

การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่
: กรณีศึกษาอาคารประเภทบ้านแถว 2 ชั้น หมู่บ้านรักษา
ตำบลพระนครศรีอยุธยา อำเภอพระนครศรีอยุธยา
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

นายปณณพงศ์ ภัทร์ศรีตระกูล

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2557

การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่
: กรณีศึกษาอาคารประเภทบ้านแถว 2 ชั้น หมู่บ้านรักษา
ตำบลพระนครศรีอยุธยา อำเภอพระนครศรีอยุธยา
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

(รศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)
ประธานกรรมการ

(ศ. ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร)
กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ปณณพศ์ ภัทร์ศรีตระกูล: การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก
 หล่อในที่: กรณีศึกษาอาคารประเภทบ้านแถว 2 ชั้น หมู่บ้านรักษยา ตำบลพระนครศรี
 ออยุธยา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (A FEASIBILITY STUDY OF
 CAST-IN-PLACE BEARING WALL SYSTEM: A CASE STUDY OF TWO-STORY
 TOWN HOUSE IN RAKTHAYA VILLAGE, PHRA NAKHON SI AYUTTHAYA
 DISTRICT, PHRA NAKHON SI AYUTTHAYA PROVINCE) อาจารย์ที่ปรึกษา :
 ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการก่อสร้างระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก
 หล่อในที่ และเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียในแง่ราคาและระยะเวลาก่อสร้างของงานโครงสร้างและผนัง
 กับระบบการก่อสร้างเสา-คานแบบดั้งเดิม รวมทั้งศึกษาจุดคุ้มทุนในการลงทุน ผู้วิจัยเลือก
 โครงการก่อสร้างอาคารบ้านแถว 2 ชั้น 6 ห้อง หมู่บ้านรักษยา ตำบลพระนครศรีอยุธยา อำเภอ
 พระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นกรณีศึกษา จุดเด่นหลัก 3 ประการ ของระบบ
 ก่อสร้างระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่คือคุณภาพดีที่สุดในแง่เวลาการก่อสร้างน้อยที่สุด และ
 ต้นทุนในการก่อสร้างต่ำที่สุด ผลการศึกษาสรุปได้ว่าราคาและระยะเวลาก่อสร้างเฉพาะงาน
 โครงสร้างและงานผนังด้วยระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่เท่ากับ 1,277,044.25 บาท
 และ 37 วัน ตามลำดับ ซึ่งมีราคาต่ำกว่าระบบก่อสร้างแบบดั้งเดิม 596,368.43 บาท และระยะเวลา
 การก่อสร้างสั้นกว่า 69 วัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ราคาเฉลี่ยงานโครงสร้างและงานผนังด้วย
 ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่เท่ากับ 1,457.81 บาทต่อตารางเมตร ขณะที่ ราคาเฉลี่ย
 งานโครงสร้างและงานผนังด้วยระบบก่อสร้างแบบดั้งเดิมเท่ากับ 2,138.60 บาทต่อตารางเมตร
 ปัจจัยหลักที่ทำให้ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ที่มีต้นทุนและระยะเวลาการก่อสร้างที่ต่ำคือ
 การลดระยะเวลาในการก่อฉาบและการหมุนเวียนแบบหล่อเหล็กกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถใช้ซ้ำ
 ได้ถึง 47 ครั้ง

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

PANNAPHONG PATSRITRAKOOL: A FEASIBILITY STUDY OF CAST-IN-PLACE BEARING WALL SYSTEM: A CASE STUDY OF TWO-STORY TOWN HOUSE IN RAKTHAYA VILLAGE, PHRA NAKHON SI AYUTTHAYA DISTRICT, PHRA NAKHON SI AYUTTHAYA PROVINCE. ADVISOR: PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

This research presents the construction method of cast-in-place bearing wall system, its advantages and disadvantages in term of construction costs and construction time, comparing to the ordinary construction of column-beam system, as well as its break-even point. The studied site is a 2 story town house construction project of Rakthaya village, Phra Nakhon Si Ayutthaya district, Pra Nakhon Si Ayutthaya province. There are three main advantages of the cast-in-place bearing wall system: best quality, least construction time, and lowest costs. The studied results show that the construction cost and construction time of the cast-in-place bearing wall system is 1,277,044.25 baht and 37 days in which the construction cost is 596,368.43 baht lower than that of the ordinary construction system and the construction time is 37 days shorter than that of the ordinary construction system. In other words, the average construction cost is 1,457.81 baht/m² and 2,138.60 baht/m² for the cast-in-place bearing wall system and the ordinary construction system. The cost- and time-effectiveness of the cast-in-place bearing wall system is due to the time reduction in laying bricks and plastering and the recycling of steel about of the cast-in-place bearing wall system, which can be recycled more than used 47 times.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการศึกษานี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ศ. ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ แนะนำทิศทางการทำงาน และให้กำลังใจ ความเมตตากรุณาถ่ายทอดความรู้แก่ศิษย์เป็นอย่างดี ผู้ศึกษาจึงขอขอบพระคุณท่าน ศ. ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข ไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ให้แก่ผู้ศึกษา ซึ่งเป็นความรู้และมีประโยชน์ในการทำงานต่อไป ผู้ศึกษาขอระลึกถึงพระคุณบิดา มารดาและญาติพี่น้อง ที่ได้อบรมสั่งสอนให้เป็นคนดี รักการศึกษา ขอขอบคุณนายณัฐวัชต์ พัฒนจันทร์ ที่อนุเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ และท้ายสุดขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจตลอดการทำงานศึกษาครั้งนี้เป็นอย่างดี

ปณณพงค์ ภัทร์ศรีตระกูล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ปรัชญ์นัวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	4
2.3 เขื่อนกันดิน(Retaining Walls).....	5
2.4 การออกแบบเขื่อนกันดินแบบยื่นรูปตัวที.....	10
2.5 การออกแบบกำแพงคสล.รับน้ำหนักในแนวตั้งหรือแรงเฉือน.....	11
2.6 การพิจารณาออกแบบกำแพงห้องใต้ดิน.....	11
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
3 วิธีการทดสอบ/วิธีการวิจัย.....	14
3.1 แบบโครงสร้างอาคารบ้านพักจัดสรรที่ใช้ในการศึกษา.....	14
3.2 สถิติและข้อมูลอ้างอิงที่ใช้ในการศึกษา.....	14
3.2.1 สถิติราคาค่าก่อสร้างโดยเฉลี่ยต่อหน่วย สำหรับงานเสาเข็ม งานฐานราก งานสถาปัตยกรรม งานระบบไฟฟ้า และงานระบบสุขาภิบาล.....	14
3.2.2 ราคาค่าวัสดุอุปกรณ์ ค่าแรงงาน และค่าเครื่องจักรต่อหน่วย สำหรับงาน โครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ (เฉพาะงานโครงสร้าง).....	14

3.2.3	ราคาค่าวัสดุอุปกรณ์ ค่าแรงงานและค่าเครื่องจักรต่อหน่วย สำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบดั้งเดิม (เฉพาะงานโครงสร้าง).....	14
3.2.4	ระยะเวลาการก่อสร้างโดยเฉลี่ย สำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรร ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่(เฉพาะงานโครงสร้าง).....	14
3.2.5	ระยะเวลาการก่อสร้างโดยเฉลี่ย สำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรร ระบบโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบดั้งเดิม (เฉพาะงานโครงสร้าง).....	14
3.3	การหาปริมาณวัสดุก่อสร้าง.....	15
3.4	การคำนวณราคาค่าก่อสร้าง.....	15
3.5	การคำนวณระยะเวลาการก่อสร้าง.....	15
3.6	การคำนวณผลตอบแทนการลงทุน (จุดคุ้มทุน).....	15
4	ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล.....	16
4.1	กรรมวิธีระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อคอนกรีตในที่.....	16
4.1.1	การออกแบบอาคาร (Building design).....	16
4.1.2	การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Mixed design).....	18
4.1.3	การสร้างแบบหล่อคอนกรีต (Mold steel).....	19
4.1.4	การกำหนดขั้นตอนการทำงาน (The process.).....	21
4.1.5	การควบคุมคุณภาพ (Quality control : QC).....	21
4.1.6	การประกันคุณภาพ(Quality Assurance:QA).....	22
4.2	ลำดับการก่อสร้างอาคารบ้านพักจัดสรรที่ใช้ในการศึกษา.....	23
4.3	สถิติและข้อมูลอ้างอิงที่ใช้ในการศึกษา.....	28
4.4	การหาปริมาณวัสดุก่อสร้าง.....	32
4.5	การหาราคาค่าก่อสร้าง.....	32
4.6	การหาระยะเวลาการก่อสร้าง.....	34
4.7	การหาผลตอบแทนการลงทุน (จุดคุ้มทุน).....	35
5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	38
5.1	สรุปผลการศึกษา.....	38
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	40
	เอกสารอ้างอิง.....	41
	ภาคผนวก ก.....	42

ภาคผนวก ข. การออกแบบโครงสร้างผนังรับล้อในที่.....	50
ประวัติผู้เขียน.....	76

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ระบบ QC และ QA.....	22
4.2 ราคาค่าวัสดุอุปกรณ์ ค่าแรงงานและค่าเครื่องจักรต่อหน่วยสำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักโดยใช้การหล่อคอนกรีตในที่ (เฉพาะงานโครงสร้าง+งานผนังคอนกรีต).....	29
4.3 ราคาค่าวัสดุอุปกรณ์ ค่าแรงงานและค่าเครื่องจักรต่อหน่วยสำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างเสา-คานาทั่วไป (เฉพาะงานโครงสร้าง+งานผนังก่อ ฉาบ).....	29
4.4 ระยะเวลาการก่อสร้างโดยเฉลี่ยสำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักโดยใช้การหล่อคอนกรีตในที่ (เฉพาะงานโครงสร้าง+งานผนังคอนกรีต).....	31
4.5 ระยะเวลาการก่อสร้างโดยเฉลี่ยสำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างเสา-คานาทั่วไป (เฉพาะงานโครงสร้าง+งานผนังก่อฉาบ).....	31
4.6 ปริมาณวัสดุก่อสร้าง.....	32
4.7 ราคาค่าก่อสร้างของระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก.....	33
4.8 ราคาค่าก่อสร้างของ ระบบโครงสร้างเสา-คานาทั่วไป.....	33
4.9 ผลเปรียบเทียบระยะเวลาทำงานของระบบผนังรับน้ำหนักหล่อในที่และระบบเสา-คานา.....	34
4.10 ผลเปรียบเทียบราคาของระบบผนังรับน้ำหนักหล่อในที่และระบบเสา-คานา.....	35
5.1 ผลเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการก่อสร้างระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่และระบบโครงสร้างเสา-คานา.....	38

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	3
2.2 แรงดันทางข้างของดินแบบ active.....	8
2.3 แรงดันของดิน.....	9
2.4 ไรอะแกรมของโมเมนต์คัต.....	12
2.5 แรงเฉือนและโมเมนต์คัต.....	12
4.1 อุปกรณ์มาตรฐานที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป.....	20
4.2 แบบหล่อคอนกรีต.....	20
4.3 พังระบบ QC.....	21
4.4 งานเสาเข็ม.....	23
4.5 งานฐานราก.....	24
4.6 งานพื้นชั้น 1.....	24
4.7 งานพื้นชั้น 1 และเตรียมการเข้าแบบผนังชั้น 1.....	25
4.8 งานผนังรับน้ำหนักชั้น 1 และพื้นชั้น 2.....	25
4.9 งานผนังรับน้ำหนักชั้น 2.....	26
4.10 งานโครงหลังคา.....	26
4.11 งานระบบประปา สุขาภิบาล ระบบไฟฟ้า.....	27
4.12 งานสถาปัตยกรรม.....	27
4.13 งานเก็บรายละเอียด.....	28
ก.1 แปลนฐานราก 1.....	43
ก.2 แปลนฐานราก 2 กรณีเสาเข็มยาวไม่ถึง 10 เมตร ให้ใช้ฐานรากแบบเสาเข็ม 2.....	44
ก.3 แปลนฐานราก 3.....	45
ก.4 แปลนโครงสร้างพื้นชั้น 1.....	46
ก.5 แปลนโครงสร้างผนังชั้น 1.....	47
ก.6 แปลนโครงสร้างพื้นชั้น 2.....	48
ก.7 แปลนโครงสร้างผนังชั้น 2.....	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่องของประเทศไทยทำให้ปริมาณการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยอาคารทางธุรกิจอาคารทางอุตสาหกรรมและสาธารณูปโภคต่างๆ เพิ่มขึ้น ปัญหาของการก่อสร้างส่วนใหญ่ที่ผ่านมามีเกิดจากความล่าช้าของการทำงานและการขาดแคลนแรงงาน ผู้รับเหมาหลายรายเริ่มหาแนวทางและเทคนิคการก่อสร้างที่รวดเร็วและใช้แรงงานน้อย เช่น ระบบผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ (Cast-In-Place Bearing Wall System) และชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Precast Concrete) เป็นต้น

โครงการหมู่บ้านจัดสรรหนึ่งในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ประสบปัญหาเช่นเดียวกับโครงการก่อสร้างทั่วไป เจ้าของโครงการจึงใช้ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ ซึ่งเป็นระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก (ปราศจากเสาและคาน) แทนการก่อสร้างแบบดั้งเดิม ระบบนี้กำหนดตำแหน่งและทำช่องเปิดสำหรับประตูหน้าต่างท่อร้อยสายไฟฟ้า ท่อน้ำดี และท่อน้ำเสีย ก่อนการประกอบแบบ เมื่อการหล่อผนังรับน้ำหนักหล่อในที่หน้างานเสร็จสิ้น งานระบบอื่นๆ ก็สามารถดำเนินต่อเนื่องได้อย่างง่ายดาย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อดี ข้อเสีย และปัญหาอุปสรรคของระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ รวมทั้งเปรียบเทียบกับเทคนิคการก่อสร้างแบบดั้งเดิม โดยใช้โครงการบ้านแถว 2 ชั้น หมู่บ้านรักษยา โครงการ THE FUSION ตำบลพระนครศรีอยุธยา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำนวน 340 หน่วย เป็นกรณีศึกษา โดยโครงการนี้ถูกออกแบบและบริหารงานก่อสร้างโดย นายณัฐวัชต์พัฒนจันทร์ นักศึกษาปริญญาเอก รุ่น 1/2555 สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและนำเสนอวิธีการก่อสร้างระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อคอนกรีตในที่
- 1.2.2 เพื่อศึกษาข้อดี ข้อเสีย และอุปสรรคปัญหาของระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่รวมทั้งเปรียบเทียบกับเทคนิคการก่อสร้างแบบดั้งเดิม
- 1.2.3 เพื่อศึกษาจุดคุ้มทุนของระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่

1.3 ขอบเขตการศึกษา

โครงการนี้จะกระทำในลักษณะของกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างบ้านแถว 2 ชั้น หมู่บ้านรักษา ตำบลพระนครศรีอยุธยา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งใช้ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ (Cast-In-Place Bearing Wall System) ผู้วิจัยจะนำเสนอขั้นตอนการก่อสร้าง และทำการศึกษาข้อดี ข้อเสีย และปัญหาอุปสรรคของระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ รวมทั้งเปรียบเทียบกับเทคนิคการก่อสร้างแบบดั้งเดิม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

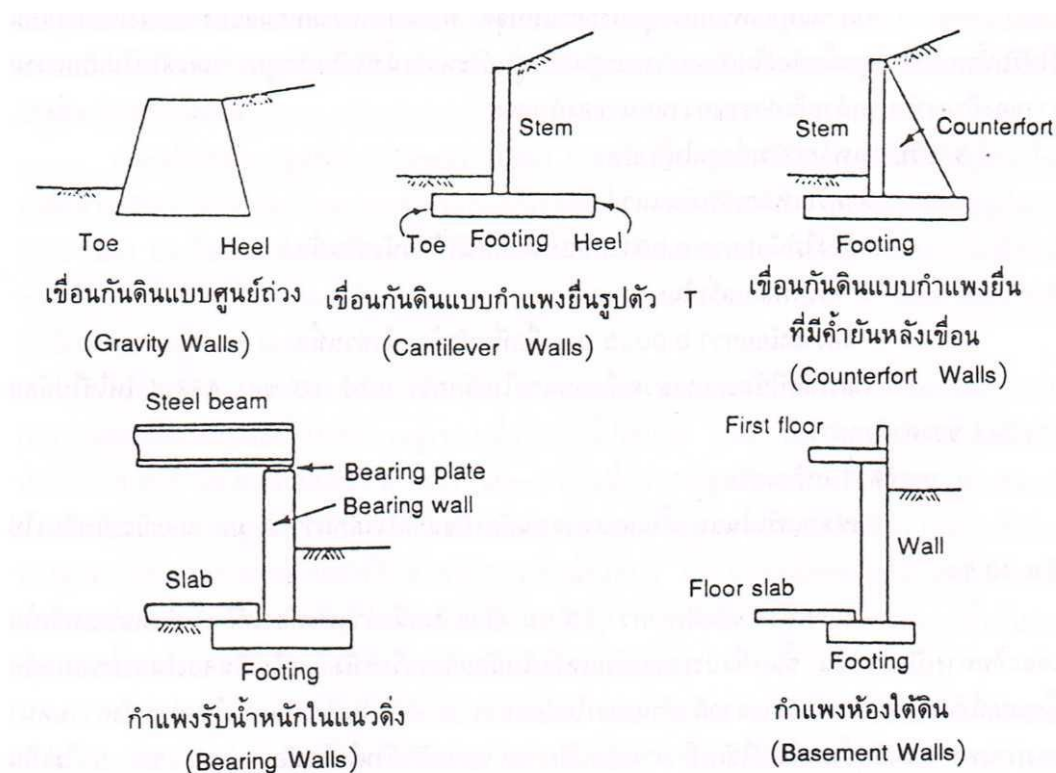
- 1.4.1 ทราบถึงขั้นตอนการก่อสร้างระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่
- 1.4.2 ทราบถึงข้อดี ข้อเสีย และปัญหาอุปสรรคของการก่อสร้างระบบ โครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่
- 1.4.3 ทราบถึงจุดคุ้มทุนของระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) เป็นส่วน โครงสร้างในแนวดิ่งที่ใช้เพื่อรับแรงทางข้าง ซึ่งอาจกระทำตั้งฉากหรือตามแนวนอนกับระนาบของกำแพง หรือแรงทางดิ่งนอกเหนือจากน้ำหนัก ของตัวกำแพง ตัวอย่างของกำแพง คสล. ได้แก่ ก) เขื่อนหรือกำแพงกันดิน กันน้ำ หรือวัสดุอย่างอื่น (Retaining Walls) ที่รับแรงกระทำตั้งฉากกับระนาบของกำแพง ข) กำแพงรับน้ำหนักในแนวดิ่ง (Bearing Walls) ค) กำแพงรับแรงเฉือน (Shear Walls) ที่เกิดจากแรงทางข้างที่กระทำตามแนวนอน ในระนาบของกำแพง เช่น แรงลม แรงแผ่นดินไหว ง) กำแพงห้องใต้ดิน (Basement Walls) หรือ ตอม่อสะพาน (Bridge Abutments) ที่รับแรงทางข้างของดิน หรือของเหลว รวมถึงน้ำหนักที่กระทำ ในแนวดิ่ง น้ำหนักหรือแรงต่างๆที่กระทำทำให้กำแพงต้องรับแรงภายในต่างๆ คือ แรงอัด แรงดัด แรงเฉือน และแรงบิด (ถ้ามี) ซึ่งขึ้นกับลักษณะของกำแพงและที่รองรับ



รูปที่ 2.1 กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก

มาตรฐาน American Concrete Institute (ACI) และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) กำหนดความหนาและปริมาณเหล็กเสริมในกำแพงหรือผนังคอนกรีตเสริมเหล็กดังต่อไปนี้ แต่อาจแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ ถ้าหากการวิเคราะห์ทางโครงสร้างแสดงว่าโครงสร้างนั้นมีกำลังและเสถียรภาพดีพอ

1. ความหนาต่ำสุดของกำแพง คสล.

- ความหนาของกำแพงที่รับใช้น้ำหนัก (Bearing Wall) ต้องไม่น้อยกว่า $1/25$ ของความสูงหรือความกว้างระหว่างที่รองรับ ทั้งนี้ให้ใช้ค่าที่น้อยกว่า
- ความหนาของกำแพงที่รับใช้น้ำหนักต้องไม่น้อยกว่า 10 ซม. สำหรับช่วงบนสุด 4 เมตร และให้เพิ่มความหนาอีกอย่างน้อย 2 ซม. ทุกๆ ความสูง 9 เมตรลงมา แต่อาคารพักอาศัยไม่เกิน 3 ชั้นอาจใช้ความหนา 10 ซม. ตลอดความสูงได้
- ความหนาของกำแพง คสล. ที่ใช้เป็นผนังกันห้อง ต้องหนาไม่น้อยกว่า 6 ซม. แต่ต้องไม่น้อยกว่า $1/50$ ของระยะระหว่างที่รองรับ และไม่น้อยกว่า $1/50$ ของความกว้างของกำแพง
- ความหนาของกำแพงห้องใต้ดิน (Basement Walls) ด้านนอกหรือกำแพงฐาน ราก หรือกำแพงกันไฟ ต้องไม่น้อยกว่า 15 ซม.

2. ความยาวประสิทธิภาพของกำแพงในแนวนอน

ในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุด ความยาวประสิทธิภาพของกำแพงในแนวนอนที่ใช้รับน้ำหนักบรรทุกนั้นต้องไม่เกินกว่าระยะศูนย์ถึงศูนย์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก และต้องไม่เกินความยาวของที่รองรับบวกด้วยสี่เท่าของความหนาของกำแพง

3. ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดในกำแพง

สำหรับเหล็กเสริมในแนวตั้ง :

- ต้องไม่น้อยกว่า 0.0015 ของเนื้อที่หน้าตัดผนังส่วนนั้น

สำหรับเหล็กเสริมในแนวนอน :

- ต้องไม่น้อยกว่า 0.0025 ของเนื้อที่หน้าตัดผนังส่วนนั้น

ในกรณีที่ใช้ตะแกรงลวดเชื่อมขนาดไม่เล็กกว่า เบอร์ 10 ของ AS&W ให้ใช้ไม่น้อยกว่า $3/4$ ของค่าดังกล่าว

4. การจัดวางเหล็กเสริม

- เหล็กเสริมในแนวดิ่งและแนวนอนต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 9 มม. และมีระยะเรียงไม่เกิน 30 ซม.
- หากผนังกำแพงหนากว่า 15 ซม. (ยกเว้นผนังกำแพงห้องใต้ดิน) ต้องเสริมเหล็กในแต่ละทิศทางเป็นสองชั้น ชั้นหนึ่งประกอบด้วยเหล็กไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งแต่ไม่เกินสองในสามของเหล็กทั้งหมดที่ต้องการ โดยวางห่างจากผิวด้านนอกไม่น้อยกว่า 3 ซม. แต่ไม่เกินหนึ่งในสามของความหนาของกำแพง ส่วนอีกชั้นหนึ่งให้ใช้เหล็กส่วนที่เหลือวางห่างจากผิวด้านในไม่น้อยกว่า 2 ซม. แต่ไม่เกินหนึ่งในสามของความหนาของกำแพง
- ต้องยึดผนังกำแพง คสล. ให้ติดกับพื้น เสา หรือผนังที่มาบรรจบกันด้วยเหล็กเสริมของแต่ละชั้นซึ่งมีขนาดไม่เล็กกว่า 9 มม. ระยะเรียง 20 ซม. หรือเทียบเท่า
- ที่ช่องเปิดของผนังกำแพง คสล. ต้องเสริมเหล็กเพิ่มพิเศษจากที่กำหนดในข้อ 3 ด้วยเหล็กเส้นขนาดไม่เล็กกว่า 12 มม. อย่างน้อยสองเส้นรอบช่องเปิด โดยยื่นปลายเหล็กเสริมให้เลยจากมุมช่องเปิดไปเป็นระยะอย่างน้อย 60 ซม. และเสริมเหล็กทแยงมุมขนาดไม่เล็กกว่า 12 มม. ยาว 1 เมตร อย่างน้อย 2 เส้นที่มุมช่องเปิดทุกมุม

5. การถ่ายแรงสู่ฐานรากที่ฐานของกำแพง ให้เป็นไปตามที่กล่าวในเรื่องฐานราก

2.3 เชือกั้นดิน(Retaining Walls)

เชือกั้นหรือกำแพงกั้นดินใช้ในงานก่อสร้างอาคาร อุโมงค์หรือสะพานที่มีการขุดหรือถมดินเพื่อกั้นดินพัง ทั้งนี้เพราะดินที่อยู่ในระดับที่เหนือกว่าจะไหลหรือทลายไปสู่ระดับที่ต่ำกว่าจนกว่าดินจะอยู่ในสภาพของความลาดตามธรรมชาติ(natural slope)เชือกั้นหรือกำแพงกั้นดินจึงทำหน้าที่ต้านทานแรงดันทางข้างจากดินที่อยู่ในระดับที่สูงกว่าทำให้ดินมีความมั่นคงหรือมีเสถียรภาพสามารถตั้งอยู่ในตำแหน่งและตามสภาพที่ต้องการได้

แบบต่างๆของเชือกั้นหรือกำแพงกั้นดินที่ใช้กันมากได้แก่ แบบศูนย์ถ่วง แบบกำแพงยื่นรูปตัวT แบบกำแพงยื่นมีค้ำยันหลังเชือกั้นหรือแบบกำแพงยื่นมีค้ำยันหน้าเชือกั้น ดังรูปที่ 2.1 สำหรับตอม่อ สะพาน ผนังหรือกำแพงห้องใต้ดิน ก็จัดเป็นเชือกั้นดินเช่นกันแต่ต้องรับแรงกระทำอื่นนอกเหนือจากแรงดันทางข้างของดิน

เชือกั้นดินแบบศูนย์ถ่วง(Gravity Walls)อาจสร้างขึ้นจากคอนกรีตล้วนหรือใช้หินเชือกั้นโดยอาศัยน้ำหนักของตัวมันเองต้านทานแรงดันทางข้างของดิน ปกติเชือกั้นหรือกำแพงแบบนี้มักสูงไม่เกิน 3.00 เมตร และไม่มีแรงดึงเกิดขึ้นเลย ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็ก แต่ในบางครั้งอาจ

ลดน้ำหนักของดั่งกำแพงลงบ้างก็จะเสริมเหล็กเข้าไปบ้างเล็กน้อยเรียกเขื่อนกันดินแบบนี้ว่า เขื่อนกันดินแบบกึ่งศูนย์ถ่วง(Semigravity Walls)

เขื่อนกันดินแบบกำแพงยื่นรูปตัวT (Cantilever Walls)เป็นแบบที่ใช้กันมากโดยทำเป็นกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก ปกติความสูงของเขื่อนแบบนี้ประมาณ 3.00 ถึง 7.50 เมตร และมีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ ก) ส่วนของดั่งกำแพง(stem)ที่ยื่นขึ้นมาจากฐานราก สำหรับต้านทานแรงดันทางข้างของดิน ข) ส่วนฐานรากด้านหน้าเขื่อน(toe)และ ค) ส่วนฐานรากด้านหลังเขื่อน(heel)ซึ่งส่วนของฐานรากทั้งสองด้านจะทำหน้าที่รับน้ำหนักของเขื่อนทั้งหมด น้ำหนักของดินที่อยู่บนฐานทั้งด้านหลัง และด้านหน้าเขื่อน และรวมถึงน้ำหนักกดทับอื่น (ถ้ามี) กำลังต้านทานของเขื่อนแบบนี้ขึ้นกับส่วนประกอบทั้งสามที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นคานยื่น(cantilever beams)

เขื่อนกันดินแบบกำแพงอื่นที่มีค้ำยันหลังเขื่อน(Counterfort Walls)หรือแบบที่มีค้ำยันหน้าเขื่อน(Buttress Walls) เป็นเขื่อนกันดินแบบกำแพงยื่นรูปตัวTนั่นเองแต่มีความสูงตั้งแต่ 7.50 เมตรขึ้นไป ซึ่งทำให้ตัวกำแพง(stem)ต้องรับโมเมนต์ดัดสูงมาก หากทำเป็นแบบกำแพงยื่นรูปตัวทีก็จะมี ความหนาและ ไม่ประหยัด ดังนั้นจึงใช้ค้ำยันหน้าหรือค้ำยันหลังเข้าช่วยเป็นระยะๆ โดยยึดกับ ส่วนของฐานรากและตัวกำแพง ซึ่งจะออกแบบให้ตัวกำแพงเสมือนเป็นคานต่อเนื่องที่มีตัวค้ำยันเป็นที่รองรับตัวค้ำยันหลังเขื่อน(counterfort) จะทำหน้าที่รับแรงดึง ในขณะที่ตัวค้ำยันหน้าเขื่อน(buttress)จะทำหน้าที่รับแรงอัด เขื่อนกันดินแบบกำแพงยื่นที่มีค้ำยันหลังเขื่อนได้รับความนิยมมากกว่าแบบที่มีค้ำยันหน้าเขื่อน เพราะแลดูสวยงามกว่านั่นเอง

อนึ่ง ต้องถมดินหลังเขื่อนเป็นชั้นๆและบดอัดให้ดี และต้องพิจารณาถึงปัญหาของการระบายน้ำที่อยู่หลังเขื่อนด้วยเพื่อมิให้เขื่อนต้องรับแรงดันจากน้ำเพิ่มขึ้น ความหนาของตัวกำแพงไม่ควรน้อยกว่า 20 ซม. เพราะส่วนคอนกรีตหุ้มเหล็กต้องใช้อย่างน้อย 5 ซม. เนื่องจากสัมผัสกับดินโดยตรง

2.3.1 แรงดันทางข้างของดิน (Earth Pressure)

แรงดันทางข้างของดินที่กระทำต่อเขื่อนกันดินขึ้นกับชนิดของดิน ความหนาแน่นของดิน จากการบดอัดดิน ความชื้นในดิน มุมเสียดทานระหว่างกำแพงกับดิน มุมเอียงลาดของดินถมหลังกำแพงและมุมเอียงลาดของผนังกำแพง ส่วนน้ำหนักอื่นๆ ที่กดทับ(surcharge)บนดินหลังเขื่อน เช่น ถนน จะทำให้เขื่อนต้องรับแรงดันทางข้างเพิ่มมากขึ้นการกระจายของหน่วยแรงดันทางข้างของดินที่กระทำต่อเขื่อนกันดิน จะสมมุติให้กระจายเสมือนกับหน่วยแรงดันของของเหลวคือเป็นรูปสามเหลี่ยมและมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับความลึกของดินซึ่งขึ้นกับหน่วยน้ำหนักของดินและสัมประสิทธิ์แรงดันของดิน ดังนั้นหน่วยแรงดันของดิน P ที่ระดับความลึก h เมตร จะมีค่าเท่ากับ Kwh กก./เมตร² ในเมื่อ K เป็นค่าสัมประสิทธิ์แรงดันของดิน(coefficient of earth pressure)และ

w เป็นหน่วยน้ำหนักของดิน กก./เมตร³ แรงดันทั้งหมดที่กระทำต่อเขื่อนยาวหนึ่งเมตรจะเท่ากับ $\frac{1}{2} Kwh^2$ กก. โดยกระทำที่ระยะ $h/3$ สูงจากฐานเขื่อน และมีแนวแรงกระทำขึ้นกับความเอียงลาดของดิน ถมหลังเขื่อนดังรูปที่ 2.2

ปกติการคำนวณหาแรงดันทางข้างของดินเพื่อนำไปพิจารณาออกแบบเขื่อนกันดินนิยมใช้ทฤษฎีที่เสนอโดยRankineที่สมมุติว่าไม่มีความฝืดหรือแรงเสียดทานระหว่างกำแพงกับดิน ซึ่งจะได้หน่วยแรงดันของดิน P ที่ระดับความลึก h และแรงดันทั้งหมด ดังนี้

1) เมื่อเขื่อนขยับหนีจากดินถมหลังเขื่อน

Active earth pressure : $P_a = \frac{1}{2} K_a W h$ กก./เมตร²

Total active force : $P_a = \frac{1}{2} K_a W h^2$ กก.

2) เมื่อเขื่อนขยับเข้าหาดินถมหน้าเขื่อน

Passive earth pressure : $P_p = K_p W h$ กก./เมตร²

Total passive force: $P_p = \frac{1}{2} K_p W h^2$ กก.

ในที่นี้ w = หน่วยน้ำหนักของดินที่เขื่อนกัน, กก. /ลบ.เมตร

H = ความลึกของดินที่เขื่อนกัน, เมตร

$$K_a = \cos \theta \frac{\cos \theta - \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \varphi}}{\cos \theta + \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \varphi}}$$

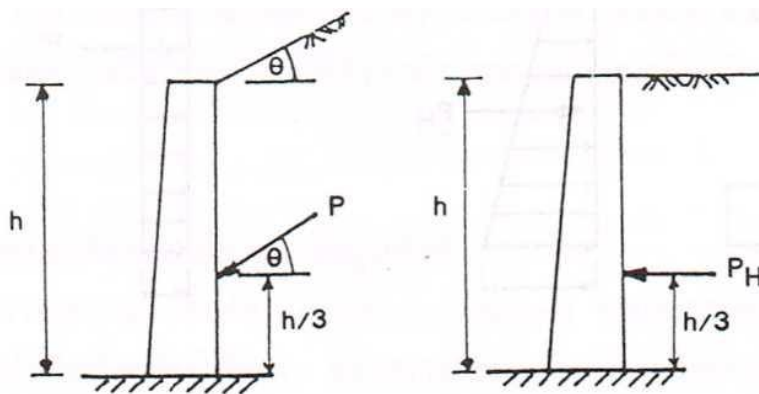
$$K_p = \cos \theta \frac{\cos \theta + \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \varphi}}{\cos \theta - \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \varphi}}$$

θ = มุมระหว่างพื้นผิวที่เขื่อนกันกับพื้นราบ

φ = มุมเสียดทานภายในของมวลดิน

อนึ่ง เมื่อพื้นผิวดินที่เขื่อนกันอยู่ในแนวราบ ($\theta = 0$) จะได้

ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันของดิน $K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$ และ $K_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$



(ก) พื้นผิวดินเอียงทำมุม θ (ข) พื้นผิวดินขนานกับพื้นราบ

รูปที่ 2.2 แรงดันทางข้างของดินแบบ active

สำหรับหน่วยแรงดันทางข้างที่เกิดจากน้ำหนักกดทับหลังเขื่อน (surcharge) จะมีค่าเท่ากับ $K_a w'$ กก./เมตร² ในเมื่อ w' เป็นน้ำหนักกดทับ กก./เมตร² และถือว่าหน่วยแรงดังกล่าวมีค่าเท่ากันตลอดความสูงของเขื่อน ดังนั้น ถ้ากำแพงหรือเขื่อนกันดินสูง h เมตร แรงดันทางข้างทั้งหมดต่อเขื่อนยาวหนึ่งเมตรเนื่องจากน้ำหนักกดทับ w' ที่กระทำบนพื้นราบ ($\theta = 0$) จะมีค่าเท่ากับ

$$P' = w' h \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) \text{ กก. ซึ่งกระทำที่ระยะ } h/2 \text{ สูงจากฐานเขื่อน}$$

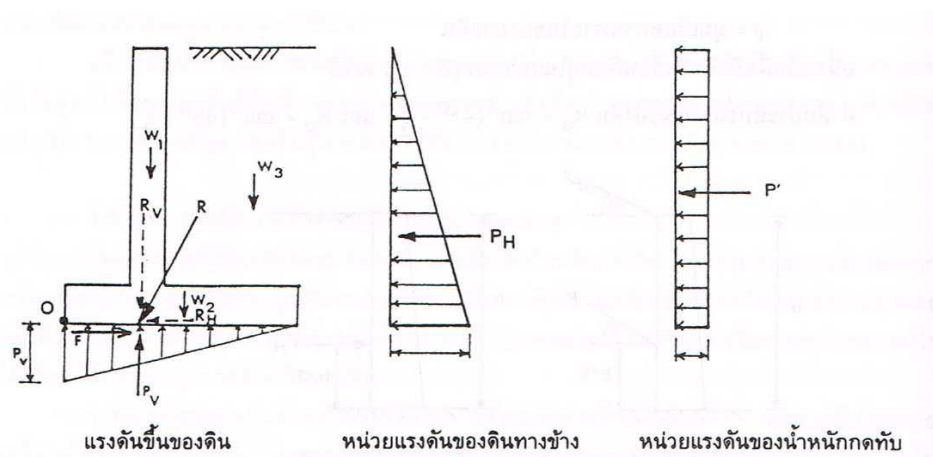
2.3.2 แรงกระทำต่อเขื่อนกันดิน (Forces on Retaining Walls)

การคำนวณออกแบบเขื่อนกันดิน พิจารณาได้จากการกระทำของแรงต่างๆ ที่ทำให้เขื่อนกันดิน ต้องรับหรือต้านทาน (รูปที่ 2.3) ซึ่งได้แก่

- ก) แรงดันทางข้างเนื่องจากดิน P_a และ P_p และจากน้ำหนักกดทับ P' (ถ้ามี)
- ข) น้ำหนักของตัวเขื่อนเอง $W_1 + W_2$
- ค) น้ำหนักของดินที่อยู่เหนือฐานหลังเขื่อน W_3 และที่หน้าเขื่อน (ถ้ามี)

สมมุติว่ามีดินถมหลังเขื่อนอย่างเดียวและมีน้ำหนักกดทับ โดยผิวดินอยู่ในแนวราบเสมอ กับเขื่อน ดังรูปที่ 2.3 ดังนั้นถ้าให้ R เป็นแรงลัพธ์ของแรงที่กระทำต่อเขื่อนที่เกิดจากแรงดันทางข้างในแนวนอน (P_H และ P') และน้ำหนักต่างๆ ในแนวตั้ง ($W_1 + W_2$ และ W_3) และให้ R_H และ R_V เป็นส่วนประกอบของแรงลัพธ์ R ในแนวนอนและแนวตั้ง ดังนั้น จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่า แรง R_H จะพยายามดันให้เขื่อนเลื่อนไถลไปข้างหน้า (ทางซ้ายมือ) ซึ่งแรงนี้จะถูกต้านโดยแรงเสียดทานระหว่างฐานรากและดินที่อยู่ใต้ฐาน F (แรงเสียดทาน $F = f \cdot R_V$ ในเมื่อ f เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแรง

เสียดทาน) ส่วนแรง R_V ซึ่งเป็นแรงกระทำต่อดินใต้ฐานจะถูกต้านโดยแรงดันขึ้น P_V ซึ่งเป็นแรงลัพธ์ของหน่วยแรงดันขึ้นของดินใต้ฐานระหว่างฐานหน้าเขื่อนถึงฐานหลังเขื่อน



รูปที่ 2.3 แรงดันของดิน

ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่ใช้คำนวณเพื่อดำเนินงานการเลื่อนไถลของกำแพง หรือ เชื่อนกันดิน มีดังนี้

ระหว่างคอนกรีตกับดินเหนียวเปียก = 0.33

ระหว่างคอนกรีตกับทราย = 0.40

ระหว่างคอนกรีตกับกรวด = 0.60

ระหว่างคอนกรีตกับดินเหนียวแห้ง = 0.50

สำหรับตำแหน่งของแรงดันขึ้นของดิน P_V จะต้องจัดให้อยู่ภายในช่วงหนึ่งในสามที่บริเวณตรงกลางของฐานราก (middle third) ทั้งนี้เพื่อให้หน่วยแรงดันขึ้นของดินตลอดความกว้างของฐานรากเป็นแบบแรงอัดทั้งหมดนั่นเอง

2.3.3 การวิบัติของเชื่อนกันดิน

การวิบัติของเชื่อนกันดิน อาจมีสาเหตุมาจาก

- ก) การทรุดตัวของฐานเขื่อนเนื่องจากดินใต้ฐานรากไม่สามารถรับแรงกดอัดที่กระทำได้ หรือส่วนต่างๆ ของเชื่อนกันดินไม่แข็งแรงพอ
- ข) เชื่อนเลื่อนไถล (sliding) จากที่ตั้งเดิม ดังที่กล่าวในหัวข้อ 2.3.2 ซึ่งเกิดจากแรงดันทางข้าง มีค่ามากกว่าแรงเสียดทานใต้ฐานเขื่อน

- ค) เชื้อนพลิกคว่ำ (overturning) โดยหมุนรอบจุด 0 ที่ปลายฐานรากหน้าเชื้อน ซึ่งมีสาเหตุมาจากแรงดันทางข้างเช่นกัน กล่าวคือ เชื้อนจะวิบัติเมื่อโมเมนต์รอบจุด 0 ที่เกิดจากการกระทำของแรงดันทางข้างมีค่ามากกว่าโมเมนต์รอบจุด 0 ที่ได้จากแรงหรือน้ำหนักของตัวเชื้อนและน้ำหนักของดินถมหลังเชื้อน

ดังนั้น ในการคำนวณออกแบบจึงต้องเพื่อส่วนของความปลอดภัยไว้บ้างเพื่อมิให้เกิดการวิบัติดังกล่าว นั่นคือ

- ก) หน่วยแรงกดอัดที่กระทำได้ฐานต้องไม่เกินกว่าหน่วยแรงกดอัดของดินที่ยอมให้ (allowable soil pressure)
- ข) ใช้อัตราส่วนปลอดภัยเพื่อต้านทาน ต่อการเลื่อนไถลและการพลิกคว่ำของเชื้อนไม่น้อยกว่า 1.5 ถึง 2.0 แต่ปกติจะใช้ส่วนปลอดภัยสำหรับการพลิกคว่ำของเชื้อนไม่น้อยกว่าสอง และหากส่วนปลอดภัยต่อการเลื่อนไถลมีค่าน้อยกว่าข้างต้นจะพิจารณาออกแบบสลักได้ฐาน (shear key) เพื่อกันการเลื่อนไถล

2.4 การออกแบบเชื้อนกันดินแบบยื่นรูปตัวที

การคำนวณออกแบบขั้นต้น (preliminary design) จะประกอบด้วยการพิจารณาจัดขนาดและสัดส่วนของเชื้อนกันดินที่จะต้องใช้ก่อน แล้วตรวจสอบความเป็นไปได้ของส่วนโครงสร้างหรือโครงสร้างโดยรวมก่อนดำเนินการวิเคราะห์และออกแบบโดย

$$P' = w'h \tan^2(45^\circ - \phi/2) \text{ กก.}$$

เชื้อนกันดินแบบยื่นรูปตัวทีที่ประหยัด ควรมีขนาดและสัดส่วน ดังต่อไปนี้

- ก. ความกว้างของฐานราก ประมาณ $\frac{1}{2}$ ถึง $\frac{2}{3}$ ของความสูงของเชื้อน
- ข. ความหนาของฐานรากและความหนาของตัวกำแพงที่ฐานราก ประมาณ $\frac{1}{10}$ ของความสูงของเชื้อน
- ค. ความกว้างของฐานหน้าเชื้อน ประมาณ $\frac{1}{4}$ ถึง $\frac{1}{3}$ ของความกว้างของฐานราก
- ง. ความหนาของสันเชื้อนไม่ควรน้อยกว่า 0.20-0.25 เมตร โดยให้ตัวกำแพงหน้าเชื้อนมีแนวตั้งตรง ส่วนกำแพงหลังเชื้อนมีแนวเอียงลาดประมาณ 4-5 ซม./เมตร

การตรวจสอบความเป็นไปได้ของเชื้อนกันดินประกอบด้วย การตรวจสอบเกี่ยวกับหน่วยแรงกดอัดที่กระทำได้ฐาน อัตราส่วนปลอดภัยต่อการเลื่อนไถลและการพลิกคว่ำของเชื้อน หากพบว่าขนาด หรือสัดส่วนที่กำหนดในเบื้องต้นไม่สามารถใช้ได้ ก็ต้องเพิ่มขนาดให้ใหญ่ขึ้น หรือหากจะยังคงใช้สัดส่วนเดิมที่กำหนดไว้ต่อไปก็จะทำให้ทราบล่วงหน้าว่าจะต้องพิจารณาหาวิธีการอื่นใดเพื่อป้องกันมิให้ เชื้อนชำรุดเสียหาย

2.5 การออกแบบกำแพงคสล.รับน้ำหนักในแนวดิ่งหรือแรงเฉือน

กำแพง คสล. ที่ใช้รับน้ำหนักในแนวดิ่ง (bearing walls) หรือแรงเฉือนทางข้างที่กระทำตามแนวนอนในระนาบของกำแพง (shear walls) นอกเหนือจากน้ำหนักบรรทุกทุกในแนวดิ่ง (ถ้ามี) เช่น แรง ลม หรือแรงดันอื่น ต้องคิดเพื่อแรงกระทำเยื้องศูนย์ด้วย การคำนวณออกแบบอาจใช้ทฤษฎีอิลาสติก หรือสูตรสำเร็จภายใต้เงื่อนไขที่ระบุ

เมื่อกำแพงรับน้ำหนักกระทำร่วมศูนย์ หรือเมื่อระยะเยื้องศูนย์มีค่าไม่เกินหนึ่งในหกของความหนาของกำแพงอาจพิจารณาคำนวณออกแบบโดยใช้สูตรสำเร็จตามที่มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. กำหนด คือ

$$\text{หน่วยแรงอัดของคอนกรีตที่ยอมให้} : f_c = 0.225f_c' \left[1 - \left(\frac{l_c}{40h} \right)^3 \right] \text{ กก./ซม.}^2$$

นั่นคือ กำลังรับแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีตในกำแพง :

$$P_{nw} = 0.225f_c' A_g \left[1 - \left(\frac{l_c}{40h} \right)^3 \right] \text{ กก.}$$

ในเมื่อ A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของคอนกรีตในกำแพงที่รับแรงอัด ซม.²

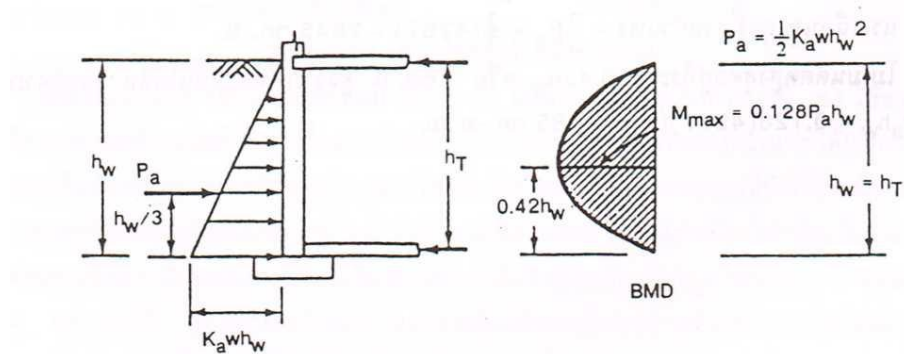
l_c = ความสูงของกำแพงระหว่างที่รองรับ ซม.

h = ความหนาของกำแพง ซม.

อย่างไรก็ดี เมื่อเสริมเหล็กและให้มีการยึดในลักษณะที่เสมือนเป็นเสาปลอกเดี่ยว ให้ใช้หน่วยแรงที่ยอมให้เหมือนกับที่กำหนดไว้สำหรับเสาปลอกเดี่ยว แต่อัตราส่วนของเหล็กเสริมในแนวตั้งต้องไม่เกินกว่า 0.04

2.6 การพิจารณาออกแบบกำแพงห้องใต้ดิน

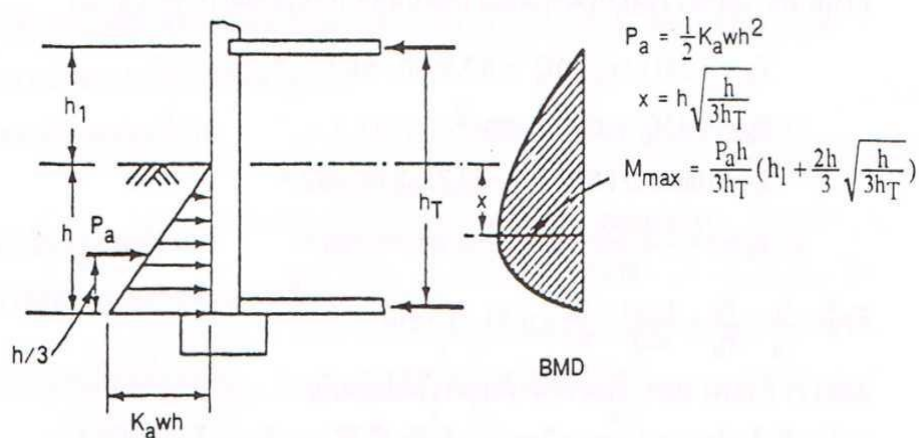
กำแพงห้องใต้ดินทำหน้าที่คล้ายกับเขื่อนกันดินแต่จะมีที่รองรับทางข้างทั้งที่ด้านล่างและที่ด้านบนของกำแพงตรงระดับพื้นห้องชั้นใต้ดินและพื้นชั้นล่าง ตามลำดับ และมีแรงหรือน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำตามแนวแกนถ้าพิจารณาให้กำแพงห้องใต้ดินเสมือนเป็นคานช่วงเดียวและถือว่าแรงหรือน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนมีค่าน้อย ฉะนั้น จะออกแบบให้กำแพงห้องใต้ดินรับโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน



รูปที่ 2.4 ไคอะแกรมของโมเมนต์คัต

เมื่อถมดินตลอดความสูงของกำแพง จะได้ไคอะแกรมของโมเมนต์คัต ดังแสดงในรูปที่ 2.4 แต่เมื่อถมดินเพียงบางส่วน จะได้ไคอะแกรมของโมเมนต์คัต

อนึ่ง อาจพิจารณาออกแบบให้กำแพงห้องใต้ดินเสมือนเป็นแผ่นพื้นที่เสริมเหล็กทางเดียว หรือ สองทางก็ได้โดยให้มีที่รองรับอย่างพอเพียง



รูปที่ 2.5 แรงเฉือนและโมเมนต์คัต

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย และคณะ (2551) ได้ศึกษาพฤติกรรมและวิธีการออกแบบชิ้นส่วนผนังรับน้ำหนักคอนกรีตสำเร็จรูปของบ้านพักอาศัย โดยอาศัยแบบมาตรฐานบ้านเดี่ยว 2 ชั้น ของการเคหะแห่งชาติ เป็นกรณีศึกษา ผลการศึกษาพบว่าความหนาต่ำสุดของผนังที่ออกแบบตามข้อกำหนดค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ต้องการในขณะถอดแบบเพื่อป้องกันการแตกร้าว มีค่า

เพียงพอที่จะรับรองหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นผนังในขณะยกขนย้ายและหน่วยแรงอัดในขณะใช้งานได้อย่างปลอดภัย และปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดของผนังที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานการออกแบบมีกำลังเพียงพอและสามารถรับโมเมนต์คดในขั้นตอนถอดแบบ รับแรงดึงในขั้นตอนการขนย้าย และรับแรงอัดในขั้นตอนใช้งานจริงอย่างปลอดภัย

Somchaiarchmnu (2011) กล่าวว่าระบบผนังรับน้ำหนักเป็นระบบการก่อสร้างรูปแบบหนึ่งในหลายๆ รูปแบบที่มีใช้กันในปัจจุบัน ระบบผนังรับน้ำหนักจะใช้ตัวผนังเป็นทั้งตัวกันห้องและเป็นชิ้นส่วนที่รับกำลังในแนวตั้งต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับอาคาร ทั้งแรงลม น้ำหนักบรรทุกจร น้ำหนักบรรทุกตายตัว ฯลฯ ระบบผนังรับแรงมีการออกแบบและขั้นตอนการทำงานที่แตกต่างกับระบบโครงสร้างเสาคานที่พบเห็นกันอยู่ทั่วไป ในระบบโครงสร้างแบบเสาคาน ตัวผนังจะไม่มีส่วนในการรับกำลังใดๆ และมีหน้าที่เพียงเป็นวัสดุที่ใช้ในการกันห้อง แต่ในกรณีของระบบผนังรับน้ำหนัก ตัวผนังจะเป็นทั้งวัสดุกันห้องและเป็นส่วนโครงสร้างรับแรงกระทำของอาคารด้วย ดังนั้นวัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้างในระบบผนังรับน้ำหนักต้องมีความแข็งแรงสูงมากพอที่จะรับแรงกระทำต่างๆ ได้ และการยึดต่อชิ้นส่วนต่างๆ และรอยต่อรอยพับต่างๆ ต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานแรงกระทำต่างๆ ได้ด้วย

จุติ ไกรครวญ (2551) ได้ศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนค่าก่อสร้างบ้านพักอาศัยระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปเสา-คานกับระบบคอนกรีตหล่อในที่ พบว่าบ้านที่มีพื้นที่ใช้สอยมากกว่า 125 ตารางเมตร เมื่อก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปเสา-คาน จะมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเนื่องจากต้นทุนงานแบบหล่อมีมูลค่ามากกว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป การก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปเสา-คานที่ทำการหล่อชิ้นส่วนที่สถานที่ก่อสร้างจะมีระยะเวลาที่เร็วกว่าระบบหล่อในที่ ประมาณร้อยละ 14 ถึง 46

นาวิน นาคะศิริ(2542) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบการใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูประบบผนังรับน้ำหนัก ในการลงทุนผลิตระบบการก่อสร้างอุตสาหกรรมด้วยระบบผนังรับน้ำหนักทั่วไป งานวิจัยแสดงให้เห็นว่าหากนำค่าใช้จ่ายในการลงทุนเบื้องต้น เช่น ค่าเครื่องจักร ค่าอุปกรณ์ ค่าบริหารมาคำนวณหาจุดคุ้มทุนแล้วปรากฏว่าต้องสร้างบ้านเดี่ยว 2 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 180 ตารางเมตร จำนวน 38 หน่วยขึ้นไปจึงจะคุ้มกับการลงทุน ทั้งนี้ต้นทุนเฉลี่ยเท่ากับ 5,310.33 บาท/ตรม. แต่หากผู้ประกอบการเลือกซื้อชิ้นส่วนสำเร็จรูปจากผู้ผลิตหรือว่าจ้างผู้รับเหมาก่อสร้างไปสร้างโรงงานผลิตในสถานที่ก่อสร้าง ต้นทุนค่าก่อสร้างจะเฉลี่ยที่ 6,897-8,700 บาท/ตรม.

บทที่ 3

วิธีการทดสอบ/วิธีการวิจัย

ขั้นตอนและข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยแบบก่อสร้างโครงสร้างอาคารบ้านพักอาศัยหมู่บ้านจัดสรร กรรมวิธีการก่อสร้างระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ สถิติและข้อมูลอ้างอิงที่ใช้ในการศึกษา วิธีการหาค่าก่อสร้าง วิธีการหาระยะเวลาการก่อสร้าง และวิธีการหาผลตอบแทนการลงทุนของโครงการ

3.1 แบบโครงสร้างอาคารบ้านพักจัดสรรที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ใช้อาคารแบบบ้านแถว 2 ชั้น หมู่บ้านรักษา ตำบลพระนครศรีอยุธยา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เพื่อศึกษาหาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อความแตกต่างของราคาก่อสร้าง ระยะเวลาการก่อสร้าง จุดคุ้มทุนของโครงการ ข้อดี ข้อเสียและปัญหาอุปสรรคของโครงการ

3.2 สถิติและข้อมูลอ้างอิงที่ใช้ในการศึกษา

เพื่อเป็นการตัดผลกระทบที่เกิดจากระบบการก่อสร้างที่ต่างกัน ผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบเฉพาะราคาค่าวัสดุ ค่าแรงงาน ค่าเครื่องจักร และอื่นๆ บนพื้นฐานเดียวกัน ในหน่วยต่อตารางเมตร ข้อมูลสถิติและข้อมูลต่างๆ ที่ใช้อ้างอิงได้จากผู้รับเหมาก่อสร้าง ซึ่งประกอบไปด้วย

- 3.2.1 สถิติราคาก่อสร้างโดยเฉลี่ยต่อหน่วย สำหรับงานเสาเข็ม งานฐานราก งานสถาปัตยกรรม งานระบบไฟฟ้า และงานระบบสุขาภิบาล
- 3.2.2 ราคาค่าวัสดุอุปกรณ์ ค่าแรงงาน และค่าเครื่องจักรต่อหน่วย สำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ (เฉพาะงานโครงสร้าง)
- 3.2.3 ราคาค่าวัสดุอุปกรณ์ ค่าแรงงานและค่าเครื่องจักรต่อหน่วย สำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบดั้งเดิม (เฉพาะงานโครงสร้าง)
- 3.2.4 ระยะเวลาการก่อสร้างโดยเฉลี่ย สำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่(เฉพาะงานโครงสร้าง)
- 3.2.5 ระยะเวลาการก่อสร้างโดยเฉลี่ย สำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบดั้งเดิม (เฉพาะงานโครงสร้าง)

3.3 การหาปริมาณวัสดุก่อสร้าง

การศึกษานี้ได้ทำการหาปริมาณวัสดุก่อสร้างเฉพาะส่วนงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรร ซึ่งกำหนดให้มีอัตราส่วนเพื่อสำหรับงานคอนกรีตเท่ากับร้อยละ 5 และเหล็กเสริมร้อยละ 10 สำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบดั้งเดิม ส่วนงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ จะทำการรวบรวมปริมาณวัสดุก่อสร้างจากบัญชีแสดงปริมาณงานที่ได้จากผู้รับเหมา

3.4 การคำนวณราคาค่าก่อสร้าง

การคำนวณราคาค่าก่อสร้างจากปริมาณวัสดุทำโดยการคูณปริมาณวัสดุที่ใช้แต่ละกลุ่มงาน ด้วยราคาค่าวัสดุต่อหน่วยและราคาค่าแรงต่อหน่วย ซึ่งผลรวมทั้งหมดที่ได้คือ ราคาค่าก่อสร้างของงาน ราคาค่าก่อสร้างต่อตารางเมตรหาได้โดยนำพื้นที่ใช้สอยรวมของอาคารหารราคาค่าก่อสร้างที่คำนวณได้ข้างต้น

3.5 การคำนวณระยะเวลาการก่อสร้าง

การประมาณระยะเวลาการก่อสร้างจะอ้างอิงจากสถิติที่รวบรวมได้จากผู้รับเหมาก่อสร้าง โดยพิจารณาเฉพาะงานโครงสร้างทั้งระบบ โครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ และระบบก่อสร้างแบบดั้งเดิม ส่วนระยะเวลาดานเสาเข็ม งานฐานราก คานคอดิน งานสถาปัตยกรรม งานระบบไฟฟ้า และงานระบบสุขาภิบาล กำหนดให้เท่ากันตามแผนงานการก่อสร้างอาคาร

3.6 การคำนวณผลตอบแทนการลงทุน (จุดคุ้มทุน)

การหาผลตอบแทนการลงทุน คือการเปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันสุทธิระหว่างผลรวมของรายรับสุทธิที่ได้จากการดำเนินการกับผลรวมสุทธิของรายจ่ายของโครงการ ดังนั้น การเปรียบเทียบผลการตอบแทนการลงทุนจำเป็นต้องเปรียบเทียบบนปัจจัยพื้นฐานและลักษณะรูปร่างอาคารที่เหมือนกัน แต่จะมีความแตกต่างกันคือระบบโครงสร้างอาคารและวิธีการก่อสร้างระหว่างระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ กับระบบก่อสร้างแบบดั้งเดิม

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้เลือกศึกษาวิธีการก่อสร้างระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ของโครงการหมู่บ้านรักษา บ้านแถว 2 ชั้น ตำบลพระนครศรีอยุธยา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำนวน 340 หน่วย ซึ่งผลการศึกษาสรุปได้ดังต่อไปนี้

4.1 กรรมวิธีระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อคอนกรีตในที่

กรรมวิธีการก่อสร้างระบบผนังรับแรงหล่อในที่ใช้แนวคิดกระบวนการผลิตแบบลีน (Lean manufacturing) ร่วมกับศาสตร์ทางวิศวกรรมโยธาและการบริหารธุรกิจสมัยใหม่ โดยได้นำลักษณะเด่นซึ่งเป็นหัวใจของการผลิตแบบ Lean Manufacturing มาใช้คือการนำเครื่องจักรกลเข้ามาทดแทนการใช้แรงงานมนุษย์ที่มีความผันแปรสูง ทำให้ได้มาซึ่งคุณสมบัติที่ดีที่สุด 3 ประการ คือคุณภาพดีที่สุดในเวลาในการผลิตสั้นที่สุด และต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด

4.1.1 การออกแบบอาคาร (Building design)

การออกแบบจะต้องมีความชัดเจนเพื่อให้รับรู้ถึงรายละเอียดมากที่สุด และป้องกันการเปลี่ยนแปลงแบบภายหลัง ซึ่งถือเป็นการสูญเสียอย่างหนึ่ง โดยการใช้องค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. เทคนิคการแสดงผลแบบต่างๆ เช่น ภาพเสมือนจริง (Virtual reality), แบบสามมิติ (3D CAD) หรือ Walk through ซึ่งเป็นเทคนิคการแสดงผลที่เหมือนกับกำลังเดินอยู่ในสิ่งก่อสร้าง ในการระบุความต้องการอย่างชัดเจน เพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงแบบในภายหลัง
2. เทคนิควิศวกรรมคุณค่า (Value engineering) เพื่อทำความเข้าใจในแบบ และออกแบบโดยเน้นไปที่คุณค่าของแต่ละหน้าที่ (Functions) ใช้งาน หรือเน้นไปที่คุณลักษณะที่เป็นความต้องการอย่างแท้จริง
3. การมีส่วนร่วมโดยผู้บริหารโครงการฯ ผู้จัดหาผู้จำหน่ายวัสดุ และผู้รับเหมาช่วงที่มีส่วนเกี่ยวข้อง มีส่วนร่วมในขั้นตอนการออกแบบ และสนับสนุนให้มีการทำงานร่วมกันในลักษณะของ Partner
4. การออกแบบโดยยึดหลักมาตรฐานที่เป็นที่เข้าใจกันภายในโครงการฯ จะทำให้การออกแบบให้มีมาตรฐานชัดเจน ลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น และใช้เฉพาะ

5. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่กำหนด ส่งผลให้เกิดการจัดการภายในองค์กรที่ดีขึ้นจนนำมาซึ่งทักษะสำคัญ 6 ประการ ได้แก่

- Mastery มีความเชี่ยวชาญแบบมืออาชีพ
- Contacts สร้างเส้นทางในการติดต่อสื่อสาร
- Entrepreneurship การมีส่วนร่วมเป็นเจ้าของ
- Love of technology รักที่จะนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้
- Marketing ถ่ายทอดประสบการณ์แก่ผู้อื่นได้
- Passion for renewal มีการปรับปรุงตลอดเวลา

ขั้นตอนการออกแบบแบ่งเป็นขั้นตอนหลัก ๆ ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบโครงสร้างอาคาร (Structure design)

การออกแบบผนังจะต้องสามารถรับแรงในแนวดิ่งและใช้เป็นผนังอาคารได้ด้วย ดังนั้นการออกแบบกำหนดไว้ 2 ส่วน ได้แก่ การออกแบบพื้นและผนัง โดยตั้งสมมุติฐานการวิเคราะห์โครงสร้างเป็นแบบระบบประสานทางพิกัด (Modular coordination) เพื่อให้ได้มาซึ่งโครงสร้างแข็งแรง ปลอดภัย และมีความประหยัด

1.1 การออกแบบโครงสร้างพื้นจะใช้วิธี Flat slab design

ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถลดจำนวนของฐานรากและทำให้ออกแบบผนังเพื่อก่อตั้งอยู่บนพื้นได้ทุกตำแหน่ง

1.2 การออกแบบโครงสร้างผนังโดยวิธี Shear wall design

ผนังที่ถูกออกแบบโดยวิธีนี้จะมีคุณสมบัติรับแรงและใช้แทนผนังก่ออิฐฉาบปูนได้ ทั้งยังช่วยทำให้ลดขั้นตอนการทำงานและควบคุมการสูญเสียวัสดุได้เป็นอย่างมาก

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบทางสถาปัตยกรรม (Architect design)

รูปแบบทางสถาปัตยกรรมต้องออกแบบให้สวยงามและสอดคล้องกับรูปแบบของโครงสร้างอาคาร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่ารูปแบบทางสถาปัตยกรรมจะกำหนดหลังจากการกำหนดรูปแบบของโครงสร้าง

งานในด้านนี้นอกจากจะเป็นการกำหนดรูปแบบและขอบเขตของอาคารให้มีความสมบูรณ์แล้ว สิ่งสำคัญคือการกำหนดวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะใช้ในอาคารต้องมีความสอดคล้องกับรูปแบบของอาคารด้วยแนวคิดในการจัดการวัสดุอุปกรณ์ต้องพิจารณาความคงทนถาวร ความสวยงาม ความประหยัด ความสะดวกต่อการดูแลและบำรุงรักษา และความยั่งยืนของกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบงานระบบ (System design)

การดำเนินการก่อสร้างอาคารจะต้องมีการวางแผนในเรื่องของระบบสาธารณูปโภคให้ดี เพื่อประโยชน์ในการซ่อมบำรุงหลังจากการใช้งานตามกำหนดเวลา งานในส่วนนี้มักจะถูกละเลยจากผู้ออกแบบซึ่งก่อปัญหาให้กับผู้ใช้อาคารเป็นอันมาก ดังนั้น ผู้ออกแบบจำเป็นต้องเอาใจใส่โดยการเขียน Shop drawing เพื่อกำหนดตำแหน่งและคุณลักษณะให้ถูกต้องแม่นยำ การเลือกใช้ระบบไฟฟ้า การเดินสายไฟ ชนิดของสายไฟ และอุปกรณ์ติดตั้งทางไฟฟ้าให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน เป็นเรื่องที่ผู้ออกแบบต้องมีความรู้พื้นฐาน เพื่อนำไปสู่การพิจารณาเลือกใช้ให้คุ้มค่าเกิดประโยชน์สูงสุดประหยัดพลังงานและอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม งานระบบที่มีความสำคัญอีกระบบคือการวางระบบสุขาภิบาลอาคาร การจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ ท่อน้ำใช้ ท่อน้ำทิ้ง ท่อน้ำโสโครก ท่อระบายอากาศ บ่อดักไขมัน บ่อเกรอะ บ่อซึม บ่อพัก ต้องมีความเหมาะสมกับการใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีที่สุด อุปกรณ์เหล่านี้จะถูกฝังไว้ในผนัง พื้น ฝ้าเพดานและพื้นดิน ทำให้ยากลำบากต่อการบำรุงรักษา ผู้ออกแบบจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับงานในส่วนนี้ไว้เป็นอย่างดี

4.1.2 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Mixed design)

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะมุ่งให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานกับพื้นที่แคบ และสามารถถอดแบบได้อย่างรวดเร็วที่สุด (ไม่เกิน 24 ชั่วโมง) โดยชิ้นงานต้องมีความสมบูรณ์ไม่แตกร้าว และมีต้นทุนด้านราคาที่เหมาะสม อีกทั้งคอนกรีตจะต้องมีส่วนผสมที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น และสะดวกต่อการใช้งาน

วิจัยนี้ได้กำหนดปัจจัยที่นำไปสู่การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเป็น 2 แนวทางได้แก่ แนวทางด้านเทคนิค และแนวทางด้านราคาแนวทางด้านเทคนิค ได้แก่

1. แนวทางด้านเทคนิค

1.1 สภาพที่คอนกรีตยังมีคุณสมบัติเป็นคอนกรีตสด

- มีความเหลวเพียงพอต่อการใช้งาน คือ คอนกรีตสามารถไหลลื่นเข้าไปเต็มทุก ๆ ส่วนของแบบหล่อ
- ต้องไม่แตกตัวระหว่างการขนส่งหรือการเท
- ต้องสามารถอัดตัวแน่นในแบบหล่อได้อย่างดี

1.2 สภาพที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

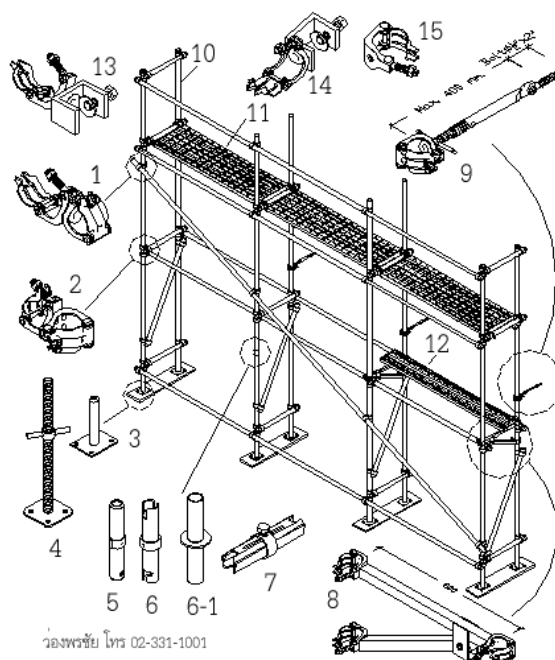
- กำลัง
- ความทนทาน
- ไม่แตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิหรือการถอดแบบ

2. แนวทางด้านราคา มีองค์ประกอบที่ต้องพิจารณา ดังนี้
 - 2.1 การหาได้ของวัสดุพื้นฐาน อาทิ หิน ทราย กรวด เป็นต้น
 - 2.2 ลักษณะทั่วไปของวัสดุผสม วัสดุผสมที่มีลักษณะแตกต่างกัน จะส่งผลต่อสัดส่วน เพื่อให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตตามต้องการ
 - 2.3 ชนิดของโครงสร้าง โครงสร้างคอนกรีตที่มีความสำคัญมาก ผู้วิจัยจำเป็นต้องเลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีปริมาณและชนิดของซีเมนต์ที่แตกต่างจากโครงสร้างทั่ว ๆ ไป เพื่อให้ได้ความทนทานที่สูง ซึ่งแทนจะส่งผลกระทบต่อราคาคอนกรีตบ้าง แต่ยังคงอยู่ในภาวะที่ยอมรับได้
 - 2.4 วิธีการลำเลียงคอนกรีตที่สะดวกรวดเร็วและประหยัด
 - 2.5 การควบคุมงานคอนกรีต ต้นทุนการควบคุมงานคอนกรีตนี้ รวมถึงแต่ต้นทุนการควบคุมคุณภาพคอนกรีต

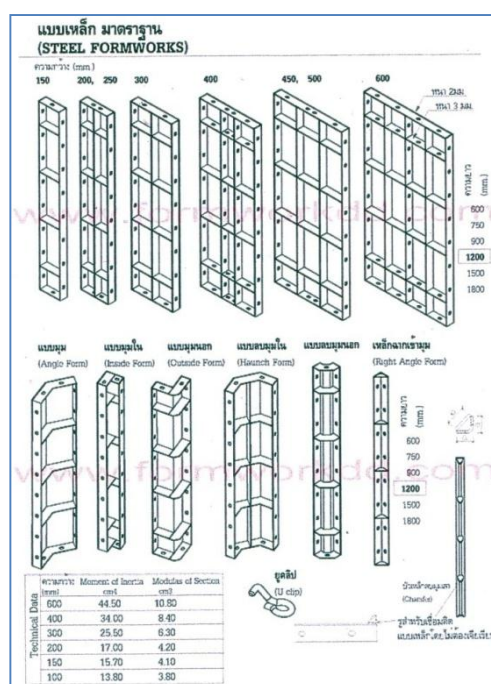
4.1.3 การสร้างแบบหล่อคอนกรีต (Mold steel)

ถือเป็นหัวใจสำคัญที่สุด เนื่องจากผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของแบบหล่อ ความสะดวกรวดเร็วและความปลอดภัยในการใช้ สิ่งที่สำคัญคือจะต้องถอดแบบผนังคอนกรีตเสริมเหล็กโดยไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างตามมา เช่น ผนังร้าวหรือฉีกขาด เป็นต้น

เทคนิคในการสร้างแบบหล่อคือการประยุกต์ใช้อุปกรณ์มาตรฐานที่มีอยู่แล้วมาประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อให้แบบหล่อสามารถตอบสนองต่อการใช้งานตามข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2 ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องมีประสบการณ์ในการทำงานภาคสนาม มีความเชี่ยวชาญเป็นอย่างสูงเฉพาะงานในด้านนี้เท่านั้น และที่สำคัญคือจะใช้เครื่องจักรเข้ามาทดแทนแรงงานคนมากที่สุด แต่ต้องออกแบบให้แบบหล่อคอนกรีตมีความสามารถในการที่จะติดตั้งได้อย่างรวดเร็ว แข็งแรง และเมื่อทำการถอดแบบหล่อก็ต้องสามารถถอดได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัยได้เช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 อุปกรณ์มาตรฐานที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป



รูปที่ 4.2 แบบหล่อคอนกรีต

เทคนิค 3 ประการที่จะทำให้แบบหล่อมีประสิทธิภาพสูงสุด

- การประยุกต์ใช้อุปกรณ์มาตรฐานที่มีอยู่แล้วมาประกอบเข้าด้วยกัน

- แบบเหล็กต้องสามารถถอดง่ายประกอบง่ายเคลื่อนย้ายง่าย
- มีความปลอดภัยในการทำงานสูง

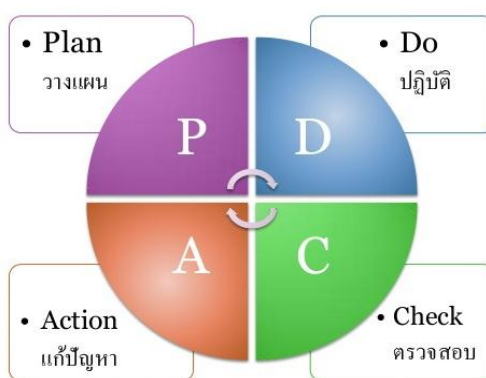
4.1.4 การกำหนดขั้นตอนการทำงาน (The process.)

ขั้นตอนนี้เป็นการแบ่งงานให้กับผู้ปฏิบัติงานไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการนี้จะเป็นการวางแผนเพื่อบริหารจัดการในเรื่องคน เงิน สิ่งของ และเครื่องมือเครื่องจักรให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและโครงการที่จะก่อสร้าง จากนั้นจึงนำมากำหนดเป็นแผนงานเพื่อใช้ในการปฏิบัติให้เกิดประสิทธิผล ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีให้ได้มาซึ่งกระบวนการนี้ว่า **SMART** โดยมีความหมายดังต่อไปนี้

- | | | |
|------------|---|---|
| Specific | - | ฉลาดในการกำหนดอย่างเฉพาะเจาะจง (คน, เงิน, สิ่งของ) มีเป้าหมายชัดเจน |
| Machine | - | ฉลาดในการเลือกใช้เครื่องมือ เครื่องจักร |
| Achievable | - | ฉลาดในการได้มาในสิ่งที่ต้องการ |
| Realistic | - | ฉลาดในการทำสิ่งที่คิดให้ปฏิบัติได้จริง |
| Timely | - | ฉลาดในการบรรลุภารกิจได้ในเวลาที่กำหนด |

4.1.5 การควบคุมคุณภาพ (Quality control : QC)

กระบวนการนี้จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตและสร้างความเชื่อถือให้เกิดขึ้นกับลูกค้า อีกทั้งยังใช้เป็นเครื่องมือสำหรับปรับปรุงระบบการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผังระบบ QC.

- Plan** - ระลึกถึงปัญหาต่าง ๆ ที่ต้องการปรับปรุง
- เก็บรวบรวมข้อมูล
 - กำหนดหัวข้อและแสดงภาพของปัญหา
 - กำหนดเป้าหมายที่แน่นอน
 - เลือกวิธีการแก้ไขปรับปรุง
- Do** - ขึ้นของการปฏิบัติตามแผนเพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายที่วางไว้อย่างเป็นระบบ ทำให้เกิดประสิทธิภาพภายใต้สาเหตุของแต่ละสาเหตุ
- Check** - การตรวจติดตามผลงานที่ปฏิบัติไป
- Action** - นำผลการปฏิบัติต่าง ๆ มาแก้ไขปัญหา และจัดทำเป็นมาตรฐาน หากได้ผลต่ำกว่ามาตรฐานก็ให้เร่งแก้ไขปรับปรุงต่อไป

4.1.6 การประกันคุณภาพ(Quality Assurance:QA)

การประกันคุณภาพเป็นการสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้าว่าจะได้รับแต่สินค้าและบริการที่มีคุณภาพเท่านั้น โดยจะทำให้อาคารที่ได้รับการก่อสร้างจากระบบนี้แตกต่างจากอาคารทั่วไป ทำให้เกิดมาตรฐานเพื่อแสดงถึงคุณภาพของอาคารอย่างแท้จริง โดยกระบวนการนี้จะต้องประสานให้มีความสอดคล้องกับการควบคุมคุณภาพด้วย จึงจะทำให้เกิดการพัฒนาที่เป็นระบบและยั่งยืน โดยสามารถเปรียบเทียบระบบ QC และ QA ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ระบบ QC และ QA

Quality Control	Quality Assurance
Correction	Prevention
Fire-Fighting	Fire protection
Cost-Ineffective	Cost effective
More expensive	Less expensive
Cannot ensure delivery	Can ensure delivery
Cannot fully satisfy	Can fully satisfy customer

ความสำเร็จของการควบคุมคุณภาพสามารถวัดได้จากตัวชี้วัด ดังต่อไปนี้

1. ตัวชี้วัดด้านเวลา ก่อสร้างอาคารแถว 2 ชั้น 6 ห้อง ให้แล้วเสร็จภายในเวลาไม่เกิน 8 สัปดาห์
2. ตัวชี้วัดด้านมูลค่า มีราคาก่อสร้างลดลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีปกติ (จำนวนอาคาร 48 หน่วย ขึ้นไป)
3. ตัวชี้วัดด้านวัสดุ เนื่องานหลักของอาคารจะต้องเกิดจากคอนกรีตเสริมเหล็กที่หล่อในที่ให้ได้สัดส่วนไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของปริมาตร
4. ตัวชี้วัดด้านการลดความสูญเสีย ต้องสามารถลดความสูญเสียในการใช้วัสดุก่อสร้างให้เหลือไม่เกินร้อยละ 1 ของมูลค่าอาคาร

กระบวนการตามที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้เหมาะสำหรับอาคารที่มีรูปแบบเป็นลักษณะแถวเรียงติดต่อกันเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากอาคารมีรูปแบบที่เหมือนกันทำให้ง่ายต่อการจัดการเครื่องมือ เครื่องจักร และแรงงานคน และทำให้สามารถใช้ทรัพยากรที่มีได้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพที่สุด

4.2 ลำดับการก่อสร้างอาคารบ้านพักจัดสรรที่ใช้ในการศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 งานระบบเสาเข็มและฐานราก

เริ่มขั้นตอนการก่อสร้างโดยทำการตีผัง วางแนวและกำหนดตำแหน่งที่จะทำการตอกเสาเข็ม ขุดดินทำฐานราก เหมือนกับการก่อสร้างระบบคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 งานเสาเข็ม



รูปที่ 4.5 งานฐานราก

ขั้นตอนที่ 2 งานพื้นชั้น 1

ทำการติดตั้งฝั้งถังบำบัดน้ำทิ้ง ปรับระดับดิน ผูกเหล็ก ติดตั้งระบบท่อน้ำดี-น้ำทิ้ง ผูกเหล็ก และเทคอนกรีตหนา 15 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 งานพื้นชั้น 1



รูปที่ 4.7 งานพื้นชั้น 1 และเตรียมการเข้าแบบผนังชั้น 1

ขั้นตอนที่ 3 งานผนังชั้น 1 และพื้นชั้น 2

ทำการติดตั้งแบบเหล็กผนังคอนกรีตรับน้ำหนักชั้น 1 โดยใช้รถเครนเป็นเครื่องมือในการยกชิ้นส่วนแบบเหล็กขึ้นติดตั้ง ผูกเหล็กผนัง ตรวจสอบระดับแนวราบแนวตั้งให้ได้ระดับแล้วจึงทำการยึดแน่นแบบเหล็ก ผูกเหล็กพื้นชั้น 2 และเทคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 งานผนังรับน้ำหนักชั้น 1 และพื้นชั้น 2

ขั้นตอนที่ 4 งานผนังชั้น 2

ทำการถอดแบบเหล็กผนังคอนกรีตรับน้ำหนัก ติดตั้งค้ำยันใต้พื้นชั้น 2 ทันทีกี่ถอดแบบผนังออกและติดตั้งแบบเหล็กผนังคอนกรีตรับน้ำหนักชั้น 2 เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 งานผนังรับน้ำหนักชั้น 2

ขั้นตอนที่ 5 งานโครงหลังคา

ทำการถอดแบบเหล็กผนังคอนกรีตรับน้ำหนักชั้น 2 และติดตั้งงานโครงหลังคา ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 งานโครงหลังคา

ขั้นตอนที่ 6 งานระบบประปา สุขาภิบาล ระบบไฟฟ้า

หลังจากถอดแบบเหล็กผนังชั้น 2 ทำการติดตั้งงานท่อพีวีซีน้ำดี น้ำทิ้ง งานระบบไฟฟ้าเดินท่อ ร้อยสายไฟภายในอาคาร ซึ่งสามารถใช้งานได้พร้อมกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 งานระบบประปา สุขาภิบาล ระบบไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 7 งานสถาปัตยกรรม

ทำการติดตั้งงานสถาปัตยกรรม เช่น งานปูกระเบื้อง งานฝ้าเพดาน งานบันได งานทาสี งานประตูกำลึง งานสุขภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 งานสถาปัตยกรรม

ขั้นตอนที่ 8 งานเก็บรายละเอียดทั้งหมด

ทำการติดตั้งงานระบบทั้งหมดให้มีความครบถ้วนตามแบบก่อสร้างทั้งภายในภายนอกอาคาร รวมทั้งทำความสะอาดก่อนส่งมอบให้ลูกค้า ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 งานเก็บรายละเอียด

4.3 สถิติและข้อมูลอ้างอิงที่ใช้ในการศึกษา

เพื่อเป็นการตัดผลกระทบที่เกิดจากระบบการก่อสร้างที่ต่างกัน ผู้วิจัยจึงกำหนดราคาค่าวัสดุ ค่าแรงงาน ค่าเครื่องจักร อื่นๆ บนพื้นฐานเดียวกัน โดยกำหนดราคาค่าก่อสร้างของงานระบบโครงสร้างและงานก่อฉาบผนัง เทียบเป็นต่อตารางเมตร แต่ในส่วนของงานโครงหลังคา งานระบบไฟฟ้า งานระบบประปา-สุขาภิบาล งานสถาปัตยกรรมทั้งหมดที่ไม่ใช่งานก่อฉาบผนังจะไม่นำมาพิจารณา เพราะงานระบบเหล่านี้ยังคงก่อสร้างในวิธีการแบบดั้งเดิม

ข้อมูลต่างๆ ที่ใช้อ้างอิงนั้นได้นำมาจากผู้รับเหมาก่อสร้าง ซึ่งสถิติและข้อมูลอ้างอิงที่ใช้แสดงได้ดังตารางที่ 4.2 ถึง 4.5

ตารางที่ 4.2 ราคาวัสดุอุปกรณ์ ค่าแรงงานและค่าเครื่องจักรต่อหน่วยสำหรับงานโครงสร้าง
อาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักโดยใช้การหล่อคอนกรีตในที่
(เฉพาะงานโครงสร้าง+งานผนังคอนกรีต)

ลำดับ	รายการ	หน่วย	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	ค่าเครื่องจักร (บาท)	รวมราคา (บาท)
1	งานเสาเข็ม I – 0.22*0.22 ยาว 10 เมตร	21 ต้น	2,600	1,500	714.29	4,814.29
2	งานคอนกรีต					
	fc' = 240 ksc	ลูกบาศก์เมตร	1,860	280		2,140
	fc' = 380 ksc	ลูกบาศก์เมตร	2,050	280		2,330
3	งานเหล็กเสริม คอนกรีต					
	RB 6,DB12	กิโลกรัม	22	3.0		25
	ลวดมัดเหล็ก	กิโลกรัม	32			32
4	งานไม้แบบ					
	แบบเหล็กผนัง และพื้น	ตารางเมตร	60	20	45	125

4.3.1 ราคาวัสดุอุปกรณ์ ค่าแรงงานและค่าเครื่องจักรต่อหน่วยสำหรับงานโครงสร้าง
อาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างเสา-คานาทั่วไป (เฉพาะงานโครงสร้าง+งาน
ผนังก่อฉาบ)

ตารางที่ 4.3 ราคาวัสดุอุปกรณ์ ค่าแรงงานและค่าเครื่องจักรต่อหน่วยสำหรับงานโครงสร้าง
อาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างเสา-คานาทั่วไป (เฉพาะงานโครงสร้าง+งานผนังก่อ
ฉาบ)

ลำดับ	รายการ	หน่วย	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	ค่าเครื่องจักร (บาท)	รวมราคา (บาท)
1	งานเสาเข็ม I – 0.22*0.22 ยาว 10 เมตร	21 ต้น	2,600	1,500	714.29	4,814.29

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	หน่วย	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	ค่าเครื่องจักร (บาท)	รวมราคา (บาท)
2	งานคอนกรีต					
	fc' = 240 ksc	ลูกบาศก์ เมตร	1,860	280		2,140
	fc' = 380 ksc	ลูกบาศก์ เมตร	2,050	280		2,330
3	งานเหล็กเสริม คอนกรีต	กิโลกรัม				
	RB 6 , RB 9		24	3		27
	DB12 , DB16		22	3		25
	ลวดผูกเหล็ก	กิโลกรัม	32			32
	wiremesh	ตารางเมตร	28	5		33
4	งานไม้แบบ	ตารางเมตร	180	110		290
	ตะปู	กิโลกรัม	38			38
5	งานแผ่นพื้นสำเร็จ	ตารางเมตร	230	35		265
6	งานผนัง					
	งานก่อ	ตารางเมตร	70	90		160
	งานฉาบ	ตารางเมตร	40	110		150
	งานเทพื้น	เมตร	90	50		140

4.3.2 ระยะเวลาการก่อสร้างโดยเฉลี่ยสำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบ
โครงสร้างผนังรับน้ำหนักโดยใช้การหล่อคอนกรีตในที่ (เฉพาะงานโครงสร้าง+
งานผนังคอนกรีต)

ตารางที่ 4.4 ระยะเวลาการก่อสร้างโดยเฉลี่ยสำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบ
โครงสร้างผนังรับน้ำหนักโดยใช้การหล่อคอนกรีตในที่ (เฉพาะงานโครงสร้าง+งาน
ผนังคอนกรีต)

ลำดับ	รายการ	พื้นที่ (ตร.ม.)	ระยะเวลา (วัน)
1	งานเสาเข็ม	21 ต้น	2
2	งานฐานราก	21 ฐาน	8
3	งานคานชั้น 1		0
4	งานพื้นชั้น 1	504 ตร.ม.	10
5	งานเสาชั้น 1		0
6	งานคานชั้น 2		0
7	งานพื้นชั้น 2 และผนังชั้น 1	922 ตร.ม.	12
8	งานเสาชั้น 2		0
9	งานผนังชั้น 2	830 ตร.ม.	5
	รวมเวลา		37

4.3.3 ระยะเวลาการก่อสร้างโดยเฉลี่ยสำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบ
โครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างเสา-คานทั่วไป
(เฉพาะงานโครงสร้าง+งานผนังก่อฉาบ)

ตารางที่ 4.5 ระยะเวลาการก่อสร้างโดยเฉลี่ยสำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบ
โครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างเสา-คานทั่วไป (เฉพาะงานโครงสร้าง+
งานผนังก่อฉาบ)

ลำดับ	รายการ	พื้นที่ (ตร.ม.)	ระยะเวลา (วัน)
1	งานเสาเข็ม	21 ต้น	2
2	งานฐานราก	21 ฐาน	8
3	งานคานชั้น 1	240 เมตร	9
4	งานพื้นชั้น 1	504 ตร.ม.	6
5	งานเสาชั้น 1	21 ต้น	4
6	งานคานชั้น 2	264 เมตร	14
7	งานพื้นชั้น 2	372 ตร.ม.	12

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	พื้นที่ (ตร.ม.)	ระยะเวลา (วัน)
8	งานเสาชั้น 2	21 ดัน	6
9	งานผนังก่อฉาบชั้น 1 และ 2	1,380 ตร.ม.	45
	รวมเวลา		106

4.4 การหาปริมาณวัสดุก่อสร้าง

การศึกษานี้ได้ทำการหาปริมาณวัสดุก่อสร้างเฉพาะส่วนงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรร ซึ่งกำหนดให้มีอัตราส่วนเพื่อสำหรับงานคอนกรีตเท่ากับร้อยละ 5 และเหล็กเสริมร้อยละ 10 สำหรับงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างเสา-คานทั่วไป ส่วนงานโครงสร้างอาคารบ้านจัดสรรระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักโดยใช้การหล่อคอนกรีตในที่จะทำการรวบรวมปริมาณวัสดุก่อสร้างจากบัญชีแสดงปริมาณงานที่ได้จากผู้รับเหมา ข้อมูลปริมาณวัสดุก่อสร้างแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณวัสดุก่อสร้าง

	ปริมาณวัสดุก่อสร้างงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก					
	ระบบโครงสร้างเสา-คานทั่วไป			ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก		
	คอนกรีต (ลบ.ม.)	เหล็กเสริม (ก.ก.)	ไม้แบบ (ตร.ม.)	คอนกรีต (ลบ.ม.)	เหล็กเสริม (ก.ก.)	แบบเหล็ก (ตร.ม.)
ชั้น 1	79	7,600	174	166	2,190	1,054
ชั้น 2	41	6,050	414	190	1,610	1,202
รวม	120	13,650	588	356	3,800	2,256

4.5 การหาราคาก่อสร้าง

การหาราคาก่อสร้างจากปริมาณวัสดุที่ใช้ดำเนินการโดยนำปริมาณวัสดุที่ใช้มาคูณกับราคาวัสดุ และราคาต่อหน่วย ซึ่งผลที่ได้คือ ราคาก่อสร้างของงานโครงสร้างคอนกรีต และราคาก่อสร้างต่อตารางเมตรคำนวณโดยนำพื้นที่ใช้สอยรวมของอาคารหารราคาก่อสร้างที่คำนวณได้ข้างต้น ตารางที่ 4.7 และ 4.8 แสดงราคาก่อสร้างของระบบก่อสร้างแบบผนังสำเร็จรูปหล่อในที่และแบบระบบเสา-คาน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ราคาค่าก่อสร้างของระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก

รายการ	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	ค่าเครื่องจักร (บาท)	รวม (บาท)	ราคา(บาท)
1.งานเสาเข็ม	2,600	1,500	714.29	4,814.29	101,100.00
2.งานคอนกรีต fc' = 240 ksc	1,860	280		2,140	169,873.20
fc' = 380 ksc	2,050	280		2,330	642,940.20
3.งานเหล็กเสริม RB 6 , DB 12	22	3		25	94,944.96
wiremesh	28	5		33	45,540.00
ลวดมัดเหล็ก	32			32	3,645.89
4.งานไม้แบบ เหล็ก	60	20	45	125	219,000.00
รวม					1,277,044.25

ตารางที่ 4.8 ราคาค่าก่อสร้างของ ระบบโครงสร้างเสา-คานาทั่วไป

รายการ	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	ค่าเครื่องจักร (บาท)	รวม (บาท)	ราคา (บาท)
1.งานเสาเข็ม	2,600	1,500	714.29	4,814.29	101,100.00
2.งานคอนกรีต fc' = 240 ksc	1,860	280		2,140	256,800.00
แผ่นพื้นสำเร็จ	230	35		265	232,140.00
3.งานเหล็ก เสริม RB 6 , RB 9	24	3		27	35,262.00
DB 12 , DB 16	22	3		25	308,175.00
wiremesh	28	5		33	
ลวดมัดเหล็ก	32			32	13,087.68

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

รายการ	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	ค่าเครื่องจักร (บาท)	รวม (บาท)	ราคา (บาท)
4.งานไม้แบบ คิธร้อยละ60	180	110		290	170,520.00
ตะปู	30			30	1,900.00
5.งานผนัง ก่อ	70	90		160	220,800.00
ฉาบ	40	110		150	414,000.00
เทเอ็น	90	50		140	90,720.00
รวม					1,873,412.68

4.6 การหาระยะเวลาการก่อสร้าง

การประมาณระยะเวลาการก่อสร้างจะอ้างอิงจากสถิติที่รวบรวมได้จากผู้รับเหมาก่อสร้าง โดยพิจารณาเฉพาะงานโครงสร้างทั้งระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักโดยใช้การหล่อคอนกรีตในที่ และระบบโครงสร้างเสา-คานทั่วไป ส่วนงานเสาเข็ม งานฐานราก งานสถาปัตยกรรมไม่รวมผนังก่อฉาบ งานระบบไฟฟ้า และงานระบบประปาสุขาภิบาลให้ใช้ระยะเวลาการก่อสร้างเท่ากันตามแผนงานการก่อสร้างอาคาร ตารางที่ 4.9 แสดงผลเปรียบเทียบระยะเวลาการก่อสร้างสำหรับการก่อสร้างระบบผนังรับน้ำหนักหล่อในที่และระบบเสา-คาน

ตารางที่ 4.9 ผลเปรียบเทียบระยะเวลาทำงานของระบบผนังรับน้ำหนักหล่อในที่และระบบเสา-คาน

ลำดับ	รายการ	ระบบโครงสร้างเสา-คาน ทั่วไป (วัน)	ระบบโครงสร้างผนังรับ น้ำหนัก (วัน)
1	งานเสาเข็ม	2	2
2	งานฐานราก	8	8
3	งานคานชั้น1	9	0
4	งานพื้นชั้น 1	6	10
5	งานเสาชั้น 1	4	0
6	งานคานชั้น 2	14	0
7	งานพื้นชั้น 2	12	
8	งานเสาชั้น 2	6	0

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	ระบบโครงสร้างเสา-คาน ทั่วไป (วัน)	ระบบโครงสร้างผนังรับ น้ำหนัก (วัน)
9	งานผนังก่อฉาบชั้น 1 และ 2	45	
10	งานพื้นชั้น 2 และผนัง คอนกรีตชั้น 1		12
11	งานผนังคอนกรีตชั้น 2		5
	รวมเวลา	106	37

4.7 การหาผลตอบแทนการลงทุน (จุดคุ้มทุน)

การหาผลตอบแทนการลงทุน คือการเปรียบเทียบมูลค่าผลรวมของค่าก่อสร้างที่ได้จากการดำเนินการ (เฉพาะงานโครงสร้างและงานผนัง) กับผลการตอบแทนการลงทุน ตารางที่ 4.10 แสดงผลเปรียบเทียบผลรวมมูลค่าสุทธิของทั้งสองรอบบ โดยพิจารณาว่าการก่อสร้างระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่จะต้องลงทุนซื้อแบบเหล็กสำหรับงานพื้น, ผนังคอนกรีตราคาสูงถึง 5 ล้านบาท บาท ต่ออาคาร 6 หลัง

ตารางที่ 4.10 ผลเปรียบเทียบราคาของระบบผนังรับน้ำหนักหล่อในที่และระบบเสา-คาน

รายการ	ผลรวมมูลค่าสุทธิ (บาท) เฉพาะงานโครงสร้างและผนัง	
	ระบบโครงสร้างเสา-คาน ทั่วไป	ระบบโครงสร้างผนังรับ น้ำหนัก
งานโครงสร้าง	975,472.68	1,058,044.25
งานผนังก่อฉาบ	725,520	0
งานแบบเหล็กพื้นและผนัง	172,420	219,000
รวมงานโครงสร้างและผนัง	1,873,412.68	1,277,044.25
พื้นที่อาคาร (ตารางเมตร)	876	876
เฉลี่ยราคาประมาณ (บาท/ ตารางเมตร)	2,138.60	1,457.81

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนสามารถสรุปได้ว่า ผลตอบแทนการลงทุนจากการเปรียบเทียบมูลค่าผลรวมของค่าก่อสร้างที่ได้จากการดำเนินการเฉพาะงานโครงสร้าง, งานผนังของอาคารพักอาศัย

ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ จะมีราคาสูงกว่า 596,368.43 บาทต่อ 6 ห้อง เมื่อเทียบกับระบบโครงสร้างเสา-คานทั่วไป (เฉพาะงานโครงสร้าง+งานผนังก่อฉาบ) หรือสูงกว่า 99,394.74 บาทต่อห้อง

เมื่อเปรียบเทียบมูลค่าราคาไม้แบบ, แบบเหล็ก (เฉพาะราคาวัสดุ)

ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ ราคาแบบเหล็ก 5,00,000 บาท

ขณะที่ ระบบโครงสร้างเสา-คานทั่วไป ราคาไม้แบบ 105,840 บาท

แบบเหล็กต้องใช้ซ้ำ 47 ครั้ง จึงจะคุ้มทุนเท่ากับราคาไม้แบบ

กรณีเปรียบเทียบหน่วยราคาต่อตารางเมตรเมื่อจบโครงการ 340 หน่วย

ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ ราคาแบบเหล็กรวมค่าบำรุงรักษาเท่ากับ

5,255,000 บาท คิดราคาต่อหน่วยเท่ากับ 26.29 บาทต่อตารางเมตร

ระบบโครงสร้างเสา-คานทั่วไป ราคาแบบไม้ 180 บาทต่อตารางเมตร

4.7.1 เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาก่อสร้างงานโครงสร้าง+งานผนังอาคาร

พบว่าระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ ใช้เวลา 37 วัน

ขณะที่ ระบบโครงสร้างเสา-คานทั่วไป ใช้เวลา 106 วัน

หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ ใช้เวลาก่อสร้างน้อยกว่า 69 วันต่ออาคารบ้านแถว 6 ห้อง

กรณีนำระยะเวลาก่อสร้างที่ลดลง 69 วันมาคิดเป็นเงินที่เกิดจากค่าดำเนินการงาน

โครงสร้างและผนังอาคารเดือนละ 400,000 บาท เท่ากับ 920,000 บาท

เมื่อเปรียบเทียบด้านการลดความสูญเสียในการใช้วัสดุก่อสร้างประเภทตะปู ลวดผูก

เหล็กของระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่เท่ากับ 7,541.79 บาท คิดเป็น

ร้อยละ 0.59 ของราคางานโครงสร้างและผนังอาคาร

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนก่อสร้างโครงการห้องชุดโดยระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ โดยเปรียบเทียบกับ การก่อสร้างด้วยระบบเสา-คานแบบดั้งเดิม งานวิจัยนี้ใช้โครงการบ้านแถว 2 ชั้น หมู่บ้านรักษา โครงการ THE FUSION ตำบลพระนครศรีอยุธยา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำนวน 340 หน่วย เป็นกรณีศึกษา ข้อดี-ข้อเสียของการก่อสร้างระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่และระบบโครงสร้างเสา-คานสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการก่อสร้างระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่และระบบโครงสร้างเสา-คาน

รายการเปรียบเทียบ	ระบบโครงสร้างเสา-คานทั่วไป		ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก	
	ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
1.ระยะเวลาในการก่อสร้าง		ใช้เวลาเกินจากแผนงาน	-ใช้เวลาตรงตามแผนงาน -ก่อสร้างได้รวดเร็ว	
2.ราคาค่าก่อสร้าง		ราคาจะสูงจากราคาประมาณเนื่องจากใช้เวลาเกินกำหนด	ราคาอยู่ช่วงการประมาณราคาและจะถูกลงเพราะเป็นอาคารรูปแบบซ้ำๆ	ราคาค่าแบบเหล็กสูง
3.คุณภาพของงาน		ไม่มีความแน่นอนเหมือนกันทั้งอาคาร	-ผนังมีความแข็งแรงคงทนมากกว่า -ควบคุมคุณภาพได้ง่ายได้อย่างเต็มที่ -มีความแน่นอนและรูปทรงเหมือนกันทั้งอาคาร	

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

รายการ เปรียบเทียบ	ระบบโครงสร้างเสาคานทั่วไป		ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก	
	ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
4.มลภาวะ	ผนังก่อฉาบอิฐมี คุณสมบัติเป็น ฉนวนกันความร้อน	มลภาวะทางเสียง และฝุ่น ขณะ ก่อสร้าง	มลภาวะทางเสียง และฝุ่นน้อยกว่า	ดูดซับความร้อน มากกว่า
5.ความปลอดภัย		อุบัติเหตุในการ ทำงานสูงเพราะใช้ แรงงานคนจำนวน มาก	ลดอุบัติเหตุในการ ทำงานเนื่องจากใช้ เครื่องจักรเป็นหลัก	
6.แรงงาน	มีความคุ้นเคยและ ชำนาญ	ขาดแคลนช่างฝีมือ	ใช้ช่างฝีมือจำนวน น้อยลดปัญหาขาด แคลน ช่างเหล็ก ช่างปูน	ต้องผ่านการอบรม และฝึกฝนการ ประกอบแบบเหล็ก ให้ชำนาญใน ช่วงแรก
7.การใช้งาน	สามารถ ปรับเปลี่ยนและต่อ เติมได้	พื้นที่มุมอาคารมี ส่วนเสี้ยนภายใน	ไม่มีส่วนเสี้ยน ภายใน	ไม่สามารถ ปรับเปลี่ยนและต่อ เติมได้
8.การป้องกันการ รั่วซึม		มีรอยต่อระหว่าง พื้นและผนังจึงมี โอกาสรั่วซึม	ไม่มีรอยต่อ ระหว่างพื้นและ ผนังเนื่องจากเท คอนกรีตพร้อมกัน	

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนสามารถสรุปได้ว่าระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ จะมีต้นทุนต่ำกว่า 596,368.43 บาทต่อ 6 ห้อง เมื่อเทียบกับระบบโครงสร้างเสาคานทั่วไป (เฉพาะงานโครงสร้าง+งานผนังก่อฉาบ) หรือ เท่ากับถูกกว่า 99,394.74 บาทต่อห้อง เมื่อเปรียบเทียบมูลค่าราคาไม้แบบ, แบบเหล็ก (เฉพาะราคาวัสดุ) ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ ราคาแบบเหล็ก 5,000,000 บาท ขณะที่ ระบบโครงสร้างเสาคานทั่วไป ราคาไม้แบบ 105,840 บาท แบบเหล็กต้องใช้ซ้ำ 47.25 ครั้ง จึงจะคุ้มทุนเท่ากับราคาไม้แบบ และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาก่อสร้าง งานโครงสร้าง+งานผนังอาคาร พบว่าระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ ใช้เวลา 37 วัน ขณะที่ ระบบโครงสร้างเสาคานทั่วไป ใช้เวลา 106 วัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่ ใช้เวลาก่อสร้างน้อยกว่า 69 วันต่ออาคารบ้านแถว 6 ห้อง

5.2 ข้อเสนอแนะ

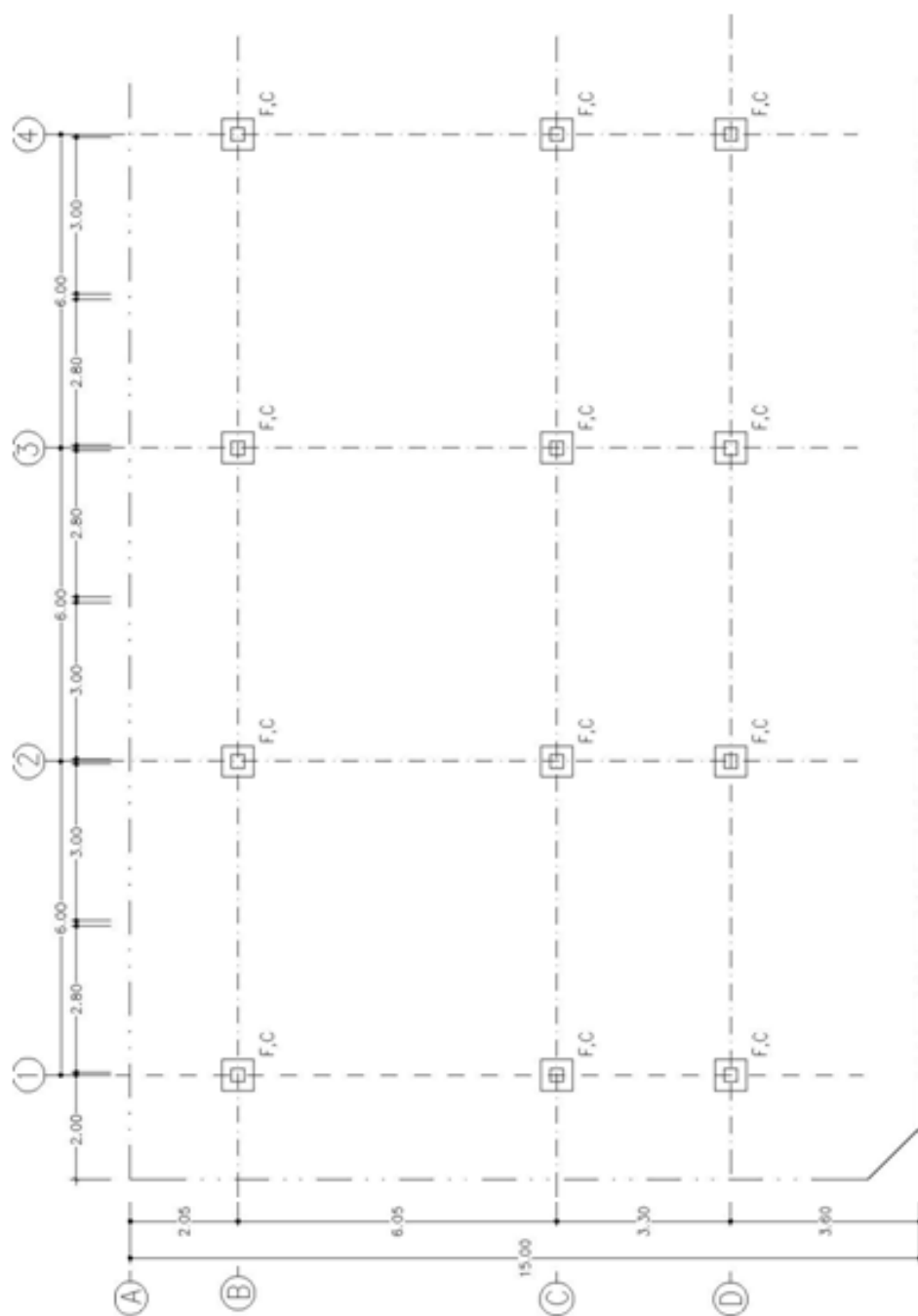
- 5.2.1 การเก็บข้อมูลจากปริมาณงานก่อสร้างงานต่างๆ โดยเฉพาะงานโครงสร้างควรมีการเก็บข้อมูลในช่วงฤดูฝนกับนอกช่วงฤดูฝน เพื่อให้ทราบความแตกต่างได้ละเอียดชัดเจนมากขึ้นของอาคารทั้งสองระบบ
- 5.2.2 ควรมีการศึกษาทัศนคติเกี่ยวกับผู้เข้าอยู่อาศัยที่ก่อสร้างด้วยระบบนี้ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการปรับปรุงระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักหล่อในที่

เอกสารอ้างอิง

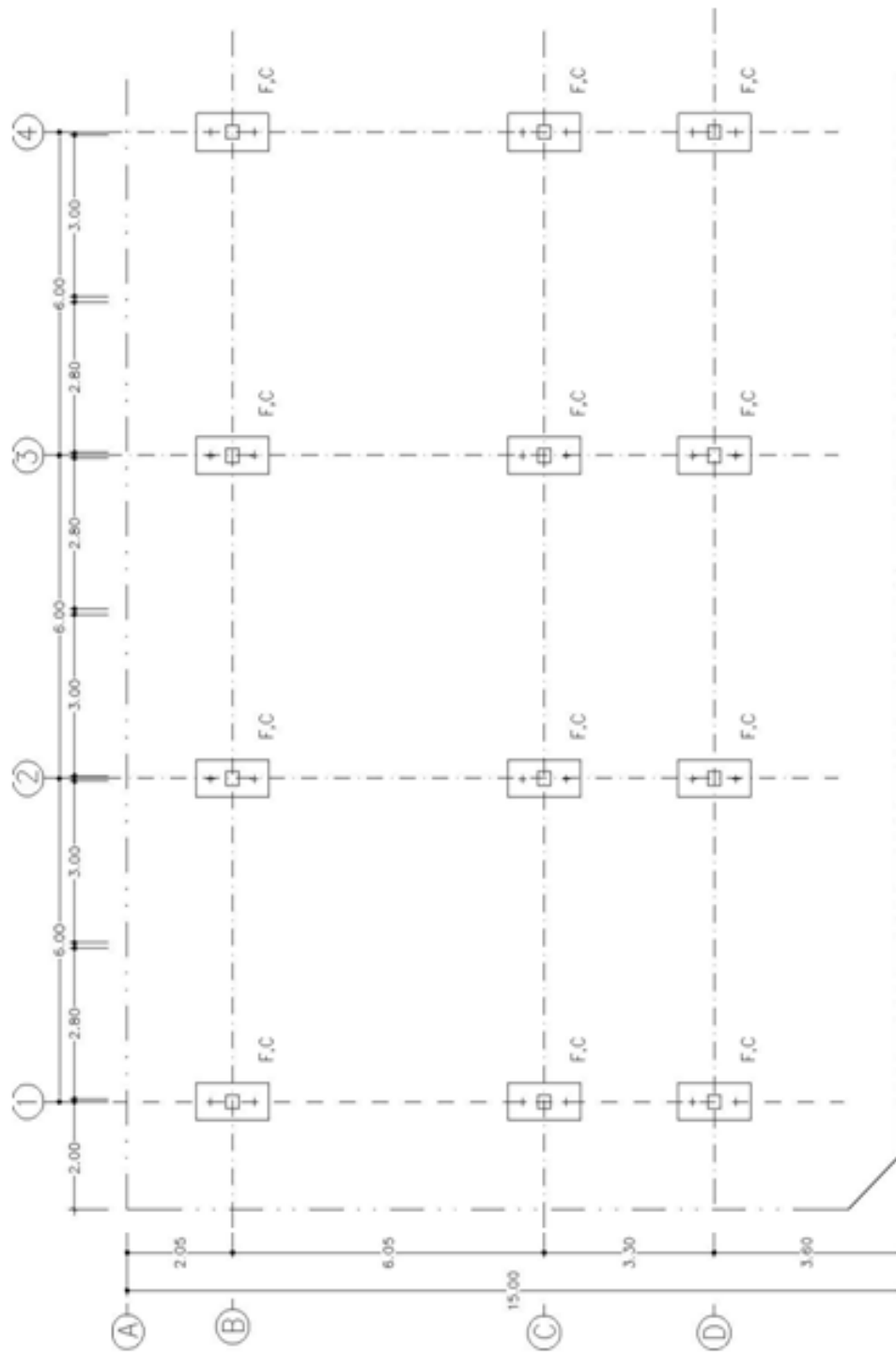
วินิต ช่อวิเชียร. (2555). การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พิมพ์ครั้งที่ 6
สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2538) มาตรฐานสำหรับอาคาร
คอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 1

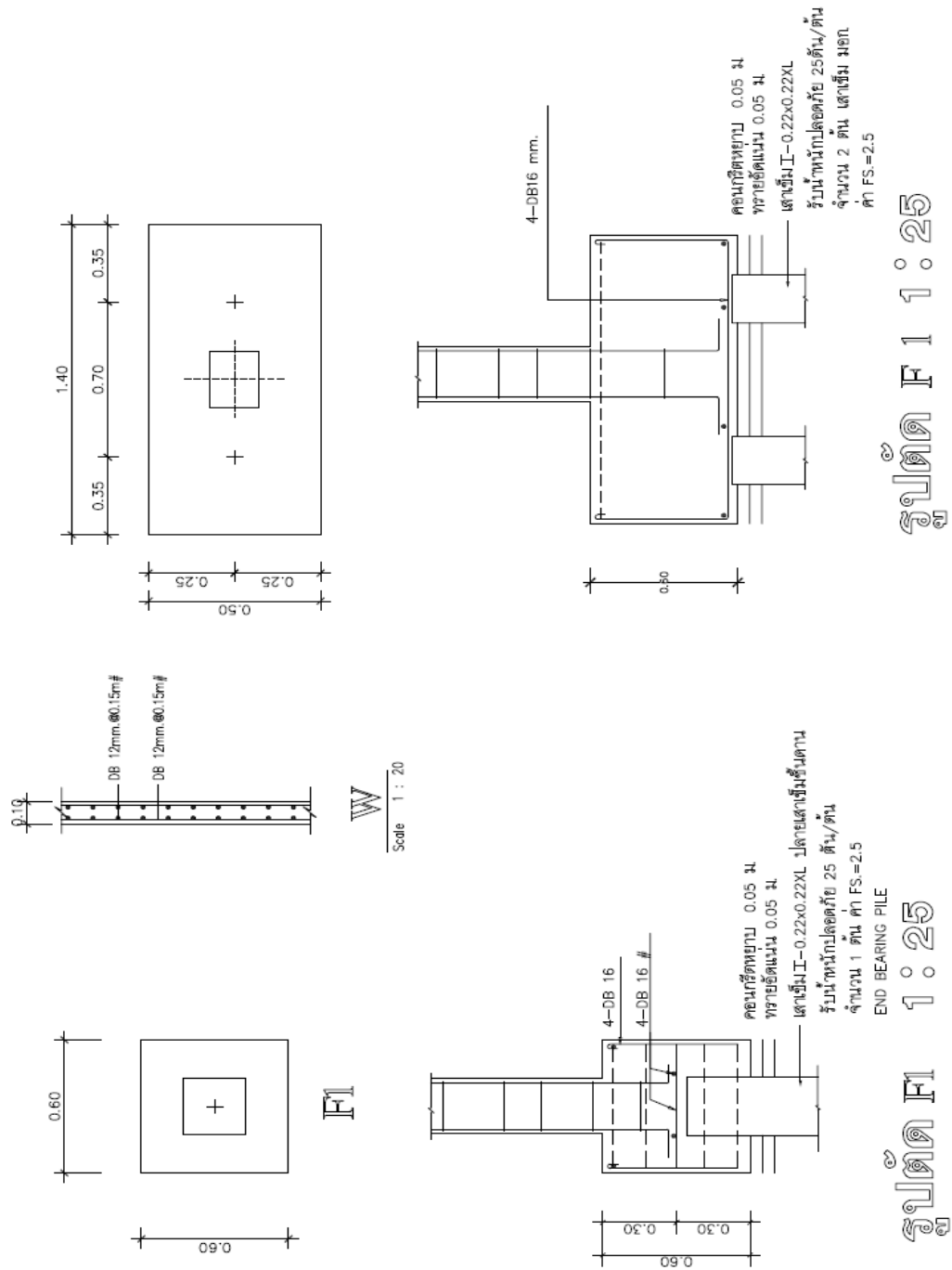
ภาคผนวก ก.



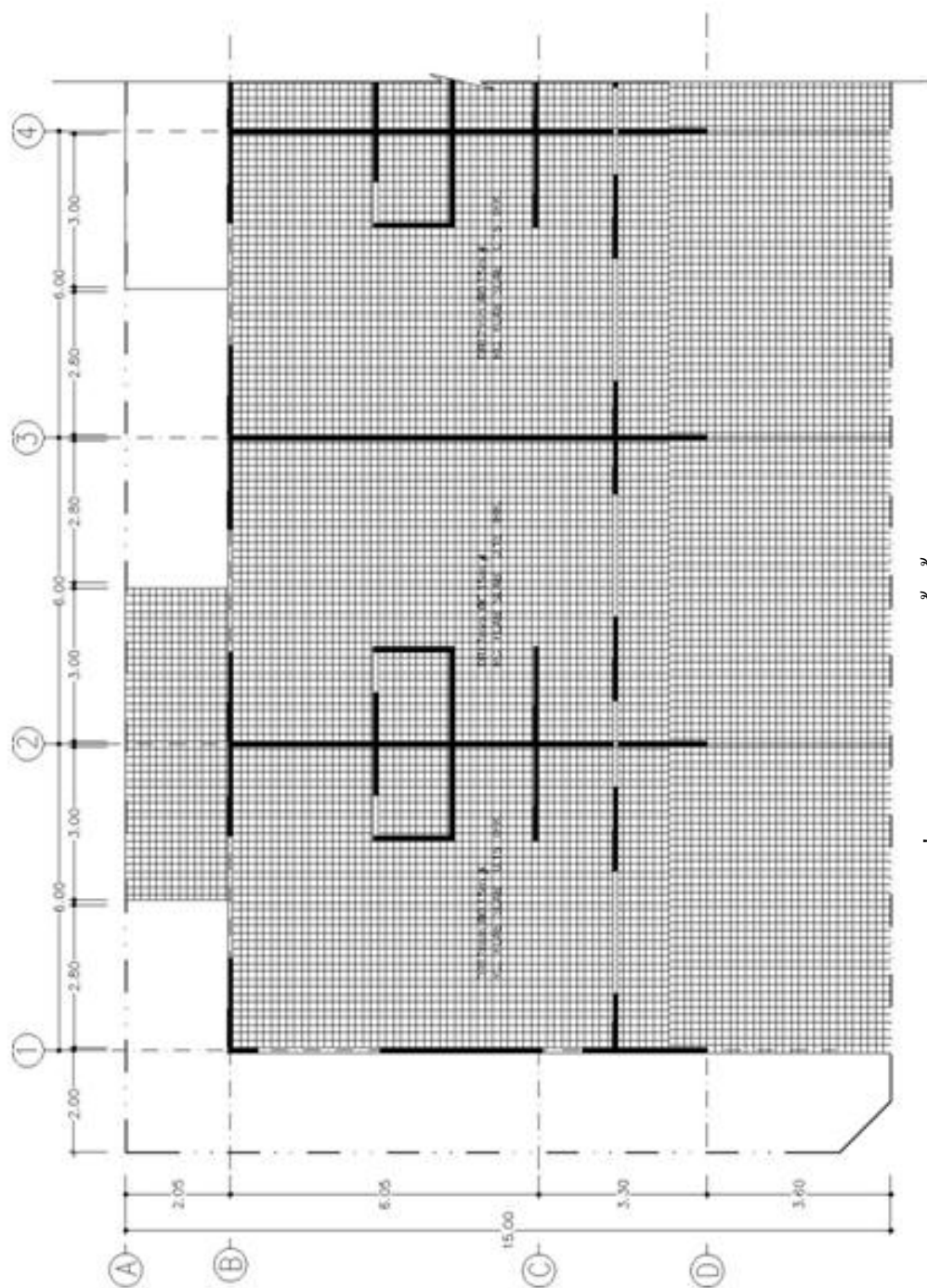
รูปที่ ก.1 แปลนฐานราก 1



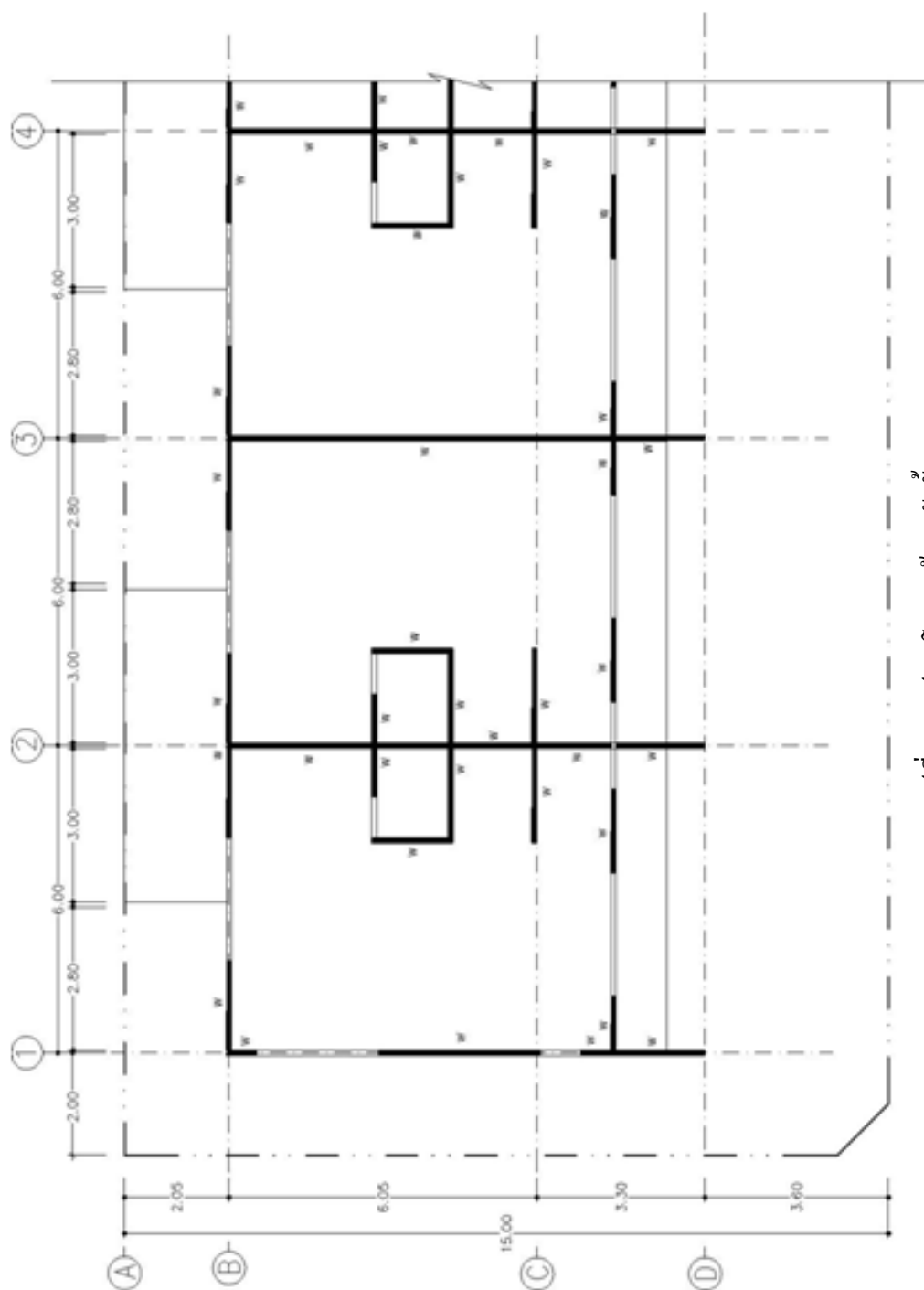
รูปที่ ก.2 แปลนฐานราก 2 กรณีเสาเข็มยาวไม่ถึง 10 เมตร ให้ใช้ฐานรากแบบเสาเข็ม 2



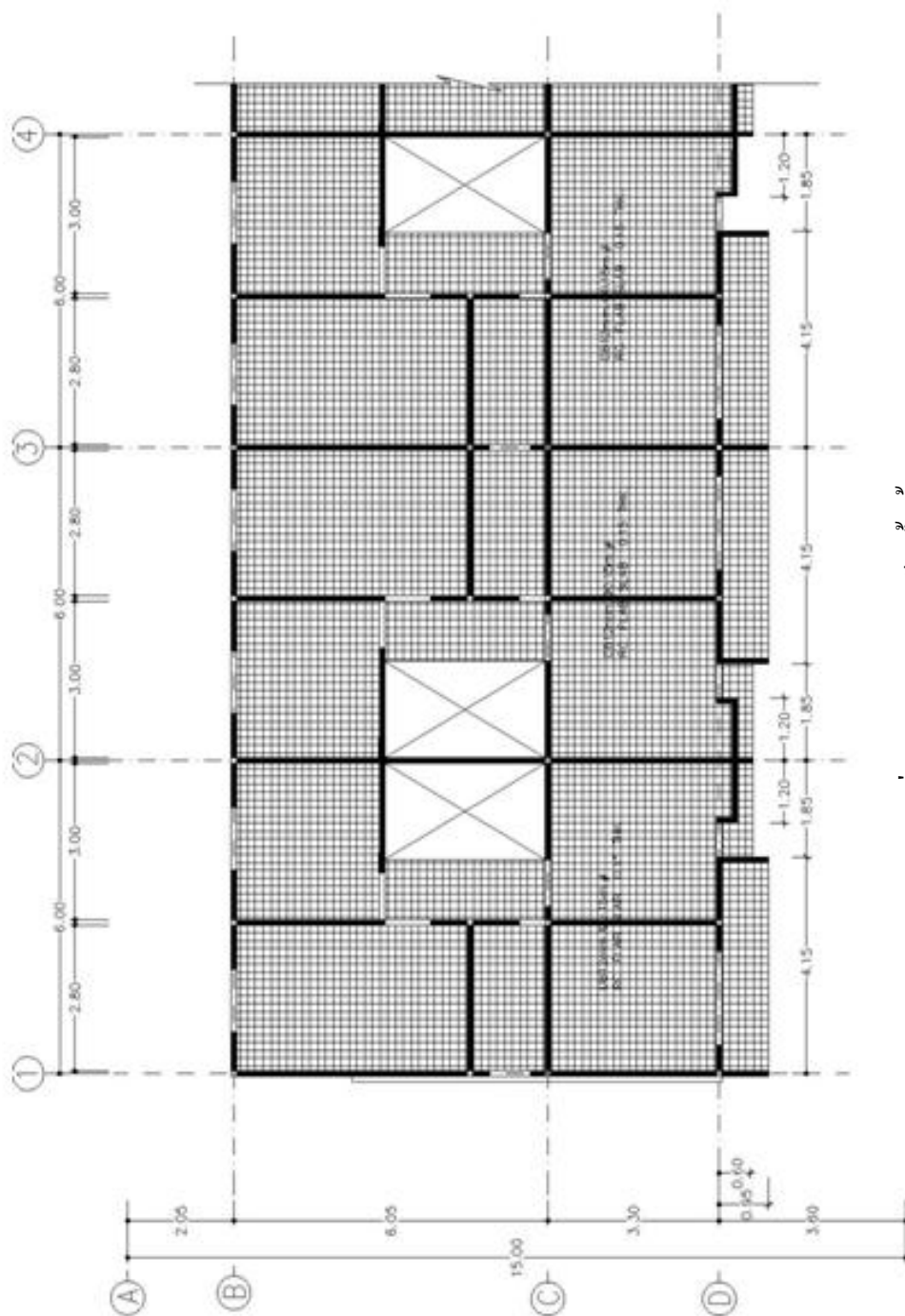
รูปที่ ก.3 แปลนฐานราก 3



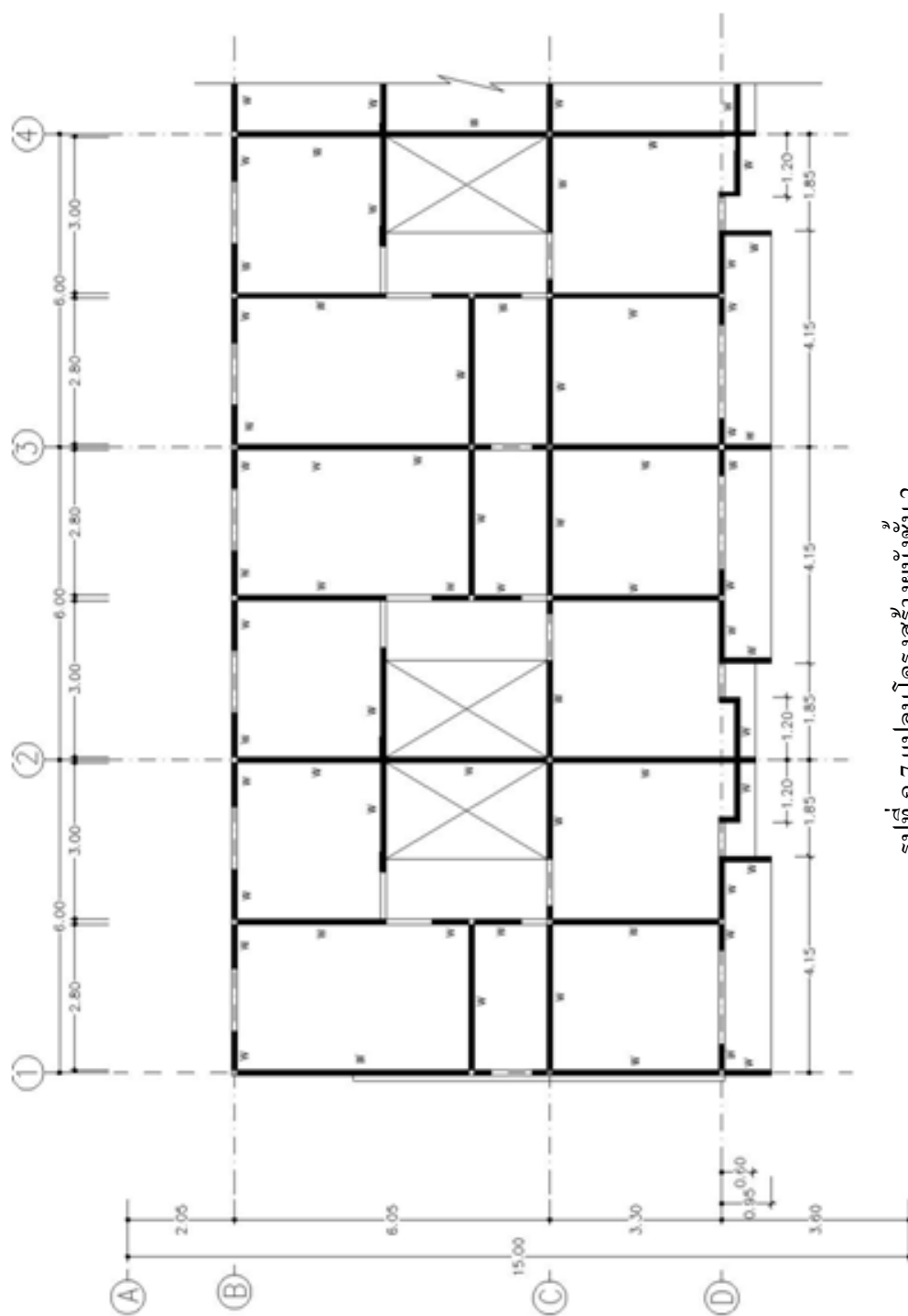
รูปที่ ก.4 แปลน โครงสร้างพื้นชั้น 1



รูปที่ ก.5 แปลน โครงสร้างผนังชั้น 1



รูปที่ ก.6 แปลนโครงสร้างพื้นชั้น 2



รูปที่ ก.7 แปลนโครงสร้างผนังชั้น 2

ภาคผนวก ข. การออกแบบโครงสร้างผนังรับล้อในที่

MIX DESIGN

[MIX DESIGN]		
[1.]	Ratio of W/C	0.50
[2.]	Water (Net)	180.00 ltr./m. ³
[3.]	Use Admixture	3.00 % By Weight of Cement(0.8-1.5%)
[4.]	Water reducing	% (Up to 20-30% water reduction)
[5.]	Cement	400.00 kg /m. ³
[6.]	Rock(Dry Rodded)	= 1,078.00 kg/m. ³
[7.]	Volume of Water	= 0.180 m. ³ /Concrete 1 m. ³
[8.]	Volume of Cement	= 0.127 m. ³ /Concrete 1 m. ³
[9.]	Volume of Rock	= 0.396 m. ³ /Concrete 1 m. ³
[10.]	Volume of ent. Air	= 0.020 m. ³ /Concrete 1 m. ³
[11.]	Volume of Adm.	= 0.012 m. ³ /Concrete 1 m. ³
[12.]	Volume of Sand	= 0.265 m. ³ /Concrete 1 m. ³
[13.]	Sand(Dry Rodded)	= 646.91 kg/m. ³
[14.]	S/(R+S) or S/A	= 0.375 OK! (But Should Be 0.35 - 0.44)

ADJUSTED MIXED

[ADJUSTED MIXED]

So in Concrete 1 m.³ Must to Use

- [1.] Admixtur Type A&F = 1.20 Litre
- [2.] Water (Clean $t < 32^{\circ}\text{C}$) = 162.27 kg.
- [3.] Cement Type I&III = 400.00 kg. or About 8.00 ถุง
- [4.] Fine Agg. (Sand) = 646.91 kg. (Dry) = 667.8748 kg. (Wet)
- [5.] Coarse Aggregate (Rock) = 1,078.00 kg. (Dry) = 1084.684 kg. (Wet)
- [6.] Unit Weight of Materials = 2,316.03 kg./m.³ (หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสด)
- [7.] Ratio of [Sand / (Sand+Rock)] = 0.38 OK! (But Should Be 0.35 - 0.44)

[ALLOWABLE RANGE OF ERROR DUE TO BATCHING]

So in Concrete 1 m.³ Must to Use : For Standard Error $\pm 3\%$

- [1.] Admixtur Type A&F = 1.16 kg. to 1.24 kg.
- [2.] Water (Clean $t < 32^{\circ}\text{C}$) = 157.41 kg. to 167.14 kg.
- [3.] Cement Type I&III = 388.00 kg. to 412.00 kg.
- [4.] Fine Aggregate (Sand) = 647.84 kg. to 687.91 kg.
- [5.] Coarse Aggregate (Rock) = 1052.14 kg. to 1117.22 kg.

การออกแบบฐานราก

Footing x 1 Pile

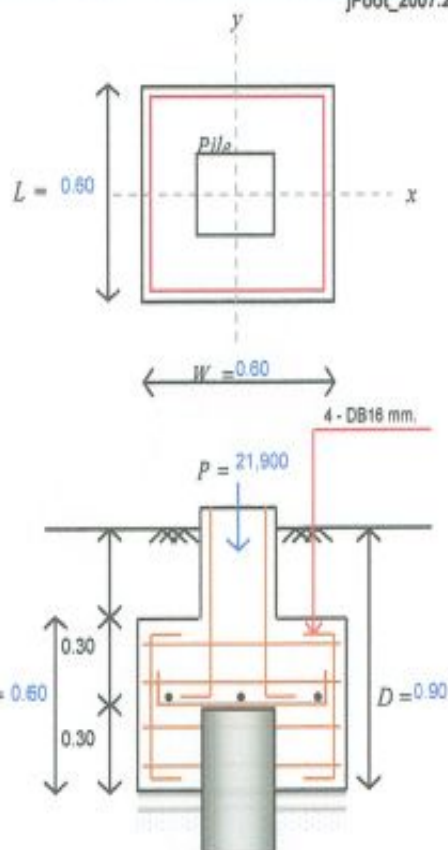
jFoot_2007.2.0907

Constant :

Yield Stress, f_y (ksc)	=	3,000
Allowable Stress of Steel, f_s (ksc)	=	1,500
Comp. Stress of Concrete, f_c' (ksc)	=	280
Factor	=	0.375

Input :

Width, W (m)	} $\geq (1-1.5)D_p$	=	0.60
Long, L (m)		=	0.60
Thickness, T (m)		=	0.60
Bottom of Footing, D (m)		=	0.90
Concrete Covering (m)		=	0.05
Section of Pile, D_p (m)		=	0.22
Pile Safe Load, P_s (kg)		=	25,000
Axial Load, P (kg)		=	21,900
% Weight of Soil, Footing, Etc.		=	5%
Total Load, P_n (kg)		=	22,995

Main Bars Design:

$P_{con} = R(0.85 \cdot A_g \cdot 0.25 \cdot f_c')$ (kg)	=	214,200
$P_{steel} = P_n - P_{con}$ (kg)	=	0.00
As Required (cm ²)	=	7.20
Area of Steel	4 - DB16 mm.	= 8.04 cm ² OK

เสาเข็มรับน้ำหนักปลอดภัยไม่น้อยกว่า 25 ตัน/ต้น

Case : $e_x, e_y > 0$

เหล็กเสริมด้านทานโมเมนต์จากการเอียงศูนย์ (เหล็กดัดแรง)

Offset from Origin		Mx	My	P/N	Asx (cm ²)	Asy (cm ²)
x1 (m)	y1 (m)					
0.000	0.000	0	0	25,000	0.00	0.00
				Select	DB20 ▼	DB20 ▼
				No.	0	0

การออกแบบฐานราก

Footing x 2 Piles Design

Constant :

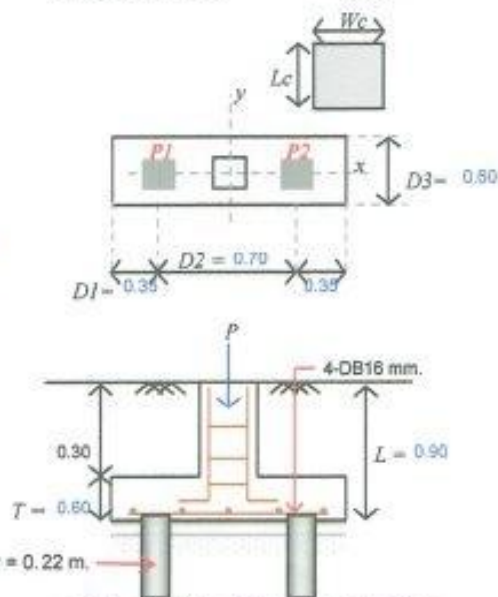
Yield Stress, f_y (ksc)	=	4,000
Elastic Modulus of Steel, E_s (ksc)	=	2.04E+06
Allowable Stress of Steel, f_s (ksc)	=	2,000
Comp. Stress of Concrete, f_c' (ksc)	=	280
Factor	=	0.375
Unit Weight, γ (kg/cu.m)	=	2,400
Allowable Stress of Concrete, f_c (ksc)	=	105.00
Elastic Modulus of Concrete, E_c (ksc)	=	2.55E+05

Design Parameters :

$n = E_s/E_c$	=	8
$k = 1/(1+f_s/(n*f_c'))$	=	0.296
$j = 1-k/3$	=	0.901
$R = 0.5*f_c'*k*j$ (ksc)	=	13.997

Input Data :

Section of Pile, D_p (m)	=	0.22
Pile Safe Load, P_s (kg)	=	25,000
$D1$ (m)	=	0.35
$D2$ (m)	=	0.70
$D3$ (m)	=	0.60
Bottom of Footing, L (m)	=	0.90
Thickness, T (m)	=	0.60
Column Dimension, $W_c \times L_c$ (m)	=	0.10 x 0.10
Concrete Covering (m)	=	0.05
Axial Load, P (kg)	=	21,900
% Weight of Soil, Footing, Etc.	=	10%
Total Load, P_n (kg)	=	24,090
Can use Footing x 2 Piles	=	TRUE



Checking:

Load to Pile

$$P_a = 12,045 < 25,000 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Punching Shear

$$V_p = 0.42 < 8.87 \text{ ksc} \quad \text{OK}$$

Beam Shear

$$V_b = 0.00 < 4.85 \text{ ksc} \quad \text{OK}$$

Engineer: 0
Licence: 0

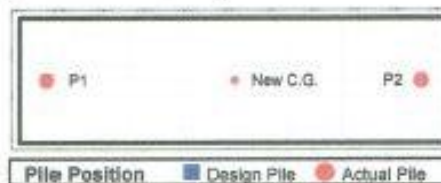
Area of Steel

As Main =	8.04	>	3.64	cm ²	OK
As Temp =	10.18	>	6.48	cm ²	OK

@	Mmax =	3,614	kg-m
@	Mmax =	0	kg-m

Case: $e_x, e_y > 0$

$M_x =$	0	kg-m	$e_x =$	0.000	m
$M_y =$	0	kg-m	$e_y =$	0.000	m



	Offset from Origin		P/N	M_{cx}/l_x	M_{cy}/l_y	Load to Pile	Status
	$x1$ (m)	$y1$ (m)					
P1	0.00	0.00	12,045	0	0	12,045	OK
P2	0.00	0.00	12,045	0	0	12,045	OK

ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก RC Flat Slab พื้นชั้น 1

ข้อมูลในการออกแบบ

RC SLAB PROPERTIES :	ชั้น 1	จำนวนด้านที่ต่อเนื่อง	2	ด้าน
Short Span		S	4.85	m
Long Span		L	6.00	m
Slab Thickness (S+L)/90 =	12.06 cm ไม้	t	15	cm
Concrete Covering			2.5	cm
LIVE LOAD :		LL	200	kg/m ²

MATERIAL PROPERTIES :

Concrete :

กำลังอัดประลัยแห่งทรงกระบอก f_c' 280 kg/cm²

Steel Reinforcement :

TYPE :	DB	Diameter	12	mm
GRADE :	SD30	Short Span @	15	cm
		Long Span @	15	cm

Check for Type of Slab :

$$m = S / L \quad m = 0.8$$

Two Way Slab Design

ดูผลคำนวณ

การจัดเรียงเหล็กเสริม

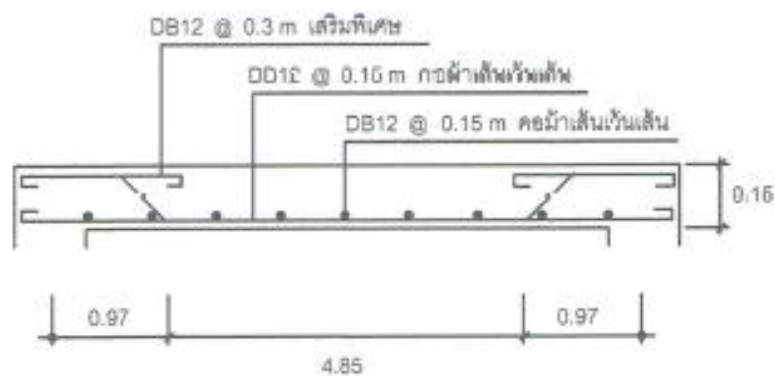
BACK TO MAIN MENU

ออกแบบพื้น ค.ส.ถ. Two Way Slab ชั้น 1

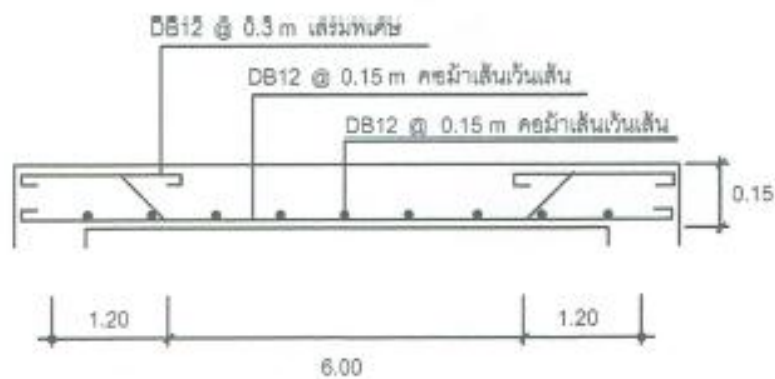
SLAB PROPERTIES		กรณี	3	ไม่ต่อเนื่องกันสองด้าน		
Short Span :	S	4.85	m	}	$m = S / L = 0.8 > 0.5$: Two Way Slab...OK	
Long Span :	L	6.00	m			
Thickness :	t	15	cm	$\geq (S + L) / 90$	≥ 12.06	OK
Concrete Covering :		2.5	cm			
MATERIAL PROPERTIES :						
Concrete :	$f_c = 0.375 f_c'$	105	kg/cm ²	n	=	8
Steel :	Type - Grade	DB - SD30		k	=	0.375
	Diameter	12	mm	j	=	0.875
	f_s	1400	kg/cm ²	R	=	17.23 kg/cm ²
RESISTING MOMENT OF SLAB (MR) :						
$MR = Rbd^2$ เมื่อ : b = 1.00 m และ d = ความลึกประสิทธิผล (Effective Depth) หน่วย cm						
	d	=	11.9	cm		
	MR	=	2439.94	kg.m/m		
LOAD :						
Dead Load	DL	360	kg/m ²	}	Total Load w	560 kg/m ²
Live Load	LL	200	kg/m ²			
ACTUAL MOMENT & REINFORCEMENT :						
Short Span 4.85 m			STEEL REINFORCEMENT			
LOCATION	Coeff. C	M = CwS ²	As = M/fs.j.d	DB12 mm @	As ใช้งาน	REMARKS
- M	0.064	844	5.79	0.150	7.54	OK
+ M	0.048	633	4.35	0.150	7.54	OK
Long Span 6.00 m			STEEL REINFORCEMENT			
LOCATION	Coeff. C	M = CwS ²	As = M/fs.j.d	DB12 mm @	As ใช้งาน	REMARK
- M	0.049	646	4.44	0.150	7.54	OK
+ M	0.037	488	3.35	0.150	7.54	OK
Moment Check : Max.Actual Moment (M) < Resisting Moment (MR) OK.						
SHEAR CHECK :						
แรงเฉือนมากที่สุด $V_{max} = w.S / 2$			1358.00	kg/m		
หน่วยแรงเฉือนสูงสุด = V_{max} / bd			1.15	kg/cm ²		
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมรับได้ = $0.29f_c' \sim 0.5$			4.85	kg/cm ²	> 1.15 OK	
LOAD ON SUPPORTED BEAM :						
Span	Short Span (WS)	Long Span (WL)	REMARKS			
Load (kg/m)	905.33	1086.29				

สรุปผลการออกแบบพื้น ค.ส.ถ.	ชั้น 1	ไม่ต่อเนื่องกันสองด้าน
Short Span :	4.85	m
Long Span :	6.00	m
Thickness :	0.15	m
Type :	TWO WAY SLAB	

Short Span Reinforcement :



Long Span Reinforcement :



ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก RC Flat Slab พื้นชั้น 1

ข้อมูลในการออกแบบ

RC SLAB PROPERTIES :		ชั้น 1	จำนวนด้านที่ต่อเนื่อง	2	ด้าน
Short Span			S	4.50	m
Long Span			L	6.00	m
Slab Thickness $(S+L)/90 =$	11.67 cm	ใช้	t	15	cm
Concrete Covering				2.5	cm
LIVE LOAD :			LL	200	kg/m ²
MATERIAL PROPERTIES :					
Concrete :					
กำลังอัดประลัยแห่งทรงกระบอก			fc'	280	kg/cm ²
Steel Reinforcement :					
TYPE :	DB		Diameter	12	mm
GRADE :	SD30	Short Span	@	15	cm
		Long Span	@	15	cm

Check for Type of Slab :

$$m = S / L \quad m = 0.8$$

Two Way Slab Design

ดูผลการออกแบบ
การจัดเรียงเหล็กเสริมพื้น
BACK TO MAIN MENU

ออกแบบพื้น ค.ส.ล. Two Way Slab ชั้น 1

SLAB PROPERTIES		กรณีนี้	3	ไม่ต่อเนื่องกับสองด้าน		
Short Span :	S	4.50	m	}	$m = S / L = 0.8 > 0.5 : \text{Two-Way Slab} \dots \text{OK}$	
Long Span :	L	6.00	m			
Thickness :	t	15	cm	$\geq (S + L) / 90$	≥ 11.67	OK.
Concrete Covering :		2.5	cm			
MATERIAL PROPERTIES :						
Concrete :	$f_c = 0.375 f_c'$	105	kg/cm ²	n	=	8
Steel :	Type - Grade	DB - SD30		k	=	0.375
	Diameter	12	mm	j	=	0.875
	f_s	1400	kg/cm ²	R	=	17.23 kg/cm ²
RESISTING MOMENT OF SLAB (MR) :						
$MR = Rbd^2$ เมื่อ : b = 1.00 m และ d = ความลึกประสิทธิภาพ (Effective Depth) หน่วย cm						
	d	=	11.9	cm		
	MR	=	2439.94	kg.m/m		
LOAD :						
Dead Load	DL	360	kg/m ²	}	Total Load w	560 kg/m ²
Live Load	LL	200	kg/m ²			
ACTUAL MOMENT & REINFORCEMENT :						
Short Span 4.50 m		STEEL REINFORCEMENT				
LOCATION	Coeff. C	M = CwS ²	As = M/f _s .j.d	DB12 mm @	As ใช้จริง	REMARKS
- M	0.064	726	4.99	0.150	7.54	OK
+ M	0.048	545	3.74	0.150	7.54	OK
Long Span 6.00 m		STEEL REINFORCEMENT				
LOCATION	Coeff. C	M = CwS ²	As = M/f _s .j.d	DB12 mm @	As ใช้จริง	REMARK
- M	0.049	556	3.82	0.150	7.54	OK
+ M	0.037	420	2.69	0.150	7.54	OK
Moment Check : Max.Actual Moment (M) < Resisting Moment (MR) OK.						
SHEAR CHECK :						
แรงเฉือนมากที่สุด V _{max} = w.S / 2		1260.00		kg/m		
หน่วยแรงเฉือนสูงสุด = V _{max} / bd		1.06		kg/cm ²		
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมรับได้ = 0.29f _c ' ^{0.5}		4.85		kg/cm ² > 1.06 OK		
LOAD ON SUPPORTED BEAM :						
Span	Short Span (WS)	Long Span (WL)	REMARKS			
Load (kg/m)	840.00	991.20				

สรุปผลการออกแบบพื้น ค.ส.ล. ชั้น 1 ไม่ต่อเนื่องกันสองด้าน

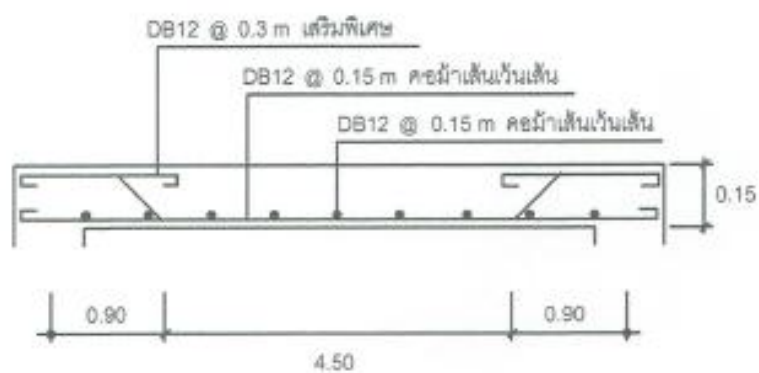
Short Span : 4.50 m

Long Span : 6.00 m

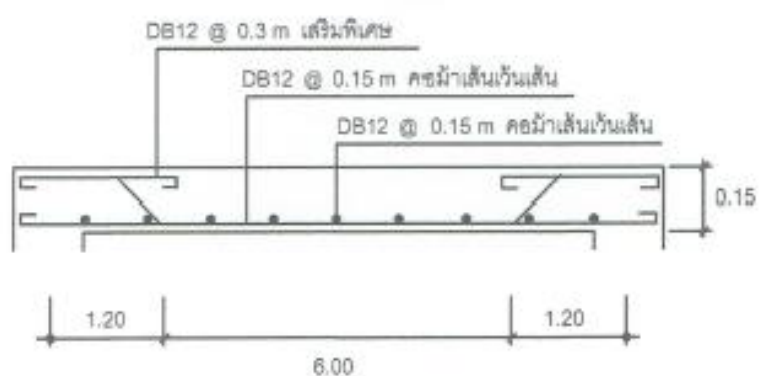
Thickness : 0.15 m

Type : TWO WAY SLAB

Short Span Reinforcement :



Long Span Reinforcement :



ออกแบบพื้น ค.ส.ถ. Two Way Slab ชั้น 1

ข้อมูลในการออกแบบ

RC SLAB PROPERTIES :	ชั้น 1	จำนวนด้านที่ต่อเนื่อง	2	ด้าน
Short Span		S	3.55	m
Long Span		L	6.00	m
Slab Thickness $(S+L)/90 =$	10.62 cm	ใช้	15	cm
Concrete Covering			2.5	cm

LIVE LOAD :	LL	200	kg/m ²
-------------	----	-----	-------------------

MATERIAL PROPERTIES :

Concrete :

กำลังอัดประลัยแห่งทรงกระบอก	f_c'	280	kg/cm ²
-----------------------------	--------	-----	--------------------

Steel Reinforcement :

TYPE :	DB	Diameter	12	mm
GRADE :	SD30	Short Span @	15	cm
		Long Span @	15	cm

Check for Type of Slab :

$$m = S / L \quad m = 0.6$$

Two Way Slab Design

ดูรายละเอียดเพิ่มเติม
การจัดเรียงเหล็กเสริมใน
BACK TO MAIN MENU

ออกแบบพื้น ค.ส.ถ. Two Way Slab ชั้น 1

SLAB PROPERTIES		กรณีนี้	3	ไม่ต่อเนื่องกับสองด้าน		
Short Span :	S	3.55	m	}	$m = S / L = 0.6 > 0.5 : \text{Two Way Slab...OK}$	
Long Span :	L	6.00	m			
Thickness :	t	15	cm	$\geq (S + L) / 90$	$\geq 10.62 \quad \text{OK,}$	
Concrete Covering :		2.5	cm			
MATERIAL PROPERTIES :						
Concrete :	$f_c = 0.375 f_c'$	105	kg/cm ²	n	= 8	
Steel :	Type - Grade	DB - SD30		k	= 0.375	
	Diameter	12	mm	j	= 0.875	
	f_s	1400	kg/cm ²	R	= 17.23 kg/cm ²	
RESISTING MOMENT OF SLAB (MR) :						
$MR = Rbd^2$ เมื่อ : b = 1.00 m และ d = ความลึกประสิทธิภาพ (Effective Depth) หน่วย cm						
	d	=	11.9	cm		
	MR	=	2439.94	kg.m/m		
LOAD :						
Dead Load	DL	360	kg/m ²	}	Total Load w = 560 kg/m ²	
Live Load	LL	200	kg/m ²			
ACTUAL MOMENT & REINFORCEMENT :						
Short Span 3.55 m			STEEL REINFORCEMENT			
LOCATION	Coeff. C	$M = CwS^2$	$As = M / f_s j d$	DB12 mm @	As ใช้จริง	REMARKS
- M	0.078	551	3.78	0.150	7.54	OK
+ M	0.059	417	2.87	0.150	7.54	OK
Long Span 6.00 m			STEEL REINFORCEMENT			
LOCATION	Coeff. C	$M = CwS^2$	$As = M / f_s j d$	DB12 mm @	As ใช้จริง	REMARK
- M	0.049	346	2.38	0.150	7.54	OK
+ M	0.037	262	1.80	0.150	7.54	OK
Moment Check : Max.Actual Moment (M) < Resisting Moment (MR) OK.						
SHEAR CHECK :						
แรงเฉือนมากที่สุด		$V_{max} = w.S / 2$	994.00	kg/m		
หน่วยแรงเฉือนสูงสุด		$= V_{max} / bd$	0.84	kg/cm ²		
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมรับได้		$= 0.29 f_c'^{1/2} \times 0.5$	4.85	kg/cm ²	> 0.84 OK	
LOAD ON SUPPORTED BEAM :						
Span	Short Span (WS)	Long Span (WL)	REMARKS			
Load (kg/m)	662.67	874.72				

สรุปผลการออกแบบพื้น ค.ต.ล. ชั้น 1 ไม่ต่อเนื่องกันสองด้าน

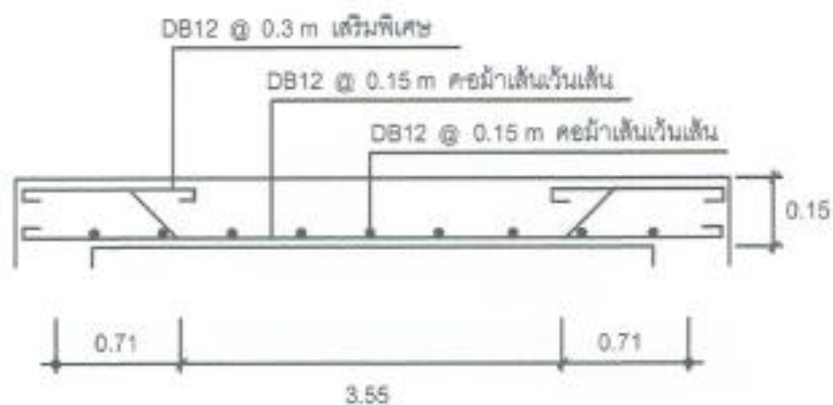
Short Span : 3.55 m

Long Span : 6.00 m

Thickness : 0.15 m

Type : TWO WAY SLAB

Short Span Reinforcement :



Long Span Reinforcement :



ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก RC Flat Slap พื้นชั้น 1

ข้อมูลในการออกแบบ

RC SLAB PROPERTIES :	ชั้น 1	จำนวนด้านที่ต่อเนื่อง	2	ด้าน
Short Span		S	2.10	m
Long Span		L	6.00	m
Slab Thickness (S+L)/90 =	ย cm ใช้	t	15	cm
Concrete Covering			2.5	cm
LIVE LOAD :		LL	200	kg/m ²

MATERIAL PROPERTIES :

Concrete :

กำลังอัดประลัยแห่งทรงกระบอก f_c' 280 kg/cm²

Steel Reinforcement :

TYPE :	DB	Diameter	12	mm
GRADE :	SD30	Short Span @	15	cm
		Long Span @	15	cm

Check for Type of Slab :

$$m = S / L \quad m = 0.4$$

One Way Slab Design

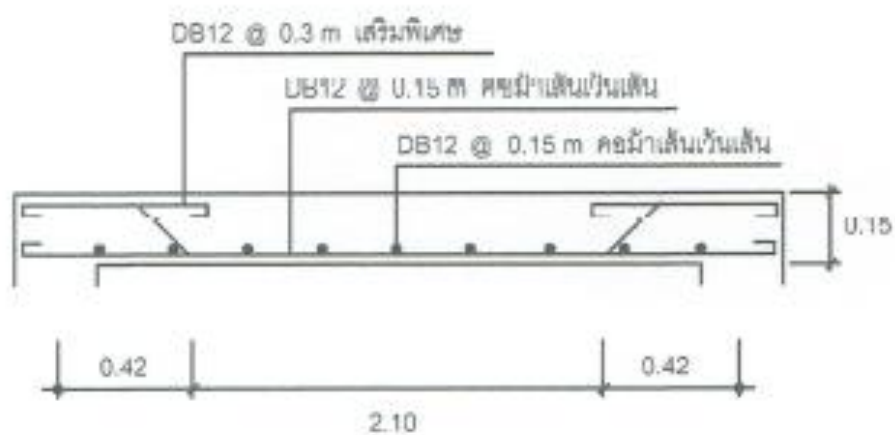
ดูผลการออกแบบ

การจำลองแบบ 3D

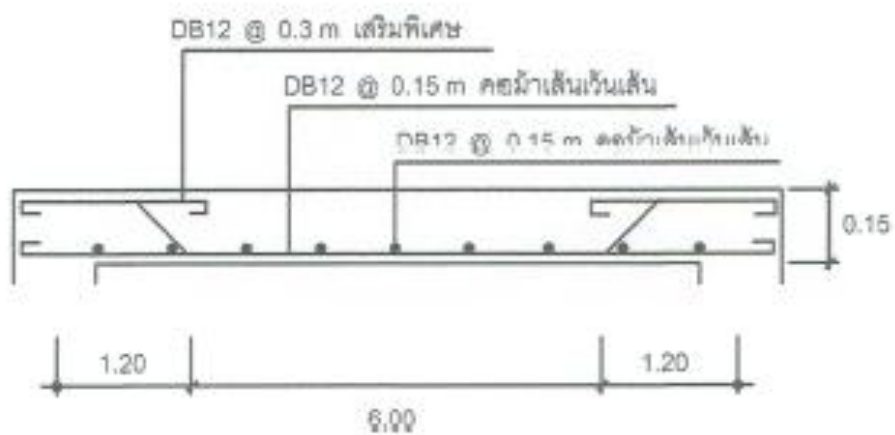
BACK TO MAIN MENU

สรุปผลการออกแบบพื้น ค.ด.ล.	ชั้น 1	ไม่ต่อเนื่องกันสองด้าน
Short Span :	2.10	m
Long Span :	6.00	m
Thickness :	0.15	m
Type :	ONE WAY SLAB	

Short Span Reinforcement :

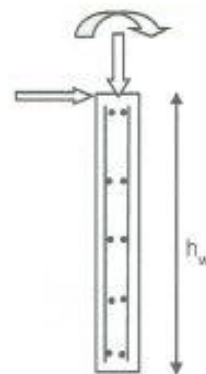
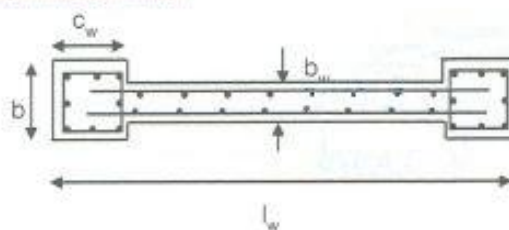


Long Span Reinforcement :



ออกแบบกำแพงรับแรงเฉือน

คุณสมบัติกำแพงรับแรงเฉือน



A. คุณสมบัติ

เกรด (*SD-xx or SR-xx)	:	SD-30
กำลังคราก, f_y	:	3,000 กก/ตร.ซม
หน่วยแรงที่ยอมให้, f_s	:	1,500 กก/ตร.ซม
โมดูลัสของเหล็ก, E_s	:	2,040,000 กก/ตร.ซม
กำลังอัดประลัยคอนกรีต, f_c	:	28.0 กก/ตร.ซม
แฟกเตอร์	:	0.375
หน่วยแรงคอนกรีตที่ยอมให้, f_c	:	105.00 กก/ตร.ซม
โมดูลัสของคอนกรีต, E_c	:	265,659 กก/ตร.ซม

B. หน.บรรทุก

น้ำหนักบรรทุกเพิ่มค่า, W_u	:	11.200	กก
โมเมนต์ดัดเพิ่มค่าที่ฐานกำแพง, M_u	:	12.800	กก-ม
แรงตามแนวแกนเพิ่มค่า, N_u	:	21.560	กก
แรงเฉือนเพิ่มค่า, V_u	:	22.650	กก

C. หน้าตัดกำแพงรับแรงเฉือน

ความสูงทั้งหมด, h_w	:	3.00	ม
ความยาวกำแพง, l_w	:	6.00	ม
ระยะหุ้ม, d'	:	0.02	ม
ความหนากำแพง, b_w	:	0.10	ม
อัตราส่วน h_w/l_w	:	0.50	Squat wall

ออกแบบการเสริมเหล็ก บริเวณ Boundary element ที่ปลาย

D ตรวจสอบว่าต้องการ boundary element หรือไม่

โมเมนต์อินเฉีย, I_g	=	$b_w \cdot I_w^3 / 12$	:	1.80E+08	ซม ⁴
พื้นที่, A_g	=	$b_w \cdot I_w$	:	6,099	ซม ²
$I_c = P/A + Mc/I$	:		:	4.00	not used Box

E ออกแบบ boundary element ที่ปลายหน้าตัด

ความกว้าง boundary element, b	:	0.10	ม
ความยาว boundary element, c_w	:	0.10	ม
ความยาวกำแพง, I_w	:	6.00	ม
แรงอัดประลัยที่เกิดขึ้นที่ปลาย $P_u = W_u/2 + M_u/I_w + N_u/2$	:	18,513	กก
แรงอัดประลัยที่ออกแบบให้ $P_u = 0.8 \cdot 0.7 \cdot (0.85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st})$	:	30,821	กก

ปริมาณเหล็กอื่น

ด้านยาว

ด้านสั้น

เปอร์เซ็นต์อัตราส่วน A_{st}/A_c

	no.	dia.	area
	10	12	11.31
	5	12	5.65
	5	12	5.65

F ออกแบบเหล็กปลอกโอบรัดที่ปลายหน้าตัด

h_c	0.048	ม
b_c	0.048	ม

เหล็กปลอกโอบรัด

เหล็กปลอกด้านสั้น

$$A_{sh1} = 0.09 \cdot s \cdot b_c \cdot f'_c / f_y h$$

$$A_{sh2} = 0.30 \cdot s \cdot b_c \cdot [(A_g / A_{ch}) - 1] f'_c / f_y$$

เหล็กปลอกด้านยาว

$$A_{sh1} = 0.09 \cdot s \cdot b_c \cdot f'_c / f_y h$$

$$A_{sh2} = 0.30 \cdot s \cdot b_c \cdot [(A_g / A_{ch}) - 1] f'_c / f_y$$

spacing	dia.	area
0.15	12	7.54

no.	dia.	area
6	12	6.79

	0.60	ซม ²
--	------	-----------------

	6.73	ซม ²
--	------	-----------------

no.	dia.	area
6	12	6.79

	0.60	ซม ²
--	------	-----------------

	6.73	ซม ²
--	------	-----------------

ออกแบบการเสริมเหล็กเสริมแนวอนและแนวดิ่ง

G ตรวจสอบว่าต้องวางเหล็กสองชั้นหรือไม่

กำลังต้านทานแรงเฉือนสูงสุดของคอนกรีต, $V_c = \phi \cdot 2.70 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f_c}$	230,416	กก
กำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีต, $V_c = \phi \cdot 0.53 \cdot [1 + 0.0071 \cdot N/Ag] A_{cv} \cdot \sqrt{f_c}$	46,384	กก
แรงเฉือนประลัย	22,650	กก

เหล็กเสริมแนวอน

	spacing	dia.	area
side1	0.20	12	5.65
side2	0.20	12	5.65

อัตราส่วนเหล็กเสริมในแนวอน $= A_{sh}/s = (V_u - \phi V_c) / (\phi f_y \cdot d)$	-0.0001	ซม ² /ม
อัตราส่วนเหล็กเสริมในแนวอนอย่างน้อย $= A_{sh}/A_{cv}$	0.0025	ซม ² /ม
ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ, A_{sh}	2.5	ซม ² /ม
ปริมาณเหล็กเสริมออกแบบ 2 ด้าน	11.31	ซม ² /ม
ระยะห่างเหล็กเสริมต้องไม่มากกว่า $b_w/5$ หรือ 0.45 ม	1.20	ม
ระยะห่างเหล็กเสริมต้องไม่มากกว่า $b_w/5$ หรือ 0.45 ม	0.45	ม

เหล็กเสริมแนวดิ่ง

	spacing	dia.	area
side1	0.20	12	5.65
side2	0.20	12	5.65

อัตราส่วนเหล็กเสริมในแนวดิ่ง $= A_{sh}/s = (0.0025 + 0.50 [2.5 - (b_w/b_f)] [(A_{sh}/s) - 0.0025]) \cdot b_w$	0.0003	ซม ² /ม
อัตราส่วนเหล็กเสริมในแนวดิ่ง $= A_{sh}/A_{cv}$	0.0025	ซม ² /ม
ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ, A_{sh}	2.5	ซม ² /ม
ปริมาณเหล็กเสริมออกแบบ 2 ด้าน	11.31	ซม ² /ม
ระยะห่างเหล็กเสริมต้องไม่มากกว่า $b_w/3$ หรือ 0.45 ม	2.00	ม
ระยะห่างเหล็กเสริมต้องไม่มากกว่า $b_w/3$ หรือ 0.45 ม	0.45	ม

H ตรวจสอบค่ารับแรงเฉือน

อัตราส่วนต่อขยเมต $= A_{sh}/A_{cv}$	0.0113	
$\phi V_n = \phi V_c + \phi A_{sh} f_y$	154,072	กก
$\phi V_n \text{ max} = 2.7 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f_c}$	162,647	กก

ระยะใกล้กับใน boundary element

$l_d = 3.5 \cdot d_b \cdot f_y / (17 \cdot f_c)$	0.44	ม
--	------	---

ตรวจสอบหน้าตัดคานเพจรับโมเมนต์ค้ดร่ว้กับแรงตามแนวนอน

เหล็กเสริมรับโมเมนต์

แรงอัดประลัยทั้งหมด	32,760	กก
โมเมนต์ประลัย	12,800	กก-ม
$e=M_u/P_u$	0.39	

ปริมาณเหล็กอื่น

ด้านขวา

ด้านซ้าย

Ast

Ag

 $z/lw=1/[2+(0.85*\beta_{eff}*lw*bw*f_c)/(A_{st}*f_y)]$ $\phi_i*M_n=\phi_i*(0.50*A_{st}*f_y*lw*(1-z/lw))$ $M'_u=M_u-\phi_i*M_n$ ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ $A_{st}=M'_u/[\phi_i*A_{st}*f_y*(lw-cw)]$

ปริมาณเหล็กเสริมออกแบบรับ โมเมนต์

ปริมาณเหล็กเสริมออกแบบ 2 ด้านในแนวตั้ง

ดังนั้น ปริมาณเหล็กเสริมออกแบบรับ โมเมนต์

เหล็กเสริมรับน้ำหนักบรรทุก

ความสูงใน1 ชั้น

 $\phi_i*P_n=\phi_i*0.55*f_c*Ag*[1-k*j_c/32bw)^2]$ $A_s=(P_u-\phi_i*P_n)/(\phi_i*f_y*lw)$

ปริมาณเหล็กเสริมออกแบบในแนวตั้งทั้งหมด

no.	dia.	area
10	12	11.31
5	12	5.65
5	12	5.65

79.17 ซม²6,000 ซม²

0.141

551,078 กก-ม

- 538,278 กก-ม

- 33.79 ซม²-5.63 ซม²/ม11.31 ซม²/ม11.31 ซม²/ม

ความสูงใน1 ชั้น

2.85 ม

 $\phi_i*P_n=\phi_i*0.55*f_c*Ag*[1-k*j_c/32bw)^2]$

318,448 กก

 $A_s=(P_u-\phi_i*P_n)/(\phi_i*f_y*lw)$ 0 ซม²/ม

ปริมาณเหล็กเสริมออกแบบในแนวตั้งทั้งหมด

11.31 ซม²/ม

	spacing	dia.	area
side1	0.15	12	7.54
side2	0.15	12	7.54
			15.08

ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก RC Flat Slab พื้นชั้น 2

ข้อมูลในการออกแบบ

RC SLAB PROPERTIES :		ชั้น 2	จำนวนด้านที่ต่อเนื่อง	2	ด้าน
Short Span			S	3.30	m
Long Span			L	6.00	m
Slab Thickness $(S+L)/90 = 10.34$ cm ใช้			t	15	cm
Concrete Covering				2.5	cm
LIVE LOAD :			LL	200	kg/m ²
MATERIAL PROPERTIES :					
Concrete :					
กำลังอัดประต้อย่างทรงกระบอก			fc'	280	kg/cm ²
Steel Reinforcement :					
TYPE :	DB		Diameter	12	mm
GRADE :	SD30	Short Span	∅	15	cm
		Long Span	∅	15	cm

Check for Type of Slab :

$$m = S / L \quad m = 0.6$$

Two Way Slab Design

ดูผลคำนวณ

การจัดเรียงเหล็กเสริม

BACK TO MAIN MENU

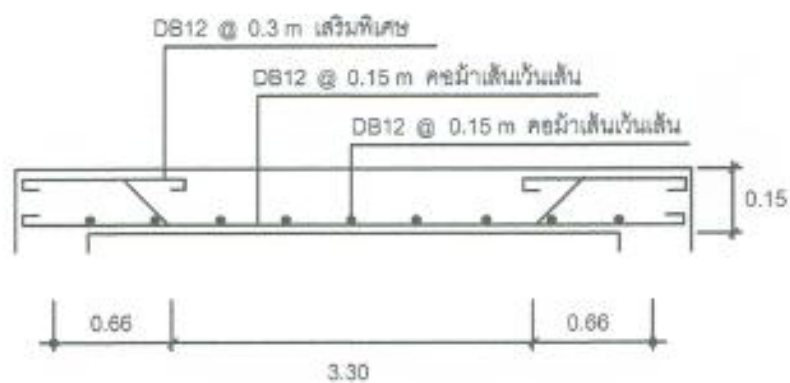
ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก Two Way Slab พื้นชั้น 2

SLAB PROPERTIES		กรณีนี้	3	ไม่ต่อเนื่องกันสองด้าน		
Short Span :	S	3.30	m	}	$m = S / L = 0.6 > 0.5 : \text{Two Way Slab...OK}$	
Long Span :	L	6.00	m			
Thickness :	1	15	cm	$\geq$	$(S + L) / 90$	$\geq 10.34 \quad \text{OK.}$
Concrete Covering :		2.5	cm			
MATERIAL PROPERTIES :						
Concrete :	$f_c = 0.375 f_c'$	105	kg/cm ²	n	=	8
Steel :	Type - Grade	DB - SD30		k	=	0.375
	Diameter	12	mm	j	=	0.875
	f_s	1400	kg/cm ²	R	=	17.23 kg/cm ²
RESISTING MOMENT OF SLAB (MR) :						
$MR = Rbd^2$ เมื่อ : b = 1.00 m และ d = ความลึกประสิทธิภาพ (Effective Depth) หน่วย cm						
	d	=	11.9	cm		
	MR	=	2439.94	kg.m/m		
LOAD :						
Dead Load	DL	360	kg/m ²	}	Total Load w	560 kg/m ²
Live Load	LL	200	kg/m ²			
ACTUAL MOMENT & REINFORCEMENT :						
Short Span 3.30 m		STEEL REINFORCEMENT				
LOCATION	Coeff. C	M = CwS ²	As = M/fs.j.d	DB12 mm @	As ให้จริง	REMARKS
- M	0.078	476	3.27	0.150	7.54	OK
+ M	0.059	360	2.47	0.150	7.54	OK
Long Span 6.00 m		STEEL REINFORCEMENT				
LOCATION	Coeff. C	M = CwS ²	As = M/fs.j.d	DB12 mm @	As ให้จริง	REMARK
- M	0.049	299	2.06	0.150	7.54	OK
+ M	0.037	226	1.56	0.150	7.54	OK
Moment Check : Max.Actual Moment (M) < Resisting Moment (MR) OK.						
SHEAR CHECK :						
แรงเฉือนมากที่สุด		$V_{max} = w.S / 2$	924.00	kg/m		
หน่วยแรงเฉือนสูงสุด		$= V_{max} / bd$	0.78	kg/cm ²		
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้		$= 0.29 f_c^{1/2} \times 0.5$	4.85	kg/cm ²	$> 0.78 \quad \text{OK.}$	
LOAD ON SUPPORTED BEAM :						
Span	Short Span (WS)	Long Span (WL)	REMARKS			
Load (kg/m)	616.00	813.12				

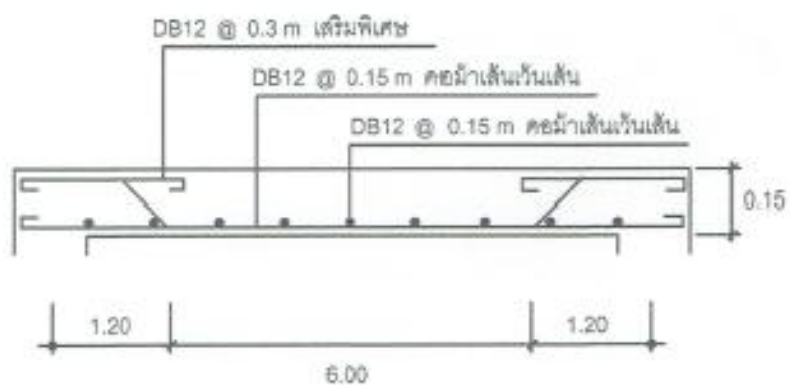
สรุปผลการออกแบบพื้น ค.ส.ล. ชั้น 2 ไม่ต่อเนื่องกันสองด้าน

Short Span :	3.30	m
Long Span :	6.00	m
Thickness :	0.15	m
Type :	TWO WAY SLAB	

Short Span Reinforcement :



Long Span Reinforcement :



ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก RC Flat Slab พื้นชั้น 2

ข้อมูลในการออกแบบ

RC SLAB PROPERTIES :	ชั้น 2	จำนวนด้านที่ต่อเนื่อง	2	ด้าน
Short Span		S	6.00	m
Long Span		L	6.05	m
Slab Thickness : $(S+L)/90 = 13.39$ cm ใช้		t	15	cm
Concrete Covering			2.5	cm
LIVE LOAD :		LL	200	kg/m ²

MATERIAL PROPERTIES :

Concrete :

กำลังอัดประลัยแห่งทรงกระบอก f_c' 280 kg/cm²

Steel Reinforcement :

TYPE :	DB	Diameter	12	mm
GRADE :	SD30	Short Span @	15	cm
		Long Span @	15	cm

Check for Type of Slab :

$$m = S / L \quad m = 1.0$$

Two Way Slab Design

ดูค่าหาขนาดเส้น

การจัดเรียงเหล็กเสริมพื้น

BACK TO MAIN MENU

ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก Two Way Slab พื้นชั้น 2

SLAB PROPERTIES		กรณีนี้	3	ไม่ต่อเนื่องกันสองด้าน		
Short Span :	S	6.00	m	}	$m = S / L = 1.0 > 0.5 : \text{Two Way Slab..OK}$	
Long Span :	L	6.05	m			
Thickness :	t	15	cm	$\geq$	$(S + L) / 90 \geq 13.39$ OK.	
Concrete Covering :		2.5	cm			
MATERIAL PROPERTIES :						
Concrete :	$f_c = 0.375 f_c'$	105	kg/cm ²	n	= 8	
Steel : Type - Grade	DB - SD30			k	= 0.375	
	Diameter	12	mm	j	= 0.875	
	f_s	1400	kg/cm ²	R	= 17.23 kg/cm ²	
RESISTING MOMENT OF SLAB (MR) :						
$MR = Rbd^2$ เมื่อ : b = 1.00 m และ d = ความลึกประสิทธิภาพ (Effective Depth) หน่วย cm						
	d	=	11.9	cm		
	MR	=	2439.94	kg.m/m		
LOAD :						
Dead Load	DL	360	kg/m ²	}	Total Load w = 560 kg/m ²	
Live Load	LL	200	kg/m ²			
ACTUAL MOMENT & REINFORCEMENT :						
Short Span 6.00 m			STEEL REINFORCEMENT			
LOCATION	Coeff. C	M = CwS ²	As = M/fs.j.d	DB12: mm @	As ใช้งาน	REMARKS
- M	0.049	968	6.78	0.150	7.54	OK
+ M	0.037	746	5.12	0.150	7.54	OK
Long Span 6.05 m			STEEL REINFORCEMENT			
LOCATION	Coeff. C	M = CwS ²	As = M/fs.j.d	DB12: mm @	As ใช้งาน	REMARK
- M	0.049	988	6.78	0.150	7.54	OK
+ M	0.037	746	5.12	0.150	7.54	OK
Moment Check : Max.Actual Moment (M) < Resisting Moment (MR) OK.						
SHEAR CHECK :						
แรงเฉือนมากที่สุด		$V_{max} = w.S / 2$	1680.00	kg/m		
หน่วยแรงเฉือนสูงสุด		$= V_{max} / bd$	1.42	kg/cm ²		
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้		$= 0.29 f_c' \sim 0.5$	4.85	kg/cm ²	> 1.42 OK	
LOAD ON SUPPORTED BEAM :						
Span	Short Span (WS)	Long Span (WL)	REMARKS			
Load (kg/m)	1120.00	1120.00				

สรุปผลการออกแบบพื้น ค.จ.ล. ชั้น 2 ไม่ต่อเนื่องกันสองด้าน

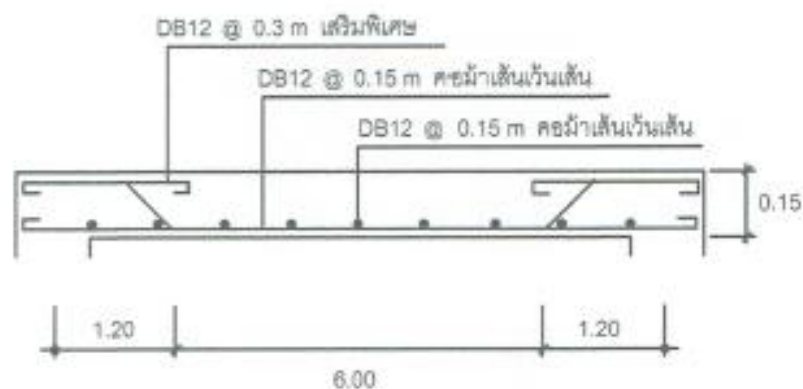
Short Span : 6.00 m

Long Span : 6.05 m

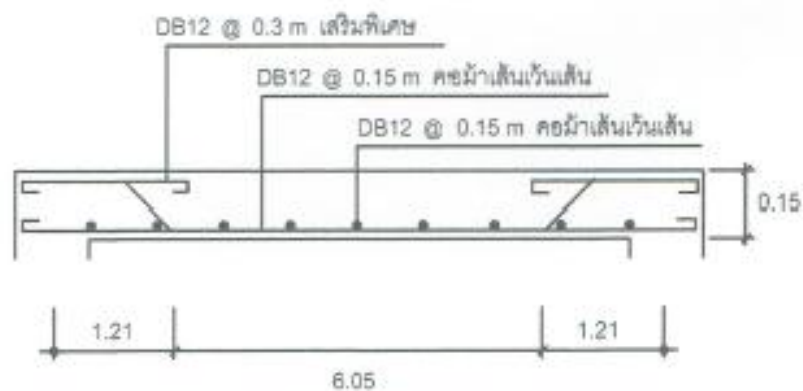
Thickness : 0.15 m

Type : TWO WAY SLAB

Short Span Reinforcement :



Long Span Reinforcement :



ประวัติผู้เขียน

นายปณณพงศ์ ภัทร์ศรีตระกูล เกิดวันที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ. 2513 ปัจจุบันพักอาศัยอยู่บ้านเลขที่ 852 ซอย 20 หมู่บ้านการเคหะ ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2526 – 2531 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย จังหวัดนครราชสีมา พ.ศ. 2533 – 2537 จบการศึกษาระดับอุดมศึกษาจาก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ประวัติการทำงาน พ.ศ. 2539 – ปัจจุบัน ทำงานอยู่ที่ บริษัท แบ็กส์ แอนด์ โกล์ฟ จำกัด เขตอุตสาหกรรมสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ตำแหน่ง วิศวกรโรงงาน และตัวแทนฝ่ายบริหารระบบคุณภาพ (QMR)