



โครงการ

โปรแกรมการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีกำลังประลัย  
(Program Reinforced Concrete Design  
By Ultimate Strength Theory)

- |                |              |         |    |
|----------------|--------------|---------|----|
| 1. นายธีรรัตน์ | นิรุตติพงศ์  | 31.1063 | 4H |
| 2. นายศัลปทัต  | โธนัทภชชีวัน | 31.1283 | 4H |

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา SPECIAL PROJECT ปีการศึกษา 2534

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)

หน้าอนุมัติ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง



(อาจารย์ สุวัฒน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(๒)

กรรมการวัดผลโครงการ :



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ)

.....  
(อาจารย์ ศิลป์ชัย จานสุวรรณ)

กรรมการ



กรรมการ

(อาจารย์ สรรัตน์ หวังเจริญ)

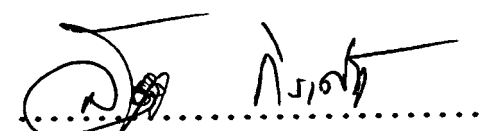


กรรมการ

(อาจารย์ สรพจน์ ศรีนิล)

.....  
(อาจารย์ เกษม อมันตกุล)

กรรมการ



กรรมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ (อาจารย์ สรรัตน์ ไกรเศรษฐ์) ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ วิบูลย์ วุฒิสาน)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ศรีกรีฑ หิรัญมาศ)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์)

..... กรรมการ  
(ผศ. ดร.แดง เจริญสุวรรณ)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ศักดิ์ชัย สักานพงศ์)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ สกฤต ห่อวโนทยาน)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การขอยืมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังห้ามนำไปเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

ในการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆ ไป มีหลักที่จะต้องพิจารณา ดังนี้

1. มีความแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามที่ต้องการ โดยไม่เกิดการแตกร้าวหรือพังทลาย

2. มีความปลอดภัย

3. มีความประหยัด

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มี 2 ทฤษฎี คือ

1. Elastic (Working Stress)

2. Ultimate Strength

ทฤษฎีทั้ง 2 นี้มีข้อแตกต่างกันตรงที่ Load Factor ที่ใช้ในการคำนวณ โดย

Working Stress ใช้ Load Factor = 1 ทั้ง Dead Load และ Live Load

Ultimate Strength ใช้ Dead Load Factor = 1.7 ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

Live Load Factor = 2 ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

และ ใช้ Dead Load Factor = 1.4 ตามมาตรฐาน AISC

Live Load Factor = 1.7 ตามมาตรฐาน AISC

จาก Load Factor ที่เปลี่ยนไปนี้จะทำให้ทฤษฎี Ultimate Strength ได้ผลการคำนวณที่ถูกต้องมากกว่าทฤษฎี Working Stress ได้ค่าที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ฉ)

จากหลักการและทฤษฎีดังกล่าว ผู้จัดทำจึงมีความคิดว่า ควรจะมีโปรแกรมการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีกำลังประลัย ซึ่งในการใช้ทฤษฎีกำลังประลัยจะช่วยให้เกิดความถูกต้อง ปลอดภัย และมีความประหยัดมากกว่าทฤษฎี Working Stress และนอกจากนี้ยังสามารถเลือก Live Load Factor และ Dead Load Factor ที่คู่กับ Load ได้ตามความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งจะให้เกิดความถูกต้องมากขึ้น

ส่วนในการนำโปรแกรมเข้ามาช่วยในการออกแบบนั้นทำให้เกิดความสะดวกเร็วมากขึ้น โดยโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนนี้ใช้ภาษา Turbo Pascal version 5.5 เพราะเป็นโปรแกรมระดับสูง สามารถทำการแก้ไขเปลี่ยนแปลง หรือพัฒนาต่อไปได้สะดวก นอกจากนี้ยังสามารถพิมพ์ผลที่ได้ خروجทางเครื่องพิมพ์ได้

(๕)

### กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ ที่ให้คำแนะนำ ปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ต่าง ๆ ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่เอื้ออำนวยในการใช้ห้องคอมพิวเตอร์ และเบิกอุปกรณ์ต่าง ๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ เพื่อน ๆ และรุ่นน้อง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ให้ความช่วยเหลือในการเขียนโปรแกรม และอภิบาลเนื้อหาการคำนวณ รวมทั้งให้กำลังใจด้วยดีมาโดยตลอด

ท้ายสุดนี้ บุคคลที่ข้าพเจ้ามีอาจะลืมกล่าวถึงในพระคุณของท่านก็คือ บิดา และ มารดา ผู้ซึ่งเปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาเล่าเรียน คอยสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจจนประสบความสำเร็จมาจนกระทั่งบัดนี้

1. นายชัยรัตน์ พิรุฬหพัทธ์
2. นายศิลปทัต โอพิทักษ์ชิวัน

นักศึกษาผู้ประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น (ไม่อนุญาตให้นำไป) ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(๗)

**สารบัญ**

	หน้า
หน้าอวมติ	(ก)
บทคัดย่อ	(ง)
กิตติกรรมประกาศ	(๗)
สารบัญ	(๗)
สารบัญตาราง	(ฉ)
สารบัญรูป	(๗)
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีกำลังประลัย	3
2.1 เหตุผลของการใช้ทฤษฎีกำลังประลัย	
2.2 สมมติฐานของทฤษฎีกำลังประลัย	4
2.3 น้ำหนักบรรทุกในอาคาร	6
2.4 การจัดน้ำหนักบรรทุก	10
2.5 ตัวคูณลดค่าแรงประลัย	10
2.6 ผนวสประลัยของคอนกรีตและเหล็กเสริม	11
2.7 ผนวคอนกรีตเสริมเหล็ก	12
2.7.1 ประเภทของผนวคอนกรีตเสริมเหล็ก	12
2.7.2 การออกแบบผนวแบบเสริมเหล็กสองทางตาม	
วิธีที่ 2 ของมาตรฐาน ว.ส.ท.	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

**สารบัญ (ต่อ)**

	หน้า
<b>2.11 ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก</b>	<b>65</b>
2.11.1 การพิจารณาในการออกแบบฐานราก	66
2.11.2 ประเภทของฐานราก	69
2.11.3 พฤติกรรมของฐานรากเมื่อรับน้ำหนัก	71
2.11.4 การกระจายน้ำหนัก	71
2.11.5 โมเมนต์ดัดและแรงยึดเหนี่ยว	74
2.11.6 การเสริมเหล็ก	74
2.11.7 หน้าที่ควิกฤติสำหรับแรงเฉือน	76
2.11.8 การถ่ายแรงจากเสาตอม่อลงฐานราก	78
2.11.9 การเสริมเหล็กฐานแผ่	78
2.11.10 คานคอดิน	79
2.11.11 ข้อกำหนดของมาตรฐาน ว.ศ.ท. ที่ เกี่ยวข้องกับฐานราก	80
<b>บทที่ 3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม</b>	
3.1 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมพื้น One-Way Slab	84
3.2 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมพื้น Two-Way Slab	89
3.3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมพื้น Cantilever	95
3.4 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมบันได Solid and Folding stair	100
3.5 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Simple Beam	106
3.6 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Seme Continuous และ Continuous Beam	111

(ฉ)

**สารบัญ (ต่อ)**

	หน้า
3.7	ขั้นตอนการใช้โปรแกรมเสา 117
3.8	ขั้นตอนการใช้โปรแกรมฐานราก 131
บทที่ 4	ตัวอย่างในการคำนวณ
4.1	ตัวอย่างในการคำนวณพื้น One-Way Slab 140
4.2	ตัวอย่างในการคำนวณพื้น Two-Way Slab 147
4.3	ตัวอย่างในการคำนวณพื้น Cantilever 155
4.4	ตัวอย่างในการคำนวณบันได Solid Stair 161
4.5	ตัวอย่างในการคำนวณคาน Simple Beam 169
4.6	ตัวอย่างในการคำนวณคาน Semi Continuous Beam 176
4.7	ตัวอย่างในการคำนวณเสาเหลี่ยม 185
4.8	ตัวอย่างในการคำนวณเสากลม 195
4.9	ตัวอย่างในการคำนวณฐานราก 205
บทที่ 5	บทสรุป 214
ภาคผนวก	215
ภาคผนวก ก. การนำโปรแกรม RC PROJECT ไปใช้งาน	216
บรรณานุกรม	218

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ฉ)

**สารบัญตาราง**

	หน้า
ตารางที่ 1. ขนาดบรรทัดในแนวดิ่งของอาคารประเภทต่าง ๆ	8
ตารางที่ 2. ยัตราการบรรททุก้น้ำหนักจรในแนวดิ่ง	9
ตารางที่ 3. สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	18
ตารางที่ 4. หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัษที่ขอมให้	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(๕)

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1. หน่วยแรงอัดและหน่วยการหดตัวของคอนกรีต	4
รูปที่ 2. รูปของการแผ่หน่วยแรงอัดในคอนกรีต	5
รูปที่ 3. พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว	14
รูปที่ 4. พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง	15
รูปที่ 5. แถบกลางและแถบเสาในพื้นที่ คสล.	16
รูปที่ 6. การแบ่งน้ำหนักแผ่นบนคานรับพื้น	21
รูปที่ 7. ตำแหน่งค้ำเหล็กเสริมทำคอม้าในพื้นที่	22
รูปที่ 8. การกระจายหน่วยการยึดหดตัวและแรงที่จุดประลัย	29
รูปที่ 9. โมเมนต์แรงค้ำควบในเหล็กเสริมรับแรงดึงและแรงอัด	36
รูปที่ 10. ประเภทของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	54
รูปที่ 11. หน่วยแรงยึดหดตัวของเสากลม	59
รูปที่ 12. บันไดที่พบเห็นกันมาก.	63
รูปที่ 13. การโก่งงอของฐานรากเนื่องจากหน่วยแรงดินดินชั้น	67
รูปที่ 14. ฐานรากชนิดต่าง ๆ	70
รูปที่ 15. การกระจายน้ำหนักของฐานรากแผ่	71
รูปที่ 16. การกระจายน้ำหนักของฐานรากวางบนเสาเข็ม	72
รูปที่ 17. ตำแหน่งโมเมนต์ค้ำและแรงยึดเหนี่ยว	73
รูปที่ 18. การเสริมเหล็กสองทาง	75
รูปที่ 19. หน้าตัดวิฤติสำหรับแรงเฉือน	76
รูปที่ 20. การลดค่าแรงเฉือนของเสาเข็ม	77
รูปที่ 21. ข้อกำหนดเกี่ยวกับฐานราก	82
รูปที่ 22. ส่วนแสดงผลทางหน้าจอบนหน้าจอตัวอย่างที่ 1	145

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 23.	ส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ของตัวอย่างที่ 1	146
รูปที่ 24.	ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 2	152
รูปที่ 25.	ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 2	153
รูปที่ 26.	ส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ของตัวอย่างที่ 2	154
รูปที่ 27.	ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 3	159
รูปที่ 28.	ส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ของตัวอย่างที่ 3	160
รูปที่ 29.	ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 4	166
รูปที่ 30.	ส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ของตัวอย่างที่ 4	167
รูปที่ 31.	ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 5	173
รูปที่ 32.	ส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ของตัวอย่างที่ 5	174
รูปที่ 33.	ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 6	182
รูปที่ 34.	ส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ของตัวอย่างที่ 6	183
รูปที่ 35.	ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 7	193
รูปที่ 36.	รูปตัดของเสาเหลี่ยมของตัวอย่างที่ 7	194
รูปที่ 37.	ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 8	203
รูปที่ 38.	รูปตัดของเสากลมของตัวอย่างที่ 8	204
รูปที่ 39.	ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 9	212
รูปที่ 40.	รูปตัดและรูปแปลนของฐานรากของตัวอย่างที่ 9	213

## บทที่ 1

### บทนำ

การออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในปัจจุบันนี้ มีความก้าวหน้าขึ้นมาก เนื่องจากมีเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาช่วยในการออกแบบ ทำให้เกิดความสะดวกรวดเร็วมากขึ้น โดยเฉพาะการออกแบบที่อาศัยคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย จะทำให้เกิดความคล่องตัวมากขึ้น ซึ่งผู้ออกแบบจะเลือกใช้ทฤษฎีใดในการออกแบบ ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบ

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มี 2 ทฤษฎี คือ

1. Elastic (Working Stress)
2. Ultimate Strength

ทฤษฎีทั้ง 2 นี้มีข้อแตกต่างกันตรงที่ Load Factor ที่ใช้ในการคำนวณ โดย

Working Stress ใช้ Load Factor = 1 ทั้ง Dead Load และ Live Load

Ultimate Strength ใช้ Dead Load Factor = 1.7 ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

Live Load Factor = 2 ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

และ ใช้ Dead Load Factor = 1.4 ตามมาตรฐาน AISC

Live Load Factor = 1.7 ตามมาตรฐาน AISC

จาก Load Factor ที่เปลี่ยนไปจะทำให้ทฤษฎี Ultimate Strength ได้ผลการคำนวณที่ถูกต้องมากกว่าทฤษฎี Working Stress ได้ค่าที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นที่นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีกำลังประลัย (Ultimate Strength) เท่านั้น  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.1 วัตถุประสงค์

- 1.1.1 เพื่อให้ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดย  
วิธีทฤษฎีกำลังประลัย
- 1.1.2 เพื่อความสะดวกในการออกแบบ และสามารถทำการแก้ไขได้รวดเร็ว
- 1.1.3 การป้อนข้อมูลเป็นไปอย่างไม่ยากนัก สามารถเรียนรู้โปรแกรมได้ง่ายและรวดเร็ว

## 1.2 ขอบเขตของโปรแกรม

- 1.2.1 คำนวณโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทฤษฎีกำลังประลัย
- 1.2.2 องค์อาคารที่สามารถคำนวณได้ ได้แก่ บันได พื้น คาน เสา และ  
ฐานราก
- 1.2.3 แสดงผลทางหน้าจอเป็นแบบ Graphic
- 1.2.4 แสดงผลทางเครื่องพิมพ์ได้
- 1.2.5 ไม่สามารถแสดงผลที่เป็น Graphic ทางเครื่องพิมพ์ได้
- 1.2.6 ใช้กับจอสีเท่านั้น

## บทที่ 2

### ทฤษฎีกำลังประลัย

การออกแบบโดยทฤษฎีกำลังประลัย เป็นวิธีหาขนาดของโครงสร้างในอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็กโดยอาศัยกำลังประลัยของวัสดุที่ใช้ ค่าของแรงปฏิกริยาต่างๆ อันเนื่องมาจากการกระทำของน้ำหนักประลัยใช้ในการออกแบบ อาจหาได้โดยการวิเคราะห์จากทฤษฎีอัสติค ทฤษฎีกำลังประลัยแตกต่างไปจากทฤษฎีอัสติค ก็คือ หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กและคอนกรีตมีค่าเกินกว่าขีดขีดหุ่่น โดยเฉพาะค่าของหน่วยแรงในคอนกรีตจะไม่ใช่สัดส่วนโดยตรงกับหน่วยความยืดหดตัวที่เกิดขึ้น อีกทั้งการคำนวณโดยอาศัยทฤษฎีกำลังประลัย น้ำหนักที่ใช้ออกแบบจะเป็นน้ำหนักประลัยซึ่งได้จากการคูณน้ำหนักใช้งานด้วยตัวคูณน้ำหนักส่วนปลอดภัย

#### 2.1 เหตุผลของการใช้ทฤษฎีประลัยในการออกแบบ คือ

2.1.1 ทฤษฎีกำลังประลัยให้ความคาดหมายได้ใกล้เคียงกับพฤติกรรม ตามความเป็นจริงของวัสดุ เนื่องจากคำนึงถึงความไม่เป็นสัดส่วนของหน่วยแรงกับหน่วยยืดหดตัวของวัสดุเมื่อน้ำหนักกระทำมีค่าสูงๆ

2.1.2 เนื่องจากสามารถทราบค่าของ น้ำหนักที่บรรทุกคงที่ได้แน่นอนกว่าน้ำหนักจร ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ตัวคูณส่วนปลอดภัย (Factor of safety) ตัวเดียวกันทั้งน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักจรเหมือนในทฤษฎีอัสติค ซึ่งทฤษฎีกำลังประลัยจะแยกตัวคูณส่วนปลอดภัยไว้แต่ละอย่าง

2.1.3 การใช้ทฤษฎีอัสติคในการคำนวณออกแบบเสา เป็นการคิดแปลงมาจากทฤษฎีกำลังประลัย ซึ่งทฤษฎีอัสติคไม่ได้ให้พฤติกรรมตามความเป็นจริง

2.1.4 การใช้ทฤษฎีกำลังประลัยคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสา ให้ผลหรือค่าที่ถูกต้องกว่าการใช้ทฤษฎีอัสติค

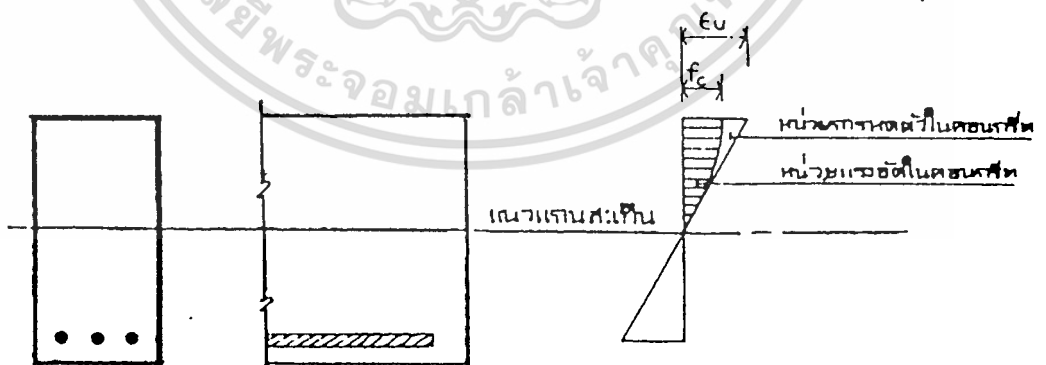
2.1.5 การคำนวณหาค่ากำลังประลัยในคอนกรีตอัดแรง ต้องใช้ทฤษฎีกำลังประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 สมมติฐานของทฤษฎีกำลังประลัย

สมมติฐานการคำนวณโคสทฤษฎีกำลังประลัยมีดังนี้

1. ระนาบของหน้าตัดก่อนและหลังที่มีการตัดยังคงเหมือนเดิม
2.  $\epsilon$  กำลังประลัย หน่วยแรงและหน่วยการยืดหดไม่เป็นสัดส่วนกัน
3. หน่วยการยืดหดตัวที่เกิดขึ้นในคอนกรีต เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแกนสะเทินและหน่วยการยืดตัวในเหล็กเสริม มีค่าเท่ากับหน่วยการยืดตัวของคอนกรีต
4. ค่าแห่งเดียวกัน
5. ไม่คำนวณออกแบบให้คอนกรีตรับแรงดึง
6. หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตที่ขอบรับแรงอัด  $\epsilon$  กำลังประลัยมีค่าเท่ากับ 0.003
7. โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กก./ซม<sup>2</sup>
8. หน่วยแรงอัดที่มากที่สุดในคอนกรีตมีค่าเท่ากับ  $0.85 f_c'$
9. หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมมีค่ามากที่สุดเท่ากับกำลังจุดคลาก  $f_u$  ถึงแม้ว่าหน่วยการยืดตัว จะให้ค่าสูงกว่าค่าที่ให้กำลังคลากก็ตาม

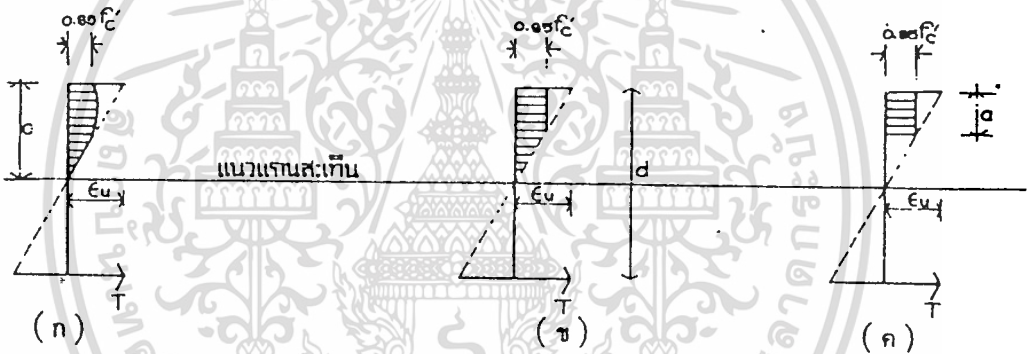


รูปที่ 1 หน่วยแรงอัดและหน่วยแรงหดตัวของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากสมมติฐานดังกล่าวแล้ว การสมมติเกี่ยวกับรูปของการแผ่หน่วยแรงอัดในคอนกรีตมีความสำคัญยิ่ง โดยอาจสมมติให้เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสี่เหลี่ยมคางหมู หรือรูปโค้งพาราโบลา หรือรูปอื่นใดก็ได้ ที่ให้ผลการคำนวณที่สามารถคาดหมายกำลังประลัยได้ถูกต้องใกล้เคียงกับผลการทดลอง

การสมมติรูปของการแผ่หน่วยแรงอัดในคอนกรีต ที่ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง มีอยู่สามแบบคือ รูปโค้งพาราโบลา รูปสี่เหลี่ยมคางหมู และรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



รูปที่ 2 รูปของการแผ่หน่วยแรงอัดในคอนกรีต

ในที่นี้จะสมมติการแผ่ของหน่วยแรงอัดของคอนกรีต ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยให้ขนาดของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตมีค่าเป็น  $0.85 f_c$  รูปของการแผ่หน่วยแรงอัดสมมุติจะล้อมรอบ โดยขอบของหน้าตัดและเส้นตรงที่ลากขนานกับแกนสะเทิน มีระยะห่างจากการที่มีหน่วยการหดตัวสูงสุดมีระยะ  $a = k_1 c$  โดยที่  $c$  เป็นระยะจากขอบที่มีหน่วยการหดตัวสูงสุดถึงแกนสะเทิน โดยวัดในทิศตั้งฉากกับแกนสะเทิน การสมมติแบบนี้ทำให้ง่ายและสะดวกในการคำนวณ สำหรับค่าของ  $k_1$  นั้นจะมีค่าเท่ากับ 0.85 สำหรับกำลังอัดคอนกรีต  $f_c'$  ที่มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 280 กก./ซม.<sup>2</sup> และค่าจะลดลงตามลำดับในอัตรา 0.05 สำหรับกำลังอัดในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 70 กก./ซม.<sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 น้ำหนักบรรทุกในอาคาร (Building Loads)

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่ออาคารสามารถแยกออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

### 2.3.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads)

### 2.3.2 น้ำหนักบรรทุกจร (Live Loads) ซึ่งแยกออกเป็น

- 1) น้ำหนักบรรทุกจรในแนวตั้ง (Vertical Live Loads) และ
- 2) น้ำหนักบรรทุกจรในแนวขวาง (Lateral Live Loads)

### 2.3.3 น้ำหนักบรรทุกกระแทก

### 2.3.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ได้แก่ น้ำหนักขององค์อาคารต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นตัวโครงสร้าง เช่น น้ำหนักพื้น คาน เสา ฐานราก เป็นต้น ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ยึดแน่นกับตัวโครงสร้าง เช่น น้ำหนักผนัง กำแพง ฝ้าเพดาน ท่อสายไฟ ท่อลมเครื่องปรับอากาศ ลิฟท์ ฯลฯ จัดเป็นประเภทของน้ำหนักบรรทุกคงที่เช่นเดียวกัน โดยปกติน้ำหนักบรรทุกคงที่จะสามารถทราบค่าได้อย่างใกล้เคียง หลังจากได้กำหนดสัดส่วนและขนาดขององค์อาคารต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว

### 2.3.2 น้ำหนักบรรทุกจร (Live Loads)

น้ำหนักบรรทุกจร ได้แก่ น้ำหนักของสิ่งของต่าง ๆ ที่อาคารต้องแบกรับหลังจากได้ก่อสร้างอาคารเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยปกติขนาดของน้ำหนักบรรทุกจรจะถูกกำหนดโดยกฎเทศบัญญัติของแต่ละท้องถิ่นที่ตามประเภทและลักษณะการใช้งานของอาคาร น้ำหนักบรรทุกจรสามารถแยกออกเป็นสองประเภท ดังนี้

- 1) น้ำหนักบรรทุกจรในแนวตั้ง (Vertical Live Loads) ได้แก่ น้ำหนักต่าง ๆ ที่กระทำในแนวตั้ง เช่น น้ำหนักของผู้อาศัย น้ำหนักของเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนย้ายไปได้ เครื่องเฟอร์นิเจอร์ ลิ้นค้ำ รถยนต์ ฯลฯ ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครได้กำหนดขนาดของน้ำหนักบรรทุกจรในแนวตั้งตามประเภทการใช้งานของอาคาร โดยมีค่าประมาณ

เฉลี่ยไม่ต่ำกว่าค่าดังปรากฏในตารางที่ 1

ในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกจรที่ถ่ายลงเสาและฐานราก สำหรับโรงมหรสพ หอประชุม หอสมุด พิพิธภัณฑ์ อิมจันทร์ คลังสินค้า โรงงานอุตสาหกรรม อาคารจอดรถยนต์ ให้คือน้ำหนักบรรทุกเต็มอัตราทุกชั้น ส่วนอาคารประเภทอื่น ช้อบบัญติกรุงเทพมหานครอนุญาตให้ทำการลดส่วนลงได้ตามชั้นของอาคารดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

2) น้ำหนักบรรทุกจรในแนวขวาง (Lateral Live Loads) ได้แก่ น้ำหนักต่าง ๆ ที่กระทำในแนวขวางหรือแนวราบ

### 2.3.3 น้ำหนักบรรทุกกระแทก

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่ออาคารอย่างทันทีทันใด มีผลทำให้อาคารต้องรับน้ำหนักมากกว่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับอาคารอย่างช้า ๆ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่ออาคารอย่างทันทีทันใดนี้เรียกว่า น้ำหนักบรรทุกกระแทก ซึ่งคำนวณหาได้จาก

$$L_1 = L_u (1+I)$$

โดยที่  $L_1$  = น้ำหนักบรรทุกกระแทก กก.

$L_u$  = น้ำหนักบรรทุกสถิตย์ กก.

$I$  = แฟคเตอร์เนื่องจากการกระแทก

ในการออกแบบคานที่รองรับเครน (crane) ต้องคำนึงถึงแรงในแนวตั้งฉาก และแรงในแนวตามยาวของคาน กระทำที่ผิวคานด้วย AISC ได้กำหนดค่าของแรงทั้งสอง ดังนี้ แรงในแนวตั้งฉาก =  $0.1 \times (\text{น้ำหนักของวัตถุที่ยก} + \text{น้ำหนักของตัววิ่งบนหลังเครน})$   
แรงในแนวตามยาว =  $0.1 \times (\text{น้ำหนักสูงสุดที่ล้อวิ่งของตัวเครน})$

AASHTO ได้กำหนดค่า  $I$  มีค่าดังนี้

$$I = \frac{15}{L + 38} \leq 0.30$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ขนาดน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งของอาคารประเภทต่าง ๆ  
(ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร)

ประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร	น้ำหนักบรรทุกจร (กก./ตร.ม.)
1. หลังคา	30
2. กันสาดหรือหลังคาคอนกรีต	100
3. ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
4. ห้องแถว ตึกแถว ที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรมและ ห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล	200
5. สำนักงาน ธนาคาร	250
6. (ก) อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน และโรงพยาบาล	300
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดิน ของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงานและธนาคาร	300
7. (ก) ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุดและหอสมุด ที่จัดหรือเก็บรถยนต์นั่ง หรือจักรยานยนต์	400
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดิน ของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัยและโรงเรียน	400
8. (ก) คลังสินค้า โรงกีดน้ำ นิทรรศภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดิน ของตลาด อาคารสรรพสินค้า ห้องประชุม หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องสมุด	500
9. ห้องเก็บหนังสือ ของห้องสมุดหรือหอสมุด	600
10. ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่า	800

เอกสารนี้เป็นเอกสารราชการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
การศึกษานี้เป็นเอกสารราชการ  
การศึกษานี้เป็นเอกสารราชการ  
การศึกษานี้เป็นเอกสารราชการ



ตารางที่ 2 อัตราการลดน้ำหนักบรรทุกจรในแนวดิ่ง  
(ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร)

การรับน้ำหนักของพื้น	อัตราการลดน้ำหนักบรรทุกจร บนพื้นแต่ละชั้นเป็นร้อยละ
1) หลังคาหรือคานฟ้า	-
2) ชั้นที่หนึ่งถัดจากหลังคาหรือคานฟ้า	-
3) ชั้นที่สองถัดจากหลังคาหรือคานฟ้า	-
4) ชั้นที่สามถัดจากหลังคาหรือคานฟ้า	10
5) ชั้นที่สี่ถัดจากหลังคาหรือคานฟ้า	20
6) ชั้นที่ห้าถัดจากหลังคาหรือคานฟ้า	30
7) ชั้นที่หกถัดจากหลังคาหรือคานฟ้า	40
8) ชั้นที่เจ็ดถัดจากหลังคาหรือคานฟ้า และชั้นต่อลงไป	50

## 2.4 การจัดน้ำหนักบรรทุก

มาตรฐาน ว.ส.ท. และข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครได้กำหนด น้ำหนักประลัย  $U$  ที่ใช้ในการออกแบบไว้ดังนี้

1. สำหรับอาคารที่ไม่ได้คิดแรงลม หรือแรงแผ่นดินไหว

$$U = 1.7D + 2.0L \quad (1)$$

2. สำหรับอาคารที่คิดแรงลมด้วย

$$U = 0.75(1.7D + 2.0L + 2.0W) \quad (2)$$

$$\text{หรือ } U = 0.9D + 1.3W \quad (3)$$

โดยให้ใช้ค่า  $U$  ที่ให้ค่าสูงสุด แต่ต้องไม่น้อยกว่าค่า  $U$  ในข้อ (1)

ในที่นี้  $U$  = น้ำหนักของประลัยที่ใช้ออกแบบ

$D$  = น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน

$L$  = น้ำหนักบรรทุกจรที่กำหนดบวกด้วยแรงกระทบ

$W$  = แรงลม

## 2.5 ตัวคูณลดค่าแรงประลัย

สำหรับกำลังประลัยที่คำนวณได้จริงในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จะต้องลดค่าลงทั้งนี้เพราะ ในการก่อสร้างอาจมีคุณภาพของงานแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อความปลอดภัย มาตรฐาน ว.ส.ท. จึงใช้ตัวคูณลดค่าแรงประลัย  $\phi$  คูณเข้ากับกำลังประลัยที่คำนวณได้จริง ซึ่งจะได้กำลังประลัยที่ใช้งาน กล่าวคือ ถ้า  $M_u'$  เป็นแรงดัดประลัยของส่วนอาคารที่คำนวณได้จริง และ  $M_u$  เป็นแรงดัดประลัยที่ใช้งาน ดังนั้น  $M_u = \phi M_u'$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวคูณลดค่ากำลังประลัย  $\phi$  นี้ จะขึ้นอยู่กับ ความสำคัญของโครงสร้างและ ลักษณะการรับน้ำหนักของโครงสร้าง ซึ่งมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดค่าของตัวคูณลดประลัยไว้ ดังนี้

- $\phi = 0.90$  สำหรับกาารัดค
- $\phi = 0.85$  สำหรับแรงดึงทแยง
- $\phi = 0.75$  สำหรับส่วนอาคารรับแรงอัดเสริมเหล็กปลอกเกลียว
- $\phi = 0.70$  สำหรับส่วนอาคารรับแรงอัดเสริมเหล็กปลอกเดี่ยว

## 2.6 หน่วยแรงประลัยของคอนกรีตและเหล็กเสริม

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดว่า กำลังจุดคาน  $f_u$  ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบเหล็กเสริมรับแรงดึง จะต้องไม่เกิน 4200 กก./ซม.<sup>2</sup> แต่ยินยอมให้ใช้จุดคานได้ถึง 4900 กก./ซม.<sup>2</sup> โดยมีข้อแม้ว่า จะต้องทำการทดลองโครงสร้างขนาดเท่าของจริงแล้วปรากฏว่า ความกว้างของรอยแตกริ้วเกล็ดของเนื้อคอนกรีตที่ขอบรับแรงดึงสูงสุดเมื่อรับน้ำหนักบริการ มีค่าไม่เกินกว่าพิกัดควบคุมระยะแตกริ้วที่กำหนดให้

ในกรณีที่ใช้เหล็กเสริมที่มีกำลังจุดคานสูงกว่า 4200 กก./ซม.<sup>2</sup> นั้น ค่ากำลังจุดคานที่ใช้ในการคำนวณออกแบบจะต้องลดค่าลงโดยให้ใช้ค่าที่มากที่สุดจาก 0.85  $f_u$  หรือ 4200 กก./ซม.<sup>2</sup> เว้นแต่ว่าได้ทำการทดลองแรงดึงของเหล็กเสริมแล้วปรากฏว่า กำลังนิยุงนี้มีค่าเท่ากับค่ากำลังจุดคาน  $f_u$  ตามที่กำหนด และหน่วยการยึดตัวไม่เกิน 0.03

ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร กำหนดว่าให้ใช้ค่าหน่วยแรงประลัยของคอนกรีตได้ไม่เกิน 150 กก./ซม.<sup>2</sup> และใช้หน่วยประลัยของเหล็กเสริมไม่เกินอัตราดังต่อไปนี้

1. เหล็กเส้นธรรมดา ซึ่งไม่มีผลการทดสอบกำลังดึง ให้ใช้ไม่เกิน 2000 กก./ซม.<sup>2</sup>
2. เหล็กเสริมอื่นๆ ให้ใช้  $0.85f_u$  แต่ต้องไม่เกิน 4200 กก./ซม.<sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้น เป็นองค์อาคารที่รับน้ำหนักโดยตรงจากน้ำหนักจร เพื่อถ่ายน้ำหนักไปยังองค์อาคารอื่น ๆ ในอาคารทั่ว ๆ ไป พื้นเป็นส่วนประกอบที่มากที่สุดของอาคาร ดังนั้น การเลือกระบบพื้นที่ถูกต้องและเหมาะสมกับการใช้งาน รวมทั้งการให้รายละเอียดที่ชัดเจน ถูกต้อง และจัดเหล็กให้ประหยัด ทำงานง่าย ย่อมจะทำให้ประหยัดราคาค่าก่อสร้างและเวลาได้บ้างอย่างแน่นอน

พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กมีหลายชนิด อาจจำแนกตามลักษณะการถ่ายน้ำหนัก ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการเสริมเหล็กในแต่ละพื้นนั้น เช่น พื้น คสล.เสริมเหล็กทางเดียวโดยมีคานรับพื้นสองด้าน พื้น คสล.เสริมเหล็กสองทาง โดยมีคานรับพื้นทั้งสองด้าน พื้นคอนกรีตมีทั้งแบบที่ท้องพื้นหรือส่วนล่างของพื้นเป็นแผ่นเรียบขนานกับผิวหน้าของพื้น เรียกว่าพื้นคอนกรีตแบบตัน (Solid slab) หรืออาจเป็นแบบที่มีส่วนล่างมีลักษณะเป็นตงระชะ ๆ ห่างกันพอสมควร เรียกว่าพื้นระบบคาง (Joist Floor หรือ Ribbed Slab) มีพื้นคอนกรีตอีกแบบหนึ่งไม่มีคานรับพื้น แต่ถ่ายน้ำหนักจากพื้นลงสู่หัวเสาโดยตรง เรียกว่า พื้นไร้คาน (Flat Slab)

### 2.7.1 ประเภทของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ระบบพื้นมีหลายชนิด ซึ่งได้รวบรวมรายละเอียดประเภทพื้น และแสดงพฤติกรรมของพื้นเมื่อทำงานไว้ โดยสังเขปดังนี้

#### 1) พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนดิน (Slab on Ground)

พื้นประเภทนี้มักใช้กับพื้นโรงงาน, โกดัง, บ้านพักอาศัย, ถนน หรือทางเท้า โดยเหตุที่พื้นชนิดนี้รองรับด้วยดิน หรือทรายถมบดอัดแน่น เมื่อชั้นดินเกิดการทรุดตัวลงตามธรรมชาติพื้นชนิดนี้ก็จะทรุดตัวตามลงไปด้วย จึงต้องตัดหน้าดินออกจากส่วนของโครงสร้างอื่น มิฉะนั้นส่วนที่ติดกับโครงสร้างจะแตกร้าวได้

ปัญหาที่พบมากสำหรับพื้นวางบนดิน มักเป็นการแตกร้าวเนื่องจาก การบดอัดดิน หรือ ทรายนม ไม่แน่นพอ และการทรุดตัวของดินตามธรรมชาติ เนื่องจาก Consolidate ซึ่ง จะทำให้เกิดการทรุดตัวของพื้นซึ่งอาจไม่เท่ากัน อีกกรณีหนึ่งก็คือ การแตกร้าวเนื่องจาก การยึดหดตัวของคอนกรีต ดังนั้น พื้นวางบนดินควรจะมีการตัดช่วงเป็น Block ไว้ โดยที่ ช่วงที่ตัดจากกันไม่เกิน 6 เมตร และเสริมเหล็กเพื่อป้องกันการยึดหดตัวด้วย

## 2) พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบทางเดียว (One Way Slab)

ลักษณะของพื้นแบบที่พบโดยทั่วไปคือพื้นที่มีคานรองรับทั้งสองด้าน และมีอัตราส่วนคาน ขาวต่อคานสั้นตั้งแต่ 2 ขึ้นไป หรือพื้นที่มีคานรองรับเพียงสองด้านขนานกัน ตามทฤษฎีแล้ว การโค้งของพื้นระบบทางเดียวนี้จะโค้งโค้งเพียงเฉพาะคานสั้นด้านเดียว ดังนั้นในการออกแบบจึงคิดเป็นเสมือนคานซึ่งอาจเป็นช่วงเดียวธรรมดา หรือ ต่อเนื่องแล้วแต่ลักษณะการต่อ เนื่องของพื้น เหล็กเสริมทางคานสั้นจึงเป็นเหล็กเสริมหลัก(main steel) ซึ่งวางใน แนวตั้งฉากกับคานรับพื้นเพียงทางเดียว และทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักให้กับคานที่รองรับ ในทิศ ทางที่ขนานกับคานรับพื้น ต้องมีเหล็กเสริมกันร้าว ในอัตราดังนี้

เหล็กผิวเรียบ 0.0025 เท่าของพื้นที่หน้าตัดพื้น

เหล็กข้ออ้อย 0.0020 เท่าของพื้นที่หน้าตัดพื้น

ส่วนเหล็กเสริมตามคานยาวเป็นเหล็กซึ่งช่วยในการกระจายแรง (Distribution Steel) และทำหน้าที่ยึดเหล็กเสริมหลักให้อยู่ในตำแหน่งด้วยปริมาณเหล็กนี้ไม่ควรจะมีจำนวน น้อยกว่า 15% ของเหล็กเสริมหลัก หรือไม่น้อยกว่า 0.25% ของพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีต

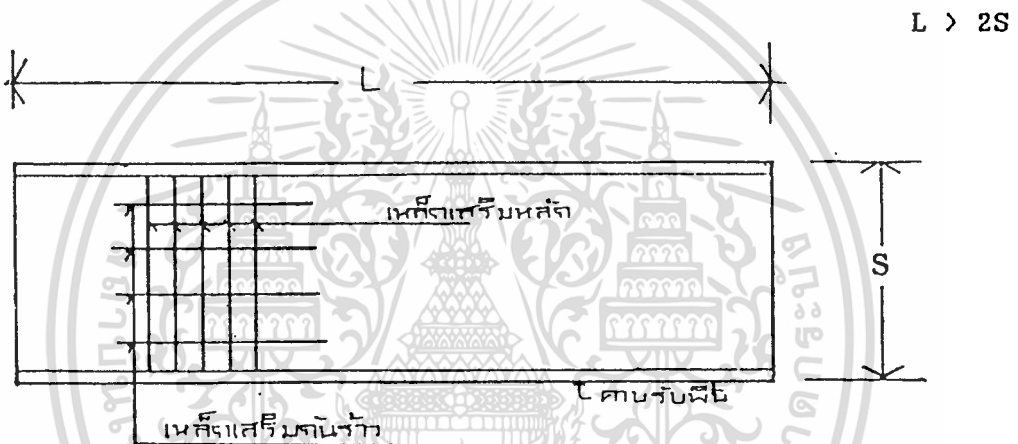
ระยะโค้งของพื้นระบบทางเดียวจะมีการโค้งมากกว่าพื้นระบบสองทางตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ความหนาของพื้นจึงควรจะหนาไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดดังนี้

L/25	ช่วงเดียวธรรมดา
L/30	ปลายต่อเนื่องข้างเดียว
L/35	ปลายต่อเนื่องสองข้าง
L/12	ปลายอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า การโค้งของพื้นทางเดียวจะมีเพียงด้านสั้นด้านเดียว นั่นคือมีโมเมนต์เฉพาะทางด้านสั้น แต่โดยพฤติกรรมที่แท้จริง ด้านยาวจะมีโมเมนต์เกิดขึ้นอยู่บ้างเล็กน้อย ดังนั้น จะต้องมีเหล็กบนที่จุกรองรับของด้านยาวอยู่บ้าง มิฉะนั้น ผิวบนของพื้นที่ติดกับคานอาจแตกได้

การกระจายน้ำหนักของพื้นเสริมเหล็กทางเดียวลงบนคาน ให้คิดข้างหนึ่งของความกว้างของห้องแต่ละซี่กของคาน



รูปที่ 3 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว

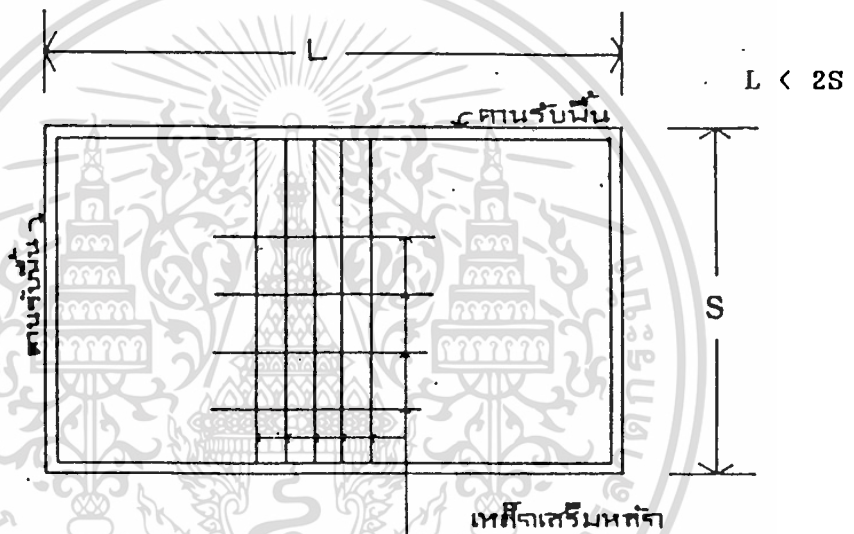
### 3) พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบสองทาง (Two Way Slab)

พื้นระบบสองทาง เป็นพื้นที่มีอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นน้อยกว่า 2 การยึดรั้งของคานโดยรอบพื้นจะมีทั้งสองทาง ดังนั้นความหนาของพื้นรวมทั้งขนาดเหล็กเสริมทางด้านสั้นจะน้อยกว่าพื้นระบบทางเดียวซึ่งมีการยึดรั้งเพียงด้านสั้นด้านเดียว ความหนาของพื้นระบบสองทางไม่ควรน้อยกว่า เส้นรอบรูป/180 หรือไม่น้อยกว่า 8 ซม. ระยะเรียงศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของเหล็กเสริมต้องไม่ห่างเกิน 3 เท่าของความหนาพื้น

ในบางครั้งพื้นที่ที่มีอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นน้อยกว่า 2 อาจเป็นพื้นระบบทางเดียว

เอกสารนี้ใช้ได้ ถ้าหากว่าคานด้านหนึ่งมีขนาดใหญ่ (very stiff) กว่าอีกด้านหนึ่งมากประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบพื้นแบบนี้ พิจารณาจากพื้นที่กว้าง 1 เมตร ทั้งทางช่วงสั้นและช่วงยาว สำหรับน้ำหนักแม่เป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร ก็คิดแบบเดียวกับพื้นที่เหล็กเสริมทางเดียว แต่น้ำหนักแม่ที่จะใช้ออกแบบ ทั้งทางช่วงสั้นและทางช่วงยาวจะต้องแปลงค่า เพื่อให้จะทำให้การโคงในแนวตั้งของพื้นแต่ละจุด เมื่อคำนวณจากช่วงสั้นกับช่วงยาวต้องมีค่าเท่ากัน นอกจากนั้นจะต้องคำนึงถึงผลที่เกิดขึ้นจากการต่อเนื่อง และพิจารณาแน่นกับที่รองรับด้วย



รูปที่ 4 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง

จากข้อพิจารณาข้างต้น จะเห็นว่า การคำนวณออกแบบแผ่นพื้นแบบเสริมเหล็กสองทางนี้ค่อนข้างยากและซับซ้อน อย่างไรก็ตาม มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้ให้วิธีคำนวณออกแบบโดยประมาณสำหรับแผ่นพื้นแบบนี้ไว้ถึงสามวิธีที่ใช้กันกว้างขวาง ในแต่ละวิธีจะให้ผลต่างกันไปบ้าง แต่ทุกวิธีก็ให้ความปลอดภัยเพียงพอ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวิธีที่ 2 ซึ่งสะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีอื่น

3.1) การคำนวณออกแบบแผ่นพื้นแบบเสริมเหล็กสองทาง ตามวิธีที่ 2 ของมาตรฐานว.ศ.ท.

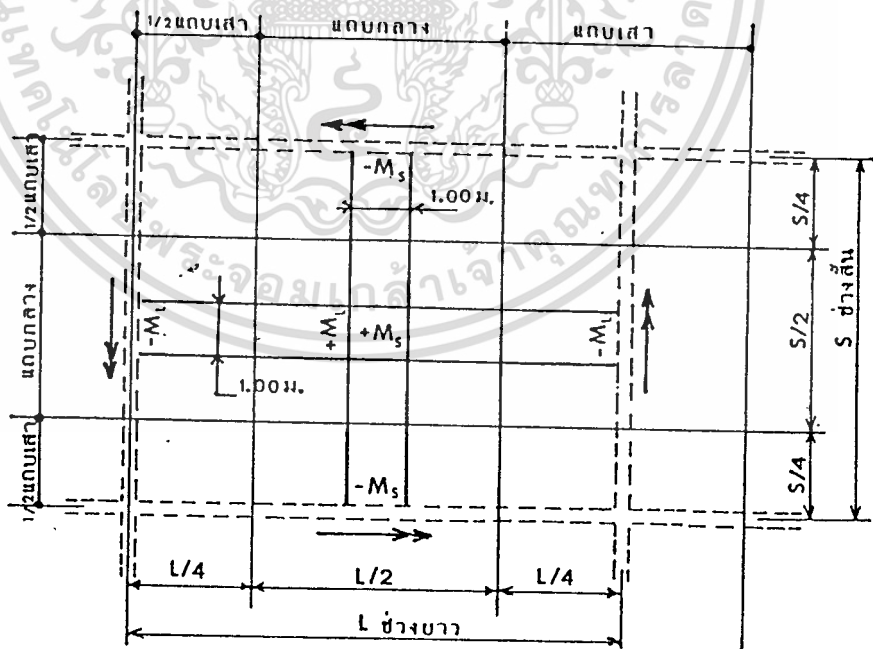
ขอบข่าย แผ่นพื้นอาจเป็นแบบคานหรือแบบครีป และอาจต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง แต่ต้องมีผนังหรือคานรองรับทั้งสองด้าน ซึ่งหล่อเป็นเนื้อเดียวกับพื้น

โมเมนต์คัต ค่าโมเมนต์คัตที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น จะได้จากการพิจารณาแบ่งแผ่นพื้นขนาดกว้าง S และยาว L (ค่า S และ L เป็นค่าน้อยของระยะศูนย์ถึงศูนย์ระหว่างที่รองรับหรือช่วงว่างบวกกับอีก 2 เท่าของความหนาพื้น) ให้เป็นแถบต่างๆ ในแต่ละทิศทาง

แถบกลาง ให้มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงพื้น

แถบเสา ให้มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงพื้น ดังนั้นแต่ละซีกในช่วงพื้น เดียวกันจะมีขนาดเท่ากับ หนึ่งกึ่งหนึ่งในสี่ของช่วงพื้นนั้น

ในกรณีที่  $L > 2S$  แถบกลางที่ขนานกับด้านสั้นให้มีความกว้างเท่ากับ ผลต่างระหว่างด้านทั้งสอง ที่เหลือเป็นความกว้างแถบของเสา



รูปที่ 5 แถบกลางและแถบเสาในพื้น คสล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้  $w$  = น้ำหนักบรรทุกรวมซึ่งแผ่สม่ำเสมอบนแผ่นพื้น กก./ม.<sup>2</sup>  
 $C$  = สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ในแต่ละทิศทาง(ช่วงสั้น, ช่วงยาว) สำหรับ  
 แผ่นพื้นแบบเสริมเหล็กสองทาง (ตารางที่ 3) ซึ่งขึ้นอยู่กับความต่อ  
 เนื่องของแผ่นพื้น (5 กรณี) และอัตราส่วน  $\mu$  ซึ่งเท่ากับ  $S/L$   
 ดังนั้น โมเมนต์คัตในแถบกลาง คำนวณจาก

$$M = CwS^2 \text{ กก.-เมตร/เมตร} \quad (4)$$

โมเมนต์คัตในแถบเสาเท่ากับ สองในสามของโมเมนต์ในแถบกลาง  
 ค่าโมเมนต์คัตในแถบกลางของพื้นที่ คำนวณจากสมการที่ 4 มีทั้งโมเมนต์ลบและ  
 โมเมนต์บวก  
 ค่าโมเมนต์ลบ เป็นโมเมนต์ตรงขอบของคานที่รองรับ ส่วนค่าโมเมนต์บวกเป็น  
 โมเมนต์ตามแนวศูนย์กลางของช่วงพื้น ดังแสดงในรูปที่ 5  $M_s$  เป็นโมเมนต์ใน  
 แถบกลางที่ขนานกับคานสั้น และ  $M_L$  เป็นโมเมนต์ในแถบกลางที่ขนานกับคานยาว  
 หากโมเมนต์ลบที่คานใดของที่รองรับมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 ของโมเมนต์อีกคาน  
 หนึ่ง ให้นำสองในสามของผลต่างของโมเมนต์ กระจายออกไปตามสัดส่วนของความแข็ง  
 แกร่งของแผ่นพื้น

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์

โมเมนต์	ช่วงสั้น						ช่วงยาว สำหรับ ทุกค่า
	ค่าต่าง ๆ ของ $\mu$						
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5 และ ต่ำกว่า	
กรณีที่ 1 ช่วงหน้าภายใน โมเมนต์ลบ							
-ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.033	0.040	0.048	0.055	0.063	0.083	0.033
-ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	-	-	-	-	-	-	-
โมเมนต์บวกกึ่งกลางช่วง	0.025	0.030	0.036	0.041	0.047	0.062	0.025
กรณีที่ 2 ไม่ต่อเนื่องกัน ด้านเดียว							
โมเมนต์ลบ							
-ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.041	0.048	0.055	0.062	0.069	0.085	0.041
-ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.021	0.024	0.027	0.031	0.035	0.042	0.021
โมเมนต์บวกกึ่งกลางช่วง	0.031	0.036	0.041	0.047	0.052	0.064	0.031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ (ต่อ)

โมเมนต์	ช่วงสั้น						ช่วงยาว สำหรับ ทุกค่า
	ค่าต่าง ๆ ของ $\mu$						
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5 และ ต่ำกว่า	
กรณีที่ 3 ไม่ต่อเนื่องกัน สองด้าน							
โมเมนต์ลบ							
-ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.049	0.057	0.064	0.071	0.078	0.090	0.049
-ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.025	0.028	0.032	0.036	0.039	0.045	0.025
โมเมนต์บวกกึ่งกลางช่วง	0.031	0.036	0.041	0.047	0.052	0.064	0.031
กรณีที่ 4 ไม่ต่อเนื่องกัน สามด้าน							
โมเมนต์ลบ							
-ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.058	0.066	0.074	0.082	0.090	0.098	0.058
-ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.029	0.033	0.037	0.041	0.045	0.049	0.029
โมเมนต์บวกกึ่งกลางช่วง	0.044	0.050	0.056	0.062	0.068	0.074	0.044

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์ของโอมเมนต์ (ต่อ)

โอมเมนต์	ช่วงสั้น						ช่วงยาว สำหรับ ๓ ทุกค่า
	ค่าต่าง ๆ ของ ๓						
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5 และ ต่ำกว่า	
กรณีที่ 5 ไม่ต่อเนื่องกัน สี่ด้าน							
โอมเมนต์ลบ							
-ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	-	-	-	-	-	-	-
-ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.033	0.038	0.043	0.047	0.053	0.055	0.033
โอมเมนต์บวกกึ่งกลางช่วง	0.050	0.057	0.064	0.072	0.080	0.083	0.050

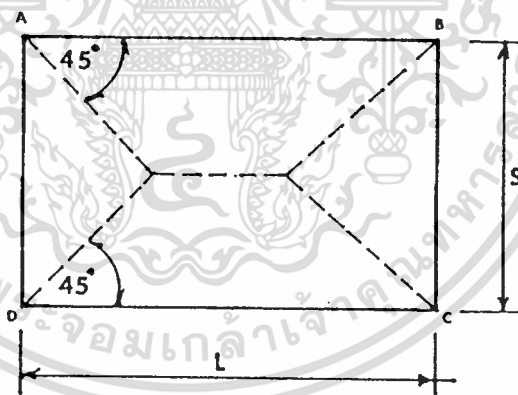
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรจำคือ เหล็กเสริมทางด้านสั้น จะมีปริมาณมากกว่าเหล็กเสริมด้านยาวเสมอ ดังนั้น การจัดวางเหล็กต้องให้เหล็กเสริมชั้นล่างด้านสั้นอยู่ล่าง และเหล็กเสริมชั้นบนด้านสั้นอยู่บน

แรงเฉือนในแผ่นพื้น คำนวณโดยสมมติว่าน้ำหนักแผ่นพื้น ( $w$ ) ถูกแบ่งไปยังที่รองรับ โดยเส้นที่ลาก 45 องศาจากมุมทั้งสี่ตัดกับเส้นมีเดียนของช่วงพื้นที่ขนานกับด้านยาว ดังรูปที่ 6

$$\text{ดังนั้น แรงเฉือนเฉลี่ยที่กระทำทางด้าน AD และ BC} = \frac{wS^2}{4}$$

$$\text{แรงเฉือนเฉลี่ยที่กระทำทางด้าน AB และ DC} = \frac{wS^2(2-m)}{4m}$$



รูปที่ 6 การแบ่งน้ำหนักแผ่นลงบนคานรับพื้น

คานที่รองรับ น้ำหนักแผ่นพื้นซึ่งแบ่งไปลงบนคานที่รองรับ ให้สมมติเช่นเดียวกับ การหาแรงเฉือนข้างต้น แต่โมเมนต์ในคานคำนวณจากน้ำหนักสม่ำเสมอ ดังนี้

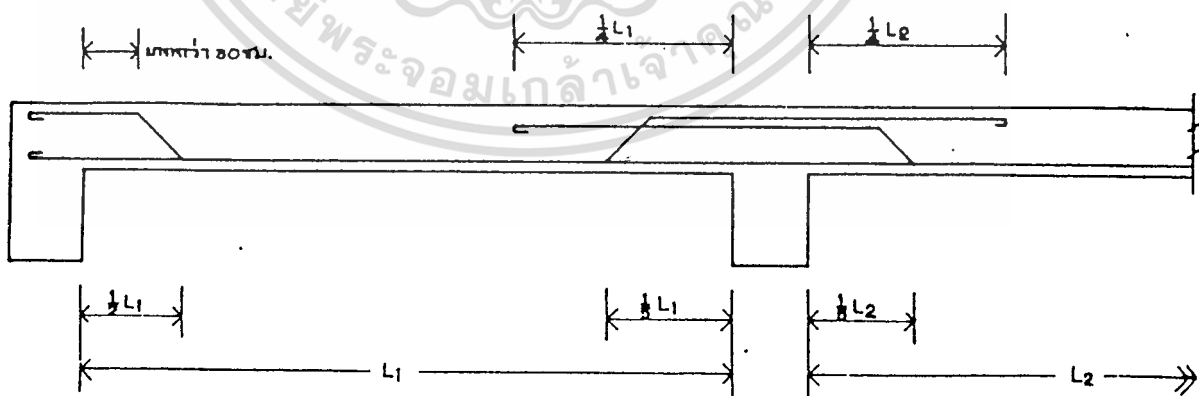
$$\text{คานด้านสั้น AD, BC รับน้ำหนักแผ่น} = \frac{wS}{2} \quad (5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{คานด้านสั้น AB, DC รับน้ำหนักแผ่} = \frac{wS (3-l^2)}{3 \quad 2} \quad (6)$$

3.2) การจัดเหล็กเสริมในแผ่นพื้นเสริมเหล็กสองทาง

เหล็กเสริมหลักในแต่ละแถบมีทั้งเหล็กบนและเหล็กล่าง บริเวณกลางช่วงของแผ่นพื้นจะเป็นเหล็กล่าง เพราะรับโมเมนต์บวก ตรงที่รองรับจะเป็นเหล็กบน เพราะรับโมเมนต์ลบ อย่างไรก็ตามเหล็กเสริมที่ขนานกับด้านสั้นจะจัดให้อยู่ด้านล่างกว่าหรืออยู่บนกว่าเหล็กเสริมที่ขนานกับด้านยาวที่กลางช่วงและที่รองรับตามลำดับ เนื่องจากรับโมเมนต์คดมากกว่านั่นเอง ประมาณสองในสามของเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวกที่เป็นเหล็กล่าง อาจพิจารณาตัดสั้นไปเป็นเหล็กบนให้รับโมเมนต์ลบได้ที่ตำแหน่งที่เปลี่ยนโมเมนต์จากบวกไปลบ แล้วปล่อยให้เข้าไปในที่รองรับ หากปริมาณเหล็กเสริมที่ตัดสั้นไปนี้ยังไม่พอที่จะต้านโมเมนต์ลบได้ ก็จะใช้เหล็กเสริมพิเศษเพิ่ม ส่วนเหล็กล่างที่เหลือจะปล่อยให้เข้าไปในที่รองรับ รูปที่ 7 แสดงตำแหน่งที่ควรตัดเหล็ก และระยะที่ควรหยุดเหล็กเสริมในแผ่นพื้นช่วงนอกและช่วงใน



รูปที่ 7 ตำแหน่งตัดเหล็กเสริมทำคอม้าในพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับที่มุมนอกของแผ่นพื้นต้องเสริมเหล็กพิเศษทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อ  
กันรอสแตกร้าวในแนวทแยง โดยเรียงออกไปจากมุมในแต่ละทิศทางเป็นระยะหนึ่งในห้า  
ของด้านยาว เหล็กเสริมด้านบนให้วางขนานกับแนวทแยงของมุม ส่วนเหล็กเสริมด้าน  
ล่างให้วางตั้งฉากกับแนวของเหล็กเสริมด้านบน หากไม่สะดวกต่อการก่อสร้าง ก็อาจ  
เสริมเหล็กสองทางในแนวที่ขนานกับด้านของพื้นแต่ละด้านก็ได้ อย่างไรก็ตามเหล็กเสริม  
ในแต่ละแถบต้องมีขนาดและระยะเรียงเท่ากับปริมาณที่ต้องการ สำหรับโมเมนต์บวกสูงสุด  
ในแต่ละแผ่นพื้นนั้น

#### 4) พื้นยื่น (Cantilever Slab)

พื้นยื่น มักจะพบมากในส่วนที่เป็นกันสาด ลักษณะการโค้งของพื้นจะโค้งดังรูป ดังนั้น  
เหล็กเสริมหลักจะต้องอยู่บน และมีเหล็กเสริมกระจายแรงในอีกทางหนึ่ง โดยมีพื้นที่เหล็ก  
0.25% ของพื้นที่หน้าตัดพื้น โดยจัดห่างกันไม่เกินกว่า 3 เท่าความหนาของพื้น หรือไม่มาก  
กว่า 30 ซม. ความหนาของพื้น เพื่อไม่ให้มีการโค้งมาก ไม่ควรหนาน้อยกว่า  $L/12$  โดย  
 $L$  คือช่วงยื่นของพื้น ข้อควรระวังคือเหล็กเสริมหลักควรใช้เหล็ก 9 มม. ขึ้นไป ถ้าหากใช้  
เหล็กขนาดเล็กกว่านี้ ในขณะที่ผูกเหล็กและเทคอนกรีต เหล็กอาจจะถูกเหยียบแอ่นลงข้าง  
ล่างได้ง่าย

#### 5) พื้นดงถึ (Ribbed Slab)

สำหรับแผ่นพื้นที่มีช่วงกว้างมากขึ้น การที่จะออกแบบเป็นพื้นดิน จะหนามาก ทำให้สิ้น  
เปลือง และจะทำให้โครงสร้างรับน้ำหนักมากด้วย ดังนั้น ระบบแผ่นพื้นอีกระบบหนึ่งซึ่งจะ  
ประหยัดคือ ระบบแผ่นพื้นดงถึ (ดังรูป) โดยที่พื้นดินนั้น คอนกรีตส่วนที่อยู่ใต้แกนกลางของ  
พื้น (neutral axis) ไม่ได้เป็นตัวรับน้ำหนัก ดังนั้นแผ่นพื้นดงถึจะลดคอนกรีตส่วนนี้ได้  
โดยออกแบบเป็นคานซอสธรรมดาหรือเป็นคานรูป T ก็ได้ แต่ต้องคำนึงถึงแรงบิดในคาน  
ซอสซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการโค้งของคานรับไว้ด้วย การโค้งของพื้นแบบนี้จะน้อยกว่าพื้นดิน  
แบบธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6) พื้นกระตง (Waffle Slab)

เป็นระบบพื้นซึ่งเหมาะกับพื้นที่มีช่วงกว้างมากเช่นเดียวกับแผ่นพื้นคดงี้ แต่มีด้านกว้างด้านยาวใกล้เคียงกัน การออกแบบอาจออกแบบเป็นคานแบบเป็น grid system หรือพื้นแบบสองทางก็ได้ โดยที่เหล็กเสริมหลักจะเป็นเหล็กล่างของคดง แต่ควรคำนึงถึงแรงบิดในคดงด้วย ดังนั้น คดงต้องมีเหล็กปลอกรัดให้เพียงพอ

## 7) พื้นสอดไส้ (Hollow Slab)

ลักษณะและการออกแบบเหมือนกับแผ่นพื้นคดงี้ แต่มีพื้นข้างล่างอีกชั้นหนึ่ง โดยมากมักใช้กับพื้นที่จะมีท่อที่มีอากาศร้อนอยู่ หรือท่อวัสดุที่มีอุณหภูมิสูง โดยใช้พื้นบนและล่างเป็นฉนวนกันความร้อน นอกจากนั้นการที่เพิ่มพื้นล่างจะช่วยเพิ่มแรงต้านทานในการบิดของคดง ทำให้หน่วยแรงบิดของคดง ทำให้หน่วยแรงบิดลดลงได้มาก

## 8) พื้นไร้คาน (Flat Slab)

พื้นไร้คาน เป็นระบบพื้นที่พบมากพอสมควร โดยปกติมักจะมี drop panel เพื่อที่จะลด shear stress drop panel นี้ อาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือวงกลมก็ได้

ความกว้างของแป้นหัวเสาไม่ควรน้อยกว่า  $1/3$  เท่าของความยาว span แผ่นพื้นไร้คานนี้มีข้อดีหลายข้อ กล่าวคือ

1. สำหรับแผ่นพื้นรับน้ำหนักมาก แผ่นพื้นไร้คานจะประหยัด
2. ความสูงของตัวอาคาร ในกรณีที่กำหนด clearance ของห้อง พื้นไร้คานจะใช้ช่วงความสูงแต่ละชั้นน้อยลง
3. ไม้แบบทำได้ง่ายและประหยัดเวลา
4. ในกรณีไฟไหม้ พื้นไร้คานจะทนทานกว่า เพราะไม่มีสัน หรือมุมซึ่งถูกไฟแล้วจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ตัว sprinkler จะมีประสิทธิภาพในการฉีดน้ำได้รัศมีไกลขึ้นเนื่องจากไม่มีคานกีดขวาง

6. ให้น้ำแสงสว่างเข้าในท้องมากขึ้น เนื่องจากไม่มีคานบัง

ในบางครั้งแผ่นพื้นไร้คาน อาจไม่ต้องมีแป้นหัวเสาก็ได้ โดสใช้เหล็กรับ shear stress แทน

#### 8.1) มาตรฐาน ว.ส.ท. ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการให้รายละเอียด

1. สำหรับแผ่นพื้นไร้คานที่มีแป้นหัวเสา ซึ่งมีความยาวไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของช่วงที่ขนานกัน และส่วนที่อยู่ใต้แผ่นพื้นจะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่าหนึ่งในสี่ของความหนาพื้น แผ่นพื้นนั้นจะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า  $L/40$  และไม่น้อยกว่า 10 ซม. สำหรับแผ่นพื้นไร้คานที่ไม่มีแป้นหัวเสา ความหนาแน่นพื้นจะต้องไม่น้อยกว่า  $L/36$  และไม่น้อยกว่า 12 ซม.

2. ที่หน้าตัดคาน (ห่างจากของเสาระยะ  $d/2$ ) ระยะห่างของเหล็กเสริมแต่ละเส้นจะต้องไม่เกินสองเท่าของความหนาของแผ่นพื้น

3. ในช่วงนอกสุดของแผ่นพื้น ให้ต่อเหล็กเสริมบวก ซึ่งตั้งได้ฉากกับขอบที่ไม่มีการต่อเนื่องออกไปยังขอบของแผ่นพื้น และต้องมีระยะฝังตัวในคานขอบ พ้นหรือเสาย่างน้อย 15 ซม. ทั้งนี้ยกเว้นเหล็กช่วงส่วนที่ยึดติดกับแป้นหัวเสาอย่างแน่นหนาอยู่แล้ว และให้ยึดเหล็กเสริมลบทั้งหมด ซึ่งตั้งได้ฉากกับขอบที่ไม่มีการต่อเนื่อง เข้าในคานขอบพ้นหรือเสา โดสวิธีงอเหล็กหรือโดสวิธีอื่น ๆ

4. เหล็กเสริมทั้งหมดที่กำหนดไว้ ต้องไม่น้อยกว่า เหล็กเสริมกันการยืดหด (temperature steel)

5. ต้องจัดเหล็กให้เรียงสม่ำเสมอจนตลอดแถบของช่วงพื้นแต่ละแถบ ยกเว้น

ก. อย่างน้อยหนึ่งในสี่ของเหล็กเสริมลบในแถบเสา จะต้องผ่านระยะเส้นรอบรูปซึ่งอยู่ห่างจากขอบของเสาหรือหัวเสาเป็นระยะ  $d$

ข. ในกรณีที่มีแป้นหัวเสา อย่างน้อยหนึ่งในสองของเหล็กเสริมลบในแถบเสา จะต้องผ่านระยะแป้นนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สำหรับเหล็กเสริมที่เหลือนในแถบเสาจากข้อ ก. ข. หรือใช้. เพื่อให้จัดระยะห่างลดการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หลักันจนเท่ากับระยะห่างของเหล็กเสริมในแถบกลาง

### 8.2) ช่องเปิดในแผ่นพื้นไร้คาน

1. ในแผ่นพื้นไร้คานอาจจะเปิดช่องขนาดกว้างเท่าใดก็ได้ในเนื้อที่ร่วมระหว่างแถบกลางสองแถบตัดกัน แต่ทั้งนี้ต้องให้เหล็กเสริมมีปริมาณเท่าเดิม
2. ในเนื้อที่ร่วมระหว่างแถบเสาสองแถวตัดกัน จะเปิดช่องในช่วงใด ๆ ก็ได้ไม่เกินหนึ่งในแปดของความกว้างของแถบในค่านั้น และจะต้องเสริมเหล็กพิเศษโดยรอบของช่องเปิดให้มีปริมาณเท่ากับเหล็กส่วนที่ถูกตัดหายไป และต้องตรวจสอบไปให้หน่วยแรงเฉือนเกินค่าที่ขอมให้ไว้ได้
3. ในเนื้อที่ร่วมระหว่างแถบเสาหนึ่งแถบและแถบกลางหนึ่งแถบ อาจเปิดช่วงได้โดยให้ตัดเหล็กออกได้ไม่เกินหนึ่งในสี่ของเหล็กในแถบนั้น ๆ และจะต้องเสริมพิเศษโดยรอบของช่องเปิดให้มีปริมาณเท่ากับเหล็กส่วนที่ถูกตัดหายไป
4. ถ้าช่องเปิดใดใหญ่กว่าที่ระบุไว้ข้างบน จะต้องทำการวิเคราะห์เป็นพิเศษ

### 9) พื้นกระถงชนิดไร้คาน (Waffle Flat Slab)

ในกรณีที่แผ่นพื้นไร้คานมีช่วง span ขาวมาก การที่จะทำเป็นแผ่นพื้นดินทั้งหมดจะไม่เป็นการประหยัด ดังนั้นจึงใช้ระบบดงแทนพื้นดินเพื่อลดคอนกรีตบางส่วน ในการออกแบบอาจวิเคราะห์โดยใช้ moment ของแผ่นพื้นไร้คานก็ได้

สำหรับบริเวณหัวเสาของแผ่นพื้นกระถงชนิดไร้คานมักจะมีแป้นหัวเสาเพื่อลด shear stress

การเสริมเหล็กแผ่นพื้นทางเด็ชว มีข้อดีคือ

1. เหล็กเสริมหลักเป็นเหล็กช่วงสั้น ๆ สามารถตัดเหล็กเป็นรูป และตามต้องการแล้วจึงนำไปวางตามตำแหน่งช่วงห่าง ณ ที่ก่อสร้าง ทำให้ประหยัดเวลาได้มาก
2. ในกรณีที่สามารจะเลือกสั่งความยาวของเหล็กจากโรงงานมาได้ จะประหยัดเศษเหล็กได้มาก

3. เหล็กเสริมหลักเป็นท่อน ๆ แยกกัน จึงไม่มีการทาบเพื่อต่อเหล็ก

## 2.8 คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คานเป็นองค์อาคารซึ่งโดยปกติจะอยู่ในแนวราบ หรืออาจเอียงทำมุมกับแนวราบเช่น คานหลังคา (roof beam) เป็นต้น ทั้งนี้ตามแต่ลักษณะของการใช้งาน

คานทำหน้าที่รับน้ำหนักซึ่งถ่ายมาจากพื้น (Slabs) หรือผนัง (partitions) หรือ กำแพง (walls) ซึ่งวางอยู่บนคานนั้น แล้วส่งถ่ายน้ำหนักต่อไปยังที่รองรับ เช่น คานหลัก (girders) ก่อ หรือ โดยตรงไปยังเสา (columns) อีกต่อหนึ่ง

น้ำหนักที่กระทำบนคานจะทำให้เกิดแรงดัด (bending) และแรงเฉือน (shear) ในตัวคาน ในกรณีที่น้ำหนักที่กระทำบนคานมีลักษณะไม่สมดุลในแนวที่ตั้งฉากกับแนวแกนของ คานก็จะทำให้เกิดแรงบิด (torsion) เพิ่มขึ้นในตัวคานอีกแรงหนึ่ง เช่น คานรับ พื้นกันสาด หรือคานขอบนอก (spandrels) เป็นต้น

ในคานต่อเนื่อง (continuous beam) เมื่อน้ำหนักบรรทุกทำให้เกิดแรงดัดในตัว คาน ส่วนบนที่บริเวณกลางคานจะเกิดแรงอัด (compression) และส่วนล่างที่บริเวณกลาง คานจะเกิดแรงดึง (tension) ขึ้น และจะเกิดแรงในลักษณะกลับกันที่จุดที่คานวางบนที่ รองรับ

เนื่องจากคอนกรีตมีคุณลักษณะที่สามารถรับแรงอัดได้ดี แต่รับแรงดึงได้ต่ำ และเหล็ก เสริม (reinforcement) มีคุณสมบัติรับแรงดึงได้สูง ดังนั้น จึงได้ใช้เหล็กเสริมมาใส่ใน บริเวณส่วนโครงสร้างที่เกิดแรงดึง แรงเฉือน หรือแรงบิด เพื่อช่วยคอนกรีตในการรับแรง ที่เกิดขึ้น

ผู้ทำรายละเอียด (detailers) ควรศึกษาให้เข้าใจถึงพฤติกรรมเบื้องต้นของ องค์อาคาร เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกในส่วนใดเกิดแรงอัด แรงดึง แรงเฉือน หรือแรงบิด อย่างไร เพื่อที่จะได้สามารถจัดเหล็กให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องได้

องค์อาคารนั้นเมื่อลักษณะรับน้ำหนักบรรทุกเปลี่ยนแปลงไป แรงที่เกิดในองค์อาคาร ส่วนนั้นก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย บางครั้งเปลี่ยนแปลงไปจนถึงลักษณะตรงกันข้ามก็เป็นได้ เช่น จากรับแรงอัดกลายเป็นรับแรงดึง เป็นต้น ดังตัวอย่างรูปแสดงข้างล่าง ซึ่งคานช่วงกลางมีความยาวน้อย แต่คานข้างเคียงทั้งสองข้างมีความยาวมาก ในกรณีเช่นนี้คานช่วงกลางอาจ เกิดแรงในลักษณะกลับกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างอีกกรณีหนึ่งที่สามารถเกิดแรงอัดและแรงดึงกลับกันก็คือ คานที่ถ่ายน้ำหนักจากพื้นห้องใต้ดิน ซึ่งพื้นจะต้องรับแรงดันจากน้ำ (uplift) ในขณะที่เสวก็รับแรงดันจากน้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลงบนพื้นด้วย ถ้าน้ำหนักบรรทุกจากด้านบนมีมากกว่าก็เกิดแรงดึงที่กลางคานส่วนล่าง แต่ถ้าน้ำหนักจากพื้นส่วนบนถูกเคลื่อนย้ายออกไป และแรงดันจากน้ำมีมากกว่าก็เกิดแรงในลักษณะกลับกัน

ดังได้กล่าวมาแล้ว โดสปกติเหล็กเสริมจะใส่ในตำแหน่งแรงดึง แรงเฉือน หรือแรงบิด ในบางกรณีความลึกของคานอาจต้องถูกจำกัดความลึก ซึ่งส่วนใหญ่จะเนื่องจากเหตุผลทางสถาปัตยกรรม ทำให้ขนาดของคานที่ถูกกำหนดความลึกไว้มีแรงอัดที่ส่วนบนของคานเหนือแกนสะเทิน (neutral axis) มากกว่าที่กำลังของคอนกรีตจะสามารถต้านรับไว้ได้ โดยปลอดภัย ในกรณีเช่นนี้ก็จะต้องเสริมเหล็กเข้าไปเพื่อช่วยรับแรงอัดที่มากเกินไปด้วย

### 2.8.1 ขนาดของคาน

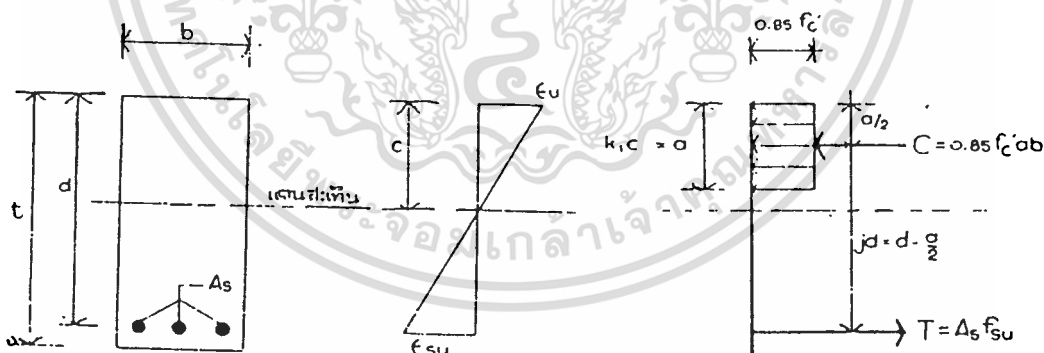
โดยทั่วไปแรงดัดจะเป็นตัวกำหนดความลึกของคาน ซึ่งผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนดขนาดของคานโดยถือตามมาตรฐานใดเป็นหลัก เช่น มาตรฐาน ว.ส.ท. , ACI Code , BS. Code เป็นต้น แต่ผู้ทำรายละเอียดอาจจากกฎทั่วไปไว้บ้างก็อาจมีประโยชน์ไม่น้อย เช่น เพื่อการร่างรายละเอียดเบื้องต้น หรือให้การช่วยเหลือผู้ออกแบบบ้างในบางกรณีหรือช่วยตรวจสอบ เป็นต้น

1. โดสกฎทั่วไป (rule of thumb) คานที่มีช่วงความยาวไม่มากนัก และรับน้ำหนักตามปกติ จะมีความลึกประมาณ 1 ใน 10 ของช่วงความยาวของคาน
2. อัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคาน โดยทั่วไป ในทางปฏิบัติที่ใช้กันอยู่ส่วนมากจะอยู่ในระยะระหว่างอัตราส่วน 1/3 ถึง 2/3
3. องค์ประกอบที่ควรคำนึงถึงอีกประการหนึ่ง สำหรับการเลือกกำหนดความกว้างและความลึกของคานคือควรจะต้องคล้องกับขนาดของไม้แบบที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด ซึ่งผู้ทำรายละเอียดและผู้ออกแบบควรที่จะกำหนดให้ไม้แบบนำมาใช้ได้ทันที โดยที่ไม่ต้องมาดัดแปลงขนาดของไม้แบบอีก ก็จะเป็นการประหยัดทั้งค่าใช้จ่าย ค่าแรงงาน และเวลา
4. นอกจากนี้ ขนาดของคานควรจะต้องสัมพันธ์กับความลึกของคานหลัก ที่รองรับหรือขนาดของเสาที่รองรับ และอิฐ หรือคอนกรีตบล็อกที่จะก่อบนคานด้วย
5. ในบางกรณีคานอาจถูกจำกัดความลึกโดยเหตุผลทางสถาปัตยกรรม หรือเพื่อให้มีช่องว่างจากใต้ท้องคานถึงระดับฝ้า พอเพียงพอการเดินท่อลมของระบบปรับอากาศ เป็นต้น

2.8.2 ความต้านทานต่อแรงดัด

1) หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีเหล็กเสริมรับแรงดัดอย่างเดียว

พิจารณาโครงสร้าง(คาน) ซึ่งมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $b$  และ  $t$  มีเหล็กเสริมรับแรงดัด  $A_s$  เพียงอย่างเดียว วางเรียงโดยมีความลึกประสิทธิภาพ  $d$  เมื่อคานนี้รับน้ำหนักจนถึงน้ำหนักประลัย หน่วยการยึดและหดตัว และหน่วยแรงจะแผ่กระจาย โดยที่  $\epsilon_u$  เป็นหน่วยการหดตัวสูงสุดที่ขอบบนของคอนกรีต ณ จุดประลัย มีค่าประมาณ 0.003  $\epsilon_{su}$  เป็นหน่วยการยึดตัวที่ตำแหน่งของเหล็กเสริม ณ จุดประลัย ขนาดของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตมีค่าเท่ากับ  $0.85 f_c$  และแผ่นสม่ำเสมอรับแรงอัดสมคดย์  $ab$  ตามสมมติฐานของการคำนวณ (รูปที่ 8) แรงอัดในคอนกรีต (C) จะเท่ากับ  $0.85 f_c' ab$  แรงดึงในเหล็กเสริม (T) จะเท่ากับ  $A_s f_{su}$  โดยที่  $f_{su}$  เป็นหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม มีค่าเท่ากับ  $\epsilon_{su} \cdot E_s$



(ก)

(ข) การกระจายของหน่วยการยึดและหดตัวที่จุดประลัย

(ค) การกระจายของหน่วยแรงที่จุดประลัย

รูปที่ 8 การกระจายหน่วยการยึด หดตัว และหน่วยแรงที่จุดประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการของแรงบนหน้าตัด จะได้

$$\text{แรงอัดในคอนกรีต (C)} = \text{แรงดึงในเหล็กเสริม (T)}$$

$$\text{หรือ } 0.85 f_c' ab = A_s f_{su} \quad (7)$$

$$\text{ดังนั้น ระยะ } a = \frac{A_s f_{su}}{0.85 f_c' b} \quad (8)$$

ค่าโมเมนต์ดัดประลัยที่คานจะได้รับจริง  $M_u'$  จะคำนวณได้จากแรงดึงในเหล็กเสริม T คูณด้วยช่วงแกนโมเมนต์ jd หรือจากแรงอัดในคอนกรีต C คูณด้วยช่วงแกนโมเมนต์ jd ก็ได้ ดังนี้คือ

คำนวณจากแรงดึงในเหล็กเสริม:

$$M_u' = T \cdot jd = A_s f_{su} \left( \frac{d-a}{2} \right) \quad (9)$$

$$\text{แทนค่าของ } a \text{ จะได้ } M_u' = A_s f_{su} d \left( 1 - 0.59 p \frac{f_{su}}{f_c'} \right) \quad (10)$$

ในเมื่อ  $p = \frac{A_s}{bd} = \text{อัตราส่วนของเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง ต่อเนื้อที่}$

ประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณจากแรงอัดในคอนกรีต:

$$M_u' = C \cdot jd = 0.85 f_c' ab \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (11)$$

แทนค่าของ a จะได้ 
$$M_u' = 0.85 f_c' abd \left( 1 - 0.59 p \frac{f_{su}}{f_c'} \right) \quad (12)$$

เมื่อคานรับน้ำหนักถึงน้ำหนักประลัย คานจะเริ่มชำรุด การชำรุดของคานจะเกิดได้สองแบบคือ แบบแรงดึงเป็นหลัก (tension failure) และแบบแรงอัดเป็นหลัก (compression failure) แบบแรกจะเกิดเมื่อเหล็กเสริมในคานมีจำนวนพอควร ดังนั้นเหล็กเสริมจะรับแรงถึงจุดคลากก่อนคานชำรุด การชำรุดแบบหลัง (แรงอัดเป็นหลัก) จะเกิดเมื่อเหล็กเสริมมีจำนวนมากหรือมีกำลังจุดคลากสูงมาก ในลักษณะนี้คอนกรีตจะถูกอัดถึงกำลังประลัย โดยมีหน่วยการหดตัวสูงเท่ากับ 0.003 ก่อนที่เหล็กเสริมจะคลาก

กรณีแรงดึงเป็นหลัก เหล็กจะถูกดึงถึงจุดคลากก่อน ดังนั้น  $f_{su} = f_y$  ตำแหน่งแกนสะเทินซึ่งห่างจากขอบบนของคานจะหาได้จากสมการ (8) โดยแทนค่า  $f_{su}$  ด้วย  $f_y$

$$c = \frac{a}{k_1} = \frac{A_s f_y}{0.85 k_1 f_c'} \quad (13)$$

หรือ 
$$c = \frac{p f_y}{0.85 k_1 f_c'} d \text{ ในเมื่อ } p = \frac{A_s}{bd} \quad (14)$$

$$\text{โมเมนต์ดัดประลัย } M_u' = A_s f_y d (1 - 0.59 p f_y / f_c') \quad (15)$$

กรณีแรงอัดเป็นหลัก คอนกรีตจะถูกอัดจนกระทั่ง มีหน่วยการหดตัวสูงสุดเท่ากับ  $\epsilon_u = 0.003$  หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม  $f_{su}$  อาจจะยังไม่ถึงจุดคลาก ซึ่งยังคงเป็นสัดส่วนกับหน่วยการหดตัว  $\epsilon_u$  นั่นคือ  $\epsilon_{su} = \frac{f_{su}}{E_s}$

โดยอาศัยทฤษฎีของสามเหลี่ยมคล้าย ในรูปการกระจายหน่วยการหดและยึดตัว จะได้

$$c = \frac{\epsilon_u d}{\epsilon_{su} + \epsilon_u} = \frac{0.003 d}{\frac{f_{su}}{E_s} + 0.003} \quad (16)$$

การคำนวณหาโมเมนต์ดัดประลัย  $M_u'$  สำหรับกรณีนี้ จะทำได้โดยหาค่า  $f_{su}$  จากสมการ (16) แล้วแทนค่าลงในสมการ (10) หรือสมการ (12) แต่เนื่องจากค่าของสมการทั้งสองนี้มีค่าเท่ากัน ดังนั้นจะคำนวณหาระยะ  $c$  ได้ในเทอมของ  $f_c'$  และ  $E_s$  เมื่อแทนค่าของ  $c$  ที่หาได้นี้ลงในสมการ (10) หรือ (12) จะได้ค่าโมเมนต์ดัดประลัยสำหรับกรณีแรงอัดเป็นหลัก

จากลักษณะการชำรุดของโครงสร้างที่กล่าวแล้ว จะเห็นว่าปริมาณของเหล็กเสริมในคอนกรีตมีส่วนทำให้คานชำรุดแบบไหนก็ได้ ปริมาณของเหล็กเสริมที่พอดีที่จะทำให้คอนกรีตถึงกำลังอัดประลัยพร้อม ๆ กับเหล็กเสริมถึงจุดคลากเรียกว่า ปริมาณเหล็กเสริมที่สภาวะสมดุล อัตราส่วนของเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริม ต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผลของคอนกรีตที่สภาวะนี้เรียกว่า อัตราส่วนที่สภาวะสมดุล  $p_b$  ดังนั้นอัตราส่วน  $p$  มีค่าน้อยกว่าอัตราส่วน  $p_b$  คานจะชำรุดแบบแรงดึงเป็นหลัก แต่ถ้าอัตราส่วน  $p$  มากกว่าอัตราส่วน  $p_b$  คานจะชำรุดแบบแรงอัดเป็นหลัก

๗ สภาวะสมดุล หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีต  $\epsilon_u$  มีค่าเท่ากับ 0.003 และเหล็กเสริมถึงกำลังจุดตก  $f_y$  อัตราส่วน  $p_b$  จะหาได้จากสมการ (14) และ (16) นั่นคือ

$$p_b = 0.85k_1 \frac{0.003}{f_y + 0.003} \frac{f_c'}{E_c} \quad (17)$$

ถ้าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม  $E_s$  มีค่าเท่ากับ  $2.04 \times 10^4$  กก./ซม.<sup>2</sup> ดังนั้น

$$p_b = 0.85k_1 \frac{f_c'}{f_y} \frac{6117}{6617 + f_y} \quad (18)$$

ค่าของ  $k_1$  ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ความลึกของรูปหน่วยแรงอัดสมมูลย์ กับความลึกของแกนสะเทิน มีค่าเท่ากับ 0.85 สำหรับค่ากำลังอัดของคอนกรีต  $f_c'$  เท่ากับหรือน้อยกว่า 280 กก./ซม.<sup>2</sup> และค่าของ  $k_1$  จะลดลงตามลำดับในอัตรา 0.05 สำหรับกำลังอัดในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 70 กก./ซม.<sup>2</sup> เมื่อคอนกรีตมีค่า  $f_c'$  สูงกว่า 280 กก./ซม.<sup>2</sup>

ในการคำนวณและออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ค่าอัตราส่วน  $p$  ให้ใช้ได้ไม่เกิน 0.75 ของอัตราส่วน  $p_b$  ทั้งนี้เพื่อให้การชำรุดของคาน เป็นไปในแบบแรงดึงเป็นหลักอย่างเดี๋ยวนั้น

$$p_{max} = 0.75 p_b \quad (19)$$

นอกจากนี้มาตรฐาน ว.ส.ท. ให้ใช้

$$p_{min} = \frac{14}{f_y} \quad (20)$$

ฉะนั้นเมื่อต้องออกแบบหน้าตัดตามมาตรฐานนี้ ค่าหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม  $f_u$  จะเท่ากับ  $f_y$  ที่จุดประลัย

จากสมการ (8) จะได้

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b} = \frac{p f_y d}{0.85 f_c'} \quad (21)$$

โมเมนต์ดัดประลัย

$$M_u' = A_s f_y (d - a) \quad (22)$$

$$= A_s f_y d \left( 1 - 0.59 p \frac{f_y}{f_c'} \right)$$

$$= p f_y b d^2 \left( 1 - 0.59 p \frac{f_y}{f_c'} \right)$$

$$= b d^2 f_c' q \left( 1 - 0.59 q \right) \quad (23)$$

$$\text{ในเมื่อ } q = p \frac{f_y}{f_c'}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นโมเมนต์ตัดประลัษที่ใช้ออกแบบ

$$M_u' = \phi M_u'$$

$$= \phi A_s f_y (d - a) \quad (24)$$

2

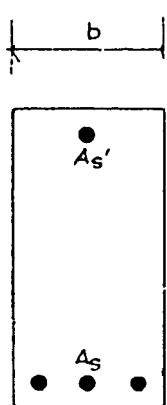
$$\text{หรือ} = \phi \{ b d^2 f_c' q (1 - 0.59q) \} \quad (25)$$

## 2) หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีเหล็กเสริมรับแรงอัด

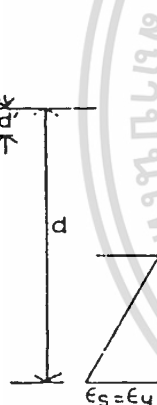
ในบางครั้งหน้าตัดของคานถูกจำกัด ด้วยเหตุผลทางสถาปัตยกรรม ทำให้ความลึกของคานน้อยกว่าความลึกในสภาพสมดุลย์ เนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีตที่จะรับแรงอัดอาจมีไม่เพียงพอ สำหรับค่าโมเมนต์ตัดที่ต้องรับ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเสริมเหล็กในส่วนรับแรงอัด ทำให้หน้าตัดของคานมีเหล็กเสริมรับแรงดึง และเหล็กเสริมรับแรงอัด นอกจากการใช้เหล็กเสริมรับแรงอัดเพื่อผลดังกล่าวแล้ว เหล็กเสริมรับแรงอัดยังช่วยในการลดค่าการโก่งของคาน และช่วยยึดเหล็กดัดตลอดแนวของคานอีกด้วย

ในคานประเภทนี้ ถ้าอัตราส่วนของเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่ประสิทธิภาพของคอนกรีต  $p$  ที่ใช้น้อยกว่าหรือเท่ากับค่า  $P_{max}$  ( $=0.75P_b$ ) การคำนวณหากำลังรับโมเมนต์ตัดของคานโดยประมาณ อาจทำได้โดยไม่คิดรวมถึงว่ามีเหล็กเสริมรับแรงอัดอยู่หรือไม่ และจะสมมติว่าเหล็กเสริมรับแรงดึงจนถึงจุดฉีก แต่อัตราส่วน  $p$  นี้มากกว่าค่า  $0.75 P_b$  การวิเคราะห์จะยุ่งยากขึ้น ทั้งนี้เพราะการชำรุดของโครงสร้างจะเป็นแบบแรงอัดเป็นหลัก

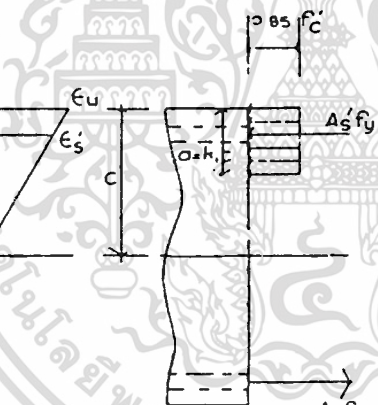
พิจารณาคานมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีเหล็กเสริมรับแรงอัด  $A_s'$  ที่ระยะลึก  $d'$  จากส่วนนอกสุดของส่วนรับแรงอัด และมีเหล็กเสริมรับแรงดึง  $A_s$  อยู่ที่ระยะลึก  $a$  ตามรูปที่ 9 สมมติว่าที่จุดประลัยเหล็กเสริม  $A_s'$  และ  $A_s$  ถูกยึดและดึงจนถึงกำลังจุดคาน ค่าโมเมนต์คัตจะได้จากการรวมโมเมนต์คัต  $M_1'$  และ  $M_2'$  โดยที่  $M_1'$  เป็นโมเมนต์คัต เนื่องจากแรงคู่ควบจากเหล็กเสริมรับแรงอัด กับแรงในส่วนเหล็กเสริมรับแรงดึงที่มีปริมาตรหรือเนื้อที่หน้าตัดเท่ากับเหล็กรับแรงอัด โมเมนต์  $M_2'$  จะได้จากแรงคู่ควบของแรงในเหล็กเสริมรับแรงดึง ที่เหลือจากการหักเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงอัดแล้ว (คือ  $A_s - A_s'$ ) กับแรงในส่วนของคอนกรีต ตามรูป



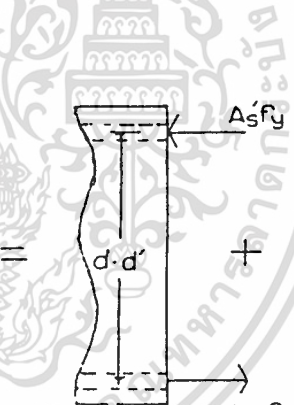
(ก)



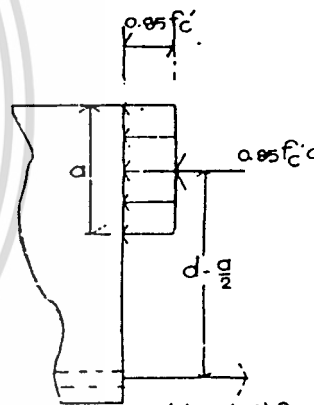
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 9 โมเมนต์แรงคู่ควบในเหล็กเสริมรับแรงดึงและแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๘ สภาวะสมดุล หน่วยการยึดหดตัวของเหล็กเสริมรับแรงดึงเท่ากับ  $\epsilon_u$  คำนวณหาตำแหน่งของแกนสะเทิน และรวมแรงในแนวราบของรูป (ค) จะได้อัตราส่วนของเหล็กเสริมต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิภาพของคานแบบนี้ที่สภาวะสมดุล  $p$  คือ

$$p = p_b + p'$$

ในเมื่อ  $P_b$  เป็นอัตราส่วนของเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง ต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิภาพของคอนกรีต มีค่าเท่ากับ  $0.85k_1 f_c' \frac{6117}{fy \cdot 6117 + fy}$  เพื่อให้การชำระของคานเป็นแบบแรงดึงเป็นหลัก

ดังนั้น  $p_{max} = 0.75(p_b + p')$

แต่มาตรฐาน ว.ศ.ท. ได้กำหนดอัตราส่วน  $p_{max}$  ที่มากที่สุดที่ยอมให้ได้ ดังนี้

$$p_{max} = 0.75p_b + p'$$

หรือ  $(p - p')_{max} = 0.75p_b$  (32)

สำหรับการตรวจสอบดูว่า ที่กำลังประลัยเหล็กเสริมรับแรงอัดจะถูกอัดถึงจุดคลากหรือไม่นั้น อาจทำได้โดยในตอนแรกสมมติให้  $\epsilon_u' = \epsilon_u$  และใช้รูปการกระจายของหน่วยการยึดและหดตัว (ดูรูป (ข)) อาศัยทฤษฎีของสามเหลี่ยมคล้าย จะได้

$$c = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_u - \epsilon_y} d'$$

$$\epsilon_u - \epsilon_y$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป (ค) รวมแรงในแนวราบ จะได้

$$p f_y b d = 0.85 k_1 f_c' b c + p' f_y b d$$

$$(p-p') = \frac{0.85 k_1 f_c' c}{f_y d} = \frac{0.85 k_1 f_c' d'}{f_y d} \frac{\epsilon_u}{\epsilon_u - \epsilon_y} \quad (33)$$

ถ้าให้  $\epsilon_u = 0.003$  และ  $\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$  ในเมื่อ  $E_s = 2.04 \times 10^6$  กก./ซม.<sup>2</sup>

จะให้ค่า  $(p-p')$  ที่น้อยที่สุดที่จะทำให้เหล็กเสริมรับแรงอัดถึงจุดคลาก นั่นคือ

$$(p-p') > \frac{0.85 k_1 f_c' d'}{f_y d} \frac{6117}{6117 - f_y} \quad (34)$$

ดังนั้นถ้าอัตราส่วน  $(p-p')$  น้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ข้างต้น หน่วยแรงในเหล็กเสริมรับแรงอัดจะน้อยกว่าหน่วยแรงที่จุดคลาก ถ้าเป็นเช่นนั้น การคำนวณหาโมเมนต์คัปเปิลจะต้องใช้หน่วยแรงและหน่วยการหดตัวที่เกิดขึ้นจริงในเหล็กเสริมรับแรงอัด

### 2.8.3 แรงเฉือนและแรงดิ่งทแยง

#### 1) แรงเฉือนประลัย

ในการคำนวณหาหน่วยแรงเฉือนประลัย ซึ่งใช้วัดแรงดิ่งทแยงในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ให้คำนวณที่ระยะ  $d$  จากขอบที่รองรับ และค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยคำนวณได้จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{หน่วยแรงเฉือนประลัย} \quad V_u = \frac{V_u}{bd}$$

ในที่นี้  $V_u$  เป็นแรงเฉือนประลัยที่ระยะ  $d$  จากขอบที่รองรับ

$b, d$  เป็นความกว้างและความลึกประสิทธิผลของคานตามลำดับ สำหรับ  
ตัว I หรือ T ให้ใช้ค่า  $b'$  แทน  $b$

## 2) หน่วยแรงเฉือนคานใน คสล. ซึ่งไม่มีเหล็กเสริม

ในคานคอนกรีตที่มีแต่เหล็กเสริมรับแรงดึงเพียงอย่างเดียว แต่ไม่มีเหล็ก  
เสริมรับแรงเฉือน จะต้องออกแบบให้ค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในตัวคานคอนกรีต ณ จุด  
วิกฤติ (ระยะ  $d$  จากขอบที่รองรับ) ไม่เกินกว่าค่าหน่วยแรงเฉือนที่ทำให้คอนกรีตแตก  
ร้าวเนื่องจากแรงดึงในแนวทแยง ค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยที่คอนกรีตสามารถรับได้มีค่า  
เท่ากับ

$$V_c = \frac{V_c}{bd} = \left( 0.504/f_c' + \frac{176pwVd}{M} \right) \leq 0.93/f_c' \quad (36)$$

ในเมื่อ	$pw$	=	อัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อหน้าตัดประสิทธิผล
	$d$	=	ความลึกประสิทธิผลของคาน
	$V$	=	แรงเฉือนหน้าตัดที่พิจารณา
	$M$	=	โมเมนต์หน้าตัดที่พิจารณา (ต้องไม่น้อยกว่าค่า $Vd$ )

ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดหน่วยแรงเฉือน ที่ยอมให้ในคานคอนกรีต  
ที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนเป็น

$$V_c = \phi(0.504/f_c' + 176pwVd) \leq 0.93\phi/f_c' \quad (37)$$

M

โดยที่  $\phi$  เป็นตัวคูณลดค่ากำลังประลัย มีค่าเท่ากับ 0.85 สำหรับแรงดิ่งทแยง

นอกจากการใช้สมการข้างต้น เพื่อหาหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้คานคอนกรีต  
ที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนแล้ว มาตรฐาน ว.ส.ท. ยังกำหนดค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอม  
ให้ของคอนกรีตโดยประมาณไว้อีกด้วย คือ  $V_c = 0.53\phi/f_c'$  ทั้งนี้เพื่อการ  
คำนวณง่ายและสะดวกขึ้น

### 3) แรงเฉือนในพื้นและฐานราก

หน่วยแรงเฉือนประลัยที่หน้าตัดวิกฤติ (คือหน้าตัดที่ตั้งได้ฉากกับระนาบของพื้น  
โดยห่างจากขอบโดยรอบของน้ำหนักที่กระทำเป็นจุด หรือโดยรอบพื้นที่ของที่รองรับออกไป  
เป็นระยะ  $\frac{d}{2}$ ) คำนวณได้โดยใช้สมการ

$$V_u = \frac{V_u}{b_o d} \quad (38)$$

หน่วยแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้นี้ จะต้องมีค่าไม่เกิน  $1.06\phi/f_c'$  ใน  
กรณีที่ไม่มีเหล็กเสริมต้านแรงเฉือน และถ้ามีเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนค่า  $V_c$  นี้จะต้อง  
ไม่เกิน  $1.59\phi/f_c'$  ในกรณีที่พื้นหรือฐานรากบางกว่า 25 ซม. จะใส่เหล็กเสริม  
รับแรงเฉือนไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4) การเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

ณ หน้าตัดใด ๆ ที่มีหน่วยแรงเฉือนประลัย  $V_u$  เกินกว่าหน่วยแรงเฉือนประลัยของคอนกรีต  $V_c$  ของอาคารซึ่งไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน จะต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือนเพื่อให้รับหน่วยแรงเฉือนส่วนที่เกิน

ในการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนนี้ จะต้องเสริมให้เลขจากจุดที่ต้องการทางทฤษฎีออกไปอีกเป็นระยะเท่ากับความลึกประลัยกัณฑ์ผล  $d$  ของส่วนโครงสร้าง จำนวนของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ณ หน้าตัดระหว่างขอบของที่รองรับ และที่หน้าตัดห่างออกมาเป็นระยะ  $d$  ให้ใช้เท่ากับที่ต้องการตรงหน้าตัด  $d$  นั้น

มาตรฐาน ว.ศ.ท. กำหนดเนือกหน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่ต้องการไว้ดังนี้

$$\text{เหล็กเสริมในแนวตั้ง} \quad A_v = \frac{(V_u - V_c)s}{\phi f_y d} \quad (39)$$

$$\text{เหล็กเสริมในแนวเอียง} \quad A_v = \frac{(V_u - V_c)s}{\phi f_y d (\sin \beta + \cos \beta)} \quad (40)$$

ในที่นี้	$V_u$	=	แรงเฉือนประลัยทั้งหมด
	$V_c$	=	แรงเฉือนประลัยของคอนกรีตที่สามารถรับได้
	$A_v$	=	เนือกหน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน
	$f_y$	=	กำลังจุดคลากของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (จะต้องไม่เกิน 4225 กก./ซม. <sup>2</sup> )
	$d$	=	ความลึกประลัยกัณฑ์ผลของส่วนโครงสร้าง
	$\beta$	=	มุมเอียงระหว่างเหล็กเสริมรับแรงเฉือนกับแกนตามยาวของอาคาร

$s$  = ระยะเรียงของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดเหล็กเสริมให้ถูกต้องเหมาะสมตั้งแต่ในการคำนวณออกแบบ หรือในขณะที่เขียนแบบ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง มิฉะนั้นอาจก่อให้เกิดปัญหาในขณะที่ก่อสร้างได้ โดยไม่สามารถวางเหล็กได้ตามแบบ อาจทำให้ต้องทำการเปลี่ยนแปลงแบบและอาจทำให้เสียเวลาไปโดยใช่เหตุ

ข้อกำหนดสำหรับการจัดเหล็กเสริมในคานโดยทั่ว ๆ ไปมีดังนี้

1. สกเว้นบริเวณที่เหล็กเสริมทับกัน ระยะช่องว่างระหว่างผิวของเหล็กเสริมอย่างน้อยควรเป็นระยะกว้างที่สุดของระยะข้างล่างนี้

ก) ห่างเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม ในกรณีที่ใช้เหล็กเสริมขนาดเดียวกันทั้งหมด

ข) ห่างเท่ากับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่โตกว่า ในกรณีที่ใช้เหล็กเสริมขนาดไม่เท่ากัน

ค) ห่างเท่ากับ  $1 \frac{1}{3}$  เท่าของขนาดใหญ่สุดของมวลหยาบ ( maximum aggregate size ) แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2.5 ซม.

ง) ในกรณีที่เสริมเหล็กในคานตั้งแต่สองชั้นขึ้นไป ระยะช่องว่างระหว่างผิวเหล็กแต่ละชั้นต้องไม่น้อยกว่า 2.5 ซม. และเหล็กเสริมที่อยู่ชั้นบนควรจะให้ตรงแนวกับเหล็กเสริมชั้นล่าง

2. ความหนาของเนื้อคอนกรีตหุ้มผิวเหล็ก จะต้องไม่น้อยกว่า

ก) 2 ซม. และต้องไม่น้อยกว่าขนาดของเหล็กเสริมหลัก ในกรณีที่คานไม่ได้สัมผัสกับอากาศภายนอกหรือดิน

ข) 4 ซม. สำหรับเหล็กขนาดโตกว่า 16 มม. ในกรณีที่คานต้องสัมผัสกับแดดหรือฝน หรือดิน แต่การเทคอนกรีตต้องไม่เทโดยตรงกับดิน

3. ในกรณีที่คานเหล็กมีปลอกเสริมรับแรงเฉือน (stirrups) ความหนาของเนื้อคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กตามข้อ 2 จัดเป็นระยะที่ จากผิวของเหล็กปลอกถึงผิวของคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดเหล็กเสริมนั้น หากจัดให้มีช่องว่างได้มากย่อมสะดวกต่อการวางเหล็กเสริมผูกเหล็กเทคอนกรีต และจัดคอนกรีตได้มากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมอาจจัดให้ชิดซึ่งกันบ้างได้ โดยการจัดเหล็กเป็นกลุ่ม และมีที่เหลือเพียงพอสำหรับการเทและจัดคอนกรีตได้ ทั้งนี้ช่องว่างสำหรับการจัดคอนกรีตควรมีระยะไม่น้อยกว่า 7.5 ซม.

สำหรับระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมในคานที่ตั้งในทางปฏิบัติอาจใช้เศษเหล็กประมาณเท่ากับเหล็กเสริมที่ใหญ่ที่สุดของคานนั้นเป็นตัวขึ้นระหว่างเหล็กเสริม ซึ่งเรียกในทางศัพท์ช่างว่า "ลูกค้ำ" (Spacer) โดยวางห่างกันทุก ๆ ระยะประมาณ 1.00 - 1.20 เมตร

#### ข้อควรจำ

1. การจัดเหล็กเสริม ควรจัดให้มีลักษณะให้สมมาตรกับแกนกึ่งกลางในแนวตั้งของตัวคาน
2. ในกรณีของคานที่เสริมเหล็กเพียงชั้นเดียว แต่ประกอบด้วยเหล็กเสริมขนาดต่างกัน ควรจัดเหล็กที่มีขนาดใหญ่กว่าไว้ด้านริม นอก ขนาดเหล็กเสริมที่ต่างกันไม่ควรใช้ต่างกันมากเกินไป
3. สำหรับคานที่เสริมเหล็กหลายชั้น และประกอบด้วยเหล็กเสริมขนาดไม่เท่ากัน ควรจัดเหล็กที่มีขนาดใหญ่กว่าไว้ชั้นล่าง และขอบนอกก่อน หากมีเหล็กเสริมที่มีขนาดใหญ่กว่าเหลืออีก ก็ควรจัดเหล็กขนาดใหญ่กว่าที่เหลือไว้ด้านริมนอกในชั้นต่อไป
4. ในคานที่ประกอบด้วยเหล็กเสริมจำนวนมาก ควรจัดเหล็กเป็นกลุ่ม โดยจัดให้สามารถเทและจัดคอนกรีตได้ทั่วถึงและสะดวกเป็นสำคัญ และควรเขียนรายละเอียดให้ชัดเจนด้วย
5. ในกรณีที่ต้องทาบต่อเหล็กเสริมในคาน สิ่งที่ต้องระมัดระวังหรือควรหลีกเลี่ยงคือ ไม่ควรทาบเหล็กเสริมในบริเวณที่เกิดแรงดึง (tension) สูงสุด เช่น เหล็กบนไม่ควรทาบต่อที่ตำแหน่งใกล้หัวเสา และเหล็กล่างไม่ควรทาบต่อที่บริเวณช่วงกลางคาน เพราะบริเวณดังกล่าวนี้เป็นจุดที่เกิดแรงดึงสูงสุดตามปกติ หากผู้ออกแบบประสังค์หรือนุญาตให้ทาบเหล็กที่บริเวณใดก็ควรกำหนดหรือระบุในแบบให้ชัดเจนด้วย

การป้องกันไม่ให้คานเกิดร้าว อันเนื่องจากสาเหตุของแรงเฉือน diagonal tension สามารถทำได้โดยการเสริมเหล็กรับ ซึ่งมีใช้กันทั่วไป 3 วิธีคือ

1. ใช้เหล็กกลางที่รับแรงคัตของคาน ดัดคอม้าขึ้นรับแรงเฉือน เรียกว่าเหล็กคอม้า (bent up bar)
2. ใช้เหล็กเสริมรับแรงเฉือน หรือเรียกทั่ว ๆ ไปว่าเหล็กปลอก (stirrups) วางตั้งฉาก หรือทำมุม 45 องศา หรือมากกว่ากับแนวเหล็กเสริมรับแรงคัต
3. ใช้วิธีที่ 1. และ 2. ร่วมกัน

#### 2.8.4 มาตรฐาน ว.ส.ท. เกี่ยวกับคาน (เฉพาะส่วนที่ควรรู้เพื่อการให้รายละเอียด)

1. ความลึกประสิทธิผล (effective depth) ของคาน  $d$  คือระยะระหว่างผิวบนของคอนกรีตด้านที่รับแรงอัด (compression) ถึงจุดศูนย์กลาง (center of gravity) ของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงคัต
2. ขนาดรูปตัดของคานจะต้องจัดให้มีสัดส่วนความกว้างและความลึก ให้มากเพียงพอที่จะต้านทานการโก่ง (deflection) ของคาน ไม่ให้มากเกินไปกว่าค่าความโก่งที่ขอมให้ (allowable deflection) เช่น  $L/360$  เป็นต้น

ในกรณีที่ไม่ได้ หรือไม่ต้องการคำนวณตรวจสอบค่าความโก่งแท้จริงที่เกิดขึ้นในคาน ความลึกของคานจะต้องถือเกณฑ์ไม่น้อยกว่าค่าดังต่อไปนี้

- $L/20$  สำหรับคานช่วงเดียว
- $L/23$  สำหรับคานที่มีปลายต่อเนื่องข้างเดียว
- $L/26$  สำหรับคานที่มีปลายต่อเนื่องทั้ง 2 ข้าง
- $L/10$  สำหรับคานอื่น

3. อัตราส่วนของเนื้อที่เหล็กเสริมรับแรงดึง ต่อเนื้อที่ประสิทธิภาพ ของคอนกรีตในคานสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือในคานขององค์อาคารซึ่งมีปีก  $p$  จะต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่า  $14/f_y$  ( $f_y$  เป็นกำลังคลาก, yield strength ของเหล็กเสริม มีหน่วย  $ksc$ ) ยกเว้นในกรณีที่เหล็กเสริมในทุกช่วงของคาน ไม่ว่าจะเป็เหล็กเสริมรับโมเมนต์บวกหรือลบก็ตาม มีปริมาณพื้นที่ของเหล็กเสริมมากกว่า  $1 \frac{1}{8}$  เท่าของพื้นที่เหล็กที่ต้องการจากการคำนวณ

### ข้อควรระวัง

การจัดเหล็กในคาน จุดที่ควรต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ คือ บริเวณตำแหน่งหัวเสา และจุดตัดของคาน จะต้องจัดเหล็กให้เป็นไปตามที่วิศวกรผู้ออกแบบได้คำนวณไว้ กล่าวคือเหล็กเสริมหลัก (main reinforcement) ในคานเอกจะต้องอยู่ในตำแหน่งที่จะทำงานก่อน เช่น บริเวณหัวเสา ซึ่งเป็นโมเมนต์ลบ เหล็กเสริมคานเอกควรจัดอยู่บน และบริเวณกลางคานเหล็กเสริมคานเอกควรจัดอยู่ล่าง ในแบบรายละเอียดส่วนมากจะไม่แสดงรายละเอียดที่จุดตัดไว้ ในกรณีนี้ผู้ทำการก่อสร้างควรทำความเข้าใจแบบและสอบถามให้ชัดเจนเพื่อมิให้เกิดปัญหา การจัดวางเหล็กผิดตำแหน่งดังกล่าวมาแล้ว แบบที่ควรแสดงรายละเอียดส่วนนี้ไว้ด้วย ในระบบการเขียนรายละเอียดคานในทิศทางตั้งฉากกันหรือตัดกัน ผู้ให้รายละเอียดและผู้ออกแบบจะกำหนดระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็ก (covering) บนและล่างไว้ต่างกัน หากกำหนดระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กล่างของคานในทิศทางหนึ่งไว้มากกว่าระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กล่างของคานในอีกทิศทางหนึ่งที่จะตัดกันก็แสดงว่า เหล็กเสริมล่างในคานในทิศทางแรกจะต้องอยู่บนเหล็กล่างของคานอีกทิศทางหนึ่งเป็นต้น

### 2.8.5 ระยะเรียงของเหล็กเสริม

โดยทั่วไปจะเรียงเหล็กดัดให้ห่างกันอย่างน้อย 10 ซม. การเลือกขนาดของเหล็กดัดก็ต้องเลือกให้พอที่จะไม่ทำให้ระยะห่าง ระหว่างเหล็กดัดชิดเกินกว่าที่กำหนด โดยปกติจะวางเรียงเหล็กดัดตลอดแกนความยาวจนถึงแม้ว่าจะต้องการเหล็กดัดเพียงบางส่วนเท่านั้น ระยะเรียงที่จะใช้คำนวณจากค่าแรงเฉือนที่มากที่สุด แต่ถ้าหากต้องการเหล็กเสริมรับแรงเฉือนตลอดแนวความยาว หรือเมื่อค่าแรงเฉือนแปรเปลี่ยนกับความยาว ก็จะคำนวณหาระยะเรียงเป็นช่วง ๆ ไป

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดเกี่ยวกับระยะเรียงของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนไว้ดังนี้คือ

- ระยะเรียงจะห่างกันได้ไม่เกิน  $d/2$  และถ้าหน่วยแรงเฉือนเกินกว่า  $1.59\phi/f_c'$
- ระยะเรียงห่างกันได้ไม่เกิน  $d/2$  ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้พื้นที่หน้าตัดที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนต้องไม่เกินกว่า  $2.65\phi/f_c'$

นอกจากนี้ยังกำหนดด้วยว่า เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนจะต้องไม่น้อยกว่า  $0.0015bs$  ในเมื่อ  $b$  เป็นความกว้างของตัวอาคาร และ  $s$  เป็นระยะเรียงของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ค่าของเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่น้อยที่สุดที่ยอมให้ใช้ เป็นข้อกำหนดถึงระยะห่างมากที่สุดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนได้ กล่าวคือ

$$s_{max} = \frac{A_v}{0.0015b} \quad (41)$$

2.8.6 แรงยึดเหนี่ยวและการยึด

1) แรงยึดเหนี่ยวประลัษ

ในโครงสร้างรับแรงค้ด ซึ่งมีเหล็กเสริมรับแรงค้ดขนานกับผิวที่รับแรงยึด หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัษระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต ที่หน้าตัดใด ๆ จะหาได้จากสูตร

$$u_u = \frac{V_u}{\Sigma Ojd} \quad \text{หรือ} \quad V_u = u_u \Sigma Ojd \quad (42)$$

ในที่นี้

- $V_u$  = ค่าแรงเฉือนประลัษ
- $\Sigma O$  = ผลรวมของเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมทั้งหมด
- $jd$  = ระยะระหว่างศูนย์ถ่วงของแรงยึดกับศูนย์ถ่วงแรงค้ด (ประมาณ 0.875d ถึง 0.900d)

ตามมาตรฐาน ว.ศ.ท. ค่าแรงเฉือนใช้งานเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยว

มีค่าเท่ากับ

$$V_u = \phi u_u \Sigma Ojd \quad (43)$$

หรือหน่วยแรงยึดเหนี่ยวอันเนื่องจากแรงเฉือนประลัษ  $V_u$  ในคานอันเกิดจากแรงค้ด

$$u_u = \frac{V_u}{\phi \Sigma Ojd} \quad (44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าตัดวิกฤติสำหรับแรงยึดเหนี่ยวในคานเนื่องจากแรงค้ำ จะอยู่ตรงหน้าตัดที่มีอัตราการผลิตโมเมนต์ค้ำมากที่สุด และจำนวนเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมทั้งหมดน้อยที่สุด หน้าตัดนั้น ๆ ได้แก่ ตรงขอบที่รองรับ หรือ จุดซึ่งเหล็กรับแรงค้ำสิ้นสุดในช่วงนั้น ๆ และหรือที่จุดค้ำค้ำเหล็กค้ำที่วางห่างไม่เกิน  $d/3$  จากระดับของเหล็กเสริมเหล็กตามแนวยาว จะนับรวมเข้าไว้ในการคำนวณหา  $\Sigma O$  ด้วย หน่วยแรงยึดเหนี่ยวจะเกิดขึ้นทั้งที่ผิวของเหล็กเสริมรับแรงอัด และเหล็กเสริมรับแรงค้ำ แต่โดยปกติส่วนที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของเหล็กเสริมรับแรงอัดมีค่าน้อยมาก ซึ่งไม่จำเป็นต้องมาคำนวณออกแบบ

## 2) แรงยึดเหนี่ยวประลัยที่ยอมให้

ตารางที่ 4 แสดงค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัยที่ยอมให้ นู ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. โดยที่  $f_c'$  เป็นกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก และ  $D$  เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริมสำหรับเหล็กกลมผิวเรียบ หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัยที่ยอมให้จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของค่าที่ให้ไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อย ตามมาตรฐาน ASTM A 305 หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 24-2516 แต่ทั้งนี้ต้องไม่เกินกว่า 11 กก./ซม.<sup>2</sup>

ตารางที่ 4 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลักษ์ที่ขอมให้

ชนิดของเหล็ก	หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลักษ์ที่ขอมให้ ( กก./ซม. <sup>๒</sup> )
เหล็กรับแรงดึงประเภทเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐาน ASTM A305 หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก.24-2516:	
เหล็กบน* .....	$\frac{4.51}{fc}$ <= 39.4
เหล็กอื่นนอกจากเหล็กบน.....	$\frac{6.39}{fc}$ <= 50.2
เหล็กรับแรงดึงประเภทเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐาน ASTM A408 หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก.24-2516:	
เหล็กบน*	1.11/fc'
เหล็กอื่นนอกจากเหล็กบน	1.59/fc'
เหล็กข้ออ้อยรับแรงอัดทั้งหมด	3.44/fc' <= 56.2

\* เหล็กบน ถ้าเกี่ยวกับแรงยึดเหนี่ยว หมายถึงเหล็กเส้นตามแนวราบ ที่มีคอนกรีตหล่ออยู่ใต้เหล็กเส้นนั้นเกินกว่า 30 ซม. ขึ้นไป

มาตรฐาน ว.ส.ท. ยังกำหนดด้วยว่า หน่วยแรงยึดเหนี่ยวอันเกิดจากแรงคดไม่จำเป็นต้องนำมาคิด ถ้าแรงยึดเหนี่ยวในเหล็กรับแรงอัดหรือในเหล็กรับแรงดึง ซึ่งเกิดแรงยึดเหนี่ยวของที่ยึด มีค่าน้อยกว่า 0.8 ของค่าที่ขอมให้ตามตารางที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) ความยาวยึดรั้ง

การยึดเหนี่ยว อาจจะคิดอยู่ในเทอมของความยาวเหล็กที่ฝังอยู่ในคอนกรีต ซึ่งจะทำให้เกิดหน่วยแรงดึง หรือแรงอัดในเหล็กเสริมนั้นตามต้องการ ความยาวนี้หาได้จากสมการ

$$L_d = \frac{A_s f_s}{u \Sigma O} \quad (45)$$

ในกรณีนี้  $A_s$  = เนื้อหน้าตัดของเหล็กเสริม  
 $f_s$  = หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริม  
 $u$  = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัด  
 $\Sigma O$  = เส้นรอบรูปของเหล็กเสริม

ในกรณีซึ่งมีที่จำกัด ไม่สามารถจะให้ความยาวยึดรั้งได้เต็มที่ตามต้องการ อาจจะใช้วิธีซึ่งขอทำขอที่ปลายเหล็กแทนได้

## 2.9 เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

เสาเป็นองค์อาคารที่ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างสู่ฐานรากแบบหนึ่ง โดยปกติ องค์อาคารที่เรียกว่าเสา มีความยาวมากกว่า 4 เท่าของส่วนที่มีความกว้างมากที่สุด

รูปร่างของเสาอาจเป็นรูปอะไรก็ได้ ขึ้นอยู่กับความสวยงามตามความต้องการของสถาปนิก โดยทั่วไปแล้วรูปร่างเสาที่ประหยัดที่สุดคือ เสาที่มีรูปร่างสมมาตร (Symmetry) ง่ายต่อการประกอบแบบก่อสร้างเช่น รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยม และเสารูปร่างพิเศษอื่น ๆ จะแพงกว่าเสาสี่เหลี่ยมเพราะทำไม้แบบยาก ขนาดของเสาอาจถูกกำหนดขึ้น เพื่อให้เกิดความสวยงามและประหยัดมากกว่าจะถูกกำหนดตามความต้องการในการรับน้ำหนักอย่างเดี๋ยวนั้น ในกรณีที่เป็นอาคารหลายชั้น และเสามีจำนวนมาก หากออกแบบให้ขนาดเสาเท่า ๆ กันจำนวนมาก ก็จะทำให้ประหยัดไม้แบบและเวลาในการก่อสร้าง ทั้งนี้เป็นเพราะผู้ทำการก่อสร้างสามารถจะเตรียมไม้แบบสำหรับเสาขนาดหนึ่ง ๆ ได้มาก และใช้ได้หลาย ๆ ครั้ง โดยไม่ต้องทำไม้แบบใหม่ หากเสาลดขนาดทุก ๆ ชั้น ไม้แบบก็จะใช้ได้ชั้นเดี๋ยวนั้น และถ้าเสาในชั้นนั้นมีขนาดเดี๋ยวกันจำนวนน้อย การทำไม้แบบจำนวนมากย่อมไม่ประหยัดค่าก่อสร้าง และการทำไม้แบบจำนวนน้อยใช้หมุนเวียนกันย่อมไม่ประหยัดเวลา

อีกประการหนึ่งการลดขนาดเสานั้นควรคำนึงถึงเหล็กเสริมที่ต้องเสริมเพิ่มด้วย โดยปกติคอนกรีตมีความสามารถรับแรงอัดได้คืออยู่แล้ว และราคาของเหล็กกับคอนกรีตที่มีปริมาตรเท่ากัน ราคาเหล็กจะสูงกว่าคอนกรีตมาก ดังนั้นจึงควรออกแบบให้มีอัตราส่วนของเหล็กต่อคอนกรีตน้อยที่สุด โดยไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดใน Code เช่น 1% การใส่เหล็กให้มีจำนวนน้อย ทำให้จัดเหล็กได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จุดตัดของคานกับเสา จะไม่ทำให้เหล็กแน่นเกินไปจนเทคอนกรีตลำบาก

ในอาคารทั่ว ๆ ไป ความสูงของชั้นของอาคารจะมีค่ามากกว่า 3 เมตร เมื่อหักความลึกของคานในแต่ละชั้นลงไปแล้ว ความสูงของเสาแต่ละชั้นจากพื้นถึงท้องคานจะเกินกว่า 2.00 เมตร ซึ่งโดยปกติการเทคอนกรีตตามมาตรฐานต่าง ๆ มักไม่อนุญาตให้เทคอนกรีตจากความสูงเกินกว่า 2 เมตร การเทคอนกรีตเสาดังกล่าวจึงต้องเปิดหน้าต่างเทตามระยะความสูงที่ให้อนุญาตให้เทคอนกรีตได้ หรือกันไม้แบบให้สูงเพียง 2.00 เมตร แล้วเทคอนกรีตก่อน แล้วจึงกันไม้แบบต่อไปซึ่งวิธีนี้จะทำให้เสียเวลา หากเสามีเหล็กแน่นมากจะทำให้การเทโดยเปิดหน้าต่างทำยาก และอาจมีการแยกตัวของคอนกรีตได้มาก หากขนาดเสาใหญ่พอ และมีเหล็กเสริมน้อยก็สามารถทำไม้แบบได้ทีเดียวถึงระดับความสูงที่ต้องการ และเปิดหน้าต่างเท และหากมีที่พอจะสอดกรวยผ้าใบลงกลางเหล็กเสาดังกล่าวได้ก็จะทำให้เทคอนกรีตได้ดีและสะดวกมาก

### 2.9.1 ประเภทของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

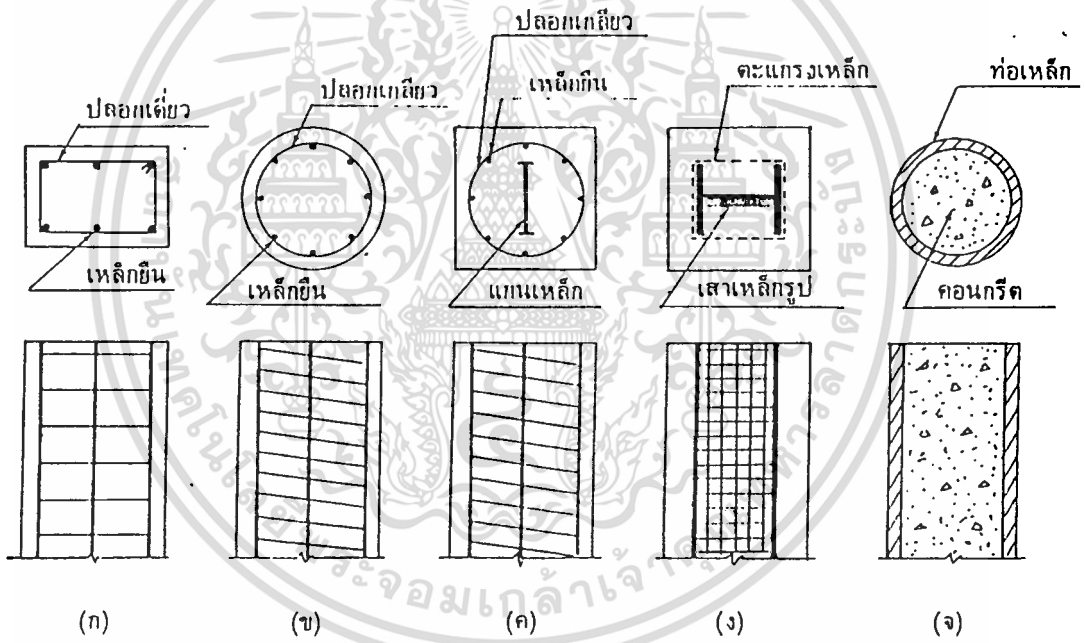
1. เสาปลอกเดี่ยว เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กยื่นโดยมีปลอกรัดเป็นวง ๆ เหล็กปลอกที่รัดอาจจะเป็นวงเดี่ยวหรือหลายวงก็ได้ ลักษณะของเหล็กปลอกควรจะงอฉากให้เกี่ยวยึดเหล็กชั้นที่พอสวมควม เพื่อป้องกันเหล็กชั้นไม่ให้โก่งงอ เสาประเภทนี้นิยมใช้กับอาคารทั่ว ๆ ไป (รูปที่ 10 ก)

2. เสาปลอกเกลียว เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กยื่นโดยมีปลอกเป็นเกลียวรัดต่อเนื่อง เสาแบบนี้จะรับแรงได้ดีกว่าเสาปลอกเดี่ยวประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ นิยมใช้กับเสากลมหรือเสาหลายเหลี่ยม (รูปที่ 10 ข)

3. เสาปลอกเกลียวเสริมแกนเหล็ก (รูป 10 ค) เหมือนเสาปลอกเกลียว แต่แกนกลางจะมีเหล็กเสริมแกน ซึ่งอาจมีหน้าตัด I หรือ H ตามความเหมาะสม พื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กเมื่อเทียบกับหน้าตัดเสาดังกล่าวแล้วจะไม่ใหญ่มาก เสาชนิดนี้นิยมใช้ในกรณีมีแป้นหูช้างหรือต้องการลดขนาดของเสาลงให้เหมาะกับวัตถุประสงค์ทางสถาปัตยกรรม

4. เสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีต (รูป 10 ง) คล้ายกับเสาปลอกเกลียวเสริมแกนเหล็กแต่เหล็กที่เป็นแกนนิยมใช้เหล็กแผ่นหนา ๆ มาตัดเชื่อมหรืออัดหมุดขึ้นรูปเป็นหน้าตัด H ขนาดใหญ่ หุ้มด้วยตะแกรงเหล็กเบอร์ 10 AS&W Gage และมีคอนกรีตกำลังสูงหุ้มไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร เสาชนิดนี้นิยมใช้ในกรณีที่ต้องการเสารูปหน้าตัดเสารูปเหลี่ยมหรือรูปวงรี

5. เส้าเหล็กหุ้มด้วยท่อเหล็ก (รูป 10 จ) เป็นเส้าที่รับน้ำหนักไม่มาก เช่น ค้ำยันชายคา ปลายล่างที่ฝังในคอนกรีตพื้น หรือฐานราก ต้องมีแผ่นเหล็กหนา 3/8 นิ้ว หรือประมาณ 10 มิลลิเมตร เชื่อมติดสำหรับกระจายน้ำหนักพื้นที่แผ่นเหล็กให้คำนวณแผ่นน้ำหนักให้พอเหมาะ



รูปที่ 10 ประเภทของเส้าคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.2 พฤติกรรมของเสาเมื่อรับน้ำหนัก

ในโครงสร้างทั่วไปเสาอาจทำหน้าที่รับแรงอัดอย่างเดียว หรือรับแรงดัดร่วมกับแรงอัดพร้อมกันไปด้วย เมื่อมีแรงอัดกระทำต่อเสา เสาที่ถูกอัดจะมีแนวโน้ม (Tendency) ที่จะระเบิดออกด้านข้างด้วยดังแสดงในรูป และจากการทดลองพบว่าเมื่อถึงจุดวิกฤติ หากเสาไม่ได้เสริมเหล็กปลอกรัดเหล็กอื่นไว้ด้วยแล้ว เสาจะระเบิดออกทันที แต่หากมีเหล็กปลอกจะค่อย ๆ โกงตัว และ fail ในที่สุด ในมาตรฐานทั่ว ๆ ไป จึงกำหนดให้เสริมเหล็กปลอกรัดเหล็กอื่นไว้ด้วย ในกรณีที่น้ำหนักที่กระทำต่อเสาไม่กระทำในแนวศูนย์กลาง ก็จะทำให้เกิดแรงดัดในเสาดด้วย

### 2.9.3 การให้รายละเอียดเสริมเสา

โดยปกติ การเขียนรูปตัดเสาอย่างเดี่ยวโดยระบุจำนวนเหล็กอื่น และเหล็กปลอกก็เพียงพอ แต่ควรเพิ่มรายละเอียดรูปด้านที่จุดที่เหล็กต้องทาบกันเพื่อแสดงวิธีทาบต่อ และวิธีดุ้ง (offset) ที่ระดับชั้นของอาคารไว้ด้วย เพื่อให้ผู้ทำการก่อสร้างจะได้คิดปริมาณเหล็กและทำงานได้ถูกต้อง และในกรณีที่ไม่อนุญาตให้ต่อทาบก็แสดงวิธีการต่อไว้ด้วย

ในการก่อสร้างทั่ว ๆ ไป ผู้ทำการก่อสร้างจะผูกเหล็กเสาสูงขึ้นต่อชั้น แล้วเทคอนกรีตถึงระดับท้องคานที่ลึกที่สุด เมื่อหล่อคานและเทพื้นเสร็จแล้ว จึงจะผูกเหล็กชั้นต่อไปโดยการทาบ การผูกเหล็กสูงครั้งละมากกว่า 1 ชั้นของอาคาร จะทำให้ติดตั้งลำบาก และหากยึดไว้ไม่แน่นพอ อาจมีผลเสียหายต่อคอนกรีตได้ หากไม่แสดงวิธีการต่อ หรือจุดที่ยอมให้ต่อได้ไว้ในแบบด้วย อาจมีปัญหาในการก่อสร้างและก่อให้เกิดความเสียหายได้ ตัวอย่างเช่น ในบางกรณีที่เสารับแรงดัด การต่อเหล็กที่จุดเดียวกันตลอดย่อมไม่เป็นการดี จึงควรเขียนรายละเอียดของการต่อไว้ให้ชัดเจน การต่อเหล็กโดยวิธีพิเศษ เช่น ใช้ Bar Couplers หรือ Mechanical Device อื่น ๆ อนุญาตให้ทำได้ หรือไม่ ควรระบุไว้ในรายการก่อสร้างด้วย และในกรณีที่ จะใช้การต่อโดยวิธีเชื่อมก็ควรระบุวิธีการและรายละเอียดไว้ด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.9.4 ข้อกำหนดของมาตรฐาน ว.ส.ท. ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการให้รายละเอียดเสา

1. พื้นที่หน้าตัดของเหล็กยื่นสำหรับเสาจะต้องไม่น้อยกว่า 1% และไม่เกิน 8% ของพื้นที่หน้าตัดของเสา (Ag) ขนาดของเหล็กยื่นต้องไม่เล็กกว่า 12 มม. จำนวนของเหล็กยื่นจะต้องไม่น้อยกว่า 6 เส้นในเสากลม และไม่น้อยกว่า 4 เส้นสำหรับเสาเหลี่ยม
2. ช่องว่างระหว่างเหล็กยื่นของเสา ต้องไม่น้อยกว่า  $1 \frac{1}{2}$  เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็ก หรือ  $1 \frac{1}{2}$  เท่าของมวลหยาบใหญ่สุด หรือ 4 ซม.
3. ในเสาปลอกเดือย เหล็กยื่นทุกเส้นจะต้องมีเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ไม่เล็กกว่า 6 มม. พันโดยรอบ โดยมีระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่น้อยกว่า
  - ก. 16 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กยื่น
  - หรือ ข. 48 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอก
  - หรือ ค. ความกว้างที่เล็กที่สุดของเสานั้น
 และต้องจัดให้มุมของเหล็กปลอกยึดเหล็กยื่นตามมุมทุกมุม
4. เหล็กปลอกเกลียว จะต้องไม่เล็กกว่า 6 มม. พันต่อเนื่องสม่ำเสมอ ระยะเรียงศูนย์กลางศูนย์กลางของเหล็กปลอกเกลียว จะต้องไม่เกิน
  - ก.  $\frac{1}{6}$  ของเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนคอนกรีต
  - หรือ ข. ไม่ห่างกว่า 7 ซม.
  - หรือ ค. ไม่แคบกว่า 3 ซม.
  - หรือ ง. ไม่แคบกว่า  $1 \frac{1}{2}$  เท่า ของขนาดของมวลรวมหยาบที่ใช้
5. การใส่เหล็กปลอกเกลียว ต้องพันตลอดตั้งแต่ระดับพื้น หรือจากส่วนบนสุดของฐานราก ขึ้นไปถึงระดับเหล็กเสริมเส้นล่างสุดของชั้นเหนือกว่าเช่นในแผ่นพื้นในป็นทิวเสา หรือในคาน ในเสาที่มีทิวเสา จะต้องพันเหล็กปลอกเกลียวขึ้นไปจนถึงระดับที่ทิวเสาขยาส

เอกสารนี้เป็น เส้นผ่าศูนย์กลาง หรือความกว้างใต้เป็นสองเท่าของขนาดเสาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกฎคำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สำหรับเหล็กปลอกเกลียว หรือเหล็กปลอกเดือวในเสา จะต้องมีความหนาของคอนกรีตห่อหุ้มซึ่งหล่อเป็นเนื้อเดียวกันไม่น้อยกว่า 3 ซม. หรือ  $1 \frac{1}{2}$  เท่าของขนาดมวลใหญ่สุด

7. เมื่อต่อเหล็กโดยวิธีทาบ ความยาวที่ทาบอย่างน้อยที่สุดจะต้องมีค่าดังต่อไปนี้

สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัด 200 ksc. และสูงกว่านี้ ระยะทาบของเหล็กข้ออ้อยต้องไม่น้อยกว่า 20, 24 และ 30 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กที่มีกำลังคลากเท่ากับ 3,500 ลงไป 4,200 และ 5,200 ksc. ตามลำดับ และต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม. ถ้ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำกว่า 200 ksc. จะต้องเพิ่มระยะทาบอีกหนึ่งในสามของค่าข้างบนนี้

สำหรับเหล็กเส้นผิวเรียบ ระยะทาบอย่างน้อยจะต้องเป็น สองเท่าของค่าที่กำหนดไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อย

8. อาจใช้การต่อโดยวิธีเชื่อม หรือการต่อยึดปลายแบบอื่น ๆ แทนการต่อโดยวิธีทาบกันได้ และถ้าหากขนาดเหล็กเส้นโตกว่า 25 มม. แล้ว ควรจะต่อด้วยวิธีเชื่อม หรือการต่อยึดปลายแบบอื่น ๆ มากกว่า สำหรับเหล็กเสริมที่รับแรงอัดแต่อย่างเดือว อาจถ้าแรงได้ด้วยการยื่นของหน้าตัดของปลายทั้งสองในลักษณะร่วมศูนย์ และยึดด้วยปลอกยึดแบบอื่น ๆ ก็ได้

การต่อโดยวิธีเชื่อมที่ถูกต้อง จะต้องให้รอยเชื่อมสามารถรับแรงดึงได้อย่างน้อยร้อยละ 125 ของกำลังคลากของเหล็ก และไม่ควรต่อเหล็กที่ตำแหน่งเดือวกันเกินกว่า 25 เปอร์เซ็นต์

9. เมื่อเหล็กเสริมติดเชื่อมกันที่รอยต่อ ความลาดเอียงของเหล็กส่วนที่ติดเชื่อม เมื่อเทียบกับแกนต้องไม่เกิน 1 ต่อ 6

10. ในเสาปลอกเดือว ปริมาณของเหล็กที่ต่อทาบกันจะต้องมีอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของเหล็ก

ต่อคอนกรีตไม่เกิน 0.04 ในความยาว 1 เมตร ของเสา ไม่ว่าจะเป็นช่วงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.5 กำลังรับน้ำหนักตามแกน

จากการทดลองของเสาปลูกเกลีศวและปลูกเดี่ยว ที่มีขนาดหน้าตัดและ ปริมาณเหล็กเสริมเท่ากันโดยให้รับน้ำหนักตามแนวแกน พบว่าเสาปลูกเกลีศวและเสา ปลูกเดี่ยวรับน้ำหนักประลัยได้เท่ากัน แต่เสาปลูกเกลีศวทนแรงอัดได้ดีกว่า

ที่จุดประลัย คอนกรีตในเสาจะรับน้ำหนักได้เพียง 85% ของน้ำหนักที่ใช้ใน การหาค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอก ความสามารถในการรับน้ำหนักตาม แกนของเสาได้จาก การรวมกำลังรับน้ำหนักที่เป็นส่วนของคอนกรีต และเหล็กเสริม ดังนี้คือ

$$\text{น้ำหนักประลัย } Pu' = 0.85fc'Ac + fyAst \quad (46)$$

ในเมื่อ

$$fc' = \text{กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอก}$$

$$Ac = \text{เนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีตทั้งหมด}$$

$$fy = \text{กำลังจุดคานงของเหล็กเสริม}$$

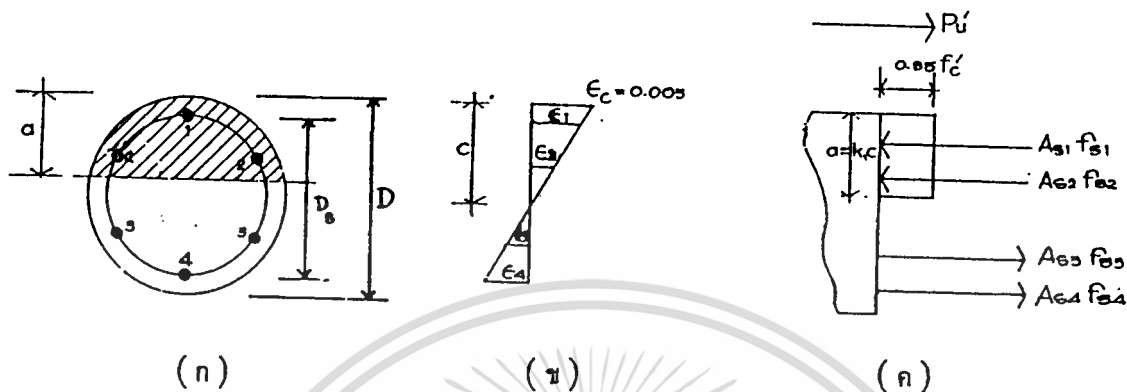
$$Ast = \text{เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมทั้งหมด}$$

ตามมาตรฐาน ว.ศ.ท. ใช้ตัวคูณลดค่า  $\phi$  สำหรับเสาปลูกเดี่ยวเท่ากับ 0.7 และสำหรับเสาปลูกเกลีศวเท่ากับ 0.75

### 2.9.6 หน้าตัดกลมเรียงเหล็กเป็นรูปกลม

พิจารณาเสากลมปลูกเกลีศวตามรูป เมื่อเสารับน้ำหนักประลัย การกระจาย หน่วยการยึดหดตัวและหน่วยแรงจะเป็นไปตามรูป (ข) และ (ค) ซึ่งคล้ายกับที่ได้กล่าว มาแล้วในเรื่องเสารูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ค่าของแรงอัดและแรงดึงในเหล็กเสริมจะหาได้ จากรูปการกระจายของหน่วยการยึดและหดตัว การกระจายของหน่วยแรงในคอนกรีตยัง เป็นไปตามเดิม โดยใช้รูปหน่วยแรงสมมูลเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีหน่วยแรงเฉลี่ย  $0.85f_c'$  ซึ่งกระทำบนพื้นที่ส่วนของวงกลม การคำนวณหาค่าแรงอัดและแรงดึงประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 หน่วยแรงยึดหดตัวของเสากลม  
 มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้ให้ค่าที่ใช้ในการออกแบบ โดยประมาณของเสา  
 ประเภทนี้ไว้ดังนี้ คือ

เมื่อแรงดึงเป็นหลัก

$$P_u = \phi \left\{ \frac{0.85 f_c' D^2 L}{(0.8e - 0.38)^2} + \frac{p_t m D_s}{2.5D} - \frac{(0.85e - 0.38)}{D} \right\}$$

(47)

เมื่อแรงอัดเป็นหลัก

$$P_u = \phi \left\{ \frac{A_s f_y}{3e + 1} + \frac{A_g f_c'}{0.96De} + 1.18 \right\}$$

(48)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน D<sub>s</sub> สำหรับการใช้ (0.8D+0.67D<sub>s</sub>)<sup>2</sup> เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในที่นี้  $D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าตัดเสา  
 $D_s$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม  
ตามยาวในเสาปลอกเกล็ชว  
 $A_g$  = เนื้อที่หน้าตัดของเสาทั้งหมด  
 $A_c$  = เนื้อที่หน้าตัดของเสาของคอนกรีต ในส่วนที่เหล็กปลอก  
เกล็ชวหุ้มอยู่  
 $p_t = \frac{A_s}{A_g}$

นอกจากนี้มาตรฐาน ว.ส.ท. ยังกำหนดปริมาณของเหล็กปลอกเกล็ชว  $p_s$   
กล่าวคือ

$$p_s \geq 0.45 \frac{(A_g - 1) f_c}{A_c f_y} \quad (49)$$

- $P_s$  = อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของเหล็กปลอกเกล็ชว 1 รอบ กับ  
ปริมาตรของคอนกรีต ในส่วนที่เหล็กปลอกเกล็ชวหุ้มอยู่  
 $f_y$  = กำลังคลากของเหล็กปลอกเกล็ชว แต่ต้องไม่เกิน 4200

กก./ซม.<sup>2</sup>

$$p_s = \frac{A_s p_t (d_c - d_b)}{s_p d_c^2 / 4} \quad (50)$$

$$= \frac{4 A_s p_t (d_c - d_b)}{s_p d_c^2} \quad (51)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเรียงเหล็กปลอก คิดจากค่าที่น้อยที่สุดของค่าต่อไปนี้

1. 16 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กชั้น
2. 48 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอก
3. ความกว้างที่น้อยที่สุดของเสา

ระยะ pitch (ระยะห่างของเหล็กปลอกเกลียว)

$$S_p = \frac{4A_{sp}(d_c - d_b)}{P_u d_c^2} \quad (52)$$

$S_p$  = ระยะห่างของเหล็กปลอกเกลียว

$A_{sp}$  = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กปลอกเกลียว

$d_c$  = เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน core ของเสา

$d_b$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอก

## 2.10 บันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

บันได คือองค์ประกอบอย่างหนึ่งของโครงสร้างที่ทำหน้าที่คล้าย ๆ กับพื้น ต่างกับพื้นก็คือพื้นบันไดจะเอียงลาด ดังนั้นถ้าจะวิเคราะห์อย่างละเอียดในการออกแบบแล้ว จะต้องคำนึงถึงแรงกดตามแนวลาดเอียงของบันไดอีกด้วย ซึ่งทำให้การออกแบบยุ่งยากเนื่องจากต้องรวมแรงดัดและแรงกดเข้าด้วยกัน บันไดบางประเภทเช่นบันไดโค้งจะวิเคราะห์ยุ่งยากมากยิ่งขึ้นอีก เนื่องจากมีแรงบิดเข้ามาเกี่ยวข้องกับด้าย ดังนั้นการวิเคราะห์อย่างง่ายซึ่งจะกล่าวโดยย่อ ๆ ในบันไดแต่ละรูปแบบ จึงเหมาะสมกับการนำไปใช้งานเนื่องจากให้ค่าโดยประมาณ และอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย

บันไดจำเป็นจะต้องมีส่วนที่พอเหมาะ เพื่อสามารถใช้ประโยชน์ได้พอเพียงและปลอดภัย ดังเช่นอาคารสาธารณะ โรงงานอุตสาหกรรมหรืออาคารพาณิชย์ บันไดจะต้องกว้างมากกว่า 1.50 เมตร สูงไม่เกินช่วงละ 4 เมตร สำหรับความลาดที่นิยมใช้มีส่วนกว้างของขั้น 25-30 ซม. และส่วนนอของขั้น 15-18 ซม. เป็นต้น บันไดสาธารณะนิยมใช้คอนกรีตเสริมเหล็ก แล้วปูทับด้วยวัสดุที่ไม่ลื่นเช่นกระเบื้องยาง พื้นบันไดอาจออกแบบเป็นพื้นดิน หรือเป็นพื้นหยักไปตามขั้นบันไดก็ได้ ซึ่งออกเป็นแบบต่าง ๆ ตามลักษณะของโครงสร้างดังจะกล่าวต่อไป

### 2.10.1 รูปแบบของบันได

ถ้าแบ่งตามลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างตัวบันไดแล้ว พอจะแบ่งออกได้เป็น

#### 2 ลักษณะ คือ

1. บันไดที่เกิดเฉพาะโมเมนต์ดัด (Bending Moment) และแรงเฉือน (Shear)
2. บันไดที่มีแรงบิด (Torsion) เกิดเพิ่มเติมขึ้นมาอีกอย่างหนึ่ง

สำหรับบันไดลักษณะที่หนึ่ง อาจจะเป็น

ก. บันไดที่มีคานรับที่ปลายช่วงบันไดระดับต่ำและระดับสูง

ข. บันไดที่มีคานรับที่ด้านข้างทั้งสองด้านของขั้นบันได ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

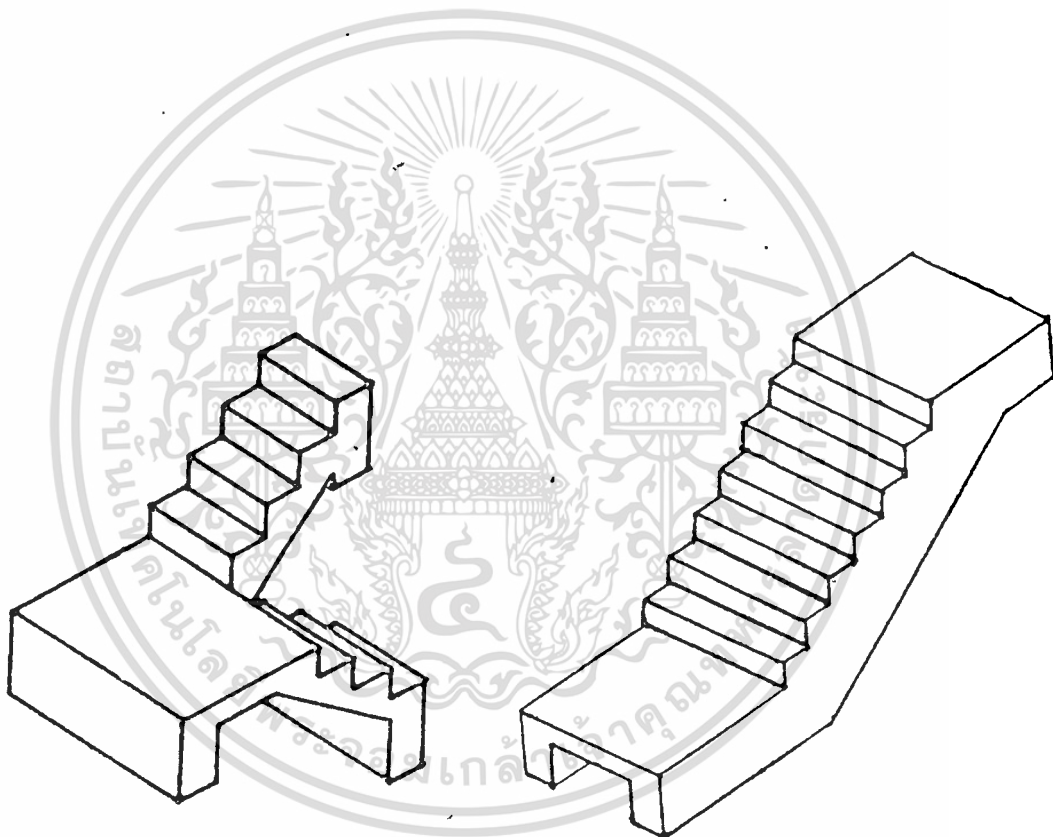
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. บันไดที่คานหรือผนังรับอยู่ที่ข้างบันไดข้างใดข้างหนึ่ง หรือที่กลางบันได ซึ่งเป็นลักษณะของคานชั้น

ส่วนบันไดลักษณะที่สอง อาจจะเป็น

ง. บันไดแบบซันพับลอส (Jack Knife Stair or Dog-Legged Stairs)

จ. บันไดโค้ง



(ก) บันไดแบบพาดช่วงฮาว

(ข) บันไดแบบมีแม่บันไดสองข้าง

รูปที่ 12 บันไดที่พบเห็นกันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1) บันไดแบบพาดทางช่วงยาว

บันไดแบบนี้ออกแบบเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดิน พาดทางช่วงยาวระหว่างคานพื้นและคานที่ชันพักซึ่งทำหน้าที่เป็นฐานรอง บันไดแบบนี้อาจออกแบบเป็นพื้นต้นหรือพื้นหยักตามขั้นบันไดซึ่งเรียกว่าบันไดพับผ้า ช่วงยาวของบันไดที่ใช้คิโคมเมนต์คัดในระชะในแนวราบระหว่างคานพื้นกับคานชันพัก การเสริมเหล็กก็เช่นเดียวกับในแผ่นพื้น คสล. เสริมเหล็กทางเดิน โดยเหล็กเสริมหลักจะอยู่ด้านล่างและยื่นเข้าไปในคานรองรับ ถ้าออกแบบให้ปลายยึดติดแน่นกับคาน จะต้องล้วงเหล็กเข้าไปในคานรองรับให้มีระยะฝังพอเพียงกับแรงยึดเหนี่ยว เหล็กเสริมหลักในบันไดพับผ้าจะต้องพับม้วนที่ขอบบนของลูกตั้ง เพื่อให้มีเนื้อคอนกรีตเพียงพอที่จะรับแรงที่ถ่ายมาจากเหล็กเสริม หากหักเหล็กตามขั้นบันไดคอนกรีตจะแตกร้าวที่ตำแหน่งดังกล่าวได้

### 2) บันไดแบบพื้นต้นพาดทางช่วงกว้างระหว่างคานแม่บันได

บันไดแบบนี้มีแม่บันไดชนาบสองข้างแต่ละช่วง และออกแบบเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดินที่มีแม่บันไดเป็นฐานรองช่วงสั้น ๆ เท่ากับความกว้างบันไดพื้นบันไดแบบนี้มีความหนาน้อยกว่าแบบอื่น การเสริมเหล็กก็เช่นเดียวกับในแผ่นพื้น คสล. เสริมเหล็กทางเดินเหล็กเสริมหลักจะอยู่ล่างสุด และมีเหล็กเสริมด้านการยึดหวางตั้งฉากกับเหล็กเสริมหลัก นอกจากนี้ยังมีเหล็กยึดขั้นบันไดเพื่อกันร้าวที่ผิวบนอีกด้วย

## 2.11 ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

ฐานรากเป็นองค์อาคารที่จะทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากเสา หรือกำแพงลงสู่ที่รองรับซึ่งอาจเป็นดินในกรณีที่ดินมีความสามารถในการรับแรงกดได้ดี หรืออาจเป็นเข็มในกรณีที่ความสามารถในการรับแรงกดของดินไม่ดีพอ

ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กนิยมใช้กันมากเพราะทำการก่อสร้างสะดวก ให้กำลังต้านทานสูง การถ่ายน้ำหนักอาคารจากฐานรากลงสู่พื้นดิน ทำได้สองประการคือในเนื้อที่ใกล้ภูเขาหรือที่เป็นดินลูกรัง หรือทรายแน่น ซึ่งดินมีคุณภาพดีทนต่อแรงกดได้สูง ก็ใช้ฐานรากวางบนดิน เรียกกันว่า ฐานแผ่ แต่ในท้องที่ซึ่งเป็นดินเหนียว และเป็นที่ลุ่มคุณภาพของดินไม่ดีพอที่จะใช้ฐานแผ่ เพราะต้องใช้ฐานรากขนาดใหญ่ขึ้นเป็นการสิ้นเปลือง จึงควรใช้ฐานรากชนิดวางบนเสาเข็ม โดยให้น้ำหนักจากฐานรากถ่ายแบ่งให้เสาเข็มทุก ๆ ต้นเท่ากัน และเสาเข็มถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินในระดับที่ลึกต่ำลงไปโดยอาศัยความถี่ระหว่างผิวเสาเข็มกับดินที่อยู่โดยรอบเป็นส่วนใหญ่ การใช้เสาเข็มยาวในบางท้องที่ ปลายเสาเข็มอาจอยู่ในระดับดินแน่นมาก ๆ แรงกดที่ปลายเสาเข็มก็อาจช่วยในการรับน้ำหนักบ้าง

เสาเข็มที่ใช้ทำฐานรากอาจแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ เสาเข็มสั้น และเสาเข็มยาว เสาเข็มสั้นเหมาะสำหรับฐานรากที่มีน้ำหนักบรรทุกน้อย ๆ ไม่เกิน 25 ตัน เมื่อฐานรากมีน้ำหนักบรรทุกมากเกินกว่านี้ก็สมควรใช้เสาเข็มยาว การจำแนกเสาเข็มสั้นและเสาเข็มยาวนั้นขึ้นอยู่กับ ชนิดของชั้นดินในระดับต่าง ๆ เช่นในท้องที่ส่วนใหญ่ในกรุงเทพฯ มีลักษณะของชั้นดินดังนี้ คือจากผิวดินจนถึงระดับลึกลงไป 2 เมตร เป็นดินผิวซึ่งมีคุณภาพไม่เหมือนกับทุกแห่ง ชั้นถัดลงไปจนถึงประมาณ 14 เมตรจากผิวดินเป็นดินเหนียวชนิดอ่อน เสาเข็มที่ตอกลงไปเป็นดินเหนียวซึ่งปานกลางและที่ระดับประมาณตั้งแต่ 20 เมตรจากผิวดินหรือต่ำลงไปอีกก็เป็นดินปนทราย เสาเข็มที่ตอกลงไปลึกถึงระดับนี้เรียกว่าเสาเข็มยาว รับน้ำหนักได้สูงเช่นเสาเข็มที่มีเส้นรอบรูปมากกว่า 110 ซม. ยาว 21 เมตร รับน้ำหนักได้มากกว่า 35 ตัน เป็นต้น เสาเข็มยาวที่ผลิตขายกันเป็นชนิดคอนกรีตอัดแรง นอกจากที่หล่อเองก็เป็นเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนเสาเข็มสั้นในอดีตใช้เสาเข็มไม้กันมากแต่ในปัจจุบันหาได้ขนาดเท่าที่ต้องการได้ยาก มักจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก แต่ยาว เท่าที่ต้องการและ

เอกสารนี้ต้องออกให้ทั่วเสาเข็มจนน้ำตลอดเวลา มิฉะนั้นเสาเข็มจะผุ จึงปรากฏว่าปัจจุบันนี้เริ่มนิยมไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

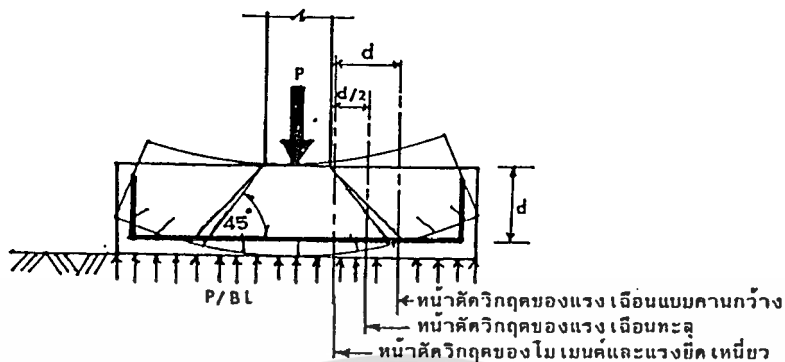
ใช้เสาเข็มสั้นที่เป็นคอนกรีตกันมากขึ้น ข้อสำคัญคือต้องใช้เสาเข็มยาว และเสาเข็มสั้นร่วมในอาคารเดียวกัน เพราะการทรุดตัวของฐานรากที่ใช้เสาเข็มต่างชนิดจะไม่เท่ากัน ทำให้อาคารชำรุด แตกร้าวได้

### 2.11.1 การพิจารณาในการออกแบบฐานราก

น้ำหนักรรทุกที่กระทำต่อฐานรากเพื่อส่งถ่ายไปยังชั้นดินที่รองรับ ประกอบด้วย น้ำหนักรรทุกคงที่ และ น้ำหนักจรของส่วนอาคารที่อยู่เหนือฐานราก และน้ำหนักของฐานรากเอง ซึ่งประมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักที่ฐานรากต้องรองรับ น้ำหนักจรที่ใช้ออกแบบไม่จำเป็นต้องเป็นผลรวมจากทุก ๆ ชั้นเสมอไป เพราะโครงการอาคารสูงบางประเภท เช่น อาคารสำนักงาน คงไม่มีโอกาสบรรทุกน้ำหนักพร้อมกันที่เดียวทุกชั้น ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาลดน้ำหนักจรลงได้บ้าง ทั้งนี้ต้องเป็นไปตามข้อบังคับที่กำหนด

หลักเกณฑ์ในการออกแบบและก่อสร้างฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กคือ ฐานรากทุก ๆ ฐานควรถูกออกแบบและก่อสร้างให้มีความแข็งแรง และ Rigid พอที่จะถ่ายน้ำหนักรรทุกจากฐานลงบนที่รองรับได้สม่ำเสมอและเท่า ๆ กัน การทรุดตัว (Settlement) ของทุก ๆ ฐานควรถูกทำให้ได้น้อยมากและเท่า ๆ กัน ทั้งนี้เพื่อมิให้ Secondary moment เนื่องจากการทรุดตัวไม่เท่ากันเกิดขึ้น

โดยปกติ ผู้ออกแบบจะคำนวณให้ทุก ๆ ฐานถ่ายน้ำหนักรรทุกลงบนที่รองรับเท่า ๆ กัน เมื่อก่อสร้างครบตามที่ได้ออกแบบไว้ แต่ในขณะก่อสร้างการเพิ่มน้ำหนักรรทุกให้กับที่รองรับอาจไม่เท่ากันได้เนื่องจากวิธีการก่อสร้าง ผู้ทำการก่อสร้างอาจก่อสร้างส่วนใดส่วนหนึ่งได้เร็วเป็นพิเศษ ทำให้น้ำหนักถ่ายลงที่รองรับส่วนนั้นก่อนชั่วคราว ในกรณีนี้ ถ้าน้ำหนักที่ถ่ายลงนั้นต่างกับฐานข้างเคียงมาก ๆ ก็อาจทำให้เกิดการทรุดตัวไม่เท่ากันชั่วคราวได้เหมือนกัน ผู้ออกแบบจึงควรคำนึงถึงวิธีการก่อสร้างไว้ด้วยหรืออาจกำหนดขั้นตอนการก่อสร้างไว้ในรายการก่อสร้างด้วยก็ได้



รูปที่ 13 การโก่งงอของฐานรากเนื่องจากหน่วยแรงดันดินขึ้น

จากรูปที่ 13 สมมติให้ฐานรากเค็ชวชนิดฐานแผ่ต้องรับน้ำหนักบรรทุก  $P$  และให้ฐานรากมีขนาดกว้าง  $B$  ยาว  $L$  น้ำหนัก  $P$  ที่กระทำจะถ่ายจากฐานรากสู่ชั้นดินใต้ฐานรากโดยสมมติให้น้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ ดังนั้นดินใต้ฐานรากจะมีหน่วยแรงดันขึ้นเท่ากับ  $P/BL$  หากออกแบบฐานรากไม่แข็งแรงพอ ฐานรากจะโก่งงอแสดงอันเนื่องมาจากแรงดันขึ้นนี้ ซึ่งด้านล่างของฐานรากในส่วนที่สัมผัสกับดินจะรับแรงดึงที่เกิดจากโมเมนต์คดที่กระทำ คอนกรีตจะแตกร้าวตรงด้านนี้ เพราะรับแรงดึงได้น้อยมาก จึงควรพิจารณาเสริมเหล็กตรงส่วนที่ใกล้ผิวดินตรงส่วนที่ใกล้ผิวดินตรงระนาบที่ตัดผ่านฐานราก และใกล้กับเสาตอม่อเป็นส่วนที่ฐานรากรับโมเมนต์คดมากที่สุด เรียกว่า หน้าตัดวิกฤต สำหรับการพิจารณาโมเมนต์คด และใช้สำหรับการพิจารณาแรงยึดเหนี่ยวด้วย เพราะแรงเฉือนตรงหน้าตัดนั้นมีค่ามากที่สุด แต่การวิบัติของฐานรากเนื่องจากแรงเฉือนแบบคานกว้างจะเกิดตรงระนาบที่ห่างจากเสาตอม่อเป็นแนวเฉียงทะแยงมุมประมาณ  $45$  องศา หรือเป็นแบบเฉือนทะลุในลักษณะที่เสาเจาะผ่านฐานรากเป็นรูปปริมาตร หน้าตัดวิกฤตของแรงเฉือนทะลุจะพิจารณาตามเส้นขอบที่ห่างจากขอบเสาตอม่อเป็นระยะครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิผล

ฉะนั้น ต้องพิจารณาออกแบบให้ฐานรากรับแรงต่าง ๆ ได้ปลอดภัย ปกติจะใช้เหล็กเสริมให้ต้านทานแรงดึงอันเนื่องมาจากโมเมนต์คดเพียงอย่างเดียว และพิจารณาให้รูปตัดส่วนที่เป็นคอนกรีตต้านทานแรงอัดและแรงเฉือน ในกรณีที่ฐานรากหนากว่า  $25$  ซม. อาจ

พิจารณาเหล็กเสริมรับแรงเฉือนได้ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาออกแบบใช้เสาเข็มเพื่อถ่ายน้ำหนักสู่ชั้นดิน ต้องคำนึงถึงความสามารถของดินข้างรอบเสาเข็มว่ามีความสามารถรับน้ำหนักได้ดีหรือไม่ ตลอดจนระยะห่างระหว่างเสาเข็มซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและความยาวของเสาเข็ม ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกโดยปลอดภัยของเสาเข็มที่ตอกเป็นกลุ่มอาจไม่เท่ากับผลรวมของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกโดยปลอดภัยของเสาเข็มแต่ละต้น เพราะมีดินบางชนิดถูกทำลายความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกลงหลังจากการตอกเสาเข็ม นอกจากนี้ควรพิจารณาถึงระดับน้ำใต้ดินเมื่อใช้เข็มไม้ ความสิ้นสะเทือนเนื่องจากการตอกเข็มซึ่งอาจทำให้อาคารข้างเคียงเสียหายได้

เมื่อพิจารณาออกแบบใช้เสาเข็มเพื่อถ่ายน้ำหนักสู่ชั้นดิน ต้องคำนึงถึงความสามารถของดินระหว่างกลางเสาเข็มลดลง ช่วงระยะห่างของเสาเข็มธรรมดาอย่างน้อยที่สุดควรให้ห่างกันประมาณ 90 ซม. ช่วงระยะห่างจากศูนย์กลางของหัวเสาเข็มไม่ควรน้อยกว่า 3 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม

ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ได้ให้ข้อกำหนดต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณาออกแบบฐานรากดังต่อไปนี้

ในกรณีที่ไม่มีการทดสอบผลการศึกษาคุณสมบัติของดิน

1. น้ำหนักบรรทุกที่ขอมให้บนชั้นดินเดิม ไม่เกิน 2 ตันต่อตารางเมตร
2. หน่วยแรงผิวดินที่ขอมให้

- ดินที่อยู่ในระดับลึกไม่เกิน 7 เมตร ได้ระดับน้ำระดับน้ำปานกลาง

$$\text{หน่วยแรงผิวดินของดินที่ขอมให้} = 600 \quad \text{กก./ตารางเมตร}$$

- ดินที่มีความลึกเกินกว่า 7 เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง

$$\text{หน่วยแรงผิวดินของดินที่ขอมให้} = 800 + 200L \quad \text{กก./ตารางเมตร}$$

ในเมื่อ L เป็นความยาวของเสาเข็มเป็นเมตร เฉพาะส่วนที่ลึกเกินกว่า 7 เมตร

ในกรณีที่มีการทดสอบคุณสมบัติของดิน หรือมีการทดสอบหากำลังแบกทานของเสา

เอกสารนี้ใช้ในบริเวณก่อสร้างหรือข้างเคียง ให้ใช้กำลังแบกทานของเสาเข็มไม่เกินอัตราต่อไปนี้ การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ไม่เกินร้อยละ 40 ของกำลังแบกทานของเสาเข็มที่คำนวณจากการทดสอบ  
คุณสมบัติดิน
- 2) ไม่เกินร้อยละ 40 ของกำลังแบกทานของเสาเข็มที่คำนวณจากสูตรการตอก  
เสาเข็ม
- 3) ไม่เกินร้อยละ 50 ของกำลังแบกทานของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบกำลัง  
แบกทานสูงสุด

### 2.11.2 ประเภทของฐานราก

ฐานรากอาจแบ่งออกตามลักษณะของที่รองรับได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ฐานแผ่ซึ่งไม่มีเข็มรองรับ
2. ฐานรากชนิดมีเสาเข็มเป็นที่รองรับ

นอกจากนี้ยังอาจแยกย่อยออกไปอีกตามลักษณะของน้ำหนักบรรทุก และสภาพสถานที่  
ก่อสร้างอีกด้วย

1) ฐานต่อเนื่องรับกับกำแพง (Continuous Footing For Wall หรือ Wall Footing) เป็นฐานรากที่ต่อเนื่องไว้รับน้ำหนักกำแพงที่รับน้ำหนักบรรทุก มีความกว้าง  
ของฐานมากกว่าความกว้างของกำแพง (รูป 14 ก.)

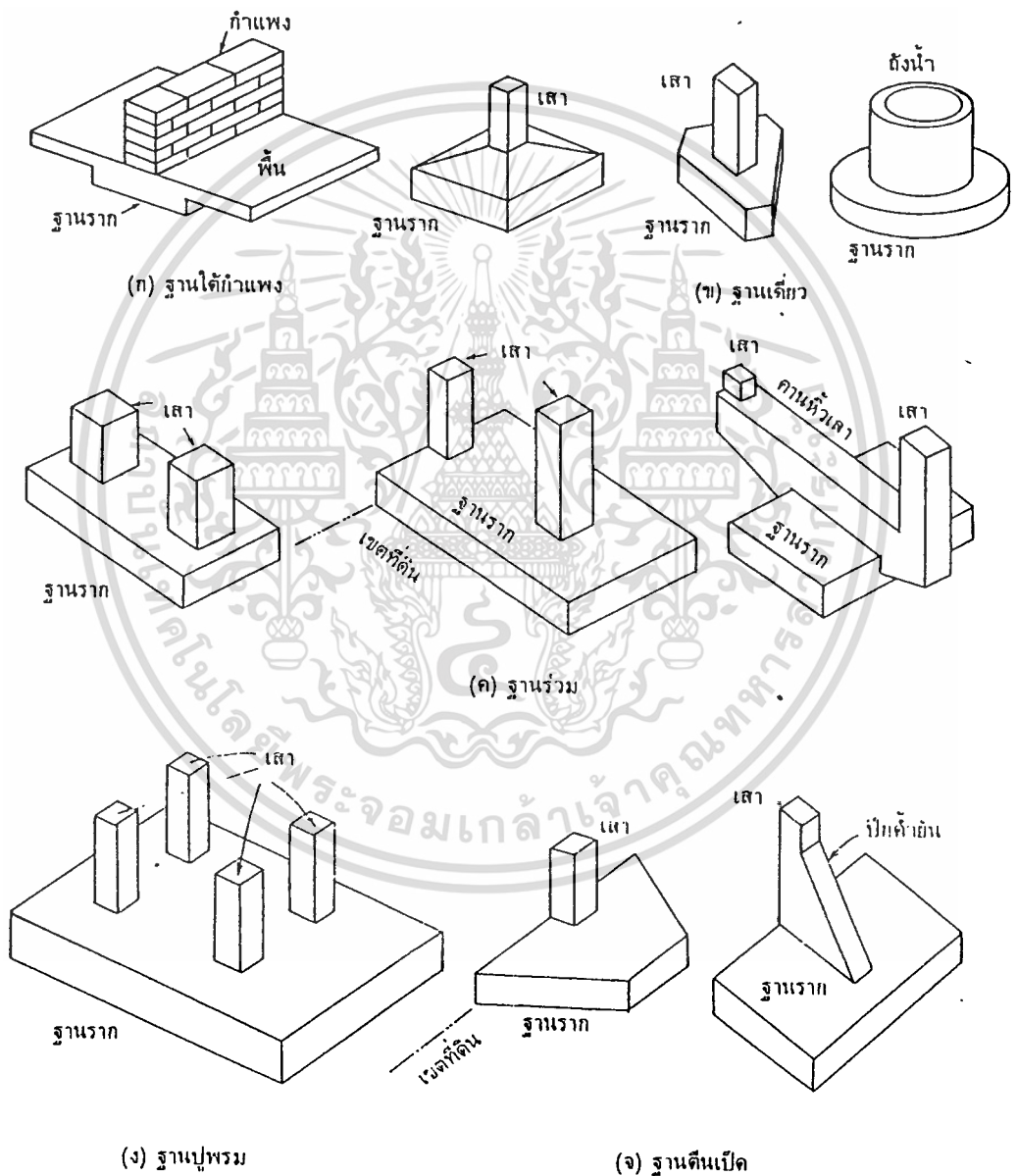
2) ฐานเดี่ยว เป็นฐานรองรับน้ำหนักจากเสาเป็นจุด ๆ แยกห่างจากกัน อาจเป็น  
รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือกลมก็ได้ (รูป 14 ข.)

3) ฐานร่วม (Combined Footing) เป็นฐานรองรับน้ำหนักจากเสาสองต้นหรือ  
มากกว่า ใช้เมื่อเสาสองต้นใกล้กันมาก หรือเป็นแบบชิดแนวเขตที่ดิน (รูป 14 ค.)  
ซึ่งบางครั้งก็ทำเป็นฐานสั้น มีคานยึดฐานรากชิดเขต และฐานรากภายในเข้า  
ด้วยกัน

4) ฐานรากแบบแผ่ หรือฐานรากปทุม (Raft Foundation) เป็นฐานที่แผ่  
กระจายบนพื้นที่กว้างมาก ๆ บางครั้งอาจกระจายเต็มพื้นที่อาคาร ใช้ในกรณีที่ฐานรากต้อง

เอกสารนี้รับน้ำหนักบรรทุกมากขึ้น (รูป 14 ง.) การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ฐานชนิดมีคานรัด (Strap Footing) ในบางกรณี เสาอาคารอาจอยู่ชิดเขตที่ดิน จึงไม่สามารถจะทำให้น้ำหนักถ่ายลงสู่ศูนย์กลางของฐานได้ กรณีนี้อาจทำฐานเป็นรูปดินเปิด แล้วใช้ Strap Beam สอดกับฐานในส่วนกลางของอาคาร ทำให้เชื่อมกับศูนย์กลางของฐาน (รูป 14 จ.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 14 ฐานรากชนิดต่างๆ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.3 พฤติกรรมของฐานรากเมื่อรับน้ำหนัก

โดยปกติแรงดัดที่เกิดขึ้น ฝัอกแบบจะคำนวณให้เหล็กเสริมทำหน้าที่รับแรงนั้น โดยมีพื้นที่หน้าตัด และผิวสัมผัสเพียงพอ เพื่อให้ยึดเกาะกับคอนกรีตด้วยแรงไม่เกินที่กำหนดในมาตรฐานเพื่อไม่ให้เกิด Bond Failure สำหรับแรงเฉือนนั้นโดยปกติจะออกแบบให้คอนกรีตมีความหนาพอเพื่อรับแรงเฉือนเหล่านี้ ในบางกรณี อาจต้องใส่เหล็กรับแรงเฉือนด้วยซึ่งไม่นิยมใช้ นอกจากกรณีจำเป็น ส่วนแรงอัดด้านบนนิยมให้คอนกรีตรับเช่นกัน

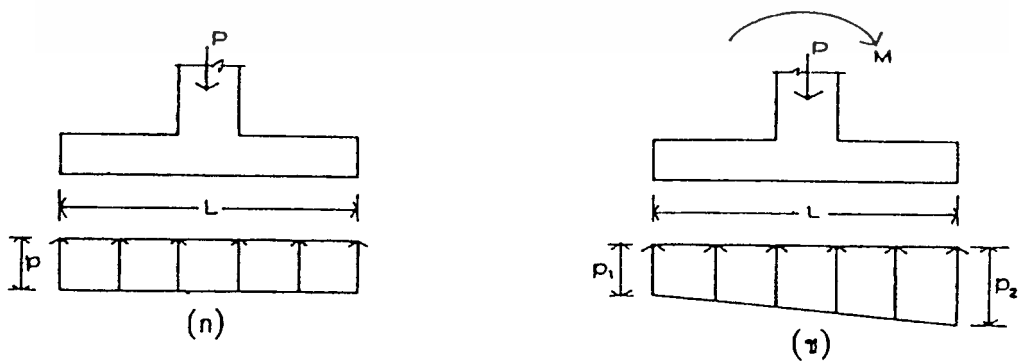
2.11.4 การกระจายน้ำหนัก

ฐานแผ่ เมื่อฐานรากวางบนดินที่รับน้ำหนักตามแนวก้น การกระจายน้ำหนักให้ถึงหน่วยแรงดันชั้นของดิน มีค่าสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุด ดังรูป 15 (ก) และหาค่าได้จาก

$$p = \frac{P}{A_f} = \frac{P}{BL} \tag{53}$$

เมื่อ

- $p$  = แรงดันชั้นของดิน
- $P$  = น้ำหนักทั้งหมดจากฐานราก
- $A_f$  = พื้นที่ของฐานราก
- $B, L$  = ความกว้างและความยาวของฐานราก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 15 การกระจายน้ำหนักของฐานรากแผ่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับฐานรากที่มีโมเมนต์กระทำร่วมกับน้ำหนักบรรทุกจะทำให้หน่วยแรงดันขึ้นของดินที่ขอบของฐานรากไม่เท่ากัน ดังรูป 15 (ข) และหาค่าได้จาก

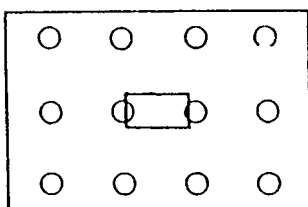
$$p_1 = P/BL - 6M/BL^2 \quad (54)$$

และ 
$$p_2 = P/BL + 6M/BL^2 \quad (55)$$

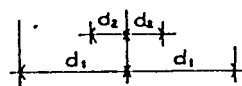
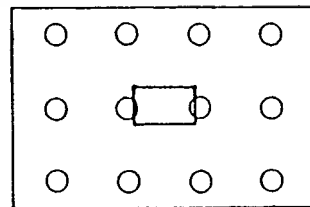
ฐานรากวางบนเสาเข็ม เมื่อฐานรากวางบนเสาเข็มมีน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนให้ถือว่า เสาเข็มทุกต้นรับน้ำหนักจากฐานรากเฉลี่ยเท่ากันทุกต้น ดังรูป (16) และหาค่าได้จาก

$$P_1 = P/N$$

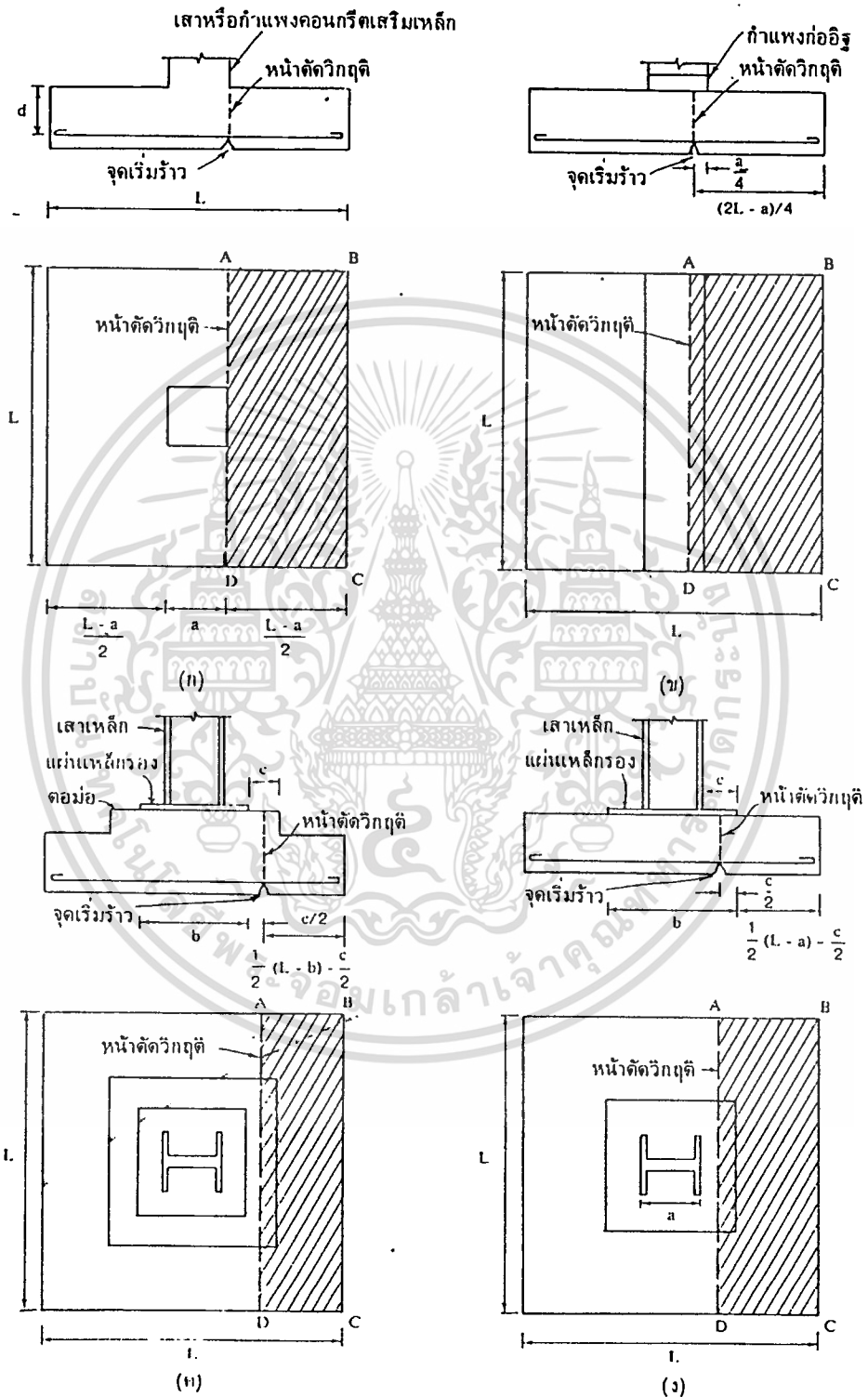
เมื่อ  $P =$  น้ำหนักรวมทั้งหมดจากฐานราก  
 $P_1 =$  น้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นรับไว้  
 $N =$  จำนวนเสาเข็ม



(น)



(ข)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 17 ตำแหน่งโวมเมนต์ตัดและแรงยึดเหนี่ยว** นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.5 โหมดตัดและแรงยึดเหนี่ยว

#### หน้าตัดวิกฤติ

ก) โหมดตัดและแรงยึดเหนี่ยวจากแรงภายนอกที่หน้าตัดใด ๆ ให้คำนวณจากแรงภายนอกที่กระทำข้างใดข้างหนึ่งของหน้าตัดวิกฤติ ซึ่งได้จากการผ่านระนาบดิ่งตลอดแนวฐานราก

ข) สำหรับฐานรากเดี่ยว โหมดตัดและแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดคำนวณได้จากวิธีในข้อ (ก) ที่ตำแหน่งหน้าตัดวิกฤติดังต่อไปนี้

1. ที่ขอบเสา คอม่อ หรือกำแพง สำหรับฐานรากที่รับเสาคอม่อ หรือกำแพงคอนกรีต รูปที่ 17 (ก)
  2. ที่กึ่งกลางระหว่างขอบและศูนย์กลางกำแพง สำหรับฐานรากรับกำแพงก่อ รูปที่ 17 (ข)
  3. ที่กึ่งกลางระหว่างของเสาหรือคอม่อกับขอบแผ่นเหล็กรองใต้เสา สำหรับฐานรากที่ใช้แผ่นเหล็ก ดังรูปที่ 17 (ค) และ (ง)
- แรงเฉือนที่ใช้คำนวณแรงยึดเหนี่ยว คำนวณได้จากแรงดันดินชั้นของดินหรือเสาเข็มในพื้นที่ KLMN ในแต่ละกรณี

ค) ความกว้างของฐานราก ซึ่งรับแรงยึดที่หน้าตัดใด ๆ คือ ความกว้างทั้งหมดที่ส่วนบนของฐานราก

### 2.11.6 การเสริมเหล็ก

ก) ฐานรากที่เสริมเหล็กทางเดียว ต้องเสริมเหล็กให้มีปริมาณที่จะต้านทานโมเมนต์และแรงยึดเหนี่ยว ที่หน้าตัดวิกฤตอย่างเพียงพอ และต้องกระจายเหล็กให้สม่ำเสมอตลอดความกว้างของหน้าตัดนั้น ๆ

ข) ฐานรากที่เสริมเหล็กสองทาง ต้องเสริมเหล็กแต่ละทางให้ต้านทานโมเมนต์และแรงยึดเหนี่ยว ที่หน้าตัดวิกฤตอย่างเพียงพอ และต้องกระจายเหล็กให้สม่ำเสมอตลอดความกว้างของฐานรากในแต่ละทางด้วย

ค) ฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เสริมเหล็กสองทาง ต้องเสริมเหล็กแต่ละทางเท่ากัน โดยอาศัยหลักเกณฑ์ในข้อ (ข)

ง) ฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเหล็กสองทาง เหล็กเสริมทางด้านยาวต้องกระจายเหล็กให้สม่ำเสมอเท่ากันตลอดความกว้างทางด้านสั้น และอยู่ด้านล่างได้เหล็กเสริมทางด้านสั้น ส่วนเหล็กเสริมทางด้านสั้นให้กระจายสม่ำเสมอ เป็นสองพวกคือ แถบกลางและแถบริมตามรูปที่ 18 โดยมีปริมาณดังนี้

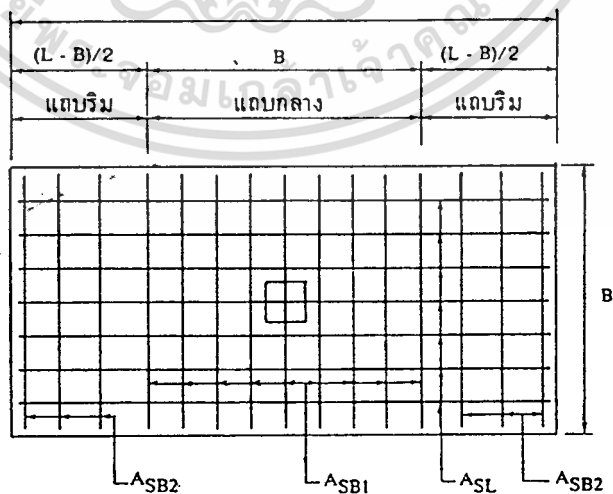
$$\text{เหล็กเสริมในแถบกลางที่กว้าง } B = \frac{2}{S + 1} A_{SB}$$

เมื่อ  $A_{SB}$  = เนื้อหน้าตัดเหล็กเสริมทางด้านกว้างทั้งหมด

$S$  = อัตราส่วนระหว่างด้านยาวต่อด้านสั้นของฐานราก

ส่วนแถบริม ให้กระจายเหล็กที่เหลือจากแถบกลาง ให้สม่ำเสมอทั้งสองข้างของ

ฐานราก



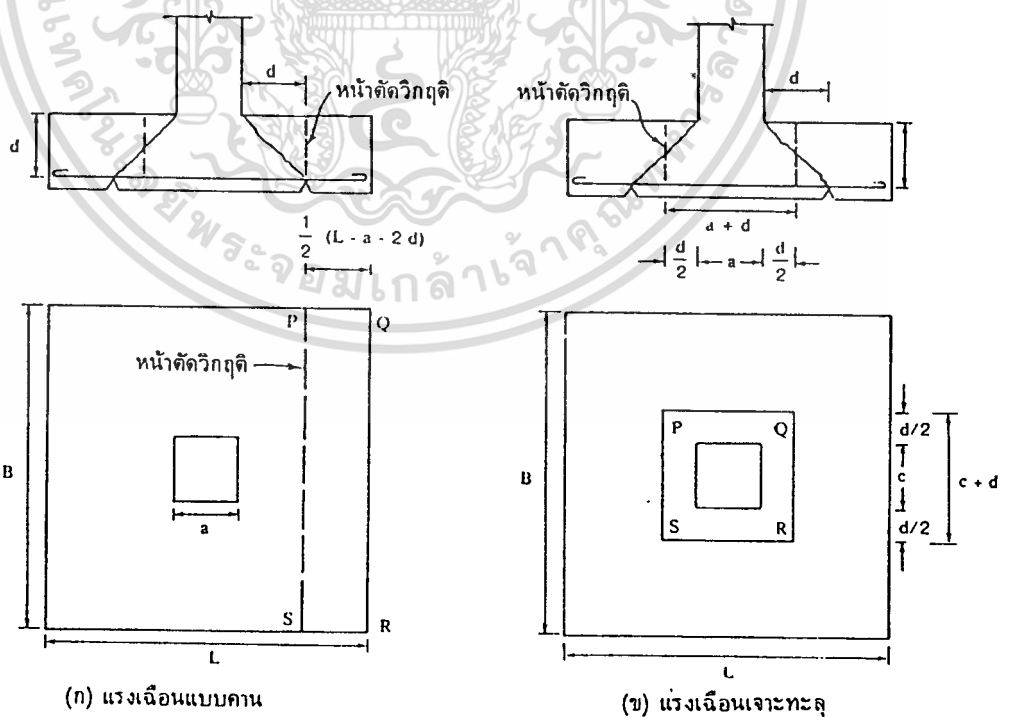
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการประชุมวิชาการที่ออกให้เพื่อเผยแพร่โดยไม่ผูกมัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.7 หน้าตัดวิฤกคสำหรับแรงเฉือน

ความต้านทานต่อแรงเฉือนของฐานรากที่รับน้ำหนักเป็นจุด เช่นจากเสาตอม่อ ต้องแยกพิจารณาออกเป็นสองกรณี และฐานรากจะต้องมีความหนาเพียงพอที่จะต้านทานแรงเฉือนที่สูงกว่าจากกรณีใด ๆ ก็ตาม

ก) พิจารณาว่าฐานรากเป็นคานกว้าง มีแนวร้าวเนื่องจากแรงดึงตรงตามระนาบเฉียงตลอดความกว้างของฐานราก และห่างจากขอบเสาตอม่อเป็นระยะ  $d$  แรงเฉือน ( $V$ ) ที่ใช้คำนวณคิได้จากแรงดันขึ้นของดินหรือจากเสาเข็มที่อยู่ในพื้นที่ PQRS การคำนวณหน่วยแรงเฉือนใช้สูตร

$$V = \frac{V}{bd} \text{ เมื่อ } b = B \text{ ตามรูปที่ 19 (ก)}$$



ข) พิจารณาว่ามีแนวรั้วที่ฐานรากเป็นแบบเงื่อนไขตามเส้นขอบที่ฐานของกรวยกลม หรือกรวยเหลี่ยม โดยรวมน้ำหนักกดจากเสาตอม่อและห่างจากเสาตอม่อเป็นระยะ  $d/2$  การคำนวณหน่วยแรงเฉือน  $v = V/bd$  ใช้ค่า  $b = 4(a+d)$  แรงเฉือน ( $V$ ) คิดจากแรงดันชั้นของดินหรือจากเสาเข็มที่อยู่ภายนอกพื้นที่ PQRS ในรูปที่ 19 (ข)

แรงเฉือนที่คิดจากแรงดันชั้นของเสาเข็ม ที่ใกล้หน้าตัดวิกฤตในทั้งสองกรณีดังกล่าว ต้องลดค่าลงตามส่วนโดยพิจารณาว่า เสาเข็มที่อยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤตออกไป 15 ซม. หรือมากกว่าให้คิดเต็มกำลังของเสาเข็ม และเสาเข็มที่อยู่ภายในหน้าตัดวิกฤตเข้ามา 15 ซม. หรือมากกว่าไม่ต้องนำไปคิดแรงเฉือน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$P' = \frac{1}{30} (x + 15)P$$

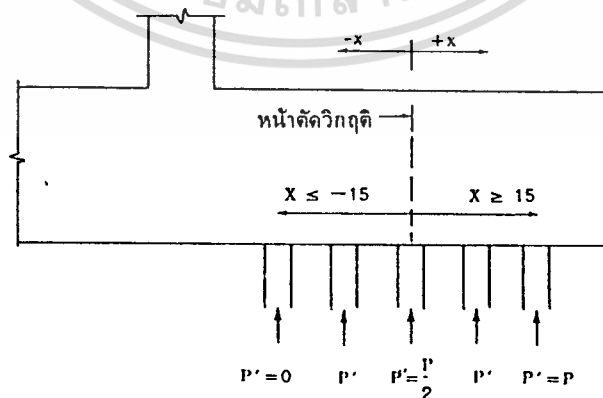
เมื่อ  $P =$  กำลังของเสาเข็ม

$P' =$  กำลังของเสาเข็มที่ประสิทธิผล

$x =$  ระยะระหว่างหน้าตัดวิกฤตกับศูนย์กลางเสาเข็ม มีค่า

เป็นลบเมื่ออยู่ในหน้าตัดวิกฤต และมีค่าบวกเมื่ออยู่นอกหน้าตัดวิกฤต ที่หน้าตัด

$$P' = \frac{1}{2} P$$



รูปที่ 20 การลดค่าแรงเฉือนของเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.8 การถ่ายแรงจากเสาตอม่อลงฐานราก

การถ่ายแรงจากเสาตอม่อลงฐานรากที่รองรับ ให้นึกว่าแรงอัดจากคอนกรีตในเสา ตอม่อถ่ายส่งเป็นแรงกดลงไปยังส่วนบนของฐานราก โดยที่หน่วยแรงกดไม่เกินหน่วยแรง กดที่ยอมให้ของคอนกรีตที่ทำฐานราก ส่วนแรงจากเหล็กเสริมตามแกนในเสาตอม่อถ่ายส่ง ไปยังฐานรากได้โดยใช้เหล็กเดือย หรือต่อเหล็กเสริมตามแกนนั้น เข้าไปในฐานรากให้มี ระยะฝังที่มากพอที่จะถ่ายแรงโดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยว ในกรณีที่ใช้เหล็กเดือย เนื้อหน้าตัด ของเหล็กเดือยจะต้องไม่น้อยกว่า เนื้อหน้าตัดของเหล็กเสริมตามแกน และต้องใช้เหล็ก เดือยไม่น้อยกว่าสี่เส้น

### 2.11.9 การเสริมเหล็กฐานแผ่

ในกรณีที่ฐานแผ่เป็นฐานเดี่ยว หรือฐานรับกำแพง โดยปกติแรงดึงจะเกิดขึ้นที่ส่วนล่าง ของฐาน เนื่องจากแรงดันของดินที่รองรับฐานทำให้เกิดแรงค้ำที่ส่วนล่าง ดังนั้นเหล็กเสริม ในกรณีนี้จึงมีเฉพาะส่วนล่างของฐาน อย่างไรก็ตามมักนิยมตัดเหล็กให้งอขึ้นมาข้างฐานด้วย เพื่อป้องกันคอนกรีตแตกเป็นชั้น และเพื่อให้เหล็กเสริม มีระยะยึดเกาะกับคอนกรีตมากขึ้น การจัดเหล็กเสริมให้ประหยัดควรคำนึงถึงความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้นด้วย กล่าวคือ ความยาวของเหล็กเสริมแต่ละเส้นควรจะตัดจากเหล็กซึ่งยาวมาตรฐานได้ลงตัว หรือเมื่อ ตัดแล้วสามารถนำไปใช้ในจุดใกล้เคียง ๆ กันได้ทันที จะทำให้ประหยัดเรื่องเศษเหล็กได้

ข้อควรระมัดระวังในกรณีนี้คือ ในกรณีฐานเดี่ยวที่เป็นฐานแผ่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ฐาน ส่วนยาวรับโมเมนต์มากกว่า เหล็กเสริมด้านนั้นควรจะอยู่ล่าง ส่วนด้านสั้นรับโมเมนต์น้อย กว่า เหล็กเสริมควรอยู่บน และผู้ออกแบบควรคำนึงถึงระยะ Covering ที่ต่างกัน ทำให้ Effective Depth ต่างกันด้วย ส่วนกรณีที่เป็นฐานรับกำแพง โดยปกติผู้ออกแบบจะ คำนวณให้เหล็กเสริมหลักอยู่ด้านสั้น ดังนั้นจึงต้องจัดเหล็กเสริมด้านนี้ให้อยู่ล่าง ส่วนเหล็ก เสริมทางยาวอยู่ด้านบน อย่างไรก็ตาม การจัดตำแหน่งเหล็กเสริมเป็นเรื่องที่กำหนดโดยผู้ออก แบบว่าเหล็กใดอยู่ล่างหรือบน ผู้ออกแบบจึงควรกำหนดให้ชัดเจนเพื่อจะได้เขียนแบบและก่อสร้างได้ถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.10 คานคอดิน

โดยปกติผู้ออกแบบมักทำคานคอดินยึดฐานรากไว้ คานคอดินจะทำหน้าที่ยึดฐานราก และในบางกรณีอาจทำหน้าที่เป็น Strap Beam รับแรงคดเนื่องจากเสาเข็มเคลื่อนไปจากตำแหน่งในแบบ ในกรณีที่ช่วงระหว่างเสา (Span) มีระยะห่างกันมาก ผู้ออกแบบอาจออกแบบให้เข็มเอียงเพื่อรับ Horizontal Force ได้ด้วย โดยไม่ต้องมี Ground Beam ในกรณีนี้จะต้องเขียนรายละเอียดเข็มให้ชัดเจนด้วยว่า เข็มแต่ละต้นเอียงไปในทิศทางใดบ้าง และความลาดเอียงเป็นเท่าใด

### 2.11.11 ข้อควรปฏิบัติในการออกแบบฐานราก

ในการออกแบบฐานรากซึ่งมีเสาเข็ม ควรคำนึงถึงโอกาสที่เข็มจะผิคลาดเนื่องจากการคดเสาเข็มไว้ด้วย การที่ตำแหน่งเข็มที่คดจริงผิดไปจากแบบจะทำให้เกิดการเอียงศูนย์ระหว่างศูนย์เสากับจุดศูนย์ถ่วงของกลุ่มเข็ม หากผู้ออกแบบคำนวณเอาไว้แล้ว และได้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ไว้ในรายการก่อสร้างด้วย ก็จะทำให้สะดวกในการทำงาน โดยผู้ก่อสร้างไม่จำเป็นต้องรอกการแก้ไขแบบเนื่องจากเข็มคลาดเคลื่อนไป ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาในการก่อสร้างได้มาก

การเอียงศูนย์จะมีปัญหามากในกรณีเข็มต้นเดียว หรือ 2 ต้น เพราะทำให้เกิดแรงคดและแรงบิดในคานยึดฐานราก ถ้าคานยึดฐานรากได้คำนวณไว้แล้วสำหรับค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินค่าใดค่าหนึ่ง ก็จะทำให้สะดวกในการทำงานในการรอกการตัดสินใจของวิศวกรผู้ออกแบบ ซึ่งไม่ได้อยู่ประจำสถานที่ก่อสร้าง การคดเข็มควรคดโดยมีลำดับชั้นการคดที่ถูกต้อง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว เช่น ควรคดเข็มบริเวณที่มีความหนาแน่นของเข็มมากกว่าก่อน และเข็มต้นเดียวหรือ 2 ต้นควรคดเป็นลำดับสุดท้าย เป็นต้น

## 2.11.12 ข้อกำหนดของมาตรฐาน ว.ศ.ท.

### 1) การให้รายละเอียด

แบบของฐานรากควรมีรายละเอียดอย่างน้อยดังนี้

1. รูปแบบ ขนาดของฐาน และรายละเอียดของเหล็กเสริม
2. จำนวน ขนาดของเสาเข็ม ระยะทางของเสาเข็ม และระยะห่างของเสาเข็ม ถึงขอบฐานราก รวมทั้งขนาดและความยาวของ Dowel Bars ที่โผล่จากหัวเสาเข็มเข้าไปในฐานราก (ถ้ามี)
3. ระยะหัวเสาเข็มที่จมอยู่ในฐานราก
4. ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็ก (Covering)
5. ความหนาของคอนกรีตหยาบและทราย หรือวัสดุอื่นที่ใช้รองกันหลุม
6. ระดับของฐานรากจากระดับดินเดิม

### 2) ฐานเสาและฐานรากไม่เสริมเหล็ก

(ก) สำหรับฐานซึ่งรับน้ำหนักร่วมศูนย์ หน่วยแรงอัดที่ขอมให้ต่อเนื้อที่ทั้งหมดจะต้องไม่เกิน  $0.25 \phi f_c$ . เมื่อรับน้ำหนักใช้งาน ถ้าหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นเกินกว่าที่กำหนดไว้นี้ให้คำนวณออกแบบของค้ำอาคารดังกล่าวเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก

(ข) ความกว้างและความลึกของฐานเสา หรือฐานรากที่ไม่เสริมเหล็ก จะต้องไม่ทำให้แรงดึงในคอนกรีตอันเกิดจากแรงดัดเกินกว่า  $0.424 \phi / f_c$

### 3) การถ่ายแรงจากเสาตอม่อลงฐานราก

แรงอัดจากคอนกรีตในเสาตอม่อถ่ายส่งเป็นแรงกดที่ผิวบนของฐานราก โดยหน่วยแรงกดไม่เกินค่าที่ขอมให้ของคอนกรีตที่ทำฐานราก ส่วนเหล็กยื่นในเสาหรือตอม่อจะต้องแผ่ปลายวางบนตะแกรงเหล็กของฐานราก เหล็กปลอกต้องมีคดลอคจนถึงกันหลุม (รูปที่ 21 ก)

### 4) ฐานรากไม่เสริมเหล็ก

ฐานรากที่เป็นคอนกรีตล้วน ที่รับน้ำหนักจากเสาตอม่อซึ่งเป็นแรงตามแนวแกนต้องไม่ทำให้เกิดแรงอัดในคอนกรีตของฐานรากเกิน  $0.25 \phi f_c'$  เมื่อรับน้ำหนักใช้งาน ต้องออกแบบฐานราก ให้มีขนาดกว้างสวาลิกเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดแรงดึงในคอนกรีต เนื่องจากโมเมนต์คดเกินกว่า  $0.424 \phi f_c'$  (รูปที่ 21 ข)

### 5) ฐานรากสำหรับเสากลม

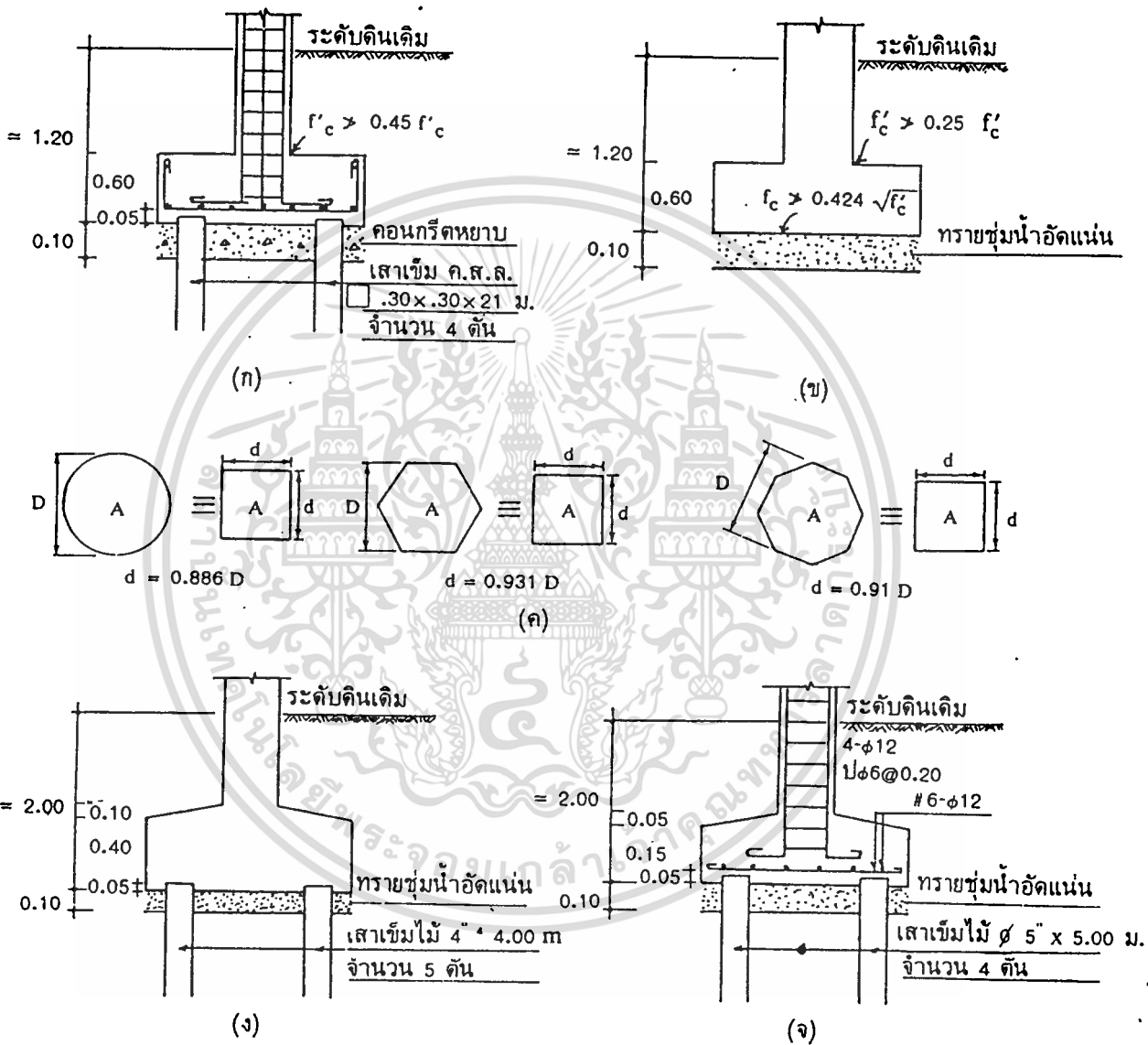
การคำนวณออกแบบฐานรากที่รับเสาตอม่อแบบเสากลม หรือเสารูปแปดเหลี่ยมให้ถือว่าขอบเสาตอม่อนั้น เป็นขอบเสาตอม่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีเนื้อหน้าตัด เท่ากับเสาตอม่อกลมนั้น (รูปที่ 21 ค)

### 6) ความหนาต่ำสุดของฐานราก

(ก) ในฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก ความหนาของคอนกรีต ส่วนที่อยู่เหนือเหล็กเสริมที่ขอบนอกของฐานจะต้องไม่น้อยกว่า 15 ซม. (รูปที่ 21 ก)

(ข) ในฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก ความหนาของคอนกรีตที่ขอบนอกของฐานต้องไม่น้อยกว่า 20 ซม. สำหรับฐานรากที่รองรับด้วยดิน หรือไม่น้อยกว่า 35 ซม. จากหัวเข็มสำหรับฐานรากที่รองรับด้วยเข็ม (รูปที่ 21 ข และ ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 21 ข้อกำหนดเกี่ยวกับฐานราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7) คอนกรีตหยาบกันหลุมฐานราก

ในการทำฐานรากเมื่อขุดดินหลุมฐานรากจนถึงระดับที่ต้องการแล้ว จะต้องโกยโคลนเลนกันหลุมออกให้หมด แล้วจึงเอาทรายหยาบหรืออิฐหัก ทุบทุบให้แน่น มีความหนาประมาณ 10 ซม. เหนือขึ้นมา จึงเทคอนกรีตหยาบที่ลงไปหนาประมาณ 5 ซม. เพื่อปิดสิ่งสกปรกจากกันหลุมมิให้มาเปื้อนเประอะเหล็กเสริมของฐานรากได้ จากนั้นจึงวางเหล็กเสริมของค่อมอนเหล็กเสริมฐานราก และหนวดวีสก่อนซีเมนต์ แล้วจึงเทคอนกรีตฐานรากต่อไป

### 8) ความลึกของหัวเสาเข็ม

เข็มไม้ ต้องให้หัวเสาเข็มอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ๓ เมตรนั้นเข็มจะผูก บริเวณกรุงเทพมหานคร หรือจังหวัดใกล้เคียงจะส่งหัวเสาเข็มไม้ลงไปลึกประมาณ 2 เมตรจากระดับดินเดิม (รูป 21 จ)

เสาเข็มคอนกรีต ปกติจะส่งหัวเสาเข็มลงไปลึก 2 เมตรจากระดับดินเดิม (ถ้าสามารถส่งลงไปได้) แต่ถ้าเสาเข็มส่งไม่ลงเพราะดินแน่นมาก Blow count สูง เราสามารถขุดระดับหลังฐานรากให้สูงขึ้นได้ตามต้องการ

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

#### 3.1 ขั้นตอนในการใช้โปรแกรมพื้น One - Way Slab

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก 1

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 1	
Accept Above (Y/N) : Y	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 เลือก Load Factor

Load Factor
1. Dead-Load Factor=1.7; Live-Load Factor=2 2. Dead-Load Factor=1.4; Live-Load Factor=1.7 3. Load Factor of User
C H O O S E ( 1 - 3 ) : 1

เมื่อเลือกแล้วจะขึ้นมาถามให้แน่ใจว่า Load Factor ที่ใช้ถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

Load Factor of Dead Load = 1.7

Load Factor of Live Load = 2.0

Accept Above (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 3 จะถามว่า ' No. of Slab(s) : \_\_ ' คือขึ้นมาถามว่าจะให้  
 คำนวณพื้นที่พื้นเมื่อเลือกแล้วเครื่องจะถามว่า ' Accept Above (Y/N) : '

ขั้นตอนที่ 4 รอให้กด Enter เพื่อเข้าไปทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 เลือกชนิดของพื้น

Slab Type
1. One Way Slab 2. Two Way Slab 3. Cantilever Slab
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 1

ขั้นตอนที่ 6 กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ

Material Default
$F_c =$ ksc. $F_y =$ ksc.

Accept Above (Y/N) :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 เลือกประเภทของพื้น

Type of Slab
1. Simple Slab 2. Semi Continuous Slab 3. Continuous Slab
CHOOSE ( 1 - 3 ) :
Accept Above (Y/N) :

ขั้นตอนที่ 8 ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับพื้น

Input Data of Slab
Short Span ( m ) :
Long Span ( m ) :
Other Dead Load ( kg/m <sup>2</sup> ) :
Live Load ( kg/m <sup>2</sup> ) :
Accept Above (Y/N) :

เมื่อเติมข้อมูลด้านสั้นของพื้นแล้ว ( Short Span (๓) ) จะมีค่าเตือนข้างล่างว่า  
 ' Long Span must more than or Equal ( 2\*S ) = \_\_\_\_\_ '  
 คือต้องป้อนค่า Long Span  $\geq 2*S$  มิฉะนั้นเครื่องจะให้ทำการป้อนใหม่

ขั้นตอนที่ 9 ให้เราเลือกความหนาที่น้อยที่สุดที่จะใช้ โดยเครื่องจะแสดงค่าความ  
 หนาที่น้อยที่สุดที่คำนวณได้ไว้ด้วยและให้เราเลือกความหนาต่ำสุดจากตัวล่างโดยหน่วยเป็น  
 ซม. ดังนี้

Min. Thickness	
Min. Thickness	=
Min. Thickness	=
Accept Above (Y/N) :	

ขั้นตอนที่ 10 แล้วรอส่วนแสดงผลทางหน้าจอ เมื่อคีย์เรียบร้อยแล้วก็กด Enter

ขั้นตอนที่ 11 เครื่องจะถามว่า

' Do you want to Print (Y/N) : '

ถ้าตอบ 'Y' ก็ทำการพิมพ์ออกเครื่องพิมพ์ให้ ถ้าตอบ 'N' ก็ตรวจสอบว่า จำนวนพื้นที่  
 เอกสารนี้ต้องการคำนวณหมดหรือยัง ถ้ายังไม่หมดก็จะทำการคำนวณพื้นที่ต่อไป โดยไปเริ่มวนทำตั้งแต่การคำนวณ  
 ไม่ว่าการขั้นตอนที่ 4 เป็นต้นมา ถ้าหมดแล้วก็จะกลับมาที่ Main Menu ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ขั้นตอนในการใช้โปรแกรม Two - Way Slab

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก 1

Main Menu	
1. S l a b	4. C o l u m n
2. S t a i r	5. F o o t i n g
3. B e a m	6. E x i t
C H O O S E ( 1 - 6 ) : 1	
A c c e p t A b o v e ( Y / N ) : Y	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ขั้นตอนที่ 2 เลือก Load Factor**

Load Factor
1. Dead-Load Factor=1.7; Live-Load Factor=2 2. Dead-Load Factor=1.4; Live-Load Factor=1.7 3. Load Factor of User
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 1

เมื่อเลือกแล้วจะขึ้นมาถามให้แน่ใจว่า Load Factor ที่ใช้ถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

Load Factor of Dead Load = 1.7

Load Factor of Live Load = 2.0

Accept Above (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 3 จะถามว่า ' No. of Slab(s) : \_\_ ' คือขึ้นมาถามว่าจะให้  
คำนวณพื้นที่เมื่อเลือกแล้วเครื่องจะถามว่า ' Accept Above (Y/N) : '

ขั้นตอนที่ 4 รอให้กด Enter เพื่อเข้าไปทำขั้นตอนต่อไป

**ขั้นตอนที่ 5 เลือกชนิดของพื้น**

Slab Type
1. One Way Slab 2. Two Way Slab 3. Cantilever Slab
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 2

**ขั้นตอนที่ 6 กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ**

Material Default
$F_c =$ ksc. $F_y =$ ksc.

Accept Above (Y/N) :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนที่ 7 ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับพื้น

Input Data of Slab	
Short Span ( m )	:
Long Span ( m )	:
Other Dead Load (kg/m <sup>2</sup> )	:
Live Load (kg/m <sup>2</sup> )	:
Accept Above (Y/N)	:

เมื่อเติมข้อมูลด้านสั้นของพื้นแล้ว ( Short Span (m) ) จะมีค่าเตือนข้างล่างว่า  
 ' Long Span must less than ( 2\*S ) < ----- ' ,  
 คือต้องป้อนค่า Long Span < 2\*S มิฉะนั้นเครื่องจะให้ทำการป้อนใหม่

### ขั้นตอนที่ 8 เลือกประเภทการต่อเนื่องของพื้น

Type of Continuous
1. Interior panels
2. One edge discontinuous
3. Two edges discontinuous
4. Three edges discontinuous
5. Four edges discontinuous

ถ้าเลือก ' 3 ' จะมีกรอบแสดงมาที่ส่วนล่างขวาให้เลือกว่าต่อเนื่องด้านใดบ้างดังนี้

SIDE CONTINUOUS
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Short Side Continuous</li> <li>2. Long Side Continuous</li> <li>3. Short-Long Side Continuous</li> </ol>
C H O O S E ( 1 - 3 ) :

๕

ถ้าเลือก ' 4 ' จะมีกรอบแสดงมาที่ส่วนล่างของให้เลือกว่าต่อเนื่องด้านใดบ้างดังนี้

SIDE CONTINUOUS
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Short Side Continuous</li> <li>2. Long Side Continuous</li> </ol>
C H O O S E ( 1 - 2 ) :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 9 ให้เราเลือกความหนาที่น้อยที่สุดที่จะใช้ โดยเครื่องจะแสดงค่าความหนาที่น้อยที่สุดที่คำนวณได้ไว้ตัวบนและให้เราเลือกความหนาต่ำสุดจากตัวล่างโดยหน่วยเป็น cm. ดังนี้

Min. Thickness	
Min. Thickness	=
Min. Thickness	=
Accept Above (Y/N) :	

ขั้นตอนที่ 10 แล้วรอส่วนแสดงผลทางหน้าจอ เมื่อคุณเรียบร้อยแล้วก็กด Enter

ขั้นตอนที่ 11 เครื่องจะถามว่า

' Do you want to Print (Y/N) : '

ถ้าตอบ 'Y' ก็จะทำให้การพิมพ์ออกเครื่องพิมพ์ให้ ถ้าตอบ 'N' ก็จะตรวจว่า จำนวนพื้นที่ต้องการคำนวณหมดหรือยัง ถ้ายังไม่หมดก็จะทำการคำนวณพื้นที่ต่อไป โดยไปเร็ววนทำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 4. เป็นต้นมา ถ้าหมดแล้วก็จะกลับมาที่ Main Menu

### 3.3 ขั้นตอนในการใช้โปรแกรมพื้น Cantilever Slab

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก 1

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 1	
Accept Above (Y/N) : Y	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนที่ 2 เลือก Load Factor

Load Factor
1. Dead-Load Factor=1.7; Live-Load Factor=2 2. Dead-Load Factor=1.4; Live-Load Factor=1.7 3. Load Factor of User
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 1

เมื่อเลือกแล้วจะขึ้นมาถามให้แน่ใจว่า Load Factor ที่ใช้ถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

Load Factor of Dead Load = 1.7

Load Factor of Live Load = 2.0

Accept Above. (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 3 จะถามว่า ' No. of Slab(s) : \_\_ ' คือขึ้นมาถามว่าจะให้  
คำนวณพื้นที่พื้นเมื่อเลือกแล้วเครื่องจะถามว่า ' Accept Above (Y/N) : '

ขั้นตอนที่ 4 รอให้กด Enter เพื่อเข้าไปทำขั้นตอนต่อไป

**ขั้นตอนที่ 5 เลือกชนิดของพื้น**

Slab Type
1. One Way Slab 2. Two Way Slab 3. Cantilever Slab
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 3

**ขั้นตอนที่ 6 กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ**

Material Default
$F_c =$ ksc. $F_v =$ ksc.

Accept Above (Y/N) :

ขั้นตอนที่ 7 ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับพื้น

Cantilever Slab Data
Span of Cantilever Slab (ม) :
Point Load at the edge (kg) :
Other Dead Load (kg/m <sup>2</sup> ) :
Live Load (kg/m <sup>2</sup> ) :
Accept Above (Y/N) :

ขั้นตอนที่ 8 ให้เราเลือกความหนาที่น้อยที่สุดที่จะใช้ โดยเครื่องจะแสดงค่าความหนาที่น้อยที่สุดที่คำนวณได้ไว้ด้วยและให้เราเลือกความหนาที่น้อยที่สุดจากตัวล่างโดยหน่วยเป็น cm. ดังนี้

Min. Thickness
Min. Thickness =
Min. Thickness =
Accept Above (Y/N) :

ขั้นตอนที่ 10 แล้วรอส่วนแสดงผลทางหน้าจอ เมื่อคุณเรียบร้อยแล้วก็กด Enter

ขั้นตอนที่ 11 เครื่องจะถามว่า

' Do you want to Print (Y/N) : '

ถ้าตอบ 'Y' ก็จะทำให้การพิมพ์ออกเครื่องพิมพ์ให้ ถ้าตอบ 'N' ก็จะตรวจว่า จำนวนพื้นที่  
ต้องการคำนวณหมดหรือยัง ถ้ายังไม่หมดก็จะทำการคำนวณพื้นที่ต่อไป โดยไปเริ่มวนทำตั้งแต่  
ขั้นตอนที่ 4 เป็นต้นมา ถ้าหมดแล้วก็จะกลับมาที่ Main Menu



### 3.4 ขั้นตอนในการใช้โปรแกรมบันได Solid and Folding Stair

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก 2

Main Menu	
1. S l a b	4. C o l u m n
2. S t a i r	5. F o o t i n g
3. B e a m	6. E x i t
C H O O S E ( 1 - 6 ) : 2	
A c c e p t A b o v e ( Y / N ) : Y	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 เลือก Load Factor

Load Factor
1. Dead-Load Factor=1.7; Live-Load Factor=2 2. Dead-Load Factor=1.4; Live-Load Factor=1.7 3. Load Factor of User
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 1

เมื่อเลือกแล้วจะขึ้นมาถามให้แน่ใจว่า Load Factor ที่ใช้ถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

Load Factor of Dead Load = 1.7

Load Factor of Live Load = 2.0

Accept Above (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 3 จะถามว่า ' No. of Stair(s) : \_\_ ' คือขึ้นมาถามว่าจะให้  
คำนวณบันไดกี่อันเมื่อเลือกแล้วเครื่องจะถามว่า ' Accept Above (Y/N) : "

ขั้นตอนที่ 4 รอให้กด Enter เพื่อเข้าไปทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 เลือกชนิดของบันได

Type of Stair
1. Solid Stair 2. Folding Stair
CHOOSE ( 1 - 2 ) :

ขั้นตอนที่ 6 กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ

Material Default
$F_c =$ ksc. $F_v =$ ksc.

Accept Above (Y/N) :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับบันได

Data of Stair	
Span of Stair ( m )	:
Min. Thickness ( cm )	:
Thread ( cm )	:
Rising ( cm )	:
Other Dead Load ( kg/m <sup>2</sup> )	:
Live Load ( kg/m <sup>2</sup> )	:
Accept Above (Y/N)	:

ขั้นตอนที่ 8 ถ้าผ่านเครื่องจะบอกให้ทราบดังนี้

' Calculation Depth < Assume Thickness O.K. '

ถ้าไม่ผ่านเครื่องก็จะเตือนและให้กลับไปป้อนค่าใหม่

ขั้นตอนที่ 9 ให้ผู้ใช้ทำการเลือกเหล็กเสริมโดยจะแสดงออกทางจอภาพดังนี้

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

### Reinforced Main Steel

Select Steel : ..... มม. Spacing : ..... มม.

Dia 6 มม. Spacing : ..... มม.

Dia 9 มม. Spacing : ..... มม.

Dia 12 มม. Spacing : ..... มม.

Dia 15 มม. Spacing : ..... มม.

ขั้นตอนที่ 10 เมื่อกด Enter แล้วก็จะแสดงผลทางหน้าจอ แล้วก็กด Enter อีก

ขั้นตอนที่ 11 เครื่องจะถามว่า

' Do you want to Print (Y/N) : '

ถ้าตอบ 'Y' ก็จะทำให้การพิมพ์ออกเครื่องพิมพ์ให้ ถ้าตอบ 'N' ก็จะไปทำขั้นตอนต่อไป

## ขั้นตอนที่ 12 เครื่องจะถามว่า

' Do you want to Assume Thickness again (Y/N) : '

ถ้าตอบ 'Y' เครื่องก็จะทำการกลับไปป้อนข้อมูลเกี่ยวกับบันไดใหม่ (เริ่มตั้งแต่ข้อ 7. )

ถ้าตอบ 'N' เครื่องก็จะทำการตรวจสอบว่า จำนวนบันไดที่ต้องการคำนวณหมดหรือยัง ถ้ายังไม่หมดก็จะทำการคำนวณต่อไป โดสไปเริ่มวนทำตั้งแต่ข้อ 5. เป็นต้นมา ถ้าหมดแล้วก็จะกลับมาที่ Main Menu



### 3.5 ขั้นตอนในการใช้โปรแกรม Simple Beam

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก 3

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 3	
Accept Above (Y/N) : Y	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ขั้นตอนที่ 2** เลือก Load Factor

Load Factor
1. Dead-Load Factor=1.7; Live-Load Factor=2 2. Dead-Load Factor=1.4; Live-Load Factor=1.7 3. Load Factor of User
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 1

เมื่อเลือกแล้วจะขึ้นมาถามให้แน่ใจว่า Load Factor ที่ใช้ถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

Load Factor of Dead Load = 1.7

Load Factor of Live Load = 2.0

Accept Above (Y/N) : Y

**ขั้นตอนที่ 3** จะถามว่า ' No. of Beam(s) : \_\_ ' คือขึ้นมาถามว่าจะให้  
คำนวณคานกี่อันเมื่อเลือกแล้วเครื่องจะถามว่า ' Accept Above (Y/N) : Y '

**ขั้นตอนที่ 4** รอให้กด Enter เพื่อเข้าไปทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ

Material Default	
$F_c$	= ksc.
$F_v$	= ksc.

Accept Above (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 6 เลือกชนิดของคาน

Beam Connectivity
1. Simple Beam 2. Semi Continuous Beam 3. Continuous Beam
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 1
Accept Above (Y/N) : Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ขั้นตอนที่ 11 เครื่องจะถามว่า

' Do you want to Change Beam section (Y/N) : '

ถ้าตอบ ' Y ' ก็จะมีวนกลับไปทำ ขั้นตอนที่ 7 คือการป้อนข้อมูลเกี่ยวกับคานใหม่

ถ้าตอบ ' N ' ก็จะมีกลับไป Main Menu



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 ขั้นตอนในการใช้โปรแกรม Semi Continuous and Continuous Beam

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก 3

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 3	
Accept Above (Y/N) : Y	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนที่ 2 เลือก Load Factor

Load Factor
1. Dead-Load Factor=1.7; Live-Load Factor=2 2. Dead-Load Factor=1.4; Live-Load Factor=1.7 3. Load Factor of User
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 1

เมื่อเลือกแล้วจะขึ้นมาถามให้แน่ใจว่า Load Factor ที่ใช้ถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

Load Factor of Dead Load = 1.7

Load Factor of Live Load = 2.0

Accept Above (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 3 จะถามว่า ' No. of Beam(s) : \_\_ ' คือขึ้นมาถามว่าจะให้  
คำนวณคานกี่อันเมื่อเลือกแล้วเครื่องจะถามว่า ' Accept Above (Y/N) : Y '

ขั้นตอนที่ 4 รอให้กด Enter เพื่อเข้าไปทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ

Material Default	
$F_c$	= 210 ksc.
$F_v$	= 4200 ksc.

Accept Above (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 6 เลือกชนิดของคาน

Beam Connectivity	
1.	Simple Beam
2.	Semi Continuous Beam
3.	Continuous Beam
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 2 or 3	
Accept Above (Y/N) : Y	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนที่ 7 ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับคาน

Beam Section ( b x d cm. ) : \_\_\_ x \_\_\_

Depth of Beam must more than ( b cm. ) >= \_\_\_\_\_ cm.

เมื่อเติมความกว้างของคานแล้วจะมีค่าเตือนขึ้นมาข้างล่างว่า

' Depth of Beam must more than ( b cm. ) >= \_\_\_\_\_ cm. '

คือ ความลึกของคานที่จะสมมติต้องมากกว่าหรือเท่ากับความกว้างของคานมิฉะนั้นเครื่องจะไม่ยอมรับและให้ป้อนใหม่

### ขั้นตอนที่ 8

ENTER no. of total Node : (ใส่จำนวน Node รวมทั้ง Node )

Coordinate Data

Coor-X Coor-Y

Node0 0 0

Node1 - -

เมื่อป้อนข้อมูลของ Node 1 แล้ว Node 1 ก็จะทำกาเคลื่อนขึ้นไปแทน Node 0 และ จะทำการถาม Node 2 , Node 3 , Node 4 ต่อมาเรื่อย ๆ โดย

### ขั้นตอนที่ 9

ENTER no. of members : ( ป้อนจำนวน member หรือ คานแยกแต่ละ Span )

Connectivity

1-Node

2-Node

Member0 0 0

Member1 - -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น สิ่งนี้ยังเป็นต้นฉบับที่ปรับปรุงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
เช่นเดียวกับการป้อน Node โดย Member2,3,4 และต่อมาเรื่อย ๆ จะขึ้นมาแทน

## ขั้นตอนที่ 10

ENTER the no. of sets of LOAD : ( ป้อนจำนวน Load Set )

## ขั้นตอนที่ 11

ENTER no. of Joints that are PINNED : ( ป้อนจำนวน Support  
ที่เป็น Pin )

Pinned0 Node no. : 0

Pinned1 Node no. : ( Support ที่เป็น Pin ว่าคือ Node ที่เท่าไร )

## ขั้นตอนที่ 12

No. of Joint that more one member : ( จำนวน Joint ที่รับ  
มากกว่า 1 member )

No. of member that meet Joint-1. :

Node No. that meet member0 :

Node No. that meet member1 :

Node No. that meet member2 :

## ขั้นตอนที่ 13

ENTER no. of Uniform Dead Load : ( ป้อนจำนวน Uniform  
Dead Load )

Load	Length	Apply at	1_st NODE	Dist.
(kg/m)	(m)	Member		1st-node

## ขั้นตอนที่ 14

ENTER no. of Point Load : ( ป้อนจำนวน Point Load )

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาโยธาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอแจ้งให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนที่ 15

ENTER no. of Uniform Live Load : ( ป้อนจำนวน Uniform Live Load )

Load (kg/m)	Length (m)	Apply at Member	1_st NODE	Dist. 1st-node
----------------	---------------	--------------------	-----------	-------------------

ขั้นตอนที่ 16 ทำการแสดงผลทางหน้าจอเพื่อรอให้กด Enter ผ่านไปทำขั้นตอนต่อไป

## ขั้นตอนที่ 17 เครื่องจะถามว่า

' Do you want to Print (Y/N) : '

ถ้าตอบ ' Y ' ก็จะทำให้การพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ให้

ถ้าตอบ ' N ' ก็จะผ่านไปทำขั้นตอนต่อไป

## ขั้นตอนที่ 18 เครื่องจะถามว่า

' Do you want to Change Beam section (Y/N) : '

ถ้าตอบ ' Y ' ก็จะวนไปที่ ขั้นตอนที่ 7 คือทำการเริ่มป้อนข้อมูลเกี่ยวกับคานเรือสมา

ถ้าตอบ ' N ' ก็จะกลับไป Main Menu

### 3.7 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมเสา

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก '4' เพื่อเข้าสู่การคำนวณเสา โดยจอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 4	
Accept Above (Y/N) : Y	

เมื่อผู้ใช้กด '4' แล้ว จะปรากฏข้อความในกรอบด้านล่าง ดังนี้

Accept Above (Y/N) :

ให้ผู้ใช้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากที่เกิด 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพ ดังนี้

Type of Column
1. Tied Column 2. Spiral Column
Select type of column(1-2) :

เป็นการเลือกชนิดของเสา ว่าเป็นเสาสี่เหลี่ยมหรือเสากลม  
 หลังจากที่ใช้เลือกชนิดของเสาแล้ว กด Enter จอภาพจะปรากฏข้อความ

Accept Above (y/n) :

ถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ให้กด 'n' ถ้าผู้ใช้ป้อนค่าถูกต้องแล้ว  
 ให้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 3 ในกรณีที่เลือก '1' (Tied Column)  
หลังจากที่ผู้ใช้กด 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Load Factor
1. Dead - Load Factor 1.7 ; Live Load Factor = 2 2. Dead - Load Factor 1.4 ; Live Load Factor = 1.7 3. Load Factor of User
Choose 1 - 3 :

เป็นการถามผู้ใช้ว่า ต้องการใช้ค่า Load Factor เท่าไร

ในกรณีที่เลือก '1' แสดงว่า Dead Load Factor = 1.7 และ  
Live Load Factor = 2

ในกรณีที่เลือก '2' แสดงว่า Dead Load Factor = 1.4 และ  
Live Load Factor = 1.7

ในกรณีที่เลือก '3' ให้ผู้ใช้กำหนดค่า Dead Load Factor และ Live Load Factor เองตามที่ผู้ใช้ต้องการ

โดยจะปรากฏข้อความดังนี้

Load Factor of Dead Load =

Load Factor of Live Load =

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผู้ใช้ป้อนค่าทั้งสองแล้วให้กด Enter

หลังจากที่ผู้ใช้เลือก Load Factor แล้วในจอภาพจะปรากฏข้อความว่า

Accept Above (y/n) :

ถ้าผู้ใช้ป้อนค่าถูกต้องให้กด 'y' แต่ถ้าต้องการเปลี่ยนอีกให้กด 'n' โปรแกรมจะวนกลับไปถาม Load Factor of Dead Load และ Load Factor of Live Load ใหม่

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อเลือก 'y' แล้วจอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Materials Default	
$F_c' =$	ksc
$F_y =$	ksc
*** $F_y$ , for use, can more than 4,200 ksc ***	
*** $F_y$ , for calculation, get more of 0.85 $f_y$ or 4,200 ksc ***	

ให้ผู้ใช้ป้อนค่า  $F_c'$  และ  $F_y$  เมื่อผู้ใช้ป้อนค่าดังกล่าวเรียบร้อยแล้ว กด Enter จะปรากฏข้อความ

ถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ให้กด 'n' ถ้าผู้ใช้ป้อนค่าถูกต้องแล้ว ให้กด 'y'.

ขั้นตอนที่ 5 หลังจากที่ใช้กด 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Input Data of Column	
Dead Load(ton)	=
Live Load(ton)	=
Column Section(cm.)	= X
Length of Column(m.)	=

เมื่อผู้ใช้ป้อนค่าต่าง ๆ ดังที่ปรากฏเรียบร้อยแล้ว ให้กด Enter จะปรากฏข้อความในกรอบสี่เหลี่ยมข้างล่างดังนี้

Accept Above (y/n) :

ถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ให้กด 'n' ถ้าผู้ใช้ป้อนค่าถูกต้องแล้ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า  
ให้กด 'y' มิฉะนั้นห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 6 หลังจากที่ใช้คีย์ 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Select Diameter of Vertical Bar	
1.	RB,DB 12
2.	RB 15
3.	DB 16
4.	RB 19
5.	DB 20
6.	RB,DB 25
7.	DB 28
8.	DB 32
Select Diameter of Vertical Bar (1-8) :	

และทางด้านขวาของตารางจะมีข้อความดังนี้

Required area      cm<sup>2</sup>

ให้ผู้ใช้เลือกขนาดเหล็กที่ต้องการ จากนั้นกด Enter จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Accept Above (y/n) :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ให้กด 'n' ถ้าผู้ใช้ป้อนค่าถูกต้องแล้ว ให้กด 'y'

หลังจากที่ผู้ใช้กด 'y' จะมีข้อความปรากฏอยู่ด้านขวาของตารางดังนี้

Use bar                      mm.

Quantity of bar            no.

Area of bar                    cm<sup>2</sup>

หลังจากนั้นให้ผู้ใช้กด Enter

ขั้นตอนที่ 7 หลังจากผู้ใช้กด Enter จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

<p>Select Stirrup</p>
<p>1. RB 6</p> <p>2. RB 9</p> <p>3. RB 12</p>
<p>Select Stirrup (1-3) :</p> <p>Accept Above (y/n) :</p>

ให้ผู้ใช้เลือกเหล็กปลอก จากนั้นกด Enter จะปรากฏข้อความในกรอบสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Accept Above (y/n) :

ถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ให้กด 'n' ถ้าผู้ใช้ป้อนค่าถูกต้องแล้ว ให้กด 'y'

หลังจากที่ผู้ใช้กด 'y' จะมีข้อความปรากฏอยู่ด้านขวาของตารางดังนี้

As = cm2

Use bar = มม.

Quantity of bar = no.

Area = cm2

Stirrup = มม.

Spacing = ซม.

จากนั้นให้ผู้ใช้กด Enter

ขั้นตอนที่ 8 จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Do you want to change other bar (y/n) :

ถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนขนาดเหล็กให้กด 'y' ถ้าไม่ต้องการให้กด 'n'

ขั้นตอนที่ 9 จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Do you want to print (y/n) :

เมื่อผู้ใช้ต้องการพิมพ์ข้อมูลต่าง ๆ ออกทาง เครื่องพิมพ์ (printer) ให้กด 'y' เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ถ้าไม่ต้องการพิมพ์ ให้กด 'n' โปรแกรมจะแสดงภาพตัดเสา จากนั้นจึงกด Enter จึงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ กดกลับไป Main Menu

ขั้นตอนที่ 10 เมื่อเครื่องพิมพ์(printer) พิมพ์เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะแสดงภาพหน้าตัดของเสาที่คำนวณได้ จากนั้นจึงกด Enter จึงกลับไปสู่ Main Menu

ขั้นตอนที่ 11 ในกรณีที่เลือก '2' (Spiral Column)

ขั้นตอนการใช้เหมือนกับ ขั้นตอนที่ 2 ในกรณีที่เลือก '1' (Tied Column)

ขั้นตอนที่ 12 ขั้นตอนการใช้เหมือนกับ ขั้นตอนที่ 3 ในกรณีที่เลือก '1' (Tied Column)

ขั้นตอนที่ 13 หลังจากผู้ใช้กด 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Input Data of Column	
Dead Load(ton)	=
Live Load(ton)	=
Assume Diameter of Column(cm.)	= x
Length of Column(m.)	=

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผู้ใช้ป้อนค่าต่าง ๆ ดังที่ปรากฏเรียบร้อยแล้ว ให้กด Enter จะปรากฏข้อความ  
ในกรอบสี่เหลี่ยมข้างล่างดังนี้

Accept Above (y/n) :

ถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ให้กด 'n' ถ้าผู้ใช้ป้อนค่าถูกต้องแล้ว  
ให้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 14 หลังจากที่ใช้กด 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Select Diameter of Vertical Bar
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. RB, DB 12</li> <li>2. RB 15</li> <li>3. DB 16</li> <li>4. RB 19</li> <li>5. DB 20</li> <li>6. RB, DB 25</li> <li>7. DB 28</li> <li>8. DB 32</li> </ol>
Select Diameter of Vertical Bar (1-8) :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทางด้านขวาของตารางจะมีข้อความดังนี้

Required area          cm2

ให้ผู้ใช้เลือกขนาดเหล็กที่ต้องการ จากนั้นกด Enter จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Accept Above (y/n) :

ถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ให้กด 'n' ถ้าผู้ใช้ป้อนค่าถูกต้องแล้ว ให้กด 'y'

หลังจากที่ผู้ใช้กด 'y' จะมีข้อความปรากฏอยู่ด้านขวาของตารางดังนี้

Use bar                          mm.

Quantity of bar              no.

Area of bar                      cm2

หลังจากนั้นให้ผู้ใช้กด Enter

ขั้นตอนที่ 15 หลังจากที่ใช้กด 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Select Stirrup
1. RB 6 2. RB 9 3. RB 12
Select Stirrup (1-3) :

ให้ผู้ใช้เลือกขนาดเหล็กปลอกที่จะใช้ โดยเลือก '1', '2' หรือ '3' จากนั้นกด Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Accept Above (y/n) :

ถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ให้กด 'n' ถ้าผู้ใช้ป้อนค่าถูกต้องแล้ว ให้กด 'y'

หลังจากที่กด 'y' แล้วจะปรากฏข้อความข้างล่างดังนี้

Do you want to use Spiral reinforcement or Tied reinforcement

(S or T) :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ผู้ใช้เลือกชนิดของเหล็กปลอกที่จะใช้ ซึ่งได้แก่ เหล็กปลอกเกลียว (Spiral reinforcement, S) หรือ เหล็กปลอกเดือว (Tied reinforcement, T) ให้ผู้ใช้เลือก 'S' หรือ 'T'

ในกรณีที่เลือก 'S' ให้ผู้ใช้เลือกขนาดเหล็กปลอก ถ้ามีเส้น径ตั้งขึ้นและมีข้อความดังนี้

Cannot Use This Steel

Select New Steel

You must select diameter larger than mm.

ถ้ามีข้อความดังกล่าวปรากฏขึ้น ให้ผู้ใช้เลือกขนาดเหล็กปลอกใหม่เนื่องจาก Ss ไม่อยู่ในช่วง 3 ถึง 7 หรือพื้นที่หน้าตัดของเหล็กปลอกน้อยกว่า ปริมาณเหล็กปลอกต่ำสุดที่กำหนดไว้ โดยกด Enter 1 ครั้ง แล้วเลือกขนาดเหล็กปลอกใหม่ ถ้าพื้นที่หน้าตัดที่เลือกอยู่ในช่วง 3 ถึง 7 และมีค่าไม่น้อยกว่าปริมาณเหล็กปลอกต่ำสุดที่ต้องมีแล้ว จอภาพจะปรากฏค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณทางด้านขวาของตารางดังนี้

Spiral reinforcement

Area cm<sup>2</sup>

Use Bar mm.

Quantity of Bar no.

Area cm<sup>2</sup>

Stirrup mm.

Pitch cm.

ในกรณี que เลือก 'T' จะปรากฏค่าต่าง ๆ ด้านขวาของตารางดังนี้

Stirrup

Use Bar mm.

Quantity of Bar no.

Area cm2

Stirrup mm.

Spacing cm.

จากนั้นให้ผู้ใช้กด Enter

ชั้นตอนที่ 16 เช่นเดียวกับชั้นตอนที่ 8

ชั้นตอนที่ 17 เช่นเดียวกับชั้นตอนที่ 9

ชั้นตอนที่ 18 เช่นเดียวกับชั้นตอนที่ 10

### 3.8 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมฐานราก

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก '5' เพื่อเข้าสู่การคำนวณฐานราก  
โดยจอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 5	
Accept Above (Y/N) : Y	

เมื่อผู้ใช้กด '5' แล้ว จะปรากฏข้อความในกรอบด้านล่าง ดังนี้

Accept Above (Y/N) :

ให้ผู้ใช้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากกด 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Load Factor
1. Dead - Load Factor 1.7 ; Live Load Factor = 2 2. Dead - Load Factor 1.4 ; Live Load Factor = 1.7 3. Load Factor of User
Choose 1 - 3 :

เป็นการถามผู้ใช้งานว่า ต้องการใช้ค่า Load Factor เท่าไร

ในกรณีที่เลือก '1' แสดงว่า Dead Load Factor = 1.7 และ  
Live Load Factor = 2

ในกรณีที่เลือก '2' แสดงว่า Dead Load Factor = 1.4 และ  
Live Load Factor = 1.7

ในกรณีที่เลือก '3' ให้ผู้ใช้กำหนดค่า Dead Load Factor และ Live Load Factor เองตามที่ผู้ใช้ต้องการ

โดยจะปรากฏข้อความดังนี้

Load Factor of Dead Load =

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Load Factor of Live Load =

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผู้ใช้ป้อนค่าทั้งสองแล้ว ให้กด Enter

หลังจากที่ผู้ใช้เลือก Load Factor แล้วในจอภาพจะปรากฏข้อความว่า

Accept Above (y/n) :

ถ้าผู้ใช้ป้อนค่าถูกต้องแล้วให้กด 'y' แต่ถ้าต้องการเปลี่ยนอีกให้กด 'n' โปรแกรมจะวนกลับไปถาม Load Factor of Dead Load และ Load Factor of Live Load ใหม่

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากให้กด 'y' แล้วจอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Materials Default	
$F_c' =$	ksc
$F_y =$	ksc
*** $F_y$ , for use, can more than 4,200 ksc ***	
*** $F_y$ , for calculation, get more of 0.85 $f_y$ or 4,200 ksc ***	

ให้ผู้ใช้ป้อนค่า  $F_c'$  และ  $F_y$  เมื่อผู้ใช้ป้อนค่าดังกล่าวเรียบร้อยแล้ว กด Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

ถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ให้กด 'n' ถ้าผู้ใช้ป้อนค่าถูกต้องแล้ว ให้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 4 หลังจากผู้ใช้กด 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Input Data of Footing		
Dead Load (Ton)	=	
Live Load (Ton)	=	
Total Load (Ton)	=	
Load/pile(Ton)	=	
Ultimate Load / Pile(ton)	=	
Thickness of Footing(m.)	=	
Diameter of Pile(cm.)	=	
No. of Pile(Short side)	=	
No. of Pile(Long side)	=	
Column section(cm.)	=	x
No. of Pile	=	
Footing section(cm.)	=	x

ให้ผู้ใช้ป้อนค่า ต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ โดยที่เมื่อป้อนความหนาของฐานรากแล้ว โปรแกรมจะคำนวณจำนวนเข็มให้ และจะปรากฏจำนวนเข็มในบรรทัดที่เขียนว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น No. of Pile ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อป้อนจำนวนเข็มทางด้านสั้นและด้านยาวแล้ว โปรแกรมจะคำนวณขนาด  
ของฐานราก และจะปรากฏในบรรทัดที่เขียนว่า

Footing Section (m.) = x

เมื่อป้อนค่าเรียบร้อยแล้วจะมีข้อความในกรอบสี่เหลี่ยมข้างล่างว่า

Accept Above (y/n) :

ถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ให้กด 'n' ถ้าผู้ใช้ป้อนค่าถูกต้องแล้ว  
ให้กด 'y' จะมีข้อความปรากฏขึ้นด้านขวาของตารางดังนี้

Area cm<sup>2</sup>

จากนั้นให้ผู้ใช้กด Enter

ขั้นตอนที่ 5 โปรแกรมจะคำนวณค่าต่าง ๆ โดยตรวจสอบค่าต่อไปนี้

1. กำลังรับน้ำหนักประลัยที่เข็มแต่ละต้นรับได้ (U<sub>lpc</sub> = U<sub>lload</sub>/N<sub>Pile</sub>) กับ  
กำลังรับน้ำหนักประลัยของเข็มหนึ่งต้นที่กำหนดไว้ (U<sub>lp</sub>)

ถ้า U<sub>lpc</sub> มากกว่า U<sub>lp</sub> โปรแกรมจะกำหนดให้ผู้ใช้ป้อนค่า จำนวนเสาเข็ม  
(N<sub>Pile</sub>) ใหม่ โดยมีข้อความกำหนดขึ้นดังนี้

Cannot use This pile No.

No of pile =

ให้ผู้ใช้ป้อนค่าใหม่ จากนั้นกด Enter ถ้า U<sub>lpc</sub> มากกว่า U<sub>lp</sub> โปรแกรมจะให้  
เพิ่มจำนวนเข็มไปเรื่อย ๆ จนกระทั่ง U<sub>lpc</sub> น้อยกว่า U<sub>lp</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. Shear

- Shear around pile cap (V1)
- Shear around column head (V2)
- Two way shear (V3)

โดยที่ค่าที่ยอมให้ของให้ของ shear ชนิดต่าง ๆ ได้แก่

1. Allowable shear around pile cap and allowable shear around column head (VU1)

$$\text{โดยที่ } VU1 = 1.06\phi / fc$$

2. Allowable two way shear (VU2)

$$\text{โดยที่ } VU2 = 0.53\phi / fc$$

โปรแกรมจะตรวจสอบค่า shear ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบกับค่าที่ยอมให้ ถ้า shear ที่เกิดขึ้น มากกว่าค่าที่ยอมให้ โปรแกรมจะให้ผู้ใช้ป้อนค่าจำนวนเสาเข็ม (NPile) ใหม่ จนกว่า shear ที่เกิดขึ้น น้อยกว่าค่าที่ยอมให้

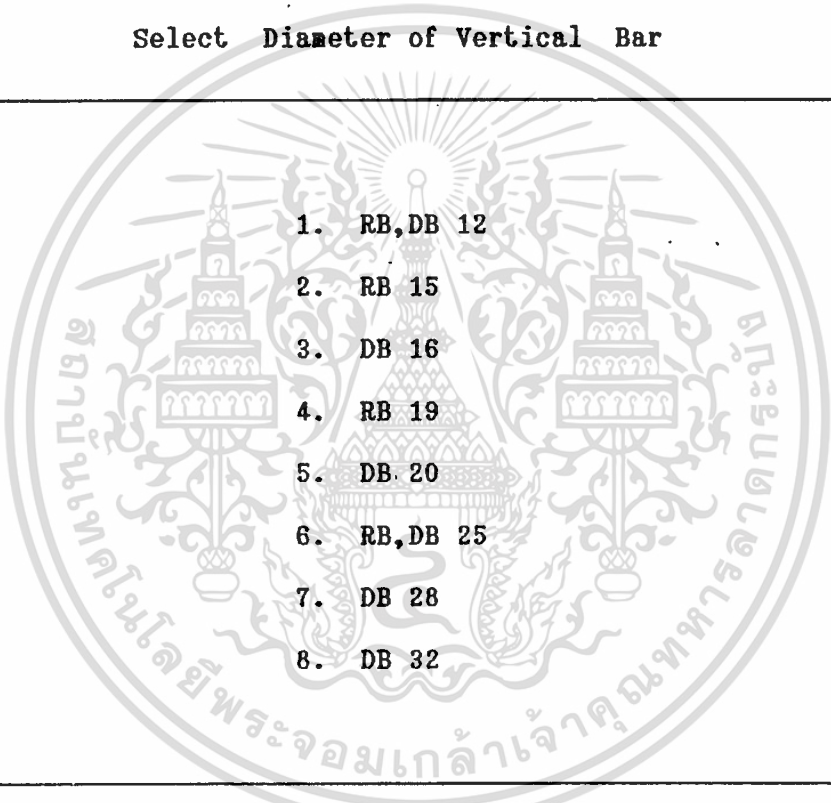
## 3. Moment

โปรแกรมจะคำนวณโมเมนต์ตัดที่เกิดขึ้น (Mu1) เปรียบเทียบกับ ค่าโมเมนต์ตัด ด้านทาน (Mu) ถ้า Mu มากกว่า Mu1 โปรแกรมจะให้ผู้ใช้ป้อนค่าขนาดของฐานราก (L1,L2) ใหม่ โดยมีข้อความปรากฏดังนี้

Cannot use Section x

ให้ผู้ใช้ป้อนค่าดังกล่าว แล้วกด Enter ถ้าคำนวณได้ Mu น้อยกว่า Mu1 แล้ว  
โปรแกรมจะผ่านไป

ขั้นตอนที่ 6 จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Select Diameter of Vertical Bar	
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. RB, DB 12</li> <li>2. RB 15</li> <li>3. DB 16</li> <li>4. RB 19</li> <li>5. DB 20</li> <li>6. RB, DB 25</li> <li>7. DB 28</li> <li>8. DB 32</li> </ol>
Select Diameter of Vertical Bar (1-8) :	

ทางด้านขวาของตารางจะปรากฏข้อความดังนี้

Area            cm2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำ  
ไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์อื่นใดได้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ให้ผู้ใช้เลือกขนาดเหล็กที่ต้องการ จากนั้นกด Enter จะปรากฏค่าต่างๆ ที่ได้จาก  
การคำนวณทางด้านขวาของตารางดังนี้

Use bar	mm.
Quantity	no.
As	cm <sup>2</sup>

จากนั้นให้กด Enter

ขั้นตอนที่ 7 จอภาพจะปรากฏค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณ ดังนี้

Allowable shear around pile cap	kg/cm <sup>2</sup>
Allowable shear around column	kg/cm <sup>2</sup>
Allowable two way shear	kg/cm <sup>2</sup>
Shear around pile cap	kg/cm <sup>2</sup>
Shear around column	kg/cm <sup>2</sup>
Two way shear	kg/cm <sup>2</sup>
Resisting Moment	ton-m
Actual Moment	ton-m
Required Area of Bar	cm <sup>2</sup>
Use Bar	mm.
Quantity of Bar	no.

จากนั้นกด Enter

ขั้นตอนที่ 8 จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Do you want to change other bar (y/n) :

เอกสารนี้เป็นเอกสารถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนขนาดเหล็ก ให้กด 'y' ถ้าไม่ต้องการ ให้กด 'n' โยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนที่ 9 จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Do you want to print (y/n) :

เมื่อผู้ใช้ต้องการพิมพ์ข้อมูลต่าง ๆ ออกทาง เครื่องพิมพ์ (printer) ให้กด 'y'  
ถ้าไม่ต้องการพิมพ์ ให้กด 'n' โปรแกรมจะแสดงรูปตัดของฐานราก จากนั้นกด Enter  
จะเป็นรูปแปลนของฐานราก จากนั้นกด Enter โปรแกรมจึงกลับไปสู่ Main Menu

ขั้นตอนที่ 10 เมื่อเครื่องพิมพ์ (printer) พิมพ์เรียบร้อยแล้วให้กด Enter  
โปรแกรมจะแสดงรูปตัดของฐานราก จากนั้นกด Enter จะเป็นรูปแปลนของฐานราก  
จากนั้นกด Enter โปรแกรมจึงกลับไปสู่ Main Menu

## บทที่ 4

### ตัวอย่างในการคำนวณ

#### 4.1 ตัวอย่างการคำนวณพื้น One - Way Slab

ตัวอย่างที่ 1 จงออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบทางเดียว ซึ่งเป็นแบบ Continuous ขนาดกว้าง 5 ม. ยาว 10 ม. รับน้ำหนัก Dead Load =  $150 \text{ kg/m}^2$  Live Load =  $250 \text{ kg/m}^2$  โดยให้ค่า  $f_c = 210 \text{ ksc}$ .  $f_y = 4200 \text{ ksc}$ . Dead Load factor = 1.7 Live Load factor = 2.0 โดยให้ทฤษฎีค่าดังประลักษ์

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก 1

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 1	
Accept Above (Y/N) : Y	

ขั้นตอนที่ 2 เลือก Load Factor

Load Factor
1. Dead-Load Factor=1.7; Live-Load Factor=2 2. Dead-Load Factor=1.4; Live-Load Factor=1.7 3. Load Factor of User
C H O O S E ( 1 - 3 ) : 1

เมื่อเลือกแล้วจะขึ้นมาถามให้แน่ใจว่า Load Factor ที่ใช้ถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

Load Factor of Dead Load = 1.7

Load Factor of Live Load = 2.0

Accept Above (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 3 จะถามว่า ' No. of Slab(s) : 1 ' คือขึ้นมาถามว่าจะให้  
คำนวณหนักหนเมื่อเลือกแล้วเครื่องจะถามว่า ' Accept Above (Y/N) : Y '

ขั้นตอนที่ 4 รอให้กด Enter เพื่อเข้าไปทำขั้นตอนต่อไป

## ขั้นตอนที่ 5 เลือกชนิดของพื้น

Slab Type
1. One Way Slab 2. Two Way Slab 3. Cantilever Slab
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 1

## ขั้นตอนที่ 6 กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ

Material Default
$F_c = 210$ ksc. $F_y = 4200$ ksc.

Accept Above (Y/N) : Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 เลือกประเภทของพื้น

Type of Slab
1. Simple Slab 2. Semi Continuous Slab 3. Continuous Slab
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 3
Accept Above (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 8 ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับพื้น

Input Data of Slab	
Short Span ( m )	: 5
Long Span ( m )	: 10
Other Dead Load (kg/m <sup>2</sup> )	: 150
Live Load (kg/m <sup>2</sup> )	: 250
Accept Above (Y/N) : Y	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลทั้งหมดที่ปรากฏในเอกสารนี้ไว้ทั้งหมด และขอสงวนสิทธิ์ในการนำไปใช้

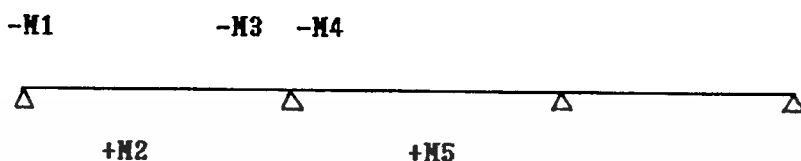
Long Span must more than or Equal ( 2\*S ) = 10 นำไปใช้

ขั้นตอนที่ 9 ให้เราเลือกความหนาที่น้อยที่สุดที่จะใช้ โดยเครื่องจะแสดงค่าความหนาที่น้อยที่สุดที่คำนวณได้ไว้ด้วยและให้เราเลือกความหนาต่ำสุดจากตัวล่างโดยหน่วยเป็น cm. ดังนี้

Min. Thickness	
Min. Thickness	= 14.50
Min. Thickness	= 14.50
Accept Above (Y/N) : Y	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 10 แล้วรอส่วนแสดงผลทางหน้าจอ เมื่อคีย์เรียบร้อยแล้ว Enter



Thickness	=	14.50	cm.
Live Load on Long Beam	=	1250.00	kg/m.
Dead Load on Long Beam	=	2116.50	kg/m.
Exterior Moment ( - M1 )	=	2104.06	kg-m.
Area of Steel ( A <sub>s</sub> )	=	5.15	cm. <sup>2</sup>
Middle Span Moment ( + M2 )	=	2404.06	kg-m.
Area of Steel ( A <sub>s</sub> )	=	5.89	cm. <sup>2</sup>
First Interior Moment ( - M3 )	=	3366.50	kg-m.
Area of Steel ( A <sub>s</sub> )	=	8.25	cm. <sup>2</sup>
Interior Moment ( - M4 )	=	3060.45	kg-m.
Area of Steel ( A <sub>s</sub> )	=	7.50	cm. <sup>2</sup>
Middle Interior Moment ( + M5 )	=	2104.06	kg-m.
Area of Steel ( A <sub>s</sub> )	=	5.15	cm. <sup>2</sup>
Allowable Shear	=	6.53	kg/cm. <sup>2</sup>
Actual Shear	=	3.23	kg/cm. <sup>2</sup>

PRESS ENTER KEY TO CONTINUE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดาวน์โหลดฟรี และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
รูปที่ 22 ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 1

## ขั้นตอนที่ 11 เครื่องจะถามว่า

' Do you want to Print (Y/N) : Y '

ก็จะทำการพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ให้และกลับไปสู่ Main Menu

---

 ONE - WAY SLAB No. 1
 

---

Dlfactor = 1.7; Llfactor = 2.0  
 Fc' = 210.00 ksc. ; Fy = 4200.00 ksc.  
 Live Load = 500.00 kg/m<sup>2</sup>  
 Dead Load = 846.60 kg/m<sup>2</sup>  
 Short Span = 5.00 m.; Long Span = 10.00 m.  
 Ratio of (S/L) = 0.50  
 Type of Slab : Continuous One - Way Slab

Assume Thickness ( S\*100/35 ) : 14.50 cm.  
 Thickness : 14.50 cm.

M O M E N T ( Mu = Wu\*Sqr(l)/C ) ; C = -1/16,+1/14,-1/10,-1/11,+1/16

Exterior End Moment (- M) : 2104.06 kg-m  
 As ( As = -M\*100/(0.9\*Fy\*(d-a/2)) ) : 5.15 cm<sup>2</sup>

Middle Moment (+ M) : 2404.64 kg-m  
 As ( As = +M\*100/(0.9\*Fy\*(d-a/2)) ) : 5.89 cm<sup>2</sup>

First Interior Support Moment (- M) : 3366.50 kg-m  
 As ( As = -M\*100/(0.9\*Fy\*(d-a/2)) ) : 8.25 cm<sup>2</sup>

Interior Support Moment (- M) : 3060.45 kg-m  
 As ( As = -M\*100/(0.9\*Fy\*(d-a/2)) ) : 7.50 cm<sup>2</sup>

Interior Middle Moment (+ M) : 2104.06 kg-m  
 As ( As = +M\*100/(0.9\*Fy\*(d-a/2)) ) : 5.15 cm<sup>2</sup>

S H E A R

Allowable Shear ( Vall = 0.53\*0.85\*Sqr(Fc) ) : 6.53 kg/cm<sup>2</sup>  
 Actual Shear ( Vu = 1.15\*Wu\*s/(2\*b\*t) ) : 3.23 kg/cm<sup>2</sup>

Load on Beam

On Long Beam ==> Live Load ( Wul\*s/2 ) : 1250.00 kg/m  
 Dead Load ( Wud\*s/2 ) : 2116.50 kg/m

---

## รูปที่ 23 ส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ของตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ตัวอย่างการคำนวณพื้น Two - Way Slab

ตัวอย่างที่ 2 จงออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบสองทาง ซึ่งเป็นแผ่นพื้นภายใน ขนาดกว้าง 6 ม. ยาว 10 ม. รับน้ำหนัก Dead Load = 250 kg/m<sup>2</sup>

Live Load = 150 kg/m<sup>2</sup> โดสให้ค่า  $f_{cu} = 210 \text{ ksc.}$   $f_y = 4200 \text{ ksc.}$

Dead Load factor = 1.7 Live Load factor = 2.0

โด้สใช้ทฤษฎีกำลังประลัด

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก 1

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 1	
Accept Above (Y/N) : Y	

**ขั้นตอนที่ 2** เลือก Load Factor

Load Factor
1. Dead-Load Factor=1.7; Live-Load Factor=2 2. Dead-Load Factor=1.4; Live-Load Factor=1.7 3. Load Factor of User
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 1

เมื่อเลือกแล้วจะขึ้นมาถามให้แน่ใจว่า Load Factor ที่ใช้ถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

Load Factor of Dead Load = 1.7

Load Factor of Live Load = 2.0

Accept Above (Y/N) : Y

**ขั้นตอนที่ 3** จะถามว่า ' No. of Slab(s) : 1 ' คือขึ้นมาถามว่าจะให้  
คำนวณหนักหนเมื่อเลือกแล้วเครื่องจะถามว่า ' Accept Above (Y/N) : Y '

**ขั้นตอนที่ 4** รอให้กด Enter เพื่อเข้าไปทำขั้นตอนต่อไป

## ขั้นตอนที่ 5 เลือกชนิดของพื้น

Slab Type
1. One Way Slab 2. Two Way Slab 3. Cantilever Slab
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 2

## ขั้นตอนที่ 6 กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ

Material Default
$F_c = 210$ ksc. $F_y = 4200$ ksc.

Accept Above (Y/N) : Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับพื้น

Input Data of Slab	
Short Span ( m )	: 6
Long Span ( m )	: 10
Other Dead Load (kg/m <sup>2</sup> )	: 250
Live Load (kg/m <sup>2</sup> )	: 150
Accept Above (Y/N)	: Y

' Long Span must less than ( 2\*S ) < 12 '

ขั้นตอนที่ 8 เลือกประเภทการต่อเนื่องของพื้น

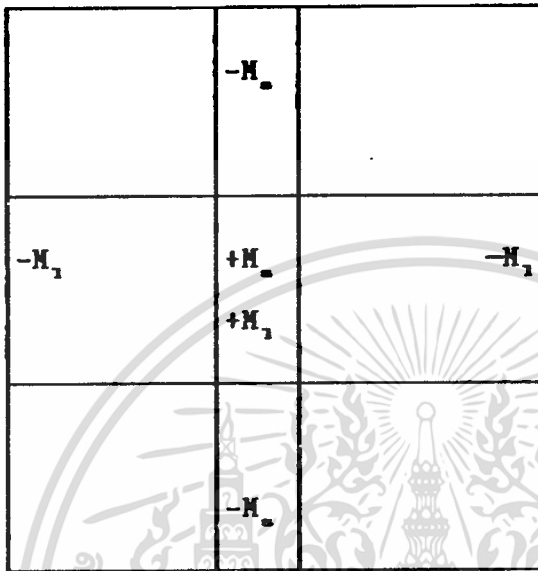
Type of Continuous
1. Interior panels
2. One edge discontinuous
3. Two edges discontinuous
4. Three edges discontinuous
5. Four edges discontinuous
CHOOSE ( 1 - 5 ) : 1

ขั้นตอนที่ 9 ให้เราเลือกความหนาที่น้อยที่สุดที่จะใช้ โดยเครื่องจะแสดงค่าความหนาที่น้อยที่สุดที่คำนวณได้ไว้ด้วยและให้เราเลือกความหนาต่ำสุดจากตัวล่างโดยหน่วยเป็น cm. ดังนี้

Min. Thickness	
Min. Thickness	= 18.00
Min. Thickness	= 18.00
Accept Above (Y/N)	: Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 10 แล้วรอส่วแสดงผลทางหน้าจอ เมื่อค้เรีบบร้อยแล้วก็กด Enter



Thickness of Slab	=	18.00	cm.
Short Span ==>			
$-M_u$	=	3309.92	kg-m.
$A_u$	=	6.28	cm. <sup>2</sup>
$+M_u$	=	1733.77	kg-m.
$A_u$	=	3.29	cm. <sup>2</sup>
Long Span ==>			
$-M_1$	=	2469.30	kg-m.
$A_u$	=	4.68	cm. <sup>2</sup>
$+M_1$	=	1313.46	kg-m.
$A_u$	=	2.49	cm. <sup>2</sup>

PRESS ENTER KEY TO CONTINUE

รูปที่ 24 ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	$-M_u$	
$-M_1$	$+M_u$ $+M_1$	$-M_1$
	$-M_u$	

Live Load on Short Beam	=	600.00	kg/m.
Live Load on Long Beam	=	792.00	kg/m.
Dead Load on Short Beam	=	2318.80	kg/m.
Dead Load on Long Beam	=	3060.82	kg/m.
Actual Shear	=	3.25	kg/cm. <sup>2</sup>
Allowable Shear	=	6.53	kg/cm. <sup>2</sup>

PRESS ENTER KEY TO CONTINUE

### รูปที่ 25 ส่วนแสดงผลทางหน้าจของตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนที่ 11 เครื่องจะถามว่า

' Do you want to Print (Y/N) : Y '

ก็จะทำการพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ให้และกลับไปสู่ Main Menu

## T W O - W A Y                      S L A B                      N o . 1

Dlfactor : 1.7 ; Llfactor : 2.0  
 Fc` : 210.00 ksc. Fy : 4200.00 ksc.  
 Dead Load : 1159.40 kg/m<sup>2</sup>  
 Live Load : 300.00 kg/m<sup>2</sup>  
 Short Span : 6.00 m.  
 Long Span : 10.00 m.

Assume Thickness ( 8 cm. or (S+L)\*100/90 ) : 17.78 cm.  
 Thickness : 18.00 cm.

Type of Slab : Interior panel  
 Continuous :

M O M E N T ( Mu = C\*Wu\*Sqr(s)

Short Span ==> - M : 3309.92 kg-m ; As = 6.28 cm<sup>2</sup>  
                   + M : 1733.77 kg-m ; As = 3.29 cm<sup>2</sup>

Long Span ==> - M : 2469.30 kg-m ; As = 4.68 cm<sup>2</sup>  
                   + M : 1313.46 kg-m ; As = 2.49 cm<sup>2</sup>

Allowable Shear : 6.53 kg/cm<sup>2</sup>  
 Actual Shear : 3.25 kg/cm<sup>2</sup>

Load on Beam

On Short Beam ==> Live load : 600.00 kg/m  
                           Dead Load : 2318.80 kg/m

On Long Beam ==> Live Load : 792.00 kg/m  
                           Dead Load : 3050.82 kg/m

## รูปที่ 26 ส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ของตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ตัวอย่างการคำนวณชั้น Cantilever Slab

ตัวอย่างที่ 3 ฝั่งออกแบบพื้นชั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยระยะชั้น 2.5 ม.

และมีน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่ปลายชั้นชั้นนี้ 150 kg. รับน้ำหนัก Dead Load = 250 kg/m<sup>2</sup>

Live Load = 150 kg/m<sup>2</sup> โดยให้ค่า  $f_c = 210 \text{ ksc}$ .  $f_y = 4200 \text{ ksc}$ .

Dead Load factor = 1.7 Live Load factor = 2.0

โดยใช้ทฤษฎีกำลังประดัด

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก 1

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 1	
Accept Above (Y/N) : Y	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 เลือก Load Factor

Load Factor
1. Dead-Load Factor=1.7; Live-Load Factor=2 2. Dead-Load Factor=1.4; Live-Load Factor=1.7 3. Load Factor of User
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 1

เมื่อเลือกแล้วจะขึ้นมาถามให้แน่ใจว่า Load Factor ที่เลือกถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

Load Factor of Dead Load = 1.7

Load Factor of Live Load = 2.0

Accept Above (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 3 จะถามว่า ' No. of Slab(s) : 1 ' คือขึ้นมาถามว่าจะให้  
คำนวณพื้นที่พื้นเมื่อเลือกแล้วเครื่องจะถามว่า ' Accept Above (Y/N) : Y '

ขั้นตอนที่ 4 รอให้กด Enter เพื่อเข้าไปทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 เลือกชนิดของพื้น

Slab Type
1. One Way Slab 2. Two Way Slab 3. Cantilever Slab
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 3

ขั้นตอนที่ 6 กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ

Material Default
$F_c = 210$ ksc. $F_y = 4200$ ksc.

Accept Above (Y/N) : Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

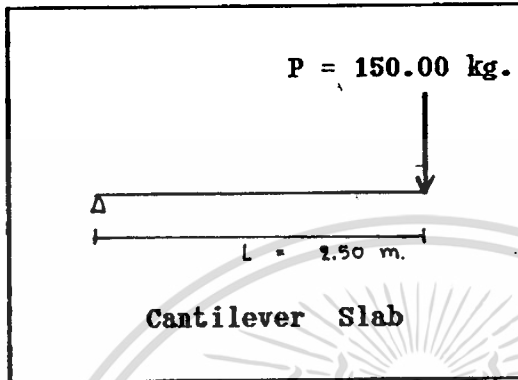
ขั้นตอนที่ 7 ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับพื้น

Cantilever Slab Data	
Span of Cantilever Slab (m) :	2.5
Point Load at the edge (kg) :	150
Other Dead Load (kg/m <sup>2</sup> ) :	250
Live Load (kg/m <sup>2</sup> ) :	150
Accept Above (Y/N) :	Y

ขั้นตอนที่ 8 ให้เราเลือกความหนาที่น้อยที่สุดที่จะใช้ โดยเครื่องจะแสดงค่าความหนาที่น้อยที่สุดที่คำนวณได้ไว้ด้วยและให้เราเลือกความหนาต่ำสุดจากตัวล่างโดยหน่วยเป็น ซม. ดังนี้

Min. Thickness	
Min. Thickness	= 21.00
Min. Thickness	= 21.00
Accept Above (Y/N) :	Y

ขั้นตอนที่ 10 แล้วรอส่วนแสดงผลทางหน้าจอ เมื่อคุณเรียบร้อยแล้วก็กด Enter



Thickness	=	21.00	cm.
Ultimate Moment	=	5318.12	kg-m.
$A_s$	=	8.45	cm. <sup>2</sup>
Allowable Shear	=	12077.48	kg.
Actual Shear	=	2127.25	kg.

PRESS ENTER KEY TO CONTINUE

รูปที่ 27 ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 11 เครื่องจะถามว่า

' Do you want to Print (Y/N) : Y '

ก็จะทำการพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ให้และกลับไปสู่ Main Menu

---

CANTILEVER SLAB No. 1

---

Dlfactor = 1.7 ; Llfactor = 2.0  
 Fc' : 210.00 ksc. Fy : 4200.00 ksc.  
 Thickness : 21.00 cm.  
 Span of Cantilever Slab : 2.50 cm.  
 Ultimate Moment : 5318.12 kg-m  
 As : 8.45 cm<sup>2</sup>  
 Allowable Shear : 12077.48 kg  
 Actual Shear : 2127.25 kg  
 Dead Load : 1281.80 kg/m  
 Live Load : 300.00 kg/m

---

รูปที่ 28 ส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ของตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ตัวอย่างการคำนวณบันได Solid Stair

ตัวอย่างที่ 4 จงออกแบบบันไดพื้นต้น มีช่วงความยาวของบันได 4.5 ม. โดยกำหนดค่าให้ ความกว้างของลูกนอน 25 ซม. ความสูงของลูกตั้ง 15 ซม.  $f_c = 210$  ksc.

$f_s = 4200$  ksc. รับน้ำหนัก Dead Load =  $0 \text{ kg/m}^2$  Live Load =  $150 \text{ kg/m}^2$

Dead Load factor = 1.7 Live Load factor = 2.0

โดยใช้ทฤษฎีกำลังประลัย

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก 2

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
C H O O S E ( 1 - 6 ) : 2	
Accept Above (Y/N) : Y	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ขั้นตอนที่ 2 เลือก Load Factor**

Load Factor
1. Dead-Load Factor=1.7; Live-Load Factor=2 2. Dead-Load Factor=1.4; Live-Load Factor=1.7 3. Load Factor of User
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 1

เมื่อเลือกแล้วจะขึ้นมาตามหน้าจอว่า Load Factor ที่ใช้ถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

Load Factor of Dead Load = 1.7

Load Factor of Live Load = 2.0

Accept Above (Y/N) : Y

**ขั้นตอนที่ 3** จะถามว่า ' No. of Stair(s) : 1 ' คือขึ้นมาถามว่าจะให้ค่านวบันไดกี่อันเมื่อเลือกแล้วเครื่องจะถามว่า ' Accept Above (Y/N) : Y '

**ขั้นตอนที่ 4** รอให้กด Enter เพื่อเข้าไปทำขั้นตอนต่อไป.

**ขั้นตอนที่ 5 เลือกชนิดของบันได**

<b>Type of Stair</b>
1. Solid Stair 2. Folding Stair
CHOOSE ( 1 - 2 ) : 1

**ขั้นตอนที่ 6 กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ**

<b>Material Default</b>
$F_c = 210 \text{ ksc.}$ $F_v = 4200 \text{ ksc.}$

Accept Above (Y/N) : Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับบันได

Data of Stair	
Span of Stair ( m )	: 4.5
Min. Thickness ( cm )	: 15
Thread ( cm )	: 25
Rising ( cm )	: 15
Other Dead Load ( kg/m <sup>2</sup> )	: 0
Live Load ( kg/m <sup>2</sup> )	: 150
Accept Above (Y/N)	: Y

ขั้นตอนที่ 8 ถ้าผ่านเครื่องจะบอกให้ทราบดังนี้

' Calculation Depth < Assume Thickness O.K. '

ถ้าไม่ผ่านเครื่องก็จะเตือนและให้กลับไปป้อนค่าใหม่

ขั้นตอนที่ 9 ให้ผู้ใช้ทำการเลือกเหล็กเสริมโครงสร้างแสดงออกทางจลภาพดังนี้

$$A_s = 6.55 \text{ cm}^2$$

### Reinforced Main Steel

Select Steel : 12      mm.      Spacing : 0.150      m.

Dia.      6   mm.      spacing = 0.043      m.

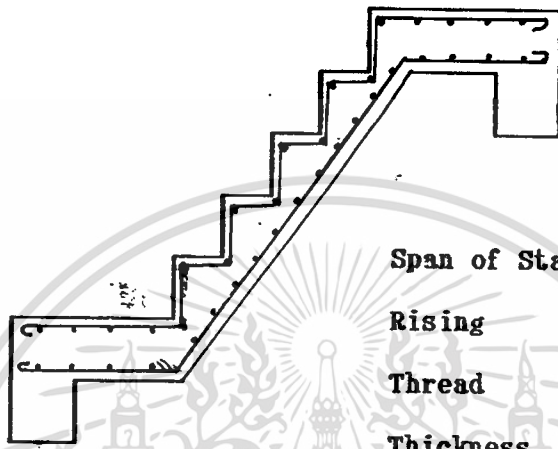
Dia.      9   mm.      spacing = 0.097      m.

Dia.      12   mm.      spacing = 0.173      m.

Dia.      15   mm.      spacing = 0.270      m.

ขั้นตอนที่ 10 เมื่อกด Enter แล้วก็จะแสดงผลทางหน้าจอ แล้วก็กด Enter อีก

### RESULT OF CALCULATION



**Reinforced Main Steel** : Dia. 12 mm. @ 0.150 m.

Area = 6.55 cm.<sup>2</sup>

$$F_c = 210 \text{ ksc.}$$

$$\text{Allowable Shear} = 5878.53 \text{ kg.}$$

$$F_y = 4200 \text{ ksc.}$$

$$\text{Actual Shear} = 2969.34 \text{ kg.}$$

$$\text{Dead Load Factor} = 1.7$$

$$\text{Ultimate Moment} = 3340.51 \text{ kg-m.}$$

$$\text{Live Load Factor} = 2.0$$

PRESS ENTER KEY TO CONTINUE

รูปที่ 29 ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 11 เครื่องจะถามว่า

' Do you want to Print (Y/N) : Y '

ก็จะทำการพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ให้และกลับไปสู่ Main Menu

S O L I D		STAIR	No. 1
Fc` :	210.00 ksc. ;	Fy :	4200.00 ksc.
Dlfactor :	1.7 ;	Llfactor :	2.0
Thickness :	15.00 cm.		
d(wanted) = Sqrt(Mu/0.9*R) :	9.00 cm.		
Load : Dead Load of Stair	15.00 cm.	=	1019.71 kg/m <sup>2</sup>
Live Load		=	300.00 kg/m <sup>2</sup>
Total Load		=	1319.71 kg/m <sup>2</sup>
Span of Stair :	4.50 m.		
R i s i n g :	15.00 cm.		
T h r e a d :	25.00 cm.		
M o m e n t			
Mu = Wu*L <sup>2</sup> /8 :	3340.51 kg-m.		
Reinforced Main Steel (As =	6.55 cm <sup>2</sup> .)		
Dia. 12 mm. Spacing	0.150 m.		
S h e a r			
Allowable Shear			
Vc = 0.85*0.53*Sqrt(fc`)*b*d :	5875.53 kg		
Actual Shear			
Vu = Wu*L/2 :	2969.34 kg		

รูปที่ 30 ส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ของตัวอย่างที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 12 เครื่องจะถามว่า

' Do you want to Assume Thickness again (Y/N) : N '

ก็กลับเข้าสู่ Main Menu



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ตัวอย่างการคำนวณคาน Simple Beam

ตัวอย่างที่ 5 จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบช่วงเดียว ซึ่งมีความยาว 6 ม. และมี Point Load กระทำที่กึ่งกลางคาน โดย Point Load นี้มีน้ำหนัก 1000 kg. โดยรับน้ำหนัก Dead Load =  $150 \text{ kg/m}^2$  Live Load =  $250 \text{ kg/m}^2$  กำหนดให้  $f_{c'} = 210 \text{ ksc}$ .  $f_y = 4200 \text{ ksc}$ . Dead Load factor = 1.7 Live Load factor = 2.0 โดยใช้วิธีทฤษฎีกำลังประลัย

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก 3

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
CHOOSE (1-6) : 3	
Accept Above (Y/N) : Y	

ขั้นตอนที่ 2 เลือกร Load Factor

Load Factor
1. Dead-Load Factor=1.7; Live-Load Factor=2 2. Dead-Load Factor=1.4; Live-Load Factor=1.7 3. Load Factor of User
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 1

เมื่อเลือกแล้วจะขึ้นมาถามให้แน่ใจว่า Load Factor ที่ใช้ถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

Load Factor of Dead Load = 1.7

Load Factor of Live Load = 2.0

Accept Above (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 3 จะถามว่า ' No. of Beam(s) : 1 ' คือขึ้นมาถามว่าจะให้  
คำนวณคานกี่อันเมื่อเลือกแล้วเครื่องจะถามว่า ' Accept Above (Y/N) : Y '

ขั้นตอนที่ 4 รอให้กด Enter เพื่อเข้าไปทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ

<b>Material Default</b>	
$F_c = 210$	<b>ksc.</b>
$F_v = 4200$	<b>ksc.</b>

Accept Above (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 6 เลือกชนิดของคาน

<b>Beam Connectivity</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simple Beam</li> <li>2. Semi Continuous Beam</li> <li>3. Continuous Beam</li> </ol>	
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 1	
Accept Above (Y/N) : Y	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับคาน

Data of Beam	
Beam Section ( b x d cm. )	: 15 x 25
Span of Beam ( m. )	: 6
Other Dead Load ( kg/m )	: 150
Live Load ( kg/m )	: 250
Accept Above (Y/N)	: Y

Depth of Beam must more than ( b cm. )  $\geq 15.00$  cm.

ขั้นตอนที่ 8 ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับ Point Load ที่กระทำบนคาน

ENTER no. set of Point Load : 1

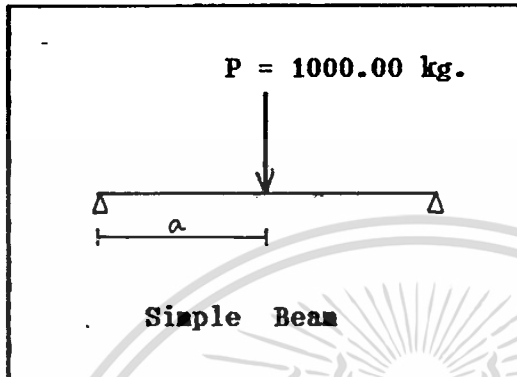
Point Load no. 1

LOAD(KG)                      Dist. from 1st\_node

1000

3

ขั้นตอนที่ 9 ทำการแสดงผลทางหน้าจอเพื่อรอให้กด Enter ผ่านไปทำขั้นตอนต่อไป



$$A_{\min} = 0 \text{ cm.}^2$$

$$\Rightarrow A_{\min} = A_{\min} (\text{min.})$$

Beam Section	=	15.0 x 25.0	cm.
Ultimate Moment	=	7086.00	kg-m.
$A_{\min}$	=	12.07	cm. <sup>2</sup>
$A_{\min}$	=	0.00	cm. <sup>2</sup>
Allowable Shear	=	6.53	kg/cm. <sup>2</sup>
Actual Shear	=	4.46	kg/cm. <sup>2</sup>

PRESS ENTER KEY TO CONTINUE

### รูปที่ 31 ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 10 เครื่องจะถามว่า

Do you want to Print (Y/N) : Y

ก็จะทำการพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ให้

---

S I M P L E B E A M

---

Fc` = 210.00ksc. ; Fy = 4200.00 ksc.  
 Dlfactor = 1.7; Llfactor = 2.0  
 Dead Load = 408.00 kg/m ; Live Load = 500.00 kg/m

Ultimate Moment : 7086.00 kg-m  
 As' : 12.07 cm2  
 As' : 0.00 cm2

Allowable Shear : 6.53 kg/cm2  
 Actual Shear : 4.46 kg/cm2

---

รูปที่ 32 ส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ของตัวอย่างที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ขั้นตอนที่ 11 เครื่องจะถามว่า****Do you want to Change Beam section (Y/N) : N****ก็จะกลับไป Main Menu**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 ตัวอย่างการคำนวณคาน Semi Continuous Beam

ตัวอย่างที่ 6 จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ 2 ช่วง ซึ่งมีความยาว 4 ม. ทั้งสองช่วง และที่ Support แรกและ Support สุดท้าย กำหนดให้เป็น PINNED และมี Point Load กระทำที่กึ่งกลางคานทั้งสอง โดย Point Load นี้มีน้ำหนัก 500 kg. โดยรับน้ำหนัก Dead Load = 150 kg/m<sup>2</sup> Live Load = 200 kg/m<sup>2</sup> ทั้งสองช่วง กำหนดให้  $f_c = 210$  ksc.  $f_s = 4200$  ksc. Dead Load factor = 1.7 Live Load factor = 2.0 โดยใช้ทฤษฎีกำลังประลัย

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก 3

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 3	
Accept Above (Y/N) : Y	

**ขั้นตอนที่ 2** เลือก Load Factor

Load Factor
1. Dead-Load Factor=1.7; Live-Load Factor=2 2. Dead-Load Factor=1.4; Live-Load Factor=1.7 3. Load Factor of User
CHOOSE ( 1 - 3 ) : 1

เมื่อเลือกแล้วจะขึ้นมาถามให้แน่ใจว่า Load Factor ที่ใช้ถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

Load Factor of Dead Load = 1.7

Load Factor of Live Load = 2.0

Accept Above (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 3 จะถามว่า ' No. of Beam(s) : 1 ' คือขึ้นมาถามว่าจะให้  
คำนวณคานกี่อันเมื่อเลือกแล้วเครื่องจะถามว่า ' Accept Above (Y/N) : Y '

ขั้นตอนที่ 4 รอให้กด Enter เพื่อเข้าไปทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ

Material Default	
$F_c = 210$	ksc.
$F_y = 4200$	ksc.

Accept Above (Y/N) : Y

ขั้นตอนที่ 6 เลือกชนิดของคาน

Beam Connectivity	
1. Simple Beam	
2. Semi Continuous Beam	
3. Continuous Beam	
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 2	
Accept Above (Y/N) : Y	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับคาน

Beam Section ( b x d cm. ) : 15 x 25

Depth of Beam must more than ( b cm. )  $\geq 15.00$  cm.

ขั้นตอนที่ 8 ENTER no. of total Node : 4

Coordinate Data

Coord-X Coord-Y

Node0 0 0

Node1 0 0

เมื่อป้อนข้อมูลของ Node 1 แล้ว Node 1 ก็จะทำการเคลื่อนขึ้นไปแทน Node 0 และ  
จะทำการถาม Node 2 , Node 3 , Node 4 ต่อมาเรื่อยๆ โดย

Coord-X Coord-Y

Node2 4 0

Node3 4 0

Node4 8 0

ขั้นตอนที่ 9 ENTER no. of members : 2

Connectivity

1-Node

2-Node

Member0 0 0

Member1 1 2

เช่นเดียวกับการป้อน Node โดย Member2 3 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 10 ENTER the no. of sets of LOAD : 1

ขั้นตอนที่ 11 ENTER no. of Joints that are PINNED : 2

Pinned0 Node no. : 0

Pinned1 Node no. : 1

เช่นเดียวกับการป้อน Node โดย Pinned2 Node no. : 4

ขั้นตอนที่ 12 No. of Joint that more one member : 1

No. of member that meet Joint-1 : 2

Node No. that meet member0 : 0

Node No. that meet member1 : 2

Node No. that meet member2 : 3

ขั้นตอนที่ 13 ENTER no. of Uniform Dead Load : 2

Load (kg/m)	Length (m)	Apply at Member	1 <sub>st</sub> NODE	Dist. 1st-node
150	4	1	1	0
150	4	2	3	0

ขั้นตอนที่ 14 ENTER no. of Point Load : 2

Load (kg/m)	Apply at Member	1 <sub>st</sub> NODE	Dist. 1st-node
500	1	1	2
500	2	3	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

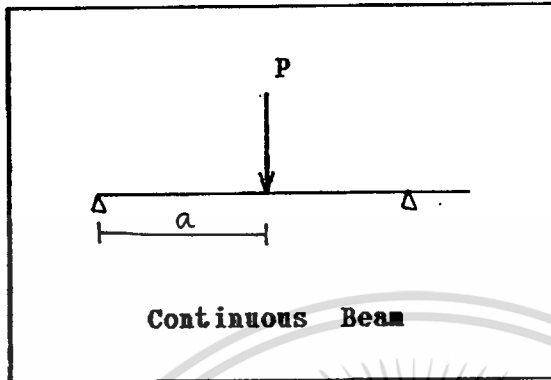
ขั้นตอนที่ 15 ENTER no. of Uniform Live Load : 2

Load (kg/m)	Length (m)	Apply at Member	1 <sup>st</sup> NODE	Dist. 1 <sup>st</sup> -node
200	4	1	1	0
200	4	2	3	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 16 ทำการแสดงผลทางหน้าจอเพื่อรอให้กด Enter ผ่านไปทำขั้นตอนต่อไป



$$A_{\min} = 0 \text{ cm.}^2$$

$$\Rightarrow A_{\min} = A_{\min} (\text{min.})$$

Beam Section	=	15.0 x 25.0	cm.
Positive Moment Max	=	2366.00	kg-m.
$A_{\max}$	=	12.74	cm. <sup>2</sup>
$A_{\min}$	=	0.00	cm. <sup>2</sup>
Negative Moment Max	=	-2366.00	kg-m.
$A_{\max}$	=	12.74	cm. <sup>2</sup>
$A_{\min}$	=	0.00	cm. <sup>2</sup>
Allowable Shear	=	6.53	kg/cm. <sup>2</sup>
Actual Shear	=	4.21	kg/cm. <sup>2</sup>

PRESS ENTER KEY TO CONTINUE

รูปที่ 33 ส่วนแสดงผลทางหน้าจอของตัวอย่างที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 17 เครื่องจะถามว่า

Do you want to Print (Y/N) : Y

ก็จะทำการพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ให้

---

S E M I C O N T I N U O U S B E A M

---

$F_c' = 210.00 \text{ ksc.} ; F_y = 4200.00 \text{ ksc.}$

$Dl \text{ factor} = 1.7 ; Ll \text{ factor} = 2.0$

Dead Load = 408.00 kg/m ; Live Load = 500.00 kg/m

Positive Moment Max = 2366.00 kg-m

As = 2.74 cm<sup>2</sup> ; As' = 0.00 cm<sup>2</sup>

Negative Moment Max = -2366.00 kg-m

As = 2.74 cm<sup>2</sup> ; As' = 0.00 cm<sup>2</sup>

Allowable Shear : 6.53 kg/cm<sup>2</sup>

Actual Shear : 4.21 kg/cm<sup>2</sup>

---

รูปที่ 34 ส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ของตัวอย่างที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 18 เครื่องจะถามว่า

Do you want to Change Beam section (Y/N) : N

ก็จะกลับไป Main Menu



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 ตัวอย่างการคำนวณเรื่องเสาเหลื่อม (Tied Column)

ตัวอย่างที่ 7 จงออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส ให้รับน้ำหนักคงที่ 5 ตัน น้ำหนักจร 8 ตัน เสาสูง 2.5 เมตร โดยกำหนดให้  $f_c' = 210 \text{ kg/cm}^2$  และ  $f_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$  และให้ใช้ค่า Load Factor ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก '4' เพื่อเข้าสู่การคำนวณเสา โดยจอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
CHOOSE ( 1 - 6 ) : 4	
Accept Above (Y/N) : Y	

เมื่อผู้ใช้กด '4' แล้ว จะปรากฏข้อความในกรอบด้านล่าง ดังนี้

Accept Above (Y/N) :

ให้ผู้ใช้กด 'y'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อจอภาพปรากฏภาพ ดังนี้

Type of Column
1. Tied Column 2. Spiral Column
Select type of column(1-2) : 1

ให้ผู้ใช้กด '1' แล้วกด Enter จอภาพจะปรากฏข้อความ

Accept Above: (y/n) :

ให้ผู้ใช้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากที่ใช้คด 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Load Factor
1. Dead - Load Factor = 1.7 ; Live Load Factor = 2 2. Dead - Load Factor = 1.4 ; Live Load Factor = 1.7 3. Load Factor of User
Choose 1 - 3 : 1

ให้ผู้ใช้คด '1' แล้วคด Enter จอภาพจะปรากฏข้อความว่า

Dead - Load Factor = 1.7

Live Load Factor = 2

Accept Above (y/n) : y

ให้ผู้ใช้ป้อนคด 'y'

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อกด 'y' แล้วจอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Materials Default	
$F_c'$	= 210 ksc
$F_y$	= 3500 ksc
*** $F_y$ , for use, can more than 4,200 ksc ***	
*** $F_y$ , for calculation, get more of $0.85f_y$ or 4,200 ksc ***	

ให้ผู้ใช้ป้อนค่า  $F_c'$  และ  $F_y$  โดยให้  $f_c' = 210$  ,  $f_y = 3500$  แล้วกด Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Accept Above (y/n) : y

ให้ผู้ใช้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 5 หลังจากที่ใช้คีย์ 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Input Data of Column	
Dead Load(ton)	= 5
Live Load(ton)	= 8
Column Section(cm.)	= 25 x 25
Length of Column(m.)	= 2.5
Accept Above (y/n) : y	

ให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลต่าง ๆ ที่ปรากฏขึ้นในตารางให้เรียบร้อย จากนั้นกด Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Accept Above (y/n) : y

ให้ผู้ใช้คีย์ 'y'

ขั้นตอนที่ 6 จอภาพจะปรากฏรูปดังนี้

Select Diameter of Vertical Bar
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. RB, DB 12</li> <li>2. RB 15</li> <li>3. DB 16</li> <li>4. RB 19</li> <li>5. DB 20</li> <li>6. RB, DB 25</li> <li>7. DB 28</li> <li>8. DB 32</li> </ol>
Select Diameter of Vertical Bar (1-8):

ทางด้านขวาของตาราง จะปรากฏค่า ดังนี้

$$\text{Required area of bar} = 12.16 \text{ cm}^2.$$

ผู้ใช้เลือกขนาดของเหล็กเสริม โดยเลือก '5' จากนั้นจอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Accept Above (y/n) : y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้น 'y' สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ผู้ใช้กด 'y' จะมีข้อความปรากฏอยู่ด้านขวาของตารางดังนี้

```
Use bar          20 mm.
Quantity of bar  4 no.
Area of bar      12.56 cm2
```

หลังจากนั้นให้ผู้ใช้กด Enter

ขั้นตอนที่ 7 หลังจากที่ใช้กด Enter แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Select Stirrup
1. RB 6 2. RB 9 3. RB 12
Select Stirrup (1-3) : 1 Accept Above (y/n) : y

ให้ผู้ใช้เลือกเหล็กปลอก ในที่นี้เลือก RB 6 โดยกด '1' จากนั้นกด Enter  
จอภาพจะปรากฏข้อความในกรอบสี่เหลี่ยมข้างล่างดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน **Accept Above (y/n)** : ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ผู้ใช้กด 'y'

หลังจากที่ผู้ใช้กด 'y' จะมีข้อความปรากฏอยู่ด้านขวาของตารางดังนี้

As = 12.16 cm<sup>2</sup>

Use bar = 20 mm.

Quantity of bar = 4 no.

Area = 12.56 cm<sup>2</sup>

Stirrup = 6 mm.

Spacing = 25.00 cm.

จากนั้นให้ผู้ใช้กด Enter

ขั้นตอนที่ 8 จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Do you want to change other bar (y/n) :

กด 'y'

ขั้นตอนที่ 9 เมื่อผู้ใช้กด 'y' แล้วจะมีค่าต่าง ๆ ปรากฏขึ้นด้านข้างของตาราง จากนั้นให้กด Enter จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Do you want to print (y/n) :

กด 'y' ผลที่ได้จากเครื่องพิมพ์เป็นดังรูปที่ 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

---

 TIED COLUMN
 

---

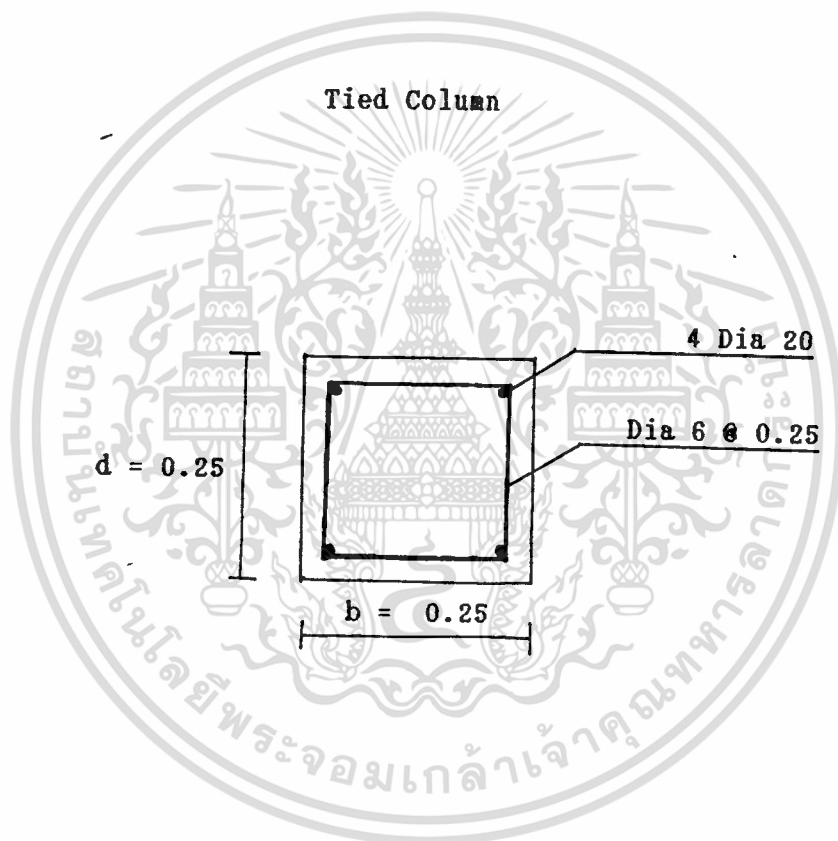
Dead Load Factor	=	1.70	
Live Load Factor	=	2.00	
Fc	=	210.00	kg/m <sup>2</sup>
Fy	=	3500.00	kg/m <sup>2</sup>
Dead Load	=	5.00	ton
Live Load	=	8.00	ton
B	=	25.00	cm.
D	=	25.00	cm.
Length of Column	=	2.50	m.
Ultimate Load	=	24.50	ton
: (dlfactor*DL) + (llfactor*LL)			
Strength by concrete	=	20.08	ton
: $Phe*0.8*0.85*0.25*fc*Ag1/1000$			
Strength by steel	=	10.42	ton
: Pul-Pc			
Required Area	=	12.16	cm <sup>2</sup>
: $Pst*1000/(Phe*0.8*Fy)$			
Use Diameter of Bar	=	20	mm.
Quantity of bar	=	4	no.
Area of Bar	=	12.56	cm <sup>2</sup>
Use Stirrup	=	6	mm.
Spacing	=	25.00	cm.
: Minimum of			
16 Diameter of vertical bar			
48 Diameter of horizontal bar			
Minimum of dimension of column			

---

**รูปที่ 35 ส่วนแสดงผลทางหน้าจอบนตัวอย่างที่ 7**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 10 เมื่อเครื่องพิมพ์ (printer) พิมพ์เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะ  
แสดงภาพหน้าตัดของเสาที่คำนวณได้ ภาพที่ได้จากจอภาพเป็นไปดังรูปที่ 36 จากนั้นจึงกด  
Enter จึงกลับไปสู่ Main Menu



รูปที่ 36 รูปตัดเสาเหลี่ยมของตัวอย่างที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 ตัวอย่างการคำนวณเรื่องเสากลม (Spiral Column)

ตัวอย่างที่ 8 จงออกแบบเสากลมคอนกรีตเสริมเหล็ก ใ้รับน้ำหนักคงที่ 5 ตัน น้ำหนักจร 8 ตัน เสาสูง 2.5 เมตร โดยกำหนดให้  $f_c' = 210 \text{ kg/cm}^2$  และ  $f_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$  และให้ใช้ค่า Load Factor ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก '4' เพื่อเข้าสู่การคำนวณเสา โดยจอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
C H O O S E ( 1 - 6 ) : 4	
Accept Above (Y/N) : Y	

เมื่อผู้ใช้กด '4' แล้ว จะปรากฏข้อความในกรอบด้านล่าง ดังนี้

Accept Above (Y/N) :

ให้ผู้ใช้กด 'y'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากที่ใช้คีย์ 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Load Factor
<p>1. Dead - Load Factor = 1.7 ; Live Load Factor = 2</p> <p>2. Dead - Load Factor = 1.4 ; Live Load Factor = 1.7</p> <p>3. Load Factor of User</p>
<p>Choose 1 - 3 : 1</p>

ให้ผู้ใช้คีย์ '1' แล้วกด Enter จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Dead - Load Factor = 1.7

Live Load Factor = 2

Accept Above (y/n) : y

ให้ผู้ใช้ป้อนคีย์ 'y'

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อกด 'y' แล้วจอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Materials Default	
$F_c'$	= 210 ksc
$F_y$	= 3500 ksc
*** $F_y$ , for use, can more than 4,200 ksc ***	
*** $F_y$ , for calculation, get more of 0.85 $f_y$ or 4,200 ksc ***	

ให้ผู้ใช้ป้อนค่า  $F_c'$  และ  $F_y$  โดยให้  $f_c' = 210$  ,  $f_y = 3500$  แล้วกด Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Accept Above (y/n) : y

ให้ผู้ใช้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 4 หลังจากที่ใช้คีย์กด 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Input Data of Column	
Other Dead Load(ton)	= 5
Other Live Load(ton)	= 8
Assume Diameter of Column (cm.)	= 25
Length of Column(m.)	= 2.5
Accept Above (y/n) : y	

เมื่อผู้ใช้ป้อนค่าต่าง ๆ จากนั้นให้กด Enter จะปรากฏข้อความในกรอบสี่เหลี่ยม  
ข้างล่างดังนี้

Accept Above (y/n) :

ให้ผู้ใช้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 5 หลังจากที่ใช้คีย์ 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏรูปดังนี้

Select Diameter of Vertical Bar
1. RB, DB 12 2. RB 15 3. DB 16 4. RB 19 5. DB 20 6. RB, DB 25 7. DB 28 8. DB 32
Select Diameter of Vertical Bar (1-8) :

ทางด้านขวาของตาราง จะปรากฏค่า ดังนี้

Required area of bar = 14.00 cm<sup>2</sup>.

ให้ผู้ใช้เลือกขนาดเหล็กที่ต้องการ ในที่นี้เลือก 19 มม. จากนั้นกด Enter จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ (Accept Above) (y/n) : ศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ผู้ใช้กด 'y'

หลังจากที่ผู้ใช้กด 'y' จะมีข้อความปรากฏอยู่ด้านขวาของตารางดังนี้

Use bar                      19 mm.

Quantity of bar        6 no.

Area of bar                17.04 cm<sup>2</sup>

หลังจากนั้นให้ผู้ใช้กด Enter

ขั้นตอนที่ 6    หลังจากที่ใช้กด 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Select Stirrup
1. RB 6 2. RB 9 3. RB 12
Select Stirrup (1-3) :

ให้ผู้ใช้เลือกขนาดเหล็กปลอกที่จะใช้ ในที่นี้เลือก '1' จากนั้น กด Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 Accept Above (y/n) : y  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ผู้ใช้กด 'y'

หลังจากที่กด 'y' แล้วจะปรากฏข้อความข้างล่างดังนี้

Do you want to use Spiral reinforcement or Tied reinforcement  
(S or T) :

ในที่นี้เลือก 'S'

จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Cannot Use This Steel  
Select New Steel

You must select diameter larger than ๓๓.

แสดงว่าระยะเสริมเหล็กไม่พอ ต้องเพิ่มขนาดเหล็กใหม่ โดยกด Enter แล้วเลือก  
'2' และ เลือก 'S' จะปรากฏค่าต่าง ๆ ดังนี้

Spiral reinforcement

Area 14.00 cm<sup>2</sup>

Use Bar 19 mm.

Quantity of Bar 6 no.

Stirrup 9 mm.

Pitch 4.97 cm.

ขั้นตอนที่ 7 จากนั้นให้ผู้ใช้กด Enter จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Do you want to change other bar (y/n) :

ให้ผู้ใช้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 8 จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Do you want to print (y/n) :

กด 'y' ผลที่ได้จากเครื่องพิมพ์เป็นดังรูปที่ 37



---

 SPIRAL COLUMN
 

---

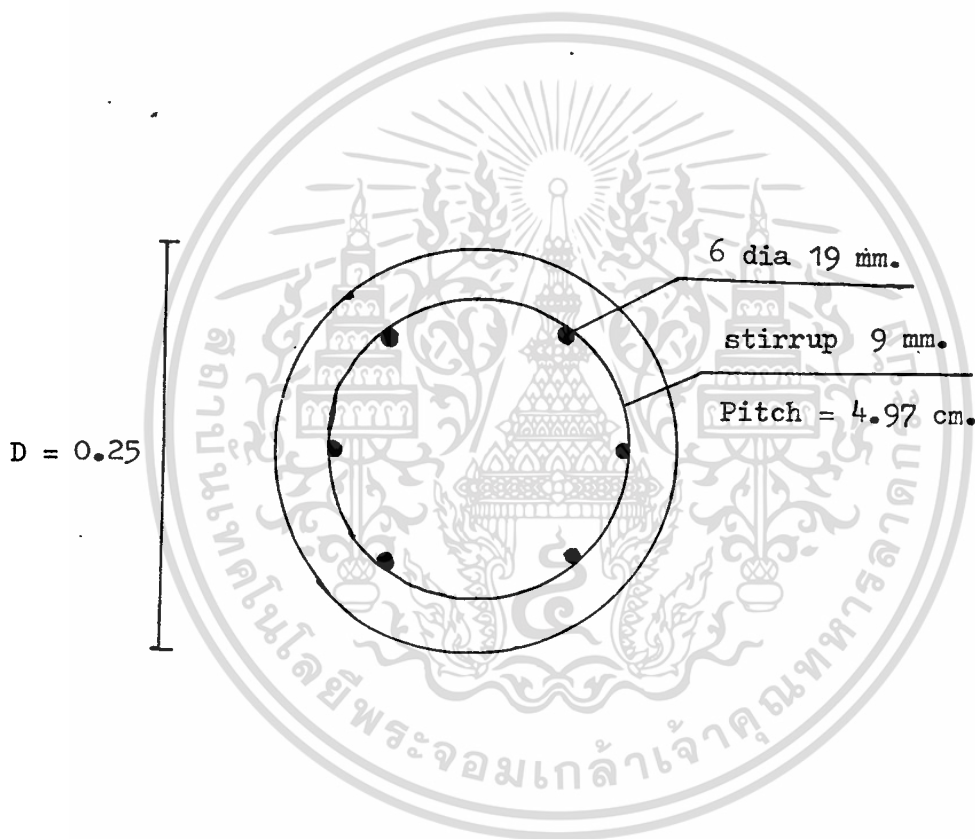
Dead Load Factor	=	1.70	
Live Load Factor	=	2.00	
Fc	=	210.00	kg/m2
Fy	=	3500.00	kg/m2
Dead Load	=	5.00	ton
Live Load	=	8.00	ton
Diameter of Column	=	25.00	cm.
Length of Column	=	2.50	m.
Ultimate Load	=	24.50	ton
	:	$(dlfactor*DL) + (llfactor*LL)$	
Strength by concrete	=	18.56	ton
	:	$0.85*0.25*fc*Ag2/1000$	
Strength by steel	=	14.11	ton
	:	Pu2-Pc	
Required Area	=	14.00	cm2
	:	Pst/Fs	
Use Diameter of Bar	=	19	mm.
Quantity of bar	=	6	no.
Area of Bar	=	17.04	cm2
Use Stirrup	=	9	mm.
Pitch of spiral	=	4.97	cm.
	:	$Ss = \text{Pi} * \text{sqr}(\text{dia}/10) * (\text{DC} - (\text{dia}/10)) / \text{Ps} / \text{sqr}(\text{DC})$	

---

รูปที่ 37 ส่วนแสดงผลทางหน้าจของตัวอย่างที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 9 เมื่อเครื่องพิมพ์ (printer) พิมพ์เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะแสดงภาพหน้าตัดของเสาที่คำนวณได้ ภาพที่ได้จากจอภาพเป็นไปดังรูปที่ 38 จากนั้นจึงกด Enter จึงกลับไปสู่ Main Menu



รูปที่ 38 รูปตัดเสากลมของตัวอย่างที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.9 ตัวอย่างการคำนวณเรื่องฐานราก

ตัวอย่างที่ 9 กำหนดให้ น้ำหนักบรรทุกคงที่ เท่ากับ 12 ตัน และ น้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ 10 ตัน กำหนดรับน้ำหนักใช้งานของเข็มคอนกรีตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว ยาว 8 เมตร ตันละ 3 ตัน และกำหนดรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มนี้ตันละ 5.5 ตัน ขนาดเสาที่ใช้ 25 x 25 ซม.  $f_c' = 210 \text{ ksc}$ .  $f_y = 4200 \text{ ksc}$ . และให้ใช้ค่าแฟคเตอร์ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

ขั้นตอนที่ 1 จาก Main Menu เลือก '5' เพื่อเข้าสู่การคำนวณฐานราก  
 ทัศนภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Main Menu	
1. Slab	4. Column
2. Stair	5. Footing
3. Beam	6. Exit
C H O O S E ( 1 - 6 ) : 5	
A c c e p t A b o v e ( Y / N ) : Y	

เมื่อผู้ใช้กด '5' แล้ว จะปรากฏข้อความในกรอบด้านล่าง ดังนี้

Accept Above (Y/N) :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ผู้ใช้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากกด 'y' จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

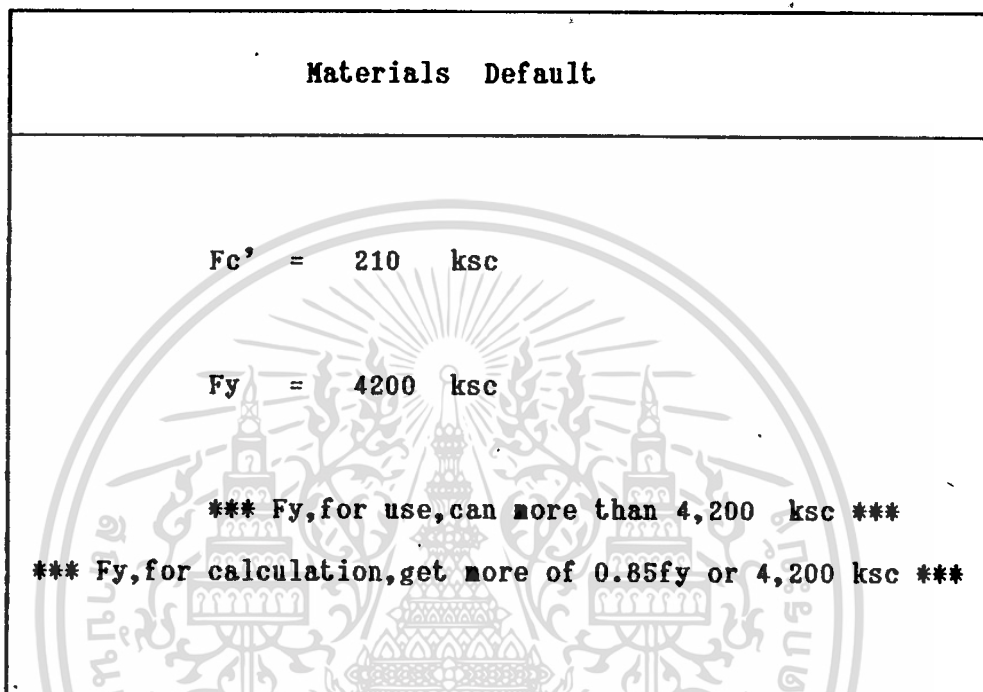
Load Factor
1. Dead - Load Factor 1.7 ; Live Load Factor = 2 2. Dead - Load Factor 1.4 ; Live Load Factor = 1.7 3. Load Factor of User
Choose 1 - 3 : 1

ให้ผู้ใช้กด '1' จากนั้นให้กด Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Accept Above (y/n) :

ให้ผู้ใช้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากกด 'y' แล้วจอภาพจะปรากฏภาพดังนี้



ให้ผู้ใช้ป้อนค่า  $F_c' = 210 \text{ ksc}$ . และ  $F_y = 4200 \text{ ksc}$ . จากนั้น กด Enter  
จะปรากฏข้อความ ดังนี้

Accept Above (y/n) :

ให้ผู้ใช้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 4 หลังจากที่ใช้ฟังก์ชัน 'y' แล้ว จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Input Data of Footing	
Dead Load (Ton)	= 12
Live Load (Ton)	= 10
Total Load (Ton)	= 10
Load/pile(Ton)	= 3
Ultimate Load / Pile(ton)	= 5.5
Thickness of Footing(m.)	= 0.3
Diameter of Pile(cm.)	= 20
No. of Pile(Short side)	= 3
No. of Pile(Long side)	= 3
Column section(cm.)	= 25 x 25
No. of Pile	= 9
Footing section(cm.)	= 1.80 x 1.80

ให้ผู้ใช้ป้อนค่า ต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ เมื่อป้อนค่าเรียบร้อยแล้วจะมีข้อความในกรอบ  
สีเหลี่ยมข้างล่างว่า

Accept Above (y/n) :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ผู้ใช้กด 'y'

ขั้นตอนที่ 5 โปรแกรมจะทำการคำนวณค่า shear และ Moment ที่เกิดขึ้น  
ถ้าค่าที่เกิดขึ้นน้อยกว่าค่าที่ขอมให้ โปรแกรมจะผ่านไป

ขั้นตอนที่ 6 จอภาพจะปรากฏภาพดังนี้

Select Diameter of Vertical Bar

---

1.	RB, DB 12
2.	RB 15
3.	DB 16
4.	RB 19
5.	DB 20
6.	RB, DB 25
7.	DB 28
8.	DB 32

---

Select Diameter of Vertical Bar (1-8) :

ทางด้านขวาของตารางจะปรากฏข้อความดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Area 7.52 cm<sup>2</sup>

ให้ผู้ใช้เลือกขนาดเหล็ก ในที่นี้เลือกเหล็กขนาด 12 มม. โดยกด '1' จากนั้นกด Enter จะปรากฏค่าต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณทางด้านขวาของตารางดังนี้

Use bar	12 mm.
Quantity	7 no.
As	7.91 cm <sup>2</sup>

จากนั้นให้กด Enter

ขั้นตอนที่ 7 จอภาพจะปรากฏค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณดังนี้

Allowable shear around pile cap	13.82 kg/cm <sup>2</sup>
Allowable shear around column	13.82 kg/cm <sup>2</sup>
Allowable two way shear	6.91 kg/cm <sup>2</sup>
Shear around pile cap	1.27 kg/cm <sup>2</sup>
Shear around column	7.18 kg/cm <sup>2</sup>
Two way shear	2.99 kg/cm <sup>2</sup>
Resisting Moment	55.36 ton-m
Actual Moment	6.40 ton-m
Required Area of Bar	7.52 cm <sup>2</sup>
Use Bar	12 mm.
Quantity of Bar	7 no.

จากนั้นกด Enter

ขั้นตอนที่ 8 จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ Do you want to change other bar (y/n) : นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้กด 'n'

ขั้นตอนที่ 9 จอภาพจะปรากฏข้อความดังนี้

Do you want to print (y/n) :

กด 'y' ผลที่ได้จากเครื่องพิมพ์เป็นดังรูปที่ 39

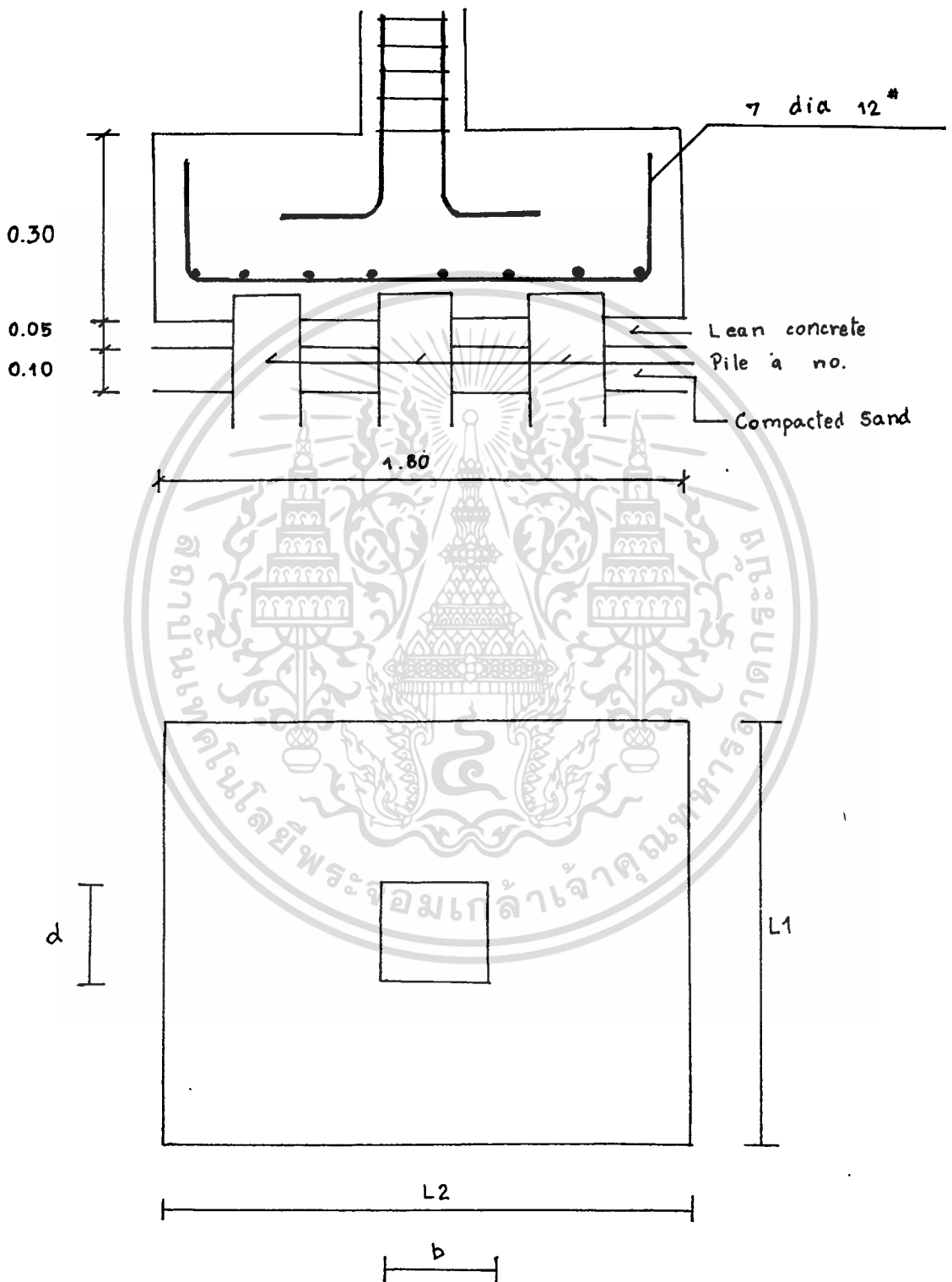
ขั้นตอนที่ 10 เมื่อเครื่องพิมพ์ (printer) พิมพ์เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะแสดงภาพหน้าตัดของเสาที่คำนวณได้ ภาพที่ได้จากจอภาพเป็นไปดังรูปที่ 40 จากนั้นจึงกด Enter จึงกลับไปสู่ Main Menu

## FOOTING

Dead Load Factor	=	1.70	
Live Load Factor	=	2.00	
Fc	=	210.00	kg/cm <sup>2</sup> .
Fy	=	4200.00	kg/cm <sup>2</sup> .
Dead Load	=	12.00	ton
Live Load	=	10.00	ton
Footing Section	=	1.80	x 1.80 m.
Thickness of Footing	=	0.30	m.
No. of Pile	=	9.00	No.
Ultimate Load /pile	=	5.50	ton
Diameter of Pile	=	20.00	cm.
Column Section	=	25.00	x 25.00 cm.
Weigh of Footing	=	2.20	ton
: $L_1 \times L_2 \times \text{Effective depth}$			
Ultimate Load	=	40.40	ton
: $(d_l \text{factor} \times DL) + (l_l \text{factor} \times LL)$			
Actual Ultimate Load/pile	=	4.49	ton/pile
: $U_{load} / N_{pile}$			
Allowable shear around pile cap	=	13.82	kg/cm <sup>2</sup> .
: $1.06 \times P_{hex} \sqrt{f_c}$			
Allowable shear around column	=	13.82	kg/cm <sup>2</sup> .
: $1.06 \times P_{hex} \sqrt{f_c}$			
Allowable two way shear	=	6.91	kg/cm <sup>2</sup> .
: $0.53 \times P_{hex} \sqrt{f_c}$			
Shear around pile cap	=	1.27	kg/cm <sup>2</sup> .
: $V_u / b_o / d$			
Shear around column	=	7.18	kg/cm <sup>2</sup> .
: $V_u / b_o / d$			
Two way shear	=	2.99	kg/cm <sup>2</sup> .
: $V_u / b / d$			
Resisting Moment	=	55.36	ton-m.
: $0.9 \times P_{max} \times f_y \times L_1 \times \sqrt{d} \times (1 - (0.59 \times P_{max} \times f_y / f_c)) \times 10$			
Actual Moment	=	6.40	ton-m.
: $N_{pile} \times W_{ulpc} \times ((3 \times DP) - (b/2)) / 100$			
Required Area of Bar	=	7.52	cm <sup>2</sup>
: $M_{ul} \times 100000 / 0.9 / F_y / (0.9 \times d) / 100$			
Use Bar	=	12	mm.
Quantity of Bar	=	7.00	no.

## รูปที่ 39 ส่วนแสดงผลทางหน้าจอบของตัวอย่างที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารลับ 40 รูปตัดและรูปแปลนของฐานรากของตัวอย่างที่ 9 ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุป

ข้อดีของการใช้ทฤษฎีกำลังประลัยในการออกแบบโครงสร้าง อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้แก่

1. ทฤษฎีกำลังประลัยให้ค่าคาดหมายได้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมตามความเป็นจริงของวัสดุมากกว่า เนื่องจากได้มีการคำนึงถึงความไม่เป็นสัดส่วนกันของหน่วยแรงกับหน่วยการยืดหดตัวของวัสดุเมื่อน้ำหนักกระทำมีค่าสูง ๆ
2. เนื่องจากสามารถทราบค่าของ น้ำหนักที่บรรทุกคงที่ได้แน่นอนกว่าน้ำหนักจร ดังนั้นจึงไม่ควรรใช้ตัวคูณส่วนปลอดภัย (Factor of safety) ตัวเดียวกันทั้งน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักจรเหมือนในทฤษฎีอัตราสถิก ซึ่งทฤษฎีกำลังประลัยจะแยกตัวคูณส่วนปลอดภัยไว้แต่ละอย่าง
3. การใช้ทฤษฎีอัตราสถิกในการคำนวณออกแบบเสา เป็นการดัดแปลงมาจากทฤษฎีกำลังประลัย ซึ่งทฤษฎีอัตราสถิกไม่ได้ให้พฤติกรรมตามความเป็นจริง
4. การใช้ทฤษฎีกำลังประลัยคำนวณหากำลังรับน้ำหนักของเสา ให้ผลหรือค่าที่ถูกต้องกว่าการใช้ทฤษฎีอัตราสถิก
5. การคำนวณหากำลังประลัยในคอนกรีตอัดแรง ต้องใช้ทฤษฎีกำลังประลัย

ข้อดีของการใช้คอมพิวเตอร์ในการช่วยออกแบบ ได้แก่

1. สามารถปรับค่า Load Factor ได้ตามความต้องการ และความเหมาะสมของผู้ใช้
2. สะดวก รวดเร็ว ในการป้อนข้อมูลและคำนวณผล
3. สามารถพิมพ์ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ ออกทางเครื่องพิมพ์ (Printer) ได้ เพื่อให้ผู้ใช้ได้นำไปใช้ในหน้างานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

### การนำไปปรแกรม RC PROJECT ไปใช้งาน

#### 1. การติดตั้งโปรแกรม สามารถทำได้ 2 วิธีดังนี้

1.1) ในกรณีที่ไม่มี Hard disk ก็ทำการ Copy ไฟล์ต่าง ๆ จากแผ่นโปรแกรมลงแผ่นที่ได้เตรียมไว้

A>copy \*.\* b:

1.2) ในกรณีที่มี Hard disk ก็ทำการสร้าง Sub Directory ดังนี้

C>md RCPROJECT

เมื่อสร้าง Sub Directory แล้วก็ทำการ Copy ไฟล์ต่าง ๆ ลงใน Sub Directory นั้น ดังนี้

C>cd RCPROJECT

C>copy a:\*.\*

#### 2. การเรียกใช้โปรแกรม RC PROJECT

2.1) ในกรณีที่เรียกจากแผ่น

A>RCDESIGN

## 2.2) ในกรณีที่เรียกจาก Hard disk

```
C>cd\RCPROJECT
```

```
C>RCDESIGN
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ต่อกุล กาญจนาลัย. 2528. พฤติกรรมของคอนกรีตเสริมเหล็ก. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: ฟิลิปปส์เซ็นเตอร์การพิมพ์.
2. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2531. มาตรฐานอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก. (พิมพ์ครั้งที่ 7 แก้ไขปรับปรุง). กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอเชียเพรสจำกัด.
3. วิศวกรรมฯ จุฬาลงกรณ์ 07, ชมรม และ วิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์, ชมรม. 2531. รายละเอียดเหล็กเสริมงานคอนกรีต. (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพมหานคร: ชมรมวิศวฯ จุฬาลงกรณ์ 07 และ ชมรมวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์.
4. สันัน เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร. 2530. คอนกรีตเสริมเหล็ก. (พิมพ์ครั้งที่ 7 แก้ไขและเพิ่มเติม). กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป. สัมพันธ์พาณิชย์.
5. สมศักดิ์ คำปลิว. 2532. การออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: หจก. เอชเอ็น การพิมพ์.
6. สุรศักดิ์ สงวนพงษ์. 2532. เทคนิคการเขียนโปรแกรมขึ้นสูงแควานซ์เทอร์โบ ปาสคาลรุ่น 4.0. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: หจก. เอชเอ็น การพิมพ์.
7. อ. อำนวย พานิชกุลพงศ์. เอกสารประกอบการเรียนวิชา Reinforced Concrete Design I. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

8. Ferguson, P.M. ,Breen, J.E. and Jirsa, J.O. 1986. Reinforced Concrete Fundamentals . (5th ed.) New York:John Wiley & Sons ,Inc.
9. MacGinley, T.J. 1990. Reinforced Concrete Design Theory and Examples . (2nd ed.) Great Britain: St. Edmundsbury Press Ltd.

