รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การเปรียบเทียบแบบหล่อคอนกรีตแบบทั่วไปและแบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง

COMPARISON OF CONVENTIONAL CONCRETE FROMWORK & DEAD CONCRETE FORMWORK

นายนวรัตน์ สงค์วิชัย

สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON OF CONVENTIONAL CONCRETE FROMWORK & DEAD CONCRETE FORMWORK

MR. NAWARAT SONGWICHAI

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 TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโรงงานสหกิจศึกษา การเปรียบเทียบแบบหล่อคอนกรีตแบบทั่วไปกับแบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง
COMPARISON OF CONVENTIONAL CONCRETE FROMWORK & DEAD CONCRETE FORMWORK

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายนวรัตน์ สงค์วิชัย
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **สาขาวิชา** วิศวกรรมโยธา
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร. ศลิษา ไชยพุทร
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน คุณวิสุทธิ์ เลิศวิริยะศักดิ์
ชื่อสถานประกอบการ บริษัท นันทวัน จำกัด

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบแบบหล่อคอนกรีตทั่วไปกับแบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง แบบหล่อคอนกรีตแบบฝังซึ่งเป็นรูปแบบเทคนิคการทำงานของโครงการอาคารสำนักงาน Kronos ในการหล่อฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ออกแบบและวิเคราะห์ความแตกต่างด้านข้อดีและข้อเสีย ของคอนกรีตแบบหล่อแบบฝังโดยนำมาเทียบกับแบบหล่อคอนกรีตแบบทั่วไป ซึ่งการวบรวมข้อมูลด้วยการออกแบบแบบหล่อคอนกรีตและการสอบถามวิศวกรในโครงการและวิเคราะห์พบว่า ในด้านราคาคอนกรีตแบบฝังมีราคาต่อหน่วยแพงกว่าแบบทั่วไปแต่สามารถลดระยะเวลาในการทำงานได้เนื่องจากสามารถลดขั้นตอนในการทำงานลงได้ และด้านคุณภาพคอนกรีตของแบบหล่อแบบฝั่งตรวจสอบได้ยากทำให้ไม่สามารถระบุได้แน่ชัด

คำสำคัญ : แบบหล่อคอนกรีตทั่วไป, แบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง, แรงดันคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title	COMPARISON OF CONVENTIONAL CONCRETE FROMWORK & DEAD CONCRETE FORMWORK
Student Intern Name	MR. NAWARAT SONGWICHAI
Faculty	ENGINEERING **Department** Civil Engineering
Advisor Name	DR. SALISA CHAIYAPUT
Mentor Name	MR. WISUT LERTVIRIYASAK
Company	THAI OBAYASHI CORP.,LTD.

ABSTRACT

The research is study on comparison of conventional concrete formwork and dead concrete formwork. Which dead concrete formwork is the formwork technique for reinforcement concrete foundation of Kronos office tower. The objectives are to study the process of formwork design and analyzing different between dead concrete formwork by comparing with conventional concrete form work. After collecting and analyzing data from designing and interview engineers in Kronos project, it has been found that in cost per unit on dead formwork is more expensive than conventional formwork, The working time of dead formwork is reduced by step reduction ,And quality of concrete of formwork is hard to identify clearly

Keywords : conventional formwork, dead formwork, concrete pressure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเล่มนี้จะสำเร็จลุล่วงไม่ได้เลยหากปราศจากการช่วยเหลือของผู้มีพระคุณต่างๆ ผู้จัดทำมีความรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณอย่างยิ่ง จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

บริษัท นันทวัน จำกัด ที่มอบโอกาสให้เข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษา

นายวิสุทธิ์ เลิศวิยะศักดิ์ ผู้ดูแลและให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ ให้โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ พร้อมทั้งขัดเกลาให้ถูกต้อง กระชับ และสมบูรณ์แบบ

อาจารย์ศลิษา ไชยพุทธ และอาจารย์อาทิตย์ เพชรศศิธร ผู้ให้คำปรึกษาในด้านขั้นตอนการทำสหกิจ และด้านการทำวิจัย

พี่ ๆ ที่บริษัททุกคน ที่ให้คำแนะนำในหลาย ๆ ด้าน ทั้งการประสบการณ์ทำงาน และความรู้ในด้านการทำงาน

บิดา มารดา เพื่อน ๆ และทุกคนที่ส่งมอบกำลังใจจนโครงงานเสร็จสิ้น

หากโครงงานพิเศษเล่มนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ด้านใดก็ตาม ขอมอบคุณประโยชน์และความดีทั้งปวงให้แก่บุคคลทุกท่านดังที่ได้กล่าวมา

นวรัตน์ สงค์วิชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ปัญหางานวิจัย 2

1.3 วัตถุประสงค์ 2

1.4 ขอบเขตการศึกษา 2

1.5 ขั้นตอนการวิจัย 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 แนวความคิดทางทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแรงดันคอนกรีตด้านข้าง 4

2.2 ทฤษฎีน้ำหนักและแรงดันคอนกรีต 11

2.3 ทฤษฎีวิเคราะห์การรับแรงของวัสดุ 14

2.4 การทำการติดตั้ง และการถอดแบบ 22

2.5 การค้ำยัน 24

2.6 วัสดุแบบหล่อคอนกรีต 24

2.7 การใช้ซ้ำและการบำรุงรักษา 29

2.8 การบริหารงานแบบหล่อคอนกรีต 30

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน 31

3.1 กล่าวนำ 31

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ตัวอย่างการคำนวณของการออกแบบงานแบบหล่อคอนกรีตด้านข้างทั่วไป 33
3.4 ตัวอย่างของการออกแบบงานแบบหล่อคอนกรีตด้านข้างแบบฝัง 40
3.5 ขั้นตอนในการทำงาน 45
3.6 การคำนวณปริมาณวัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อ 47
บทที่ 4 ผลการศึกษา 49
4.1 ผลการดำเนินการ 49
4.2 ผลการประกอบติงตั้งจริงในสนาม 54
4.3 การเก็บข้อมูลและสอบถามความคิดเห็นของผู้ที่มีประสบการณ์ 59
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 63
5.1 สรุปผลการศึกษา 63
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 64
เอกสารอ้างอิง 65
ภาคผนวก ก 66
ภาคผนวก ข 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงน้ำหนักบรรทุกจรเพื่อใช้ในการออกแบบโดยมาตรฐาน CEB และ CIRA 12

2.2 แสดงค่าปรับ k ตามความข้นเหลวและอุณหภูมิของคอนกรีต 14

2.3 แสดงสูตรคำนวณพฤติกรรมแบบคาน 17

2.4 แสดงค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐานอาคารไม้ (ว.ส.ท.) 25

2.5 แสดงขนาดไม้อัดในท้องตลาด 27

2.6 แสดงขนาดไม้อัดในท้องตลาด 27

2.7 แสดงค่าความดันของคอนกรีตที่ยอมให้เมื่อเคร่าตั้งฉากกันแนวเสี้ยน (กก./ซม.2) 27

2.8 แสดงหน่วยแรงที่ยอมให้ตาม APA 28

2.9 แสดงกำลังดึงทดสอบของเหล็กยึดรั้ง 29

3.1 แสดงหน่วยที่ยอมให้ตาม APA 34

3.2 แสดงคุณสมบัติต่างๆของไม้อัด 35

3.3 แสดงคุณสมบัติหน้าตัดเหล็กกลวงสี่เหลี่ยมจัตุรัส 36

3.4 แสดงคุณสมบัติหน้าตัดเหล็กกลวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า 37

3.5 ขนาดของวัสดุที่นำมาใช้ในการทำแบบหล่อคอนกรีต TEXCA® Wall 41

3.6 การคำนวณผนังคอนกรีตสำเร็จในการใช้งาน 42

4.1 ประมาณราคาแบบหล่อเบื้องต้นระบบแบบหล่อทั่วไป 52

4.2 ประมาณค่าแรงแบบหล่อแบบทั่วไปเบื้องต้น 52

4.3 ประมาณราคาแบบหล่อเบื้องต้นระบบแบบหล่อแบบฝัง 53

4.4 ประมาณค่าแรงแบบหล่อแบบฝังเบื้องต้น 53

4.5 ตารางเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระบบแบบหล่อทั่วไปและแบบฝัง 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ผลของส่วนผสมที่มีผลต่อความดัน	5
2.2 ความดันของคอนกรีตเปรียบเทียบระหว่างความดันของของเหลวกับความดันจริง	6
2.3 ความดันของคอนกรีตเมื่อมีอัตราการเทที่แตกต่างกัน	7
2.4 อุณหภูมิกับความดันของคอนกรีต	8
3.1 แสดงแปลนอาคารที่ระดับเสาเข็มอาคาร	31
3.2 แสดงส่วนประกอบของวัสดุแบบหล่อคอนกรีตทั่วไป	40
3.3 รูปแสดงวัสดุ Pre-Fabricated Concrete Wall , TEXCA® Wall	41
3.4 ฐานราก F8 และระดับพื้นชั้นใต้ดินเพื่อในการออกแบบการทำแบบหล่อคอนกรีต	43
3.5 รูปตัดด้านข้างของฐานราก F8	43
3.6 แสดงแรงดันที่เกิดขึ้นกับแบบหล่อคอนกรีต	44
3.7 แสดงขั้นตอนในการทำงานแบบหล่อคอนกรีตทั่วไป	45
3.8 แสดงขั้นตอนการทำงานแบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง	46
4.1 แสดงการใช้งานภายในสนาม	54
4.2 แสดงการเข้าแบบฐานราก F7	54
4.3 แสดงการเข้าแบบหล่อคานระหว่างฐานราก	55
4.4 แสดงการค้ำยันชั่วคราวด้านภายในแบบหล่อ	55
4.5 แสดงการติดตั้งแบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง	56
4.6 แสดงปัญหาเคลื่อนตัวออกจากแนวขณะเทคอนกรีต	56
4.7 แสดงการบ่มคอนกรีตหลังจากการเทคอนกรีต	57
4.8 แสดงรูปแบบการค้ำยันแบบหล่อ	57
4.9 แสดงการใช้แบบหล่อกับงาน Mat Foundation	58
4.10 แสดงรอยแตกร้าวเนื่องจากเกิดการดัดกับแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จจากการถมดิน	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบริหารงานก่อสร้างในปัจจุบัน มีการนำรูปแบบและเทคนิควิธีการก่อสร้างมาพัฒนา เพื่อผลประโยชน์ของโครงการและบริษัท และที่สำคัญในการบริหารการก่อสร้างเข้ามามีบทบาท เพื่อ ช่วยในการบริหารทรัพยากร บริหารเวลาของโครงการและยังสามารถเลือกวิธีในการก่อสร้างว่าจะใช้ รูปแบบอะไรในการก่อสร้างในปัจจุบันให้เกิดประโยชน์สูงที่สุด

ส่วนในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความจำเป็นที่จะต้องใช้แบบหล่อในการก่อสร้าง ดังนั้น วัสดุที่ใช้ในการหล่อคอนกรีตเสริมเหล็กมีหลายวัสดุที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น ไม้แปรรูป เหล็ก พลาสติก ไม้อัดเคลือบผิว ส่วนในเรื่องค่าใช้จ่ายก็จะแตกต่างกันออกไปในแต่ละวัสดุ และขึ้นอยู่กับแต่ละ โครงการว่าวัสดุที่ใช้หล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ควรลงทุนด้วยการก่อสร้างแบบใดถึงจะคุ้มค่าในการลงทุนในแต่ละโครงการ ทั้งยังส่งผลในการบริหารโครงการทั้งค่าวัสดุ เวลาในการก่อสร้าง และการใช้งานความยากง่าย ของแต่ละวัสดุนั้นๆ

ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทุกชนิดจำเป็นต้องมีการออกแบบและก่อสร้างแบบหล่อและการค้ำยันของคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าตัวโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง จะเห็นได้การพังของแบบหล่อคอนกรีตที่นำมาซึ่งความเสียหายทั้งในด้านงบประมาณและเวลาในการทำงานอาจส่งผลต่อภาพลักษณ์ของงานโดยรวมได้

ดังนั้น ผู้ศึกษาจึงได้สนใจที่จะศึกษาการเปรียบเทียบต้นทุนงานแบบหล่อคานคอนกรีต ระหว่างการใช้วัสดุมาทำแบบหล่อฐานรากและคานด้วยการใช้แบบหล่อคอนกรีตสำเร็จกับแบบหล่อทั่วไปในด้านราคาที่จะนำ มาทำ แบบในการ หล่อคอนกรีตเสริมเหล็กของโครงการ (บริษัท นันทวัน จำกัด) ในการสร้างโครงสร้างใต้ดินว่าเหมาะกับ การลงทุนซื้อและจะคุ้มค่ากับการลงทุนในโครงการหรือไม่ เพื่อเป็นทางเลือกในการตัดสินใจของ โครงการต่อไปในอนาคต ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวจะช่วยในการตัดสินใจและเป็นแนวทางของผู้บริหาร ในบริษัท นันทวัน จำกัดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ปัญหางานวิจัย

1.2.1 ข้อมูลในการทำการวิจัยมีเพียงภายในโครงการ

1.2.2 ลักษณะโครงการเป็นงานอาคารสูง

1.2.3 การเปรียบเทียบราคาวัสดุเทียบภายในปี พ.ศ. 2562

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและวัสดุที่ใช้งานในการทำแบบหล่อคอนกรีตในการก่อสร้างฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กในงานอาคารสูง
2. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกรูปแบบ ชนิดและขนาดวัสดุประกอบแบบหล่อคอนกรีตตามแบบแปลนทางโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กของฐานรากในงานอาคารสูง
3. วิเคราะห์วัสดุ ในการใช้เป็นแบบหล่อ รวมไปถึงการใช้งาน ทำให้การเลือกสรรวัสดุได้รวดเร็วและเหมาะสม

1.4 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในโครงการก่อสร้างอาคารโคนอสของบริษัท นันทวัน จำกัด เฉพาะการใช้แบบหล่อคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการก่อสร้างฐานรากและคานคอดิน เท่านั้น เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบต้นทุนงานแบบหล่อคอนกรีตฐานรากและคานคอดินระหว่างการใช้แบบหล่อคอนกรีตสำเร็จและแบบหล่อทั่วไปที่ใช้ในการทำงาน แล้วนำมาวิเคราะห์และสรุปผลเพื่อเป็นแนวทางในการประมาณงานในโครงการอื่นๆ และการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างงาน Sub Structure ของงานอาคารสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

1.5.1 รวบรวมข้อมูล

- ศึกษาความรู้เกี่ยวกับแรงดันคอนกรีต
- ศึกษาแบบหล่อคอนกรีตฐานราก
- ศึกษาแบบหล่อคอกกรีตคาน
- ศึกษาข้อมูลด้านวัสดุทั่วไป
- ศึกษามาตรฐานและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับแบบหล่อ
- ศึกษาผลกระทบของแรงดันคอนกรีตที่มีผลต่อแบบหล่อ

1.5.2 ศึกษาขั้นตอนและวิธีการทำงานด้วยการสังเกตการณ์

1.5.3 เก็บข้อมูลของแบบหล่อ

- รายการคำนวนแบบหล่อคอนกรีต
- สัมภาษณ์วิศวกรในโครงการ

1.5.4 การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบ

- เปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย
- แนวโน้มจากข้อมูลสัมภาษณ์

1.5.5 สรุปผลการศึกษาพร้อมข้อเสนอแนะจากการศึกษาวิจัย และนำเสนอผู้เชี่ยวชาญหรือที่ปรึกษา หากมีผิดพลาดหรือต้องแก้ไขเพิ่มเติม ปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ แล้วจัดพิมพ์รายงาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทำให้ผู้ที่ต้องการความรู้ด้านแบบหล่อคอนกรีต ได้ทราบข้อมูลของวัสดุในการทำแบบหล่อคอนกรีต

1.6.2 เป็นมาตรฐานในการทำงานด้านแบบหล่อคอนกรีต

1.6.3 เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
แนวความคิดทางทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แบบหล่อคอนกรีต (Concrete Formwork)

การทำงานสำหรับงานแบบหล่อคอนกรีตนั้น จะต้องทำตามข้อกำหนดของ ACI 347 "Recommended Practice for Concrete Formwork" คือการจัดทำแบบที่ใช้ในการหล่อคอนกรีตให้มี รูปร่าง ขนาด แนว และระดับตามที่กำหนด ต้องจัดทำให้มีความแข็งแรงและมั่นคง ที่พอจะรับแรงดัน ในแนวนอนและแนวดิ่ง ที่เกิดจากการเทคอนกรีตและการสั่นของคอนกรีต โดยไม่ทำให้แบบเกิดการ เคลื่อนและเสียหาย และขั้นตอนในการเริ่มงานแบบหล่อนั้น จะต้องทำเรื่องเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับ อุปกรณ์ที่จะใช้ในการทำแบบหล่อ คุณภาพและความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ในงานว่าเหมาะสมกับงาน โดยให้ผู้คุมงานพิจารณาและอนุมัติ ในงานแบบหล่อคอนกรีตผิวเปิด (Exposed Surfaces) หรืองานที่ ต้องการความแม่นยำหรือเที่ยงตรงสูง เช่น แบบหล่อคอนกรีตช่องทางเดินน้ำ แบบจะต้องมีผิวเรียบ ตลอดเวลา หากมีจุดบกพร่อง ต้องมีการเปลี่ยนใหม่ทันที

โดยการก่อสร้างในอาคารสูง ต้องคำนึกถึงความปลอดภัยในการก่อสร้างเนื่องจากขนาดของงานโครงสร้างมีขนาดใหญ่ ในด้านความปลอดภัยของการออกแบบแบบหล่อ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงในอันดับแรกของการใช้งานและในการก่อสร้าง

ในครั้งนี้ได้ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีโดยค้นคว้าเอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบการพิจารณา ดังนี้

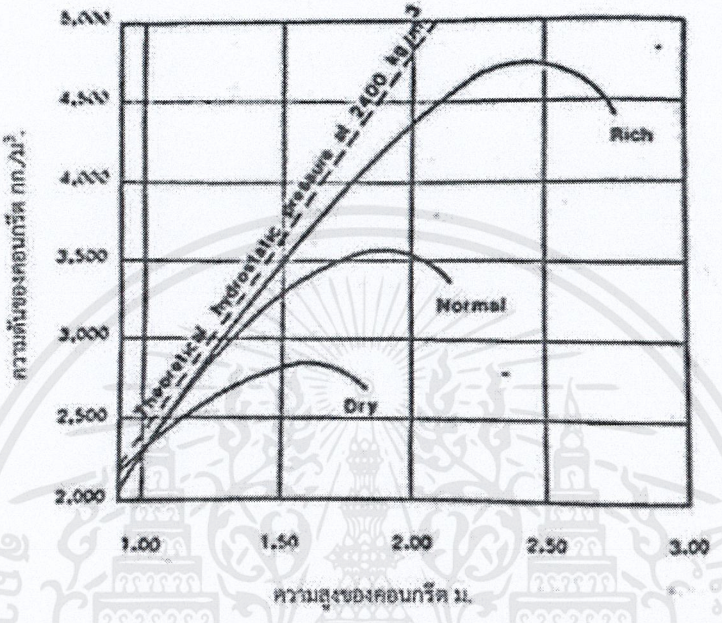
2.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแรงดันคอนกรีตด้านข้าง

2.1.1 ส่วนผสมของคอนกรีต

ส่วนผสมของคอนกรีตจะมีผลต่อแรงดันที่กระทำต่อแบบหล่อคอนกรีตได้ชัดเจน ในรูปของความข้นเหลวของคอนกรีต คือ ถ้าคอนกรีตที่แห้งย่อมมีแรงดันต่อแบบน้อยกว่าคอนกรีตที่เหลว จากผลการศึกษาของ Roby เปรียบเทียบแรงดันจากการวัดจริงจากข้างแบบ โดยพยายามควบคุมอัตราการเทให้สม่ำเสมอที่ 1.2 เมตรต่อชั่วโมง และในขณะที่ทำการทดสอบนี้ อุณหภูมิแปรระหว่าง 20-24 องศาเซลเซียส จากที่เห็นดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ชัดว่ากลุ่มของคอนกรีตที่เหลวมาก จะให้แรงดันของคอนกรีตใกล้เคียงกับแรงดันของเหลวมาก และความดันสูงสุดเกือบถึง 4800 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ในขณะที่คอนกรีตทั่วๆไป ซึ่งมีการยุบตัวประมาณ 7.5-12.5 เซนติเมตร มีความดันสูงสุดเพียง 3,500 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

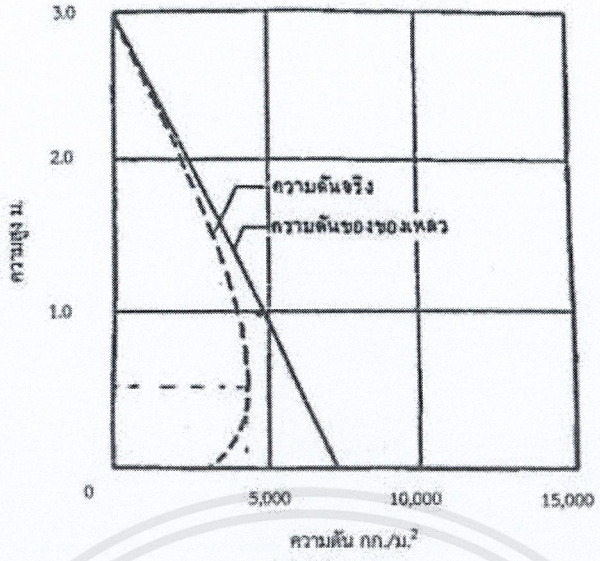
นอกจากนี้ ยังพบว่ายิ่งคอนกรีตเหลว จะทำให้การก่อตัวยิ่งช้า ความดันสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อความสูงของคอนกรีตที่เทมีความสูงประมาณ 2.5 เมตร หลังจากเริ่มเทได้ประมาณ 2 ชั่วโมงในขณะที่คอนกรีตธรรมดามีความดันสูงสุดเมื่อคอนกรีตที่เทมีระดับสูงเพียง 1.9 เมตร และหลังจากเทประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที ดังแสดงในรูปภาพที่ 2-1 ผลของส่วนผสมคอนกรีตที่มีต่อความดัน



ภาพที่ 2.1 ผลของส่วนผสมที่มีผลต่อความดัน

ในกรณีที่คอนกรีตเหนียวหรือคอนกรีตแห้ง ปรากฏว่า ยิ่งจะให้ความดันต่อแบบหล่อคอนกรีตน้อยลง และในขณะเดียวกันก็มีแนวโน้มความดันสูงสุดจะเกิดขึ้น เมื่อระดับความสูงเพียง 1.5 เมตร หรือเกิดขึ้นเมื่อคอนกรีตเทไปแล้วประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 ความดันของคอนกรีตเปรียบเทียบระหว่างความดันของของเหลวกับความดันจริง

ความดันของคอนกรีตเปรียบเทียบระหว่างความดันของของเหลวกับความดันจริง

นอกจากความข้นเหลวของคอนกรีตแล้ว ส่วนคละขอมวลรวม แลจำนวนซีเมนจ์ในส่วนผสมก็มีผลต่อแรงดันของคอนกรีตเหมือนกัน แต่ผลกระทบนั้นยังมีน้อย และไม่ปรากฏให้เห็นเด่นชัดเท่ากับความข้นเหลวคอนกรีต

2.1.2 อัตราการเทคอนกรีต

อัตราการเทมีผลต่อความดันของคอนกรีตมาก เพราะในช่วงที่คอนกรีตยังคงสภาพเป็นของเหลวอยู่นั้น ถ้าระดับคอนกรีตเพิ่มขึ้น แรงดันจะใกล้เคียงกับความดันของของเหลวมาก ดังนั้นระดับของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นมากในช่วงที่คอนกรีตไม่ก่อตัว จะส่งผลโดยตรงต่อแบบหล่อคอนกรีต ดังในรูปภาพที่ 2.3 ซึ่งมีผู้ศึกษาและทดลองค่อนข้างมากในส่วนที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเทคอนกรีต Macklin ได้ทดสอบค่าแรงดันที่มากที่สุดของคอนกรีต 1:2:4 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการคือ

$$Pm = 150R(1/2+1/2(R^{1/2}))$$

โดยที่ Pm = ความดันสูงสุดของคอนกรีต (ปอนด์ต่อตารางฟุต)

R = อัตราการเทคอนกรีต (ฟุตต่อชั่วโมง)

Rodin ได้ศึกษาทำนองเดียวกันกับ Macklin และได้สรุปเป็นแนวทางในการคำนวณหาแรงดันสูงสุด ความสูงของคอนกรีตที่ทำให้เกิดแรงดันสูงสุด รวมไปถึงการคำนวณเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากเริ่มเทที่ทำให้เกิดแรงดันสูงสุด รวมไปถึงการคำนวฯเวลาหลังจากเริ่มเทที่ทำให้เกิดแรงดันสูงสุด ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการคือ

$$Pm = 400R1/3$$

$$Hm = 3.6R1/3$$

$$Tm = 3.6/R2/3$$

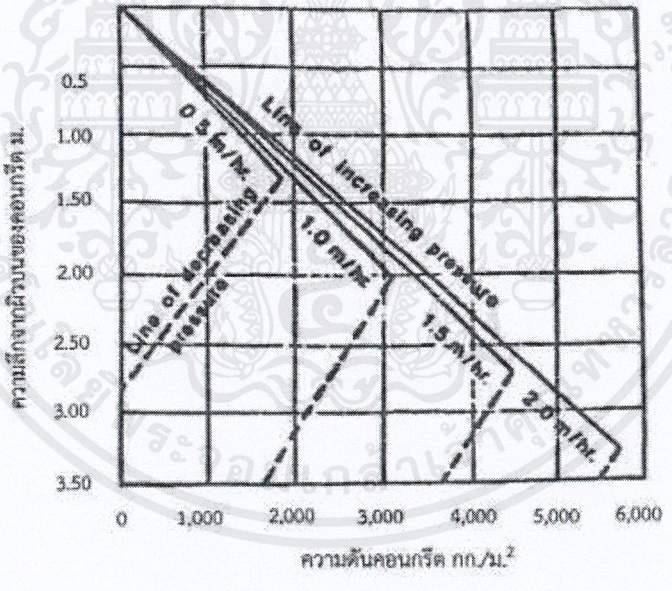
และจากความสัมพันธ์ Pm และ Hm จะได้ว่า Pm = 110Hm

โดยที่ Pm = ความดันสูงสุดของคอนกรีต (ปนด์ต่อตารางฟุต)

R = อัตราการเทคอนกรีต (ฟุตต่อชั่วโมง)

Hm = ความสูงของคอนกรีตที่ทำให้เกิดแรงดันสูงสุด (ฟุต)

Tm = เวลาจากเริ่มเทจนเกิดแรงดันสูงสุด (ชั่วโมง)



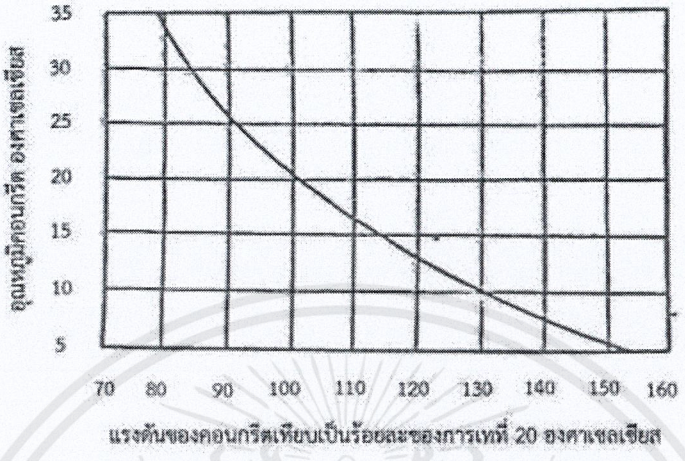
ภาพที่ 2.3 ความดันของคอนกรีตเมื่อมีอัตราการเทที่แตกต่างกัน

2.1.3 อุณหภูมิของคอนกรีต

อุณหภูมิของคอนกรีตเป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ที่มีผลมากต่อแรงดันของแบบหล่อคอนกรีต ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิของคอนกรีตจะมีผลกระทบโดยตรงต่อการก่อตัวบของคอนกรีต การเทคอนกรีตในเขตร้อนที่มีอุณหภูมิสูง จะทำให้เกิดแรงดันต่อแบบหล่อคอนกรีตน้อยกว่าเมื่อทำงานในอากาศที่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเฉพาะหากพบเจอสภาพอากาศหนาวมากๆ เกือบจะถึงจุดเยือกแข็ง อาจทำให้ความดันของคอนกรีตเป็น 2 เท่า เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิทั่วๆไปสำหรับประเทศไทย ในบางกรณีถึงกับต้องใช้เครื่องอบไอน้ำ หรือทำความร้อนให้คอนกรีต เพื่อที่จะให้คอนกรีตเกิดการแข็งตัว



ภาพที่ 2.4 อุณหภูมิกับความดันของคอนกรีต

ปัญหาเกี่ยวกับอุณหภูมิในการเทคอนกรีตในเขตร้อน เช่นประเทศไทย จะต้องควบคุมไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินพิกัด ถึงแม้ว่าการที่อุณหภูมิจะทำให้แรงดันคอนกรีตที่กระทำกับแบบหล่อคอนกรีตน้อยลงก็ตาม ดังแสดงในรูปภาพที่ 2-4 แต่การทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับซีเมนต์ จะทำให้เกิดความร้อนเพื่อขึ้น และความร้อนที่เพิ่มขึ้น ถ้างมากถึงระดับหนึ่งแล้ว จะทำให้เกิดการแตกร้าวภายในมวลคอนกรีต แล้วจะส่งผลให้กำลังของคอนกรีตลดลง ดังนั้น ในขณะที่เทคอนกรีตไม่ควรจะให้อุณหภูมิเกิน 30 องศาเซลเซียส ถ้าร้อนจัดจนมีอุณหภูมิถึง 35-45 องศาเซลเซียส ควรพิจารณาใช้น้ำหล่อเย็นบ่มหล่อเลี้ยงภายในไม่ให้อุณหภูมิเพิ่มมากจนเกินไป แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของแบบหล่อคอนกรีตที่เทด้วย ข้อควรระวังคือพยายามให้เก็บหิน ทราย ไว้ในที่ร่ม และหลีกเลี่ยงการเทคอนกรีตกลางแดดโดยไม่จำเป็น โดยทำงานในตอนเช้าหรือตอนเย็นแทน โดยทั่วไปกำลังของคอนกรีตที่ 28 วัน จะสูงสุดถ้าอุณหภูมิการเทคอนกรีตอยู่ที่ระหว่าง 15-25 องศาเซลเซียส จากกราฟรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าแรงดันที่อุณหภูมิโดยเฉ,ยของประเทศไทย จะอยู่ในสัดส่วน 75-85% เมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันคอนกรีตที่เทในอุณหภูมิดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การก่อตัวของคอนกรีต

การก่อตัวของคอนกรีตมีอิทิพลอย่างหนึ่งต่อความดันของแบบหล่อคอนกรีต ผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแรงดันของคอนกรีตที่ผ่านมา ส่วนใหญ่จะเน้นคอนกรีตที่ผสมด้วยปอร์ตแลนด์ซีมเมนต์แบบที่ 3 หรือปูนซูเปอร์ แต่อย่างไรก็ตาม ปูนซีเมนต์ทั้งสองแบบนี้มีผลแตกต่างกันน้อยมากในแง่ของความดันต่อแบบหล่อ ทั้งนี้เพราะทั้งปูนซีเมนต์ทั้งสองชนิดมีการก่อตัวเริ่มแรกและการก่อตัวสุดท้ายใกล้เคียงกันมาก

ในการก่อสร้างปัจจุบันมีหลายโครงการใหญ่ ที่จำเป็นต้องใช้สารผสมคอนกรีตเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติบางอย่างของคอนกรีต เช่น เร่งการก่อตัว ยืดเวลาการสร้าง เพิ่มความไหลลื่น ซึ่งจะพบว่าสารผสมคอนกรีตเหล่านี้จะมีผลต่อระยะการก่อตัวมาก บางชนิดอาจจะยืดระยะเวลาการก่อตัวออกไปถึง 2-3 ชั่วโมง การยืดระยะเวลาการก่อตัวนี้ สารผสมคอนกรีตบางชินดจะยืดหรือย่นระยะเวลาการก่อตัวเฉพาะเริ่มแรก แต่สารผสมคอนกรีตส่วนใหญ่จะยืดหรือย่นระยะการก่อตัว ทั้งการ่อตัวเริ่มแรก และการก่อตัวสุดท้าย ซึ่งการยืดเวลาการก่อตัวสุดท้าย มีผลกระทบต่อระยะเวลาการถอดแบบ ในแง่ของผลกระทบที่มีต่อความดันที่กระทำต่อแบบหล่อคอนกรีต ACI-622 กล่าวว่าการหน่วงเวลาการก่อตัวของคอนกรีตด้วยสารผสมคอนกรีต ให้อยู่ในสภาพเหลวนานขึ้นคล้ายกับการหน่วงเวลาการก่อตัวจากอุณหภูมิของคอนกรีต คณะกรรมการวิชาการที่ 622 ได้เสนอแนะว่าให้ทดสอบระยะการก่อตัวของคอนกรีตนั้นเปรียบเทียบกับระยะการก่อตัวของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ และให้ใช้ความดันของคอนกรีตที่อุณหภูมิเทียบเท่าอันนั้น [4]

สำหรับคิดความดัน ได้มีข้อเสนอแนะว่า ช่วงเวลาที่หน่วงออกไปจากผลของสารผสมคอนกรีตนั้น อาจคิดเป็นความดันแบบของเหลว โดยคิดความสูงระดับของเหลวจากอัตราการเท แล้วเอาผลความดันอันนั้นไปผนวกเข้ากับความดันที่คิดภายใต้สภาวะการก่อตัวธรรมดา ดังตัวอย่างเช่น

เมื่อใช้สารผสมคอนกรีต แล้วทำให้การก่อตัวสามารถยืดออกไปได้ 2 ชั่วโมง และในระหว่างนั้น ถ้าเทคอนกรีตได้สูง 2.5 เมตร ดังนั้น ความดันของคอนกรีตที่จะต้องบวกเพิ่มจากความดันที่คิดจากคอนกรีตธรรมดา มีค่าเท่ากับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตคูณกับความสูงของคอนกรีตที่เทได้เฉพาะฉะนั้น เท่ากับ 2,400*2.5 = 6,000 กิโลกรับต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 การจี้คอนกรีต

การใช้เครื่องจี้คอนกรีตนั้น เป็นการเพิ่มแรงดันของคอนกรีตต่อแบบหล่ออย่างมาก ในกรณีของการเขย่าแบบภายนอกยังไม่มีผู้สามารถกำหนดค่าที่เพิ่มขึ้นได้แน่นอน แต่ในกรณีของการใช้เครื่องจี้คอนกรีต ACI-622 ได้เสนอแนะว่า ควรจะเพิ่มค่าแรงดันถึงร้อยละ 10-20 กล่าวคือ ถ้าแรงกระทุ้งน้อยๆ เช่น การกระทุ้งด้วยมืออาจจะใช้ค่าแรงดันเพิ่มขึ้นเพียง 10% ในขณะที่เครื่องจี้คอนกรีตที่มีพลังงานสูง อาจจะพิจารณาให้แรงดันเพิ่มขึ้น 20% อย่างไรก็ดี การศึกษาอื่นๆพบว่าจากการจี้ทำให้เกิดแรงดันสูงกว่าที่ ACI-622 กำหนดไว้มาก

2.1.6 ขนาดและรูปร่างของแบบหล่อ

ตามความเป็นจริงแล้ว ความดันของของเหลวอาจจะมีผลกระทบเพียงความหนาแน่นของของเหลวกับความลึก แต่กรณีของคอนกรีต ขนาดและรูปร่างของแบบหล่อคอนกรีตจะมีผลด้วยทั้งนี้เพราะคอนกรีตไม่ได้เป็นของเหลวจริงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้เพื่อความสะดวกในการคิดแรง และนอกจากนี้คอนกรีตยังจะเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นของแข็งตามระยะเวลาการก่อตัวหลังจากที่เริ่มผสม แต่ระยะเวลาการก่อตัวมีผลกระทบจากอุณภูมิของบรรยากาศ ซึ่งพื้นผิวโดยรอบต่อปริมาตรของเนื้อคอนกรีตจะมีผลกระทบอย่างมาก อย่างไรก็ดีส่วนผสมคอนกรีตซึ่งประกอบด้วยมวลรวม ทราย ซีเมนต์ และน้ำ หลังจากการผสมน้ำก็จะเริ่มทำปฏิกิริยาทางเคมีทันที แต่จะค่อยเป็นค่อยไปและเมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัว คอนกรีตจะเกิดความหนืด เพิ่มแรงเสียดทานระหว่างมวลรวมในเนื้อคอนกรีต ทำให้แรงดันของคอนกรีตต่อแบบหล่อลดน้อยลงกว่าแรงดันแบบของเหลว ซึ่งแรงเสียดทานอันนี้จะเกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตเอง จากการที่คอนกรีตค่อยๆก่อตัว ความฝืดที่ผิวของมวลรวมและแรงระหว่างเนื้อคอนกรีตกับแบบหล่อคอนกรีต จากสภาพผิว ขนาด และรูปร่างแบบหล่อคอนกรีต

2.1.7 ปริมาณและการกระจายของเหล็กเสริม

ปริมาณ ขนาด และการจัดเหล็กเสริมนั้นส่วนโคงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีผลต่อแรงดันคอนกรีตอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพราะโดยทั่วไปแล้วโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทุกชนิดจะต้องมีเหล็กเสริมอยู่ร่วมกับคอนกรีตเสมอ ดังนั้นแรงดันคอนกรีตก็อาจจะแบ่งรับไปได้จำนวนหนึ่งด้วยเหล็กเสริม แต่จะมากน้อยหรือในอัตราเท่าไหร่ของแรงดันธรรมดาในคอนกรีตหลา ยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจัง ทั้งนี้เพราะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องมาก อีกทั้งในการคำนวนออกแบบชิ้นส่วนของอาคารย่อมมีจำนวนเหล็กแตกต่างกันไปตามน้ำหนักบรรทุก และการจัดเหล็กในรูปแบบต่างๆก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อมจะแตกต่างกันตามประเภทของโครงสร้างหรือแรงกระทำภายในโครงสร้าง ซึ่งเป็นการยากที่จะนำมาร่วมพิจารณาในการคิดแรงดันคอนกรีต

เหล็กเสริมยืนขนาดใหญ่ และจำนวนมากๆ เช่า เสารหรือกำแพงชั้นล่างๆของอาคารสูง จะพบว่า เหล็กถี่มาก แรงดันทางด้านข้างของคอนกรีตที่ขึ้นอยู่ในแกนคอนกรีตแทบจะกล่าวได้ว่าถูกโอบรัดไปด้วยเหล็กเกินกว่าครึ่งหนึ่ง และแบบหล่อรับเฉพาะส่วนที่เป็นเปลือกหุ้มนอกเหล็กเสริมเท่านั้น แต่ในทำนองกลับกัน ถ้าเผื่อมีเหล็กเสริมขนาดเล็กและระยะห่างมากๆ จะโอบอุ้มแรงดันของคอนกรีตไม่ได้เลย แบบหล่อคอนกรีตก็จะต้องแบกรับภาระตามที่ควรจะเป็น เหล็กเสริมที่อยู่ในแบบก่อนการเทคอนกรีตนี้นอกจากจะช่วยอุ้มหรือโอบเนื้อคอนกรีตเหลวอีกด้วย ทำให้คอนกรีตไหลได้ไม่สะดวกและลดความดันต่อแบบหล่อ อนึ่ง ในการเทคอนกรีตบางครั้งที่มีการปล่อยคอนกรีตสูงจากท้องแบบแรงกระแทกส่วนใหญ่จะถูกแบกรับด้วยเหล็กเสริมที่ขวางอยู่ เช่น ในกรณีของคาน เป็นต้น

2.2 ทฤษฎีน้ำหนักและแรงดันคอนกรีต

แรงจากคอนกรีตที่กระทำต่อแบบหล่อ แบ่ง ออกได้เป็นแรงกระทำตามแนวดิ่ง ได้แก่ ผลรวมน้ำหนักทที่แบบหล่อต้องรับ และแรงกระทำต่อแบบหล่อ ด้านข้าง ได้แก่แรงดันของคอนกรีตเหลว

2.2.1 น้ำหนักและแรงดันของคอนกรีต แรงในแนวดิ่งที่กระทำต่อแบบหล่อประกอบด้วย น้ำหนักของคอนกรีต น้ำหนักของแบบหล่อเอง น้ำหนักจร และแรงกระแทกในระหว่างทำการเท คอนกรีต

$$W_T = W_{Dc} + W_{Df} + W_L \qquad 2.1$$

เมื่อ

W_T คือ ค่ารวมของแรงแนวดิ่งที่กระทำต่อแบบหล่อคอนกรีต

W_{Dc} คือ ค่าน้ำหนักของคอนกรีตรวมกับเหล็กเสริม มีค่าแปรผันได้จาก 1,700 กก./ม³ ถึง 2,700 กก./ม³ ซึ่งทาง ACI และ Comite Euro-International de Beton (CEB) ได้ แนะนำให้ใช้น้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็ก 2,400 กก./ม³ ในขณะที่ ทางอังกฤษหรือ CIRA นิยมใช้ 2,500 กก./ม³

W_{Df} คือ ค่าน้ำหนักของแบบหล่อโดยทั่วไปแบบหล่อคอนกรีตควรมีน้ำหนัก เฉลี่ยจาก 15 กก./ม² ถึง 75 กก./ม² แตกต่างกันตามชนิดวัสดุ เพื่อความสะดวกจึงมีการเลือกใช้ค่าเฉลี่ย สำหรับน้ำหนักของแบบหล่อที่ 50 กก./ม²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W_L คือ ค่าน้ำหนักจรและแรงกระแทกในระหว่างทำการเท คอนกรีต มีค่า แปรผันได้จาก 200 กก./ม³ ถึง 500 กก./ม³ ทาง ACI กำหนดว่าจะต้องไม่น้อยกว่า 245 กก./ม² ส่วนทาง CEB และ CIRA ได้กำหนดให้ใช้แปรผันตามความหนาของคอนกรีตที่เท ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงน้ำหนักบรรทุกจรเพื่อใช้ในการออกแบบโดยมาตรฐาน CEB และ CIRA

ความหนาของคอนกรีต(ม.)	น้ำหนักจร(กก/ม.²)
0 - 0.20	100
0.20 - 0.30	150
0.30 - 0.60	200
> 0.60	250

2.2.2 แรงดันด้านข้างของคอนกรีต แรงดันของคอนกรีตมีค่าแปรเปลี่ยนไม่เท่ากันยาก ที่จะควบคุม เนื่องจากมีปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแรงดัน ดังนี้ส่วนผสมของคอนกรีต อัตราการเท ของคอนกรีต การก่อตัวของคอนกรีต อุณหภูมิของคอนกรีต วิธีการเทและจี้คอนกรีต ลักษณะผิวของแบบ หล่อคอนกรีต จำนวนและการกระจายของเหล็กเสริม น้ำหนักของคอนกรีตและความลึกของแบบหล่อ สำหรับ การคำนวณแรงดันที่เกิดขึ้นต่อแบบหล่อมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบมากมายดังที่ กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นทางสถาบัน คอนกรีตต่างๆได้ศึกษาและเสนอเป็นแนวทางเพื่อการออกแบบไว้ดังนี้

ก. การคำนวณตามมาตรฐาน ACI-347 การคำนวณแรงดันคอนกรีตตาม ACI – 347 จะพิจารณาตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อแรงดันเพียงอัตราการเท และอุณหภูมิของคอนกรีต ซึ่งการคำนวณหาแรงดันที่เกิดขึ้นแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้ดังนี้

แบบหล่อกำแพง

$$P = (C_W)(C_C)(150 + \frac{9000R}{T}) \qquad 2.2$$

เมื่อ

P คือ แรงดันด้านข้างของคอนกรีต (ปอนต์/ฟุต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_W คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยน้ำหนัก

C_C คือ ค่าสัมประสิทธิ์เคมี

R คือ อัตราการเทของคอนกรีต (ฟุต./ชม.)

T คือ อุณหภูมิของคอนกรีต (F)

โดยค่าแรงดันที่ใช้ในการออกแบบต้องไม่มากกว่า 0.98 กก./ซม.^{2} หรือ Ph (โดยที่ Ph = γH ;γ = 2,400 กก./ม.^{2}) และต้องไม่น้อยกว่า 0.29 กก./ซม.^{2}

ข. การคำนวณตามมาตรฐาน CEB (Comite Euro-International du Beton) ทาง CEB ได้แบ่งการคำนวณออกเป็น 3 กรณีและค่าแรงดันที่ใช้ในการออกแบบ คือ ค่าที่น้อยที่สุดที่ได้จากการ คำนวณจากแต่ละ 3 กรณีคือ

คิดแบบความดันของเหลว

$$P = \gamma h \qquad 2.3$$

เมื่อ

P คือ แรงดันของคอนกรีตแบบของเหลว (กก./ซม.^{2})

γ คือ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (กก./ซม.^{3})

h คือ ความสูงของคอนกรีตที่เท (ม.)

คิดผลกระทบต่อการก่อตัว

$$P_s = 2400kR + 500 \qquad 2.4$$

เมื่อ

P_s คือ แรงดันของคอนกรีตพิจารณาการก่อตัว (กก./ซม.^{2})

R คือ อัตราการเทคอนกรีต (ม./ชม.)

k คือ ค่าปรับให้สอดคล้องกับอุณหภูมิ ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าปรับ k ตามความข้นเหลวและอุณหภูมิของคอนกรีต

การยุบตัวของคอนกรีต (ซม.)	ค่าปรับ k อุณหภูมิของคอนกรีตขณะที่เท (องศาเซลเซียส)					
	5	10	15	20	25	30
2.50	1.45	1.10	0.80	0.60	0.45	0.35
5.00	1.90	1.45	1.10	0.80	0.60	0.45
7.50	2.35	1.80	1.35	1.00	0.75	0.55
10.00	2.75	2.10	1.60	1.15	0.90	0.65
12.50	3.20	2.45	1.88	1.35	1.05	0.75
15.00	3.64	2.78	2.14	1.54	1.20	0.85
17.50	4.07	3.12	2.41	1.68	1.35	0.95

คิดผลขนาดด้านแคบของแบบหล่อ

$$P_a = 300R + 1000d + 1500 \qquad 2.5$$

เมื่อ

P_a คือ แรงดันของคอนกรีตพิจารณาการก่อตัว (กก./ซม.^{2})

R คือ อัตราการเทคอนกรีต (ม./ซม.)

d คือ ขนาดด้านแคบของแบบหล่อ (ม.)

2.3 ทฤษฎีวิเคราะห์การรับแรงของวัสดุ

2.3.1 แรงดัด (Flexure) ชิ้นส่วนส่วนใหญ่ของแบบหล่อจะมีพฤติกรรมแรงดัดแบบ คาน โดยมีลักษณะการกระทำของแรงเป็นแบบจุดหรือแบบแผ่กระจาย และลักษณะการรองรับที่แตกต่างกัน การคำนวณนี้สามารถใช้ค่าที่สรุปในตารางที่ 2.3 ได้ตามแต่กรณีซึ่งสูตรที่แสดงไว้ในตารางนี้ จะครอบคลุม เฉพาะในกรณีที่พิจารณาใช้บ่อย หน่วยแรงดัดของวัสดุ (Flexural Stress) การคำนวณหน่วยแรงดัดของวัสดุ จะพิจารณาที่จุดที่ห่างจากแกนสะเทินมากที่สุดจากสมการ

$$f_b = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{S}; f_b \leq F_b \qquad 2.6$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

f_b คือ หน่วยแรงดัดที่พิจารณา (กก./ซม.^{2})

F_b คือ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของวัสดุ (กก./ซม.^{2})

M คือ แรงดัดสูงสุดที่ใช้ในการคำนวณ (กก.-ซม.)

c คือ ระยะไกลสุดจากแกนสะเทินของหน้าตัด (ซม.)

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัด (ซม.^{4})

S คือ โมดูลัสของหน้าตัด (ซม.^{2})

2.3.2 แรงเฉือน (Shearing) โดยทั่วไปแรงเฉือนจะมีค่าสูงใกล้จุดรองรับ สามารถใช้ ค่าได้จากตารางที่ 2.3 แต่เพื่อความสะดวกในการคำนวณอาจใช้ค่าประมาณได้ดังนี้

คานช่วงเดียว

$$V = \frac{wl}{2} \qquad 2.7$$

คานต่อเนื่อง

$$V = \frac{5wl}{8} \qquad 2.8$$

เมื่อ

V คือ ค่าแรงเฉือนของคาน (กก.)

w คือ น้ำหนักบรรทุกแบบแพร่กระจาย (กก./ม.)

l คือ ความยาวช่วงระหว่างช่วงรองรับ (ม.)

ผลจากแรงเฉือนก่อให้เกิดหน่วยแรงเฉือนบนหน้าตัดแบ่งออกได้เป็น หน่วยแรงเฉือน แนวดิ่งมีทิศทางแนวเดียวกับแรงที่กระทำ และหน่วยแรงเฉือนแนวนอนมีทิศทางตั้งฉากกับแรงที่กระทำ ตามปกติที่จุดใดจุดหนึ่งบนหน้าตัดจะมีค่าหน่วยแรงเฉือนทั้งสองทิศทางเท่ากัน โดยคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{VQ}{Ib} \qquad 2.9$$

เมื่อ

ν คือ หน่วยแรงเฉือน (กก./ซม.)

V คือ แรงเฉือน (กก.)

Q คือ โมเมนต์อันดับ 1 ของพื้ นที่หน้าตัด (ซม.^{3})

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัด (ซม.^{4})

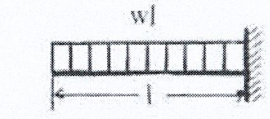
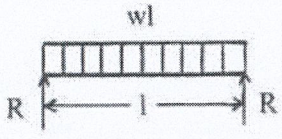
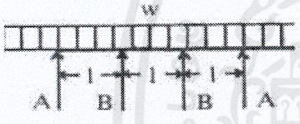
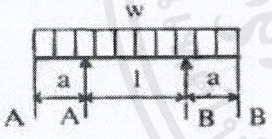
b คือ ความกว้างของหน้าตัด ณ จุดพิจารณา (ซม.)

ในกรณีหน้าตัดไม้รูปสี่ เหลี่ยมจะมีจุดอ่อนในการแยกตัวในเนื้อไม้ตามแนวเสี้ยน ซึ่งแสดงว่าแรงเฉือนในแนวแกนเป็นตัวควบคุมความสามารถในการรับแรง ดังนั้นในการออกแบบต้องใช้หน่วยแรง เฉือนสูงสุดที่ เกิดขึ้นในหน้าตัดมาพิจารณา คือ

$$v = \frac{3V}{2bd} \qquad 2.10$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงสูตรคำนวณพฤติกรรมแบบคาน

แบบคานและน้ำหนักบรรทุก	แรงเฉือน V_{max} (กก.)	แรงดัด M_{max} (กก.-ซม.)	การแอ่นตัว Δ_{max} (ซม.)
	wl	$\frac{wl^2}{2}$	$\frac{wl^4}{8EI}$
	$\frac{wl}{2}$	$\frac{wl^2}{8}$	$\frac{5wl^4}{384EI}$
	$\frac{5wl}{8}$	$\frac{wl^2}{8}$	$\frac{wl^4}{185EI}$
	$\frac{5wl}{8}$	$\frac{wl^2}{10}$	$\frac{wl^4}{145EI}$
	$\frac{wl}{2}$	$\frac{wl^2}{8}-\frac{wa^2}{2}$	$\frac{wa}{4EI}\left(\frac{l^3}{6}-a^2l+\frac{a^3}{2}\right)$

เมื่อ

ν คือ หน่วยแรงเฉือน (กก./ซม.)

V คือ แรงเฉือน (กก.)

b คือ ความกว้างของหน้าตัด (ซม.)

d คือ ความลึกของหน้าตัด (ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทาง American Institute of Timber Construction (AITC) ได้แนะนำมาตรฐานการออกแบบตงหรือคานไม้จะลดความยาวช่วงลงได้ 2 เท่าของความลึกโดยลดปลายละ 1 เท่าของความลึก

ดังนั้นสมการการคำนวณจะได้

คานช่วงเดียว

$$v = \frac{w}{2}(L - 2d) \tag{2.11}$$

คานต่อเนื่อง

$$v = \frac{5w}{8}(L - 2d) \tag{2.12}$$

ในกรณีหน้าตัดรูปอื่นซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเหล็ก เช่น รูปไอ รูปรางน้ำ หรือรูปกล่อง หน่วยแรงเฉือนสูงสุดบนหน้าตัดจะมีค่าใกล้เคียงกับหน่วยแรงเฉือนเฉลี่ยมาก ซึ่งคำนวณได้จาก

$$v = \frac{V}{b_w d} \tag{2.13}$$

เมื่อ

v	คือ	หน่วยแรงเฉือน (กก./ซม.)
V	คือ	แรงเฉือน ณ จุดพิจารณา (กก.)
b_w	คือ	ความกว้างของหน้าตัด (ซม.)
d	คือ	ความลึกของหน้าตัด (ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 แรงดึง (Tensile) หน่วยแรงดึงที่ เกิดขึ้นในวัสดุได้แก่

$$f_s = \frac{T}{A_t} \qquad 2.14$$

ซึ่งหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของวัสดุตามวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดว่า

เหล็ก $F_t = 0.60F_y$

ไม้ $F_t = \frac{F_{//}}{F.S.}$

เมื่อ

T คือ แรงดึง (กก.)

f_s คือ หน่วยแรงดึง (กก./ซม.^{2})

A_t คือ เนื้อที่หน้าตัดรับแรงดึง (ซม.^{2})

F_t คือ แรงดึงที่ยอมให้ของวัสดุ (กก.)

$F_{//}$ คือ แรงอัดในแนวขนานเสี้ยนของไม้ (กก.)

$F.S.$ คือ ค่าความปลอดภัยในการออกแบบ (กก.)

2.3.4 แรงอัด (Compression) ชิ้นส่วนของแบบหล่อคอนกรีตที่รับแรงอัดส่วนใหญ่ จะเป็นเสาตู้หรือค้ำยัน ซึ่งรองรับน้ำหนักของคอนกรีตและส่วนอื่นๆของแบบหล่อทั้งหมด พฤติกรรมรับแรงอัด จะเหมือนกับพฤติกรรมของเสาทั่วไป สิ่งที่พิจารณาในการออกแบบ คือ กำลังของเสาค้ำยัน การชะลูดของ เสา และการเฉศูนย์ของแรงบนหน้าตัด โดยค่าหน่วยแรงของวัสดุ แบ่งออกได้เป็น

เสาไม้ทาง AITC ได้เสนอสูตรหาหน่วยแรงอัดของวัสดุโดยยึดถือกำลังอัดขนานเสี้ยนควบคู่กับความชลูด คือ

$$F_a = \frac{0.3E}{(L/d)^2} \qquad 2.15$$

เมื่อ

F_a คือ หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^{2})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ (กก./ซม.^{2})

L คือ ความสูงของเสา (ซม.)

d คือ ความหนาของหน้าตัดไม้ (ซม.)

ค่า F_a ที่เกิดขึ้นจะต้องมีค่าไม่เกินค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ซึ่งจะพิจารณาค่าหน่วย แรงอัดที่ ขนานกับแนวเสี้ยนเป็นหลัก และอัตราส่วนความชะลูด (L/d) ต้องมีค่าไม่เกิน 50

เสาเหล็ก จะมีปัญหาส่วนใหญ่เรื่องความชะลูดมาก ซึ่งต้องพิจารณาการยึดรั้งเพื่อ เพิ่มประสิทธิภาพการรับแรงตามมาตรฐานกำหนดของ American Association State Highway and Transportation Officials (AASHO) หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของวัสดุ คือ

$$F_a = 1{,}120 - 0.021(L/r)^2 \qquad \text{(Riveted Ends)}$$

$$F_a = 1{,}120 - 0.027(L/r)^2 \qquad \text{(Pinned End)}$$

เมื่อ

F_a คือ ค่าหน่วยแรงอัดของวัสดุ (กก./ซม.^{2})

L คือ ความยาวของวัสดุ (ซม.)

r คือ รัศมีไจเรชั่น $\left(r = \sqrt{I/A}\right)$ (ซม.)

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เชีย (ซม.^{4})

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (ซม.^{2})

เหล็กที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นเหล็กประเภท A-36 ซึ่งมีกำลังแรงดึงที่จุดคลาก 2,500 กก./ซม. 2 สูตรคำนวณ อาจปรับปรุงจากสูตรในมาตรฐาน AASHO (สมการที่ 2.18 และ 2.19) ได้ดังนี้ (เอกสิทธิ์, 2538)

$$F_a = 1{,}250 - 0.033\left(\frac{L}{r}\right)^2 ; L/r < 132 \qquad 2.16$$

$$F_a = \frac{10{,}000{,}000}{(L/R)^2} ; \frac{L}{r} \geq 132 \qquad 2.17$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

F_a คือ ค่าหน่วยแรงอัดของวัสดุ (กก./ซม.^{2})

L คือ ความยาวของวัสดุ (ซม.)

r คือ รัศมีไจเรชั่น $(r = \sqrt{I/A})$ (ซม.)

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เชีย (ซม.^{4})

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (ซม.^{2})

โดยค่าหน่วยที่ยอมให้ตามสมการที่ 2.18 และ 2.19 ต้องไม่เกิน 1,000 กก./ซม.^{2} ตามเทศบัญญัตินครกรุงเทพ ถ้ามีค่าสูงกว่า 1,000 กก./ซม.^{2} ต้องใช้ค่า 1,000 กก./ซม.^{2} เป็นค่าหน่วยแรงอัด ของวัสดุ

2.3.5 การแอ่นตัว (Deflection) การคำนวณการแอ่นตัวของแบบหล่อคอนกรีตไม่ จำเป็นต้องให้ละเอียดตามการวิเคราะห์ทางโครงสร้าง ทั้งนี้ เพราะมีความไม่แน่นอนของสภาพการยึดรั้ง ค่า โมดูลัสของวัสดุโดยเฉพาะไม้เมื่อเปียกน้ำกับตอนที่แห้งมีค่าแตกต่างกันมาก ACI ได้กำหนดสูตรคำนวณการ แอ่นตัวของชิ้นส่วนแบบหล่อ คือ

คานช่วงเดียว

$$\Delta_{max} = \frac{5wl^4}{384EI} \qquad 2.18$$

คานต่อเนื่อง

$$\Delta_{max} = \frac{wl^4}{128EI} \qquad 2.19$$

เมื่อ

Δ_{max} คือ ค่าการแอ่นตัว (ซม.)

w คือ น้ำหนักบรรทุก (กก. / ซม.^{2})

l คือ ความยาวช่วง (ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุแบบหล่อ (กก. / ซม.^{2})

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เชีย (ซม.^{4})

ระยะแอ่นตัวสูงสุดที่กำหนดไว้มีค่าเท่ากับแผ่นผิวคือ $(L/360)$ ดังนั้นถ้าควบคุม การแอ่นตัวตามที่กำหนดจะสามารถคำนวณหาความยาววิกฤติ (L_{cr}) ได้คือ

คานช่วงเดียว $L_{cr} = 0.60x\sqrt[3]{\frac{E}{w}}$

คานต่อเนื่อง $L_{cr} = 0.71x\sqrt[3]{\frac{E}{w}}$

2.4 การทำการติดตั้ง และการถอดแบบ

เทคนิคในการทำแบบให้เรียบสวยประกอบและถอดได้ง่ายโดยสิ้นเปลืองแรงงานน้อย และ สามารถใช้ซ้ำได้หลายๆครั้งเป็นศาสตร์ที่ละเอียดอ่อน ต้องการประสบการณ์ แล้วติดตามผลตั้งแต่ เริ่มแรกจนถึงขั้นถอดแบบ แบบหล่อโครงสร้างคอนกรีตแต่ละอย่างก็แตกต่างกันไปตามลักษณะ การทำงานและรูปร่างของชิ้นส่วนโครงสร้างเหล่านั้น ยกตัวอย่างง่ายๆ เช่น การทำแบบคานหรือเสา เพื่อป้องกันไม่ให้ขอบบิ่นหรือหลุดออก ขณะที่ถอดแบบจะต้องลบมุมที่แบบ การตั้งแบบเสาหรือ กำแพงให้ได้ดิ่งและแนวจะต้องมีขอบเตะ (kicker) การป้องกันไม่ให้ผิวกำแพงเหลื่อมกันบริเวณรอยต่อของแผงไม้แบบต้องใช้ชะโดและสลักล็อค เป็นต้น ทั้งนี้ไม่แต่เพียงเพื่อทุ่นเวลาการประกอบแบบหรือถอดแบบเท่านั้น แต่ยังทำให้ผิวคอนกรีตสวย ได้ดิ่งได้แนวตามที่ต้องการอนึ่งการแซะ งัด หรือทุบด้วยชะแลงหรือค้อน นอกจากจะทำให้แบบหล่อคอนกรีต บิด งอ เสียรูปร่าง หรือแตกหักแล้วยังอาจส่งผลจากแรงสะเทือนทำให้คอนกรีตที่มีอายุยังอ่อนเกิดการแตกร้าวหรือเสียหายได้ การจะประหยัดไม้แบบจากการทำการประกอบและการถอดจะช่วยได้มาถ้าพิจารณาถึง

1. คิดถึงวิธีการเท การประกอบและการถอดแบบ ที่ใช้เครื่องไม้เครื่องมือน้อยที่สุดและควรจะเป็นเครื่องมือที่ง่ายที่สุด เช่น ค้อน เป็นต้น

2. พยายามพัฒนาระบบที่ใช้คนและแรงงานที่น้อยที่สุด โดยใช้ชิ้นส่วนเบาติดตั้งง่ายถอดแบบง่าย สิ้นเปลืองเวลาน้อยและได้งานที่ดี

3. ปลูกฝังนิสัยประหยัดให้ช่างแบบทุกคน ให้ตระหนักถึงการประหยัดวัสดุและการเก็บรักษาอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนต่างๆไม่ให้ร่วงหาย เช่น ไม้จะตัดก็ต่อเมื่อจำเป็นจริงๆ หรือเมื่อรื้อแบบจะต้องรักษาชิ้นส่วนต่างๆไว้ให้ครบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พยายามถอดแบบให้เร็วที่สุดเท่าที่กำลังของคอนกรีตจะอำนวย จะถอดได้ง่าย ประหยัดเวลาในการถอดและสามารถนำไปใช้ซ้ำได้มากครั้งขึ้น

5. ทำเครื่องหมายที่แบบแต่ละส่วนหรือแต่ละแผงเพื่อการจัดเข้าใช้ซ้ำอย่างมีประสิทธิภาพไม่ต้องเสียเวลาเลือกหา

6. ให้มีการยึดรั้งค้ำยันเพื่อนให้เสถียรภาพดีขึ้น และเพิ่มความสามารถรับน้ำหนักหรือแรงได้มากขึ้นโดยเพิ่มวัสดุเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

7. ควรมีการศึกษาการทำงานเทียบกับเวลา(Time and motion study) เพื่อประกอบการ ปรับปรุงระบบที่ประหยัดขึ้น

วิธีการประกอบแบบและการถอดแบบ

ในการทำแบบหล่อคอนกรีต โดยทั่วไปจะมีการเตรียมแบบไว้ก่อนโดยยึดแผ่นผิวเข้ากับ เคร่าด้วยระยะห่างที่กำหนด ทั้งขอบด้านบน ล่าง และข้างๆ ต้องจัดให้มีลิ้นหรือบังใบ เพื่อเข้าแบบได้สนิท ประกอบและถอดแบบได้ง่าย สะดวก การประกอบจะเริ่มจากการวางเสาค้ำยันก่อน ถ้าเป็น ตุ๊กตาแบบตัวที ก็จะประกอบให้ได้รูปร่างตัวทีก่อน แล้วจึงยกขึ้นตั้งตามแนวคาน ในตอนนี้จะต้อง ปรับระดับเพื่อจะใช้แบบท้องคานวางบนคานรองรับ ปรับให้ได้แนวแล้วตอกยึดเข้ากับคานรองรับ เท่าที่จำเป็น การเข้าแบบจะสะดวก ถ้าขอบล่างของข้างแบบมีเคร่ายึดตามแนวนอนตลอดความยาว คาน และใช้ไม้ 1 ½ " x 3" ตอกขนานกับท้องแบบเว้นเป็นร่องระหว่างขอบท้องแบบเพื่อสอดข้างแบบ ได้พอดี การประกอบแบบมีขั้นตอนดังนี้

1. การประกอบแบบข้าง ซึ่งมีแผ่นผิวและเคร่ายึด โดยตอกยึดเข้าด้วยกันเป็นแผงตามแบบก่อสร้างที่กำหนด

2. ตอกยึดคานขวางรับท้องแบบและเสาค้ำยันเข้าด้วยกัน

3. ตั้งตุ๊กตา จัดตัวแรกและตัวสุดท้ายให้ยึดแนบเสาไว้ก่อน ตัวอื่นๆ จัดให้ได้ระยะและ ยึดรั้งด้วยคยันทางขวางเข้ากับตัวแรกและตัวสุดท้ายที่ยึดแนบเสาไว้ก่อน

4. วางท้องแบบบนคานรองรับ ปรับให้ได้แนวด้วยการยึดเข้ากับคานรับท้องแบบ และ ปรับให้ได้ระดับ

5. เข้าข้างแบบให้แนบสนิทกับขอบท้องแบบ แล้วยึดกับคานรับท้องแบบ

6. ปรับข้างแบบให้ได้ขนาด แล้วยึดปากแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ใส่เหล็กยึดรั้งแบบข้างถ้าจำเป็น

การถอดแบบกระทา ได้ 2 ลักษณะคือ ถอดแบบทั้งหมด กับถอดแบบเฉพาะแบบข้างก่อน เหลือแต่ท้องแบบไว้ จนกว่าคอนกรีตจะได้อายุถึงจะถอดออกภายหลัง การทำงานสำหรับกรณีหลังจะยุ่งยากพอสมควรโดยเฉพาะเมื่อหล่อคานและพื้นพร้อมกัน

2.5 การค้ำยัน

ค้ำยันสำหรับแบบหล่อคอนกรีต ทำหน้าที่เป็นเสาถ่ายน้ำหนักของแบบคอนกรีตและส่วนประกอบต่างๆ ลงพื้นล่างที่ยันไว้ อาจเป็นไม้ เหล็กแป๊บ หรือเหล็กรูปพรรณ ส่วนประกอบหลักของค้ำยันจะแบ่งออกได้ 4 ส่วน คือ แป้นขาหยั่ง ตัวเสา ตัวปรับความสูง และแป้นรองรับ ปัญหาหลักของค้ำยันก็คือเรื่องโก่งดุ้ง เพราะค้ำยันทำหน้าที่เสมือนเสาซึ่งเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างรับแรงอัด ดังนั้นจึงอาจจะต้องมีการยึดรั้งเพื่อป้องกันการดุ้งที่บริเวณกึ่งกลางความสูงหรือระหว่างช่วงความสูงของ ค้ำยันนั้น ในบางกรณีอาจใช้นั่งร้านเหล็กประกอบเป็นชุดทำหน้าที่เป็นค้ำยันได้เช่นกัน

2.6 วัสดุแบบหล่อคอนกรีต

การเลือกวัสดุทำแบบหล่อคอนกรีตจะต้องพิจารณาถึงความยากง่ายในการทำแบบ จำนวนครั้งที่ใช้ จำนวนวัสดุและราคาวัสดุ ในแง่การทำแบบไม้อาจจะสะดวกที่สุดเพราะสามารถตัด ต่อ หรือยึดได้ง่าย แต่จำนวนครั้งอาจใช้ได้น้อยกว่า ถ้าพิจารณาในแง่จำนวนครั้งที่ใช้ เหล็กอาจจะใช้ได้เป็น 50 – 100 เท่าของไม้ แต่ปัญหาคือมีน้ำหนักมาก ตัด ต่อ หรือติดตั้งไม่สะดวก เหมาะกับงานที่ใช้ซ้ำมากและมีเครื่องมือสำหรับใช้ทุ่นแรงเพื่อประกอบและติดตั้ง ส่วนการใช้ไฟเบอร์กลาสหรือพลาสติก ก็อาจจะมีราคาแพงมาก การนำเอาวัสดุเหล่านี้มาผสมผสานกันเป็นแบบหล่อสำเร็จรูป เพื่อการใช้งานได้หลายรูปแบบ จะเป็นแนวทางที่ดีที่สุดในการเลือกวัสดุแบบหล่อคอนกรีต ควรพิจารณาและคำนึงถึง

1. ใช้วัสดุให้น้อยที่สุด ประหยัดที่สุดและเบา สะดวกในการประกอบและติดตั้ง
2. ใช้วัสดุที่ราคาถูก แต่แข็งแรงพอในการรับแรง โดยมีผิวเรียบตามลักษณะของงาน
3. ควรทำเป็นแผงมาตรฐานเพื่อใช้ประกอบแบบได้หลายลักษณะ

สำหรับในงานก่อสร้างของโครงการการซื้อวัตถุดิบมาทำแบบหล่อคานจะประกอบด้วยวัตถุดิบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ไม้แปรรูป วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้กำหนดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ โดย อาศัยผลการทดสอบ แรงดัด กำลังอัด และแรงเฉือน โดยแบ่งตามกลุ่มตามชนิดของไม้ได้แก่ ไม้เนื้ออ่อนมาก ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อปานกลาง ไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้อแข็งมาก ทั้งนี้ใช้ตัวคูณเพื่อความปลอดภัยแตกต่างกันตาม ประเภทของกลสมบัติอย่างไรก็ตามในสภาพการทำแบบหล่อคอนกรีตนั้น อาจพิจารณาค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ตามกลุ่มชนิดไม้ตามตารางที่ 2.4 โดยหน่วยแรงแรงดึงที่ยอมให้มีค่าเท่ากับแรงอัดในแนวขนานเสี้ยน

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐานอาคารไม้ (ว.ส.ท.)

ประเภทไม้	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม.^{2})	แรงดัด (กก./ซม.^{2})	แรงอัด (กก./ซม.^{2})		แรงเฉือน (กก./ซม.^{2})
			ขนานเสี้ยน	ตั้งฉากเสี้ยน	
ไม้เนื้ออ่อนมาก	78,900	60	45	12	-
ไม้เนื้ออ่อน	94,100	80	60	16	8
ไม้เนื้อปานกลาง	112,300	100	75	22	10
ไม้เนื้อแข็ง	136,300	120	90	30	12
ไม้เนื้อแข็งมาก	189,000	150	110	40	15

2.6.2 ไม้อัดและไม้อัดเคลือบผิว ไม้อัดและไม้อัดเคลือบผิวใช้ทำแบบหล่อคอนกรีตเฉพาะในส่วนที่เป็นผิวสัมผัสกับคอนกรีต เท่านั้น และมีส่วนประกอบอื่นๆ ที่ใช้ทำเคร่าหรือตัวยึดส่วนมากนิยมใช้ไม้ แปรรูป เพราะสะดวก และหางานตามท้องตลาด และถ้ามีการใช้ซ้ำของแบบหล่อมาก ก็ควรมีการทำโครงเคร่าที่แน่นหนา โดยรอบแบบหล่อ เพื่อเสริมความเข็งแรงของแบบหล่อ

ประเภทของไม้อัด ไม้อัดได้แบ่งประเภทของการใช้งานเป็น 3 ประเภทคือ

1. ประเภทใช้งานภายนอก เป็นไม้อัดที่ถูกยึดติดด้วยฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ ซึ่งทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศได้ จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับงานภายนอกอาคารหรือในที่โดนน้ำและเปียกชื้น เช่น ผนังภายนอกอาคาร แบบหล่อคอนกรีต ประตูห้องน้ำ

2. ประเภทใช้งานภายใน เป็นไม้อัดที่ถูกยึดติดด้วยกาวยูเรียฟอร์มาดีไฮด์ ซึ่งทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศได้ในระดับปานกลาง เหมาะสำหรับงานภายในอาคารหรือที่ไม่ถูกกับความชื้น เช่น ผนังกั้นภายในห้อง ฝ้าเพดาน งานเฟอร์นิเจอร์

3. ประเภทใช้งานชั่วคราว เป็นไม้อัดที่ถูกยึดติดด้วยกาวไม่ทนต่อความ เปียกชื้น เหมาะสำหรับใช้งานชั่วคราวเท่านั้น เช่น งานป้ายระยะสั้น บรรจุภัณฑ์ชั่วคราว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความทนทานหรือความเสียหายของไม้อัด

1. ทางชีวภาพ ความเสียหายที่เกิดจากเชื้อรา หรือแมลง

2. ทางฟิสิกส์ ความเสียหายที่เกิดจากการถูกความร้อน ความชื้น การยืด การหดตัว การ แตกร้าว และโดยการกระทำต่อสภาพลมฟ้าอากาศ

3. ทางกล ความเสียหายที่เกิดจาการเสียดสี การแตกหักเพราะมีน้ำหนักที่มากมา กระทำ

4. ทางเคมี ความเสียหายที่เกิดจากการถูกกรด ด่าง และถูกไฟไหม้

การเสียหายจากสาเหตุแรกนั้นเป็นความเสียหายที่สามารถป้องกันได้โดยการใช้น้ำยารักษาเนื้อไม้ ซึ่งป้องกันการทำลายของเชื้อราและแมลงได้ ทำให้สามารถยืดอายุการใช้งาน โดยปกติแล้วยารักษาเนื้อไม้จะเป็นของเหลวเพื่อให้ซึมผ่านเนื้อไม้ได้สะดวก แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. ครีโอโสต หรือสารผสมที่ได้จากน้ำมันถ่านหิน มีประสิทธิภาพสูง ไม่ละลายน้ำ ช่วย ไม่ให้ไม้แตกร้าว ไม่กัดโลหะ ใช้กับงานที่ต้องการความคงทนมากๆ เช่น ไม้หมอนรถไฟ ไม้เสาไฟฟ้า วิธีการอัดน้ำยาแบบไม่เต็มเซลล์ ข้อเสียคือมีกลิ่นแรง ทาสีทับไม่ได้เพระมีสีดำ

2. สารเคมีผสมสารละลายปรเภทน้ำมัน เช่น Tanalith T เป็นสารเคมีประเภทละลายใน น้ำมันมีสารออกฤทธิ์เป็น Permethrinวิธีการใช้จุ่ม พ่นหรือทาก็ได้

3. สารเคมีผสมน้ำ ที่ใช้กันบ่อยๆ เช่น สารพวก Boron Compound (น้ำยาอัดขาว), CCA:CopperCromeAsenic (น้ำยาอัดเขียว) วิธีการใช้คือการอัดแบบเต็มเซลล์ ไม้ที่ใช้ส่วนมากเป็น งานประเภทงานภายใน

ขนาดของไม้อัดตามท้องตลาดส่วนมากคือ 4 x 8 ฟุต หรือ 1.22 x 2.44 เมตร โดยความหนาแสดงในตารางที่ 2.7 การผลิตในปัจจุบันการผลิตมีมาตรฐานก าหนดไว้เพียง 2 ประเภท คือ การใช้งานภายในและการใช้งานภายนอก ซึ่งแตกต่างกันที่การผลิต อย่างไรก็ตามจากการสำรวจ การผลิตพบว่า ปัจจุบันมีการผลิตไม้อัดสำหรับการใช้งานภายนอกยังไม่แพร่หลาย สำหรับการใช้งาน ทั่วไปจะเป็นผิวไม้ยาง แต่สำหรับงานคอนกรีตผิวจะเคลือบฟิลม์ดำชนิดพิเศษที่ใช้สำหรับงานทำแบบหล่อ โดยทั่วไปไม้อัดจะแบ่งออกเป็น 3 เกรด คือ แบบพิเศษ แบบดี และแบบมีตำหนิ ซึ่งในงาน คอนกรีตธรรมดาใช้แบบดีก็อาจจะเพียงพอถ้ามีการฉาบปูนทับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงขนาดไม้อัดในท้องตลาด

ขนาด (กว้าง x ยาว) (ฟุต หรือ มม.)	ความหนา (มม.)					
4 x 8 (122 x 224)	3.2	4	6	10	15	20

ตารางที่ 2.6 แสดงขนาดไม้อัดในท้องตลาด

ขนาดไม้อัด (มม.)	รัศมีการดัดต่ำสุด	
	ตั้งฉากกับเสี้ยน	ตามแนวเสี้ยน
4	0.60	1.20
6	0.60	1.50
10	0.90	2.40
15	3.60	6.00

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าความดันของคอนกรีตที่ยอมให้เมื่อเคร่าตั้งฉากกันแนวเสี้ยน (กก./ซม.2)

ความหนาไม้อัด (มม.)	ระยะห่างของเคร่ายึด(ซม.)					
	10	20	30	40	50	60
4	17920	6852	3045	1713	1096	761
6	31200	15600	10278	5781	2340	2569
10	31200	15600	10400	7800	6240	5200
15	31200	15600	10400	7800	6240	5200
20	31200	15600	10400	7800	6240	5200

คุณสมบัติเชิงกลของไม้อัดตามมาตรฐาน American Plywood Association (APA) ซึ่งแบ่งตามประเภทของการใช้งานคือ Class I Class II และ Structure I ตามตารางที่ 2.5 เป็นหน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับการออกแบบ ส่วนค่าแอ่นตัวที่ยอมให้นิยมใช้ (L/360)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 แสดงหน่วยแรงที่ยอมให้ตาม APA

รายการ	Class I	Class II	Structure I
หน่วยแรงดัด (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	1,930	1,330	1,930
(กก./ตร.ซม.)	135	93	135
หน่วยแรงเฉือน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	80	72	102
(กก./ตร.ซม.)	5.6	5.0	7.1
โมดูลัสยืดหยุ่น (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	1,650,000	1,430,000	1,600,000
(กก./ตร.ซม.)	115,500	100,000	112,000

2.6.3 เหล็ก เหล็กที่จำหน่ายในท้องตลาดส่วนใหญ่เป็นโครงสร้าง A-36 ตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) คือมีกำลังดึงที่จุดคลาก 2,520 กก./ซม.^{2} มีกำลัง ประลัยอยู่ระหว่าง 4,000 - 5,600 กก./ซม.^{2} และให้การยืดตัวสูงสุดเกินกว่า 20 % ส่วนเหล็กหน้าตัดบางมีสอง ระดับกำลังคือ 2,400 กก./ซม.^{2} และ 3,200 กก./ซม.^{2} ในท้องตลาดส่วนใหญ่จะเป็นชนิดที่มีกำลังดึงที่จุดคลาก 2,400 กก./ซม.^{2} กำลังดึงประลัย 4,100 กก./ซม.^{2} และมีการยืดตัวสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 23 % หน่วยแรงที่ ยอม ให้อาจพิจารณาใช้ตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ว.ส.ท. 1003-18 หรือตามมาตรฐานการ ออกแบบของ AISC แห่งสหรัฐอเมริกา

2.6.4 เหล็กยึดรั้ง เหล็กยึดรั้งที่นิยมใช้กันในการก่อสร้าง ได้แก่ เหล็กกลมขนาดปกติมี ขายตามท้องตลาดและเหล็กยึดรั้งประเภทเหล็กยึดรั้งสำเร็จรูป ซึ่งเหล็กยึดรั้งสำเร็จรูปนี้ ขนาดของเหล็กยึดรั้ง แตกต่างกันตามแต่ผู้ผลิต การเลือกใช้ควรพิจารณาจากคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ขนาดจะแปรตามระยะห่าง ระหว่างจุด ขนาดของแผงแบบและตัวเสริมกำลังของแบบหล่อ ซึ่งที่มีจำหน่ายมีอยู่ 4 แบบ แบบ B สำหรับ คอนกรีตเปลือยทั้ง 2 ผิว แบบ C สำหรับคอนกรีตที่มีการฉาบทั้ง 2 ด้าน แบบ BC เหมาะสำหรับคอนกรีต เปลือยด้านหนึ่งและตกแต่งอีกด้านหนึ่ง และแบบ D ใช้สำหรับงานคอนกรีตที่มีความดันสูงมากๆ กำลังในการ รับแรงดึงของเหล็กยึดรั้งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 แสดงกำลังดึงทดสอบของเหล็กยึดรั้ง

ชนิด	ขนาด (นิ้ว)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	กำลังประลัย (กก.)	กำลังใช้งาน (กก.)	ความยาว (ซม.)
B , C , BC	3/8	0.50	3,000	2,100	18 – 31
D	1/2	0.90	4,000	2,800	25 - 36

2.7 การใช้ซ้ำและการบำรุงรักษา

จำนวนครั้งในการใช้แบบหล่อคอนกรีตซ้ำเป็นกลไกอันสำคัญที่สุดอันหนึ่งในการควบคุม แบบหล่อคอนกรีตให้ประหยัด ยกตัวอย่างเช่น แบบหล่อสำเร็จรูป ซึ่งให้เช่าเป็นเดือน การบริหารงาน เทคอนกรีตหรือการใช้ไม้แบบได้มากครั้งก็จะยิ่งทุ่นค่าแบบมากเท่านั้นมีเฉพาะค่าแรงเท่านั้นที่แปรตามจำนวนครั้งที่ใช้ดังนั้นถ้าค่าเช่าตารางเมตรละ 250บาท /เดือน และค่าแรง 30 บาท ต่อต่อตารางเมตร เดือนหนึ่งถ้าเทคอนกรีตได้เพียงครั้งเดียว ค่าไม้แบบต่อตารางเมตรตกราว 280 บาทแต่ถ้าสามารถเทได้ถึง 4 ครั้งต่อเดือน ก็จะลดค่าไม้แบบลงเหลือเพียง 92.50 บาท ต่อตารางเมตร ประหยัดได้เกิน 200% แบบหล่อคอนกรีตสำหรับกำแพงหรือข้างคานบางครั้งสามารถถอดแบบได้ภายใน 24 ชั่วโมง หรือ 36 ชั่งโมง ถ้ามีการควบคุมคุณภาพคอนกรีตที่ดีจะเห็นได้ว่าถ้าสามารถเทได้ทุกวันค่าต้นทุนแบบแทบจะเป็นศูนย์ โดยจะเสียเฉพาะค่าแรงในการประกอบติดตั้งและถอดเท่านั้น

อย่างไรก็ดีจำนวนครั้งในการใช้ซ้ำยังจะต้องขึ้นกับวัสดุที่ใช้และการบำรุงรักษาอีกด้วย แผงแบบที่มีการใช้ซ้ำจะต้องเสริมขอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรงเช่น เหล็ก เพื่อสามารถทนทานต่อ การเข้าแบบและการถอดแบบได้ดีส่วนแบบผิวแบบควรจะต้องแยกออกง่ายตอนถอด ถ้าเป็นไม้อาจจะต้องฉาบผิวพิเศษด้วยน้ำยาทำลายการยึดเกาะ หรือฉาบผิวด้วยพลาสติกอย่างไรก็ตาม หลังการถอดแบบแต่ละครั้งต้องจัดระบบให้มีคนแซะขี้ปูนที่ติดตามข้างแบบออก ทาน้ำมันให้เรียบร้อยแล้วเก็บเข้าที่เป็นกลุ่มๆตามชนิดหรือเครื่องหมายที่ทำไว้ อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่นค้ำยันตัวยึด น๊อต สลักต่างๆ ต้องเก็บเข้าที่แยกเป็นพวก ๆ เช่นกัน ในบางกรณีอาจจะต้องมีหน่วยดูแลและบำรุงรักษาโดยเฉพาะการประกอบและการถอดแบบก็ต้องฝึกให้ช่างทุกคนตระหนักถึงการถนอมละบำรุงรักษาควบคู่กันไปด้วย จึงจะเป็นการประหยัดค่าไม้แบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การบริหารงานแบบหล่อคอนกรีต

เพื่อให้การใช้แบบหล่ออย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด จึงต้องจัดให้มีการบริหารงาน แบบหล่อคอนกรีตที่ดีเช่นเดียวกับ กำลังคนหรือเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง สำหรับงานเล็กๆ อาจให้งานแบบหล่อคอนกรีตในแต่ละส่วนเป็นกิจกรรมหนึ่ง (Activity) ในโครงการ (Project) และ เมื่อเขียนไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของขบวนการการทำงาน หาเส้นทางวิกฤติได้แล้ว จึงอาจจะแยกกิจกรรมเฉพาะที่เกี่ยวกับแบบหล่อออกมาในลักษณะของ Bar chart หรือ Time-scale Network เพื่อให้รู้ตารางการทำงานของแบบหล่อแต่ละอย่าง ในด้านของผู้บริหารโครงการจะต้องรู้ว่าใช้กำลังคนเท่าไร เครื่องมืออะไรบ้าง จำนวนมากน้อยแค่ไหน และถ้าพบว่า ส่วนไหนขาดหรือมีมาก จนเกินไปก็อาจจะต้องปรับตารางเวลารวมไปถึงกระบวนการทำงานของโครงการเลยก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

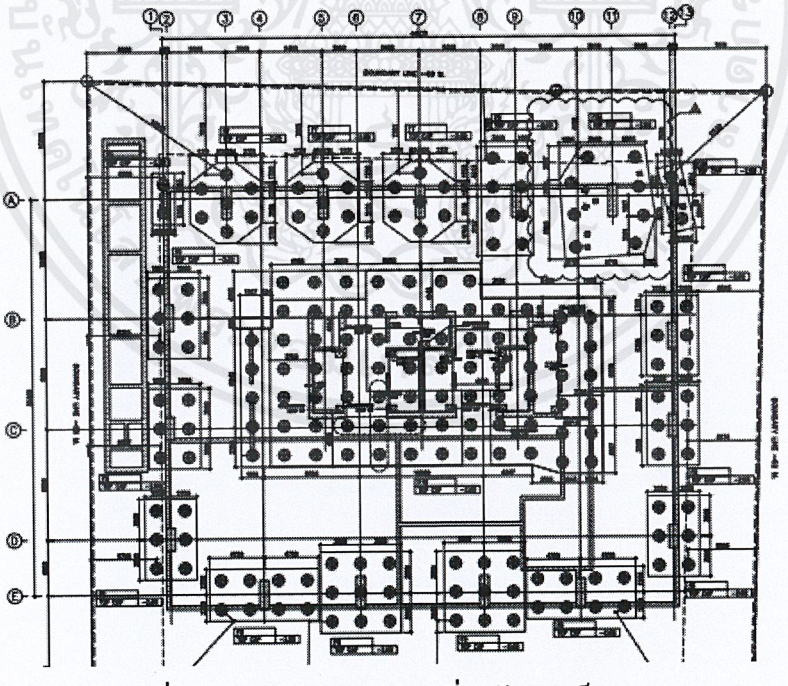
3.1 กล่าวนำ

จากการศึกษาการออกแบบแบบหล่อคอนกรีตและการค้ำยันที่ศึกษาจากกรณีศึกษาหน้างานจริงโดยจะแบ่งผลการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วนคือ รายการคำนวนแบบหล่อค้ำยันด้านข้างและการเปรียบเทียบวัสดุด้วยการสัมภาษณ์ข้อมูลจากวิศวกร ซึ่งเมื่อศึกษาทำความเข้าใจการคำนวณและข้อมูลที่ได้แล้วนั้น จะนำไปทำการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียจากการเลือกใช้วัสดุ

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.1 การรวบรวมข้อมูลแบบก่อสร้าง

โครงการ Kronos Office Tower มีที่ตั้งอยู่ที่ ถนนสาทรใต้ แขวงสีลม เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร ลักษณะโครงการเป็นงานอาคารสูง มีจำนวนชั้นทั้งหมด 28 ชั้น กับอีก 1 ชั้นใต้ดิน โดยทางโครงการจะเปิดเป็นอาคารสำนักงานให้เช่า โดยการวิจัยจะทำการคำนวณออกแบบ ประมาณราคา และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทำแบบหล่อฐานราก ที่มีลักษณะแปลนของอาคารและฐานรากที่ใช้ในงานวิจัยดังนี้



ภาพที่ 3.1 แสดงแปลนอาคารที่ระดับเสาเข็มอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีจากหนังสือ

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎี จากหนังสือทางวิชาการเกี่ยวกับด้านการออกแบบเป็นหลัก ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับการคำนวณแรงดันคอนกรีต ต่อแบบ, ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณแรงดันคอนกรีตและทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณแบบหล่อ คือ ที่ได้กล่าว มาแล้วในบทที่ 2 ส่วนการเก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านประมาณราคาวัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อที่มีอยู่ตามท้องตลาด จะเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากราคากลางทางกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์

3.2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีจากผู้มีประสบการณ์

ในการเก็บรวบรวมข้อมูล จากผู้มีประสบการณ์สำหรับนำมาพิจารณานั้น จะเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเกณฑ์ในด้านการ ออกแบบและการประมาณราคาของระบบแบบหล่อ โดยวิธีการสัมภาษณ์จากผู้มีประสบการณ์ โดยในการ สัมภาษณ์นี้ได้สัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์จะเป็นข้อมูลจากประสบการณ์ในการ ทำงานที่ผ่านมา นอกเหนือจากข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์แล้วได้เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้เพิ่มเติมจากเอกสาร, แบบก่อสร้างที่ได้รับในระหว่างการสัมภาษณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ตัวอย่างการคำนวณของการออกแบบงานแบบหล่อคอนกรีตด้านข้างทั่วไป

ออกแบบงานแบบหล่อคอนกรีตรับโครงสร้างแรงด้านข้าง ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก F8 สูง 2.5 เมตร หนา 4.5 เมตร ยาว 9.5 เมตร อัตราการเทคอนกรีตเท่ากับ 1 เมตรต่อชั่วโมง การจี้คอนกรีตแบบสั่นภายใน ใช้การผสมคอนกรีตแบบ Type I โดยไม่มีวัตถุปอซโซลานและสารผสมเพิ่ม และอุณหภูมิเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ค่าการยุบตัวของคอนกรีตเท่ากับ 17.5 เซนติเมตร หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเท่ากับ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยกำหนดการโก่งตัวที่ยอมรับได้เท่ากับ L/360 ของความยาวช่วง [3]

3.3.1 คำนวณแรงดันคอนกรีตด้านข้าง

1.1 ตามมาตรฐาน ACI-347

จากสมการที่ 2.2

เมื่ออัตราการเทคอนกรีต ≤ 2m/hr

$$P = (C_W)(C_C)(150 + \frac{9000R}{T}) \quad ; R = \text{อัตราการเทคอนกรีต}$$

$$= (1.2)(1.0)(150 + \frac{9000(3.28)}{(86)}) \quad ; \text{อัตราการเทคอนกรีต 1 m/hr = 3.28 ft/hr}$$

= 591.907 lb/ft² = 2889.93 kg/m² ; อุณหภูมิ 30 °C = 86 °F

โดยค่าแรงที่ใช้ในการออกแบบต้องไม่มากกว่า 0.98 kg/cm² หรือ P_h (โดยที่ P_h = γh = 2400 x 2.5 = 6000 kg/m²) และต้องการไม่น้อยกว่า 0.29 kg/cm²

1.2 ตามมาตรฐาน CEB

1.2.1 คิดแบบความดันของเหลว จากสมการที่ 2.3

P = 2400xH = 2400x2.5 = 6000 kg/m²

1.2.2 คิดแบบผลกระทบการก่อตัว

จากตารางที่ 2.2 แสดงค่าปรับ k ตามความขับเหลวและอุณหภูมิของคอนกรีต

ที่ ค่าการยุบตัวของคอนกรีต 17.5 เซนติเมตร และ อุณหภูมิของคอนกรีตขณะเท 30 °C มีค่า k = 0.65 [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.4

P_s = 2400kR + 500 = (2400x0.95x1)+500

= 2780 kg/m²

ค่าแรงดันของคอนกรีตที่ใช้ในการคำนวณเท่ากับ Min[2900,6000,2780] = 2780 kg/m²

3.3.2 การคำนวณแบบหล่อเหล็ก (หาระยะเคร่า)

เลือกวัสดุที่เลือกใช้จากตารางที่ 3-2 ได้ค่าดังนี้ แผ่นผิวใช้ไม้อัดยาง Class I หนา 15 มม. (หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ 135 กก./ซม.² , E โมดูลัสยืดหยุ่นไม้อัด Class I = 115,500 kg./cm³) [10]

ตารางที่ 3.1 แสดงหน่วยที่ยอมให้ตาม APA

รายการ	Class I	Class II	Structure I
หน่วยแรงดัด (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	1,930	1,330	1,930
(กก./ตร.ซม.)	135	93	135
หน่วยแรงเฉือน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	80	72	102
(กก./ตร.ซม.)	5.6	5.0	7.1
โมดูลัสยืดหยุ่น (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	1,650,000	1,430,000	1,600,000
(กก./ตร.ซม.)	115,500	100,000	112,000

คำนวณแรงดันกระทำต่อแบบด้านข้างจากที่คำนวณมาในด้านบน

W = $\frac{2780\times0.3}{100}$ = 8.34 kg/cm (ต่อ 0.3 เมตร)

ก.ระยะห่างสูงสุดของเคร่าที่รองรับไม้อับ เนื่องจากผลการดัดโมดูลัสหน้าตัดของไม้อัดจากตารางที่ 3.2 มีค่าเท่ากับ 5.56 cm³ , E โมดูลัสยืดหยุ่นไม้อัด class I = 115,500 kg/cm³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติต่างๆของไม้อัด

Example Effective Section Properties for Plywood: 12-in. Unit Width of B-B Plyform, Class I

Plywood Net Thickness (in.)	12-in Width, Used with Face Grain Parallel to Span			12-in. Width, Used with Face Grain Perpendicular to Span			Weight (psf)
	Moment of Inertia (I) (in.^{4})	Effective Section Modulus (S) (in.^{3})	Rolling Shear Constant (Ib/Q) (in.^{2})	Moment of Inertia (I) (in.^{4})	Effective Section Modulus (S) (in.^{3})	Rolling Shear Constant (Ib/Q) (in.^{2})	
1/2	0.077	0.268	5.153	0.024	0.130	2.739	1.5
5/8	0.130	0.358	5.717	0.038	0.175	3.094	1.8
3/4	0.199	0.455	7.187	0.092	0.306	4.063	2.2
7/8	0.296	0.584	8.555	0.151	0.422	6.028	2.6
1	0.427	0.737	9.374	0.270	0.634	7.014	3.0

จากสมการที่ 2.6

$$F_b = \frac{M}{S} = \frac{WL^2}{10S}$$

$$L = 3.16\sqrt{\frac{SF_b}{W}}$$

$$L = 3.16\sqrt{\frac{5.56 \times 135}{8.34}} = 29.98 \text{ cm.}$$

ข.ระยะห่างสูงสุดของเคร่าที่รองรับไม้อัด เนื่องจากผลของการแอ่นตัวโมเมนต์อินเนอร์เชียของไม้อัดที่ใช้ จากตารางที่ 3-3 เท่ากับ 5.37 cm^4 จากสมการที่ 2.18

$$\frac{5WL^4}{384EI} = \frac{L}{360}$$

$$L = 0.6\sqrt[3]{\frac{EI}{W}}$$

$$L = 0.6\sqrt[3]{\frac{115500 \times 5.37}{8.34}} = 25.20 \text{ cm.}$$

เพราะฉะนั้นใช้ระยะเคร่าเท่ากับ 20 cm

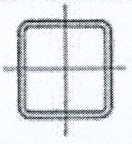
3.3.3 การหาระยะคานรับเคร่า

วัสดุที่เลือกใช้ : ขนาดเคร่า เหล็กรูปพรรณ มอก 107 เกรด HS41□ 50 x 50 x 2.3 mm จากตารางที่ 3.3 เปิดค่า S_x = 6.36 cm^3 I_x = 15.9 cm^4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติหน้าตัดเหล็กกลวงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

คุณสมบัติของหน้าตัดเหล็กกลวงสี่เหลี่ยมจตุรัส



ขนาด	ความหนา (t) mm	น้ำหนัก (w) kg/m	พื้นที่หน้าตัด (A) cm^2	Moment of Inertia (I) cm^4	Section Modulus (S) cm^3	Radius of Gyration (r) cm
25×25	1.6	1.12	1.432	1.28	1.02	0.94
38×38	1.6	1.78	2.264	4.92	2.59	1.47
50×50	1.6	2.38	3.032	11.71	4.68	1.96
	2.3	3.34	4.252	15.86	6.34	1.93
63×63	1.6	2.88	3.672	20.68	6.69	2.37
	2.3	4.06	5.172	28.31	9.44	2.34
75×75	2.3	5.14	6.552	57.10	15.23	2.95
	3.2	7.01	8.927	75.53	20.14	2.91
90×90	2.3	6.23	7.932	100.79	22.40	3.56
	3.2	8.51	10.847	134.81	29.89	3.52
100×100	2.3	6.95	8.852	139.73	27.95	3.97
	3.2	9.52	12.127	187.28	37.46	3.93

คุณสมบัติเหล็ก $E = 2.04 \times 10^6$ ksc $F_b = 0.6f_y = 0.6(2400) = 1440$ ksc

จากระยะเคร่า 20 cm

ก. ระยะห่างสูงสุดของคานที่รับเคร่า เนื่องจากผลของการดัด

$W = \frac{2780 \times 0.2}{100}$ = 5.56 kg/cm

จากสมการที่ 2.6

$$F_b = \frac{M}{S} = \frac{WL^2}{10S}$$

$$L = 3.16\sqrt{\frac{SF_b}{W}}$$

$$L = 3.16\sqrt{\frac{6.36 \times 1440}{5.56}} = 128.25 \text{ cm.}$$

ข. ระยะห่างสูงสุดของคานที่รับเคร่า เนื่องจากผลของการแอ่นตัว

จากสมการที่ 2.18

$$\frac{5WL^4}{384EI} = \frac{L}{360}$$

$$L = 0.6\sqrt[3]{\frac{EI}{W}}$$

$$L = 0.6\sqrt[3]{\frac{115500 \times 5.37}{8.34}} = 108.01 \text{ cm}$$

เพราะฉะนั้นใช้ระยะคานรับเคร่า 100 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>หมายเหตุ</u> ในการคำนวณระยะเคร่าและคานรับเคร่า ควรคำนวณระยะห่างเนื่องจากผลของแรงเฉือนด้วยแต่เนื่องจากผลที่เกิดจากแรงเฉือนนั้นมีค่าน้อยมากที่จะทำวัสดุเกิดการวิบัติ

3.3.4 การหาระยะเหล็กยึดรั้ง

กำหนดขนาดคานรับเคร่า เหล็กรูปพรรณ มอก 107 เกรด HS41 □ 100 x 50 x 2.3 mm จากตารางที่ 3-5 ได้ค่า S_x = 17 cm³ I_x = 84.9 cm^4 [14]

ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติหน้าตัดเหล็กกลวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

HOLLOW STEEL SECTIONS
For General Structural Purposes
Rectangular Tubes

Side Length DxB		Thickness (mm.)	Calculate Weight (kg./m.)	Cross Sectional Area (cm^2)	Geometrical Moment of Inertia (cm^4)		Modulus of Section (cm^3)		Radius of Gyration (cm.)	
in.	mm.	T	W	A	I_x	I_y	Z_x	Z_y	i_x	i_y
3 x 1 3/4	75 x 45	2.30	4.06	5.17	38.73	17.58	10.33	7.81	2.74	1.84
		3.20	5.50	7.01	50.56	22.90	13.48	10.18	2.69	1.81
3 x 2	75 x 50	2.30	4.24	5.40	41.77	22.36	11.14	8.94	2.78	2.03
		3.20	5.75	7.33	54.68	29.22	14.58	11.69	2.73	2.00
4 x 2	100 x 50	1.20	2.75	3.51	46.92	16.20	9.38	6.48	3.66	2.15
		1.40	3.20	4.07	54.14	18.66	10.83	7.46	3.65	2.14
		1.70	3.85	4.91	64.57	22.22	12.93	8.89	3.63	2.13
		2.00	4.50	5.74	74.81	25.63	14.96	10.25	3.61	2.11
		2.30	5.14	6.55	84.60	28.91	16.92	11.56	3.59	2.10
		2.50	5.56	7.09	90.92	31.02	18.18	12.41	3.58	2.09

คุณสมบัติเหล็ก $E = 2.04 \times 10^6$ ksc $F_b = 0.6f_y = 0.6(2400) = 1440$ ksc

จากระยะคานรับเคร่า 100 cm

ก. ระยะห่างสูงสุดของจุดรองรับเนื่องจากผลของการดัด

$$W = \frac{2780 \times 1}{100} = 27.8 \text{ kg/cm}$$

จากสมการที่ 2.6

$$F_b = \frac{M}{S} = \frac{WL^2}{10S}$$

$$L = 3.16\sqrt{\frac{SF_b}{W}}$$

$$L = 3.16\sqrt{\frac{17 \text{ x } 1440}{27.8}} = 93.77 \text{ cm.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ระยะห่างสูงสุดของจุดรองรับ เนื่องจากผลของการแอ่นตัว

จากสมการที่ 2.18

$$\frac{5WL^4}{384EI} = \frac{L}{360}$$

$$L = 0.6\sqrt[3]{\frac{EI}{W}}$$

$$L = 0.6\sqrt[3]{\frac{2.04\times10^6 \times 84.9}{27.8}} = 110.40 \text{ cm}$$

เพราะฉะนั้นใช้ระยะของจุดรองรับ 90 cm เพื่อให้เหล็กยึดรั้งสามารถยึดบนคานรับเคร่าได้พอดี

3.3.5 การหาขนาดของเหล็กยึดรั้ง

- พื้นที่เหล็กยึดรั้ง 1 ตัว ต้องรับแรงดันคอนกรีต 0.9 x 1.0 = 0.9 m²
- แรงดึงในเหล็กยึดรั้ง 2780 x 0.9 = 2502.0 kg
- $F_t = 0.6f_y = 0.6(2400) = 1440$ ksc
- ดังนั้นพื้นที่ของเหล็กยึดรั้งมีค่าเท่ากับ $T = F_tA_s$

  จะได้ว่า $A_s = \frac{T}{F_t} = \frac{2502.0}{1440}$ = 1.74 cm²
- เพราะฉะนั้นใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กจาก $A_s = \frac{\pi d^2}{4}$
- ได้ d = $\sqrt{\frac{1.74(4)}{\pi}}$ = 1.49 cm
- แต่เนื่องจากไม่มีเหล็กยึดขนาด 14.9 mm (มีเฉพาะ 9 และ 12 mm) จึงสมมติเลือกใช้เหล็กยึดรั้งขนาด 12 mm
- พื้นที่เหล็กยึดรั้ง $\pi(1.2)^2/4$ = 1.13 cm²
- แรงดึงในเหล็กยึดรั้ง = 1.13 x 1440 = 1627.2 kg
- พื้นที่ที่เหล็กยึดรั้ง 1 ตัว ต้องรับแรงดันคอนกรีต = $\frac{1627.2}{2780}$ = 0.45 m²
- เพราะฉะนั้น ใช้เหล็กยึดรั้งขนาด 12 mm ต่อพื้นที่ 0.45 m² หรือ

  ระยะ @ = $\frac{0.45}{0.9}$ = 50 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การตรวจสอบขนาดเหล็กป๊อบค้ำยัน

คิดที่ระยะ 1 เมตร (คิดต่อเมตร) , ค่ามุมที่ค้ำ 60 องศา ($\cos 60^\circ$ = 0.50)

แรงดันของคอนกรีตต่อแบบข้างที่ต่างกัน

- สมมุติให้ระดับคอนกรีตต่างกัน = 0.25 ม.
- แรงดันที่ต่างกัน = $\frac{2400 \times 1 \times 0.25^2}{2}$ = 75 กก./ม.
- แรงในค้ำยัน = $\frac{70}{\cos 60}$ = 150 กก./ม.

แรงดันเนื่องจากระยะเยื้องศูนย์ของกกำแพง

กำหนดให้เยื้องศูนย์ได้ไม่เกิน 10 %

- แรงดัดเยื้องศูนย์ = (2400x2.5x1x1)x(0.1x1) = 600 กก./ม.
- แรงในแนวราบ = 600/2.5 = 240 กก./ม.
- แรงในค้ำยัน = 240 / cos60° = 480 กก./ม.
- แรงรวม = 600+240+480 = 1,320 กก./ม.

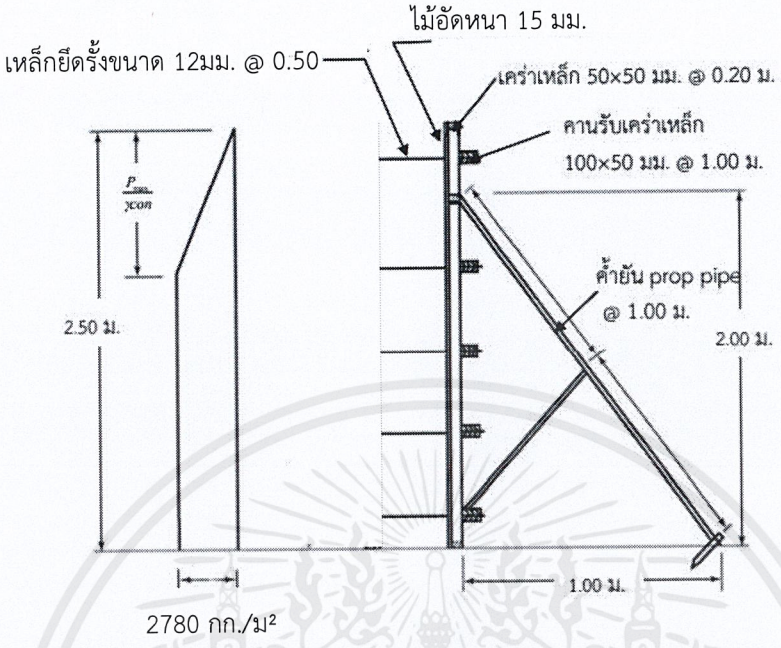
เลือกใช้แรงในค้ำยัน 1,400 กก./ม.

ตรวจสอบกำลังของค้ำยัน

- เลือกใช้เสาค้ำยัน (prop pipe support) ค้ำทุกระยะ 1.00 ม.
- แรงในค้ำยันแต่ละตัว = 1,400 x 1.00 = 1,400 กก.

เลือกใช้เสาค้ำยัน (prop pipe support) ที่มีขายตามท้องตลาดที่สามารถรับแรง ในค้ำยันแต่ละตัว มากกว่า 1,400 กก. ต่อตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของวัสดุแบบหล่อคอนกรีตทั่วไป

3.4 ตัวอย่างของการออกแบบงานแบบหล่อคอนกรีตด้านข้างแบบฝัง

3.4.1 วัสดุในการทำแบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง

ทางโครงการได้เลือกใช้ TEXCA® Wall ซึ่งเป็นผนังคอนกรีตมวลเบา มาประยุกต์ในการทำแบบหล่อคอนกรีตเสริมเหล็กแบบฝังเนื่องจากเป็นผนังคอนกรีตมวลเบา ที่ใช้วัสดุมวลเบาที่เรียกว่าเม็ดเซรามิกมวลเบาเป็นส่วนผสมในเนื้อคอนกรีตแทนการใช้หิน เม็ดเซรามิกมวลเบา TEXCA® เป็นวัสดุที่น้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรงกว่าวัสดุมวลรวมเบาชนิดอื่นๆ เนื่องจากผ่านกระบวนการเผาแบบพิเศษที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 1,250 °C ทำให้เม็ดเซรามิกมีความแข็งและนำมาผสมกับทรายละเอียด และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทำให้มีคุณสมบัติหลายด้าน เช่น น้ำหนักเบา เป็นฉนวนกันความร้อน และดูดซึมน้ำต่ำ

คอนกรีตที่ใช้ผลิต TEXCA® Wall เป็นคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ใช้ฟองอากาศเป็นส่วนผสมเหมือนกับคอนกรีตหรืออิฐมวลเบาระบบ AAC (Autoclaved Aerated Concrete) สีขาว หรือ CLC (Cellular Lightweight) สีเทา คอนกรีตมวลเบาชนิดนี้สามารถออกแบบส่วนผสมให้สามารถนำไปทำชิ้นส่วนคอนกรีตน้ำหนักเบาสำหรับโครงสร้างได้ โดยที่ มีนำหนักเบา แข็งแรง และดูดซึมน้ำต่ำ จึงเหมาะแก่การนำมาประยุกต์ใช้ในการทำแบบหล่อคอนกรีตฐานราก ที่มีพื้นที่กว้างและขนาดใหญ่ในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.3 รูปแสดงวัสดุ Pre-Fabricated Concrete Wall , TEXCA® Wall

ตารางที่ 3.5 ขนาดของวัสดุที่นำมาใช้ในการทำแบบหล่อคอนกรีต TEXCA® Wall

TEXCA® Wall		
Width	0.60	m.
Length	Vary	m.
Thickness	0.075, 0.09	m.
Unit Weight	80, 95	kg/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การออกแบบการใช้วัสดุในการทำฐานราก

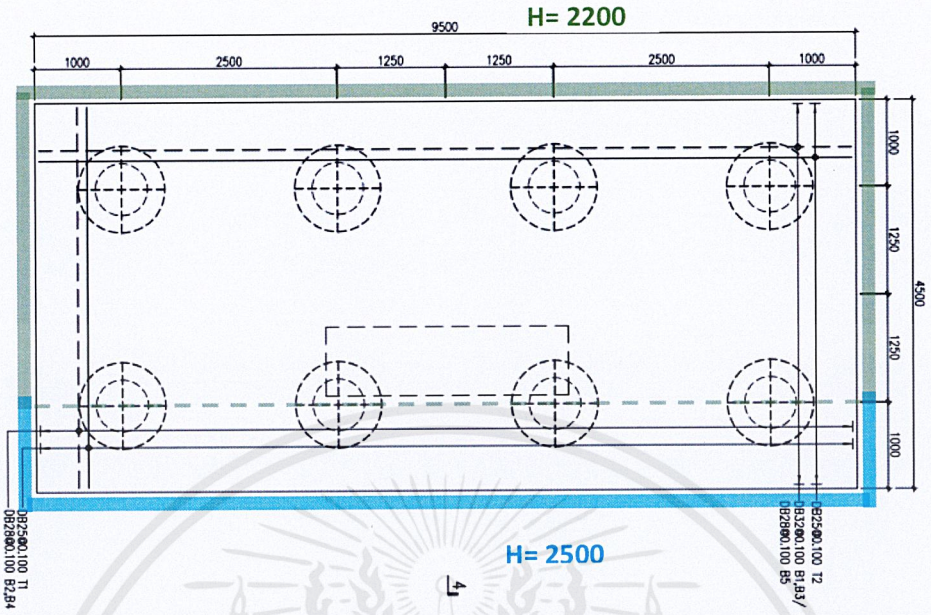
ออกแบบงานแบบหล่อคอนกรีตรับโครงสร้างแรงด้านข้าง ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก F8 สูง 2.5 เมตร หนา 4.5 เมตร ยาว 9.5 เมตร โดยฐานราก F8 มีพื้นร่วมฐานรากขนาด 30 เซนติเมตร บริเวณด้านบนของฐานราก

โดยใช้ขนาดกำแพงคอนกรีตสำเร็จ อยู่ที่ความสูง 2.2 ม. และ 2.5 ม.จำนวนดังนี้

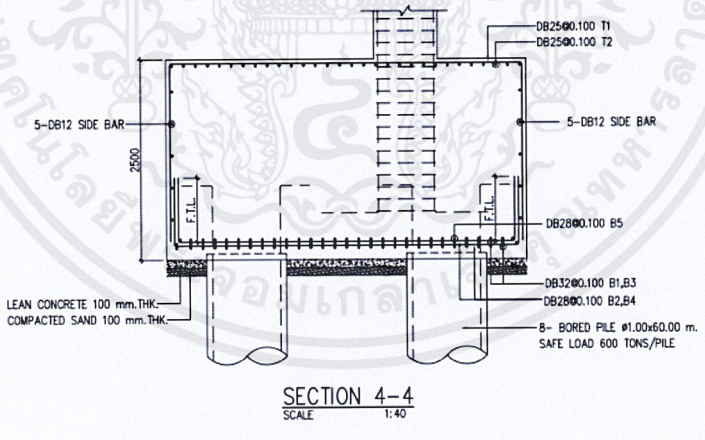
ตารางที่ 3.6 การคำนวณผนังคอนกรีตสำเร็จในการใช้งาน

FOUNDATION			FORM WORK		
W (m.)	L (m.)	H (m.)	TEXACA WALL W=600 mm.		M²
			H = 2500 mm. (pcs.)	H = 2200 mm. (pcs.)	
F8					
Volume					
W (m.)	L (m.)	H (m.)			
4.5	9.5	2.2	61	86	203.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 ฐานราก F8 และระดับพื้นชั้นใต้ดินเพื่อในการออกแบบการทำแบบหล่อคอนกรีต



ภาพที่ 3.5 รูปตัดด้านข้างของฐานราก F8

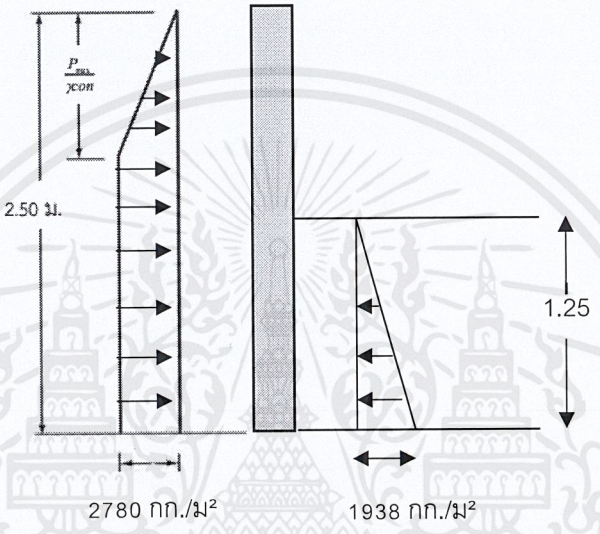
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 เสถียรภาพของแบบหล่อคอนกรีต

แบบหล่อฐานรากมีความสูงอยู่ที่ 2.5 เมตร โดยทำการเทเต็มที่ระดับ 2.5 เมตร และทำการย้ำยันอีกฝั่งด้วยดินที่ระดับความสูงที่ครึ่งหนึ่งของแบบหล่อคอนกรีตหรือที่ระดับ 1.25 เมตร

โดยที่ แรงดันคอนกรีตที่ออกแบบ 2780 kg/m² จากหัวข้อ 3.2.1

หน่วยน้ำหนักดิน เป็นดินทรายความหนาแน่นอยู่ที่ 1550 kg/m³



ภาพที่ 3.6 แสดงแรงดันที่เกิดขึ้นกับแบบหล่อคอนกรีต

เกิดแรงที่ระยะความยาว 1 เมตร

ด้านฝั่งคอนกรีต = $(\frac{1}{2} \times 2780 \times 1.16) + (1.34 \times 2780)$ = 5337.6 kg

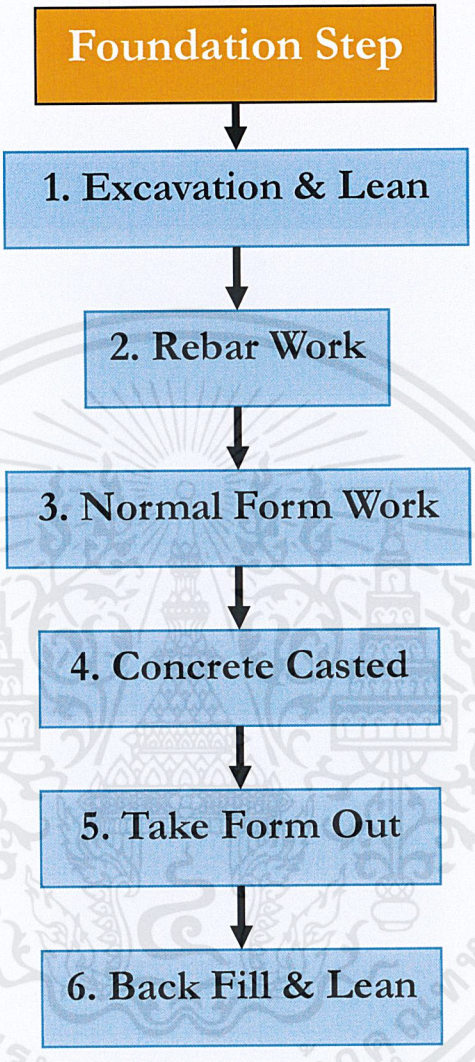
ด้านดิน = $\frac{1}{2} \times 1938 \times 1.25$ = 1211.25 kg

แรงที่เกิดขึ้นทั้งสองด้านไม่สมดุลกันจึงต้องทำการเสริมอุปกรณ์ค้ำยันด้วยเหล็กป็อปค้ำยัน โดยสามารถทำการเสริมด้วยการใส่ในรูที่เป็นช่องว่างของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ขั้นตอนในการทำงาน

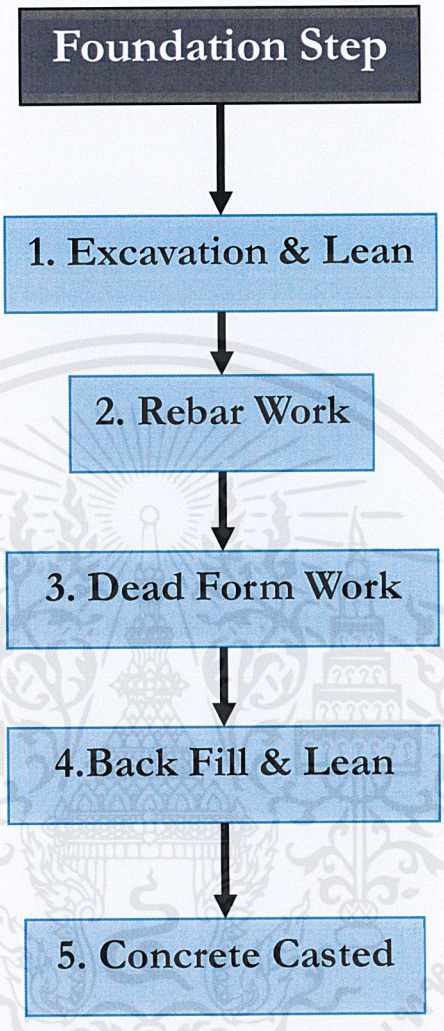
ข้นตอนการทำงานของแบบหล่อฐานรากแบบทั่วไป



ภาพที่ 3.7 แสดงขั้นตอนในการทำงานแบบหล่อคอนกรีตทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำงานของแบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง



ภาพที่ 3.8 แสดงขั้นตอนการทำงานแบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง

โดยขั้นตอนในการทำงานของแบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง สามารถสลับลำดับงานได้ในส่วนที่ 4 ที่เป็นการถมดิน สลับกับขั้นตอนที่ 5 ที่เป็นการเทเพื่อการหล่อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การคำนวณปริมาณวัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อ

3.6.1 คำนวณปริมาณวัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อระบบทั่วไป

แผ่นผิว

- ปริมาณพื้นที่แบบหล่อคอนกรีต 1580 ตารางเมตร
- ปริมาณแผ่นผิวไม้อัดที่ใช้ 4x8 ฟุต ใช้ทั้งหมด 1580/(1.22x2.44) = 530 แผ่น
- โดยแผ่นผิวไม้อัดสามารถใช้ซ้ำได้โดยประมาณ 2-3 ครั้ง โดยต้องใช้แผ่นผิวทั้งหมด 177 แผ่น

เคร่า

- ปริมาณเคร่าที่ใช้ = 7900 เมตร
- จำนวนที่ใช้ = 7900 เมตร/ความยาววัสดุที่เลือก
  = 7900 / 2.5 = 3160 ท่อน
- โดยมีการทับซ้อนงานเกิดขึ้นทำให้สามารถลดจำนวนการใช้งานได้ ทำให้เกิดการใช้งานเพียง 632 ท่อน

คานรับเคร่า

- ความยาวที่ใช้ = 3160
- จำนวนที่ใช้ = ความยาวที่ใช้x2/ความยาววัสดุที่เลือกใช้
  = 3160x2/6 = 1053 ท่อน
- โดยมีการทับซ้อนงานเกิดขึ้นทำให้สามารถลดจำนวนการใช้งานได้ ทำให้เกิดการใช้งานเพียง 211 ท่อน

เหล็กยึดรั้ง

- จำนวณที่ใช้ = 2528 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 คำนวณปริมาณวัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อระบบแบบฝัง

แผ่นผิว

No.	MATERIAL	DESCRIPTION	QUANTITY	UNIT
1	TEXCA WALL W = 600 mm	THK.=75 mm,L = 450 mm.	35	Pcs.
2	TEXCA WALL W = 600 mm	THK.=75 mm,L = 700 mm.	246	Pcs.
3	TEXCA WALL W = 600 mm	THK.=75 mm,L = 900 mm.	24	Pcs.
4	TEXCA WALL W = 600 mm	THK.=75 mm,L = 1000 mm.	103	Pcs.
5	TEXCA WALL W = 600 mm	THK.=75 mm,L = 1200 mm.	9	Pcs.
6	TEXCA WALL W = 600 mm	THK.=75 mm,L = 1500 mm.	55	Pcs.
7	TEXCA WALL W = 600 mm	THK.=90 mm,L = 2200 mm.	471	Pcs.
8	TEXCA WALL W = 600 mm	THK.=90 mm,L = 2500 mm.	311	Pcs.
9	TEXCA WALL W = 600 mm	THK.=90 mm,L = 2650 mm.	40	Pcs.
10	TEXCA WALL W = 600 mm	THK.=90 mm,L = 2700 mm.	68	Pcs.
11	TEXCA WALL W = 600 mm	THK.=90 mm,L = 3950 mm.	30	Pcs.
12	TEXCA WALL W = 600 mm	THK.=90 mm,L = 4850 mm.	24	Pcs.

- รวมพื้นที่แบบหล่อ = 1647 ตารางเมตร

วัสดุค้ำยัน

- เหล็กป๊อปวัสดุที่เลือกใช้เหล็กป๊อปค้ำยัน Ø ภายนอก 88.9 มิลลิเมตร หนา 3.2 มิลลิเมตร
- ปริมาณที่ใช้ได้ 354 ท่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 ผลการดำเนินการ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการนำตัวอย่างการคำนวณและการออกแบบงานแบบหล่อคอนกรีต(Concrete Formwork) ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กในงาน Sub-structure ซึ่งมีระดับความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 2.5 เมตร มีพื้นที่ในการเข้าแบบหล่อคอนกรีตขนาด 1,580 ตารางเมตร เพื่อออกแบบ ประมาณราคาแบบหล่อทางข้าง และเปรียบเทียบวัสดุจากการทำงาน โดยมีข้อมูลเบื้องต้น ดังนี้

1. ขนาดของงานแบบหล่อคอนกรีตด้านข้างทั้งหมด 1,580 ตารางเมตร ความสูงต่อการเทเฉลี่ยอยู่ที่ 2.5 เมตรจากระดับ Pile cut off
2. ค่าการเทอัตราคอนกรีตเท่ากับ 1 เมตร/ชั่วโมง , อุณหภูมิขณะเทเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส
3. วัสดุที่เลือกของระบบแบบหล่อคอนกรีตทั่วไป คือ ไม้อัดยาง Class I หนา 15 มิลลิเมตร , ไม้เคร่าใช้เหล็กขนาดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50x50 มิลลิเมตร คานรับใช้เหล็กรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 100x50 มิลลิเมตร และเหล็กยึดรั้งใช้ขนาด 9 มิลลิเมตร
4. วัสดุที่เลือกของระบบแบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง คือ แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จหนา 75 มิลลิเมตร และ 90 มิลลิเมตร ใช้ดินในการค้ำยันที่ระดับความสูง 1.25 เมตรจากระดับเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ผลการออบแบบหล่อคอนกรีตทั่วไป

ข้อมูลประกอบการออกแบบ

1.	แรงดันคอนกรีต ตารางเมตร	2730	กิโลกรัม/
2.	ความสูงของฐานราก	2.50	เมตร
3.	ความสูงต่อการเทคอนกรีต	2.50	เมตร
4.	พื้นที่แบบหล่อคอนกรีตทั้งหมด	1,580	ตารางเมตร

1. แผ่นผิว (Sheathing)
   - 1.1 วัสดุที่เลือกใช้ ไม้อัดยาง class I
   - 1.2 ปริมาณที่ใช้เบื้องต้น 177 แผ่น
   - 1.3 ปริมาณที่ใช้เพิ่มเติมเนื่องจากการซ่อมแซม 177 แผ่น
2. โครงเคร่า (Strut)
   - 2.1 วัสดุที่เลือกใช้ เหล็กท่อจัตุรัส 50x50 มม. หนา 2.3 มม. ยาว 2.5 เมตร
   - 2.2 ระยะห่างของเคร่าที่คำนวณได้ 20 เซนติเมตร
   - 2.3 ปริมาณที่ใช้ได้ 632 ท่อน
3. คานรับเคร่า (Waler)
   - 3.1 วัสดุที่เลือกใช้เหล็กท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า 100x50 มม. หนา 2.3 มม. ยาว 6 เมตร
   - 3.2 ระยะห่างของคานรับเคร่าที่คำนวณได้ 100 เซนติเมตร
   - 3.3 ปริมาณที่ใช้ 211 ท่อน
4. เหล็กยึดรั้ง (Tie-Base)
   - 4.1 วัสดุที่เลือกใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลิเมตร
   - 4.2 ระยะห่างของเหล็กยึดรั้งที่คำนวณได้ 50 เซนติเมตร
   - 4.3 ปริมาณที่ใช้ 2528 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการออกแบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง

ข้อมูลประกอบการออกแบบ

1.	แรงดันคอนกรีต ตารางเมตร	2730	กิโลกรัม/
2.	ความสูงของฐานราก	2.50	เมตร
3.	ความสูงต่อการเทคอนกรีต	2.50	เมตร
4.	พื้นที่แบบหล่อคอนกรีตทั้งหมด	1580	ตารางเมตร

1. แผ่นผิว (Sheathing)

1.1 วัสดุที่เลือกใช้ ผนังคอนกรีตสำเร็จ TEXCA Wall		
1.2 ปริมาณที่ใช้	1416	แผ่น

2. เหล็กป็อบในการค้ำยัน (prop pipe support)

1.1 วัสดุที่เลือกใช้เหล็กป็อปค้ำยัน Ø ภายนอก 88.9 มิลลิเมตร หนา 3.2 มิลลิเมตร		
1.2 ปริมาณที่ใช้ได้	354	ท่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ประมาณราคาแบบหล่อเบื้องต้นระบบแบบหล่อทั่วไป

ลำดับ	ส่วนประกอบ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา	รวม
1	แผ่นผิว	ไม้อัดยาง class I	177	แผ่น	1200	212,400
2	โครงเคร่า	เหล็กท่อจัตุรัส 50x50 มม. หนา 2 มม. ยาว 6.00 ม.	632	ท่อน	350	221,200
3	คานรับเคร่า	เหล็กท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า 100x50 มม. ยาว 6.00 ม.	211	ท่อน	500	105,500
4	เหล็กยึดรั้ง	ขนาด 12 มม.	2528	ชุด	30	75,840
						614,940

ตารางที่ 4.2 ประมาณค่าแรงแบบหล่อแบบทั่วไปเบื้องต้น

ลำดับ	ประเภท	จำนวน (คน)	เวลาที่ติดตั้ง		เวลาที่ใช้ถอดแบบ		อัตราค่าแรง บาท:คน:วัน	รวม
			ชม./วัน	วัน	ชม./วัน	วัน		
1	หัวหน้าช่าง	2	8	20	8	10	1,000	60,000
2	ช่างไม้	8	8	20	8	10	500	120,000
3	กรรมกร	4	8	20	8	10	300	36,000
								216,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ประมาณราคาแบบหล่อเบื้องต้นระบบแบบหล่อแบบฝัง

ลำดับ	ส่วนประกอบ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา	รวม
1	แผ่นผิว	แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จ TEXCA Wall หนา 75 มม.	243.51	ตร.ม.	360	87,664
		แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จ TEXCA Wall หนา 90 มม.	1402.05	ตร.ม.	380	532,779
2	ป็อบค้ำยัน	เหล็กป็อบ Ø ภายนอก 88.9 มม. หนา 3.2 มม.	354	ท่อน	370	130,980

751,423

ตารางที่ 4.4 ประมาณค่าแรงแบบหล่อแบบฝังเบื้องต้น

ลำดับ	ประเภท	จำนวน (คน)	เวลาที่ติดตั้ง		เวลาที่ใช้ถอดแบบ		อัตราค่าแรง บาท:คน:วัน	รวม
			ชม./วัน	วัน	ชม./วัน	วัน		
1	หัวหน้าช่าง	2	8	22	8	0	1,000	44,000
2	กรรมกร	12	8	22	8	0	300	79,200

123,200

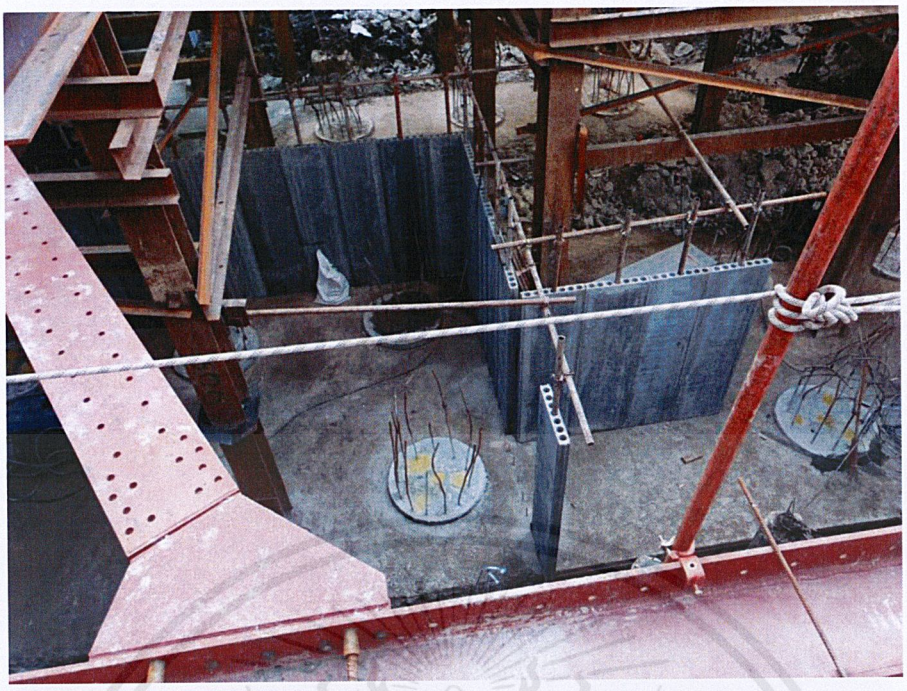
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการประกอบติงตั้งจริงในสนาม

ภาพที่ 4.1 แสดงการใช้งานภายในสนาม

ภาพที่ 4.2 แสดงการเข้าแบบฐานราก F7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

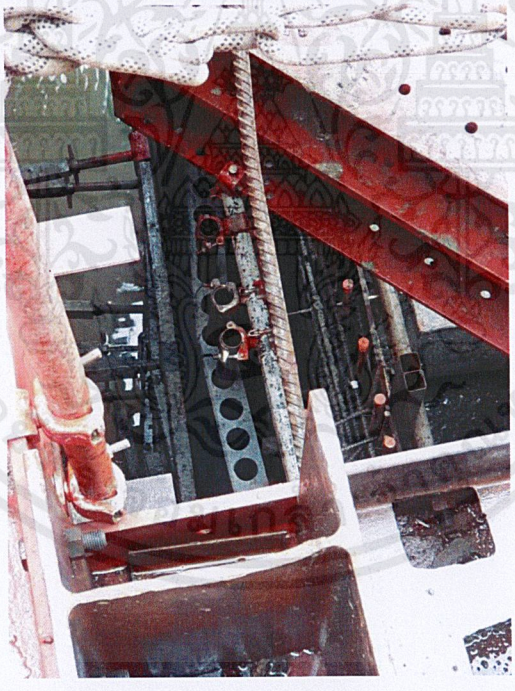


ภาพที่ 4.3 แสดงการเข้าแบบหล่อคานระหว่างฐานราก

ภาพที่ 4.4 แสดงการค้ำยันชั่วคราวด้านภายในแบบหล่อ

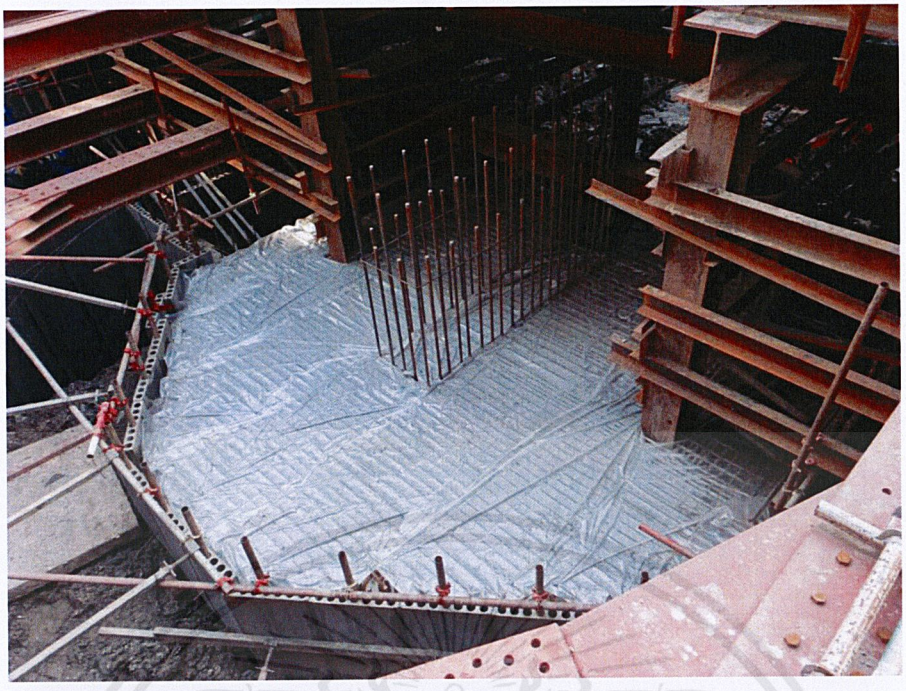
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.5 แสดงการติดตั้งแบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง



ภาพที่ 4.6 แสดงปัญหาเคลื่อนตัวออกจากแนวขณะเทคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 แสดงการบ่มคอนกรีตหลังจากการเทคอนกรีต

ภาพที่ 4.8 แสดงรูปแบบการค้ำยันแบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.9 แสดงการใช้แบบหล่อกับงาน Mat Foundation

ภาพที่ 4.10 แสดงรอยแตกร้าวเนื่องจากเกิดการดัดกับแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จจากการถมดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเก็บข้อมูลและสอบถามความคิดเห็นของผู้ที่มีประสบการณ์

คุณสุชาติ สอระภูมิ (Deputy Manager บริษัท Thai Obayashi จำกัด)

- ราคา

  แบบหล่อคอนกรีตแบบฝัง ราคาต้นทุนสูงหากเทียบเป็นหน่วยต่อตารางเมตร แต่ยังไม่ได้ทำให้ค่าในโครงการก่อสร้างขาดทุน

  แบบหล่อคอนกรีตแบบทั่วไป ราคาถูกสามารถใช้ซ้ำได้ ใช้ได้กับหลายโครงสร้าง

- เวลาที่ใช้ในการทำงาน

  แบบหล่อคอนกรีตแบบฝังมีความรวดเร็วกว่าแบบหล่อคอนกรีตทั่วไปเนื่องจากสามารถลดขั้นตอนในการทำงานลงได้ ทั้งในการตั้งแต่แบบหล่อแบบฝัง ไม่จำเป็นต้องทำค้ำยันและรื้อถอนออก โดยที่อดีตใช้แบบหล่อคอนกรีตด้วยคอนกรีตที่ต้องหล่อเข้ามาเองในหน้างาน

- คุณภาพของคอนกรีต

  ขึ้นอยู่กับการควบคุมคุณภาพในการเทคอนกรีต การจี้คอนกรีต ความต่อเนื่องในการเทคอนกรีต

- ความสะดวกในการใช้งาน

  สามารถตั้งเข้าแบบได้ง่าย ไม่ต้องใช้ช่างฝีมือมากนัก แต่การตัดในเป็นรูปร่างอื่นทำได้ยาก และมีน้ำหนักพอควร

- ประสิทธิภาพของวัสดุ

  แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จแตกหักได้ง่าย และมีการดูดน้ำเล็กน้อยต้องทำการฉีดน้ำก่อนการทำการเทคอนกรีต

- การดูแลรักษา

  แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จไม่จำเป็นต้องดูแลรักษามากแต่อาจต้องมีพื้นที่ในการจัดเก็บพอสมควรเนื่องจากความหนาและจำนวนที่ต้องใช้

  ไม้อัดต้องดูแลพอสมควร โดยควรมีผ้าใบป้องกันแดดและฝน เพราะอาจทำให้ไม้อัดบวมตัวและไม่สามารถใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณกิตติวุฒิ สุขรักษา (Building Chief บริษัท Thai Obayashi จำกัด)

- ราคา

  ราคาต่อตารางเมตรของผนังคอนกรีตสำเร็จตกราคาประมาณอยู่ที่ 400 บาทต่อตารางเมตรซึ่งใช้ได้เพียงครั้งเดียวซึ่งต่างจากไม้อัดทั่วไปที่สามารถใช้ได้ถึง 2-3 ครั้ง จนกว่าผิวไม้จะเสียรูปทำให้ประหยัดในการใช้งานละสามารถใช้ในงานโครงสร้างอื่นต่อได้

- เวลาที่ใช้ในการทำงาน

  เวลาที่ใช้ในการทำงานเข้าแบบหล่อคอนกรีต คิดว่าระยะเวลาน่าจะพอๆทั้งการเข้าแบบหล่อด้วยผนังคอนกรีตสำเร็จและการเข้าแบบหล่อด้วยไม้อัด แต่มันทำให้ไม่เสียเวลาที่ทำการรื้อถอดทำให้เวลาโดยรวมเร็วขึ้น

- คุณภาพของคอนกรีต

  ของแบบผนังคอนกรีตสำเร็จที่เป็นแบบฝังค่อนข้างตรวจสอบได้ยากเนื่องจากโดนฝังไปพร้อมแบบหล่อคอนกรีต แต่แบบหล่อด้วยไม้อัดอาจจะได้เน้นไปที่ผิวคอนกรีตมีความเรียบเนียน สามารถตรวจสอบรอยและสามารถแก้ไขได้

- ความสะดวกในการใช้งาน

  การประกอบเข้ากับการใช้ค้ำยันนั้นทำได้ยากเนื่องจากแผ่นคอนกรีตสำเร็จเจาะหรือตัดลำบาก

- ประสิทธิภาพของวัสดุ

  สามารถใช้เป็นแบบหล่อได้ดีมีการเคลื่อนตัวน้อย แต่อาจมีปัญหาเรื่องรอยต่อของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จที่ระหว่างมุมที่ต้องทำการอุดก่อนทำการเทคอนกรีต

- การดูแลรักษา

  ขณะเก็บรักษาต้องพยายามอย่าให้แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จโดนดัดเพราะแผ่นผนังมีความเปราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณเจษฎา นกสกุล (Building Staff บริษัท Thai Obayashi)

- ราคา

  โดยส่วนแล้วคิดว่าแบบหล่อคอนกรีตแบบฝังมีราคาแพงกว่าแบบหล่อคอนกรีตที่ใช้โดยทั่วไปเพราะแบบหล่อแบบทั่วไปสามารถนำไปใช้ในงานอื่นได้ทำให้มีความประหยัดในส่วนนึง

- เวลาที่ใช้ในการทำงาน

  แบบหล่อคอนกรีตแบบฝังเร็วกว่าแบบหล่อคอนกรีตโดยทั่วไปแต่ถ้าทำงานผิดขั้นตอนก็อาจจะทำให้ใช้เวลาในการทำงานเท่ากันกับแบบหล่อคอนกรีตแบบทั่วไป

- คุณภาพของคอนกรีต

  มีจุดบกพร่องตรงที่มีการยึดแบบด้วยเหล็กด้วยในแบบหล่อทำให้ไม่ได้ระยะ Covering ระหว่างเหล็กกับคอนกรีต โดยที่ทำการฝังไม่สามารถแก้บกพร่องจุดอาจทำให้คอนกรีตมีการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

คุณคีรภพ ผิวนวล (Building Staff บริษัท Thai Obayashi)

- ราคา

  คิดว่าราคาค่อนข้างแพง แต่มันทำให้ไม่ต้องเสียเวลามาค้ำยันแบบหล่อเพราะใช้ดินมาถมแถมการค้ำยันแล้วมันทำให้งานดำเนินเร็วขึ้น

- เวลาที่ใช้ในการทำงาน

  ค่อนข้างเร็วสามารถเข้าแบบหล่อในเสร็จภายในหนึ่งวันได้หากมีการขนส่งด้วยรถเครนอย่างต่อเนื่อง

- คุณภาพของคอนกรีต

  มีปัญหาเกิดขึ้นบ้างเล็กน้อยในบางจุดที่ไม่ได้ทำการฉีดน้ำก่อนทำการเทคอนกรีตเพราะแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จดูดน้ำพอควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระบบแบบหล่อทั่วไปและแบบฝัง

	ปัจจัย	ระบบแบบหล่อ	
		แบบทั่วไป	แบบฝัง
1	ด้านราคา		
	1.1 ราคาประมาณการเบื้องต้น (บาท)	830,940	857,823
	ค่าวัสดุ	614,940	751,423
	ค่าแรง	216,000	123,200
	1.2 ราคาประมาณการต่อพื้นที่ (บาท/ตร.ม.)	525.91	553.65
	ค่าวัสดุ	389.20	475.58
	ค่าแรง	136.71	77.97
2	ด้านระยะเวลา		
	ระยะเวลารวม	30	22
3	ด้านคุณภาพ		
	ผิวคอนกรีตหลังจากการเท	ขึ้นอยู่กับวิธีในการถอดแบบและวิธีการเทคอนกรีต	ตรวจสอบได้ยาก เนื่องจากเป็นแบบที่ฝั่งไปพร้อมคอนกรีต
4	ความปลอดภัย		
		มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุสูง เนื่องจากต้องใช้แรงงานคนช่วยในการติดตั้งและถอดแบบ	มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุสูง เนื่องจากวัสดุแบบหล่อมีน้ำหนักมาก ต้องใช้แรงงานคนในการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการคำนวณออกแบบ แบบหล่อคอนกรีตเสริมเหล็กในงานฐานรากโครงสร้างอาคารสูง มีวัตถุประสงค์ 3 ประการคือ

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและวัสดุที่ใช้งานในการทำแบบหล่อคอนกรีตในการก่อสร้างฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กในงานอาคารสูง
2. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกรูปแบบ ชนิดและขนาดวัสดุประกอบแบบหล่อคอนกรีตตามแบบแปลนทางโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กของฐานรากในงานอาคารสูง
3. วิเคราะห์วัสดุ ในการใช้เป็นแบบหล่อ รวมไปถึงการใช้งาน ทำให้การเลือกสรรวัสดุได้อย่างรวดเร็วและเหมาะสม

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการคำนวณออกแบบ แบบหล่อคอนกรีตอย่างละเอียด พร้อมกับการรวบรวมสูตรการคำนวนและขั้นตอนต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อแสดงความแตกต่างของแบบหล่อคอนกรีตเพื่อให้เป็นทางเลือกในการใช้งาน

5.1.2 สามารถใช้เป็นแนวทางเลือกรูปแบบ ชนิดและขนาดวัสดุประกอบแบบหล่อ ในการคำนวณออกแบบแบบหล่อคอนกรีต ตามแบบแปลนทางโรงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

5.1.3 สามารถใช้ในการประมาณราคาแบบหล่อในการก่อสร้าง เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้เป็นแนวทางในการประกอบการตัดสินใจในการใช้แบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ขั้นตอนและวิธีการของแบบหล่อคอนกรีตแบบฝังยังไม่เป็นที่แพร่หลายเนื่องจากเป็นการประยุกต์ใช้นำผนังคอนกรีตสำเร็จมมาใช้แบบวัสดุแบบหล่อคอนกรีตของฐานราก

5.2.2 รูปแบบและวิธีการทำของคอนกรีตแบบหล่อแบบฝังมีเพียงโครงการเดียวที่ให้ไม่สามารถทราบถึงปัญหาและข้อเสียที่เกิดขึ้นอาจทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจนเท่าที่ควร

5.2.3 ภายในการโครงการเกิดความล่าช้าของงานเกิดขึ้นจากงานของการตัดที่ระดับหัวเข็มทำให้ไม่สามารถทราบถึงอัตราเวลาการทำงานที่ชัดเจนของโครงการได้ จึงควรมีการศึกษาระยะเวลาที่ชัดเจนและสามารถบอกการย่นระยะเวลาในการทำงานของแบบหล่อคอนกรีตแบบฝังได้

5.2.4 สำหรับผู้ที่ต้องการจะนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อ ควรศึกษารายละเอียดของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยให้มีความทันสมัยสามารถทำงานได้ง่ายยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Kamran M. Nemai. **Fomwork for Concrete.** Dec 2007 : 8-9

[2] Health and Safety Authority. **CODE OF PRACTICE FOR ACCESS AND WORKING SCAFFOLDS.** Dec. 2008 : 22-28

[3] จิรัฏฐวัฒน์ เมือง**แพน. การก่อสร้าง Concrete Formwork สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอาคารระบายน้ำลัน โครงการน้ำเลย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเลย.** กรมชลประทานกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2558

[4] วิพีคอนกรีต จำกัด. 2561. **ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต.** [Online]. Available : http://vp-concretenimitmai.blogspot.com/2016/09/blog-post_43.html

[5] วินิต ช่อวิเชียร และ วรนิติ ช่อวิเชียร. **การออกแบบโครงสร้างเหล็ก.** กรุงเทพฯ, 2558.

[6] สภาวิศวกร. **งานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก.** กรุงเทพฯ. 2558.

[7] เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ. **แบบหล่อคอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : ส.เอเชียเพรส, 2552 : 23-27

[8] Maxliger Company Limited. 2018**, Product.** [Online]. Available : http://www.maxliger.com/index.php?page=product

[9] กฎกระทรวง. 2551 : 23-24. หมวด 6 “ค้ำยัน” **ในกำหนดมาตรฐานในการบริการแลการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง.** กรุงเทพฯ.

[10] บริษัท กรุงศรีพาณิชย์ จำกัด. 2561 เหล็กรูปพรรณ(เหล็กท่อดำ) [Online]. Available : http://www.krungsripanich.com/steel-cat-07.html

[11] Film Faced Plywood Construction. 2018 ไม้อัดดำ. [Online]. Available : http://www.xn--l3ca1b9bui4jsb1b.com/2017/07/blog-post_2.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
66

ตารางข้อมูลการทำงานแบบหล่อแบบฝังในโครงการ

Total Qty. 1580 m^2

No.	Date	Qty. Actual (pcs)			Qty. Remain (pcs)	
		Actual (m2)	Accumulate	%	Remain	%
1	5-Sep-2019	88.92	88.92	5.6%	1491.08	94.4%
2	6-Sep-2019	0	88.92	5.6%	1491.08	94.4%
3	7-Sep-2019	95.21	184.13	11.7%	1395.87	88.3%
4	8-Sep-2019	0	184.13	11.7%	1395.87	88.3%
5	9-Sep-2019	0	184.13	11.7%	1395.87	88.3%
6	10-Sep-2019	106.9	291.03	18.4%	1288.97	81.6%
7	11-Sep-2019	53.45	344.48	21.8%	1235.52	78.2%
8	12-Sep-2019	67.88	412.36	26.1%	1167.64	73.9%
9	13-Sep-2019	0	412.36	26.1%	1167.64	73.9%
10	14-Sep-2019	39.49	451.85	28.6%	1128.15	71.4%
11	15-Sep-2019	0	451.85	28.6%	1128.15	71.4%
12	16-Sep-2019	39.49	491.34	31.1%	1088.66	68.9%
13	17-Sep-2019	54.88	546.22	34.6%	1033.78	65.4%
14	18-Sep-2019	0	546.22	34.6%	1033.78	65.4%
15	19-Sep-2019	32.44	578.66	36.6%	1001.34	63.4%
16	20-Sep-2019	22.24	600.9	38.0%	979.1	62.0%
17	21-Sep-2019	55.07	655.97	41.5%	924.03	58.5%
18	22-Sep-2019	0	655.97	41.5%	924.03	58.5%
18	23-Sep-2019	61.38	717.35	45.4%	862.65	54.6%
18	24-Sep-2019	0	717.35	45.4%	862.65	54.6%
18	25-Sep-2019	33.94	751.29	47.6%	828.71	52.5%
18	26-Sep-2019	47.44	798.73	50.6%	781.27	49.4%
18	27-Sep-2019	38.89	837.62	53.0%	742.38	47.0%
18	28-Sep-2019	28.89	866.51	54.8%	713.49	45.2%
18	29-Sep-2019	0	866.51	54.8%	713.49	45.2%
18	30-Sep-2019	40.89	907.4	57.4%	672.6	42.6%
18	1-Oct-2019	26.89	934.29	59.1%	645.71	40.9%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

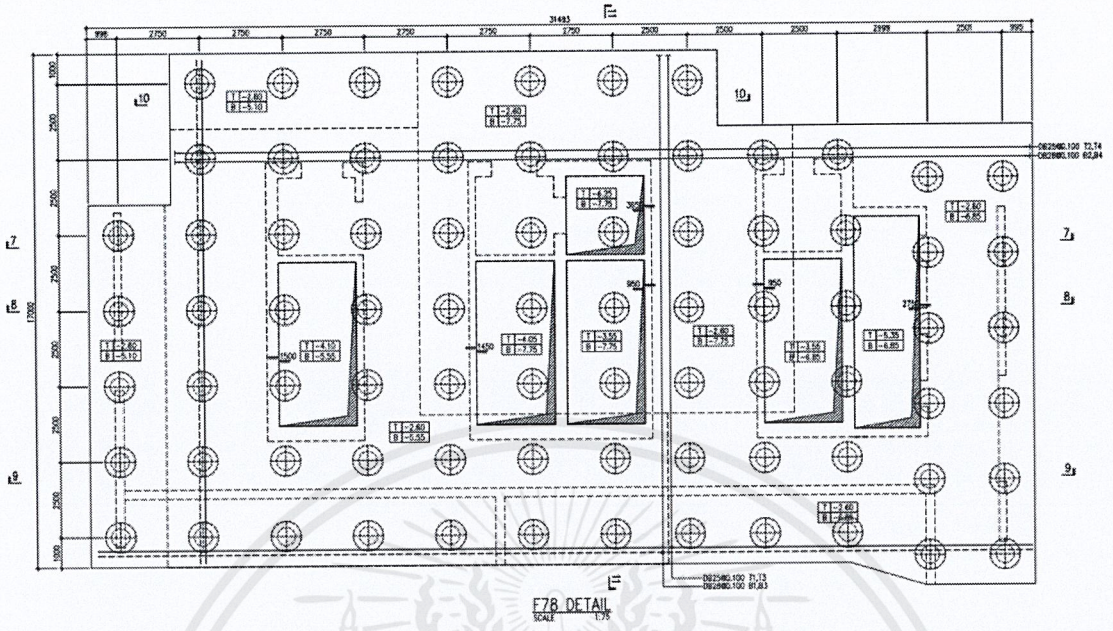
18	2-Oct-2019	0	934.29	59.1%	645.71	40.9%
18	3-Oct-2019	114.42	1048.71	66.4%	531.29	33.6%
18	4-Oct-2019	94.42	1143.13	72.4%	436.87	27.7%
18	5-Oct-2019	0	1143.13	72.4%	436.87	27.7%
18	6-Oct-2019	0	1143.13	72.4%	436.87	27.7%
18	7-Oct-2019	98.48	1241.61	78.6%	338.39	21.4%
18	8-Oct-2019	119.97	1361.58	86.2%	218.42	13.8%
18	9-Oct-2019	115.78	1477.36	93.5%	102.64	6.5%
18	10-Oct-2019	102.64	1580	100.0%	0	0.0%
18	11-Oct-2019	0	1580	100.0%	0	0.0%
18	12-Oct-2019	0	1580	100.0%	0	0.0%
18	13-Oct-2019	0	1580	100.0%	0	0.0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

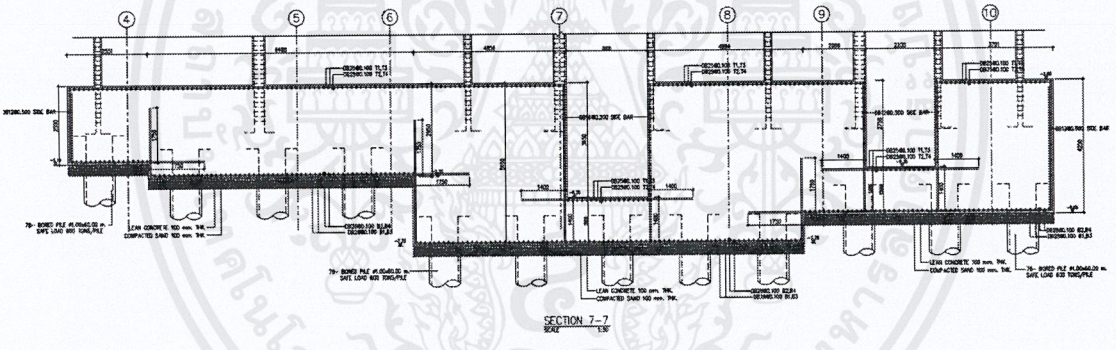
ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลนโครงสร้างอาคาร

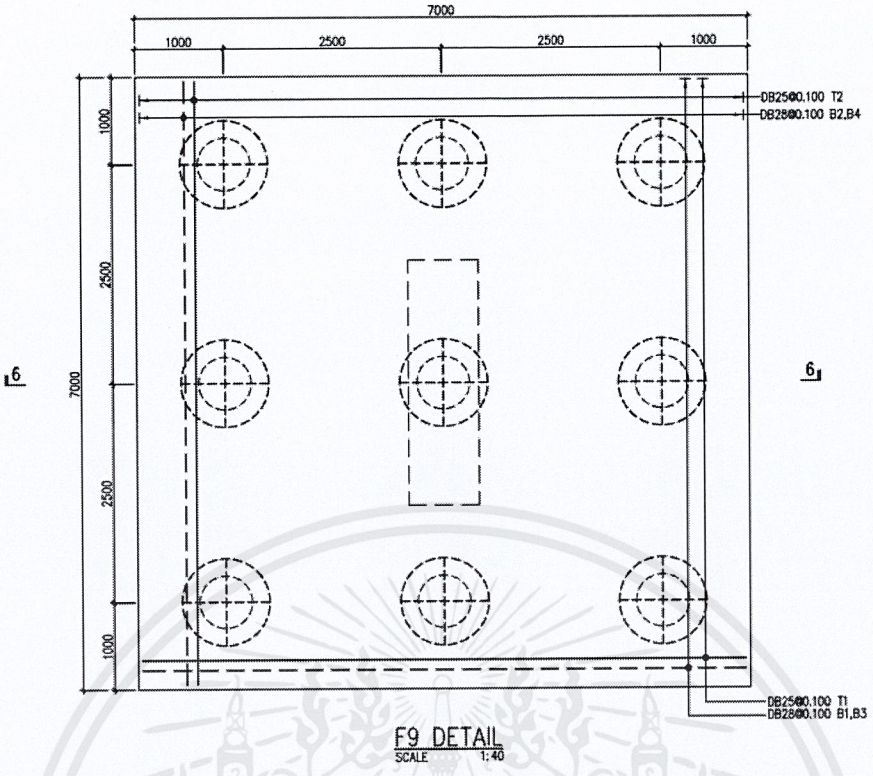


แสดงแปลนฐานราก F78

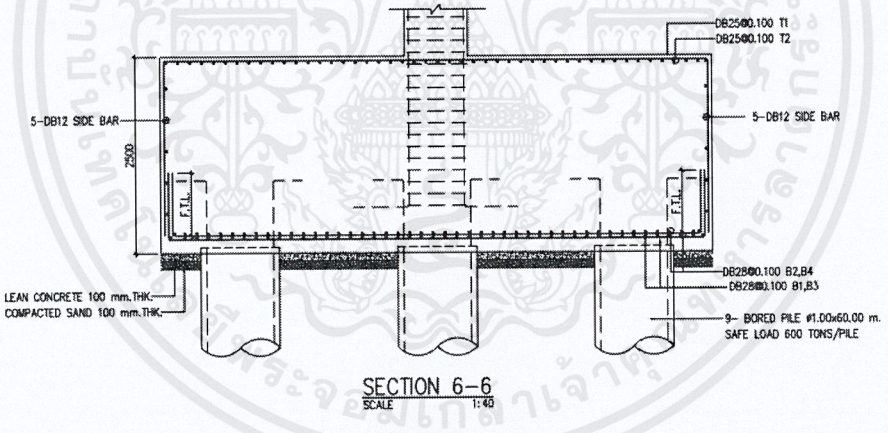


แสดงรูปตัดฐานราก F78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

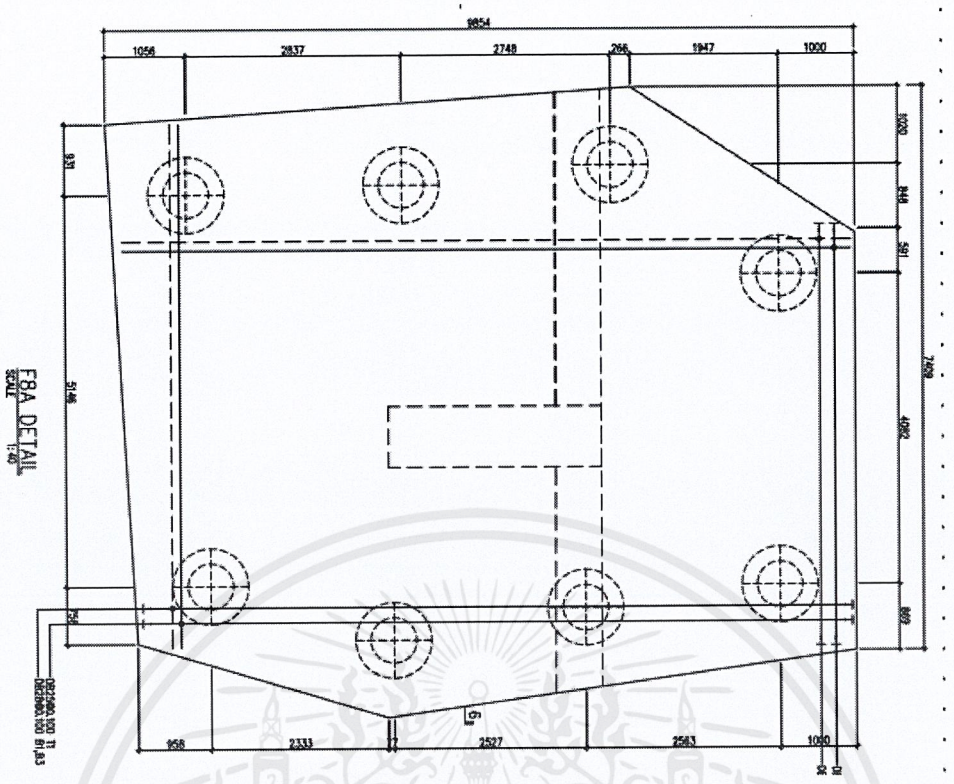


แสดงแปลนฐานราก F9

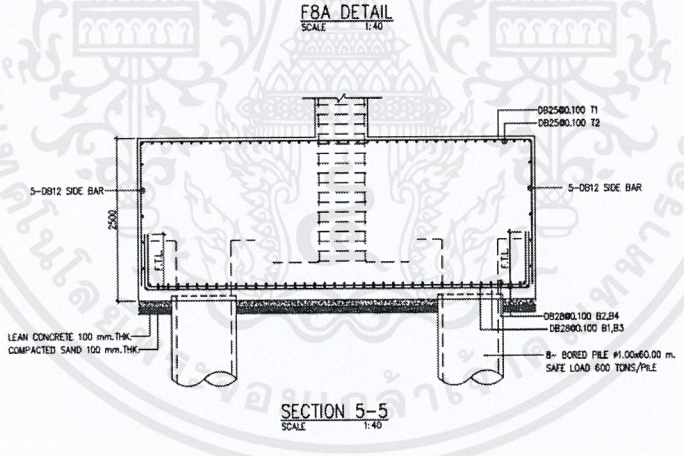


แสดงรูปตัดฐานราก F9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

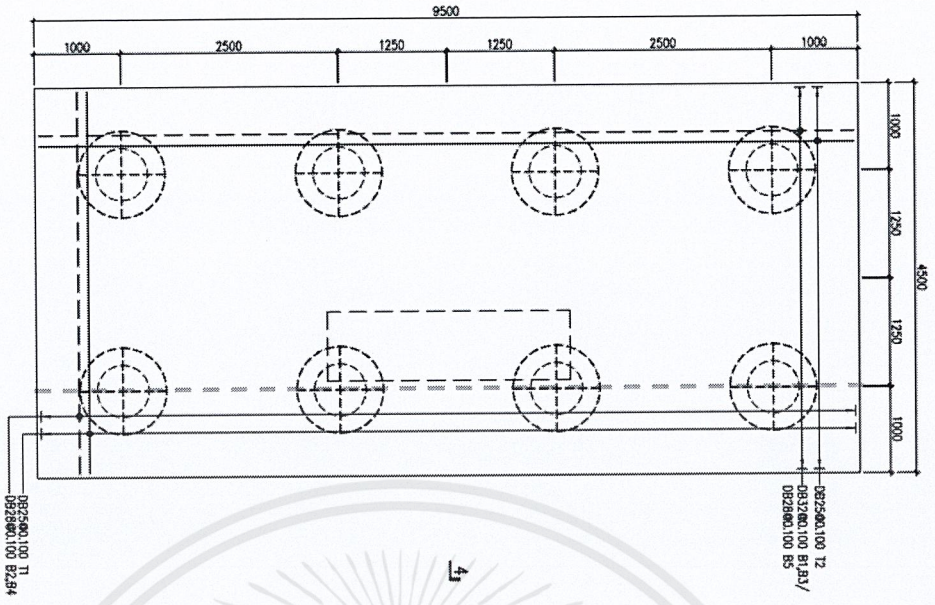


แสดงแปลนฐานราก F8A

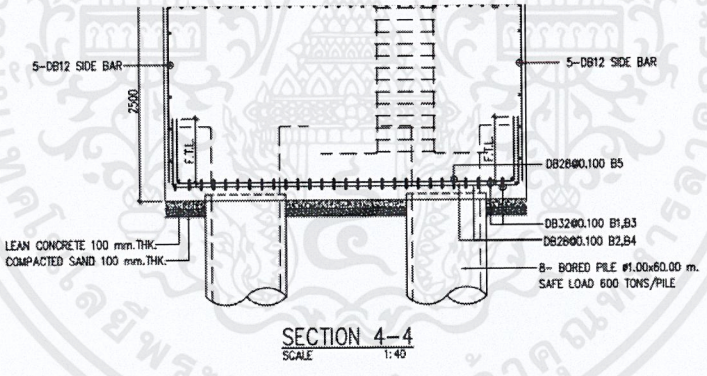


แสดงรูปตัดฐานราก F8A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

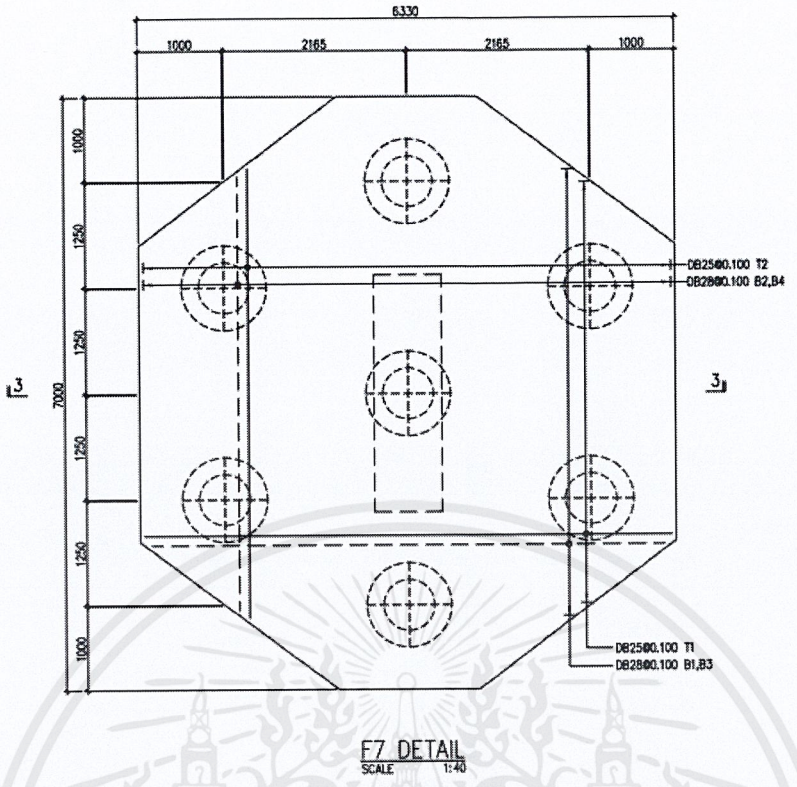


แสดงแปลนฐานราก F8

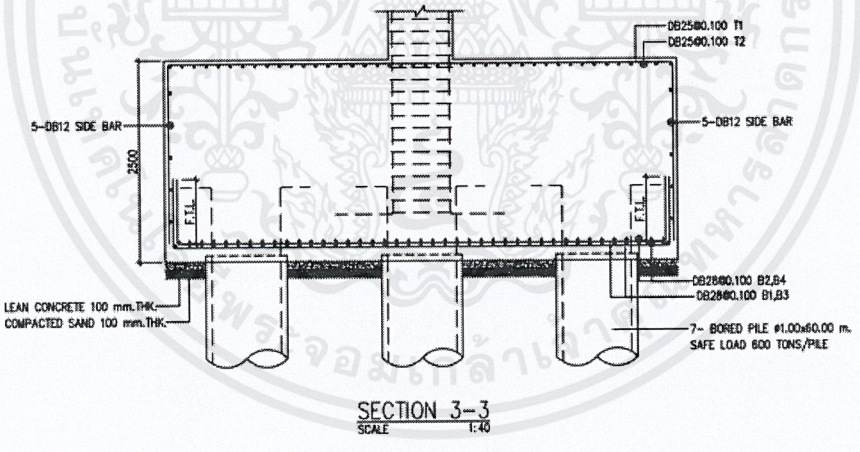


แสดงรูปตัดฐานราก F8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

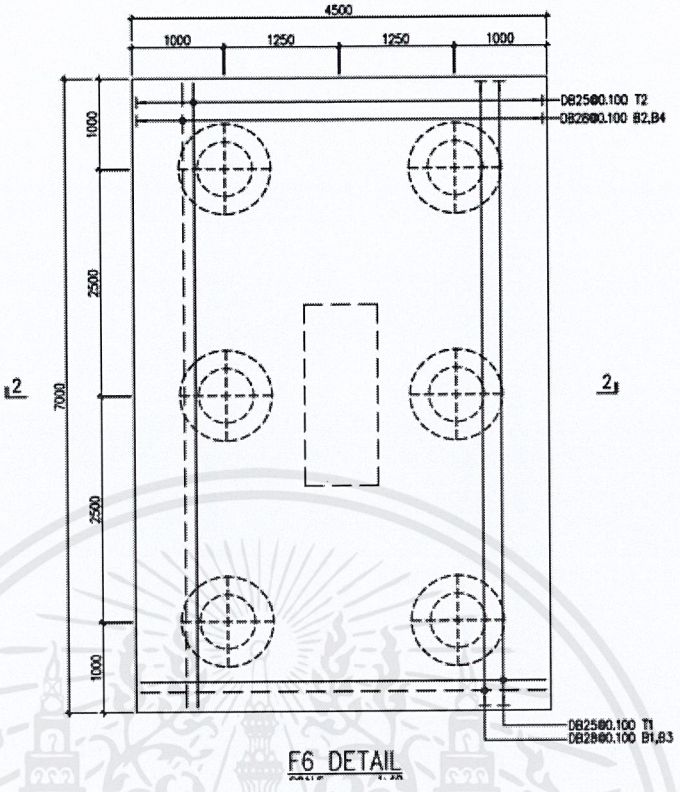


แสดงแปลนฐานราก F7

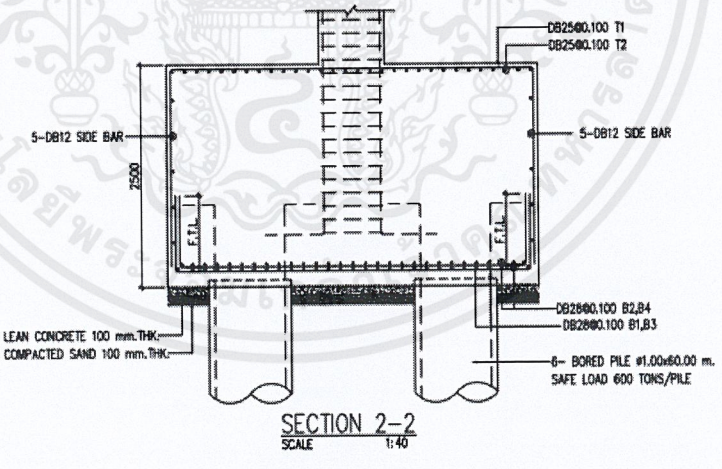


แสดงรูปตัดฐานราก F7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

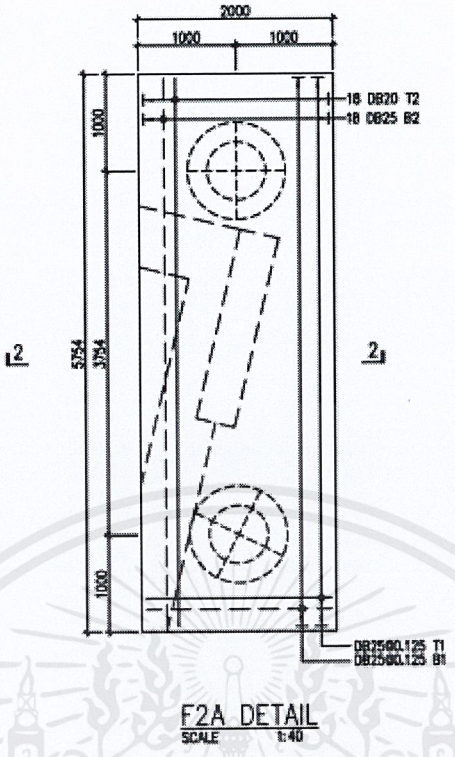


แสดงแปลนฐานราก F6

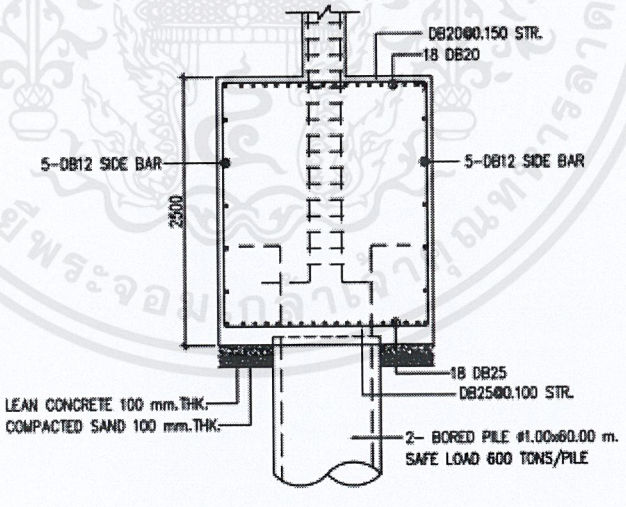


แสดงรูปตัดฐานราก F6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

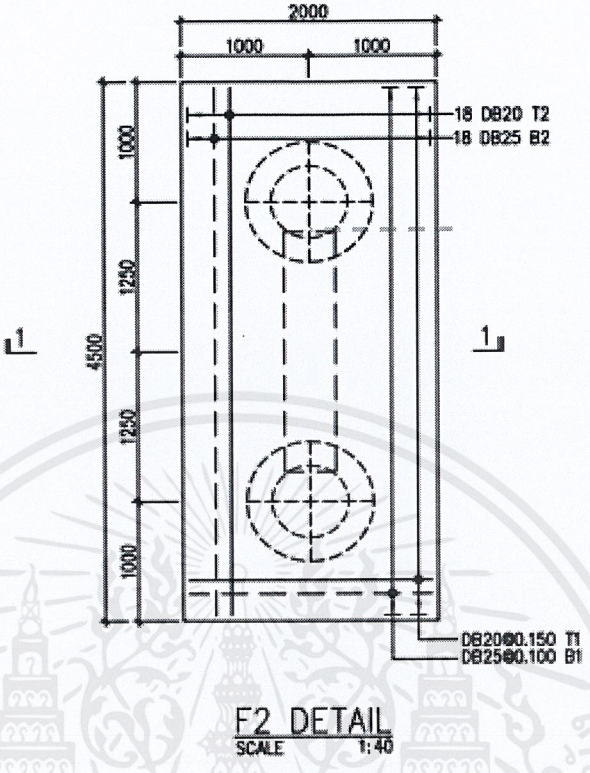


แสดงแปลนฐานราก F2A

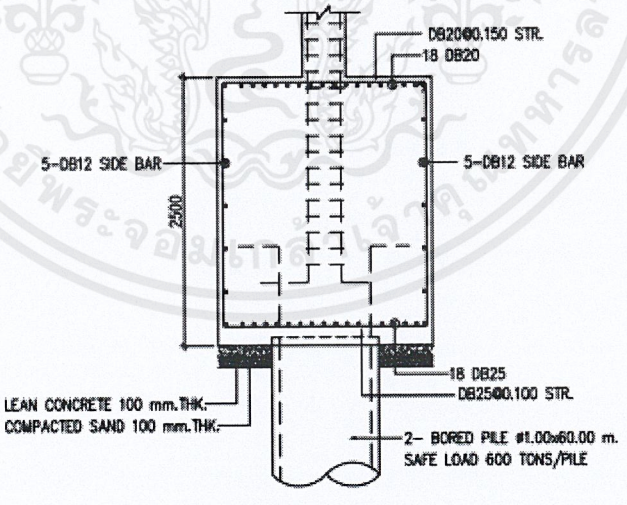


แสดงรูปตัดฐานราก F2A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงแปลนฐานราก F2



แสดงรูปตัดฐานราก F2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้