



การพัฒนาแนวคิดการนำเข้าข้อมูลแบบกราฟฟิกเพื่อพัฒนา  
โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีต  
เสริมเหล็กร่วมกับโครงสร้างเหล็ก

โดย

สุธน รุ่งเรือง

ชูศักดิ์ ศีรีรัตน์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

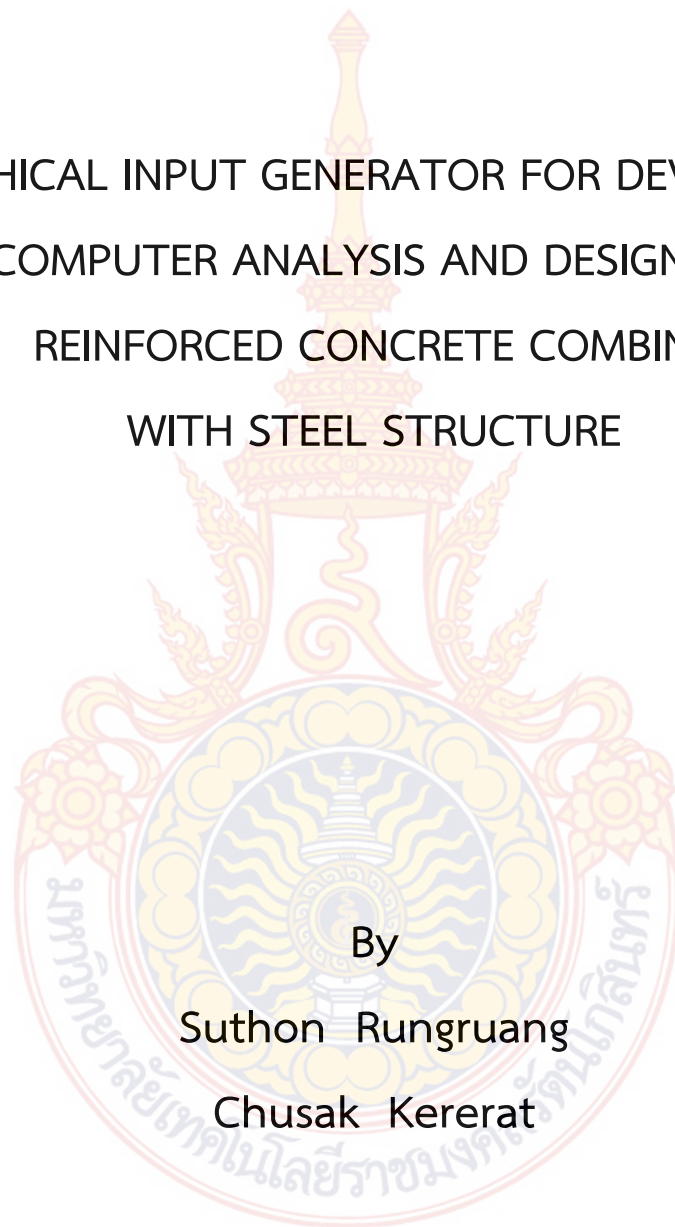
All rights reserved

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2556

GRAPHICAL INPUT GENERATOR FOR DEVELOPING  
COMPUTER ANALYSIS AND DESIGN OF  
REINFORCED CONCRETE COMBINE  
WITH STEEL STRUCTURE



By  
Suthon Rungruang  
Chusak Kererat

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2013



## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ขอขอบคุณ นายศุภชัย ศรประสิทธิ์ ซึ่งเป็นผู้ช่วยวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้ให้เงินสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี

สุธน รุ่งเรือง และคณะ

ตุลาคม 2556



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

## บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : Inno 028/2556

ชื่อโครงการ : การพัฒนาแนวคิดการนำเข้าข้อมูลแบบกราฟฟิกเพื่อพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์และ  
ออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับโครงสร้างเหล็ก

ชื่อนักวิจัย : นายสุธน รุ่งเรือง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูศักดิ์ ศิริรัตน์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำวิธีการทางกราฟฟิกในการนำเข้าข้อมูลประยุกต์  
ร่วมกับการใช้ฐานข้อมูล สำหรับใช้ในการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างพื้นและ  
คานคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับโครงสร้างคานเหล็ก โดยใช้ภาษาวิซวลเบสิกสำหรับการสร้างจอภาพ  
และเขียนรหัสคำสั่ง โดยใช้ไฟล์ฐานข้อมูลไมโครซอฟเอกเซลเป็นตัวจัดเก็บข้อมูล ซึ่งหลักการทำงาน  
ได้กำหนดให้ใช้การวาดแบบแปลนโครงสร้างที่หน้าจอ แล้วโปรแกรมจะกำหนดชื่อคาน พื้น เสา ให้  
เองโดยอัตโนมัติ ซึ่งจุดพิกัดของโครงสร้างจะถูกแปลผลให้เป็นระยะสำหรับนำไปใช้การวิเคราะห์และ  
ออกแบบโครงสร้างพื้นและคาน

จากผลการวิจัยพบว่าการใช้ฐานข้อมูลสามารถช่วยให้การแสดงผลแบบกราฟฟิกทำได้ง่าย  
ผลการออกแบบได้ถูกเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือและโปรแกรม VisStructure4 (โปรแกรม  
เชิงพาณิชย์) พบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้ค่าการคำนวณใกล้เคียงกับการคำนวณด้วยมือ โดยผลลัพธ์  
ที่แตกต่างกันเนื่องจากการปัดเศษเท่านั้น สำหรับผลการคำนวณเปรียบเทียบกับโปรแกรม  
VisStructure4 พบว่า ผลการออกแบบของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีความประหยัดกว่า และสามารถใช้งาน  
ได้ง่ายกว่าเนื่องจากไม่ต้องป้อนค่านำเข้าเป็นตัวเลข สำหรับการวิเคราะห์คานได้นำผลลัพธ์ไป  
เปรียบเทียบกับ โปรแกรม SUTstructor พบว่าให้ค่าที่เท่ากัน

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

คำสำคัญ: วิธีทางกราฟฟิก, โปรแกรมคอมพิวเตอร์, โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก, โครงสร้างเหล็ก

E-mail Address : Suthon.R@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม พ.ศ. 2555 – กันยายน พ.ศ. 2556

## Abstract

**Code of Project** : Inno 028/2556  
**Project Name** : Graphical Input Generator for Developing Computer Analysis and Design of Reinforced Concrete combine with Steel Structure  
**Research Name** : Mr.Suthon Rungruang and Assist.Prof.Chusak Kererat

This research was to apply graphical method as the input data combined with using database for developing reinforced concrete slab and beam analysis and design. Visual Basic language was used for creating the GUI (graphic user interface) and coding and database file was used for storing data. The position of beam, column and slab can define by drawing on GUI and this program will automatically translate to be the distances for using as data in process of analysis and design.

Results from analysis and design were compared with manual calculation that they are a little bit error because of rounding error. Moreover, they can be more economically and more conveniently than results from VisStructure4. For beam analysis, the results from developed program were compared with SUTstructor program and both are equal.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

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

---

**E-mail Address** : Suthon.R@rmutr.ac.th

**Period of Project** : October 2012 – September 2013

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
สัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์	1
3. กรอบแนวคิดการวิจัย	2
4. ขอบเขตของการวิจัย	2
5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	4
1. ความเป็นมาของภาษาวิซวลเบสิก	4
2. ทฤษฎีการวิเคราะห์คานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	5
3. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน	19
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	41
<b>บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย</b>	43
1. การรวบรวมข้อมูล	43
2. การออกแบบ และสร้างโปรแกรม	43
3. การทดสอบโปรแกรม แก้ไขปรับปรุง	43
4. การวิเคราะห์ผล	43

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b>	45
1. การนำเข้าข้อมูล	45
2. การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง	52
3. ส่วนของการแสดงผลการวิเคราะห์และออกแบบ	61
4. การเปรียบเทียบผลการคำนวณของโปรแกรม ถ้ากันเตาและถ้ากันเตาผสมวัสดุผสมเพิ่ม	62
<b>บทที่ 5 สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ</b>	73
1. สรุปผล	73
2. อภิปรายผล	73
3. ข้อเสนอแนะ	74
4. การนำไปใช้ประโยชน์	74
<b>บรรณานุกรม</b>	75
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	77

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	34
2	37
3	38
4	39
5	41
6	65
7	67
8	68
9	72
10	73

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

## สารบัญภาพ

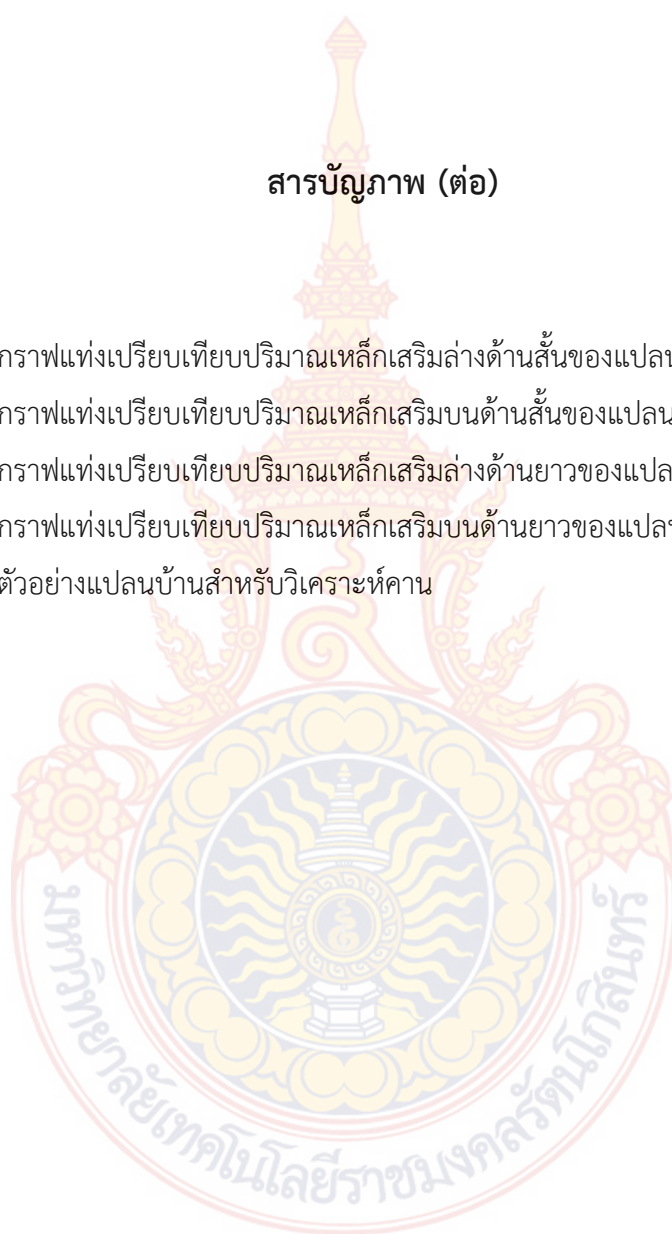
ภาพที่	หน้า
1 แนวคิดลำดับชั้นการทำงานของโปรแกรม	3
2 การแบ่งเอลิเมนต์ของคาน	9
3 ฟังก์ชันรูปร่างของเอลิเมนต์คาน	11
4 ส่วนตัดของคาน	14
5 คานที่มีโมเมนต์ $m$ และแรงเฉือน $V$ กระทำ ( $m$ และ $V$ มีทิศทางเป็นบวก)	14
6 ลักษณะของไหลตกระจายที่กระทำบนเอลิเมนต์คาน	16
7 คานเอลิเมนต์	17
8 คานยึดปลายทั้งสองด้านและมีไหลตกระจายสม่ำเสมอกระทำ	17
9 แบบจำลองคาน	17
10 พฤติกรรมการต้านทานโมเมนต์ดัด	22
11 การเสริมเหล็กในคานเพื่อรับแรงดึงและแรงอัด	24
12 ลักษณะการเกิดพฤติกรรมแรงดัด	28
13 ลักษณะการเกิดพฤติกรรมแรงเฉือน	29
14 ลักษณะการเกิดพฤติกรรมแรงบิด	29
15 ระยะเวลาเสริมเหล็กคานและเหล็กเสริมพิเศษตามมาตรฐาน ACI	29
16 การถ่ายน้ำหนักของพื้นเสริมเหล็กทางเดียว	31
17 การถ่ายน้ำหนักของพื้นเสริมเหล็กสองทาง	31
18 แผนพื้นที่เสริมเหล็กสองทาง	35
19 ลักษณะการต่อเนื่องของพื้นสองทางในการออกแบบพื้นสองทางวิธีที่ 3	36
20 การทาบเหล็ก ตามเหล็ก และอเหล็ก	40
21 การตั้งค่าน้ำจ่อ	46
22 การสร้างเสา	47
23 การย้ายเสา	47
24 การสร้างเสาและคาน	48
25 การสร้างเสาและคาน	48
26 การสร้างคานฝาก	49

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
27 ผลจากการสร้างคานฝาก	49
28 การสร้างคานไม่ตรงพิกัด	50
29 การสร้างพื้น	50
30 ผลจากการสร้างพื้น	51
31 แบบแปลนการสร้างพื้น	51
32 ตารางกลุ่มคานต่อเนื่อง	52
33 การเลือกคานต่อเนื่อง	52
34 การสร้างกลุ่มคานต่อเนื่อง	53
35 การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ	53
36 แบบฟอร์มคุณสมบัติวัสดุ	54
37 การวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	55
38 การวิเคราะห์พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	55
39 ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	56
40 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	56
41 การเลือกเหล็กสำหรับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	57
42 การคลิกเลือกการวิเคราะห์คาน	58
43 การเลือกคานเพื่อนำไปวิเคราะห์	58
44 โมเดลคานที่ต้องการวิเคราะห์	59
45 การป้อนรายละเอียดของผนังที่วางบนคานที่นำมาวิเคราะห์	60
46 การจัดเรียงลำดับน้ำหนักกระทำ	60
47 การแบ่งเอลิเมนต์คาน	61
48 การวิเคราะห์คาน	61
49 แปลนจากการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	62
50 การเสริมเหล็กจากออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	62
51 รูปตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	62
52 ตัวอย่างแปลนบ้านที่ 1 สำหรับวิเคราะห์พื้น	64
53 ตัวอย่างแปลนบ้านที่ 2 สำหรับวิเคราะห์พื้น	66

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
54	กราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมทางด้านสั้นของแปลนบ้านที่ 1	69
55	กราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมบนด้านสั้นของแปลนบ้านที่ 1	69
56	กราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมทางด้านยาวของแปลนบ้านที่ 1	70
57	กราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมบนด้านยาวของแปลนบ้านที่ 1	70
58	ตัวอย่างแปลนบ้านสำหรับวิเคราะห์คาน	71



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเป็นงานที่ค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยากในการคำนวณด้วย มือจึงเป็นเหตุให้ปัจจุบันได้มีผู้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างมากมาย แต่โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นส่วนมากมักจะมีการใช้งานที่แยกส่วนการทำงานโดยสิ้นเชิง กล่าวคืออาจจะต้องใช้โปรแกรมหนึ่งสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างและใช้อีกโปรแกรมหนึ่งสำหรับการออกแบบโครงสร้าง อีกทั้งการป้อนข้อมูลนำเข้า เพื่อนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นการป้อนข้อมูลตัวเลข ซึ่งทำให้เกิดความคล่องตัวในการทำงาน นอกจากนี้โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมักใช้เฉพาะสำหรับเพื่อออกแบบโครงสร้างคอนกรีตหรือออกแบบโครงสร้างเหล็ก ซึ่งในการออกแบบบ้านทั่วไปมักจะมีทั้งโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็ก ซึ่งต้องใช้โปรแกรมถึงสองโปรแกรม จึงทำให้การใช้งานไม่สะดวก

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทำให้มีแนวคิดว่าจะมีการพัฒนาโปรแกรมที่สามารถรองรับได้ทั้งในส่วนของการวิเคราะห์โครงสร้างและส่วนของการออกแบบทั้งโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กอยู่ในโปรแกรมเดียวกัน และสามารถนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ในการออกแบบได้เลย โดยมีลักษณะการนำเข้าข้อมูลแบบกราฟฟิกเพื่อช่วยให้สามารถใช้ได้ง่ายเพิ่มความรวดเร็วในการทำงานสำหรับส่วนของการแสดงผลสามารถแสดงผลได้ทั้งแบบตัวเลขและกราฟฟิก

#### 2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบพื้นและคานคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับการออกแบบคานเหล็ก
2. เพื่อประยุกต์ใช้วิธีทางกราฟฟิกในการนำเข้าข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง
3. เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบและแสดงผลสำหรับการออกแบบคานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กได้



### 3. กรอบแนวคิดการวิจัย

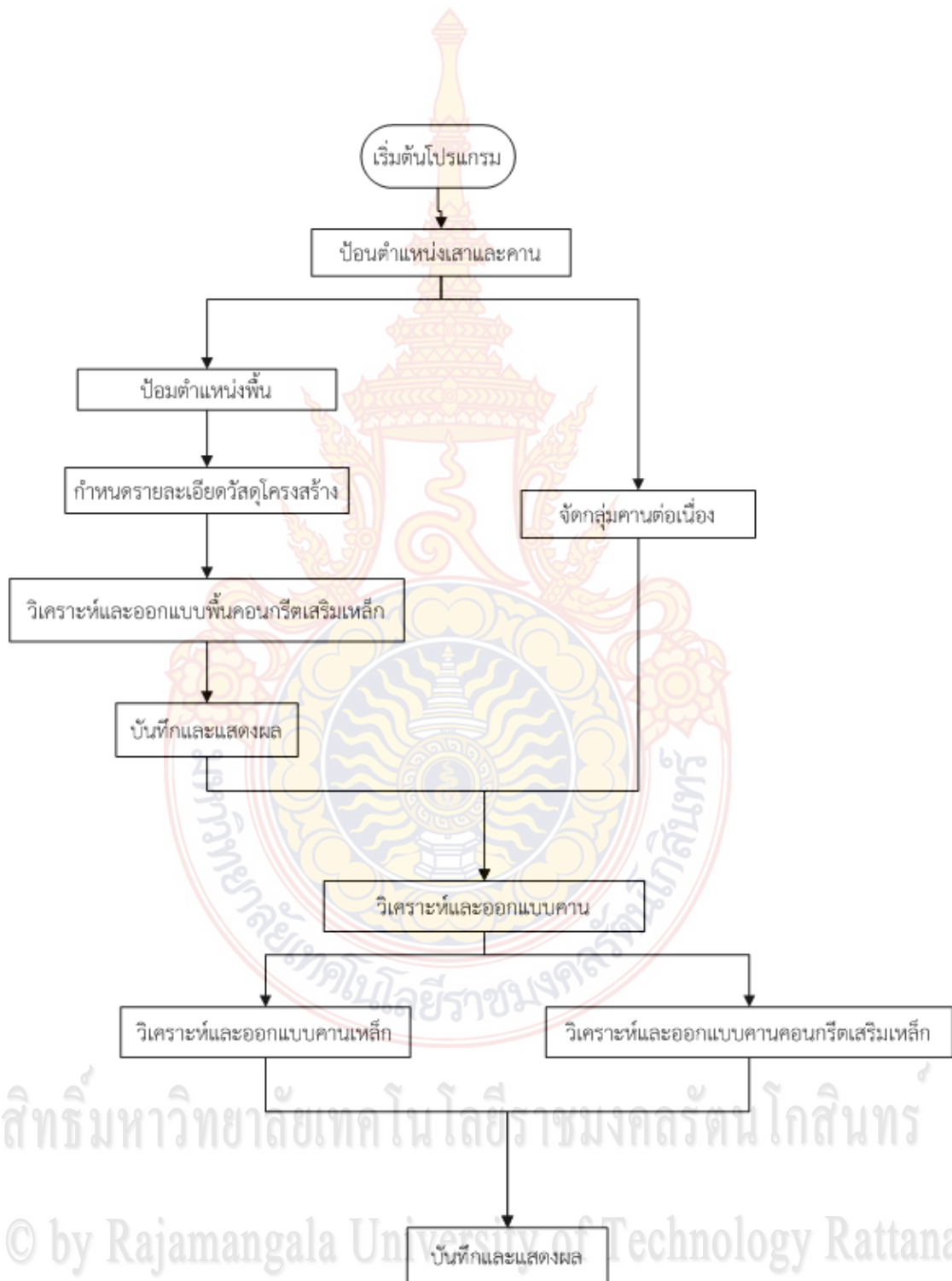
การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และโครงสร้างเหล็ก เพื่อลดความยุ่งยากและความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการคำนวณ โดยการ พัฒนาโปรแกรมในโครงการนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาวิธีการนำเข้าสู่ข้อมูลโดยใช้การวาดตำแหน่งชิ้นส่วน ต่างๆของโครงสร้างเช่น เสา คาน ดัวยเมาส์ ซึ่งจะนำเข้าสู่ข้อมูลด้วยกราฟฟิกในลักษณะแปลนบ้านเป็น ชั้นๆ และนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการวิเคราะห์แล้วออกแบบโครงสร้างในแต่ละชั้นจากส่วนบนสุดคือหลัง ลงมาสู่ส่วนล่างสุดคือฐานราก โดยในส่วนชั้นหลังคานั้นจะมีรูปแบบลักษณะโครงสร้างให้เลือกจะรับ ข้อมูลเป็นความยาว ความลาดชัน และน้ำหนักบรรทุก การแสดงผลของโปรแกรมจะแสดงในรูป กราฟฟิกคือจะแสดงหน้าตัดของโครงสร้าง ขนาด ระยะการเสริมเหล็ก จำนวนเหล็กเสริม โดยแนวคิด ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ดังแผนผังในภาพที่ 1

### 4. ขอบเขตในการศึกษา

1. ใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic ในการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับโครงสร้างเหล็ก
2. โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะครอบคลุมการวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ หล่อในที่ สำหรับการออกแบบคานจะครอบคลุมทั้งคานคอนกรีตเสริมเหล็กและคานเหล็ก
3. ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์โครงสร้างคาน
4. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กใช้วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Method)

### 5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

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



ภาพที่ 1 แนวคิดลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 1. ความเป็นมาของภาษา Visual Basic

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

ไมโครซอฟท์ได้พัฒนาโปรแกรมภาษา Basic มานานนับสิบปี ตั้งแต่ภาษา MBASIC (Microsoft Basic), BASICA (Basic Advanced), GWBASIC และ QuickBasic ซึ่งได้ติดตั้งมาพร้อมระบบปฏิบัติการ MS DOS โดยใช้ชื่อว่า QBASIC สำหรับแต่ละเวอร์ชันที่ออกมานั้นได้มีการพัฒนาและเพิ่มคำสั่งต่างๆเข้าไปโดยตลอด ในอดีตโปรแกรมภาษาเหล่านี้ล้วนทำงานใน Text Mode คือเป็นตัวอักษรล้วนๆไม่มีภาพกราฟิกสวยงามแบบระบบ Window อย่างในปัจจุบันจนกระทั่งเมื่อระบบปฏิบัติการ Window ได้รับความนิยมอย่างสูงและเข้ามาแทนที่ Dos ไมโครซอฟท์ก็เล็งเห็นว่าภาษาใน Text Mode นั้นคงถึงกาลที่หมดสมัย จึงได้พัฒนาปรับปรุงโปรแกรมภาษา Basic ของตนเองออกมาใหม่เพื่อสนับสนุนการทำงานในระบบ 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 การเขียนโปรแกรมแบบวินโดวส์ (MDI) และอื่นๆอีกมาก

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

Programming) ให้สมบรูณ์ยิ่งขึ้นพร้อมทั้งเพิ่มเครื่องมือต่างๆอีกมากมายที่ทำให้ง่ายและสะดวกขึ้นกว่าเดิม

## 2. ทฤษฎีการวิเคราะห์คานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [5]

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

ตามที่กล่าวมาแล้ว เราสามารถใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ปัญหาของโครงสร้าง เช่น หากการกระจัด ความเค้น – ความเครียด และใช้วิเคราะห์ปัญหาของการถ่ายเทความร้อน การไหลของของเหลว เป็นต้น ในที่นี้จะเน้นการประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ปัญหาของโครงสร้างระบบทางกล

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างสามารถหาได้จากวิธีพื้นฐาน 2 วิธีคือ วิธีแรง หรือวิธียืดหยุ่น (Force or Flexibility Method) และ วิธีการกระจัดหรือวิธีสทิฟเนส (Displacement or Stiffness Method) วิธีแรกสามารถจะหาแรงภายในและแรงปฏิกิริยาโดยอาศัยสมการสมดุลของแรงและสมการเงื่อนไขการกระจัด ส่วนวิธีที่สองจะสามารถหาการกระจัดที่สมมติขึ้นโดยเงื่อนไขความต่อเนื่องของเอลิเมนต์ที่แต่ละจุดต่อหรือที่ขอบบริเวณที่สัมผัสกันไม่ว่าก่อนและหลังไหลดกระทำยังคงมีความต่อเนื่องเหมือนเดิม ดังนั้นสมการจะเขียนอยู่ในเทอมของการกระจัดของแต่ละจุดต่อ และค่าของการกระจัดก็สามารถหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการกระจัด

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น นิยมใช้วิธีการกระจัด หรือสทิฟเนสหาสมการไฟไนต์เอลิเมนต์มากกว่า ทั้งนี้เพราะสามารถจะหาสมการสมดุลและผลเฉลยได้สะดวกกว่ารวมทั้งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวก็นิยมใช้วิธีการกระจัดด้วย หลักการทั่วไปของไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ การแบ่งโครงสร้างออกเป็นส่วนย่อยๆ ซึ่งเรียกว่า เอลิเมนต์ ฟังก์ชันการกระจัด (Displacement Function) ที่นำมาแทนเอลิเมนต์จะต้องเป็นฟังก์ชันที่ต่อเนื่อง แต่ละเอลิเมนต์จะโยงด้วยจุดต่อ (Node) หรือเส้นขอบหรือผิวรอยเอลิเมนต์สัมผัสกัน และอาศัยคุณสมบัติทาง



กลของวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างหรือชิ้นส่วน เราสามารถจะหาการกระจัด ความเค้น – ความเครียด ที่เกิดขึ้นที่จุดต่อต่างๆ ของแต่ละเอลิเมนต์ที่ประกอบกันเป็นโครงสร้างหรือชิ้นงาน

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

## 2.1 แบ่งโครงสร้างเป็นเอลิเมนต์ย่อยและการเลือกชนิดของเอลิเมนต์

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

## 2.2 การเลือกฟังก์ชันการกระจัด

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

## 2.3 กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด/การกระจัด และความเค้น/ความเครียด

การหาสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของแต่ละเอลิเมนต์ จำเป็นต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการกระจัดและความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดในกรณีของปัญหามิติเดียว การยืดตัว  $u$  ของเอลิเมนต์ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง เช่น ทิศทาง  $x$  จะมีความสัมพันธ์กับความเครียด  $\epsilon_x$  ในกรณีนี้  $\epsilon_x$  มีค่าน้อย  $\epsilon_x = du/dx$  และถ้าวัสดุอยู่ในช่วงยืดหยุ่น จากกฎของฮุก ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดคือ  $\sigma_x = E\epsilon_x$  ซึ่ง  $\sigma_x$  คือ



ความเค้นในทิศทาง  $x$  และ  $E$  คือ ค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่น ผลเฉลยของการกระจัด ความเค้น ความเครียดโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกต้องแม่นยำเพียงใด ย่อมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกลของวัสดุ ที่นำมาใช้ในการคำนวณ และความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการกระจัด และความเค้นกับความเครียดจะมีลักษณะเป็นสมการเชิงเส้นหรือไม่เป็นสมการเชิงเส้น

#### 2.4 หา stiffness เมทริกซ์และสมการของเอลิเมนต์

การหา stiffness เมทริกซ์ของเอลิเมนต์และสมการของแรงของแต่ละเอลิเมนต์สามารถหาได้หลายวิธี แต่ในโปรแกรมจะเลือกใช้วิธีสมดุลโดยตรง (Direct Equilibrium Method) ซึ่งเป็นวิธีอย่างง่ายที่สุด โดยสามารถหา stiffness เมทริกซ์ และสมการของแรงในเทอมการกระจัดที่จุดต่อเอลิเมนต์ได้โดยเงื่อนไขการสมดุลของแรงในเอลิเมนต์ ส่วนมากจะใช้หา stiffness เมทริกซ์ของเอลิเมนต์มิติเดียว เช่น เอลิเมนต์สปริง ท่อนโลหะ เพลลา และคานเป็นต้น

จากวิธีดังกล่าว สมการสมดุลของแรงในเทอมของ stiffness เมทริกซ์ 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  $\{f\} = [k]\{d\}$  (2)

ซึ่ง  $\{f\}$  คือเมทริกซ์ของแรงที่กระทำที่จุดต่อ  $[k]$  คือ stiffness ของเอลิเมนต์ และ  $\{d\}$  คือการกระจัดที่จุดต่อซึ่งยังไม่ทราบค่า  $n$  คือจำนวนของระดับความเสรีของเอลิเมนต์

#### 2.5 หาการรวมของระบบและกำหนดเงื่อนไขขอบ

สมการรวมของระบบโครงสร้างสามารถหาได้จาก การรวมสมการของแต่ละเอลิเมนต์ ในขั้นที่ 4 เข้าด้วยกัน ด้วยวิธีซ้อนทับ (Superposition Method) หรือเรียกว่าวิธี stiffness โดยตรง (Direct Stiffness Method) โดยอาศัยหลักของการสมดุลของแรงที่จุดต่อของเอลิเมนต์ เขียนในรูปของเอลิเมนต์เมทริกซ์ได้คือ

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

ซึ่ง  $\{f\}$  คือเมทริกซ์รวมของแรงที่กระทำที่จุดต่อ  $[k]$  คือสทิงเฟนเมทริกซ์รวมของระบบ และ  $\{d\}$  คือเมทริกซ์รวมของการกระจัดของระบบซึ่งอาจยังไม่ทราบค่าบางค่า และบางตัวอาจจะไม่ทราบค่า เนื่องจากเมทริกซ์  $[k]$  ในสมการ (3) เป็นเมทริกซ์เอกฐาน (Singular Matrix) ทั้งนี้เพราะตัวกำหนด (Determinant) เท่ากับศูนย์ จึงไม่สามารถหาค่า  $\{d\}$  โดยตรงจากสมการ (3) ได้ จึงจำเป็นต้องอาศัยเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) หรือเงื่อนไขบังคับ (Constraints) หรือจุดรองรับ (Supports) เพื่อช่วยทำให้เมทริกซ์  $[k]$  ในสมการ (3) ไม่เป็นเมทริกซ์เอกฐาน และสามารถหาค่าการกระจัดที่แต่ละจุดต่อต้องการได้

## 2.6 ทหการกระจัดของระบบ

หลังจากกำหนดเงื่อนไขของ หรือเงื่อนไขบังคับ ลงในสมการ (3) แล้ว เราสามารถจะหการกระจัด  $d_1 d_2 d_3 \dots d_n$  ได้โดยการแก้สมการพีชคณิตพร้อมๆ กันคือ

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

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

## 2.7 การหาค่าความเครียดและความเค้น

ในการวิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกล นอกจากต้องการทราบการกระจัดแล้วยังต้องการทราบค่าของความเครียด ความเค้น หรือค่าของโมเมนต์ และแรงเฉือน ค่าต่างๆ เหล่านี้สามารถหาได้โดยอาศัยพื้นฐานความรู้ทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง อาทิเช่น ปัญหามิติเดียว ถ้าทราบค่าการกระจัด  $u$  ก็สามารถหาความเครียดจาก  $\epsilon_x = du/dx$  และหาค่าความเค้นจาก  $\sigma_x = E\epsilon_x$

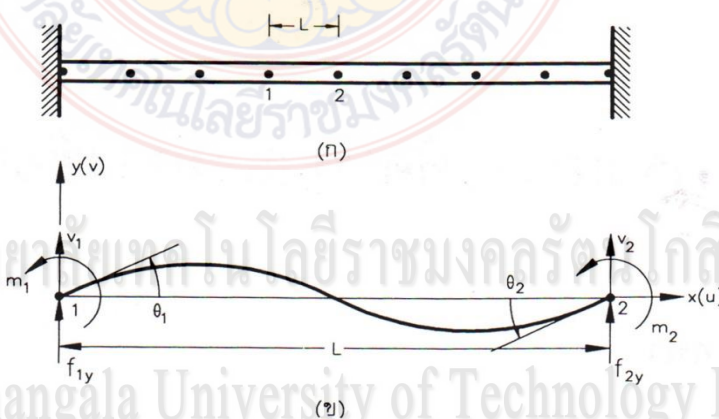
## 2.8 การตีความผลลัพธ์

จากผลลัพธ์ที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 2.6 และ 2.7 ก็สามารถจะทราบค่าได้ว่าที่จุดต่อใดของเอลิเมนต์ หรือบริเวณใดของโครงสร้างหรือชิ้นส่วนที่จะต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ เช่น บริเวณที่มีความกระจัดสูง หรือบริเวณใดมีความเค้นสูง และเราสามารถจะลดขนาดของการกระจัด และ/หรือความเค้นนั้นได้อย่างไร ทั้งนี้ต้องเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะหรือมิติเชิงโครงสร้างหรือชิ้นส่วนให้เหมาะสมยิ่งขึ้นหรืออาจจะต้องเลือกใช้วัสดุชนิดอื่นที่เหมาะสมกว่า

## 2.3 การหาสทิงเฟนสมเทริกซ์ของเอลิเมนต์คาน [5]

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

สมมุติให้แบบจำลองเอลิเมนต์คานภาพ 2 ยาว  $L$  ที่จุด 1 และ 2 มีโมเมนต์ดัด  $m_1$   $m_2$  และแรงเฉือน  $f_{1x}$   $f_{2y}$  กระทำตามลำดับ ส่วน  $v_1$   $v_2$  และ  $\theta_1$   $\theta_2$  เป็นการกระจัดและมุมเอียง (Slope) ที่จุดต่อ 1 และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 2 การแบ่งเอลิเมนต์ของคาน [5]

(ก) คานที่แบ่งออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย

(ข) แบบจำลองเอลิเมนต์คาน

แต่ละจุดต่อ โมเมนต์  $m$  จะมีค่าเป็นบวก ถ้าทิศทางของโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา มุมเอียง  $\theta$  จะเป็นบวก ถ้ามีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา แรงเฉือนและการกระจัดมีค่าเป็นบวก ถ้ามีทิศทางเดียวกับทิศทางของพิกัด  $y$  รูป 2 (ข)

จากทฤษฎีเบื้องต้นของคาน เราจะทราบว่า

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

$v$  คือการกระจัดหรือการโก่งตัวของคาน ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับแกน  $y$   $E$  คือโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุและ  $I$  คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดของคาน ส่วนทางด้านขามือของสมการ (6) เท่ากับศูนย์ นั่นก็เพราะว่าในการหาสติเฟนของคานจะสมมุติให้ไม่มีโหลดกระทำระหว่างจุดต่อ 1 และ 2 เนื่องจากแต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์คานจะมีตัวแปร 2 ตัวคือ  $v$  และ  $\theta$  หนึ่งเอลิเมนต์ประกอบไปด้วย 2 จุดต่อ ซึ่งจะมีตัวแปร 4 ตัว ดังนั้นแบบจำลองการกระจัดหรือการโก่งตัวของเอลิเมนต์คานตลอดความยาว  $L$  ควรจะเป็นสมการพอลิโนเมียลกำลังสามคือ

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

โดยมีค่าคงตัว  $a_1$   $a_2$   $a_3$  และ  $a_4$  รวม 4 ค่า ซึ่งจะสอดคล้องกับระดับชั้นความเสรีของเอลิเมนต์คาน และโดยอาศัยเงื่อนไขของเอลิเมนต์คาน เราสามารถหาค่าคงได้ดังนี้

$$\text{ที่จุดต่อที่ 1 } v(0) = v_1 = a_1 \quad (7a)$$

และที่จุดต่อที่ 2

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

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

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

จากสมการ (7) ประกอบด้วย 4 สมการย่อย มีค่าคงตัวที่ไม่ทราบค่า 4 ตัว ดังนั้นสามารถหาค่า  $a_1$   $a_2$   $a_3$  และ  $a_4$  ได้คือ

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

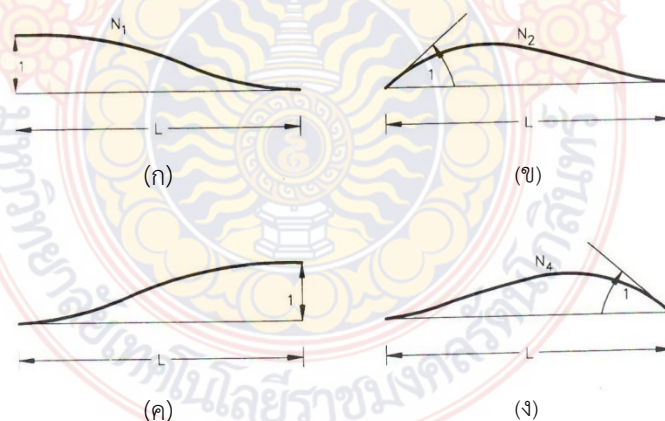
$$\text{และ } a_4 = \frac{2}{L^3}(v_1 + v_2) + \frac{1}{L^2}(\theta_1 + \theta_2)$$



แทนค่า  $a_1$   $a_2$   $a_3$  และ  $a_4$  ลงในสมการ (6) ผลที่ได้คือ

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

สำหรับฟังก์ชันรูปร่างของเอลิเมนต์ สามารถจะหาได้โดยพิจารณาจากภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ฟังก์ชันรูปร่างของเอลิเมนต์คาน [5]

จากภาพที่ 3(ก) สามารถหาฟังก์ชันรูปร่าง  $N_1x$  ได้คือ สมมติให้จุดต่อ 1 เคลื่อนที่ในทิศทาง  $y$  เท่า

1 หน่วย นั่นคือ  $v(0) = 1$  ส่วน  $\theta(0) = 0$ ,  $v(L) = 0$  ดังนั้น จากสมการ (2)

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

และ  $v(L) = 0 = a_1 + a_2L + a_3L^2 + a_4L^3 = v_2 \quad (9b)$

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  $a_4$  ได้คือ

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

ดังนั้นฟังก์ชันรูปร่าง  $N_1(x)$  คือ

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

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

$$v_2(0) = 0 = a_1 \text{ หรือ } a_2 = 0 \quad (10a)$$

$$v_2'(0) = 1 = a_2 \text{ หรือ } a_2 = 1 \quad (10b)$$

$$v_2(L) = 0 = a_1 + a_2L + a_3L^2 + a_4L^3 \quad (10c)$$

$$\text{และ } v_2'(L) = 0 = a_2 + 2a_3L + 3a_4L^2 \quad (10d)$$

จากสมการ (10) สามารถหาค่า  $a_1$   $a_2$   $a_3$  และ  $a_4$  ได้คือ

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

ดังนั้นฟังก์ชันรูปร่างของภาพ 3(ข) คือ

$$N_2(x) = v(x) = x \left( 1 - 2\frac{x}{L} + \frac{x^2}{L^2} \right) = x \left( 1 - \frac{x}{L} \right)^2 \quad (11)$$

ในทำนองเดียวกัน สามารถจะหาฟังก์ชันรูปร่าง  $N_3(x)$  และ  $N_4(x)$  ในภาพ 3(ค) และ 3(ง) ได้คือ

$$N_3(x) = 3\left(\frac{x}{L}\right)^2 - 2\left(\frac{x}{L}\right)^3 \quad (12)$$

และ

$$N_4(x) = \frac{x^2}{L}\left(\frac{x}{L} - 1\right) \quad (13)$$

ถ้าให้  $[N]$  เป็นเมทริกซ์ของฟังก์ชันรูปร่าง คือ

$$[N] = [N_1 N_2 N_3 N_4] \quad (14a)$$

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

$$\{d\} = [v_1 \theta_1 v_2 \theta_2]^T \quad (14b)$$

สมการ (6) จึงเขียนในรูปของเมทริกซ์ในเทอมของฟังก์ชันรูปร่าง  $[N]$  และการกระจัด  $\{d\}$  ได้ดังนี้

$$\{y\} = [N]\{d\} \quad (14c)$$

จะเห็นว่าฟังก์ชันรูปร่าง  $N_1 = 1$  ที่จุดต่อ 1 และ  $N_1 = 0$  ที่จุดต่อ 2 ส่วน  $N_2$  จะเป็นฟังก์ชันกับ  $\theta_1$ ,

คือ  $\frac{dN_2}{dx} = \theta_1 = 1$  ที่จุดต่อ 1, ส่วนฟังก์ชัน  $N_3$  และ  $N_4$  ลักษณะคล้ายกับ  $N_1$  และ  $N_2$  ตามลำดับ

ถ้าพิจารณาเฉพาะส่วน  $dx$  ของคานภาพ 4 จะเห็นว่าความเครียดในทิศทาง  $x$

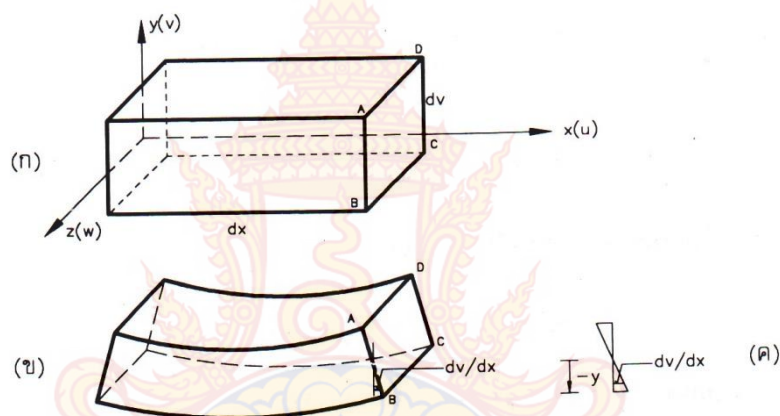
$$\epsilon_x = du/dx \quad (15)$$

$U$  คือการกระจัดในแนวแกนทิศทาง  $x$  จากภาพ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในแนวแกนทิศทาง  $x$  และการกระจัด (การโก่ง) ในทิศทาง  $y$  ของคานาคือ

$$-\frac{u}{L} = \frac{dv}{dx} \quad \text{หรือ} \quad u = -y \frac{dv}{dx} \quad (16)$$

แทน  $u$  ลงในสมการ (16) ลงในสมการ (15)

$$\epsilon_x = -y \frac{d^2 v}{dx^2} \quad (17)$$



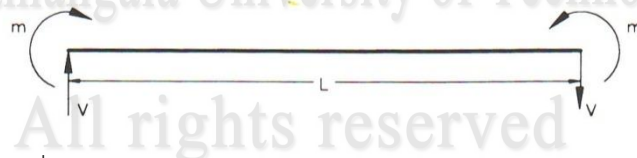
ภาพที่ 4 ส่วนตัดของคาน [5]

- (ก) ก่อนการเปลี่ยนรูป
- (ข) หลังจากเปลี่ยนรูป
- (ค) มุมเอียงของหน้าตัด ABCD

และจากทฤษฎีเบื้องต้นของคานตรงตามภาพ 5 ที่โค้งเพียงเล็กน้อย  $m$

$$M = EI \frac{d^2 v}{dx^2}, \quad V = EI \frac{d^3 v}{dx^3} \quad (18)$$

ซึ่ง  $m$  คือ โมเมนต์ดัด และ  $V$  คือแรงเฉือน



ภาพที่ 5 คานที่มีโมเมนต์  $m$  และแรงเฉือน  $V$  กระทำ ( $m$  และ  $V$  มีทิศทางเป็นบวก) [5]

โดยอาศัยทฤษฎีเบื้องต้นของคานตรงสมการ (18) และสมการ (8) ก็สามารถจะหาแรงเฉือน  $f_{1y}$ ,  $f_{2y}$  และโมเมนต์  $m_1$  และ  $m_2$  ที่เกิดขึ้นบนเอลิเมนต์คานได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 F_{1y} &= V = EI \frac{d^3 v(0)}{dx^3} = \frac{EI}{L^3} (12v_1 + 6L\theta_1 - 12v_2 + 6L\theta_2) \\
 m_1 &= -m = EI \frac{d^2 v(L)}{dx^2} = \frac{EI}{L^3} (6Lv_1 + 4Lq_1 - 6Lv_2 + 2L^2q_2) \\
 F_{2y} &= -V = EI \frac{d^3 v(0)}{dx^3} = \frac{EI}{L^3} (-12v_1 - 6L\theta_1 + 12v_2 - 6L\theta_2) \\
 m_2 &= m = EI \frac{d^2 v(L)}{dx^2} = \frac{EI}{L^3} (6Lv_1 + 2L^2\theta_1 - 6Lv_2 + 4L^2\theta_2) \quad (19)
 \end{aligned}$$

สมการ (19) เป็นสมการสมดุลของแรงเฉือน และโมเมนต์ตัด เหตุที่มีเครื่องหมายลบหน้าสมการ  $m_1$  และ  $F_{2y}$  ของสมการ (19) เพราะทิศทางของโมเมนต์ตัด และแรงเฉือนในแบบจำลองเอลิเมนต์ของคานภาพที่ 4(ข) และคานในภาพ 5 กำหนดทิศทางของโมเมนต์ตัด และแรงเฉือนต่างกับสมการ (19) เขียนในรูปของรูปของสมการเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} f_{1y} \\ m_1 \\ f_{2y} \\ m_2 \end{Bmatrix} = \frac{EI}{L} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (20)$$

หรือ  $\{F\} = [k]\{d\}$

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

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

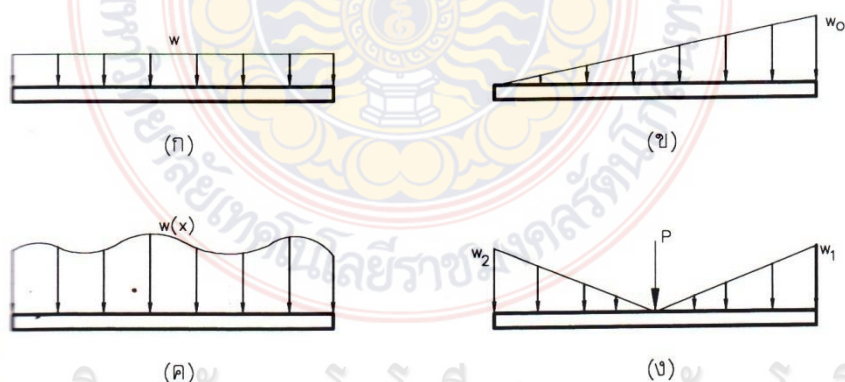
และสทิวเนสมเมทริกซ์ของเอลิเมนต์คาน  $[k]$  คือ



$$[k] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 6L & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (21)$$

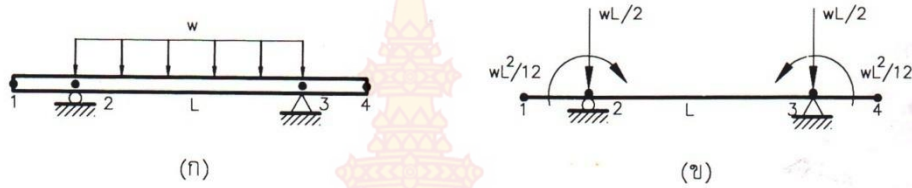
สมการ (20) แสดงให้เห็นว่าแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดกับการกระจัดและมุมเอียง สัมพันธ์กันด้วยสทริกเทนสมเมทริกซ์ของเอลิเมนต์ [ k ]

คานส่วนมากจะรับโหลดลักษณะกระจาย การกระจายของโหลดอาจจะเป็นแบบสม่ำเสมอ กระจายแบบลักษณะสามเหลี่ยม และกระจายไม่สม่ำเสมอ เช่น ในภาพ 6(ก) 6(ข) และ 6(ค) ตามลำดับ ในบางครั้งคานอาจจะรับโหลดแบบผสมระหว่างโหลดที่กระทำเป็นจุดและโหลดกระจาย ภาพ 6(ง)



ภาพที่ 6 ลักษณะของโหลดกระจายที่กระทำบนเอลิเมนต์คาน [5]

การวิเคราะห์คานที่มีโหลดกระจายกระทำด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เราจะสมมุติให้โหลดที่กระจายนั้นรวมกันเป็นจุด , กระทำที่จุดต่อของแต่ละเอลิเมนต์ เช่น ในภาพ 7(ก) มีโหลด w กระจายสม่ำเสมอกระทำบนเอลิเมนต์คาน เราสามารถจำลองการกระทำของโหลดเหล่านั้นได้ เช่น ภาพ 7(ข) คือแทนโหลดที่กระจายสม่ำเสมอ w ด้วยแรงที่กระทำเป็นจุด และโมเมนต์ตัดที่ปลายแต่ละด้านของเอลิเมนต์คาน และเรียกแรงเหล่านี้ว่า แรงสมมูล (Equivalent Forces) แต่ละคานเป็นแบบยึดปลายแน่น ( Fixed Ends ) แรงและโมเมนต์ตัดที่จำลองจะมีทิศทางตรงข้ามเช่นภาพ 8(ข)



ภาพที่ 7 คานเอลิเมนต์ [5]

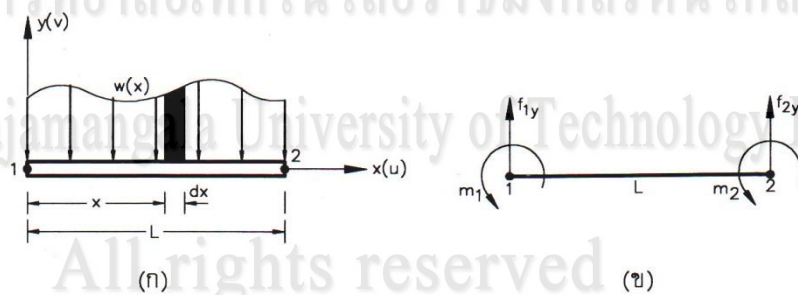
(ก) คานเอลิเมนต์ที่มีโหลดกระจายสม่ำเสมอ  $w$  กระทำ

(ข) แบบจำลองการรับโหลดสมมูลของคานเอลิเมนต์ในรูป (ก)



ภาพที่ 8 คานยึดปลายทั้งสองด้านและมีโหลดกระจายสม่ำเสมอกระทำ [5]

การจำลองโหลดจากโหลดที่กระจาย มาเป็นแรงสมมูล กระทำที่จุดต่อของเอลิเมนต์คาน นั้น สามารถทำได้โดยวิธีงานสมมูล (Work Equivalence Method) นั่นคืองานที่เกิดจากโหลดกระจายเช่นภาพที่ 9(ก)



ภาพที่ 9 แบบจำลองคาน [5]

(ก) เอลิเมนต์คานที่มีโหลดกระจายกระทำ

(ข) แบบจำลองแรงและโมเมนต์ดัดของเอลิเมนต์คาน (ก)

$$W_1 = \int_0^L w(x)v(x)dx \quad (22)$$

ซึ่ง  $v(x)$  คือระยะโก่งของคาน และงานที่เกิดจากแรงและโมเมนต์ดัดสมมูลตามภาพที่ 9(ข) คือ

$$W_2 = m_1\theta_1 + m_2\theta_2 + f_{1y}v_1 + f_{2y}v_2 \quad (23)$$

เราสามารถจะหา  $m_1$   $m_2$   $f_{1y}$  และ  $f_{2y}$  ได้โดยกำหนดงาน  $W_1 = W_2$  ในเทอมของการกระจัด  $\theta_1$   $\theta_2$   $v_1$  และ  $v_2$  ที่กำหนดให้ ตัวอย่างเช่น สมมติให้โหนดที่กระทำบนเอลิเมนต์คานเป็นแบบกระจายสม่ำเสมอ จากสมการ (22) แทนค่า  $w(x)$  ด้วย  $-w$  และใช้ค่า  $v(x)$  จากสมการ (8) ดังนั้น

$$w_1 = \int_0^L w(x)v(x)dx = -\frac{wL}{2}(v_1 - v_2) - wL(v_1 - v_2) + \frac{wL^2}{3}(2\theta_1 - \theta_2) \quad (24)$$

เพราะว่า  $W_1 = W_2$  หรือด้านขวาของสมการ (23) = ด้านขวาของสมการ (24) ถ้ากำหนดให้ที่จุดต่อ 1  $\theta_1 = 1$  ส่วน  $\theta_2 = v_2 = v_1 = 0$  ผลที่ได้คือ

$$m_1(1) = -\left(\frac{wL}{4} - \frac{2}{3}wL^2 + \frac{L^2w}{2}\right) = -\frac{wL^2}{12} \quad (25)$$

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

$$m_2(1) = -\left(\frac{wL^2}{4} - \frac{wL^2}{3}\right) = \frac{wL^2}{12} \quad (26)$$

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 ผลที่ได้คือ

$$f_{1y}(1) = -\frac{wL}{2} + wL - wL = -\frac{wL}{2} \quad (27)$$

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

จะเห็นว่าทิศทางแรง และโมเมนต์ดัดที่แต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์คานจะมีทิศทางเช่นเดียวกับในกรณีของภาพที่ 7(ข)

ในการที่เอลิเมนต์คานมีโหนดกระจายหรือโหนดกระทำเป็นจุดกระทำ สมการสมดุลของแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างในพิกัดรวมคือ แรงที่แท้จริงจะเท่ากับแรงประสิทธิผล (Effective Force) ลบด้วยแรงสมมูลคือ

$$\{F\} = [K]\{d\} - \{F_0\} \quad (29)$$

ซึ่ง  $\{F_0\}$  คือแรงสมมูลที่กระทำที่จุดต่อในพิกัดรวมของโครงสร้าง ส่วนในตารางแรงสมมูล แรงปฏิกิริยา  $\{F_0\}$  คือแรงที่กระทำที่จุดต่อเอลิเมนต์ในพิกัดเฉพาะที่ ส่วน  $\{F\}$  นั่นก็คือแรงซึ่งรวมทั้งแรงปฏิกิริยาและโมเมนต์ในพิกัดรวม ในกรณีที่ไม่มีแรงหรือโมเมนต์ดัดภายนอกอื่นกระทำ ( $F = 0$ ) ดังนั้นสมการ (29)

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

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

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

ในกรณีของพิกัดเฉพาะที่ แรงที่แท้จริงที่จุดต่อต่างๆ  $\{f\}_{act}$  ของเอลิเมนต์คานโครงสร้างก็คล้ายกับสมการ (29) คือ

$$\{f\}_{act} = [k]\{d\} - \{f_0\} \quad (31)$$



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

### 3. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน [6]

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

#### 3.1 หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต

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. โครงสร้างที่เสริมเหล็กลูกตั้งหรือคอดำ ( $v_c$ ) =  $1.32\sqrt{f_c'}$
6. พื้นและฐานรากรับแรงเฉือนตามแนวเส้นขอบ ( $v_c$ ) =  $0.53\sqrt{f_c'}$
7. รับเต็มพื้นที่ ( $f_c$ ) =  $0.25f_c'$
8. รับไม่เกินกว่าหนึ่งในสามของเนื้อที่ ( $f_c$ ) =  $0.37f_c'$

ตามกฎกระทรวงควบคุมอาคาร ฉบับที่ 6 ถ้าไม่มีผลทดสอบจากหน่วยแรงที่เชื่อถือได้ ก็กำหนดให้ใช้ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตไว้ดังนี้

หน่วยแรงอัดของคอนกรีตล้วน ( $f_c$ ) =  $0.333f_c'$  แต่ต้องไม่เกิน 60 กก./ตร.ซม.

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีตเสริมเหล็ก ( $f_c$ ) =  $0.375f_c'$  แต่ต้องไม่เกิน 65 กก./ตร.ซม.

#### 3.2 หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม

ตามกระทรวงควบคุมอาคาร ฉบับที่ 6 และมาตรฐาน วสท. 1007 – 34 กำหนดให้ใช้ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมไว้ดังนี้

3.2.1 หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับเหล็กเสริม ( $f_s$ ) เมื่อโครงสร้างรับแรงดึง

- เหล็กเส้นกลม ที่มีกำลังคราก ( $f_y$ ) ตั้งแต่ 2,400 กก./ตร.ซม.

$F_s =$  ไม่เกิน 1,200 กก./ตร.ซม.

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

$$F_s = 0.5f_y \text{ แต่ไม่เกิน } 1,500 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

- เหล็กข้ออ้อย ที่มีกำลังคราก ( $f_y$ ) ตั้งแต่ 4,000 กก./ตร.ซม. ขึ้นไป

$$F_s = \text{ไม่เกิน } 1,700 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

- เหล็กขั้ว ให้ใช้ร้อยละ 50 ของหน่วยแรงพิสูจน์

$$F_s = \text{ไม่เกิน } 2,400 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

3.2.2 หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับเหล็กเสริม ( $f_s$ ) เมื่อโครงสร้างแรงอัด  
กรณีเสาปลอกเกลียว

- เหล็กเส้นกลม  $f_s = \text{ไม่เกิน } 1,200 \text{ กก./ตร.ซม.}$

- เหล็กข้ออ้อยและเหล็กขั้ว  $f_s = 0.4f_y$  แต่ไม่เกิน 2,100 กก./ตร.ซม.

กรณีเสาปลอกเดี่ยว ให้ใช้ร้อยละ 85 ของค่าที่กำหนดในเสาปลอกเกลียว  
แต่ไม่เกิน 1,750 กก./ตร.ซม.

- เหล็กรูปพรรณ  $f_s = \text{ไม่เกิน } 1,200 \text{ กก./ตร.ซม.}$

- เหล็กหล่อ  $f_s = \text{ไม่เกิน } 700 \text{ กก./ตร.ซม.}$

3.3 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้สูงสุด ( $v$ ) ที่เกิดขึ้นในองค์อาคาร จะเกิดขึ้นที่ระยะ  $d$  ห่าง  
จากที่รองรับ โดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$v = \frac{V}{bd} \quad (\text{กก./ตร.ซม.})$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ ( $v_c$ ) สำหรับองค์อาคารคอนกรีต ยอมให้เกิดหน่วยแรงเฉือน

ได้ไม่เกินดังนี้

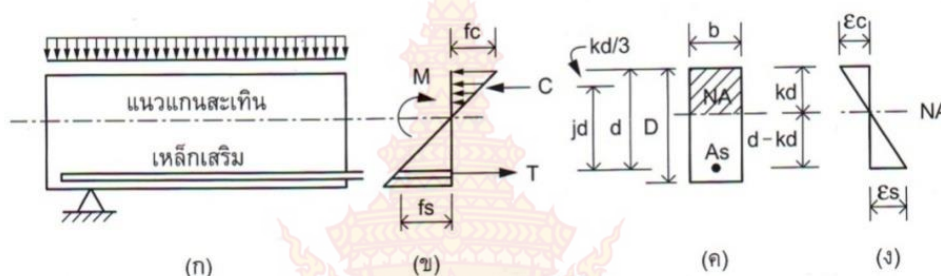
Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

$$v_c = 0.29\sqrt{f_c'} \quad (\text{กก./ตร.ซม.})$$

All rights reserved

กรณีหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ ก็ต้องออกแบบ  
เปลี่ยนขนาดองค์อาคารเสียใหม่หรืออาจออกแบบให้ใช้เหล็กปลอกหรือเหล็กค่อมาเสริมเพื่อดำเนินงาน  
หน่วยแรงเฉือนในส่วนที่เกินได้

### 3.4 การคำนวณหาโมเมนต์ต้านทานของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดิ่งอย่างเดียว



ภาพที่ 10 พฤติกรรมการต้านทานโมเมนต์ดัด [6]

จากภาพที่ 10 สามารถอธิบายความหมายได้ดังนี้

ภาพที่ 10(ก) แสดงสภาพคานคอนกรีตที่เสริมเหล็กรับแรงดิ่งเฉพาะด้านล่าง

ภาพที่ 10(ข) แสดงผังความเค้นที่เกิดขึ้นกับคอนกรีตและเหล็กเสริม

ภาพที่ 10(ค) แสดงหน้าตัด โดยคอนกรีตเหนือแรงแกนสะเทินรับแรงอัดและใต้แกนสะเทินเป็นเหล็กรับแรงดิ่ง

ภาพที่ 10(ง) แสดงผังความเค้น โดยคอนกรีตเกิดการหดตัวและเหล็กเกิดการยืดตัว

การคำนวณหาตำแหน่งแนวแกนสะเทินก็คือการคำนวณหาค่า  $k$  นั้นเองโดยมีวิธีวิเคราะห์ดังนี้

กรณีที่ 1 : เมื่อทราบค่า  $f_c$   $f_s$

จากภาพที่ 10(ง)

$$\frac{\epsilon_c}{\epsilon_s} = \frac{f_c / E_c}{f_s / E_s} = \frac{f_c \cdot E_s}{f_s \cdot E_c} = n \frac{f_c}{f_s} \quad (32)$$

จากรูปที่ 10(ง)

$$\frac{\epsilon_c}{\epsilon_s} = \frac{kd}{d - kd} = \frac{k}{1 - k} \quad (33)$$

จากสมการที่ (32) = (31)

$$\frac{k}{1 - k} = n \frac{f_c}{f_s} \quad (34)$$

ดังนั้น 
$$k = \frac{1}{1 + \left( \frac{f_s}{n \cdot f_c} \right)} \quad (35)$$

กรณีที่ 2 : เมื่อทราบค่า  $n$  และ  $p$   
จากภาพที่ 10(ข) เมื่อ

$$T = C$$

$$f_s \cdot A_s = \frac{1}{2} f_c \cdot b \cdot kd$$

และ  $M_s = T \cdot jd = f_s \cdot A_s \cdot jd$

$$A_s = \frac{M}{f_s \cdot jd}$$

หรือ  $M_c = C \cdot jd = \frac{1}{2} f_c \cdot b \cdot kd \cdot jd$

$$= \frac{1}{2} f_c \cdot k \cdot j \cdot bd^2$$

เมื่อให้  $R = \frac{1}{2} f_c \cdot k \cdot j$

$$M_c = R \cdot bd^2$$

หรือ  $d = \sqrt{\frac{M}{Rb}}$

Copyright © by Rajamangala University of Technology Phra Nakhon  
เมื่อทราบร้อยละของเหล็กเสริม  $p = \frac{A_s}{bd}$  หรือ  $A_s = pbd$  นำไปแทนค่าในสมการที่ (35)

$$f_s \cdot pbd = \frac{1}{2} f_c \cdot b \cdot kd$$

$$f_s = \frac{1/2 f_c \cdot b \cdot kd}{pbd} = \frac{f_c \cdot k}{2p}$$

$$\frac{f_s}{f_c} = \frac{k}{2p}$$

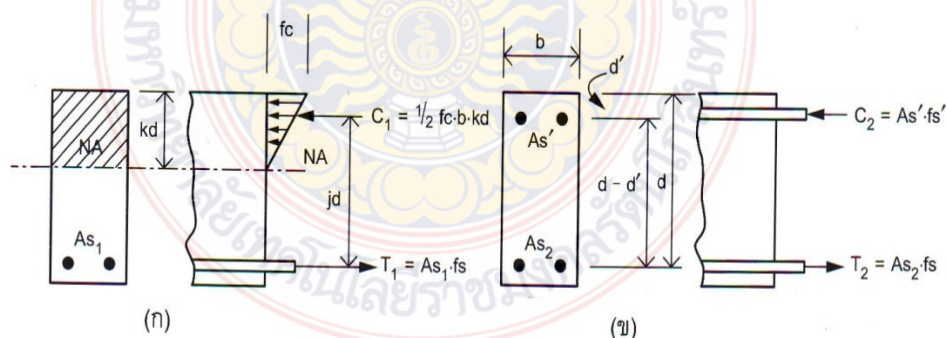


จากสมการที่ (33)

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

ดังนั้น  $k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$  (36)

3.5 การคำนวณหาโมเมนต์ต้านทานของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับทั้งแรงดิ่งและแรงอัด  
คานคอนกรีตที่ออกแบบให้คอนกรีตส่วนเหนือแกนสะเทินรับแรงอัดทั้งหมด และเหล็กเสริมใต้แกนสะเทินรับแรงดิ่งทั้งหมด แต่ในบางกรณีคอนกรีตที่อยู่เหนือแกนสะเทินไม่สามารถทานด้านแรงอัดได้ทั้งหมด ก็จำเป็นต้องขยายหน้าตัดคานให้ใหญ่มากขึ้นจนกว่าคอนกรีตจะสามารถทานด้านแรงอัดคอนกรีตได้ทั้งหมด แต่ก็อาจไม่เหมาะสมด้านความสวยงามทางสถาปัตยกรรมและขนาดน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเป็นภาระต่อโครงสร้าง จึงจำเป็นต้องออกแบบเหล็กเสริมช่วยรับแรงอัดเพิ่มเติม จึงทำให้คานคอนกรีตนี้มีทั้งเหล็กเสริมรับแรงดิ่งด้านล่างและเหล็กเสริมรับแรงอัดด้านบน



ภาพที่ 11 การเสริมเหล็กในคานเพื่อรับแรงดิ่งและแรงอัด [6]

(ก) ความเค้นและคานคอนกรีตที่เสริมเหล็กรับแรงดิ่ง

เฉพาะด้านล่างอย่างเดียว

(ข) แสดงเหล็กเสริมเพิ่มเติมที่รับทั้งแรงดิ่งและแรงอัด

การคำนวณหาเหล็กเสริมรับแรงอัด ( $A_s'$ )

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

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

$$\therefore A_{s1} = \frac{M_1}{f_s \cdot j \cdot d}$$

$$\text{และ } A_{S2} = \frac{M_2}{f_s \cdot (d-d')}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{พื้นที่หน้าตัดเหล็กที่เสริมรับแรงดึงทั้งหมด } (A_s) &= A_{s1} + A_{s2} \\ &= \frac{M_1}{f_s \cdot j \cdot d} + \frac{M_2}{f_s \cdot (d-d')} \end{aligned}$$

สำหรับการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด พิจารณาจากการสมดุลของแรงดังนี้

$$\begin{aligned} C_2 &= T_2 \\ A_s' \cdot f_s' &= A_{s2} \cdot f_s \end{aligned}$$

ในช่วงอีลาสติก หน่วยแรงในเหล็กจะเป็นปฏิภาคกับระยะแนวแกนสะเทิน นั่นคือ

$$\frac{f_s}{f_s'} = \frac{d - kd}{kd - d'}$$

$$\therefore f_s' = \frac{kd - d'}{f_s \frac{d - kd}{kd - d'}} = \frac{kd - d'}{f_s \left( k - \frac{d'}{d} \right)}$$

ตามมาตรฐานของ วสท. กำหนดให้หน่วยแรง  $f_s'$  มีค่าเป็นสองเท่าของหน่วยแรงที่คำนวณได้จาก ทฤษฎีอีลาสติก

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

แทนค่า  $f_s'$  ลงในสมการสมดุล

$$\begin{aligned} A_s' \cdot f_s' &= A_{s2} \cdot f_s \\ 2A_s' \cdot f_s \frac{k - \left( \frac{d'}{d} \right)}{1 - k} &= A_{s2} \cdot f_s \end{aligned}$$

All rights reserved

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

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

ถ้าให้

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

$$A_s' = K \cdot A_{s2}$$

การคำนวณหาตำแหน่งแนวแกนสะเทินก็คือการคำนวณหาค่า  $k$  นั้นเอง โดยวิธีวิเคราะห์หาได้ดังนี้  
กรณีที่ 1 : เมื่อทราบค่า  $n$ ,  $f_s$  และ  $f_c$  สามารถหา  $k$  ได้ตามสมการที่ (4)

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{n \cdot f_c}}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

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

จากสมการสมดุลพบว่า

$$\text{แรงอัดทั้งหมด} = \text{แรงดึงทั้งหมด}$$

$$C_1 + C_2 = T_1 + T_2$$

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

$$\frac{1}{2} f_c \cdot b \cdot kd + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_s \quad (37)$$

จากการวิเคราะห์หน่วยแรงการยึดหดตัวของคอนกรีตและเหล็กเสริม จะได้

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

และ  $f_s' = 2f_s \frac{(kd - d)}{(d - kd)} \quad (39)$

แทนค่าสมการที่ (2-38) ลงในสมการที่ (2-39) จะได้

$$f_s' = 2n \cdot f_c \frac{(kd - d)}{kd} \quad (40)$$

จากค่า  $p = \frac{A_s}{bd} \therefore A_s = pbd \quad (41)$

และ  $p' = \frac{A_s'}{bd} \therefore A_s' = p'bd \quad (42)$

นำสมการที่ 40, 41, 42 ไปแทนค่าลงในสมการที่ 37

$$\frac{1}{2} f_c \cdot b \cdot kd + \left( (p'bd)(2n \cdot f_c) \frac{(kd - d')}{(kd)} \right) = \left( (pbd) \cdot n \cdot f_c \frac{(kd - d')}{(kd)} \right) \quad (43)$$

จากสมการที่ (43) หารตลอดด้วย  $f_c \cdot bd$  และคูณด้วย  $2k$  จะได้

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

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

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

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

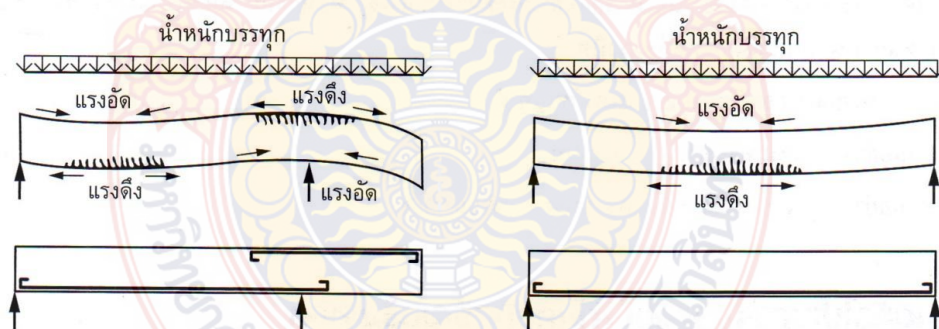
$$k + n(p + 2p') = \sqrt{2n \left( p + 2p' \frac{d'}{d} \right) + n^2(p + 2p')^2}$$



$$k = \sqrt{2n \left( p + 2p' \frac{d'}{d} \right) + n^2 (p + 2p')^2 - n(p + 2p')} \quad (44)$$

### 3.6 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คานเป็นโครงสร้างแนวราบ เมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุกกระทำ ก็จะเกิดโมเมนต์ดัดที่ห้องคานหรือการแอ่นตัวและเกิดแรงดึง ฉะนั้นจึงต้องเสริมเหล็กด้านทานที่ห้องคาน ขณะเดียวกันก็จะเกิดโมเมนต์ดัดที่หัวเสา ซึ่งก็จะเสริมเหล็กด้านทานที่หัวเสาเช่นกัน นอกจากนี้ยังเกิดแรงเฉือนและแรงบิดในคานได้ด้วย ซึ่งต้องใช้เหล็กปลอกเสริมด้านทาน การเสริมเหล็กต่างๆ ต้องใส่ให้ตรงตามตำแหน่งที่เกิดพฤติกรรมนั้น ซึ่งแสดงด้วยรูปตัวอย่างดังนี้

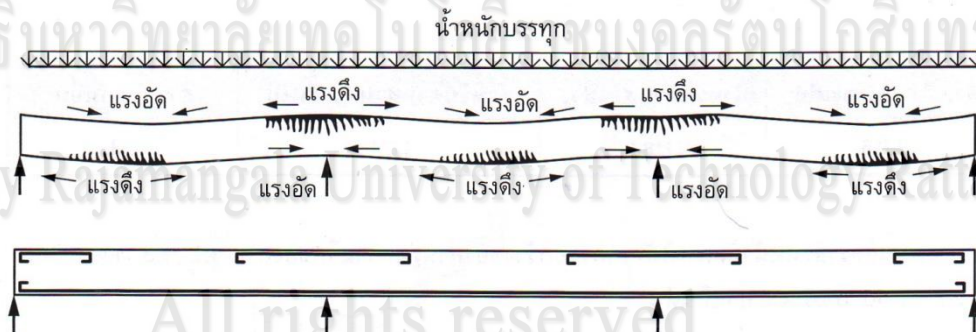


(ก) พฤติกรรมคานยื่นและการเสริม

เหล็กรับแรงดึง

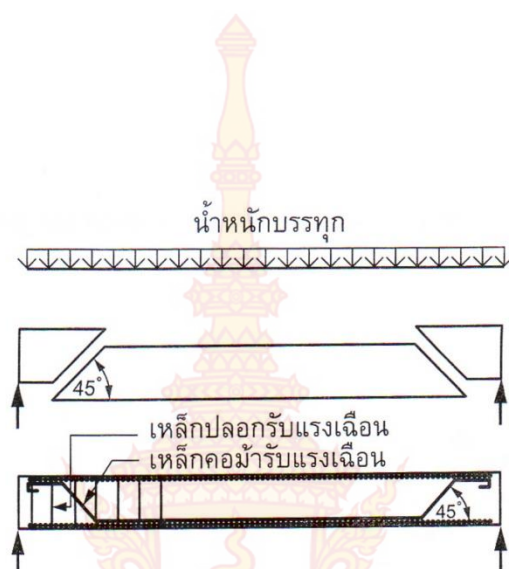
(ข) พฤติกรรมคานช่วงเดียวและการเสริม

เหล็กรับแรงดึง

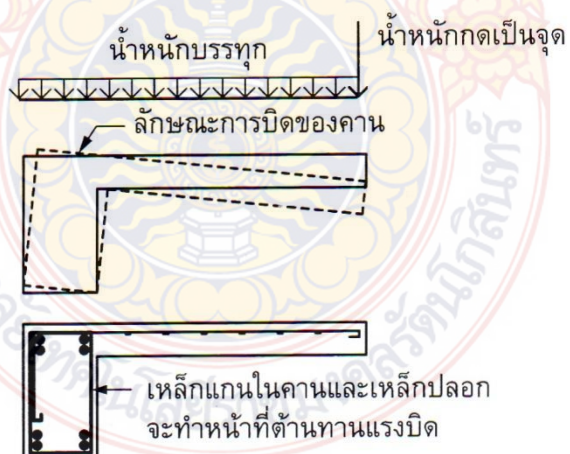


(ค) พฤติกรรมคานหลายช่วงและการเสริมเหล็กรับแรงดึง

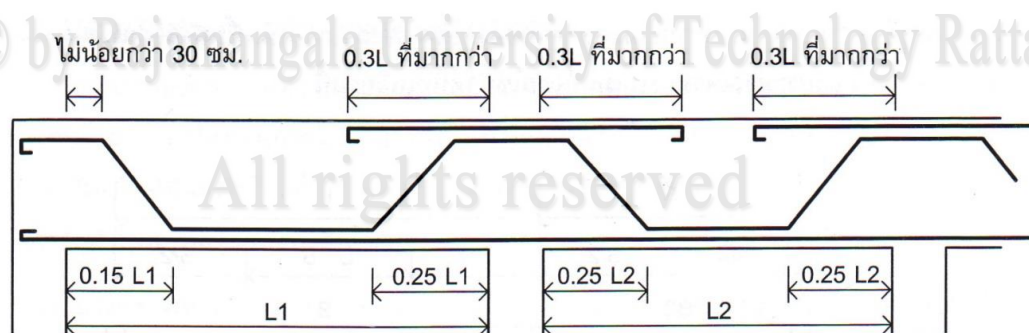
ภาพที่ 12 ลักษณะการเกิดพฤติกรรมแรงดัด [6]



ภาพที่ 13 ลักษณะการเกิดพฤติกรรมแรงเฉือน [6]



ภาพที่ 14 ลักษณะการเกิดพฤติกรรมแรงบิด [6]



ภาพที่ 15 ระยะเสริมเหล็กค่อมและเหล็กเสริมพิเศษตามมาตรฐาน ACI [6]

### 3.6.1 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตามข้อกำหนดมาตรฐาน วสท. 1007-34 แนะนำความลึกของคานชั้นต่ำ (กรณีไม่ได้คำนวณหาระยะการโค้ง) ไว้ดังนี้

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

- ประมาณอัตราส่วนหน้าตัดคานได้จากความกว้างของคานต่อความลึกของคาน 1:2 , 1:3 เช่นคานขนาด 0.15×0.30 , 0.20×0.40 , 0.20×0.60 เป็นต้น

- ประมาณความลึกของคานเทียบกับช่วงความยาวของคาน 1:10 เช่น คานยาว 6.00 เมตร ก็ควรจะมีควมลึกโดยประมาณ 60 เซนติเมตร เป็นต้น

- ความกว้างของหน้าตัดคานไม่ควรกว้างมากกว่าหน้าตัดของเสา

- เหล็กเสริมแกนต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 9 มิลลิเมตร

- การเสริมเหล็กในคานที่มีเหล็กตั้งแต่สองชั้นขึ้นไป ช่วงว่างระหว่างเหล็กแต่ละชั้นต้องไม่แคบกว่า 2.5 เซนติเมตร และเหล็กที่อยู่ชั้นบนต้องเรียงให้ตรงกับเหล็กชั้นล่าง

- เหล็กปลอกต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร และระยะห่างของเหล็กปลอกไม่ควรมากกว่าความกว้างของคานหรือครึ่งหนึ่งของความลึกคาน หรือ 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กแกนหรือ 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก อย่างไรก็ตามหนึ่งที่มีค่าน้อยกว่า

- ระยะต่อทาบเหล็กและระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก

### 3.6.2 ลักษณะการถ่ายน้ำหนักพื้นสู่คาน

การถ่ายน้ำหนักพื้นลงสู่คาน พิจารณาจากลักษณะของพื้นซึ่งแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ พื้นเสริมเหล็กทางเดียวและพื้นเสริมเหล็กสองทาง ซึ่งลักษณะการถ่ายน้ำหนักแสดงได้ดังภาพที่ 16 และภาพที่ 17 อธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. ประเภทพื้นเสริมเหล็กทางเดียวหรือลักษณะของแผ่นพื้นสำเร็จรูป การแบ่งน้ำหนักพื้นลงคาน B1 ทำได้โดยแบ่งครึ่งช่วงสั้นของพื้นตลอดแนวดังนี้

- น้ำหนักพื้น คสล. + น้ำหนักผิวขัดมัน + น้ำหนักบรรทุกจร

$$\{(0.10 \times 2400 \times 0.75 \times 1.00) + (0.03 \times 2400 \times 0.75 \times 1.00) + (150 \times 0.75 \times 1.00)\} = 347 \text{ kg/m}$$







โดยที่  $w$  คือน้ำหนักพื้น คสล.+ น้ำหนักผิวพื้นตบแต่ง + น้ำหนักบรรทุกจร

$S$  คือช่วงด้านสั้นของพื้น

$L$  คือช่วงด้านยาวของพื้น

$m$  คืออัตราส่วน  $S/L$  ของพื้น

การถ่ายน้ำหนักพื้นเพื่อหาค่าโมเมนต์ในคาน สำหรับการถ่ายหนักเพื่อหาค่าโมเมนต์ในคานนั้นจะคำนวณจากน้ำหนักพื้นแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ ดังนี้

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

$$- \text{น้ำหนักพื้นถ่ายลงคาน } B2 = \frac{wS}{3}$$

$$- \text{น้ำหนักพื้นถ่ายลงคาน } B3 = 2 \left( \frac{wS}{3} \right)$$

### 3.6.4 แรงเฉือนในคานและการเสริมเหล็กด้านทาน

คานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปมักจะมีหน้าตัดที่เพียงพอต่อการต้านทานแรงเฉือน (Shearing) แต่ในบางครั้งต้องแบกรับน้ำหนักมาก ทำให้คอนกรีตไม่สามารถต้านทานแรงเฉือนได้เพียงพอ จึงต้องออกแบบเหล็กปลอกหรือเหล็กคอกมาช่วยต้านทานแรงเฉือนส่วนเกินนั้น ตามมาตรฐาน วสท. 1007-34 กำหนดไว้ดังนี้

เกณฑ์บังคับหน่วยแรงและเหล็กเสริม

- หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ( $f_v$ ) จะต้องมีค่าไม่เกิน 1200 กก./ตรม. สำหรับเหล็กเส้นกลมไม่เกิน 1500 กก./ตรม. สำหรับเหล็กข้ออ้อย SD30 และ SD40 ตามลำดับ

- หน่วยแรงเฉือน ( $v$ ) จะต้องมีค่าไม่เกิน  $1.32\sqrt{f_c}$  สำหรับหน้าตัดที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

- ระยะเรียงของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนต้องมีค่าไม่เกิน  $d/2$  และถ้าหน่วยแรงเฉือนเกินกว่า

$0.795\sqrt{f_c}$  ระยะเรียงต้องมีค่าไม่เกิน  $d/4$

- เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ( $A_v$ ) จะต้องมีไม่น้อยกว่า 0.0015ของเนื้อ  $b \times s$  (โดย  $b$  คือความกว้างของหน้าตัดคาน,  $s$  คือระยะเรียงของเหล็ก)

การคำนวณเหล็กปลอกรับแรงเฉือน (Stirrup)

$$A_v = \frac{V' \cdot s}{f_v \cdot d}$$

$$\text{หรือ } s = \frac{A_v \cdot f_v \cdot d}{V'}$$

โดยที่  $s$  คือ ระยะห่างของเหล็กปลอก (ชม.)

$A_v$	คือ เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กปลอกหนึ่งปลอก ซึ่งมีเนื้อที่หน้าตัดสองขา ( $2A_s$ ) (ตร.ชม.)
$V'$	คือ ค่าแรงเฉือนที่คอนกรีตต้องต้านทานเพิ่มเติมคำนวณได้จาก $V_d - V_c$
$V_d$	คือ ค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นทั้งหมด (กก.)
$V_c$	คือ ค่าแรงเฉือนที่คานคอนกรีตรับได้ (กก.)
$F_v$	คือ หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (กก. / ตร.ชม.)
$d$	คือ ความลึกประสิทธิผลของคาน (ชม.)

### 3.6.5 การคำนวณเหล็กค่อมรับแรงเฉือน

เหล็กค่อมรับแรงเฉือนอาจเป็นเส้นเดียวหรือหลายเส้นที่ขนานกันและระยะห่างที่รองรับเท่ากันให้คำนวณจากสูตรดังนี้

$$A_v = \frac{V}{f_v \cdot \sin \alpha}$$

สำหรับเหล็กค่อมที่ขนานกัน แต่มีระยะงอห่างจากที่รองรับต่าง ๆ กัน ให้คำนวณจากสูตรดังนี้

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

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

### 3.7 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

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

### 3.7.1 พื้นชนิดเสริมเหล็กหลักทางเดียว

พื้นคอนกรีตหล่อในที่ชนิดเสริมเหล็กหลักทางเดียว (One Way Slab) นี้ เป็นการเรียกตามวิธีการคำนวณโครงสร้างโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างความกว้างหรือด้านสั้นของแผ่นพื้นต่อด้านความยาวของแผ่นพื้นต้องมีค่าไม่เกิน 0.50 โดยอาจมีช่วงพื้นช่วงเดียวหรือหลายช่วงติดต่อกันหรือเป็นพื้นยื่น

ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบพื้นทางเดียว

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

#### ตารางที่ 1 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก [6]

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

- กรณีเป็นพื้นโรงงาน โกดัง พื้นถนน หรือพื้นใดที่มีความเสียดสีมาก ควรเพิ่มความหนาอีกอย่างน้อย 1.5 ซม.

- เหล็กเสริมต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 6 มม.

- ระยะเรียงของเหล็กต้องไม่เกิน 3 เท่าของความหนาพื้น หรือไม่เกิน 30 ซม. อย่างไม่อย่างหนึ่งที่น้อยกว่า

- เหล็กเสริมกันร้าว ( $A_s^t$ ) ในพื้นแบบเสริมหลักทางเดียว (one way slab) ใช้

ดังนี้

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

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

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

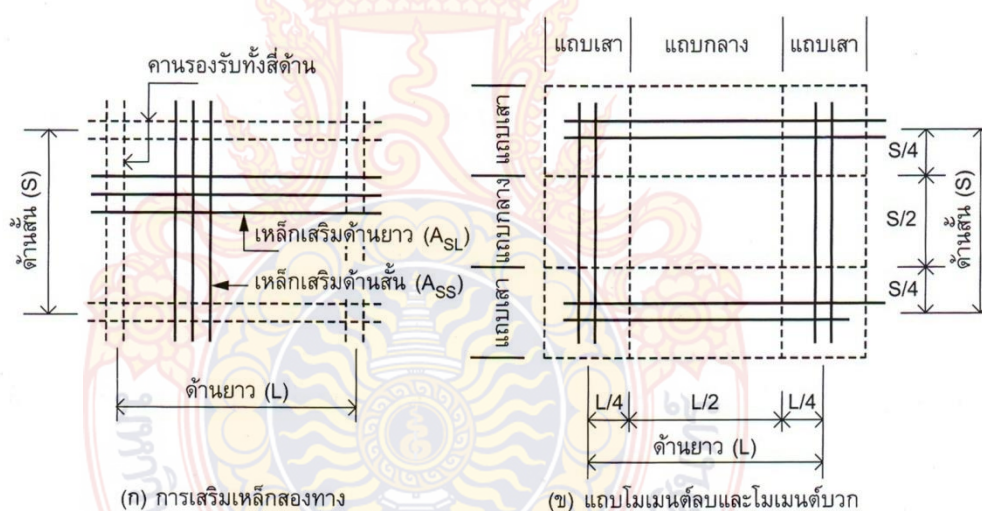
All rights reserved

- การออกแบบเสริมเหล็กในแผ่นพื้นให้คิดต่อความกว้างเพียง 1 ม.

- ระยะต่อทาบและระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก ให้ดูรายละเอียดในตาราง 2 และ 3

### 3.7.2 พื้นชนิดเสริมเหล็กหลักสองทาง

พื้นคอนกรีตหล่อในที่ชนิดเสริมเหล็กหลักสองทาง (Two Way Slab) นี้เป็นการเรียกตามวิธีการคำนวณโครงสร้างเช่นเดียวกับพื้นระบบเสริมเหล็กทางเดียว โดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างความกว้างของแผ่นพื้นต่อความยาวของแผ่นพื้นมีค่าเกิน 0.50 จึงต้องคำนวณโครงสร้างพื้นนี้เป็นชนิดเสริมเหล็กสองทาง (โดยไม่ต้องเสริมเหล็กกันรั้ว) และต้องมีคานรองรับทั้งสี่ด้านอาจมีพื้นเพียงผืนเดียวหรือหลายพื้นติดต่อกัน



ภาพที่ 18 แผ่นพื้นชนิดเสริมเหล็กสองทาง [6]

ข้อกำหนดเบื้องต้นในการออกแบบพื้นสองทาง

- พิกัด แถบกลาง (Middle Strip) มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงพื้นโดยสมมาตรกับเส้นแบ่งกึ่งกลางของช่วง และต่อเลยออกไปในช่วงพื้นในทิศทางที่คิดโมเมนต์ แถบเสา (Column Strip) มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงพื้นโดยมีขนาดเท่ากับพื้นที่ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ 1 ใน 4 ของช่วงพื้นสองผืน ที่อยู่นอกแถบกลาง
- ความหนาต่ำสุดของแผ่นพื้นสองทาง ให้ถือเอาค่าที่มากที่สุดระหว่างความยาวเส้นรอบรูปหารด้วย 180 หรือ 8 ซม.
- หน้าตัดวิกฤตสำหรับคำนวณโมเมนต์ สำหรับโมเมนต์ลบคิดที่ขอบโดยรอบของช่วงพื้นตรงขอบคานรองรับ สำหรับโมเมนต์บวก คัดที่เส้นแบ่งกึ่งกลางช่วงพื้น

การวางเหล็กเสริม ให้ทำการวางเหล็กด้านสั้น ( $A_{ST}$ ) ก่อนจากนั้นจึงวางเหล็กด้านยาว ( $A_{SL}$ ) วางทับบนเหล็กด้านสั้นทั้งนี้เพราะเหล็กที่เสริมช่วงสั้นจะให้ความแข็งแรงมากกว่าช่วงยาว

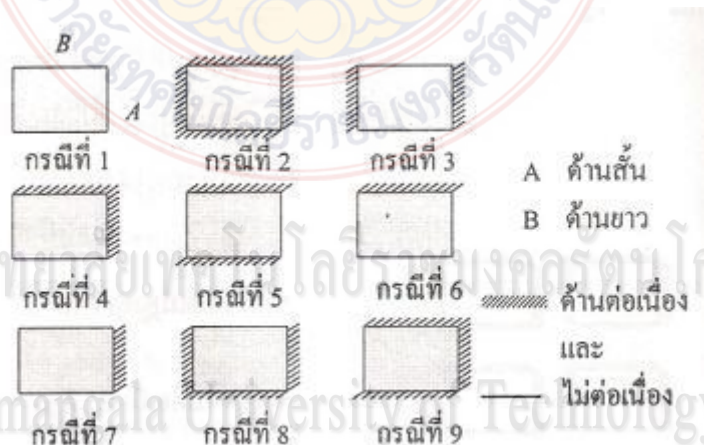


การออกแบบแผ่นพื้นให้พิจารณาที่ความกว้าง 1.00 ม. และพิจารณาน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจายเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 1007 – 34 ได้กำหนดวิธีการออกแบบแผ่นพื้นไว้ 3 วิธี ซึ่งสำหรับโปรแกรมนี้ได้ใช้วิธีที่สามในการออกแบบพื้นสองทาง

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

$$\begin{aligned} M_A &= CwA^2 \\ M_B &= CwB^2 \\ \text{เมื่อ } A &= \text{ด้านสั้น} \\ B &= \text{ด้านยาว} \\ C &= \text{สัมประสิทธิ์สำหรับโมเมนต์} \\ w &= \text{น้ำหนักแผ่นบนแผ่นพื้น} \end{aligned}$$

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



ภาพที่ 19 ลักษณะการต่อเนื่องของพื้นสองทางในการออกแบบพื้นสองทางวิธีที่ 3 [7]

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ลบ (วิธีที่สามตามมาตรฐานของ วสท.) [7]

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
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



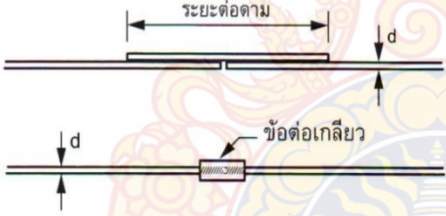
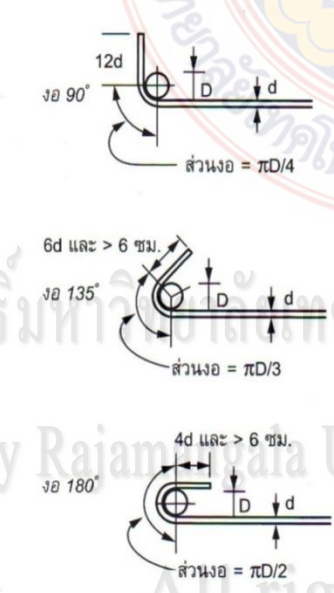
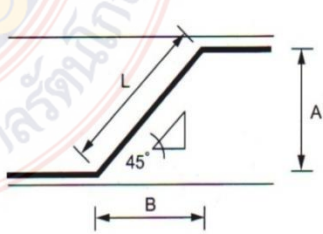
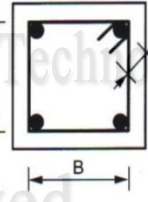
ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บวกจากน้ำหนักคงที่ (วิธีที่สามตามมาตรฐานของ วสท.) [7]

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
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 4 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บวกจากน้ำหนักจร (วิธีที่สามตามมาตรฐานของ วสท.) [7]

อัตราส่วน $m = A/B$		case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9
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
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><b>การทาบสำหรับเหล็กเส้นกลม</b></p> 	<p><b>ระยะทาบต้อง</b>                  SR24 &gt; 48 เท่าของ d หรือ &gt; 60 ซม. (แรงดึง)                  SR24 &gt; 40 เท่าของ d หรือ &gt; 60 ซม. (แรงอัด)</p>
<p><b>การทาบสำหรับเหล็กข้ออ้อย</b></p> 	<p><b>ระยะทาบต้อง</b>                  SD50 &gt; 36 เท่าของ d หรือ &gt; 30 ซม. (แรงดึง)                  SD40 &gt; 30 เท่าของ d หรือ &gt; 30 ซม. (แรงดึง)                  SD30 &gt; 24 เท่าของ d หรือ &gt; 30 ซม. (แรงดึง)                  SD50 &gt; 30 เท่าของ d หรือ &gt; 30 ซม. (แรงอัด)                  SD40 &gt; 24 เท่าของ d หรือ &gt; 30 ซม. (แรงอัด)                  SD30 &gt; 20 เท่าของ d หรือ &gt; 30 ซม. (แรงอัด)</p>
<p><b>การต่อตาม</b></p>  <p><b>ระยะต่อตามต้อง</b>                  &gt; 80 เท่าของ d หรือใช้ข้อต่อเกลียว                  ตามมาตรฐานผู้ผลิตนั้นๆ                  แต่มักไม่นิยมใช้กับแรงดึง</p> <p>ข้อต่อเกลียว</p> <p><b>หมายเหตุ :</b> 1. การต่อทาบหรือการต่อตาม ห้ามใช้กับเหล็กเส้นที่มีขนาดใหญ่กว่า <math>\varnothing 25</math> มม.                  2. การต่อเหล็กเส้นที่มีขนาดใหญ่กว่า <math>\varnothing 25</math> มม. ควรใช้วิธีการเชื่อม                  3. ควรหลีกเลี่ยงการต่อเหล็กในบริเวณที่เกิดแรงดึงสูงสุด</p>	
<p><b>การงอปลาย</b></p>  <p>งอ <math>90^\circ</math>  <math>12d</math>  <math>D</math>  <math>d</math>                  ส่วนงอ = <math>\pi D/4</math></p> <p>งอ <math>135^\circ</math>  <math>6d</math> และ <math>&gt; 6</math> ซม.  <math>D</math>  <math>d</math>                  ส่วนงอ = <math>\pi D/3</math></p> <p>งอ <math>180^\circ</math>  <math>4d</math> และ <math>&gt; 6</math> ซม.  <math>D</math>  <math>d</math>                  ส่วนงอ = <math>\pi D/2</math></p> <p><b>หมายเหตุ :</b> การดัดเหล็กทุกเส้นต้องใช้วีรตัดเย็น</p>	<p><b>ระยะคอม้า</b></p>  <p>เมื่อ <math>A = B, L = \sqrt{A^2 + B^2}</math></p> <p><b>เหล็กปลูก</b></p>  <p>ความยาว 1 ปลูก = <math>2A + 2B + (2 \times 6d) + (2 \pi d/3)</math></p>

ภาพที่ 20 การทาบเหล็ก ตามเหล็ก และงอเหล็ก [6]

ตารางที่ 5 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก [6]

ส่วนโครงสร้าง	ระยะหุ้มต่ำสุด (ซม.)
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	
- เหล็กเสริมหลักหรือเหล็กกุกตั้ง	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	

All rights reserved

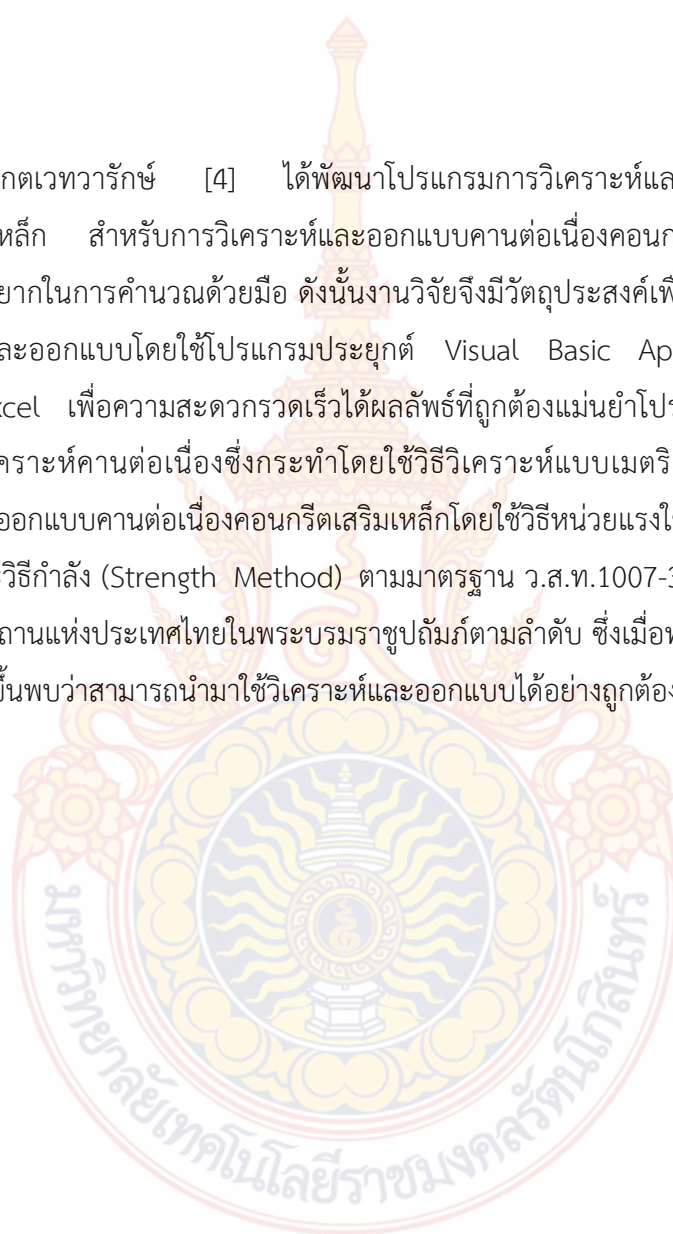
#### 4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มงคล จีระวัชรเดช [1] 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 [2] ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างข้อแฉ่งระนาบ และสามารถใช้งานได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยภาษาที่ใช้ในการพัฒนาคือ ภาษาจาวา วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้คือ วิธีสติฟเนสโดยตรง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ แรงตามแนวแกน แรงเฉือน และโมเมนต์ ที่ปลายแต่ละชิ้นส่วน และการเคลื่อนที่ของจุดข้อต่อปลายชิ้นส่วน โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้จะพิจารณาการวิเคราะห์โครงสร้างในแบบสถิตในช่วงอิลาสติกเชิงเส้นของโครงสร้างข้อแฉ่งในระนาบ 2 มิติ โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดคุณสมบัติและจำนวนของจุดต่อชิ้นส่วน ฐานรองรับ และ แรงที่กระทำต่อโครงสร้างซึ่งได้แก่ แรงกระทำแบบจุด, แรงกระทำกระจายแบบสม่ำเสมอ, แรงกระทำกระจายรูปสามเหลี่ยม และแรงกระทำคู่ควบ เพื่อให้โปรแกรมนำไปคำนวณ จากนั้นจึงแสดงผลออกมาบนเว็บเพจ

สรกานต์ ศรีทองอ่อน และ ชัยธร ชาติพิภพขพันธ์ [3] ได้พัฒนาแนวคิดการป้อนข้อมูลและแสดงผลสำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างข้อหมุนด้วยวิธีสติฟเนส โดยทั่วไปนั้น สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ แต่ปัญหาคือความล่าช้าในการกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ความไม่สะดวกในการตรวจสอบข้อมูลเนื้อหาที่หน้าตัดของแต่ละชิ้นส่วนกรณีที่มีหลายหน้าตัด ซึ่งหากข้อมูลผิดพลาดก็มีผลทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดตามไปด้วยและความไม่สะดวกในการพิจารณาผลลัพธ์แรงภายในชิ้นส่วนโดยเฉพาะการเลือกค่าสูงสุดเพื่อนำไปใช้ออกแบบงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อ “ซีซีทีพีอาร์ รุ่น 1.70” เพื่อทำการแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น โดยการป้อนข้อมูลใช้แนวคิดของวิศวกรในการกำหนดรูปทรงมาตรฐานของโครงสร้างข้อหมุน อีกทั้งสามารถแสดงกราฟิกโครงสร้างข้อหมุนให้แยกสีในการแสดงชิ้นส่วนเมื่อมีเนื้อที่หน้าตัดต่างกัน และในการแสดงผล ให้แสดงกราฟิกแยกสีของแรงดึงและแรงอัดและแสดงเส้นหนาในค่าสูงสุด ร่วมกับการแสดงค่าสูงสุดของแรงภายใน ซึ่งช่วยทำให้การเลือกชิ้นส่วนในการออกแบบทำได้รวดเร็วและชัดเจนยิ่งขึ้น

ศักดา กตเวทวารักษ์ [4] ได้พัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์และออกแบบคานต่อเนื่องคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบคานต่อเนื่องคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นงานที่ซับซ้อนและยุ่งยากในการคำนวณด้วยมือ ดังนั้นงานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ Visual Basic Application (VBA) on Microsoft Excel เพื่อความสะดวกรวดเร็วได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำโปรแกรมที่สร้างขึ้นมานี้ มีขั้นตอนการวิเคราะห์คานต่อเนื่องซึ่งกระทำโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบเมตริก (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



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



### บทที่ 3

#### ระเบียบวิธีวิจัย

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง เพื่อช่วยลดปัญหาความยุ่งยากและความผิดพลาดในการคำนวณด้วยมือ นั้นเป็นความจำเป็นอย่างหนึ่งที่ต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานและแนวคิดสำหรับการทำงานของโปรแกรมซึ่งมีหลายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 1. การรวบรวมข้อมูล

- 1) รวบรวมและศึกษาทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กจากหนังสือ หรือเอกสารประกอบการเรียนที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้อง
- 2) รวบรวมข้อมูลและศึกษาดำรงที่เกี่ยวกับการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยวิซวลเบสิก

#### 2. การออกแบบ และการสร้างโปรแกรม

ออกแบบหน้าจอ การใช้รูปแบบในการนำเข้าสู่ข้อมูลด้วยวิธีการกราฟิก ความเชื่อมโยงระหว่างการวิเคราะห์และออกแบบ การจัดเก็บข้อมูล รวมถึงการแสดงผล

การกำหนดรูปแบบการสร้างโปรแกรมอย่างคร่าวๆ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

- 1) ส่วนของการนำเข้าสู่ข้อมูล (Input Data Mode) เป็นส่วนข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ ได้แก่ การกำหนดตำแหน่งและขนาดของโครงสร้างและกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ
- 2) ส่วนของการวิเคราะห์และออกแบบเป็นส่วนการกำหนดลำดับและขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง
- 3) ส่วนของการแสดงผลการวิเคราะห์และออกแบบเป็นส่วนของการแสดงผลลัพธ์ทั้งทางจอภาพและเครื่องพิมพ์

All rights reserved

### 3. การทดสอบโปรแกรมแก้ไขปรับปรุง

- 1) ทดสอบป้อนข้อมูลในรูปแบบกราฟิก โดยใช้ตัวอย่างที่ได้จากหนังสือที่มีการจำหน่ายในท้องตลาด
- 2) ตรวจสอบผลการคำนวณของโปรแกรม โดยการนำค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้คำนวณด้วยมือและโปรแกรมอื่นๆ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม
- 3) ตรวจสอบการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมทั้งการแสดงผลทางจอภาพและเครื่องพิมพ์ โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรม SUTstructure ในส่วนของการวิเคราะห์คาน และโปรแกรม Visstructure4 ในส่วนของการออกแบบพื้นและคาน

### 4. การวิเคราะห์ผล

ดำเนินการเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ ค่าโมเมนต์ตัดในคาน ปริมาณเหล็กเสริมในพื้นที่ และปริมาณเหล็กเสริมในคาน ที่ได้จากการใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้นกับการคำนวณด้วยมือ และการคำนวณด้วยโปรแกรม SUTstructure ในส่วนของการวิเคราะห์คาน และโปรแกรม Visstructure4 ในส่วนของการออกแบบพื้นและคาน เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และสรุปประสิทธิภาพของโปรแกรมที่สร้างขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

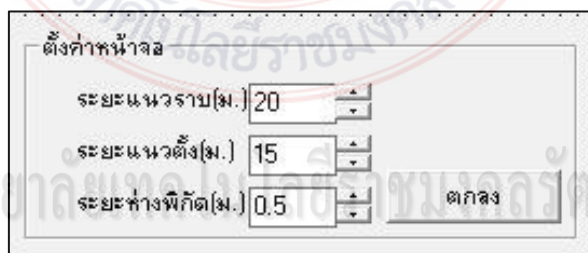
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 1. การนำเข้าข้อมูล

การดำเนินการสร้างโปรแกรม ได้พัฒนาส่วนของการนำเข้าข้อมูลโดยวิธีทางกราฟฟิก โดยสามารถอธิบายลำดับขั้นตอนได้ ดังต่อไปนี้

1. การกำหนดหน้าจอ สำหรับการกำหนดค่าหน้าจอั้นเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาทางด้านขวามือของโปรแกรมจะมีตัวกำหนดขนาดหน้าจอ ให้ทำการกำหนดระยะแนวราบและระยะแนวตั้งให้มีขนาดมากกว่าแปลนที่จะป้อนเล็กน้อย ซึ่งตัวโปรแกรมได้กำหนดระยะแนวราบเริ่มต้นไว้ที่ 20 เมตร และระยะแนวตั้งเริ่มต้นไว้ที่ 15 เมตร ดังภาพที่ 21 นอกจากนี้ยังมีส่วนของการตั้งค่าระยะห่างพิกัด ค่าระยะห่างพิกัดก็คือค่าของความละเอียดระยะห่างจุดพิกัด หากต้องการให้การป้อนค่าระยะแปลนบ้านมีความละเอียดเพียงใดก็ให้ตั้งค่าในส่วนนี้



ตั้งค่าหน้าจอ	
ระยะแนวราบ(ม.)	20
ระยะแนวตั้ง(ม.)	15
ระยะห่างพิกัด(ม.)	0.5

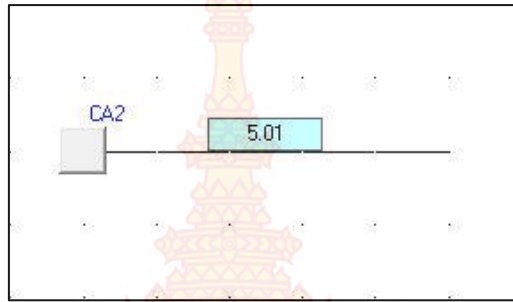
ภาพที่ 21 การตั้งค่าหน้าจอ

#### 2. การป้อนแปลนบ้าน

##### 2.1 การป้อนตำแหน่งเสา


1. คลิก  (ไอคอนเพิ่มเสา)

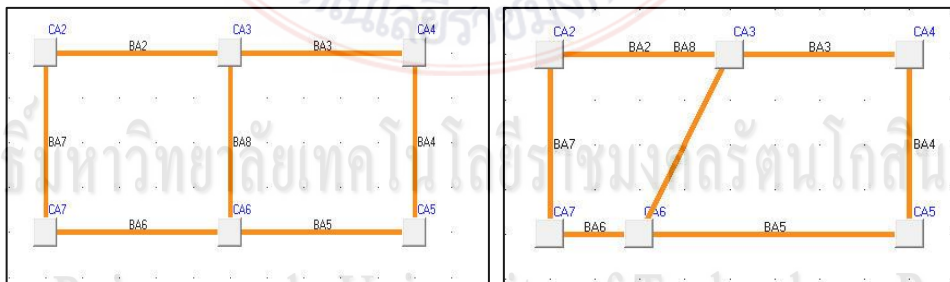
2. คลิกบนหน้า โปรแกรม เพื่อรับตำแหน่งเสาเริ่มต้นจากนั้นเลื่อนเมาส์ไปในทิศทางที่จะสร้างเสาในตำแหน่งถัดไปแล้วคลิกเพื่อรับตำแหน่งเสาถัดไป โดยขณะเลื่อนเมาส์จะมีตัวเลขแสดงระยะห่างระหว่างเสา ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 การสร้างเสา

3. หากต้องการใส่ระยะห่างระหว่างเสา หลังจากจากคลิกตำแหน่งเสาเริ่มต้น แล้วเลื่อนเมาส์ไปในทิศทางที่ต้องการ ทำการกดปุ่มสเปซบาร์ แล้วใส่ค่าระยะที่ต้องการ แล้วกดปุ่ม Enter ก็จะสร้างเสาตามระยะที่กำหนดดังแสดงในรูป (ในแกนแนวนอน ด้านซ้ายจะเป็นค่าพิกัดลบ ด้านขวาจะเป็นพิกัดบวก และในแกนแนวตั้ง ด้านบนจะเป็นค่าพิกัดลบ ด้านล่างจะเป็นค่าพิกัดลบด้านล่างจะเป็นพิกัดบวก)

4. การย้ายตำแหน่งเสา คลิก  (ไอคอนย้ายเสา) หลังจากนั้นคลิกเมาส์ ซ้ายที่เสาที่ต้องการย้ายตำแหน่ง เลื่อนเมาส์แล้วคลิกขวาที่ตำแหน่งที่ต้องการวางเสาดังภาพที่ 23 หากต้องการพิมพ์ระยะก็ให้ทำในลักษณะเดียวกับการป้อนตำแหน่งเสา





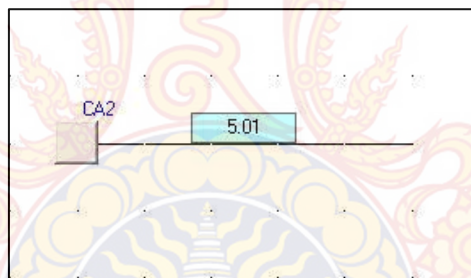
ภาพที่ 23 การย้ายเสา

All rights reserved



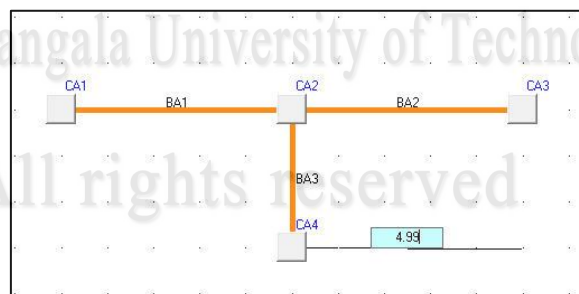
## 2.2 การป้อนตำแหน่งเสาและคานพร้อมกัน

1. คลิก  (ไอคอนเพิ่มเสา) และ  (ไอคอนเพิ่มคาน)
2. คลิกบนหน้า โปรแกรม เพื่อรับตำแหน่งเสาเริ่มต้นจากนั้นเลื่อนเมาส์ไปในทิศทางที่จะสร้างเสาและคานในตำแหน่งถัดไปแล้วคลิกเพื่อรับตำแหน่งเสาถัดไป โดยขณะเลื่อนเมาส์จะมีตัวเลขแสดงระยะความยาวคาน ดังภาพที่ 24





ภาพที่ 24 การสร้างเสาและคาน

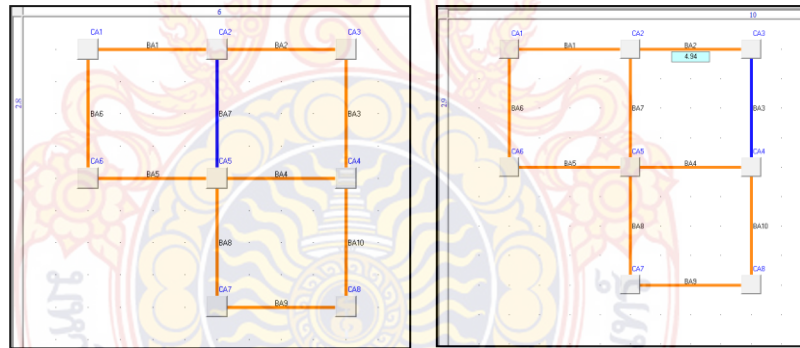
3. หากต้องการใส่ระยะห่างระหว่างเสาและความยาวคาน หลังจากจากคลิกตำแหน่งเสาเริ่มต้นแล้วเลื่อนเมาส์ไปในทิศทางที่ต้องการ ทำการกดปุ่มสเปซบาร์ แล้วใส่ค่าระยะที่ต้องการ แล้วกดปุ่ม Enter ก็จะสร้างเสาและคานตามระยะที่กำหนดดังแสดงในภาพที่ 25 (ในแกนแนวนอน ด้านซ้ายจะเป็นค่าพิกัดลบ ด้านขวาจะเป็นพิกัดบวก และในแกนแนวตั้ง ด้านบนจะเป็นค่าพิกัดลบด้านล่างจะเป็นพิกัดบวก)



ภาพที่ 25 การสร้างเสาและคาน

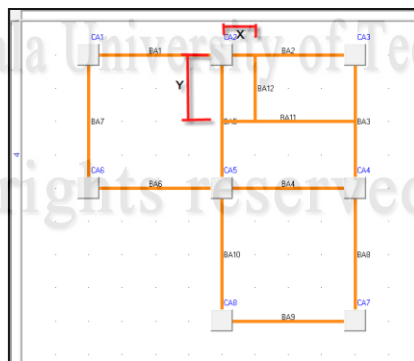
### 2.3 การป้อนตำแหน่งคาน

1. การสร้างคานอย่างเดียวให้คลิก  (ไอคอนเพิ่มคาน) แล้วทำตามขั้นตอนเดียวกับการป้อนตำแหน่งเสา
2. การสร้างคานฝากให้ทำการคลิก  (ไอคอนเพิ่มคานฝาก) จากนั้นคลิกเลือกคานหลักที่จะฝากคาน ตัวที่ 1 และ 2 ดังภาพที่ 26





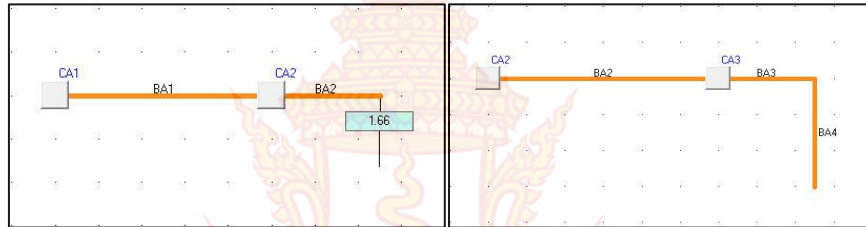
ภาพที่ 26 การสร้างคานฝาก

3. เมื่อคลิกเลือกคานหลักครบ 2 ตัวแล้วจะมี แท็บข้อความปรากฏขึ้นมาให้ทำการใส่ระยะห่างของคานฝากกับจุดเริ่มต้น โดยการกดปุ่ม สเปซบาร์ แล้วใส่ระยะเข้าไปแล้วกดปุ่ม Enter โปรแกรมจะยึดจุดเริ่มต้นที่ตำแหน่งเสาด้านซ้ายบน ดังภาพที่ 27 ที่แสดงค่า  $x$  และ  $y$




ภาพที่ 27 ผลจากการสร้างคานฝาก

4. การสร้างคานต่อจากคานที่วางอยู่ไม่ตรงจุดพิกัด ให้คลิก  และ  (ไอคอนคานไม่ตรงพิกัด) หลังจากนั้นให้ทำการคลิกคานตัวเริ่มต้นในด้านที่ต้องการสร้างคานต่อก็จะสามารถสร้างคานต่อจากคานที่วางอยู่ไม่ตรงตำแหน่งได้ ดังแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 28 การสร้างคานไม่ตรงพิกัด

#### 2.4 การป้อนตำแหน่งพื้น

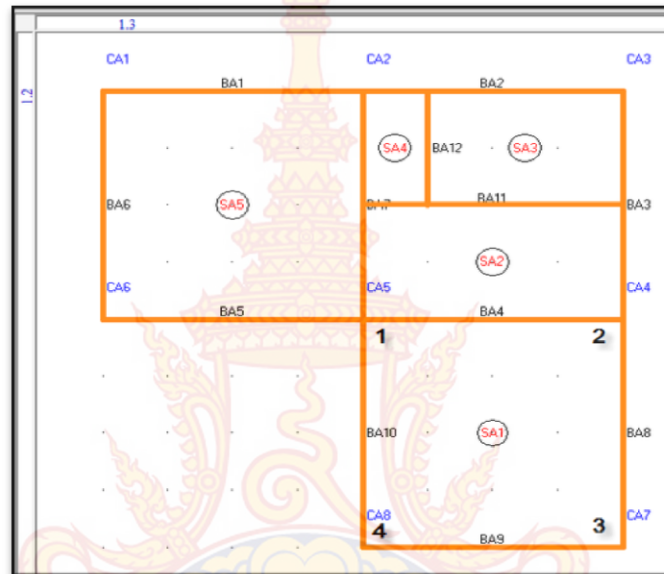
1. คลิก  (ไอคอนเพิ่มพื้น) โปรแกรมจะทำการเพิ่มพื้นที่ชื่อ SA1 ขึ้นมาดังภาพที่

29


พื้นที่	คานต่อเนื่อง	เสาต่อเนื่อง	ฐานราก
ตำแหน่งพื้น			
No.	X1	Y1	X2
SA1			

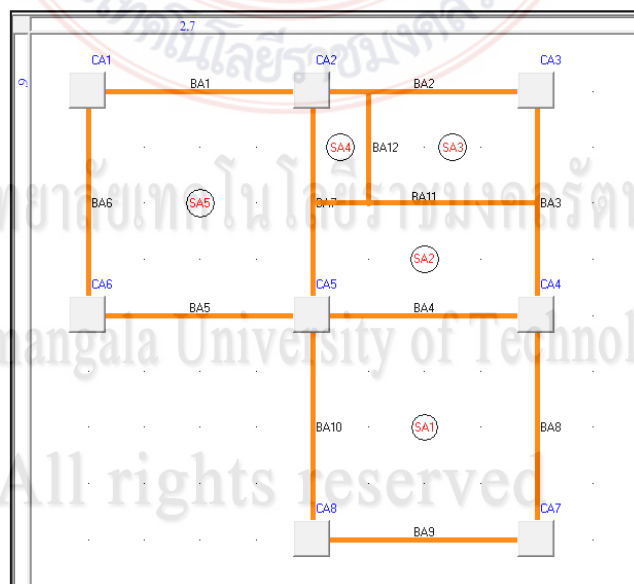
ภาพที่ 29 การสร้างพื้น

2. คลิกตำแหน่งที่ต้องการสร้างพื้นทั้งหมด 4 ตำแหน่ง โดยจะต้องคลิกป้อนค่าในทิศทางตามเข็มนาฬิกาดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ผลจากการสร้างพื้น


3. ถ้าต้องการเพิ่มพื้นอีกให้ทำการคลิก  (ไอคอนเพิ่มพื้น) หลังจากนั้นก็ใส่พิกัด 4จุดอย่างเดิมไปเรื่อยๆ จนกระทั่งใส่พื้นครบตามที่ต้องการดังภาพที่ 31

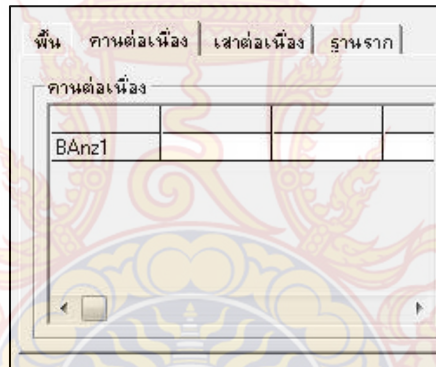


ภาพที่ 31 แบบแปลนการสร้างพื้น



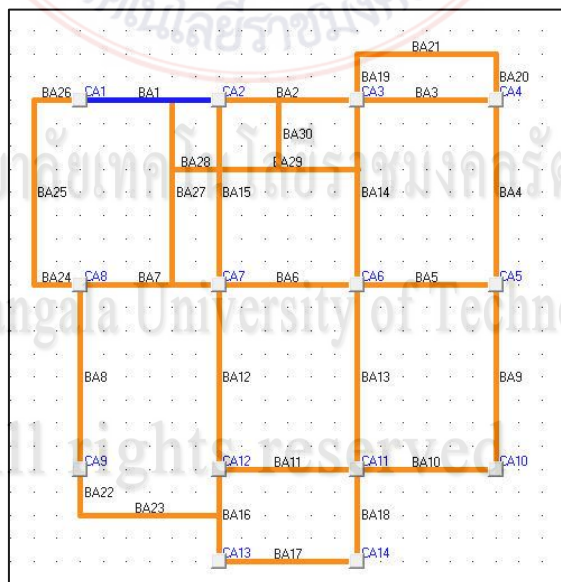
## 2.5 การสร้างกลุ่มคานต่อเนื่อง

1. ให้คลิก  (ไอคอนสร้างกลุ่มคานต่อเนื่อง) โปรแกรมจะทำการเพิ่มพื้นที่ชื่อ BAnz1 ขึ้นมาดังภาพที่ 32



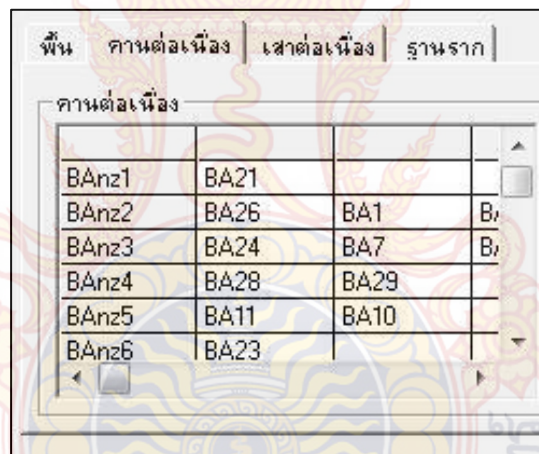
ภาพที่ 32 ตารางกลุ่มคานต่อเนื่อง

2. ทำการคลิกเลือกคานที่ต่อเนื่องกันเมื่อครบตามที่กำหนดแล้วให้ทำการคลิกขวา เพื่อจบการทำงานดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 การเลือกคานต่อเนื่อง

3. ถ้าต้องการเพิ่มกลุ่มคานอีกเมื่อคลิกขวาแล้วให้ทำการคลิกไอคอนสร้างกลุ่มคานอีกครั้งเพื่อสร้างกลุ่มคานต่อเนื่องกลุ่มใหม่ จากนั้นก็ทำการเลือกคานที่ต่อเนื่องกันตามชั้นที่กล่าวจบครบทุกคาน สำหรับคานที่ไม่ต่อเนื่องก็ให้ทำการเพิ่มเข้าไปด้วยโดยกลุ่มคานต่อเนื่องนั้นจะมีสมาชิกคานเพียงตัวเดียวดังภาพที่ 34

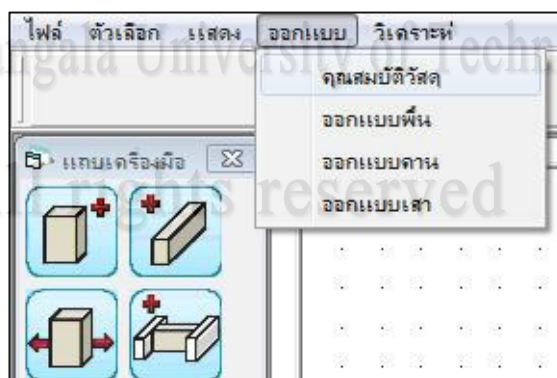


ภาพที่ 34 การสร้างกลุ่มคานต่อเนื่อง

## 2. การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง

การดำเนินการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง มีขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ ในส่วนนี้จะเป็นการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุโครงสร้างซึ่งหลักๆก็จะประกอบไปด้วยคอนกรีตและเหล็ก เมื่อผู้ใช้ป้อนข้อมูลแปลนบ้านเรียบร้อยแล้วให้ทำการคลิกเลือกการกำหนดคุณสมบัติวัสดุที่อยู่ในเมนูบาร์ออกแบบด้านบนดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ

เมื่อทำการคลิกเลือกแล้วก็จะปรากฏแบบฟอร์มที่ใช้กำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างดังภาพที่ 36 ซึ่งจะประกอบไปด้วย

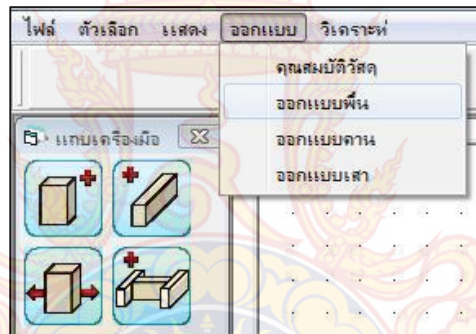
- 1.1 กำลังอัดของคอนกรีต( $f_c'$ )
- 1.2 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีต( $f_c$ ) มีค่าเท่ากับ  $0.45f_c'$  ซึ่งในส่วนนี้โปรแกรมจะทำการคำนวณให้จากกำลังอัดของคอนกรีตเมื่อคลิกปุ่ม ตกลง
- 1.3 หน่วยน้ำหนักคอนกรีต โดยโปรแกรมได้ทำการกำหนดค่าไว้แล้วว่า 2323 กก./ลบ.ม.
- 1.4 หน่วยน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก ในส่วนนี้โปรแกรมได้ทำการกำหนดค่าไว้แล้ว
- 1.5 กำลังคลากของเหล็กเส้นกลม( $f_y$ ) ในส่วนนี้โปรแกรมได้ทำการกำหนดค่าไว้แล้ว
- 1.6 หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเส้นกลม( $f_s$ ) มีค่าเท่ากับ  $0.50f_y$  ในส่วนนี้โปรแกรมจะทำการคำนวณให้จากกำลังคลากของเหล็กเส้นกลม เมื่อคลิกปุ่ม ตกลง
- 1.7 กำลังคลากของเหล็กข้ออ้อย( $f_y$ ) ในส่วนนี้โปรแกรมได้ทำการกำหนดค่าไว้แล้ว
- 1.8 หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กข้ออ้อย( $f_s$ ) มีค่าเท่ากับ  $0.50f_y$  ในส่วนนี้โปรแกรมจะทำการคำนวณให้จากกำลังคลากของเหล็กข้ออ้อย เมื่อคลิกปุ่ม ตกลง
- 1.9 โมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็กเสริม ในส่วนนี้โปรแกรมได้ทำการกำหนดค่าไว้แล้วว่า 2040000 กก./ตร.ม.
- 1.10 น้ำหนักบรรทุก สำหรับบ้านพักอาศัยใช้ที่ 100 กก./ตร.ม.

Section	Property Name	Value	Unit
คอนกรีต	กำลังอัดคอนกรีต, $f_c'$	180	กก./ตร.ซม.
	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีต, $f_c$	81	กก./ตร.ซม.
	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต, $w_c$	2323	กก./ลบ.ม.
	หน่วยน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก	2400	กก./ลบ.ม.
เหล็กเสริม	กำลังคลากของเหล็กเส้นกลม, $f_y$	2400	กก./ตร.ซม.
	หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเส้นกลม, $f_s$	1200	กก./ตร.ซม.
	กำลังคลากของเหล็กข้ออ้อย, $f_y$	3000	กก./ตร.ซม.
	หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กข้ออ้อย, $f_s$	1500	กก./ตร.ซม.
	โมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็กเสริม, $E_s$	2040000	กก./ตร.ซม.
น้ำหนักบรรทุก	น้ำหนักบรรทุกจร	100	กก./ตร.ม.

ภาพที่ 36 แบบฟอร์มคุณสมบัติวัสดุ

2. การวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก การวิเคราะห์และออกแบบพื้นนั้น สำหรับพื้นสองทางจะใช้วิธีที่ 3 (ว.ส.ท. 9103) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

2.1 เมื่อทำการกำหนดคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบเรียบร้อยแล้วให้ทำการคลิกเลือกการออกแบบพื้นที่อยู่ในเมนูบาร์ออกแบบด้านบนดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 การวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

หลักจากนั้นจะปรากฏแบบฟอร์มแสดงข้อมูลระยะและลักษณะการต่อเนื่องของพื้น ซึ่งจะแสดงในตาราง นอกจากนี้ยังมีข้อมูลระยะหุ้มของคอนกรีต น้ำหนักวัสดุตกแต่งพื้น และประเภทเหล็กเสริมที่ใช้ ดังภาพที่ 38

Slab No.	A	B	Case
SA1	1	2.5	2
SA2	1	1.5	9
SA3	1.3	1.5	9
SA4	1.5	1.7	8
SA5	1	3	6
SA6	2.5	3	2
SA7	3	4	8
SA8	3	4	6
SA9	3	5	4
SA10	3	4	2
SA11	3	4	4
SA12	2	3	6

รายละเอียด

ระยะหุ้ม: 0.025 ม.  
น้ำหนักวัสดุแต่งผิวพื้น: 0 กก./ตร.ม.  
 เหล็กเส้นกลม SR24  เหล็กรีอ้อย SR30

ลักษณะพื้น

case 1 case 2 case 3  
case 4 case 5 case 6  
case 7 case 8 case 9

ตกลง ยกเลิก

ภาพที่ 38 การวิเคราะห์พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก



2.2 ทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและทำการป้อนค่าต่างๆเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการกดตกลง จะปรากฏรูปแบบฟอร์มที่แสดงความต้องการพื้นที่เหล็กเสริม และขนาดความหนาของพื้นแต่ละพื้น ดังภาพที่ 39

No.	Asap	Asan	Ast
SA2	22	46	
SA3	26	65	
SA4	36	55	
SA6	1	2.11	
SA7	2.05	3.03	
SA8	2.95	4.45	
SA9	2.62	4.06	
SA10	1.71	3.43	
SA11	2.33	3.85	

ภาพที่ 39 ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.3 กดปุ่มกำหนดกลุ่มพื้นอัตโนมัติเพื่อทำการจัดกลุ่มพื้นที่ที่มีลักษณะและการรับน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน จากค่าโมเมนต์ที่กระทำกับพื้นที่คำนวณได้ หลังจากนั้นโปรแกรมก็จะแสดงกลุ่มพื้นที่ทำการจัดกลุ่มแล้วดังภาพที่ 40 หากต้องการตรวจสอบความถูกต้องก็สามารถตรวจสอบค่าต่างๆได้ในตารางแสดงผล

No.	Asap	Asan	Ast
S2	22	46	
S3	26	65	
S4	36	55	
S6	1	2.11	
S7	2.05	3.03	
S8	2.95	4.45	
S9	2.62	4.06	
S10	1.71	3.43	
S11	2.33	3.85	

ภาพที่ 40 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.4 ทำการคลิกปุ่มออกแบบขนาดเหล็กโปรแกรมจะทำการออกแบบขนาดเหล็กเสริมของกลุ่มพื้นที่จัดกลุ่มมาแล้วให้ โดยจะแสดงเป็นรูปตัดดังแสดงในภาพที่ 41 ซึ่งขนาดเหล็กที่ออกแบบได้นั้นในขั้นแรก ถ้าผู้ใช้ได้เลือกเหล็กเส้นกลมเป็นเหล็กเสริมโปรแกรมจะยึดขนาดเหล็กเป็น 6 มิลลิเมตร แต่ระยะห่างจะต่างกันไปตามความต้องการของกลุ่มพื้นที่นั้นๆ และหากผู้ใช้ได้เลือกเหล็กข้ออ้อยเป็นเหล็กเสริมโปรแกรมจะยึดขนาดเหล็กเป็น 10 มิลลิเมตร แต่ระยะห่างจะต่างกันไปตามความต้องการของกลุ่มพื้นที่นั้นๆ หากผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนขนาดเหล็กก็สามารถทำได้โดยการคลิกที่ชื่อพื้นที่ในตารางแสดงผลกลุ่มพื้นที่แล้วมาเลือกเปลี่ยนขนาดเหล็กเสริมต่างๆในช่องแสดงขนาดเหล็กที่โปรแกรมได้สร้างไว้ดังภาพที่ 40

The screenshot displays a software interface for steel reinforcement design. It features two tables at the top and four configuration panels below.

**Table 1: Reinforcement Data (Left)**

No.	Asap	Asan	As
SA2	0.22	0.46	
SA3	0.28	0.65	
SA4	0.36	0.55	
SA6	1.00	2.11	
SA7	2.05	3.09	
SA8	2.55	4.45	
SA9	2.62	4.06	
SA10	1.71	3.49	
SA11	2.33	3.85	

**Table 2: Reinforcement Data (Right)**

No.	Asap	Asan	Asbp
S2	2.62	4.45	
S3	1.22	2.11	

**Configuration Panels:**

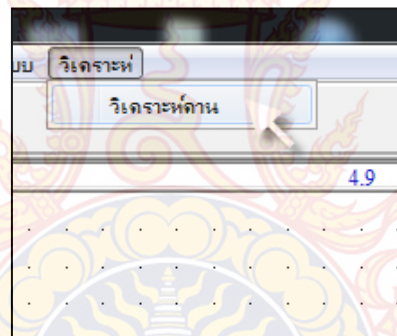
- เหล็กเสริมล่างด้านสั้น (Short Bottom Reinforcement):**
  - ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.): 6
  - ระยะห่าง(ม.): 0.10
  - พื้นที่เหล็ก (ตร.ซม.): 2.83
- เหล็กเสริมบนด้านสั้น (Short Top Reinforcement):**
  - ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.): 6
  - ระยะห่าง(ม.): 0.06
  - พื้นที่เหล็ก (ตร.ซม.): 4.71
- เหล็กเสริมล่างด้านยาว (Long Bottom Reinforcement):**
  - ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.): 6
  - ระยะห่าง(ม.): 0.22
  - พื้นที่เหล็ก (ตร.ซม.): 1.29
- เหล็กเสริมบนด้านยาว (Long Top Reinforcement):**
  - ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.): 6
  - ระยะห่าง(ม.): 0.08
  - พื้นที่เหล็ก (ตร.ซม.): 3.53

ภาพที่ 41 การเลือกเหล็กสำหรับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

### 3. การวิเคราะห์และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

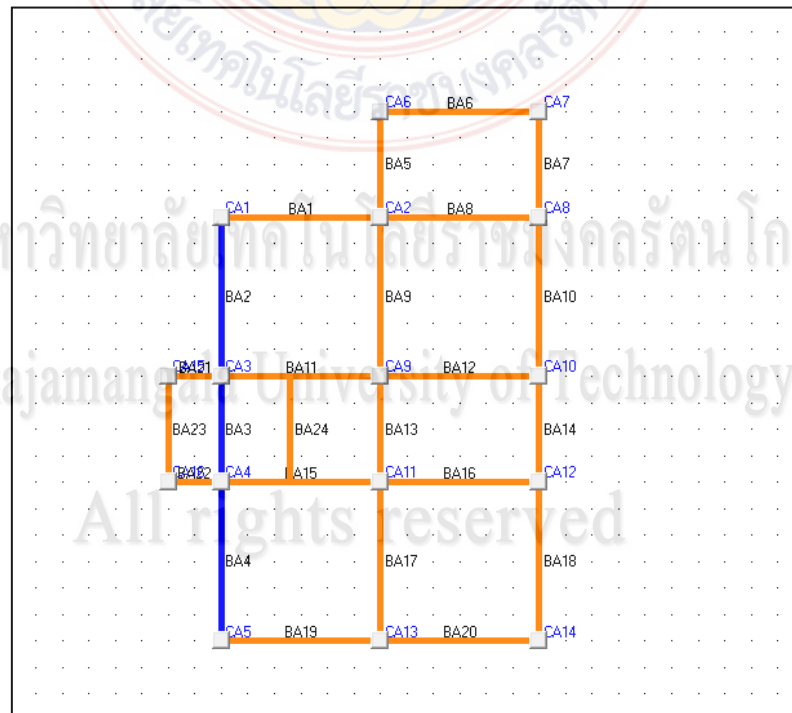
ในส่วนนี้ผู้ใช้ต้องทำการวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กในเสร็จสิ้นก่อน จึงจะสามารถทำการวิเคราะห์และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้ ซึ่งการวิเคราะห์และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีขั้นตอนดังนี้

#### 3.1 ทำการคลิกเลือกการวิเคราะห์คานที่อยู่ในเมนูบาร์วิเคราะห์ดังภาพที่ 42



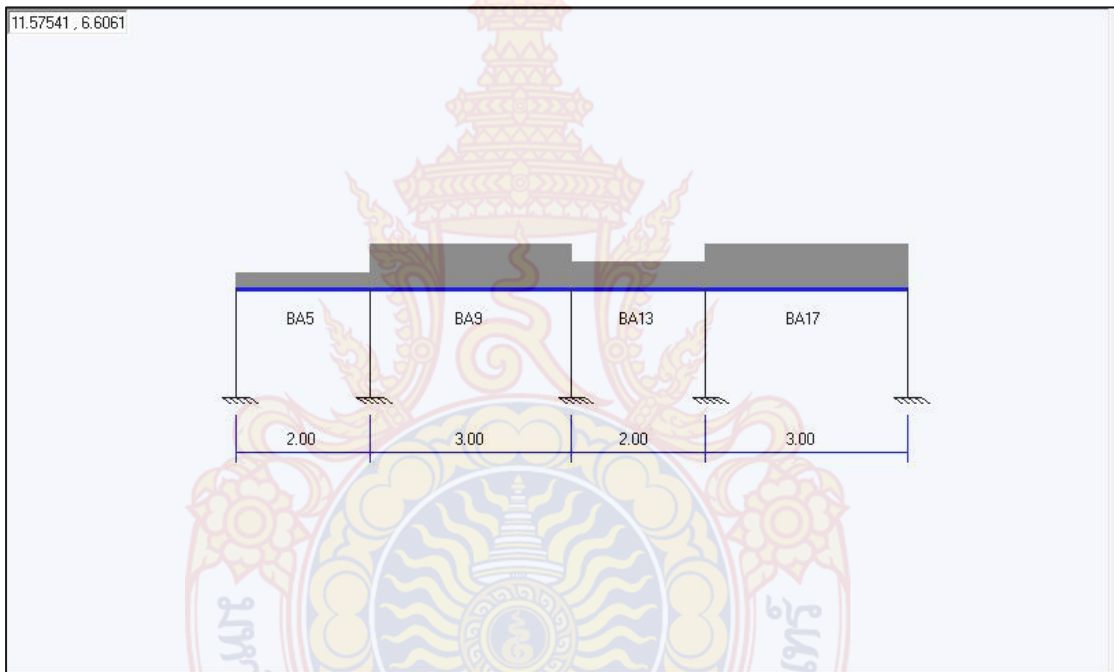
ภาพที่ 42 การคลิกเลือกการวิเคราะห์คาน

3.2 จากนั้นทำการคลิกเลือกคานในแปลนบ้านที่ต้องการวิเคราะห์ดังภาพที่ 43 ซึ่งคานที่เลือกมาวิเคราะห์นั้นต้องทำการจัดกลุ่มคานต่อเนื่องไว้แล้ว



ภาพที่ 43 การเลือกคานเพื่อนำไปวิเคราะห์

3.3 หลังจากเลือกคานที่ต้องการวิเคราะห์แล้ว โปรแกรมจะสร้างโมเดลคานขึ้นมาโดย โปรแกรมจะทำการถ่ายน้ำหนักพื้นที่คานรับน้ำหนักมาให้เรียบร้อยแล้วดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 โมเดลคานที่ต้องการวิเคราะห์

3.4 หากคานที่นำมาวิเคราะห์มีน้ำหนักจากผนังกระทำอยู่ด้วย ให้ทำการเพิ่มน้ำหนักจากผนังโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการคลิกชื่อช่วงคานในตารางดังภาพที่ 45
2. เลือกประเภทวัสดุก่อผนังซึ่งจะเป็นค่าน้ำหนักที่กระทำกับคาน
3. กำหนดระยะความสูงผนัง
4. กำหนดระยะจุดเริ่มต้นโดยค่าระยะจะคิดจากจุดเริ่มคาน
5. ป้อนค่าระยะความยาวของผนัง
6. กดปุ่มตกลง โปรแกรมจะทำการบันทึกค่าลงในตาราง หากต้องการเพิ่มน้ำหนัก

ผนังของคานช่วงต่อไป ให้ทำการคลิกชื่อในตารางแล้วทำตามขั้นตอนที่กล่าวมา

All rights reserved



ป้อนน้ำหนักผนัง | น้ำหนักกระทำ | น้ำหนักกระทำเรียงลำดับ

น้ำหนักผนัง

BA2

ผนังอิฐมวลเบาเต็มแผ่น

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 45 การป้อนรายละเอียดของผนังที่วางบนคานที่นำมาวิเคราะห์

3.5 การจัดการเรียงลำดับน้ำหนักกระทำเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการแบ่งเอลิเมนต์ดังภาพที่ 46

ป้อนน้ำหนักผนัง | น้ำหนักกระทำ | น้ำหนักกระทำเรียงลำดับ

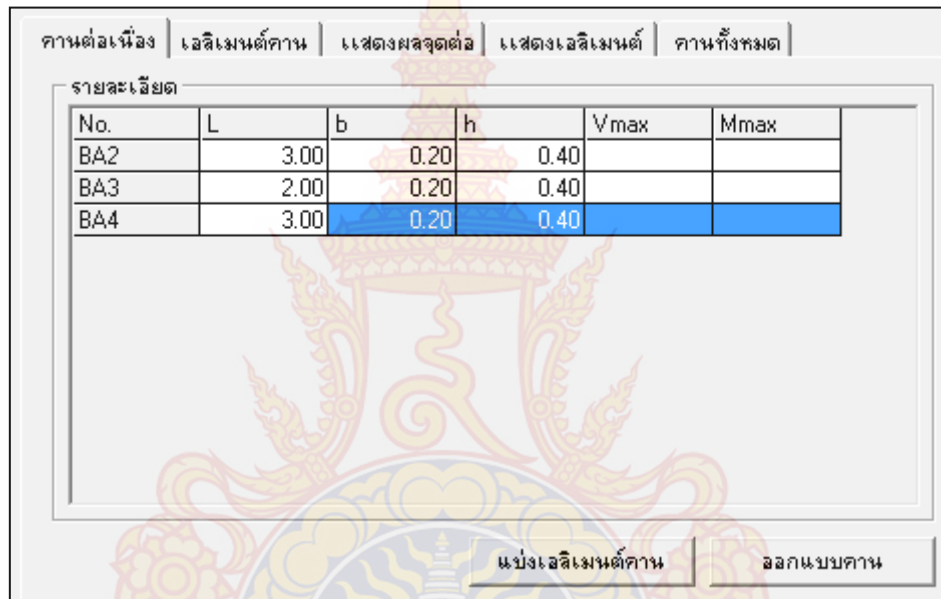
น้ำหนักกระทำ

BA4	SA8	0.00	9.5	12.5
BA2	BA2	700	5	6
BA3	BA3	700	8	9
BA4	BA4	700	10	11

จัดตำแหน่งน้ำหนัก

ภาพที่ 46 การจัดการเรียงลำดับน้ำหนักกระทำ

### 3.6 กดปุ่มแบ่งเอลิเมนต์คานดังภาพที่ 47



ภาพที่ 47 การแบ่งเอลิเมนต์คาน

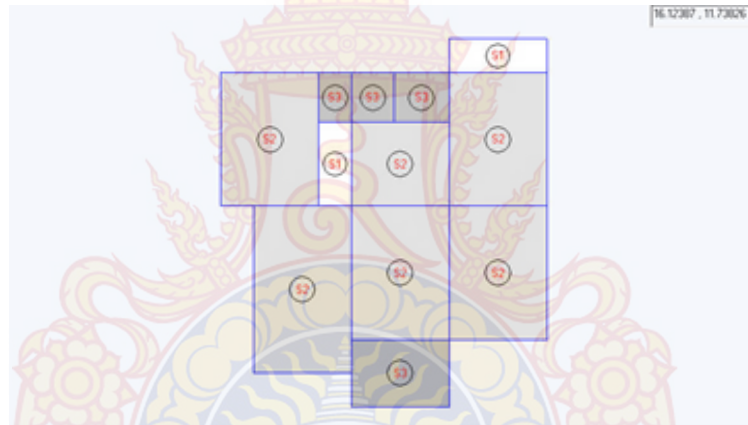
### 3.7 จากนั้นทำการกดปุ่มวิเคราะห์ ดังภาพที่ 47 จากนั้นจากปรากฏหน้าต่างข้อมูลต่างๆขึ้น ดังภาพที่ 48



ภาพที่ 48 การวิเคราะห์คาน

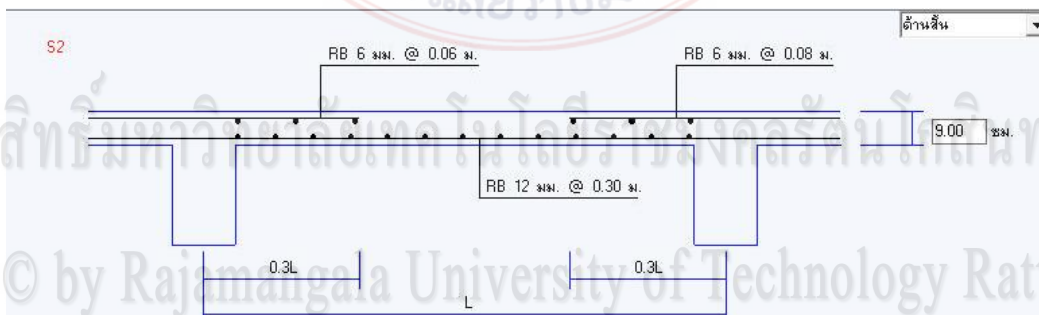
### 3. ส่วนของการแสดงผลการวิเคราะห์และออกแบบ

3.1 ส่วนของแปลนบ้าน โปรแกรมจะแสดงเป็นชื่อพื้นที่ได้ทำการแบกกลุ่มพื้นมาแล้วในขั้นตอนการออกแบบและเพื่อให้เห็นความชัดเจนขึ้นตัวโปรแกรมได้ทำการแบ่งพื้นที่เป็นสีที่มีแตกต่างกันดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 แปลนจากการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.2 ส่วนของรูปตัดพื้น ดังภาพที่ 50 จะประกอบไปด้วย ปริมาณเหล็กเสริมพื้น ความหนาพื้น และความยาวพื้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

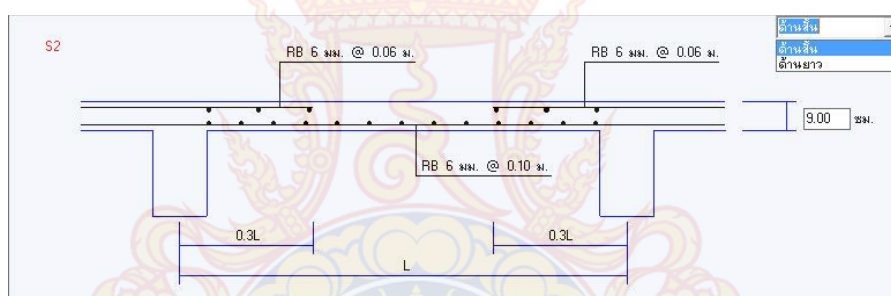


ภาพที่ 50 การเสริมเหล็กจากออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. ปริมาณเหล็กเสริมพื้น โปรแกรมจะแสดงปริมาณเหล็กเสริมที่หน้าตัดพื้นนั้นต้องการเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและระยะห่างที่ออกแบบไว้ โดยพื้นที่ทางเดียวจะแสดงเหล็กเสริมในหน้าตัดเดียวคือหน้าตัดด้านสั้น ส่วนพื้นที่สองทางนั้นจะแสดงใน 2 หน้าตัดคือด้านยาวและด้านสั้น ซึ่งสามารถเลือกได้ที่ช่องแสดงรูปด้านที่มุมขวาด้านบน ดังภาพที่ 51

2. ความหนา โปรแกรมจะแสดงความหนาน้อยสุดที่พื้นที่ต้องการไว้ในกล่องแสดงความหนาพื้น ดังภาพที่ 51

3. ความยาว สำหรับความยาวนั้นโปรแกรมจะแสดงความยาวพื้นเป็นระยะ  $L$  ใดๆ เนื่องในแปลนบ้านนั้นพื้นที่จัดมาให้เข้ากลุ่มเดียวกันอาจจะมีมีความยาวที่ใกล้เคียงกันแต่ก็ไม่เท่ากัน จึงพิจารณาแสดงไว้เป็นระยะ  $L$  ใดๆ



ภาพที่ 51 รูปตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

#### 4. การเปรียบเทียบผลการคำนวณของโปรแกรม

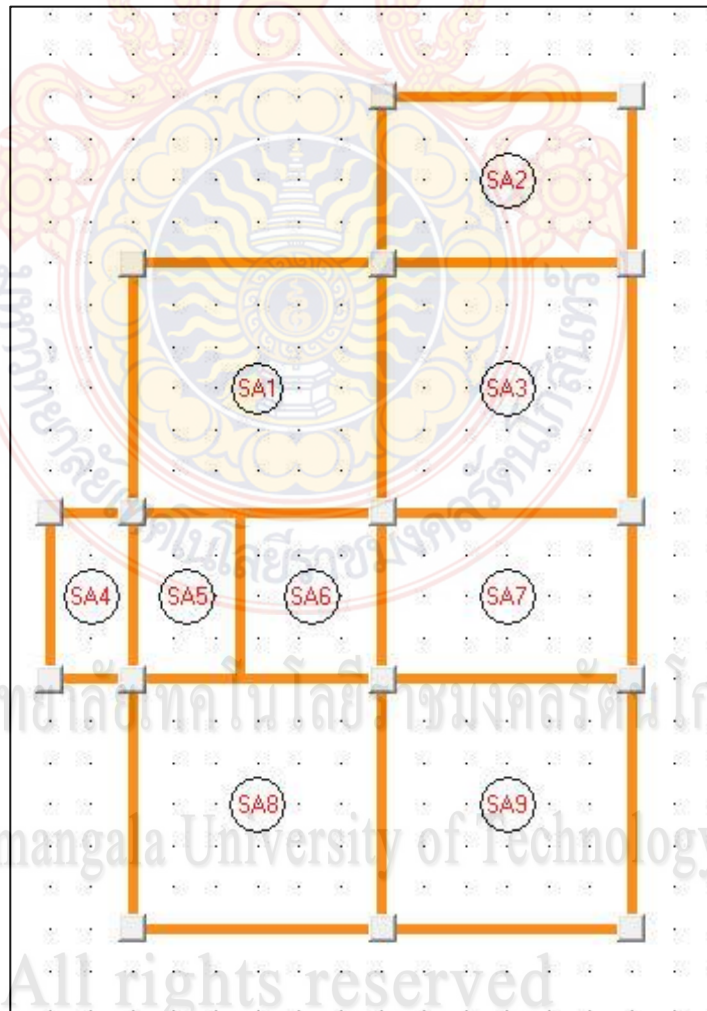
##### 4.1 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในการเปรียบเทียบผลการคำนวณได้นำเอาปริมาณความต้องการเหล็กเสริมที่คำนวณได้ของพื้นที่แต่ละพื้นที่ในแปลนบ้าน มาเปรียบเทียบกันระหว่างการคำนวณด้วยมือ การคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 และการคำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ว่ามีความใกล้เคียงกันเพียงใด สำหรับแปลนบ้านที่ได้ยกตัวอย่างในการคำนวณนั้นมี 2 ตัวอย่างด้วยกัน โดยวิธีการวิเคราะห์และออกแบบพื้นสองทางนั้นสำหรับการคำนวณด้วยมือและการคำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะใช้วิธีที่ 3 (ว.ส.ท. 9103) ส่วนการคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructure4 จะใช้วิธีที่ 2 (ว.ส.ท. 9102)



## แปลนบ้านที่ 1

- ข้อกำหนด
- น้ำหนักบรรทุกจร = 100 กก./ตร.ม.
  - น้ำหนักวัสดุตกแต่งผิวพื้น = 0 กก./ตร.ม.
  - ระยะหุ้มคอนกรีต 2.5 ซม.
  - กำลังอัดของคอนกรีต  $f_c' = 180$  กก./ตร.ซม.
  - หน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม  $f_s = 1200$  กก./ตร.ซม.
  - แบบแปลนดังภาพที่ 52



ภาพที่ 52 ตัวอย่างแปลนบ้านที่ 1 สำหรับวิเคราะห์พื้น

ผลการออกแบบด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้นเมื่อนำข้อมูลพื้นที่เหล็กเสริมที่ออกแบบเปรียบเทียบกับค่าคำนวณด้วยมือ และโปรแกรม VisStructure4 ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของพื้นสองทางสำหรับแปลนบ้านที่ 1

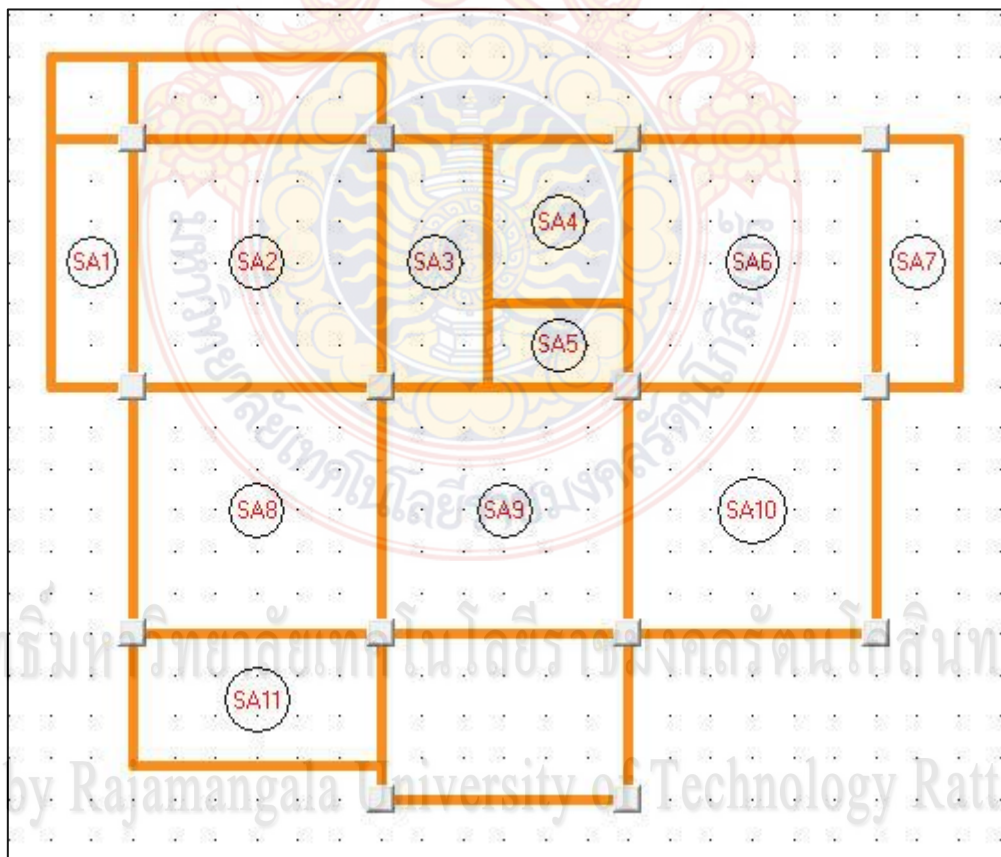
พื้น	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ความหนา (ซม.)	พื้นที่เหล็กเสริมต่อความยาว 1 เมตร											
				เหล็กกลางด้านสั้น (ตร.ซม.)			เหล็กบนด้านสั้น (ตร.ซม.)			เหล็กกลางด้านยาว (ตร.ซม.)			เหล็กบนด้านยาว (ตร.ซม.)		
				ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
SA1	3.00	3.00	8.00	1.45	1.45	2.26	2.53	2.53	2.46	1.82	1.82	2.26	3.16	3.16	2.46
SA2	2.00	3.00	8.00	1.27	1.25	1.38	2.08	2.05	1.83	0.56	0.54	1.19	0.53	0.51	0.65
SA3	3.00	3.00	8.00	1.29	1.27	1.89	3.09	3.09	2.06	1.44	1.43	1.89	2.09	2.02	2.06
SA4	1.00	2.00	8.00	0.38	0.37	0.41	0.55	0.54	0.55	0.10	0.10	0.30	0.16	0.15	0.16
SA5	1.30	2.00	8.00	0.37	0.37	0.44	0.73	0.72	0.59	0.21	0.20	0.29	0.39	0.38	0.31
SA6	1.70	2.00	8.00	0.46	0.45	0.48	0.98	0.96	0.64	0.41	0.39	0.49	0.87	0.84	0.53
SA7	2.00	3.00	8.00	0.90	0.89	1.05	1.85	1.83	1.38	0.43	0.42	0.84	0.57	0.55	0.91
SA8	3.00	3.00	8.00	1.45	1.41	2.26	2.53	2.51	2.46	1.82	1.72	2.26	3.16	3.06	2.46
SA9	3.00	3.00	8.00	1.45	1.41	2.26	2.53	2.51	2.46	1.82	1.72	2.26	3.16	3.06	2.46

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

All rights reserved

## แปลนบ้านที่ 2

ข้อกำหนด น้ำหนักบรรทุกจร = 100 กก./ตร.ม.  
 น้ำหนักวัสดุคงตงแตงผิวพื้น = 0 กก./ตร.ม.  
 ระยะหุ้มคอนกรีต 2.5 ซม.  
 กำลังอัดของคอนกรีต  $f_c' = 180$  กก./ตร.ซม.  
 หน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม  $f_s = 1200$  กก./ตร.ซม.  
 หน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม  $f_s = 1200$  กก./ตร.ซม.  
 แบบแปลนดังภาพที่ 53



ภาพที่ 53 ตัวอย่างแปลนบ้านที่ 2 สำหรับวิเคราะห์พื้น

ผลการออกแบบด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้นเมื่อนำข้อมูลพื้นที่เหล็กเสริมที่ออกแบบเปรียบเทียบกับค่าคำนวณด้วยมือ และโปรแกรม VisStructure4 ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของพื้นสองทางสำหรับแปลนบ้านที่ 2

พื้น	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ความหนา (ซม.)	พื้นที่เหล็กเสริมต่อความยาว 1 เมตร											
				เหล็กกล้าด้านสั้น (ตร.ซม.)			เหล็กบนด้านสั้น (ตร.ซม.)			เหล็กกล้าด้านยาว (ตร.ซม.)			เหล็กบนด้านยาว (ตร.ซม.)		
				ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
SA2	3.00	3.00	8.00	1.29	1.27	1.89	3.09	3.07	2.06	1.44	1.40	1.89	2.09	2.02	2.06
SA4	1.70	2.00	8.00	0.52	0.51	0.58	1.17	1.16	0.77	0.43	0.42	0.61	0.59	0.57	0.66
SA5	1.00	1.70	8.00	0.24	0.24	0.26	0.46	0.46	0.35	0.10	0.09	0.17	0.19	0.18	0.18
SA6	3.00	3.00	8.00	1.29	1.27	1.89	3.09	3.07	2.06	1.44	1.40	1.89	2.09	2.02	2.06
SA8	3.00	3.00	8.00	1.29	1.27	1.89	3.09	3.07	2.06	1.44	1.40	1.89	2.09	2.02	2.06
SA9	3.00	3.00	8.00	1.29	1.27	1.89	3.09	3.07	2.06	1.44	1.40	1.89	2.09	2.02	2.06
SA10	3.00	3.00	8.00	1.45	1.44	2.26	2.53	2.50	2.46	1.82	1.76	2.26	3.16	3.04	2.46
SA11	1.60	3.00	8.00	0.93	0.92	1.06	1.39	1.38	1.40	0.28	0.26	0.76	0.39	0.38	0.41

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

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของพื้นที่ทางเดียวสำหรับแปลนบ้านที่ 2

พื้นที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ความหนา (ซม.)	โมเมนต์ต่อความยาว 1 เมตร								
				โมเมนต์ดัดขอบซ้าย (กก.-ม.)			โมเมนต์ดัดกลางช่วง (กก.-ม.)			โมเมนต์ดัดขอบขวา (กก.-ม.)		
				ก	ข	ค	ก	ข	ค	ก	ข	ค
SA1	1.00	3.00	8.00	-12.17	-12.17	-12.00	32.44	29.20	29.00	-20.86	-20.86	-21.00
SA3	1.30	3.00	8.00	-49.35	-44.86	-49.00	35.25	30.85	35.00	-49.35	-44.86	-49.00
SA7	1.00	3.00	8.00	-20.86	-20.86	-21.00	32.44	29.20	29.00	-12.17	-12.17	-12.00

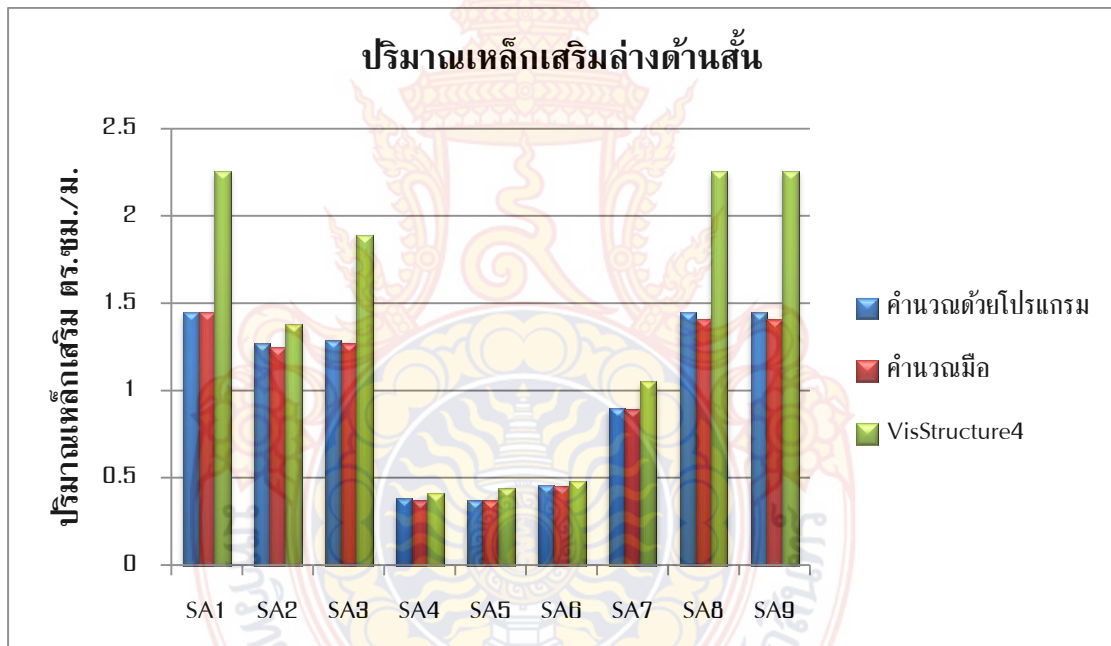
หมายเหตุ: ก คือ คำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น, ข คือ คำนวณด้วยมือ, ค คือ คำนวณด้วย VisStructure4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

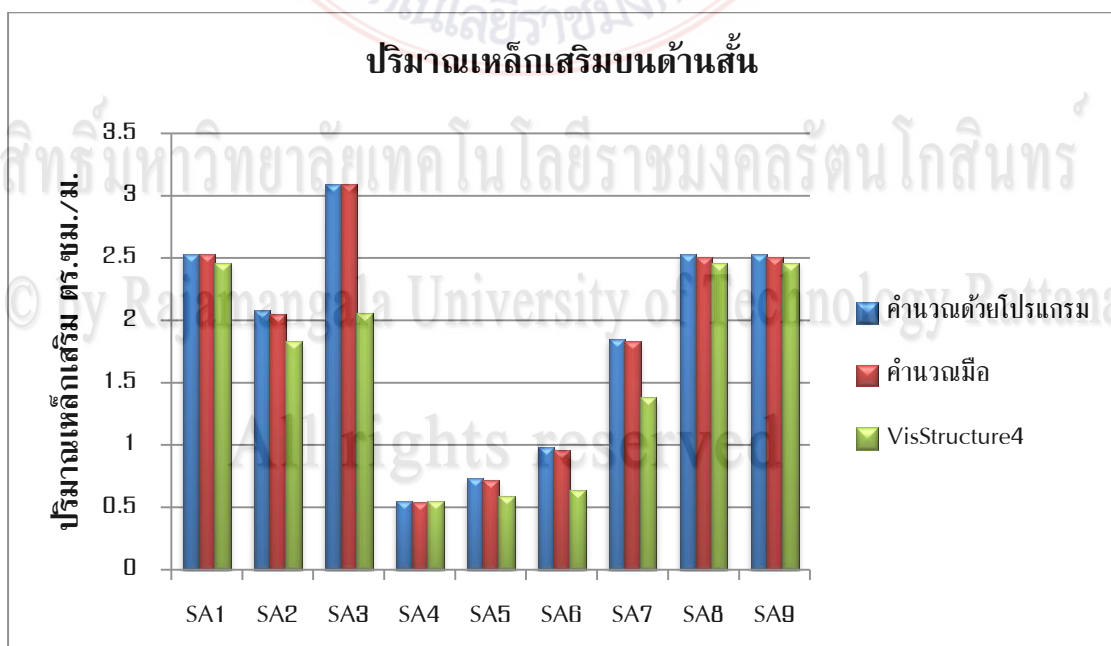
Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

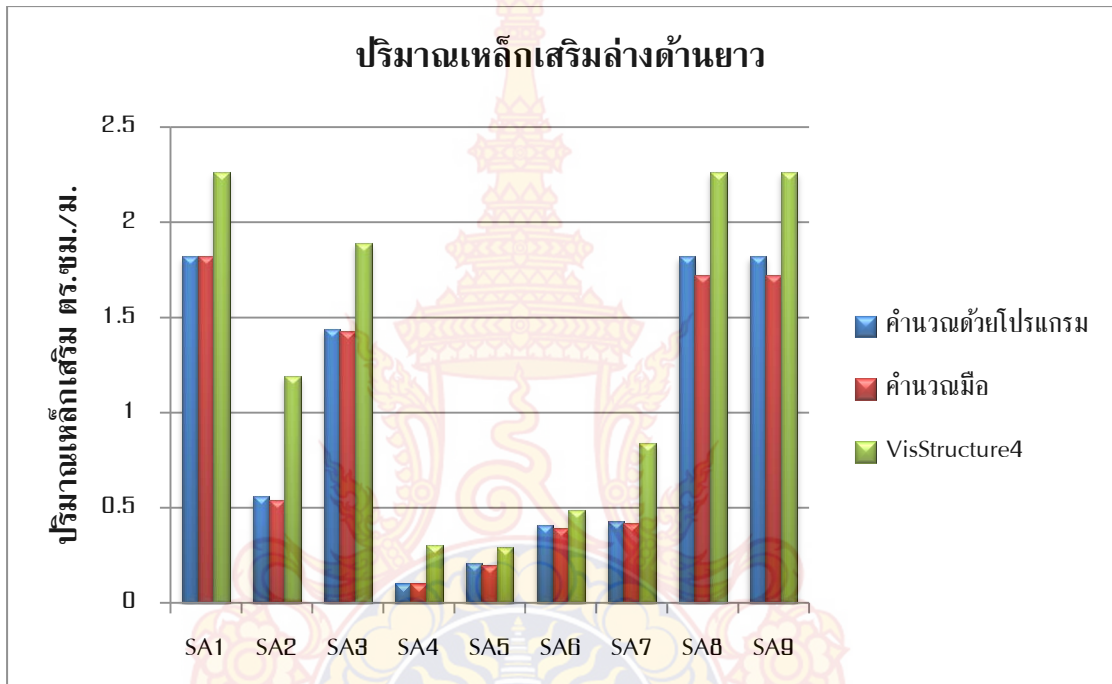
เมื่อนำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกันโดยแสดงในรูปของกราฟแท่ง ดังรูปที่ 54 – 57 ทำให้สามารถสังเกตการเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจน โดยพบว่าการคำนวณโดยใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้นให้ผลการออกแบบปริมาณเหล็กเสริมได้ประหยัดกว่า



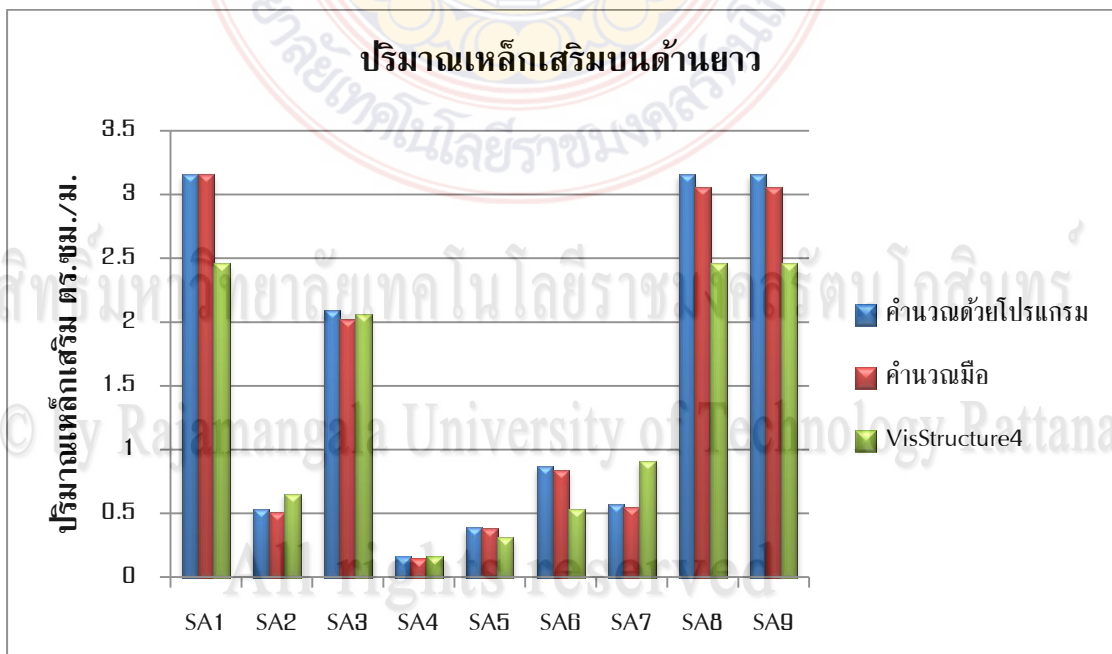
ภาพที่ 54 กราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมล่างด้านสั้นของแปลนบ้านที่ 1



ภาพที่ 55 กราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมบนด้านสั้นของแปลนบ้านที่ 1



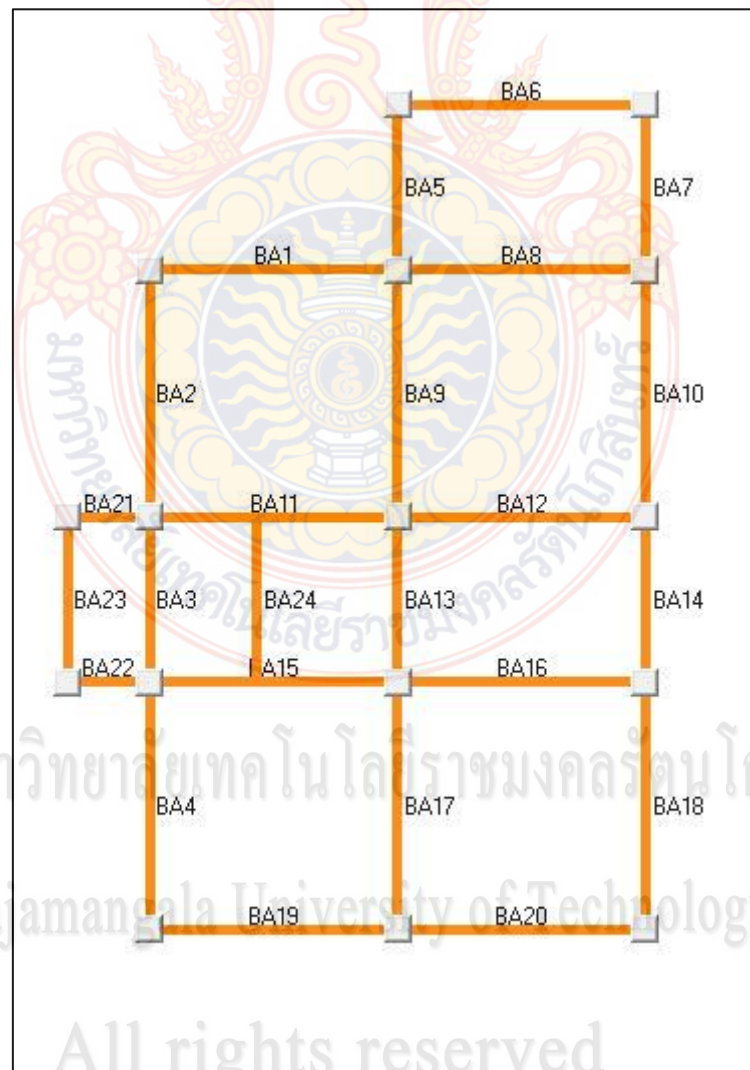
ภาพที่ 56 กราฟแห่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมลางด้านยาวของแปลนบ้านที่ 1



ภาพที่ 57 กราฟแห่งเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมบนด้านยาวของแปลนบ้านที่ 1

#### 4.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในส่วนการวิเคราะห์คานคอนกรีตเสริมเหล็กได้นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบด้วยแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ และค่าโมเมนต์ของชิ้นส่วนคาน มาเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยโปรแกรม SUTStructor ว่ามีความใกล้เคียงกันเพียงใด สำหรับคานที่ยกตัวอย่างในการคำนวณนั้นนำมาจากแปลนบ้าน ดังภาพที่ 58 ที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก



ภาพที่ 58 ตัวอย่างแปลนบ้านสำหรับวิเคราะห์คาน

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้นเมื่อนำข้อมูลพื้นที่เหล็กเสริมที่ออกแบบเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือ และโปรแกรม SUTStructor ดังแสดงในตารางที่ 9



ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับของกลุ่มคานต่อเนื่อง

หมายเลข คาน	แรงปฏิกิริยา (kg)			
	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor	
	$R_{y1}$	$R_{y2}$	$R_{y1}$	$R_{y2}$
Banz 2				
BA1	438.00	1249.12	438.00	1249.11
BA8	1249.12	811.12	1249.11	811.12
Banz 9				
BA5	194.68	1070.68	194.67	1070.67
BA9	1070.68	1204.36	1070.67	1204.36
BA13	1204.36	1204.36	1204.36	1204.36
BA17	1204.36	876.00	1204.36	876.00
Banz 10				
BA7	194.68	632.68	194.67	632.67
BA10	632.68	632.68	632.67	632.67
BA14	632.68	632.68	632.67	632.67
BA18	632.68	438.00	632.67	438.00

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบผลการคำนวณของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของกลุ่มคานต่อเนื่อง

หมายเลข คาน	แรงเฉือน (kg)				โมเมนต์ดัด (kg-m)			
	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor		โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น		โปรแกรม SUTStructor	
	$V_i$	$V_j$	$V_i$	$V_j$	$M_i$	$M_j$	$M_i$	$M_j$
Banz 2								
BA1	438.00	438.00	438.00	438.00	219.00	-219.00	219.00	-219.00
BA8	811.12	811.12	811.12	811.12	405.56	-405.56	405.56	-405.56
Banz 9								
BA5	194.68	194.68	194.67	438.00	64.89	-64.89	64.89	-64.89
BA9	876.00	876.00	876.00	876.00	438.00	-438.00	438.00	-438.00
BA13	328.36	328.36	328.36	328.36	109.45	-109.45	109.45	-109.45
BA17	876.00	876.00	876.00	876.00	438.00	-438.00	438.00	-438.00
Banz 10								
BA7	194.68	194.68	194.67	194.67	64.89	-64.89	64.92	-64.92
BA10	438.00	438.00	438.00	438.00	219.00	-219.00	219.00	-219.00
BA14	194.68	194.68	194.67	194.67	64.89	-64.89	64.89	-864.89
BA18	438.00	438.00	438.00	438.00	219.00	-219.00	219.00	-219.00

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### 1. สรุปผล

โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่พัฒนาขึ้น เป็นโปรแกรมที่ช่วยให้ผู้ใช้งานทำงานได้สะดวกรวดเร็วมีความถูกต้องแม่นยำ มีลักษณะการจัดเก็บข้อมูลเป็นแบบฐานข้อมูล ซึ่งสามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลได้ง่าย โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้สามารถนำไปใช้กับบ้านพักอาศัยได้ โดยค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยมือมีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากการปัดเศษ และเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรม VisStructor4 พบว่าผลการออกแบบของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีความประหยัดกว่า และสามารถใช้งานได้ง่ายกว่าเนื่องจากไม่ต้องป้อนค่านำเข้าเป็นตัวเลข

#### 2. อภิปรายผล

ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ได้ทดลองใช้งานโดยกำหนดตัวอย่างแบบแปลนบ้านพักอาศัย แล้วทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณโดยนำปริมาณความต้องการเหล็กเสริมที่คำนวณได้ของพื้นที่แต่ละพื้นที่ในแปลนบ้าน มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยมือ และการคำนวณด้วยโปรแกรม VisStructor4 (โปรแกรมเชิงพาณิชย์) พบว่าปริมาณเหล็กเสริมของพื้นที่คำนวณได้จากโปรแกรมที่สร้างขึ้นได้ค่าใกล้เคียงกับการคำนวณด้วยมือแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเนื่องจากการปัดเศษ แต่ให้ค่าที่ประหยัดกว่าการออกแบบโดยใช้โปรแกรม VisStructor4 เนื่องจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใช้วิธีที่ 3 (ว.ส.ท. 9103) ในขณะที่โปรแกรม VisStructure4 จะใช้วิธีที่ 2 (ว.ส.ท. 9102) ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 3 จะให้ค่าที่ละเอียดกว่านั่นเอง สำหรับการวิเคราะห์คานนั้นใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ซึ่งให้ค่าที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SUTstructor แสดงให้เห็นว่าผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องและเป็นไปตามทฤษฎีที่ถูกต้อง

### 3. ข้อเสนอแนะ

3.1 โปรแกรมยังไม่สามารถวิเคราะห์ เสา ฐานราก และบันไดได้ ซึ่งในอนาคตอาจมีการพัฒนาโปรแกรมให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

3.2 โปรแกรมสามารถวิเคราะห์และออกแบบได้เฉพาะบ้านอาศัยเพียงอย่างเดียว แต่ในอนาคตอาจนำไปพัฒนาเพื่อนำไปวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างตึกหรืออาคารที่มากกว่า 2 ชั้นขึ้นไปได้

### 4. การนำไปใช้ประโยชน์

4.1 โปรแกรมสามารถวิเคราะห์และออกแบบทั้งโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กได้ในโปรแกรมเดียวกันจึงทำให้สะดวกรวดเร็วในการคำนวณมากยิ่งขึ้น

4.2 โปรแกรมสามารถใช้งานสำหรับการออกแบบบ้านพักอาศัยได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



## บรรณานุกรม

1. มงคล จิรวชิรเดช. การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน. กรุงเทพฯ: สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2543.
2. มนัส กุลตั้งกิจเสรี และคณะ. “โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์โครงข้อแข็งระนาบ และสามารถใช้งานได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต.” ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
3. สรกานต์ ศรีทองอ่อน และชัยธร ชาติพิภพพันธุ์. “โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยวิธีสตีเฟนส์,” ปรินูญานิพนธ์เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.
4. ศักดา กตเวทวารักษ์. “พัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์และออกแบบคานต่อเนื่องคอนกรีตเสริมเหล็ก.” ปรินูญานิพนธ์ครุศาสตร์โยธา สาขาวิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545.
5. เดช พุทธเจริญทอง. การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2541.
6. กวี หวังนิเวศน์กุล. การออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเบื้องต้น, กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ด-ยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2548.
7. สถาพร โภคา. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก (วิธีหน่วยแรงใช้งาน), กรุงเทพฯ : สำนักงานหอสมุดศูนย์กลาง 09, 2544.
8. คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา. มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน(แก้ไขปรับปรุงครั้งที่ 2). พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545.



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

## ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นายสุธน รุ่งเรือง

2. ตำแหน่งปัจจุบัน รองคณบดีฝ่ายบริหารและแผน

3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา

96 หมู่ 3 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

โทรศัพท์ 02-8894585-7 ต่อ 3041 โทรสาร 02-8894585-7 ต่อ 3041

E-mail : suthon\_ru@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- ความเสียหายของจุดต่อระหว่างคอนกรีต และเหล็ก
- การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็ก
- คอนกรีตเทคโนโลยี และการทดสอบวัสดุ

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

1) การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยโปรแกรมภาษาวิซวลเบสิก 6.0

แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2550

2) การออกแบบจุดต่อโครงสร้างเหล็กโดยวิซวลเบสิก 6 V.2.1

แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2551

3) การสร้างแบบจำลองขนาดเล็กเพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนในดินผ่านกำแพงดิน

ซีเมนต์

แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2552

4) การศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนผ่านกำแพงเสาเข็มดินซีเมนต์ โดยการสร้าง

บ่อทดสอบในสนาม

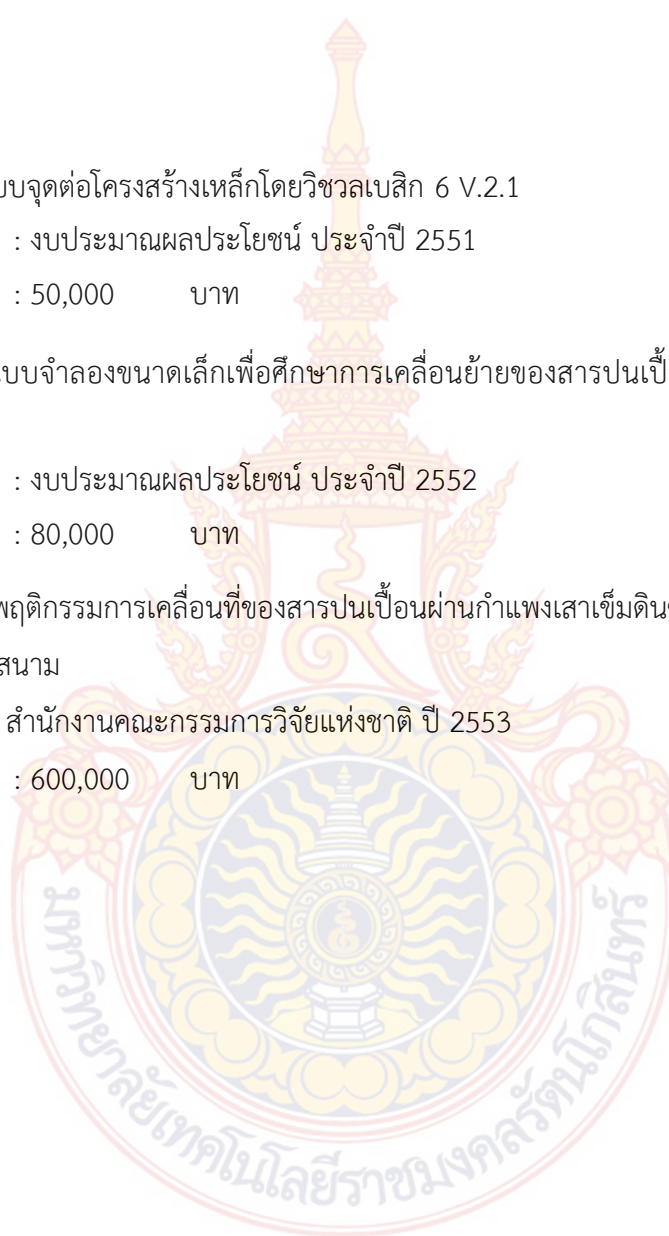
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2553

## ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูศักดิ์ ศิริรัตน์
2. ตำแหน่งปัจจุบัน รองคณบดีประจำพื้นที่วิทยาเขตวังไกลกังวล
3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล  
ตำบลหนองแก อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110  
โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4042  
E-mail : chusak.k@rmutr.ac.th
4. ประวัติการศึกษา  
ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
  - COMPUTER PROGRAMMING (VISUAL BASIC)
  - การประยุกต์ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (NUMERICAL METHOD) กับงานทางด้านวิศวกรรม
  - ธรณีวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (Geo-environment Engineering)
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย  
หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย  
 1) การพัฒนาโปรแกรมคำนวณวงรอบและเส้นชั้นความสูงด้วยภาษาวิซวลเบสิก  
แหล่งทุน : งบวัสดุฝึกแผนกวิทยาศาสตร์ ประจำปี 2544  
 2) โครงการวิจัยศึกษาการนำฐานข้อมูลมาประยุกต์ใช้กับการสอบทางคอมพิวเตอร์  
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2545  
วงเงิน : 8,000 บาท  
 3) โครงการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการอบดินเพื่อใช้หาค่าปริมาณความชื้นในมวลดิน  
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2545  
วงเงิน : 10,000 บาท  
 4) เครื่องมือทดสอบกำลังแบกทานของดินแบบหยั่งเบา  
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2549  
วงเงิน : 83,000 บาท



- 5) การพัฒนาสื่อผสมร่วมกับระบบอินเทอร์เน็ตสำหรับการทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา  
 แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2550  
 วงเงิน : 146,000 บาท
- 6) การสร้างสื่อผสมบนระบบอินเทอร์เน็ตร่วมกับโปรแกรมทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา  
 แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2551  
 วงเงิน : 50,000 บาท
- 7) การสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการทดสอบวัสดุก่อสร้างทางด้านวิศวกรรมโยธาประยุกต์  
 ร่วมกับการใช้สื่อผสมบนระบบอินเทอร์เน็ต  
 แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2552  
 วงเงิน : 556,600 บาท
- 8) การศึกษาความเหมาะสมของการใช้ดินผสมซีเมนต์และเบนโทไนท์เพื่อการป้องกันการ  
 แพร่กระจายของสารปนเปื้อนในดิน  
 แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2552  
 วงเงิน : 481,810 บาท
- ผู้ร่วมโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย, แหล่งทุน
- 1) โครงการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับงานปฏิบัติการทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา  
 แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2547  
 วงเงิน : 1,000,000 บาท
- 2) โครงการศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าการใช้ PVD และ Cement Column ในการปรับปรุง  
 คุณภาพดินอ่อนเชิงเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม  
 แหล่งทุน : สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ประจำปี 2549  
 วงเงิน : 250,000 บาท
- 3) การพัฒนาขึ้นรูปวัสดุแผ่นวัสดุผสมจากเส้นใยมะพร้าว-พลาสติกโพลีเอทิลีนเพื่องานวัสดุก่อสร้าง  
 และหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์  
 แหล่งทุน : งบประมาณเครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนล่าง ปี 2549  
 วงเงิน : 400,000 บาท
- 4) การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยโปรแกรมภาษาวิซวลเบสิก 6.0  
 แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2550  
 วงเงิน : 83,250 บาท
- 5) การพัฒนากระเบื้องยางปูพื้นจากเส้นใยมะพร้าวผสมยางธรรมชาติ  
 แหล่งทุน : งบประมาณเครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนล่าง ปี 2551  
 วงเงิน : 320,000 บาท

- 
- 6) การออกแบบจุดต่อโครงสร้างเหล็กโดยวิซวลเบสิก 6 V.2.1  
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2551  
วงเงิน : 50,000 บาท
- 7) การสร้างแบบจำลองขนาดเล็กเพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนในดินผ่านกำแพงดินซีเมนต์  
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2552  
วงเงิน : 80,000 บาท
- 8) การศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนผ่านกำแพงเสาเข็มดินซีเมนต์ โดยการสร้างป้อมทดสอบในสนาม  
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2553  
วงเงิน : 600,000 บาท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

## สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
$A_s$	พื้นที่หน้าตัดของกลุ่มเหล็กเสริมทั้งหมด
$A_{s1}$	พื้นที่หน้าตัดของกลุ่มเหล็กเสริมรับแรงดึงเพื่อด้านทานโมเมนต์ ( $M_1$ )
$A_{s2}$	พื้นที่หน้าตัดของกลุ่มเหล็กเสริมรับแรงดึงเพื่อด้านทานโมเมนต์ ( $M_2$ )
$A_s'$	พื้นที่หน้าตัดของกลุ่มเหล็กเสริมรับแรงอัดเพื่อด้านทานโมเมนต์ ( $M_2$ )
$b$	ความกว้างของคาน
$C$	แรงอัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับคอนกรีตเนื้อแนวแกนสะเทิน
$D$	ความลึกทั้งหมดจากผิวบนคานถึงขอบล่างของคาน
$d$	ความลึกจากผิวบนคานถึงจุดศูนย์ถ่วงของกลุ่มเหล็กเสริม
$d - d'$	ระยะช่วงแกนระหว่างเหล็กเสริมรับแรงอัดกับแรงดึง
$E_c$	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
$E_s$	โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม
$F_c$	หน่วยแรงอัดที่ผิวของคานซึ่งกระจายเป็นรูปสามเหลี่ยมจนถึงแนวแกนสะเทิน
$F_s$	หน่วยแรงดึงของเหล็กทั้งหมดที่อยู่ใต้แนวแกนสะเทิน
$f_s$	หน่วยแรงของเหล็กเสริมที่เสริมเพื่อรับแรงดึง
$f_s'$	หน่วยแรงของเหล็กเสริมที่เสริมเพื่อด้านทานแรงอัด
$jd$	ระยะแกนของโมเมนต์ระหว่างแรงอัด ( $C$ ) กับแรงดึง ( $T$ )
$kd$	ระยะจากผิวคานถึงแนวแกนสะเทิน
$M$	โมเมนต์ด้านทานระหว่างแรงอัด ( $C$ ) กับแรงดึง ( $T$ )
$M_c$	โมเมนต์ด้านทานโดยคอนกรีต
$M_s$	โมเมนต์ด้านทานโดยเหล็กเสริม
$M_r$	โมเมนต์ด้านทานทั้งหมดโดยปลอดภัย
$M_1$	โมเมนต์ด้านทานโดยเหล็กเสริมรับแรงดึง
$M_2$	โมเมนต์ด้านทานโดยเหล็กเสริมรับแรงดึงส่วนที่เกินจาก $M_1$ ( $M - M_1$ )
$n$	อัตราส่วนของ $\frac{E_c}{E_s}$
$p$	ร้อยละของเหล็กเสริมที่ใช้เสริม = $\frac{A_s}{bd}$

$T$	แรงดึงทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมได้แนวแกนสะเทิน
$T_1$	แรงดึงของเหล็กเสริมที่เกิดขึ้นกับกรณีออกแบบเพื่อรับแรงดึง
$T_2$	แรงดึงของเหล็กเสริมที่เสริมเพิ่มเพื่อให้สมดุลกับเหล็กเสริมรับแรงอัด
$\mathcal{E}_c$	หน่วยการหดตัวของคอนกรีต
$\mathcal{E}_s$	หน่วยการหดตัวของเหล็กเสริม



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved