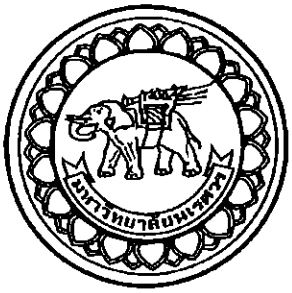


แผนที่ความคิด การออกแบบฐานรากตื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

โดยวิธีกำลัง

MIND MAPPING REINFORCED CONCRETE SHALLOW FOUNDATION DESIGN (STRENGTH DESIGN METHOD)

นายพรเทพ เทียนชัย รหัส 53360507

นายธีรภัทร์ ดำหิรักตระกูล รหัส 53360323

นายอภิวัฒน์ โดยามา รหัส 53360835

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 30 ก.ย. 2558
เลขทะเบียน 1690516
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ว 212 ค 2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน แผนที่ความคิด การออกแบบฐานรากตื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง

ผู้ดำเนินโครงงาน นายพรเทพ เทียนชัย รหัส 53360507
นายธีรภัทร์ ดำหริรักตระกูล รหัส 53360323
นายอภิวัฒน์ โคยามา รหัส 53360835

ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร.สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2557

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผศ.ดร.สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ อำพล เตโชวาณิชย์)

หัวข้อโครงงาน	แผนที่ความคิด การออกแบบฐานรากตื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายพรเทพ เทียนชัย รหัส 53360507
	นายธีรภัทร์ คำหริรักตระกูล รหัส 53360323
	นายอภิวัฒน์ โคยามา รหัส 53360835
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร.สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

การออกแบบฐานรากตื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง (ตามมาตรฐานของสมาคมคอนกรีตแห่งสหรัฐอเมริกา, ACI 318-99) มีเนื้อหาและขั้นตอนการออกแบบค่อนข้างมากและมีความซับซ้อนพอสมควร จึงได้มีการจัดทำแผนที่ความคิดขึ้น เพื่อช่วยในการทำความเข้าใจและจดจำขั้นตอนต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบแผนที่ความคิดที่ได้กับผังงานขั้นตอนการออกแบบปกติ พบว่า ทั้งแผนที่ความคิดและผังงานขั้นตอนการออกแบบทั้งสองอย่างก็สามารถช่วยในการจดจำรายละเอียดและขั้นตอนการออกแบบได้ดีเช่นเดียวกัน

Project title	Mind Mapping Reinforced Concrete Shallow Foundation Design (Strength Design Method)		
Name	Mr. Porntep	Tienchai	ID 53360507
	Mr. Teerapat	Dumliraktagool	ID 53360323
	Mr. Aphiwat	Koyama	ID 53360835
Project advisor	Assist. Dr. Sasikorn	Leungvichcharoen	
Major	Civil Engineering		
Department	Civil Engineering, Faculty of Engineering Naresuan University		
Academic year	2014		

Abstract

The Strength Design Method (ACI318-99) for reinforced concrete shallow foundation has many steps and some complicated considerations. This project tries to create a set of mind-maps which can explain them clearly and easy to memorize. It is found that the mind-mapping technique used in this project is comparable with the standard-design-flow-chart, both can help engineers to understand and memorize all the reinforced concrete shallow foundation design steps.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานแผนที่ความคิด การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง สามารถประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำโครงงานต้องขอแสดงความขอบคุณ ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และกรรมการสอบ อาจารย์ อำพล เตโชวาณิชย์ ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาในการทำโครงงาน ทั้งในส่วนความรู้ทางวิชาการ เอกสาร และแหล่งข้อมูล และขอขอบคุณ พ่อ แม่ ที่ให้กำลังใจ และผู้ที่มีส่วนร่วมทุกคนที่ไม่ได้กล่าวนาม ขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วยที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญานิพนธ์	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น	3
2.1 ทฤษฎีการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง	3
2.2 แบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	3
2.3 โมเมนต์ดัดในฐานราก ตามมาตรฐาน (ACI 318-99)	5
2.4 การกระจายเหล็กเสริมในฐานราก ตามมาตรฐาน (ACI 318-99)	6
2.5 แรงเฉือนในฐานราก ตามมาตรฐาน (ACI 318-99)	6
2.6 ขั้นตอนการออกแบบฐานรากเดี่ยว	7
2.7 ขั้นตอนการออกแบบฐานรากแผ่	8
2.8 ขั้นตอนการออกแบบฐานรากร่วม	8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 9

3.1 รับมอบหมายงานจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ 9

3.2 ดำเนินการศึกษาค้นคว้าข้อมูล 9

3.3 ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม Simple Mind 10

3.4 จัดทำ Mind Mapping โดยใช้โปรแกรม Simple Mind 11

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 13

4.1 เปรียบเทียบ Mind Mapping กับ Design Flow Chart 13

4.2 ตัวอย่างการออกแบบฐานรากเดี่ยว 19

4.3 ตัวอย่างการออกแบบฐานรากร่วม 21

4.4 ตัวอย่างการออกแบบฐานรากแผ่ 27

บทที่ 5บทสรุปและข้อเสนอแนะ 30

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 30

เอกสารอ้างอิง 31

ภาคผนวก ก 32

ประวัติผู้จัดทำ

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 ฐานเดี่ยว (Isolated Footings)	4
รูปที่ 2-2 แบบฐานร่วม (Combined Footings)	5
รูปที่ 2-3 ฐานปูพรม หรือฐานรากแผ่ (Mat Footings หรือ Multiple Column Footings)	5
รูปที่ 2-4 การกระจายเหล็กเสริมในฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า	6
รูปที่ 2-5 แรงเฉือนในฐานราก	7
รูปที่ 3-1 ตัวโปรแกรม Simple Mind	10
รูปที่ 3-2 หน้าตาโปรแกรม Simple Mind	10
รูปที่ 3-3 แบบของฐานราก	11
รูปที่ 3-4 โมเมนต์ดัดในฐานราก ตามมาตรฐาน (ACI 318-99)	11
รูปที่ 3-5 การกระจายเหล็กเสริมในฐานราก ตามมาตรฐาน (ACI 318-99)	12
รูปที่ 3-6 แรงเฉือนในฐานราก ตามมาตรฐาน (ACI 318-99)	12
รูปที่ 4-1 ขั้นตอนการออกแบบฐานรากเดี่ยว	13
รูปที่ 4-2 ขั้นตอนการออกแบบฐานรากแผ่	14
รูปที่ 4-3 ขั้นตอนการออกแบบฐานรากร่วม	14
รูปที่ 4-4 แผนผังขั้นตอนการออกแบบฐานรากเดี่ยว	15
รูปที่ 4-5 แผนผังขั้นตอนการออกแบบฐานรากร่วม	16
รูปที่ 4-6 แผนผังขั้นตอนการออกแบบฐานรากแผ่	18

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากเนื้อหาสาระสำคัญและขั้นตอนต่างๆของการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง มีเนื้อหาและขั้นตอนการออกแบบค่อนข้างมากและมีความซับซ้อนพอสมควร การจัดทำโครงงานนี้ขึ้นมาเพื่อย่อเนื้อหาสาระสำคัญและขั้นตอนต่างๆในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง ให้อยู่ในรูปของ แผนที่ความคิด โดยใช้โปรแกรม Simple mind รุ่นทดลองใช้ ซึ่งเป็นโปรแกรมช่วยในการเขียนแผนที่ความคิด ที่ใช้งานง่ายและสะดวก เป็นที่นิยมใช้ทั่วไป เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาและค้นคว้า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 สร้างแผนที่ความคิดสำหรับงานออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลังตามมาตรฐาน ACI 318-99

1.2.2 เปรียบเทียบการใช้งานแผนที่ความคิด (Mind Mapping) กับ ผังงานขั้นตอนการออกแบบ (Design Flow Chart) และนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบจริง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

แผนที่ความคิดที่ได้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กได้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 รับมอบหมายงานจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

1.4.2 ดำเนินการศึกค้นคว้าข้อมูล การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง

1.4.3 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Simple Mind รุ่นทดลองใช้

1.4.4 จัดทำ แผนที่ความคิดโดยใช้โปรแกรม Simple Mind รุ่นทดลองใช้

1.4.5 จัดทำรูปเล่มโครงงาน

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

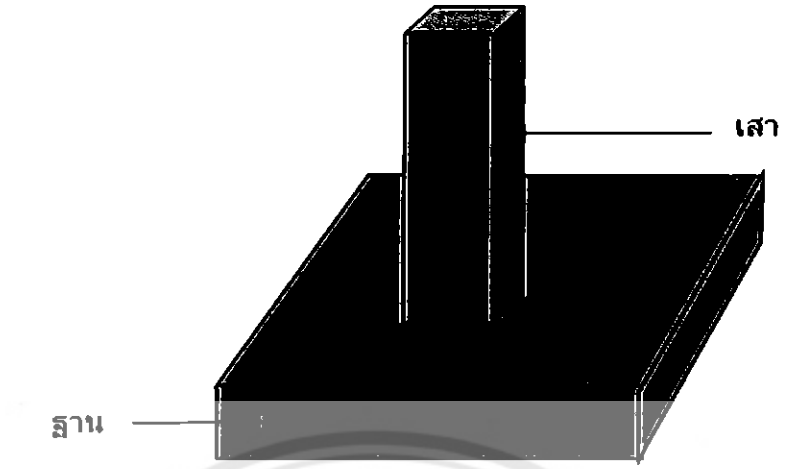
เนื้อหารายละเอียดการออกแบบฐานรากตื้น ที่ปรากฏในบทนี้ อ้างอิงจากมาตรฐาน ACI 318-99 เรียบเรียงตามหนังสือ "การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง" แต่งโดย รศ.ดร. สถาพร โภคา นำมาแสดงบางส่วนในเล่มนี้เพื่อความสมบูรณ์ของเนื้อหา ผู้สนใจสามารถดูรายละเอียดได้จากหนังสือเล่มดังกล่าว

2.1 ทฤษฎีการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง

การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง มีการวิเคราะห์ดังนี้ หาขนาดฐานราก หาแรงดันดินประลัย ตรวจสอบแรงเฉือนทะลุ หรือแรงเฉือนสองทาง ตรวจสอบแรงเฉือนคาน หรือแรงเฉือนทางเดียว แล้วพิจารณาออกแบบเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด และเหล็กเสริมกันร้าว การออกแบบฐานรากเดี่ยวและฐานรากแผ่ จะมีขั้นตอนการวิเคราะห์คล้ายๆกัน แต่การออกแบบฐานรากร่วมนั้นจะมีขั้นตอนการวิเคราะห์ที่มากกว่าและไม่เหมือนกับการออกแบบฐานรากเดี่ยวและฐานรากแผ่

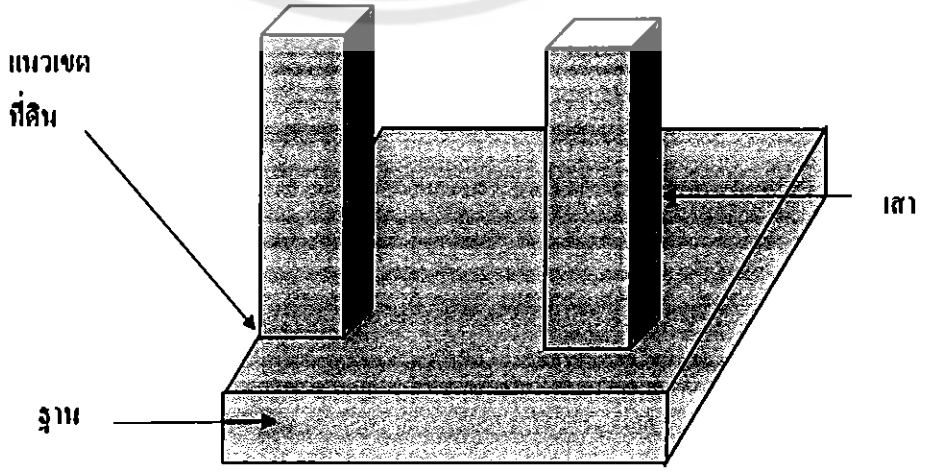
2.2 แบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.2.1 แบบฐานเดี่ยว (Isolated Footings) เป็นฐานรากที่ใช้เพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกจากเสาต้นเดียว ที่มีระยะห่างของช่วงเสามากๆ ฐานรากแบบนี้อาจมีรูปแปลนเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือรูปกลมก็ได้และอาจพิจารณาออกแบบให้ความหนาของฐานรากมีค่าคงที่ ดังรูป



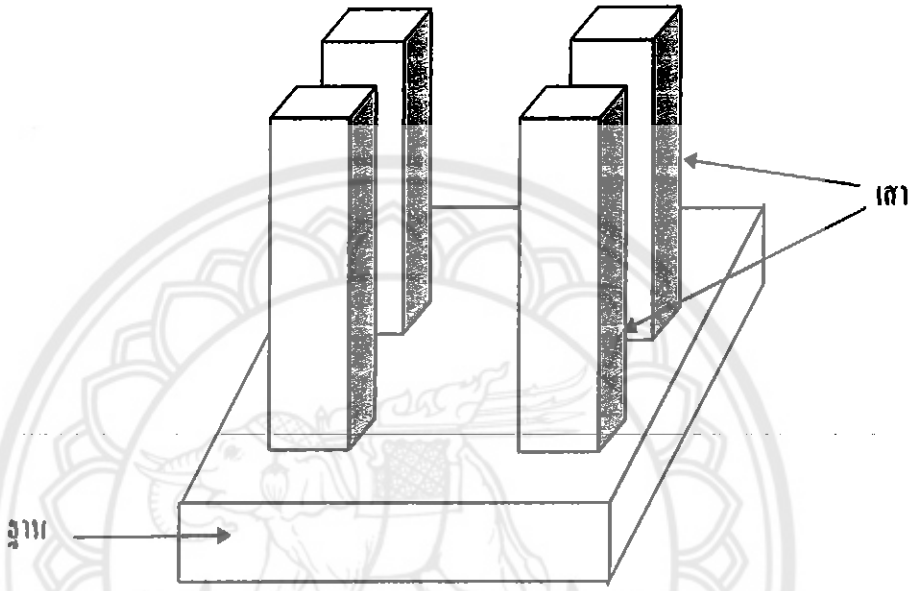
รูปที่ 2-1 ฐานเดี่ยว (Isolated Footings)

2.2.2 แบบฐานร่วม (Combined Footings) เป็นฐานรากที่ใช้เพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกจากเสาสองต้นหรือมากกว่า ซึ่งอยู่ใกล้เคียงกันหรือเมื่อเสาต้นริมอยู่ชิดติดแนวเขตที่ดิน ทั้งนี้เพื่อให้ศูนย์ถ่วงของน้ำหนักบรรทุกจากเสาตรงกันดับศูนย์ถ่วงของฐานรากร่วม และอาจพิจารณาออกแบบให้ฐานรากมีความหนาคงที่ แต่ในบางครั้งก็อาจทำฐานรากร่วมโดยการยึดฐานตีนเป็ดหรือฐานยื่น (Cantilever Footings) ที่อยู่ชิดติดแนวเขตที่ดินด้านหนึ่ง กับฐานรากเดี่ยวภายในเข้าด้วยกัน โดยใช้คาน ค.ส.ล. เพื่อลดการเยื้องศูนย์ของน้ำหนักบรรทุก ดังรูป



รูปที่ 2-2 แบบฐานร่วม (Combined Footings)

2.2.3 แบบฐานปูพรม หรือฐานรากแผ่ (Mat Footings หรือ Multiple Column Footings) เป็นฐานรากที่ใช้เพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกมากๆ จากเสาหลายๆต้นและกระจายแผ่ออกไปเป็นบริเวณกว้างซึ่งอาจแผ่เต็มเนื้อที่ของตัวอาคาร ทั้งนี้เพื่อช่วยลดหน่วยแรงกดอัดบนดินให้ต่ำลง ดังรูป



รูปที่ 2-3 ฐานปูพรม หรือฐานรากแผ่ (Mat Footings หรือ Multiple Column Footings)

2.3 โมเมนต์ดัดในฐานราก ตามมาตรฐาน (ACI 318-99)

2.3.1 ตำแหน่งที่ใช้คำนวณโมเมนต์ดัด (ACI 318-99, 15.4.1)

2.3.1.1 ให้กำหนดระนาบในแนวดิ่งลากผ่านให้เกิดรูปหน้าตัดในฐานราก แล้วคำนวณโมเมนต์ดัดจากแรงที่กระทำทั้งหมด

2.3.2 หน้าตัดวิกฤติสำหรับใช้คำนวณโมเมนต์ดัด (ACI 318-99, 15.4.2)

2.3.2.1 กรณีฐานรากรองรับเสา ตอม่อ หรือกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก หน้าตัดวิกฤติจะอยู่ ณ ตำแหน่งของหน้าเสา ตอม่อ หรือกำแพงนั้น

2.3.2.2 กรณีฐานรากรองรับกำแพงก่อ หน้าตัดวิกฤติจะอยู่กึ่งกลางระหว่างศูนย์กลางและขอบกำแพงก่อนั้น

2.3.2.3 กรณีฐานรากรองรับเสาเหล็ก หน้าตัดวิกฤติจะอยู่กึ่งกลางระหว่างหน้าเสากับขอบของแผ่นเหล็กรองรับที่ฐานเสานั้น

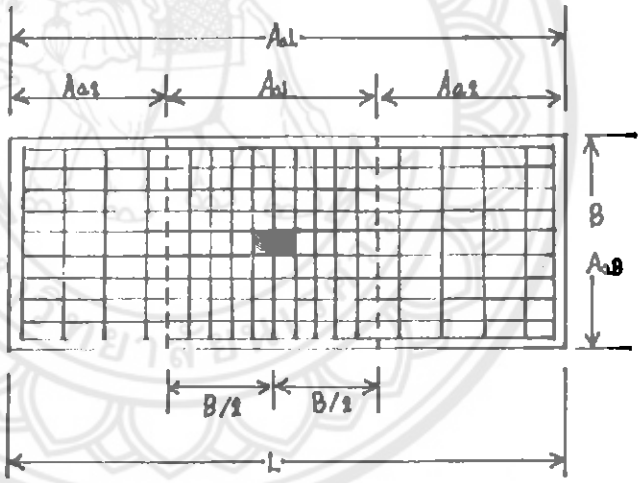
2.4 การกระจายเหล็กเสริมในฐานราก ตามมาตรฐาน (ACI 318-99)

2.4.1 เหล็กเสริมในฐานรากที่มีพฤติกรรมแบบทางเดียว และฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีพฤติกรรมเป็นแบบสองทาง ต้องกระจายสม่ำเสมอตลอดความกว้างของแต่ละด้าน (ACI 15.4.3)

2.4.2 เหล็กเสริมในฐานรากรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพฤติกรรมเป็นแบบสองทาง ต้องกระจายดังนี้

2.4.2.1 เหล็กเสริมทางยาว ต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความกว้างของฐานราก (ACI 15.4.4.1)

2.4.2.2 เหล็กเสริมทางสั้น ต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงหรือแถบกว้าง (Band Width) ซึ่งมีจุดกึ่งกลางอยู่ที่แนวศูนย์กลางของเสา หรือตอม่อ และมีความกว้างทั้งหมดเท่ากับด้านสั้น ของฐานราก ส่วนเหล็กที่เหลือให้กระจายอย่างสม่ำเสมอนอกช่องว่าง



รูปที่ 2-4 การกระจายเหล็กเสริมในฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า

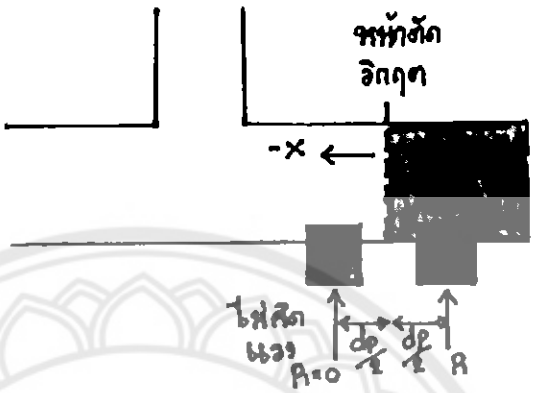
2.5 แรงเฉือนในฐานราก ตามมาตรฐาน (ACI 318-99)

2.5.1 กำหนดการคำนวณแรงเฉือนซึ่งเกิดจากแรงปฏิกิริยาในเสาเข็ม (ACI 15.5.3)

2.5.1.1 แรงปฏิกิริยาที่อยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติออกไปทางด้านนอกเป็นระยะ $\frac{d_p}{2}$ หรือมากกว่า ให้คิดแรงเฉือนเต็มที่ทั้งหมด (ACI 15.5.3.1)

2.5.1.2 แรงปฏิกิริยาที่อยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติเข้ามาทางด้านในเป็นระยะ $\frac{d_p}{2}$ หรือมากกว่า ไม่ต้องคิดแรงเฉือน (ACI 15.5.3.2)

2.5.1.3 หากแรงปฏิกิริยาอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติ เป็นระยะระหว่างที่กำหนดในสองกรณีข้างต้น (ระหว่าง $-\frac{d_p}{2}$ ถึง $\frac{d_p}{2}$) ให้คิดแรงเฉือนตามสัดส่วนโดยประมาณว่าความสัมพันธ์ของแรงเฉือนและระยะดังกล่าวเป็นเส้นตรง (ACI 15.5.3.3)



รูปที่ 2-5 แรงเฉือนในฐานราก

2.5.2 หน้าตัดวิกฤติสำหรับคำนวณแรงเฉือน (ACI 15.5.2) กำหนดดังนี้

2.5.2.1 กรณีที่ฐานรากรองรับเสา ตอม่อ หรือกำแพง ค.ส.ล. หน้าตัดวิกฤติสำหรับแรงเฉือนจะอยู่ ณ ขอบ หรือหน้าเสา ตอม่อ หรือกำแพงนั้นๆ

2.5.2.2 กรณีฐานรากรองรับเสาเหล็ก ที่มีแผ่นเหล็กรองรับที่ฐาน ให้ใช้หน้าตัดวิกฤติ คือ กึ่งกลางระหว่างขอบเสากับขอบของแผ่นเหล็กฐานที่รองรับเสานั้น

2.6 ขั้นตอนการออกแบบฐานรากเดี่ยว

2.6.1 เลือกขนาดฐานรากและคำนวณหน่วยแรงดันดินประลัย

2.6.2 ตรวจสอบแรงเฉือนทะลุ

2.6.3 ตรวจสอบแรงเฉือนคาน

2.6.4 ออกแบบเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด

-ค่าจริงของ $R_u = \frac{M_u}{\Phi bd^2}$

-อัตราส่วน ρ ที่ต้องการ$=\frac{0.85f_c'}{f_y}\left(\sqrt{1-\frac{2R_u}{0.85f_c'}}\right)$

-ดังนั้น A_s ที่ต้องการ $= \rho bd$ ซม^2.

2.7 ขั้นตอนการออกแบบฐานร่วม

2.7.1 กำหนดตำแหน่งแรงลัพธ์ R

2.7.2 หาความยาวฐานราก โดยกำหนดให้ศูนย์กลางฐานราก (C.G.) อยู่ต่ำแหน่งเดียวกับ R

2.7.3 หาความกว้างฐานราก

2.7.4 เขียนแผนภูมิแรงเฉือนและโมเมนต์ในทิศทางยาว

2.7.5 หาเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด

2.7.6 ตรวจสอบแรงเฉือนทะลุ

2.7.8 ตรวจสอบแรงเฉือนคาน

2.7.9 หาเหล็กเสริมด้านสั้น

2.7.10 หาเหล็กเสริมต้านทานการแตกร้าว

2.8 ขั้นตอนการออกแบบฐานรากแผ่

2.8.1 หาขนาดของฐานราก, $A_{req} = \frac{DL+LL}{q_a}$

2.8.2 หาหน่วยแรงดันขึ้นสุทธิของดิน ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว

-หน่วยแรงดันขึ้นสุทธิมากที่สุด $P = (\frac{P}{BL}) + (\frac{6M}{BL^2})$

2.8.3 หาความลึกของฐานราก (d)

-พิจารณาจากโมเมนต์ดัด (M_u)

-แล้วค่อยตรวจสอบแรงเฉือน (V_u)

2.8.4 ตรวจสอบน้ำหนักของฐานรากและดินถมเหนือฐานราก

2.8.5 พิจารณาออกแบบเหล็กเสริม

-ค่าจริงของ $R_u = \frac{M_u}{\Phi bd^2}$

-อัตราส่วน ρ ที่ต้องการ$=\frac{0.85f_c'}{f_y}(\sqrt{1-\frac{2R_u}{0.85f_c'}})$

-ดังนั้น A_s ที่ต้องการ = ρbd ซม^2.

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 รับมอบหมายโครงงานจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

โครงงานที่ได้รับมอบหมายจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน คือ โครงงาน**แผนที่ความคิด**การออกแบบฐานรากตื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง โดยการนำเนื้อหาและ**ข้อกำหนดตาม**มาตรฐานราน ACI 318-99 ของการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กมาจัดทำ**เป็นแผนที่**ความคิด โดยใช้โปรแกรม Simple Mind รุ่นทดลองใช้ ในการช่วยจัดทำแผนที่**ความคิด**

3.2 ดำเนินการศึกค้นคว้าข้อมูล

3.2.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลจาก หนังสือ การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง แต่งโดย รศ.ดร.สถาพร โภคา

3.2.2 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลจาก http://www.sdhabhon.com/RCDesign.html

3.2.3 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลจาก เอกสารประกอบการสอน "304385 การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก" ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

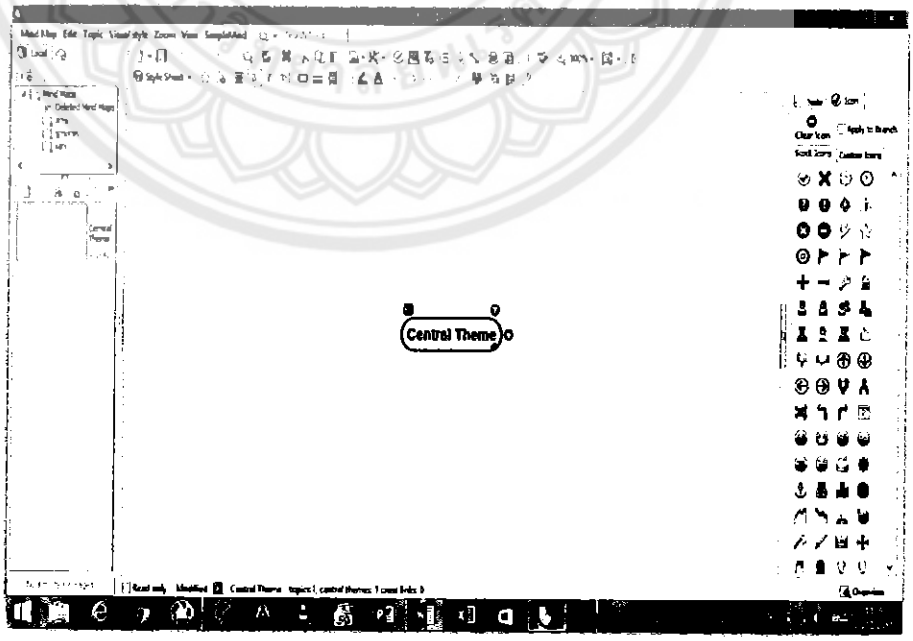
3.2.4 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลจาก บทเรียนออนไลน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เว็บไซต์ http://eng.sut.ac.th/ce/oldce/CourseOnline/430431/

3.3 ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม Simple Mind

3.3.1 ตัวโปรแกรม Simple Mind

รูปที่ 3-1 ตัวโปรแกรม Simple Mind

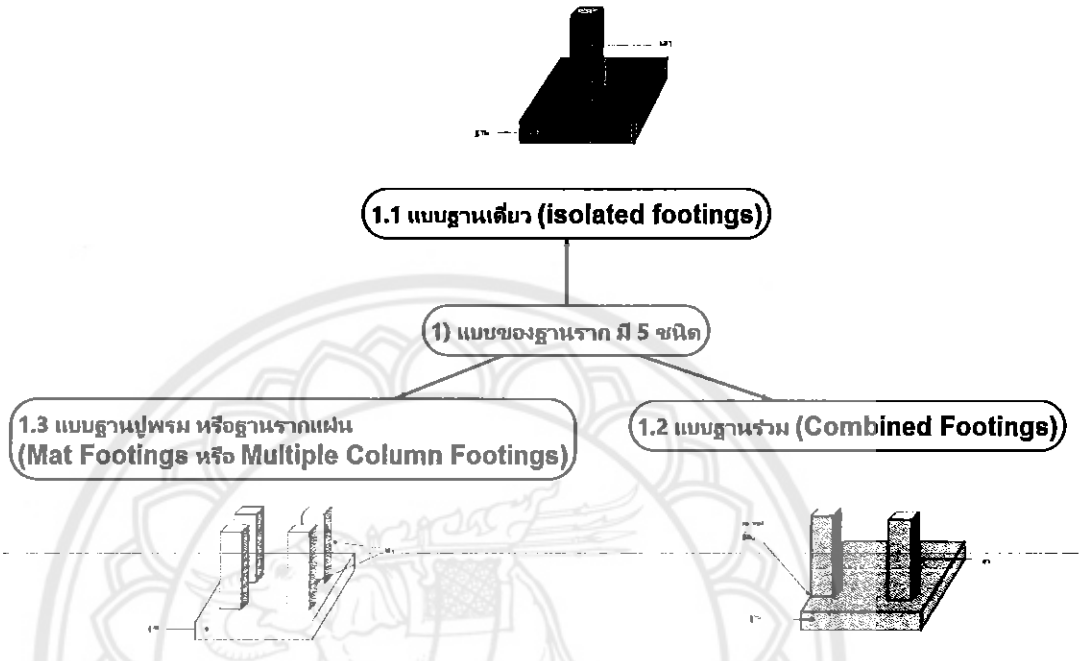
3.3.2 หน้าตาโปรแกรม Simple Mind



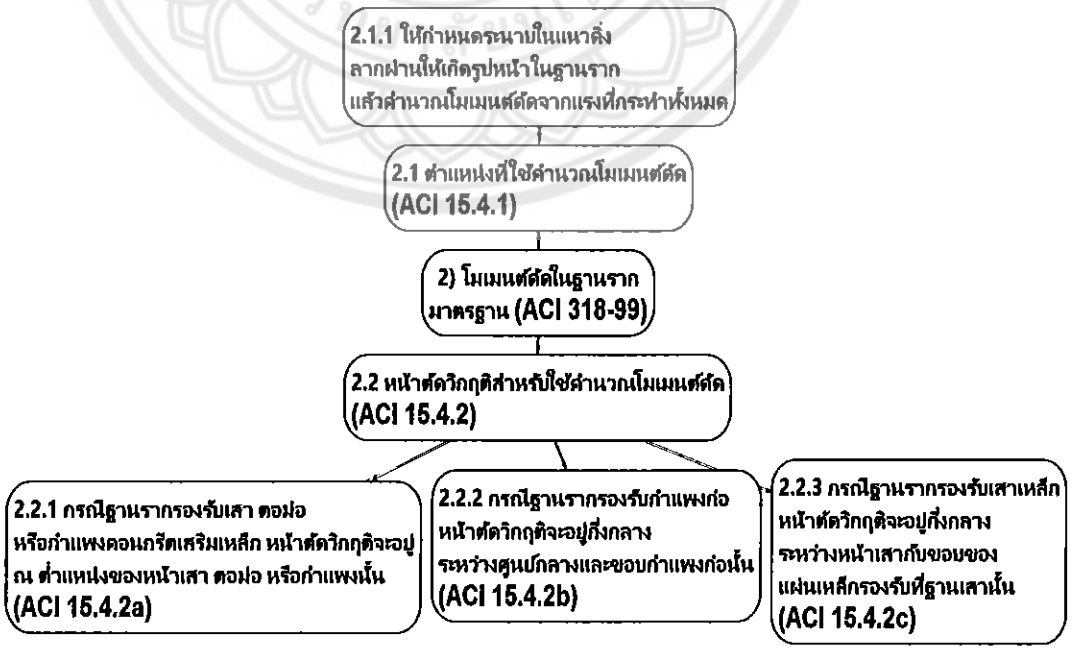
รูปที่ 3-2 หน้าตาโปรแกรม Simple Mind

3.4 จัดทำ Mind Mapping โดยใช้โปรแกรม Simple Mind

3.4.1Mind Mapping ฐานราก

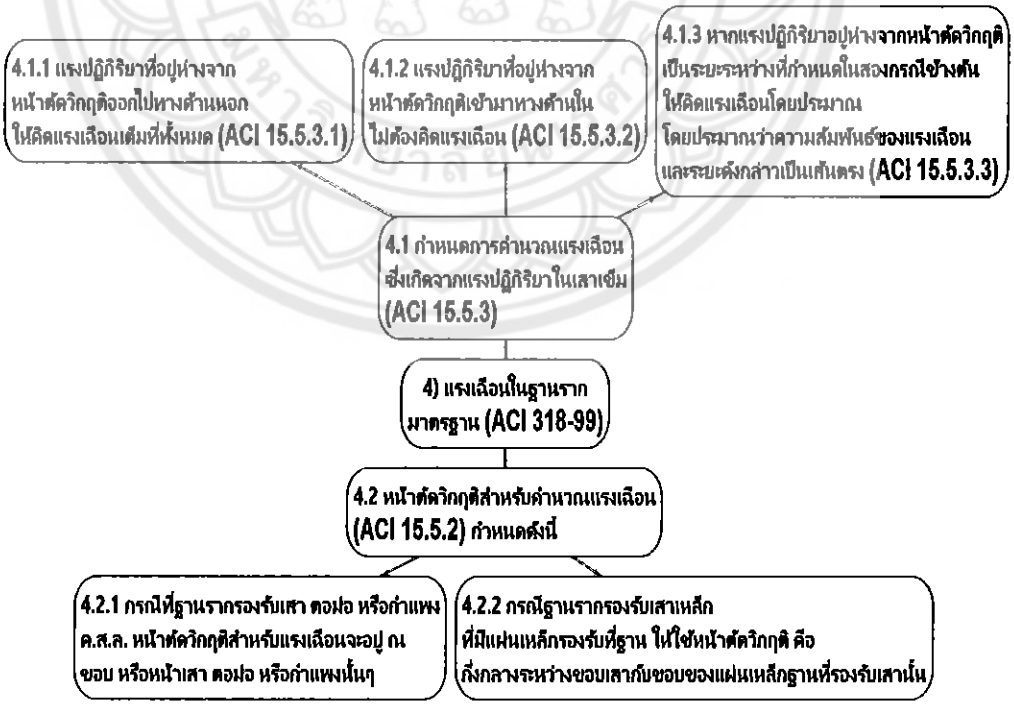


รูปที่ 3-3 แบบของฐานราก



รูปที่ 3-4 โมเมนต์ดัดในฐานราก มาตรฐาน (ACI 318-99)

รูปที่ 3-5 การกระจายเหล็กเสริมในฐานราก มาตรฐาน (ACI 318-99)



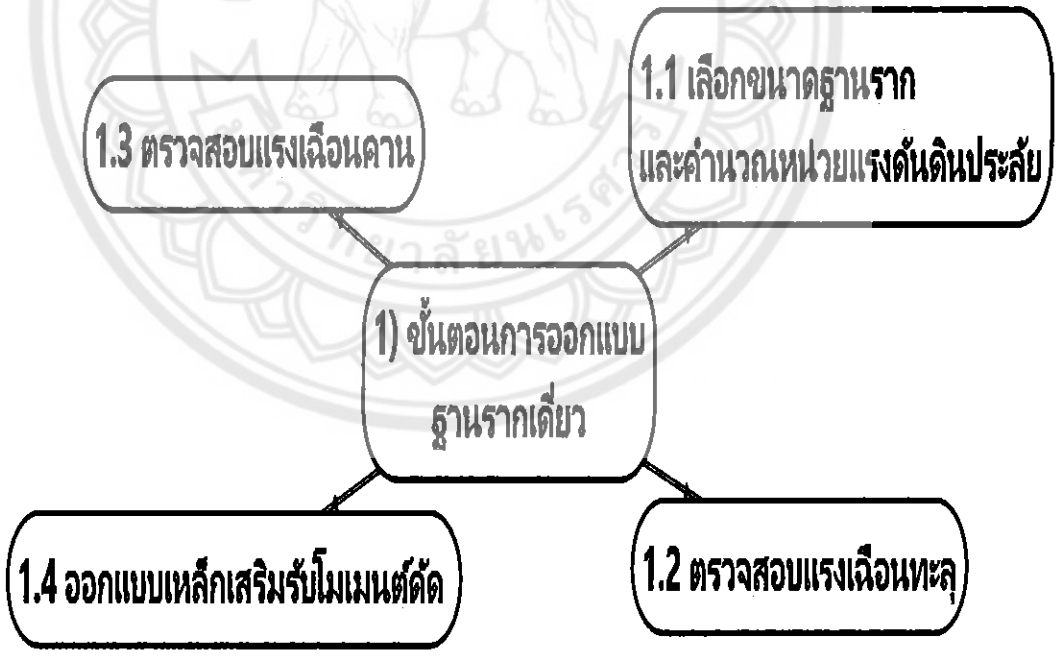
รูปที่ 3-6 แรงเฉือนในฐานราก มาตรฐาน (ACI 318-99)

บทที่ 4

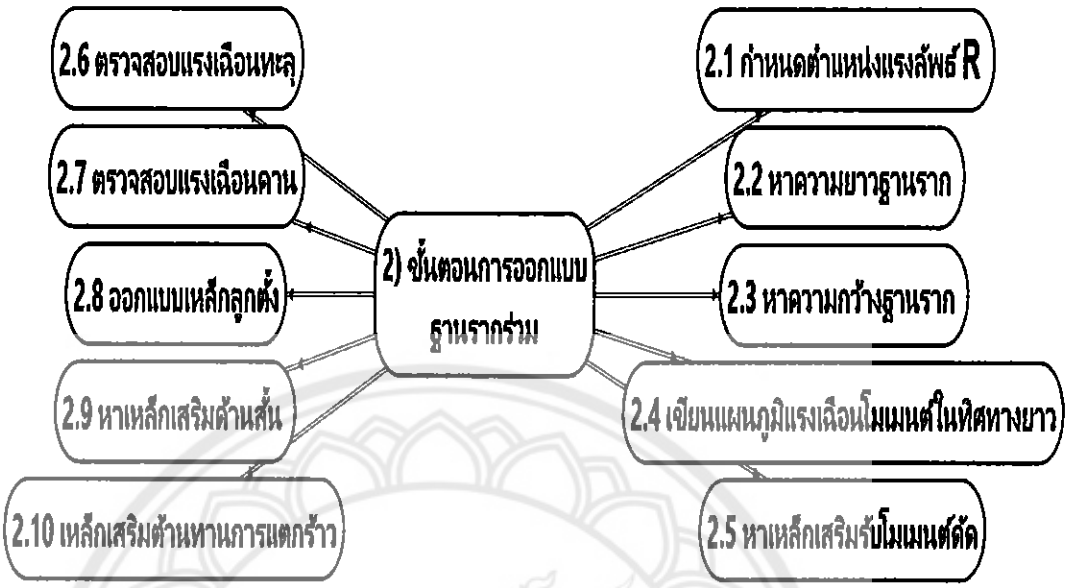
ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 เปรียบเทียบ Mind Mapping กับ Design Flow Chart

4.1.1 ขั้นตอนการออกแบบฐานราก (Mind Mapping)



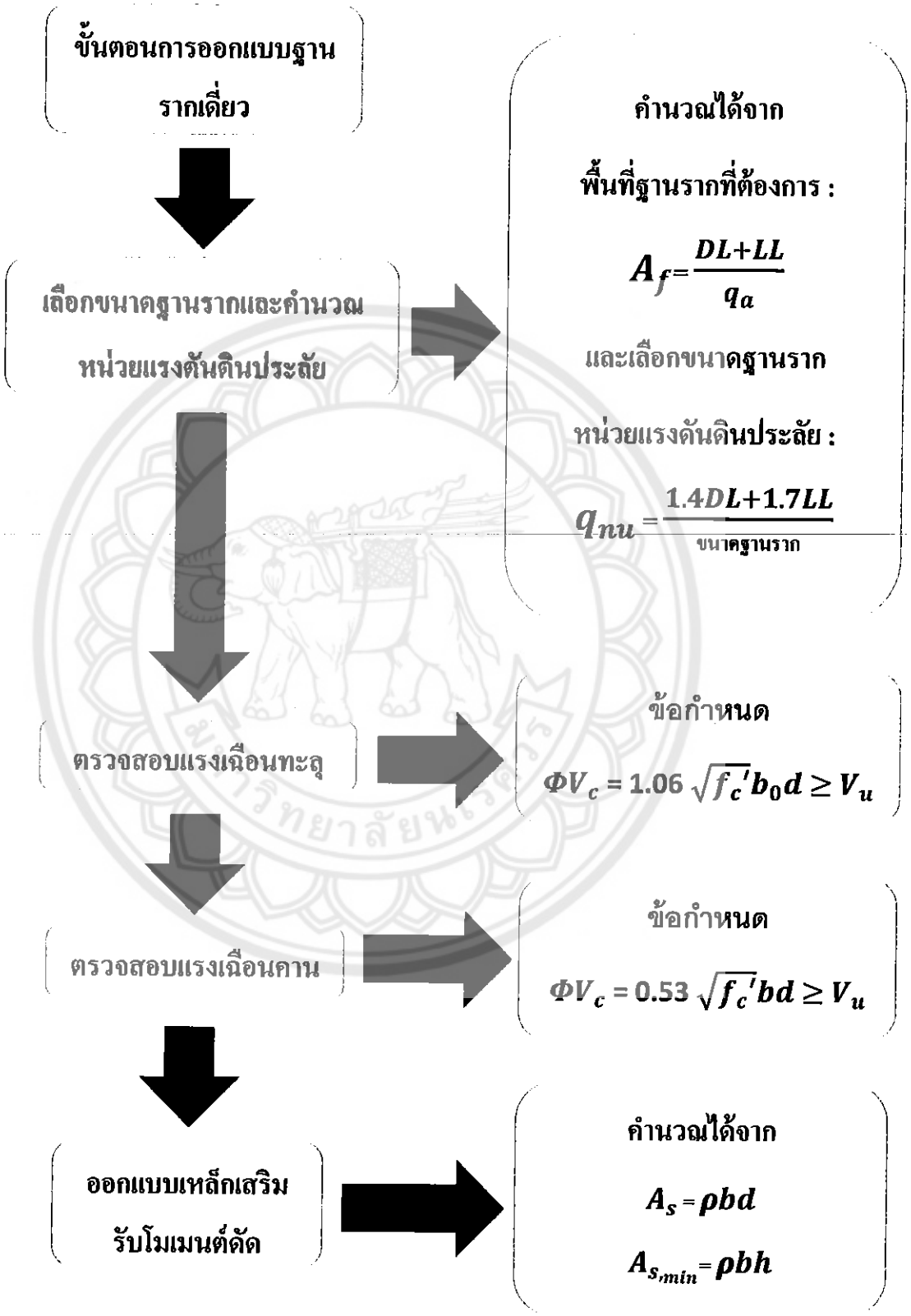
รูปที่ 4-1 การออกแบบฐานรากเดี่ยว



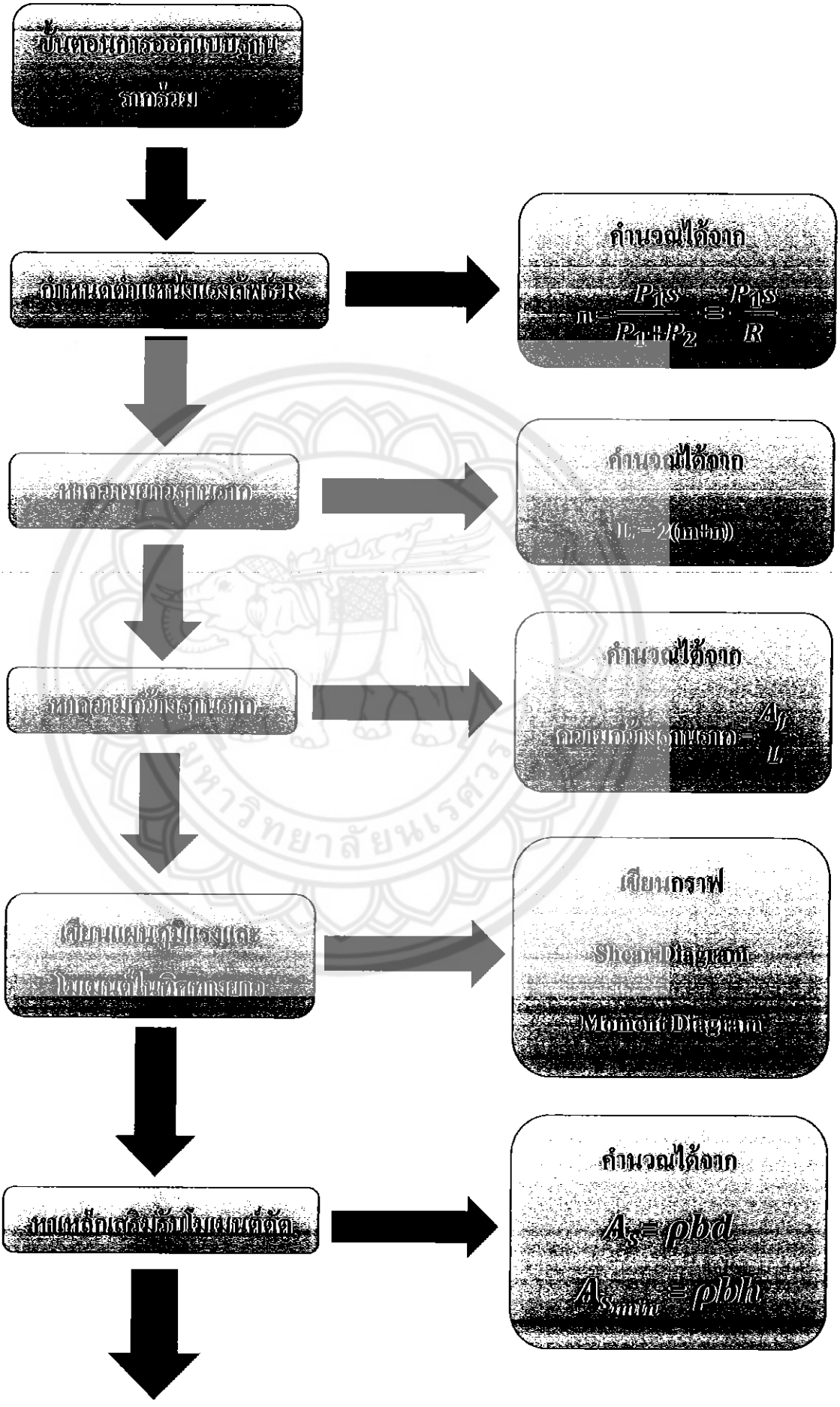
รูปที่ 4-2 การออกแบบฐานรากร่วม

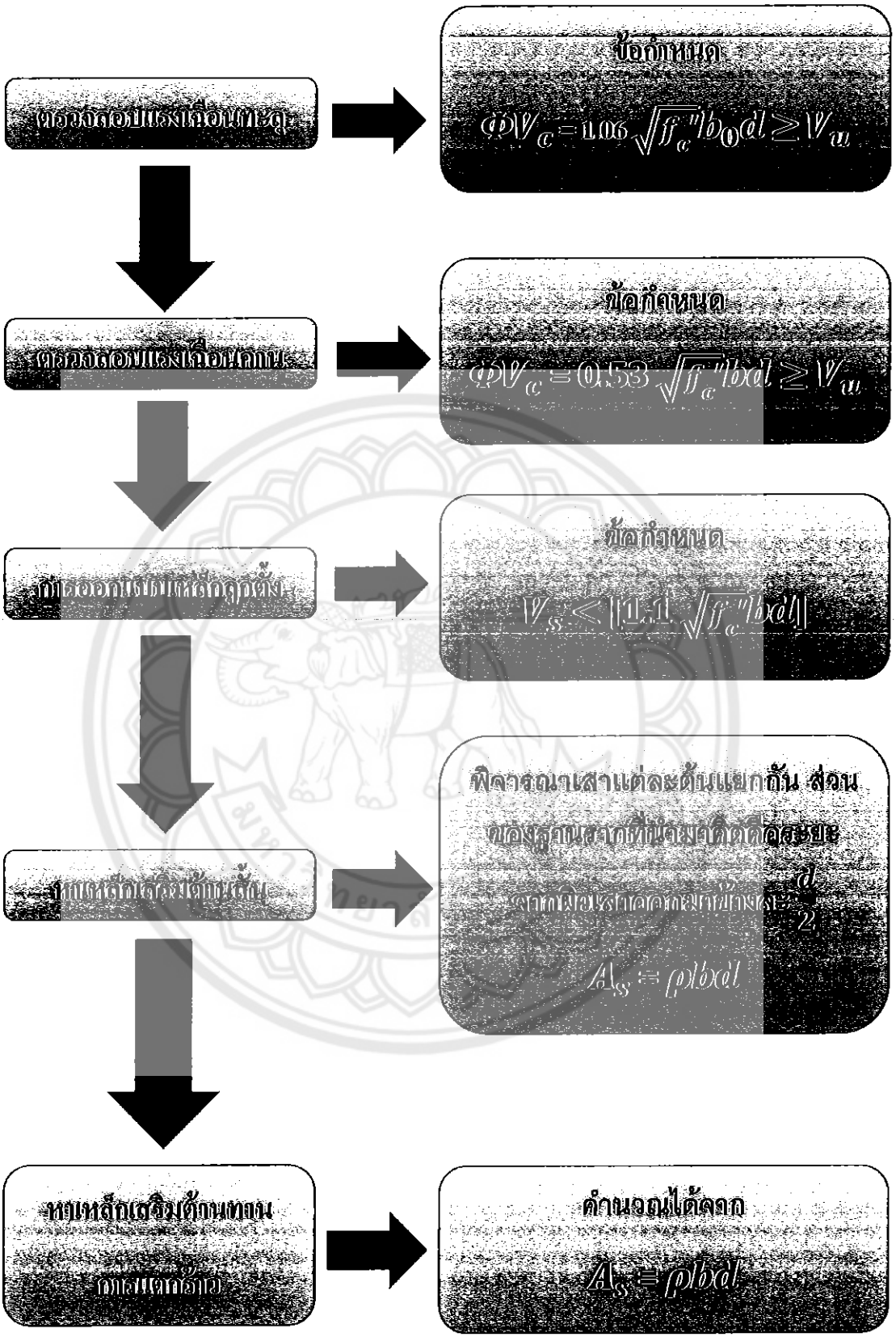
รูปที่ 4-3 การออกแบบฐานรากแผ่

4.1.2 ผังงานขั้นตอนการออกแบบฐานราก (Design Flow Chart)

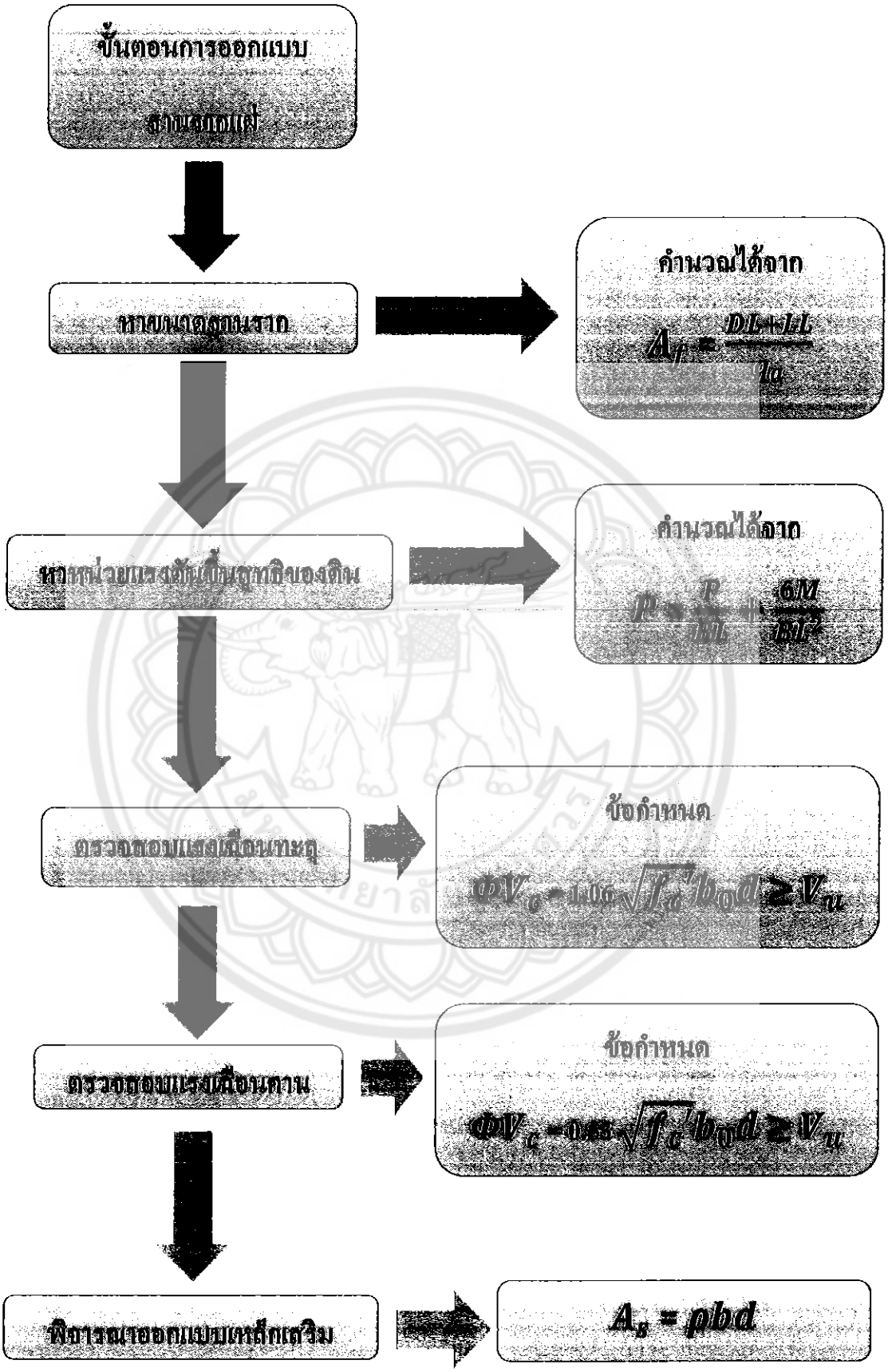


รูปที่ 4-4 แผนผังขั้นตอนการออกแบบฐานรากเดี่ยว


ขั้นตอนการออกแบบฐานราก
แบบรากร่วม
กำหนดตำแหน่งแรงลัพธ์ R
คำนวณได้จาก
$\bar{x} = \frac{P_1 s}{P_1 + P_2} = \frac{P_1 s}{R}$
หาความยาวฐานราก
คำนวณได้จาก
$L = 2(m+n)$
หาความกว้างฐานราก
คำนวณได้จาก
ความกว้างฐานราก $= \frac{A_f}{L}$
เขียนแผนภูมิแรงเฉือน
โมเมนต์ในคานยื่น
เขียนกราฟ
Shear Diagram
Moment Diagram
หาเหล็กเสริมรับโมเมนต์ตัด
คำนวณได้จาก
$A_s = \rho bd$
$A_{s\,min} = \rho bh$



รูปที่ 4-5 แผนผังการออกแบบฐานรากร่วม



รูปที่ 4-6 แผนผังการออกแบบฐานรากแผ่

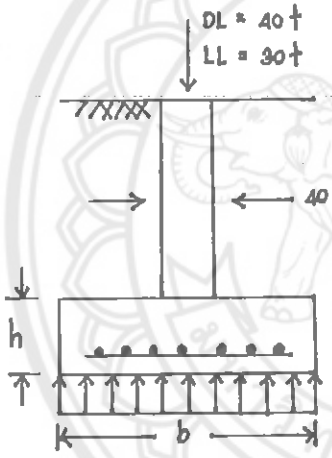
4.2 ตัวอย่างการออกแบบฐานรากเดี่ยว

(โจทย์ตัวอย่าง ดัดแปลงมาจาก http://eng.sut.ac.th/ce/oldce/CourseOnline/430431/ **)**

จงออกแบบฐานรากเดี่ยวสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพื่อรองรับเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 40 ซม. ที่กึ่งกลางฐานราก น้ำหนักบรรทุกคงที่จากเสาคือ 40 ตัน และน้ำหนักบรรทุกจรคือ 30 ตัน แรงดันดินที่ยอมให้ 10 ตัน/ตร.ม กำหนด $f_c{}'$ = 240 ก.ก./ซม^2. f_y = 4,000 ก.ก./ซม^2. และหน่วยน้ำหนักดิน $\gamma s = 2.0$ ตัน/ลบ.ม.

วิธีทำ

1.เลือกขนาดฐานรากและคำนวณหน่วยแรงดันดินประลัย



พื้นที่ฐานรากที่ต้องการ :

$$A_f = \frac{40+30}{10} = 7.0 \text{ ตร.ม.}$$

เลือกใช้ฐานรากขนาด 2.7 X 2.7 ม. **มีพื้นที่ 7.29 ตร.ม.**

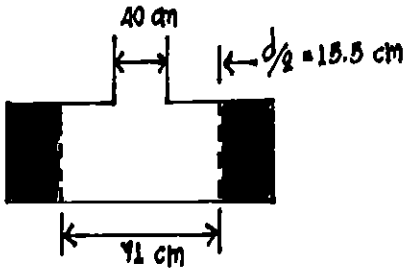
หน่วยแรงดันดินประลัย :

$$q_{nu} = \frac{1.4X40+1.7X30}{7.29} = 14.68 \text{ ตัน/ตร.ม.}$$

ลองใช้ความหนาฐานราก h = 40 ซม.

d = 40 ซม. – 8 ซม. – $d_b/2$ = 31 ซม.

2. ตรวจสอบแรงเฉือนทะลุ



แรงเฉือนประลัย :

V_u = 14.68(2.7^2 – 0.71^2) = 99.62 ตัน

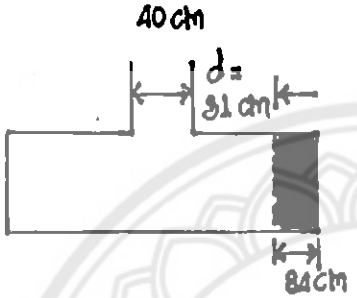
เส้นรอบรูปวิกฤติ :

b_0 = 4 X 71 = 284 ซม.

กำลังเฉือนคอนกรีต :

ΦV_c = 0.85 X 1.06 $\sqrt{240}$ X 284 X 31/1,000 = 123 ตัน $>$ [V_u = 99.26 ตัน] **OK**

3. ตรวจสอบแรงเฉือนคาน



แรงเฉือนประลัย :

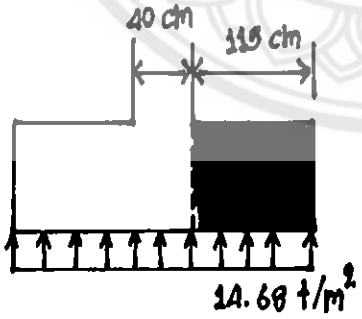
V_u = 14.68 X 0.84 X 2.7 = **33.29 ตัน**

กำลังเฉือนคอนกรีต :

ΦV_c = 0.85 X 1.06 $\sqrt{240}$ X 270 X 31/1,000 = 58.4 ตัน $>$ [V_u = 33.29 ตัน] **OK**

4. ออกแบบเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด หน้าตัดวิกฤติสำหรับการดัดอยู่ที่ผิวเสาดังแสดงในรูปข้างล่าง

คำนวณโมเมนต์ดัดประลัยในส่วนที่เป็นปลายยื่น :



M_u = 14.68 X 2.7 X 1.15^2 / 2 = 26.21 ตัน-เมตร

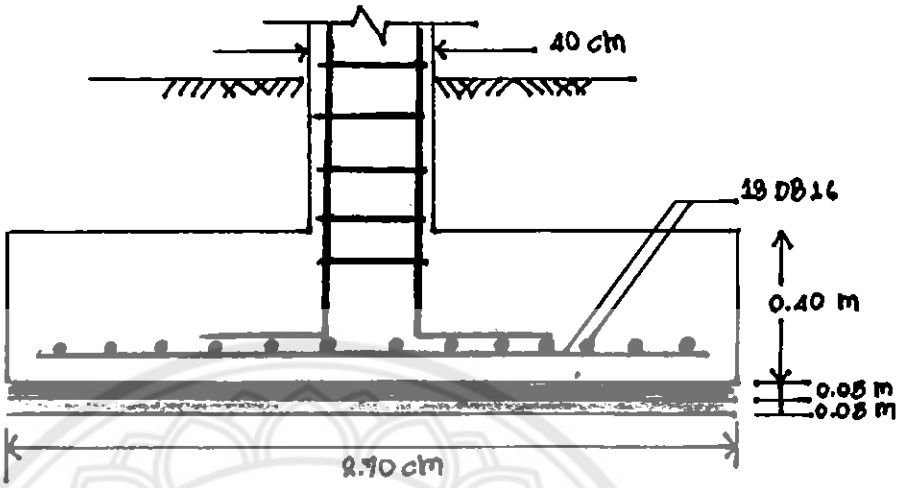
$$R_u = \frac{M_u}{\Phi b d^2} = \frac{26.21\ X\ 10^5}{0.9\ X\ 270\ X\ 31^2} = 11.22 \text{ ก.ก./ซม}^2.$$

$$\rho = 0.85 f_c'/f_y \left(1 - \sqrt{1 \frac{2Ru}{0.85 fc'}}\right) = 0.0029$$

A_s = 0.0029 X 270 X 31 = 24.27 ซม^2.

$A_{s_{min}}$ = 0.0018 X 270 X 40 = 19.44 ซม^2. $< A_s$

เลือกใช้ 13 DB16 (A_S = 26.13 ซม^2.)



4.3 ตัวอย่างการออกแบบฐานรากร่วม

(โจทย์ตัวอย่าง ดัดแปลงมาจาก http://eng.sut.ac.th/ce/oldce/CourseOnline/430431/)

ออกแบบฐานรากร่วมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อรองรับเสาจัตุรัสภายนอกขนาด 40 ซม. รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานคงที่ 50 ตัน และน้ำหนักบรรทุกจร 25 ตัน และเสาภายในจัตุรัสขนาด 45 ซม. รับน้ำหนักคงที่ 80 ตัน และน้ำหนักจร 40 ตัน ระยะห่างระหว่างเสาคือ 5 เมตร แรงดันดินที่ยอมให้ 10 ตัน/ตร.ม. โดยที่มีเส้นขอบฐานรากจะต้องไม่ยื่นจากศูนย์กลางต้นออกไปเกิน 40 ซม. กำหนด f_c' = 240 ก.ก./ซม^2. f_y = 4,000 ก.ก./ซม^2.

วิธีทำ

1. **กำหนดตำแหน่งแรงลัพธ์ R** โดยการหาโมเมนต์รอบศูนย์กลางเสา A :

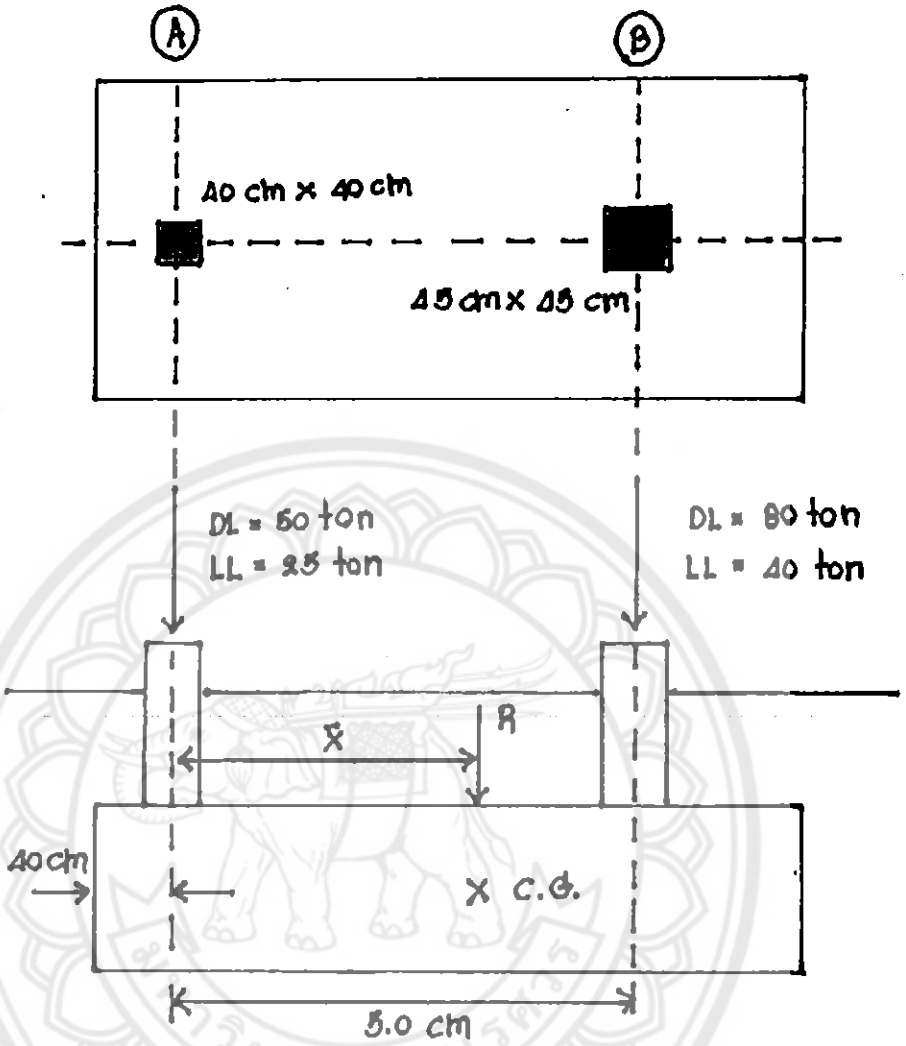
$$(75 + 120)\ \bar{X} = 120\ (5)$$

$$\bar{X} = 3.1 \text{ เมตร.}$$

2. **ความยาวฐานราก** โดยกำหนดให้ศูนย์กลางฐานราก (C.G.) อยู่ตำแหน่งเดียวกับ R :

ระยะจาก C.G. ถึงขอบฐานรากด้านซ้าย = 3.1 + 0.4 = 3.5 เมตร.

ความยาวฐานราก, L = 2 X 3.5 = 7.0 เมตร.



3. ความกว้างฐานราก แรงดันดินที่ยอมให้ q_a = 10 ตัน/ตร.ม.

พื้นที่ฐานรากที่ต้องการ = $\frac{R}{q_a} = \frac{50+25+80+40}{10}$ = 19.5 ตร.ม.

ความกว้างฐานราก = $\frac{19.5}{7.0}$ = 2.79 ตร.ม. ใช้ความกว้าง 2.8 เมตร

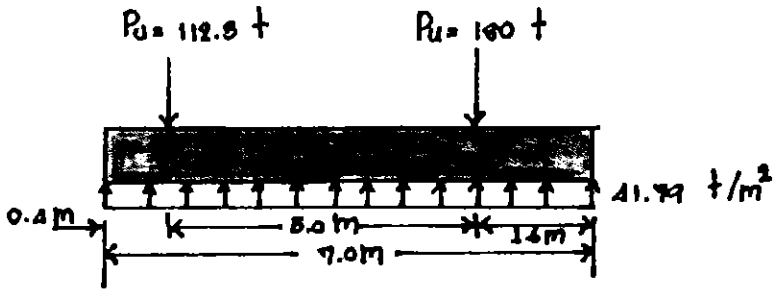
4. แผนภูมิแรงเฉือนโมเมนต์ในทิศทางยาว

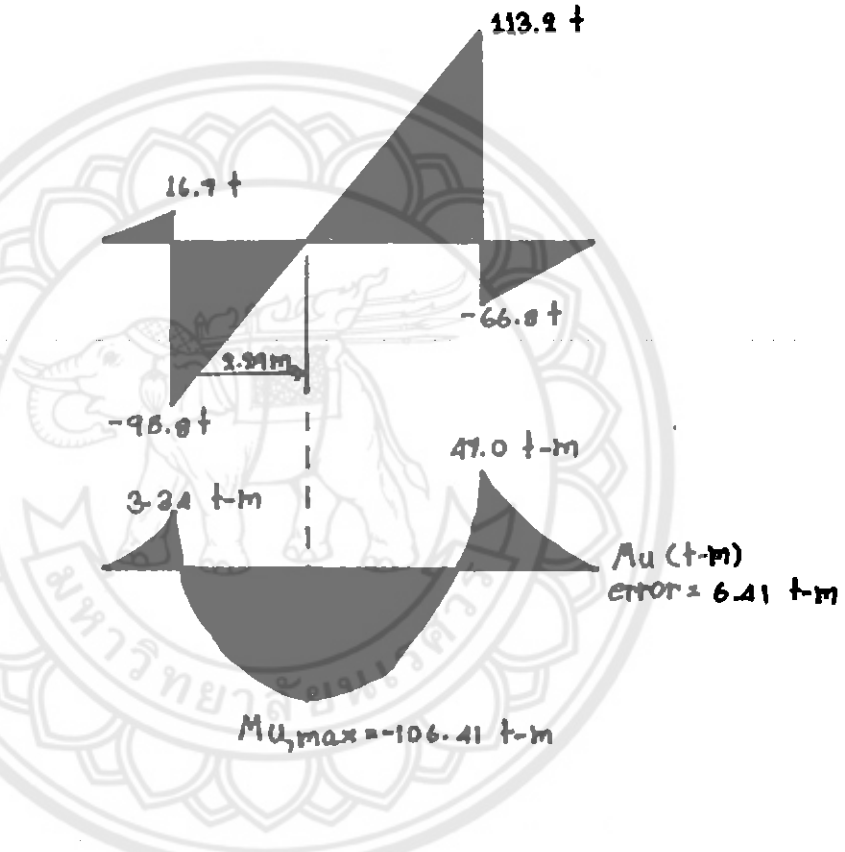
น้ำหนักประลัยจากเสา A : P_{Au} = 1.4 X 50 + 1.7 X 25 = 112.5 ตัน

น้ำหนักประลัยจากเสา B : P_{Bu} = 1.4 X 80 + 1.7 X 40 = 180.0 ตัน

แรงดันดินประลัย $q_{nu} = \frac{112.5+180}{7.0 \text{ X } 2.8}$ = 14.92 ตัน/ตร.ม.

น้ำหนักแผ่ประลัย $W_u = \frac{112.5+180}{7.0}$ = 41.79 ตัน/ตร.ม.





5. เหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด

สำหรับโมเมนต์ลบกลางช่วง – M_u = 15.6 ก.ก./ซม.^{2}

$$R_u = \frac{M_u}{\Phi b d^2} = \frac{26.21\ X\ 10^5}{0.9\ X\ 270\ X\ 31^2} = 11.22 \text{ ก.ก./ซม}^2.$$

$$\boldsymbol{\rho} = 0.85 f_c'/f_y \left(1 - \sqrt{1 \frac{2Ru}{0.85 fc'}}\right) = 0.0041 < [\boldsymbol{\rho}_{max} = 0.0172]$$

$$A_S = 0.0041 \text{ X } 280 \text{ X } 52 = 59.7 \text{ ซม}^2.$$

ใช้เหล็กเสริม 10 DB28 (A_S = 61.58 ซม^2.)

เหล็กเสริมกันร้าว : $A_{s,min}$ = 0.0018 X 280 X 60 = 30.24 ซม^2.

สำหรับโมเมนต์บวกที่ปลายซ้าย : + M_u = 3.3 ตัน-เมตร

ใช้เหล็กเสริม 10 DB20 (A_s = 31.42 ซม^2.)

สำหรับโมเมนต์บวกที่ปลายขวา : + M_u = 47.0 ตัน-เมตร

ใช้เหล็กเสริม 10 DB20 (A_s = 31.42 ซม^2.)

6. ตรวจสอบแรงเฉือนทะลุ

เสา A : b_0 = 4(40+52) = 368 ซม.

V_u = 112.5 – 14.92(0.92)^2 = 99.9 ตัน

ΦV_c = 0.85 X 1.06 $\sqrt{240}$ X 368 X 52/1,000 = 267 ตัน $>$ [V_u = 99.9 ตัน]

เสา B : b_0 = 4(45+52) = 388 ซม.

V_u = 180 – 14.92(0.92)^2 = 155.4 ตัน

ΦV_c = 0.85 X 1.06 $\sqrt{240}$ X 388 X 52/1,000 = 282 ตัน $>$ [V_u = 155.4 ตัน]

7. ตรวจสอบแรงเฉือนคาน

แรงเฉือนมากที่สุดจากแผนภูมิ : $V_{u,max}$ = 113.2 ตัน

ความต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีต :

ΦV_c = 0.85 X 1.06 $\sqrt{240}$ X 388 X 52/1,000 = 101.6 ตัน $<$ $V_{u,max}$

8. ออกแบบเหล็กลูกตั้ง

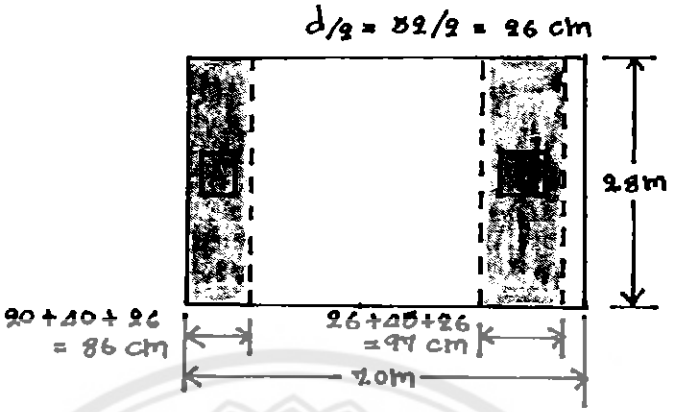
ความต้านทานแรงเฉือนของเหล็กที่ต้องการ $\Phi V_s = V_u - \Phi V_c$ = 113.2 – 101.2

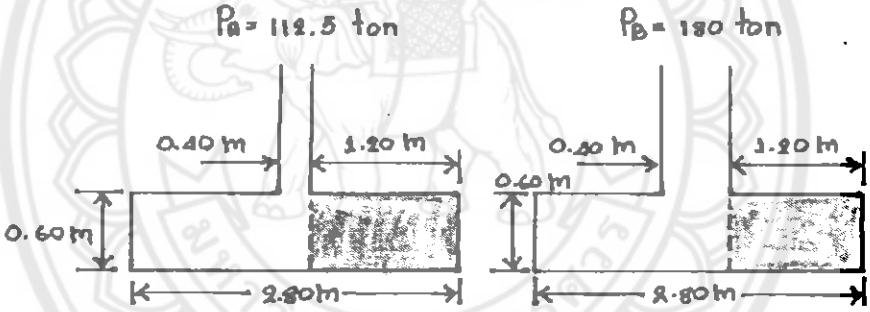
V_s = 13.65 ตัน $<$ [1.1 $\sqrt{240}$ X 280 X 52/1,000 = 16.4 ซม.]

ดังนั้นระยะห่างมากที่สุด s_{max} = d/2 = 26 ซม.

ใช้เหล็กลูกตั้ง DB16 สองขา, A_v = 2X2.01 = 4.02 ซม^2.

9. เหล็กเสริมด้านสั้น





เสา A : b_0 = 20 + 40 + 26 = 86 ซม.

W_u = 112.5/2.8 = 40.2 ตัน/เมตร

M_u = (40.2)(1.2)^2/2 = 28.9 ตัน-เมตร

$$R_u = \frac{28.9\ X\ 10^5}{0.9\ X\ 86\ X\ 52^2} = 13.8 \text{ ก.ก./ซม.}^2$$

$$\rho = 0.85 f_c'/f_y \left(1 - \sqrt{1 \frac{2Ru}{0.85 fc'}}\right) = 0.0036 < [\rho_{max} = 0.0172]$$

OK

A_S = 0.0036 X 86 X 52 = 16.1 ซม^2.

ใช้เหล็กเสริม 6 DB20 (A_S = 18.85 ซม^2.)

เสา B : b_0 = 45 + 52 = 97 ซม.

W_u = 180/2.8 = 64.3 ตัน/เมตร

M_u = (64.3)(1.175)^2/2 = 44.4 ตัน-เมตร

$$R_u = \frac{44.4\ X\ 10^5}{0.9\ X\ 97\ X\ 52^2} = 18.8 \text{ ก.ก./ซม.}^2$$

$$\rho = 0.85 f_c'/f_y \left(1 - \sqrt{1 \frac{2Ru}{0.85 fc'}}\right) = 0.0049 < [\rho_{max} = 0.0172]$$

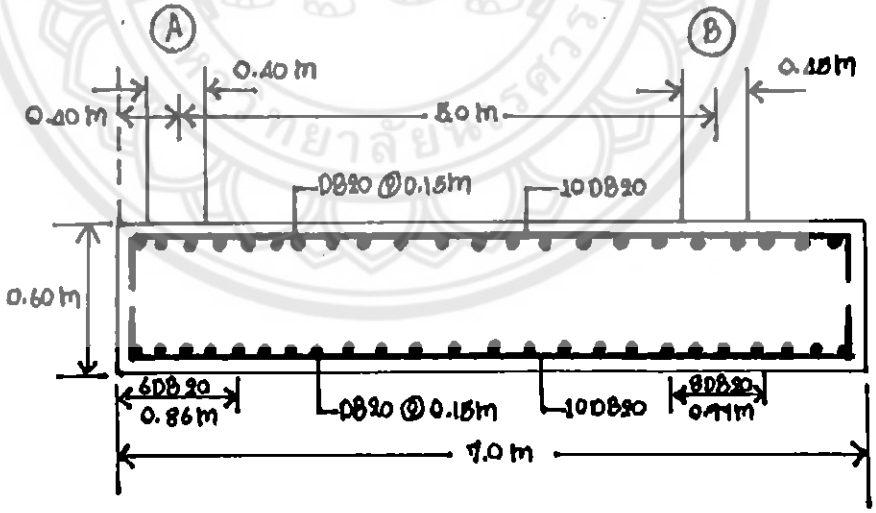
A_S = 0.0049 X 97 X 52 = 24.7 ซม^2.

ใช้เหล็กเสริม 8 DB20 (A_S = 25.13 ซม^2.)

10. เหล็กเสริมต้านทานการแตกร้าว

A_S = 0.0018 X 100 X 60 = 10.8 ซม^2.

ใช้เหล็กเสริม DB20 @ 0.15 (A_S = 12.56 ซม^2./ม.) > เหล็กลูกตั้ง DB16 @ 0.15



4.4 ตัวอย่างการออกแบบฐานรากแผ่

(โจทย์ตัวอย่าง ดัดแปลงมาจาก หนังสือการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง ดร.วินิต ช่อวิเชียร, ดร.วรวินิต ช่อวิเชียร)

จงออกแบบฐานรากแผ่วางบนดินซึ่งมีหน่วยแรงกดอัดปลอดภัยที่ยอมให้เท่ากับ 10,000 กก./ซม.^{2} แรงกระทำที่ปลายเสาตอม่อประกอบด้วยน้ำหนักใช้งานตามแนวแกน P_d= 12,000 กก. P_L = 8,000 กก. และโมเมนต์ดัดใช้งาน M_D = 1,500 กก.-ม. โดยมีดินแถมสูงจากใต้ฐานรากอีก 1.50 ม. กำหนดให้ $f_{c\prime}$ = 200 กก./ซม.^{2} f_y = 3,000 กก./ซม.^{2} และหน่วยน้ำหนักของดินถม = 1,600 กก./ซม.^{2}

<u>วิธี</u>คิด

1. หาขนาดของฐานรากจากหน่วยแรงกดอัดปลอดภัยที่ยอมให้ของดิน

สมมติหน่วยน้ำหนักเฉลี่ยของฐานรากและดินถม = 2,000 กก. / ซม^3.

ดังนั้น หน่วยแรงกระทำจากฐานรากและดินถมซึ่งลึก 1.50 ม.

= 1.50x2,000 = 3,000 กก. / ซม^2.

ฉะนั้น หน่วยแรงกดอัดสุทธิที่ยอมให้ของดิน = 10,000 – 3,000

= 7,000 กก. / ซม^2.

นั่นคือ พื้นที่ฐานรากที่ต้องการสำหรับแรงตามแกน = $\frac{12,000+8,000}{7,000}$

= 2.86 ม^2.

เลือกใช้ขนาดฐานราก = 2.0x2.0 ม. เผื่อสำหรับโมเมนต์ที่กระทำ

ตรวจสอบน้ำหนักแรงดันขึ้นทั้งหมดของดิน

หน่วยรงดันขึ้นมากที่สุด $p = \frac{P}{BL} + \frac{6M}{BL^2}$

$$= \frac{12,000+8,000+3,000(2x2)}{2.0x2.0} + \frac{6(1,500+1,000)}{2.0x(2.0)^2}$$

=8,000+1,875 = 9,875 $<$ 10,000 กก. / ซม^2. ใช้ได้

2. หาหน่วยแรงดันขึ้นสุทธิของดินที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

หน่วยรงดันขึ้นมากที่สุด $p = \frac{P}{BL} + \frac{6M}{BL^2}$

$= \frac{1.4(12,000)+1.7(8,000)}{2.0x2.0} + \frac{6(1.4(1,500)+1.7(1,000))}{2.0x(2.0)^2}$

$=10,450$ กก. / ม^2.

หน่วยแรงดันขึ้นสุทธิน้อยที่สุด $= 7,600-2,850 = 3,800$ กก. / ซม^2.

หน่วยแรงดันขึ้นสุทธิที่ขอบเสา $= 3,800+\frac{1.175}{2}(10,450-3,800)$

$= 7,707$ กก. / ซม^2.

3. หาความลึกของฐานราก โดยพิจารณาจากโมเมนต์ดัด

โมเมนต์ที่ขอบเสา M_u

$= 7,707x0.825x2x\frac{0.825}{2} + \frac{1}{2}(10,450-7,707)\ x0.825x2x0.55$

$= 6,490$ กก.-ม.

ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต

ก.แบบคานกว้าง ที่หน้าตัดวิกฤตซึ่งห่างจากขอบเสาเท่ากับ 16.5 ซม.

$V_u = \frac{1}{2}(10,450+8,255.5)x2x0.66 = 12,350$ ซม.

$< \Phi V_c = 0.53\Phi\sqrt{f'_c}\ bd = 0.53x0.85x\sqrt{200}\ (200x16.5)$

$=21020$ กก.

ข.แบบเฉือนทะลุ ที่หน้าตัดวิกฤตซึ่งห่างจากขอบเสาโดยรอบเป็นระยะ

$d/2 = 16.5/2 = 8.25$ ซม.

ดังนั้น เส้นรอบรูป $b_0 = 4(35+16.5) = 206$ ซม.

$V_u = 7,600(2^2 - 0.515^2) = 28,400$ กก.

แต่ $\Phi V_c = \Phi 0.27\ (2+\frac{4}{\beta_c})\sqrt{f'_c}\ b_0 d \leq 1.06\Phi\sqrt{f'_c}\ b_0 d$ กก.

เนื่องจาก β_c = อัตราส่วนระหว่างด้านยาวต่อด้านสั้นของเสา = 1

ดังนั้น $\Phi V_c = 1.06\Phi\sqrt{f'_c}\, b_0 d$

$= 1.06x0.85x\sqrt{200}\,(200x16.5)$

= 43,300 กก. > 28,400 กก. ใช้ได้

4. ตรวจสอบน้ำหนักของฐานรากและดินถม

น้ำหนักจริงของฐานราก = $0.25x2^2x2,400$ = 2,400 กก.

น้ำหนักของดินถม = $1.25x2^2x1600$ = 8,000 กก.

รวมน้ำหนักของฐานรากและดินถม = 2,400+8,000 = 10,400 กก.

< 30,000(2x2) = 12,000 กก. ที่สมมติ ใช้ได้

5. พิจารณาออกแบบเหล็กเสริม

ค่าจริงของ $R_u = \frac{M_u}{\Phi bd^2} = \frac{6,490x100}{0.9(200)(16.5)^2} = 13.24$ กก. / ซม^2.

อัตราส่วน ρ ที่ต้องการ $= \frac{0.85f_c'}{f_y}\left(\sqrt{1\frac{2Ru}{0.85fc'}}\right)$

$= \frac{0.85(200)}{3,000}\left(\sqrt{1-\frac{2x13.24}{0.85(200)}}\right)$

$= 0.0046 < \rho_{min}$

ดังนั้น A_s ที่ต้องการ$=\rho bd = (\frac{14}{3,000})(200x16.5) = 15.4$ ซม^2

เลือกใช้เหล็กเสริม 8 DB 16 มม. (A_s = 16.08 ซม^2) ทั้งสองทาง

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

ผลจากการดำเนินโครงงาน จากการเปรียบเทียบ ขั้นตอนการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่จัดทำเป็น Mind Mapping กับ Flow Chart จะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะเป็น Mind Mapping หรือ Flow Chart ต่างก็สามารถช่วยให้จดจำขั้นตอนการออกแบบ และสามารถนำไปใช้ออกแบบได้ ต่างจะมีข้อแตกต่างกันก็ตรงที่ Mind Mapping ที่จัดทำขึ้นโดยใช้โปรแกรม Simple Mind นั้นไม่สามารถที่จะใส่ตัวห้อย หรือ ตัวยกกำลังได้ ทำให้ไม่สามารถที่จะใส่สมการให้ดูได้ แต่อย่างไรก็ตามทั้ง Mind Mapping และ Flow Chart ก็สามารถช่วยจดจำขั้นตอนการออกแบบได้ทั้งสองแบบ

เอกสารอ้างอิง

[1] หนังสือการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง แต่งโดย รศ.ดร.สถาพร โภคา

[2] ค้นคว้าข้อมูลจากเว็บไซต์ http://www.sdhabhon.com/RCDesign.html

[3] เอกสารประกอบการสอน "304385 การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก"

ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

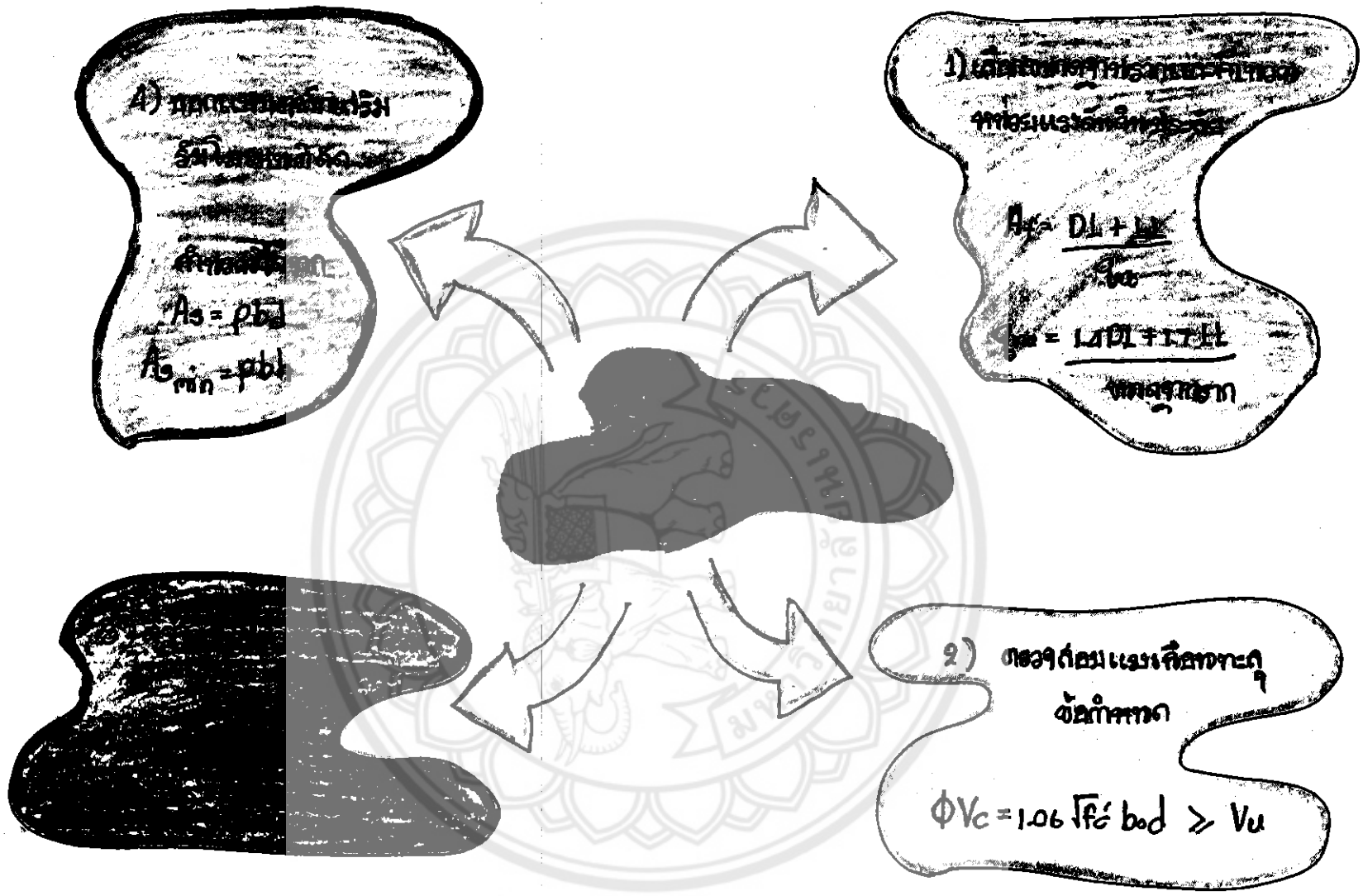
[4] เว็ปไซต์ http://eng.sut.ac.th/ce/oldce/CourseOnline/430431/

[5] หนังสือการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง ดร.วินิต ช่อวิเชียร

ภาคผนวก

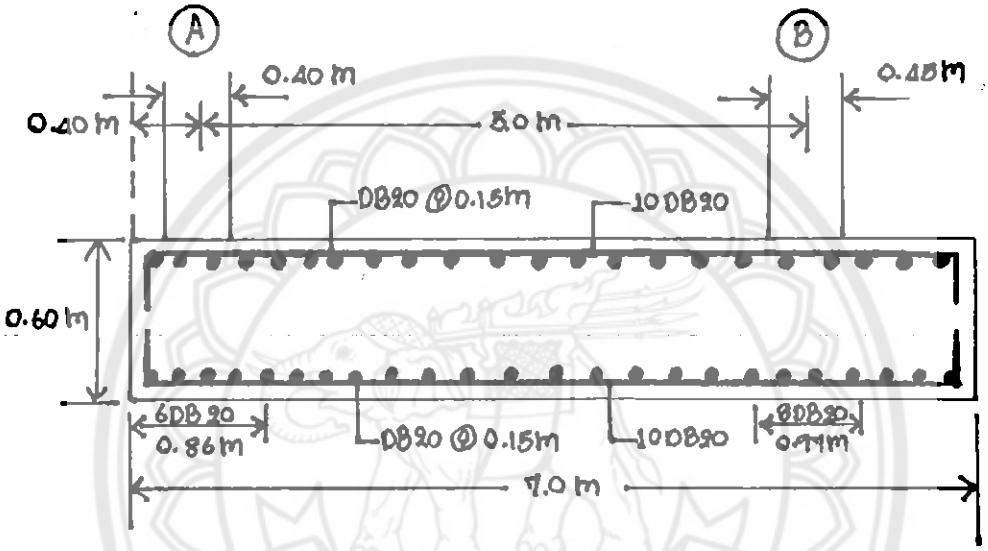
ก

แผนที่ความคิด


$A_{s\,min} = \rho b d$
$\rho = 1.4/f_y + 1.7 f_c'/f_y$
$\phi V_c = 1.06 \sqrt{f_c'}\, b_o d \geq V_u$

ตัวอย่างการเสริมเหล็กในฐานราก

ฐานรากรวม



ฐานรากเดี่ยว