



พฤติกรรมการถ่ายแรงบนเสาเข็มบ้านแบบผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

**BEHAVIOR OF PILE LOAD DISTRIBUTION FOR PRECAST CONCRETE
BEARING WALL STRUCTURE**



โดย
จตุศักดิ์ ทำเนาวิ

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ Rajabhat Burapha University

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ปีการศึกษา 2562



**BEHAVIOR OF PILE LOAD DISTRIBUTION FOR PRECAST CONCRETE
BEARING WALL STRUCTURE**

BY

JULASAK THOMNAO

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR

THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING

COLLEGE OF ENGINEERING

GRADUATE SCHOOL, RANGSIT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2019

วิทยานิพนธ์เรื่อง

พฤติกรรมการถ่ายแรงบนเสาเข็มบ้านแบบผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

โดย

จุลศักดิ์ ทำเนาวิ

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2562

รศ.ดร.ตระกูล อารัมรักษ์
ประธานกรรมการสอบ

ดร.ธรรมบุญ สุสำภา
กรรมการ

ดร.พิสิทธิ์ ขันดีวัฒนะกุล

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ร.ต.หญิง ดร.วรรณิ สุขสาตร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

15 สิงหาคม 2562

Thesis entitled

**BEHAVIOR OF PILE LOAD DISTRIBUTION FOR PRECAST
CONCRETE BEARING WALL STRUCTURE**

by

JULASAK THOMNAO

was submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Master of Civil Engineering in Civil Engineering

Rangsit University
Academic Year 2019

.....
Assoc.Prof.Trakool Aramraks,Ph.D.
Examination Committee Chairperson

.....
Thumanoon Susumpow, D.Eng.
Member

.....
Pisit Kuntiwattanakul, D.Eng.
Member and Advisor

Approved by Graduate School

(Asst.Prof.Plit.Off. Vanee Sooksatra, D.Eng.)

Dean of Graduate School

August 15, 2019

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ โดยได้รับความอนุเคราะห์จากผู้มีพระคุณทั้งหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดร. พิสิทธิ์ ชันดีวัฒนกุล และ ดร.ธรรมนุญ สุสำภา ซึ่งสละเวลาให้คำปรึกษา และแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ตระกูล อร่ามรักษ์ ที่สละเวลาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งเสนอแนะทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ร.ต.หญิง ดร.วรรณิ สุขสาตรและดร.อังคณา พันธุ์หล่อ ที่คอยช่วยให้กำลังใจในการศึกษา คุณสุรียา ฤทธิจิตเพียร ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษาและแนะนำในการใช้โปรแกรมในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ บริษัท พศกษา โฮลดิ้ง จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนเงินทุนในการการศึกษาครั้งนี้ อีกทั้งขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ได้ช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้าระหว่างที่ได้ศึกษาที่นี่

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณแม่ผู้ให้กำเนิด ที่เลี้ยงดูและส่งเสริมให้ข้าพเจ้าได้เรียนหนังสือจนมีวิชาชีพทุกวันนี้ ขอขอบคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนผู้ที่เป็นกำลังใจอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมาในที่นี้

จุลศักดิ์ ทำเนาวิ

ผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

5709246 : สาขาวิชาเอก : วิศวกรรมโยธา ; วศ.ม.(วิศวกรรมโยธา)

คำสำคัญ : ผนังรับน้ำหนักแบบหล่อสำเร็จ, ความแข็งแกร่งของผนัง, ไฟไนต์อิเลเมนต์

จุดคัดัด ทำเนาว่า : พฤติกรรมการถ่ายแรงบนเสาเข็มบ้านแบบผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (BEHAVIOR OF PILE LOAD DISTRIBUTION FOR PRECAST CONCRETE BEARING WALL STRUCTURE) อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร.พิสิทธิ์ ชันติวัฒนกุล, 156 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาเรื่องพฤติกรรมการถ่ายแรงบนเสาเข็ม บ้านแบบผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ในแง่ของการถ่ายน้ำหนักลงสู่เสาเข็มโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิเลเมนต์แบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear Finite Element) ในแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ การศึกษาได้เปรียบเทียบแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มของโครงสร้างผนังหล่อสำเร็จ ที่มีรอยต่อจำนวนมากเปรียบเทียบกับผนังหล่อในที่ ที่โครงสร้างมีความต่อเนื่อง การศึกษาครอบคลุมผลของสตีเฟนเนสของจุดเชื่อมต่อ ผลของช่องเปิดในผนัง และผลของสตีเฟนเนสของเสาเข็ม โดยครอบคลุมอาคารทั้งแบบทาวน์เฮ้าส์และบ้านเดี่ยว

ผลของการศึกษาแสดงค่าสตีเฟนเนสของจุดเชื่อมต่อมีผลต่อแรงที่ถ่ายลงสู่เสาเข็ม เฉพาะในกรณีที่มีผนังที่มีความยาวมาก แต่มีผลน้อยมากในกรณีผนังสั้น นอกจากนี้ผลการศึกษาายังแสดงให้เห็นว่าแรงเสียดทานระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถยึดรั้งให้โครงสร้างมีสตีเฟนเนสใกล้เคียงกับผนังหล่อในที่ โดยแรงที่ถ่ายลงสู่เสาเข็มของผนังหล่อสำเร็จ แตกต่างจากผนังหล่อในที่ไม่เกิน 1 % สำหรับผนังสั้น และ 5 % สำหรับผนังยาว

ในกรณีที่ไม่มีความเสียดทานระหว่างผนัง ค่าสตีเฟนเนสของผนังจะลดลงทำให้แรงที่ถ่ายลงสู่เสาเข็มแตกต่างจากผนังหล่อในที่ประมาณไม่เกิน 6 % สำหรับผนังสั้น และ 12 % สำหรับผนังยาว ผลของช่องเปิดในผนังไม่ทำให้สตีเฟนเนสของผนังไม่เปลี่ยนแปลงมาก เพียงแต่ผลของช่องเปิดทำให้น้ำหนักของผนังลดลง

ผลของการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อสตีเฟนเนสของเสาเข็มลดลง การกระจายแรงของเสาเข็มจะมีความสม่ำเสมอยิ่งขึ้น การศึกษาพบว่าค่าสตีเฟนเนสของผนังยาวแบบหล่อในที่ มีค่าสูงกว่าของผนังหล่อสำเร็จ ความแตกต่างนี้ยังขึ้นอยู่กับการยุบตัวของเสาเข็ม โดยความแตกต่างของค่าสตีเฟนเนสจะสูงขึ้นตามการยุบตัวของเสาเข็ม

กรณีผลวิเคราะห์แบบ 3 มิติ การถ่ายแรงในเสาเข็มของทาวน์เฮ้าส์ พบว่าผนังระบบหล่อสำเร็จมีการถ่ายแรงแตกต่างจากผนังระบบหล่อในที่ไม่เกิน 11 % กรณีบ้านเดี่ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญบางตำแหน่ง โดยเฉพาะตำแหน่งที่ไม่มีความต่อเนื่องของผนัง การถ่ายแรงในเสาเข็มของผนังหล่อสำเร็จจะสูงกว่าผนังหล่อในที่ประมาณ 26% ที่ช่วงกลางอาคารที่ผนังโครงสร้างไม่ต่อเนื่องกันและบ้านทั้ง 2 แบบการถ่ายแรงในเสาเข็มมีแนวโน้มสมำเสมอขึ้นเมื่อค่าสติฟเนสของเสาเข็มลดลง



5709246 : MAJOR: CIVIL ENGINEERING; M.Eng. (CIVIL ENGINEERING)

KEY WORD : PRECAST BEARING WALL, WALL STIFFNESS, FINITE ELEMENT

JULASAK THOMNAO: BEHAVIOR OF PILE LOAD DISTRIBUTION FOR PRECAST CONCRETE BEARING WALL STRUCTURE. THESIS ADVISOR: PISIT KUNTIWATTANAKUL, D.Eng, 156., p.

This thesis presents results of a study on distribution of load on pile foundations of precast concrete structure. In this study, the load distribution on pile was analyzed using a non-linear finite element program including 2-D and 3-D. Pile loads of precast walls were compared with those of cast in place walls. This study covered townhouse and detached house with 3 topics including effects of wall connection stiffness, effects of wall opening and effects of pile stiffness.

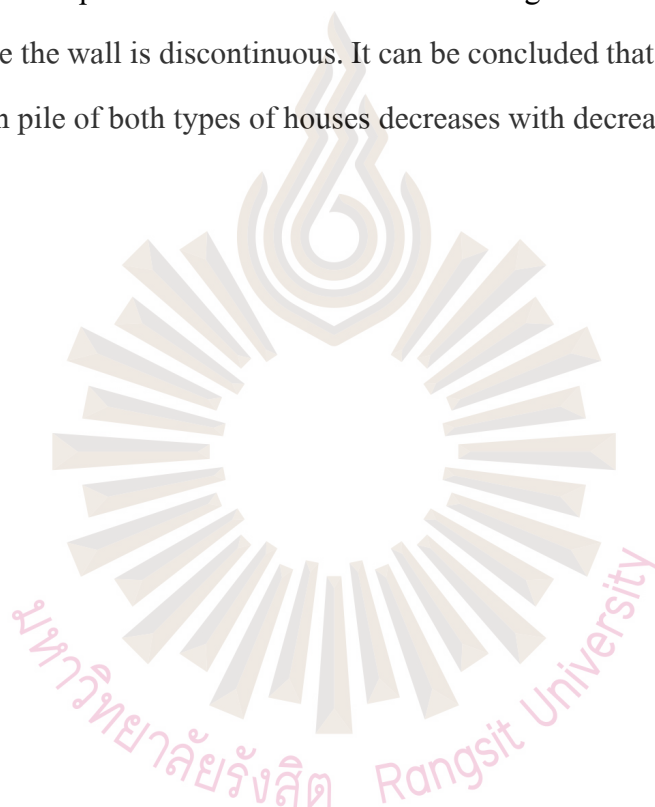
Results from the study show that the connection stiffness has significant effects for long wall only and the overall stiffness of long cast in place walls is higher than that of precast walls. The results also reveal that if there is friction between the precast walls, the stiffness of precast walls does not differ much from that of cast in place walls and the differences in pile load distribution are not more than 1 % and 5 % for short and long walls respectively.

However, in case of no friction between the walls, stiffness of the precast wall is reduced and the difference in pile load distribution increases to not more than 6 % and 12 % for short and long walls respectively. Results of the study also show that the openings in the wall do not have any significant effects on wall stiffness, but can reduce the wall weight.

Furthermore, the study suggests that when pile stiffness decreases, load distribution of on piles is more uniform. It is also seen that the difference between overall stiffness of cast in place and precast walls increases with decreasing pile stiffness.

Student's Signature.....Thesis Advisor's Signature

In the case of 3-D analysis, the results of load distribution on piles of the townhouse shows that there is not much difference in the load on pile between the precast walls and the cast in place walls with the difference being not more than 11%. But in the case of detached house, the load on pile differs with the location. In some locations, especially in discontinuous walls, the load on pile of precast walls is higher than that of cast in place wall. The difference is as high as 26% at the middle of the building where the wall is discontinuous. It can be concluded that the difference in load distribution on pile of both types of houses decreases with decreasing pile stiffness.



Student's Signature.....Thesis Advisor's Signature

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 ความสำคัญของปัญหา	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ผลงานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.2.1 ทฤษฎีคานบนฐานรากยึดหยุ่น	6
2.3 การศึกษาเกี่ยวกับการทรุดตัวของเสาเข็ม	8
2.3.1 การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว	8
2.3.2 การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม	10
2.4 การศึกษาและผลการศึกษากลสมบัติของรอยต่อ	12
2.5 การศึกษาการจำลองเสาเข็มและการคำนวณ	20
2.6 วิธีการศึกษาเพื่อประเมินกลสมบัติของจุดยึดต่อต่างๆ	23
2.7 วิธีการทางไฟไนต์อีลิเมนต์	24
บทที่ 3 วิธีการศึกษาและการจำลองโครงสร้าง	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1 รูปแบบที่ใช้ในการศึกษา	25
3.1.1 แบบบ้านทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น	25
3.1.2 แบบบ้านเดี่ยว 2 ชั้น	29
3.2 การจำลองโครงสร้างเพื่อการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	30
3.2.1 รูปแบบการจำลอง โครงสร้างและคุณสมบัติของวัสดุ	30
3.2.2 การจำลองฐานรากเสาเข็ม	31
3.2.3 การจำลองชิ้นส่วน โครงสร้างแผ่นผนัง, พื้น, คานและฐานราก	31
3.2.4 การจำลองหลังคา	32
3.2.5 การจำลองระบบยึดรอยต่อระหว่างชิ้นส่วน	32
3.2.6 น้ำหนักกระทำต่อโครงสร้างในการวิเคราะห์	38
3.3 วิธีการการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ	38
3.3.1 ศึกษาผลของ โครงสร้างผนังตามทฤษฎีคานบนฐานรากยึดหย่อน	40
3.3.2 ศึกษาการถ่ายแรงลงเข็มของผนังหล่อในที่เทียบกับผนังแข็งแรงแบบ สมบูรณ์	41
3.3.3 ศึกษาเพื่อประเมินกลสมบัติของรอยต่อกับผลการเลื่อนไถล	42
3.3.4 ศึกษาเรื่องบทบาทของจุดต่อต่างๆต่อพฤติกรรมของผนัง	43
3.3.5 ศึกษาเรื่องผลกระทบจากสติเฟนสของเสาเข็ม	46
3.3.6 ศึกษาเรื่องผลกระทบของช่องเปิด	47
3.3.7 ศึกษาเรื่องแนวคิดการออกแบบในทางปฏิบัติ	47
3.4 การศึกษาโดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ	48
3.4.1 บ้านแบบทาวน์เฮาส์	48
3.4.2 บ้านแบบบ้านเดี่ยว	50
บทที่ 4 ผลการศึกษา	51
4.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงลงเสาเข็ม โดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ	51
4.1.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมของผนังตามทฤษฎีคานบนฐานรากยึดหย่อน	51
4.1.2 ผลกรณีผนังหล่อในที่เทียบกับผนังที่มีความแข็งแรงแบบสมบูรณ์	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.3 ผลของขนาดการเลื่อนไถลที่ต่างกันของจุดเชื่อมต่อผนังหล่อสำเร็จ	59
4.1.4 ผลการวิเคราะห์เรื่องบทบาทของจุดเชื่อมต่อต่างๆ	69
4.1.5 ผลการวิเคราะห์กรณีผลกระทบจากสติเฟนสของเสาเข็ม	75
4.1.6 ผลการวิเคราะห์กรณีผลกระทบของช่องเปิดในผนัง	83
4.1.7 ผลวิเคราะห์แนวคิดเรื่องการออกแบบในทางปฏิบัติ	87
4.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงลงเสาเข็ม โดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ	101
4.2.1 ผลการวิเคราะห์กรณีผนังหล่อในที่กับผนังหล่อสำเร็จ 2 ห้อง	103
4.2.2 ผลการวิเคราะห์กรณีผนังหล่อในที่กับผนังหล่อสำเร็จ 4 ห้อง	112
4.2.3 ผลการวิเคราะห์กรณีผนังหล่อในที่กับผนังหล่อสำเร็จ 6 ห้อง	121
4.2.4 ผลการวิเคราะห์กรณีผนังหล่อในที่กับผนังหล่อสำเร็จของบ้านเดี่ยว	130
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	142
5.1 พฤติกรรมการถ่ายแรงลงเสาเข็ม โดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ	142
5.1.1 ผลศึกษาพฤติกรรมของผนังตามทฤษฎีคานบนฐานรากแบบยึดหยุ่น	142
5.1.2 ผลกรณีผนังหล่อในที่เทียบกับผนังที่มีความแข็งแกร่งแบบสมบูรณ์	142
5.1.3 ผลกรณีผลกระทบของแรงในจุดเชื่อมต่อ	142
5.1.4 ผลกรณีรอยต่อแนวราบของผนังหล่อสำเร็จ ไม่มีแรงเสียดทานจาก น้ำหนักกดทับและแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12	143
5.1.5 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของสติเฟนสของเสาเข็ม	144
5.1.6 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของผนังมีช่องเปิด	144
5.1.7 ผลการวิเคราะห์เพื่อการออกแบบในทางปฏิบัติ	144
5.2 พฤติกรรมการถ่ายแรงลงเสาเข็ม โดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ	146
5.2.1 ผลการถ่ายแรงของบ้านทาวน์เฮ้าส์	144
5.2.2 ผลการถ่ายแรงของบ้านเดี่ยว	145
5.3 ข้อเสนอแนะ	146

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	147
ภาคผนวก	
รายการคำนวณหาค่าบ่งบอกพฤติกรรมของโครงสร้างผนัง	149
ประวัติผู้วิจัย	156



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	10
2.2	12
3.1	30
3.2	32
4.1	53
4.2	54
4.3	56
4.4	58
4.5	60
4.6	61
4.7	63
4.8	65
4.9	66
4.10	68
4.11	71
4.12	72
4.13	74
4.14.	76
4.15	78
4.16	81
4.17	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

4.18	ผลการวิเคราะห์กรณีผนังหล่อในที่ลดน้ำหนักแบบมีและไม่มีช่องเปิดผนังริม Line A	84
4.19	ผลการวิเคราะห์กรณีผนังหล่อสำเร็จลดน้ำหนักแบบมีและไม่มีช่องเปิดผนังริม Line A	86
4.20	ผลการศึกษาผนังริมกรณีเสาเข็ม $K_p=AE/L$ และลดค่าสติฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 3.5 เท่า	88
4.21	ผลการศึกษาผนังริมกรณีเสาเข็ม $K_p=AE/2L$ และลดค่าสติฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 4.16 เท่า	89
4.22	ผลการศึกษาผนังริมกรณีเสาเข็ม $K_p=AE/5L$ และลดค่าสติฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 5.23 เท่า	91
4.23	ผลการศึกษาผนังกลางกรณีเสาเข็ม $K_p=AE/L$ และลดค่าสติฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 3.5 เท่า	92
4.24	ผลการศึกษาผนังกลางกรณีเสาเข็ม $K_p=AE/2L$ และลดค่าสติฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 4.16 เท่า	94
4.25	ผลการศึกษาผนังกลางกรณีเสาเข็ม $K_p=AE/5L$ และลดค่าสติฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 5.23 เท่า	95
4.26	ผลการศึกษาผนังหลังกรณีเสาเข็ม $K_p=AE/L$ และลดค่าสติฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 3.5 เท่า	97
4.27	ผลการศึกษาผนังหลังกรณีเสาเข็ม $K_p=AE/2L$ และลดค่าสติฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 4.16 เท่า	98
4.28	ผลการศึกษาผนังริมกรณีเสาเข็ม $K_p=AE/5L$ และลดค่าสติฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 5.23 เท่า	100
4.29	ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ กรณี 2 ห้อง ($K_p=AE/L$)	104
4.30	ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ กรณี 2 ห้อง ($K_p=AE/2L$)	107
4.31	ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ กรณี 2 ห้อง ($K_p=AE/5L$)	110
4.32	ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ กรณี 4 ห้อง ($K_p=AE/L$)	113
4.33	ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ กรณี 4 ห้อง ($K_p=AE/2L$)	116

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.34 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ กรณี 4 ห้อง ($K_p=AE/5L$)	119
4.35 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ กรณี 6 ห้อง ($K_p=AE/L$)	122
4.36 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ กรณี 6 ห้อง ($K_p=AE/2L$)	125
4.37 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ กรณี 6 ห้อง ($K_p=AE/5L$)	128
4.38 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ กรณีบ้านเดี่ยว ($K_p=AE/L$)	134
4.39 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ กรณีบ้านเดี่ยว ($K_p=AE/2L$)	137
4.40 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ กรณีบ้านเดี่ยว ($K_p=AE/5L$)	140



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
1.1	ลักษณะการถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างฐานราก	1
2.1	Beam on Elastic Foundation	6
2.2	แบบจำลอง Winkle's Concept	6
2.3	กราฟแสดงสัดส่วนการเคลื่อนตัว(Movement Ratio)ของเสาเข็มบนชั้นดินแน่น	9
2.4	รูปการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม	11
2.5	ผนังทดสอบแบบย่อส่วนที่ใช้ทดลอง	13
2.6	แบบจำลอง FEM ของผนังทดสอบ	14
2.7	คุณสมบัติของLink Elementที่ใช้แทน Cement Grout	14
2.8	คุณสมบัติของ Link Element ที่ใช้แทน Dowel Bar	15
2.9	แบบจำลองตัวอย่างรอยต่อแนวตั้งแบบห้วงค้ำ (Groove Joint)	16
2.10	แบบจำลองทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อ	17
2.11	ชิ้นตัวอย่างจำลองที่ใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	18
2.12	แบบจำลองชิ้นตัวอย่าง	18
2.13	แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของรอยต่อกับผนังชิ้นตัวอย่าง	19
2.14	ผล Calibrate คุณสมบัติของ Link Element ของรอยต่อรับแรงเฉือน Groove Joint	19
2.15	รูป Equivalent Cantilever Concept เพื่อการจำลองเสาเข็ม	20
2.16	รูปแสดงการจำลองเสาเข็มแบบเต็มเป็นแบบเทียบเท่า	21
2.17	รูปแสดงเสาเข็มเทียบเท่าสำหรับการคำนวณการโก่งเดาะของเสาเข็ม	22
3.1	แบบทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น 6 ห้อง	26
3.2	แบบแปลนเสาเข็มของผนังริม,กลาง และผนังด้านหลัง	27
3.3	แบบแปลนชั้น 1 ของผนังริม,กลาง และผนังด้านหลัง	27
3.4	แบบแปลนชั้น 2 ของผนังริม,กลาง และผนังด้านหลัง	28
3.5	รูปแบบแสดงผนังหล่อสำเร็จทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น 6 ห้อง	28
3.6	แบบแปลนแบบบ้านเดี่ยว	29

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.7	รูปแบบผนังหล่อสำเร็จบ้านเดี่ยว 2 ชั้น แบบ 3 มิติ	29
3.8	รายละเอียดของรอยต่อแนวราบและแนวตั้ง	33
3.9	กราฟระหว่างแรงเนื่องกับการเคลื่อนตัวของ Cement Grout Link Element	34
3.10	กราฟระหว่างแรงในแนวแกนกับระยะยึดของ Dowel Bar	35
3.11	กราฟแสดงแรงกับการเคลื่อนตัวของเหล็กยื่น DB12	36
3.12	กราฟแสดงแรงอัดกับการเคลื่อนตัวของ Link ตัวแทน Cement Grout	37
3.13	กราฟแสดงแรงเนื่องกับการเคลื่อนตัวของ Link ตัวแทน Groove Joint	37
3.14	กราฟแสดงแรงดึงกับการเคลื่อนตัวของ Link ตัวแทนเหล็กยึดหัวคาน	38
3.15	แบบจำลองผนังด้านริม Line 1 และ 7 และด้านกลาง Line 2-6	39
3.16	แบบจำลองผนังด้านหลัง Line A	40
3.17	แบบจำลองตามแนวคิด Winkler's Concept	40
3.18	แบบจำลองผนังที่มีความแข็งเกร็งแบบสมบูรณ์กับผนังหล่อในที่	42
3.19	แบบจำลองการกระจายแรงกรณีที่ไม่มีการยึดรั้งระหว่างแผ่นหล่อสำเร็จ	44
3.20	แบบจำลองการกระจายแรงสู่เสาเข็มกรณีที่มีการยึดรั้งระหว่างแผ่นสมบูรณ์	44
3.21	แบบจำลองการกระจายแรงสู่เสาเข็มกรณีเสาเข็มมีสตีฟเนสเปลี่ยนไป 3 ระดับ	46
3.22	รูปกรณีผนังด้านหลังแบบหล่อในที่ไม่มีช่องเปิด	47
3.23	รูปกรณีผนังด้านหลังแบบหล่อสำเร็จมีช่องเปิด	47
3.24	แบบจำลองทาวน์เฮ้าส์ 2 ห้อง	48
3.25	แบบจำลองทาวน์เฮ้าส์ 4 ห้อง	49
3.26	แบบจำลองทาวน์เฮ้าส์ 6 ห้อง	49
3.27	แบบจำลองบ้านเดี่ยว	50
4.1	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์คูณลักษณะเฉพาะ λL ของผนังด้านหลัง	52
4.2	แสดงน้ำหนักรวมเสาเข็มผนัง RC ผนังริม Line 1 และ 7	54
4.3	แสดงการเอียงศูนย์กลางมวลกับแรงต้านของกลุ่มเข็ม ผนังริม Line 1 และ 7	55

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.4	แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนัง RC ผนังกลาง Line 2 ถึง 6	56
4.5	แสดงการเยื้องศูนย์กลางของน้ำหนักกับแรงต้านของกลุ่มเข็ม ผนังกลาง Line 2-6	57
4.6	แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนัง RC ผนังหลัง Line A	58
4.7	แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนัง PC กรณีผลจากความเสียดทานของCement Grout ที่ความแข็งและระยะ Slip ต่างกัน (ผนังริม Line 1 และ 7)	60
4.8	แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนัง PC กรณีผลจากความเสียดทานของCement Grout ที่ความแข็งและระยะ Slipต่างกัน (ผนังริม Line 2 -6)	62
4.9	แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนัง PC กรณีผลจากความเสียดทานของCement Grout ที่ความแข็งและระยะเลื่อนไถลต่างกัน (ผนังริม Line A)	63
4.10	แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนัง PC กรณีผลจากความเสียดทานของ DB12 ที่ระยะเลื่อนไถลต่างกัน (ผนังริม Line 1 และ 7)	65
4.11	แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนัง PC กรณีผลจากความเสียดทานของ DB12 ที่ระยะเลื่อนไถลต่างกัน (ผนังกลาง Line 2 -6)	67
4.12	แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนัง PC กรณีผลจากความเสียดทานของ DB12 ที่ระยะเลื่อนไถล ต่างกัน (ผนังหลัง Line A)	68
4.13	แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนัง PC กรณีรอยต่อแนวราบมีคุณสมบัติต่าง ๆ กัน (ผนังริม Line 1 และ 7)	71
4.14	แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนัง PC กรณีรอยต่อแนวราบมีคุณสมบัติต่าง ๆ กัน (ผนังกลาง Line 2-6)	73
4.15	แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนัง PC กรณีรอยต่อแนวราบมีคุณสมบัติต่าง ๆ กัน (ผนัง หลัง Line A)	75
4.16	แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนังแบบ RCเทียบกับ PC กรณี Pile Stiffness , $K_p = AE/L$ และลดลง 2,5 เท่าตามลำดับ	77
4.17	แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนังกลางแบบ RCเทียบกับ PC กรณี Pile Stiffness , $K_p = AE/L$ และลดลง 2,5 เท่าตามลำดับ	79

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	เนื้อหา	หน้า
4.18	แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังด้านหลังแบบ RC เทียบกับ PC กรณี Pile Stiffness , $K_p = AE/L$ และลดลง 2,5 เท่าตามลำดับ	81
4.19	แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังหล่อในที่ด้านหลังแบบมีช่องเปิดกรณี Pile Stiffness, $K_p = AE/L$ และลดลง 2,5 เท่าตามลำดับ	82
4.20	แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังหล่อสำเร็จด้านหลังแบบมีช่องเปิดกรณี Pile Stiffness, $K_p = AE/L$ และลดลง 2,5 เท่าตามลำดับ	83
4.21	แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังหล่อในที่ด้านหลังแบบมีช่องเปิดกับไม่มีและไม่มีช่อง เปิดลดน้ำหนักคอนกรีตลงร้อยละ 18.52	85
4.22	แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังหล่อสำเร็จด้านหลังแบบมีช่องเปิดกับไม่มีและไม่มีช่อง เปิดลดน้ำหนักคอนกรีตลงร้อยละ 18.64	86
4.23	น้ำหนักลงเสาเข็มผนังริมกรณีลดค่าสติเฟนสของผนัง 3.5 เท่า	88
4.24	น้ำหนักลงเสาเข็มผนังริมกรณีลดค่าสติเฟนสของเสาเข็ม 2 เท่าและผนัง 4.16 เท่า	90
4.25	น้ำหนักลงเสาเข็มผนังริมกรณีลดค่าสติเฟนสของเสาเข็ม 5 เท่าและผนัง 5.23 เท่า	91
4.26	น้ำหนักลงเสาเข็มผนังกลางกรณีลดค่าสติเฟนสของผนัง 3.5 เท่า	93
4.27	น้ำหนักลงเสาเข็มผนังกลางกรณีลดค่าสติเฟนสของเสาเข็ม 2 เท่าและผนัง 4.16 เท่า	94
4.28	น้ำหนักลงเสาเข็มผนังกลางกรณีลดค่าสติเฟนสของเสาเข็ม 5 เท่าและผนัง 5.23 เท่า	96
4.29	น้ำหนักลงเสาเข็มผนังหลังกรณีลดค่าสติเฟนสของผนัง 3.5 เท่า	97
4.30	น้ำหนักลงเสาเข็มผนังหลังกรณีลดค่าสติเฟนสของเสาเข็ม 2 เท่าและผนัง 4.16 เท่า	99
4.31	น้ำหนักลงเสาเข็มผนังหลังกรณีลดค่าสติเฟนสของเสาเข็ม 5 เท่าและผนัง 5.23 เท่า	100
4.32	รูปแบบจำลองทาว์นเฮาส์ 3 มิติ จำนวน 2 ห้อง	101
4.33	รูปแบบจำลองทาว์นเฮาส์ 3 มิติ จำนวน 4 ห้อง	102
4.34	รูปแบบจำลองทาว์นเฮาส์ 3 มิติ จำนวน 6 ห้อง	102
4.35	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที่ 2 ห้อง($K_p=AE/L$)	105
4.36	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 2 ห้อง($K_p=AE/L$)	105
4.37	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที่ 2 ห้อง($K_p=AE/2L$)	108

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.38	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 2 ห้อง($K_p=AE/2L$)	108
4.39	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที่ 2 ห้อง($K_p=AE/5L$)	111
4.40	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 2 ห้อง($K_p=AE/5L$)	111
4.41	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที่ 4 ห้อง ($K_p=AE/L$)	114
4.42	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 4 ห้อง ($K_p=AE/L$)	114
4.43	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที่ 4 ห้อง($K_p=AE/2L$)	117
4.44	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 4 ห้อง($K_p=AE/2L$)	117
4.45	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที่ 4 ห้อง ($K_p=AE/5L$)	120
4.46	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 4 ห้อง ($K_p=AE/5L$)	120
4.47	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที่ 6 ห้อง ($K_p=AE/L$)	123
4.48	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 6 ห้อง ($K_p=AE/L$)	123
4.49	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที่ 6 ห้อง($K_p=AE/2L$)	126
4.50	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 6 ห้อง($K_p=AE/2L$)	126
4.51	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที่ 6 ห้อง ($K_p=AE/5L$)	129
4.52	ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 6 ห้อง ($K_p=AE/5L$)	129
4.53	รูปแสดงแบบจำลองแบบบ้านเดี่ยว 3 มิติ	130
4.54	รูปแสดงแบบแปลนและรูปด้านบ้านเดี่ยว	131
4.55	รูปแสดงผนังหล่อสำเร็จบ้านเดี่ยว	131
4.56	รูปแสดงผนังหล่อสำเร็จชั้นล่าง	132
4.57	รูปแสดงผนังหล่อสำเร็จชั้นบน	132
4.58	ผลการถ่ายน้ำหนักของบ้านเดี่ยวผนังหล่อในที่ ($K_p=AE/L$)	135
4.59	ผลการถ่ายน้ำหนักของบ้านเดี่ยวผนังหล่อสำเร็จ ($K_p=AE/L$)	135
4.60	ผลการถ่ายน้ำหนักของบ้านเดี่ยวผนังหล่อในที่ ($K_p=AE/2L$)	138
4.61	ผลการถ่ายน้ำหนักของบ้านเดี่ยวผนังหล่อสำเร็จ($K_p=AE/2L$)	138
4.62	ผลการถ่ายน้ำหนักของบ้านเดี่ยวผนังหล่อในที่ ($K_p=AE/5L$)	141
4.63	ผลการถ่ายน้ำหนักของบ้านเดี่ยวผนังหล่อสำเร็จ($K_p=AE/5L$)	141

สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์

ความหมาย

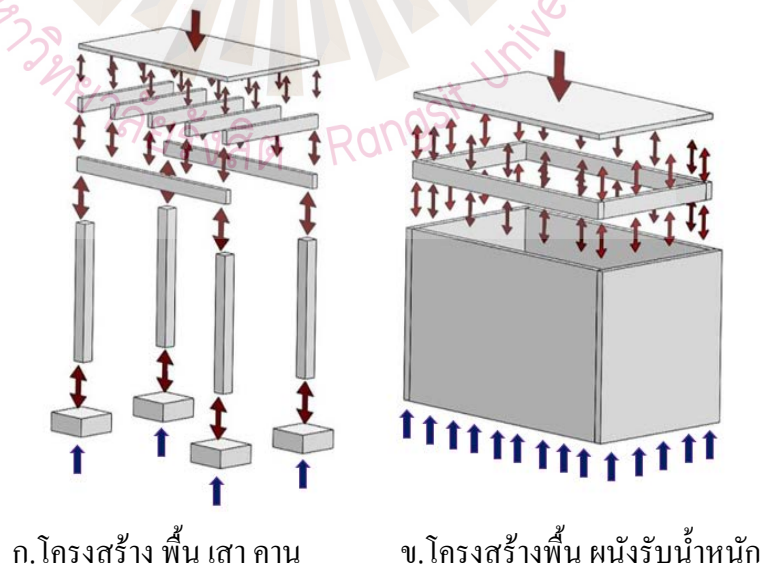
K_p	=	สติฟเนสของเสาเข็ม (Pile Stiffness)
K_s	=	สติฟเนสของดิน (Soil Stiffness, Modulus of Subgrade Reaction)
RC	=	คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforcement Concrete)
PC	=	คอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete)
λ	=	Relative Stiffness
E_c	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (Modulus of Elasticity of Concrete)
I	=	โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia)
f_c'	=	กำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน
DL	=	น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน (Dead Load)
SDL	=	น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งานเพิ่มเติม (Superimpose Dead Load)
LL	=	น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน (Live Load)
M_R	=	สัดส่วนการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม (Movement Ratio)
R_s	=	อัตราการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวต่อเข็มกลุ่ม (Settlement Ratio)
L_c	=	ความยาววิกฤติ (Critical Length)
L_e	=	ความยาวเทียบเท่า (Equivalent Length)
μ	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction Coefficient)
CM	=	จุดศูนย์กลางของมวล (Center of Mass)
CR	=	จุดศูนย์กลางของแรงต้านทาน (Center of Reaction)
CG	=	จุดศูนย์กลางถ่วง (Center of Gravity)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในวงการอุตสาหกรรมก่อสร้างบ้านจัดสรรของประเทศไทย ได้มีการนำโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก (Load Bearing Wall) มาใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งชนิดคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ (Cast in place) และชนิดหล่อสำเร็จ (Precast) จากโรงงานมาประกอบเป็นตัวอาคารที่หน้างาน ด้วยเหตุที่ใช้ผนังแทนเสาในการรับแรงในแนวดิ่ง ทำให้พฤติกรรมการถ่ายแรงของโครงสร้างให้กับเสาเข็มอาคาร แตกต่างจากระบบโครงสร้างเสา-คาน ทั่วไป (Conventional Method) โดยระบบโครงสร้างแบบเสา-คาน ทั่วไปที่เป็นโครงสร้างค่อนข้างอ่อนตัดตัวได้ (Flexible) น้ำหนักขององค์อาคารจะถ่ายน้ำหนักผ่านพื้นคาน เสา ลงเสาต่อม่อเป็นจุด (Point Load) ในลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอ ดังแสดงในรูป 1.1 ก. ส่วนระบบผนังรับน้ำหนักนั้นเนื่องจาก โครงสร้างค่อนข้างแข็งเกร็ง (Rigid) น้ำหนักอาคารจะมีลักษณะกระจายตามความยาวของแผ่นผนัง (Uniform Load) ลงสู่ฐานราก ดังแสดงในรูป 1.1 ข.



รูป 1.1 ลักษณะการถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างสู่ฐานราก

ที่มา : ผู้วิจัย

1.2 ความสำคัญของปัญหา

ที่ผ่านมาในทางปฏิบัติ การวิเคราะห์แรงที่ถ่ายลงสู่ฐานรากเสาเข็มของโครงสร้างผนังรับน้ำหนักโดยส่วนมาก จะจำลองผนังทั้งหมดเป็นโครงสร้างที่ตีความต่อเนื่อง (Compatibility) ซึ่งโครงสร้างมีความแข็งแกร่งค่อนข้างสูง (High Stiffness) ทำให้น้ำหนักกระจายสู่ฐานรากเสาเข็มค่อนข้างสม่ำเสมอ ตามผลการศึกษาที่ได้มีการศึกษาไว้แล้ว (สุริยา ฤทธิ์จิตรเพียร, 2551) วิธีนี้จึงเหมาะกับระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักแบบหล่อในที่ เช่นระบบแบบหล่อ (Tunnel Form) ที่ผนังเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความต่อเนื่อง

แต่การวิเคราะห์ผนังโครงสร้างระบบผนังหล่อสำเร็จ (Precast) ซึ่งโครงสร้างที่ไม่ต่อเนื่องมีรอยต่อจำนวนมากเชื่อมต่อเป็นโครงสร้าง จึงน่าจะมีผลกระทบต่อความต่อเนื่องของโครงสร้างผนังไม่มากนัก อย่างไรก็ตาม ที่ผ่านมายังไม่เคยมีการศึกษาถึงผลกระทบของรอยต่อเชื่อมของผนังแบบหล่อสำเร็จต่อแรงที่ถ่ายลงสู่เสาเข็ม จึงเป็นที่มาของการศึกษาครั้งนี้

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.3.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงลงสู่เสาเข็มของโครงสร้างบ้านระบบผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Wall Bearing) เทียบกับบ้านแบบผนังหล่อในที่ (Cast in Place Wall Bearing) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ตีความต่อเนื่อง

1.3.2 เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของคุณสมบัติของจุดเชื่อมต่อของผนังหล่อสำเร็จต่อแรงที่ถ่ายลงสู่ฐานรากเสาเข็ม

1.3.3 เพื่อศึกษาหาแนวทางในการวิเคราะห์แรงที่ถ่ายลงบนเสาเข็มของโครงสร้างแบบผนังหล่อสำเร็จที่เหมาะสมสำหรับใช้ในทางปฏิบัติ

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 การศึกษาใช้โปรแกรมวิธีวิเคราะห์แบบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) โดยใช้บ้านแบบทาวนเฮ้าส์ (PVK100) และบ้านเดี่ยว 2 ชั้น (PS48) ระบบชั้นส่วนสำเร็จรูปของ บริษัท พุกกา โฮลดิ้ง จำกัด (มหาชน) เป็นต้นแบบในการศึกษา

1.4.2 การศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบพฤติกรรมของโครงสร้างผนังแบบหล่อในที่และผนังแบบหล่อสำเร็จที่มีการแบ่งเป็นแผ่นๆและมีการเชื่อมต่อตามจุดที่กำหนดในแบบ

1.4.3 การศึกษารอบคลุมค่าสตีเฟนสของเสาเข็มตอกในชั้นดินเหนียวกรุงเทพ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจพฤติกรรมการถ่ายแรงสู่ฐานรากเสาเข็มของโครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อสำเร็จ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเสาเข็มของบ้านแบบผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อสำเร็จได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

1.5.2 เข้าใจพฤติกรรมของแรงที่เกิดในจุดเชื่อมต่อระหว่างผนังและผลของแรงดังกล่าวมีผลต่อสตีเฟนสของผนังโดยใช้คุณสมบัติทางกลของจุดเชื่อมต่อ

1.5.3 สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาแรงที่ถ่ายลงฐานรากเสาเข็มของโครงสร้างบ้านแบบผนังหล่อสำเร็จได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย



บทที่ 2

ผลงานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศุริยา ฤทธิจิตเพียร (2551) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงของโครงสร้างให้กับเสาเข็มของโครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนักแบบหล่อในที่ ซึ่งพบว่าโครงสร้างระบบนี้มีความแข็งแกร่ง(Rigidity)สูงกว่าระบบโครงสร้างแบบเสา-คาน (Conventional Method) การคำนวณน้ำหนักลงฐานรากแบบพื้นที่รับผิชอบ (Tributary Area Method) จึงไม่ถูกต้อง โดยเฉพาะโครงสร้างอาคารวางอยู่บนชั้นดินอ่อนกรุงเทพฯ การศึกษาได้ผลสรุปทั้งการถ่ายน้ำหนักลงเสาเข็มรวมถึงการทรุดตัวของเสาเข็ม และการออกแบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อรับแรงที่เกิดขึ้นในผนัง โดยการศึกษาใช้บ้านแฝด 2 ชั้น ที่มีโครงสร้างเป็นผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ และมีฐานรากเป็นเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ เป็นกรณีศึกษา โดยการศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมประเด็นต่างๆ รวมถึงผลของขนาดความแข็งของเสาเข็ม แรงแบกทานจากดินที่อยู่ใต้อาคารร่วมกับเสาเข็ม ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มกลุ่ม และผลของความแปรปรวนของเสาเข็ม ซึ่งการศึกษานี้ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์เป็นหลัก

Warnitchai (2009) ได้ทำการศึกษาประเมินความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวของบ้านที่ก่อสร้างด้วยระบบผนังหล่อสำเร็จ (Precast Wall Bearing) ของบริษัท พุกยาฯ ซึ่งการศึกษาประกอบด้วยทดสอบการรับแรงของรอยต่อแนวราบ การทดสอบการรับแรงของรอยต่อแนวตั้ง และการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อประเมินความสามารถในการรับแผ่นดินไหวของบ้าน ในการทดสอบการรับแรงของรอยต่อแนวราบ Warnitchai (2009) ได้ทำแบบจำลองโครงสร้างของผนังแบบย่อส่วน เพื่อทดสอบพฤติกรรมของรอยต่อแนวราบภายใต้แรงกระทำแบบ Cyclic Load และจากผลการทดลอง Warnitchai (2009) ได้ทำการวิเคราะห์ผนังทดสอบด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์โดยโปรแกรม SAP2000 การเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้างถูกจำลองด้วย Multi Linear Elastic Link Element โดย Link ที่ใช้จำลอง Cement Grout เป็น Link ที่สามารถรับแรงอัดได้อย่างเดียว ในขณะที่โดย Link ที่ใช้จำลอง Dowel Bar สามารถรับได้ทั้งแรงดึงและแรงอัด โดยหลังจากการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง Warnitchai (2009) ได้เสนอว่า Link ที่ใช้จำลอง Cement Grout และ Dowel Bar ให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบ

มาโนช รุจิภากร (2535) ได้ศึกษาพฤติกรรมของฐานรากแพนเสาเข็มเจาะที่ไม่สมบูรณ์ โดยจำลองฐานรากแพเป็นแผ่นบางที่โค้งตัวได้ (Flexible Member) และจำลองเสาเข็มเป็นชิ้นส่วนของสปริงพบว่า ในกรณีที่เสาเข็มรองรับฐานรากแพบางต้นเกิดชำรุดเสียหายไม่สามารถรับแรงได้เต็มที่ ฐานรากแพสามารถกระจายแรงไปยังเสาเข็มต้นอื่นๆ ได้

อรณพ ประวีตวิงส์ (2536) ได้ศึกษาโดยพิจารณาแบบจำลองเสาเข็มที่รองรับฐานรากเป็นชิ้นส่วนของสปริงที่มีค่าสติฟเนสไม่เชิงเส้น (Nonlinear of Piles Stiffness) และได้สรุปว่าผลกระทบอันเนื่องมาจากความไม่เชิงเส้นของค่าสติฟเนสของเสาเข็ม มีผลกระทบต่อฐานรากแพน้อยมาก โดยฐานรากแพสามารถถ่ายแรงส่วนเกินขอบเขตของสติฟเนสคงที่ ไปยังเสาเข็มต้นใกล้เคียง

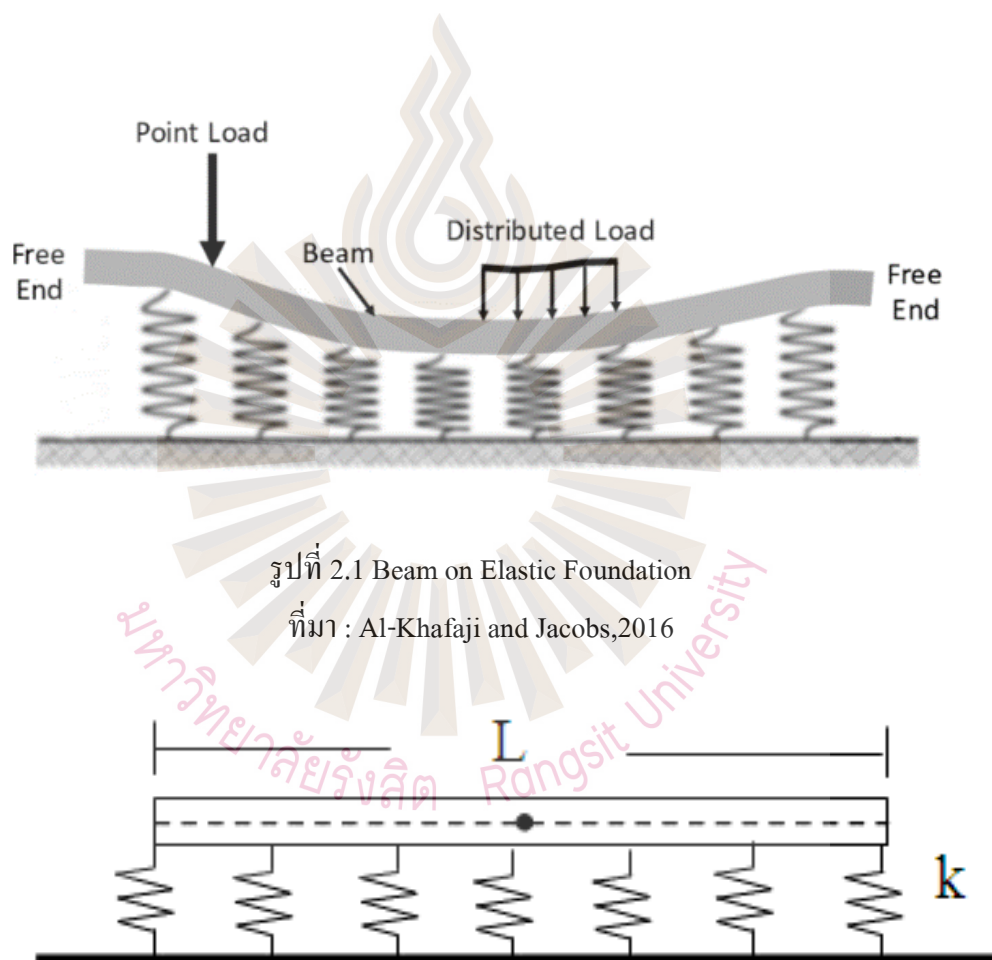
สุระสิทธิ์ อารวรรณ์ (2541) ได้ศึกษาโดยจำลองฐานรากแพนเสาเข็มเป็นแผ่นที่โค้งตัวได้ (Flexible Member) และรองรับด้วยสปริงที่มีพฤติกรรมเชิงเส้น โดยศึกษาตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อการกระจายแรงของฐานรากแพนเสาเข็ม คือค่าความแข็งเกร็งของเสาเข็ม จำนวนเสาเข็ม และระยะห่าง น้ำหนักโครงสร้าง และความหนาของฐานราก โดยเสาเข็มแต่ละต้นจะรับน้ำหนักใกล้เคียงกันเมื่อกำหนดค่าตัวแปรอย่างเหมาะสมและเพื่อการออกแบบเบื้องต้นอย่างมีประสิทธิภาพ และได้แนะนำค่าดัชนีบ่งบอกการกระจายตัวลงสู่เสาเข็มอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 จะทำให้เกิดการใช้งานเสาเข็มรองรับฐานรากอย่างมีประสิทธิภาพ

โกวิท ฉันทจิตร (2553) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของรอยต่อคานคอนกรีตสำเร็จรูปที่ออกแบบเป็นแบบคานช่วงเดียว โดยทำการทดสอบคานตัวอย่าง 3 รูปแบบ ได้แก่ คานที่มีรอยต่อแบบการเชื่อมที่ปลายเหล็กเสริมของคานคอนกรีตสำเร็จรูปให้ติดกับเหล็กเสริมของเสา คานที่มีรอยต่อแบบที่ใช้เหล็กเสริมทาบกับเหล็กเสริมของคานคอนกรีตสำเร็จรูปที่ยื่นออกมาทั้ง 2 ข้างแล้วเชื่อมติดกัน และคานช่วงเดียวธรรมดาวางลงบนฐานรองรับ โดยคานตัวอย่างมีขนาดหน้าตัด 150x250 ตารางมิลลิเมตร ยาว 3000 มิลลิเมตร ซึ่งคานคอนกรีตสำเร็จรูปทั้ง 3 ตัวอย่างได้ติด Strain Gauge ไว้ที่กึ่งกลางของคานคอนกรีตสำเร็จรูปและบริเวณรอยต่อ การทดสอบทำโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทุกบริเวณกึ่งกลางของคานคอนกรีตสำเร็จรูปจนเกิดการวิบัติของคอนกรีตสำเร็จรูป ผลการทดสอบพิจารณาการแอนตัวละค่าโมเมนต์ดัดของคานตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่าคานคอนกรีตที่มีรอยต่อแบบการเชื่อมของเหล็กเสริมระหว่างคานกับเสาสามารถรับโมเมนต์ได้ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวช่วยให้การออกแบบขนาดของคานให้ประหยัดขึ้นได้ โดยต่างจากหลักการออกแบบคานที่มีรอยต่อโดยทั่วไปที่สมมุติให้รอยต่อดังกล่าว ไม่สามารถรับโมเมนต์ได้ จึงทำให้ขนาดของคานที่ได้จากการออกแบบที่มีขนาดใหญ่

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ทฤษฎีคานบนฐานรากยืดหยุ่น (Beam on Elastic Foundation)

ทฤษฎีคานบนฐานรากยืดหยุ่น (Beam on Elastic Foundation) เป็นทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์แรงภายในคานที่ตัดตัวได้ที่รองรับด้วยสปริง (Winkler Foundation) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Beam on Elastic Foundation

ที่มา : Al-Khafaji and Jacobs, 2016

รูปที่ 2.2 แบบจำลอง Winkler's Concept

ที่มา : ผู้วิจัย

ถ้าคานมีความยาวเท่ากับ L และกว้างเท่ากับ B รองรับด้วย Soil Spring ที่มี Modulus of Subgrade Reaction เท่ากับ K_s พฤติกรรมความแข็งเกร็ง (Rigidity) ของคาน ขึ้นอยู่กับ

ค่าพารามิเตอร์ λ ซึ่งเป็นค่า Relative Stiffness ของคานเทียบกับความแข็งของสปริง โดยค่า λ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 ค่าความยืดหยุ่นของสปริงสามารถคำนวณได้จาก สัมประสิทธิ์ต้านทานแรงกดของชั้นดิน (Modulus of Subgrade Reaction, K_s) สำหรับอาคารที่มีโครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนักที่ทำการศึกษานี้สามารถแบ่งกลุ่มความแข็งเกร็งของโครงสร้างจากสมการสติฟเนสความสัมพันธ์ระหว่าง โครงสร้างและดินดังนี้

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{k_s \cdot B_1}{4EI}} \quad (2-1)$$

โดยที่ λ = Relative stiffness ของคาน (m^{-1}) และ EI = Bending stiffness ของฐานราก

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตฐานราก ($E_c = 15,100 \sqrt{f'c}$ กก/ ซม²)

I = โมเมนต์ความเฉื่อยของฐานราก ($I = \frac{1}{12} B_1 h^3$, ม⁴)

$k = k_s \cdot B_1$ = ค่าสติฟเนสของสปริงจากดินตาม Winkler's Model (ตัน / ม²)

k_s = ค่าโมดูลัสต้านทานแรงกดของชั้นดิน (ตัน/ม³)

B_1 = ความกว้างของฐานราก (ม.)

พฤติกรรมความแข็ง (Rigidity) ของฐานรากขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ λL ซึ่งเป็นค่า Relative Stiffness ของคานเมื่อเทียบกับความแข็งของสปริง โดยค่า λL สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$\lambda L = \sqrt[4]{\frac{K's L^4}{4EI}} \quad (2-2)$$

โดยที่ $K's$ = ค่า Pressure stiffness ของดินหาจากผลรวมค่าสติฟเนสของเสาเข็มหารด้วยความยาวของโครงสร้าง = $n \cdot K_p / L$ (ตัน/ม²)

K_p = ค่าสติฟเนสของเสาเข็ม = $K_p = (AE/L)$ pile (ตัน/ม)

L = ความยาวโครงสร้างทั้งหมด (ม)

I = ค่าโมดูลัสหน้าตัดของโครงสร้าง = $bh^3/12$ (ม⁴)

EI = Bending stiffness ของโครงสร้าง

Hetenyi (1955) ได้พัฒนาสมการสำหรับน้ำหนักกระทำไคบนคานและใช้หลักการทับซ้อน(Superposition) ในการพิจารณาแรงกระทำหลายๆแรงและได้เสนอค่า λL เพื่อใช้เป็นค่าบ่งบอกว่าคานจะมีพฤติกรรมเป็นคานแข็งแบบคงรูป (Rigid Member) หรือแบบยืดหยุ่นคัตตัวได้ (Flexible Member) โดยมีเงื่อนไขดังนี้

- 1) Rigid Member : $\lambda L < \pi/4$ เป็นโครงสร้างที่มีความคงรูป (Rigid)
- 2) Flexible Member : $\lambda L > \pi$ เป็นโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นคัตตัวได้ (Flexible)
- 3) Intermediate Member : $\pi/4 < \lambda L < \pi$ เป็นโครงสร้างที่มีความแข็งปานกลางอยู่ระหว่าง Rigid Member กับ Flexible Member

2.3 การศึกษาเกี่ยวกับการทรุดตัวของเสาเข็ม

2.3.1 การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว

การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสัดส่วนการเคลื่อนตัว (Movement Ratio) ซึ่งนิยามโดย

$$M_R = \frac{\text{Settlement of pile}}{\text{Elastic shortening of pile}} \quad (2-3)$$

ดังนั้นการทรุดตัวของเสาเข็ม (ρ) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\rho = \frac{PL}{E_p A_p} M_R \quad (2-4)$$

เมื่อ P = แรงกระทำต่อเสาเข็ม

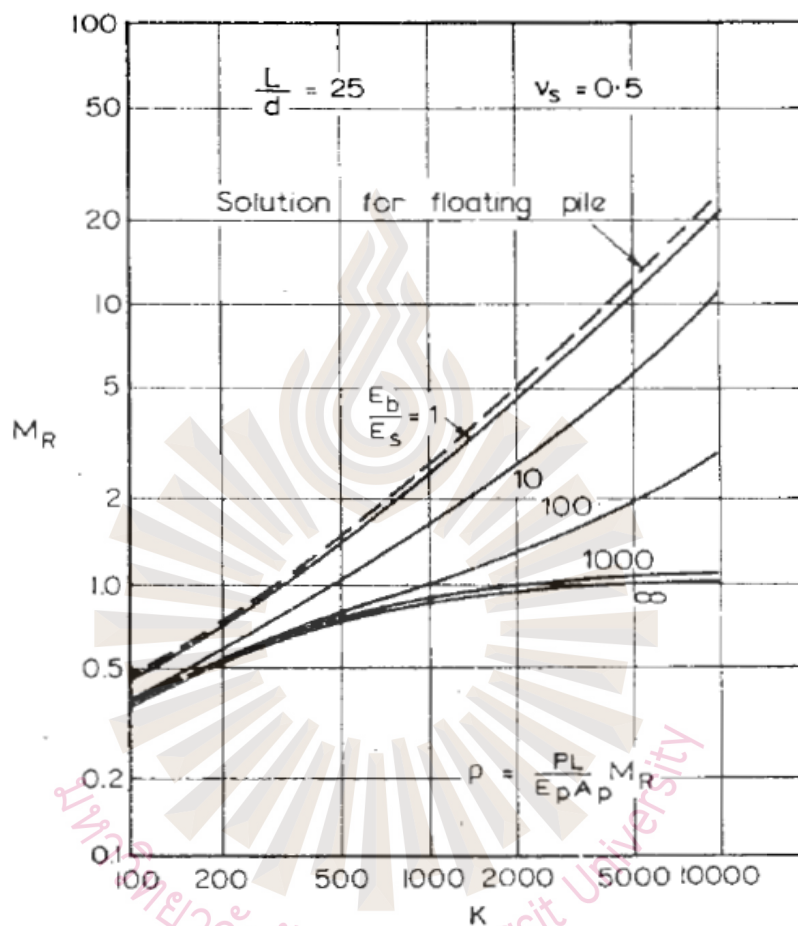
L = ความยาวของเสาเข็ม

E_p = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเสาเข็ม

A_p = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม

จากผลงานวิจัยของ Poulos and Davis (1980) พบว่าค่า M_R มีขนาดขึ้นกับหลายตัวแปร เช่น อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม (L/D) อัตราส่วนระหว่าง

โมดูลัสยืดหยุ่นของเสาเข็มต่อโมดูลัสยืดหยุ่นของดิน(K) และ ค่าความแข็งของดินที่ปลายเสาเข็ม โดยทั่วไปค่า M_R จะมีขนาดอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 2 ดังแสดงในรูปที่ 2.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ



รูปที่ 2.3 กราฟสัดส่วนการเคลื่อนตัว (Movement Ratio) ของเข็มบนชั้นดินแน่น,
ที่มา: Poulos and Davis ,1980

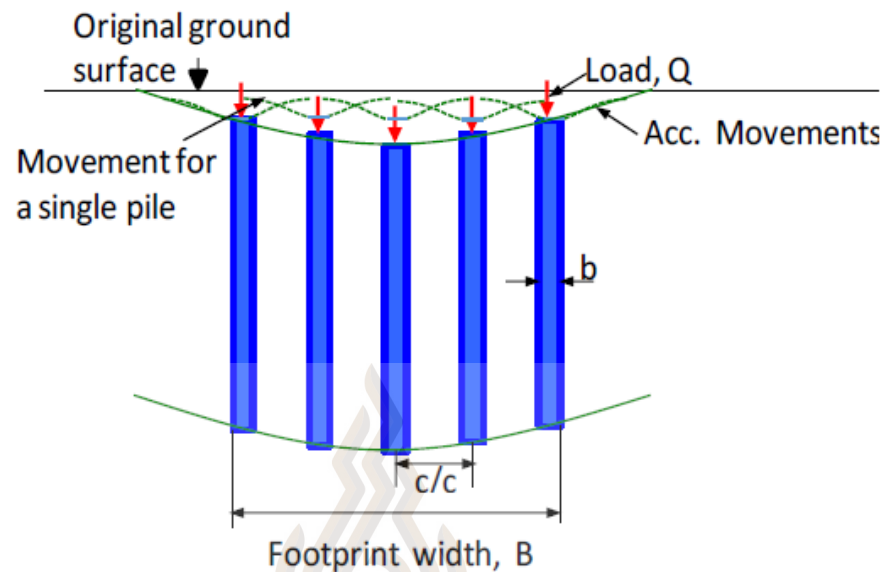
ตารางที่ 2.10 แสดงค่า M_R ที่ได้ข้อมูลจากทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มในสนามโดยวิธี Static Pile Load Test เป็นค่าการทรุดตัวของเสาเข็มตอกในชั้นดินกรุงเทพฯ ได้ค่าความแข็งเกร็ง (Stiffness) ของเสาเข็มดังตารางและค่า M_R มีขนาดอยู่ในช่วง 0.7 -5.8

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า Pile stiffness และ M_R ที่ได้ข้อมูลจากทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มในสนามของชั้นดินกรุงเทพ

สถานที่ทดสอบ	ขนาดเสาเข็ม	ความยาว (เมตร)	ค่าสติฟเนส (ตัน/เมตร)	M_R	อ้างอิงจาก
พฤษาวิลเลจ อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี	I18	8.00	1,175.00	5.8	พนากาญจน์ ยามา(2548)
สาครเพลส ถนนนรสิงห์ อ.เมือง จ.นนทบุรี	I18	14.00	3,182.00	1.7	ต่อศักดิ์ บุษรานนท์และคณะ (2539)
เมืองทองธานี(TP1) อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี	I22	14.00	7,143.00	1.1	ต่อศักดิ์ บุษรานนท์และคณะ (2539)
เมืองทองธานี(TP2) อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี	I22	14.00	6,666.00	1.2	ต่อศักดิ์ บุษรานนท์และคณะ (2539)
การเคหะลาดกระบัง เขต จรเข้บัว กรุงเทพมหานคร	I22	18.00	6,250.00	1.0	ต่อศักดิ์ บุษรานนท์และคณะ (2539)
อาคารสงเคราะห์ ซอยระนอง1เขตคูสิต กรุงเทพมหานคร	I22	21.00	7,159.00	0.7	ต่อศักดิ์ บุษรานนท์และคณะ (2539)

2.3.2 การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม

การทรุดตัวของเสาเข็มแต่ละต้นในกลุ่มเสาเข็มแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ 1) ส่วนที่เกิดจากน้ำหนักที่กระทำต่อเสาเข็มต้นนั้น และ 2) ส่วนที่เกิดจากผลกระทบของเสาเข็มต้นอื่นๆ ที่อยู่กลุ่มดังแสดงในรูปที่ 2.4 ดังนั้นเสาเข็มเดี่ยวจะทรุดตavn้อยกว่าเสาเข็มกลุ่มที่รับแรงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากัน



รูปที่ 2.4 การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม,
ที่มา: Fleming, Weltman, Randolph and Elson, 2009

เสาเข็มเดี่ยวจะทรุดตายน้อยกว่าเสาเข็มกลุ่มที่รับแรงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากัน Poulos and Davis (1980) ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนการทรุดตัว (R_s) ของเสาเข็มเดี่ยวต่อเสาเข็มกลุ่มที่รับแรงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากัน ซึ่ง R_s นิยามโดย

$$R_s = \frac{\text{Average group settlement}}{\text{Settlement of single pile at same average load of the group}} \quad (2-5)$$

ค่า R_s มีขนาดขึ้นอยู่กับหลายตัวแปรเช่น 1) จำนวนของเสาเข็มในกลุ่ม 2) อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม (L/D) 3) ระยะห่างของเสาเข็มเทียบกับขนาด (S/D) และ 4) อัตราส่วนระหว่างโมดูลัสของเสาเข็มต่อโมดูลัสของดิน (K)

ตารางที่ 2.2 แสดงค่า R_s ของเสาเข็มกลุ่มครอบคลุมกลุ่มเสาขนาด 4 ต้นจนถึง 25 ต้น จะเห็นว่า ขนาดของ R_s จะสูงขึ้น เมื่อ 1) ความยาวของเสาเข็มสูงขึ้น 2) ระยะห่างของเสาเข็มน้อยลง และ 3) อัตราส่วนระหว่างโมดูลัสของเสาเข็มต่อโมดูลัสของดิน (K) สูงขึ้น เป็นที่น่าสังเกตว่าแม้เสาเข็มจะมีระยะห่างกันถึง 10 เท่าของขนาดเสาเข็ม แต่ยังมีผลกระทบต่อต้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

โดยทั่วไปบ้านส่วนมากจะใช้เสาเข็มจำนวนมากกว่า 10 ต้น และค่า K ควรมีขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 3,000 ต้นต่อเมตรและค่า L/D มีค่าประมาณ 100 ดังนั้นค่า Rs จึงควรมีขนาดมาก 2 และในกรณีที่เสาเข็มเป็นกลุ่มใหญ่เช่นของ ทาวน์เฮาส์ Rs อาจมีค่าสูงเกิน 5

ตารางที่ 2.2 ค่า Rs ของกลุ่มเสาเข็มขนาดต่างๆ (Poulos and Davis , 1980)

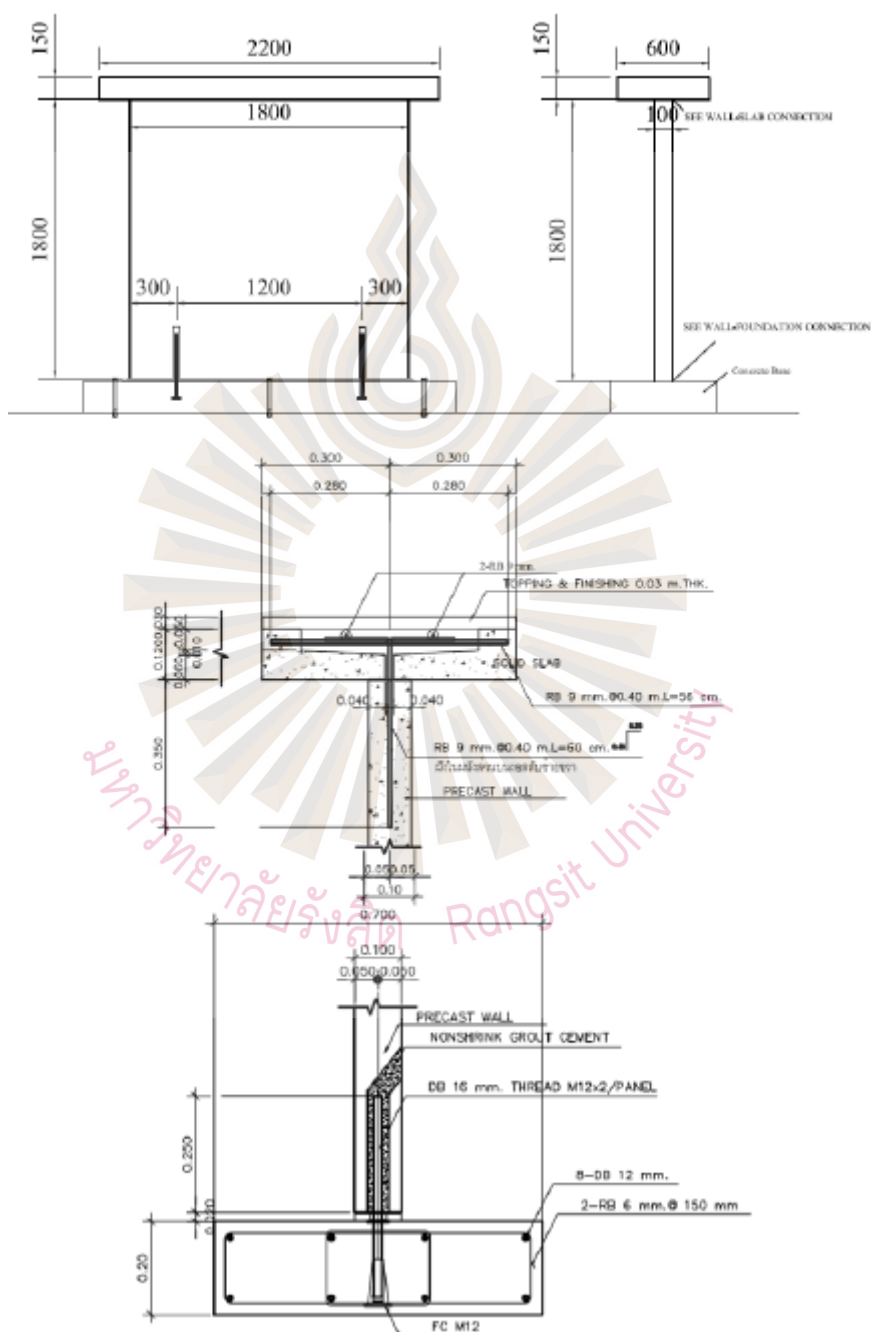
No of Piles in Group		4				9				16				25				
L/d	s/d	K	10	100	1000	∞	10	100	1000	∞	10	100	1000	∞	10	100	1000	∞
10	2	1.83	2.25	2.54	2.62	2.78	3.80	4.42	4.48	3.76	5.49	6.40	6.53	4.75	7.20	8.48	8.68	
	5	1.40	1.73	1.88	1.90	1.83	2.49	2.82	2.85	2.26	3.25	3.74	3.82	2.68	3.98	4.70	4.75	
	10	1.21	1.39	1.48	1.50	1.42	1.76	1.97	1.99	1.63	2.14	2.46	2.46	1.85	2.53	2.95	2.95	
25	2	1.99	2.14	2.65	2.87	3.01	3.64	4.84	5.29	4.22	5.38	7.44	8.10	5.40	7.25	9.28	11.25	
	5	1.47	1.74	2.09	2.19	1.98	2.61	3.48	3.74	2.46	3.54	4.96	5.34	2.95	4.48	6.50	7.03	
	10	1.25	1.46	1.74	1.78	1.49	1.95	2.57	2.73	1.74	2.46	3.42	3.63	1.98	2.98	4.28	4.50	
50	2	2.43	2.31	2.56	3.01	3.91	3.79	4.52	5.66	5.58	5.65	7.05	8.94	7.26	7.65	9.91	12.66	
	5	1.73	1.81	2.10	2.44	2.46	2.75	3.51	4.29	3.16	3.72	5.11	6.37	3.88	4.74	6.64	8.67	
	10	1.38	1.50	1.78	2.04	1.74	2.04	2.72	3.29	2.08	2.59	3.73	4.65	2.49	3.16	4.76	6.04	
100	2	2.56	2.31	2.26	3.16	4.43	4.05	4.11	6.15	6.42	6.14	6.50	9.92	8.48	8.40	10.25	14.35	
	5	1.88	1.88	2.01	2.64	2.80	2.94	3.38	4.87	3.74	4.05	4.98	7.54	4.68	5.18	6.75	10.55	
	10	1.47	1.56	1.76	2.28	1.95	2.17	2.73	3.93	2.45	2.80	3.81	5.82	2.95	3.48	5.00	7.88	

2.4 วิธีการและผลการศึกษากลสมบัติของรอยต่อ

เมื่อปี ค.ศ. 2009 AIT โดย Warnitchai (2009) ได้ทำการศึกษาประเมินความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวของบ้านที่ก่อสร้างด้วยระบบ Precast Wall Bearing ของบริษัท พุกกษาฯ ซึ่งการศึกษาประกอบด้วยการทดสอบการรับแรงของรอยต่อแนวราบ การทดสอบการรับแรงของรอยต่อแนวตั้ง และการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อประเมินความสามารถในการรับแผ่นดินไหวของบ้าน

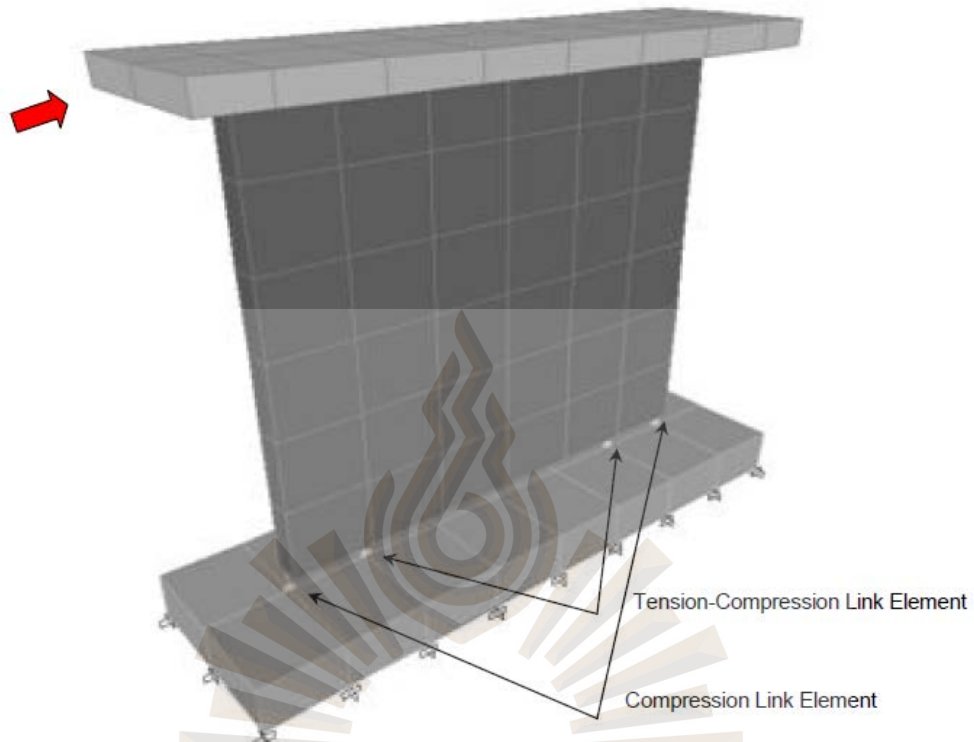
ในการทดสอบการรับแรงของรอยต่อแนวราบ Warnitchai (2009) ได้ทำแบบจำลองโครงสร้างของผนังแบบย่นส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.5 เพื่อทดสอบพฤติกรรมของรอยต่อแนวราบภายใต้แรงกระทำแบบ Cyclic Load และจากผลการทดลอง Warnitchai (2009) ได้ทำการวิเคราะห์ผนังทดสอบด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์โดยโปรแกรม SAP2000 ด้วย Model ที่แสดงในรูปที่ 2.6 การเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้างถูกจำลองด้วย Multi Linear Elastic Link Element โดย Link ที่ใช้จำลอง Cement grout เป็น Link ที่สามารถรับแรงอัดได้อย่างเดียว ในขณะที่โดย Link ที่ใช้จำลอง Dowel bar สามารถรับได้ทั้งแรงดึงและแรงอัด โดยหลังจากการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

Warnitchai (2009) ได้เสนอว่า Link ที่ใช้จำลอง Cement Grout และ Dowel Bar ที่แสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ ให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบ เป็นที่น่าสังเกตว่าในการวิเคราะห์ Warnitchai (2009) ได้สมมุติให้ไม่มีการเลื่อนไถลของรอยต่อ โดยการยึดจุดกึ่งกลางของผนังด้านล่างกับพื้น ไม่ให้มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างกัน

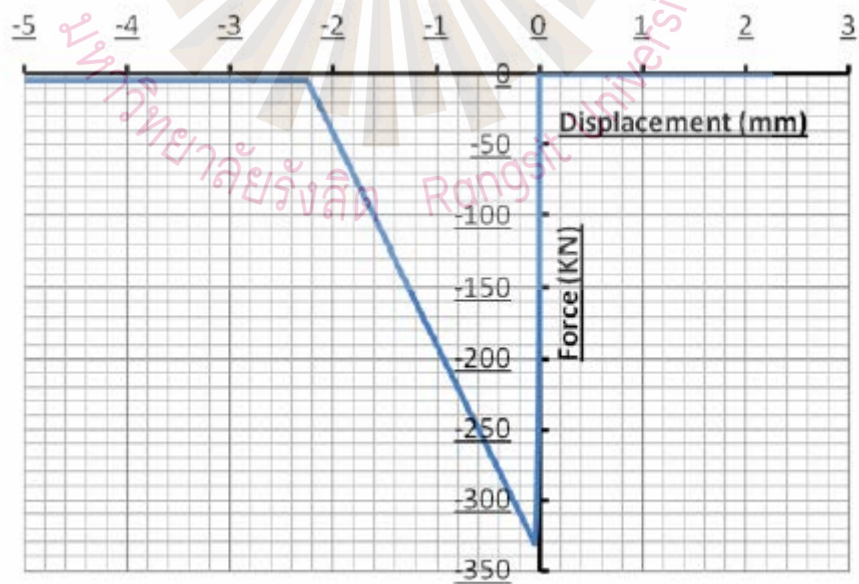


รูปที่ 2.5 ผนังทดสอบแบบย่นส่วนที่ใช้ทดลอง

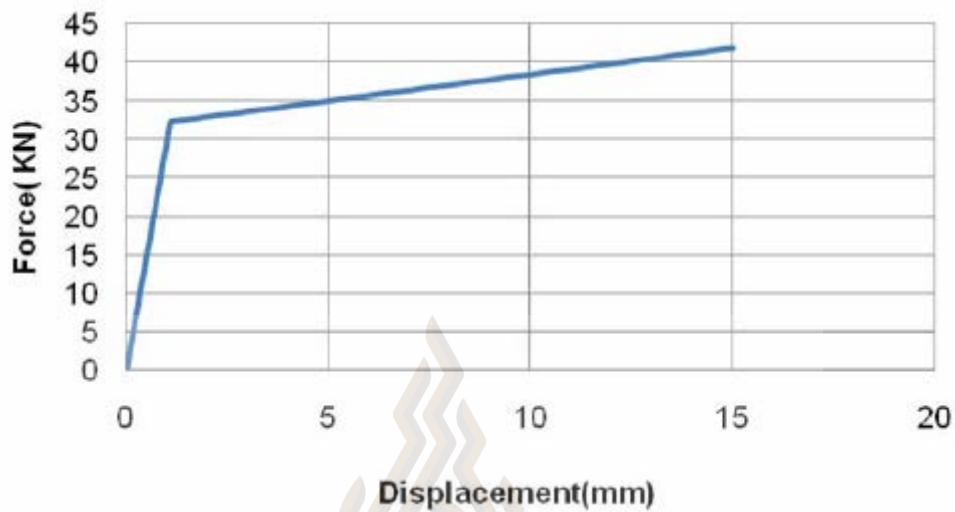
ที่มา: Warnitchai, 2009



รูปที่ 2.6 แบบจำลอง FEM ของผนังทดสอบ
ที่มา: Warnitchai ,2009

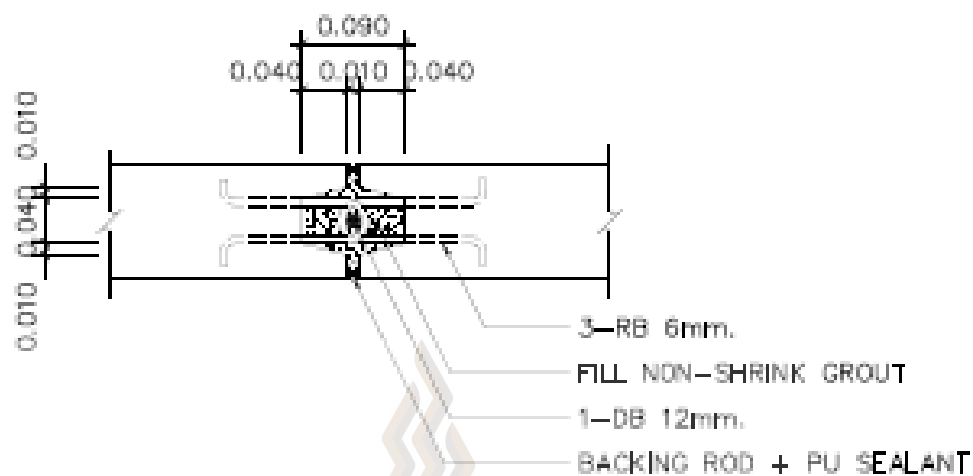


รูปที่ 2.7 คุณสมบัติของ Link element ที่ใช้แทน Cement Grout
ที่มา: Warnitchai ,2009



รูปที่ 2.8 คุณสมบัติของ Link Element ที่ใช้แทน Dowel Bar
ที่มา : Warnitchai ,2009

การทดสอบรอยต่อแนวตั้งของผนังของ Warnitchai (2009) ครอบคลุมรอยต่อสามประเภท คือ รอยต่อแบบ Plate เชื่อม รอยต่อแบบ Bolt และรอยต่อแบบห่วงคล้อง อย่างไรก็ตามผนังรับแรงหลักบ้านของบริษัท พฤกษาฯ ส่วนใหญ่เป็นแบบห่วงคล้องดังแสดงในรูปที่ 2.9 ดังนั้นในการศึกษานี้จะขอก้าวถึงรอยต่อแบบห่วงคล้องเท่านั้น

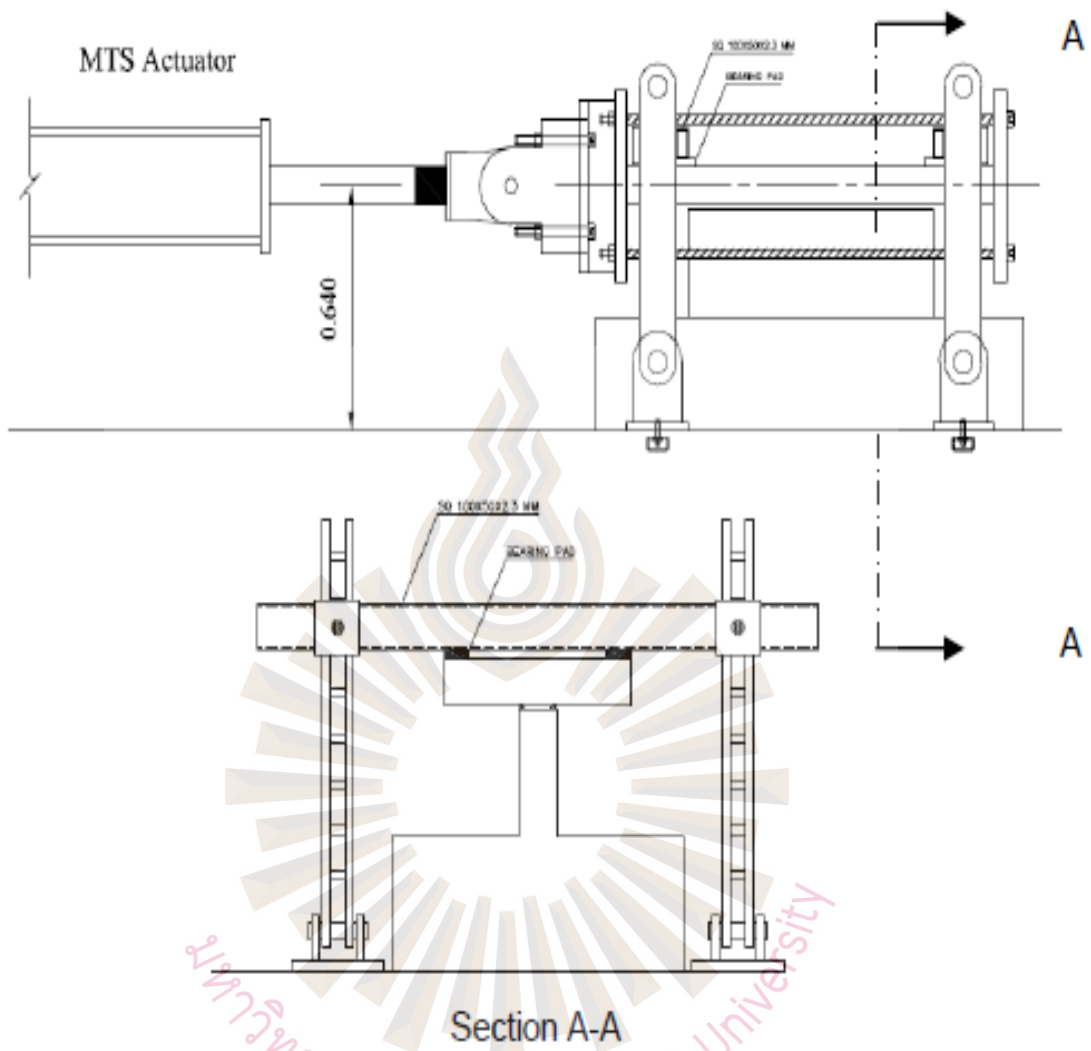


GROOVE JOINT

รูปที่ 2.9 แบบแสดงตัวอย่างรอยต่อแนวตั้งแบบห่วงคล้อง (Groove Joint)

ที่มา : บมจ.พฤษยา โฮลดิ้ง ,2560

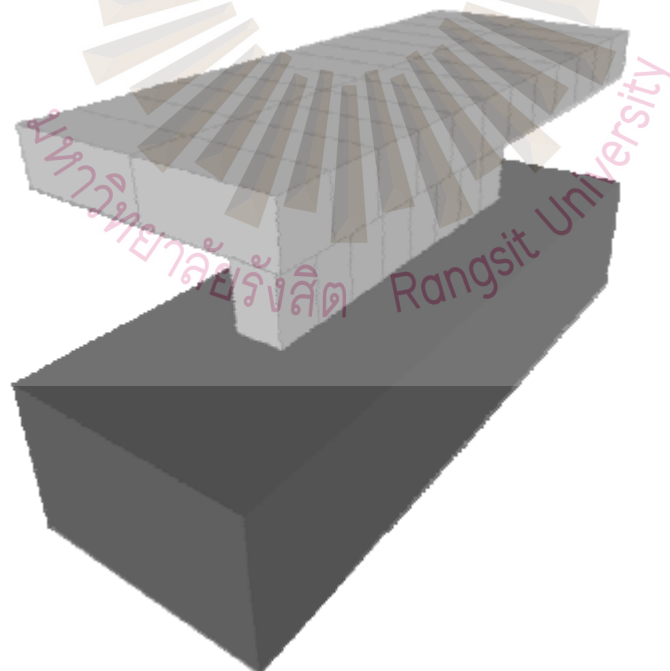
Warnitchai (2009) ได้ทำตัวอย่างดังรูปที่ 2.11 เพื่อใช้ทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 2.10 และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ตามแบบจำลองที่แสดงในรูปที่ 2.13 โดยสมมติให้จุดเชื่อมต่อเป็น Multi Linear Elastic Link Element และทำการ Calibrate จนกระทั่งผลการคำนวณใกล้เคียงกับผลการทดสอบ ผลการ Calibrate ได้คุณสมบัติของ Link Element ดังแสดงในรูปที่ 2.14



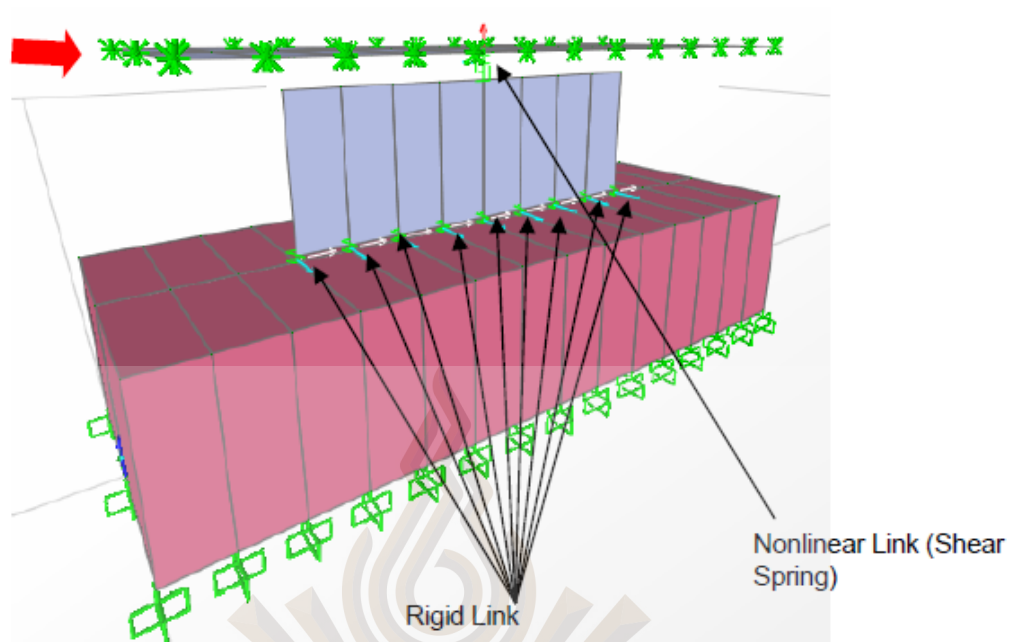
รูปที่ 2.10 รูปแสดงการจัดรูปแบบในการทดลองการรับแรงเฉือนของชิ้นตัวอย่าง
ที่มา :Warnitchai ,2009



รูปที่ 2.11 ชิ้นตัวอย่างจำลองที่จะใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
ที่มา : Warnitchai ,2009



รูปที่ 2.12 แบบจำลองชิ้นตัวอย่าง
ที่มา : Warnitchai ,2009



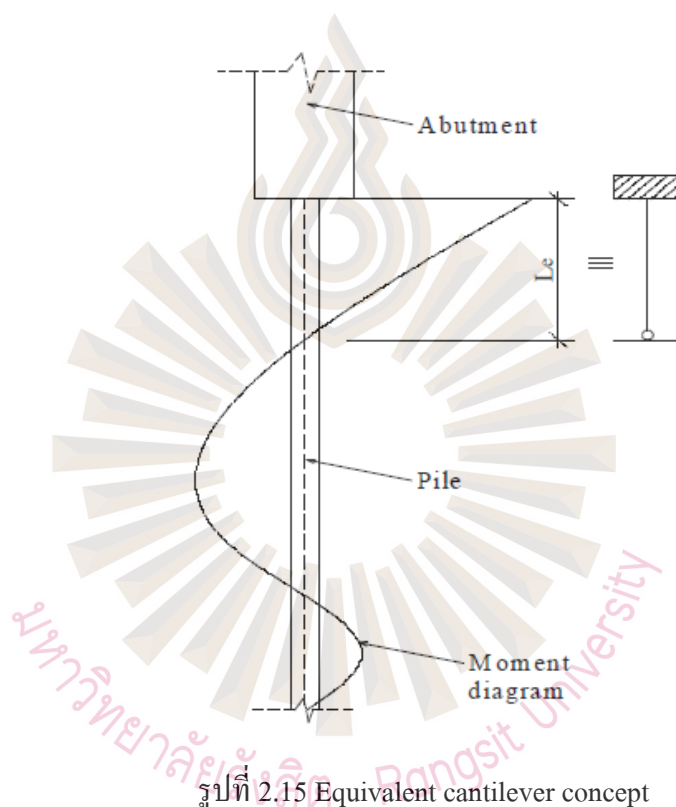
รูปที่ 2.13 แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของรอยต่อกับผนังขึ้นตัวอย่าง
ที่มา : Warnitchai ,2009



รูปที่ 2.14 ผล Calibrate คุณสมบัติของ Link element ของรอยต่อรับแรงเฉือน Groove Joint
ที่มา : Warnitchai ,2009

2.5 วิธีการจำลองเสาเข็มและการคำนวณ

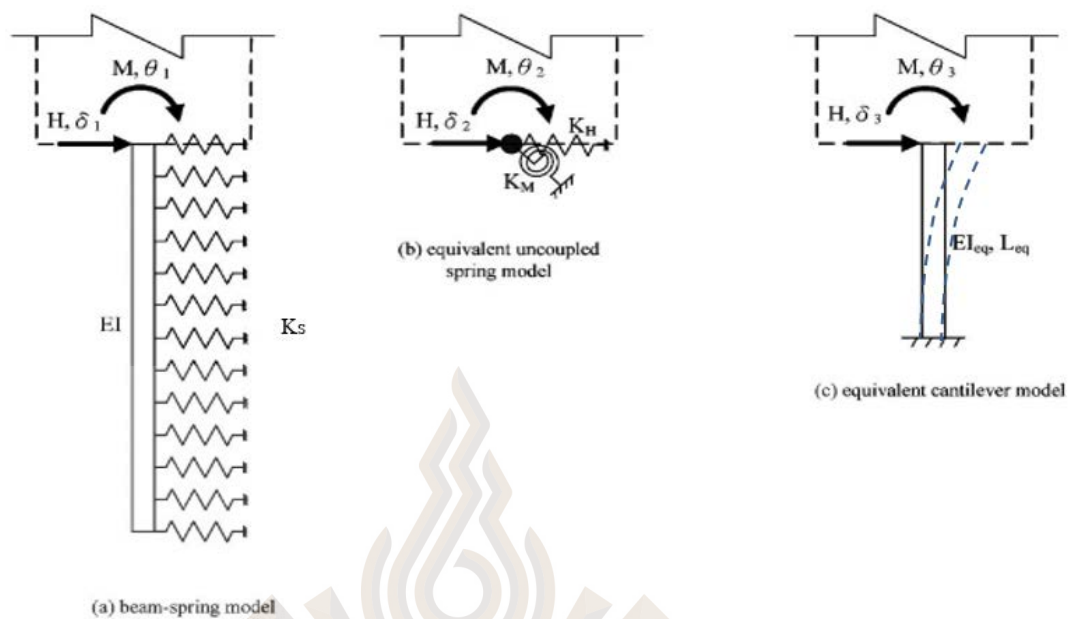
ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์ผลตอบสนองของอาคารที่ถ่ายน้ำหนักลงสู่ฐานรากเสาเข็ม มีหลายวิธี ในการศึกษานี้จะใช้วิธี Equivalent Cantilever Method ที่ได้จำลองพฤติกรรมของแรงดันดินกับเสาเข็มที่มีความยาวเป็นแบบคานยื่น โดยที่หัวเข็มมีจุดยึดครั้งด้วยฐานรากใต้โครงสร้างคานตามรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 Equivalent cantilever concept

ที่มา : Fleming et al., 2009

ในการศึกษานี้จะใช้การวิเคราะห์เสาเข็มต้นเดียวโดยวิธีคานยื่นเทียบเท่า (Equivalent Cantilever Methods) เพื่อให้การวิเคราะห์เสาเข็มต้นเดียวซึ่งฝังอยู่ในชั้นดินที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอ ตามลักษณะดินเหนียวกรุงเทพฯ การจำลองโครงสร้างดังแสดงแบบจำลองเข็มแบบคานยื่นตามรูป 2.16



ก.

ข.

ค.

รูปที่ 2.16 แสดงการจำลองเสาเข็มแบบเต็มเป็นแบบเทียบเท่า ก.แบบจำลองเข็มแบบเต็ม ข.จำลองแบบสปริงความแข็งเทียบเท่า ค.แบบจำลองคานยื่นความยาวเทียบเท่าที่ ให้ระยะการตัดและ โกงตัวที่เท่ากับเข็มจริง

ที่มา : Fleming et al., 2009

เนื่องจากการจำลองเข็มจริงในโปรแกรม SAP2000 มีจะขนาดใหญ่เพราะต้องมีสปริงจำนวนมาก จากรูปที่ 2.16 จึงต้องจำลองพฤติกรรมของดินและเสาเข็มเป็นเสาที่มีการยึดแน่นที่ระดับความลึกที่เทียบเท่าจากผิวดิน (L_e) การหาค่าความยาวเสาเข็มเทียบเท่า คำนวณหาได้จาก การ โกงตัวและแรงภายในเสาเข็ม คิดค่าความแข็งสติฟเนสของสปริง จากการแปลงค่าโมดูลัสต้านทานแรงในแนวราบของดิน ที่แรงกระทำใดๆ การ โกงตัวของเสาเข็มจะขึ้นอยู่กับความยาวของเสาเข็ม การ โกงตัวจะลดลงเมื่อความยาวเพิ่มขึ้นจนถึงค่าความยาววิกฤติ (L_c) ค่าหนึ่ง หากยาวกว่านี้จะไม่ มีผลต่อการ โกงตัวของเสาเข็ม ความยาววิกฤตินี้ขึ้นอยู่กับสติฟเนสของเสาเข็มเทียบกับสติฟเนสของ ดินโดยหาค่าได้จากสมการ

$$L_c = 4 \cdot \sqrt[4]{\frac{E_p I_p}{K_h B}} \quad (2-6)$$

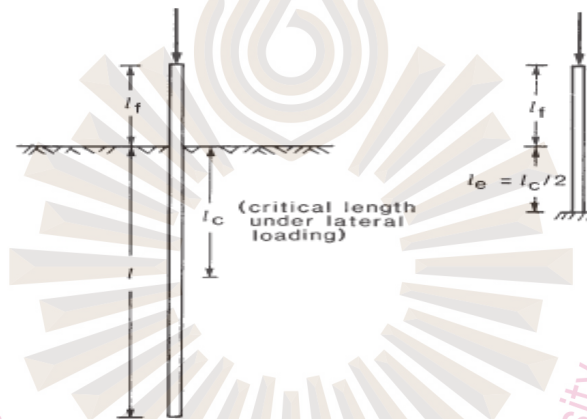
เมื่อ E_p และ I_p คือค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของเสาเข็ม

K_h คือ ค่าโมดูลต้านทานแรงในแนวราบของดิน

B คือ ความกว้างของเสาเข็ม

จากการศึกษาของ Matlock and Reese(1960) แนะนำค่าความยาวเทียบเท่า เท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาววิกฤติสำหรับกรณีดินเหนียว

$$L_e = \frac{L_c}{2} = 2. \sqrt[4]{\frac{E_p I_p}{K_h B}} \quad (2-7)$$



ก. เสาเข็มจริง (Actual pile)

ข. เสาเข็มเทียบเท่า (Equivalent cantilever)

รูปที่ 2.17 เสาเข็มเทียบเท่าสำหรับการคำนวณการโก่งเดาะของเสาเข็มตอก

ที่มา : Fleming et al., 2009

และค่าสตีเฟนสเทียบเท่าของเสาเข็มที่ใช้แทนค่าในโปรแกรม SAP2000 หาได้จากสมการ 2.8

$$K = \frac{A_e E_p}{L_e} \quad (2-8)$$

โดยที่ $A_e =$ พื้นที่หน้าตัดเสาเข็มเทียบเท่า $= \frac{A_p L_e}{L_p}$

$A_p =$ พื้นที่หน้าตัดเสาเข็มจริง

$L_e =$ ความยาวเทียบเท่าเสาเข็ม

L_p = ความยาวเสาเข็มจริง

2.6 วิธีการศึกษาเพื่อประเมินคุณสมบัติของจุดยึดต่อต่างๆ

เนื่องจากคุณสมบัติของ Link Elements ที่ใช้วิเคราะห์เกือบทุก Link ใช้คุณสมบัติเดียวกับที่ใช้ในการศึกษาของ Warnitchai (2009) ซึ่งได้จากผลการทดลองและได้รับการปรับเทียบ กับให้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับผลการทดลองและทำการทวนสอบด้วยโปรแกรมไฟไนท์อีลิเมนต์ เพื่อนำผลที่ได้มาทำการศึกษาแบบแปรผันตัวแปร (Parametric Study) เพื่อขยายผลการศึกษาและนำผลการจำลองโครงสร้างที่ได้มาศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างในรูปแบบอื่นๆที่ไม่สามารถศึกษาได้จากการทดสอบในสนาม ดังนั้นจึงมีความน่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตามการศึกษานี้มีประเด็นเพิ่มเติมที่แตกต่างจากการศึกษาของ Warnitchai (2009) มีต่อไปนี

1)ในการศึกษาของ Warnitchai (2009) ได้สมมุติให้ Cement Grout ของรอยต่อในแนวนอน มี Stiffness ในแนวนอนสูงมาก จึงได้ทำการ Fixed ไม่ให้มีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในแนวนอนกับรอยต่อ การสมมุติเช่นนี้จะทำให้โครงสร้างมีสติเฟเนส (Stiffness) สูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากเมื่อ Cement Grout มีการแตกร้าวเนื่องจากการยึดหดตัวของ Cement Grout แรงยึดเหนี่ยวระหว่างรอยต่อจะสูญเสีย เหลือแต่ส่วนที่เป็นแรงเสียดทานจากน้ำหนักของโครงสร้าง ดังนั้นสมมุติฐานที่ไม่มีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในแนวนอนกับรอยต่อจึงไม่น่าจะสอดคล้องกับพฤติกรรมโครงสร้าง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงจำลอง Cement Grout ด้วย Link Element ชนิด Friction Isolation โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับคอนกรีตผิวเรียบที่แนะนำโดย CEB-FIP MC2010 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5 ในการกำหนดระยะเวลาการเคลื่อนตัวขณะเริ่มเลื่อน ไกล ผู้ศึกษาได้ปรับแก้ค่า Stiffness ของ Link Element จนได้ระยะเวลาการเคลื่อนตัวขณะเริ่มเลื่อน ไกลมีค่าเท่ากับ 1 มม. ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองของคอนกรีตผิวเรียบ (Mohamad and Ibrahim.,2015) อย่างไรก็ตามค่าระยะเวลาเริ่มเลื่อน ไกลยังมีความไม่แน่นอน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้วิเคราะห์ครอบคลุมในกรณีที่ค่าการเคลื่อนตัวที่จุดเลื่อน ไกลมากกว่าและน้อยกว่า 10 เท่าของค่าที่ใช้ศึกษา เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของระยะเวลาเลื่อน ไกลต่อค่าสติเฟเนส (Stiffness) ของโครงสร้าง

2)ในรายงานการศึกษาของ Warnitchai (2009) ไม่ได้พิจารณาให้เหล็กชั้น DB12 ที่รอยต่อของผนังเป็นจุดยึดครั้ง โครงสร้าง แต่ผู้ศึกษาพิจารณาเห็นว่า เหล็กชั้น DB12 มีความสำคัญต่อ

โครงสร้าง โดยจะเป็น Clamping Force ช่วยยึดรั้งด้วยกลไก Shear Friction ไม่ให้ผนังเลื่อนไถลจากโครงสร้างด้านล่าง ในกรณีที่แรงเสียดทานใน Cement Grout จาก Gravity Load สูญเสียไป ค่าแรงที่เกิดจาก Shear Friction ได้ถูกกำหนดตามที่อธิบายในหัวข้อ 3.2.4 โดยที่ระยะที่จุดเลื่อนไถลสมมุติให้เท่ากับ 1 มม. อย่างไรก็ตามในการศึกษาขังได้วิเคราะห์ กรณีที่ระยะเลื่อนไถลเป็น 0.5 และ 1.5 มม. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของระยะเลื่อนไถลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างอีกด้วย

2.7 วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการวิเคราะห์ระบบ โครงสร้างผนังรับน้ำหนักในกรณี 2 มิติ หรือ 3 มิติ โดยเฉพาะระบบโครงสร้างที่ค่อนข้างซับซ้อน เช่น กรณีผนังรับน้ำหนักมีช่องเปิดของประตูหน้าต่าง มีความยากลำบากในการใช้วิธีการคำตอบแน่นอนตรง (Exact Solution) ในการแก้ไขปัญหา ดังนั้นจึงใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบโดยประมาณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และสามารถนำมาใช้กับปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้

การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ และจำเป็นต้องเข้าใจถึงการใส่เงื่อนไขขอบเขตของปัญหา (Boundary Condition) และศึกษาความละเอียดของการจัดโครงข่ายชิ้นส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในตัวโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์และนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 3

วิธีการศึกษาและการจำลองโครงสร้าง

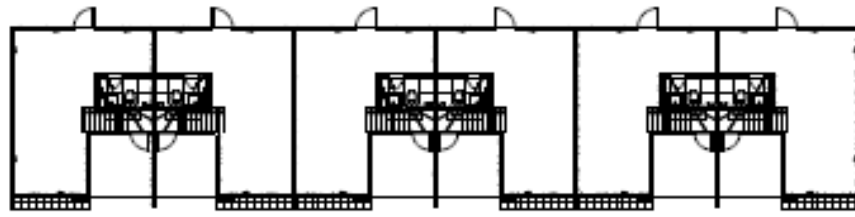
ในการศึกษานี้ได้เลือกโปรแกรม SAP2000 มาใช้ในการวิเคราะห์ กำหนดผนังให้เป็นชิ้นส่วนแผ่นเปลือกบาง (Thin Shell Element) ประกอบกันเข้าด้วยจุดต่อ ที่มีกลสมบัติยืดหยุ่นแบบไร้เชิงเส้น (Non Linear) และแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Multi Linear Elastic) ฐานรากเสาเข็มกำหนดเป็นโครงข้อแข็ง (Frame Element) มีพฤติกรรมแบบสปริงเชิงเส้น (Linear) จึงมีความซับซ้อนในการวิเคราะห์

ขั้นตอนการศึกษาได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ 1)รูปแบบที่ใช้ศึกษา 2)การจำลองโครงสร้างเพื่อการวิเคราะห์ทางไฟไนต์อีลิเมนต์ 3) การศึกษาโดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ และ 4)การศึกษาโดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลอง 2 มิติ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบพฤติกรรมของผนังแต่ละด้าน โดยผนังแกนหลักของบ้านแต่ละด้านจะถูกวิเคราะห์แบบแยกส่วนเป็นอิสระต่อกัน เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจถึงผลกระทบของจุดต่อต่างๆต่อพฤติกรรมของโครงสร้าง ส่วนการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมจริงของบ้านซึ่งมีการเชื่อมต่อของผนังแต่ละด้านแบบ 3 มิติ รายละเอียดของวิธีการศึกษามีต่อไป ดังนี้

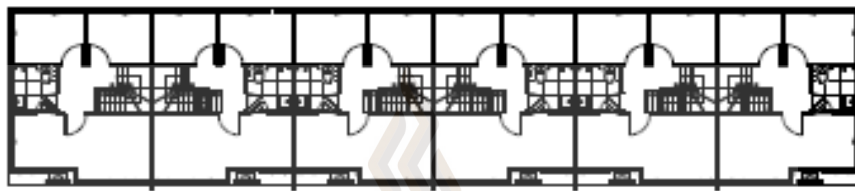
3.1 รูปแบบที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 บ้านแบบทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น

แบบที่ใช้ในการศึกษา คือ ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น 6 ห้อง และบ้านเดี่ยว 2 ชั้น เป็นโครงสร้างระบบผนังรับน้ำหนักชนิดชิ้นส่วนสำเร็จรูปของบริษัทพฤกษา โฮลดิ้ง จำกัด (มหาชน) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 แบบทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น 6 ห้อง



แปลนพื้นชั้น 1



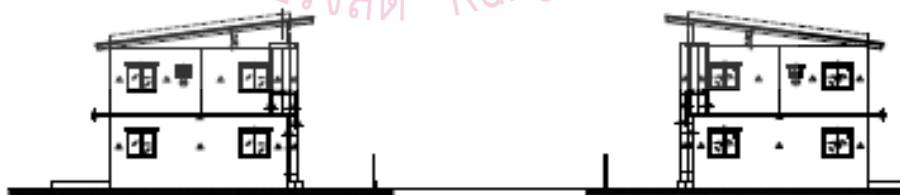
แปลนพื้นชั้น 2



แบบรูปด้านหน้า



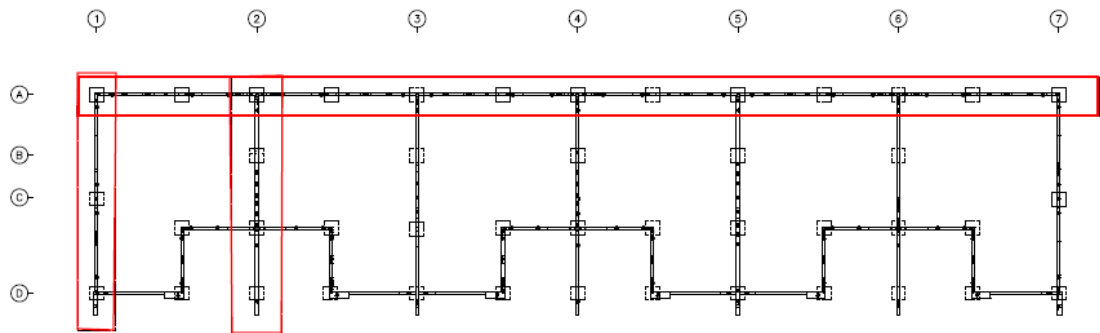
แบบรูปด้านหลัง



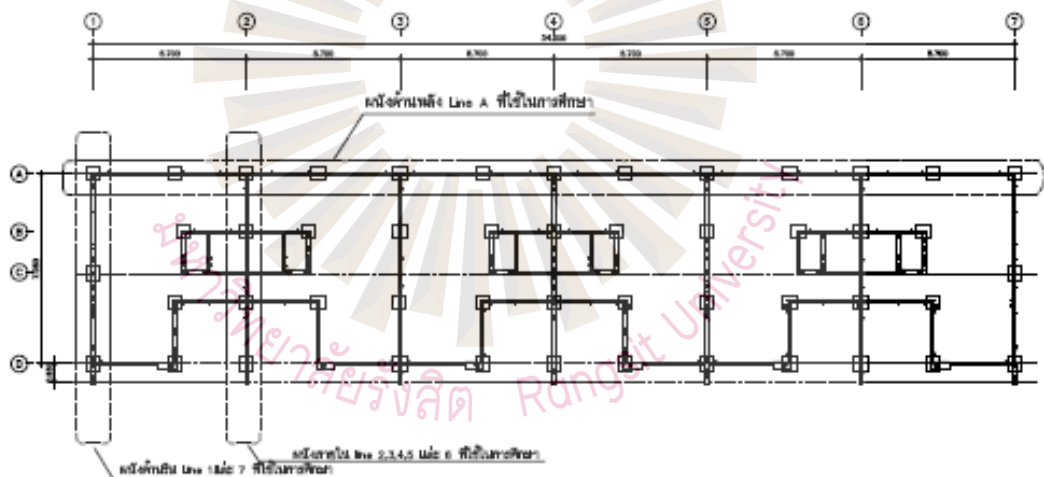
แบบรูปด้านข้าง

รูปที่ 3.1 แบบทาว์นเฮ้าส์ 2 ชั้น 6 ห้อง

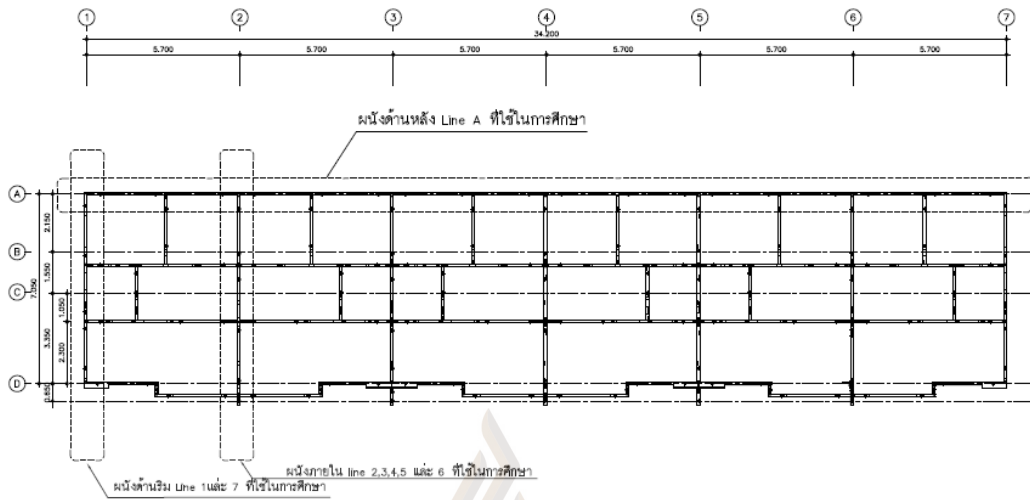
ที่มา : บมจ.พุกงา โฮลดิ้ง, 2560



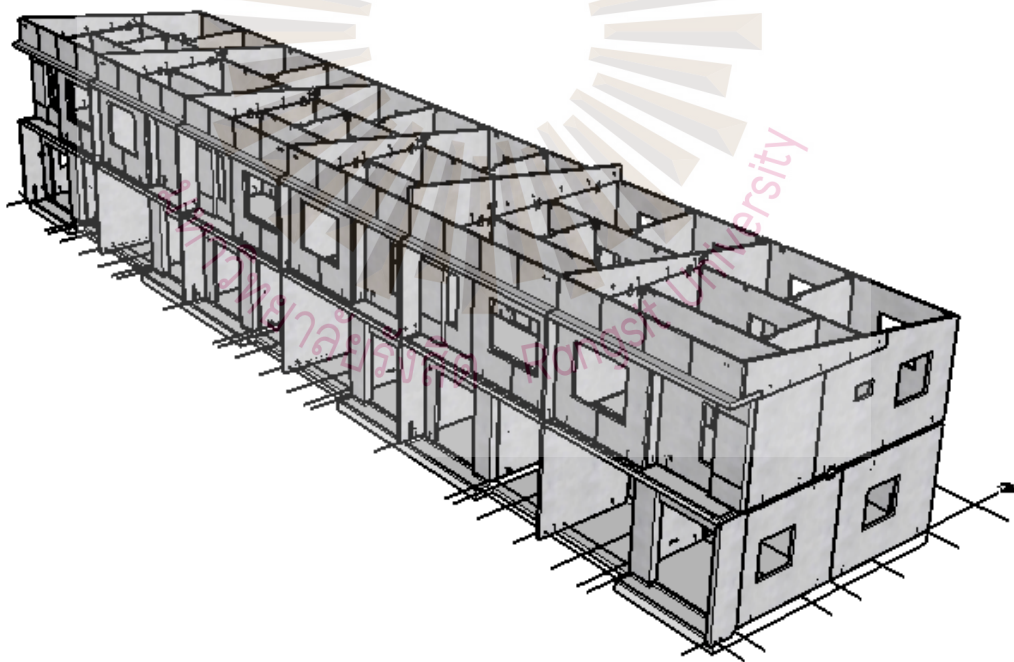
รูปที่ 3.2 แบบแปลนเสาเข็มของ ผนังริม line 1,7 ผนังใน Line 2-6 และผนังด้านหลัง line A
ที่มา : บมจ.พฤกษา โฮลดิ้ง, 2560



รูปที่ 3.3 แบบแปลนชั้น 1 ของผนังริม line 1,7 ผนังใน Line 2-6 และผนังด้านหลัง line A
ที่มา : บมจ.พฤกษา โฮลดิ้ง, 2560



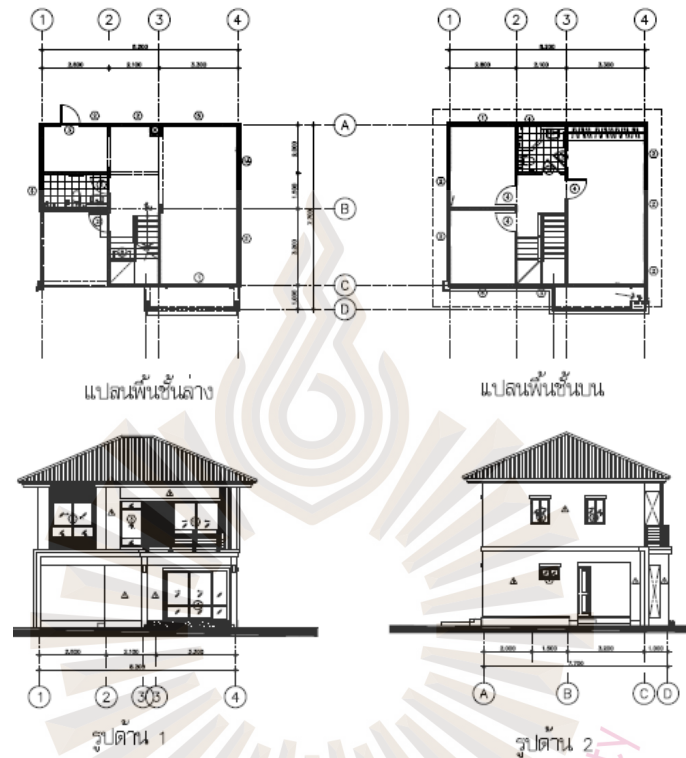
รูปที่ 3.4 แบบแปลนชั้น 2 ของผนังริม Line 1,7 ผนังใน Line 2-6 และผนังด้านหลัง Line A
ที่มา : บมจ.พฤกษา โฮลดิ้ง, 2560



รูปที่ 3.5 รูปแบบแสดงผนังหล่อสำเร็จทาวนเฮ้าส์ 2 ชั้น 6 ห้องแบบ 3 มิติ
ที่มา : ผู้วิจัย

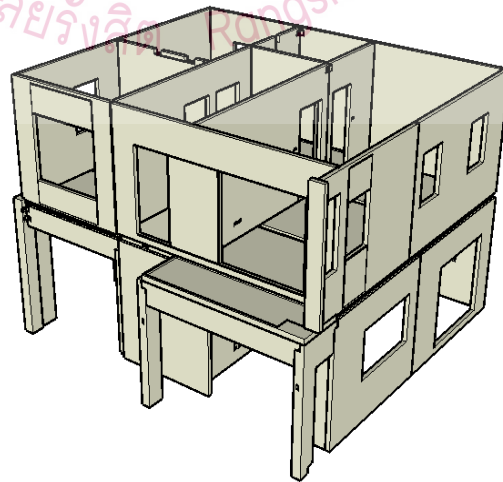
3.1.2 บ้านแบบบ้านเดี่ยว 2 ชั้น

รูปแบบบ้านเดี่ยวที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 3.6 แบบแปลนบ้านเดี่ยว 2 ชั้น

ที่มา : บมจ. พฤกษา โฮลดิ้ง, 2560



รูปที่ 3.7 รูปแบบผนังหล่อสำเร็จบ้านเดี่ยว 2 ชั้น แบบ 3 มิติ

ที่มา : ผู้วิจัย

3.2 การจำลองโครงสร้างเพื่อการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Elements

3.2.1 รูปแบบการจำลองโครงสร้างและคุณสมบัติของวัสดุ

การศึกษานี้ใช้การวิเคราะห์โครงสร้างบ้านระบบผนังหล่อสำเร็จ (Precast) ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ SAP2000 โดยจำลองชิ้นส่วนต่างๆของโครงสร้างตามที่แสดงในตารางข้างล่าง

ตารางที่ 3.1 ตารางชิ้นส่วนโครงสร้างและแบบจำลอง

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	แบบจำลอง
เสาเข็ม	Frame Element
ฐานครอบเสาเข็ม	Shell Element
พื้น	Shell Element
คาน	Shell Element
ผนัง	Shell Element
Grout cement รอยต่อแนวราบ	Friction Isolation Element
รอยต่ออื่นๆ	Nonlinear Link Element

คุณสมบัติของวัสดุ

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้มีดังนี้

คอนกรีตโครงสร้าง

ผนัง คาน และ พื้น $f_c' = 240$ กก/ซม² และ Young's Modulus = 233,928.19 กก/ซม²

เสาเข็ม $f_c' = 320$ กก/ซม² และ Young's Modulus = 270,117.01 กก/ซม²

เหล็กเสริม

ใช้เหล็ก SD40 $f_y = 4,000$ กก/ซม² และ Young's Modulus = 2,060,000 กก/ซม²

3.2.2 การจำลองฐานรากเสาเข็ม

ฐานรากของบ้านที่วิเคราะห์เป็นเสาเข็มไอล 22 ยาว 20 เมตร โดยในการศึกษานี้การจำลองเสาเข็มใช้วิธี Cantilever Idealization (Fleming et. al., 2009) ซึ่งจำลองเสาเข็มเป็นคานย่นที่มีจุดยึดครั้งที่ด้านใต้ของคาน โดยให้ความยาวของเสาเข็มเท่ากับ L_e มีระยะโก่งตัวด้านข้างเทียบเท่ากับของเสาเข็ม สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.7 ในบทที่ 2 จากสูตร

$$L_e = 2.4 \sqrt{\frac{E_p I_p}{K_h \cdot B}}$$

ในกรณีเสาเข็ม ไอล 22 ฝังอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อนกำหนดค่า $C_u = 1 \text{ t/m}^2$, $K_h = 100C_u/B$ ได้ค่า $K_h = 454.54 \text{ t/m}^3$ แทนค่าในสมการจะได้ L_e มีค่าประมาณ 3 เมตร สำหรับจำลองโครงสร้าง

ความแข็งหรือสติเฟนของเสาเข็มในแนวตั้งได้ถูกปรับแก้ให้ได้รับการขยับตัวเท่ากับการทรุดตัวของเสาเข็มที่คาดว่าจะเกิด โดยการทรุดตัวของเสาเข็มต่อแรงที่กระทำ คำนวณด้วยวิธีที่อธิบายในหัวข้อ 2.3.1 และ 2.3.2 โดยกำหนดให้ Movement Ratio (Mr) ให้มีขนาดเท่ากับ 0.5 และ Group Settlement Ratio (Rs) เท่ากับ 2 ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุดที่น่าจะเป็นไปได้ทั้งสองตัวแปร ทั้งนี้เพื่อให้ได้เสาเข็มที่แข็งที่สุดซึ่งจะให้การกระจายของแรงในเสาเข็มมีความสม่ำเสมอที่สุด

3.2.3 การจำลองชิ้นส่วนโครงสร้างแผ่นผนัง ,แผ่นพื้น ,คาน และฐานราก

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งหมดถูกจำลองด้วย Shell Element ที่มีความหนาแตกต่างกันโดยความหนาของชิ้นส่วนต่างๆแสดงในตารางข้างล่างยกเว้นเสาเข็มเป็น Frame Element ยาว 3 ม.ที่เป็นความยาวเทียบเท่าเพื่อการจำลองโครงสร้าง วิธีการคำนวณได้แสดงไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.2.2

ตารางที่ 3.2 ตารางชั้นส่วนโครงสร้างและขนาดในแบบจำลอง

ชั้นส่วนโครงสร้าง	ความหนา (ม)
ผนัง	0.10
พื้น	0.14
กาน	0.20
ฐานราก	0.50
เสาเข็ม ไอ 22	0.22

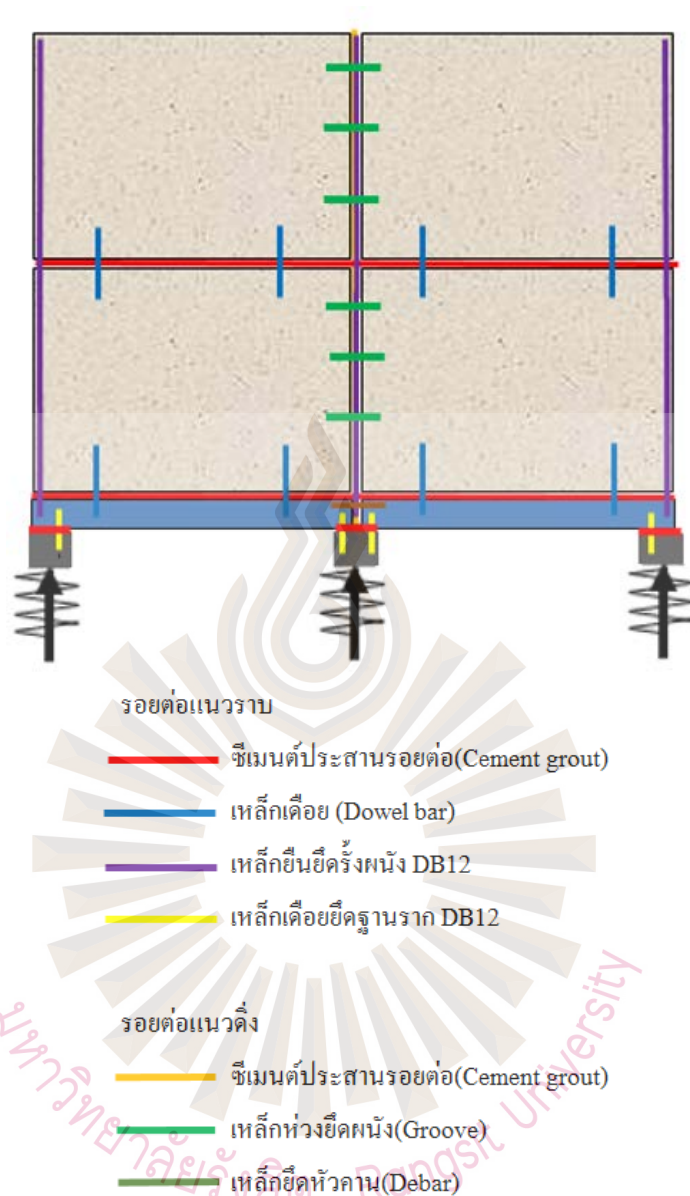
3.2.4 การจำลองหลังคา

น้ำหนักบรรทุกจากหลังคา ถูกสมมุติให้กระจายเป็นแรงกระทำสม่ำเสมอ (Uniform Load) ลงสู่ผนังชั้นสองด้านที่รับน้ำหนักจากโครง Truss โดยกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกทุกคงที่ (DL) 50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร น้ำหนักบรรทุกทุกเพิ่มเติม (SDL) 20 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และน้ำหนักบรรทุกจร (LL) 50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

สำหรับทาว์นเฮาส์ น้ำหนักบรรทุกจากหลังคา ถูกสมมุติให้กระทำบนผนังชั้นสองด้านแนวด้านหน้า และด้านหลัง ส่วนบ้านเดี่ยวถูกสมมุติให้กระจายลงบนผนังรอบบ้านชั้นสองตามลักษณะรูปแบบของหลังคา

3.2.5 การจำลองระบบยึดรอยต่อระหว่างชั้นส่วน

ชั้นส่วนโครงสร้างบริเวณรอยต่อได้เว้นช่องว่างไว้ 2 เซนติเมตร และได้จำลองโดยใช้ Link Element เชื่อมต่อชั้นส่วน โครงสร้างเข้าด้วยกันแทนจุดยึดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 รายละเอียดของรอยต่อแนวราบและแนวตั้งเพื่อการวิเคราะห์หามีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.8 รายละเอียดของรอยต่อแนวราบและแนวตั้ง

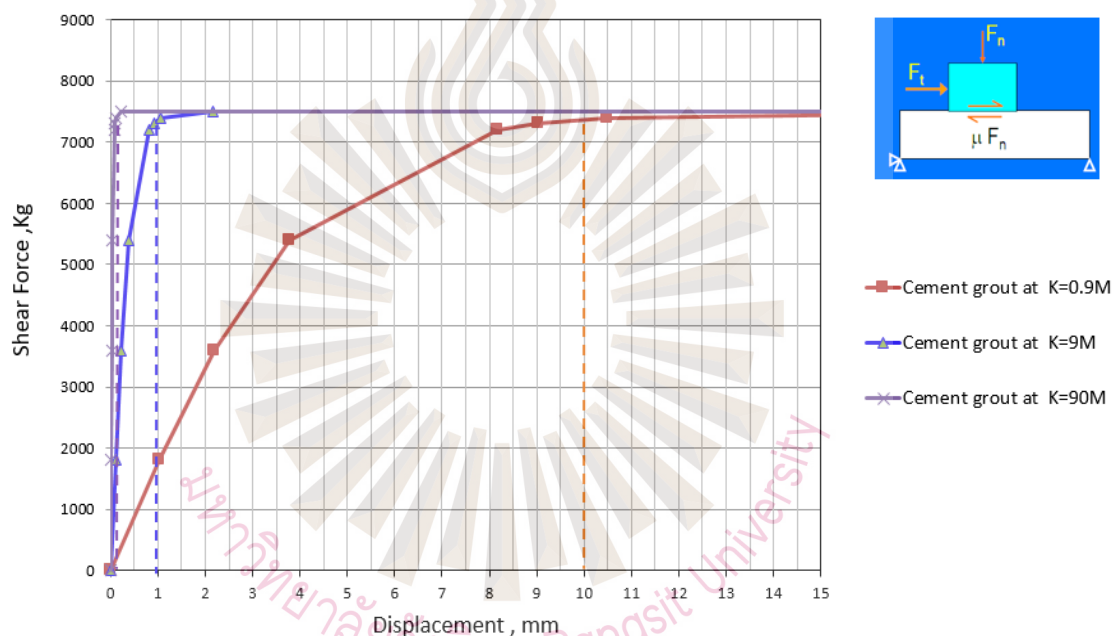
ที่มา: ผู้วิจัย

รอยต่อแนวราบ

รอยต่อแนวราบประกอบด้วย Cement Grout, Dowel Bar และ เหล็กยื่น DB 12 บริเวณรอยต่อ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Cement Grout สมมุติจำลองให้เป็น Link Element แบบ Friction Isolation ซึ่งสามารถรับแรงอัดในแนวแกน และแรงในแนวนอนกับรอยต่อสองทิศทาง โดยสติฟเนส (Stiffness) ใน

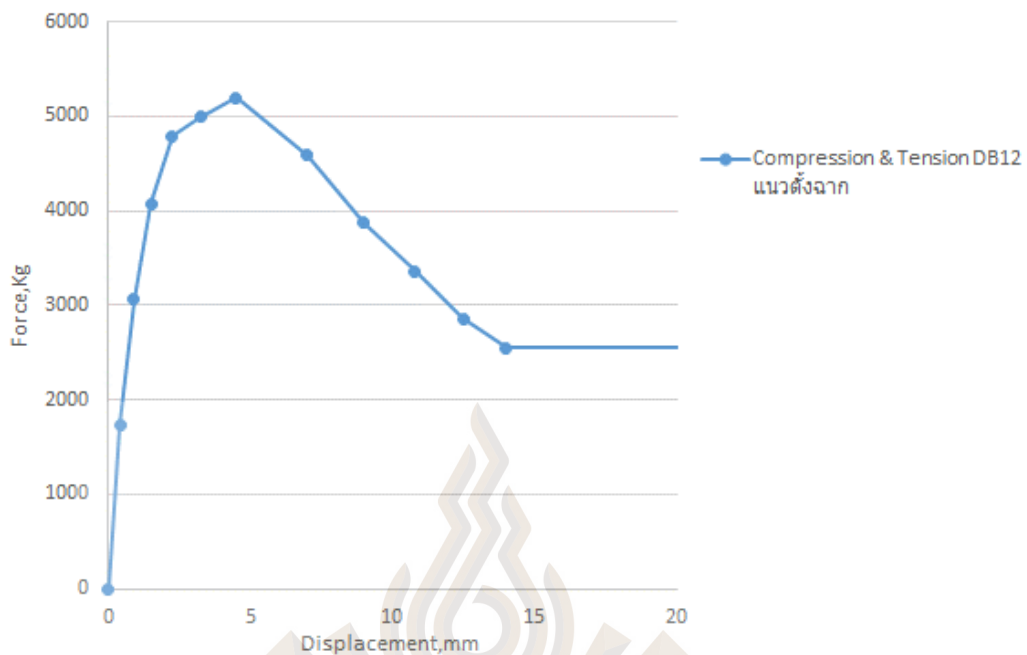
แนวแกนได้ใช้ค่าเท่ากับค่าที่ใช้ในการศึกษาของ Warnitchai (2009) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,878,000 t/m. ส่วนค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานใช้เท่ากับ 0.5 และค่าสติฟเนส (Stiffness) ในแนวขนานถูกปรับจนได้ค่าการเคลื่อนตัวขณะเลื่อนไถลอยู่ในประมาณ 1 มม. ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองของคอนกรีตผิวเรียบของ Mohamad and Ibrahim. (2015) อย่างไรก็ตามการศึกษานี้จะครอบคลุมกรณีที่ค่าการเคลื่อนตัวที่จุดเลื่อนไถลมากกว่าและน้อยกว่า 10 เท่า เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรนี้ต่อพฤติกรรมของผนัง รูปที่ 3.9 แสดงกราฟระหว่างแรงเนื่องกับการเคลื่อนตัวของ Link element ที่ใช้กรณีที่แรงอัดบนผิวสัมผัสเท่ากับ 15 ตันที่ค่าสติฟเนสของ Cement grout 90,000,000 kg/m², 9,000,000 kg/m² และ 900,000 kg/m² ได้ระยะเริ่มเลื่อนไถลเท่ากับ 0.1, 1, และ 10 มม.



รูปที่ 3.9 กราฟระหว่างแรงเนื่องกับการเคลื่อนตัวของ Link element

ที่มา : ผู้วิจัย

Dowel Bar ใช้ค่าที่แนะนำโดย Warnitchai (2009) โดยสมมุติให้เป็น Link Element แบบ Multi Linear Elastic ที่สามารถรับแรงอัดและแรงดึงในแนวแกนเท่านั้น ไม่สามารถรับแรงในแนวขนานได้ เนื่องจากบริเวณที่ Dowel Bar ติดตั้ง เมื่อโครงสร้างรับน้ำหนักจนเกิดการโก่งตัว ผนังกับพื้นจะเกิดการแยกตัวไม่สัมผัสกัน ทำให้ไม่สามารถรับแรงเฉือนที่เกิดจาก Shear Friction ได้ ดังนั้นจึงสมมุติให้ Dowel Bar ไม่สามารถรับแรงในแนวขนานกับแกนได้ รูปที่ 3.10 แสดงกราฟระหว่างแรงในแนวแกนกับการเคลื่อนตัวของ Link Element



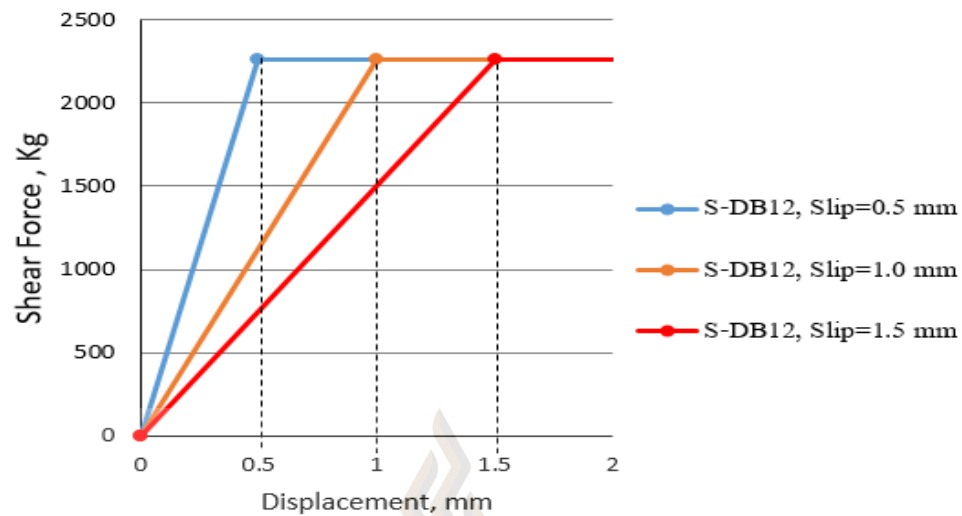
รูปที่ 3.10 กราฟระหว่างแรงในแนวแกนกับระยะยืดของ Dowel Bar
ที่มา : ผู้วิจัย

เหล็กขึ้น DB12 สมมุติให้เป็น Link element แบบ Multi Linear Elastic ที่สามารถรับแรงอัดและแรงดึงในแนวแกน เหมือนกับที่แสดงในรูปที่ 3.10 ส่วนในแนวราบสมมุติให้สามารถรับแรง Shear Friction ได้ โดยแรงเฉือนสูงสุด (S_{max}) คำนวณจากสมการ

$$S_{max} = \mu A_s f_y$$

เมื่อ μ คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน = 0.5
 A_s คือพื้นที่หน้าตัดของเหล็ก DB 12
 f_y คือกำลังที่จุดครากของเหล็ก = 4,000 กก./ซม²

ระยะที่จุดเลื่อนไหลสมมุติให้เท่ากับ 1 มม. รูปที่ 3.11 แสดงกราฟระหว่างแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวของ Link Element ที่ใช้ นอกจากนี้ในการศึกษาขังได้วิเคราะห์ กรณีที่ระยะเลื่อนไหลเป็น 0.5 และ 1.5 มม. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของระยะเลื่อนไหลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างอีกด้วย



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงแรงและการเคลื่อนตัวของเหล็กยื่น DB12

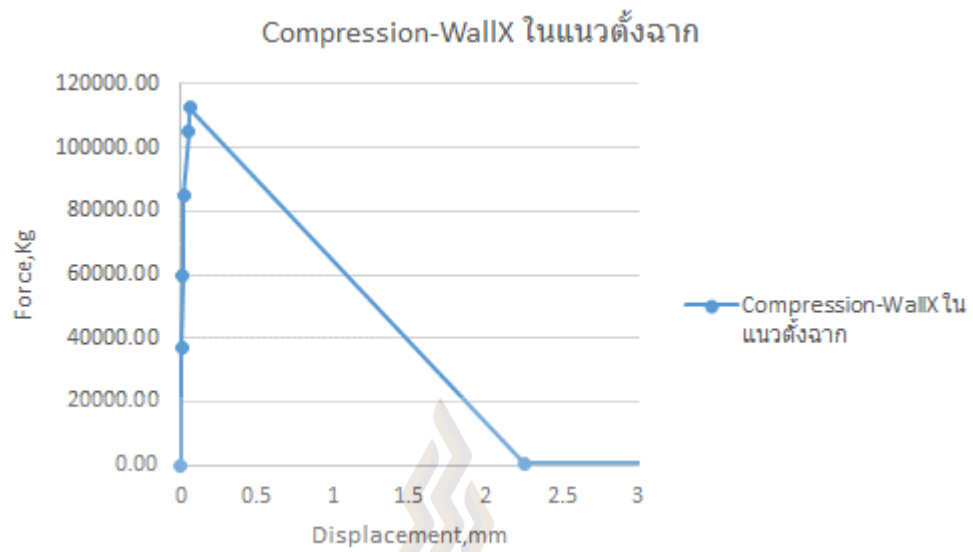
ที่มา : ผู้วิจัย

กรณีนี้เป็นกรณีที่แนะนำโดย ACI 318-11 ซึ่งแนะนำภายใต้หัวข้อ 16.5 Structural Integrity ว่าไม่ควรออกแบบให้กำลังรับแรงเฉือนของจุดเชื่อมต่อขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานจากน้ำหนักที่กดลงบนจุดเชื่อมต่อ ซึ่งอาจจะสูญเสียไปในกรณีที่มีการบิดของชิ้นส่วนโครงสร้างบางชิ้น และอาจนำไปสู่ Progressive Failure ได้ การวิเคราะห์ในกรณีนี้ครอบคลุมกรณีที่การเลื่อนไหลเกิดขึ้นที่ระยะ 0.5, 1.0 และ 1.5 มม.

รอยต่อแนวค้ำ

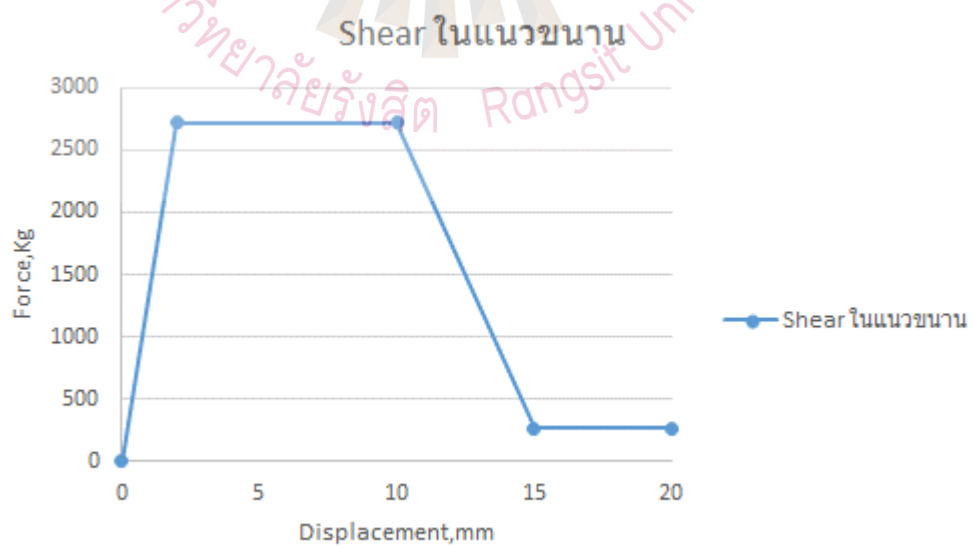
รอยต่อแนวค้ำประกอบด้วย Cement Grout และ Groove ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ Link Element เหมือนกับที่แนะนำโดย Warnitchai (2009) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Cement Grout สมมุติให้เป็น Link Element แบบ Multi Linear Elastic ซึ่งสามารถรับได้เฉพาะแรงอัดในแนวแกน ไม่สามารถรับแรงในแนวขนานกับรอยต่อได้ รูปที่ 3.12 แสดงกราฟระหว่างแรงอัดกับการเคลื่อนตัวของ Link Element ที่ใช้แทน Cement Grout ในรอยต่อแนวค้ำ



รูปที่ 3.12 กราฟแรงอัดกับการเคลื่อนตัวของ Link ที่ใช้แทน Cement Grout ในรอยต่อแนวตั้ง
ที่มา : ผู้วิจัย

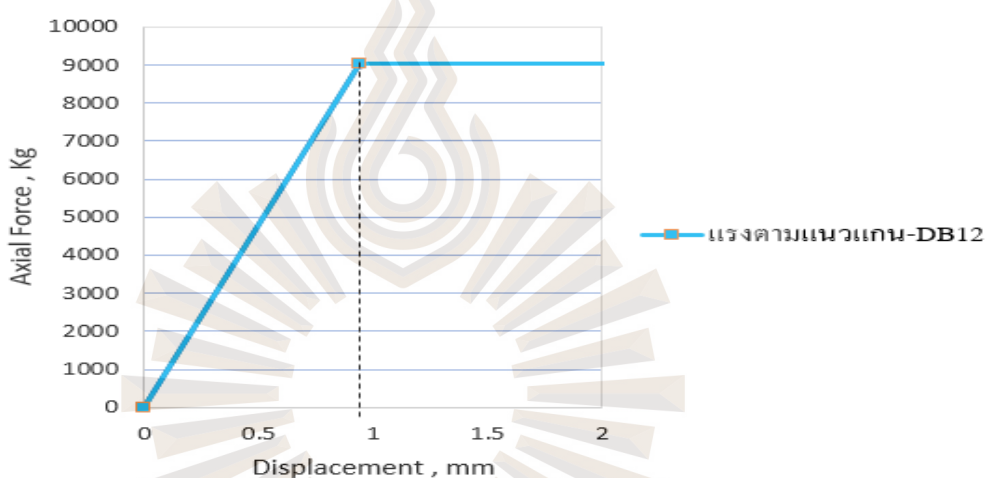
Groove สมมุติให้เป็น Link Element แบบ Multi Linear Elastic ที่รับแรงในแนวขนานแกนได้อย่างเดียว ไม่สามารถรับแรงในแนวแกนได้ รูปที่ 3.13 แสดงกราฟระหว่างแรงเนื่องกับการเคลื่อนตัวของ Link Element ที่ใช้แทน Groove ในรอยต่อแนวตั้ง



รูปที่ 3.13 แสดงกราฟแรงเนื่องกับการเคลื่อนตัวของ Link element ที่ใช้แทน Groove
ที่มา : ผู้วิจัย

เหล็กยึดหัวคาน Ground Beam

เหล็กยึดหัวคาน Ground Beam เป็นเหล็ก DB 12 สองเส้น ซึ่งจำลองด้วย Link Element แบบ Multi Linear Elastic ดังแสดงในรูปที่ 3.14 โดยแรงสูงสุดคำนวณจากพื้นที่หน้าตัดของเหล็ก DB12 สองเส้นคูณด้วยกำลังที่จุดคราก ที่ 4000 กก/ซม^2 . ระยะยึดที่จุดครากคำนวณโดยใช้ Young's Modulus ของเหล็ก และ ระยะ Development Length ของเหล็ก ที่ 48 ซม. (40 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็ก)



รูปที่ 3.14 กราฟระหว่างแรงดึงกับการเคลื่อนตัวของ Link ที่ใช้แทน เหล็กยึดหัวคาน
ที่มา : ผู้วิจัย

3.2.6 น้ำหนักกระทำต่อโครงสร้างในการวิเคราะห์

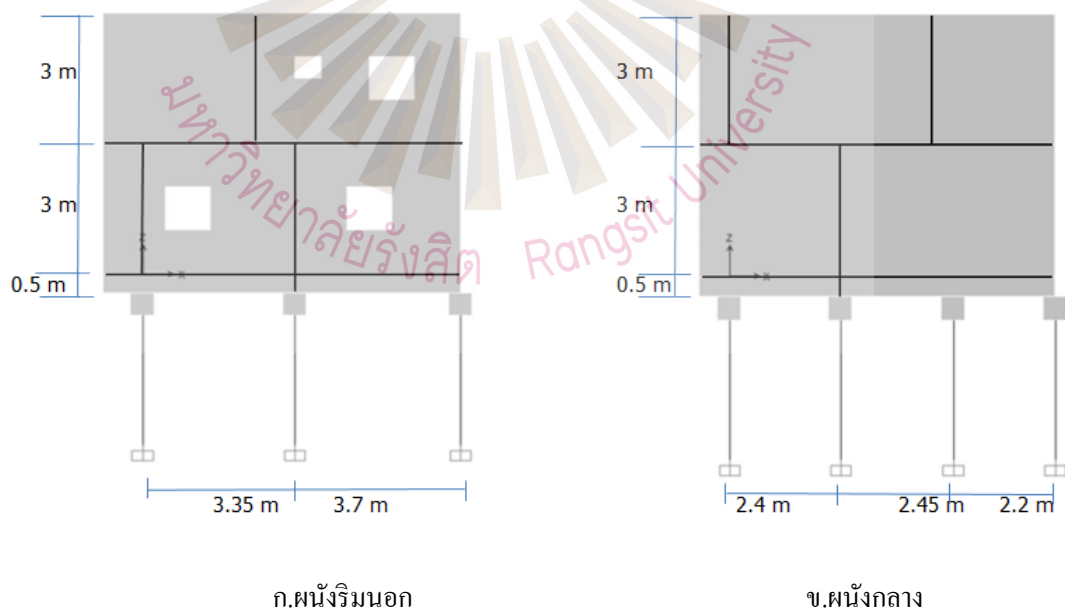
กำหนดน้ำหนักบรรทุกจร (LL) 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร น้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติม (SDL) 80 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

3.3 การศึกษาโดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ

ดังที่กล่าวมาแล้วการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบพฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักลงสู่ฐานรากของผนังแต่ละด้านแบบแยกส่วนเพื่อให้ง่ายต่อการทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบของจุดต่อต่างๆต่อพฤติกรรมของผนังโดยรวม ในการศึกษาผนังแกนหลักของบ้าน

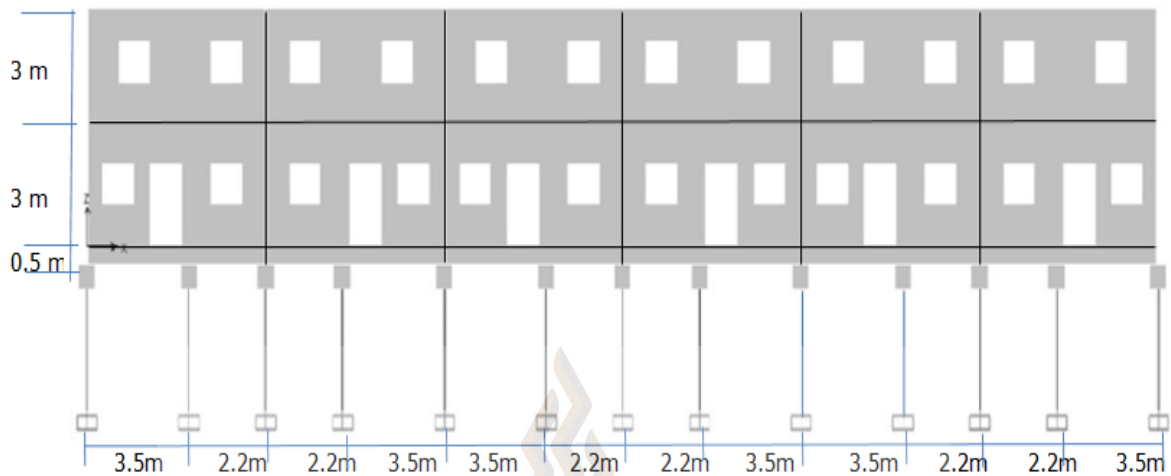
แต่แต่ละด้านจะถูกวิเคราะห์แบบแยกส่วนเป็นอิสระ โดยแนวคิดของการศึกษาคือ ถ้าหากผนังหล่อสำเร็จ (PC) ที่มีการเชื่อมต่อที่สมบูรณ์แล้วพฤติกรรมของผนังน่าจะใกล้เคียงกับผนังหล่อในที่ (RC) ที่มีความต่อเนื่อง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเริ่มจากการวิเคราะห์เพื่อหาการกระจายของแรงที่ถ่ายลงฐานราก กรณีที่ผนังเป็นแบบหล่อในที่ (RC) ที่มีความต่อเนื่องเพื่อใช้เป็นฐานในการประเมินความสมบูรณ์ของรอยต่อของผนัง หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาแรงในฐานรากกรณีที่ผนังเป็นแผ่นหล่อสำเร็จ (PC) ที่เชื่อมต่อกันที่จุดต่อตามแบบ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทั้งสองส่วน จึงจะสามารถประเมินความสมบูรณ์ของจุดต่อต่างๆ ได้

การศึกษาในส่วนนี้ได้ใช้ทาว์นเฮ้าส์แบบ TH2-PV-100 ซึ่งมีแบบแปลนดังแสดงในรูปที่ 3.1 เป็นต้นแบบ โดยรูปแบบของโครงสร้างประกอบด้วยผนังแกนหลักที่รับแรง 3 ส่วนคือ 1) ผนังด้านสั้นตัวริมแนว Grid Line 1 และ 7 2) ผนังด้านสั้นตัวกลางแนว Grid Line 2 ถึง 6 และ 3) ผนังยาวด้านหลังแนว Grid Line A โดยผนังทั้งสามส่วนนี้มีความต่อเนื่องจากชั้นหนึ่งสู่ชั้นสอง ผนังส่วนที่เหลือไม่เป็นผนังรับแรงหลักเนื่องจากเป็นผนังที่ขาดความต่อเนื่องระหว่างชั้นหนึ่งและชั้นสอง ส่วนผนังริมและกลางมีส่วนผนังยื่นเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูลาดลงด้านหลังเพื่อรับแปหลังคาและกันระหว่างห้อง จึงจำลองเป็นแผ่นตัดตรงเพื่อสะดวกในการจำลองและไม่ส่งผลกระทบต่อถ่ายน้ำหนักมากนัก รายละเอียดของผนังทั้งสามด้านที่ใช้จำลองศึกษานี้แสดงในรูปที่ 3.15 ถึง 3.16



รูปที่ 3.15 แบบจำลอง ก.) ผนังสั้นริมนอก (Line 1 และ 7) ข.) ผนังสั้นกลาง (Line 2 ถึง 6)

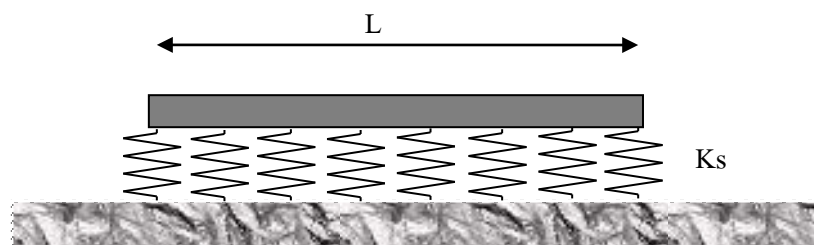
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 3.16 แบบจำลองผนังยาวด้านหลัง (Line A)
ที่มา : ผู้วิจัย

3.3.1 ศึกษาผลของโครงสร้างผนังตามทฤษฎีคานบนฐานรากยืดหยุ่น

ทฤษฎี Beam on Elastic Foundation เป็นทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์แรงภายในคานที่รองรับด้วยสปริง (Winkler Foundation) ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ถ้าคานมีความยาวเท่ากับ L และกว้างเท่ากับ B รองรับด้วย Soil Spring ที่มี Modulus of Subgrade Reaction เท่ากับ K_s พฤติกรรมความแข็งเกร็ง (Rigidity) ของคาน ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ λL ซึ่งเป็นค่า Relative Stiffness ของคานเทียบกับความแข็งของสปริง โดยค่า λL สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.20



รูปที่ 3.17 แบบจำลอง Winkler's Concept
ที่มา : ผู้วิจัย

พฤติกรรมความแข็ง (Rigidity) ของฐานรากขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ λ_L ซึ่งเป็นค่า Relative Stiffness ของคานเมื่อเทียบกับความแข็งของสปริง โดยค่า λ_L สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.2 ดังนี้

$$\lambda_L = \sqrt[4]{\frac{K's L^4}{4EI}}$$

โดยที่ $K's = K_s \times B$ = ค่าโมดูลัสต้านทานแรงกดของชั้นดินคูณความกว้างของฐานราก (ตัน/ม³)

L = ความยาวของฐาน (ม.)

E = โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตฐานราก ($E_c = 15,100 \sqrt{f_c'}$, กก./ชม²)

I = โมเมนต์ความเฉื่อยของฐานราก ($I = \frac{1}{12} B_1 h^3$, ม⁴)

ขนาดของค่า λ_L ใช้บ่งบอกว่าคานจะมีพฤติกรรมเป็น Rigid หรือ Flexible ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

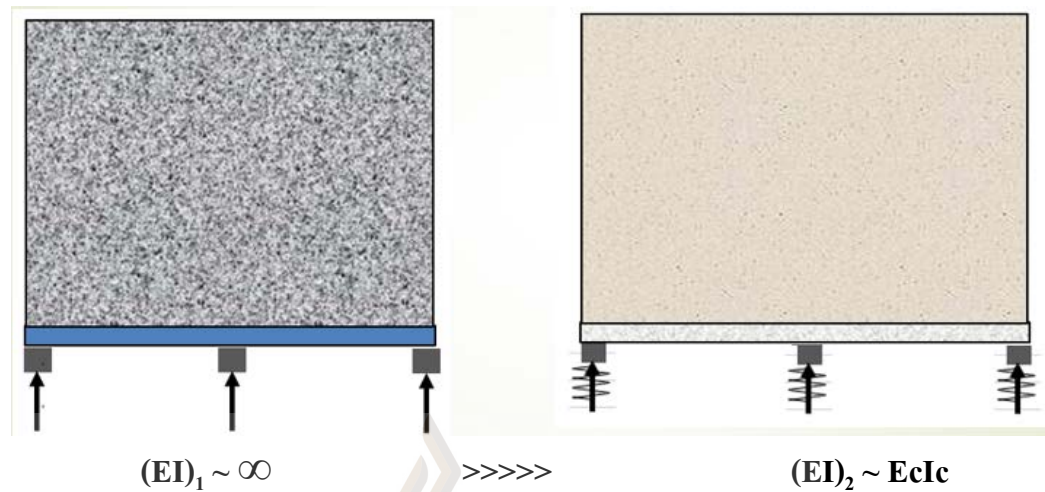
1) Rigid Member : $\lambda_L < \pi/4$

2) Flexible Member : $\lambda_L > \pi$

3) Intermediate Member : $\pi/4 < \lambda_L < \pi$

3.3.2 ศึกษาการถ่ายแรงลงเสาเข็มของผนังหล่อในที่เทียบกับผนังที่มีความแข็งเกร็งแบบสมบูรณ์

การศึกษานี้เลือกใช้วิเคราะห์ผนังแบบหล่อในที่เพื่อจะใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบกรณีที่สมมุติให้โครงสร้างมีความแข็งเกร็งมากๆ (EI_1) ซึ่งมีการกระจายแรงลงเสาเข็มเท่าๆกัน



รูปที่ 3.18 แบบจำลอง EI_1 (Perfectly Rigid) ค่ามากกว่า EI_2 ตามแบบ
ที่มา : ผู้วิจัย

3.3.3 ศึกษาเพื่อประเมินคุณสมบัติของรอยต่อกับผลการเลื่อนไถล

เนื่องจากระยะที่เกิดจากการเลื่อนไถลของแรงเสียดทานมีความไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับสภาพผิวสัมผัส ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ตรวจสอบผลของระยะการเลื่อนไถลมีผลต่อการถ่ายแรงสู่เสาเข็มและทำการเปรียบเทียบกับกรณีที่เป็นผนังหล่อในที่ โดยวิเคราะห์ผลของการเลื่อนไถลกรณีที่เป็นแรงเสียดทานที่เกิดจากน้ำหนักของโครงสร้าง (Gravity) และแรงเสียดทานที่เกิดจาก Shear Friction ของ Clamping Force ของเหล็กขึ้น DB12 ที่มุมของผนัง

3.3.3.1 กรณีรอยต่อ Cement Grout

กรณีที่แรงเสียดทานเกิดจากน้ำหนักบรรทุกและของโครงสร้างเอง เนื่องจากการเลื่อนไถลในลักษณะนี้มีความไม่แน่นอนค่อนข้างมาก ขึ้นกับสภาพความหยาบผิวสัมผัส Cement Grout สมมุติจำลองให้เป็น Link Element แบบ Friction Isolation ซึ่งสามารถรับแรงอัดในแนวแกน และแรงในแนวขนานกับรอยต่อสองทิศทาง โดยสติฟเนส (Stiffness) ในแนวแกนได้ใช้ค่าเท่ากับค่าที่ใช้ในการศึกษาของ Warnitchai (2009) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,878,000 t/m. ส่วนค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานใช้เท่ากับ 0.5 และค่าสติฟเนส (Stiffness) ในแนวขนานถูกปรับจนได้ค่าการเคลื่อนตัวขณะเลื่อนไถลอยู่ในประมาณ 1 มม. ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองของคอนกรีตผิวเรียบของ Mohamad and Ibrahim.(2015) อย่างไรก็ตามการศึกษานี้จะครอบคลุมกรณีที่ค่าการเคลื่อนตัวที่จุด

เลื่อนไถลมากกว่าและน้อยกว่า 10 เท่าเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรนี้ต่อพฤติกรรมของผนัง จึงหาขนาดของระยะการเลื่อนไถลที่ค่อนข้างกว้างโดยครอบคลุมค่าขนาดระยะเลื่อนไถลที่ค่าสตีเฟนส์ต่างกัน 3 ค่าคือระยะ Slip 10 มม., 1 มม. และ 0.1 มม. ดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

3.3.3.2 กรณีรอยต่อ Shear Friction จากเหล็กยื่น DB12

การศึกษาถึงผลกระทบของขนาดการเลื่อนไถลต่อแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มจากผลของ Shear Friction จากเหล็กยื่น DB12 สมมุติให้เป็น Link Element แบบ Multi Linear Elastic ที่สามารถรับแรงอัดและแรงดึงในแนวแกน ส่วนในแนวราบสมมุติให้สามารถรับแรง Shear Friction ได้ กรณีผนังหล่อสำเร็จ ระยะการเคลื่อนที่ของผนังต่อแรงที่กระทำจะส่งผลต่อการถ่ายแรงสู่เสาเข็ม เนื่องจากระยะการเคลื่อนที่ ที่เพิ่มขึ้นของจุดต่อจะทำให้พฤติกรรมการถ่ายแรงเข้าไปใกล้ผนังที่ไม่มีแรงเสียดทาน จึงทำการศึกษาผลของการเคลื่อนตัวของผนังของกรณี Shear Friction จากเหล็กยื่น DB12 ที่ค่าการเคลื่อนที่ระยะ 0.50 มม., 1 มม. และ 1.5

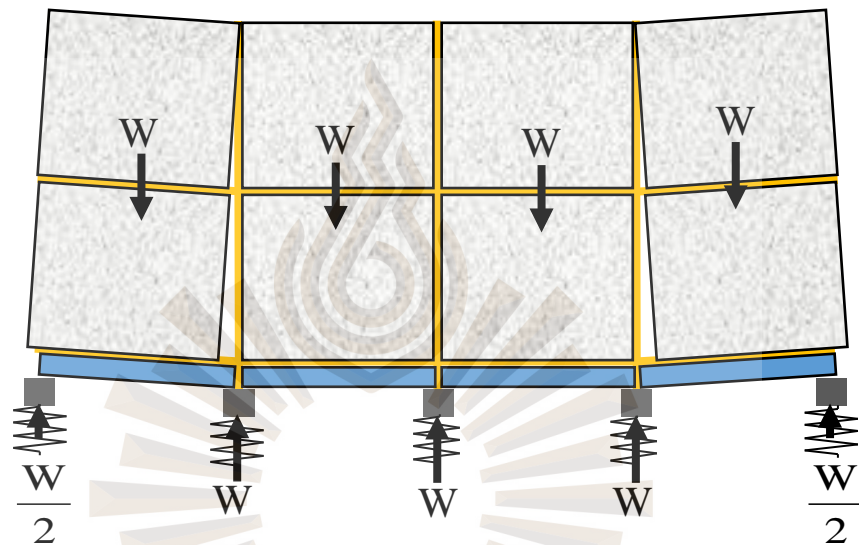
3.3.4 ศึกษาเรื่องบทบาทของจุดต่อต่างๆต่อพฤติกรรมของผนัง

พฤติกรรมการรับแรงของรอยต่อแนวราบกับแนวตั้งมีความแตกต่างกันซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

รอยต่อในแนวราบจะรับทั้งแรงในตั้งฉากและแรงเฉือนในแนวขนานกับรอยต่อ ซึ่งสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้ ในกรณีที่น่าผนังมาวางซ้อนกัน โดยไม่มีการยึดระหว่างผนังการกระจายของแรงลงสู่ฐานรากจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.19 ซึ่งแรงที่ฐานรากตัวริมจะรับแรงเพียงครึ่งเดียวของฐานรากตัวใน ถ้าฐานรากที่มีความแข็งเท่ากันทุกฐานการทรุดตัวของฐานรากตัวริมจะน้อยกว่าฐานรากตัวใน ทำให้แผ่นผนังริมเอียงตัวดังแสดงในรูป ซึ่งแตกต่างจากกรณีที่ผนังมีการเชื่อมต่อที่สมบูรณ์ ในกรณีนี้แรงกระจายลงสู่ฐานรากและการทรุดตัวมีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งทำให้แรงปฏิกิริยาจากเสาเข็มทุกต้นมีขนาดเกือบเท่ากันดังแสดงในรูปที่ 3.18 หากเปรียบเทียบแรงในฐานรากทั้งสองกรณีจะพบว่ากรณีที่ผนังมีการเชื่อมต่อที่สมบูรณ์จะเกิดโมเมนต์ดัดในผนังซึ่งทำให้เกิดแรงอัดที่ด้านบนของผนังชั้นสอง แต่เนื่องจากรอยต่อแนวตั้งของผนังไม่มีเหล็กเสริมรับแรงดึงที่จะทำให้แผ่นผนังเกิดความสมดุลของแรงในแนวราบได้ ดังนั้นแรงเฉือนขึ้นที่รอยต่อแนวราบทั้งชั้นหนึ่งและชั้นสองจึงต้องมีขนาดเท่ากับแรงอัดที่เกิดขึ้นเพื่อรักษาสมดุลของแรงใน

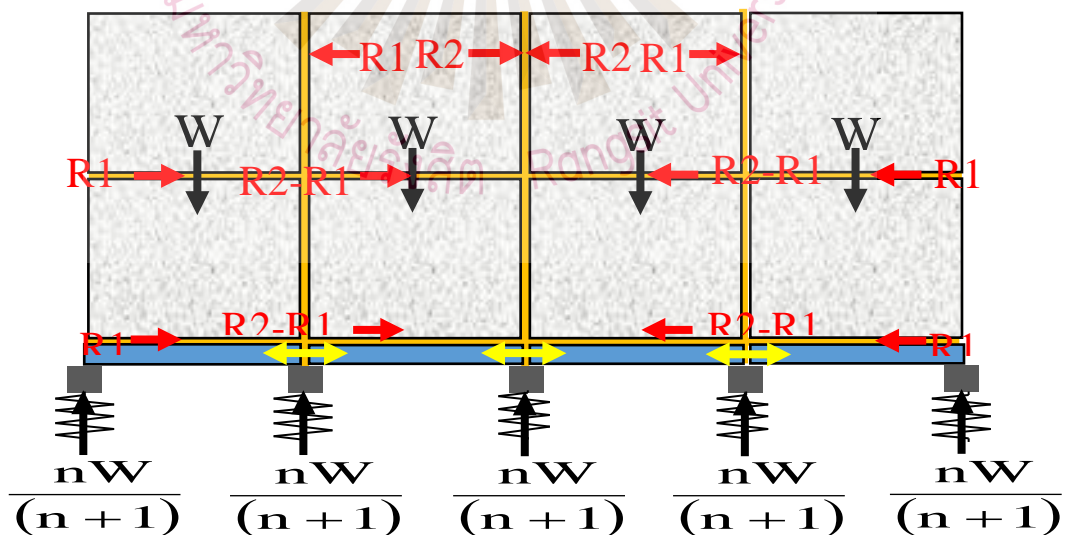
แนวราบของแผ่นผนัง ด้วยเหตุนี้รอยต่อรอยต่อในแนวราบจะต้องรับทั้งแรงในแนวตั้งฉากและแรงเฉือนในแนวขนานกับรอยต่อ

ส่วนรอยต่อในแนวดิ่งนั้นจะรับแรงในแนวตั้งฉากกับรอยต่อเป็นหลักเนื่องจากทุกรอยต่อของผนังหลักจะมีฐานรากรองรับ ดังนั้นแรงจากทุกผนังจะถ่ายลงสู่ฐานรากโดยตรงทำให้เกิดแรงเฉือนระหว่างผนัง



รูปที่ 3.19 การกระจายแรงสู่ฐานรากในกรณีไม่มีการยึดรั้งระหว่างแผ่น

ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 3.20 การกระจายแรงสู่ฐานรากในกรณีที่มีการยึดรั้งระหว่างแผ่นสมบูรณ์

ที่มา : ผู้วิจัย

จากแบบจำลองรูปที่ 3.20 จะเห็นว่าแรงเฉือนในรอยต่อแนวราบเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทำให้แรงกระจายลงสู่ฐานรากสม่ำเสมอหรือไม่ จากวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าแรงในแนวตั้งฉากของรอยต่อแนวราบส่วนมากจะเป็นแรงอัด ยกเว้นรอยต่อระหว่างคานกับผนังชั้นล่างอาจเป็นแรงดึงเนื่องจากคานมี Stiffness ต่ำกว่าผนังมากจึงแอ่นตัวสูงกว่าทำให้เหล็ก Dowel เกิดแรงดึงขึ้นเพื่อหิ้วคานชั้นล่าง ส่วนในบริเวณใกล้เคียงกับฐานรากซึ่งการแอ่นตัวของคานจะน้อยมากทำให้แรงจากผนังอัดลงบนคานผ่านทางวัสดุประสาน Cement Grout แต่แรงอัดที่เกิดขึ้นมีขนาดน้อยมากเมื่อเทียบกับกำลังรับแรงอัดของ Cement Grout ดังนั้นแรงในแนวตั้งฉากของรอยต่อจึงไม่น่าจะมีผลกระทบต่อพฤติกรรมของผนังโดยรวม

แรงเฉือนในแนวขนานกับรอยต่อแนวราบจะถูกรองรับ โดย 1) แรงเสียดทานจากน้ำหนักกดของผนัง และ 2) แรงเฉือน Shear Friction ที่เกิดจาก Clamping Force ของเหล็กขึ้น DB 12 ในการศึกษาี้ได้สมมุติให้เหล็ก Dowel ถูกจำลองด้วย Link Element ที่รับแรงในแนวแกนซึ่งอาจเป็นแรงดึงหรือแรงอัดเท่านั้น ไม่สามารถรับแรงเฉือนได้เนื่องจากค้ำที่กล่าวมาแล้วเหล็ก Dowel ที่ใช้ยึดคานกับผนังชั้นล่างถูกติดตั้งบริเวณที่คานมีการแอ่นตัวมากเมื่อเทียบกับผนัง ดังนั้นบริเวณนี้คานกับผนังจะไม่สัมผัสกันซึ่ง Shear Friction ระหว่างผนังกับคานไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ดังนั้นเหล็ก Dowel สามารถรับแรงเฉือนโดย Dowel action ซึ่งขึ้นอยู่กับ Flexural Strength ของเหล็ก Dowel ซึ่งในกรณีนี้มีขนาดเทียบเท่าเหล็ก DB12 ซึ่งค่อนข้างเล็ก นอกจากนี้เหล็ก Dowel นี้ยังอยู่ภายใต้แรงดึงจากการที่ต้องหิ้วคานค้ำที่กล่าวมาแล้ว ทำให้ Flexural Strength ของเหล็กน้อยลง ดังนั้นในการศึกษาี้จึงสมมุติให้เหล็ก Dowel ไม่สามารถรับแรงเฉือนได้

การศึกษาี้ได้จำลองเงื่อนไขครอบคลุมกรณีที่มีการยึดรอยต่อในแนวราบมีลักษณะดังนี้

3.3.4.1 กรณีที่รอยต่อแนวราบไม่สามารถรับแรงเฉือนได้

กรณีนี้เป็นตัวแทนสำหรับกรณีที่เหล็กยึดทั้งหมดไม่ทำงาน เหลือแต่ Cement Grout ซึ่งไม่สามารถรับแรงเฉือนได้ รับได้เฉพาะแรงอัดในแนวตั้งฉากกับรอยต่อเท่านั้น กรณีนี้จะเป็นกรณีที่ผนังมี Stiffness ต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ ซึ่งจะเป็นตัวแทนกรณีที่มีการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน

3.3.4.2 กรณีที่แรงเฉือนในรอยต่อแนวราบเกิดจากแรงเสียดทานของ Cement Grout เท่านั้น

กรณีนี้เป็นตัวแทนสำหรับกรณีที่ไม่มีเสริมเหล็กขึ้น DB 12 และเหล็ก Starter Bar บริเวณรอยต่อแนวตั้ง

3.3.4.3 กรณีที่แรงเฉือนในรอยต่อแนวราบเกิดจากทั้งแรงเสียดทานของ Cement Grout และ Friction Shear ของเหล็กยื่น DB 12

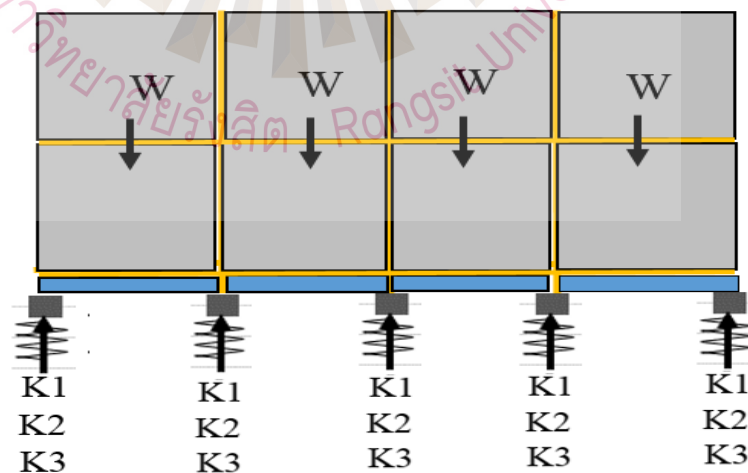
กรณีนี้เป็นกรณีที่รอยต่อในแนวราบมีความสมบูรณ์ก่อสร้างได้มาตรฐาน

3.3.4.4 กรณีที่แรงเฉือนในรอยต่อแนวราบเกิดจาก Friction Shear ของเหล็กยื่น DB 12 เท่านั้น

กรณีนี้เป็นกรณีที่แนะนำโดย ACI 318-11 ซึ่งแนะนำภายใต้หัวข้อ 16.5 Structural Integrity ว่าไม่ควรออกแบบให้กำลังรับแรงเฉือนของรอยต่อขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานจากน้ำหนักที่กดลงบนรอยต่อ ซึ่งอาจจะสูญเสียไปในกรณีที่มีการวิบัติของชิ้นส่วน โครงสร้างบางชิ้น และอาจนำไปสู่ Progressive Failure ได้

3.3.5 ศึกษาเรื่องผลกระทบจากสติเฟนสของเสาเข็ม

ในทางปฏิบัติการตอกเสาเข็มระดับความลึกอาจไม่เท่ากันเนื่องจากชั้นดินไม่คงที่ทำให้เสาเข็มมีค่าสติเฟนสไม่เท่ากัน หรือในกรณีพิจารณาแบบเข็มกลุ่มค่าสติเฟนสของเสาเข็มอาจไม่เท่ากันทุกต้น การศึกษานี้จึงได้วิเคราะห์กรณีที่เสาเข็มมีสติเฟนสแปรเปลี่ยนไป 3 ระดับ ($K_1=AE/L$, $K_2=AE/2L$ และ $K_3=AE/5L$)

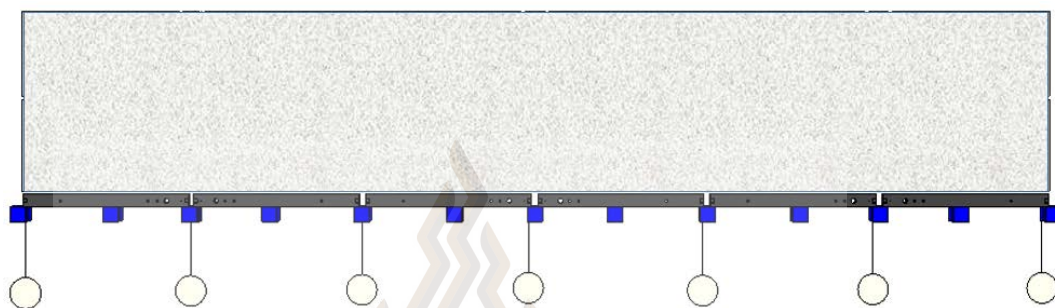


รูปที่ 3.21 การกระจายแรงสู่ฐานรากในกรณีที่เสาเข็มมีสติเฟนส เปลี่ยนไป 3 ระดับ

ที่มา : ผู้วิจัย

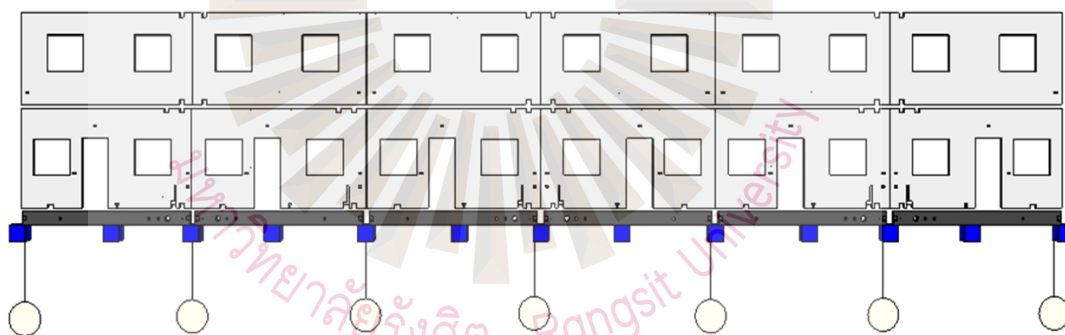
3.3.6 ศึกษาเรื่องผลกระทบจากช่องเปิดในผนัง

เป็นการศึกษาว่ากรณีที่มีการเจาะช่องเปิดจะทำให้ผนังมีสติเฟเนลดลงหรือไม่และมีผลต่อการถ่ายแรงลงเสาเข็มอย่างไร จึงวิเคราะห์เปรียบเทียบผนังทั้งสองแบบคือผนังหล่อในที่และหล่อสำเร็จ



รูปที่ 3.22 รูปกรณีผนังด้านหลังแบบหล่อในที่ไม่มีช่องเปิด

ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 3.23 รูปกรณีผนังด้านหลังแบบหล่อสำเร็จมีช่องเปิด

ที่มา : ผู้วิจัย

3.3.7 ศึกษาเรื่องแนวคิดการออกแบบในทางปฏิบัติ

การศึกษานี้เพื่อศึกษาพฤติกรรมร่วมในการหาแนวทางหาค่าการถ่ายแรงลงเสาเข็มของผนังแบบหล่อในที่ให้ได้ผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มให้ใกล้เคียงกับผนังหล่อสำเร็จในทางปฏิบัติโดยการปรับลดค่าสติเฟเนผนังหล่อในที่ลง เนื่องจากการโมเดลในการวิเคราะห์ถ้าใช้ผนังหล่อสำเร็จจะยุ่งยากและเสียเวลามากจากการที่ผนังมีการแบ่งเป็นแผ่นย่อยๆ มีช่องเปิดและจุดเชื่อมต่อจำนวนมาก

อีกทั้งในทางปฏิบัติการตอกเสาเข็มระดับความลึกอาจไม่เท่ากันเนื่องจากชั้นดินไม่คงที่ทำให้เสาเข็มมีค่าสติเฟนสไม่เท่ากัน จึงศึกษาผลจากการปรับลดสติเฟนสหนึ่ง และการปรับลดค่าสติเฟนสของเสาเข็ม เพื่อดูผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มให้พฤติกรรมใกล้เคียงกัน และสามารถหาค่าการถ่ายแรงได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัยในทางปฏิบัติ

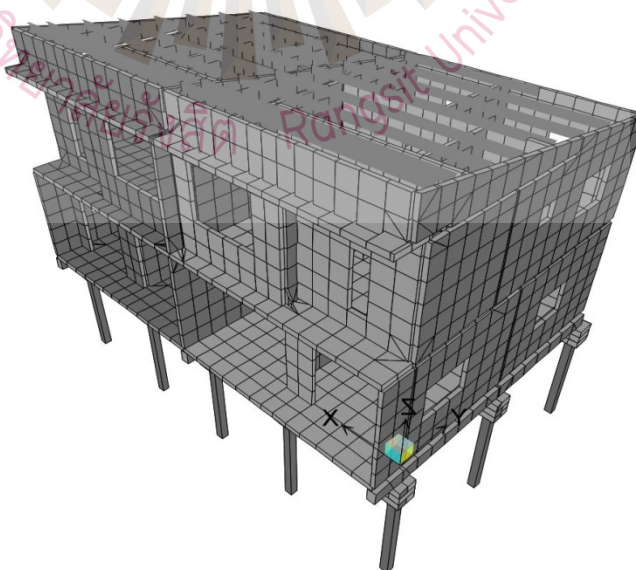
3.4 การศึกษาโดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ

การศึกษาในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้แบบจำลอง 3 มิติของทาว์นเฮ้าส์ 2 ชั้นแบบ TH2-PVK-100 และบ้านเดี่ยว 2 ชั้นแบบ PS-48 การวิเคราะห์แบบจำลองของทาว์นเฮ้าส์ครอบคลุมทาว์นเฮ้าส์ 2 ถึง 6 ห้อง โดยแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์แสดงในรูปที่ 3.24 ถึง 3.26 ส่วนแบบจำลองของบ้านเดี่ยวแสดงในรูปที่ 3.27

3.4.1 บ้านแบบทาว์นเฮ้าส์

การศึกษาคือแบบที่ใช้ก่อสร้างจริง โดยการศึกษาได้วิเคราะห์ผลเทียบเคียงระหว่างผนังหล่อในที่แบบต่อเนื่องกับผนังหล่อสำเร็จที่พิจารณาแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 ที่ระยะการเลื่อนไถล 1 มม และ Cement Grout คัดแรงกดอัดอย่างเดียวไม่คิดแรงเฉือนเสียดทาน โดยอาคารจะวางอยู่บนฐานรากแบบเสาเข็มที่สติเฟนสของเสาเข็มต่างกัน 3 ระดับ

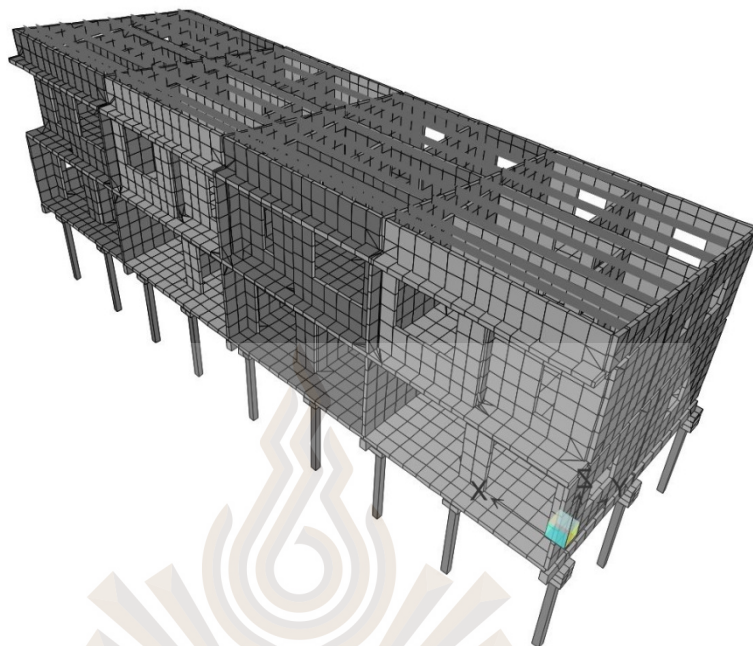
3.4.1.1 ทาว์นเฮ้าส์แบบ 2 ห้อง



รูปที่ 3.24 แบบจำลองทาว์นเฮ้าส์ 2 ห้อง

ที่มา : ผู้วิจัย

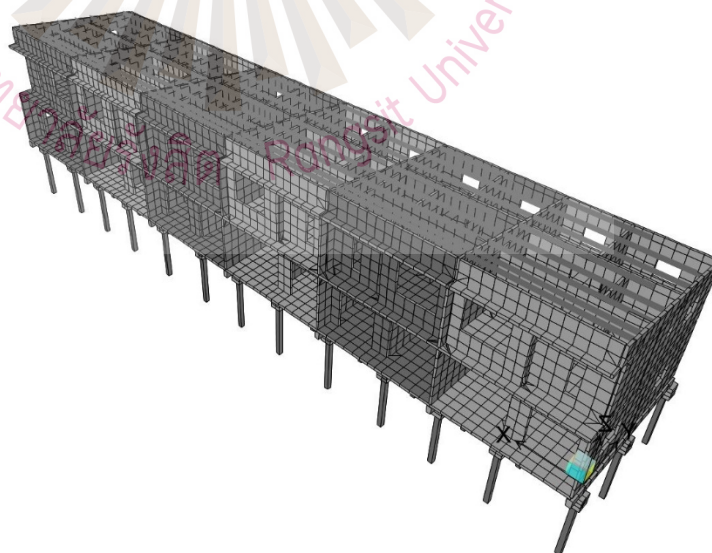
3.4.1.2 ทาวน์เฮ้าส์แบบ 4 ห้อง



รูปที่ 3.25 แบบจำลองทาวน์เฮ้าส์ 4 ห้อง

ที่มา : ผู้วิจัย

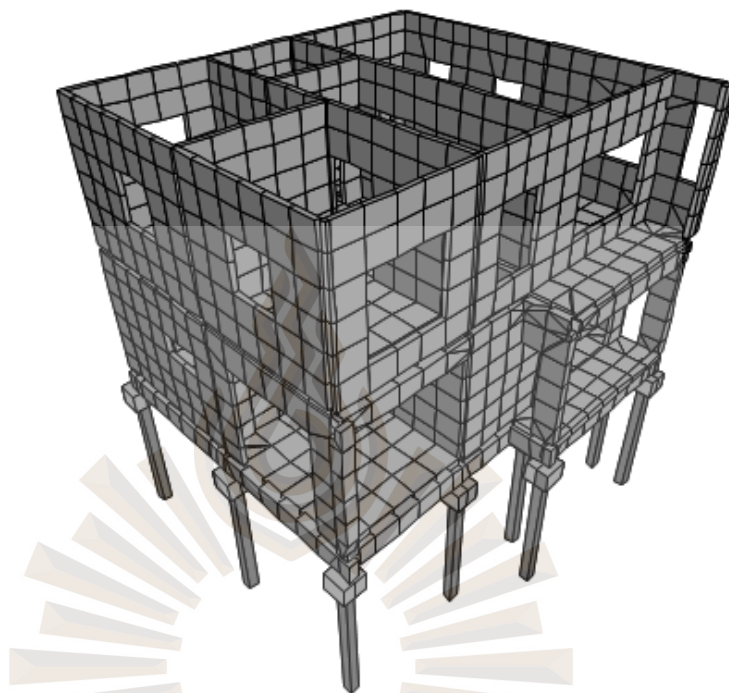
3.4.1.3 ทาวน์เฮ้าส์แบบ 6 ห้อง



รูปที่ 3.26 แบบจำลองทาวน์เฮ้าส์ 6 ห้อง

ที่มา : ผู้วิจัย

3.4.2 บ้านแบบบ้านเดี่ยว



รูปที่ 3.27 แบบจำลองบ้านเดี่ยว

ที่มา : ผู้วิจัย

การศึกษาค้นคว้าการวิเคราะห์แรงที่ถ่ายลงเสาเข็มกรณีที่เป็นผนังหล่อในที่ซึ่งผนังมีการเชื่อมต่อที่สมบูรณ์แบบกับกรณีที่ผนังเป็นผนังหล่อสำเร็จเชื่อมต่อด้วยจุดต่อที่มีคุณสมบัติที่กล่าวในหัวข้อ 3.2.5 หลังจากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มที่ได้จากผลการวิเคราะห์ทั้งสองกรณี เพื่อประเมินว่าผนังหล่อสำเร็จมีพฤติกรรมการกระจายแรงลงสู่เสาเข็มแตกต่างจากผนังหล่อในที่ที่มีการเชื่อมต่อที่สมบูรณ์อย่างไร

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ผลของการศึกษาได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1) ผลการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงลงเสาเข็ม โดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ และ 2) ผลการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงลงเสาเข็ม โดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ

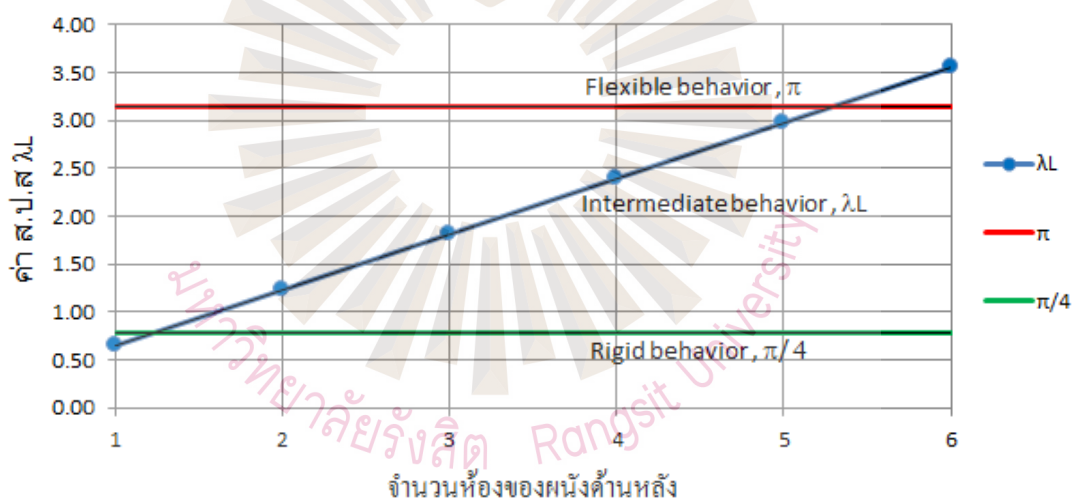
4.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงลงเสาเข็มโดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ

การศึกษาโดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมของผนังแต่ละด้าน โดยผนังหลักแต่ละด้านจะถูกวิเคราะห์แบบแยกส่วนออกจากกัน เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการถ่ายแรงลงเสาเข็ม การศึกษาได้จำลองผนังแบบหล่อในที่ ที่มีความต่อเนื่องและผนังแบบหล่อสำเร็จที่มีจุดเชื่อมต่อจำนวนมากบนฐานรากเสาเข็มยึดหยุ่นแบบสปริง ($K_p=AE/L$) ได้แก่ผนังหลัก 3 ผนังคือ ผนังด้านริมนอก(Line 1&7) ผนังกลาง(Line 2-6) ที่เป็นผนังสั้นและผนังยาวด้านหลัง (Line A) โดยครอบคลุมกรณีต่างๆดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมของผนังตามทฤษฎีคานบนฐานรากยึดหยุ่น (Beam on Elastic Foundation)

การศึกษานี้ได้พิจารณาตามทฤษฎีคานบนฐานรากยึดหยุ่นที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 จากสมการ(2.20) เพื่อตรวจสอบถึงพฤติกรรมของโครงสร้างว่าเป็นแบบแข็งเกร็ง(Rigid)หรือแบบยึดหยุ่น(Flexible) โดยให้ผนังรับน้ำหนักเปรียบเป็นคานเสมือน ได้พิจารณาจากผนังหลักของทาว์นเฮาส์ที่วิเคราะห์ คือผนังริมนอก (Line1และ7) , ผนังกลางระหว่างห้อง (Line2-6) และผนังด้านหลัง (Line A) เริ่มจากจำนวน 1 ห้องถึง 6 ห้อง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ลักษณะเฉพาะ (Characteristic Coefficient, λL) วิธีการคือแปลงค่าสตีเฟนสของเสาเข็มได้ฐานอาคารที่มีจำนวน

และระยะต่างกัน เป็นแรงสปริงอิสระที่ได้ฐานตาม Winkle's Concept ด้วยการแทนค่าผลรวมสติฟเนสของเสาเข็ม ($K_p = (AE/L)_{pile}$, ตัน/ม.)หารด้วยความยาวคานเสมือนจะได้ค่า Pressure Stiffness, K_s หรือค่า Modulus of Subgrade Reaction ($K_s = n.K_p / L$, ตัน/ม²) ความกว้างของโครงสร้างเท่ากับความหนาผนัง 0.10 ม และความสูงใช้ 6.0 ม. รายละเอียดการคำนวณละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. อีกด้วย ค่าสัมประสิทธิ์ลักษณะเฉพาะได้แสดงสรุปตามตารางที่ 4.1 เมื่อนำค่า λL ที่ได้มาเปรียบเทียบกับขอบเขตของการจัดประเภทโครงสร้างตามทฤษฎีคานบนฐานรากยึดหยุ่น จากสมการ (2.20) พบว่าผนังริมนอกและผนังกลางระหว่างห้อง มีค่า λL เท่ากับ 0.76 และ 0.81 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงพฤติกรรมของโครงสร้างแบบแข็งเกร็ง (Rigid Behavior) ส่วนผนังด้านหลังถ้าคิดที่จำนวน 1 ห้องพฤติกรรมยังคงอยู่ในช่วงพฤติกรรมโครงสร้างแบบแข็ง แต่เมื่อคิดผนังด้านหลังมีจำนวนต่อเนื่องระหว่าง 2-5 ห้อง โครงสร้างจะเริ่มมีพฤติกรรมโครงสร้างแบบแข็งปานกลาง (Intermediate Behavior) และเมื่อความยาวผนังเกิน 5 ห้องขึ้นไปผนังด้านหลังจะมีพฤติกรรมแบบยึดหยุ่นคดตัวได้ (Flexible Behavior) ตามในรูป 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ลักษณะเฉพาะ λL ของโครงสร้างผนัง
ที่มา : ผู้วิจัย

อย่างไรก็ตามในกรณีผนังบ้านเดี่ยว ลักษณะโครงสร้างผนังและการวางเสาเข็มจะคล้ายกับผนังด้านริมและผนังกลางเพียงแต่น้ำหนักหลังคาจะกระจายลงผนังสี่ด้าน ซึ่งจากลักษณะของผนังพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ลักษณะเฉพาะ (Characteristic Coefficient, λL) จะใกล้เคียงกับผนังริมนอก

และผนังกลางของทาว์นเฮ้าส์ มีค่า λL เท่ากับ 0.76 และ 0.81 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงพฤติกรรมโครงสร้างแบบแข็ง (Rigid Behavior) ตามทฤษฎีคานบนฐานรากแบบยึดหยุ่น

ตารางที่ 4.1 แสดงผลค่าสัมประสิทธิ์ลักษณะเฉพาะ λL ของโครงสร้างผนังรับหนัก

ตำแหน่งผนัง	Lw (ม.) ความยาวผนัง	n (ea.) จำนวนซี่	Ks (ตัน/ม ²) Pressure Stiffness	Iw=(ม ⁴) โมเมนต์ความเฉื่อยผนัง	Ecp (ตัน/ม ²) โมดูลัสยืดหยุ่นซี่	Ecw (ตัน/ม ²) โมดูลัสยืดหยุ่นผนัง	λL สปส.เฉพาะ
ผนังริมนอก	7.05	3	2218.41	1.80	2701170.12	2339281.94	0.755
ผนังกลางระหว่างห้อง	7.05	4	2957.88	1.80	2701170.12	2339281.94	0.812
ผนังด้านหลัง 1 ห้อง	5.70	3	2743.82	1.80	2701170.12	2339281.94	0.644
ผนังด้านหลัง 2 ห้อง	11.4	5	2286.52	1.80	2701170.12	2339281.94	1.231
ผนังด้านหลัง 3 ห้อง	17.1	7	2134.08	1.80	2701170.12	2339281.94	1.814
ผนังด้านหลัง 4 ห้อง	22.8	9	2057.87	1.80	2701170.12	2339281.94	2.397
ผนังด้านหลัง 5 ห้อง	28.5	11	2012.13	1.80	2701170.12	2339281.94	2.980
ผนังด้านหลัง 6 ห้อง	34.2	13	1981.65	1.80	2701170.12	2339281.94	3.562
หมายเหตุ	ตัวแปรคงที่			f_{cp}	=	320.00 กก./ซม. ²	
$E_c = 15100*(f_c)^{1/2}$				E_{cp}	=	2,701,170.12 ตัน/ม. ²	
$I_w = (bh^3)/12$, ม ⁴	=	1.80 ม ⁴		f_{cw}	=	240.00 กก./ซม. ²	
$K_p = A_p \cdot E_{cp} / L_p$, ตัน / ม.	=	5,213.26 ตัน/ม.		E_{cw}	=	2,339,281.94 ตัน/ม. ²	
$K_s = K_p \cdot n / L_w$, ตัน / ม ²							
b (ความกว้างผนัง)	=	0.10 ม.		A_p (หน้าตัดซี่), ม ²	=	0.03860 ม. ²	
h (ความสูงผนัง)	=	6.00 ม.		L_p (ความยาวซี่), ม	=	20.00 ม.	

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ของผนังหล่อในที่ (RC) เปรียบเทียบกับผนังที่มีความแข็งเกร็งแบบสมบูรณ์ (Perfect Rigid Body)

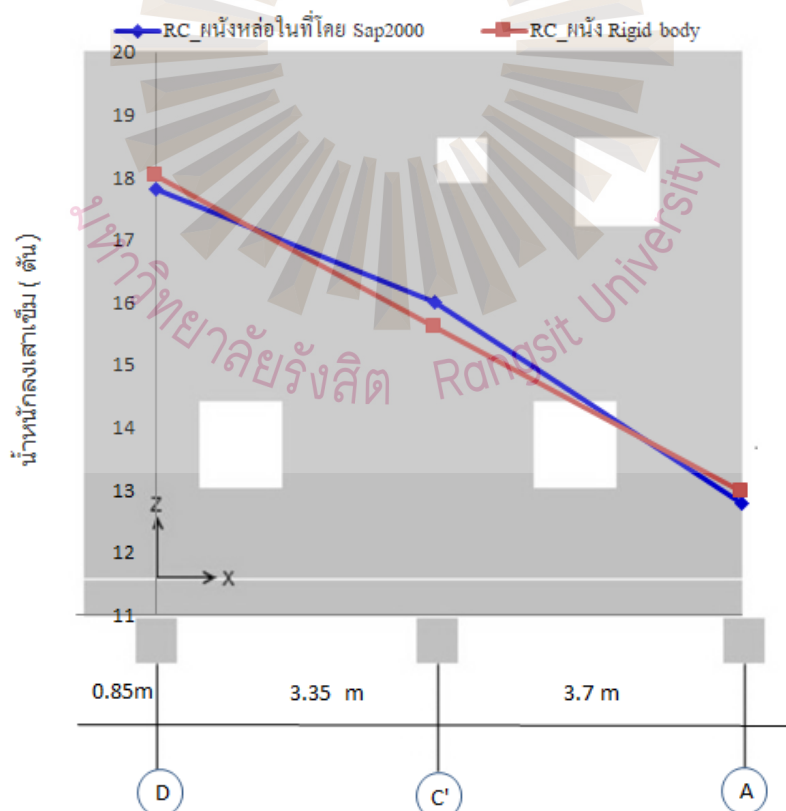
การศึกษานี้เลือกใช้วิเคราะห์ผนังแบบหล่อในที่ปกติ ($(EI)_c = K_{wall}$) เทียบกับกรณีผนังมีโครงสร้างแข็งเกร็งแบบสมบูรณ์ ($EI = \infty$) ว่าพฤติกรรมของการถ่ายแรงมีผลต่างกันอย่างไรและเพื่อจะใช้เป็นฐานในการเทียบกับการวิเคราะห์ผนังแบบหล่อสำเร็จที่ไม่มีความต่อเนื่อง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วดังต่อไปนี้

4.1.2.1 ผนังริมนอก (Line 1 และ 7)

ผลการศึกษาของผนังด้านริมนอกแบบหล่อในที่ที่มีความต่อเนื่อง โดยได้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และวิเคราะห์ผนังที่สมมุติฐานให้โครงสร้างเป็นแบบ Rigid body ได้ผลตามแสดงในตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ผนังหล่อในที่ (RC) ของผนังด้านริม (Line 1 และ 7)

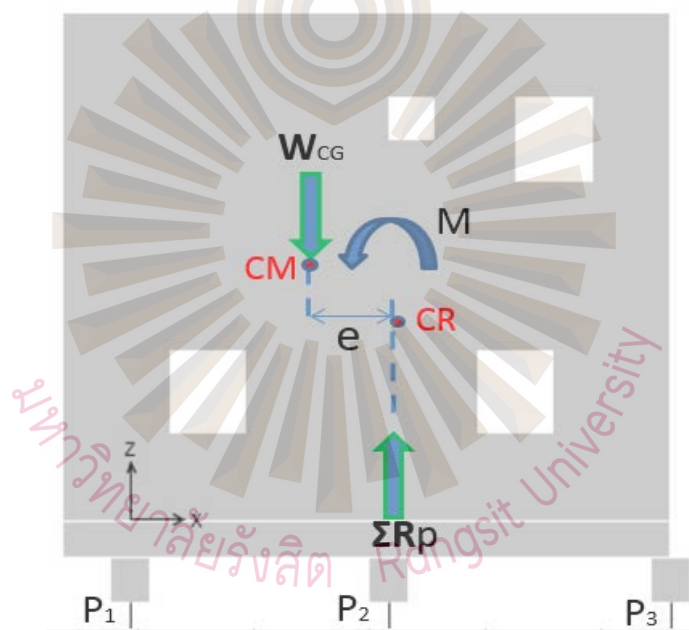
กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)		
		Grid Line		
		1/D	1/C	1/A
		7/D	7/C	7/A
RC	RC_ผนังหล่อในที่โดย Sap2000	17.82	16.00	12.78
	RC_ผนัง Rigid body	18.02	15.62	12.96
	% ความแตกต่าง	-1.10%	2.47%	-1.41%



รูปที่ 4.2 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนัง RC ด้านริม (Line 1 และ 7)

ที่มา : ผู้วิจัย

ผลจากการถ่ายน้ำหนักลงเสาเข็มของผนังแบบหล่อในที่ ด้านริมแบบมีช่องเปิดตามแบบก่อสร้างพบว่า การกระจายน้ำหนักจะค่อนข้างสูงทางด้านหน้าและลดน้อยลงไปทางด้านหลังตามลำดับ (17.82 ,16 และ 12.78 ตัน) โดยแสดงให้เห็นภาพตามรูปที่ 4.2 เนื่องจากจุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass, CM) ของโครงสร้างที่ไม่สมมาตร ผลจากมีช่องเปิดและผนังยื่นไปด้านหน้าที่รับระเบียง ทำให้ศูนย์กลางของมวลเยื้องกับศูนย์กลางแรงต้านทาน (Center of Reaction, CR) จากกลุ่มเสาเข็ม ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางในทิศทางกดไปด้านหน้า จึงทำให้เสาเข็มต้นริมนอกด้านหน้ารับน้ำหนักมากกว่าด้านหลัง จากแบบผนังมีระยะ CM จากริมผนัง $X_{wall} = 3.083$ m และระยะ CR, $X_{pile} = 3.467$ m ทำให้มีระยะเยื้องศูนย์กลาง $e = 0.343$ m โมเมนต์ที่เกิดในผนัง = 24.871 ตัน/เมตร พิจารณาการกระจายแรงลงสู่เสาเข็มกรณี Rigid Body โดยคำนวณหาได้จากสมการ $P_i = R/N + Mx / \sum x^2$ ได้ผลดังแสดงตามตารางที่ 4.2



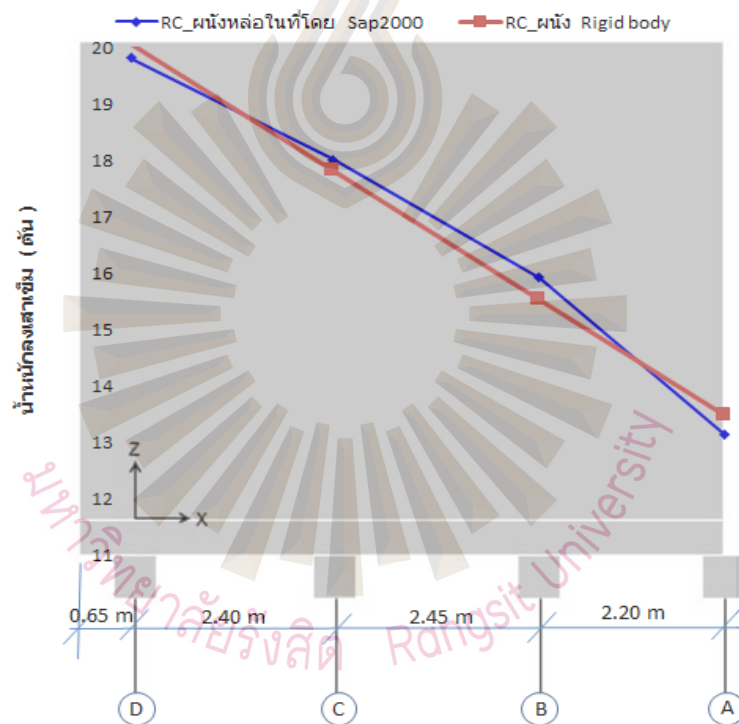
รูปที่ 4.3 แสดงผลจากการเยื้องศูนย์กลางของมวลกับศูนย์กลางต้านทานของแรงต้านของกลุ่มเข็ม
ที่มา : ผู้วิจัย

4.1.2.2 ผนังกลาง (Line 2-6)

ผลการศึกษาของผนังด้านกลางแบบหล่อในที่โดยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมและวิเคราะห์โดยสมมุติฐานเดียวกันกับผนังริมนอกได้ผลตามแสดงในตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ผนังหล่อในที่ (RC) ของผนังกลาง Line 2-6

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)			
		Grid Line			
		1-6/D	1-6/C	1-6/B	1-6/A
RC	RC_ผนังหล่อในที่โดย Sap2000	19.82	18.01	15.91	13.15
	RC_ผนัง Rigid body	20.06	17.82	15.53	13.48
	% ความแตกต่าง	-1.23%	1.05%	2.46%	-2.44%

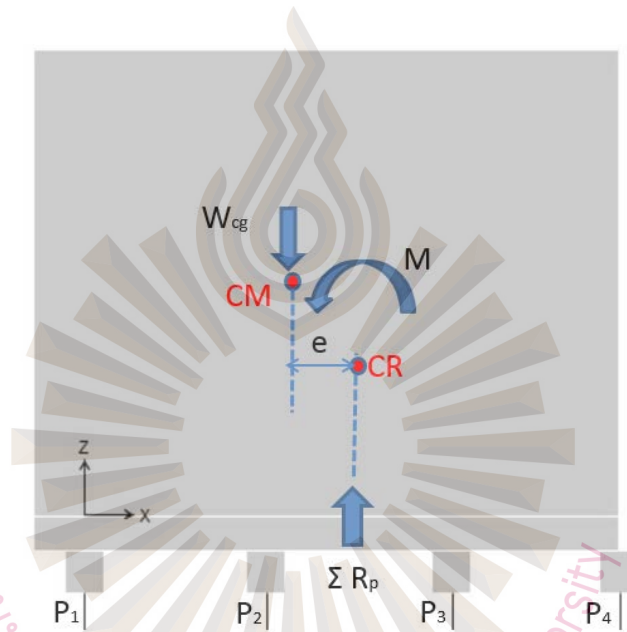


รูปที่ 4.4 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนัง RC ผนังกลาง (Line 2 ถึง 6)

ที่มา : ผู้วิจัย

ผลจากการถ่ายน้ำหนักลงเสาเข็มของผนังกลางที่เป็นผนังกันระหว่างห้องพบว่า การกระจายน้ำหนักจะสูงทางด้านหน้าและลดน้อยลงไปทางด้านหลังตามลำดับ (19.82 ,18.01,15.91 และ 13.15 ตัน) โดยแสดงให้เห็นภาพตามรูปที่ 4.4 จากจุดศูนย์กลางของมวล (Center of Mass,

CM)ของโครงสร้างที่ไม่สมมาตรเนื่องจากมีผนังยื่นไปด้านหน้าที่ได้รับแรงเบี่ยง ทำให้ศูนย์กลางของมวลเยื้องกับศูนย์กลางแรงต้านทาน (Center of Reaction, CR) จากกลุ่มเสาเข็ม ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางในทิศทางกดไปด้านหน้า จึงทำให้เสาเข็มต้นริมนอกด้านหน้ารับน้ำหนักมากกว่าด้านด้านหลัง จากแบบระยะ CM จากริมผนัง $X_{wall} = 3.185$ m และระยะ $CR, X_{pile} = 3.575$ m ทำให้มีระยะเยื้องศูนย์กลาง $e = 0.389$ m โมเมนต์ที่เกิดในผนัง = 27.863 ตัน/เมตร พิจารณาการกระจายแรงลงสู่เสาเข็มกรณี Rigid Body โดยคำนวณหาได้จาก สมการ $P_i = R/N + Mx / \sum x^2$ ได้ผลดังแสดงตามตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.5 แสดงผลจากการเยื้องศูนย์กลางของน้ำหนักกับแรงต้านของกลุ่มเข็ม
ที่มา : ผู้วิจัย

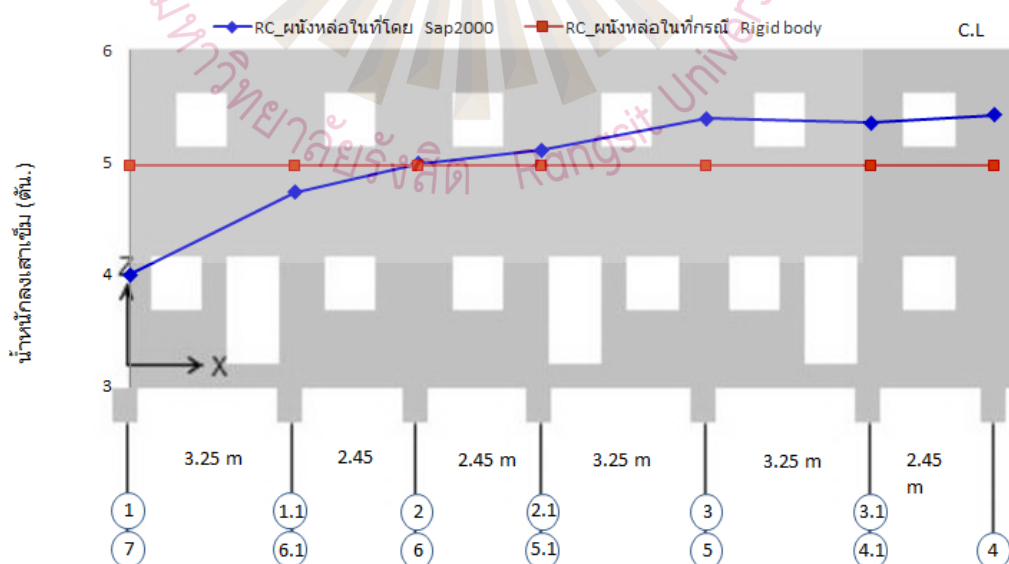
4.1.2.3 ผนังด้านหลัง Line A

ผลจากการถ่ายน้ำหนักลงเสาเข็มของผนังแบบหล่อในที่ด้านหลังที่เป็นผนังยาวมีช่องเปิดตามแบบก่อสร้าง เนื่องจากโครงสร้างสมมาตรและมีความยาวมากจึงแสดงผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มเพียงครึ่งเดียวของผนังเริ่มจากริมนอก ดังนี้ 3.99,4.74,4.99,5.11,5.40,5.35 และ 5.42 ตันที่ศูนย์กลางตามลำดับและอีกกรณีคือสมมุติผนังมีความแข็งแรงแบบสมบูรณ์(Rigid Body) การกระจายแรงลงเสาเข็มจะเท่ากัน ($R=P/N$) ผลดังแสดงในรูป 4.6

จากผลการวิเคราะห์ ผนังด้านหลังที่มีความยาวมาก ค่าสัมประสิทธิ์ลักษณะเฉพาะ (Characteristic Coefficient, λL) จัดอยู่ในกลุ่มของผนังที่มีความแข็งแรงปานกลางค่อนข้างไปทางอ่อน การกระจายน้ำหนักเกิดขึ้นน้อยที่ริมขอบนอกสุดและค่อยๆเพิ่มมากขึ้นจนมากที่สุดตรงกลาง โครงสร้างและลดลงไปจนถึงขอบนอกแบบสมมาตร ซึ่งการกระจายแรงลักษณะนี้แสดงว่า โครงสร้างผนังมีค่าสติเฟนต่ำกว่าค่าสติเฟนของเข็ม การกระจายน้ำหนักจึงต่ำที่ริมนอกและมากที่สุดตรงกลางดังแสดงตามตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์ผนังหล่อในที่ (RC) ของผนังด้านหลัง Line A

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)						
		Grid Line						
		1/A	1.1/A	2/A	2.1/A	3/A	3.1/A	4/A
		7/A	6.1/A	6/A	5.1/A	5/A	4.1/A	
RC	ผนังหล่อในที่ต่อเนื่องแบบมีช่องเปิด							
	RC_ผนังหล่อในที่โดย Sap2000	3.99	4.74	4.99	5.11	5.40	5.35	5.42
	RC_ผนังหล่อในที่กรณี Rigid body	4.97	4.97	4.97	4.97	4.97	4.97	4.97
	% ความแตกต่าง	-19.59%	-4.66%	0.38%	2.91%	8.60%	7.78%	9.16%



รูปที่ 4.6 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนัง RC ผนังด้านหลัง (Line A)

ที่มา : ผู้วิจัย

4.1.3 ผลกระทบของขนาดการเลื่อนไถลที่ต่างกันของจุดเชื่อมต่อผนังหล่อสำเร็จ (PC)

เนื่องจากระยะที่เกิดจากการเลื่อนไถลจากแรงเสียดทานมีความไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับสภาพผิวสัมผัส ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ตรวจสอบผลของระยะการเลื่อนไถลมีผลกระทบต่อการถ่ายแรงสู่เสาเข็มหรือไม่และทำการเปรียบเทียบกับกรณีที่เป็นผนังหล่อในที่ที่มีความต่อเนื่องกัน โดยวิเคราะห์ผลของการเลื่อนไถลกรณีที่เป็นแรงเสียดทานที่เกิดจากน้ำหนักกดทับของโครงสร้าง (Gravity) และแรงเสียดทานที่เกิดจาก Shear Friction ของเหล็กชั้น DB12 ที่มูรอยต่อของผนังโดยครอบคลุมกรณีต่อไปนี้

1) กรณีที่แรงเสียดทานเกิดจากน้ำหนักของโครงสร้างเอง เนื่องจากการเลื่อนไถลในลักษณะนี้มีความไม่แน่นอนค่อนข้างมากและขึ้นกับสภาพความหยาบของผิวสัมผัส จึงมีขนาดของการเลื่อนไถลที่ค่อนข้างกว้าง การศึกษาจึงทำการวิเคราะห์ครอบคลุมค่าขนาดระยะเลื่อนไถลที่ค่าสถิติในสต่างกัน 3 ค่าคือที่ระยะ Slip 10 มม, 1 มม และ 0.1 มม

2) กรณีรอยต่อมีแรงเฉือนเสียดทาน (Shear Friction) จากเหล็กชั้น DB12 โดยได้เทียบกับระดับการเลื่อนไถล 3 ค่าคือที่ระยะ Slip 0.5 มม, 1 มม และ 1.5 มม

4.1.3.1 กรณีรอยต่อ Cement Grout

การวิเคราะห์ได้ใช้แบบผนังหล่อในที่เพื่อเทียบกับผนังหล่อสำเร็จที่มีการแบ่งแผ่นมาประกอบเป็นผนังรับน้ำหนักเพื่อดูผลกระทบว่าค่าเลื่อนไถลจากผลของแรงเสียดทานของ Cement Grout จากน้ำหนักกดทับของโครงสร้างเท่านั้น โดยใช้ผนังริม, ผนังกลาง และผนังด้านหลังในการวิเคราะห์และได้ผลว่าระยะเลื่อนไถลของรอยต่อทั้ง 3 ผนังไม่แตกต่างกันมากนักในการที่จะทำให้แรงกระจายลงเสาเข็ม รายละเอียดผลการวิเคราะห์มีดังนี้

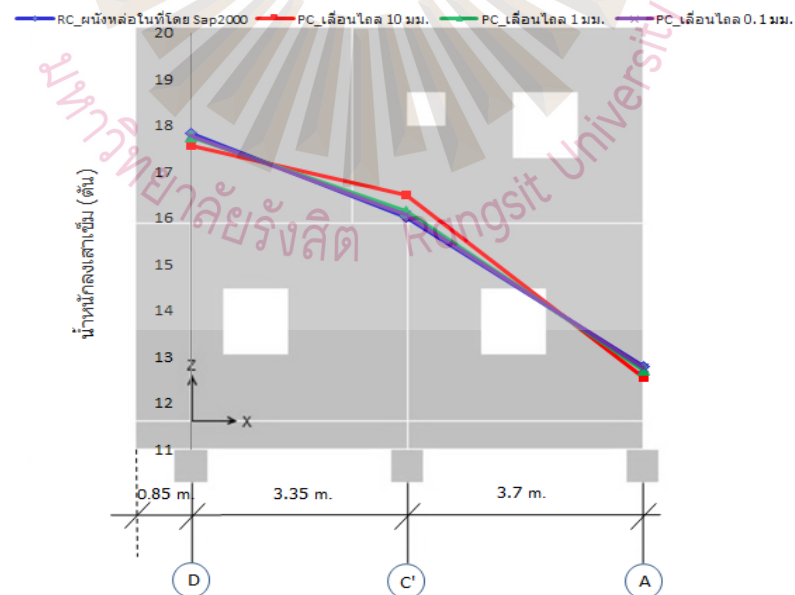
1) ผนังริม Line 1 และ 7

ผลจากการวิเคราะห์ผนังด้านสันริมนอก โดยผนังหล่อสำเร็จที่พิจารณาคิดแรงเฉือนจากแรงเสียดทานของ Cement Grout เพียงอย่างเดียวเทียบกับผนังหล่อในที่ที่มีความต่อเนื่องพบว่าผลของการถ่ายแรงของผนังที่คิดค่าสถิติในสของ Cement Grout ต่างกันที่ระยะการเลื่อนไถล 1 มม จะให้พฤติกรรมใกล้เคียงกับผนังหล่อในที่มากที่สุด กรณีที่ใช้ค่าสถิติในสของ Cement Grout ที่

ระยะการเลื่อนไถล 10 มม. จะให้ผลต่างกันร้อยละ 3.14 และที่ระยะเลื่อนไถล 0.1 มม. ผลการถ่ายแรงจะน้อยมากแค่ร้อยละ 0.4 แสดงผลตามตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ผลการวิเคราะห์ ผนังริม Line 1 และ 7

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)		
		Grid Line		
		1/D	1/C'	1/A
		7/D	7/C'	7/A
RC	RC_ผนังหล่อในที่ต่อเนื่อง	17.82	16.00	12.78
PC	ผนังหล่อสำเร็จคิดแรงเฉือนเกิดจาก Friction ของ Cement grout			
	PC_เลื่อนไถล 10 มม.	17.56	16.51	12.54
	% ความแตกต่าง	-1.49%	3.14%	-1.85%
	PC_เลื่อนไถล 1 มม.	17.75	16.15	12.71
	% ความแตกต่าง	-0.44%	0.90%	-0.52%
	PC_เลื่อนไถล 0.1 มม.	17.79	16.07	12.75
% ความแตกต่าง	-0.20%	0.41%	-0.23%	



รูปที่ 4.7 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนัง PC กรณีผลจากแรงเสียดทานของ Cement grout ที่ระยะ Slip ต่างกัน (ผนังด้านริม Line 1 และ 7)

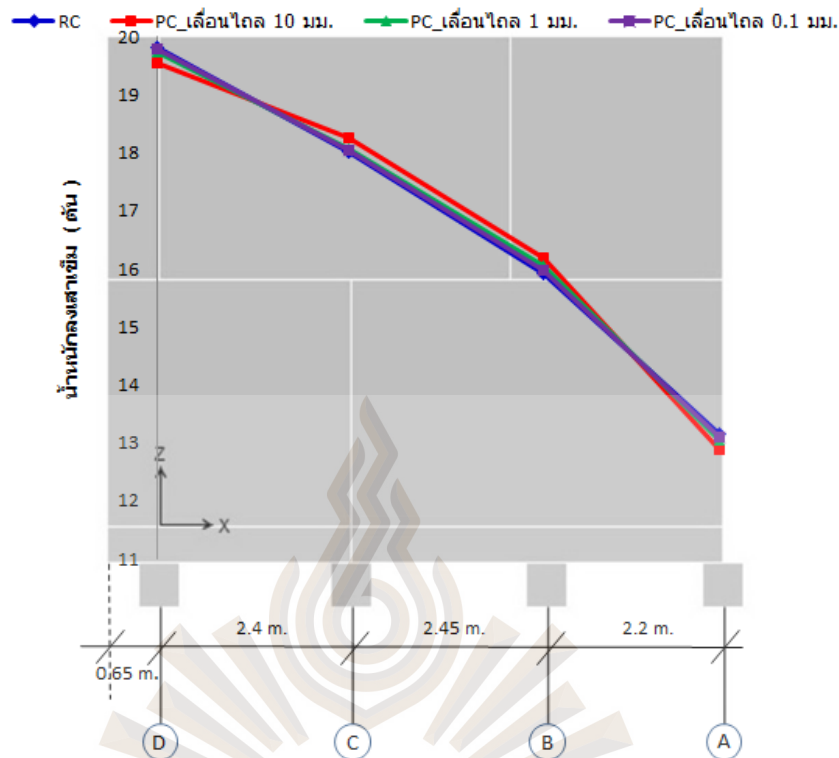
ที่มา : ผู้วิจัย

2) ผนังกลาง Line 2 – 6

ผลจากการวิเคราะห์ผนังด้านสั้นกลาง โดยผนังหล่อสำเร็จที่พิจารณาคัดแรงเฉือนจากแรงเสียดทานของ Cement Grout เพียงอย่างเดียวเทียบกับผนังหล่อในที่ที่มีความต่อเนื่อง พบว่าผลของการถ่ายแรงของผนังที่คิดค่าสติเฟนของ Cement Grout ที่ระยะการเลื่อนไถล 1 มม. จะให้พฤติกรรมใกล้เคียงกับผนังหล่อในที่มากที่สุด กรณีที่ใช้ค่าสติเฟนของ Cement Grout ที่ระยะการเลื่อนไถล 10 มม. จะให้ผลต่างกันไม่เกินร้อยละ 2.06 และที่ระยะเลื่อนไถล 0.1 มม. ให้ผลต่างไม่เกินร้อยละ 0.39 แสดงผลตามตาราง 4.6

ตาราง 4.6 ผลการวิเคราะห์ ผนังกลาง Line 2 – 6

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)			
		Grid Line			
		1-6/D	1-6/C	1-6/B	1-6/A
RC	ผนังหล่อในที่ต่อเนื่อง	19.82	18.01	15.91	13.15
PC	ผนังหล่อสำเร็จคิดแรงเฉือนเกิดจาก Friction ของ Cement grout				
	PC_เลื่อนไถล 10 มม.	19.56	18.27	16.18	12.88
	% ความแตกต่าง	-1.30%	1.44%	1.68%	-2.06%
	PC_เลื่อนไถล 1 มม.	19.73	18.08	16.04	13.04
	% ความแตกต่าง	-0.45%	0.40%	0.81%	-0.85%
	PC_เลื่อนไถล 0.1 มม.	19.78	18.03	15.97	13.10
	% ความแตกต่าง	-0.19%	0.14%	0.39%	-0.38%



รูปที่ 4.8 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนัง PC กรณีผลจากแรงเฉียดทานของ Cement Grout ระยะ

Slip ต่างกัน (ผนังด้านกลาง Line 2 -6)

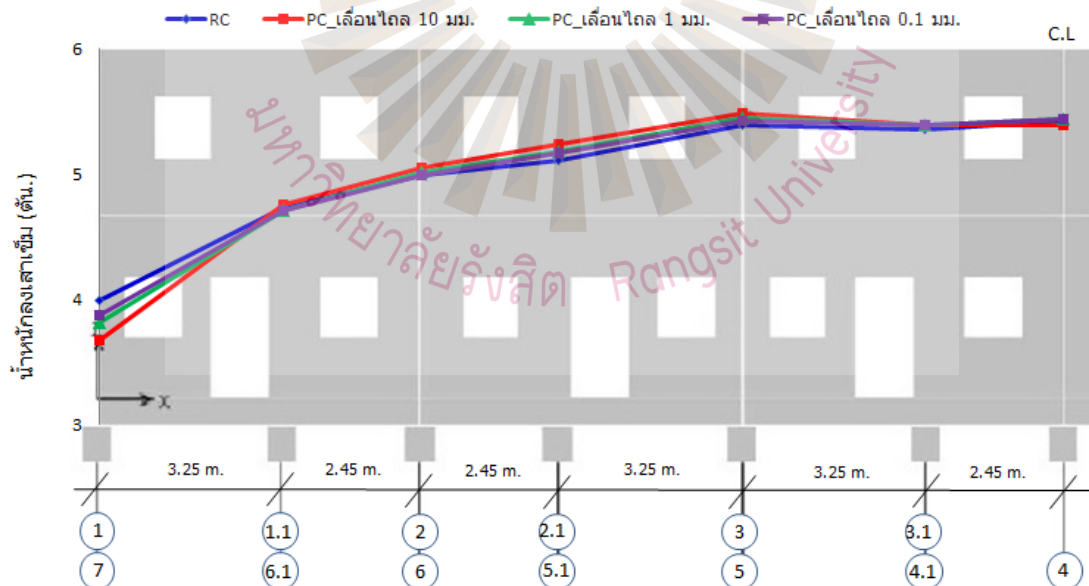
ที่มา : ผู้วิจัย

3) ผนังด้านหลัง Line A

ผลการวิเคราะห์ผนังด้านหลังพบว่า ระยะเลื่อนไถลของ Cement Grout ที่ 1 มม. ให้ผลการกระจายแรงสู่เสาเข็มใกล้เคียงกับผนังแบบหล่อในที่ ส่วนทดสอบวิเคราะห์การใช้ค่า สติฟเนสที่ระยะเลื่อนไถล 10 มม. และ 0.1 มม. ให้ผลการถ่ายแรงในเสาเข็มไม่ต่างกันมากนัก ยกเว้นริมขอบนอก ระยะเลื่อนไถลที่ 10 มม. จะต่ำกว่าไม่เกินร้อยละ 8.08 ระยะเลื่อนไถล 1 มม. ต่ำกว่าไม่เกินร้อยละ 4.36 และระยะเลื่อนไถล 0.1 มม. จะต่ำกว่าไม่เกินร้อยละ 2.97 แสดงว่าเมื่อ ระยะเลื่อนไถลยิ่งมากค่าการถ่ายแรงจะใกล้กับผนังที่มีสติฟเนสอ่อนแสดงผลตามตาราง 4.7

ตาราง 4.7 ผลการวิเคราะห์ ผนังด้านหลัง Line A

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)						
		Grid Line						
		1/A	1.1/A	2/A	2.1/A	3/A	3.1/A	4/A
7/A	6.1/A	6/A	5.1/A	5/A	4.1/A			
RC	RC_ผนังหล่อในที่แบบมีช่องเปิด	3.99	4.74	4.99	5.11	5.40	5.35	5.42
PC	ผนังหล่อสำเร็จคิดแรงเฉือนเกิดจาก Friction ของ Cement grout							
	PC_เลื่อนไถล 10 มม.	3.67	4.76	5.05	5.25	5.49	5.39	5.39
	% ความแตกต่าง	-8.08%	0.47%	1.18%	2.59%	1.72%	0.63%	-0.65%
	PC_เลื่อนไถล 1 มม.	3.82	4.71	5.01	5.18	5.45	5.39	5.44
	% ความแตกต่าง	-4.36%	-0.51%	0.49%	1.40%	1.06%	0.70%	0.26%
	PC_เลื่อนไถล 0.1 มม.	3.88	4.71	5.00	5.17	5.43	5.39	5.45
	% ความแตกต่าง	-2.97%	-0.60%	0.21%	1.09%	0.61%	0.67%	0.41%



รูปที่ 4.9 แสดงน้ำหนักถ่ายลงเสาเข็มผนัง PC กรณีผลจากแรงเสียดทานของ Cement grout ระยะเลื่อนไถลต่างกัน (ผนังด้านหลัง Line A)

ที่มา : ผู้วิจัย

4.1.3.2 กรณีรอยต่อ เหล็กยื่น DB 12

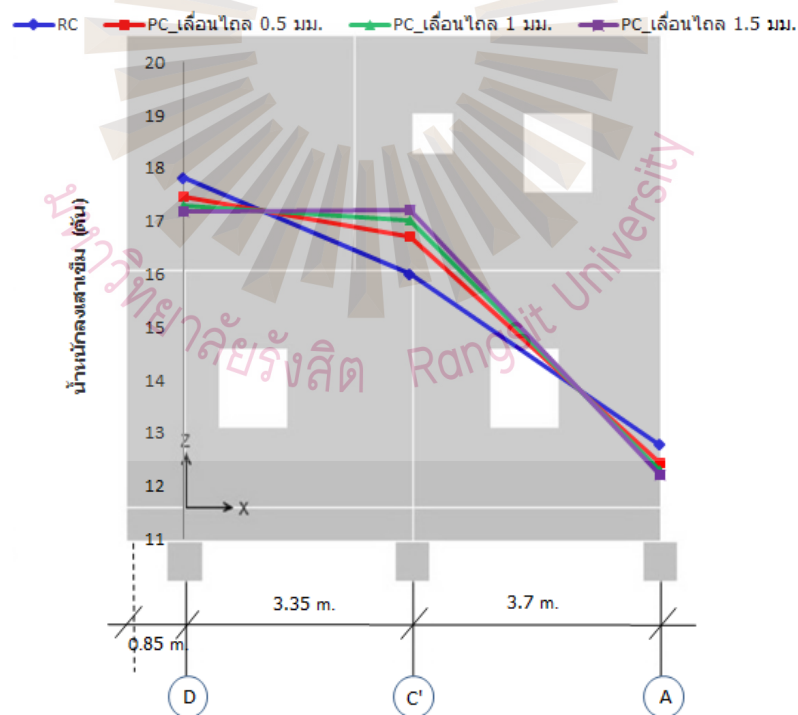
กรณีนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของขนาดการเลื่อนไถลต่อแรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม จากผลของ Shear Friction จากเหล็กยื่น DB12 กรณีผนังหล่อสำเร็จ ระยะการเคลื่อนที่ของผนังต่อแรงที่กระทำจะส่งผลต่อการถ่ายแรงสู่เสาเข็มเนื่องจากระยะการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้นของจุดต่อจะทำให้พฤติกรรมการถ่ายแรงเข้าใกล้ผนังที่ไม่มีแรงเสียดทานจาก Cement grout จึงทำการศึกษาผลของการเคลื่อนตัวของผนังของกรณี Shear Friction จากเหล็กยื่น DB12 ที่ค่าการเลื่อนไถลที่ระยะ 0.50 มม., 1 มม. และ 1.5 มม. ของผนังทั้งสามผนังคือ ผนังริม, ผนังกลางและผนังด้านหลัง เทียบกับผนังหล่อในที่ดังต่อไปนี้

1) ผนังริมนอก Line 1 และ 7

ผลจากการวิเคราะห์ผนังริมนอกที่เป็นผนังสั้น โดยผนังหล่อสำเร็จที่พิจารณาคิดแรงเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 เพียงอย่างเดียวเทียบกับผนังหล่อในที่ที่มีความต่อเนื่อง พบว่าผลของการถ่ายแรงของผนังที่คิดเฉพาะค่าแรงเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 ที่ระยะการเลื่อนไถล 0.5, 1 และ 1.5 มม. ผลของการกระจายแรงด้านริมด้านหน้าจะต่ำกว่าผนังแบบหล่อในที่ ในอัตราร้อยละ 2.1, 2.98 และ 3.6 ตามลำดับ ส่วนช่วงกลางจะสูงกว่าโดยที่มากที่สุดที่ระยะเลื่อนไถล 1.5 มม. และลดลงตามระยะเลื่อนไถล คือร้อยละ 7.63, 6.32 และ 4.42 ตามลำดับ ส่วนด้านหลังจะใกล้เคียงกันคือน้อยกว่าประมาณร้อยละ 3 แสดงผลตามตาราง 4.8

ตาราง 4.8 ผลการวิเคราะห์ ผนังริม Line 1 และ 7

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)		
		Grid Line		
		1/D	1/C	1/A
		7/D	7/C	7/A
RC	ผนังหล่อในที่ต่อเนื่อง	17.82	16.00	12.78
PC	ผนังหล่อสำเร็จคิดแรงเฉือนเกิดจาก Shear Friction จากเหล็กขึ้น DB12			
	PC เลื่อนไถล 0.5 มม.	17.45	16.71	12.45
	% ความแตกต่าง	-2.10%	4.42%	-2.61%
	PC เลื่อนไถล 1 มม.	17.29	17.01	12.30
	% ความแตกต่าง	-2.98%	6.32%	-3.75%
	PC เลื่อนไถล 1.5 มม.	17.18	17.22	12.20
	% ความแตกต่าง	-3.60%	7.63%	-4.54%



รูปที่ 4.10 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนัง PC กรณีผลจากความเสียดทานของ DB12 ที่ระยะเลื่อนไถลต่างกัน (ด้านริม Line 1 และ 7)

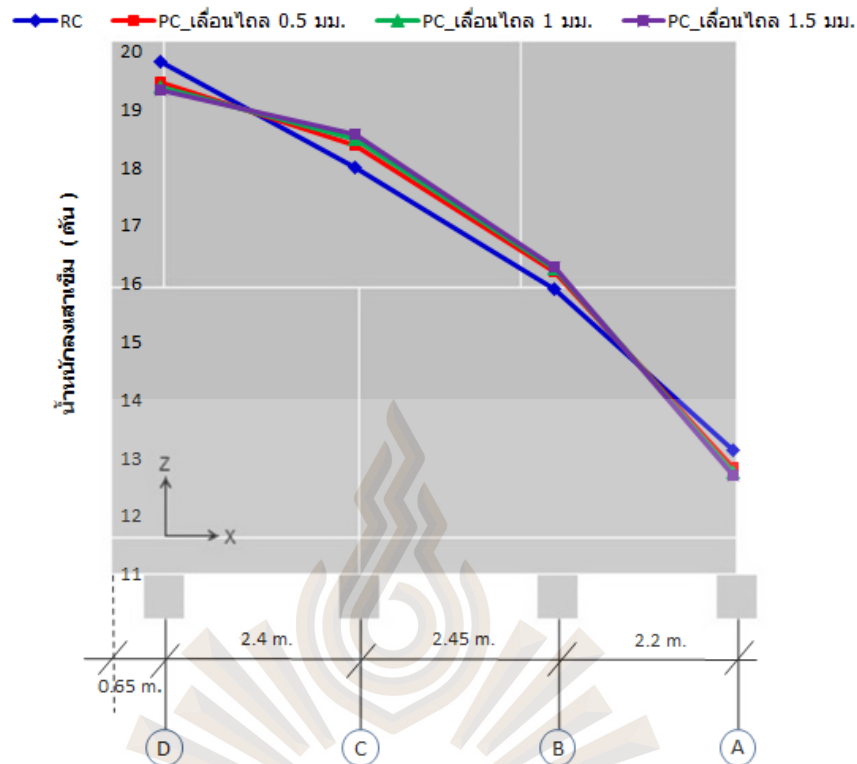
ที่มา : ผู้วิจัย

2) ผนังกลาง Line 2 – 6

ผลจากการวิเคราะห์ผนังกลางที่เป็นผนังสั้น โดยผนังหล่อสำเร็จที่พิจารณาคิดแรงเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 ที่ระยะการเลื่อนไถล 0.5, 1 และ 1.5 มม. เทียบกับผนังหล่อในที่ที่มีความต่อเนื่อง ผลของการถ่ายแรงในเสาเข็มที่ขอบผนังด้านหน้าจะต่ำกว่าผนังแบบหล่อในที่ ในอัตราร้อยละ 1.7, 2.19 และ 4.46 ตามลำดับ ส่วนเสาเข็มต้นถัดมาจะสูงกว่าโดยที่มากที่สุดที่ระยะการเลื่อนไถล 1.5 มม. และลดลงตามระยะการเลื่อนไถล คือร้อยละ 3.11, 2.74 และ 2.07 ตามลำดับ เสาเข็มต้นที่ 3 ถัดมาจะสูงกว่าในอัตราร้อยละ 2 ทุกค่าการเลื่อนไถล ส่วนด้านขอบผนังหลังการถ่ายแรงในเสาเข็มจะใกล้เคียงกันคือน้อยกว่าผนังหล่อในที่ประมาณร้อยละ 3 ทุกค่าการเลื่อนไถล แสดงผลตามตาราง 4.9

ตาราง 4.9 ผลการวิเคราะห์ ผนังกลาง Line 2-6

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)			
		Grid Line			
		1-6/D	1-6/C	1-6/B	1-6/A
RC	ผนังหล่อในที่ต่อเนื่อง	19.82	18.01	15.91	13.15
PC	ผนังหล่อสำเร็จคิดแรงเฉือนเกิดจาก Shear Friction จากเหล็กยื่น DB12				
	PC_เลื่อนไถล 0.5 มม.	19.48	18.38	16.20	12.82
	% ความแตกต่าง	-1.70%	2.07%	1.79%	-2.45%
	PC_เลื่อนไถล 1 มม.	19.38	18.50	16.26	12.74
	% ความแตกต่าง	-2.19%	2.74%	2.16%	-3.07%
	PC_เลื่อนไถล 1.5 มม.	19.33	18.57	16.29	12.70
	% ความแตกต่าง	-2.46%	3.11%	2.36%	-3.41%



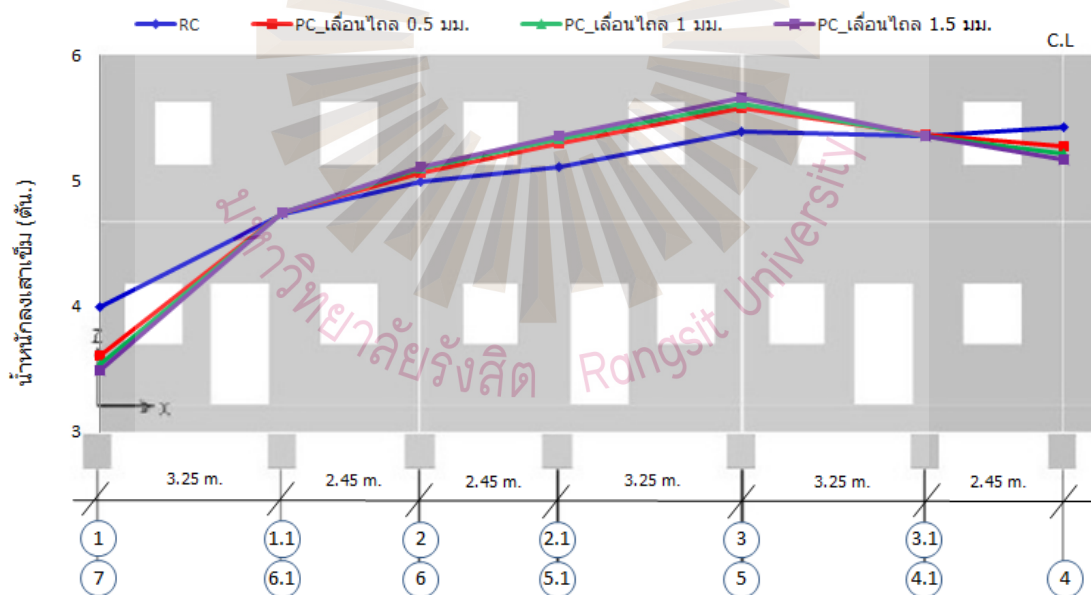
รูปที่ 4.11 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนัง PC กรณีผลจากความเสียดทานของ DB12 ที่ระยะเลื่อนไถลต่างกัน (ผนังกลาง Line 2-6)
ที่มา : ผู้วิจัย

3) ผนังด้านหลัง Line A

ผลการวิเคราะห์ผนังด้านหลังพบว่า ระยะเลื่อนไถลจากผลของแรงเสียดทานของจากเหล็กขึ้น DB12 ผลการถ่ายแรงเนื่องจากระยะเลื่อนไถล ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยที่ริมขอบผนังผลต่างของแรงในเสาเข็มของผนังหล่อสำเร็จจะต่ำกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 9.6, 11.6 และ 12.7 และจะสูงกว่าที่ร้อยละ 11.4 .ตำแหน่งเข็มต้นที่ 5 คือน้ำหนักลงเข็มของผนังหล่อสำเร็จมีค่าสูงกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 3.31, 4.3 และ 4.9 แสดงผลตามตาราง 4.10

ตาราง 4.10 ผลการวิเคราะห์ ผนังด้านหลัง Line A

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)						
		Grid Line						
		1/A	1.1/A	2/A	2.1/A	3/A	3.1/A	4/A
		7/A	6.1/A	6/A	5.1/A	5/A	4.1/A	
RC	ผนังหล่อในที่ต่อเนื่อง	3.99	4.74	4.99	5.11	5.40	5.35	5.42
PC	ผนังหล่อสำเร็จคิดแรงเฉือนเกิดจาก Shear Friction จากเหล็กชั้น DB12							
	PC เลื่อนไถล 0.5 มม.	3.61	4.74	5.07	5.29	5.57	5.37	5.28
	% ความแตกต่าง	-9.64%	0.17%	1.59%	3.55%	3.31%	0.21%	-2.71%
	PC เลื่อนไถล 1 มม.	3.53	4.75	5.09	5.34	5.62	5.36	5.21
	% ความแตกต่าง	-11.6%	0.3%	2.1%	4.3%	4.1%	0.1%	-3.9%
	PC เลื่อนไถล 1.5 มม.	3.49	4.75	5.11	5.36	5.66	5.35	5.16
	% ความแตกต่าง	-12.7%	0.3%	2.4%	4.8%	4.9%	-0.1%	-4.8%



รูปที่ 4.12 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนัง PC กรณีผลจากความเสียดทานของ DB12 ที่ระยะ เลื่อนไถลต่างกัน (ผนังด้านหลัง Line A)

ที่มา : ผู้วิจัย

จากผลการเพิ่มค่าระยะการเคลื่อนที่ต่อหน่วยแรงที่กระทำของผนังในแต่ละแบบ โดยศึกษาความแตกต่างการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้นจาก 0.5 มม., 1 มม. และ 1.5 มม. ตามลำดับ ผลการถ่ายแรงลงเสาเข็ม มีพฤติกรรมลู่เข้าใกล้ผนังหล่อในที่ ที่มีสติเฟนสของฐานรากสูงกว่าสติเฟนสของโครงสร้างส่วนบน และเพิ่มมากขึ้นตามระยะเลื่อนไถลที่เพิ่ม เพราะการเพิ่มระยะไถลเหมือนเทียบเท่ากับผนังที่มีแรงเฉียดทานน้อย โดยมีข้อสังเกตว่าจากผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 กรณี พฤติกรรมการถ่ายแรงจะต่ำลงที่ฐานด้านริมขอบนอกทั้งสองข้างและมีแนวโน้มสูงขึ้นด้านใน ส่วนผนังด้านหลังที่ค่อนข้างยาว การถ่ายแรงในเสาเข็มมีแนวโน้มสูงขึ้นช่วงประมาณที่ฐานรองรับต้นที่ 5 และ 9 และเริ่มต่ำลงที่ต้นกลางผนัง เนื่องจากผนังมีช่วงยาวทำให้คานมีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่น (Flexible Member) เมื่อคานโค้งตัวและระยะไถลเพิ่มขึ้นทำให้ผนังช่วงกลางทั้งสองแผ่นเกิดการแยกออกทำให้การถ่ายแรงลงฐานกลางรับน้ำหนักได้น้อยลงและฐานถัดไปรับน้ำหนักมากขึ้นเนื่องจากผนังถัดไปจะเกิดแรงอัดในผนังที่ฐานรองรับช่วงเสาเข็มต้นที่ 5 และ 9 และค่อยๆต่ำลงจนถึงฐานด้านขอบริม นอก จากผลการวิเคราะห์ผนังหล่อสำเร็จทั้ง 3 ผนัง ผลของระยะเลื่อนไถลกรณีจากเหล็กยื่น DB12 ไม่ส่งผลต่อการถ่ายแรงลงเสาเข็ม โดยไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในการศึกษาวิเคราะห์ต่อไปหลังจากนี้จะใช้ระยะเลื่อนไถลของ Shear Friction ของเหล็กยื่น DB12 ที่ระยะ 1 มม. ในการศึกษาวิเคราะห์และยังเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองของคอนกรีตผิวเรียบโดย Mohamad and Ibrahim (2015) อีกด้วย

4.1.4 ผลการวิเคราะห์เรื่องบทบาทของจุดเชื่อมต่อต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์ผนังหล่อสำเร็จ โดยได้ศึกษาในบทบาทของจุดเชื่อมต่อที่มีคุณสมบัติกรณีต่างกัน การศึกษานี้ได้จำลองเงื่อนไขครอบคลุมกรณีที่มีการยึดรอยต่อในแนวราบมีลักษณะดังนี้

1) กรณีที่รอยต่อแนวราบไม่สามารถรับแรงเฉือนได้

กรณีนี้เป็นตัวแทนสำหรับกรณีที่เหล็กยึดรั้งทั้งหมดไม่ทำงาน เหลือแต่ Cement Grout ซึ่งไม่สามารถรับแรงเฉือนจากน้ำหนักกดทับของโครงสร้างได้ รับได้เฉพาะแรงอัดในแนวตั้งจากกับรอยต่อเท่านั้น กรณีนี้จะเป็นกรณีที่ผนังมี Stiffness ต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ ซึ่งจะเป็นตัวแทนกรณีที่การก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน

2) กรณีที่แรงเฉือนในรอยต่อแนวราบเกิดจากแรงเฉียดทานของ Cement grout เท่านั้น

กรณีนี้เป็นตัวแทนสำหรับกรณีที่ไม่มีเสริมเหล็กยื่นมุม DB 12 และเหล็ก Starter Bar บริเวณรอยต่อแนวตั้ง

3) กรณีที่แรงเฉือนในรอยต่อแนวราบเกิดจากทั้งแรงเฉียดทานของ Cement Grout และ Shear Friction ของเหล็กยื่น DB 12

กรณีนี้เป็นกรณีที่รอยต่อในแนวราบมีความสมบูรณ์ก่อสร้างได้มาตรฐาน
4) กรณีที่แรงเฉือนในรอยต่อแนวราบเกิดจาก Shear Friction ของเหล็กยื่น DB 12
เท่านั้น

กรณีนี้เป็นกรณีที่แนะนำโดย ACI 318-11 ซึ่งแนะนำภายใต้หัวข้อ 16.5 Structural Integrity ว่าไม่ควรออกแบบให้กำลังรับแรงเฉือนของรอยต่อขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานจากน้ำหนักโครงสร้างที่ตกลงบนรอยต่อ ซึ่งกำลังอาจจะสูญเสียไปในกรณีที่มีการวิบัติของชิ้นส่วน โครงสร้างบางชิ้น และอาจนำไปสู่การพังทลายแบบต่อเนื่อง (Progressive Failure) ได้

โดยได้วิเคราะห์เปรียบเทียบผนังหล่อในที่กับผนังหล่อสำเร็จจากคุณสมบัติรอยต่อทั้ง 4 กรณี โดยเริ่มจากผนังริมนอก ผนังกลาง และผนังด้านหลัง ผลการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

4) ผนังด้านริมนอก (Line 1 และ 7)

ผลการศึกษารณีรอยต่อแนวราบของผนังด้านริมนอกที่รอยต่อมีคุณสมบัติต่างกัน 4 กรณี
ดังนี้

4.1) กรณีแผ่นหล่อสำเร็จมีแรงเสียดทานของ Cement Grout ร่วมกับแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 ค่าแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มต้นริมขอบนอกต่ำกว่าผนังหล่อในที่ ร้อยละ 0.43 เสาเข็มต้นกลางจะสูงกว่าร้อยละ 0.88 และต้นริมขอบด้านหลังต่ำกว่าร้อยละ 0.51 ให้ผลการถ่ายน้ำหนักใกล้เคียงกับผนังหล่อในที่มากที่สุด

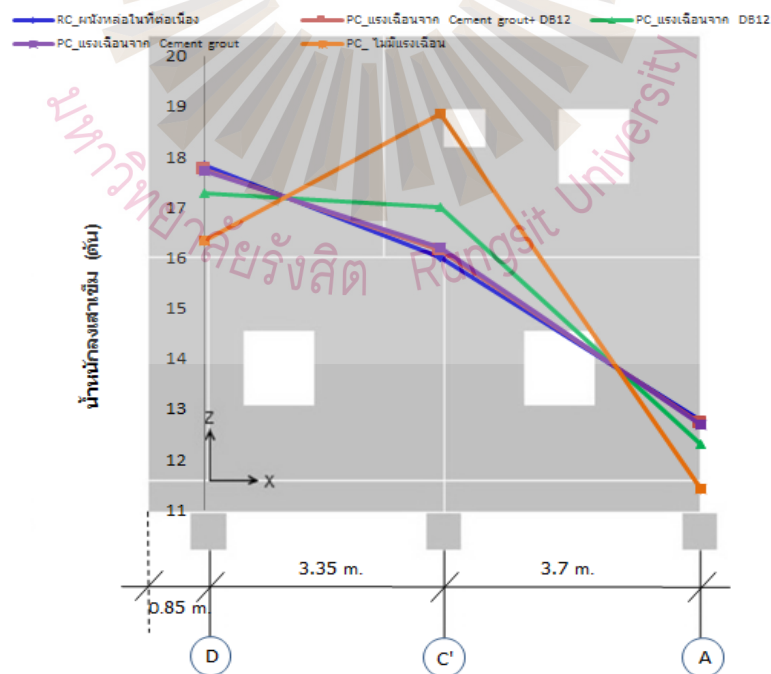
4.2) กรณีแผ่นหล่อสำเร็จมีแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 ค่าแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มต้นริมขอบนอกจะต่ำกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 2.98 เสาเข็มต้นกลางจะสูงกว่าร้อยละ 6.32 และต้นริมขอบนอกด้านหลังต่ำกว่าร้อยละ 3.75

4.3) กรณีแผ่นหล่อสำเร็จมีแรงเสียดทานของ Cement Grout ค่าแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มต้นริมขอบนอกต่ำกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 0.62 เสาเข็มต้นกลางจะสูงกว่าร้อยละ 1.29 และต้นริมขอบด้านหลังต่ำกว่าร้อยละ 0.75

4.4) กรณีแผ่นหล่อสำเร็จไม่มีแรงเฉือน จะมีค่าแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มต้นริมขอบนอกต่ำกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 8.38 เสาเข็มต้นกลางจะสูงกว่าร้อยละ 17.86 และต้นริมขอบด้านหลังต่ำกว่าร้อยละ 10.67 รายละเอียดการวิเคราะห์ตามตาราง 4.11

ตาราง 4.11 ผลการวิเคราะห์ ผนังด้านริม Line 1 และ 7

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)		
		Grid Line		
		1/D	1/C	1/A
		7/D	7/C	7/A
RC	RC_ผนังหล่อในที่ต่อเนื่อง	17.82	16.00	12.78
PC	ผนังหล่อสำเร็จที่ระยะเลื่อนไถล 1 มม.			
	PC_แรงเฉือนจาก Cement grout+ DB12	17.75	16.14	12.71
	% ความแตกต่าง	-0.43%	0.88%	-0.51%
	PC_แรงเฉือนจาก DB12	17.29	17.01	12.30
	% ความแตกต่าง	-2.98%	6.32%	-3.75%
	PC_แรงเฉือนจาก Cement grout	17.71	16.21	12.68
	% ความแตกต่าง	-0.62%	1.29%	-0.75%
	PC_ไม่มีแรงเฉือน	16.33	18.86	11.42
% ความแตกต่าง	-8.38%	17.86%	-10.67%	



รูปที่ 4.13 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนัง PC กรณีรอยต่อแนวราบมีคุณสมบัติต่างกัน

ที่มา : ผู้วิจัย

5) ผนังกลาง (Line 2-6)

ผลการศึกษากรณีรอยต่อแนวราบของผนังกลางที่มีคุณสมบัติรอยต่อต่างกัน 4 กรณีดังนี้

5.1) กรณีแผ่นหล่อสำเร็จมีแรงเสียดทานของ Cement Grout ร่วมกับแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 ค่าแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มต้นริมขอบนอกต่ำกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 0.34 เสาเข็มต้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 0.31 เสาเข็มต้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 0.61 และต้นริมขอบด้านหลังต่ำกว่าร้อยละ 0.64

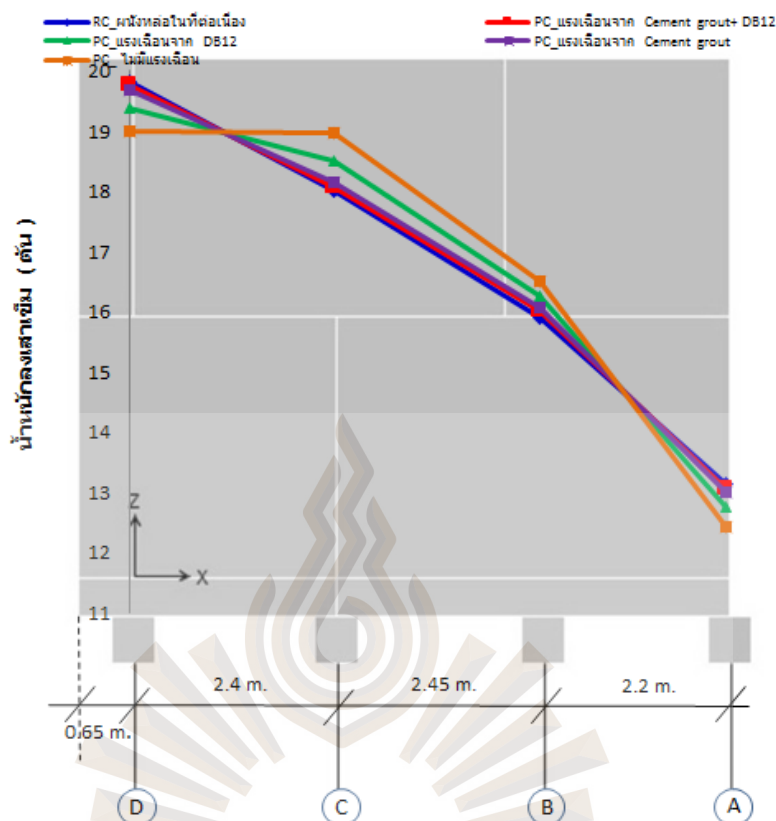
5.2) กรณีแผ่นหล่อสำเร็จมีแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 ค่าแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มต้นริมขอบนอกต่ำกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 2.19 เสาเข็มต้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 2.74 เสาเข็มต้นในถัดไปสูงกว่าร้อยละ 2.16 และต้นริมขอบด้านหลังต่ำกว่าร้อยละ 3.07

5.3) กรณีแผ่นหล่อสำเร็จมีแรงเสียดทานของ Cement Grout ค่าแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มต้นริมขอบนอกต่ำกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 0.68 เสาเข็มต้นถัดไปสูงกว่าร้อยละ 0.73 เสาเข็มต้นถัดไปสูงกว่าร้อยละ 0.92 และต้นริมขอบด้านหลังต่ำกว่าร้อยละ 1.09

5.4) กรณีแผ่นหล่อสำเร็จไม่มีแรงเฉือน จะมีค่าแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มต้นริมขอบนอกต่ำกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 4.1 เสาเข็มต้นถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 5.26 เสาเข็มต้นถัดไปสูงกว่าร้อยละ 3.74 และต้นริมขอบด้านหลังต่ำกว่าร้อยละ 5.55

ตาราง 4.12 ผลการวิเคราะห์ ผนังกลาง Line 2-6

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)			
		Grid Line			
		1-6/D	1-6/C	1-6/B	1-6/A
RC	RC_ผนังหล่อในที่ต่อเนื่อง	19.82	18.01	15.91	13.15
PC	ผนังหล่อสำเร็จที่ระยะเลื่อนไถล 1 มม.				
	PC_แรงเฉือนจาก Cement grout+ DB12	19.75	18.06	16.01	13.06
	% ความแตกต่าง	-0.35%	0.31%	0.61%	-0.64%
	PC_แรงเฉือนจาก DB12	19.38	18.50	16.26	12.74
	% ความแตกต่าง	-2.19%	2.74%	2.16%	-3.07%
	PC_แรงเฉือนจาก Cement grout	19.68	18.14	16.06	13.00
	% ความแตกต่าง	-0.68%	0.73%	0.92%	-1.09%
	PC_ ไม่มีแรงเฉือน	19.00	18.96	16.51	12.42
% ความแตกต่าง	-4.10%	5.26%	3.74%	-5.55%	



รูปที่ 4.14 แสดงน้ำหนักงเสาชิมผนัง PC กรณีรอยต่อแนวราบมีคุณสมบัติต่างกัน

ที่มา : ผู้วิจัย

6) ผนังด้านหลัง (Line A)

ผลการศึกษากรณีรอยต่อแนวราบของผนังด้านหลังที่มีคุณสมบัติรอยต่อต่างกัน 4 กรณี ดังนี้

6.1) กรณีแผ่นหล่อสำเร็จมีแรงเสียดทานของ Cement Grout ร่วมกับแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 ค่าแรงที่ถ่ายลงเสาชิมต้นริมขอบนอกต่ำกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 4.29 เสาชิมต้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 0.51 เสาชิมต้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 0.48 เสาชิมต้นถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 1.39 เสาชิมต้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 1.04 เสาชิมต้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 0.70 และต้นกลางจะสูงกว่าร้อยละ 0.27

6.2) กรณีแผ่นหล่อสำเร็จมีแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 ค่าแรงที่ถ่ายลงเสาชิมต้นริมขอบนอกต่ำกว่าผนังหล่อในที่ ร้อยละ 11.6 เสาชิมต้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 0.30 เสาชิมต้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 2.1 เสาชิมต้นถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 4.3 เสาชิมต้นในถัดไป

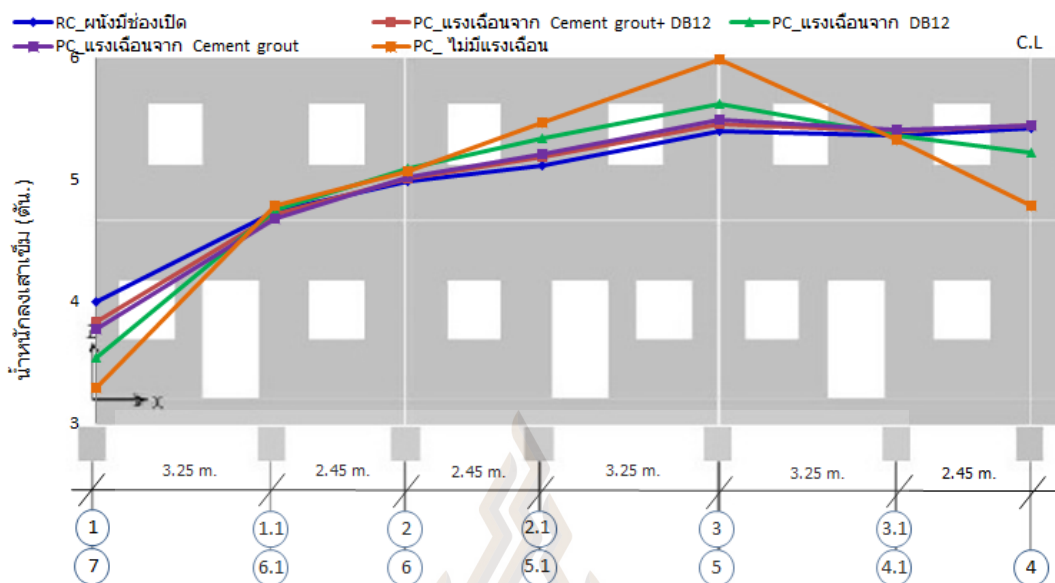
จะสูงกว่าร้อยละ 4.1 เสาค้ำขึ้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 0.30 และต้นกลางผนังจะต่ำกว่าร้อยละ 3.9

6.3) กรณีแผ่นหล่อสำเร็จมีแรงเสียดทานของ Cement Grout ค่าแรงที่ถ่ายลงเสาค้ำขึ้นขอบริมขอบนอกต่ำกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 5.56 เสาค้ำขึ้นในถัดไปจะต่ำกว่าร้อยละ 1.16 เสาค้ำขึ้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 0.51 เสาค้ำขึ้นถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 1.91 เสาค้ำขึ้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 1.81 เสาค้ำขึ้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 0.93 และต้นกลางผนังจะสูงกว่าร้อยละ 0.28

6.4) กรณีแผ่นหล่อสำเร็จไม่มีแรงเฉือน ค่าแรงที่ถ่ายลงเสาค้ำขึ้นริมขอบนอกต่ำกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 17.76 เสาค้ำขึ้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 0.98 เสาค้ำขึ้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 1.56 เสาค้ำขึ้นถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 6.88 เสาค้ำขึ้นในถัดไปจะสูงกว่าร้อยละ 10.97 เสาค้ำขึ้นในถัดไปจะต่ำกว่าร้อยละ 0.67 และต้นกลางผนังจะต่ำกว่าร้อยละ 11.89 ผลการวิเคราะห์ตามตาราง 4.13

ตาราง 4.13 ผลการวิเคราะห์ ผนังด้านหลัง Line A

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาค้ำ (ตัน)						
		Grid Line						
		1/A	1.1/A	2/A	2.1/A	3/A	3.1/A	4/A
RC	ผนังหล่อในที่ต่อเนื่อง, $K_p = AE/L$ RC_ผนังมีช่องเปิด	3.99	4.74	4.99	5.11	5.40	5.35	
PC	ผนังหล่อสำเร็จ, $K_p = AE/L$							
	PC_แรงเฉือนจาก Cement grout+ DB12	3.82	4.71	5.01	5.18	5.45	5.39	5.44
	% ความแตกต่าง	-4.29%	-0.51%	0.48%	1.39%	1.04%	0.70%	0.27%
	PC_แรงเฉือนจาก DB12	3.53	4.75	5.09	5.34	5.62	5.36	5.21
	% ความแตกต่าง	-11.6%	0.3%	2.1%	4.3%	4.1%	0.1%	-3.9%
	PC_แรงเฉือนจาก Cement grout	3.77	4.68	5.01	5.21	5.49	5.40	5.44
	% ความแตกต่าง	-5.58%	-1.16%	0.51%	1.91%	1.81%	0.93%	0.28%
	PC_ไม่มีแรงเฉือน	3.29	4.78	5.06	5.46	5.99	5.32	4.78
% ความแตกต่าง	-17.76%	0.98%	1.56%	6.88%	10.97%	-0.67%	-11.89%	



รูปที่ 4.15 แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนัง PC กรณีรอยต่อแนวราบมีคุณสมบัติต่างกัน(ผนังด้านหลัง Line A)
ที่มา : ผู้วิจัย

4.1.5 ผลการวิเคราะห์กรณีผลกระทบจากสติฟเนสของเสาเข็ม

ในทางปฏิบัติการตอกเสาเข็มระดับความลึกอาจไม่เท่ากันเนื่องจากชั้นดินไม่คงที่ ทำให้เสาเข็มมีค่าสติฟเนสไม่เท่ากัน หรือในกรณีพิจารณาแบบเข็มกลุ่มค่าสติฟเนสของเสาเข็มอาจไม่เท่ากันทุกต้น การศึกษานี้ได้วิเคราะห์กรณีที่เสาเข็มมีสติฟเนสแปรเปลี่ยนไป 3 ระดับ (AE/L , $AE/2L$ และ $AE/5L$) และคุณสมบัติของจุดเชื่อมต่อใช้ตามคำแนะนำโดย ACI 318-11 คือใช้ผลของ Shear Friction ของเหล็กยื่น DB12 ในการวิเคราะห์ โดยได้ผลการศึกษาวิเคราะห์จากผนังหลัก 3 ด้าน ดังต่อไปนี้

1) ผนังริม (Line 1 และ 7)

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบจาก Pile Stiffness ของผนังแบบหล่อในที่เทียบกับผนังหล่อสำเร็จได้ทำการศึกษา 3 กรณีคือ Pile Stiffness เท่ากับ AE/L แล้วลดลงค่าสติฟเนสของเสาเข็มลง 2 และ 5 เท่าตามลำดับ

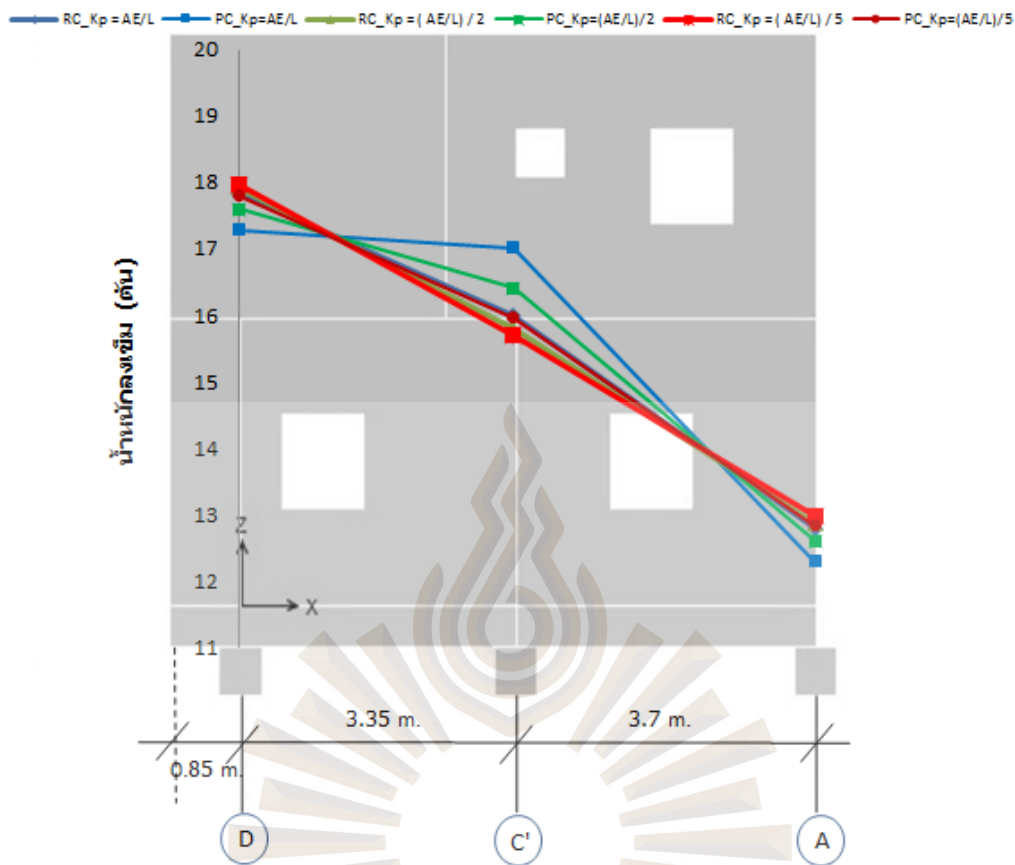
ผลกรณีที่สติฟเนสของเสาเข็ม เท่ากับ AE/L เท่ากันของผนังหล่อในที่เทียบกับผนังหล่อสำเร็จ เสาเข็มต้นริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันไม่มากคือต่ำกว่า ร้อยละ 2.97 เสาเข็มต้นกลางสูงกว่าร้อยละ 6.31 และต่ำกว่าร้อยละ 3.76 สำหรับเสาเข็มของผนังด้านหลัง

ผลกรณีลดค่าสติเฟนสของเสาเข็มลง 2 เท่า ($K_p = (AE/L)/2$) เท่ากันของผนังหล่อในที่เทียบกับผนังหล่อสำเร็จ เสาเข็มตันริมขอบผนังด้านหน้ามีผลต่างกันไม่มากคือต่ำกว่า ร้อยละ 1.73 เสาเข็มตันกลางสูงกว่าร้อยละ 3.8 และต่ำกว่าร้อยละ 2.17 สำหรับเสาเข็มขอบผนังด้านหลัง

ผลกรณีลดค่าสติเฟนสของเสาเข็มลง 5 เท่า ($K_p = (AE/L)/5$) เท่ากันของผนังหล่อในที่เทียบกับผนังหล่อสำเร็จ เสาเข็มตันริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันไม่มากคือต่ำกว่า ร้อยละ 0.95 เสาเข็มตันกลางสูงกว่าร้อยละ 1.72 และต่ำกว่าร้อยละ 1 สำหรับเสาเข็มขอบผนังด้านหลังแสดงว่าผนังชั้น Line 1 และ 7 มีคุณลักษณะ โครงสร้างแบบแข็งเกร็ง ผลของการลดค่าสติเฟนส ของเสาเข็มไม่ส่งผลกับผนังหล่อในที่และหล่อสำเร็จมากนักในการถ่ายน้ำหนักในเสาเข็ม และมีแนวโน้มจะกระจายสมำเสมอมากขึ้นเมื่อค่าสติเฟนสของเสาเข็มต่ำลงดังแสดงในตาราง 4.14

ตาราง 4.14 ผลการวิเคราะห์ ผนังริม Line 1 และ 7

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)		
		Grid Line		
		1/D	1/C	1/A
		7/D	7/C	7/A
RC	ผนังหล่อในที่, $K_p = AE/L$	17.82	16.00	12.78
PC	ผนังหล่อสำเร็จ, $K_p = AE/L$	17.29	17.01	12.30
	% ความแตกต่าง	-2.97%	6.31%	-3.76%
RC	ผนังหล่อในที่, $K_p = (AE/L)/2$	17.91	15.81	12.88
PC	ผนังหล่อสำเร็จ, $K_p = (AE/L)/2$	17.60	16.41	12.60
	% ความแตกต่าง	-1.73%	3.80%	-2.17%
RC	ผนังหล่อในที่, $K_p = (AE/L)/5$	17.97	15.69	12.97
PC	ผนังหล่อสำเร็จ, $K_p = (AE/L)/5$	17.80	15.96	12.84
	% ความแตกต่าง	-0.95%	1.72%	-1.00%



รูปที่ 4.16 แสดงน้ำหนักรวมเสาเข็มผนังริมแบบ RC เทียบกับ PC กรณี Pile stiffness, $K_p = AE/L$ และลดลง 2 และ 5 เท่าตามลำดับ
ที่มา : ผู้วิจัย

2) ผนังกลาง (Line 2-6)

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบจาก Pile Stiffness ของผนังแบบหล่อในที่เทียบกับผนังหล่อสำเร็จได้ทำการศึกษา 3 กรณีคือ Pile Stiffness เท่ากับ AE/L แล้วลองลดค่าสตีเฟนเนสของเสาเข็มลง 2 และ 5 เท่าตามลำดับ

ผลกรณีที่สตีเฟนเนสของเสาเข็ม เท่ากับ AE/L เท่ากันของผนังหล่อในที่เทียบกับผนังหล่อสำเร็จ เสาเข็มต้นริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันไม่มากคือต่ำกว่า ร้อยละ 2.22 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 2.72 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 2.20 และต่ำกว่าร้อยละ 3.12 สำหรับเสาเข็มริมผนังขอบด้านหลัง

ผลกรณีที่สตีเฟนเนสของเสาเข็มลดลง 2 เท่า ($K_p=(AE/L)/2$) เท่ากันของผนังหล่อในที่เทียบกับผนังหล่อสำเร็จ เสาเข็มต้นริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันไม่มากคือต่ำกว่า ร้อยละ 1.26

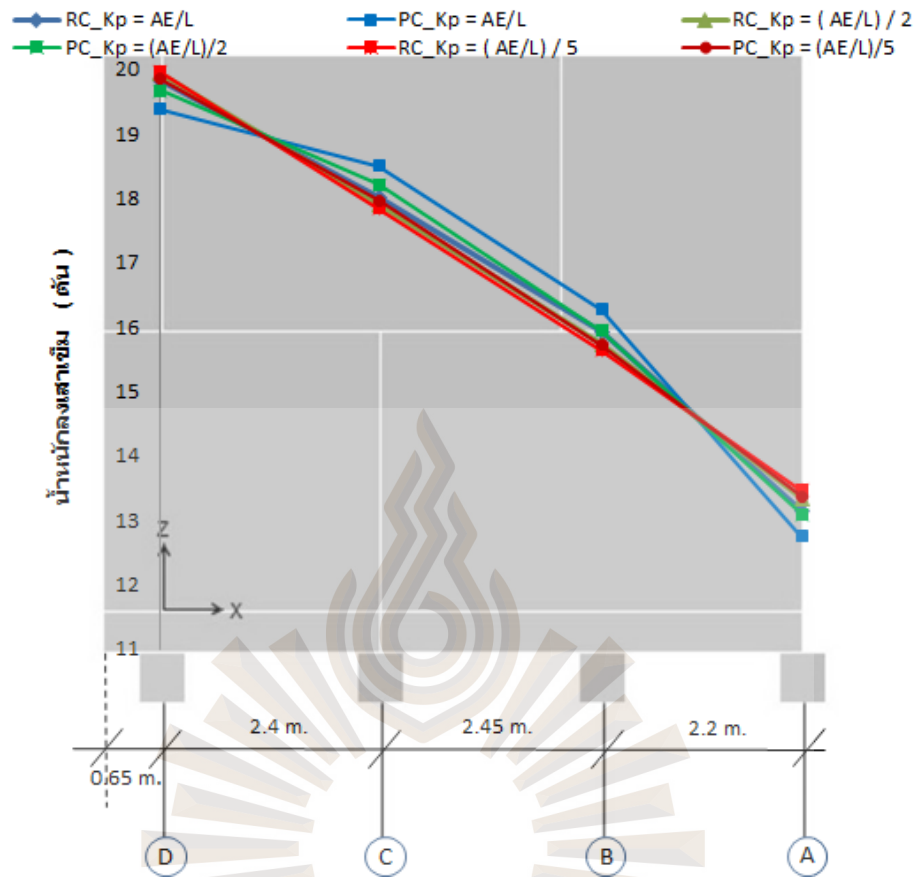
เสาเข็มต้นที่สองต่ำกว่าร้อยละ 1.62 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 1.27 และต่ำกว่าร้อยละ 1.73 สำหรับเสาเข็มด้านหลังขอบริมผนัง

ผลกรณีที่สตีเฟนของเสาเข็มลดลง 5 เท่า ($K_p=(AE/L)/5$) เท่ากันของผนังหล่อในที่เทียบกับผนังหล่อสำเร็จ เสาเข็มต้นริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันไม่มากคือต่ำกว่า ร้อยละ 0.55 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 0.67 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 0.58 และสูงกว่าร้อยละ 0.74 สำหรับเสาเข็มริมขอบด้านหลัง

แสดงว่าผนังสัน Line 2-6 มีคุณลักษณะ โครงสร้างแบบแข็งเกร็ง ผลของการลดค่าสตีเฟนของเสาเข็มไม่ส่งผลกระทบต่อผนังหล่อในที่และหล่อสำเร็จมากนักในการถ่ายน้ำหนัก และมีแนวโน้มจะสม่ำเสมอมากขึ้นเมื่อค่าสตีเฟนของเสาเข็มต่ำลง ตามตาราง 4.15

ตาราง 4.15 ผลการวิเคราะห์ ผนังกลาง Line 2-6

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)			
		Grid Line			
		1-6/D	1-6/C	1-6/B	1-6/A
RC	ผนังหล่อในที่, $K_p = AE/L$	19.82	18.01	15.91	13.15
PC	ผนังหล่อสำเร็จ, $K_p = AE/L$	19.38	18.50	16.26	12.74
	% ความแตกต่าง	-2.22%	2.72%	2.20%	-3.12%
RC	ผนังหล่อในที่, $K_p = (AE/L) / 2$	19.92	17.91	15.73	13.32
PC	ผนังหล่อสำเร็จ, $K_p = (AE/L) / 2$	19.67	18.20	15.93	13.09
	% ความแตกต่าง	-1.26%	1.62%	1.27%	-1.73%
RC	ผนังหล่อในที่, $K_p = (AE/L) / 5$	19.95	17.84	15.63	13.46
PC	ผนังหล่อสำเร็จ, $K_p = (AE/L) / 5$	19.84	17.96	15.72	13.36
	% ความแตกต่าง	-0.55%	0.67%	0.58%	-0.74%



รูปที่ 4.17 แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนังกลางแบบ RC เทียบกับ PC กรณี Pile stiffness, $K_p = AE/L$

และลดลง 2 และ 5 เท่าตามลำดับ

ที่มา : ผู้วิจัย

3) ผนังด้านหลัง Line A

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบจาก Pile Stiffness ของผนังแบบหล่อในที่เทียบกับผนังหล่อสำเร็จ ได้ทำการศึกษาทดสอบ 3 กรณีคือ Pile Stiffness เท่ากับ AE/L แล้วลองลดค่าสติฟเนสของเสาเข็มลง 2 และ 5 เท่าตามลำดับ

ผลกรณีที่สติฟเนสของเสาเข็ม เท่ากับ AE/L เท่ากันของผนังหล่อในที่เทียบกับผนังหล่อสำเร็จ เสาเข็มต้นด้านริมขอบของผนังด้านหน้ามีผลต่างกันของแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มกรณีผนังหล่อสำเร็จต่ำกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 10.93 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 0.31 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 2.01 เสาเข็มต้นที่สี่สูงกว่าร้อยละ 4.26 เสาเข็มต้นที่ห้าสูงกว่าร้อยละ 3.89 เสาเข็มต้นที่

หกต่ำกว่าร้อยละ 0.02 และต่ำกว่าร้อยละ 3.99 สำหรับเสาเข็มต้นที่เจ็ดซึ่งเป็นต้นกลางและจะเท่ากับเมื่อสลับด้านกลับตรงข้ามเนื่องจากโครงสร้างสมมาตรทั้งแรงและรูปทรง

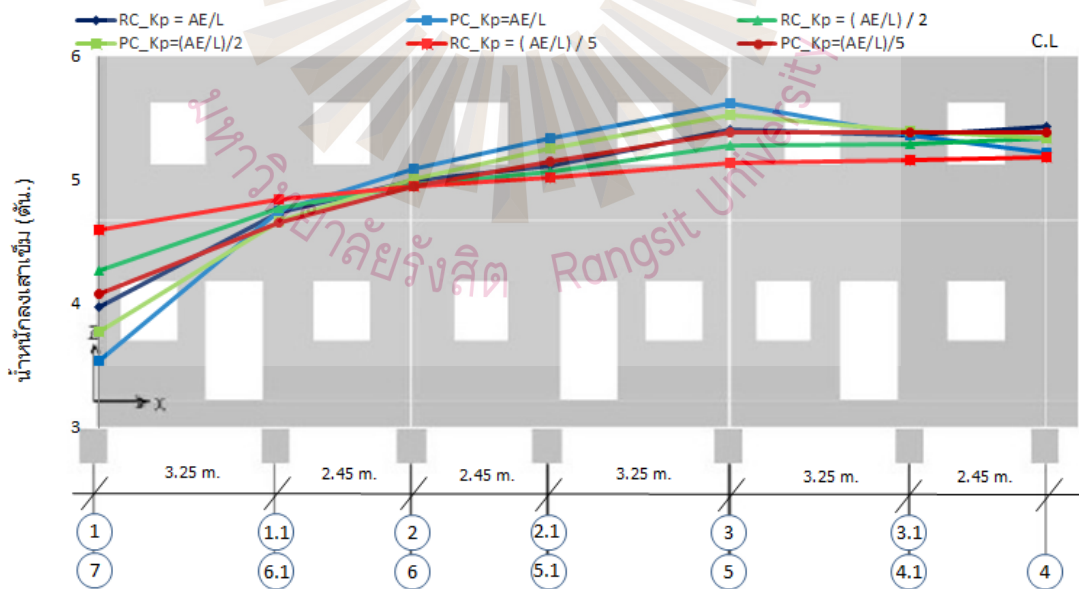
ผลกรรมที่สติเฟเนสของเสาเข็มลดลง 2 เท่า ($K_p=(AE/L)/2$) เท่ากันของผนังหล่อในที่เทียบกับผนังหล่อสำเร็จ เสาเข็มต้นต้นที่หนึ่งริมนอกด้านหน้ามีผลต่างกันต่ำกว่า ร้อยละ 11.71 เสาเข็มต้นที่สองต่ำกว่าร้อยละ 2.15 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 1.08 เสาเข็มต้นที่สูงกว่าร้อยละ 3.74 เสาเข็มต้นที่ห้าสูงกว่าร้อยละ 4.58 เสาเข็มต้นที่หกต่ำกว่าร้อยละ 2.17 และสูงกว่าร้อยละ 0.10 สำหรับเสาเข็มต้นที่ห้า ซึ่งเป็นต้นกลางและจะเท่ากับเมื่อสลับด้านเนื่องจากโครงสร้างสมมาตร

ผลกรรมที่สติเฟเนสของเสาเข็มลดลง 5 เท่า ($K_p=(AE/L)/5$) เท่ากันของผนังหล่อในที่เทียบกับผนังหล่อสำเร็จ เสาเข็มต้นต้นที่หนึ่งริมนอกด้านหน้ามีผลต่างกันต่ำกว่า ร้อยละ 11.19 เสาเข็มต้นที่สองต่ำกว่าร้อยละ 3.99 เสาเข็มต้นที่สามต่ำกว่าร้อยละ 0.15 เสาเข็มต้นที่สูงกว่าร้อยละ 2.65 เสาเข็มต้นที่ห้าสูงกว่าร้อยละ 4.83 เสาเข็มต้นที่สูงกว่าร้อยละ 4.49 และสูงกว่าร้อยละ 3.95 สำหรับเสาเข็มต้นที่ห้า ซึ่งเป็นต้นกลางและจะเท่ากับเมื่อสลับด้านเนื่องจากโครงสร้างสมมาตร

แสดงว่าผนังด้านหลัง Line A ที่มีความยาวและลักษณะโครงสร้างแบบยึดหยุ่นการถ่ายแรงในเสาเข็มจะต่างกันมากตรงขอบผนัง ผลของการลดค่าสติเฟเนสของเสาเข็มมีส่วนต่อผลการถ่ายน้ำหนักทั้งของผนังหล่อในที่และหล่อสำเร็จ และมีแนวโน้มจะสม่ำเสมอมากขึ้น เมื่อค่าสติเฟเนสของเสาเข็มต่ำลง ตามตาราง 4.16

ตาราง 4.16 ผลการวิเคราะห์ ผนังด้านหลัง Line A

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)						
		Grid Line						
		1/A	1.1/A	2/A	2.1/A	3/A	3.1/A	4/A
		7/A	6.1/A	6/A	5.1/A	5/A	4.1/A	
RC	ผนังหล่อในที่, $K_p = AE/L$	3.97	4.74	4.99	5.12	5.41	5.36	5.43
PC	ผนังหล่อสำเร็จ, $K_p = AE/L$	3.53	4.75	5.09	5.34	5.62	5.36	5.21
	% ความแตกต่าง	-10.93%	0.31%	2.01%	4.26%	3.89%	-0.02%	-3.99%
RC	ผนังหล่อในที่, $K_p = (AE/L) / 2$	4.27	4.77	4.96	5.07	5.28	5.29	5.33
PC	ผนังหล่อสำเร็จ, $K_p = (AE/L) / 2$	3.77	4.66	5.01	5.26	5.52	5.40	5.34
	% ความแตกต่าง	-11.71%	-2.15%	1.08%	3.74%	4.58%	2.17%	0.10%
RC	ผนังหล่อในที่, $K_p = (AE/L) / 5$	4.59	4.84	4.95	5.02	5.14	5.16	5.18
PC	ผนังหล่อสำเร็จ, $K_p = (AE/L) / 5$	4.08	4.65	4.94	5.15	5.39	5.39	5.38
	% ความแตกต่าง	-11.19%	-3.99%	-0.15%	2.65%	4.83%	4.49%	3.95%

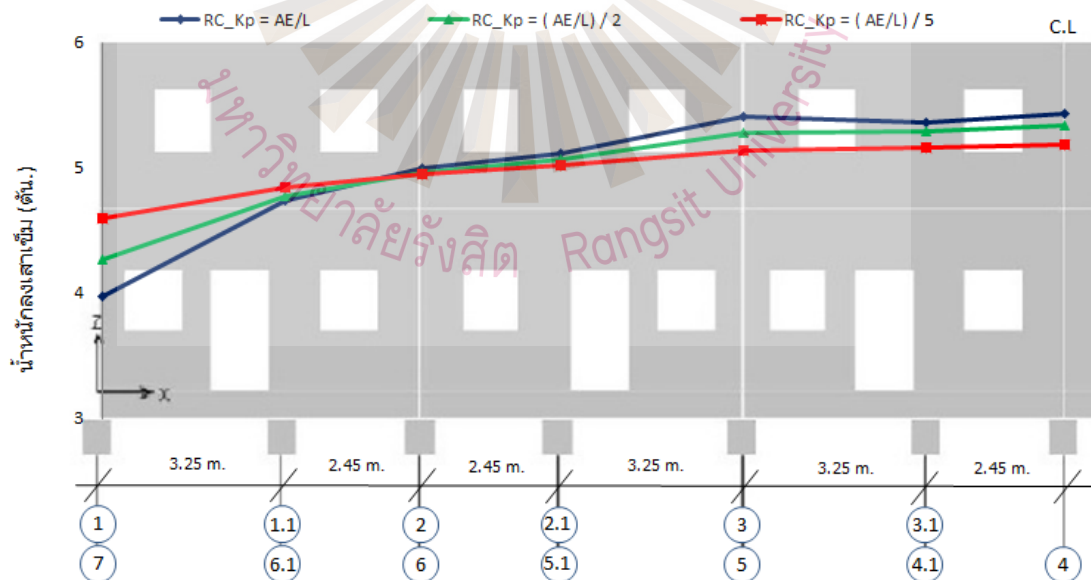
รูปที่ 4.18 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังด้านหลังแบบ RC เทียบกับ PC กรณี Pile stiffness, $K_p = AE/L$ และ

ลดลง 2 และ 5 เท่าตามลำดับ

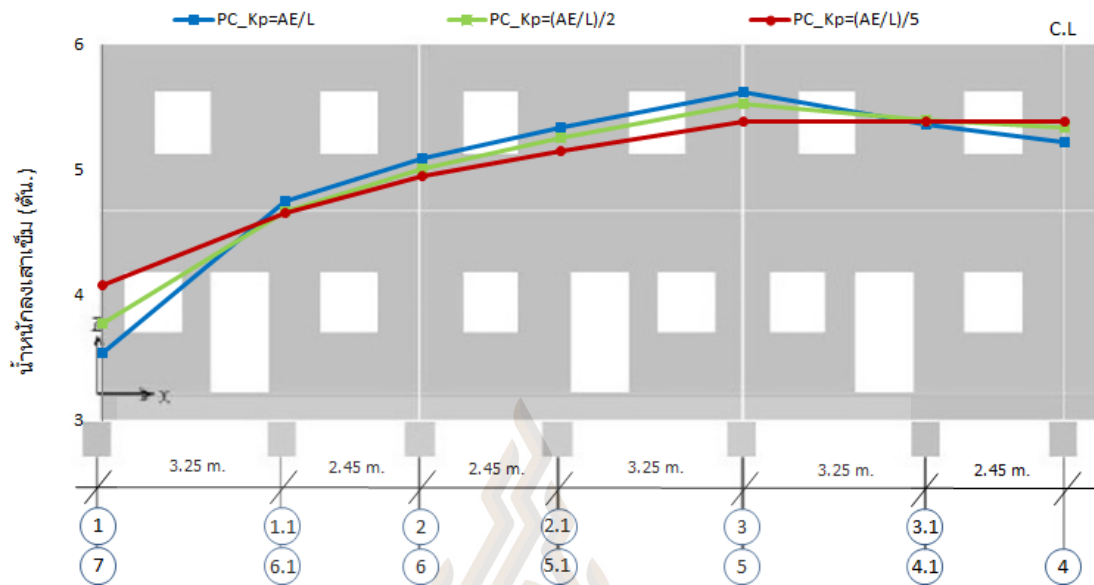
ที่มา : ผู้วิจัย

ตาราง 4.17 ผลการวิเคราะห์ ผนังหล่อในที่และหล่อสำเร็จกรณีค่าสตีเฟนของเสาเข็มลดลง

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)						
		Grid Line						
		1/A	1.1/A	2/A	2.1/A	3/A	3.1/A	4/A
		7/A	6.1/A	6/A	5.1/A	5/A	4.1/A	
RC	ผนังหล่อในที่, $K_p = AE/L$	3.97	4.74	4.99	5.12	5.41	5.36	5.43
PC	ผนังหล่อสำเร็จ, $K_p = AE/L$	3.53	4.75	5.09	5.34	5.62	5.36	5.21
	% ความแตกต่าง	-10.93%	0.31%	2.01%	4.26%	3.89%	-0.02%	-3.99%
RC	ผนังหล่อในที่, $K_p = (AE/L) / 2$	4.27	4.77	4.96	5.07	5.28	5.29	5.33
	% ความแตกต่างจาก RC_ $K_p = AE/L$	7.66%	0.68%	-0.72%	-0.93%	-2.38%	-1.38%	-1.84%
PC	ผนังหล่อสำเร็จ, $K_p = (AE/L) / 2$	3.77	4.66	5.01	5.26	5.52	5.40	5.34
	% ความแตกต่างจาก PC_ $K_p = AE/L$	5.99%	-1.79%	-1.66%	-1.49%	-1.80%	0.78%	2.26%
RC	ผนังหล่อในที่, $K_p = (AE/L) / 5$	4.59	4.84	4.95	5.02	5.14	5.16	5.18
	% ความแตกต่างจาก RC_ $K_p = AE/L$	15.82%	2.31%	-0.84%	-1.88%	-5.00%	-3.78%	-4.62%
PC	ผนังหล่อสำเร็จ, $K_p = (AE/L) / 5$	4.08	4.65	4.94	5.15	5.39	5.39	5.38
	% ความแตกต่างจาก PC_ $K_p = AE/L$	15.49%	-2.08%	-2.94%	-3.40%	-4.14%	0.56%	3.27%

รูปที่ 4.19 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังด้านหลังแบบหล่อในที่กรณี Pile stiffness, $K_p = AE/L$ และลดลง 2 และ 5 เท่าตามลำดับ

ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.20 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังด้านหลังแบบหล่อสำเร็จกรณี Pile stiffness, $K_p = AE/L$ และลดลง 2 และ 5 เท่าตามลำดับ

ที่มา : ผู้วิจัย

4.1.6 ผลการวิเคราะห์กรณีผลกระทบของช่องเปิดในผนัง

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาสังเกตว่าพฤติกรรมการถ่ายแรงของผนังด้านสั้น คือผนังด้านริมและกลางก่อนจะมีความแข็งแรงมาก(Rigid Member) การกระจายน้ำหนักจะไม่ต่างกันมากระหว่างผนังหล่อในที่และผนังหล่อสำเร็จ ต่างจากผนังด้านหลังที่ยาวกว่ามาก โครงสร้างจึงค่อนข้างจะยืดหยุ่น(Flexible Member) ผลการถ่ายแรงมีความแปรปรวนกว่าผนังสั้นในการศึกษานี้จึงเลือกผนังด้านหลังมาศึกษาพฤติกรรมจากผลกระทบจากเงื่อนไขกรณีผนังมีช่องเปิด

4.1.6.1 ผลกระทบต่อผนังหล่อในที่ (RC)

ผลการถ่ายแรงของผนังหล่อในที่แบบมีช่องเปิดเทียบกับผนังแบบไม่มีช่องเปิดและแบบไม่มีช่องเปิด โดยมีการปรับลดน้ำหนักคอนกรีตลงได้ผลดังนี้คือ

ผลกรณีที่ผนังแบบหล่อในที่ที่มีช่องเปิด มีการกระจายแรงลงเสาเข็มต้นแรกริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันเมื่อเทียบกับผนังหล่อในที่แบบไม่มีช่องเปิดโดยการถ่ายแรงในเสาเข็มจะสูงกว่าร้อยละ 16.19 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 14.39 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 13.05

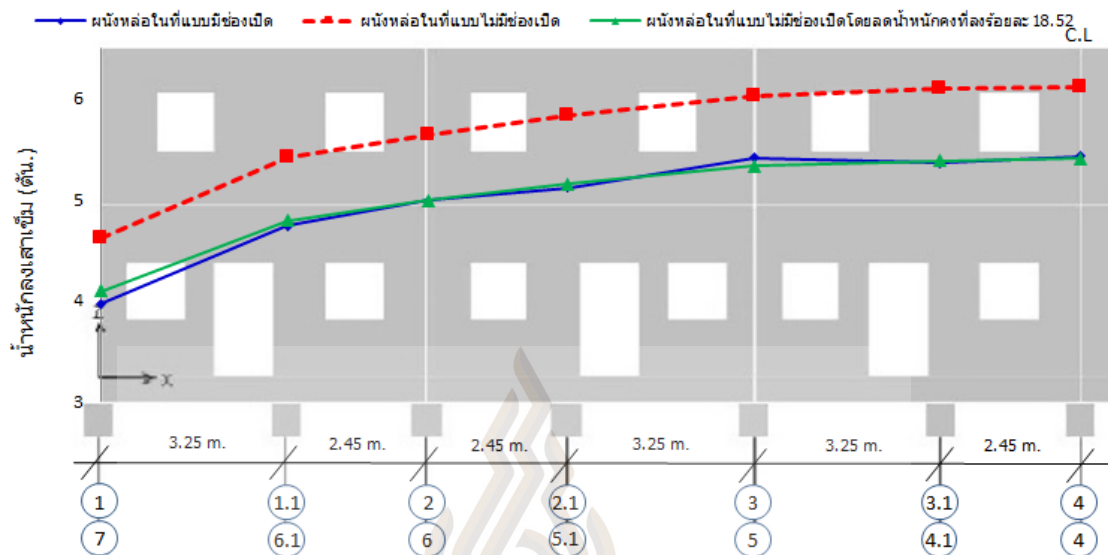
เสาเข็มต้นที่ต่ำกว่ำร้อยละ 13.89 เสาเข็มต้นที่ต่ำสูงกว่ำร้อยละ 11.33 เสาเข็มต้นที่ทกสูงกว่ำร้อยละ 13.77 และสูงกว่ำร้อยละ 12.50 สำหรับเสาเข็มต้นที่เจ็ด ซึ่งเป็นต้นกลางและเนื่องจากโครงสร้างสมมาตรทั้งขนาดรูปทรงและน้ำหนัก เสาเข็มตรงข้ามจึงเท่ากับอีกด้าน

ผลกรณัที่ผนังแบบหล่อในที่ไม่มีช่องเปิดได้ทำการวิเคราะห์ห้ดูผลของการถ่ายแรงจะใกล้เคียงกับผนังแบบมีช่องเปิดโดยการลดค่าน้ำหนักของผนังลงได้ผลดังนี้ พบการกระจายแรงลงเสาเข็มต้นต้นที่แรกริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันเมื่อเทียบกับผนังหล่อในที่มีช่องเปิดมากกว่าร้อยละ 3.10 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่ำร้อยละ 1.09 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่ำร้อยละ 0.07 เสาเข็มต้นที่สี่สูงกว่ำร้อยละ 0.61 เสาเข็มต้นที่ห้าต่ำกว่ำร้อยละ 1.46 เสาเข็มต้นที่หกสูงกว่ำร้อยละ 0.50 และต่ำกว่ำร้อยละ 0.43 สำหรับเสาเข็มต้นที่เจ็ด ซึ่งเป็นต้นกลางและจะเท่ากับอีกด้านเนื่องจากโครงสร้างสมมาตรทั้งขนาดรูปทรงและน้ำหนักบรรทุก

การศึกษาผลกระทบของการมีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิดของผนังนั้น กรณัผนังหล่อในที่มีแบบไม่มีช่องเปิดด้วยการลดหน่วยน้ำหนักลง มีพฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักใกล้เคียงกัน แสดงว่าผลช่องเปิดไม่ทำให้สตีเฟนสของผนังเปลี่ยนมากนัก สำหรับการออกแบบผนังหล่อในที่มีช่องเปิดในทางปฏิบัติให้ได้ผลการกระจายน้ำหนักลงเสาเข็มเทียบเท่ากับผนังหล่อในที่มีช่องเปิด จะทำการวิเคราะห์โดยลดทอนหน่วยน้ำหนักของผนังแบบไม่มีช่องเปิดลง จนผลการกระจายน้ำหนักใกล้เคียงกับผลของผนังหล่อในที่มีช่องเปิด ได้ผลการลดหน่วยน้ำหนักลงร้อยละ 18.52 พฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักใกล้เคียงกัน จึงปลอดภัยสามารถนำไปออกแบบในทางปฏิบัติได้ ผลการถ่ายแรงในเสาเข็มแสดงตามตาราง 4.18

ตาราง 4.18 ผลการวิเคราะห์ ผนังด้านหลัง Line A

กรณั	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)						
		Grid Line						
		1/A	1.1/A	2/A	2.1/A	3/A	3.1/A	4/A
RC	ผนังหล่อในที่มีช่องเปิด	3.97	4.74	4.99	5.12	5.41	5.36	5.43
RC	ผนังหล่อในที่มีแบบไม่มีช่องเปิด	4.61	5.42	5.64	5.83	6.02	6.10	6.11
	% ความแตกต่าง	16.19%	14.39%	13.05%	13.89%	11.33%	13.77%	12.50%
RC	ผนังหล่อในที่มีแบบไม่มีช่องเปิดโดยลดน้ำหนักกึ่งที่ลงร้อยละ 18.52	4.09	4.79	4.99	5.15	5.33	5.39	5.41
	% ความแตกต่าง	3.10%	1.09%	0.07%	0.61%	-1.46%	0.50%	-0.43%



รูปที่ 4.21 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังหล่อในที่ด้านหลังแบบไม่มีช่องเปิดกับมีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิดลดน้ำหนักรอยละ 18.52

ที่มา : ผู้วิจัย

4.1.6.2 ผลกระทบต่อผนังหล่อสำเร็จ (PC)

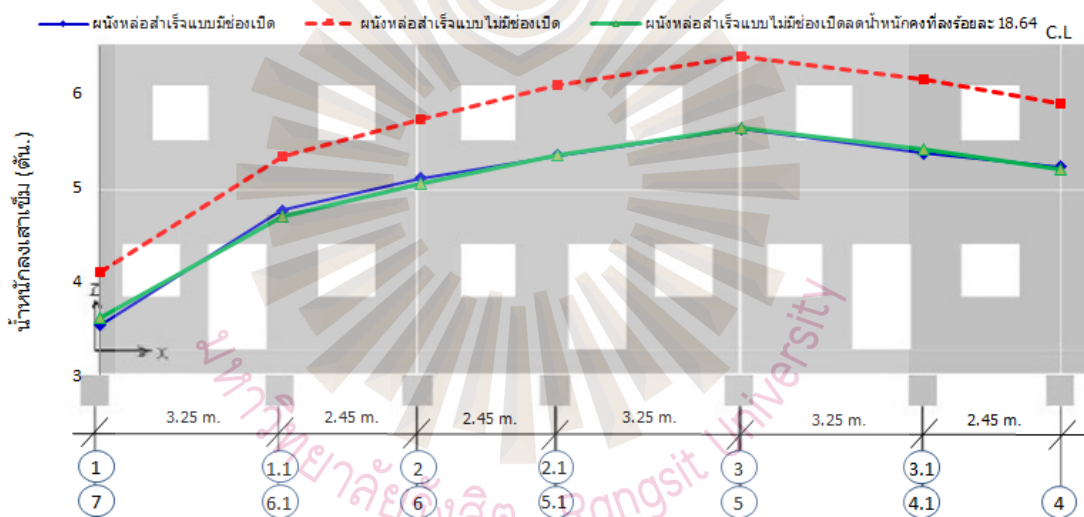
การศึกษาผลของการปรับลดหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตในผนังแบบหล่อสำเร็จที่ไม่มีช่องเปิดเพื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ห่ออกแบบผนังที่มีพฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักลงเสาเข็มแบบมีช่องเปิดโดยเงื่อนไขของรอยต่อเดียวกันคือคิดแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 ที่ระยะ Slip 1 มม. ว่าควรปรับลดหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลงแค่ไหน พฤติกรรมการถ่ายแรงในเสาเข็มจึงจะเหมือนหรือใกล้เคียงกัน

ผลกรณีที่ผนังโครงสร้างแบบหล่อสำเร็จแบบมีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิดมีการกระจายแรงลงเสาเข็มต้นตื้นที่หนึ่งริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันมากกว่า ร้อยละ 15.76 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 12.12 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 12.18 เสาเข็มต้นที่สูงกว่าร้อยละ 13.93 เสาเข็มต้นที่ห้าสูงกว่าร้อยละ 13.69 เสาเข็มต้นที่หกสูงกว่าร้อยละ 14.62 และสูงกว่าร้อยละ 12.80 สำหรับเสาเข็มต้นที่ห้า ซึ่งเป็นต้นกลางและจะเท่ากันเมื่อกลับด้านเนื่องจากโครงสร้างสมมาตรทั้งขนาดรูปทรงและน้ำหนัก

สังเกตได้ว่าลักษณะการถ่ายน้ำหนักมีลักษณะการกระจายคล้ายๆกัน ส่วนที่ลดลงต่างกันคือน้ำหนักตายตัวของช่องเปิดที่หายไป ตามตาราง 4.19

ตาราง 4.19 ผนังด้านหลัง Line A

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)						
		Grid Line						
		1/A	1.1/A	2/A	2.1/A	3/A	3.1/A	4/A
		7/A	6.1/A	6/A	5.1/A	5/A	4.1/A	
PC	ผนังหล่อสำเร็จแบบมีช่องเปิด	3.53	4.75	5.09	5.34	5.62	5.36	5.21
PC	ผนังหล่อสำเร็จแบบไม่มีช่องเปิด	4.09	5.33	5.71	6.08	6.39	6.14	5.88
	% ความแตกต่าง	15.76%	12.12%	12.18%	13.93%	13.69%	14.62%	12.80%
PC	ผนังหล่อสำเร็จแบบไม่มีช่องเปิดลดน้ำหนักกึ่งที่ลงร้อยละ 18.64	3.62	4.69	5.03	5.34	5.63	5.40	5.18
	% ความแตกต่าง	2.40%	-1.27%	-1.15%	0.10%	0.11%	0.72%	-0.58%



รูปที่ 4.22 แสดงการถ่ายแรงลงเสาเข็มผนังด้านหลัง หล่อสำเร็จแบบมีช่องเปิดกับไม่มีและไม่มีช่องเปิดลดน้ำหนักคอนกรีตลงร้อยละ 18.64
ที่มา : ผู้วิจัย

ผนังด้านหลังแบบหล่อสำเร็จพบว่ามีการกระจายแรงลงเสาเข็มต้นต้นที่ริมขอบนอกด้านล่างทั้งสองด้านและมีแนวโน้มที่สูงขึ้นที่เสาเข็มต้นที่ 5 และ 9 และต่ำลงที่เสาเข็มช่วงกลางเนื่องจากผนังที่ยาวทำให้ผนังที่เปรียบเป็นคานเสมือนมีการโก่งตัว ทำให้ผนังเกิดการเลื่อนไถลในช่องที่คานมีการโก่งตัวมากที่สุด ผนังด้านกลางทั้งสองแผ่นเลื่อนไถลออกส่งผลให้เสาเข็มช่วงกลางรับ

น้ำหนักน้อยลง แต่เข้มนั่นที่อยู่ถัดไปจะรับน้ำหนักมากขึ้นเนื่องจากบริเวณถัดไปจะเกิดแรงอัดระหว่างผนังในตำแหน่งฐานเสาเข้มนั่นที่ 5 และ 9 และค่อยๆลดลงออกไปจนถึงต้นริมทั้งสองด้าน แตกต่างกับผนังหล่อในที่ที่มีความต่อเนื่องการกระจายแรงจะต่ำที่ริมนอกและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนมากที่สุดตรงกลางนั่นคือโครงสร้างจะมีการโก่งตัวสูงสุดที่กลางคานนั่นเองเสาเข้มนั้นจึงมีการทรุดตัวมากที่สุด ส่วนผนังแบบหล่อสำเร็จที่เป็นแบบทึบและแบบมีช่องเปิดนั้นมีการถ่ายน้ำหนักแตกต่างกันบริเวณช่องเปิดเพราะช่องเปิดเป็นทั้งหน้าต่างและประตูแต่ละระยะไม่เท่ากันทำให้น้ำหนักถ่ายลงเสาเข้มนั้นไม่เท่ากันและแตกต่างกันที่น้ำหนักคงที่(Dead Load)ที่หายไปเท่านั้นไม่ส่งผลต่อสติเฟนสของผนังมากนัก

4.1.7 ผลการวิเคราะห์ตามแนวคิดเรื่องการออกแบบในทางปฏิบัติ

การศึกษานี้เพื่อศึกษาพฤติกรรมร่วมในการหาแนวทางการหาค่าการถ่ายแรงลงเสาเข้มนของผนังแบบหล่อในที่อย่างง่ายให้ได้ผลการถ่ายแรงลงเสาเข้มนใกล้เคียงกับผนังหล่อสำเร็จในทางปฏิบัติด้วยการปรับลดค่าสติเฟนส โครงสร้างผนังหล่อในที่ลง เนื่องจากการจำลองผนังหล่อในที่ทำได้ง่าย มีผลดังนี้

4.1.7.1 ผนังริมนอก (Line 1 และ 7)

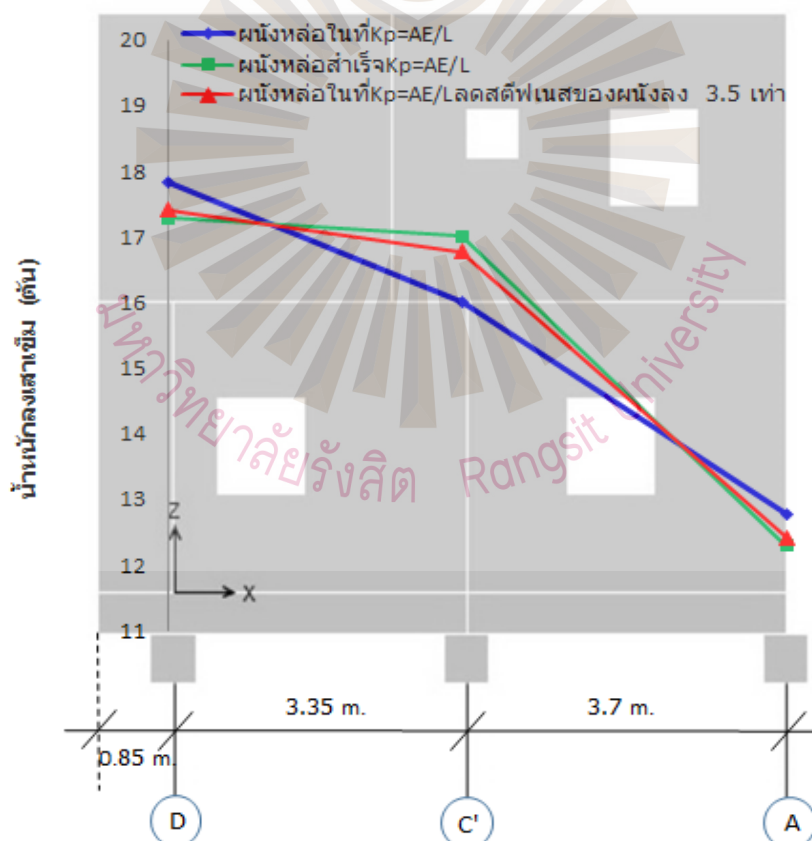
1) กรณีเสาเข้มน $K_p=AE/L$ และปรับลดค่าสติเฟนสของผนังแบบมีช่องเปิดลง 3.5 เท่า

ผลการวิเคราะห์โดยลดค่าสติเฟนสของผนังแบบหล่อในที่แบบมีช่องเปิดลง 3.5 เท่า พฤติกรรมการถ่ายแรงสู่เสาเข้มนจะใกล้เคียงกับผนังแบบหล่อสำเร็จแบบมีช่องเปิด

ผลกรณีที่สติเฟนสของผนังแบบหล่อสำเร็จมีช่องเปิด เสาเข้มนั้นต้นแรกที่ขอบผนังด้านหน้ามีผลต่างกันต่ำกว่า ร้อยละ 2.99 เสาเข้มนั้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 6.29 เสาเข้มนั้นที่สามต่ำกว่าร้อยละ 3.75 ผลกรณีที่สติเฟนสของผนังแบบหล่อในที่ที่ปรับลดค่าความแข็งของผนังลง 3.5 เท่า มีผลดังนี้ เสาเข้มนั้นต้นที่หนึ่งริมนอกด้านหน้ามีผลต่างกันต่ำกว่า ร้อยละ 2.32 เสาเข้มนั้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 4.79 เสาเข้มนั้นที่สามต่ำกว่าร้อยละ 2.81 ดังแสดงตามตาราง 4.20

ตาราง 4.20 ผลการศึกษาผนังริมกรณีเสาเข็ม $K_p=AE/L$ ลดค่าสติฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 3.5 เท่า

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)		
		Grid Line		
		1/D	1/C	1/A
		7/D	7/C	7/A
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/L$	17.82	16.00	12.78
PC	ผนังหล่อสำเร็จ $K_p=AE/L$	17.29	17.01	12.30
	% ความแตกต่าง	-2.99%	6.29%	-3.75%
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/L$ ลดสติฟเนสของผนังลง 3.5 เท่า	17.41	16.77	12.42
	% ความแตกต่าง	-2.32%	4.79%	-2.81%



รูปที่ 4.23 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังริมกรณีลดค่าสติฟเนสของผนังลง 3.5 เท่า

ที่มา : ผู้วิจัย

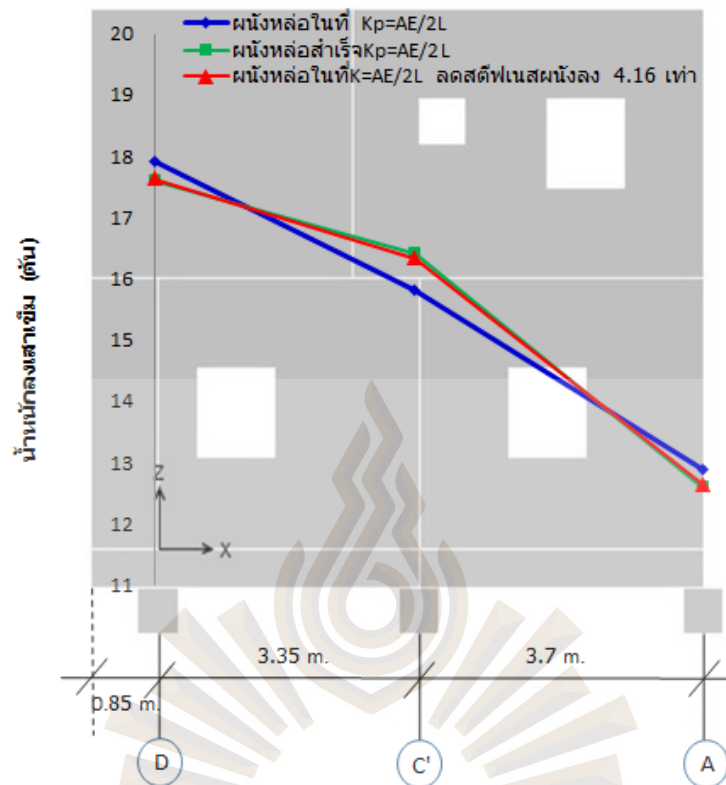
2) กรณีเสาเข็ม $K_p=AE/2L$ และปรับลดสติเฟเนสผนังหล่อในที่ลง 4.16 เท่า

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของการปรับลดค่าสติเฟเนสของเสาเข็มลง 2 เท่าและปรับลดสติเฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 4.16 เท่า

ผลกรณีที่สติเฟเนสของผนังแบบหล่อสำเร็จมีช่องเปิด เสาเข็มต้นตื้นที่หนึ่งริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันต่ำกว่า ร้อยละ 1.73 เสาเข็มต้นตื้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 3.80 เสาเข็มต้นตื้นที่สามต่ำกว่าร้อยละ 2.17 ผลกรณีที่สติเฟเนสของผนังแบบหล่อในที่ปรับลดค่าความแข็งของผนังลง 4.16 เท่า มีผลดังนี้ เสาเข็มต้นตื้นที่หนึ่งริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันต่ำกว่า ร้อยละ 1.56 เสาเข็มต้นตื้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 3.29 เสาเข็มต้นตื้นที่สามต่ำกว่าร้อยละ 1.86 ดังแสดงตามตาราง 4.21

ตาราง 4.21 ผลการศึกษาผนังริมกรณี $K_p=AE/2L$ และลดสติเฟเนสผนังหล่อในที่ลง 4.16 เท่า

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)		
		Grid Line		
		1/D	1/C	1/A
		7/D	7/C	7/A
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/2L$	17.91	15.81	12.88
PC	ผนังหล่อสำเร็จ $K_p=AE/2L$	17.60	16.41	12.60
	% ความแตกต่าง	-1.73%	3.80%	-2.17%
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/2L$ ลดสติเฟเนสของผนังลง 4.16 เท่า	17.63	16.33	12.64
	% ความแตกต่าง	-1.56%	3.29%	-1.86%



รูปที่ 4.24 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังริมกรณีลดค่าสติฟเนสของเสาเข็มลง 2 เท่าและผนังลง 4.16 เท่า

ที่มา : ผู้วิจัย

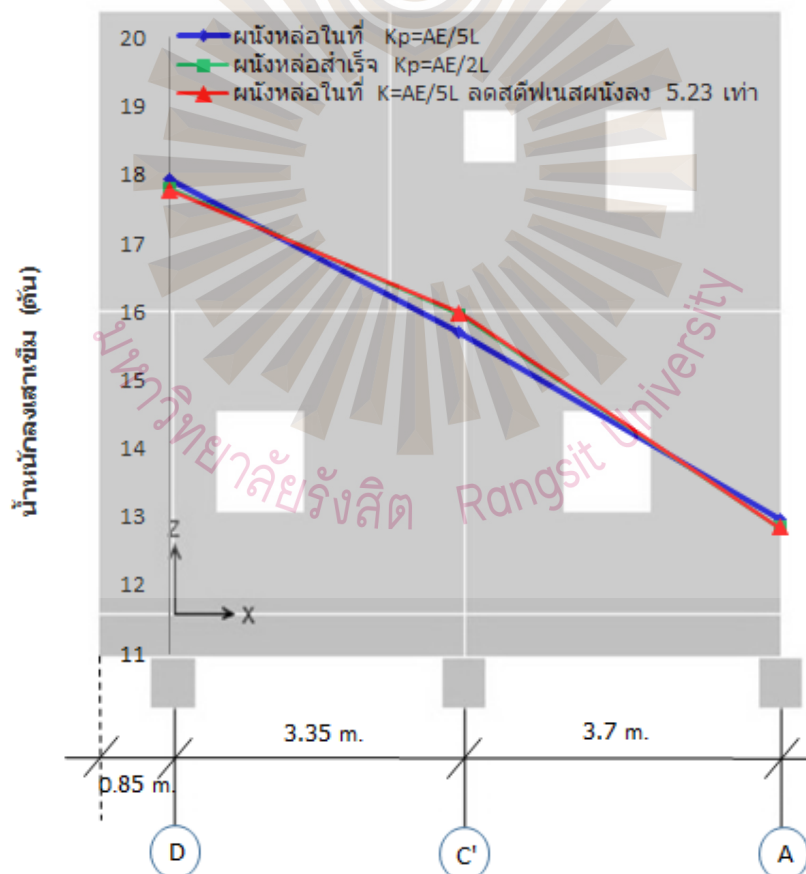
3) กรณีเสาเข็ม $K_p=AE/5L$ และปรับลดค่าสติฟเนสของผนังลง 5 เท่า และ ปรับลดสติฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 5.23 เท่า

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของการปรับลดค่าสติฟเนสของเสาเข็มลง 5 เท่า และ ปรับลดสติฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 5.23 เท่า

ผลกรณีที่สติฟเนสของผนังแบบหล่อสำเร็จมีช่องเปิด เสาเข็มต้นต้นที่หนึ่งริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันต่ำกว่า ร้อยละ 0.84 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 1.72 เสาเข็มต้นที่สามต่ำกว่าร้อยละ 1.0 ผลกรณีที่สติฟเนสของผนังแบบหล่อในที่ปรับลดค่าความแข็งของผนังลง 5.23 เท่า มีผลดังนี้ เสาเข็มต้นต้นที่หนึ่งริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันต่ำกว่า ร้อยละ 0.95 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 1.85 เสาเข็มต้นที่สามต่ำกว่าร้อยละ 1.0 ดังแสดงตามตาราง 4.22

ตาราง 4.22 ผลการศึกษากรณีผนังริม $K_p=AE/5L$ และลดสติเฟนสผนังหล่อในที่ลง 5.23 เท่า

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)		
		Grid Line		
		1/D	1/C	1/A
		7/D	7/C	7/A
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/5L$	17.95	15.69	12.97
PC	ผนังหล่อสำเร็จ $K_p=AE/5L$	17.80	15.96	12.84
	% ความแตกต่าง	-0.84%	1.72%	-1.00%
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/5L$ ลดสติเฟนสของผนังลง 5.23 เท่า	17.78	15.98	12.84
	% ความแตกต่าง	-0.95%	1.85%	-1.00%



รูปที่ 4.25 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังริมกรณีลดค่าสติเฟนสเสาเข็มลง 5 เท่าและผนังลง 5.23 เท่า

ที่มา : ผู้วิจัย

4.1.7.2 ผนังกลาง (Line 2 – 6)

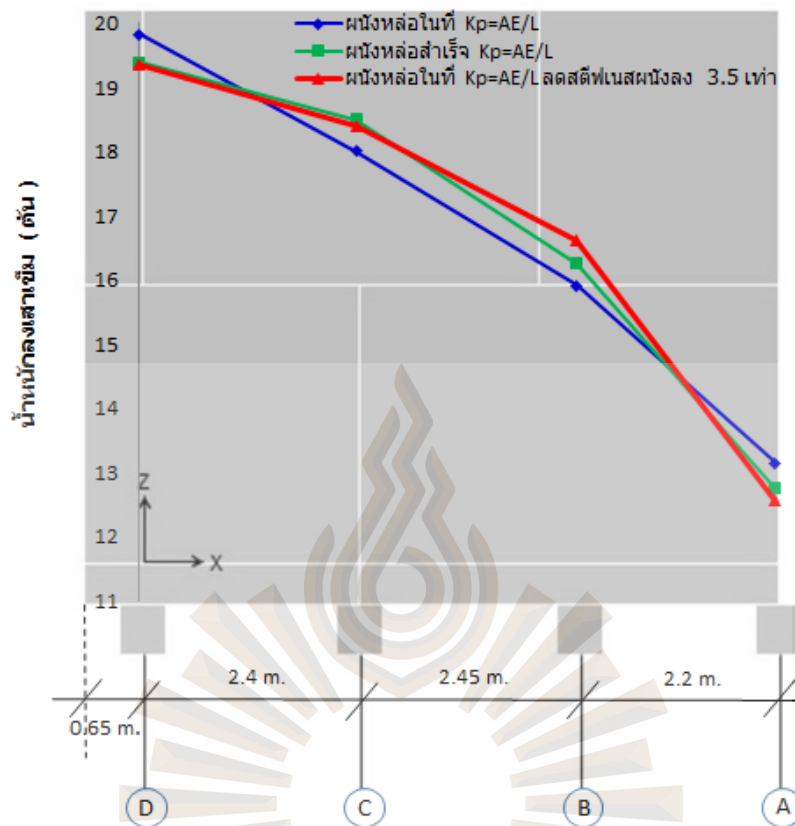
1) กรณีเสาเข็ม $K_p=AE/L$ และปรับลดค่าสติฟเนสของผนังหล่อในที่แบบมีช่องเปิดลง 3.5 เท่า

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของการลดค่าสติฟเนสของผนังแบบหล่อในที่ลง 3.5 เท่า พฤติกรรมการถ่ายแรงสู่เสาเข็มจะใกล้เคียงกับผนังแบบหล่อสำเร็จโดยไม่มีช่องเปิด

ผลกรณีที่สติฟเนสของผนังแบบหล่อสำเร็จไม่มีช่องเปิด เสาเข็มต้นตื้นที่หนึ่งริมนอกด้านหน้ามีผลต่างกันต่ำกว่า ร้อยละ 2.21 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 2.73 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 2.12 เสาเข็มต้นที่สี่ต่ำกว่าร้อยละ 3.09 ผลกรณีที่สติฟเนสของผนังแบบหล่อในที่ปรับลดค่าความแข็งของผนังลง 3.5 เท่า มีผลดังนี้ เสาเข็มต้นแรกริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันต่ำกว่า ร้อยละ 2.36 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 2.06 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 4.44 เสาเข็มต้นที่สี่ต่ำกว่าร้อยละ 4.64 ตามตาราง 4.23

ตาราง 4.23 ผลการศึกษาผนังกลางกรณีเสาเข็ม $K_p=AE/L$ และลดค่าสติฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 3.5 เท่า

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)			
		Grid Line			
		1-6/D	1-6/C	1-6/B	1-6/A
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/L$	19.82	18.01	15.91	13.15
PC	ผนังหล่อสำเร็จ $K_p=AE/L$	19.38	18.50	16.25	12.74
	% ความแตกต่าง	-2.21%	2.73%	2.12%	-3.09%
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/L$ ลดสติฟเนสผนังลง 3.5 เท่า	19.35	18.38	16.62	12.55
	% ความแตกต่าง	-2.36%	2.06%	4.44%	-4.54%



รูปที่ 4.26 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังกลางกรณีลดค่าสติเฟนสของผนังลง 3.5 เท่า

ที่มา : ผู้วิจัย

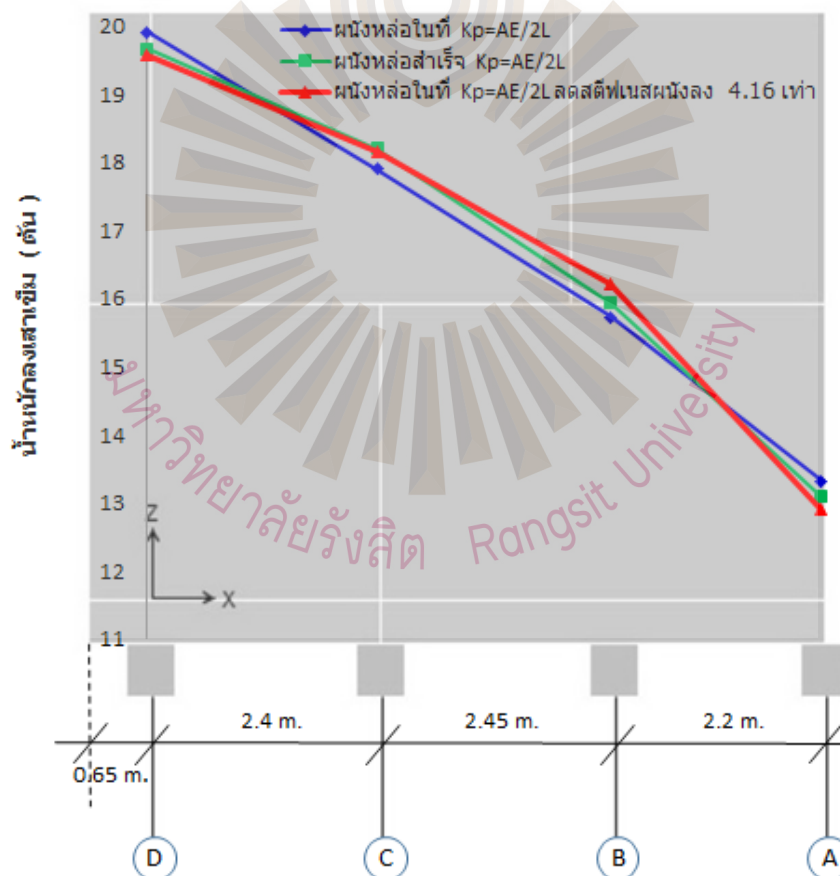
2) กรณีเสาเข็ม $K_p=AE/2L$ และปรับลดสติเฟนสผนังหล่อในที่ลง 4.16 เท่า

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของการลดค่าสติเฟนสของผนังแบบหล่อในที่ลง 4.16 เท่า พฤติกรรมการถ่ายแรงสู่เสาเข็มจะใกล้เคียงกับผนังแบบหล่อสำเร็จโดยไม่มีช่องเปิด

ผลกรณีที่สติเฟนสของผนังแบบหล่อสำเร็จไม่มีช่องเปิด เสาเข็มต้นที่หนึ่งริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกัน โดยต่ำกว่า ร้อยละ 1.26 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 1.62 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 1.24 เสาเข็มต้นที่สี่ต่ำกว่าร้อยละ 1.73 ผลกรณีที่สติเฟนสของผนังแบบหล่อในที่ปรับลดค่าความแข็งของผนังลง 4.16 เท่า มีผลดังนี้ เสาเข็มต้นแรกที่ริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกัน โดยต่ำกว่า ร้อยละ 1.66 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 1.40 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 3.12 เสาเข็มต้นที่สี่ต่ำกว่าร้อยละ 3.08 ดังแสดงตามตาราง 4.24

ตาราง 4.24 ผลการศึกษาผนังกลางกรณี $K_p=AE/2L$ และลดสติเฟนสผนังหล่อในที่ลง 4.16 เท่า

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)			
		Grid Line			
		1-6/D	1-6/C	1-6/B	1-6/A
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/2L$	19.92	17.91	15.73	13.32
PC	ผนังหล่อสำเร็จ $K_p=AE/2L$	19.67	18.20	15.93	13.09
	% ความแตกต่าง	-1.26%	1.62%	1.27%	-1.73%
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/2L$ ลดสติเฟนสผนังลง 4.16 เท่า	19.59	18.16	16.22	12.91
	% ความแตกต่าง	-1.66%	1.40%	3.12%	-3.08%



รูปที่ 4.27 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังกลางกรณีลดค่าสติเฟนสของเสาเข็มลง 2 เท่าและผนังลง 4.16 เท่า

ที่มา : ผู้วิจัย

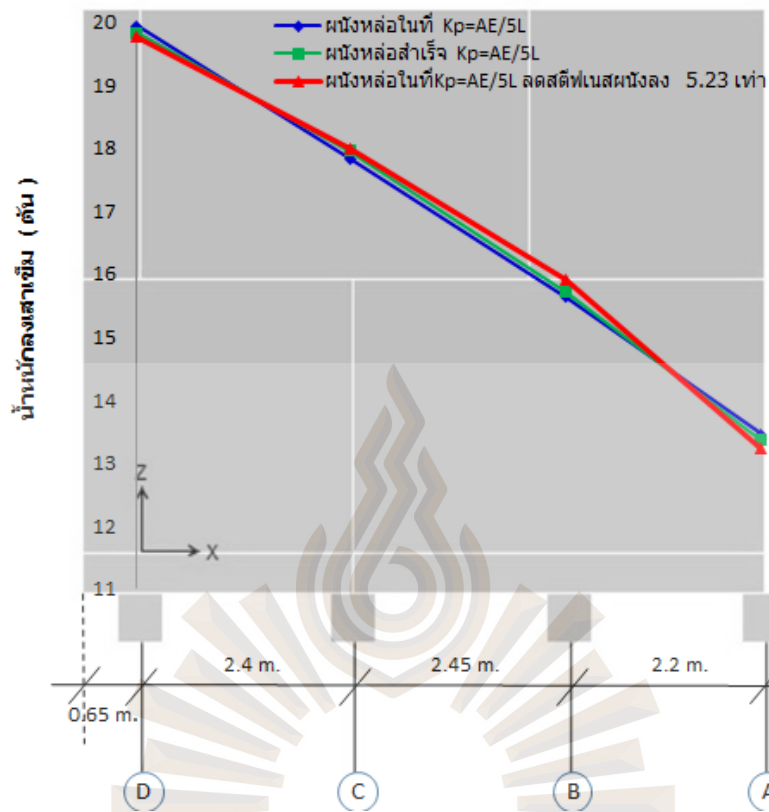
3) กรณีเสาเข็ม $K_p=AE/5L$ และปรับลดสติเฟเนสผนังหล่อในที่ลง 5.23 เท่า

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของการลดค่าสติเฟเนสของผนังแบบหล่อในที่ลง 5.23 เท่า พฤติกรรมการถ่ายแรงสู่เสาเข็มจะใกล้เคียงกับผนังแบบหล่อสำเร็จ โดยไม่มีช่องเปิด

ผลกรณีที่สติเฟเนสของผนังแบบหล่อสำเร็จไม่มีช่องเปิด เสาเข็มต้นแรกที่ขอบริมนอกด้านหน้ามีผลต่างกันโดยต่ำกว่า ร้อยละ 0.55 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 0.67 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 0.58 เสาเข็มต้นที่สี่ขอบผนังต่ำกว่าร้อยละ 0.74 ผลกรณีที่สติเฟเนสของผนังแบบหล่อในที่ปรับลดค่าความแข็งของผนังลง 5.23 เท่า มีผลดังนี้ เสาเข็มต้นแรกที่ริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกัน โดยต่ำกว่า ร้อยละ 0.95 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 0.78 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 1.73 เสาเข็มต้นที่สี่ขอบนอกต่ำกว่าร้อยละ 1.63 ดังแสดงตามตาราง 4.25

ตาราง 4.25 ผลการศึกษาผนังกลางกรณี $K_p=AE/5L$ และลดสติเฟเนสผนังหล่อในที่ลง 5.23 เท่า

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)			
		Grid Line			
		1-6/D	1-6/C	1-6/B	1-6/A
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/5L$	19.95	17.84	15.63	13.46
PC	ผนังหล่อสำเร็จ $K_p=AE/5L$	19.84	17.96	15.72	13.36
	% ความแตกต่าง	-0.55%	0.67%	0.58%	-0.74%
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/5L$ ลดสติเฟเนสผนังลง 5.23 เท่า	19.76	17.98	15.90	13.24
	% ความแตกต่าง	-0.95%	0.78%	1.73%	-1.63%



รูปที่ 4.28 แสดงน้ำหนักกลางเสาเข็มผนังกลางโดยลดค่าสติเฟเนสเสาเข็มลง 5 เท่าและผนังลง 5.23 เท่า

ที่มา : ผู้วิจัย

4.1.7.3 ผนังด้านหลัง (Line A)

1) กรณีเสาเข็ม $K_p=AE/L$ และปรับลดค่าสติเฟเนสของผนังแบบหล่อในที่แบบมีช่องเปิดลง 3.5 เท่า

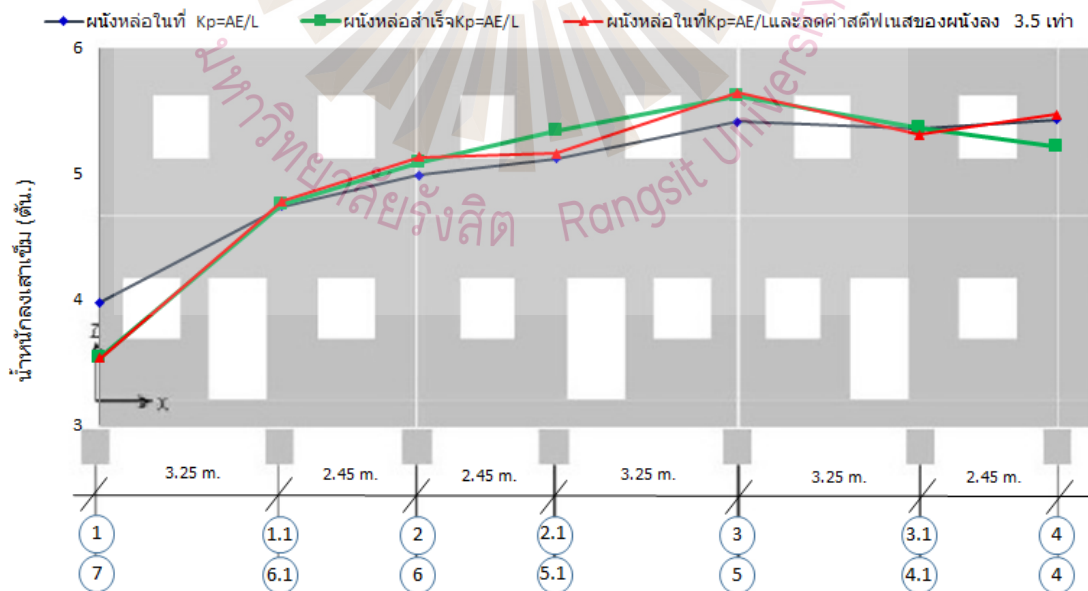
ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของการลดค่าสติเฟเนสของผนังแบบหล่อในที่ลง 3.5 เท่า พฤติกรรมการถ่ายแรงสู่เสาเข็มจะใกล้เคียงกับผนังแบบหล่อสำเร็จมีช่องเปิด

ผลกรณีที่สติเฟเนสของผนังแบบหล่อสำเร็จมีช่องเปิด เสาเข็มต้นแรกที่ริมขอบด้านหน้ามีผลต่างกัน โดยต่ำกว่าร้อยละ 11.08 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 0.28 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 2.00 เสาเข็มต้นที่สี่สูงกว่าร้อยละ 4.20 เสาเข็มต้นที่ห้าสูงกว่าร้อยละ 3.86 เสาเข็มต้นที่หกมากกว่าร้อยละ 0.02 และต่ำกว่าร้อยละ 4.05 สำหรับเสาเข็มต้นที่เจ็ดซึ่งเป็นต้นกลางผนังและจะเท่ากันเมื่อกลับด้านเนื่องจากโครงสร้างสมมาตร ผลกรณีที่สติเฟเนสของผนังแบบหล่อในที่ที่ปรับลดค่าความแข็งของผนังลง 3.5 เท่า ได้ผลดังนี้ เสาเข็มต้นที่หนึ่งริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกัน

โดยต่ำกว่า ร้อยละ 11.08 เสาเข็มต้นที่สองสูงกว่าร้อยละ 0.91 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 2.86 เสาเข็มต้นที่สี่สูงกว่าร้อยละ 0.78 เสาเข็มต้นที่ห้าสูงกว่าร้อยละ 4.25 เสาเข็มต้นที่หกต่ำกว่าร้อยละ 0.93 และสูงกว่าร้อยละ 0.74 สำหรับเสาเข็มต้นที่เจ็ดซึ่งเป็นต้นกลางผนังและจะเท่ากันเมื่อกลับด้าน เนื่องจากโครงสร้างสมมาตรตามตาราง 4.26

ตาราง 4.26 ผลการศึกษาผนังหลังกรณีเสาเข็ม $K_p=AE/L$ และลดค่าสติเฟเนสของผนังลงในที่ลง 3.5 เท่า

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)						
		Grid Line						
		1/A	1.1/A	2/A	2.1/A	3/A	3.1/A	4/A
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/L$	3.97	4.74	4.99	5.12	5.41	5.36	5.43
PC	ผนังหล่อสำเร็จ $K_p=AE/L$	3.53	4.75	5.09	5.34	5.62	5.36	5.21
	% ความแตกต่าง	-11.08%	0.28%	2.00%	4.20%	3.86%	0.02%	-4.05%
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/L$ และลดค่าสติเฟเนสของผนังลง 3.5 เท่า	3.53	4.78	5.13	5.16	5.64	5.31	5.47
	% ความแตกต่าง	-11.08%	0.91%	2.86%	0.78%	4.25%	-0.93%	0.74%



รูปที่ 4.29 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังหลังกรณีลดค่าสติเฟเนสของผนังลง 3.5 เท่า

ที่มา : ผู้วิจัย

2) กรณีเสาเข็ม $K_p=AE/2L$ และปรับลดสติเฟเนสผนังหล่อในที่ลง 4.16 เท่า

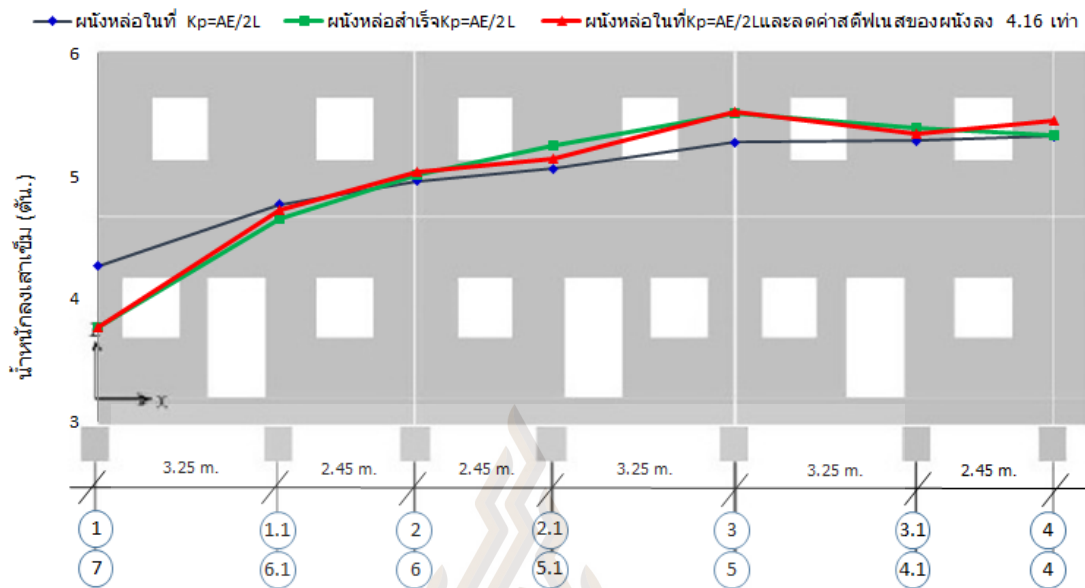
ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของการปรับลดค่าสติเฟเนสของเสาเข็มลง 2 เท่าและปรับลดสติเฟเนสของผนังหล่อในที่ลง 4.16 เท่า

ผลกรณีที่สติเฟเนสของผนังแบบหล่อสำเร็จมีช่องเปิด และเสาเข็มลดค่าสติเฟเนสลง 2 เท่า เสาเข็มต้นที่หนึ่งริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันโดยต่ำกว่าร้อยละ 11.71 เสาเข็มต้นที่สองต่ำกว่าร้อยละ 2.39 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 0.97 เสาเข็มต้นที่สี่สูงกว่าร้อยละ 3.79 เสาเข็มต้นที่ห้าสูงกว่าร้อยละ 4.55 เสาเข็มต้นที่หกมากกว่าร้อยละ 2.12 และสูงกว่าร้อยละ 0.18 สำหรับเสาเข็มต้นที่เจ็ดซึ่งเป็นต้นกลางและจะเท่ากันเมื่อกลับด้านเนื่องจากโครงสร้างสมมาตร

ผลกรณีที่สติเฟเนสของผนังแบบหล่อในที่ปรับลดค่าความแข็งของผนังลง 4.16 เท่า มีผลดังนี้ เสาเข็มต้นต้นที่หนึ่งริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันต่ำกว่า ร้อยละ 11.71 เสาเข็มต้นที่สองต่ำกว่าร้อยละ 0.89 เสาเข็มต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 1.61 เสาเข็มต้นที่สี่สูงกว่าร้อยละ 1.47 เสาเข็มต้นที่ห้าสูงกว่าร้อยละ 4.73 เสาเข็มต้นที่หกสูงกว่าร้อยละ 1.13 และสูงกว่าร้อยละ 2.44 สำหรับเสาเข็มต้นที่เจ็ดซึ่งเป็นต้นกลางผนังและจะเท่ากันเมื่อกลับด้านเนื่องจากโครงสร้างสมมาตร ตามตาราง 4.27

ตาราง 4.27 ผลการศึกษาผนังหลังกรณี $K_p=AE/2L$ และลดสติเฟเนสผนังหล่อในที่ลง 4.16 เท่า

กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)						
		Grid Line						
		1/A	1.1/A	2/A	2.1/A	3/A	3.1/A	4/A
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/2L$	4.27	4.77	4.96	5.07	5.28	5.29	
PC	ผนังหล่อสำเร็จ $K_p=AE/2L$	3.77	4.66	5.01	5.26	5.52	5.40	5.34
	% ความแตกต่าง	-11.71%	-2.39%	0.97%	3.79%	4.55%	2.12%	0.18%
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/2L$ และลดค่าสติเฟเนสของผนังลง 4.16 เท่า	3.77	4.73	5.04	5.14	5.53	5.35	5.46
	% ความแตกต่าง	-11.71%	-0.89%	1.61%	1.47%	4.73%	1.13%	2.44%



รูปที่ 4.30 แสดงน้ำหน้ากลองเสาชემผนังหลังกรณีลดค่าสตีเฟนสเสาชემลง 2 เท่าและผนังลง 4.16 เท่า
ที่มา : ผู้วิจัย

3) กรณีเสาชემ $K_p=AE/5L$ และปรับลดค่าสตีเฟนสผนังหล่อในที่ลง 5.23 เท่า

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของการปรับลดค่าสตีเฟนสของเสาชემลง 5 เท่าและปรับลดค่าสตีเฟนสของผนังหล่อในที่ลง 5.23 เท่า

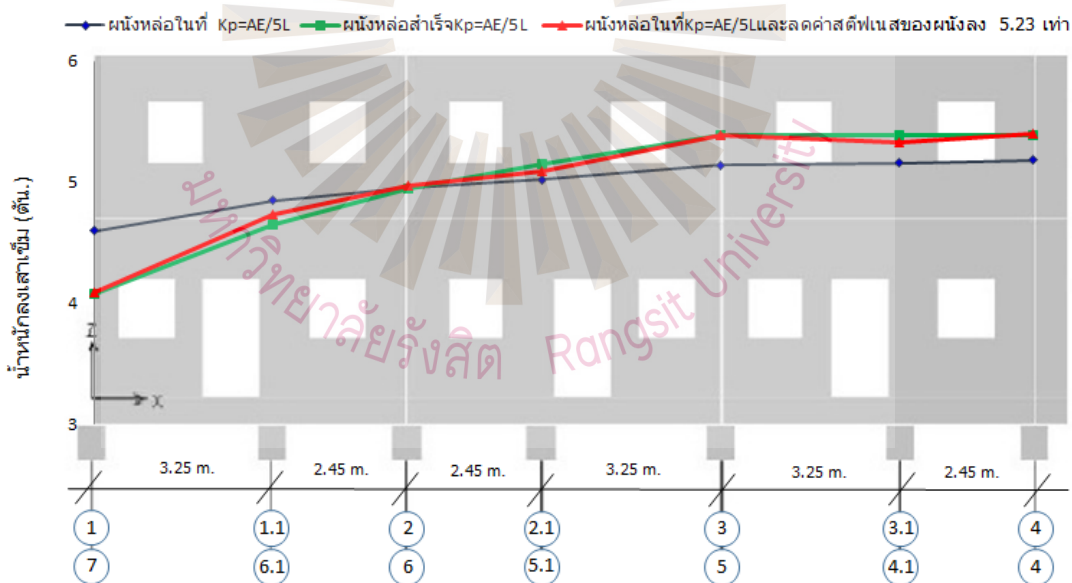
ผลกรณีที่สตีเฟนสของผนังแบบหล่อสำเร็จมีช่องเปิด และเสาชემลดค่าสตีเฟนสลง 5 เท่า เสาชემต้นที่หนึ่งริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกัน โดยต่ำกว่าผนังหล่อในที่ร้อยละ 11.19 เสาชემต้นที่สองต่ำกว่าร้อยละ 3.99 เสาชემต้นที่สามต่ำกว่าร้อยละ 0.15 เสาชემต้นที่สูงกว่าร้อยละ 2.65 เสาชემต้นที่ห้าสูงกว่าร้อยละ 4.83 เสาชემต้นที่หกมากกว่าร้อยละ 4.49 และสูงกว่าร้อยละ 3.95 สำหรับเสาชემต้นที่เจ็ดซึ่งเป็นต้นกลางผนังและจะเท่ากันเมื่อกลับด้านเนื่องจากโครงสร้างสมมาตร

ผลกรณีที่สตีเฟนสของผนังแบบหล่อในที่ปรับลดค่าความแข็งของผนังลง 5.23 เท่า มีผลดังนี้ เสาชემต้นต้นที่หนึ่งริมขอบนอกด้านหน้ามีผลต่างกันต่ำกว่า ร้อยละ 11.12 เสาชემต้นที่สองต่ำกว่าร้อยละ 2.44 เสาชემต้นที่สามสูงกว่าร้อยละ 0.47 เสาชემต้นที่สูงกว่าร้อยละ 1.41 เสาชემต้นที่ห้าสูงกว่าร้อยละ 4.82 เสาชემต้นที่หกสูงกว่าร้อยละ 3.42 และสูงกว่าร้อยละ 4.29

สำหรับเสาเข็มต้นที่เจ็ดซึ่งเป็นต้นกลางและจะเท่ากันเมื่อกลับด้านเนื่องจากโครงสร้างสมมาตร ตามตาราง 4.28

ตาราง 4.28 ผลการศึกษาผนังหลังกรณี $K_p=AE/5L$ และลดค่าสติเฟนของผนังลง 5.23 เท่า

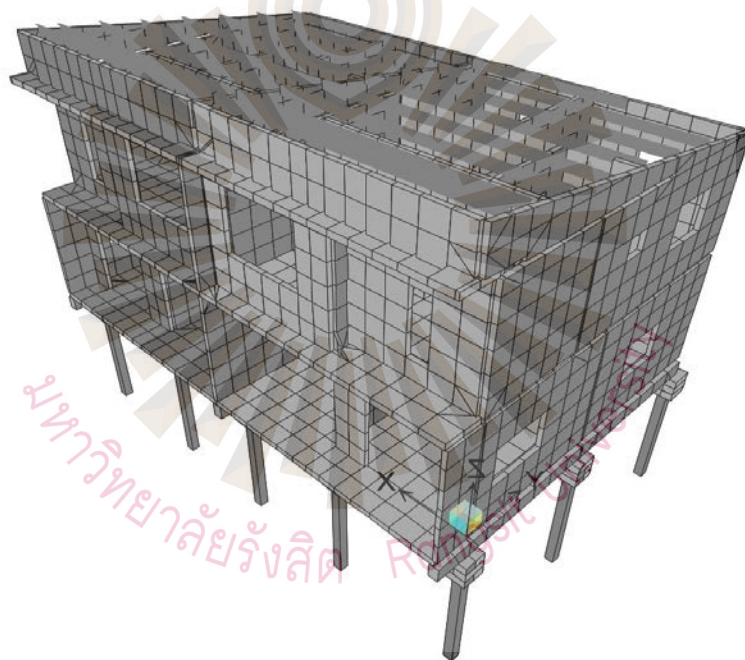
กรณี	รายละเอียด	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม (ตัน)						
		Grid Line						
		1/A	1.1/A	2/A	2.1/A	3/A	3.1/A	4/A
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/5L$	4.59	4.84	4.95	5.02	5.14	5.16	5.18
PC	ผนังหล่อสำเร็จ $K_p=AE/5L$	4.08	4.65	4.94	5.15	5.39	5.39	5.38
	% ความแตกต่าง	-11.19%	-3.99%	-0.15%	2.65%	4.83%	4.49%	3.95%
RC	ผนังหล่อในที่ $K_p=AE/5L$ และลดค่าสติเฟนของผนังลง 5.23 เท่า	4.08	4.73	4.97	5.09	5.39	5.33	5.40
	% ความแตกต่าง	-11.12%	-2.44%	0.47%	1.41%	4.82%	3.42%	4.29%



รูปที่ 4.31 แสดงน้ำหนักลงเสาเข็มผนังหลังกรณีลดค่าสติเฟนเสาเข็มลง 5 เท่าและผนังลง 5.23 เท่า
ที่มา : ผู้วิจัย

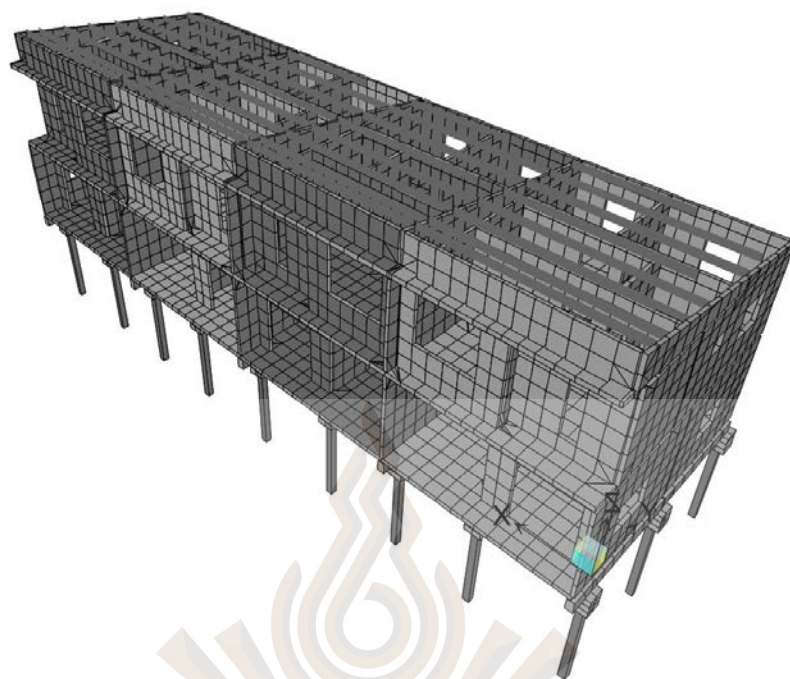
4.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงลงเสาเข็มโดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ

ผลการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ ได้แบ่งวิเคราะห์บ้านแบบทาวน์เฮ้าส์กรณี 2 ห้อง, 4 ห้อง, 6 ห้องและบ้านเดี่ยว โดยจำลองโครงสร้างผนังหล่อในที่เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผนังหล่อสำเร็จ เพื่อให้ทราบพฤติกรรมการถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแบบของบ้านที่มีการเชื่อมต่อกันของผนังรับแรงแต่ละด้านตามแบบการก่อสร้างและเงื่อนไขน้ำหนักบรรทุกทุกตามกำหนด โดยจะใช้เงื่อนไขจุดเชื่อมต่อของผนังหล่อสำเร็จคิดเฉพาะผลของแรงเฉือนเสียดทานจากผลของเหล็กยื่น DB12 ที่ระยะเลื่อนไถล 1 มม และจุดรองรับเป็นเสาเข็มยึดหุ่นแบบสปริงที่มีค่าสติเฟนต่างกัน 3 ระดับในการจำลองโครงสร้างที่ $K_p=AE/L$, $K_p=AE/2L$ และ $K_p=AE/5L$ โดยรูปแบบจำลอง 3 มิติ ดังแสดงตามรูปดังต่อไปนี้

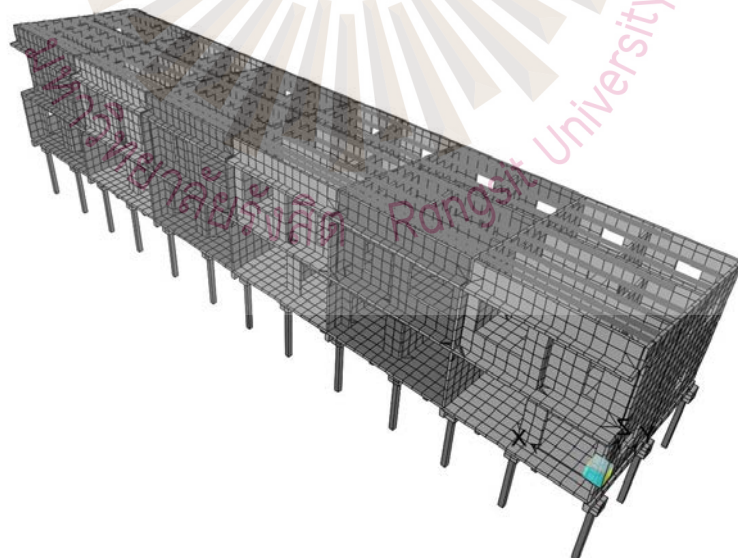


รูปที่ 4.32 รูปจำลองทาวน์เฮ้าส์ 3 มิติ จำนวน 2 ห้อง

ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.33 รูปแบบจำลองทาว์นเฮาส์ 3 มิติ จำนวน 4 ห้อง
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.34 รูปแบบจำลองทาว์นเฮาส์ 3 มิติ จำนวน 6 ห้อง
ที่มา : ผู้วิจัย

4.2.1 ผลการวิเคราะห์กรณีผนังหล่อในที่ กับ ผนังหล่อสำเร็จ 2 ห้อง

4.2.1.1 กรณีเสาเข็มมีค่าสติฟเนส $K_p=AE/L$

จากผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มจากการวิเคราะห์โดยการจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติ ของทาว์นเฮ้าส์ 2 ห้อง ของผนังแบบหล่อในที่กับผนังแบบหล่อสำเร็จ โดยใช้ค่าสติฟเนสของเข็มที่ $K_p=AE/L$

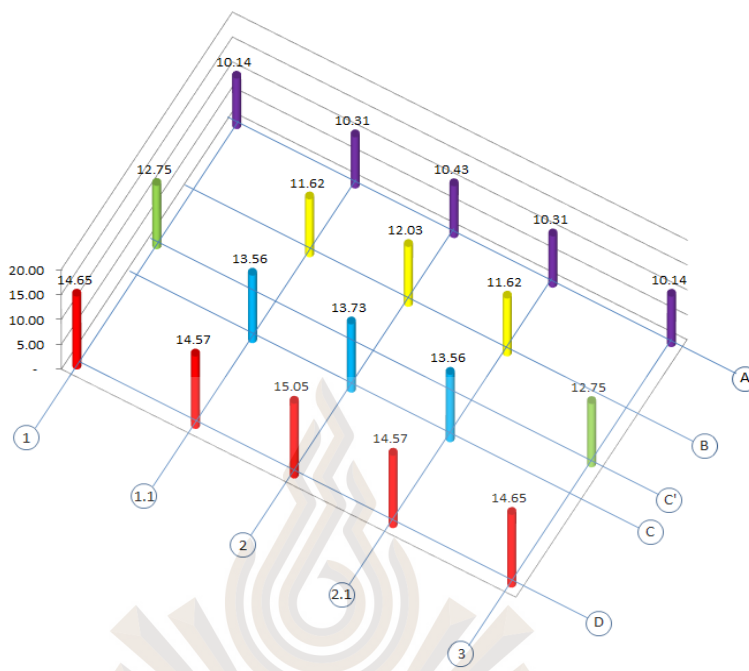
กรณีผนังแบบหล่อในที่การถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) จะใกล้เคียงกัน ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร เนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

กรณีผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) ต้นริมขอบจะน้อยกว่าด้านในถัดไปเข้าหาศูนย์กลาง ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

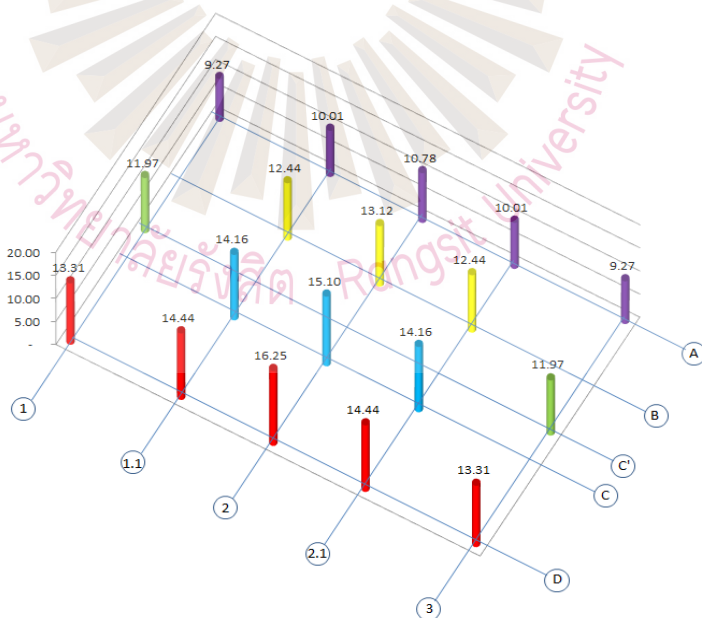
พฤติกรรมการถ่ายแรงของผนังตามยาว (Line A) การถ่ายแรงของผนังแบบหล่อในที่ จะใกล้เคียงกันผนังหล่อสำเร็จเสาเข็มต้นริมขอบนอกจะต่ำกว่าเสาเข็มต้นด้านในถัดเข้าไปหาศูนย์กลาง โดยต้นริมขอบของผนังหล่อสำเร็จจะถ่ายแรงในเสาเข็มต่ำกว่าผนังแบบหล่อในที่ 0.87 ตัน หรือ ต่ำกว่าร้อยละ 8.6 แต่ต้นกลางจะสูงกว่า 0.35 ตัน หรือสูงกว่าร้อยละ 3.4 ตามตาราง 4.29

ตาราง 4.29 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติกรณี 2 ห้อง ($K_p=AE/L$)

Grid Line Y	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม, ตัน	Grid Line X				
		1	1.1	2	2.1	3
A	ผนังหล่อในที่ (RC)	10.14	10.31	10.43	10.31	10.14
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	9.27	10.01	10.78	10.01	9.27
	ผลต่างแรง	-0.87	-0.30	0.35	-0.30	-0.87
	ผลต่างเทียบเป็น %	-8.6%	-2.9%	3.4%	-2.9%	-8.6%
B	ผนังหล่อในที่ (RC)		11.62	12.03	11.62	
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		12.37	12.98	12.37	
	ผลต่างแรง		0.75	0.95	0.75	
	ผลต่างเทียบเป็น %		6.5%	7.9%	6.5%	
C'	ผนังหล่อในที่ (RC)	12.75				12.75
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	11.97				11.97
	ผลต่างแรง	-0.78				-0.78
	ผลต่างเทียบเป็น %	-6.1%				-6.1%
C	ผนังหล่อในที่ (RC)		13.56	13.73	13.56	
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		14.16	15.10	14.16	
	ผลต่างแรง		0.60	1.37	0.60	
	ผลต่างเทียบเป็น %		4.4%	10.0%	4.4%	
D	ผนังหล่อในที่ (RC)	14.65	14.56	15.05	14.47	14.65
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	13.31	14.44	16.35	14.44	13.31
	ผลต่างแรง	-1.34	-0.12	1.30	-0.03	-1.34
	ผลต่างเทียบเป็น %	-9.1%	-0.8%	8.6%	-0.2%	-9.1%



รูปที่ 4.35 ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที 2 ห้อง($K_p=AE/L$)
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.36 ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 2 ห้อง($K_p=AE/L$)
ที่มา : ผู้วิจัย

4.2.1.2 กรณีเสาเข็มมีค่าสติเฟนส $K_p=AE/2L$

จากผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มจากการวิเคราะห์โดยการจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติของทาว์นเฮ้าส์ 2 ห้อง ของผนังแบบหล่อในที่กับผนังแบบหล่อสำเร็จ โดยใช้ค่าสติเฟนสของเข็มที่ $K_p=AE/2L$

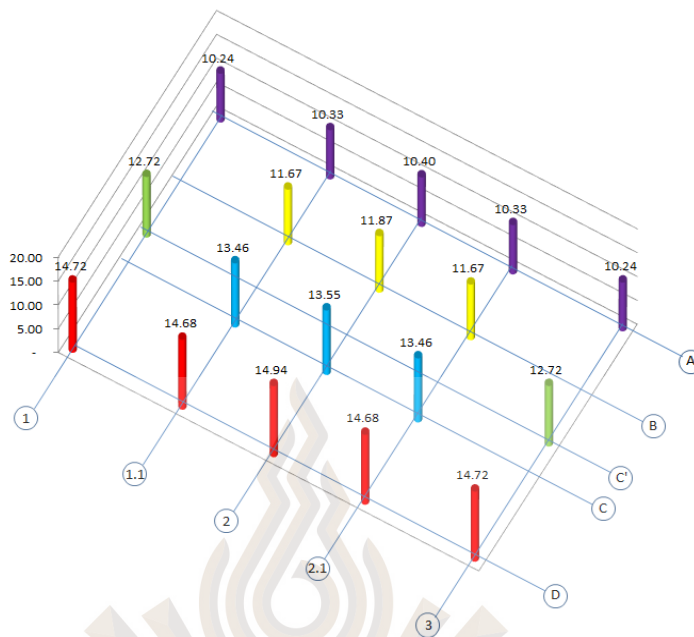
กรณีผนังแบบหล่อในที่การถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) จะใกล้เคียงกัน ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เอียงศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

กรณีผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) ต้นริมนอกจะน้อยกว่าด้านในถัดไปเข้าหาศูนย์กลาง ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เอียงศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

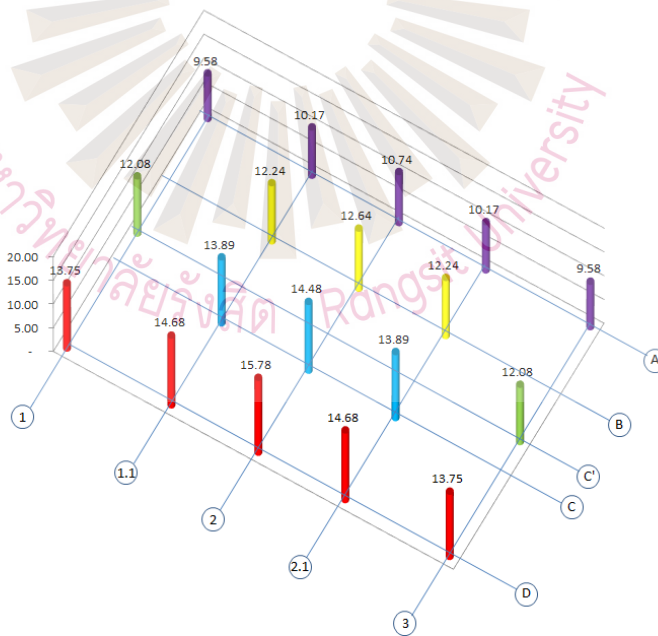
พฤติกรรมการถ่ายแรงของผนังตามยาว (Line A) การถ่ายแรงของผนังแบบหล่อในที่ จะใกล้เคียงกันผนังหล่อสำเร็จต้นริมนอกจะน้อยกว่าต้นด้านในถัดเข้าไปหาศูนย์กลาง โดยต้นริมของผนังหล่อสำเร็จจะถ่ายแรงน้อยกว่าผนังแบบหล่อในที่ 0.66 ตัน หรือ ต่ำกว่าร้อยละ 6.4 แต่ต้นกลางจะสูงกว่า 0.34 ตัน หรือสูงกว่าร้อยละ 3.3 ตามตาราง 4.30

ตาราง 4.30 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติกรณี 2 ห้อง ($K_p=AE/2L$)

Grid Line Y	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม, ตัน	Grid Line X				
		1	1.1	2	2.1	3
A	ผนังหล่อในที่ (RC)	10.24	10.33	10.40	10.33	10.24
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	9.58	10.17	10.74	10.17	9.58
	ผลต่างแรง	-0.66	-0.16	0.34	-0.16	-0.66
	ผลต่างเทียบเป็น %	-6.4%	-1.5%	3.3%	-1.5%	-6.4%
B	ผนังหล่อในที่ (RC)		11.69	11.87	11.67	
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		12.24	12.64	12.24	
	ผลต่างแรง		0.55	0.77	0.57	
	ผลต่างเทียบเป็น %		4.7%	6.5%	4.9%	
C'	ผนังหล่อในที่ (RC)	12.72				12.72
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	12.08				12.08
	ผลต่างแรง	-0.64				-0.64
	ผลต่างเทียบเป็น %	-5.0%				-5.0%
C	ผนังหล่อในที่ (RC)		13.46	13.55	13.46	
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		13.89	14.48	13.39	
	ผลต่างแรง		0.43	0.93	-0.07	
	ผลต่างเทียบเป็น %		3.2%	6.9%	-0.5%	
D	ผนังหล่อในที่ (RC)	14.72	14.68	14.94	14.68	14.72
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	13.75	14.68	15.78	14.68	13.75
	ผลต่างแรง	-0.97	0.00	0.84	0.00	-0.97
	ผลต่างเทียบเป็น %	-6.6%	0.0%	5.6%	0.0%	-6.6%



รูปที่ 4.37 ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที่ 2 ห้อง ($K_p=AE/2L$)
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.38 ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 2 ห้อง ($K_p=AE/2L$)
ที่มา : ผู้วิจัย

4.2.1.3 กรณีเสาเข็มมีค่าสติเฟเนส $K_p=AE/5L$

จากผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มจากการวิเคราะห์โดยการจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติ ของทาว์นเฮ้าส์ 2 ห้อง ของผนังแบบหล่อในที่กับผนังแบบหล่อสำเร็จ โดยใช้ค่าสติเฟเนสของเข็มที่ $K_p=AE/5L$

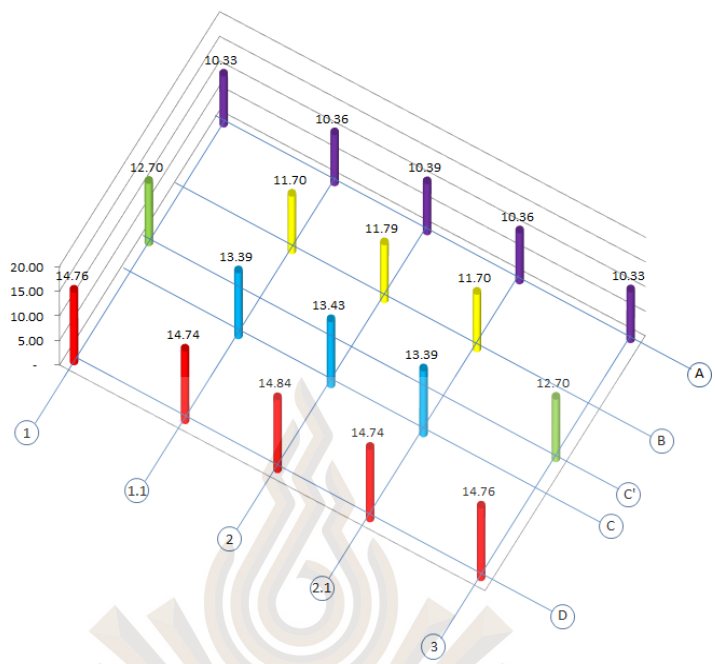
กรณีผนังแบบหล่อในที่การถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) จะใกล้เคียงกัน ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

กรณีผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) ต้นริมนอกจะน้อยกว่าด้านในถัดไปเข้าหาศูนย์กลาง ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

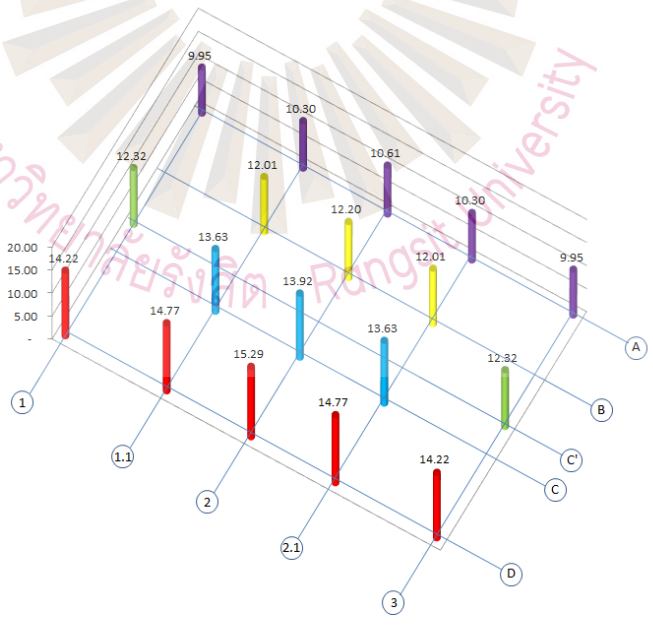
พฤติกรรมการถ่ายแรงของผนังตามยาว (Line A) การถ่ายแรงของผนังแบบหล่อในที่ จะใกล้เคียงกันผนังหล่อสำเร็จต้นริมขอบนอกจะน้อยกว่าต้นด้านในถัดเข้าไปหาศูนย์กลาง โดยต้นริมของผนังหล่อสำเร็จจะถ่ายแรงต่ำกว่าผนังแบบหล่อในที่ 0.38 ตัน หรือ ต่ำกว่าร้อยละ 3.7 แต่ต้นกลางจะสูงกว่า 0.22 ตัน หรือสูงกว่าร้อยละ 2.1 ตามตาราง 4.31

ตาราง 4.31 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติกรณี 2 ห้อง ($K_p=AE/5L$)

Grid Line Y	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม, ตัน	Grid Line X				
		1	1.1	2	2.1	3
A	ผนังหล่อในที่ (RC)	10.33	10.36	10.39	10.36	10.33
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	9.95	10.30	10.61	10.30	9.95
	ผลต่างแรง	-0.38	-0.06	0.22	-0.06	-0.38
	ผลต่างเทียบเป็น %	-3.7%	-0.6%	2.1%	-0.6%	-3.7%
B	ผนังหล่อในที่ (RC)		11.70	11.79	11.70	
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		12.01	12.20	12.01	
	ผลต่างแรง		0.31	0.41	0.31	
	ผลต่างเทียบเป็น %		2.6%	3.5%	2.6%	
C'	ผนังหล่อในที่ (RC)	12.70				12.70
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	12.32				12.32
	ผลต่างแรง	-0.38				-0.38
	ผลต่างเทียบเป็น %	-3.0%				-3.0%
C	ผนังหล่อในที่ (RC)		13.39	13.43	13.39	
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		13.63	13.92	13.63	
	ผลต่างแรง		0.24	0.49	0.24	
	ผลต่างเทียบเป็น %		1.8%	3.6%	1.8%	
D	ผนังหล่อในที่ (RC)	14.76	14.74	14.84	14.74	14.76
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	14.22	14.77	15.29	14.77	14.22
	ผลต่างแรง	-0.54	0.03	0.45	0.03	-0.54
	ผลต่างเทียบเป็น %	-3.7%	0.2%	3.0%	0.2%	-3.7%



รูปที่ 4.39 ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที่ 2 ห้อง($K_p=AE/5L$)
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.40 ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 2 ห้อง($K_p=AE/5L$)
ที่มา : ผู้วิจัย

4.2.2 ผลการวิเคราะห์กรณีผนังหล่อในที่ กับ ผนังหล่อสำเร็จ 4 ห้อง

4.2.2.1 กรณีเสาเข็มมีค่าสติเฟนส $K_p=AE/L$

จากผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มจากการวิเคราะห์โดยการจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติ ของทาวน์เฮ้าส์ 4 ห้อง ของผนังแบบหล่อในที่กับผนังแบบหล่อสำเร็จ โดยใช้ค่าสติเฟนสของเข็มที่ $K_p=AE/L$

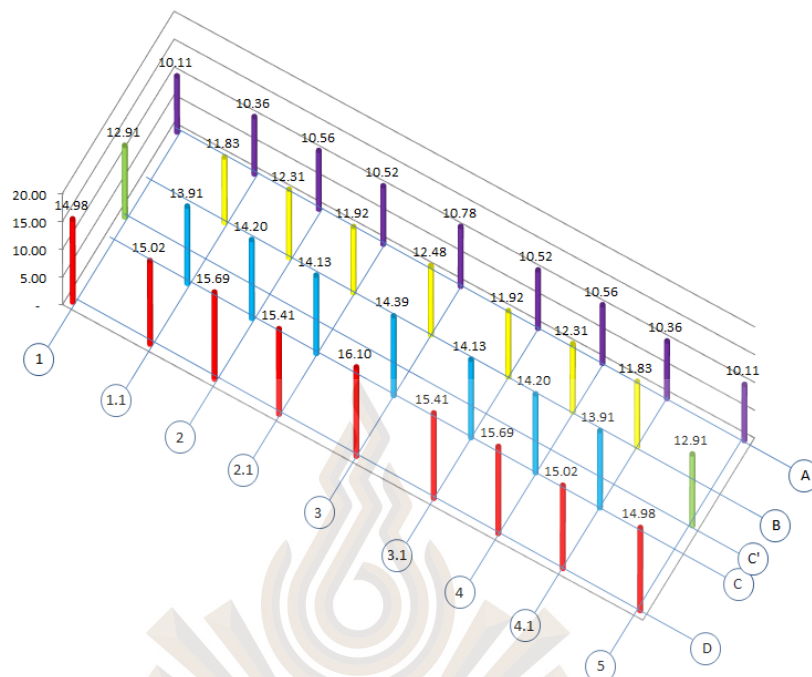
กรณีผนังแบบหล่อในที่การถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) จะใกล้เคียงกัน ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3,4,5) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

กรณีผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) ต้นริมนอกจะน้อยกว่าด้านในถัดไปเข้าหาศูนย์กลาง ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3,4,5) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

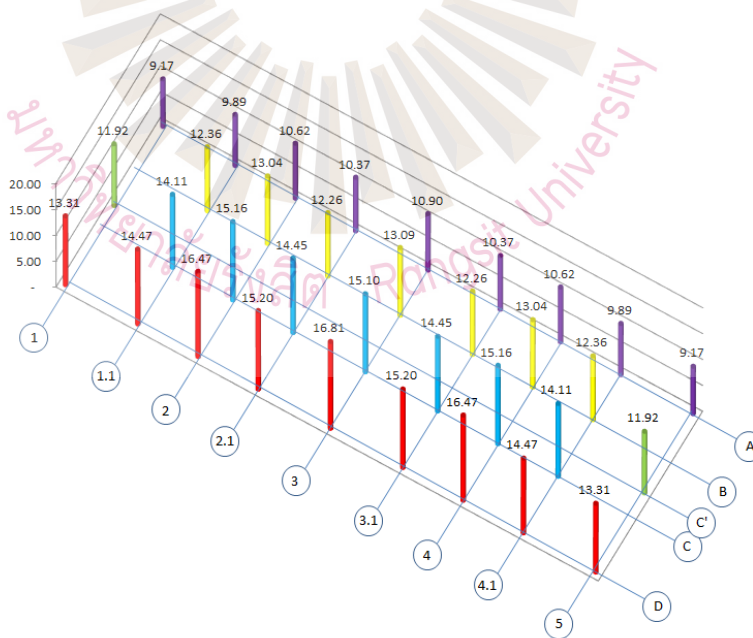
พฤติกรรมการถ่ายแรงของผนังตามยาว (Line A) การถ่ายแรงของผนังแบบหล่อในที่ จะใกล้เคียงกันผนังหล่อสำเร็จต้นริมนอกจะน้อยกว่าด้านในถัดเข้าไปหาศูนย์กลาง โดยต้นริมขอบของผนังหล่อสำเร็จจะถ่ายแรงต่ำกว่าผนังแบบหล่อในที่ 0.94 ตัน หรือ ต่ำกว่าร้อยละ 9.3 แต่ต้นกลางจะสูงกว่า 0.12 ตัน หรือสูงกว่าร้อยละ 1.1 ตามตาราง 4.32

ตาราง 4.32 เปรียบเทียบจากผลการวิเคราะห์ 3 มิติกรณี 4 ห้อง ($K_p=AE/L$)

Grid Line Y	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม, ตัน	Grid Line X				
		1, 5	1.1, 4.1	2, 4	2.1, 3.1	3
A	ผนังหล่อในที่ (RC)	10.11	10.36	10.56	10.52	10.78
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	9.17	9.89	10.62	10.37	10.90
	ผลต่างแรง	-0.94	-0.47	0.06	-0.15	0.12
	ผลต่างเทียบเป็น %	-9.3%	-4.5%	0.6%	-1.4%	1.1%
B	ผนังหล่อในที่ (RC)		11.83	12.31	11.92	12.48
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		12.36	13.04	12.26	13.09
	ผลต่างแรง		0.53	0.73	0.34	0.61
	ผลต่างเทียบเป็น %		4.5%	5.9%	2.9%	4.9%
C'	ผนังหล่อในที่ (RC)	12.91				
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	11.92				
	ผลต่างแรง	-0.99				
	ผลต่างเทียบเป็น %	-7.7%				
C	ผนังหล่อในที่ (RC)		13.91	14.20	14.13	14.39
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		14.11	15.16	14.45	15.01
	ผลต่างแรง		0.20	0.96	0.32	0.62
	ผลต่างเทียบเป็น %		1.4%	6.8%	2.3%	4.3%
D	ผนังหล่อในที่ (RC)	14.98	15.02	15.56	15.41	16.10
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	13.31	14.47	16.47	15.20	16.81
	ผลต่างแรง	-1.67	-0.55	0.91	-0.21	0.71
	ผลต่างเทียบเป็น %	-11.1%	-3.7%	5.8%	-1.4%	4.4%



รูปที่ 4.41 ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที่ 4 ห้อง ($K_p=AE/L$)
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.42 ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 4 ห้อง ($K_p=AE/L$)
ที่มา : ผู้วิจัย

4.2.2.2 กรณีเสาเข็มมีค่าสตีเฟส $K_p=AE/2L$

จากผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มจากการวิเคราะห์โดยการจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติของทาว์นเฮ้าส์ 4 ห้อง ของผนังแบบหล่อในที่กับผนังแบบหล่อสำเร็จ โดยใช้ค่าสตีเฟสของเข็มที่ $K_p=AE/2L$

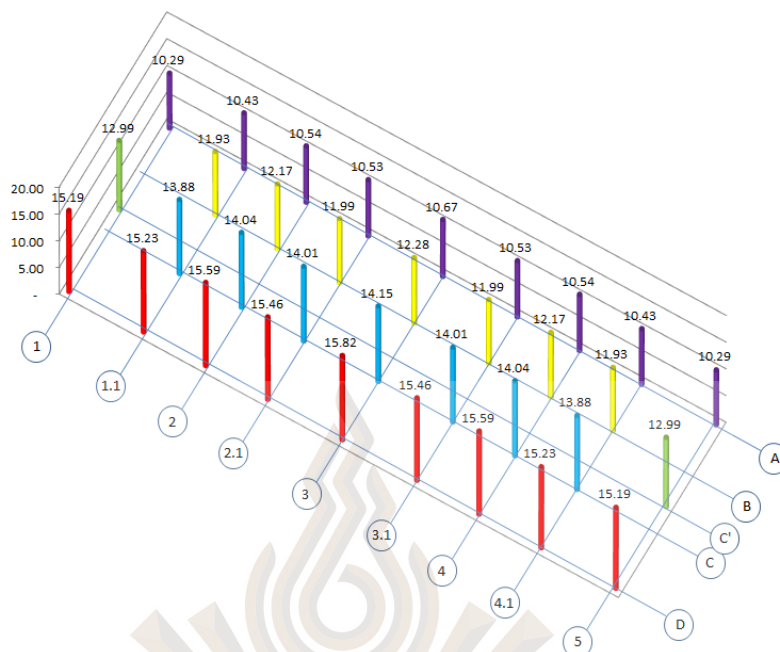
กรณีผนังแบบหล่อในที่การถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) จะใกล้เคียงกัน ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3,4,5) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

กรณีผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) ต้นริมนอกจะน้อยกว่าด้านในถัดไปเข้าหาศูนย์กลาง ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3,4,5) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

พฤติกรรมการถ่ายแรงของผนังตามยาว (Line A) การถ่ายแรงของผนังแบบหล่อในที่ จะใกล้เคียงกันผนังหล่อสำเร็จต้นริมนอกจะน้อยกว่าต้นด้านในถัดเข้าไปหาศูนย์กลาง โดยต้นริมขอบของผนังหล่อสำเร็จจะถ่ายแรงต่ำกว่าผนังแบบหล่อในที่ 0.88 ต้น หรือ ต่ำกว่าร้อยละ 8.6 แต่ต้นกลางจะสูงกว่า 0.27 ต้น หรือสูงกว่าร้อยละ 2.5 ตามตาราง 4.33

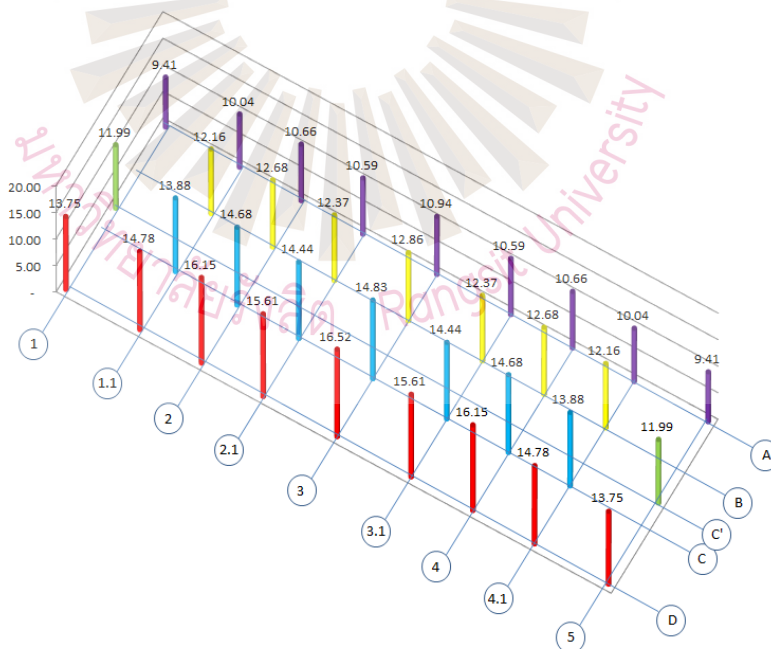
ตาราง 4.33 เปรียบเทียบจากผลการวิเคราะห์ 3 มิติกรณี 4 ห้อง ($K_p=AE/2L$)

Grid Line Y	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม, ตัน	Grid Line X				
		1, 5	1.1, 4.1	2, 4	2.1, 3.1	3
A	ผนังหล่อในที่ (RC)	10.29	10.43	10.54	10.53	10.67
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	9.41	10.04	10.66	10.59	10.94
	ผลต่างแรง	-0.88	-0.39	0.12	0.06	0.27
	ผลต่างเทียบเป็น %	-8.6%	-3.7%	1.1%	0.6%	2.5%
B	ผนังหล่อในที่ (RC)		11.93	12.17	11.99	12.28
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		12.16	12.68	12.37	12.86
	ผลต่างแรง		0.23	0.51	0.38	0.58
	ผลต่างเทียบเป็น %		1.9%	4.2%	3.2%	4.7%
C'	ผนังหล่อในที่ (RC)	12.99				
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	11.99				
	ผลต่างแรง	-1.00				
	ผลต่างเทียบเป็น %	-7.7%				
C	ผนังหล่อในที่ (RC)		13.88	14.04	14.01	14.15
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		13.88	14.68	14.44	14.83
	ผลต่างแรง		0.00	0.64	0.43	0.68
	ผลต่างเทียบเป็น %		0.0%	4.6%	3.1%	4.8%
D	ผนังหล่อในที่ (RC)	15.19	15.23	15.59	15.46	15.82
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	13.75	14.78	16.15	15.61	16.52
	ผลต่างแรง	-1.44	-0.45	0.56	0.15	0.70
	ผลต่างเทียบเป็น %	-9.5%	-3.0%	3.6%	1.0%	4.4%



รูปที่ 4.43 ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อในที่ 4 ห้อง ($K_p=AE/2L$)

ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.44 ผลการถ่ายน้ำหนักของทาว์นเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 4 ห้อง ($K_p=AE/2L$)

ที่มา : ผู้วิจัย

4.2.2.3 กรณีเสาเข็มมีค่าสติเฟนส $K_p=AE/5L$

จากผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มจากการวิเคราะห์โดยการจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติของทาว์นเฮ้าส์ 4 ห้อง ของผนังแบบหล่อในที่กับผนังแบบหล่อสำเร็จ โดยใช้ค่าสติเฟนสของเข็มที่ $K_p=AE/5L$

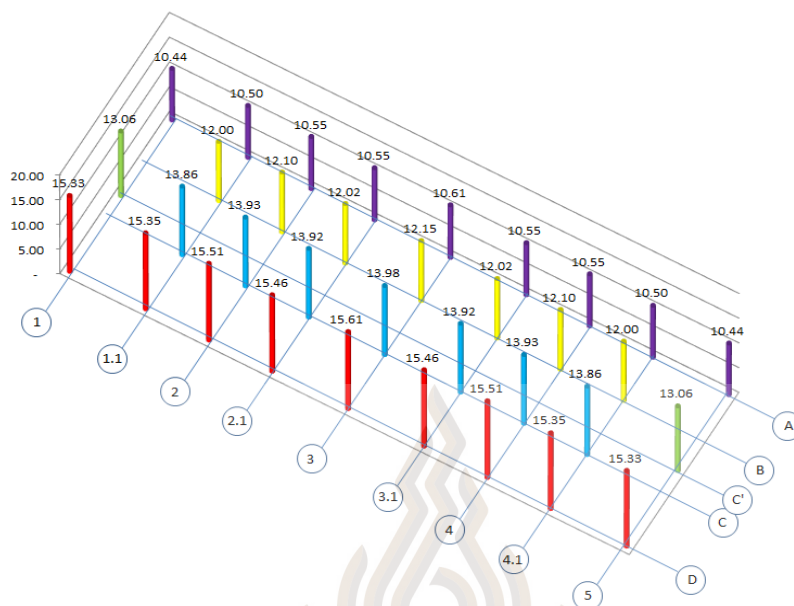
กรณีผนังแบบหล่อในที่การถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) จะใกล้เคียงกัน ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3,4,5) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

กรณีผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) ต้นริมนอกจะน้อยกว่าด้านในถัดไปเข้าหาศูนย์กลาง ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3,4,5) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

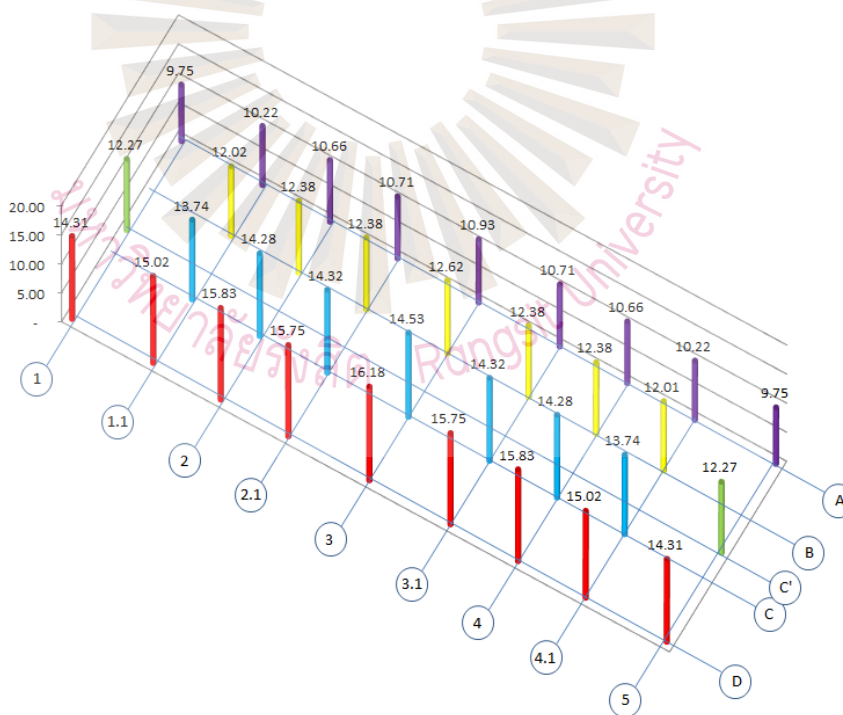
พฤติกรรมถ่ายแรงของผนังตามยาว (Line A) การถ่ายแรงของผนังแบบหล่อในที่ จะใกล้เคียงกันผนังหล่อสำเร็จต้นริมนอกจะน้อยกว่าต้นด้านในถัดเข้าไปหาศูนย์กลาง โดยต้นริมขอบของผนังหล่อสำเร็จจะถ่ายแรงต่ำกว่าผนังแบบหล่อในที่ 0.03 ตัน หรือ ต่ำกว่าร้อยละ 0.3 และ ต้นกลางจะต่ำกว่า 0.04 ตัน หรือต่ำกว่าร้อยละ 0.4 ตามตาราง 4.34

ตาราง 4.34 เปรียบเทียบจากผลการวิเคราะห์ 3 มิติกรณี 4 ห้อง ($K_p=AE/5L$)

Grid Line Y	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม, ดัน	Grid Line X				
		1, 5	1.1, 4.1	2, 4	2.1, 3.1	3
A	ผนังหล่อในที่ (RC)	10.44	10.50	10.55	10.55	10.61
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	9.75	10.22	10.66	10.71	10.93
	ผลต่างแรง	-0.69	-0.28	0.11	0.16	0.32
	ผลต่างเทียบเป็น %	-6.6%	-2.7%	1.0%	1.5%	3.0%
B	ผนังหล่อในที่ (RC)		12.00	12.10	12.02	12.15
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		12.01	12.38	12.38	12.62
	ผลต่างแรง		0.01	0.28	0.36	0.47
	ผลต่างเทียบเป็น %		0.1%	2.3%	3.0%	3.9%
C'	ผนังหล่อในที่ (RC)	13.06				
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	12.27				
	ผลต่างแรง	-0.79				
	ผลต่างเทียบเป็น %	-6.0%				
C	ผนังหล่อในที่ (RC)		13.86	13.93	13.92	13.98
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		13.74	14.28	14.32	14.53
	ผลต่างแรง		-0.12	0.35	0.40	0.55
	ผลต่างเทียบเป็น %		-0.9%	2.5%	2.9%	3.9%
D	ผนังหล่อในที่ (RC)	15.33	15.35	15.57	15.46	15.61
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	14.31	15.02	15.83	15.75	16.18
	ผลต่างแรง	-1.02	-0.33	0.26	0.29	0.57
	ผลต่างเทียบเป็น %	-6.7%	-2.1%	1.7%	1.9%	3.7%



รูปที่ 4.45 ผลการถ่ายน้ำหนักของทาวนเฮาส์ผนังหล่อในที่ 4 ห้อง ($K_p=AE/5L$)
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.46 ผลการถ่ายน้ำหนักของทาวนเฮาส์ผนังหล่อสำเร็จ 4 ห้อง ($K_p=AE/5L$)
ที่มา : ผู้วิจัย

4.2.3 ผลการวิเคราะห์กรณีผนังหล่อในที่ กับ ผนังหล่อสำเร็จ 6 ห้อง

4.2.3.1 กรณีเสาเข็มมีค่าสติเฟเนส $K_p=AE/L$

จากผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มจากการวิเคราะห์โดยการจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติ ของทาวน์เฮ้าส์ 6 ห้อง ของผนังแบบหล่อในที่กับผนังแบบหล่อสำเร็จ โดยใช้ค่าสติเฟเนสของเข็มที่ $K_p=AE/L$

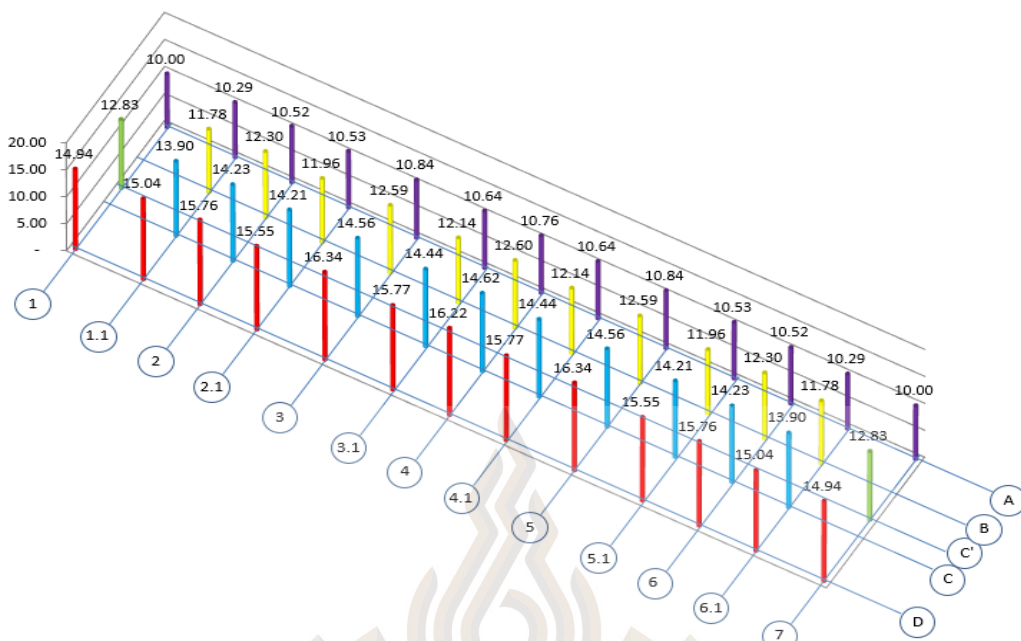
กรณีผนังแบบหล่อในที่การถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) จะใกล้เคียงกัน ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3,4,5) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เอียงศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

กรณีผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) ต้นริมนอกจะน้อยกว่าด้านในถัดไปเข้าหาศูนย์กลาง ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3,4,5,6,7) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เอียงศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

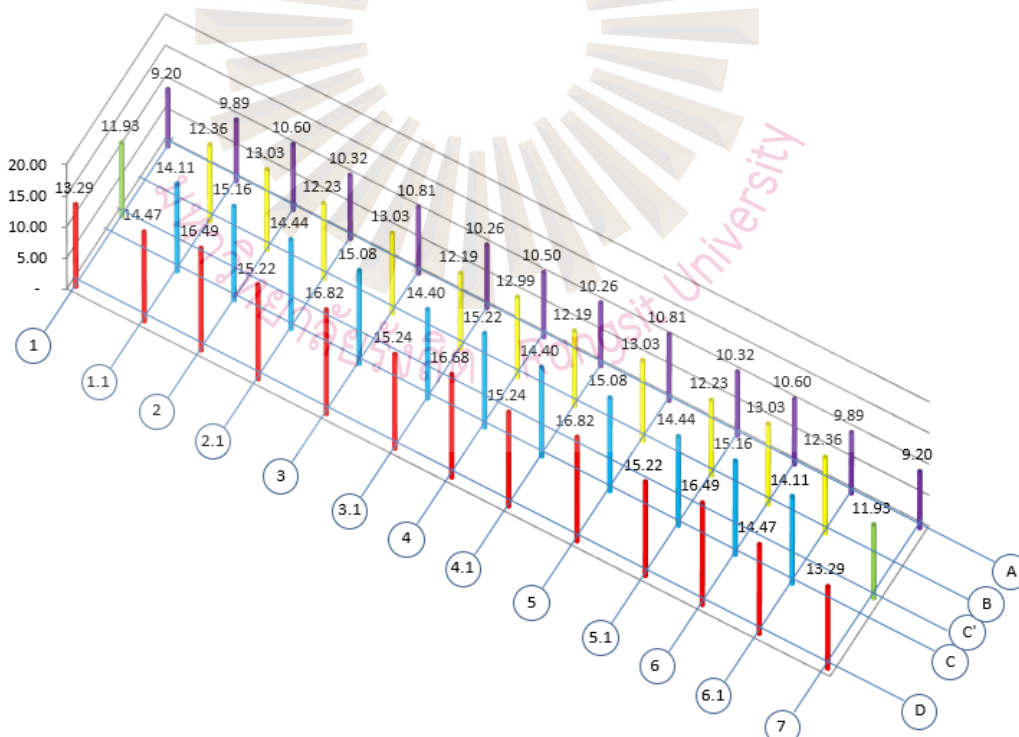
พฤติกรรมการถ่ายแรงของผนังตามยาว (Line A) การถ่ายแรงของผนังแบบหล่อในที่ จะใกล้เคียงกันผนังหล่อสำเร็จต้นริมนอกจะน้อยกว่าต้นด้านในถัดเข้าไปหาศูนย์กลาง โดยต้นริมขอบของผนังหล่อสำเร็จจะถ่ายแรงต่ำกว่าผนังแบบหล่อในที่ 0.8 ตัน หรือ ต่ำกว่าร้อยละ 8 และต้นกลางจะต่ำกว่า 0.26 ตัน หรือต่ำกว่าร้อยละ 2.4 ตามตาราง 4.35

ตาราง 4.35 เปรียบเทียบจากผลการวิเคราะห์ 3 มิติ กรณี 6 ห้อง ($K_p=AE/L$)

Grid Line Y	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม , ดัน	Grid Line X						
		1, 7	1.1, 6.1	2, 6	2.1, 5.1	3, 5	3.1, 4.1	4
A	ผนังหล่อในที่ (RC)	10.00	10.29	10.52	10.53	10.84	10.64	10.76
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	9.20	9.89	10.60	10.32	10.81	10.26	10.50
	ผลต่างแรง	-0.80	-0.40	0.08	-0.21	-0.03	-0.38	-0.26
	ผลต่างเทียบเป็น %	-8.0%	-3.9%	0.8%	-2.0%	-0.3%	-3.6%	-2.4%
B	ผนังหล่อในที่ (RC)		11.78	12.30	11.96	12.59	12.14	12.60
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		12.36	13.03	12.23	13.03	12.19	12.99
	ผลต่างแรง		0.58	0.73	0.27	0.44	0.05	0.39
	ผลต่างเทียบเป็น %		4.9%	5.9%	2.3%	3.5%	0.4%	3.1%
C'	ผนังหล่อในที่ (RC)	12.83						
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	11.93						
	ผลต่างแรง	-0.90						
	ผลต่างเทียบเป็น %	-7.0%						
C	ผนังหล่อในที่ (RC)		13.90	14.23	14.23	14.56	14.44	14.62
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		14.11	15.16	14.44	15.08	14.40	15.22
	ผลต่างแรง		0.21	0.93	0.21	0.52	-0.04	0.60
	ผลต่างเทียบเป็น %		1.5%	6.5%	1.5%	3.6%	-0.3%	4.1%
D	ผนังหล่อในที่ (RC)	14.94	15.04	15.76	15.35	16.31	15.77	16.22
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	13.29	14.47	16.49	15.22	16.82	15.24	16.68
	ผลต่างแรง	-1.65	-0.57	0.73	-0.13	0.51	-0.53	0.46
	ผลต่างเทียบเป็น %	-11.0%	-3.8%	4.6%	-0.8%	3.1%	-3.4%	2.8%



รูปที่ 4.47 ผลการถ่ายน้ำหนักผนังหล่อในที่กรณี 6 ห้อง($K_p=AE/L$)
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.48 ผลการถ่ายน้ำหนักผนังหล่อสำเร็จกรณี 6 ห้อง($K_p=AE/L$)
ที่มา: ผู้วิจัย

4.2.3.2 กรณีเสาเข็มมีค่าสติเฟนส $K_p=AE/2$

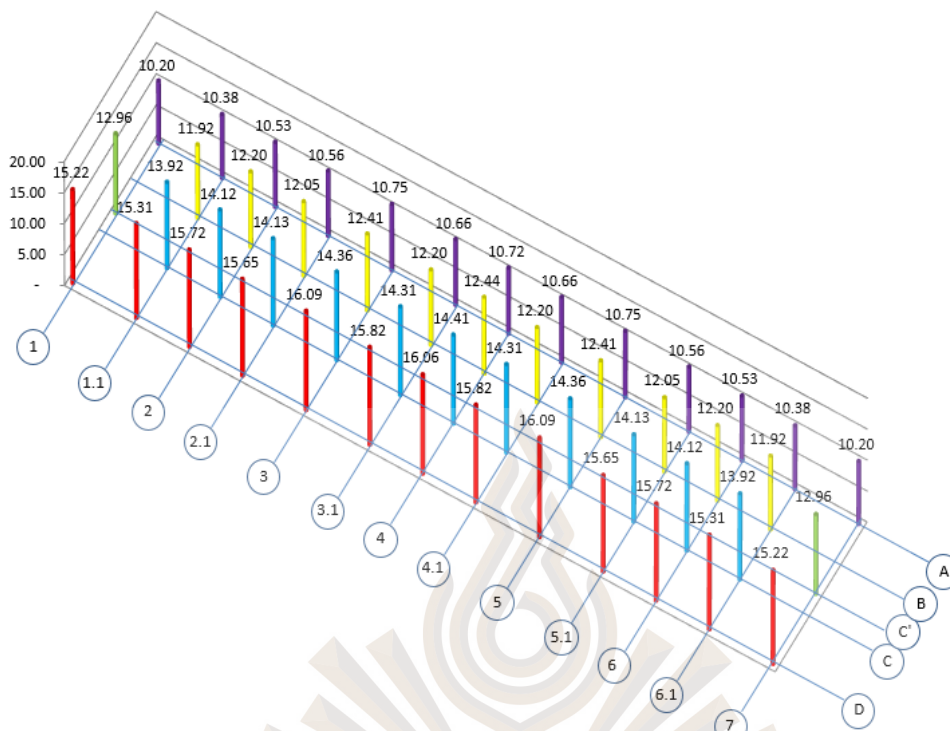
กรณีผนังแบบหล่อในที่มีการถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) จะใกล้เคียงกัน ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3,4,5) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

กรณีผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) ต้นริมนอกจะน้อยกว่าด้านในถัดไปเข้าหาศูนย์กลาง ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3,4,5,6,7) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

พฤติกรรมการถ่ายแรงของผนังตามยาว (Line A) การถ่ายแรงของผนังแบบหล่อในที่จะใกล้เคียงกันผนังหล่อสำเร็จต้นริมนอกจะน้อยกว่าต้นด้านในถัดเข้าไปหาศูนย์กลาง โดยต้นริมขอบของผนังหล่อสำเร็จจะถ่ายแรงต่ำกว่าผนังแบบหล่อในที่ 0.78 ต้น หรือ ต่ำกว่าร้อยละ 7.7 และต้นกลางจะต่ำกว่า 0.07 ต้น หรือต่ำกว่าร้อยละ 0.7 ตามตาราง 4.36

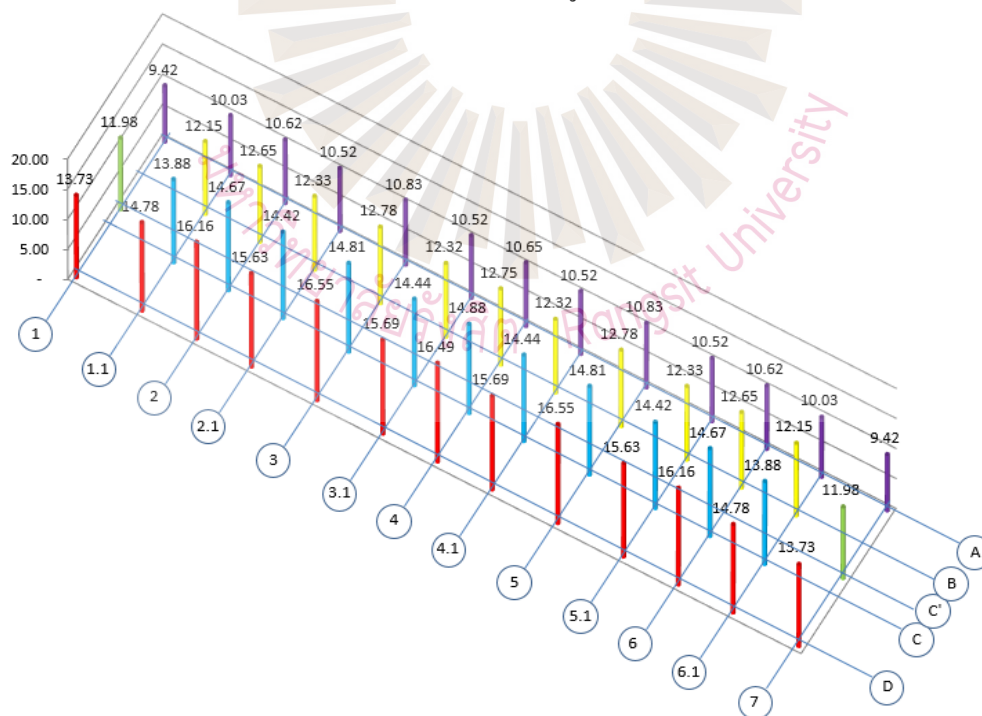
ตาราง 4.36 เปรียบเทียบจากผลการวิเคราะห์ 3 มิติ กรณี 6 ห้อง ($K_p=AE/2L$)

Grid Line Y	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม , ตัน	Grid Line X						
		1, 7	1.1, 6.1	2, 6	2.1, 5.1	3, 5	3.1, 4.1	4
A	ผนังหล่อในที่ (RC)	10.18	10.36	10.51	10.54	10.72	10.64	10.70
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	9.40	10.01	10.60	10.50	10.80	10.50	10.63
	ผลต่างแรง	-0.78	-0.35	0.09	-0.04	0.08	-0.14	-0.07
	ผลต่างเทียบเป็น %	-7.7%	-3.4%	0.9%	-0.4%	0.7%	-1.3%	-0.7%
B	ผนังหล่อในที่ (RC)		11.90	12.18	12.03	12.39	12.18	12.42
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		12.13	12.63	12.31	12.76	12.30	12.70
	ผลต่างแรง		0.23	0.45	0.28	0.37	0.12	0.28
	ผลต่างเทียบเป็น %		1.9%	3.7%	2.3%	3.0%	1.0%	2.3%
C'	ผนังหล่อในที่ (RC)	12.94						
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	11.96						
	ผลต่างแรง	-0.98						
	ผลต่างเทียบเป็น %	-7.6%						
C	ผนังหล่อในที่ (RC)		13.90	14.10	14.11	14.34	14.29	14.39
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		13.86	14.65	14.40	14.79	14.42	14.90
	ผลต่างแรง		-0.04	0.55	0.29	0.45	0.13	0.51
	ผลต่างเทียบเป็น %		-0.3%	3.9%	2.1%	3.1%	0.9%	3.5%
D	ผนังหล่อในที่ (RC)	15.20	15.28	15.70	15.63	16.07	15.80	16.04
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	13.71	14.76	16.14	15.61	16.53	15.67	16.50
	ผลต่างแรง	-1.49	-0.52	0.44	-0.02	0.46	-0.13	0.46
	ผลต่างเทียบเป็น %	-9.8%	-3.4%	2.8%	-0.1%	2.9%	-0.8%	2.9%



รูปที่ 4.49 ผลการถ่ายน้ำหนักผนังหล่อในที่กรณี 6 ห้อง($K_p=AE/2L$)

ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.50 ผลการถ่ายน้ำหนักผนังหล่อสำเร็จกรณี 6 ห้อง($K_p=AE/2L$)

ที่มา: ผู้วิจัย

4.2.3.3 กรณีเสาเข็มมีค่าสตีเฟนส์ $K_p=AE/5L$

จากผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มจากการวิเคราะห์โดยการจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติ ของทาวน์เฮ้าส์ 6 ห้อง ของผนังแบบหล่อในที่กับผนังแบบหล่อสำเร็จ โดยใช้ค่าสตีเฟนส์ของเข็มที่ $K_p=AE/5L$

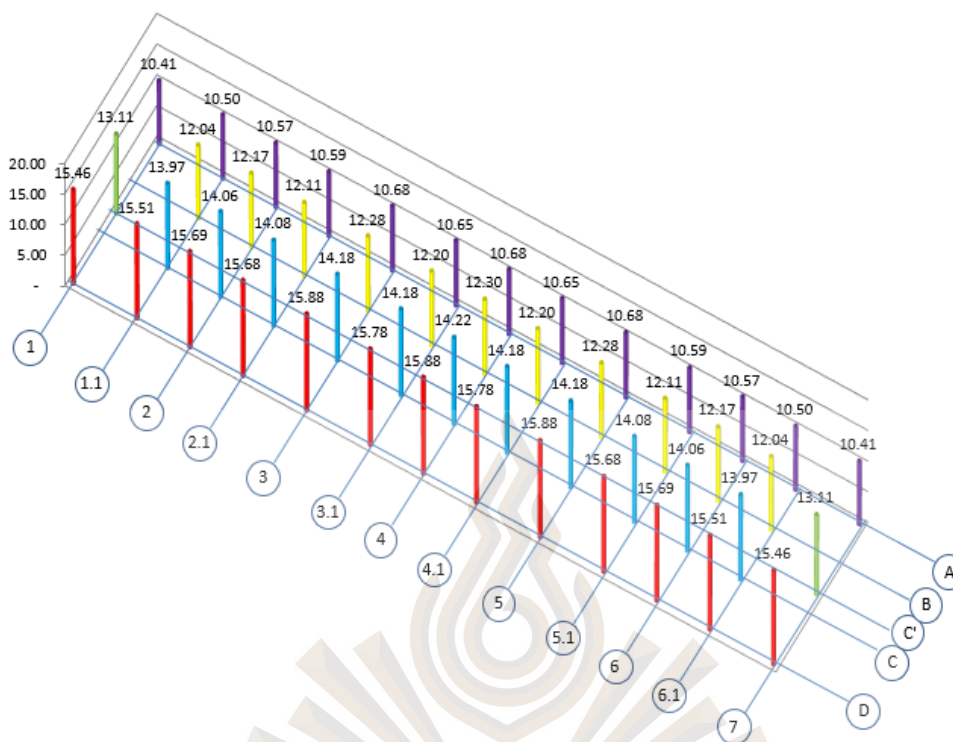
กรณีผนังแบบหล่อในที่การถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) จะใกล้เคียงกัน ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3,4,5) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

กรณีผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงลงเสาเข็มตามแนวยาวของอาคาร (Line A) ต้นริมนอกจะน้อยกว่าด้านในถัดไปเข้าหาศูนย์กลาง ส่วนด้านสั้น (Line 1,2,3,4,5,6,7) ลักษณะการถ่ายแรงจะมากทางด้านหน้าอาคาร สืบเนื่องจากการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มไม่อยู่ในแนวเดียวกับศูนย์กลางกลุ่มของมวลผนังอาคาร ทำให้เกิดโมเมนต์เยื้องศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางแรงต้านทานของเสาเข็ม

พฤติกรรมการถ่ายแรงของผนังตามยาว (Line A) การถ่ายแรงของผนังแบบหล่อในที่ จะใกล้เคียงกันผนังหล่อสำเร็จต้นริมนอกจะน้อยกว่าต้นด้านในถัดเข้าไปหาศูนย์กลาง โดยต้นริมขอบของผนังหล่อสำเร็จจะถ่ายแรงต่ำกว่าผนังแบบหล่อในที่ 0.69 ตัน หรือ ต่ำกว่าร้อยละ 6.6 และ ต้นกลางจะสูงกว่า 0.13 ตัน หรือสูงกว่าร้อยละ 1.2 ตามตาราง 4.37

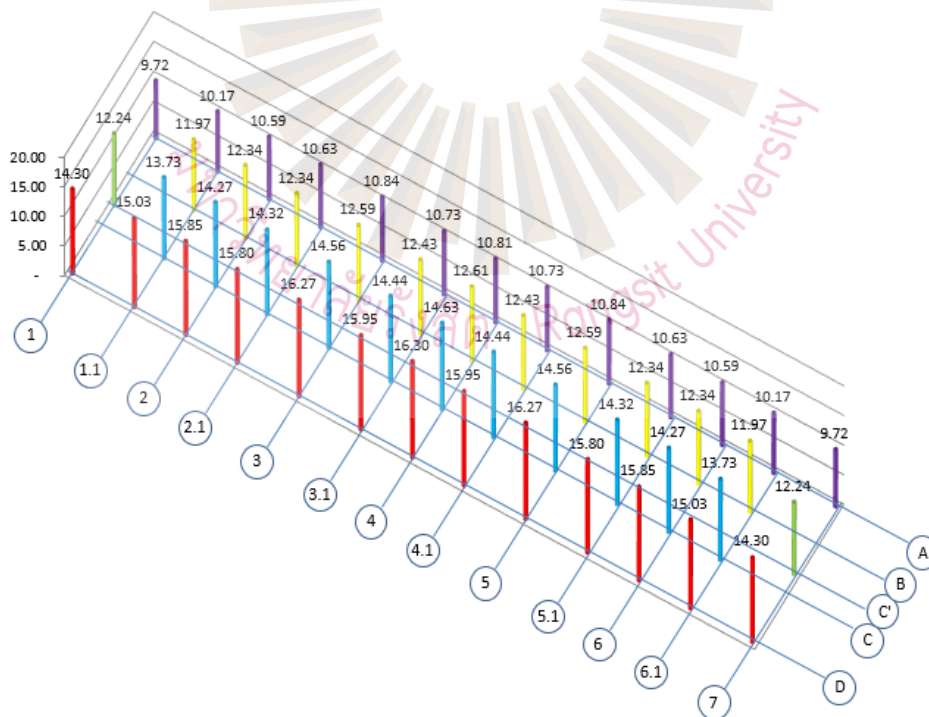
ตาราง 4.37 เปรียบเทียบจากผลการวิเคราะห์ 3 มิติ กรณี 6 ห้อง ($K_p=AE/5L$)

Grid Line Y	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม , ดัน	Grid Line X						
		1, 7	1.1, 6.1	2, 6	2.1, 5.1	3, 5	3.1, 4.1	4
A	ผนังหล่อในที่ (RC)	10.38	10.46	10.54	10.56	10.64	10.62	10.64
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	9.69	10.13	10.55	10.60	10.81	10.70	10.77
	ผลต่างแรง	-0.69	-0.33	0.01	0.04	0.17	0.08	0.13
	ผลต่างเทียบเป็น %	-6.6%	-3.2%	0.1%	0.4%	1.6%	0.8%	1.2%
B	ผนังหล่อในที่ (RC)		12.01	12.13	12.08	12.24	12.17	12.26
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		11.94	12.30	12.30	12.55	12.39	12.58
	ผลต่างแรง		-0.07	0.17	0.22	0.31	0.22	0.32
	ผลต่างเทียบเป็น %		-0.6%	1.4%	1.8%	2.5%	1.8%	2.6%
C'	ผนังหล่อในที่ (RC)	13.07						
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	12.21						
	ผลต่างแรง	-0.86						
	ผลต่างเทียบเป็น %	-6.6%						
C	ผนังหล่อในที่ (RC)		13.93	14.02	14.04	14.15	14.14	14.18
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)		13.70	14.24	14.25	14.53	14.41	14.60
	ผลต่างแรง		-0.23	0.22	0.21	0.38	0.27	0.42
	ผลต่างเทียบเป็น %		-1.7%	1.6%	1.5%	2.7%	1.9%	3.0%
D	ผนังหล่อในที่ (RC)	15.42	15.47	15.66	15.65	15.84	15.74	15.84
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	14.37	15.00	15.82	15.76	16.24	15.92	16.27
	ผลต่างแรง	-1.05	-0.47	0.16	0.11	0.40	0.18	0.43
	ผลต่างเทียบเป็น %	-6.8%	-3.0%	1.0%	0.7%	2.5%	1.1%	2.7%



รูปที่ 4.51 ผลการถ่ายน้ำหนักผนังหล่อในที่กรณี 6 ห้อง($K_p=AE/5L$)

ที่มา: ผู้วิจัย

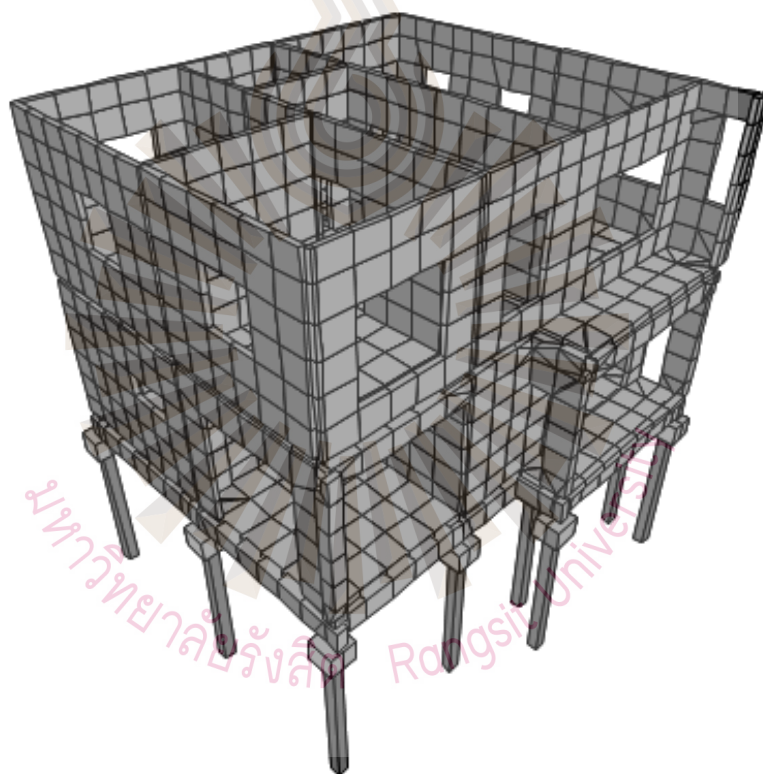


รูปที่ 4.52 ผลการถ่ายน้ำหนักผนังหล่อสำเร็จกรณี 6 ห้อง($K_p=AE/5L$)

ที่มา: ผู้วิจัย

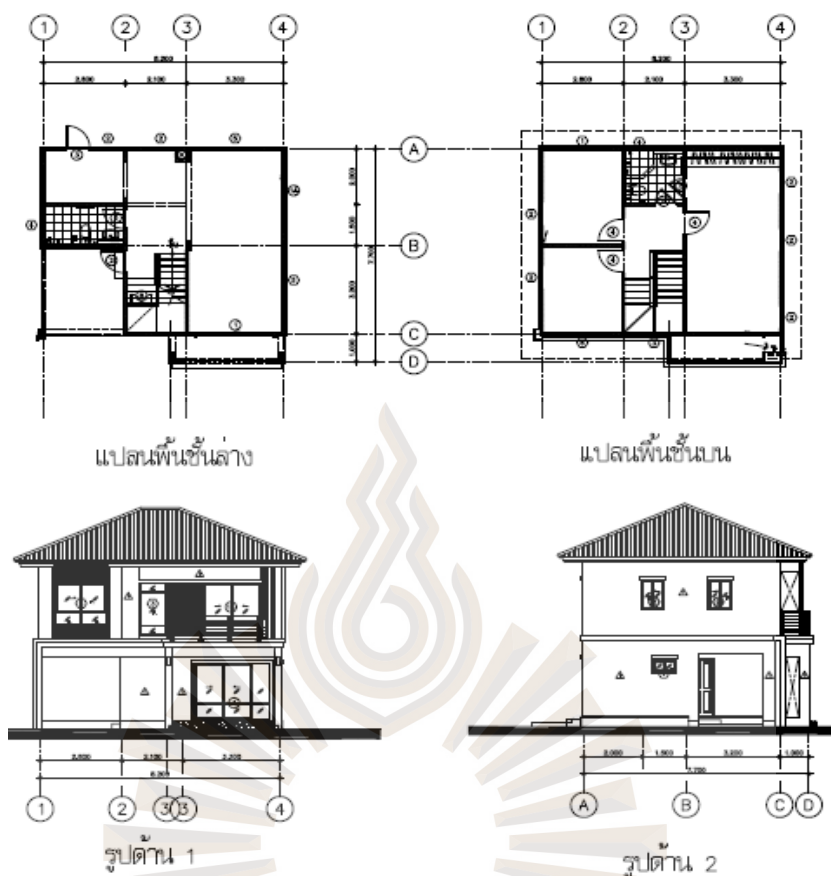
4.2.4 ผลการวิเคราะห์กรณีผนังหล่อในที่กับผนังหล่อสำเร็จของบ้านเดี่ยว

ผลการศึกษาการถ่ายแรงของบ้านเดี่ยวกรณี 3 มิติ แบบที่ใช้ในการศึกษาคือแบบที่ใช้ก่อสร้างจริงโดยการศึกษาได้วิเคราะห์ผลเทียบเคียงระหว่างผนังหล่อในที่แบบต่อเนื่องกับผนังหล่อสำเร็จที่พิจารณาแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กชั้น DB12 ที่ระยะการเลื่อนไถล 1 มม และ Cement Grout คัดแรงกดอัดอย่างเดียวไม่คิดแรงเฉือนเสียดทาน โดยอาคารจะวางอยู่บนฐานรากแบบเสาเข็มที่ค่าสติเฟนสของเสาเข็มต่างกัน 3 ระดับ รูปแบบการจำลองดังรูปที่ 4.53

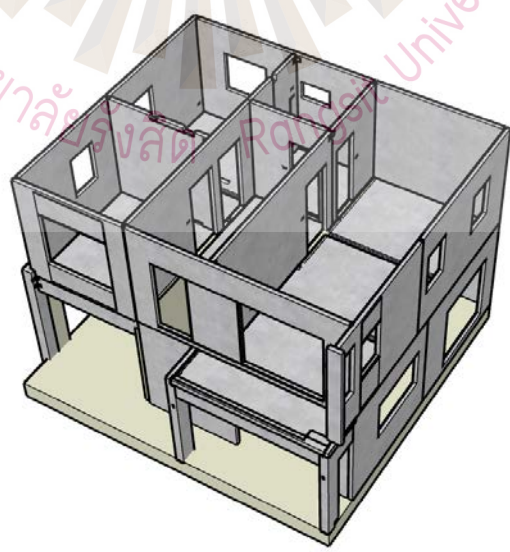


รูปที่ 4.53 รูปแสดงแบบจำลองแบบบ้านเดี่ยว 3 มิติ

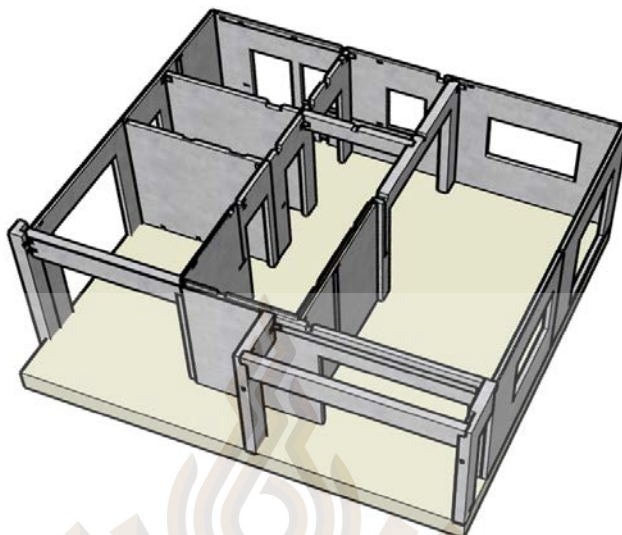
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.54 รูปแสดงแบบแปลนและรูปด้านบ้านเดี่ยว
 ที่มา : บมจ. พฤกษา โฮลดิ้ง, 2560

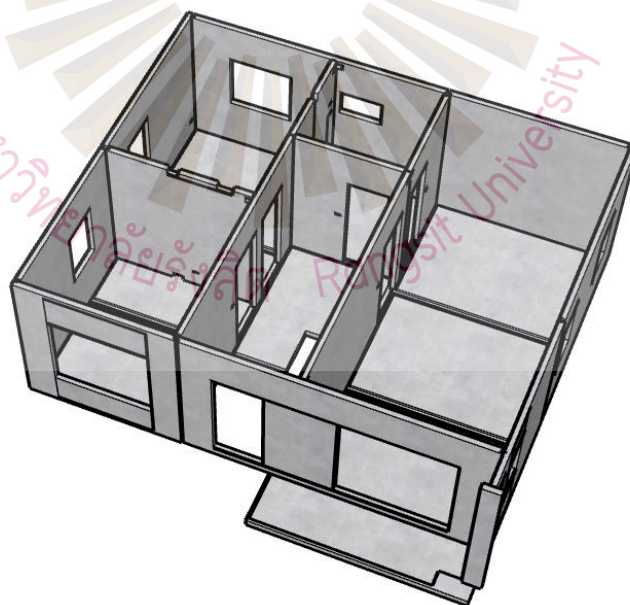


รูปที่ 4.55 รูปแสดงแบบผนังหล่อสำเร็จบ้านเดี่ยว
 ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.56 รูปแสดงแบบผนังหล่อสำเร็จชั้นล่าง

ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.57 รูปแสดงแบบผนังหล่อสำเร็จชั้นบน

ที่มา : ผู้วิจัย

4.2.4.1 กรณีที่เสาเข็มมีค่าสตีฟเนส $K_p=AE/L$

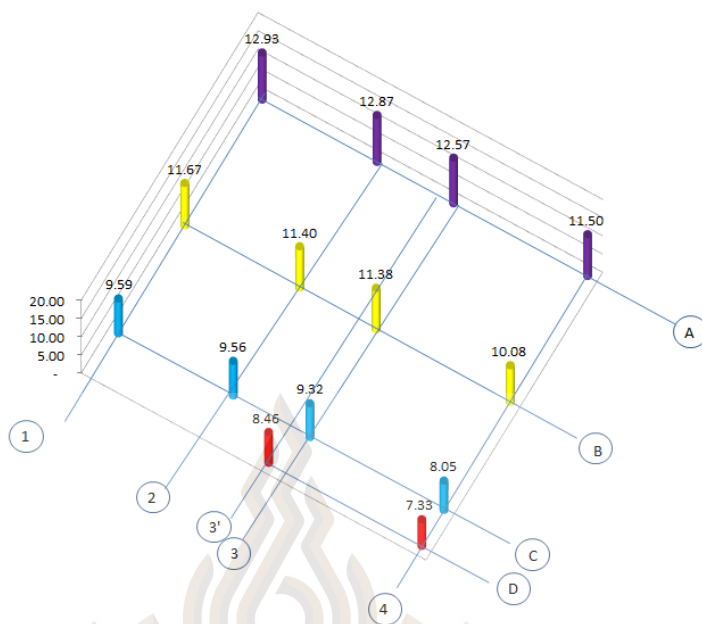
จากผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มจากการวิเคราะห์โดยการจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติ ของบ้านเดี่ยว ของผนังแบบหล่อในที่กับผนังแบบหล่อสำเร็จ โดยใช้ค่าสตีฟเนสของเข็มที่ $K_p=AE/L$

กรณีผนังแบบหล่อในที่การถ่ายแรงลงเสาเข็ม จะใกล้เคียงกัน ส่วนกรณีผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงลงเสาเข็ม ต้นริมขอบนอกจะต่ำกว่าด้านในถัดไปเข้าหาศูนย์กลาง

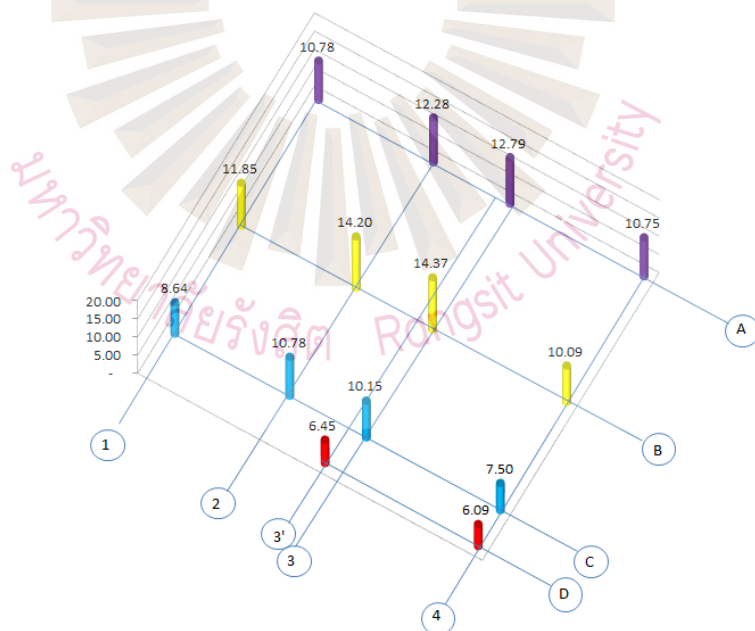
พฤติกรรมการถ่ายแรงในเสาเข็มของผนังแบบหล่อในที่จะใกล้เคียงกันเกือบทุกด้านของผนัง ส่วนผนังหล่อสำเร็จเสาเข็มต้นริมขอบนอกแรงในเสาเข็มจะต่ำกว่าเสาเข็มต้นด้านในช่วงกลุ่มศูนย์กลางของมวลอาคาร ผนังแบบหล่อในที่การกระจายแรงในเสาเข็มจะเฉลี่ยใกล้เคียงกันเนื่องจากผนังมีค่าสตีฟเนสที่สูงนั่นเอง ส่วนผนังแบบหล่อสำเร็จเสาเข็มต้นริมจะถ่ายแรงต่ำกว่าเสาเข็มต้นกลาง ที่มีพฤติกรรมถ่ายแรงแบบแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ ผนังมีสตีฟเนสน้อยกว่าหล่อในที่ทำให้ไม่สามารถการกระจายแรงเฉลี่ยให้เสาเข็มในกลุ่มใกล้เคียงได้ จากตาราง 4.38 เปรียบเทียบการถ่ายแรงของผนังหล่อสำเร็จพบว่าแรงที่ถ่ายในเสาเข็มช่วงกลางอาคารจะมีค่าสูงกว่าผนังหล่อในที่ประมาณร้อยละ 26 แต่ส่วนอื่นระบุเบี่ยงกับต่ำกว่าร้อยละ 23.8 และพิจารณาผลจากผนังรอบนอกและผนังภายในของผนังหล่อในที่ การถ่ายแรงในเสาเข็มเฉลี่ยใกล้เคียงกันเนื่องจากผนังมีความแข็งแรงมากกว่าผนังหล่อสำเร็จ จึงมีการถ่ายแรงให้เสาเข็มต้นข้างเคียงได้ ส่วนผนังแบบหล่อสำเร็จมีการถ่ายแรงในเสาเข็มต่ำกว่าผนังหล่อในที่ที่ขอบผนังและสูงกว่าในเสาเข็มช่วงกลางผนังและผนังภายในไม่ต่อเนื่องกันของผนังกันห้องและผนังชั้นบนทำให้แรงในเสาเข็มต่างกันมากกว่า

ตาราง 4.38 ผลการเปรียบเทียบแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มบ้านเดี่ยว ($K_p = AE/L$)

Grid Line Y	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม, ตัน	Grid Line X				
		1	2	3'	3	4
A	ผนังหล่อในที่ (RC)	12.93	12.87		12.57	11.50
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	10.78	12.28		12.79	10.75
	ผลต่างแรง	-2.15	-0.59		0.22	-0.75
	ผลต่างเทียบเป็น %	-16.6%	-4.6%		1.8%	-6.5%
B	ผนังหล่อในที่ (RC)	11.67	11.39		11.38	10.08
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	11.85	14.20		14.37	10.09
	ผลต่างแรง	0.18	2.81		2.99	0.01
	ผลต่างเทียบเป็น %	1.5%	24.7%		26.3%	0.1%
C	ผนังหล่อในที่ (RC)	9.58	9.56		9.32	8.05
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	8.64	10.78		10.15	7.50
	ผลต่างแรง	-0.94	1.22		0.83	-0.55
	ผลต่างเทียบเป็น %	-9.8%	12.8%		8.9%	-6.8%
D	ผนังหล่อในที่ (RC)			8.46		7.33
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)			6.45		6.09
	ผลต่างแรง			-2.01		-1.24
	ผลต่างเทียบเป็น %			-23.8%		-16.9%



รูปที่ 4.58 การถ่ายน้ำหนักลงบนเสาเข็มกรณีผนังหล่อในที่ ($K_p=AE/L$)
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.59 การถ่ายน้ำหนักลงบนเสาเข็มกรณีผนังหล่อสำเร็จ ($K_p=AE/L$)
ที่มา : ผู้วิจัย

4.2.4.2 กรณีที่เสาเข็มมีค่าสติฟเนส $K_p=AE/2L$

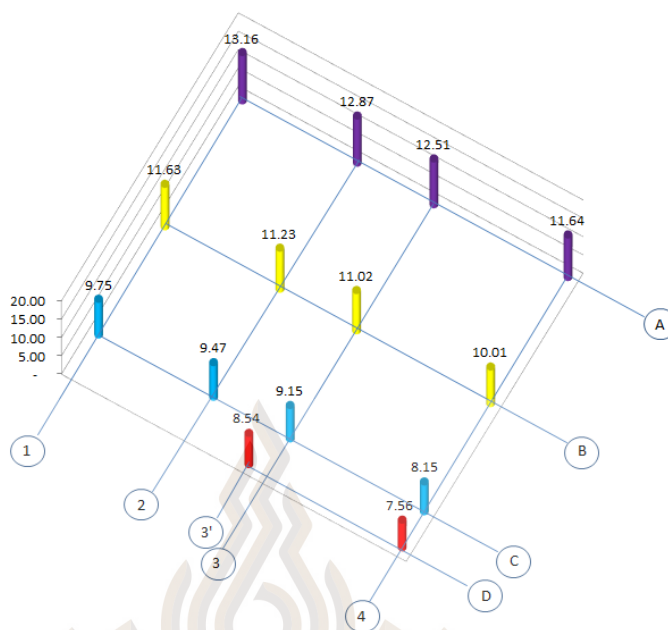
จากผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มจากการวิเคราะห์โดยการจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติ ของบ้านเดี่ยว ของผนังแบบหล่อในที่กับผนังแบบหล่อสำเร็จ โดยใช้ค่าสติฟเนสของเข็มที่ $K_p=AE/2L$

กรณีผนังแบบหล่อในที่การถ่ายแรงลงเสาเข็ม จะใกล้เคียงกัน ส่วนกรณีผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงลงเสาเข็ม ต้นริมขอบนอกจะต่ำกว่าด้านในถัดไปเข้าหาศูนย์กลาง

พฤติกรรมการถ่ายแรงในเสาเข็มของผนังแบบหล่อในที่จะใกล้เคียงกันเกือบทุกด้านของผนัง ส่วนผนังหล่อสำเร็จเสาเข็มต้นริมขอบนอกแรงในเสาเข็มจะต่ำกว่าเสาเข็มต้นด้านในช่วงกลุ่มศูนย์กลางของมวลอาคาร ผนังแบบหล่อในที่การกระจายแรงในเสาเข็มจะเฉลี่ยใกล้เคียงกันเนื่องจากผนังมีค่าสติฟเนสที่สูงนั่นเอง ส่วนผนังแบบหล่อสำเร็จเสาเข็มต้นริมจะถ่ายแรงต่ำกว่าเสาเข็มต้นกลาง ที่มีพฤติกรรมถ่ายแรงแบบแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ ผนังมีสติฟเนสน้อยกว่าหล่อในที่ทำให้ไม่สามารถการกระจายแรงเฉลี่ยให้เสาเข็มในกลุ่มใกล้เคียงได้ จากตาราง 4.39 เปรียบเทียบการถ่ายแรงของผนังหล่อสำเร็จเมื่อค่าสติฟเนสของเสาเข็มมีค่าลดลง 2 เท่าพบว่าแรงที่ถ่ายในเสาเข็มช่วงกลางอาคารยังมีค่าสูงกว่าผนังหล่อในที่ประมาณร้อยละ 18.8 แต่ส่วนยื่นระเบียงยังต่ำกว่าร้อยละ 13.2 ซึ่งมีผลลดลงและพิจารณาผลจากผนังรอบนอกและผนังภายในของผนังหล่อในที่การถ่ายแรงในเสาเข็มเฉลี่ยยังใกล้เคียงกันเนื่องจากผนังมีความแข็งแรงมากกว่าผนังหล่อสำเร็จ จึงมีการถ่ายแรงให้เสาเข็มต้นข้างเคียงได้ ส่วนผนังแบบหล่อสำเร็จมีการถ่ายแรงในเสาเข็มต่ำกว่าผนังหล่อในที่ที่ขอบผนังและสูงกว่าในเสาเข็มช่วงกลางผนังและผนังภายในไม่ต่อเนื่องกันของผนังกันห้องและผนังชั้นบนทำให้แรงในเสาเข็มต่างกันมากกว่าแต่มีแนวโน้มจะสม่ำเสมอมากขึ้นจากการลดค่าสติฟเนสของเสาเข็มต่ำลง

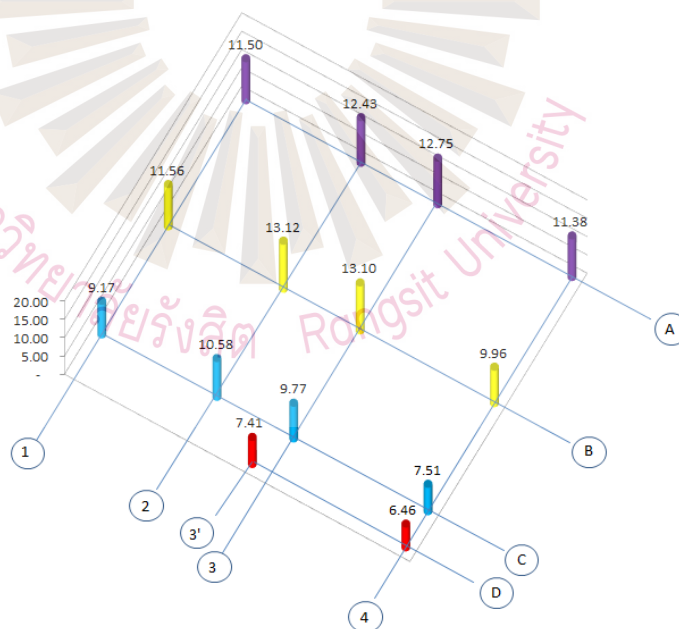
ตาราง 4.39 ผลการเปรียบเทียบแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มบ้านเดี่ยว ($K_p = AE/2L$)

Grid Line Y	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม, ตัน	Grid Line X				
		1	2	3'	3	4
A	ผนังหล่อในที่ (RC)	13.16	12.87		12.51	11.64
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	11.50	12.43		12.75	11.38
	ผลต่างแรง	-1.66	-0.44		0.24	-0.26
	ผลต่างเทียบเป็น %	-12.6%	-3.4%		1.9%	-2.2%
B	ผนังหล่อในที่ (RC)	11.63	11.23		11.02	11.01
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	11.56	13.12		13.10	9.96
	ผลต่างแรง	-0.07	1.89		2.08	-1.05
	ผลต่างเทียบเป็น %	-0.6%	16.8%		18.9%	-9.5%
C	ผนังหล่อในที่ (RC)	9.75	9.47		9.15	8.15
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	9.17	10.58		9.77	7.51
	ผลต่างแรง	-0.58	1.11		0.62	-0.64
	ผลต่างเทียบเป็น %	-5.9%	11.7%		6.8%	-7.9%
D	ผนังหล่อในที่ (RC)			8.54		7.56
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)			7.41		6.46
	ผลต่างแรง			-1.13		-1.10
	ผลต่างเทียบเป็น %			-13.2%		-14.6%



รูปที่ 4.60 การถ่ายน้ำหนักลงบนเสาเข็มกรณีผนังหล่อในที่ ($K_p=AE/2L$)

ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.61 การถ่ายน้ำหนักลงบนเสาเข็มกรณีผนังหล่อสำเร็จ ($K_p=AE/2L$)

ที่มา : ผู้วิจัย

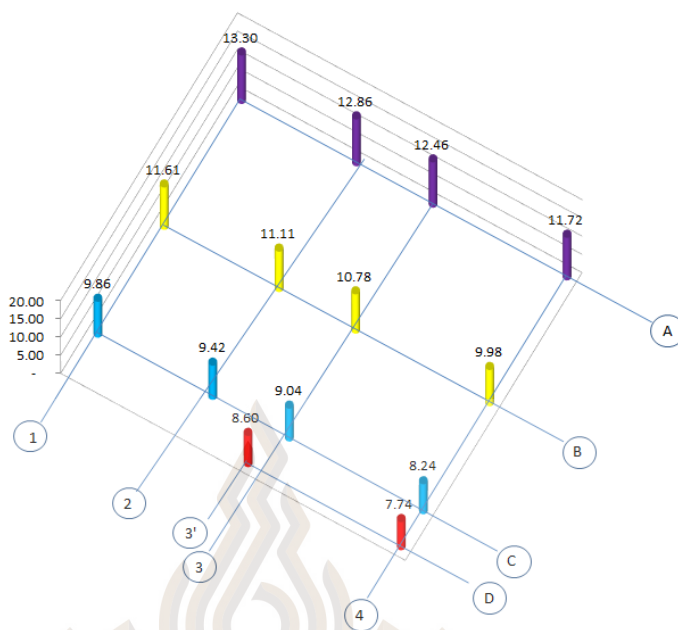
4.2.4.3 กรณีที่เสาเข็มมีค่าสติเฟเนส $K_p=AE/5L$

จากผลการถ่ายแรงลงเสาเข็มจากการวิเคราะห์โดยการจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติ ของบ้านเดี่ยว ของผนังแบบหล่อในที่กับผนังแบบหล่อสำเร็จ โดยใช้ค่าสติเฟเนสของเข็มที่ $K_p=AE/5L$

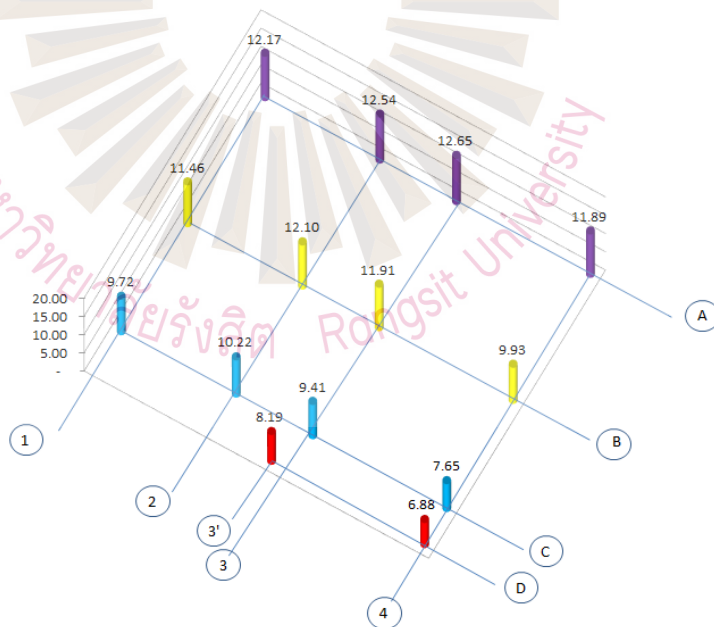
พฤติกรรมการถ่ายแรงในเสาเข็มของผนังแบบหล่อในที่จะใกล้เคียงกันเกือบทุกด้านของผนัง ส่วนผนังหล่อสำเร็จเสาเข็มต้นริมขอบนอกแรงในเสาเข็มจะต่ำกว่าเสาเข็มต้นด้านในช่วงกลุ่มศูนย์กลางของมวลอาคาร ผนังแบบหล่อในที่การกระจายแรงในเสาเข็มจะเฉลี่ยใกล้เคียงกันเนื่องจากผนังมีค่าสติเฟเนสที่สูงนั่นเอง ส่วนผนังแบบหล่อสำเร็จเสาเข็มต้นริมจะถ่ายแรงต่ำกว่าเสาเข็มต้นกลาง ที่มีพฤติกรรมถ่ายแรงแบบแบ่งพื้นที่รับผิชอบ ผนังมีสติเฟเนสน้อยกว่าหล่อในที่ทำให้ไม่สามารถการกระจายแรงเฉลี่ยให้เสาเข็มในกลุ่มใกล้เคียงได้ จากตาราง 4.40 เปรียบเทียบการถ่ายแรงของผนังหล่อสำเร็จเมื่อค่าสติเฟเนสของเสาเข็มมีค่าลดลง 5 เท่าพบว่าแรงที่ถ่ายในเสาเข็มช่วงกลางอาคารยังมีค่าสูงกว่าผนังหล่อในที่อยู่ประมาณร้อยละ 10.5 แต่ส่วนยื่นระเบียงยังต่ำกว่าร้อยละ 4.8 ซึ่งมีผลลดลงและพิจารณาผลจากผนังรอบนอกและผนังภายในของผนังหล่อในที่ การถ่ายแรงในเสาเข็มเฉลี่ยยังใกล้เคียงกันเนื่องจากผนังมีความแข็งแรงมากกว่าผนังหล่อสำเร็จ จึงมีการถ่ายแรงให้เสาเข็มต้นข้างเคียงได้ ส่วนผนังแบบหล่อสำเร็จมีการถ่ายแรงในเสาเข็มต่ำกว่าผนังหล่อในที่ที่ขอบผนังและสูงกว่าในเสาเข็มช่วงกลางผนังและผนังภายในไม่ต่อเนื่องกันของผนังกันห้องและผนังชั้นบนทำให้แรงในเสาเข็มต่างกันและมีแนวโน้มการกระจายแรงในเสาเข็มจะสม่ำเสมอมากขึ้นทั้งสองกรณี จากการลดค่าสติเฟเนสของเสาเข็มต่ำลงอีก

ตาราง 4.40 ผลการเปรียบเทียบแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มบ้านเดี่ยว ($K_p = AE/5L$)

Grid Line Y	แรงที่ถ่ายลงเสาเข็ม, ตัน	Grid Line X				
		1	2	3'	3	4
A	ผนังหล่อในที่ (RC)	13.30	12.86		12.46	11.72
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	12.17	12.54		12.65	11.89
	ผลต่างแรง	-1.13	-0.31		0.19	0.17
	ผลต่างเทียบเป็น %	-8.5%	-2.4%		1.5%	1.4%
B	ผนังหล่อในที่ (RC)	11.61	11.11		10.78	9.98
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	11.46	12.10		11.91	9.93
	ผลต่างแรง	-0.15	0.99		1.13	-0.05
	ผลต่างเทียบเป็น %	-1.3%	8.9%		10.5%	-0.5%
C	ผนังหล่อในที่ (RC)	9.86	9.42		9.04	8.24
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)	9.72	10.22		9.41	7.65
	ผลต่างแรง	-0.14	0.80		0.37	-0.59
	ผลต่างเทียบเป็น %	-1.5%	8.5%		4.1%	-7.2%
D	ผนังหล่อในที่ (RC)			8.60		7.74
	ผนังหล่อสำเร็จ (PC)			8.19		6.88
	ผลต่างแรง			-0.41		-0.86
	ผลต่างเทียบเป็น %			-4.8%		-11.1%



รูปที่ 4.62 การถ่ายน้ำหนักลงเสาเข็มกรณีผนังหล่อในที่ ($K_p=AE/5L$)
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.63 การถ่ายน้ำหนักลงเสาเข็มกรณีผนังหล่อสำเร็จ ($K_p=AE/5L$)
ที่มา : ผู้วิจัย

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยศึกษาเรื่องพฤติกรรมการถ่ายแรงบนเสาเข็มบ้านแบบผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ เพื่อศึกษาว่าโครงสร้างที่ไม่มีความต่อเนื่องและมีรอยต่อจำนวนมากเชื่อมต่อเป็นโครงสร้างผนังรับน้ำหนักแทนผนังแบบหล่อในที่นั้น พฤติกรรมการถ่ายแรงบนเสาเข็มเป็นอย่างไร ผลของรอยต่อส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของโครงสร้างหรือไม่ รวมถึงศึกษาผลจากพฤติกรรมของโครงสร้างผนังตามทฤษฎีคานบนฐานรากแบบยึดหยุ่น โดยใช้แบบจำลองโครงสร้างแบบ 2 มิติของโครงสร้างผนังริม (Line 1 และ 7), ผนังกลาง (Line 2-6) และผนังด้านหลัง (Line A) ในการเปรียบเทียบระหว่างผนังหล่อสำเร็จกับผนังหล่อในที่และได้จำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติของบ้านแบบทาวน์เฮาส์และบ้านเดี่ยว โดยได้ผลสรุปดังนี้

5.1 พฤติกรรมการถ่ายแรงลงเสาเข็มโดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ

5.1.1 ผลการศึกษาตามทฤษฎีคานบนฐานแบบยึดหยุ่นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะบ่งชี้คุณลักษณะของโครงสร้างกรณีผนังริม และ ผนังกลาง ที่เป็นผนังสั้นจะมีพฤติกรรมโครงสร้างแบบแข็งเกร็ง (Rigid Behavior) และผนังด้านหลังที่เป็นผนังที่ค่อนข้างยาวจะมีพฤติกรรมโครงสร้างแบบยึดหยุ่น (Flexible Behavior)

5.1.2 ผลการศึกษาการแรงในเสาเข็มกรณีผนังหล่อในที่เทียบกับกรณี โครงสร้างผนังที่มีความแข็งเกร็งแบบสมบูรณ์ (Rigid Member) พบว่าผนังริมและผนังกลางที่เป็นผนังสั้น ผลการถ่ายแรงในเสาเข็มของผนังหล่อในที่จะใกล้เคียงกับ โครงสร้างผนังที่มีความแข็งเกร็งแบบสมบูรณ์ แสดงว่าผนังสั้นมีความแข็งเกร็งสูง ส่วนผนังด้านหลังที่เป็นผนังค่อนข้างยาวจะมีผลของการถ่ายแรงในเสาเข็มแตกต่างกันคือการถ่ายแรงในเสาเข็มจะต่ำที่ขอบนอกของผนังและช่วงกลางผนัง มีขนาดสูงกว่ากรณีผนังที่มีความแข็งเกร็งแบบสมบูรณ์ โดยเสาเข็มช่วงริมขอบของผนังจะต่ำกว่าประมาณ 19 % และเสาเข็มช่วงกลางผนังจะสูงกว่าประมาณ 9 % เนื่องจากผนังด้านหลังหล่อในที่ที่ค่อนข้างยาวและผนังมีพฤติกรรม โครงสร้างแบบยึดหยุ่น(Flexible Behavior) ดังนั้นจะเห็นว่าค่าเสถียรภาพ ของโครงสร้างผนังมีผลต่อการถ่ายแรงในเสาเข็ม

5.1.3 ผลการศึกษาผลกระทบของแรงในจุดเชื่อมต่อ ต่อแรงที่กระจายในเสาเข็มกรณี รอยต่อผนังหล่อสำเร็จเทียบกับผนังหล่อในที่โดยมีเงื่อนไขของจุดเชื่อมต่อในแต่ละกรณีดังนี้

5.1.3.1 กรณีที่รอยต่อมีแรงเสียดทานของ Cement Grout จากน้ำหนักกดทับของโครงสร้างร่วมกับแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 ผนังหล่อสำเร็จจะมีสติฟเนสต่ำกว่าผนังหล่อในที่เล็กน้อย โดยการถ่ายแรงในเสาเข็มมีความแตกต่างกันไม่เกิน 0.88 %, 0.64 % และ 4.29 % สำหรับผนังริม, ผนังกลางและผนังด้านหลังตามลำดับ

5.1.3.2 กรณีรอยต่อมีแรงเฉือนเสียดทานของ Cement Grout จากน้ำหนักกดทับของโครงสร้างเพียงอย่างเดียว แรงถ่ายแรงในเสาเข็มของผนังหล่อสำเร็จเทียบกับผนังหล่อในที่ มีความแตกต่างกัน 1.29 %, 1.09 % และ 5.58 % สำหรับผนังริม, ผนังกลางและผนังด้านหลังตามลำดับ ผลการถ่ายแรงในเสาเข็มไม่แตกต่างจากกรณีที่มีทั้งแรงเสียดทานจากน้ำหนักกดทับของโครงสร้างและแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 ร่วมกันมากนัก แสดงว่าผลของแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 มีผลกระทบต่อค่าสติฟเนสของผนังเพียงเล็กน้อย

5.1.3.3 กรณีที่รอยต่อผนังคิดเฉพาะแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 เท่านั้น ผลการถ่ายแรงในเสาเข็มจะมีความแตกต่างกันไม่เกิน 6.32 %, 3.07 % และ 11.6 % สำหรับผนังริม, ผนังกลางและผนังด้านหลังตามลำดับ ซึ่งผลจะแตกต่างกันมากกว่าทั้ง 2 กรณีข้างต้น แสดงว่าผลของแรงเสียดทานจากน้ำหนักกดทับของโครงสร้างมีผลต่อค่าสติฟเนสของผนังอย่างมาก อย่างไรก็ตามรอยต่อกรณีนี้จะเป็นกรณีที่ใช้ควบคุมในการออกแบบ เนื่องจากเป็นกรณีที่แนะนำโดย ACI 318-11 ภายใต้อำนาจข้อ 16.5 Structural Integrity ว่าไม่ควรออกแบบให้กำลังรับแรงเฉือนของรอยต่อขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานจากน้ำหนักที่กดลงบนรอยต่อ ซึ่งอาจจะมีการสูญเสียไปในกรณีที่รอยต่อเกิดการแตกร้าวไม่สามารถรับกำลังได้หรือมีการวิบัติของชิ้นส่วนโครงสร้างบางชิ้น และอาจนำไปสู่การพังทลายแบบต่อเนื่อง (Progressive Failure)

5.1.4 ผลการศึกษาการถ่ายแรงในเสาเข็ม กรณีที่ผนังหล่อสำเร็จไม่มีแรงเสียดทานจากน้ำหนักกดทับของโครงสร้างและแรงเฉือนเสียดทานจากเหล็กยื่น DB12 เลย ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อของผนังไม่สมบูรณ์ที่สุดและผนังมีค่าสติฟเนสต่ำสุดที่เป็นไปได้ ค่าสติฟเนสของผนังจะลดลงทำให้แรงที่ถ่ายในเสาเข็มของผนังหล่อสำเร็จมีความแตกต่างกับผนังหล่อในที่ค่อนข้างมาก โดยแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มของผนังริม ผนังกลางและผนังด้านหลัง ที่ขอบผนังหล่อสำเร็จแรงในเสาเข็มจะต่ำกว่าผนังหล่อในที่ในขณะที่แรงในเสาเข็มช่วงกลางจะสูงกว่าผนังหล่อในที่ แรงในเสาเข็มขอบหน้าผนังหล่อสำเร็จมีค่าต่ำกว่าผนังหล่อในที่ของผนังริม ผนังกลางและผนังหลังมีความแตกต่างกันประมาณ 8.38 %, 4.10 % และ 17.76% ตามลำดับ แรงในเสาเข็มช่วงกลางจะสูงกว่า 17.8%, 5.26% และ 10.97% ตามลำดับ ส่วนขอบผนังหลังมีค่าแรงในเสาเข็มแตกต่างกัน โดยต่ำกว่าประมาณ

10.67%, 5.55 % และ 11.89% ตามลำดับ ดังนั้นการเชื่อมต่อของผนังจึงมีผลต่อค่าสตีเฟนของผนังอย่างมาก

5.1.5 ค่าสตีเฟนของเสาเข็มมีผลกระทบโดยตรงต่อการถ่ายแรงในเสาเข็มในกรณีทีค่าสตีเฟนของเสาเข็มมีค่าต่ำลงจาก 5,000, 2,500 และ 1,000 t/m ความแตกต่างระหว่างผนังหล่อสำเร็จเทียบกับผนังหล่อในที่จะสูงสุดในกรณีที่เสาเข็มมีค่าสตีเฟน 5,000 t/m โดยผนังริมมีผลแตกต่างกันโดยผนังหล่อสำเร็จต่ำกว่าประมาณไม่เกิน 3.76 % ที่ขอบและสูงกว่าประมาณ 6.31 % ที่ช่วงกลาง ผนังกลางมีค่าต่ำกว่าที่ขอบผนังประมาณ 3.12 % และสูงกว่าประมาณ 2.72 % ที่ช่วงกลางผนัง สำหรับผนังด้านหลัง การถ่ายแรงในเสาเข็มต้นที่ขอบจะมีค่าต่ำกว่าไม่เกิน 10.93 % และช่วงกลางจะสูงกว่า 4.26 % ในกรณีที่เสาเข็มมีค่าสตีเฟน 1,000 t/m ผลแตกต่างสำหรับผนังริมจะต่ำกว่าประมาณไม่เกิน 0.95 % ที่ขอบและสูงกว่าประมาณ 1.72 % ที่ช่วงกลาง ผนังกลางมีค่าต่ำกว่าที่ขอบผนังประมาณ 0.55 % และสูงกว่าประมาณ 0.67 % ที่ช่วงกลางผนัง สำหรับผนังด้านหลัง การถ่ายแรงในเสาเข็มต้นที่ขอบจะมีค่าต่ำกว่าไม่เกิน 11.19 % และช่วงกลางจะสูงกว่า 4.83 % จะเห็นว่าการถ่ายแรงในเสาเข็มค่อนข้างแตกต่างกันกรณีผนังด้านหลังที่เป็นผนังค่อนข้างยาวและมีแนวโน้มแรงในเสาเข็มจะสม่ำเสมอขึ้นเมื่อค่าสตีเฟนของเสาเข็มต่ำลง

5.1.6 ผลของช่องเปิดในผนังไม่ทำให้สตีเฟนของผนังเปลี่ยนแปลงมากนักทั้งกรณีผนังหล่อในที่และกรณีผนังหล่อสำเร็จ เพียงแต่ผลของช่องเปิดทำให้น้ำหนักโครงสร้างผนังลดลง

5.1.7 การคำนวณหาแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มของผนังหล่อสำเร็จในทางปฏิบัติ อาจวิเคราะห์โดยจำลองให้โครงสร้างเป็นผนังต่อเนื่องแต่ปรับลดค่าสตีเฟนของผนังลงด้วยค่าที่เหมาะสม ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับค่าสตีเฟนของเสาเข็มด้วย จากการศึกษาพบว่าค่าสตีเฟนของผนังหล่อในที่ที่มีค่าสูงกว่าของผนังหล่อสำเร็จ ในกรณีที่เสาเข็มมีค่าสตีเฟนเท่ากับ 5,000 , 2,500 และ 1,000 t/m ค่าสตีเฟนของผนังหล่อในที่พบว่ามีค่าสูงกว่าของผนังหล่อสำเร็จ 3.5, 4.16 และ 5.23 เท่า ตามลำดับ

5.2 พฤติกรรมการถ่ายแรงลงเสาเข็มโดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ

5.2.1 ผลการถ่ายแรงในเสาเข็มของบ้านแบบทาวน์เฮ้าส์

ผลการถ่ายแรงในเสาเข็มของโครงสร้างผนังหล่อในที่เทียบกับผนังแบบหล่อสำเร็จโดยจำลองเสาเข็มให้มีค่าสตีเฟน 5,000 , 2,500 และ 1,000 t/m และได้การแบ่งวิเคราะห์ที่เป็นแบบ 2,4 และ 6 ห้อง ได้ผลสรุปแรงในเสาเข็มที่ต่างกันในแต่ละแบบจำลองดังนี้

5.2.1.1 กรณีทาวน์เฮ้าส์แบบ 2 ห้อง ผลการถ่ายแรงในเสาเข็มของผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงในเสาเข็มต้นที่ขอบผนังจะต่ำกว่าผนังแบบหล่อในที่ประมาณไม่เกิน 9.2 % และจะลดต่ำลงเป็น 6.6% และ 3.6% ส่วนเสาเข็มต้นช่วงกลางจะสูงกว่าไม่เกิน 10 % และจะลดลงเป็น 8.9% และ 3.7 % ตามลำดับตามค่าที่ลดลงของสติฟเนสเสาเข็ม

5.2.1.2 กรณีทาวน์เฮ้าส์แบบ 4 ห้อง ผลการถ่ายแรงในเสาเข็มของผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงในเสาเข็มต้นที่ขอบผนังจะต่ำกว่าผนังแบบหล่อในที่ประมาณ 11.1 %, 9.5% และ 6.7% ส่วนเสาเข็มต้นช่วงกลางจะสูงกว่า 6.7 % , 4.6% และ 2.5 % ตามลำดับ

5.2.1.3 กรณีทาวน์เฮ้าส์แบบ 6 ห้อง ผลการถ่ายแรงในเสาเข็มของผนังแบบหล่อสำเร็จการถ่ายแรงในเสาเข็มต้นที่ขอบผนังจะต่ำกว่าผนังแบบหล่อในที่ประมาณ 11.1 %, 9.8% และ 7.5% ส่วนเสาเข็มต้นช่วงกลางจะสูงกว่า 6.5 % , 3.9% และ 1.5 % ตามลำดับ

จะเห็นว่าผนังด้านริม, ผนังกลาง และผนังด้านหลังกรณี 2 และ 4 ห้อง ผนังค่อนข้างสั้น การถ่ายแรงในเสาเข็มค่อนข้างใกล้เคียงกันกรณีผนังสั้น เนื่องจากผนังมีความแข็งแรงสูง ต่างจากผนังด้านหลังที่ค่อนข้างยาวเมื่อวิเคราะห์แบบ 6 ห้อง แรงในเสาเข็มจึงแตกต่างกันค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าผลการถ่ายแรงในเสาเข็มจะค่อนข้างสม่ำเสมอขึ้นเมื่อค่าสติฟเนสเสาเข็มต่ำลง

5.2.2 ผลการถ่ายแรงในเสาเข็มของบ้านบ้านเดี่ยว

ผลการถ่ายแรงในเสาเข็มของผนังหล่อในที่เทียบกับผนังแบบหล่อสำเร็จของบ้านเดี่ยวจะเห็นว่าผนังรอบนอกจะมีความต่อเนื่องกัน การถ่ายแรงในเสาเข็มจะใกล้เคียงกัน ยกเว้นผนังภายในบางตำแหน่งที่ผนังไม่ต่อเนื่องกันทำให้มีน้ำหนักถ่ายลงเสาเข็มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากบางตำแหน่งการถ่ายแรงจะแตกต่างกันค่อนข้างสูง ผนังหล่อในที่ที่มีสติฟเนสสูงจะมีการส่งถ่ายแรงให้เสาเข็มต้นข้างเคียงได้ดีกว่าโครงสร้างผนังแบบหล่อสำเร็จ จากแบบที่ใช้ศึกษาห้องชั้นล่างมีพื้นที่โล่ง ผนังหล่อในที่ที่สามารถส่งถ่ายแรงให้ผนังข้างเคียงกันได้ กรณีผนังหล่อสำเร็จมีสติฟเนสต่ำกว่าการส่งถ่ายแรงได้ไม่เท่าผนังหล่อในที่และผนังแต่ละด้านไม่ต่อเนื่องกันในบางตำแหน่ง โดยผนังหล่อสำเร็จมีการถ่ายแรงในเสาเข็มสูงกว่าผนังหล่อในที่ 26.3 % ที่เสาต้นกลางเนื่องจากโครงสร้างชั้นล่างโล่ง ผนังชั้นบนต้องถ่ายแรงผ่านคานจึงมีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมาก ส่วนระเบียงหน้าอาคารผนังหล่อสำเร็จจะต่ำกว่าผนังหล่อในที่ประมาณ 23.8 % ในกรณีที่ค่าสติฟเนสเสาเข็มลดลงเป็น 2,500 t/m และ 1,000 t/m การถ่ายแรงในเสาเข็มกลางอาคารมีแนวโน้มจะลดลงเป็น 18.9 % และ 10.5 % และขอบนอกกระเบียงก็ลดน้อยลงเป็น 13.2 % และ 4.8 % ตามลำดับ เป็นที่เห็นว่าสังเกตว่าสำหรับผนังหล่อในที่การถ่ายแรงในเสาเข็มค่อนข้างสม่ำเสมอถึงแม้ว่าค่าสติฟเนสของ

เสาเข็มจะลดลง ต่างจากผนังหล่อสำเร็จที่การถ่ายแรงในเสาเข็มจะต่างกัน และการถ่ายแรงมีแนวโน้มสมำเสมอมากขึ้นเมื่อค่าสติฟเนสของเสาเข็มลดลงทั้งสองกรณี

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างหาแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มของบ้านแบบทาวน์เฮ้าส์และบ้านเดี่ยวของโครงสร้างผนังหล่อในที่เทียบกับผนังแบบหล่อสำเร็จพบว่าแรงเฉือนแนวราบมีผลโดยตรงกับสติฟเนสของโครงสร้างผนังแบบหล่อสำเร็จ การเลือกประเภทของจุดเชื่อมต่อที่ทำให้สามารถต้านทานแรงเฉือนได้มากที่สุดจะทำให้ผนังมีสติฟเนสสูงใกล้เคียงกับผนังหล่อในที่ การศึกษานี้ไม่ได้คำนึงถึงผลของรอยต่อรับแรงเฉือนประเภทอื่น เช่นรอยต่อเชื่อมด้วยแผ่นเหล็ก รอยต่อแบบ Shear key ที่อาจทำให้รอยต่อมีความสามารถต้านทานแรงเฉือนมากขึ้นที่จะส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักลงเสาเข็มและสติฟเนสของผนัง จึงน่าจะมีการศึกษาเพิ่มเติม

5.3.2 การศึกษานี้เป็นการศึกษาด้วยการจำลองโครงสร้างจากแบบก่อสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์ผลการทำนายพฤติกรรมของโครงสร้างจากคุณสมบัติ ข้อมูลและสมมุติฐานจากการทดลองที่ผ่านมา อาจให้ค่าที่แปรผันตามสมมุติฐานเป็นสำคัญ หากมีการศึกษาข้อมูลและทดสอบจากงานก่อสร้างจริงภาคสนามเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลจากการวิเคราะห์จะทำให้มีข้อเปรียบเทียบมากขึ้น

บรรณานุกรม

- โกวิท ฉันทจิตร.(2553). ความสามารถในการรับ โมเมนต์ค้ดของจุดต่อคานคอนกรีตสำเร็จรูป (Unpublished Master's thesis). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, นนทบุรี
- ต่อศักดิ์ บุชรานนท์ และคณะ.(2539). การสร้างฐานข้อมูลผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยวิธีสถิต ในบริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑล (Unpublished Senior project). มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี
- บริษัท พุกษา โฮลดิ้ง จำกัด (มหาชน).(2560). แบบก่อสร้างทาวน์เฮ้าส์รุ่นPVK100และบ้านเดี่ยวรุ่น PS48. Unpublished manuscript.
- พนากาญจน์ ยามา.(2549). พฤติกรรมการรับน้ำหนักของระบบเสาเข็มร่วมกับ Pile Cap บนชั้นดินอ่อน (Unpublished Master's thesis). มหาวิทยาลัยรังสิต. ปทุมธานี
- มงคล จิรวชิรเดช.(2556,มิถุนายน).คู่มือการใช้โปรแกรมแชป 2000 รุ่น15 สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง (พิมพ์ครั้งที่1). เอ็มแอนด์เอ็ม เลเซอร์พริ้นต์.
- มาโนช รุจิภากร.(2535). ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของเสาเข็ม,แรงลม และ เสาเข็มเจาะที่ไม่สมบูรณ์ (Unpublished Master's thesis). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น
- วรรณิ์ สุขสารท.(2549). วิศวกรรมฐานราก (พิมพ์ครั้งที่ 8). กรุงเทพฯ : โฟร์เพช.
- วันชัย เทพรักษ์.(2530). เอกสารประกอบการบรรยายเรื่องการออกแบบและการก่อสร้างฐานรากเสาเข็ม. กรุงเทพฯ : ม.ป.ท., ม.ป.ป.
- สุระสิทธิ์ อวารณ์.(2541). การจำลองฐานรากแพบนเสาเข็มเป็นแผ่นที่โก่งตัวได้ และรองรับโดยสปริง (Unpublished Master's thesis). มหาวิทยาลัยรังสิต. ปทุมธานี
- สุริยา ฤทธิจิตเพียร.(2551). พฤติกรรม โครงสร้างบ้านแบบผนังรับน้ำหนัก (Unpublished Master's thesis). มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี
- อมร พิมาณมาศ.(2556). การจำลองและวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรม SAP2000 ขึ้นต้น(พิมพ์ครั้งที่ 1). บริษัทซีวิลเอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแต้นท์แอนด์ เทรนนิง จำกัด.
- อรรณพ ประวัตินวงศ์.(2536). พฤติกรรมของ โครงสร้างฐานรากแพที่มีผลตอบสนองกับเสาเข็มรองรับซึ่งมีค่าความแกร่งไม่คงตัว,(Unpublished Master's thesis).มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น

บรรณานุกรม(ต่อ)

- ACI Committee 318.(2011). *Building Code Requirement for Reinforce Concrete (ACI318-11) .*
Detroit. American Concrete Institute
- Amir, W.Al-Khafaji., & Robert, Jacobs.(2016). *Excel Based Settlement of Beam on Elastic Foundations with Free-Ends and Arbitrary Loading.* USA. Dept.of Civil Eng. &Constr., Bradley University, Peoria,IL
- Bowles, J.E.(1997). *Pile Foundation Analysis and Design.*Canada: John Wiley & Sons Inc.
- Flemming, K., Weltman, A., Randolph, M. & Elson, K. (2009). *Pile Engineering* (3rd edition). Taylor & Francis.
- Hetenyi, M.(1955). *Beam on Elastic Foundation.* Michigan:The University of Michigan Press
- Mohamad, M.E., & Ibrahim, I.S.(2015). *Interface Shear Strength of Concrete-to-Concrete Bond with and without Projecting Steel Reinforcement.* Malaysia Jurnal Teknologi.Malasia
- Poulos & Davis.(1980). *Pile Foundation Analysis and Design.* Canada: John Wiley & Sons Inc.
- Warnitchai,P.(2009). *Seismic Acceptance Evaluation of Precast Bearing Wall System.*
AIT.Pathumthani

ภาคผนวก

รายการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะของโครงสร้างผนัง

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

การหาค่าสติเฟเนสสัมพัทธ์ระหว่างโครงสร้างและฐานรากตามทฤษฎีคานบนฐานราก แบบยึดหยุ่น (Beam on Elastic Foundation)

การคำนวณหาค่าที่จะบ่งบอกว่าโครงสร้างมีพฤติกรรมแบบแข็งหรืออ่อนซึ่งขึ้นกับขนาดและรูปทรงของโครงสร้าง หากจากสมการสติเฟเนสความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและดินได้จากสมการที่ 2.20 ดังนี้

$$\lambda_L = \sqrt[4]{\frac{K'_s L^4}{4EI}}$$

K'_s = ค่า Pressure stiffness ของดินหาจากผลรวมค่าสติเฟเนสของเสาเข็มหารด้วยความยาวของโครงสร้าง = $n \cdot K_p / L$ (ตัน/ม³)

K_p = ค่าสติเฟเนสของเสาเข็ม = $K_p = (AE/L)$ pile (ตัน/ม)

L = ความยาวโครงสร้างทั้งหมด (ม)

I = ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโครงสร้าง = $bh^3/12$ (ม⁴)

EI = Bending stiffness ของโครงสร้าง

ค่าบ่งชี้ที่ใช้แบ่งพฤติกรรมของคานตามข้อเสนอของ Hetenyi, 1946

1) Rigid member : $\lambda L < \pi/4$ (λL น้อยกว่า 0.7854)

2) Intermediate member: $\pi/4 < \lambda L < \pi$ (λL อยู่ระหว่าง 0.7854 ถึง 3.1416)

3) Flexible member: $\lambda L > \pi$ (λL มากกว่า 3.1416)

-ผนังด้านริมของทาวนเฮาส์

$$E_p = 2.701 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc' = 320 ksc)}$$

$$E_w = 2.339 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc' = 240 ksc)}$$

$$L \text{ ผนัง} = 7.05 \text{ m}, L_e \text{ เสาค้ำ} = 3 \text{ m}, b = 0.10 \text{ m}, h = 6.0 \text{ m}, n = 3 \text{ ชั้น}$$

$$I_w = bh^3/12 = 0.1 \times 6^3 / 12 = 1.8 \text{ m}^4$$

$$K_p = AE/L = 5.79 \times 10^{-3} \times 2.701 \times 10^6 / 3 = 5452.16 \text{ t/m}$$

$$K's = 5452.16 \times 3 / 7.05 = 2320.07 \text{ t/m}^2$$

$$\lambda_L = \sqrt[4]{\frac{K's L^4}{4EI}} = [2320.07 \times 7.05^4 / 4 \times 2.339 \times 10^6 \times 1.8]^{1/4}$$

$$= 0.755$$

$$\lambda_L = 0.755 < \pi/4 \text{ ผนังอยู่ในช่วง Rigid member}$$

-ผนังด้านกลางระหว่างห้องของทาวนเฮาส์

$$E_p = 2.701 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc' = 320 ksc)}$$

$$E_w = 2.339 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc' = 240 ksc)}$$

$$L \text{ ผนัง} = 7.05 \text{ m}, L_e \text{ เสาค้ำ} = 3 \text{ m}, b = 0.10 \text{ m}, h = 6.0 \text{ m}, n = 4 \text{ ชั้น}$$

$$I_w = bh^3/12 = 0.1 \times 6^3 / 12 = 1.8 \text{ m}^4$$

$$K_p = AE/L = 5.79 \times 10^{-3} \times 2.701 \times 10^6 / 3 = 5452.16 \text{ t/m}$$

$$K's = 5452.16 \times 4 / 7.05 = 3093.42 \text{ t/m}^2$$

$$\lambda_L = \sqrt[4]{\frac{K's L^4}{4EI}} = [3093.42 \times 7.05^4 / 4 \times 2.339 \times 10^6 \times 1.8]^{1/4}$$

$$= 0.812$$

$$\lambda_L = 0.812 > \pi/4 < \pi \text{ ผนังอยู่ในช่วง Intermediate member}$$

-ผนังด้านหลังของทาว์นเฮาส์

คำนวณหาค่าความแข็งของคานเสมือน(ผนังด้านหลัง) ของตัวทาว์นเฮาส์โดยคิดจาก 1 ห้องถึง 6 ห้อง

กรณี 1 คิดที่ 1 ห้อง

$$E_p = 2.701 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc}' = 320 \text{ ksc)}$$

$$E_w = 2.339 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc}' = 240 \text{ ksc)}$$

$$L \text{ ผนัง} = 5.70 \text{ m}, L_e \text{ เสาค้ำ} = 3 \text{ m}, b = 0.10 \text{ m}, h = 6.0 \text{ m}, n = 3 \text{ ชั้น}$$

$$I_w = bh^3/12 = 0.1 \times 6^3 / 12 = 1.8 \text{ m}^4$$

$$K_p = AE/L = 5.79 \times 10^{-3} \times 2.701 \times 10^6 / 3 = 5452.16 \text{ t/m}$$

$$K's = 5452.16 \times 3 / 5.70 = 2869.56 \text{ t/m}^2$$

$$\lambda_L = \frac{\sqrt[4]{K_s' L^4}}{\sqrt{4EI}} = [2869.56 \times 5.70^4 / 4 \times 2.339 \times 10^6 \times 1.8]^{1/4}$$

$$= 0.644$$

$$\lambda_L = 0.644 < \pi/4 \text{ ผนังอยู่ในช่วง Rigid member}$$

กรณีที่ 2 คิดที่ 2 ห้อง

$$E_p = 2.701 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc}' = 320 \text{ ksc)}$$

$$E_w = 2.339 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc}' = 240 \text{ ksc)}$$

$$L \text{ ผนัง} = 11.4 \text{ m}, L_e \text{ เสาค้ำ} = 3 \text{ m}, b = 0.10 \text{ m}, h = 6.0 \text{ m}, n = 5 \text{ ชั้น}$$

$$I_w = bh^3/12 = 0.1 \times 6^3 / 12 = 1.8 \text{ m}^4$$

$$K_p = AE/L = 5.79 \times 10^{-3} \times 2.701 \times 10^6 / 3 = 5452.16 \text{ t/m}$$

$$K's = 5452.16 \times 5 / 11.4 = 2391.3 \text{ t/m}^2$$

$$\lambda_L = \frac{\sqrt[4]{K_s' L^4}}{\sqrt{4EI}} = [2391.3 \times 11.4^4 / 4 \times 2.339 \times 10^6 \times 1.8]^{0.25}$$

$$= 1.231$$

$$\lambda_L = 1.231 > \pi/4 < \pi \text{ ผนังอยู่ในช่วง Intermediate member}$$

กรณีที่ 3 คัดที่ 3 ห้อง

$$E_p = 2.701 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc' = 320 ksc)}$$

$$E_w = 2.339 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc' = 240 ksc)}$$

$$L \text{ ผนัง} = 17.1 \text{ m}, L_e \text{ เสริม} = 3 \text{ m}, b = 0.10 \text{ m}, h = 6.0 \text{ m}, n = 7 \text{ ชั้น}$$

$$I_w = bh^3/12 = 0.1 \times 6^3 / 12 = 1.8 \text{ m}^4$$

$$K_p = AE/L = 5.79 \times 10^{-3} \times 2.701 \times 10^6 / 3 = 5452.16 \text{ t/m}$$

$$K's = 5452.16 \times 7 / 17.1 = 2231.88 \text{ t/m}^2$$

$$\lambda_L = \sqrt[4]{\frac{K'_s L^4}{4EI}} = [2231.88 \times 17.1^4 / 4 \times 2.339 \times 10^6 \times 1.8]^{1/4}$$

$$= 1.814$$

$$\lambda_L = 1.814 > \pi/4 < \pi \text{ ผนังอยู่ในช่วง Intermediate member}$$

กรณีที่ 4 คัดที่ 4 ห้อง

$$E_p = 2.701 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc' = 320 ksc)}$$

$$E_w = 2.339 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc' = 240 ksc)}$$

$$L \text{ ผนัง} = 22.8 \text{ m}, L_e \text{ เสริม} = 3 \text{ m}, b = 0.10 \text{ m}, h = 6.0 \text{ m}, n = 9 \text{ ชั้น}$$

$$I_w = bh^3/12 = 0.1 \times 6^3 / 12 = 1.8 \text{ m}^4$$

$$K_p = AE/L = 5.79 \times 10^{-3} \times 2.701 \times 10^6 / 3 = 5452.16 \text{ t/m}$$

$$K's = 5452.16 \times 9 / 22.8 = 2152.17 \text{ t/m}^2$$

$$\lambda_L = \sqrt[4]{\frac{K'_s L^4}{4EI}} = [2152.17 \times 22.8^4 / 4 \times 2.339 \times 10^6 \times 1.8]^{1/4}$$

$$= 2.327$$

$$\lambda_L = 2.327 > \pi/4 < \pi \text{ ผนังอยู่ในช่วง Intermediate member}$$

กรณีที่ 5 คัดที่ 5 ห้อง

$$E_p = 2.701 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc' = 320 ksc)}$$

$$E_w = 2.339 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc' = 240 ksc)}$$

$$L \text{ ผนัง} = 28.5 \text{ m}, L_e \text{ เสาค้ำ} = 3 \text{ m}, b = 0.10 \text{ m}, h = 6.0 \text{ m}, n = 11 \text{ ต้น}$$

$$I_w = bh^3/12 = 0.1 \times 6^3 / 12 = 1.8 \text{ m}^4$$

$$K_p = AE/L = 5.79 \times 10^{-3} \times 2.701 \times 10^6 / 3 = 5452.16 \text{ t/m}$$

$$K's = 5452.16 \times 11 / 28.5 = 2104.34 \text{ t/m}^2$$

$$\lambda_L = \sqrt[4]{\frac{K's L^4}{4EI}} = [2231.88 \times 28.5^4 / 4 \times 2.339 \times 10^6 \times 1.8]^{1/4}$$

$$= 2.98$$

$$\lambda_L = 2.98 > \pi/4 < \pi \text{ ผนังอยู่ในช่วง Intermediate member}$$

กรณีที่ 6 คัดที่ 6 ห้อง

$$E_p = 2.701 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc' = 320 ksc)}$$

$$E_w = 2.339 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \text{ (fc' = 240 ksc)}$$

$$L \text{ ผนัง} = 34.2 \text{ m}, L_e \text{ เสาค้ำ} = 3 \text{ m}, b = 0.10 \text{ m}, h = 6.0 \text{ m}, n = 13 \text{ ต้น}$$

$$I_w = bh^3/12 = 0.1 \times 6^3 / 12 = 1.8 \text{ m}^4$$

$$K_p = AE/L = 5.79 \times 10^{-3} \times 2.701 \times 10^6 / 3 = 5452.16 \text{ t/m}$$

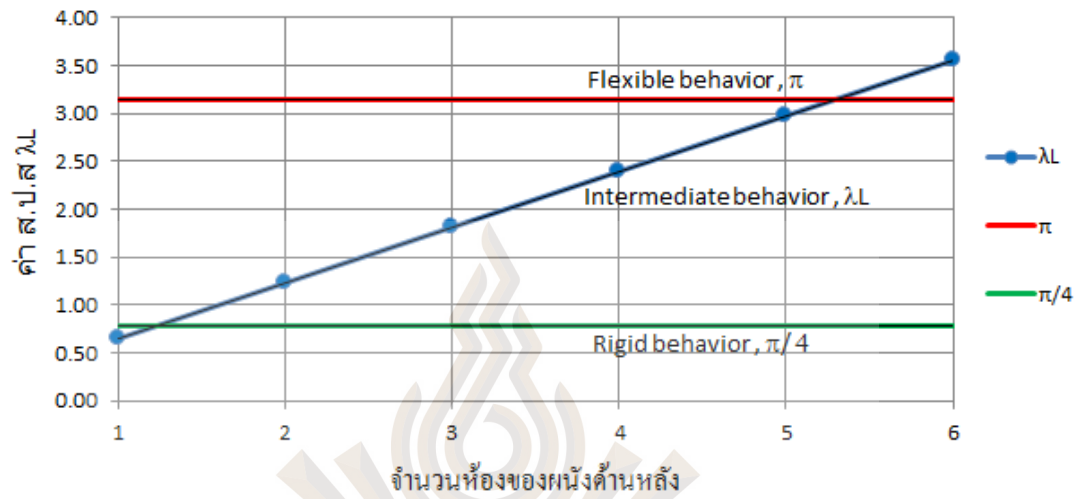
$$K's = 5452.16 \times 13 / 34.2 = 2072.46 \text{ t/m}^2$$

$$\lambda_L = \sqrt[4]{\frac{K's L^4}{4EI}} = [2072.46 \times 34.2^4 / 4 \times 2.339 \times 10^6 \times 1.8]^{1/4}$$

$$= 3.562$$

$$\lambda_L = 3.562 > \pi \text{ ผนังอยู่ในช่วง Flexible member}$$

สรุปค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะค่าบ่งชี้ระดับความแข็งของผนังเป็นรูปกราฟได้ดังนี้



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	จตุศักดิ์ ทำเนาว์
วัน เดือน ปีเกิด	4 มกราคม 2509
สถานที่เกิด	จังหวัดหนองคาย ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี โครงสร้าง, 2533 มหาวิทยาลัยรังสิต ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, 2562
ที่อยู่ปัจจุบัน	404 ซอยรังสิต-นครนายก64 ต.ประชาธิปัตย์ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130
สถานที่ทำงาน	บริษัท บีทีเอส อินฟราสตรัคเจอร์ ดีเวลลอปเม้นต์ จำกัด
ตำแหน่งปัจจุบัน	ผู้จัดการฝ่ายออกแบบงานโยธา