

แนวทางการลดน้ำหนักโครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยมอร์ตาร์เสริมเส้นใย



นายสิริวิชญ์ อังสถาพร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Study of Weight Reduction for Restroom by Using Fiber-Reinforced Mortar

Mr. Sirawit Ungsathaporn



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แนวทางการลดน้ำหนักโครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยมอร์
ตาร์เสริมเส้นใย

โดย

นายสิริวิชญ์ อังสถาพร

สาขาวิชา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. วิฑิต ปานสุข

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิฑิต ปานสุข)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล จอกแก้ว)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพร นุตยสกุล)

สิริวิชญ์ อังสตาพร : แนวทางการลดน้ำหนักโครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยมอร์ตาร์เสริมเส้นใย (A Study of Weight Reduction for Restroom by Using Fiber-Reinforced Mortar) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. วิจิต ปานสุข, 101 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการลดน้ำหนักของโครงสร้างห้องสำเร็จรูปด้วยมอร์ตาร์เสริมเส้นใย ซึ่งในปัจจุบันการก่อสร้างโดยการใช้ห้องน้ำสำเร็จรูปเริ่มเป็นที่แพร่หลายเนื่องจากช่วยลดระยะเวลาในการก่อสร้าง ลดค่าใช้จ่าย ทั้งในส่วนของค่าแรงและค่าวัสดุ นอกจากนั้น ยังสามารถควบคุมคุณภาพการก่อสร้างได้ดีอีกด้วย แต่ปัจจุบันห้องน้ำสำเร็จรูปนั้นยังมีข้อจำกัดในเรื่องของน้ำหนัก และการติดตั้งที่ใช้เวลานาน ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ การศึกษาเพื่อหาพฤติกรรมการรับแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างผนังและนำไปออกแบบเพื่อลดขนาดของผนัง นอกจากนี้ยังศึกษาการใช้วัสดุใหม่ในโครงสร้างผนัง คือมอร์ตาร์เสริมเส้นใย เนื่องจากเส้นใยมีคุณสมบัติที่ช่วยเสริมกำลังในมอร์ตาร์ โดยการศึกษาจะทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาความเค้นดึงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างผนัง อันจะนำไปสู่การเสริมกำลังรับแรงเชิงกลในผนัง, การลดขนาดของโครงสร้าง, ทำการก่อสร้าง และทดสอบด้วยวิธีต่างๆในระดับห้องปฏิบัติการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5770325521 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: PRECAST RESTROOM / FIBER-REINFORCED CONCRETE / FINITE ELEMENT / WEIGHT REDUCTION

SIRAWIT UNGSATHAPORN: A Study of Weight Reduction for Restroom by Using Fiber-Reinforced Mortar. ADVISOR: ASSOC. PROF. WITHIT PANSUK, Ph.D., 101 pp.

This thesis represents the study of weight reduction for the restroom by using fiber-reinforced mortar. Nowadays the precast restroom is widely used not only reducing the construction time, cost, labor and material cost including but also well controlling the construction quality. However the precast restroom still has some limitations such as the weight of structure and taking too much time for installation. The objective of this research is to find out the force in the wall during installation for designing and reducing the wall dimension and use a new material such as fiber-reinforced mortar. According to the fiber property, it can strengthen the wall structure. Analyzing the restroom structure by using finite element method to know the stress in the wall which leads to design for strengthen and reduce the weight of structure. This procedure will obtain a new restroom which is lower weight and easily installation

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Civil Engineering

Student's Signature

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้า นายสิริวิชญ์ อังสถาพร ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิจิต ปานสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่ามาให้คำปรึกษา ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ จนทำให้ข้าพเจ้าสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล จอกแก้ว กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพร นุทยสกุล กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาและความสนับสนุนในการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอบคุณ นายอดิศร ชวนปี ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบวัสดุต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ นายณภัทร อังสถาพร และนางพวงมณี อังสถาพร ผู้เป็นบิดาและมารดาของข้าพเจ้าที่คอยสนับสนุนทางการศึกษาเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ห้องน้ำสำเร็จรูป.....	3
2.2 มอร์ตาร์สำหรับฉาบ	3
2.2.1 ความต้านทานแรงอัด	3
2.2.2 ความอุ้มน้ำ (Water retention)	3
2.2.3 ระยะเวลาการก่อตัว (Setting time).....	3
2.3 การวิเคราะห์แบบย้อนกลับ (Inverse Analysis).....	4
2.4 การออกแบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตสำเร็จรูป	6
2.4.1 ขั้นตอนการขนส่งและขนย้าย.....	7
2.4.2 การต่อยึดชิ้นส่วนผนังต่างๆด้วยจุดต่อยึด.....	7
2.4.3 แนวทางการวิเคราะห์และออกแบบ	7

2.5 รูปแบบการขนย้ายห้องน้ำสำเร็จรูป	8
2.6 แนวทางการออกแบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูปอ้างอิงจากมาตรฐาน ACI 318.....	9
2.6.1 ข้อกำหนดการเสริมเหล็ก	9
2.6.2 การออกแบบด้วยสูตรอย่างง่าย	9
2.7 แนวทางการออกแบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูปอ้างอิงจากมาตรฐาน ACI 533.....	11
2.7.1 แรงที่ใช้ในการออกแบบ.....	11
2.7.2 สภาพะด้านการใช้งาน.....	11
2.7.2.1 การแอนตัวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	11
2.7.3 การป้องกันและควบคุมการแตกร้าว	12
2.8 มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กอ้างอิงมาตรฐาน AISC.....	12
2.9 เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic fibers)	14
2.9.1 การควบคุมรอยแตกของเส้นใยสังเคราะห์.....	14
2.9.2 คุณสมบัติด้านอื่นๆของเส้นใยสังเคราะห์.....	14
2.9.3 ประเภทของเส้นใยสังเคราะห์	14
2.9.4 การนำเส้นใยสังเคราะห์ไปใช้ในงานคอนกรีต	15
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	17
3.1 ศึกษาแนวทางและเลือกตัวอย่างที่เหมาะสม	17
3.2 การสร้างแบบจำลองห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยวิธีระเบียบการทางไฟไนต์เอลิเมนต์และ ออกแบบสัดส่วนผสมมอร์ตาร์เสริมเส้นใย	19
3.2.1 แบบจำลองห้องน้ำสำเร็จรูป	19
3.2.2 การออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์เสริมเส้นใย	22
3.3 การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยและประสิทธิภาพการรับแรงเชิงกล	22
3.3.1 การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์เสริมเส้นใย	22

3.3.1.1 ความต้านทานแรงอัด	22
3.3.1.2 ความอุ้มน้ำ (Water retention)	23
3.3.1.3 ระยะเวลาการก่อตัว (Setting time).....	24
3.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพการรับแรงเชิงกล	25
3.3.2.1 รูปแบบการทดสอบการรับแรงเชิงกล	25
3.3.2.2 การเตรียมตัวอย่าง	26
3.3.2.3 การติดตั้งเครื่องมือสำหรับทดสอบ	27
3.4 การออกแบบโครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูป.....	27
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	29
4.1 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	29
4.2 การทดสอบคุณสมบัติและการรับแรงเชิงกลของมอร์ตาร์เสริมเส้นใย.....	32
4.2.1 การทดสอบตามมาตรฐานมอร์ตาร์สำหรับฉาบ มอก.1776-2542	32
4.2.1.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์	33
4.2.1.2 การทดสอบการอุ้มน้ำของมอร์ตาร์สำหรับฉาบ (Water retention).....	34
4.2.1.3 การทดสอบการก่อตัวของมอร์ตาร์	35
4.2.2 การทดสอบการรับแรงดัดของมอร์ตาร์เสริมเส้นใย	36
4.2.3 การวิเคราะห์แบบย้อนกลับ	36
4.3 การออกแบบโครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูป.....	41
4.3.1 โครงสร้างเสาและคาน	41
4.3.2 โครงสร้างพื้น	42
4.3.3 โครงสร้างผนัง.....	43
บทที่ 5 สรุปผล.....	44
รายการอ้างอิง	46

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 101



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์สำหรับฉาบ	3
ตารางที่ 2.2	แสดงค่าการแอ่นตัวที่ยอมได้ของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป.....	11
ตารางที่ 3.1	แสดงตำแหน่งจุดยกที่ส่งผลให้เกิดความเค้นสูงสุดภายในโครงสร้าง	21
ตารางที่ 3.2	ความต้านทานแรงอัด.....	23
ตารางที่ 4.1	แสดงความเค้นดึงที่เกิดขึ้นมากที่สุดในแต่ละลักษณะการยก	30
ตารางที่ 4.2	แสดงค่าความเค้นดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นในผนังห้องน้ำสำเร็จรูป.....	32
ตารางที่ 4.3	สัดส่วนผสมมอร์ตาร์สำหรับฉาบ	32
ตารางที่ 4.4	การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์.....	33
ตารางที่ 4.5	การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ.....	33
ตารางที่ 4.6	สัดส่วนผสมมอร์ตาร์และไฟเบอร์	34
ตารางที่ 4.7	ผลการทดสอบการอุ้มน้ำของมอร์ตาร์สำหรับฉาบ	35
ตารางที่ 4.8	ค่าการก่อดัวของมอร์ตาร์	35
ตารางที่ 4.9	พื้นที่ใต้กราฟแบบจำลองพฤติกรรมการรับแรงดึงของคานมอร์ตาร์	40

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 หลักการวิเคราะห์แบบจำลองพฤติกรรมแบบย้อนกลับ.....	4
รูปที่ 2.2 การหา P ที่คำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงค่า δ_{notch} และค่า δ_c	5
รูปที่ 2.3 การตรวจสอบความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟ	6
รูปที่ 2.4 แสดงการยกขนย้ายชิ้นส่วนหลังการถอดแบบ.....	7
รูปที่ 2.5 แสดงรูปแบบการยกห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยคานเหล็ก.....	8
รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบการยกห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยสายพาน	8
รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ค่า k	10
รูปที่ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ค่า ϕ	10
รูปที่ 2.9 แสดงเส้นใยโพลีพรอพิลีนประเภท Fibrillated (ซ้าย) การเชื่อมต่อกันระหว่างเส้นใย ขณะผสมในคอนกรีต (ขวา).....	15
รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของห้องน้ำสำเร็จรูป.....	17
รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบขั้นตอนการศึกษา	18
รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งระนาบของผนังแต่ละด้าน	29
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดกับขนาดของรอยแตก.....	36
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและขนาดของรอยแตกที่ได้จากการวิเคราะห์แบบย้อนกลับ ..	37
รูปที่ 4.4 พฤติกรรมการรับแรงดัดของคาน.....	38
รูปที่ 4.5 คานเสมือนขณะทำการรับแรงดัด	38
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง δ_{notch} และ δ_c	39
รูปที่ 4.7 ขั้นตอนตรวจสอบความถูกต้องของความสัมพันธ์จากแบบจำลอง.....	39
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและขนาดรอยแตกของคานตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์	40
รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะโครงสร้างหลักของห้องน้ำสำเร็จรูป	41
รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะโครงสร้างพื้นและตำแหน่งการเสริมเหล็ก	42

รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะโครงสร้างของผนังและตำแหน่งการเสริมเหล็ก	43
---	----



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันห้องน้ำสำเร็จรูปเริ่มเป็นที่แพร่หลายในงานก่อสร้าง กล่าวคือมีการหล่อประกอบพร้อมทั้งมีการตกแต่งรวมทั้งติดตั้งสุขภัณฑ์ เป็นโครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูปพร้อมสำหรับติดตั้งและใช้งาน ซึ่งห้องน้ำสำเร็จรูปช่วยลดระยะเวลาในการก่อสร้าง, ช่วยลดค่าใช้จ่าย ทั้งในส่วนของคุณค่าแรง ค่าวัสดุก่อสร้าง และยังควบคุมคุณภาพของงานได้ดีอีกด้วย สำหรับห้องน้ำสำเร็จรูปในท้องตลาดที่นิยมใช้มีด้วยกันหลายชนิด เช่น แบบหล่อขึ้นรูปด้วยพอลิเมอร์ แบบโครงสร้างผนังเป็นชนิดผนังเบา เป็นต้น ซึ่งมีน้ำหนักค่อนข้างเบา แต่สำหรับผู้ใช้งานบางส่วนจะคิดว่าโครงสร้างผนังไม่แข็งแรงเนื่องจากวัสดุไม่ทึบเสียงเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยชิ้นนี้ โดยการเปลี่ยนวัสดุของผนังไปใช้มอร์ตาร์แทน ดังนั้น การลดน้ำหนักของโครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูปจึงเป็นเรื่องที่สำคัญต่อการศึกษา ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอการใช้มอร์ตาร์เสริมเส้นใย (fiber-reinforced concrete) แทนการใช้มอร์ตาร์ธรรมดา โดยเส้นใยจะมีส่วนช่วยเสริมกำลังรับแรงดึงในมอร์ตาร์ และจากปัจจัยในเรื่องของการรับแรงดึงที่สูงขึ้น จะส่งผลต่อการออกแบบโครงสร้างสำหรับใช้งาน ทำให้สามารถลดขนาดของโครงสร้างลงได้ นอกจากนี้ วัสดุประเภทเส้นใยยังมีข้อดีคือ สามารถหาได้ง่าย มีหลากหลายชนิดให้เลือกใช้ และง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งวัสดุประเภทเส้นใยมีหลายชนิดไม่ว่าจะเป็น เส้นใยจากธรรมชาติ เส้นใยเหล็ก เส้นใยสังเคราะห์ เป็นต้น นอกจากนี้ปัญหาในเรื่องของน้ำหนักโครงสร้างแล้ว ในระหว่างการยกขนย้ายเพื่อติดตั้งห้องน้ำก็ยังเป็นส่วนที่ทำให้เกิดความล่าช้าได้ สำหรับรูปแบบการติดตั้งที่นิยมใช้ ตัวอย่างเช่น การใช้แท่นสำหรับรองในส่วนของโครงสร้าง รวมไปถึงวิธีการยกโครงสร้างโดยใช้สายพานในการยก เป็นต้น ซึ่งทั้งสองแบบนี้มีความยุ่งยากในการติดตั้งกล่าวคือเมื่อติดตั้งเสร็จ จะต้องทำการเคลื่อนย้ายแท่นหรือสายพานออก ทำให้ส่งผลกระทบต่อตรงในเรื่องของเวลา

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น จึงพบว่าการนำมาศึกษาเพื่อพัฒนาและปรับปรุง โครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูปให้ดียิ่งขึ้นเป็นสิ่งสำคัญ โดยการศึกษาจะทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาความเค้นดึงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างผนัง อันจะนำไปสู่การเสริมกำลังรับแรงเชิงกลในผนัง, การลดขนาดของโครงสร้าง, ทำการก่อสร้าง และทดสอบด้วยวิธีต่างๆในระดับห้องปฏิบัติการ โดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ในขั้นตอนการผลิต รวมไปถึงวิธีการขนย้ายและติดตั้งอย่างเหมาะสม เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพหน้างานจริง

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงระหว่างการยกที่เกิดขึ้นในผนังห้องน้ำสำเร็จรูป
2. เพื่อศึกษาการใช้วัสดุชนิดใหม่ ที่สามารถช่วยในการรับแรงดึง ได้แก่ คอนกรีตเสริมเส้นใย

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบพฤติกรรมที่เกิดขึ้นและสามารถนำไปออกแบบผนังห้องน้ำสำเร็จรูปได้
2. สามารถลดขนาดของผนังห้องน้ำสำเร็จรูปได้

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ห้องน้ำสำเร็จรูป ขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 1.8 เมตร สูง 2.5 เมตร
2. น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงสร้างเป็นแรงกระทำในแนวตั้ง แรงกระทำเป็นแรงสถิต โดยไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และไม่พิจารณาแรงกระทำที่เป็นแรงประเภทพลศาสตร์
3. น้ำหนักบรรทุกที่นำมาพิจารณา เป็นไปตามข้อกำหนดของพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522
4. เส้นใยที่ใช้เป็นเส้นใยประเภทสังเคราะห์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ห้องน้ำสำเร็จรูป

ห้องน้ำสำเร็จรูป[1] คือ ห้องน้ำที่ก่อสร้างและประกอบสำเร็จจากโรงงาน แล้วขนส่งมาติดตั้งในโครงการก่อสร้าง โดยทั่วไปจะมีด้วยกัน 3 ประเภทคือ

1. ห้องน้ำที่เป็นคอนกรีตหล่อสำเร็จทั้งหมด
2. ห้องน้ำที่มีโครงสร้างผนังเป็นแผ่นเหล็กและพื้นเป็นคอนกรีต
3. ห้องน้ำที่มีโครงสร้างผนังเป็นแผ่นซีเมนต์บอร์ด และพื้นเป็นคอนกรีตหรือเส้นใยแก้ว

2.2 มอร์ตาร์สำหรับฉาบ

ใช้สำหรับฉาบผนังก่อหรือผิวมอร์ตาร์ด้วยการฉาบชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้เพื่อให้ได้ความหนาตามที่กำหนด อ้างอิงคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.1776-2542[2] โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

2.2.1 ความต้านทานแรงอัด

สำหรับก้อนลูกบาศก์ตัวอย่างที่มีอายุ 28 วัน ขนาด 50 มิลลิเมตร 3 ก้อน ต้องมีกำลังอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่าดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์สำหรับฉาบ

ประเภท	กำลังรับแรงอัดที่กำหนด (เมกะพาสคัล)
ฉาบผนังก่อ	2.5
ฉาบผิวคอนกรีต	5

2.2.2 ความอุ้มน้ำ (Water retention)

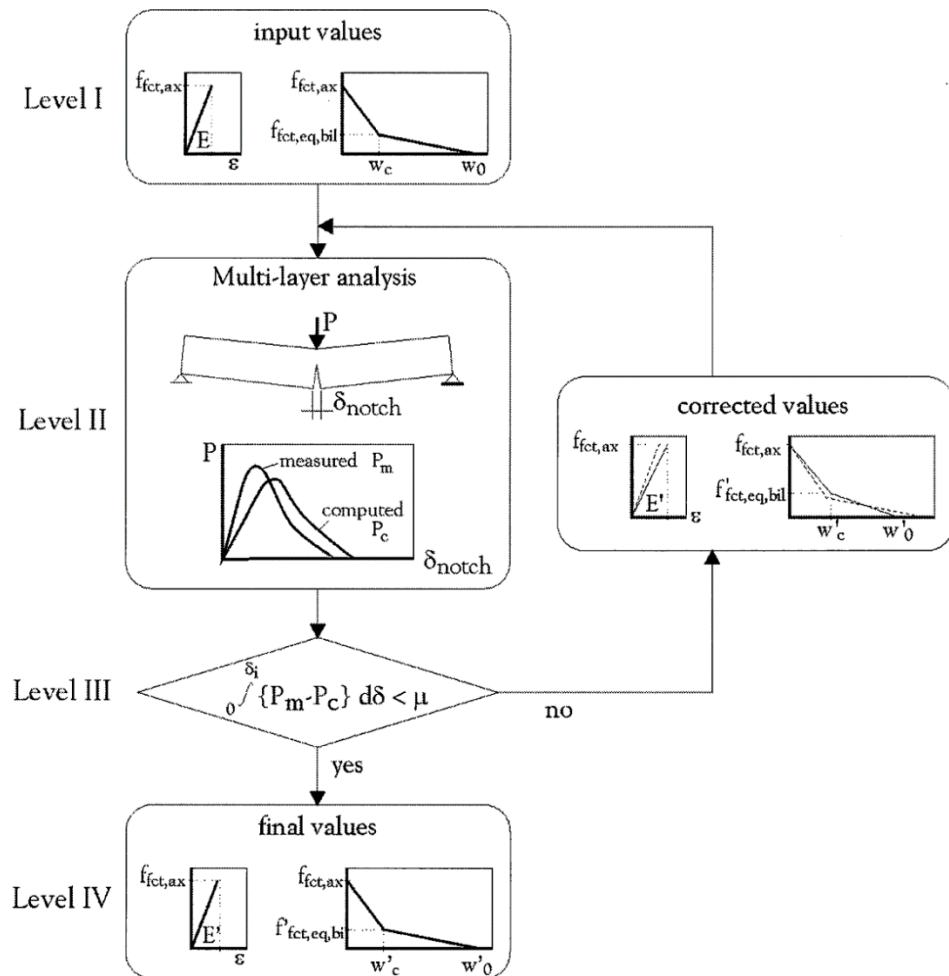
ต้องอุ้มน้ำไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 โดยกำหนดให้มีค่าการไหลผ่านเบื้องต้น 110 ± 5 โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C1506-08[3]

2.2.3 ระยะเวลาการก่อตัว (Setting time)

ต้องมีระยะเวลาไม่น้อยกว่า 60 นาที โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C807[4]

2.3 การวิเคราะห์แบบย้อนกลับ (Inverse Analysis)

วิธีการวิเคราะห์แบบย้อนกลับของมอร์ตาร์เสริมเส้นใย[5] เป็นแบบจำลองอย่างง่ายเพื่ออธิบายพฤติกรรมของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยในสภาพการรับแรงดึงหลังจากการแตกร้าวของมอร์ตาร์ โดยจากการวิเคราะห์จะทำให้ทราบค่าของระยะรอยร้าวแยก ณ จุดบากที่ใกล้เคียงกับค่าความจริงมากที่สุด การวิเคราะห์แบบจำลองพฤติกรรมแบบย้อนกลับมีหลักการในการคิดดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการวิเคราะห์แบบจำลองพฤติกรรมแบบย้อนกลับ

ขั้นที่ 1 สมมติกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (stress) ระยะรอยร้าวแยก ณ จุดบาก (notch crack opening) โดยทราบค่า

$f_{fctm,ax}$ - จากกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์

โดยอ้างอิงจาก $f_{fctm,ax} = 0.3 \cdot (f_{fck})^{2/3}$ โดยที่ f_{fck} คือ กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

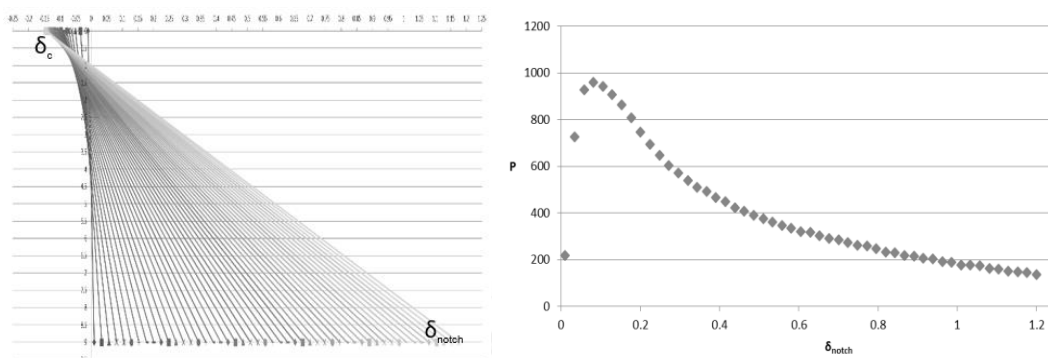
W_0 - ระยะฝั่งตัวของเส้นใยเหล็ก มีค่าเท่ากับความยาวของเส้นใย

ค่าที่ต้องสมมติขึ้น

$f_{fctm,eq,bil}$ - กำลังหลังการเกิดรอยร้าวแยกเทียบเท่า

W_c - ระยะรอยร้าวแยกที่เกิดได้สูงสุดก่อนการวิบัติ

ขั้นที่ 2 สมมติค่า δ_{notch} และค่า δ_c เพื่อหากราฟ P ที่ได้จากการคำนวณ ดังแสดงดังรูปที่ 2.2



δ_c = maximum displacement in compressive zone

δ_{notch} = crack opening displacement

รูปที่ 2.2 การหา P ที่คำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงค่า δ_{notch} และค่า δ_c

เมื่อกราฟถูกต้องจะต้องทำให้ N เข้าใกล้ศูนย์จากสมการสมดุล

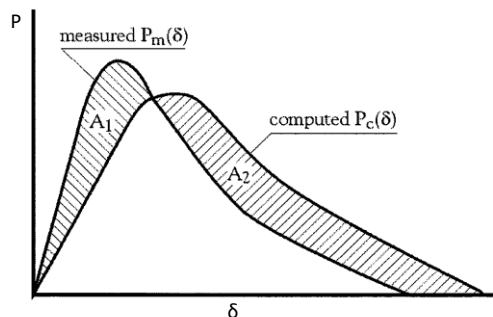
$$(1) N = \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot h_i \cdot b = 0$$

$$(2) M_{int} = \sum_{i=1}^n Z_i \cdot \sigma_i \cdot h_i \cdot b$$

$$(3) P = 4M / l$$

จะได้ P ที่ได้จากการคำนวณ

ขั้นที่ 3 ตรวจสอบความถูกต้อง



รูปที่ 2.3 การตรวจสอบความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟ

ถ้า $A_1 < A_2$ เมื่อ $\Delta D_{fc} = 1 - A_1 / A_2$

ถ้า $A_1 > A_2$ เมื่อ $\Delta D_{fc} = 1 - A_2 / A_1$

โดยที่ $\Delta D_{fc,max}$ คือผลต่างของพื้นที่ใต้กราฟระหว่าง ผลจากการทดสอบจริง และ ผลจากการใช้วิธีการวิเคราะห์แบบย้อนกลับ โดยที่ $\Delta D_{fc,max} = 0.1$

2.4 การออกแบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตสำเร็จรูป

หลักในการพิจารณาเพื่อการออกแบบผนังสำเร็จรูปประกอบ[6] ด้วยหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1. น้ำหนักบรรทุก จะพิจารณาในส่วนของแรงกระทำต่างๆทั้งหมดที่กระทำต่อโครงสร้างไม่ว่าจะเป็น น้ำหนักของตัวผนังเอง น้ำหนักบรรทุกตายตัว น้ำหนักบรรทุกจร แรงแผ่นดินไหว แรงลม ซึ่งมีลักษณะของการกระทำที่แตกต่างกันไปในระหว่างการก่อสร้าง หรือระหว่างการใช้งาน
2. ขั้นตอนการก่อสร้าง สำหรับการก่อสร้างผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจะมีด้วยกัน 3 ขั้นตอนคือ
 1. ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป
 2. ขั้นตอนการขนส่งและโยกย้าย
 3. ขั้นตอนการประกอบและติดตั้ง
3. ระยะเวลาการก่อสร้าง การก่อสร้างจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้รวมไปถึงระดับเทคโนโลยี เช่น การใช้คอนกรีตประเภทเร่งการก่อตัวกรณีที่ต้องการถอดแบบเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หรือ การพิจารณาใช้การเทคอนกรีตในที่ร่วมกับชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น
4. เสถียรภาพของโครงสร้าง พิจารณาทุกๆขั้นตอนของการก่อสร้างและขณะรับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน เช่น การใช้ค้ำยันชั่วคราวระหว่างก่อสร้าง ต้องมีการพิจารณาเพื่อออกแบบโดยเฉพาะ

เพื่อป้องกันการล้มคว่ำของผนังหล่อสำเร็จรูป หรือการต้อยึดชิ้นส่วนสำเร็จรูปต่างๆเข้าด้วยกันต้องทำให้เกิดความมั่นคงของโครงสร้าง ไม่ล้มพับลงมา เป็นต้น

2.4.1 ขั้นตอนการขนส่งและขนย้าย

หลังจากการถอดแบบ การขนย้ายชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจะทำได้โดยอาศัยจุดยกที่ฝังไว้ในผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ซึ่งฝังไว้ก่อนที่จะมีการเทคอนกรีต โดยยกไปที่จุดพักเพื่อเตรียมขนส่งไปสถานที่ก่อสร้าง ดังรูปที่ 2.4 โดยในการขนย้าย จะต้องมีการจัดลำดับที่เหมาะสม โดยมองในส่วนของความต้องการใช้งานรวมทั้ง พิจารณาไปถึงขนาดของชิ้นส่วน โดยต้องมีขนาดที่สามารถขนย้ายได้ตามกฎหมาย เช่น กรณีที่ใช้ถนนสาธารณะ ชิ้นส่วนที่มีขนาดกว้างกว่า 2.5 เมตร จะต้องขนส่งในลักษณะตั้งหรือเอียง โดยมีความสูงไม่เกิน 4 เมตร (ยกเว้นว่ามีการขออนุญาตเป็นพิเศษ) เป็นต้น



รูปที่ 2.4 แสดงการยกขนย้ายชิ้นส่วนหลังการถอดแบบ

2.4.2 การต้อยึดชิ้นส่วนผนังต่างๆด้วยจุดต้อยึด

สามารถทำได้ 2 กรณี (ขึ้นอยู่กับกรอกแบบ) ได้แก่

1. จุดต้อยึดแบบเปียก โดยฝัง Dowel bars เพื่อยึดผนัง แล้วเทคอนกรีตตามรอยต่อ
2. จุดต้อยึดแบบแห้ง โดยเชื่อมเหล็กฉากเข้ากับแผ่นเหล็กที่ฝังไว้ในขั้นตอนการผลิต สำหรับการเชื่อมต่อดังวิธีนี้จะต้องป้องกันน้ำซึมตามแนวขอบผนังคอนกรีตโดยการใส่ยาแนว

2.4.3 แนวทางการวิเคราะห์และออกแบบ

จากที่กล่าวไปข้างต้น การวิเคราะห์พฤติกรรมการรับน้ำหนักของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ

1. ขณะถอดแบบ

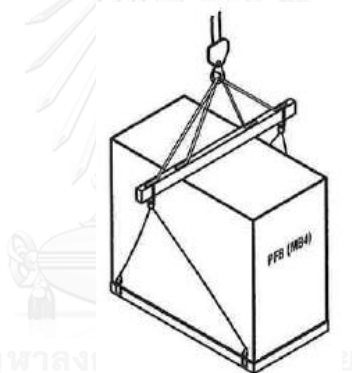
กรณีแบบหล่อไม่สามารถหมุนตั้งขึ้นได้ ผนังคอนกรีตจะถูกยกตั้งขึ้น เพื่อเตรียมขนย้าย ดังนั้น ผนังจะรับน้ำหนักบรรทุกตัวเองเพียงอย่างเดียว โดยเป็นไปดังรูปที่ 2.2 ซึ่งพฤติกรรมการรับน้ำหนักของผนังในขั้นตอนนี้จะเป็นการรับแรงคด อันเนื่องมาจากน้ำหนักของตัวเอง

2. ขณะขนส่งและโยกย้าย
3. ขณะรับน้ำหนักบรรทุกจริง

2.5 รูปแบบการขนย้ายห้องน้ำสำเร็จรูป

ในการขนย้ายและติดตั้งห้องน้ำสำเร็จรูป[1] สำหรับวิธีการขนย้ายนั้นสามารถทำได้หลายรูปแบบดังต่อไปนี้

1. การขนย้ายห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยการสอดคานเหล็กใต้โครงสร้างห้องน้ำแล้วทำการยกที่บริเวณคานเหล็กแทนการยกที่โครงสร้างห้องน้ำโดยตรง (lifting beam)[1] ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงรูปแบบการยกห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยคานเหล็ก

2. การขนย้ายห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยการใช้สายพานในการยก (lifting belt)[1] ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบการยกห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยสายพาน

2.6 แนวทางการออกแบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูปอ้างอิงจากมาตรฐาน ACI 318

จากมาตรฐาน ACI 318[7] ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจะต้องสามารถรับแรงต่างๆที่มากกระทำต่อผนังได้รวมทั้งแรงเยื้องศูนย์กลางในแนวแกนและแรงด้านข้าง

2.6.1 ข้อกำหนดการเสริมเหล็ก

1. การเสริมเหล็กในแนวตั้ง กำหนดให้สัดส่วนระหว่างปริมาณเหล็กเสริมในแนวตั้งต่อหน้าตัดคอนกรีตคือ ρ_t

1. 0.0012 สำหรับเหล็กข้ออ้อย ขนาดไม่เกิน 16 มม. และ f_y ไม่น้อยกว่า 420 MPa
2. 0.0015 สำหรับเหล็กข้ออ้อยขนาดอื่นๆ

2. การเสริมเหล็กในแนวนอน กำหนดให้สัดส่วนระหว่างปริมาณเหล็กเสริมในแนวตั้งต่อหน้าตัดคอนกรีตคือ ρ_t

1. 0.0020 สำหรับเหล็กข้ออ้อย ขนาดไม่เกิน 16 มม. และ f_y ไม่น้อยกว่า 420 MPa
2. 0.0025 สำหรับเหล็กข้ออ้อยขนาดอื่นๆ

3. กรณีที่ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปหนากว่า 250 มม. ยกเว้นผนังชั้นใต้ดิน จะต้องมีการเสริมเหล็กในทุกๆทิศทาง

4. เหล็กเสริมทั้งสองแนว จะต้องมียะห่างไม่เกิน 3 เท่าของผนัง หรือไม่เกิน 450 มม.

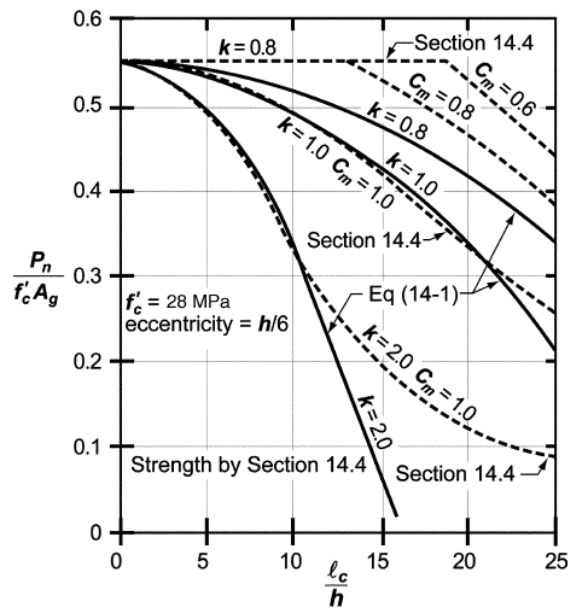
5. เหล็กเสริมในแนวตั้งไม่จำเป็นต้องขนานกับเหล็กตาข่ายถ้าอัตราส่วนปริมาณเหล็กเสริมในแนวตั้งกับหน้าตัดคอนกรีตไม่เกิน 0.01 หรือกรณีที่ไม่ได้ใส่เหล็กเสริมในแนวตั้ง

2.6.2 การออกแบบด้วยสูตรอย่างง่าย

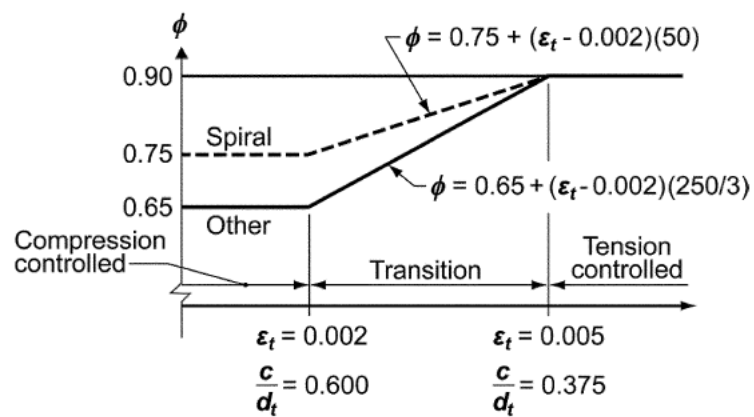
1. สำหรับผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า กำหนดให้แรงที่มากกระทำ อันประกอบด้วยแรงด้านข้างหรือแรงเยื้องศูนย์กลางคือ P_u สำหรับการออกแบบด้วยสูตรอย่างง่ายนั้น P_u ที่มากกระทำจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกำลังรับแรงในแนวแกน ϕP_n ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

โดยที่ k หรือความยาวประสิทธิผล มีค่า 0.8 กรณีที่มีการยึดตั้งด้านใดด้านหนึ่งของผนัง ส่วนกรณีอื่นๆ เป็นไปตามรูปที่ 2.4 และ ϕ เป็นไปตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ค่า k



Interpolation on c/d_t :
 Spiral $\phi = 0.75 + 0.15[(1/c/d_t) - (5/3)]$
 Other $\phi = 0.65 + 0.25[(1/c/d_t) - (5/3)]$

รูปที่ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ค่า ϕ

2. ข้อกำหนดของความหนาของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่ออกแบบด้วยสูตรอย่างง่าย
 1. สำหรับผนังรับน้ำหนัก (Bearing Wall) ไม่ควรหนาน้อยกว่า 100 มม.
 2. สำหรับผนังใต้ดินภายนอก (Exterior Basement Wall) ไม่ควรน้อยกว่า 190 มม.

2.7 แนวทางการออกแบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูปอ้างอิงจากมาตรฐาน ACI 533

สำหรับการการออกแบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูปตามมาตรฐาน ACI 533[8] จะพิจารณาตามหลักการดังต่อไปนี้

2.7.1 แรงที่ใช้ในการออกแบบ

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจะต้องสามารถต้านทานแรงกระทำดังต่อไปนี้

1. แรงที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานรองรับ การเคลื่อนตัวจากการคืบและการหดตัว รวมทั้งผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และการยึดรั้งของโครงสร้าง
2. แรงที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้าง การยกขนย้าย การขนส่ง การกระแทก น้ำหนักบรรทุกตายตัว น้ำหนักบรรทุกจร รวมทั้งแรงดันด้านข้างของดิน แรงลม และแรงจากแผ่นดินไหว
3. ความเค้นและแรงกระทำที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อ
4. แรงที่เกิดจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป และการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เนื่องจากฐานรองรับของโครงสร้าง

2.7.2 สภาพะด้านการใช้งาน

โดยทั่วไปแรงที่กระทำตั้งฉากและขนานกับผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่ส่งผลให้เกิดการแอ่นตัวจะต้องนำมาพิจารณา รวมทั้งต้องพิจารณาในเรื่องของ ความล้า การกระแทก การแตกร้าว และความมีเสถียรภาพด้วย

2.7.2.1 การแอ่นตัวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ในสภาวะการใช้งานจริง การแอ่นตัวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปไม่ควรเกินค่าดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการแอ่นตัวที่ยอมได้ของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ประเภทของชิ้นส่วน	ค่าการแอ่นตัวที่ต้องพิจารณา	ค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้
ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ต้องรับแรง	แอ่นตัวทันทีเมื่อมีผลของการอัดแรงของคอนกรีต รวมถึงน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติมคงที่	L/240 แต่ไม่เกิน 20 มม.
	แอ่นตัวทันทีเนื่องจากผลของน้ำหนักบรรทุกจร	L/480 แต่ไม่เกิน 20 มม.

ประเภทของชิ้นส่วน	ค่าการแอ่นตัวที่ต้องพิจารณา	ค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้
ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ไม่ได้รับแรง	การโก่งตัวทั้งหมดหลังจากติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จไม่ได้รับแรง (คิดผลของการโก่งตัวระยะยาวจากแรงค้ำและ การโก่งตัวทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร)	L/480 แต่ไม่เกิน 20 มม.

2.7.3 การป้องกันและควบคุมการแตกร้าว

การลดความกว้างของรอยแตกร้าวโดยการเลือกและจัดวางเหล็กเสริมอย่างเหมาะสม รวมไปถึงในช่วงระหว่างการหล่อคอนกรีตก็ควรจัดตำแหน่งของเหล็กเสริมไม่ให้เคลื่อนตำแหน่งไปจากเดิม นอกจากนี้เหล็กเสริมพวกเหล็กรักรอบ เหล็กขนาดเล็ก ตะแกรงเหล็กก็มีส่วนช่วยในการป้องกันการแตกร้าวเช่นกัน

2.8 มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กอ้างอิงมาตรฐาน AISC

สำหรับมาตรฐาน AISC 2010[9] กล่าวถึงในเรื่องของ การออกแบบของค้ำอาคารซึ่งมีแรงดัดและแรงดึงกระทำร่วมกันไว้ว่า สำหรับหน้าตัดเหล็กรูปพรรณที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

$$0.1 \leq \left(\frac{I_{yc}}{I_y} \right) \leq 0.9$$

โดยที่ค่า I_{yc} คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยแกน y ของปีกคาน

โดยพิจารณาแยกเป็นกรณีดังต่อไปนี้

$$(1) \frac{P_r}{P_t} \geq 0.2$$

$$\frac{P_r}{P_t} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) < 1.0$$

$$(2) \frac{P_r}{P_t} < 0.2$$

$$\frac{P_r}{2P_t} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) < 1.0$$

โดยที่ P_r คือ กำลังรับแรงในแนวแกนอันดับสองที่ต้องการ หรือ มีค่าเท่ากับ $P_{nt} + B_2 P_{lt}$

P_{nt} คือ แรงที่กระทำในแนวแกนอันดับหนึ่งที่ไม่ได้ผลของการล้มพับของโครงสร้าง

P_{lt} คือ แรงที่กระทำในแนวแกนอันดับหนึ่งที่มีผลของการล้มพับของโครงสร้าง

P_t คือ กำลังรับแรงดึงปรากฏของโครงสร้าง

สำหรับวิธี ASD $P_t = P_n / \Omega_t$

สำหรับวิธี LRFD $P_t = \phi_t M_n$ โดยที่ $\phi_t = 0.9$ และ $\Omega_t = 1.67$

M_r คือ กำลังรับแรงดัดอันดับสองที่ต้องการ หรือมีค่าเท่ากับ $B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$

M_{nt} คือ แรงดัดอันดับหนึ่งที่ไม่ได้ผลของการล้มพับของโครงสร้าง

M_{lt} คือ แรงดัดอันดับหนึ่งที่มีผลของการล้มพับของโครงสร้าง

M_c คือ กำลังรับแรงดัดปรากฏของโครงสร้าง

สำหรับวิธี ASD $M_c = M_n / \Omega_t$

สำหรับวิธี LRFD $M_c = \phi_t M_n$

B_1 คือ ตัวประกอบการคูณของการรับแรงดัดซึ่งเกี่ยวข้องกับผลของ $P-d$

มีค่าเท่ากับ
$$\frac{C_b}{\left(1 - \frac{\alpha P_r}{P_{e1}}\right)} \geq 1.0$$

B_2 คือ ตัวประกอบการคูณของการรับแรงดัดซึ่งเกี่ยวข้องกับผลของ $P-d$

มีค่าเท่ากับ
$$\frac{1}{\left(1 - \frac{\alpha P_{story}}{P_{estory}}\right)} \geq 1.0$$

สำหรับวิธี ASD $\alpha = 1.60$

สำหรับวิธี LRFD $\alpha = 1.00$

C_b มีค่าเท่ากับ $\sqrt{1 + \alpha P_u / P_{ey}} \times C_b$

(จากสมการ $\frac{12.5 M_{max}}{2.5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} R_m$)

P_{e1} มีค่าเท่ากับ $\frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2}$

K_1 มีค่าเท่ากับ 1.0

P_{story} คือ แรงกระทำในแนวตั้งทั้งหมดบนโครงสร้างที่พิจารณาในแต่ละชั้น

P_{estory} คือ กำลังรับแรงจากการโก่งเดาะของโครงสร้างในแต่ละชั้น

2.9 เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic fibers)

เส้นใยสังเคราะห์[10] สำหรับงานโครงสร้างนั้นนิยมใช้เพื่อลดการแตกร้าวประเภทหดตัว (shrinkage crack) โดยเฉพาะในโครงสร้างพื้น ซึ่งจะช่วยลดการแตกร้าวประเภทหดตัวแบบพลาสติกได้นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติการกันรอยขีดข่วนและความเหนียวได้อีกด้วย

2.9.1 การควบคุมรอยแตกของเส้นใยสังเคราะห์

การแตกร้าวประเภทหดตัวนั้น เป็นรอยแตกขนาดเล็ก และเป็นรอยแตกที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสามารถพัฒนาขึ้นในช่วงคอนกรีตอายุ 24 ชั่วโมงแรก หลังจากทำการหล่อ ซึ่ง การแตกร้าวประเภทหดตัวนั้นมีด้วยกัน 2 ชนิดคือ

1. การแตกร้าวประเภทหัวตัวแบบพลาสติก จะเกิดขึ้นก่อนที่คอนกรีตจะเริ่มแข็งตัว
2. การแตกร้าวประเภทหดตัวแบบแห้ง จะเกิดขึ้นหลังจากคอนกรีตเริ่มแข็งตัวแล้ว

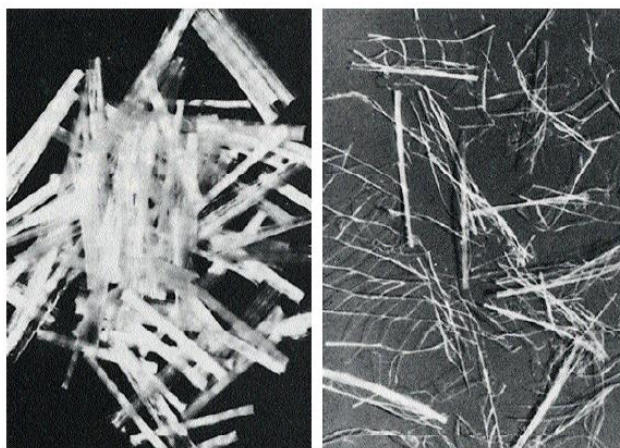
ซึ่งการแตกร้าวประเภทนี้ สาเหตุหลักเกิดจากการสูญเสียความชื้นภายในคอนกรีตระหว่างที่คอนกรีตเริ่มพัฒนากำลัง การแตกร้าวประเภทนี้จะไม่เกิดขึ้น หากในระหว่างพัฒนากำลังของคอนกรีตนั้นไม่มีการยึดรั้งใดๆ

2.9.2 คุณสมบัติด้านอื่นๆของเส้นใยสังเคราะห์

1. เพิ่มคุณสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของคอนกรีต (ประมาณ 10 – 50 เปอร์เซ็นต์)
2. เพิ่มคุณสมบัติการกันรอยขีดข่วน (ประมาณ 20 – 52 เปอร์เซ็นต์)
3. ลดคุณสมบัติการซึมผ่าน (ประมาณ 33 – 45 เปอร์เซ็นต์)
4. เพิ่มความเหนียว (ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์)

2.9.3 ประเภทของเส้นใยสังเคราะห์

1. โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) เป็นชนิดที่นิยมใช้มากที่สุดในคอนกรีตผสมเสร็จ โดยขนาดที่นิยมนำมาใช้งานจะอยู่ที่ความยาวประมาณ $\frac{1}{4}$ ถึง $2\frac{1}{2}$ นิ้ว ซึ่งเส้นใยสังเคราะห์ประเภทโพลีโพรพิลีน จำแนกออกเป็น 2 ประเภทคือ 1. Fibrillated 2. Monofilament ซึ่งประเภทที่นิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีตเป็นประเภท Monofilament เนื่องจากไม่มีการยึดรั้งเกิดขึ้นในซีเมนต์แมทริกซ์ (Cement Matrix) เมื่อเทียบกับชนิด Fibrillated ซึ่งเมื่อทำการผสมลงในคอนกรีตจะมีการเชื่อมต่อกันระหว่างเส้นใยดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.9 แสดงเส้นใยโพลีพรอพิลีนประเภท Fibrillated (ซ้าย)
การเชื่อมต่อกันระหว่างเส้นใยขณะผสมในคอนกรีต (ขวา)

2. โพลีเอสเตอร์ (Polyester) สำหรับเส้นใยโพลีเอสเตอร์จะมีเพียงประเภทเดียวคือ Monofilament ซึ่งขนาดที่นำมาใช้งานจะอยู่ในช่วง ¼ ถึง 2 นิ้ว SSSS
3. ไนลอน (Nylon) เช่นเดียวกับโพลีเอสเตอร์ เส้นใยไนลอนก็มีเพียงประเภทเดียวคือ Monofilament ขนาดที่นำมาใช้งานอยู่ในช่วง ¼ ถึง 2 นิ้ว สำหรับเส้นใยไนลอนนั้นจะมีคุณสมบัติต่างกับเส้นใยโพลีพรอพิลีน และโพลีเอสเตอร์ กล่าวคือ เมื่อนำไปผสมในคอนกรีต จะทำปฏิกิริยาเคมีกับคอนกรีตด้วย ต่างจากอีกสองชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีแต่จะส่งผลในแง่เชิงกลอย่างเดียว ดังนั้นการนำไปใช้งานอย่างเหมาะสมจึงแนะนำให้ใช้ในปริมาณไม่เกิน 1 pound/yard³ เพื่อช่วยเสริมกำลังในคอนกรีตได้เช่นเดียวกับเส้นใยสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.9.4 การนำเส้นใยสังเคราะห์ไปใช้ในงานคอนกรีต

1. งานผสมคอนกรีต

เส้นใยสังเคราะห์สามารถใส่ลงไปพร้อมกับหินและทรายได้เลย โดยที่มีมาตรฐานกำหนดว่าในการปั่นผสม ควรใช้เวลาอย่างน้อย 3-7 นาที เพื่อให้เส้นใยสังเคราะห์กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งคอนกรีต อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 94

2. การเทคอนกรีต

เนื่องจากการนำเส้นใยสังเคราะห์มาผสมในคอนกรีตจะส่งผลให้ความสามารถในการทำงาน (Workability) ลดลง ดังนั้นควรมีการใส่สารผสมเพิ่มจำพวกสารลดน้ำ หรือ superplasticizer เพื่อให้คอนกรีตสามารถทำงานได้ดีขึ้น

3. เส้นใยสังเคราะห์กับงานคอนกรีตสำเร็จรูป

การเพิ่มเส้นใยสังเคราะห์ในงานคอนกรีตสำเร็จรูปจะช่วยเพิ่มกำลังบางส่วนในช่วงคอนกรีตอายุน้อยๆ รวมถึงป้องกันการแตกร้าวระหว่างการขนย้ายอีกด้วย



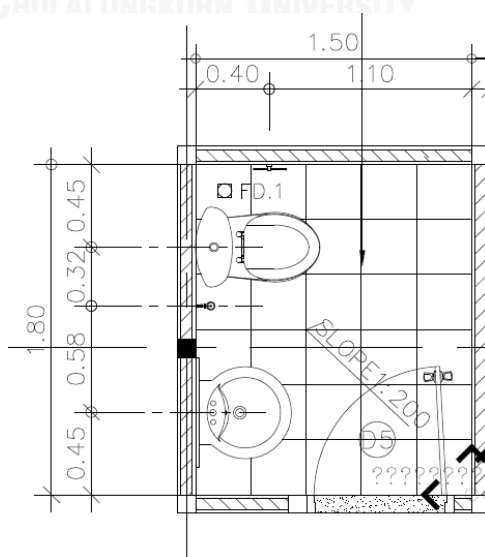
บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนทั้งหมดในการทดสอบ โดยทำการวางแผนและแบ่งขั้นตอน การศึกษางานวิจัยออกเป็นทั้งหมดสี่ส่วนได้แก่ ส่วนแรกคือ การศึกษาแนวทางและเลือกตัวอย่างที่เหมาะสม ส่วนที่สองคือ ทำการวิเคราะห์หาความเค้นที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างห้องน้ำในช่วงของการยก เพื่อติดตั้งภายในอาคารด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์อันจะนำไปสู่การออกแบบสัดส่วนผสม มอร์ตาร์เสริมเส้นใยซึ่งเป็นส่วนของโครงสร้างผนังที่ช่วยในการรับแรงบางส่วนจากโครงสร้างหลัก ส่วนที่สามคือ การทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพในการรับแรงเชิงกลของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยเพื่อให้ได้สัดส่วนผสมที่เหมาะสมแก่การใช้งาน และสุดท้ายคือ การออกแบบโครงสร้างห้องน้ำ

3.1 ศึกษาแนวทางและเลือกตัวอย่างที่เหมาะสม

จากการศึกษาและทบทวนงานวิจัย ทำให้ได้แนวทางในการเลือกชนิดของโครงสร้างที่มีความแข็งแรง และมีน้ำหนักที่เหมาะสมต่อการขนย้าย ซึ่งโครงสร้างหลักที่เลือกใช้ คือโครงสร้างเหล็ก เนื่องจากมีน้ำหนักที่เบา และกำลังรับแรงดึงที่ค่อนข้างมากพอที่จะรับแรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักของโครงสร้างทั้งหมด นอกจากนี้ในส่วนของผนังห้องน้ำ เลือกใช้เป็นมอร์ตาร์เสริมเส้นใย เพื่อช่วยในการรับแรงบางส่วนที่เกิดขึ้นในระหว่างการยกติดตั้ง ทั้งนี้ยังมีข้อดีในเรื่องของความแข็งแรงและทึบเสียง สำหรับโครงสร้างห้องน้ำในงานวิจัยนี้จะมีขนาดความกว้าง 1.5 เมตร ยาว 1.8 เมตร และสูง 3 เมตร ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของห้องน้ำสำเร็จรูป

เมื่อทำการเลือกวัสดุที่ใช้แล้วจึงทำการพิจารณาโครงสร้างในขณะที่รับแรงกระทำในแนวดิ่ง โดยแรงที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย แรงน้ำหนักบรรทุกทุกคงที่ และ แรงน้ำหนักบรรทุกทุกคงที่ส่วนเพิ่ม โดยที่ไม่พิจารณาแรงกระทำด้านข้าง เนื่องจาก ในระหว่างการติดตั้งห้องน้ำสำเร็จรูปจริง ให้ติดตั้งในขณะที่ลมสงบ โดยรูปแบบขั้นตอนการศึกษาเป็นไปตามรูปที่ 3.2

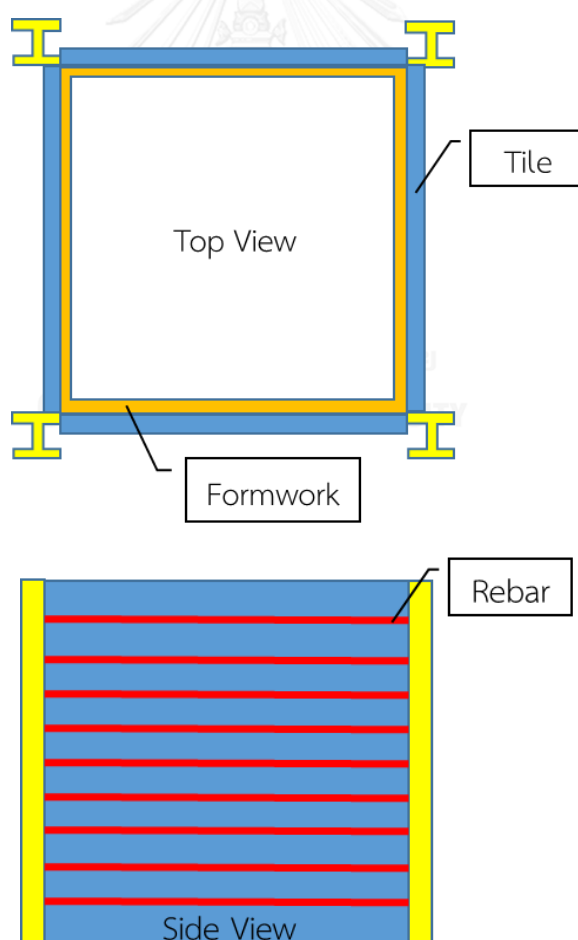


รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบขั้นตอนการศึกษา

3.2 การสร้างแบบจำลองห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยวิธีระเบียบการทางไฟไนต์เอลิเมนต์และออกแบบ สัดส่วนผสมมอร์ตาร์เสริมเส้นใย

3.2.1 แบบจำลองห้องน้ำสำเร็จรูป

สำหรับการสร้างแบบจำลองโมเดลในงานวิจัย จะเป็นการจำลองโครงสร้างห้องน้ำ โดยสร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์ผลของแรงที่เกิดขึ้นในระหว่างการยกและการติดตั้งห้องน้ำสำเร็จรูป ซึ่งแบบจำลองห้องน้ำสำเร็จรูป จะประกอบไปด้วยวัสดุทั้งหมด 2 ชนิดคือ คอนกรีต และเหล็กรูปพรรณ การวิเคราะห์โครงสร้างจะทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAP2000 โดยพิจารณาในเรื่องของการรับแรงดึงซึ่งโครงสร้างที่เป็นเหล็กรูปพรรณ และผนังคอนกรีต จะเป็นส่วนที่ต้องช่วยกันรับน้ำหนัก เนื่องจากผนังห้องน้ำจะทำการก่อสร้างโดยเริ่มจากตั้งแบบไม้และแปะกระเบื้องที่แบบไม้ จากนั้นเชื่อมเหล็กเสริมในผนังยึดกับโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ และทำการฉาบขึ้นรูปผนัง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการก่อสร้างผนังห้องน้ำสำเร็จรูป

ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นประกอบด้วย

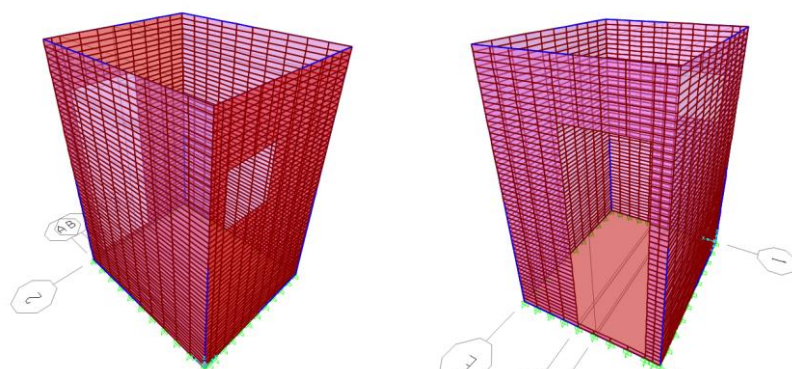
1. น้ำหนักตายตัว หรือ น้ำหนักของโครงสร้างเอง
2. น้ำหนักบรรทุกคงที่ส่วนเพิ่ม ซึ่งก็คือ น้ำหนักในส่วนของกระเบื้องและสุขภัณฑ์ต่างๆในห้องน้ำ

โดยอ้างอิงตาม นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาในส่วนจากรูปแบบการขนย้ายของห้องน้ำร่วมด้วย โดยมีตัวแปรที่ต้องศึกษาคือ

1. กำลังรับแรงของคอนกรีต f_c'
2. ปริมาณเส้นใย

สำหรับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAP2000 นั้นจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นคอนกรีตธรรมดาโดยที่ไม่มีการใส่เส้นใยลงไป กล่าวคือ เลือกวิเคราะห์ตัวอย่างเป็นวัสดุประเภท isotropic โดยรับแรงที่เกิดขึ้นจากแรงที่กล่าวข้างต้น

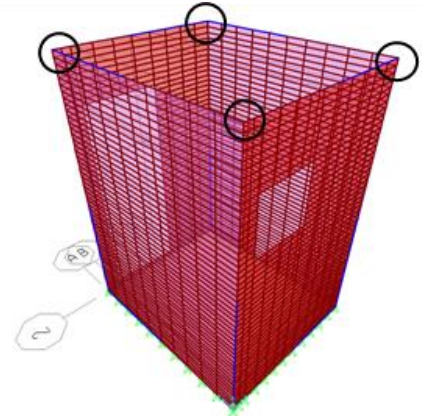
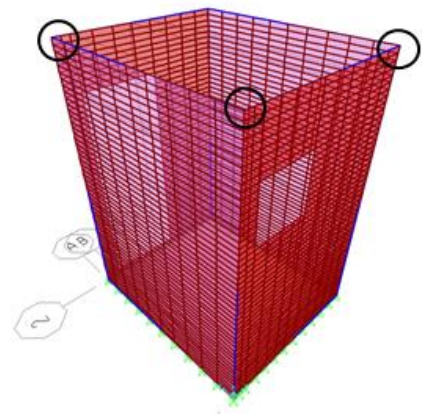
การจำลองโครงสร้างจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ 1.ผนังคอนกรีต 2.โครงเพรมเหล็ก 3.พื้นคอนกรีต โดยแต่ละโครงสร้างจะถูกสร้างโดยชนิดของเอลิเมนต์ที่แตกต่างกัน ผนังคอนกรีตจะถูกสร้างโดยใช้ shell element เนื่องจากผนังเป็นส่วนที่ต้องช่วยโครงสร้างเหล็กในการรับในช่วงการยก ดังนั้น shell element จึงเหมาะสมที่จะเลือกมาจำลองพฤติกรรม เพราะว่า shell element นั้นจะรับแรงทั้ง in plane และ out of plane โครงเพรมเหล็กจะถูกสร้างโดยใช้ frame element และพื้นคอนกรีตจะถูกสร้างโดยใช้ membrane element จำนวนของความอิสระการเคลื่อนที่ (degree of freedom) ก็จะแตกต่างกันตามชนิดของเอลิเมนต์ที่ใช้ ในการจำลองโครงสร้างจะจำลองเป็นรูปแบบสามมิติ เพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์และเห็นถึงพฤติกรรมของโครงสร้างได้เหมือนกับโครงสร้างจริงมากที่สุด จากนั้นเริ่มทำการสร้างแบบจำลอง ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะแบบจำลองโครงสร้างห้องน้ำด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ซึ่งจำแนกตามตำแหน่งจุดยกดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งจุดยกที่ส่งผลให้เกิดความเค้นสูงสุดในโครงสร้าง

จำนวนหุยกติดตั้ง	รูปแสดงตำแหน่งหุยก
4 หุ	
3 หุ	

โดยทั่วไปแล้วในการติดตั้ง จะต้องยก 4 หุเพื่อความปลอดภัย แต่ที่พิจารณา กรณีอื่นๆเพิ่มเติม เนื่องจาก หน่วยงานจริง บางครั้งคนงานมักจะคล่องลวดสลิงไม่ครบทุกตำแหน่ง สำหรับทั้ง 2 กรณีนี้จะเลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ทำให้เกิดความเค้นสูงสุดในโครงสร้าง และลักษณะการยกจะจำแนกเป็น 2 ประเภท 1. แบบแนวการยกทำมุม 90 องศา กับแนวผนัง 2. แบบแนวการยกทำมุม 60 องศา กับแนวผนัง

เมื่อทราบแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างผนังแล้วจึงทำการเลือกและออกแบบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการรับแรงที่เกิดขึ้นดังหัวข้อถัดไป

3.2.2 การออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์เสริมเส้นใย

ทำการออกแบบสัดส่วนผสมของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยเพื่อให้สอดคล้องกับการรับแรงที่เกิดขึ้นในผนังห้องน้ำ

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยและประสิทธิภาพการรับแรงเชิงกล

3.3.1 การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์เสริมเส้นใย

ในการเลือกสัดส่วนผสมของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างห้องน้ำสำเร็จรูปนั้นจะคำนึงถึงคุณสมบัติดังต่อไปนี้

3.3.1.1 ความต้านทานแรงอัด

สำหรับก้อนลูกบาศก์ตัวอย่างที่มีอายุ 28 วัน ขนาด 50 มิลลิเมตร 3 ก้อน ทำการทดสอบ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนลูกบาศก์ตัวอย่าง

ซึ่งก่อนลูกบาศก์ต้องมีกำลังอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่าดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความต้านทานแรงอัด

ประเภท	กำลังรับแรงอัดที่กำหนด (เมกะพาสคัล)
ฉาบผนังก่อ	2.5
ฉาบผิวคอนกรีต	5

3.3.1.2 ความอุ้มน้ำ (Water retention)

ต้องอุ้มน้ำไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 โดยกำหนดให้มีค่าการไหลผ่านเบื้องต้น 110 ± 5 โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C1506[3] โดยการทดสอบดังต่อไปนี้
ขั้นตอนแรก ทำการทดสอบค่าการไหลผ่านของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยก่อนใส่เครื่อง suction ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การทดสอบค่าการไหลผ่านของมอร์ตาร์เสริมเส้นใย

ขั้นตอนที่สอง นำมอร์ตาร์เสริมเส้นใยที่ทดสอบการไหลผ่านแล้วใส่ลงในเครื่อง suction ดังรูปที่ 3.7 เพื่อดึงน้ำออกจากมอร์ตาร์ ทำการจับเวลาประมาณ 60 วินาที



รูปที่ 3.7 เครื่อง suction สำหรับทดสอบการอุ้มน้ำของมอร์ตาร์เสริมเส้นใย

ขั้นตอนที่สาม ทำการทดสอบค่าการไหลของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยหลังการ suction อีกครั้ง

3.3.1.3 ระยะเวลาการก่อตัว (Setting time)

ต้องมีระยะเวลาไม่น้อยกว่า 60 นาที โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C807[4] โดยการทดสอบ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การทดสอบการก่อตัวของมอร์ตาร์เสริมเส้นใย

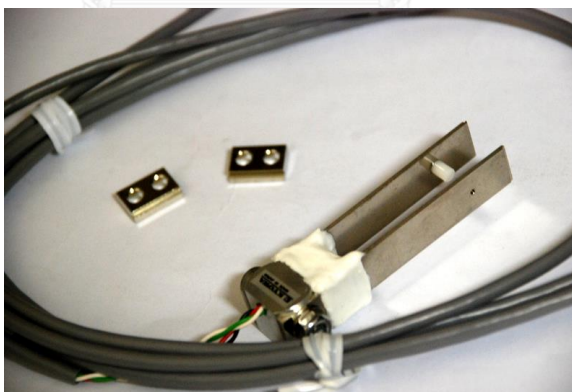
ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเป็นคุณสมบัติที่ดีของมอร์ตาร์สำหรับฉาบ เนื่องจากในการก่อสร้างจริง จะไม่มีการตั้งแบบ เพื่อลดขั้นตอนในการก่อสร้างลง

3.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพการรับแรงเชิงกล

ในส่วนของการรับแรงเชิงกลของโครงสร้าง ซึ่งจะเกิดขึ้นในระหว่างการขนย้ายและติดตั้ง ห้่องน้ำสำเร็จรูปต้องสามารถรับแรงที่เกิดจากน้ำหนักของโครงสร้างเองรวมไปถึงน้ำบรรทุกจร และ น้ำหนักบรรทุกคงที่ส่วนเพิ่ม เนื่องจากห้่องน้ำสำเร็จรูปเป็นห้่องน้ำที่มีการติดตั้งสุขภัณฑ์ กระเบื้อง เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

3.3.2.1 รูปแบบการทดสอบการรับแรงเชิงกล

ในการทดสอบเพื่อหาค่ารับแรงเชิงกลในโครงสร้างผนังสำเร็จรูป จะทดสอบด้วยวิธีการ Flexural Strength Test[11] หรือวิธีการทดสอบการรับแรงดึงภายใต้การรับแรงดัด โดยทำการบันทึกค่าระหว่างแรงที่กระทำ ณ กึ่งกลางคาน และ ขนาดของรอยแตกบริเวณท้องคาน (Crack Opening) โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Clip gage ดังรูปที่ 3.9 จากนั้นนำค่าที่ได้มาเขียนความสัมพันธ์เพื่อนำไปหาแรงดึงที่เกิดขึ้นต่อไป



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์สำหรับวัดขนาดของรอยแตก (Clip gage)

กำหนดให้ตัวอย่างสำหรับทดสอบเป็นคานขนาด 100x100x500 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.10 โดยทดสอบกำลังที่คอนกรีตอายุ 28 วัน โดยบ่มให้กำลังคอนกรีตด้วยน้ำ



รูปที่ 3.10 ขนาดของตัวอย่างคานทดสอบ 100x100x500 มิลลิเมตร

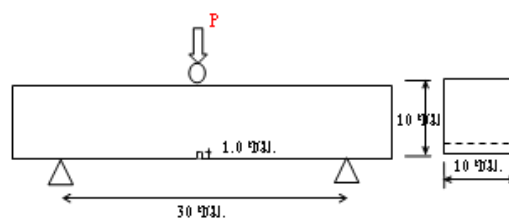
3.3.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างทั้งในส่วนของการผสมและหล่อทั้งหมดจะทำในห้องปฏิบัติการภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้เครื่องผสมคอนกรีตขนาด 1.2 ลูกบาศก์เมตร ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องผสมคอนกรีตขนาด 1.2 ลูกบาศก์เมตร

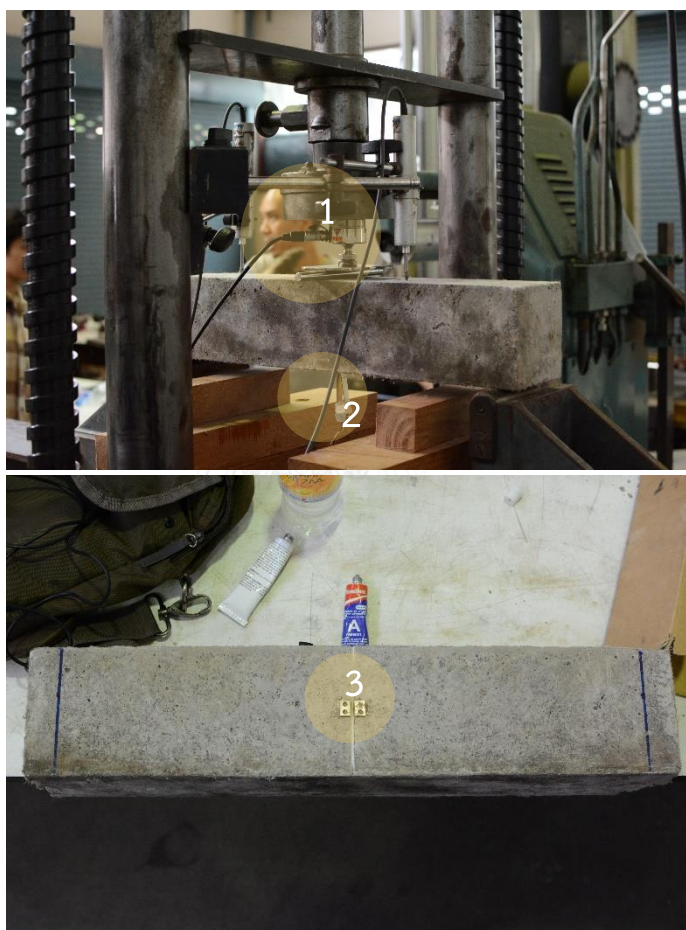
และทำการบาก notch ขนาด 1 เซนติเมตร ณ ตำแหน่งใต้คานดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงตำแหน่ง notch ที่ใต้คาน

3.3.2.3 การติดตั้งเครื่องมือสำหรับทดสอบ

สำหรับการทดสอบจะติดตั้งเครื่องมือดังต่อไปนี้ ตำแหน่งหมายเลข 1 คือ Load Cell ขนาด 2 ตัน ติดตั้ง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคาน และ ตำแหน่งหมายเลข 2 คือ Clip Gauge ติดตั้งบริเวณ กึ่งกลางท้องคาน โดยจะต้องติดตั้งขาสำหรับยึด Clip Gauge จำนวน 1 คู่ บริเวณ notch ณ ตำแหน่งหมายเลขที่ 3 ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

หลังจากนั้น เมื่อได้ผลจากการทดสอบแล้ว นั่นคือ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำและขนาดของรอยแตก จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี inverse analysis เพื่อหาค่ากำลังรับแรงดึงที่เกิดขึ้นในคานทดสอบ

3.4 การออกแบบโครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูป

จะทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม SAP2000 ในการออกแบบ โดยแบ่งเป็น 2 กรณีคือ

1. ในช่วงของการยกติดตั้ง แรงสำหรับพิจารณาจะมีเพียงน้ำหนักของโครงสร้าง

2. ในการช่วงของการใช้งาน แรงสำหรับพิจารณาจะประกอบด้วยน้ำหนักของโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกจรอ้างอิงตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527

โดยผลที่ได้คือ ได้ห้องน้ำสำเร็จรูปที่มีน้ำหนักโดยรวมไม่เกิน 4 ตัน ที่สามารถรับแรงขณะที่ยกติดตั้งได้ โดยไม่แตกร้าว



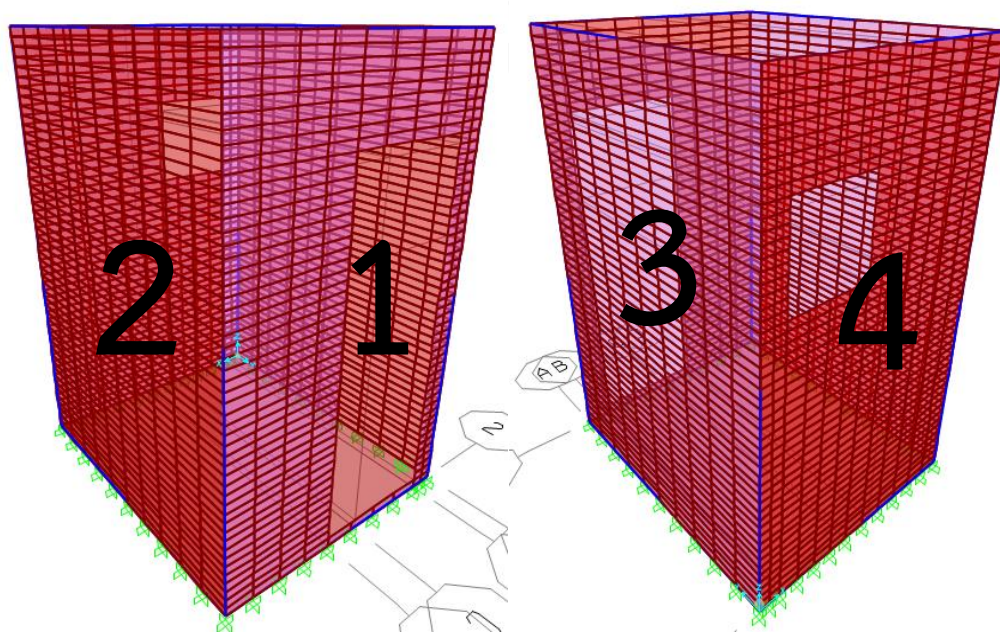
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองซึ่งประกอบด้วยกันทั้งหมด 3 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งจะเป็นผลการวิเคราะห์แบบจำลองห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ส่วนที่สองคือ การทดสอบคุณสมบัติและการรับแรงเชิงกลของมอร์ตาร์เสริมเส้นใย และส่วนสุดท้ายคือการออกแบบโครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูป

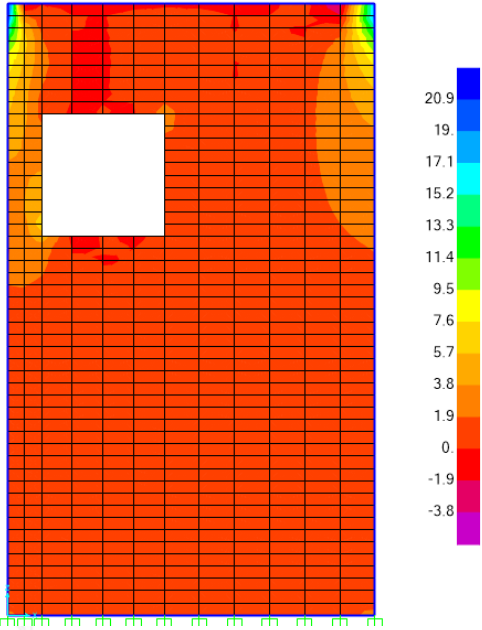
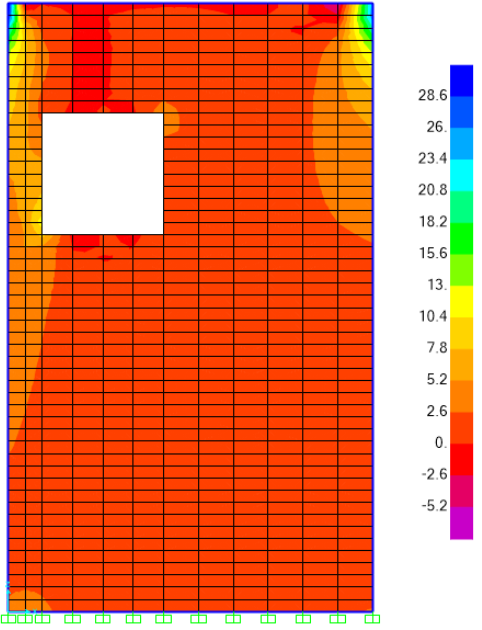
4.1 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองห้องน้ำสำเร็จรูปด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

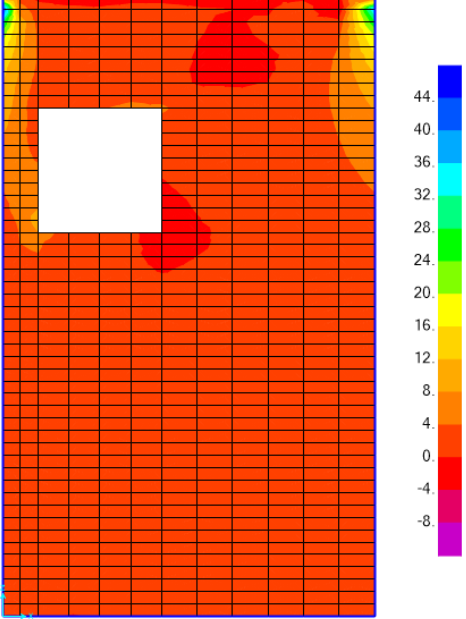
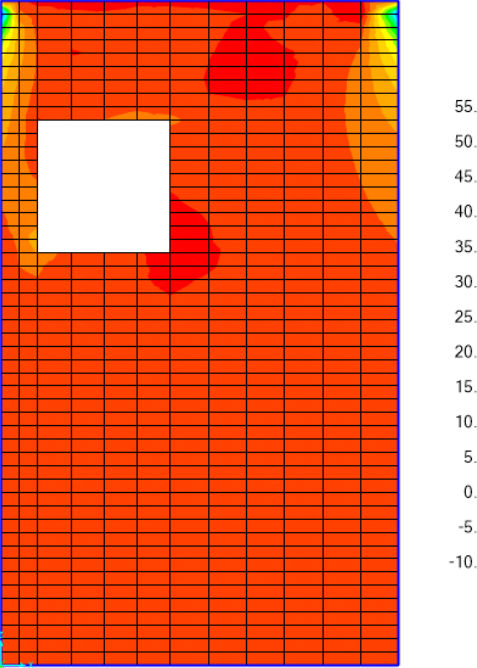
ในการวิเคราะห์แบบจำลองจากที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 คือ ปัจจัยหลักที่ต้องสนใจนั้นคือน้ำหนักของโครงสร้าง ซึ่งจะส่งผลต่อแรงที่เกิดขึ้นในการยก โดยผนังเป็นส่วนที่มีน้ำหนักมากที่สุด ดังนั้น จึงทำการลดขนาดผนังลงเหลือ 5 เซนติเมตร เพื่อให้น้ำหนักโดยรวมไม่เกิน 4 ตัน ทำให้ยังสามารถใช้เครนขนาด 10 ตัน ยกไปติดตั้งได้ เมื่อทำวิเคราะห์แบบจำลองห้องน้ำสำเร็จรูปโดยแบ่งตามระนาบดังรูปที่ 4.1 หากจำแนกตามลักษณะการยกโดยเลือกระนาบที่ให้ความเค้นดึงมากที่สุดจะได้ผลดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งระนาบของผนังแต่ละด้าน

ตารางที่ 4.1 แสดงความเค้นดึงที่เกิดขึ้นมากที่สุดในแต่ละลักษณะการยก

จำนวนหูกที่ใช้ยก	ความเค้นที่เกิดขึ้น (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
<p>4 หู (มุมในการยกเท่ากับ 90° เทียบกับแนวผนัง)</p>	
<p>3 หู (มุมในการยกเท่ากับ 90° เทียบกับแนวผนัง)</p>	

จำนวนหูที่ชั้ยก	ความเค้นที่เกิดขึ้น (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
<p style="text-align: center;">4 หู</p> <p>(มุมในการยกเท่ากับ 60 เทียบกับแนวผนัง)</p>	
<p style="text-align: center;">3 หู</p> <p>(มุมในการยกเท่ากับ 60 เทียบกับแนวผนัง)</p>	

จากตารางจะเห็นว่า ทุกรูปแบบการยก ระบายที่ 4 จะเกิดความเค้นดึงสูงสุดโดยจะบริเวณที่มีค่าสูงสุดจะอยู่ ณ ตำแหน่งหัวเสา หรือ ตำแหน่งจุดยกนั่นเอง ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเค้นดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นในผนังห้องน้ำสำเร็จรูป

จำนวนหูที่ใช้ยก	ความเค้นดึงสูงสุด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
4 หู (มุมในการยกเท่ากับ 90 องศา)	10.95
3 หู (มุมในการยกเท่ากับ 90 องศา)	15.21
4 หู (มุมในการยกเท่ากับ 60 องศา)	21.02
3 หู (มุมในการยกเท่ากับ 60 องศา)	26.53

โดยจะเห็นว่า ถ้ามุมยกทำมุม 90 องศา กับแนวมุมผนังจะเห็นว่าความเค้นดึงสูงสุดจะมีค่าน้อยกว่า แบบยกทำมุม 60 องศา ค่าความเค้นดึงที่ได้มาจะนำไปพิจารณาเพื่อออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยสำหรับใช้ในผนังโดยมีสัดส่วนผสมดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนผสมมอร์ตาร์สำหรับฉาบ

อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำกับซีเมนต์	ซีเมนต์ : ทราย
0.485	1 : 2.75
0.485	1 : 1
0.4	1:2.75
0.4	1:1
0.35	1:2.75
0.35	1:1

4.2 การทดสอบคุณสมบัติและการรับแรงเชิงกลของมอร์ตาร์เสริมเส้นใย

4.2.1 การทดสอบตามมาตรฐานมอร์ตาร์สำหรับฉาบ มอก.1776-2542

สำหรับการทดสอบมาตรฐานมอร์ตาร์สำหรับฉาบเนื่องจาก ในสภาพการก่อสร้างจริง จะมีการตั้งแบบเพียงด้านเดียว เพื่อลดขั้นตอนการก่อสร้างลง โดยแบบที่ตั้งเพียงด้านเดียวจะใช้เป็นกระเบื้องซึ่งจะเป็นส่วนของวัสดุปิดผิวผนังห้องน้ำสำเร็จรูปต่อไป ดังนั้นวัสดุมอร์ตาร์เสริมเส้นใยจึง

จำเป็นจะต้องมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับมอร์ตาร์สำหรับฉาบ โดยจะทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยตามมาตรฐาน มอก.1776-2542[2] ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบ 3 ประเภทดังต่อไปนี้

4.2.1.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์นั้นเพื่อวัตถุประสงค์คือ ในช่วงการใช้งานนั้น โครงสร้างในส่วนผนังจะสามารถคงอยู่ได้โดยไม่พังเสียหาย กล่าวคือ สามารถรับน้ำหนักของตัวโครงสร้างเองได้ โดยในการทดสอบ ให้ผลตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำกับซีเมนต์	ซีเมนต์ : ทราย	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
0.485	1 : 2.75	239
0.485	1 : 1	263
0.4	1 : 2.75	278
0.4	1 : 1	293
0.35	1 : 2.75	319
0.35	1 : 1	347

เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์จะเห็นว่า มีเพียง มอร์ตาร์ W/C =0.35 ที่ให้กำลังรับแรงอัดมากกว่า 300 ksc เมื่อได้ค่ากำลังที่เหมาะสมแล้วจึงทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด เมื่อผสมเส้นใยที่ 1,1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำกับซีเมนต์	ซีเมนต์ : ทราย	อัตราร้อยละของเส้นใย (%)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
0.35	1 : 2.75	1	310
0.35	1 : 2.75	1.5	303
0.35	1 : 2.75	2	300
0.35	1 : 1	1	328
0.35	1 : 1	1.5	336
0.35	1 : 1	2	333

4.2.1.2 การทดสอบการอุ้มน้ำของมอร์ตาร์สำหรับฉาบ (Water retention)

สำหรับการทดสอบการอุ้มน้ำ ทดสอบเพื่อดูคุณสมบัติของสัดส่วนผสม หากสัดส่วนผสมอุ้มน้ำได้ไม่ดีจะส่งผลกระทบต่อในเรื่องของการไหลของวัสดุ เนื่องจากน้ำจะเกิดการแยกตัวออกมามากเกินไป อีกทั้งยังส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะแย่งอีกด้วย สำหรับมาตรฐาน มอก. กล่าวไว้ว่า ความอุ้มน้ำของปูนฉาบต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 เนื่องจากตามมาตรฐาน ASTM C270 กำหนดไว้ว่าที่ค่าการไหลผ่านมาตรฐาน 110 ± 5 นั้นจะต้องมีค่าการอุ้มน้ำอยู่ที่ 75% และทดสอบการอุ้มน้ำของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C1506[3] โดยทำการผสมไฟเบอร์โพลีโพรพิลีนเป็นสัดส่วนดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สัดส่วนผสมมอร์ตาร์และไฟเบอร์

	อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำกับซีเมนต์	ซีเมนต์ : ทราย	อัตราร้อยละของเส้นใย (%)
OPC-2.75	0.35	1 : 2.75	0
M35-1-2.75*			1
M35-1.5-2.75*			1.5
M35-2-2.75*			2
OPC-1	0.35	1 : 1	0
M35-1-1*			1
M35-1.5-1*			1.5
M35-2-1*			2

*Mx-y-z หมายถึง มอร์ตาร์ที่มี w/c เท่ากับ x อัตราร้อยละเส้นใยเท่ากับ y และ z อัตราส่วนทราย จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติการไหลผ่านของมอร์ตาร์ก่อนใส่เครื่องสำหรับการ suction และการไหลผ่านหลังทำการ suction ไปแล้ว โดยผลการทดสอบการอุ้มน้ำของมอร์ตาร์สำหรับฉาบเป็นไปดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการอุ้มน้ำของมอร์ตาร์สำหรับฉาบ

	ค่าการไหลแห้งก่อนการ suction (เซนติเมตร)	ค่าการไหลแห้งหลังการ suction (เซนติเมตร)	% ratio
OPC-2.75	21.5	15.25	70.9
M35-1-2.75*	21.38	15.75	73.7
M35-1.5-2.75*	21.12	15.75	74.6
M35-2-2.75*	20.75	15.5	74.7
OPC-1	21.5	16.5	76.7
M35-1-1*	21.375	18.375	85.9
M35-1.5-1*	20.875	18.375	88.0
M35-2-1*	20.5	18.5	90.2

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าที่ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ w/c เท่ากับ 0.485 มีคุณสมบัติของการอุ้มน้ำไม่เพียงพอตามมาตรฐานของมอร์ตาร์สำหรับฉาบ มอก. 1776-2542[2] ดังนั้นในการทดสอบกำลังรับแรงอัด จึงมีเพียงแค่อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ w/c เท่ากับ 0.35

4.2.1.3 การทดสอบการก่อตัวของมอร์ตาร์

มาตรฐาน มอก. กล่าวไว้ว่า การก่อตัวระยะต้นต้องไม่น้อยกว่า 60 นาที เพื่อไม่ให้มอร์ตาร์แข็งตัวก่อนที่จะฉาบเสร็จ โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C807[4] ซึ่งจะได้ค่าการก่อตัวของมอร์ตาร์ดังตารางที่ 4.8

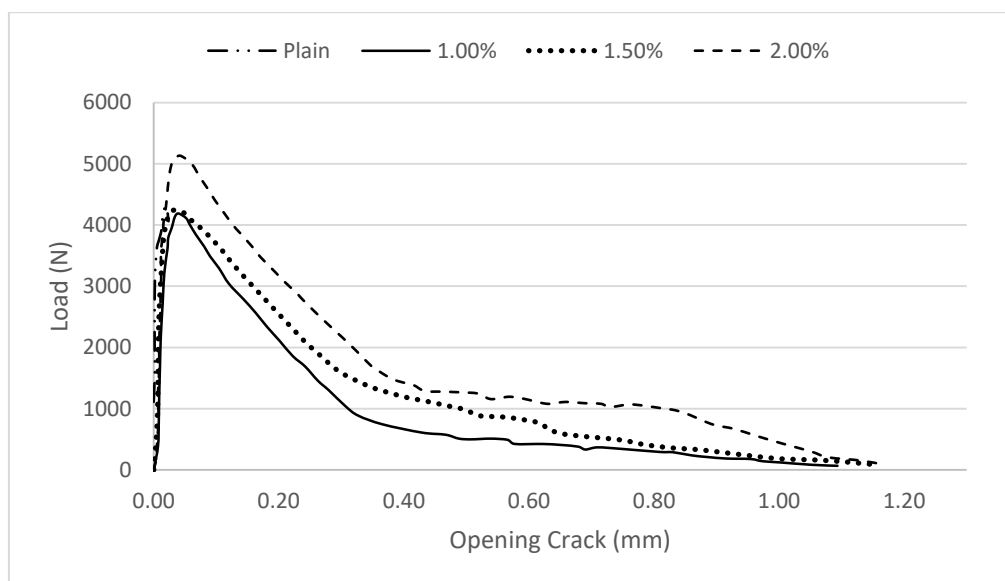
ตารางที่ 4.8 ค่าการก่อตัวของมอร์ตาร์

อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำกับซีเมนต์	ค่าการก่อตัว (ชั่วโมง)
0.35	2.30

จะเห็นได้ว่าค่าการก่อตัวของสัดส่วนผสมมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการก่อสร้าง ทำให้มีเวลาในการก่อสร้าง และสามารถเก็บงานได้ดีมากยิ่งขึ้น

4.2.2 การทดสอบการรับแรงดัดของมอร์ตาร์เสริมเส้นใย

จากการทดสอบมอร์ตาร์เสริมเส้นใยที่ปริมาณเส้นใยแตกต่างกัน และแบบไม่เสริมเส้นใย ที่ W/C เท่ากับ 0.35 โดยพิจารณาที่แรงกระทำกับขนาดของรอยแตก (crack opening) พบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดกับขนาดของรอยแตก

จากรูปที่ 4.2 จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยจะส่งผลให้คานมอร์ตาร์มีความเหนียวมากขึ้น เนื่องจากเมื่อพิจารณาที่มอร์ตาร์ที่ไม่เสริมเส้นใย เมื่อคานสามารถรับแรงดัดได้จนกระทั่งขนาดรอยแตกที่เกิดขึ้นบริเวณใต้ท้องคาน (Tension Zone) มีค่าเท่ากับ 0.04 mm โดยประมาณ คานมอร์ตาร์ที่ไม่เสริมเส้นใยจึงเกิดการวิบัติในทันที ในขณะที่คานมอร์ตาร์เสริมเส้นใยที่ปริมาณเส้นใยต่างๆยังสามารถที่จะรับแรงต่อไปได้ จึงแสดงให้เห็นว่า การเสริมเส้นใยโพลีโพรพิลีนมีผลต่อความเหนียวของวัสดุ โดยเฉพาะที่ ปริมาณเส้นใย 2% จะเห็นว่า สามารถรับแรงดัดได้สูงกว่าทั้งแบบไม่ใส่เส้นใยและแบบใส่เส้นใย จึงสรุปได้ว่า ปริมาณของเส้นใยโพลีโพรพิลีน มีผลทั้งความเหนียวของวัสดุ และ กำลังรับแรงดัด

4.2.3 การวิเคราะห์แบบย้อนกลับ

เมื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์โดยวิธีแบบย้อนกลับ[5] เพื่ออธิบายลักษณะพฤติกรรมการรับแรงดัดของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยหลังจากที่เกิดรอยร้าวแยกของคานมอร์ตาร์เปรียบเทียบกับแบบจำลองการรับแรงดัดที่วิเคราะห์โดยต้องทราบค่าดังต่อไปนี้

$$f_{fctm,ax} = 0.3 \cdot (f_{fck})^{2/3}$$

โดยที่ $f_{fck} = 35 \text{ N/mm}^2$

ดังนั้น $f_{fctm,ax} = 3.2 \text{ N/mm}^2$ หรือ 32 ksc ซึ่งก็คือกำลังรับแรงดึงสูงสุด

$W_0 = 1.2 \text{ mm}$ ซึ่งค่า 1.2 mm นั้นมาจากความยาวของไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน

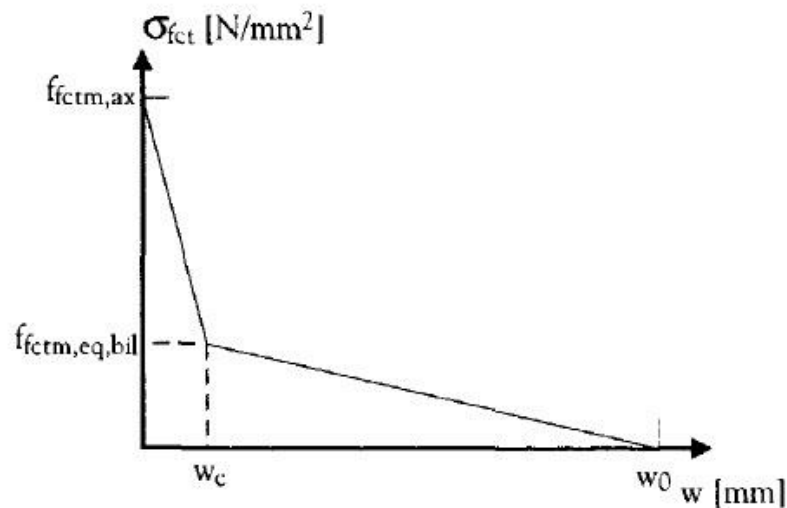
นอกจากนี้จะต้องทำการสมมติค่า 2 ค่าดังต่อไปนี้

$f_{fctm,eq,bil}$ โดยที่ สำหรับมอร์ตาร์ที่ไม่เสริมเส้นใยและเสริมเส้นใย 1% จะเท่ากับ 10 ksc ปริมาณเส้นใย 1.5% เท่ากับ 12 ksc และ ปริมาณเส้นใย 2% เท่ากับ 13 ksc

W_c สมมติค่าดังต่อไปนี้ มอร์ตาร์ที่ไม่เสริมเส้นใยและเสริมเส้นใย 1.5% จะเท่ากับ 0.1 mm ปริมาณ

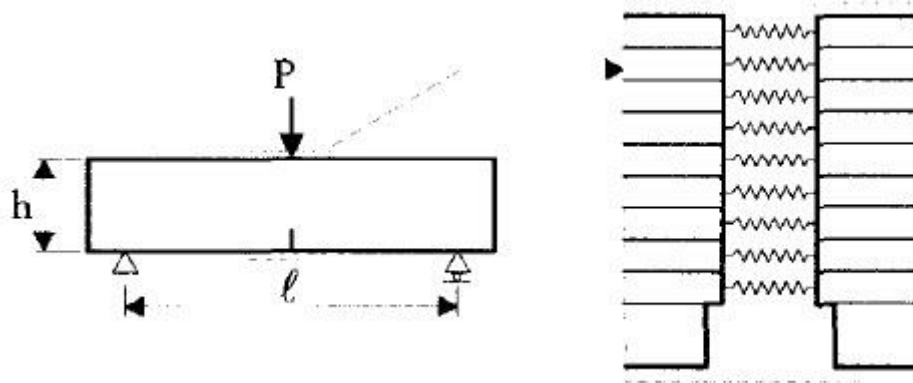
เส้นใย 1% จะเท่ากับ 0.06 mm และ ปริมาณเส้นใย 2% เท่ากับ 0.2 mm

หลังจากที่ได้ค่าดังกล่าวแล้ว จะทำให้สามารถสร้างความสัมพันธ์ ได้ดังรูปที่ 4.3



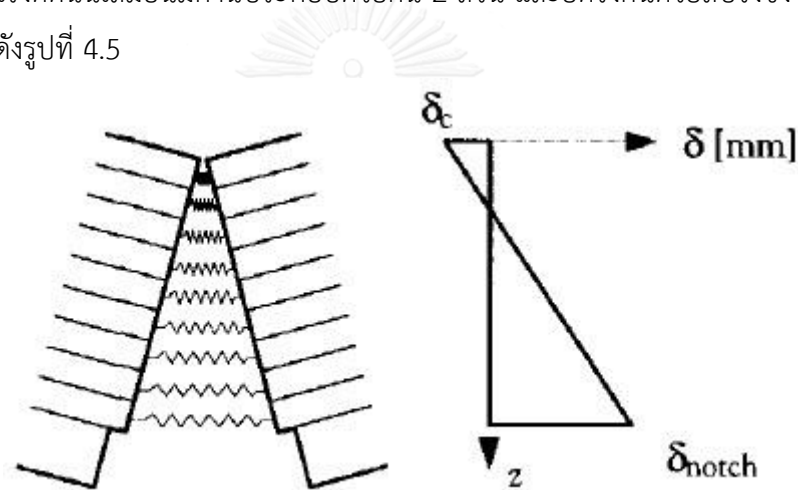
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและขนาดของรอยแตกที่ได้จากการวิเคราะห์แบบย้อนกลับ

สำหรับขั้นตอนต่อไปเป็นขั้นตอนการสมมติค่าดังต่อไปนี้ ขนาดรอยแตกในด้านการรับแรงดึง δ_{notch} และการเคลื่อนที่ในด้านรับแรงอัด δ_c โดยสมมติพฤติกรรมกรรมการรับแรงของคานเป็นดังรูปที่ 4.4



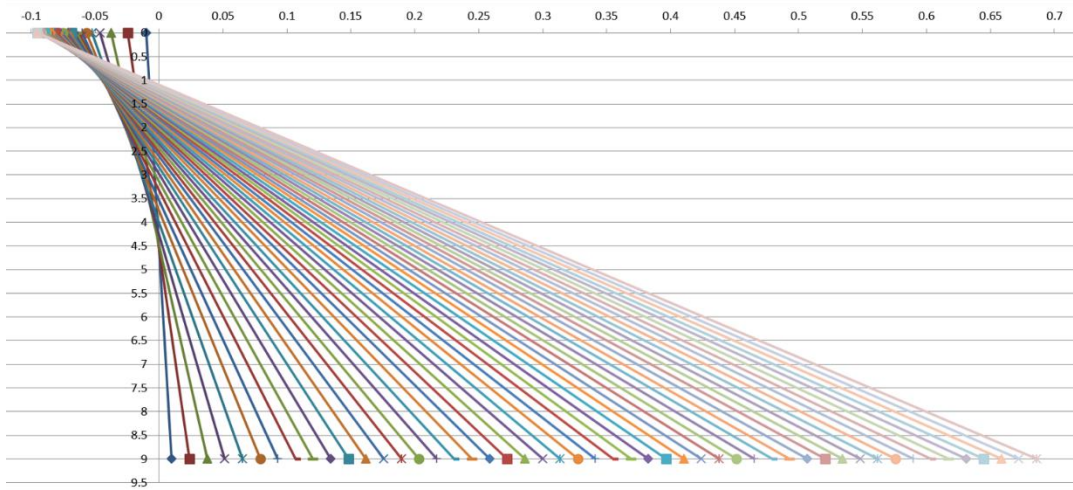
รูปที่ 4.4 พฤติกรรมการรับแรงดัดของคาน

โดยคานที่รับแรงดัดนั้นเสมือนมีคานประกอบด้วยกัน 2 ส่วน และยึดรั้งกันด้วยสปริงซึ่งจะทำให้ได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.5



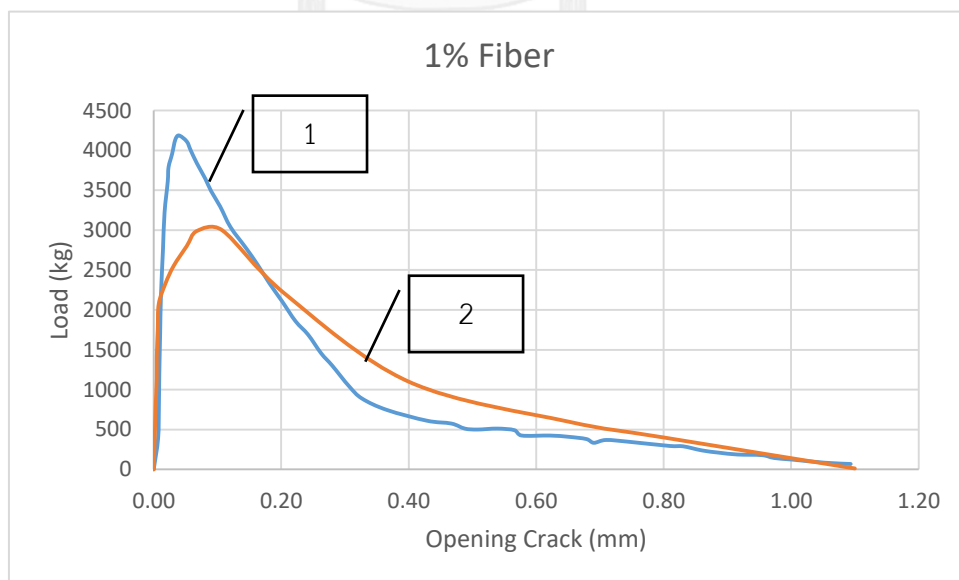
รูปที่ 4.5 คานเสมือนขณะทำการรับแรงดัด

โดยในการรับแรงดัด 1 ค่า จะทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า δ_{notch} และ δ_c 1 เส้น ซึ่งจะต้องทำการลองผิดลองถูก (Trial & Error) จนกว่าแรง N ที่เกิดขึ้นในสปริงจะเข้าสู่ค่า 0 โดยความสัมพันธ์ที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 4.6



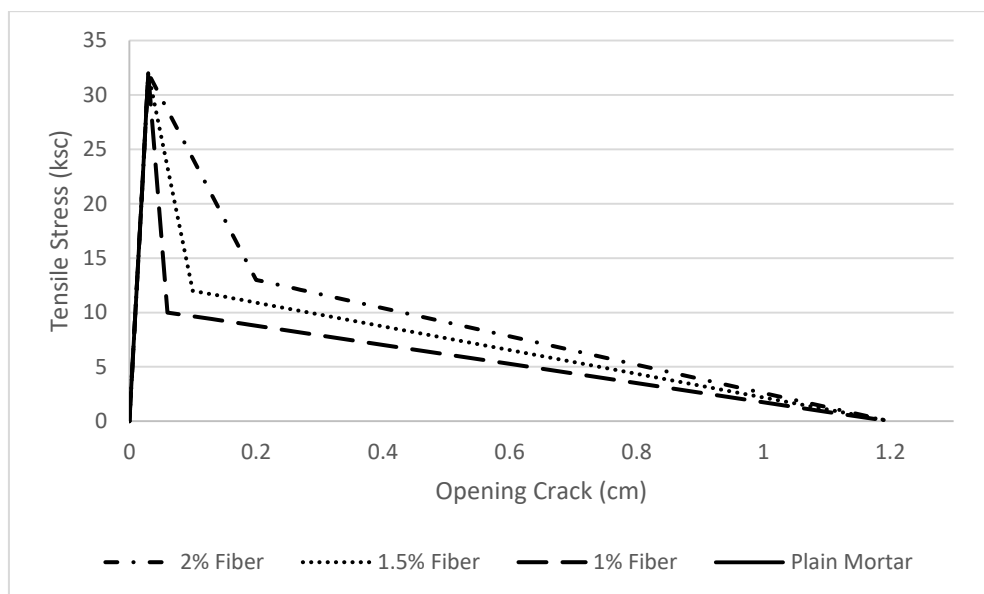
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง δ_{notch} และ δ_c

เมื่อได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.6 จากนั้นจึงนำค่า δ_{notch} และ δ_c ที่ทำให้ได้ผลรวมแรง N เท่ากับ 0 กลับไปหาแรงที่กระทำบนคานที่เกิดจากความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.3 จะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและขนาดรอยแตก จากนั้นจึงนำความสัมพันธ์นี้มาตรวจสอบความถูกต้องโดยการหาผลต่างระหว่างพื้นที่ใต้กราฟของความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดสอบ(หมายเลขที่ 1) และความสัมพันธ์ที่ได้จากแบบจำลอง(หมายเลขที่ 2) โดยยกตัวอย่างเป็นคานทดสอบชนิดเสริมเส้นใยปริมาณ 1% ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ขั้นตอนตรวจสอบความถูกต้องของความสัมพันธ์จากแบบจำลอง

โดยที่หากพื้นที่ใต้กราฟมีความแตกต่างกันไม่เกิน 10% จะถือว่า กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและขนาดของรอยแตกที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์แบบย้อนกลับนั้นถูกต้อง โดยจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและขนาดรอยแตกของคานตัวอย่างทั้งแบบเสริมเส้นใยและไม่เสริมเส้นใย ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและขนาดรอยแตกของคานตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยให้สูงขึ้นจะส่งผลต่อแบบจำลองการรับแรงดึงของคานมอร์ตาร์เสริมเส้นใยสังเคราะห์ ให้มีพื้นที่ใต้กราฟมากขึ้น ซึ่งหมายถึง ความความเหนียว (toughness) มีค่าสูงขึ้น โดยปริมาณเส้นใย 2% จะให้พื้นที่ใต้กราฟสูงสุด ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.9 พื้นที่ใต้กราฟแบบจำลองพฤติกรรมการรับแรงดึงของคานมอร์ตาร์

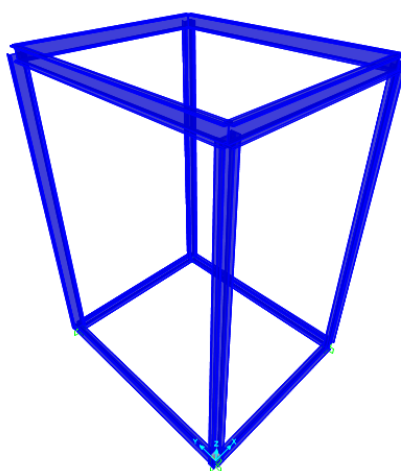
	พื้นที่ใต้กราฟ
Plain Mortar	0.48
1%	6.81
1.5%	8.62
2%	10.805

4.3 การออกแบบโครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูป

เมื่อทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม SAP2000 ทำให้ได้ขนาดหน้าตัดโครงสร้างตามความเหมาะสม(สำหรับตารางการคำนวณจะแสดงในส่วนของ Appendix) เป็นดังต่อไปนี้

4.3.1 โครงสร้างเสาและคาน

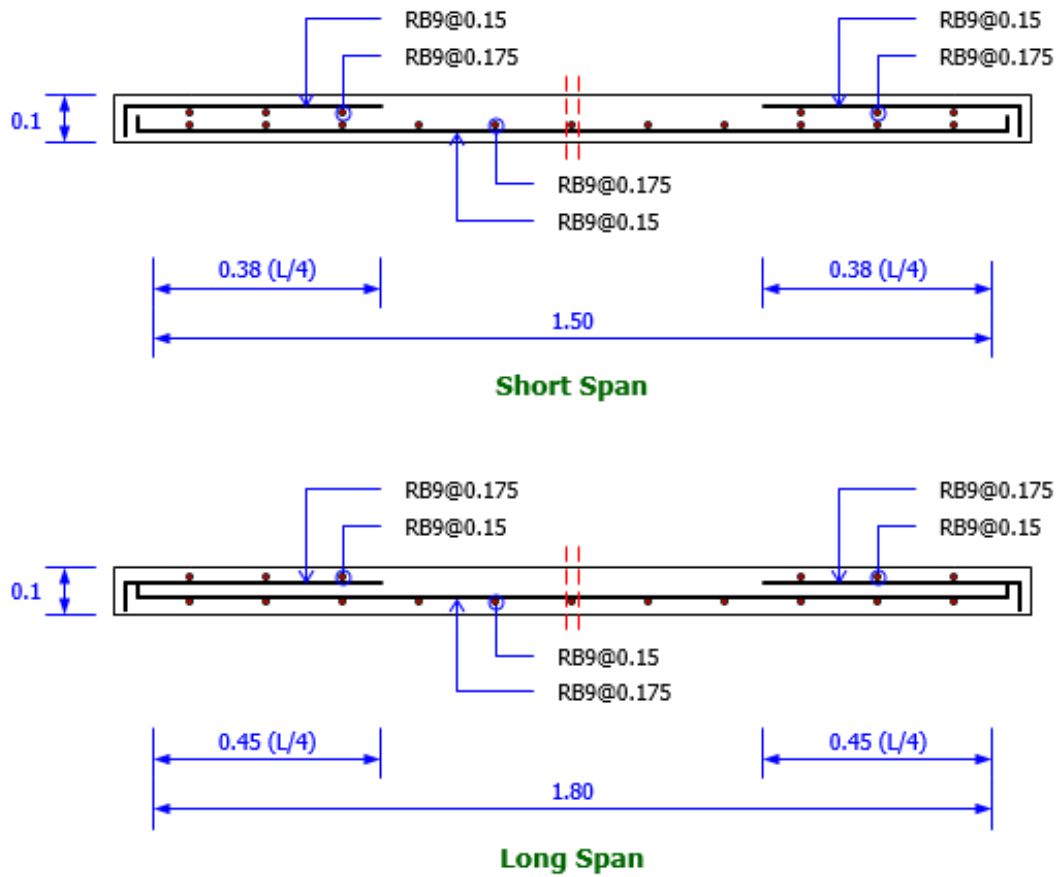
โครงสร้างหลักที่เลือกใช้จะเป็นโครงสร้างเหล็ก ดังรูปที่ 4.9 เนื่องจากมีน้ำหนักที่เบาและรับแรงดึงได้ค่อนข้างดี สำหรับเสาและคานจะใช้เหล็กรีดร้อนขนาดหน้าตัด H 100X50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะโครงสร้างหลักของห้องน้ำสำเร็จรูป

4.3.2 โครงสร้างพื้น

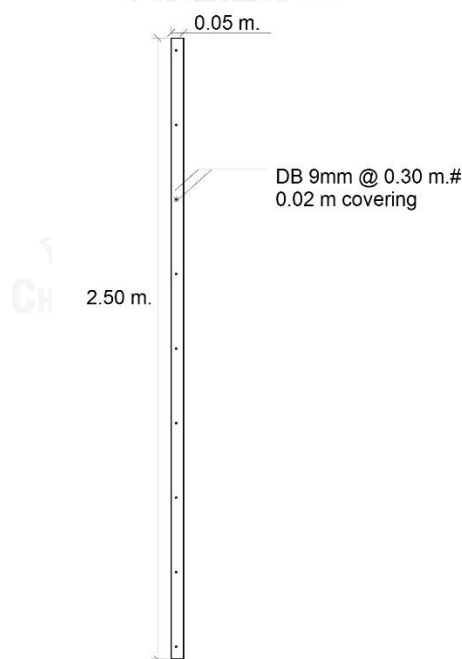
สำหรับโครงสร้างพื้นจะใช้ขนาดหน้าตัดดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะโครงสร้างพื้นและตำแหน่งการเสริมเหล็ก

4.3.3 โครงสร้างผนัง

สำหรับโครงสร้างผนังเนื่องจากในช่วงของการสร้างแบบจำลองห้องน้ำสำเร็จรูปได้กำหนดความหนาเริ่มต้นไว้ที่ 5 เซนติเมตร และทำการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นจนได้แรงที่เกิดขึ้น และเลือกสัดส่วนผสมที่ให้กำลังเพียงพอต่อการรับแรงที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพิจารณาในช่วงการใช้งาน กล่าวคือ พิจารณาถึงระยะการแอ่นตัวของผนังโดยมีข้อกำหนดตามมาตรฐาน ACI 533 กล่าวไว้สำหรับผนังที่ไม่ได้รับแรงจะต้องมีค่าการแอ่นตัว $L/480$ หรือไม่เกิน 20 มิลลิเมตร การพิจารณาเรื่องระยะแอ่นตัวจะอ้างอิงมาตรฐาน BS 5234 Part2 Annex. G ว่าด้วยเรื่องของการทดสอบ Crowd Pressure ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการรับแรงกระทำด้านข้างของผนัง โดยผนังจะต้องสามารถรับแรง 3 กิโลนิวตัน/เมตร ได้โดยที่โครงสร้างไม่แตกร้าว จากมาตรฐานดังกล่าวจึงนำมาวิเคราะห์โดยการหาค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นจาก แรงขนาด 3 กิโลนิวตัน/เมตร พบว่าให้ค่าการแอ่นตัวเท่ากับ 1.34 มิลลิเมตร ซึ่งไม่เกินกว่าที่มาตรฐาน ACI 533 กำหนดไว้ ในขณะที่หากพิจารณาที่ความหนาที่บางกว่า 5 เซนติเมตร พบว่าค่าการแอ่นตัวสูงกว่าที่ยอมรับได้ ดังนั้น ผนังมอร์ตาร์เสริมเส้นใย 5 เซนติเมตรจึงเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับออกแบบเพื่อใช้งานดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะโครงสร้างของผนังและตำแหน่งการเสริมเหล็ก

บทที่ 5

สรุปผล

งานวิจัยนี้แสดงการออกแบบห้องน้ำสำเร็จรูป ทั้งสัดส่วนการผสม และการนำวัสดุใหม่มาใช้ เพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูปเมื่อเปรียบเทียบกับห้องน้ำหล่อในที่ น้ำหนักโครงสร้างห้องน้ำมีความสำคัญ เนื่องจากหากน้ำหนักโครงสร้างห้องน้ำลดลงจะทำให้ราคาค่าวัสดุและราคาในการติดตั้งลดลงตามไปด้วย โดยในการศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาหาแรงที่เกิดขึ้นในผนังในระหว่างการยกติดตั้ง เพื่อนำไปหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสม โดยพบว่าผนังห้องน้ำสำเร็จรูปมีความเค้นดึงเกิดขึ้นขณะทำการยก ด้วยปัจจัยนี้จึงเลือกเส้นใยโพลีพรพิลีน เพื่อช่วยทำให้พฤติกรรมการรับแรงดึงของผนังมีมากขึ้น เมื่อเทียบกับผนังห้องน้ำที่ใช้คอนกรีตอย่างเดียว

จากการศึกษาพบว่าเมื่อจำแนกลักษณะการยกโครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูปออกเป็น 3 และ 4 หู และองศาการยกแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แบบ 90 องศา จะเกิดแรงดึงภายในผนัง 15.21 และ 10.95 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ แบบ 60 องศา จะเกิดแรงดึงภายในผนัง 26.53 และ 21.02 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อให้เกิดแรงดึงในผนังน้อยลง ควรเลือกวิธีการยกโดยให้สลิงทำมุม 90 องศา กับแนวผนัง ค่าความเค้นดึงที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นจากการยกจะถูกนำมาใช้ในการเลือกออกแบบสัดส่วนผสมมอร์ตาร์เสริมเส้นใย จากการออกแบบพบว่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อคอนกรีต (W/C) เท่ากับ 0.35 มีค่าที่เหมาะสม โดยการตรวจสอบจากกำลังรับแรงดึงของวัสดุซึ่งมีค่าเท่ากับ 32 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ซึ่งมากพอที่จะไม่ทำให้ผนังเกิดการแตกร้าว

นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาปริมาณของเส้นใยโพลีพรพิลีนที่เหมาะสมที่ โดยการศึกษาพฤติกรรมของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยโพลีพรพิลีน จากการทดสอบต่างๆ คือ การอุ้มน้ำของมอร์ตาร์, ระยะเวลาการก่อตัว, กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength), และกำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) จึงนำมาสู่ข้อสรุปที่ว่าปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมคือ 2% เนื่องจากมีกำลังรับแรงดัดที่สูงขึ้นถึงแม้ว่ากำลังรับแรงอัดจะตกลงไปเล็กน้อยก็ตามแต่ก็ถือว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ โดยการเสริมเส้นใยมีส่วนช่วยให้โครงสร้างผนังไม่เกิดการวิบัติในทันทีทันใด เนื่องจากมีความเหนียวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในเรื่องของมอดูลัสความยืดหยุ่นให้มีค่าที่สูงมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการออกแบบโครงสร้างให้มีขนาดเล็กลงได้

โดยสามารถลดขนาดผนังให้หนาเพียง 5 เซนติเมตร จากการที่พิจารณาในเรื่องของการใช้งาน โดยวิเคราะห์จากค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นอ้างอิงจากมาตรฐานของ ACI 533 และ BS 5234 ซึ่งค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นเพียง 1.34 มิลลิเมตร โดยไม่เกินกว่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ (5.2 มิลลิเมตร) และจากการที่

ผนังบางลง ส่งผลให้น้ำหนักโดยรวมลดลงเหลือประมาณ 3.7 ตัน เมื่อเทียบกับห้องน้ำหล่อในที่มีขนาดเดียวกันแล้วน้ำหนักลดลงถึง 32.73%



รายการอ้างอิง

- [1] BCA. What you need to know about PBU [Online]. 2012. Available from: https://www.bca.gov.sg/Publications/BuildabilitySeries/others/prefab_bathroom_unit.pdf
- [2] กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอร์ตาร์สำหรับฉาบ มอก.1776. 2542.
- [3] ASTM. Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters. in *ASTM C1506*. 2008.
- [4] ASTM. Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement Mortar by Modified Vicat Needle. in *ASTM C807*. 2008.
- [5] Kooiman, A.G. Modelling steel fibre reinforced concrete for structural design. (2000).
- [6] เกียรติศักดิ์ แก้วกุลชัย, สถาพร โภคา, วิวัฒน์ พัวตศานนท์, and อธิธิพงศ์ พันธุ์นิกุล. การออกแบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตสำเร็จรูป: กรณีศึกษา. วารสาร วิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม. อบ. 1(1) (2008): 62-76.
- [7] ACI. Building Code Requirements for Structural Concrete. in *ACI Committee 318*. 2011.
- [8] ACI. Guide for Precast Concrete Wall Panels. in *ACI Committee 533*. 2011.
- [9] AISC. Specification for Structural Steel Buildings. in *AISC Committee*. 2010.
- [10] Anne Laning. Synthetic Fibers [Online]. 1992. Available from: http://www.concreteconstruction.net/Images/Synthetic%20Fibers_tcm45-342406.pdf
- [11] ASTM. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). in *ASTM C78*. 2002.

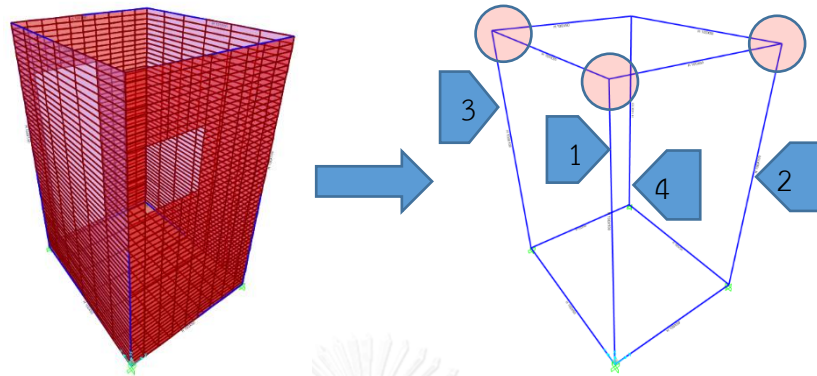


ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การออกแบบโครงสร้างห้องน้ำ

โครงสร้างเสา



รูปที่ A.1 แสดงตำแหน่งโครงสร้างเสาในแบบจำลองห้องน้ำสำเร็จรูป

กรณีแรก ช่วงยกติดตั้ง

Load Case ที่ใช้คือ 1.2·LIFT

โดยที่ LIFT คือ แรงยกโครงสร้างทั้งหมด มีขนาด 4000 กิโลกรัม โดยตำแหน่งจุดยกอยู่ที่วงกลมสีแดงบริเวณหัวเสาต้นที่ 2 ดังรูปที่ 6.1 และใช้มาตรฐานการออกแบบดังรูปที่ 6.2 โปรแกรม SAP2000 จะทำการออกแบบโดยพิจารณาตำแหน่งที่ทำให้เกิด Demand/Capacity สูงสุด โดยคิดจาก แรงตามแนวแกน และ แรงดัดทั้งในแกนหลักและแกนรองมาพิจารณาร่วมกัน

Item	Value
1 Design Code	AISC 360-10
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	SMF
4 Seismic Design Category	D
5 Importance Factor	1.
6 Design System Rho	1.
7 Design System Sds	0.5
8 Design System R	8.
9 Design System Omega0	3.
10 Design System Cd	5.5
11 Design Provision	LRFD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	General 2nd Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Fixed
15 Phi(Bending)	0.9
16 Phi(Compression)	0.9
17 Phi(Tension-Yielding)	0.9
18 Phi(Tension-Fracture)	0.75
19 Phi(Shear)	0.9
20 Phi(Shear-Short Webed Rolled I)	1.
21 Phi(Torsion)	0.9

รูปที่ A.2 มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็ก

สำหรับการออกแบบโครงสร้างเสาเป็นดังต่อไปนี้

เสาต้นที่ 1

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 4 X Mid: 0.000 Combo: 1.2 X Lift Design Type: Column
 Length: 2.500 Y Mid: 0.000 Shape: H 100X100 Frame Type: SMF
 Loc : 1.550 Z Mid: 1.250 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.004 AlphaPr/Pe=0.005

Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.002 I33=3.690E-06 r33=0.042 S33=7.381E-05 Av3=0.001

J=0.000 I22=1.335E-06 r22=0.025 S22=2.670E-05 Av2=6.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=8.418E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=4.076E-05

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2 X Lift)

Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
-204.593	-6.58	-0.087	-4.692	2.222	0.002

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

$$D/C \text{ Ratio: } 0.007 = 0.004 + 0.003 + 0.000$$

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAxIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Ktb	Cb
LTB	1	1	1.659

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-204.59	28533.6	47928

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-6.58	1917.666	1917.666
Minor Moment	-0.087	928.4	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	4.692	8200.604	0.001	OK
Minor Shear	2.222	21868.28	0	OK

เสาต้นที่ 2

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 2 X Mid: 1.500 Combo: 1.2 X Lift Design Type: Column
 Length: 2.500 Y Mid: 0.000 Shape: H 100X100 Frame Type: SMF
 Loc : 0.000 Z Mid: 1.250 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.052 AlphaPr/Pe=0.065 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.002 I33=3.690E-06 r33=0.042 S33=7.381E-05 Av3=0.001

J=0.000 I22=1.335E-06 r22=0.025 S22=2.670E-05 Av2=6.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=8.418E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=4.076E-05

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2 X Lift)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0	2785.773	-13.871	-7.345	-5.347	-31.689	8.53E-04

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)

D/C Ratio: 0.044 = 0.029 + 0.007 + 0.008

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAxIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	3.039

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	2785.77	28533.6	47928

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-13.871	1917.666	1917.666
Minor Moment	-7.345	928.4	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	5.347	8200.604	0.001	OK
Minor Shear	31.689	21868.28	0.001	OK

เสาดันที่ 3

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 6 X Mid: 0.000 Combo: 1.2 X Lift Design Type: Column
 Length: 2.500 Y Mid: 1.800 Shape: H 100X100 Frame Type: SMF
 Loc : 2.500 Z Mid: 1.250 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=7E-05 AlphaPr/Pe=8E-05 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.002 I33=3.690E-06 r33=0.042 S33=7.381E-05 Av3=0.001
 J=0.000 I22=1.335E-06 r22=0.025 S22=2.670E-05 Av2=6.000E-04
 E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=8.418E-05 Cw=0.000
 RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=4.076E-05

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2 X Lift)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
2.5	-3.599	0.266	0.401	-5.388	-2.865	4.59E-04

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0.000 = 0.000 + 0.000 + 0.000

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	1.451

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-3.599	28533.6	47928

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	0.266	1917.666	1917.666
Minor Moment	0.401	928.4	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	5.388	8200.604	0.001	OK
Minor Shear	2.865	21868.28	0	OK

เสาดันที่ 4

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 10 X Mid: 1.500 Combo: 1.2 X Lift Design Type: Column
 Length: 2.500 Y Mid: 1.800 Shape: H 100X100 Frame Type: SMF
 Loc : 1.350 Z Mid: 1.250 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.004 AlphaPr/Pe=0.005 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.002 I33=3.690E-06 r33=0.042 S33=7.381E-05 Av3=0.001

J=0.000 I22=1.335E-06 r22=0.025 S22=2.670E-05 Av2=6.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=8.418E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=4.076E-05

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2 X Lift)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
1.35	-202.646	0.801	-0.492	-0.023	0.598	-4.02E-04

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0.004 = 0.004 + 0.000 + 0.000

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	3

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-202.65	28533.6	47928

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	0.801	1917.666	1917.666
Minor Moment	-0.492	928.4	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	0.023	8200.604	2.82E-06	OK
Minor Shear	0.598	21868.28	2.74E-05	OK

กรณีที่สอง ช่วงการใช้งาน

Load Case ที่ใช้คือ $1.2 \cdot DL + 1.2 \cdot SDL + 1.6 \cdot LL$

โดย DL คือ น้ำหนักของโครงสร้าง

SDL คือ น้ำหนักในส่วนของกระเบื้องซึ่งถ้าเป็น ผนังจะเท่ากับ 50 กิโลกรัม/ตารางเมตร

ถ้าเป็นพื้นจะเท่ากับ 150 กิโลกรัม/ตารางเมตร

LL คือ น้ำหนักบรรทุกจร สำหรับห้องน้ำอยู่ที่ 150 กิโลกรัม/ตารางเมตร (ตาม พรบ.ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522)

ซึ่งรายละเอียดการออกแบบมีดังต่อไปนี้

เสาด้านที่ 1

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 4 X Mid: 0.000 Combo: 1.2DL+1.6LL+1.2SD Design Type: Column

Length: 2.500 Y Mid: 0.000 Shape: H 100X100 Frame Type: SMF

Loc : 0.000 Z Mid: 1.250 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.003 AlphaPr/Pe=0.004 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-Rl=1.000 PhiST=0.900

A=0.002 I33=3.690E-06 r33=0.042 S33=7.381E-05 Av3=0.001

J=0.000 I22=1.335E-06 r22=0.025 S22=2.670E-05 Av2=6.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=8.418E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=4.076E-05

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2DL+1.6LL+1.2SDL)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0	-181.69	-0.091	-0.039	-0.101	-0.043	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

$$D/C \text{ Ratio: } 0.003 = 0.003 + 0.000 + 0.000$$

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	0.374
Minor Bending	1	1	1	1	1	0.371

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	2.186

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-181.69	28533.6	47928

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-0.091	1917.666	1917.666
Minor Moment	-0.039	928.4	

SHEAR CHECK

	Vu	$\phi \cdot V_n$	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	0.101	8200.604	1.24E-05	OK
Minor Shear	0.043	21868.28	1.95E-06	OK



เสาต้นที่ 2

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 2 X Mid: 1.500 Combo: 1.2DL+1.6LL+1.2SD Design Type: Column
 Length: 2.500 Y Mid: 0.000 Shape: H 100X100 Frame Type: SMF
 Loc : 2.500 Z Mid: 1.250 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.003 AlphaPr/Pe=0.004 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.002 I33=3.690E-06 r33=0.042 S33=7.381E-05 Av3=0.001

J=0.000 I22=1.335E-06 r22=0.025 S22=2.670E-05 Av2=6.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=8.418E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=4.076E-05

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2DL+1.6LL+1.2SDL)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
2.5	-181.69	0.091	0.039	-0.101	-0.043	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0.003 = 0.003 + 0.000 + 0.000

= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	0.374
Minor Bending	1	1	1	1	1	0.371

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	2.186

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-181.69	28533.6	47928

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-0.091	1917.666	1917.666
Minor Moment	-0.039	928.4	

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	0.101	8200.604	1.24E-05	OK
Minor Shear	0.043	21868.28	1.95E-06	OK

เสาดันที่ 3

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 6 X Mid: 0.000 Combo: 1.2DL+1.6LL+1.2SD Design Type: Column
 Length: 2.500 Y Mid: 1.800 Shape: H 100X100 Frame Type: SMF
 Loc : 2.500 Z Mid: 1.250 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.003 AlphaPr/Pe=0.004 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.002 I33=3.690E-06 r33=0.042 S33=7.381E-05 Av3=0.001

J=0.000 I22=1.335E-06 r22=0.025 S22=2.670E-05 Av2=6.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=8.418E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=4.076E-05

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2DL+1.6LL+1.2SDL)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
2.5	-181.69	-0.091	-0.039	0.101	0.043	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0.003 = 0.003 + 0.000 + 0.000

= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	0.374
Minor Bending	1	1	1	1	1	0.371

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	2.186

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-181.69	28533.6	47928

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-0.091	1917.666	1917.666
Minor Moment	-0.039	928.4	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	0.101	8200.604	1.24E-05	OK
Minor Shear	0.043	21868.28	1.95E-06	OK

เสาดันที่ 4

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 10 X Mid: 1.500 Combo: 1.2DL+1.6LL+1.2SD Design Type: Column

Length: 2.500 Y Mid: 1.800 Shape: H 100X100 Frame Type: SMF

Loc : 2.500 Z Mid: 1.250 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.003 AlphaPr/Pe=0.004 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.002 I33=3.690E-06 r33=0.042 S33=7.381E-05 Av3=0.001

J=0.000 I22=1.335E-06 r22=0.025 S22=2.670E-05 Av2=6.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=8.418E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=4.076E-05

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2DL+1.6LL+1.2SDL)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
2.5	-181.69	0.091	-0.039	-0.101	0.043	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0.003 = 0.003 + 0.000 + 0.000

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	0.374
Minor Bending	1	1	1	1	1	0.371

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	2.186

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-181.69	28533.6	47928

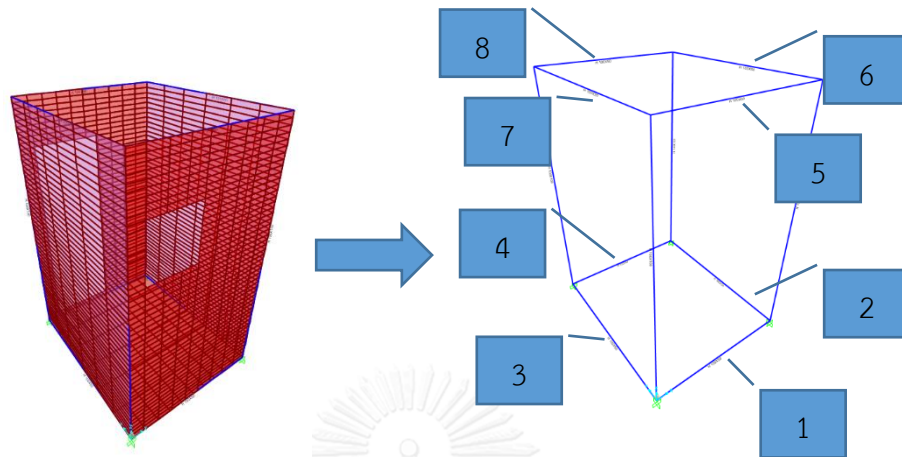
	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-0.091	1917.666	1917.666
Minor Moment	-0.039	928.4	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	0.101	8200.604	1.24E-05	OK
Minor Shear	0.043	21868.28	1.95E-06	OK

โครงสร้างคาน

สำหรับโครงสร้างห้องน้ำจะประกอบด้วยคานชุดบน และ คานชุดล่าง ดังรูปที่ A.3



รูปที่ A.3 แสดงตำแหน่งโครงสร้างคานในแบบจำลองห้องน้ำสำเร็จรูป

สำหรับการออกแบบคานในโครงสร้างห้องน้ำสำเร็จรูปจะแบ่งกรณีสำหรับการออกแบบเป็น 2 กรณี เช่นเดียวกับโครงสร้างเสา ดังนี้

กรณีแรก ช่วงยกติดตั้ง โดย Load Case ที่ใช้คือ 1.2·LIFT

สำหรับการออกแบบคานมีดังต่อไปนี้

คานตัวที่ 1

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 3	X Mid: 0.750	Combo: 1.2 X Lift	Design Type: Beam
Length: 1.500	Y Mid: 0.000	Shape: H 100X50	Frame Type: SMF
Loc : 0.150	Z Mid: 0.000	Class: Compact	Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.002 AlphaPr/Pe=0.004 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750
 PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900
 A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04
 J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04
 E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000
 RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2 X Lift)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0.15	56.312	-3.631	0.048	198.28	-0.051	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)

$$\begin{aligned}
 \text{D/C Ratio: } 0.005 &= 0.001 + 0.004 + 0.000 \\
 &= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)
 \end{aligned}$$

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	3

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	56.312	10338.4	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-3.631	952.067	952.067
Minor Moment	0.048	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	198.28	6833.837	2.90E-02	OK
Minor Shear	0.051	9567.371	5.33E-06	OK



คาน้ำที่ 2

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 12 X Mid: 1.500 Combo: 1.2 X Lift Design Type: Beam
 Length: 1.800 Y Mid: 0.900 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 1.800 Z Mid: 0.000 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.002 AlphaPr/Pe=0.005 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2 X Lift)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
1.8	49.63	20.282	-0.064	-102.575	0.722	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)

D/C Ratio: 0.023 = 0.000 + 0.021 + 0.000

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	3

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	49.63	7192.99	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	20.282	952.067	952.067
Minor Moment	-0.064	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	102.575	6833.837	1.50E-02	OK
Minor Shear	0.722	9567.371	7.55E-05	OK

คาน้ำที่ 3

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 7 X Mid: 0.000 Combo: 1.2 X Lift Design Type: Beam
 Length: 1.800 Y Mid: 0.900 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 1.800 Z Mid: 0.000 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.001 AlphaPr/Pe=0.003 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2 X Lift)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
1.8	-30.434	-0.996	-0.098	4.521	0.57	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0.004 = 0.002 + 0.001 + 0.000

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	3

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-30.434	7192.99	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-0.996	952.067	952.067
Minor Moment	-0.098	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	4.521	6833.837	1.00E-03	OK
Minor Shear	0.57	9567.371	5.96E-05	OK

คาน้ำที่ 4

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 11 X Mid: 0.750 Combo: 1.2 X Lift Design Type: Beam
 Length: 1.500 Y Mid: 1.800 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 0.000 Z Mid: 0.000 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.001 AlphaPr/Pe=0.002 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2 X Lift)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0	-32.383	-2.992	-0.361	-16.073	-3.086	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0.006 = 0.002 + 0.003 + 0.002

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	2.469

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-32.383	10338.4	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-2.992	952.067	952.067
Minor Moment	-0.361	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	16.073	6833.837	2.00E-03	OK
Minor Shear	3.086	9567.371	0.00E+00	OK

คานที่ 5

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 1 X Mid: 0.750 Combo: 1.2 X Lift Design Type: Beam
 Length: 1.500 Y Mid: 0.000 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 1.328 Z Mid: 2.500 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.013 AlphaPr/Pe=0.029 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2 X Lift)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
1.328	-379.79	11.788	0.431	-34.561	-0.726	-1.10E-02

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0.033 = 0.018 + 0.012 + 0.002

= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	0.216

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	2.726

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-379.79	10338.4	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	11.788	952.067	952.067
Minor Moment	0.431	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	34.561	6833.837	5.00E-03	OK
Minor Shear	0.726	9567.371	7.59E-05	OK

คาน้ำที่ 6

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 8 X Mid: 1.500 Combo: 1.2 X Lift Design Type: Beam
 Length: 1.800 Y Mid: 0.900 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 0.300 Z Mid: 2.500 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.014 AlphaPr/Pe=0.042 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2 X Lift)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0.3	-386.405	11.169	0.375	32.821	0.601	1.00E-02

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

$$D/C \text{ Ratio: } 0.040 = 0.027 + 0.012 + 0.002$$

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	0.22

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	2.074

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-386.41	7192.99	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	11.169	952.067	952.067
Minor Moment	0.375	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	32.821	6833.837	5.00E-03	OK
Minor Shear	0.601	9567.371	6.29E-05	OK

คานาดั้งที่ 7

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 5 X Mid: 0.000 Combo: 1.2 X Lift Design Type: Beam
 Length: 1.800 Y Mid: 0.900 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 1.800 Z Mid: 2.500 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.000 AlphaPr/Pe=0.001 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2 X Lift)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
1.8	8.442	0.166	-0.531	-1.173	0.575	3.00E-03

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)

D/C Ratio: 0.003 = 0.000 + 0.000 + 0.003

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAxIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	1.653

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	8.442	7192.99	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	0.166	952.067	952.067
Minor Moment	-0.531	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	1.173	6833.837	0.00E+00	OK
Minor Shear	0.575	9567.371	6.01E-05	OK

คาน้ำที่ 8

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 9 X Mid: 0.750 Combo: 1.2 X Lift Design Type: Beam
 Length: 1.500 Y Mid: 1.800 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 0.000 Z Mid: 2.500 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.000 AlphaPr/Pe=0.000 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2 X Lift)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0	4.104	0.19	-0.527	1.82	-0.687	-3.00E-03

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)

D/C Ratio: 0.003 = 0.000 + 0.000 + 0.002

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	1.436

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	4.104	10338.4	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	0.19	952.067	952.067
Minor Moment	-0.527	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	1.82	6833.837	0.00E+00	OK
Minor Shear	0.687	9567.371	7.18E-05	OK

กรณีที่สอง ช่วงการใช้งาน

Load Case ที่ใช้คือ $1.2 \cdot DL + 1.2 \cdot SDL + 1.6 \cdot LL$

คานาตัวที่ 1

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 3 X Mid: 0.750 Combo: 1.2DL+1.6LL+1.2SD Design Type: Beam

Length: 1.500 Y Mid: 0.000 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF

Loc : 0.000 Z Mid: 0.000 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.000 AlphaPr/Pe=0.000 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2DL+1.6LL+1.2SDL)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0	0	-44.183	0	-142.982	0	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

$$D/C \text{ Ratio: } 0.046 = 0.000 + 0.046 + 0.000$$

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAxIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Ktb	Cb
LTB	1	1	3

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	0	10338.4	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-44.183	952.067	952.067
Minor Moment	0	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	142.982	6833.837	2.10E-02	OK
Minor Shear	0	9567.371	0.00E+00	OK

คาน้ำที่ 2

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 12 X Mid: 1.500 Combo: 1.2DL+1.6LL+1.2SD Design Type: Beam
 Length: 1.800 Y Mid: 0.900 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 0.000 Z Mid: 0.000 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.000 AlphaPr/Pe=0.000 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2DL+1.6LL+1.2SDL)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0	0	-73.657	0	-199.254	0	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0.077 = 0.000 + 0.077 + 0.000

= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	2.284

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	0	7192.99	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-73.657	952.067	952.067
Minor Moment	0	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	199.254	6833.837	2.90E-02	OK
Minor Shear	0	9567.371	0.00E+00	OK

คาน้ำที่ 3

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 7 X Mid: 0.000 Combo: 1.2DL+1.6LL+1.2SD Design Type: Beam
 Length: 1.800 Y Mid: 0.900 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 0.000 Z Mid: 0.000 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.000 AlphaPr/Pe=0.000 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2DL+1.6LL+1.2SDL)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0	0	-73.657	0	-199.254	0	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0.077 = 0.000 + 0.077 + 0.000

= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	2.284

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	0	7192.99	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-73.657	952.067	952.067
Minor Moment	0	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	199.254	6833.837	2.90E-02	OK
Minor Shear	0	9567.371	0.00E+00	OK

คาน้ำที่ 4

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 11 X Mid: 0.750 Combo: 1.2DL+1.6LL+1.2SD Design Type: Beam
 Length: 1.500 Y Mid: 1.800 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 0.000 Z Mid: 0.000 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.000 AlphaPr/Pe=0.000 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2DL+1.6LL+1.2SDL)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0	0	-44.183	0	-142.982	0	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0.046 = 0.000 + 0.046 + 0.000

= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	3

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	0	10338.4	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-44.183	952.067	952.067
Minor Moment	0	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	142.982	6833.837	2.10E-02	OK
Minor Shear	0	9567.371	0.00E+00	OK

คาน้ำที่ 5

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 1 X Mid: 0.750 Combo: 1.2DL+1.6LL+1.2SD Design Type: Beam
 Length: 1.500 Y Mid: 0.000 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 0.000 Z Mid: 2.500 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.000 AlphaPr/Pe=0.001 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2DL+1.6LL+1.2SDL)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0	10.162	-7.212	0	-24.857	0	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)

D/C Ratio: 0.008 = 0.000 + 0.008 + 0.000

= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	3.001

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	10.162	10338.4	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-7.212	952.067	952.067
Minor Moment	0	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	24.857	6833.837	4.00E-03	OK
Minor Shear	0	9567.371	0.00E+00	OK

คาน้ำที่ 6

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 8 X Mid: 1.500 Combo: 1.2DL+1.6LL+1.2SD Design Type: Beam
 Length: 1.800 Y Mid: 0.900 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 0.000 Z Mid: 2.500 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.000 AlphaPr/Pe=0.001 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2DL+1.6LL+1.2SDL)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0	9.733	-11.932	0	-33.879	0	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)

D/C Ratio: 0.013 = 0.000 + 0.013 + 0.000

= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	2.275

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	9.733	7192.99	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-11.932	952.067	952.067
Minor Moment	0	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	33.879	6833.837	5.00E-03	OK
Minor Shear	0	9567.371	0.00E+00	OK

คานาดั้งที่ 7

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 5 X Mid: 0.000 Combo: 1.2DL+1.6LL+1.2SD Design Type: Beam
 Length: 1.800 Y Mid: 0.900 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 0.000 Z Mid: 2.500 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.000 AlphaPr/Pe=0.001 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2DL+1.6LL+1.2SDL)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0	9.733	-11.932	0	-33.879	0	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)

D/C Ratio: 0.013 = 0.000 + 0.013 + 0.000

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAxIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	2.275

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	9.733	7192.99	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-11.932	952.067	952.067
Minor Moment	0	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	33.879	6833.837	5.00E-03	OK
Minor Shear	0	9567.371	0.00E+00	OK

คาน้ำที่ 8

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 9 X Mid: 0.750 Combo: 1.2DL+1.6LL+1.2SD Design Type: Beam
 Length: 1.500 Y Mid: 1.800 Shape: H 100X50 Frame Type: SMF
 Loc : 0.000 Z Mid: 2.500 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis

D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order

Reduction: Tau-b Fixed

AlphaPr/Py=0.000 AlphaPr/Pe=0.001 Tau_b=1.000

EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750

PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.001 I33=1.781E-06 r33=0.040 S33=3.563E-05 Av3=5.833E-04

J=0.000 I22=0.000 r22=0.011 S22=5.869E-06 Av2=5.000E-04

E=2.039E+10 fy=25310506.54 Ry=1.500 z33=4.180E-05 Cw=0.000

RLLF=1.000 Fu=40778038.3 z22=9.288E-06

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2DL+1.6LL+1.2SDL)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0	10.162	-7.212	0	-24.857	0	0.00E+00

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)

D/C Ratio: 0.008 = 0.000 + 0.008 + 0.000

$$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAxIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1	1	1	1	1	1
Minor Bending	1	1	1	1	1	1

	Ltb	Kltb	Cb
LTB	1	1	3.001

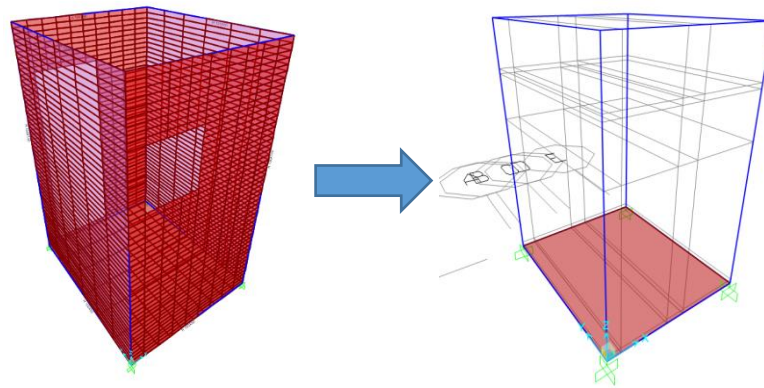
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	10.162	10338.4	25740.8

	Mu	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB
Major Moment	-7.212	952.067	952.067
Minor Moment	0	211.564	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	24.857	6833.837	4.00E-03	OK
Minor Shear	0	9567.371	0.00E+00	OK

โครงสร้างพื้น



รูปที่ A.4 แสดงตำแหน่งพื้น

สำหรับโครงสร้างพื้นจะพิจารณาแค่ช่วงเดียวคือ ช่วงการใช้งาน เนื่องจากแรงที่นำมาพิจารณามีค่ามากกว่า เพราะ ช่วงการยกติดตั้งจะพิจารณาเพียงแค่ น้ำหนักของโครงสร้าง ในขณะที่ช่วงการใช้งานจะมี น้ำหนักบรรทุกเพิ่มเข้ามา สำหรับ Load Case คือ $1.4DL+1.7LL$ โดยตารางการคำนวณเป็นดังต่อไปนี้

ตารางการคำนวณโครงสร้างพื้น

Materials Data		Design Size		Strength Reduction Factor	
f_c'	= 280 ksc.	Short	= 1.50 m.	β_1	= 0.85 -
f_{y1}	= 2400 ksc.	Long	= 1.80 m.	ϕ_b	= 0.90 -
f_{y2}	= 2400 ksc.	Cover	= 0.03 m.	ϕ_v	= 0.85 -
Slab Thick		Load Combination		Design Condition	
m	= 0.83 Two Way	DL	= 240 kg./sq.m	ρ_b	= 0.0605 -
t_{min}	= 3.67 cm.	SDL	= 150 kg./sq.m	ρ_{max}	= 0.0454 -
t	= 10 cm.	LL	= 150 kg./sq.m	ρ_{min}	= 0.0058 -
		Wu	= 801 kg./sq.m	ρ	= 0.0303 -
				R_u	= 61.58 ksc.
				d_{req}	= 0.34 cm.

Data	Short Span			Long Span			Unit
	Disc.-	Mid.+	Disc.-	Disc.-	Mid.+	Disc.-	
C = Moment Coefficient	0.042	0.062	0.042	0.033	0.050	0.033	-
M_u = $CWuS^2$	75.7	111.7	75.7	59.5	90.1	59.5	kg-m.
d = Effective depth	6.55	6.55	6.55	5.65	5.65	5.65	cm.
R_u = M_u/ϕ_bbd^2	1.96	2.89	1.96	2.07	3.14	2.07	ksc.
ρ_{req} = $\rho_{Required}$	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	-
A_s = ρbd	3.80	3.80	3.80	3.28	3.28	3.28	sq.cm.
Rebars @ Spacing	RB9@0.15	RB9@0.15	RB9@0.15	RB9@0.175	RB9@0.175	RB9@0.175	m.
Dead Load on Beam	234.00	-	234.00	270.40	-	270.40	kg./m.
Live Load on Beam	90.00	-	90.00	104.00	-	104.00	kg./m.

Shear Check

$$V_u = 1.15(W_uS/4) = 345.43 \text{ kg.}$$

$$\phi_v V_c = \phi_v 0.53(\sqrt{f_c'})bd = 4937.59 \text{ kg.} \text{ ----- Ok}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสิริวิชญ์ อังสถาพร เกิดวันที่ 4 เมษายน พ.ศ.2534 เป็นบุตรของนายณภัทร อังสถาพร และนางพวงมณี อังสถาพร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555 และเข้ารับการศึกษต่อในระดับปริญญาโท สาขาโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่ปีการศึกษา 2557 จนถึงปัจจุบัน

