



พฤติกรรมการรับน้ำหนักของผนังรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเสริมเหล็ก

วิศวชิต จันทรเกษ

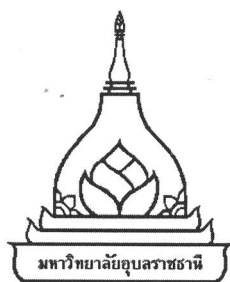
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



BEHAVIOR OF REINFORCED CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE LOAD BEARING WALLS

WITSAWACHIT CHANKED

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
MAJOR IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2018
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง พฤติกรรมการรับน้ำหนักของผนังรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเสริมเหล็ก

ผู้วิจัย นายวิศวิท จันทรเกษ

คณะกรรมการสอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหภาพ หอมวุฒิมังค์

ประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย

กรรมการ

รองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โกคา

กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย)

(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2561

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย ที่ได้ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ในการค้นคว้าข้อมูลที่หลากหลาย พร้อมทั้งช่วยผลักดันให้ผ่านพ้นอุปสรรคต่าง ๆ ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่เสียสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน พร้อมทั้งให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจ ให้ความสนับสนุนผู้วิจัยในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณนายสุเมธ ตรีศูลรัตน์ นายกเทศมนตรีเทศบาลตำบลคำน้ำแซบ ที่เป็นผู้ช่วยในการผลิตเครื่องทดสอบผนังรับน้ำหนัก

วิศวชิต จันทร์เกษ
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : พฤติกรรมการรับน้ำหนักของผนังรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเสริมเหล็ก

ผู้วิจัย : วิชาจิต จันทรเกษ

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย

คำสำคัญ : คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า, ผนังรับน้ำหนัก, พฤติกรรมการรับน้ำหนักของผนัง, พฤติกรรมการวิบัติของผนัง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรง ความแกร่ง และลักษณะการวิบัติของผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใช้หน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยแบ่งการทดสอบผนังที่ผลิตจากคอนกรีตทั้งสองชนิดเป็นสองกรณี คือ การทดสอบแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างและการทดสอบแบบยึดรั้งด้านข้าง แต่ละกรณีมีผนังสามรูปแบบ รวมตัวอย่างผนังที่จะทดสอบทั้งสิ้น 12 ตัวอย่าง ผลการทดสอบพบว่า ในกรณีของผนังแบบที่หนึ่งและแบบที่สอง ผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตปกติมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักมากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า แต่ในผนังแบบที่สามประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าดีกว่าผนังคอนกรีตปกติ เนื่องจากผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าวิบัติสองตำแหน่งทำให้มีพื้นที่รับแรงมากกว่า ซึ่งมีความสอดคล้องกันทั้งสองกรณีทดสอบ ในส่วนของความแกร่ง ผนังคอนกรีตปกติค่าความแกร่งมากกว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในผนังทุกกรณี ในส่วนของการวิบัติ ผนังคอนกรีตปกติมีการวิบัติที่รุนแรงน้อยกว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า อีกทั้งลักษณะการวิบัติของผนังแบบยึดรั้งด้านข้างและไม่ยึดรั้งด้านข้างมีการวิบัติที่แตกต่างกันส่งผลให้ผนังรับน้ำหนักได้มาน้อยต่างกัน ซึ่งสัมพันธ์กับค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของผนัง

ABSTRACT

TITLE : BEHAVIOUR OF REINFORCED CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE LOAD BEARING WALLS

AUTHOR : WITSAWACHIT CHANKED

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : CIVIL ENGINEERING

ADVISOR : ASST. PROF. GRIENGSAK KAEWKULCHAI, Ph.D.

KEYWORDS : CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE, BEARING WALL OPENING, REINFORCED CONCRETE WALL PANELS, BEARING WALL FAILURE

The objective of this thesis was to study compressive strength, stiffness and failure of the load bearing walls made of normal concrete and cellular lightweight concrete having density of $1,800 \text{ kg/m}^3$. The wall samples were cast with each type of concrete and tested in two cases; walls with and without edge restraint. In each case, there were three wall patterns, therefore, a total of 12 wall samples were tested. The results showed that load bearing walls made of normal concrete were more effective in load carrying capacity than walls made of cellular lightweight concrete in the first and second wall patterns. However, the load resistant efficiency of the cellular lightweight concrete walls was better than normal concrete walls in the third wall pattern because the cellular lightweight concrete wall failed in two positions and had more bearing area than the normal concrete wall. The findings were consistent for both cases of testing. The Stiffness normal concrete walls were greater than that of cellular lightweight concrete walls for all wall patterns and cases of testing. For consideration of the wall failure, the normal concrete wall failed more abruptly than cellular lightweight concrete walls did for both cases of testing. Moreover, cracking patterns at failure were different for both cases of testing with regard to the load carrying capacity of each type of walls.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	1
1.4 ข้อสมมุติฐาน	2
1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทัวไป	3
2.2 คอนกรีตปกติ	3
2.3 คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า	5
2.4 ผนังรับน้ำหนัก	8
2.5 ข้อกำหนด การวิเคราะห์และออกแบบผนังรับน้ำหนัก	13
2.6 พฤติกรรมการวิบัติของผนังรับน้ำหนัก	16
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
2.8 สรุป	19
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีทดสอบ	
3.1 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์	21
3.2 ตัวอย่างผนังรับน้ำหนักที่ผลิต	21
3.3 แบบตัวอย่างผนังรับน้ำหนักที่ผลิต	22
3.4 คอนกรีตที่ใช้ในการผลิต	24
3.5 ชุดประกอบการทดสอบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก	25
3.6 โครงสร้างเหล็กที่มีอยู่เดิม	25
3.7 โครงสร้างเสริมสำหรับเครื่องทดสอบ	27
3.8 การทดสอบ	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผล	
4.1 ทัวไป	34
4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	34
4.3 ค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดของผนังรับน้ำหนัก	35
4.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ	38
4.5 ลักษณะการวิบัติของผนังรับน้ำหนัก	55
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	72
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก	
ก โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์	78
ข ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของผนัง	86
ประวัติผู้วิจัย	94

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สูตรส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส	5
2.2	ข้อมูลตัวอย่างการทดสอบเพื่อศึกษามัน้ำรับน้ำหนัก	17
3.1	รายละเอียดมัน้ำรับน้ำหนักที่ผลิตและการทดสอบ	22
3.2	ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการผลิตมัน้ำทดสอบ	24
4.1	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	34
4.2	ค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดของมัน้ำรับน้ำหนักกรณีไม่ยึดรั้งด้านข้าง	35
4.3	ค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดของมัน้ำรับน้ำหนักกรณียึดรั้งด้านข้าง	35
4.4	เปรียบเทียบประสิทธิภาพกำลังรับแรงต่อกำลังของคอนกรีต ของมัน้ำรับน้ำหนักแบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง	37
4.5	ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำลังรับแรงต่อกำลังของคอนกรีต ของมัน้ำรับน้ำหนักแบบยึดรั้งด้านข้าง	37
4.6	ค่าความแกร่งของมัน้ำรับน้ำหนักแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างและแบบยึดรั้งด้านข้าง จากการเสียรูปในดิ่ง	46
4.7	ค่าโมดูลัสคอนกรีต	47
4.8	ค่าความแกร่งของมัน้ำรับน้ำหนักแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างและแบบยึดรั้งด้านข้าง จากการเสียรูปในแนวนอน	54
ข.1	ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของมัน้ำที่ 1 W1N	87
ข.2	ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของมัน้ำที่ 2 W2N	88
ข.3	ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของมัน้ำที่ 3 W3N	88
ข.4	ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของมัน้ำที่ 4 W1C	89
ข.5	ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของมัน้ำที่ 5 W2C	89
ข.6	ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของมัน้ำที่ 6 W3C	90
ข.7	ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของมัน้ำที่ 7 W1N-R	90
ข.8	ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของมัน้ำที่ 8 W2N-R	91
ข.9	ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของมัน้ำที่ 9 W3N-R	91
ข.10	ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของมัน้ำที่ 10 W1C-R	92
ข.11	ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของมัน้ำที่ 11 W2C-R	92
ข.12	ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของมัน้ำที่ 12 W3C-R	93

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดของคอนกรีตมวลเบา	4
2.2	กำลังรับแรงอัดกับอายุของตัวอย่างทรงกระบอกที่หน่วยน้ำหนักออกแบบ 1,800 Kg/m ³	7
2.3	ขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังรับน้ำหนัก	9
2.4	การจัดวางผนังรับน้ำหนัก Long wall system	11
2.5	การจัดวางผนังรับน้ำหนัก Cross wall system	12
2.6	การจัดวางผนังรับน้ำหนัก Two way span system	13
2.7	การวิบัติของผนังรับน้ำหนักแบบมีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิด ด้วยการทดสอบ แบบยึดรั้งด้านข้างและไม่ยึดรั้งด้านข้าง	17
3.1	ผนังแบบที่ 1	23
3.2	ผนังแบบที่ 2	23
3.3	ผนังแบบที่ 3	24
3.4	โครงสร้างเครื่องทดสอบ	26
3.5	จำลองโครงสร้างเสริมสำหรับทดสอบผนัง แบบ 3 มิติ	28
3.6	จำลองการติดตั้งไดอัลเกจ ผนังแบบที่ 1	29
3.7	จำลองการติดตั้งไดอัลเกจ ผนังแบบที่ 2	30
3.8	จำลองการติดตั้งไดอัลเกจ ผนังแบบที่ 3	31
3.9	จำลองการติดตั้งผนังแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างและแบบยึดรั้งด้านข้าง	32
3.10	จำลองการติดตั้งผนังแบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง	32
3.11	จำลองการติดตั้งผนังแบบยึดรั้งด้านข้าง	33
4.1	แสดงค่าการรับน้ำหนักสูงสุด	36
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวตั้งของผนัง W1N และ W1C แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง	39
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวตั้งของผนัง W2N และ W2C แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง	40
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวตั้งของผนัง W3N และ W3C แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง	41
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวตั้งของผนัง W1N-R และ W1C-R แบบยึดรั้งด้านข้าง	41
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวตั้งของผนัง W2N-R และ W2C-R แบบยึดรั้งด้านข้าง	42
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวตั้งของผนัง W3N-R และ W3C-R แบบยึดรั้งด้านข้าง	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W1N และ W2N และ W3N แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง	44
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W1C และ W2C และ W3C แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง	44
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W1N-R และ W2N-R และ W3N-R แบบยึดรั้งด้านข้าง	45
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W1C-R และ W2C-R และ W3C-R แบบยึดรั้งด้านข้าง	45
4.12	ความแกร่ง (Stiffness) ในแนวดิ่งของผนังรับน้ำหนักทั้ง 12 ตัวอย่าง	47
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวนอน ณ ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 ของผนัง W1N และ W1C แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง	48
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวนอน ณ ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 ของผนัง W2N และ W2C แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง	49
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวนอน ณ ตำแหน่งที่ 2 ของผนัง W3N และ W3C แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง	50
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวนอน ณ ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 ของผนัง W1N-R และ W1C-R แบบยึดรั้งด้านข้าง	51
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวนอน ณ ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 ของผนัง W2N-R และ W2C-R แบบยึดรั้งด้านข้าง	52
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวนอน ณ ตำแหน่งที่ 2 ของผนัง W3N-R และ W3C-R แบบยึดรั้งด้านข้าง	53
4.19	ความแกร่ง (Stiffness) ในแนวนอนของผนังรับน้ำหนัก ณ ตำแหน่งที่ 2	54
4.20	ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W1N และ W1C	55
4.21	ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W1N และ W1C	56
4.22	ลักษณะการวิบัติโดยรวมของผนัง W1N และ W1C	57
4.23	ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W2N และ W2C	58
4.24	ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W2N และ W2C	59
4.25	ลักษณะการวิบัติโดยรวมของผนัง W2N และ W2C	60
4.26	ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W3N และ W3C	60
4.27	ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W3N และ W3C	61
4.28	ลักษณะการวิบัติโดยรวมของผนัง W3N และ W3C	63
4.29	ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W1N-R และ W1C-R	64
4.30	ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W1N-R และ W1C-R	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.31	ลักษณะการวิบัติโดยรวมของผนัง W1N-R และ W1C-R	66
4.32	ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W2N-R และ W2C-R	66
4.33	ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W2N-R และ W2C-R	67
4.34	ลักษณะการวิบัติโดยรวมของผนัง W2N-R และ W2C-R	68
4.35	ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W3N-R และ W3C-R	69
4.36	ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W3N-R และ W3C-R	70
4.37	ลักษณะการวิบัติโดยรวมของผนัง W3N-R และ W3C-R	71

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
A	พื้นที่หน้าตัด
cm	เซนติเมตร
d_b	เหล็กข้ออ้อย
E_c	โมดูลัสคอนกรีต
f_y	กำลังที่จุดคราก
g	กรัม
H	ความสูง
h	ความหนาของผนัง
K	ตัวคูณความยาวประสิทธิ์ผล
Kg	กิโลกรัม
Kg/cm^2	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
Kg/m^3	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
Ksc	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
L	ความยาว
L	ลิตร
m	เมตร
mm	มิลลิเมตร
N/m^2	นิวตันต่อตารางเมตร
Mpa	เมกะปาสคา
S/C	ทรายต่อซีเมนต์
t_w	ความหนา
ton	ตัน
ton/mm	ตันต่อมิลลิเมตร
W/C	น้ำต่อซีเมนต์
A_g	ขนาดหน้าตัดของผนังคอนกรีต
σ_c	หน่วยแรงอัดสูงสุด
σ_t	หน่วยแรงดึงสูงสุด
f_c	ค่าโมดูลัสการแตกร้าวหรือกำลังรับแรงดึงคอนกรีต
f_c'	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต
f_c	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีต
ϕ	ตัวคูณลดกำลัง
P_n	กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

คำอธิบายสัญลักษณ์ย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
P_u	แรงดิ่งสัมประสิทธิ์ที่เกิดจากน้ำหนักผนังซึ่งคูณตัว
L_c	คูณแรงแล้ว

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

เนื่องจากผนังรับน้ำหนักมีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเพราะประหยัดค่าใช้จ่ายและประหยัดเวลาในการก่อสร้าง ส่งผลให้ลดต้นทุนทางด้านแรงงานลงอย่างชัดเจน และเมื่อก่อสร้างด้วยแบบเดียวกันซ้ำ ๆ เป็นจำนวนมาก ยิ่งทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายมากขึ้น อีกทั้งระบบก่อสร้างสำเร็จรูปนั้นต่างจากระบบเสาคาน โดยระบบก่อสร้างด้วยผนังสำเร็จรูปนั้น ผนังรับน้ำหนักจะเป็นตัวรับน้ำหนักจากองค์อาคารโดยตรงทำให้ไม่ต้องใช้เสาและคาน ผลที่ตามมาคือ มีพื้นที่ใช้สอยเพิ่มมากขึ้น ถึงอย่างนั้นผนังรับน้ำหนักก็มีข้อเสียเช่นกันคือตัวผนังเองมีน้ำหนักที่มากทำให้โครงสร้างต้องรับน้ำหนักมากไปด้วย และตัวคอนกรีตเองเป็นฉนวนกันความร้อนได้ไม่ดีนัก ทำให้อาคารร้อนจึงเป็นข้อเสียของผนังสำเร็จรูปที่ใช้คอนกรีตปกติ เพื่อเป็นการแก้ไขข้อเสียด้านนี้จึงมีการนำคอนกรีตมวลเบามาใช้แทนคอนกรีตปกติ เนื่องจากคอนกรีตมวลเบามีการถ่ายเทความร้อนต่ำทำให้อาคารเย็นขึ้น อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตปกติ จึงส่งผลโดยตรงให้โครงสร้างมีน้ำหนักโดยรวมน้อยกว่าโครงสร้างที่สร้างด้วยคอนกรีตปกติ โดยคอนกรีตมวลเบาที่จะใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ซึ่งคอนกรีตชนิดนี้ยังไม่ได้มีผลการศึกษาด้านพฤติกรรมโครงสร้างเพื่อนำมาผลิตเป็นผนังรับน้ำหนัก อย่างไรก็ตามคุณสมบัติพื้นฐานด้านกำลังของคอนกรีตชนิดนี้สามารถใช้แทนคอนกรีตปกติได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ เพื่อศึกษาพฤติกรรมด้านโครงสร้างของผนังรับน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส โดยเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของผนังรับน้ำหนักที่ใช้คอนกรีตปกติ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อทราบถึงกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตสองชนิด และลักษณะการวิบัติของผนังรับน้ำหนัก โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.2.1 ทดสอบผนังคอนกรีตปกติเสริมเหล็กและผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเสริมเหล็ก

1.2.2 เปรียบเทียบพฤติกรรมในด้านกำลัง ความแกร่ง รูปแบบการวิบัติของผนังที่ผลิตจากคอนกรีตทั้งสองชนิด ทั้งในกรณีผนังยึดรั้งด้านข้างและผนังไม่ยึดรั้งด้านข้าง

1.3 ขอบเขต

1.3.1 ผนังรับน้ำหนักผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีกำลังรับแรงอัด ประมาณ $160-180 \text{ Kg/cm}^3$

1.3.2 ผนังรับน้ำหนักผลิตจากคอนกรีตปกติที่มีกำลังรับแรงอัด ประมาณ $160-180 \text{ Kg/cm}^3$

1.3.3 คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสช่วงความหนาแน่น $1,800 \text{ Kg/m}^3$

1.3.4 คอนกรีตปกติความหนาแน่น $2,400 \text{ Kg/m}^3$

1.3.5 ขนาดผนังตัวอย่างกว้าง 2 m สูง 1.5 m ความหนา 0.06 m ในกรณีที่มีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิด

1.3.6 ใช้เหล็กเสริม wire mesh 4 mm (ขนาด 0.20 x 0.20 m)

1.3.7 ทดสอบแบบผนังยึดรั้งด้านข้างและผนังไม่ยึดรั้งด้านข้าง

1.3.8 อายุผนัง 60 วัน

1.4 ข้อสมมุติฐาน

1.4.1 คอนกรีตทั้ง 2 ชนิด มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากันจะส่งผลให้ผนังมีค่าการรับน้ำหนักที่เท่ากัน

1.4.2 ค่าความแกร่งของผนังคอนกรีตปกติมีค่ามากกว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า เนื่องจากค่าโมดูลัสของคอนกรีตปกติมีค่ามากกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

1.4.3 พฤติกรรมการวิบัติจะมีลักษณะที่คล้ายกันทั้งผนังคอนกรีตปกติและผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

1.4.4 เหล็กเสริมมีผลต่อพฤติกรรมการวิบัติของผนังน้อยมากเนื่องจากอยู่ในตำแหน่งของกึ่งกลางของผนังและมีปริมาณต่ำมาก

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ผลิตผนังเพื่อใช้ในการทดสอบทั้ง 12 ตัวอย่าง

1.5.2 ดำเนินการทดสอบผนังทั้งกรณียึดรั้งด้านข้างและไม่ยึดรั้งด้านข้าง พร้อมบันทึกผลที่ได้จากการทดสอบ

1.5.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.5.4 สรุปผลการทดสอบ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัย

2.1 ทัวไป

ระบบผนังรับน้ำหนักถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างมากขึ้น ซึ่งเหมาะสมกับงานที่มีรูปแบบซ้ำ ๆ กัน ต้องการความเร็ว และคุณภาพที่สม่ำเสมอ แม้ว่าจะมีการใช้อย่างแพร่หลาย แต่องค์ความรู้ที่ใช้ในการออกแบบ ทักษะฝีมือในการผลิตและการติดตั้งนั้นมียูในวงจำกัด ฉะนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับผนังรับน้ำหนักทั้งในเรื่องของพฤติกรรมการรับแรงของตัวผนัง หลักในการออกแบบคอนกรีตที่ใช้ในการผลิต

2.2 คอนกรีตปกติ

คอนกรีตเป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างและใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีราคาถูกและมีคุณสมบัติต่าง ๆ มากมาย คอนกรีตนั้นประกอบด้วยสามส่วนหลัก ๆ คือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม เช่น หิน ทราย และสุดท้ายคือน้ำ โดยคอนกรีตอาจมีค่ากำลังรับแรงนั้นไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับการกำหนดส่วนผสมต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะกับงานที่ใช้นั่นเอง เมื่อรวมส่วนผสมต่าง ๆ เข้าด้วยกันเรียบร้อยแล้วคอนกรีตจะเริ่มแข็งตัวอย่างช้า ๆ จนเมื่อครบ 28 วัน ความแข็งของคอนกรีตจะเริ่มคงที่ หมายถึงกำลังรับแรงของคอนกรีตแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงแล้ว ในเรื่องของอายุการใช้งานคอนกรีตนั้นต้องดูประกอบหลาย ๆ เรื่อง เช่น สภาพแวดล้อมที่ตั้งขององค์อาคาร กล่าวคืออาคารที่มีส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารยื่นไปสัมผัสกับน้ำทะเลโดยตรงจะต้องใช้คอนกรีตชนิดพิเศษ เพราะน้ำทะเลมีความเค็มสามารถกัดคอนกรีตและเหล็กได้ ทำให้อายุการใช้งานขององค์อาคารนั้นต่ำ เป็นต้น หรือการใช้งานคอนกรีตไม่ถูกกับประเภทของงานก็มีส่วนให้อายุการใช้งานคอนกรีตนั้นสั้นลง แต่โดยปกติแล้วคอนกรีตเมื่อใช้ในการก่อสร้างองค์อาคารจนเสร็จสมบูรณ์จะสามารถใช้งานได้ในระยะเวลาหลายสิบปี

2.2.1 กำลังอัดของคอนกรีต

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 3 ประการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

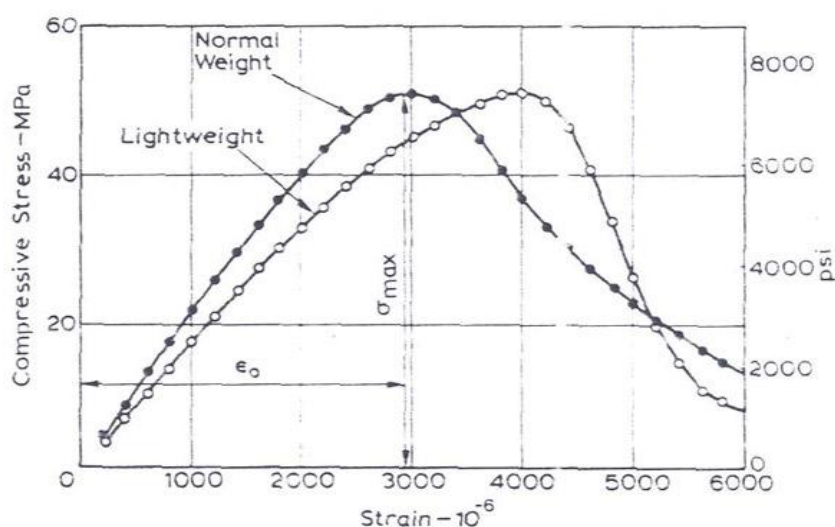
2.2.1.1 กำลังของมอร์ต้า มีบทบาทอย่างมากต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยกำลังของมอร์ต้าขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และ Degree of Hydration แต่ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความพรุน จะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กำลังของมอร์ต้าขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์อย่างมาก การเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติของมวลรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดคละ ปริมาณ กำลัง ลักษณะผิว ขนาดใหญ่สุด การดูดซึม และแร่ธาตุต่าง ๆ จะส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตไม่มากนัก และการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังดิ่งน้อยกว่ากำลังอัด โดยอัตราส่วนของกำลังดิ่งต่อกำลังอัดของคอนกรีต จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น

2.2.1.2 สำหรับกำลังของมอร์ต้าที่กำหนดให้ ความสามารถต้านแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของหินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้า แต่โดยทั่วไปกำลังของมวลรวมจะสูงเป็นหลายเท่าของกำลังของมอร์ต้า ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวจะเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต

2.2.1.3 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับมอร์ต้า แรงยึดเหนี่ยวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี คือปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่าง ๆ ในเนื้อคอนกรีต

2.2.2 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

สมบัติยืดหยุ่นของคอนกรีตมีความสำคัญต่อการเสียรูปของโครงสร้างคอนกรีตภายใต้น้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำ [1] เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่ไม่ยืดหยุ่น เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกทุกกล่าวคือ ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดกับหน่วยการหดตัวโดยแสดงในภาพที่ 2.1 ของคอนกรีตในช่วงน้ำหนักใช้งานจะเป็นเส้นโค้ง แทนที่จะเป็นเส้นตรงเหมือนกับเหล็กหรือวัสดุอีลาสติกอื่น ๆ หรือการหดตัวของคอนกรีตประกอบด้วยหน่วยการกดตัวแบบอีลาสติกและหน่วยการหดตัวแบบพลาสติกหรือที่เรียกว่าหน่วยการล้า ดังนั้นคอนกรีตจะเกิดการเสียรูปอย่างถาวร ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกน้อย ๆ อย่างไรก็ตามพบว่า คอนกรีตจะไม่เสียรูปมากนักเมื่อน้ำหนักหรือแรงกระทำต่อโครงสร้างอยู่ในช่วงร้อยละ 40 ของน้ำหนักประลัย และกระทำในช่วงเวลาสั้น ฉะนั้นในทางปฏิบัติ เมื่อคอนกรีตรับน้ำหนักอยู่ในช่วงใช้งานและในระยะเวลายาว จึงสมมุติว่าคอนกรีตมีหน่วยการหดตัวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยแรงอัดที่กระทำ นั่นคือไม่คิดหน่วยการหดตัวแบบพลาสติก แต่เมื่อเวลาผ่านไปน้ำหนักหรือแรงกระทำจะทำให้เกิดการเสียรูปมากขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุดก็เกิดการชำรุดแตกหัก อนึ่งเมื่อคอนกรีตต้องรับน้ำหนักหรือแรงกระทำเป็นเวลานานหรือมีแรงมากระทำซ้ำ ๆ จะส่งผลให้มีการเสียรูปแบบถาวรเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งคอนกรีตเป็นวัสดุที่สามารถรับแรงอัดได้ดีในขณะที่ความสามารถรับแรงดึงได้ต่ำ ประมาณร้อยละ 10 ของแรงอัด แต่ถ้าต้องการให้คอนกรีตสามารถรับแรงดึงได้ต้องเพิ่มเหล็กเส้นเข้าไปในคอนกรีต เพื่อเหล็กจะช่วยรับแรงดึงภายในคอนกรีต



ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดของคอนกรีตมวลเบา [2]

การเสียรูปของตัวผนังจะขึ้นอยู่กับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ซึ่งค่าความโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตจะหาได้จากสมการ 2.1 ซึ่งสามารถใช้ในการประมาณค่าโมดูลัสของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าได้โดยมีรายละเอียด ดังนี้

$$E_c = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} \quad (2.1)$$

จากที่กล่าวมาข้างต้นได้พูดถึงโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตซึ่งส่งผลโดยตรงต่อผนังรับน้ำหนัก เพราะคอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักมากและค่ากำลังรับแรงอัดสูงจะส่งผลให้ค่าโมดูลัสของคอนกรีตสูง และผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตที่มีค่าโมดูลัสสูงจะเสียรูปได้ยากต่างจากผนังที่ผลิตจากคอนกรีตที่มีค่าโมดูลัสต่ำจะเสียรูปได้ง่ายเมื่อมีแรงกระทำเท่ากัน จะเห็นว่าค่าโมดูลัสของคอนกรีตก็เป็นอีกปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ผนังที่ผลิตจากคอนกรีตทั้งสองชนิด โดยจะอธิบายในหัวข้อของการทดสอบต่อไป

2.3 คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลามีชื่อตามมาตรฐานอุตสาหกรรมว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ [3] คือ คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตปกติ โดยใช้โฟมเหลวเป็นตัวช่วยในการสร้างฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต โฟมเหลวจะทำปฏิกิริยากับน้ำและอากาศในขณะผสมทำให้เกิดฟองอากาศในระหว่างการเทคอนกรีตเข้าแบบที่เตรียมไว้ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะเกิดโพรงอากาศมากมายภายในเนื้อคอนกรีต โพรงอากาศเหล่านี้ส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง โดยความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจะอยู่ที่ 300 – 1800 kg/m³ ซึ่งเมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติจะอยู่ที่ 2400 kg/m³

2.3.1 ช่วงความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าสามารถแบ่งออกได้เป็นช่วง เพื่อความเหมาะสมกับประเภทงานที่ใช้โดยจำแนกได้ดังนี้

2.3.1.1 ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 300 ถึง 600 kg/m³ เหมาะสำหรับเป็นฉนวนกันความร้อนหรือใช้เพื่อป้องกันอัคคีภัย ใช้สำหรับงานดาดฟ้า

2.3.1.2 ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 600 ถึง 800 kg/m³ เหมาะสำหรับงานที่ระบายน้ำได้ดินและเทพื้นหลังคา

2.3.1.3 ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 800 ถึง 1,100 kg/m³ เหมาะสำหรับงานปูทางเท้าและผนังรั้ว

2.3.1.4 ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1,100 ถึง 1,400 kg/m³ เหมาะสำหรับงานกำแพงรั้วสำเร็จรูป

2.3.1.5 ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1,400 ถึง 1,800 kg/m³ เหมาะสำหรับงานโครงสร้างทั่วไปหรืองานโครงสร้างรับน้ำหนัก

สำหรับข้อดีของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า คือ ตัวคอนกรีตมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตปกติ ทำให้เมื่อนำมาใช้ในการก่อสร้างจะช่วยลดภาระค้ำยันที่มีน้ำหนักส่งผลให้บางองค์การมีขนาดที่ลดลง

เป็นการประหยัดต้นทุนที่ใช้ในการก่อสร้าง อีกทั้งคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่ามีความเป็นฉนวนและความทนไฟของเนื้อคอนกรีต เนื่องจากโพรงอากาศขนาดเล็กจำนวนมากที่อยู่ภายใน ดังนั้นการใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่าในการทำผนังอาคารจะช่วยป้องกันปริมาณความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคารเสมือนเป็นฉนวนกันความร้อนจากภายนอกอาคาร ช่วยลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศได้

2.3.1 ส่วนประกอบและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่า

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่าประกอบด้วยสองส่วนหลัก [4] ได้แก่ เนื้อโฟมเหลวหรือฟองอากาศโดยขนาดของฟองอากาศจะเป็นส่วนสำคัญต่อคุณสมบัติของคอนกรีตชนิดนี้ ดังนั้นฟองอากาศควรมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้เนื้อคอนกรีตมีคุณภาพเท่ากัน ในส่วนที่สองคือซีเมนต์เพสหรือมอร์ต้า โดยปกติคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่าจะใช้ซีเมนต์เพสต์เพราะมีกำลังรับแรงอัดและการยึดเกาะตัวที่ดีกว่ามอร์ต้า แต่การเพิ่มทรายในส่วนผสมจะช่วยให้การยุบตัวของเนื้อคอนกรีตและการลดจำนวนฟองลงแต่เมื่อเพิ่มทรายจะเป็นการลดต้นทุนการผลิตลง และเพื่อให้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงมากนักควรใช้ทรายระหว่างตะแกรงเบอร์แปด ถึงเบอร์ 200 สำหรับอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่าจะยกตัวอย่างที่หน่วยน้ำหนัก $1,800 \text{ kg/m}^3$ ซึ่งเป็นคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับงานโครงสร้างโดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1 ดังนี้

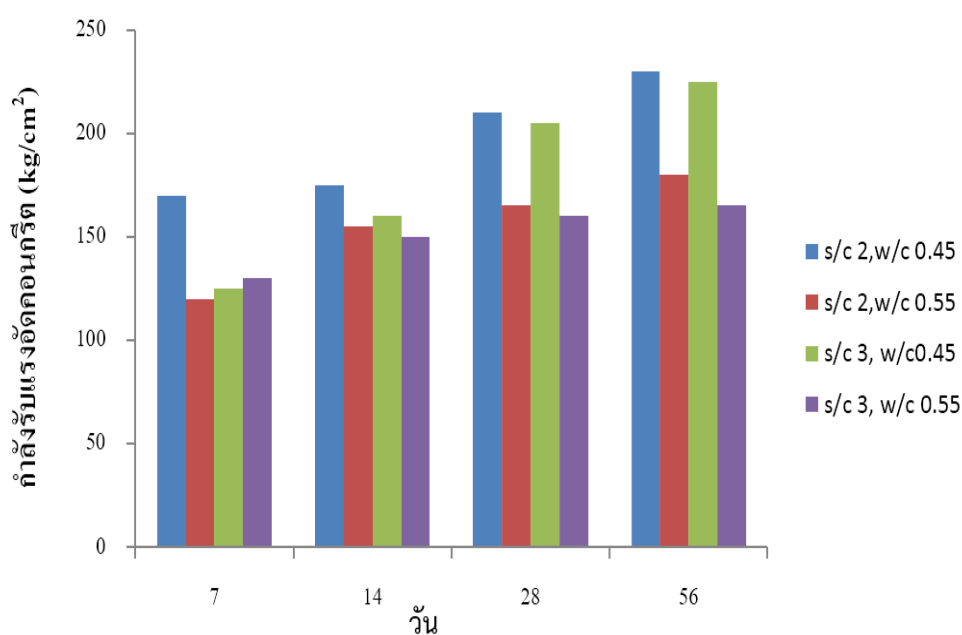
ตารางที่ 2.1 สูตรส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่า

ส่วนผสม ที่	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)	อัตราส่วนทราย/ซีเมนต์ (S/C)	อัตราส่วนน้ำ/ซีเมนต์ (W/C)
1	1,800	2	0.45
2			0.55
3		3	0.45
4			0.55

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่ามีผลมาจากฟองอากาศ โดยการเพิ่มขึ้นของฟองอากาศภายในเนื้อคอนกรีตจะมีผลโดยตรงต่อความหนาแน่นที่ลดลงของคอนกรีต โครงสร้างของฟองอากาศ ขนาด และลักษณะของการกระจายของฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในเนื้อของคอนกรีตมีผลต่อความสม่ำเสมอของเนื้อคอนกรีต ซึ่งหมายถึงความแน่นของคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตมวลเบา ทั้งด้านกำลังรับน้ำหนัก ด้านการใช้งาน และคุณสมบัติด้านความคงทนด้วย สำหรับความชื้นเหลวและความสามารถเทได้ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่ามีค่าสูง ไหลเข้าแบบหล่อได้ดี โดยที่ไม่ต้องมีการกระทุ้ง อย่างไรก็ตามการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่าให้เป็นเนื้อเดียวกันในแนวตั้งตลอดทั้งก้อนทำได้ยากเนื่องจากฟองอากาศจะพยายามลอยขึ้นด้านบน และในขณะเดียวกันส่วนผสมอื่นที่หนักจะจมลงสู่ด้านล่าง ทำให้ผิวหน้าของคอนกรีตมีความเปราะบางหรือมีความแข็งแรงลดลง

กำลังรับแรงอัดของกำลังของคอนกรีตมวลเบาจะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของชิ้นตัวอย่างคอนกรีต ทิศทางของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ อายุของคอนกรีต ปริมาณน้ำในส่วนผสมและวิธีการบ่มโครงสร้างของฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตและสภาพเชิงกลของผนังฟองอากาศจะมีผล

โดยตรงต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต คอนกรีตมวลเบาที่มีหน่วยน้ำหนักลดลงเนื่องจากขนาดของฟองอากาศที่เพิ่มขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตจะทำให้กำลังรับแรงลดลง และปริมาณ ขนาด การกระจายตัวของฟองอากาศจะมีผลโดยตรงต่อกำลังรับแรงและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส โดยที่ในคอนกรีตที่มีการกระจายของขนาดของฟองอากาศในช่วงแคบ ๆ จะให้ค่ากำลังของคอนกรีตที่สูง ในขณะที่คอนกรีตที่มีปริมาณโฟมในส่วนผสมมาก จะมีการรวมตัวกันของฟองทำให้เกิดโพรงอากาศขนาดใหญ่และมีการกระจายของขนาดของฟองอากาศในช่วงกว้าง ทำให้ค่ากำลังของคอนกรีตที่ต่ำ คุณสมบัติในการต้านทานแรงของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะเหมือนคอนกรีตปกติ กล่าวคือรับแรงอัดได้ดีแต่รับแรงดึงได้ต่ำ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ และค่ากำลังจะแปรผันโดยตรงกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาเป็นหลัก โดยค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่จะใช้ในการรับน้ำหนักทางโครงสร้างควรมีค่าไม่ต่ำกว่า $160\text{--}180\text{ kg/m}^3$ จะขอยกตัวอย่างจากสูตรผสมตามตารางที่ 2.2 ที่หน่วยน้ำหนัก $1,800\text{ kg/m}^3$ ซึ่งจะมีค่ากำลังรับแรงอัด ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ดังนี้



ภาพที่ 2.2 กำลังรับแรงอัดกับอายุของตัวอย่างทรงกระบอกที่หน่วยน้ำหนักออกแบบ $1,800\text{ kg/m}^3$ [3]

จากกราฟจะเห็นค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสตามอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการผลิต โดยกราฟแสดงว่าอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 2 และน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.45 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุด ในผลิตผนังรับน้ำหนักที่ใช้เป็นตัวอย่างทดสอบทั้ง 12 ผนังจึงเลือกใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่หน่วยน้ำหนัก $1,800\text{ kg/m}^3$ ที่อายุ 28 วัน S/C เท่ากับ 2 และ W/C เท่ากับ 0.45 เพื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติที่มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ใกล้เคียงกัน

2.4 ผนังรับน้ำหนัก

ในระบบผนังรับน้ำหนักจะมีการรับน้ำหนักและถ่ายแรงต่าง ๆ จากระบบเสา – คานทั่วไป เนื่องจากในระบบเสา – คาน น้ำหนักจากพื้นถ่ายลงสู่คานจากคานสู่เสาจากเสาสู่ฐานรากในลักษณะของไหลตามแนวแกน สามารถนำมาใช้ในการออกแบบฐานรากในลักษณะของฐานรากเสาเข็มได้ แต่ในระบบผนังรับน้ำหนักตัวผนังจะช่วยกันรับน้ำหนักจากองค์อาคารดังนั้นน้ำหนักขององค์อาคารถ่ายลงสู่ผนังจากผนังสู่ฐานรากจะมาในรูปแบบของไหลกระจายตามความยาวของผนัง ดังนั้นฐานรากที่ใช้กับระบบผนังรับน้ำหนักจึงมีความหลากหลายมากกว่าระบบเสา – คาน เช่น ฐานรากเสาเข็ม ฐานรากแผ่ และฐานรากตามความยาว

หลักในการวิเคราะห์ผนังรับน้ำหนักสามารถทำได้โดยใช้วิธีการตรวจสอบหน่วยแรงของผนัง เช่น การตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของหน้าตัดผนังคอนกรีต การตรวจสอบหน่วยแรงอัด และการตรวจสอบการหน่วยแรงดึงควบคู่ไปกับการออกแบบด้านกำลัง ที่สำคัญออกแบบผนังรับน้ำหนักจำเป็นต้องคำนวณตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงของผนังรับน้ำหนัก ไม่ว่าจะเป็นในขณะถอดแบบ ขณะขนย้าย และขณะรับน้ำหนักจริง เนื่องจากตัวผนังเป็นวัสดุที่มีเนื้อเดียวกัน ผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องคำนวณเพื่อในเหตุการณ์ต่าง ๆ อีกด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงาน และสร้างความปลอดภัยในการใช้งานของชิ้นงานนั้นอีกด้วย

2.4.1 การผลิตผนังรับน้ำหนัก

ขั้นตอนการผลิตผนังรับน้ำหนักและการติดตั้งแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน [5] ดังนี้

2.4.4.1 ประกอบแบบ

ผนังรับน้ำหนักมีลักษณะที่แตกต่างกันตามการใช้งาน ทั้งความสูง ความกว้าง ความหนา และขนาดช่องเปิด ฉะนั้นเราจึงต้องประกอบแบบให้ได้ตามลักษณะที่เราออกแบบไว้ และทาน้ำมันที่แบบให้เรียบร้อยเพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตติดกับแบบและอาจเกิดการเสียหายได้ขณะที่แกะแบบ ดังแสดงในภาพที่ 2.3

2.4.4.2 จัดวางเหล็กเสริมตามการคำนวณ

ลำดับต่อมาเป็นการเสริมเหล็กเข้าไปที่ตัวผนังรับน้ำหนักก่อนเทคอนกรีต โดยใช้ลูกปุนรองเหล็กเสริมเพื่อให้เหล็กเสริมอยู่กึ่งกลางของความหนาของผนังรับน้ำหนัก ผนังรับน้ำหนักจะต้องเสริมเหล็กกันรั่วที่ตัวของช่องเปิดด้วยเพื่อป้องกันรอยร้าวที่อาจเกิดขึ้นขณะรับน้ำหนักจริง และเพื่อป้องกันการเสียรูปของผนังรับน้ำหนักนั่นเอง โดยจะมีตัวอย่างการเสริมเหล็กของผนังรับน้ำหนักดังแสดงในภาพที่ 2.3

2.4.4.3 เทคอนกรีต

เมื่อทำการประกอบแบบแล้ว จัดวางเหล็กตามต้องการเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อมาจะเป็นการเทคอนกรีตตามแบบที่ทำการจัดเตรียมไว้ โดยในตัวอย่างเป็นผนังที่หนา 20 cm กว้าง 4 m และสูง 3 m โดยจะมีการเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำมาทดสอบค่าหาค่ากำลังรับแรงอัด เพื่อเป็นการตรวจสอบคุณภาพของตัวผนังเองด้วย และขั้นตอนสุดท้ายของการเทคือการขัดผิวคอนกรีตด้วยเครื่องขัดเพื่อให้ผิวคอนกรีตเรียบเนียนตามต้องการ

2.4.4.4 แกะแบบ

การแกะแบบผนังรับน้ำหนักนั้นต้องใช้ความระมัดระวังสูงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแตกที่ขอบของผนังโดยไม่จำเป็น เนื่องจากการซ่อมอาจทำให้มิติของชิ้นงานมีการเคลื่อนไม่ราบเรียบเสมอกันนั่นเอง และอีกข้อควรระวังคือการยกผนังรับน้ำหนักควรหาจุดกึ่งกลางที่ชัดเจน และยกโดยการแบ่งถ่วงน้ำหนักอย่างพอดีเพื่อไม่ให้ผนังเอียง เนื่องจากขณะที่ยกชิ้นงานตัวผนังจะรับโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนจึงอาจเกิดความเสียหายได้ แต่หากใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงมากพอก็จะป้องกันการชำรุดนี้ได้ การแกะแบบนี้ควรรอให้คอนกรีตแข็งตัวแล้วอย่างน้อยก็หนึ่งถึงสามวัน โดยการแกะแบบจะใช้เครนที่ในการยกผนังขึ้นให้ลอยจากพื้นและตั้งเก็บในพื้นที่ที่เตรียมไว้

2.4.4.5 การติดตั้งผนังรับน้ำหนัก

การติดตั้งผนังรับน้ำหนักนั้นจะใช้เครนยกเช่นเดียวกันกับตอนแกะแบบ เมื่อยกชิ้นงานไปวางไว้บนจุดที่ต้องการได้แล้วควรค้ำยันผนังและทำการตรวจสอบดิ่งให้ชัดเจน เพื่อป้องกันผนังล้มโดยจะมีสัดส่วนเมื่อ $L/500$ และเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเอียงศูนย์ของตัวผนังนั่นเอง เพราะหากเกิดการเอียงศูนย์จะมีผลทำให้ผนังสามารถรับน้ำหนักได้น้อยลงอีกทั้งยังเป็นอันตรายต่อผู้อยู่อาศัย เพราะตัวผนังไม่สามารถรับแรงได้อย่างเต็มที่ ขั้นตอนการติดตั้งจะแสดงในภาพที่ 2.3



(ก) ประกอบแบบ



(ข) เสริมเหล็ก



(ค) แกะแบบ

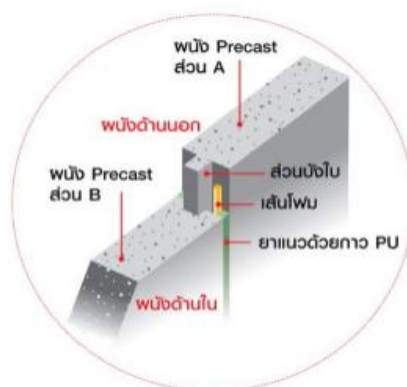


(ง) ติดตั้ง

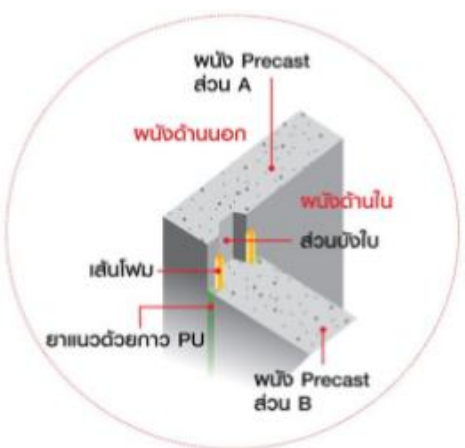
ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนผลิตและติดตั้งผนังรับน้ำหนัก



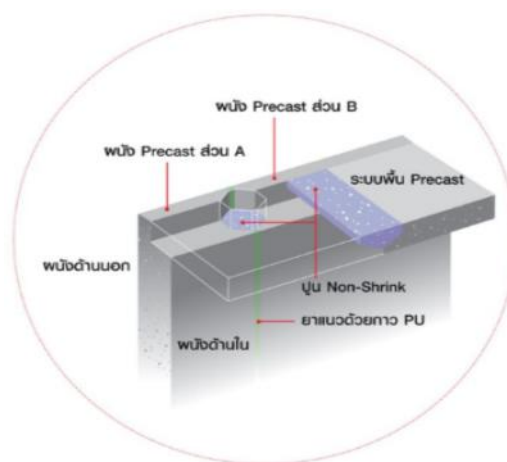
(จ) ค้ำยัน



(ข) รอยต่อผนังรับน้ำหนัก



(ค) รอยต่อผนังรับน้ำหนัก



(ง) รอยต่อผนังรับน้ำหนัก

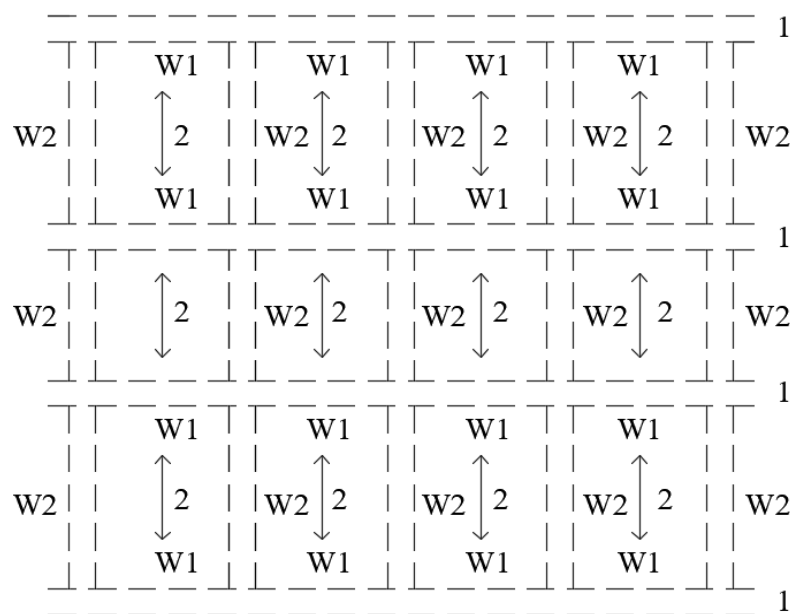
ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนผลิตและติดตั้งผนังรับน้ำหนัก (ต่อ)

2.4.2 ระบบการจัดวางผนังรับน้ำหนัก

ผนังรับน้ำหนักได้ถูกแบ่งออกตามระบบการจัดวางเป็น 3 ประเภทหลัก [6] ดังนี้

2.4.2.1 Long Wall System

ระบบนี้เป็นระบบที่มีการจัดวางแนวผนังรับน้ำหนักไปในทิศทางแนวเดียวกันกับความยาวของอาคาร และระบบนี้สังเกตได้จากทิศทางของแผ่นจะวางพาดน้ำหนักบรรทุกมาลงผนังส่วนที่เป็นผนังด้านหน้าและผนังด้านหลังอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การจัดวางผนังรับน้ำหนัก Long Wall System [6]

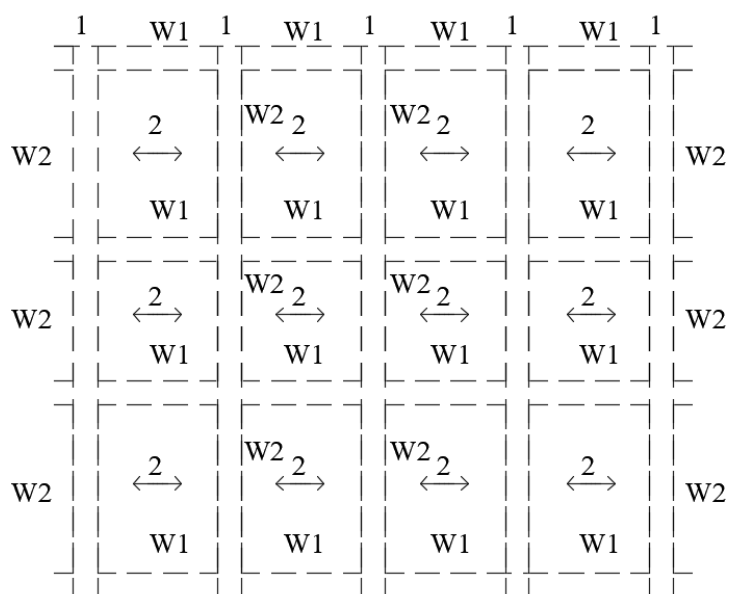
หมายเหตุ: 1 คือ แนวผนังรับน้ำหนัก

2 คือ ทิศทางที่แผ่นพื้นวางพาดอยู่

อาคารที่ใช้ระบบนี้จึงจำเป็นต้องมีช่องเปิดที่จะเป็นหน้าต่างของห้องเล็กกว่าปกติเพราะผนังส่วนที่เป็นหน้าต่างนี้จะต้องใช้เป็นผนังรับน้ำหนักของพื้นที่ต้องนำมาวางพาดไว้ด้วย จึงไม่เหมาะสมสำหรับอาคารที่พักอาศัยในประเทศเขตร้อน เช่น ประเทศไทยซึ่งต้องการช่องเปิดด้านหน้าและด้านหลังของห้อง เพื่อให้อากาศได้พัดพาความร้อนได้สะดวก อย่างไรก็ตามระบบนี้ก็มีข้อดีอยู่ที่สามารถเปิดช่องโล่งได้ตลอดในแนวตามความยาวของอาคาร เพราะไม่จำเป็นต้องมีผนังในแนวตามความกว้างของอาคารมากนัก จึงทำให้สามารถนำไปใช้กับอาคารประเภทสำนักงานหรือโรงเรียนได้ แต่ความกว้างของห้องอาจถูกจำกัดด้วยความยาวของแผ่นพื้นและต้องออกแบบพิเศษหากต้องการจะมีช่วงยาวกว่าปกติทั่วไป แต่ไม่เกินระยะห่างของผนังที่จะรับน้ำหนักได้ในกรณีต้องการแผ่นพื้นสำหรับวางพาดได้ระยะช่วงยาวมาก ๆ ก็สามารถแก้ปัญหาได้โดยทำการวางคานพาดลงผนังรับน้ำหนัก แล้วให้แผ่นพื้นวางพาดลงคานแทน แต่จะทำให้ระบบโครงสร้างยุ่งยากมากขึ้น เนื่องจากการผสมผสานระหว่างระบบผนังรับน้ำหนักกับระบบเสา คาน

2.4.2.1 Cross Wall System

ระบบนี้เป็นระบบที่มีการจัดวางแนวผนังรับน้ำหนักไปในทิศทางขวางกับความยาวของอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การจัดวางผนังรับน้ำหนัก Cross Wall System [6]

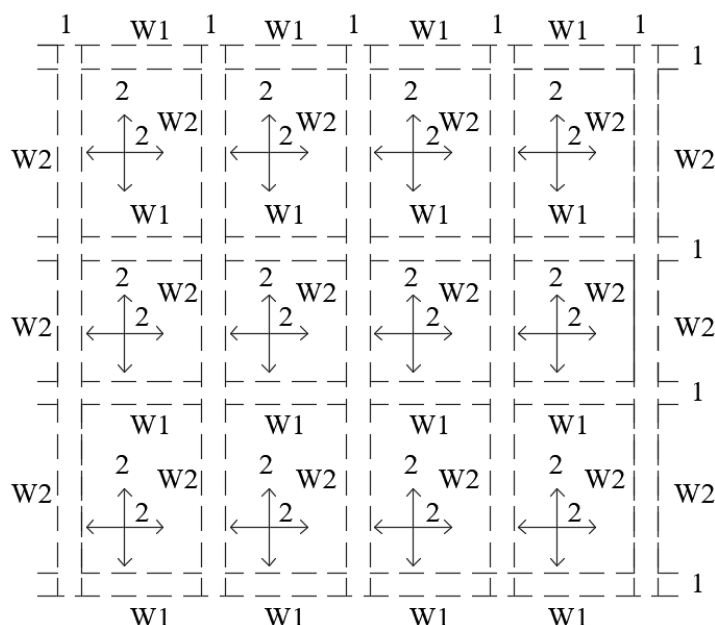
หมายเหตุ: 1 คือ แนวผนังรับน้ำหนัก

2 คือ ทิศทางที่แผ่นพื้นวางพาดอยู่

เนื่องจากอาคารที่ใช้ระบบนี้มีผนังทางด้านข้างกับความยาวอาคารที่บดลอด
เพื่อใช้เป็นผนังกันระหว่างแต่ละหน่วยของอาคารโดยผนังที่บสามารถใช้เป็นผนังรับน้ำหนักได้ดีกว่า
ผนังรับน้ำหนักที่มีช่องหน้าต่าง อีกทั้งผนังด้านหน้าและด้านหลังซึ่งไม่มมีส่วนในการช่วยรับน้ำหนักจาก
พื้นดังนั้นจึงสามารถเปิดได้โล่งตลอดหรือใช้เป็นหน้าต่างขนาดใหญ่ได้ตลอดด้านหน้าและด้านหลังของ
ห้อง

2.4.2.1 Two Way Span System

ระบบนี้เป็นระบบที่มีการจัดวางผนังรับน้ำหนักไปในสองทิศทาง ทั้งแนวขวาง และแนวยาวของอาคาร โดยพื้นจะต้องออกแบบให้น้ำหนักไปลงทั้ง 4 ด้าน แทนที่จะเป็น 2 ด้าน ดังเช่น 2 ระบบที่กล่าวข้างต้น ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 การจัดวางผนังรับน้ำหนัก Two Way Span System [6]

หมายเหตุ: 1 คือ แนวผนังรับน้ำหนัก

2 คือ ทิศทางที่แผ่นพื้นวางพาดอยู่

โดยราคาของพื้นระบบนี้จะมีราคาถูกกว่าพื้นที่ใช้ในระบบทั้งสองระบบที่ข้างต้น และจะประหยัดที่สุดหากขนาดของแผ่นพื้นเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส อีกทั้งจะเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงมากกว่าระบบอื่น เนื่องจากมีองค์ประกอบของอาคารที่เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักในทุก ๆ แนว แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือทำให้สถาปนิกขาดความเป็นอิสระในการออกแบบเป็นอย่างมาก เช่น ไม่สามารถจะเปิดห้องติดต่อกันได้ โดยทางแก้ไขคือใช้ระบบเสาแกนมาใช้ในส่วนที่ต้องการเปิดโล่งหรือใช้ผนังแบบที่เป็นกรอบกลาง

2.5 ข้อกำหนด การวิเคราะห์ และออกแบบผนังรับน้ำหนัก

2.5.1 ข้อกำหนดของผนังรับน้ำหนัก (ACI)

ตามมาตรฐานการออกแบบกำแพงหรือผนัง คสล. [7] กำหนด ดังนี้

2.5.1.1 ความหนา (h) ต่ำสุดของกำแพงซึ่งคำนวณโดยใช้สูตรสำเร็จ

ความหนาของกำแพงที่ใช้รับน้ำหนัก (bearing wall) ต้องไม่น้อยกว่า $1/25$ ของความสูงหรือระยะที่รับแรงอัดหรือแบกทาน (width of bearing) โดยให้ใช้ค่านี้น้อยกว่า แต่ต้องไม่น้อยกว่า 10 ซม.

2.5.1.2 ความยาวประสิทธิผลของกำแพงในแนวนอน (l_w)

ในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำแบบจุด ความยาวประสิทธิผลของกำแพงในแนวนอนที่ใช้น้ำหนักบรรทุกทุกนั้นต้องไม่เกินกว่าระยะศูนย์ถึงศูนย์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกแบบจุด และต้องไม่เกินระยะที่รับแรงอัดหรือแรงแบกทานบวกด้วยสี่เท่าของความหนาของกำแพง

2.5.1.3 ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดในกำแพง

1) สำหรับเหล็กเสริมในแนวตั้ง

1.1) ต้องไม่น้อยกว่า 0.0012 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับเหล็กข้ออ้อย $d_b \leq 16$ mm และ $f_y \geq 4,000$ kg/cm² โดยจะสามารถคำนวณหาเหล็กเสริมในแนวตั้งต่ำสุดได้ดังนี้

1.2) ต้องไม่น้อยกว่า 0.0015 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับเหล็กข้ออ้อยขนาดอื่น

2) สำหรับเหล็กเสริมในแนวนอน

2.1) ต้องไม่น้อยกว่า 0.002 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับเหล็กข้ออ้อย $d_b \leq 16$ mm และ $f_y \geq 4,000$ kg/cm² โดยจะสามารถคำนวณหาเหล็กเสริมในแนวนอนต่ำสุดได้ดังนี้

2.2) ต้องไม่น้อยกว่า 0.0025 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับเหล็กข้ออ้อยขนาดอื่น

2.5.1.4 การจัดวางเหล็กเสริม

ระยะเรียงเหล็กเสริมในแนวตั้งและแนวนอนต้องไม่เกิน 3 เท่าของความหนาของกำแพง แต่ไม่เกิน 50 cm หากผนังกำแพงหนากว่า 25 cm ต้องเสริมเหล็กในแต่ละทิศทางเป็นสองชั้น ชั้นหนึ่งประกอบด้วยเหล็กไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่ง แต่ไม่เกินสองในสามของเหล็กทั้งหมดที่ต้องการ โดยวางห่างจากผิวด้านนอกไม่น้อยกว่า 5 cm แต่ไม่เกินหนึ่งในสามของความหนาของกำแพง ส่วนอีกชั้นหนึ่งให้ใช้เหล็กส่วนที่เหลือวางห่างจากผิวด้านในไม่น้อยกว่า 2 cm แต่ไม่เกินหนึ่งในสามของความหนาของกำแพง ต้องยึดผนังกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก ให้ติดกับพื้น เสา หรือผนังที่มาบรรจบกันด้วยเหล็กเสริมของแต่ละชั้น ที่ช่องเปิดของผนังกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กต้องเสริมเหล็กเพิ่มพิเศษขนาดไม่น้อยกว่า 15 mm อย่างน้อยสองเส้นรอบช่องเปิด โดยยื่นปลายเหล็กเสริมให้เลยจากมุมช่องเปิดไม่เป็นระยะเท่ากับระยะที่ต้องยึดเหล็กเสริม แต่ไม่น้อยกว่า 60 cm

2.5.2 การวิเคราะห์และออกแบบผนังรับน้ำหนักขณะรับน้ำหนักจริง

ในการออกแบบผนังรับน้ำหนักขณะใช้งานจริงจะต้องเข้าใจถึงพฤติกรรมการถ่ายแรงในตัวโครงสร้างเสียก่อนจึงจะสามารถนำมาวิเคราะห์และออกแบบได้ [7] เนื่องจากการถ่ายของโดยปกติคานจะเป็นตัวรับน้ำหนักของโครงสร้าง แต่ในรูปแบบของผนังรับน้ำหนักนี้ตัวผนังจะทำหน้าที่เหมือนคาน ทำให้ต้องพิจารณาในเรื่องของการตรวจสอบหน่วยแรงและตรวจสอบกำลังรับแรงที่เกิดขึ้น โดยมีหลักการพิจารณาดังนี้

2.5.2.1 ตรวจสอบหน่วยแรงดึง

$$\sigma_t < f_r \quad (2.2)$$

$$f_r = 2.0 * \sqrt{f'_c} \quad (2.3)$$

โดยที่

σ_t คือ หน่วยแรงดึงสูงสุด

f_r คือ ค่าโมดูลัสการแตกร้าวหรือกำลังรับแรงดึงคอนกรีต

f'_c คือ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

2.5.2.2 ตรวจสอบหน่วยแรงอัด

$$\sigma_c < f_c \quad (2.4)$$

$$f_c = 0.45 * \sqrt{f'_c} \quad (2.5)$$

โดยที่

σ_c คือ หน่วยแรงอัดสูงสุด

f_c คือ หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีต

f'_c คือ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

2.5.2.3 ตรวจสอบกำลังรับแรงอัด

$$\phi * P_n \geq P_u \quad (2.6)$$

โดยที่

ϕ คือ ตัวคูณลดกำลังมีค่าเท่ากับ 0.90

P_n คือ กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

P_u คือ แรงดึงสัมประสิทธิ์ที่เกิดจากน้ำหนักผนังซึ่งคูณตัวคูณแรงแล้ว
(ตัวคูณแรงมีค่าเท่ากับ 1.4)

$$P_n = 0.55 * f'_c * A_g * \left[1 - \left(\frac{K * L_c}{32 * h} \right)^2 \right] \quad (2.7)$$

โดยที่

A_g คือ ขนาดหน้าตัดของผนังคอนกรีต

L_c คือ ความสูงของผนัง

h คือ ความหนาของผนัง

K คือ ตัวคูณความยาวประสิทธิ์ผล
 0.8 (กรณีมีการยึดต้านการหมุนจุดใดจุดหนึ่ง)
 1.0 (กรณีไม่มีการยึดต้านการหมุน)
 f'_c คือ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ในกรณีที่ผนังผลิตจากคอนกรีตที่มีค่ากำลังรับแรงอัดไม่เท่ากันจะส่งผลให้ผนังสามารถรับน้ำหนักได้มากน้อยต่างกัน ทั้งที่ผนังมีขนาดเท่ากันทุกประการ โดยสมการที่ (2.7) แสดงให้เห็นว่าทอมที่อยู่ด้านขวาจะมีค่าเท่ากันเกือบทุกตัวแปรเนื่องจากผนังที่ผลิตมีขนาดเท่ากันทุกมิติ เว้นแต่ตัวแปรของกำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่ใช้ในการผลิตซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน จากการแทนค่าสมการ (2.7) พบว่าเมื่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมากก็จะส่งผลให้ค่า P_n มาก คือผนังสามารถรับแรงได้มากและ เมื่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตน้อยค่า P_n ก็จะน้อยด้วยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อต้องการทราบค่ากำลังรับน้ำหนักของผนังต่อคอนกรีตที่ใช้ในการผลิตหรือที่เรียกว่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของผนัง จึงสามารถหาได้โดยการจัดรูปสมการที่ (2.7) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของผนังให้เป็นสมการที่ (2.8) โดยมีรายละเอียดดังนี้

$$\frac{P_n}{f'_c A_g} = 0.55 \left[1 - \left(\frac{K L_c}{32h} \right)^2 \right] \quad (2.8)$$

จากการทดสอบทำให้ทราบถึงค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดของผนังนั้น ๆ และค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ในการผลิตผนัง เมื่อนำค่าที่ได้มาแทนในสมการที่ (2.8) ค่าที่ได้ออกมาจะเป็นค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของผนังนั้น ๆ ซึ่งไม่มีหน่วย ใช้ในกรณีที่ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตไม่เท่ากัน

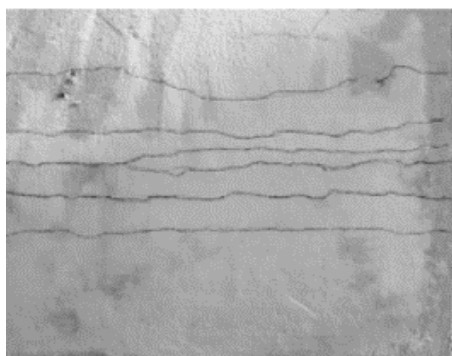
2.6 พฤติกรรมการวิบัติของผนังรับน้ำหนัก

การวิบัติของผนังรับน้ำหนักนั้นจะเกิดจากการรับน้ำหนักในแนวแกนของผนังจนเกินความสามารถรับน้ำหนักของตัวผนัง [8] ทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นที่ตัวผนังเอง ทั้งนี้เคยมีการทดสอบการเสีรูปของผนังทั้งแบบทางเดียวและสองทาง จากผลงานวิจัยพบว่าเราเสีรูปหรือเกิดรอยร้าวขึ้นนั้นมีปัจจัยที่เป็นองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ขนาดของช่องเปิด ตำแหน่งของช่องเปิด ลักษณะการเสริมเหล็กของตัวผนัง และรวมไปถึงว่าผนังนั้นเป็นผนังทางเดียวหรือสองทางอีกด้วย จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการวิบัติของผนังนั้นสามารถกำหนดจุดวิบัติได้ เมื่อผู้ออกแบบรู้และเข้าใจถึงพฤติกรรมของผนังรับน้ำหนักนั่นเอง ข้อมูลต่อไปนี้จะเป็ผลงานทดลองของผู้ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวิบัติของผนังรับน้ำหนักทั้งทางเดียวและสองทาง ดังแสดงในภาพที่ 2.12

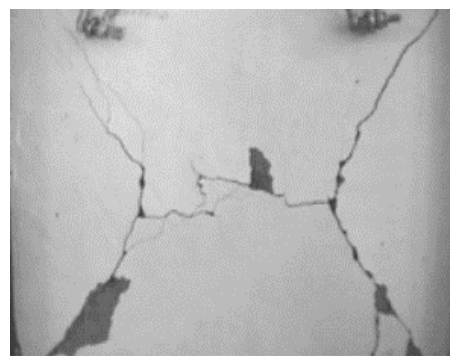
ตารางที่ 2.2 ข้อมูลตัวอย่างการทดสอบเพื่อศึกษาผนังรับน้ำหนัก [8]

Wall Panel	Height (H:mm)	Length (L:mm)	Thickness (t_w : mm)	Opening size (mmxmm)	Concrete Strength (f'_c :Mpa)	H/ t_w
OW01	1,200	1,200	40	-	35.7	30
OW02	1,600	1,600	40	-	51	40
OW11	1,200	1,200	40	300x300	53	30
OW12	1,600	1,600	40	400x400	47	40
OW21	1,200	1,200	40	300x300	50	30
OW22	1,600	1,600	40	400x400	51.1	40
TW01	1,200	1,200	40	-	37	30
TW02	1,600	1,600	40	-	45.8	40
TW11	1,200	1,200	40	300x300	50.3	30
TW12	1,600	1,600	40	400x400	50.3	40
TW21	1,200	1,200	40	300x300	50.3	30
TW22	1,600	1,600	40	400x400	50.3	40

จากตารางข้างต้นจะเห็นว่าผู้ทดลองได้ทดสอบผนัง ทั้ง 1 ทาง คือผนัง OW เป็นผนังที่ไม่มีการยึดรั้งด้านข้าง และ 2 ทาง คือผนัง TW เป็นผนังมีการยึดรั้งด้านข้าง อีกทั้งยังมีขนาดช่องเปิดที่ไม่เท่ากัน และยังมี ความสูงและความยาวของผนังที่ไม่เท่ากันอีกด้วย ทำให้การวิบัติของผนังนั้นแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.7

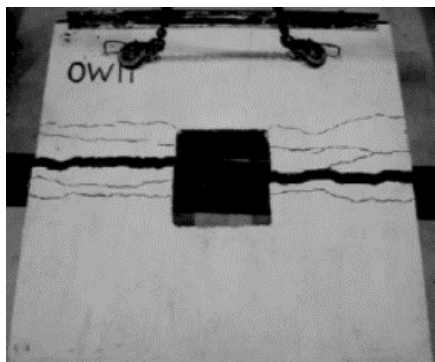


(ก) การวิบัติของผนังทางเดียวโดยไร้ช่องเปิด

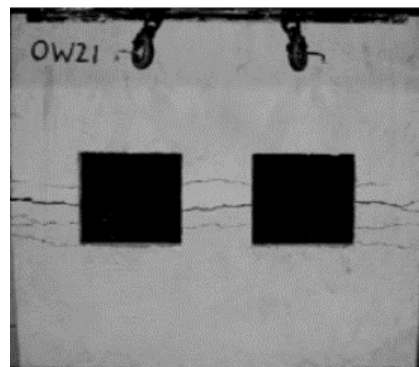


(ข) การวิบัติของผนังสองทาง โดยไร้ช่องเปิด

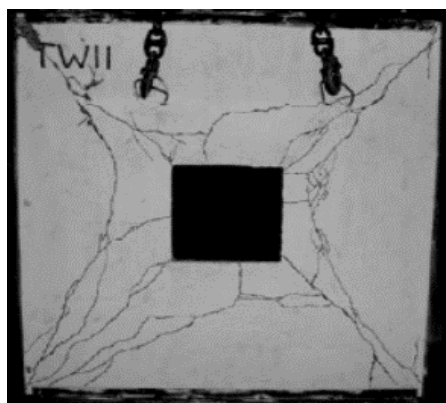
ภาพที่ 2.7 การวิบัติของผนังรับน้ำหนักแบบมีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิด ด้วยการทดสอบแบบยึดรั้งด้านข้าง และไม่ยึดรั้งด้านข้าง



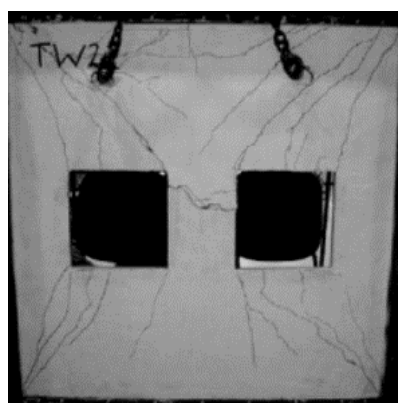
(ค) การวิบัติของผนังทางเดียวแบบมีช่องเปิดเดียว



(ง) การวิบัติของผนังทางเดียว แบบมีสองช่อง



(จ) การวิบัติของผนังสองทาง แบบมีช่องเปิดเดียว



(ฉ) การวิบัติของผนังสองทาง แบบมีสองช่องเปิด

ภาพที่ 2.7 การวิบัติของผนังรับน้ำหนักแบบมีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิด ด้วยการทดสอบแบบยึด
รั้งด้านข้าง และไม่ยึดรั้งด้านข้าง (ต่อ) [8]

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าตัวผนังนั้นมีการวิบัติที่ต่างกัน เนื่องจากการกำหนดจุดยึดที่ปลายแตกต่างกัน จะเห็นว่าหากเป็นผนัง 1 ทาง คือ ผนัง OW จะมีรอยแตกผ่านกึ่งกลางของผนังในแนวนอน แต่ในผนัง 2 ทาง คือ ผนัง TW นั้นตัวผนังเองจะเกิดการวิบัติที่มุมของผนังเป็นรอยแตกทั้งสี่มุมพุ่งเข้ามาหาช่องเปิด การวิบัตินี้เกิดจากที่ปลายของผนังถูกยึดที่ไม่ให้เคลื่อนที่ทำให้ไม่เกิดรอยแตกในแนวนอนแต่จะเกิดรอยแตกที่มุมแทน ซึ่งเมื่อเทียบกับสูตรที่ใช้ในการออกแบบจะเห็นค่า K ที่ต้องนำมาใช้ในการออกแบบนั้นจึงมีค่าต่างกัน ทั้งนี้การทดสอบเป็นการให้แรงที่มีการเอียงศูนย์ จึงส่งผลให้ผนังมีการวิบัติที่ชัดเจนมากกว่าผนังที่ทดสอบแบบตรงศูนย์

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย และคณะ (2551) [5] ได้ทำการศึกษาเรื่องการออกแบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตสำเร็จรูป พบว่าเมื่อใช้ความหนาแน่นต่ำสุดของผนังตามข้อกำหนดค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ต้องการในขณะถอดแบบเพื่อป้องกันการแตกร้าว นั้น มีค่าเพียงพอที่จะรองรับหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นผนังขณะขนย้ายและหน่วยแรงอัดในขณะใช้งานได้อย่างปลอดภัย ในขณะที่ปริมาณ

เหล็กเสริมต่ำสุดมีกำลังเพียงพอและสามารถรับโมเมนต์ดัดในขั้นตอนถอดแบบ รับแรงดึงขณะขนย้าย และรับแรงอัดขณะใช้งานจริงได้อย่างปลอดภัย

ณัฐนันท์ รัตนไชย (2543) [10] ได้ทำการศึกษาเรื่องการก่อสร้างอาคารพักอาศัยระบบขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแบบผนังรับน้ำหนัก สรุปว่าการก่อสร้างอาคารพักอาศัยระบบขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักนั้นให้ผลตอบแทนการลงทุนดีกว่าระบบเสา-คานในทุกระดับความสูง โดยเปรียบเทียบดังนี้ 1) ระบบผนังรับน้ำหนักมีน้ำหนักบรรทุกคงที่ของอาคารมากกว่าระบบทั่วไป 1.00-1.283 เท่า 2) ปริมาณคอนกรีตต่อพื้นที่ใช้สอยโดยเฉลี่ยมากกว่าสองเท่า 3) ปริมาณเหล็กเสริมรวมต่อพื้นที่ใช้สอยมีค่าเท่ากับ 0.8 เท่า 4) ปริมาณแบบหล่อต่อพื้นที่ใช้สอยโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.22 เท่า 5) เมื่อเปรียบเทียบมูลค่าทั้งหมดของโครงการระบบผนังรับน้ำหนักใช้เงินในการลงทุนน้อยกว่าระบบเสาคานทั่วไป

Fragomeni, S., Doh, J.H. and Lee, D.J. (2012) [11] ได้ทำการทดสอบผนังในกรณีหนึ่งทางและสองทางสรุปว่ารูปแบบการวิบัติของผนังนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของจุดรองรับและลักษณะของช่องเปิดทำให้การวิบัตินั้นแตกต่างกันและมีค่าการเสียรูปที่แตกต่างกันอีกด้วย

Lee D.J. and et al. (2006) [12] ได้ทำการทดสอบผนังรับน้ำหนักทั้งแบบหนึ่งทางและสองทางพร้อมทั้งวิเคราะห์การวิบัติของชิ้นงานด้วยวิธี The Nonlinear Layered Finite Element Method (LFEM) สรุปว่าจากการทดสอบเมื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์มีความใกล้เคียงกัน การวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงเส้นให้ค่ากำลังรับแรงสูงสุดของผนังรับน้ำหนักใกล้เคียงกับผลทดสอบจริงจึงมีความน่าเชื่อถือ

Lee D.J. (2008) [13] ได้ทำการทดสอบผนังรับน้ำหนักโดยมีชิ้นงานทั้งสิ้น 47 ชิ้นงาน ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งขนาดของช่องเปิด และค่า Slenderness ratio อีกทั้งยังวิเคราะห์การวิบัติของผนังรับน้ำหนักด้วยวิธี The Nonlinear Layered Finite Element Method (LFEM) สรุปว่าวิธี The Nonlinear Layered Finite Element Method (LFEM) นั้นมีความน่าเชื่อถือเป็นอย่างมากเนื่องจากให้ค่าการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับผลทดสอบ อีกทั้งยังสามารถทำนายการวิบัติของผนังรับน้ำหนักได้อีกด้วย

Jaseela, C.A. and P.R. Sreemahadevan Pillai. (2017) [14] ได้ทำการรวบรวมข้อมูลของผู้ที่เคยศึกษาเกี่ยวกับผนังรับน้ำหนักสรุปว่าในอดีตเน้นไปที่การศึกษาผนังรับน้ำหนักชนิดหนึ่งทางมากกว่าสองทาง จึงแนะนำให้มีการศึกษาและพัฒนาผนังรับน้ำหนักสองทางมากขึ้น และจากการรวบรวมข้อมูล พบว่าช่องเปิดช่วยในการลดภาระในการรับน้ำหนักของตัวผนังได้ขึ้นอยู่กับลักษณะของช่องเปิดเอง

2.8 สรุป

จากการทบทวนวรรณกรรมปัจจัยที่มีผลต่อวิบัติของผนังรับน้ำหนักนั้นคือลักษณะของการใช้งานที่มีทั้งแบบผนังทางเดียวและผนังสองทาง ซึ่งการวิบัตินั้นแตกต่างกันชัดเจน โดยจะแสดงออกมาในรอยแตกของผนัง ถ้าเป็นผนังทางเดียว ปลายอิสระทั้งสองข้างจะมีรอยแตกผ่านกึ่งกลางของผนังในแนวนอนตัดผ่านตัวผนัง แต่ถ้าเป็นผนังรับน้ำหนักสองทาง ซึ่งปลายทั้งสองข้างมีการยึดรั้งทำให้เมื่อรับแรงกดตามแนวแกนผนังไม่สามารถเสียรูปในแนวนอน ลักษณะรอยแตกที่เกิดขึ้นจึงมาจากมุม

ของผนังทั้งสี่ทิศทางและมุ่งเข้าสู่ศูนย์กลางของผนังรับน้ำหนัก จากการศึกษาค้นคว้าจะเห็นว่า ผู้ทดสอบท่านอื่นได้ใช้คอนกรีตปกติในการผลิตชิ้นงานและยังไม่พบชิ้นงานที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบา แบบเซลลูล่า ทำให้ไม่มีข้อมูลด้านการศึกษาเช่นกัน และเพื่อเป็นฐานข้อมูลเริ่มต้นจะผลิตผนังรับน้ำหนักโดยใช้คอนกรีตแบบเซลลูล่า โดยจะกล่าวถึงขั้นตอนการผลิตและการทดสอบในบทต่อไป

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการผลิตผนังรับน้ำหนักด้วยคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส การผลิตชิ้นงานจะใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีความหนาแน่นเท่ากับ $1,800 \text{ kg/m}^3$ เปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติที่มีความหนาแน่นเท่ากับ $2,400 \text{ kg/m}^3$ โดยประมาณ โดยวัตถุประสงค์ของการทดสอบคือการหากล้างรับน้ำหนักสูงสุดของผนังก่อนเกิดการวิบัติ และศึกษาลักษณะการวิบัติของผนังรับน้ำหนักโดยจะมีการศึกษาทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ทั้งแบบมีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิด

3.1 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์

ในการทดสอบได้ผลิตตัวอย่างผนังทั้งสิ้น 12 ตัวอย่าง แบ่งเป็นผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสและผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติ ซึ่งผนังมีทั้งหมดสามแบบโดยต่างกันที่ขนาดของช่องเปิด โดยขั้นตอนการผลิตมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 กรณีคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะใช้มอร์ต้าผสมเสร็จและฉีดโฟมหน้างานและกรณีคอนกรีตปกติจะใช้คอนกรีตผสมเสร็จที่มีกำลังอัด 160-180 ksc (Cylinder)

3.1.2 น้ำยาสร้างฟองโฟมจะผสมกับน้ำในอัตราน้ำยา 1 ส่วน น้ำสะอาด 50 ส่วนโดยน้ำหนัก แล้วเทน้ำยาสร้างฟองโฟมจะผสมกับน้ำลงในเครื่องสร้างฟองโฟมเครื่องจะทำงานโดยรับแรงดันจากเครื่องอัดอากาศโดยค่าแรงดันมาตรฐานที่สามารถผลิตฟองโฟมได้ อยู่ที่ประมาณ 0.44 ถึง 0.46 Mpa เพื่อผลิตเป็นโฟมที่ใช้ในการผสมคอนกรีตแทนการใช้หินทำให้คอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศและ สารลดน้ำช่วยลดอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ในการผสมแบบใส่สารผสมเพิ่ม

3.1.3 แบบหล่อผนังที่มีขนาดหน้าตัด กว้าง 200 cm สูง 150 cm หนา 6 cm

3.1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด 0.1 g และเครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด 0.5 g สำหรับชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์ หินทราย และ น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต และ ตรวจสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

3.1.5 เกรียงใช้ในการปรับแต่งหน้าคอนกรีต

3.1.6 อุปกรณ์ลำเลียงคอนกรีต

3.1.7 ตะแกรงเหล็ก 4 mm กว้าง 200 cm สูง 150 cm

3.2 ตัวอย่างผนังรับน้ำหนักที่ผลิต

ผลิตผนังรับน้ำหนักทั้งสิ้น 12 ชิ้นงาน แบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ชิ้นงาน ดังนี้ กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3 จะผลิตด้วยคอนกรีตปกติ แต่กลุ่มที่ 2 และ 4 จะผลิตด้วยคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส โดยตัวอย่างทั้งหมดจะเป็นการย่อสเกลลงจากผนังที่มีขนาด กว้าง 4.00 m สูง 3.00 m หนา 0.12 m ให้เหลือ กว้าง 2.00 m สูง 1.50 m หนา 0.06 m และมีขนาดช่องเปิดที่ย่อมาตราส่วนมาจากขนาดประตูหน้าต่างที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดผนังรับน้ำหนักที่ผลิตและการทดสอบ

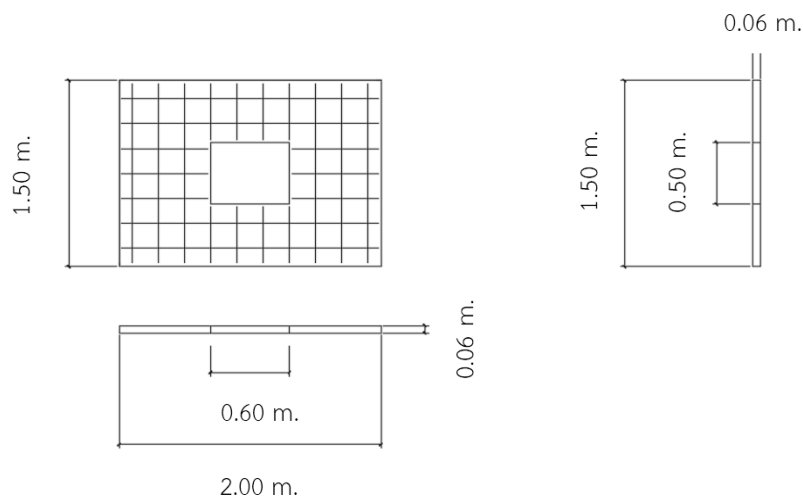
ลำดับ	ผนัง	ประเภท คอนกรีต	ขนาดช่องเปิด (cm x cm)	การยึดรั้ง
1	W1N	คอนกรีตปกติ	60 x 50	ไม่ยึดรั้งด้านข้าง
2	W2N	คอนกรีตปกติ	100 x 35	ไม่ยึดรั้งด้านข้าง
3	W2N	คอนกรีตปกติ	50 x 100 60 x 50	ไม่ยึดรั้งด้านข้าง
4	W1C	CLC	60 x 50	ไม่ยึดรั้งด้านข้าง
5	W2C	CLC	100 x 35	ไม่ยึดรั้งด้านข้าง
6	W3C	CLC	50 x 100 60 x 50	ไม่ยึดรั้งด้านข้าง
7	W1N-R	คอนกรีตปกติ	60 x 50	ยึดรั้งด้านข้าง
8	W2N-R	คอนกรีตปกติ	100 x 35	ยึดรั้งด้านข้าง
9	W3N-R	คอนกรีตปกติ	50 x 100 60 x 50	ยึดรั้งด้านข้าง
10	W1C-R	CLC	60 x 50	ยึดรั้งด้านข้าง
11	W2C-R	CLC	100 x 35	ยึดรั้งด้านข้าง
12	W3C-R	CLC	50 x 100 60 x 50	ยึดรั้งด้านข้าง

ผนังรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสผลิตโดยการส่งมอร์ต้าผสมเสร็จและทำการฉีดโฟมหน้างาน ทั้งนี้ก่อนฉีดโฟมและระหว่างฉีดโฟมจะต้องชั่งน้ำหนักตลอดเพื่อควบคุมคุณภาพให้หน่วยน้ำหนักเท่ากับ $1,800 \text{ kg/m}^3$ เท่านั้น อีกปัจจัยที่สำคัญคือการทำให้โฟมเข้าเนื้อกับคอนกรีตในการผลิตนี้ได้ทำการฉีดโฟมเข้าไปที่โมของรูปปูนโดยตรง ตัวโมจะป็นให้เนื้อโฟมกับปูนเข้าเนื้อกัน แต่ต้องใช้เวลาในการป่นสัักพักเพื่อให้แน่ใจว่าได้คุณภาพที่ดีซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยการชั่งน้ำหนัก

3.3 แบบตัวอย่างผนังรับน้ำหนักที่ผลิต

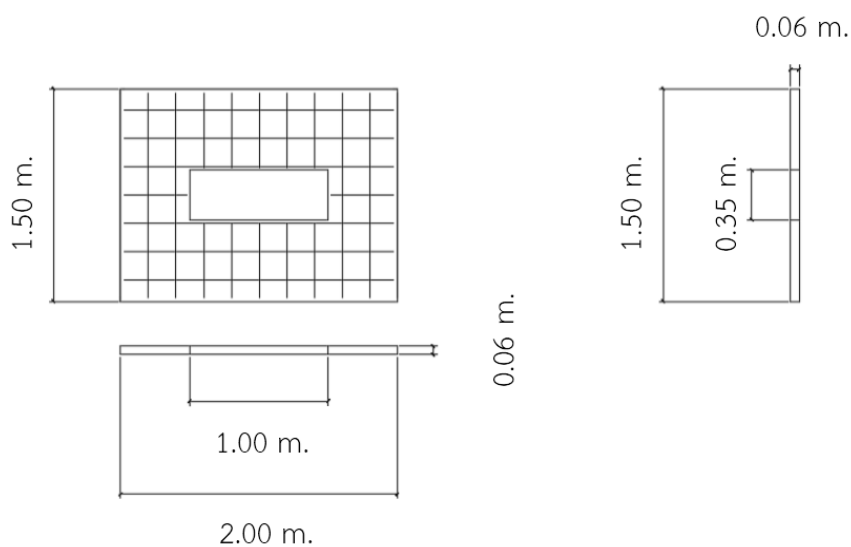
ในหัวข้อนี้จะป็นแบบและรายละเอียดของผนังรับน้ำหนักแต่ละแบบที่ใช้ในการทดสอบดังนี้

ผนังแบบที่ 1 จะมีลักษณะช่องเปิดป็นหน้าต่างบานเลื่อนแบบคู่ แผ่นผนังมีขนาด (กว้างxสูง) $2.00 \times 1.50 \text{ m}$ หนา 0.06 m โดยจะมีช่องเปิดขนาด (กว้างxสูง) $0.60 \times 0.50 \text{ m}$ เสริมด้วยเหล็กตะแกรงเสริมคอนกรีตขนาด 0.004 m ระยะเรียง $0.20 \times 0.20 \text{ m}$ ดังแสดงในภาพที่ 3.1



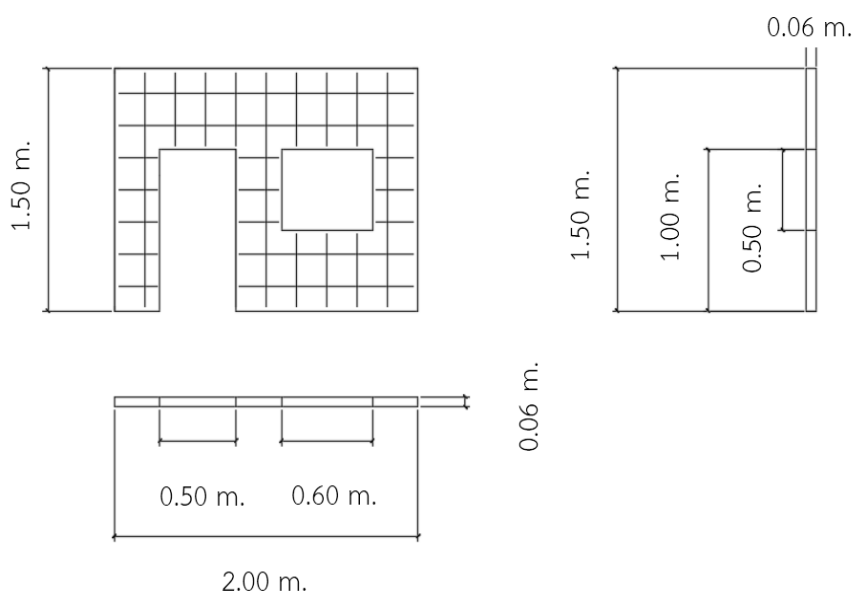
ภาพที่ 3.1 ผนังแบบที่ 1

ผนังแบบที่ 2 จะมีลักษณะเป็นผนังช่องเปิดเป็นหน้าต่างขนาดเล็กแผ่นผนังมีขนาด (กว้างxสูง) 2.00x1.50 m หนา 0.06 m โดยจะมีช่องเปิดขนาด (กว้างxสูง) 1.00x0.35 m เสริมด้วยเหล็กตะแกรงเสริมคอนกรีตขนาด 0.004 m ระยะเรียง 0.20x0.20 cm ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ผนังแบบที่ 2

ผนังแบบที่ 3 จะมีลักษณะเป็นผนังช่องเปิดเป็นหน้าต่างขนาดเล็กและประตู โดยแผ่นผนังมีขนาด (กว้างxสูง) 2.00x1.50 m หนา 0.06 m โดยจะมีหน้าต่างขนาด (กว้างxสูง) 0.60x0.50 m และประตูขนาด (กว้างxสูง) 0.50x1.00 m เสริมด้วยเหล็กตะแกรงเสริมคอนกรีตขนาด 0.004 m ระยะเรียง 0.20x0.20 m ดังแสดงใน ภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ผังแบบที่ 3

3.4 คอนกรีตที่ใช้ในการผลิต

ในการผลิตผนังรับน้ำหนัก ได้ทำการสั่งคอนกรีตผสมเสร็จเพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการผลิต อีกทั้งยังสามารถควบคุมคุณภาพได้ดีกว่าการผสมมือ โดยการผลิตแบ่งออกเป็นสี่ครั้ง ครั้งละสามตัวอย่าง ในส่วนของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสได้ทำการฉีดโฟมผสมกับในเนื้อมอร์ต้าที่สั่งมาและได้ทำการชั่งน้ำหนักโดยหน่วยของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสใช้ที่ $1,800 \text{ kg/m}^3$ เท่านั้น โดยส่วนผสมของคอนกรีตมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการผลิตผนังทดสอบ

ลำดับ	ชนิดคอนกรีต	ปูน (Kg)	ทราย (Kg)	หิน (Kg)	น้ำ (L)	โฟม (Kg)
1	คอนกรีตปกติ	320	800	1180	192	-
2	คอนกรีตมวลเบา แบบเซลลูโลส	400	800	-	180	0.08

3.4.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างคอนกรีต

ในหัวข้อนี้จะอธิบายเกี่ยวกับขั้นตอนการเก็บแท่งตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด $(150 \times 150 \times 150 \text{ mm})$ หรือรูปทรงกระบอก ($\varnothing - 150 \times 300 \text{ mm}$) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.4.1.1 เก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีตในแบบหล่อแบบลูกบาศก์เก็บอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง ต่อ 1 สูตร

3.4.1.2 เก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีตในแบบหล่อแบบทรงกระบอกเก็บอย่างน้อย 3 ตัวอย่างต่อ 1 สูตร

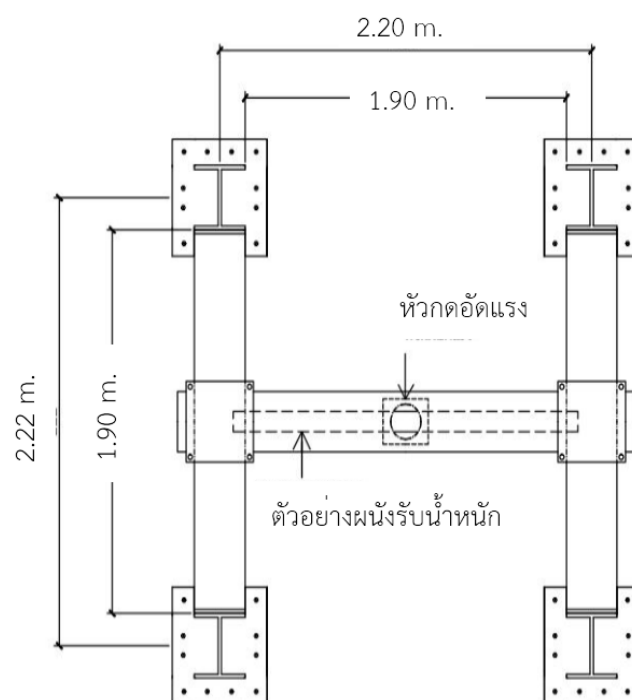
- 3.4.1.3 บ่มพักคอนกรีตในแบบหล่อไว้ในอากาศประมาณ 28 วัน
- 3.4.1.4 ถอดคอนกรีตออกจากแบบหล่อโดยใช้ค้อนยางเคาะรอบ ๆ แบบหล่อ
- 3.4.1.5 เตรียมคอนกรีตที่ถอดแบบแล้วไปเตรียมทดสอบ

3.5 ชุดประกอบการทดสอบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก

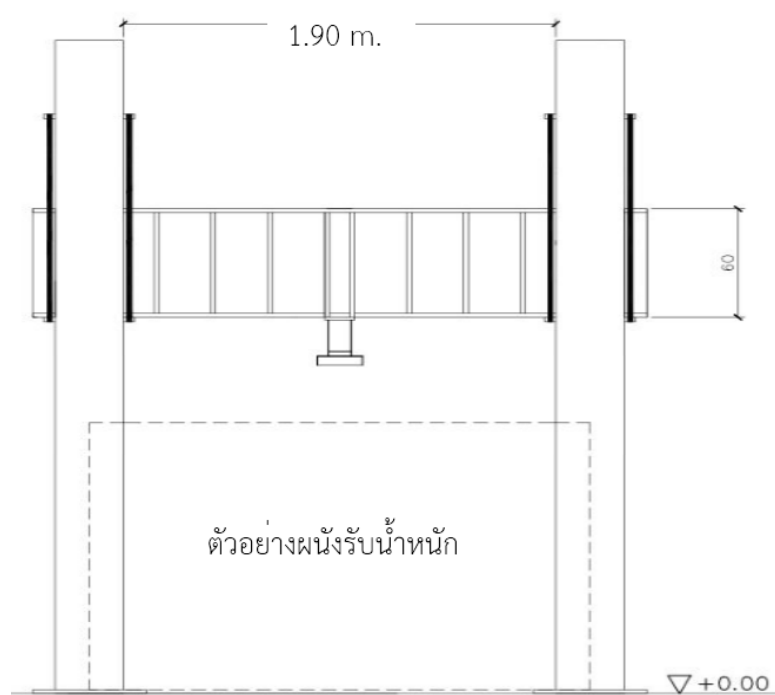
ชุดประกอบการทดสอบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยสร้างจากเหล็กรูปพรรณ H-beam เกรด SM400 ขนาด 1.50x1.50 m โดยชุดประกอบการทดสอบนี้สามารถทดสอบผนังรับน้ำหนักได้ที่ขนาดของชิ้นงานต้องเท่ากับ (กว้างxสูง) ได้แก่ 2.00x1.50 m ต้องมีความหนาไม่เกิน 0.06 m หรือต้องการความหนาเกิน 0.06 m จะต้องทำการเปลี่ยนขนาดของตัวครอบหัวผนังด้านบนให้ใหญ่ขึ้นแต่ไม่เกิน 0.13 - 0.15 m ชุดประกอบการทดสอบของผนังรับน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็กมีการค้ำยันกับโครงสร้างเหล็กเดิมขนาดใหญ่เพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ของชิ้นงานขณะทดสอบ ลักษณะของโครงสร้างเหล็กเดิมจะได้อธิบายในหัวข้อต่อไป

3.6 โครงสร้างเหล็กที่มีอยู่เดิม

โครงเหล็กเดิมที่มีอยู่แล้วภายในห้องทดลองของภาควิชาวิศวกรรมโยธา มีขนาดความสูงของโครงสร้างเสาแต่ละต้นอยู่ที่ 5.50 m เสาแต่ละต้นห่างกัน 1.90 m โดยแต่ละต้นจะยึดติดกับพื้นรับแรง (Strong floor) เป็นโครงสร้างเดิมที่ใช้ในการทดสอบโครงสร้างขนาดใหญ่ โดยโครงสร้างเดิมนี้จะมีหัวกดอัดแรงติดอยู่กึ่งกลางโครงสร้างเหล็กให้แรง (Reaction frame) หรือคานขวาง สามารถอัดแรงตามแนวแกนได้สูงที่สุดถึง 100 ton มีลักษณะดังภาพที่ 3.4

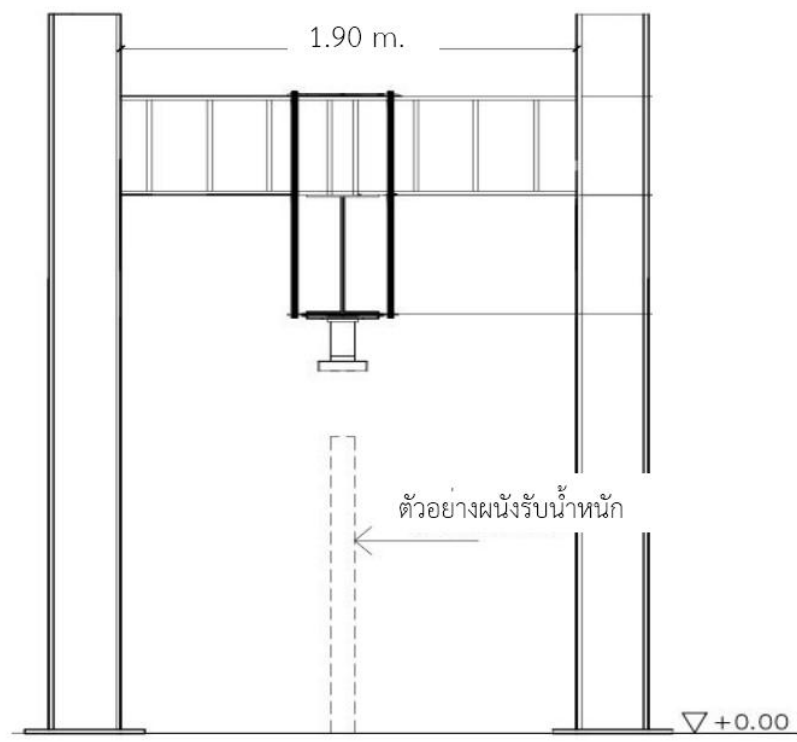


(ก) โครงเหล็กเดิม Top view



(ข) โครงสร้างเดิม Front view

ภาพที่ 3.4 โครงสร้างเครื่องทดสอบ

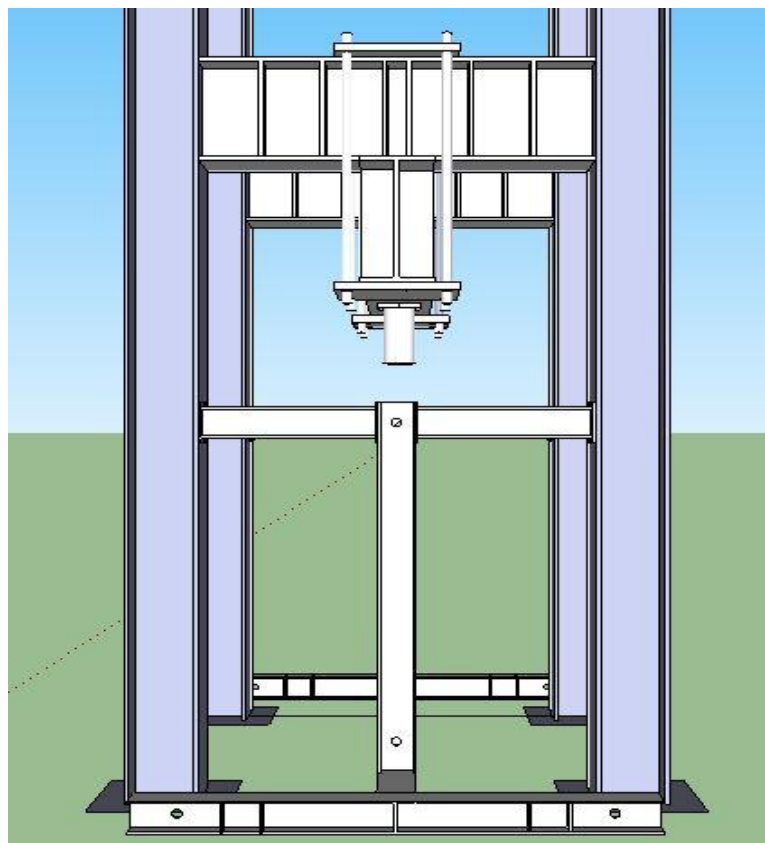


(ค) โครงสร้างเดิม Side view

ภาพที่ 3.4 โครงสร้างเครื่องทดสอบ (ต่อ)

3.7 โครงสร้างเสริมสำหรับเครื่องทดสอบ

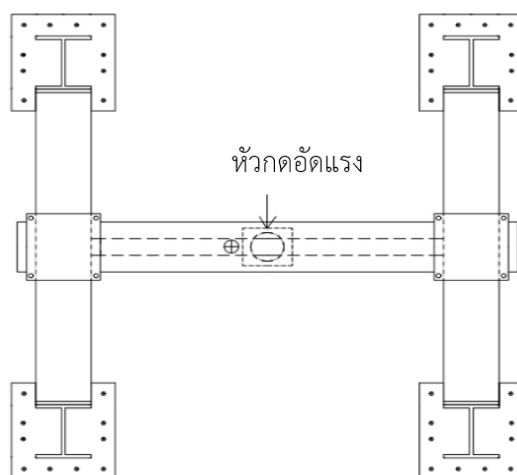
โครงสร้างสำหรับการทดสอบผนังรับน้ำหนัก ใช้เหล็ก H-beam ที่มีขนาด 150×150 mm เป็นโครงสร้างหลักทั้งคานรองรับผนัง เสาด้านข้าง และค้ำยันด้านข้าง ในส่วนของคานที่ใช้เป็นฐานสำหรับวางผนังทดสอบที่ปีกของคาน H-beam เสริมด้วย Stiffener เพื่อป้องกันการเสียรูปของปีกคาน เนื่องจากต้องรับแรงกดจากผนังรับน้ำหนักโดยตรง ที่เสาด้านข้างออกแบบให้สามารถถอดย้ายเพื่อเพิ่มขนาดตามผนังที่ต้องการทดสอบได้ โดยตัวเสาจะมีค้ำยันด้านข้างช่วยไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ขณะกดทดสอบ ตัวค้ำยันด้านข้างนี้จะทำหน้าที่ในการถ่ายแรงเข้ากับโครงสร้างเดิมที่มีขนาดใหญ่และมั่นคงสามารถรับแรงได้ถึง 200 ตัน จึงไม่เกิดการเคลื่อนที่ด้านข้างของเครื่องทดสอบขณะกดทดสอบ ขึ้นงาน โครงสร้างเสริมทั้งหมดนี้ออกแบบในถอดประกอบได้ สามารถถอดออกเป็นชิ้น ๆ เพื่อง่ายต่อการเก็บรักษา อีกทั้งยังเป็นการประหยัดพื้นที่เมื่อไม่ได้ใช้งาน



ภาพที่ 3.5 ภาพจำลองโครงสร้างเสริมสำหรับทดสอบผนัง แบบ 3 มิติ

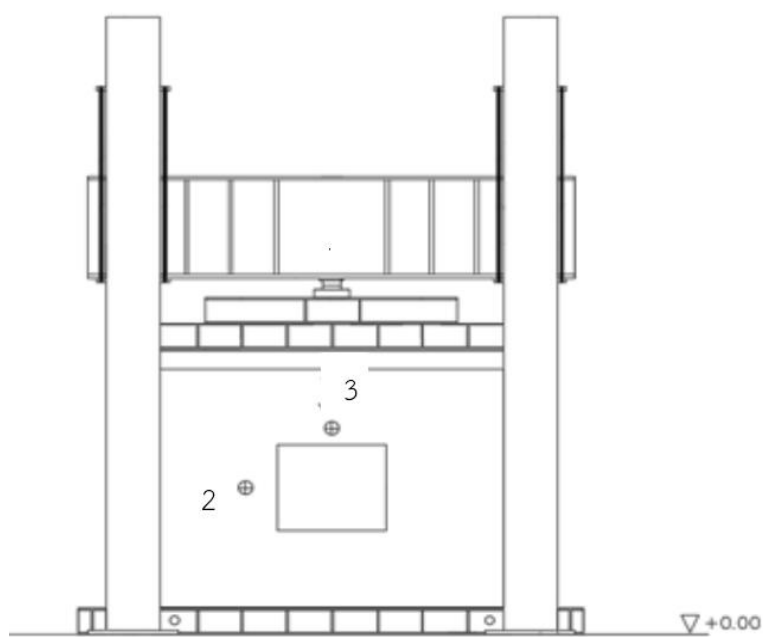
3.8 การทดสอบ

เมื่อติดตั้งผนังรับน้ำหนักเข้ากับเครื่องทดสอบแล้ว จะติดตั้งไดอัลเกจ (Dial gauge) เพื่อวัดค่าการโก่งตัวของผนังทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง โดยไดอัลเกจ (Dial gauge) จะยึดไว้กับคานโครงสร้างเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่อีกทั้งยังป้องกันการพังเนื่องจากผนังล้มทับอีกด้วย



⊕ ตำแหน่งติดตั้งไดอัลเกจ

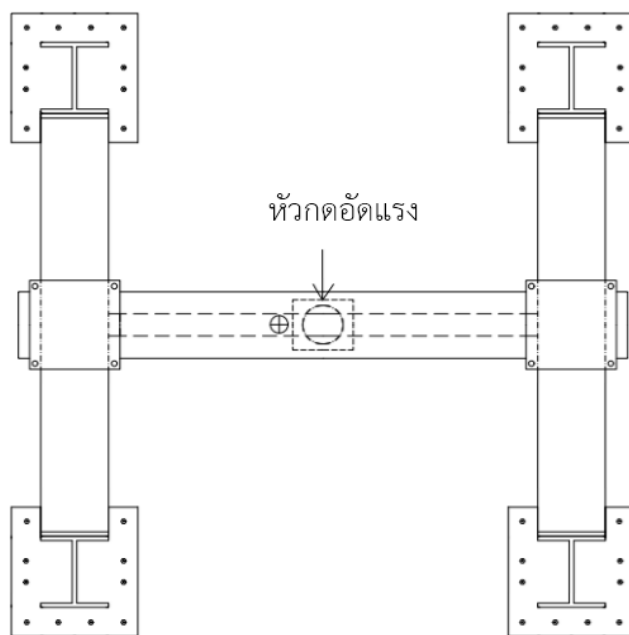
(ก) ภาพจำลองการติดตั้งไดอัลเกจ (Dial gauge) ผนังแบบที่ 1



⊕ ตำแหน่งติดตั้งไดอัลเกจ

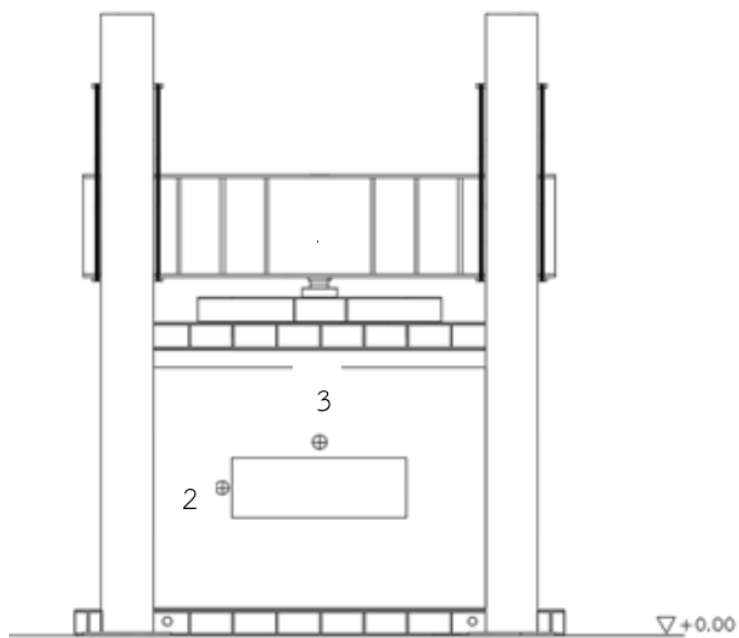
(ข) ภาพจำลองการติดตั้งไดอัลเกจ (Dial gauge) ผนังแบบที่ 1

ภาพที่ 3.6 ภาพจำลองการติดตั้งไดอัลเกจ (Dial gauge) ผนังแบบที่ 1



⊕ ตำแหน่งติดตั้งไดอัลเกจ

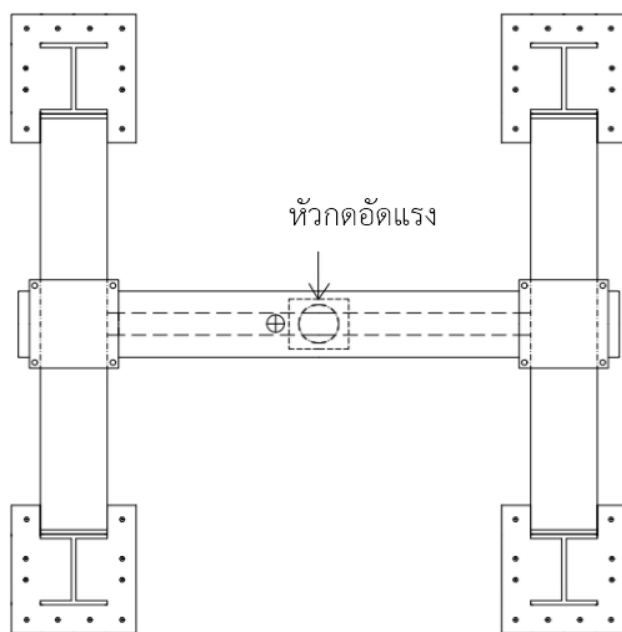
(ก) ภาพจำลองการติดตั้งไดอัลเกจ (Dial gauge) ผนังแบบที่ 2



⊕ ตำแหน่งติดตั้งไดอัลเกจ

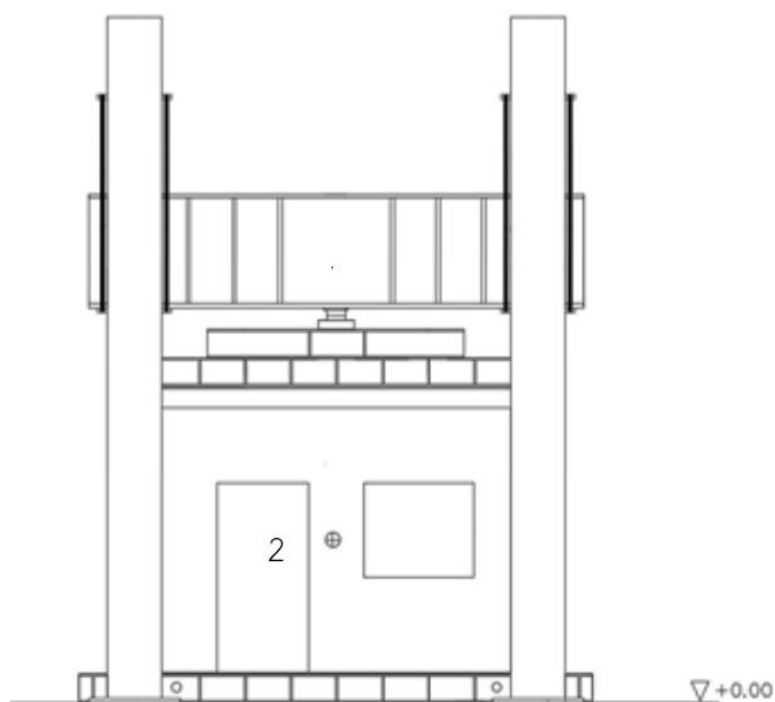
(ข) ภาพจำลองการติดตั้งไดอัลเกจ (Dial gauge) ผนังแบบที่ 2

ภาพที่ 3.7 ภาพการติดตั้งไดอัลเกจ (Dial gauge) ผนังแบบที่ 2



⊕ ตำแหน่งติดตั้งไดอัลเกจ

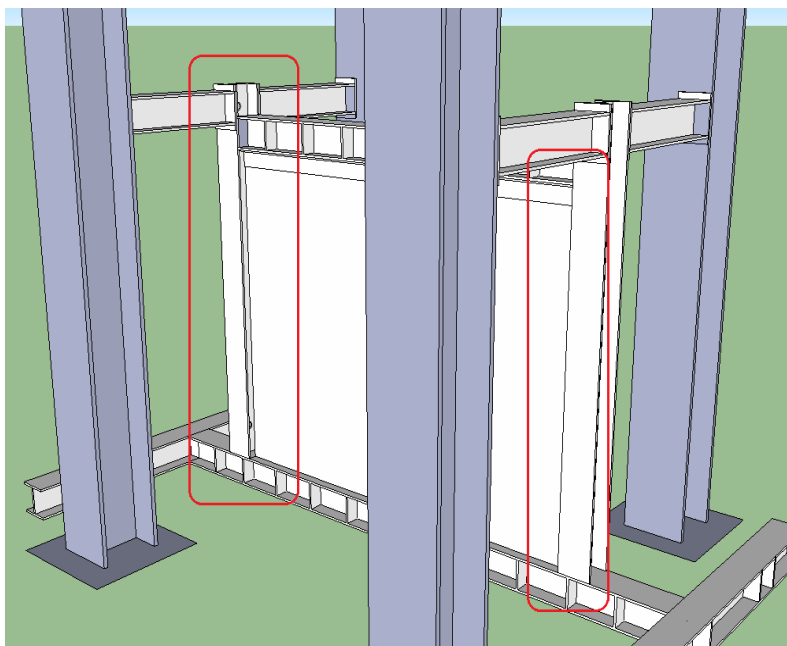
(ก) ภาพจำลองการติดตั้งไดอัลเกจ (Dial gauge) ผนังแบบที่ 3



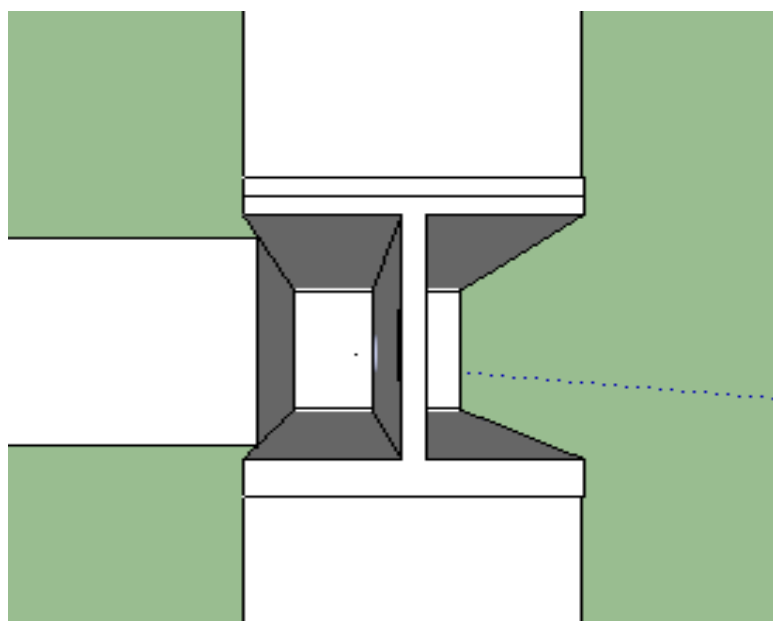
⊕ ตำแหน่งติดตั้งไดอัลเกจ

(ข) ภาพจำลองการติดตั้งไดอัลเกจ (Dial gauge) ผนังแบบที่ 3

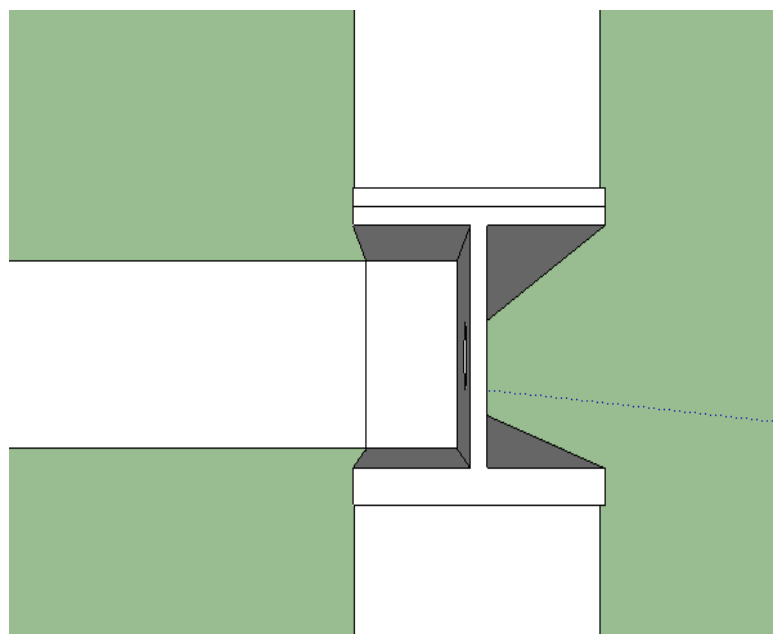
ภาพที่ 3.8 ภาพจำลองการติดตั้งไดอัลเกจ (Dial gauge) ผนังแบบที่ 3



ภาพที่ 3.9 ภาพการการติดตั้งผนังแบบไม่ยัดเรียงด้านข้างและแบบยัดเรียงด้านข้าง



ภาพที่ 3.10 ภาพจำลองการการติดตั้งผนังแบบไม่ยัดเรียงด้านข้าง



ภาพที่ 3.11 ภาพจำลองการการติดตั้งผนังแบบยัดเรียงด้านข้าง

จากการทดสอบผนังรับน้ำหนักได้แบ่งออกเป็นสองกลุ่มการทดสอบคือ 1) การทดสอบแบบไม่ยัดเรียงด้านข้างโดยแสดงในภาพที่ 3.10 จะเห็นว่าบริเวณด้านข้างผนังจะชนกับเครื่องทดสอบพอดีไม่ได้มีส่วนเกินเข้าไปในเครื่องทดสอบดังภาพที่ 3.11 แต่ในการทดสอบแบบยัดเรียงด้านข้างนั้น ได้ทำการเทคอนกรีตลงในช่องว่างระหว่างเครื่องทดสอบและขอบด้านข้างผนังดังภาพที่ 3.11 และเสริมด้วยเหล็กหนวดกุ้งเพื่อยึดผนังเข้ากระเครื่องทดสอบ เพื่อเป็นการยัดเรียงด้านข้างของผนังรับน้ำหนัก

การทดสอบจะทดสอบทั้งสิ้น 12 ชิ้นงาน โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นสองกลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่หนึ่งจะเป็นการทดสอบโดยปลายของผนังเป็นแบบอิสระไม่มีการยัดเรียง มีตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทั้งสิ้น 6 ตัวอย่าง คือ แบบคอนกรีตปกติและแบบคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า และกลุ่มที่สองปลายของผนังจะเป็นแบบยัดเรียงทั้งสองข้าง มีตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทั้งสิ้น 6 ตัวอย่าง คือแบบคอนกรีตปกติและแบบคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการวิบัติของตัวผนังรับน้ำหนักและเปรียบเทียบค่าการรับน้ำหนักสูงสุดของผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบา การทดสอบจะค่อย ๆ ปล่อยแรงสู่ผนังและสังเกตพฤติกรรมการวิบัติ เมื่อชิ้นงานเริ่มวิบัติและไม่สามารถให้แรงต่อไปได้จะถือเป็นการวิบัติโดยสมบูรณ์ การเก็บผลทดสอบจะอ่านค่าจากไดอัลเกจเป็นช่วง ๆ โดยเมื่อให้แรงค่าหนึ่งแล้วจะหยุดเพื่ออ่านค่าและสังเกตพฤติกรรมจากนั้นจะเริ่มให้แรงต่อและหยุดเพื่ออ่านค่าอีกครั้ง ทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนผนังวิบัติซึ่งข้อมูลที่ได้จะกล่าวในบทถัดไป

บทที่ 4

วิเคราะห์และเปรียบเทียบผล

4.1 ทัวไป

จากการทดสอบผนังรับน้ำหนักทั้งสิ้น 12 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นสองกลุ่มชนิดคอนกรีต ได้แก่ คอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ได้มีการเก็บตัวอย่างลูกปูนเพื่อใช้ในการหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ในการผลิต ซึ่งค่าที่ได้นั้นสามารถนำไปคำนวณค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดของผนังตามมาตรฐานต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศได้ สำหรับการทดสอบนั้นแบ่งออกเป็นสองกรณี ได้แก่ กรณีที่หนึ่งจะเป็นการทดสอบโดยไม่มีการยึดรั้งด้านข้างทั้งสองข้างของผนังรับน้ำหนักและในกรณีที่สองจะเป็นการทดสอบโดยมีการยึดรั้งด้านข้างทั้งสองข้างของผนังรับน้ำหนัก

4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ผลการทดสอบแบ่งออกเป็นสองชนิดคอนกรีต ได้แก่ คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าและคอนกรีตปกติ ในการเก็บตัวอย่างคอนกรีตนั้น ได้ทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ทั้งสิ้นสามตัวอย่างต่อผนังหนึ่งชุด เนื่องจากในการทดสอบผู้ทดสอบได้สั่งคอนกรีตผสมเสร็จมาใช้ในการทดสอบ เพื่อความสะดวกรวดเร็วและสามารถควบคุมคุณภาพได้มากกว่าการผสมมือ ผู้ทดสอบได้ทำการทดสอบคอนกรีตทั้งสิ้นสี่ครั้ง ครั้งละสามตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีรายละเอียด ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ลำดับ	ชนิดของคอนกรีต	กำลังรับแรงอัด (ksc)	หมายเหตุ
1	คอนกรีตปกติ	258	W1N, W2N, W3N
2	คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า	175	W1C, W2C, W3C
3	คอนกรีตปกติ	224	W1N-R, W2N-R, W3N-R
4	คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า	165	W1C-R, W2C-R, W3C-R

ในกรณีของผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าได้ทำการสั่งเป็นมอร์ต้าผสมเสร็จและได้ผสมโฟมที่ใช้ผลิตคอนกรีตมวลเบาเข้าไปที่หลังจนได้คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับที่ $1,800 \text{ kg/m}^3$ จากการผลิตขึ้นทดสอบได้ทำการเก็บตัวอย่างลูกปูนโดยแบ่งเป็นทั้งหมด 4 ครั้ง ครั้งละ 3 ตัวอย่างเพื่อเป็นค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ผลิต

4.3 ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดของผนังรับน้ำหนัก

ในการทดสอบนี้ใช้คอนกรีตสองชนิดเพื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดสูงสุดของผนัง โดยการกดทดสอบจะค่อยให้แรงเป็นช่วง ๆ และบันทึกผลรอยแตกที่เริ่มเกิดขึ้น ณ ช่วงแรงกระทำต่าง ๆ จนผนังเกิดการวิบัติและไม่สามารถรับแรงต่อได้แล้วจึงหยุดการทดสอบ ค่าที่ได้จากการทดสอบกำลังรับน้ำหนักสูงสุด มีรายละเอียดตามตารางที่ 4.2 – 4.3 และภาพที่ 4.1

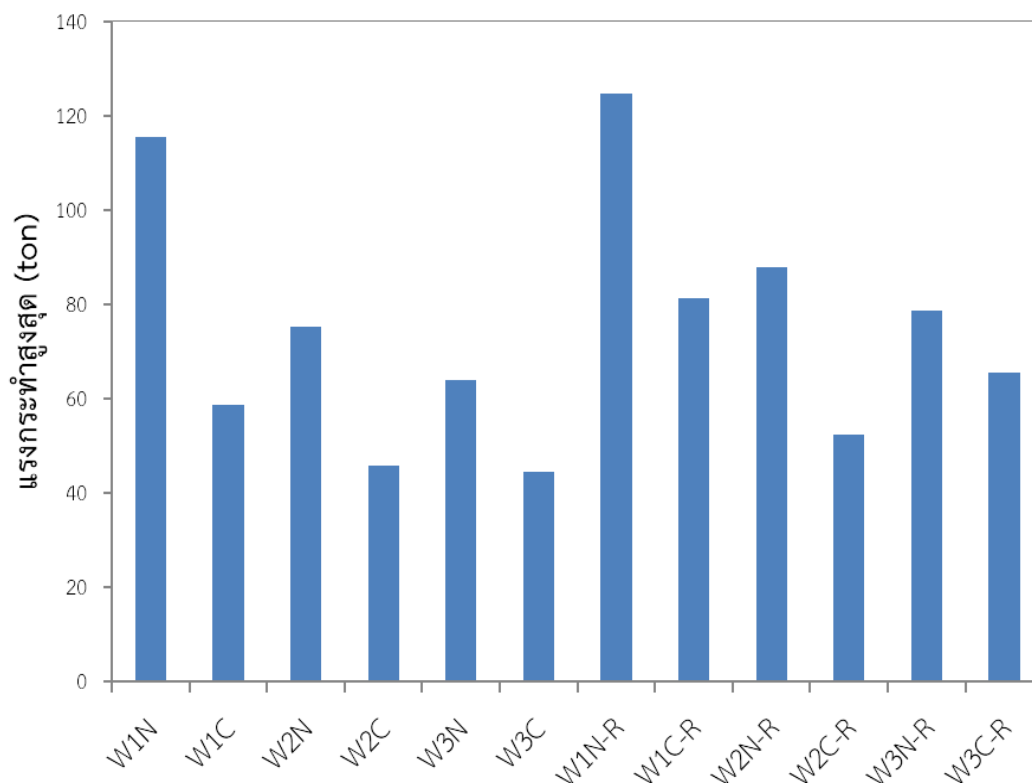
ตารางที่ 4.2 ค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดของผนังรับน้ำหนักกรณีไม่ยึดรั้งด้านข้าง

ลำดับ	ผนังที่ใช้ทดสอบ	ค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุด (ตัน)
1	W1N	115.5
2	W1C	58.7
3	W2N	75.2
4	W2C	45.6
5	W3N	63.8
6	W3C	44.3

ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดของผนังรับน้ำหนักกรณียึดรั้งด้านข้าง

ลำดับ	ผนังที่ใช้ทดสอบ	ค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุด (ตัน)
1	W1N-R	124.5
2	W1C-R	81.2
3	W2N-R	87.8
4	W2C-R	52.4
5	W3N-R	78.5
6	W3C-R	65.3

โดยข้อมูลผลการทดสอบจากการบันทึกค่าแรง และการเสียรูปมีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก และจะแสดงในรูปที่ 4.2 – 4.22 ต่อไป



ภาพที่ 4.1 กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของผนังตัวอย่างทั้ง 12 ผนัง

จากภาพที่ 4.1 ได้แสดงให้เห็นค่าการรับน้ำหนักสูงสุดก่อนวิบัติของผนังทั้ง 12 ตัวอย่าง กราฟแสดงให้เห็นว่า ผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติจะสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส เช่น ผนัง W1N W2N และผนัง W3N ผลิตจากคอนกรีตปกติ สามารถรับน้ำหนักได้เท่ากับ 115.5 75.2 และ 63.8 ตัน ผนัง W1C W2C และผนัง W3C ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสรับน้ำหนักได้เท่ากับ 58.7 45.6 และ 44.3 ตัน และเมื่อเปรียบเทียบผนังทั้ง 2 ชุด พบว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติจะสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสทั้งที่มีขนาดเท่ากันทุกกรณี อีกทั้งผนัง W1N-R W2N-R และผนัง W3N-R ผลิตจากคอนกรีตปกติ สามารถรับน้ำหนักได้เท่ากับ 124.5 87.8 และ 78.5 ตัน ซึ่งมากกว่าผนัง W1C-R W2C-R และผนัง W3C-R ที่มีค่ากำลังรับน้ำหนักเท่ากับ 81.2 52.4 , และ 65.3 ตัน ซึ่งข้อมูลมีความสอดคล้องกัน และแสดงให้เห็นว่าการทดสอบผนังจะเป็นแบบยึดรั้งด้านข้างหรือไม่ยึดรั้งด้านข้าง ผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติก็จะสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ข้อมูลยังแสดงให้เห็นอีกว่าช่องเปิดมีผลต่อการรับน้ำหนักของผนัง คือผนังที่มีช่องเปิดขนาดเล็กสามารถรับแรงกระทำได้มากกว่าผนังที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ โดยที่ผนังนั้นผลิตจากคอนกรีตที่มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากัน เช่น ผนังชุดที่หนึ่ง ได้แก่ ผนัง W1N W2N และผนัง W3N ผลิตจากคอนกรีตที่มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 258 Ksc แต่ผนังทั้งสาม มีขนาดช่องเปิดต่างกัน โดยที่ผนัง W1N มีช่องเปิดขนาดเล็กที่สุด สามารถรับแรงกระทำได้ 115.5 ตัน ซึ่งมีมากกว่าผนัง W2N และผนัง W3N ที่มีขนาดช่องเปิดใหญ่ขึ้นตามลำดับสามารถรับแรงกระทำได้เท่ากับ 75.2 ตัน และ 63.8 ตัน อีกทั้งการทดสอบแบบยึดรั้งด้านข้างจะส่งผลให้ผนังรับน้ำหนักได้มากกว่าแบบไม่ยึดรั้ง

ด้านข้าง ทั้งที่ผนังนั้นมีขนาดช่องเปิดที่เท่ากัน เช่น ผนังชุดที่ 3 คือ ผนัง W1N-R W2N-R และผนัง W3N-R ที่สามารถรับแรงกระทำได้เท่ากับ 124.5 ตัน 87.8 ตัน และ 78.5 ตัน ตามลำดับ มากกว่าผนัง W1N W2N และผนัง W3N สามารถรับน้ำหนักได้เท่ากับ 115.5 75.2 และ 63.8 ตัน ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามเนื่องจากผนังรับน้ำหนักผลิตจากคอนกรีตสองชนิดมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่เท่ากัน จึงต้องพิจารณาถึงค่ากำลังรับน้ำหนักของผนังต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ในการผลิต ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการรับน้ำหนัก โดยใช้สมการที่ (2.8) โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพกำลังรับแรงต่อกำลังของคอนกรีตของผนังรับน้ำหนัก แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง

รูปแบบผนัง	ชนิด คอนกรีต	A_g (cm ²)	P (kg)	f'_c (ksc)	$\frac{P}{A_g * f'_c}$	ร้อยละ ความต่าง
ผนังแบบที่1 (W1)	ปกติ (N)	1200	115500	258	0.37	24.3
	มวลเบา (C)	1200	58700	175	0.28	
ผนังแบบที่2 (W2)	ปกติ (N)	1200	75200	258	0.24	12.5
	มวลเบา (C)	1200	45600	175	0.21	
ผนังแบบที่3 (W3)	ปกติ (N)	1200	63800	258	0.20	-5.0
	มวลเบา (C)	1200	44300	175	0.21	

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพกำลังรับแรงต่อกำลังของคอนกรีตของผนัง รับน้ำหนักแบบยึดรั้งด้านข้าง

รูปแบบผนัง	ชนิด คอนกรีต	A_g (cm ²)	P (kg)	f'_c (ksc) ทรงกระบอก	$\frac{P}{A_g * f'_c}$	ร้อยละ ความต่าง
ผนังแบบที่1 (W1)	ปกติ (N)	1200	124500	224	0.46	10.8
	มวลเบา (C)	1200	81200	165	0.41	
ผนังแบบที่2 (W2)	ปกติ (N)	1200	87800	224	0.33	21.2
	มวลเบา (C)	1200	52400	165	0.26	
ผนังแบบที่3 (W3)	ปกติ (N)	1200	78500	224	0.29	-13.8
	มวลเบา (C)	1200	65300	165	0.33	

จากตารางที่ 4.4 – 4.5 แสดงให้เห็นค่าประสิทธิภาพในการรับแรงของผนังรับน้ำหนักแบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง W1N เท่ากับ 0.37 มากกว่าผนัง W1C ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.28 มีค่าความต่างในการรับแรงเท่ากับร้อยละ 24.3 ผนัง W2N มีค่าประสิทธิภาพในการรับแรงเท่ากับ 0.24 ซึ่งมากกว่าผนัง W2C ที่มีค่าประสิทธิภาพในการรับแรงเท่ากับ 0.21 ค่าความต่างในการรับแรงเท่ากับร้อยละ 12.5 ซึ่งการวิบัติของผนัง W1N และผนัง W1C มีการวิบัติที่คล้ายกันเช่นเดียวกับผนัง W2N และผนัง W2C เนื่องจาก

ผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติมีค่าโมดูลัสมากกว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ส่งผลให้ ณ แรงกระทำเท่ากันผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติจะเสียรูปในด้านข้างน้อยกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส เพราะเมื่อกดทดสอบผนังจะเริ่มเสียรูปในแนวนอน แรงที่เคยกระทำตรงศูนย์จะกลายเป็นแรงกระทำเยื้องศูนย์ ทำให้เกิดแรงอัดลัพท์จากโมเมนต์ซึ่งเกิดในผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมากกว่าผนังคอนกรีตปกติ ส่งผลให้ผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสวิบัติก่อนผนังคอนกรีตปกติ จึงเป็นเหตุผลให้ผนังคอนกรีตปกติมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักดีกว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส แต่ในผนังรับน้ำหนัก W3N มีค่าประสิทธิภาพในการรับแรงเท่ากับ 0.20 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าผนัง W3C ที่มีค่าประสิทธิภาพในการรับแรงเท่ากับ 0.21 คิดเป็นร้อยละความต่าง ในการรับแรงเท่ากับร้อยละ 5 ซึ่งต่างจากผนัง W1 และผนัง W2 น่าจะมีสาเหตุมาจากรูปแบบการวิบัติที่แตกต่างกัน โดยที่ผนัง W3C จะมีการวิบัติ 2 ตำแหน่ง คือที่บริเวณกลางระหว่างช่องเปิดและด้านข้างของช่องเปิด ผนัง W3N จะเกิดการวิบัติที่ตำแหน่งเดียวคือด้านข้างของช่องเปิด แสดงว่าเมื่อมีแรงมากกระทำผนัง W3C พื้นที่ทั้ง 2 ช่วยกันรับแรงและวิบัติพร้อมกันทำให้มีพื้นที่รับแรงมากกว่าผนัง W3N ที่วิบัติตำแหน่งเดียว

ในส่วนของผนังรับน้ำหนักแบบยึดรั้งด้านข้างคือผนัง W1N-R มีค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักเท่ากับ 0.46 มีค่ามากกว่าผนังรับน้ำหนัก W1C-R ที่มีค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักเท่ากับ 0.41 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความต่างในการรับแรงเท่ากับ 10.8 เช่นเดียวกับผนัง W2N-R ที่มีค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักเท่ากับ 0.32 มากกว่าผนัง W2C-R ที่มีค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักเท่ากับ ร้อยละ 0.26 คิดเป็นความต่างของการรับแรงเท่ากับ ร้อยละ 21.2 จากผลการทดสอบพบว่า ค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของผนัง W1-R และผนัง W2-R มีความสอดคล้องกับผนัง W1 และผนัง W2 ทั้งในด้านประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักและลักษณะการวิบัติที่เกิดขึ้น แต่ในผนัง W3N-R มีค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนัก 0.29 น้อยกว่าผนัง W3C-R ที่มีค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0.33 คิดเป็นร้อยละความต่างในการรับแรงเท่ากับ 13.80 โดยค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของผนัง W3-R มีความสอดคล้องกับผนัง W3 เนื่องจากมีลักษณะการวิบัติที่คล้ายกัน จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าทั้งการทดสอบแบบยึดรั้งด้านและไม่ยึดรั้งด้านข้างผลที่ได้จะมีความสอดคล้องกัน คือผนังที่มีหนึ่งช่องเปิดประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของผนังคอนกรีตปกติจะดีกว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส แต่ในผนังสองช่องเปิดประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะดีกว่าผนังคอนกรีตปกติ ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกันทั้งแบบยึดรั้งด้านข้างและไม่ยึดรั้งด้านข้าง

ค่ากำลังรับน้ำหนักของผนังแต่ละตัวอย่างและค่าการเสียรูปทั้งในแนวดิ่งและแนวนอนของผนัง ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปเพื่อใช้ในการอธิบายถึงค่าความแกร่งของแต่ละผนังที่ใช้ทดสอบโดยจะกล่าวในหัวข้อของการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

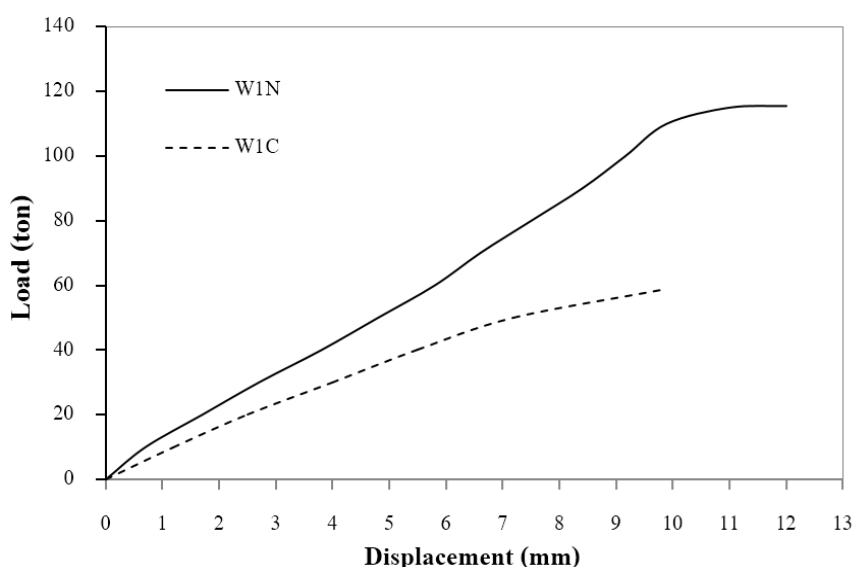
4.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลทดสอบผนังรับน้ำหนักทั้ง 12 ชิ้นงาน จะได้ค่ากำลังรับแรงสูงสุดของผนังรับน้ำหนักแต่ละตัวอย่างทดสอบและค่าการเสียรูปทั้งในแนวดิ่งและแนวนอนบนจุดตามภาพที่ 3.10 – 3.15 ค่าที่ได้

จากการทดสอบนำมาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ของแรงกระทำและการเสียรูป ซึ่งความชันของกราฟจะบอกถึงค่าความแข็งแรงของผนังนั้น ๆ ยิ่งกราฟมีความชันมากผนังก็จะยิ่งมีความแข็งแรงมากสามารถรับแรงได้ดีซึ่งแต่ละกราฟจะมีค่าความชันที่ต่างกันเนื่องจากวัสดุที่ใช้ผลิต ขนาดของช่องเปิด ลักษณะการทดสอบ ล้วนมีผลต่อกำลังรับแรงและการเสียรูปของผนังตัวอย่าง โดยในหัวข้อที่ 4.3.1 จะเป็นการวิเคราะห์แรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนังแต่ละตัวอย่างและเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของผนังแต่ละตัวอย่างเข้าด้วยกันเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

4.4.1 การเสียรูปในแนวดิ่งของผนังรับน้ำหนัก

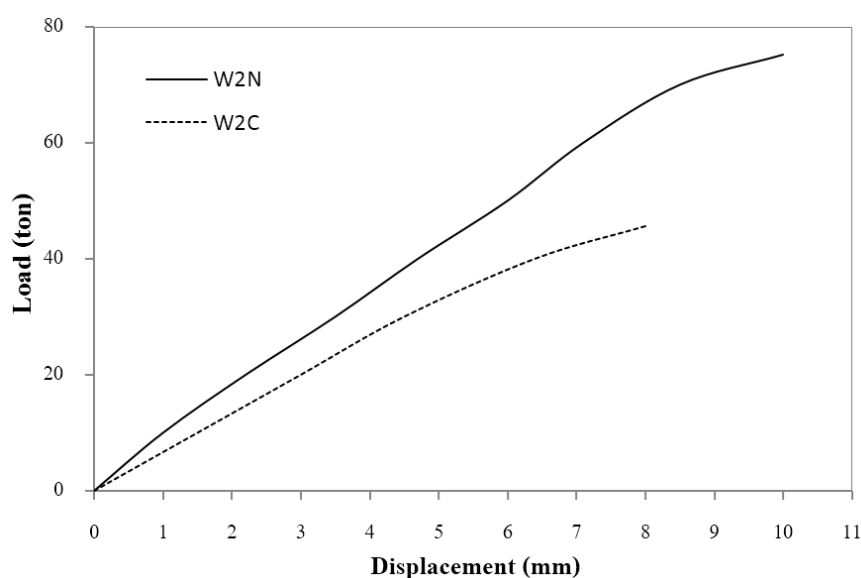
ในการทดสอบผนังรับน้ำหนักสามารถบันทึกผลและนำค่าที่ได้มาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการเสียรูปในแนวดิ่งซึ่งแบ่งเป็นผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตปกติและผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสและแยกย่อยออกเป็น การทดสอบสองแบบคือแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างและแบบยึดรั้งด้านข้าง โดยข้อมูลที่ได้ คือแรงกระทำสูงสุด ค่าการเสียรูปสูงสุด และค่าความแข็งแรงของผนังรับน้ำหนักแต่ละตัวอย่างโดยแสดงในภาพที่ 4.2 – 4.11



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W1N และ W1C แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง

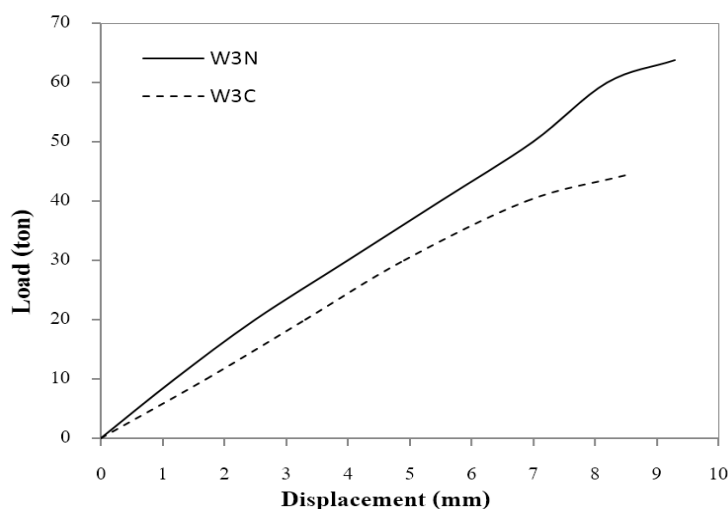
ภาพที่ 4.2 แสดงผนัง W1N คือผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติมีช่องเปิด 1 ช่องเปิด ขนาด 0.50×0.60 m คิดเป็นร้อยละ 10 ของพื้นที่ทั้งหมดสามารถรับแรงได้ 115.5 ton ซึ่งมากกว่าผนัง W1C คือผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีขนาดช่องเปิดเท่ากันสามารถรับแรงได้ 58.7 ton และค่าความชันของกราฟ (ความแข็งแรง) ผนัง W1N มีค่าเท่ากับ 10.2 ton/mm มากกว่าค่าความชันของกราฟ (ความแข็งแรง) ผนัง W1C ที่มีค่าเท่ากับ 6.1 ton/mm ผนัง W1N สามารถรับแรงได้มากกว่าจึงส่งผลให้เสียรูปได้มากกว่า และค่าความชันของเส้นกราฟบ่งบอกถึงค่าความแข็งแรงของวัสดุ

จะเห็นว่าเส้นสีฟ้าที่เป็นตัวแทนของผนัง W1N ที่ผลิตจากคอนกรีตปกติมีความชันมากกว่าเส้นสีแดงที่เป็นตัวแทนของผนัง W1C ที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ซึ่งหมายความว่าผนัง W1N นั้นมีความแข็งแรงมากกว่าผนัง W1C ทั้งนี้จากภาพที่ 4.2 จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อแรงกระทำเท่ากันบนตัวอย่างผนังที่มีขนาดของช่องเปิดเท่ากันแต่คอนกรีตที่ใช้ในการผลิตต่างชนิดกัน จะมีค่าการเสียรูปที่ต่างกัน ผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตปกติเสียรบน้อยกว่าผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ณ ตำแหน่งที่แรงกระทำเท่ากัน



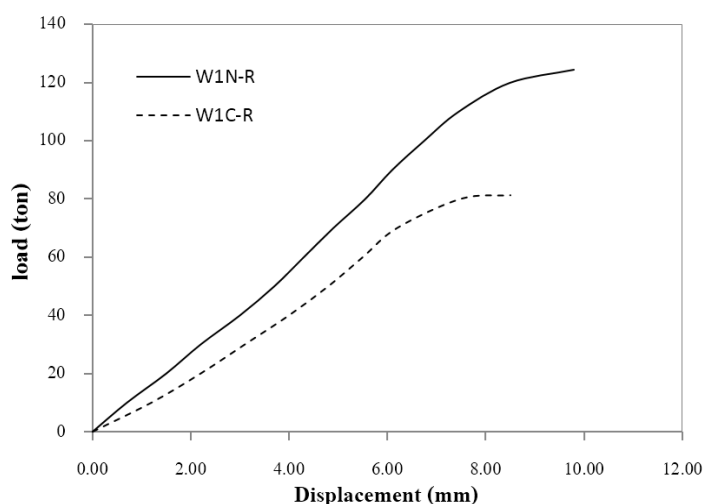
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W2N และ W2C แบบไม้อัดตั้งด้านข้าง

ภาพที่ 4.3 ผนัง W2N คือ ผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติ มีหนึ่งช่องเปิดขนาด 1.00×0.35 m อยู่บริเวณกลางผนัง คิดเป็นร้อยละ 11.7 ของพื้นที่ทั้งหมดและสามารถรับแรงได้ 75.2 ton ซึ่งมากกว่าผนัง W2C คือผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีหนึ่งช่องเปิด และมีขนาดเท่ากับผนัง W2N สามารถรับแรงได้ 45.6 ton ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 60 ของผนัง W2N ค่าความแข็งแรงของผนัง W2N เท่ากับ 7.7 ton/mm และ W2C มีค่าเท่ากับ 5.8 ton/mm จากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเส้นสีฟ้าที่เป็นตัวแทนของผนัง W2N ที่ผลิตจากคอนกรีตปกติมีความชันมากกว่าเส้นสีแดงที่เป็นตัวแทนของผนัง W2C ที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ซึ่งหมายความว่าผนัง W2N นั้นมีค่าความแข็งแรงมากกว่าผนัง W2C ซึ่งมีผลสอดคล้องกับผนังชุดที่หนึ่งคือผนัง W1N และ W1C



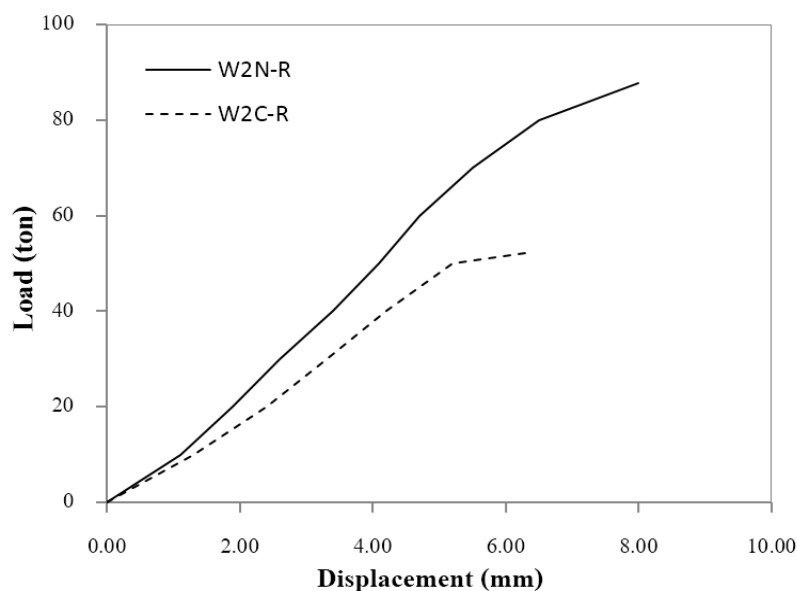
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W3N และ W3C แบบไม่ยึดตั้งด้านข้าง

ภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าผนัง W3N คือผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติมีสองช่องเปิดคือ ขนาด 1.00×0.50 m และ 0.50×0.60 m คิดเป็นร้อยละ 26.7 ของพื้นที่ทั้งหมด สามารถรับแรงได้ 63.8 ton ซึ่งมากกว่าผนัง W3C คือผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีสองช่องเปิด ขนาดเท่ากับผนัง W3N สามารถรับแรงได้ 44.3 ton ค่าความชันของเส้นกราฟบ่งบอกถึงค่าความแข็งแรงของวัสดุ จะเห็นว่าเส้นสีฟ้าที่เป็นตัวแทนของผนัง W3N ที่ผลิตจากคอนกรีตปกติมีความชันมากกว่าเส้นสีแดงที่เป็นตัวแทนของผนัง W3C ที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ซึ่งหมายความว่าผนัง W3N ที่มีค่าความชันของกราฟ (ความแข็งแรง) เท่ากับ 6.9 ton/mm มากกว่าผนัง W3C ที่มีค่าความชันของกราฟ (ความแข็งแรง) เท่ากับ 5.3 ton/mm ผลที่ได้จากผนังชุดที่ 3 มีความสอดคล้องกับผนังชุดที่หนึ่งและชุดที่สอง



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W1N-R และ W1C-R แบบยึดตั้งด้านข้าง

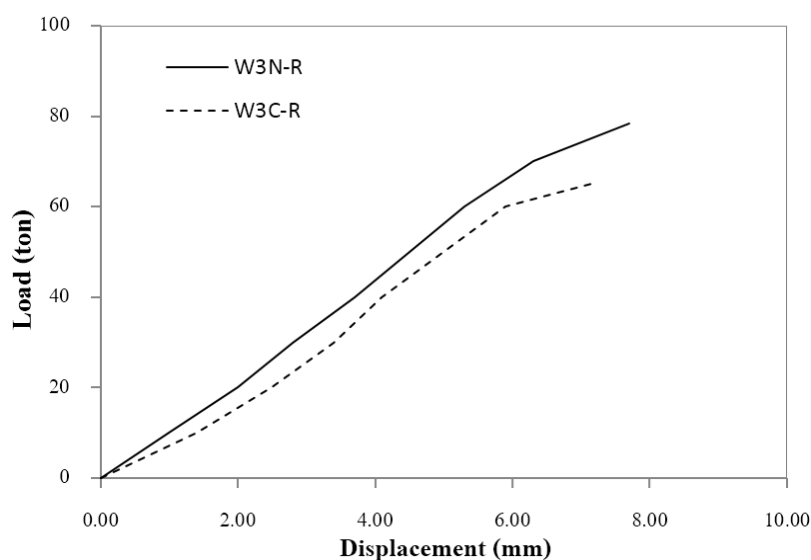
ภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าผนัง W1N-R คือ ผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติทดสอบแบบยึดรั้งด้านข้างมีช่องเปิดหนึ่งช่องเปิด ขนาด 0.50×0.60 m คิดเป็นร้อยละ 10 ของพื้นที่ทั้งหมด สามารถรับแรงได้ 124.5 ton ซึ่งมากกว่าผนัง W1C-R คือผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทดสอบแบบยึดรั้งด้านข้างมีขนาดช่องเปิดเท่ากัน สามารถรับแรงได้ 81.2 ton ค่าความชันของกราฟ (ความแกร่ง) ผนัง W1N-R มีค่าเท่ากับ 13.8 ton/mm มากกว่าค่าความชันของกราฟ (ความแกร่ง) ผนัง W1C-R ที่มีค่าเท่ากับ 10.5 ton/mm ผนัง W1N-R สามารถรับแรงได้มากกว่า จึงส่งผลให้เสียรูปได้มากกว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผนังที่ทดสอบด้วยวิธียึดรั้งด้านข้างให้ค่ากำลังรับแรงที่มากกว่าผนังที่ทดสอบแบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง และค่าความแกร่งของผนังแบบยึดรั้งด้านข้างก็มากกว่าค่าความแกร่งของผนังแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างใน เมื่อเปรียบเทียบกราฟพบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเสียรูปในแนวดิ่งกับแรงกระทำของผนังที่ทดสอบแบบยึดรั้งด้านข้างมีความชันมากกว่าแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W2N-R และ W2C-R แบบยึดรั้งด้านข้าง

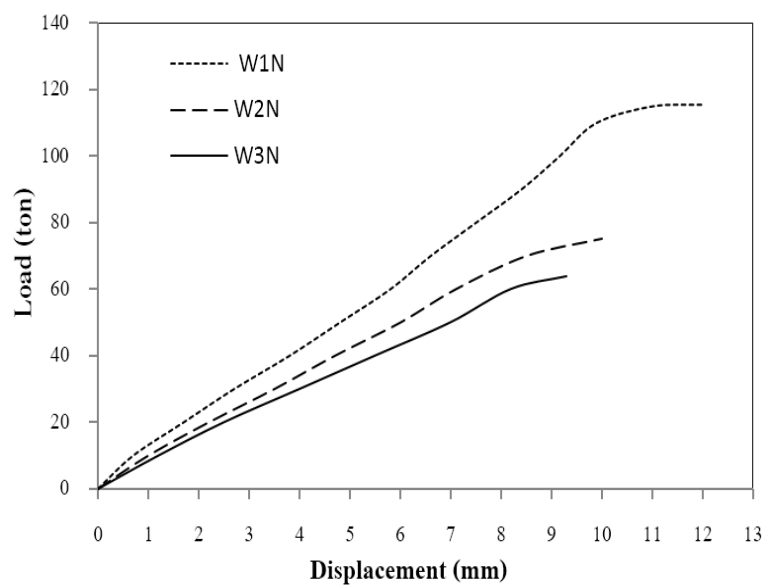
ภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าผนัง W2N-R คือ ผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติ มีหนึ่งช่องเปิด ขนาด 1.00×0.35 m อยู่บริเวณกลางผนัง คิดเป็นร้อยละ 11.7 ของพื้นที่ทั้งหมด และสามารถรับแรงได้ 87.8 ton ซึ่งมากกว่าผนัง W2C-R คือผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีหนึ่งช่องเปิด และมีขนาดเท่ากับผนัง W2N-R สามารถรับแรงได้ 52.4 ton ค่าความแกร่งของผนัง W2N-R เท่ากับ 11.9 ton/mm และ W2C-R มีค่าเท่ากับ 8.9 ton/mm จากภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเส้นสีฟ้าที่เป็นตัวแทนของผนัง W2N-R ที่ผลิตจากคอนกรีตปกติมีความชันมากกว่าเส้นสีแดงที่เป็นตัวแทนของผนัง W2C-R ที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ซึ่งหมายความว่าผนัง W2N-R นั้นมีค่าความแกร่งมากกว่าผนัง W2C-R เมื่อเปรียบเทียบความชันของกราฟในภาพที่ 4.6 กับภาพที่ 4.3 พบว่าความชันของกราฟที่ 4.6 มีค่ามากกว่าเนื่องจากการผนัง W2N-R ทดสอบแบบยึดรั้งด้านข้างสามารถรับแรงได้

มากกว่าแบบ W2N ไม่ยึดรั้งด้านข้างและผนัง W2C-R ทดสอบแบบยึดรั้งด้านข้างก็สามารถรับแรงได้ดีกว่าผนัง W2C แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง แม้คอนกรีตที่ใช้ในการผลิตผนังแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างจะมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าแบบยึดรั้งด้านข้าง ทั้งนี้ถ้าคอนกรีตที่ใช้ในการผลิตผนังมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากันผนังที่ทดสอบแบบยึดรั้งด้านข้างจะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักที่มากกว่า

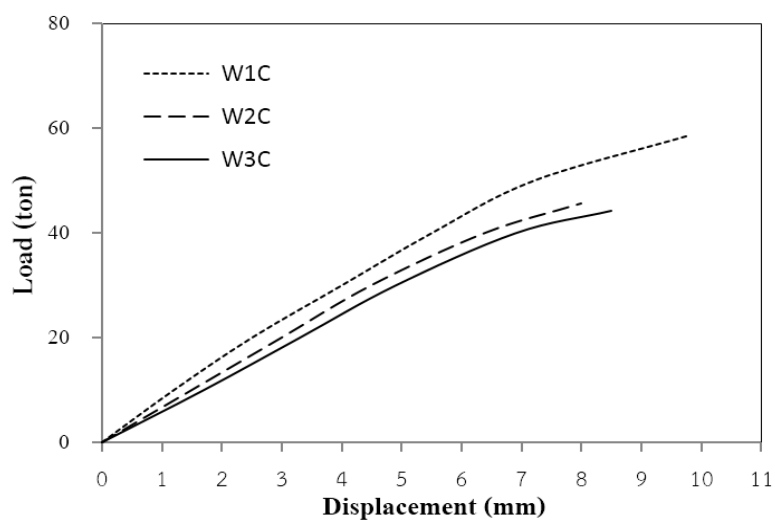


ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W3N-R และ W3C-R แบบยึดรั้งด้านข้าง

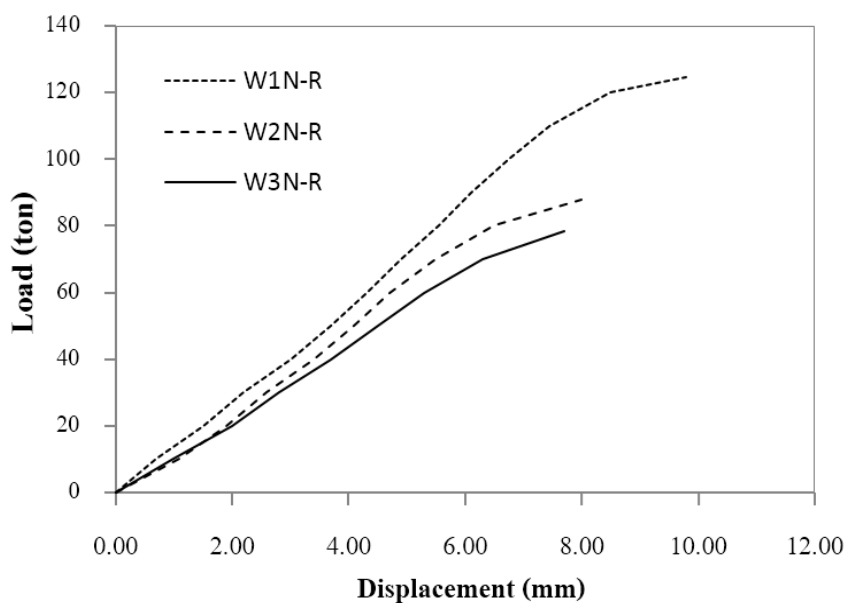
ภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าผนัง W3N-R คือผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติ มีสองช่องเปิด คือ ขนาด 1.00×0.50 m และ 0.50×0.60 m คิดเป็นร้อยละ 26.67 ของพื้นที่ทั้งหมด สามารถรับแรงได้ 78.5 ton ซึ่งมากกว่าผนัง W3C-R คือผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีสองช่องเปิด ขนาดเท่ากับผนัง W3N-R สามารถรับแรงได้ 65.3 ton ค่าความชันของเส้นกราฟบ่งบอกถึงค่าความแข็งแรงของวัสดุ พบว่าค่าความแข็งแรงของผนัง W3N-R เท่ากับ 10.7 ton/mm มากกว่าค่าความแข็งแรงของผนัง W3C-R ที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 9.8 ton/mm ซึ่งค่าความแข็งแรงของผนังทั้งสองต่างกันร้อยละ 5 แสดงให้เห็นว่าผนังทั้งสองมีค่ากำลังรับน้ำหนักและค่าการเสียรูปที่ใกล้เคียงกัน



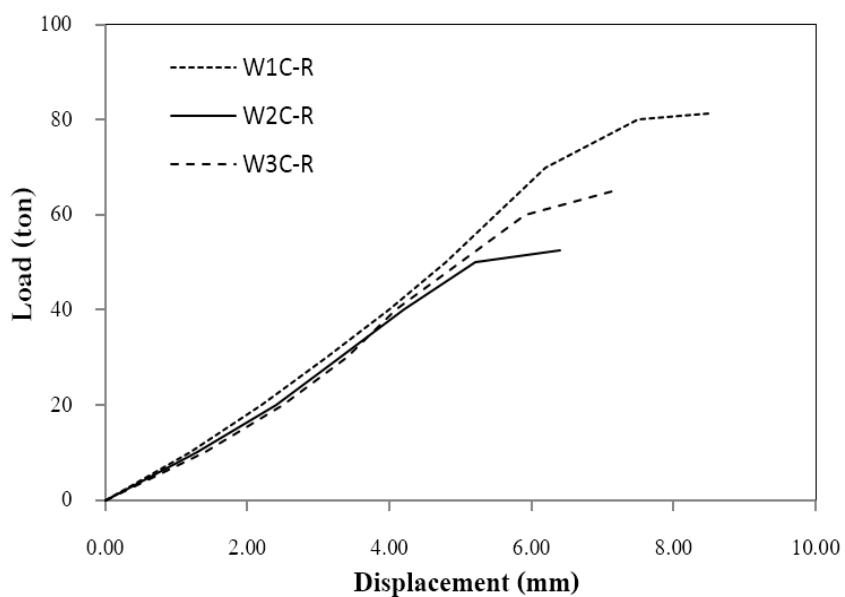
ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W1N และ W2N และ W3N แบบไม่ยึดตั้งด้านข้าง



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W1C และ W2C และ W3C แบบไม่ยึดตั้งด้านข้าง



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W1N-R และ W2N-R และ W3N-R แบบยึดตรึงด้านข้าง



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวดิ่งของผนัง W1C-R และ W2C-R และ W3C-R แบบยึดตรึงด้านข้าง

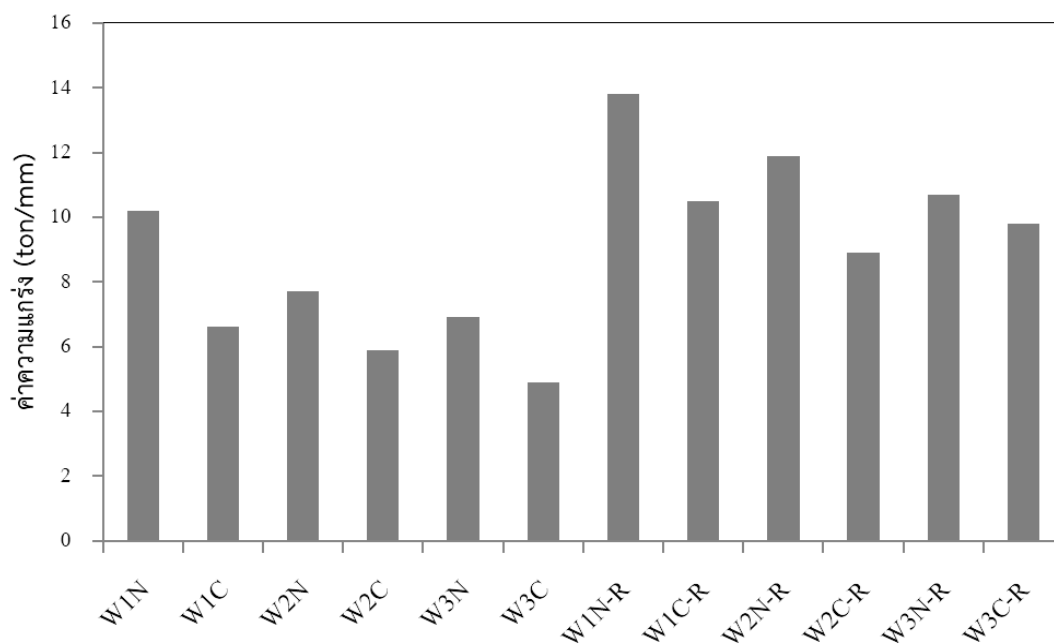
ภาพที่ 4.8 - 4.11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการเสียรูปของผนังทั้ง 12 ตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็นสี่ชุด ชุดที่หนึ่งคือผนัง W1N W2N และ W3N ชุดที่สองคือผนัง W1C W2C W3C ผนังชุดที่สาม W1N-R W2N-R W3N-R ชุดที่สี่คือผนัง W1C-R W2C-R W3C-R เพื่อเป็นการเปรียบเทียบการเสียรูปของผนังในแต่ละชุดการผลิต โดยในแต่ละชุดจะมีค่ากำลัง

รับแรงอัดของคอนกรีตเท่ากันแต่ขนาดช่องเปิดและวิธีการทดสอบต่างกัน เช่นชุดที่หนึ่งผนัง W1N W2N W3N มีค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเท่ากันแต่ขนาดของช่องเปิดไม่เท่ากัน จากกราฟแสดงให้เห็นว่าผนังชุดที่หนึ่ง ชุดที่สอง และชุดที่สาม มีค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปที่สอดคล้องกันคือผนังที่มีช่องเปิดขนาดเล็กจะสามารถรับแรงได้มากกว่าผนังที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ แต่ในชุดที่สี่ ผนัง W3C-R ที่มี 2 ช่องเปิดสามารถรับแรงได้มากกว่าผนัง W2C-R ที่มี 1 ช่องเปิด เพราะผนัง W3C-R มีพื้นที่รับแรงบริเวณข้างช่องเปิดสามตำแหน่ง ซึ่งแรงที่กระทำลงมาได้แบ่งออกเป็นสามส่วนซึ่งสามารถรับแรงได้ดีกว่า ต่างจากผนังที่มีหนึ่งช่องเปิดมีพื้นที่ด้านข้างช่องเปิดสองตำแหน่งแรงจึงแบ่งออกเป็นสองส่วน และคอนกรีตที่ใช้ในการผลิตก็มีผลต่อการรับแรงโดยที่คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสสามารถกระจายแรงได้ดีกว่าคอนกรีตปกติ ผลที่ได้คือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปของผนัง W3C-R มีความชันมากกว่าผนัง W2C-R นั้นหมายความว่าค่าความแกร่งของผนัง W3C-R มีค่ามากกว่าผนัง W2C-R และจากกราฟแสดงให้เห็นว่าผนังที่ทดสอบแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างจะมีความชันน้อยกว่าผนังแบบยึดรั้งด้านข้าง เมื่อคำนวณหาค่าความชันที่เป็นตัวแทนของความแกร่งด้วยวิธี Linear Regression

จากภาพที่ 4.2 – 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการเสียรูปในแนวดิ่ง แสดงให้เห็นว่ากราฟเป็นเส้นตรงเมื่อเริ่มมีแรงกระทำในช่วงแรกถึงช่วงกลางของแรงกระทำทั้งหมด จนเมื่อเริ่มเกิดรอยแตกร้าวที่ผนัง กราฟจะเริ่มกลายเป็นเส้นโค้งเนื่องจากมีค่าการเสียรูปที่มากขึ้นและแรงกระทำเริ่มน้อยลงจนเกิดการวิบัติในที่สุด ทั้งนี้ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเหมือนกันทั้งผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตปกติและผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

ตารางที่ 4.6 ค่าความแกร่งของผนังรับน้ำหนักแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างและแบบยึดรั้งด้านข้างจากการเสียรูปในแนวดิ่ง

ลำดับ	ผนัง	ขนาดช่องเปิด (m)	แรงกระทำ สูงสุด (ton)	ค่าการเสียรูป สูงสุด (mm)	ค่า Stiffness (ค่าความแกร่ง) (ton/mm)
1	W1N	0.60 x 0.50	115.5	12.0	10.2
2	W1C	0.60 x 0.50	58.7	9.8	6.1
3	W2N	1.00 x 0.35	75.2	10.0	7.7
4	W2C	1.00 x 0.35	45.6	8.0	5.8
5	W3N	50 x 100 และ 60 x 50	63.8	9.3	6.9
6	W3C	50 x 100 และ 60 x 50	44.3	8.5	5.3
7	W1N-R	0.60 x 0.50	124.5	9.8	13.8
8	W1C-R	0.60 x 0.50	81.2	8.5	10.5
9	W2N-R	1.00 x 0.35	87.8	8.0	11.9
10	W2C-R	1.00 x 0.35	52.4	6.4	8.9
11	W3N-R	50 x 100 และ 60 x 50	78.5	7.7	10.7
12	W3C-R	50 x 100 และ 60 x 50	65.3	7.2	9.8



ภาพที่ 4.12 ความแกร่ง (Stiffness) ในแนวดิ่งของผนังรับน้ำหนักทั้ง 12 ตัวอย่าง

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติมีค่าความแกร่งที่มากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสในทุกรูปแบบเช่นผนัง W1N W2N W3N มีค่าความแกร่งเท่ากับ 10.2 7.7 และ 6.9 ton/mm มากกว่าผนัง W1C W2C W3C มีค่าความแกร่งเท่ากับ 6.6 5.9 และ 4.9 ton/mm และผนัง W1N-R W2N-R W3N-R ที่ผลิตด้วยคอนกรีตปกติมีค่าความแกร่งเท่ากับ 13.8 11.9 และ 10.7 ton/mm มากกว่าผนัง W1C-R W2C-R W3C-R ที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีค่าความแกร่งเท่ากับ 10.5 8.9 และ 9.8 ton/mm จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าไม่ว่าจะเป็นการทดสอบแบบยึดรั้งด้านข้างหรือไม่ยึดรั้งด้านข้าง ผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติก็มีค่าความแกร่งมากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส เนื่องจากผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปดติก่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ผลิตและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ใช้ในการผลิตมากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจึงเมื่อนำมาคำนวณตามสมการที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของผนังคอนกรีตปกติมีค่ามากกว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.7

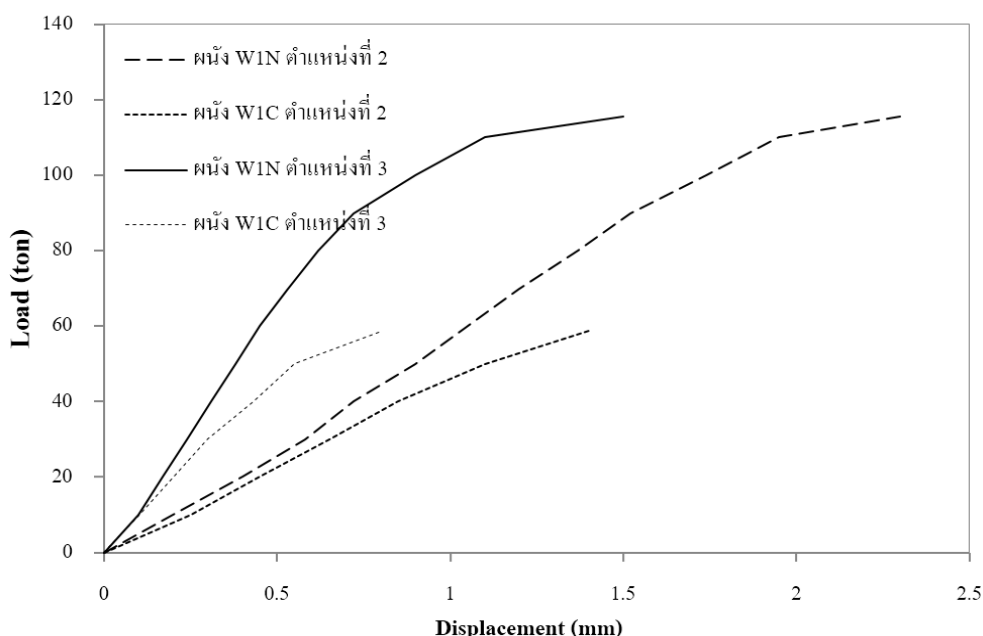
ตารางที่ 4.7 ค่าโมดูลัสคอนกรีต

ลำดับ	ผนัง	ชนิดของคอนกรีต	โมดูลัส (N/m ²)
1	W1N, W2N, W3N	คอนกรีตปกติ	239,237
2	W1C, W2C, W3C	คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส	136,412
3	W1N-R, W2N-R, W3N-R	คอนกรีตปกติ	222,917
4	W1C-R, W2C-R, W3C-R	คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส	132,458

ค่าโมดูลัสที่มากกว่านั้นส่งผลให้ผนังเสียรูปได้ยาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบ คือ แรงกระทำเท่ากันผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์จะเสียรูปมากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติ ทั้งที่ตัวอย่างทดสอบมีขนาดเท่ากันทุกประการ จากข้อมูลยังแสดงให้เห็นว่าผนังที่ขนาดของช่องเปิดที่เล็กจะมีค่าความแข็งแรงมากกว่าผนังที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ เช่น ผนัง W1 ที่มีขนาดช่องเปิดเล็กที่สุดตามมาด้วยผนัง W2 และผนัง W3 จะมีค่าความแข็งแรงจากมากไปน้อยตามลำดับเว้นแต่ผนัง W3C-R ที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 9.8 ton/mm มากกว่าผนัง W2C-R ที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 8.9 ton/mm ทั้งที่ผนัง W3C-R มีขนาดช่องเปิดที่ใหญ่กว่าผนัง W2C-R เป็นเพราะผนัง W3C-R สามารถรับแรงกระทำได้มากกว่าผนัง W2C-R อีกทั้งยังมีการเสียรูปที่น้อยกว่า สำหรับการทดสอบด้วยวิธียึดรั้งด้านข้างและไม่ยึดรั้งด้านข้าง ผลที่ได้คือผนังแบบยึดรั้งด้านข้างจะมีค่าความแข็งแรงกว่าผนังที่ทดสอบแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างทุกกรณี และค่าการเสียรูปสูงสุดของผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตปกติมีค่ามากกว่าผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ทุกกรณี

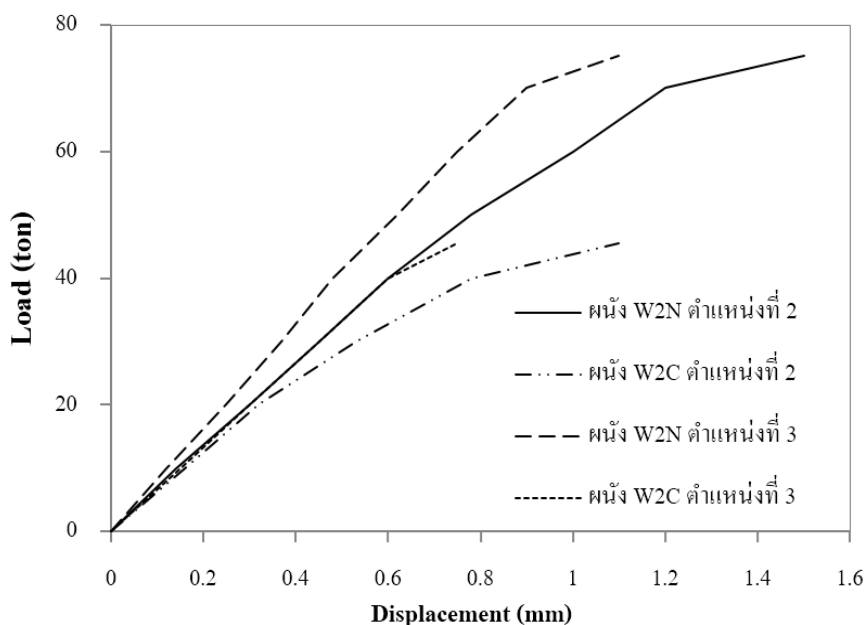
4.4.2 การเสียรูปในแนวนอนของผนังรับน้ำหนัก

จากการทดสอบผนังรับน้ำหนักได้บันทึกค่าการเสียรูปในแนวนอนเพื่อนำมาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเสียรูป เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความต่างของผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ ทั้งแบบยึดรั้งด้านข้างและไม่ยึดรั้งด้านข้าง โดยค่าที่ได้จะแสดงในภาพที่ 4.13 - 4.18 เป็นการเปรียบเทียบผนังรับน้ำหนักที่มีขนาดเท่ากัน ช่องเปิดเท่ากัน ทดสอบด้วยวิธีเดียวกัน แต่ต่างกันที่คอนกรีตที่ใช้ในการผลิต ในส่วนของการบันทึกผลตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องบันทึกผลคือตำแหน่งเดียวกัน ในกรณีที่มี 1 ช่องเปิดจะติดตั้งบริเวณข้างช่องเปิดและบนช่องเปิด ส่วนกรณี 2 ช่องเปิดจะติดตั้งบริเวณกึ่งกลางผนังระหว่างช่องเปิดทั้ง 2



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวนอน ณ ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 ของผนัง W1N และ W1C แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง

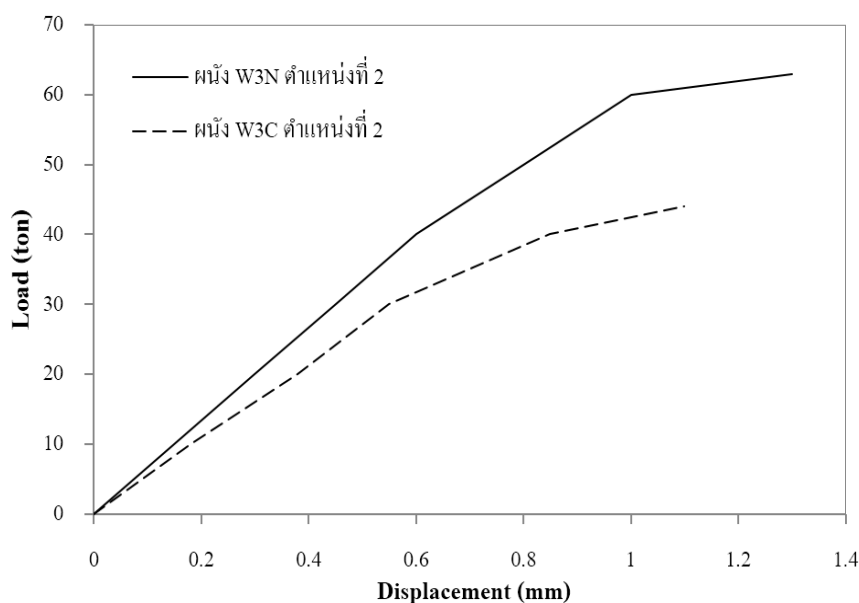
ภาพที่ 4.13 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของแรงและการเสียรูปในแนวนอนของผนัง W1N และ W1C กดทดสอบแบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง จากกราฟจะเป็นการเสียรูปที่ ณ ตำแหน่งที่สองและตำแหน่งที่สามบนผนังรับน้ำหนัก ตามภาพที่ 3.11 ณ ตำแหน่งที่สอง คือ บริเวณด้านข้างของช่องเปิดผนังรับน้ำหนักจะมีการเสียรูปที่มากกว่าตำแหน่งที่สามเพราะการกดทดสอบแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างผนังจะเริ่มเกิดรอยร้าวในแนวนอนพุ่งเข้าสู่กลางผนัง ตัดผ่านช่องเปิด ทั้งนี้ความรุนแรงของรอยแตกที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับแรงกระทำ โดยรอยร้าวของผนัง W1N และ W1C เริ่มเกิดขึ้นที่แรงกระทำ 20 - 30 ตัน เป็นรอยร้าวขนาดเล็ก เมื่อแรงกระทำขึ้นไปถึง 50 ตัน รอยร้าวบนผนัง W1C เริ่มขยายตัวมากขึ้นที่บริเวณมุมบนของช่องเปิดและเกิดการวิบัติที่แรงกระทำ 58.7 ตัน ส่วนผนัง W1N สามารถรับแรงได้มากกว่าและเริ่มเกิดรอยร้าวขนาดใหญ่เมื่อแรงกระทำที่ 90 - 110 ตัน จนเกิดการวิบัติที่ 115.5 ตัน ส่งผลให้ผนัง W1N ที่รับแรงได้มากกว่าจึงมีการเสียรูปที่มากกว่าผนัง W1C แต่ ณ แรงกระทำที่เท่ากันผนัง W1N จะเสียรูปน้อยกว่าผนัง W1C เป็นผลมาจากคอนกรีตที่ใช้ในการผลิตนั้นต่างชนิดกันและมีค่ากำลังรับแรงอัดต่างกันส่งผลให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของผนัง W1N มีค่ามากกว่าผนัง W1C



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวนอน ณ ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 ของผนัง W2N และ W2C แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง

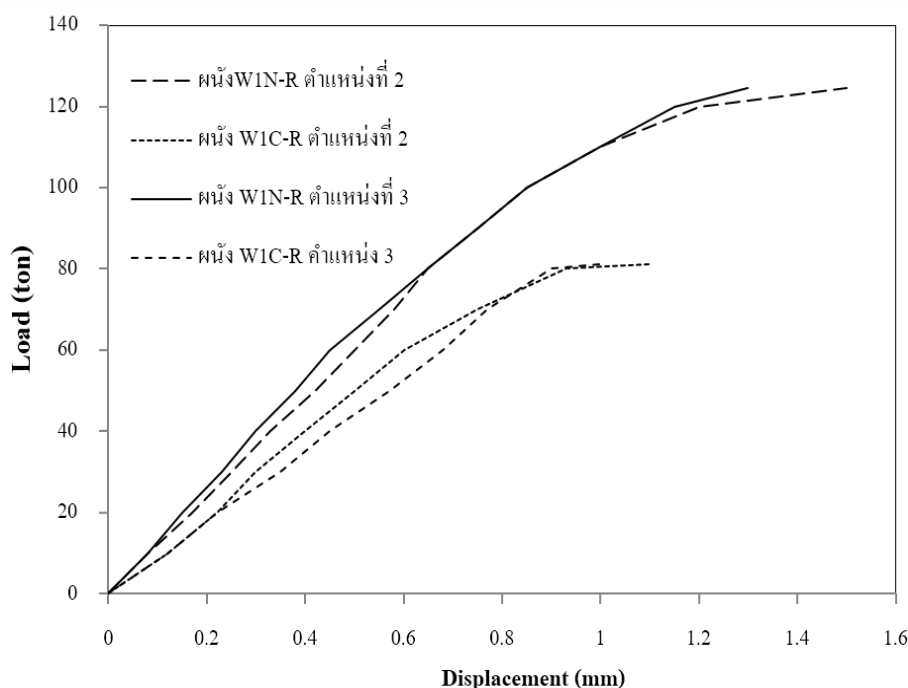
ภาพที่ 4.14 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเสียรูปด้านข้างของผนังรับน้ำหนัก W2N และ W2C ซึ่งผนังทั้งสองจะมีช่องเปิดขนาด 1.00×0.35 m เป็นช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่กว่าผนัง W1N และ W1C ส่งผลให้ผนัง W2N และ W2C รับน้ำหนักได้เท่ากับ 75.2 ton และ 45.6 ton ตามลำดับซึ่งน้อยกว่าผนัง W1N และ ผนัง W1C ที่สามารถรับน้ำหนักได้เท่ากับ 115.5 ton และ 58.7 ton ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่าค่าการเสียรูปของผนังชุดที่สองมีค่าน้อยกว่าผนังชุดที่หนึ่ง เพราะผนังชุดที่สองรับแรงได้น้อยกว่า เนื่องจากผนังชุดที่สองมีช่องเปิดขนาดใหญ่กว่าผนังชุดที่หนึ่ง

และการวิบัติที่เกิดขึ้นในผนังชุดที่สองมีความรุนแรงกว่า จะเห็นได้ชัดในตัวอย่างผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า และการวิบัติจะเกิดขึ้นแบบฉับพลัน



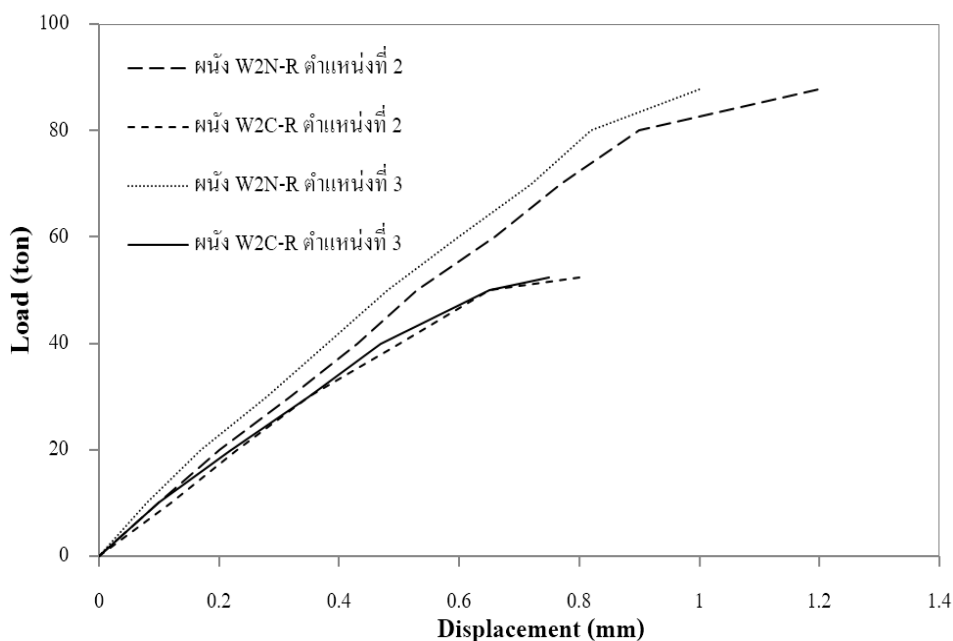
ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวนอน ณ ตำแหน่งที่ 2 ของผนัง W3N และ W3C แบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง

ภาพที่ 4.15 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเสียรูปด้านข้างของผนังรับน้ำหนัก W3N และ W3C ซึ่งผนังทั้งสองจะมีช่องเปิดสองช่อง ขนาด 1.00×0.50 m และ 0.50×0.60 m จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผนังเกิดการเสียรูปที่บริเวณมุมบนของช่องเปิดระหว่างช่องเปิดทั้งสอง เพราะเป็นบริเวณที่มีพื้นที่น้อยที่สุด เนื่องจากช่องเปิดทั้งสองห่างกันเพียง 0.30 m จึงเกิดการวิบัติที่บริเวณนี้ ค่าการเสียรูปแสดงให้เห็นว่าช่องเปิดมีผลต่อการเสียรูปของผนังรับน้ำหนักด้วยยิ่งผนังที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ก็ยิ่งรับแรงได้น้อยและช่องเปิดที่อยู่บนผนังถ้ามีระยะที่ใกล้กันมากบริเวณระหว่างช่องเปิดจะเป็นจุดที่เกิดการวิบัติ



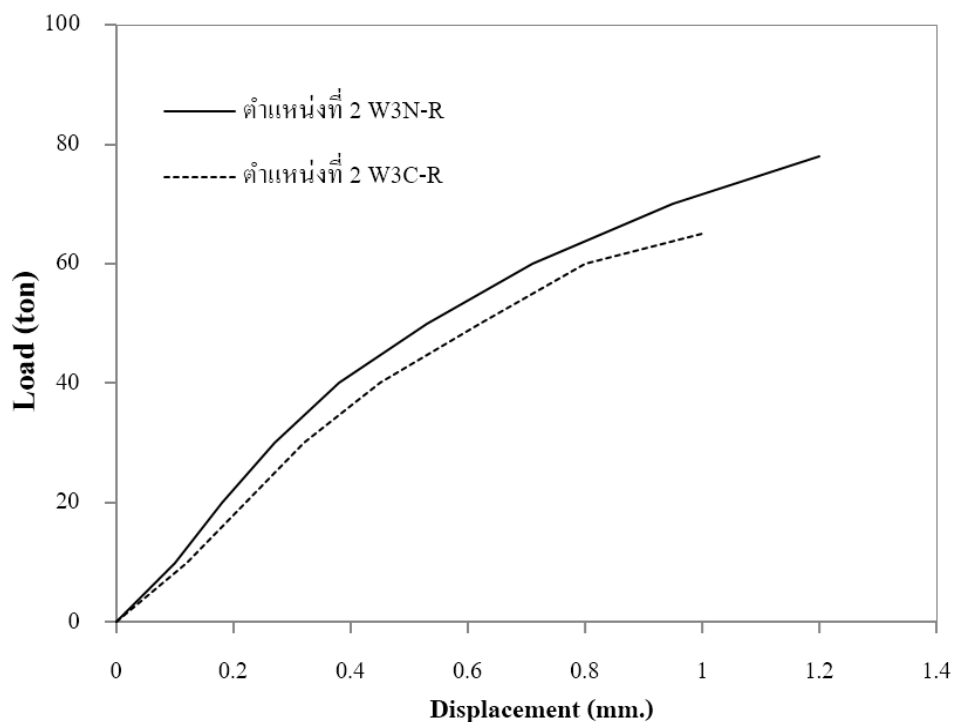
ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวนอน ณ ตำแหน่งที่ 2 และ ตำแหน่งที่ 3 ของผนัง W1N-R และ W1C-R แบบยึดรั้งด้านข้าง

ภาพที่ 4.16 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการเสียรูปในตำแหน่งที่สองและสาม ดังรูปที่ 3.11 ผนังรับน้ำหนัก W1N-R และ W1C-R คือผนังที่มีช่องเปิดขนาด 0.50×0.60 ton ผลิตด้วยคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า กดทดสอบด้วยวิธีการยึดรั้งด้านข้าง ซึ่งผนัง W1N-R สามารถรับน้ำหนักได้ 124.5 ton และผนัง W1C-R รับน้ำหนักได้ 81.2 ตัน ซึ่งมากกว่าผนัง W1N และผนัง W1C ที่มีขนาดเท่ากัน เนื่องจากการทดสอบผนังแบบยึดรั้งด้านข้าง ซึ่งการยึดรั้งด้านข้างจะช่วยให้ผนังมีความแข็งแรงมากขึ้นและสามารถรับแรงได้มากขึ้น เสียรูปยากขึ้น จากการทดสอบพบว่าผนัง W1N-R เริ่มมีรอยร้าวเกิดขึ้นที่แรงกระทำตั้งแต่ 40 ton เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นไปถึง 80 ton ผนังเริ่มมีการโก่งตัว รอยแตกจะเริ่มขยายตัวมากขึ้นที่บริเวณมุมบนของช่องเปิดพุ่งออกด้านข้างของผนังรับน้ำหนัก และผนังวิบัติที่แรงกระทำเท่ากับ 124.5 ton ในส่วนของผนัง W1C-R จะให้ผลที่สอดคล้องกับผนัง W1N-R แต่รอยร้าวจะเริ่มเกิดขึ้นที่แรงกระทำเท่ากับ 25 ton ซึ่งน้อยกว่าผนัง W1N-R และวิบัติในลักษณะเดียวกันแต่การวิบัติของผนัง W1C-R นั้นจะมีความรุนแรงมากกว่า



ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวนอน ณ ตำแหน่งที่ 2 และ ตำแหน่งที่ 3 ของผนัง W2N-R และ W2C-R แบบยึดรั้งด้านข้าง

ผนัง W2N-R และผนัง W2C-R ผนังทั้งสองจะมีช่องเปิดขนาด 1.00×0.35 m เป็นช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่กว่าผนัง W1N-R และ W1C-R ในการทดสอบแบบยึดรั้งด้านข้างมีค่าการเสียรูปในแนวนอนที่สอดคล้องกับผนัง W2N และผนัง W2C ในตำแหน่งที่สองบริเวณด้านข้างของช่องเปิด ผนัง W2N-R และผนัง W2C-R มีค่าการเสียรูปที่น้อยกว่ากว่าผนัง W2N และผนัง W2C เนื่องจากการยึดรั้งด้านข้างส่งผลให้ผนังมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นสามารถรับแรงได้มากขึ้น และเสียรูปได้มากขึ้น ทั้งนี้กราฟยังแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตปกติมีค่าการเสียรูปที่น้อยกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลล์ที่แรงกับทำเท่ากัน

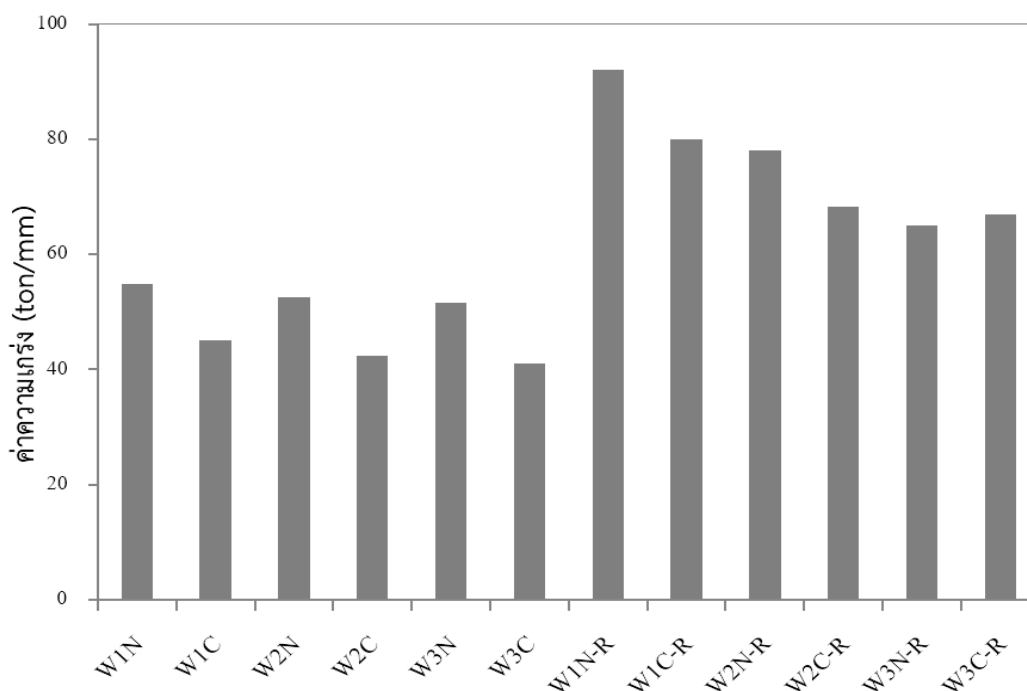


ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวนอน ณ ตำแหน่งที่ 2 ของผนัง W3N-R และ W3C-R แบบยึดตั้งด้านข้าง

ผนัง W3N-R และผนัง W3C-R เป็นผนังที่มีสองช่องเปิด ทดสอบด้วยวิธีการยึดตั้งด้านข้าง จากภาพที่ 4.18 พบว่าผนัง W3N-R สามารถรับแรงได้เท่ากับ 78.5 ตัน และผนัง W3C-R รับแรงได้เท่ากับ 65.3 ตัน ในการทดสอบได้วัดค่าการเสียรูปในแนวนอนที่ตำแหน่งระหว่างสองช่องเปิด เพราะเป็นพื้นที่บริเวณตรงกลางผนังและมีพื้นที่น้อยที่สุดจึงเกิดการวิบัติขึ้นที่บริเวณดังกล่าว โดยการวิบัติผนังรับน้ำหนักแบบคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเกิดการวิบัติก่อน และค่าการเสียรูปมีค่าน้อยกว่าผนังคอนกรีตปกติ การวิบัติจะเกิดขึ้นแบบฉับพลัน

ตารางที่ 4.8 ค่าความแกร่งของผนังรับน้ำหนักแบบไม่มียึดรั้งด้านข้างและแบบยึดรั้งด้านข้างจากการเสีรูปในแนวนอน

ลำดับ	ผนัง	ขนาดช่องเปิด (m)	แรงกระทำสูงสุด (ton)	ค่าการเสีรูปสูงสุด ตำแหน่งที่ 2 (mm)	ค่า Stiffness (ค่าความแกร่ง) ตำแหน่งที่ 2 (ton/mm)
1	W1N	0.60 x 0.50	115.5	1.5	54.9
2	W1C	0.60 x 0.50	58.7	1.4	43.6
3	W2N	1.00 x 0.35	75.2	1.5	52.2
4	W2C	1.00 x 0.35	45.6	1.1	42.1
5	W3N	50 x 100 และ 60 x 50	63.8	1.3	51.4
6	W3C	50 x 100 และ 60 x 50	44.3	1.1	41.0
7	W1N-R	0.60 x 0.50	124.5	1.5	91.8
8	W1C-R	0.60 x 0.50	81.2	1.1	80.0
9	W2N-R	1.00 x 0.35	87.8	1.2	78.1
10	W2C-R	1.00 x 0.35	52.4	0.8	68.3
11	W3N-R	50 x 100 และ 60 x 50	78.5	1.2	65.0
12	W3C-R	50 x 100 และ 60 x 50	65.3	1	67.0



ภาพที่ 4.19 ความแกร่ง (Stiffness) ในแนวนอนของผนังรับน้ำหนัก ณ ตำแหน่งที่ 2

ผลการทดสอบพบว่าผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตปกติมีค่ากำลังรับแรงที่มากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส อีกทั้งการเสียรูปของตัวผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีตปกติเกิดการเสียรูปที่น้อยกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเมื่อแรงกระทำเท่ากัน ซึ่งผลที่ได้จากการบันทึกผลการเสียรูปในแนวนอนแสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกับผลทดสอบค่าการเสียรูปในแนวตั้ง ในส่วนของค่าความแกร่งที่ได้จากกราฟระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปในแนวนอน ค่าความแกร่งจากกราฟในแนวนอนมีค่ามากกว่าค่าความแกร่งจากกราฟในแนวตั้ง

4.5 ลักษณะการวิบัติของผนังรับน้ำหนัก

จากการทดสอบผนังรับน้ำหนักทั้ง 12 ตัวอย่าง จะเห็นได้ชัดว่าการทดสอบกรณีที่ 1 แบบไม่มีการยึดรั้งด้านข้างทั้งสองข้าง ผนังจะเกิดรอยร้าวในแนวนอนตัดผ่านตัวชิ้นงานและแยกตัวชิ้นงานออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งความรุนแรงของรอยร้าวที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ในการผลิตผนัง เนื่องจากค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตปกติสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ทำให้ที่แรงกระทำเท่ากันผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติจะเสียรูปน้อยกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส และผนังคอนกรีตปกติยังสามารถรับแรงได้มากกว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส อีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้รอยร้าวที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงที่แตกต่างกัน คือค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ซึ่งค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตปกติมีค่ามากกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส จึงเกิดการเสียรูปน้อยกว่าที่แรงกระทำเท่ากัน ทั้งนี้จากการทดสอบผนังจะเกิดการวิบัติดังแสดงในภาพที่ 4.20 – 4.55

4.5.1 ลักษณะการวิบัติของผนังรับน้ำหนักแบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง

4.5.1.1 ลักษณะการวิบัติของผนังคอนกรีตปกติและผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส
1 ช่องเปิดขนาด 0.50x0.60 m กดทดสอบโดยไม่ยึดรั้งด้านข้างดังภาพที่ 4.20 – 4.22

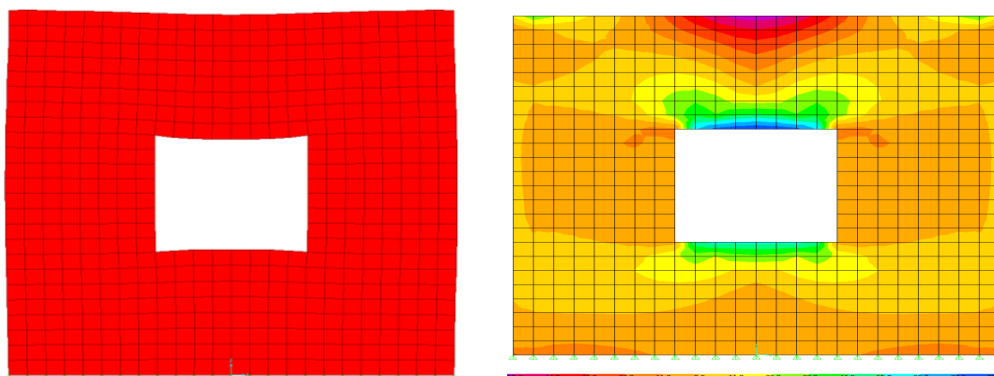


(ก) การวิบัติช่วงที่ 1 ผนัง W1N



(ข) การวิบัติช่วงที่ 1 ผนัง W1C

ภาพที่ 4.20 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W1N และผนัง W1C



(ค) แบบจำลองการเสียรูปช่วงที่ 1 ผนัง W1 (ง) แรงกระทำที่เกิดขึ้นในผนังช่วงที่ 1 ผนัง W1

ภาพที่ 4.20 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W1N และผนัง W1C

จากการทดสอบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตปกติ W1N และผนังรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส W1C ที่มีหนึ่งช่องเปิด ขนาด 0.60×0.50 m แบบไม่ยึดรั้งด้านข้างได้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการวิบัติอันแบ่งเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่หนึ่งจะเกิดรอยร้าวบริเวณเหนือช่องเปิดทิศทางของรอยร้าวจะเกิดในแนวดิ่ง ดังรูป 4.20 (ก) และ (ข) ในวงกลมสีแดง ซึ่งรอยร้าวนี้เกิดจากเมื่อผนังมีแรงมากกระทำในแนวดิ่งจะเริ่มเสียรูปดังภาพที่ 4.20 (ค) ซึ่งการเสียรูปนี้เป็นการเสียรูปในแนวดิ่งทิศทางตามแรงกระทำส่งผลให้เกิดแรงดึงขึ้นที่บริเวณเหนือช่องเปิดดังภาพที่ 4.20 (ง) จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นว่าพื้นที่สีน้ำเงินซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดแรงดึงสูงสุดขึ้นนั้นจะเป็นบริเวณที่เกิดรอยแตกขึ้นบนผนังรับน้ำหนัก

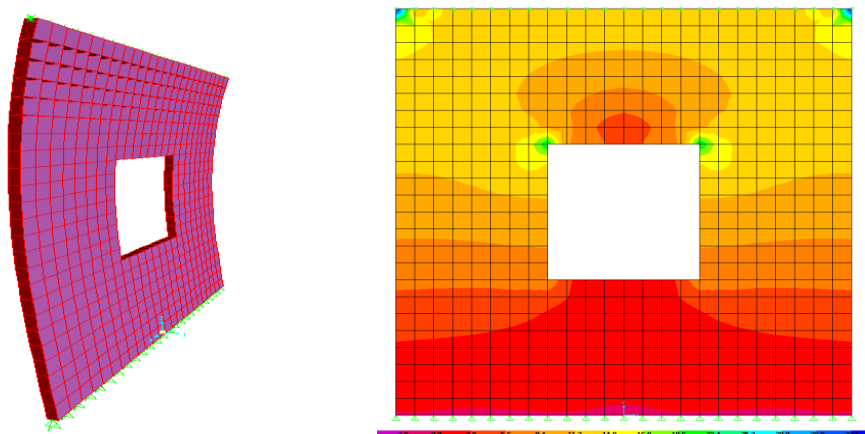


(ก) การวิบัติช่วงที่ 2 ผนัง W1N



(ข) การวิบัติช่วงที่ 2 ผนัง W1C

ภาพที่ 4.21 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W1N และผนัง W1C



(ค) แบบจำลองการเสียรูปช่วงที่ 2 ผนัง W1 (ง) แรงกระทำที่เกิดขึ้นในผนังช่วงที่ 2 ผนัง W1

ภาพที่ 4.21 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W1N และผนัง W1C (ต่อ)

หลังจากเพิ่มแรงกระทำมากขึ้นผนังจะเริ่มเสียรูปในแบบที่สองคือการเสียรูปในแนวนอน ดังภาพที่ 4.21 (ค) จะเกิดรอยร้าวขึ้นบริเวณมุมบนของช่องเปิดด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน ดังภาพที่ 4.20 (ก) และ (ข) ในวงกลมสีแดง จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่าบริเวณมุมบนของช่องเปิดจะมีพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยม ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดแรงดึงขึ้นในตัวผนัง ดังภาพที่ 4.20 (ง) จึงเป็นบริเวณที่เกิดรอยร้าวขึ้นบนผนัง รอยร้าวนี้จะมีทิศทางในแนวนอนตัดผ่านช่องเปิดทั้งนี้ความรุนแรงของการวิบัติขึ้นอยู่กับชนิดของคอนกรีต



(ก) การวิบัติโดยรวมผนัง W1N



(ข) การวิบัติโดยรวมผนัง W1C

ภาพที่ 4.22 ลักษณะการวิบัติโดยรวมของผนัง W1N และผนัง W1C

จากการทดสอบพบว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีการวิบัติที่รุนแรงกว่า ผนังคอนกรีตปกติดังแสดงในภาพที่ 4.22 (ก) และ (ข) และการวิบัติที่เกิดขึ้นนั้นมึลักษณะเป็นการวิบัติแบบฉับพลัน ทั้งนี้ผนังทั้งสองมีการวิบัติในลักษณะที่คล้ายกัน แต่รอยร้าวที่เกิดขึ้นทั้งหมดบนผนังคอนกรีตปกติมีน้อยกว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส เป็นเพราะในเนื้อคอนกรีตปกติที่ใช้ใน

การผลิตผนังมีหินซึ่งช่วยในการรับแรง ทำให้ผนังไม่ฉีกขาดออกจากกันและการวิบัติไม่รุนแรงเท่ากับผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

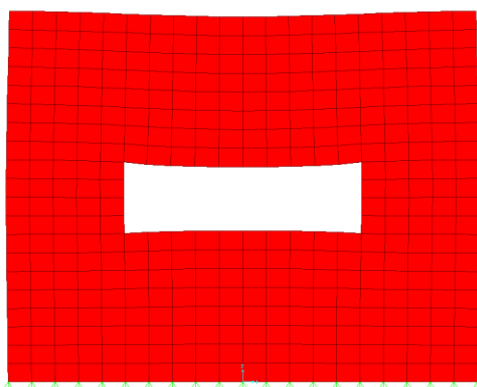
4.5.1.2 ลักษณะการวิบัติของผนังคอนกรีตปกติและผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า
หนึ่งช่องเปิดขนาด 1.00×0.35 m กดทดสอบโดยไม่ยึดรั้งด้านข้างดังภาพที่ 4.23 – 4.25



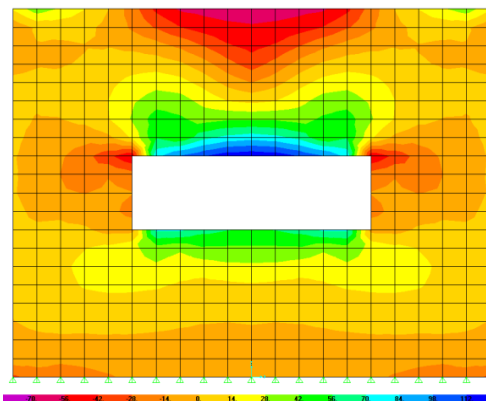
(ก) การวิบัติช่วงที่ 1 ผนัง W2N



(ข) การวิบัติช่วงที่ 1 ผนัง W2C



(ค) แบบจำลองการเสียรูปช่วงที่ 1 ผนัง W2



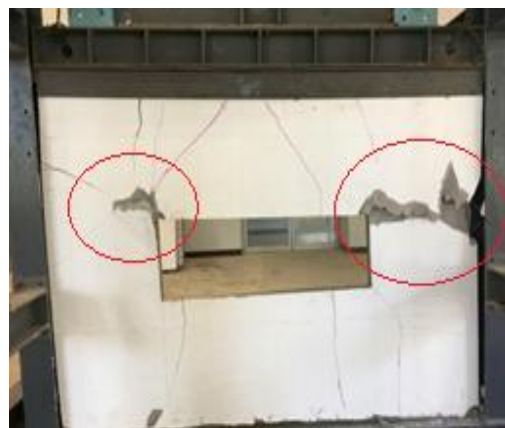
(ง) แรงกระทำที่เกิดขึ้นในผนังช่วงที่ 1 ผนัง W2

ภาพที่ 4.23 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W2N และผนัง W2C

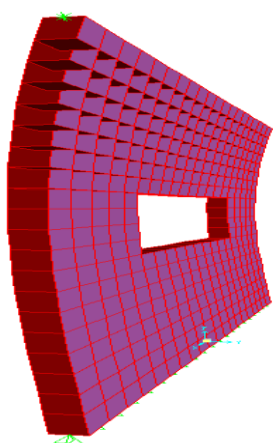
จากการทดสอบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตปกติ W2N และผนังรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า W2C ที่มีหนึ่งช่องเปิด ขนาด 1.00×0.35 m แบบไม่ยึดรั้งด้านข้างได้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการวิบัติอันแบ่งเป็นสองช่วงเช่นเดียวกับผนัง W1 คือช่วงที่หนึ่งจะเกิดรอยร้าวบริเวณเหนือช่องเปิด ทิศทางของรอยร้าวจะเกิดในแนวตั้งดังภาพที่ 4.23 (ก) และ (ข) ซึ่งรอยร้าวนี้เกิดจากเมื่อผนังมีแรงมากระทำในแนวตั้งจะเริ่มตัวผนังจะเริ่มเสียรูปดังภาพที่ 4.23 (ค) ซึ่งการเสียรูปนี้ส่งผลให้เกิดแรงดึงขึ้นที่บริเวณเหนือช่องเปิดดังภาพที่ 4.23 (ง) จะเห็นว่าพื้นที่สีน้ำเงินซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดแรงดึงสูงสุดขึ้นนั้นจะเป็นบริเวณที่เกิดรอยแตกขึ้นบนผนังรับน้ำหนัก



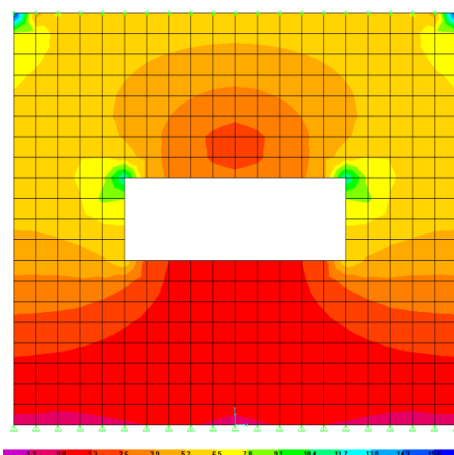
(ก) การวิบัติช่วงที่ 2 ผนัง W2N



(ข) การวิบัติช่วงที่ 2 ผนัง W2C



(ค) แบบจำลองการเสียรูปช่วงที่ 2 ผนัง W1



(ง) แรงกระทำที่เกิดขึ้นในผนังช่วงที่ 2 ผนัง W1

ภาพที่ 4.24 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W2N และผนัง W2C

หลังจากเพิ่มแรงกระทำมากขึ้นผนังจะเริ่มเสียรูปในแบบที่สองคือการเสียรูปในแนวนอน ดังภาพที่ 4.24 (ค) รอยร้าวนี้จะเกิดขึ้นบริเวณมุมบนของช่องเปิดด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน ดังภาพที่ 4.24 (ก) และ (ข) จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ภาพที่ 4.24 (ง) แสดงให้เห็นว่าบริเวณมุมช่องเปิดจะมีพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดแรงดึงขึ้นจึงเป็นบริเวณที่เกิดรอยร้าวขึ้นบนผนัง รอยร้าวนี้จะมีทิศทางในแนวนอนตัดผ่านช่องเปิด การเสียรูปนี้เป็นลักษณะของการวิบัติแบบไม่ยืดหยุ่น ด้านข้างเนื่องจากเมื่อผนังถูกแรงกระทำอย่างมากจะเกิดการหักแบบพับเช่นเดียวกับผนัง W1



(ก) การวิบัติโดยรวมผนัง W2N



(ข) การวิบัติโดยรวมผนัง W2C

ภาพที่ 4.25 ลักษณะการวิบัติโดยรวมของผนัง W2N และผนัง W2C

จากการพบว่าผนังคอนกรีตปกติสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส และเมื่อเปรียบเทียบผนัง W2N และผนัง W2C พบว่าผนัง W2C มีการวิบัติที่รุนแรงกว่าผนัง W2N ซึ่งมีผลสอดคล้องกับผนังชุด W1 และเมื่อเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักระหว่างผนังชุด W1 และผนังชุด W2 ผนังชุด W2 จะมีการรับน้ำหนักที่ต่ำกว่าเนื่องจากผนัง W2 มีพื้นที่ช่องเปิดที่ใหญ่กว่าจึงส่งผลให้รับแรงได้น้อยกว่าและผนังชุด W2 จะมีการวิบัติที่รุนแรงกว่าผนัง W1 ทั้งแบบคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสซึ่งผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าขนาดของช่องเปิดก็เป็นปัจจัยสำคัญต่อกำลังรับน้ำหนักและลักษณะการวิบัติของผนังเช่นกัน

4.5.1.3 ลักษณะการวิบัติของผนังคอนกรีตปกติและผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส 2 ช่องเปิดขนาด 0.50×0.60 m และ 1.00×0.50 m กดทดสอบโดยไม่ยึดรั้งด้านข้างดังภาพที่ 4.26 ถึงภาพที่ 4.28

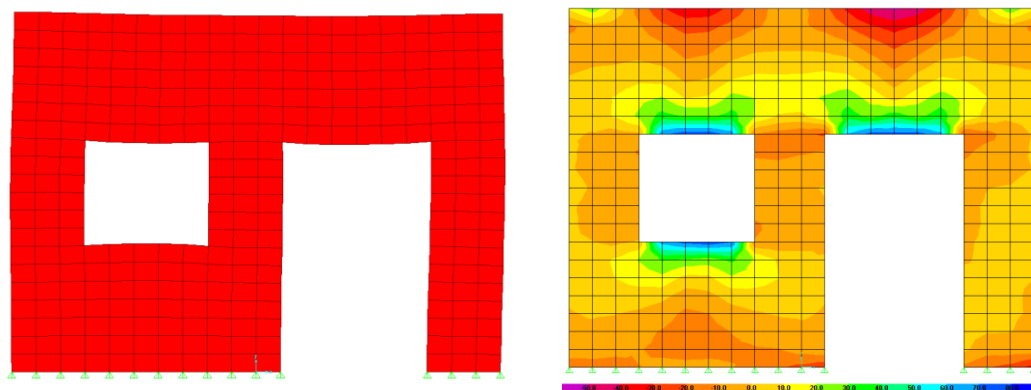


(ก) การวิบัติช่วงที่ 1 ผนัง W3N



(ข) การวิบัติช่วงที่ 1 ผนัง W3C

ภาพที่ 4.26 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W3N และผนัง W3C



(ค) แบบจำลองการเสีรูปช่วงที่ 1 ผนัง W3 (ง) แรงกระทำที่เกิดขึ้นในผนังช่วงที่ 1 ผนัง W3

ภาพที่ 4.26 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W3N และผนัง W3C (ต่อ)

จากการทดสอบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตปกติ W3N และผนังรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า W3C ที่มีสองช่องเปิด ขนาด 0.50×1.00 m และ 0.60×0.50 m แบบไม่ยึดตั้งด้านข้างได้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการวิบัติที่แบ่งออกเป็นสองช่วงเช่นเดียวกับผนัง W1 และผนัง W2 ในช่วงที่หนึ่งเมื่อผนังรับแรงกระทำจะเกิดการเสีรูปตามภาพที่ 4.26 (ค) ซึ่งการเสีรูปนี้ส่งผลให้เกิดรอยร้าวบริเวณเหนือช่องเปิดดังภาพที่ 4.26 (ก) และ (ข) จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ภาพที่ 4.26 (ง) ได้แสดงให้เห็นว่าพื้นที่บริเวณสีน้ำเงินคือบริเวณที่เกิดแรงดึงสูงสุดในผนัง ส่งผลให้เกิดรอยร้าวในแนวตั้งบริเวณเหนือช่องเปิดเช่นเดียวกับผนัง W1 และผนัง W2 ซึ่งมีความสอดคล้องกันในส่วนของพฤติกรรมการวิบัติ

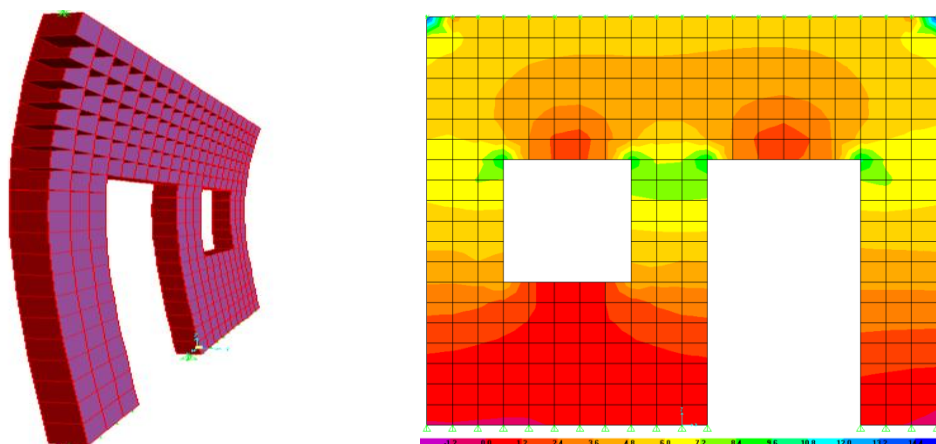


(ก) การวิบัติช่วงที่ 2 ผนัง W3N



(ข) การวิบัติช่วงที่ 2 ผนัง W3C

ภาพที่ 4.27 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W3N และผนัง W3C



(ค) แบบจำลองการเสียรูปช่วงที่ 2 ผนัง W3 (ง) แรงกระทำที่เกิดขึ้นในผนังช่วงที่ 2 ผนัง W3

ภาพที่ 4.27 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W3N และผนัง W3C (ต่อ)

ช่วงที่ 2 เป็นการวิบัติในแนวนอนของผนังตามพฤติกรรมการวิบัติของผนังแบบไม่ยึดรั้งมีความสอดคล้องกับผนัง W1 และผนัง W2 เช่นกัน แต่ความต่างระหว่างการวิบัติของผนัง W3N และผนัง W3C คือตำแหน่งการวิบัติที่บริเวณมุมบนของช่องเปิด จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการวิบัติของผนัง W3N มีการวิบัติหนึ่งตำแหน่งดังภาพที่ 4.27 (ก) แต่ผนัง W3C มีการวิบัติสองตำแหน่งดังภาพที่ 4.27 (ข) ซึ่งตรงกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังภาพที่ 4.27 (ง) แสดงให้เห็นมีแรงดึงเกิดขึ้นที่มุมของช่องเปิด แต่สาเหตุการวิบัติที่ต่างกันของผนังทั้งสองเนื่องจากการวิบัติช่วงที่สองผนังจะเกิดการเสียรูปในแนวนอนส่งผลให้ผนัง W3C ที่ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ไม่มีหินเป็นส่วนประกอบ มีพฤติกรรมการวิบัติต่างจากผนังคอนกรีตปกติเพราะหินจะช่วยในการรับแรงที่เกิดขึ้นในตัวผนังและรอยร้าวที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางระหว่างหินและเนื้อมอร์ต้า โดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างหินและมอร์ต้าจะเป็นตัวควบคุมทิศทางการแตก และด้วยคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ไม่มีหินเป็นส่วนประกอบทำให้บริเวณทั้งสองตำแหน่งได้รับแรงกระทำใกล้เคียงกัน จึงเกิดการเสียรูปเท่ากันๆ และวิบัติพร้อมกันในที่สุด จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผนัง W3N ที่มีเนื้อหินเป็นส่วนประกอบในเนื้อคอนกรีตจะมีการวิบัติที่ไม่รุนแรงเมื่อเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส



(ก) การวิบัติโดยรวมผนัง W3N



(ข) การวิบัติโดยรวมผนัง W3C

ภาพที่ 4.28 ลักษณะการวิบัติโดยรวมของผนัง W3N และผนัง W3C

จากการพบว่าผนังคอนกรีตปกติสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส แต่เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ปรากฏว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า และเมื่อเปรียบเทียบผนัง W3N และผนัง W3C พบว่าผนัง W3C มีการวิบัติที่รุนแรงกว่าผนัง W3N ดังภาพที่ 4.28 (ก) และ (ข) ซึ่งมีผลสอดคล้องกับผนังชุด W1 และผนัง W2 และเมื่อเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักระหว่างผนังชุด W1 ผนังชุด W2 และผนังชุด W3 พบว่าผนังชุด W3 จะมีค่าการรับน้ำหนักที่ต่ำกว่าเนื่องจากผนัง W3 มีพื้นที่ช่องเปิดที่ใหญ่กว่าจึงส่งผลให้รับแรงได้น้อยกว่าและผนังชุด W3 จะมีการวิบัติที่รุนแรงกว่าผนังชุด W1 และผนังชุด W2 ทั้งแบบคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสซึ่งผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าขนาดของช่องเปิดก็เป็นปัจจัยสำคัญต่อกำลังรับน้ำหนักและลักษณะการวิบัติของผนังเช่นกัน

จากการทดสอบผนังทั้งสามชุดแสดงให้เห็นว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส อีกทั้งผนังที่มีช่องเปิดใหญ่ขึ้นยังมีการวิบัติที่รุนแรงมากขึ้นและรอยร้าวจะเกิดเพิ่มมากขึ้นเช่นกันทั้งในกรณีของคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

4.5.2 ลักษณะการวิบัติของผนังรับน้ำหนักแบบยึดรั้งด้านข้าง

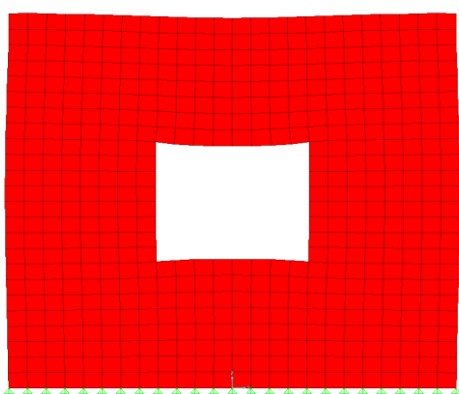
4.5.2.1 ลักษณะการวิบัติของผนังคอนกรีตปกติและผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส
1 ช่องเปิดขนาด 0.50x0.60 m กดทดสอบโดยยึดรั้งด้านข้างดังภาพที่ 4.29 – 4.31



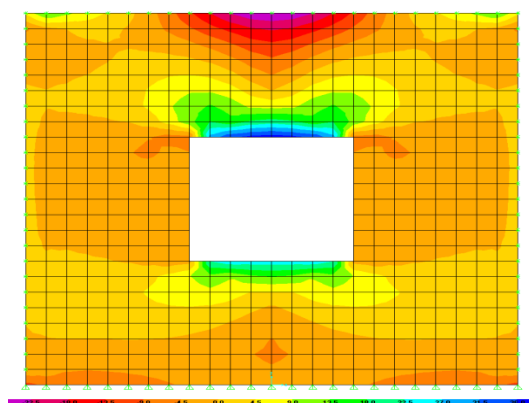
(ก) การวิบัติช่วงที่ 1 ผนัง W1N-R



(ข) การวิบัติช่วงที่ 1 ผนัง W1C-R



(ค) แบบจำลองการเสียรูปช่วงที่ 1 ผนัง W1-R



(ง) แรงกระทำที่เกิดขึ้นในผนังช่วงที่ 1 ผนัง W1-R

ภาพที่ 4.29 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W1N-R และผนัง W1C-R

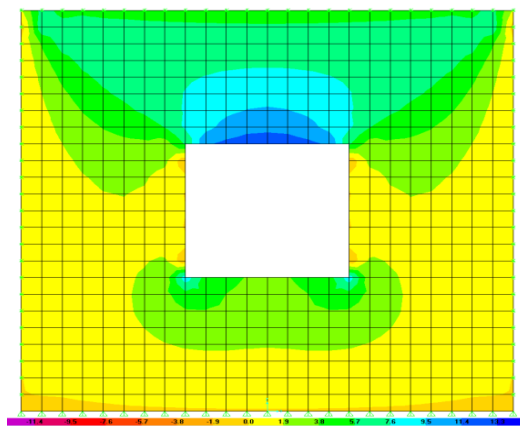
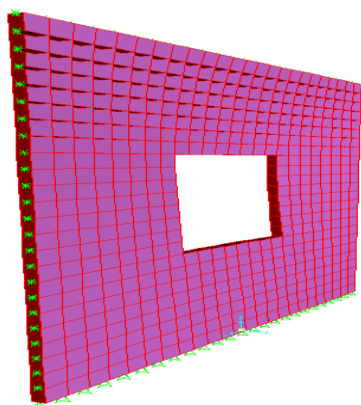
จากการทดสอบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตปกติ W1N-R และผนังรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส W1C-R ที่มีหนึ่งช่องเปิด ขนาด 0.60×0.50 m แบบยึดตั้งด้านข้างได้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการวิบัติคือผนัง W1N-R และผนัง W1C-R มีการวิบัติแบ่งเป็นสองช่วง โดยในช่วงที่หนึ่งจะมีการเสียรูปเช่นเดียวกับผนังแบบไม่ยึดตั้งด้านข้างดังภาพที่ 4.29 (ค) เป็นการเสียรูปของการรับแรงในแนวตั้ง จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นว่าเกิดแรงดึงขึ้นบริเวณเหนือช่องเปิดดังภาพที่ 4.29 (ง) ซึ่งบริเวณสีน้ำเงินเป็นบริเวณที่เกิดหน่วยแรงดึงสูงสุดทำให้เกิดรอยร้าวในแนวตั้งเหนือช่องเปิดดังภาพที่ 4.29 (ก) และ (ข) เช่นเดียวกันกับผนังสามชุดแรก



(ก) การวิบัติช่วงที่ 2 ผนัง W1N-R



(ข) การวิบัติช่วงที่ 2 ผนัง W1C-R



(ค) แบบจำลองการเสียรูปช่วงที่ 2 ผนัง W1-R (ง) แรงกระทำที่เกิดขึ้นในผนังช่วงที่ 2 ผนัง W1-R

ภาพที่ 4.30 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W1N-R และผนัง W1C-R

การวิบัติช่วงที่ 2 การเสียรูปของผนังจะมีความแตกต่างกันออกไปดังแสดงในภาพที่ 4.30 (ค) จะเห็นว่า การโก่งตัวนี้เป็นผลมาจากการยึดรั้งด้านข้างของผนัง จากการทดสอบพบว่ารอยร้าวที่เกิดขึ้นมีทิศทางต่างจากสามชุดแรกคือ รอยร้าวจะเกิดขึ้นที่บริเวณมุมบนของช่องเปิด และมีทิศทางในแนวทแยงดังภาพที่ 4.30 (ก) และ (ข) ซึ่งการวิบัติในลักษณะนี้เป็นการวิบัติของผนังแบบยึดรั้งด้านข้าง จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ภาพที่ 4.30 (ง) แสดงให้เห็นว่าบริเวณมุมบนของช่องเปิดเกิดแรงดึงคือบริเวณสี่เหลี่ยมมีทิศทางในแนวทแยง ซึ่งแตกต่างจากผนังสามชุดแรกอย่างชัดเจน



(ก) การวิบัติโดยรวมผนัง W1N-R



(ข) การวิบัติโดยรวมผนัง W1C-R

ภาพที่ 4.31 ลักษณะการวิบัติโดยรวมของผนัง W1N-R และผนัง W1C-R

จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า อีกทั้งการยึดรั้งด้านข้างช่วยให้ผนังสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มมากขึ้น แต่ในการวิบัติจะเห็นว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีการวิบัติที่รุนแรงกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติดังภาพที่ 4.31 (ก) และ (ข) ซึ่งมีผลที่ได้สอดคล้องกันกับผนังทั้งสามชุดแรก

4.5.2.2 ลักษณะการวิบัติผนังคอนกรีตปกติและผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าหนึ่งช่องเปิดขนาด 1.00x0.35 m กดทดสอบโดยยึดรั้งด้านข้างดังภาพที่ 4.32 – 4.34

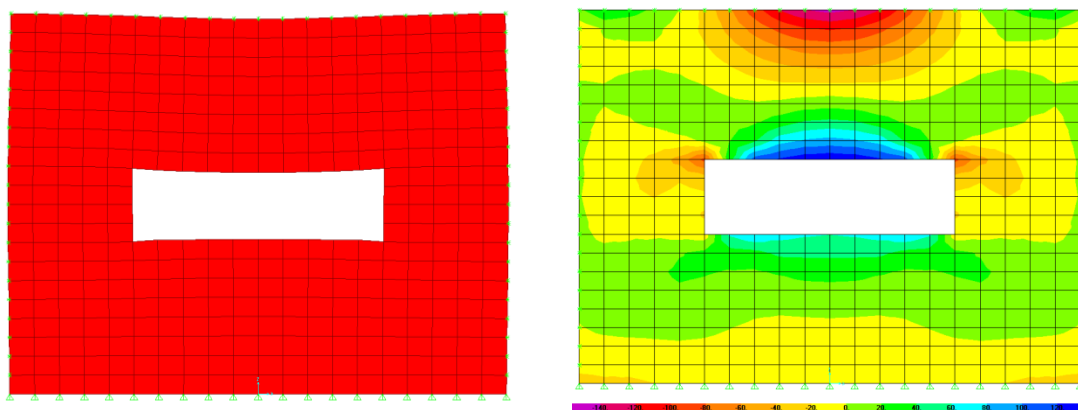


(ก) การวิบัติช่วงที่ 1 ผนัง W2N-R



(ข) การวิบัติช่วงที่ 1 ผนัง W2C-R

ภาพที่ 4.32 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W2N-R และผนัง W2C-R



(ค) แบบจำลองการเสียรูปช่วงที่ 1 ผนัง W2-R (ง) แรงกระทำที่เกิดขึ้นในผนังช่วงที่ 1 ผนัง W2-R

ภาพที่ 4.32 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W2N-R และผนัง W2C-R (ต่อ)

จากการทดสอบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตปกติ W2N-R และผนังรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส W2C-R ที่มีหนึ่งช่องเปิด ขนาด 1.00×0.35 m แบบยึดตั้งด้านข้างได้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการวิบัติอันแบ่งเป็นสองช่วงเช่นเดียวกับผนัง W1N-R คือช่วงที่หนึ่งผนังจะเกิดการเสียรูปดังภาพที่ 4.32 (ค) ซึ่งเป็นการเสียรูปในแนวดิ่ง จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ภาพที่ 4.32 (ง) ได้แสดงให้เห็นถึงการเกิดรอยร้าวบริเวณเหนือช่องเปิดคือบริเวณเหนือช่องเปิดจะเกิดแรงดึงขึ้นในบริเวณที่มีพื้นที่สีฟ้า ทิศทางของรอยร้าวจะเกิดในแนวดิ่งดังภาพที่ 4.32 (ก) และ (ข) ซึ่งการเสียรูปในช่วงแรกและรอยร้าวที่เกิดขึ้นนี้มีความคล้ายกับผนังที่ทดสอบมาทุกชุด

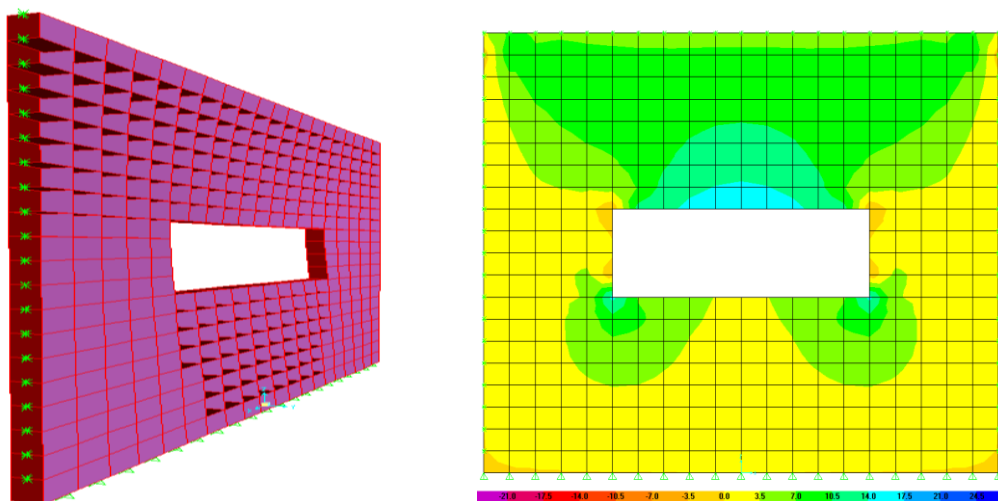


(ก) การวิบัติช่วงที่ 2 ผนัง W2N-R



(ข) การวิบัติช่วงที่ 2 ผนัง W2C-R

ภาพที่ 4.33 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W2N-R และผนัง W2C-R



(ค) แบบจำลองการเสียรูปช่วงที่ 2 ผนัง W2-R (ง) แรงกระทำที่เกิดขึ้นในผนังช่วงที่ 2 ผนัง W2-R

ภาพที่ 4.33 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W2N-R และผนัง W2C-R (ต่อ)

การเสียรูปในแบบที่สองคือการเสียรูปในแนวนอนดังภาพที่ 4.33 (ค) จะเกิดรอยร้าวขึ้นบริเวณมุมบนของช่องเปิดดังภาพที่ 4.33 (ก) และ (ข) มีทิศทางในแนวทแยงทั้งนี้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ภาพที่ 4.33 (ง) แสดงให้เห็นว่าจะเกิดแรงดึงในแนวทแยงบริเวณมุมของช่องเปิดคือบริเวณที่มีพื้นที่สี่เหลี่ยม ซึ่งมีผลสอดคล้องกับผนัง W1N-R และผนัง W1C-R



(ก) การวิบัติโดยรวมผนัง W2N-R



(ข) การวิบัติโดยรวมผนัง W2C-R

ภาพที่ 4.34 ลักษณะการวิบัติโดยรวมของผนัง W2N-R และผนัง W2C-R

จากการทดสอบพบว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า อีกทั้งการวิบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีความรุนแรงกว่าคอนกรีตปกติดังภาพที่ 4.34 (ก) และ (ข) เช่นเดียวกับผลทดสอบที่ผ่านมา และ

การทดสอบแบบยึดรั้งด้านข้างยังคงให้ค่าการรับน้ำหนักที่ดีกว่าแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างแม้จะต่างกันที่รูปแบบการวิบัติ

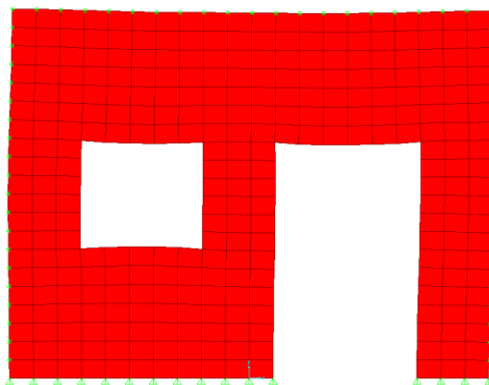
4.5.2.3 ลักษณะการวิบัติของผนังคอนกรีตปกติและผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า สองช่องเปิดขนาด 0.50×0.60 m และ 1.00×0.50 m ทดสอบโดยยึดรั้งด้านข้างดังภาพที่ 4.35 ถึง ภาพที่ 4.37



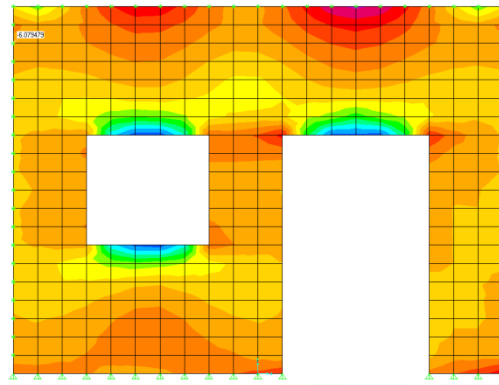
(ก) การวิบัติช่วงที่ 1 ผนัง W3N-R



(ข) การวิบัติช่วงที่ 1 ผนัง W3C-R



(ค) แบบจำลองการเสียรูปช่วงที่ 1 ผนัง W3-R



(ง) แรงกระทำที่เกิดขึ้นในผนังช่วงที่ 1 ผนัง W3-R

ภาพที่ 4.35 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 1 ของผนัง W3N-R และผนัง W3C-R

จากการทดสอบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตปกติ W3N-R และผนังรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า W3C-R ที่มีสองช่องเปิด ขนาด 0.50×1.00 m และ 0.60×0.50 m แบบยึดรั้งด้านข้าง ได้แสดงพฤติกรรมการวิบัติโดยแบ่งเป็นสองช่วง เช่นเดียวกับผนัง W3N และผนัง W3C โดยรอยร้าวในช่วงที่หนึ่งจะเกิดที่บริเวณเหนือช่องเปิดเป็นรอยร้าวในแนวตั้งดังภาพที่ 4.35 (ก) และ (ข) ซึ่งเป็นผลมาจากผนังได้รับแรงกระทำในแนวตั้งและเสียรูปดังภาพที่ 4.35 (ค) จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ภาพที่ 4.35 (ง) พบว่าบริเวณเหนือช่องเปิดเกิดแรงดึงสูงสุดขึ้นซึ่งเป็นบริเวณที่มีสิ

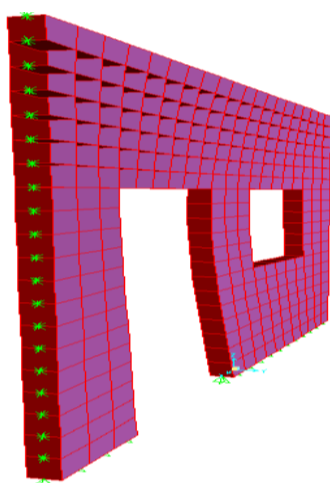
น้ำเงินซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดรอยร้าวบนผนังและผลการทดสอบที่ได้มีพฤติกรรมการวิบัติที่สอดคล้องกับผนังชุด W3



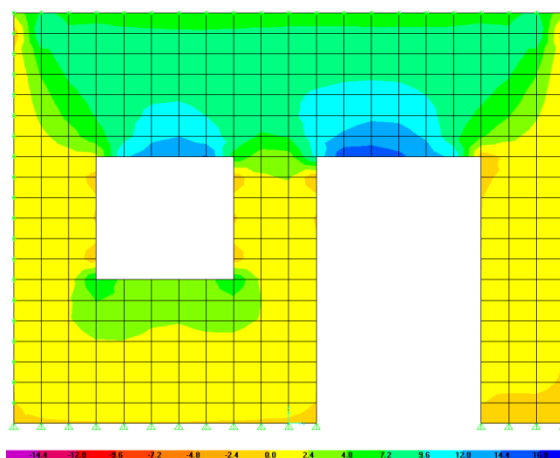
(ก) การวิบัติช่วงที่ 2 ผนัง W3N-R



(ข) การวิบัติช่วงที่ 2 ผนัง W3C-R



(ค) แบบจำลองการเสียรูปช่วงที่ 2 ผนัง W3-R



(ง) แรงกระทำที่เกิดขึ้นในผนังช่วงที่ 2 ผนัง W3-R

ภาพที่ 4.36 ลักษณะการวิบัติในช่วงที่ 2 ของผนัง W3N-R และผนัง W3C-R

พฤติกรรมในช่วงที่ 2 รอยร้าวจะเกิดขึ้นในที่มุมของช่องเปิดด้านใดด้านหนึ่งหรือเกิดขึ้นทั้งสองด้านดังภาพที่ 4.36 (ก) และ (ข) จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าบริเวณมุมบนของช่องเปิดเกิดแรงดึงขึ้นตามภาพที่ 4.36 (ง) ซึ่งบริเวณที่มีสีน้ำเงินจะเป็นบริเวณที่เกิดแรงดึงสูงสุดในตัวผนัง เป็นผลมาจากการเสียรูปในช่วงที่สองจากการทดสอบพบว่าผนังที่มีสองช่องเปิดแบบยึดรั้งด้านข้างจะให้ผลสอดคล้องกับผนังที่มีสองช่องเปิดแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างคือตำแหน่งของการวิบัติในผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะมีการวิบัติสองตำแหน่งดังภาพที่ 4.36 (ข) และผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติแบบยึดรั้งด้านข้างจะเกิดการวิบัติที่หนึ่งตำแหน่งดังภาพที่ 4.36 (ก)



(ก) การวิบัติโดยรวมผนัง W3N-R



(ข) การวิบัติโดยรวมผนัง W3C-R

ภาพที่ 4.37 ลักษณะการวิบัติโดยรวมของผนัง W3N-R และผนัง W3C-R

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติสามารถรับแรงได้มากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส และการวิบัติที่เกิดขึ้นในผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเกิดการวิบัติที่รุนแรงกว่าผนังคอนกรีตปกติดังภาพที่ 4.37 (ก) และ (ข) โดยผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกันกับผนังสองช่องเปิดแบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ารอยร้าวที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดขึ้นที่บริเวณเหนือช่องเปิดทุก ๆ ตัวอย่างที่ทดสอบ เนื่องจากการผนังจะมีการเสียรูปที่เหมือนกันในช่วงที่หนึ่งทั้งแบบยึดรั้งด้านข้างและไม่ยึดรั้งด้านข้าง และในช่วงที่สองรอยแตกจะมีทิศทางแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการทดสอบ เพราะการเสียรูปในช่วงที่สองของผนังรับน้ำหนักแบบยึดรั้งด้านข้างไม่เหมือนกับผนังรับน้ำหนักแบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง จากการทดสอบยังพบอีกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติจะมีการเสียรูปที่น้อยกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส เมื่อแรงกระทำเท่ากัน อีกทั้งการวิบัติที่เกิดขึ้นนั้นผนังคอนกรีตปกติจะไม่รุนแรงเท่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสในทุก ๆ ตัวอย่างทดสอบทั้งแบบยึดรั้งด้านข้างและไม่ยึดรั้งด้านข้าง ในส่วนของขนาดช่องเปิดก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังรับน้ำหนักของตัวผนังในกรณีที่ช่องเปิดมีขนาดใหญ่ ผนังก็รับน้ำหนักได้น้อย เกิดการเสียรูปได้ง่ายและวิบัติอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับผนังที่มีช่องเปิดขนาดเล็กกว่า สำหรับผนังที่มีสองช่องเปิดพฤติกรรมการณ์การวิบัติจะสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างกันของเนื้อวัสดุที่ใช้ในการผลิตอย่างชัดเจน เนื่องจากในผนังที่มี 2 ช่องเปิดตำแหน่งการวิบัติของผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะมีมากกว่าผนังคอนกรีตปกติทั้งแบบยึดรั้งด้านข้างและไม่ยึดรั้งด้านข้าง

บทที่ 5

บทนำ

5.1 สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากผนังรับน้ำหนักมีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเพราะประหยัดค่าใช้จ่ายและจากการทดสอบผนังรับน้ำหนักที่ผลิตจากคอนกรีต 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 คอนกรีตปกติมีผนัง ทั้งหมด 3 แบบ ทดสอบโดยการยัดรีดด้านข้างและไม่ยัดรีดด้านข้างรวม 6 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ 2 คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ทดสอบโดยการยัดรีดด้านข้างและไม่ยัดรีดด้านข้างเช่นกัน 6 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 12 ตัวอย่างจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า

5.1.1 ด้านการรับน้ำหนักผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักมากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสในกรณีไม่ยัดรีดด้านข้างคือผนัง W1N W2N มีค่าเท่ากับ 0.37 และ 0.24 มากกว่าผนัง W1C W2C ที่มีค่าเท่ากับ 0.28 และ 0.21 ซึ่งในการทดสอบแบบยัดรีดด้านข้างผลที่ได้มีความสอดคล้องกับแบบไม่ยัดรีดด้านข้างคือผนัง W1N-R W2N-R มีค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักเท่ากับ 0.46 และ 0.33 มากกว่าผนัง W1C-R W2C-R ที่มีค่าเท่ากับ 0.41 และ 0.26 เพราะผนังคอนกรีตปกติและผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีการวิบัติที่คล้ายกันและแรงอัดล้นจากโมเมนต์ซึ่งเกิดในผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีค่ามากกว่าผนังคอนกรีตปกติ ทำให้ผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสวิบัติด้วยกำลังรับน้ำหนักที่น้อยกว่าผนังคอนกรีตปกติแต่พบว่ากรณีผนัง W3 นั้นคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะให้ค่าประสิทธิภาพที่มากกว่าคอนกรีตปกติ คือผนัง W3C มีค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักเท่ากับ 0.21 มากกว่าผนัง W3N ที่มีค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักเท่ากับ 0.20 ซึ่งคิดเป็นความต่างเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์เช่นเดียวกับผนัง W3C-R ที่มีค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักเท่ากับ 0.33 มากกว่าผนัง W3N-R ที่มีค่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักเท่ากับ 0.29 คิดเป็นความต่างเท่ากับ 13.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกันทั้งแบบไม่ยัดรีดด้านข้างและแบบยัดรีดด้านข้าง ทั้งนี้เป็นผลมาจากลักษณะการวิบัติของผนังคอนกรีตปกติแตกต่างจากผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสคือผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะเกิดการวิบัติบนผนัง 2 ตำแหน่งแสดงให้เห็นถึงพื้นที่ในการรับแรงที่มากกว่าผนังคอนกรีตปกติที่เกิดการวิบัติ 1 ตำแหน่ง

5.1.2 ความแข็งแรงของผนังแบ่งเป็นการเสียรูปในแนวตั้งและแนวนอน พบว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตปกติมีความแข็งแรงมากกว่าผนังที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสในแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งในแนวตั้งผนัง W1N W2N และ W3N มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 10.2 7.7 และ 6.9 ton/mm ซึ่งมากกว่าผนัง W1C W2C และ W3C ที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 6.1 5.8 และ 5.3 ton/mm ซึ่งข้อมูลมีความสอดคล้องกันทั้งแบบไม่ยัดรีดด้านข้างและแบบยัดรีดด้านข้าง โดยผนัง W1N-R W2N-R และ W3N-R มีค่าเท่ากับ 13.8 11.9 และ 10.7 ton/mm ซึ่งมากกว่าผนัง W1C-R W2C-R และ W3C-R ที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 10.5 8.9 และ 9.8 ton/mm เป็นผลมาจากค่าโมดูลัส

ยืดหยุ่นของคอนกรีตปกติที่มากกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าส่งผลให้ผนังคอนกรีตปกติมีการเสีรรูปที่น้อยกว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

5.1.3 ลักษณะการวิบัติของผนังรับน้ำหนักในกรณีแบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง จากการทดสอบพบว่าช่วงแรกเมื่อผนังได้รับแรงกระทำในลักษณะของแรงกระทำกระจายสม่ำเสมอที่บริเวณด้านบนของผนัง ผนังจะเกิดการเสีรรูปในแนวตั้ง ทำให้เกิดแรงดึงบริเวณเหนือช่องเปิด เกิดรอยแตกร้าวในแนวตั้งบนผนัง และพฤติกรรมการวิบัติในช่วงแรกนี้จะเกิดขึ้นกับผนังทั้งแบบคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า สำหรับความรุนแรงของรอยร้าวที่เกิดขึ้นในผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า มีรอยร้าวและการเสีรรูปที่มากกว่าผนังคอนกรีตปกติ ช่วงต่อมาผนังจะเริ่มมีรอยร้าวบริเวณมุมของช่องเปิดและบริเวณด้านข้างช่องเปิดตัดผ่านตัวผนังในแนวนอนโดยรอยร้าวจะขยายขนาดเพิ่มขึ้นตามแรงกระทำที่มากขึ้นและนำไปสู่การวิบัติของผนังในที่สุด ซึ่งในผนัง W1 และ W2 ผนังคอนกรีตปกติและผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีลักษณะการวิบัติที่คล้ายกันแต่ในผนัง W3 ผนังคอนกรีตปกติมีการวิบัติที่ 1 ตำแหน่ง คือบริเวณด้านข้างช่องเปิดซึ่งต่างจากผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่วิบัติ 2 ตำแหน่งคือบริเวณตรงกลางระหว่างช่องเปิดและบริเวณด้านข้างช่องเปิด ซึ่งผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ายังคงมีการเสีรรูปและการวิบัติที่มีความรุนแรงกว่าผนังคอนกรีตปกติ ในกรณีพฤติกรรมการวิบัติของผนังแบบยึดรั้งด้านข้าง ในช่วงแรกจะมีลักษณะการเสีรรูปที่คล้ายกับแบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง แต่ในช่วงต่อมาพฤติกรรมการวิบัติของผนังจะเริ่มมีรอยร้าวบริเวณมุมของช่องเปิดแต่มีทิศทางในแนวทะแยงซึ่งต่างจากแบบไม่ยึดรั้งด้านข้าง เมื่อแรงกระทำเพิ่มมากขึ้นรอยร้าวจะขยายตัวมากขึ้นและนำไปสู่การวิบัติในที่สุด ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกันกับแบบไม่ยึดรั้งด้านข้างคือผนัง W1-R และ W2-R มีลักษณะการวิบัติที่คล้ายกันของคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าแต่ในผนัง W3-R การวิบัติมีลักษณะต่างกันคือผนังคอนกรีตปกติมีการวิบัติที่ 1 ตำแหน่งคือบริเวณด้านข้างช่องเปิดซึ่งต่างจากผนังคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่วิบัติ 2 ตำแหน่ง คือบริเวณตรงกลางระหว่างช่องเปิดและบริเวณด้านข้างช่องเปิด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาและสรุปทำให้ทราบความสามารถในการรับน้ำหนักของผนังรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าและผนังคอนกรีตปกติ และพฤติกรรมการวิบัติของผนังทั้ง 2 ชนิด โดยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.2.1 เนื่องจากพฤติกรรมการวิบัติของผนัง W3N และ W3C มีรูปแบบการวิบัติที่แตกต่างกัน แต่ผนัง W1 และ W2 มีรูปแบบการวิบัติที่คล้ายกันทั้งคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ดังนั้นควรศึกษาเพิ่มเติมถึงข้อแตกต่างในการวิบัติของผนัง W3

5.2.2 ในการทดสอบตัวผนังรับน้ำหนักควรทดสอบในกรณีเอียงศูนย์เพราะการทดสอบแบบเอียงศูนย์จะส่งผลให้ผนังมีลักษณะการวิบัติที่ชัดเจนมากกว่าการทดสอบแบบตรงศูนย์

5.2.3 การทดสอบควรมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในตัวผนัง เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- [1] อิทธิพล รัตนมงคลทิพย์. โมดูลัสยืดหยุ่นและอัตราส่วนปัวซองของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2553.
- [2] Theconcreteportal. “Figure 2. Complete stress-strain curve including post-peak response”, **Stress-Strain Behavior of Concrete**.
http://www.theconcreteportal.com/cons_rel.html. 5 กุมภาพันธ์, 2561.
- [3] ธนกร ทวีวุฒิ และนท แสงเทียน. “กำลังรับแรงอัดและการดัดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า”, **วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.** 8(1): 91-101; มกราคม-มิถุนายน, 2558.
- [4] ธนกร ทวีวุฒิ และคณะ. “กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า”, ใน **การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 9**. น. 91 - 102. พิษณุโลก: โรงแรมท็อปแลนด์, 2556.
- [5] เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย และคณะ. “การออกแบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตสำเร็จรูป”, **วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.** 1(1): 62-76; กรกฎาคม-ธันวาคม, 2551.
- [6] ชมรมวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. **เสาเข็มและระบบพื้นสำเร็จรูป**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521.
- [7] ACI 381. **Building Code Requirement for Reinforced Concrete ACI318-02**. Michigan: American Concrete Institute, 2002.
- [8] Doh, J.H. and Fragomeni, S. “Ultimate Load Formula for Reinforced Concrete Wall Panels with Openings”, **SAGE Journals**. 1(9): 103-115; February, 2006.
- [9] COMPUTER and STRUCTURE, Inc. (CSI). **SAP 2000**. California: University Avenue, Berkeley, 2003.
- [10] ณัฐนนท์ รัตนไชย. **การศึกษาการก่อสร้างอาคารพักอาศัยระบบชั้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแบบผนังรับน้ำหนัก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
- [11] Fragomeni, S., Doh, J.H. and Lee, D.J. “Behavior of Axially loaded concrete wall panels with Openings: An Experimental study”, **Advances in Structural Engineering**. 15(8): 1345-1358; August, 2012.
- [12] Lee, D.J. and et al. **Finite element analysis of reinforced concrete walls openings in one-and two-way action**. Griffith School of Engineering: Griffith University Gold Coast Campus, 2006.
- [13] Lee, D.J. **Experimental and theoretical studies of normal and high strength concrete wall panels with openings**. Doctor’s Thesis: Griffith University Gold Coast Campus, 2008.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

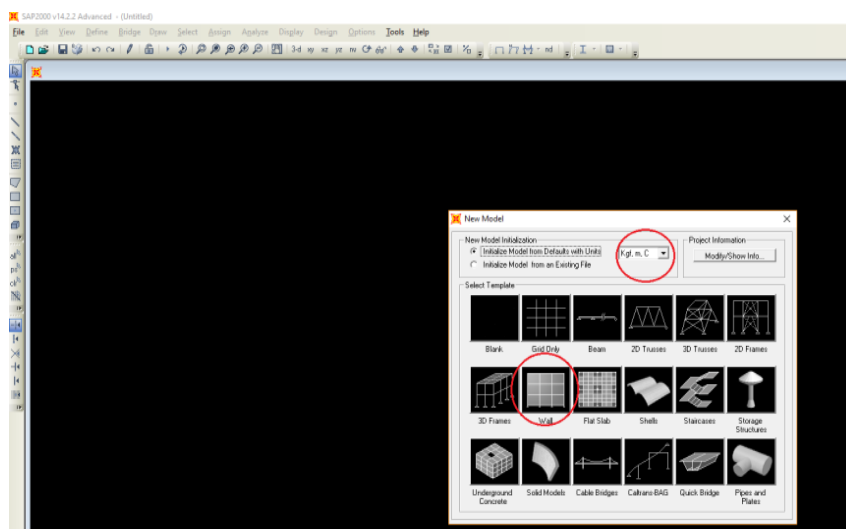
- [14] Jaseela, C.A. and P.R. Sreemahadevan Pillai. “Review on concrete structural wall with openings”, **International Research Journal of Engineering and Technology**. 4(3): 1641-1644; March, 2017.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์

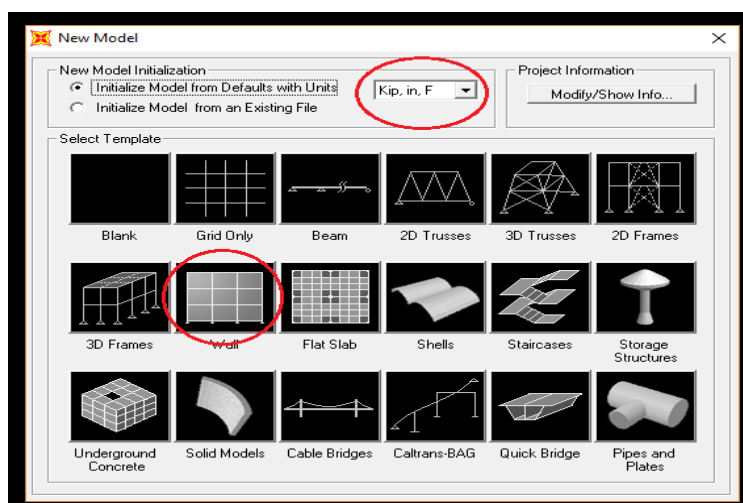
โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ [9]

เพื่อเป็นการวิเคราะห์รูปแบบการแตกร้าวและตำแหน่งที่เกิดรอยร้าวขึ้นบนผนังเมื่อได้รับแรงกระทำในลักษณะของน้ำหนักรบรรทุกแบบโหลดกระจายสม่ำเสมอ จึงได้ใช้โปรแกรม Sap2000 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างเข้ามาวิเคราะห์พฤติกรรมการวิบัติของผนังทั้ง 12 ตัวอย่าง โดยโปรแกรมสามารถแสดงในเห็นถึงแรงที่เกิดขึ้นในเนื้อผนัง เช่น บริเวณที่เกิดแรงดึงและแรงอัด การใช้โปรแกรม Sap2000 ในการวิเคราะห์จะมีข้อจำกัดคือไม่สามารถแสดงการวิบัติที่เกิดขึ้นแบบฉบับพลันได้ ในการวิเคราะห์ผนังทั้ง 12 ตัวอย่างได้ทำการสร้างแบบจำลอง

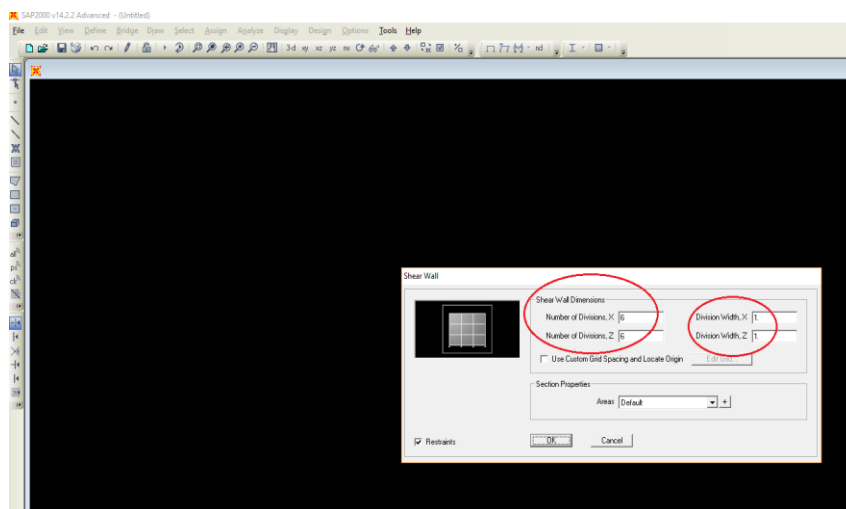


(ก) แบบจำลองด้วยโปรแกรม Sap2000

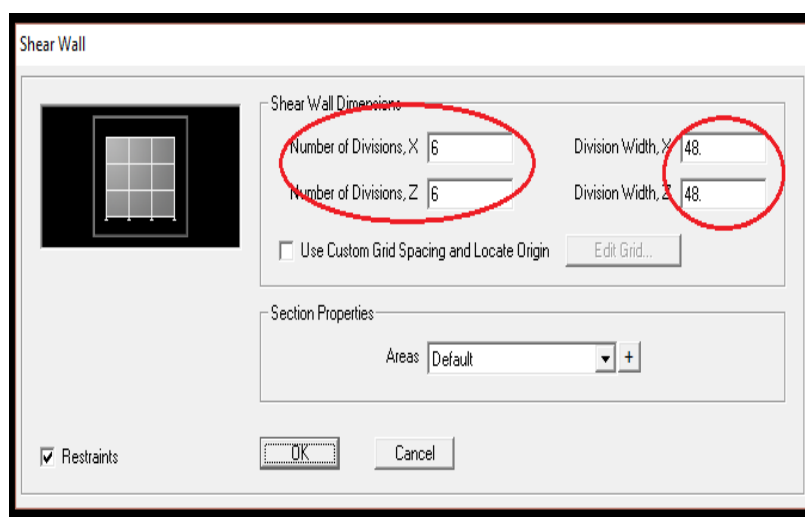
เลือกแบบจำลองที่ต้องการสร้างในที่นี้เลือกเป็นแบบผนังและเลือกหน่วยที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองดังแสดงในภาพที่ 3.18 (ก) บริเวณวงกลมสีแดง



(ข) แบบจำลองด้วยโปรแกรม Sap2000

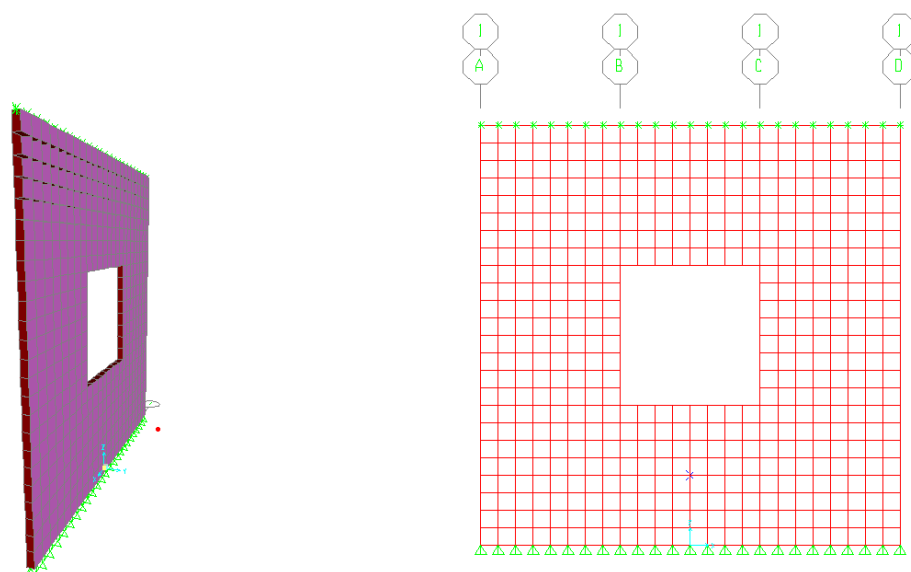


(ค) แบบจำลองด้วยโปรแกรม Sap2000



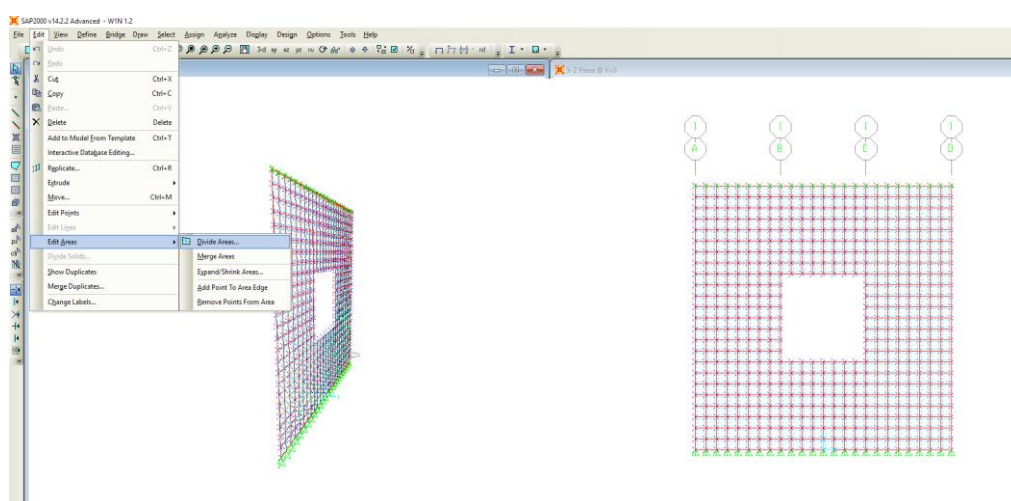
(ง)

ขั้นตอนต่อมาโปรแกรมจะให้กำหนดจำนวนช่องแบบจำลองและขนาดของแต่ละช่อง (ข) โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้เอง



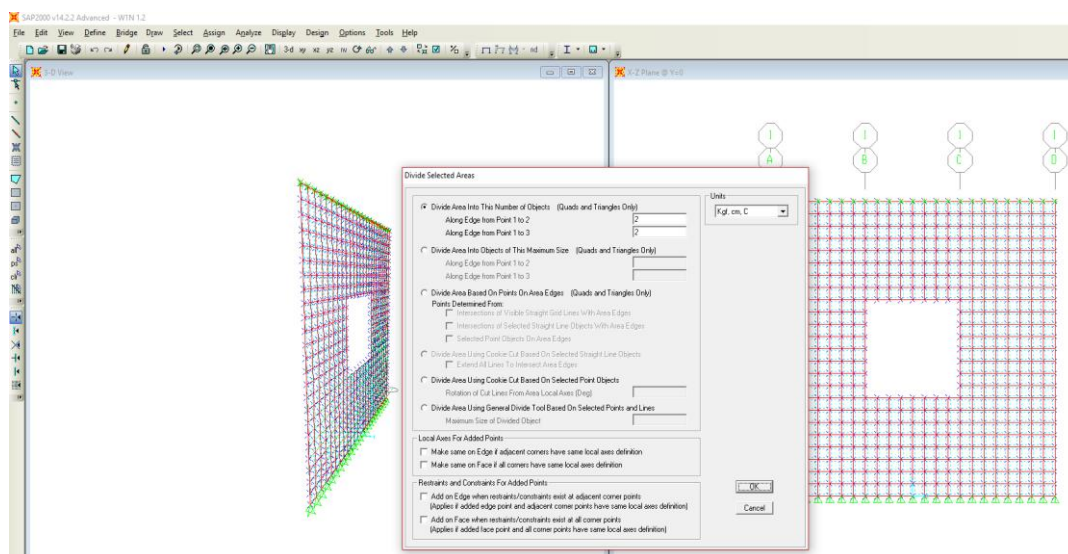
(จ) แบบจำลองด้วยโปรแกรม Sap2000

หลังจากได้รูปทรงของแบบจำลองตามต้องการแล้ว จะลดขนาดของช่องที่อยู่ในผนังเพื่อเพิ่มความละเอียดในการวิเคราะห์ข้อมูล



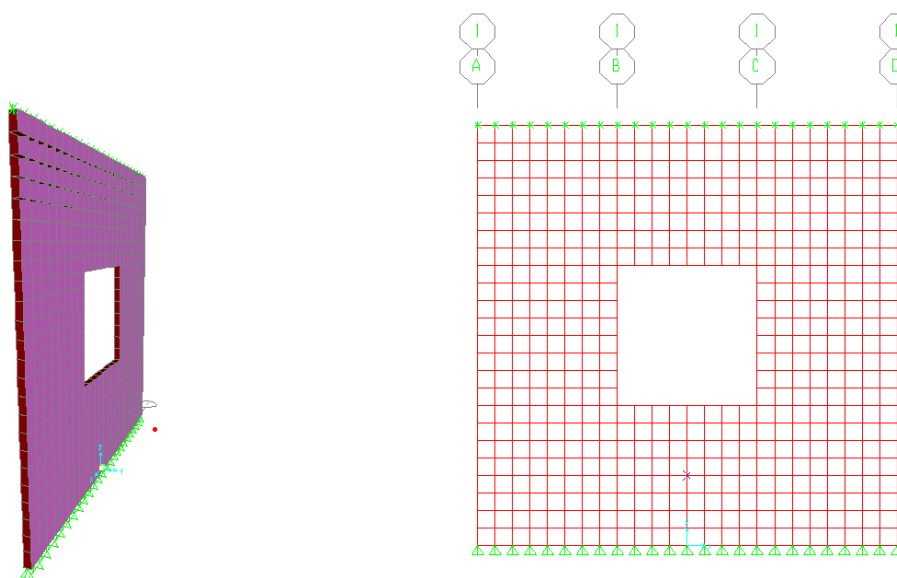
(ฉ) แบบจำลองด้วยโปรแกรม Sap2000

การแบ่ง Element ของแบบจำลองทำได้โดยเลือกพื้นที่ที่ต้องการ จากนั้นกดที่ Edit > Edit Areas > Divide Areas



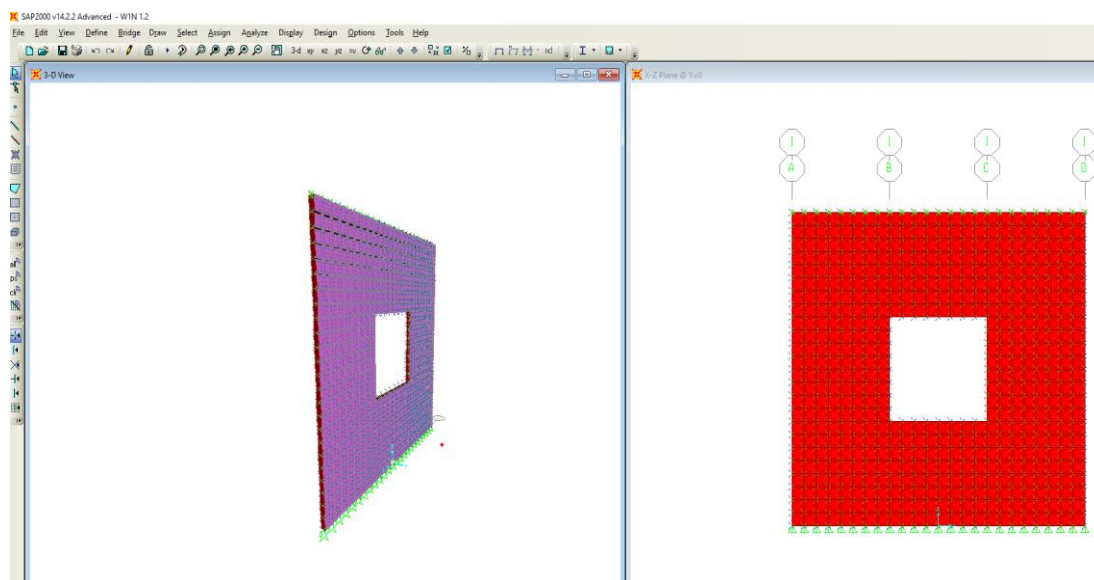
(ข) แบบจำลองด้วยโปรแกรม Sap2000

กรอกจำนวนช่องที่ต้องการ เช่นเมื่อผู้วิเคราะห์ต้องการแบ่งช่อง 1 ช่องให้เป็น 4 ช่องให้กรอกเลข 4 ในบริเวณวงกลมสีแดง โดยยิ่งแบ่งออกเป็นช่องที่มีขนาดเล็กมากจะยิ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ละเอียดมากขึ้นทั้งนี้ช่องมีขนาดเล็กเท่าใดระยะเวลาในการรันโปรแกรมก็จะมาเท่านั้น ดังนั้นจึงเลือกขนาดตามความเหมาะสมของงานเป็นหลัก



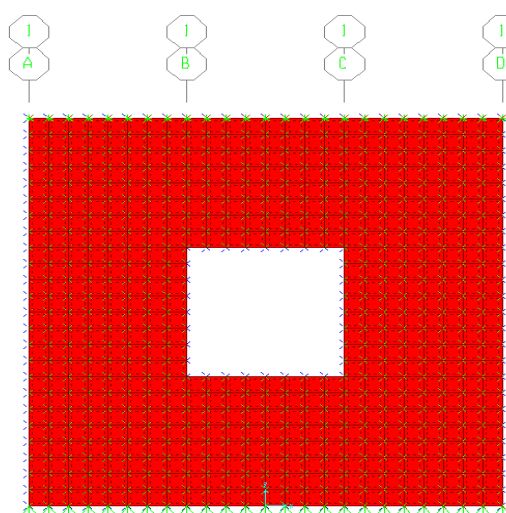
(ข) แบบจำลองด้วยโปรแกรม Sap2000

เมื่อได้จำนวนตามที่ต้องการแล้วให้กำหนดบริเวณที่จะทำเป็นช่องเปิดโดยการเลือกช่องนั้น ๆ และกด Delete เพื่อลบวัตถุ



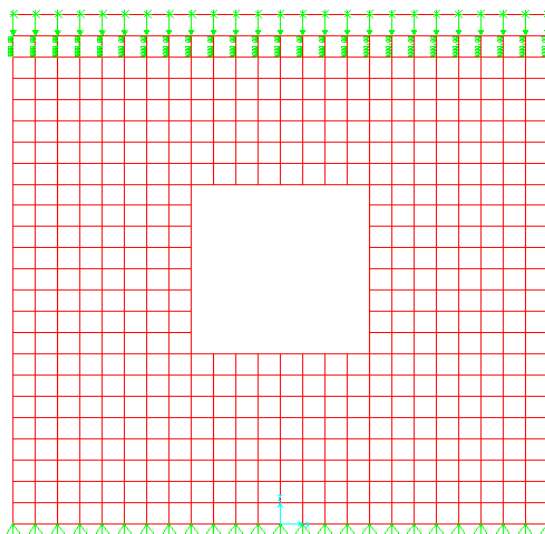
(ณ) แบบจำลองด้วยโปรแกรม Sap2000

เมื่อกำหนดขนาดช่องเปิดแล้ว ให้กำหนดวัสดุที่ใช้ก่อสร้างโดย Define > Materials > Modify/Show Material > กรอกค่าคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการผลิต > OK เมื่อกำหนดค่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตแล้วให้กำหนดขนาดของผนังโดย Define > Section Properties > Area Sections > Modify/Show Section > เลือก Shell Thick > กรอกความหนาตามที่ต้องการลงใน Thickness > OK



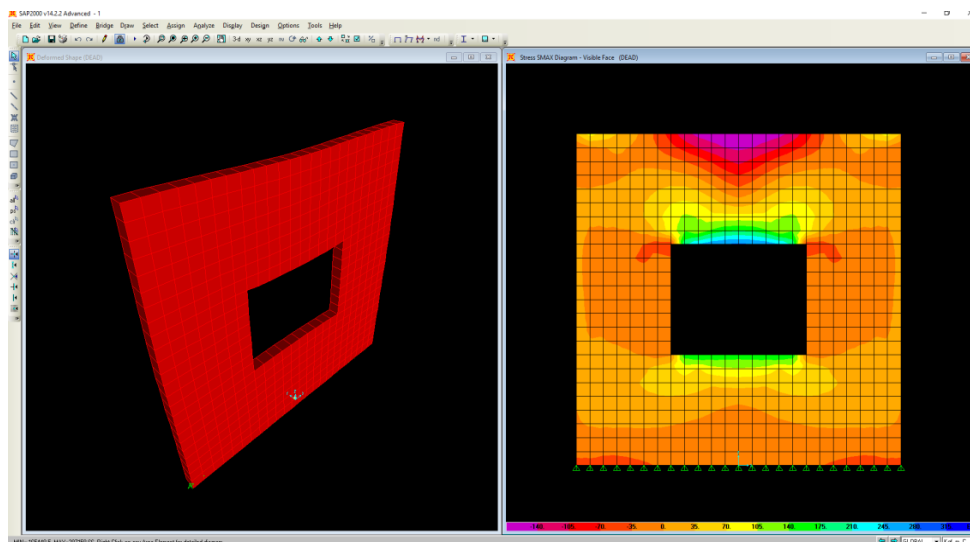
(ญ) แบบจำลองด้วยโปรแกรม Sap2000

การใส่จุดรองรับทำได้โดย เลือกบริเวณที่ต้องการใส่จุดรองรับแล้วกด Assign > Joint > Restraints > เลือกชนิดจุดรองรับตามต้องการ > OK



(ก) แบบจำลองด้วยโปรแกรม Sap2000

การใส่แรงกระทำทำได้โดย เลือกบริเวณที่ต้องการใส่แรงกระทำแล้วกด Assign > Joint Loads > Forces > ใส่แรงกระทำที่ต้องการลงในช่อง Force Global Z โดยใส่เครื่องหมายลบหน้าตัวเลขเพื่อเป็นการบอกทิศทางของแรงกระทำ > OK



(ก) แบบจำลองด้วยโปรแกรม Sap2000

ขั้นตอนสุดท้ายให้กด Run โปรแกรมจะเริ่มวิเคราะห์แบบจำลองที่ได้ทำไว้ทั้งนี้อาจจะใช้เวลาในการวิเคราะห์มากน้อยไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความสามารถของคอมพิวเตอร์ อีกทั้งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะเป็นการวิบัติในช่วงที่ 1 คือมีแรงกระทำตรงศูนย์แต่เมื่อผนังเริ่มมีการเสียรูปแรงกระทำจะเป็นจากตรงศูนย์เป็นเอียงศูนย์และในช่วงที่ 2 ของการวิบัติให้กรอกค่าแรงกระทำในช่องของโมเมนต์

เพราะแรงกระทำเยื้องศูนย์และเพิ่มจุดรองรับที่บริเวณด้านบนของผนังเพื่อป้องกันการเคลื่อนของ
ส่วนบนผนังเพื่อให้ตรงกับการติดตั้งและการทดสอบจริง

ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของผนัง

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของผนังที่ 1 WIN

ลำดับ	แรง (ตัน)	ค่าอ่านจาก Dial Gauge		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
1	0	0	0	0
2	10	0.7	0.2	0.1
3	20	1.7	0.4	0.17
4	30	2.7	0.58	0.24
5	40	3.8	0.72	0.31
6	50	4.8	0.9	0.38
7	60	5.8	1.05	0.45
8	70	6.6	1.2	0.53
9	80	7.5	1.37	0.62
10	90	8.4	1.52	0.72
11	100	9.2	1.74	0.9
12	110	10.0	1.95	1.1
13	115.5	12.0	2.3	1.5

ผนังที่ 1 W1N ผนังแบบมีช่องเปิด ขนาดผนัง กว้าง 2 m สูง 1.5 m หนา 0.06 m ขนาดช่องเปิด กว้าง 0.60 m สูง 0.50 m ใช้คอนกรีตปกติในการผลิต กัดทดสอบโดยไม่มีการยึดรั้งด้านข้างของผนัง

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของผนังที่ 2 W2N

ลำดับ	แรง (ตัน)	ค่าอ่านจาก Dial Gauge		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
1	0	0	0	0
2	10	1.0	0.1	0.1
3	20	2.2	0.3	0.3
4	30	3.5	0.4	0.4
5	40	4.7	0.6	0.5
6	50	6.0	0.8	0.6
7	60	7.1	1.0	0.8
8	70	8.5	1.2	0.9
9	75.2	10.0	1.5	1.1

ผนังที่ 2 W2N ผนังแบบมีช่องเปิด ขนาดผนังกว้าง 2 m สูง 1.5 m หนา 0.06 m ขนาดช่องเปิด กว้าง 1.00 m สูง 0.35 m ใช้คอนกรีตปกติในการผลิต กดทดสอบโดยไม่มีการยึดรั้งด้านข้างของผนัง

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของผนังที่ 3 W3N

ลำดับ	แรง (ตัน)	ค่าอ่านจาก Dial Gauge	
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2
1	0	0	0
2	10	1.2	0.2
3	20	2.5	0.3
4	30	4.0	0.5
5	40	5.5	0.6
6	50	7.0	0.8
7	60	8.2	1.0
8	63.8	9.3	1.3

ผนังที่ 3 W3N ผนังแบบมีช่องเปิด ขนาดผนัง กว้าง 2 m สูง 1.5 m หนา 0.06 m ขนาดช่องเปิด กว้าง 0.60 m สูง 0.50 m และ กว้าง 0.50 m สูง 1.00 m ใช้คอนกรีตปกติในการผลิต กดทดสอบ โดยไม่มีการยึดรั้งด้านข้างของผนัง

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของผนังที่ 4 W1C

ลำดับ	แรง (ตัน)	ค่าอ่านจาก Dial Gauge		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
1	0	0	0	0
2	10	1.2	0.1	0.3
3	20	2.5	0.2	0.5
4	30	4.0	0.3	0.7
5	40	5.5	0.4	0.9
6	50	7.2	0.6	1.1
7	58.7	9.8	0.8	1.4

ผนังที่ 4 W1C ผนังแบบมีช่องเปิด ขนาดผนัง กว้าง 2 m สูง 1.5 m หนา 0.06 m ขนาดช่องเปิด กว้าง 1.00 m สูง 0.35 m ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในการผลิต กดทดสอบโดยไม่มี การยึดรั้งด้านข้างของผนัง

ตารางที่ ข.5 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของผนังที่ 5 W2C

ลำดับ	แรง (ตัน)	ค่าอ่านจาก Dial Gauge		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
1	0	0	0	0
2	10	1.5	0.2	0.2
3	20	3.0	0.3	0.3
4	30	4.5	0.5	0.5
5	40	6.4	0.8	0.6
6	45.6	8.0	1.1	0.8

ผนังที่ 5 W2C ผนังแบบมีช่องเปิด ขนาดผนัง กว้าง 2 m สูง 1.5 m หนา 0.06 m ขนาดช่องเปิด กว้าง 0.60 m สูง 0.50 m ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในการผลิต กดทดสอบโดยไม่มี การยึดรั้ง ด้านข้างของผนัง

ตารางที่ ข.6 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของผนังที่ 6 W3C

ลำดับ	แรง (ตัน)	ค่าอ่านจาก Dial Gauge	
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2
1	0	0	0
2	10	1.7	0.2
3	20	3.3	0.4
4	30	4.9	0.6
5	40	6.9	0.9
6	44.3	8.5	1.1

ผนังที่ 6 W3C ผนังแบบมีช่องเปิด ขนาดผนัง กว้าง 2 m สูง 1.5 m หนา 0.06 m ขนาดช่องเปิด กว้าง 0.60 m สูง 0.50 m และ กว้าง 0.50 m สูง 1.00 m ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ในการผลิต กัดทดสอบโดยไม่มีการยึดรั้งด้านข้างของผนัง

ตารางที่ ข.7 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักที่ 7 W1N-R

ลำดับ	แรง (ตัน)	ค่าอ่านจาก Dial Gauge		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
1	0	0	0	0
2	10	0.7	0.1	0.1
3	20	1.5	0.2	0.2
4	30	2.2	0.3	0.2
5	40	3.0	0.4	0.3
6	50	3.7	0.5	0.4
7	60	4.3	0.6	0.6
8	70	4.9	0.7	0.7
9	80	5.5	0.8	0.9
10	90	6.1	0.9	1.0
11	100	6.8	1.0	1.1
12	110	7.5	1.1	1.2
13	120	8.5	1.2	1.3
14	124.5	9.8	1.5	1.4

ผนังที่ 7 W1N-R ผนังแบบมีช่องเปิด ขนาดผนัง กว้าง 2 m สูง 1.5 m หนา 0.06 m ขนาดช่องเปิด กว้าง 1.00 m สูง 0.35 m ใช้คอนกรีตปกติในการผลิต กัดทดสอบโดยการยึดรั้งด้านข้างของผนัง

ตารางที่ ข.8 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของผนังที่ 8 W2N-R

ลำดับ	แรง (ตัน)	ค่าอ่านจาก Dial Gauge		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
1	0	0	0	0
2	10	1.1	0.1	0.1
3	20	1.9	0.2	0.2
4	30	2.6	0.3	0.3
5	40	3.4	0.4	0.5
6	50	4.1	0.5	0.6
7	60	4.7	0.7	0.7
8	70	5.5	0.8	0.8
9	80	6.5	0.9	1.0
10	87.8	8.0	1.2	1.1

ผนังที่ 8 W2N-R ผนังแบบมีช่องเปิด ขนาดผนัง กว้าง 2 m สูง 1.5 m หนา 0.06 m ขนาด ช่องเปิด กว้าง 0.60 m สูง 0.50 m ใช้คอนกรีตปกติในการผลิต กดทดสอบโดยการยัดรีดด้านข้างของผนัง

ตารางที่ ข.9 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของผนังที่ 9 W3N-R

ลำดับ	แรง (ตัน)	ค่าอ่านจาก Dial Gauge	
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2
1	0	0	0
2	10	1.0	0.1
3	20	2.0	0.2
4	30	2.8	0.3
5	40	3.7	0.4
6	50	4.5	0.5
7	60	5.3	0.7
8	70	6.3	1.0
9	78.5	7.7	1.2

ผนังที่ 9 W3N-R ผนังแบบมีช่องเปิด ขนาดผนัง กว้าง 2 m สูง 1.5 m หนา 0.06 m ขนาด ช่องเปิด กว้าง 0.60 m สูง 0.50 m และ กว้าง 0.50 m สูง 1.00 m ใช้คอนกรีตปกติในการผลิต กดทดสอบโดยการยัดรีดด้านข้างของผนัง

ตารางที่ ข.10 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของผนังที่ 10 W1C-R

ลำดับ	แรง (ตัน)	ค่าอ่านจาก Dial Gauge		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
1	0	0	0	0
2	10	1.2	0.1	0.1
3	20	2.2	0.2	0.2
4	30	3.1	0.3	0.4
5	40	4.0	0.4	0.5
6	50	4.8	0.5	0.6
7	60	5.5	0.6	0.7
8	70	6.2	0.8	0.8
9	80	7.5	0.9	0.9
10	81.2	8.5	1.1	1.0

ผนังที่ 10 W1C-R ผนังแบบมีช่องเปิด ขนาดผนัง กว้าง 2 m สูง 1.5 m หนา 0.06 m ขนาดช่องเปิด กว้าง 1.00 m สูง 0.35 m ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในการผลิต กดทดสอบโดยการยัดรีดด้านข้างของผนัง

ตารางที่ ข.11 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของผนังที่ 11 W2C-R

ลำดับ	แรง (ตัน)	ค่าอ่านจาก Dial Gauge		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
1	0	0	0	0
2	10	1.3	0.1	0.1
3	20	2.4	0.2	0.2
4	30	3.3	0.4	0.4
5	40	4.2	0.5	0.5
6	50	5.2	0.7	0.7
7	52.4	6.4	0.8	0.8

ผนังที่ 11 W2C-R ผนังแบบมีช่องเปิด ขนาดผนัง กว้าง 2 m สูง 1.5 m หนา 0.06 m ขนาดช่องเปิด กว้าง 0.60 m สูง 0.50 m ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในการผลิต กดทดสอบโดยการยัดรีดด้านข้างของผนัง

ตารางที่ ข.12 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของผนังที่ 12 W3C-R

ลำดับ	แรง (ตัน)	ค่าอ่านจาก Dial Gauge	
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2
1	0	0	0
2	10	1.4	0.1
3	20	2.5	0.2
4	30	3.4	0.3
5	40	4.1	0.5
6	50	5.0	0.6
7	60	5.9	0.8
8	65.3	7.2	1.0

ผนังที่ 12 W3C-R ผนังแบบมีช่องเปิด ขนาดผนัง กว้าง 2 m สูง 1.5 mหนา 0.06 m ขนาดช่องเปิด กว้าง 0.60 m สูง 0.50 m และ กว้าง 0.50 m สูง 1.00 m ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในการผลิต กัดทดสอบโดยการยึดรั้งด้านข้างของผนัง

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายวิศรุต จันทร์เกษ
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2553 โรงเรียนเบ็ญจะมะมหาราช พ.ศ. 2557 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2557-2558 ตำแหน่ง วิศวกรสนาม ประจำโครงการ Siam Square One กรุงเทพมหานคร บริษัท Decco engineering & consultant co. ltd
ตำแหน่ง	อาจารย์ประจำสาขาก่อสร้าง/โยธา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	พ.ศ. 2560 – ปัจจุบัน วิทยาลัยโปลีเทคนิคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ