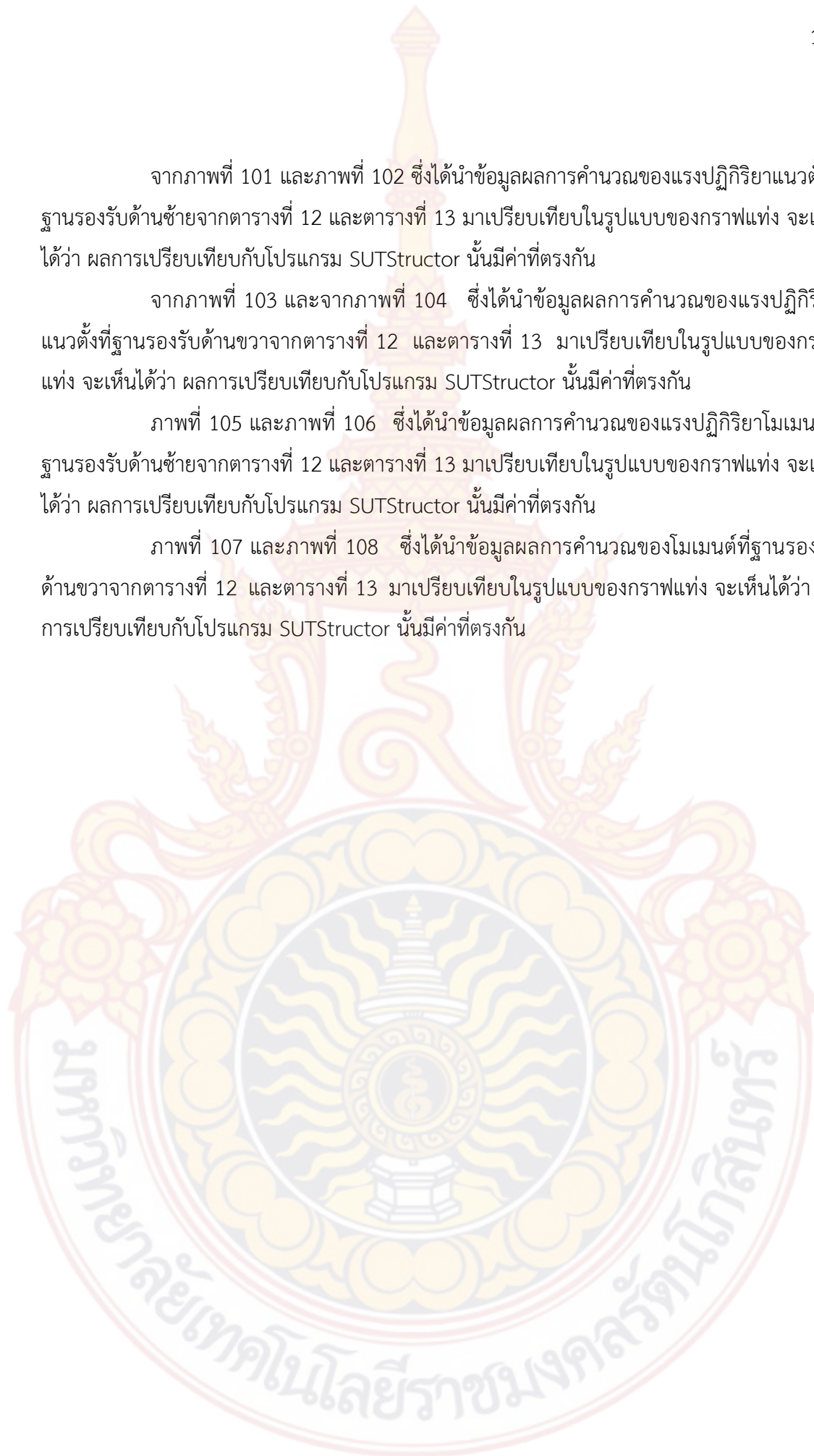
หมายเลข คาน	แรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับ (กก.)				โมเมนต์ที่ฐานรองรับ (กก.-ม.)			
	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor		โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor	
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา
Banz 7								
BA26	1453.50	1453.50	1453.50	1453.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Banz 8								
BA8	1381.19	1510.98	1381.19	1510.97	780.44	0.00	780.44	0.00
BA11	1510.98	2367.65	1510.97	2367.65	0.00	0.00	0.00	0.00
BA25	2367.65	0.00	2367.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Banz 9								
BA9	1127.16	4060.14	1127.16	4060.14	461.50	0.00	461.50	0.00
BA17	4060.14	3732.35	4060.14	3732.35	0.00	0.00	0.00	0.00
BA18	3732.35	545.82	3732.35	545.82	0.00	-2132.00	0.00	-21.32
Banz 10								
BA29	2170.68	1894.06	2170.38	1894.06	0.00	0.00	0.00	0.00
Banz 11								
BA10	2465.77	5437.92	2465.76	5437.92	1317.76	0.00	1317.77	0.00
BA16	5437.92	3189.02	5437.92	3189.02	0.00	0.00	0.00	0.00
BA20	3189.02	-83.63	3189.02	-83.63	0.00	194.41	0.00	194.42
Banz 12								
BA4	1126.69	3001.50	1126.69	3001.50	525.94	0.00	525.94	0.00
BA15	3001.50	1874.81	3001.50	1874.81	0.00	-974.81	0.00	-974.81
Banz 13								
BA27	1453.50	1453.50	1453.50	1453.50	0.00	0.00	0.00	0.00

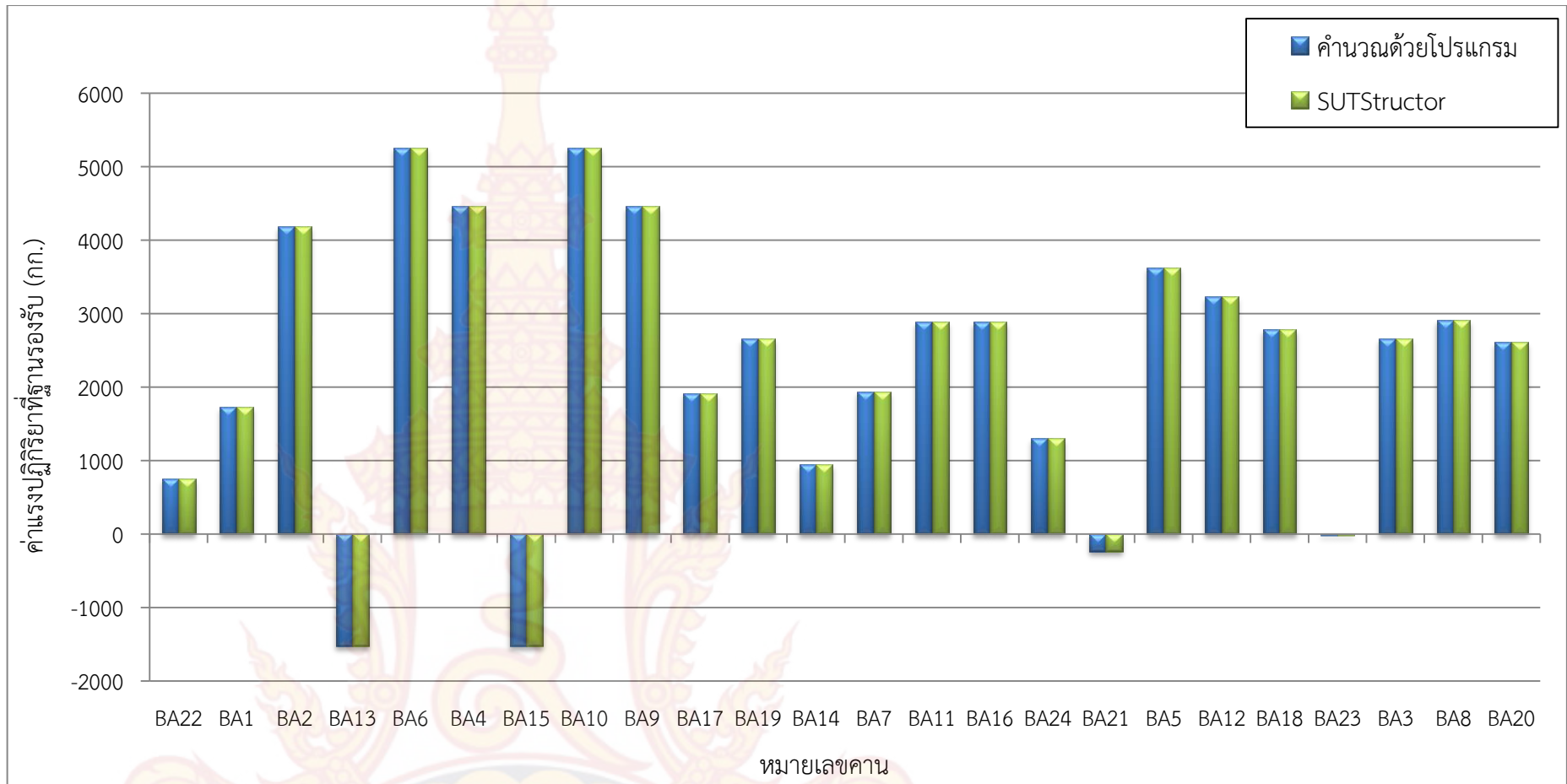
จากภาพที่ 101 และภาพที่ 102 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับด้านซ้ายจากตารางที่ 12 และตารางที่ 13 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของกราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม SUTStructor นั้นมีค่าที่ตรงกัน

จากภาพที่ 103 และจากภาพที่ 104 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับด้านขวาจากตารางที่ 12 และตารางที่ 13 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของกราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม SUTStructor นั้นมีค่าที่ตรงกัน

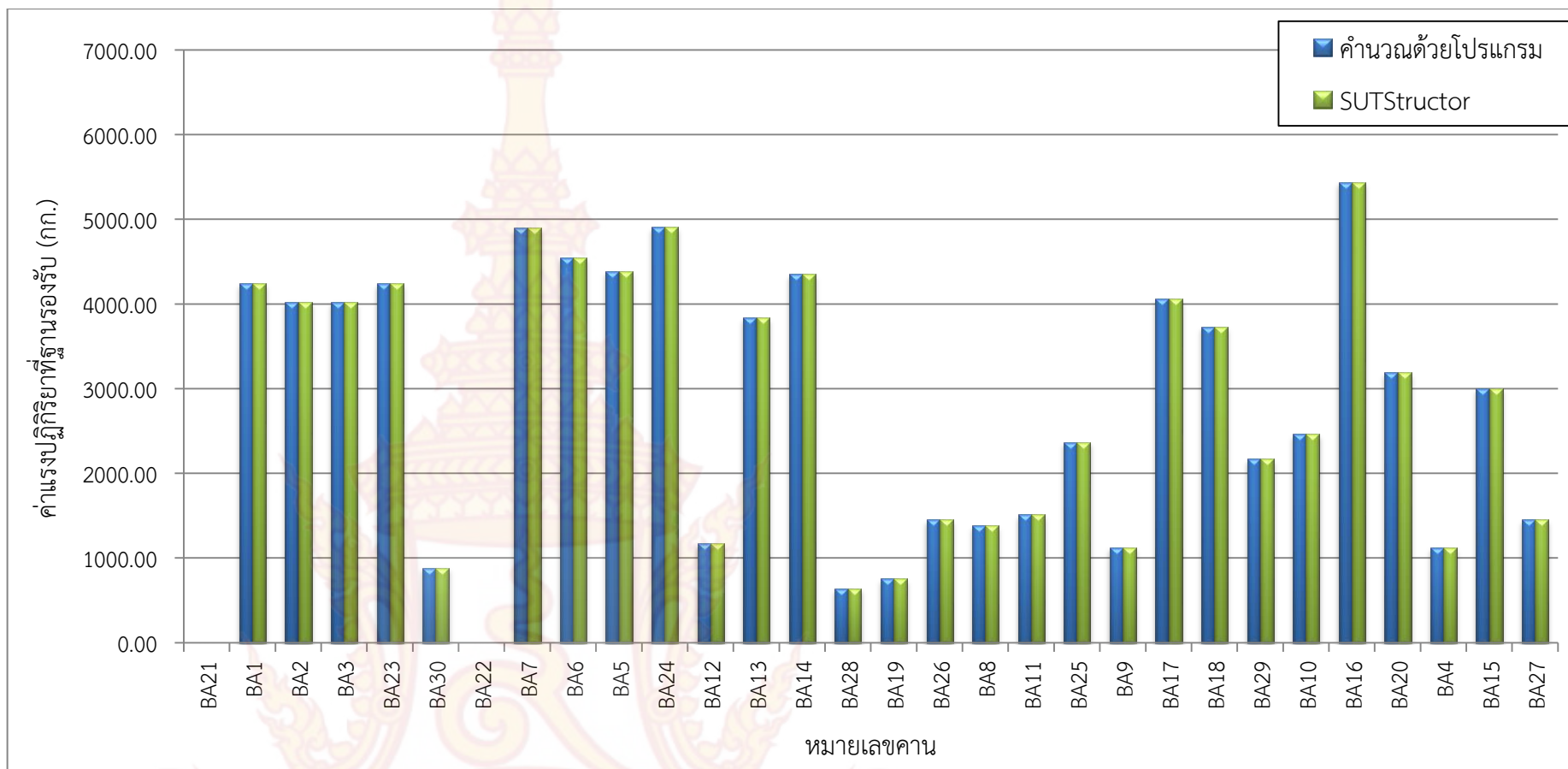
ภาพที่ 105 และภาพที่ 106 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านซ้ายจากตารางที่ 12 และตารางที่ 13 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของกราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม SUTStructor นั้นมีค่าที่ตรงกัน

ภาพที่ 107 และภาพที่ 108 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณของโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านขวาจากตารางที่ 12 และตารางที่ 13 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของกราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม SUTStructor นั้นมีค่าที่ตรงกัน

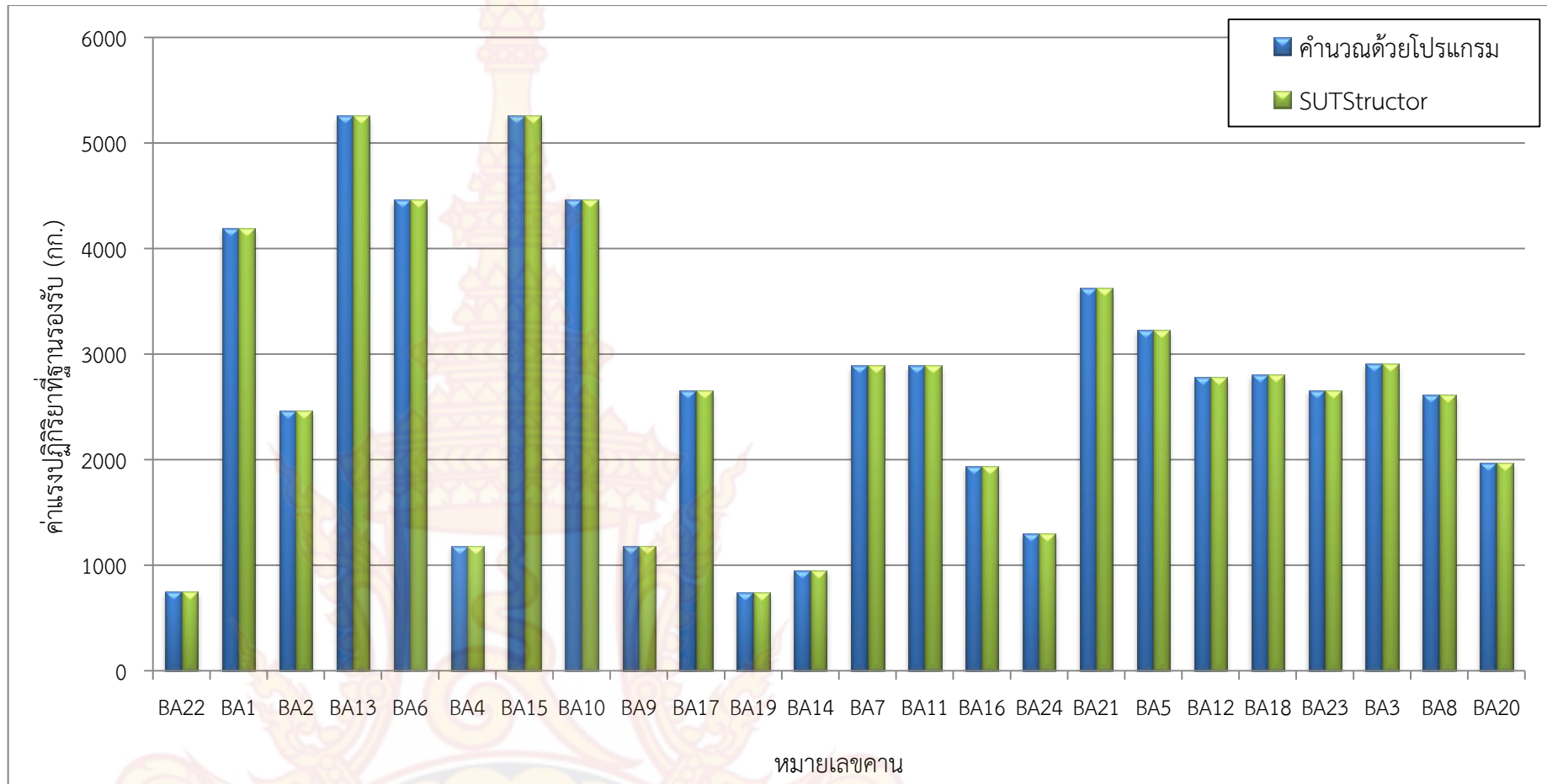




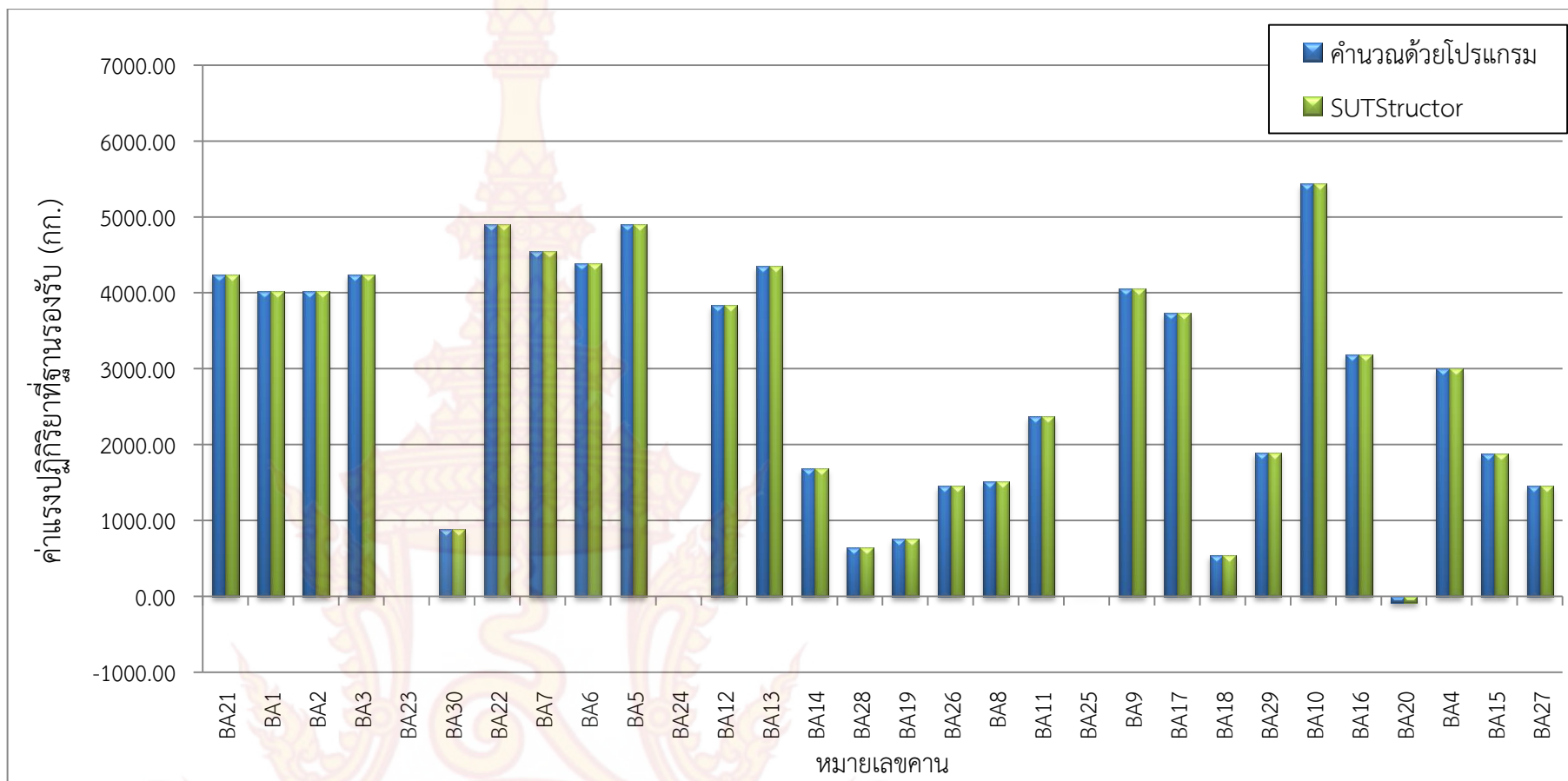
ภาพที่ 101 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับด้านซ้ายคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 1



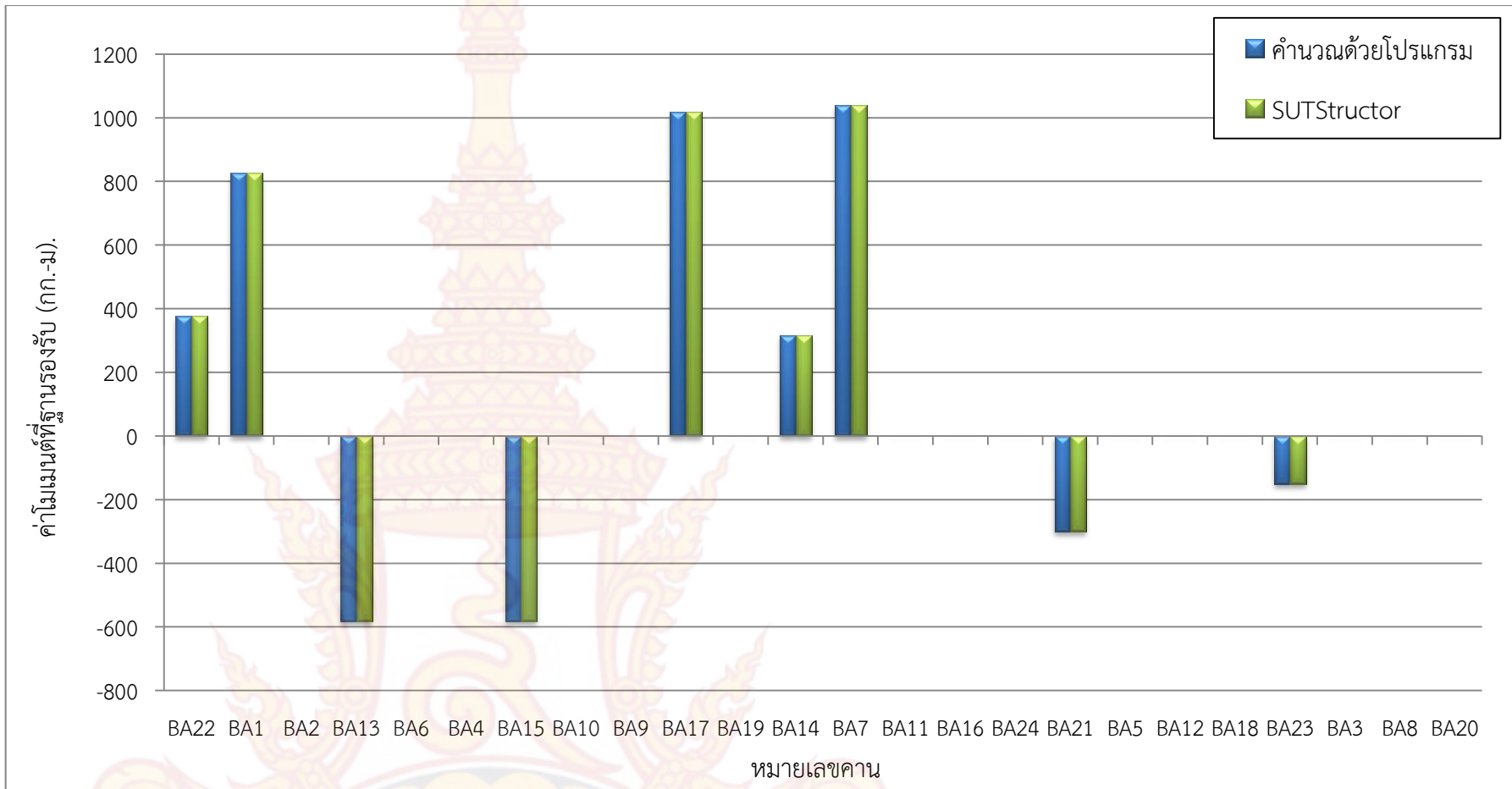
ภาพที่ 102 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับด้านซ้ายคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 2



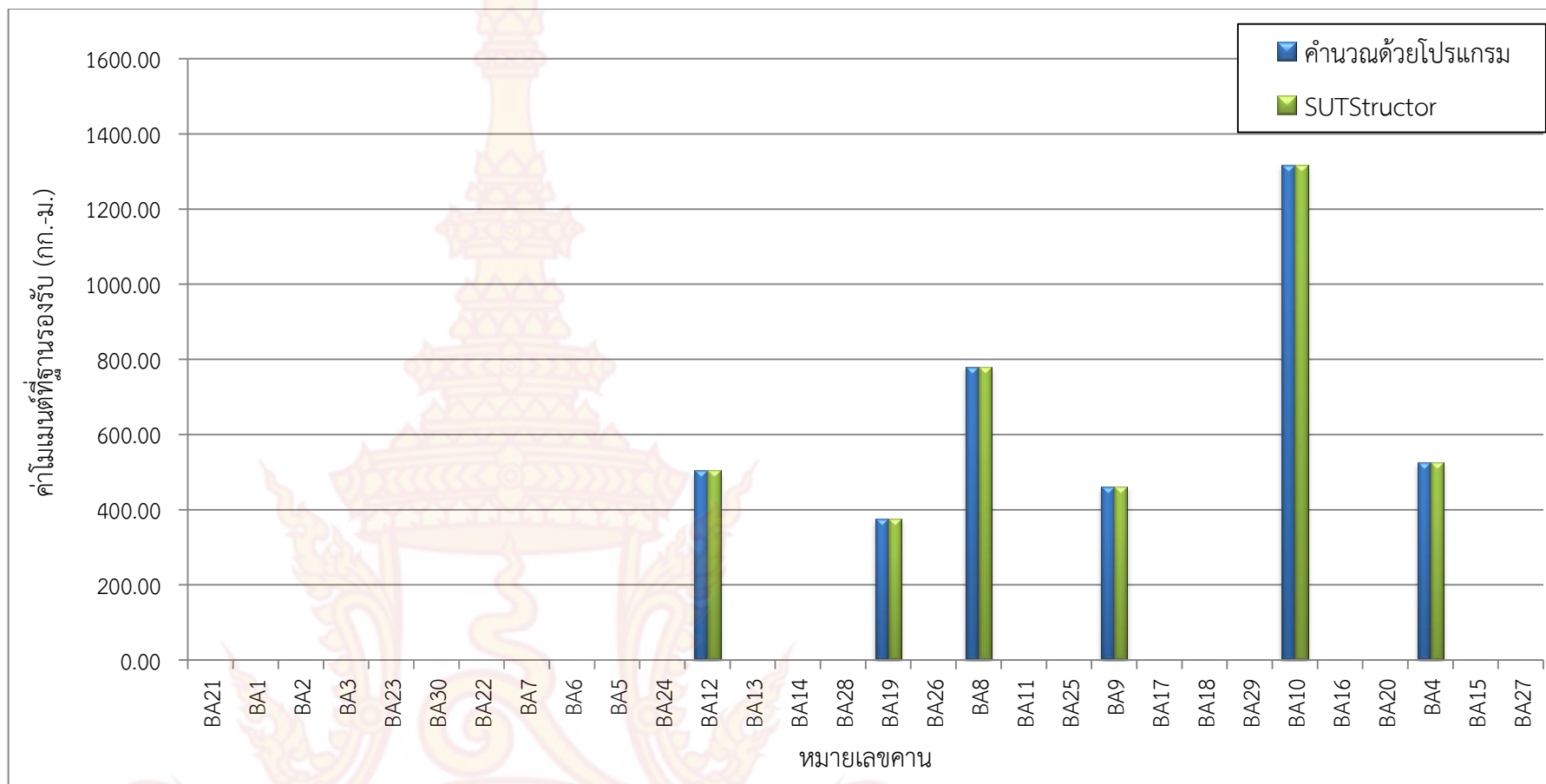
ภาพที่ 103 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิบัติงานแนวตั้งที่ฐานรองรับด้านขวาคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 1



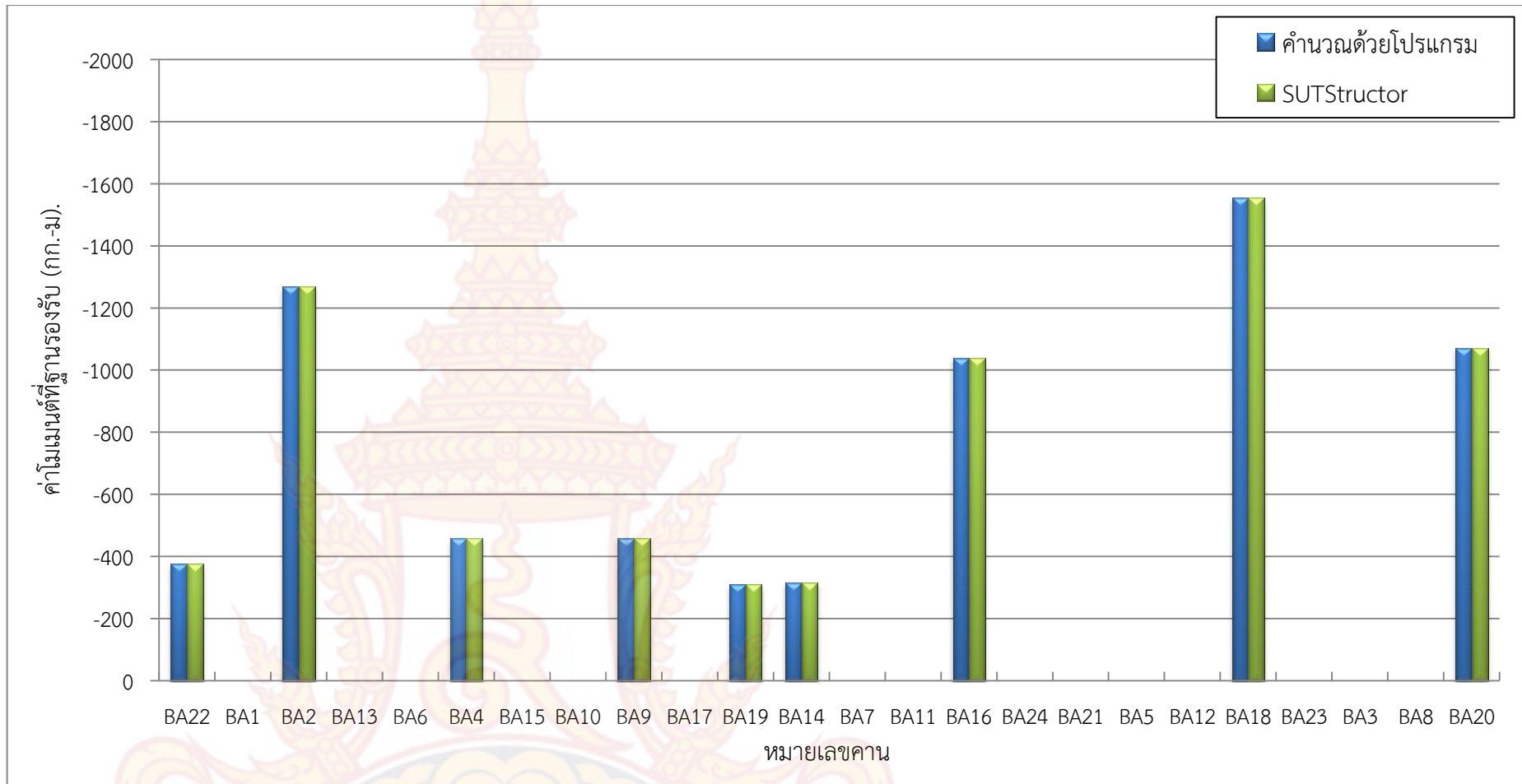
ภาพที่ 104 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่ฐานรองรับด้านขวาคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 2



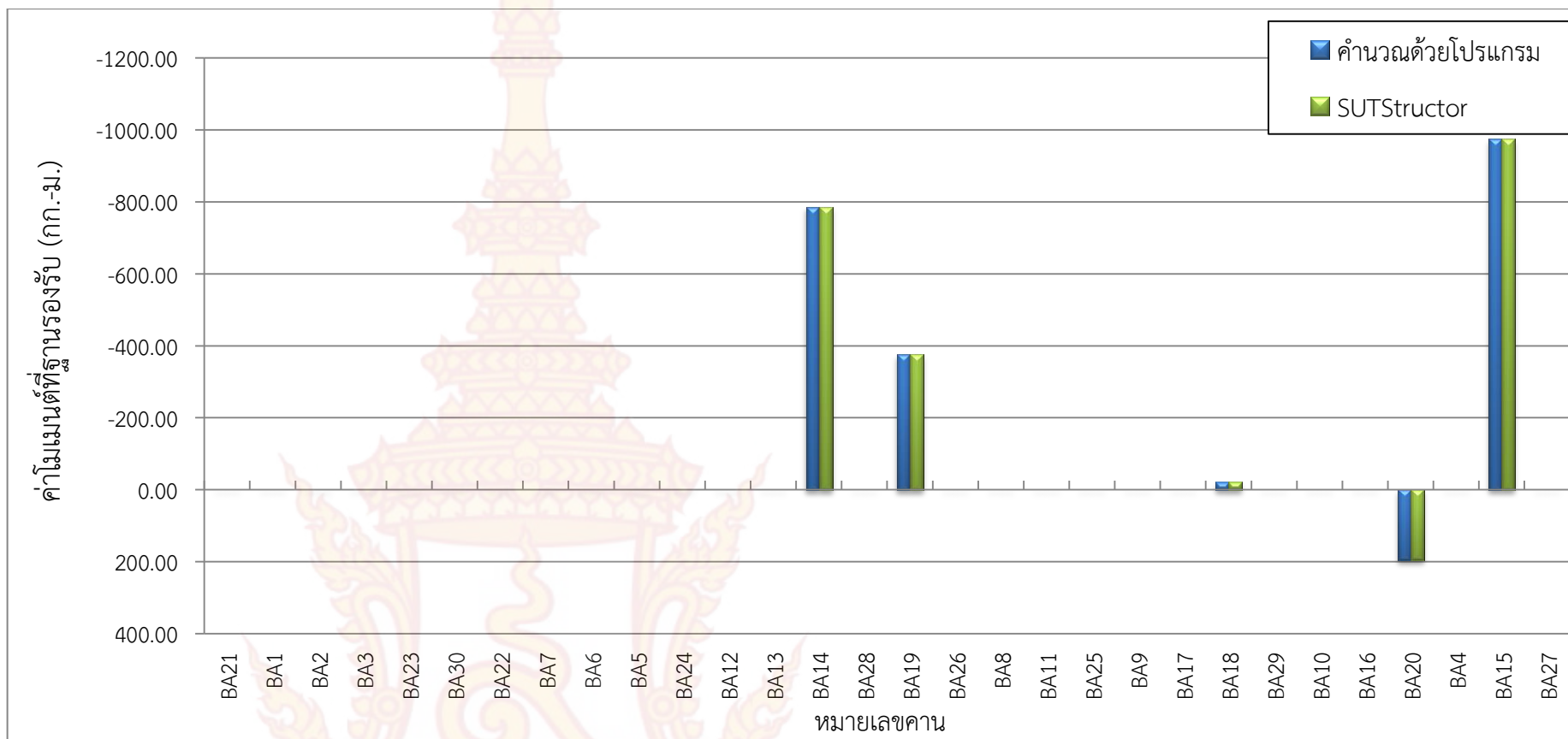
ภาพที่ 105 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านซ้ายคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 1



ภาพที่ 106 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านซ้ายคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 2



ภาพที่ 107 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านขาคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 1



ภาพที่ 108 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านขาคานต่อเนื่องของแปลนบ้านที่ 2

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงภายในชิ้นส่วนคานต่อเนื่องที่ยึดตัวอย่างจาก
แปลนบ้านที่ 1

หมายเลข คาน	แรงเฉือน (กก.)				โมเมนต์ดัด (กก.-ม.)			
	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor		โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor	
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา
Banz 1								
BA22	752.32	752.32	752.32	752.32	376.16	-376.16	376.16	-376.16
Banz 2								
BA1	1726.21	1873.79	1726.21	1873.79	826.21	-1047.58	826.21	-1047.59
BA2	2316.55	2464.13	2316.55	2464.13	1047.58	-1268.96	1047.59	-1268.96
Banz 3								
BA13	-1524.05	2416.05	-1524.05	2416.05	-582.35	-1387.70	-582.35	-1387.70
BA6	2842.48	2751.58	2842.48	2751.58	1387.70	-1251.36	1387.70	-1251.36
BA4	1709.68	1180.98	1709.67	1180.98	1251.36	-458.33	1251.36	-458.33
Banz 4								
BA15	-1524.05	2416.05	-1524.05	2416.05	-582.35	-1387.70	-582.35	-1387.70
BA10	2842.48	2751.58	2842.48	2751.58	1387.70	-1251.36	1387.70	-1251.36
BA9	1709.68	1180.98	1709.67	1180.98	1251.36	-458.33	1251.36	-458.33
Banz 5								
BA17	1918.13	1681.88	1918.13	1681.88	1018.12	-663.75	1018.13	-663.75
BA19	973.12	736.88	973.13	736.88	663.75	-309.38	663.75	-309.38
Banz 6								
BA14	949.76	949.76	949.75	949.75	316.58	-316.58	316.58	-316.58
Banz 7								
BA7	1939.88	1600.12	1939.88	1600.12	1039.88	-620.24	1039.88	-620.24
BA11	1231.28	1231.28	1231.28	1321.28	620.24	-620.25	620.24	-620.24
BA16	1600.12	1939.88	1600.12	1939.88	620.25	-1039.88	620.24	-1039.88

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงภายในชิ้นส่วนคานต่อเนื่องที่ยึดตัวอย่างจาก
แปลนบ้านที่ 1 (ต่อ)

หมายเลข คาน	แรงเฉือน (กก.)				โมเมนต์ดัด (กก.-ม.)			
	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor		โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor	
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา
Banz 8								
BA24	1301.00	1301.00	1301.00	1301.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Banz 9								
BA21	-241.81	1073.81	-241.81	1073.81	-299.87	-1015.75	-299.87	-1015.75
BA5	2554.61	2431.39	2554.61	2431.39	1015.75	-830.93	1015.75	-830.93
BA12	798.73	596.33	798.73	596.33	830.93	-628.53	830.93	-628.52
BA18	2184.01	2801.99	2184.01	2801.99	628.53	-1555.49	628.52	-1555.49
Banz 10								
BA23	-16.50	846.87	-16.50	846.87	-149.66	-715.33	-149.66	-715.33
BA3	1807.55	1792.45	1807.55	1792.45	715.33	-692.68	715.33	-692.68
BA8	1112.54	979.46	1112.54	979.46	692.68	-559.60	692.68	-559.60
BA20	1629.80	1970.20	1629.80	1970.20	559.60	-1070.20	559.60	-1070.20

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงภายในชิ้นส่วนคานต่อเนื่องที่ยึดตัวอย่างจาก
แปลนบ้านที่ 2

หมายเลข คาน	แรงเฉือน (กก.)				โมเมนต์ดัด (กก.-ม.)			
	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor		โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor	
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา
Banz 1								
BA21	1453.50	2191.50	1453.50	2191.50	0.00	-1822.50	0.00	-1822.50
BA1	2040.84	1559.15	2040.84	1559.15	1822.50	-1099.95	1822.50	-1099.95
BA2	2538.84	2538.84	2538.84	2538.84	1099.95	-1099.95	1099.95	-1099.95
BA3	1559.15	2040.84	1559.15	2040.84	1099.95	-1822.50	1099.95	-1822.50
BA23	2191.50	1453.50	2191.50	1453.50	1822.50	0.00	1822.50	0.00
Banz 2								
BA30	883.16	883.16	883.16	883.16	0.00	0.00	0.00	0.00
Banz 3								
BA22	1453.50	2191.50	1453.50	2191.50	0.00	-1822.50	0.00	-1822.50
BA7	2711.83	2274.17	2711.83	2274.17	1822.50	-1166.01	1822.50	-1166.01
BA6	2140.81	2122.57	2140.81	2122.57	1166.01	-1163.91	1166.01	-1163.91
BA5	2273.47	2712.53	2273.47	2712.53	1163.91	-1822.50	1163.91	-1822.50
BA24	2191.50	1453.50	2191.50	1453.50	1822.50	0.00	1822.50	0.00
Banz 4								
BA12	1170.57	1492.30	1170.57	1492.30	504.85	-987.45	504.85	-987.45
BA13	2343.48	2437.20	2343.48	2437.20	987.45	-1128.02	987.45	-1128.02
BA14	1914.01	1685.99	1914.01	1685.99	1128.02	-785.99	1128.02	-785.99
Banz 5								
BA28	638.32	638.32	638.33	638.33	0.00	0.00	0.00	0.00
Banz 6								
BA19	752.34	752.34	752.34	752.34	376.17	-376.17	376.17	-376.17

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงภายในชิ้นส่วนคานต่อเนื่องที่ยึดตัวอย่างจาก
แปลนบ้านที่ 2 (ต่อ)

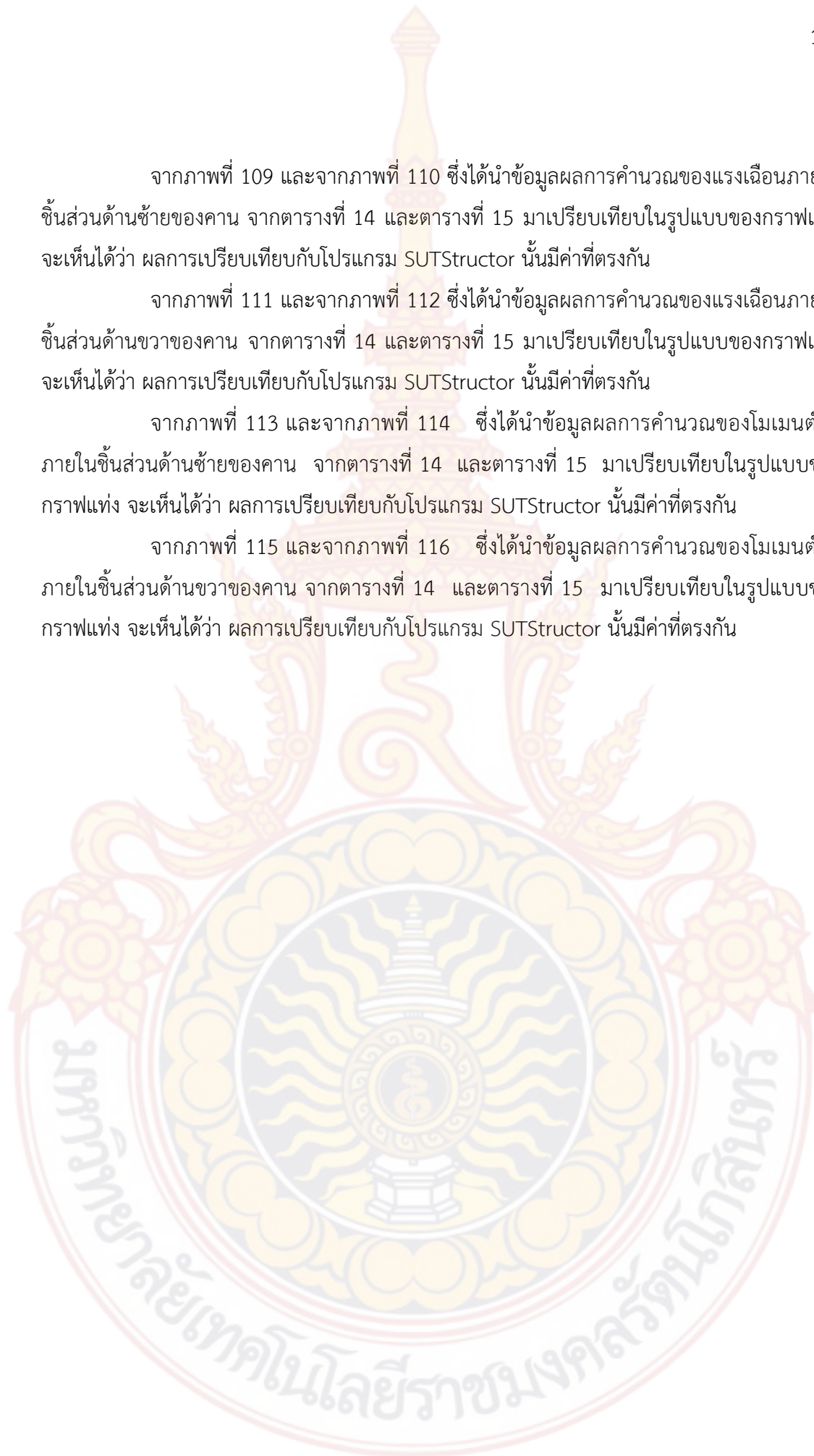
หมายเลข คาน	แรงเฉือน (กก.)				โมเมนต์ดัด (กก.-ม.)			
	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor		โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor	
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านขวา
Banz 7								
BA26	1453.50	1453.50	1453.50	1453.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Banz 8								
BA8	1381.19	1021.81	1381.19	1021.81	780.44	-241.36	780.44	-241.36
BA11	489.17	1220.83	489.17	1220.83	241.36	-1338.06	241.36	-1338.06
BA25	1146.82	-	1146.82	-	1338.86	-	1338.86	-
Banz 9								
BA9	1127.16	1535.49	1127.16	1535.49	461.50	-1073.99	461.58	-1074.01
BA17	2524.65	2461.35	2524.65	2461.35	1073.99	-979.04	1074.02	-979.03
BA18	1271.00	545.82	1271.00	545.82	979.04	-21.32	979.03	-21.36
Banz 10								
BA29	2170.67	1894.05	2170.67	1894.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Banz 11								
BA10	2465.76	2725.31	2465.76	2725.31	1317.76	-1463.67	1317.77	-1463.67
BA16	2712.61	2273.39	2712.61	2273.39	1463.67	-804.84	1463.67	-804.83
BA20	915.63	-83.63	915.63	-83.63	804.84	194.41	804.83	194.42
Banz 12								
BA4	1126.69	1276.31	1126.69	1276.31	525.94	-750.38	525.94	-750.38
BA15	1725.19	1874.81	1725.19	1874.81	750.38	-974.81	750.38	-974.81
Banz 13								
BA27	1453.50	1453.50	1453.50	1453.50	0.00	0.00	0.00	0.00

จากภาพที่ 109 และจากภาพที่ 110 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณของแรงเฉือนภายใน
ชิ้นส่วนด้านซ้ายของคาน จากตารางที่ 14 และตารางที่ 15 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของกราฟแท่ง
จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม SUTStructor นั้นมีค่าที่ตรงกัน

จากภาพที่ 111 และจากภาพที่ 112 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณของแรงเฉือนภายใน
ชิ้นส่วนด้านขวาของคาน จากตารางที่ 14 และตารางที่ 15 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของกราฟแท่ง
จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม SUTStructor นั้นมีค่าที่ตรงกัน

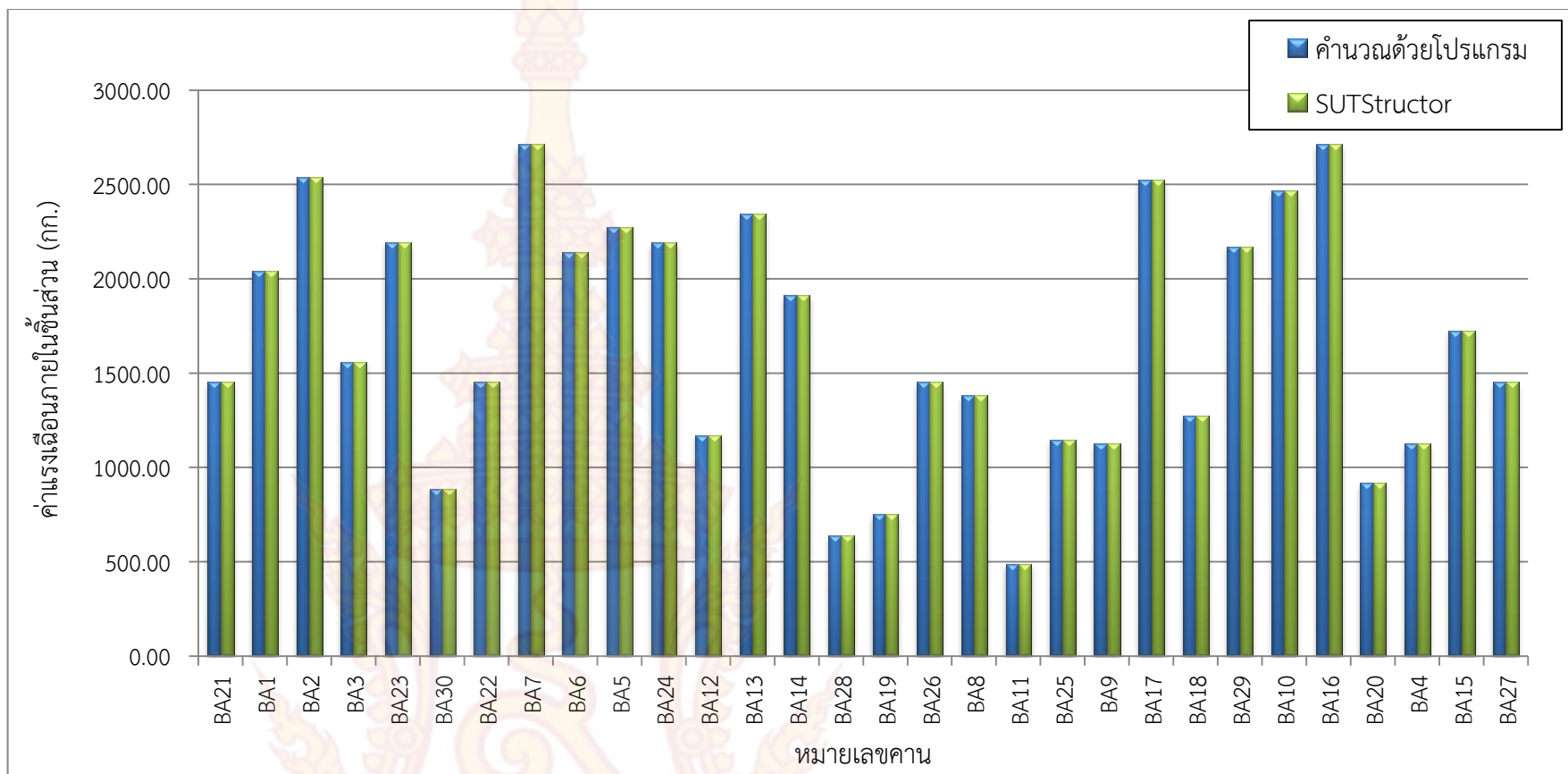
จากภาพที่ 113 และจากภาพที่ 114 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณของโมเมนต์ดัด
ภายในชิ้นส่วนด้านซ้ายของคาน จากตารางที่ 14 และตารางที่ 15 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของ
กราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม SUTStructor นั้นมีค่าที่ตรงกัน

จากภาพที่ 115 และจากภาพที่ 116 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณของโมเมนต์ดัด
ภายในชิ้นส่วนด้านขวาของคาน จากตารางที่ 14 และตารางที่ 15 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของ
กราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม SUTStructor นั้นมีค่าที่ตรงกัน

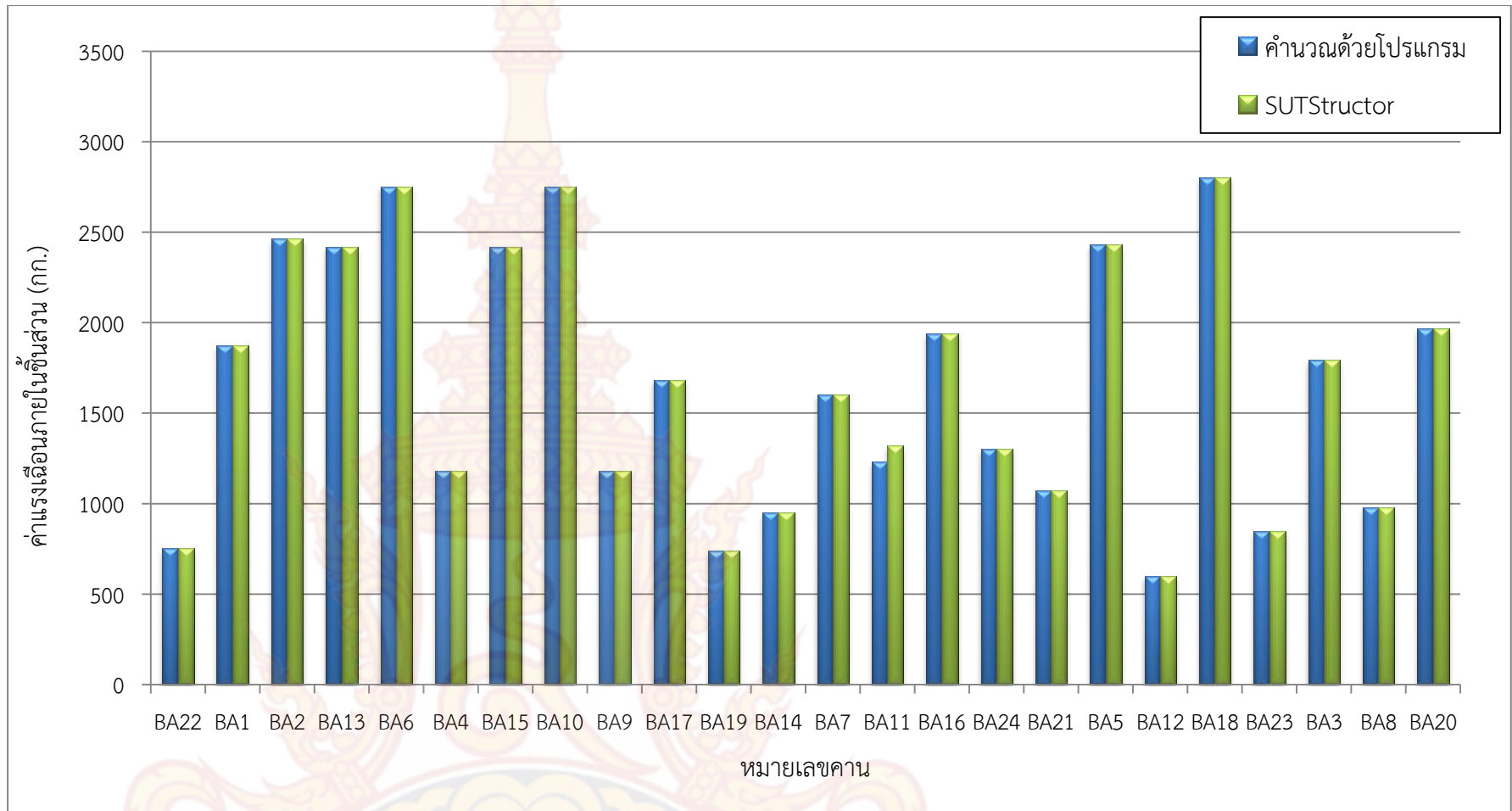




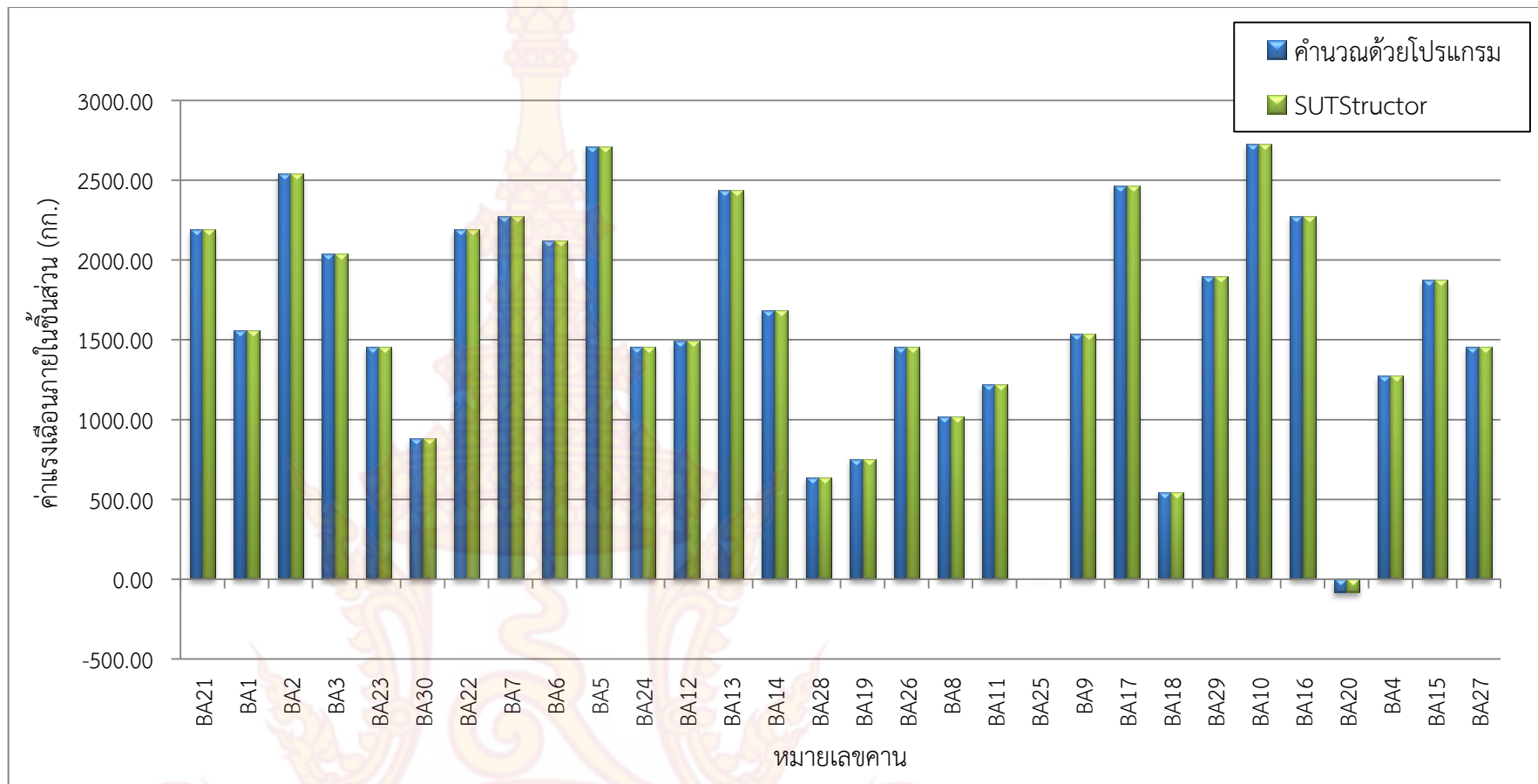
ภาพที่ 109 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงเฉือนภายในชิ้นส่วนด้านซ้ายของคานแปลนบ้านที่ 1



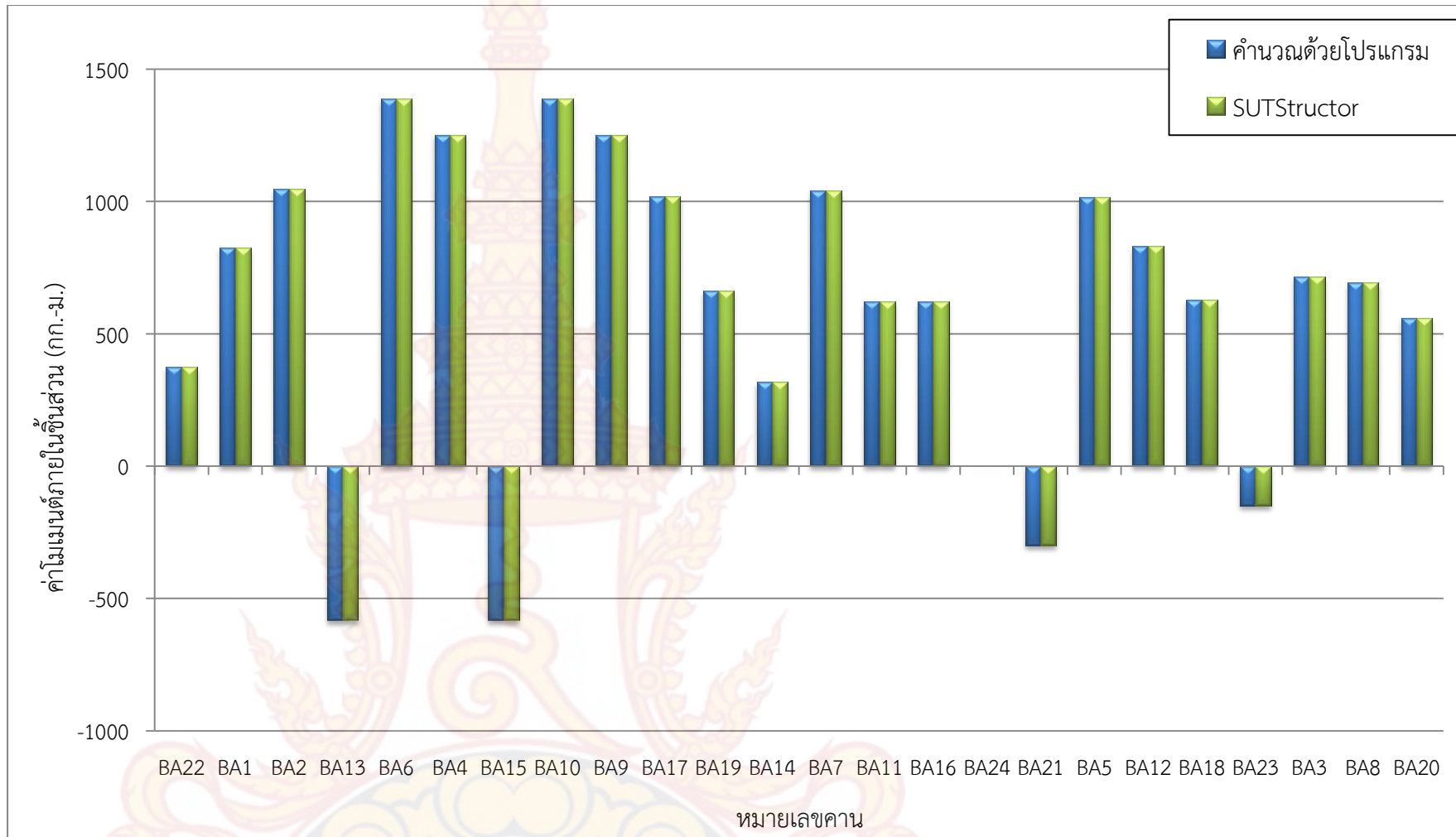
ภาพที่ 110 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงเฉือนภายในชิ้นส่วนด้านซ้ายของคานแปลนบ้านที่ 2



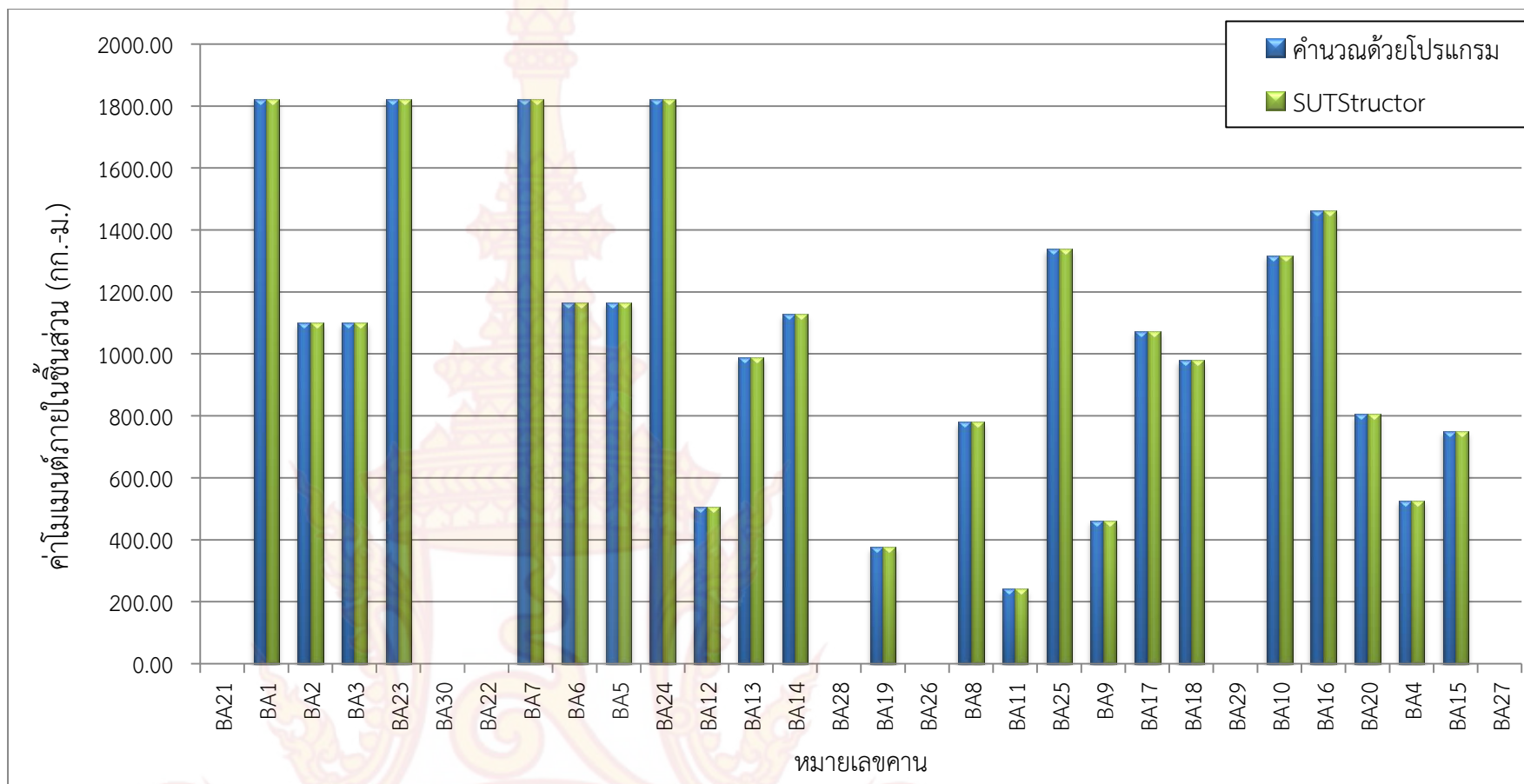
ภาพที่ 111 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงเฉือนภายในชิ้นส่วนด้านขวาของคานแปลนบ้านที่ 1



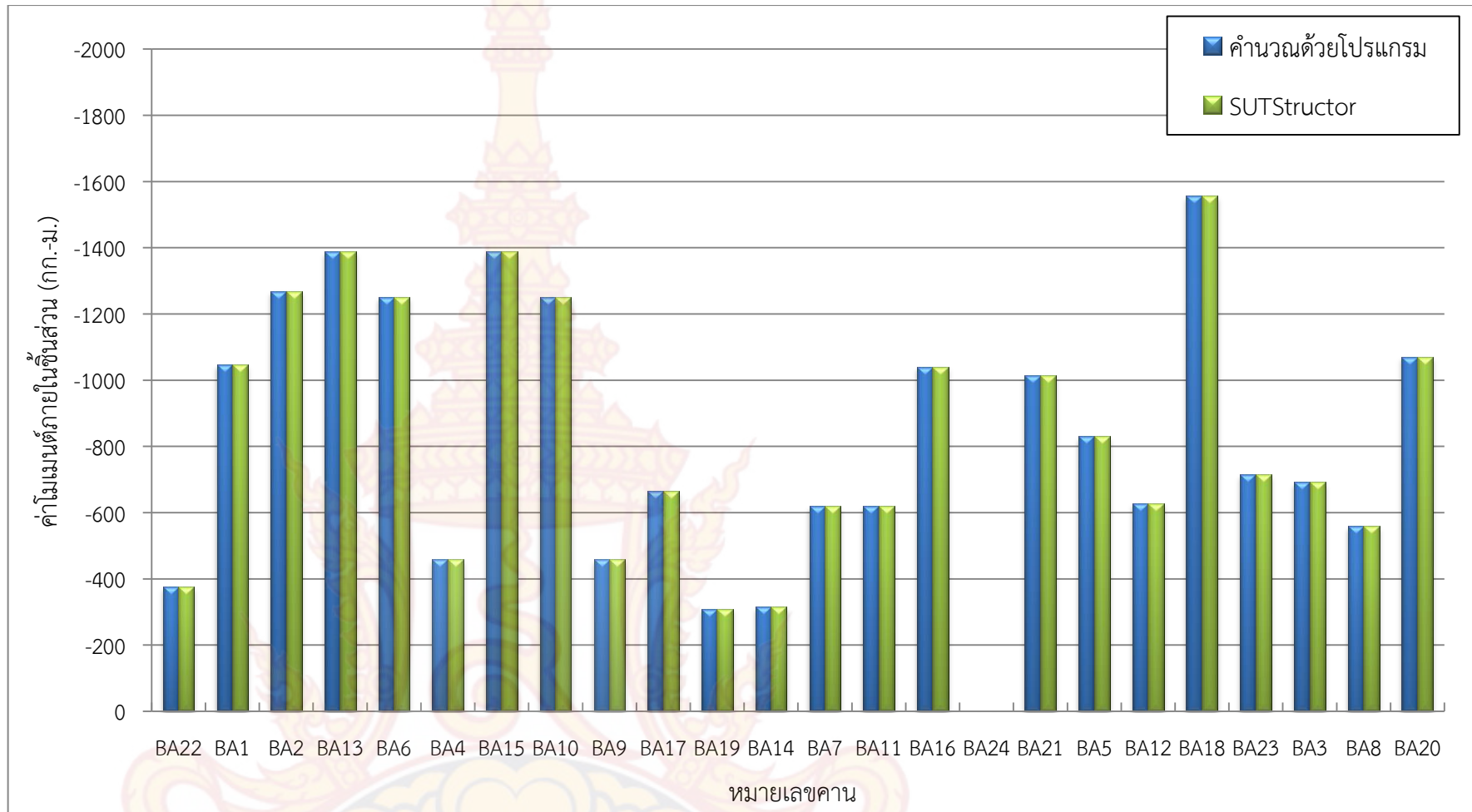
ภาพที่ 112 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงเฉือนภายในชิ้นส่วนด้านขวาของคานเปลนบ้านที่ 2



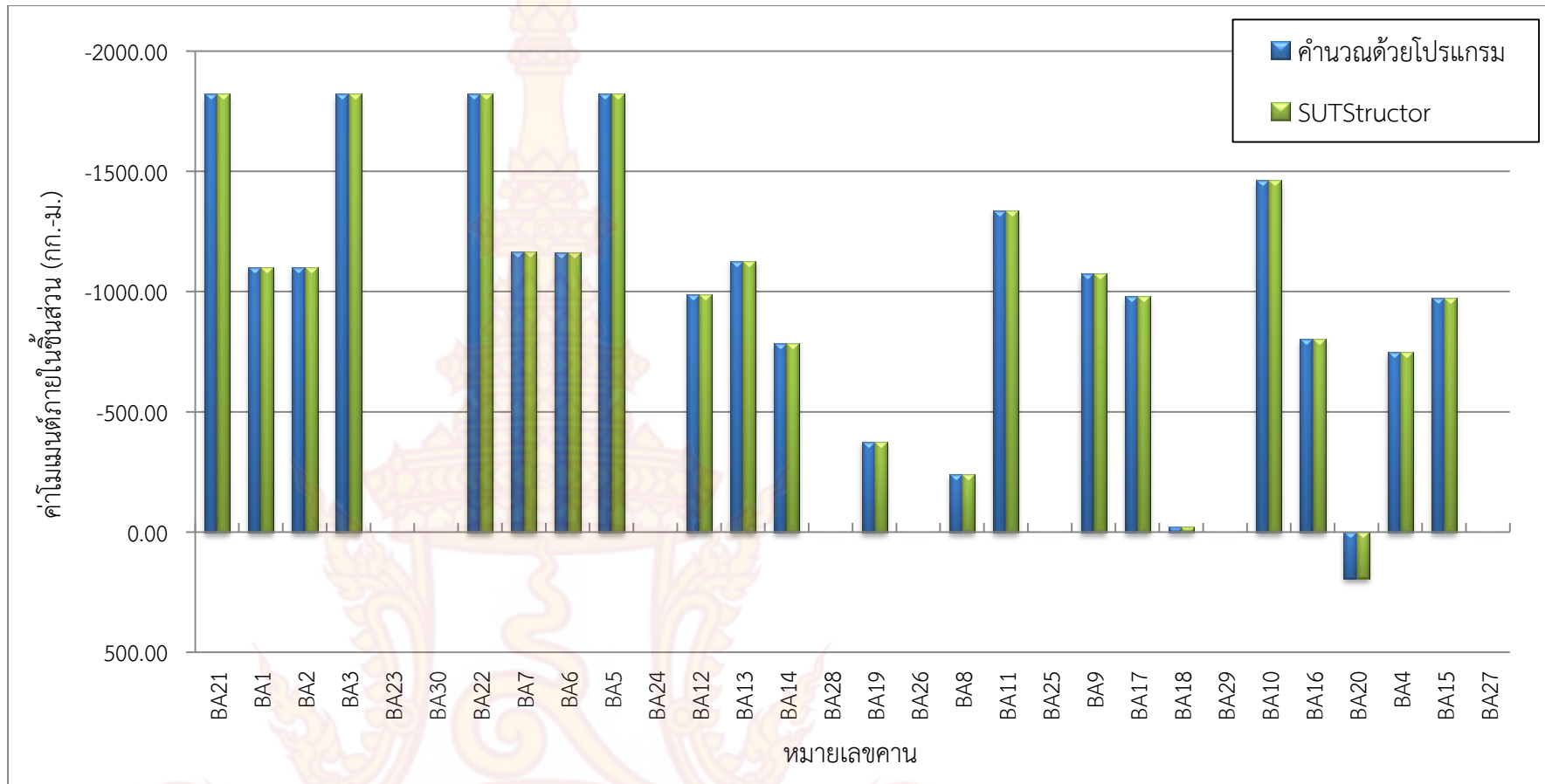
ภาพที่ 113 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการค่านวมของโมเมนต์คัตภายในชิ้นส่วนด้านซ้ายของคานแปลนบ้านที่ 1



ภาพที่ 114 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการค่านวมของโมเมนต์ดัดภายในชิ้นส่วนด้านซ้ายของคานแปลนบ้านที่ 2



ภาพที่ 115 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของโมเมนต์ดัดภายในชิ้นส่วนด้านขวาของคานแปลนบ้านที่ 1



ภาพที่ 116 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณของโมเมนต์คานภายในชั้นส่วนด้านขวาของคานแปลนบ้านที่ 2

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 1

หมายเลขคาน	โมเมนต์ดัดที่ฐานรองรับด้านซ้าย (กก.-ม.)			โมเมนต์ดัดช่วงกลางคาน (กก.-ม.)			โมเมนต์ดัดที่ฐานรองรับด้านขวา (กก.-ม.)			แรงเฉือนสูงสุด (กก.)		
	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
	GB1											
B22	-376.17	-376.16	-376.00	188.09	188.09	188.00	-376.17	-376.16	-376.00	752.34	752.32	752.00
GB2												
B1	-826.21	-826.21	-826.00	413.10	415.37	415.00	-1047.58	-1047.58	-1048.00	1873.79	1873.00	1874.00
B2	-1047.58	-1047.58	-1048.00	634.48	636.18	636.00	-1268.96	1268.95	1269.00	2464.13	2462.12	2464.00
GB3												
B13	582.35	582.35	582.00	-291.17	-291.17	-292.00	-1387.70	-1387.70	-1388.00	2416.05	2416.05	2416.00
B6	-1387.70	-1387.70	-1388.00	1266.14	1266.14	1266.00	-1251.36	-1251.35	-1251.00	2842.48	2842.48	2842.00
B4	-1251.36	-1251.35	-1251.00	229.16	265.41	265.00	-458.33	-458.32	-458.00	1709.68	1709.67	1710.00
GB4												
B15	582.35	582.35	582.00	-291.17	-291.17	-292.00	-1387.70	-1387.70	-1388.00	2416.05	2416.05	2416.00
B10	-1387.70	-1387.70	-1388.00	1266.14	1266.14	1266.00	-1251.36	-1251.35	-1251.00	2842.48	2842.48	2842.00
B9	-1251.36	-1251.35	-1251.00	229.16	265.41	265.00	-458.33	-458.32	-458.00	1709.68	1709.67	1710.00
GB5												
B17	-1018.12	-1018.13	-1018.00	509.06	514.85	515.00	-663.75	-663.75	-664.00	1918.13	1918.13	1918.00
B19	-663.75	-663.75	-664.00	154.68	166.93	167.00	-309.38	-309.38	-309.00	973.12	973.13	973.00

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขคาน	โมเมนต์ดัดที่ฐานรองรับด้านซ้าย (กก.-ม.)			โมเมนต์ดัดช่วงกลางคาน (กก.-ม.)			โมเมนต์ดัดที่ฐานรองรับด้านขวา (กก.-ม.)			แรงเฉือนสูงสุด (กก.)		
	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
GB6												
B14	-316.59	-316.58	-317.00	158.29	158.29	158.00	-316.58	-316.58	-317.00	949.76	949.75	950.00
GB7												
B7	-1039.88	-1039.88	-1040.00	519.94	528.08	528.00	-620.25	-620.24	-620.00	1939.88	1939.88	1940.00
B11	-620.25	-620.24	-620.00	-4.61	-5.00	-5.00	-620.25	-620.24	-620.00	1231.28	1231.28	1231.00
B16	-620.25	-620.24	-620.00	519.94	528.08	528.00	-1039.88	-1039.88	-1040.00	1939.88	1939.88	1940.00
GB8												
B24	0.00	0.00	0.00	650.53	650.53	651.00	0.00	0.00	0.00	1301.06	1301.06	1301.00
GB9												
B21	299.87	299.87	300.00	-149.94	0.00	0.00	-1015.75	-1015.75	-1016.00	1073.81	1073.81	1074.00
B15	-1015.75	-1015.75	-1016.00	946.41	947.51	948.00	-830.93	-830.93	-831.00	2554.61	2554.61	2555.00
B12	-830.93	-830.93	-831.00	-348.00	-347.00	-347.00	-628.53	-628.52	-629.00	798.74	798.73	799.00
B18	-628.53	-628.52	-629.00	866.44	866.44	866.00	-1555.49	-1555.49	-1555.00	2801.99	2801.99	2802.00
GB10												
B23	149.66	149.66	150.00	0.00	0.00	0.00	-715.33	-715.33	-715.00	848.49	848.50	848.00
B3	-715.33	-715.33	-715.00	645.99	646.00	646.00	-692.68	-692.68	693.00	1807.55	1807.55	1808.00
B8	-692.68	-692.68	693.00	-103.14	-101.00	-101.00	-559.61	-559.60	-560.00	1112.54	1112.54	1113.00
B20	-559.61	-559.60	-560.00	535.10	547.14	547.00	-1070.20	-1070.20	-1070.00	1970.20	1970.20	1970.00

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2

หมายเลขคาน	โมเมนต์ดัดที่ฐานรองรับด้านซ้าย (กก.-ม.)			โมเมนต์ดัดช่วงกลางคาน (กก.-ม.)			โมเมนต์ดัดที่ฐานรองรับด้านซ้าย (กก.-ม.)			แรงเฉือนสูงสุด (กก.)		
	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
	GB1											
B21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1822.50	-1822.50	-1823.00	2191.50	2191.50	2192.00
B1	-1822.50	-1822.50	-1823.00	-111.24	-111.24	-111.00	-1099.98	-1099.95	-1100.00	2040.84	2040.90	2041.00
B2	-1099.98	-1099.95	-1100.00	1618.24	1618.21	1618.00	-1099.98	-1099.95	-1100.00	2538.90	2538.84	2539.00
B3	-1099.98	-1099.95	-1100.00	-111.24	-111.24	-111.00	-1822.50	-1822.50	-1823.00	2040.84	2040.90	2041.00
B23	-1822.50	-1822.50	-1823.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2191.50	2191.50	2192.00
GB2												
B30	0.00	0.00	0.00	331.19	331.19	331.00	0.00	0.00	0.00	883.16	883.16	883.00
GB3												
B22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1822.50	-1822.50	-1823.00	2191.50	2191.50	2192.00
B7	-1822.50	-1822.50	-1823.00	375.48	389.89	390.00	-1161.05	-1161.02	-1161.00	2711.82	2711.83	2712.00
B6	-1161.05	-1161.02	-1161.00	1144.14	1144.08	1144.00	-1164.94	-1164.62	-1165.00	2140.87	2240.81	2041.00
B5	-1164.94	-1164.62	-1165.00	376.53	391.04	391.00	-1822.50	-1822.50	-1823.00	2712.52	2712.53	2713.00
B24	-1822.50	-1822.50	-1823.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2191.50	2191.50	2192.00

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคานต่อเนื่องที่ยึดตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2 (ต่อ)

หมายเลข คาน	โมเมนต์ดัดที่ฐานรองรับด้านซ้าย (กก.-ม.)			โมเมนต์ดัดช่วงกลางคาน (กก.-ม.)			โมเมนต์ดัดที่ฐานรองรับด้านซ้าย (กก.-ม.)			แรงเฉือนสูงสุด (กก.)		
	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
	GB4											
B12	-504.86	-504.85	-505.00	252.43	267.00	267.00	-987.45	-987.45	-987.00	1492.30	1492.30	1492.00
B13	-987.45	-987.45	-987.00	735.02	735.71	736.00	-1128.02	-1128.02	-1128.00	2437.20	2437.20	2437.00
B14	-1128.02	-1128.02	-1128.00	393.00	398.40	398.00	-785.99	-785.99	-786.00	1914.01	1914.01	1914.00
GB5												
B28	0.00	0.00	0.00	478.83	478.74	479.00	0.00	0.00	0.00	638.44	638.32	638.00
GB6												
B19	-376.17	-376.17	-376.00	188.09	188.09	188.00	-376.17	-376.17	-376.00	752.34	752.34	752.00
GB8												
B8	-780.47	-780.44	-780.00	390.23	410.38	410.00	-241.32	-241.36	-241.00	1381.22	1381.41	1381.00
B11	-241.32	-241.36	-241.00	-148.93	-148.93	-148.93	-1339.04	-1338.86	1339.00	1120.91	1221.47	1221.00
B25	-1339.04	-1338.86	1339.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1146.94	1147.82	1147.00
GB9												
B9	-461.57	-461.50	-462.00	230.79	254.22	254.00	-1074.02	-1073.99	-1074.00	1535.49	1535.49	1536.00
B17	-1074.02	-1073.99	-1074.00	843.22	843.53	844.00	-979.03	-979.04	-979.00	2524.66	2524.65	2525.00
B18	-979.03	-979.04	-979.00	199.60	199.60	200.00	-21.36	-21.32	-21.00	1271.01	1271.00	1271.00

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2 (ต่อ)

หมายเลขคาน	โมเมนต์ดัดที่ฐานรองรับด้านซ้าย (กก.-ม.)			โมเมนต์ดัดช่วงกลางคาน (กก.-ม.)			โมเมนต์ดัดที่ฐานรองรับด้านซ้าย (กก.-ม.)			แรงเฉือนสูงสุด (กก.)		
	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
	GB10											
B29	0.00	0.00	0.00	1723.60	1771.28	1771.00	0.00	0.00	0.00	2170.68	2170.68	2172.00
GB11												
B10	-1317.76	-1317.57	-1318.00	705.69	743.73	744.00	-1463.67	1463.50	-1464.00	2725.31	2724.42	2725.00
B16	-1463.67	-1463.50	-1464.00	705.50	705.05	706.00	-804.84	-804.84	-805.00	2712.61	2712.54	2713.00
B20	-804.84	-804.89	-805.00	194.41	199.59	200.00	194.41	199.59	200.00	915.63	915.67	916.00
GB12												
B4	-525.94	-525.94	-526.00	262.97	266.46	266.00	-750.38	-750.38	-750.00	1276.31	1276.31	1276.00
B15	-750.38	-750.38	-750.00	487.41	489.74	490.00	-974.81	-974.81	-975.00	1874.81	1874.81	1875.00
GB13												
B27	0.00	0.00	0.00	1090.13	1090.13	1090.00	0.00	0.00	0.00	1453.50	1453.50	1454.00

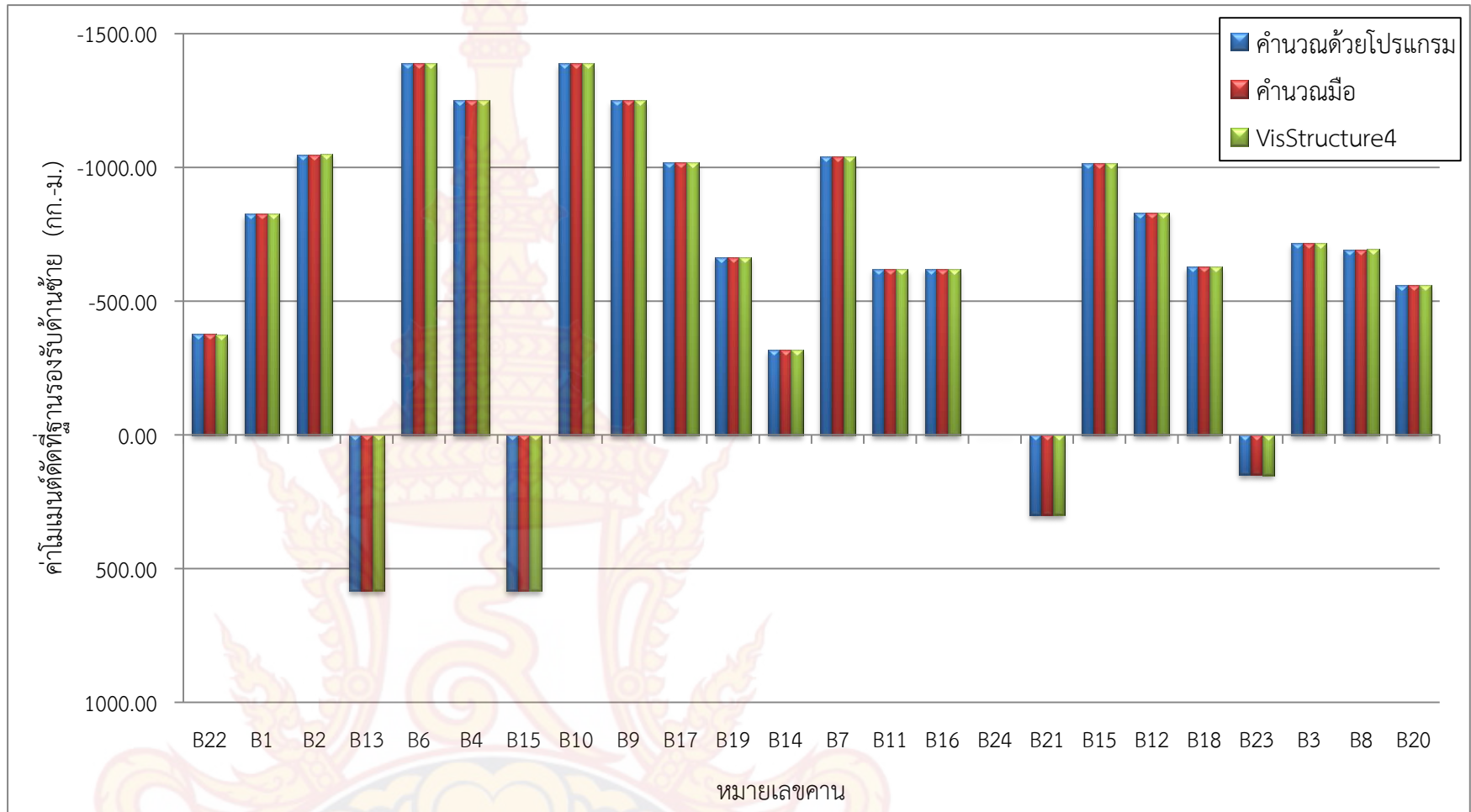
หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ภาพที่ 117 และภาพที่ 118 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านซ้ายของคานแปลนบ้านที่ 1 และแปลนบ้านที่ 2 จากตารางที่ 16 และตารางที่ 17 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของกราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือนั้นมีค่าที่ตรงกัน และผลการเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 ก็มีค่าที่ตรงเช่นกัน

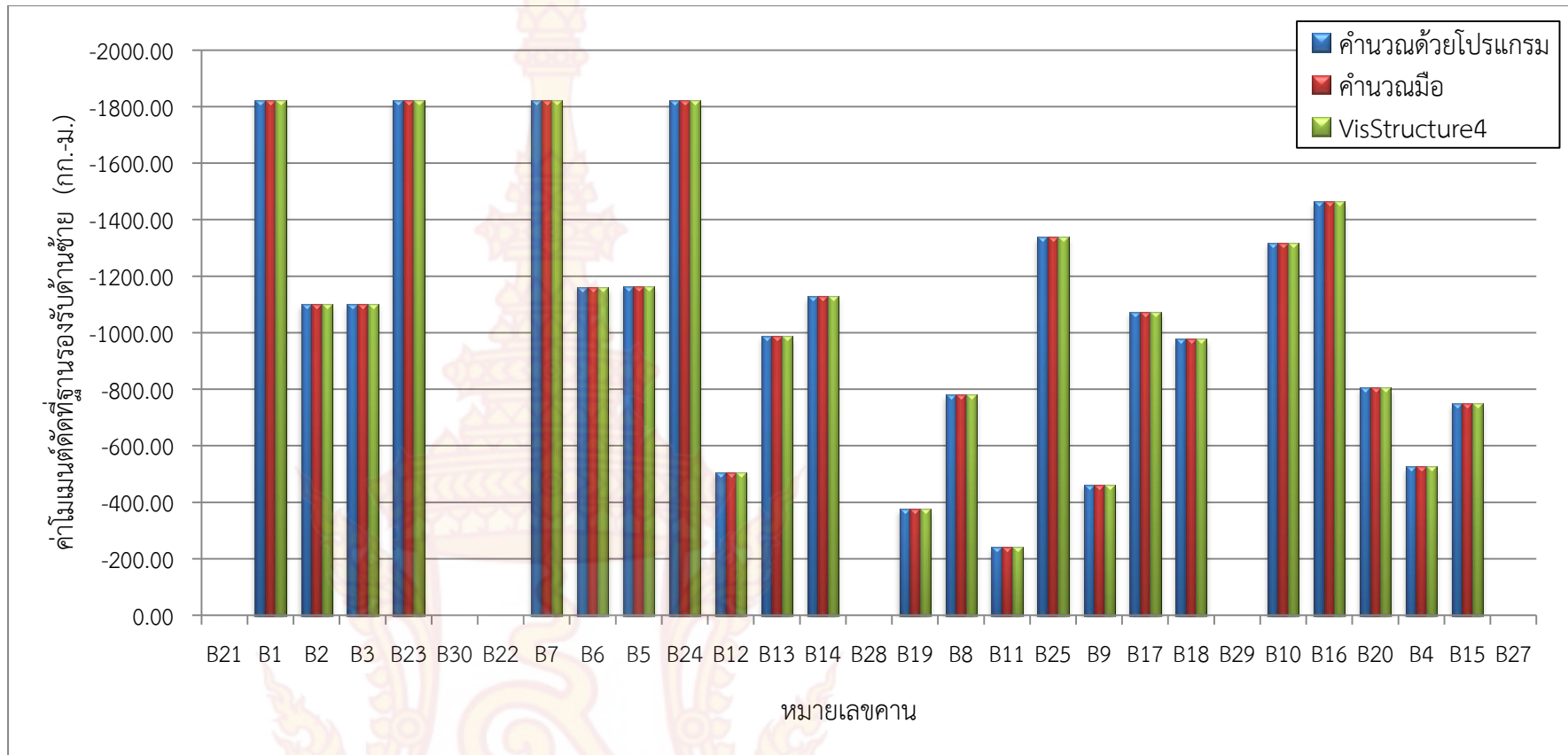
ภาพที่ 119 และภาพที่ 120 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณโมเมนต์ที่ช่วงกลางของคานแปลนบ้านที่ 1 และแปลนบ้านที่ 2 จากตารางที่ 16 และตารางที่ 17 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของกราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยมือ และผลการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 จะมีผลการคำนวณสูงกว่าผลการคำนวณของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเล็กน้อยบางคาน ซึ่งสาเหตุเกิดมาจากตำแหน่งการแบ่งเอลิเมนต์คานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไม่ตรงกับตำแหน่งที่มีค่าโมเมนต์ตัดสูงสุด กล่าวคือ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะแบ่งเป็น 2 เอลิเมนต์โดยแบ่งที่ตรงกลางคาน แต่หากคานมีน้ำหนักที่กระทำไม่สม่ำเสมอ โปรแกรมจะแบ่งเอลิเมนต์ตรงจุดต่างน้ำหนักที่กระทำ จำนวนเอลิเมนต์จะขึ้นอยู่กับจำนวนจุดต่าง ซึ่งหากตำแหน่งโมเมนต์สูงสุดของคานไม่ตรงกับตำแหน่งการแบ่งเอลิเมนต์ดังกล่าวก็จะทำให้ผลการคำนวณต่างกันเล็กน้อย

ภาพที่ 121 และภาพที่ 122 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านขวาของคานแปลนบ้านที่ 1 และแปลนบ้านที่ 2 จากตารางที่ 16 และตารางที่ 17 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของกราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือนั้นมีค่าที่ตรงกัน และผลการเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 ก็มีค่าที่ตรงเช่นกัน

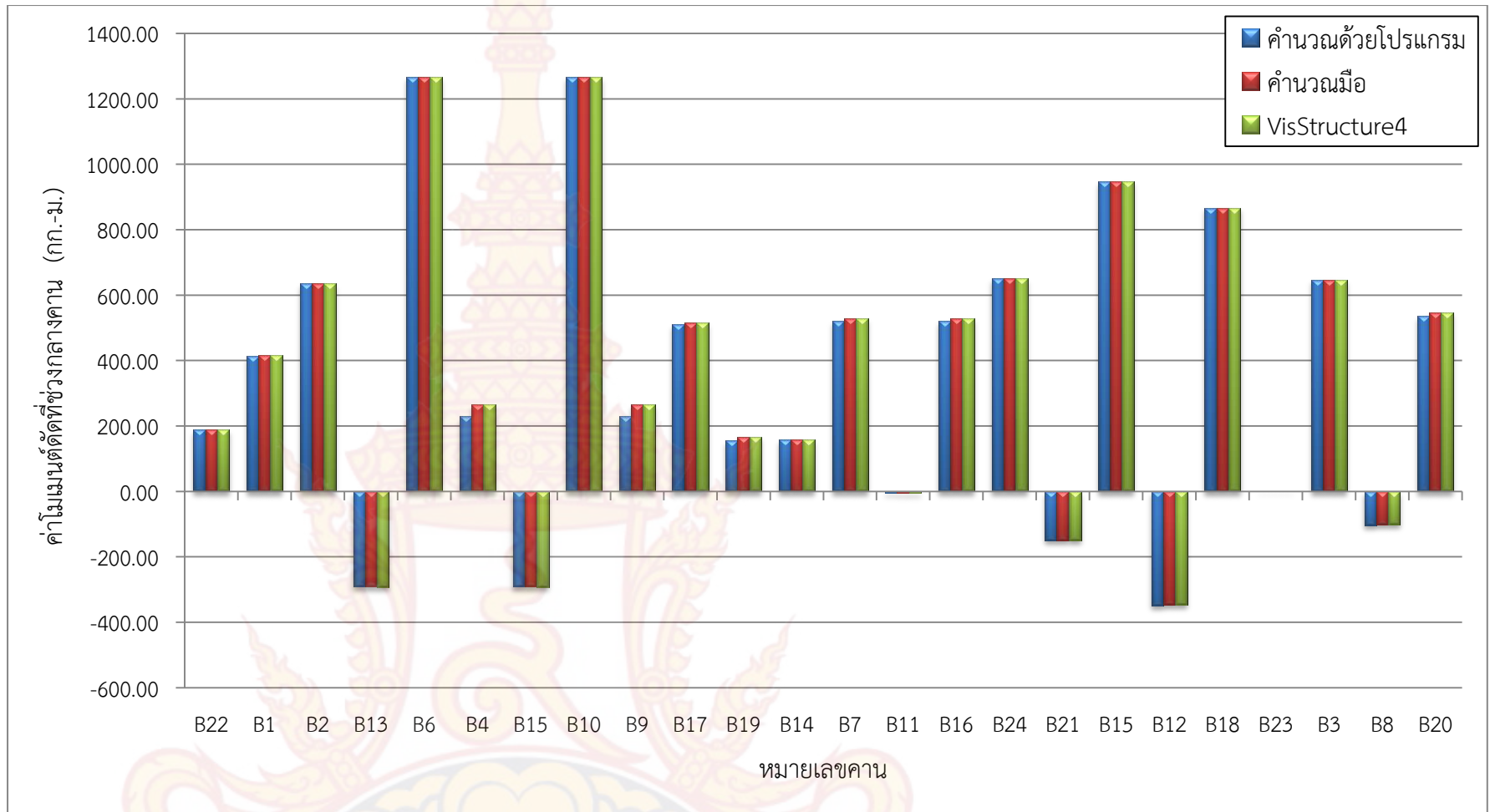
ภาพที่ 123 และภาพที่ 124 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณแรงเฉือนที่สูงสุดของคานแปลนบ้านที่ 1 และแปลนบ้านที่ 2 จากตารางที่ 16 และตารางที่ 17 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของกราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือนั้นมีค่าที่ตรงกัน และผลการเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 ก็มีค่าที่ตรงเช่นกัน



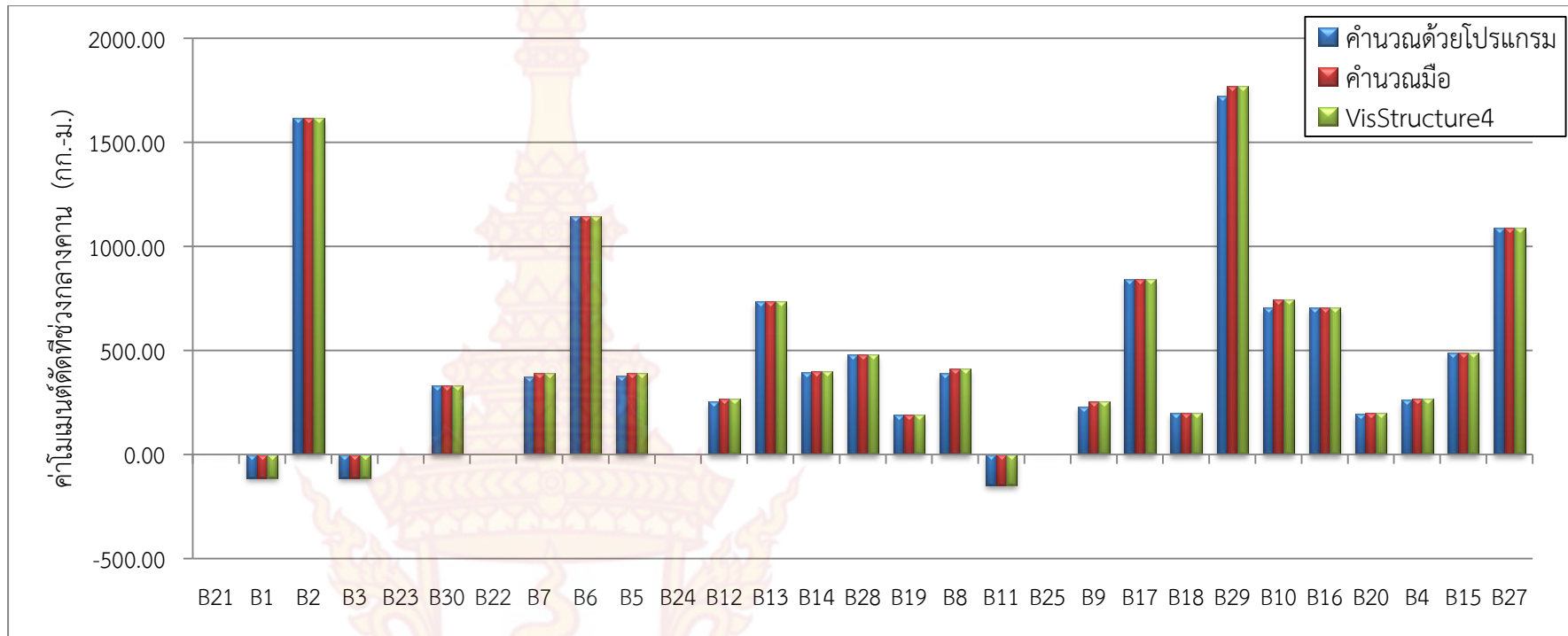
ภาพที่ 117 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ดัดที่ฐานรองรับด้านซ้ายของคนแปลนบ้านที่ 1



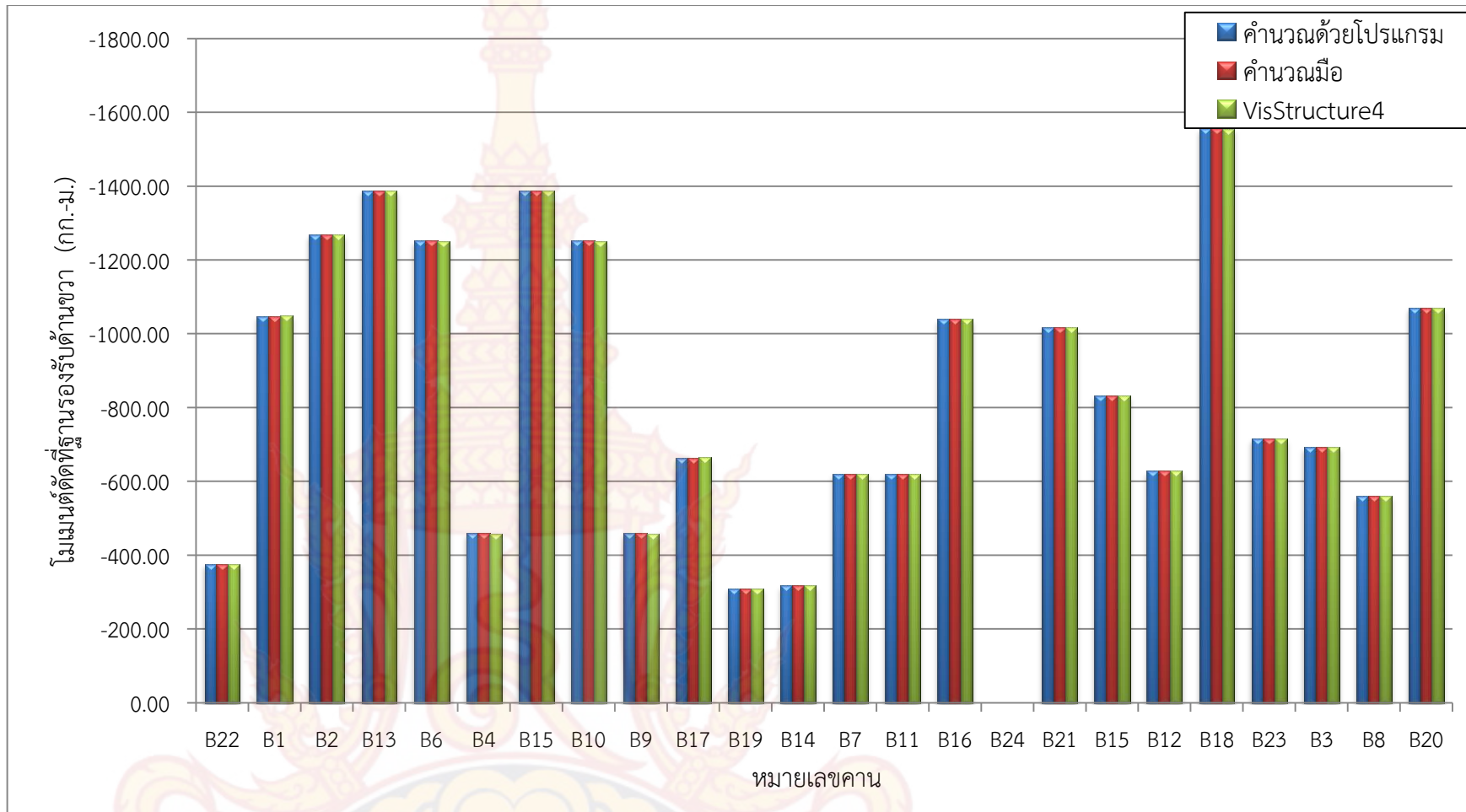
ภาพที่ 118 กราฟแห่งเปรียบเทียบการผลคำนวณโมเมนต์ดัดที่ฐานรองรับด้านซ้ายของคานแปลนบ้านที่ 2



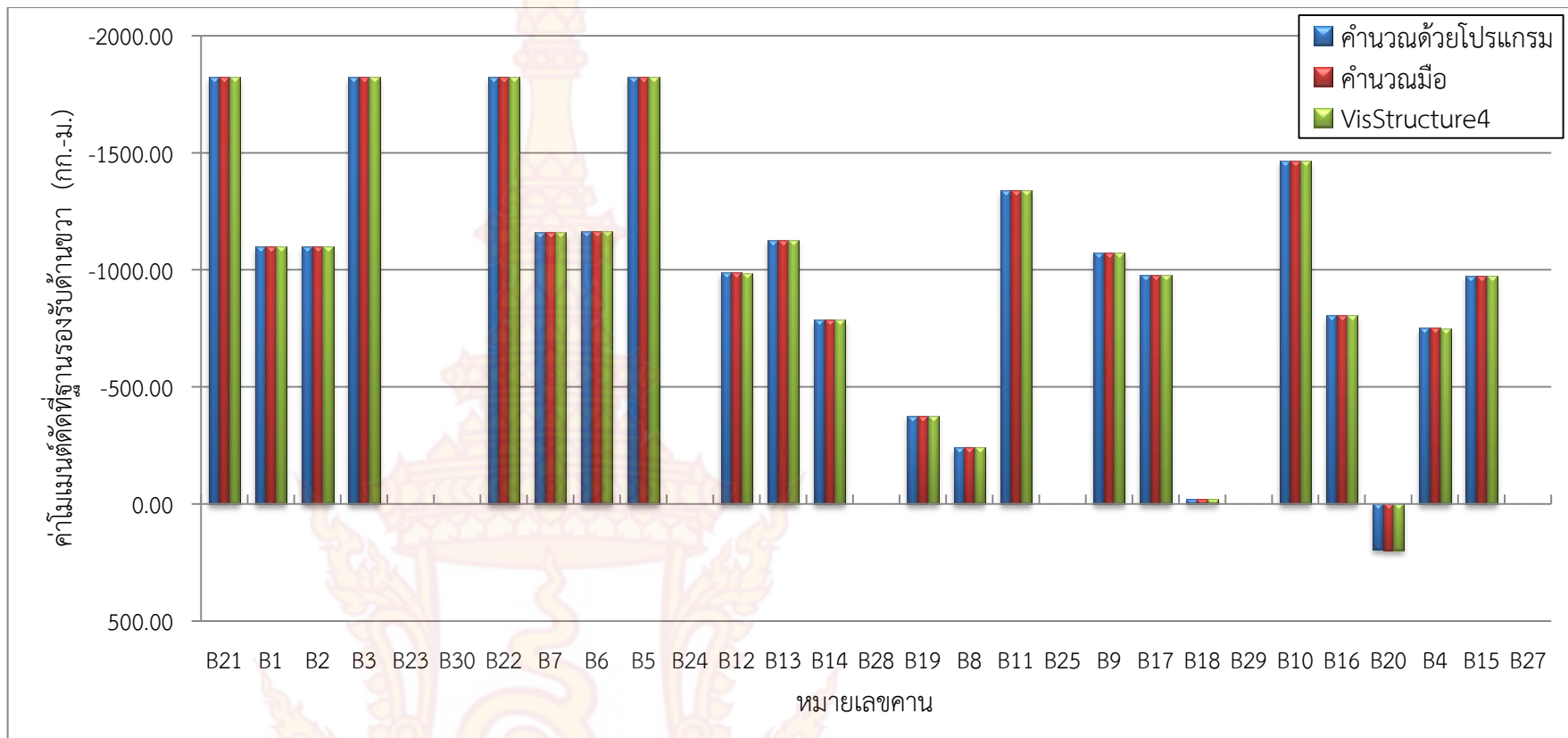
ภาพที่ 119 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ดัดที่ช่วงกลางของคานแปลนบ้านที่ 1



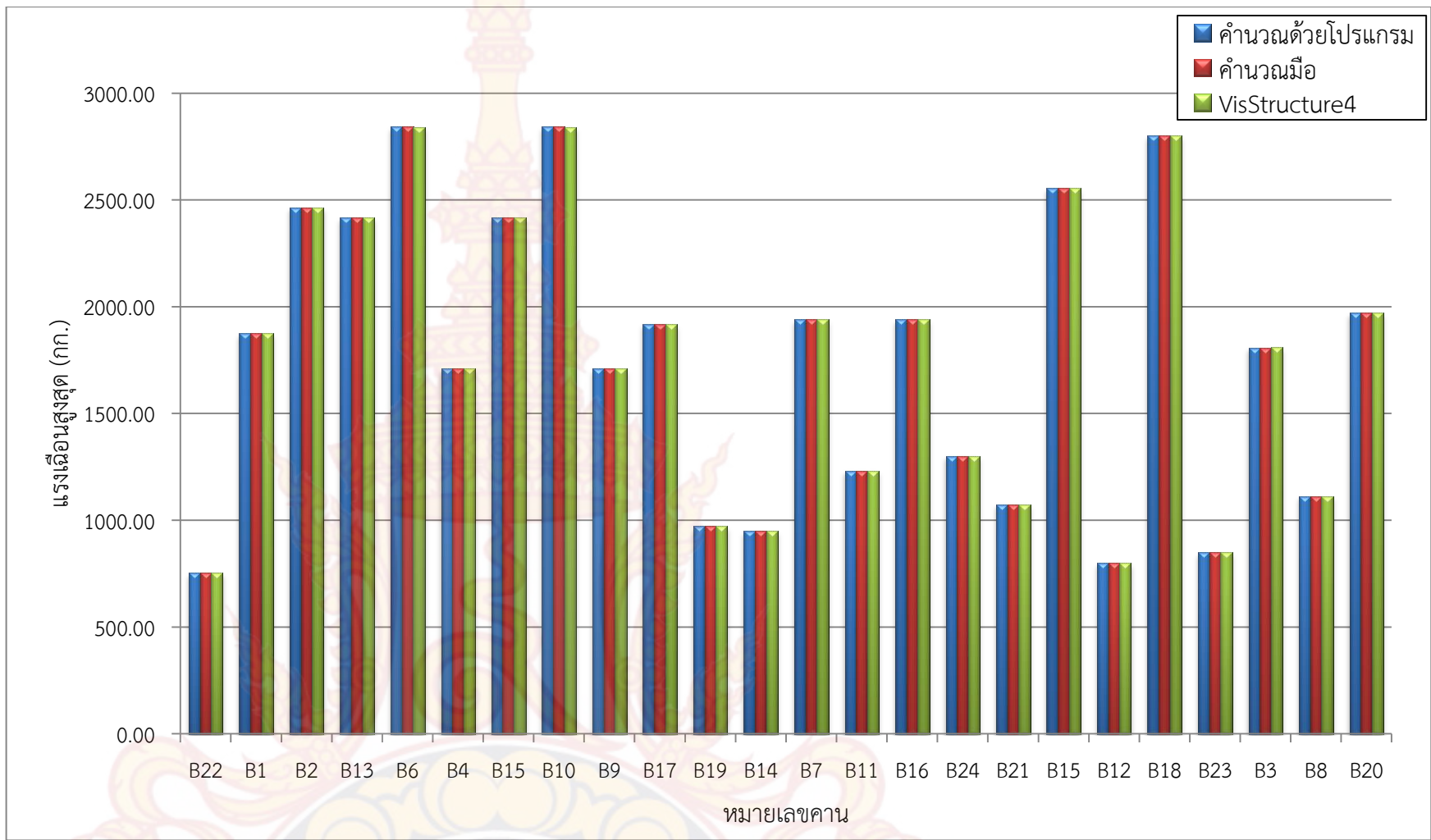
ภาพที่ 120 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ดัดที่ช่วงกลางของคานแปลนบ้านที่ 2



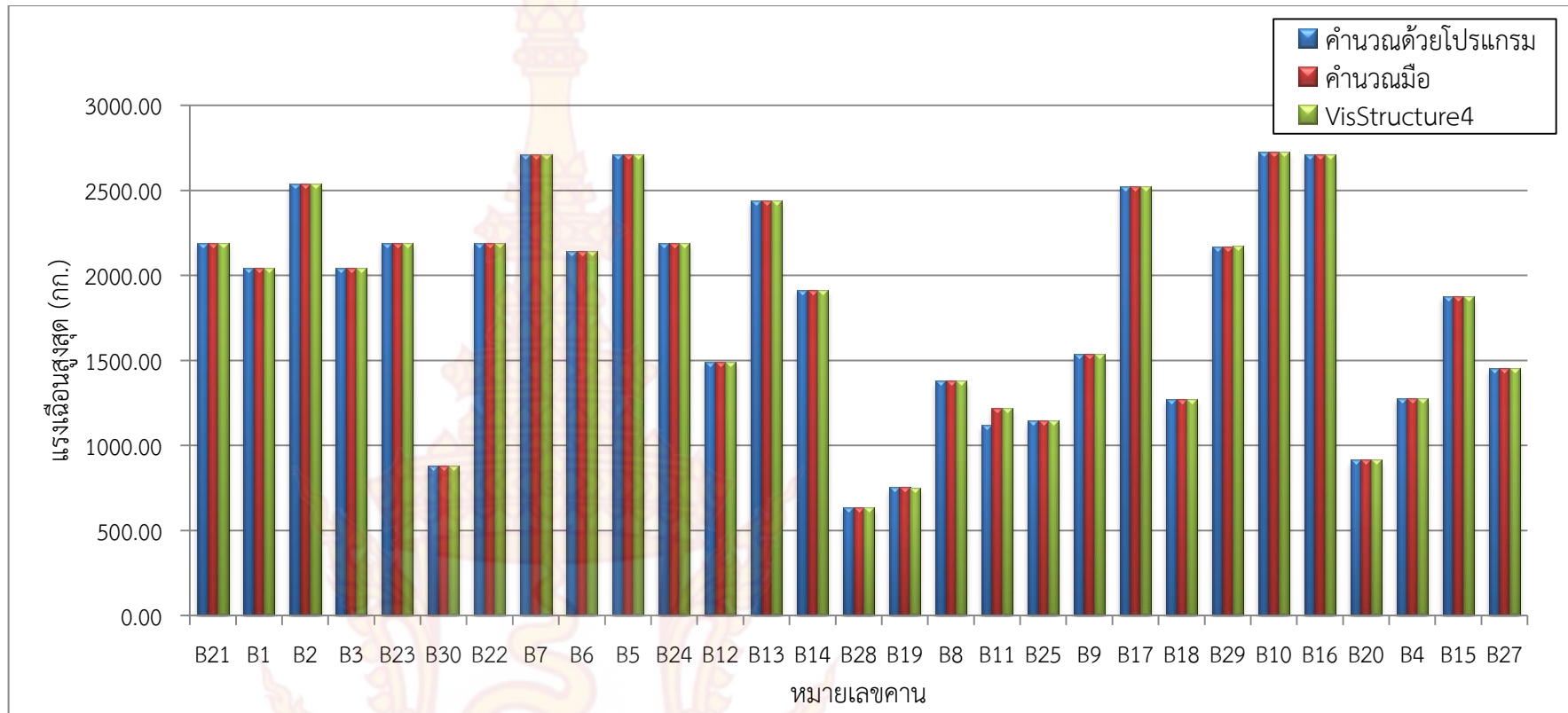
ภาพที่ 121 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านขวาของคานแปลนบ้านที่ 1



ภาพที่ 122 กราฟแห่งเปรียบเทียบการคำนวณโมเมนต์ที่ฐานรองรับด้านขวาของคานแปลนบ้านที่ 2



ภาพที่ 123 กราฟแท่งเปรียบเทียบการคำนวณแรงเค้นที่สูงสุดของคานแปลนบ้านที่ 1



ภาพที่ 124 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงเฉือนที่สูงสุดของคานแปลนบ้านที่ 2

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 1

หมายเลข คาน	ตำแหน่ง เหล็ก	ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านซ้าย			ปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคาน			ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านขวา			ปริมาณเหล็กปลอก		
		ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
		ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)
GB1													
B22	บน	1.84	1.84	1.45	0.00	0.00	0.00	1.84	1.84	1.45	0.125	0.125	0.125
	ล่าง	0.46	0.46	0.46	1.84	1.84	0.72	0.46	0.46	0.46			
GB2													
B1	บน	2.37	2.37	2.37	0.00	0.00	0.00	3.01	3.01	2.61	0.125	0.125	0.125
	ล่าง	0.46	0.46	0.40	1.84	1.84	1.60	0.46	0.46	0.40			
B2	บน	3.01	3.01	2.52	0.00	0.00	0.00	3.94	3.93	3.93	0.100	0.100	0.120
	ล่าง	0.46	0.46	0.61	1.84	1.84	1.84	0.73	0.73	0.73			
GB3													
B13	บน	0.46	0.46	0.00	1.84	1.84	0.00	4.32	4.32	3.74	0.100	0.100	0.08
	ล่าง	1.84	1.84	1.84	0.00	0.00	0.00	1.35	1.35	0.42			
B6	บน	4.32	4.32	3.38	0.72	0.72	0.71	3.88	3.88	3.01	0.100	0.100	0.120
	ล่าง	1.35	1.35	1.31	3.93	3.93	3.93	0.98	0.98	1.31			
B4	บน	3.88	3.88	3.23	0.00	0.00	0.00	1.84	1.84	1.76	0.100	0.100	0.120
	ล่าง	0.64	0.64	0.34	1.84	1.84	1.02	0.46	0.46	0.34			

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 1 (ต่อ)

หมายเลข คาน	ตำแหน่ง เหล็ก	ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านซ้าย			ปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคาน			ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านขวา			ปริมาณเหล็กปลอก		
		ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
		ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)
GB4													
B15	บน	0.46	0.46	0.00	1.84	1.84	0.00	4.32	4.32	3.74	0.100	0.100	0.08
	ล่าง	1.84	1.84	1.84	0.00	0.00	0.00	1.35	1.35	0.42			
B10	บน	4.32	4.32	3.38	0.72	0.72	0.71	3.88	3.88	3.01	0.100	0.100	0.120
	ล่าง	1.35	1.35	1.31	3.93	3.93	3.93	0.98	0.98	1.31			
B9	บน	3.88	3.88	3.23	0.00	0.00	0.00	1.84	1.84	1.76	0.100	0.100	0.120
	ล่าง	0.64	0.64	0.34	1.84	1.84	1.02	0.46	0.46	0.34			
GB5													
B17	บน	2.92	2.92	2.92	0.00	0.00	0.00	1.91	1.91	1.84	0.125	0.125	0.125
	ล่าง	0.46	0.46	0.46	1.84	1.84	1.84	0.46	0.46	0.46			
B19	บน	1.91	1.91	1.84	0	0	0	1.84	1.84	1.19	0.125	0.125	0.125
	ล่าง	0.46	0.46	0.21	1.84	1.84	0.64	0.46	0.46	0.21			
GB6													
B14	บน	1.84	1.84	1.22	0.00	0.00	0.00	1.84	1.84	1.22	0.125	0.125	0.125
	ล่าง	0.46	0.46	0.15	1.84	1.84	0.61	0.46	0.46	0.15			

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมคานต่อเนื่องที่ยึดตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 1 (ต่อ)

หมายเลข คาน	ตำแหน่ง เหล็ก	ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านซ้าย			ปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคาน			ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านขวา			ปริมาณเหล็กปลอก		
		ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
		ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)
GB7													
B7	บน	2.99	2.99	2.98	0.00	0.00	0.00	1.84	1.84	1.84			
	ล่าง	0.46	0.46	0.46	1.84	1.84	1.84	0.46	0.46	0.46	0.125	0.125	0.125
B11	บน	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	0.02	1.84	1.84	1.84			
	ล่าง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.125	0.125	0.125
B16	บน	1.84	1.84	1.84	0.00	0.00	0.00	2.99	2.99	2.99			
	ล่าง	0.46	0.46	0.46	1.84	1.84	1.84	0.46	0.46	0.46	0.125	0.125	0.125
GB8													
B14	บน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	ล่าง	0.62	0.62	0.62	1.87	1.87	1.87	0.62	0.62	0.62	0.125	0.125	0.125

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 1 (ต่อ)

หมายเลข คาน	ตำแหน่ง เหล็ก	ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านซ้าย			ปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคาน			ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านขวา			ปริมาณเหล็กปลอก		
		ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
		ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)
GB9													
B21	บน	0.46	0.46	0.00	1.84	1.84	0.00	2.92	2.92	2.69			
	ล่าง	1.84	1.84	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.125	0.125	0.125
B15	บน	2.92	2.92	2.38	0.00	0.00	0.00	2.39	2.39	1.88			
	ล่าง	0.46	0.46	0.91	2.72	2.72	2.72	0.68	0.68	0.91	0.125	0.125	0.125
B12	บน	2.39	2.39	2.22	1.47	1.47	1.44	1.84	1.84	1.84			
	ล่าง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.125	0.125	0.125
B18	บน	1.84	1.84	1.80	0.00	0.00	0.00	4.78	4.78	4.78			
	ล่าง	0.56	0.56	0.77	2.23	2.31	2.31	1.98	1.98	1.98	0.100	0.100	0.120

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 1 (ต่อ)

หมายเลข คาน	ตำแหน่ง เหล็ก	ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านซ้าย			ปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคาน			ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านขวา			ปริมาณเหล็กปลอก		
		ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
		ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)
GB10													
B23	บน	0.46	0.46	0.00	1.84	1.84	0.00	2.05	2.05	1.87			
	ล่าง	1.84	1.84	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.125	0.125	0.125
B3	บน	2.92	2.92	2.92	0.00	0.00	0.00	1.99	1.99	1.84			
	ล่าง	0.46	0.46	0.62	1.86	1.86	1.86	0.46	0.46	0.62	0.125	0.125	0.125
B8	บน	1.99	1.99	1.84	1.84	1.84	0.39	1.84	1.84	1.84			
	ล่าง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.125	0.125	0.125
B20	บน	1.84	1.84	1.84	0.00	0.00	0.00	3.07	3.07	3.07			
	ล่าง	0.46	0.46	0.61	1.84	1.84	1.84	0.46	0.46	0.61	0.125	0.125	0.125

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2

หมายเลข คาน	ตำแหน่ง เหล็ก	ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านซ้าย			ปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคาน			ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านขวา			ปริมาณเหล็กปลอก		
		ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
		ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)
GB1													
B21	บน	-	-	-	-	-	-	5.62	5.62	5.11	0.100	0.100	0.120
	ล่าง	-	-	-	-	-	-	3.33	3.33	2.51			
B1	บน	5.62	5.62	5.15	1.84	1.84	0.33	3.16	3.16	2.83	0.100	0.100	0.120
	ล่าง	3.33	3.33	2.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
B2	บน	3.16	3.16	2.62	2.30	2.30	2.30	3.16	3.16	2.62	0.100	0.100	0.120
	ล่าง	1.24	1.24	1.66	4.98	4.98	4.98	1.24	1.24	1.66			
B3	บน	3.16	3.16	2.83	1.84	1.84	0.33	5.62	5.62	5.15	0.100	0.100	0.120
	ล่าง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	3.33	2.57			
B23	บน	5.62	5.62	5.11	-	-	-	-	-	-	0.100	0.100	0.120
	ล่าง	3.33	3.33	2.51	-	-	-	-	-	-			
GB2													
B30	บน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.125	0.125	0.125
	ล่าง	0.61	0.61	0.42	1.84	1.84	1.27	0.61	0.61	0.42			

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมคานต่อเนื้อที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2 (ต่อ)

หมายเลข คาน	ตำแหน่ง เหล็ก	ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านซ้าย			ปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคาน			ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านขวา			ปริมาณเหล็กปลอก		
		ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
		ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)
GB3													
B22	บน	-	-	-	-	-	-	5.62	5.62	5.11			
	ล่าง	-	-	-	-	-	-	3.33	3.33	2.51	0.100	0.100	0.120
B7	บน	5.62	5.62	5.01	0.00	0.00	0.00	4.52	4.52	3.96			
	ล่าง	3.33	3.33	2.36	1.84	1.84	0.92	1.67	1.68	0.77	0.100	0.100	0.120
B6	บน	4.52	4.52	3.79	2.05	2.05	2.05	4.51	4.51	3.78			
	ล่าง	1.67	1.68	1.61	4.82	4.82	4.82	1.66	1.66	1.61	0.100	0.100	0.120
B5	บน	4.51	4.51	3.95	0.00	0.00	0.00	5.62	5.62	5.01			
	ล่าง	1.66	1.66	0.76	1.84	1.84	0.92	3.33	3.33	2.36	0.100	0.100	0.120
B24	บน	5.62	5.62	5.11	-	-	-	-	-	-			
	ล่าง	3.33	3.33	2.51	-	-	-	-	-	-	0.100	0.100	0.120

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2 (ต่อ)

หมายเลข คาน	ตำแหน่ง เหล็ก	ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านซ้าย			ปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคาน			ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านขวา			ปริมาณเหล็กปลอก		
		ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
		ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)
GB4													
B12	บน	1.84	1.84	1.84	0.00	0.00	0.00	2.84	2.84	2.84			
	ล่าง	0.46	0.46	0.26	1.84	1.84	1.03	0.46	0.46	0.26	0.125	0.125	0.125
B13	บน	2.84	2.84	2.34	0.00	0.00	0.00	3.24	3.24	2.73			
	ล่าง	0.46	0.46	0.70	2.11	2.11	2.11	0.46	0.46	0.7	0.125	0.125	0.125
B14	บน	3.24	3.24	2.83	0.00	0.00	0.00	2.26	2.26	2.25			
	ล่าง	0.46	0.46	0.51	1.84	1.84	1.53	0.46	0.46	0.51	0.125	0.125	0.125
GB5													
B28	บน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	ล่าง	0.61	0.61	0.61	1.84	1.84	1.84	0.61	0.61	0.61	0.125	0.125	0.125
GB6													
B19	บน	1.84	1.84	1.45	0.00	0.00	0.00	2.26	2.26	2.25			
	ล่าง	0.46	0.46	0.18	1.84	1.84	0.72	0.46	0.46	0.51	0.125	0.125	0.125

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2 (ต่อ)

หมายเลข	ตำแหน่ง	ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านซ้าย			ปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคาน			ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านขวา			ปริมาณเหล็กปลอก		
		ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
		ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)
GB7													
B26	บน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	ล่าง	1.04	1.04	1.04	3.13	3.13	3.13	1.04	1.04	1.04	0.125	0.125	0.125
GB8													
B8	บน	2.24	2.24	2.24	0.00	0.00	0.00	1.84	1.84	0.64			
	ล่าง	0.46	0.46	0.39	1.84	1.84	1.58	0.46	0.46	0.39	0.125	0.125	0.125
B11	บน	1.84	1.84	0.79	1.84	1.84	0.12	4.16	4.16	3.87			
	ล่าง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09	1.09	0.62	0.100	0.100	0.120
B25	บน	4.16	4.16	3.89	-	-	-	-	-	-			
	ล่าง	1.09	1.09	0.65	-	-	-	-	-	-	0.100	0.100	0.120

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2 (ต่อ)

หมายเลข คาน	ตำแหน่ง เหล็ก	ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านซ้าย			ปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคาน			ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านขวา			ปริมาณเหล็กปลอก		
		ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
		ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)
GB9													
B9	บน	1.84	1.84	1.77	0.00	0.00	0.00	3.08	3.08	2.76			
	ล่าง	0.46	0.46	0.39	1.84	1.84	0.98	0.46	0.46	0.24	0.125	0.125	0.125
B17	บน	3.08	3.08	2.55	0.00	0.00	0.00	2.81	2.81	2.29			
	ล่าง	0.61	0.61	0.81	2.42	2.42	2.42	0.61	0.61	0.81	0.125	0.125	0.125
B18	บน	2.81	2.81	2.54	0.00	0.00	0.00	1.84	1.84	0.08			
	ล่าง	0.46	0.46	0.26	1.84	1.84	0.77	0.46	0.46	0.26	0.125	0.125	0.125
GB10													
B29	บน	0.00	0.00	0.00	2.83	3.08	3.08	0.00	0.00	0.00			
	ล่าง	1.77	1.82	1.82	5.31	5.45	5.46	1.77	1.82	1.82	0.100	0.100	0.120

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2 (ต่อ)

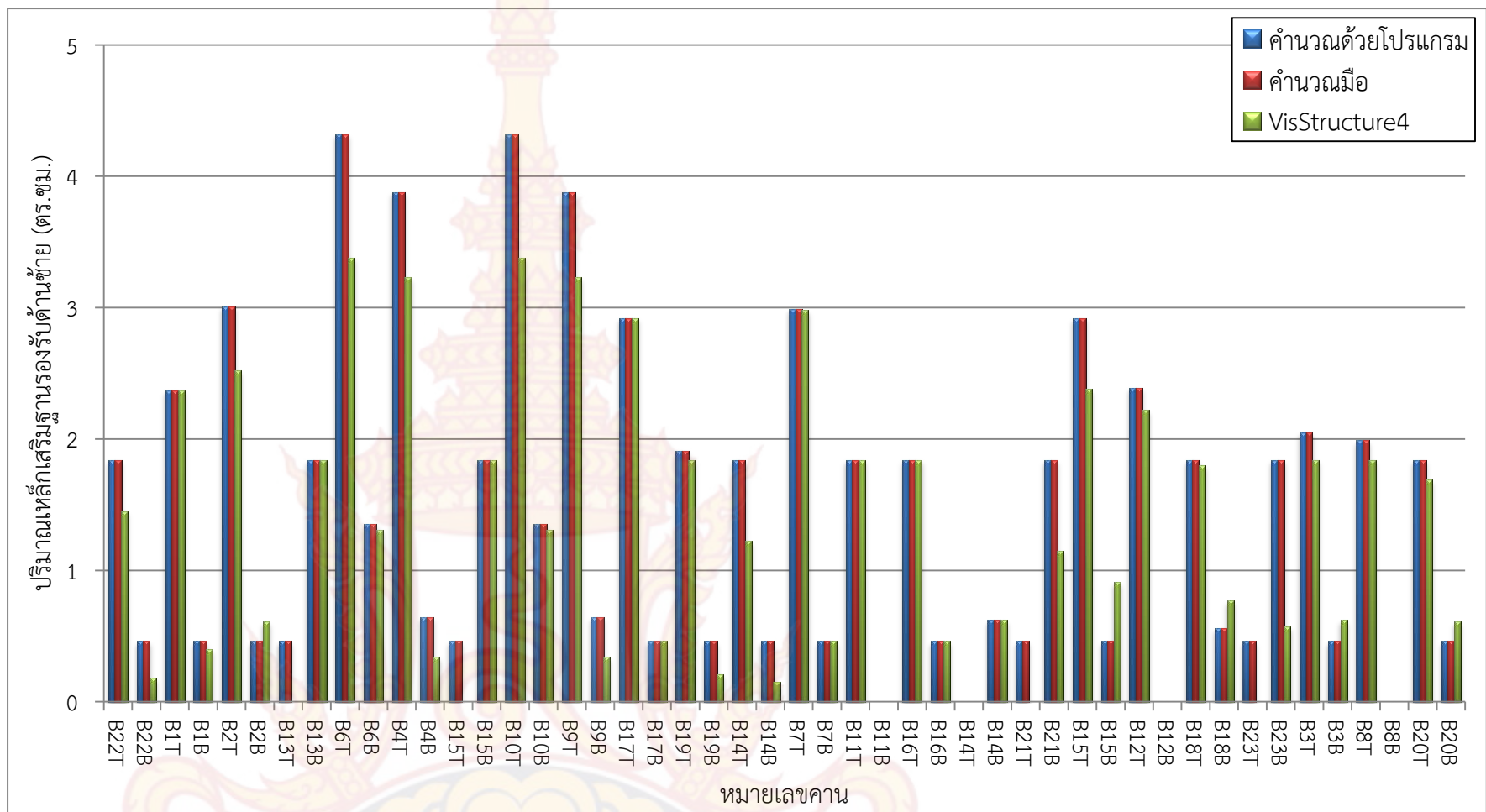
หมายเลข คาน	ตำแหน่ง เหล็ก	ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านซ้าย			ปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคาน			ปริมาณเหล็กเสริมฐานรองรับ ด้านขวา			ปริมาณเหล็กปลอก		
		ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
		ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ DB 12 มม. (ตร.ชม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)	ใช้ RB 6 มม. (ม.)
GB11													
B10	บน	4.09	4.09	4.09	0.00	0.00	0.00	4.49	4.49	3.92	0.100	0.100	0.120
	ล่าง	0.98	0.98	0.98	2.03	2.13	2.13	1.52	1.52	0.70			
B16	บน	4.49	4.49	3.92	0.00	0.00	0.00	2.31	2.31	1.84	0.100	0.100	0.120
	ล่าง	21.52	1.52	0.70	2.11	2.15	2.15	0.53	0.53	0.72			
B20	บน	2.31	2.31	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.125	0.125	0.125
	ล่าง	0.46	0.46	0.00	1.84	1.84	0.00	1.84	1.84	0.75			
GB12													
B4	บน	1.84	1.84	1.84	0.00	0.00	0.00	2.15	2.15	1.88	0.125	0.125	0.125
	ล่าง	0.46	0.46	0.26	1.84	1.84	1.02	0.46	0.46	0.26			
B15	บน	2.15	2.15	1.84	0.00	0.00	0.00	2.80	2.80	2.80	0.125	0.125	0.125
	ล่าง	0.46	0.46	0.61	1.84	1.84	1.84	0.46	0.46	0.61			
GB13													
B27	บน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.125	0.125	0.125
	ล่าง	1.04	1.04	1.04	3.13	3.13	3.13	1.04	1.04	1.04			

หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

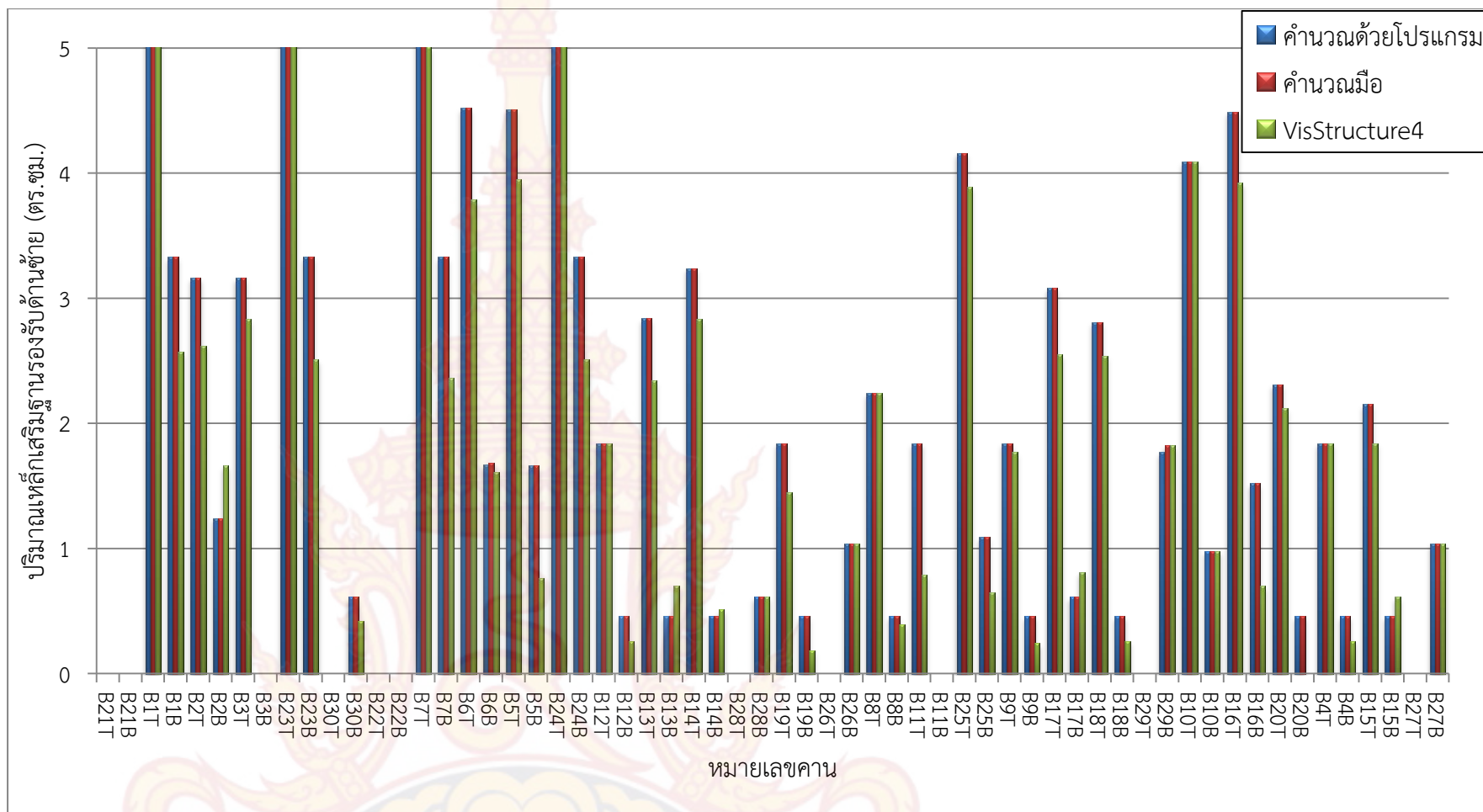
ภาพที่ 125 ถึง ภาพที่ 130 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมของคาน แปลนบ้านที่ 1 และแปลนบ้านที่ 2 จากตารางที่ 18 และตารางที่ 19 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของ กราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือนั้นมีค่าที่ตรงกัน และผลการ เปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 จะมีค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งสาเหตุที่เกิดความ แตกต่างกันมี 2 กรณีคือ (1) เกิดจากโปรแกรม VisStructure4 ใช้โมเมนต์ดัดที่ขอบเสามาคำนวณ ปริมาณเหล็กเสริมแต่โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใช้โมเมนต์ดัดหัวเสาที่สูงที่สุด (2) เกิดจากกรณีที่มีปริมาณ เหล็กเสริมน้อยกว่าปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำ ($14bd/f_y$) มาตรฐาน (ว.ส.ท. 1007-34) โดยโปรแกรมที่ พัฒนาขึ้นจะใช้ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำเท่ากับ $14bd/f_y$ แต่โปรแกรม VisStructure4 จะใช้ค่าน้อย สุดของ 1.34 ของค่าที่คำนวณได้กับ $14bd/f_y$

ภาพที่ 131 และภาพที่ 132 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณระยะห่างเหล็กหลอกของคาน แปลนบ้านที่ 1 และแปลนบ้านที่ 2 จากตารางที่ 18 และตารางที่ 19 มาเปรียบเทียบในรูปแบบของ กราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือนั้นมีค่าที่ตรงกัน และผลการ เปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 จะมีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อยบางกรณี ซึ่งเกิด จากช่วงระยะห่างเหล็กปลอกคาน โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะกำหนดช่วงไว้ที่ระยะทุก 2.5 ซม. เพราะจะทำให้สะดวกในการก่อสร้าง แต่โปรแกรม VisStructure4 จะมีช่วงที่ละเอียดมากกว่า

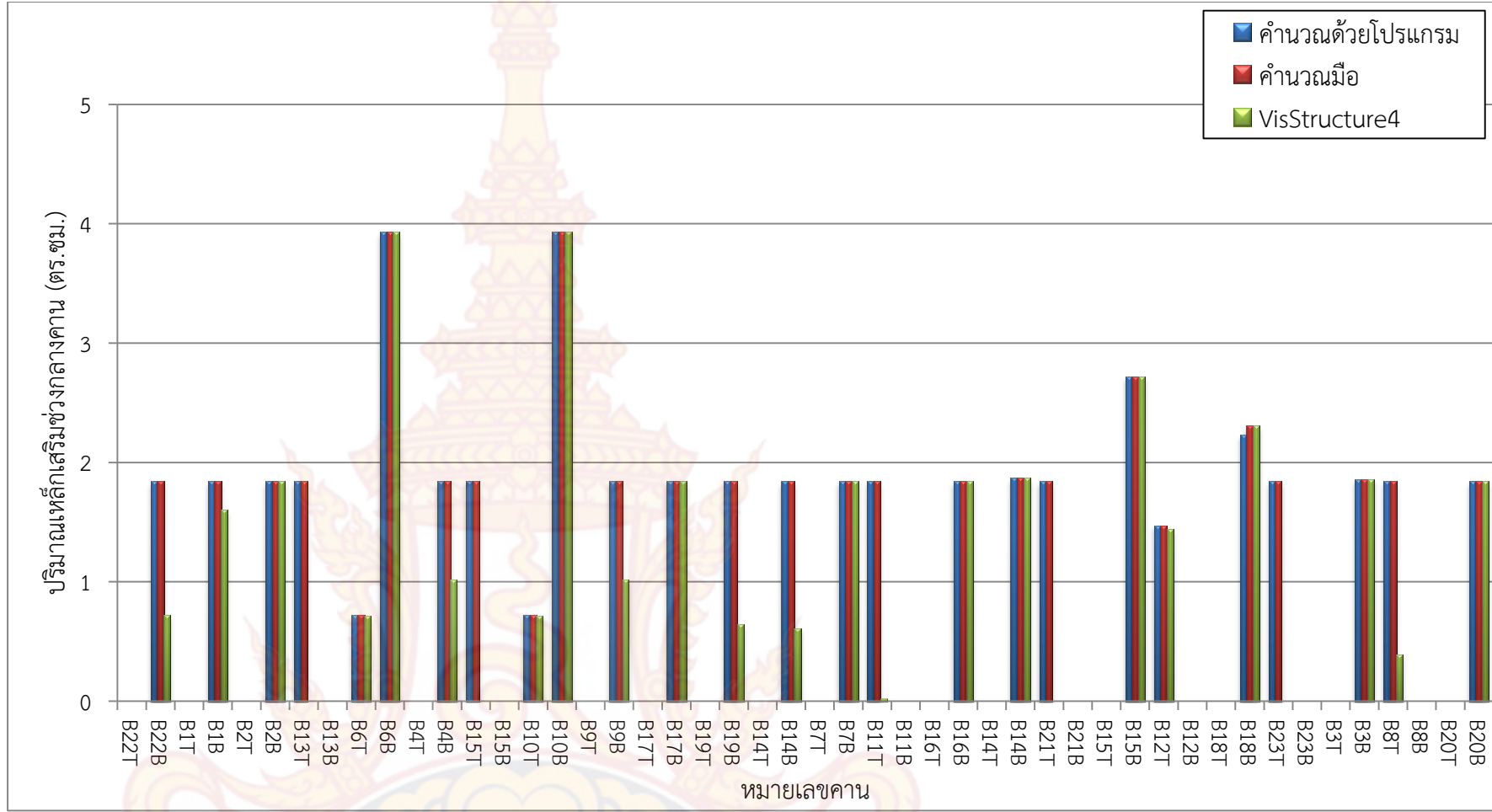




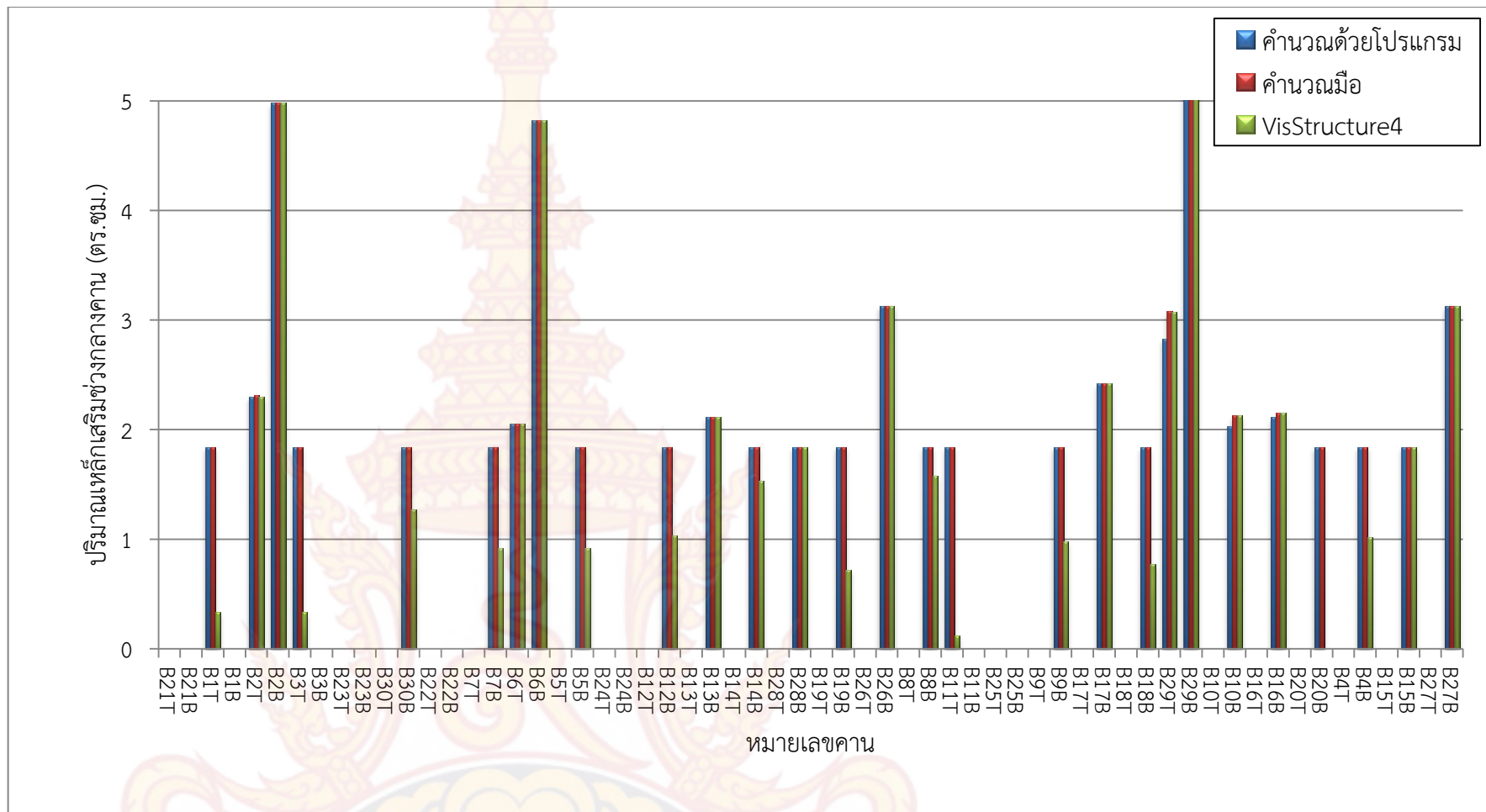
ภาพที่ 125 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมช่วงหัวเสาต้านซ้ายของคานแปลนบ้านที่ 1



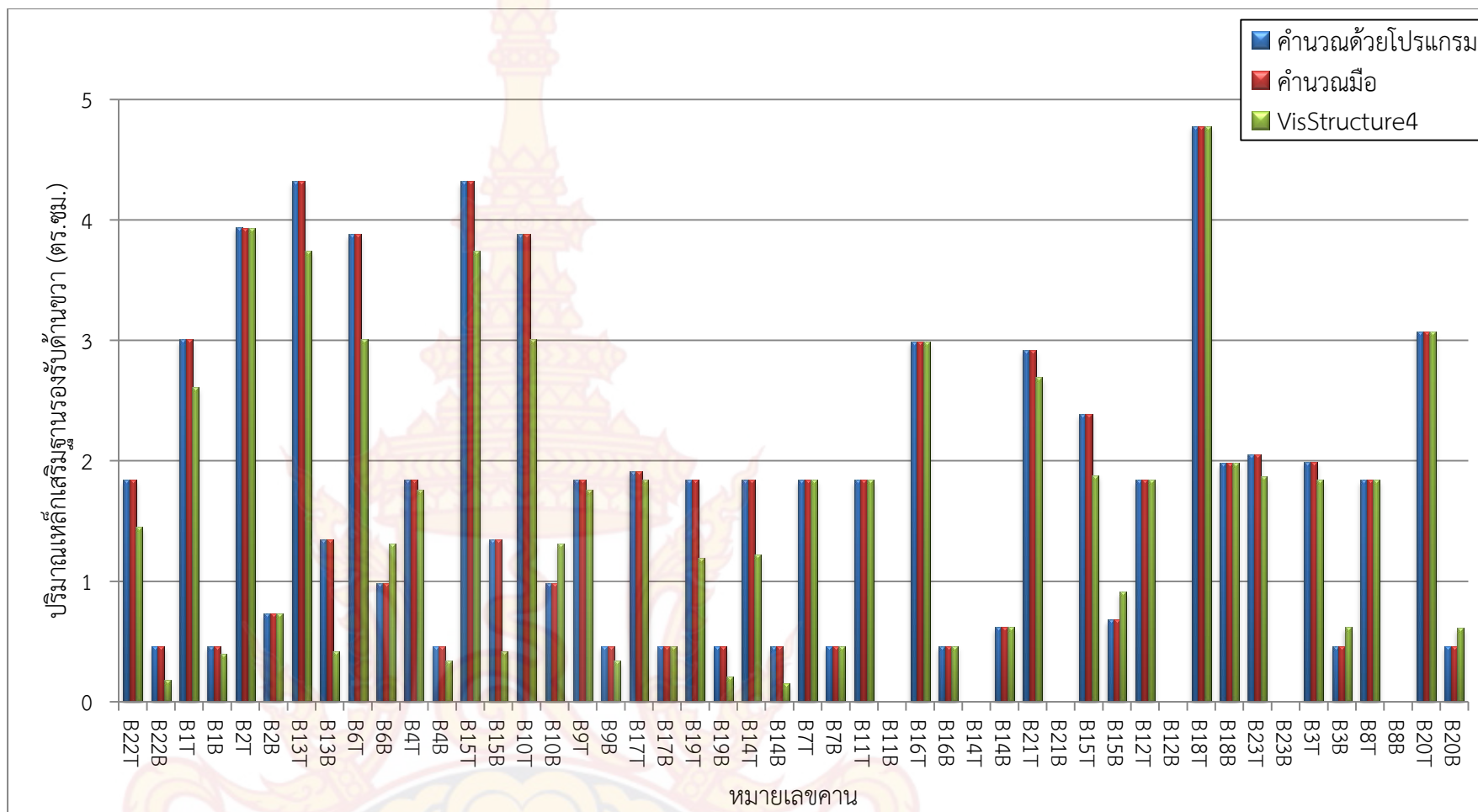
ภาพที่ 126 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมช่วงหัวเสาต้านซ้ายของคานแปลนบ้านที่ 2



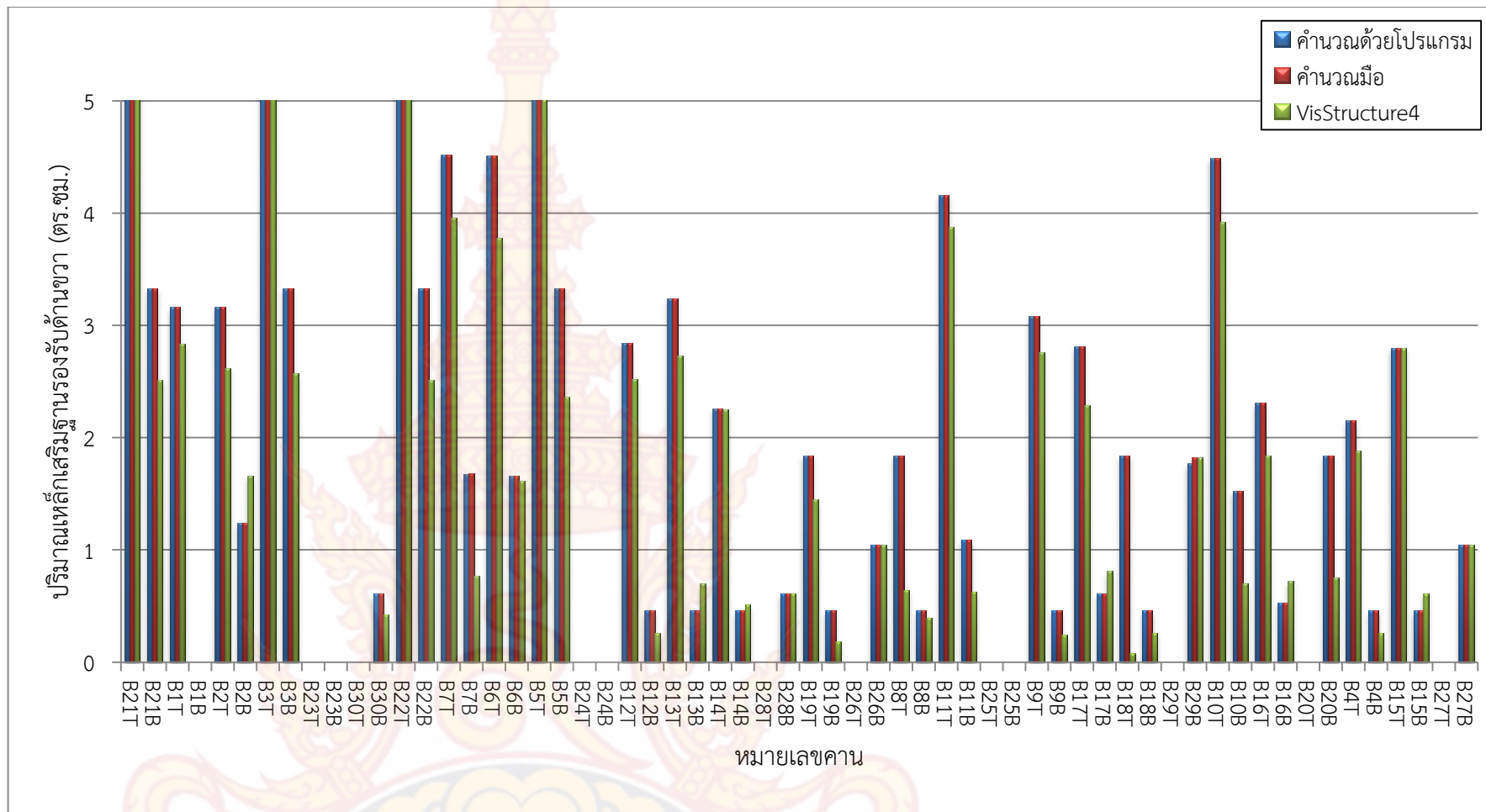
ภาพที่ 127 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมช่วงกลางคานของคานแปลนบ้านที่ 1



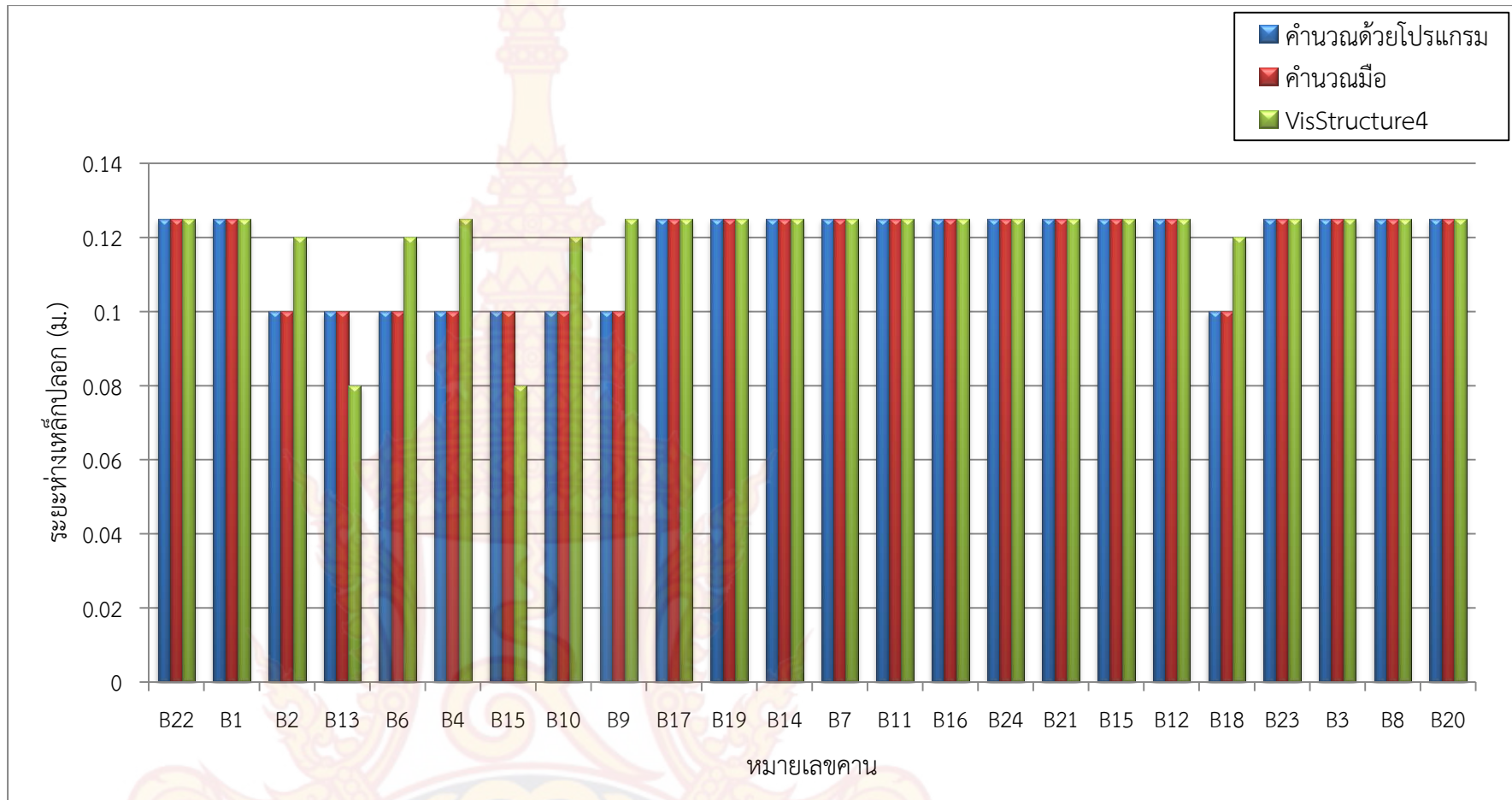
ภาพที่ 128 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณหลักเสริมช่วงกลางคานของแปลนบ้านที่ 2



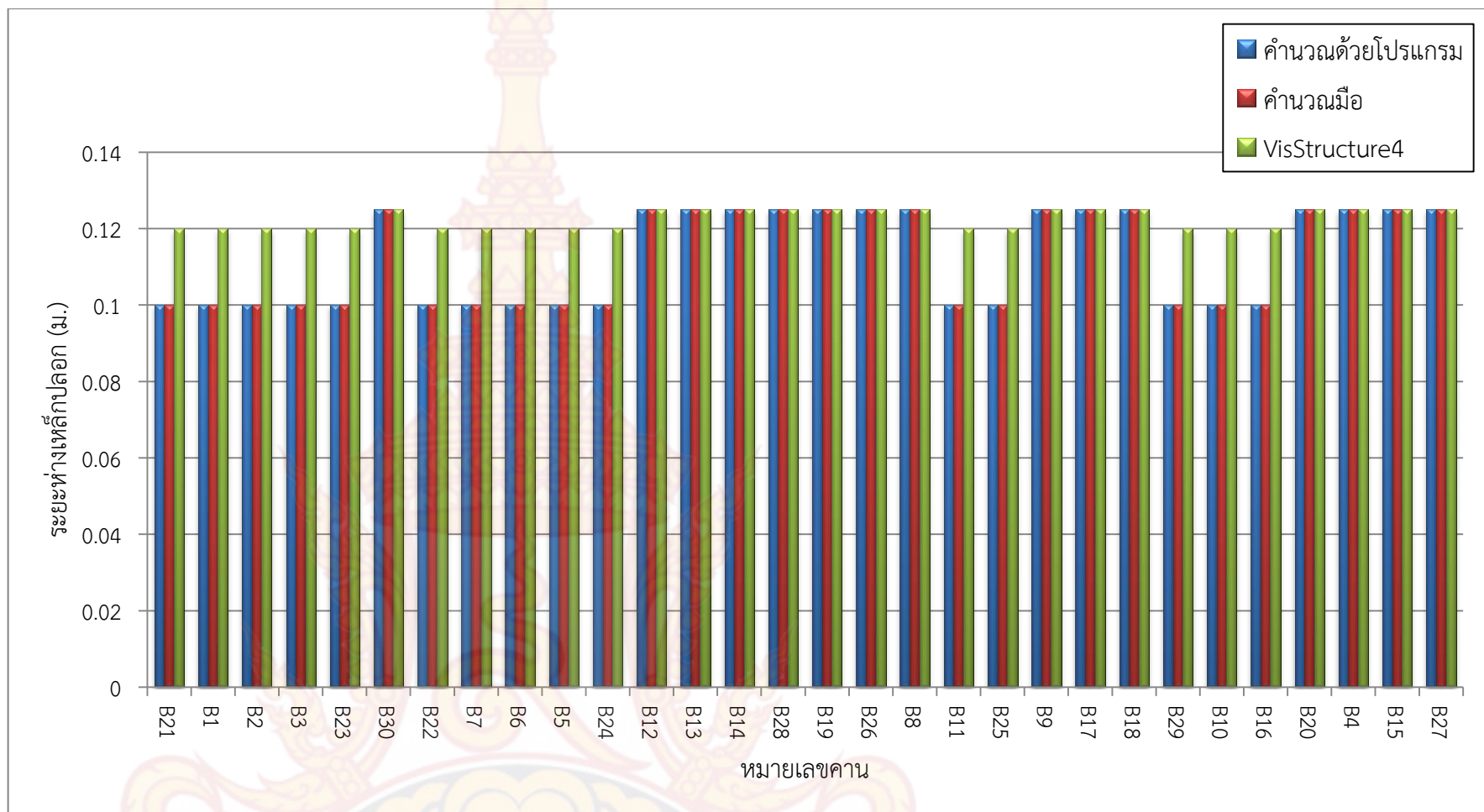
ภาพที่ 129 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมช่วงหัวเสาด้านขวาของคานแปลนบ้านที่ 1



ภาพที่ 130 กราฟแห่งเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณเหลี่ยมหลักเสริมช่วงหัวเสาด้านขวาของคานแปลนบ้านที่ 2



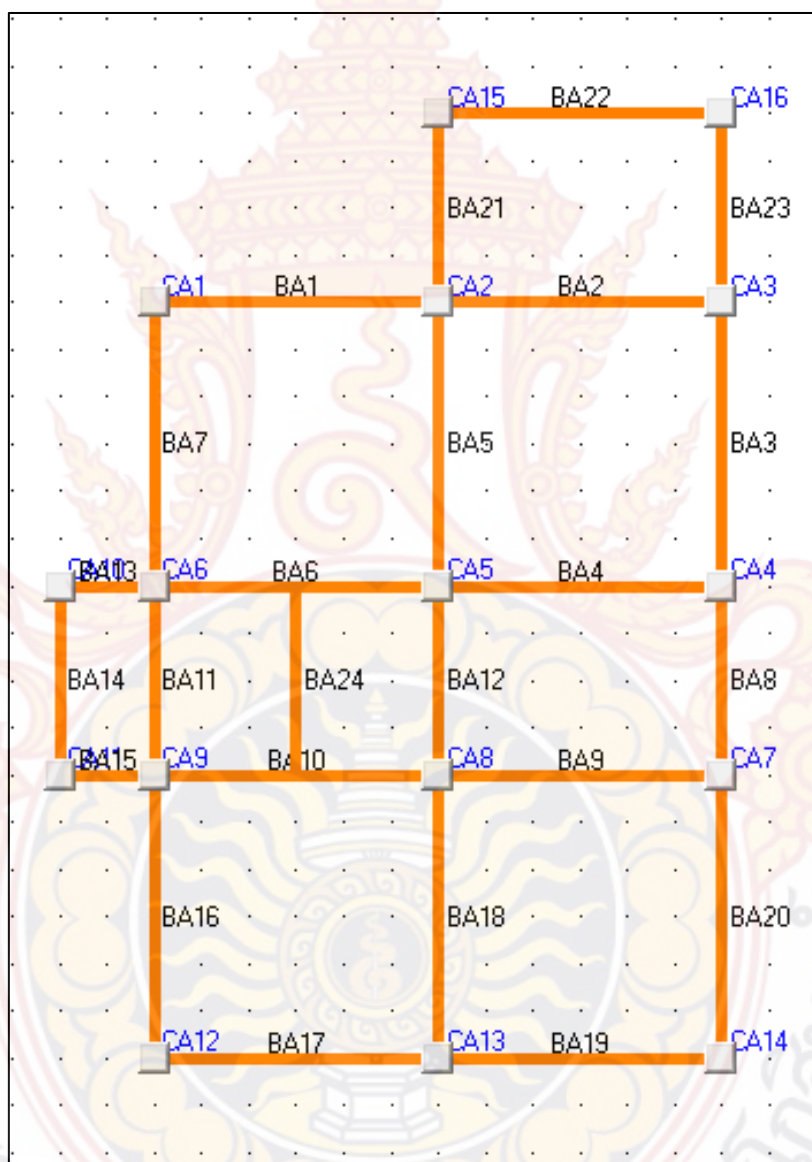
ภาพที่ 131 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณระยะห่างเหล็กหลอกของคานแปลนบ้านที่ 1



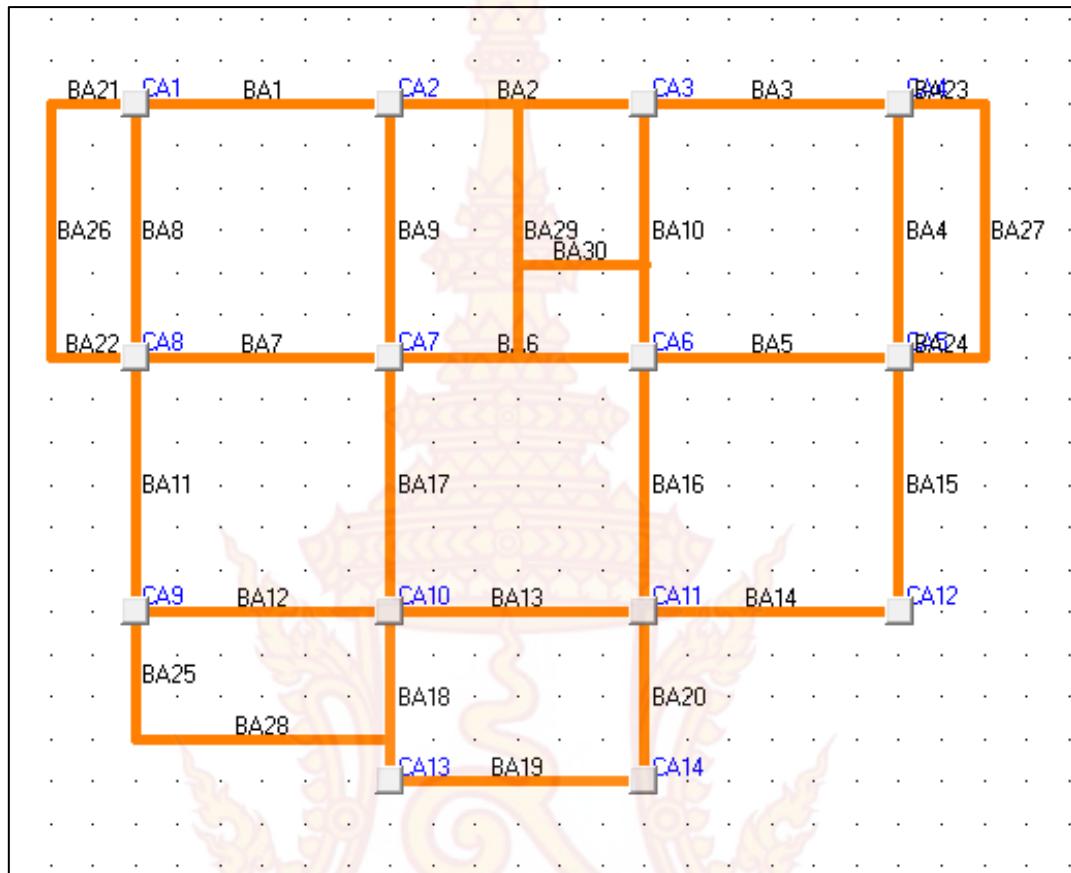
ภาพที่ 132 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณระยะห่างเหล็กหลอกของคานแปลนบ้านที่ 2

4.3 การเปรียบเทียบผลออกแบบคานเหล็ก

ในส่วนการออกแบบคานเหล็กได้นำค่าที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบด้วยขนาดเหล็กคาน และค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่คานรับได้ และค่าแรงเฉือนสูงสุดที่คานรับ ได้มาเปรียบเทียบกับค่าคำนวณด้วยมือ ว่ามีความใกล้เคียงกันเพียงใด สำหรับคานที่ยกตัวอย่างใน การคำนวณนั้นนำมาจากแปลนบ้านที่ 1 ดังภาพที่ 133 และแปลนบ้านที่ 2 ดังภาพที่ 134



ภาพที่ 133 แปลนบ้านที่ 1 สำหรับคำนวณคานเหล็ก



ภาพที่ 134 แพลนบ้านที่ 2 สำหรับคำนวณคานเหล็ก



ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบผลการคำนวณขนาดคานเหล็กเสริม ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด และแรงเฉือนสูงสุดของคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 1

หมายเลข	ขนาดหน้าตัดเหล็ก Wide Flange		โมเมนต์ดัดสูงสุดที่คานรับได้		แรงเฉือนสูงสุดที่คานรับได้	
	คาน	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	คำนวณด้วยมือ	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	คำนวณด้วยมือ	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น
GB1						
B22	100 x 50 x 5 x 7	100 x 50 x 5 x 7	380.36	380.36	4792.00	4792.00
GB2						
B1	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787.00	7787.00
B2	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787.00	7787.00
GB3						
B13	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	2150.65	2150.65	7787.00	7787.00
B6	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787.00	7787.00
B4	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787.00	7787.00
GB4						
B15	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	2150.65	2150.65	7787.00	7787.00
B10	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787.00	7787.00
B9	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787.00	7787.00
GB5						
B17	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.40	5750.40
B19	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.40	5750.40

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบผลการคำนวณขนาดคานเหล็กเสริม ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด และแรงเฉือนสูงสุดของคานต่อเนื่องที่ยึดตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 1 (ต่อ)

หมายเลข	ขนาดหน้าตัดเหล็ก Wide Flange		โมเมนต์ดัดสูงสุดที่คานรับได้		แรงเฉือนสูงสุดที่คานรับได้	
	คาน	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	คำนวณด้วยมือ	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	คำนวณด้วยมือ	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น
GB6						
B14	100 x 50 x 5 x 7	100 x 50 x 5 x 7	539.10	539.10	4792.00	4792.00
GB7						
B7	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.40	5750.40
B11	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.40	5750.40
B16	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.40	5750.40
GB8						
B24	125 x 60 x 6 x 8	125 x 60 x 6 x 8	950.25	950.25	7188.00	7188.00
GB9						
B21	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787.00	7787.00
B15	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787.00	7787.00
B12	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787.00	7787.00
B18	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787.00	7787.00
GB10						
B23	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.40	5750.40
B3	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.40	5750.40
B8	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.40	5750.40
B20	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.40	5750.40

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบผลการคำนวณขนาดคานเหล็กเสริม ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด และแรงเฉือนสูงสุดของคานต่อเนื่องที่ยึดตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2

หมายเลข คาน	ขนาดหน้าตัดเหล็ก Wide Flange		โมเมนต์ดัดสูงสุดที่คานรับได้		แรงเฉือนสูงสุดที่คานรับได้	
	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	คำนวณด้วยมือ	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	คำนวณด้วยมือ	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	คำนวณด้วยมือ
GB1						
B21	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	2150.65	2150.65	7787	7787
B1	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787	7787
B2	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787	7787
B3	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787	7787
B23	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	2150.65	2150.65	7787	7787
GB2						
B30	100 x 50 x 5 x 7	100 x 50 x 5 x 7	539.10	539.10	4792	4792
GB3						
B22	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	2150.65	2150.65	7787	7787
B7	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787	7787
B6	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787	7787
B5	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787	7787
B24	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	2150.65	2150.65	7787	7787
GB4						
B12	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.4	5750.4
B13	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.4	5750.4
B14	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.4	5750.4

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบผลการคำนวณขนาดคานเหล็กเสริม ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด และแรงเฉือนสูงสุดของคานต่อเนื่องที่ยกตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2 (ต่อ)

หมายเลข คาน	ขนาดหน้าตัดเหล็ก Wide Flange		โมเมนต์ดัดสูงสุดที่คานรับได้		แรงเฉือนสูงสุดที่คานรับได้	
	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	คำนวณด้วยมือ	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	คำนวณด้วยมือ	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	คำนวณด้วยมือ
GB5						
B28	100 x 50 x 5 x 7	100 x 50 x 5 x 7	380.36	380.36	4792	4792
GB6						
B19	100 x 50 x 5 x 7	100 x 50 x 5 x 7	380.36	380.36	4792	4792
GB7						
B26	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.4	5750.4
GB8						
B8	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.4	5750.4
B11	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.4	5750.4
B25	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.40	5750.40
GB9						
B9	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.4	5750.4
B17	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.4	5750.4
B18	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.4	5750.4
GB10						
B29	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787	7787

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบผลการคำนวณขนาดคานเหล็กเสริม ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด และแรงเฉือนสูงสุดของคานต่อเนื่องที่ยึดตัวอย่างจากแปลนบ้านที่ 2 (ต่อ)

หมายเลข	ขนาดหน้าตัดเหล็ก Wide Flange		โมเมนต์ดัดสูงสุดที่คานรับได้		แรงเฉือนสูงสุดที่คานรับได้	
	คาน	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	คำนวณด้วยมือ	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	คำนวณด้วยมือ	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น
GB11						
B10	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787	7787
B16	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787	7787
B20	125 x 125 x 6.5 x 9	125 x 125 x 6.5 x 9	1955.14	1955.14	7787	7787
GB12						
B4	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.4	5750.4
B15	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.4	5750.4
GB13						
B27	100 x 100 x 6 x 8	100 x 100 x 6 x 8	1099.76	1099.76	5750.4	5750.4

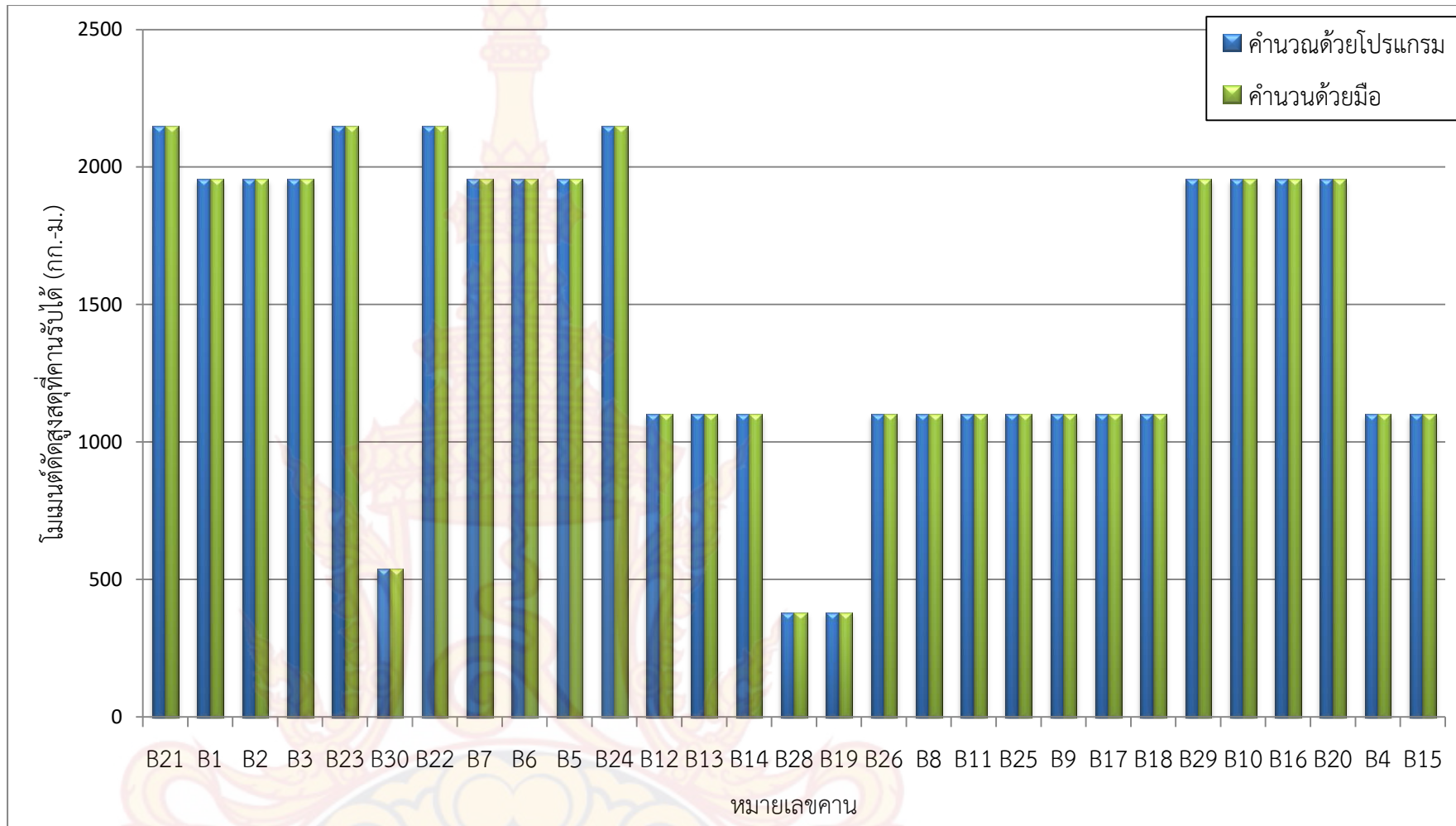
ภาพที่ 135 และภาพที่ 136 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณโมเมนต์ดัดสูงสุดที่รับได้ของคานเหล็กแปลนบ้านที่ 1 และแปลนบ้านที่ 2 จากตารางที่ 20 และตารางที่ 21 มาเปรียบเทียบผลในรูปแบบของกราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยมือนั้นมีค่าที่ตรงกันตามมาตรฐาน AISC/ASD

ภาพที่ 137 และภาพที่ 138 ซึ่งได้นำข้อมูลผลการคำนวณแรงเฉือนสูงสุดที่รับได้ของคานเหล็กแปลนบ้านที่ 1 และแปลนบ้านที่ 2 จากตารางที่ 20 และตารางที่ 21 มาเปรียบเทียบผลในรูปแบบของกราฟแท่ง จะเห็นได้ว่า ผลการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยมือนั้นมีค่าที่ตรงกันตามมาตรฐาน AISC/ASD เช่นกัน





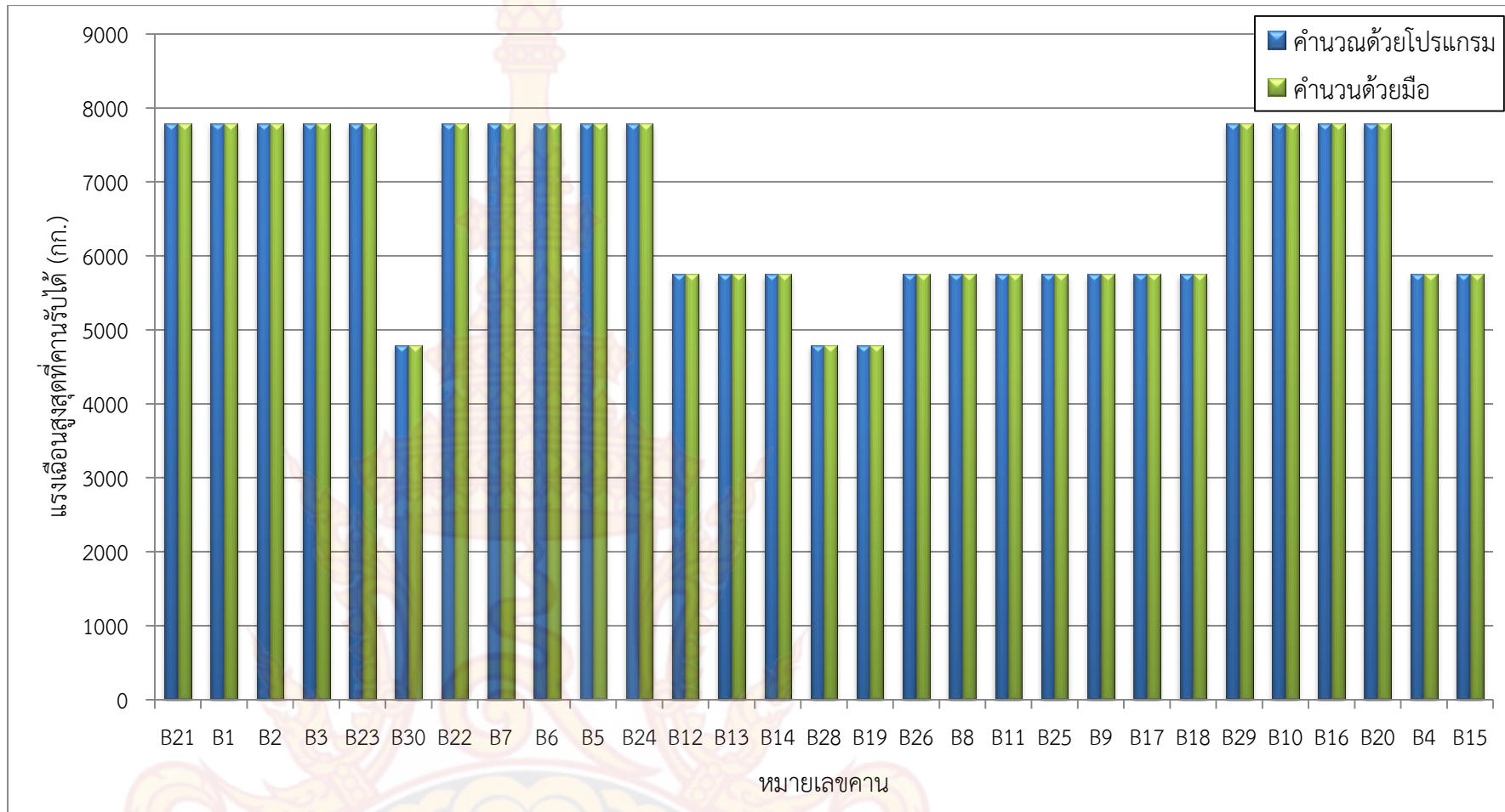
ภาพที่ 135 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ดัดสูงสุดที่รับได้ของคานเหล็กแปดชนิดบ้านที่ 1



ภาพที่ 136 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณโมเมนต์ดัดสูงสุดที่รับได้ของคานเหล็กแปลงบ้านที่ 2



ภาพที่ 137 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงเค้นสูงสุดที่รับได้ของคานเหล็กเปลนบ้านที่ 1



ภาพที่ 138 กราฟแท่งเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงเค้นสูงสุดที่ได้รับได้ของคานเหล็กแปลงบ้านที่ 2

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

1. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับโครงสร้างเหล็ก พัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถรองรับได้ทั้งในส่วนของการวิเคราะห์ การออกแบบสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และโครงสร้างเหล็กอยู่ในโปรแกรมเดียวกัน โดยมีลักษณะการนำเข้าข้อมูลแบบกราฟฟิกเพื่อช่วยให้สามารถใช้งานได้ง่ายและเพิ่มความรวดเร็วในการทำงาน สำหรับส่วนของการแสดงผลสามารถแสดงผลได้ทั้งแบบตัวเลขและกราฟฟิก โดยโปรแกรมสามารถใช้ได้กับบ้านพักอาศัยไม่เกิน 2 ชั้นเท่านั้น

จากผลการทดสอบและใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ร่วมกับโครงสร้างเหล็ก สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) การนำเข้าข้อมูล โปรแกรมสามารถนำเข้าข้อมูลในรูปแบบกราฟฟิกได้สะดวกและรวดเร็ว โดยการวาดแบบแปลนบ้านบนหน้าจอนำเข้าข้อมูลของโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมจะบันทึกตำแหน่งพิกัดต่างๆของคาน พื้นและเสาไว้โดยอัตโนมัติเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ

2) การวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โปรแกรมสามารถดึงข้อมูลจากแบบแปลนบ้านที่เก็บข้อมูลไว้แล้วเพื่อใช้วิเคราะห์และออกแบบพื้น จากนั้นจะทำการจัดกลุ่มพื้น และแสดงผลในรูปแบบกราฟฟิกด้วยรูปแบบหน้าต่างตัดพื้นแต่ละกลุ่ม ซึ่งสามารถดำเนินการได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว การตรวจสอบความถูกต้องได้นำปริมาณเหล็กเสริมพื้นที่ออกแบบไว้แล้วเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยมือ และโปรแกรม VisStructure4 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันกับการคำนวณด้วยมือ ส่วนผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม VisStructure4 ซึ่งเป็นโปรแกรมเชิงพาณิชย์ นั้นจะมีความต่างกัน โดยปริมาณเหล็กเสริมด้านล่างรับโมเมนต์บวกที่ได้จากโปรแกรม VisStructure4 จะมีค่ามากกว่า ส่วนปริมาณเหล็กเสริมด้านบนรับโมเมนต์ลบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะมีค่ามากกว่า ซึ่งเหตุผลที่ทำให้เกิดความต่างเนื่องจากการใช้วิธีการออกแบบที่ต่างกัน โดยโปรแกรม VisStructure4 ใช้วิธีที่สองของ (ว.ส.ท. 9102) ส่วนโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใช้วิธีที่สามของ (ว.ส.ท. 9103) โดยสัมประสิทธิ์โมเมนต์ของการออกแบบพื้นวิธีที่สอง กับการออกแบบพื้นวิธีที่สามมีความแตกต่างกันในแต่ละกรณี ซึ่งการออกแบบพื้นวิธีที่สามจะมีการแบ่งกรณีคิดสัมประสิทธิ์ที่ละเอียดมากกว่า และเมื่อเทียบปริมาณเหล็กเสริมแล้วโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นจะมีปริมาณเหล็กเสริมที่ประหยัดกว่า

3) การวิเคราะห์และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โปรแกรมสามารถดึงข้อมูลจากแบบแปลนบ้านเพื่อสร้างโมเดลการรับน้ำหนักของคาน ซึ่งจะถ่ายแรงกระทำจากน้ำหนักของพื้นให้

เรียบร้อยแล้ว ในส่วนของผนังที่คานต้องรับน้ำหนักเพิ่มเติมสามารถเพิ่มข้อมูลน้ำหนักได้ผ่านทางส่วนนำเข้าข้อมูลเพิ่มเติม การแสดงผลการออกแบบจะแสดงผลในรูปแบบกราฟฟิกด้วยรูปตัดการเสริมเหล็กแนวยาวตามคาน และรูปหน้าตัดคาน 3 ช่วง คือตำแหน่งเสาต้านซ้าย ช่วงกลางคานและตำแหน่งเสาด้านขวา ซึ่งในขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบสามารถดำเนินการได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว การวิเคราะห์คานคอนกรีตเสริมเหล็กโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การออกแบบใช้วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Method) ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 1007-34 สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องในส่วนการวิเคราะห์คานคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นได้ดำเนินการนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบด้วยแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ และแรงภายในชิ้นส่วนคานมาเปรียบเทียบกับค่าคำนวณด้วยโปรแกรม SUTStructor พบว่าผลการวิเคราะห์หามีค่าตรงกัน ส่วนการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้นำค่าที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นซึ่งประกอบด้วยค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด แรงเฉือนสูงสุด ปริมาณเหล็กเสริมคานเปรียบเทียบกับค่าคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 และการคำนวณด้วยมือ พบว่าผลการเปรียบเทียบกับค่าคำนวณด้วยมือนั้นมีค่าที่ตรงกัน และผลการเปรียบเทียบกับค่าคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 มีค่าที่แตกต่างกัน สาเหตุที่ทำให้เกิดความแตกต่างกันนั้นมี 3 ข้อได้แก่ 1)เกิดจากโปรแกรม VisStructure4 ใช้โมเมนต์ดัดที่ขอบเสาคำนวณปริมาณเหล็กเสริมแต่โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใช้โมเมนต์ดัดตำแหน่งเสาที่สูงที่สุด 2)เกิดจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใช้โมเมนต์ดัดที่ช่วงกลางคานมาคำนวณปริมาณเหล็กเสริมซึ่งบางกรณีโมเมนต์ดัดสูงสุดอาจจะไม่ได้อยู่ตรงตำแหน่งกลางคาน จึงทำให้ปริมาณเหล็กเสริมที่ช่วงกลางคานมีค่าน้อยกว่าโปรแกรม VisStructure4 จากการผลการเปรียบเทียบข้อมูลในบทที่ 4 มีความต่างกันอยู่ที่ช่วง 0.08 – 0.15 ตารางเซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำส่วนของค่าความปลอดภัย (Safety Factor) มาพิจารณาด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ออกแบบบ้านพักอาศัย 2 ชั้นได้โดยมีค่าความปลอดภัยเพียงพอ 3)เกิดจากกรณีที่มีปริมาณเหล็กเสริม น้อยกว่าปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำ ($14bd/f_y$) โดยโปรแกรม VisStructure4 จะใช้ค่าน้อยสุดของ 1.34 ของค่าที่คำนวณได้กับ $14bd/f_y$ แต่โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะใช้ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำเท่ากับ $14bd/f_y$ จากการผลการเปรียบเทียบข้อมูลในบทที่ 4 มีความต่างกันอยู่ที่ช่วง 0.04 – 1.82 ตารางเซนติเมตร ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะมีปริมาณเหล็กเสริมที่คงที่มากกว่าเพื่อความปลอดภัยที่สูงกว่า

4) การวิเคราะห์และออกแบบคานเหล็ก ในขั้นตอนการสร้างโมเดลรับน้ำหนักก่อนวิเคราะห์มีลักษณะเดียวกันกับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก การแสดงผลการออกแบบจะแสดงผลในรูปแบบกราฟฟิกด้วยรูปหน้าตัดเหล็ก ซึ่งการวิเคราะห์และออกแบบสามารถดำเนินการได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว การวิเคราะห์คานเหล็กโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในส่วนการตรวจสอบความถูกต้องได้ดำเนินการนำค่าที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบด้วยขนาดเหล็กคาน และค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่คานรับได้ และค่าแรงเฉือนสูงสุดที่คานรับได้

เปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือ พบว่าผลการเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือนั้นมีค่าที่ตรงกันตามมาตรฐานของ AISC/ASD

5) การจัดพิมพ์ข้อมูล ในส่วนการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้จัดพิมพ์ในรูปแบบกราฟฟิกด้วยรูปหน้าตัดพื้น ซึ่งมีรายละเอียดการเสริมเหล็กพื้น และข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบจะจัดพิมพ์ในรูปแบบตารางข้อมูล ส่วนการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้จัดพิมพ์ในรูปแบบกราฟฟิกด้วยรูปตัดการเสริมเหล็กแนวยาวตามคาน และรูปหน้าตัดคาน 3 ช่วง คือตำแหน่งเสาด้านซ้าย ช่วงกลางคาน ตำแหน่งเสาด้านขวาของแต่ละคาน และข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กจะจัดพิมพ์ในรูปแบบตารางข้อมูล ส่วนการออกแบบคานเหล็กได้จัดพิมพ์ในรูปแบบกราฟฟิกด้วยรูปหน้าตัดคานเหล็ก และข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบคานเหล็กจะจัดพิมพ์ในรูปแบบตารางข้อมูลเช่นกัน

2. ข้อเสนอแนะ

2.1 การนำไปใช้ประโยชน์

- 1) โปรแกรมสามารถนำเข้าข้อมูลด้วยกราฟฟิกในรูปแบบแปลนบ้าน จึงทำให้สะดวกรวดเร็วในขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง ซึ่งจำกัดแปลนบ้านพักอาศัยไว้ที่ 2 ชั้น
- 2) โปรแกรมสามารถวิเคราะห์และออกแบบได้ในโปรแกรมเดียวกันจึงทำให้สะดวกรวดเร็วในการคำนวณมากยิ่งขึ้น
- 3) โปรแกรมสามารถวิเคราะห์และออกแบบได้ทั้งพื้น คานคอนกรีตเสริมเหล็ก และคานเหล็กด้วยความถูกต้องแม่นยำ สามารถนำไปใช้ในงานจริงได้

2.2 แนวทางการประยุกต์หรือพัฒนาต่อยอดในลักษณะอื่นๆ

- 1) โปรแกรมยังไม่สามารถวิเคราะห์ เสา ฐานราก บันไดและโครงสร้างคาได้ ซึ่งในอนาคตอาจมีการพัฒนาโปรแกรมให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น
- 2) โปรแกรมสามารถวิเคราะห์และออกแบบได้เฉพาะบ้านพักอาศัยเกิน 2 ชั้นเพียงอย่างเดียว แต่ในอนาคตอาจนำไปพัฒนาเพื่อนำไปวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างตึกหรืออาคารที่มากกว่า 2 ชั้นขึ้นไปได้
- 3) โปรแกรมยังไม่สามารถลบข้อมูลในส่วนนำเข้าได้ ซึ่งในอนาคตอาจนำไปพัฒนาในส่วนนี้ต่อไป
- 4) โปรแกรมยังไม่สามารถสร้างแบบจำลองการรับน้ำหนักของคานที่รับน้ำหนักกระทำแบบจุดจากเสาได้ ซึ่งในอนาคตอาจนำไปพัฒนาในส่วนนี้ต่อไป โดยอาจ

จัดทำส่วนนำเข้าสู่ข้อมูลเสาที่วางบนคานในรูปแบบไอคอนเสาบนคาน เพื่อใช้ในการสร้างโมเดลการรับน้ำหนักของคาน

5) โปรแกรมสามารถออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้เพียงพื้นทางเดียวและสองทางเท่านั้น ซึ่งในอนาคตอาจเพิ่มพื้นในรูปแบบอื่นๆได้ เช่น แผ่นพื้นสำเร็จ พื้นไร้คาน เป็นต้น

6) โปรแกรมยังไม่สามารถแสดงแผนภาพโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคานได้ ในอนาคตควรพัฒนาเพิ่มในส่วนนี้ โดยอาจแบ่งเอลิเมนต์คานให้มีจำนวนที่ละเอียดขึ้น เพื่อนำค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของจุดต่อเอลิเมนต์มาใช้เขียนแผนภาพ

7) โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใช้โมเมนต์ดัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานมาคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม ซึ่งบางกรณีโมเมนต์ดัดสูงสุดอาจจะไม่ได้อยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางคาน โดยในอนาคตควรมีการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ถูกต้องมาใช้ในการออกแบบ โดยอาจแบ่งเอลิเมนต์คานให้มีจำนวนที่ละเอียดขึ้น เพื่อให้จุดต่อเอลิเมนต์มีตำแหน่งใกล้เคียงกับตำแหน่งโมเมนต์ดัดสูงสุด

8) ระยะเวลายาวเหล็กเสริมพิเศษคานโปรแกรมกำหนดให้ใช้ หนึ่งในสี่ของคานยาวสำหรับเหล็กเสริมบนที่ขอบนอก หนึ่งในสามของคานยาวสำหรับเหล็กเสริมบนที่ขอบใน และหนึ่งในแปดของคานยาวสำหรับเหล็กเสริมล่าง ซึ่งในความเป็นจริงระยะเวลาเหล็กเสริมพิเศษจะขึ้นอยู่กับค่าโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อคาน ซึ่งในอนาคตควรพัฒนาให้มีการคำนวณระยะเวลาเหล็กเสริมพิเศษที่ถูกต้อง โดยอาศัยค่าโมเมนต์ดัดจากแผนภาพโมเมนต์ดัดมาใช้ในการคำนวณระยะเวลาเหล็กเสริมพิเศษ

บรรณานุกรม

- กวี หวังนิเวศน์กุล. การออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเบื้องต้น, กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ด-ยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2548.
- คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา. **มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน.** พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545.
- จิรายุทธ สีสสุข. **“การพัฒนาโปรแกรม SUTFoundation.”** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2549.
- เดช พุทธรเจริญทอง. **การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์,** กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2541.
- ธาริน สิทธิธรรมชาวี. **สร้างโปรแกรมบนวินโดวส์ด้วย visual basic version 6.0,** กรุงเทพฯ : ชิพลิพาย, 2554.
- มงคล จีรวีชรเดช. **“การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน.”** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2543.
- มนัส กุลตั้งกิจเสรี มนัส กุลตั้งกิจเสรี, สุวิทย์ พัฒนาสุทินนท์, อภิรัตน์ เลี้ยวชวลิต และวัฒนชัย สมิตทาการ. **“โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างข้อแฉ่งระนาบ และสามารถใช้งานได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต.”** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- วงศ์เทพ ตั้งศิริกุล. **“การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างข้อแฉ่งยึดหยุ่นที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต.”** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545.
- สถาพร โภคา. **การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก (วิธีหน่วยแรงใช้งาน).** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไลบรารีไนท์, 2544.
- สมพงษ์ เกตุเทียน, วิทวัส ผินแสง และสิทธิพล ศรีอัมพร. **“โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับโครงสร้างเหล็ก.”** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล, 2556.
- สรกานต์ ศรีทองอ่อน และชัยธร ชาติพฤษกษพันธ์. **“โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างหมุดด้วยวิธีสตีเฟนส.”** วิทยานิพนธ์เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.
- ศักดิ์ดา กตเวทวารักษ์. **“การพัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์และออกแบบคานต่อเนื่องคอนกรีตเสริมเหล็ก.”** วิทยานิพนธ์ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545.



ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นายกมล ตรีผอง

2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตวังไกลกังวล

ตำบลหนองแก อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110

โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4042

E-mail : treep18@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา) พ.ศ. 2543

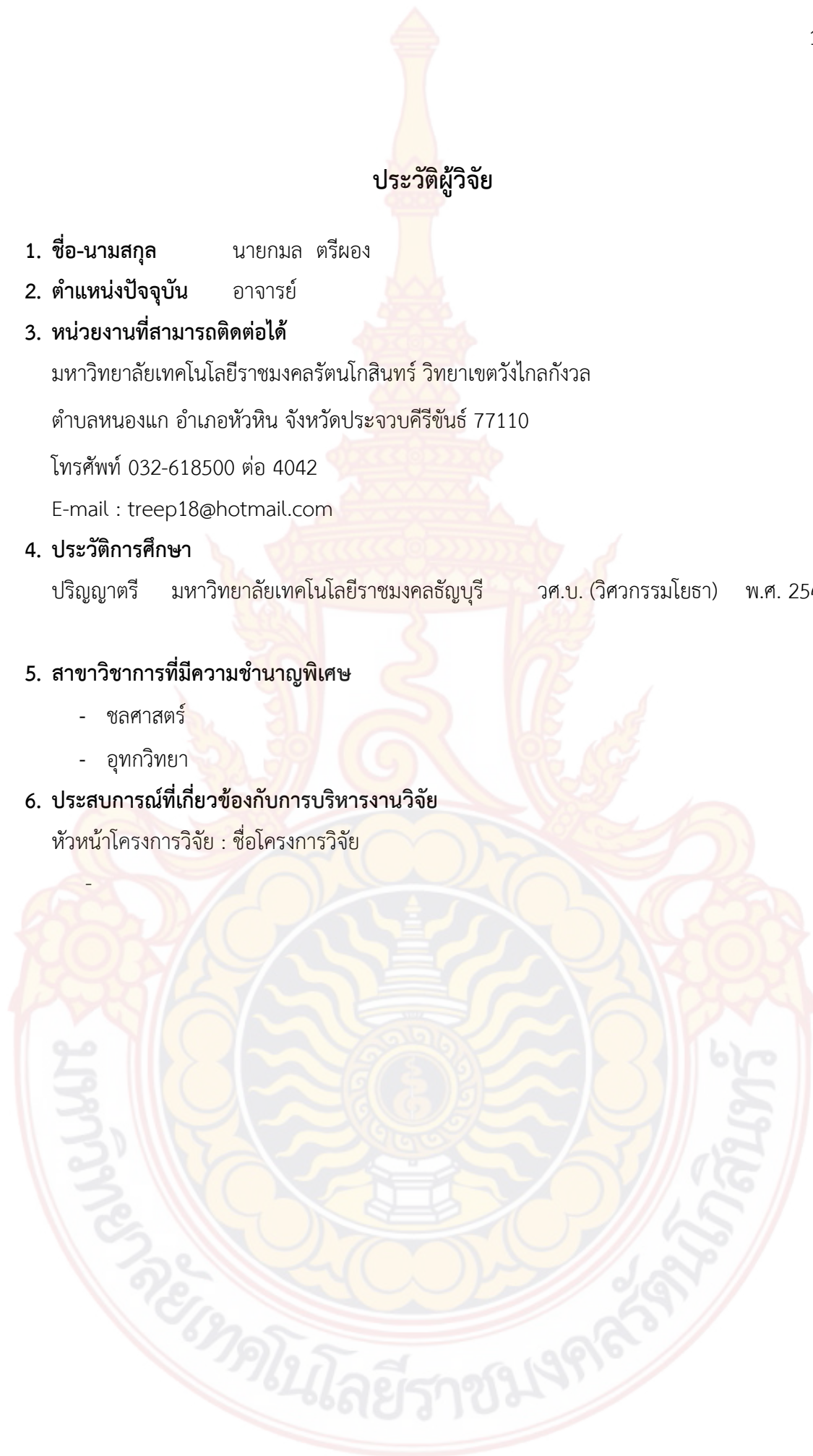
5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- ชลศาสตร์
- อุทกวิทยา

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

-



ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ ศิริรัตน์

2. ตำแหน่งปัจจุบัน รองคณบดีประจำพื้นที่วิทยาเขตวังไกลกังวล

3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธนกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

ตำบลหนองแก อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110

โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4042

E-mail : chusak.k@rmutr.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

ปริญญาเอก	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	วศ.ด. (วิศวกรรมโยธา)	พ.ศ. 2557
ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา)	พ.ศ. 2542
ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา)	พ.ศ. 2546
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ค.อ.บ. (วิศวกรรมโยธา)	พ.ศ. 2538
	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช	ทล.บ. (เทคโนโลยี	พ.ศ. 2549
		สารสนเทศ	
		ธุรกิจ)	

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Microsoft Visual Basic)
- การประยุกต์ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) กับงานทางด้านวิศวกรรมโยธา
- ธรณีวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (Geo-environmental Engineering)

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

- 1) การพัฒนาโปรแกรมคำนวณวงรอบและเส้นชั้นความสูงด้วยภาษาวิซวลเบสิก
แหล่งทุน : งบวัสดุฝึกแผนกวิทยาศาสตร์ ประจำปี 2544
- 2) โครงการวิจัยศึกษาการนำฐานข้อมูลมาประยุกต์ใช้กับการสอบทางคอมพิวเตอร์
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2545
- 3) โครงการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการอบดินเพื่อใช้หาค่าปริมาณความชื้นในมวลดิน
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2545

- 4) เครื่องมือทดสอบกำลังแบกทานของดินแบบหยั่งเบา
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2549
- 5) การพัฒนาสื่อผสมร่วมกับระบบอินเทอร์เน็ตสำหรับการทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2550
- 6) การสร้างสื่อผสมบนระบบอินเทอร์เน็ตร่วมกับโปรแกรมทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2551
- 7) การสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการทดสอบวัสดุก่อสร้างทางด้านวิศวกรรมโยธา
ประยุกต์ร่วมกับการใช้สื่อผสมบนระบบอินเทอร์เน็ต
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2552
- 8) การศึกษาความเหมาะสมของการใช้ดินผสมซีเมนต์และเบนโทไนท์เพื่อการป้องกันการ
แพร่กระจายของสารปนเปื้อนในดิน
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2552
- 9) การศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของเก้าอี้กันเตาผสมหินฝุ่นและปูนซีเมนต์เพื่อใช้ในงาน
วิศวกรรมธรณีสิ่งแวดล้อม
แหล่งทุน : งบประมาณรายได้มหาวิทยาลัย ปี 2556
- 10) การศึกษากำลังแบกทานของดินทรายจากผลการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบาโดยพิจารณา
อิทธิพลของมุมปลายกรวยหัวหยั่ง
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2557

ผู้ร่วมโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย, แหล่งทุน

- 1) โครงการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับงานปฏิบัติการทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2547
- 2) โครงการศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าการใช้ PVD และ Cement Column ในการปรับปรุง
คุณภาพดินอ่อนเชิงเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม
แหล่งทุน : สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ประจำปี 2549
- 3) การพัฒนาขึ้นรูปวัสดุแผ่นวัสดุผสมจากเส้นใยมะพร้าว-พลาสติกโพลีเอทิลีนเพื่องานวัสดุ
ก่อสร้างและหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์
แหล่งทุน : งบประมาณเครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนล่าง ปี 2549
- 4) การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยโปรแกรมภาษาวิซวลเบสิก 6.0
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2550
- 5) การพัฒนากระเบื้องยางปูพื้นจากเส้นใยมะพร้าวผสมยางธรรมชาติ
แหล่งทุน : งบประมาณเครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนล่าง ปี 2551
- 6) การออกแบบจุดต่อโครงสร้างเหล็กโดยวิซวลเบสิก 6 V.2.1
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2551

- 7) การสร้างแบบจำลองขนาดเล็กเพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนในดินผ่านกำแพงดินซีเมนต์
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2552
- 8) การศึกษาพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนผ่านกำแพงเสาเข็มดินซีเมนต์ โดยการสร้างบ่อทดสอบในสนาม
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2553
- 9) การพัฒนาแนวคิดการนำเข้าสู่ข้อมูลแบบกราฟิกเพื่อพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับโครงสร้างเหล็ก
แหล่งทุน : งบประมาณรายได้มหาวิทยาลัย ปี 2556

