



การกระจายน้ำหนักบรรทุกของอาคารแบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก
(Load Bearing Wall) เสริมโดยคานึงถึงปฏิสัมพันธ์
ของการทรุดตัวของเสาเข็ม



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต
ปีการศึกษา 2567



**LOAD DISTRIBUTION ON PILES SUPPORTING LOAD BEARING WALL
STRUCTURES WITH CONSIDERING OF PILE
SETTLEMENT INTERACTION**

BY

SUEBPONG LORCHATNOPAKUN

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 2024

วิทยานิพนธ์เรื่อง

การกระจายน้ำหนักบรรทุกของอาคารแบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก
(Load Bearing Wall) ผู้เสาะห้โดยคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์
ของการทรุดตัวของเสาเข็ม

โดย
สืบพงศ์ หล่อจิตรนพคุณ

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยรังสิต
ปีการศึกษา 2567

รศ. ดร. สายันต์ ศิริมนตรี
ประธานกรรมการสอบ

ผศ. ร.ต. หญิง ดร. วรรณิ สุขสาตร
กรรมการ

ดร. พิสิทธิ์ ขันดีวัฒนะกุล
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ศ. ดร. เสือจิตต์ เพ็ชรประสาน)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
26 พฤศจิกายน 2567

Thesis entitled

**LOAD DISTRIBUTION ON PILES SUPPORTING LOAD BEARING WALL
STRUCTURES WITH CONSIDERING OF PILE
SETTLEMENT INTERACTION**

by

SUEBPONG LORCHATNOPAKUN

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

Rangsit University
Academic Year 2024

Assoc. Prof. Sayan Sirimontree, D.Eng.
Examination Committee Chairperson

Asst.Prof.Plit.Off. Vannee Sooksatra,D.Eng.
Member

Pisit Kuntiwattanakul, D.Eng.
Member and Advisor

Approved by Graduate School

(Prof. Suejit Pechprasarn, Ph.D.)

Dean of Graduate School

November 26, 2024

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จาก ดร.พิสิทธิ์ ชันดีวัฒนกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความเมตตาเอาใจใส่ ช่วยเหลือ และคอยให้คำปรึกษาแนะนำเป็นอย่างดีมา โดยตลอด กราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สาธิต ศิริมนตรี และ ผศ.ร.ต.หญิง ดร.วรรณิ สุขสาตร ที่สละ เวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางที่ช่วยให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความ สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.อังคณา พันธุ์หล่อ ที่คอยให้คำปรึกษาและกำลังใจในการทำ วิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จ ขอบพระคุณ คุณนันท์นัช ภาสบุตร เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกและคอยประสานงานด้านต่างๆ ขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยรังสิตทุกท่านที่ช่วยเหลือในการสืบค้นวิทยานิพนธ์และตำรา ต่างๆ

กราบขอบพระคุณ บริษัทพุกยา โฮลดิ้ง จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนข้อมูลงานวิจัยและ ผลทดสอบต่างๆ และบริษัท คริสเตียนีและนิลเสน (ไทย) จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุน โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับงานวิจัยนี้ อีกทั้งกราบขอบพระคุณมหาวิทยาลัยรังสิตที่ให้ โอกาสทางการศึกษาแก่ข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้กราบขอบพระคุณบิดามารดาอันเป็นที่รักยิ่ง ที่ให้การสนับสนุนทางการศึกษาและ เป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา ขอบคุณภรรยาและครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจ ให้เสมอมา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ บพภารี และครู อาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้แก่ผู้วิจัย

สืบพงศ์ หล่อฉัตรนพคุณ
ผู้วิจัย

6509763 : สืบพงศ์ หล่อฉัตรนพคุณ
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การกระจายน้ำหนักบรรทุกของอาคารแบบ โครงสร้างผนังรับน้ำหนัก
 (Load Bearing Wall) เสริมโดยค้ำยันถึงปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัว
 ของเสาเข็ม
 หลักสูตร : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.พิสิทธิ์ ชันดีวัฒนกุล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอผลการศึกษารื่อง การกระจายน้ำหนักบรรทุกของอาคารแบบ โครงสร้างผนังรับน้ำหนักเสาเข็มโดยค้ำยันถึงปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็มโดยใช้การ วิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้น การศึกษาครอบคลุมโครงสร้างผนังชนิดแผ่น คอนกรีตหล่อสำเร็จซึ่งแบบจำลองแบ่งผนังออกเป็นแผ่นและเชื่อมต่อกันด้วย Link ตามแบบ โครงสร้างจริง และโครงสร้างผนังชนิดหล่อในที่ซึ่งผนังถูกจำลองเป็นแผ่นต่อเนื่องไม่มีรอยต่อ การศึกษาใช้โครงสร้างบ้านแบบทาวน์เฮ้าส์สองชั้นรองรับด้วยเสาเข็มเป็นกรณีศึกษาโดยศึกษา ครอบคลุมทาวน์เฮ้าส์ 1, 3, 5 และ 7 ห้องซึ่งรองรับด้วยเสาเข็มตอกขนาด 0.22 x 0.22 ม. ยาว 20 ม. ฐานรากเสาเข็มถูกจำลองเป็นสามแบบคือ 1) จำลองเป็น Pin 2) จำลองเป็นสปริงที่มีค่า Stiffness (K) ของเสาเข็มทุกต้นคงที่เท่ากับของเสาเข็มเดี่ยว และ 3) จำลองเป็นสปริงที่ค่า K ของเสาเข็มแต่ละต้น มีค่าขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเสาเข็มซึ่งแปรผันตามผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มในกลุ่ม

ผลการศึกษาพบว่า สำหรับเสาเข็มต้นมุม ในกรณีที่ค้ำยันถึงปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของ เสาเข็มค่าแรงในเสาเข็มมีค่าสูงกว่ากรณีที่เสาเข็มมีค่า K คงที่ ประมาณ 16-20% สำหรับผนังแบบ หล่อสำเร็จ และ 21-27% สำหรับผนังแบบหล่อในที่ และสูงกว่ากรณีที่เสาเข็มเป็น Pin ประมาณ 36- 40% สำหรับผนังแบบหล่อสำเร็จและ 45-50% สำหรับผนังแบบหล่อในที่ ในขณะที่เสาเข็มต้นกลาง ในกรณีที่ค้ำยันถึงปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็มค่าแรงในเสาเข็มมีค่าต่ำกว่า กรณีที่เสาเข็ม มีค่า K คงที่ประมาณ 19-25% สำหรับผนังแบบหล่อสำเร็จ และ 32-44% สำหรับผนังแบบหล่อในที่ และต่ำกว่ากรณีที่เสาเข็มเป็น Pin ประมาณ 33-46% สำหรับผนังแบบหล่อสำเร็จ และ 35-65% สำหรับผนังแบบหล่อในที่

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 103 หน้า)

คำสำคัญ: การกระจายน้ำหนักบรรทุกเสาเข็ม, ผนังรับน้ำหนัก, ปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของ เสาเข็ม
 ลายมือชื่อนักศึกษา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

6509763 : Suebpong Lorchatnopakun
 Thesis Title : Load Distribution on Piles Supporting Load Bearing Wall Structures
 with Considering of Pile Settlement Interaction
 Program : Master of Engineering in Civil Engineering
 Thesis Advisor : Pisit Kuntiwattanakul, D.Eng.

Abstract

This thesis presents a study on the load distribution of a load-bearing wall structure to piles, considering pile settlement interaction using nonlinear finite element analysis. The study focuses on two types of load bearing walls: precast concrete bearing walls, where the model divides the wall into panels connected by links, and cast-in-place bearing walls, modeled as continuous, seamless panels. The case study examines a two-story townhouse structure supported by piles, analyzing buildings with 1, 3, 5, and 7 rooms, all supported by 0.22 x 0.22 meter, 20-meter-long driven piles. Three types of pile foundation models are used: 1) piles modeled as pins, 2) piles modeled as springs with constant stiffness (K) equivalent to single piles, and 3) piles modeled as springs where K varies based on the pile's position, reflecting pile group interaction.

The results indicate that for corner piles, accounting for pile settlement interaction led to forces that were 16-20% higher in precast walls and 21-27% higher in cast-in-place walls compared to the case with constant pile stiffness (K). Additionally, these forces were 36-40% higher for precast walls and 45-50% higher for cast-in-place walls compared to the scenario where piles were modeled as pins. In contrast, for center piles, considering pile settlement interaction resulted in forces that were 19-25% lower in precast walls and 32-44% lower in cast-in-place walls compared to the constant K case. Furthermore, these forces were 33-46% lower for precast walls and 35-65% lower for cast-in-place walls compared to the pin-modeled piles.

(Total 103 pages)

Keywords: Load distribution on piles, Load bearing wall, Pile settlement interaction

Student's Signature Thesis Advisor's Signature

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ณ
บทที่ 1	บทนำ
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
1.2	วัตถุประสงค์ของการศึกษา
1.3	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
1.4	ขอบเขตของการศึกษา
บทที่ 2	ผลงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2.1	การศึกษาการถ่ายแรงลงสู่เสาเข็มของโครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนัก
2.2	การศึกษาค่าสถิติในเสาเข็มจากการทดสอบในสนามโดยวิธี Static Pile Load Test
2.3	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2.3.1	การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวตามทฤษฎีของ Poulos และ Davis (1980)
2.3.2	การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวตามทฤษฎีของ Fleming, Weltman, Randolph and Elson (2009)
2.3.3	การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มตามทฤษฎีของ Poulos และ Davis (1980)
2.3.4	การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มตามทฤษฎีของ Fleming et al. (2009)
2.4	วิธีการไฟไนต์อีลิเมนต์

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 3	ระเบียบวิธีการวิจัย	29
	3.1 โครงสร้างที่ใช้ในการศึกษา	29
	3.2 การจำลองชิ้นส่วนต่างๆของโครงสร้าง	32
	3.3 แบบจำลองโครงสร้างผนังชนิดคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Wall)	32
	3.4 แบบจำลองโครงสร้างผนังชนิดคอนกรีตหล่อในที่ (Cast-in-place Wall)	35
	3.5 คุณสมบัติของวัสดุ	37
	3.6 น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างในการวิเคราะห์	37
	3.7 การจำลองฐานรองรับ (Support)	38
บทที่ 4	ผลการวิจัย	40
	4.1 ผลการวิเคราะห์ผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ	40
	4.2 ผลการวิเคราะห์ผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่	53
	4.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ ผนังหล่อสำเร็จที่คำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มกับผนังหล่อในที่โดยใช้ค่าสถิติเฟนสของเสาเข็มคงที่	66
บทที่ 5	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	72
	5.1 ผลการวิเคราะห์ผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ	72
	5.2 ผลการวิเคราะห์ผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่	73
	5.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ ผนังหล่อสำเร็จที่คำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มกับผนังหล่อในที่โดยใช้ค่าสถิติเฟนสของเสาเข็มคงที่	74
	5.4 ข้อเสนอแนะ	74

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	75
ภาคผนวก	
รายการคำนวณหาค่าปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม (Pile Settlement Interaction: α) และ Spring Stiffness ของ เสาเข็ม (K)	79
ประวัติผู้วิจัย	103



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่าสถิติเฟสเสถียรเชื่อมต่อขนาดเล็กจากการทดสอบการรับน้ำหนักโดยวิธี Static Pile Load Test ในสนาม ของดินบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล
3.1	ชิ้นส่วนโครงสร้าง แบบจำลอง และขนาดในแบบจำลอง
3.2	ข้อต่อ (Link Elements) แบบต่างๆ
3.3	ฐานรองรับและแบบจำลอง
4.1	เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 1 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (หน่วย: กิโลกรัม)
4.2	เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 3 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (หน่วย: กิโลกรัม)
4.3	เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 5 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (หน่วย: กิโลกรัม)
4.4	เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 7 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (หน่วย: กิโลกรัม)
4.5	เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 1 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ (หน่วย: กิโลกรัม)
4.6	เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 3 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ (หน่วย: กิโลกรัม)
4.7	เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 5 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ (หน่วย: กิโลกรัม)
4.8	เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 7 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ (หน่วย: กิโลกรัม)
4.9	เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 1 หน่วย กรณีผนังแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ผนังคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (หน่วย: กิโลกรัม)

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.10	เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 3 ยูนิต กรณีผนังแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ผนังคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (หน่วย: กิโลกรัม)	68
4.11	เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 5 ยูนิต กรณีผนังแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ผนังคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (หน่วย: กิโลกรัม)	69
4.12	เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 7 ยูนิต กรณีผนังแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ผนังคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (หน่วย: กิโลกรัม)	70

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กราฟแสดงค่า I_0	10
2.2	กราฟแสดงค่า R_K	11
2.3	กราฟแสดงค่า R_h	11
2.4	กราฟแสดงค่า R_v	12
2.5	กราฟแสดงค่า R_b	13
2.6	ความแปรผันของ Shear Modulus ของดินตามความลึก	15
2.7	กราฟแสดงค่า α_F ; $L/d=10$	16
2.8	กราฟแสดงค่า α_F ; $L/d=25$	16
2.9	กราฟแสดงค่า α_F ; $L/d=50$	17
2.10	กราฟแสดงค่า α_F ; $L/d=100$	17
2.11	กราฟแสดงค่า F_E ; $L/d=10$	18
2.12	กราฟแสดงค่า F_E ; $L/d=25$	19
2.13	กราฟแสดงค่า F_E ; $L/d=50$	19
2.14	กราฟแสดงค่า F_E ; $L/d=100$	20
2.15	กราฟแสดงค่า α_E ; $L/d=10$	20
2.16	กราฟแสดงค่า α_E ; $L/d=25$	21
2.17	กราฟแสดงค่า α_E ; $L/d=50$	21
2.18	กราฟแสดงค่า α_E ; $L/d=100$	22
2.19	พฤติกรรมทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มเนื่องจากการซ้อนทับของการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว	23
2.20	ระยะ r_m	24
2.21	เสาเข็มและคุณสมบัติชั้นดินที่ทำการศึกษา	24
2.22	ระยะ r_m ของเสาเข็มต้นที่ 1	25
2.23	ระยะ r_m ของเสาเข็มต้นที่ 8	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1	แบบแปลนพื้นที่ 1 และ ชั้นที่ 2 ทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต 30
3.2	แบบแปลนคานาคอนกรีตและฐานราก ทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต 30
3.3	แบบรูปด้านหน้า ทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต 30
3.4	แบบรูปด้านหลัง ทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต 31
3.5	แบบรูปด้านข้างและผนังกันห้อง ทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต 31
3.6	รายละเอียดและตำแหน่งของข้อต่อแนวราบและข้อต่อแนวตั้ง 33
3.7	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 1 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 34
3.8	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 3 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 34
3.9	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 5 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 35
3.10	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 35
3.11	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 1 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ 36
3.12	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 3 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ 36
3.13	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 5 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ 36
3.14	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ 37
3.15	ขั้นตอนการคำนวณหาค่า Pile Settlement Interaction 39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 1 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 41
4.2	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 1 หน่วย 41
4.3	กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวน์เฮาส์ 1 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 42
4.4	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 1 หน่วย 43
4.5	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 3 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 44
4.6	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 3 หน่วย 44
4.7	กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวน์เฮาส์ 3 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 45
4.8	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 3 หน่วย 46
4.9	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 5 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 47
4.10	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 5 หน่วย 47
4.11	กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวน์เฮาส์ 5 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 48
4.12	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 5 หน่วย 49
4.13	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 7 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 50
4.14	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 7 หน่วย 50
4.15	กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวน์เฮาส์ 7 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 51
4.16	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 7 หน่วย 52
4.17	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 1 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ 54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.18	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 1 หน่วย	54
4.19	กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวน์เฮาส์ 1 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบ ต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่	55
4.20	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 1 หน่วย	56
4.21	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 3 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อใน ที่	57
4.22	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 3 หน่วย	57
4.23	กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวน์เฮาส์ 3 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบ ต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่	58
4.24	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 3 หน่วย	59
4.25	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 5 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อใน ที่	60
4.26	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 5 หน่วย	60
4.27	กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวน์เฮาส์ 5 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบ ต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่	61
4.28	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 5 หน่วย	62
4.29	แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 7 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อใน ที่	63
4.30	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 7 หน่วย	63
4.31	กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวน์เฮาส์ 7 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบ ต่างๆ กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่	64
4.32	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 7 หน่วย	65
4.33	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 1 หน่วย	67
4.34	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 3 หน่วย	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.35	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 5 ยูนิต	69
4.36	แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต	70



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะสมมุติให้ฐานรากของอาคารมีลักษณะเป็น Pinned Supports ซึ่งมี Stiffness เป็นค่าอนันต์ ผลการวิเคราะห์ในลักษณะนี้จะทำให้น้ำหนักบรรทุกที่กระจายลงสู่เสาเข็มเป็นไปตามพื้นที่รับน้ำหนัก (Tributary Area Method) ที่ฐานรากรองรับ ซึ่งฐานรากกลางอาคารจะรับน้ำหนักสูงกว่าฐานรากบริเวณมุมอาคาร การวิเคราะห์แบบนี้อาจเหมาะสมกับโครงสร้างระบบเสา-คานซึ่งเป็นโครงสร้างค่อนข้างอ่อน (Flexible) แต่การวิเคราะห์แบบนี้ไม่เหมาะสมกับโครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนัก (Load Bearing Wall) ซึ่งโครงสร้างมีความแข็งแรง (Rigid) การกระจายน้ำหนักลงสู่ฐานรากขึ้นอยู่กับค่า Stiffness ของฐานรากเทียบกับ Stiffness ของโครงสร้าง (สุริยา ฤทธิ์จิตเพียร, 2550; จุลศักดิ์ ทำเนาว์, 2562)

ในการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักบรรทุกลงสู่ฐานรากของอาคารแบบผนังรับน้ำหนัก ควรจำลองให้โครงสร้างผนังและฐานรากมีค่า Stiffness ที่สอดคล้องกับค่าจริงในสนาม แต่ในทางปฏิบัติการจำลองลักษณะนี้เป็นเรื่องที่ยาก เนื่องจากค่า Stiffness ของทั้งโครงสร้างผนังและฐานรากขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ในส่วนของผนังค่า Stiffness ของผนังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ช่องเปิดของผนัง เป็นต้น ในส่วนของฐานรากค่า Stiffness ของฐานรากขึ้นอยู่กับชนิดของฐานราก ชนิดของดินใต้ฐานรากและปฏิสัมพันธ์ระหว่างฐานราก

การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักบรรทุกลงสู่ฐานรากของโครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Bearing Wall) ในกรุงเทพมหานคร ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะสมมุติให้โครงสร้างเป็นผนังแบบต่อเนื่องรองรับด้วยฐานรากที่จำลองด้วยสปริงซึ่งมีค่า Stiffness คงที่ ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มเดี่ยว การวิเคราะห์ในลักษณะนี้มีประเด็นที่ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงสองประเด็นคือ 1) โครงสร้างที่จำลองเป็นแบบผนังต่อเนื่องมีค่า Stiffness สูงกว่าค่า Stiffness ของโครงสร้างจริงซึ่งมีรอยต่อทั่วทั้งโครงสร้าง 2) จากผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็ม ค่า Stiffness ของเสาเข็มจริงซึ่งเป็นเสาเข็มกลุ่มมีค่าต่ำกว่าค่าของ

เสาเข็มเดี่ยว และยิ่งกว่านั้นผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มยังทำให้ค่า Stiffness ของเสาเข็มแต่ละต้นมีความแตกต่างกันตามตำแหน่งของเสาเข็มในกลุ่ม โดยค่า Stiffness ของเสาเข็มที่อยู่ตรงมุมจะมีค่า Stiffness สูงกว่าเสาเข็มที่อยู่ตรงกลาง

จากผลของความไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงของแบบจำลองที่ใช้ในทางปฏิบัติของการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักบรรทุกลงสู่เสาเข็มของอาคารแบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Bearing Wall) จึงมีข้อสงสัยว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเท่าไรและมีความปลอดภัยเพียงพอหรือไม่ จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ โดยการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักบรรทุกโดยใช้ แบบจำลองอย่างง่ายที่จำลองโครงสร้างเป็นผนังแบบต่อเนื่อง เปรียบเทียบกับแบบจำลองแบบละเอียดที่ครอบคลุมการจำลองที่มีการแบ่งแผ่นผนังตามลักษณะโครงสร้างจริงและผนังแต่ละแผ่นถูกเชื่อมต่อกันด้วยจุดต่อที่มีคุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับจุดต่อจริง การวิเคราะห์ครอบคลุมค่า Stiffness ของเสาเข็มสามแบบคือ แบบที่หนึ่งเสาเข็มถูกจำลองด้วยสปริงที่มีค่า Stiffness ของเสาเข็มแต่ละต้นถูกปรับ โดยพิจารณาผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวของเสาเข็ม แบบที่สองเสาเข็มถูกจำลองด้วยสปริงที่มีค่า Stiffness คงที่เท่ากับของเสาเข็มเดี่ยว และ แบบที่สามคือเสาเข็มถูกจำลองด้วย Pinned Support

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อ

1.2.1 ศึกษาพฤติกรรมการกระจายน้ำหนักบรรทุกลงสู่เสาเข็มของอาคารแบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Bearing Wall) เทียบกับ โครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดหล่อในที่ (Cast-in-place Bearing Wall) โดยคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม

1.2.2 เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาที่ถ่ายลงสู่เสาเข็มของโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก โดยกำหนดฐานรองรับเป็น จูกรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม (Spring support with K considering of pile settlement interaction), จูกรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (Spring support with constant K) และ จูกรองรับแบบจุดหมุน (Pinned Support) ทั้งนี้เพื่อเลือกใช้เสาเข็มให้ครอบคลุมแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในทุกกรณีและใช้งานได้อย่างปลอดภัย

1.2.3 เพื่อตรวจสอบว่า การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักบรรทุกสู่เสาเข็มของอาคารแบบ โครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Bearing Wall) โดยจำลองให้ผนัง เป็นแบบต่อเนื่องโดยไม่คำนึงถึงรอยต่อและให้เสาเข็มเป็น สปริงที่มีค่า Stiffness คงที่เท่ากับเสาเข็มเดี่ยวมีความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองแบบละเอียดที่การจำลองผนังมีการแบ่ง แผ่นตามลักษณะโครงสร้างจริงและเชื่อมต่อกันด้วยจุดต่อที่มีคุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับจุดต่อ จริงและเสาเข็มถูกจำลองด้วยสปริงที่มีค่า Stiffness ของเสาเข็มแต่ละต้นถูกปรับโดยพิจารณาผลของ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวของเสาเข็ม

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ คือ

1.3.1 เข้าใจพฤติกรรมการกระจายน้ำหนักบรรทุกสู่เสาเข็มของอาคารแบบโครงสร้างผนัง รับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Bearing Wall) เทียบกับ โครงสร้างผนังรับ น้ำหนักชนิดหล่อในที่ (Cast-in-place Bearing Wall) โดยคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของ เสาเข็ม

1.3.2 เลือกใช้เสาเข็มได้อย่างปลอดภัยโดยพิจารณาแรงปฏิกิริยาที่ถ่ายลงสู่เสาเข็มของ โครงสร้างผนังรับน้ำหนัก โดยกำหนดฐานรองรับเป็น จูกรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตาม ปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม (Spring support with K considering of pile settlement interaction), จูกรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (Spring support with constant K) และ จูกรองรับ แบบจุดหมุน (Pinned support)

1.3.3 ทราบว่าผลการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักบรรทุกสู่เสาเข็มของอาคารแบบ โครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Bearing Wall) โดยจำลองให้ผนัง เป็นแบบต่อเนื่องโดยไม่คำนึงถึงรอยต่อ และให้เสาเข็มเป็นสปริงที่มีค่า Stiffness คงที่เท่ากับเสาเข็ม เดี่ยว มีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงเท่าใด และมีความปลอดภัย

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้มีขอบเขตการศึกษาดังต่อไปนี้ คือ

1.4.1 รูปแบบอาคารที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น จำนวน 1, 3, 5 และ 7 ยูนิต แต่ละยูนิตมีระยะหน้ากว้าง 5.70 ม. ลึก 7.00 ม. ระยะความสูงต่อชั้น 3.00 ม.

1.4.2 การศึกษาครอบคลุมค่าสถิติของเสาเข็มตอก ขนาดหน้าตัด 0.22x0.22 ม. ในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ (Bangkok Clay)

1.4.3 การศึกษาใช้วิธีวิเคราะห์แบบไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear Finite Element) ผ่านโปรแกรม SAP2000

1.4.4 การศึกษาเน้นที่โครงสร้างผนังรับน้ำหนักรองรับด้วยฐานรากเสาเข็ม โดยคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม

1.4.5 การศึกษา วิเคราะห์ เปรียบเทียบ พฤติกรรมการกระจายน้ำหนักบรรทุกของอาคารแบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Bearing Wall) เทียบกับโครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดหล่อในที่ (Cast-in-place Bearing Wall) ตูเสาเข็มที่มีสมมติฐานให้เป็น จุดรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม (Spring support with K considering of pile settlement interaction), จุดรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (Spring support with constant K) และ จุดรองรับแบบจุดหมุน (Pinned Support)

บทที่ 2

ผลงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาการถ่ายแรงลงสู่เสาเข็มของโครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนัก

สุริยา ฤทธิจิตเพียร (2551) ทำการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างบ้านแบบผนังรับน้ำหนักทั้งในแง่ของการถ่ายน้ำหนักลงสู่เสาเข็ม การทรุดตัวของเสาเข็ม และการออกแบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในผนัง การศึกษาใช้บ้านแฝด 2 ชั้น ที่มีโครงสร้างเป็นผนังรับน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก มีฐานรากเป็นเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ การศึกษานี้ครอบคลุมถึงผลของขนาดสติฟเนสของเสาเข็ม การแบกทานจากดินที่อยู่ได้อาคารร่วมกับเสาเข็ม ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มกลุ่ม และผลของความแปรปรวนของเสาเข็ม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์เป็นหลัก ผลการศึกษาพบว่า การกระจายน้ำหนักลงสู่เสาเข็มขึ้นอยู่กับค่าสติฟเนสของเสาเข็ม, ในกรณีเสาเข็มยังลงบนชั้นดินเหนียวแข็ง (ค่าสติฟเนสของเสาเข็มประมาณ 1,000-2,000 Ton/m.) ดินใต้พื้นชั้นล่างจะมีส่วนแบกรับน้ำหนักของตัวอาคารไม่เกินร้อยละ 7 แต่ในกรณีที่เสาเข็มยังไม่ถึงชั้นดินเหนียวแข็ง สัดส่วนการแบกรับของดินใต้พื้นชั้นล่างจะสูงขึ้น, ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มในกลุ่มทำให้ค่าสติฟเนสของเสาเข็มลดลง 3-5 เท่า โดยสติฟเนสของเสาเข็มต้นที่อยู่กึ่งกลางของโครงสร้างจะลดลงสูงกว่าต้นที่อยู่ตรงมุมของโครงสร้าง ส่งผลให้น้ำหนักบรรทุกกระจายลงสู่เสาเข็มต้นที่อยู่ตรงมุมของโครงสร้างสูงกว่าต้นที่อยู่ตรงกลาง, หากเสาเข็มต้นใดต้นหนึ่งมีค่าสติฟเนสต่ำกว่าต้นอื่นๆครั้งหนึ่ง ซึ่งอาจเกิดจากเสาเข็มต้นใดต้นหนึ่งหักหรือเกิดจากความแปรปรวนของชั้นดิน น้ำหนักที่กระจายลงสู่เสาเข็มต้นที่มีค่าสติฟเนสต่ำจะลดลง โดยน้ำหนักที่เหลือจะกระจายสู่เสาเข็มต้นอื่นที่อยู่ใกล้เคียง, โครงสร้างผนังรับน้ำหนักจะมีการทรุดตัวที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยการทรุดตัวไม่เท่ากัน (Differential Settlement) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในทุกกรณีรวมถึงกรณีที่เสาเข็มต้นใดต้นหนึ่งหัก

Warnitchai (2009) ทำการศึกษาประเมินความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวของบ้านที่ก่อสร้างด้วยระบบผนังหล่อสำเร็จ (Precast Bearing Wall) ของบริษัท พฤกษา เรียลเอสเตท จำกัด (มหาชน) การศึกษาประกอบด้วย การทดสอบการรับแรงของรอยต่อแนวราบ, การทดสอบการรับแรงของรอยต่อแนวตั้ง และการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อประเมินความสามารถในการรับแรง

แผ่นดินไหวของบ้าน การทดสอบการรับแรงของรอยต่อแนวราบ Warnitchai ทำแบบจำลองโครงสร้างของผนังแบบย่อส่วน เพื่อทดสอบพฤติกรรมของรอยต่อแนวราบภายใต้แรงกระทำแบบ Cyclic Load, Warnitchai ทำการวิเคราะห์ผนังทดสอบด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์โดยโปรแกรม SAP2000 การเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้างถูกจำลองด้วย Multi Linear Elastic Link Element โดย Link ที่ใช้จำลอง Cement Grout เป็น Link ที่สามารถรับแรงอัดได้อย่างเดียว ในขณะที่ Link ที่ใช้จำลอง Dowel Bar สามารถรับได้ทั้งแรงดึงและแรงอัด โดยหลังจากการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง Warnitchai ได้เสนอว่า Link ที่ใช้จำลอง Cement Grout และ Dowel Bar ให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบ

จุลศักดิ์ ทำเนาว์ (2562) ทำการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงบนเสาเข็ม บ้านแบบผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear Finite Element) ในแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ การศึกษาเปรียบเทียบแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มของโครงสร้างผนังหล่อสำเร็จที่มีรอยต่อจำนวนมากกับผนังหล่อในที่ซึ่งโครงสร้างมีความต่อเนื่อง การศึกษาครอบคลุมผลของสตีเฟนของจุดเชื่อมต่อ ผลของช่องเปิดในผนัง ผลของสตีเฟนของเสาเข็มในอาคารทั้งแบบทาวน์เฮาส์และบ้านเดี่ยว ผลการศึกษาแสดงค่าสตีเฟนของจุดเชื่อมต่อมีผลต่อแรงที่ถ่ายลงสู่เสาเข็มเฉพาะในกรณีที่มีผนังมีความยาวมาก แต่มีผลน้อยมากในกรณีผนังสั้น, แรงเสียดทานระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จสามารถยึดรั้งให้โครงสร้างมีสตีเฟนใกล้เคียงกับผนังหล่อในที่ โดยแรงที่ถ่ายสู่เสาเข็มของผนังหล่อสำเร็จแตกต่างจากผนังหล่อในที่ไม่เกิน 5% สำหรับผนังยาว และ 1% สำหรับผนังสั้น กรณีไม่มีแรงเสียดทานระหว่างผนัง ค่าสตีเฟนของผนังจะลดลง ทำให้แรงที่ถ่ายลงสู่เสาเข็มแตกต่างจากผนังหล่อในที่ประมาณไม่เกิน 12% สำหรับผนังยาว และ 6% สำหรับผนังสั้น ผลของช่องเปิดในผนังไม่ทำให้สตีเฟนของผนังเปลี่ยนแปลงมาก เพียงแต่ทำให้น้ำหนักของผนังลดลง, ค่าสตีเฟนของผนังยาวแบบหล่อในที่ที่มีค่าสูงกว่าของผนังหล่อสำเร็จ โดยความแตกต่างของค่าสตีเฟนจะสูงขึ้นตามการยุบตัวของเสาเข็ม, เมื่อสตีเฟนของเสาเข็มลดลง การกระจายแรงของเสาเข็มจะมีความสม่ำเสมอยิ่งขึ้น, ผลวิเคราะห์แบบ 3 มิติ การถ่ายแรงในเสาเข็มของทาวน์เฮาส์ พบว่าผนังระบบหล่อสำเร็จมีการถ่ายแรงแตกต่างจากผนังระบบหล่อในที่ไม่เกิน 11% กรณีบ้านเดี่ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญบางตำแหน่ง โดยเฉพาะตำแหน่งที่ไม่มีความต่อเนื่องของผนัง การถ่ายแรงในเสาเข็มของผนังหล่อสำเร็จจะสูงกว่าผนังหล่อในที่ประมาณ 26% ที่ช่วงกลางอาคารที่ผนังโครงสร้างไม่ต่อเนื่องกันและบ้านทั้ง 2 แบบ การถ่ายแรงในเสาเข็มมีแนวโน้มสม่ำเสมอขึ้นเมื่อค่าสตีเฟนของเสาเข็มลดลง

2.2 การศึกษาค่าสถิติเสาเข็มจากการทดสอบในสนามโดยวิธี Static Pile Load Test

พนากาญจน์ ยามา (2549, น.26) และ ต่อศักดิ์ บุษรานนท์, จิราพร ชีวะถาวร, และกฤษฎ กฤษปัญญาวโร (2538, น.108) ได้รวบรวมข้อมูลทดสอบการรับน้ำหนักด้วยวิธี Static Pile Load Test ของเสาเข็มตอกขนาดเล็ก หน้าตัดรูปตัวไอ (I-shaped) ขนาด I-18 และ I-22 บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และได้ทำการคำนวณค่าสถิติเสาเข็มในช่วงเชิงเส้นของกราฟระหว่างแรงที่กระทำกับการทรุดตัว โดยผลการศึกษา แสดงในตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าค่าสถิติเสาเข็มยาว 14 ถึง 21 เมตรมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 3,000 - 7,000 ตันต่อเมตร

ตารางที่ 2.1 ค่าสถิติเสาเข็มตอกขนาดเล็กจากการทดสอบการรับน้ำหนักโดยวิธี Static Pile Load Test ในสนาม ของดินบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

สถานที่ทดสอบ	ขนาด เสาเข็ม ตอก	ความ ยาว (เมตร)	ค่าสถิติ เสา เข็ม (ตันต่อ เมตร)	อ้างอิงจาก
พฤษภาวิไล 1 อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี	I18	8.00	1,175	พนากาญจน์ ยามา, 2549
สาครเพรส อ.นรสิงห์ อ.เมือง สมุทรสาคร จ.สมุทรสาคร	I18	14.00	3,182	ต่อศักดิ์ บุษรานนท์ และคณะ, 2538
เมืองทองธานี (TP1) อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี	I22	14.00	7,143	ต่อศักดิ์ บุษรานนท์ และคณะ, 2538
เมืองทองธานี (TP2) อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี	I22	16.00	6,660	ต่อศักดิ์ บุษรานนท์ และคณะ, 2538
การเคหะฯ ลาดกระบัง เขตจระเข้บัว กรุงเทพฯ	I22	18.00	6,250	ต่อศักดิ์ บุษรานนท์ และคณะ, 2538
อาคารสงเคราะห์ฯ ช.ระนอง 1 เขต คูสิต กรุงเทพฯ	I22	21.00	7,159	ต่อศักดิ์ บุษรานนท์ และคณะ, 2538

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวตามทฤษฎีของ Poulos และ Davis (1980)

การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว ตามทฤษฎีของ Poulos และ Davis เป็นวิธีประมาณการโดยอาศัยทฤษฎียืดหยุ่น (Elastic Theory) และ ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) โดยแบ่งเสาเข็มออกเป็น 2 ประเภท คือ เสาเข็มเสียดทานด้านข้าง (Floating Pile) และเสาเข็มแบกทานที่ปลาย (End-Bearing Pile) ซึ่งในการคำนวณการทรุดตัวของเสาเข็มทั้ง 2 ประเภท พิจารณาให้ดินเป็นแบบเนื้อเดียวกันตลอด (Homogeneous) มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของดิน (Soil Elastic Modulus, E_s) และค่าอัตราส่วนปัวซองของดิน (Poisson's Ratio, ν_s) คงที่

2.3.1.1 เสาเข็มเสียดทานด้านข้าง (Floating Pile)

การทรุดตัวของเสาเข็มเสียดทานด้านข้าง หาได้จากสมการ 2-1

$$\rho = \frac{PI}{E_s d} \quad (2-1)$$

โดย

ρ	=	การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวที่ระดับหัวเสาเข็ม
P	=	น้ำหนักกระทำต่อเสาเข็มตามแนวแกน
E_s	=	ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของดิน
d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเสาเข็ม
I	=	settlement-influence factor

$$I = I_o R_K R_h R_v \quad (2-2)$$

โดย

I_o = settlement-influence factor สำหรับเสาเข็มไม่ยวบตัว ($V_s=0.5$) ซึ่งขึ้นอยู่กับ L/d และ d_b/d โดยหาจากรูปที่ 2.1

R_K = สัมประสิทธิ์การปรับแก้ค่าอัตราส่วนสติฟเนสเสาเข็ม ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า L/d และ K โดยหาจากรูปที่ 2.2

R_h = สัมประสิทธิ์การปรับแก้ค่าความลึกของชั้นดินกับความยาวเสาเข็ม ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า L/d และ h/L โดยหาจากรูปที่ 2.3

R_v = สัมประสิทธิ์การปรับแก้ค่าอัตราส่วนปัวซองของดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า V_s และ K โดยหาจากรูปที่ 2.4

L = ความยาวของเสาเข็ม

d_b = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายเสาเข็ม

h = ความลึกทั้งหมดของชั้นดิน

K = อัตราส่วนสติฟเนสเสาเข็ม (pile-stiffness factor) หาได้จากสมการ (2-3)

$$K = \frac{E_p R_A}{E_s} \quad (2-3)$$

โดย

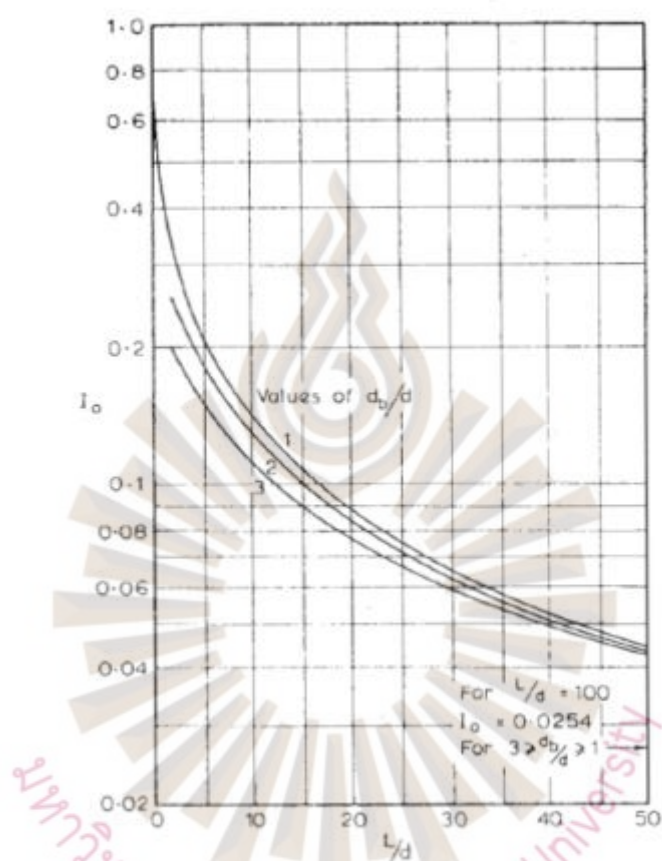
E_p = ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเสาเข็ม

R_A = ค่าสัดส่วนหน้าตัด (Area ratio) ระหว่างหน้าตัดรูปใดๆ เทียบกับหน้าตัดรูปวงกลมเทียบเท่า หาได้จากสมการ (2-4)

$$R_A = \frac{A_p}{\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)} \quad (2-4)$$

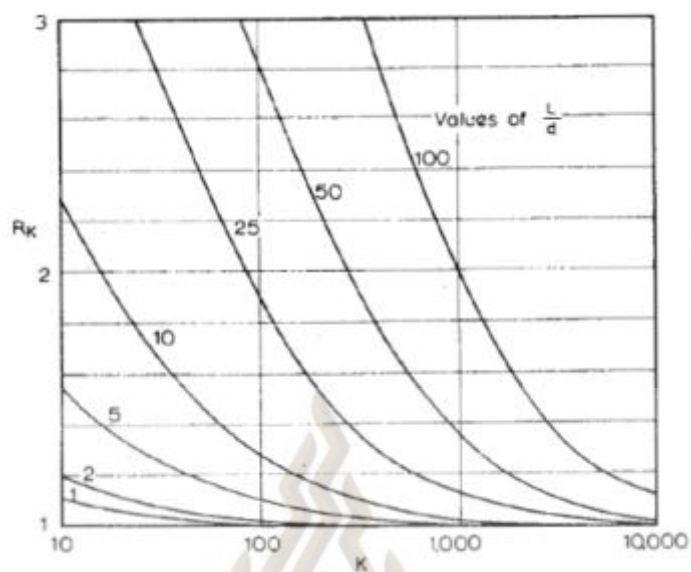
โดย

$$A_p = \text{พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม (กรณีที่หน้าตัดเป็นวงกลมตัน } R_A \text{ มีค่าเท่ากับ 1)}$$



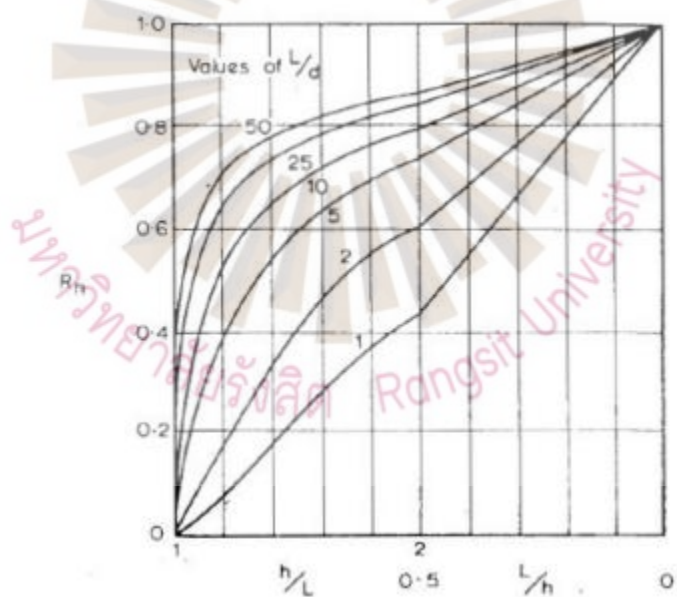
รูปที่ 2.1 กราฟแสดงค่า I_o

ที่มา: Poulos & Davis, 1980



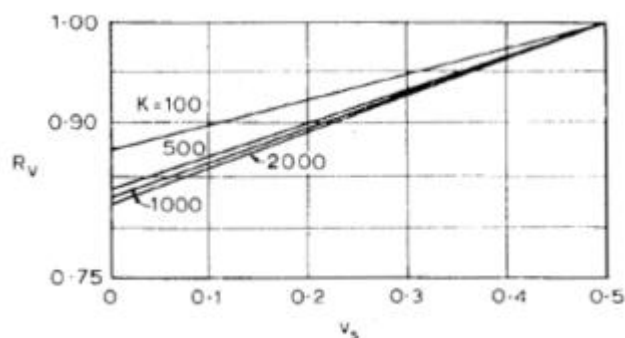
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงค่า R_K

ที่มา: Poulos & Davis, 1980



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงค่า R_h

ที่มา: Poulos & Davis, 1980



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงค่า R_v

ที่มา: Poulos & Davis, 1980

2.3.1.2 เสาเข็มแบกทานที่ปลาย (End-Bearing Pile)

พฤติกรรมของเสาเข็มแบกทานที่ปลาย เหมือนกับเสาเข็มเสียดทานด้านข้าง แต่พิจารณาเพิ่มเติมในส่วนองแรงต้านทานของดินที่ปลายเสาเข็ม ดังนั้นการทรุดตัวของเสาเข็มแบกทานที่ปลาย หาได้จากสมการที่ (2-1) เช่นกัน ต่างกันที่ค่า Settlement-influence Factor ใช้สมการที่ (2-5) แทน

$$I = I_o R_b R_h R_v \quad (2-5)$$

โดย

I_o = settlement-influence factor สำหรับเสาเข็มไม่ยวบตัว ($V_s=0.5$) ซึ่งขึ้นอยู่กั L/d และ d_b/d โดยหาจากรูปที่ 2.1

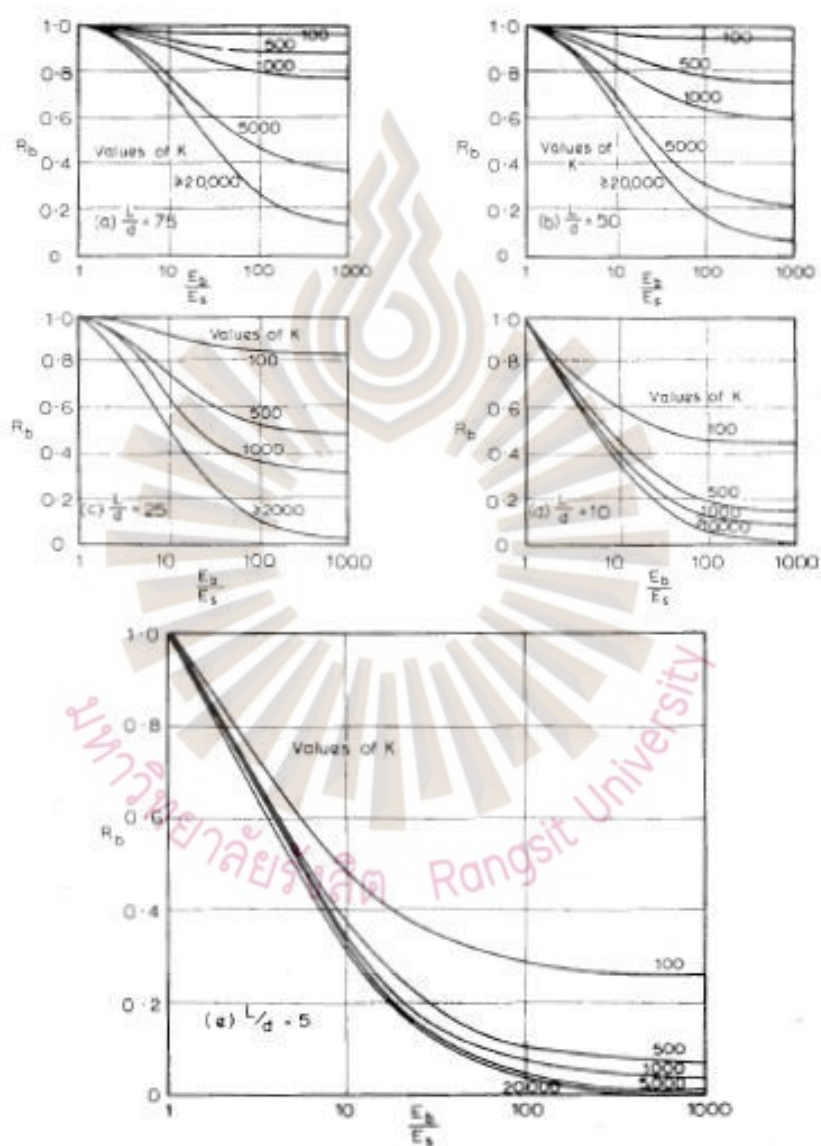
R_b = สัมประสิทธิ์การปรับแก้ค่าสติเฟนสของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม ซึ่งขึ้นอยู่กัค่า L/d , E_p/E_s และ K โดยหาจากรูปที่ 2.5

R_h = สัมประสิทธิ์การปรับแก้ค่าความลึกของชั้นดินกัความยาวเสาเข็ม ซึ่งขึ้นอยู่กัค่า L/d และ h/L โดยหาจากรูปที่ 2.3

R_v = สัมประสิทธิ์การปรับแก้ค่าอัตราส่วนัวของของดิน ซึ่งขึ้นอยู่กัค่า V_s และ K โดยหาจากรูปที่ 2.4

E_s = ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของชั้นดินที่เสียดทานด้านข้าง
เสาเข็ม

E_b = ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของชั้นดินที่แบกทานที่ปลาย
เสาเข็ม



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงค่า R_b

ที่มา: Poulos & Davis, 1980

2.3.2 การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวตามทฤษฎีของ Fleming, Weltman, Randolph and Elson (2009)

วิธีการประมาณการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว ตามทฤษฎีของ Fleming, Weltman, Randolph and Elson (2009) อธิบายโดยสมการ (2-6)

$$\frac{P_t}{w_t d G_L} = \frac{\frac{2\eta}{(1-\nu)\beta} + \frac{2\pi\rho \tanh(\mu L) L}{\zeta \mu L \frac{L}{d}}}{1 + \frac{8\eta}{\pi\lambda(1-\nu)\beta} \frac{\tanh(\mu L) L}{\mu L \frac{L}{d}}} \quad (2-6)$$

โดย

$\eta = d_b/d$ (ratio of underream for underreamed piles)

$\beta = G_t/G_b$ (ratio of end-bearing for end-bearing piles)

$\rho = \bar{G}/G_L$ (variation of soil modulus with depth)

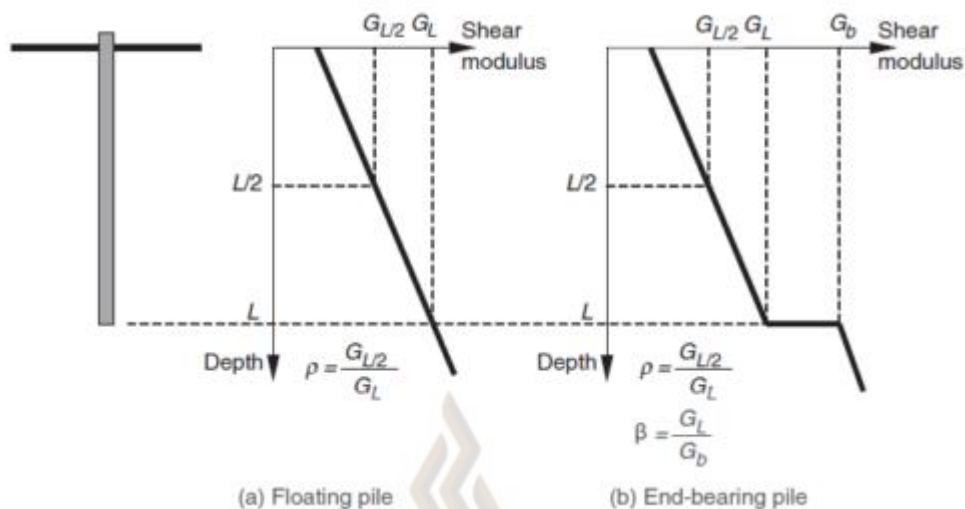
$$\zeta = \ln \left\{ [0.25 + (2.5\rho(1-\nu) - 0.25)\beta] \right\} 2L/d$$

$$\zeta = \ln[5\rho(1-\nu)L/d] \quad \text{for } \beta = 1$$

$\lambda = E_p/G_L$ (pile-soil stiffness ratio)

$\zeta = \ln(2r_m/d)$ (measure of radius of influence of pile)

$\mu L = 2\sqrt{2/\zeta\lambda}(L/d)$ (measure of pile compressibility)



รูปที่ 2.6 ความแปรผันของ Shear Modulus ของดินตามความลึก

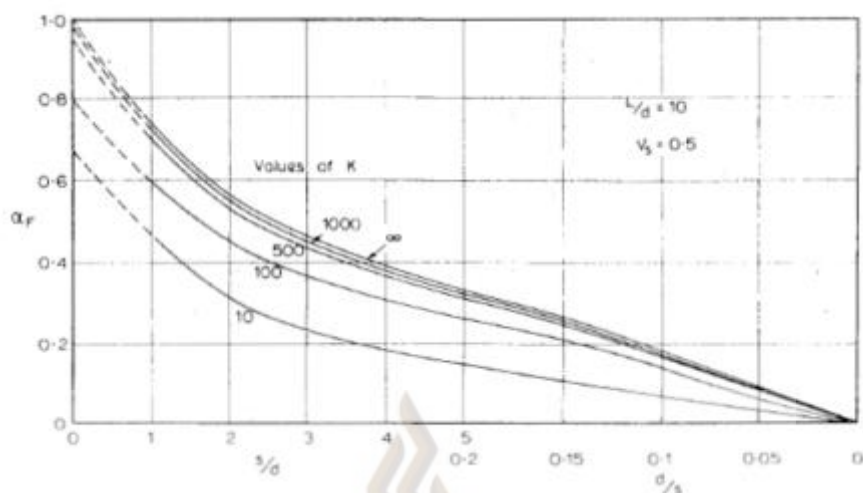
ที่มา: Fleming, Weltman, Randolph, & Elson, 2009

2.3.3 การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มตามทฤษฎีของ Poulos และ Davis (1980)

เนื่องจากการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม เป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของหลายตัวแปร เช่น ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม, ขนาดของเสาเข็ม, ผลกระทบจากอัตราส่วนปัวซอง เป็นต้น จึงได้แสดง สัดส่วนระหว่างการทรุดตัวของเสาเข็มบริเวณ ใกล้เกี่ยวกับการทรุดตัวของตัวเสาเข็มเดี่ยวด้วย อัตราส่วนผลกระทบ (Interaction Factor, α) ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

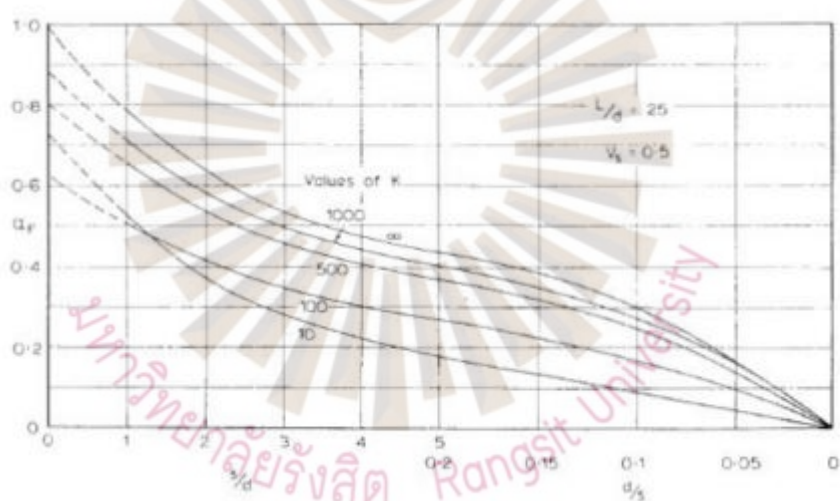
2.3.3.1 เสาเข็มเสียดทานด้านข้าง (Floating Pile)

อัตราส่วนผลกระทบของเสาเข็มเสียดทานด้านข้าง (Interaction Factor, α_F) ซึ่ง ขึ้นอยู่กับ L/d , d/s และ K หาได้จากรูปที่ 2.7 ถึงรูปที่ 2.10 โดย s คือระยะระหว่างกึ่งกลางเสาเข็มแต่ละต้น



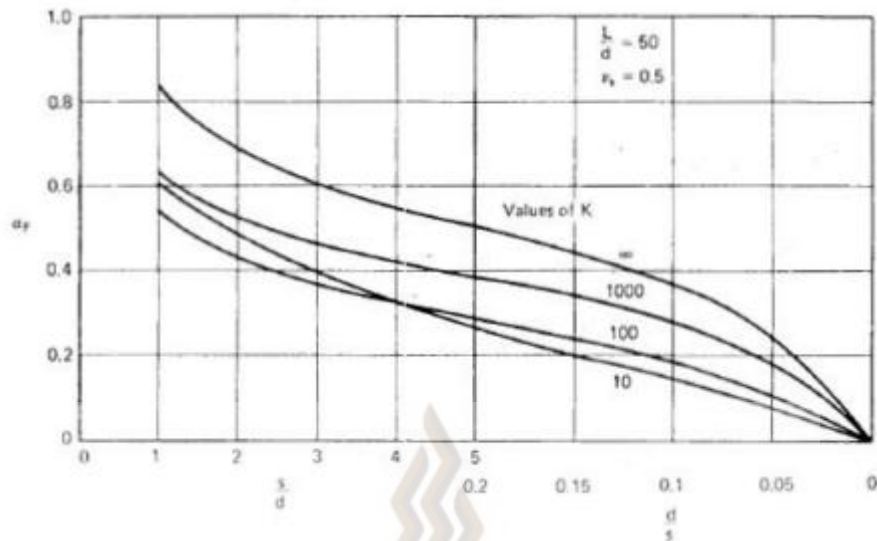
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงค่า α_f ; $L/d=10$

ที่มา: Poulos & Davis, 1980



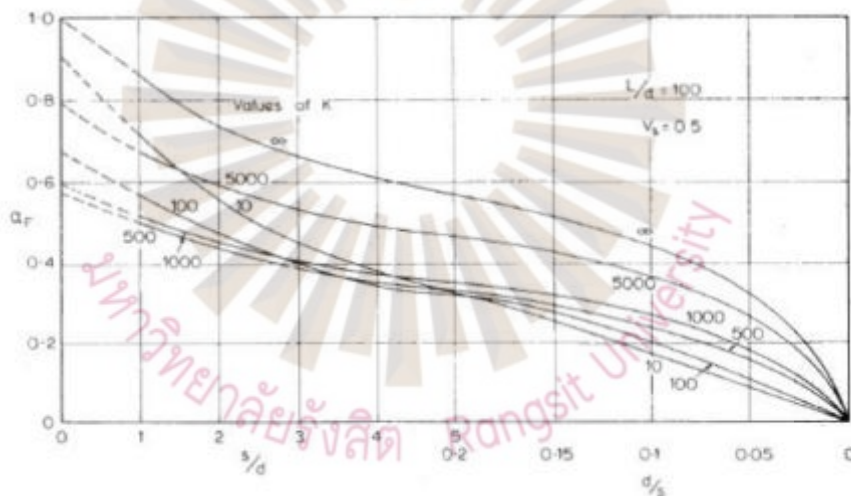
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงค่า α_f ; $L/d=25$

ที่มา: Poulos & Davis, 1980



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงค่า α_F ; $L/d=50$

ที่มา: Poulos & Davis, 1980



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงค่า α_F ; $L/d=100$

ที่มา: Poulos & Davis, 1980

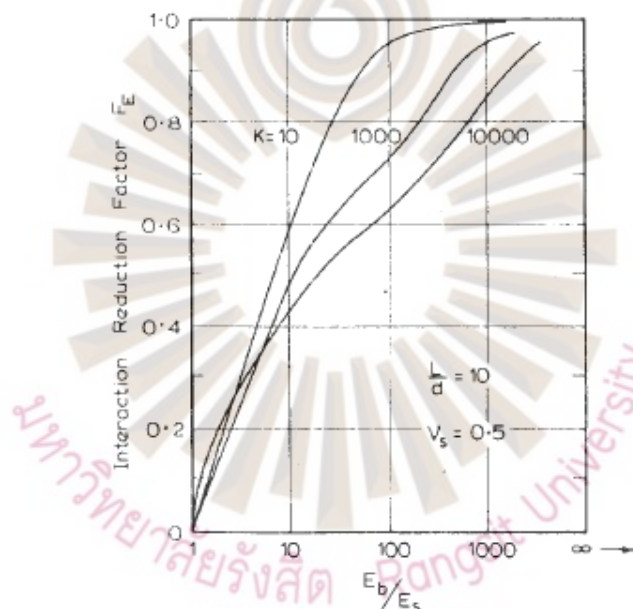
2.3.3.2 เสาเข็มแบกทานที่ปลาย (End-Bearing Pile)

อัตราส่วนผลกระทบของเสาเข็มแบกทานที่ปลาย (Interaction Factor, α_b) สามารถหาได้จาก สมการที่ (2-7)

$$\alpha_b = \alpha_{FE}(\alpha_F - \alpha_E) \quad (2-7)$$

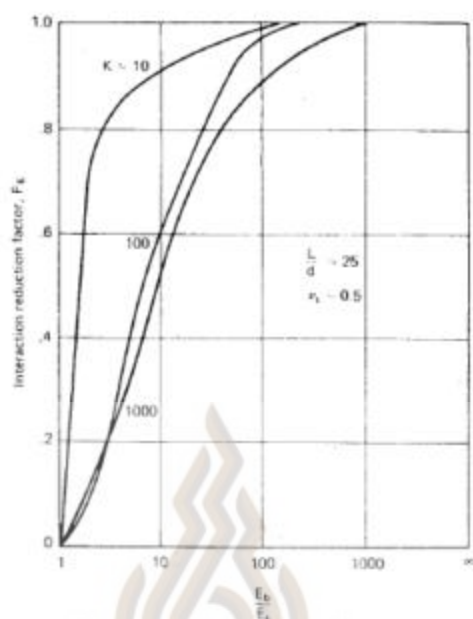
โดย

- α_b = Interaction factor ของเสาเข็มแบกทานที่ปลาย
- α_F = Interaction factor ของเสาเข็มเสียดทานด้านข้าง
ซึ่งขึ้นอยู่กับ L/d , s/d และ K สามารถหาได้จาก
รูปที่ 2.7 ถึงรูปที่ 2.10
- F_E = Interaction reduction factor เป็นสัดส่วนขึ้นอยู่กับค่า K ,
 L/d และ E_b/E_s หาได้จากรูปที่ 2.11 ถึงรูปที่ 2.14
- α_E = Interaction factor ของเสาเข็มที่ขึ้นอยู่กับค่า K ,
 d/s และ L/d หาได้จากรูปที่ 2.15 ถึงรูปที่ 2.18

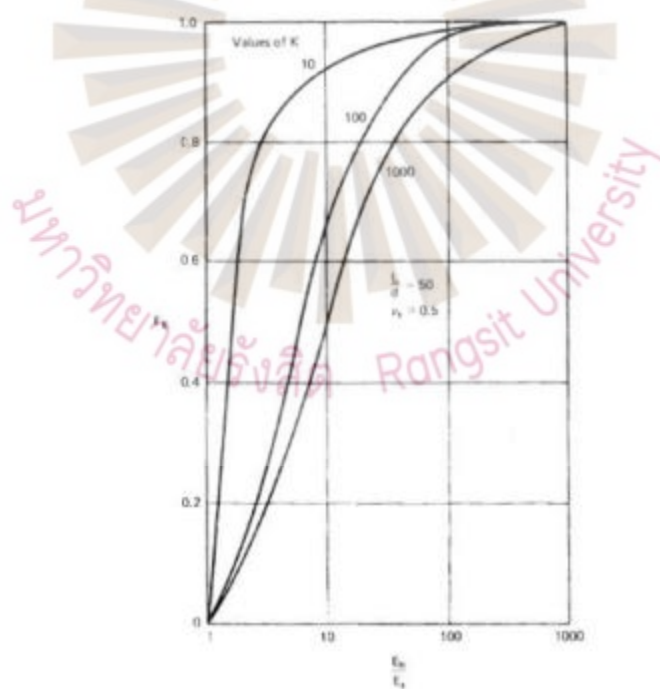


รูปที่ 2.11 กราฟแสดงค่า F_E ; $L/d=10$

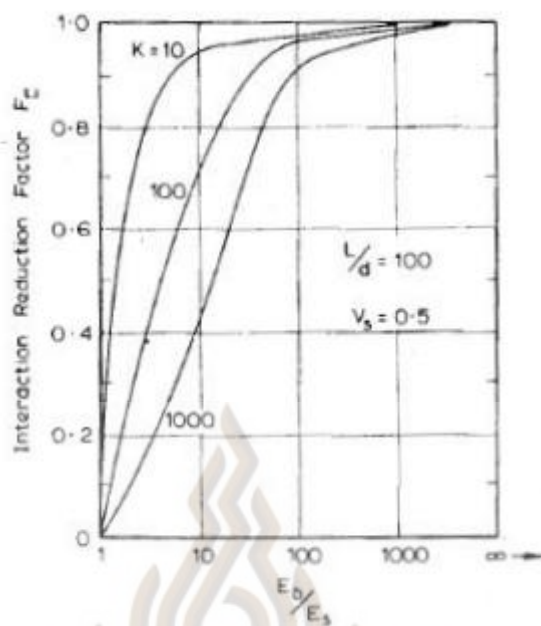
ที่มา: Poulos & Davis, 1980



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงค่า F_E ; $L/d=25$
ที่มา: Poulos & Davis, 1980

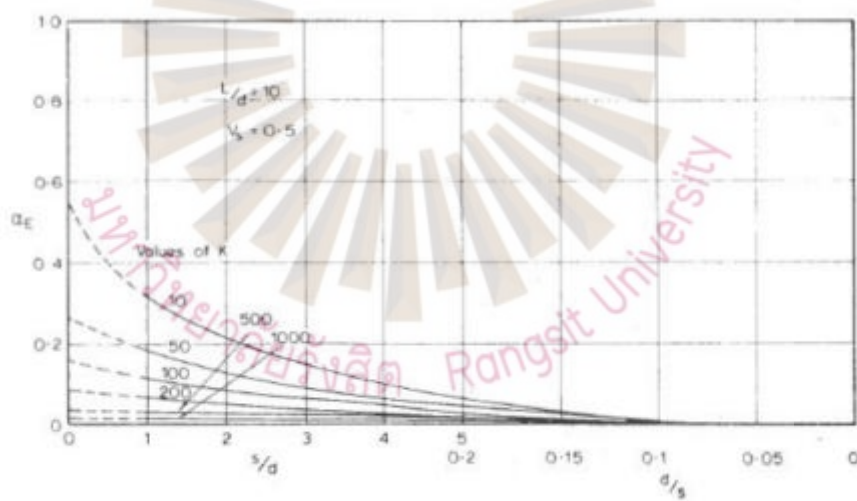


รูปที่ 2.13 กราฟแสดงค่า F_E ; $L/d=50$
ที่มา: Poulos & Davis, 1980



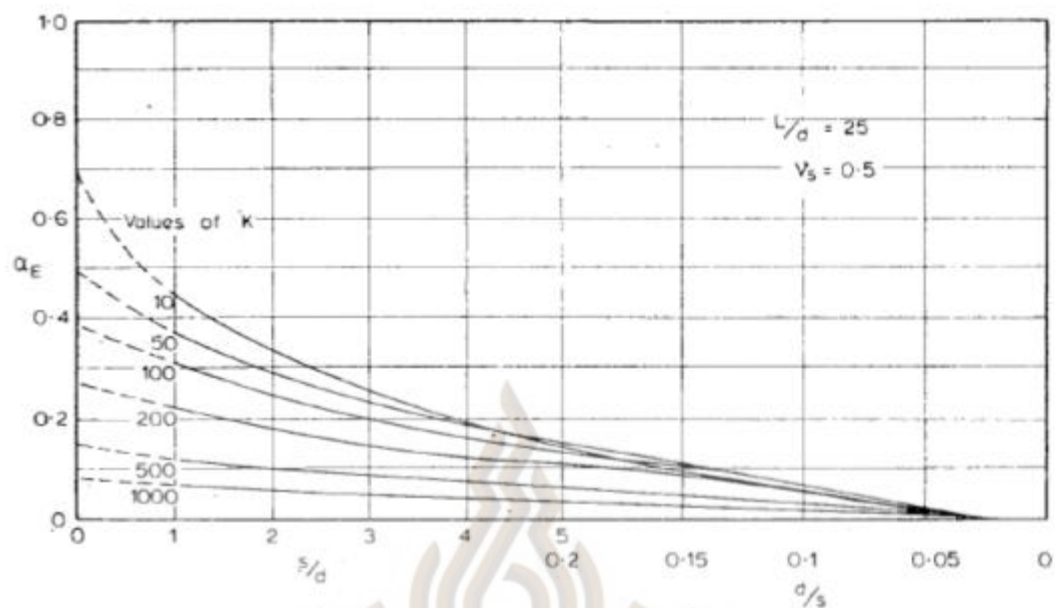
รูปที่ 2.14 กราฟแสดงค่า F_E ; $L/d=100$

ที่มา: Poulos & Davis, 1980



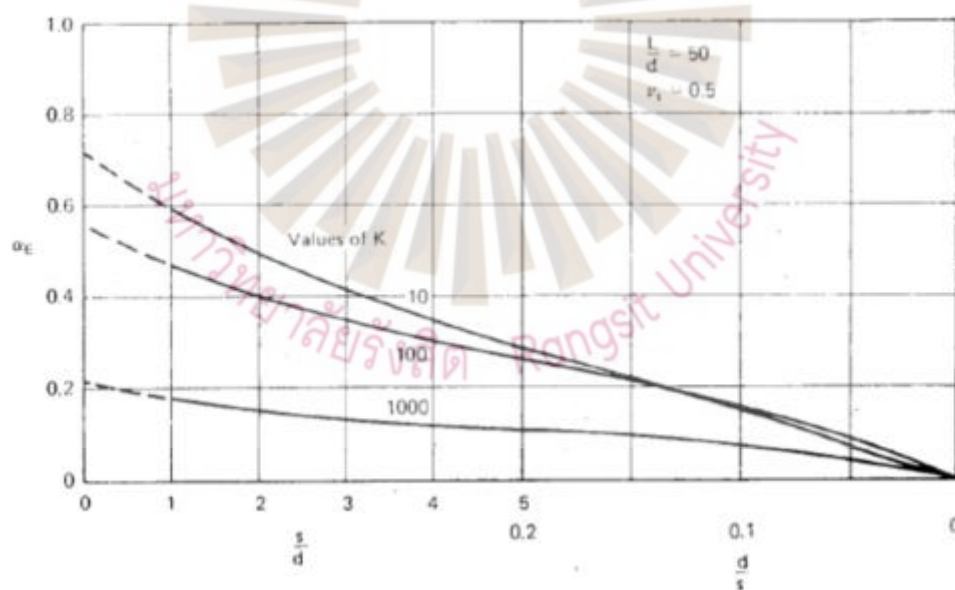
รูปที่ 2.15 กราฟแสดงค่า α_E ; $L/d=10$

ที่มา: Poulos & Davis, 1980



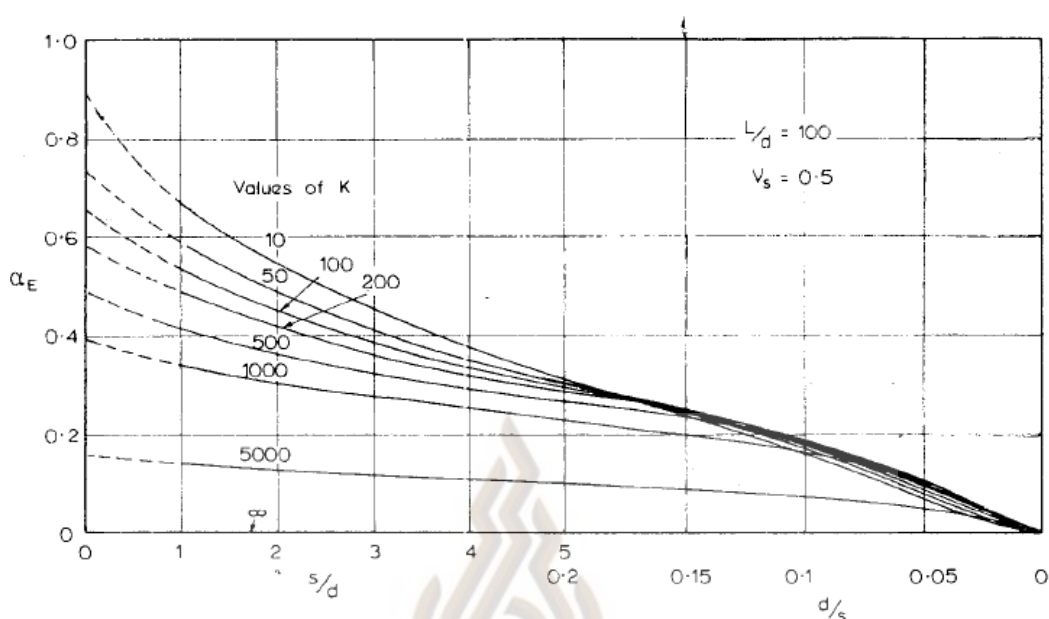
รูปที่ 2.16 กราฟแสดงค่า α_E ; $L/d=25$

ที่มา: Poulos & Davis, 1980



รูปที่ 2.17 กราฟแสดงค่า α_E ; $L/d=50$

ที่มา: Poulos & Davis, 1980



รูปที่ 2.18 กราฟแสดงค่า α_E ; $L/d=100$

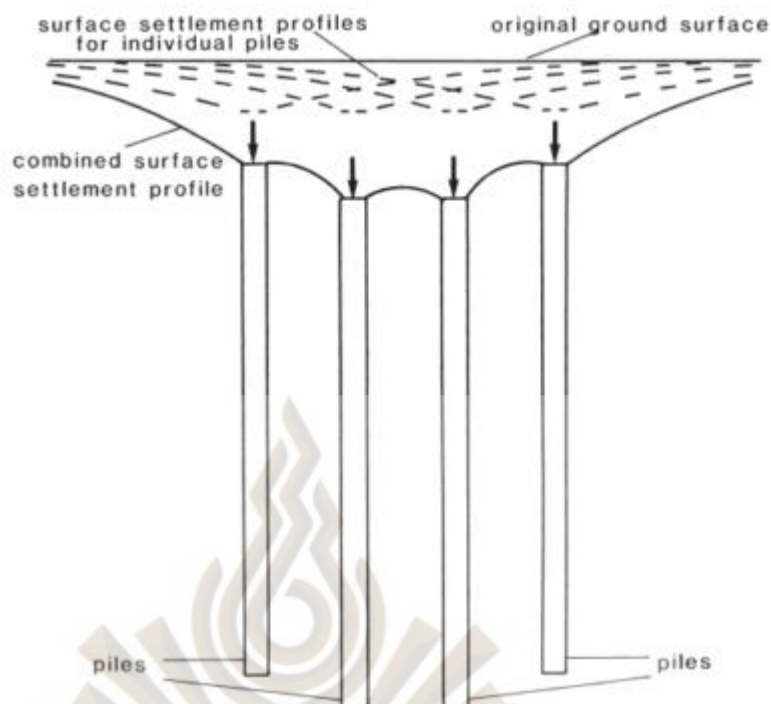
ที่มา: Poulos & Davis, 1980

2.3.4 การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มตามทฤษฎีของ Fleming et al. (2009)

การทรุดตัวของเสาเข็มแต่ละต้นในเสาเข็มกลุ่ม แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ส่วนที่เกิดจากน้ำหนักที่กระทำต่อเสาเข็มต้นนั้น และ 2) ส่วนที่เกิดจากผลกระทบของเสาเข็มต้นอื่นๆที่อยู่ในกลุ่ม ดังนั้นเสาเข็มเดี่ยวจะทรุดตัวน้อยกว่าเสาเข็มกลุ่มที่รับแรงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากัน

การคำนวณการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มอาศัยวิธีการหา Group Stiffness ของกลุ่มเสาเข็มจากการรวมกันของ Pile Stiffness ของเสาเข็มแต่ละต้นร่วมกับปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม (Pile Settlement Interaction: α)

การใช้ Interaction Factor (α) เพื่อหาการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มเป็นไปตามหลักการซ้อนทับของการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว ตามรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 พฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มเนื่องจากการซ้อนทับของการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว

ที่มา: Fleming et al., 2009

Mylonakis and Gazetas (1998) แสดงว่า ปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม อาจจะแสดงได้ในรูปของ diffraction factor, ξ นั่นคือ

$$\alpha = \frac{\ln(r_m/s)}{\xi} \xi$$

(2-8)

S = ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม

r_m = รัศมีอิทธิพลสูงสุดของเสาเข็ม



รูปที่ 2.21 เสาค้ำและคุณสมบัติชั้นดินที่ทำการศึกษา
ที่มา: ผู้วิจัย

จากสมการ

$$r_m \approx \chi_1 \chi_2 L (1 - \nu_s) \quad (2-9)$$

$\chi_1 = 2.0$ for soil on rigid bedrock at depth $2.5L$

$\chi_2 = 1.0$

$L = 20$ m.

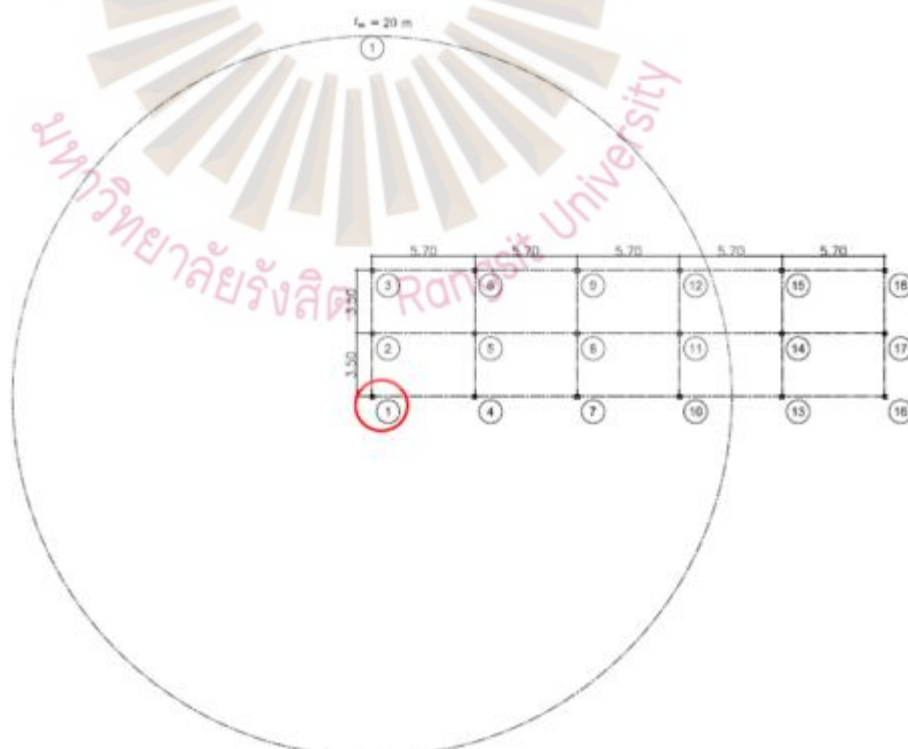
$\nu_s =$ อัตราส่วนปัวซอง = 0.5

แทนค่า

$$r_m = (2.0)(1.0)(20)(1-0.5)$$

$$r_m = 20$$
 m.

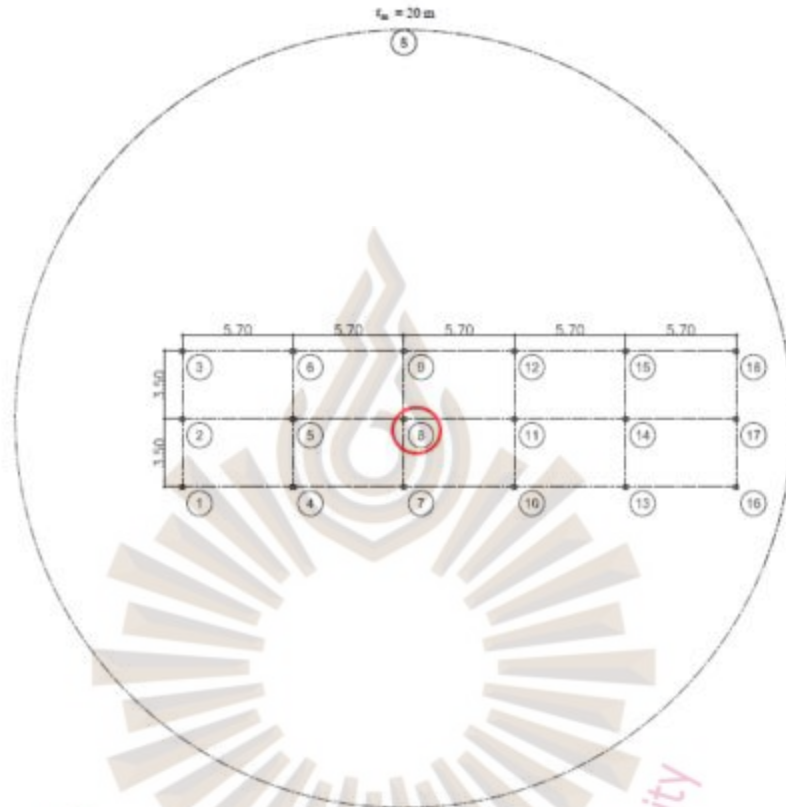
การศึกษานี้นำเสนอคุณสมบัติชั้นดินในช่วง Short Term เนื่องจากในช่วง Long term ค่า K มีค่าลดลง ค่าแรงปฏิกิริยาที่เสาเข็มจะมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งปลอดภัยกว่าช่วง Short term



รูปที่ 2.22 ระยะ r_m ของเสาเข็มต้นที่ 1

ที่มา: ผู้วิจัย

ระยะ r_m สำหรับเสาเข็มต้นที่ 1 ที่การทรุดตัวของเสาเข็มต้นที่ 1 ส่งผลกระทบจากการทรุดตัวถึงเสาเข็มต้นอื่นๆที่อยู่ในรัศมี r_m ได้แก่ เสาเข็มต้นที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ซึ่งมีค่ามากน้อยแตกต่างกันไปตามระยะห่างของเสาเข็มแต่ละต้นกับเสาเข็มต้นที่ 1



รูปที่ 2.23 ระยะ r_m ของเสาเข็มต้นที่ 8

ที่มา: ผู้วิจัย

ระยะ r_m สำหรับเสาเข็มต้นที่ 8 ที่การทรุดตัวของเสาเข็มต้นที่ 8 ส่งผลกระทบจากการทรุดตัวถึงเสาเข็มต้นอื่นๆที่อยู่ในรัศมี r_m ได้แก่ เสาเข็มต้นที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 และ 18 ซึ่งมีค่ามากน้อยแตกต่างกันไปตามระยะห่างของเสาเข็มแต่ละต้นกับเสาเข็มต้นที่ 8

$$\xi = \frac{2\mu L + \sinh(2\mu L) + \Omega^2 [\sinh(2\mu L) - 2\mu L] + 2\Omega [\cosh(2\mu L) - 1]}{2 \sinh(2\mu L) + 2\Omega^2 \sinh(2\mu L) + 4\Omega \cosh(2\mu L)} \quad (2-10)$$

$\lambda = E_p/G_L$ อัตราส่วนสติฟเนสของเสาเข็มและดิน

$\zeta = \ln(2r_m/d)$ การวัดรัศมีอิทธิพลของเสาเข็ม

$\mu L = 2\sqrt{2/\zeta\lambda} (L/d)$ การวัดการยุบตัวได้ของเสาเข็ม

$$\Omega = \frac{P_b}{w_b(EA)_p \mu} \quad \text{and} \quad \mu L = \sqrt{\frac{k}{(EA)_p}} L \quad (2-11)$$

$$\frac{P_b}{w_b} = \frac{2d_b G_b}{(1-\nu)} \quad (2-12)$$

$$\zeta = \ln \left\{ [0.25 + (2.5\rho(1-\nu) - 0.25)\beta] \right\} 2L/d$$

$$\zeta = \ln[5\rho(1-\nu)L/d] \quad \text{for } \beta = 1 \quad (2-13)$$

$$\frac{P_t}{w_t d G_L} = \frac{\frac{2\eta}{(1-\nu)\beta} + \frac{2\pi\rho \tanh(\mu L) L}{\zeta \mu L d}}{1 + \frac{8\eta}{\pi\lambda(1-\nu)\beta} \frac{\tanh(\mu L) L}{\mu L d}} \quad (2-14)$$

$\eta = d_b/d$ อัตราส่วนขนาดเสาเข็มส่วนปลายต่อขนาดเสาเข็ม
 $\beta = G_L/G_b$ อัตราส่วนโมดูลัสเฉือนตามความลึกของเสาเข็มแบกทาน
 $\rho = G/G_L$ การเปลี่ยนแปลงโมดูลัสเฉือนของดินตามความลึก

2.4 วิธีการไฟไนต์อีลิเมนต์

ในการวิเคราะห์ระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักใน 3 มิติ มีความยากในการใช้วิธีการคำตอบแม่นยำตรง (Exact Solution) ในการแก้ปัญหา ดังนั้นจึงใช้วิธีการไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Method) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบโดยประมาณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสามารถนำมาใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนได้

การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ และจำเป็นต้องเข้าใจถึงการใส่เงื่อนไขขอบเขตของปัญหา (Boundary Condition) และศึกษาความละเอียดของการจัดโครงข่ายชิ้นส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในตัวโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์และนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



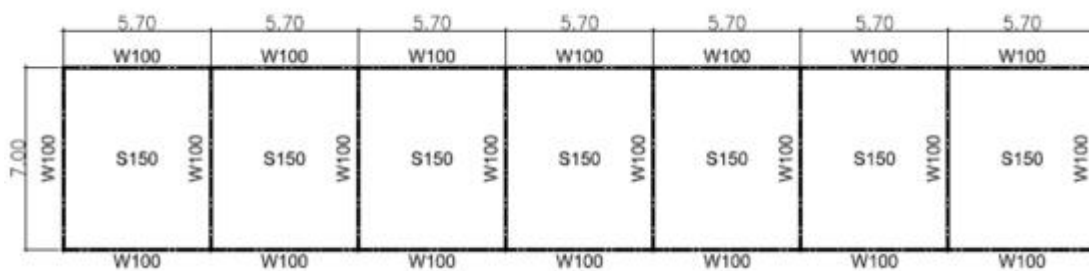
บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

การศึกษานี้เลือกโปรแกรม SAP2000 มาใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างที่เป็นผนังชนิดคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Wall) โดยกำหนดให้ผนังเป็นชิ้นส่วนแผ่นเปลือกบาง (Thin Shell Element) ประกอบกันเข้าด้วยข้อต่อ (Link Element) ที่มีกลสมบัติยืดหยุ่นแบบไร้เชิงเส้น (Non Linear) และแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Multi Linear Elastic) เปรียบเทียบกับโครงสร้างที่เป็นผนังชนิดคอนกรีตหล่อในที่ (Cast-in-place Wall) ซึ่งผนังและพื้นเชื่อมต่อเป็นเนื้อเดียวกัน โดยกำหนดจุดรองรับเป็น จุดรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม (Spring Support with K Considering of Pile Settlement Interaction), จุดรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (Spring Support with Constant K) และ จุดรองรับแบบจุดหมุน (Pinned Support) เพื่อเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในจุดรองรับแต่ละแบบ

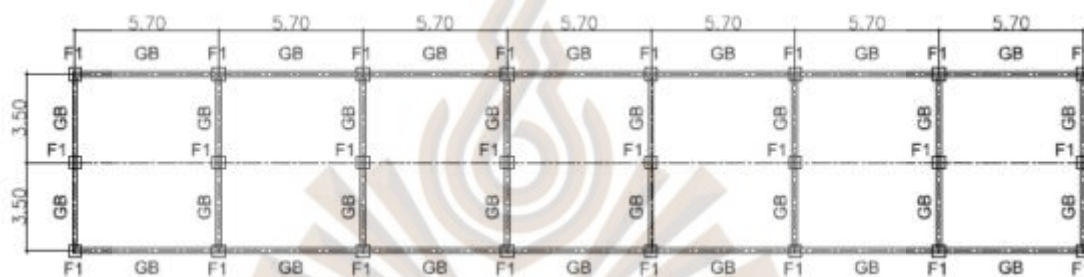
3.1 โครงสร้างที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ใช้ทาวเวอร์เฮาส์ 2 ชั้น หน้ากว้าง 5.70 ม. ลึก 7.00 ม. ระยะความสูงต่อชั้น 3.00 ม. ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ถึงรูปที่ 3.5 เป็นกรณีศึกษา การศึกษาครอบคลุมทาวเวอร์เฮาส์ จำนวน 1, 3, 5 และ 7 ยูนิต โดยโครงสร้างที่ศึกษาประกอบด้วย 1) โครงสร้างที่เป็นผนังชนิดคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Wall) ซึ่งผนังและพื้นหล่อสำเร็จจากโรงงานแล้วนำมาประกอบที่หน้างานด้วยจุดยึดต่อลักษณะต่างๆ และ 2) โครงสร้างที่เป็นผนังชนิดคอนกรีตหล่อในที่ (Cast-in-place Wall) ซึ่งผนังและพื้นเชื่อมต่อเป็นเนื้อเดียวกัน



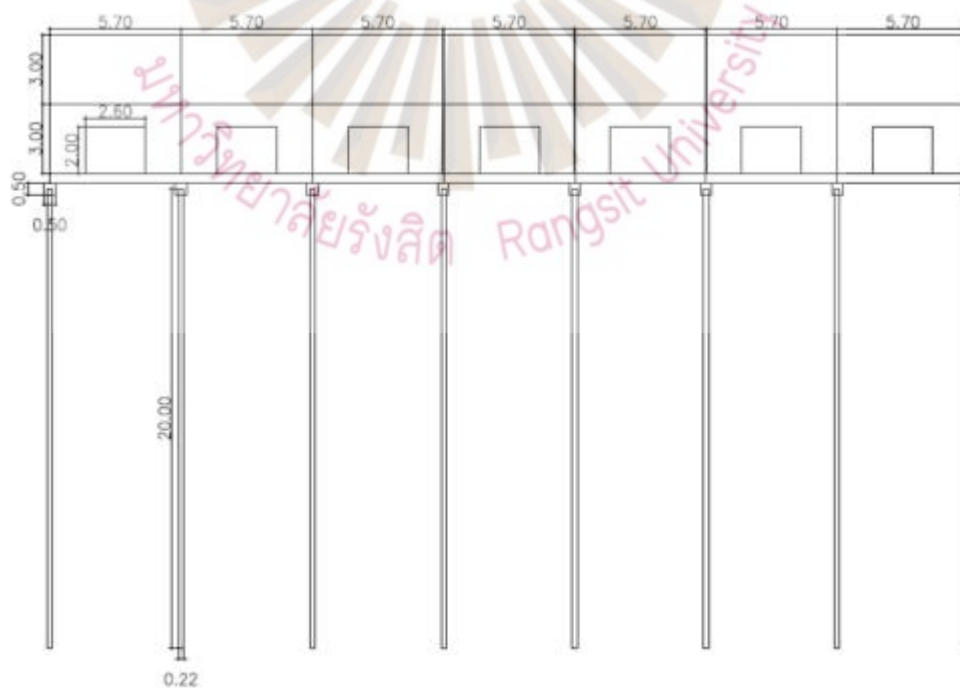
รูปที่ 3.1 แบบแปลนพื้นชั้นที่ 1 และ ชั้นที่ 2 ทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต

ที่มา: ผู้วิจัย



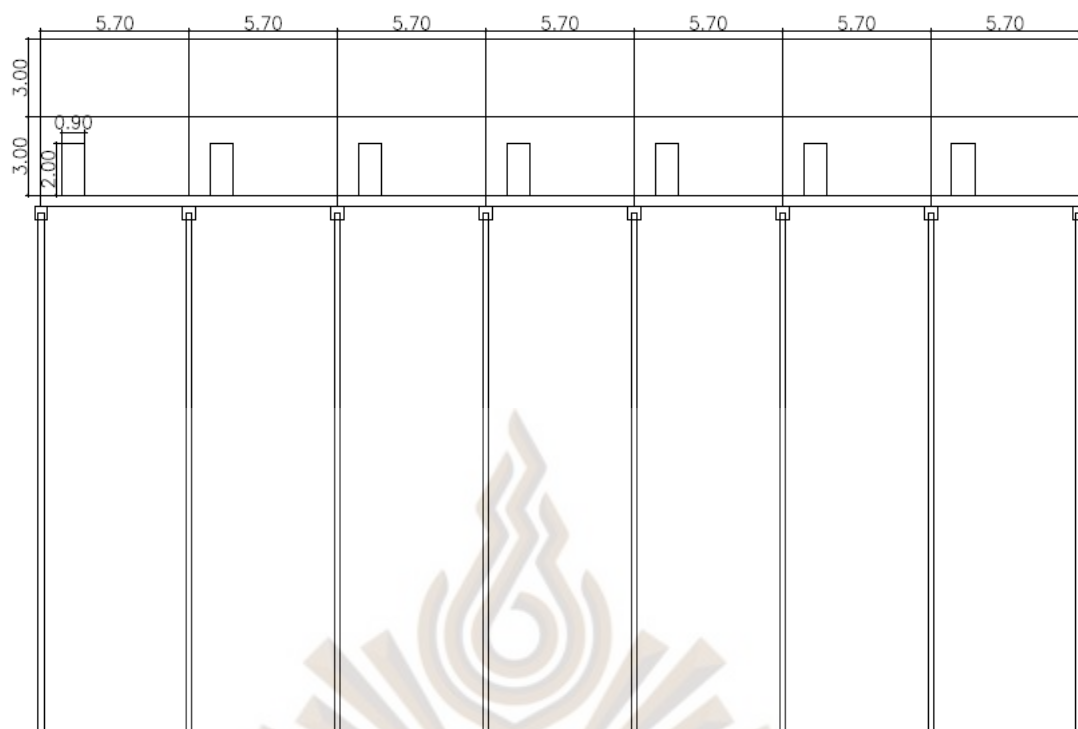
รูปที่ 3.2 แบบแปลนคานคอดินและฐานราก ทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต

ที่มา: ผู้วิจัย



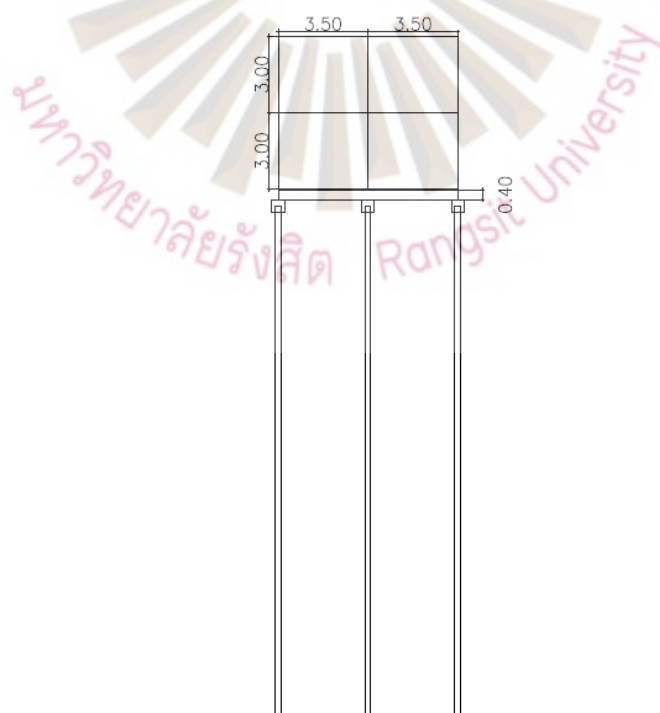
รูปที่ 3.3 แบบรูปด้านหน้า ทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต

ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 3.4 แบบรูปด้านหลัง ทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต

ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 3.5 แบบรูปด้านข้างและผนังกันห้อง ทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต

ที่มา: ผู้วิจัย

3.2 การจำลองชิ้นส่วนต่างๆของโครงสร้าง

การจำลองชิ้นส่วนต่างๆของโครงสร้างและขนาดในแบบจำลองเป็นไปตามรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชิ้นส่วนโครงสร้าง แบบจำลอง และขนาดในแบบจำลอง

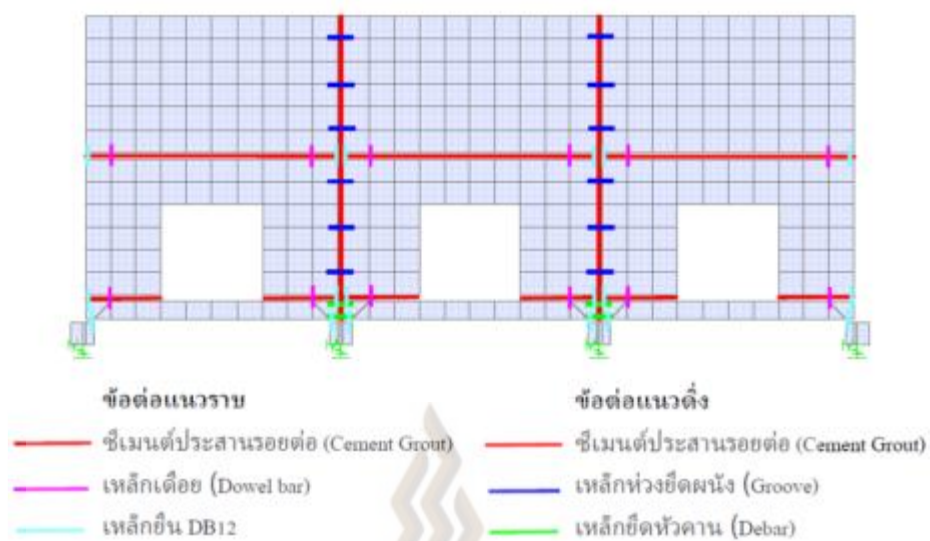
ชิ้นส่วนโครงสร้าง	แบบจำลอง	ความหนา (ม.)
ฐานครอบเสาเข็ม	Shell Element	0.50
แผ่นพื้น	Shell Element	0.15
คานคอดิน	Shell Element	0.20
แผ่นผนัง	Shell Element	0.10
เสาเข็ม แบบที่ 1	Spring Support with K Considering of Pile Settlement Interaction	-
เสาเข็ม แบบที่ 2	Spring Support with Constant K	-
เสาเข็ม แบบที่ 3	Pinned Support	-

ที่มา: ผู้วิจัย

3.3 แบบจำลองโครงสร้างผนังชนิดคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Wall)

การจำลองระบบยึดรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้าง

บริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ เว้นช่องว่างไว้ 2 เซนติเมตร และได้จำลองข้อต่อ (Link Elements) แบบต่างๆ เพื่อเชื่อมชิ้นส่วนโครงสร้างเข้าด้วยกันทั้งในแนวราบและแนวตั้ง ดังรูปที่ 3.6 โดยข้อต่อแต่ละแบบมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.6 รายละเอียดและตำแหน่งของข้อต่อแนวราบและข้อต่อแนวตั้ง

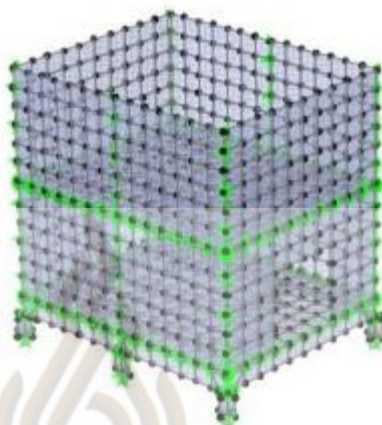
ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 3.2 ข้อต่อ (Link Elements) แบบต่างๆ

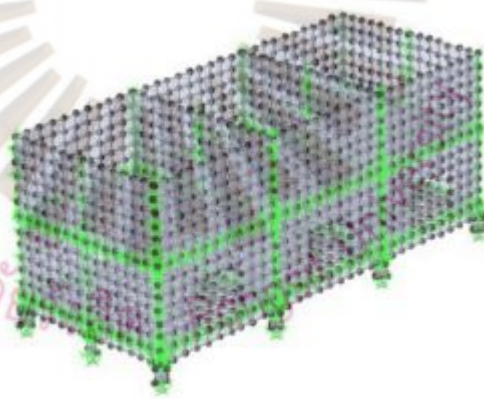
ข้อต่อ (Link Element)	SAP2000	Link Property
ข้อต่อแนวราบ		
ซีเมนต์ประสานรอยต่อ (Cement Grout)	COM500	Friction Isolator
เหล็กเดือย (Dowel bar)	DOWELBAR	MultiLinear Elastic
เหล็กยื่นยึดผนัง DB12	DB12/2	MultiLinear Elastic
เหล็กเดือยยึดฐานราก DB12	DB12	MultiLinear Elastic
ข้อต่อแนวตั้ง		
ซีเมนต์ประสานรอยต่อ (Cement Grout)	WalXR	MultiLinear Elastic
เหล็กห้วงยึดผนัง (Groove)	GROOVE	MultiLinear Elastic
เหล็กยึดหัวคาน (Debar)	Debar	MultiLinear Elastic

ที่มา: ผู้วิจัย

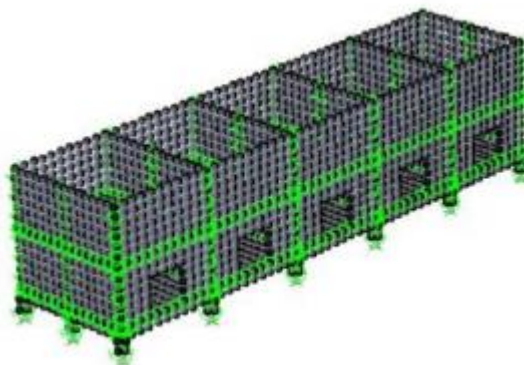
แบบจำลองโครงสร้างผนังชนิดคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Wall) เป็นไปตามรูปที่ 3.7 ถึงรูปที่ 3.10



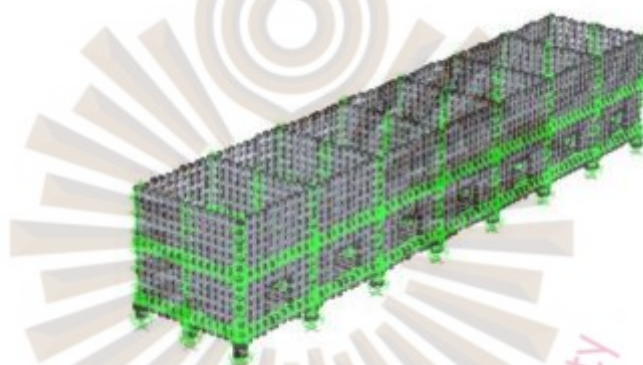
รูปที่ 3.7 แบบจำลองทาว์นเฮาส์ 1 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 3.8 แบบจำลองทาว์นเฮาส์ 3 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 3.9 แบบจำลองทาวนเฮาส์ 5 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ
ที่มา: ผู้วิจัย



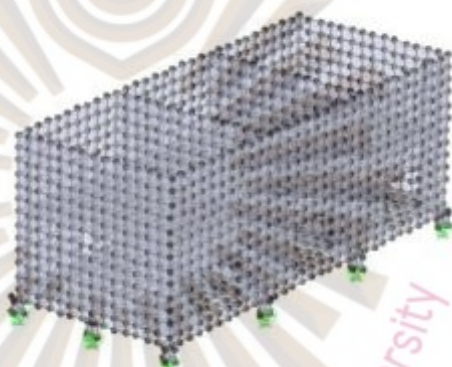
รูปที่ 3.10 แบบจำลองทาวนเฮาส์ 7 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ
ที่มา: ผู้วิจัย

3.4 แบบจำลองโครงสร้างผนังชนิดคอนกรีตหล่อในที่ (Cast-in-place Wall)

แบบจำลองโครงสร้างผนังชนิดคอนกรีตหล่อในที่ (Cast-in-place Wall) เป็นไปตามรูปที่ 3.11 ถึงรูปที่ 3.14



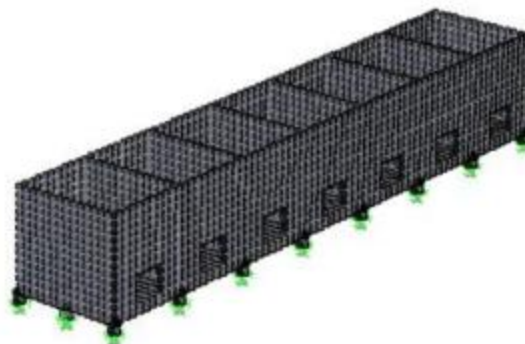
รูปที่ 3.11 แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 1 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 3.12 แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 3 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 3.13 แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 5 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 3.14 แบบจำลองทาวเวอร์เฮาส์ 7 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่
ที่มา: ผู้วิจัย

3.5 คุณสมบัติของวัสดุ

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้มีดังนี้

คอนกรีตโครงสร้าง

ฐานครอบเสาเข็ม, แผ่นพื้น, คาน, แผ่นผนัง: $f_c' = 240 \text{ ksc}$, $E = 233,928 \text{ ksc}$

เสาเข็ม : $f_c' = 320 \text{ ksc}$, $E = 270,117 \text{ ksc}$

เหล็กเสริมคอนกรีต

เหล็กเส้น SD40 : $f_y = 4,000 \text{ ksc}$, $E = 2,040,000 \text{ ksc}$

3.6 น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างในการวิเคราะห์

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อแผ่นพื้น สมมติให้กระจายเป็นแรงกระทำสม่ำเสมอ (Uniform Area Loads) โดยกำหนดให้เป็น น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม (SDL) 120 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และน้ำหนักบรรทุกจร (LL) 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

น้ำหนักบรรทุกจากหลังคากระทำต่อแผ่นกำแพง สมมติให้เป็นแรงกระทำแบบจุด (Point Loads) โดยกำหนดให้เป็น น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม (SDL) 65 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และน้ำหนักบรรทุกจร (LL) 30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

3.7 การจำลองฐานรองรับ (Support)

ในการศึกษาครอบคลุมฐานรากที่รองรับโครงสร้าง 3 รูปแบบ ซึ่งสรุปไว้ในตารางที่ 3.3 โดยมีลักษณะดังนี้

- 1) ฐานรองรับ แบบที่ 1: แบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม (Spring Support with K Considering of Pile Settlement Interaction)
- 2) ฐานรองรับ แบบที่ 2: แบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (Spring Support with Constant K)
- 3) ฐานรองรับ แบบที่ 3: แบบจุดหมุน (Pinned Support)

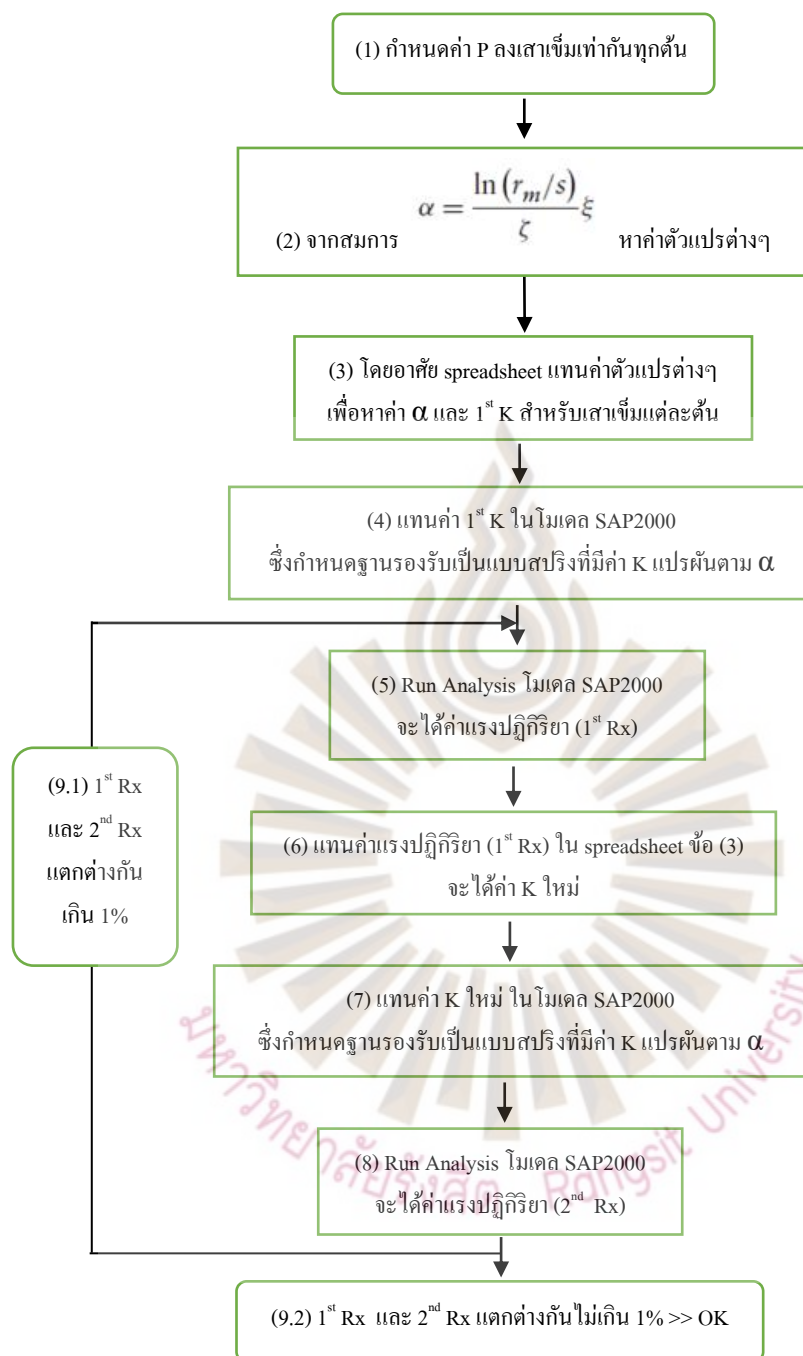
ตารางที่ 3.3 ฐานรองรับและแบบจำลอง

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	แบบจำลอง
ฐานรองรับ แบบที่ 1	แบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม
ฐานรองรับ แบบที่ 2	แบบสปริงที่มีค่า K คงที่
ฐานรองรับ แบบที่ 3	แบบจุดหมุน

ที่มา: ผู้วิจัย

ค่า Stiffness ของฐานรองรับ แบบที่ 2 เป็นค่า Stiffness ของเสาเข็มเดี่ยว ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (2-6) โดยหน้าตัดของเสาเข็มเป็นขนาด I-22 ความยาว 20 เมตร ดอกละชั้นดินที่มีค่า Young's Modulus คงที่ เท่ากับ 600 ton/m^2 และนั่งอยู่บนชั้นดินแข็งที่มีค่า Young's Modulus คงที่ เท่ากับ $5,000 \text{ ton/m}^2$ ค่า Stiffness ของเสาเข็มเดี่ยวที่คำนวณได้ มีค่าเท่ากับ $4,890 \text{ ton/m}$ รายละเอียดการคำนวณแสดงใน ภาคผนวก

ค่า Stiffness ของฐานรองรับ แบบที่ 1 เป็นค่า Stiffness ของเสาเข็มเดี่ยว ซึ่งคิดรวมผลจากค่าปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม คำนวณจากสมการ (2-8) ถึงสมการ (2-14) โดยหน้าตัดของเสาเข็มเป็นขนาด I-22 ความยาว 20 เมตร ดอกละชั้นดินที่มีค่า Young's Modulus คงที่ เท่ากับ 600 ton/m^2 และนั่งอยู่บนชั้นดินแข็งที่มีค่า Young's Modulus คงที่ เท่ากับ $5,000 \text{ ton/m}^2$ ขั้นตอนการคำนวณเป็นไปตามรูปที่ 3.15 และรายละเอียดการคำนวณแสดงใน ภาคผนวก



รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการคำนวณหาค่า Pile Settlement Interaction

ที่มา: ผู้วิจัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

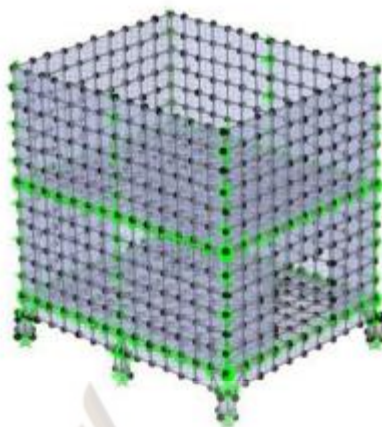
ผลการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ ได้แบ่งวิเคราะห์อาคารทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น จำนวน 1 ยูนิต, 3 ยูนิต, 5 ยูนิต และ 7 ยูนิต โดยจำลองโครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ วิเคราะห์เปรียบเทียบกับโครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ เพื่อให้ทราบพฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักบรรทุกอาคารลงสู่เสาเข็ม โดยทำการเปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาผ่าน ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม (Spring Support with K varies with Pile Settlement Interaction: α), ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (Spring Support with Constant K) และ ฐานรองรับแบบจุดหมุน (Pinned Support)

4.1 ผลการวิเคราะห์ผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

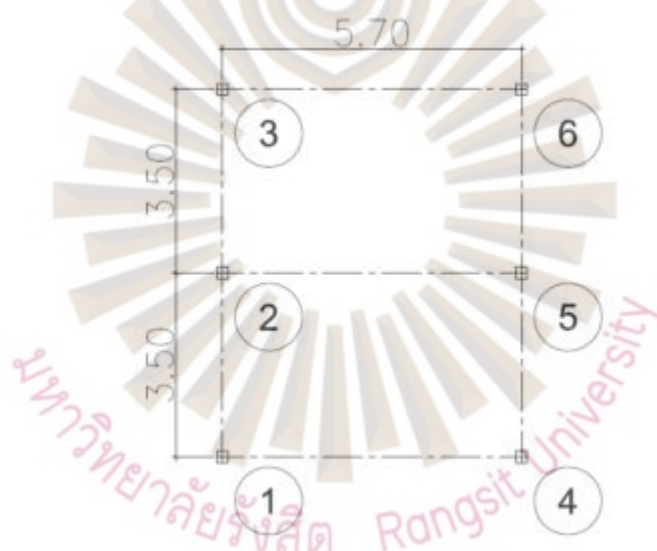
4.1.1 อาคารทาวน์เฮาส์จำนวน 1 ยูนิต

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาวน์เฮาส์ จำนวน 1 ยูนิต ดังรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.3 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 4 และ 6) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 4.63%, 4.48%, 4.59% และ 4.50% ดังตารางที่ 4.1

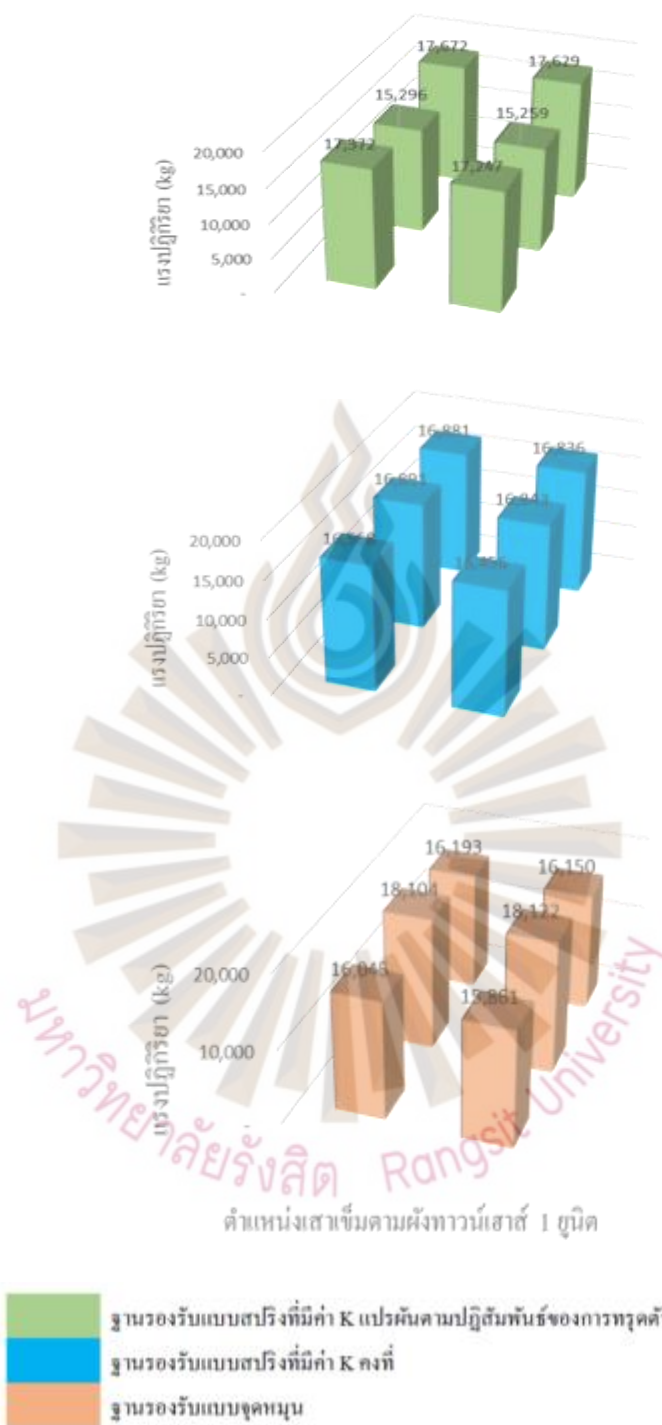
จากผลการวิเคราะห์อาคารทาวน์เฮาส์ จำนวน 1 ยูนิต ดังรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.3 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบจุดหมุน พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 4 และ 6) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 7.64%, 8.37%, 8.04% และ 8.39% ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 1 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.2 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 1 หน่วย
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.3 กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวเวอร์เสา 1 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ
ที่มา: ผู้วิจัย

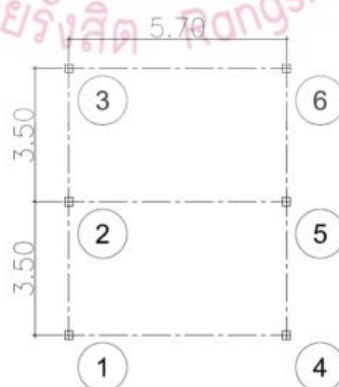
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 1 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (หน่วย: กิโลกรัม)

Support	File No.	
	3	6
I	17,672	17,629
C	16,881	16,836
P	16,193	16,150
(C-I)	-791	-793
(C-I)*100/I	-4.48%	-4.50%
(P-I)	-1,479	-1,479
(P-I)*100/I	-8.37%	-8.39%
Support	File No.	
	2	5
I	15,296	15,259
C	16,891	16,843
P	18,104	18,122
(C-I)	1,595	1,584
(C-I)*100/I	10.43%	10.38%
(P-I)	2,808	2,863
(P-I)*100/I	18.36%	18.76%
Support	File No.	
	1	4
I	17,372	17,247
C	16,568	16,456
P	16,045	15,861
(C-I)	-804	-791
(C-I)*100/I	-4.63%	-4.59%
(P-I)	-1,327	-1,386
(P-I)*100/I	-7.64%	-8.04%

I = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม

C = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่

P = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบจุดหมุน

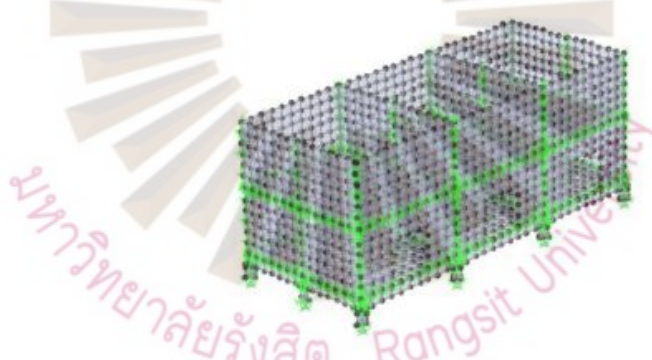


รูปที่ 4.4 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 1 หน่วย

4.1.2 อาคารทาวน์เฮาส์จำนวน 3 ยูนิต

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาวน์เฮาส์ จำนวน 3 ยูนิต ดังรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.7 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 10 และ 12) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 16.21%, 15.97%, 16.36% และ 15.68% ดังตารางที่ 4.2

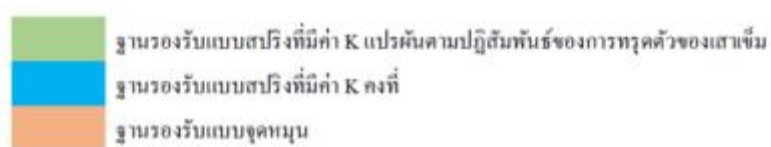
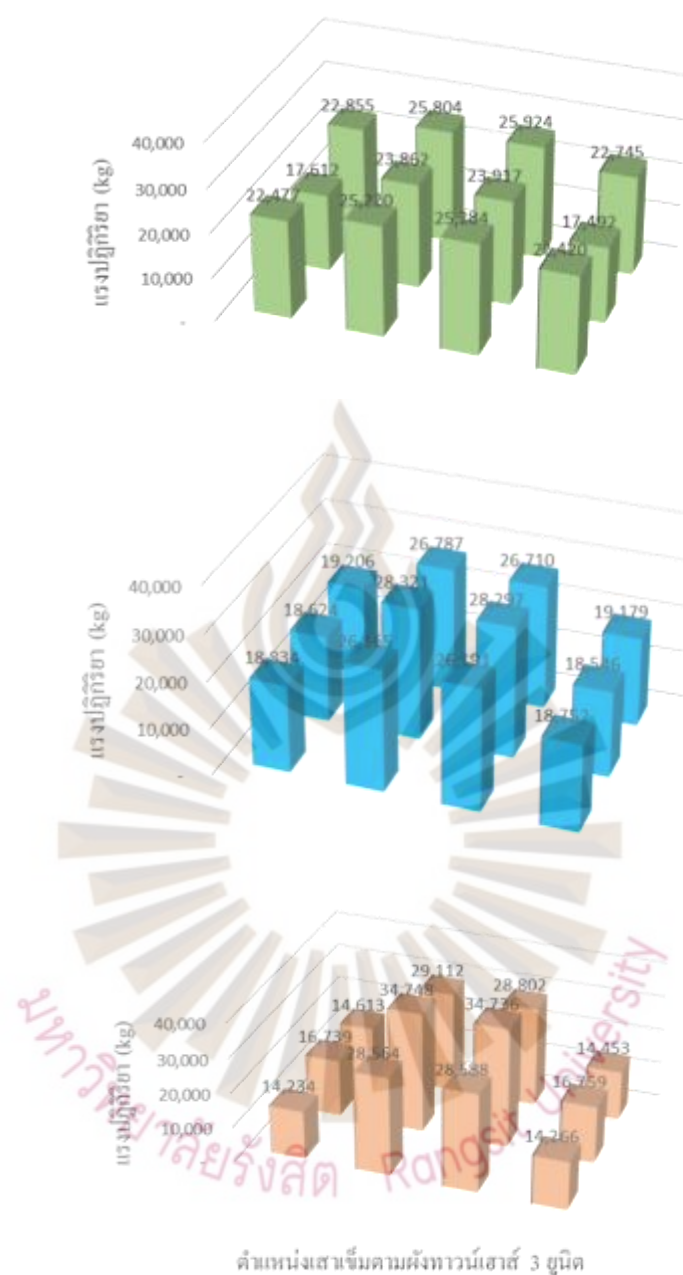
จากผลการวิเคราะห์อาคารทาวน์เฮาส์ จำนวน 3 ยูนิต ดังรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.7 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบจุดหมุน พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 10 และ 12) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 36.67%, 36.06%, 36.37% และ 36.46% ดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.5 แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 3 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.6 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 3 ยูนิต
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.7 กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวเวอร์เฮาส์ 3 ชั้นที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ

กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 3 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (หน่วย: กิโลกรัม)

Support	Pile No.			
	3	6	9	12
I	22,855	25,804	25,924	22,745
C	19,206	26,787	26,710	19,179
P	14,613	29,112	28,802	14,453
(C-I)	-3,649	983	786	-3,266
(C-I)*100/I	-15.97%	3.81%	3.03%	-15.68%
(P-I)	-8,242	3,308	2,878	-8,292
(P-I)*100/I	-36.06%	12.82%	11.10%	-36.46%
Support	Pile No.			
	2	5	8	11
I	17,612	23,862	23,917	17,492
C	18,624	28,521	28,297	18,546
P	16,739	34,748	34,736	16,759
(C-I)	1,012	4,659	4,380	1,054
(C-I)*100/I	5.75%	19.69%	18.31%	6.03%
(P-I)	-873	10,886	10,819	-733
(P-I)*100/I	-4.96%	45.62%	45.24%	-4.19%
Support	Pile No.			
	1	4	7	10
I	22,877	25,220	25,284	22,420
C	18,834	26,165	26,191	18,752
P	14,234	28,564	28,588	14,266
(C-I)	-3,643	945	907	-3,668
(C-I)*100/I	-16.21%	3.75%	3.59%	-16.36%
(P-I)	-8,243	3,344	3,304	-8,154
(P-I)*100/I	-36.67%	13.26%	13.07%	-36.37%

I = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม

C = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่

P = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบจุดหมุน

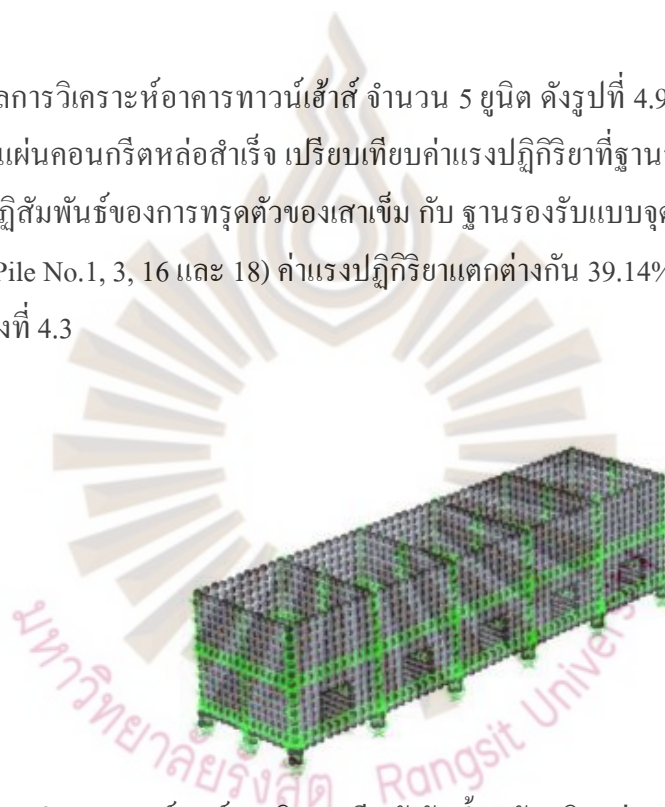


รูปที่ 4.8 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 3 หน่วย

4.1.3 อาคารทาว์นเฮาส์จำนวน 5 ยูนิต

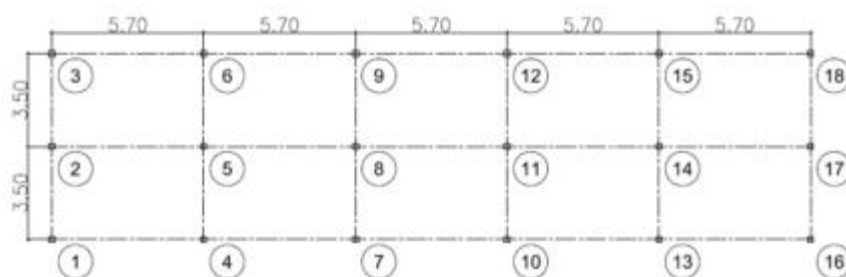
จากผลการวิเคราะห์อาคารทาว์นเฮาส์ จำนวน 5 ยูนิต ดังรูปที่ 4.9 ถึงรูปที่ 4.11 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 16 และ 18) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 19.97%, 18.96%, 19.69% และ 19.24% ดังตารางที่ 4.3

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาว์นเฮาส์ จำนวน 5 ยูนิต ดังรูปที่ 4.9 ถึงรูปที่ 4.11 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบจุดหมุน พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 16 และ 18) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 39.14%, 37.93%, 38.51% และ 38.72% ดังตารางที่ 4.3



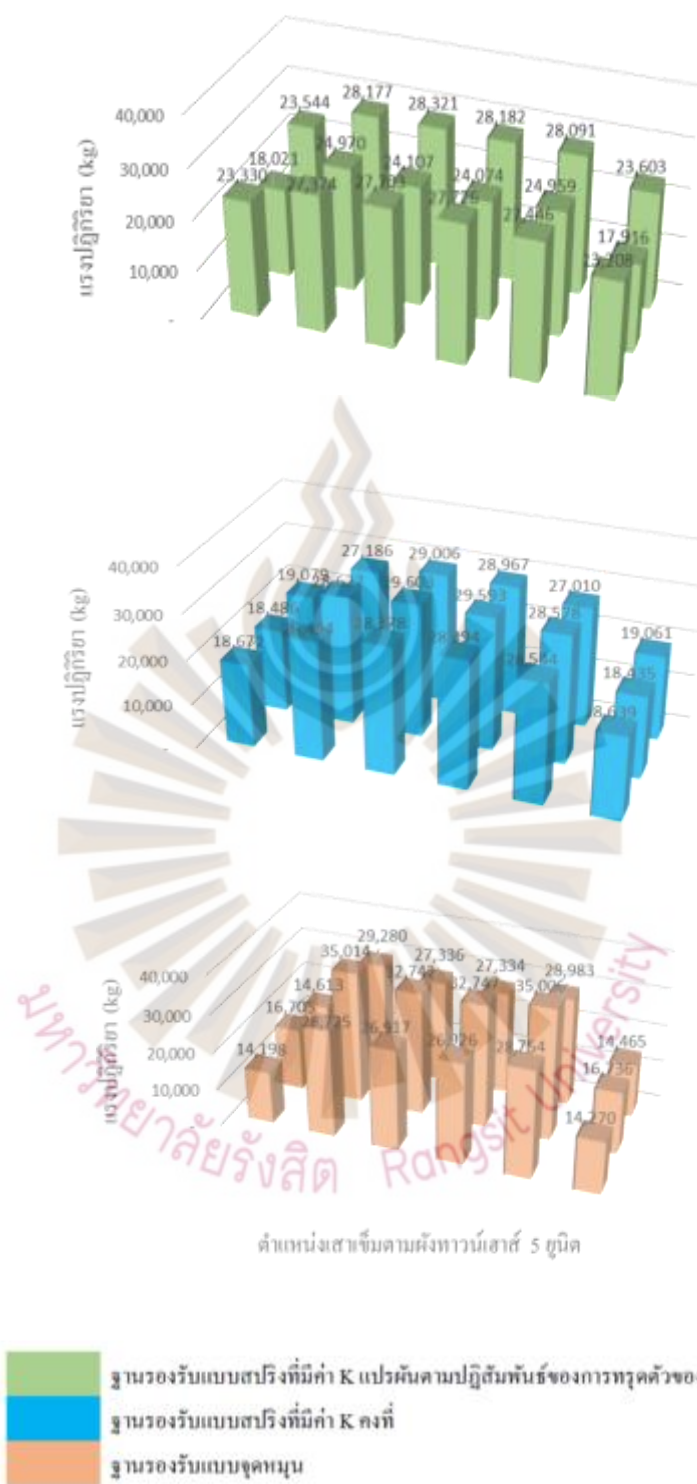
รูปที่ 4.9 แบบจำลองทาว์นเฮาส์ 5 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.10 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาว์นเฮาส์ 5 ยูนิต

ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.11 กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวเวอร์เสา 5 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ
ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 5 ยูนิตที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (หน่วย: กิโลกรัม)

Support	Pile No.					
	3	6	9	12	15	18
I	23,544	28,177	28,321	28,182	28,091	23,603
C	19,079	27,186	29,006	28,967	27,010	19,061
P	14,613	29,280	27,336	27,334	28,983	14,465
(C-I)	-4,465	-991	685	785	-1,081	-4,542
(C-I)*100/I	-18.96%	-3.52%	2.42%	2.79%	-3.85%	-19.24%
(P-I)	-8,931	1,103	-985	-848	892	-9,138
(P-I)*100/I	-37.93%	3.91%	-3.48%	-3.01%	3.18%	-38.72%
Support	Pile No.					
	2	5	8	11	14	17
I	18,021	24,970	24,107	24,074	24,959	17,916
C	18,486	28,627	29,603	29,593	28,578	18,435
P	16,705	35,014	32,742	32,747	35,006	16,736
(C-I)	465	3,657	5,496	5,519	3,619	519
(C-I)*100/I	2.58%	14.65%	22.80%	22.93%	14.50%	2.90%
(P-I)	-1,316	10,044	8,635	8,673	10,047	-1,180
(P-I)*100/I	-7.30%	40.22%	35.82%	36.03%	40.25%	-6.59%
Support	Pile No.					
	1	4	7	10	13	16
I	23,330	27,374	27,703	27,726	27,446	23,208
C	18,672	26,494	28,378	28,394	26,544	18,639
P	14,198	28,725	26,917	26,926	28,754	14,270
(C-I)	-4,658	-880	675	668	-902	-4,569
(C-I)*100/I	-19.97%	-3.21%	2.44%	2.41%	-3.29%	-19.69%
(P-I)	-9,132	1,351	-786	-800	1,308	-8,938
(P-I)*100/I	-39.14%	4.94%	-2.84%	-2.89%	4.77%	-38.51%

I = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม

C = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่

P = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบจุดหมุน

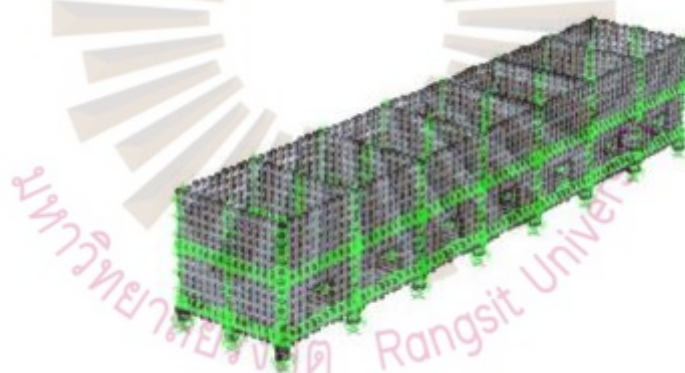


รูปที่ 4.12 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 5 ยูนิต

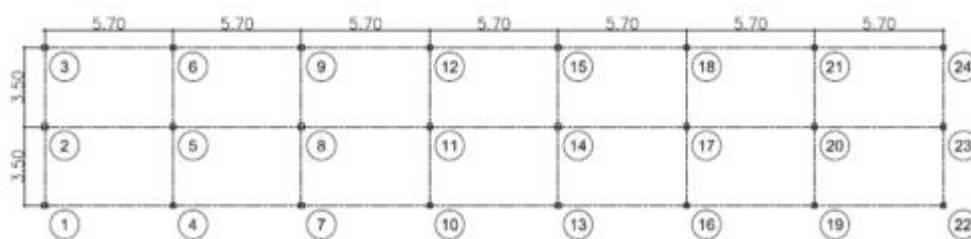
4.1.4 อาคารทาวน์เฮาส์จำนวน 7 ยูนิต

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาวน์เฮาส์ จำนวน 7 ยูนิต ดังรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.15 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 22 และ 24) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 19.95%, 18.92%, 19.68% และ 19.27% ดังตารางที่ 4.4

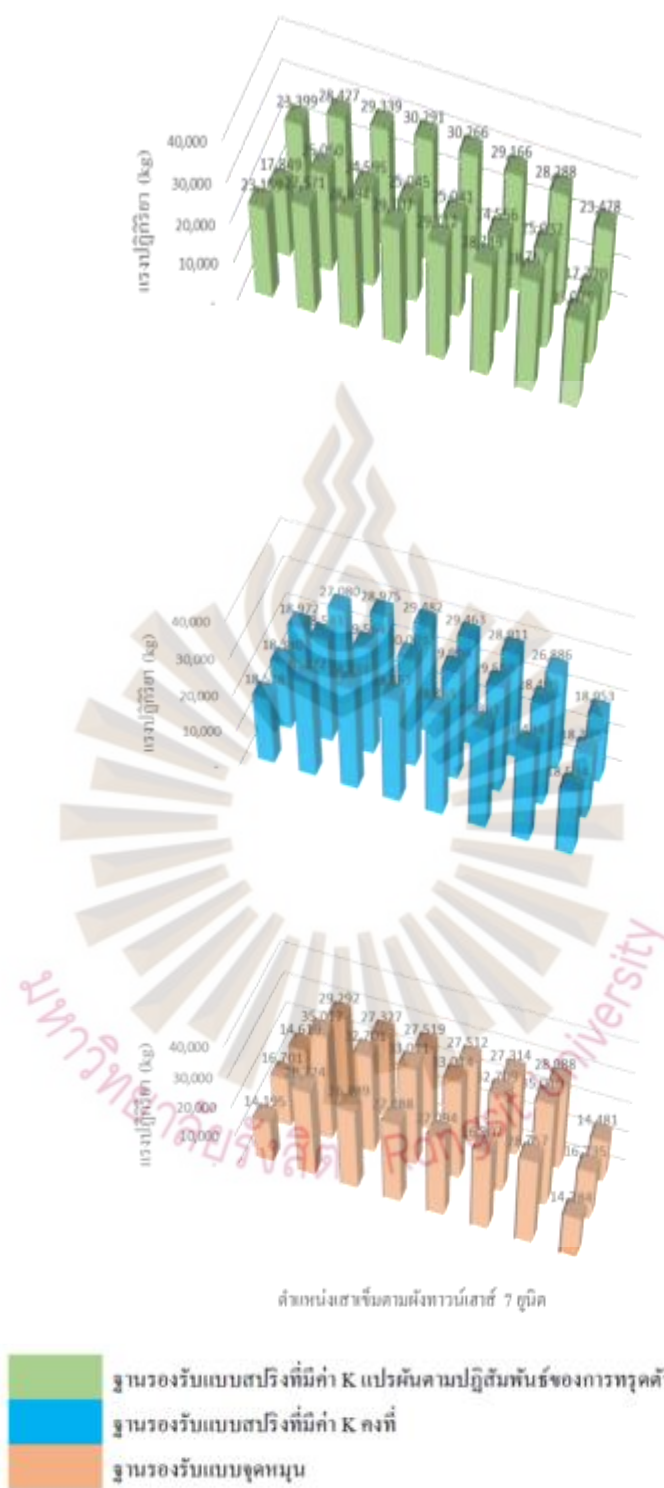
จากผลการวิเคราะห์อาคารทาวน์เฮาส์ จำนวน 7 ยูนิต ดังรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.15 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบจุดหมุน พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 22 และ 24) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 38.71%, 37.52%, 38.10% และ 38.32% ดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.13 แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.14 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 7 ยูนิต
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.15 กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทวนส์ 7 ยูนิคที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ที่มา: ผู้วิจัย

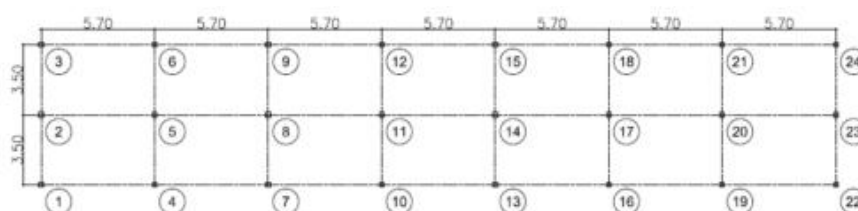
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 7 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (หน่วย: กิโลกรัม)

Support	Pile No.							
	3	6	9	12	15	18	21	24
I	23,399	28,427	29,339	30,291	30,266	29,166	28,288	23,478
C	18,972	27,080	28,975	29,482	29,463	28,911	26,886	18,953
P	14,619	29,292	27,327	27,519	27,512	27,314	28,988	14,481
(C-I)	-4,427	-1,347	-364	-809	-803	-255	-1,402	-4,525
(C-I)*100/I	-18.92%	-4.74%	-1.24%	-2.67%	-2.65%	-0.87%	-4.96%	-19.27%
(P-I)	-8,780	865	-2,012	-2,772	-2,754	-1,852	700	-8,997
(P-I)*100/I	-37.52%	3.04%	-6.86%	-9.15%	-9.10%	-6.35%	2.47%	-38.32%
Support	Pile No.							
	2	5	8	11	14	17	20	23
I	17,849	25,050	24,595	25,045	25,041	24,556	25,032	17,770
C	18,380	28,543	29,564	30,003	29,998	29,550	28,493	18,345
P	16,701	35,017	32,701	33,011	33,014	32,709	35,010	16,735
(C-I)	531	3,493	4,969	4,958	4,957	4,994	3,461	575
(C-I)*100/I	2.97%	13.94%	20.20%	19.80%	19.80%	20.34%	13.83%	3.24%
(P-I)	-1,148	9,967	8,106	7,966	7,973	8,153	9,978	-1,035
(P-I)*100/I	-6.43%	39.79%	32.96%	31.81%	31.84%	33.20%	39.86%	-5.82%
Support	Pile No.							
	1	4	7	10	13	16	19	22
I	23,159	27,571	28,694	29,707	29,712	28,719	28,757	23,075
C	18,538	26,372	28,333	28,857	28,863	28,361	26,434	18,534
P	14,195	28,724	26,889	27,088	27,094	26,907	28,757	14,284
(C-I)	-4,621	-1,199	-361	-850	-849	-358	-2,323	-4,541
(C-I)*100/I	-19.95%	-4.35%	-1.26%	-2.86%	-2.86%	-1.25%	-8.08%	-19.68%
(P-I)	-8,964	1,153	-1,805	-2,619	-2,618	-1,812	0	-8,791
(P-I)*100/I	-38.71%	4.18%	-6.29%	-8.82%	-8.81%	-6.31%	0.00%	-38.10%

I = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม

C = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่

P = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบจุดหมุน



รูปที่ 4.16 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 7 หน่วย

4.1.5 สรุปผลการวิเคราะห์ผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ทาว์นเฮาส์แบบ 1 ยูนิต ค่าแรงในเสาเข็มต้นมุม กรณีที่สปริงที่มีค่า K คงที่ และ กรณีเสาเข็มเป็นจุดหมุน แรงในเสาเข็มมีค่าต่ำกว่า กรณีที่สปริงมีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของเสาเข็ม ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าแรงในเสาเข็มต้นกลาง กรณีที่สปริงที่มีค่า K คงที่ และ กรณีเสาเข็มเป็นจุดหมุน แรงในเสาเข็มมีค่าสูงกว่า กรณีที่สปริงมีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของเสาเข็ม ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ทาว์นเฮาส์แบบ 3 ยูนิต, 5 ยูนิต และ 7 ยูนิต ค่าแรงในเสาเข็มต้นมุม กรณีที่สปริงที่มีค่า K คงที่ และ กรณีเสาเข็มเป็นจุดหมุน แรงในเสาเข็มมีค่าต่ำกว่า กรณีที่สปริงมีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของเสาเข็ม ประมาณ 16-20 เปอร์เซ็นต์ และ 36-40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าแรงในเสาเข็มต้นกลาง กรณีที่สปริงที่มีค่า K คงที่ และ กรณีเสาเข็มเป็นจุดหมุน แรงในเสาเข็มมีค่าสูงกว่า กรณีที่สปริงมีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของเสาเข็ม ประมาณ 19-25 เปอร์เซ็นต์ และ 33-46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.2 ผลการวิเคราะห์ผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่

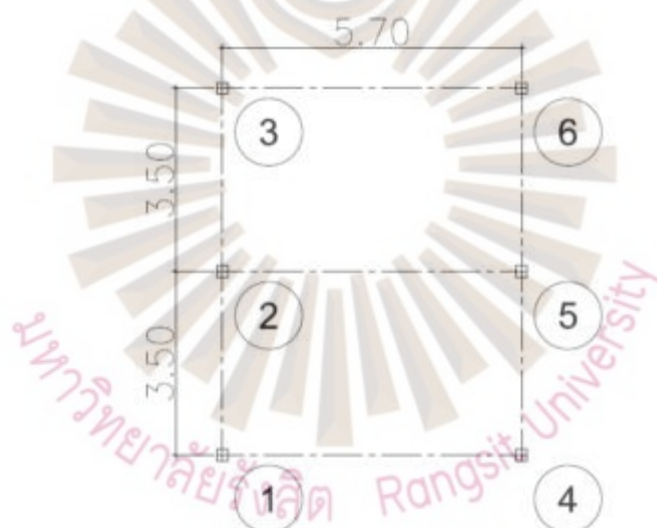
4.2.1 อาคารทาว์นเฮาส์จำนวน 1 ยูนิต

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาว์นเฮาส์ จำนวน 1 ยูนิต ดังรูปที่ 4.17 ถึงรูปที่ 4.19 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 4 และ 6) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 5.57%, 5.61%, 5.68% และ 5.52% ดังตารางที่ 4.5

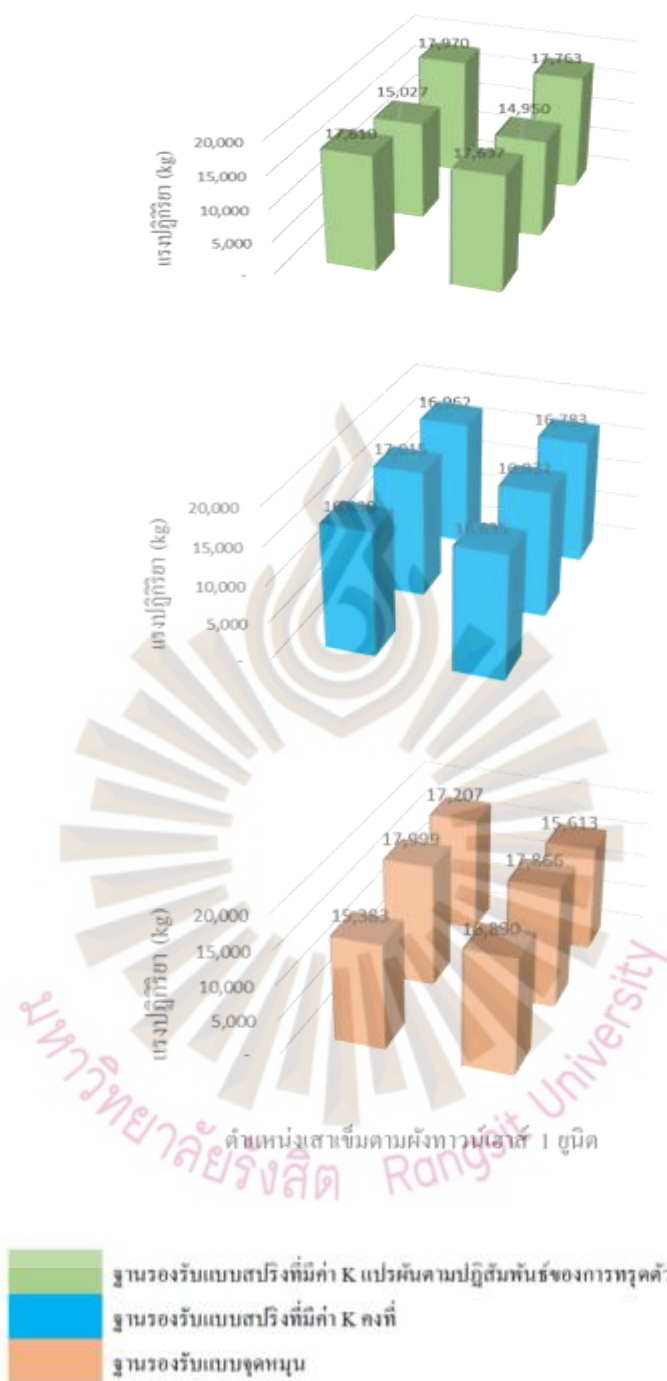
จากผลการวิเคราะห์อาคารทาว์นเฮาส์ จำนวน 1 ยูนิต ดังรูปที่ 4.17 ถึงรูปที่ 4.19 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบจุดหมุน พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 4 และ 6) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 12.65%, 4.25%, 4.24% และ 12.10% ดังตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.17 แบบจำลองทาวนเฮาส์ 1 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.18 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวนเฮาส์ 1 หน่วย
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.19 กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวนเฮาส์ 1 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่
 ที่มา: ผู้วิจัย

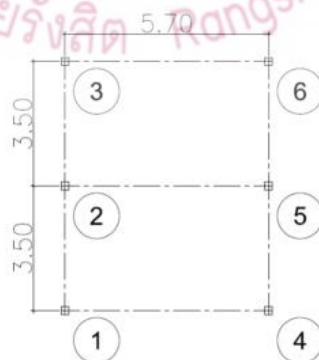
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 1 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ (หน่วย: กิโลกรัม)

Support	Pile No.	
	3	6
I	17,970	17,763
C	16,962	16,783
P	17,207	15,613
(C-I)	-1,008	-980
(C-I)*100/I	-5.61%	-5.52%
(P-I)	-763	-2,150
(P-I)*100/I	-4.25%	-12.10%
Support	Pile No.	
	2	5
I	15,027	14,950
C	17,015	16,932
P	17,999	17,866
(C-I)	1,988	1,982
(C-I)*100/I	13.23%	13.26%
(P-I)	2,972	2,916
(P-I)*100/I	19.78%	19.51%
Support	Pile No.	
	1	4
I	17,610	17,637
C	16,630	16,635
P	15,383	16,890
(C-I)	-980	-1,002
(C-I)*100/I	-5.57%	-5.68%
(P-I)	-2,227	-747
(P-I)*100/I	-12.65%	-4.24%

I = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม

C = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่

P = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบจุดหมุน



รูปที่ 4.20 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 1 หน่วย

4.2.2 อาคารทาวน์เฮาส์จำนวน 3 หน่วย

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาวน์เฮาส์ จำนวน 3 หน่วย ดังรูปที่ 4.21 ถึงรูปที่ 4.23 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 10 และ 12) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 20.50%, 20.51%, 20.51% และ 20.57% ดังตารางที่ 4.6

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาวน์เฮาส์ จำนวน 3 หน่วย ดังรูปที่ 4.21 ถึงรูปที่ 4.23 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบจุดหมุน พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 10 และ 12) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 44.37%, 38.53%, 37.80% และ 44.74% ดังตารางที่ 4.6

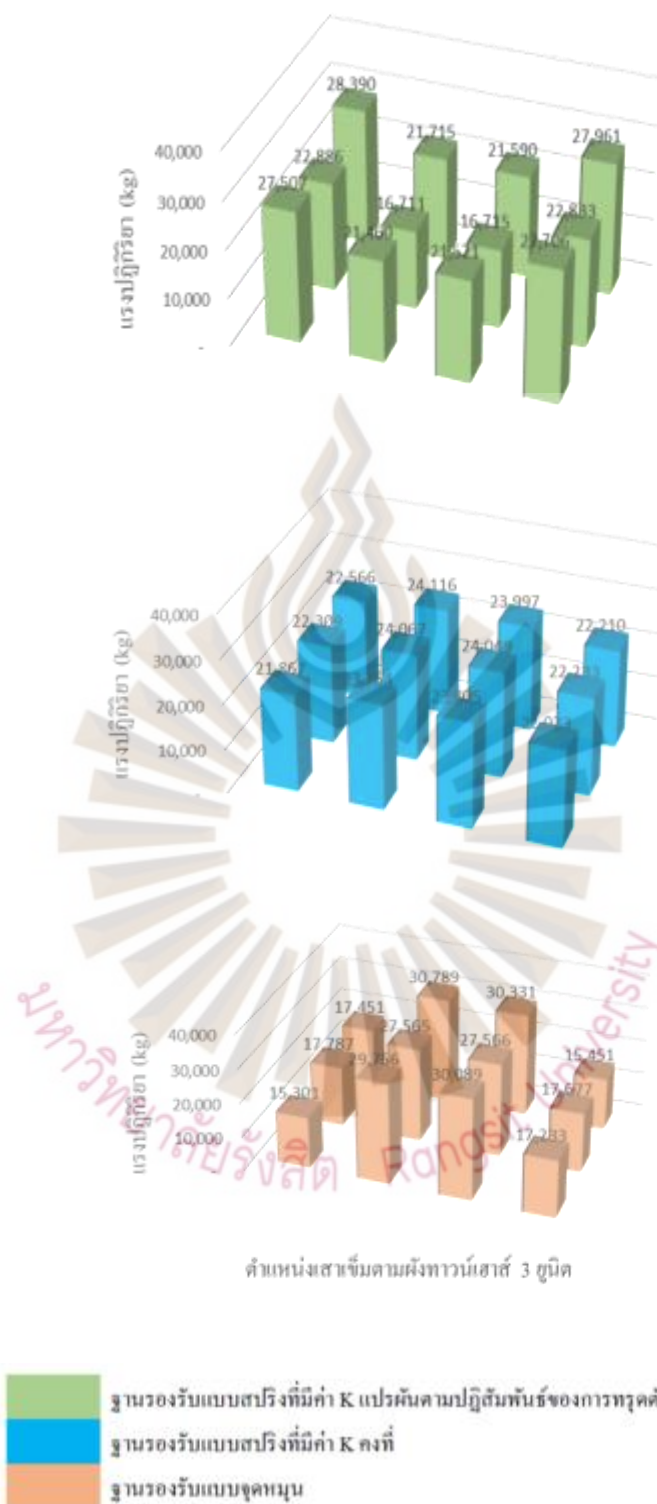


รูปที่ 4.21 แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 3 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.22 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 3 หน่วย

ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.23 กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวนเฮาส์ 3 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่
ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 3 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ (หน่วย: กิโลกรัม)

Support	Pile No.			
	3	6	9	12
I	28,390	21,715	21,590	27,961
C	22,566	24,116	23,997	22,210
P	17,451	30,789	30,331	15,451
(C-I)	-5,824	2,401	2,407	-5,751
(C-I)*100/I	-20.51%	11.06%	11.15%	-20.57%
(P-I)	-10,939	9,074	8,741	-12,510
(P-I)*100/I	-38.53%	41.79%	40.49%	-44.74%
Support	Pile No.			
	2	5	8	11
I	22,886	16,711	16,715	22,833
C	22,309	24,067	24,049	22,233
P	17,787	27,565	27,566	17,677
(C-I)	-577	7,356	7,334	-600
(C-I)*100/I	-2.52%	44.02%	43.88%	-2.63%
(P-I)	-5,099	10,854	10,851	-5,156
(P-I)*100/I	-22.28%	64.95%	64.92%	-22.58%
Support	Pile No.			
	1	4	7	10
I	27,507	21,460	21,521	27,706
C	21,867	23,754	23,805	22,023
P	15,301	29,756	30,089	17,233
(C-I)	-5,640	2,294	2,284	-5,683
(C-I)*100/I	-20.50%	10.69%	10.61%	-20.51%
(P-I)	-12,206	8,296	8,568	-10,473
(P-I)*100/I	-44.37%	38.66%	39.81%	-37.80%

I = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม

C = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่

P = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบจุดหมุน

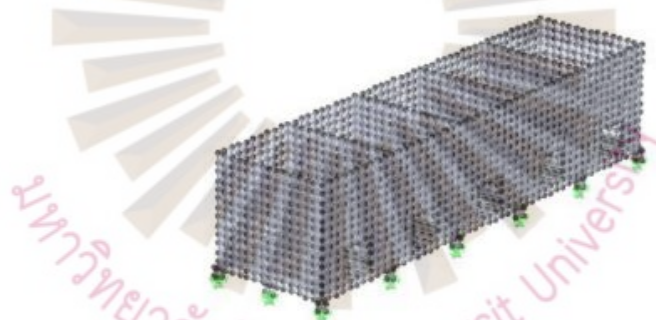


รูปที่ 4.24 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 3 หน่วย

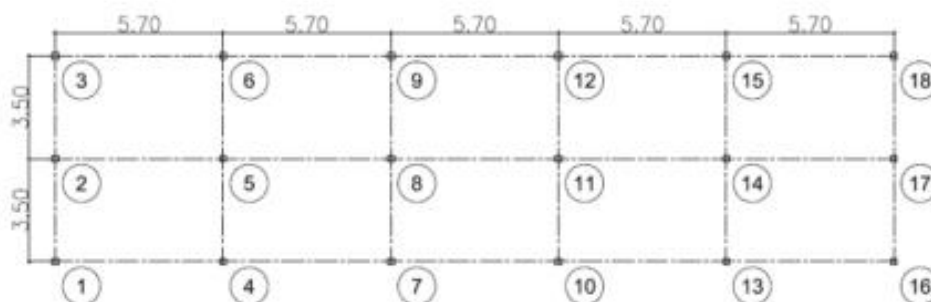
4.2.3 อาคารทาว์นเฮาส์ จำนวน 5 ยูนิต

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาว์นเฮาส์ จำนวน 5 ยูนิต ดังรูปที่ 4.25 ถึงรูปที่ 4.27 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 16 และ 18) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 25.76%, 25.99%, 25.62% และ 26.13% ดังตารางที่ 4.7

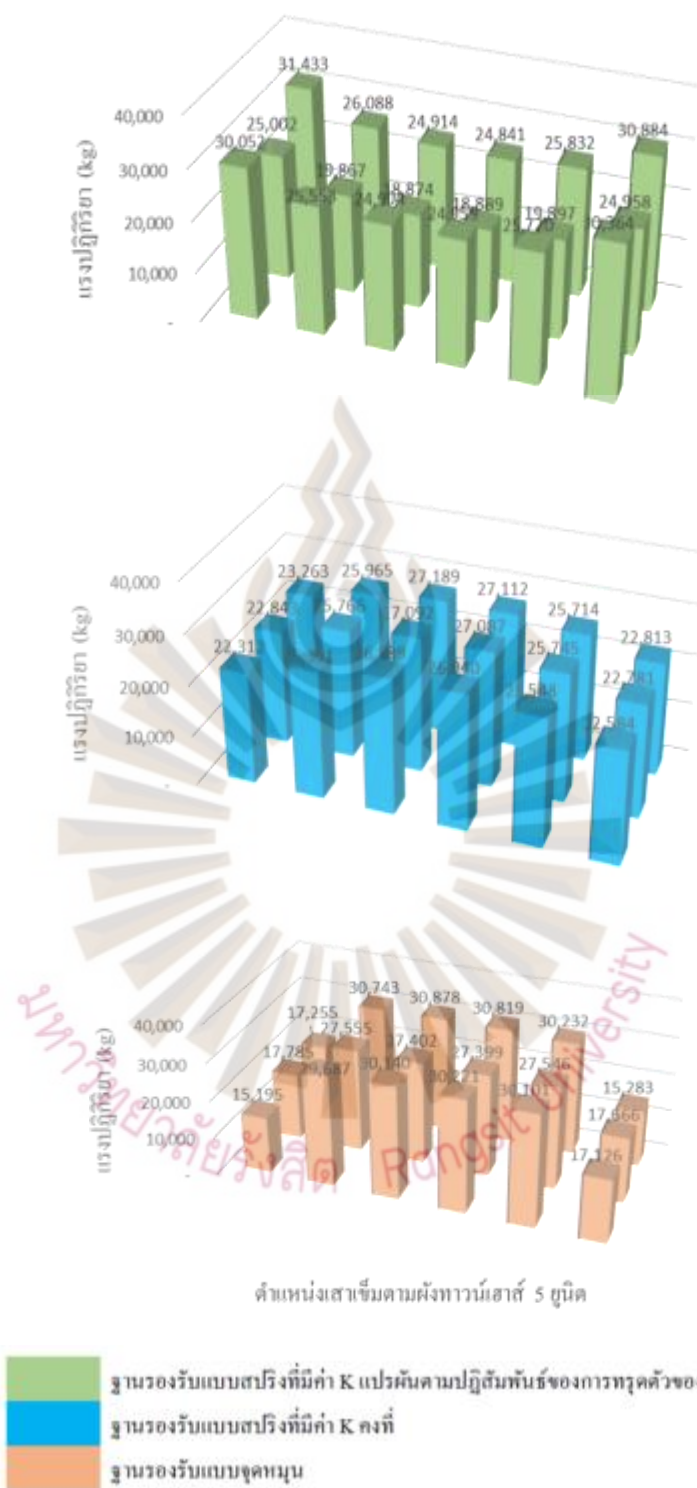
จากผลการวิเคราะห์อาคารทาว์นเฮาส์ จำนวน 5 ยูนิต ดังรูปที่ 4.25 ถึงรูปที่ 4.27 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบจุดหมุน พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 16 และ 18) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 49.44%, 45.11%, 43.60% และ 50.51% ดังตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.25 แบบจำลองทาว์นเฮาส์ 5 ยูนิต กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.26 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาว์นเฮาส์ 5 ยูนิต
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.27 กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 5 ยูนิตที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่
ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 5 ยูนิตที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ (หน่วย: กิโลกรัม)

Support	Pile No.					
	3	6	9	12	15	18
I	31,433	26,088	24,914	24,841	25,832	30,884
C	23,263	25,965	27,189	27,112	25,714	22,813
P	17,255	30,743	30,878	30,819	30,232	15,283
(C-I)	-8,170	-123	2,275	2,271	-118	-8,071
(C-I)*100/I	-25.99%	-0.47%	9.13%	9.14%	-0.46%	-26.13%
(P-I)	-14,178	4,655	5,964	5,978	4,400	-15,601
(P-I)*100/I	-45.11%	17.84%	23.94%	24.07%	17.03%	-50.51%
Support	Pile No.					
	2	5	8	11	14	17
I	25,002	19,867	18,874	18,889	19,897	24,958
C	22,843	25,766	27,092	27,087	25,745	22,781
P	17,785	27,555	27,402	27,399	27,546	17,666
(C-I)	-2,159	5,899	8,218	8,198	5,848	-2,177
(C-I)*100/I	-8.64%	29.69%	43.54%	43.40%	29.39%	-8.72%
(P-I)	-7,217	7,688	8,528	8,510	7,649	-7,292
(P-I)*100/I	-28.87%	38.70%	45.18%	45.05%	38.44%	-29.22%
Support	Pile No.					
	1	4	7	10	13	16
I	30,052	25,553	24,904	24,959	25,720	30,364
C	22,312	25,391	26,889	26,940	25,548	22,584
P	15,195	29,687	30,140	30,221	30,101	17,126
(C-I)	-7,740	-162	1,985	1,981	-172	-7,780
(C-I)*100/I	-25.76%	-0.63%	7.97%	7.94%	-0.67%	-25.62%
(P-I)	-14,857	4,134	5,236	5,262	4,381	-13,238
(P-I)*100/I	-49.44%	16.18%	21.02%	21.08%	17.03%	-43.60%

I = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม

C = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่

P = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบจุดหมุน

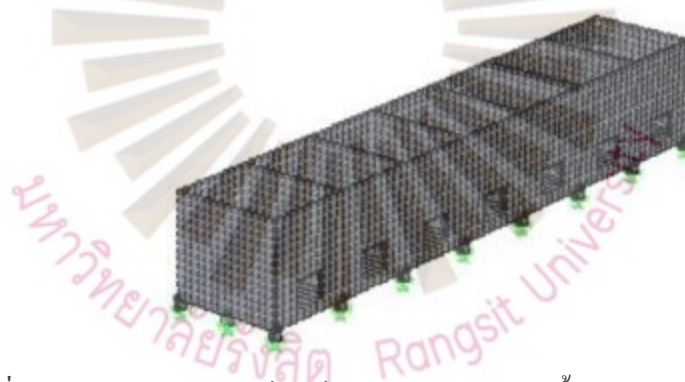


รูปที่ 4.28 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 5 ยูนิต

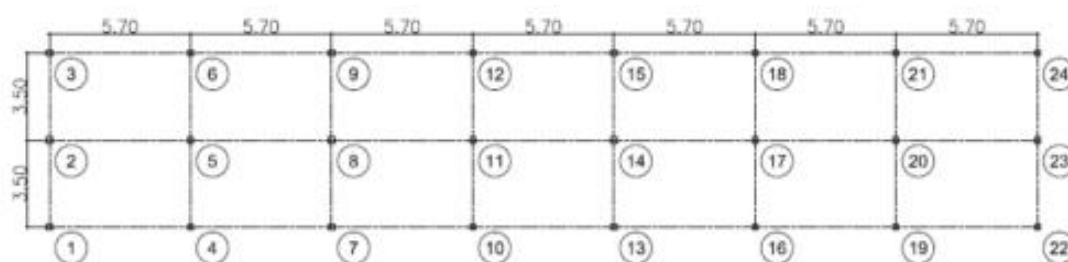
4.2.4 อาคารทาวน์เฮาส์จำนวน 7 หน่วย

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาวน์เฮาส์ จำนวน 7 หน่วย ดังรูปที่ 4.29 ถึงรูปที่ 4.31 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 22 และ 24) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 27.04%, 27.49%, 26.83% และ 27.69% ดังตารางที่ 4.8

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาวน์เฮาส์ จำนวน 7 หน่วย ดังรูปที่ 4.29 ถึงรูปที่ 4.31 กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ เปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ฐานรองรับแบบจุดหมุน พบว่า ที่ตำแหน่ง มุมของอาคาร (Pile No.1, 3, 22 และ 24) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกัน 49.22%, 45.53%, 43.50% และ 50.77% ดังตารางที่ 4.8

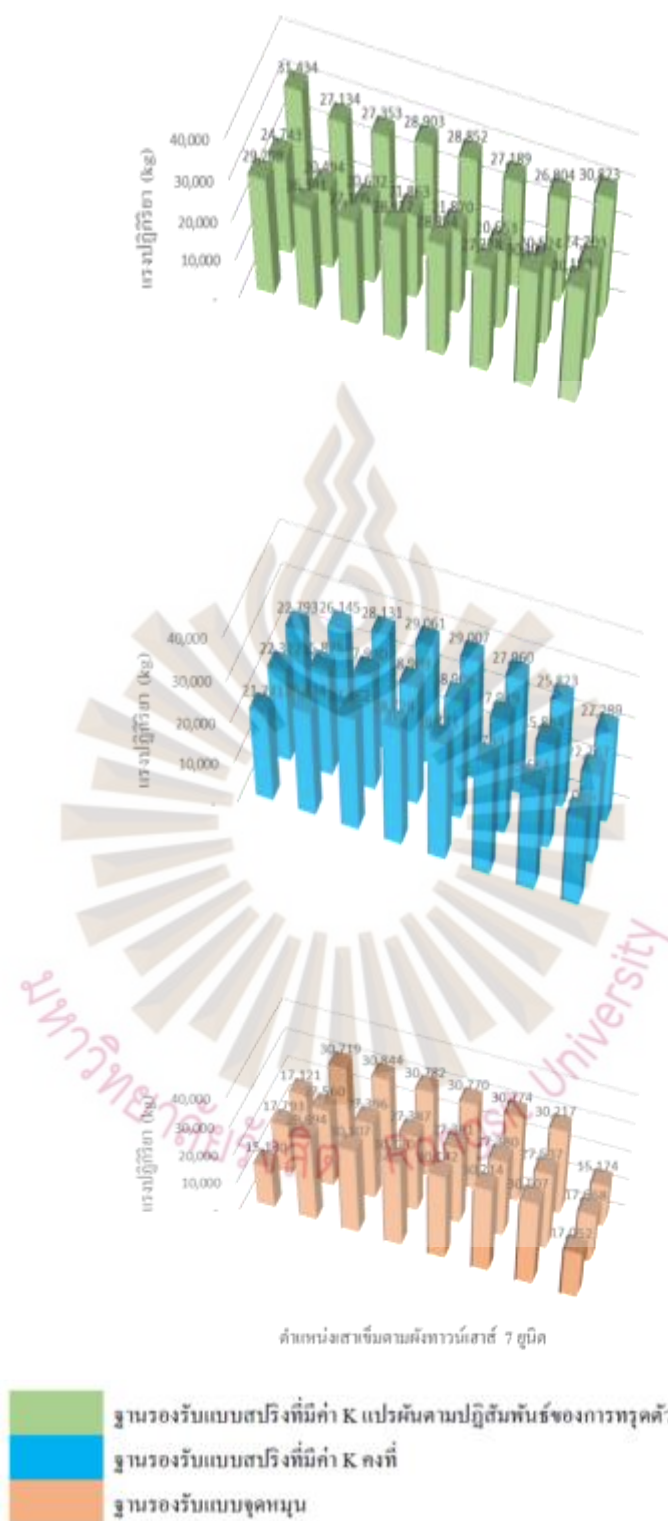


รูปที่ 4.29 แบบจำลองทาวน์เฮาส์ 7 หน่วย กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.30 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 7 หน่วย

ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.31 กราฟ 3D แสดงแรงปฏิกิริยาของทาวนเฮาส์ 7 ยูนิตที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
 กรณีนั่งรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่
 ที่มา: ผู้วิจัย

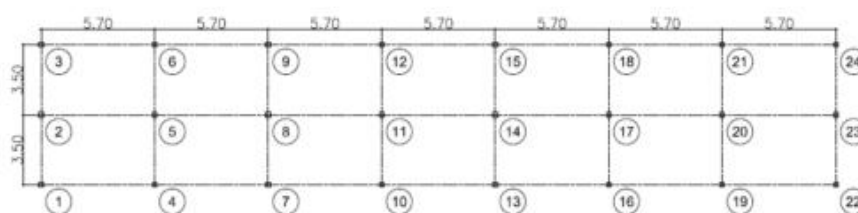
ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 7 หน่วยที่มีฐานรองรับแบบต่างๆ
กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ (หน่วย: กิโลกรัม)

Support	Pile No.							
	3	6	9	12	15	18	21	24
I	31,434	27,134	27,353	28,903	28,852	27,189	26,804	30,823
C	22,793	26,145	28,131	29,061	29,007	27,960	25,823	22,289
P	17,121	30,719	30,844	30,782	30,770	30,774	30,217	15,174
(C-I)	-8,641	-989	778	158	155	771	-981	-8,534
(C-I)*100/I	-27.49%	-3.64%	2.84%	0.55%	0.54%	2.84%	-3.66%	-27.69%
(P-I)	-14,313	3,585	3,491	1,879	1,918	3,585	3,413	-15,649
(P-I)*100/I	-45.53%	13.21%	12.76%	6.50%	6.65%	13.19%	12.73%	-50.77%
Support	Pile No.							
	2	5	8	11	14	17	20	23
I	24,743	20,494	20,632	21,863	21,870	20,653	20,524	24,703
C	22,322	25,875	27,930	28,909	28,906	27,919	25,854	22,267
P	17,793	27,560	27,396	27,387	27,381	27,380	27,537	17,668
(C-I)	-2,421	5,381	7,298	7,046	7,036	7,266	5,330	-2,436
(C-I)*100/I	-9.78%	26.26%	35.37%	32.23%	32.17%	35.18%	25.97%	-9.86%
(P-I)	-6,950	7,066	6,764	5,524	5,511	6,727	7,013	-7,035
(P-I)*100/I	-28.09%	34.48%	32.78%	25.27%	25.20%	32.57%	34.17%	-28.48%
Support	Pile No.							
	1	4	7	10	13	16	19	22
I	29,798	26,341	27,105	28,917	28,954	27,228	26,572	30,183
C	21,741	25,434	27,662	28,728	28,771	27,793	25,664	22,086
P	15,130	29,694	30,107	30,120	30,142	30,214	30,107	17,052
(C-I)	-8,057	-907	557	-189	-183	565	-908	-8,097
(C-I)*100/I	-27.04%	-3.44%	2.05%	-0.65%	-0.63%	2.08%	-3.42%	-26.83%
(P-I)	-14,668	3,353	3,002	1,203	1,188	2,986	3,535	-13,131
(P-I)*100/I	-49.22%	12.73%	11.08%	4.16%	4.10%	10.97%	13.30%	-43.50%

I = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม

C = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่

P = แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบจุดหมุน



รูปที่ 4.32 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวน์เฮาส์ 7 หน่วย

4.2.5 สรุปผลการวิเคราะห์ผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่

ทาวนเฮาส์แบบ 1 ยูนิต ค่าแรงในเสาเข็มต้นมุม กรณีที่สปริงที่มีค่า K คงที่ และ กรณีเสาเข็มเป็นจุดหมุน แรงในเสาเข็มมีค่าต่ำกว่า กรณีที่สปริงมีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของเสาเข็ม ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และ 4-12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าแรงในเสาเข็มต้นกลาง กรณีที่สปริงที่มีค่า K คงที่ และ กรณีเสาเข็มเป็นจุดหมุน แรงในเสาเข็มมีค่าสูงกว่า กรณีที่สปริงมีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของเสาเข็ม ประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ทาวนเฮาส์แบบ 3 ยูนิต, 5 ยูนิต และ 7 ยูนิต ค่าแรงในเสาเข็มต้นมุม กรณีที่สปริงที่มีค่า K คงที่ และ กรณีเสาเข็มเป็นจุดหมุน แรงในเสาเข็มมีค่าต่ำกว่า กรณีที่สปริงมีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของเสาเข็ม ประมาณ 21-27 เปอร์เซ็นต์ และ 45-50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าแรงในเสาเข็มต้นกลาง กรณีที่สปริงที่มีค่า K คงที่ และ กรณีเสาเข็มเป็นจุดหมุน แรงในเสาเข็มมีค่าสูงกว่า กรณีที่สปริงมีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของเสาเข็ม ประมาณ 32-44 เปอร์เซ็นต์ และ 35-65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ ผนังหล่อสำเร็จที่ค้ำยันถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มกับผนังหล่อในที่โดยใช้ค่าสถิติเอนสของเสาเข็มคงที่

ในทางปฏิบัติการวิเคราะห์แรงในเสาเข็มของโครงสร้างแบบผนังหล่อสำเร็จมักจะวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองแบบง่ายโดยสมมติให้ผนังเป็นแบบต่อเนื่องไม่มีการแบ่งแผ่นตามสภาพจริง นอกจากนั้นการวิเคราะห์ส่วนใหญ่ไม่ได้คำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็ม เพื่อตรวจสอบว่าผลการวิเคราะห์ดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองซับซ้อนขึ้น ที่แบ่งแผ่นผนังตามจริงและคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวระหว่างเสาเข็ม การศึกษานี้จึงทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ค้ำยันถึงค้ำยันถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็ม กับผลของผนังหล่อในที่ที่ใช้ค่าสถิติเอนสของเสาเข็มคงที่ ผลการเปรียบเทียบแสดงดังต่อไปนี้

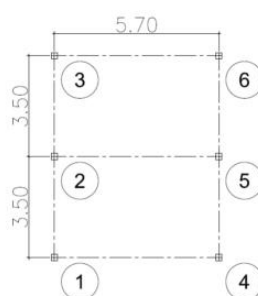
4.3.1 อาคารทาว์นเฮาส์จำนวน 1 หน่วย

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาว์นเฮาส์ จำนวน 1 หน่วย เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยา กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ พบว่า เสาเข็มริมผนัง (Pile No.1, 3, 4 และ 6) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันสูงสุด 4.80%, ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันต่ำสุด 3.55% ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 1 หน่วย กรณีผนังแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับ ผนังคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (หน่วย: กิโลกรัม)

Support	Pile No.	
	3	6
I-PC	17,672	17,629
C-RC	16,962	16,783
(C-RC)-(I-PC)	-710	-846
$[(C-RC)-(I-PC)] \times 100 (I-PC)$	-4.02%	-4.80%
Support	Pile No.	
	2	5
I-PC	15,296	15,259
C-RC	17,015	16,932
(C-RC)-(I-PC)	1,719	1,673
$[(C-RC)-(I-PC)] \times 100 (I-PC)$	11.24%	10.96%
Support	Pile No.	
	1	4
I-PC	17,372	17,247
C-RC	16,630	16,635
(C-RC)-(I-PC)	-742	-612
$[(C-RC)-(I-PC)] \times 100 (I-PC)$	-4.28%	-3.55%

I-PC = แรงปฏิกิริยาของผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม
 C-RC = แรงปฏิกิริยาของผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่



รูปที่ 4.33 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาว์นเฮาส์ 1 หน่วย

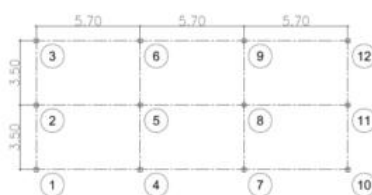
4.3.2 อาคารทาว์นเฮาส์จำนวน 3 หน่วย

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาว์นเฮาส์ จำนวน 3 หน่วย พิจารณาด้านหน้าและด้านหลังอาคารซึ่งเป็นผนังที่ยาวที่สุด เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยา กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ พบว่า เสาเข็มริมผนัง (Pile No.1, 3, 10 และ 12) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันสูงสุด 2.71%, ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันต่ำสุด 1.26% และเสาเข็มช่วงกลางผนัง (Pile No.4, 7, 6 และ 9) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันสูงสุด 7.43%, ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันต่ำสุด 5.81% ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 3 หน่วย กรณีผนังแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับผนังคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (หน่วย: กิโลกรัม)

Support	Pile No.			
	3	6	9	12
I-PC	22,835	25,804	25,924	22,745
C-RC	22,566	24,116	23,997	22,210
(C-RC)-(I-PC)	-289	-1,688	-1,927	-535
[(C-RC)-(I-PC)]*100/(I-PC)	-1.26%	-6.54%	-7.43%	-2.35%
Support	Pile No.			
	2	5	8	11
I-PC	17,612	23,562	23,917	17,492
C-RC	22,309	24,067	24,049	22,233
(C-RC)-(I-PC)	4,697	285	132	4,741
[(C-RC)-(I-PC)]*100/(I-PC)	26.67%	0.86%	0.55%	27.10%
Support	Pile No.			
	1	4	7	10
I-PC	22,877	25,220	25,284	22,420
C-RC	21,891	23,764	23,805	22,023
(C-RC)-(I-PC)	-610	-1,466	-1,479	-397
[(C-RC)-(I-PC)]*100/(I-PC)	-2.71%	-5.81%	-5.85%	-1.77%

I-PC = แรงปฏิกิริยาของผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม
 C-RC = แรงปฏิกิริยาของผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่



รูปที่ 4.34 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาว์นเฮาส์ 3 หน่วย

4.3.3 อาคารทาว์นเฮาส์จำนวน 5 ยูนิต

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาว์นเฮาส์ จำนวน 5 ยูนิต พิจารณาด้านหน้าและด้านหลังอาคารซึ่งเป็นผนังที่ยาวที่สุด เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยา กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ พบว่า เสาเข็มริมผนัง (Pile No.1, 3, 16 และ 18) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันสูงสุด 4.36%, ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันต่ำสุด 1.19% และเสาเข็มช่วงกลางผนัง (Pile No.4, 7, 10, 13, 6, 9, 12 และ 15) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันสูงสุด 8.46%, ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันต่ำสุด 2.83% ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 5 ยูนิต กรณีผนังแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับผนังคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (หน่วย: กิโลกรัม)

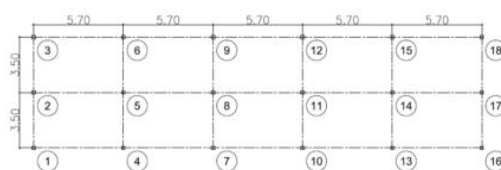
Support	Pile No.					
	3	6	9	12	15	18
I-PC	23,544	28,177	28,321	28,182	28,091	23,603
C-RC	23,263	25,965	27,189	27,112	25,714	22,813
(C-RC)-(I-PC)	-281	-2,212	-1,132	-1,070	-2,377	-790
[(C-RC)-(I-PC)]*100/(I-PC)	-1.19%	-7.82%	-4.00%	-3.80%	-8.46%	-3.35%
Support	Pile No.					
	2	5	8	11	14	17
I-PC	18,021	24,970	34,107	24,074	24,959	17,916
C-RC	22,843	25,766	27,092	27,087	25,745	22,781
(C-RC)-(I-PC)	4,822	796	2,985	3,013	786	4,865
[(C-RC)-(I-PC)]*100/(I-PC)	26.76%	3.19%	12.38%	12.52%	3.13%	27.15%
Support	Pile No.					
	1	4	7	10	13	16
I-PC	23,330	27,374	27,703	27,726	27,446	23,208
C-RC	22,312	25,391	26,889	26,940	25,548	22,584
(C-RC)-(I-PC)	-1,018	-1,983	-814	-786	-1,898	-624
[(C-RC)-(I-PC)]*100/(I-PC)	-4.36%	-7.24%	-2.94%	-2.83%	-6.92%	-2.69%

I-PC = แรงปฏิกิริยาของผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริง

ที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม

C-RC = แรงปฏิกิริยาของผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริง

ที่มีค่า K คงที่



รูปที่ 4.35 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาว์นเฮาส์ 5 ยูนิต

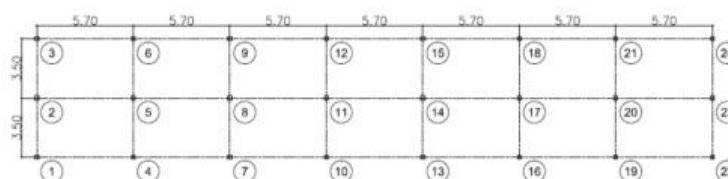
4.3.4 อาคารทาว์นเฮาส์จำนวน 7 ยูนิต

จากผลการวิเคราะห์อาคารทาว์นเฮาส์ จำนวน 7 ยูนิต พิจารณาด้านหน้าและด้านหลังอาคารซึ่งเป็นผนังที่ยาวที่สุด เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยา กรณีผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ พบว่า เสาเข็มริมผนัง (Pile No.1, 3, 22 และ 24) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันสูงสุด 6.12%, ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันต่ำสุด 2.59% และเสาเข็มช่วงกลางผนัง (Pile No.4, 7, 10, 13, 16, 19, 6, 9, 12, 15, 18 และ 21) ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันสูงสุด 10.76%, ค่าแรงปฏิกิริยาแตกต่างกันต่ำสุด 3.17% ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของทาว์นเฮาส์ 7 ยูนิต กรณีผนังแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม กับผนังคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ (หน่วย: กิโลกรัม)

Support	Pile No.							
	3	6	9	12	15	18	21	24
I-PC	23,399	28,427	29,339	30,291	30,266	29,166	28,288	23,478
C-RC	22,793	26,145	28,131	29,061	29,007	27,960	25,823	22,289
(C-RC)-(I-PC)	-606	-2,282	-1,208	-1,230	-1,259	-1,206	-2,465	-1,189
[(C-RC)-(I-PC)]*100/(I-PC)	-2.59%	-8.03%	-4.12%	-4.06%	-4.16%	-4.13%	-8.71%	-5.06%
Support	Pile No.							
	2	5	8	11	14	17	20	23
I-PC	17,849	25,050	24,595	25,045	25,041	24,356	25,032	17,770
C-RC	22,322	25,875	27,930	28,909	28,906	27,919	25,854	22,267
(C-RC)-(I-PC)	4,473	825	3,335	3,864	3,865	3,563	822	4,497
[(C-RC)-(I-PC)]*100/(I-PC)	25.06%	3.29%	13.56%	15.43%	15.43%	14.70%	3.28%	25.31%
Support	Pile No.							
	1	4	7	10	13	16	19	22
I-PC	23,159	27,571	28,694	29,707	29,712	28,719	28,757	23,075
C-RC	21,741	25,434	27,662	28,728	28,771	27,793	25,664	22,086
(C-RC)-(I-PC)	-1,418	-2,137	-1,032	-979	-941	-926	-3,093	-989
[(C-RC)-(I-PC)]*100/(I-PC)	-6.12%	-7.75%	-3.60%	-3.30%	-3.17%	-3.22%	-10.76%	-4.29%

I-PC = แรงปฏิกิริยาของผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม
 C-RC = แรงปฏิกิริยาของผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ที่มีฐานรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่



รูปที่ 4.36 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาว์นเฮาส์ 7 ยูนิต

4.3.5 สรุปผล เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ พลังหล่อสำเร็จที่คำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่าง เสาเข็มกับผนังหล่อในที่โดยใช้ค่าสถิติเฟนสของเสาเข็มคงที่

ผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์แรงในเสาเข็มของผนังแบบหล่อสำเร็จโดยใช้แบบจำลองอย่างง่ายที่จำลองผนังเป็นแบบต่อเนื่องและรองรับด้วยฐานรากที่เป็นสปริงที่มีค่า K คงที่ และแบบจำลองอย่างละเอียดที่มีการแบ่งแผ่นผนังตามลักษณะโครงสร้างจริง และมีการคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวระหว่างเสาเข็ม พบว่าค่าแรงในเสาเข็มต้นมุมของแบบจำลองอย่างง่ายมีค่าต่ำกว่าของแบบจำลองอย่างละเอียด 5-10 เปอร์เซ็นต์ และค่าแรงของเสาเข็มต้นตรงกลางของแบบจำลองอย่างง่ายมีค่าสูงกว่าของแบบจำลองอย่างละเอียด 25-27 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ผลการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองอย่างง่ายได้ผลการคำนวณต่ำกว่าความเป็นจริงไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การออกแบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Bearing Wall) โดยทั่วไปจะใช้วิธีอย่างง่าย (Simplify) โดยสมมติให้โครงสร้างเป็นผนังแบบต่อเนื่องรองรับด้วยฐานรากที่จำลองด้วยสปริงซึ่งมีค่า Stiffness คงที่ ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มเดี่ยว ต่างจากพฤติกรรมของโครงสร้างจริงซึ่งมีรอยต่อทั่วทั้งโครงสร้าง และผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็ม ค่า Stiffness ของเสาเข็มจริงซึ่งเป็นเสาเข็มกลุ่มมีค่าต่ำกว่าค่าของเสาเข็มเดี่ยว และยิ่งกว่านั้นผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มยังทำให้ค่า Stiffness ของเสาเข็มแต่ละต้นมีความแตกต่างกันตามตำแหน่งของเสาเข็มในกลุ่ม

จากผลของความไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงของแบบจำลองที่ใช้ในทางปฏิบัติของการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักบรรทุกลงสู่เสาเข็มของอาคารแบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Bearing Wall) จึงมีข้อสงสัยว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเท่าไรและมีความปลอดภัยเพียงพอหรือไม่ จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ โดยงานวิจัยศึกษาเรื่อง การกระจายน้ำหนักบรรทุกของอาคารแบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักสู่เสาเข็มโดยคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม เพื่อศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบพฤติกรรมการกระจายน้ำหนักบรรทุกสู่เสาเข็มของอาคารแบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จวิเคราะห์เปรียบเทียบกับโครงสร้างผนังรับน้ำหนักชนิดคอนกรีตหล่อในที่ ที่มีสมมติฐานให้จุดรองรับเป็น จุดรองรับแบบสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม, จุดรองรับแบบสปริงที่มีค่า K คงที่ และจุดรองรับแบบจุดหมุน โดยใช้แบบจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติ โดยได้ผลสรุปดังนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์ผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ทาวนเฮาส์แบบ 1 ยูนิต ค่าแรงในเสาเข็มต้นมุมกรณีสปริงที่มีค่า K คงที่ มีค่าต่ำกว่า กรณีสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของเสาเข็ม ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กรณีเสาเข็มเป็นจุดหมุนในแรงเสาเข็มจะมีค่าต่ำกว่ากรณีสปริงที่มีค่า K แปรผันตามปฏิสัมพันธ์ของเสาเข็มประมาณ

5.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ ผนังหล่อสำเร็จที่ค้ำยันถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มกับ ผนังหล่อในที่โดยใช้ค่าสถิติฟิเนสของเสาเข็มคงที่

ผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์แรงในเสาเข็มของผนังแบบหล่อสำเร็จโดยใช้แบบจำลอง อย่างง่ายที่จำลองผนังเป็นแบบต่อเนื่องและรองรับด้วยฐานรากที่เป็นสปริงที่มีค่า K คงที่ และ แบบจำลองอย่างละเอียดที่มีการแบ่งแผ่นผนังตามลักษณะ โครงสร้างจริง และมีการค้ำยันถึง ปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวระหว่างเสาเข็ม พบว่าค่าแรงในเสาเข็มต้นมุมของแบบจำลองอย่างง่ายมี ค่าต่ำกว่าของแบบจำลองอย่างละเอียด 5-10 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่าแรงของเสาเข็มต้นตรงกลางของ แบบจำลองอย่างง่ายมีค่าสูงกว่าของแบบจำลองอย่างละเอียด 25-27 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่า ผลการ วิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองอย่างง่ายได้ผลการคำนวณต่ำกว่า ความเป็นจริงไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

5.4 ข้อเสนอแนะ

ปฏิสัมพันธ์ของเสาเข็มที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นของเสาเข็มยาว 20 เมตรในชั้นดินทั่วไป บริเวณกรุงเทพมหานคร ข้อสรุปผลการศึกษาจึงจำกัด เฉพาะเงื่อนไขนี้ ในกรณีที่มีความยาวเสาเข็ม แตกต่างจากที่ศึกษามาก หรือลักษณะดินแตกต่างจากของกรุงเทพมหานครมาก ควรมีการศึกษา เพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลการศึกษา

บรรณานุกรม

- จุลศักดิ์ ทำเนา. (2562). พฤติกรรมการถ่ายแรงบนเสาเข็มบ้านแบบผนังรับน้ำหนักชนิดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Unpublished Master's thesis). มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี.
- ต่อศักดิ์ บุษรานนท์, จิราพร ชีวะถาวร, และกฤษ กฤษปัญญาโร. (2538). การสร้างฐานข้อมูลผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธีสถิตย์ ในบริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑล (Unpublished Senior project). มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี.
- นันทนิ แวงโสภณ. (2562). สอนใช้ Excel ให้เป็นเซียน ฉบับปรับปรุง. กรุงเทพฯ: โปรวิชั่น.
- พนากาญจน์ ยามา. (2549). พฤติกรรมการรับน้ำหนักของระบบเสาเข็มร่วมกับ Pile Cap บนชั้นดินอ่อน (Unpublished Master's thesis). มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี.
- ไพบุณย์ ปัญญาอะโป. (2562). การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จ (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: TumCivil.com Training Center.
- ไพบุณย์ ปัญญาอะโป. (2563). การออกแบบอาคารและการออกแบบอาคารด้านทานแผ่นดินไหว (พิมพ์และปรับปรุงใหม่ครั้งที่ 14). กรุงเทพฯ: TumCivil.com Training Center.
- พัลลภ วิสุทธิ์เมธานุกุล. (2563). คู่มือวิศวกรรมฐานราก. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- มงคล จิรวัชรเดช. (2562). คู่มือการใช้โปรแกรมแชป 2000 รุ่น 21 สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง (พิมพ์และปรับปรุงครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์เอ็ม เลเซอร์พริ้นต์.
- วินิต ช่อวิเชียร, วรนิติ ช่อวิเชียร, และวรเศรษฐ์ ช่อวิเชียร. (2548). กำลังวัสดุ กลศาสตร์วัสดุ (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: วรนิติ ช่อวิเชียร.
- สุริยา ฤทธิ์จิตเพียร. (2550). พฤติกรรมโครงสร้างบ้านแบบผนังรับน้ำหนัก (Unpublished Master's thesis). มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี.
- อมร พิมานมาศ. (2556). การจำลองและวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรม SAP2000 ขั้นต้น (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: ซีวิลเอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์แอนด์ เทรนนิ่ง.
- Abdrabbo, C.M. (1976). *A Model Scale Study of Axially Loaded Pile Foundation* (Doctoral dissertation). University of Southampton.
- Baguelin, F., & Frank, R. (1979). Theoretical studies of piles using the finite element method, *Int. Conf. on Numerical Methods in Offshore Piling* (pp. 33-91). London: ICE.
- Banerjee, P.K., & Butterfield, R. (1981). *Boundary Element Method in Engineering Science*, Maidenhead: McGraw-Hill.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Banerjee, P.K., & Davies, T.G. (1978). The behaviour of axially and laterally loaded single piles embedded in nonhomogeneous soils. *Geotechnique*, 28(3), 309-326.
- Butterfield, R., & Banerjee, P.K. (1971a). The elastic analysis of compressible piles and pile groups. *Geotechnique*, 21(1), 43-60.
- Butterfield, R., & Banerjee, P.K. (1971b). The problem of pile groups – pile cap interaction. *Geotechnique*, 21(2), 135-142.
- Butterfield, R., & Douglas, R.A. (1981). Flexibility coefficients for the design of piles and pile groups. *CIRIA Technical Note* 108.
- Cooke, R.W. (1974). Settlement of friction pile foundations. *Proc. Conf. on Toll Buildings* (pp. 7-19). Kuala Lumpur.
- Cooke, R.W., Price, G. and Tarr, K.W. (1980). Jacked piles in London clay: interaction and group behaviour under working conditions. *Geotechnique*, 30(2), 449-471.
- Fleming, K., Weltman, A., Randolph, M., & Elson, K. (2009). *Piling Engineering* (4th ed.). UK: Taylor & Francis.
- Ghosh, N. (1975). *A Model Scale Investigation of the Working Load Stiffness of Single Piles and Groups of Piles in Clay Under Centric and Eccentric Vertical Loads* (Unpublished Doctoral dissertation). University of Southampton.
- Mattes, N.S., & Poulos, H. G. (1969). Settlement of single compressible pile, *ASCEJ. Soil Mech. and Found. Div.*, 95(SM1), 198-207.
- Mylonakis, G. (2001). Winkler modulus for axially loaded piles. *Geotechnique*, 51(5), 455-461.
- Mylonakis, G., & Gazetas, G. (1998). Settlement and additional internal forces of grouped piles in layered soil. *Geotechnique*, 48(1), 55-72.
- Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1968). The settlement behaviour of single axially loaded incompressible piles and piers. *Geotechnique*, 18, 351-371.
- Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. Canada: John Wiley & Sons Inc.
- Randolph, M.F. (1977). *A Theoretical Study of the Performance of Piles* (Unpublished Doctoral dissertation). University of Cambridge.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Randolph, M.F. (1979). *Discussion in Proc. of Conf. on Recent Developments in the Design and Construction of Piles* (pp. 389-390). London: ICE.
- Randolph, M.F., & Wroth, C.P. (1978). A simple approach to pile design and the evaluation of pile tests, In R. Lundgren (ed.), *Behaviour of Deep Foundations* (pp. 484-499). ASTM STP 670.
- Randolph, M.F., & Wroth, C.P. (1978). Analysis of deformation of vertically loaded piles, *ASCEJ. Geotech Engng. Div.*, 104(GT12), 1465-1488.
- Randolph, M.F., & Wroth, C.P. (1979). An analysis of the vertical deformation of pile groups. *Geotechnique*, 29 (4), 423-439.
- Randolph, M.F., & Wroth, C.P. (1979). An analytical solution for the consolidation around a driven pile, *Int. J. Num. and Anal. Methods in Geomechanics*, 3, 217-229.
- Timoshenko, S.P., & Goodier, J.N. (1970). *Theory of Elasticity* (3rd edn.), New York: McGraw-Hill.
- Warnitchai, P. (2009). *Seismic Acceptance Evaluation of Preuksa Precast Bearing Wall Building System*. Pathum Thani: AIT.

ภาคผนวก

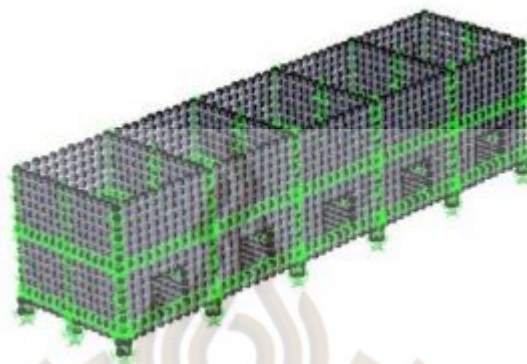


ภาคผนวก

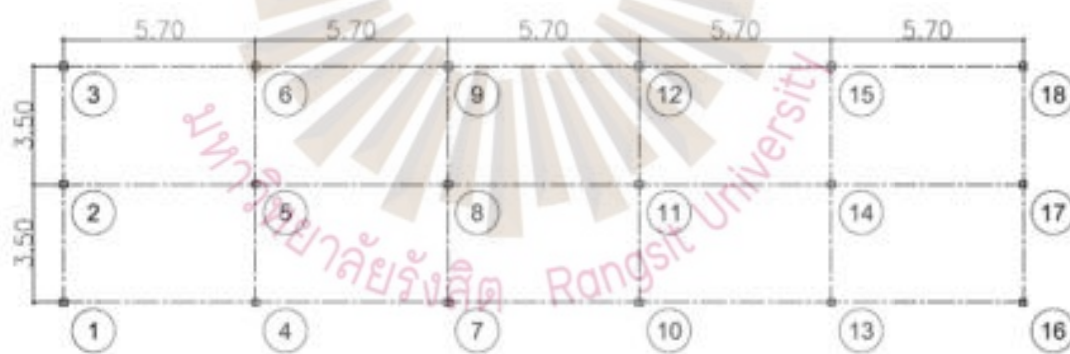
รายการคำนวณหาค่าปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม
(Pile Settlement Interaction: α) และ Spring Stiffness ของเสาเข็ม (K)



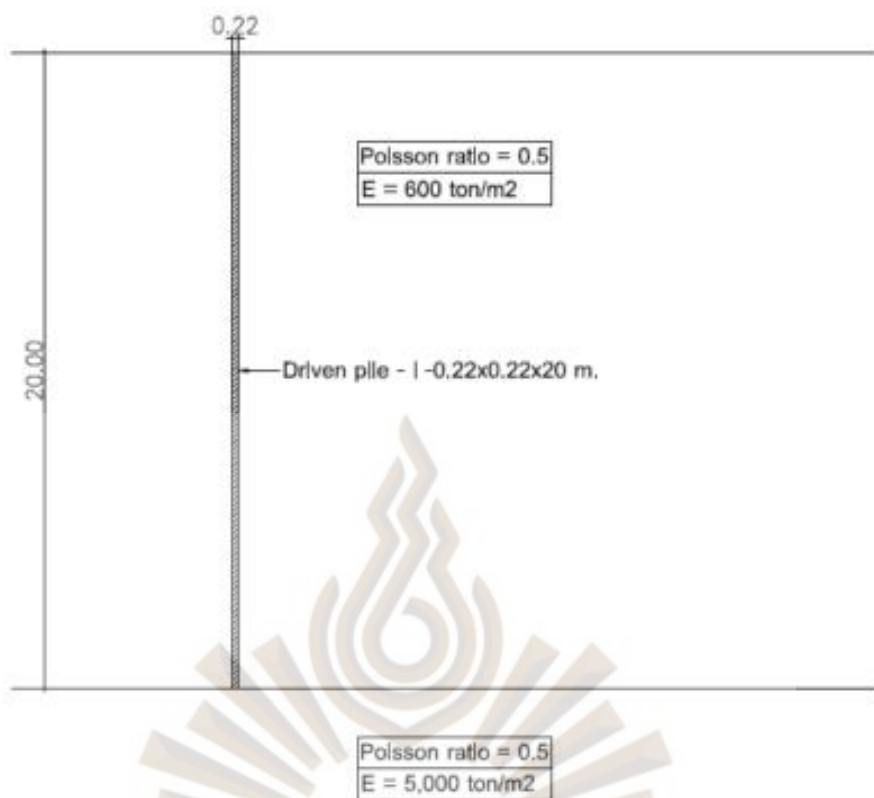
ตัวอย่างการหาค่าปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม (α) และ
Spring Stiffness ของเสาเข็ม (K) สำหรับอาคารทาวนเฮาส์ 2 ชั้น จำนวน 5 ยูนิต



รูปที่ 1 แบบจำลองทาวนเฮาส์ 5 ยูนิต



รูปที่ 2 แผนผังแสดงตำแหน่งเสาเข็ม ทาวนเฮาส์ 5 ยูนิต



รูปที่ 3 เสาเข็มและคุณสมบัติชั้นดินที่ทำการศึกษา

จากสมการ

$$r_m \approx \chi_1 \chi_2 L (1 - \nu_s)$$

$\chi_1 = 2.0$ for soil on rigid bedrock at depth $2.5L$

$\chi_2 = 1.0$

$L = 20$ m.

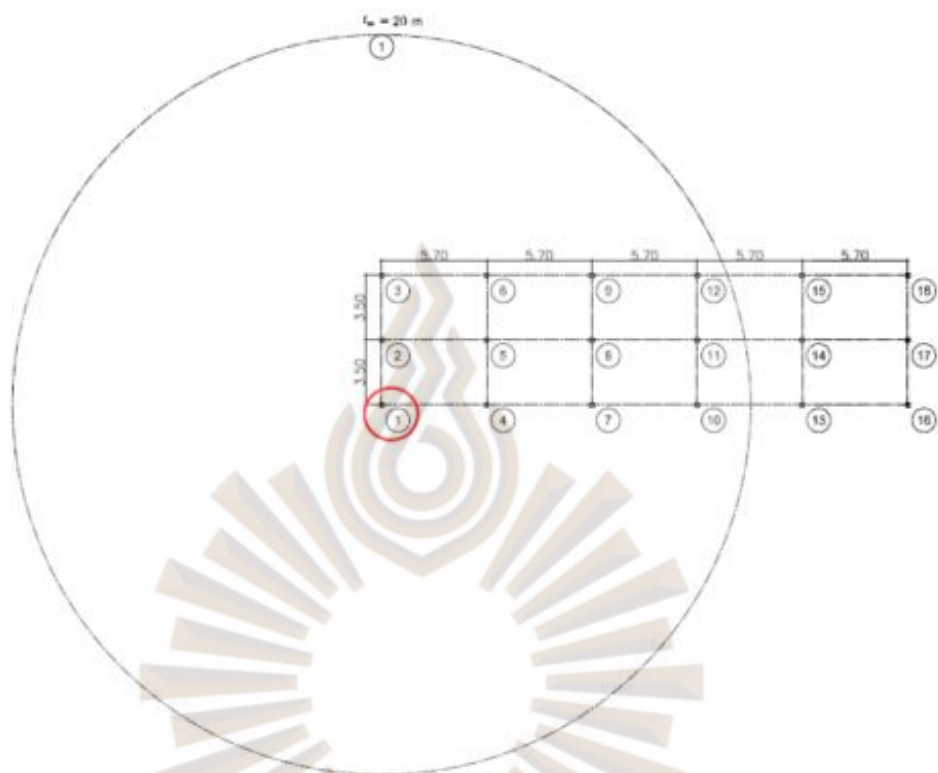
$\nu_s =$ อัตราส่วนปัวซอง = 0.5

แทนค่า

$$r_m = (2.0)(1.0)(20)(1-0.5)$$

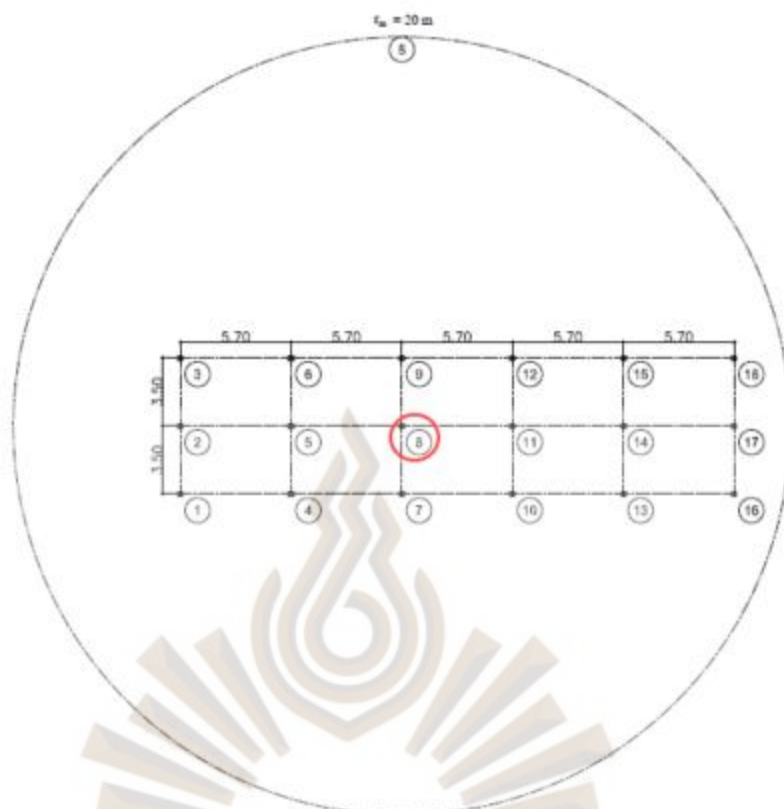
$$r_m = 20 \text{ m.}$$

การศึกษานี้นำเสนอคุณสมบัติชั้นดินในช่วง Short Term เนื่องจากในช่วง Long term ค่า K มีค่าลดลง ค่าแรงปฏิกิริยาที่เสาเข็มจะมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งปลอดภัยกว่าช่วง Short term



รูปที่ 4 ระยะ r_m สำหรับเสาเข็มต้นที่ 1

ระยะ r_m สำหรับเสาเข็มต้นที่ 1 ที่การทรุดตัวของเสาเข็มต้นที่ 1 ส่งผลกระทบจากการทรุดตัวถึงเสาเข็มต้นอื่นๆที่อยู่ในรัศมี r_m ได้แก่ เสาเข็มต้นที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ซึ่งมีค่ามากน้อยแตกต่างกันไปตามระยะห่างของเสาเข็มแต่ละต้นกับเสาเข็มต้นที่ 1



รูปที่ 5 ระยะ r_m สำหรับเสาเข็มต้นที่ 8

จากสมการ

$$\eta = d_b/d$$

$$d_b = 0.22$$

$$d = 0.22$$

แทนค่า

$$\eta = (0.22)/(0.22)$$

$$\eta = 1.00$$

จากสมการ

$$G = E/[2(1+\nu)]$$

$$E_L = 600 \text{ ton/m}^2$$

$$E_B = 5,000 \text{ ton/m}^2$$

แทนค่า

$$G_L = 600/[2(1+0.5)]$$

$$G_L = 200 \text{ ton/m}^2$$

$$G_B = 5,000/[2(1+0.5)]$$

$$G_B = 1,667 \text{ ton/m}^2$$

จากสมการ

$$\beta = G_L/G_B$$

$$G_L = 200 \text{ ton/m}^2$$

$$G_B = 1,667 \text{ ton/m}^2$$

แทนค่า

$$\beta = 200/1,667$$

$$\beta = 0.12$$

จากสมการ

$$\rho = \bar{G}/G_L$$

$$\bar{G} = G_L = 200 \text{ ton/m}^2$$

แทนค่า

$$\rho = 200/200$$

$$\rho = 1.00$$

จากสมการ

$$\zeta = \ln \left\{ [0.25 + (2.5\rho(1-\nu) - 0.25)\beta] \right\} 2L/d$$

$$\zeta = \ln[5\rho(1-\nu)L/d] \quad \text{for } \beta = 1$$

แทนค่า

$$\zeta = \ln\{[0.25+(2.5 \times 1.00 \times (1-0.5)-0.25) \times 0.12]\} (2 \times 20/0.22)$$

$$\zeta = 4.21$$

จากสมการ

$$\frac{P_t}{w_t d G_L} = \frac{\frac{2\eta}{(1-\nu)\beta} + \frac{2\pi\rho \tanh(\mu L)}{\zeta} \frac{L}{\mu L} \frac{L}{d}}{1 + \frac{8\eta}{\pi\lambda(1-\nu)\beta} \frac{\tanh(\mu L)}{\mu L} \frac{L}{d}}$$

$$\frac{2\eta}{(1-\nu)\beta} = [(2)(1.0)]/[(1-0.5)(0.12)]$$

$$\frac{2\eta}{(1-\nu)\beta} = 33.33$$

$$\frac{2\pi\rho}{\zeta} = (2)(\pi)(1.0)/4.21$$

$$\frac{2\pi\rho}{\zeta} = 1.49$$

$$\lambda = E\rho/G_L$$

$$\lambda = [(15,100)\sqrt{(350) \times 10,000/1,000}]/200$$

$$\lambda = 14,125$$

$$\mu L = 2\sqrt{2/\zeta \lambda} (L/d)$$

$$\mu L = (2)\sqrt{2/[(4.21)(14,125)]} (20/0.22)$$

$$\mu L = 1.05$$

$$\frac{8\eta}{\pi \lambda (1-\nu) \beta} = (8)(1.0)/[\pi(14,125)(1-0.5)(0.12)]$$

$$\frac{8\eta}{\pi \lambda (1-\nu) \beta} = 0.003$$

$$\frac{\tanh(\mu L)}{\mu L} = \tanh(1.05)/1.05$$

$$\frac{\tanh(\mu L)}{\mu L} = 0.74$$

จากสมการ

$$\frac{P_t}{w_t d G_L} = \frac{\frac{2\eta}{(1-\nu) \beta} + \frac{2\pi \rho \tanh(\mu L) L}{\zeta \mu L d}}{1 + \frac{8\eta}{\pi \lambda (1-\nu) \beta} \frac{\tanh(\mu L) L}{\mu L d}}$$

แทนค่า

$$\frac{P_t}{w_t d G_L} = [33.33 + (1.49)(0.74)(20/0.22)]/[1 + (0.003)(0.74)(20/0.22)]$$

$$\frac{P_t}{w_t d G_L} = 111.14$$

$$K = P_t / \omega_t$$

$$K = (111.14)(0.22)(200)$$

$$K = 4,890 \text{ ton/m} \quad (K \text{ เสาเข็มเดี่ยว})$$

จากสมการ

$$\Omega = \frac{P_b}{w_b (EA)_p \mu}$$

$$\mu L = 1.05$$

$$\mu = 1.05/20$$

$$\mu = 0.0525$$

จากสมการ

$$\frac{P_b}{w_b} = \frac{2d_b G_b}{(1 - \nu)}$$

$$P_b / \omega_b = (2)(0.22)(1,667)/(1-0.5)$$

$$P_b / \omega_b = 1,467 \text{ ton/m}$$

แทนค่า

$$\Omega = 1,467 / [(2,824,951)(0.0484)(0.0525)]$$

$$\Omega = 0.204$$

$$\sinh(2\mu L) = \sinh(2)(1.05)$$

$$\sinh(2\mu L) = 4.022$$

$$\cosh(2\mu L) = \cosh(2)(1.05)$$

$$\cosh(2\mu L) = 4.144$$

จากสมการ

$$\xi = \frac{2\mu L + \sinh(2\mu L) + \Omega^2 [\sinh(2\mu L) - 2\mu L] + 2\Omega [\cosh(2\mu L) - 1]}{2\sinh(2\mu L) + 2\Omega^2 \sinh(2\mu L) + 4\Omega \cosh(2\mu L)}$$

แทนค่า

$$\xi = \frac{[(2)(1.05) + 4.022 + (0.204)^2(4.022 - 2 \times 1.05) + (2)(0.204)(4.144 - 1)]}{[(2)(4.022) + (2)(0.204)^2(4.022) + (4)(0.204)(4.144)]}$$

$$\xi = 7.485/11.76$$

$$\xi = 0.636$$



Initial Step

กำหนดค่า น้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มเริ่มต้น (P) โดย สมมติให้น้ำหนักบรรทุกของอาคารกระจายลงเสาเข็มเท่ากันทุกต้น ($P = \text{Sum Load} / \text{No. of piles}$)

$$P = 450,750 / 18$$

$$P = 25,042 \text{ kg} = 25 \text{ ton}$$

$$\alpha = \frac{\ln(r_m/s)}{\zeta} \xi$$

จากสมการ

และค่าตัวแปรต่างๆ ที่หาค่าไว้ข้างต้น ($K = 4,890 \text{ ton/m}$, $\xi = 0.636$, $\zeta = 4.21$, $r_m = 20 \text{ m.}$) และใช้ spreadsheet เพื่อหาค่าปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม (α) และ Spring Stiffness ของเสาเข็ม (K) ดังรูปที่ 6 ถึงรูปที่ 9



รูปที่ 6 แสดงระยะเสาเข็มแต่ละต้นเทียบกับ coordinate (0,0)

หาระยะ S = ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม โดยอาศัย spreadsheet จากสูตร

$\text{SQRT} [(x1-x2)^2+(y1-y2)^2]$ ดังไฮไลท์ แสดงในรูปที่ 7

ยกตัวอย่าง cell H10

$$S = \text{SQRT} [(x1-x2)^2+(y1-y2)^2] = \text{SQRT} [(5.7-11.4)^2+(7-3.5)^2] = 6.69$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	X	0	0	0	5.7	5.7	5.7	11.4	11.4	11.4	17.1	17.1	17.1	22.8	22.8	22.8	28.5	28.5	28.5	
2		Y	0	3.5	7	0	3.5	7	0	3.5	7	0	3.5	7	0	3.5	7	0	3.5	7
3	0	0	-	3.50	7.00	5.70	6.69	9.03	13.40	11.95	13.38	17.10	17.45	18.48	22.80	23.07	23.85	28.50	28.71	29.35
4	0	3.5	3.50	-	3.50	6.69	5.70	6.69	13.38	11.40	11.95	17.45	17.10	17.45	23.07	22.80	23.07	28.71	28.50	28.71
5	0	7	7.00	3.50	-	9.03	6.69	5.70	13.38	11.95	11.40	18.48	17.45	17.10	23.85	23.07	22.80	29.35	28.71	28.50
6	5.7	0	5.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	3.70	6.69	9.03	11.40	11.95	13.38	17.10	17.45	18.48	22.80	23.07	23.85
7	5.7	3.5	6.69	5.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	5.70	6.69	11.95	11.40	11.95	17.45	17.10	17.45	23.07	22.80	23.07
8	5.7	7	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	5.70	13.38	11.95	11.40	18.48	17.45	17.10	23.85	23.07	22.80
9	11.4	0	11.40	11.95	13.38	3.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	5.70	6.69	9.03	11.40	11.95	13.38	17.10	17.45	18.48
10	11.4	3.5	11.95	11.40	11.95	6.69	5.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	5.70	6.69	11.95	11.40	11.95	17.45	17.10	17.45
11	11.4	7	13.38	11.95	11.40	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	5.70	13.38	11.95	11.40	18.48	17.45	17.10
12	17.1	0	17.10	17.45	18.48	11.40	11.95	13.38	3.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	5.70	6.69	9.03	11.40	11.95	13.38
13	17.1	3.5	17.45	17.10	17.45	11.95	11.40	11.95	6.69	5.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	5.70	6.69	11.95	11.40	11.95
14	17.1	7	18.48	17.45	17.10	13.38	11.95	11.40	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	5.70	13.38	11.95	11.40
15	22.8	0	22.80	23.07	23.85	17.10	17.45	18.48	11.40	11.95	13.38	5.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	5.70	6.69	9.03
16	22.8	3.5	23.07	22.80	23.07	17.45	17.10	17.45	11.95	11.40	11.95	6.69	5.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	5.70	6.69
17	22.8	7	23.85	23.07	22.80	18.48	17.45	17.10	13.38	11.95	11.40	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	5.70
18	28.5	0	28.50	28.71	29.35	22.80	23.07	23.85	17.10	17.45	18.48	11.40	11.95	13.38	5.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00
19	28.5	3.5	28.71	28.50	28.71	23.07	22.80	23.07	17.45	17.10	17.45	11.95	11.40	11.95	6.69	5.70	6.69	3.50	-	3.50
20	28.5	7	29.35	28.71	28.50	23.85	23.07	22.80	18.48	17.45	17.10	13.38	11.95	11.40	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-
21																				

ตำแหน่งเสาเข็มแต่ละ ต้นเทียบกับ coordinate (0,0)

ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม (S)

Pile Interaction (CI)

รูปที่ 7 แสดงการหาระยะ S = ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม โดยอาศัย spreadsheet

หาค่า Pile Interaction (α) จากสมการ

$$\alpha = \frac{\ln(r_m/s)}{\zeta} \xi, \quad S \leq r_m$$

$\xi = 0.636$, $\zeta = 4.21$, $r_m = 20$ m. ตามที่หาไว้แล้วข้างต้น

โดยอาศัย spreadsheet ดังไฮไลต์ ดังแสดงในรูปที่ 8

ยกตัวอย่าง cell H25

$$\alpha = \frac{\ln(r_m/s)}{\zeta} \xi$$

$$\alpha = [(\ln(20/5.7))/4.21] \times 0.636$$

$$\alpha = 0.179$$

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	X		0	0	0	5.7	5.7	5.7	11.4	11.4	11.4	17.1	17.1	17.1	22.8	22.8	22.8	28.5	28.5	28.5
2		V	0	3.5	7	0	3.5	7	0	3.5	7	0	3.5	7	0	3.5	7	0	3.5	7
3	0	0	-	5.70	7.00	5.70	6.69	9.03	11.40	11.93	13.38	17.10	17.43	18.48	22.80	23.07	23.85	28.50	28.71	29.35
4	0	3.5	5.38	-	5.50	6.69	5.70	6.69	11.93	11.40	11.93	17.43	17.10	17.43	23.07	22.80	23.07	28.71	28.50	28.71
5	0	7	7.80	3.50	-	9.03	6.69	5.70	13.38	11.93	11.40	18.48	17.43	17.10	23.85	23.07	22.80	29.35	28.71	28.50
6	5.7	0	5.70	6.69	9.03	-	5.50	7.00	5.70	6.69	9.03	11.40	11.93	13.38	17.10	17.43	18.48	22.80	23.07	23.85
7	5.7	3.5	6.69	5.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	5.70	6.69	11.93	11.40	11.93	17.43	17.10	17.43	23.07	22.80	23.07
8	5.7	7	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	5.70	13.38	11.93	11.40	18.48	17.43	17.10	23.85	23.07	22.80
9	11.4	0	11.40	11.93	13.38	5.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	5.70	6.69	9.03	11.40	11.93	13.38	17.10	17.43	18.48
10	11.4	3.5	11.93	11.40	11.93	6.69	5.70	6.69	3.50	-	5.50	6.69	5.70	6.69	11.93	11.40	11.93	17.43	17.10	17.43
11	11.4	7	13.38	11.93	11.40	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	5.70	13.38	11.93	11.40	18.48	17.43	17.10
12	17.1	0	17.10	17.43	18.48	11.40	11.93	13.38	5.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	5.70	6.69	9.03	11.40	11.93	13.38
13	17.1	3.5	17.43	17.10	17.43	11.93	11.40	11.93	6.69	5.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	5.70	6.69	11.93	11.40	11.93
14	17.1	7	18.48	17.43	17.10	13.38	11.93	11.40	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	5.70	13.38	11.93	11.40
15	22.8	0	22.80	23.07	23.85	17.10	17.43	18.48	11.40	11.93	13.38	5.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	5.70	6.69	9.03
16	22.8	3.5	23.07	22.80	23.07	17.43	17.10	17.43	11.93	11.40	11.93	6.69	5.70	6.69	3.50	-	5.50	6.69	5.70	6.69
17	22.8	7	23.85	23.07	22.80	18.48	17.43	17.10	13.38	11.93	11.40	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	5.70
18	28.5	0	28.50	28.71	29.35	22.80	23.07	23.85	17.10	17.43	18.48	11.40	11.93	13.38	5.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00
19	28.5	3.5	28.71	28.50	28.71	23.07	22.80	23.07	17.43	17.10	17.43	11.93	11.40	11.93	6.69	5.70	6.69	3.50	-	5.50
20	28.5	7	29.35	28.71	28.50	23.85	23.07	22.80	18.48	17.43	17.10	13.38	11.93	11.40	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-
21																				
22																				
23			0.248746	0.149624	0.179144	0.156314	0.113528	0.080222	0.073794	0.057390	0.022357	0.019428	0.011302	0	0	0	0	0	0	0
24			0.248746	1	0.149624	0.179144	0.156314	0.113528	0.080222	0.073794	0.057390	0.022357	0.019428	0.011302	0	0	0	0	0	0
25			0.149624	0.248746	1	0.113528	0.156314	0.179144	0.057390	0.073794	0.080222	0.019428	0.011302	0.022357	0	0	0	0	0	0
26			0.179144	0.156314	0.113528	1	0.248746	0.149624	0.179144	0.156314	0.113528	0.080222	0.073794	0.057390	0.022357	0.019428	0.011302	0	0	0
27			0.156314	0.179144	0.156314	0.248746	1	0.248746	0.156314	0.179144	0.156314	0.080222	0.073794	0.057390	0.022357	0.019428	0.011302	0	0	0
28			0.113528	0.156314	0.179144	0.149624	0.248746	1	0.113528	0.156314	0.179144	0.080222	0.073794	0.057390	0.022357	0.019428	0.011302	0	0	0
29			0.080222	0.073794	0.057390	0.179144	0.156314	0.113528	1	0.248746	0.149624	0.179144	0.156314	0.113528	0.080222	0.073794	0.057390	0.022357	0.019428	0.011302
30			0.073794	0.057390	0.022357	0.156314	0.179144	0.156314	0.248746	1	0.248746	0.156314	0.179144	0.156314	0.080222	0.073794	0.057390	0.022357	0.019428	0.011302
31			0.057390	0.022357	0.011302	0.113528	0.156314	0.179144	0.149624	0.248746	1	0.113528	0.156314	0.179144	0.080222	0.073794	0.057390	0.022357	0.019428	0.011302
32			0.022357	0.019428	0.011302	0.080222	0.073794	0.057390	0.179144	0.156314	0.113528	1	0.248746	0.149624	0.179144	0.156314	0.113528	0.080222	0.073794	0.057390
33			0.019428	0.022357	0.019428	0.057390	0.080222	0.073794	0.156314	0.179144	0.156314	0.248746	1	0.248746	0.156314	0.179144	0.156314	0.080222	0.073794	0.057390
34			0.011302	0.019428	0.022357	0.057390	0.080222	0.113528	0.156314	0.179144	0.149624	0.248746	1	0.113528	0.156314	0.179144	0.080222	0.073794	0.057390	0.022357
35			0	0	0	0.022357	0.019428	0.011302	0.080222	0.073794	0.057390	0.179144	0.156314	0.113528	1	0.248746	0.149624	0.179144	0.156314	0.113528
36			0	0	0	0.019428	0.022357	0.019428	0.057390	0.080222	0.073794	0.156314	0.179144	0.149624	0.248746	1	0.248746	0.156314	0.179144	0.156314
37			0	0	0	0.011302	0.019428	0.022357	0.057390	0.080222	0.113528	0.156314	0.179144	0.149624	0.248746	1	0.113528	0.156314	0.179144	0.149624
38			0	0	0	0	0	0	0.022357	0.019428	0.011302	0.080222	0.073794	0.057390	0.179144	0.156314	0.113528	1	0.248746	0.149624
39			0	0	0	0	0	0	0.019428	0.022357	0.019428	0.057390	0.080222	0.073794	0.156314	0.179144	0.149624	0.248746	1	0.248746
40			0	0	0	0	0	0	0.011302	0.019428	0.022357	0.057390	0.080222	0.113528	0.156314	0.179144	0.149624	0.248746	1	0.248746

ตำแหน่งเสาเข็มแต่ละ ต้นเทียบกับ coordinate (0,0)

ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม (S)

Pile Interaction (α)รูปที่ 8 แสดงการหาค่า Pile Interaction (α) โดยอาศัย spreadsheet

1st Cycle

รวมผลของ α สำหรับเสาเข็มแต่ละต้น โดยอาศัย spreadsheet จากสูตร

Sum α (cell C41) = sum (C23:C40) และสูตรเดียวกันสำหรับ cell D41 ถึง cell T41

ดังแสดงในรูปที่ 9 (Row 41 ใน spreadsheet)

โดยอาศัย spreadsheet

Row 42 = MMULT(C22:T22,C23:T40)

1st K = P / Row 42

ยกตัวอย่าง cell C43

1st K = 25 / 0.010759

1st K = 2,323.6 ton/m

1st K สำหรับเสาเข็มแต่ละต้น ดังแสดงในรูปที่ 9 (Row 43 ใน spreadsheet)

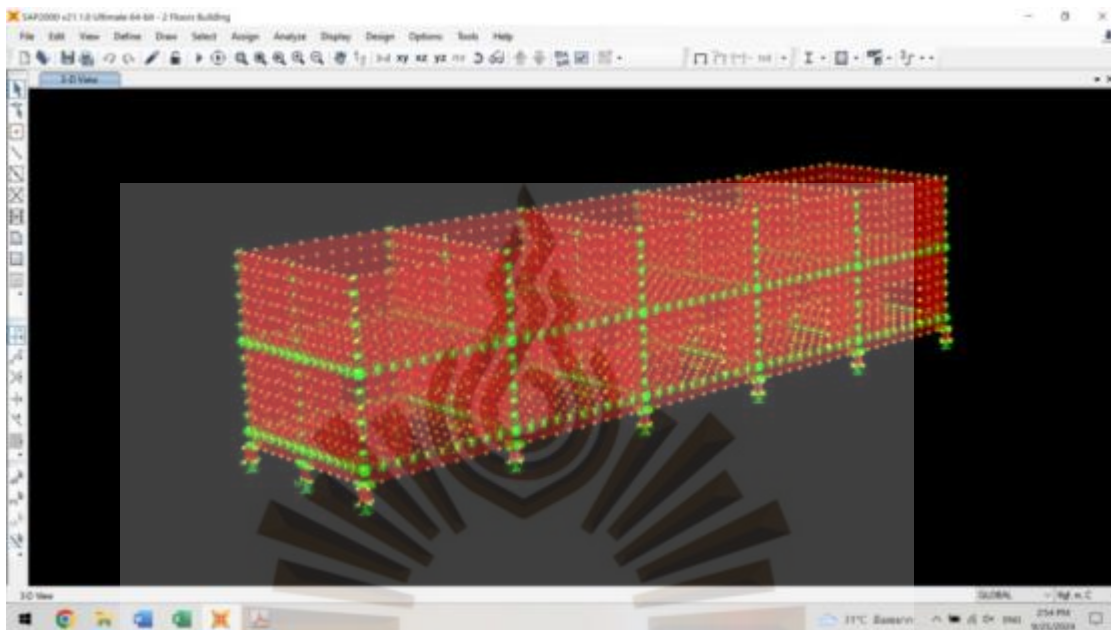
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	X		0	0	0	3.7	3.7	3.7	11.4	11.4	11.4	17.1	17.1	17.1	22.8	22.8	22.8	28.5	28.5	28.5
2		Y	0	3.3	7	0	3.3	7	0	3.3	7	0	3.3	7	0	3.3	7	0	3.3	7
3	0	0	-	3.50	7.00	3.70	6.69	9.03	11.40	11.93	13.38	17.10	17.45	18.48	22.80	23.07	23.83	28.50	28.71	28.33
4	0	3.3	3.50	-	3.50	6.69	3.70	6.69	11.93	11.40	11.93	17.45	17.10	17.45	23.07	22.80	23.07	28.71	28.50	28.71
5	0	7	7.00	3.50	-	9.03	6.69	3.70	13.38	11.93	11.40	18.48	17.45	17.10	23.83	23.07	22.80	29.33	28.71	28.50
6	3.7	0	3.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	3.70	6.69	9.03	11.40	11.93	13.38	17.10	17.45	18.48	22.80	23.07	23.83
7	3.7	3.3	6.69	3.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	3.70	6.69	11.93	11.40	11.93	17.45	17.10	17.45	23.07	22.80	23.07
8	3.7	7	9.03	6.69	3.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	3.70	13.38	11.93	11.40	18.48	17.45	17.10	23.83	23.07	22.80
9	11.4	0	11.40	11.93	13.38	3.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	3.70	6.69	9.03	11.40	11.93	13.38	17.10	17.45	18.48
10	11.4	3.3	11.93	11.40	11.93	6.69	3.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	3.70	6.69	11.93	11.40	11.93	17.45	17.10	17.45
11	11.4	7	13.38	11.93	11.40	9.03	6.69	3.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	3.70	13.38	11.93	11.40	18.48	17.45	17.10
12	17.1	0	17.10	17.45	18.48	11.40	11.93	13.38	3.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	3.70	6.69	9.03	11.40	11.93	13.38
13	17.1	3.3	17.45	17.10	17.45	11.93	11.40	11.93	6.69	3.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	3.70	6.69	11.93	11.40	11.93
14	17.1	7	18.48	17.45	17.10	13.38	11.93	11.40	9.03	6.69	3.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	3.70	13.38	11.93	11.40
15	22.8	0	22.80	23.07	23.83	17.10	17.45	18.48	11.40	11.93	13.38	3.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	3.70	6.69	9.03
16	22.8	3.3	23.07	22.80	23.07	17.40	17.10	17.45	11.93	11.40	11.93	6.69	3.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	3.70	6.69
17	22.8	7	23.83	23.07	23.80	18.48	17.45	17.10	13.38	11.93	11.40	9.03	6.69	3.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	3.70
18	28.5	0	28.50	28.71	29.33	22.80	23.07	23.85	17.10	17.45	18.48	11.40	11.93	13.38	3.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00
19	28.5	3.3	28.71	28.50	28.71	23.07	22.80	23.07	17.40	17.10	17.45	11.93	11.40	11.93	6.69	3.70	6.69	3.50	-	3.50
20	28.5	7	29.33	28.71	28.50	23.83	23.07	22.80	18.48	17.45	17.10	13.38	11.93	11.40	9.03	6.69	3.70	7.00	3.50	-
21		P (ton)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
22		พิกัดของหัวเข็ม	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094
23			0.248746	0.148924	0.179144	0.136314	0.113328	0.080222	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794
24			0.248746	0.148924	0.179144	0.136314	0.113328	0.080222	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794
25			0.148924	0.248746	0.179144	0.136314	0.113328	0.080222	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794
26			0.179144	0.136314	0.113328	0.080222	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794
27			0.136314	0.113328	0.080222	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794
28			0.080222	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794
29			0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794
30			0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794
31			0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794
32			0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794
33			0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794
34			0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794	0.073794
35			0	0	0	0.002357	0.002357	0.002357	0.002357	0.002357	0.002357	0.002357	0.002357	0.002357	0.002357	0.002357	0.002357	0.002357	0.002357	0.002357
36			0	0	0	0.004928	0.004928	0.004928	0.004928	0.004928	0.004928	0.004928	0.004928	0.004928	0.004928	0.004928	0.004928	0.004928	0.004928	0.004928
37			0	0	0	0.011023	0.011023	0.011023	0.011023	0.011023	0.011023	0.011023	0.011023	0.011023	0.011023	0.011023	0.011023	0.011023	0.011023	0.011023
38			0	0	0	0.022117	0.022117	0.022117	0.022117	0.022117	0.022117	0.022117	0.022117	0.022117	0.022117	0.022117	0.022117	0.022117	0.022117	0.022117
39			0	0	0	0.044234	0.044234	0.044234	0.044234	0.044234	0.044234	0.044234	0.044234	0.044234	0.044234	0.044234	0.044234	0.044234	0.044234	0.044234
40			0	0	0	0.088468	0.088468	0.088468	0.088468	0.088468	0.088468	0.088468	0.088468	0.088468	0.088468	0.088468	0.088468	0.088468	0.088468	0.088468
41		sum X	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851	2.112851
42			0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739	0.010739
43		1st K (ton)	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614
44			2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614	2325.614
45		Pile No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

ตำแหน่งเสาเข็มแต่ละต้นเทียบกับ coordinate (0,0)

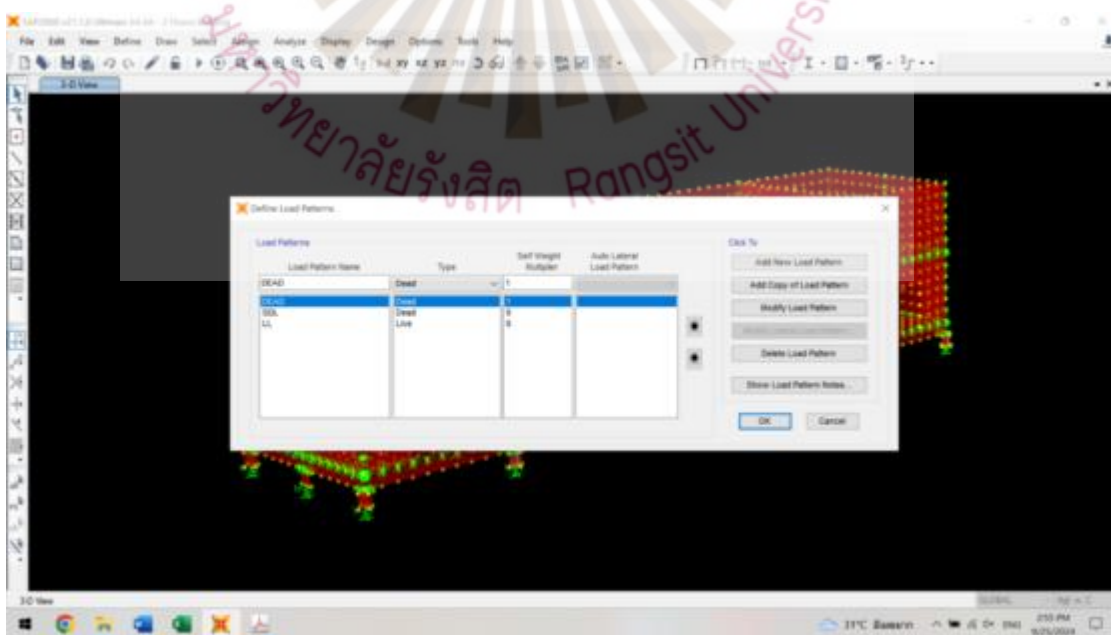
ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม (S)

Pile Interaction (α)รูปที่ 9 แสดงการหาค่า 1st K โดยอาศัย spreadsheet

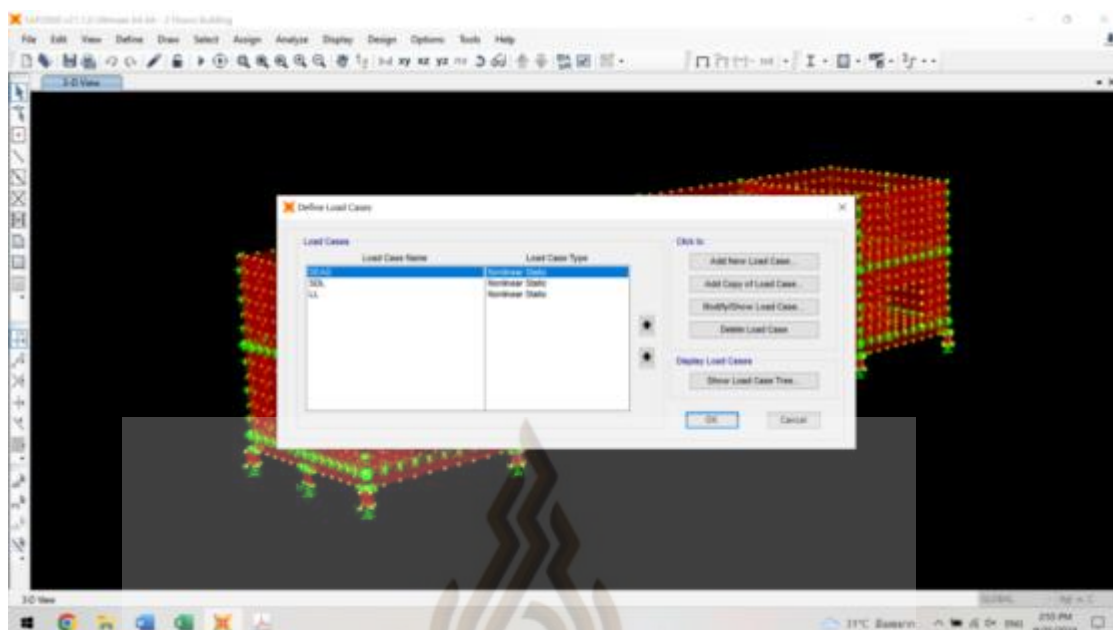
จากรูปที่ 9 Row ที่ 43 จะได้ค่า 1^{st} K ที่รวมผลของปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม เพื่อป้อนค่าในโปรแกรม SAP2000 เพื่อวิเคราะห์หาค่าแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น (1^{st} Rx) ดังรูปที่ 10 ถึงรูปที่ 17



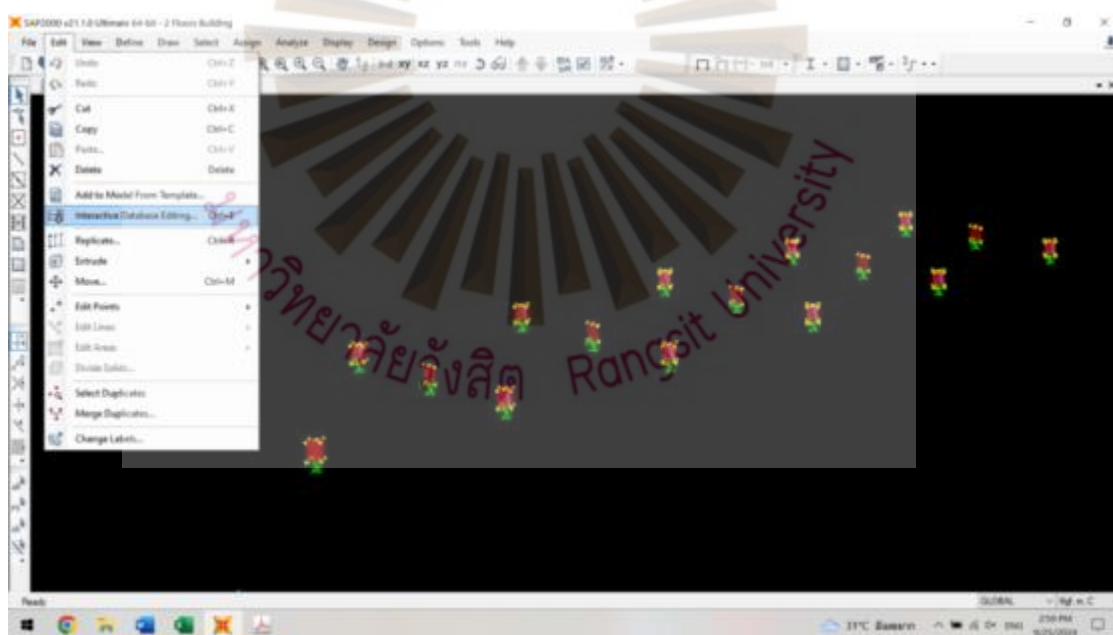
รูปที่ 10 แบบจำลองอาคารในโมเดล SAP2000



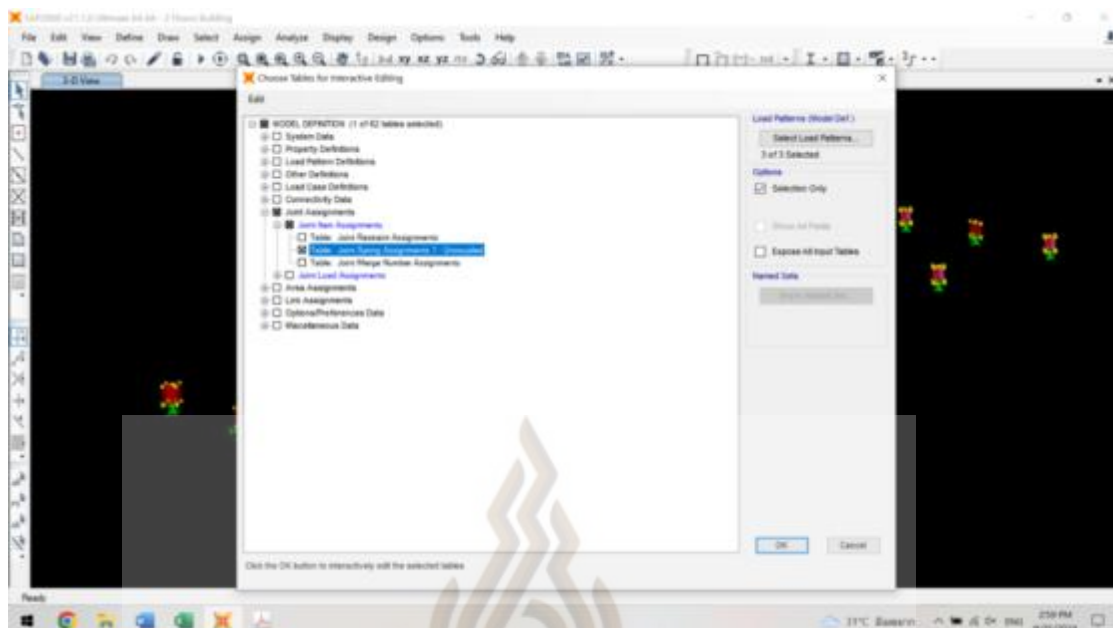
รูปที่ 11 การ Define Load Patterns ในโมเดล SAP2000



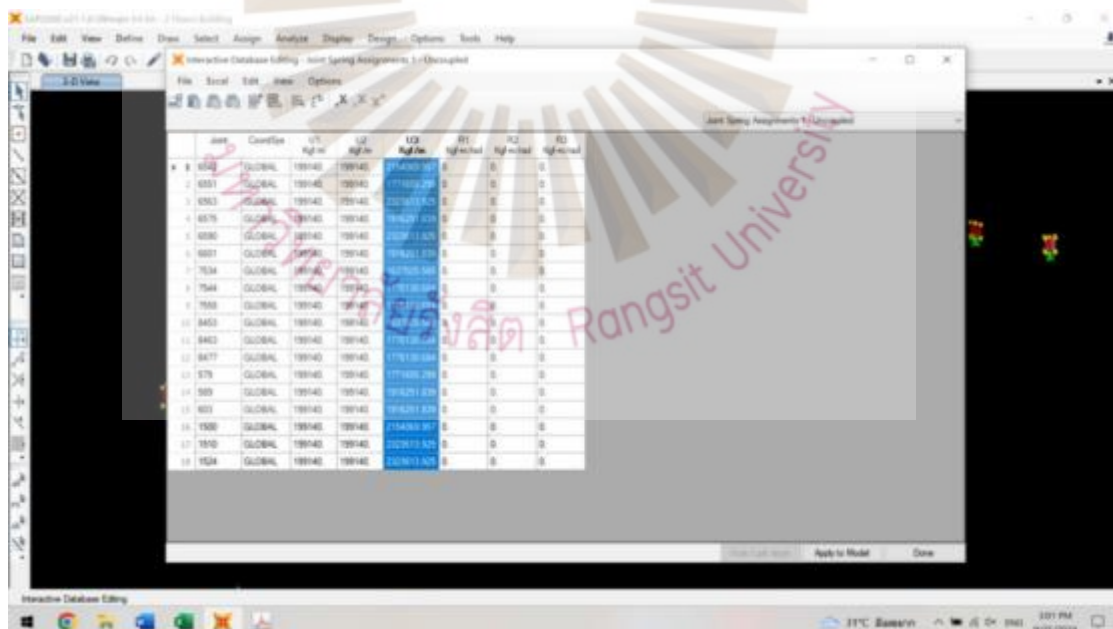
รูปที่ 12 การ Define Load Cases ในโมเดล SAP2000



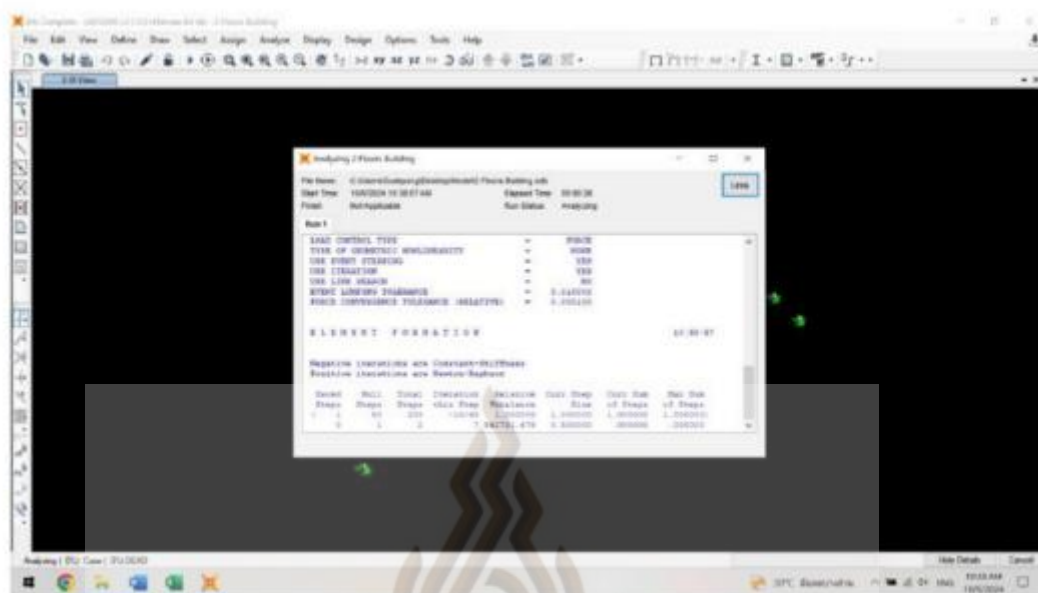
รูปที่ 13 การกำหนดค่า K ในโมเดล SAP2000



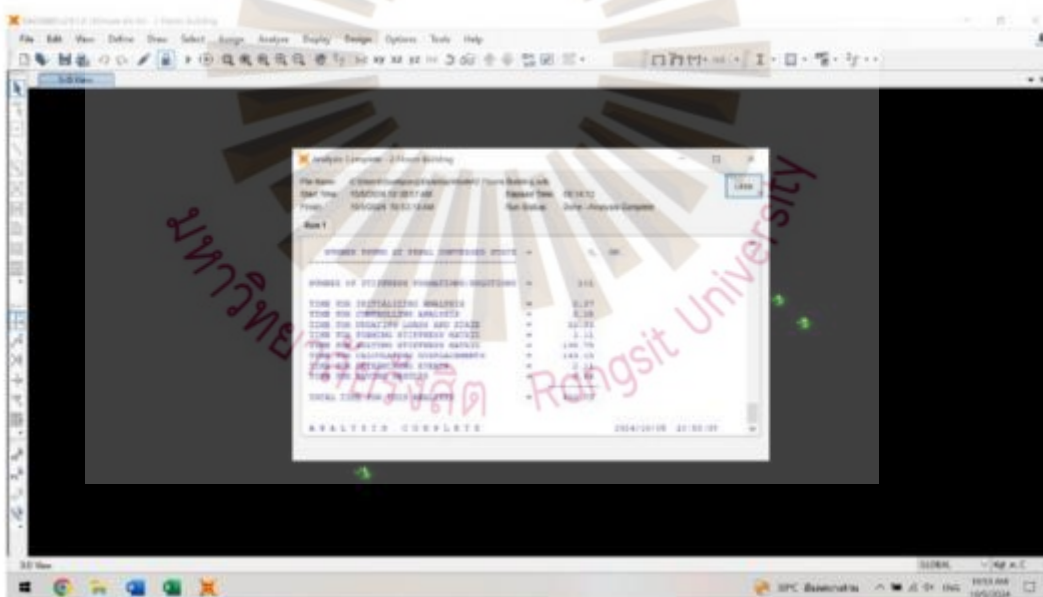
รูปที่ 14 การกำหนดค่า K ในโมเดล SAP2000



รูปที่ 15 การกำหนดค่า K ในโมเดล SAP2000

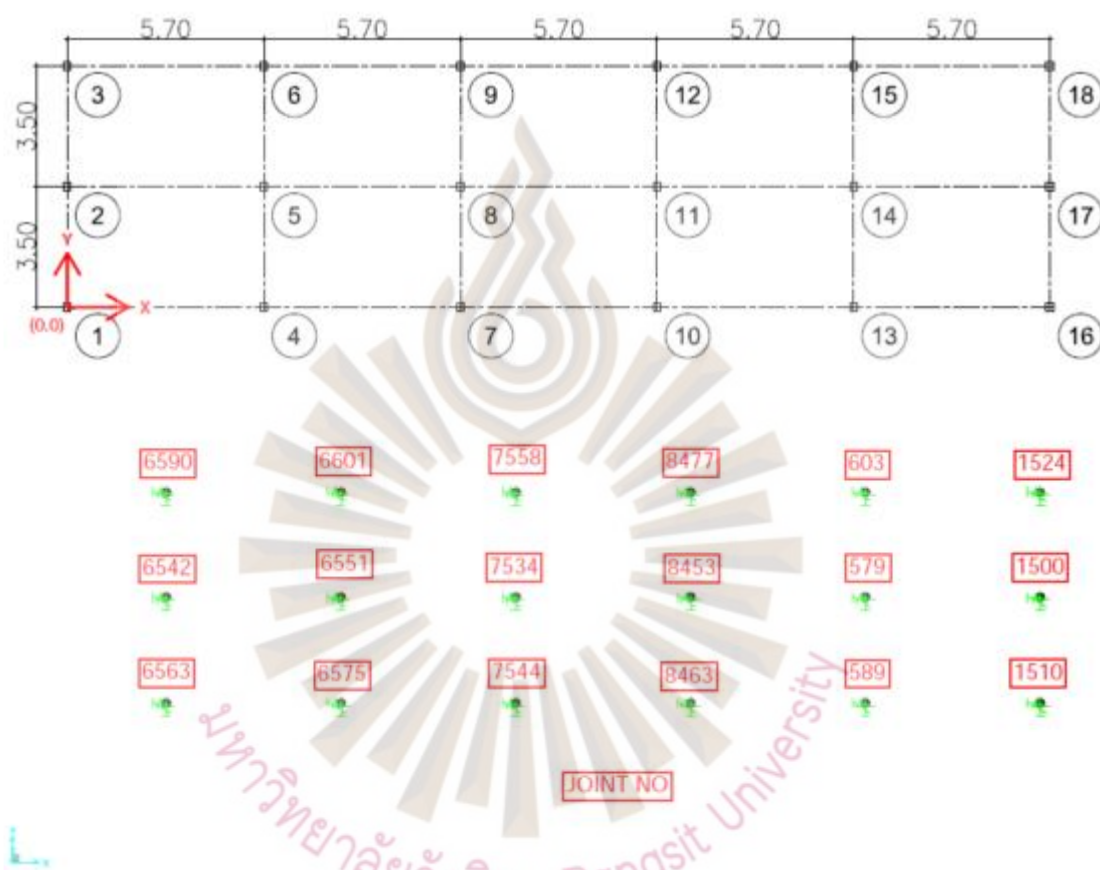


รูปที่ 16 โมเดล SAP2000 ขณะ Run Analysis



รูปที่ 17 โมเดล SAP2000 Analysis Complete

หลังจาก Run Analysis โปรแกรม SAP2000 เพื่อวิเคราะห์หาค่าแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้นจากค่า 1st K ที่รวมผลของปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็ม จะได้ค่าแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น (1st Rx) ดังแสดงในรูปที่ 18 ถึงรูปที่ 19



รูปที่ 18 ตำแหน่งเสาเข็มพร้อม JOINT NO ในโมเดล SAP2000

TABLE: Joint Reactions					
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
6563	DEAD	NonStatic	69.67	13.1	15,887.52
6563	SDL	NonStatic	87.78	16.37	18,867.28
6563	LL	NonStatic	118.19	21.34	22,900.74
6542	DEAD	NonStatic	72.85	7.12	14,561.52
6542	SDL	NonStatic	92.42	8.47	17,276.30
6542	LL	NonStatic	127.41	7.63	20,907.77
6590	DEAD	NonStatic	72.47	-17.64	16,380.84
6590	SDL	NonStatic	89.47	-22.29	19,317.35
6590	LL	NonStatic	118.52	-31.36	23,217.63
6575	DEAD	NonStatic	34.77	24.32	17,497.35
6575	SDL	NonStatic	42.68	32.56	21,066.50
6575	LL	NonStatic	55.42	47.04	26,181.76
6551	DEAD	NonStatic	20.03	6.53	16,759.74
6551	SDL	NonStatic	24.09	7.88	20,345.20
6551	LL	NonStatic	29.1	12.85	25,539.97
6601	DEAD	NonStatic	37.41	-32.22	17,997.12
6601	SDL	NonStatic	45.89	-41.83	21,600.74
6601	LL	NonStatic	56.61	-56.96	26,796.63
7544	DEAD	NonStatic	11.94	22.16	17,849.02
7544	SDL	NonStatic	14.68	29.79	21,541.96
7544	LL	NonStatic	18.73	43.47	26,819.34
7534	DEAD	NonStatic	7.87	6.55	16,923.93
7534	SDL	NonStatic	9.79	8.32	20,560.64
7534	LL	NonStatic	12.32	10.05	25,783.50
7558	DEAD	NonStatic	11.96	-31.06	18,291.52
7558	SDL	NonStatic	15.03	-40.28	22,023.67
7558	LL	NonStatic	18.78	-53.87	27,352.73

TABLE: Joint Reactions					
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
8463	DEAD	NonStatic	-11.78	22.57	17,858.54
8463	SDL	NonStatic	-14.57	30.15	21,550.32
8463	LL	NonStatic	-18.89	43.25	26,839.03
8453	DEAD	NonStatic	-8.31	6.51	16,916.64
8453	SDL	NonStatic	-10.26	8.06	20,546.48
8453	LL	NonStatic	-12.77	8.81	25,767.69
8477	DEAD	NonStatic	-12.98	-30.68	18,263.27
8477	SDL	NonStatic	-15.58	-40.27	21,981.18
8477	LL	NonStatic	-19.27	-54.18	27,293.24
589	DEAD	NonStatic	-34.99	25.33	17,528.86
589	SDL	NonStatic	-42.97	33.63	21,094.49
589	LL	NonStatic	-56.11	47.07	26,233.07
579	DEAD	NonStatic	-20.21	6.97	16,764.25
579	SDL	NonStatic	-24.21	8.28	20,345.05
579	LL	NonStatic	-29.73	11.12	25,543.89
603	DEAD	NonStatic	-37.2	-30.63	17,986.45
603	SDL	NonStatic	-45.04	-40.35	21,586.95
603	LL	NonStatic	-56.44	-56.42	26,763.92
1510	DEAD	NonStatic	-70.34	12.83	15,859.08
1510	SDL	NonStatic	-88.62	16.24	18,816.46
1510	LL	NonStatic	-120.12	21.84	22,746.52
1500	DEAD	NonStatic	-72.76	5.87	14,486.39
1500	SDL	NonStatic	-92.88	7.69	17,199.17
1500	LL	NonStatic	-126.94	8.87	20,821.88
1524	DEAD	NonStatic	-70.42	-17.63	16,259.44
1524	SDL	NonStatic	-87.69	-22.41	19,231.75
1524	LL	NonStatic	-114.82	-30.55	23,242.14

รูปที่ 19 ค่า 1st Rx จากโปรแกรม SAP2000 จากการวิเคราะห์ด้วยค่า 1st K

2nd Cycle

จากค่า 1st Rx ที่ได้ ป้อนค่าแทนค่า P ใน Row 21

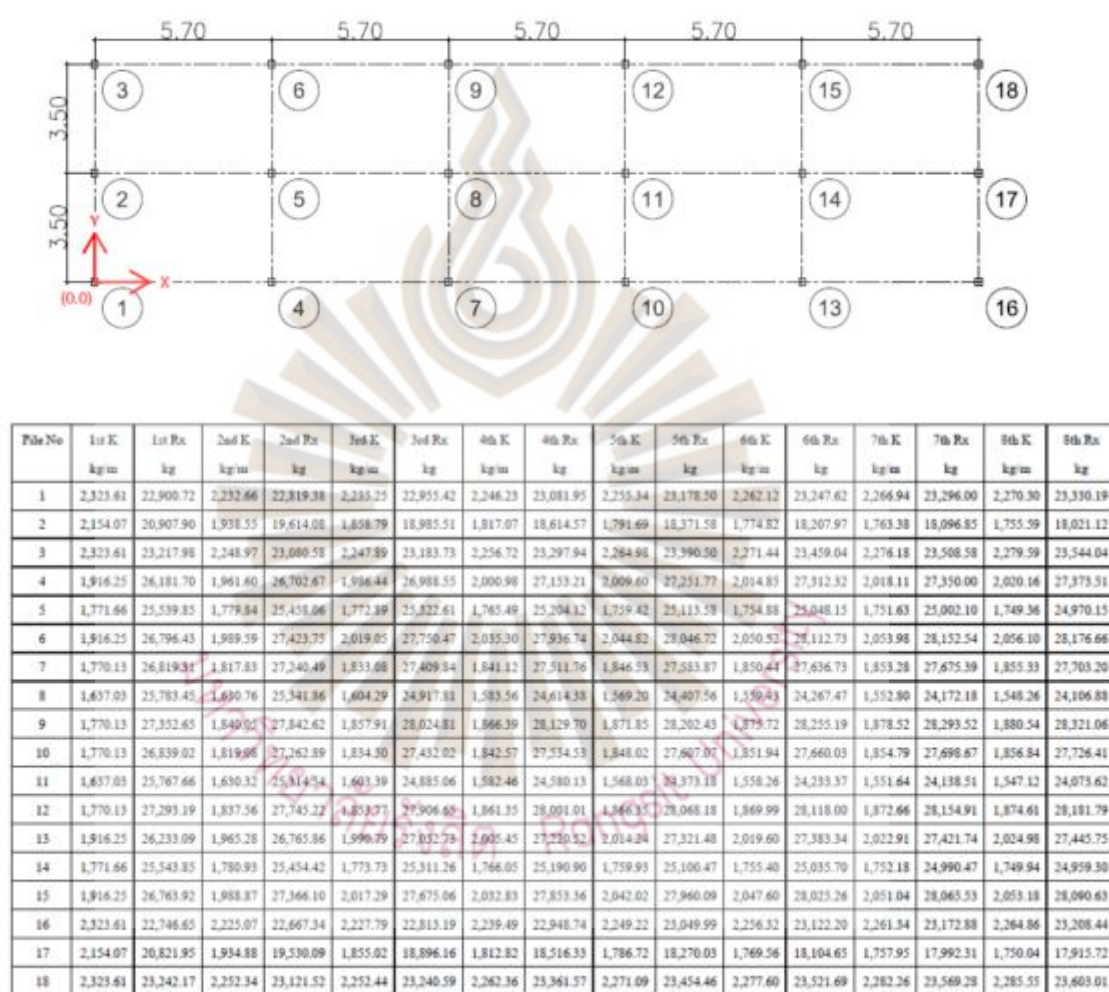
โดยอาศัย spreadsheet จะได้ค่า 2nd K ดังแสดงในรูปที่ 20 (Row 43 ใน spreadsheet)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	X		0	0	0	5.7	5.7	5.7	11.4	11.4	11.4	17.1	17.1	17.1	22.8	22.8	22.8	28.5	28.5	28.5
2	Y		0	3.5	7	0	3.5	7	0	3.5	7	0	3.5	7	0	3.5	7	0	3.5	7
3	0	0	-	5.50	7.00	5.70	6.69	9.03	11.40	11.93	13.38	17.10	17.43	18.48	22.80	23.07	23.83	28.50	28.71	29.33
4	0	3.5	5.50	-	5.50	6.69	5.70	6.69	11.93	11.40	11.93	17.43	17.10	17.43	23.07	22.80	23.07	28.71	28.50	28.71
5	0	7	7.00	5.50	-	9.03	6.69	5.70	13.38	11.93	11.40	18.48	17.43	17.10	23.83	23.07	22.80	29.33	28.71	28.50
6	5.7	0	5.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	5.70	6.69	9.03	11.40	11.93	13.38	17.10	17.43	18.48	22.80	23.07	23.83
7	5.7	3.5	6.69	5.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	5.70	6.69	11.93	11.40	11.93	17.43	17.10	17.43	23.07	22.80	23.07
8	5.7	7	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	5.70	13.38	11.93	11.40	18.48	17.43	17.10	23.83	23.07	22.80
9	11.4	0	11.40	11.93	13.38	5.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	5.70	6.69	9.03	11.40	11.93	13.38	17.10	17.43	18.48
10	11.4	3.5	11.93	11.40	11.93	6.69	5.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	5.70	6.69	11.93	11.40	11.93	17.43	17.10	17.43
11	11.4	7	13.38	11.93	11.40	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	5.70	13.38	11.93	11.40	18.48	17.43	17.10
12	17.1	0	17.10	17.43	18.48	11.40	11.93	13.38	5.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	5.70	6.69	9.03	11.40	11.93	13.38
13	17.1	3.5	17.43	17.10	17.43	11.93	11.40	11.93	6.69	5.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	5.70	6.69	11.93	11.40	11.93
14	17.1	7	18.48	17.43	17.10	13.38	11.93	11.40	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	5.70	13.38	11.93	11.40
15	22.8	0	22.80	23.07	23.83	17.10	17.43	18.48	11.40	11.93	13.38	5.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00	5.70	6.69	9.03
16	22.8	3.5	23.07	22.80	23.07	17.43	17.10	17.43	11.93	11.40	11.93	6.69	5.70	6.69	3.50	-	3.50	6.69	5.70	6.69
17	22.8	7	23.83	23.07	22.80	18.48	17.43	17.10	13.38	11.93	11.40	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-	9.03	6.69	5.70
18	28.5	0	28.50	28.71	29.33	22.80	23.07	23.83	17.10	17.43	18.48	11.40	11.93	13.38	5.70	6.69	9.03	-	3.50	7.00
19	28.5	3.5	28.71	28.50	28.71	23.07	22.80	23.07	17.43	17.10	17.43	11.93	11.40	11.93	6.69	5.70	6.69	3.50	-	3.50
20	28.5	7	29.33	28.71	28.50	23.83	23.07	22.80	18.48	17.43	17.10	13.38	11.93	11.40	9.03	6.69	5.70	7.00	3.50	-
21		New Rx (mm)	22.90072	20.9079	25.21793	26.1817	25.51983	26.79643	26.8193	25.78345	27.37945	26.82902	25.76766	27.29318	26.23369	25.24385	26.76392	22.74665	20.82195	23.24217
22		พิกัดขั้วเดียว	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094	0.005094
23		1	0.248746	0.149124	0.179144	0.156314	0.113528	0.080222	0.073794	0.057392	0.022337	0.019428	0.011302	0	0	0	0	0	0	0
24			0.248746	1	0.248746	0.156314	0.179144	0.113528	0.080222	0.073794	0.057392	0.019428	0.022337	0.011302	0	0	0	0	0	0
25			0.149524	0.248746	1	0.113528	0.156314	0.179144	0.080222	0.073794	0.057392	0.019428	0.022337	0	0	0	0	0	0	0
26			0.179144	0.156314	0.113528	1	0.248746	0.149524	0.179144	0.156314	0.113528	0.080222	0.073794	0.057392	0.022337	0.019428	0.011302	0	0	0
27			0.156314	0.179144	0.156314	0.248746	1	0.248746	0.156314	0.179144	0.156314	0.113528	0.080222	0.073794	0.057392	0.022337	0.019428	0	0	0
28			0.113528	0.156314	0.179144	0.149524	0.248746	1	0.113528	0.156314	0.179144	0.080222	0.073794	0.057392	0.022337	0.019428	0.011302	0	0	0
29			0.080222	0.073794	0.057392	0.179144	0.156314	0.113528	1	0.248746	0.149524	0.179144	0.156314	0.113528	0.080222	0.073794	0.057392	0.022337	0.019428	0.011302
30			0.073794	0.057392	0.073794	0.156314	0.179144	0.156314	0.248746	1	0.248746	0.156314	0.179144	0.156314	0.080222	0.073794	0.057392	0.022337	0.019428	0.011302
31			0.057392	0.073794	0.080222	0.156314	0.179144	0.149524	0.248746	1	0.113528	0.156314	0.179144	0.057392	0.073794	0.080222	0.011302	0.019428	0.022337	0.011302
32			0.022337	0.019428	0.011302	0.080222	0.073794	0.057392	0.179144	0.156314	0.113528	1	0.248746	0.149524	0.179144	0.156314	0.113528	0.080222	0.073794	0.057392
33			0.019428	0.022337	0.019428	0.080222	0.073794	0.156314	0.179144	0.156314	0.248746	1	0.248746	0.156314	0.179144	0.156314	0.080222	0.073794	0.057392	0.019428
34			0.011302	0.019428	0.022337	0.057392	0.073794	0.080222	0.113528	0.156314	0.179144	0.149524	0.248746	1	0.113528	0.156314	0.179144	0.057392	0.073794	0.080222
35			0	0	0	0.022337	0.019428	0.011302	0.080222	0.073794	0.057392	0.179144	0.156314	0.113528	1	0.248746	0.149524	0.179144	0.156314	0.113528
36			0	0	0	0.019428	0.022337	0.019428	0.073794	0.080222	0.073794	0.156314	0.179144	0.156314	0.248746	1	0.248746	0.156314	0.179144	0.156314
37			0	0	0	0.011302	0.019428	0.022337	0.057392	0.073794	0.080222	0.113528	0.156314	0.179144	0.149524	0.248746	1	0.113528	0.156314	0.179144
38			0	0	0	0	0	0	0.022337	0.019428	0.011302	0.080222	0.073794	0.057392	0.179144	0.156314	0.113528	1	0.248746	0.149524
39			0	0	0	0	0	0	0.019428	0.022337	0.019428	0.073794	0.080222	0.073794	0.156314	0.179144	0.156314	0.248746	1	0.248746
40			0	0	0	0	0	0	0.011302	0.019428	0.022337	0.057392	0.073794	0.080222	0.113528	0.156314	0.179144	0.149524	0.248746	1
41		mm (X)	2.112051	2.278287	2.112051	2.561036	2.770009	2.561036	2.773445	2.99787	2.773445	2.773445	2.99787	2.772445	2.561036	2.770009	2.561036	2.112051	2.278287	2.112051
42			0.010759	0.016096	0.010759	0.013046	0.014111	0.013046	0.014123	0.015272	0.014123	0.014123	0.015272	0.014123	0.013046	0.014111	0.013046	0.010759	0.016096	0.010759
43		New K (mm)	2232.68	1938.548	2248.97	1961.595	1779.836	1989.589	1817.835	1630.76	1840.948	1819.076	1630.323	1837.357	1965.275	1790.931	1988.873	2225.072	1934.88	2232.337
44																				
45		Pin No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

รูปที่ 20 แสดงการหาค่า 2nd K โดยอาศัย spreadsheet

นำค่า 2nd K ที่ได้ป้อนค่าในโปรแกรม SAP2000 เพื่อวิเคราะห์หาค่าแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น (2nd Rx)

ทำการวิเคราะห์ห้วนซ้ำโดยใช้ค่าแรงปฏิกิริยาจากโปรแกรม SAP2000 ซึ่งจะหาค่า K ใหม่ จนกระทั่งแรงปฏิกิริยามีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 1% ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 ค่า K และ Rx ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม SAP2000

ในทำนองเดียวกัน สำหรับอาคารทาว์นเฮาส์ 2 ชั้น จำนวน 1 ยูนิต, 3 ยูนิต และ 7 ยูนิต สามารถหาค่าปฏิสัมพันธ์ของการทรุดตัวของเสาเข็มได้ด้วยวิธีการดังกล่าว

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	สื่บพงศ์ หล่อจัตรนพคุณ
วัน เดือน ปีเกิด	8 มิถุนายน 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดแพร่ ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, 2544 มหาวิทยาลัยรังสิต ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, 2567
ที่อยู่ปัจจุบัน	80/524 คอนโดลุมพินีเมกะซิตีบางนา ต.บางแก้ว อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ
สถานที่ทำงาน	บริษัท คริสเตียนีและนิลเสน (ไทย) จำกัด (มหาชน)
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรออกแบบบ่ออุทโ

