กรณีศึกษาผนังรับแรงแบบหล่อในที่เปรียบเทียบกับโครงสร้างเสาคานทั่วไป

A CASE STUDY OF CAST-IN-PLACE REINFORCED CONCRETE BEARING WALL COMPARED WITH CONVENTIONAL REINFORCED CONCRETE BEAM-COLUMN SYSTEM

โดย

นางสาววรรณศิริ บัวน้อย

นายศตวรรษ สอดจิตต์

นางสาวศภิษญา ชัยวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

กรณีศึกษาผนังรับแรงแบบหล่อในที่เปรียบเทียบกับโครงสร้างเสาคานทั่วไป

A CASE STUDY OF CAST-IN-PLACE REINFORCED CONCRETE BEARING WALL COMPARED WITH CONVENTIONAL REINFORCED CONCRETE BEAM-COLUMN SYSTEM

โดย

นางสาววรรณศิริ บัวน้อย
นายศตวรรษ สอดจิตต์
นางสาวอภิชญา ลี้ภัยวงศ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A CASE STUDY OF CAST-IN-PLACE REINFORCED CONCRETE BEARING WALL COMPARED WITH CONVENTIONAL REINFORCED CONCRETE BEAM-COLUMN SYSTEM

MS.WANSIRI BUANOI
MR.SATTAWAT SORDJIT
MS.APICHAYA LEEPAIWONG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	กรณีศึกษาผนังรับแรงแบบหล่อในที่เปรียบเทียบกับโครงสร้างเสาคานทั่วไป A CASE STUDY OF CAST-IN-PLACE REINFORCED CONCRETE BEARING WALL COMPARED WITH CONVENTIONAL REINFORCED CONCRETE BEAM-COLUMN SYSTEM
นักศึกษา	นางสาววรรณศิริ บัวน้อย รหัสนักศึกษา 53011407 นายศตวรรษ สอดจิตต์ รหัสนักศึกษา 53011523 นางสาวอภิชญา ลี้ภัยวงศ์ รหัสนักศึกษา 53011855
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร รศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการก่อสร้างบ้านพักอาศัยต่างๆมากขึ้น ทำให้เกิดการแข่งขันในการก่อสร้างทั้งในด้านของระยะเวลา ด้านต้นทุนการก่อสร้าง รวมถึงความสวยงามของบ้านพักอาศัย ทางคณะผู้จัดทำจึงทำโครงงานนี้ โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนและระยะเวลาในการก่อสร้างของระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่เปรียบเทียบกับระบบโครงสร้างเสาคานทั่วไป โดยทางคณะวิจัยได้ทำการออกแบบระบบโครงสร้างเสาคานทั่วไปให้มีรูปแบบบ้านพักอาศัยเหมือนกับระบบโครงสร้างผนังรับแรงของโครงการหนึ่งซึ่งเป็นแบบบ้านทาวน์โฮม 3 ชั้น 3 ยูนิต จากนั้นนำมาเปรียบเทียบด้านระยะเวลาและในด้านต้นทุน จากการศึกษาพบว่า โครงสร้างของระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่ มีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 4,432,583.00 บาท(ต่อการใช้แบบหล่อ 1 ครั้ง) และมีระยะเวลาในการก่อสร้างทั้งหมด 20 วัน ต่อการก่อสร้าง 1 หลัง 3 ยูนิต ส่วนโครงสร้างของระบบเสาคานทั่วไป มีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 1,135,825.00 บาท(ต่อการใช้ไม้แบบ 3 ครั้ง) และมีระยะเวลาในการก่อสร้าง 69 วัน ต่อการก่อสร้าง 1 หลัง 3 ยูนิต จะเห็นได้ว่าระบบโครงสร้างผนังรับแรงนั้นเมื่อคิดต่อหลังจะมีราคาสูงกว่า แต่ระบบผนังรับแรงนั้นสามารถใช้งานแบบหล่ออลูมิเนียมได้ถึง 90 ครั้ง ทำให้เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วพบว่าจะต้องทำการก่อสร้างระบบผนังรับแรงเท่ากับ 7 หลัง หรือ 21 ยูนิต ขึ้นไปจึงจะคุ้มทุนค่าแบบอลูมิเนียมที่ใช้ในการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	A CASE STUDY OF CAST-IN-PLACE REINFORCED CONCRETE BEARING WALL COMPARED WITH CONVENTIONAL REINFORCED CONCRETE BEAM-COLUMN SYSTEM
Student	MS.WANSIRI BUANOI ID. 53011407
	MR.SATTAWAT SORDJIT ID. 53011523
	MS.APICHAYA LEEPAIWONG ID. 53011855
Project Advisor	DR.ARTHIT PETCHSASITHON
Project Co-Advisor	SUWAT TEERASET
	ASSOC. PROF.
Degree	BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
Year	2013

ABSTRACT

At the present time, number of the construction of residential building is significantly increasing. This leads to high competition in terms of timing, cost and aesthetic. According to this, the main purpose of this project is to compare the cost and timing of the construction between cast-in-place reinforced concrete beam-column system and Load bearing wall method system. A three-storey townhome is used in this study. Construction time and cost are both compared. According to the study, the total cost of cast-in-place reinforced concrete bearing wall is 4,432,583.00 baht (per one formwork) and the total construction time is twenty days per 3 units and the total cost of convention reinforced beam-column system is 1,135,825.00 baht (3 cycles per one formwork) and the total construction time is sixty-nine days per 3 units. Result illustrates that the cost of cast-in-place reinforced concrete bearing wall per 3 units is higher than the conventional reinforced beam-column system. Nevertheless, the cast-in-place reinforced concrete bearing wall system of three-storey townhomes, built with one aluminium formwork, is capable of reusing for more than ninety times. Therefore if more than twenty-one units are built, the cast-in-place reinforced concrete bearing wall will be beneficial.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาโครงการวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร และ รศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ ตลอดระยะเวลาของการศึกษาโครงงานพิเศษนี้ท่านได้ให้คำแนะนำและการสั่งสอนในสิ่งที่มีประโยชน์และมีค่ามากมายทั้งในด้านความรู้ที่เกี่ยวกับงานด้านวิศวกรรมโครงสร้าง ความรู้ในด้านการบริหารงานก่อสร้าง และความรู้อื่นๆอีกมากมายนอกเหนือจากขอบข่ายทางวิศวกรรม อีกทั้งคอยแนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆเกี่ยวกับการทำโครงงานพิเศษนี้ และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการนำเสนองานโครงงานพิเศษ ทางคณะผู้จัดทำขอกล่าวขอบคุณอย่างซาบซึ้งและนับถือแด่ ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร และ รศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

ถือเป็นเกียรติอันสูงสุดแก่คณะผู้จัดทำที่ได้รับจาก ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ อาจารย์ปรีชานันท์ ศรีแก้ว ดร.อัฏฐวิทย์ สุจริตพงศ์ และอาจารย์ทรงกลด แซ่อึ้ง ในฐานะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ ด้วยคำแนะนำและข้อคิดเห็นที่ช่วยให้ทางคณะผู้จัดทำเห็นถึงความบกพร่องของโครงงานพิเศษนี้ ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับความสำเร็จในงานนี้ คณะผู้จัดทำได้เรียนรู้สิ่งต่างๆมากมายจากท่านและพึงระลึกถึงท่านเสมอในฐานะอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิขอขอบคุณอย่างซาบซึ้ง สำหรับความร่วมมือและความช่วยเหลือที่คณะผู้จัดทำได้รับ จากเพื่อนร่วมชั้นเรียนที่ให้ความช่วยเหลือทุกคน

ท้ายที่สุดสำหรับคำขอบคุณที่ขอมอบให้แด่สมาชิกครอบครัวทุกคนที่มอบความรักความอบอุ่น ความห่วงใยดูแลเอาใจใส่และให้ความช่วยเหลืออย่างต่อเนื่องตลอดการศึกษาของคณะผู้จัดทำ และขอขอบคุณห้องสมุด KMITL สำหรับหนังสือและแหล่งข้อมูลที่สำคัญสำหรับการศึกษาโครงงานพิเศษนี้

นางสาววรรณศิริ บัวน้อย
นายศตวรรษ สอดจิตต์
นางสาวอภิชญา ลี้ภัยวงศ์

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 ที่มาของโครงการ	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ทฤษฎีที่ใช้	2
1.6 แนวทางในการศึกษาโครงการ	2
1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.8 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.9 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 นิยามและความหมาย	4
2.2.1 ระบบก่อสร้างอาคาร	5
2.3 วรรณกรรมปริทัศน์	6
2.4 ทฤษฎีที่ใช้	8
2.4.1 การออกแบบโดยวิธีกำลัง (Strength Design Method: SDM)	8
2.4.2 ทฤษฎีการออกแบบคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว	16
2.4.3 ทฤษฎีการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	19
2.4.4 ทฤษฎีการออกแบบผนังรับแรง	22
2.4.5 ทฤษฎีการประมาณราคา	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4.6 ทฤษฎีที่ใช้ในการกำหนดเวลาของโครงการ	26
บทที่ 3 แผนการดำเนินงาน	29
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานการออกแบบ	29
3.1.1 ออกแบบผนังรับแรง โดยใช้ทฤษฎีเสายาว และทฤษฎีการออกแบบผนังรับแรง	29
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการออกแบบโครงสร้างระบบเสาและคาน	30
3.2.1 การออกแบบคาน	31
3.2.2 การออกแบบเสา	32
3.3 เงื่อนไขในการออกแบบ	32
3.4 แบบแปลนอาคารที่ใช้ในงานวิจัย	33
3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานการประมาณราคา	37
3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานกำหนดระยะเวลาการก่อสร้าง	40
บทที่ 4 ข้อมูลผลการออกแบบและวิเคราะห์การเปรียบเทียบราคาและระยะเวลาของโครงสร้างระบบผนังรับแรงกับโครงสร้างระบบเสา-คาน	42
4.1 ผลการออกแบบการออกแบบของระบบผนังรับแรง	42
4.2 ผลการออกแบบคาน	54
4.3 ผลการออกแบบเสา	65
4.4 ราคาและเวลาก่อสร้างของอาคารระบบผนังรับแรง แบบหล่อในที่กับระบบเสาคาน	72
4.4.1 ข้อมูลราคาวัสดุที่ใช้ในการประมาณราคาโครงการทั้ง 2 ระบบ	72
4.4.2 ข้อมูลราคาค่าแรงงานที่ใช้ในการประมาณราคาโครงการทั้ง 2 ระบบ	73
4.4.3 ราคาในการก่อสร้างของระบบเสาคานทั่วไป และระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่	74
4.4.4 ระยะเวลาในการก่อสร้างของระบบเสาคานทั่วไป และระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่	76
บทที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์	80
เอกสารอ้างอิง	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก ก แบบบ้านพักอาศัยทาว์นโฮม 3 ชั้น ของระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่	ผก1
ภาคผนวก ข แบบบ้านพักอาศัยทาว์นโฮม 3 ชั้น ของระบบโครงสร้างเสา – คาน	ผข1
ภาคผนวก ค รายการคำนวณการออกแบบโครงสร้างคาน	ผค1
ภาคผนวก ง รายการคำนวณการออกแบบโครงสร้างเสา	ผง1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
1.1	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	3
2.1	น้ำหนักบรรทุกคงที่ ของวัสดุต่างๆ	14
2.2	น้ำหนักบรรทุกจร	15
3.1	ราคาคอนกรีตผสมเสร็จ บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้างจำกัด (CPAC)	37
3.2	ราคาวัสดุประเภทอิฐมวลเบา บริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชั่นโปรดัคส์ จำกัด (มหาชน)	37
3.3	วัสดุประเภทไม้แบบหล่อคอนกรีต	38
3.4	ปูนที่ใช้ในการก่อและฉาบ ตราเสือ	38
3.5	ราคาวัสดุประเภทเหล็กเส้น	39
3.6	มาตรฐานการถอดแบบหล่อคอนกรีต	40
3.7	อัตราผลผลิตงานก่อสร้างในประเทศไทย	40
4.1	ราคาวัสดุประเภทงานคอนกรีต	72
4.2	ราคาวัสดุประเภทงานเหล็ก	72
4.3	ราคาวัสดุประเภทงานสถาปัตยกรรม	73
4.4	ข้อมูลค่าแรงงานในงานด้านต่างๆ	73
4.5	ราคาค่าก่อสร้างในระบบเสาคานทั่วไป	74
4.6	ราคาค่าก่อสร้างในระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่	75
4.7	ระยะเวลาการก่อสร้างแบบเสาคาน	76
4.8	ระยะเวลาการก่อสร้างผนังรับแรงแบบหล่อในที่	77
5.1	ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาของการก่อสร้างทั้ง 2 ระบบ	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆของอาคารสำเร็จรูป	5
รูปที่ 2.2 ผนังรับแรง load Bearing Wall	6
รูปที่ 2.3 การแผ่กระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีต	13
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการยืดหดตัวของเหล็กเสริม	14
รูปที่ 2.5 แสดงพฤติกรรมของคาน คสล. ภายใต้น้ำหนักบรรทุก	17
รูปที่ 2.6 Interaction Diagram	21
รูปที่ 2.7 ผนังหรือกำแพงรับน้ำหนักตามแนวแกน	23
รูปที่ 2.8 รูปตัวอย่างแผนกำหนดเวลา Gantt chart และการประมาณความก้าวหน้าจากโค้งรูปตัวเอส S- curve	28
รูปที่ 3.1 แปลนฐานราก	33
รูปที่ 3.2 แปลนพื้นชั้นที่ 1	34
รูปที่ 3.3 แปลนพื้นชั้นที่ 2	35
รูปที่ 3.4 แปลนพื้นชั้นที่ 3	36
รูปที่ 4.1 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW1	43
รูปที่ 4.2 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW2	44
รูปที่ 4.3 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW3	45
รูปที่ 4.4 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW4	46
รูปที่ 4.5 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW5	47
รูปที่ 4.6 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW6	48
รูปที่ 4.7 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW7	49
รูปที่ 4.8 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW8	50
รูปที่ 4.9 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW9	51
รูปที่ 4.10 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง SW1	52
รูปที่ 4.11 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง SW2	53
รูปที่ 4.12 รูปแสดงการเสริมเหล็กของผนังรับแรง	54
รูปที่ 4.13 รูปแสดงแปลนคานคอดิน	55
รูปที่ 4.14 รูปแสดงแปลนคานชั้น 2	56
รูปที่ 4.15 รูปแสดงแปลนคานชั้น 3	57
รูปที่ 4.16 รูปแสดงแปลนคานรับหลังคา	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.17 ผลวิเคราะห์หาโมเมนต์ในการออกแบบคานคอดิน	59
รูปที่ 4.18 ผลวิเคราะห์หาโมเมนต์ในการออกแบบคานชั้น 2	60
รูปที่ 4.19 ผลวิเคราะห์หาโมเมนต์ในการออกแบบคานชั้น 3	61
รูปที่ 4.20 ผลวิเคราะห์หาโมเมนต์ในการออกแบบคานหลังคา	62
รูปที่ 4.21 ตัวอย่างการคำนวณการออกแบบคาน	63
รูปที่ 4.22 รูปแสดงหน้าตัดคานที่ได้จากการออกแบบ	64
รูปที่ 4.23 ตัวอย่างการคำนวณการออกแบบเสา	65
รูปที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์การออกแบบเสา C1 ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรม PCA column	66
รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์การออกแบบเสา C2 ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรม PCA column	67
รูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์การออกแบบเสา C3 ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรม PCA column	68
รูปที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์การออกแบบเสา CX โดยใช้โปรแกรม PCA column	69
รูปที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์การออกแบบเสาชั้นที่2-ชั้นที่3 โดยใช้โปรแกรม PCA column	70
รูปที่ 4.29 รูปแสดงหน้าตัดเสาที่ได้จากการออกแบบ	71
รูปที่ 4.30 Gantt Chart ตารางแสดงรูปแบบเวลาในการปฏิบัติงานก่อสร้าง ในระบบเสาคานทั่วไป	78
รูปที่ 4.31 Gantt Chart ตารางแสดงรูปแบบเวลาในการปฏิบัติงานก่อสร้าง ระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันมีการสร้างบ้านพักอาศัยมากขึ้นจากในอดีตมาก ซึ่งแนวโน้มก็มีแต่จะมากขึ้นและเกิดการแข่งขันกันในแต่ละบริษัทผู้ก่อสร้าง โดยที่ปัจจัยในการแข่งขันส่วนใหญ่จะเป็นไปในเรื่องของ ราคา ความสวยงาม และความรวดเร็วในการก่อสร้างเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ในปัจจุบันการก่อสร้างบ้านพักอาศัยก็ได้มีการพัฒนาการก่อสร้างรูปแบบต่างๆ เพื่อลดต้นทุน และลดระยะเวลาในการก่อสร้าง โดยมีด้วยกันหลายระบบ เช่น ระบบคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete) ระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) เป็นต้น และการก่อสร้างในรูปแบบต่างๆนั้นก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียของแต่ละรูปแบบ ซึ่งการเลือกใช้นั้นก็ขึ้นกับความเหมาะสมของการก่อสร้าง และปัจจัยอื่นๆอีกมากมาย

ระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) เป็นระบบการก่อสร้างรูปแบบหนึ่งในหลายๆรูปแบบที่มีใช้กันในปัจจุบัน โดยระบบผนังรับน้ำหนักจะใช้ผนังเป็นตัวกั้นห้อง และเป็นชิ้นส่วนที่ใช้รับกำลังในแนวดิ่งต่างๆที่เกิดขึ้นกับอาคาร ทั้งน้ำหนักบรรทุกจร น้ำหนักบรรทุกตายตัว ฯลฯ ซึ่งจะแตกต่างกับระบบโครงสร้างเสาคานทั่วไป เนื่องจากระบบเสาคานทั่วไปที่ส่วนของผนังจะไม่มีการรับแรงเป็นเพียงผนังกั้นห้องเท่านั้น ซึ่งระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) นี้ได้มีการก่อสร้างด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ แบบหล่อในที่ และแบบสำเร็จรูป โดยทั่วไปแล้วระบบสำเร็จรูปจะได้รับความนิยมมากกว่า แต่ในกรณีที่ศึกษานี้จะศึกษาในรูปแบบของหล่อในที่ เนื่องจากรูปแบบการหล่อในที่นั้นยังไม่เป็นที่นิยม ทางคณะวิจัยจึงได้ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบนี้

1.2 ที่มาของโครงการ

ระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) เป็นหนึ่งในระบบที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมา เพื่อลดปัญหาด้านเวลาของการก่อสร้างในส่วนของเสาและคาน โดยระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) นี้ได้มีการก่อสร้างด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ แบบหล่อในที่ และแบบสำเร็จรูป ซึ่งแบบสำเร็จรูปนั้นจะมีปัญหาด้านการขนส่งและเครื่องจักรในการติดตั้ง แต่แบบหล่อในที่นั้นจะไม่มีปัญหาในด้านนี้ และเนื่องจากในปัจจุบันระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) แบบหล่อในที่ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย

ซึ่งทางคณะวิจัยได้พบเห็นจากโครงการที่ได้ฝึกงานมา เป็นโครงการบ้านจัดสรรที่ใช้ระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) แบบหล่อในที่ซึ่งไม่ค่อยพบเห็นโดยทั่วไปและไม่เป็นที่นิยม ทางคณะวิจัยจึงเกิดความสนใจที่จะศึกษาในเรื่องนี้ เพื่อศึกษาการรับแรงของผนังแบบหล่อในที่ และศึกษาด้านต้นทุนและระยะเวลาในการก่อสร้างของระบบนี้เปรียบเทียบกับโครงสร้างระบบเสาคานทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาด้านต้นทุนและระยะเวลาในการก่อสร้างของระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) แบบหล่อในที่ เปรียบเทียบกับ โครงสร้างเสาคานทั่วไป
2. เพื่อศึกษาข้อดีและข้อเสียของระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) แบบหล่อในที่

1.4 ขอบเขตของโครงการ

ในการศึกษาทางคณะวิจัยได้ศึกษาเฉพาะส่วนของผนังรับแรงกับโครงสร้างเสาคาน ไม่รวมถึงงานโครงสร้างในส่วนอื่นๆ และศึกษาเฉพาะแบบก่อสร้างของโครงการหนึ่งเท่านั้น โดยจะทำการศึกษาในด้านของระยะเวลา และต้นทุน ของโครงสร้างระบบผนังรับแรงเปรียบเทียบกับระบบโครงสร้างแบบเสาคานทั่วไป

1.5 ทฤษฎีที่ใช้

- ทฤษฎีการออกแบบโดยวิธีกำลัง
- ทฤษฎีการออกแบบคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว
- ทฤษฎีการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
- ทฤษฎีการออกแบบผนังรับแรง
- ทฤษฎีการประมาณราคา
- ทฤษฎีที่ใช้ในการกำหนดเวลาของโครงการ

1.6 แนวทางในการศึกษาโครงการ

1. ค้นคว้าข้อมูลเรื่องระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) แบบหล่อในที่
2. ศึกษาขั้นตอนในการออกแบบระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) แบบหล่อในที่
3. ออกแบบระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) แบบหล่อในที่
4. ออกแบบโครงสร้างระบบเสาคานทั่วไป และออกแบบโครงสร้างของระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) ให้มีแบบบ้านของทั้ง 2 ระบบเหมือนกัน
5. เปรียบเทียบต้นทุนและระยะเวลาในการก่อสร้างของระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) แบบหล่อในที่กับโครงสร้างเสาคานทั่วไป
6. ศึกษาข้อดีและข้อเสียของระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) แบบหล่อในที่

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจขั้นตอนการออกแบบของระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) และระบบโครงสร้างเสาคานทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สามารถเปรียบเทียบต้นทุนและระยะเวลาในการก่อสร้างของระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) แบบหล่อในที่กับระบบโครงสร้างเสาคานทั่วไป

3. สามารถบอกถึงข้อดีและข้อเสียของระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall) แบบหล่อในที่

1.8 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

แบบบ้านทาว์นโฮม 3 ชั้น 3 ยูนิต ของโครงการหนึ่ง

1.9 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

หัวข้อ	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. คิดหัวข้อโครงการ	■							
2. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ	■							
3. ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาและหาข้อมูลเพิ่มเติม	■	■						
4. เตรียมการและนำเสนอหัวข้อโครงการ	■	■						
5. ศึกษาหาข้อมูลทำโครงการ		■	■	■	■			
6. ศึกษาการออกแบบผนังรับแรงและโครงสร้างเสาคานทั่วไป				■	■	■		
7. วิเคราะห์โครงสร้างทั้ง 2 ระบบ						■		
8. ศึกษาระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่เปรียบเทียบกับระบบโครงสร้างเสาคานทั่วไป						■	■	
9. สรุปผลการทำงาน							■	■
10.จัดทำรูปเล่มและนำเสนอโครงการ							■	■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงนิยามของคำศัพท์ต่างๆรวมไปถึงความหมายของการก่อสร้างในรูปแบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้รวมทั้งงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับผนังรับแรงซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในงานวิจัยนี้ได้พอสมควร นอกจากนั้นแล้วในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณออกแบบผนังรับแรงและทฤษฎีต่างๆที่นำมาใช้ในการออกแบบ ทฤษฎีการประมาณราคา และทฤษฎีที่ใช้เปรียบเทียบระยะเวลา

2.2 นิยามและความหมาย

"อาคารพักอาศัย" หมายถึง ตึก บ้านเรือน คลังสินค้า หรือสิ่งที่สร้างขึ้นอย่างอื่น ซึ่งบุคคลอาจเข้าอยู่ หรือเข้าใช้สอยได้ โดยลักษณะของอาคารแต่ละแบบก็จะมีความแตกต่างกันไปแต่จะมีส่วนประกอบที่สำคัญของทุกๆอาคารที่ต้องมีคือ ผนังอาคาร ประตูหน้าต่าง พื้น เสา คาน ซึ่งระบบการก่อสร้างอาคารจะมีรูปแบบการก่อสร้างที่แตกต่างกันไป

"เสา" หมายถึง โครงสร้างอาคารอยู่ในแนวดิ่ง ทำหน้าที่รับแรงอัดตามแนวแกน หรือทั้งแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน จะรับน้ำหนักบรรทุกของคานหรือพื้นชั้นต่างๆแล้วถ่ายน้ำหนักบรรทุกนั้นลงสู่ดินโดยฐานราก

"คาน" หมายถึง โครงสร้างอาคารที่อยู่ในแนวนอนโดยมีเหล็กเสริมเอกเรียงไปตามแนวความยาวของคานโดยอยู่ในตำแหน่งที่จะทำหน้าที่รับแรงดึงทั้งหมดและอาจจะรับแรงอัดเพิ่มเติมเพียงบางส่วนเพื่อต้านโมเมนต์ดัดซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุก เช่น น้ำหนักบรรทุกแผ่จากพื้นอาคาร ผนัง กำแพง เสา เป็นต้น แล้วถ่ายน้ำหนักบรรทุกนั้นต่อไปให้คานหรือเสาที่รองรับต่อไป

"ผนัง" หมายถึง ส่วนที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มอาคาร และเป็นส่วนที่ช่วยกั้นระหว่างห้องภายในอาคาร โดยจะสร้างจากการก่ออิฐฉาบปูน ผนังไม้ หรือเป็นผนังกระจก ตามแต่การใช้สอย

"ประมาณราคาก่อสร้าง" หมายถึง การประมาณ ตีราคา คาดคะเน และวิเคราะห์ปริมาณของวัสดุก่อสร้าง ค่าแรงงาน และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่ควรจะเป็น โดยอาศัยหลักวิชา และข้อเท็จจริงของท้องตลาด รวมทั้ง สถิติราคาก่อสร้างที่ประมาณได้ อาจใกล้เคียงกับราคาค่าก่อสร้างจริง

"ผนังรับแรง (Bearing Wall)" คือ การออกแบบโครงสร้างตัวอาคาร โดยให้ผนังเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กแทนการก่ออิฐฉาบปูนในแบบเดิม และผนังในส่วนนี้จะทำหน้าที่รับแรงในแนวดิ่งของโครงสร้าง

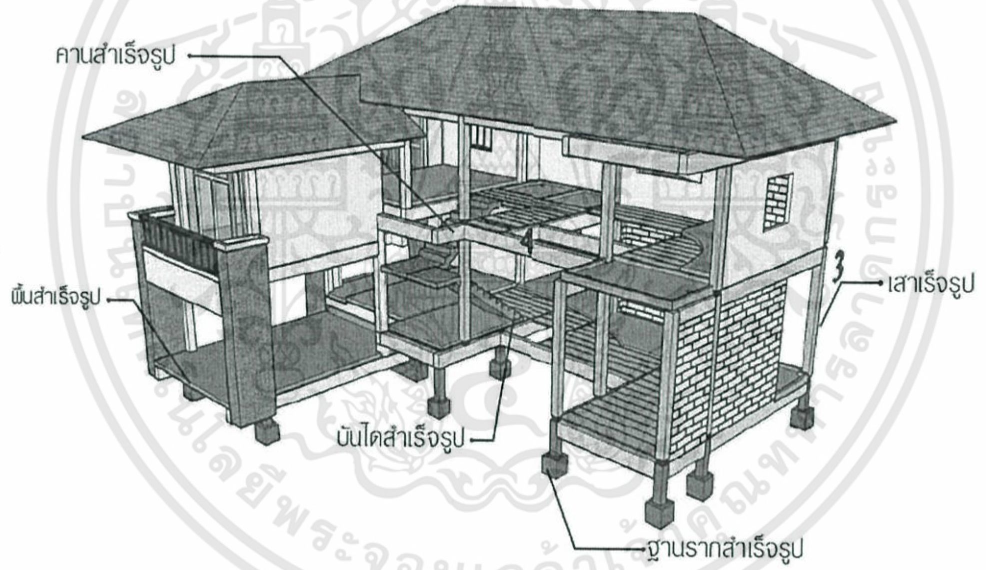
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1. ระบบการก่อสร้างอาคาร

การก่อสร้าง คือ กิจกรรม หรือการกระทำที่ทำให้เกิดการประกอบ หรือการติดตั้ง ให้เกิดเป็นอาคาร โครงสร้าง ระบบสาธารณูปโภค ภายใต้การจัดการของผู้ควบคุม โดยยึดตามแบบ และรายละเอียดให้เป็นสิ่งก่อสร้างจริง

2.2.1.1. ระบบก่อสร้างอาคารระบบมีเสาและคาน เป็นระบบโครงสร้างแบบเสาคาน ที่เป็นการก่อสร้างแบบหล่อในที่ (Conventional Construction Method) เป็นการก่อสร้างในพื้นที่ก่อสร้าง จะต้องมีการผูกเหล็ก ตั้งแบบ และเทคอนกรีต ในส่วนประกอบขององค์อาคาร เช่น เสา คาน โดยจะก่อสร้างเป็นชั้นๆ ก็จะมีการก่อสร้างที่เป็นลำดับขั้นตอน เช่น ตอกเข็ม หล่อฐานราก หล่อคาน และหล่อเสาชั้น 1 ก่อผนัง และเป็นลำดับไปจนถึงหลังคา โดยมีหลักการของโครงสร้างแบบเสาและคาน คือ คานรับน้ำหนักจากพื้นแล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่เสา

2.2.1.2. ระบบก่อสร้างอาคารแบบสำเร็จรูป การก่อสร้างระบบสำเร็จรูป (Fabrication) หรือกึ่งสำเร็จรูป (Pre-Fabrication) คือการตระเตรียม หรือประกอบสำเร็จ ของอาคารเป็นการหล่อสำเร็จรูปจากโรงงานหรือผลิตจากโรงงาน เช่น เสา, คาน, พื้นสำเร็จรูป, ผนัง, บันได, พื้นห้องน้ำ เป็นต้น แล้วมาติดตั้งที่พื้นที่ก่อสร้าง โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ดังรูปที่ 2.1

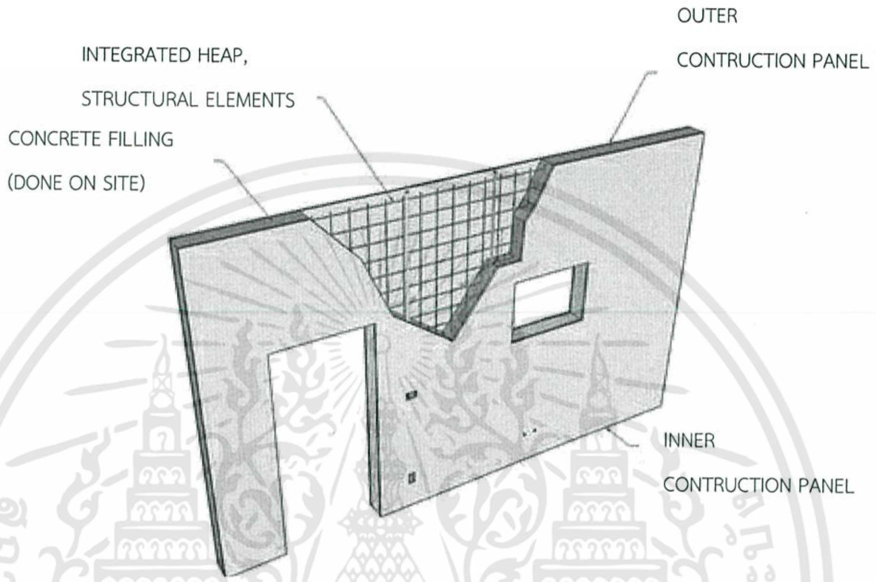


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆของอาคารสำเร็จรูป [1]

2.2.1.3. ระบบก่อสร้างอาคารแบบผนังรับแรง (Bearing Wall) เป็นระบบการก่อสร้างอีกรูปแบบหนึ่งในหลายๆรูปแบบ ที่มีใช้กันในบ้านเราในปัจจุบันโดยจะแบ่งรูปแบบการก่อสร้างเป็นแบบหล่อในที่และแบบสำเร็จรูป ระบบผนังรับน้ำหนัก จะใช้ตัวผนังคอนกรีต เป็นทั้งตัวกั้นห้อง และเป็นทั้งชิ้นส่วนที่ใช้รับกำลังในแนวดิ่งต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับอาคาร ระบบผนังรับน้ำหนักแรงทั้งหมดจะถ่ายลงสู่แผ่นคอนกรีตที่เป็นตัวผนัง จากนั้นก็จะถ่ายน้ำหนักไล่กันลงมาเรื่อยๆ ตามลำดับชั้น จากชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนลงสู่ชั้นล่าง ไล่ลงมาจนถึงฐานราก ดังนั้นน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่ชั้นฐานรากจึงมีลักษณะเป็นแรงแบบกระจาย (Uniform Load) ตามความยาวของผนังคอนกรีต ฐานรากที่ใช้กับระบบนี้จึงมีความหลากหลายมากกว่าระบบเสาคานทั่วไปขึ้นอยู่กับการออกแบบ ซึ่งรูปแบบของฐานราก ได้แก่ ฐานรากตื้น (Shallow Foundation) ฐานรากเสาเข็ม (Pile Foundation) ฐานรากแผ่ (Mat Foundation) และฐานรากตามยาว (Strip Footing) เป็นต้น ในการก่อสร้างอาคารขึ้นอยู่กับความเหมาะสมทั้งทางด้านสภาพภูมิประเทศ ราคาวัสดุ ความเหมาะสมกับโครงสร้าง ฯลฯ



รูปที่ 2.2 ผนังรับแรง Bearing Wall[2]

2.3 วรรณกรรมปริทัศน์

เกรียงศักดิ์, สถาพร, วิวัฒน์ และอิทธิพงศ์ (2551)[3] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตสำเร็จรูป โดยมีแนวทางในการศึกษาดังนี้

แนวทางในการวิเคราะห์และออกแบบ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนคือขณะถอดแบบ ขณะขนย้ายและติดตั้ง และขณะรับน้ำหนักบรรทุกจริงโดยในแต่ละขั้นตอนจะมีลักษณะพฤติกรรมการรับน้ำหนักที่แตกต่างกันไป โดยพฤติกรรมขณะถอดแบบนั้นจะทำให้มีโมเมนต์เกิดขึ้นในตัวผนัง ส่วนพฤติกรรมขณะยกขนย้ายนั้นผนังจะรับน้ำหนักเฉพาะตัวมันเองในแนวดิ่งในขั้นตอนนี้อาจเกิดการแตกร้าวขึ้นได้จึงต้องทำการตรวจสอบหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น ทั้งสองพฤติกรรมที่กล่าวมานั้นจะเกิดในผนังแบบสำเร็จรูปจึงไม่ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์การทำวิจัยนี้ และขั้นตอนสุดท้ายคือพฤติกรรมการรับน้ำหนักจริง ในขณะรับน้ำหนักจริงนั้นผนังต้องรับน้ำหนักบรรทุกต่างๆนอกจากน้ำหนักของตัวมันเองไม่ว่าจะเป็น น้ำหนักจากหลังคา จากพื้น จากส่วนของโครงสร้างชั้นถัดไปด้านบนดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตโดยยึดตามมาตรฐาน วสท. หรือ ACI 318-89 ดังนี้

- กำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (P_n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_n = 0.55\phi f'_c A_g \left[1-\left(\frac{kl_c}{32h}\right)^2\right] \quad (2.1)$$

โดยที่ค่า $\phi P_n \geq P_u$ และ $\phi = 0.7$ h = ความหนาของผนัง L_C = ความสูงของผนัง A_g = ขนาดหน้าตัดของผนังคอนกรีต k = ตัวคูณความยาวประสิทธิผล กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

นอกจากการตรวจสอบกำลังรับแรงอัดแล้วยังจำเป็นจะต้องตรวจสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของตัวผนังอีกด้วยโดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$M_n = A_s f_y \left(d-\frac{a}{2}\right) \quad (2.2)$$

โดยที่ $a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$

จากการศึกษาดังกล่าวพบว่าเมื่อใช้ค่าความหนาต่ำสุดของผนังตามข้อกำหนดค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ต้องการในขณะถอดแบบเพื่อป้องกันการแตกร้าวนั้น มีค่าเพียงพอที่จะรองรับหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในผนังขณะยกขนย้ายและหน่วยแรงอัดในขณะใช้งานได้อย่างปลอดภัย ในขณะที่ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดของผนังที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานการออกแบบ จะมีกำลังเพียงพอและสามารถรับโมเมนต์ดัดในขั้นตอนการถอดแบบ รับแรงดึงในขั้นตอนการขนย้าย และรับแรงอัดในขั้นตอนการใช้งานได้จริงอย่างปลอดภัย

ไพลวิทย์ ยุทธศักดิ์ และวิษณุ (2549)[4] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบราคาโครงสร้างระบบพื้นหล่อในที่ และระบบพื้นสำเร็จรูป ของบ้านพักอาศัย 2 ชั้น ในช่วงความยาวคานที่ต่างกัน จากการศึกษาดังกล่าวพบว่าความแตกต่างในด้านราคาระหว่างโครงสร้างระบบพื้นหล่อในที่และโครงสร้างระบบพื้นสำเร็จรูปของแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบในส่วนที่มีลักษณะโครงสร้างเหมือนกันทั้งความกว้าง และความยาวช่วงพื้น จากกราฟของแบบจำลองทำให้เราเห็นได้ว่าโครงสร้างของพื้นหล่อในที่จะมีราคามากกว่าโครงสร้างพื้นสำเร็จรูปของทุกๆ แบบจำลอง และมีแนวโน้มของราคาที่ห่างกันของแต่ละช่วงค่อนข้างคงที่ทำให้แน่ใจได้ว่าโครงสร้างพื้นหล่อในที่มีราคาค่าวัสดุสูงกว่าโครงสร้างพื้นสำเร็จรูป ในด้านของค่าแรงงานก่อสร้างในงานก่อสร้างบ้านพักอาศัย โครงสร้างระบบพื้นหล่อในที่สูงกว่าโครงสร้างระบบพื้นสำเร็จรูป 81.39 บาท/ตร.ม. หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าแรงงานของบ้านพักอาศัยโครงสร้างระบบพื้นหล่อในที่จะสูงกว่าค่าแรงงานของบ้านพักอาศัยระบบพื้นสำเร็จรูป 37.92 % และในด้านของราคาที่ใช้ในการก่อสร้างรวมถึงเวลาที่แตกต่างในการดำเนินงานก่อสร้าง ราคารวมของวัสดุและค่าแรงงานก่อสร้างของบ้านพักอาศัยโครงสร้างระบบพื้นหล่อในที่ประมาณ 380 บาท/ตร.ม. หรือประมาณ 31.71 % ด้านความแตกต่างด้านเวลาประมาณเป็นตัวเงิน เมื่อค่าดำเนินการก่อสร้างประมาณ 15 % จากงานก่อสร้าง จะเป็นจำนวนเงิน = 38059.93 บาท ราคาค่าความแตกต่างการดำเนินการก่อสร้างทั้งหมด 15614.34 บาท ซึ่งจากการศึกษาข้างต้นนั้นสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการวิจัยนี้ในด้านของการเปรียบเทียบราคาในการก่อสร้างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีที่ใช้

หลักเกณฑ์ข้อพิจารณาในการออกแบบอาคารด้วยระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่ประกอบไปด้วย 3 หัวข้อหลักดังต่อไปนี้

1. น้ำหนักบรรทุก ข้อพิจารณานี้เป็นการกำหนดชนิดและลักษณะของแรงที่มากระทำต่อชิ้นส่วนผนังรับแรงตลอดอายุการใช้งานซึ่งหมายรวมถึงน้ำหนักผนัง น้ำหนักบรรทุกตายตัว น้ำหนักบรรทุกจร แรงลม แรงแผ่นดินไหวและแรงสั่นสะเทือนต่างที่เกิดขึ้น

2. ระยะเวลาการก่อสร้าง ข้อกำหนดนี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับของเทคโนโลยีและวัสดุที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้าง เช่น ต้องใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดเท่าไหร่เพื่อจะเร่งการถอดแบบได้ เป็นต้น

3. เสถียรภาพของโครงสร้าง เป็นข้อพิจารณาทั้งในส่วนของความมั่นคงแข็งแรงทั้งในขณะที่ทำการก่อสร้างและในขณะที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

2.4.1 การออกแบบโดยวิธีกำลัง (Strength Design Method: SDM) [5]

การออกแบบโดยใช้ทฤษฎีกำลังประลัย เป็นการออกแบบที่วิเคราะห์กรณีที่น้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่กระทำกับโครงสร้าง ทำให้ความเค้นหรือความเครียดมีค่าอยู่ในช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่นแต่ไม่เกินจุดประลัย ซึ่งการออกแบบนั้นน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำแบบต่างๆจะต้องคูณกับตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก และกำลังต้านทานต่างๆ จะต้องคูณกับตัวคูณลดกำลัง แล้วจึงนำมาวิเคราะห์หาขนาดของโครงสร้างก่อนที่โครงสร้างจะเกินจุดประลัย

ในปี ค.ศ. 1963 มาตรฐาน ACI เรียกวิธีนี้ว่าวิธีกำลังประลัย (Ultimate Strength Design: USD) ต่อมาในปี ค.ศ. 1971 มาตรฐาน ACI ให้ข้อกำหนดของการคำนวณออกแบบโดยให้พิจารณาทั้งในด้านกำลัง (strength) และในสภาวะการใช้งาน (serviceability) ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ. 1983 มาตรฐาน ACI เรียกวิธีคำนวณออกแบบส่วนโครงสร้าง คสล. นี้ว่าวิธีกำลัง (Strength Design Method) การคำนวณออกแบบโดยวิธีนี้เป็นการพิจารณาหาขนาดของส่วนโครงสร้างคอนกรีตและปริมาณของเหล็กเสริมที่สภาวะก่อนที่ส่วนโครงสร้างนั้นจะเกิดการวิบัติจากการบรรทุกน้ำหนักเกินกว่าที่คาดไว้ ทั้งนี้อนุญาตให้วิเคราะห์หาค่าแรงภายในต่างๆ ที่กระทำต่อส่วนของโครงสร้างโดยอาศัยทฤษฎีอิลาสติกได้แทนที่จะต้องวิเคราะห์อย่างละเอียดเช่น วิธี Limit Analysis หรือ Plastic Analysis ซึ่งค่อนข้างยุ่งยากเพราะเป็นการพิจารณาตามพฤติกรรมที่ไม่ยืดหยุ่นของส่วนโครงสร้างก่อนเกิดการวิบัติ สาเหตุที่อนุญาตให้วิเคราะห์โครงสร้างโดยอาศัยทฤษฎีอิลาสติกเพราะพบว่าการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีอิลาสติกให้ความปลอดภัยพอเพียงและช่วยให้การคำนวณออกแบบง่ายขึ้นมาก ปัจจุบันการออกแบบโครงสร้าง คสล. โดยวิธีกำลังเป็นที่นิยมมากในต่างประเทศ อย่างไรก็ตามมาตรฐาน ACI (ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1971 เป็นต้นมา) ยังยอมให้คำนวณออกแบบโครงสร้าง คสล. โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน โดยกำหนดให้เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง (Alternate Design Method: ADM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.1 เหตุผลของการเลือกใช้วิธีกำลังในการคำนวณออกแบบโครงสร้าง คสล. ได้แก่

1. วิธีกำลังสามารถคาดหมายกำลังต้านทานสูงสุดของส่วนโครงสร้างได้ถูกต้องกว่าทฤษฎีอิลาสติกหรือวิธีหน่วยแรงใช้งาน เนื่องจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีพฤติกรรมแบบไม่ยืดหยุ่นเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกมากๆ

2. วิธีกำลังให้ทางเลือกของการใช้ค่าตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (load factor) ได้อย่างมีหลักการและเหตุผล กล่าวคือ น้ำหนักบรรทุกใดที่ทราบค่าค่อนข้างแน่นอน เช่น น้ำหนักบรรทุกคงที่ ก็ใช้ค่าตัวคูณเพิ่มให้ต่ำลง ส่วนน้ำหนักบรรทุกจรที่ไม่ทราบค่าแน่นอนก็ใช้ค่าตัวคูณเพิ่มให้สูงขึ้น นอกจากนี้การออกแบบโดยวิธีกำลังยังสามารถสำรองกำลังต้านทานของส่วนโครงสร้างที่คำนวณได้อีกตามความเข้มงวดของการควบคุมงานโดยใช้ตัวคูณลดกำลังต้านทาน (strength reduction factor) ตามที่ควรจะเป็นได้ด้วยจึงทำให้ทราบอัตราส่วนปลอดภัยที่แท้จริง

3. วิธีกำลังไม่ต้องคำนึงถึงการล้าของคอนกรีต (creep) แต่อย่างใด ซึ่งในขณะที่การออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานต้องพิจารณาถึงผลของการล้าของคอนกรีตด้วยเนื่องจากอัตราส่วนโมดูลัสของเหล็กเสริมต่อคอนกรีต (modular ratio) มีค่าไม่คงที่และแปรเปลี่ยนตามระยะเวลาที่ใช้งาน ทำให้หน่วยแรงใช้งานที่เกิดขึ้นจริงมีค่าแตกต่างไปจากที่คำนวณได้ในตอนแรก

4. วิธีกำลังช่วยให้เลือกใช้เหล็กเสริมที่มีกำลังจุดครากสูงมากขึ้นได้ ทำให้ประหยัดมากขึ้นเพราะอาจไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กรับแรงอัด

5. วิธีกำลังสามารถคาดคะเนความเหนียวของส่วนโครงสร้างก่อนที่จะเกิดการวิบัติได้ดีกว่า และในกรณีที่รับน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกก็อาจพิจารณาเกี่ยวกับการกระจายซ้ำของโมเมนต์ดัดได้เมื่อเกิดจุดยึดหมุนแบบพลาสติก (plastic hinge) ในส่วนโครงสร้างที่มีความต่อเนื่อง

2.4.1.2 หลักเกณฑ์ของการคำนวณออกแบบโครงสร้าง คสล. โดยวิธีกำลัง การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (Strength Design Method) มีหลักเกณฑ์ ดังนี้

1. ในภาวะที่ส่วนโครงสร้างจะเกิดการวิบัติเนื่องจากการกระทำของน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (factored load) หรือกำลังที่ต้องการ (required strength) ต้องมีค่าไม่เกินกว่ากำลังต้านทานที่ใช้ออกแบบ (design strength) ซึ่งเป็นกำลังต้านทานสูงสุดของส่วนโครงสร้างนั้น (nominal strength) ที่ถูกลดหรือทอนกำลังลงด้วยตัวคูณลดกำลังต้านทาน (strength reduction faction) นั่นคือ

กำลังที่ใช้ออกแบบ (design strength) ≥ กำลังที่ต้องการ (required strength)

2. ในภาวะที่ส่วนโครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานค่าการโก่งตัวหรือความกว้างของรอยร้าวเนื่องจากโมเมนต์ดัด (flexural cracks) ต้องไม่มากเกินกว่าพิกัดที่กำหนด

2.4.1.3 น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (factored load)

อาจเรียกว่าน้ำหนักประลัยเป็นน้ำหนักที่ถูกสมมติขึ้น (โดยอาศัยทฤษฎีของความน่าจะเป็น หรือทฤษฎีของความน่าเชื่อถือ) ให้อยู่ในภาวะที่คาดว่าจะทำให้ส่วนโครงสร้างนั้นเริ่มเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิบัติหรือชำรุดเสียหายและไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้วหรือน้ำหนักประลัยจะได้จากกการคูณน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำใช้งานต่างๆ (load : Q_i) ด้วยตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก (load factor : γ_i) ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับประเภทหรือชนิดของน้ำหนักบรรทุกนั้น ทั้งนี้ ในการคำนวณออกแบบโดยวิธีกำลังให้พิจารณาจัดรวมน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำแบบต่างๆ ที่เพิ่มค่าแล้ว ($\Sigma\gamma_i Q_i$ หรือ U) เพื่อให้ได้น้ำหนักประลัยสูงสุดที่คาดว่าจะกระทำต่อส่วนของโครงสร้างนั้นตลอดอายุของการใช้งาน

ถ้ากำหนดให้

U = น้ำหนักประลัยสูงสุดที่ได้จากกการรวมน้ำหนักหรือแรงที่เพิ่มค่าแล้ว

D = น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน

L = น้ำหนักบรรทุกจรใช้งานที่กำหนด บวกด้วยแรงกระแทก (ถ้ามี)

W = แรงลม

E = แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

H = แรงดันทางข้างของดินและน้ำใต้ดิน

มาตรฐาน ACI 318-89 หรือ มาตรฐาน วสท. กำหนดให้พิจารณาหาน้ำหนักประลัย U เนื่องจากน้ำหนักหรือแรงกระทำต่างๆ ที่เพิ่มค่าแล้ว ดังต่อไปนี้ เช่น

1. สำหรับอาคารที่ไม่ได้คิดรับแรงลมหรือแรงจากแผ่นดินไหว

$$U = 1.4D + 1.7L \qquad (2.3)$$

2. สำหรับอาคารที่คิดให้รับแรงลมด้วย

$$U = 1.75(1.4D + 1.7L + 1.7W) \qquad (2.4)$$

หรือ $U = 0.9D + 1.3W$ (2.5)

โดยให้ใช้ค่า U ที่ให้ค่าสูงสุดแต่ต้องไม่น้อยกว่าค่า U ที่หาจากสมการ

3. สำหรับอาคารที่คิดรับแรงจากแผ่นดินไหว

ให้แทนค่าของ W ในข้อ 2. ด้วยค่า 1.1E นั่นคือ

$$U = 1.05D + 1.28L + 1.40E \qquad (2.6)$$

หรือ $U = 0.9D + 1.43E$ (2.7)

4. สำหรับอาคารที่คิดรับแรงดันทางข้างของดินและน้ำใต้ดิน

$$U = 1.4D + 1.7L + 1.7H \qquad (2.8)$$

หรือ $U = 0.9D + 1.7L + 1.7H$ (เมื่อ D มีส่วนไปลดผลของ H) (2.9)

หรือ $U = 1.4D + 1.7H$ (เมื่อ L มีส่วนไปลดผลของ H) (2.10)

หรือ $U = 0.9D + 1.7H$ (เมื่อ D และ L มีส่วนไปลดผลของ H) (2.11)

โดยให้ใช้ค่า U ที่ให้ค่าสูงสุดแต่ต้องไม่น้อยกว่าค่า U ที่หาจากสมการ

อนึ่ง ค่าตัวคูณเพิ่มน้ำหนักที่ให้ไว้ข้างต้นเป็นเพียงค่าอย่างน้อยที่กำหนดให้ เมื่อผู้ออกแบบพิจารณาเห็นว่า อาจมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากการก่อสร้าง หรือ อาจมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงประเภทการใช้อาคารในอนาคต ผู้ออกแบบอาจพิจารณาใช้ตัวคูณเพิ่มน้ำหนักให้สูงขึ้นได้อีก เช่น ในกรณีของอาคารที่ไม่ได้คิดรับแรงลมหรือแรงจากแผ่นดินไหว อาจใช้ค่า U = 1.5D + 1.8L หรือ U = 1.7D + 2.0L เป็นต้น

<u>หมายเหตุ</u> ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ได้กำหนดให้หากำลังที่ต้องการ U ดังนี้

1. สำหรับอาคารที่ไม่ได้คิดรับแรงลมหรือแรงจากแผ่นดินไหว

$$U = 1.7D + 2.0L \qquad (2.12)$$

2. สำหรับอาคารที่คิดให้รับแรงลมด้วย

$$U = 0.75(1.7D + 2.0L + 2.0W) \qquad (2.13)$$

หรือ $U = 0.9D + 1.3W$ (2.14)

2.4.1.4 กำลังที่ต้องการ (required strength) หมายถึงกำลังที่ส่วนโครงสร้าง คสล. ต้องรับหรือต้านทาน เช่น แรงอัดประลัย (P_u) โมเมนต์ดัดประลัย (M_u) แรงเฉือนประลัย (V_u) หรือแรงประลัยภายในต่างๆ ซึ่งคำนวณมาจากวิธีวิเคราะห์โครงสร้างโดยทฤษฎีอิลาสติกเมื่อส่วนโครงสร้างนั้นรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้วหรือน้ำหนักประลัย (U) นั่นเอง

2.4.1.5 กำลังที่ใช้ออกแบบ (design strength) หรือเรียกว่า กำลังรับแรงประลัยของส่วนโครงสร้าง หมายถึงกำลังต้านทานของส่วนโครงสร้างที่คำนวณได้จากข้อสมมติฐาน (nominal strength) แต่ถูกลดค่าลงโดยการคูณด้วยตัวคูณลดกำลัง (strength reduction factor : ϕ) การลดค่าหรือทอนกำลังต้านทานที่คำนวณได้จากข้อสมมติฐานถือว่าเป็นการสำรองกำลังต้านทานของส่วนโครงสร้างอย่างหนึ่งซึ่งขึ้นกับการควบคุมคุณภาพของงานและวัสดุที่นำมาใช้ ฉะนั้น ถ้าให้ M_n เป็นกำลังต้านทานแรงดัดของส่วนโครงสร้างที่คำนวณได้จากข้อสมมติฐาน ดังนั้น กำลังแรงดัดที่ใช้ออกแบบ หรือ กำลังรับแรงดัดประลัย จะมีค่าเท่ากับ ϕM_n เป็นต้น

2.4.1.6 ตัวคูณลดกำลัง (Strength Reduction Factors : ϕ) ตัวคูณลดกำลังมีค่าต่างๆ กัน (แต่น้อยกว่า 1.00) ขึ้นกับประเภทของส่วนโครงสร้าง มาตรฐาน ACI 318-89 หรือ มาตรฐาน วสท. กำหนดค่าของตัวคูณลดกำลัง (ϕ) สำหรับการก่อสร้างที่มีการควบคุมงานและคุณภาพของวัสดุเป็นอย่างดี ดังต่อไปนี้

ϕ = 0.90 สำหรับแรงดัด (ไม่มีแรงตามแนวแกนกระทำ)
= 0.90 สำหรับแรงดึงตามแนวแกน หรือ แรงดึงตามแนวแกนร่วมกับแรงดัด
= 0.85 สำหรับแรงเฉือน และแรงบิด
= 0.75 สำหรับแรงอัด หรือ แรงอัดร่วมกับแรงดัดที่เสริมด้วยเหล็กปลอกเกลียว
= 0.70 สำหรับแรงอัด หรือ แรงอัดร่วมกับแรงดัดที่เสริมด้วยเหล็กปลอกเดี่ยว
= 0.70 สำหรับแรงกดหรือแรงแบกทานบนคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน วสท. ได้ให้ข้อสังเกตว่า หากผู้ออกแบบคาดว่าจะไม่สามารถควบคุมคุณภาพของงานหรือวัสดุได้ดี เช่น การก่อสร้างในชนบทที่ห่างไกล ผู้ออกแบบอาจพิจารณาใช้ตัวคูณลดกำลังให้น้อยลงกว่าที่กำหนดข้างต้นได้ เช่น สำหรับแรงดัดก็อาจใช้ค่า ϕ เหลือเพียง 0.8 เป็นต้น

ดังนั้น จะเห็นว่าการคำนวณออกแบบโดยวิธีกำลังมีส่วนปลอดภัยเป็นสองส่วน คือ ส่วนของน้ำหนักบรรทุกและส่วนของการควบคุมคุณภาพ ซึ่งส่วนของน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบได้จากการคูณน้ำหนักบรรทุกใช้งานด้วยตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก และส่วนของการควบคุมคุณภาพได้จากการคูณกำลังต้านทานที่คำนวณได้ด้วยตัวคูณลดกำลัง ฉะนั้นในส่วนโครงสร้างทั่วไปที่รับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักจรเท่านั้น จะมีอัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ $\frac{1}{\phi}\left(\frac{1.4DL+1.7LL}{DL+LL}\right)$ นั่นหมายความว่าถ้าส่วนโครงสร้างรับแรงดัดจะมีอัตราส่วนปลอดภัยอยู่ระหว่าง 1.4/0.9 กับ 1.7/0.9 หรืออยู่ระหว่าง 1.55 กับ 1.88 สำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักจร ตามลำดับ

2.4.1.7 สมมติฐานเบื้องต้น การคำนวณออกแบบโดยวิธีกำลังใช้ข้อสมมติฐานดังนี้

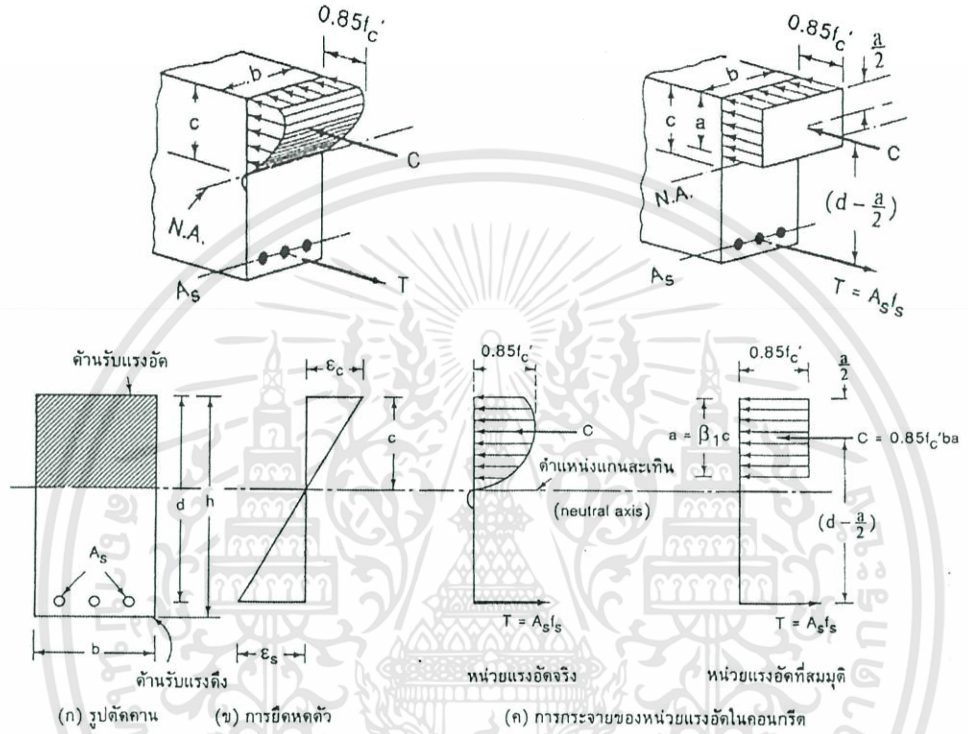
1. ระนาบรูปตัดยังคงเป็นระนาบก่อนและหลังการรับแรงดัด นั่นคือการกระจายของหน่วยการยืดหดตัวในคอนกรีต เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแกนสะเทิน
2. การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเป็นไปอย่างสมบูรณ์นั่นคือหน่วยการยืดตัวในเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับหน่วยการยืดตัวของคอนกรีต ณ ตำแหน่งเดียวกัน
3. หน่วยแรงสูงสุดและหน่วยการยืด – หดตัวสูงสุดไม่เป็นสัดส่วนกัน
4. ไม่คิดกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตที่อยู่ใต้แนวแกนสะเทิน
5. การแผ่กระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตก่อนเกิดการวิบัติอาจเป็นรูปใดก็ได้ที่สามารถให้ผลการคาดหมายกำลังต้านแรงอัดสูงสุดของส่วนโครงสร้างได้ถูกต้องใกล้เคียงกับผลของการทดสอบ แต่หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตต้องไม่เกิน 0.003 มม. / มม.

จากการทดสอบพบว่าการกระจายของหน่วยแรงอัดจริงของคอนกรีตในส่วนโครงสร้างที่สภาวะก่อนเกิดการวิบัติเป็นรูปโค้งพาราโบลา ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ค) โดยมีหน่วยแรงอัดสูงสุดในคอนกรีตประมาณ $0.85f'_c$ แต่จะเห็นว่าการคำนวณหาแรงอัดทั้งหมดในคอนกรีตค่อนข้างยาก ดังนั้นเพื่อให้การคำนวณออกแบบง่ายขึ้นจึงมักพิจารณาให้การแผ่กระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตก่อนเกิดการวิบัติเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเทียบเท่า (equivalent rectangular stress block) ตามข้อเสนอของ Whitney ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ง) กล่าวคือ สมมติให้หน่วยแรงอัดในคอนกรีตแผ่กระจายเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีขนาดของหน่วยแรงอัดสูงสุดเท่ากับ $0.85f'_c$ และให้การแผ่กระจายของหน่วยแรงอัดนี้ถูกล้อมรอบด้วยขอบของหน้าตัดและเส้นตรงที่ลากขนานกับแกนสะเทินซึ่งมีระยะห่างจากผิวที่มีหน่วยการหดตัวสูงสุดเป็นระยะเท่ากับ a ซึ่งกำหนดให้ระยะ a มีค่าเท่ากับ $\beta_1 c$ ในเมื่อระยะ c เป็นระยะที่วัดตั้งฉากจากขอบหรือผิวที่มีหน่วยการหดตัวสูงสุดถึงแนวแกนสะเทิน ส่วนค่าของ β_1 กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.85 เมื่อกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต f'_c มี ค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 280 กก./ซม^2. และเมื่อกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต f'_c มีค่าสูงกว่า 280 กก./ซม^2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของ β_1 จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในอัตรา 0.05 สำหรับกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต f'_c ที่มีค่าเพิ่มขึ้นทุกๆ 70 กก./ซม^2. และให้ค่าต่ำสุดของ β_1 เท่ากับ 0.65 นั่นคือ

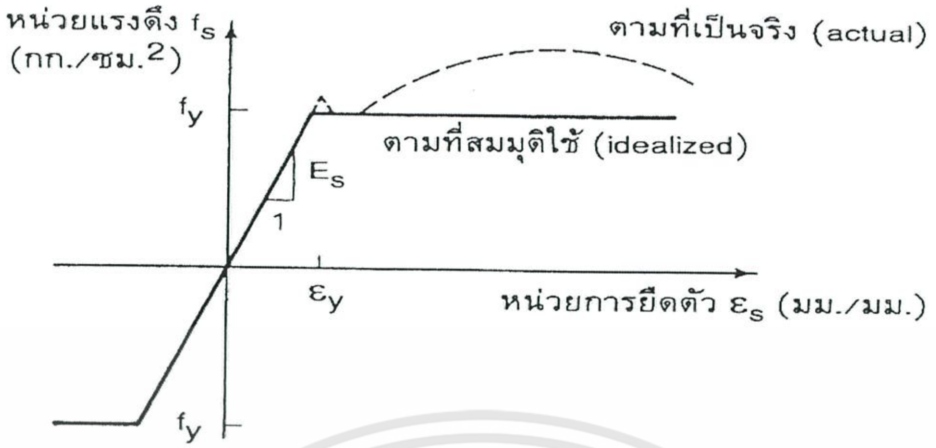
$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & f_c' \le 280 \text{ ksc.} \\ 0.85 - 0.05(\frac{f_c'-280}{70}) & 280 \text{ ksc.} \langle f_c' \le 560 \text{ ksc.} \\ 0.65 & f_c' \rangle 560 \text{ ksc.} \end{cases}$$



รูปที่ 2.3 การแผ่กระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีต [6]

6. ให้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการยืด-หดตัวของเหล็กเสริมเป็นแบบอิลาสติก-พลาสติกโดยสมบูรณ์ (โดยละทิ้งพฤติกรรมของการแข็งตัวเพิ่ม) ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งหน่วยแรงดึงหรือหน่วยแรงอัดสูงสุดของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับกำลังที่จุดคราก f_y (มาตรฐาน ACI 318-89 หรือ วสท. ยอมให้ใช้ได้ไม่เกิน 5600 กก./ซม.^{2}) และโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ 2.04×10^6 กก./ซม.^{2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการยืดหดตัวของเหล็กเสริม[6]

<u>หมายเหตุ</u> ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร กำหนดหน่วยแรงสูงสุดของคอนกรีตและเหล็กเสริม ดังนี้

หน่วยแรงสูงสุดของคอนกรีต = 150 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงสูงสุดของเหล็กเสริม :

ก. เหล็กเส้นธรรมดา เมื่อไม่มีผลการทดสอบแรงดึง ให้ใช้ไม่เกิน 2000 กก./ซม.^{2}

ข. เหล็กเสริมอื่น ให้ใช้เท่ากับ 0.85f_y แต่ไม่เกิน 4200 กก./ซม.^{2}

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับส่วนต่างๆของโครงอาคารที่จะกล่าวต่อไปในเล่มนี้จะกล่าวเฉพาะการคำนวณออกแบบโดยวิธีกำลัง ตามเกณฑ์การออกแบบของมาตรฐาน ACI 318-89 ที่ได้ประกาศใช้ในปี ค.ศ. 1989 หรือ ของมาตรฐาน วสท. ที่ได้ประกาศใช้ในปี พ.ศ. 2538

2.4.1.8 ข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบ ตามมาตรฐานของ วสท. และมาตรฐาน ACI 318-89 (American Concrete Institute) ได้กำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร ดังนี้

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load; DL)[6] หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่มีลักษณะตายตัวไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงขนาด

ตารางที่ 2.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ ของวัสดุต่าง ๆ

น้ำหนักบรรทุกคงที่	หน่วยน้ำหนัก
คอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา	2,300 - 2,400 กก./ลบ.ม.
เหล็ก	7,700 - 7,900 กก./ลบ.ม.
ไม้	460 - 490 กก./ลบ.ม.
กระจก	2,900 – 3,000 กก./ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักบรรทุกคงที่	หน่วยน้ำหนัก
น้ำ	1,000 กก./ลบ.ม.
ผนังอิฐบล็อกรวมฉาบ หนา 10 ซม.	120 – 150 กก./ตร.ม.
ผนังอิฐมอญรวมฉาบ หนา 10 ซม.	180 – 200 กก./ตร.ม.
ผนังอิฐมวลเบารวมฉาบ หนา 10 ซม.	90 – 100 กก./ตร.ม.
ผนังเบา เช่น ฝาไม้, ไม่อัด, ยิปซัม รวมโครงคร่าว	20 – 40 กก./ตร.ม.
หลังคากระเบื้องลอนคู่, ลอนเล็ก รวมแป	12 – 15 กก./ตร.ม.
หลังคากระเบื้องโมเนีย , ดินเผาเคลือบ , รวมระแนง	50 – 70 กก./ตร.ม.
โครงสร้างหลังคา	20 – 50 กก./ตร.ม.
ฝ้าเพดาน รวมโครงเคร่า	15 – 20 กก./ตร.ม.
พื้นไม้รวมตง	30 – 50 กก./ตร.ม.
แผ่นพื้นสำเร็จรวมคอนกรีตทับหน้า หนารวม 10 ซม.	240 – 260 กก./ตร.ม.
ผิวพื้นกระเบื้องรวมปูนทราย หนา 5 ซม.	120 – 150 กก./ตร.ม.

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load; LL)[6] หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่เป็นลักษณะมีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงขนาดน้ำหนักได้ตลอดเวลาหรือชั่วคราว

ตารางที่ 2.2 น้ำหนักบรรทุกจร

ประเภทการใช้อาคาร	น้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำ (กก./ตร.ม.)
1.หลังคา	50
2.พื้นกันสาดหรือพื้นหลังคาคอนกรีต	100
3.ที่พักอาศัย, โรงเรียนอนุบาล, ห้องน้ำ-ห้องส้วม	150
4.ห้องแถว, ตึกแถว, อาคารชุด , หอพัก, โรงแรม	200
5.สำนักงาน, ธนาคาร	250
6.อาคารพาณิชย์, มหาวิทยาลัย, วิทยาลัย, โรงเรียน	300
7.ห้องโถง, บันไดและช่องทางเดินของอาคารชุด, หอพัก, โรงแรม, โรงพยาบาล, สำนักงานและ ธนาคาร	300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทการใช้อาคาร	น้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำ (กก./ตร.ม.)
8.ตลาด, ห้างสรรพสินค้า, หอประชุม, โรงมหรสพ, ภัตตาคาร, ห้องประชุม, ห้องอ่านหนังสือในหอสมุด, จอดรถ/เก็บรถยนต์นั่ง	400
9.ห้องโถง, บันไดและช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์, มหาวิทยาลัย, วิทยาลัย และโรงเรียน	400
10.คลังสินค้า, โรงกีฬา, พิพิธภัณฑ์, อัฒจันทร์, โรงพิมพ์, โรงงานอุตสาหกรรม, ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
11.ห้องโถง, บันได, ช่องทางเดินของตลาด, ห้างสรรพสินค้า, หอประชุม, โรงมหรสพ, ภัตตาคาร, หอสมุด	500
12.ห้องเก็บหนังสือของหอสมุด	600
13.ที่จอดหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่าและรถอื่น ๆ	800
14.แรงลมที่กระทำต่ออาคาร(กรณีไม่มีเอกสารอ้างอิง)	
- ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 ม.	50
- ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 10 ม. แต่ไม่เกิน 20 ม.	80
- ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 20 ม. แต่ไม่เกิน 40 ม.	120
- ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 40 ม.	160

2.4.2 ทฤษฎีการออกแบบคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว[6]

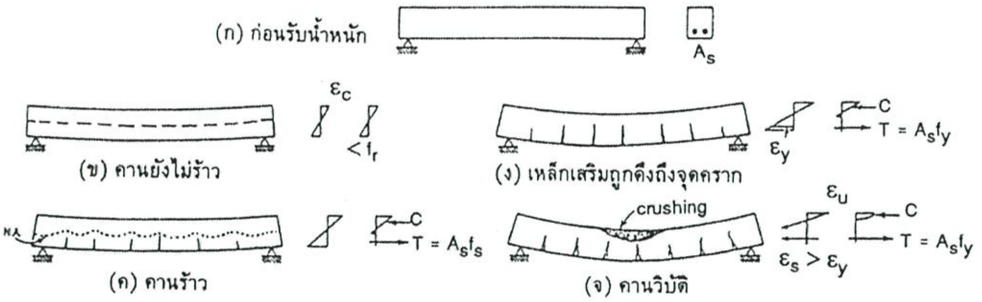
คาน คสล. เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่อยู่ในแนวนอนโดยมีเหล็กเสริมเอก (main reinforcement) เรียงไปตามแนวความยาวของคานเพื่อรับแรงดึงทั้งหมด หรืออาจจะรับแรงอัดเพิ่มเติมบางส่วนเพื่อต้านทานโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำตั้งฉากกับแนวตามยาวของคาน นอกจากจะมีเหล็กเสริมเอกแล้ว ยังมีเหล็กปลอกเสริมทางขวางเพื่อใช้ต้านทานแรงเฉือนส่วนที่เกินกว่าคอนกรีตจะรับได้

ในการคำนวณออกแบบคานจะต้องเลือกใช้ขนาดรูปตัดคาน คสล. และปริมาณเหล็กเสริม การจัดระยะเรียงเหล็กเสริมให้เหมาะสมเพียงพอให้ชิ้นส่วนนั้นสามารถรับน้ำหนักได้โดยที่ไม่เกิดการแอ่นหรือโก่งตัวมากเกินไปจนเกิดรอยร้าวกว้างมากในสภาวะที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

2.4.2.1 พฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัด

โดยสมมติว่าคานนี้มีช่วงคานยาวมากและให้น้ำหนักกระทำผ่านศูนย์กลางแรงเฉือน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการวิบัติของคานที่อาจเกิดจากผลของแรงเฉือนและแรงบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงพฤติกรรมของคาน คสล. ภายใต้น้ำหนักบรรทุก[6]

ในขณะที่คานยังไม่รับน้ำหนักบรรทุกใดๆ (ยกเว้นน้ำหนักของคานเอง) จะสมมติว่าคานยังไม่แอ่นตัวหรือโก่งตัว ดังรูปที่ 2.5 (ก) เมื่อคานเริ่มรับน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำคานจะเริ่มโก่งตัวเนื่องจากโมเมนต์ดัด ดังรูปที่ 2.5 (ข) ในลักษณะที่หลังคานถูกอัดและใต้ท้องคานถูกดึง จึงเกิดการแอ่นตัวแต่ยังไม่เกิดการแตกร้าว เนื่องจากหน่วยแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่ท้องคานมีค่าน้อยกว่ากำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต ทำให้หน้าตัดทั้งหมดของคานยังสามารถรับแรงดึงและแรงอัดได้โดยไม่แตกร้าว แต่เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นจนทำให้หน่วยแรงดึงในคอนกรีตที่ท้องคานมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าความต้านทานแรงดึงของคอนกรีต คอนกรีตจะเริ่มแตกร้าวเนื่องจากโมเมนต์ดัดแตกร้าว (cracking moment) รอยร้าวเนื่องจากแรงดัดจะมีลักษณะตั้งฉากกับความยาวคานและจะเกิดที่บริเวณกลางคาน แต่รอยร้าวที่บริเวณปลายคานจะมีแนวเฉียงซึ่งเป็นผลมาจากแรงเฉือนที่กระทำร่วมด้วย ดังรูปที่ 2.5 (ค) แต่ถ้าคานรับน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นอีก หน่วยการยืดหดตัวบนหน้าตัดคานจะเพิ่มมากขึ้นและตำแหน่งของแนวแกนสะเทินจะขยับสูงขึ้น ทำให้หน่วยแรงต่างๆมีค่าสูงขึ้น จนเริ่มมีพฤติกรรมแบบไม่ยืดหยุ่น ก่อนที่จะเกิดการวิบัติเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด เรียกว่าน้ำหนักบรรทุกประลัย (ultimate load) และถ้าปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ในคานมีไม่มาก โดยมีปริมาณของเหล็กเสริมรับแรงดึงต่ำกว่าอัตราส่วนที่สภาวะสมดุล (under-reinforced concrete beam) เหล็กเสริมในคานจะถูกดึงถึงกำลังที่จุดครากก่อนเสมอ ($\varepsilon_s = \varepsilon_y$) ในขณะที่การกระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตเริ่มจะไม่เป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.5 (ง) และเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกไปอีก จะเกิดการวิบัติแบบ crushing failure เกิดจากคอนกรีตด้านรับแรงอัดถูกอัดแตกหรือระเบิดออก ดังรูปที่ 2.5 (จ)

2.4.2.2 การออกแบบคานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว การออกแบบควรใช้ปริมาณเหล็กเสริมในคานให้ต่ำกว่าอัตราส่วนของเหล็กเสริมที่สภาวะสมดุลทั้งนี้เพื่อให้เหล็กเสริมรับแรงดึงมีกำลังถึงจุดครากก่อนซึ่งเป็นการป้องกันมิให้คานวิบัติแบบฉับพลันทันที

2.4.2.3 หลักเกณฑ์การออกแบบเพื่อต้านโมเมนต์ดัดประลัยที่กระทำ ใช้เกณฑ์การออกแบบตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ACI 318-89 หรือ วสท. ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi M_n \geq M_u \tag{2.15}$$

โดยที่ M_n = โมเมนต์ดัดต้านทานสูงสุดของส่วนโครงสร้าง คสล. (ทางทฤษฎี) และ M_u = โมเมนต์ดัดประลัย ซึ่งเป็นผลมาจากการกระทำของน้ำหนักบรรทุกใช้งานบนส่วนของโครงสร้าง คสล. ที่ได้เพิ่มค่าด้วยตัวคูณเพิ่มน้ำหนักแล้ว

มาตรฐานการออกแบบกำหนดให้ใช้อัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึงทั้งหมด ρ อยู่ระหว่าง $\frac{14}{f_y}$ ถึง $0.75\rho_b$ เพื่อให้คาน คสล. นั้นมีความเหนียวมากพอก่อนที่จะวิบัติที่ด้านรับแรงดึง

สำหรับค่าโมเมนต์ดัดต้านทานสูงสุดทางทฤษฎี (M_n) ของคาน คสล. รูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว หาได้ดังสมการ

$$M_n = R_u bd^2 \quad \text{(กก.-ซม.)} \tag{2.16}$$

โดยที่ R_u = สัมประสิทธิ์ต้านโมเมนต์ดัด = $\rho f_y\left(1 - 0.59\frac{\rho f_y}{f'_c}\right)$ กก./ซม.^{2}

P = อัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผล = A_s/bd

f'_c = กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต กก./ซม.^{2}

f_y = กำลังจุดครากของเหล็กเสริม กก./ซม.^{2}

b,d = ความกว้าง ซม. และความลึกประสิทธิผล ซม. ของคาน ตามลำดับ

มาตรฐาน วสท. ของเหล็กเสริม

1. ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม

(ก) ระยะช่องว่างต่ำสุดของเหล็กเส้นที่วางขนานกันในแต่ละชั้น ต้องไม่แคบกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นนั้นๆ และต้องไม่น้อยกว่า 2.5 ซม.

(ข) การเสริมเหล็กในคานที่มีเหล็กเส้นตั้งแต่สองชั้นขึ้นไป ระยะช่องว่างระหว่างชั้นของเหล็กเส้นต้องไม่แคบกว่า 2.5 ซม. และเหล็กเส้นที่อยู่ชั้นบนต้องจัดเรียงให้อยู่ในแนวเดียวกันกับเหล็กเส้นที่อยู่ชั้นล่าง

(ค) ระยะช่องว่างของเหล็กเสริมตามยาวในองค์อาคารรับแรงอัดที่ใช้เหล็กปลอกเกลียวหรือเหล็กปลอกเดี่ยว ต้องไม่น้อยกว่า 1½ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นนั้นๆ และต้องไม่น้อยกว่า 4 ซม.

2. เหล็กปลอกเดี่ยว เหล็กปลอกเดี่ยวสำหรับองค์อาคารรับแรงอัด ต้องเป็นไปตามข้อต่อไปนี้

1. เหล็กเส้นทุกเส้นต้องรัดไว้ด้วยเหล็กปลอกเดี่ยว โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดังต่อไปนี้

- ขนาดอย่างน้อย 6 มม. สำหรับเหล็กเส้นตามยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. หรือเล็กกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขนาดอย่างน้อย 9 มม. สำหรับเหล็กเส้นตามยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 25 ถึง 32 มม.

- ขนาดอย่างน้อย 12 มม. สำหรับเหล็กเส้นตามยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 32 มม. ขึ้นไป และสำหรับเหล็กเส้นตามยาวมัดรวมกันเป็นกำ

2. ระยะห่างของเหล็กปลอกเดี่ยวต้องไม่มากกว่าค่าต่อไปนี้

2.1 เมื่อ V_u-$\phi V_c \leq \phi 1.1\sqrt{f'_c}b_w d$ กก.

- ให้เรียงเหล็กลูกตั้งห่างกันได้ไม่เกิน 0.5d หรือ 60 ซม.

2.2 เมื่อ V_u-$\phi V_c > \phi 1.1\sqrt{f'_c}b_w d$ กก.

- ให้เรียงเหล็กลูกตั้งห่างกันได้ไม่เกิน 0.25d หรือ 30 ซม.

2.4.3 ทฤษฎีการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก [6]

เสาเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง ปกติอยู่ในแนวดิ่ง เสาจะทำหน้าที่รับแรงอัดตามแนวแกน หรือทั้งแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน ซึ่งได้มาจากการถ่ายน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นและคานหรือแผ่นพื้นไร้คานในชั้นต่างๆแล้วจึงถ่ายน้ำหนักบรรทุกนั้นลงสู่ดินโดยฐานราก หากเสาต้นใดต้นหนึ่งวิบัติ ก็จะทำให้ส่วนของโครงสร้างที่ยึดต่อเนื่องเกิดการชำรุดเสียหาย จนอาจทำให้โครงสร้างทั้งหมดถึงกับพังลงมาได้ ฉะนั้นในการคำนวณออกแบบเสาจึงต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษเกี่ยวกับแรงอัดและโมเมนต์ดัดที่เสาต้องรับ

เสา คสล. มีสองประเภท คือ เสาสั้นและเสายาว เสาสั้น (short columns) หมายถึงเสาที่มีอัตราส่วนความชะลูด (slender columns) น้อย ไม่เกินพิกัดที่จะทำให้เสานั้นวิบัติโดยการโก่งเดาะทางข้างกำลังรับน้ำหนักของเสาสั้นขึ้นกับกำลังต้านทานของวัสดุที่ใช้ และขนาดรูปตัดของเสา ส่วนเสายาว (slender columns) หมายถึง เสาที่มีอัตราส่วนความชะลูดมาก ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสายาวจะน้อยกว่าเสาสั้นที่มีขนาดรูปตัดอย่างเดียวกัน เพราะเสายาวเกิดการโก่งเดาะทางข้างก่อน

2.4.3.1 ข้อกำหนดทั่วไปของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

มาตรฐาน ACI 318-89 หรือ วสท. ให้ข้อกำหนดต่างๆเกี่ยวกับการออกแบบเสา คสล. ดังต่อไปนี้

ก) เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กยืนในเสา (A_{st}) ต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และต้องไม่เกินกว่า 0.08 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเสา (A_g) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กยืนต้องไม่เล็กกว่า 12 มม. เสาปลอกเดี่ยวต้องมีเหล็กยืนอย่างน้อย 4 เส้น และเสาปลอกเกลียวต้องมีเหล็กยืนอย่างน้อย 6 เส้น

ข) ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กยืนของเสาต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้นหรือ 1.34 เท่า ของขนาดโตสุดของหินหรือ 4 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) คอนกรีตหุ้มเหล็กที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับแกนคอนกรีตเสาปลอกเกลียว และเสาปลอกเดี่ยว ต้องมีความหนาอย่างน้อย 3.5 ซม. หรือ 1.34 เท่า ของขนาดโตสุดของหิน

ง) เสาปลอกเดี่ยวต้องใช้เหล็กปลอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มม. สำหรับเหล็กยืนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่โตกว่า 20 มม. และใช้เหล็กปลอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 9 มม. สำหรับเหล็กยืนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 25-32 มม. โดยมีระยะห่างไม่เกิน 16 เท่า ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กยืนหรือ 48 เท่า ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอกหรือไม่เกินกว่าด้านแคบของเสา

จ) อัตราส่วนของเหล็กปลอกเกลียว ρ_s ต้องไม่น้อยกว่า $0.45\left[\frac{A_g}{A_c}-1\right]\frac{f'_c}{f_{sy}}$

ในเมื่อ ρ_s = อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของเหล็กปลอกเกลียวกับปริมาตรของแกนเสาที่วัดที่ขอบนอกของเหล็กปลอกเกลียว

f_{sy} = กำลังจุดครากของเหล็กเปลอกเกลียว แต่ต้องไม่เกิน 4,000 กก./ซม.^{2}

A_c = เนื้อที่หน้าตัดของแกนคอนกรีตที่วัดถึงขอบนอกของเหล็กปลอกเกลียว

A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเสาปลอกเกลียว

ฉ) ต้องพันเหล็กปลอกเกลียวต่อเนื่องสม่ำเสมอและมีระยะห่างไม่เกิน 7.5 ซม. แต่ไม่แคบกว่า 2.5 ซม. หรือ 1.34 เท่า ของขนาดโตสุดของหิน ทั้งนี้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอกเกลียวต้องไม่เล็กกว่า 9 มม.

ช) เสาปลอกเดี่ยวที่มีเนื้อที่หน้าตัดใหญ่กว่าที่ต้องการในการรับน้ำหนักมากๆ การหาปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุด และกำลังที่ใช้ออกแบบ ยอมให้ใช้ค่า A_g เพียงครึ่งเดียว

ซ) การต่อเหล็กยืนในเสาอาจต่อโดยวิธีทาบ (เมื่อขนาดเหล็กยืนไม่โตกว่า 36 มม.) หรือโดยวิธีเชื่อมต่อแบบชนหรือใช้ข้อต่อทางกล การต่อเหล็กยืนให้ยกรอยต่อไว้ที่กึ่งกลางระหว่างชั้นเพื่อป้องกันแรงแผ่นดินไหว

เมื่อต้องดัดเหล็กเยื้องกัน (ดุ้งเหล็ก) ที่รอยต่อ ความลาดเอียงต้องไม่เกิน 1 ต่อ 6 เมื่อเทียบกับแกนของเสา เหล็กส่วนบนและล่างของส่วนที่ดุ้งต้องขนานกับแกนเสาและต้องมีเหล็กปลอกเดี่ยวหรือเหล็กปลอกเกลียวยึดทางขวางอย่างเพียงพอ

หากหน้าเสาด้านใดด้านหนึ่งมีระยะเยื้องกันตั้งแต่ 7.5 ซม. ขึ้นไป ห้ามต่อเหล็กที่หน้าเสานั้นโดยวิธีดุ้งเหล็ก แต่ให้ต่อโดยวิธีทาบด้วยการเสริมเหล็กเดือย

ความยาวของระยะต่อทาบของเหล็กข้ออ้อยที่รับแรงอัดมีค่าเท่ากับ $0.007d_bf_y$ สำหรับเหล็กยืนที่มีกำลังจุดคราก f_y ไม่เกิน 4,000 กก./ซม.^{2} (นั่นคือ = 28 d_b สำหรับ f_y = 4,000 กก./ซม.^{2}) หรือมีค่าเท่ากับ $(0.013f_y - 24)d_b$ สำหรับเหล็กยืนที่มีจุดครากเกินกว่า 4,000 กก./ซม.^{2} แต่ทั้งนี้ความยาวของระยะต่อทาบต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม. และให้เพิ่มระยะทาบอีกหนึ่งในสามเมื่อกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต f'_c มีค่าน้อยกว่า 210 กก./ซม.^{2}

กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดตามแนวแกนของเสา (P_0)

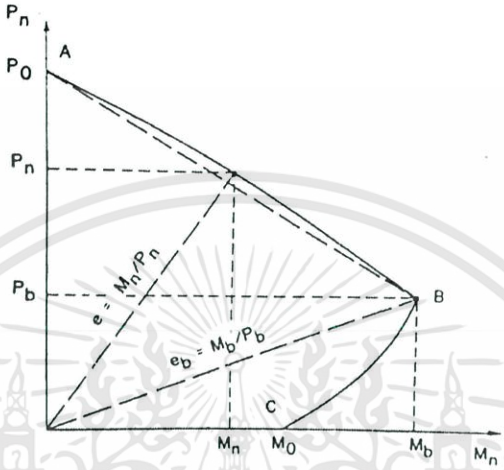
$$P_0 = 0.85f'_cA_g + f_yA_{st} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังต้านทานแรงดัดสูงสุด (M_0)

$$M_0 = A_s f_y \left[d - \frac{A_s f_y}{1.7 f'_c b} \right] \tag{2.18}$$

โดยหากนำค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดตามแนวแกนของเสา (P_0) และกำลังต้านทานแรงดัดสูงสุด (M_0) แต่ละช่วงมาเขียนกราฟ จะทำให้เห็นภาพของกำลังต้านทานของเสาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น กราฟที่ได้เรียกว่า Interaction Diagram



รูปที่ 2.6 Interaction Diagram [6]

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับแรงดัดสำหรับเสารูปตัดที่เสริมเหล็กปริมาณหนึ่งๆมีรูปร่างทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.6 ทั้งนี้ในแกนตั้งเป็นกำลังต้านทานแรงอัด และแกนนอนเป็นกำลังต้านทานแรงดัดซึ่งปกติค่าของโมเมนต์ดัดและระยะเยื้องศูนย์จะพิจารณาจากแนวศูนย์ถ่วงพลาสติก แต่ละจุดบนกราฟแสดงถึงค่าคู่หนึ่งของ P_n และ M_n ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่เสานั้นจะสามารถต้านทานได้

จุด A แสดงกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด (P_0) เมื่อมีแรงอัดกระทำตามแนวแกนอย่างเดียว

จุด B แสดงกำลังต้านทานสูงสุด (P_{nb} และ M_{nb}) เมื่อเกิดการวิบัติแบบสมดุล (Balanced Failure) โดยคอนกรีตถูกอัดแตกพร้อมกับเหล็กเสริมรับแรงดึงถูกดึงจุดครากพอดี

จุด C แสดงถึงกำลังต้านทานรับแรงดัดสูงสุด (M_0) เมื่อมีแต่โมเมนต์ดัดกระทำ

ค่าของ P_n และ M_n ทุกคู่ที่อยู่ระหว่างจุด A และจุด B แสดงถึงกำลังต้านทานสูงสุดในช่วงที่แรงอัดเป็นหลัก (Compression Failure) ซึ่งการวิบัติของเสาเกิดจากคอนกรีตถูกอัดแตกก่อน สังเกตว่าในช่วงแรงอัดเป็นหลัก เมื่อค่าของ P_n เพิ่มมากขึ้น ค่าของ M_n จะลดน้อยลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มแรงอัดมากขึ้นจะทำให้หน่วยของการหดตัวในคอนกรีตมีค่ามากขึ้น ดังนั้นคอนกรีตจึงรับหน่วยการหดตัวที่เกิดจากแรงดัดได้น้อยลง ทั้งนี้เพราะกำหนดให้หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตเท่ากับ 0.003 มม./มม. เท่านั้น ส่วนค่าของP_n และ M_n ทุกคู่ที่อยู่ระหว่างจุด B และจุด C แสดงถึงกำลังต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงสุดในช่วงที่รับแรงดึงเป็นหลัก (Tension Failure) ซึ่งการวิบัติของเสาเกิดจากเหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดครากก่อน โดยแนวแกนสะเทินจะเลื่อนเข้าหาขอบรับแรงอัดและคอนกรีตถูกอัดแตกในที่สุด

สังเกตว่า ในช่วงแรงดึงเป็นหลัก เมื่อค่าของ P_n เพิ่มมากขึ้น ค่าของ M_n จะเพิ่มมากขึ้นด้วย เพราะเมื่อหน่วยการหดตัวในเหล็กเสริมที่เกิดจากแรงอัดมากขึ้นเท่าใด เหล็กเสริมก็จะสามารถรับหน่วยการยืดตัวที่เกิดจากโมเมนต์ดัดมากขึ้นเท่านั้นจนกว่าหน่วยการยืดตัวของเหล็กเสริมจะถึงจุดคราก ความชันของเส้นรัศมีที่ลากจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดต่างๆบนกราฟนี้ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนกลับของระยะเยื้องศูนย์ หรืออีกนัยหนึ่งคือ อัตราส่วนกลับของความชันของเส้นรัศมีแสดงถึงระยะเยื้องศูนย์ที่เทียบจากแนวศูนย์ถ่วงพลาสติก นั่นคือ $e = M_n/P_n$ กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบเสา คสล. เพื่อหาปริมาณของเหล็กยืนที่ต้องการ และทำให้ทราบลักษณะวิบัติของเสาว่าเป็นแบบใด อย่างไรก็ดี เพื่อให้เกิดความมั่นใจควรทำการวิเคราะห์กลับเพื่อหากำลังต้านทานที่แท้จริง

2.4.4 ทฤษฎีการออกแบบผนังรับแรง[7]

การคำนวณออกแบบกำแพงหรือผนังคอนกรีตเสริมเหล็กให้รับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนหรือแรงด้านข้างใดๆอาจพิจารณาให้ส่วนของโครงสร้างนั้นเสมือนเสาปลอกเดี่ยว โดยใช้อัตราส่วนของเหล็กเสริมในแนวตั้งไม่เกินกว่า 0.04 อย่างไรก็ดี ในกรณีที่น้ำหนักกระทำเยื้องศูนย์แต่มีค่าไม่เกินหนึ่งในหกของความหนาของกำแพงจะถือว่าน้ำหนักนั้นกระทำร่วมศูนย์กับกำแพง การคำนวณออกแบบกำแพงรับน้ำหนักอาจให้สูตรสำเร็จตามที่มาตรฐาน ACI 14.5 หรือ วสท. (สมการที่ 2.1) คือ

$$P_n = 0.55\phi f'_c A_g\left[1-\left(\frac{kL_c}{32h}\right)^2\right]$$

โดยที่ A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของกำแพง = hL_w ซม.^{2}

H = ความหนาของกำแพง ซม.

L_c = ความสูงของกำแพงระหว่างที่รองรับ ซม.

L_w = ความยามประสิทธิผลของกำแพงในแนวนอน ซม.

ϕ = ตัวคูณลดกำลัง = 0.70

f_c' = กำลังต้านทานของแรงอัดคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน กก./ซม^2

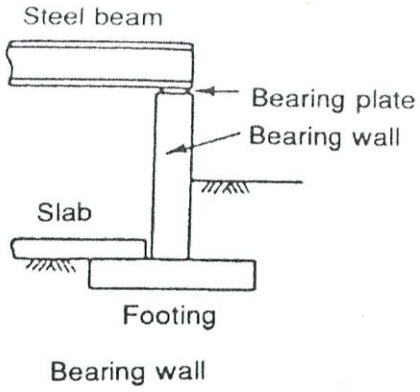
K = ตัวคูณประกอบความสูงของกำแพง

= 0.8 เมื่อกำแพงมีการรั้งด้านหมุน ปลายข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้าง

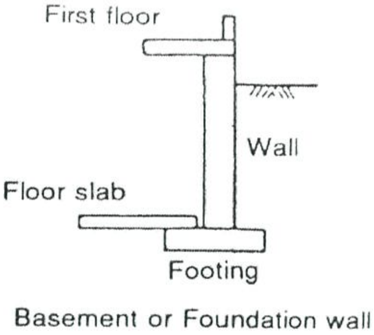
= 1.0 เมื่อกำแพงไม่มีการยึดรั้งด้านหมุนที่ปลายทั้งสองข้าง

= 2.0 เมื่อกำแพงไม่มีการค้ำยึดเพื่อต้านหารเซทางข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) กำแพงที่ใช้รับน้ำหนัก



ข) กำแพงห้องใต้ดิน

รูปที่ 2.7 ผนังหรือกำแพงรับน้ำหนักตามแนวแกน[6]

2.4.4.1 ข้อกำหนดอื่นเกี่ยวกับกำแพงหรือผนัง คสล.

1. ความหนา (h) ต่ำสุดของกำแพงซึ่งคำนวณโดยใช้สูตร

- ความหนาของกำแพงที่ใช้รับน้ำหนัก (bearing wall) ต้องไม่น้อยกว่า $L_c/25$ ของความสูงหรือระยะที่รับแรงอัดแบกทาน (width of bearing) โดยให้ใช้ค่าที่น้อยกว่า แต่ต้องไม่น้อยกว่า 10 ซม.

- ความหนาของกำแพงห้องใต้ดิน (basement wall) ที่อยู่ริมนอกหรือกำแพงฐานรากหรือกำแพงกันไฟ ต้องไม่น้อยกว่า 20 ซม.

2. ความยาวประสิทธิผลของกำแพงในแนวนอน (L_w) ในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุดความยาวประสิทธิผลของกำแพงในแนวนอนที่ใช้รับน้ำหนักบรรทุกนั้นต้องไม่เกินกว่าระยะศูนย์ถึงศูนย์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกแบบจุด และต้องไม่เกินระยะที่รับแรงอัดหรือแรงแบกทานบวกด้วยสี่เท่าของความหนาของกำแพง

3. ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดในกำแพง

สำหรับเหล็กเสริมในแนวตั้ง :

- ต้องไม่น้อยกว่า 0.0012 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB $\leq$ 16 มม. และ $f_y \geq$ 4000 กก./ซม^2 หรือ สำหรับลวดตะแกรงเหล็กเชื่อมสำเร็จรูปที่มีขนาดไม่เกิน 16 มม.

- ต้องไม่น้อยกว่า 0.0015 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับเหล็กข้ออ้อยขนาดอื่น

สำหรับเหล็กเสริมในแนวนอน :

- ต้องไม่น้อยกว่า 0.0020 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB $\leq$ 16 มม. และ $f_y \geq$ 4000 กก./ซม^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต้องไม่น้อยกว่า 0.0025 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับเหล็กข้ออ้อยขนาดอื่น

4. การจัดวางเหล็กเสริม

- ระยะเรียงเหล็กเสริมในแนวตั้งและแนวนอนต้องไม่เกิน 3 เท่าของความหนาของกำแพง แต่ไม่เกิน 50 ซม. หากผนังกำแพงหนากว่า 25 ซม. (ยกเว้นผนังกำแพงห้องใต้ดิน) ต้องเสริมเหล็กในแต่ละทิศทางเป็นสองชั้น ชั้นหนึ่งประกอบด้วยเหล็กไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่ง แต่ไม่เกินสองในสามของเหล็กทั้งหมดที่ต้องการ โดยวางห่างจากผิวด้านนอกไม่น้อยกว่า 5 ซม. แต่ไม่เกินหนึ่งในสามของความหนากำแพง ส่วนอีกชั้นหนึ่งให้ใช้เหล็กส่วนที่เหลือวางห่างจากผิวด้านในไม่น้อยกว่า 2 ซม. แต่ไม่เกินหนึ่งในสามของความหนาของกำแพง

- ต้องยึดผนังกำแพง คสล. ให้ติดกับพื้น เสา หรือผนังที่มาบรรจบกันด้วยเหล็กเสริมของแต่ละชั้น

- ที่ช่องเปิดของผนังกำแพง คสล. ต้องเสริมเหล็กเพิ่มพิเศษขนาดไม่เล็กกว่า 16 มม.อย่างน้อยสองเส้นรอบช่องเปิด โดยยื่นปลายเหล็กเสริมให้เลยจากมุมช่องเปิดไปเป็นระยะเท่าที่ต้องยึดเหล็กเสริม แต่ไม่น้อยกว่า 60 ซม.

2.4.5 ทฤษฎีการประมาณราคา

การประมาณราคา คือ การประมาณ คาดคะเน หรือตีราคา เพื่อคำนวณหาปริมาณวัสดุ ราคาวัสดุ ราคาแรงงาน และค่าใช้จ่ายอื่นๆซึ่งรวมแล้วเป็นราคาค่าก่อสร้าง แต่ก็เป็นเพียงราคาโดยประมาณให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยหากผู้ทำการประมาณราคาเป็นผู้เชี่ยวชาญและมีประสบการณ์การประมาณราคาอาจจะได้ราคาที่ใกล้เคียงจริงมากขึ้นแต่ราคาค่าก่อสร้างที่ได้จากการประมาณจะแตกต่างจากราคาค่าก่อสร้างจริงเมื่อก่อสร้างเสร็จเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น

- ปริมาณวัสดุที่ต้องใช้มีจำนวนเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากความเสียหาย
- ราคาวัสดุ ณ เวลาที่ทำการก่อสร้างมีการเปลี่ยนแปลง
- ค่าใช้จ่ายอื่นๆ นอกเหนือจากที่ประมาณราคาไว้

โดยที่ราคาที่ได้จากการประมาณนั้นไม่ควรจะผิดพลาดไปจากราคาที่แท้จริงเกินกว่า 5-10 %

2.4.5.1 การประมาณราคาก่อสร้างโดยทั่วไปแบ่งออกได้ 2 วิธี คือ

2.4.5.1.1 การประมาณราคาโดยสังเขป เป็นการประมาณราคาเบื้องต้น ใช้สำหรับการประมาณราคาที่รวดเร็ว และไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก เหมาะสำหรับผู้ออกแบบ (สถาปนิก, วิศวกรหรือนายช่างโยธา) เพื่อให้ทราบราคาโครงการที่จะก่อสร้างเบื้องต้นใช้สำหรับตรวจสอบการประมาณราคาโดยละเอียดที่ได้ประมาณราคาไปแล้วว่าจะผิดพลาดหรือไม่โดยทำได้ 2 วิธีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การประมาณราคาโดยใช้พื้นที่ใช้สอย การประมาณราคาโดยพื้นที่ใช้สอย ทำได้โดยการหาพื้นที่ใช้สอยรวมของอาคารทั้งหมดซึ่งคิดจากเส้นรอบรูปภายนอกของอาคาร ไม่หักส่วนใดส่วนหนึ่งออก แล้วคูณด้วยต้นทุนต่อหน่วยพื้นที่ใช้สอยของอาคาร หรือสิ่งปลูกสร้างนั้นๆ

2) การประมาณราคาก่อสร้างโดยปริมาตร การประมาณราคาแบบนี้คล้ายกับการประมาณราคาแบบพื้นที่ใช้สอย จะต่างกันตรงที่ว่า การประมาณราคาแบบพื้นที่ใช้สอยจะใช้พื้นที่เป็นตัวแปรหลัก ส่วนการประมาณราคาแบบปริมาตรจะใช้ปริมาตรของงานเป็นตัวแปรหลัก การประมาณราคาแบบปริมาตรอาศัยปริมาตรที่คำนวณจากการครอบคลุมพื้นที่ของอาคารทั้งหมดตั้งแต่พื้นชั้นล่างไปจนถึงหลังคาแล้วคูณด้วยต้นทุนราคาต่อหน่วยปริมาตร

2.4.5.1.2 การประมาณราคาโดยละเอียด ใช้ประมาณราคาที่ก่อสร้างจริง เพื่อเป็นราคาปานกลางในการจัดหาผู้ทำการก่อสร้าง กระทำโดยการคำนวณหาปริมาณงานและวัสดุก่อสร้าง แล้วนำไปประมาณราคาวัสดุแรงงานตลอดจนค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวกับกิจการก่อสร้างรวมยอดเป็นค่าก่อสร้างอาคารและสิ่งปลูกสร้างทั้งหมด ผลที่ได้จากการประมาณราคาโดยละเอียดนี้จะใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด ทำได้ 2 วิธี คือ

1) วิธีประมาณราคาจากปริมาณวัสดุก่อสร้างและแรงงานต่อหน่วยเป็นวิธีประมาณราคา โดยการถอดแบบคำนวณปริมาณงานวัสดุและแรงงานก่อสร้างออกมาเป็นหน่วยๆ ของหน่วยงานแต่ละประเภทงาน แล้วคูณด้วยราคาวัสดุมวลรวมและค่าแรงงานต่อหน่วย รวมยอดเป็นค่าวัสดุและค่าแรงงานทั้งหมด แล้วนำไปประมาณราคาหาค่าอำนวยการและดำเนินการ ค่ากำไรและภาษีอากร ค่าก่อสร้าง คือ วงเงินรวมยอดของค่าวัสดุ ค่าแรง ค่าอำนวย การดำเนินงาน ค่ากำไร และภาษีอากร

2) วิธีประมาณราคาจากปริมาณวัสดุก่อสร้างทั้งหมดเป็นวิธีประมาณราคาโดยการถอดแบบคำนวณ หาปริมาณวัสดุก่อสร้างออกมาตามชนิดของวัสดุ แล้วคูณด้วยราคาต่อหน่วยของวัสดุแต่ละชนิดแล้วรวมยอดเป็นราคาวัสดุทั้งหมด แต่วิธีนี้ไม่สามารถกำหนดค่าแรงต่อหน่วยได้ ต้องกำหนดแรงงานเป็นร้อยละ (%) ของค่าวัสดุทั้งหมด แล้วรวมค่าวัสดุและค่าแรงงานทั้งหมด นำไปประมาณการหาค่าอำนวยการ ดำเนินงาน ค่ากำไรและภาษีอากร

โดยทั่วไปนิยมใช้วิธีประมาณราคา จากปริมาณงานวัสดุก่อสร้างและแรงงานต่อหน่วย เพื่อให้ทราบวงเงินค่าก่อสร้าง และใช้ยื่นซองประกวดราคาหรือเสนอราคาในการจัดหาผู้ทำการก่อสร้าง เมื่อได้รับให้เป็นผู้ดำเนินการก่อสร้างแล้ว จึงนำไปประมาณการหาปริมาณวัสดุก่อสร้างแต่ละชนิด ที่จะต้องใช้ทั้งหมด เพื่อจะได้สั่งซื้อวัสดุมาใช้ในการก่อสร้างต่อไป วิธีการประมาณราคาจากปริมาณวัสดุก่อสร้างทั้งหมด นิยมใช้กับงานก่อสร้างที่เป็นงานขนาดเล็ก ไม่มีความละเอียดประณีตนักหรือเพื่อต้องการหาจำนวนวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 ทฤษฎีที่ใช้ในการกำหนดเวลาของโครงการ[8],[9]

เวลาที่ต้องทำการกำหนดในงานก่อสร้างนั้น จะมาจากเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างของแต่ละกลุ่มงานโดยผู้ที่ทำการกำหนดเวลาจะต้องรู้และเข้าใจขั้นตอนกิจกรรมงานก่อสร้าง ปริมาณงานและรวมทั้งเทคนิคการก่อสร้างต่างๆ โดยอาจจะกำหนดระยะเวลาจากอัตราผลผลิตงานก่อสร้าง สถิติของงานก่อสร้างของอาคารประเภทต่างๆ หรือจากประสบการณ์ของผู้ทำการกำหนดเวลาเอง ซึ่งผู้กระทำต้องเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับโครงการนั้นๆ สำหรับรูปแบบการแสดงเวลาที่ทำการกำหนดนิยมใช้กันทั่วไป 3 วิธีหลัก ได้แก่

1.แกนท์ชาร์ต (Gantt chart)

2.สายงานวิกฤต (Critical path method)

3.แผนงานเส้นตรง (Linear schedule method)

2.4.6.1 แผนกำหนดเวลาแกนท์ชาต (Gantt chart) หลักการสำคัญของแผนงานแบบ Gantt chart นี้ คือการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างงานที่จะทำกับเวลาออกมาเป็นลักษณะรูปกราฟ ซึ่งจะแสดงงานหรือกิจกรรมก่อสร้าง และเวลาซึ่งจะแสดงเป็นวัน สัปดาห์ หรือ เดือน ดังรูปที่ 2.8 แม้แผนกำหนดเวลา Gantt chart จะได้รับการพัฒนาและใช้ในวงการก่อสร้างมานานพอสมควรแต่ก็ยังคงเป็นที่นิยมใช้งานโดยทั่วไป ทั้งนี้เพราะ

- ความไม่ซับซ้อนของรูปแบบแผนกำหนดเวลา
- จัดทำได้สะดวก
- เข้าใจง่ายสำหรับผู้เกี่ยวข้องทุกระดับ

2.4.6.1.1 รายละเอียดในแผนกำหนดเวลา Gantt Chart มีดังนี้

- สาระสำคัญของโครงการ เช่น ชื่อโครงการ ชื่อเจ้าของงาน วงเงินค่าก่อสร้าง ระยะเวลาก่อสร้าง ชื่อผู้รับจ้างก่อสร้าง รวมถึงชื่อผู้ควบคุมงาน
- ชื่องานหรือกิจกรรมก่อสร้างที่ต้องทำ
- กิจกรรมแต่ละกิจกรรมจะใช้แท่งสีแทนช่วงเวลาในงานก่อสร้าง
- การเรียงลำดับของกลุ่มงานหรือกิจกรรมในโครงการนิยมเรียงกิจกรรมที่ต้องก่อสร้างก่อนไว้ด้านบนไล่ลงไปหากิจกรรมที่ทำสุดท้าย

2.4.6.1.2 การประเมินผลการดำเนินงานโดยแผนกำหนดเวลา เมื่องานก่อสร้างดำเนินไปแล้วจะต้องมีการติดตามประเมินผลการปฏิบัติจริงเทียบ กับแผนซึ่งตัวแทนเจ้าของหรือทีมผู้ควบคุมงานจะช่วยเจ้าของงานในการควบคุมคุณภาพของงาน งบประมาณการก่อสร้าง รวมถึงระยะเวลาก่อสร้าง โดยเรื่องเวลานี้ผู้ควบคุมงานก่อสร้างอาจประเมินผู้รับจ้างก่อสร้างโดยใช้เทคนิคต่อไปนี้

- เส้นความคืบหน้า
- โค้งรูปตัวเอส

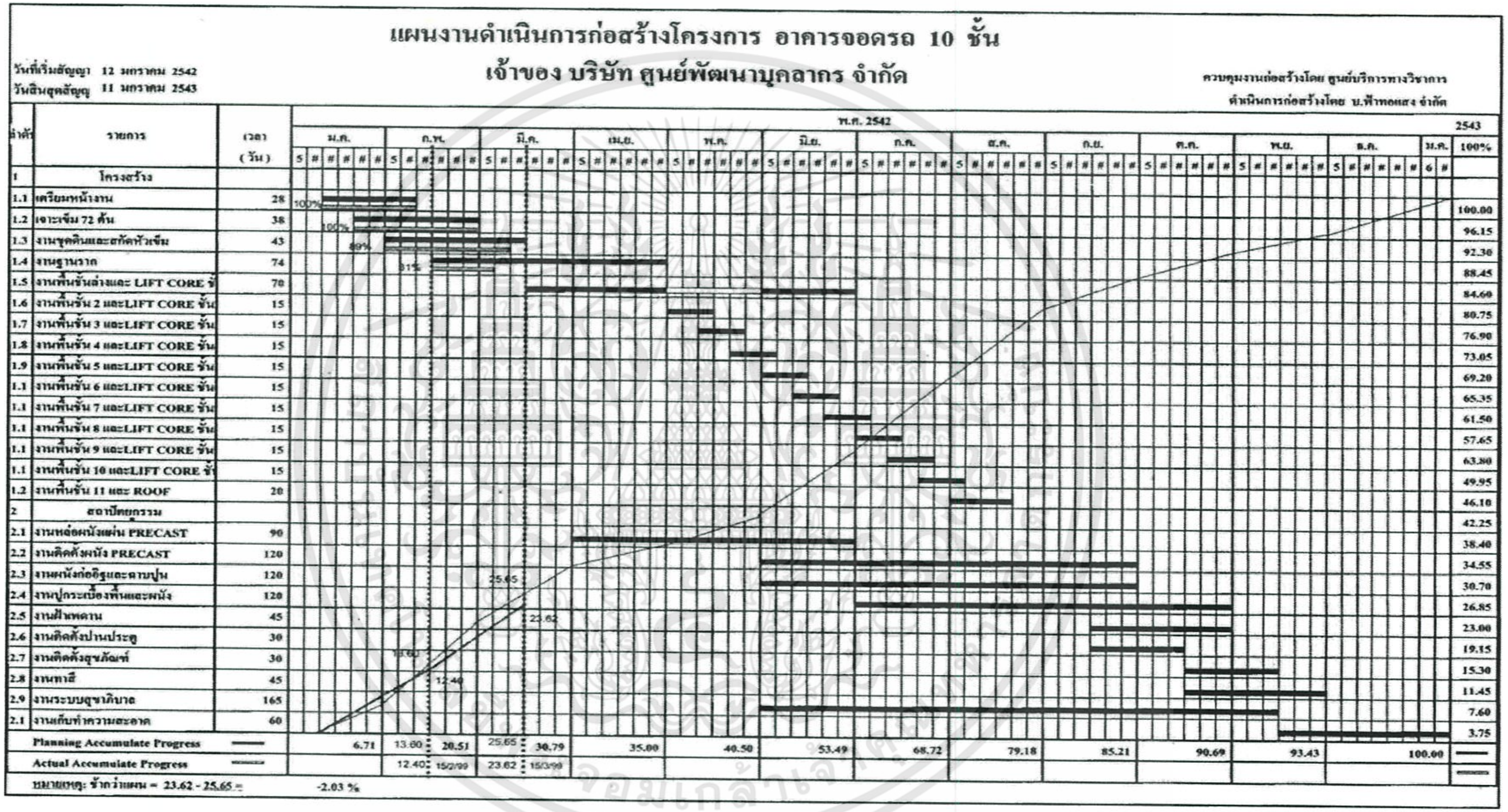
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6.2 แผนกำหนดเวลาแบบสายงานวิกฤต (Critical Path Method) มีสองรูปแบบหลักได้แก่ แบบกิจกรรมบนลูกศร (Activity on arrow AOA) และแบบกิจกรรมบนปม (Activity on node AON) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข่ายงานที่มักนำมาใช้ในการบริหารโครงการที่มีจุดเริ่มต้นของโครงการจนถึงปิดโครงการมีส่วนงานย่อยต่างๆ ที่มีการกระจายโดยมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

2.4.6.3 แผนกำหนดเวลาแบบเส้นตรง (LSM) แผนกำหนดเวลาแบบเส้นตรง หรือ LSM เรียกชื่อเต็มว่า Linear Schedule Method หรือแบบเส้นตรง ซึ่งหลักการจะคล้ายกับการวางแผน แผนงานในลักษณะนี้จะใช้กับงาน เช่น งานก่อสร้างอาคารสูง งานบ้านจัดสรร งานก่อสร้างถนน โดยการก่อสร้างจะมีช่างหลายๆ ชุดทำงานในลักษณะตามกัน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 รูปตัวอย่างแผนกำหนดเวลาGantt chart และการประมาณความก้าวหน้าจากโค้งรูปตัวเอส S-curve[8]

บทที่ 3
แผนการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานการออกแบบผนังรับแรง

3.1.1 ออกแบบผนังรับแรง โดยใช้ทฤษฎีเสายาวและทฤษฎีการออกแบบผนังรับแรง

3.1.1.1 หาความหนาของผนัง โดยที่ความหนาของผนังคอนกรีตซึ่งจะต้องไม่น้อยกว่า $\frac{L_c}{25}$ และต้องไม่น้อยกว่า 10 ซม.

โดยที่ L_c คือ ความสูงของผนัง

3.1.1.2 หาค่าแรงอัดประลัยที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด (P_u)

$$P_u = 1.40\,DL + 1.70\,LL$$

3.1.1.3 ตรวจสอบกำลังรับแรงกด (bearing strength) ที่ด้านบนของผนัง

$$\text{กำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง} = \phi(0.85f'_cA_1)$$

โดยที่ $\phi = 0.7$ และ A_1 = พื้นที่ที่รับแรงกด ซึ่งค่ากำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนังจะต้อง มากกว่าแรงอัดประลัยที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุก

3.1.1.4 หาค่าโมเมนต์เนื่องจากแรงลมกระทำ

3.1.1.5 หาค่ากำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (P_n)

$$P_n = 0.55\phi f'_cA_g\left[1-\left(\frac{kL_c}{32h}\right)^2\right]$$

โดยที่ค่า $P_n \geq P_u$ และ $\phi = 0.7$ h = ความหนาของผนัง L_c = ความสูงของผนัง A_g = ขนาดหน้าตัดของผนังคอนกรีต k = ตัวคูณความยาวประสิทธิผล กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

3.1.1.6 หาค่ากำลังต้านทานแรงดัดของผนังคอนกรีต (M_n)

$$\phi M_n = M_u$$

โดยที่ $\phi = 0.9$

3.1.1.7 หาปริมาณเหล็กเสริม

จากสมการ $$M_n = A_sf_y\left(d-\frac{A_sf_y}{1.7f'_cb}\right)$$

โดยที่ค่า A_s ที่ได้จากสมการจะต้องอยู่ในข้อกำหนดดังนี้

- เหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 หรือต่ำกว่า เสริมในแนวดิ่งจะต้องมีปริมาณเหล็กไม่น้อยกว่า $0.0020A_g$ เสริมในแนวราบจะต้องมีปริมาณเหล็กไม่น้อยกว่า $0.0025A_g$ โดยมีระยะเรียงไม่เกิน 3h และไม่เกิน 45 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD40 หรือสำหรับลวดตะแกรงเหล็กเชื่อมสำเร็จรูปที่มีขนาดไม่เกิน 16 มม. เสริมในแนวดิ่งจะต้องมีปริมาณเหล็กไม่น้อยกว่า $0.0012A_g$ เสริมในแนวราบจะต้องมีปริมาณเหล็กไม่น้อยกว่า $0.0020A_g$ โดยมีระยะเรียงไม่เกิน 3h และไม่เกิน 45 ซม.

3.1.1.8 ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต

$$V_c = \phi 0.53\sqrt{f'_c}\, hb$$

โดยที่ $\phi = 0.85$ และ $V_c \geq V_u$

เมื่อออกแบบผนังเสร็จเรียบร้อยแล้วจะต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อเขียนกราฟ interaction diagram โดยนำค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดเมื่อมีแรงอัดกระทำตามแนวแกนอย่างเดียว (P_o) กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดเมื่อเกิดการวิบัติแบบสมดุล (P_b) กำลังต้านทานแรงดัดสูงสุดเมื่อเกิดการวิบัติแบบสมดุล (M_b) กำลังต้านทานแรงดัดสูงสุดเมื่อมีแต่โมเมนต์กระทำ (M_o) มาสร้างกราฟ interaction diagram และนำค่า P_n และ M_n ที่คำนวณได้ มาพิจารณาในกราฟเพื่อหาการวิบัติที่เกิดขึ้นจากกราฟว่าเป็นการวิบัติแบบแรงอัดเป็นหลัก หรือการวิบัติแบบแรงดึงเป็นหลัก ในการออกแบบจะเน้นให้เกิดการวิบัติแบบแรงอัดเป็นหลัก

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการออกแบบโครงสร้างระบบเสาและคาน

ตามมาตรฐานการออกแบบของ วสท. และ ACI ได้กำหนด การออกแบบวิธี Strength Design Method ไว้ดังนี้

1. การถ่ายน้ำหนักพื้นเพื่อหาค่าโมเมนต์ในคาน
   การถ่ายน้ำหนักพื้นช่วงสั้น = wS/3
   การถ่ายน้ำหนักพื้นช่วงยาว = wS/3((3 – m2)/3)
   S หมายถึง ช่วงสั้น
   L หมายถึง ช่วงยาว
   T หมายถึง ความหนา
2. กำลังที่ต้องการ
   M_u หมายถึง กำลังรับแรงดัดที่ต้องการ
   P_u หมายถึง กำลังรับแรงที่ต้องการ
   V_u หมายถึง กำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการ
3. กำลังที่ระบุ
   M_n หมายถึง กำลังต้านโมเมนต์ดัดสูงสุด
   V_n หมายถึง กำลังที่ต้านแรงเฉือนประลัย
   R_u หมายถึง สัมประสิทธิ์กำลังประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กำลังที่ใช้คำนวณออกแบบ

ϕM_n = M_u

ϕ = 0.9

ρ_b = อัตราส่วนของเหล็กเสริม

ρ_{max} = ปริมาณเหล็กเสริมมากที่สุดที่ยอมให้ = $0.75\rho_b$

ρ_{min} = $14/f_y$

A_s หมายถึง เนื้อที่หน้าตัดของเหล็ก

f'_c หมายถึง ความเค้นอัดประลัยของคอนกรีต

c หมายถึง สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์

β_1 หมายถึง ตัวคูณประกอบสำหรับความลึกของบล็อกหน่วยแรงอัด

f_s หมายถึง กำลังดึงปลอดภัยของเหล็ก

f_y หมายถึง กำลังครากของเหล็กเสริม

3.2.1 ออกแบบคาน

3.2.1.1 ประมาณค่าความลึกทั้งหมดของคาน h ซม. และ h ไม่ควรน้อยกว่า $\frac{L}{16}$ สำหรับคานทั่วไป

3.2.1.2 หาน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้วโดยการคูณน้ำหนักบรรทุกใช้งานด้วยตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก และหาโมเมนต์ดัดประลัยที่กระทำ (M_u) และกำลังต้านทานแรงดัดของคาน (M_n)

3.2.1.3 หาอัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผล (ρ)

โดยกำหนด $\rho = 0.75\rho_b$

$$\rho = 0.75\left[0.85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y}\left(\frac{6120}{6120 + f_y}\right)\right]$$

โดยที่ $\beta_1 = 0.85$ เมื่อ f'_c=280 ksc

$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05(f'_c - 280)}{70}$ เมื่อ $280 < f'_c \leq 560$ ksc

$\beta_1 = 0.65$ เมื่อ $f'_c > 560$ ksc

3.2.1.4 หาค่า bd^2 จากสมการ

$$bd^2 = \frac{M_n}{\rho f_y\left(1 - \frac{\rho m}{2}\right)}$$

โดยที่ $m = \frac{f_y}{0.85f'_c}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.5 หาค่า ρ ใหม่

$$\rho = \frac{1}{m}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_u}{f_y}}\right]$$

โดยที่ $R_u = \frac{M_n}{bd^2}$ และ

โดยที่ $\rho < \rho_{max}$ และ $\rho > \rho_{min}$ ซึ่งค่า $\rho_{max} = 0.75\rho_b$ และ $\rho_{min} = \frac{14}{f_y}$

3.2.1.6 หาปริมาณเหล็กเสริม

$$A_s = \rho bd$$

3.2.2 การออกแบบเสา

3.2.2.1 กำหนดขนาดหน้าตัดเสา (A_g)

3.2.2.2 หาค่าแรงอัดประลัยที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด (P_u)

$$P_u = 1.4DL + 1.7LL$$

3.2.2.3 หาค่า A_{st} และ ρ_t โดยกำหนดให้เป็นเสาปลอกเดี่ยว

$$P_u = \phi P_{max} = 0.80\emptyset[0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_yA_{st}]$$

โดยที่ $\phi = 0.7$ และ $\rho_t = A_{st}/A_g$

3.2.2.4 ตรวจสอบว่า % ρ_t ให้อยู่ในช่วง 1-8%

3.2.2.5 หาโมเมนต์เนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง

โดยที่ $\phi M_n \geq M_u$ กำหนดให้ $\phi = 0.9$

3.2.2.6 หาปริมาณเหล็กเสริม

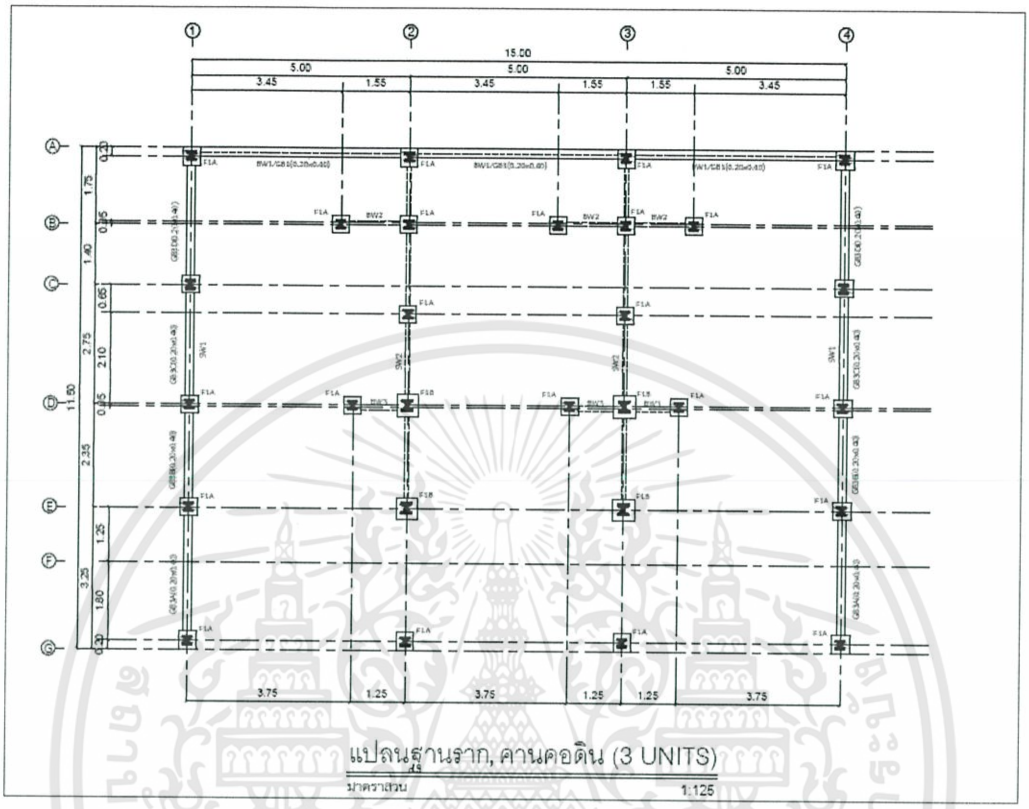
3.3 เงื่อนไขในการออกแบบ

1. โครงสร้างระบบผนังรับแรง จะทำการออกแบบตั้งแต่ ผนังชั้นที่1-ผนังชั้นที่3

2. โครงสร้างระบบเสา-คาน จะทำการออกแบบตั้งแต่คานคอดิน-คานรับโครงหลังคา และเสาชั้นที่1-เสาชั้นที่3

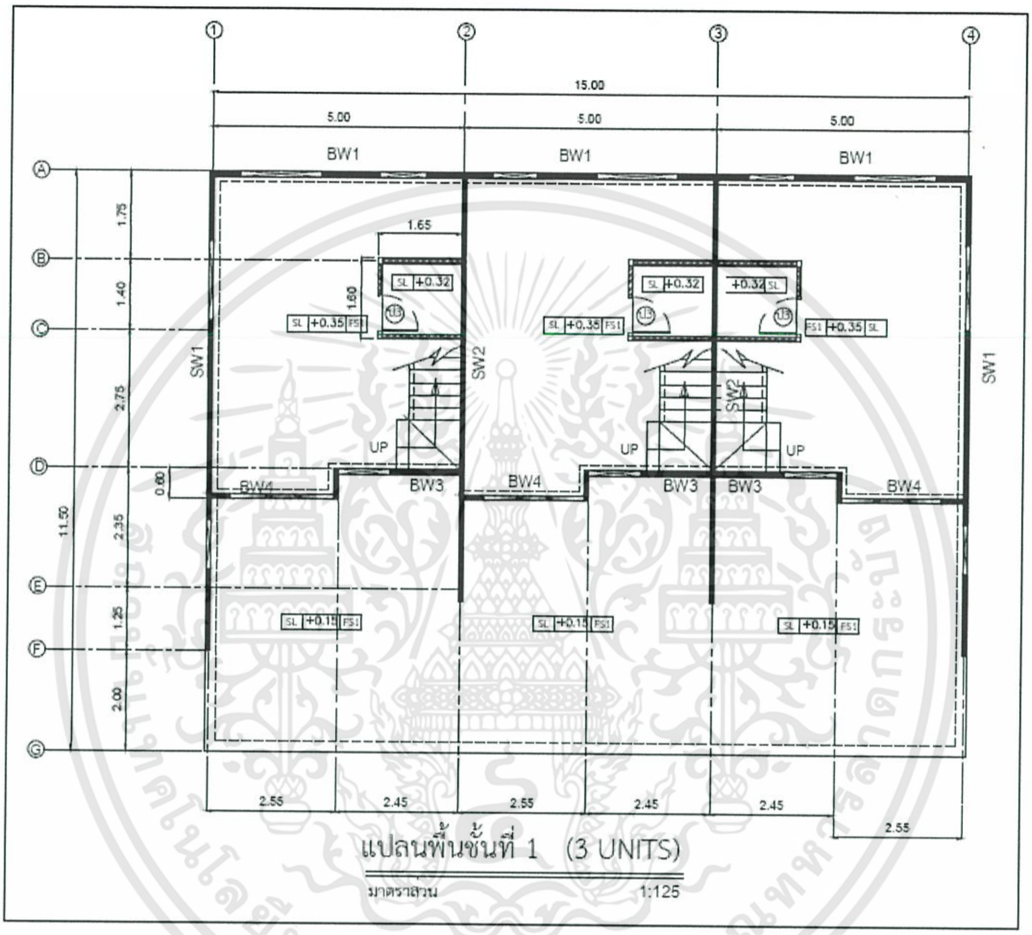
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แบบแปลนอาคารที่ใช้ในงานวิจัย



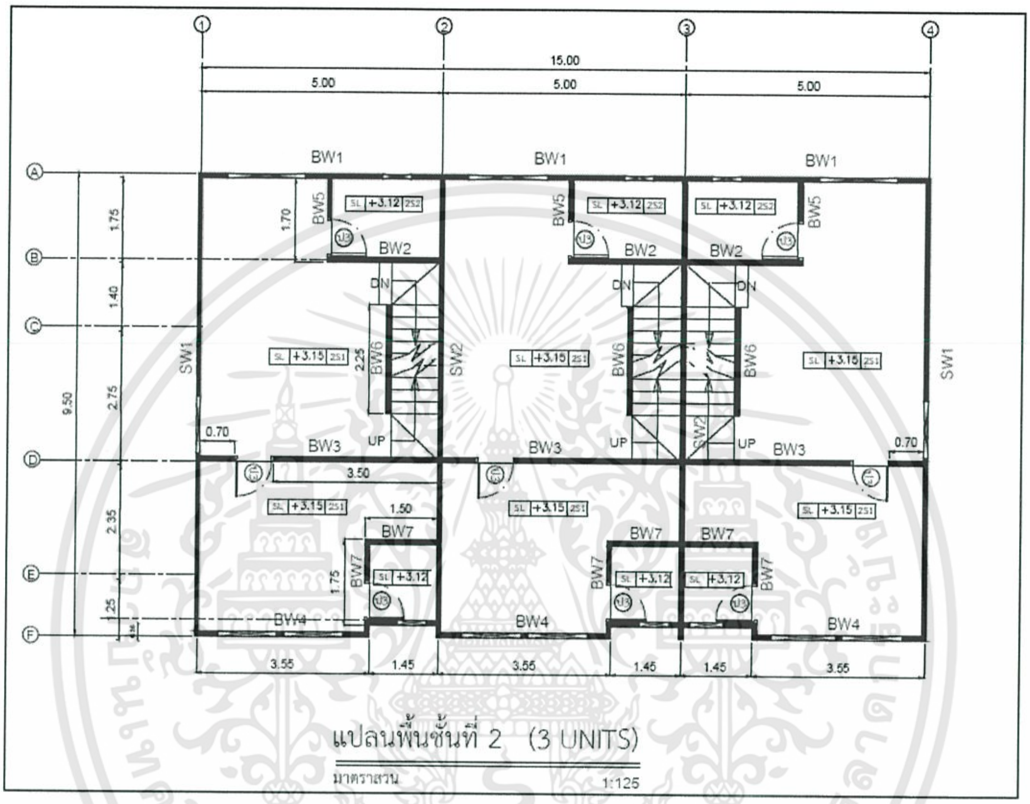
รูปที่ 3.1 แปลนฐานราก (อ้างอิง ภาคผนวก ก รูปที่ ผก 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



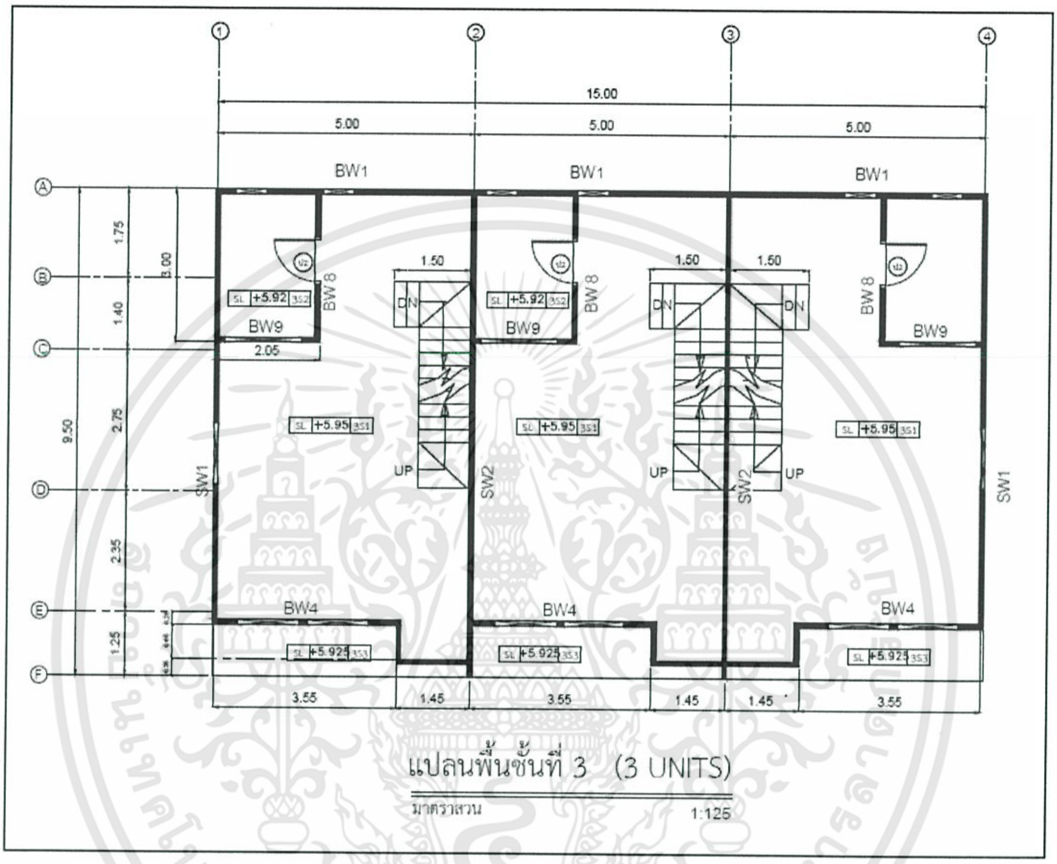
รูปที่ 3.2 แปลนพื้นชั้นที่ 1 (อ้างอิง ภาคผนวก ก รูปที่ ผก 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แปลนพื้นชั้นที่ 2 (อ้างอิง ภาคผนวก ก รูปที่ ผก 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แปลนพื้นชั้นที่ 3 (อ้างอิง ภาคผนวก ก รูปที่ ผก 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานการประมาณราคา

1. ทำการเก็บข้อมูลราคาวัสดุจากบริษัทผู้ผลิต ตัวแทนจำหน่ายหรือจากราคากลางค่าวัสดุปีนั้น เพื่อนำไปประมาณราคาต้นทุนการก่อสร้างของโครงการ โดยจะทำการประมาณโดยวิธีละเอียด

ตารางที่ 3.1 ราคาคอนกรีตผสมเสร็จ บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด (CPAC)

คอนกรีตรถใหญ่		คอนกรีตรถโม่เล็ก	
กำลังอัดคอนกรีต (กก./ตร.ซม)	ราคา (บาท/คิว)	กำลังอัดคอนกรีต (กก./ตร.ซม)	ราคา (บาท/คิว)
400	2,810.00	400	3,070.00
380	2,740.00	380	2,990.00
350	2,680.00	350	2,920.00
320	2,630.00	320	2,860.00
300	2,590.00	300	2,810.00
280	2,550.00	280	-
240	2,510.00	240	2,710.00
210	2,470.00	210	2,660.00
180	2,430.00	180	2,610.00
Lean concrete	2,260.00		

<u>หมายเหตุ</u>

- ราคาคอนกรีตผสมเสร็จรถใหญ่เป็นราคาที่ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
- ราคาคอนกรีตผสมเสร็จรถโม่เล็กเป็นราคาที่รวมภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว
- ราคาอาจมีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 3.2 ราคาวัสดุประเภทอิฐมวลเบา บริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชั่นโปรดัคส์ จำกัด(มหาชน) (Q-CON)

ขนาดอิฐมวลเบา (ซม.)	ราคา (บาท/ก้อน)	ใช้งาน (ก้อน/ตร.ม.)
20x 30x7.5	7.75	16.66
20x60x 7.5	18.75	8.33
20x60x 10	25.37	8.33
20x60 x12.5	32.84	8.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดอิฐมวลเบา (ซม.)	ราคา (บาท/ก้อน)	ใช้งาน (ก้อน/ตร.ม.)
20x60x15	38.60	8.33
20x60x17.5	44.79	8.33
20x60x 20	52.14	8.33
20x60 x25	64.42	8.33

ตารางที่ 3.3 วัสดุประเภทไม้แบบหล่อคอนกรีต

ไม้แบบทั่วไป	หน่วย	ราคา (บาท)
ไม้แบบทั่วไป	ตร.ม.	250
ไม้คร่าว ขนาด 1 ½ นิ้ว X 3 นิ้ว	ตร.ม.	250
ไม้ค้ำยันท้องแบบขนาด Ø 3 นิ้ว ยาว 3.00 - 3.50 เมตร	ต้น	28

ตารางที่ 3.4 ปูนที่ใช้ในการก่อและฉาบ ตราเสือ

ชื่อผลิตภัณฑ์ปูนซิเมนต์	ราคา (บาท/ถุง)	การใช้งาน	หมายเหตุ
ปูนเสือมอร์ตาร์ฉาบอิฐมวลเบา	104.00	ที่ความหนา 1 ซม. ฉาบได้ 3.6 ตร.ม.	ขนาดบรรจุ 50 กก./ถุง
ปูนเสือมอร์ตาร์ก่ออิฐมวลเบา	213.00	อิฐมวลเบาขนาดมาตรฐาน 7 ซม. ได้พื้นที่ประมาณ 25-30 ตร.ม.	
ปูนเสือมอร์ตาร์ ฉาบทั่วไป	146.00	ความหนา 1.5 ซม. ฉาบได้ 1.71 ตร.ม.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ราคาวัสดุประเภทเหล็กเส้น

ชื่อขนาด	น้ำหนัก (กก./เส้น)	ราคา (บาท/เส้น)
เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ SR24 (ยาวท่อนละ 10.00 เมตร) ราคาต่อเส้น		
RB6	2.22	54
RB9	4.99	117
RB12	8.88	205
เหล็กเส้นกลมผิวข้ออ้อย SD30 (ยาวท่อนละ 10.00 เมตร) ราคาต่อเส้น		
DB12	8.88	202
DB16	15.78	356
DB20	24.66	557
DB25	38.53	868
เหล็กเส้นกลมผิวข้ออ้อย SD40 (ยาวท่อนละ 10.00 เมตร) ราคาต่อเส้น		
DB12	8.88	203
DB16	15.78	359
DB20	24.66	561
DB25	38.53	875

หมายเหตุ

- ราคาวัสดุประเภทเหล็กเส้นและไม้แบบหล่อคอนกรีตเป็นราคากลาง ปี 2556

2. ทำการคำนวณตามทฤษฎีการประมาณราคาโดยสังเขป โดยอ้างอิงราคาวัสดุในข้อที่ 1 ซึ่งจะแบ่งการประมาณราคาต้นทุนการก่อสร้างเป็นอาคาร 2 ระบบการก่อสร้าง คือ

- อาคารทาวน์โฮม 3 ชั้นระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่
- อาคารทาวน์โฮม 3 ชั้นระบบเสาและคานแบบหล่อในที่

3. ทำการเปรียบเทียบราคาต้นทุนที่ได้จากการประมาณราคาของอาคาร 2 ระบบและสรุปผลการเปรียบเทียบของทั้ง 2 ระบบ

หมายเหตุ

- ราคาวัสดุอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ณ ขณะนั้น
- การประมาณราคาการก่อสร้างอาคารทั้ง 2 ระบบทางคณะวิจัยจะทำการประมาณราคาตั้งแต่ คานคอดิน-คานรับโครงหลังคา และตั้งแต่ผนังชั้นที่1-ผนังชั้นที่3 โดยส่วนที่นอกเหนือจากนี้จะถือว่ามีราคาเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานกำหนดระยะเวลาการก่อสร้าง

1. ศึกษาแบบก่อสร้างอย่างละเอียดและทำการเรียงลำดับกิจกรรมงานที่ต้องทำในการก่อสร้างอาคาร

2. ทำการกำหนดระยะเวลาที่ต้องใช้ในการก่อสร้างของแต่ละกิจกรรมโดยอาศัยอัตราผลผลิตงานก่อสร้างในประเทศไทยและระยะเวลาการถอดแบบเป็นข้อมูลประกอบในการกำหนดเวลางาน

2.1 ปัจจัยที่ส่งผลถึงการกำหนดระยะเวลาการก่อสร้าง เช่น

- ฤดูฝนการทำงานก็จะล่าช้า
- ระยะเวลาการถอดแบบหล่อคอนกรีตซึ่งจะต้องคำนึงถึงกำลังอัดพอที่จะสามารถรับน้ำหนักของ คอนกรีตและน้ำหนักอื่นๆได้
- ผู้รับเหมามีปัญหา
- คนงานขาด
- ขนาดของอาคาร

ตารางที่ 3.6 มาตรฐานการถอดแบบหล่อคอนกรีต[10]

รายการ	จำนวนวัน
แบบข้างเสา ข้างคาน ข้างกำแพง	2 วัน
แบบล่างรองรับพื้น	7 วัน
เมื่อถอดแบบล่างรองรับพื้นแล้วให้ค้ำกลางพื้นอีก	21 วัน
แบบล่างรองรับคาน	14 วัน
เมื่อถอดแบบล่างรองรับคานแล้วให้ค้ำกลางคานอีก	14 วัน
กรณียกเว้นใช้ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็วให้ถอดแบบล่างได้ที่อายุครบ	7 วัน

ตารางที่ 3.7 อัตราผลผลิตงานก่อสร้างในประเทศไทย[8]

ลำดับ	รายการ	ผลิตผล (หน่วย/แรง)
1.	**งานคอนกรีต**	
	ผสมคอนกรีตด้วยเครื่อง	2.5-3.0 ลบ.ม
	เทคอนกรีตคาน	1.5 ลบ.ม
	เทคอนกรีตเสา	1.75 ลบ.ม
2.	**งานช่างปูน**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	รายการ	ผลิตผล (หน่วย/แรง)
	ก่ออิฐบล็อก หนา 7 ซม.	6.5-8 ตร.ม.
	ฉาบปูนผนัง	8-10 ตร.ม.
	ฉาบปูนคาน	1.0-1.5 ตร.ม.
	ฉาบปูนเสา	1.2 ตร.ม.
3.	**งานช่างไม้**	
	ไม้แบบคอนกรีต	4-6 ตร.ม.
	ตั้งวงกบประตู 0.80x2.00	5 ช่อง
4.	**งานช่างเหล็ก**	
	ดัดและผูกเหล็กเสริมคอนกรีตขนาดไม่เกิน 9 มม.	60-70 กก.
	ดัดและผูกเหล็กเสริมคอนกรีตขนาดตั้งแต่ 12 มม.ขึ้นไป	100-120 กก.

หมายเหตุ

- 1 แรง=คนงาน 1คน ทำงาน 8 ชั่วโมง

2.2 การคำนวณเวลากิจกรรมการก่อสร้าง[8]
โดยใช้ข้อมูลอัตราผลผลิตงานก่อสร้างดังนี้

$$\text{เวลาของงานก่อสร้าง(วัน)} = \frac{\text{ปริมาณงานกิจกรรมก่อสร้าง(หน่วย)}}{\text{อัตราผลผลิต(หน่วย/คน — วัน)} \times \text{จำนวนช่าง(คน)}}$$

3. ทำการสร้างแผนกำหนดเวลาก่อสร้างโดยใช้ทฤษฎี Gantt chart ในการแสดงรูปแบบเวลาของการทำงานซึ่งจะแสดงให้เห็น 2 โครงการ

- อาคารทาวน์โฮม 3 ชั้นระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่
- อาคารทาวน์โฮม 3 ชั้นระบบเสาและคานแบบหล่อในที่

4. ทำการเปรียบเทียบระยะเวลาการก่อสร้างอาคารทั้ง 2 ระบบและสรุปผลการวิจัย

หมายเหตุ การกำหนดระยะเวลาในการก่อสร้างทางคณะวิจัยจะทำการกำหนดเฉพาะในส่วนที่ทำการวิจัยเปรียบเทียบเท่านั้นโดยจะกำหนดระยะเวลาการก่อสร้างของทั้ง 2 ระบบตั้งแต่ คานคอดิน-คานรับโครงหลังคา และตั้งแต่ ผนังชั้นที่1-ผนังชั้นที่3 โดยส่วนที่นอกเหนือจากนี้จะถือว่ามีเวลาในการก่อสร้างเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ข้อมูลผลการออกแบบและวิเคราะห์การเปรียบเทียบราคาและระยะเวลาของโครงสร้างระบบผนังรับแรงกับโครงสร้างระบบเสา-คาน

4.1 ผลออกแบบของระบบผนังรับแรง

ในการออกแบบโครงสร้างผนังรับแรงแบบหล่อในที่โดยวิธีกำลัง (Strength Design Method) ตามมาตรฐาน ACI หรือมาตรฐาน วสท. ได้วิเคราะห์น้ำหนักที่กระทำต่อผนังรับแรงโดยกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และถ่ายน้ำหนักทั้งหมดลงสู่ผนังรับแรง โดยทำการออกแบบทั้งผนังรับแรงภายในและผนังรับแรงภายนอกของบ้านพักอาศัย

จากการออกแบบได้ใช้ค่า f'_c = 320 ksc. และ f_y = 5500 ksc. ให้ผนังหนา 11.25 เซนติเมตร และใช้เหล็กตะแกรง (wire mesh) เป็นเหล็กเสริม ได้ผลการออกแบบอยู่ในกราฟ interaction diagram แสดงว่าที่ออกแบบมานำมาใช้ได้ และแสดงผลการออกแบบตามรูปการคำนวณที่ 4.1-4.11

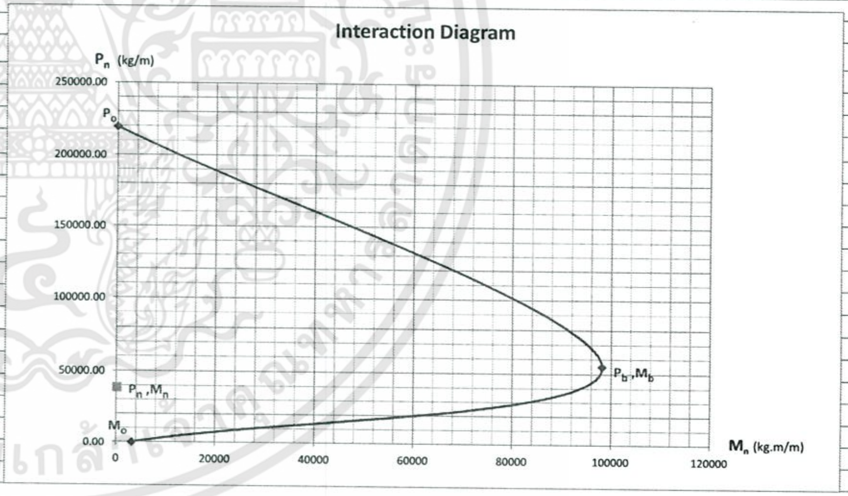
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load Bearing Wall

เบอร์ผนัง	BW1		
DATA ความสูงของผนัง (Lc) =	2.8		m.
f'c =	320		kg/cm².
fy =	5500		kg/cm².
1. เลือกความหนาของผนัง (h)			
ความหนาที่เลือกใช้	=	11.25	cm.
หมายเหตุ	h ≥ Lc/25 และ h ≥ 10 cm.		
check ความหนา		OK	
2. หาน้ำหนักบรรทุก (Pu)			
Pu=1.40 DL + 1.70 LL	=	5014.89	kg/m.
3. ตรวจสอบกำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง			
กำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง=ϕ(0.85f'cA$_1$)	=	214200	kg/m.
check bearing strength		OK	
4. หาโมเมนต์เนื่องจากแรงลมกระทำ			
แรงลม	=	50	kg/m².
โมเมนต์กระทำ Mu	=	137.20	kg.m/m.
5. หากำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (Pn)			
k	=	1	
Pn=0.55ϕf'cAg[1-(kLc/32h)^2]	=	54755.55556	kg/m.
ϕPn	=	38328.89	kg/m.
check กำลังรับน้ำหนัก		OK	
6.หากำลังต้านทานแรงดัดของผนังคอนกรีต (Mn)			
ϕMn=Mu	=	152.44	kg.m/m.
7. หาปริมาณเหล็กเสริม (As)			
Mn=Asfy[d-(Asfy)/(1.7f'cb)]			
สำหรับลวดตะแกรงเหล็กเชื่อมสำเร็จรูปที่มีขนาดไม่เกิน 16 มม.			
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวดิ่ง As = 0.0012bt	=	1.35	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.20 จำนวน	=	5	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กที่ใช้	=	1.41	cm²/m.
check As		OK	
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวราบ As = 0.002bt	=	2.25	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.125 จำนวน	=	8	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	2.26	cm²/m.
check As		OK	
8. หากำลังรับแรงเฉือน			
Vu	=	70	kg/m.
Vc = ϕ0.53(f'c)$^{1/2}$hb	=	9066.14	kg/m.
check กำลังรับแรงเฉือน		OK	

Interaction Diagram			
เหล็กที่ใช้	=	6	mm.
จำนวนเส้น	=	5	เส้น/m.
d	=	5.925	cm.
As	=	1.41	cm²/m.
fs	=	510.20	kg/cm².
β1	=	0.82	
c	=	3.56	cm.
a=β1c	=	2.92	cm.
Cc=0.85f'cba	=	79428.86	kg/m.
Ts=Asfs	=	721.28	kg/m.
ϕPo=0.85f'cAg+fyAst	=	219642.81	kg/m.
ϕPb=Cc-Ts	=	55095.30	kg/m.
ϕP	=	0	kg/m.
ϕPn	=	38328.89	kg/m.

ϕM	=	0	kg-m./m
ϕMb=Cc(0.5h-0.5a)+Ts(d-0.5h)	=	98166.25	kg-m./m
ϕMo=Cc(d-0.5a)	=	3191.78	kg-m./m
ϕMn	=	152.44	kg-m./m



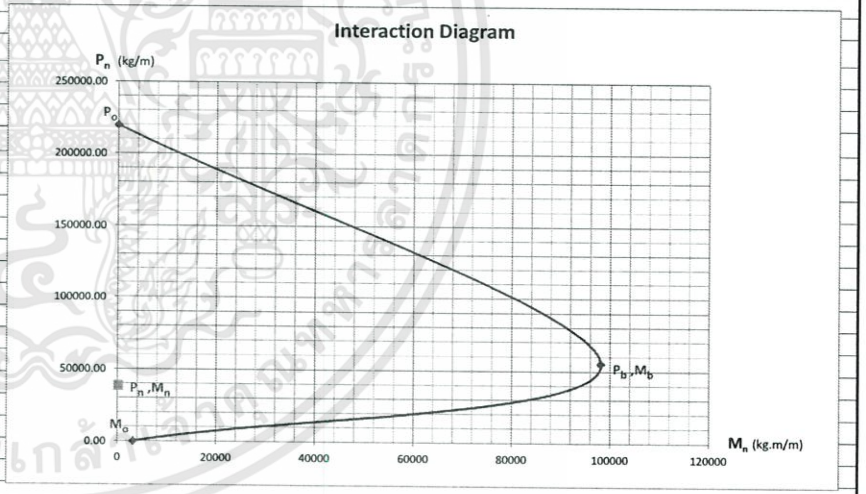
รูปที่ 4.1 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW1

Load Bearing Wall

เบอร์ผนัง	BW2		
DATA ความสูงของผนัง (Lc)=	2.8		m.
f'c =	320		kg/cm².
fy =	5500		kg/cm².
1. เลือกความหนาของผนัง (h)			
ความหนาที่เลือกใช้	=	11.25	cm.
หมายเหตุ	h ≥ Lc/25 และ h ≥ 10 cm.		
check ความหนา		OK	
2. หาน้ำหนักบรรทุก (Pu)			
Pu=1.40 DL + 1.70 LL	=	5306.50	kg/m.
3. ตรวจสอบกำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง			
กำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง=$\phi(0.85f'cA_1)$	=	214200	kg/m.
check bearing strength		OK	
4. หาโมเมนต์เนื่องจากแรงลมกระทำ			
แรงลม	=	50	kg/m².
โมเมนต์กระทำ Mu	=	137.20	kg.m/m.
5. หากำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (Pn)			
k	=	1	
$Pn=0.55\phi f'cAg[1-(kLc/32h)^2]$	=	54755.55556	kg/m.
ϕPn	=	38328.89	kg/m.
check กำลังรับน้ำหนัก		OK	
6.หากำลังต้านทานแรงดัดของผนังคอนกรีต (Mn)			
ϕMn=Mu	=	152.44	kg.m/m.
7. หาปริมาณเหล็กเสริม (As)			
Mn=Asfy[d-(Asfy)/(1.7f'cb)]			
สำหรับลวดตะแกรงเหล็กเชื่อมสำเร็จรูปที่มีขนาดไม่เกิน 16 มม.			
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวดิ่ง As = 0.0012bt	=	1.35	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.20 จำนวน	=	5	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	1.41	cm²/m.
check As		OK	
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวราบ As = 0.002bt	=	2.25	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.125 จำนวน	=	8	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	2.26	cm²/m.
check As		OK	
8. หากำลังรับแรงเฉือน			
Vu	=	70	kg/m.
$Vc = \phi 0.53(f'c)^{1/2}hb$	=	9066.14	kg/m.
check กำลังรับแรงเฉือน		OK	

Interaction Diagram

เหล็กที่ใช้	=	6	mm.				
จำนวนเส้น	=	5	เส้น/m.				
d	=	5.925	cm.				
As	=	1.41	cm²/m.				
fs	=	510.20	kg/cm².				
β1	=	0.82					
c	=	3.56	cm.				
a=β1c	=	2.92	cm.				
Cc=0.85f'cba	=	79428.86	kg/m.				
Ts=Asfs	=	721.28	kg/m.	ϕM	=	0	kg-m./m
ϕPo=0.85f'cAg+fyAst	=	219642.81	kg/m.	ϕMb=Cc(0.5h-0.5a)+Ts(d-0.5h)	=	98166.25	kg-m./m
ϕPb=Cc-Ts	=	55095.30	kg/m.	ϕMo=Cc(d-0.5a)	=	3191.78	kg-m./m
ϕP	=	0	kg/m.	ϕMn	=	152.44	kg-m./m
ϕPn	=	38328.89	kg/m.				



รูปที่ 4.2 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW2

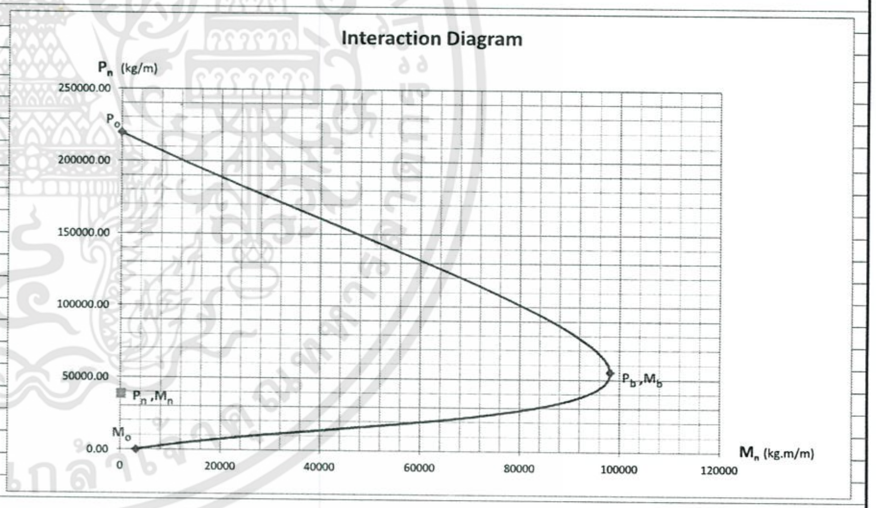
Load Bearing Wall

เบอร์ผนัง	BW3			
DATA ความสูงของผนัง (Lc) =	2.8		m.	
f'c =	320		kg/cm².	
fy =	5500		kg/cm².	
1. เลือกความหนาของผนัง (h)				
ความหนาที่เลือกใช้	=	11.25	cm.	
<u>หมายเหตุ</u>	h ≥ Lc/25 และ h ≥ 10 cm.			
check ความหนา		OK		
2. หาน้ำหนักบรรทุก (Pu)				
Pu=1.40 DL + 1.70 LL	=	6805.60	kg/m.	
3. ตรวจสอบกำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง				
กำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง=$\phi(0.85f'cA_1)$	=	214200	kg/m.	
check bearing strength		OK		
4. หาโมเมนต์เนื่องจากแรงลมกระทำ				
แรงลม	=	50	kg/m².	
โมเมนต์กระทำ Mu	=	137.20	kg.m/m.	
5. หากำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (Pn)				
k	=	1		
$Pn=0.55\phi f'cAg[1-(kLc/32h)^2]$	=	54755.55556	kg/m.	
ϕPn	=	38328.89	kg/m.	
check กำลังรับน้ำหนัก		OK		
6.หากำลังต้านทานแรงดัดของผนังคอนกรีต (Mn)				
ϕMn=Mu	=	152.44	kg.m/m.	
7. หาปริมาณเหล็กเสริม (As)				
Mn=Asfy[d-(Asfy)/(1.7f'cb)]				
สำหรับลวดตะแกรงเหล็กเชื่อมสำเร็จรูปที่มีขนาดไม่เกิน 16 มม.				
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวดิ่ง As = 0.0012bt	=	1.35	cm²/m.	
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.	
6 mm. @ 0.20 จำนวน	=	5	เส้น/m.	
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	1.41	cm²/m.	
check As		OK		
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวราบ As = 0.002bt	=	2.25	cm²/m.	
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.	
6 mm. @ 0.125 จำนวน	=	8	เส้น/m.	
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	2.26	cm²/m.	
check As		OK		
8. หากำลังรับแรงเฉือน				
Vu	=	70	kg/m.	
$Vc = \phi 0.53(f'c)^{1/2}hb$	=	9066.14	kg/m.	
check กำลังรับแรงเฉือน		OK		

Interaction Diagram

เหล็กที่ใช้	=	6	mm.
จำนวนเส้น	=	5	เส้น/m.
d	=	5.925	cm.
As	=	1.41	cm²/m.
fs	=	510.20	kg/cm².
β1	=	0.82	
c	=	3.56	cm.
a=β1c	=	2.92	cm.
Cc=0.85f'cba	=	79428.86	kg/m.
Ts=Asfs	=	721.28	kg/m.
ϕPo=0.85f'cAg+fyAst	=	219642.81	kg/m.
ϕPb=Cc-Ts	=	55095.30	kg/m.
ϕP	=	0	kg/m.
ϕPn	=	38328.89	kg/m.

ϕM	=	0	kg-m./m
ϕMb=Cc(0.5h-0.5a)+Ts(d-0.5h)	=	98166.25	kg-m./m
ϕMo=Cc(d-0.5a)	=	3191.78	kg-m./m
ϕMn	=	152.44	kg-m./m

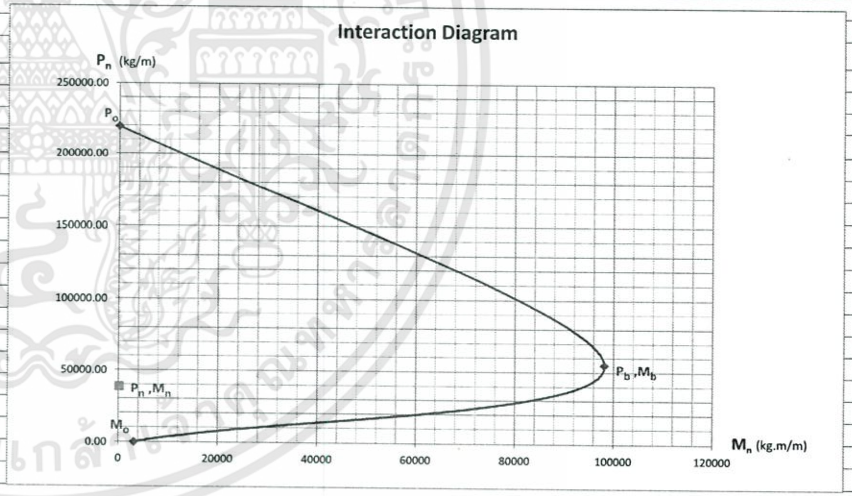


รูปที่ 4.3 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW3

Load Bearing Wall

เบอร์ผนัง	BW4		
DATA ความสูงของผนัง (Lc) =	2.8		m.
f'c =	320		kg/cm².
fy =	5500		kg/cm².
1. เลือกความหนาของผนัง (h)			
ความหนาที่เลือกใช้	=	11.25	cm.
หมายเหตุ	h ≥ Lc/25 และ h ≥ 10 cm.		
check ความหนา		OK	
2. หาน้ำหนักบรรทุก (Pu)			
Pu=1.40 DL + 1.70 LL	=	5014.89	kg/m.
3. ตรวจสอบกำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง			
กำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง=$\phi(0.85f'cA_1)$	=	214200	kg/m.
check bearing strength		OK	
4. หาโมเมนต์เนื่องจากแรงลมกระทำ			
แรงลม	=	50	kg/m².
โมเมนต์กระทำ Mu	=	137.20	kg.m/m.
5. หากำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (Pn)			
k	=	1	
$Pn=0.55\phi f'cAg[1-(kLc/32h)^2]$	=	54755.55556	kg/m.
ϕPn	=	38328.89	kg/m.
check กำลังรับน้ำหนัก		OK	
6.หากำลังต้านทานแรงดัดของผนังคอนกรีต (Mn)			
$\phi Mn=Mu$	=	152.44	kg.m/m.
7. หาปริมาณเหล็กเสริม (As)			
Mn=Asfy[d-(Asfy)/(1.7f'cb)]			
สำหรับลวดตะแกรงเหล็กเชื่อมสำเร็จรูปที่มีขนาดไม่เกิน 16 มม.			
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวดิ่ง As = 0.0012bt	=	1.35	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.20 จำนวน	=	5	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กที่ใช้	=	1.41	cm²/m.
check As		OK	
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวราบ As = 0.002bt	=	2.25	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.125 จำนวน	=	8	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	2.26	cm²/m.
check As		OK	
8. หากำลังรับแรงเฉือน			
Vu	=	70	kg/m.
$Vc = \phi 0.53(f'c)^{1/2}hb$	=	9066.14	kg/m.
check กำลังรับแรงเฉือน		OK	

Interaction Diagram							
เหล็กที่ใช้	=	6	mm.				
จำนวนเส้น	=	5	เส้น/m.				
d	=	5.925	cm.				
As	=	1.41	cm²/m.				
fs	=	510.20	kg/cm².				
β1	=	0.82					
c	=	3.56	cm.				
a=β1c	=	2.92	cm.				
Cc=0.85f'cba	=	79428.86	kg/m.				
Ts=Asfs	=	721.28	kg/m.	ϕM	=	0	kg-m./m
$\phi Po=0.85f'cAg+fyAst$	=	219642.81	kg/m.	$\phi Mb=Cc(0.5h-0.5a)+Ts(d-0.5h)$	=	98166.25	kg-m./m
$\phi Pb=Cc-Ts$	=	55095.30	kg/m.	$\phi Mo=Cc(d-0.5a)$	=	3191.78	kg-m./m
ϕP	=	0	kg/m.	ϕMn	=	152.44	kg-m./m
ϕPn	=	38328.89	kg/m.				

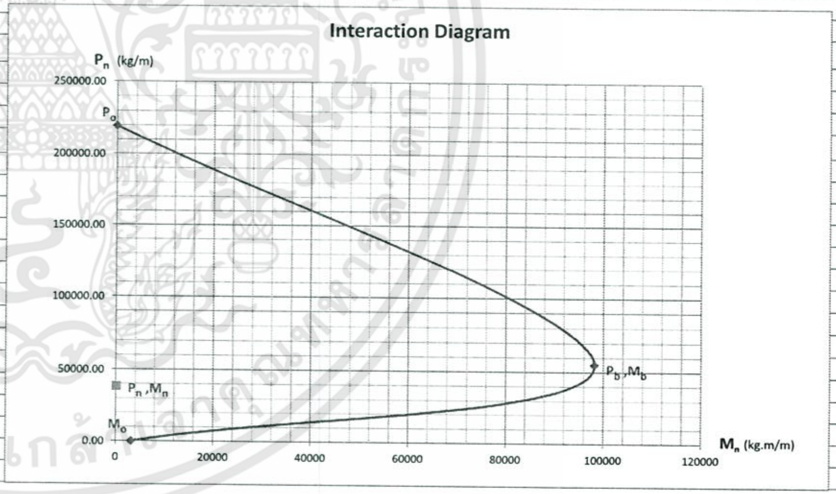


รูปที่ 4.4 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW4

Load Bearing Wall

เบอร์ผนัง	BW5		
DATA ความสูงของผนัง (Lc) =	2.8	m.	
f'c =	320	kg/cm².	
fy =	5500	kg/cm².	
1. เลือกความหนาของผนัง (h)			
ความหนาที่เลือกใช้	=	11.25	cm.
หมายเหตุ	h ≥ Lc/25 และ h ≥ 10 cm.		
check ความหนา		OK	
2. หาน้ำหนักบรรทุก (Pu)			
Pu=1.40 DL + 1.70 LL	=	1900.00	kg/m.
3. ตรวจสอบกำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง			
กำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง=ϕ(0.85f'cA$_1$)	=	214200	kg/m.
check bearing strength		OK	
4. หาโมเมนต์เนื่องจากแรงลมกระทำ			
แรงลม	=	50	kg/m².
โมเมนต์กระทำ Mu	=	137.20	kg.m/m.
5. หากำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (Pn)			
k	=	1	
Pn=0.55ϕf'cAg[1-(kLc/32h)^2]	=	54755.55556	kg/m.
ϕPn	=	38328.89	kg/m.
check กำลังรับน้ำหนัก		OK	
6.หากำลังต้านทานแรงดัดของผนังคอนกรีต (Mn)			
ϕMn=Mu	=	152.44	kg.m/m.
7. หาปริมาณเหล็กเสริม (As)			
Mn=Asfy[d-(Asfy)/(1.7f'cb)]			
สำหรับลวดตะแกรงเหล็กเชื่อมสำเร็จรูปที่มีขนาดไม่เกิน 16 มม.			
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวดิ่ง As = 0.0012bt	=	1.35	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.20 จำนวน	=	5	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	1.41	cm²/m.
check As		OK	
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวราบ As = 0.002bt	=	2.25	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.125 จำนวน	=	8	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	2.26	cm²/m.
check As		OK	
8. หากำลังรับแรงเฉือน			
Vu	=	70	kg/m.
Vc = ϕ0.53(f'c)$^{1/2}$hb	=	9066.14	kg/m.
check กำลังรับแรงเฉือน		OK	

Interaction Diagram							
เหล็กที่ใช้	=	6	mm.				
จำนวนเส้น	=	5	เส้น/m.				
d	=	5.925	cm.				
As	=	1.41	cm²/m.				
fs	=	510.20	kg/cm².				
β1	=	0.82					
c	=	3.56	cm.				
a=β1c	=	2.92	cm.				
Cc=0.85f'cba	=	79428.86	kg/m.				
Ts=Asfs	=	721.28	kg/m.	ϕM	=	0	kg-m./m
ϕPo=0.85f'cAg+fyAst	=	219642.81	kg/m.	ϕMb=Cc(0.5h-0.5a)+Ts(d-0.5h)	=	98166.25	kg-m./m
ϕPb=Cc-Ts	=	55095.30	kg/m.	ϕMo=Cc(d-0.5a)	=	3191.78	kg-m./m
ϕP	=	0	kg/m.	ϕMn	=	152.44	kg-m./m
ϕPn	=	38328.89	kg/m.				



รูปที่ 4.5 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW5

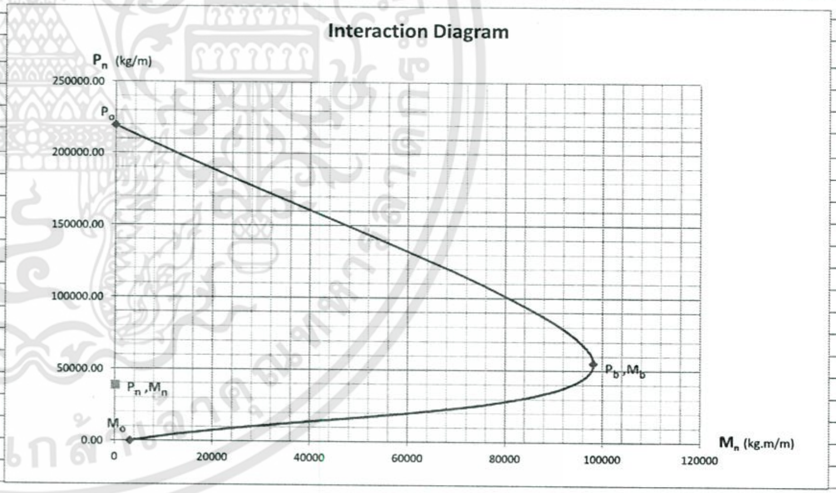
Load Bearing Wall

เบอร์ผนัง	BW6		
DATA ความสูงของผนัง (Lc) =	2.8	m.	
f'c =	320	kg/cm².	
fy =	5500	kg/cm².	
1. เลือกความหนาของผนัง (h)			
ความหนาที่เลือกใช้	=	11.25	cm.
หมายเหตุ	h ≥ Lc/25 และ h ≥ 10 cm.		
check ความหนา		OK	
2. หาน้ำหนักบรรทุก (Pu)			
Pu=1.40 DL + 1.70 LL	=	2100.00	kg/m.
3. ตรวจสอบกำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง			
กำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง=ϕ(0.85f'cA$_1$)	=	214200	kg/m.
check bearing strength		OK	
4. หาโมเมนต์เนื่องจากแรงลมกระทำ			
แรงลม	=	50	kg/m².
โมเมนต์กระทำ Mu	=	37.20	kg.m/m.
5. หากำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (Pn)			
k	=	1	
Pn=0.55ϕf'cAg[1-(kLc/32h)^2]	=	54755.55556	kg/m.
ϕPn	=	38328.89	kg/m.
check กำลังรับน้ำหนัก		OK	
6.หากำลังต้านทานแรงดัดของผนังคอนกรีต (Mn)			
ϕMn=Mu	=	152.44	kg.m/m.
7. หาปริมาณเหล็กเสริม (As)			
Mn=Asfy[d-(Asfy)/(1.7f'cb)]			
สำหรับลวดตะแกรงเหล็กเชื่อมสำเร็จรูปที่มีขนาดไม่เกิน 16 มม.			
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวดิ่ง As = 0.0012bt	=	1.35	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.20 จำนวน	=	5	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	1.41	cm²/m.
check As		OK	
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวราบ As = 0.002bt	=	2.25	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.125 จำนวน	=	8	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	2.26	cm²/m.
check As		OK	
8. หากำลังรับแรงเฉือน			
Vu	=	70	kg/m.
Vc = ϕ0.53(f'c)$^{1/2}$hb	=	9066.14	kg/m.
check กำลังรับแรงเฉือน		OK	

Interaction Diagram

เหล็กที่ใช้	=	6	mm.
จำนวนเส้น	=	5	เส้น/m.
d	=	5.925	cm.
As	=	1.41	cm²/m.
fs	=	510.20	kg/cm².
β1	=	0.82	
c	=	3.56	cm.
a=β1c	=	2.92	cm.
Cc=0.85f'cba	=	79428.86	kg/m.
Ts=Asfs	=	721.28	kg/m.
ϕPo=0.85f'cAg+fyAst	=	219642.81	kg/m.
ϕPb=Cc-Ts	=	55095.30	kg/m.
ϕP	=	0	kg/m.
ϕPn	=	38328.89	kg/m.

ϕM	=	0	kg-m./m
ϕMb=Cc(0.5h-0.5a)+Ts(d-0.5h)	=	98166.25	kg-m./m
ϕMo=Cc(d-0.5a)	=	3191.78	kg-m./m
ϕMn	=	152.44	kg-m./m

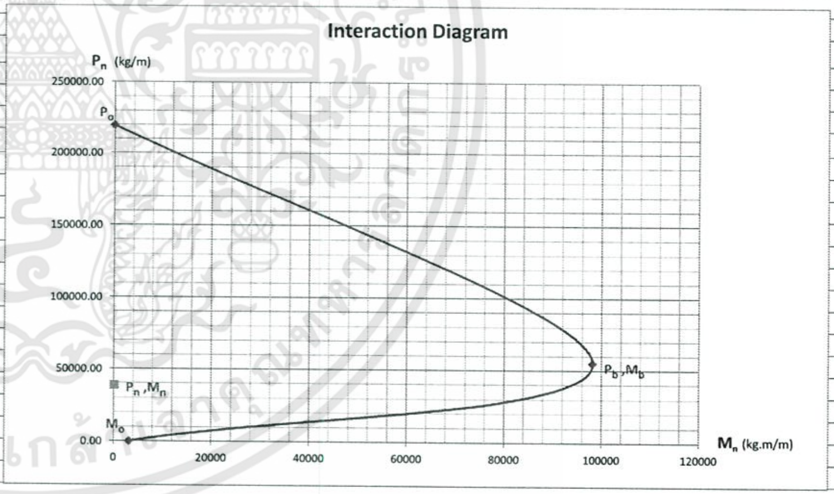


รูปที่ 4.6 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW6

Load Bearing Wall

เบอร์ผนัง	BW7			
DATA	ความสูงของผนัง (Lc) =	2.8	m.	
	f'c =	320	kg/cm².	
	fy =	5500	kg/cm².	
1. เลือกความหนาของผนัง (h)				
ความหนาที่เลือกใช้		=	11.25	cm.
หมายเหตุ	h ≥ Lc/25 และ h ≥ 10 cm.			
check ความหนา			OK	
2. หาน้ำหนักบรรทุก (Pu)				
Pu=1.40 DL + 1.70 LL		=	2519.00	kg/m.
3. ตรวจสอบกำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง				
กำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง=ϕ(0.85f'cA$_1$)		=	214200	kg/m.
check bearing strength			OK	
4. หาโมเมนต์เนื่องจากแรงลมกระทำ				
แรงลม		=	50	kg/m².
โมเมนต์กระทำ Mu		=	137.20	kg.m/m.
5. หากำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (Pn)				
k		=	1	
Pn=0.55ϕf'cAg[1-(kLc/32h)^2]		=	54755.55556	kg/m.
ϕPn		=	38328.89	kg/m.
check กำลังรับน้ำหนัก			OK	
6.หากำลังต้านทานแรงดัดของผนังคอนกรีต (Mn)				
ϕMn=Mu		=	152.44	kg.m/m.
7. หาปริมาณเหล็กเสริม (As)				
Mn=Asfy[d-(Asfy)/(1.7f'cb)]				
สำหรับลวดตะแกรงเหล็กเชื่อมสำเร็จรูปที่มีขนาดไม่เกิน 16 มม.				
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวดิ่ง As = 0.0012bt		=	1.35	cm²/m.
Wire Mesh	ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.20	จำนวน	=	5	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้		=	1.41	cm²/m.
check As			OK	
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวราบ As = 0.002bt		=	2.25	cm²/m.
Wire Mesh	ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.125	จำนวน	=	8	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้		=	2.26	cm²/m.
check As			OK	
8. หากำลังรับแรงเฉือน				
Vu		=	70	kg/m.
Vc = ϕ0.53(f'c)$^{1/2}$hb		=	9066.14	kg/m.
check กำลังรับแรงเฉือน			OK	

Interaction Diagram							
เหล็กที่ใช้	=	6	mm.				
จำนวนเส้น	=	5	เส้น/m.				
d	=	5.925	cm.				
As	=	1.41	cm²/m.				
fs	=	510.20	kg/cm².				
β1	=	0.82					
c	=	3.56	cm.				
a=β1c	=	2.92	cm.				
Cc=0.85f'cba	=	79428.86	kg/m.				
Ts=Asfs	=	721.28	kg/m.	ϕM	=	0	kg-m./m
ϕPo=0.85f'cAg+fyAst	=	219642.81	kg/m.	ϕMb=Cc(0.5h-0.5a)+Ts(d-0.5h)	=	98166.25	kg-m./m
ϕPb=Cc-Ts	=	55095.30	kg/m.	ϕMo=Cc(d-0.5a)	=	3191.78	kg-m./m
ϕP	=	0	kg/m.	ϕMn	=	152.44	kg-m./m
ϕPn	=	38328.89	kg/m.				



รูปที่ 4.7 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW7

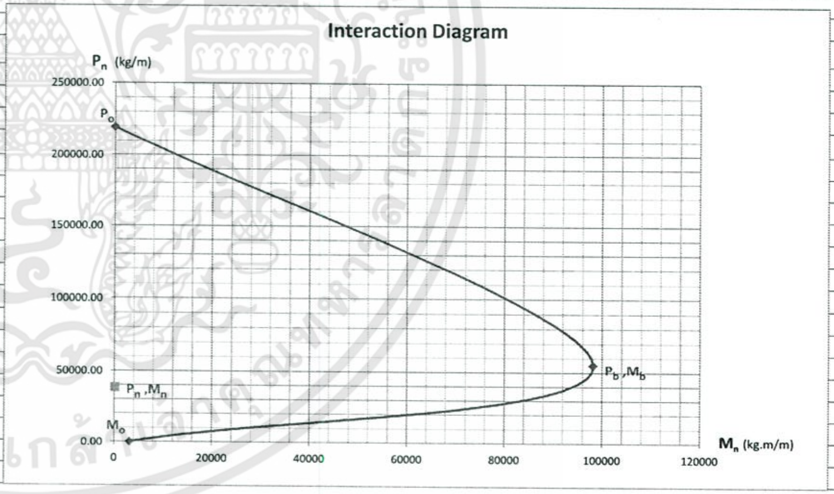
Load Bearing Wall

เบอร์ผนัง	BW8		
DATA ความสูงของผนัง (Lc) =	2.8		m.
f'c =	320		kg/cm².
fy =	5500		kg/cm².
1. เลือกความหนาของผนัง (h)			
ความหนาที่เลือกใช้	=	11.25	cm.
หมายเหตุ	h ≥ Lc/25 และ h ≥ 10 cm.		
check ความหนา		OK	
2. หาน้ำหนักบรรทุก (Pu)			
Pu=1.40 DL + 1.70 LL	=	756.00	kg/m.
3. ตรวจสอบกำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง			
กำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง=ϕ(0.85f'cA$_1$)	=	214200	kg/m.
check bearing strength		OK	
4. หาโมเมนต์เนื่องจากแรงลมกระทำ			
แรงลม	=	50	kg/m².
โมเมนต์กระทำ Mu	=	137.20	kg.m/m.
5. หากำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (Pn)			
k	=	1	
Pn=0.55ϕf'cAg[1-(kLc/32h)^2]	=	54755.55556	kg/m.
ϕPn	=	38328.89	kg/m.
check กำลังรับน้ำหนัก		OK	
6.หากำลังต้านทานแรงดัดของผนังคอนกรีต (Mn)			
ϕMn=Mu	=	152.44	kg.m/m.
7. หาปริมาณเหล็กเสริม (As)			
Mn=Asfy[d-(Asfy)/(1.7f'cb)]			
สำหรับลวดตะแกรงเหล็กเชื่อมสำเร็จรูปที่มีขนาดไม่เกิน 15 มม.			
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวดิ่ง As = 0.0012bt	=	1.35	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.20 จำนวน	=	5	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	1.41	cm²/m.
check As		OK	
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวราบ As = 0.002bt	=	2.25	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.125 จำนวน	=	8	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	2.26	cm²/m.
check As		OK	
8. หากำลังรับแรงเฉือน			
Vu	=	70	kg/m.
Vc = ϕ0.53(f'c)$^{1/2}$hb	=	9066.14	kg/m.
check กำลังรับแรงเฉือน		OK	

Interaction Diagram

เหล็กที่ใช้	=	6	mm.
จำนวนเส้น	=	5	เส้น/m.
d	=	5.925	cm.
As	=	1.41	cm²/m.
fs	=	510.20	kg/cm².
β1	=	0.82	
c	=	3.56	cm.
a=β1c	=	2.92	cm.
Cc=0.85f'cba	=	79428.86	kg/m.
Ts=Asfs	=	721.28	kg/m.
ϕPo=0.85f'cAg+fyAst	=	219642.81	kg/m.
ϕPb=Cc-Ts	=	55095.30	kg/m.
ϕP	=	0	kg/m.
ϕPn	=	38328.89	kg/m.

ϕM	=	0	kg-m./m
ϕMb=Cc(0.5h-0.5a)+Ts(d-0.5h)	=	98166.25	kg-m./m
ϕMo=Cc(d-0.5a)	=	3191.78	kg-m./m
ϕMn	=	152.44	kg-m./m

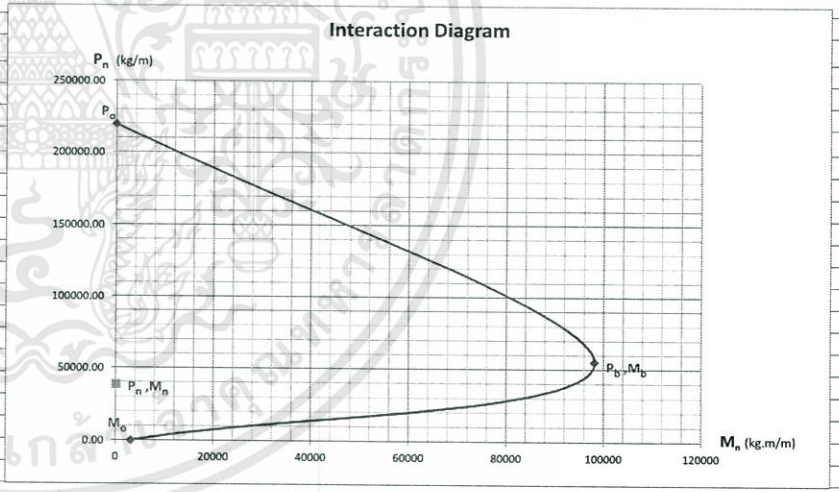


รูปที่ 4.8 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW8

Load Bearing Wall

เบอร์ผนัง	BW9			
DATA	ความสูงของผนัง (Lc) =	2.8	m.	
	f'c =	320	kg/cm².	
	fy =	5500	kg/cm².	
1. เลือกความหนาของผนัง (h)				
ความหนาที่เลือกใช้	=	11.25	cm.	
<u>หมายเหตุ</u>	h ≥ Lc/25 และ h ≥ 10 cm.			
check ความหนา		OK		
2. หาน้ำหนักบรรทุก (Pu)				
Pu=1.40 DL + 1.70 LL	=	756.00	kg/m.	
3. ตรวจสอบกำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง				
กำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง=ϕ(0.85f'cA₁)	=	214200	kg/m.	
check bearing strength		OK		
4. หาโมเมนต์เนื่องจากแรงลมกระทำ				
แรงลม	=	50	kg/m².	
โมเมนต์กระทำ Mu	=	137.20	kg.m/m.	
5. หากำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (Pn)				
k	=	1		
Pn=0.55ϕf'cAg[1-(kLc/32h)²]	=	54755.55556	kg/m.	
ϕPn	=	38328.89	kg/m.	
check กำลังรับน้ำหนัก		OK		
6.หากำลังต้านทานแรงดัดของผนังคอนกรีต (Mn)				
ϕMn=Mu	=	152.44	kg.m/m.	
7. หาปริมาณเหล็กเสริม (As)				
Mn=Asfy[d-(Asfy)/(1.7f'cb)]				
สำหรับลวดตะแกรงเหล็กเชื่อมสำเร็จรูปที่มีขนาดไม่เกิน 16 มม.				
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวดิ่ง As = 0.0012bt	=	1.35	cm²/m.	
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.	
6 mm. @ 0.20 จำนวน	=	5	เส้น/m.	
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	1.41	cm²/m.	
check As		OK		
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวราบ As = 0.002bt	=	2.25	cm²/m.	
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.	
6 mm. @ 0.125 จำนวน	=	8	เส้น/m.	
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	2.26	cm²/m.	
check As		OK		
8. หากำลังรับแรงเฉือน				
Vu	=	70	kg/m.	
Vc = ϕ0.53(f'c)^1/2 hb	=	9066.14	kg/m.	
check กำลังรับแรงเฉือน		OK		

Interaction Diagram							
เหล็กที่ใช้	=	6	mm.				
จำนวนเส้น	=	5	เส้น/m.				
d	=	5.925	cm.				
As	=	1.41	cm²/m.				
fs	=	510.20	kg/cm².				
β1	=	0.82					
c	=	3.56	cm.				
a=β1c	=	2.92	cm.				
Cc=0.85f'cba	=	79428.86	kg/m.				
Ts=Asfs	=	721.28	kg/m.	ϕM	=	0	kg-m./m
ϕPo=0.85f'cAg+fyAst	=	219642.81	kg/m.	ϕMb=Cc(0.5h-0.5a)+Ts(d-0.5h)	=	98166.25	kg-m./m
ϕPb=Cc-Ts	=	55095.30	kg/m.	ϕMo=Cc(d-0.5a)	=	3191.78	kg-m./m
ϕP	=	0	kg/m.	ϕMn	=	152.44	kg-m./m
ϕPn	=	38328.89	kg/m.				

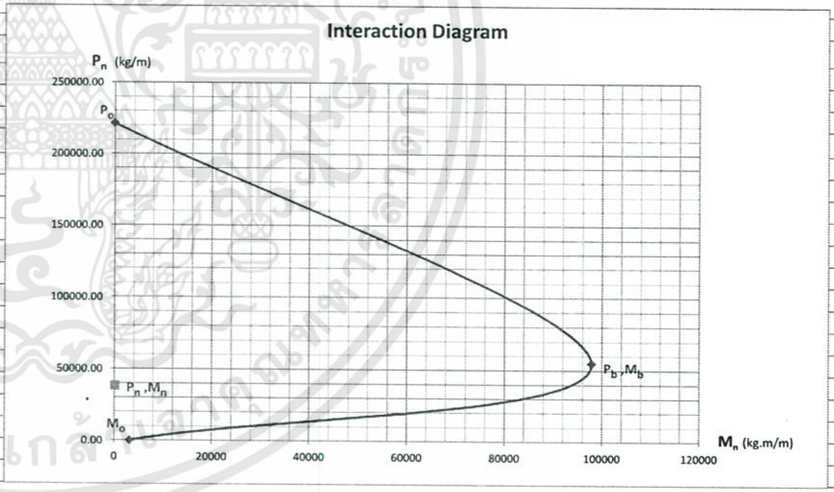


รูปที่ 4.9 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง BW9

Load Bearing Wall

เบอร์ผนัง		SW1		
DATA	ความสูงของผนัง (Lc) =	2.8	m.	
	f'c =	320	kg/cm².	
	fy =	5500	kg/cm².	
1. เลือกความหนาของผนัง (h)				
ความหนาที่เลือกใช้	=	11.25	cm.	
หมายเหตุ	h ≥ Lc/25 และ h ≥ 10 cm.			
check ความหนา		OK		
2. หาน้ำหนักบรรทุก (Pu)				
Pu=1.40 DL + 1.70 LL	=	8037.58	kg/m.	
3. ตรวจสอบกำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง				
กำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง=ϕ(0.85f'cA$_1$)	=	214200	kg/m.	
check bearing strength		OK		
4. หาโมเมนต์เนื่องจากแรงลมกระทำ				
แรงลม	=	50	kg/m².	
โมเมนต์กระทำ Mu	=	137.20	kg.m/m.	
5. หากำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (Pn)				
k	=	1		
Pn=0.55ϕf'cAg[1-(kLc/32h)^2]	=	54755.55556	kg/m.	
ϕPn	=	38328.89	kg/m.	
check กำลังรับน้ำหนัก		OK		
6.หากำลังต้านทานแรงดัดของผนังคอนกรีต (Mn)				
ϕMn=Mu	=	152.44	kg.m/m.	
7. หาปริมาณเหล็กเสริม (As)				
Mn=Asfy[d-(Asfy)/(1.7f'cb)]				
สำหรับลวดตะแกรงเหล็กเชื่อมสำเร็จรูปที่มีขนาดไม่เกิน 15 มม.				
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวดิ่ง As = 0.0012bt	=	1.35	cm²/m.	
Wire Mesh	ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.15	จำนวน	=	6.667	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	1.89	cm²/m.	
check As		OK		
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวราบ As = 0.002bt	=	2.25	cm²/m.	
Wire Mesh	ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.125	จำนวน	=	8	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	2.26	cm²/m.	
check As		OK		
8. หากำลังรับแรงเฉือน				
Vu	=	70	kg/m.	
Vc = ϕ0.53(f'c)$^{1/2}$hb	=	9066.14	kg/m.	
check กำลังรับแรงเฉือน		OK		

Interaction Diagram							
เหล็กที่ใช้	=	6	mm.				
จำนวนเส้น	=	6.667	เส้น/m.				
d	=	5.925	cm.				
As	=	1.89	cm²/m.				
fs	=	510.20	kg/cm².				
β1	=	0.82					
c	=	3.56	cm.				
a=β1c	=	2.92	cm.				
Cc=0.85f'cba	=	79428.86	kg/m.				
Ts=Asfs	=	961.76	kg/m.	ϕM	=	0	kg-m./m
ϕPo=0.85f'cAg+fyAst	=	221457.44	kg/m.	ϕMb=Cc(0.5h-0.5a)+Ts(d-0.5h)	=	97876.07	kg-m./m
ϕPb=Cc-Ts	=	54926.97	kg/m.	ϕMo=Cc(d-0.5a)	=	3191.78	kg-m./m
ϕP	=	0	kg/m.	ϕMn	=	152.44	kg-m./m
ϕPn	=	38328.89	kg/m.				



รูปที่ 4.10 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง SW1

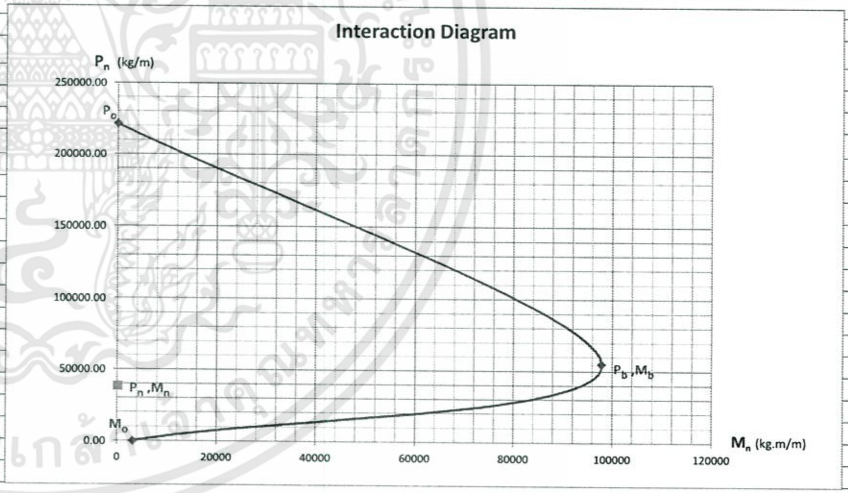
Load Bearing Wall

เบอร์ผนัง	SW2		
DATA ความสูงของผนัง (Lc)	2.8	m.	
f'c	320	kg/cm².	
fy	5500	kg/cm².	
1. เลือกความหนาของผนัง (h)			
ความหนาที่เลือกใช้	=	11.25	cm.
หมายเหตุ	h ≥ Lc/25 และ h ≥ 10 cm.		
check ความหนา		OK	
2. หาน้ำหนักบรรทุก (Pu)			
Pu=1.40 DL + 1.70 LL	=	9460.04	kg/m.
3. ตรวจสอบกำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง			
กำลังรับแรงกดที่ด้านบนของผนัง=$\phi(0.85f'cA_1)$	=	214200	kg/m.
check bearing strength		OK	
4. หาโมเมนต์เนื่องจากแรงลมกระทำ			
แรงลม	=	50	kg/m².
โมเมนต์กระทำ Mu	=	137.20	kg.m/m.
5. หากำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (Pn)			
k	=	1	
$Pn=0.55\phi f'cAg[1-(kLc/32h)^2]$	=	54755.55556	kg/m.
ϕPn	=	38328.89	kg/m.
check กำลังรับน้ำหนัก		OK	
6.หากำลังต้านทานแรงดัดของผนังคอนกรีต (Mn)			
$\phi Mn=Mu$	=	152.44	kg.m/m.
7. หาปริมาณเหล็กเสริม (As)			
Mn=Asfy[d-(Asfy)/(1.7f'cb)]			
สำหรับลวดตะแกรงเหล็กเชื่อมสำเร็จรูปที่มีขนาดไม่เกิน 16 มม.			
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวดิ่ง As = 0.0012bt	=	1.35	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.15 จำนวน	=	6.667	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	1.89	cm²/m.
check As		OK	
ปริมาณเหล็กเสริมในแนวราบ As = 0.002bt	=	2.25	cm²/m.
Wire Mesh ขนาด	=	6	mm.
6 mm. @ 0.125 จำนวน	=	8	เส้น/m.
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	=	2.26	cm²/m.
check As		OK	
8. หากำลังรับแรงเฉือน			
Vu	=	70	kg/m.
$Vc = \phi 0.53(f'c)^{1/2}hb$	=	9066.14	kg/m.
check กำลังรับแรงเฉือน		OK	

Interaction Diagram

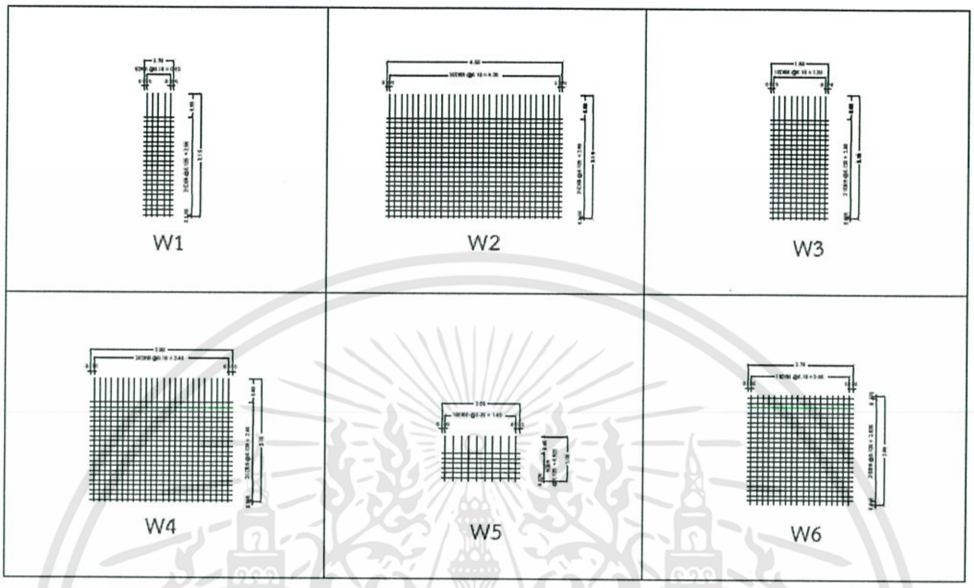
เหล็กที่ใช้	=	6	mm.
จำนวนเส้น	=	6.667	เส้น/m.
d	=	5.925	cm.
As	=	1.89	cm²/m.
fs	=	510.20	kg/cm².
β1	=	0.82	
c	=	3.56	cm.
a=β1c	=	2.92	cm.
Cc=0.85f'cba	=	79428.86	kg/m.
Ts=Asfs	=	961.76	kg/m.
ϕPo=0.85f'cAg+fyAst	=	221457.44	kg/m.
ϕPb=Cc-Ts	=	54926.97	kg/m.
ϕP	=	0	kg/m.
ϕPn	=	38328.89	kg/m.

ϕM	=	0	kg-m./m
ϕMb=Cc(0.5h-0.5a)+Ts(d-0.5h)	=	97876.07	kg-m./m
ϕMo=Cc(d-0.5a)	=	3191.78	kg-m./m
ϕMn	=	152.44	kg-m./m



รูปที่ 4.11 ผลการคำนวณการออกแบบผนังรับแรง SW2

จากผลการออกแบบผนังรับแรงข้างต้นสามารถหาระยะการวางเหล็กได้ จึงสามารถเขียนแนวเหล็กเสริมในส่วนของผนังด้านต่างๆได้ โดยตัวอย่างผลการเสริมเหล็กจะแสดงดังรูปที่ 4.12 และผลการเสริมเหล็กทั้งหมดจะแสดงในส่วนของภาคผนวก ก



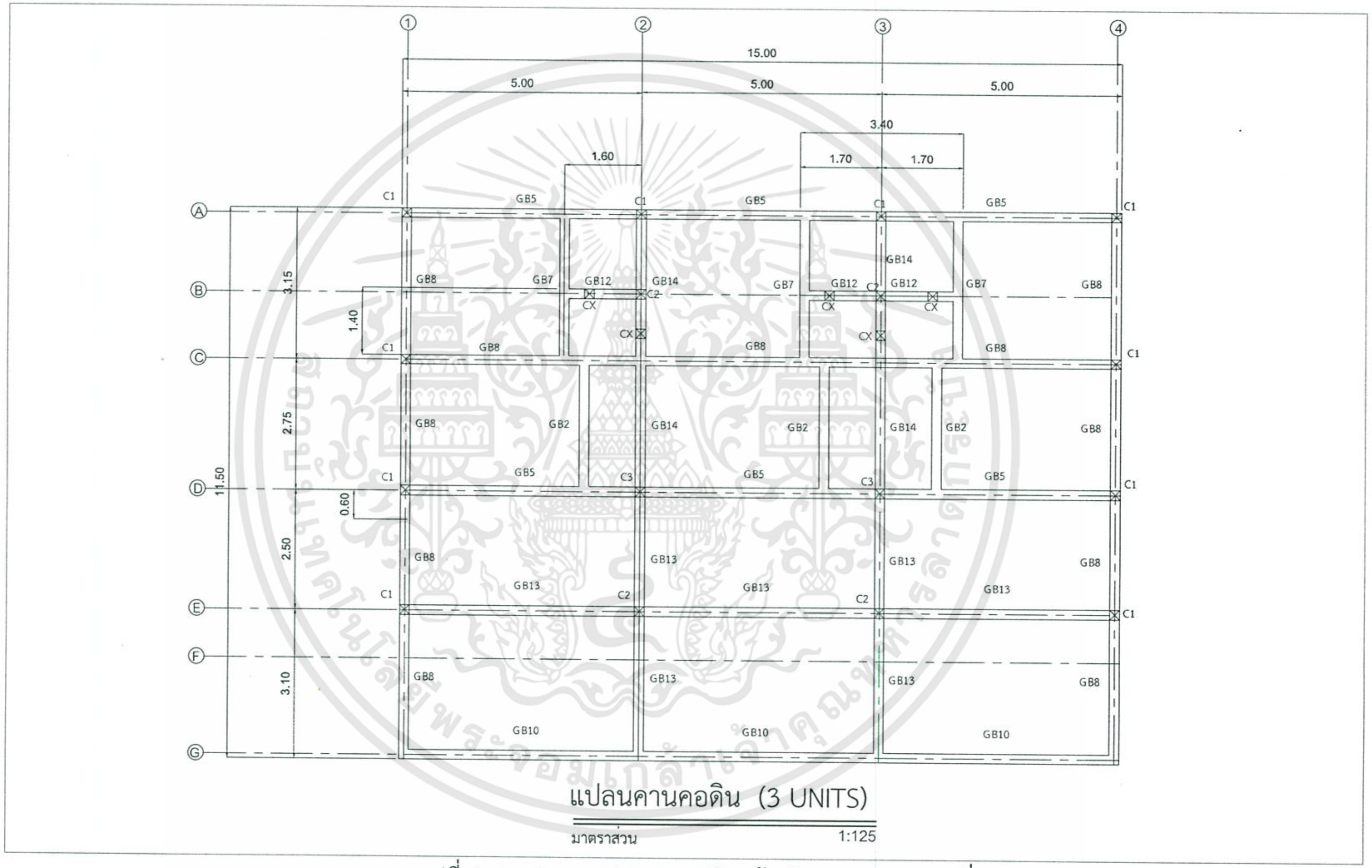
รูปที่ 4.12 รูปแสดงการเสริมเหล็กของผนังรับแรง (อ้างอิง ภาคผนวก ก รูปที่ ผก 20)

4.2 ผลการออกแบบคาน

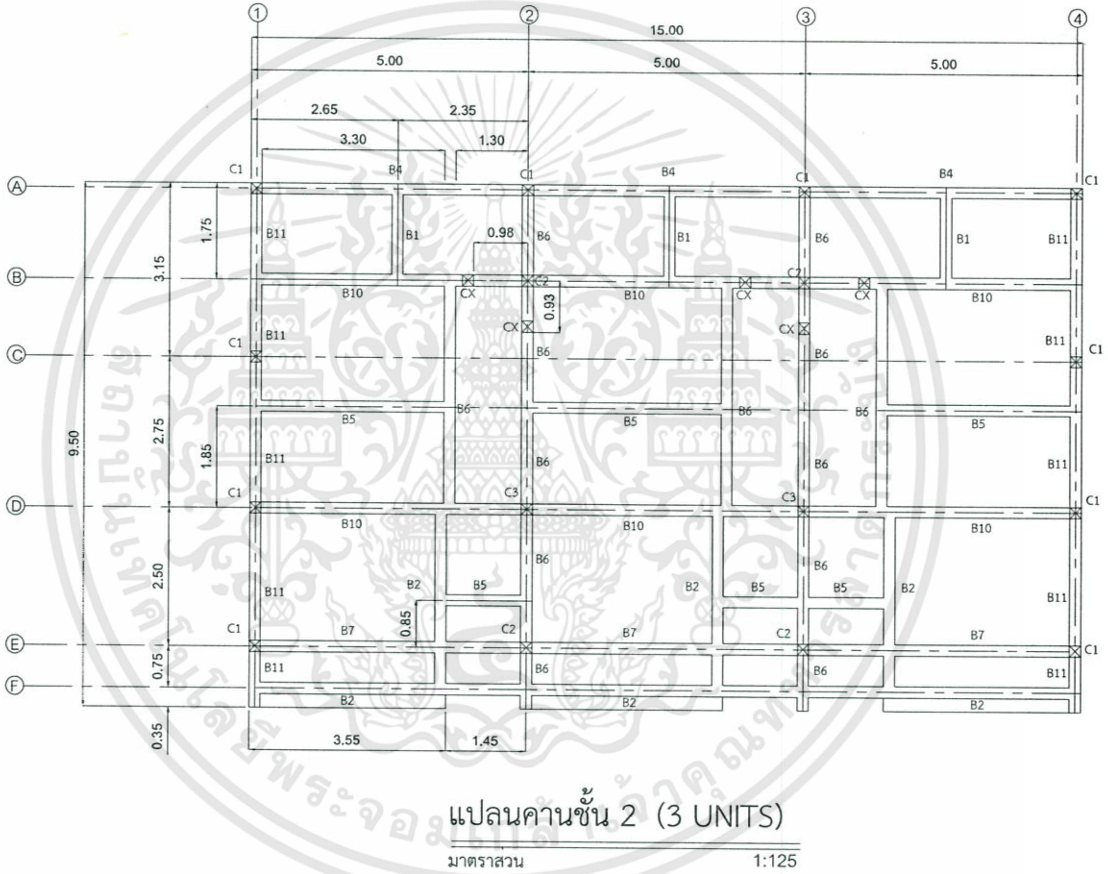
ในการออกแบบคานจะออกแบบโดยวิธีกำลัง (Strength Design Method) ตามมาตรฐาน ACI หรือมาตรฐาน วสท. และในการออกแบบจะวางแนวคานโดยอาศัยแบบแปลนของระบบผนังรับแรงเป็นเกณฑ์ เพื่อให้ทั้ง 2 ระบบมีความคล้ายกัน เพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบราคาและระยะเวลาของทั้งสองระบบต่อไป โดยแปลนบ้านพักอาศัยของระบบเสา-คาน จะแสดงในรูปที่ 4.13-4.16

จากแบบแปลนที่ได้ในจึงนำมาวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ที่กระทำกับคานโดยจะใช้โปรแกรม ETABS ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ซึ่งกำหนดน้ำหนักบรรทุกจรของบ้านพักอาศัยเท่ากับ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร, น้ำหนักบรรทุกจรของที่จอดรถเท่ากับ 400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร, น้ำหนักบรรทุกจรของหลังคาเท่ากับ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร, f'_c = 280 ksc. และ f_y = 4000 ksc. ได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.17-4.20 ดังนี้

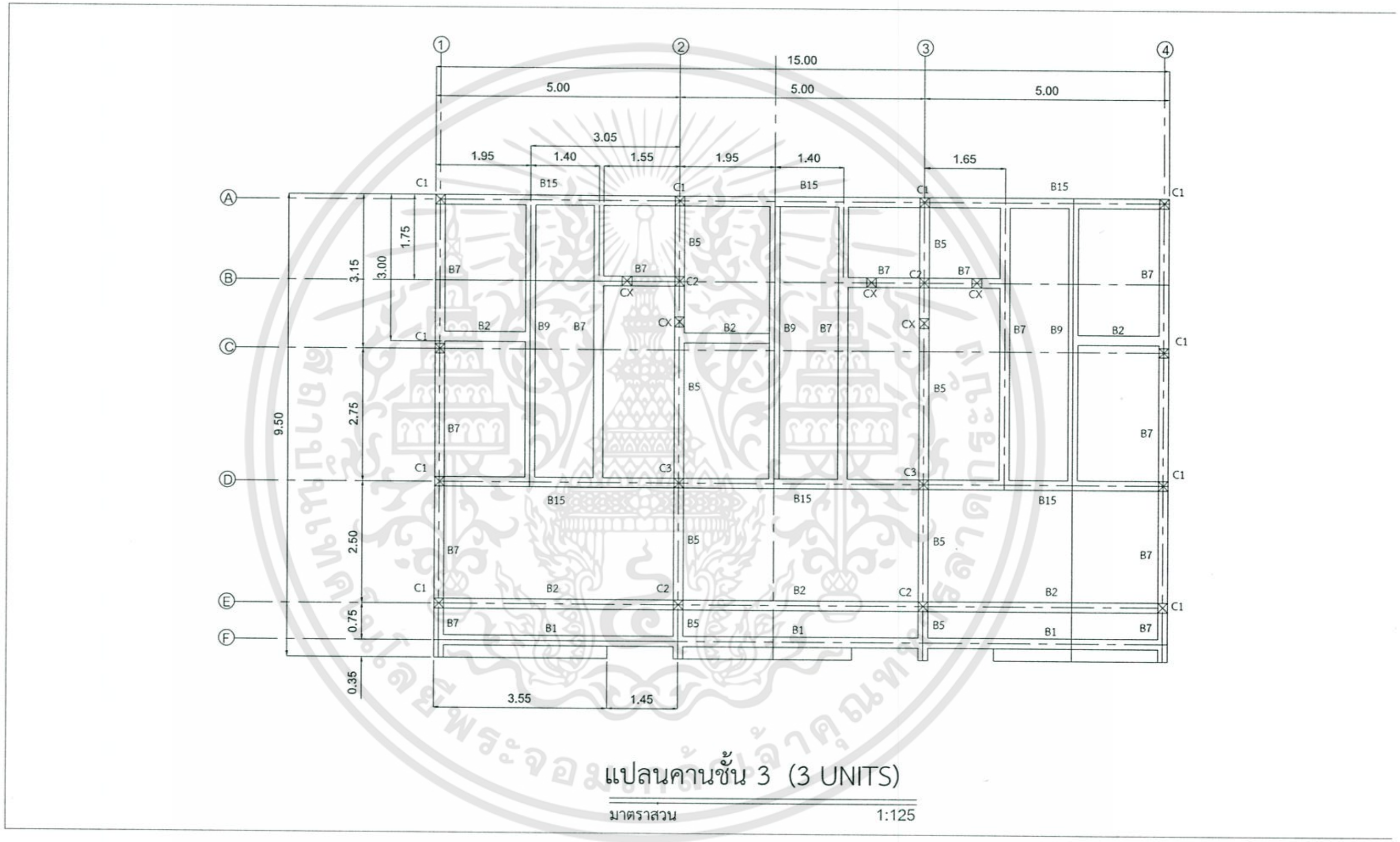
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



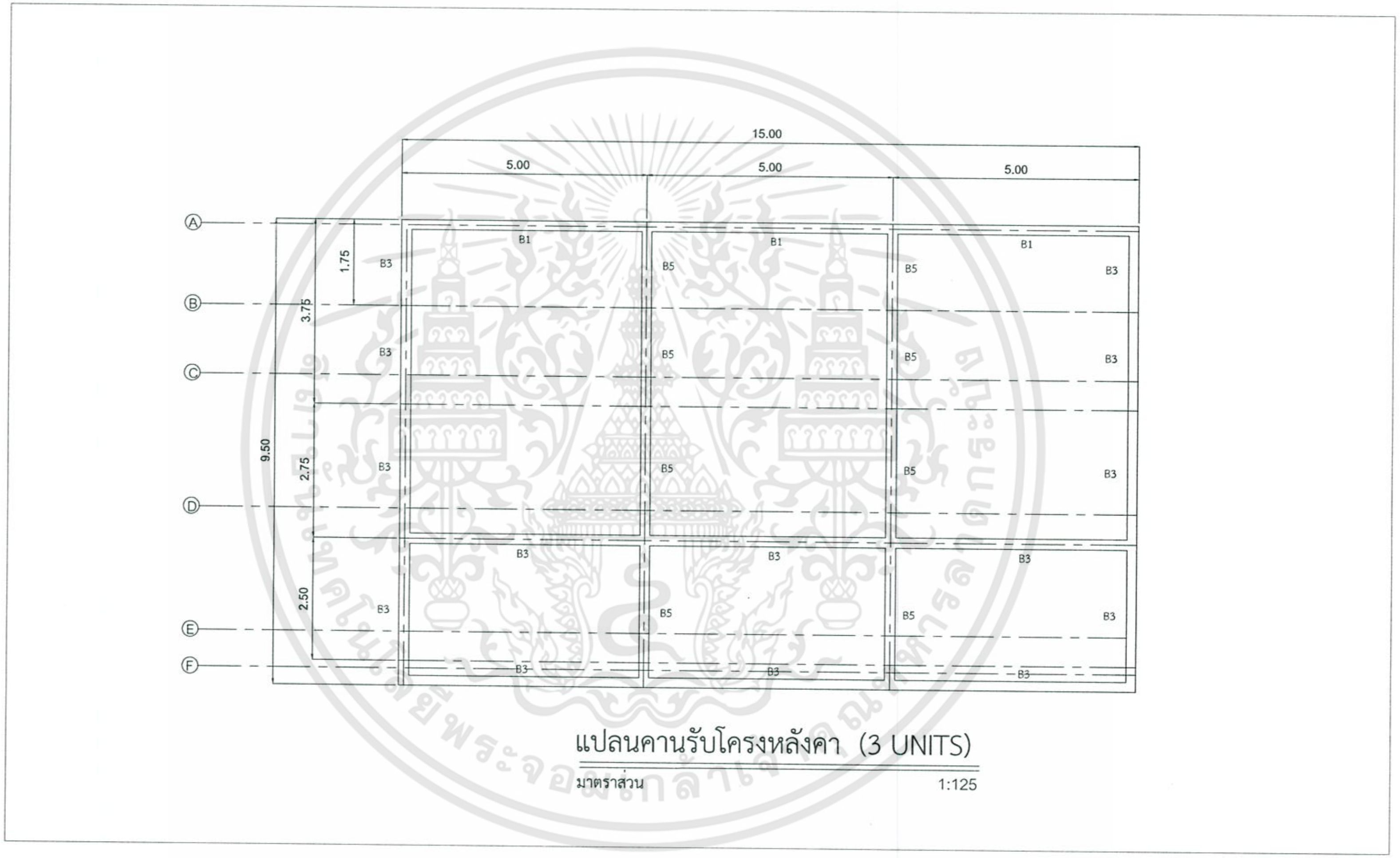
รูปที่ 4.13 รูปแสดงแปลนคานคอดิน (อ้างอิง ภาคผนวก ข รูปที่ ผข 8)



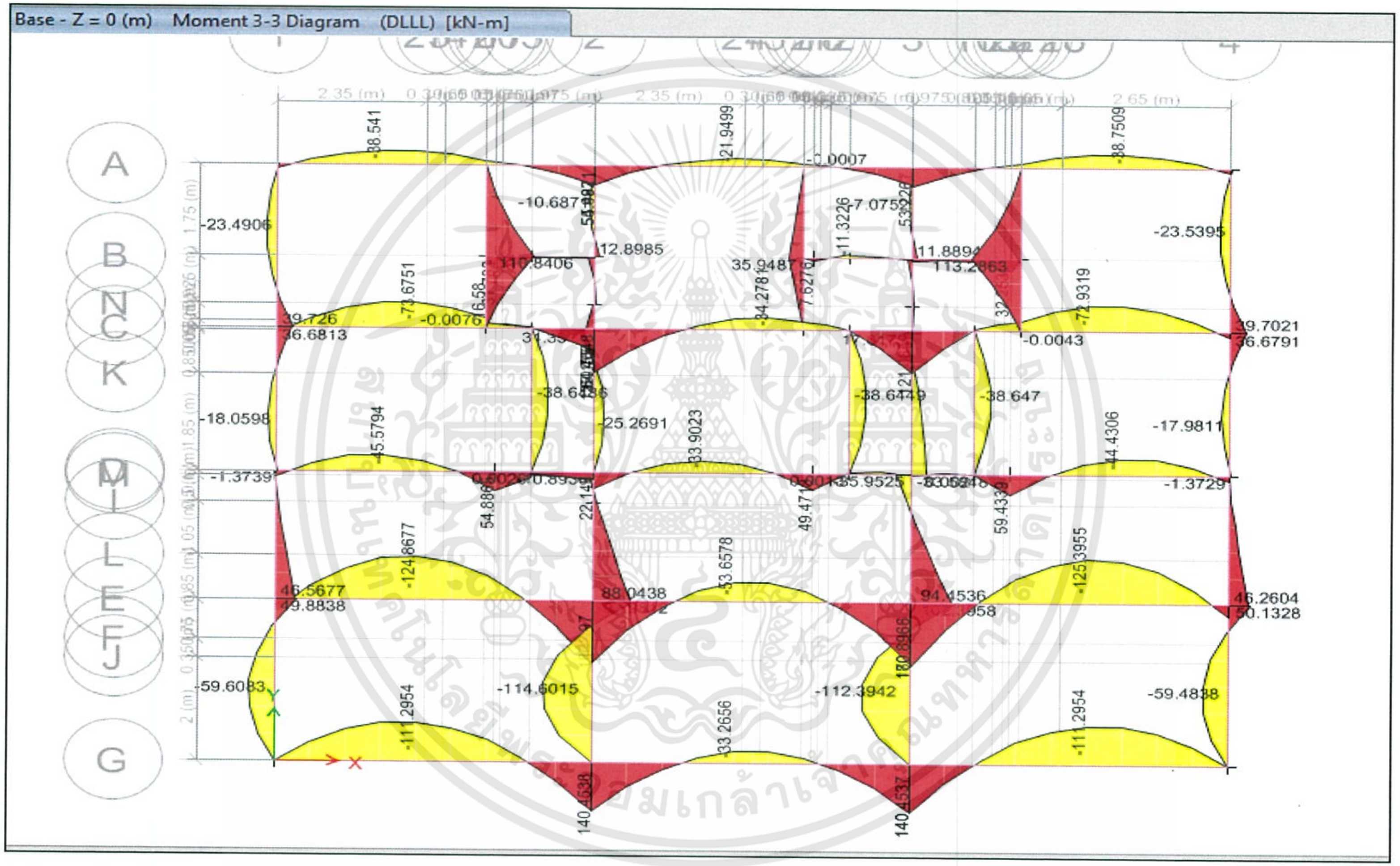
รูปที่ 4.14 รูปแสดงแปลนคานชั้น 2 (อ้างอิง ภาคผนวก ข รูปที่ ผข 9)



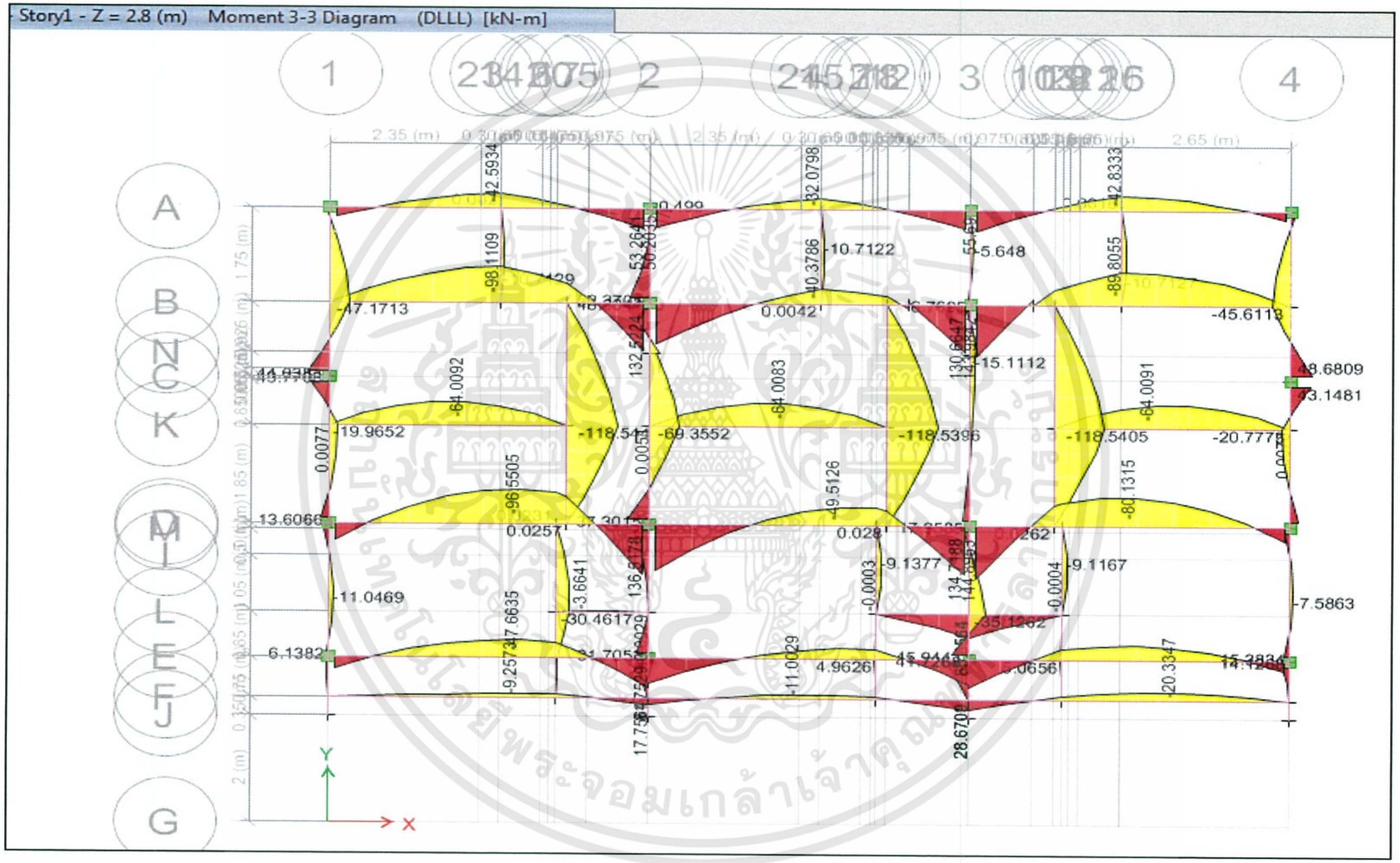
รูปที่ 4.15 รูปแสดงแปลนคานชั้น 3 (อ้างอิง ภาคผนวก ข รูปที่ ผข 10)



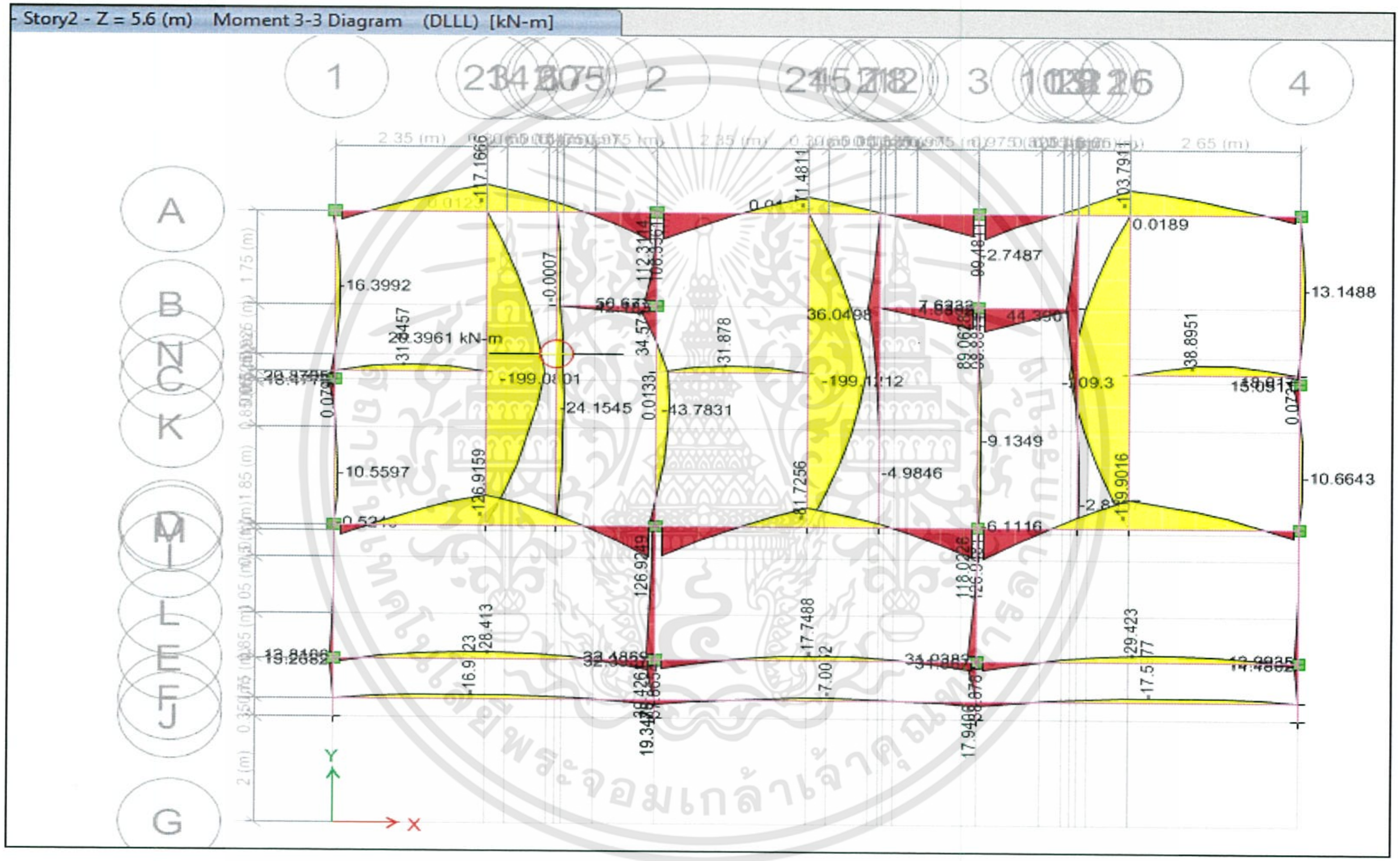
รูปที่ 4.16 รูปแสดงแปลนคานรับหลังคา (อ้างอิง ภาคผนวก ข รูปที่ ผข 11)



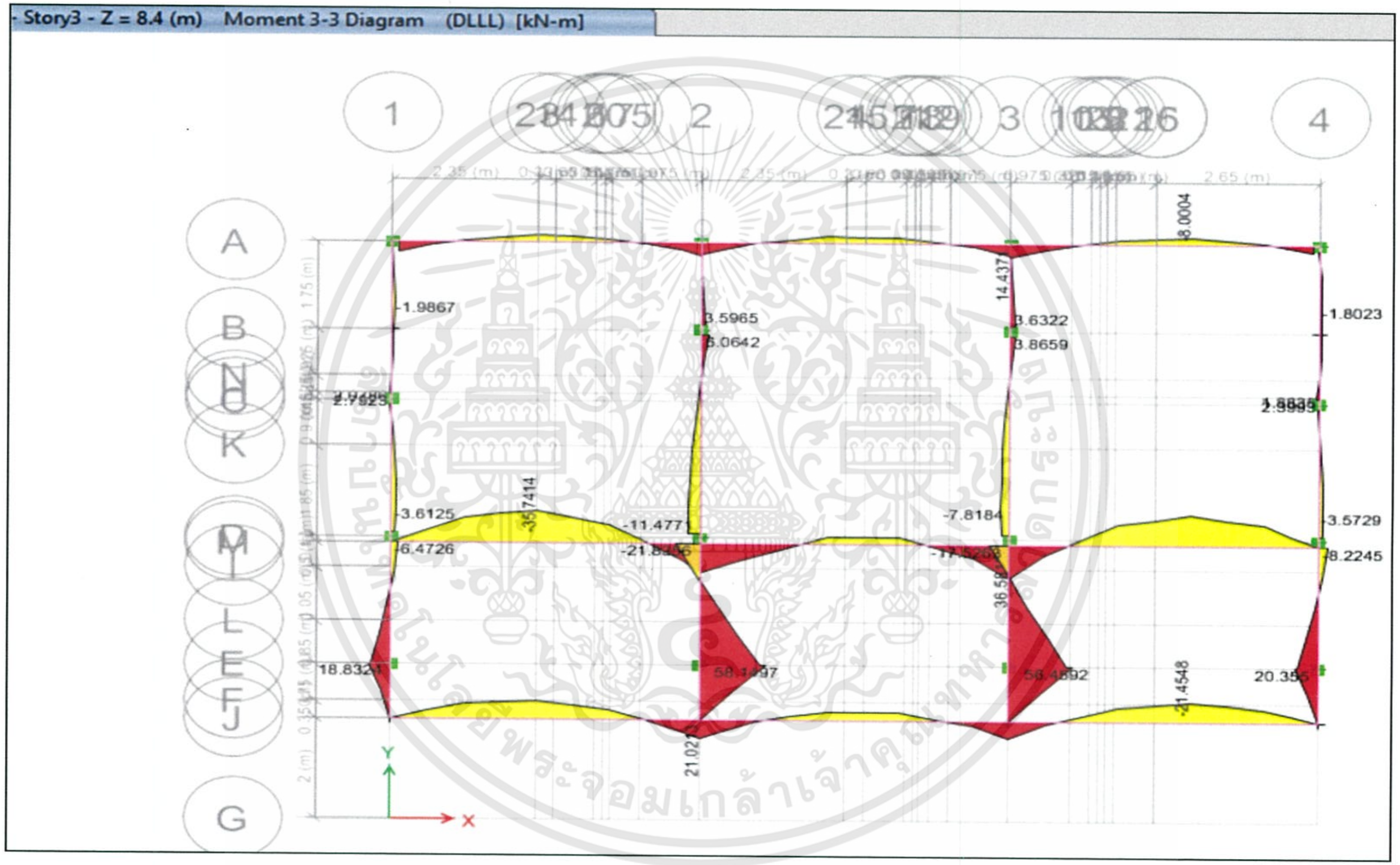
รูปที่ 4.17 ผลวิเคราะห์หาโมเมนต์ในการออกแบบคานคอดิน



รูปที่ 4.18 ผลวิเคราะห์หาโมเมนต์ในการออกแบบคานชั้น 2



รูปที่ 4.19 ผลวิเคราะห์หาโมเมนต์ในการออกแบบคานชั้น 3



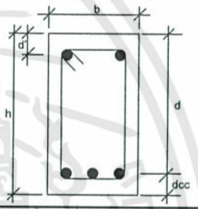
รูปที่ 4.20 ผลวิเคราะห์หาโมเมนต์ในการออกแบบคานหลังคา

จากการวิเคราะห์หาโมเมนต์ในโปรแกรม ทำให้สามารถออกแบบคานได้โดยนำโมเมนต์ที่วิเคราะห์ได้มาออกแบบ ซึ่งจะกำหนด f'_c = 280 ksc. และ f_y = 4000 ksc. รูปการคำนวณการออกแบบที่ได้นั้นจะแสดงในภาคผนวก ค ส่วนตัวอย่างการคำนวณการออกแบบคานจะแสดงในรูปที่ 4.21 และหน้าตัดคานที่ออกแบบได้จะแสดงในรูปที่ 4.22 ดังนี้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

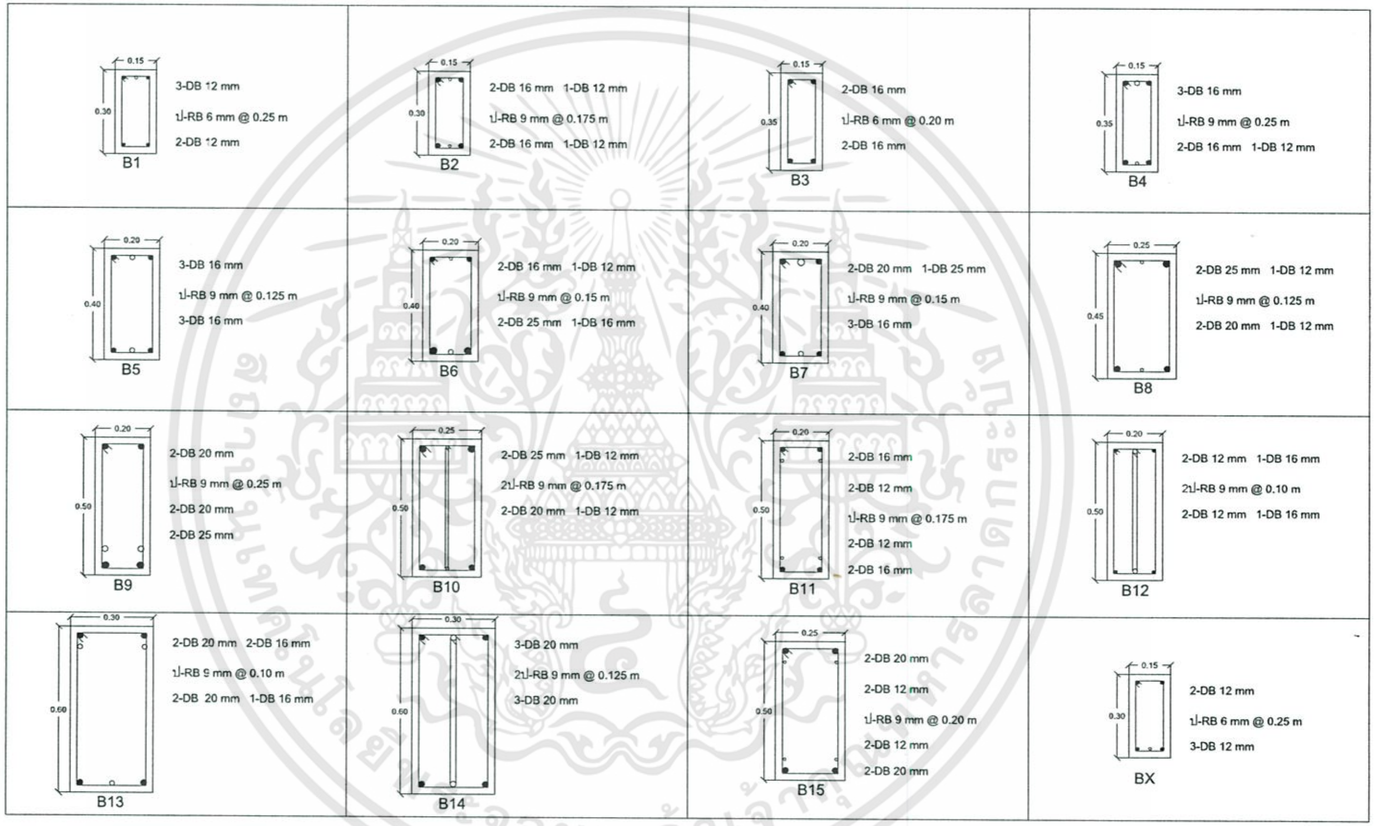
Version 1.0.1

	TAG:	B1										
		(singly reinforcement)										
									DATE :	11-Feb-14		
MATERIAL PROPERTIES												
	fc'	=	280	ksc.	Ec	=	252671	ksc.		ACI 318-95		
	fy	=	4000	ksc.	Es	=	2040000	ksc.				
	β1	=	0.850		n	=	8					
	m	=	16.81									
	fr	=	33.47	ksc.								
	fvy	=	2400	ksc.								
BEAM PROPERTIES												
	breath, b	=	15	cm.								
	depth , h	=	30	cm.								
	d'	=	5	cm.								
	dcc	=	5	cm.								
	d+	=	25	cm.	effective depth for Pos.M							
	d-	=	25	cm.	effective depth for Neg.M							
	ρmin	=	0.00350									
	ρmax	=	0.02294									
BENDING MOMENT												
Pos. M	Serviced moment ,				Ma	=	0	kg-m	Φ	=	0.9	
	Ultimate moment ,				Mu	=	1806.3	kg-m				
	Ru	=	21.41	ksc.								
	ρreq'd	=	0.00562						singly reinforced			
	As req'd	=	2.11	cm.2								
	use rebar (big size) dia. of		12	mm	prov'd		2	bars				
	use rebar (small size) dia. of			mm	prov'd			bars	As prov'd =		2.26	cm.2
	ρ	=	0.00603	> ρmin					a	=	2.53	cm
				< ρmax	OK				c	=	2.98	cm
	Ie	=	33750	cm.4	=	1 Ig			ΦMn	=	1933	kg-m
Neg. M	Serviced moment ,				Ma	=	0	kg-m	Φ	=	0.9	
	Ultimate moment ,				Mu	=	1939.9	kg-m				
	Ru	=	22.99	ksc.								
	ρreq'd	=	0.00606						singly reinforced			
	As req'd	=	2.27	cm.2								
	use rebar (big size) dia. of		12	mm	prov'd		3	bars				
	use rebar (small size) dia. of			mm	prov'd			bars	As prov'd =		3.39	cm.2
	ρ	=	0.00905	> ρmin					a	=	3.80	cm
				< ρmax	OK				c	=	4.47	cm
	Ie	=	33750	cm.4	=	1 Ig			ΦMn	=	2821	kg-m
SHEAR FORCE												
	Ultimate shear ,				Vu	=	2808.4	kg	Φ	=	0.85	
	ΦVc	=	2827	kg								
	ΦVs	=	0		<	Φ2.1√fc' *b*d			O.K.			
					<	Φ1.1√fc' *b*d			max.s =		25	cm.
	Av/s	=	0.02	cm.2/cm.								
	stirrup :	RB	6		no. of legs in 1 plane:		2					
	s	=	25.00	cm.								
	use s	=	25	cm.								



รูปที่ 4.21 ตัวอย่างการคำนวณการออกแบบคาน (อ้างอิง ภาคผนวก ค รูปที่ ผค 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



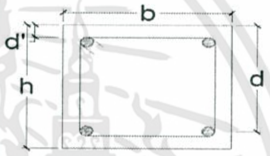
รูปที่ 4.22 รูปแสดงหน้าตัดคานที่ได้จากการออกแบบ

4.3 ผลการออกแบบเสา

ในการออกแบบเสาจะออกแบบโดยวิธีกำลัง (Strength Design Method) ตามมาตรฐาน ACI หรือมาตรฐาน วสท. และในการออกแบบเสาจะวางแนวเสาโดยอาศัยแบบแปลนของระบบผนังรับแรงเป็นเกณฑ์ จากแบบแปลนของระบบโครงสร้างเสา-คานดังรูปที่ 4.13-4.16 ได้วิเคราะห์หาน้ำหนักที่กระทำกับเสา สามารถออกแบบเสาได้ตามผลการคำนวณการออกแบบเสาที่แสดงในภาคผนวก ง และตัวอย่างการคำนวณการออกแบบเสาจะแสดงในรูปที่ 4.23 ดังนี้

Design Rectangular Tied Column

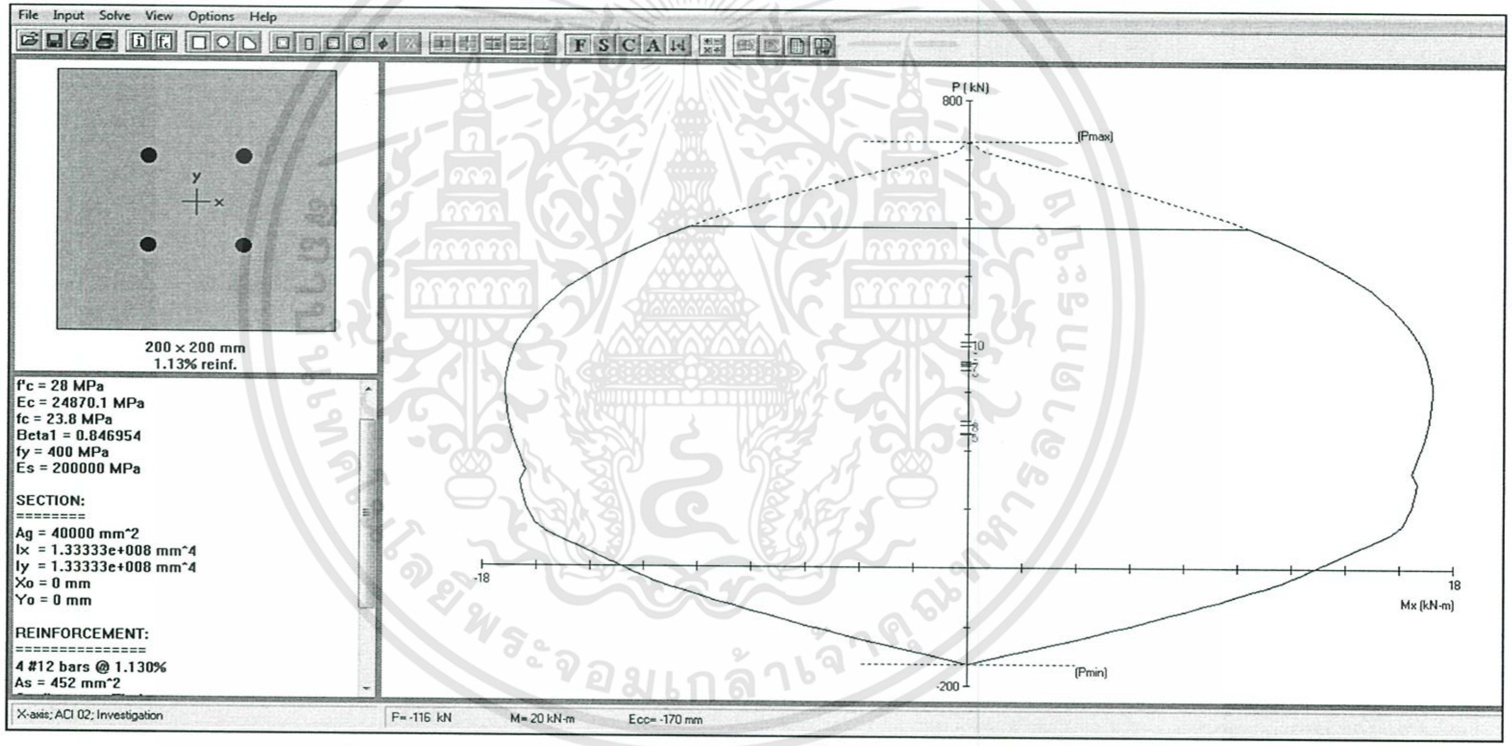
Col. Number :	C1							
MATERIAL PROPERTIES								
	fc'	=	280	ksc.	Ec	=	252671	ksc.
	fy	=	4000	ksc.	Es	=	2040000	ksc.
	β_1	=	0.850		n	=	8	
	m	=	16.81					
	fr	=	33.47	ksc.				
	fvy	=	2400	ksc.				
1st FLOOR								
COLUMN PROPERTIES								
	breath, b	=	20	cm.				
	depth , h	=	20	cm.				
	d'	=	5	cm.				
	d	=	15	cm.				
	Ig	=	13333.333	cm^4.				
LOAD DATA								
	Axial Force	=	39191.641	kg.				
Axial Force								
	Pn	=	55988.059	kg.				
	As req'd	=	1.2702489	cm^2.				
	used rebar dia. of		12	mm	provd	4	bars	
	Ast	=	4.5238934	cm^2.				
	ϕP_n	=	63445.521	kg.	>	55988.1	kg.	OK.
	ρ_t	=	1.1309734	%	check	ρ_t	1-8%	
2nd FLOOR								
COLUMN PROPERTIES								
	breath, b	=	20	cm.				
	depth , h	=	20	cm.				
	d'	=	5	cm.				
LOAD DATA								
	Axial Force	=	26261.978	kg.				
Axial Force								
	Pn	=	37517.111	kg.				
	As req'd	=	-7.4973842	cm^2.				
	used rebar dia. of		12	mm	provd	4	bars	
	Ast	=	4.5238934	cm^2.				
	ϕP_n	=	63445.521	kg.	>	37517.1	kg.	OK.
	ρ_t	=	1.1309734	%	check	ρ_t	1-8%	
3rd FLOOR								
COLUMN PROPERTIES								
	breath, b	=	20	cm.				
	depth , h	=	20	cm.				
	d'	=	5	cm.				
LOAD DATA								
	Axial Force	=	3487.2579	kg.				
Axial Force								
	Pn	=	4981.797	kg.				
	As req'd	=	-22.940971	cm^2.				
	used rebar dia. of		12	mm	provd	4	bars	
	Ast	=	4.5238934	cm^2.				
	ϕP_n	=	63445.521	kg.	>	4981.8	kg.	OK.
	ρ_t	=	1.1309734	%	check	ρ_t	1-8%	



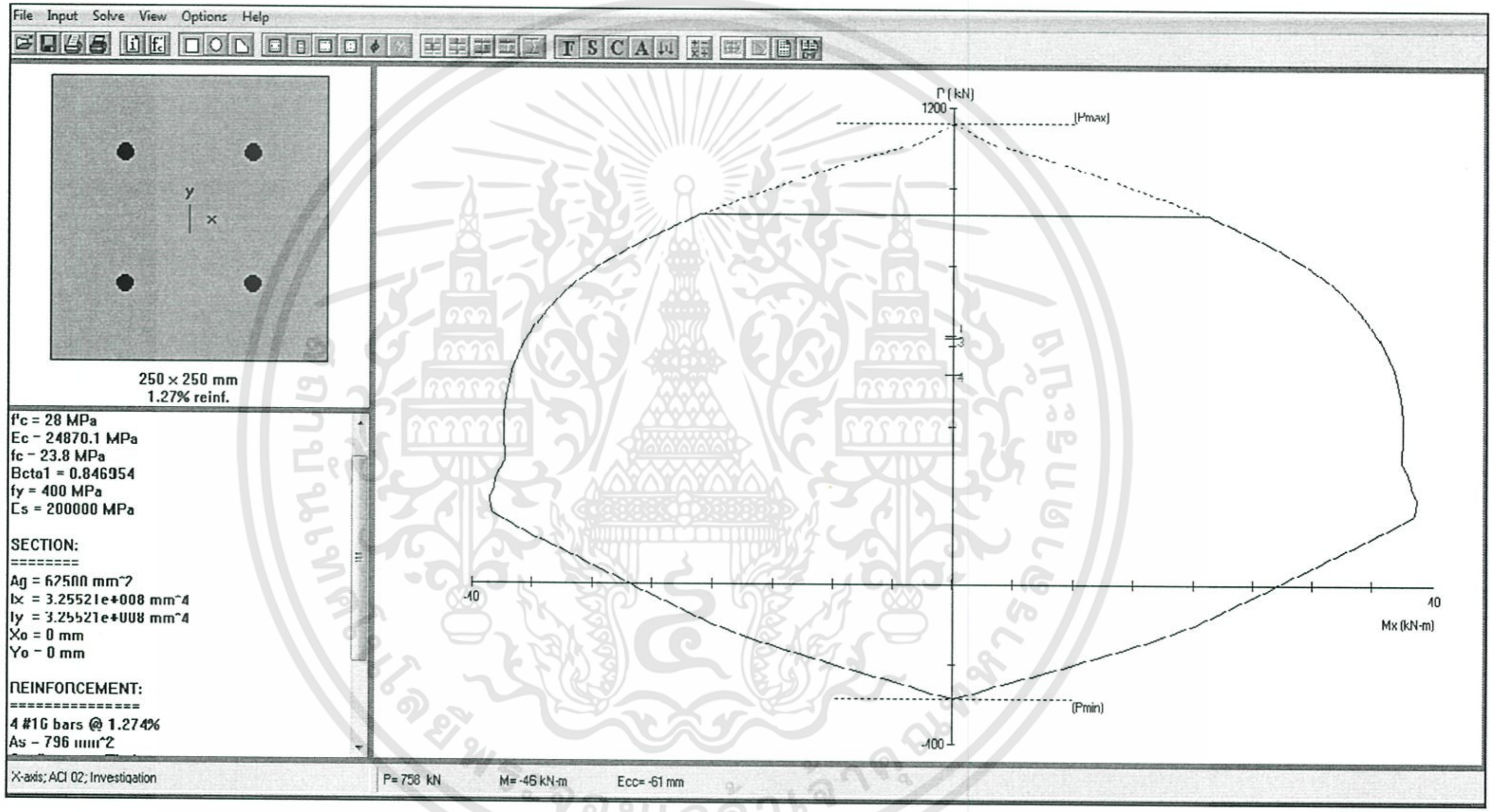
รูปที่ 4.23 ตัวอย่างการคำนวณการออกแบบเสา (อ้างอิง ภาคผนวก ง รูปที่ ผง 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

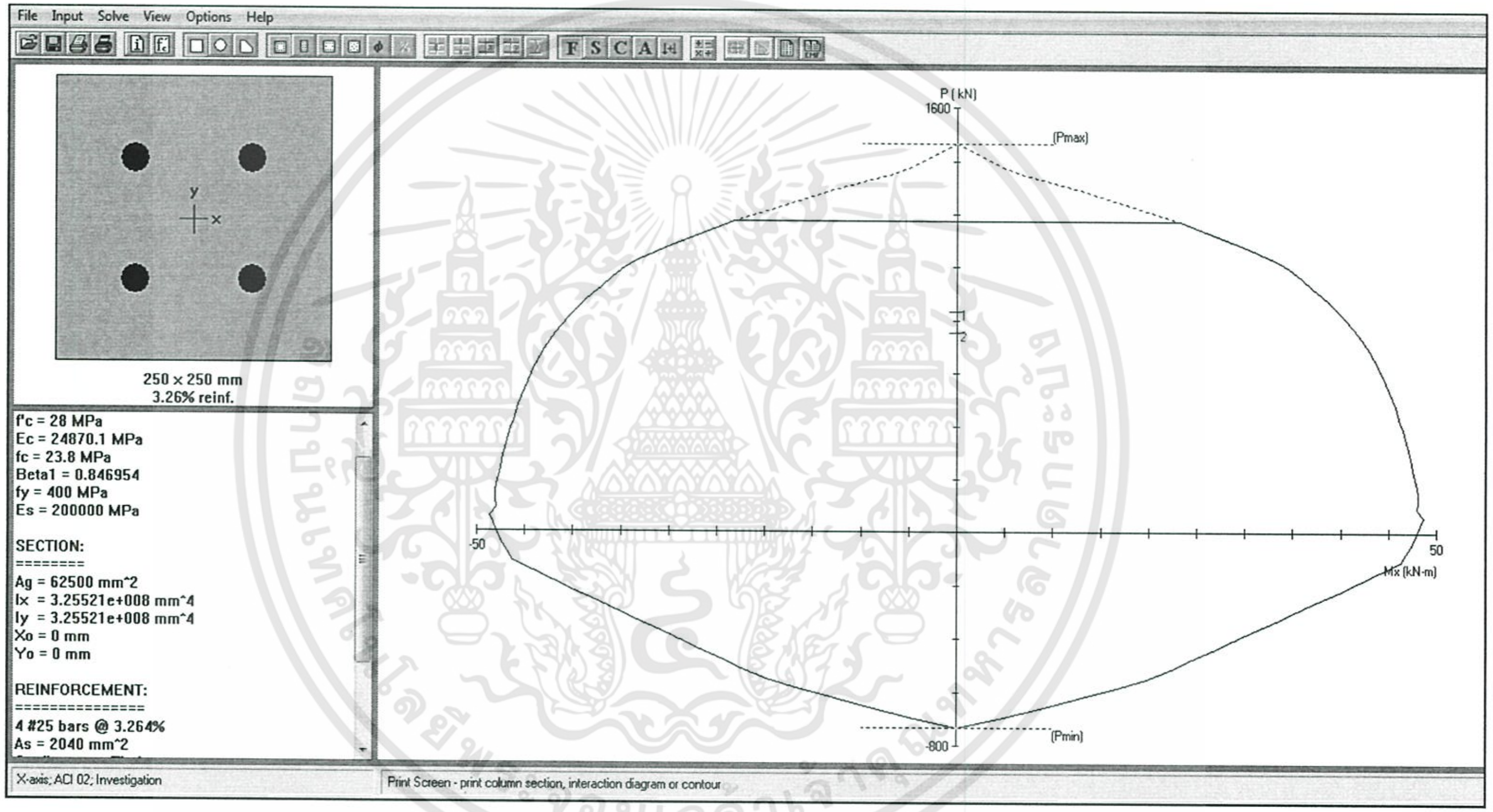
ในการคำนวณการออกแบบเสาจะใช้โปรแกรม PCA column ช่วยในการออกแบบเพื่อตรวจสอบการออกแบบเสาในขั้นต้นที่ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบและได้ผลการออกแบบดังรูปที่ 4.24-4.28 ดังนี้



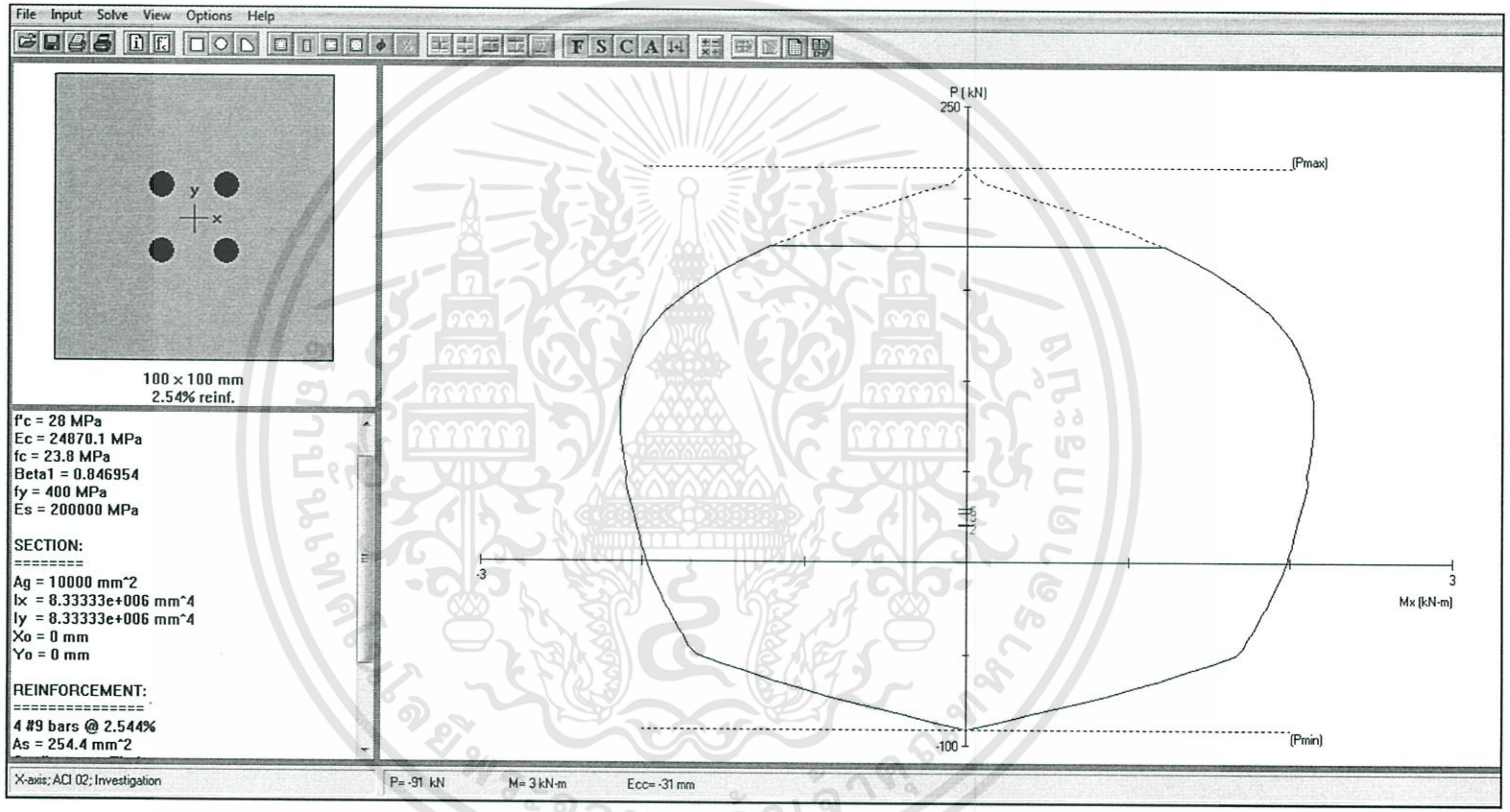
รูปที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์การออกแบบเสา C1 ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรม PCA column



รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์การออกแบบเสา C2 ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรม PCA column

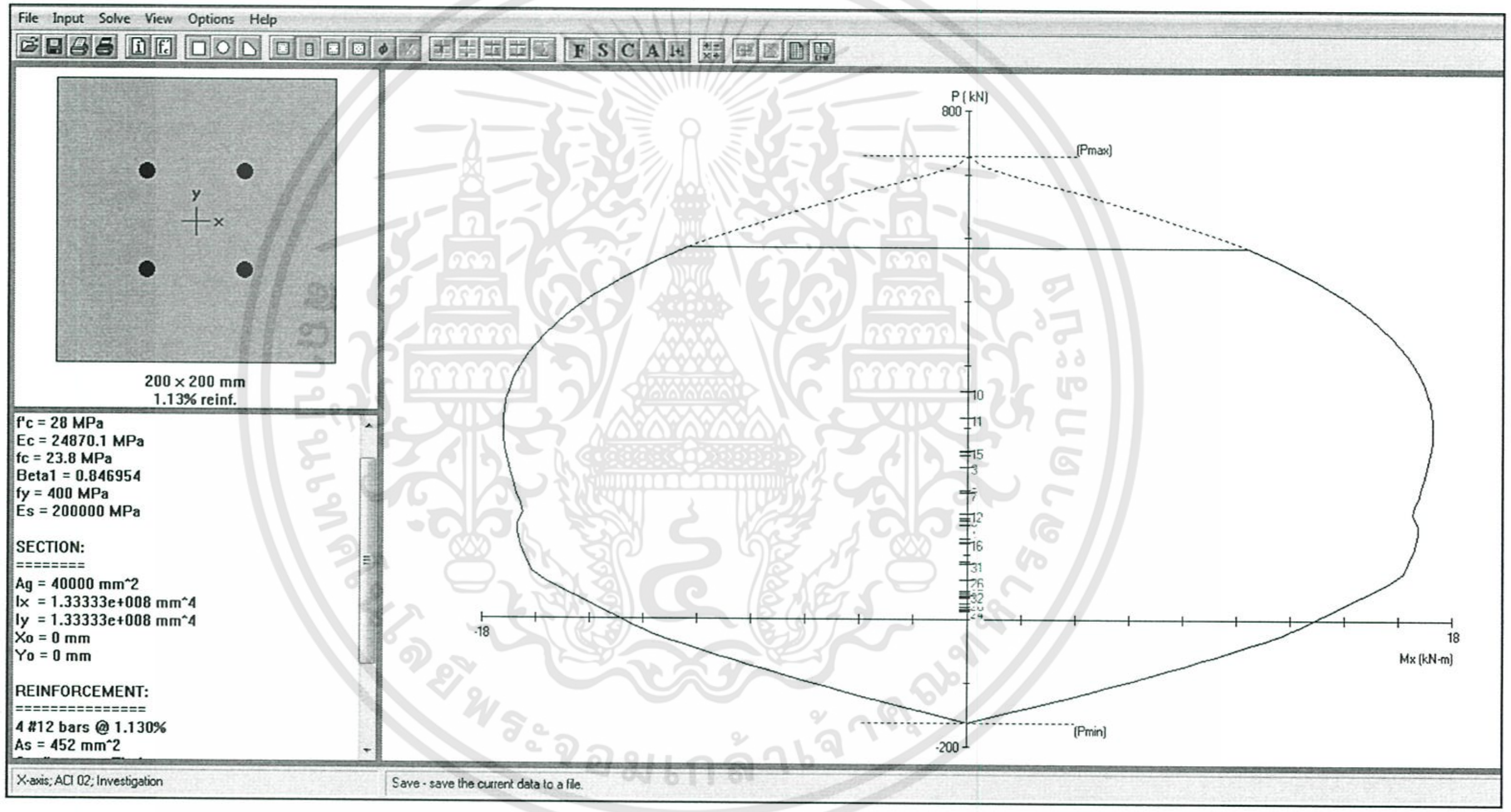


รูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์การออกแบบเสา C3 ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรม PCA column



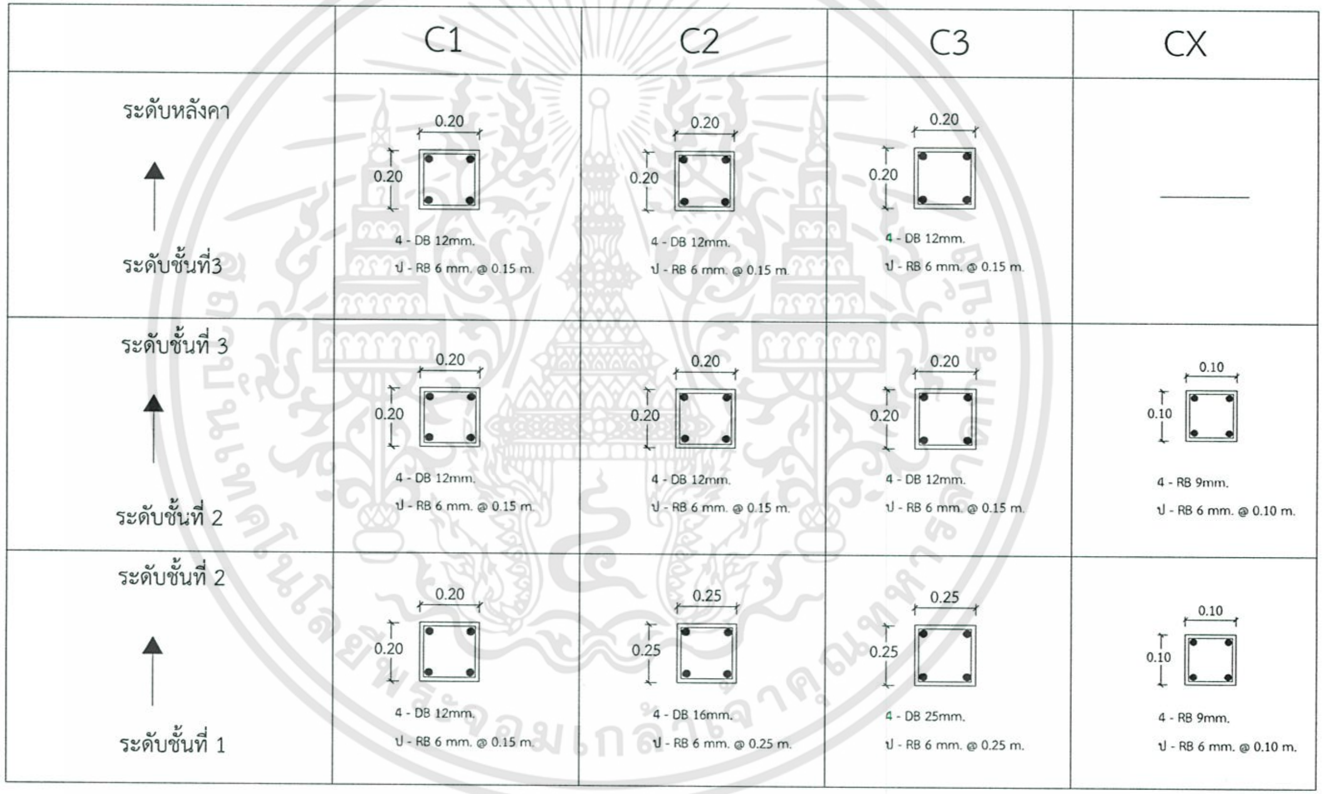
รูปที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์การออกแบบเสา CX โดยใช้โปรแกรม PCA column

ในส่วนของเสาชั้นที่2-ชั้นที่3 นั้น กำหนดให้มีหน้าตัดเดียวกันทั้งชั้น และมีผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์การออกแบบเสาชั้นที่2-ชั้นที่3 โดยใช้โปรแกรม PCA column

จากการวิเคราะห์ผลการออกแบบในโปรแกรมพบว่าเสาที่ออกแบบอยู่ในช่วงกราฟ แสดงว่าเสาที่ออกแบบถือว่านำมาใช้ได้ จึงสรุปผลการออกแบบเสาในชั้นที่1-ชั้นที่3 ได้หน้าตัดเสาดังแสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 รูปแสดงหน้าตัดเสาที่ได้จากการออกแบบ

4.4 ราคาและเวลาก่อสร้างของอาคารระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่กับระบบเสาคาน

4.4.1 ข้อมูลราคาวัสดุที่ใช้ในการประมาณราคาโครงการทั้ง 2 ระบบ

ตารางที่ 4.1 ราคาวัสดุประเภทงานคอนกรีต[11],[12]

รายการ	หน่วย	ราคา(บาท)
คอนกรีตผสมเสร็จ กำลังอัดประลัยที่ 280 (กก./ตร.ซม)	ลบ.ม.	2550
คอนกรีตผสมเสร็จ กำลังอัดประลัยที่ 320 (กก./ตร.ซม)	ลบ.ม	2,630
Mobile Crane และ Bucket	วัน	9,000
ไม้แบบ	ตร.ม.	250
ตะปู	กก.	45
ไม้ค้ำยัน	ท่อน	28
ลวดผูกเหล็ก เบอร์ 18	กก.	45
คานคอนกรีตสำเร็จรูป ขนาด 0.20x0.40	ม.	530
แบบผนังอลูมิเนียม	ตร.ม.	6,000

ตารางที่ 4.2 ราคาวัสดุประเภทงานเหล็ก[11],[12]

รายการ	หน่วย	ราคา(บาท)
RB.6 มม.เหล็กกลม (SR 24.) (ยาวเส้นละ 10 เมตร) (น้ำหนัก 2.22 กก./เส้น)	เส้น	49
RB.9 มม.เหล็กกลม (SR 24.) (ยาวเส้นละ 10 เมตร) (น้ำหนัก 4.99 กก./เส้น)	เส้น	107
DB.12 มม.เหล็กข้ออ้อย (SD 30.) (ยาวเส้นละ 10 เมตร) (น้ำหนัก8.88 กก./เส้น)	เส้น	186
DB.16 มม.เหล็กข้ออ้อย (SD 30.) (ยาวเส้นละ10เมตร) (น้ำหนัก15.78 กก./เส้น)	เส้น	326
DB.20 มม.เหล็กข้ออ้อย (SD 30.) (ยาวเส้นละ10 เมตร) (น้ำหนัก24.66 กก./เส้น)	เส้น	509
DB.25 มม.เหล็กข้ออ้อย (SD 30.) (ยาวเส้นละ10 เมตร) (น้ำหนัก38.53 กก./เส้น)	เส้น	795
ตะแกรงเหล็กเสริมเส้นกลมผิวข้ออ้อย Dia. 6 มม.	ตัน	23,840
เหล็กตัวซี ขนาด 125x50x3.2มม.ยาว 6 เมตรน้ำหนัก 37.00 กก.	ท่อน	1,091

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ราคาวัสดุประเภทงานสถาปัตยกรรม[11]

รายการ	หน่วย	ราคา(บาท)
อิฐมวลเบา ขนาด 20X60X7.50 ซม	ตร.ม.	350
งานเสาเอ็นและทับหลัง ขนาด 0.10x0.075 ม. (ค่าวัสดุ+ค่าแรง)	ม.	135
งานฉาบปูนผนังด้วยปูนฉาบอิฐมวลเบา	ตร.ม.	57
งานฉาบปูนโครงสร้างด้วยปูนฉาบอิฐมวลเบา	ตร.ม.	57
ลวดกรงไก่ ขนาด 1/2"x1/2" (กว้าง 0.90 ม. ยาว 30 ม.)	ม้วน	790
งานฉาบปูนผิวบาง (Skim Coat)	ตร.ม.	25

หมายเหตุ

- ราคาวัสดุประเภทเหล็กเส้นและไม้แบบหล่อคอนกรีตเป็นราคากลาง ปี 2556

4.4.2 ข้อมูลราคาค่าแรงงานที่ใช้ในการประมาณราคาโครงการทั้ง 2 ระบบ

- ราคาจากบัญชีค่าแรง/ดำเนินการ ฉบับปรับปรุงเดือนมีนาคม 2556
- ข้อมูลต้นทุนต่อหน่วยกิจกรรมก่อสร้างปี 2556

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลค่าแรงงานในงานด้านต่างๆ[11]

รายการ	หน่วย	ราคา(บาท)
เทคอนกรีตผสมเสร็จ	ลบ.ม	465
Mobile CraneBucket ขนาด 0.75 ลบ.ม.	วัน	9,000
ค่าแรงผูกเหล็ก, ตัด, ดัดเหล็ก	ตัน	3,400
งานไม้แบบ	ตร.ม	133
งานผนังก่ออิฐมวลเบา 20X60X7.50 ซม	ตร.ม	55
งานผนังฉาบปูนอิฐมวลเบา	ตร.ม	57
ลวดกรงไก่	ม้วน	220
งานฉาบปูนผิวบาง	ตร.ม	20
งานติดตั้งคานคอดินสำเร็จรูป	ม.	100
แบบผนังอะลูมิเนียม	ตร.ม	25
วางตะแกรงเหล็กสำเร็จรูป (Wire mesh)	ตร.ม	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ราคาในการก่อสร้างของระบบเสาคานทั่วไปและระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่

ในที่นี้จะทำการแสดงราคาในการก่อสร้างเฉพาะส่วนของผนังและเสาคานเท่านั้นซึ่งจากแบบการก่อสร้างที่ได้จากการออกแบบขั้นต้นนั้นได้ราคาของระบบเสาคานและระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่ได้ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ราคาค่าก่อสร้างในระบบเสาคานทั่วไป

ใบประมาณราคาก่อสร้าง								
โครงการทาร์วโฮม 3 ชั้น 3unit ระบบเสาคาน								
ลำดับ	รายการ	หน่วย	ปริมาณ	ค่าวัสดุ		ค่าแรงงาน		ราคารวม
A	งานโครงสร้าง			@	รวม	@	รวม	
A.1	งานคอนกรีต							
	- คอนกรีตโครงสร้าง (fc=280 ksc) กำหนดใช้เป็นคอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed)	ลบ.เมตร	37.00	2,550.00	94,350	465.00	17,205	111,555.00
	- Mobile Crane และ Bucket ขนาด 0.75 ลบ.ม.	วัน	5.00	-	-	9,000.00	45,000.00	45,000.00
	- คอนกรีตคานคอดินหล่อในที่ กำหนดใช้เป็นคอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed)	ลบ.เมตร	17.00	2,630.00	44,710.00	485.00	8,245.00	52,955.00
	- ค่าแรงผูกเหล็ก, ตัด, ดัดเหล็ก	ตัน	9.22	-	-	3,400.00	31,348.00	31,348.00
	- งานไม้แบบ	ตร.เมตร	625.00	180.00	112,500.00	133.00	83,125.00	195,625.00
	- ตะปู 3"	กก.	190.00	45.00	8,550.00	-	-	8,550.00
	- ลวดผูกเหล็ก เบอร์ 18	ก.ก.	275.00	45.00	12,375.00	-	-	12,375.00
	รวมงาน1							457,408.00
A.2	งานเหล็กเสริม							
	- เหล็กเสริม RB. 6 มม. เหล็กกลม (SR 24.) (ยาวเส้นละ 10 เมตร) (น้ำหนัก 0.222 กก./เมตร)	เส้น	123.00	49.00	6,027.00	-	-	6,027.00
	- เหล็กเสริม RB. 9 มม. เหล็กกลม (SR 24.) (ยาวเส้นละ 10 เมตร) (น้ำหนัก 0.499 กก./เมตร)	เส้น	456.00	107.00	48,792.00	-	-	48,792.00
	- เหล็กเสริม DB. 12 มม. เหล็กข้ออ้อย (SD 30) (ยาวเส้นละ 10 เมตร) (น้ำหนัก 0.888 กก./เมตร)	เส้น	141.00	186.00	26,226.00	-	-	26,226.00
	- เหล็กเสริม DB. 16 มม. เหล็กข้ออ้อย (SD 30) (ยาวเส้นละ 10 เมตร) (น้ำหนัก 1.578 กก./เมตร)	เส้น	121.00	326.00	39,446.00	-	-	39,446.00
	- เหล็กเสริม DB. 20 มม. เหล็กข้ออ้อย (SD 30) (ยาวเส้นละ 10 เมตร) (น้ำหนัก 2.466กก./เมตร)	เส้น	79.00	509.00	40,211.00	-	-	40,211.00
	- เหล็กเสริม DB. 25 มม. เหล็กข้ออ้อย (SD 30) (ยาวเส้นละ 10 เมตร) (น้ำหนัก 3.853 กก./เมตร)	เส้น	41.00	795.00	32,595.00	-	-	32,595.00
	- งานเหล็กเสริม Dia. 6 มม. (SR. 24) สำหรับเป็นเหล็กหนวดกุ้ง	เส้น	35.00	49.00	1,715.00	-	-	1,715.00
	รวมงาน2							195,012.00
B	งานสถาปัตยกรรม							
B.1	งานผนัง							
	- งานผนังก่ออิฐมวลเบา ขนาด 20X60X7.50 ซม	ตร.เมตร	616.00	350.00	215,600.00	55.00	33,880.00	249,480.00
	- งานเสาเอ็นและทับหลัง ขนาด 0.10x0.075 ม.(ค่าวัสดุ+ค่าแรง)	เมตร	464.00	-	-	135.00	62,640.00	62,640.00
	- งานฉาบปูนผนังด้วยปูนฉาบอิฐมวลเบา	ตร.เมตร	1,209.00	57.00	68,913.00	65.00	78,585.00	147,498.00
	- งานฉาบปูนโครงสร้างด้วยปูนฉาบอิฐมวลเบา	ตร.เมตร	166.00	57.00	9,462.00	65.00	10,790.00	20,252.00
	- ลวดกรงไก่ ขนาด 1/2"x1/2" (กว้าง 0.90 ม. ยาว 30 ม.)	ม้วน	3.50	790.00	2,765.00	220.00	770.00	3,535.00
	รวมงาน3							483,405.00
	รวมค่าก่อสร้าง							1,135,825

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ราคาค่าก่อสร้างในระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่

ลำดับ	รายการ	หน่วย	ปริมาณ	ค่าวัสดุ		ค่าแรงงาน		ราคารวม
	ใบประมาณราคาค่าก่อสร้าง							
	โครงการทาร์วโฮม 3 ชั้น 3unit ระบบผนังรับแรง							
				@	รวม	@	รวม	
A	งานโครงสร้าง							
A.1	งานคอนกรีต							
	- คอนกรีตโครงสร้างผนัง (fc=320 ksc) กำหนดใช้เป็นคอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed)	ลบ.ม.	83.00	2,630.00	218,290.00	465.00	38,595.00	256,885.00
	- Mobile Crane และ Bucket ขนาด 0.75 ลบ.ม.	วัน	11.00	-	-	9,000.00	99,000.00	99,000.00
	- คานคอดินคอนกรีตสำเร็จรูป ขนาด 0.20x0.40	ม.	38.00	530.00	20,140.00	100.00	3,800.00	23,940.00
	- แบบผนังอะลูมเนียม	ตร.ม.	645.00	6,000.00	3,870,000.00	-	-	3,870,000.00
	- งานติดตั้งแบบผนังอลูมิเนียม	ตร.ม.	1,462.00	-	-	25.00	36,550.00	36,550.00
	รวมงาน1							4,286,375.00
A.2	งานเหล็กเสริม							
	- ตะแกรงเหล็กเสริมเส้นกลมผิวข้ออ้อย Dia. 6 มม.	ตัน	1.50	23,640.00	35,460.00	2,800.00	4,200.00	39,660.00
	- เหล็กเสริม RB. 6 มม. เหล็กกลม (SR 24.) ยาวเส้นละ 10 เมตร (น้ำหนัก 0.222 กก./เมตร)	เส้น	5.00	49.00	245.00	-	-	245.00
	- เหล็กเสริม RB. 9 มม. เหล็กกลม (SR 24.) ยาวเส้นละ 10 เมตร (น้ำหนัก 0.499 กก./เมตร)	เส้น	5.00	107.00	535.00	-	-	535.00
	- เหล็กตัวซี ขนาด 125x50x3.2มม.ยาว 6 เมตรน้ำหนัก 37.00 กก.	ท่อน	18.00	1,091.00	19,638.00	315.00	5,670.00	25,308.00
	- ลวดผูกเหล็ก เบอร์ 18	กก	20.00	45.00	900.00	-	-	900.00
	รวมงาน2							66,648.00
B	งานสถาปัตยกรรม							
B.1	งานฉาบบาง							
	- งานฉาบปูนผิวบาง (Skim Coat)	ตร.ม.	1,462.00	25.00	36,550.00	20.00	29,240.00	65,790.00
B.2	งานก่ออิฐมวลเบา ขนาด 20X60X7.50 ซม	ตร.ม.	34.00	350.00	11,900.00	55.00	1,870.00	13,770.00
	รวมงาน3							79,560.00
	รวมค่าก่อสร้าง							**4,432,583.00**

4.4.4 ระยะเวลาในการก่อสร้างของระบบเสาคานทั่วไปและระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่

ในที่นี้จะทำการแสดงระยะเวลาในการก่อสร้างเฉพาะส่วนของผนังและเสาคานเท่านั้นซึ่งจากแบบการก่อสร้างที่ได้จากการออกแบบขั้นต้นนั้นได้ระยะเวลาของระบบเสาคานและระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่ได้ดังตารางที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ และ Gantt Chart แสดงระยะเวลาการก่อสร้างตั้งแต่เริ่มงานจนถึงสิ้นสุดงานได้ชัดเจนยิ่งขึ้นของระบบเสาคานและระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่ ดังรูปที่ 4.30 และ 4.31 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ระยะเวลาการก่อสร้างแบบเสาคาน

ลำดับ	รายการ	เวลา(วัน)	เริ่มงาน	เสร็จงาน
1	โครงสร้าง			
1.1	งานคานคอดิน	12	จ 6/1/57	ส 18/1/57
1.2	งานเสาชั้นที่ 1	4	ส 18/1/57	พ 22/1/57
1.3	งานคานชั้นที่ 2	10	จ 20/1/57	พ 30/1/57
1.4	งานเสาชั้นที่ 2	6	อ 28/1/57	จ 3/2/57
1.5	งานคานชั้นที่ 3	12	ส 1/2/57	ศ 14/2/57
1.6	งานเสาชั้นที่ 3	6	พ 12/2/57	อ 18/2/57
1.7	งานคานรับโครงหลังคา	10	อ 16/2/57	พ 26/2/57
2	สถาปัตยกรรมและอื่นๆ			
2.1	งานผนังก่ออิฐมวลเบาชั้นที่1	4	จ 24/2/57	พ 27/2/57
2.2	งานผนังก่ออิฐมวลเบาชั้นที่2	5	พ 26/2/57	จ 3/3/57
2.3	งานผนังก่ออิฐมวลเบาชั้นที่3	4	ศ 28/2/57	อ 4/3/57
2.4	งานฉาบปูนผนังด้วยปูนฉาบอิฐมวลเบา	10	พ 5/3/57	ส 15/3/57
2.5	งานฉาบปูนโครงสร้างด้วยปูนฉาบอิฐมวลเบา	2	ศ 14/3/57	ส 15/3/57
	รวม	69		

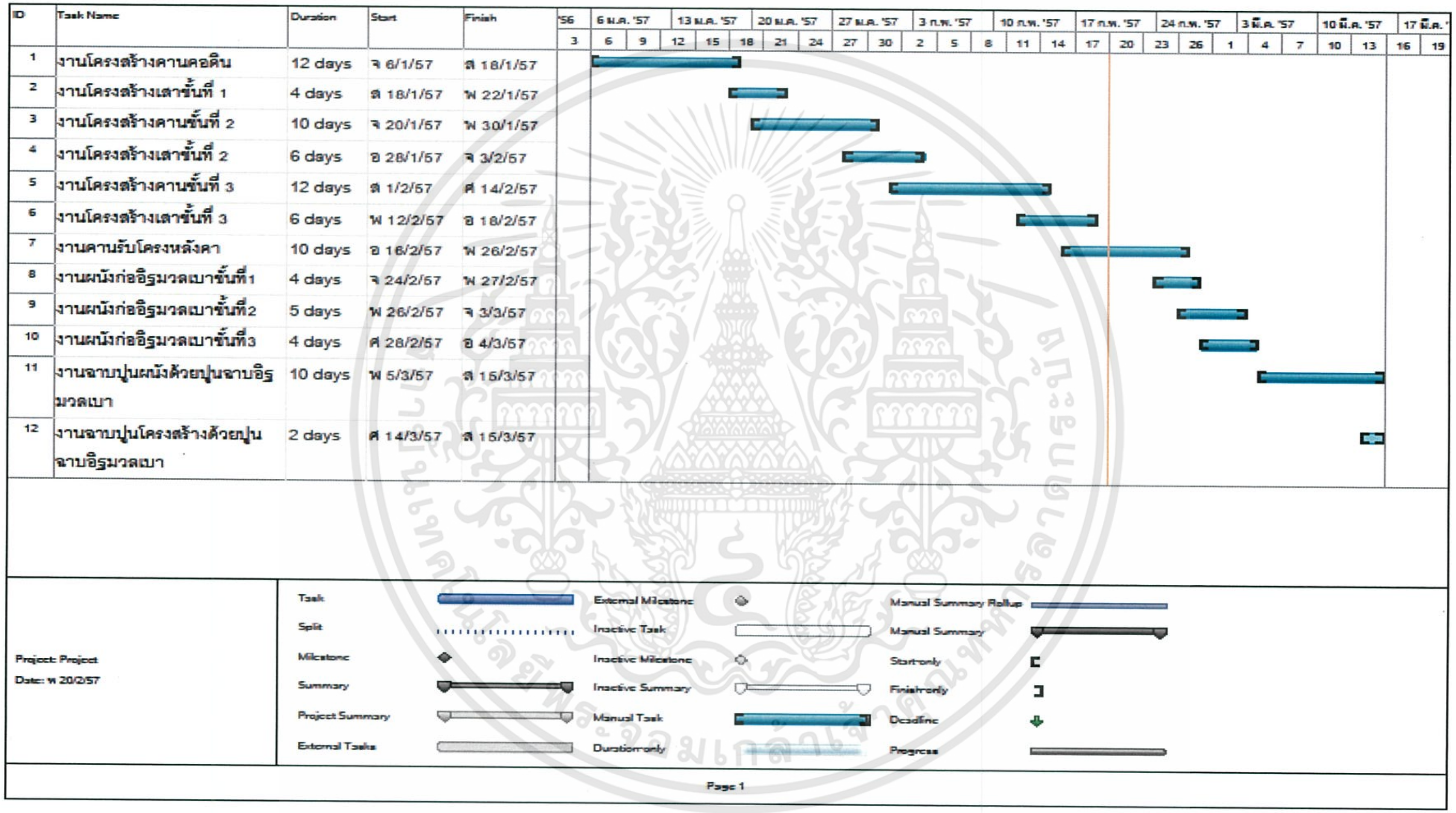
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ระยะเวลาการก่อสร้างผนังรับแรงแบบหล่อในที่

ลำดับ	รายการ	เวลา(วัน)	เริ่มงาน	เสร็จงาน
1	**โครงสร้าง**			
1.1	งานคานคอดิน	3	จ 6/1/57	พ 8/1/57
1.2	งานผนังชั้นที่ 1	3	พ 9/1/57	ส 11/1/57
1.3	งานผนังชั้นที่ 2	3	อ 12/1/57	อ 14/1/57
1.4	งานผนังชั้นที่ 3	3	พ 15/1/57	ศ 17/1/57
1.5	งานคานโครงหลังคา	1	ส 18/1/57	ส 18/1/57
2	**สถาปัตยกรรมและอื่นๆ**			
2.1	งานผนังก่ออิฐมวลเบาด้านใน	2	ส 18/1/57	จ 20/1/57
2.2	งานฉาบปูนผิวบาง (Skim Coat)	5	อ 21/1/57	ส 25/1/57
	รวม	**20**		

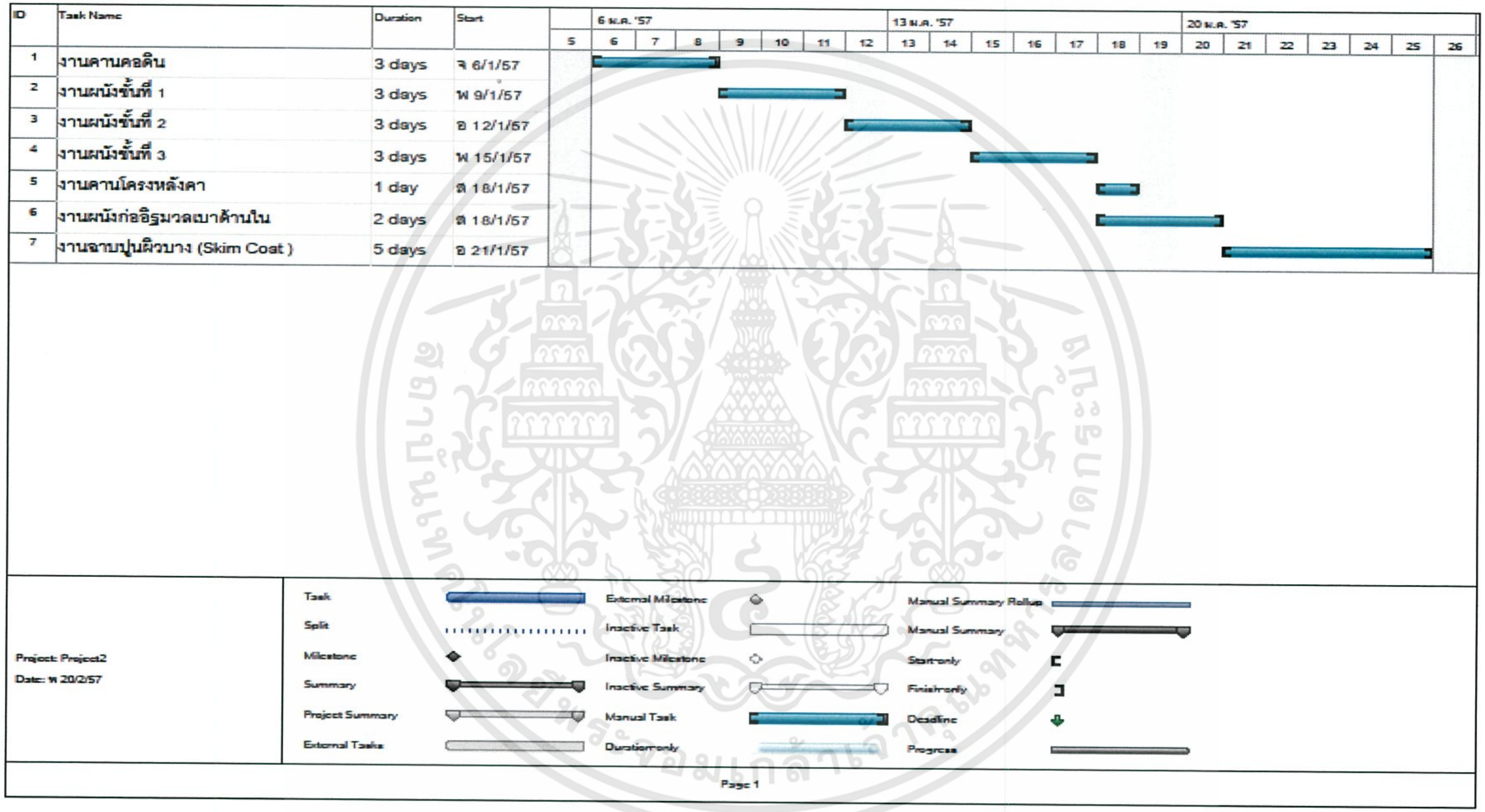
<u>หมายเหตุ</u> ระยะเวลากำหนดจากการทำงานจริงทั่วไปโดยให้วันอาทิตย์เป็นวันหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 Gantt Chart ตารางแสดงรูปแบบเวลาในการปฏิบัติงานก่อสร้างในระบบเสาคานทั่วไป

ID	Task Name	Duration	Start
1	งานคานคอดิน	3 days	จ 6/1/57
2	งานผนังชั้นที่ 1	3 days	พ 9/1/57
3	งานผนังชั้นที่ 2	3 days	อ 12/1/57
4	งานผนังชั้นที่ 3	3 days	พ 15/1/57
5	งานคานโครงหลังคา	1 day	ส 18/1/57
6	งานผนังก่ออิฐมวลเบาด้านใน	2 days	ส 18/1/57
7	งานฉาบปูนผิวบาง (Skim Coat)	5 days	อ 21/1/57



รูปที่ 4.31 Gantt Chart ตารางแสดงรูปแบบเวลาในการปฏิบัติงานก่อสร้างระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่

บทที่ 5

สรุปผลการวิเคราะห์

จากการที่คณะวิจัยได้พบเห็นการใช้ระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่ของบ้านทาวน์โฮม โครงการหนึ่งที่มีระบบของการก่อสร้างเป็นผนังรับแรงแบบหล่อในที่ซึ่งใช้แบบหล่อเป็นแบบอลูมิเนียม โดยที่ในการเทคอนกรีตหนึ่งครั้งจะได้ผนังสองด้าน ผนังกั้นห้องภายในบ้านและพื้นของชั้นบน ซึ่งไม่เหมือนกับการก่อสร้างทั่วๆไป ทางคณะวิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่มาเปรียบเทียบกับระบบโครงสร้างเสา-คานทั่วไป ในด้านของราคาและระยะเวลาในการก่อสร้าง โดยทางคณะวิจัยได้ทำการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างของระบบผนังรับแรงจากแบบบ้านของโครงการหนึ่ง และทำการออกแบบโครงสร้างระบบเสาคานทั่วไป ให้มีรูปแบบเหมือนกับระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่ ในส่วนของขั้นตอนการออกแบบระบบโครงสร้างของผนังรับแรงจะนำแบบบ้านทาวน์โฮม 3 ชั้น 3 ยูนิต ของโครงการหนึ่ง มาทำการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้าง โดยการออกแบบจะทำการออกแบบโดยวิธีกำลังและนำทฤษฎีการออกแบบผนังรับแรงมาใช้ประกอบกับการใช้กราฟ interaction diagram ที่เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดกับแรงดัด ซึ่งจะใช้ในการตรวจสอบการวิบัติของโครงสร้างระบบผนังรับแรง โดยผลการออกแบบที่ได้ จะต้องอยู่ในช่วงกราฟ interaction diagram และในส่วนของการออกแบบโครงสร้างระบบเสา-คาน จะออกแบบโดยการเริ่มจากการวางแนวคานและเสาให้สอดคล้องกับระบบผนังรับแรง เพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบในด้านของระยะเวลาและราคา ซึ่งในการออกแบบนั้นจะออกแบบตั้งแต่คานคอดินจนถึงคานรับโครงหลังคา นอกจากส่วนนี้จะถือว่ามีโครงสร้างเหมือนกันจึงไม่นำมาออกแบบ โดยการออกแบบนั้นจะออกแบบโดยวิธีกำลัง ตามมาตรฐาน ACI หรือมาตรฐาน วสท. ซึ่งการออกแบบคานนั้นจะใช้ทฤษฎีการออกแบบคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว และใช้โปรแกรม ETABS ช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้าง ในส่วนการออกแบบเสาจะใช้ทฤษฎีการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งในการออกแบบได้มีการตรวจสอบผลการออกแบบโดยใช้โปรแกรม PCA column เพื่อตรวจสอบกำลังรับแรงของหน้าตัดเสาที่ทำการออกแบบ โดยผลการออกแบบทั้งหมดที่ได้จะแสดงใน ภาคผนวก ค และ ง หลังจากได้ทำการออกแบบเสร็จแล้วนั้น จากนั้นจึงนำแบบบ้านทั้ง 2 ระบบที่ออกแบบได้มาประมาณราคาและศึกษาระยะเวลาในการก่อสร้าง เพื่อสรุปผลการเปรียบเทียบ และศึกษาข้อดีและข้อเสียของระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่ โดยในการประมาณราคาและระยะเวลาการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของทั้งสองระบบจะกำหนดให้จำนวนของคนงานเท่ากันที่ 10 คน ซึ่งผลการประมาณราคาและระยะเวลาดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาของการก่อสร้างทั้ง 2 ระบบ

ระบบของการทำงาน	ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง (บาท)	ระยะเวลาในการก่อสร้าง(วัน)
โครงสร้างระบบเสา-คาน (ต่อการใช้ไม้แบบ 3 ครั้ง)	1,135,825.00	69
โครงสร้างระบบผนังรับแรง แบบหล่อในที่ (ต่อการใช้แบบหล่อ 1 ครั้ง)	4,432,583.00	20

จากตารางจะเห็นได้ว่าการก่อสร้างในระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่นั้น มีต้นทุนในด้านของราคาสูงกว่าโครงสร้างระบบเสาคานทั่วไปอยู่จำนวน 4,432,583.00 บาท (ต่อการใช้แบบหล่อ 1 ครั้ง) เนื่องจากค่าแบบหล่ออลูมิเนียมนั้นมีราคาแพงกว่าไม้แบบธรรมดาอยู่จำนวนมากแต่ในด้านของการใช้งานซ้ำนั้นสามารถใช้งานซ้ำได้ถึง 90 ครั้งซึ่งมากกว่าไม้แบบที่ใช้งานซ้ำได้แค่ 2-3 ครั้งเท่านั้น ส่วนในด้านของระยะเวลาในการก่อสร้างของระบบเสา-คานนั้นมากกว่าโครงสร้างระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่อยู่ถึง 49 วัน ต่อการก่อสร้าง 1 หลัง จำนวน 3 ยูนิต เนื่องจากระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่นั้นง่ายในการเข้าแบบหล่อและไม่ต้องเสียเวลาในการผูกเหล็กเสริม ในที่นี้เราต้องการที่จะทราบว่าหากใช้ระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่นั้นจะต้องทำการก่อสร้างจำนวนเท่าไหร่ถึงจะคุ้มทุนค่าแบบอลูมิเนียม ซึ่งสามารถคิดได้จากสมการดังนี้

$$4,432,583 + (562,658(N-1)) = 1,135,825(N)$$

โดยที่ N = จำนวนหลังในการก่อสร้างเพื่อให้คุ้มทุน

จากสมการข้างต้นนั้นจะได้ N = 6.75 ซึ่งประมาณ 7 หลัง หากคิดเป็นจำนวน ยูนิต จะเท่ากับ 21 นั้นคือหากเราต้องการจะก่อสร้างในระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่นั้น จะต้องทำการก่อสร้างจำนวน 21 ยูนิต ขึ้นไปถึงจะคุ้มทุนค่าแบบที่ใช้ในการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้ทำการศึกษาการออกแบบและเปรียบเทียบระยะเวลาการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระหว่างผนังรับแรงแบบหล่อในที่กับโครงสร้างแบบเสาคานทั่วไปแล้วนั้น เราสามารถจำแนกข้อดีข้อเสียของระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่ได้ดั้งนี้

ข้อดีของระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่

1. ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าระบบเสาคานทั่วไปอยู่มาก ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการจ้างงานน้อยลง

2. เหล็กเสริมที่ใช้เป็นเหล็กตะแกรงทำให้ไม่เกิดความยุ่งยากจากการผูกเหล็ก

3. เหมาะกับโครงการที่มีรูปแบบการก่อสร้างที่เหมือนๆกัน และจำนวนหลังของการก่อสร้างจำนวนมาก

4. แบบหล่ออลูมิเนียมมีน้ำหนักเบาสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย และสามารถใช้ซ้ำได้หลายครั้ง

ข้อเสียของระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่

1. ค่าแบบหล่อมีราคาต่อตารางเมตรแพงมากต้องสร้างในจำนวนหลังที่เยอะจึงจะคุ้มทุนค่าแบบหล่อ

2. ไม่สามารถใช้กับโครงการที่มีรูปแบบของบ้านพักอาศัยที่ไม่เหมือนกันในแต่ละหลังได้ และไม่เหมาะกับการก่อสร้างจำนวนน้อยๆ

3. ต้องใช้ช่างที่ชำนาญในการเข้าแบบหล่อเพราะยังไม่เป็นที่แพร่หลายและเป็นแบบหล่อที่เฉพาะของแต่ละโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] พรอพเพอร์ตี้คอนกรีต จำกัด. บ้านสำเร็จรูปที่ใช้โครงสร้างระบบเสาคาน. www.pros-concrete.com, 19 สิงหาคม 2556

[2] Buildernews. โครงสร้างรับแรงระบบยุโรป. www.buildernews.com, 19 สิงหาคม 2556

[3] เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย. สถาพร โภคา. วิวัฒน์ พัวทัศนานนท์. อิทธิพงศ์ พันธ์นิกุล (2551). กาออกแบบ ผนังรับน้ำหนักสำเร็จรูป: กรณีศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

[4] ไพลวิทย์ เทียนทอง. ยุทธศักดิ์ ธรรมตระกูลดี. วิษณุ ทิมเจริญ. (2549). การเปรียบเทียบราคาโครงสร้าง ระบบพื้นหล่อในที่และระบบพื้นสำเร็จรูปของบ้านพักอาศัย 2 ชั้น ในช่วงความยาวคานที่ต่างกัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[5] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2548 . มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีต เสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง ว.ส.ท. 1008-38

[6] ศ.ดร.วินิต ช่อวิเชียร. ดร.วรนิติ ช่อวิเชียร. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ, 2554

[7] สถาพร โภคา. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ไลบรารี่นาย, 2546(492 หน้า)

[8] วิสูต จิระดำเกิง. การบริหารงานก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี: วรรณกวี, 2554

[9] วิสูต จิระดำเกิง. การวางแผนงานและแผนกำหนดเวลางานก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: วรรณกวี, 2544

[10] วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: ป.สัมพันธ์พานิช, 2544

[11] วิสูต จิระดำเกิง. ต้นทุนงานก่อสร้าง2556. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี: วรรณกวี, 2556

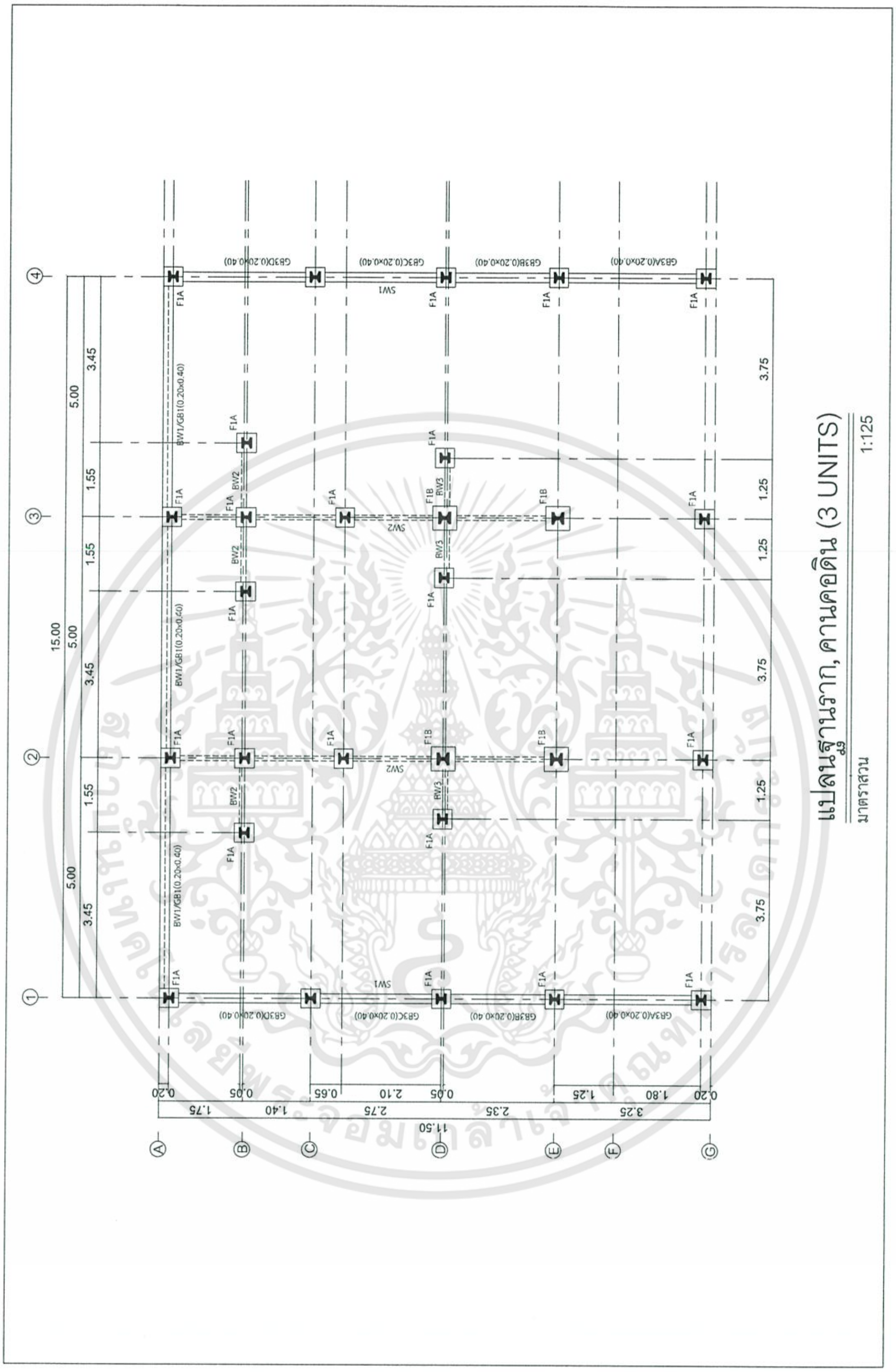
[12] สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.). รายการประมาณราคาปีงบประมาณ 2556. http://www.yotathai.net/index.php?topic=26.0, 26 มกราคม 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

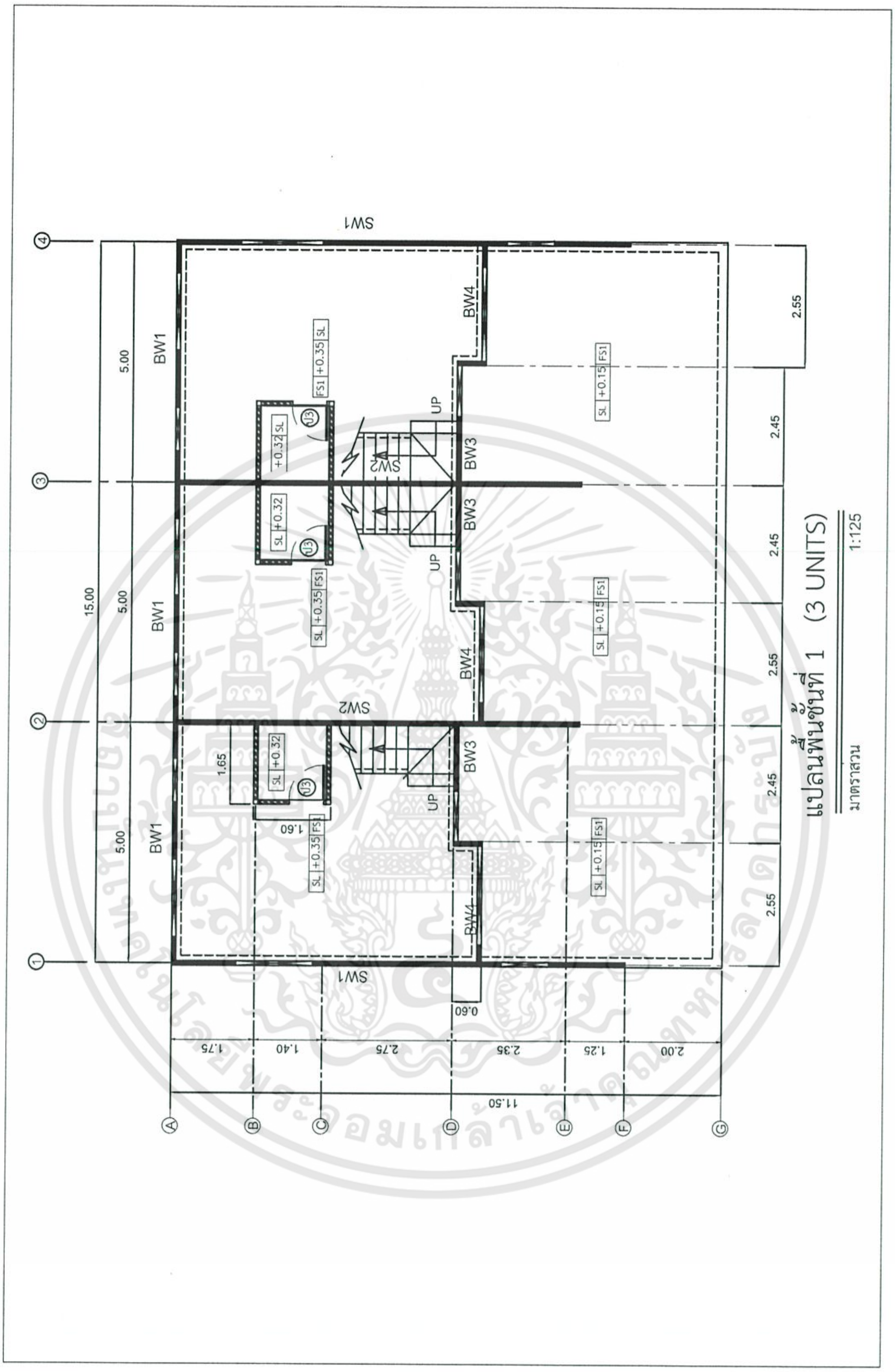
แบบบ้านพักอาศัยทาว์นโฮม 3 ชั้น ของระบบผนังรับแรงแบบหล่อในที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



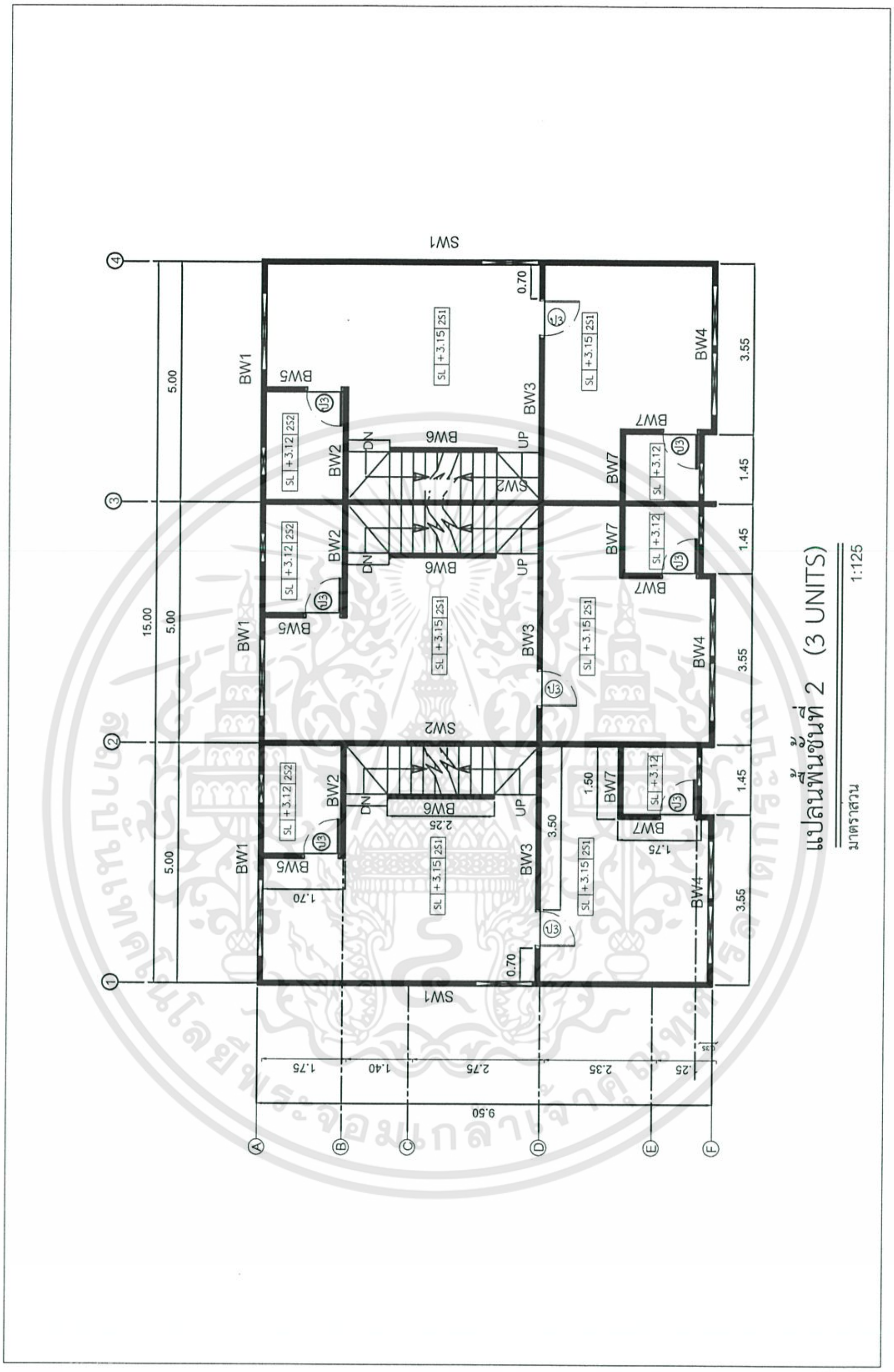
รูปที่ ผก 1 แปลนฐานรากและคานคอดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



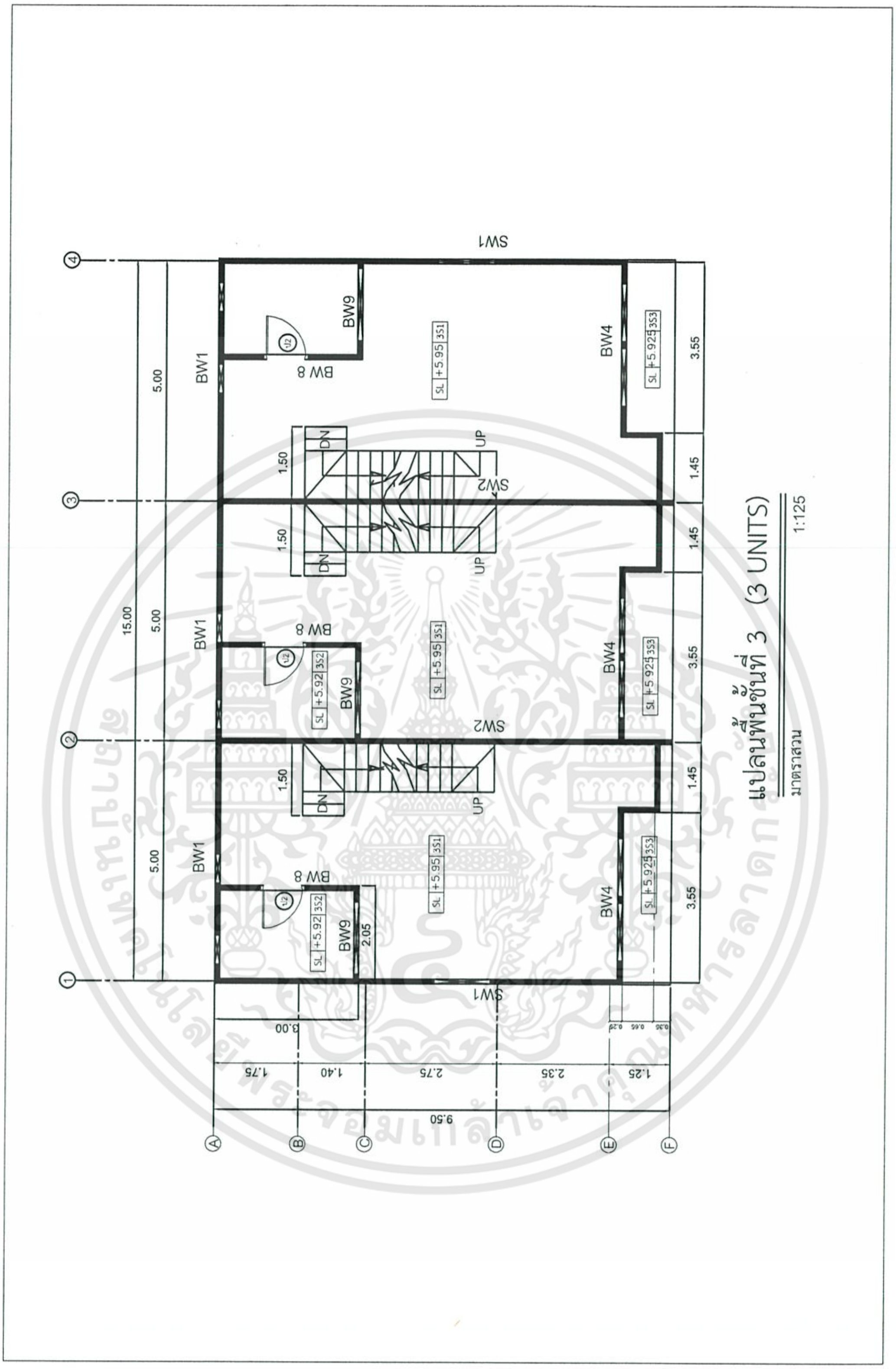
รูปที่ ผก 2 แปลนพื้นชั้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



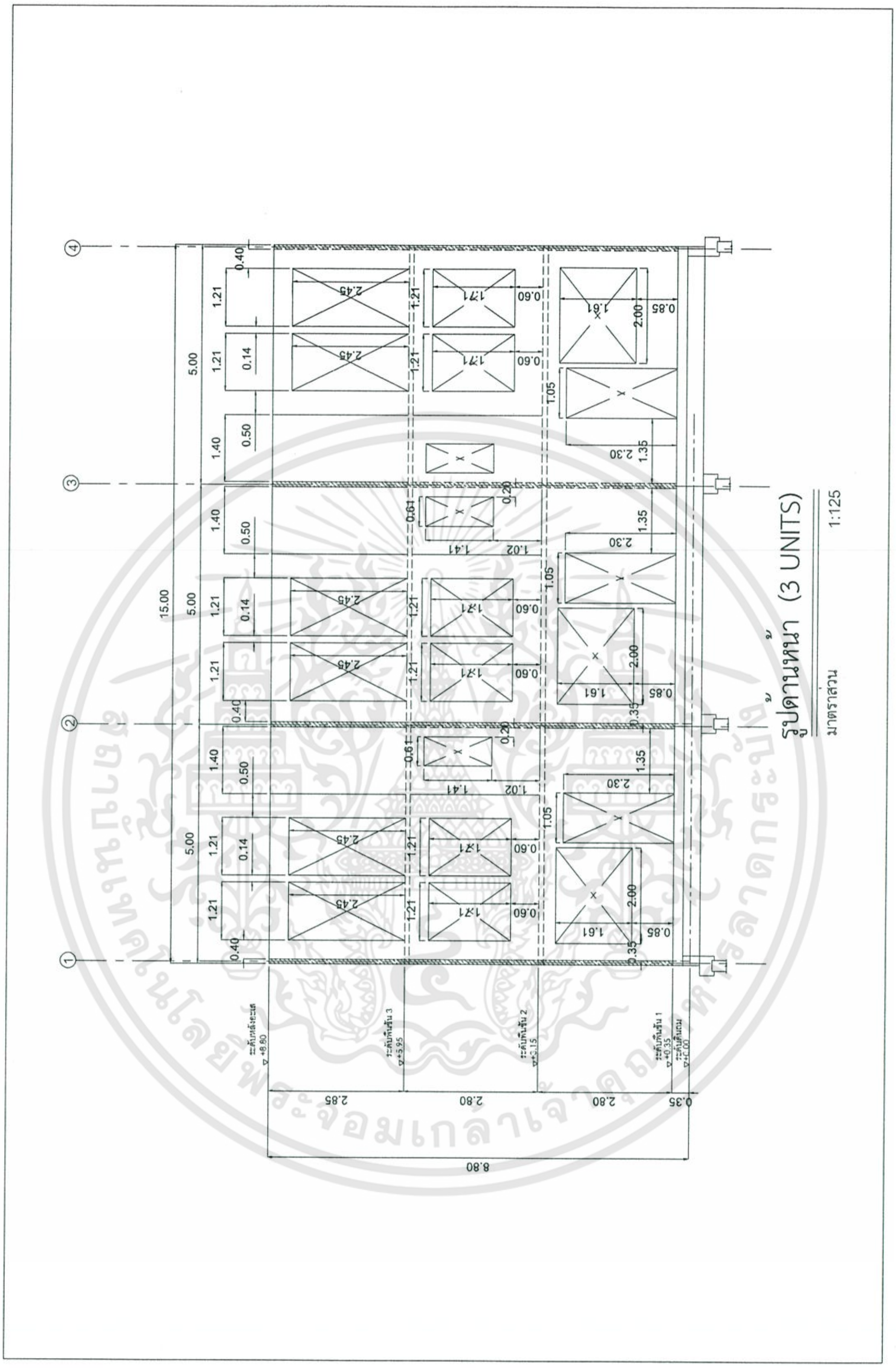
รูปที่ ผก 3 แปลนพื้นชั้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



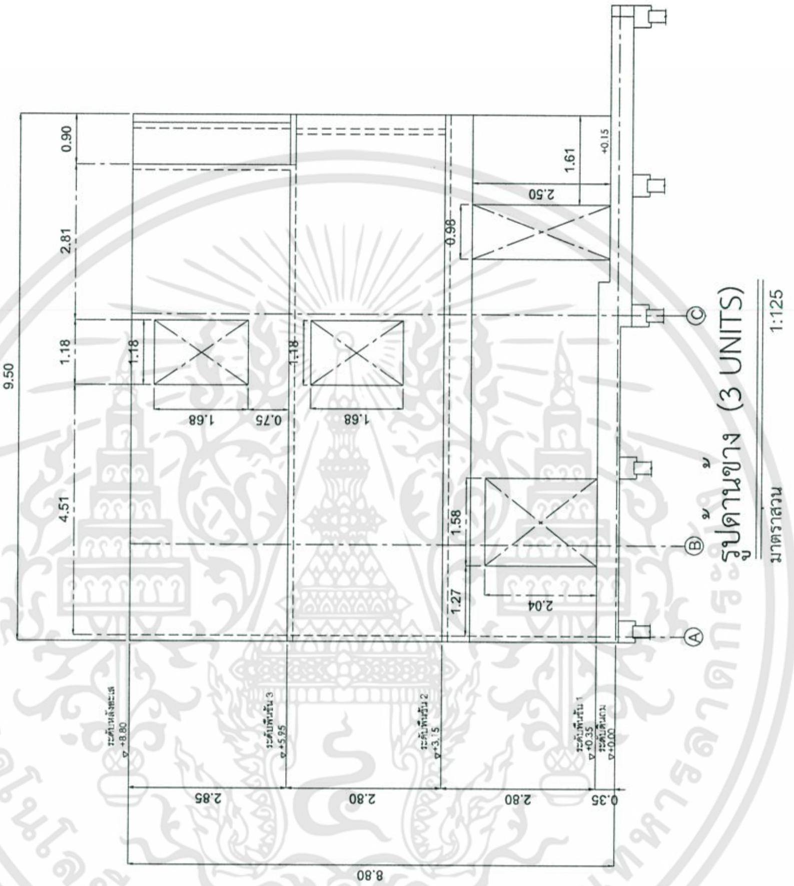
รูปที่ ผก 4 แปลนพื้นชั้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



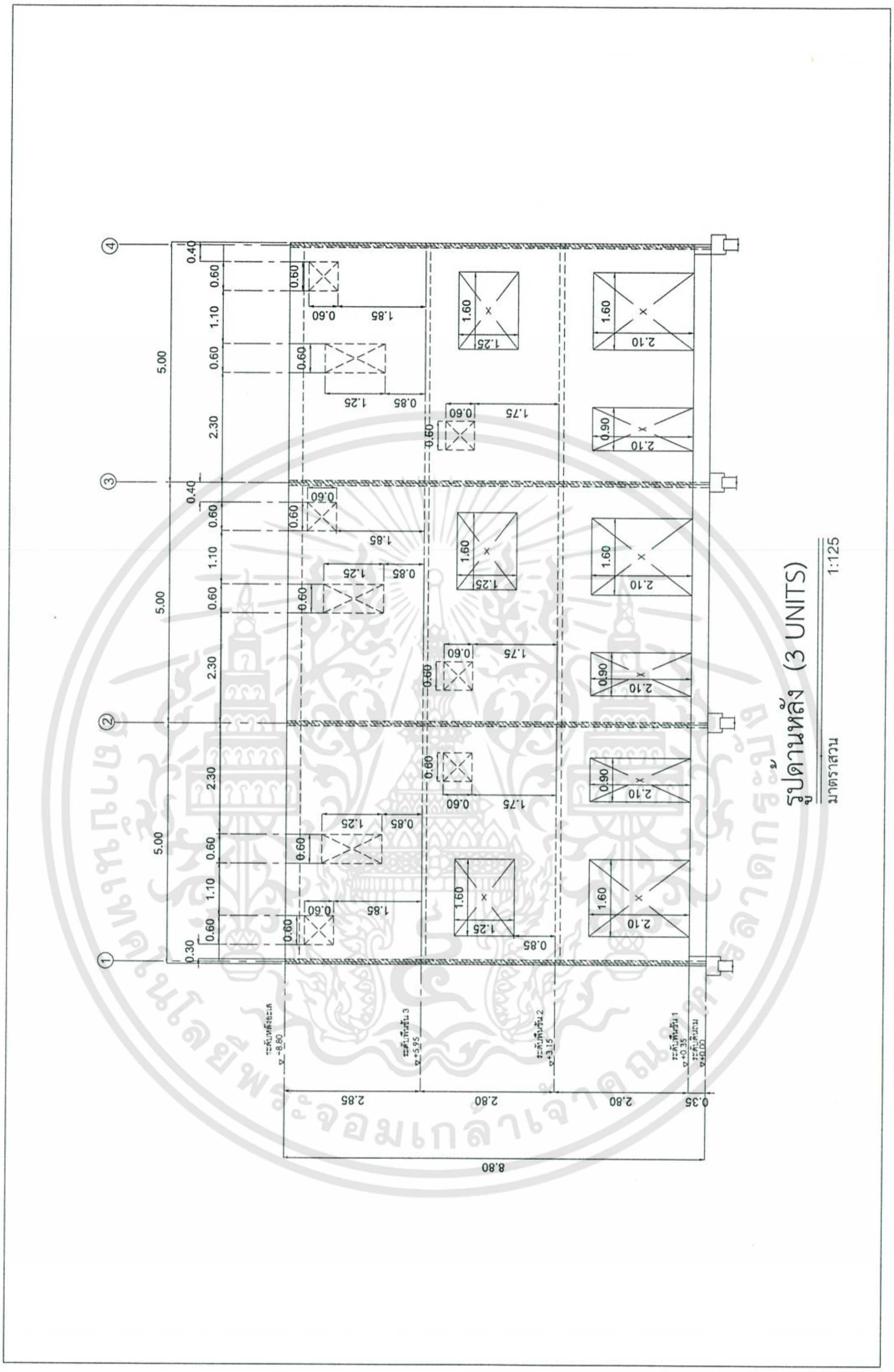
รูปที่ ผก 5 รูปด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



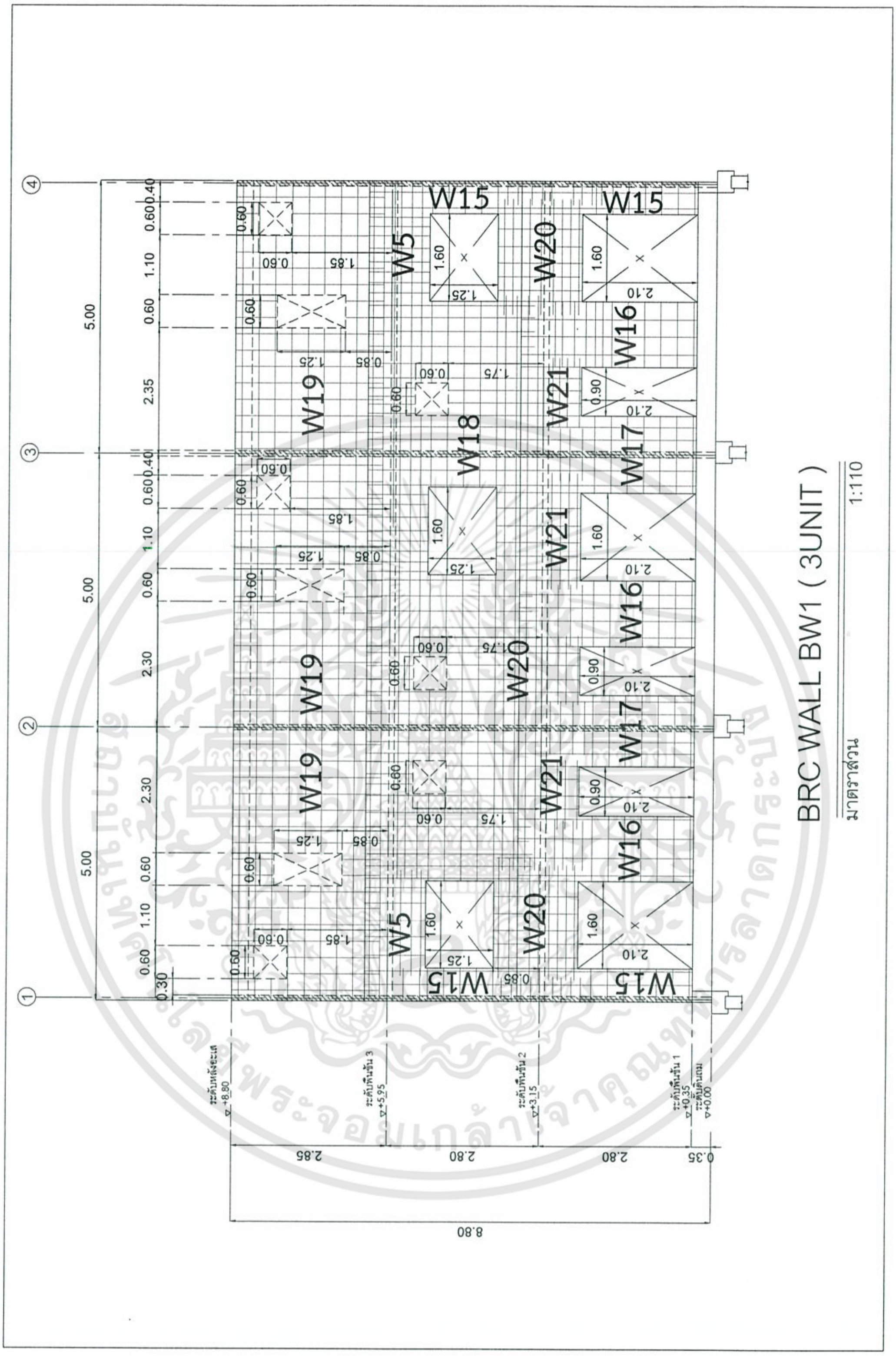
รูปที่ ผก 6 รูปด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



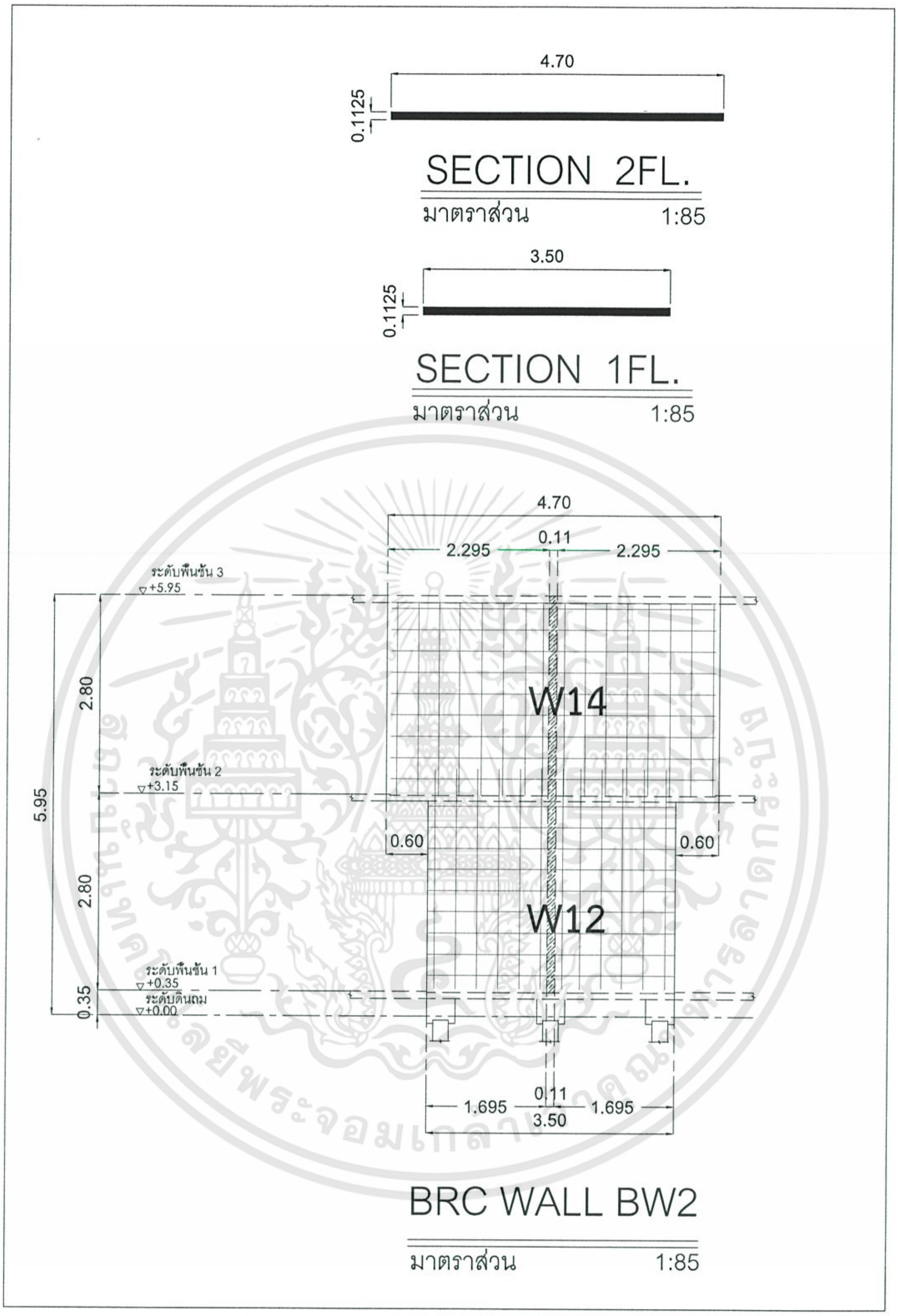
รูปที่ ผก 7 รูปด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



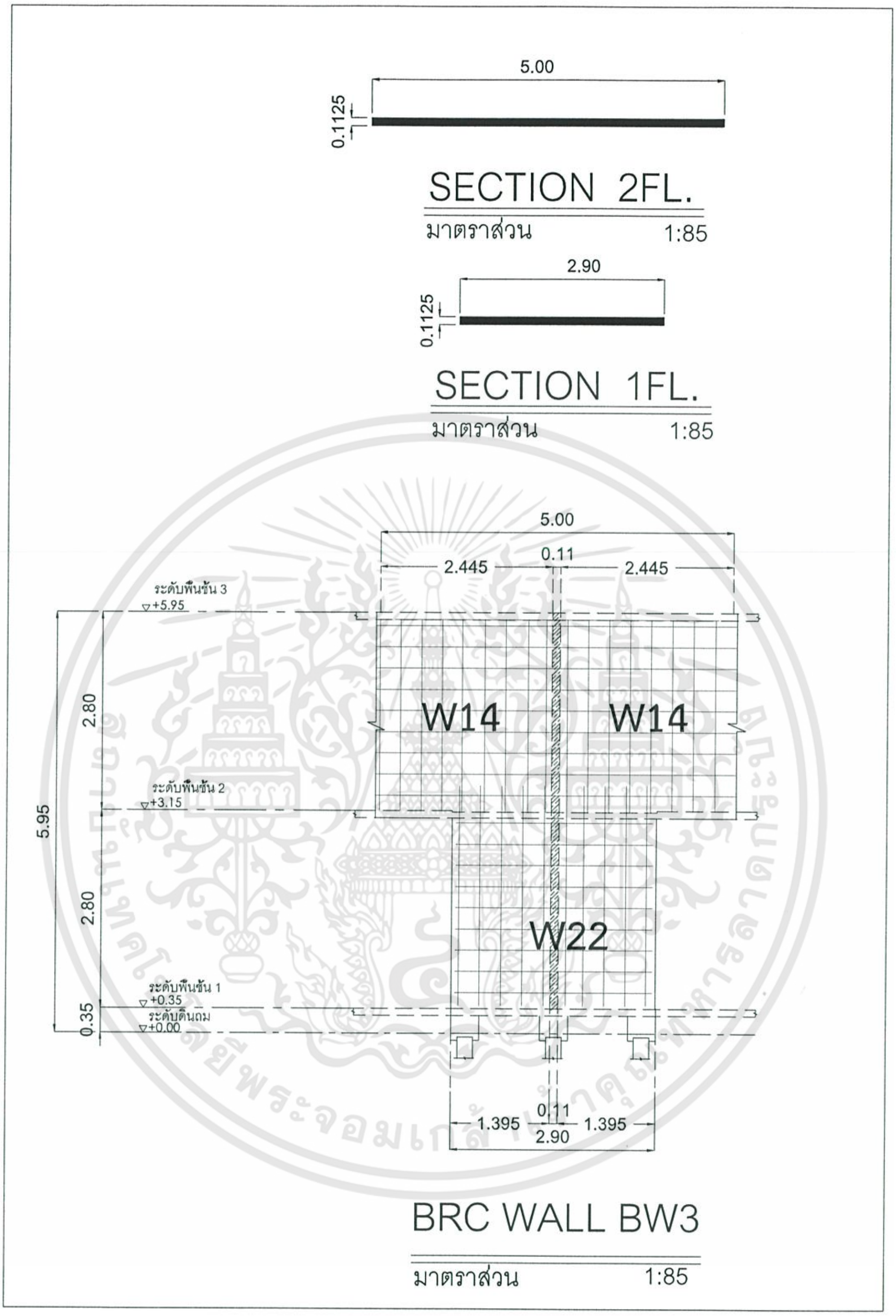
รูปที่ ผก 8 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง BW1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



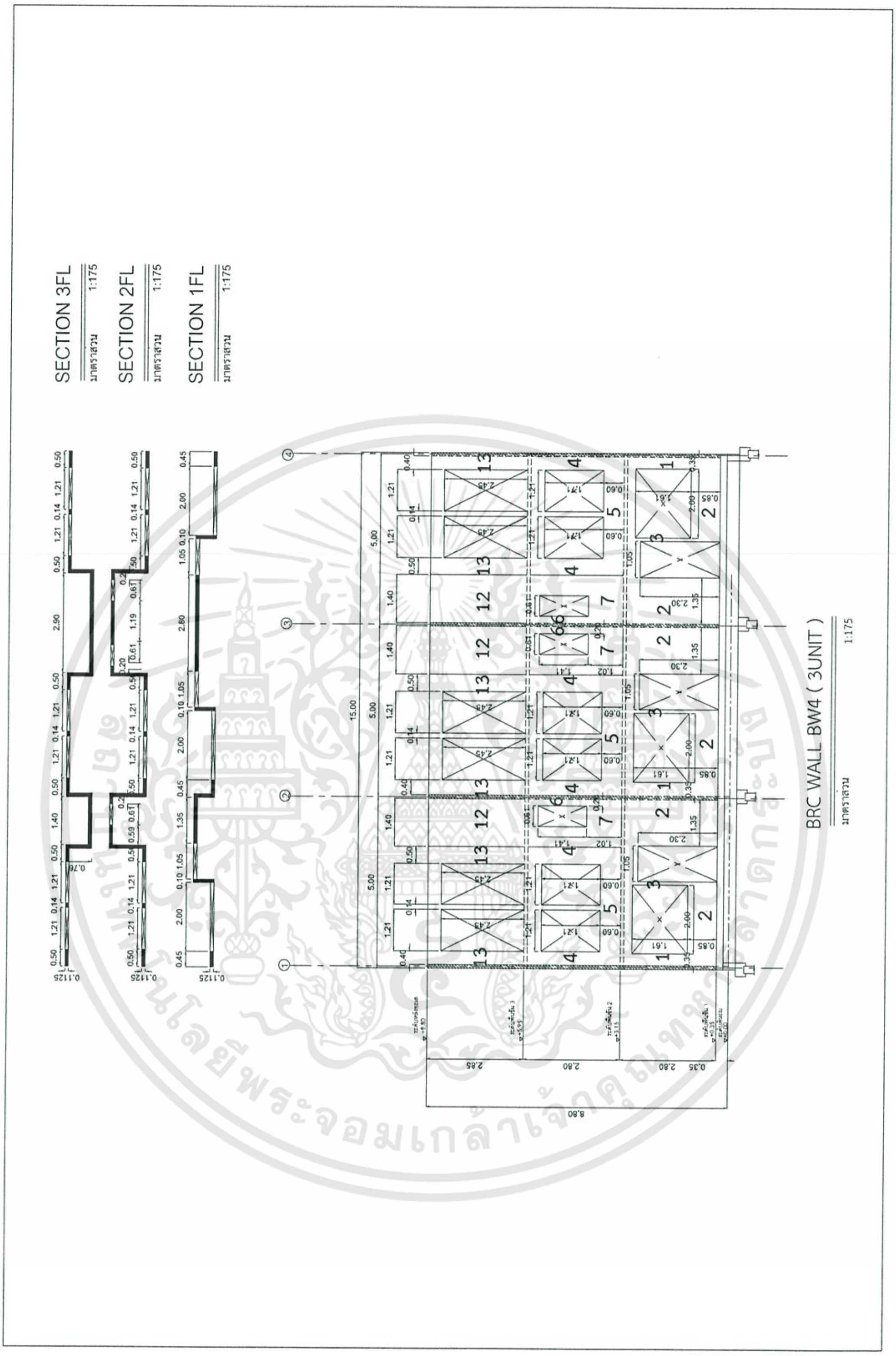
รูปที่ ผก 9 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง BW2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



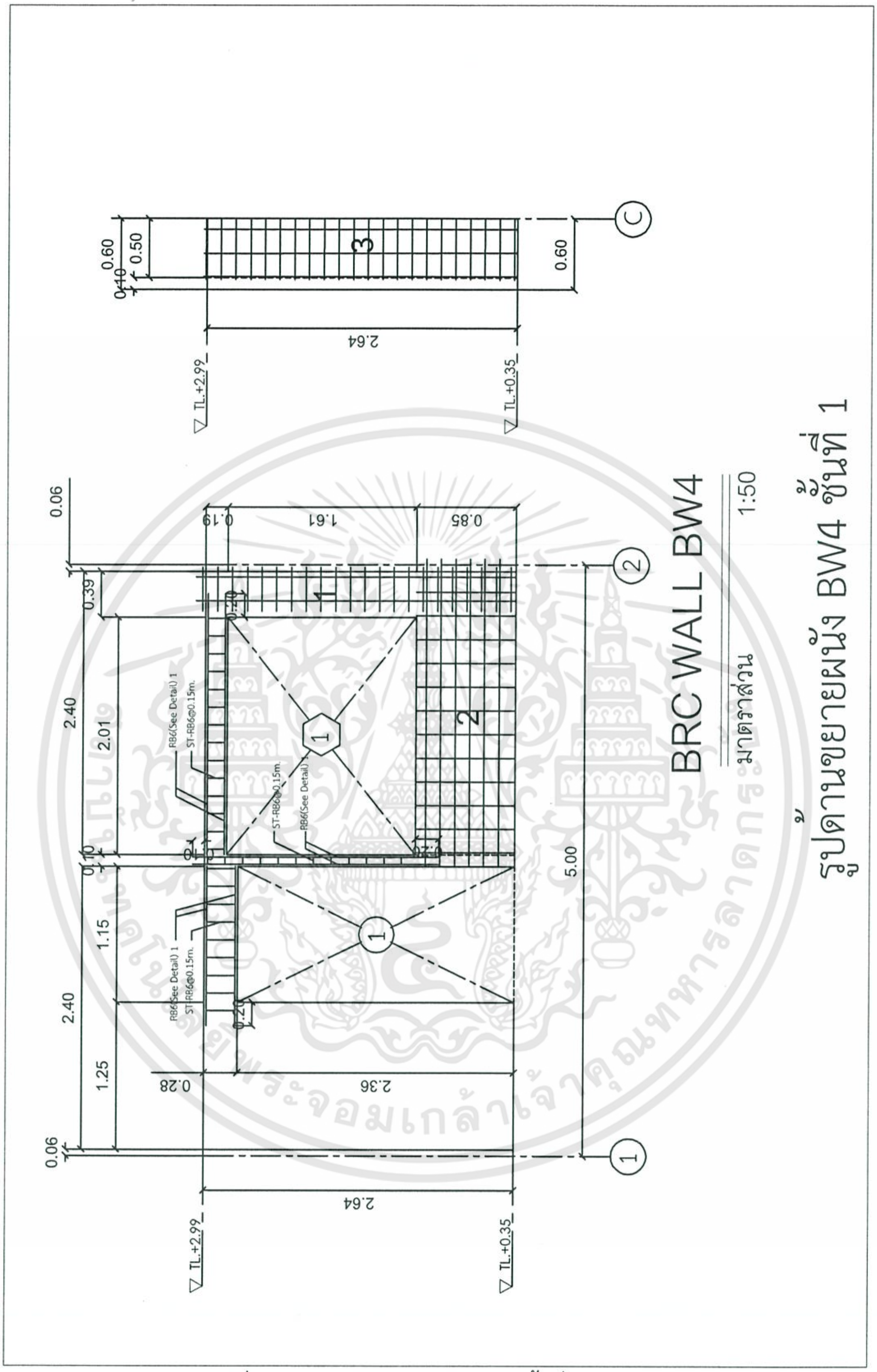
รูปที่ ผก 10 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง BW3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



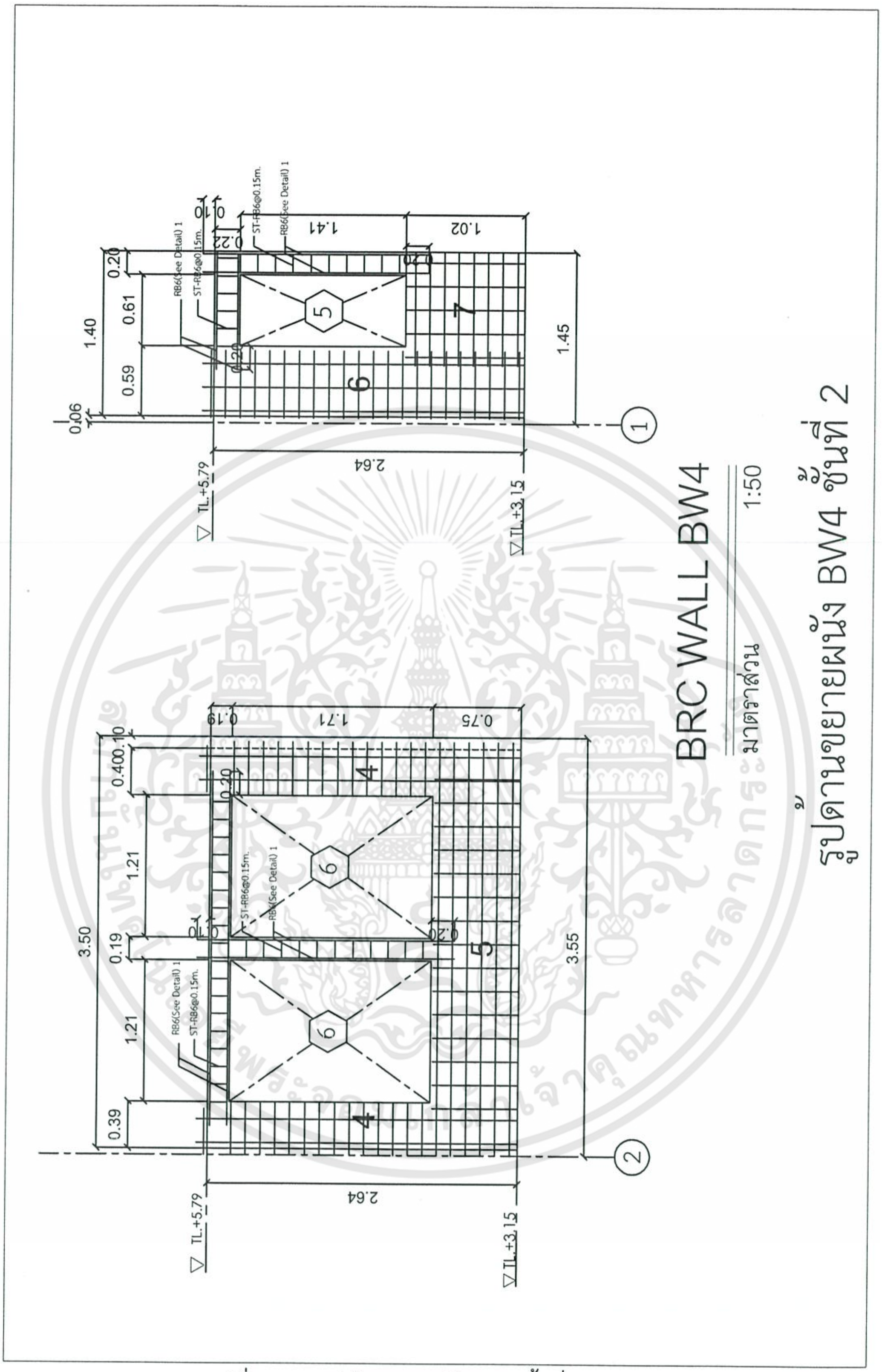
รูปที่ ผก 11 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง BW4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



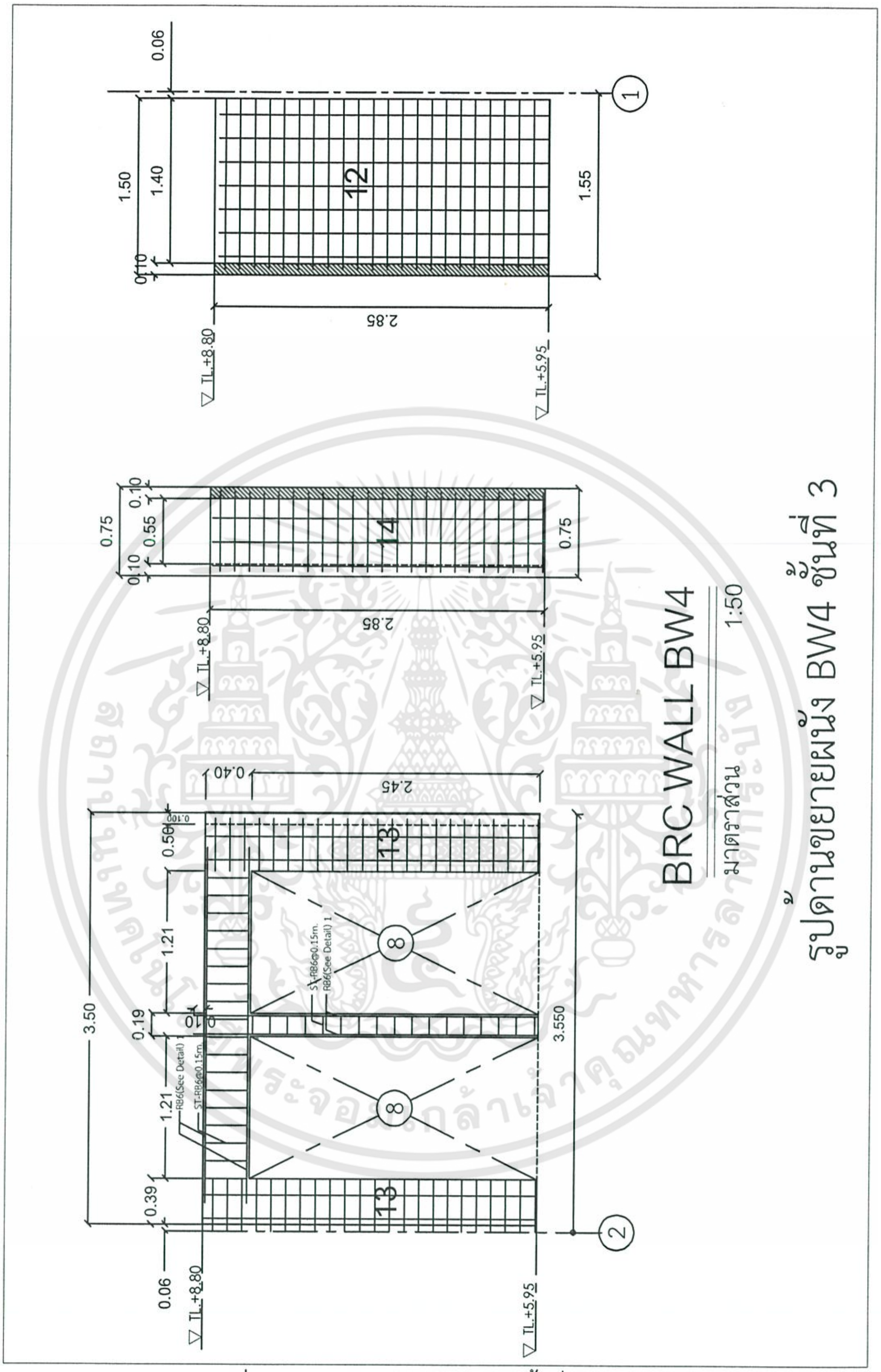
รูปที่ ผก 12 รูปด้านขยายผนัง BW4 ชั้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



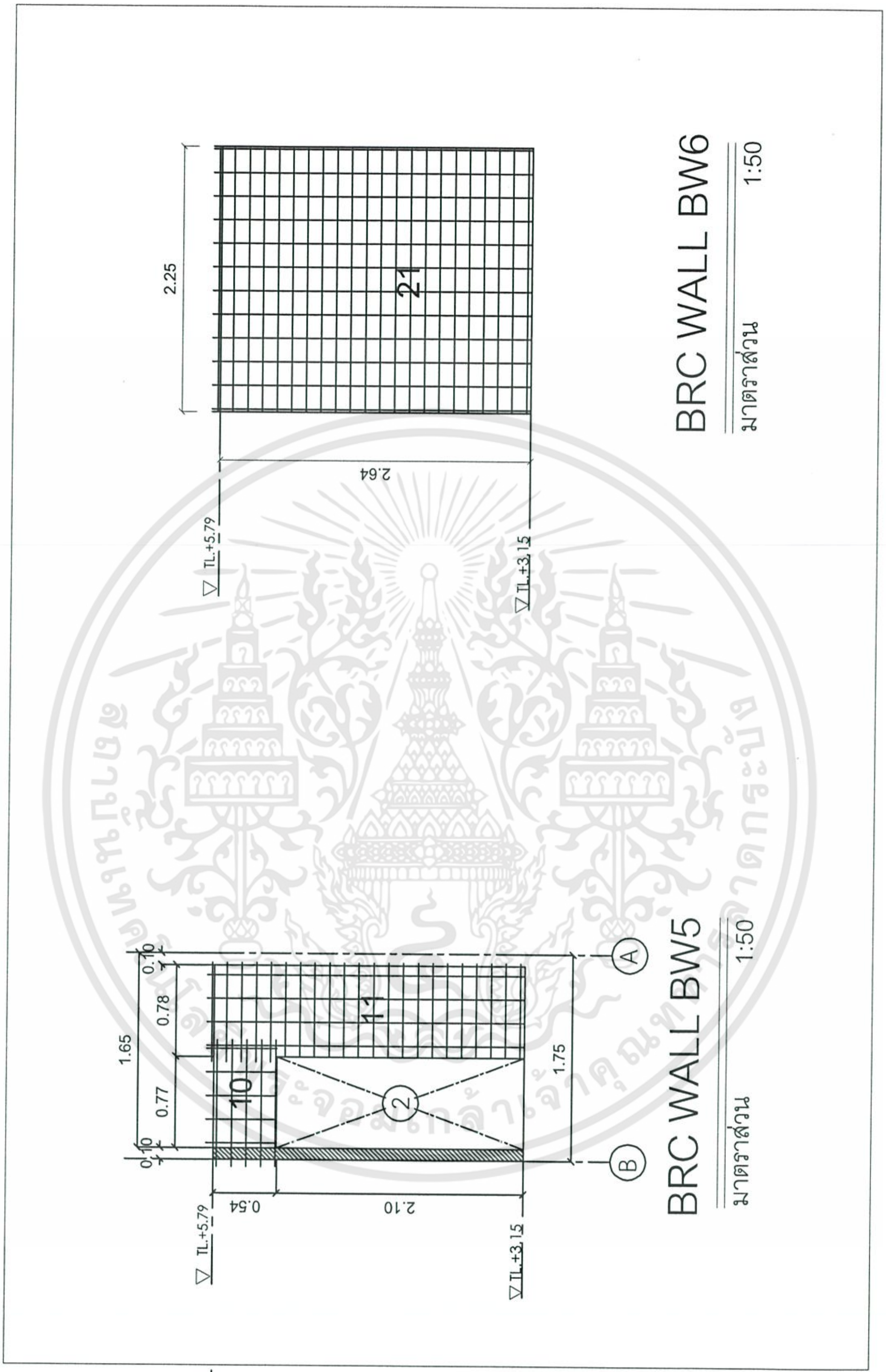
รูปที่ ผก 13 รูปด้านขยายผนัง BW4 ชั้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



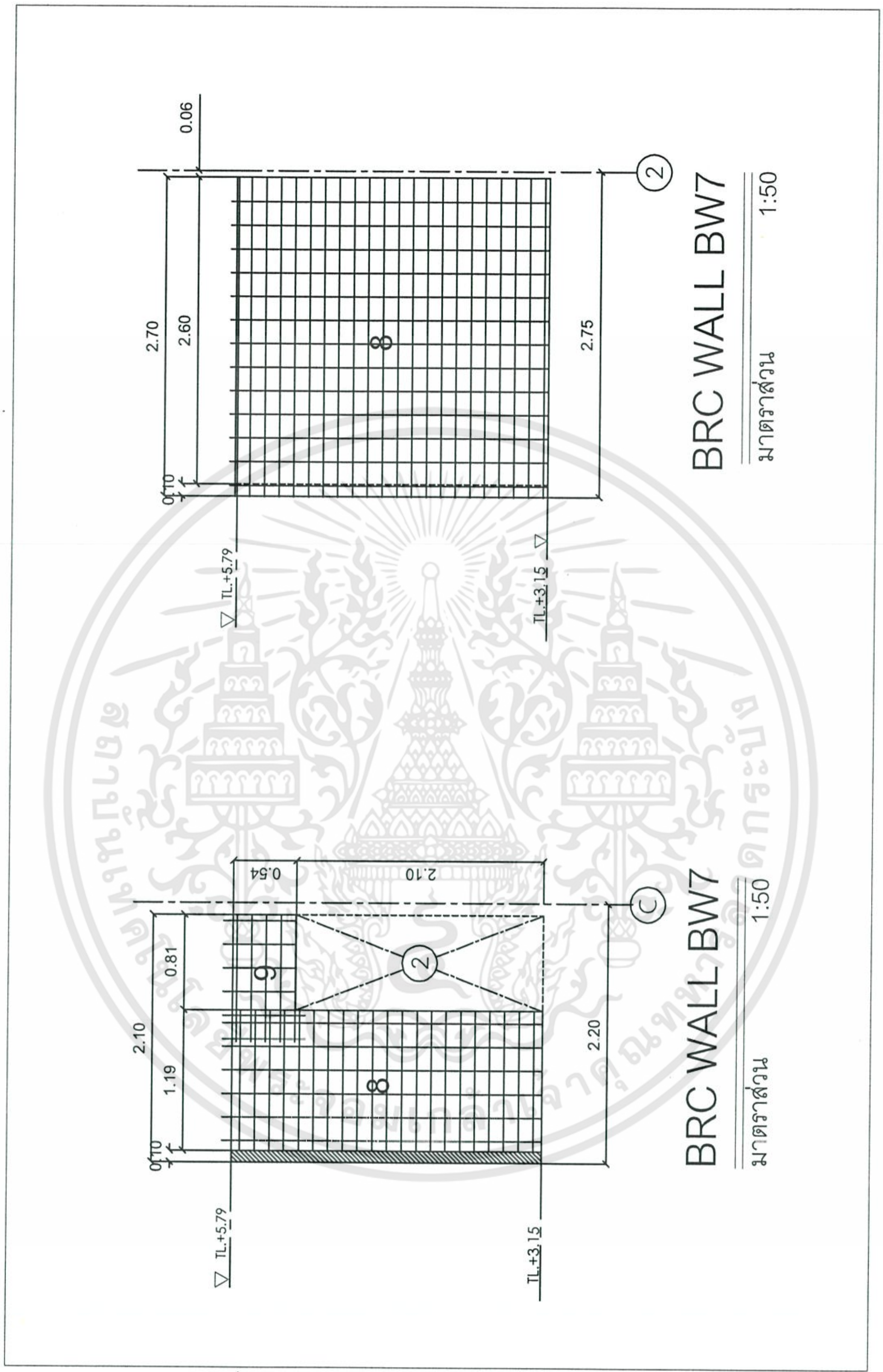
รูปที่ ผก 14 รูปด้านขยายผนัง BW4 ชั้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



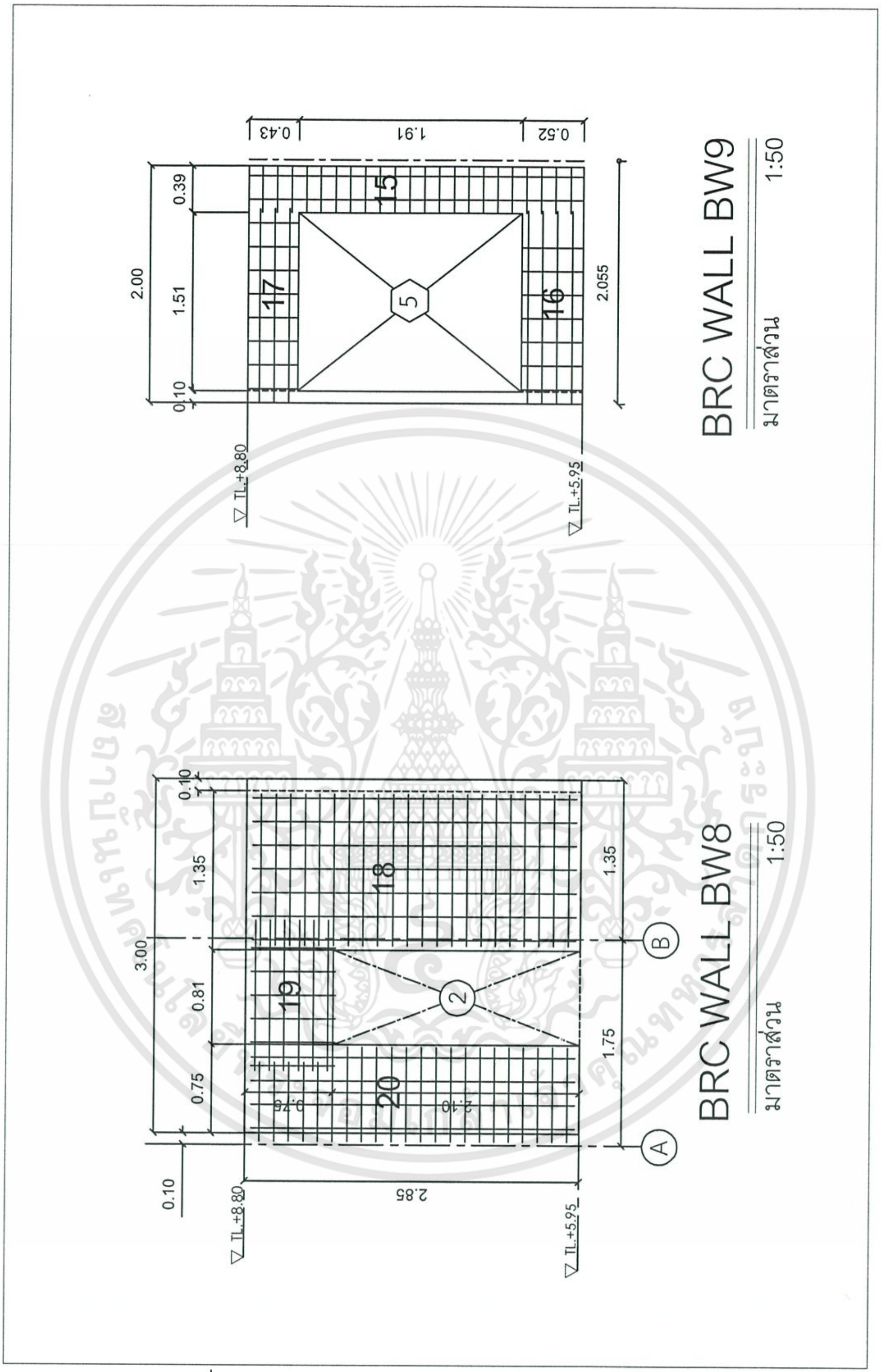
รูปที่ ผก 15 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง BW5-BW6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



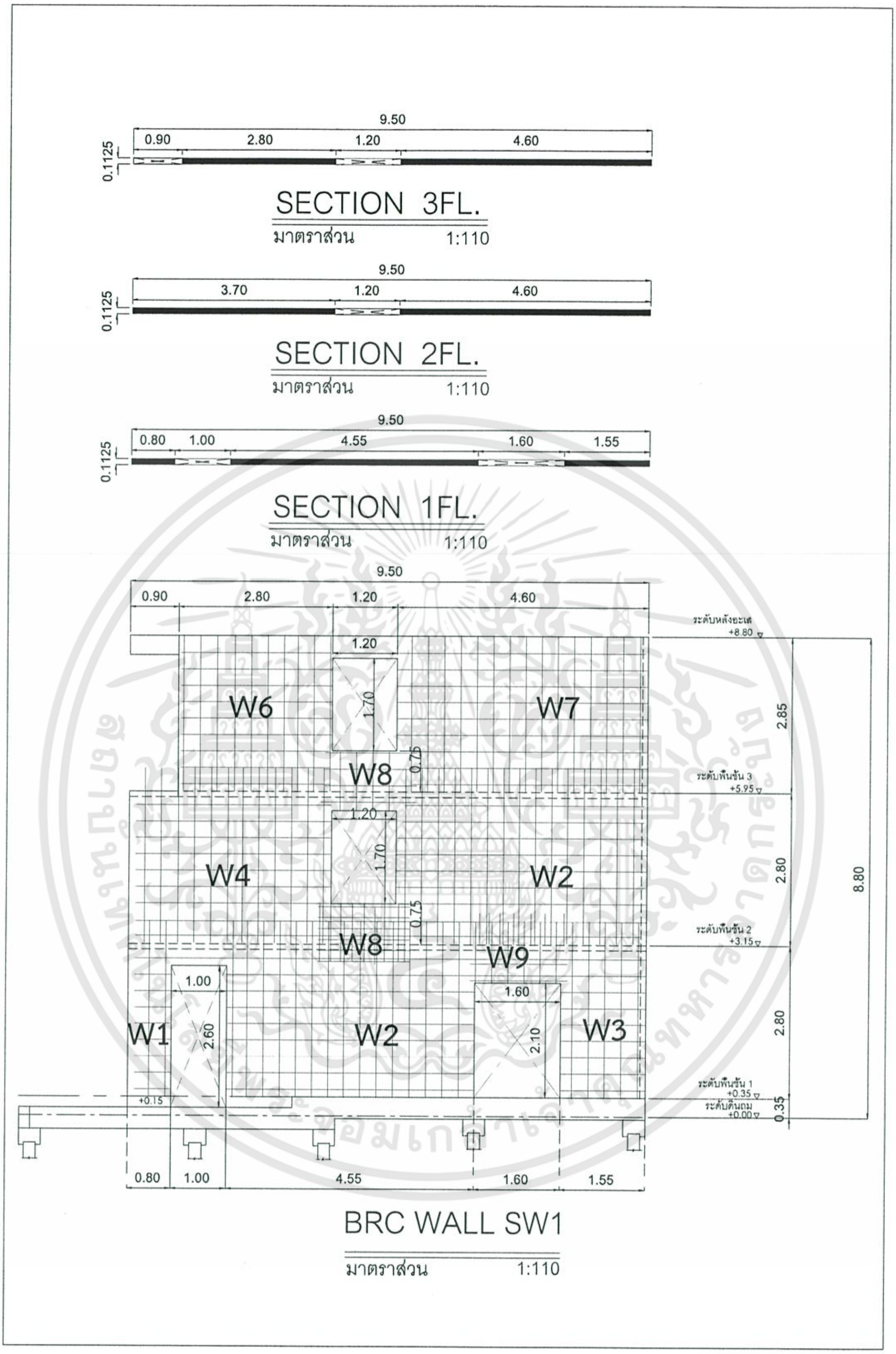
รูปที่ ผก 16 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง BW7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



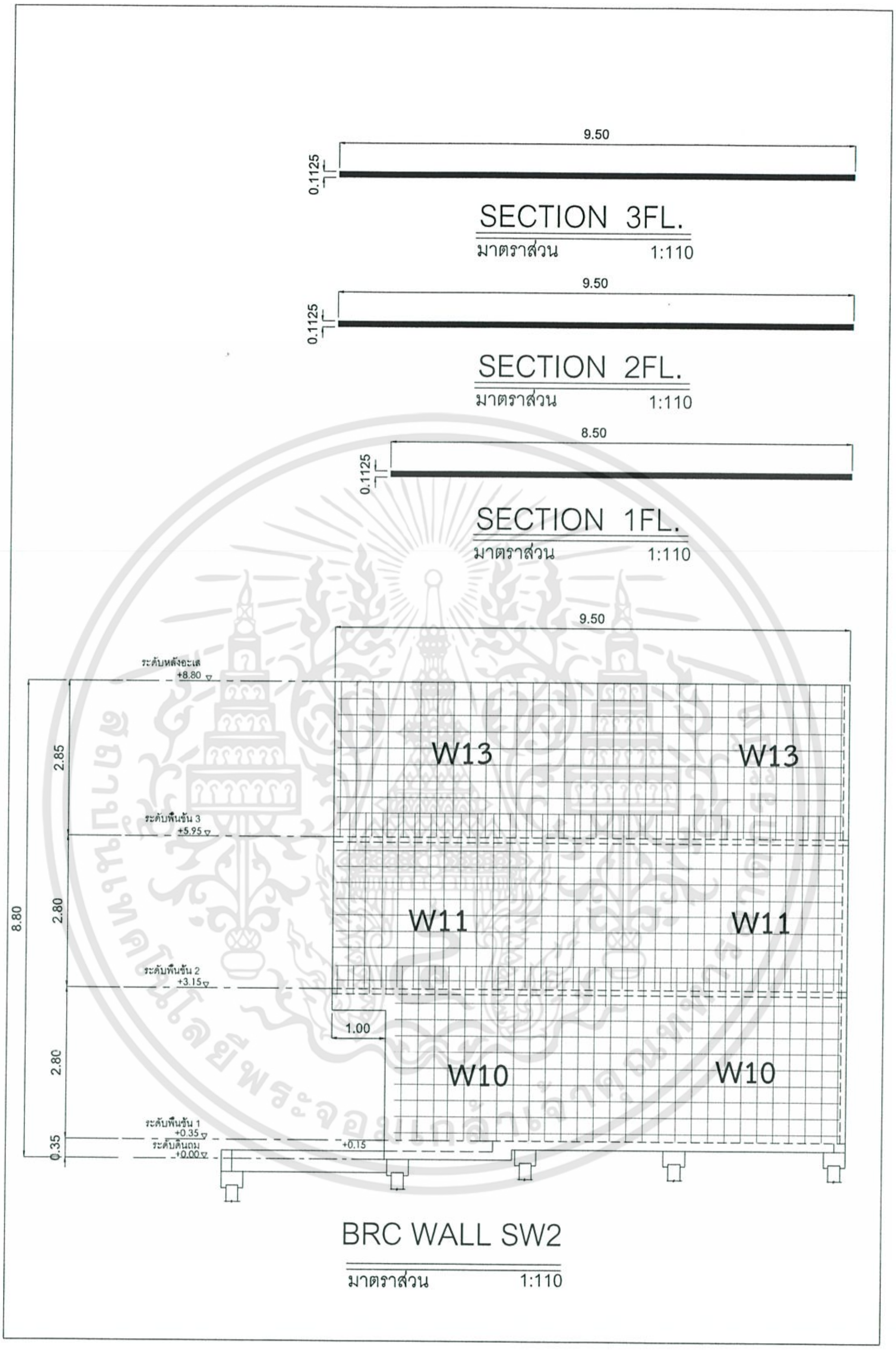
รูปที่ ผก 17 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง BW8-BW9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



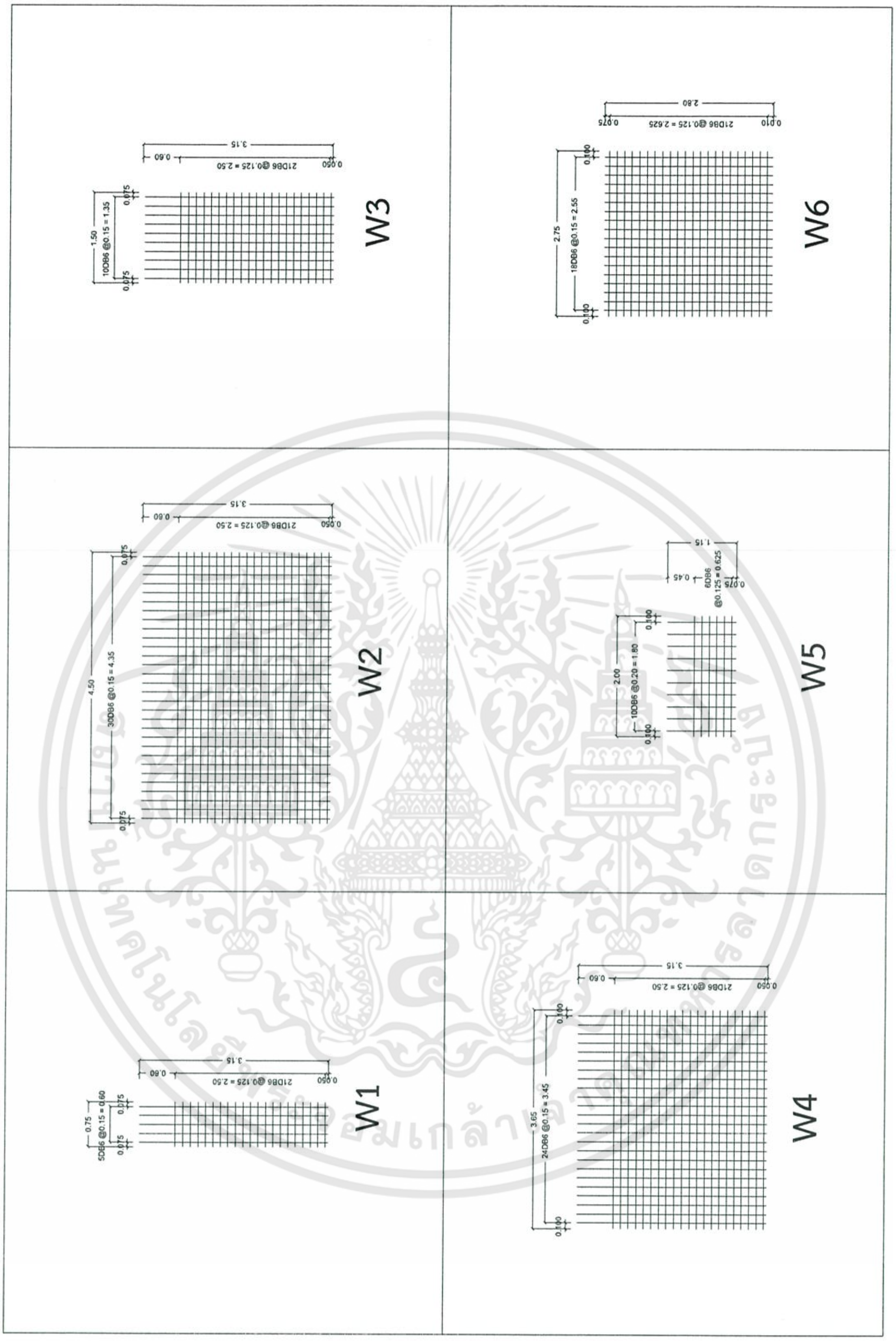
รูปที่ ผก 18 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง SW1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



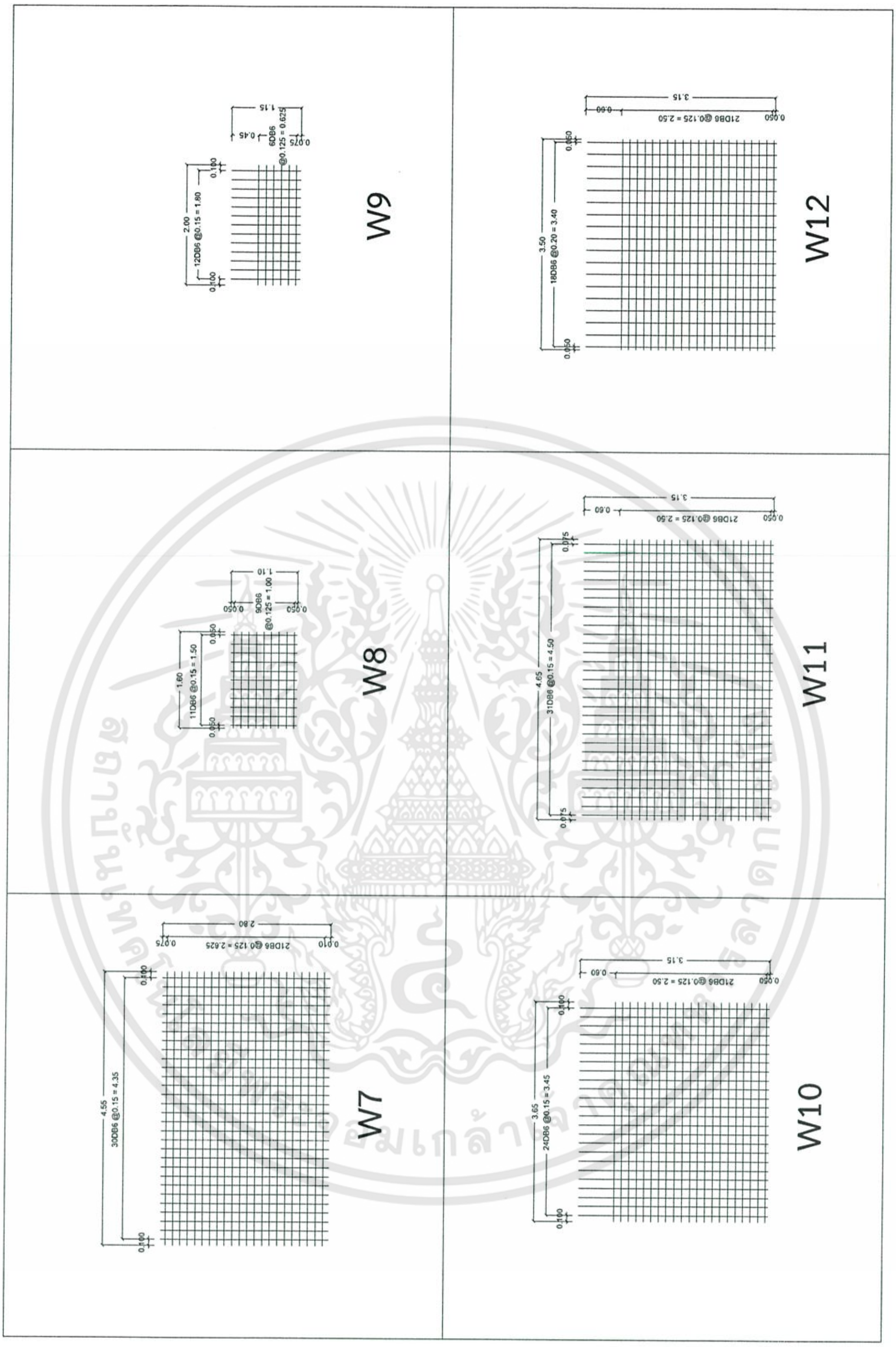
รูปที่ ผก 19 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง SW2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



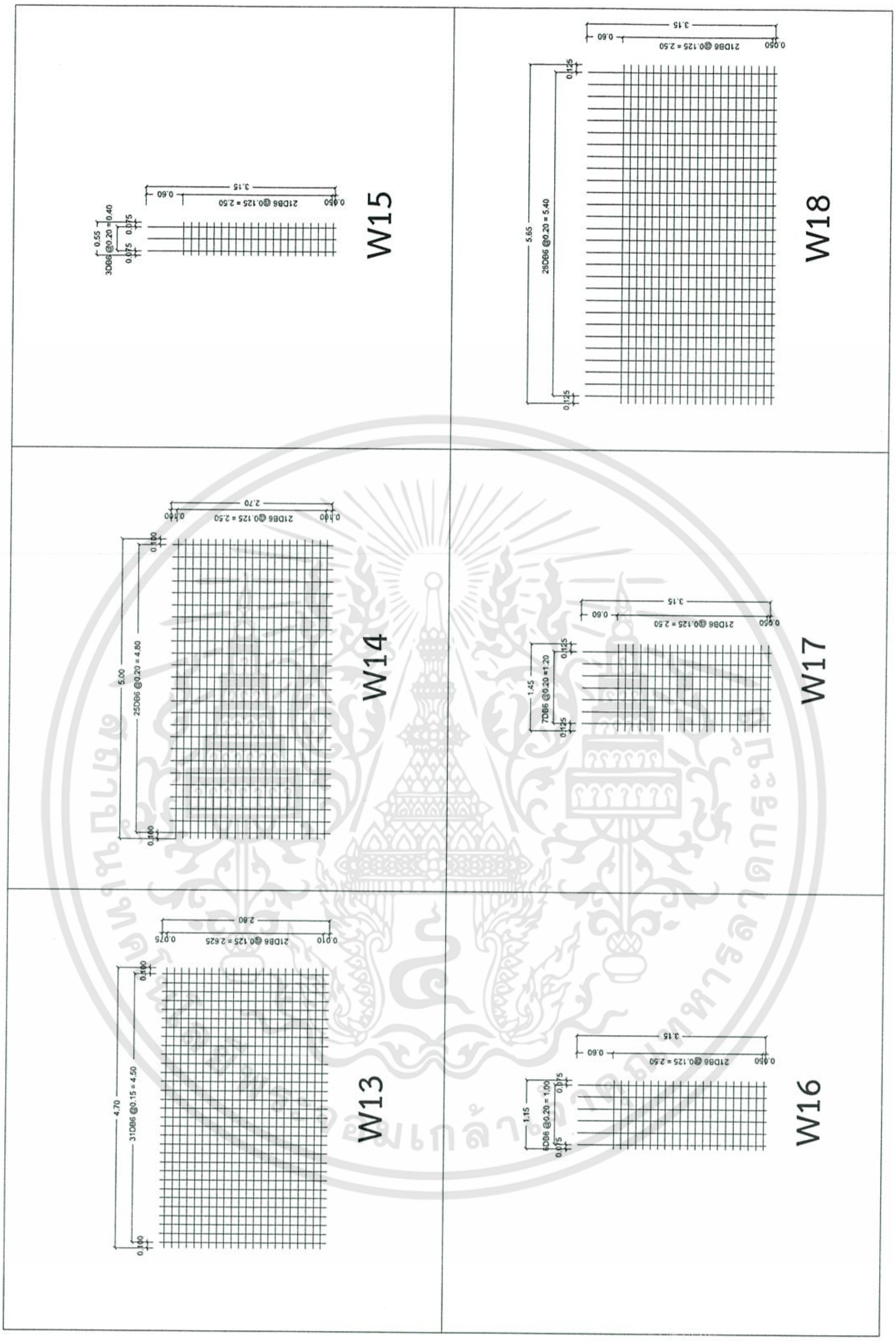
รูปที่ ผก 20 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง W1-W6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



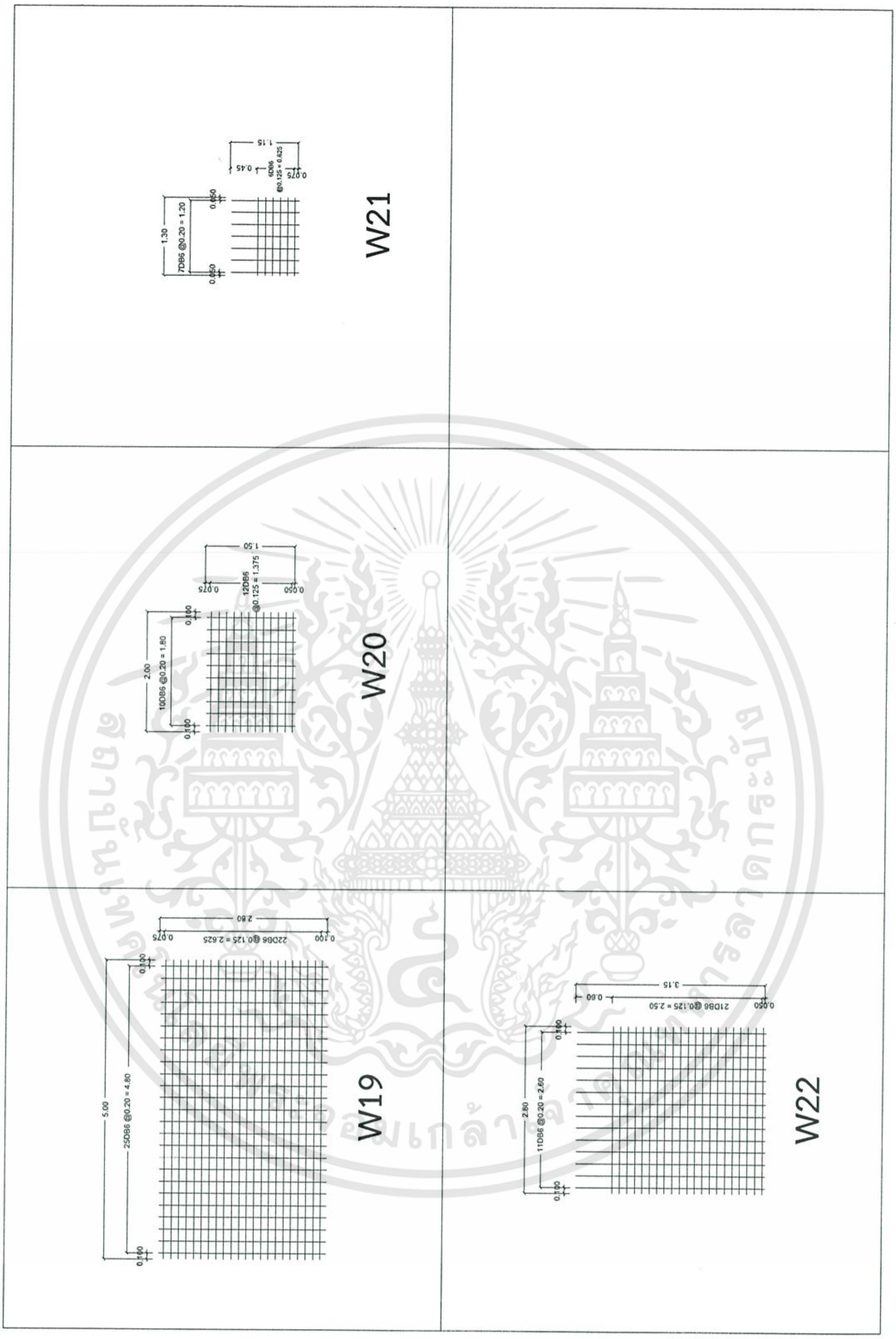
รูปที่ ผก 21 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง W7-W12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



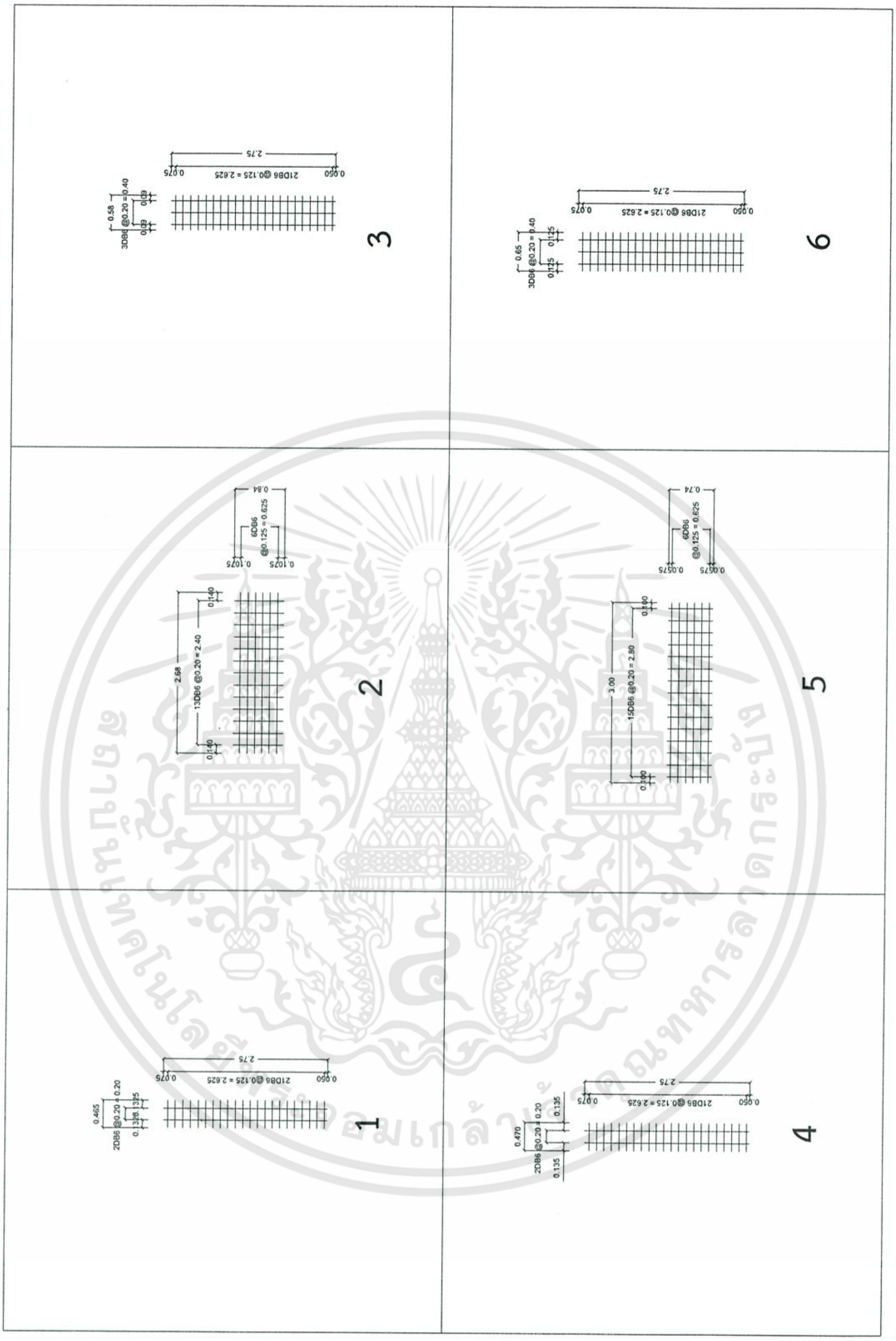
รูปที่ ผก 22 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง W13-W18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



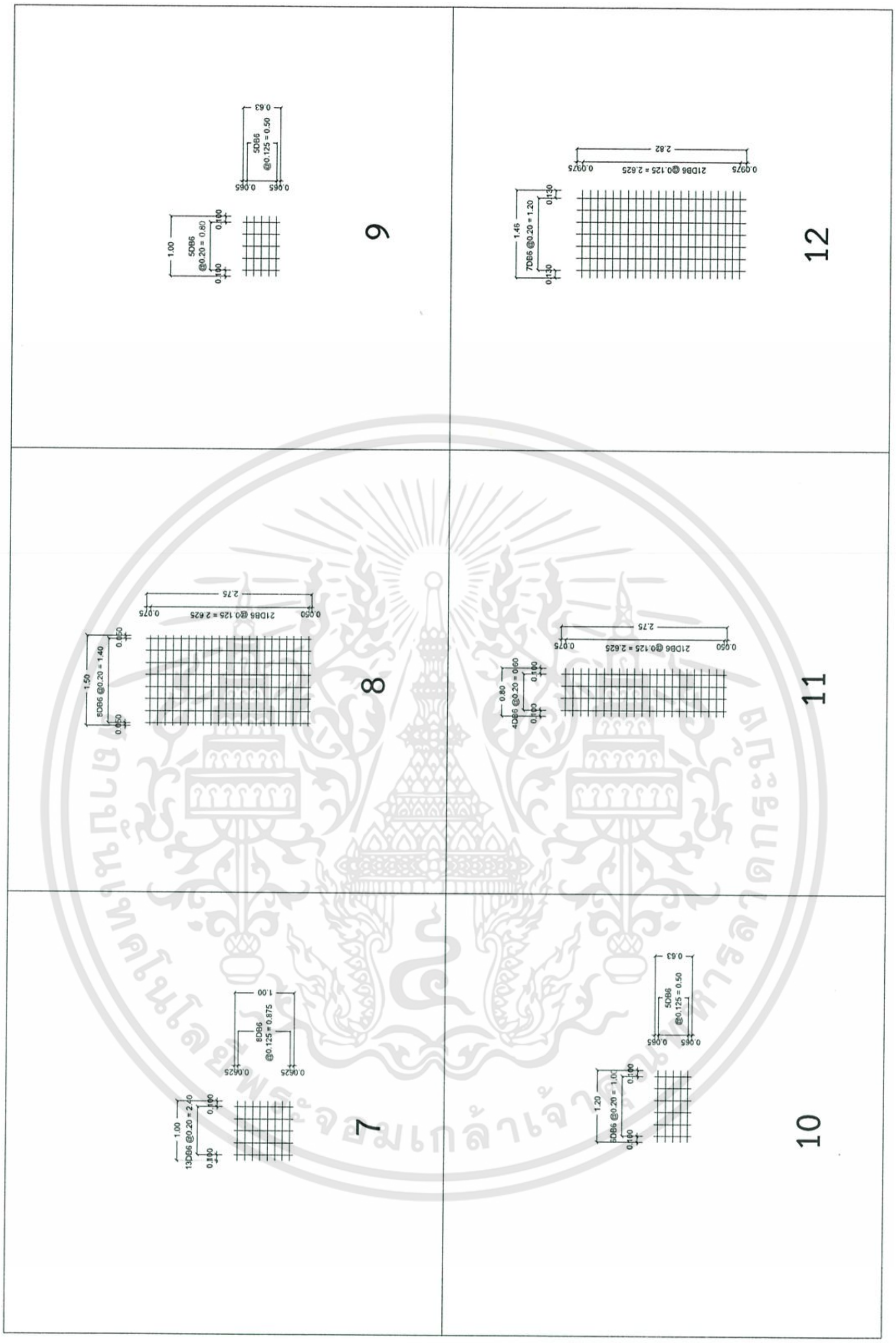
รูปที่ ผก 23 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง W19-W22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



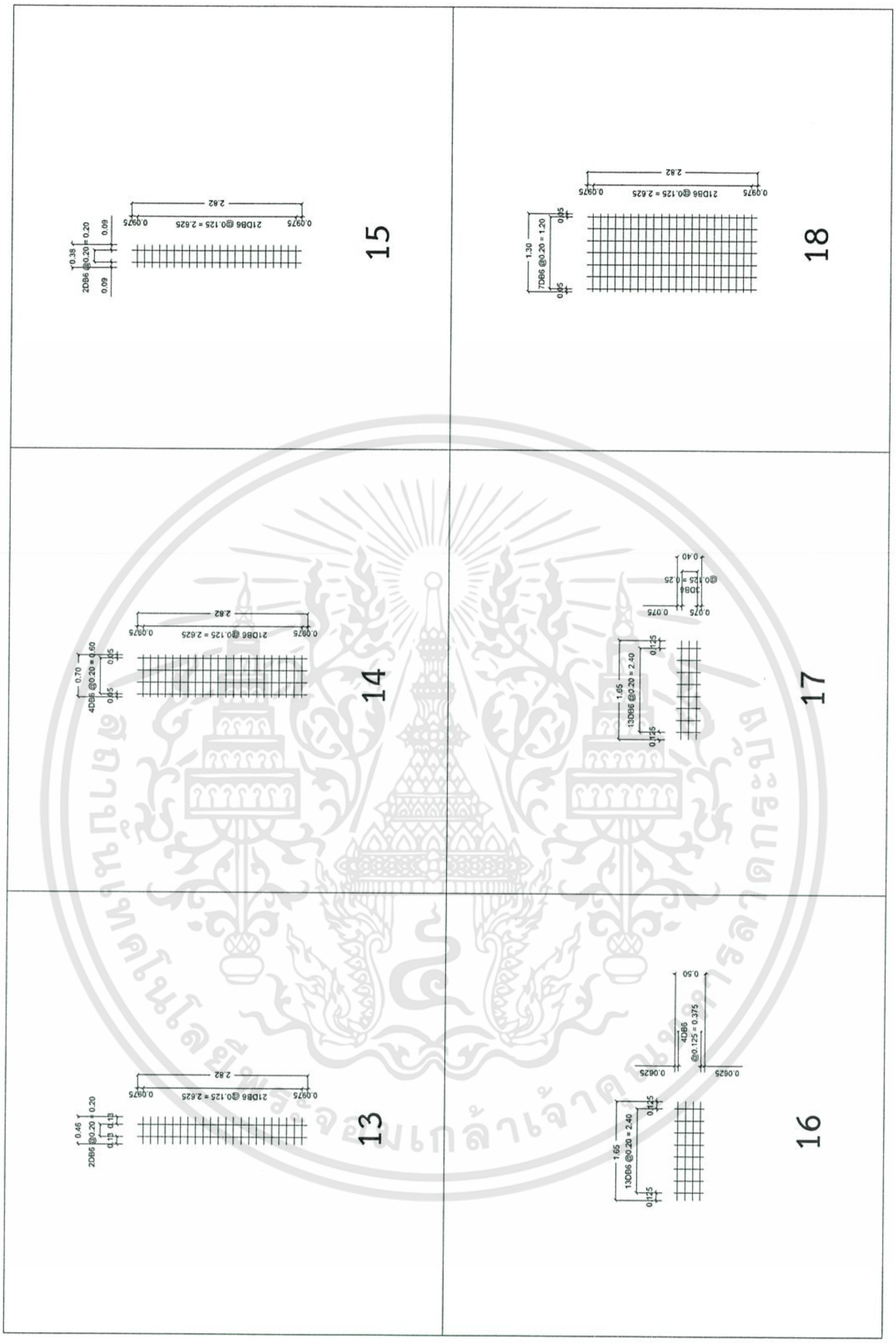
รูปที่ ผก 24 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง 1-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



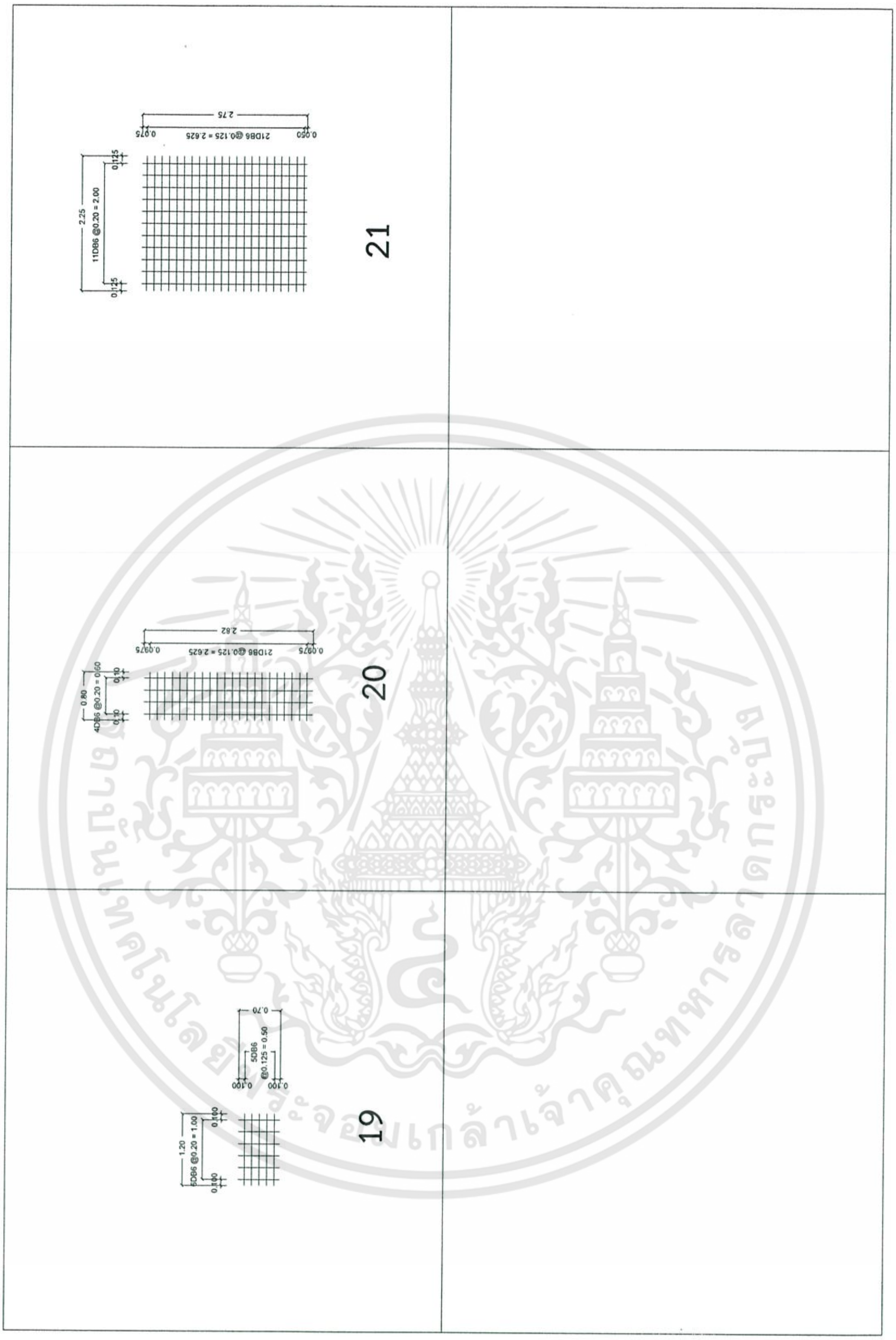
รูปที่ ผก 25 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง 7-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผก 26 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง 13-18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



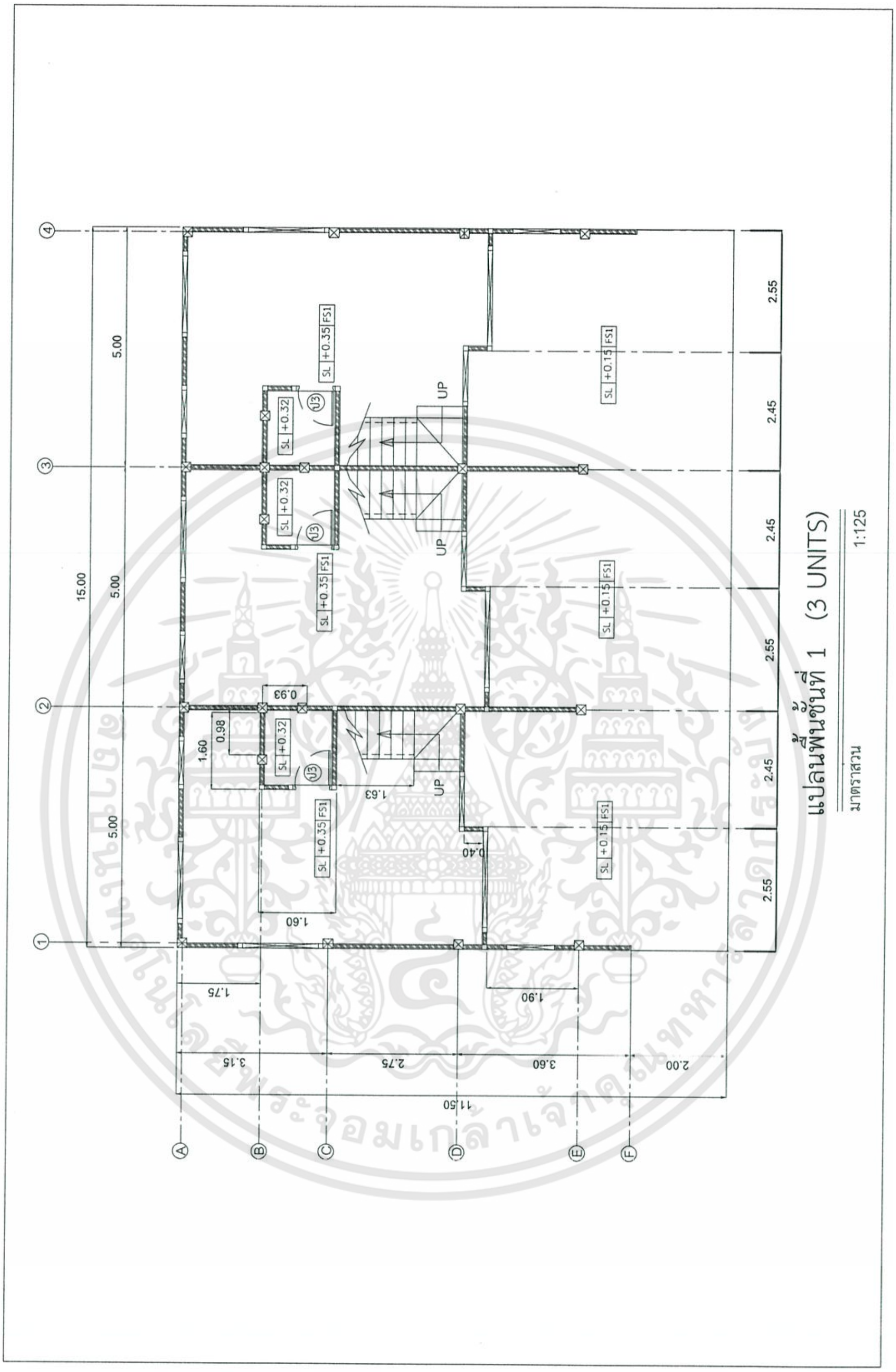
รูปที่ ผก 27 รูปแสดงการเสริมเหล็กผนัง 19-21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

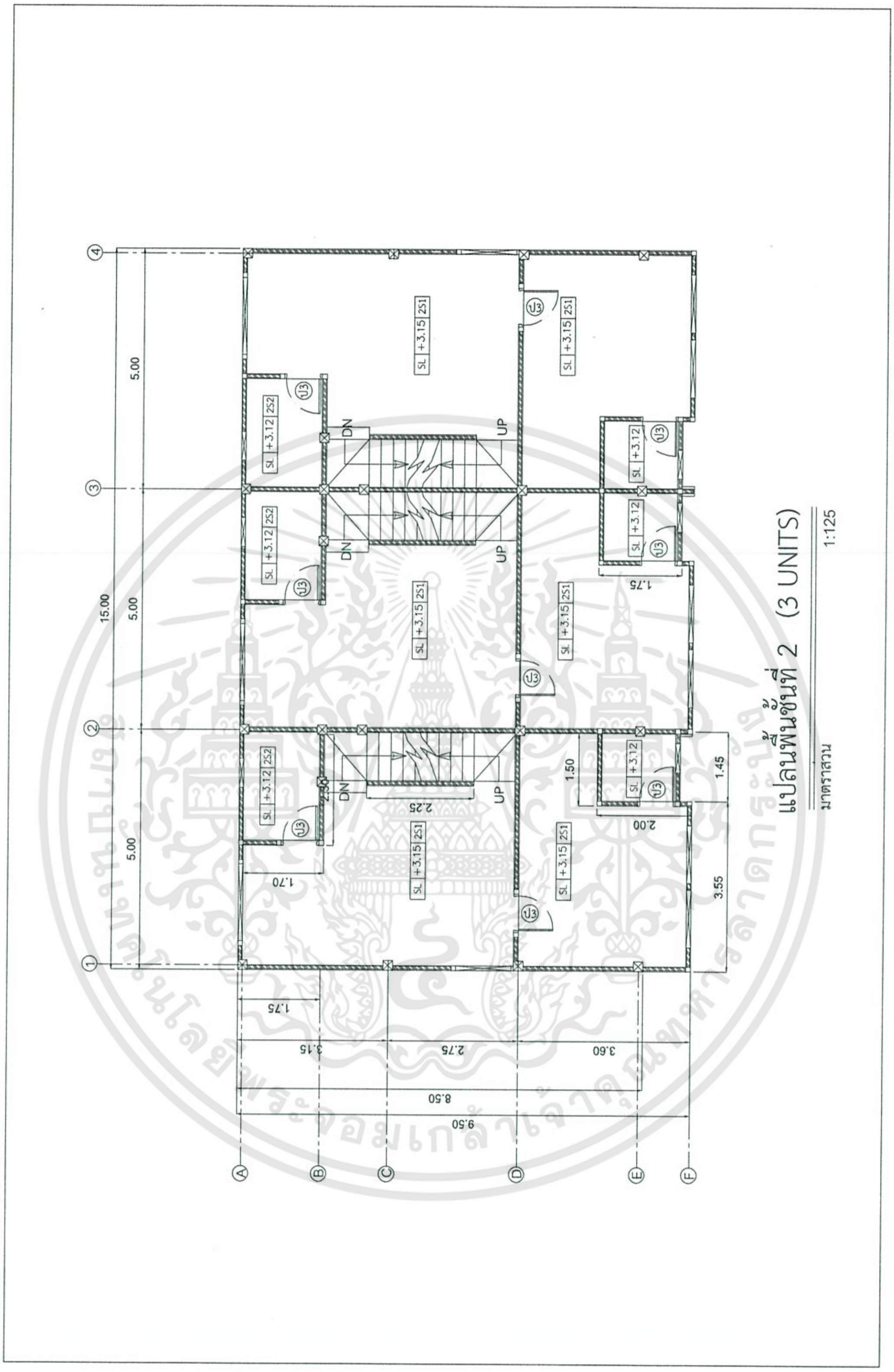
แบบบ้านพักอาศัยทาว์นโฮม 3 ชั้น ของระบบโครงสร้างเสา-คาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



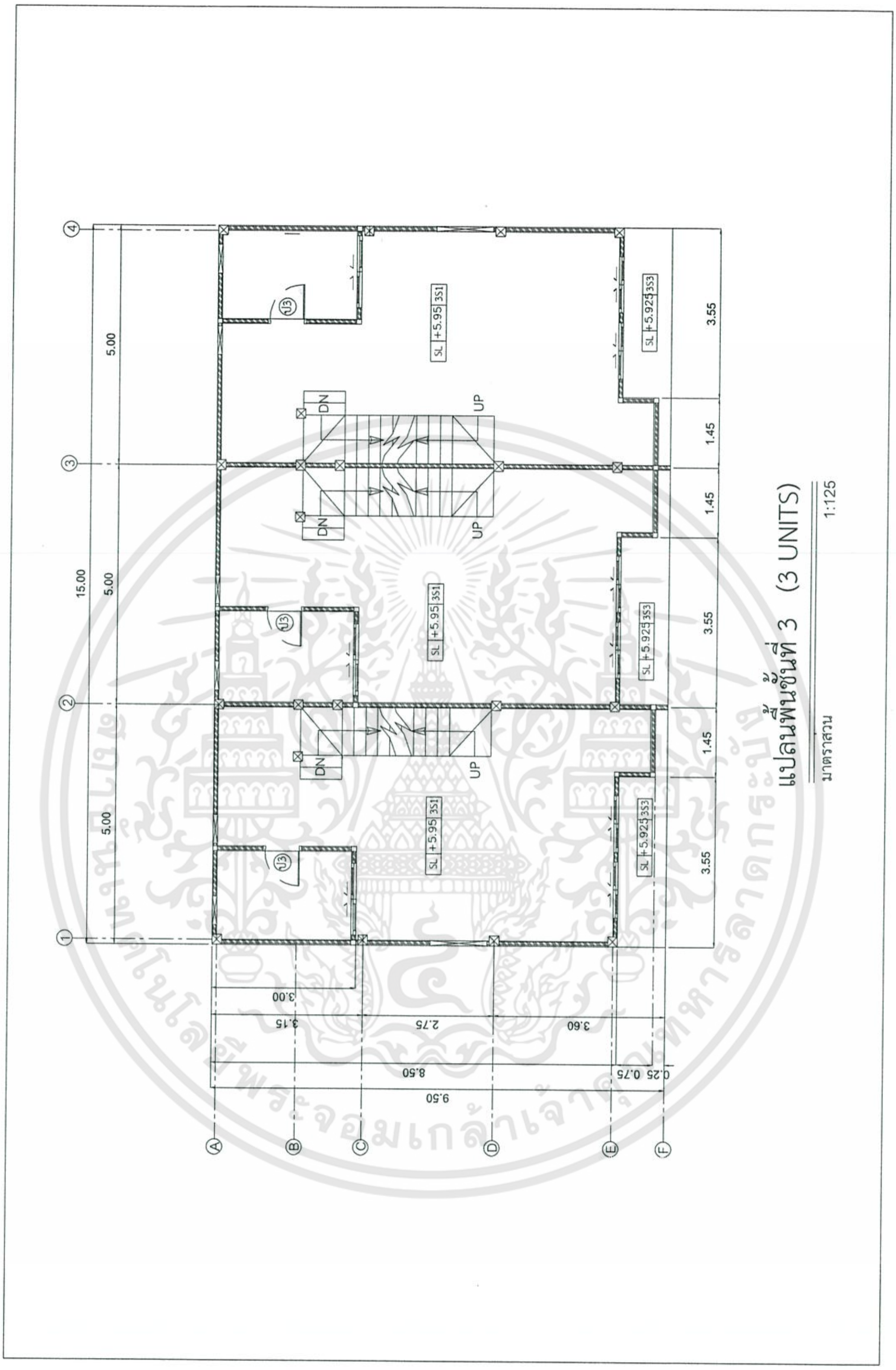
รูปที่ ผข 1 แปลนพื้นชั้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



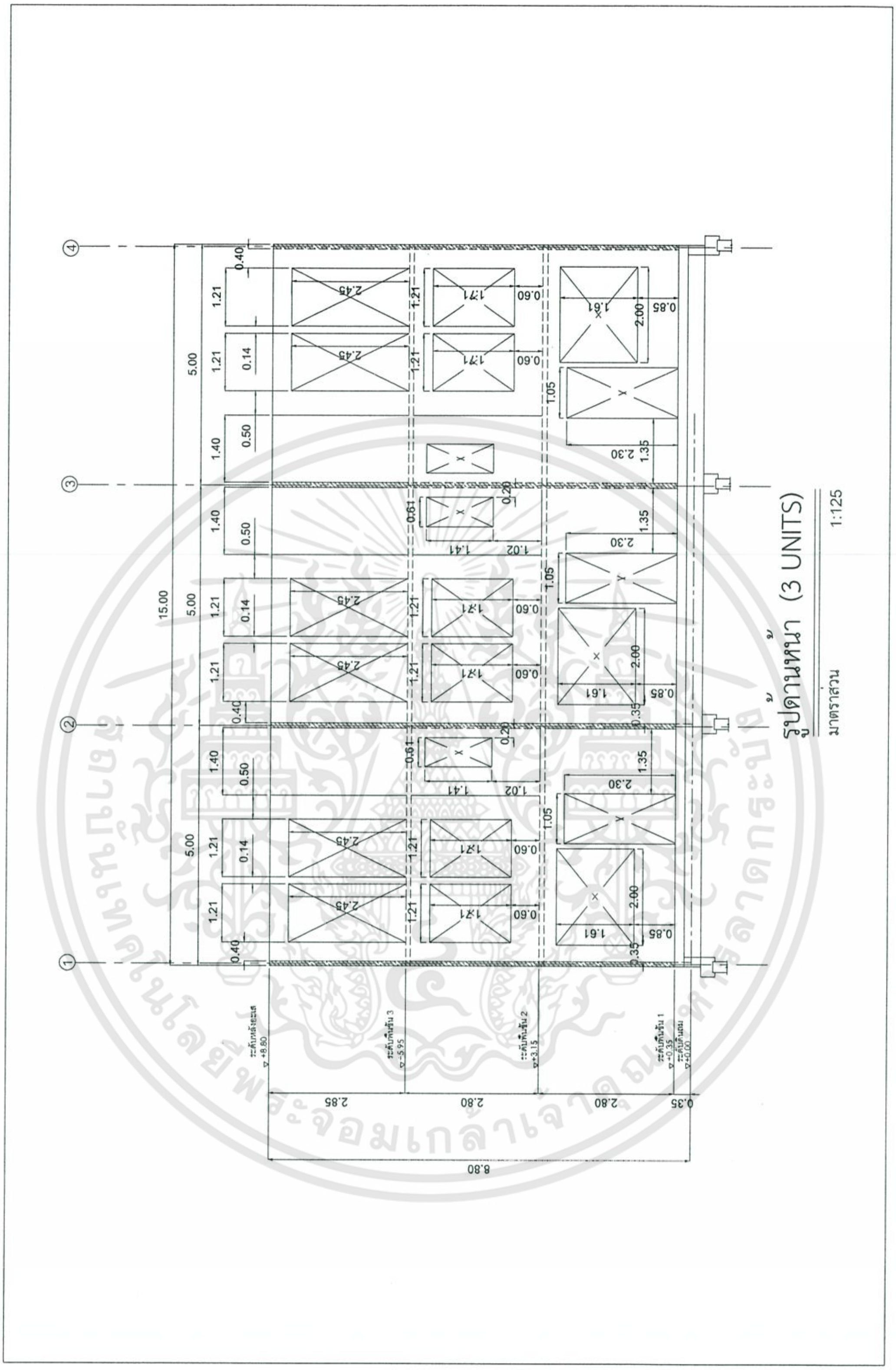
รูปที่ ผข 2 แปลนพื้นชั้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



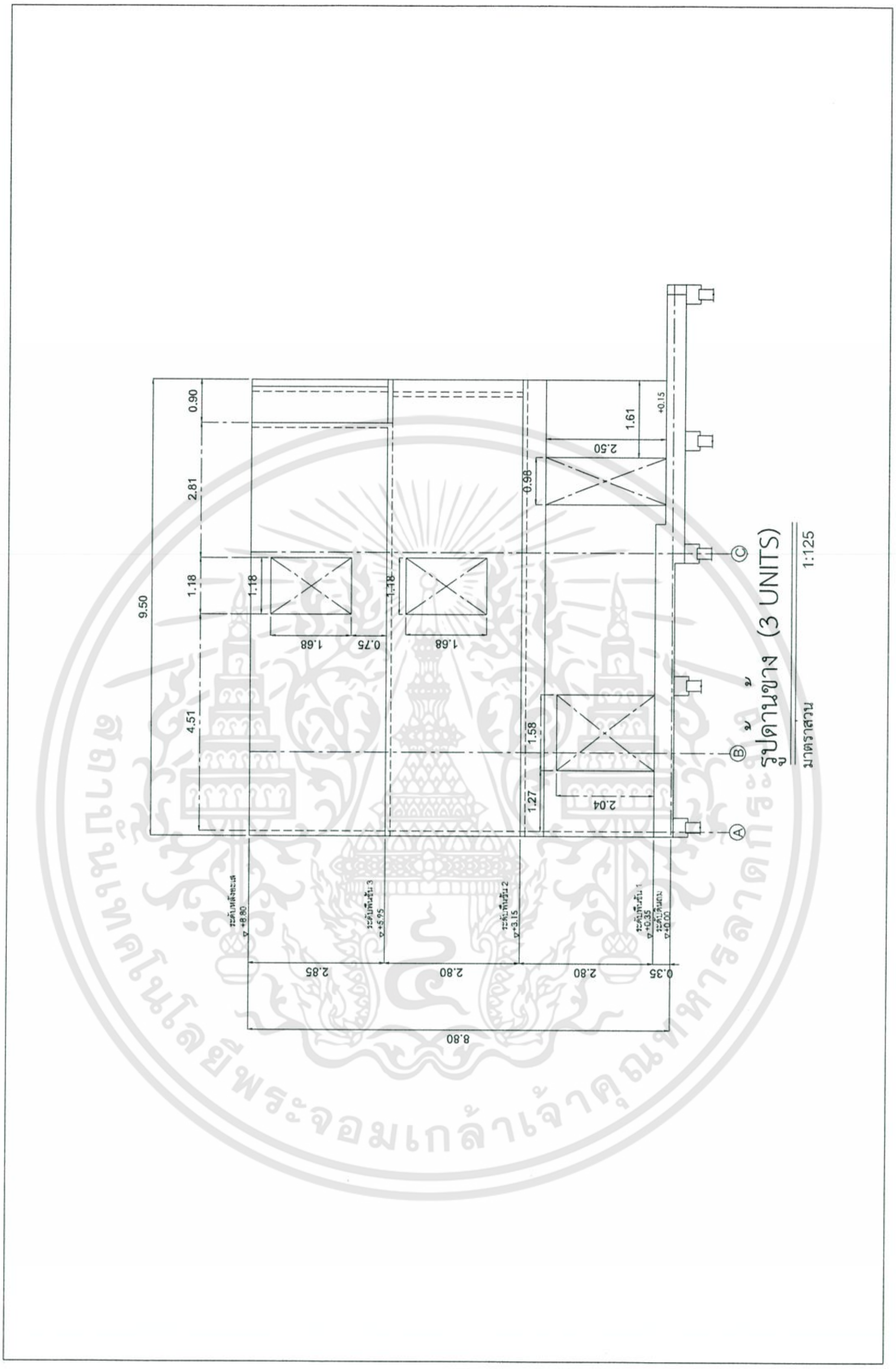
รูปที่ ผข 3 แปลนพื้นชั้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



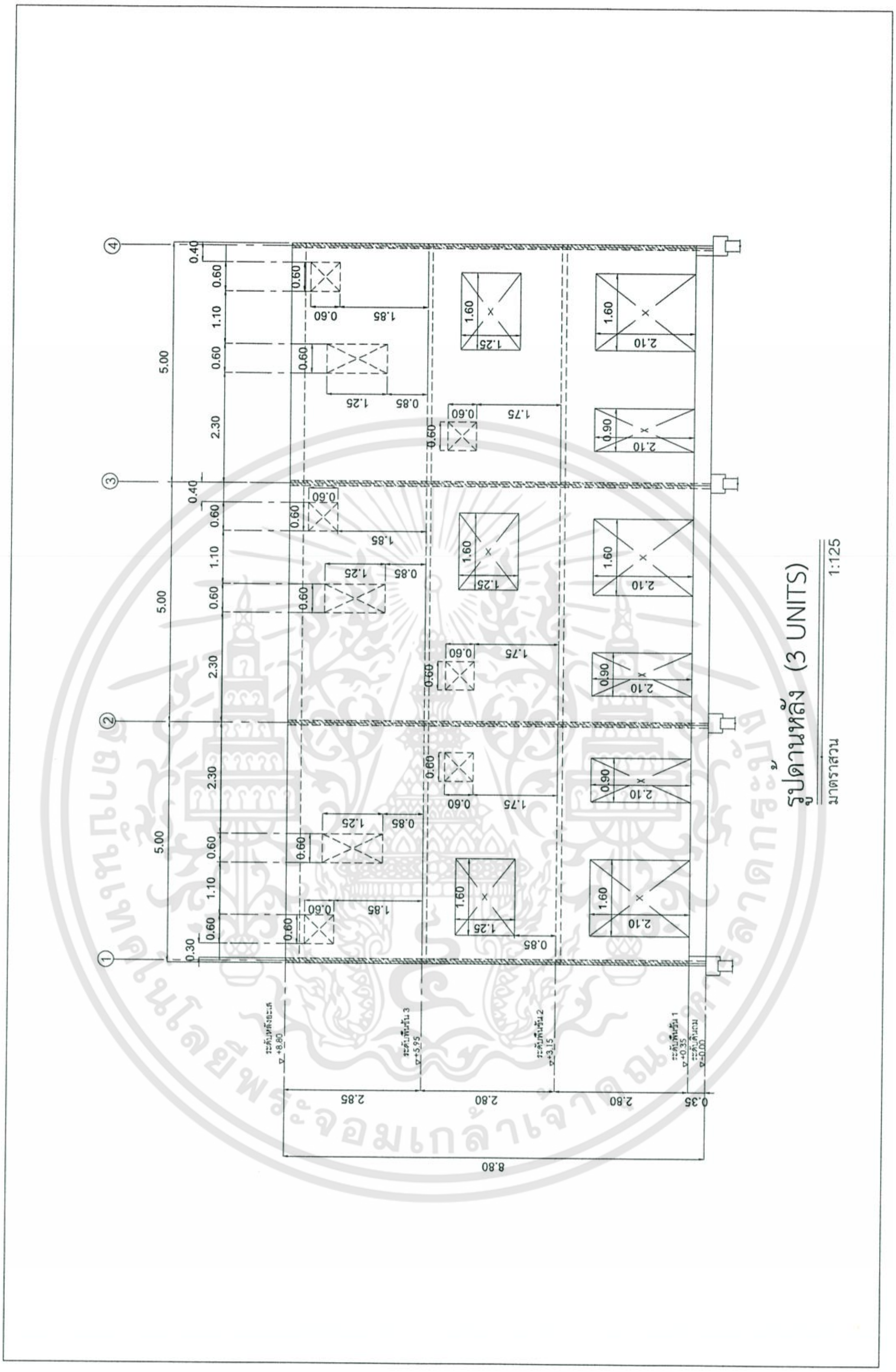
รูปที่ ผข 4 รูปด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



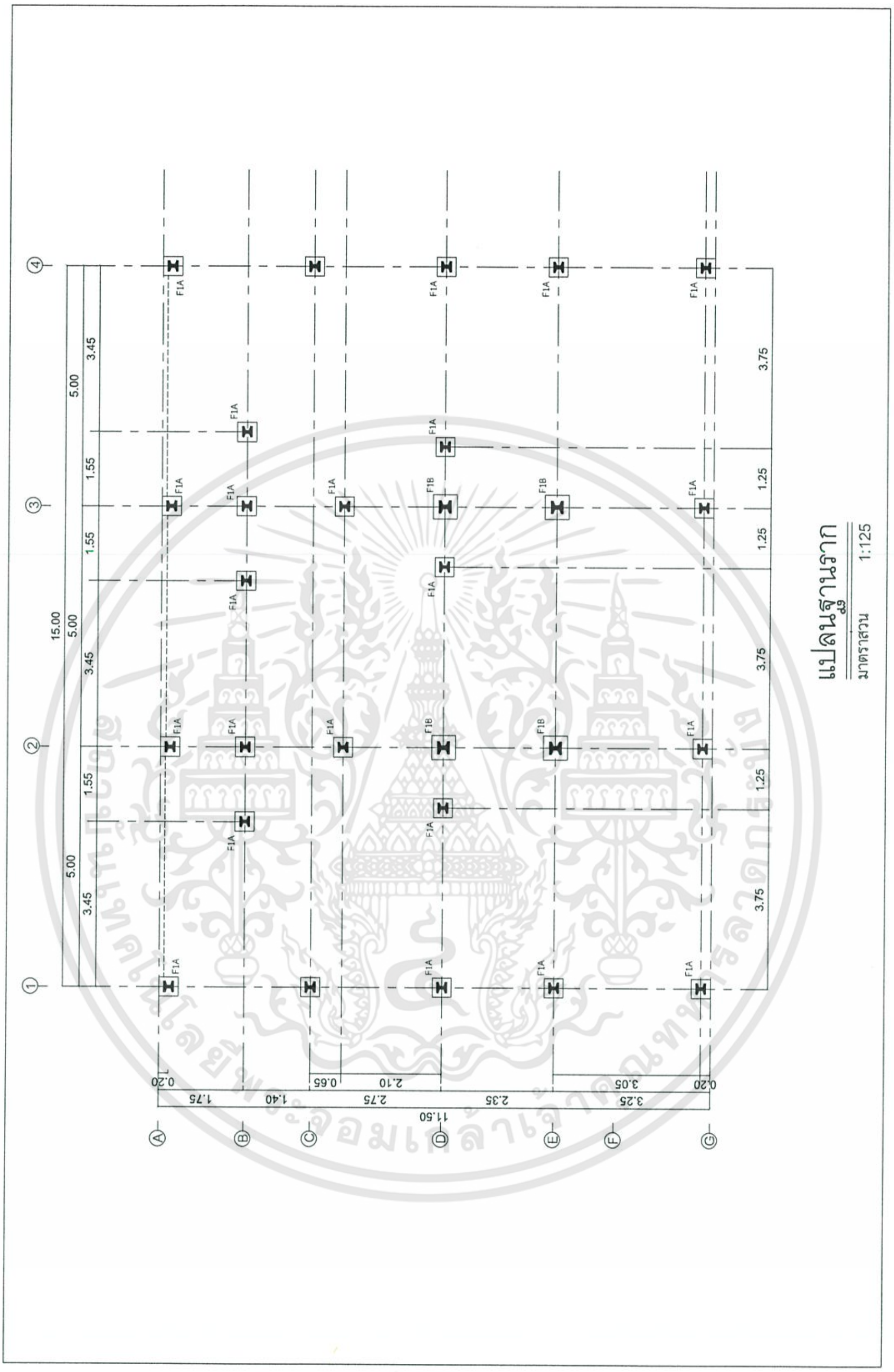
รูปที่ ผข 5 รูปด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



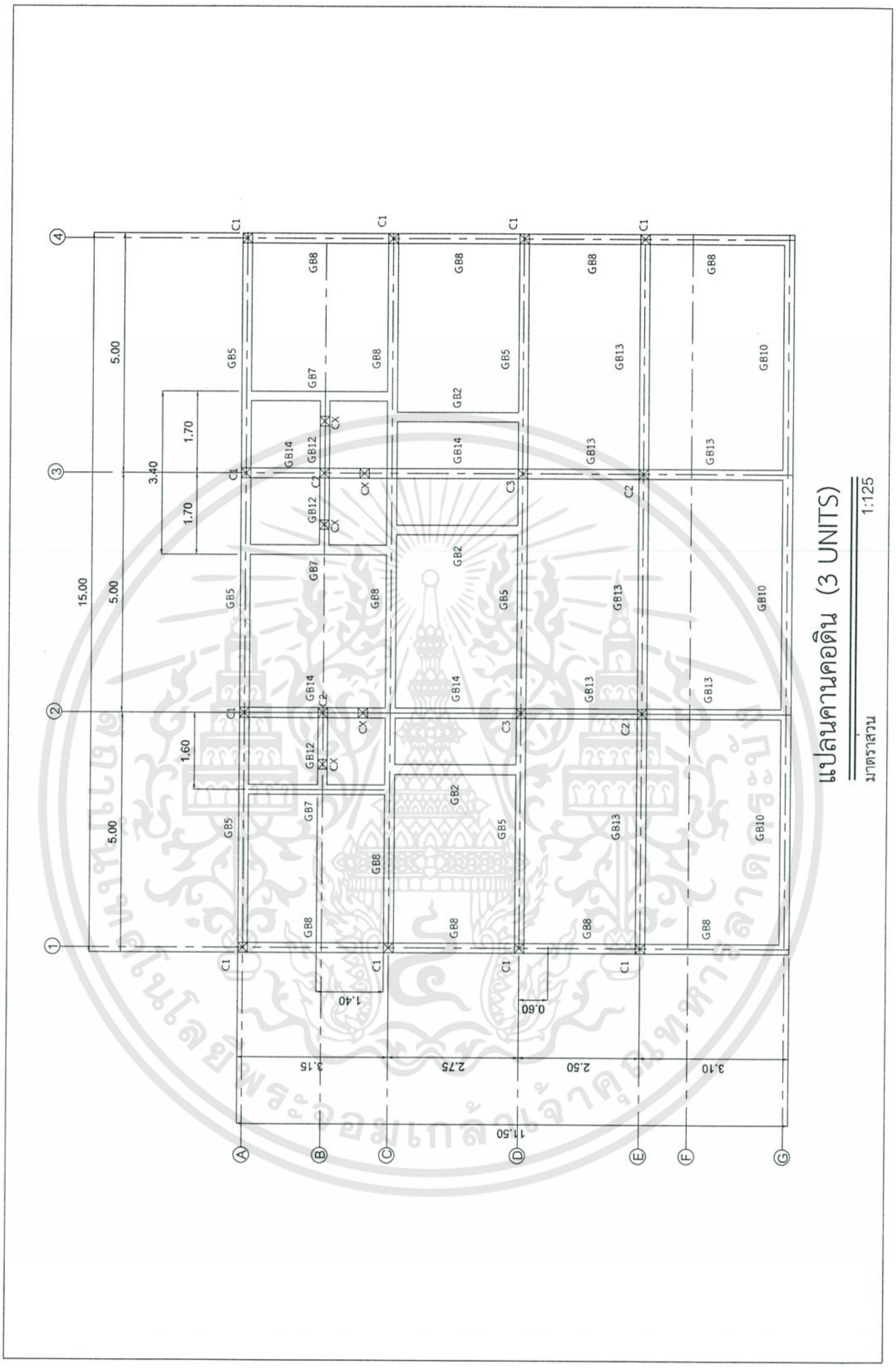
รูปที่ ผข 6 รูปด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



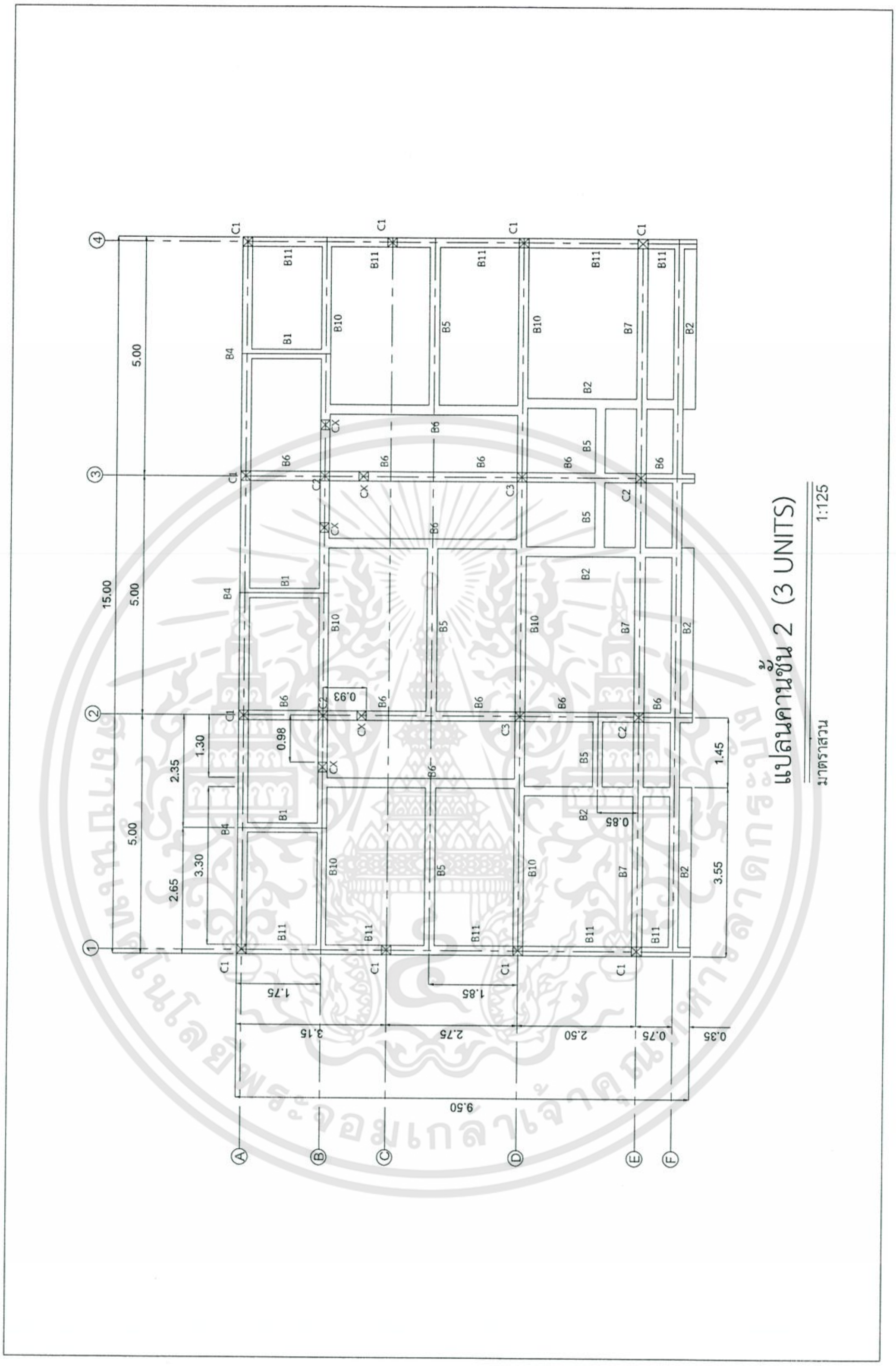
รูปที่ ผข 7 แปลนฐานราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



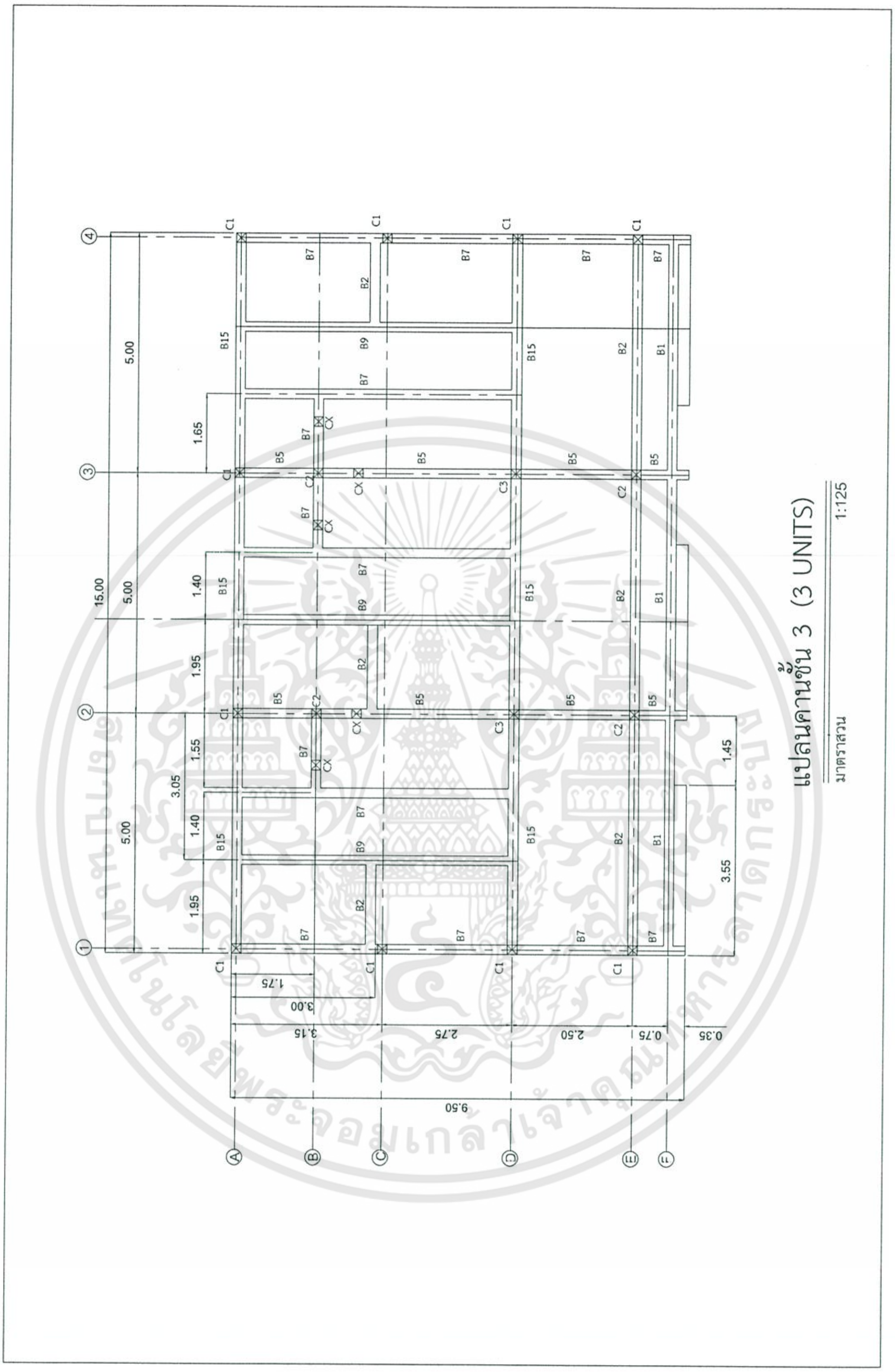
รูปที่ ผข 8 แปลนคานคอดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



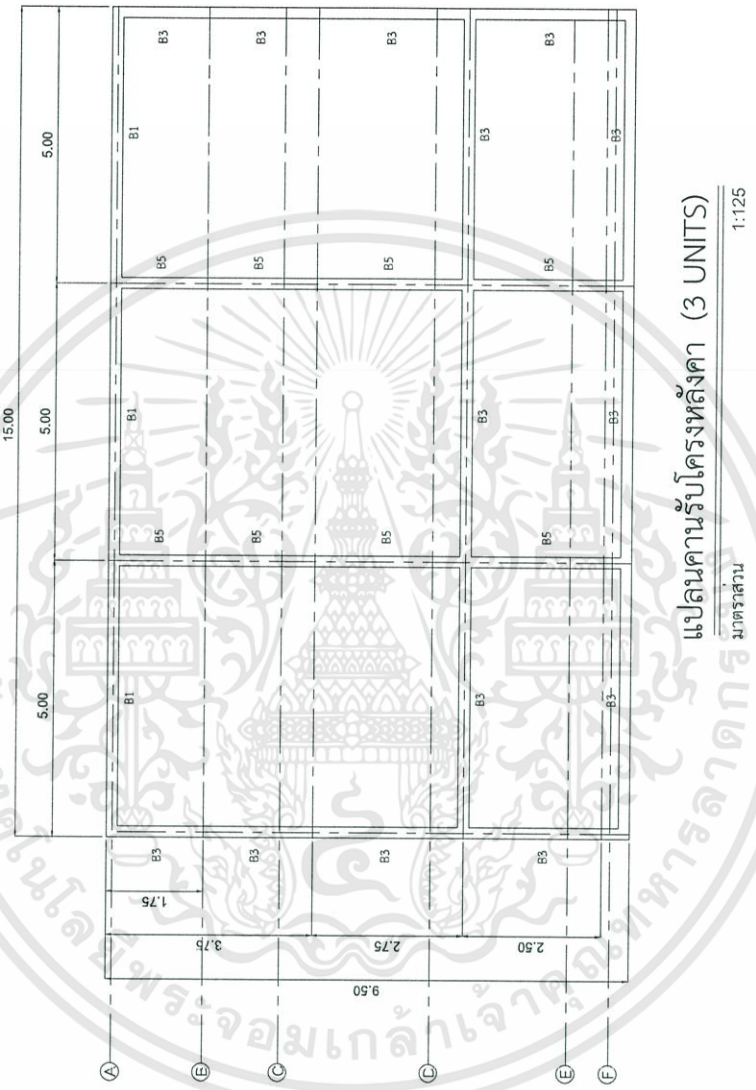
รูปที่ ผข 9 แปลนคานชั้น 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 10 แปลนคานชั้น 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 11 แปลนคานรับโครงหลังคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รายการคำนวณการออกแบบระบบโครงสร้างคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B1
(singly reinforcement)

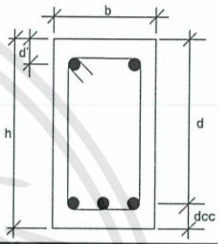
DATE : 21-Feb-14

MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280 ksc.	Ec	=	252671 ksc.		
fy	=	4000 ksc.	Es	=	2040000 ksc.	ACI 318-95	
β1	=	0.850	n	=	8		
m	=	16.81					
fr	=	33.47 ksc.					
fvy	=	2400 ksc.					

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	15 cm.	
depth , h	=	30 cm.	
d'	=	5 cm.	
dcc	=	5 cm.	
d+	=	25 cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	25 cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350	
ρmax	=	0.02294	



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,		Ma	=	0 kg-m		Φ =	0.9
Ultimate moment ,		Mu	=	1806.32 kg-m			
Ru	=	21.41 ksc.					
ρreq'd	=	0.00562				singly reinforced	
As req'd	=	2.11 cm.2					
use rebar (big size) dia. of		12 mm	prov'd	2 bars			
use rebar (small size) dia. of		mm	prov'd	bars		As prov'd =	2.26 cm.2
ρ	=	0.00603 > ρmin				a =	2.53 cm
		< ρmax	OK			c =	2.98 cm
Ie	=	33750 cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	1933 kg-m

Neg. M

Serviced moment ,		Ma	=	0 kg-m		Φ =	0.9
Ultimate moment ,		Mu	=	1939.86 kg-m			
Ru	=	22.99 ksc.					
ρreq'd	=	0.00606				singly reinforced	
As req'd	=	2.27 cm.2					
use rebar (big size) dia. of		12 mm	prov'd	3 bars			
use rebar (small size) dia. of		mm	prov'd	bars		As prov'd =	3.39 cm.2
ρ	=	0.00905 > ρmin				a =	3.80 cm
		< ρmax	OK			c =	4.47 cm
Ie	=	33750 cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	2821 kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,		Vu	=	2808.36 kg	Φ =	0.85
ΦVc	=	2827 kg				
ΦVs	=	0	<	Φ2.1√fc' *b*d	O.K.	
			<	Φ1.1√fc' *b*d	max .s =	25 cm.
Av/s	=	0.02 cm.2/cm.				
stirrup :	RB 6	no. of legs in 1 plane:		2		
s	=	25.00 cm.				
use s	=	25.00 cm.				

รูปที่ ผค 1 รูปแสดงการออกแบบคาน B1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B2
(singly reinforcement)

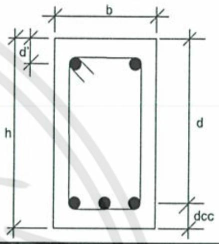
DATE : 12-Feb-14

MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280 ksc.	Ec	=	252671 ksc.	
fy	=	4000 ksc.	Es	=	2040000 ksc.	ACI 318-95
β1	=	0.850	n	=	8	
m	=	16.81				
fr	=	33.47 ksc.				
fvy	=	2400 ksc.				

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	15 cm.	
depth , h	=	30 cm.	
d'	=	5 cm.	
dcc	=	5 cm.	
d+	=	25 cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	25 cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350	
ρmax	=	0.02294	



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,		Ma	=	0 kg-m		Φ =	0.9
Ultimate moment ,		Mu	=	3965.34 kg-m			
Ru	=	47.00 ksc.					
ρreq'd	=	0.01322				singly reinforced	
As req'd	=	4.96 cm.2					
use rebar (big size) dia. of		16 mm	prov'd	2 bars			
use rebar (small size) dia. of		12 mm	prov'd	1 bars		As prov'd =	5.15 cm.2
ρ	=	0.01374	> ρmin			a =	5.77 cm
			< ρmax	OK		c =	6.79 cm
Ie	=	33750 cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	4102 kg-m

Neg. M

Serviced moment ,		Ma	=	0 kg-m		Φ =	0.9
Ultimate moment ,		Mu	=	3969.42 kg-m			
Ru	=	47.04 ksc.					
ρreq'd	=	0.01323				singly reinforced	
As req'd	=	4.96 cm.2					
use rebar (big size) dia. of		16 mm	prov'd	2 bars			
use rebar (small size) dia. of		12 mm	prov'd	1 bars		As prov'd =	5.15 cm.2
ρ	=	0.01374	> ρmin			a =	5.77 cm
			< ρmax	OK		c =	6.79 cm
Ie	=	33750 cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	4102 kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,		Vu	=	6240.57 kg	Φ =	0.85
ΦVc	=	2827 kg				
ΦVs	=	3414	<	Φ2.1√fc' *b*d	O.K.	
			<	Φ1.1√fc' *b*d	max .s =	25 cm.
Av/s	=	0.07 cm.2/cm.				
stirrup :	RB 9	no. of legs in 1 plane:		2		
s	=	19.01 cm.				
use s	=	17.50 cm.				

รูปที่ ผค 2 รูปแสดงการออกแบบคาน B2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B3
(singly reinforcement)

DATE : 12-Feb-14

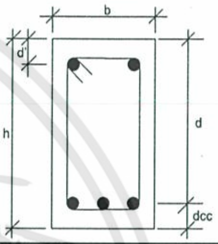
MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280	ksc.	Ec	=	252671	ksc.
fy	=	4000	ksc.	Es	=	2040000	ksc.
β1	=	0.850		n	=	8	
m	=	16.81					
fr	=	33.47	ksc.				
fvy	=	2400	ksc.				

ACI 318-95

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	15	cm.	
depth , h	=	35	cm.	
d'	=	5	cm.	
dcc	=	5	cm.	
d+	=	30	cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	30	cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350		
ρmax	=	0.02294		



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,			Ma	=	0	kg-m	Φ =	0.9
Ultimate moment ,			Mu	=	3637.1	kg-m		
Ru	=	29.94	ksc.					
ρreq'd	=	0.00802					singly reinforced	
As req'd	=	3.61	cm.2					
use rebar (big size) dia. of		16	mm	prov'd	2	bars		
use rebar (small size) dia. of			mm	prov'd		bars	As prov'd =	4.02 cm.2
ρ	=	0.00894	> ρmin				a =	4.51 cm
			< ρmax	OK			c =	5.30 cm
Ie	=	53594	cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	4017 kg-m

Neg. M

Serviced moment ,			Ma	=	0	kg-m	Φ =	0.9
Ultimate moment ,			Mu	=	3728.85	kg-m		
Ru	=	30.69	ksc.					
ρreq'd	=	0.00824					singly reinforced	
As req'd	=	3.71	cm.2					
use rebar (big size) dia. of		16	mm	prov'd	2	bars		
use rebar (small size) dia. of			mm	prov'd		bars	As prov'd =	4.02 cm.2
ρ	=	0.00894	> ρmin				a =	4.51 cm
			< ρmax	OK			c =	5.30 cm
Ie	=	53594	cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	4017 kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,			Vu	=	5110.09	kg	Φ =	0.85
ΦVc	=	3392	kg					
ΦVs	=	1718		<	Φ2.1√fc' *b*d		O.K.	
				<	Φ1.1√fc' *b*d		max .s =	30 cm.
Av/s	=	0.03	cm.2/cm.					
stirrup :	RB	6	no. of legs in 1 plane:		2			
s	=	20.15	cm.					
use s	=	20.00	cm.					

รูปที่ ผค 3 รูปแสดงการออกแบบคาน B3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B4
(singly reinforcement)

DATE : 12-Feb-14

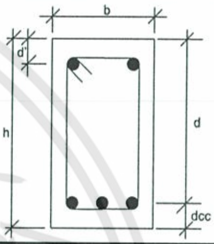
MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280	ksc.	Ec	=	252671	ksc.
fy	=	4000	ksc.	Es	=	2040000	ksc.
β1	=	0.850		n	=	8	
m	=	16.81					
fr	=	33.47	ksc.				
fvy	=	2400	ksc.				

ACI 318-95

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	15	cm.	
depth , h	=	35	cm.	
d'	=	5	cm.	
dcc	=	5	cm.	
d+	=	30	cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	30	cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350		
ρmax	=	0.02294		



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,			Ma	=	0	kg-m
Ultimate moment ,			Mu	=	4365.95	kg-m
Ru	=	35.93	ksc.			
ρreq'd	=	0.00979				
As req'd	=	4.40	cm.2			
use rebar (big size) dia. of		16	mm	prov'd	2	bars
use rebar (small size) dia. of		12	mm	prov'd	1	bars
ρ	=	0.01145	> ρmin			
			< ρmax	OK		
Ie	=	53594	cm.4	=	1 Ig	

Φ	=	0.9	
singly reinforced			
As prov'd =		5.15	cm.2
a	=	5.77	cm
c	=	6.79	cm
ΦMn	=	5029	kg-m

Neg. M

Serviced moment ,			Ma	=	0	kg-m
Ultimate moment ,			Mu	=	5676.86	kg-m
Ru	=	46.72	ksc.			
ρreq'd	=	0.01313				
As req'd	=	5.91	cm.2			
use rebar (big size) dia. of		16	mm	prov'd	3	bars
use rebar (small size) dia. of			mm	prov'd		bars
ρ	=	0.01340	> ρmin			
			< ρmax	OK		
Ie	=	53594	cm.4	=	1 Ig	

Φ	=	0.9	
singly reinforced			
As prov'd =		6.03	cm.2
a	=	6.76	cm
c	=	7.95	cm
ΦMn	=	5781	kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,			Vu	=	6423.04	kg
ΦVc	=	3392	kg			
ΦVs	=	3031		<	Φ2.1√fc' *b*d	
				<	Φ1.1√fc' *b*d	
Av/s	=	0.05	cm.2/cm.			
stirrup :	RB	9	no. of legs in 1 plane:		2	
s	=	25.69	cm.			
use s	=	25.00	cm.			

Φ	=	0.85	
O.K.			
max .s =		30	cm.

รูปที่ ผค 4 รูปแสดงการออกแบบคาน B4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B5
(singly reinforcement)

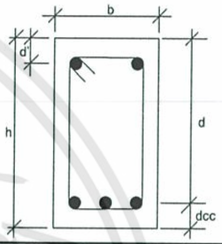
DATE : 12-Feb-14

MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280 ksc.	Ec	=	252671 ksc.	
fy	=	4000 ksc.	Es	=	2040000 ksc.	ACI 318-95
β1	=	0.850	n	=	8	
m	=	16.81				
fr	=	33.47 ksc.				
fvy	=	2400 ksc.				

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	20 cm.	
depth , h	=	40 cm.	
d'	=	5 cm.	
dcc	=	5 cm.	
d+	=	35 cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	35 cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350	
ρmax	=	0.02294	



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,			Ma	=	0 kg-m	Φ =	0.9
Ultimate moment ,			Mu	=	6523.96 kg-m		
Ru	=	29.59 ksc.					
ρreq'd	=	0.00792				singly reinforced	
As req'd	=	5.55 cm.2					
use rebar (big size) dia. of		16 mm	prov'd		3 bars		
use rebar (small size) dia. of		mm	prov'd		bars	As prov'd =	6.03 cm.2
ρ	=	0.00862 > ρmin				a =	5.07 cm
		< ρmax	OK			c =	5.96 cm
Ie	=	106667 cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	7050 kg-m

Neg. M

Serviced moment ,			Ma	=	0 kg-m	Φ =	0.9
Ultimate moment ,			Mu	=	6713.56 kg-m		
Ru	=	30.45 ksc.					
ρreq'd	=	0.00817				singly reinforced	
As req'd	=	5.72 cm.2					
use rebar (big size) dia. of		16 mm	prov'd		3 bars		
use rebar (small size) dia. of		mm	prov'd		bars	As prov'd =	6.03 cm.2
ρ	=	0.00862 > ρmin				a =	5.07 cm
		< ρmax	OK			c =	5.96 cm
Ie	=	106667 cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	7050 kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,			Vu	=	11530.1 kg	Φ = 0.85
ΦVc	=	5277 kg				
ΦVs	=	6253	<	Φ2.1√fc' *b*d		O.K.
			<	Φ1.1√fc' *b*d		max .s = 35 cm.
Av/s	=	0.09 cm.2/cm.				
stirrup :	RB	9	no. of legs in 1 plane:		2	
s	=	14.53 cm.				
use s	=	12.50 cm.				

รูปที่ ผค 5 รูปแสดงการออกแบบคาน B5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B6
(singly reinforcement)

DATE : 20-Feb-14

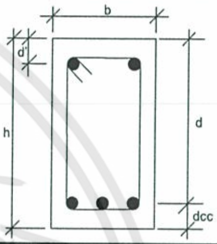
MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280	ksc.	Ec	=	252671	ksc.
fy	=	4000	ksc.	Es	=	2040000	ksc.
β1	=	0.850		n	=	8	
m	=	16.81					
fr	=	33.47	ksc.				
fvy	=	2400	ksc.				

ACI 318-95

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	20	cm.	
depth , h	=	40	cm.	
d'	=	5	cm.	
dcc	=	5	cm.	
d+	=	35	cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	35	cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350		
ρmax	=	0.02294		



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,			Ma	=	0	kg-m	Φ =	0.9
Ultimate moment ,			Mu	=	12083.6	kg-m		
Ru	=	54.80	ksc.					
ρreq'd	=	0.01580					singly reinforced	
As req'd	=	11.06	cm.2					
use rebar (big size) dia. of			25 mm	prov'd	2	bars		
use rebar (small size) dia. of			16 mm	prov'd	1	bars	As prov'd =	11.83 cm.2
ρ	=	0.01690	> ρmin				a =	9.94 cm
			< ρmax	OK			c =	11.69 cm
Ie	=	106667	cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	12787 kg-m

Neg. M

Serviced moment ,			Ma	=	0	kg-m	Φ =	0.9
Ultimate moment ,			Mu	=	5364.93	kg-m		
Ru	=	24.33	ksc.					
ρreq'd	=	0.00643					singly reinforced	
As req'd	=	4.50	cm.2					
use rebar (big size) dia. of			16 mm	prov'd	2	bars		
use rebar (small size) dia. of			12 mm	prov'd	1	bars	As prov'd =	5.15 cm.2
ρ	=	0.00736	> ρmin				a =	4.33 cm
			< ρmax	OK			c =	5.09 cm
Ie	=	106667	cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	6090 kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,			Vu	=	11097.9 kg	Φ =	0.85
ΦVc	=	5277	kg				
ΦVs	=	5821		<	Φ2.1√fc' *b*d	O.K.	
				<	Φ1.1√fc' *b*d	max .s =	35 cm.
Av/s	=	0.08	cm.2/cm.				
stirrup :	RB	9	no. of legs in 1 plane:		2		
s	=	15.61	cm.				
use s	=	15.00	cm.				

รูปที่ ผค 6 รูปแสดงการออกแบบคาน B6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B7
(singly reinforcement)

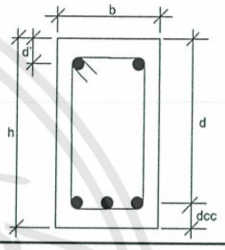
DATE : 12-Feb-14

MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280 ksc.	Ec	=	252671 ksc.	
fy	=	4000 ksc.	Es	=	2040000 ksc.	ACI 318-95
β1	=	0.850	n	=	8	
m	=	16.81				
fr	=	33.47 ksc.				
fvy	=	2400 ksc.				

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	20 cm.	
depth , h	=	40 cm.	
d'	=	5 cm.	
dcc	=	5 cm.	
d+	=	35 cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	35 cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350	
ρmax	=	0.02294	



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,			Ma	=	0 kg-m	Φ =	0.9
Ultimate moment ,			Mu	=	4859.33 kg-m		
Ru	=	22.04 ksc.					
ρreq'd	=	0.00579				singly reinforced	
As req'd	=	4.05 cm.2					
use rebar (big size) dia. of		16 mm	prov'd		3 bars		
use rebar (small size) dia. of		mm	prov'd		bars	As prov'd =	6.03 cm.2
ρ	=	0.00862 > ρmin				a =	5.07 cm
		< ρmax	OK			c =	5.96 cm
Ie	=	106667 cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	7050 kg-m

Neg. M

Serviced moment ,			Ma	=	0 kg-m	Φ =	0.9
Ultimate moment ,			Mu	=	11548.4 kg-m		
Ru	=	52.37 ksc.					
ρreq'd	=	0.01498				singly reinforced	
As req'd	=	10.49 cm.2					
use rebar (big size) dia. of		20 mm	prov'd		2 bars		
use rebar (small size) dia. of		25 mm	prov'd		1 bars	As prov'd =	11.19 cm.2
ρ	=	0.01599 > ρmin				a =	9.40 cm
		< ρmax	OK			c =	11.06 cm
Ie	=	106667 cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	12207 kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,			Vu	= 11316 kg	Φ =	0.85
ΦVc	=	5277 kg				
ΦVs	=	6039	<	Φ2.1√fc' *b*d	O.K.	
			<	Φ1.1√fc' *b*d	max .s =	35 cm.
Av/s	=	0.08 cm.2/cm.				
stirrup :	RB	9	no. of legs in 1 plane:	2		
s	=	15.04 cm.				
use s	=	15.00 cm.				

รูปที่ ผค 7 รูปแสดงการออกแบบคาน B7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

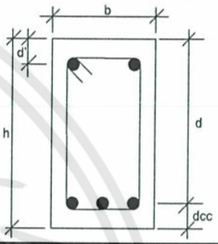
TAG : B8
(singly reinforcement)

DATE : 12-Feb-14

MATERIAL PROPERTIES							
fc'	=	280	ksc.	Ec	=	252671	ksc.
fy	=	4000	ksc.	Es	=	2040000	ksc.
β1	=	0.850		n	=	8	
m	=	16.81					
fr	=	33.47	ksc.				
fvy	=	2400	ksc.				

ACI 318-95

BEAM PROPERTIES				
breath, b	=	25	cm.	
depth , h	=	45	cm.	
d'	=	5	cm.	
dcc	=	5	cm.	
d+	=	40	cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	40	cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350		
ρmax	=	0.02294		



BENDING MOMENT

Pos. M								
Serviced moment ,		Ma	=	0	kg-m		Φ =	0.9
Ultimate moment ,		Mu	=	8591.23	kg-m			
Ru	=	23.86	ksc.					
ρreq'd	=	0.00630					singly reinforced	
As req'd	=	6.30	cm.2					
use rebar (big size) dia. of		20	mm	prov'd	2	bars		
use rebar (small size) dia. of		12	mm	prov'd	1	bars	As prov'd =	7.41 cm.2
ρ	=	0.00741	> ρmin				a =	4.98 cm
			< ρmax	OK			c =	5.86 cm
Ie	=	189844	cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	10011 kg-m

Neg. M								
Serviced moment ,		Ma	=	0	kg-m		Φ =	0.9
Ultimate moment ,		Mu	=	12758.4	kg-m			
Ru	=	35.44	ksc.					
ρreq'd	=	0.00964					singly reinforced	
As req'd	=	9.64	cm.2					
use rebar (big size) dia. of		25	mm	prov'd	2	bars		
use rebar (small size) dia. of		12	mm	prov'd	1	bars	As prov'd =	10.95 cm.2
ρ	=	0.01095	> ρmin				a =	7.36 cm
			< ρmax	OK			c =	8.66 cm
Ie	=	189844	cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	14315 kg-m

SHEAR FORCE							
Ultimate shear ,		Vu	=	15765.5	kg	Φ =	0.85
ΦVc	=	7538	kg				
ΦVs	=	8227		<	Φ2.1√fc' *b*d	O.K.	
				<	Φ1.1√fc' *b*d	max .s =	40 cm.
Av/s	=	0.10	cm.2/cm.				
stirrup :	RB 9		no. of legs in 1 plane:		2		
s	=	12.62	cm.				
use s	=	12.50	cm.				

รูปที่ ผค 8 รูปแสดงการออกแบบคาน B8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B9
(singly reinforcement)

DATE : 21-Feb-14

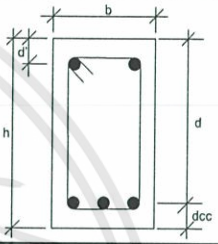
MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280	ksc.	Ec	=	252671	ksc.
fy	=	4000	ksc.	Es	=	2040000	ksc.
β1	=	0.850		n	=	8	
m	=	16.81					
fr	=	33.47	ksc.				
fvy	=	2400	ksc.				

ACI 318-95

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	20	cm.	
depth , h	=	50	cm.	
d'	=	5	cm.	
dcc	=	5	cm.	
d+	=	45	cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	45	cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350		
ρmax	=	0.02294		



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,		Ma	=	0	kg-m		
Ultimate moment ,		Mu	=	21335.4	kg-m		
Ru	=	58.53	ksc.				
ρreq'd	=	0.01709					
As req'd	=	15.38	cm.2				
use rebar (big size) dia. of		25	mm	prov'd		2	bars
use rebar (small size) dia. of		20	mm	prov'd		2	bars
ρ	=	0.01789	> ρmin				
			< ρmax	OK			
Ie	=	208333	cm.4	=	1 Ig		

Φ	=	0.9	
singly reinforced			
As prov'd =		16.10	cm.2
a	=	13.53	cm
c	=	15.92	cm
ΦMn	=	22162	kg-m

Neg. M

Serviced moment ,		Ma	=	0	kg-m		
Ultimate moment ,		Mu	=	0	kg-m		
Ru	=	0.00	ksc.				
ρreq'd	=	0.00350					
As req'd	=	3.15	cm.2				
use rebar (big size) dia. of		20	mm	prov'd		2	bars
use rebar (small size) dia. of			mm	prov'd			bars
ρ	=	0.00698	> ρmin				
			< ρmax	OK			
Ie	=	208333	cm.4	=	1 Ig		

Φ	=	0.9	
singly reinforced			
As prov'd =		6.28	cm.2
a	=	5.28	cm
c	=	6.21	cm
ΦMn	=	9582	kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,		Vu	=	11405.7	kg
ΦVc	=	6784	kg		
ΦVs	=	4621	<	Φ2.1√fc' *b*d	
			<	Φ1.1√fc' *b*d	
Av/s	=	0.05	cm.2/cm.		
stirrup :	RB	9	no. of legs in 1 plane:		2
s	=	25.27	cm.		
use s	=	25.00	cm.		

Φ	=	0.85	
O.K.			
max .s =		45	cm.

รูปที่ ผค 9 รูปแสดงการออกแบบคาน B9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B10
(singly reinforcement)

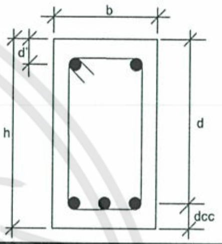
DATE : 21-Feb-14

MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280 ksc.	Ec	=	252671 ksc.		
fy	=	4000 ksc.	Es	=	2040000 ksc.		ACI 318-95
β1	=	0.850	n	=	8		
m	=	16.81					
fr	=	33.47 ksc.					
fvy	=	2400 ksc.					

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	25 cm.	
depth , h	=	50 cm.	
d'	=	5 cm.	
dcc	=	5 cm.	
d+	=	45 cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	45 cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350	
ρmax	=	0.02294	



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,		Ma	=	0 kg-m		Φ =	0.9
Ultimate moment ,		Mu	=	11345.6 kg-m			
Ru	=	24.90 ksc.					
ρreq'd	=	0.00659				singly reinforced	
As req'd	=	7.41 cm.2					
use rebar (big size) dia. of		20 mm	prov'd	2 bars			
use rebar (small size) dia. of		12 mm	prov'd	1 bars		As prov'd =	7.41 cm.2
ρ	=	0.00659 > ρmin				a =	4.98 cm
		< ρmax	OK			c =	5.86 cm
Ie	=	260417 cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	11346 kg-m

Neg. M

Serviced moment ,		Ma	=	0 kg-m		Φ =	0.9
Ultimate moment ,		Mu	=	14752.3 kg-m			
Ru	=	32.38 ksc.					
ρreq'd	=	0.00874				singly reinforced	
As req'd	=	9.83 cm.2					
use rebar (big size) dia. of		25 mm	prov'd	2 bars			
use rebar (small size) dia. of		12 mm	prov'd	1 bars		As prov'd =	10.95 cm.2
ρ	=	0.00973 > ρmin				a =	7.36 cm
		< ρmax	OK			c =	8.66 cm
Ie	=	260417 cm.4	=	1 Ig		ΦMn =	16286 kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,		Vu	=	20448.5 kg	Φ =	0.85
ΦVc	=	8481 kg				
ΦVs	=	11968	<	Φ2.1√fc' *b*d	O.K.	
			<	Φ1.1√fc' *b*d	max .s =	45 cm.
Av/s	=	0.13 cm.2/cm.				
stirrup :	RB 9	no. of legs in 1 plane:		4		
s	=	19.52 cm.				
use s	=	17.50 cm.				

รูปที่ ผค 10 รูปแสดงการออกแบบคาน B10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B11
(singly reinforcement)

DATE : 21-Feb-14

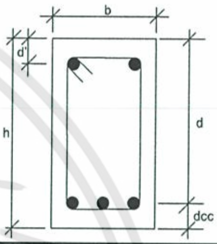
MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280	ksc.	Ec	=	252671	ksc.
fy	=	4000	ksc.	Es	=	2040000	ksc.
β1	=	0.850		n	=	8	
m	=	16.81					
fr	=	33.47	ksc.				
fvy	=	2400	ksc.				

ACI 318-95

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	20	cm.	
depth , h	=	50	cm.	
d'	=	5	cm.	
dcc	=	5	cm.	
d+	=	45	cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	45	cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350		
ρmax	=	0.02294		



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,			Ma	=	0	kg-m	
Ultimate moment ,			Mu	=	4794.09	kg-m	
Ru	=	13.15	ksc.				
ρreq'd	=	0.00350					
As req'd	=	3.15	cm.2				
use rebar (big size) dia. of			16 mm	prov'd		2	bars
use rebar (small size) dia. of			12 mm	prov'd		1	bars
ρ	=	0.00572	> ρmin				
			< ρmax	OK			
Ie	=	208333	cm.4	=	1 Ig		

Φ	=	0.9	
singly reinforced			
As prov'd =		5.15	cm.2
a	=	4.33	cm
c	=	5.09	cm
ΦMn	=	7945	kg-m

Neg. M

Serviced moment ,			Ma	=	0	kg-m	
Ultimate moment ,			Mu	=	5095.82	kg-m	
Ru	=	13.98	ksc.				
ρreq'd	=	0.00360					
As req'd	=	3.24	cm.2				
use rebar (big size) dia. of			16 mm	prov'd		2	bars
use rebar (small size) dia. of			12 mm	prov'd		1	bars
ρ	=	0.00572	> ρmin				
			< ρmax	OK			
Ie	=	208333	cm.4	=	1 Ig		

Φ	=	0.9	
singly reinforced			
As prov'd =		5.15	cm.2
a	=	4.33	cm
c	=	5.09	cm
ΦMn	=	7945	kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,			Vu	=	9198.78	kg
ΦVc	=	6784	kg			
ΦVs	=	2414		<	Φ2.1√fc' *b*d	
				<	Φ1.1√fc' *b*d	
Av/s	=	0.03	cm.2/cm.			
stirrup :	RB	6	no. of legs in 1 plane:			2
s	=	19.39	cm.			
use s	=	17.50	cm.			

Φ	=	0.85	
O.K.			
max .s =		45	cm.

รูปที่ ผค 11 รูปแสดงการออกแบบคาน B11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B12
(singly reinforcement)

DATE : 21-Feb-14

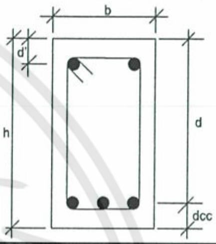
MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280	ksc.	Ec	=	252671	ksc.
fy	=	4000	ksc.	Es	=	2040000	ksc.
β1	=	0.850		n	=	8	
m	=	16.81					
fr	=	33.47	ksc.				
fvy	=	2400	ksc.				

ACI 318-95

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	20	cm.	
depth , h	=	50	cm.	
d'	=	5	cm.	
dcc	=	5	cm.	
d+	=	45	cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	45	cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350		
ρmax	=	0.02294		



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,			Ma	=	0 kg-m		
Ultimate moment ,			Mu	=	1154.94 kg-m		
Ru	=	3.17 ksc.					
ρreq'd	=	0.00350					
As req'd	=	3.15 cm.2					
use rebar (big size) dia. of			12 mm	prov'd		2	bars
use rebar (small size) dia. of			16 mm	prov'd		1	bars
ρ	=	0.00475 > ρmin					
		< ρmax		OK			
Ie	=	208333 cm.4		=	1 Ig		

Φ	=	0.9	
singly reinforced			
As prov'd =		4.27	cm.2
a	=	3.59	cm
c	=	4.22	cm
ΦMn	=	6645	kg-m

Neg. M

Serviced moment ,			Ma	=	0 kg-m		
Ultimate moment ,			Mu	=	3319.06 kg-m		
Ru	=	9.11 ksc.					
ρreq'd	=	0.00350					
As req'd	=	3.15 cm.2					
use rebar (big size) dia. of			12 mm	prov'd		2	bars
use rebar (small size) dia. of			16 mm	prov'd		1	bars
ρ	=	0.00475 > ρmin					
		< ρmax		OK			
Ie	=	208333 cm.4		=	1 Ig		

Φ	=	0.9	
singly reinforced			
As prov'd =		4.27	cm.2
a	=	3.59	cm
c	=	4.22	cm
ΦMn	=	6645	kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,			Vu	=	22086.6 kg
ΦVc	=	6784 kg			
ΦVs	=	15302		<	Φ2.1√fc' *b*d
				>	Φ1.1√fc' *b*d
Av/s	=	0.17 cm.2/cm.			
stirrup :	RB	9	no. of legs in 1 plane:		4
s	=	11.25 cm.			
use s	=	10.00 cm.			

Φ	=	0.85
O.K.		
max .s =		11.25 cm.

รูปที่ ผค 12 รูปแสดงการออกแบบคาน B12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B13
(singly reinforcement)

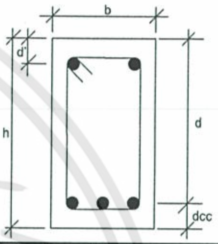
DATE : 20-Feb-14

MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280	ksc.	Ec	=	252671	ksc.	
fy	=	4000	ksc.	Es	=	2040000	ksc.	ACI 318-95
β1	=	0.850		n	=	8		
m	=	16.81						
fr	=	33.47	ksc.					
fvy	=	2400	ksc.					

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	30	cm.	
depth , h	=	60	cm.	
d'	=	5	cm.	
dcc	=	5	cm.	
d+	=	55	cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	55	cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350		
ρmax	=	0.02294		



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,			Ma	=	0	kg-m	Φ	=	0.9	
Ultimate moment ,			Mu	=	12782.9	kg-m				
Ru	=	15.65	ksc.							
ρreq'd	=	0.00405					singly reinforced			
As req'd	=	6.68	cm.2							
use rebar (big size) dia. of		20	mm	prov'd	2	bars				
use rebar (small size) dia. of		16	mm	prov'd	1	bars	As prov'd =		8.29	cm.2
ρ	=	0.00503	> ρmin				a	=	4.65	cm
			< ρmax	OK			c	=	5.47	cm
Ie	=	540000	cm.4	=	1 Ig		ΦMn	=	15728	kg-m

Neg. M

Serviced moment ,			Ma	=	0	kg-m	Φ	=	0.9	
Ultimate moment ,			Mu	=	18415.9	kg-m				
Ru	=	22.55	ksc.							
ρreq'd	=	0.00593					singly reinforced			
As req'd	=	9.79	cm.2							
use rebar (big size) dia. of		20	mm	prov'd	2	bars				
use rebar (small size) dia. of		16	mm	prov'd	2	bars	As prov'd =		10.30	cm.2
ρ	=	0.00625	> ρmin				a	=	5.77	cm
			< ρmax	OK			c	=	6.79	cm
Ie	=	540000	cm.4	=	1 Ig		ΦMn	=	19332	kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,			Vu	=	24884.8	kg	Φ	=	0.85	
ΦVc	=	12438	kg							
ΦVs	=	12447		<	Φ2.1√fc' *b*d		O.K.			
				<	Φ1.1√fc' *b*d		max .s =		55	cm.
Av/s	=	0.11	cm.2/cm.							
stirrup :	RB	9	no. of legs in 1 plane:		2					
s	=	11.47	cm.							
use s	=	10.00	cm.							

รูปที่ ผค 13 รูปแสดงการออกแบบคาน B13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B14
(singly reinforcement)

DATE : 20-Feb-14

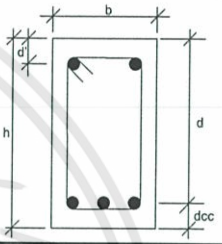
MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280	ksc.	Ec	=	252671	ksc.
fy	=	4000	ksc.	Es	=	2040000	ksc.
β1	=	0.850		n	=	8	
m	=	16.81					
fr	=	33.47	ksc.				
fvy	=	2400	ksc.				

ACI 318-95

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	30	cm.	
depth , h	=	60	cm.	
d'	=	5	cm.	
dcc	=	5	cm.	
d+	=	55	cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	55	cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350		
ρmax	=	0.02294		



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,			Ma	=	0	kg-m		
Ultimate moment ,			Mu	=	3424.06	kg-m		
Ru	=	4.19	ksc.					
ρreq'd	=	0.00350						
As req'd	=	5.78	cm.2					
use rebar (big size) dia. of		20	mm	prov'd		3	bars	
use rebar (small size) dia. of			mm	prov'd			bars	
ρ	=	0.00571	> ρmin					
			< ρmax	OK				
Ie	=	540000	cm.4	=	1 Ig			

Φ	=	0.9	
singly reinforced			
As prov'd =		9.42	cm.2
a	=	5.28	cm
c	=	6.21	cm
ΦMn	=	17765	kg-m

Neg. M

Serviced moment ,			Ma	=	0	kg-m		
Ultimate moment ,			Mu	=	3500.51	kg-m		
Ru	=	4.29	ksc.					
ρreq'd	=	0.00350						
As req'd	=	5.78	cm.2					
use rebar (big size) dia. of		20	mm	prov'd		3	bars	
use rebar (small size) dia. of			mm	prov'd			bars	
ρ	=	0.00571	> ρmin					
			< ρmax	OK				
Ie	=	540000	cm.4	=	1 Ig			

Φ	=	0.9	
singly reinforced			
As prov'd =		9.42	cm.2
a	=	5.28	cm
c	=	6.21	cm
ΦMn	=	17765	kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,			Vu	=	33254.8	kg
ΦVc	=	12438	kg			
ΦVs	=	20817		<	Φ2.1√fc' *b*d	
				<	Φ1.1√fc' *b*d	
Av/s	=	0.19	cm.2/cm.			
stirrup :	RB	9	no. of legs in 1 plane:		4	
s	=	13.72	cm.			
use s	=	12.50	cm.			

Φ	=	0.85	
O.K.			
max .s =		55	cm.

รูปที่ ผค 14 รูปแสดงการออกแบบคาน B14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : B15
(singly reinforcement)

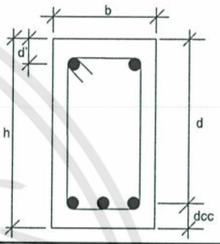
DATE : 21-Feb-14

MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280 ksc.	Ec	=	252671 ksc.	
fy	=	4000 ksc.	Es	=	2040000 ksc.	ACI 318-95
β1	=	0.850	n	=	8	
m	=	16.81				
fr	=	33.47 ksc.				
fvy	=	2400 ksc.				

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	25 cm.	
depth , h	=	50 cm.	
d'	=	5 cm.	
dcc	=	5 cm.	
d+	=	45 cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	45 cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350	
ρmax	=	0.02294	



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,			Ma	=	0 kg-m	Φ	=	0.9
Ultimate moment ,			Mu	=	12936.8 kg-m			
Ru	=	28.39 ksc.						
ρreq'd	=	0.00758				singly reinforced		
As req'd	=	8.53 cm.2						
use rebar (big size) dia. of		20 mm	prov'd		2 bars			
use rebar (small size) dia. of		12 mm	prov'd		2 bars	As prov'd =		8.55 cm.2
ρ	=	0.00760	> ρmin			a	=	5.74 cm
			< ρmax		OK	c	=	6.76 cm
Ie	=	260417 cm.4	=		1 Ig	ΦMn	=	12960 kg-m

Neg. M

Serviced moment ,			Ma	=	0 kg-m	Φ	=	0.9
Ultimate moment ,			Mu	=	12896 kg-m			
Ru	=	28.30 ksc.						
ρreq'd	=	0.00756				singly reinforced		
As req'd	=	8.50 cm.2						
use rebar (big size) dia. of		20 mm	prov'd		2 bars			
use rebar (small size) dia. of		12 mm	prov'd		2 bars	As prov'd =		8.55 cm.2
ρ	=	0.00760	> ρmin			a	=	5.74 cm
			< ρmax		OK	c	=	6.76 cm
Ie	=	260417 cm.4	=		1 Ig	ΦMn	=	12960 kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,			Vu	=	13973.5 kg	Φ	=	0.85
ΦVc	=	8481 kg						
ΦVs	=	5493		<	Φ2.1√fc' *b*d	O.K.		
				<	Φ1.1√fc' *b*d	max .s =		45 cm.
Av/s	=	0.06 cm.2/cm.						
stirrup :	RB	9	no. of legs in 1 plane:		2			
s	=	21.26 cm.						
use s	=	20.00 cm.						

รูปที่ ผค 15 รูปแสดงการออกแบบคาน B15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAM CALCULATION

Version 1.0.1

TAG : BX
(singly reinforcement)

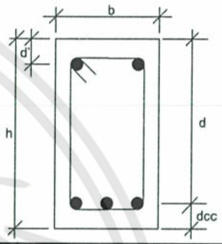
DATE : 12-Feb-14

MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280 ksc.	Ec	=	252671 ksc.	
fy	=	4000 ksc.	Es	=	2040000 ksc.	ACI 318-95
β1	=	0.850	n	=	8	
m	=	16.81				
fr	=	33.47 ksc.				
fvy	=	2400 ksc.				

BEAM PROPERTIES

breath, b	=	15 cm.	
depth , h	=	30 cm.	
d'	=	5 cm.	
dcc	=	5 cm.	
d+	=	25 cm.	*effective depth for Pos.M*
d-	=	25 cm.	*effective depth for Neg.M*
ρmin	=	0.00350	
ρmax	=	0.02294	



BENDING MOMENT

Pos. M

Serviced moment ,		Ma	=	0 kg-m			Φ	=	0.9
Ultimate moment ,		Mu	=	2141.69 kg-m					
Ru	=	25.38 ksc.							
ρreq'd	=	0.00673					singly reinforced		
As req'd	=	2.52 cm.2							
use rebar (big size) dia. of		12 mm		prov'd	3 bars				
use rebar (small size) dia. of		mm		prov'd	bars		As prov'd =		3.39 cm.2
ρ	=	0.00905 > ρmin					a	=	3.80 cm
		< ρmax		OK			c	=	4.47 cm
Ie	=	33750 cm.4	=	1 Ig			ΦMn	=	2821 kg-m

Neg. M

Serviced moment ,		Ma	=	0 kg-m			Φ	=	0.9
Ultimate moment ,		Mu	=	748.216 kg-m					
Ru	=	8.87 ksc.							
ρreq'd	=	0.00350					singly reinforced		
As req'd	=	1.31 cm.2							
use rebar (big size) dia. of		12 mm		prov'd	2 bars				
use rebar (small size) dia. of		mm		prov'd	bars		As prov'd =		2.26 cm.2
ρ	=	0.00603 > ρmin					a	=	2.53 cm
		< ρmax		OK			c	=	2.98 cm
Ie	=	33750 cm.4	=	1 Ig			ΦMn	=	1933 kg-m

SHEAR FORCE

Ultimate shear ,		Vu	=	2650.36 kg	Φ	=	0.85
ΦVc	=	2827 kg					
ΦVs	=	0	<	Φ2.1√fc' *b*d	O.K.		
			<	Φ1.1√fc' *b*d	max .s =		25 cm.
Av/s	=	0.02 cm.2/cm.					
stirrup :	RB 6	no. of legs in 1 plane:		2			
s	=	25.00 cm.					
use s	=	25.00 cm.					

รูปที่ ผค 16 รูปแสดงการออกแบบคาน BX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

รายการคำนวณการออกแบบระบบโครงสร้างเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

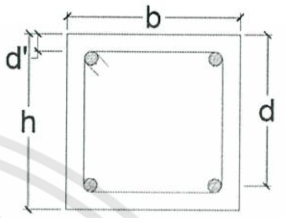
Design Rectangular Tied Column

Col. Number : C1

MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280	ksc.	Ec	=	252671 ksc.
fy	=	4000	ksc.	Es	=	2040000 ksc.
$\beta 1$	=	0.850		n	=	8
m	=	16.81				
fr	=	33.47	ksc.			
fvy	=	2400	ksc.			

1st FLOOR



COLUMN PROPERTIES

breath, b	=	20	cm.
depth , h	=	20	cm.
d'	=	5	cm.
d	=	15	cm.
Ig	=	13333.3333	cm^4.

LOAD DATA

Axial Force	=	39191.6412	kg.

Axial Force

Pn	=	55988.0588	kg.				
As req'd	=	1.27024893	cm^2.				
used rebar dia. of		12	mm	prov'd	4	bars	
Ast	=	4.52389342	cm^2.				
ϕPn	=	63445.5213	kg.	>	55988.1	kg.	OK.
ρ_t	=	1.13097336	%	check	ρ_t	1-8%	

2nd FLOOR

COLUMN PROPERTIES

breath, b	=	20	cm.
depth , h	=	20	cm.
d'	=	5	cm.

LOAD DATA

Axial Force	=	26261.9776	kg.

Axial Force

Pn	=	37517.1108	kg.				
As req'd	=	-7.4973842	cm^2.				
used rebar dia. of		12	mm	prov'd	4	bars	
Ast	=	4.52389342	cm^2.				
ϕPn	=	63445.5213	kg.	>	37517.1	kg.	OK.
ρ_t	=	1.13097336	%	check	ρ_t	1-8%	

3rd FLOOR

COLUMN PROPERTIES

breath, b	=	20	cm.
depth , h	=	20	cm.
d'	=	5	cm.

LOAD DATA

Axial Force	=	3487.2579	kg.

Axial Force

Pn	=	4981.797	kg.				
As req'd	=	-22.940971	cm^2.				
used rebar dia. of		12	mm	prov'd	4	bars	
Ast	=	4.52389342	cm^2.				
ϕPn	=	63445.5213	kg.	>	4981.8	kg.	OK.
ρ_t	=	1.13097336	%	check	ρ_t	1-8%	

รูปที่ ผง 1 รูปแสดงการออกแบบเสา C1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design Rectangular Tied Column

Col. Number : C2

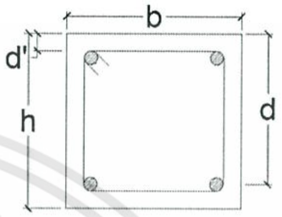
MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280	ksc.	Ec	=	252671 ksc.
fy	=	4000	ksc.	Es	=	2040000 ksc.
β1	=	0.850		n	=	8
m	=	16.81				
fr	=	33.47	ksc.			
fvy	=	2400	ksc.			

1st FLOOR

COLUMN PROPERTIES

breath, b	=	25	cm.
depth , h	=	25	cm.
d'	=	5	cm.
d	=	20	cm.
Ig	=	32552.0833	cm^4.



LOAD DATA

Axial Force	=	66383.2824	kg.

Axial Force

Pn	=	94833.2605	kg.				
As req'd	=	5.47451039	cm².				
used rebar dia. of		16	mm	prov'd	4	bars	
Ast	=	8.04247719	cm².				
ϕPn	=	101315.149	kg.	>	94833.3	kg.	OK.
ρt	=	1.28679635	%	check	ρt	1-8%	

2nd FLOOR

COLUMN PROPERTIES

breath, b	=	20	cm.
depth , h	=	20	cm.
d'	=	5	cm.

LOAD DATA

Axial Force	=	26839.9592	kg.

Axial Force

Pn	=	38342.7989	kg.				
As req'd	=	-7.1054536	cm².				
used rebar dia. of		12	mm	prov'd	4	bars	
Ast	=	4.52389342	cm².				
ϕPn	=	63445.5213	kg.	>	38342.8	kg.	OK.
ρt	=	1.13097336	%	check	ρt	1-8%	

3rd FLOOR

COLUMN PROPERTIES

breath, b	=	20	cm.
depth , h	=	20	cm.
d'	=	5	cm.

LOAD DATA

Axial Force	=	9215.08665	kg.

Axial Force

Pn	=	13164.4095	kg.				
As req'd	=	-19.056918	cm².				
used rebar dia. of		12	mm	prov'd	4	bars	
Ast	=	4.52389342	cm².				
ϕPn	=	63445.5213	kg.	>	13164.4	kg.	OK.
ρt	=	1.13097336	%	check	ρt	1-8%	

รูปที่ ผง 2 รูปแสดงการออกแบบเสา C2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design Rectangular Tied Column

Col. Number : C3

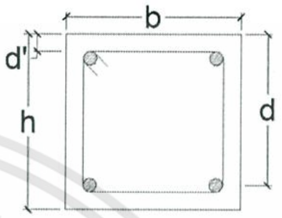
MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280 ksc.	Ec	=	252671 ksc.
fy	=	4000 ksc.	Es	=	2040000 ksc.
β1	=	0.850	n	=	8
m	=	16.81			
fr	=	33.47 ksc.			
fvy	=	2400 ksc.			

1st FLOOR

COLUMN PROPERTIES

breath, b	=	25 cm.
depth , h	=	25 cm.
d'	=	5 cm.
d	=	20 cm.
Ig	=	32552.0833 cm^4.



LOAD DATA

Axial Force	=	84756.371 kg.

Axial Force

Pn	=	121080.53 kg.				
As req'd	=	17.9333419 cm^2.				
used rebar dia. of		25 mm	prov'd	4 bars		
Ast	=	19.6349541 cm^2.				
ϕPn	=	127282.297 kg.	>	121081 kg.	OK.	
ρt	=	3.14159265 %	check	ρt	1-8%	

2nd FLOOR

COLUMN PROPERTIES

breath, b	=	20 cm.
depth , h	=	20 cm.
d'	=	5 cm.

LOAD DATA

Axial Force	=	36516.8196 kg.

Axial Force

Pn	=	52166.8851 kg.			
As req'd	=	-0.5435534 cm^2.			
used rebar dia. of		12 mm	prov'd	4 bars	
Ast	=	4.52389342 cm^2.			
ϕPn	=	63445.5213 kg.	>	52166.9 kg.	OK.
ρt	=	1.13097336 %	check	ρt	1-8%

3rd FLOOR

COLUMN PROPERTIES

breath, b	=	20 cm.
depth , h	=	20 cm.
d'	=	5 cm.

LOAD DATA

Axial Force	=	6327.21713 kg.

Axial Force

Pn	=	9038.88161 kg.			
As req'd	=	-21.015189 cm^2.			
used rebar dia. of		12 mm	prov'd	4 bars	
Ast	=	4.52389342 cm^2.			
ϕPn	=	63445.5213 kg.	>	9038.88 kg.	OK.
ρt	=	1.13097336 %	check	ρt	1-8%

รูปที่ ผง 3 รูปแสดงการออกแบบเสา C3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design Rectangular Tied Column

Col. Number : CX

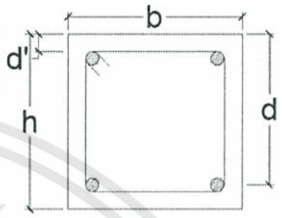
MATERIAL PROPERTIES

fc'	=	280 ksc.	Ec	=	252671 ksc.
fy	=	4000 ksc.	Es	=	2040000 ksc.
β1	=	0.850	n	=	8
m	=	16.81			
fr	=	33.47 ksc.			
fvy	=	2400 ksc.			

1st FLOOR

COLUMN PROPERTIES

breath, b	=	10 cm.
depth , h	=	10 cm.
d'	=	5 cm.
d	=	5 cm.
Ig	=	833.333333 cm^4.



LOAD DATA

Axial Force	=	3000 kg.

Axial Force

Pn	=	4285.71429 kg.				
As req'd	=	-4.2921156 cm^2.				
used rebar dia. of		9 mm	prov'd	4 bars		
Ast	=	2.54469005 cm^2.				
ϕPn	=	19028.1057 kg.	>	4285.71 kg.	OK.	
ρt	=	2.54469005 %	check	ρt	1-8%	

2nd FLOOR

COLUMN PROPERTIES

breath, b	=	10 cm.
depth , h	=	10 cm.
d'	=	5 cm.

LOAD DATA

Axial Force	=	0 kg.

Axial Force

Pn	=	0 kg.			
As req'd	=	-6.3264221 cm^2.			
used rebar dia. of		12 mm	prov'd	4 bars	
Ast	=	4.52389342 cm^2.			
ϕPn	=	23461.5213 kg.	>	0 kg.	OK.
ρt	=	4.52389342 %	check	ρt	1-8%

3rd FLOOR

COLUMN PROPERTIES

breath, b	=	10 cm.
depth , h	=	10 cm.
d'	=	5 cm.

LOAD DATA

Axial Force	=	0 kg.

Axial Force

Pn	=	0 kg.			
As req'd	=	-6.3264221 cm^2.			
used rebar dia. of		12 mm	prov'd	4 bars	
Ast	=	4.52389342 cm^2.			
ϕPn	=	23461.5213 kg.	>	0 kg.	OK.
ρt	=	4.52389342 %	check	ρt	1-8%

รูปที่ ผง 4 รูปแสดงการออกแบบเสา CX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้