สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาสาเหตุการเสียหายของอาคาร ที่เกิดเนื่องจากความไม่มั่นคง ของฐานราก และแนวทางแก้ไข

STUDYING FAILURE OF BUILDING DUE TO THE UNSTABILITY OF FOUNDATION AND REPAIRATION

T042417

โดย

นายวิทูร แซ่ตั้ง

นายเศรษฐา อยู่สมสุข

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42417
วัน, เดือน, ปี 20 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDYING FAILURE OF BUILDING DUE TO THE UNSTABILITY OF FOUNDATION AND REPAIRATION

MR.WITOON SAETANG

MR.SETTHA YOOSOMSOOK

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาสาเหตุการเสียหายของอาคาร ที่เกิดเนื่องจากความไม่มั่นคงของฐานราก และแนวทางแก้ไข			
นักศึกษา	นายวิทูร	แซ่ตั้ง	รหัสประจำตัว	40010736
	นายเศรษฐา	อยู่สมสุข	รหัสประจำตัว	40010800
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		สาขาวิชา	วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา			
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุพจน์	ศรีนิล		

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ ดร.สกุล ห่อวโนทยาน อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.แดง เหรียญสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 2 เดือน เมษายน พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาสาเหตุการเสียหายของอาคาร ที่เกิดเนื่องจากความไม่มั่นคงของฐานราก และแนวทางแก้ไข STUDYING FAILURE OF BUILDING DUE TO THE UNSTABILITY OF FOUNDATION AND REPAIRATION
นักศึกษา	นายวิทูร แซ่ตั้ง นายเศรษฐา อยู่สมสุข
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

เมื่ออาคารมีการทรุดตัวเกิดขึ้น สามารถทำให้โครงสร้างอาคารเกิดการเสียหายได้ ซึ่งถ้าการทรุดตัวนั้น มีค่ามากเกินกว่าการทรุดตัวที่ยอมรับได้แล้ว อาคารนั้นจะอยู่ในสภาพที่ไม่ปลอดภัย โดยเฉพาะถ้าการทรุดตัวนั้นเกิดจากความไม่มั่นคงของฐานรากแล้ว ถ้าเจ้าของอาคารปล่อยไว้โดยไม่มีการทำการแก้ไข ซ่อมแซม อาคารนั้นอาจเกิดการพังทลายขึ้นเมื่อไรก็ได้

เนื่องจากปัจจุบันยังขาดการรวบรวม ข้อมูล ขั้นตอน และกระบวนการ ที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุ และการแก้ไขการทรุดตัวของอาคารนั้น ดังนั้นโครงงานศึกษานี้ได้ทำการรวบรวม สรุป ข้อมูล และกระบวนการต่างๆ รวมทั้ง ข้อดี ข้อเสียในระบบของการยกอาคารแบบต่างๆ ที่นิยมทำกันในปัจจุบัน แล้วจึงทำการศึกษาอาคารตัวอย่าง จำนวน 4 อาคารด้วยกัน โดยแต่ละอาคารจะมีลักษณะของสาเหตุ และมีการทำการแก้ไขต่างๆ กันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	STUDYING FAILURE OF BUILDING DUE TO THE UNSTABILITY OF FOUNDATION AND REPAIRATION
Name	:	MR.WITOON SAETANG
		MR.SETTHA YOOSOMSOOK
Field	:	CONSTRUCTION ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	MR.SUPOJ SRINIL

ABSTRACT

Because of settlement, building structures can be damaged. And, when the level of settlement is more than an allowable one, building will be considered as dangerous situation. Especially, in case of unstable foundations, if there is no repairation, building may be collapsed anytime.

At the present, there is insufficient information collection and methods of repairation for analysing the causes of settlement. So this project is aimed to researching, collecting and analysing the cause and pattern of settlement,and also, showing the adventages around the updated underpinning systems. Then, The four case studies were analysed and discussed in the topic of causes of settlement of building and method of repairation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี มิได้เกิดจากผู้เขียนเพียงลำพัง จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณบุคคลผู้มีส่วนในรายงานฉบับนี้ที่ทำให้โครงงานพิเศษบรรลุผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ซึ่งมีรายนามดังนี้

บุพพาการีที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์

อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ อาจารย์สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ อาจารย์ดร.สกุล ห่อวโนทยาน อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร อาจารย์ที่ปรึกษาและค่อยให้คำแนะนำในการทำโครงงานพิเศษ

คุณสืบศักดิ์ พรหมบุญ และพี่ๆ ที่บริษัทอินเตอร์คอนซัลท์ที่คอยให้คำแนะนำอำนวยความสะดวกในทุกๆ เรื่องทั้งในเรื่องสถานที่ที่มีการเสริมฐานรากแบบดีดตัวอาคาร และเอกสารที่เกี่ยวข้องในการทำโครงงานพิเศษ

คุณตาสืบศรี คำอุไร ที่กรุณาให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในโครงงานพิเศษ รวมทั้งช่วยอธิบายหลักการ ขั้นตอน และการคำนวณในการดีดอาคาร คุณป้าพรรณี ที่ให้ข้อมูลอาคารที่รามคำแหง 70 ซึ่งเกี่ยวข้องในโครงงานพิเศษ

เพื่อนๆ ที่คอยช่วยให้กำลังใจ คำแนะนำ และร่วมกันทำงานด้วยกันตลอดมา

จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนช่วยในโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และกราบขออภัยบุคคลผู้มีพระคุณทุกท่านที่มิได้กล่าวถึง ณ ที่นี้แต่ยังคงระลึกถึงตลอดไป

นายวิทูร แซ่ตั้ง
นายเศรษฐา อยู่สมสุข
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฐ
	สารบัญรูป	ฒ
1	บทนำ	
	1.1 กล่าวนำ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
	1.4 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงงาน	2
	1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	การทรุดตัวของอาคาร	
	2.1 ข้อสังเกตุสำหรับอาคารที่เกิดการทรุดตัว	3
	2.1.1 ผนังก่ออิฐฉาบปูนแตกเฉียง	3
	2.1.2 คาน	4
	2.1.3 พื้น	5
	2.1.4 เสา	5
	2.2 ชนิดของการทรุดตัว	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
2.3 ค่าของการทรุดตัว	7
2.3.1 การทรุดตัวของเสาเข็มทันทีเมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุก ประกอบด้วย	
2.3.1.1 การหดตัวของตัวเสาเข็ม	7
2.3.1.2 การทรุดตัวของดินที่ปลายเข็ม (End Bearing Load)	8
2.3.1.3 ค่าหดตัวเนื่องจากความล้าของวัสดุ (เสาเข็ม) (Creep) เมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุก	8
2.3.2 การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดิน (Settlement due to Primary Consolidation)	8
2.3.3 การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดินครั้งที่ 2 (Settlement due to Secondary Consolidation)	8
2.3.4 ความเห็นของการทรุดตัวทั้ง 3 ประเภท	9
2.4 ขีดกำหนดของการทรุดตัว	9
2.4.1 การทรุดตัวที่เท่ากันทุกฐาน	9
2.4.2 การทรุดตัวไม่เท่ากันของอาคาร	11
2.5 สาเหตุการทรุดตัว	14
2.5.1 แบบฐานรากแผ่วางบนดิน การทรุดตัวเกิดขึ้นเนื่องจาก	14
2.5.2 แบบฐานรากเสาเข็ม การทรุดตัวเกิดขึ้นเนื่องจาก	14
2.5.2.1 เสาเข็มสั้นเกินไป	14
2.5.2.2 เสาเข็มบกพร่อง	15
2.5.2.3 ฐานรากเยื้องศูนย์	16
2.5.2.4 เสาเข็มอยู่บนชั้นดินที่ไม่แข็งแรงเพียงพอ	17
2.5.2.5 ดินเกิดการเคลื่อนตัวด้านข้าง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
3	**การสำรวจสภาพอาคาร และการวิเคราะห์**	
	3.1 สำรวจสภาพการแตกร้าวเบื้องต้น	19
	3.1.1 แปลนอาคาร	19
	3.1.2 รอยแตกที่ผนัง	19
	3.1.3 รอยแตกที่คาน	22
	3.1.4 รอยแตกที่พื้น	22
	3.1.5 รอยแตกที่เสา	22
	3.1.6 ข้อแนะนำที่ควรทำเพิ่มเติมในการตรวจสอบสภาพการแตกร้าว	23
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ	24
	3.3 วิธีการสำรวจ	24
	3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์	25
4	**วิธีการแก้ไขอาคารทรุด**	
	4.1 วิธีการกำจัด ลดหรือป้องกันการทรุดตัวของอาคาร	28
	4.2 ขั้นตอนการแก้ไข	29
	4.3 ความหมายของการเสริมฐานราก (Underpinning)	30
	4.4 ความจำเป็นในการต้องเสริมฐานราก	30
	4.5 การทำค้ำยัน (Shoring)	30
	4.6 วิธีการเสริมฐานราก	32
	4.7 คุณสมบัติของเสาเข็มที่เหมาะสมที่ใช้ในการเสริมฐานราก	34
	4.8 วิธีการจัดเสาเข็มในงานเสริมฐานราก	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.9 ประเภทของเสาเข็มที่ใช้ในการเสริมฐานราก	
	4.9.1 เสริมฐานรากด้วยเสาเข็มFN - Pile (FN-Segmental Composite Pile)	35
	4.9.2 เสาเข็มเหล็ก (Steel Jack-In Pile)	36
	4.9.2.1 ขั้นตอนการทำเสาเข็มเหล็ก	37
	4.9.3 เสาเข็มเจาะ	38
	4.10 ระบบที่ใช้ในการเสริมฐานราก	39
	4.10.1 การเสริมฐานรากตามระบบของ Micro Pile	39
	4.10.1.1 วิธีการทำการเสริมฐานรากด้วยเสาเข็ม Micro Pile โดยย่อ	41
	4.10.2 ระบบเสาเข็มแบบ Franki Miga	42
	4.10.3 ระบบ Pretest	43
	4.11 วิธีการยกอาคาร	45
	4.12 การยึดเสาเข็มใหม่กับฐานรากเดิม	46
	4.12.1 การยึดโดยใช้ Epoxy ยึดกับฐานคอนกรีตเดิม	47
	4.12.2 การยึดโดยใช้แรงยึดเหนี่ยวของเสาตอม่อ (Holding by Reinforced Concrete Collar)	49
	4.12.3 การเสริมฐานรากโดยใช้การหามใต้ฐานรากเดิม	49
	4.12.4 การเสริมฐานรากโดยใช้ระบบ Grillage	50
5	**การตรวจสอบ และทดสอบสภาพอาคาร ภายหลังการแก้ไขการทรุดตัว**	
	5.1 การสำรวจค่าการทรุดตัวหลังการเสริมฐานราก (Settlement Survey)	52
	5.2 ตรวจสอบกำลังและคุณภาพของคอนกรีตโครงสร้าง (Strength and Quality of Concrete)	53
	5.2.1 Core Testing	54
	5.2.2 The Rebound Hammer	55
	5.2.2.1 วิธีการทดสอบ	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	5.2.3 Ultrasonic Pulse Velocity Test	57
	5.2.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	57
	5.2.3.2 วิธีการทดสอบ	58
	5.2.4 Seismic Test or Pile Integrity Test	59
	5.2.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบไปด้วย	59
	5.2.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ	60
	5.2.4.3 การพิจารณาการแก้ไขข้อมูลในกราฟ	61
	5.2.5 ทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง(Building Load Test)	62
	5.2.5.1 ข้อกำหนดทั่วไป (General)	62
	5.2.5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	63
	5.2.5.3 การวางน้ำหนักบรรทุก	63
	5.2.5.4 การทดสอบและบันทึกค่าการแอ่นตัว	63
	5.2.5.5 เกณฑ์การพิจารณา	65
6	**การศึกษาวิเคราะห์อาคารตัวอย่าง**	
	6.1 Case Study : การยกระดับอาคารให้สูงขึ้นกว่าเดิม	66
	6.2 Case Study : อาคารที่เกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน เนื่องจากการได้รับ Induced Stress ไม่เท่ากัน	85
	6.3 Case Study : อาคารที่เกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน เนื่องจากความไม่มั่นคงของฐานราก	101
	6.4 Case Study : อาคารที่เกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน เนื่องจาก การเคลื่อนตัวของดินใต้ฐานราก	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	รายการอ้างอิง	124
	บรรณานุกรม	125
	ภาคผนวก ก. แบบอาคารตัวอย่าง	ผก1
	ก1. แบบอาคารบ้านเลขที่ 75 ซอยลาดพร้าว แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง จังหวัดกรุงเทพมหานคร	ผก2
	ก2. แบบบ้านเลขที่ 202/4-5 ถนนเทพารักษ์ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ	ผก10
	ก3. แบบบ้านเลขที่ 719 ซอยสุขุมวิท 24 ถนนสุขุมวิท จังหวัดกรุงเทพมหานคร	ผก14
	ก4. แบบบ้านเลขที่ 721 ซอยสุขุมวิท 24 ถนนสุขุมวิท จังหวัดกรุงเทพมหานคร	ผก20
	ภาคผนวก ข. ข้อมูลการเจาะสำรวจดิน ในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงอาคารตัวอย่าง	ผข1
	ข1. ข้อมูลดิน ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ	ผข2
	ข2. ข้อมูลดิน ที่ถนนพหลโยธิน จังหวัดกรุงเทพมหานคร	ผข10
	ข3. ข้อมูลดิน ที่ถนนสุขุมวิท ซอย 12 จังหวัดกรุงเทพมหานคร	ผข14
	ภาคผนวก ค. กฎหมาย เกี่ยวกับการดัดแปลงอาคาร	ผค1
	ภาคผนวก ง. ระบบการทำการยกอาคาร ที่นิยมในปัจจุบัน	ผง1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	กำหนดค่าทรุดตัวของอาคารในสหรัฐอเมริกา	10
2.2	ข้อกำหนดในการทรุดตัวของอาคาร ในสหภาพรัสเซีย 1955 U.S.S.R. Building Code	10
2.3	ค่าการบิดเชิงมุม (δ/l) ซึ่งยอมให้มีได้โดยไม่เกิดการร้าว	13
3.1	ข้อมูลช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะ และสาเหตุของการแตกร้าว	27
4.1	เปรียบเทียบเสาเข็มที่ใช้เสริมฐานรากอาคาร 3 ชนิด	39
4.2	ข้อกำหนดของ Micro-Pile หรือ Root-Pile	40
5.1	การปรับแก้ค่ากำลังคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบดล	55
6.1.1	การแสดงค่าแรงเฉือน และค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่คานรับผนัง เมื่อทำการดีดตัวโครงสร้างอาคาร (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานรับผนัง)	75
6.1.2	การแสดงค่าแรงเฉือน และค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้น ที่คานชั้นล่าง เมื่อทำการดีดตัวโครงสร้างอาคาร (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานชั้นล่าง)	80
6.2.1	ค่าระดับที่ตำแหน่งต่างๆ ของอาคาร	87
6.2.2	ค่าความต่างระดับ ที่ตำแหน่งต่างๆ ของอาคาร เมื่อเทียบกับเสาที่ตำแหน่งA1	88
6.2.3	ค่าการเอียงตัวของเสาต่อระยะสูง 100 เซนติเมตร	89
6.2.4	การหาหน่วยแรงกระทำดั้งเดิมที่ทำต่อชั้นดิน (PO)	94
6.2.5	การหาหน่วยแรงกระทำที่เพิ่มขึ้น จากการถ่ายแรงของเข็มสู่ชั้นดิน ($\Delta P1$)	95
6.2.6	การหาหน่วยแรงที่กระทำเพิ่มขึ้นจาก ดินถม ($\Delta P2$) (กรณีที่ 1)	97
6.2.7	การหาหน่วยแรงที่กระทำเพิ่มขึ้นจาก ดินถม ($\Delta P2$) (กรณีที่ 2)	98
6.2.8	การหาขนาดการทรุดตัวของฐานราก กรณีที่ 1	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
6.2.9	การหาขนาดการทรุดตัวของฐานราก กรณีที่ 2	100
6.3.1	ค่าระดับเฉลี่ยที่ตำแหน่งใต้ท้องคานชั้น 2 ในแนวต่างๆ	104
6.3.2	ผลการวัดความยาวเสาเข็ม และความสมบูรณ์ของฐานราก โดยวิธี Side Echo Test	107
6.3.3	การคำนวณหาความสามารถเข็ม I-0.26 I-0.22 และI-0.20 ยาว 21.00 เมตร	111
6.3.4	ข้อมูลเบื้องต้น ของกำลังรับน้ำหนักโดยปลอดภัยของ Micro-Pile	112
6.3.5	การคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักของเข็ม Micro-Pile	114
ผ.ข.1.1	ตาราง UNIT WEIGHT & WATER CONTENT DETERMINATION ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ	ผข3
ผ.ข.1.2	ตาราง ATTERBERG LIMITS ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ	ผข5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	ผนังแตกเฉียง	4
2.2	ปลายคานแตกเฉียง	4
2.3	รอยแตกเฉียงที่คอเสาบนในรูป แสดงว่าฐานรากด้านซ้ายเกิดการทรุดตัว	5
2.4	การหดตัวของเสาเข็ม	8
2.5	ผลจากการวัดการทรุดตัวของ 10 อาคาร ที่เป็นผนังอิฐ	11
2.6	อธิบายคำว่าการทรุดตัว และความหมายของการทรุดตัวไม่เท่ากัน	12
2.7	การกำหนดค่าตัวแปร เพื่อหาการบิดเชิงมุม	13
2.8	มีการใช้เสาเข็มสั้น ในการต่อเติมอาคาร	15
2.9	เสาเข็มบกพร่อง	15
2.10(ก)	ฐานรากเยื้องศูนย์	16
2.10(ข)	ลักษณะเสาเยื้องศูนย์	16
2.10(ค)	เสาเยื้องศูนย์บิดจนตอม่อแตก	17
2.11	เสาเข็มอยู่บนชั้นดินต่างชนิดกัน	18
2.12	ฐานรากเสียหายจากการเคลื่อนตัวของดิน	18
3.1	ลักษณะรอยแตกเฉียงที่ผนัง	20
3.2	รอยแตกร้าวเหนือวงกบ อาจไม่ได้มีสาเหตุมาจากฐานรากอาคารเกิดการทรุดตัวเสมอไป ควรพิจารณาข้อมูลอื่นประกอบการวิเคราะห์ด้วย	21
3.3	ลักษณะแตกจากด้านบนของคานและไล่ลงมา	21
4.1	การค้ำยัน	31
4.2	การเสริมฐานราก เนื่องจากการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน	32
4.3	การเสริมฐานราก อาคารที่มีฐานรากอยู่ในชั้นดินตื้น	33
4.4	การเสริมฐานรากด้วยเสาเข็มในโครงสร้างชนิดเบา	34
4.5	ลักษณะการยื่นแบบหูช้าง สำหรับโครงสร้างชนิดเบา	35
4.6	เสาเข็ม FN- Pile	36
4.7	การทำเสาเข็มเหล็ก	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.8	การเสริมฐานรากตามระบบของ Micro Pile	40
4.9	ระบบเสาเข็มแบบ Franki Miga	43
4.10	การกดเสาเข็มโดยระบบ Pretest	44
4.11	กำแพงของโครงสร้างที่จะเสริมฐานรากใช้เป็นตัวถ่ายน้ำหนักบนแม่แรงโดยหล่อคอนกรีตออกมารับกับส่วนของแม่แรง	45
4.12	การยึดโดยใช้ Epoxy ยึดกับฐานคอนกรีตเดิม	47
4.13	Locking Beam	47
4.14	รูที่เจาะในฐานรากเดิม	48
4.15	เหล็กแรงดึงสูงที่ฝังแล้ว Grout ด้วย Epoxy	48
4.16	การทำ Collar	49
4.17	การเสริมฐานรากโดยใช้การหามใต้ฐานรากเดิม	50
4.18	การเสริมฐานรากโดยใช้ระบบ Grillage สำหรับยึดตอม่อหลายตัวเข้าด้วยกัน	51
4.19	ตัวอย่างการเสริมฐานรากโดยใช้ระบบ Grillage ในอาคารจริง	51
5.1	กล้องระดับแบบ Tilting Laser Leveling Scope	53
5.2	กล้องระดับธรรมดาที่ติด Parallel Plate	53
5.3	การทำ Coring คอนกรีต	55
5.4	The Rebound Hammer	56
5.5	ตัวรับสัญญาณ	60
5.6	ฆ้อน	60
5.7	เครื่องเก็บข้อมูล	60
5.8	การเคาะสัญญาณ	61
6.1.1	แผนที่สังเขป อาคารตัวอย่างที่1	67
6.1.2	การค้ำยันโดยตรงที่คานรับผนัง	72
6.1.3	แรงที่ถ่ายลงคานแต่ละด้านของเสา (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานรับผนัง)	73
6.1.4	Free Body Diagram (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานรับผนัง)	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
6.1.5	การค้ำยันโดยตรงที่คานชั้นล่าง	77
6.1.6	แรงที่ถ่ายลงคานแต่ละด้านของเสา (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานชั้นล่าง)	78
6.1.7	Free Body Diagram (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานชั้นล่าง)	79
6.1.8	ลักษณะการหล่อคานเสริม เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงเฉือน	82
6.2.1	แผนที่สังเขป อาคารตัวอย่างที่ 2	86
6.2.2	แนวตำแหน่งที่ทำการสำรวจการทรุดตัว	87
6.2.3	ภาพ 3มิติของค่าระดับ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของอาคาร	87
6.2.4	ทรงกระบอกจำลองเพื่อช่วย ในการวิเคราะห์หาหน่วยแรงกระจายที่ลดได้	91
6.2.5	พฤติกรรมหน่วยแรงที่กระทำเพิ่มขึ้นจาก ดินถม ($\Delta P2$) (กรณีที่ 1)	96
6.3.1	แผนที่สังเขป อาคารตัวอย่างที่ 3	102
6.3.2	ผังแนว และตำแหน่ง ที่ทำการสำรวจ	104
6.3.3	ค่าระดับเฉลี่ยที่ตำแหน่งใต้ท้องคานชั้น 2 ในแนวต่างๆ	105
6.3.4	ภาพ 3มิติของระดับท้องคานชั้น 2	105
6.3.5	โครงสร้างส่วนต่อเติม	108
6.3.6	การเสริมฐานราก ที่ตำแหน่งที่รับแรงมากสุด	115
6.3.7	การเสริมฐานราก ที่ตำแหน่ง 4-E	116
6.4.1	แผนที่สังเขป อาคารตัวอย่างที่ 4	118
6.4.2	การโก่งงอที่ปลายของ Sheet Pile	122
6.4.3	การโก่งตัวเมื่อมีระยะระหว่าง Braced Cut มากเกินไป	122
6.4.4	เกิดจากการถอน Sheet Pile ออก หลังการก่อสร้างห้องใต้ดินเสร็จแล้ว	123
ผ.ก.1.1	ผังฐานรากและคานคอดิน	ผก3
ผ.ก.1.2	ผังคานและ Slab ชั้นล่าง	ผก4
ผ.ก.1.3	ผังคาน Slab ชั้นบนและหลังคาครัว	ผก5
ผ.ก.1.4	รูปด้านหน้าบ้าน	ผก6
ผ.ก.1.5	รูปด้านข้างทางซ้าย	ผก7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ก.1.6	รูปด้านข้างทางขวา	ผก8
ผ.ก.1.7	รูปด้านหลัง	ผก9
ผ.ก.2.1	รูปแปลนที่เทพารักษ์	ผก11
ผ.ก.2.2	แปลนพื้นชั้นล่างที่เทพารักษ์	ผก12
ผ.ก.2.3	รูปตัดที่เทพารักษ์	ผก13
ผ.ก.3.1	แปลนชั้นล่างบ้านเลขที่ 719 ที่สุขุมวิท	ผก15
ผ.ก.3.2	แปลนชั้นลอยบ้านเลขที่ 719 ที่สุขุมวิท	ผก16
ผ.ก.3.3	แปลนชั้น 2 บ้านเลขที่ 719 ที่สุขุมวิท	ผก17
ผ.ก.3.4	แปลนชั้น 3 บ้านเลขที่ 719 ที่สุขุมวิท	ผก18
ผ.ก.3.5	แปลนชั้น 4 บ้านเลขที่ 719 ที่สุขุมวิท	ผก19
ผ.ก.4.1	แปลนชั้นล่างบ้านเลขที่ 721 ที่สุขุมวิท	ผก21
ผ.ก.4.2	แปลนชั้นลอยบ้านเลขที่ 721 ที่สุขุมวิท	ผก22
ผ.ก.4.3	แปลนชั้น 2 บ้านเลขที่ 721 ที่สุขุมวิท	ผก23
ผ.ก.4.4	แปลนชั้น 3 บ้านเลขที่ 721 ที่สุขุมวิท	ผก24
ผ.ก.4.5	แปลนชั้น 4 บ้านเลขที่ 721 ที่สุขุมวิท	ผก25
ผ.ก.4.6	แปลนดาดฟ้า บ้านเลขที่ 721 ที่สุขุมวิท	ผก26
ผ.ข.1.1	BORING LOG ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ	ผข8
ผ.ข.2.1	BORING LOGที่ถนนพหลโยธิน จังหวัดกรุงเทพมหานคร	ผข11
ผ.ข.3.1	BORING LOG ที่ถนนสุขุมวิท ซอย 12 จังหวัดกรุงเทพมหานคร	ผข15
ผ.ง.1	การทำการยกอาคารโดยระบบ Angle Piles	ผง2
ผ.ง.2	การทำการยกอาคารโดยระบบ Jack Down Piles	ผง3
ผ.ง.3	การทำการยกอาคารโดยระบบ Pile and Reinforced Concrete Raft	ผง5
ผ.ง.4	การทำการยกอาคารโดยระบบ Cantilever Pile and Beam	ผง5
ผ.ง.5	การทำการยกอาคารโดยระบบ Cantilever Ring Beam	ผง6
ผ.ง.6	การทำการยกอาคารโดยระบบ Conventional Pad and Beam	ผง7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ง.7	การทำการยกอาคารโดยระบบ Pile and Needle Beam	ผง8
ผ.ง.8	การทำการยกอาคารโดยระบบ Dual Angle Piles	ผง9
ผ.ง.9	การทำการยกอาคารโดยระบบ Pile and Needle Beam	ผง10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันนี้อาคารที่พบโดยทั่วไปจะมีปัญหาเรื่องการทรุดตัวกันมาก การทรุดตัวของอาคารเป็นสาเหตุทำให้โครงสร้างอาคารแตกร้าวยิ่งถ้าปล่อยให้เกิดการทรุดตัวของอาคารอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน คอนกรีตโครงสร้างอาจแตกและระเบิดออกจากกันและอาคารอาจพังทลายทันทีได้

ดังนั้นอาคารที่เกิดการทรุดตัวจึงควรจะต้องแก้ไขแต่เนิ่นๆ ก่อนที่อาคารจะเสียหายจนแก้ไขไม่ได้ โดยทำการวิเคราะห์หาสาเหตุการทรุดตัวให้ชัดเจนเสียก่อนแล้วจึงค่อยดำเนินการแก้ไขที่ถูกต้องตามหลักวิชาการต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อทำการศึกษาความเสียหายของ 4 อาคารตัวอย่างในกรณีต่างๆที่เกิดเนื่องจากความไม่มั่นคงของฐานรากและทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ สามารถเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ไขซ่อมแซม และปรับปรุงฐานรากที่ไม่มั่นคงได้อย่างถูกต้อง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ทำการตรวจสอบและศึกษาความเสียหายของ 4 อาคารตัวอย่างที่เกิดความไม่มั่นคงของฐานราก
2. ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ฐานรากเกิดความไม่มั่นคง
3. ทำการเลือก และออกแบบวิธีการเสริมฐานรากที่เหมาะสมกับฐานรากที่เกิดความไม่มั่นคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงงาน

1. ทำการศึกษาทางด้านทฤษฎีที่เกี่ยวกับ SOIL MECHANICS FOUNDATION UNDERPINNINGที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาสาเหตุ และการเลือกแนวทางแก้ไขปัญหาฐานรากที่ไม่มั่นคง
2. ติดต่อและขออนุญาตเข้าไปทำการศึกษาอาคารตัวอย่างที่เกิดความไม่มั่นคงของฐานราก
3. รวบรวมข้อมูลอาคารตัวอย่างเช่นความเสียหายที่เกิดกับอาคารตัวอย่าง สิ่งแวดล้อมข้างเคียง ลักษณะข้อมูลดิน
4. ศึกษาข้อมูลจากองค์กรที่ดำเนินการแก้ไขปัญหาความไม่มั่นคงของฐานรากของอาคารตัวอย่าง
5. ศึกษาข้อมูลและทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาความไม่มั่นคงของฐานรากและผลกระทบต่ออาคาร
6. เลือกวิธีเสริมฐานรากที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาความไม่มั่นคงของฐานรากของอาคารตัวอย่าง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้เข้าใจพฤติกรรมของดินและพฤติกรรมของฐานรากอย่างลึกซึ้ง
2. ทำให้รู้ถึงขั้นตอน และลำดับในการตรวจสอบ รวบรวม การจดบันทึกความเสียหายที่เกิดขึ้นต่ออาคาร
3. สามารถที่จะวิเคราะห์สาเหตุและเลือกวิธีในการเสริมฐานรากที่เหมาะสมได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การทรุดตัวของอาคาร

2.1 ข้อสังเกตุสำหรับอาคารที่เกิดการทรุดตัว

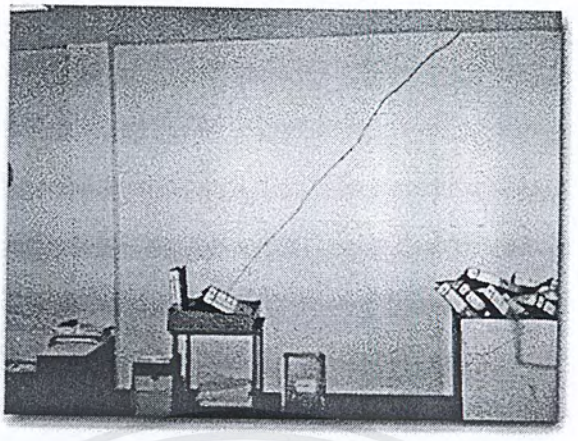
การแตกร้าวของอาคารส่วนใหญ่จะมีผลมาจากฐานรากทรุดตัว การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของฐานรากทำให้เกิดการดึงรั้งขึ้นภายในโครงสร้าง ลักษณะการแตกร้าวที่มีสาเหตุจากการทรุดตัวของฐานรากจะเป็นดังนี้

2.1.1 ผนังก่ออิฐฉาบปูนแตกเฉียง

ผนังจะแตกเฉียง รอยแตกลึกลงในเนื้อผนัง รอยแตกทะลุทั้งสองฝั่งของผนัง ยิ่งระยะเวลานานไปผนังจะแตกยาวขึ้นเรื่อยๆ อาจมีจำนวนรอยแตกเพิ่มขึ้นในแนวที่ขนานกับรอยแตกเดิม แตกเฉียงหลายแนวขนานกัน บริเวณขอบเสาแตกแนวดิ่ง รอยแตกด้านบนกว้างกว่าด้านล่าง , มุมวงกบและด้านข้างวงกบแตกร้าวมากและเกิดหลายแนว วงกบบิดตัวเสียรูปมาก

หมายเหตุ หากมุมวงกบแตกร้าวแต่รอยแตกร้าวไม่มากหรือไม่ชัดเจน ยังสรุปทันทีไม่ได้ว่าเกิดจากทรุดตัวของฐานรากกรณีเช่นนี้ ควรทำเครื่องหมายที่ตำแหน่งรอยร้าวไว้แล้วทำการสำรวจเพิ่มเติมในภายหลัง และควรทำการตรวจสอบควบคู่กับการตรวจวัดค่าการทรุดตัวของ เสาหรือฐานรากที่ประกบผนังนั้น ๆ ผลของการสำรวจ เพิ่มเติมจะทำให้ทราบแน่ชัดว่าเกิดการทรุดตัวหรือไม่ และฐานรากตำแหน่งใดที่เกิดการทรุดตัว

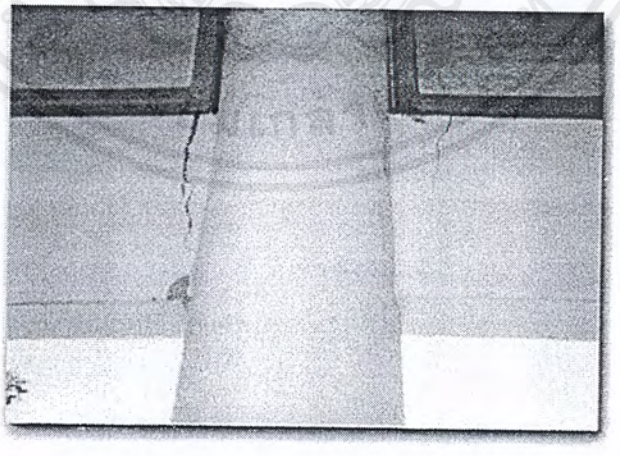
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ผนังแตกเฉียง

2.1.2 คาน

จะเกิดการแตกร้าวบริเวณคานส่วนที่ติดกับเสาลักษณะการแตกร้าวมีดังนี้ ปลายคานแตกร้าวจะเป็นเส้นเฉียง รอยแตกเกิดขึ้นทั้งสองฝั่งของคานในตำแหน่งเดียวกัน นอกจากนี้คอนกรีตตรงตำแหน่งรอยต่อของคานกับเสาแตกออกจากกัน ลักษณะรอยแตกจะแตกจากด้านบนลงล่างหรือจากล่างขึ้นบนที่ปลายทั้งสองของคานตัวเดียวกันรอยแตกจะกลับทิศกัน



รูปที่ 2.2 ปลายคานแตกเฉียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 พื้น

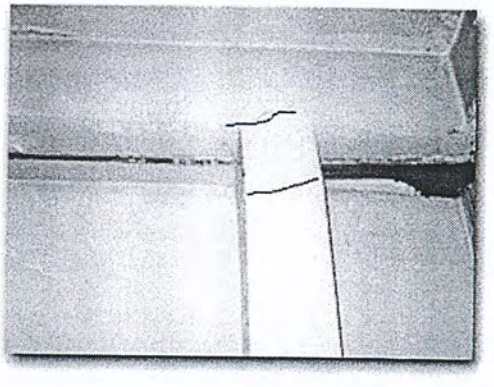
ส่วนใหญ่กรณีที่การทรุดตัวของฐานรากเกิดขึ้นมาก จนทำให้คานแตกแล้ว พื้นตรงบริเวณนั้นจะแตกร้าวด้วย ลักษณะรอยแตกจะขนานกับคานด้านใดด้านหนึ่ง หรือสองด้าน แต่จะไม่แตกแยกออกทั้งสี่ด้าน รอยแตกร้าวของพื้นจะเกิดที่ผิวบน

หมายเหตุ ในกรณีที่เกิดรอยแตกที่ผิวบนของพื้นบริเวณขอบคานทั้งสี่ด้าน แสดงว่าพื้นแอ่นตัวตกท้องช้าง เนื่องจากรับน้ำหนนักไม่ได้ ลักษณะเช่นนี้มิใช่เกิดขึ้นจากการทรุดตัวของฐานราก

2.1.4 เสา

รอยแตกที่เสาจะเกิดขึ้นเมื่อมีการทรุดตัวมากจนเกิดการดึงรั้งให้โก่งตัว ลักษณะรอยแตกเป็นแนวราบ (Horizontal Crack) และจะเกิดขึ้นด้านใดด้านหนึ่งของเสา ด้านที่เกิดการแตกร้าวเป็นด้านที่รับแรงดึง ตำแหน่งของฐานรากที่เกิดการทรุดตัวจะอยู่ตรงข้ามกับด้านของเสาที่แตกเปรียบแล้วจะเหมือนกับจับไม้บรรทัดที่เป็นพลาสติกแล้วบิดโก่ง จะพบรอยแตกเกิดขึ้นคล้ายกับที่เกิดในเสาเกิดรอยแตกเฉียงที่คอเสาบนรอยแตกแนวนอนที่กลางเสาด้านใดด้านหนึ่งมีลักษณะเป็นปล้อง

หมายเหตุ โดยทั่วไปเสาที่เกิดการแตกร้าวจะไม่ใช่เสาที่เกิดการทรุดตัว หรือถ้าเกิดการทรุดตัวก็มีค่าการทรุดตัว น้อยกว่าเสาอื่น ทั้งนี้เพราะเสาที่ไม่เกิดการทรุดตัว หรือทรุดตัวน้อยจะถูกดึงรั้งจากเสาอื่นจนแตกร้าว



รูปที่ 2.3 รอยแตกเฉียงที่คอเสาบนในรูป แสดงว่าฐานรากด้านซ้ายเกิดการทรุดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแตกร้าวส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นไล่เรียงตามลำดับจากผนัง คาน พื้น และเสา หากปล่อยให้การทรุดตัวของฐานรากเกิดขึ้นมากจนถึงจุดหนึ่ง อาคารก็จะถึงขั้นวิบัติไม่สามารถแก้ไขได้ เพราะโครงสร้างเสียรูปมาก

หมายเหตุ อาคารทรุดเอียงมักจะไม่ค่อยพบรอยแตกร้าว ทั้งนี้เพราะฐานรากเกิดการทรุดตัวไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนมากเกิดจาก ฐานรากเยื้องศูนย์ ลักษณะการทรุดตัวเช่นนี้ โครงสร้างจะไม่เกิดการดึงรั้งขึ้นภายในทำให้อาคารไม่แตกร้าว มักจะพบรอยร้าวที่ฐานราก หรือ ตอม่อ อาคารทรุดเอียงเป็นอันตรายมากเพราะเมื่อใดที่ฐานรากหลุดออกจากหัวเสาเข็มอาคารจะล้มทันที ดังนั้นการสำรวจอาคารจึงควรตรวจวัดค่าการทรุดตัวด้วย การสำรวจอาคาร ควรสำรวจไม่น้อยกว่า 2 ครั้ง จะทำให้ผลการสำรวจชัดเจนขึ้น

2.2 ชนิดของการทรุดตัว

การทรุดตัวของอาคารยังแบ่งได้อีกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1. การทรุดตัวของฐานรากที่ไม่เท่ากัน
2. การทรุดเอียง

ดังได้กล่าวแล้วว่าเมื่อใดฐานรากของอาคารเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน การแตกร้าวก็จะเกิดขึ้น แต่อาคารที่ไม่มีรอยแตกร้าวเลยก็ไม่ได้หมายความว่าอาคารนั้นจะไม่เกิดการทรุดตัว เนื่องจากอาคารที่เกิดการทรุดเอียงไปด้านใดด้านหนึ่งทั้งหลัง จะไม่เกิดการดึงรั้งขึ้นภายใน โครงสร้าง จึงไม่มีการแตกร้าวของคอนกรีตให้เห็น หรือถ้ามีก็น้อยมากจนทำให้คิดไม่ถึงว่าอาคารก็เกิดการทรุดตัวเช่นกัน ลักษณะเช่นนี้พบมากในอาคารที่ใช้ฐานรากเสาเข็มเดี่ยว กรณีที่ฐานรากเยื้องศูนย์ไปในทิศทางเดียวกันทำให้ฐานรากเกิดการพลิกตัว จากการแก้ไขอาคารทรุดประเภทนี้พบว่าเมื่อฐานรากพลิกตัว และรอยต่อระหว่างเสาเข็มกับฐานรากเกิดรอยแตกเผยอขึ้น อาคารที่เกิดการทรุดเอียงส่วนมากแล้วกว่าจะทราบก็เกิดการทรุดเอียงไปมากกว่า 10 เซนติเมตรแล้ว ทั้งนี้เพราะความเคยชินของผู้พักอาศัย จึงไม่ค่อยทราบความเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการสำรวจสภาพอาคารจึงควรตรวจสอบค่าการเอียงของอาคารควบคู่ไปด้วย หากเกิดการทรุดเอียงจะได้รีบดำเนินการแก้ไขแต่เนิ่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ค่าของการทรุดตัว

พอแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ จากข้อเสนอของ Skempton-Bjerrum (1957) ดังนี้

$$\underset{(1)}{S} = \underset{(2)}{Si} + \underset{(3)}{Sc} + \underset{(4)}{Ss} \qquad (2.1)$$

(1) S หมายถึง การทรุดตัวทั้งหมด (Total Settlement)

(2) Si หมายถึง การทรุดตัวทันที (Immediate Settlement)

(3) Sc หมายถึง การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดิน (Settlement due to Consolidation of Clay)

(4) Ss หมายถึง การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวครั้งที่สอง (Settlement due to Secondary Consolidation of Clay)

2.3.1 การทรุดตัวของเสาเข็มทันทีเมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุก ประกอบด้วย

2.3.1.1 การหดตัวของตัวเสาเข็ม

เมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุก ทั้งนี้เป็นไปตามกฎของ Hook's

$$E = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} = \frac{P_E/A}{\Delta L/L} \qquad (2.2)$$

$$\therefore \Delta L = \frac{P_E L}{AE} \qquad (2.3)$$

P_E = ค่าน้ำหนักเทียบเท่า (Equivalent Load)

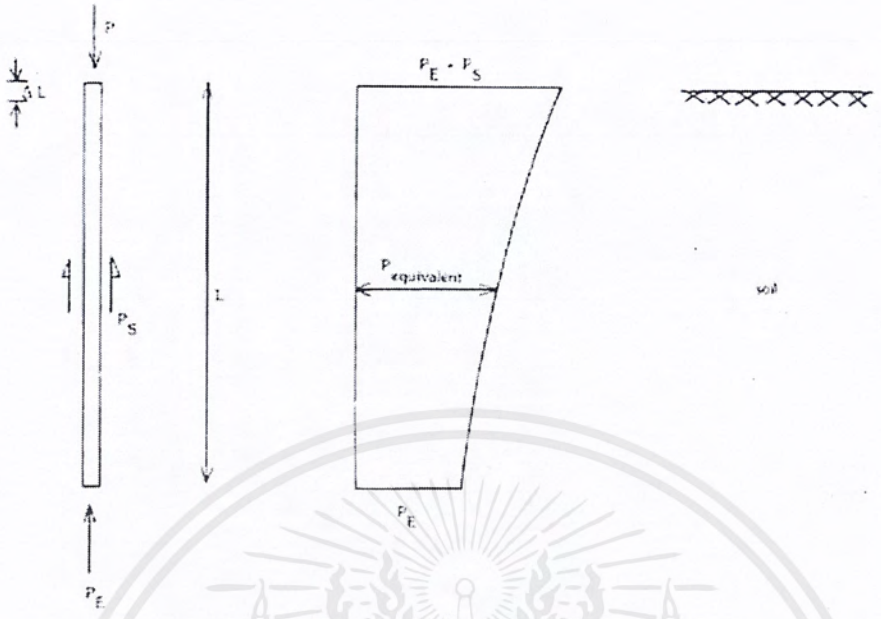
ΔL = การหดตัวของเสาเข็ม

L = ความยาวของเสาเข็ม

A = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม

E = โมดูลัสของความยืดหยุ่น (ดูรายละเอียดในรูปต่อไปนี้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การหดตัวของเสาเข็ม

2.3.1.2 การทรุดตัวของดินที่ปลายเข็ม (End Bearing Load)

เกิดขึ้นทันทีเมื่อรับน้ำหนัก แบ่งออกได้เป็น 2 อย่าง คือ

1. การทรุดตัวยืดหยุ่นของดินที่ปลายเข็ม (Elastic Deformation of Soil)
2. การทรุดตัวคงที่ของดินที่ปลายเข็ม (Plastic Deformation of Soil)

2.3.1.3 ค่าหดตัวเนื่องจากความล้าของวัสดุ (เสาเข็ม) (Creep) เมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุก

2.3.2 การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดิน (Settlement due to Primary Consolidation)

เสาเข็ม ทำให้ดินคายน้ำในตัวทำให้ช่องว่าง(Void)ในมวลดินลดลงทำให้เกิดการทรุดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้วตามทฤษฎีของการอัดตัวของดิน ของ Terzagki (Terzagki Theory of Consolidation) ทฤษฎีนี้ได้ใช้สมมติฐานของการหาแรงดันน้ำในมวลดิน (Pore Water Pressure in Soil) ที่ถูกอัดด้วยน้ำหนักกระทำ ณ เวลาหนึ่งๆ ซึ่งได้อาศัยสมการของ Differential Equation คำนวณหาดีกรีของการอัดตัวของดิน (Degree of Consolidation) เพื่อคาดคะเนหาอัตราของการทรุดตัวของดิน เมื่อแรงดันของน้ำในดิน เนื่องจากน้ำหนักกดหมดไปก็หมายความว่า Primary Consolidation ได้ถึง 100% แต่ที่พบกันทั่วไปของดินหลายชนิด เช่น ดินเหนียวอ่อนที่มีค่า Plasticity สูงหรือดินอ่อนที่มีอินทรีย์สารมาก (Organic Soil) เมื่อแรงดันน้ำในดินเนื่องจากถูกน้ำหนักกดหายหมดไปแล้ว แต่การทรุดตัวยังเกิดขึ้นเรื่อยๆ การทรุดตัวลักษณะนี้เรียกว่าการอัดตัวครั้งที่ 2 (Secondary Consolidation)

2.3.4 ความเห็นของการทรุดตัวทั้ง 3 ประเภท

โดยปกติแล้วค่าการทรุดตัวทันที Si (Immediate Settlement) มีค่าไม่มากนัก เท่าที่พบทั่วๆไปมีค่าระหว่าง 3.00-7.00 มิลลิเมตร เมื่อคำนึงถึงน้ำหนักออกแบบ (Design Load) สำหรับค่าทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดิน Sc (Settlement due to Consolidation of Clay) และการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวครั้งที่สอง (Settlement due to Secondary Consolidation of Clay) มีค่ามาก จึงจำเป็นต้องพิจารณาเป็นพิเศษ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินแต่ละแห่ง และต้องจัดเสาเข็มให้ถูกต้องเหมาะสมด้วย

2.4 ขีดกำหนดของการทรุดตัว

2.4.1 การทรุดตัวที่เท่ากันทุกฐาน

ถ้ามองกันทางทฤษฎีแล้ว การทรุดตัวที่เท่ากันจะไม่เกิดการเสียหายกับโครงสร้าง แต่ในบางทีการทรุดตัวถ้ามากเกินไปอาจจะทำให้เกิดน้ำท่วมพื้นชั้นล่างสุดได้ ถ้าทำให้ประโยชน์ใช้สอยไม่สมบูรณ์แล้วถือว่าวิบัติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 กำหนดค่าทรุดตัวของอาคารในสหรัฐอเมริกา

ชนิดของโครงสร้าง	ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของการทรุดตัว (นิ้ว)
อาคารพาณิชย์และที่ทำการ	1* (2.50 เซนติเมตร)
โรงงานอุตสาหกรรม	1 ½ (3.75 เซนติเมตร)
โกดังเก็บของ	2 (5 เซนติเมตร)
ฐานรากเครื่องจักรสำคัญ	ตามความต้องการของโรงเรียนหรือน้อยกว่า 0.02 นิ้ว (0.50 มิลลิเมตร)

*(Terzagki & Peck,1948 อ้างอิงใน อรุณ ชัยเสรี,ประสงค์ ธาราไชย และสืบศักดิ์ พรหมบุญ)

สำหรับค่าทรุดตัวแตกต่างกันมีค่าไม่เกิน 3/4 ของค่าสูงสุดที่กล่าวไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการทรุดตัวของอาคาร ในสหภาพรัสเซีย 1955
U.S.S.R. Building Code**

ประเภทของอาคารและชนิดของฐานราก	ค่าเฉลี่ยของการทรุดตัว (เซนติเมตร)
อาคารผนังก่ออิฐต่อเนื่อง ฐานรากแยกอิสระ ความยาวของผนัง = L และความสูงของผนัง = H $\frac{L}{H} \geq 2.5$ $\frac{L}{H} \leq 1.5$	8 10
อาคารผนังอิฐ เสริมด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือ เสริมด้วยขอบที่ผนังอิฐ (ไม่กำหนด $\frac{L}{H}$)	15
โครงสร้างโครงทั่วไป	10
ฐานรากกับคอนกรีตเสริมเหล็ก ของเตาเผาเหล็ก ปล่องควัน ไซโล และถังน้ำ	30

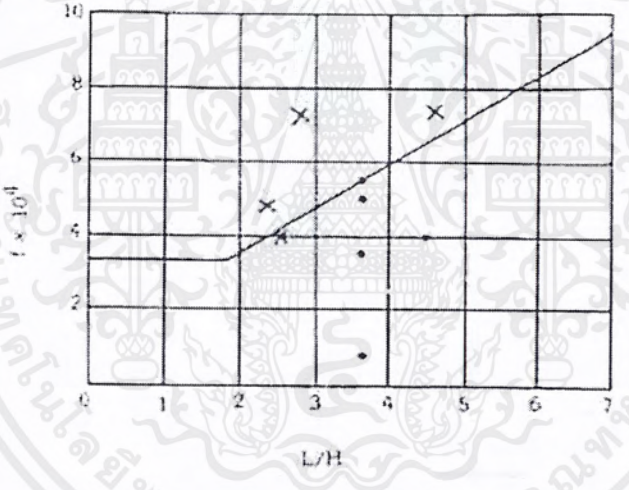
**(Polshin และ Tokar อ้างอิงใน อรุณ ชัยเสรี,ประสงค์ ธาราไชย และสืบศักดิ์ พรหมบุญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.1 และ 2.2 จะเห็นได้ว่าข้อกำหนดในการทรุดตัวใน U.S.S.R. Building Code สูงกว่าในสหรัฐอเมริกามาก จะเห็นได้ว่า อาคารในกรุงเทพมหานครอายุประมาณ 18 ปี ค่าการทรุดตัวสูงถึง 90 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยทรุดตัว 5 เซนติเมตร/ปี ซึ่งมากกว่าข้อกำหนดในตารางที่ 2.1และตารางที่ 2.2 นี้มาก ซึ่งถือว่าวิบัติได้

2.4.2 การทรุดตัวไม่เท่ากันของอาคาร

Ploshin และ Tokar ได้รายงานผลการติดตามผลการทรุดตัวของผนังอิฐ 10 อาคาร ซึ่งรายละเอียดแสดงในรูปดังต่อไปนี้ พบว่า ผนังอิฐจะเกิดการแตกร้าวเมื่อเกิดการยืดตัว 0.0005 หรือการทรุดตัว = $\frac{L}{2000}$



รูปที่ 2.5 ผลจากการวัดการทรุดตัวของ 10 อาคาร ที่เป็นผนังอิฐ

● ผนังที่ไม่มีรอยแตกร้าว x ผนังที่มีรอยแตกร้าว

จากรูปข้างบน พอจะกำหนดค่าทรุดตัวที่ยอมรับได้มากที่สุด ไม่ทำให้ผนังแตกร้าวได้ดังนี้

สมมติว่า $\frac{L}{H} \leq 2$ ค่าการทรุดตัวต่างกันของผนัง 2 ช่วงเสา จะ = 0.003

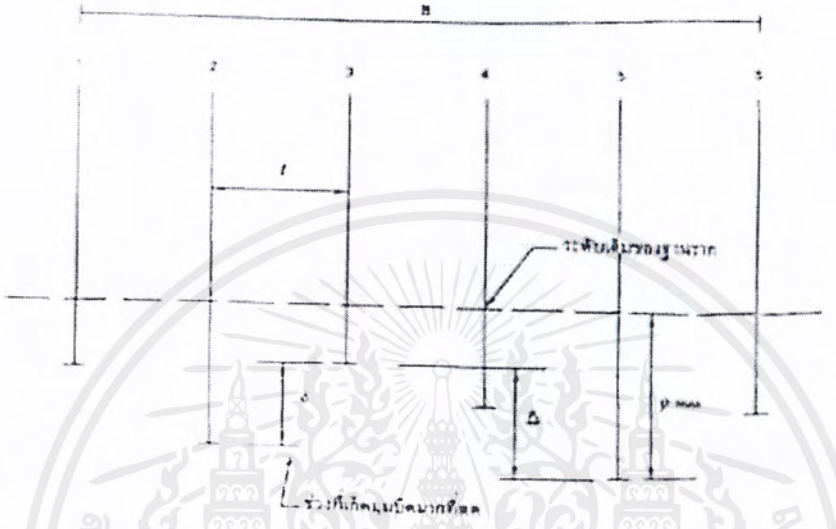
หรือ $= \frac{L}{3333}$

ถ้า $\frac{L}{H} = 8$ ค่าทรุดตัวต่างกันของผนัง 2 ช่วงเสา $= 0.0010$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ $= \frac{L}{1000}$

เพื่อจะให้ได้แสดงไว้ในรูปดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.6 อธิบายคำว่าการทรุดตัว และความหมายของการทรุดตัวไม่เท่ากัน

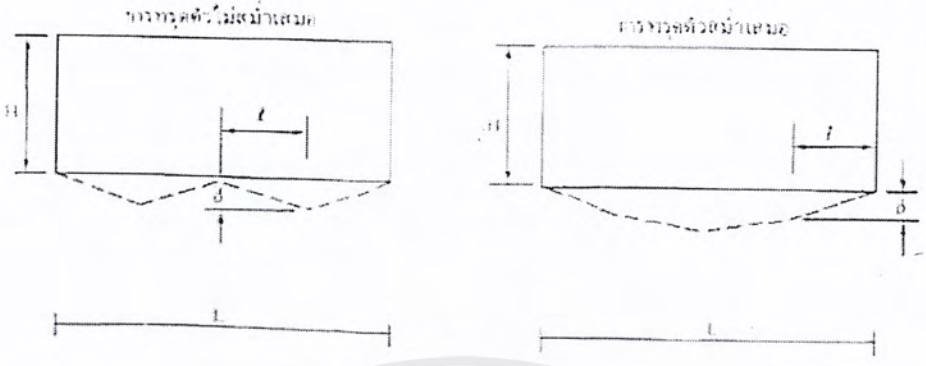
โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ρ_{max} หมายถึง ค่าทรุดตัวของฐานรากมากที่สุด
2. Δ หมายถึง ค่าทรุดตัวต่างกับของฐานรวมมากที่สุด (differential settlement) ในที่นี้หมายถึงเสาต้นที่ 3 กับต้นที่ 5
3. δ หมายถึง ค่าทรุดตัวมากที่สุด ระหว่างเสาต่อเสา หมายถึงเสาต้นที่ 2 กับเสาต้นที่ 3
4. l หมายถึง ช่วงห่างของเสาต่อเสา

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของการทรุดตัวต่าง กับค่าการทรุดตัวมากที่สุด ρ_{max} และ ค่ามุมบิดตัวของคาน โดยทั่วไปมักคิดกันว่า ถ้า ρ_{max} มากที่สุด จะทำให้เกิดการบิดตัว δ/l มากที่สุด ส่วนมากจะเป็นจริง

ดังนั้นค่าการบิดตัวของคาน δ/l ถ้าค่าสูงจะทำให้เกิดการแตกร้าวได้ ทั้งนี้ค่า δ/l จะทำให้เกิดโมเมนต์ดัดเพิ่มขึ้นในตัวคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การกำหนดค่าตัวแปร เพื่อหาการบิดเชิงมุม

ตางรางที่ 2.3 ค่าการบิดเชิงมุม (δ/l) ซึ่งยอมให้มีได้โดยไม่เกิดการร้าว

ชนิดของอาคาร	L/H	δ/L ที่ยอมให้เกิดได้
โครงข้อแข็งเหล็กที่ปรับตัวด้านข้างได้	--	0.08 1/125
โครงข้อแข็งเหล็กหรือคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุตกแต่งพื้นผิวไม่ sensitive เช่น ผนังแห้ง กระจกหรือผนังที่เคลื่อนที่ได้	--	0.002 ถึง 0.003 1/500 ถึง 1/333
โครงข้อแข็งเหล็กหรือคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีอิฐก่อ คอนกรีตบล็อก พลาสเตอร์หรือปูนโบกไว้	≥5	0.002 1/500
	≤3	0.001 1/1000
อิฐก่อที่รับน้ำหนักกระเบื้องหรือกำแพงก่อด้วยคอนกรีตบล็อก	≥5	0.008 1/1250
	≤3	0.004 1/2500
ถังเหล็กกลมอยู่บนฐานปรับตัวได้ และส่วนบนถูกยึดไว้แน่น	--	0.008 1/125
ถังเหล็กกลมอยู่บนฐานปรับตัวได้ และส่วนบนเป็นอิสระ		0.002 ถึง 0.003 1/500 ถึง 1/333
โครงสร้างสูงบอบบาง เช่น ไซโล ฉาง และถังน้ำที่มีฐานรากแพเกร็ง	--	0.002 1/500

(Skempton และ MacDonald,1956; Polshin และ Tokar, 1957; Navdocks, 1971 อ้างอิงในอรุณ ชัยเสรี, ประสงค์ ธาราไชย และสืบศักดิ์ พรหมบุญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สาเหตุการทรุดตัว

เท่าที่ได้กล่าวมาทั้งหมดเป็นเรื่องการแตกร้าวภายในอาคาร อันเนื่องมาจากการทรุดตัวของฐานราก ลำดับนี้จะกล่าวถึงสาเหตุที่ทำให้การทรุดตัวของฐานราก ซึ่งพอจะสรุปสาเหตุได้ดังนี้

2.5.1 แบบฐานรากแผ่วางบนดิน การทรุดตัวเกิดขึ้นเนื่องจาก

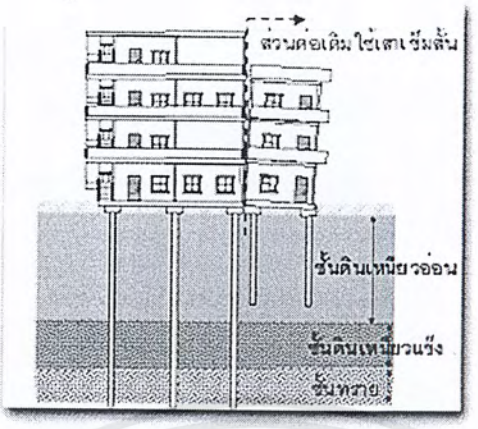
1. การอัดตัวของดินที่รองรับฐานรากหรือชั้นของดินถม (Long Term Consolidation)
2. เนื่องจากการลดระดับน้ำใต้ดิน เช่น การเจาะสูบน้ำบาดาล
3. เกิดการสั่นสะเทือนทำให้ชั้นทรายใต้ฐานรากเกิดการอัดแน่นทรุดตัวลง
4. เกิดน้ำท่วมทำให้ดินใต้ฐานเปียก เสียกำลังอัดของดิน จะทำให้ดินรับน้ำหนักแบกทานน้อยลง ทำให้เกิดการรับน้ำหนักของตัวโครงสร้างไม่พอ เกิด Over Load
5. ฐานรากสูญเสียดินรองรับ เนื่องจากมีการกัดเซาะของน้ำใต้ฐาน
6. ฐานรากสูญเสียดินรองรับ เนื่องจากการขุดดินข้างเคียงหรือการเคลื่อนที่ของโครงสร้างกั้นดินเนื่องจากกรรมวิธีในการก่อสร้างทำให้ดินใต้ฐานรากอ่อนหรือหลวมจะมีการทรุดตัวของอาคารทันทีมาก

2.5.2 แบบฐานรากเสาเข็ม การทรุดตัวเกิดขึ้นเนื่องจาก

2.5.2.1 เสาเข็มสั้นเกินไป

ปลายเสาเข็มยังอยู่ในชั้นดินอ่อน เมื่อดินโดยรอบเกิดการยุบตัว เสาเข็มก็จะทรุดตัวตามลงไปด้วย ดังนั้นการพิจารณาเพียงเฉพาะกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเพียงอย่างเดียวคงไม่เพียงพอ ควรคำนึงถึงปริมาณการทรุดตัวที่จะเกิดขึ้นในอนาคตด้วย ปัญหาในเรื่องของการใช้เสาเข็มสั้นพบมากในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งเจ้าของอาคารมักจะต่อเติมด้านหลังอาคารเป็นห้องครัวชั้นเดียวหรือโรงจอดรถด้านหน้าอาคาร ด้วยเหตุที่เห็นว่าน้ำหนักต่อเติมไม่มากจึงและพื้นที่การทำเสาเข็มแคบมากจึงเลือกใช้เสาเข็มสั้น กรณีเช่นนี้จะเกิดการทรุดตัวต่างกัน หากมีการเชื่อมโครงสร้างส่วนต่อเติมเข้าหาโครงสร้างอาคารหลัก โครงสร้างอาคารหลักจะถูกดึงให้แตกร้าวจากการเลือกใช้เสาเข็มยาวเพียง 6 เมตรในส่วนต่อเติมแล้วก็จะเกิดการทรุดตัวภายหลัง

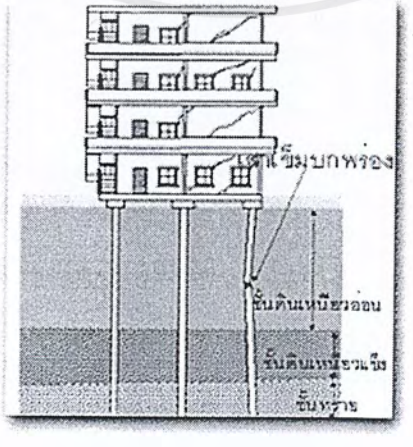
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 มีการใช้เสาเข็มสั้น ในการต่อเติมอาคาร

2.5.2.2 เสาเข็มบกพร่อง

อาจเป็นเพราะเสาเข็มแตกหรือหักขณะตอก ทำให้เสาเข็มสั้นกว่าที่ต้องการ รับน้ำหนักได้น้อย ยกตัวอย่างเช่น กรณีเสาเข็มตอกชนิดสองท่อนต่อ รอยต่อของเข็มเคลื่อน เสาเข็มหลุดจากกัน กรณีเช่นนี้จะพบมากในบริเวณที่รอยต่อของเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อนที่มีค่าความชื้นในดิน (Natural Water Content) ใกล้เคียงหรือมากกว่าขีดจำกัดเหลวของดิน (Liquid Limit) สภาวะดินเช่นนี้จะไหลได้ง่าย ดังนั้นเมื่อมีการตอกเสาเข็มแรงดันของดินอาจทำให้รอยต่อของเสาเข็มต้นที่ตอกไปแล้วเคลื่อนออกจากกัน เสาเข็มที่รอยต่อเคลื่อนจะกลายเป็นเสาเข็มสั้น รับน้ำหนักได้เฉพาะส่วนท่อนบนเท่านั้น กำลังรับน้ำหนักจึงไม่เพียงพอ และทำให้เกิดการทรุดตัว

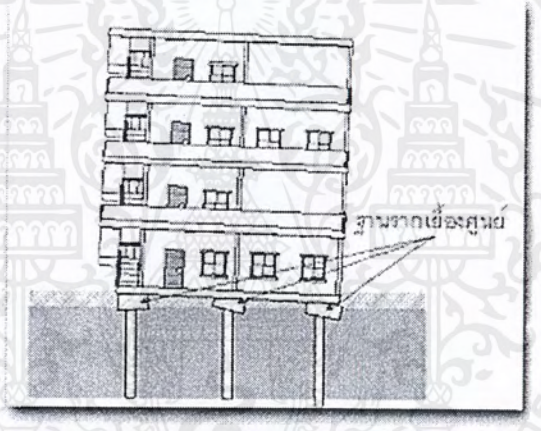


รูปที่ 2.9 เสาเข็มบกพร่อง

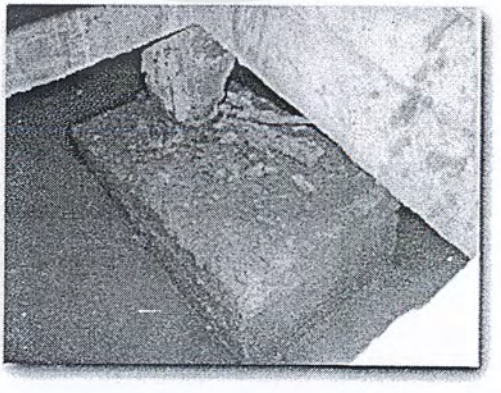
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.3 ฐานรากเยื้องศูนย์

ความหมายของฐานรากเยื้องศูนย์ ก็คือการที่ศูนย์กลางของกลุ่มเสาเข็มไม่ตรงกับศูนย์กลางของเสาอาคาร กรณีเช่นนี้จะพบมากกับฐานรากอาคารที่ใช้เสาเข็มเดี่ยว การตอกเสาเข็มในสนามจริงๆอาจคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด เมื่อมีการก่อสร้างฐานรากไม่ได้ทำการแก้ไข เป็นเพียงแต่เทฐานรากหุ้มหัวเสาเข็มไว้เท่านั้น เมื่อน้ำหนักจากเสาอาคารไม่ตรงกับศูนย์กลางของกลุ่มเข็มจะเป็นเหตุทำให้ฐานรากพลิกและฐานรากบิดตัว น้ำหนัก จากอาคาร จะไม่สามารถส่งถ่ายลงเสาเข็มได้ลักษณะเช่นนี้ควรระมัดระวังเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะกรณีที่เป็นฐานรากเสาเข็มเดี่ยว และอาคารทรุดตัวลง สาเหตุการเยื้องศูนย์นี้หากเกิดขึ้นในหลายๆฐานและเป็นทิศทางเดียวกัน จะเป็นต้นเหตุให้อาคารทรุดเอียงทั้งหลัง



รูปที่ 2.10 (ก) ฐานรากเยื้องศูนย์



รูปที่ 2.10 (ข) ลักษณะเสาเยื้องศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รูปที่ 2.10(ค) เสาเยื้องศูนย์บิดจนตอม่อแตก

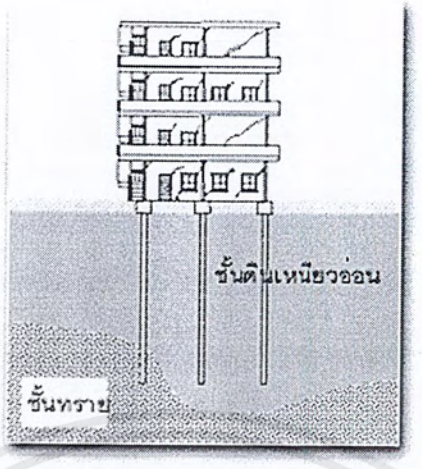
2.5.2.4 เสาเข็มอยู่บนชั้นดินที่ไม่แข็งแรงเพียงพอ

เสาเข็มอยู่บนชั้นดินที่ไม่แข็งแรงเพียงพอ หรือปลายเสาเข็มอยู่บนชั้นดินต่างชนิดกัน ลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นจากการที่ไม่ได้ทำการเจาะสำรวจสภาพชั้นดินก่อนการออกแบบก่อสร้าง ปัญหาที่ตามมาก็คือ เสาเข็มรับน้ำหนักไม่ได้ตามที่คิดไว้ กรณีที่เสาเข็มอยู่บนดินชนิดเดียวกันทั้งหมด อาคารจะมีการทรุดตัวใกล้เคียงกัน ทำให้ไม่เกิดการแตกร้าว แต่หากเป็นดินอ่อนมากๆ เสาเข็มจะรับกำลังไม่ได้ อาคารจะทรุดตัวจมลงทั้งหลัง

สำหรับกรณีภายในอาคารหลังเดียวกันนั้นหากปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินต่างชนิดกัน จะทำให้เกิดการทรุดตัวที่แตกต่างกันทำให้อาคารแตกร้าวได้ดังนั้นมักจะพูดกันว่า " ควรให้เสาเข็มยาวเท่ากัน" นั้นควรจะเปลี่ยนเป็น"ควรให้ปลายเสาเข็มอยู่บนดินชนิดเดียวกัน" จะเป็นการป้องกันการทรุดตัวแตกต่างกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

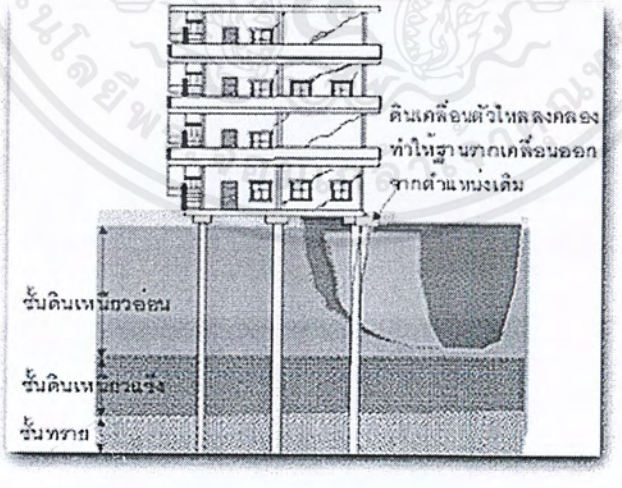
42417



รูปที่ 2.11 เสาเข็มอยู่บนชั้นดินต่างชนิดกัน

2.5.2.5 ดินเกิดการเคลื่อนตัวด้านข้าง

กรณีนี้มักจะพบในบริเวณที่อยู่ใกล้คลอง บ่อขุดหรือแม่น้ำซึ่งควรระมัดระวังดินใต้ฐานรากเกิดการเคลื่อนตัวเลื่อนไหลลงคลองหรือแม่น้ำ หากดินเกิดเคลื่อนตัวจะทำให้ฐานรากเคลื่อนออกจากตำแหน่งเดิมและเกิดการชำรุด เป็นเหตุให้อาคารแตกร้าวและทรุดตัว



รูปที่ 2.12 ฐานรากเสียหายจากการเคลื่อนตัวของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การสำรวจสภาพอาคาร และการวิเคราะห์

3.1 สำรวจสภาพการแตกร้าวเบื้องต้น

เมื่อพบว่าอาคารมีปัญหาหรือพบการแตกร้าว ควรจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในเบื้องต้น เพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป โดยเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

3.1.1 แปลนอาคาร

ลำดับแรกควรศึกษาแบบแปลนของอาคาร นั้นๆก่อนว่าเป็นอาคารชนิดใด ขนาดของอาคารเป็นเช่นไร แบบแปลนควรมีรายละเอียดเกี่ยวกับ

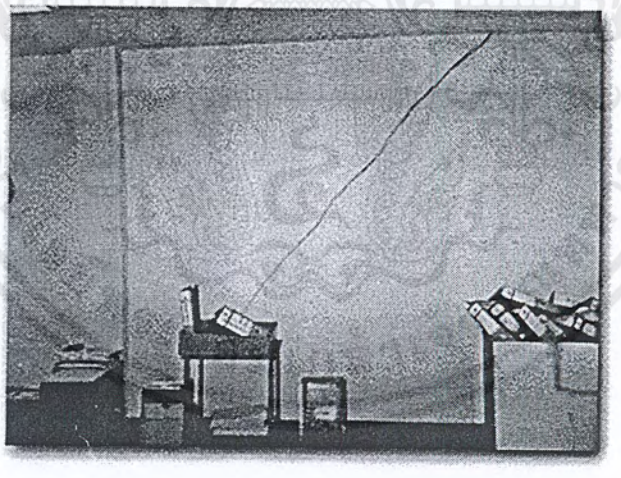
- จำนวนและระยะห่างช่วงเสาทั้งด้านกว้างและด้านยาว
- ตำแหน่งของเสา
- ตำแหน่งผนังอาคารและชนิดของผนัง
- ขนาดคาน เสา และพื้น พร้อมทั้งรายละเอียดการเสริมเหล็ก
- ตำแหน่งฐานราก รายละเอียดเกี่ยวกับฐานรากว่าใช้เสาเข็มชนิดใด เป็นฐานรากเสาเข็มกลุ่ม หรือเสาเข็มเดี่ยว

3.1.2 รอยแตกที่ผนัง

ควรพิจารณาว่าผนังเกิดการแตกร้าวหรือไม่ หากพบรอยแตกร้าวบันทึกในแบบแปลนว่าเป็นผนังตำแหน่งใด และเก็บรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับรอยร้าว เช่น

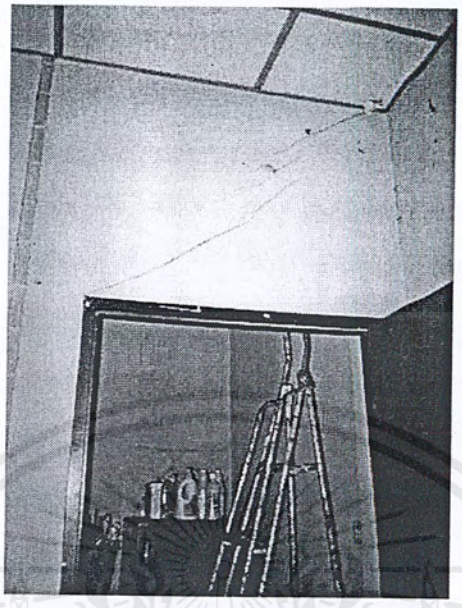
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ลักษณะของรอยร้าว แตกทั้งสองฝั่งของผนังหรือไม่
- ทิศทางของรอยร้าว เฉียงเป็นมุมประมาณ 45 องศา แตกร้าวในแนวดิ่ง แตกร้าวในแนวนอน หรือแตกในแนวดิ่งตรงตำแหน่งขอบเสา
- รอยร้าวที่เกิดขึ้นนั้นเริ่มต้นแตกจากตำแหน่งใด การบันทึกตรงนี้พิจารณาได้จากตรงตำแหน่งของรอยร้าวที่เกิดกว้างมากที่สุด จุดนั้นจะเป็นจุดเริ่มต้นของรอยแตก
- ความกว้างและความยาวของรอยแตก
- หากเป็นผนังที่ประกบเสาอยู่ รอยแตกเกิดขึ้นที่ผนังทั้งสองหรือไม่ ทิศทางของรอยร้าวเมื่อเปรียบเทียบผนังทั้งสอง
- จำนวนของรอยแตก หากผนังเดียวกันมีรอยแตกมากกว่า 1 แห่ง ควรบันทึกด้วยว่ารอยแตกขนานกันหรือไม่
- หากมีวงกบประตูหรือหน้าต่าง ตำแหน่งของรอยร้าวที่มุมวงกบ หรือด้านข้างของวงกบ วงกบบิดเสียรูปหรือไม่

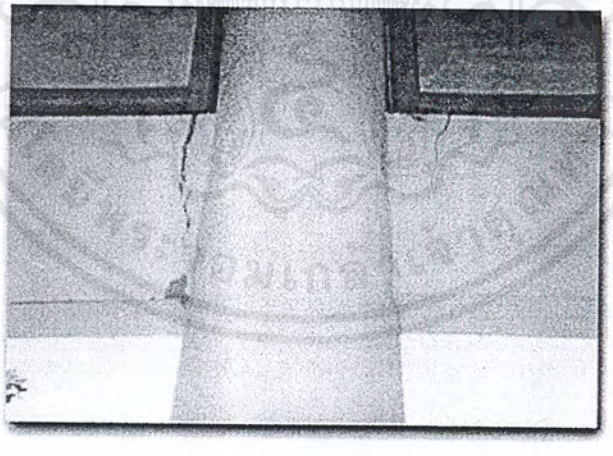


รูปที่ 3.1 ลักษณะรอยแตกเฉียงที่ผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 รอยแตกร้าวเหนือวงกบ อาจไม่ได้มีสาเหตุมาจากฐานรากอาคารเกิดการทรุดตัว เสมอไป ควรพิจารณาข้อมูลอื่นประกอบการวิเคราะห์ด้วย



รูปที่ 3.3 ลักษณะแตกจากด้านบนของคานและไล่ลงมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 รอยแตกที่คาน

บันทึกข้อมูลการแตกร้าวของคานดังนี้

- ตำแหน่งของรอยแตก ตรงกลางคาน หรือบริเวณใกล้ขอบเสา
- รอยแตกเป็นรูปตัวยู ซึ่งรอยแตกรูปตัวยูเป็นลักษณะที่แตกจากท้องคาน และออกไปด้านข้างสองฝั่งของคาน
- รอยแตกเฉียงเกิดขึ้นที่ด้านข้างทั้งสองฝั่งหรือไม่
- รอยแตกกว้างมากน้อยเพียงใด รอยแตกเข้าถึงแกนคอนกรีตหรือเป็นรอยแตกเฉพาะผิวปูนฉาบ

3.1.4 รอยแตกที่พื้น

- ตำแหน่งรอยแตก เช่น ที่ท้องพื้น ขอบคานทั้งสี่ด้านของพื้น
- ความกว้างของรอยแตก ตำแหน่งที่มีรอยแตกมากที่สุด
- ชนิดของพื้น เป็นพื้นคอนกรีตหล่อในที่ หรือพื้นสำเร็จรูป หากเป็นพื้นสำเร็จรูปควรบันทึกทิศทางที่วางพื้นและรอยแตกที่เกิดขึ้นขนานหรือขวางกับแผ่นพื้น

3.1.5 รอยแตกที่เสา

- ควรสำรวจที่หัวเสาบริเวณที่ติดกับท้องคานว่าแตกหรือไม่ หากมีรอยแตกเกิดขึ้นเป็นแบบเฉียงหรือแนวนอน ส่วนมากแล้วหากเป็นรอยแตกในแนวนอนมักจะแตกเป็นครึ่งหนึ่งของหน้าตัดเสาลักษณะของรอยแตกจะเป็นแบบแตกเผยอขึ้น
- อีกตำแหน่งหนึ่งที่ควรพิจารณาคือ ด้านข้างของเสาว่าเกิดรอยแตกแนวนอนเป็นช่วงๆหรือไม่ ลักษณะรอยแตกเช่นนี้จะมีลักษณะเหมือนกับเราจับไม้บรรทัดที่เป็นแก้วพลาสติกตั้งขึ้นแล้วเอามือกดลงที่ส่วนบนของไม้บรรทัด ไม้บรรทัดจะโก่งแอ่นตัวไปด้านหนึ่ง และเกิดรอยแตกเป็นปล้องๆ
- หากพบว่าด้านข้างของเสาเกิดมีรอยร้าวลักษณะเช่นนี้ให้ตรวจดูฝั่งตรงข้ามของเสาต้นเดียวกันนั้นมีรอยแตกลักษณะเช่นเดียวกันหรือไม่ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเมื่อเกิดรอยแตกแนวนอนที่ด้านใดด้านหนึ่งของเสาแล้ว อีกด้านหนึ่งจะไม่พบรอยแตก ท่านควรบันทึกตำแหน่งของเสาและด้านข้างของเสาที่เกิดรอยแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นให้ชัดเจน เพราะจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์หาสาเหตุการแตกร้าวของอาคาร

เมื่อต้องการตรวจสอบอาคารที่สงสัยว่าจะมีปัญหาเรื่องโครงสร้างหรืออาคารที่พบว่ามีการแตกร้าวเกิดขึ้น วิธีการทดสอบดังกล่าวข้างต้นจะทำให้ได้ข้อมูลในเบื้องต้นเท่านั้น การวิเคราะห์ผลอาจยังไม่ถูกต้องชัดเจนนัก เพราะข้อมูลที่ใช้เป็นเพียงสภาพของอาคารและลักษณะการแตกร้าวเท่านั้น โดยเฉพาะถ้าอาคารยังมีสภาพแตกร้าวไม่มากนัก ลักษณะการแตกร้าวเพียงเล็กน้อยอาจไม่สามารถบ่งชัดถึงสาเหตุได้ ยกตัวอย่างเช่นรอยแตกร้าวที่ผนังบริเวณมุมวงกบหน้าต่าง ซึ่งมักจะเกิดขึ้นโดยทั่วไปอยู่แล้วเพราะช่างก่อสร้างไม่ได้เสียบเหล็กกันร้าวหรือคานทับหลัง ลักษณะเช่นนี้หากเป็นรอยแตกร้าวที่ไม่กว้างและยาวมาก ยังสรุปไม่ได้ว่ามีผลมาจากการทรุดตัวของฐานราก ดังนั้นการวิเคราะห์ว่าอาคารเกิดการแตกร้าวว่ามีผลมาจากอะไร ถ้ายังมีข้อมูลไม่ชัดเจนควรที่จะทำการสำรวจและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อพิจารณาและวิเคราะห์ในการสรุปผลต่อไป

นอกเหนือจากการตรวจสอบสภาพอาคารในเบื้องต้นแล้วสิ่งที่ควรทำการเพิ่มเติมคือการสำรวจการทรุดตัวของอาคาร เพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับการทรุดตัวและจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าอาคารที่เกิดการแตกร้าวนั้นเป็นผลจากการทรุดตัวหรือไม่ และหากจะวิเคราะห์หาสาเหตุการแตกร้าวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ควรทำการสำรวจการทรุดตัวของอาคารเพื่อให้ได้ข้อมูลดังนี้

1. สำรวจการทรุดตัวของเสาอาคารหรือฐานรากทุกฐานในอาคาร
2. สำรวจค่าการทรุดเอียงของอาคาร

3.1.6 ข้อแนะนำที่ควรทำเพิ่มเติมในการตรวจสอบสภาพการแตกร้าวดังนี้

- ควรทำเครื่องหมายตรงปลายของรอยร้าวที่เกิดที่ผนัง คาน และเสา เพื่อให้ทราบว่า ณ วันที่ตรวจสอบนั้นปลายของรอยร้าวอยู่ตำแหน่งใด หากมีการแตกร้าวเพิ่มขึ้นจะได้เห็นชัดเจน และควรบันทึกวันที่ที่ทำเครื่องหมายไว้ด้วย การทำเครื่องหมายมักจะนิยมใช้ปากกาสีเส้นบางขีดขวางปลายของรอยร้าว
- นำไม้บรรทัดวางขวางตั้งฉากกับรอยร้าว ตรงบริเวณของรอยร้าวที่กว้างมากที่สุด แล้วขีดเส้นพาดผ่านรอยร้าวนั้น วัดความยาวของเส้นและเขียนความยาวของเส้นพร้อมวันที่ลงด้านข้างของเส้นที่ขีดนั้นเมื่อมาตรวจวัดครั้งต่อไป นำไม้บรรทัดวัดตามสเกลเดิมจะทราบได้ทันทีว่ารอยร้าวกว้างขึ้นจากเดิมหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำกระจกที่มีความหนาประมาณ 1.00-1.50 มม. ขนาด 1.00*5.00 ซม.(ขนาดความกว้างยาวขึ้นอยู่กับความเหมาะสมแต่ความหนาไม่ควรมากกว่า 1.50 มม.) ติดขวางพาดผ่านรอยแตกร้าว ก่อนติดกระจกควรขัดผิวคอนกรีตบริเวณสองฝั่งของรอยแตกร้าวที่จะติดกระจกนั้นให้สะอาดก่อนแล้วจึงติดกระจกด้วยกาวที่มีความยึดเกาะสูง หากรอยแตกร้าวเกิดเพิ่มขึ้นมากกระจกจะแตกให้เห็น

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ

- กล้องระดับโดยทั่วไป หรือกล้องระดับชนิด Tilting Laser Beam ที่เล็งระดับด้วยลำแสง สีแดง
- ไม้ Staff หรือ ไม้บรรทัด
- ลูกดิ่งพร้อมสายดิ่ง
- เหล็กกลมขนาด 9 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 6.00-8.50 เซนติเมตร หักงอ ส่วนปลายที่มน 90 องศา ความยาวส่วนที่งอ ประมาณ 1.00-1.50 เซนติเมตร

3.3 วิธีการสำรวจ

- เจาะโคนเสาด้วยสว่านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะประมาณ 10 มิลลิเมตร ความลึกประมาณ 5.70 เซนติเมตร นำเหล็กกลมขนาด 9 มิลลิเมตร ที่งอปลาย ทากาวให้เรียบร้อยแล้วเสียบเข้าในรูที่เจาะ ทำเช่นนี้กับโคนเสาทุกต้น รวมทั้งเสาของอาคารข้างเคียงที่กำหนดให้เป็นจุดอ้างอิงด้วย (ในกรณีที่ไม่สามารถเสียบเหล็กได้ อาจใช้วิธีการติดตั้งไม้บรรทัดกับเสาอาคารแทนได้ แต่ต้องมั่นใจว่าไม้บรรทัดจะไม่หลุดออกในภายหลัง)
- ตั้งกล้องระดับ อ่านค่าระดับของกล้องจากไม้ระดับ ที่ตั้งอยู่บนเหล็กกลมที่เสียบตรงโคนเสาทุกต้น รวมทั้งโคนเสาที่เป็นจุดอ้างอิงด้วยบันทึกค่าที่อ่านได้ไว้ ค่าที่บันทึกได้ในครั้งแรกของการสำรวจยังไม่ใช่ค่าการทรุดตัวของอาคาร เป็นเพียงค่าเริ่มต้นเท่านั้น (ในกรณีที่ใช้ไม้บรรทัดให้อ่านค่าจากไม้บรรทัดโดยตรง)
- ทำการสำรวจในครั้งต่อๆ มาตามขั้นตอนที่ 2 บันทึกค่า ที่อ่านได้ในแต่ละครั้งของการสำรวจ ความต่างของระดับกล้องที่จุดอ้างอิง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต่างของระดับกล้องที่เสาอาคารจะทำให้ทราบว่าอาคารมีการขยับตัวเท่าใด (หากอาคารไม่เกิดการทรุดตัว ค่าความต่างระดับของกล้องที่เสาต่างๆ ของอาคารจะต้องมีค่าเท่ากับ ค่าความต่างระดับของกล้องที่จุดอ้างอิง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสำรวจการทรุดตัวควรทำการสำรวจไม่น้อยกว่า 2 ครั้ง จึงจะบอกพฤติกรรมการทรุดตัวของอาคารได้เพราะการตั้งกล้องตรวจวัดครั้งแรกนั้นเป็นการตั้งระดับค่าเริ่มต้นเท่านั้น สำหรับอาคารที่เกิดการแตกร้าวมากๆ เห็นได้ชัดเจนควรทำการสำรวจอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง แต่หากอาคารยังมีการแตกร้าวไม่มากนักอาจสำรวจเดือนละครั้ง ทั้งนี้เพราะอาคารอาจมีการทรุดตัวน้อยมาก ระยะเวลาสั้น ๆ อาจไม่พบการทรุดตัว

ในปัจจุบันมีกล้องระดับชนิดที่อ่านได้ละเอียดถึง 1 ใน 100 ของมิลลิเมตร เป็นกล้องชนิดที่ติด Parallel Plate ช่วยในการอ่านค่าระดับได้ละเอียดยิ่งขึ้น

การวัดค่าการทรุดตัวของอาคารนั้นหากต้องการวัดค่าแบบละเอียด อาจใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Displacement Transducer และ Data Logger ค่าที่อ่านได้มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร เครื่องมือชนิดนี้เหมาะสำหรับจะใช้ตรวจวัดการทรุดตัวที่ต้องการทราบค่าอย่างรวดเร็ว

การสำรวจเพื่อวัดค่าการทรุดเอียงของอาคาร จะใช้วิธีทำเครื่องหมายโดยลากเส้นแนวระดับตามแนวของกล้อง เส้นที่ลากนี้ควรให้มีความยาวเพียงพอที่จะเห็นได้ชัดเจน แนะนำให้ลากเส้นยาวที่ผนังด้านข้างของอาคาร โดยลากเส้นระดับแนวราบจากผนังผืนหนึ่งผ่านเสาอย่างน้อย 1 ต้นไปยังผนังถัดไป ในการสำรวจครั้งต่อไปให้ตั้งกล้องระดับตรวจเช็ค ความต่างระดับของปลายเส้นที่ขีดไว้ การตรวจวัดเช่นนี้จะทำให้ทราบค่าว่าอาคารเกิดการทรุดเอียงตัวหรือไม่ ซึ่งย่อมเป็นที่แน่นอนว่าการตรวจวัดเพียงครั้งเดียว จะยังสรุปผลไม่ได้ว่าอาคารทรุดเอียงตัวหรือไม่ เว้นแต่จะทรุดเอียงจนมองเห็นได้ชัดเจน กรณีที่เห็นการทรุดเอียงชัดเจนควรวัดความต่างระดับของพื้นว่ามีความต่างระดับกันมากน้อยเท่าใด

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์

สำรวจสภาพการการแตกร้าวของผนัง คาน พื้น และเสา ตามลำดับ แล้วลงเครื่องหมายหน้าหัวข้อในตารางข้างล่างจะช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของการแตกร้าวที่เกิดขึ้นการวิเคราะห์ในแต่ละครั้งควรวิเคราะห์จากตารางที่3.1หน้าถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการวิเคราะห์นี้จะพิจารณาเฉพาะตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของโครงสร้างเท่านั้น หากมีการแตกร้าวหลายตำแหน่งต้องทำการวิเคราะห์แต่ละตำแหน่งของโครงสร้างแล้วนำมารวมวิเคราะห์อีกครั้งหนึ่ง ในแต่ละตำแหน่งของโครงสร้างที่กล่าวถึงนี้ประกอบด้วย

- ผนัง (หมายเลข 1)
- คาน (หมายเลข 2)
- พื้น (หมายเลข 3)
- เสา (หมายเลข 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะ และสาเหตุของการแตกร้าว(ธเนศ วีระศิริ,2543)

ส่วนที่พิจารณา	สภาพการแตกร้าว	รายละเอียดของรอยแตก	สาเหตุ	ข้อแนะนำ
ผนัง (1)	- ไม่มีรอยแตกร้าว	- อาคารไม่เอียง - อาคารเอียงทั้งหลัง	ไม่เกิดการทรุดตัวของฐานราก ฐานรากเอียงศูนย์เกิดการทรุดเอียง	ควรพิจารณาคานเป็นลำดับต่อไป ควรเสริมฐานราก
	- แตกแนวนอน		เป็นผลจากการก่อฉาบ หรือคานแอ่นตัว	ควรพิจารณาคานเป็นลำดับต่อไป
	- แตกแนวดิ่ง	- กลางผนัง - ขอบเสา รอยแตกด้านบนกว้างกว่าด้านล่าง	เป็นผลจากการก่อฉาบหรือคานแอ่นตัว ฐานรากเกิดการทรุดตัว ตำแหน่งของฐานรากที่ทรุดดูได้จากรูปในภาคผนวก	พิจารณาว่าคานแตกร้าวด้วยหรือไม่ สำรวจการทรุดตัวและการเสริมฐานราก
	- แตกบริเวณมุมวงกบ	- แตกเล็กน้อย - แตกเฉียง ระดับความเสียหายมาก	ยังระบุไม่ได้ว่าฐานรากเกิดการทรุดตัว ฐานรากเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน	ควรพิจารณาคานด้วย สำรวจการทรุดตัวและการเสริมฐานราก
	- ด้านข้าง เหนือ และใต้วงกบ	- แตกเฉียง - แตกแนวนอน - แตกแนวดิ่ง	หากแตกร้าวมากแสดงว่าฐานรากทรุดตัว ผลจากการก่อฉาบหรือคานแอ่นตัว ผลจากการฉาบหรือคานแอ่นตัว	สำรวจการทรุดตัวและการเสริมฐานราก สำรวจพิจารณาคานเพิ่มเติม พิจารณาคานเพิ่มเติม
	- แตกเฉียง 45	- ผนังข้างเดียวไม่แตกร้าว - ผนังที่อยู่ข้างเคียงแตกเฉียงด้วยและมีทิศทางตรงข้ามกัน - ผนังข้างเคียงแตกเฉียง แต่ทิศทางขนานกัน	ยังไม่ชัดเจนว่าฐานรากเกิดการทรุดตัว เสาที่ถูกผนังประกบ เกิดการทรุดตัว นอกจากเสาที่ถูกผนังประกบนั้นจะเกิดการทรุดการตัวแล้วยังมีเสาที่อยู่ถัดไปเกิดการทรุดตัวด้วย	ควรสำรวจอีกครั้งเป็นอย่างน้อย สำรวจการทรุดตัวและการเสริมฐานราก สำรวจการทรุดตัวและการเสริมฐานราก
	- แตกเฉียงหลายแนวและขนานกัน		ฐานรากเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน	สำรวจการทรุดตัวและการเสริมฐานราก
คาน (2)	- คานไม่ร้าว - คานไม่ร้าว	- อาคารไม่เอียง - อาคารเอียง	ไม่เกิดการทรุดตัวของฐานราก เกิดการทรุดตัวของฐานรากแบบเอียงศูนย์	ควรพิจารณาพื้นด้วย ควรเสริมฐานรากทันที
	- แตกร้าวที่กลางคาน	- แตกร้าวที่ได้ท้องคานและต่อเนื่องขึ้นสองด้านของคาน ทิศทางในแนวดิ่ง รอยแตกที่ท้องคานกว้างมากกว่าด้านข้าง	คานรับกำลังไม่ได้ เกิดการแอ่นตัว ไม่ได้เกิดจากการทรุดตัวของฐานราก	ควรเสริมกำลังคานด้วยเหล็กรูปพรรณ หรือวัสดุอื่นใดที่แข็งแรงเพียงพอ การเสริมกำลังต้องเสริมในลักษณะที่คานยังคงมีพฤติกรรมการรับน้ำหนักเช่นเดิม ไม่ควรใช้วิธีค้ำยันที่กลางคานเพราะจะเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดรองรับจะทำให้คานเกิดรอยแตกกลับทิศทางขึ้นอีก
	- แตกร้าวที่ปลายคาน - แตกร้าวที่ปลายคาน	- แตกเฉียงที่ปลายทั้งสองของคาน และทั้งสองข้างของคาน รอยแตกเหมือนกันและกลับทิศกันเหมือนภาพในกระจก - แตกเฉียงที่ด้านข้างคาน ทิศทางเดียวกัน	คานรับแรงเฉือนไม่ได้ เป็นผลจากฐานรากเกิดการทรุดตัว	ควรเสริมกำลังคานตามที่กล่าวไว้ข้างต้น ควรเสริมฐานราก
	- แตกร้าวที่รอยต่อระหว่างคานและเสา	- รอยแตกเกิดจากบนลงล่างที่ปลายข้างหนึ่งและล่างขึ้นบนที่ปลายข้างหนึ่ง	ฐานรากที่ปลายทั้งสองของคานทรุดตัวไม่เท่ากัน	ควรเสริมฐานราก
พื้น (3)	- แตกร้าวได้ท้องพื้น		พื้นรับน้ำหนักบรรทุกไม่ได้ น้ำหนักบรรทุกอาจมากกว่าที่ออกแบบไว้	เสริมกำลังพื้นด้วยเหล็กรูปพรรณ หรือวัสดุอื่นใดที่แข็งแรงเพียงพอ ไม่ควรค้ำยันที่ได้แผ่นพื้นเพราะเป็นการเปลี่ยนจุดรองรับทำให้พฤติกรรมของพื้นเปลี่ยนแปลงไป
	- รอยแตกเกิดขึ้นที่ผิวบนบริเวณขอบคานที่รองรับแผ่นพื้นนั้น รอยแตกขนานกับคาน และเกิดขึ้นที่ขอบคานทุกตัวที่ทำหน้าที่รองรับแผ่นพื้น		พื้นรับน้ำหนักบรรทุกไม่ได้ เหล็กรับโมเมนต์ลบบริเวณขอบพื้นอาจน้อยเกินไป หรือน้ำหนักที่ลงพื้นมากกว่าที่ออกแบบไว้	เสริมกำลังพื้นดังที่กล่าวแล้วหรือทุบทิ้งเสริมเหล็กแล้วเทพื้นใหม่
	- รอยแตกเกิดที่ผิวบนขอบคานด้านใดด้านหนึ่ง		ฐานรากเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน	ควรทำการสำรวจให้ทราบว่าฐานรากใดเกิดการทรุดตัว แล้วทำการเสริมฐานราก
เสา (4)	- แตกร้าวที่คอเสาด้านบน	- แตกเฉียง หรือแนวนอน	เกิดการทรุดตัวของฐานรากของเสาข้างเคียง	สำรวจค่าการทรุดตัวด้วยกล้องระดับและทำการเสริมฐานราก
	- แตกร้าวที่กลางเสา ด้านใดด้านหนึ่งของเสา รอยแตกแนวนอนเป็นปล้องๆ		ฐานรากข้างเคียงเกิดการทรุดตัว	สำรวจค่าการทรุดตัวด้วยกล้องระดับและทำการเสริมฐานราก

ในการสำรวจสภาพอาคารและขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้น สามารถนำไปเป็นแนวทางเพื่อแก้ไขปัญหาอาคารทรุดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีการแก้ไขอาคารทรุด

ความจริงแล้วอาคารที่วางบนดินไม่ว่าจะเป็นอาคารที่มีฐานรากวางบนดินแข็งหรืออาคารที่ใช้ฐานรากเสาเข็มหยั่งลงไปในชั้นดินแข็ง ล้วนแล้วแต่จะต้องเกิดการทรุดตัวทั้งสิ้น เพราะดินเป็นวัสดุธรรมชาติที่จะมีการยุบตัวเมื่อมีน้ำหนักมากระทำ แต่การทรุดตัวของอาคารนั้นจะต้องเป็นการทรุดตัวที่มีค่าใกล้เคียงกันทั้งอาคาร ปริมาณและอัตราการทรุดตัวต้องไม่มากเกินไป และเป็นเหตุให้เกิดการแตกร้าวจนเป็นอันตรายต่อการใช้งาน

เมื่อพบว่าอาคารเกิดการทรุดตัว ไม่ว่าจะเป็นการทรุดตัวไม่เท่ากันหรือการทรุดเอียงก็ตาม อันดับแรกควรดำเนินการแก้ไขให้อาคารหยุดการทรุดตัวก่อน

4.1 วิธีการกำจัด ลดหรือป้องกันการทรุดตัวของอาคาร

1. ใช้เสาเข็มยาวเท่ากันตลอดอาคาร (อาจมีหลายขนาดก็ได้) ที่โครงสร้างต่อเนื่องกัน เพื่อป้องกันการทรุดตัวของเสาเข็มไม่เท่ากัน หากเป็นฐานแผ่ให้ใช้ฐานแผ่ลึก เพื่อป้องกันการเคลื่อนหรือสูญเสียดินใต้ฐานรากเนื่องจากการขุด หรือก่อสร้างข้างเคียง
2. ในการขุดดินอ่อน เพื่อทำฐานรากและควรถมกลับด้วยทรายหยาบหรือทรายขี้เป็ดบดอัด เพราะทำการบดอัดได้ง่าย และแน่น ทำให้เกิดการทรุดตัวในระยะแรกได้มาก ฐานรากหรือวัสดุก่อสร้างที่วางบนชั้นดินถมกลับนี้จะมีการทรุดตัวน้อย
3. หากบริเวณที่จะทำการก่อสร้างต้องถมดินมาก ควรทำการถมดินก่อนการก่อสร้าง เพื่อให้เกิดการทรุดตัวโดยน้ำหนักของตัวมันเองก่อน (Pre-Consolidation) เป็นการลดค่าการทรุดตัวของชั้นดินลง
4. ทำการก่อสร้างบนชั้นดินถมอย่างช้าๆ
5. หากฐานรากตั้งอยู่บริเวณที่เป็นบ่อน้ำเก่าหรือบ่อเกรอะบ่อซึมที่อยู่ใกล้ฐานรากหนึ่ง ทำให้สภาพดินก้นหลุมฐานรากอ่อนมีความแน่นไม่เท่ากัน กรณีเช่นนี้แก้ไขได้ง่ายมาก โดยย้ายบ่อเกรอะบ่อซึมนั้นออกไปเสียให้ห่างจากฐานราก
6. ออกแบบฐานรากแข็ง (Rigid Foundation) และคานลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เลือกออกแบบโดยใช้ชนิดของอาคาร ซึ่งยอมให้เกิดการทรุดตัวไม่เท่ากันได้ เช่น โครงข้อแข็งเหล็กยึดด้วยสกรูบนพื้นยาง (Free Joint) หรือโครงไม้ ซึ่งสามารถต้านทานการทรุดตัวได้มาก แต่ยังคงใช้งานได้
8. หากจำเป็นต้องทำการก่อสร้างบนพื้นที่ดินอ่อนมากที่มีอัตราการทรุดตัวสูง ก็ควรจะออกแบบติดตั้งเครื่องยกปรับระดับระหว่างฐานรากกับโครงสร้างไว้ ให้สามารถทำการปรับระดับตัวอาคารได้ตลอดเวลาเมื่อเกิดฐานรากทรุดตัวลง

เมื่ออาคารหยุดการทรุดตัวแล้ว จึงทำการยกเพื่อปรับระดับอาคารสำหรับอาคารทรุดเอียงหรือเสริมกำลังโครงสร้างที่เกิดการแตกร้าวในลำดับต่อไป ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าอาคารที่เกิดการทรุดตัวมีผลมาจากฐานราก เสาเข็ม และสภาพดิน

4.2 ขั้นตอนการแก้ไข

เมื่อพบว่าอาคารเกิดการทรุดตัว ควรดำเนินการแก้ไขตามลำดับดังนี้

1. หาข้อมูลดินบริเวณนั้น หรืออาจเจาะสภาพชั้นดิน (Subsurface Investigation)ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลดินหรือข้อมูลการทำเสาเข็มในบริเวณใกล้เคียง (ถ้าอาคารยังทรุดไม่มากนักหากเกิดการทรุดตัวอย่างรวดเร็วควรเสริมเสาเข็มหรือถ่ายน้ำหนักลงฐานรากใหม่ทันทีเพื่อชะลอการทรุดตัวก่อน)
2. คำนวนน้ำหนักที่ลงฐานรากแต่ละฐาน
3. เลือกเสาเข็มที่มีขนาดหน้าตัดและความยาวเพียงพอที่จะรับน้ำหนักที่ต้องการที่ลงฐานรากนั้นได้
4. ทำการเสริมเสาเข็ม และถ่ายน้ำหนักจากเสาเข็มเดิมลงเข็มใหม่ หรือเสริมคานเหล็กรูปพรรณใต้คานเดิมหรือหล่อ Collar ค.ส.ล. เพื่อถ่ายน้ำหนักจากอาคารลงเสาเข็มต้นใหม่ หรือทำฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กรองรับฐานรากเดิมที่มั่นคงกว่า
5. ทำการถ่ายน้ำหนักลงเสาเข็มต้นใหม่ (Pre Load) ด้วยแม่แรงไฮดรอลิก เพื่อให้เสาเข็มใหม่รับน้ำหนักทันที มิฉะนั้นอาคารต้องเกิดการทรุดตัวระดับหนึ่งก่อนแล้วเสาเข็มใหม่จะรับน้ำหนัก
6. ควรตรวจวัดค่าการทรุดตัว ทั้งก่อนเสริมเสาเข็ม ขณะเสริมเสาเข็ม และภายหลังเสริมเสาเข็มแล้วหากไม่พบการทรุดตัวภายหลังเสริมฐานราก จึงค่อยดำเนินการแก้ไขส่วนโครงสร้างอื่นต่อไป

เมื่ออาคารหยุดการทรุดตัวแล้ว ทำการเสริมโครงสร้างคาน เสาหรือพื้นที่แตกร้าวมากจนทะลุและคอนกรีตยุ่ยด้วยการทำค้ำยัน แล้วสกัดส่วนที่แตกร้าวออกทั้งหมด เทคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสาน หรือ Nonshrink Concrete เข้าไปทดแทน หากเหล็กเสริมเสียรูป แก้ไขโดยเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กเส้นตรงบริเวณที่เหล็กบิดงอนั้น ความยาวของเหล็กควรมีความยาวรวมระยะต่อทาบไม่น้อยกว่าระยะต่อทาบที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ว.ส.ท.(ไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็ก) ส่วนต่อทาบควรต่อด้วยการเชื่อม หรืออาจเลือกใช้วิธีการเสริมโครงสร้างที่แตกร้าวมากด้วยเหล็กรูปพรรณ สำหรับโครงสร้างที่มีการแตกร้าวไม่มากนัก สามารถแก้ไขโดยการอัดฉีดน้ำยาเคมี (Chemical Grout) เข้าไปประสานรอยแตกของโครงสร้าง

4.3 ความหมายของการเสริมฐานราก (Underpinning)

การเสริมฐานราก หมายถึง การปรับปรุงฐานรากเก่าให้นับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้น อาจจะเพิ่มขนาดหรือความลึกของฐานราก และหรือปรับปรุงดินใต้ฐานรากให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้น ถ้าการปรับปรุงโดยขยายขนาดของฐานราก หรือเพิ่มความลึกของฐานรากเพื่อให้รับน้ำหนักได้มากขึ้นเรียกว่า Remedial Underpinning(การเสริมฐาน เพื่อแก้การเสียหาย) และถ้าเพิ่มความลึกของฐานราก เพื่อป้องกันการก่อสร้างอาคารข้างเคียง เนื่องจากการขุดดินที่ลึกมากๆ เรียกว่า Precautionary Underpinning (การเสริมฐานราก เพื่อป้องกันการเสียหาย)

4.4 ความจำเป็นในการต้องเสริมฐานราก

การเสริมฐานรากมีความจำเป็นดังต่อไปนี้

1. เพื่อหยุดยั้งการทรุดตัวของโครงสร้าง
2. เพื่อป้องกันโครงสร้างทรุดตัวเนื่องจากมีการขุดดิน เมื่อมีการขุดดินลึกมากๆในการก่อสร้างอาคารประชิดอาคารเดิม จะพบเสมอว่า ในการก่อสร้างอาคารประชิดอาคารเดิม เมื่อขุดดินก่อสร้างอาคารใหม่ลึกมากๆ จะเกิดแรงดันด้านข้าง ถ้าเกิดการเคลื่อนตัวด้านข้างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การทรุดตัวของฐานรากอาคารเดิมจะทรุดตัวเป็นอย่างมาก
3. เพื่อเสริมฐานรากเดิมให้แข็งแรง และรับน้ำหนักได้มากขึ้น เพื่อทดแทนฐานรากเดิมนั้นที่ได้รับการเสียหายไป

4.5 การทำค้ำยัน (Shoring)

การที่จะทำการเสริมฐานรากอาคาร สิ่งที่จำเป็นอันดับแรก จะต้องค้ำยันอาคารเดิมให้อยู่ในสภาพปลอดภัยเสียก่อนจะเข้าไปทำการเสริมฐานราก ซึ่งไม่ว่าจะเป็นระบบขุดหลุมหรือเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

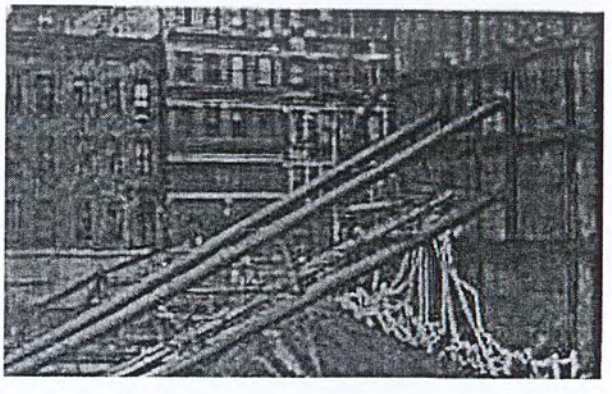
เสาเข็ม หรือระบบอื่นใดก็ตาม การตรวจสอบสภาพและวิเคราะห์รายละเอียดของอาคารเดิม ซึ่งมีความสำคัญอยู่มาก ทั้งนี้เพราะขั้นตอนแรกในการปฏิบัติการเสริมฐานราก มักจะเริ่มต้นด้วยการขุดหลุมฐานรากเดิม ซึ่งส่งผลในการรับน้ำหนักของฐานรากเดิมเปลี่ยนไป ก่อนที่จะทำการเสริมโครงสร้างเสริมฐานรากใหม่จะต้องคำนึงถึงการค้ำยันด้วย

จุดประสงค์ในการทำค้ำยันอาคาร มีหลายประการดังนี้

1. เพื่อลดหรือหยุดการทรุดตัวของอาคาร เนื่องจากการทรุดตัวหรือความที่ไม่มั่นคงของอาคาร
2. เพื่อป้องกันอาคารทรุดตัว เนื่องจากการขุดดินประชิดที่ลึกกว่าฐานรากเดิมของอาคาร
3. เพื่อจะหนุนอาคาร ขณะที่มีการซ่อมฐานรากหรือโครงสร้างอื่นๆของอาคารเดิม

การที่จะทำการค้ำยันมากน้อยเพียงใด เป็นเรื่องยากที่จะวิเคราะห์หาคำตอบทางทฤษฎี คำแนะนำที่ดีที่สุด คือการใช้ประสบการณ์จริงที่เคยทำ พอจะสรุปได้โดยสังเขปดังนี้

1. โครงสร้างที่เกิดการทรุดตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการวิบัติของเสาเข็มฐานราก (เสาเข็มหัก) บางส่วนต้องทำการค้ำยันเพื่อถ่ายน้ำหนักจากตัวตึกใหญ่ เพื่อให้น้ำหนักบางส่วนถ่ายลงดินข้างๆเพื่อลดอัตราการทรุดตัว
2. โครงสร้างที่เกิดการทรุดตัวของเสาเข็มยาวไม่เท่ากันเนื่องจากการอัดตัวของดิน(Consolidation) ทำให้การทรุดตัวไม่เท่ากัน (Differential Settlement) อัตราการทรุดตัวช้ามาก ไม่อันตรายในระยะสั้น การทำค้ำยัน ไม่ต้องทำลำบาก เพราะในระยะกับความปลอดภัยค่อนข้างจะสูงอยู่ ปกติจัดค้ำยันแบบปรับตัวได้

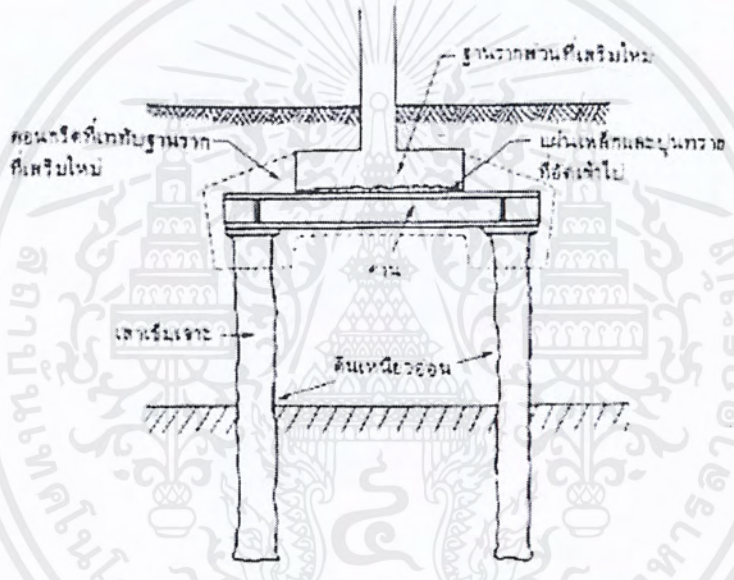


รูปที่ 4.1 การค้ำยัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โครงสร้างที่วิบัติเนื่องจากดินใต้ฐานรากรับน้ำหนักบรรทุกไม่ได้ (Punching Shear Failure) ทำให้เกิดการทรุดตัวและเอียง อัตราการทรุดตัวค่อนข้างจะรวดเร็ว อัตราการเอียงมากจำเป็นจะต้องยกตึกขึ้นมาให้ได้ระดับพอสมควร การทำค้ำยัน จะต้องทำอย่างแข็งแรง อาจจะทำได้โดยใช้ระบบคานถ่ายน้ำหนักบรรทุกเข้าหูช้าง (Blacket) หรือเสาค้ำถ่ายน้ำหนักเข้าหูช้าง (Blacket)

4.6 วิธีการเสริมฐานราก



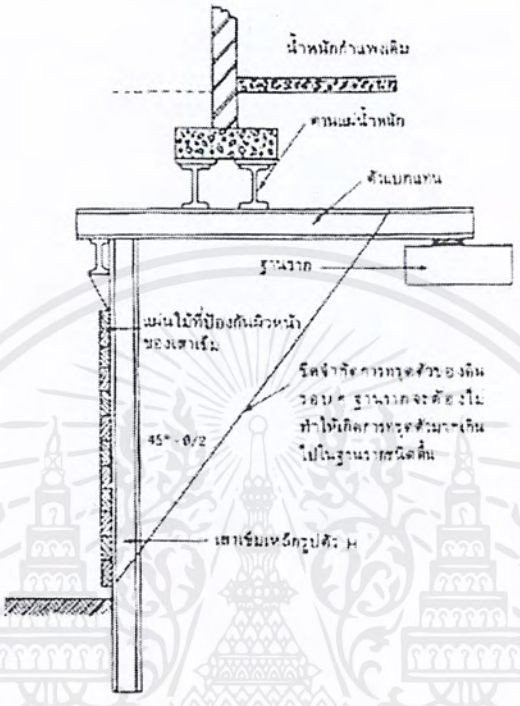
รูปที่ 4.2 การเสริมฐานราก เนื่องจากการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน

ในรูปที่ 4.2 เป็นการใช้วิธีการเสริมฐานราก เพื่อหยุดยั้งการทรุดตัวของโครงสร้าง เนื่องจากการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนใต้ฐาน จึงทำให้ตอม่อทรุดตัวลงอย่างมาก ต้องถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากฐานรากไปที่เสาเข็มที่ด้านทั้งสองของฐาน โดยตัวเข็มยาวทะลุผ่านชั้นดินเหนียวอ่อนลงไป และมีคานขนาดเล็กสอดอยู่ระหว่างฐานราก และหัวเข็มเพื่อถ่ายน้ำหนัก

ในรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นการเสริมฐานรากเดิม เพื่อป้องกันการทรุดตัวของโครงสร้างที่มีฐานรากอยู่ในชั้นดินตื้น ๆ ประชิดโครงสร้างนั้นกำลังก่อสร้างฐานรากของโครงสร้างใหม่ที่อยู่ลึกกว่าฐานเดิม เนื่องจากดินในบริเวณใกล้ฐานรากเดิมถูกขุดออกไป จึงมีผลทำให้แรงดันด้านข้างของดินลดลง ดินใต้ฐานรากเดิมจะเกิดการทรุดตัว การเสริมฐานราก ทำโดยตอกเสาเข็มหลายแถวใกล้กับฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับฐานรากของกำแพงทั้งภายในและภายนอกของอาคาร โดยใช้คานตามยาวและคานตามขวางเป็นตัวถ่ายน้ำหนัก จากฐานลงสู่เสาเข็ม เสาเข็มแถวนอกยังทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ดินด้านข้างทลายลงมาด้วย



รูปที่ 4.3 การเสริมฐานราก อาคารที่มีฐานรากอยู่ในชั้นดินตื้น

การใช้เสาเข็มในงานเสริมฐานรากนั้นมีขอบเขตจำกัดอยู่เหมือนกันทั้งนี้เพราะมักจะปรากฏเสมอว่าจะต้องขุดหลุมใต้โครงสร้างเดิม เพื่อจะติดตั้งหมอนรองหรือคานหลายๆตัว งานเสริมฐานรากจะถูกนำมาใช้หยุดการทรุดตัว หรือเพิ่มกำลังรับน้ำหนัก ในกรณีที่ชั้นดินแข็งอยู่ไม่ลึกมากนักและค่าใช้จ่ายในการเจาะดินให้ลึกถึงชั้นดินแข็ง แล้วเทคอนกรีตตามลงมาถูกกว่าการตอกเสาเข็มในที่ที่มีที่ว่างและบริเวณจำกัด นอกจากนี้โครงสร้างที่มีอยู่เดิมอาจมีความแข็งแรงไม่เพียงพอที่จะรับน้ำหนักเนื่องจากการกดท่อเหล็กลงไปในดิน แม้ว่าจะจะนำดินออกมาจากท่อเหล็กที่กดลงทุกครั้งก็ตาม โดยปกติแล้วจะไม่สามารถเจาะเสาเข็มใต้อาคารที่สูงเพียงสองสามชั้นได้ เพราะตัวฐานรากและฐานกำแพงไม่สามารถรับแรงดัด ซึ่งเกิดจากการกดเสาเข็มลงดินได้ แม้ว่าจะใช้คานวางแผ่ระหว่างตัวเครื่องกด และฐานรากเดิมเพื่อถ่ายน้ำหนักให้กระจายโดยทั่วกันแล้วก็ตาม

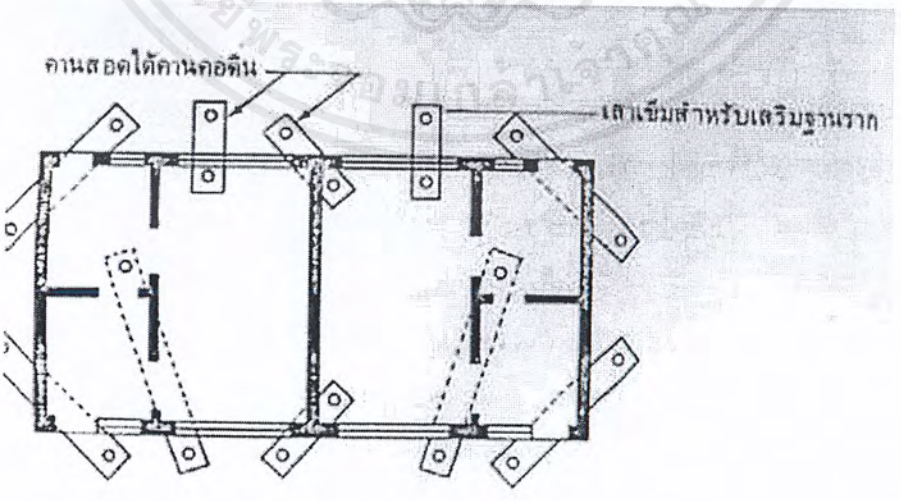
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 คุณสมบัติของเสาเข็มที่เหมาะสมที่ใช้ในการเสริมฐานราก

1. เสาเข็มที่ใช้ควรเป็นเสาเข็มที่ไม่ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนขณะติดตั้ง มิฉะนั้นอาคารจะเกิดการทรุดตัวมากขึ้น หรืออาจพังทลายขณะทำเสาเข็ม
2. เสาเข็มเสริมฐานรากที่ทรุดตัวควรเป็นเสาเข็มที่ใช้รับน้ำหนักได้ทันทีเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จและทำค้ำยัน (Shoring) ได้ง่าย ดังนั้นจึงไม่ควรเป็นเสาเข็มคอนกรีตชนิดหล่อกับที่ เพราะจะต้องเสียเวลารอให้คอนกรีตแข็งตัว
3. ควรเป็นเสาเข็มที่ติดตั้งได้ง่ายในสถานที่จำกัด
4. ควรเป็นเสาเข็มที่สามารถทราบกำลังรับน้ำหนักที่เป็นจริงได้ทุกต้น

4.8 วิธีการจัดเสาเข็มในงานเสริมฐานราก

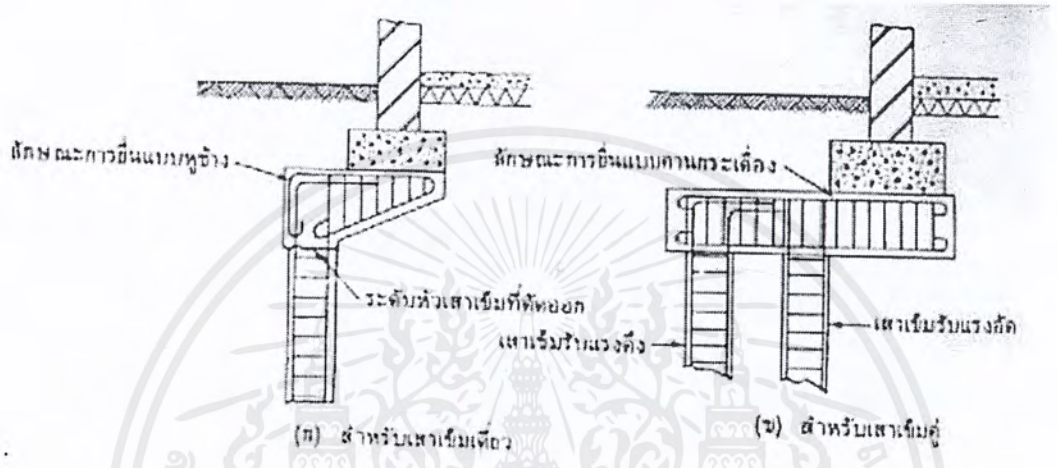
เข็มเจาะเหมาะสำหรับการเสริมฐานรากของโครงสร้างที่มีน้ำหนักไม่มากนัก และควรจะให้เข็มอยู่ห่างจากเส้นรอบนอกของฐานเดิมออกมา เครื่องเจาะสามขา เหมาะที่จะนำมาใช้ในกรณีนี้ เพราะสามารถทำงานในที่ที่คับแคบได้ อย่างไรก็ตาม ควรให้เสาเข็มอยู่นอกตัวอาคาร เพื่อมิให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมากนัก ในรูปที่ 4.4 เสาเข็มอยู่ตามมุมต่างๆของอาคาร ใช้เสาเหล็กรูปตัว H หรือพวกคอนกรีตเสริมเหล็กที่หล่อเตรียมไว้ก่อนแล้ว เชื่อมต่อกับเสาเข็มที่ตอกเสริมลงไป โดยอุดเจาะเตรียมไว้แล้วด้วยคอนกรีต เพื่อถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากอาคารลงสู่เสาเข็มได้รวดเร็วทันที หลังจากตอกเสร็จ



รูปที่ 4.4 การเสริมฐานรากด้วยเสาเข็มในโครงสร้างชนิดเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างชนิดเบาสามารถใช้เข็มเจาะเพียงแถวเดียวทางด้านนอกของตัวอาคาร หลังจากหล่อเสาเข็มและคานยื่นแบบหูช้าง (Cantilever Bracket) บนหัวเสาเข็มดังรูปที่ 4.5 ก.แล้วจะพบว่าเสาเข็ม ที่มีขนาดเล็กและรับแรงดัดได้น้อย จึงทำให้การเสริมฐานรากแบบนี้ใช้ได้กับฐานแผ่ของโครงสร้างที่มีน้ำหนักไม่มากนักเท่านั้น ถ้าโครงสร้างมีน้ำหนักมากก็เพิ่มแถวเสาเข็มอีก ตามรูปที่ 4.5 ข



รูปที่ 4.5 ลักษณะการยื่นแบบหูช้าง สำหรับโครงสร้างชนิดเบา

4.9 ประเภทของเสาเข็มที่ใช้ในการเสริมฐานราก

4.9.1 เสริมฐานรากด้วยเสาเข็ม FN - Pile (FN-Segmental Composite Pile)

เสาเข็ม FN-Pile เป็นเสาเข็มชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติตามที่กล่าวแล้ว เสาเข็มชนิดนี้เป็นเสาเข็มคอนกรีต หุ้มเหล็กกลมกลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 15 เซนติเมตร ความยาวท่อนละ 1.00-1.50 เมตร สามารถนำมาต่อกันได้ด้วยการเสียบแกนเหล็กที่โผล่ออกมาจากปลายเสาเข็มแต่ละท่อนลงในแกนเหล็กของเสาเข็มท่อนถัดไปหรือสวมต่อกันด้วยปลอกเหล็ก เพื่อป้องกันเสาเข็มหลุดออกจากกันเนื่องจากแรงเฉือน ของเสาเข็มแต่ละท่อน ขณะทำการ ตอกเสาเข็ม แล้วทำการเชื่อมโดยรอบ ดังนั้น เสาเข็มจะสามารถต่อให้ยาวเท่าใดก็ได้ ทั้งนี้การใช้ขึ้นอยู่กับสภาพ ระดับของชั้นดินแข็งบริเวณที่เสริมนั้นๆ และความสูง ของพื้นที่ในการทำงาน เนื่องจากเสาเข็มแต่ละท่อนมีความยาวไม่เกิน 1.50 เมตร จึงเหมาะสำหรับการทำงานในพื้นที่ที่จำกัดเพราะลำเลียงเสาเข็มเข้าได้สะดวกการติดตั้งเสาเข็มจะใช้แม่แรงไฮโดรลิกกดเสาเข็มลงดินทีละท่อนรวมทั้งสามารถใช้ได้ทั้งระบบปั่นจั่นตอก การกดเสาเข็มเพื่อเสริมฐานรากนั้นจะกดใต้คานคอดินบริเวณขอบฐานรากให้ใกล้ฐานรากมากที่สุดหรือกดเสาเข็มใต้ฐานราก การกดเสาเข็มจะอาศัยน้ำหนักของอาคารเป็นแรงปฏิกิริยาเพื่อดันเสาเข็มลงดิน เมื่อปลายเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยั่งลงในชั้นดินแข็งหรือทรายแน่น แรงดันที่ใช้ในการกดเสาเข็มจะมีค่ามาก ค่าแรงดันที่ใช้จะทราบได้จากเกจ (Pressure Gauge) ที่ติดกับเครื่องไฮดรอลิก ทำให้ทราบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแต่ละต้น

เมื่อกดเสาเข็มแต่ละต้นแล้วเสร็จ จะใช้ค้ำยันอาคารเพื่อชะลอการทรุดตัวได้ทันที ในปัจจุบันเสาเข็ม FN-Pile ที่นิยมใช้กัน จะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 และ 25 เซนติเมตร

รูปที่ 4.6 เสาเข็ม FN- Pile

4.9.2 เสาเข็มเหล็ก (Steel Jack-In Pile)

เสาเข็มเหล็กเป็นเสาเข็มอีกชนิดหนึ่งที่เหมาะสมจะนำมาใช้แก้ไขการทรุดตัวของฐานรากอาคาร เพราะสามารถตัดต่อเป็นท่อนๆ และเชื่อมต่อกันได้ตามต้องการทำในสถานที่คับแคบได้ เหล็กที่ใช้ทำเสาเข็มเป็นเหล็กรูปพรรณตัวH หรือเหล็กกลมกลวงขนาดหน้าตัดขึ้นอยู่กับกำลังรับน้ำหนักที่ต้องการ ความยาวของเหล็กแต่ละท่อนประมาณ 1.00-1.50 เมตร เชื่อมต่อกันด้วยเหล็กปะกับ ติดตั้งเสาเข็มโดยใช้แม่แรงไฮโดรลิกกดเสาเข็มลงดิน กระบวนการติดตั้งเสาเข็ม การถ่ายน้ำหนักและการค้ำยันจะเหมือนกับเสาเข็ม FN-Pile

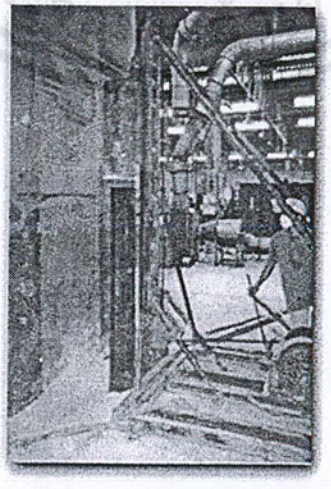
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.2.1 ขั้นตอนการทำเสาเข็มเหล็ก

1. เตรียมเหล็กรูปตัว H สำหรับทำเสาเข็มเหล็ก โดยทำการตัด เป็นท่อน ท่อนละ 1.00 เมตรและทา Coal Tar Epoxy (สำหรับทาป้องกันสนิม)
2. เตรียมสภาพหน้างาน ให้พร้อมสำหรับการทำการติดตั้งเสาเข็มเหล็ก ซึ่งในการติดตั้ง เสาเข็มเหล็ก จะสามารถ ดำเนินการติดตั้งได้ 2 วิธี คือ
   - ติดตั้งโดยวิธีการตอกด้วยตุ้มเหล็ก
   - ติดตั้งด้วยวิธีกดด้วยเครื่องกดไฮดรอลิค
3. ทำการติดตั้งคานถ่ายแรง(Transfer Beam) และติดตั้ง เสาเข็มเหล็กทีละท่อน จนถึงระดับความลึก ที่ต้องการ และมีความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างเพียงพอ โดยทำการเชื่อมต่อเหล็กแต่ละท่อนด้วยแผ่นเหล็กปะกับ
4. เมื่อติดตั้งเสาเข็มแล้วเสร็จจะทำการถ่ายแรงลงสู่เสาเข็มเหล็ก (Pre Load) เพื่อให้เสาเข็มรับกำลังได้ทันที

หมายเหตุ

1. ควรทำการคำนวณกำลังรับน้ำหนักเสาเข็มที่ทำการเสริม และคานถ่ายแรงเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย
2. การพิจารณาว่าจะทำการเสริมฐานรากใต้คานคอดิน หรือฐานรากเดิม ขึ้นอยู่กับสภาพของอาคารที่ทำการเสริมฐานราก



รูปที่ 4.7 การทำเสาเข็มเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.3 เสาเข็มเจาะ

สำหรับกรณีที่มีการขุดดินใกล้กับฐานรากเดิมลึกมาก ถ้าใช้วิธีเจาะหลุมเอาไว้ก่อน โดยเครื่องเจาะแบบสามขาหรือสว่าน แล้วใช้วิธีใส่ปลอกเหล็กหรือสารละลาย Bentonite ก็จะช่วยให้พื้นดินรอบๆ หลุมเจาะเสียศูนย์น้อยมาก และการตั้งเสาเข็มก็จะไม่มีเสียงดังมาก หรือความเสียหายเนื่องจากความสั่นสะเทือนจะมีน้อย ใต้ระดับของพื้นที่ที่ถูกขุดดินออกไป จะต้องอุดช่องว่างระหว่างเสาเข็ม และหลุมเจาะด้วยมอร์ต้าที่มีปริมาณซีเมนต์ต่ำ ด้วยวิธีนี้จะทำให้เกิดความต้านทานต่อแรงดันด้านข้าง

เสาเข็มเจาะที่ถูกใช้ทำหน้าที่ทั้งเป็นตัวเสริมฐานราก และพยุงด้านข้างที่มีการขุดดินออกไป สามารถจัดอยู่ในแถวเดียว หรือสองแถว เรียกว่า Contiguous Piling หรือแถวเดียวแต่เสาเข็มเชื่อมติดกัน เรียกว่า Secant piling การใช้เสาเข็มชนิด Contiguous Pile นั้น เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า แต่การเจาะหลุมให้ลึกตรงในแนวดิ่งจริง ๆ หรือการรักษาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมให้คงที่นั้นทำได้ยาก และมักจะปรากฏว่ามีช่องโหว่ระหว่างเสาใกล้ๆ กันอยู่เสมอที่ระดับต่ำจากน้ำทะเล พวกทราย และโคลนสามารถลอดผ่านช่องนี้ได้ ทำให้เกิดการสูญเสียของดินอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเจาะเสาเข็ม สองแถวสลับฟันปลากัน จะเกิดกรณีเช่นนี้เสมอ Contiguous pile จึงเหมาะที่สุดที่จะใช้เสริมฐานราก และค้ำยันดินที่เป็นดินเหนียวแข็งหรือดินทรายเปียกที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเล

เมื่อการขุดดินออกต้องทำในที่ที่เป็นดินอุ้มน้ำได้ การใช้ Secant Piling จะลดการเสียหายของดินได้ เริ่มต้นด้วยการเจาะ แล้วหล่อเสาโดยจัดให้อยู่เรียงเป็นแถวห่างกันประมาณช่วงหนึ่งต้น และเจาะเอาดินระหว่างเสาแต่ละต้นออกและเซาะร่องทางด้านข้างของเสาด้วยจึงหล่อคอนกรีตลงในช่องว่างระหว่างเสานี้อีกครั้งหนึ่ง ด้วยวิธีนี้เสาเข็มก็จะต่อเชื่อมกัน และเป็นเสมือนกำแพงกันน้ำ ต้องเสริมเหล็กตามแนวตั้งด้วย เพื่อให้เสาเข็มสามารถรับแรงในแนวดิ่ง แรงดันด้านข้างจากดินและน้ำ และแรงเยื้องศูนย์ เนื่องจากน้ำหนักของฐานรากด้วย

สรุปเปรียบเทียบชนิดของเสาเข็มเท่าที่มีข้อมูลอยู่สำหรับเสาเข็ม FN-Pile เสาเข็มเหล็ก และเสาเข็มเจาะ เพื่อให้ได้พิจารณา ดังตารางที่4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบเสาเข็มที่ใช้เสริมฐานรากอาคาร 3 ชนิด(ธเนศ วีระศิริ,2543)

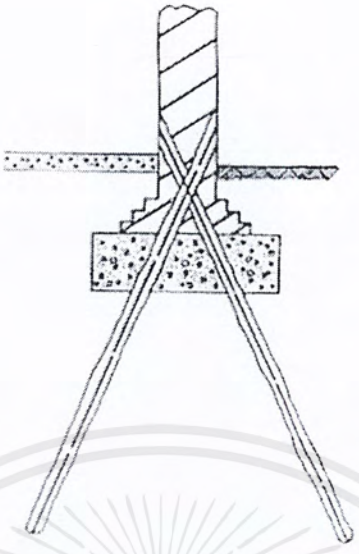
รายการเปรียบเทียบ	เสาเข็ม FN-Pile	เสาเข็มเหล็ก	เสาเข็มเจาะ
1. ชนิดการติดตั้ง	กดด้วยแม่แรงไฮดรอลิก	กดด้วยแม่แรงไฮดรอลิก	ทำด้วยสามขา
2. พื้นที่ที่ใช้	เหมาะสำหรับพื้นที่จำกัด ใช้พื้นที่ประมาณ 1.00x1.00 เมตร	เหมาะสำหรับพื้นที่จำกัด ใช้พื้นที่ประมาณ 1.00x1.00 เมตร	ใช้พื้นที่มากกว่าเฉพาะพื้นที่ทำงานประมาณ 2.50x2.50 เมตร
3. การสั่นสะเทือน	น้อยมากเพราะกดด้วยไฮดรอลิก	น้อยมากเพราะกดด้วยไฮดรอลิก	สั่นสะเทือนมาก โดยเฉพาะเวลาลงปลอกกันดินพัง
4. การค้ำยันฐานรากที่ทรุด	ค้ำยันได้ทันทีเมื่อทำเสาเข็มแล้วเสร็จ	ค้ำยันได้ทันทีเมื่อทำเสาเข็มแล้วเสร็จ	ต้องรอให้คอนกรีตเสาเข็มแข็งตัวก่อน
5. ค่าใช้จ่าย	ถูกกว่าเสาเข็มเหล็ก	แพงที่สุด	ถูกที่สุด

4.10 ระบบที่ใช้ในการเสริมฐานราก

4.10.1 การเสริมฐานรากตามระบบของ Micro Pile

เหมาะสำหรับอาคารที่กำลังทรุดตัว หรือเพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับฐานรากเดิมให้รับน้ำหนักได้มากยิ่งขึ้น โดยใช้อุปกรณ์เช่นสว่านเจาะทะลุผ่านตัวกำแพง และฐานรากเดิมลงไป แล้วฝังด้วยเสาเข็มขนาดเล็ก (Micro Pile) เช่น ท่อเหล็ก หรือเหล็กรูปพรรณ ดังในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การเสริมฐานรากตามระบบของ Micro Pile

ในกรณีที่ใช้ท่อเหล็กจะได้เปรียบกว่าเพราะสามาระจะอัดฉีดน้ำปูน(Grout) หรือมอร์ต้าที่มีสัดส่วนของซีเมนต์มากลงไปตามท่อจนเต็ม ได้ทั้งภายนอกและภายในท่อและการเสริมเหล็กจะใช้เหล็กเพียงเส้นเดียวสำหรับเสาที่มีขนาดเล็ก หรือเป็นซุ้มสำหรับเสาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าเพื่อเพิ่มความต้านทานการโก่งงอของเสาเข็ม และยิ่งกว่านั้นถ้ามีชั้นทรายใต้ชั้นดินอ่อนก็สามารถสร้าง Anchor Bulb ในชั้นทรายนั้นได้เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักให้สูงขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถดีดอาคารที่ทรุดให้อยู่ในระดับเดิมได้โดยง่าย และหากต้องการจะดีดอาคารเดิมอีกเมื่อไร ก็สามารถกระทำได้ทุกเวลา

เสาเข็มแบบ Micro Pile หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Root Pile มีข้อกำหนดดังนี้

ตารางที่ 4.2 ข้อกำหนดของ Micro-Pile หรือ Root-Pile

เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านเจาะ		น้ำหนักบรรทุกปลอดภัย	
มิลลิเมตร	นิ้ว	กิโลนิวตัน	ตัน
120	4.70	98-147	10-15
140	5.50	147-196	15-20
170	6.70	196-245	20-25
220	8.70	294-392	30-40
280	11.00	392-490	40-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมของเสาเข็มกับแนวตั้งหรือแนวนอน จะแตกต่างกันออกไป เพื่อให้เสาเข็มสามารถรับแรงดันด้านข้าง ส่วนโมเมนต์ดัดไม่สามารถรับได้มากเท่ากับการรับน้ำหนักในแนวดิ่ง เพราะเสาเข็มนั้นเล็กมาก เครื่องเจาะ Micro Pile ต้องการใช้เนื้อที่ 2.00x1.50 เมตร (6.60x4.90 ฟุต) และสามารถนำเครื่องมือ เข้าชิดผนังหรือเสาโดยห่างเพียง 40 เซนติเมตร เท่านั้น และต้องมีที่ว่างเหนือเครื่องเจาะอีก 1.80 เมตร (5.90 ฟุต) เท่านั้น ในการเจาะจะมีความสั่นสะเทือนเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการเจาะเพื่อเสริมฐานรากจึงสามารถทำได้ในบริเวณจำกัด และอยู่ติดกับฐานรากเดิมมาก ๆ ได้

4.10.1.1 วิธีการทำการเสริมฐานรากด้วยเสาเข็ม Micro-Pile โดยย่อคือ

1. ใช้สว่านหัวเพ็ชรเจาะคอนกรีตฐานรากเดิมที่ต้องการจะเสริมเสาเข็ม รูเจาะขนาดประมาณ 20 เซนติเมตร
2. นำท่อเหล็กซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 7.50-12.00 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่เสาเข็มนั้นจะต้องรับ หย่อนลงในรูเจาะทีละท่อนต่อกันด้วยปลอกเกลียว (Coupling) ให้แน่น ถ้าต้องการทำ Anchor Bulb ก็ให้ต่อท่อส่วนที่มีรูเจาะข้างๆลงในชั้นทราย
3. ในขณะทำงานจะต้องอัดน้ำโคลนผสมสาร เช่น Bentonite เพื่อ Stabilize ผนังรูเจาะมิให้ทลายเข้ามา
4. อัดน้ำปูน (Grout) ให้เต็มช่องว่างระหว่างผนังดินและผนังนอกของท่อ โดยใช้แรงดันน้อยๆ ปล่อยน้ำปูนออกตรงปลายล่างสุดของท่อและให้น้ำปูนทะลักออกภายนอก ค่อยๆเทจากข้างล่างขึ้นข้างบนจนเต็ม
5. อัดน้ำปูนขั้นที่ 2 โดยใช้ความดันเข้าทางรูกลางของท่อให้ไปออกตรงรูเล็กๆ ที่เจาะไว้ปลายท่อโดยเริ่มจากรูล่างสุดก่อน อาศัยหัวอัดและแถบยางเป็นตัวควบคุมการอัดน้ำปูนนี้ เมื่ออัดน้ำปูนเต็มช่องว่างในชั้นทรายแล้วจะเกิดเป็น Anchor Bulb ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 30-40 เซนติเมตร ขนาดและความยาวของ Anchor Bulb นี้ขึ้นอยู่กับขนาดของน้ำหนักบรรทุกที่เสาเข็มนั้นจะต้องรับ ขนาดและความสมบูรณ์ของ Anchor Bulb อาจตรวจสอบได้โดยวัดปริมาณของ Grout และแรงดัน หลังจากทำ Anchor Bulb แล้ว 24 ชั่วโมง ก็อาจอัดน้ำปูนอีกครั้งหนึ่งโดยใช้แรงดันสูงขึ้น
6. จากนั้นหากไม่ต้องการดีดอาคารก็อาจ Grout ภายในท่อจนเต็ม
7. ทำ Collar ค.ส.ล. เพื่อทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากเสาเดิมมาลงเสาเข็มใหม่ก่อนจะเชื่อมเหล็กและเทคอนกรีตขั้นสุดท้าย แต่เนื่องจากเสาเข็มนี้มีขนาดเล็กมาก ขณะรับน้ำหนักตัวท่อเองจะหดตัวเท่ากับ Elastic Shortenting ของท่อ ฉะนั้นจะต้อง Preload ให้กับเสาเข็มเพื่อให้หดตัวในปริมาณที่มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยปกติจะ Preload ด้วยแม่แรงไฮดรอลิคประมาณ 40-50% ของน้ำหนักบรรทุกที่คำนวณออกแบบไว้ให้รับ หากต้องการจะดีดอาคารขึ้นก็ทำได้ในขั้นนี้ เมื่อ Preload หรือดีดอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

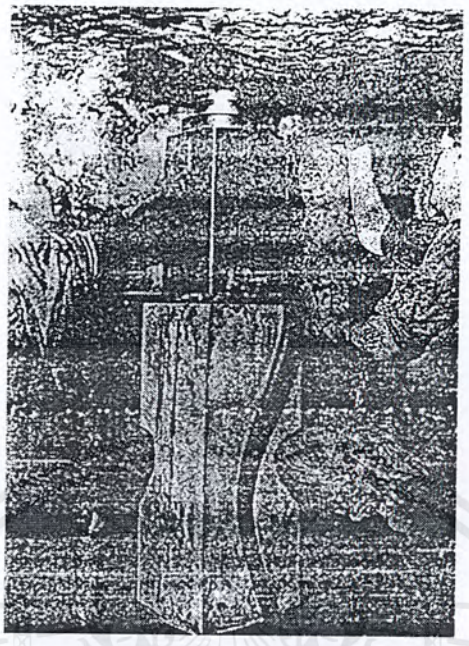
จนเป็นที่พอใจแล้วก็ล็อคหัวเสาเข็มด้วยเกลียว หากไม่ต้องการจะยกอาคารอีกในภายหลังก็ล็อคด้วยวิธีเชื่อมได้

เสาเข็มเจาะ และเสาเข็มขนาดเล็ก (Micro Pile) สามารถจะนำมาใช้เสริมฐานราก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสภาพพื้นที่ทำงาน สภาพการทรุดตัวว่าเกิดขึ้นในระดับใด หากเป็นการทรุดตัวที่ค่อนข้างมาก การเลือกใช้เสาเข็มชนิดที่เกิดแรงสั่นสะเทือนขณะทำ จะกลับเป็นตัวเร่งให้เกิดการทรุดตัวเร็วขึ้น อาคารอาจเกิดการวิบัติในขณะทำเสาเข็มได้ อีกประเด็นหนึ่งที่เป็นข้อแนะนำก็คือกรณีที่ฐานรากอาคารมีการทรุดตัวอย่างรวดเร็ว ควรเลือกใช้เสาเข็มชนิดที่สามารถค้ำยันได้ทันทีเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ หากใช้เสาเข็มที่ต้องรอให้คอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงค่อยทำค้ำยันนั้น อาจต้องใช้เวลาหลายวัน ในระหว่างเวลาที่รอการแข็งตัวของคอนกรีต อาคารที่เกิดการทรุดตัวอยู่แล้ว อาจทรุดตัวมากขึ้นเนื่องจากมีการรบกวนดินขณะทำเสาเข็ม และอาจเป็นผลให้อาคารวิบัติได้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยในการพิจารณาหลายอย่าง เช่น อัตราการทรุดตัวของอาคาร โครงสร้างยังยึดโยงกันได้ดีไม่เกิดการพังทลายโดยฉับพลัน และค่าใช้จ่ายในการเสริมฐานรากของเขาเข็มแต่ละชนิด เหล่านี้ล้วนเป็นข้อควรนำมาพิจารณาประกอบด้วย

4.10.2 ระบบเสาเข็มแบบ franki miga

สำหรับฐานรากที่รับน้ำหนักมาก ๆ จะใช้วิธีเสริมฐานรากนี้ โดยเอาแม่แรงกดเสาเข็มลงจนถึงชั้นดินที่สามารถรับน้ำหนักได้ โดยใช้น้ำหนักของฐานรากเดิม และน้ำหนักของโครงสร้างข้างบนเป็นน้ำหนักกดลงบนแม่แรง เสาเข็มแบบ Franki Miga เป็นแท่งคอนกรีตที่หล่อสำเร็จแล้วขนาดหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 300x300 มิลลิเมตร(12x12 นิ้ว) ยาว 760 มิลลิเมตร(30 นิ้ว) มีรูตรงกลางขนาด 55 มิลลิเมตร(2 นิ้ว) หลังจากขุดหลุมใต้ฐานรากแล้วก็ขุดรูที่พื้นหลุม เพื่อรับส่วนปลายแหลมของเสาเข็ม วางแม่แรงบนแท่งคอนกรีตนี้ บนแม่แรงวางแผ่นเหล็ก หรือคานช่วงสั้น เพื่อรับน้ำหนักที่แผ่กระจายใต้ฐานรากเดิม แล้วกดแท่งคอนกรีตนี้ลงไป เอาแม่แรงออก แล้วเอาแท่งคอนกรีตอีกอันหนึ่งมาวางทับแท่งเดิมอีก แล้วกดลงไปอีก รูปที่ 4.9 เอาแท่งคอนกรีตนี้มาต่อแล้วกดลงไปจนกระทั่งถึงชั้นดินที่สามารถรับน้ำหนักได้แล้ว หรือว่าเข็มสามารถรับน้ำหนักตามกำหนดได้แล้วโดยอ่านจากหน้าปัทม์ของแม่แรง แท่งคอนกรีตจะถูกเชื่อมเข้าด้วยกัน โดยการใส่เหล็กท่อนสั้นๆ ในรูตรงกลาง แล้วอุดรูด้วยซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ระบบเสาเข็มแบบ Franki Miga

เมื่อที่ว่างระหว่างหัวเข็มกับฐานราก หรือหัวเข็มกับคานรับน้ำหนักกระจายจากฐานราก มีคานเหล็กหรือเหล็กรางรถไฟท่อนสั้นๆ จึงเอาแม่แรงออกและหล่อคอนกรีตหุ้มปิดหัวเสาเข็ม

มีความจำเป็นที่จะต้องรักษาแรงกดของแม่แรงเอาไว้ จนกระทั่งการกดแท่งคอนกรีตเสร็จเรียบร้อย ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้หัวเสาเข็มเคลื่อนตัวกลับ และเกิดการทรุดตัวภายหลังจากเสาเข็มต้องรับน้ำหนักจากโครงสร้างแล้ว

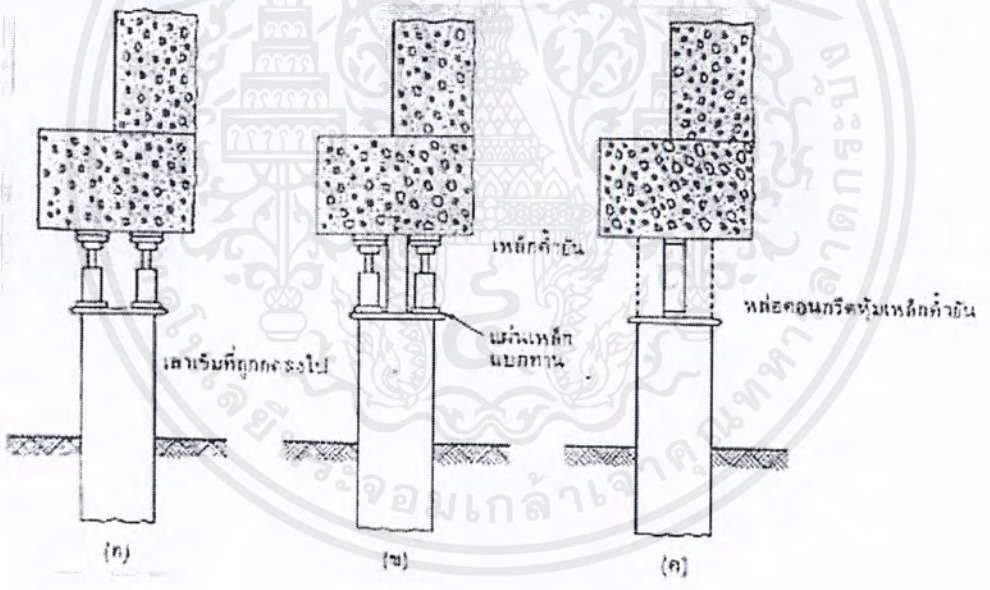
4.10.3 ระบบ Pretest

ได้รับการพัฒนาขึ้นในสหรัฐอเมริกา โดย Spencer และ White Prentis ซึ่งใช้ท่อปลายเปิดยาว 1.20 เมตร (4 ฟุต) กดลงในดินโดยน้ำหนักที่ถ่ายจากตัวฐานรากเดิม ดังในรูปที่ 4.10 (ค) ต้องขุดหลุมใต้ฐานราก ประมาณ 1.80 เมตร (6 ฟุต) เพื่อใช้ที่ว่างนี้ในการทำงาน แม่แรงที่ใช้กดท่อเหล็กมีขนาด 40 ตัน เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนแม่แรง 114 มิลลิเมตร(4 ½ นิ้ว) และช่วงชักของแม่แรง 280 มิลลิเมตร (11 นิ้ว) หลังจากที่กดท่อเหล็กลงไปในดินแต่ละท่อนก็เอาแม่แรง และแผ่นเหล็กรับน้ำหนักออก ใช้เครื่องมือเจาะเอาดินในท่อออก ควรใช้สว่านกับดินพวกดินเหนียวหรือดินทรายเปียก และใช้ Grab กับดินทรายที่อยู่ในระดับต่ำกว่าน้ำใต้ดิน เครื่องเจาะด้วยมือ ซึ่งใช้ก้านเจาะยาว 1.20 เมตร(4 ฟุต) ทำให้การเจาะทำได้ง่ายยิ่งขึ้นในการปฏิบัติงานอย่างระมัดระวัง การฉีดน้ำสามารถดันดินทรายออกจากท่อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากเอาดินในท่อแรกออกหมดแล้ว ก็เอาท่ออีกท่อหนึ่งมาต่อกับท่อนเดิมใช้แม่แรงกดลงไป แล้วก็เอาดินออกเหมือนเดิม ส่วนที่เคลื่อนที่ได้ของแม่แรงไฮดรอลิคจะหมุนเป็นเกลียว และหลังจากที่มันเคลื่อนที่ขึ้น ก็จะดึงเอาปลอก ซึ่งติดคับแน่นกับรูปทรงกระบอก ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้มันเคลื่อนตัวตกต่ำลงทันที อันเนื่องมาจากกระบอกของแม่แรงขาดแรงดันจากน้ำมันไฮดรอลิค

หลังจากเสาเข็มที่นำมาเสริมถูกกดลงจนหยั่งถึงชั้นดินที่รับน้ำหนักได้แล้วหรือตัวเสาเข็มรับน้ำหนักได้ตามต้องการ แล้วจึงนำเอาแม่แรงไฮดรอลิคสองตัวมาวางบนหัวเสาเข็มโดยมีแผ่นเหล็กรองใต้ฐานรากเดิม ตัวลูกสูบของแม่แรงจะถูกตั้งให้ถ่ายน้ำหนักลงบนเสาเข็มเป็น 1.5 เท่าของน้ำหนักใช้งาน เมื่อเสาเข็มเคลื่อนตัวลงจนหยุดแล้ว จึงนำเอาเหล็กรูป H ท่อนสั้น ซึ่งมีแผ่นเหล็กปิดที่ปลายทั้งสองข้างแล้วแทรกเข้าไประหว่างแม่แรง รูปที่ 4.10 แล้วจึงเอาแม่แรงออกมาอย่างช้าๆ และใช้วิธีเดียวกันนี้กับเสาเข็มต้นใกล้ๆ

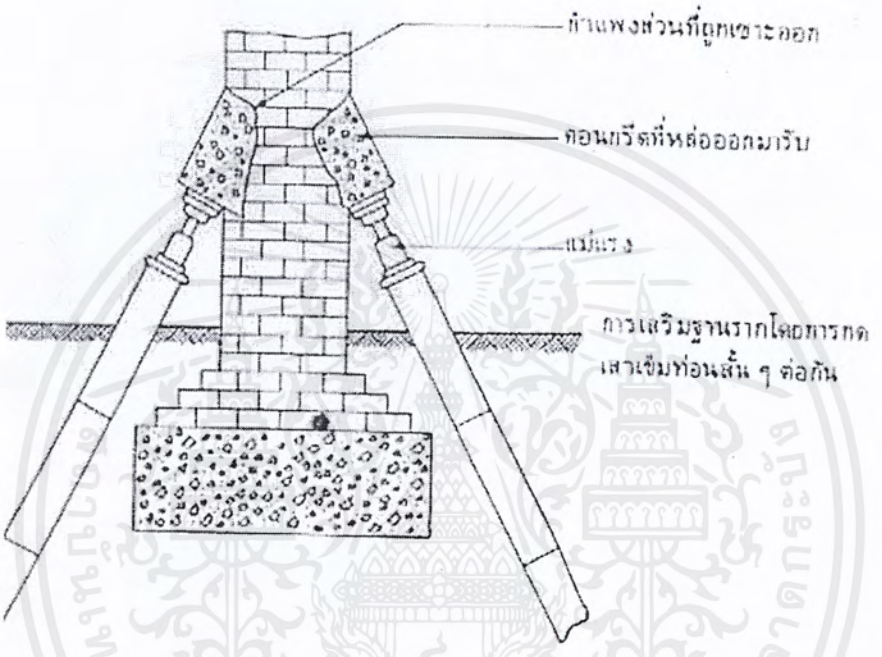


รูปที่ 4.10 การกดเสาเข็มโดยระบบ Pretest

เสาเข็มซึ่งอยู่ในแถว หรือในกลุ่มที่อยู่ห่างกันเพียงเล็กน้อย ด้วยวิธีการกดน้ำหนักเอาไว้ก่อน หรือ Pretest เช่นนี้ การใช้แม่แรงกดเสาแต่ละต้นจะมีส่วนทำให้เสาต้นใกล้เคียงที่กดน้ำหนักแล้วและค้ำตัวด้วยเหล็กรูป H แล้วผ่อนแรงลง จึงจำเป็นที่จะต้องเอาแม่แรงมากดเสาเหล่านี้อีกครั้งหนึ่ง และค้ำเหล็กใหม่ หรืออีกวิธีหนึ่งโดยจัดให้แม่แรงทุกตัวอยู่ในตำแหน่งเดิมจนกระทั่งการกดเสาต้นสุดท้ายของแถว หรือของกลุ่มเสร็จเรียบร้อยแล้ว น้ำหนักบนแม่แรงทุกตัวเท่ากันหมดแล้วจึงค้ำเหล็ก แล้วเอาแม่แรงออก การปฏิบัติชั้นสุดท้ายก็คือ หล่อคอนกรีตหุ้มเหล็กค้ำยันและหัวเสาเข็มรอบใต้ฐานที่มีอยู่เดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกดเสาเข็มโดยวิธี Franki 'Miga' System และ Pretest System จะต้องระมัดระวังยึดเหนี่ยวฐานรากเดิม หรือแถวของแม่แรงและเหล็กค้ำยันมิให้มีการเคลื่อนตัวในแนวราบอันเนื่องมาจากแรงดัดด้านข้าง หรือแรงผิดศูนย์ ซึ่งทำได้โดยใช้ค้ำยันยึดติดกับโครงส่วนบน หรือค้ำยันฐานรากเดิมกับผนังของหลุม หรือค้ำยันระหว่างแม่แรงกับหัวเสาเข็ม



รูปที่ 4.11 รูปกำแพงของโครงสร้างที่จะเสริมฐานรากใช้เป็นตัวถ่ายน้ำหนักบนแม่แรงโดยหล่อคอนกรีตออกมารับกับส่วนของแม่แรง

เสาหรือกำแพงของโครงสร้างที่จะเสริมฐานรากอาจใช้เป็นตัวถ่ายน้ำหนักบนแม่แรงได้ถ้าหากมีความมั่นคงพอ ในรูปที่ 4.11 กำแพงถูกเซาะออกและหล่อคอนกรีตออกมารับกับส่วนของแม่แรง จำเป็นต้องใช้แม่แรงสองตัว เพื่อไม่ให้เกิดแรงกระทำบนโครงสร้างเดิม

4.11 วิธีการยกอาคาร

อาคารที่เกิดการทรุดเอียง นอกจากจะต้องเสริมฐานรากเพื่อหยุดการทรุดตัวของอาคารแล้ว อาจจำเป็นต้องยกอาคารปรับระดับให้อยู่ในแนวราบใหม่โดยเฉพาะอาคารที่เกิดการทรุดเอียงมากๆ เพราะแม้ว่าจะหยุดการทรุดตัวได้แล้วก็อาจไม่สะดวกในการใช้สอย ความลาดเอียงของพื้นภายในทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้พักอาศัยเดินไปเดินมาได้ลำบาก การยกอาคารเพื่อปรับระดับจึงเป็นสิ่งจำเป็น วิธีการยกอาคารพอจะกล่าวเป็นหลักการคร่าวๆ ได้ดังนี้

- เสริมฐานรากด้วยเสาเข็มใหม่เพื่อหยุดการทรุดตัวของอาคารตามวิธีการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว
- สำหรับอาคารที่ต้องการยกนั้นจะต้องเสริมเสาเข็มที่ฐานรากทุกฐาน แม้ว่าบางฐานจะไม่ทรุดตัวก็ตาม ทั้งนี้เป็นเพราะการยกอาคารจะต้องตัดฐานรากหรือตอม่อให้ขาดจากเสาเข็ม เพื่อไม่ให้เกิดการดึงรั้งที่เสาใดเสาหนึ่งขณะยกอาคาร
- เมื่อเสริมเสาเข็มแล้วเสร็จทำฐานรากใหม่วางบนหัวเสาเข็มที่เสริม
- ทำค้ำยันที่เสาอาคารเพื่อถ่ายน้ำหนักลงฐานรากใหม่
- สกัดเสาหรือตอม่อให้ขาดจากกัน
- นำแม่แรงไฮโดรลิกที่รับน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 2 เท่าของน้ำหนักที่ลงฐานรากนั้นๆ มาสอดใต้เสาหรือตอม่อที่สกัดนั้น
- ทำดังที่กล่าวแล้วนี้ทุกฐาน
- เมื่อตัดเสาหรือตอม่อและวางแม่แรงครบทุกเขาแล้ว จะเริ่มทำการยกอาคาร โดยต้องควบคุมให้มีการยกในลักษณะที่สัมพันธ์กัน เพื่อไม่ให้เกิดการดึงรั้งภายในโครงสร้างจนเกิดการแตกร้าว
- โดยทั่วไปจะทำให้ด้านที่สูงกว่าลดต่ำลงก่อนจนใกล้เคียงกับด้านต่ำจึงจะเริ่มยกด้านต่ำเพื่อปรับระดับหรือยกให้สูงขึ้นจนได้ระดับที่ต้องการ

การยกอาคารนั้นควรมีเครื่องมือตรวจวัดค่าระดับการยกของเสาทุกต้น ซึ่งอาจใช้กล้องระดับหรือเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น Displacement Transducer และ Data Logger ช่วยในการตรวจวัดด้วย จะเป็นการดีมากเพราะจะทำให้ทราบความเคลื่อนไหวของอาคารขณะยกได้ตลอดเวลา

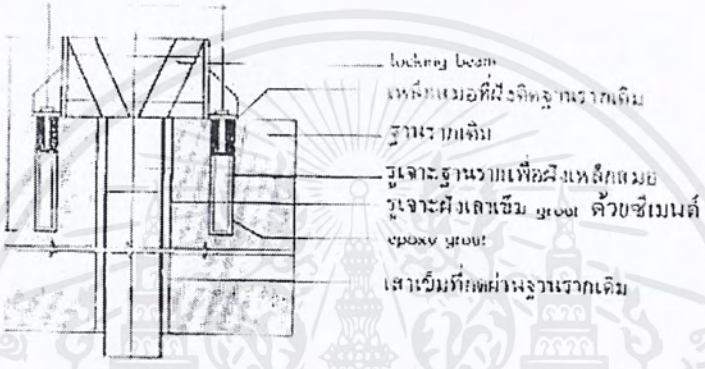
4.12 การยึดเสาเข็มใหม่กับฐานรากเดิม

วิธีการที่จะยึดเสาเข็มใหม่เข้ากับฐานรากเดิมเพื่อให้เสาเข็มใหม่รับน้ำหนัก หรือร่วมรับน้ำหนักด้วยนั้น กระทำได้หลายวิธีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12.1 การยึดโดยใช้ Epoxy ยึดกับฐานคอนกรีตเดิม

วิธีการก็คือใช้ Locking Beam ซึ่งอาจจะเป็นคานเหล็กหรือคอนกรีตเสริมเหล็ก วางบนหัวเสาเข็มที่ทำใหม่ แล้วยึดติดกับฐานรากเดิม โดยใช้เหล็กแรงดึงสูงที่ฝังติดกับฐานรากเดิม และ Grout ด้วย Epoxy เป็นตัวยึด ลักษณะนี้น้ำหนักตัวอาคารจะถูกถ่ายลงสู่เข็มใหม่โดย Locking Beam และเหล็กที่ฝังติดกับฐานรากเดิมจะเป็นตัวรับแรงดึง ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.12 และ 4.13



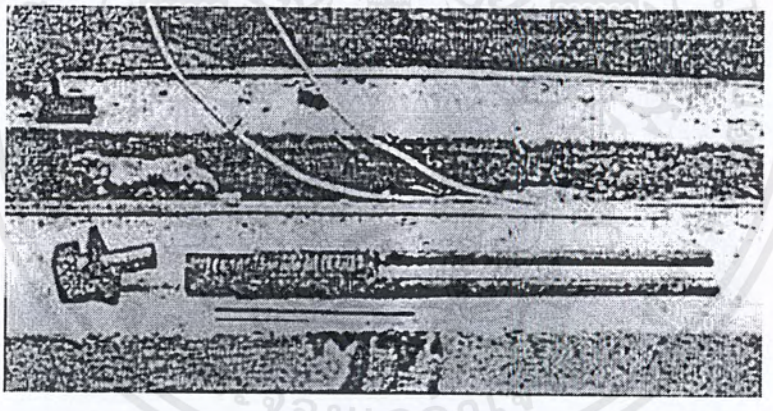
รูปที่ 4.12 การยึดโดยใช้ Epoxy ยึดกับฐานคอนกรีตเดิม

รูปที่ 4.13 Locking Beam

โดยปกติแล้ว Epoxy สามารถรับน้ำหนักได้ดีกว่าคอนกรีตหลายเท่าตัว ทั้งในด้านแรงอัด แรงดึงหรือแรงยึดเหนี่ยว ข้อควรระวังของการใช้ Epoxy คือส่วนมากจะไม่สามารถใช้ได้ดีในที่มีความชื้นสูงหรือที่มีน้ำ ฉะนั้นการใช้ควรมีการตรวจสอบลักษณะการใช้งานอย่างละเอียด โดยเฉพาะที่ผิวของคอนกรีตเดิมจะแห้งสนิทและสะอาดไม่ควรมีความชื้นหรือเปียกอยู่ขณะที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 รูที่เจาะในฐานรากเดิม



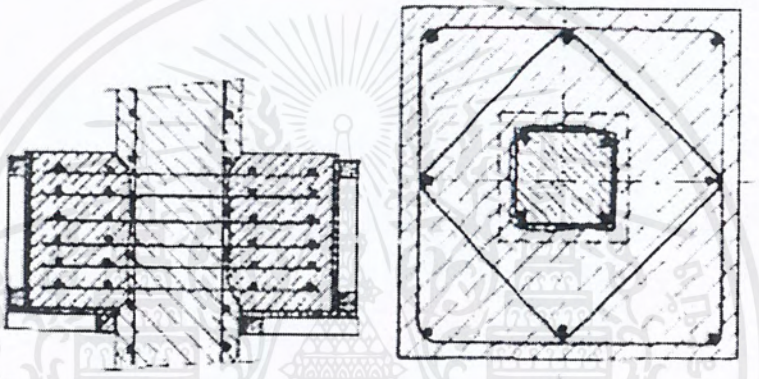
รูปที่ 4.15 เหล็กแรงดึงสูงที่ฝังแล้ว Grout ด้วย Epoxy

รูปที่ 4.14 แสดงถึงรูที่เจาะในฐานรากเดิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ลึก 75 เซนติเมตร เพื่อฝังเหล็กแรงดึงสูง (รูปที่ 4.15) หลังจากนั้นก็จะ Grout ด้วย Epoxy การทดสอบแรงดึงของเหล็กแรงดึงสูงในที่ทดสอบด้วยน้ำหนัก 100 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12.2 การยึดโดยใช้แรงยึดเหนี่ยวของเสาตอม่อ (Holding by Reinforced Concrete Collar)

วิธีนี้จะทำได้ประหยัดต่อเมื่อการเสริมเสาเข็มในฐานเดิมอยู่ใกล้ ๆ เสาตอม่อและฐานรากเดิมของอาคารไม่ค่อยจะแข็งแรงนัก อาคารเดิมสูง 3-4 ชั้น การทำ Concrete Collar จะเพิ่มความสามารถในการรับแรงเฉือนให้ฐานรากเดิมด้วย ส่วนแรงโมเมนต์ดัดจะน้อยเพราะอยู่ประชิดตอม่อฐานรากเดิม ดังนั้นจึงใช้ฐานรากเดิมร่วมกับ Collar ใหม่ไปเลย ไม่จำเป็นจะต้องเพิ่มเหล็กรับแรงดัด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.16

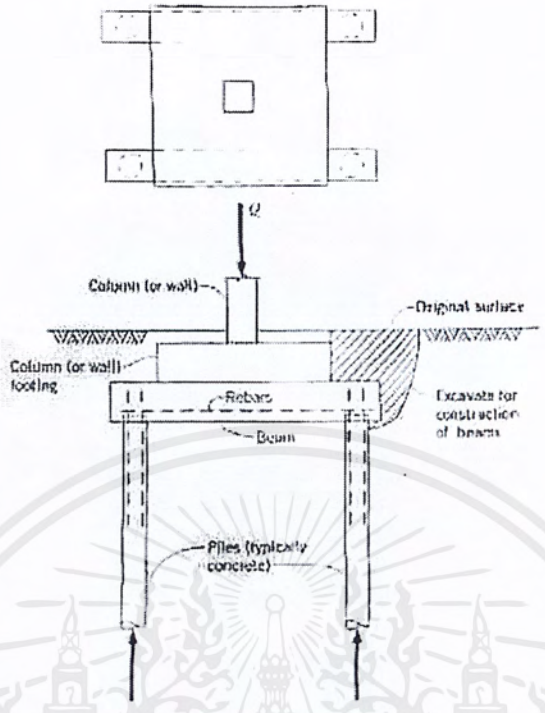


รูปที่ 4.16 การทำ collar

4.12.3 การเสริมฐานรากโดยใช้การหามใต้ฐานรากเดิม

วิธีนี้ทำนอกฐานรากอาคารเดิม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.17 ค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของคานหามจะต้องได้รับการออกแบบอย่างดี และค่าจะสูงกว่าวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งสองวิธีแรก การขุดดินใต้ฐานรากเดิมจะต้องทำค้ำยันให้ดีเสียก่อน เพราะการขุดดินเพื่อทำคานหามจะเป็นการลดความปลอดภัยของฐานรากอาคารเดิมเป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

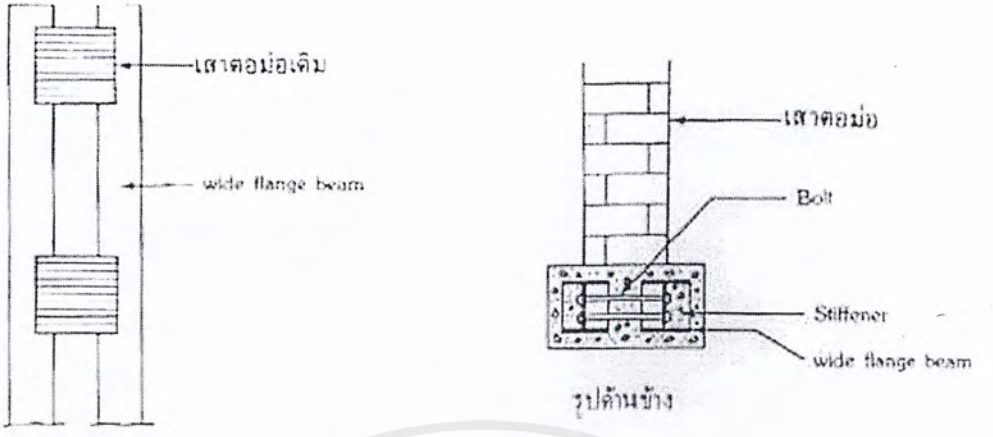


รูปที่ 4.17 การเสริมฐานรากโดยใช้การหามใต้ฐานรากเดิม

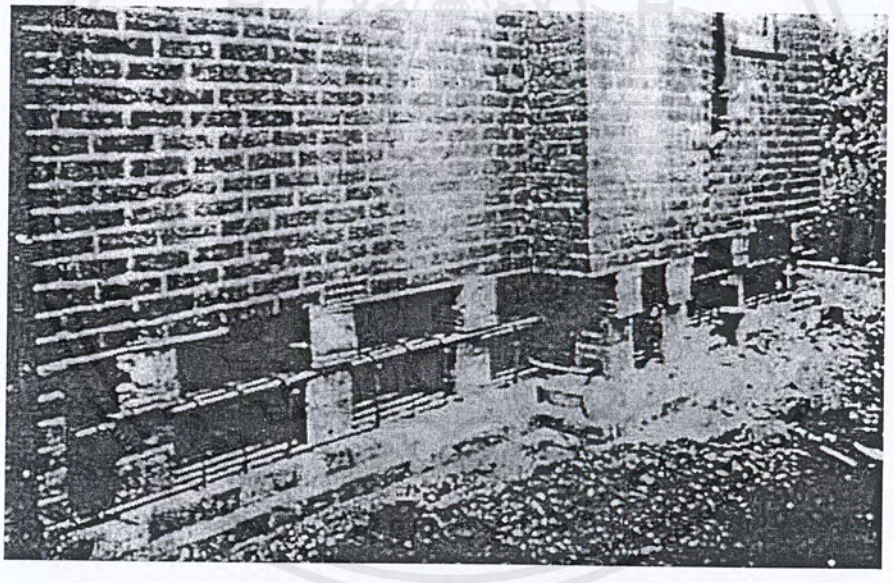
4.12.4 การเสริมฐานรากโดยใช้ระบบ Grillage

การเสริมฐานรากระบบนี้มักจะใช้แทนระบบเสาค้ำยันหรือแบบคานสอดใต้ฐานเดิม ระบบนี้เป็นการเสริมความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานรากเดิมโดยใช้เหล็กและคอนกรีตควบคู่กันไป และในการรับน้ำหนักมากๆจะให้ความมั่นคงมากกว่าการทำเสาค้ำยันหรือใช้คานหาม ระบบ Grillage นี้กระทำได้หลายวิธี ตั้งแต่การเสริมฐานรากเดิมให้มีความสามารถในการรับน้ำหนักมากขึ้น (ลักษณะคล้ายกับวิธีทำ Reinforced Concrete Collar) ไปจนถึงการยึดตอม่อฐานรากเดิมหลายๆตัวเข้าด้วยกัน โดยใช้คานเหล็กรูปตัว I หรือเหล็กรูปพรรณอื่นเป็นตัวยึดแล้วเทคอนกรีตหุ้มเหล็กให้เชื่อมติดกับฐานรากเดิม ดังรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 การเสริมฐานรากโดยใช้ระบบ Grillage สำหรับยึดตอม่อหลายตัวเข้าด้วยกัน



รูปที่ 4.19 ตัวอย่างการเสริมฐานรากโดยใช้ระบบ Grillage ในอาคารจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การตรวจสอบ และทดสอบสภาพอาคาร ภายหลังการแก้ไขการทรุดตัว

ภายหลังเสริมฐานรากและโครงสร้างเป็นที่เรียบร้อยแล้วควรตรวจสอบการทรุดตัวและความแข็งแรงของโครงสร้างเพื่อให้เกิดความมั่นใจอีกระดับหนึ่งก่อนใช้งานอาคาร การตรวจสอบอาคารหลักๆ ที่สำคัญๆ ประกอบด้วย

1. การสำรวจค่าการทรุดตัวหลังการเสริมฐานราก (Settlement Survey)
2. ตรวจสอบกำลังและคุณภาพของคอนกรีตโครงสร้าง (Strength and Quality of Concrete)
3. ทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง (Building Load Test)
4. สำรวจค่าการทรุดตัวหลังการเสริมฐานราก (Settlement Survey)

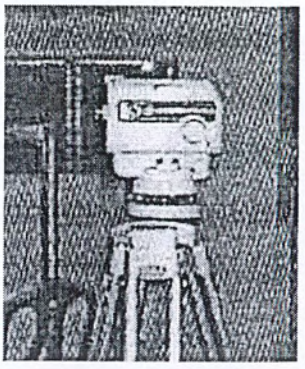
5.1 การสำรวจค่าการทรุดตัวหลังการเสริมฐานราก (Settlement Survey)

การสำรวจค่าการทรุดตัวของอาคารในงานแก้ไขอาคารทรุดนั้นเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพราะจะทำให้ทราบความเคลื่อนไหวของอาคารตลอดเวลา ดังนั้นการสำรวจเพื่อวัดค่าการทรุดตัว ควรกระทำทั้งก่อนเสริมฐานราก ขณะเสริมฐานรากและภายหลังการเสริมฐานราก

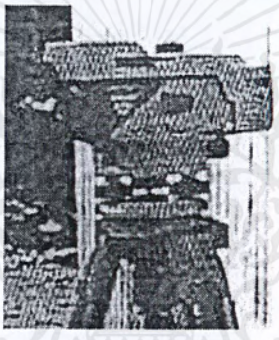
โดยทั่วไปการสำรวจค่าการทรุดตัว จะใช้กล้องระดับธรรมดาควบคู่กับไม้บรรทัด หรือไม้ระดับ แต่ผู้เขียนขอแนะนำกล้องระดับ 2 แบบ ได้แก่

1. กล้องระดับแบบ Tilting Laser Leveling Scope (รูปที่ 5.1) จะมีค่าความละเอียดอยู่ที่ 0.10 มิลลิเมตร เหมาะกับงานในที่มืดหรือแสงสว่างไม่เพียงพอ
2. กล้องระดับธรรมดาที่ติด Parallel Plate (รูปที่ 5.2) ที่อ่านความละเอียดได้ถึง 0.01 มิลลิเมตร ซึ่งกล้องชนิดนี้จะช่วยลดระยะเวลาในการสำรวจให้ลดลงอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 กล้องระดับแบบ Tilting Laser Leveling Scope



รูปที่ 5.2 กล้องระดับธรรมดาที่ติด Parallel Plate

ข้อแนะนำ

1. ภายหลังเสริมฐานรากแล้วควรค่าการทรุดตัวเป็นระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 6 เดือน สำรวจอย่างน้อยเดือนละ 1-2 ครั้ง เพราะโดยทั่วไปอาคารที่ทรุดตัวจะเกิดการแตกร้าวภายใน 6 เดือน
2. ภายหลังฤดูฝนประมาณ 2-3 เดือน เป็นระยะเวลาที่ควรสำรวจค่าการทรุดตัวของอาคาร เพราะในช่วงฤดูฝนนั้นน้ำในช่องว่างของดินมีมาก แต่ภายหลังหน้าฝนน้ำในช่องว่างไหลออกไป ระดับน้ำในดินลดต่ำลงและเม็ดดินจะจัดเรียงตัวกันใหม่ ดินช่วงบนเกิดการยุบตัวลง เป็นเหตุให้อาคารที่วางบนเสาเข็มสั้นทรุดตัวตามลงด้วย ดังนั้นเมื่อทำการแก้ไขอาคารแล้วควรตรวจสอบการทรุดตัวในระยะเวลาดังกล่าวด้วย

5.2 ตรวจสอบกำลังและคุณภาพของคอนกรีตโครงสร้าง (Strength and Quality of Concrete)

การตรวจสอบกำลังและคุณภาพคอนกรีตโครงสร้างสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทดสอบแบบทำลาย (Destructive Test) ได้แก่ Core Testing
2. การทดสอบแบบกึ่งทำลาย (Semi-destructive Test) ได้แก่ Penetration Resistance, Pull-out Test, Pull-off Test เป็นต้น
3. การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Test) ได้แก่ Rebound Hammer, Ultrasonic Pulse Velocity. Carbonation Depth Testing ,Seismic Testing เป็นต้น

แต่จะขอเน้นเพียง 4 ทดสอบเท่านั้น ซึ่งได้แก่ Core Testing, Rebound Hammer Ultrasonic Pulse Velocity และ Seismic Testing

5.2.1 Core Testing

Core Testing เป็นการทดสอบเจาะแก่นคอนกรีตในโครงสร้าง ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอก (Cylinder) มาเป็นตัวอย่างในการทดสอบกำลังของคอนกรีต (Strength of Concrete) ในห้องปฏิบัติการ การทดสอบ Core Testing ส่วนใหญ่จะใช้ควบคู่กับเครื่อง Covermeter หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งคือ Pachometer ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้หาขนาดและตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต เพราะในการเจาะแก่นคอนกรีตเพื่อเก็บตัวอย่างจะต้องเจาะไม่ให้โดนเหล็กเสริม เพราะมีผลให้กำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างที่จุดๆนั้นลดลง และถ้าตัวอย่างที่ได้มีเหล็กเสริมอยู่ในตัวอย่าง เมื่อนำไปทดสอบกำลังของคอนกรีตจะมีผลทำให้ค่ากำลังคอนกรีตที่ได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง

โดยทั่วไปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง Coring จะมีขนาด 10 เซนติเมตร หรือ 15 เซนติเมตร แต่ในบางครั้งก็ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 5 เซนติเมตร ในกรณีที่มีเหล็กเสริมหนาแน่นมาก หรือมีระยะห่างระหว่างเหล็กไม่เพียงพอ ซึ่งจากการวิจัยของ Yip W.K. และ Tam C.T. ในปี 1988 พบว่าค่ากำลังคอนกรีตต่อพื้นที่หน้าตัดที่ได้จากตัวอย่างขนาด 5, 10 และ 15 เซนติเมตร นั้นมีค่าเท่ากัน

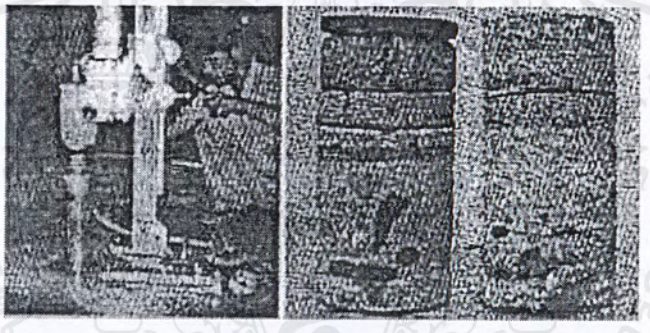
ส่วนความยาวของตัวอย่าง Coring นั้นควรให้อยู่ในช่วง 1-2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง แต่โดยทั่วไปนิยมให้อยู่ในช่วง 1.00-1.20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ตามมาตรฐาน ASTM C-42 ได้กำหนดไว้ว่าความยาวของตัวอย่าง Coring ที่นำมาทดสอบต้องอยู่ในช่วง 1.0-2.1 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งถ้าความยาวของตัวอย่าง Coring รวมหัว Cap อยู่ในช่วง 1.94-2.10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ค่ากำลังคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบนั้นไม่ต้องทำการปรับแก้ แต่ถ้าความยาวของตัวอย่าง Coring รวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัว Cap อยู่ในช่วง 1.00-1.93 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ค่ากำลังคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบนั้นต้องทำการปรับแก้ตามตาราง

ตารางที่ 5.1 การปรับแก้ค่ากำลังคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ
(ธเนศ วีระศิริ และ นพดล ปัญญาวุธตระกูล,2543)

อัตราส่วน Length/Diameter	ค่าปรับแก้ของกำลังคอนกรีต
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.0	0.87



รูปที่ 5.3 การทำ coring คอนกรีต

5.2.2 The Rebound Hammer

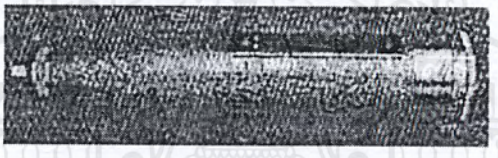
Rebound Hammer เป็นเครื่องมือทดสอบกำลังคอนกรีตแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Test) ที่เก่าแก่ที่สุดชนิดหนึ่ง คิดค้นโดย Mr.Ernst Schmidt ในช่วงปี ค.ศ.1940-1949 เครื่องมือ Rebound Hammer นี้มีขนาดเล็กขนย้ายได้ง่าย ทดสอบได้สะดวก ทราบผลได้ทันทีและสามารถทดสอบตัวอย่างได้เป็นจำนวนมาก

หลักการทำงานของเครื่องมือชนิดนี้ จะใช้ก้านของ Rebound Hammer กดลงตรงตำแหน่งของคอนกรีตที่ต้องการทดสอบก้านของ Rebound Hammer จะดันมวลน้ำหนักภายในให้เลื่อนเข้าและสปริงที่ติดกับมวลน้ำหนักยืดออกไปจนถึงระยะหนึ่ง ก้านของ Rebound Hammer จะถูกล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมวลน้ำหนักจะถูกปล่อยอิสระ สปริงที่ถูกยืดออกจะคืนตัวดึงให้มวลน้ำหนักอัดก้านของ Rebound Hammer เข้ากับคอนกรีต แรงที่สะท้อนกลับจากคอนกรีตจะดันสปริงและมวลน้ำหนักให้เคลื่อนไปกับ Slide Scale โดยระยะที่ Slide Scale เคลื่อนกลับจะเป็นค่า Rebound Hammer ซึ่งค่า Rebound Hammer มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกำลังคอนกรีตที่มีอยู่ หากคอนกรีตต้านแรงกดไม่ไหว คอนกรีตจะยุบเป็นรอยบุ๋ม และค่าที่อ่านได้จะน้อย แสดงว่ากำลังคอนกรีตต่ำ และในทางกลับกันหากคอนกรีตมีกำลังสูง แรงที่สะท้อนกลับจะมาก และค่าที่อ่านได้จะมีค่าสูง

ตามมาตรฐาน ASTM C-805 ได้บ่งบอกไว้ว่าการทดสอบคอนกรีตโดยใช้ Rebound Hammer นั้นเพื่อใช้หาความสม่ำเสมอของคอนกรีต (Uniformity) และคุณภาพของคอนกรีต (Quality) ที่บริเวณผิวหน้า (Surface) ของคอนกรีต ส่วนค่ากำลังของคอนกรีต (Strength) นั้นเป็นผลพลอยได้เท่านั้น ซึ่งค่ากำลังที่ได้อาจจะมีความคลาดเคลื่อนสูง



รูปที่ 5.4 The Rebound Hammer

5.2.2.1 วิธีการทดสอบ

1. กำหนดตำแหน่งที่จะทดสอบโดยกำหนดไว้ในแบบแปลน โดยการเลือกสุ่มตัวอย่าง
2. Calibration เครื่องมือ Rebound Hammer กับแท่นมาตรฐาน (รูปที่ 5.4) และบันทึกค่าปรับแก้
3. สกัดปูนฉาบออก จนถึงเนื้อคอนกรีตที่ดี ให้มีขนาดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 15 เซนติเมตร
4. ขัดผิวที่ต้องการทดสอบให้เรียบด้วยเครื่องเจียรคอนกรีตไฟฟ้า (ถ้าผิวโค้งนูน หรือผิวเว้าจะมีผลต่อ Rebound ของ Rebound Hammer เนื่องจากผิวที่โค้งนูนจะทำให้ค่าที่อ่านได้ต่ำกว่าค่าความเป็นจริง ส่วนผิวที่เว้าจะทำให้ค่าที่อ่านได้สูงกว่าค่าความเป็นจริง)
5. จัดแบ่งพื้นที่ตัวอย่างทดสอบให้มีตำแหน่งการยิง 10 ตำแหน่ง และแต่ละตำแหน่งห่างกันอย่างน้อย 2.5 เซนติเมตร
6. ทำการกด Rebound Hammer ในทิศทางที่ตั้งฉากกับผิวตัวอย่าง พร้อมบันทึกค่า Rebound Number และทิศทางการกด ซึ่งมีด้วยกัน 3 ทิศทาง ได้แก่ กดในแนวนอน แนวตั้งแบบยิงขึ้นหรือแนวตั้งแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยิงลง เนื่องจากแต่ละทิศทางจะใช้กราฟในการปรับค่า Rebound Number เป็นค่า Strength of Concrete ที่แตกต่างกัน

7. นำค่า Rebound Number ที่ได้ทั้งหมด 10 ค่า มาหาค่าเฉลี่ย โดยค่าเฉลี่ยที่ได้ต้องแตกต่างจากค่า Rebound Number ทั้ง 10 ไม่เกิน 7 หน่วย ถ้ามีค่าใดๆแตกต่างเกิน 7 หน่วย ให้ตัดค่านั้นออก แล้วนำค่าที่เหลือมาเฉลี่ยใหม่ และถ้ามีค่า Rebound Number ทั้ง 10 แตกต่างจากค่าเฉลี่ยเกิน 7 หน่วย มากกว่า 2 ค่า ให้ยกเลิกข้อมูลทดสอบชุดนั้น
8. นำค่าเฉลี่ยของ Rebound Number ที่ตรวจสอบแล้วมาหาค่า Strength of Concrete จากกราฟที่ใช้ในการปรับค่าและคูณด้วยตัว Factor Calibration ของเครื่องมือ

5.2.3 Ultrasonic Pulse Velocity Test

การตรวจสอบคอนกรีตด้วย Ultrasonic Pulse Velocity Test ด้วยเครื่องมือ PUNDIT (Portable Ultrasonic Non Destructive Integrity Test) นี้ ตามมาตรฐาน ASTM C-597 และ BS 1881; part 203 นั้นได้ระบุไว้ว่า Ultrasonic Pulse Velocity Test ไม่ได้ใช้หาค่ากำลังของคอนกรีต (Strength) หรือค่า Elastic Modulus โดยตรง แต่ใช้ในการหาความต่อเนื่องของคอนกรีต ความเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของคอนกรีต เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ทำนายระยะความเสียหายที่ผิวของคอนกรีตและความลึกของรอยร้าว

หลักการทำงานของเครื่อง PUNDIT มีดังนี้ คือ คลื่น Ultrasonic จะถูกกำเนิดขึ้นจาก Pulse Generator ส่งจากตัวส่งสัญญาณ (Transmitted Transducer) ผ่านเนื้อคอนกรีตไปสู่ตัวรับสัญญาณ (Receiving Transducer) เครื่องจะแปลงสัญญาณที่ได้รับออกมาเป็นเวลาในการเดินทางผ่านเนื้อคอนกรีต หน่วยเป็น Micro seconds และเมื่อเราทราบระยะทางที่คลื่นวิ่งผ่านก็จะสามารถแปลงค่ามาเป็นความเร็วของคลื่นได้

ในบางครั้งค่าเวลาที่ได้จากการทดสอบนั้น ต้องนำมาทำการปรับแก้อันเนื่องมาจาก Factor ในการทดสอบบางตัว ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ คลื่นวิ่งผ่านเหล็กเสริม ชนิดของปูนซีเมนต์ ชนิดของมวลรวม ค่าความชื้นในคอนกรีต ความเรียบของผิว เป็นต้น

5.2.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่อง PUNDIT Test (Portable Ultrasonic Non Destructive Integrity Tester)
2. เครื่อง Pachometer ใช้หาระยะของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กและตำแหน่งเหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3.2 วิธีการทดสอบ

1. กำหนดตำแหน่งที่จะทดสอบโดยกำหนดไว้ในแบบแปลน โดยการสุ่มตัวอย่าง
2. สกัดปูนฉาบออกจนถึงเนื้อคอนกรีตที่ดี ขัดผิวที่ต้องการทดสอบให้เรียบด้วยเครื่องเจียรคอนกรีตไฟฟ้า แล้วกำหนดจำนวน 2 จุด ที่จะติดตั้ง หัวสัมผัสส่งสัญญาณ (Transmitting Transducer) และหัวสัมผัสรับสัญญาณ (Receiving Transducer)
3. นำเครื่อง Pachometer มาหาค่าระยะของคอนกรีตที่หุ้มเหล็ก และตำแหน่งเหล็กเสริมที่จุดทั้ง 2 จุด บันทึกค่าในตารางการทดสอบ
4. Calibration เครื่อง PUNDIT Test ตามคู่มือ Calibration
5. ทาจาระบีหรือ Conductivity Gel Echotrace 900 ป้ายทาระหว่างหัวสัมผัสส่งสัญญาณ-หัวสัมผัสสัญญาณกับผิวคอนกรีต
6. เริ่มทดสอบโดยส่งคลื่นอุลตราโซนิคจากหัวสัมผัสส่งสัญญาณ ผ่านเนื้อคอนกรีตไปยังหัวสัมผัสสัญญาณ อ่านค่าระยะเวลาที่คลื่นผ่าน (Transit Time: T) จำนวน 5 ครั้ง แล้วจดบันทึกค่าลงในตาราง พร้อมวัดค่าระยะทางที่คลื่นส่งผ่าน (Path Length: L) อย่างละเอียด และวิธีการทดสอบซึ่งมีด้วยกัน 3 แบบ ได้แก่ Direct Method, Semi-Direct Method และ Indirect Method
7. คำนวณหาค่าความเร็วของคลื่น (Longitudinal Pulse Velocity;:V)
8. ทำการปรับแก้ค่าความเร็วของคลื่น (Longitudinal Pulse Velocity; V) จากองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลกับความเร็วของคลื่น เช่น ความราบเรียบของผิวคอนกรีต อุณหภูมิและความชื้นของคอนกรีต ปริมาณเหล็กเสริม และความเป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีต เป็นต้น
9. นำค่าความเร็วของคลื่น (Longitudinal Pulse Velocity: V) ที่ปรับแก้แล้วมาเปรียบเทียบหาคุณภาพของคอนกรีตและหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยประมาณ ซึ่งได้จากการวิจัยของสถาบันการศึกษาต่างๆ

มาตรฐาน BS 1881: part 203 ได้ระบุวิธีการไว้ในการใช้ Ultrasonic Pulse Velocity Test หากำลังของคอนกรีต โครงสร้างนั้นสามารถหาได้แต่ต้องสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Ultrasonic Pulse Velocity Test กับกำลังคอนกรีตจากการสุ่มตัวอย่าง Core Testing ขึ้นมา แล้วใช้กราฟความสัมพันธ์นี้ในการหาค่ากำลังคอนกรีตของโครงสร้างอื่นๆจากการทดสอบ Ultrasonic Pulse Velocity Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 Seismic Test or Pile Integrity Test

เป็นวิธีการทดสอบความต่อเนื่องของเสาเข็มทดสอบเพื่อให้ทราบถึง

1. ความยาวของเสาเข็ม
2. การเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดของเสาเข็ม
3. ความไม่ต่อเนื่องของเสาเข็ม

ข้อจำกัดของการทดสอบความต่อเนื่องของเสาเข็ม

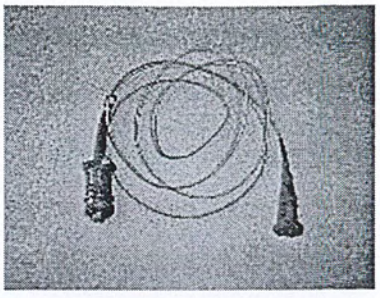
1. การทดสอบเสาเข็มโดยวิธีนี้เป็นการทดสอบทางกายภาพเท่านั้น
2. ไม่สามารถระบุถึงความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้
3. การทดสอบโดยวิธีนี้จะตรวจพบรอยแตกร้าวขนาดใหญ่ๆเท่านั้น
4. รอยแตกร้าวขนาดเล็กจะไม่สามารถตรวจพบได้
5. การทดสอบโดยวิธีนี้ไม่สามารถใช้ได้กับเสาเข็มเหล็ก
6. การทดสอบนี้ไม่สามารถทดสอบกับวัสดุที่มีความลึกน้อย หรือมีลักษณะเป็นแผ่นหนาได้
7. ยากที่จะระบุความยาวของเสาเข็มที่แน่นอนได้ เนื่องจากเสาเข็มมีความยาวมากกว่า 20.00 เมตร หรือดินบริเวณรอบเสาเข็มมีค่าแรงเสียดทานรอบผิวเข็มสูง
8. การทดสอบโดยวิธีนี้ไม่สามารถระบุถึงการแตกหักบริเวณปลายเสาเข็มได้

Seismic Test เป็นการทดสอบเสาเข็มโดยการตรวจจับคลื่นเสียงที่เกิดจากการเคาะค้อนลงไปที่หัวเสาเข็มจะเดินทางไปตามความยาวของเข็ม และจะสะท้อนกลับขึ้นมาจากปลายเสาเข็ม บางส่วนเมื่อเดินทางลงไปตามความยาวเสาเข็มแล้วพบความเปลี่ยนแปลงของขนาดหน้าตัด การแตกหักหรือการเปลี่ยนแปลงของวัสดุ ก็จะสะท้อนกลับขึ้นมา คลื่นที่สะท้อนกลับขึ้นมาจากความผิดปกติของเสาเข็มทดสอบและดิน จะถูกตรวจจับด้วยอุปกรณ์อ่านค่าที่เหมาะสม

5.2.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบไปด้วย

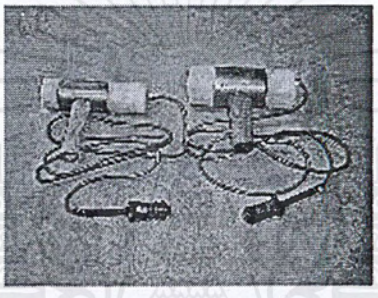
1. ตัวรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



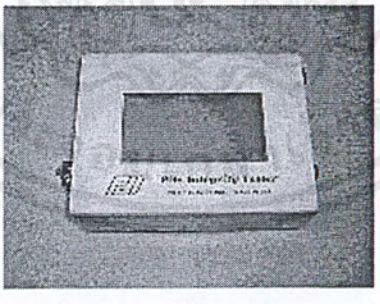
รูปที่5.5 ตัวรับสัญญาณ

2. ฆ้อน



รูปที่ 5.6 ฆ้อน

3. เครื่องเก็บข้อมูล



รูปที่ 5.7 เครื่องเก็บข้อมูล

5.2.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมสภาพหัวเสาเข็มที่จะทำการทดสอบ สภาพหัวเสาเข็มที่ทำการทดสอบต้องสะอาด และต้องเป็นคอนกรีตที่มีสภาพดี (การทดสอบความต่อเนื่องของเสาเข็มเจาะควรทิ้งระยะเวลาหลังจากเทคอนกรีตแล้วไม่น้อยกว่า 14 วัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สอบถามประวัติการทำเสาเข็ม หรือขอบันทึกการทำเสาเข็ม
   2.1 ขนาดหน้าตัดของเสาเข็ม
   2.2 ลักษณะชั้นดิน(Soil Boring) ถ้ามี
   2.3 การลงเหล็กเสริมในเสาเข็ม
   2.4 การลงปอกเหล็กกันดินพัง
   2.5 ปัญหาในระหว่างการทำเสาเข็ม เช่น ทำเสาเข็มเจาะระบบแห้ง แต่เจาะเจอชั้นทรายที่มีน้ำแล้วเทคอนกรีต
   2.6 ความยาวเสาเข็มที่ทำการเจาะ ระดับหัวเสาเข็ม
   2.7 สังเกตบริเวณหน้างานว่า ใช้อะไรในการเปิดหน้าดิน ตัดหัวเสาเข็มด้วยวิธีอะไร เกิดการพังทลาย ของชั้นดินหรือไม่
3. ติดตั้งตัวรับสัญญาณบริเวณกึ่งกลางหัวเสาเข็ม
4. ใช้ค้อนเคาะลงบนหัวเสาเข็มบริเวณใกล้ตัวรับสัญญาณ(การวิเคราะห์กราฟของเสาเข็มแต่ละต้นจะได้จากค่าเฉลี่ยที่ทำการเคาะค้อนลงบนหัวเสาเข็ม ซึ่งจำนวนครั้งที่เคาะน้อยที่สุดต่อเสาเข็ม 1 ต้น ไม่ควรน้อยกว่า 3 ครั้ง)

รูปที่ 5.8 การเคาะสัญญาณ

5. จัดเก็บข้อมูลโดยเครื่องบันทึกข้อมูล (การจัดเก็บข้อมูลของเสาเข็มแต่ละต้นควรทำการจัดเก็บไม่น้อยกว่า 2 ครั้ง)

5.2.4.3 การพิจารณาการแก้ไขข้อมูลในกราฟ

1. Sequence (ลำดับการเคาะของเสาเข็ม) ในการเคาะแต่ละครั้ง(วันเดียวกัน และโครงการเดียวกัน)ค่า Sequence ต้องไม่ซ้ำกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Wave Speed ในโครงการเดียวกันควรมีค่าเท่ากัน เนื่องจากใช้คอนกรีตที่มีค่า Fc' เท่ากัน ถ้ามีการแก้ไข แสดงว่าต้องการปรับแก้ค่าความยาวปลายเสาเข็ม
3. Maximum Magnify ถ้ามีการแก้ไขค่ามากขึ้นแสดงว่าต้องการให้กราฟแสดงค่า Ampitude สูงขึ้นที่ปลายเสาเข็ม
4. High Pass ถ้ามีการแก้ไขค่ามากขึ้นแสดงว่าต้องการให้กราฟแสดงลักษณะราบเรียบขึ้น

5.2.5 ทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง (Building Load Test)

การทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง (Building Load Test) ในที่นี้หมายถึง การทดสอบเพื่อให้ทราบว่าโครงสร้างนั้นๆมีความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ตามเทศบัญญัติของกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2522 ได้อย่างปลอดภัย ตามมาตรฐาน ACI Code 318-89 หรือไม่

ซึ่งการเลือกตำแหน่งที่ทำการทดสอบ ขั้นตอนและกระบวนการทดสอบ รวมทั้งการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ควรอยู่ภายใต้การควบคุมดูแลจากวิศวกรที่มีประสบการณ์การทำงานด้านนี้โดยเฉพาะ

มาตรฐาน ACI Code 318-89 เป็นมาตรฐานที่ใช้ทดสอบกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างที่มีพฤติกรรมเกิดการดัด โค้ง เมื่อรับน้ำหนัก (Flexural Member) เช่น คาน แผ่นพื้น โครงหลังคา ฯลฯ เท่านั้น

5.2.5.1 ข้อกำหนดทั่วไป (General)

1. ในขณะที่การทดสอบต้องมีวิศวกรควบคุมดูแลการทดสอบ
2. ส่วนของโครงสร้างที่ทำการทดสอบต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 56 วัน (นอกเสียจากเจ้าของโครงการและผู้มีส่วนในการรับผิดชอบโครงการทั้งหมด เห็นชอบและอนุมัติให้ทำการทดสอบ)
3. ถ้าทำการทดสอบแบบสุ่มตัวอย่าง ส่วนของโครงสร้างที่ทำการทดสอบควรจะเป็นส่วนของโครงสร้างที่มีปัญหา หรือมีความแข็งแรงน้อยที่สุด
4. น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) ของโครงสร้างที่มีผลต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างที่จะทำการทดสอบต้องไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และอยู่คงที่ ก่อนการทดสอบเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. Displacement Transducer วัดค่าความละเอียดได้ 0.01 มิลลิเมตร พร้อมสายรับสัญญาณ
2. Dial Gauge ขนาดก้านยาว 1 เซนติเมตรหรือมากกว่า วัดค่าความละเอียดได้ 0.01 มิลลิเมตร
3. Data Logger ใช้อ่านค่า และบันทึกค่าจาก Displacement Transducer
4. Magnetic Holder สำหรับยึดจับ Displacement Transducer และ Dial Gauge

5.2.5.3 การวางน้ำหนักบรรทุก

การวางน้ำหนักบรรทุกสามารถใช้วัสดุต่างๆ ได้แก่ น้ำ ปูนซีเมนต์ อิฐบล็อก หิน-ทราย ฯลฯ แต่วัสดุที่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำ เพราะว่าสามารถทำการวางและปลดน้ำหนักได้สะดวก รวดเร็วกว่าวัสดุอื่นๆ และขณะทดสอบหากพบว่าการแอ่นตัวสูงเกินไป และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ก็สามารถปลดน้ำหนักได้ทันที ก่อนที่จะเกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง

การวางน้ำหนักบรรทุกจะทำตามมาตรฐาน ACI 318-89 ซึ่งน้ำหนักบรรทุกสูงสุดสามารถหาได้จากสูตร

Total Load = 0.85* (1.4* Dead Load+1.7* Live Load)

Total Load = น้ำหนักบรรทุกรวม, kg/m^2

Dead Load = น้ำหนักบรรทุกคงที่ของโครงสร้าง, kg/m^2

Live Load = น้ำหนักบรรทุกจร, kg/m^2

น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ทำการทดสอบ (Total Load) แบ่งการวางน้ำหนักเป็น 4 ขั้นๆละเท่าๆกัน โดยมีลำดับการวางน้ำหนักบรรทุกดังนี้

0%-25%-50%-75%-100%**-50%-0%**

5.2.5.4 การทดสอบและบันทึกค่าการแอ่นตัว

1. บันทึกค่าการแอ่นตัว (Initial Deflection) และอุณหภูมิ (Temperature) ก่อนทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (Test Load) เป็น 4 ขั้น โดยแต่ละขั้นจะเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขั้นละ 25% ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Maximum Test Load) จะแช่น้ำหนักบรรทุกไว้ 1 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่าการแอ่นตัว (Deflection) และอุณหภูมิ (Temperature) ในแต่ละขั้นที่แช่น้ำหนักบรรทุกไว้ 1 ชั่วโมง ที่เวลา 0, 5, 15, 30 และ 60 นาที
3. น้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Maximum Test Load) ที่มีเครื่องหมาย ** จะคงน้ำหนักบรรทุกไว้ 24 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่าการแอ่นตัว (Deflection) และอุณหภูมิ (Temperature) ที่เวลา 0, 5, 15, 30 และ 60 นาที และต่อไปทุกๆ 1 ชม. จนครบ 24 ชั่วโมง
4. ค่าการแอ่นตัวที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Maximum Test Load) และคงน้ำหนักบรรทุกไว้ 24 ชั่วโมง จะเป็นค่า "Initial Deflection และ Maximum Deflection" (ตามมาตรฐาน ACI 318-89) หมายเหตุในขณะทำการทดสอบนั้นโครงสร้างต้องไม่มีความเสียหาย (Visible Evidence of Failure) ที่ว่าหมายถึง "การแตกร้าว การขยายตัว หรือมีขนาดการแอ่นตัวของโครงสร้างที่มากเกินไปโดยสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนและอาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่อความปลอดภัยของโครงสร้างที่ทดสอบและโครงสร้างอื่นๆ"
5. ทำการปลดน้ำหนักบรรทุก (Rebound Test Load) โดยจะปลดน้ำหนักบรรทุกออก 50% ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Maximum Test Load) และจะคงน้ำหนักบรรทุกไว้ 1 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่าการแอ่นตัว (Deflection) และอุณหภูมิ (Temperature) ในแต่ละชั้นที่แช่น้ำหนักบรรทุกไว้ 1 ชม. ที่เวลา 0, 5, 15, 30 และ 60 นาที
6. ปลดน้ำหนักบรรทุกที่เหลือออกจนหมด (ขั้นที่มีเครื่องหมาย** แสดงไว้) จะคงน้ำหนักบรรทุกไว้ 24 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่าการแอ่นตัว (Deflection) และอุณหภูมิ (Temperature) ที่เวลา 0, 5, 15, 30 และ 60 นาที และต่อไปทุก ๆ 1 ชม. จนครบ 24 ชั่วโมง
7. ค่าการแอ่นตัวเมื่อปลดน้ำหนักบรรทุกออกทั้งหมดแล้ว (Rebound Test Load) และปล่อยให้คืนตัว 24 ชั่วโมง จะเป็นค่า "Final Deflection"
8. คำนวณหาค่าการคืนตัว "Recovery of Deflection" มีค่าเท่ากับค่า Initial Deflection ลบด้วยค่า Final Deflection
9. นำค่าการแอ่นตัวที่ได้เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (Load: kg./m^2) กับค่าการแอ่นตัว (Total Deflection: mm.) ของแผ่นพื้น และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก (Load: kg./m^2) เวลา (Time: hr.) กับค่าการแอ่นตัว (Total Deflection: mm) ที่ตำแหน่งที่เกิดการแอ่นตัวมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5.5 เกณฑ์การพิจารณา

1. ในขณะทำการทดสอบนั้น โครงสร้างต้องไม่มีความเสียหาย (Visible Evidence of Failure) เกิดขึ้น ความเสียหายของโครงสร้าง (Visible Evidence of Failure) ที่ว่าหมายถึง การแตกร้าว การขยายตัว หรือมีขนาดการแอ่นตัวของโครงสร้างที่มากเกินไป โดยสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน และอาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่อความปลอดภัยของโครงสร้างที่ทดสอบและโครงสร้างอื่นๆ
2. ค่าการแอ่นตัวสูงสุด (Maximum Deflection) ต้องไม่เกิน l /20,000h

โดย l = ช่วงความยาวของ member ที่ทำการทดสอบ: มิลลิเมตร
(สำหรับ Cantilever member ค่า l จะมีค่าเป็น 2 เท่า ของระยะจาก Support ถึง End Cantilever)
h = ความหมายของโครงสร้างที่ทำการทดสอบ: มิลลิเมตร

3. หากค่าการแอ่นตัวสูงสุด (Maximum Deflection) มากเกินกว่า l /20,000h ต้องมีค่าการคืนตัวภายหลังปลดน้ำหนักออกหมดแล้ว 24 ชั่วโมง (Recovery of Deflection) ไม่น้อยกว่า 75% ของค่าการแอ่นตัวสูงสุดสำหรับคอนกรีตหล่อในที่ และต้องไม่น้อยกว่า 80% ของการแอ่นตัวสูงสุดสำหรับคอนกรีตอัดแรง(Prestressed Concrete)

การตรวจสอบและทดสอบโครงสร้างดังที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นส่วนหนึ่งที่จะทำให้เกิดความเชื่อมั่นในความปลอดภัยของโครงสร้าง อาคารบางหลังที่เกิดชำรุดเสียหายจนเจ้าพนักงานท้องถิ่นสั่งระงับใช้ ต้องผ่านการแก้ไขและกระบวนการทดสอบจนเชื่อแน่ว่าอาคารอยู่ในสภาพที่ปลอดภัยแล้ว และผ่านการรับรองจากวิศวกรผู้ตรวจสอบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว เจ้าพนักงานท้องถิ่นจึงจะอนุญาตให้ใช้อาคารได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การศึกษาวิเคราะห์ อาคารตัวอย่าง

6.1 Case Study : การยกระดับอาคารให้สูงขึ้นกว่าเดิม

1. สถานที่

บ้านเลขที่ 75 ซอยลาดพร้าว แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง จังหวัดกรุงเทพมหานคร

2. ลักษณะอาคาร

2 ชั้น ผนังก่ออิฐมอญ ครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ

3. ประเภทอาคาร

บ้านพักอาศัย

4. อายุอาคาร

ประมาณ 34 ปี (ตั้งแต่ พ.ศ. 2510)

5. วันที่เริ่มสำรวจ

ธันวาคม 2543

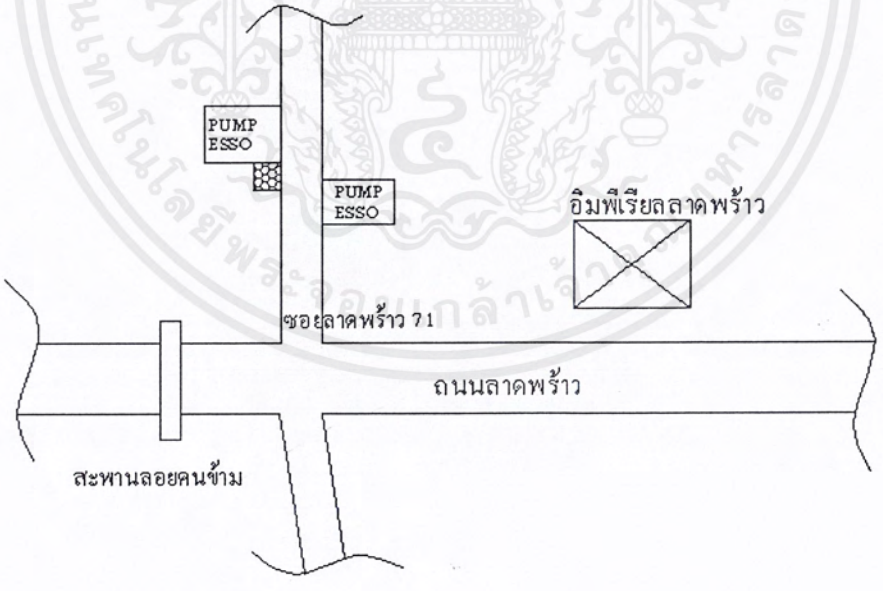
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. รายละเอียดของอาคาร

กว้างxยาว	13.90x15.25	เมตร
มีเนื้อที่ประมาณ	212	ตารางเมตร
พื้นที่ชั้น 1	128.14	ตารางเมตร
พื้นที่ชั้น 2	92.10	ตารางเมตร

7. สภาพบริเวณใกล้เคียง

ด้านหน้า	ติด ถนนใหญ่
ด้านซ้าย	ติดปั๊มน้ำมัน
ด้านหลัง	ติดที่ดินเปล่า
ด้านขวา	ติดบ้านที่พักอาศัย



รูปที่ 6.1.1 แผนที่สังเขป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ข้อมูลเกี่ยวกับฐานราก

เป็นฐานรากวางบนเสาเข็มไม้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว (10 เซนติเมตร) ความยาวเข็ม 6.00 เมตร

โดยมีฐานรากทั้งหมด 5 แบบ คือ

1. ขนาด 0.40x0.40ตารางเมตร จำนวน 9 ตัว
2. ขนาด 0.70x0.70ตารางเมตร จำนวน 16 ตัว
3. ขนาด 1.70x1.70ตารางเมตร จำนวน 3 ตัว
4. ขนาด 1.30x1.30ตารางเมตร จำนวน 6 ตัว
5. ขนาด 1.50x1.50ตารางเมตร จำนวน 1 ตัว

รวมทั้งหมด 35 ตัว

9. สาเหตุ ที่ต้องทำการยกบ้าน

1. เกิดน้ำท่วมเข้าภายในบ้าน เมื่อมีฝนตก และระบายน้ำไม่ทัน เนื่องจากมีการตัดถนนใหญ่ ผ่านหน้าบ้านทำให้ ระดับผิวถนน สูงกว่าพื้นโรงรถประมาณ 60 เซนติเมตร
2. มีปัญหาเรื่องส้วมชั้นล่างราดไม่ลง เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น

10. แนวทางการแก้ไข

1. ใช้การดีดบ้านขึ้น ให้มีความสูงกว่าระดับปัจจุบัน ประมาณ 1.20 เมตร
2. เสริมความแข็งแรงที่บางตำแหน่งเพื่อเพิ่มค่าความปลอดภัย (Factor of Safety)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. รายการการคำนวณ

11.1 รายการคำนวณ หาน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่ฐานราก ตัวที่มีค่ามากสุด

น้ำหนักจร (Live Load)

หลังคา = 50x{(2.00x3.50)+(0.50x2.60x1.75)+
(0.50x3.50x2.60)}
= 691 กิโลกรัม

พื้นชั้นสอง = 150x{(0.50x1.25x3.90)+(0.50x2.25x2.60)+
(1.25x2.00)}
= 1,179 กิโลกรัม

พื้นชั้นล่าง = 150x(3.30x3.50)
= 1,733 กิโลกรัม

น้ำหนักคงที่ (Dead Load)

พื้นชั้นสอง = 21.25x{(0.50x1.25x3.90)+(0.50x2.25x2.60)+
(0.50x2.00x6.75)}+ (240x1.25x2.00)
= 857 กิโลกรัม

คานชั้นสอง = 2,400x0.12x0.40x(1.25+2.00+2.25-0.125)
= 619.20 กิโลกรัม

เสาชั้นสอง = 2,400x0.125x0.125x(2.70-0.40)
= 86.25 กิโลกรัม

ผนังชั้นสอง = 180x2.30x(1.25+2.25+2.00-0.125-0.125)
= 180x2.30x5.25
= 2,174 กิโลกรัม

พื้นชั้นล่าง = 240x3.30x3.50
= 2,772 กิโลกรัม

คานชั้นล่าง = 2,400x0.12x0.48x(1.25++2.00+2.25-0.125)
= 2,400x0.12x0.48x5.375

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 743 กิโลกรัม

เสาชั้นล่าง = 2,400x0.125x0.125x(2.70-0.48)

= 2,400x0.125x0.125x2.22

= 83.30 กิโลกรัม

ผนังชั้นล่าง = 180x(2.70-0.48)x(1.25+2.25+2.00-0.125 - 0.125)

= 180x2.22x5.25

= 2,098 กิโลกรัม

คานรับผนัง = 2,400x0.10x0.12x(1.25+2.00-0.12-0.20)

= 2,400x0.10x0.12x2.93

= 84.40 กิโลกรัม

ผนังเหนือคานรับผนัง = 180x(0.60-0.10)x3.05

= 275 กิโลกรัม

เสาระหว่างคานล่างและคานรับผนัง

= 2,400x0.12x0.20x(0.60-0.10)

= 2,400x0.12x0.20x0.50

= 29 กิโลกรัม

เสาตอม่อ = 2,400x0.12x0.20x0.60

= 34.56 กิโลกรัม

ดังนั้นรวมน้ำหนักทั้งหมดที่ถ่ายลงฐานราก

= 691+1,179+1,733+857+619.2+86.25+2,174+2,772 +743+83.30+2,098+84.40+275+29+34.56

= 13,458.71กิโลกรัม

= 13.46 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.2 การคำนวณเพื่อตรวจสอบความมั่นคงของฐานราก

ในการคำนวณฐานรากบนเสาเข็ม ตามข้อบัญญัติ กรุงเทพมหานคร ถ้าไม่มีเอกสารแสดงผลการทดสอบ คุณสมบัติของดิน และกำลังสูงสุดของเสาเข็ม ค่าหน่วยแรงฝืดของดินที่อยู่ในความลึกไม่เกิน 7 เมตร ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง ให้ใช้หน่วยแรงฝืดของดินไม่เกิน 600กิโลกรัมต่อหนึ่งตารางเมตรของพื้นผิวสัมประสิทธิผลของเสาเข็ม

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	=	0.10	เมตร (4 นิ้ว)
ความยาวของเสาเข็ม	=	6.00	เมตร
แรงเสียดทานด้านของเสาเข็ม	=	600x3.14x0.10x6.00x16	
	=	18,095.57	กิโลกรัม
	=	18.10	ตัน
น้ำหนักที่ลงฐานราก	=	13.46	ตัน
น้ำหนักของตัวฐานราก	=	2,400x1.70x1.70x0.50	
	=	3,468	กิโลกรัม
	=	3.47	ตัน
น้ำหนักทั้งหมด	=	13.46+3.47	
	=	16.93	ตัน

จะพบว่าเสาเข็มเดิมสามารถที่จะรับน้ำหนักของโครงสร้างที่ถ่ายลงมาได้จึงไม่ต้องทำการเสริมฐานราก

11.3 รายการคำนวณ หาขนาดของคานที่ต้องหล่อเพิ่ม เพื่อรองรับแรงเฉือนที่จะถ่ายมาจากค้ำยัน

1. น้ำหนักที่กระทำลงฐานรากที่มากที่สุด = 13.46 ตัน
2. เนื่องจากมีคานที่ถูกค้ำยันไว้เมื่อตัดเสา ขณะทำการดีดอาคาร 4 คาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นค้ำยันทั้ง 4 ตัวรับน้ำหนัก = 13.46-(น้ำหนักเสาตอม่อที่ตัดทิ้งไป)

= 13.46-(2.40x0.12x0.20x0.45)

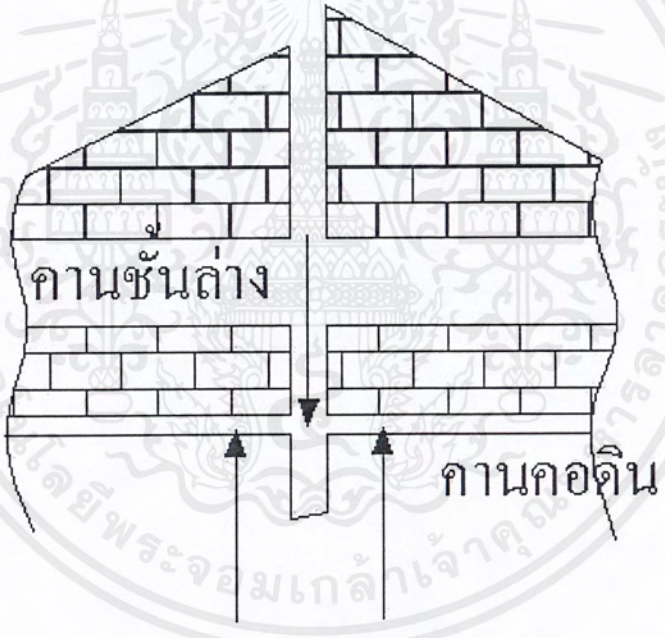
= 13.46-0.026

= 13.434 ตัน

จะได้ว่าค้ำยันแต่ละตัวรับน้ำหนัก = 13.434/4

= 3.36 ตัน/ต้น

3. กรณีที่ทำการค้ำยันโดยตรงที่คานรับผนัง



รูปที่ 6.1.2 การค้ำยันโดยตรงที่คานรับผนัง

ขนาดหน้าตัดคานรับผนัง = 0.10x0.12 เมตร

น้ำหนักคานรับผนัง = 2,400x0.10x0.12

= 28.80 กิโลกรัม/เมตร

น้ำหนักผนังก่อบนคานรับผนัง = 180x0.50

= 90 กิโลกรัม/เมตร

น้ำหนักที่ถ่ายจากเสากระทำต่อคานรับผนัง = น้ำหนักจรทั้งหมด+น้ำหนักโครงสร้างชั้นหลังคาถึง

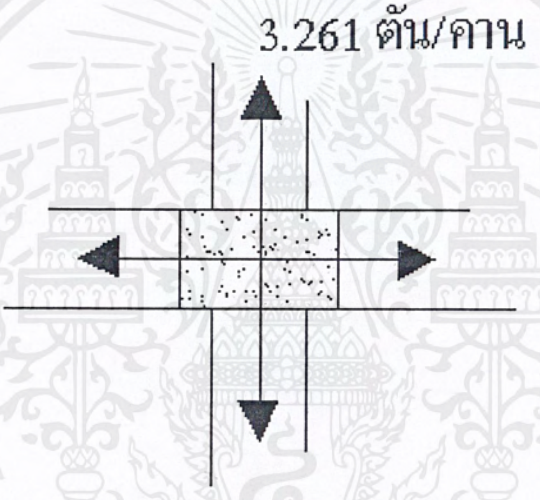
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นล่าง+น้ำหนักของตอม่อที่เหลือจากการตัด

= 691+1,179+1,733+857+619.20+86.25+2,174+2,772
+743+83.30+2,098+(2,400x0.12x0.20x0.15)

= 13,035.75+8.64

= 13,044.44 กิโลกรัม



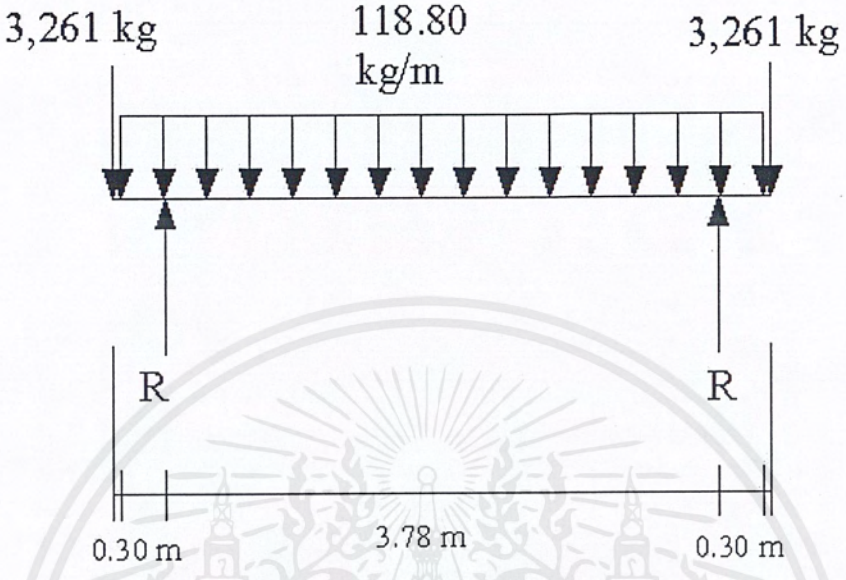
รูปที่ 6.1.3 แรงที่ถ่ายลงคานแต่ละด้านของเสา (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานรับผนัง)

น้ำหนักที่ถ่ายลงแต่ละด้านของเสา = 13,044.44/4 (4 ด้าน)

= 3,261 กิโลกรัม

ระยะค้ำยันจากผิวเสา = 0.30 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1.4 Free Body Diagram (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานรับผนัง)

แรงที่ถ่ายมายังค้ำยันแต่ละตัว $2R = 3,261+3,261+(118.80 \times 4.38)$

$= 7,042.34$

$R = 3,521.17$ กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1.1 การแสดงค่าแรงเฉือน และค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่คานรับผนัง เมื่อทำการดีดตัวโครงสร้างอาคาร (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานรับผนัง)

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>

ELEM	MA	HINGE	SECTION. (m)	AXIAL.F (ton)	SHEAR (ton)	MOMENT (ton-m)
1	1		0	0.0000D+00	-3.2617D+00	2.2888D-05
			0.01	0.0000D+00	-3.2617D+00	-3.2590D-02
			0.02	0.0000D+00	-3.2617D+00	-6.5203D-02
			0.03	0.0000D+00	-3.2617D+00	-9.7816D-02
			0.04	0.0000D+00	-3.2617D+00	-1.3043D-01
			0.05	0.0000D+00	-3.2617D+00	-1.6304D-01
			0.06	0.0000D+00	-3.2617D+00	-1.9566D-01
2	1		0	0.0000D+00	-3.2610D+00	-1.9563D-01
			0.05	0.0000D+00	-3.2670D+00	-3.5883D-01
			0.10	0.0000D+00	-3.2729D+00	-5.2233D-01
			0.15	0.0000D+00	-3.2788D+00	-6.8612D-01
			0.2	0.0000D+00	-3.2848D+00	-8.5021D-01
			0.25	0.0000D+00	-3.2907D+00	-1.0146D+00
			0.30	0.0000D+00	-3.2967D+00	-1.1793D+00
3	1		0	0.0000D+00	2.2452D-01	-1.1793D+00
			0.63	0.0000D+00	1.4968D-01	-1.0614D+00
			1.26	0.0000D+00	7.4831D-02	-9.9069D-01
			1.89	0.0000D+00	-1.2875D-05	-9.6712D-01
			2.52	0.0000D+00	-7.4857D-02	-9.9070D-01
			3.15	0.0000D+00	-1.4970D-01	-1.0614D+00
			3.78	0.0000D+00	-2.2454D-01	-1.1793D+00
4	1		0	0.0000D+00	3.2966D+00	-1.1793D+00
			0.05	0.0000D+00	3.2907D+00	-1.0146D+00
			0.10	0.0000D+00	3.2848D+00	-8.5026D-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1.1 การแสดงค่าแรงเฉือน และค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่คานรับผนัง เมื่อทำการดีดตัวโครงสร้างอาคาร (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานรับผนัง) (ต่อ)

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>

ELEM	MA	HINGE	SECTION (m)	AXIAL F. (ton)	SHEAR (ton)	MOMENT (ton-m)
			0.15	0.0000D+00	3.2788D+00	-6.8616D-01
			0.20	0.0000D+00	3.2729D+00	-5.2237D-01
			0.25	0.0000D+00	3.2669D+00	-3.5887D-01
			0.30	0.0000D+00	3.2610D+00	-1.9568D-01
5	1		0	0.0000D+00	3.2617D+00	-1.9573D-01
			0.01	0.0000D+00	3.2617D+00	-1.6310D-01
			0.02	0.0000D+00	3.2617D+00	-1.3047D-01
			0.03	0.0000D+00	3.2617D+00	-9.7836D-02
			0.04	0.0000D+00	3.2617D+00	-6.5203D-02
			0.05	0.0000D+00	3.2617D+00	-3.2571D-02
			0.06	0.0000D+00	3.2617D+00	6.1035D-05

ทำการตรวจสอบกำลังเฉือนของคานคอนกรีตล้วน

ขนาดหน้าตัดคานรับผนัง = 0.10x0.12 เมตร

กำลังเฉือนของคอนกรีตล้วน = $0.29x\sqrt{170}$ x10x12

= 453.736 กิโลกรัม

= 0.453 ตัน

แสดงว่าคานต้องรับแรงเฉือนมากกว่ากำลังที่จะรับได้ถึง

= 3.297-0.45

= 2.847 ตัน

จะต้องหล่อเสริมคานรับผนังให้หนาขึ้น

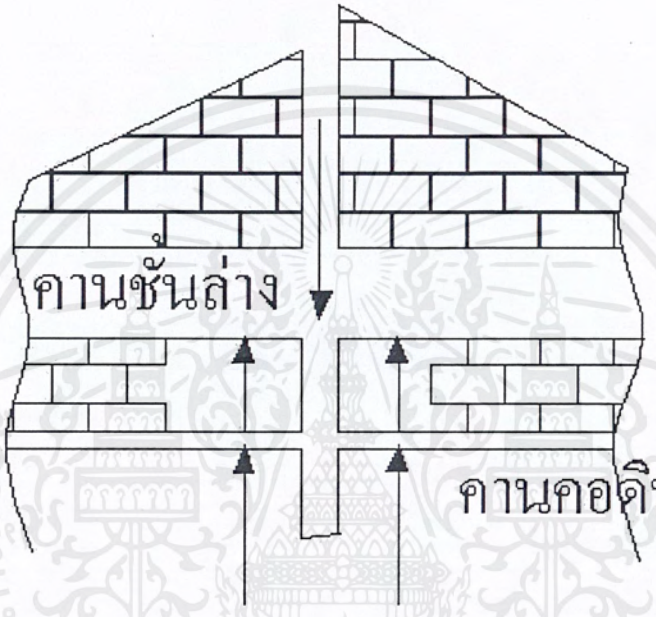
= $2.847x1,000/(0.29x\sqrt{170}$ x12)

= 62.74 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 0.65 เมตร

4. ในกรณีที่ทำการค้ำยันโดยตรงที่คานชั้นล่าง



รูปที่ 6.1.5 การค้ำยันโดยตรงที่คานชั้นล่าง

ขนาดหน้าตัดคานชั้นล่าง = 0.12x0.48 เมตร

น้ำหนักคานรับผนัง = 2,400x0.12x0.48

= 138.24 กิโลกรัม/เมตร

น้ำหนักผนังก่อบนคานชั้นล่าง = 180x2.22

= 399.60

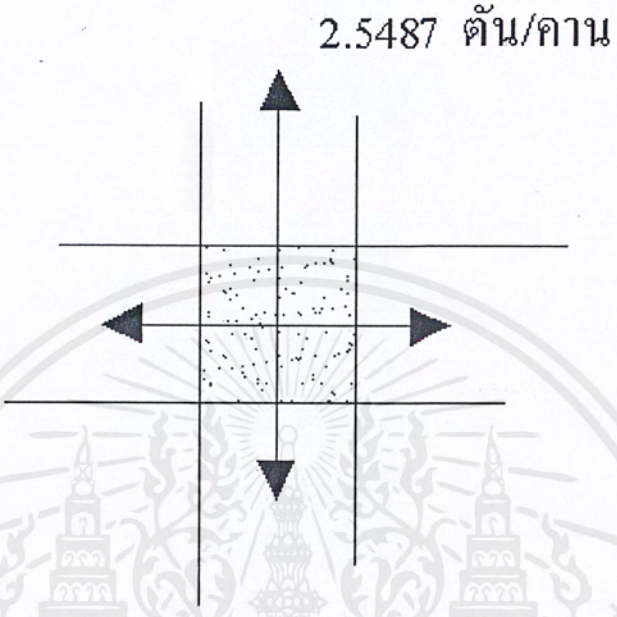
= 400.00 กิโลกรัม/เมตร

น้ำหนักที่ถ่ายจากเสากระทำต่อคานชั้นล่าง = น้ำหนักจร(หลังคา+ชั้นบน+ชั้นล่าง)+น้ำหนักโครงสร้าง (ชั้น หลังคา+ชั้นบน+พื้นชั้นล่าง+เสาชั้นล่าง)

= 691+1,177+1,733+857+619.20+86.25+2,174+2,772+83.30

= 10,194.75 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



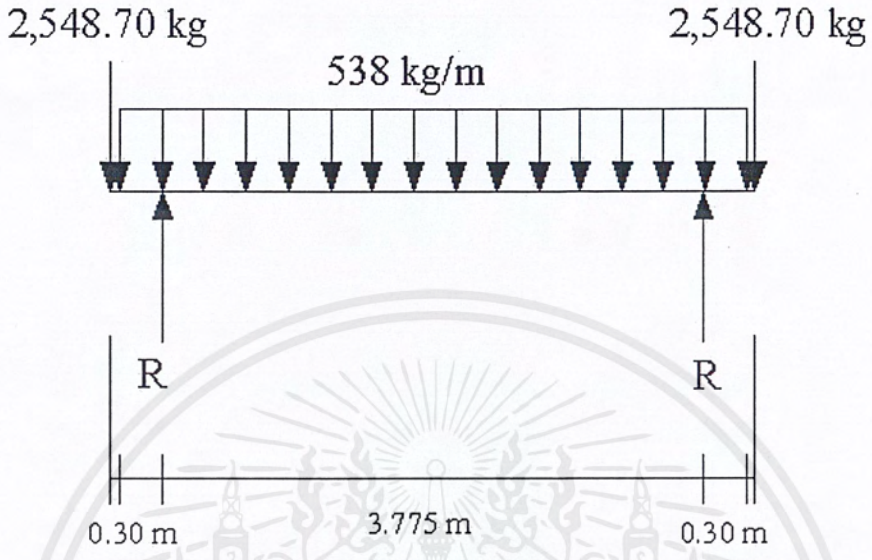
รูปที่ 6.1.6 แรงที่ถ่ายลงคานแต่ละด้านของเสา (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานชั้นล่าง)

น้ำหนักที่ถ่ายลงแต่ละด้านของเสา = 10,194.75/4 (4 ด้าน)

= 2,548.70 กิโลกรัม

ระยะค้ำยันจากผิวเสา = 0.30 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1.7 Free Body Diagram (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานชั้นล่าง)

แรงที่ถ่ายมายังค้ำยันแต่ละตัว 2R = 2,548.70+2,548.70+(538.24x4.375)

R = 3,726.10 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1.2 การแสดงค่าแรงเฉือน และค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้น ที่คานชั้นล่าง เมื่อทำการดีดตัวโครงสร้างอาคาร (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานชั้นล่าง)

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM

ELEM	MA	HINGE	SECTION (m)	AXIAL F. (ton)	SHEAR (ton)	MOMENT (ton-m)
1	1		0	0.0000D+00	-2.5486D+00	-3.8147D-06
			0.01	0.0000D+00	-2.5486D+00	-2.6552D-02
			0.02	0.0000D+00	-2.5486D+00	-5.3099D-02
			0.03	0.0000D+00	-2.5486D+00	-7.9647D-02
			0.04	0.0000D+00	-2.5486D+00	-1.0619D-01
			0.05	0.0000D+00	-2.5486D+00	-1.3274D-01
			0.06	0.0000D+00	-2.5486D+00	-1.5929D-01
2	1		0	0.0000D+00	-2.5487D+00	-1.5929D-01
			0.05	0.0000D+00	-2.5756D+00	-2.8740D-01
			0.10	0.0000D+00	-2.6025D+00	-4.1686D-01
			0.15	0.0000D+00	-2.6294D+00	-5.4765D-01
			0.20	0.0000D+00	-2.6563D+00	-6.7980D-01
			0.25	0.0000D+00	-2.6833D+00	-8.1329D-01
			0.30	0.0000D+00	-2.7102D+00	-9.4813D-01
3	1		0	0.0000D+00	1.0159D+00	-9.4813D-01
			0.63	0.0000D+00	6.7729D-01	-4.1547D-01
			1.26	0.0000D+00	3.3864D-01	-9.5876D-02
			1.89	0.0000D+00	-3.1292D-07	1.0656D-02
			2.52	0.0000D+00	-3.3864D-01	-9.5876D-02
			3.15	0.0000D+00	-6.7729D-01	-4.1547D-01
			3.77	0.0000D+00	-1.0159D+00	-9.4813D-01
4	1		0	0.0000D+00	2.7102D+00	-9.4813D-01
			0.05	0.0000D+00	2.6833D+00	-8.1329D-01
			0.10	0.0000D+00	2.6564D+00	-6.7980D-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1.2 การแสดงค่าแรงเฉือน และค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้น ที่คานชั้นล่าง เมื่อทำการดีดตัวโครงสร้างอาคาร (เมื่อทำค้ำยันโดยตรงที่คานชั้นล่าง) (ต่อ)

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>

ELEM	MA	HINGE	SECTION (m)	AXIAL F. (ton)	SHEAR (ton)	MOMENT (ton-m)
			0.15	0.0000D+00	2.6294D+00	-5.4766D-01
			0.20	0.0000D+00	2.6025D+00	-4.1686D-01
			0.25	0.0000D+00	2.5756D+00	-2.8740D-01
			0.30	0.0000D+00	2.5487D+00	-1.5929D-01
5	1		0	0.0000D+00	2.5486D+00	-1.5929D-01
			0.01	0.0000D+00	2.5486D+00	-1.3274D-01
			0.02	0.0000D+00	2.5486D+00	-1.0619D-01
			0.03	0.0000D+00	2.5486D+00	-7.9647D-02
			0.04	0.0000D+00	2.5486D+00	-5.3099D-02
			0.05	0.0000D+00	2.5486D+00	-2.6552D-02
			0.06	0.0000D+00	2.5486D+00	-3.8147D-06

ทำการตรวจสอบกำลังเฉือนของคานคอนกรีตล้วน

ขนาดหน้าตัดคานรับผนัง = 0.12X0.48 เมตร

กำลังเฉือนของคอนกรีตล้วน = $0.29x\sqrt{170}$ x12x48

= 2,177.94 กิโลกรัม

= 2.18 ตัน

แสดงว่าคานต้องรับแรงเฉือนมากกว่ากำลังที่จะรับได้ถึง

= 2.71-2.18

= 0.53 ตัน

จะต้องหล่อเสริมคานชั้นล่างให้หนาขึ้น

= $0.53x1,000/(0.29x\sqrt{170}$ x12)

= 11.68 เซนติเมตร

= 12 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.1.8 ลักษณะการหล่อคานเสริม เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ขั้นตอนการทำงาน และสิ่งที่ต้องคำนึง ระหว่างการแก้ไข

1. เริ่มแรกที่จะทำการยกระดับของโครงสร้างบ้านจะต้องทำการสำรวจหาระดับที่ต้องการว่าปัจจุบันมีระดับเท่าใด
2. ก่อนที่จะทำการดีด ต้องศึกษาถึง น้ำหนักที่กระทำต่อของโครงสร้างทั้งหมดแต่ละตำแหน่งว่ามีขนาดน้ำหนักเท่าใด ความลึกของฐานราก ข้อมูลโดยละเอียดของเสาเข็ม ข้อมูลสภาพดินตรงตำแหน่งอาคาร
3. จากนั้นก็ทำการคำนวณหาตำแหน่งที่จะทำการยกอาคาร และตำแหน่งที่ค้ำยันโครงสร้างอาคาร โดยการหาค่าแรงเฉือน และค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากการยกและค้ำยันอาคารเพื่อจะได้ทำการเสริมความสามารถในการรับแรง ตรงตำแหน่งที่อ่อนแอ (ถ้าพบว่าฐานรากเดิมไม่สามารถรองรับแรงที่เกิดจากการยกนี้ได้ หรือต้องการเพิ่มค่าความปลอดภัยของตัวอาคารให้มากขึ้น ต้องทำการเสริมฐานรากโดยการเพิ่มเสาเข็มขึ้น)
4. ทำการเลือกขนาดแม่แรง ค้ำยัน ที่ใช้ในการยกและจำนวนที่ใช้โดยต้องคำนึงถึงการค้ำยันด้านข้างอาคาร เพื่อป้องกันการหมุน บิดตัวของอาคาร (การเลือกแม่แรงควรเลือกใช้แม่แรงที่ขนาดเดียวกันทุกจุดของอาคาร)
5. ขั้นตอนแรก ต้องทำการขุดดินรอบๆอาคารให้ถึงระดับฐานรากจากนั้น ถ้าพบว่า ฐานรากมีพื้นผิวไม่เรียบ(กรณีนี้พบว่าเป็นฐานรากแบบหลังเต่า) ต้องทำการปรับผิวด้านบนของฐานรากโดยการใช้คอนกรีตหรือมอร์ตาปรับระดับให้เรียบ เพื่อให้สามารถวางตัวแม่แรงได้มั่นคง
6. ต้องทำการเสริมความแข็งแรงของคานให้เพียงพอที่จะรองรับแรงปฏิกิริยาจากตัวค้ำยัน รวมถึงแรงเฉือนและโมเมนต์ที่เกิดขึ้น ภายหลังการตัดเสา
7. กรณีที่ต้องการทำการเสริมฐานราก โดยการกดเข็มคอนกรีต ที่มีลักษณะเป็นท่อนๆ โดยใช้แม่แรงค้ำอยู่ระหว่างคานที่เสริมความลึกของคานแล้ว กับหัวเสาเข็มก็จะทำการกดเข็มคอนกรีตลงไปจน ได้จำนวนท่อนตามที่คำนวณ ซึ่งสามารถ ตรวจสอบกำลังได้จาก ค่าแรงดันของแม่แรงที่ใช้ในการกดเข็มให้ลงไปนั่นเอง
8. ทำการค้ำยันให้มั่นคงทุกจุดของอาคาร และทุกตำแหน่งที่จะทำการตัดเสาตอม่อ
9. เริ่มทำระดับอ้างอิงแสดงระยะที่ยกขึ้น โดยการวางเหล็กเส้นไว้ด้านข้างทั้ง 2 ข้างและขึงเส้นเอ็นไว้ให้ตึง
10. ทำการตัดเสาตอม่อทุกๆ ต้น โดยทำการตัดที่โคนเสาตอม่อและที่บริเวณที่เหนือขึ้นมาใกล้ๆ กับคานรับผนังเพื่อลดน้ำหนักของตอม่อได้ จากนั้นก็นำเอาชิ้นส่วนเสาที่ตัดออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ทำการใส่แม่แรงตัวที่สามารถรับกำลังได้มากกว่าน้ำหนักที่จะถ่ายลงมาจากตัวอาคารแทนที่ช่อง ว่างระหว่างรอยตัดนั้น
12. ทำการยกอาคารขึ้นได้ โดยจะต้องทำการยกขึ้นทุกๆจุดพร้อมๆกันในเวลาเดียวกัน ปกติแล้วระยะยกอาคารในแต่ละครั้งจะประมาณ 2-3 มิลลิเมตร เพื่อมิให้เกิดการแตกร้าวของอาคาร หรืออาคารเกิดการหมุนตัว โดยมีการติดตั้งสัญญาณกริ่งให้สัญญาณเมื่อเริ่มต้นทำการยกแต่ละครั้ง และต้องมีคนตรวจสอบตำแหน่งหลังจากการยกทุกครั้งๆไป (ดูระยะยกจากเส้นเอ็นและรอยขีดที่บ่งบอกระดับเริ่มแรก)
13. ระหว่างช่วงที่ทำการยกจะต้องทำการเช็คดิ่ง และค่าการหมุนตัวของโครงสร้างว่าอยู่ในแนวเดิม โดยขึงลูกดิ่งกับชายคาหรือส่วนที่ยื่นออกมา พร้อมกับเสริมค้ำยันทางด้านข้างไว้
14. ทำการยกต่อไปเรื่อยๆ จนถึงระดับที่ต้องการ จากนั้นทำการถอดแม่แรงออกก็จะเหลือแต่ส่วนค้ำยันยันอยู่
15. ขั้นตอนนี้ก็ทำการหล่อเสาตอม่อขึ้นใหม่ โดยการเชื่อมเหล็กเส้นใหม่ติดกับเหล็กแกนเสาเดิมเข้าไว้ทุกต้นๆ จากนั้นก็เสริมเหล็กปลอกไว้เพื่อทำการรับแรงเฉือนและรัดคอนกรีตเสาไว้
16. เริ่มทำไม้แบบเสาตอม่อ จากนั้นก็ทำการหล่อเสาตอม่อโดยการผสมคอนกรีตในที่แล้วเทลงแบบเลย
17. รอจนกระทั่งคอนกรีตเสาตอม่อที่หล่อสามารถรับแรงได้ตามกำลังแล้ว ทำการถอดค้ำยันออกต่อมาก็ถึงงานก่อผนังเพื่อความสวยงาม และตกแต่งส่วนอื่นให้เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 Case Study : อาคารที่เกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน เนื่องจากการได้รับ Induced Stress ไม่เท่ากัน

1. สถานที่

บ้านเลขที่ 202/4-5 ถนนเทพารักษ์ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

2. ลักษณะอาคาร

อาคาร 3ชั้น จำนวน 2 คูหา โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นทั้งหมดทำด้วยไม้เนื้อแข็ง ยกเว้น พื้นชั้น3 ช่วงหลังสุด และพื้นชั้นล่าง เป็นพื้น ค.ส.ล. ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ

3. ประเภทอาคาร

อาคารพาณิชย์

4. อายุอาคาร

ประมาณ 23 ปี (ตั้งแต่ พ.ศ. 2521)

5. วันที่เริ่มสำรวจ

เดือน กุมพาพันธ์ 2544

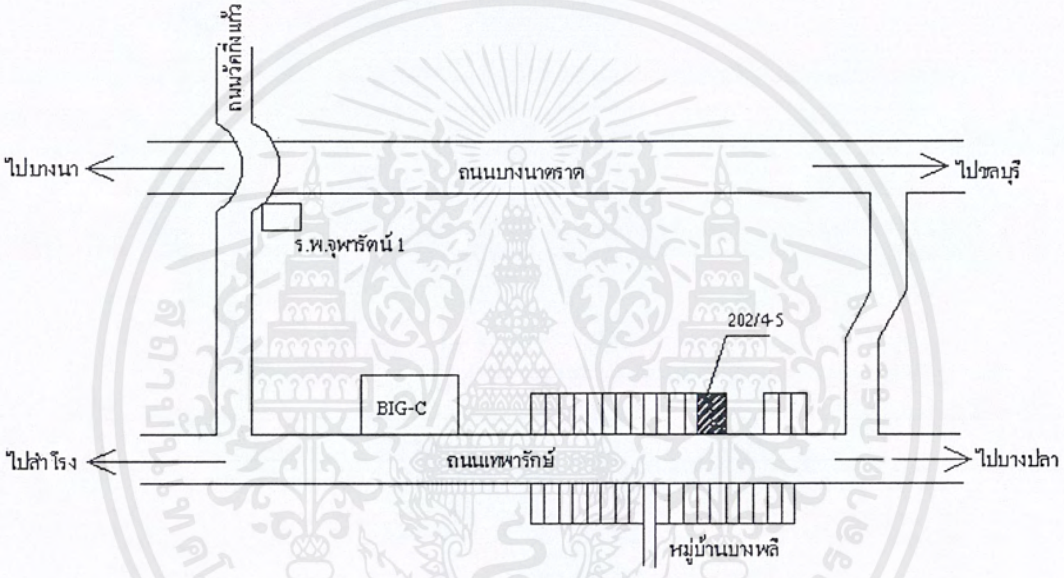
6. รายละเอียดของอาคาร

กว้างxยาว	4.00x12.00	เมตร
มีเนื้อที่ประมาณ	48	ตารางเมตร/คูหา
พื้นที่อาคารหลักต่อชั้น	48	ตารางเมตร/ชั้น/คูหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สภาพบริเวณใกล้เคียง

ด้านหน้า	ติด ถนนเทพารักษ์
ด้านซ้าย	มีอาคารห่างจากตัวอาคารประมาณ 2.50 เมตร
ด้านหลัง	ติดอาคารที่พักอาศัย
ด้านขวา	ติดอาคารพาณิชย์ห้องถัดไป



รูปที่ 6.2.1 แผนที่สังเขป

8. ข้อมูลเกี่ยวกับฐานราก

เป็นฐานรากเข็มยาว มีเสาเข็ม I-0.26 ยาว 21.00 เมตร

9. สาเหตุ ที่ดำเนินการตรวจสอบ

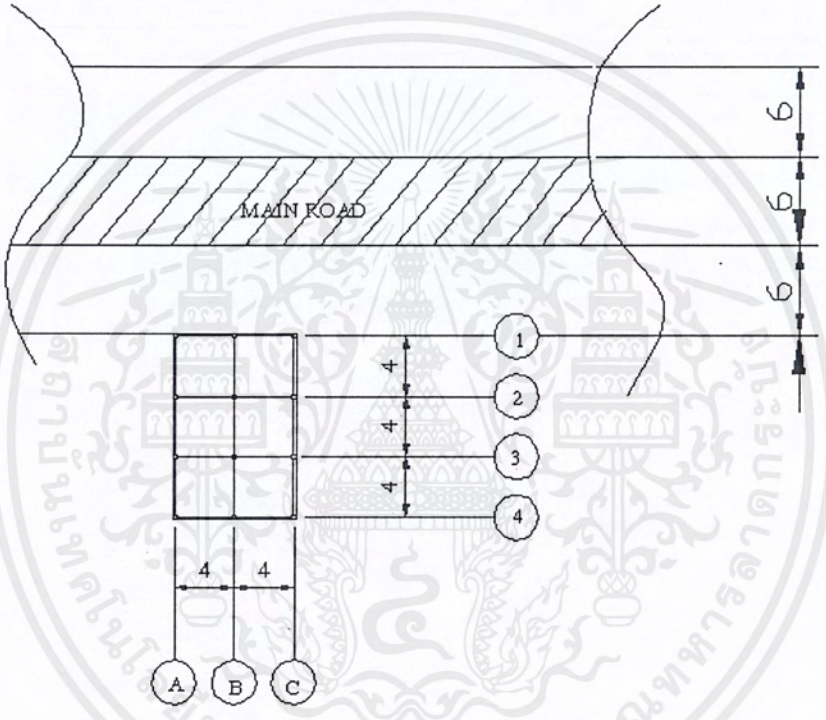
เนื่องจากพบว่าโครงสร้างอาคารมีอาการเอียงตัวไปจากแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. การสำรวจตรวจสอบ

10.1 การสำรวจหาค่าระดับการทรุดตัวของอาคาร

ทำการสำรวจระดับอาคาร โดยวัดจากระดับ ท้องของตงของพื้นชั้น 2 ที่ทุกตำแหน่งของเสา

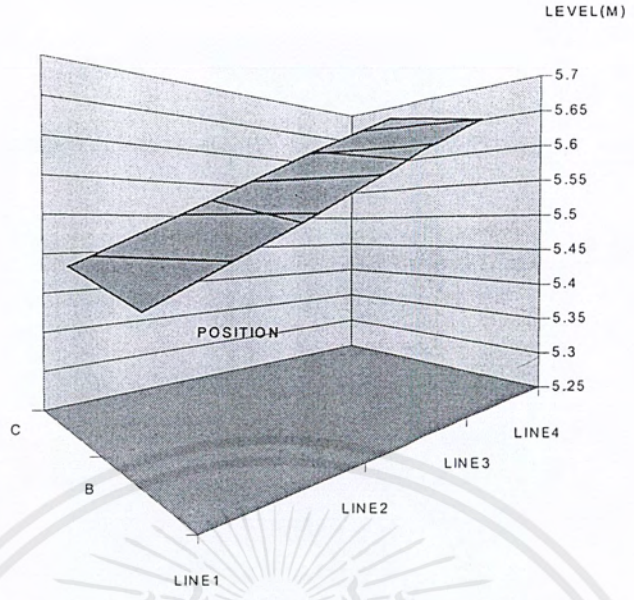


รูปที่ 6.2.2 แนวตำแหน่งที่ทำการสำรวจการทรุดตัว

ตารางที่ 6.2.1 ค่าระดับที่ตำแหน่งต่างๆ ของอาคาร

POSITION	LINE1	LINE2	LINE3	LINE4
C	5.439	5.52	5.604	5.681
B	5.409	5.489	5.574	5.651
A	5.374	5.458	5.525	5.618

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2.3 ภาพ 3มิติของค่าระดับ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของอาคาร

ตารางที่ 6.2.2 ค่าความต่างระดับ ที่ตำแหน่งต่างๆ ของอาคาร เมื่อเทียบกับเสาที่ตำแหน่งA1

POSITION	**LINE1**	**LINE2**	**LINE3**	**LINE4**
C	0.065	0.146	0.23	0.307
B	0.035	0.115	0.2	0.277
A	0	0.084	0.151	0.244

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.2 การสำรวจค่าความเอียงตัวของเสา ในแนว หน้า-หลัง และแนว ข้าง-ข้าง

ตารางที่ 6.2.3 ค่าการเอียงตัวของเสาต่อระยะสูง 100 เซนติเมตร

เสา	การเอียงตัวหน้า-หลัง ต่อระยะ 100 ซ.ม.	การเอียงตัวข้าง-ข้าง ต่อระยะ 100 ซ.ม.
C1	2.8	0.0
C2	2.0	0.0
C3	1.8	0.0
C4	1.8	0.0
C5	3.0	0.7
C6	1.8	0.0
C7	2.0	0.0
C8	3.0	0.5
C9	*	*
C10	*	*
C11	*	*
C12	*	*

11. สรุปผลการวิเคราะห์

จากการสำรวจพบว่าอาคารมีการเอียงไปด้านหน้าเล็กน้อย โดยค่าระดับของอาคารแถวหน้าสุด (LINE 1) มีค่าต่ำกว่าระดับแถวสุดท้าย (LINE 4) ประมาณ 24 เซนติเมตร มีค่าการการเอียงตัวของเสา ไปในแนว หน้า-หลัง ประมาณ 2.03 ซ.ม. ต่อระยะ 100 ซ.ม. และมีค่าการเอียงตัวไปในแนวด้านข้าง 0.8 ซ.ม. ต่อระยะ 100 ซ.ม. ซึ่งยังอยู่ในมาตรฐานที่รับ นั่นคือ มีเกณฑ์มาตรฐานการทรุดตัวแตกต่างไม่ควรเกิน 4 ซ.ม. ต่อระยะ 100 ซ.ม.

แต่ถ้าตรวจสอบตามข้อกำหนดการทรุดตัวไม่เท่ากันที่ยอมให้แล้วพบว่าโครงสร้างทุกช่วงไม่ผ่านตามข้อกำหนด ซึ่งกำหนดว่าต้องไม่เกิน 0.003L ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.20 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสรุปได้ว่า การทรุดตัวต่างกันที่เกิดขึ้นน่าจะเกิดจาก Induced Stress ที่ไม่เท่ากัน ไม่ใช่เพราะการหนีศูนย์ของเสาเข็ม หรือการบรรทุกน้ำหนักไม่เท่ากันมากเกินไป ต้องทำการแก้ไข เพื่อป้องกันการทรุดตัวที่จะมีมากขึ้นอีกในอนาคต

12. แนวทางการแก้ไข

จากผลการทรุดตัวต่างกันที่เนื่องมาจาก การได้รับ Induced Stress ที่ไม่เท่ากันในแต่ละระนาบของอาคารนั้น เป็นผลมาจากระดับดินถมที่สูงขึ้นมาจากระดับดินเดิมในอดีต ซึ่งอาจมีความสูงมากถึง 1.50 เมตร ซึ่งจะทำให้เกิดแรง surcharge เพิ่มมากกว่าเดิมถึง 2.63 ตันต่อตารางเมตร

ซึ่งการจะแก้ไขภาวะดังกล่าวต้องพยายามลด น้ำหนักที่กดทับนั้นโดยในกรณีนี้จะใช้การทำฐานรากแบบรวงผึ้งชนิดเบา (Light Weight Cellular Foundation) ในการลดน้ำหนักกดทับดังกล่าว โดยมีขั้นตอนการดังต่อไปนี้

1. ทำการขุดดินบริเวณหน้าอาคารขึ้น ให้มีความลึก 1.30 เมตร
2. ทำการบดอัด และปรับระดับหน้าดินให้เรียบ
3. นำโอ่งมังกรขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางปากโอ่ง 0.40 เมตร สูง 0.60 เมตร วางในลักษณะคว่ำ หงายประกบปากกันสนิทให้เต็มพื้นที่ แล้วกลบด้วยทราย ดังรูป
4. ทำการปรับระดับดิน แล้วสามารถทำพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้ตามปกติ

การคำนวณทำเป็น 2 กรณี ดังนี้

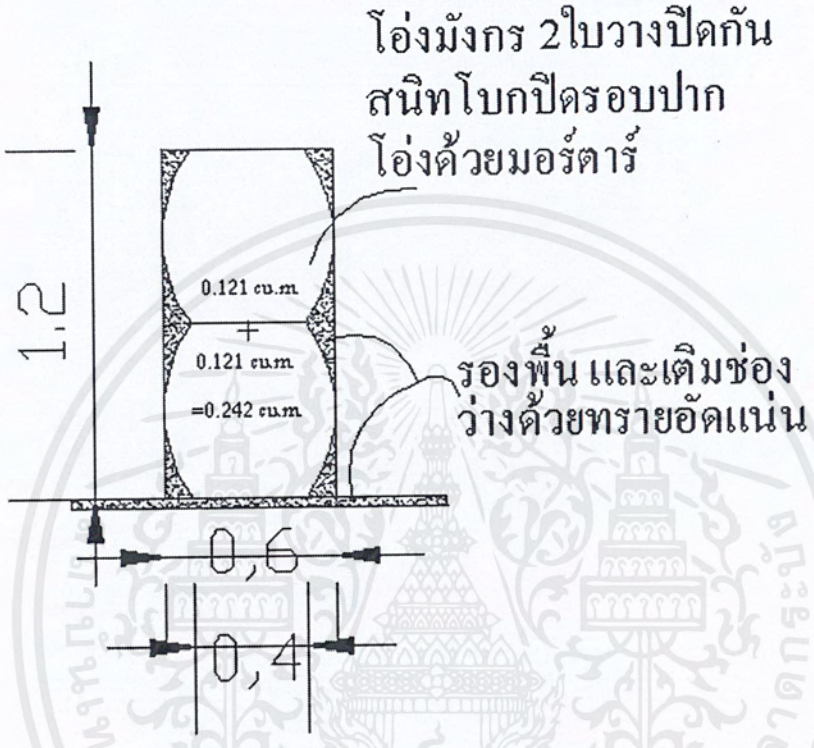
กรณีที่ 1 เมื่อสมมติแก้ไข ตลอดแนวยาวของถนน
กรณีที่ 2 เมื่อสมมติแก้ไข เฉพาะหน้าอาคาร

โดยการแก้ไขโดยวิธีนี้สามารถลดหน่วยน้ำหนักหน้าอาคารได้ 787.98กก/ม^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. การคำนวณ

13.1 ค่าหน่วยแรงกระจายที่ลดได้



รูปที่ 6.2.4 ทรงกระบอกจำลองเพื่อช่วย ในการวิเคราะห์หาหน่วยแรงกระจายที่ลดได้

<u>กำหนด</u> ค่าหน่วยน้ำหนักดินเดิม = 1,750 กก/ม^3

ค่าหน่วยน้ำหนักทรายเม็ดละเอียดถึงหยาบชนิด ความหนาแน่นสูงสุด

= 2,208 กก/ม^3

จากการทดสอบใช้กระบอกตวงขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 เมตร สูง 0.14 เมตรสามารถตวงน้ำได้ 110 กระบอก ต่อ 1 โอ่ง

ดังนั้น ปริมาตรภายในของ 2 โอ่ง = $2x110x0.14x(3.14x0.1^2/4)$

= 0.242 เมตร^3

น้ำหนักตัวโอ่งมังกรเอง = 46 กิโลกรัม ต่อใบ

ปริมาตรทรงกระบอกจำลอง = $(3.14x0.6^2/4)x1.20$

= 0.34 เมตร^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นน้ำหนักทรายที่แทนที่ช่องว่างระหว่างโอ่ง ในทรงกระบอกจำลอง

= (0.34-0.242)x2,208

= 216.38 กิโลกรัม

ดังนั้นค่าน้ำหนักทั้งหมดในทรงกระบอกจำลอง

= น้ำหนักทรายที่แทนที่ช่องว่าง+น้ำหนักทรายปรับผิว ซึ่งกำหนดไว้ 0.10 เมตร+น้ำหนักโอ่งมังกร 2 ใบ

= 216.38+(2,208x0.10x0.2826)+ (46x2)

= 370.78 กิโลกรัม

น้ำหนักดังกล่าว กดลงบนพื้นที่ 0.2826 เมตร ^{2} ดังนั้นกล่าวได้ว่า หน่วยแรงที่กระจายกดลงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ = 370.78/0.2826

= 1,312.02 กก/ม^2

เมื่อพิจารณาภาวะเดิม ซึ่งยังไม่มีการแก้ไขจะได้ หน่วยแรงกระจาย

= 1,750x1.2

= 2,100 กก/ม^2

ดังนั้น จะเห็นว่าสามารถลดหน่วยแรงที่กระจาย ต่อพื้นที่ได้

= 2,100-1,312.02

= 787.98 กก/ม^2/ความหนา 1.2 เมตร

13.2 รายการแสดงรายการการคำนวณ การถ่ายน้ำหนักจากเข็มลงดินแต่ละชั้นโดยประมาณ

ชนิดเข็ม I 0.26x0.26 ยาว 21.00 เมตร จำนวน 1ต้น ต่อฐานราก

$Q_{s\text{-}A}$ = αCPL

= 0.66x1.5x1.04x16.5

= 16.99 ตัน

$Q_{s\text{-}B}$ = αCPL

= 0.48x12.5x1.04x4.5

= 28.08 ตัน

$Q_{b\text{-}B}$ = A_bCN_C

= 5.18 ตัน

ดังนั้น Q_U = 50.25 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.3 รายการแสดงรายการคำนวณการถ่ายแรง จากอาคารลงสู่ฐานราก B-1 และ B-4

13.3.1 ฐานราก 1-B

พื้นที่หน้าตัดถ่ายแรง = 4x2

= 8 ตารางเมตร

น้ำหนักจร (Live Load) = (300+200+200+50)x8

= 6,000 กิโลกรัม

น้ำหนักคงที่ (Dead Load)

พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก = 2,400x0.15x8

= 2,880 กิโลกรัม

พื้นไม้เนื้อแข็ง = 21.25x8x2x2

= 680 กิโลกรัม

เสา = 0.30^2x(2.4+2.4+3+2.6)x2,400

= 2,246.4 กิโลกรัม

คาน = (0.30x0.40)x2,400x(4+2-0.3)x4

= 6,566.4 กิโลกรัม

ผนัง = 180x(9.7-1.2)x(6-0.6)

= 8,262 กิโลกรัม

ฐานราก ประมาณ 60 กิโลกรัม

รวมน้ำหนักที่ถ่ายลงฐานราก B-1 = 600+2,880+680+2,246.4+6,566.4+8,262+60

= 26,698.48กิโลกรัม

= 26.7 ตัน

13.3.2 ฐานราก 4-B

พื้นที่หน้าตัดถ่ายแรง = 4x2

= 8 ตารางเมตร

น้ำหนักจร (Live Load) = (300+200+200+50)x8+(300x8)

= 8,400 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักคงที่ (Dead Load)

พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก = 2,400x0.15x8x2

= 5,760 กิโลกรัม

พื้นไม้เนื้อแข็ง = 21.25x8x2x2

= 680 กิโลกรัม

เสา = 0.30^2x(2.4+2.4+3+2.6)x2,400

= 2,246.4 กิโลกรัม

คาน = (0.30x0.40)x2,400x(4+2-0.3)x5

= 8,208 กิโลกรัม

ผนัง = 180x(9.7-1.6)x(6-0.6)

= 7,873.2 กิโลกรัม

ฐานราก ประมาณ 60 กิโลกรัม

รวมน้ำหนักที่ถ่ายลงฐานราก B-4 = 8,400+5,760+680+2,246.4+8,208+7,873.2+60

= 33,227.6 กิโลกรัม

= 33.23 ตัน

13.3 การหาหน่วยแรงกระทำดั้งเดิมที่ทำต่อชั้นดิน (P_o)

ตารางที่ 6.2.4 การหาหน่วยแรงกระทำดั้งเดิมที่ทำต่อชั้นดิน (P_o)

ชั้นดิน	Elevation	ค่าหน่วยน้ำหนักประสิทธิผล	H	P	P_o
	(เมตร)	(ตัน/$ม^3$)	(เมตร)	(ตัน/$ม^2$)	(ตัน/$ม^2$)
A	0	0.725	16.5	0	5.98
	16.5			11.96	
B	16.5	1.04	6.5	11.96	15.34
	23			18.72	
C	23	1.1	3.5	18.72	20.65
	26.5			22.57	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.4 การหาหน่วยแรงกระทำที่เพิ่มขึ้น จากการถ่ายแรงของเข็มสู่ชั้นดิน (ΔP_1)

สมมติฐาน

1. การถ่ายแรง ที่ระยะ 2 ใน 3 ของความยาวเข็มในชั้นดินนั้นๆ
2. เข็มถ่ายแรงลงแต่ละชั้นดินด้วย เปอร์เซ็นต์ ดังนี้
   ชั้น A= 34% , ชั้น B = 64%
3. คิดการกระจายหน่วยแรงโดยวิธีประมาณ

ตารางที่ 6.2.5 การหาหน่วยแรงกระทำที่เพิ่มขึ้น จากการถ่ายแรงของเข็มสู่ชั้นดิน (ΔP_1)

Elevation	พื้นที่ถ่ายแรงโดยการประมาณ		ฐานราก 1-B		ฐานราก 4-B	
	ที่เข็มถ่ายให้ชั้น A	ที่เข็มถ่ายให้ชั้น B	จาก A	จาก B	จาก A	จาก B
(เมตร)	ตร.ม.	ตร.ม.	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2
0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
16.5	43.7	0	0.220	0.000	0.259	0.000
23	199.27	18.5	0.047	0.988	0.057	1.185
26.5	329.7	69.6	0.029	0.263	0.034	0.315

ชั้นดิน	หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นจากการแรงของเข็มสู่ดิน	
	ฐานราก1-B	ฐานราก4-B
	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2
A	0.1100	0.1293
B	0.6278	1.5010
C	0.6634	0.7958

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.5 การหาหน่วยแรงที่กระทำเพิ่มขึ้นจาก ดินถม (ΔP_2)

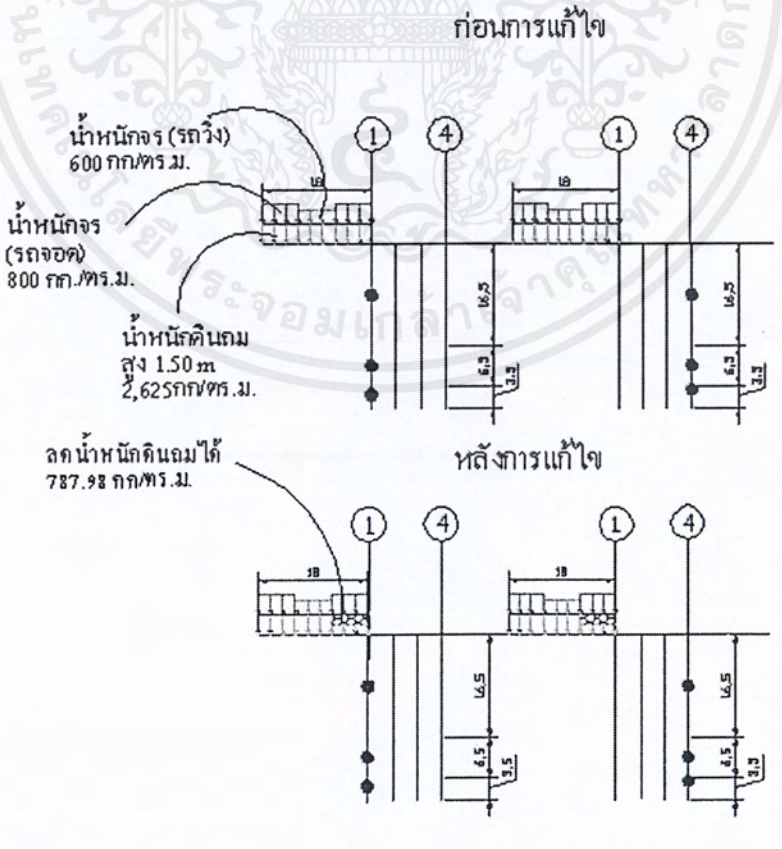
สมมติฐาน

1. มีระดับดิถมสูงกว่าระดับเมื่อตอนออกแบบ ประมาณ 1.50 เมตร
2. พฤติกรรมน้ำหนักกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอบนพื้นที่เป็นแถบ
3. ค่าความกว้างแถบ เท่ากับ 18 เมตร
4. ดินถมเดิม มีค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน เท่ากับ 1.75 ตัน ต่อ $ม^2$

13.5.1 กรณีที่ 1 เมื่อสมมติแก้ไข ตลอดแนวยาวของถนน

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ หาหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi}\{\alpha + \sin\alpha\cos(\alpha + 2\beta)\} \qquad (6.2a)$$



รูปที่ 6.2.5 พฤติกรรมหน่วยแรงที่กระทำเพิ่มขึ้นจาก ดินถม (ΔP_2) (กรณีที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2.6 การหาหน่วยแรงที่กระทำเพิ่มขึ้นจาก ดินถม (ΔP_2) (กรณีที่ 1)

ชั้นดิน	1B													
	β_1	α_1	q_1 กก/ม^2	σ_1 กก/ม^2	β_2	$\alpha 2$	q_2 กก/ม^2	$\sigma 2$ กก/ม^2	สรุปก่อนการแก้ไข $\sigma_{1+}\sigma_2$ กก/ม^2	β_3	α_3	q_3 ที่ลดลงหลังแก้ไข กก/ม^2	σ_3 กก/ม^2	สรุปหลังการแก้ไข $\sigma_{1+}\sigma_{2+}\sigma_3$ กก/ม^2
A	0	65.38	3,425	1,658	36.03	19.46	-200.00	-21.08	1,636.47	0	36.03	-787.98	-277.08	1,359.39
B	0	42.35	3,425	1,349	16.90	14.38	-200.00	-26.53	1322.31	0	16.90	-787.98	-143.75	1,178.56
C	0	35.89	3,425	1,201	13.63	12.24	-200.00	-24.02	1176.82	0	13.63	-787.98	-117.11	1,059.71

ชั้นดิน	4B													
	β_1	α_1	q_1 กก/ม^2	σ_1 กก/ม^2	β_2	$\alpha 2$	q_2 กก/ม^2	$\sigma 2$ กก/ม^2	สรุปก่อนการแก้ไข $\sigma_{1+}\sigma_2$ กก/ม^2	β_3	α_3	q_3 ที่ลดลงหลังแก้ไข กก/ม^2	σ_3 กก/ม^2	สรุปหลังการแก้ไข $\sigma_{1+}\sigma_{2+}\sigma_3$ กก/ม^2
A	55.49	19.13	3,425	134	65.38	5.65	-200.00	-1.74	132.39	55.49	9.89	-787.98	-21.23	111.16
B	31.28	25.36	3,425	500	42.35	8.20	-200.00	-8.66	491.20	31.28	11.07	-787.98	-62.06	429.13
C	25.87	24.59	3,425	575	36.03	8.09	-200.00	-10.53	564.88	25.87	10.16	-787.98	-65.34	499.54

13.5.2 กรณีที่ 2 เมื่อสมมติแก้ไข เฉพาะหน้าอาคาร

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ หาหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น

$$\sigma_z = qI_r \qquad (6.2b)$$

: โดย I_r คือ แฟคเตอร์อิทธิพลซึ่งแปรตามค่า m และ n

$$m = \frac{B}{Z} \quad , \quad n = \frac{L}{Z}$$

จากตารางที่ 6.2.6 พบว่าหลังการแก้ไขสามารถลดหน่วยแรงกระทำได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2.7 การหาหน่วยแรงที่กระทำเพิ่มขึ้นจาก ดินถม (ΔP_2) (กรณีที่ 1)

ชั้นดิน	1B											
	β_1	α_1	q_1 กก/ม^2	σ_1 กก/ม^2	β_2	α_2	q_2 กก/ม^2	σ_2 กก/ม^2	สรุปก่อนการแก้ไข	หน่วยแรงที่ลด		สรุปหลังการแก้ไข
									$\sigma_{1+}\sigma_2$ กก/ม^2	I'_r	$\sigma_3 = 2x\sigma'_3$ กก/ม^2	$\sigma_{1+}\sigma_{2+}\sigma_3$ กก/ม^2
A	0	65.38	3,425	1,658	36.03	19.46	-200.00	-21.08	1,636.47	0.103	-162.32	1,474.15
B	0	42.35	3,425	1,349	16.90	14.38	-200.00	-26.53	1,322.31	0.028	-44.13	1,278.18
C	0	35.89	3,425	1,201	13.63	12.24	-200.00	-24.02	1,176.82	0.017	-26.8	1,150.02

ชั้นดิน	4B											
	β_1	α_1	q_1 กก/ม^2	σ_1 กก/ม^2	β_2	$\alpha 2$	q_2 กก/ม^2	$\sigma 2$ กก/ม^2	สรุปก่อนการแก้ไข	หน่วยแรงที่ลด		สรุปหลังการแก้ไข
									$\sigma_{1+}\sigma_2$ กก/ม^2	I'_r	$\sigma_3 = 2x\sigma'_3$ กก/ม^2	$\sigma_{1+}\sigma_{2+}\sigma_3$ กก/ม^2
A	55.49	19.13	3,425	134	65.38	5.65	-200.00	-1.74	132.39	0.003	-4.73	127.66
B	31.28	25.36	3,425	500	42.35	8.20	-200.00	-8.66	491.20	0.008	-12.61	478.59
C	25.87	24.59	3,425	575	36.03	8.09	-200.00	-10.53	564.88	0.01	-15.76	549.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.6 การหาขนาดการทรุดตัวของฐานราก

$$S = \frac{C_c}{1+e_o} H \log\left(\frac{P_O + \Delta P}{P_O}\right) \qquad (6.2c)$$

13.6.1 กรณีที่ 1 เมื่อสมมติแก้ไข ตลอดแนวยาวของถนน

ตารางที่ 6.2.8 การหาขนาดการทรุดตัวของฐานราก กรณีที่ 1

ชั้นดิน	C_c	e_o	H	P_o	หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น			การทรุดตัว(S)		ค่าการทรุดตัวที่ฉดลงหลังแก้ไข
					1-B					
					ถ่ายจากเข็ม	ดินถม				
						ก่อนแก้ไข	หลังแก้ไข	ก่อนแก้ไข	หลังแก้ไข	
			เมตร	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	เมตร	เมตร	เมตร
A	0.44	0.9	16.5	5.98	0.110	1.636	1.359	0.4251	0.3645	0.0606
B	0.32	0.6	6.5	15.34	0.628	1.322	1.179	0.0676	0.0629	0.0047
C	0.27	0.5	3.5	20.65	0.663	1.176	1.060	0.0233	0.0219	0.0014
TOTAL 1-B								**0.5160**	**0.4493**	**0.0667**

ชั้นดิน	C_c	e_o	H	P_o	หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น			การทรุดตัว(S)		ค่าการทรุดตัวที่ฉดลงหลังแก้ไข
					4-B					
					ถ่ายจากเข็ม	ดินถม				
						ก่อนแก้ไข	หลังแก้ไข	ก่อนแก้ไข	หลังแก้ไข	
			เมตร	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	เมตร	เมตร	เมตร
A	0.44	0.9	16.5	5.98	0.129	0.132	0.111	0.0709	0.0653	0.0056
B	0.32	0.6	6.5	15.34	1.501	0.491	0.429	0.0689	0.0669	0.0020
C	0.27	0.5	3.5	20.65	0.796	0.565	0.500	0.0175	0.0167	0.0008
TOTAL 4-B								**0.1573**	**0.1489**	**0.0084**

จากเดิมถ้าไม่มีการแก้ไขจะทำให้เกิดการทรุดตัวต่างกัน = 0.3587 เมตร

เมื่อมีการแก้ไขจะทำให้เกิดการทรุดตัวต่างกัน = 0.3005 เมตร

ดังนั้นสามารถแก้การทรุดตัวต่างกันได้ = **0.0583** เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.6.2 กรณีที่ 2 เมื่อสมมติแก้ไข เฉพาะหน้าอาคาร

ตารางที่ 6.2.9 การหาขนาดการทรุดตัวของฐานราก กรณีที่ 2

ชั้นดิน	C_c	e_o	H	P_o	หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น			การทรุดตัว(S)		ค่าการทรุดตัวที่ลดลงหลังแก้ไข
					1-B					
					ถ่ายจากเข็ม	ดินถม				
						ก่อนแก้ไข	หลังแก้ไข	ก่อนแก้ไข	หลังแก้ไข	
			เมตร	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	เมตร	เมตร	เมตร
A	0.44	0.9	16.5	5.98	0.110	1.636	1.474	0.4251	0.3899	0.0352
B	0.32	0.6	6.5	15.34	0.628	1.322	1.278	0.0676	0.0661	0.0014
C	0.27	0.5	3.5	20.65	0.663	1.176	1.150	0.0233	0.0230	0.0003
TOTAL 1-B								**0.5160**	**0.4791**	**0.0369**

ชั้นดิน	C_c	e_o	H	P_o	หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น			การทรุดตัว(S)		ค่าการทรุดตัวที่ลดลงหลังแก้ไข
					4-B					
					ถ่ายจากเข็ม	ดินถม				
						ก่อนแก้ไข	หลังแก้ไข	ก่อนแก้ไข	หลังแก้ไข	
			เมตร	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	ตัน/ม^2	เมตร	เมตร	เมตร
A	0.44	0.9	16.5	5.98	0.129	0.132	0.128	0.0709	0.0698	0.0011
B	0.32	0.6	6.5	15.34	1.501	0.491	0.479	0.0689	0.0685	0.0004
C	0.27	0.5	3.5	20.65	0.796	0.565	0.549	0.0175	0.0173	0.0002
TOTAL 4-B								**0.1573**	**0.1556**	**0.0017**

จากเดิมถ้าไม่มีการแก้ไขจะทำให้เกิดการทรุดตัวต่างกัน = 0.3587 เมตร

เมื่อมีการแก้ไขจะทำให้เกิดการทรุดตัวต่างกัน = 0.3235 เมตร

ดังนั้นสามารถแก้การทรุดตัวต่างกันได้ = **0.0352** เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 Case Study : อาคารที่เกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน เนื่องจากความไม่มั่นคงของฐานราก

1. สถานที่

บ้านเลขที่ 310/221- 232 ซอยรามคำแหง 70 บางกะปิ กรุงเทพฯ

2. ลักษณะอาคาร

อาคาร 3ชั้น จำนวน 12 หลัง โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นกึ่งสำเร็จรูป แบบ INVERSE TEE ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ และมีผนังก่ออิฐเต็มแผ่นบางหลัง เพื่อใช้เป็นผนังกันไฟ ตามกฎหมาย

3. ประเภทอาคาร

ทาวเฮาส์ ที่พักอาศัย

4. อายุอาคาร

ประมาณ 10 ปี

5. วันที่เริ่มสำรวจ

1 มีนาคม 2543

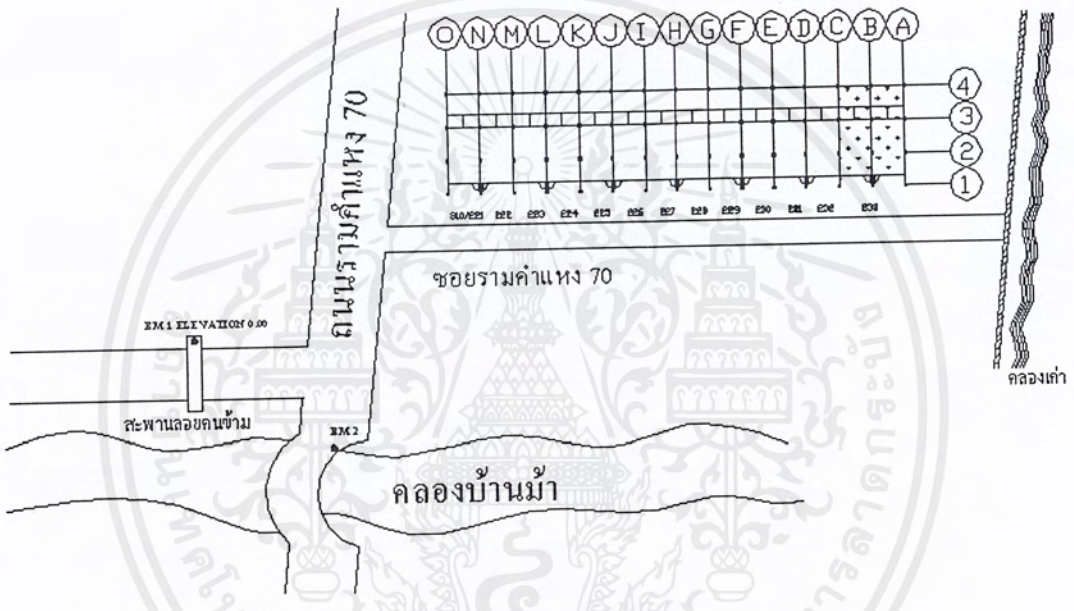
6. รายละเอียดของอาคาร

กว้างxยาว	4.00x12.50	เมตร(ตัวอาคารหลัก)
กว้างxยาว	4.00x 2.50	เมตร(ตัวอาคารส่วนต่อเติม)
มีเนื้อที่ประมาณ	68	ตารางเมตร/หลัง
พื้นที่อาคารหลักต่อชั้น	50	ตารางเมตร/ชั้น/หลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สภาพบริเวณใกล้เคียง

ด้านหน้า	ติด ถนน
ด้านซ้าย	ติดหนองน้ำ
ทิศหลัง	ติดที่ดินเปล่า
ทิศขวา	ติดอาคาร



รูปที่ 6.3.1 แผนที่สังเขป

8. ข้อมูลเกี่ยวกับฐานราก

อาคารหลัก	-	ฐานรากลึกวางบนเข็ม I-0.26 ยาว 21.00 เมตร
อาคารส่วนต่อเติม	-	เป็นฐานรากเข็มสั้นยาวประมาณ 6.00-8.00 เมตร

9. สาเหตุ ที่ดำเนินการตรวจสอบ

เนื่องจากสภาพอาคารที่มีการเอียง และมีการทรุดตัว อย่างมาก ทำให้ทางเขตบางกะปิ มีหนังสือแจ้งมาให้ยุติการใช้สอยอาคารดังกล่าว เพราะอยู่ในสภาพอันตราย ก่อให้เกิดอันตรายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. การสำรวจตรวจสอบ

10.1 การสำรวจทางกายภาพของโครงสร้าง

การสำรวจทางกายภาพของโครงสร้างอาคารประกอบด้วย การเข้าสำรวจสภาพทางกายภาพทั้งภายนอก ภายใน ของอาคารทั้งหมด อันได้แก่ ตรวจ สภาพและลักษณะรอยร้าว ในส่วนที่เป็นโครงสร้างของอาคารและส่วนประกอบที่ไม่ใช้โครงสร้าง เช่น รอยแตกร้าวบนผนังก่ออิฐ การบิดตัวของวงกบประตู และหน้าต่าง รวมทั้งสภาพการเอียงการบิดของอาคาร พร้อมทั้งถ่ายรูปบันทึกร่องรอยการแตกร้าวและสภาพที่เกิดขึ้น นำไปเป็นข้อมูลประกอบในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เพื่อหาวิธีแก้ไขต่อไป

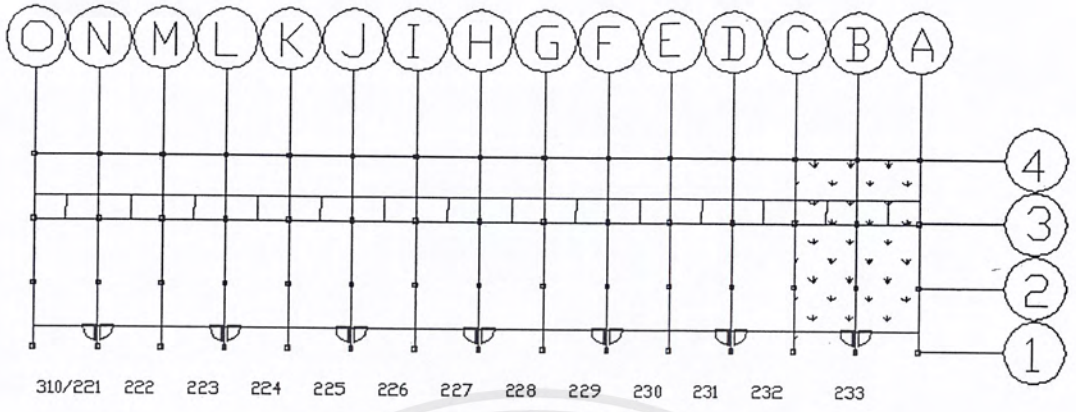
10.2 การสำรวจหาระดับการทรุดตัว

การตรวจสอบลักษณะการทรุดตัวของอาคาร กระทำโดยการหาระดับของท้องคานชั้นที่ 2 ตรงตำแหน่งขอบเสาทุกต้นของอาคาร เลขที่ 310/221-310/233 แล้วนำเอาค่าระดับมาพล็อตลงบนระนาบเพื่อดูลักษณะการทรุดตัวและการบิดตัวของระนาบพื้นชั้นที่ 2 ของอาคาร

นอกจากนั้นในการตรวจสอบระดับท้องคานชั้นที่ 2 ได้ทำหมุดอ้างอิงไว้ที่ 2 ตำแหน่ง เพื่อสามารถติดตามลักษณะการทรุดตัวในภายหลัง ตำแหน่งที่ 1 ทำหมุดอ้างอิงไว้ที่ สะพานข้ามคลองบ้านม้า (BM 1) ตำแหน่งที่ 2 – สุขาภิบาล 3 (BM 2) โดยรายละเอียดของขั้นตอนการตรวจสอบมีดังนี้

1. การตั้งกล้องระดับและไม้ระดับและไม้สต๊าฟทำการถ่ายระดับจากหมุดระดับอ้างอิง BM 1(สะพานข้ามคลองบ้านม้า) และ BM 2 (สะพานลอยคนข้ามระหว่างทางเชื่อมถนนสุขาภิบาล 2-สุขาภิบาล 3) โดยให้ระดับหัวหมุด BM 2 เป็นระดับ 0.00 (ระดับอ้างอิง)
2. ทำการถ่ายระดับจาก BM 2 มายังตำแหน่งหมุดหน้าอาคาร ทำการวัดระดับพื้นชั้น 1 ตรงตำแหน่วเสาทุกต้นของบ้านเลขที่ 310/223
3. ทำการวัดระดับท้องคานชั้น 2 ตรงตำแหน่งเสาทุกต้นของทุกหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

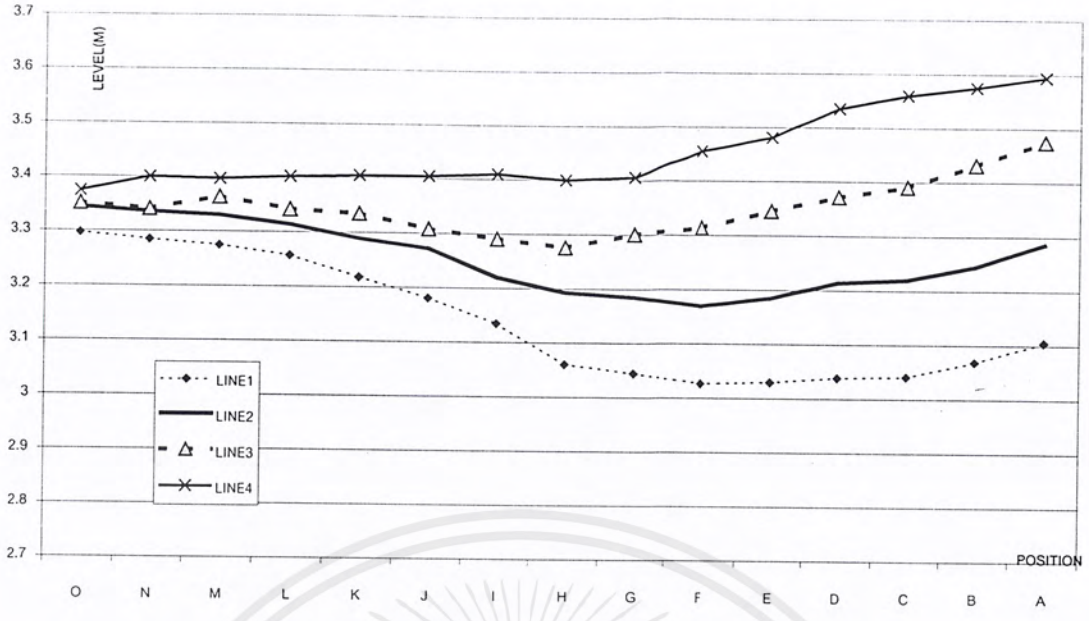


รูปที่ 6.3.2 ผังแนว และตำแหน่ง ที่ทำการสำรวจ

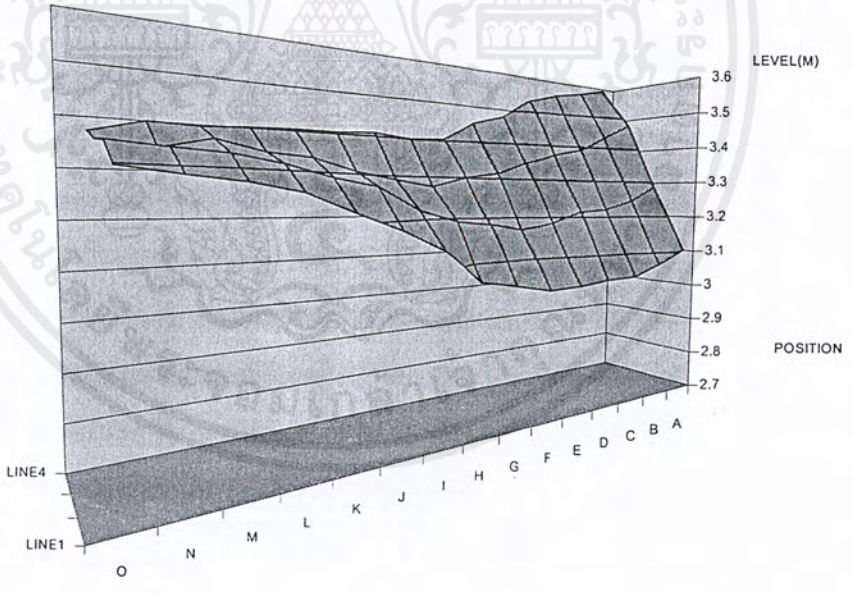
ตารางที่ 6.3.1 ค่าระดับเฉลี่ยที่ตำแหน่งใต้ท้องคานชั้น 2 ในแนวต่างๆ

POSITION	LINE1	LINE2	LINE3	LINE4
O	3.297	3.344	3.351	3.374
N	3.285	3.336	3.341	3.4
M	3.275	3.33	3.364	3.397
L	3.257	3.314	3.342	3.402
K	3.218	3.289	3.335	3.405
J	3.181	3.272	3.308	3.405
I	3.135	3.22	3.291	3.41
H	3.061	3.193	3.276	3.4
G	3.045	3.185	3.301	3.406
F	3.027	3.17	3.314	3.455
E	3.03	3.185	3.345	3.481
D	3.039	3.214	3.372	3.535
C	3.041	3.22	3.391	3.56
B	3.069	3.245	3.432	3.575
A	3.105	3.286	3.475	3.594

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3.3 ค่าระดับเฉลี่ยที่ตำแหน่งใต้ท้องคานชั้น 2 ในแนวต่างๆ



รูปที่ 6.3.4 ภาพ 3มิติของระดับท้องคานชั้น 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.3 การตรวจสอบสภาพฐานราก

ทำการขุดดินบริเวณฐานรากต้นที่พิจารณาว่าจะเกิดการเสียหายมากที่สุด โดยขุดลงไปให้ลึกต่ำกว่าระดับหัวเข็มประมาณ 50 เซนติเมตร เพื่อดูลักษณะการวางตัวของฐานรากอาคาร ตำแหน่งของเสาเข็ม มิติและระยะต่างๆของเสาตอม่อ ฐานราก และเสาเข็ม ตลอดจนตรวจสอบความเสียหายของฐานราก รอยแตกของเสาตอม่อและเสาเข็ม และการทำการตรวจสอบตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของของฐานราก และเสาเข็ม เพื่อดูว่าน้ำหนักที่ถ่ายจากตอม่อลงสู่เสาเข็มเกิดการเยื้องศูนย์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่

10.4 การตรวจสอบความยาวเสาเข็ม

การตรวจสอบความยาวเสาเข็มกระทำโดย บริษัท STS COSULTANT จำกัด โดยใช้เครื่อง Foundation Pile Diagnostic System หรือ Sonic Pile Integrity Test ของ TNO ชนิดติดตั้งระบบส่งสัญญาณคลื่นด้านข้างของเสา โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ทำการขุดดินจนกระทั่งหัวเข็มโผล่พ้นดินประมาณ 50 เซนติเมตร เพื่อให้สะดวกต่อการติดตั้งชุดทดสอบ
2. ทำความสะอาดผิวเสาเข็มด้านข้างบริเวณที่ติดตั้งชุดส่งสัญญาณ ควรมีพื้นที่ผิวด้านข้างบนหัวเสาเข็มเพียงพอที่จะติดตั้ง Steel Plate
3. ทำการติดตั้ง Steel Plate บนพื้นที่บนหัวเสาเข็มที่ได้เตรียมไว้ โดยทำการยึด Steel Plate กับเสาเข็มด้วย Plug หรือ Bolt และทำการติดตั้งอุปกรณ์ Acceterometer บนพื้นผิวด้านข้างของหัวเสาเข็ม
4. ใช้ HELD HAMMER ตอกที่ Steel Plate เพื่อส่งคลื่นเดินทางไปในเนื้อเสาเข็ม แล้ววัดสัญญาณสะท้อนโดยอุปกรณ์ DATA COLLECTOR ทำการเก็บข้อมูลเสาเข็มต้นละ 3 ครั้ง เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาความยาวเสาเข็มต่อไป

10.5 ตำแหน่งที่ทำการสำรวจตรวจสอบ

1. การสำรวจทางกายภาพของโครงสร้างอาคาร ได้ทำการเข้าสำรวจและถ่ายรูปประกอบลักษณะของรอยร้าว การทรุดตัวต่างๆที่เกิดขึ้นในอาคารทั้งหมดทุกชั้น ตั้งแต่บ้านเลขที่ 310/233 ถึง 310/221
2. การวัดระดับการทรุดตัว ได้ทำการเข้าสำรวจและวัดระดับการทรุดตัวของอาคาร โดยวัดจากระดับท้องคานชั้นที่ 2 ของอาคารทั้งหมดตั้งแต่บ้านเลขที่ 310/233 ถึง 310/221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตรวจสอบสภาพของฐานรากได้ทำการขุดดินเพื่อสำรวจสภาพฐานราก และความเสียหายต่าง ๆ ของอาคารที่พิจารณาแล้วว่ามีความเสียหายมากที่สุด คือบ้านเลขที่ 310/233 ตำแหน่งเสา 1-A,2-A, 3-A,4-A,4-B,1-C และได้ทำการขุดสำรวจในส่วนอาคารที่พิจารณาให้เป็นตัวแทนของอาคารที่เหลือ คือบ้านเลขที่ 310/226 ตำแหน่งเสา 1-I บ้านเลขที่ 310/224 ตำแหน่งเสา 1-K
4. การวัดความยาวเสาเข็มโดยใช้เครื่อง PILEINTEGITY TEST โดยบริษัท STS CONSULTANT จำกัด ให้ทำการตรวจสอบความยาวเสาเข็มบ้านเลขที่ 310/233 ตำแหน่งเสา 3–A,4–A,4 –B,1–C บ้านเลขที่ 310/226 ตำแหน่งเสา 1 – I บ้านเลขที่ 310/224 ตำแหน่งเสา 1 – K

ตารางที่ 6.3.2 ผลการวัดความยาวเสาเข็ม และความสมบูรณ์ของฐานราก โดยวิธี Side Echo Test

หมายเลขเสาเข็ม	สภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มทดสอบ	ความยาวเสาเข็มโดยประมาณ
3-A	พบสภาพบกพร่องเล็กน้อยที่ระดับความลึกประมาณ 5.7 เมตร	20.3
4-A	สมบูรณ์	20
4-B	คลื่นสัญญาณที่ตรวจสอบไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้	ไม่สามารถตรวจสอบได้
1-C	พบสภาพบกพร่องเล็กน้อยที่ระดับความลึกประมาณ 6.4 เมตร	ไม่สามารถตรวจสอบได้
1-I	พบสภาพบกพร่องเล็กน้อยที่ระดับความลึกประมาณ 4.0 เมตร	19.5
1-K	คลื่นสัญญาณที่ตรวจสอบไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้	ไม่สามารถตรวจสอบได้

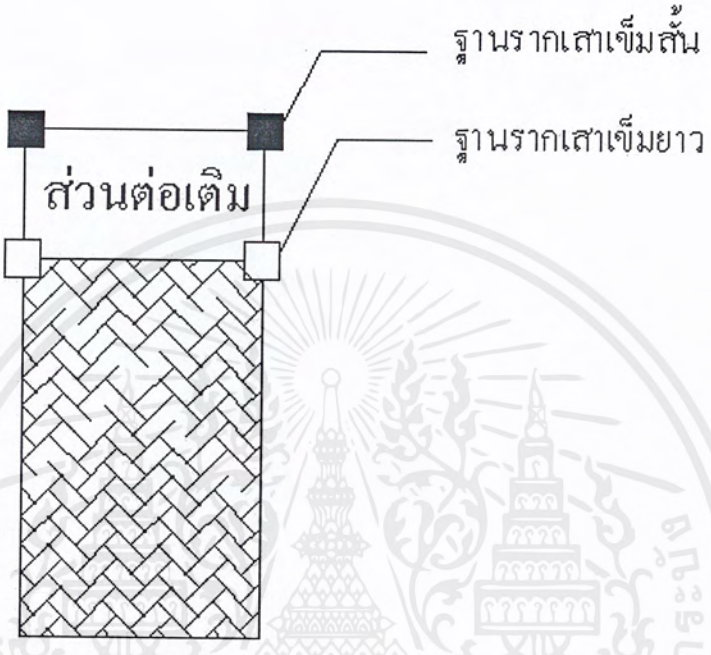
11. การสรุปผลการวิเคราะห์

จากผลการสำรวจ พบว่าสภาพรอยแตกร้าวที่เกิดนั้นมีผลมาจากการทรุดตัวที่ต่างกันของฐานรากอย่างแน่นอน เมื่อตรวจสอบอาคารหลังนี้พบว่าโครงสร้างทุกช่วงไม่ผ่านตาม ข้อกำหนดของค่าการทรุดตัวที่ยอมให้ ซึ่งกำหนดว่าต้องไม่เกิน 0.003L

ผลการสำรวจเกี่ยวกับสภาพฐานรากปรากฏว่า สภาพฐานรากในตำแหน่งที่ตรวจสอบมีลักษณะที่ไม่ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ นั่นคือ มีการใช้เข็มตัว I-0.22 และ I-0.20 แทนที่จะใช้ I-0.26 อีกทั้งยังมีปัญหาในเรื่องการทำฐานราก ซึ่งพบว่าเกิดการเยื้องศูนย์อย่างมาก ทำให้เกิดโมเมนต์ขึ้นในฐานราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการต่อเติมอาคารในบริเวณด้านหลังของอาคาร ซึ่งพบว่าใช้พื้นสำเร็จรูปวางบนคาน ที่มีปลายด้านหนึ่งอยู่บนเสาเข็มสั้น และอีกปลายหนึ่งยึดติดกับฐานรากของอาคารเดิม ทำให้เกิดการแยกตัวของโครงสร้างเนื่องจากเสาเข็มสั้นมีค่าการทรุดตัวมากกว่า



รูปที่ 6.3.5 โครงสร้างส่วนต่อเติม

12. รายการคำนวณ

12.1 รายการคำนวณหาน้ำหนักที่ถ่ายลงฐานราก

ในกรณีนี้ คำนวณที่ตำแหน่งฐานรากของบ้านเลขที่ 310/229 (เนื่องจากอยู่ในแนวที่รับน้ำหนักผนังอิฐมอญเต็มแผ่น เพื่อเป็นผนังกันไฟตามกฎหมาย) และที่ตำแหน่ง 4-E เป็นตัวคำนวณเนื่องจากเป็นตัวที่รับน้ำหนักมากที่สุด และน้อยที่สุดตามลำดับ ซึ่งมีรายการคำนวณมีดังนี้

12.1.1 ฐานรากของบ้านเลขที่ 310/229

น้ำหนักจร (Live Load) = จากชั้น1 +จากชั้น2+จากชั้น3+จากหลังคา

= (150x3)+50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 500 กิโลกรัม/ตารางเมตร

= 500 x (4.00 x 4.17)

= 8.340 ตัน

น้ำหนักคงที่ (Dead Load)

ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบเรียบ = (180 x 2.85x 3.70) x3

= 5.694 ตัน

ผนังร่วมอิฐมอญเต็มแผ่นฉาบเรียบ

= (360 x2.85 x4.25) x 3

= 13.082 ตัน

คาน = 0.30 x 0.45 x (4.00+4.25-0.30) x 2,400 x 4

= 10.303 ตัน

เสา = 2.85 x 0.30 x 0.30 x 2,400 x 4

= 2.462 ตัน

พื้น = 0.10 x 2,400 x 4.00 x4.25 x3

= 12.240 ตัน

ดังนั้นรวมน้ำหนักโครงสร้างส่วนบนที่ถ่ายลงฐานราก มากสุด

= 8.340+5.694+13.082+10.303+2.462+12.240

= 52.12 ตัน

น้ำหนักฐานราก = 2,400x0.60x0.80x1.46

= 1.682 ตัน

ดังนั้นน้ำหนักทั้งหมดที่ถ่ายลงสู่ฐานราก ตัวมากสุด

= 52.12+1.682

= 53.802 ตัน

12.1.2 ตำแหน่งฐานรากแนว 4-E

น้ำหนักจร (Live Load) = จากชั้น1 +จากชั้น2+จากชั้น3+จากหลังคา

= (150x3)+50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 500 กิโลกรัม/ตารางเมตร

= 500 x (4.00 x 2.00)

= 4 ตัน

น้ำหนักคงที่ (Dead Load)

ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบเรียบ = (180 x 2.85x(4.00+2.00-0.45)) x3

= 8.54 ตัน

คาน = 0.30 x 0.45 x (4.00+2.00-0.15) x 2,400 x 4

= 7.60 ตัน

เสา = 2.85 x 0.30 x 0.30 x 2,400 x 4

= 2.46 ตัน

พื้น = 0.10 x 2,400 x 4 .00x2 .00x3

= 5.80 ตัน

ดังนั้นรวมน้ำหนักโครงสร้างส่วนบนที่ถ่ายลงฐานราก 4-E

= 4+8.54+7.60+2.46+5.80

= 28.40 ตัน

น้ำหนักฐานราก = 2,400x0.60x0.60x0.80

= 0.6912 ตัน

ดังนั้นน้ำหนักทั้งหมดที่ถ่ายลงสู่ฐานราก 4-E ทั้งหมด

= 28.40+0.6912

= 29.10 ตัน

12.2 การคำนวณหาความสามารถเข็ม I-0.26 I-0.22 และ I-0.20 ยาว 21.00 เมตร

ข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์

1. น้ำหนักที่ถ่ายลงฐานรากมากสุด เท่ากับ 52.12 ตัน
2. จากการสำรวจพบว่า มีการใช้เข็มผิดจากที่ออกแบบนั่นคือใช้เข็ม ขนาด I-0.20และ I-0.22 แทน ที่จะใช้เท่าที่ออกแบบนั่นคือ ขนาดI-0.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคิดความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม กำหนดใช้ข้อมูลดิน บริเวณ พหลโยธิน

ตารางที่ 6.3.3 การคำนวณหาความสามารถเข็ม I-0.26 0.22 และ0.20 ยาว 21 เมตร

ชั้นดิน	ระดับ (m-m)	L (m)	Friction Skin Resistance					End Bearing Resistance				
			α	C (ton/m^2)	Diameter 0.26 (m)	Diameter 0.22 (m)	Diameter 0.20 (m)	C (ton/m^2)	N_C	Diameter 0.26 (m)	Diameter 0.22 (m)	Diameter 0.20 (m)
A	1.50-4.50	3.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00					
B	4.50-5.00	0.50	0.85	1.20	0.53	0.45	0.41					
C	5.00-7.50	2.50	0.84	1.80	3.93	3.33	3.02					
D	7.50-8.00	0.50	0.83	2.40	1.04	0.88	0.80					
E	8.00-10.50	2.50	0.87	2.85	6.45	5.45	4.96					
F	10.50-11.00	0.50	0.81	3.30	1.39	1.18	1.07					
G	11.00-12.00	1.00	0.86	2.70	2.41	2.04	1.86					
H	12.00-12.50	0.50	0.88	2.10	0.96	0.81	0.74					
I	12.50-13.50	1.00	0.77	3.75	3.00	2.54	2.31					
J	13.50-14.00	0.50	0.75	5.40	2.11	1.78	1.62					
K	14.00-15.00	1.00	0.74	5.45	4.19	3.55	3.23					
L	15.00-15.50	0.50	0.73	5.50	2.09	1.77	1.61					
M	15.50-16.50	1.00	0.90	6.70	6.27	5.31	4.82					
N	16.50-16.95	0.45	0.88	7.90	3.24	2.74	2.49					
O	16.95-21.00	4.05	0.75	9.96	31.46	26.62	24.20	9.96	9	4.14	2.96	2.45
TOTAL					69.33	58.66	53.33			4.14	2.96	2.45

ขนาดเข็ม (m)	Qs (ton)	Qb (ton)	Q_u=Q_s+Q_b (ton)	Q_a (F.S.=2.5) (ton)
I-0.26	69.33	4.14	73.47	**29.39**
I-0.22	58.66	2.96	61.63	**24.65**
I-0.20	53.33	2.45	55.78	**22.31**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการตรวจสอบทั้งหมดนี้สามารถสรุปได้ว่า สภาพฐานรากในปัจจุบันมีค่าความปลอดภัยต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้อย่างมาก จนอาจเกิดการวิบัติขึ้นได้ สมควรได้รับการแก้ไขโดยด่วน

13. แนวทางการแก้ไข

กรณีนี้เลือกใช้การแก้ไขโดยวิธีการเสริมฐานรากให้มีความมั่นคงมากขึ้น โดยวิธีการทำเข็ม Micro-Pile ตามระบบ ของBrandtzaeg ซึ่งเหมาะกับดินกรุงเทพฯ ซึ่งมีลักษณะที่ด้านบนเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนหนา

สาเหตุที่เลือกใช้การเสริมความมั่นคงโดย การใช้เข็ม Micro-Pile คือ

1. ฐานรากอาคารมีค่าความปลอดภัยค่อนข้างต่ำ ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการทำงานสูง จึงควรเลือกวิธีที่จะกระทบกระเทือนต่ออาคารน้อยๆ
2. การซ่อมแซมอาคารอยู่ในพื้นที่ที่จำกัด
3. เนื่องจากสามารถดีดอาคารขึ้นได้โดยง่าย และสามารถทำให้ดีดอาคารอีกได้ในภายหลัง โดยไม่ต้องมีการทำฐานรากใหม่ ถ้ามีการทรุดตัวเพิ่มขึ้นอีก
4. ทำความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารน้อยกว่าวิธีอื่นๆ

13.1 ข้อมูลการวิเคราะห์ และออกแบบ การแก้ไขโดยใช้ Micro-Pile

13.1.1 กำหนดข้อมูลเบื้องต้น ของกำลังรับน้ำหนักโดยปลอดภัยของ Micro-Pile ดังนี้

ตารางที่ 6.3.4 ข้อมูลเบื้องต้น ของกำลังรับน้ำหนักโดยปลอดภัยของ Micro-Pile

เส้นผ่านศูนย์กลางก้านเจาะ		น้ำหนักบรรทุกปลอดภัย	
เมตร	นิ้ว	KN	TON
120	4.7	98-147	10-15
140	5.5	147-196	15-20
170	6.7	196-245	20-25
220	8.7	294-392	30-40
280	11.00	392-490	40-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.1.2 การเลือกระบบ Micro-Pile ตามที่นิยมใช้ในดินกรุงเทพฯ

1. Brandtzaeg ยาวประมาณ 30-40 เมตร
2. เสาเข็มแบบรากไม้ของ Soc.An.Fondelile หรือการเจาะแบบเอียงรอบเสาตอม่อ
3. เสา Micro Mascardi ใช้สำหรับบริเวณดินเหนียวแข็ง หรือดินปนทราย

เนื่องจากดินกรุงเทพฯ มีดินหนียวอ่อน อยู่ช่วงตอนบนค่อนข้างหนา รองรับด้วยชั้นดินเหนียวแข็ง และทราย ไม่เหมาะที่จะใช้วิธีการเจาะเพราะต้องมี การใช้ Casing ในการทำซึ่งค่อนข้างเสียค่าใช้จ่ายมาก ดินกรุงเทพฯ จึงเหมาะที่จะใช้วิธีของ Brandtzaeg มากกว่า เนื่องจากเหมาะสำหรับบริเวณที่ดินเหนียวอ่อนมาก สามารถที่จะกด หรือเจาะท่อนเหล็กผ่านลงไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. การคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักของเข็ม Micro-pile ขนาดที่กำหนด

ตารางที่ 6.3.5 การคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักของเข็ม Micro-pile

ชั้นดิน	ระดับ (m-m)	L (m)	Friction Skin Resistance					End Bearing Resistance				
			α	C (ton/m^2)	Diameter 0.14 (m)	Diameter 0.17 (m)	Diameter 0.28 (m)	C (ton/m^2)	N_C	Diameter 0.14 (m)	Diameter 0.17 (m)	Diameter 0.28 (m)
A	1.50-4.50	3.00	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00					
B	4.50-5.00	0.50	0.63	1.20	0.16	0.20	0.33					
C	5.00-7.50	2.50	0.63	1.80	1.24	1.50	2.47					
D	7.50-8.00	0.50	0.63	2.40	0.33	0.40	0.66					
E	8.00-10.50	2.50	0.63	2.85	1.96	2.38	3.92					
F	10.50-11.00	0.50	0.63	3.30	0.45	0.55	0.91					
G	11.00-12.00	1.00	0.63	2.70	0.74	0.90	1.48					
H	12.00-12.50	0.50	0.63	2.10	0.29	0.35	0.58					
I	12.50-13.50	1.00	0.63	3.75	1.03	1.25	2.06					
J	13.50-14.00	0.50	0.63	5.40	0.74	0.90	1.48					
K	14.00-15.00	1.00	0.63	5.45	1.50	1.82	2.99					
L	15.00-15.50	0.50	0.63	5.50	0.76	0.92	1.51					
M	15.50-16.50	1.00	0.58	6.70	1.69	2.06	3.39					
N	16.50-16.95	0.45	0.58	7.90	0.90	1.09	1.80					
O	16.95-21.00	4.05	0.58	9.96	10.20	12.38	20.39					
P	21.00-21.45	0.45	0.58	14.67	1.68	2.04	3.37					
Q	21.45-22.50	1.05	0.58	18.00	4.82	5.85	9.64					
R	22.50-22.95	0.45	0.58	21.33	2.45	2.97	4.89					
S	22.95-23.50	0.55	0.58	21.00	2.94	3.58	5.89	21.00	9	2.908	4.288	11.632
TOTAL					33.88	41.14	67.76			2.908	4.288	11.632

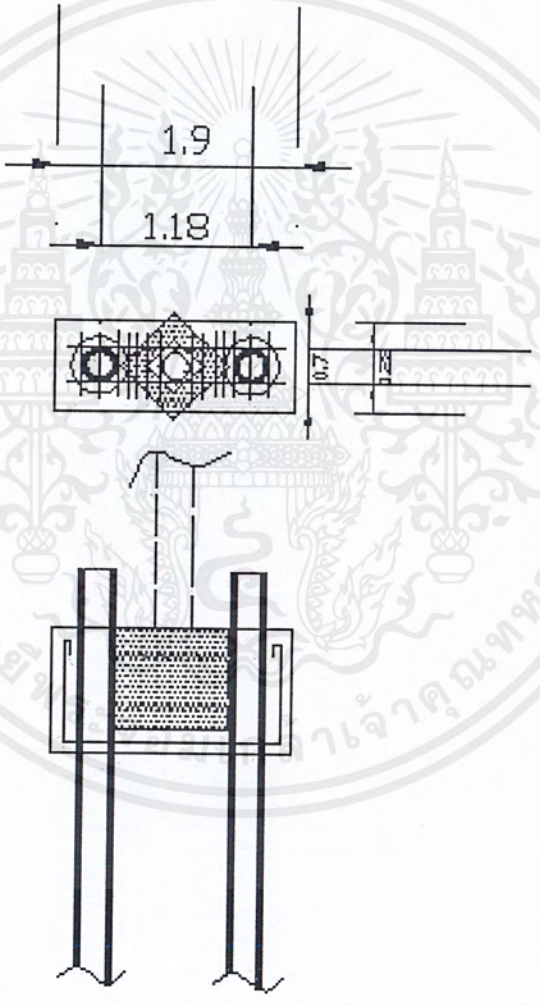
ขนาดเข็ม (m)	Qs (ton)	Qb (ton)	$Q_u = Q_s + Q_b$ (ton)	Q_a (F.S.=2.5) (ton)
Dia 0.14	33.88	2.91	36.79	**14.72**
Dia 0.17	41.14	4.29	45.43	**18.17**
Dia 0.28	67.76	11.63	79.39	**31.76**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเลือกใช้ขนาดของ Micro-Pile

1. ฐานรากตัวที่รับน้ำหนักมากสุด = 53.80 ตัน

เลือกใช้ Micro-pile ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.28 เมตร จำนวน 2 ต้น ซึ่งสามารถรับน้ำหนักได้ถึง 63.52 ตัน โดยใช้ค่าความปลอดภัย 2.5 เท่า

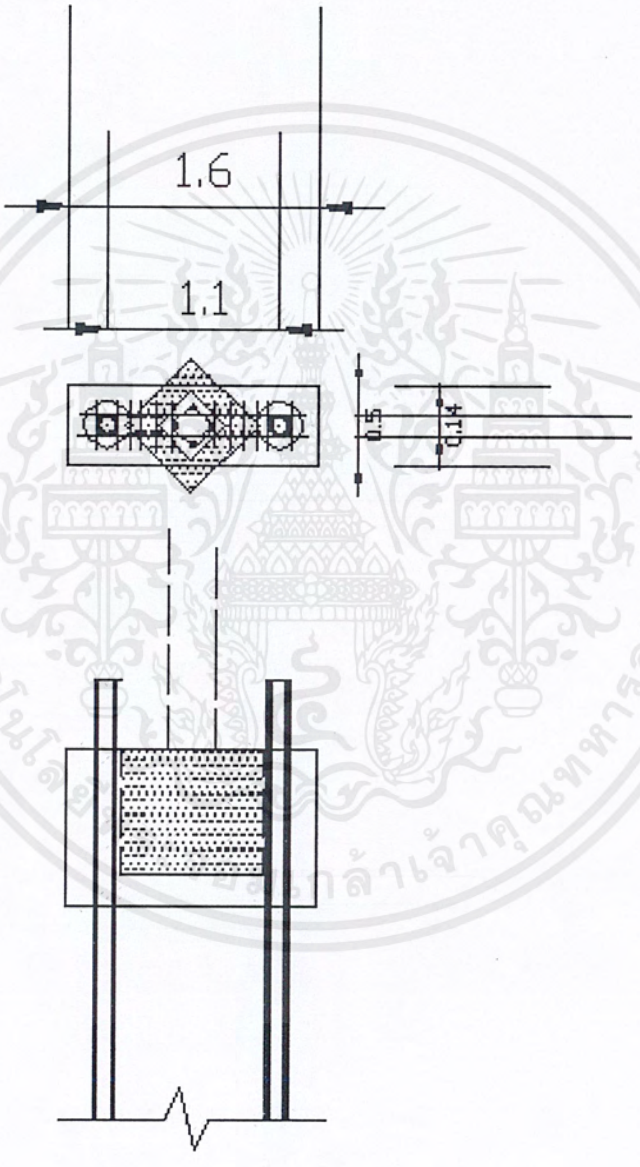


รูปที่ 6.3.6 การเสริมฐานราก ที่ตำแหน่งที่รับแรงมากสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฐานรากตำแหน่ง 4-E = 29.10 ตัน

เลือกใช้ Micro-pile ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.14 เมตร จำนวน 2 ต้น ซึ่งสามารถรับน้ำหนักได้ 29.44 ตัน โดยใช้ค่าความปลอดภัย 2.5 เท่า



รูปที่ 6.3.7 การเสริมฐานราก ที่ตำแหน่ง 4-E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 Case Study : อาคารที่เกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน เนื่องจาก การเคลื่อนตัวของดินใต้ฐานราก

1. สถานที่

บ้านเลขที่ 719 – 721 ซอยสุขุมวิท 24 ถนนสุขุมวิท กรุงเทพมหานคร

2. ลักษณะอาคาร

อาคาร 4 ชั้น โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ

3. ประเภทอาคาร

อาคารพาณิชย์

4. วันที่เริ่มสำรวจ

28 กรกฎาคม 2543

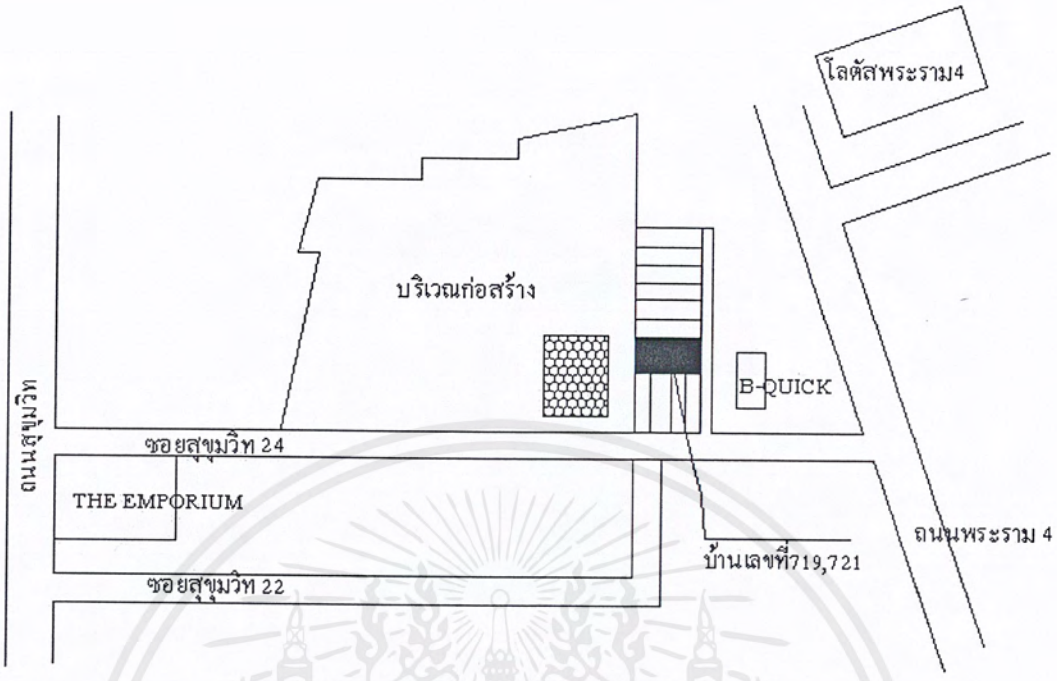
5. รายละเอียดของอาคาร

กว้างxยาว	4.00x12.00	เมตร(ตัวอาคารหลัก)
กว้างxยาว	4.00x 5.00	เมตร(ตัวอาคารส่วนต่อเติม)
มีเนื้อที่ประมาณ	68	ตารางเมตร/หลัง
พื้นที่อาคารหลักต่อชั้น	48	ตารางเมตร/ชั้น/หลัง

6. สภาพบริเวณใกล้เคียง

ด้านหน้า	ติดถนนทางเข้าซอยตัน
ด้านขวา	ติดอาคารพาณิชย์
ด้านซ้าย	ติดอาคารพาณิชย์อาคารถัดมา
ด้านหลัง	ติดเขตก่อสร้างโครงการ Madisin Square Hotel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4.1 แผนที่สังเขป

7. ข้อมูลเกี่ยวกับฐานราก

อาคารหลัก - ฐานรากลึกวางบนเข็ม I0.26-ยาว 21.00 เมตร

อาคารส่วนต่อเติม - เป็นฐานรากตื้นวางบนเข็มไม้ ขนาดประมาณ 6 นิ้ว ไม่ทราบความลึก

8. สาเหตุ ที่ดำเนินการตรวจสอบ

เนื่องจากพบรอยร้าวจำนวนมากที่ตัวโครงสร้างของอาคาร คาดว่าเกิดจากการทรุดตัวไม่เท่ากันของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การสำรวจตรวจสอบ

9.1 การสำรวจดูสภาพของฐานรากและเข็ม

ทำการทุบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก และขุดดินออกจนสามารถเห็นฐานราก และเข็มของอาคารพาณิชย์ทั้ง 2 อาคาร อาคารละ 1 จุด โดยใช้จุดที่อยู่ใกล้เขตก่อสร้างมากสุด ซึ่งใช้จุดมุมขวา ด้านหลังของแต่ละอาคารเป็นจุดตรวจสอบ

จากการตรวจสอบพบสภาพฐานรากเป็นดังนี้

1. ที่อาคารเลขที่ 719 ซึ่งเป็นส่วนของอาคารต่อเติม พบว่าเป็นฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดประมาณ 1x1 เมตร อยู่บนเข็มไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6-7 นิ้ว จำนวนประมาณ 9 ต้น
2. ที่อาคารเลขที่ 721 ซึ่งเป็นส่วนของอาคารที่ต่อเติม พบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดรูปร่างไม่แน่นอน อยู่บนเข็มไม้ขนาดประมาณ 5-6 นิ้ว นับจำนวนเข็มไม่ได้

9.2 การสำรวจระดับของอาคาร

ทำตำแหน่งไว้ที่พื้นใกล้กับตำแหน่งเสาทุกต้นของอาคาร พร้อมทำหมุดอ้างอิงนอกอาคาร 2 จุด แล้วทำการวัดระดับเป็นวงรอบปิด เพื่อเปรียบเทียบระดับในแต่ละครั้ง

9.3 การสำรวจรอยแตกร้าว

ทำการ Observation Mark ที่รอยแตกร้าว เพื่อทำการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงให้ได้ความต่อเนื่องเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคาร โดยทำการแบ่ง ZONE การสำรวจเป็น 3 ส่วน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.3.1 บริเวณอาคารช่วงหน้า

9.3.1.1 ห้องเลขที่ 719

9.3.1.1.1 ความกว้างของเส้นรอยแตกร้าวทะแยง บริเวณผนังด้านข้าง ช่วง 4 เมตรแรกจากด้านหน้ายังคงเดิม

9.3.1.1.2 ความกว้างของเส้นรอยแตกร้าวในแนวดิ่งของอาคารเลขที่ 719 เทียบกับอาคารข้างเคียงที่ความสูงประมาณ 1.00 เมตร และ 2.00 เมตร ยังคงเดิม คืออาคารมีการเอียงตัวไปด้านหลังไปก่อนหน้านี้แล้วเมื่อเทียบกับอาครข้างเคียง แต่ช่วง 3 เดือนที่ทำการสำรวจอาคารช่วงด้านหน้า ไม่ได้เอียงตัวเพิ่มขึ้น

9.3.1.1.3 การปิดเส้นจบที่ปลายรอยแตกร้าวที่ผนังอาคาร ช่วงด้านหน้าช่วง 4 เมตรแรกเพิ่งดำเนินการในการสำรวจเมื่อวันที่ 24 สิงหาคม 2543 จนถึงเมื่อการสำรวจครั้งสุดท้าย ไม่มีรอยแตกร้าวเกินเส้นขีดที่ทำไว้

9.3.1.2 ห้องเลขที่ 721

ไม่มีรอยแตกร้าว ไม่มีการทำ Observation Mark

9.3.2 บริเวณอาคารช่วงรอยต่อระหว่างอาคารช่วงหน้า และช่วงหลัง.

9.3.2.1 ห้องเลขที่ 719

รอยแตกในแนวดิ่งระหว่างอาคาร ช่วงหน้าและช่วงหลัง มีระยะห่างขยับตัวประมาณ 0.5-1.5 มิลลิเมตร ต่อสามสัปดาห์ที่บริเวณชั้นล่าง และมีระยะห่างออกครั้งละ 2-4 มิลลิเมตร ต่อสามสัปปดาห์ (วัดที่ชั้น 2 สูงจากระดับดินประมาณ 4.50 เมตร) ในชั้นที่ 3 ระยะห่างก็จะมากกว่ารอยต่อในแนวราบระหว่าง 2 ส่วนนี้จะแยกให้เห็นที่ท้องคาน และพื้นอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.3.2.2ห้องเลขที่ 721

รอยแยกในแนวดิ่งระหว่างอาคารช่วงหน้าและช่วงหลัง มีระยะห่างประมาณ 1-2 มิลลิเมตรต่อสามสัปดาห์ในชั้นที่ 2 และมากขึ้นในชั้นที่ 3 รอยต่อในแนวราบระหว่าง 2 ส่วนนี้จะแยกให้เห็นที่ท้องคาน และพื้นอย่างชัดเจน

9.3.3 บริเวณอาคารช่วงหลัง

รอยแตกร้าวที่อาคารทั้งสองหลังใน ส่วนนี้ค่อนข้างคงที่

10. สรุปผลการวิเคราะห์

จากผลการสำรวจข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า อาคารนี้เกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน โดยพบว่า น่าจะเกิดจากผลกระทบจากการก่อสร้างห้องใต้ดิน ของโครงการ Madison Square Hotel โดยในการวิเคราะห์ใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้

1. มีการก่อสร้างห้องใต้ดิน 2 ชั้น ลึกประมาณ 8.00 เมตร
2. เขตก่อสร้างมีการตอก Sheet Pile ยาว 18.00 เมตร ห่างจากอาคารประมาณ 7.00 เมตร
3. ถือว่าน้ำหนักอาคารถูกถ่ายลงสู่ชั้นดินลึก โดยเข็มยาวทั้งหมด

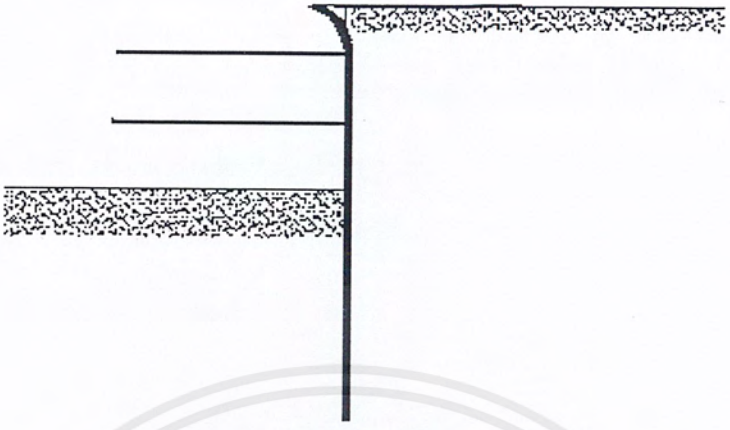
จากการวิเคราะห์สามารถสมมติฐานได้ว่า การทรุดตัวที่ต่างกันของอาคารเกิดจากการเคลื่อนตัวของดิน ซึ่งมีสาเหตุที่เป็นไปได้ดังนี้

10.1 เกิดจากการ Flexible ของตัวกำแพงกันดิน ซึ่งเป็นไปได้ 2 ลักษณะดังนี้

10.1.1 การโก่งงอที่ปลายของ SHEET PILE

การโก่งงอ แบบนี้อาจเกิดจากไม่มีการทำค้ำยัน หรือค้ำยันตัวแรกมีระยะต่ำเกินไป ทำให้ตัว Sheet Pile ไม่สามารถต้านทานแรงดันดินด้านข้างได้ เกิดการเบนออก ซึ่งเมื่อเบนออกถึงระยะหนึ่ง จะทำให้ ดินสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวเกิดการเคลื่อนตัวของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

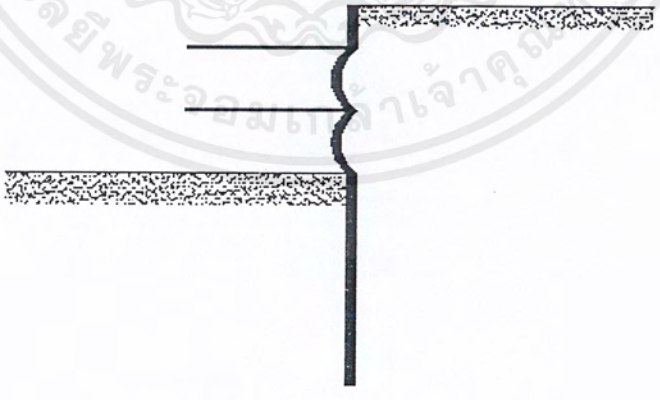


การโก่งตัวที่ปลาย SHEET PILE

รูปที่ 6.4.2 การโก่งงอที่ปลายของ SHEET PILE

10.1.2 การโก่งตัวเมื่อมีระยะระหว่าง BRACED CUT มากเกินไป

มีลักษณะ การโก่งหรือแอ่นตัวระหว่างค้ำยัน การ Flexible แบบนี้อาจมีสาเหตุมาจากการทำ Braced-Cut หรือค้ำยันห่างเกินไป ไม่พอต่อการต้านทานแรงดันดินด้านข้าง



การโก่งตัว เมื่อมีระยะระหว่าง
BRACED CUTมากไป

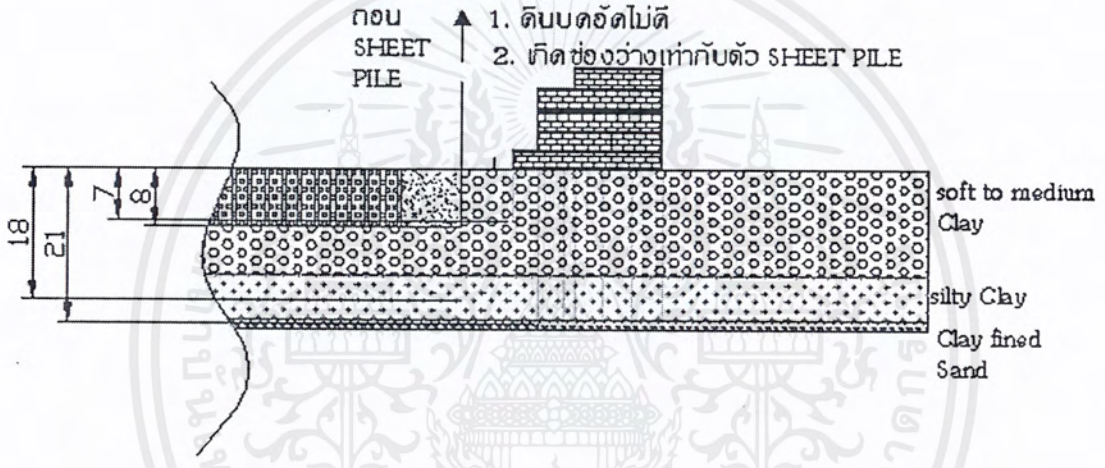
รูปที่ 6.4.3 การโก่งตัวเมื่อมีระยะระหว่าง BRACED CUT มากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.2 เกิดจากการถอน Sheet Pile ออก หลังการก่อสร้างห้องใต้ดินเสร็จแล้ว

ซึ่งสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนตัว ของดินได้ใน 2 รูปแบบคือ

1. การเคลื่อนตัวของดิน เป็นวง slope ไปแทนที่ Sheet Pile ทำให้เกิดแรงดึงด้านข้างขึ้น กับตัวเข็ม
2. เนื่องจากการบดอัดดินบริเวณหน้า Sheet Pile ไม่ดีพอ ดังนั้นเมื่อมีการถอน Sheet Pile ทำให้ดินเหนียวอ่อนสามารถที่จะเคลื่อนตัว ไปดันแทนที่ ดินที่บดอัดบริเวณนั้นได้



รูปที่ 6.4.4 เกิดจากการถอน Sheet Pile ออก หลังการก่อสร้างห้องใต้ดินเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

- ธเนศ วีระศิริ, 2543. อาคารทรุด ! จะแก้ไขได้อย่างไร ตอนที่1. โยธาสาร12:31-34.
- ธเนศ วีระศิริ, 2543.อาคารทรุด!จะแก้ไขได้อย่างไร ตอนที่2 การสำรวจสภาพอาคารและการวิเคราะห์ โยธาสาร12:39-43.
- ธเนศ วีระศิริ, 2543. อาคารทรุด ! จะแก้ไขได้อย่างไร ตอนที่3 วิธีการแก้ไขอาคารทรุดตัว. โยธาสาร 12:39-41.
- ธเนศ วีระศิริ และ นพดล ปัญญาวุธตระกูล, 2543. การตรวจสอบและทดสอบสภาพอาคารภายหลังการแก้ไขการทรุดตัว ตอนที่4. โยธาสาร12:28-33.
- อรุณ ชัยเสรี ประสงศ์ ธาราไชย และสืบศักดิ์ พรหมบุญ, 2529. เอกสารการสอนชุดวิชาตรวจงาน. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ วันที่ 26 - 27 กุมภาพันธ์ 2534. การสัมมนาทางวิชาการเรื่อง งานฐานราก และงานก่อสร้างใต้ดิน. ณ โรงแรมเอเซีย.
- คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ วันที่ 25-27 สิงหาคม 2526 9.00-18.00น. การประชุมทางวิชาการเรื่อง การก่อสร้างฐานรากบนชั้นดินอ่อน. ห้องราชเทวี 1: โรงแรมเอเซีย.
- ดิเรก ลาวัณย์ศิริ และบุญสม เลิศหิรัญวงศ์, 2525. ปฐพีวิศวกรรมในงานก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ.
- ชัย มุกตพันธุ์ และคาซูโตะ นาคาซาวา, 2526. ปฐพีกลศาสตร์ และ วิศวกรรมฐานราก. กรุงเทพฯ โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- บุญเทพ นาเนกรังสรรค์, 2539.Foundation Engineering and Tunnelling. 3,000 เล่ม.พิมพ์ครั้งที่5. กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์รุ่งแสงการพิมพ์
- ประวิทย์ บุญเหลือหล่อ, 2527. เมื่ออาคารนาวาฯกลับสู่ดิ่ง. วิศวกรรมสาร. เล่มที่2: 111-117.
- มณเฑียร กังศศิเทียม, 2541. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่8. กรุงเทพฯ. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลทานใน พระบรมราชูปถัมภ์.
- มานะ อภิพัฒนะมนตรี, 2533. วิศวกรรมปฐพีและฐานราก. 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพฯ. พิมพ์ที่ หจก. ธรรกมลการพิมพ์.
- วรรณี ศุขสาตร, 2538. วิศวกรรมฐานราก. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โพร์เพซ.
- สง่า ตั้งชวาล, 2541. เสถียรภาพของการขุดเจาะ. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรุณ ชัยเสรี, 2525. การวิบัติของอาคาร สาเหตุ และ การแก้ไข. แก้ไขปรับปรุงครั้งที่1. กรุงเทพฯ.
- Atkinson, M. F., 1993. Structural Foundation Manual for Low-rise Buildings. First Edition. NewYork: E & FN Spon.
- Braja, M. Das., 1998. Principles of GeotechnicalEngineering. Fourth Edition. Boston: PWS Publishing.
- Brown, R. W., 1991. Foundation Repair Manual. McGraw-Hill.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Brown, R. W., 1995. Practical Foundation Engineering Handbook. New York: McGraw-Hill.
- Cernica, J. N., 1995. Foundation Design. New York: John Wiley & Sons.
- Curtin, W. G., Shaw, G., Parkinson, G. I., and Golding, J. M., 1994. Structural Foundation Designers ' Manual. Carton: Blackwell Science.
- Hodgkinson, A., 1986. Foundation Design. London: TheArchitectural Press.
- Lancellotta, R., 1995. Geotechnical Engineering. Rotterdam: A.A.Balkema.
- Levy, M., and Salvadori, M.,1992. Why Buildings Fall Down. London : W.W.Norton&Company.
- Littlejohn, G. S., 1993. Underpinning and Retention. Second Edition. New York: Chapman & Hall.
- Prentise, E. A., and White, L., 1950. Underpinning Its Practice and Applications. Second Edition and enlarged. New York: Columbia University Press.
- Ransom, W. H., 1993. Building Failures Diagnosis and Avoidance. London: E & FN Spon.
- Richardson, B. A., 1991. Defects and Deterioration in Buildings. First Edition. London: E & FN Spon.
- Tomlinson, M. J., 1994. Pile Design and Construction Practice. Fourth Edition. New York: E & FN Spon.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แบบอาคารตัวอย่าง

ก1. แบบอาคารบ้านเลขที่ 75 ซอยลาดพร้าว แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ก2. แบบบ้านเลขที่ 202/4-5 ถนนเทพารักษ์ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

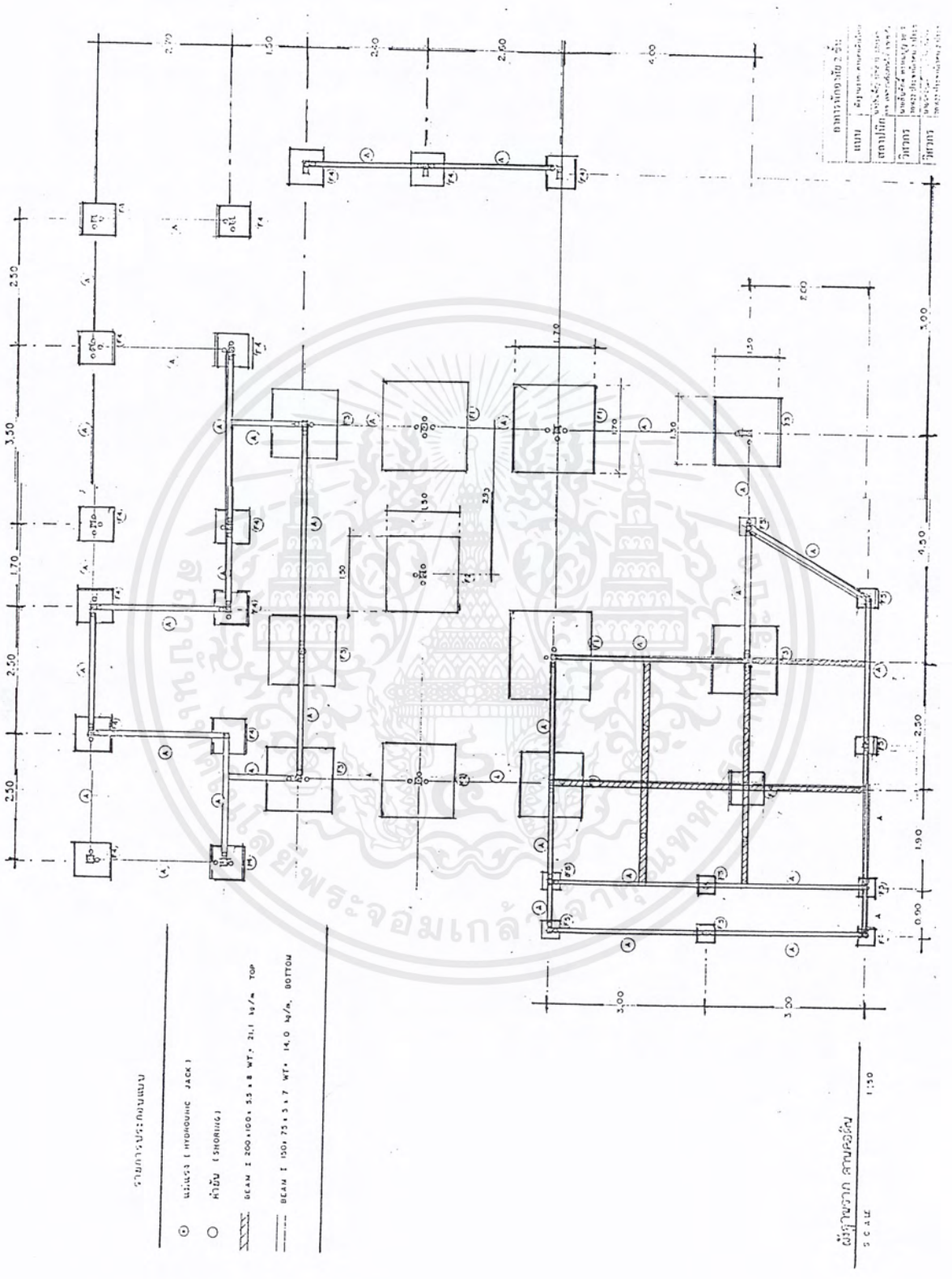
ก3. แบบบ้านเลขที่ 719 ซอยสุขุมวิท 24 ถนนสุขุมวิท จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ก4. แบบบ้านเลขที่ 721 ซอยสุขุมวิท 24 ถนนสุขุมวิท จังหวัดกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

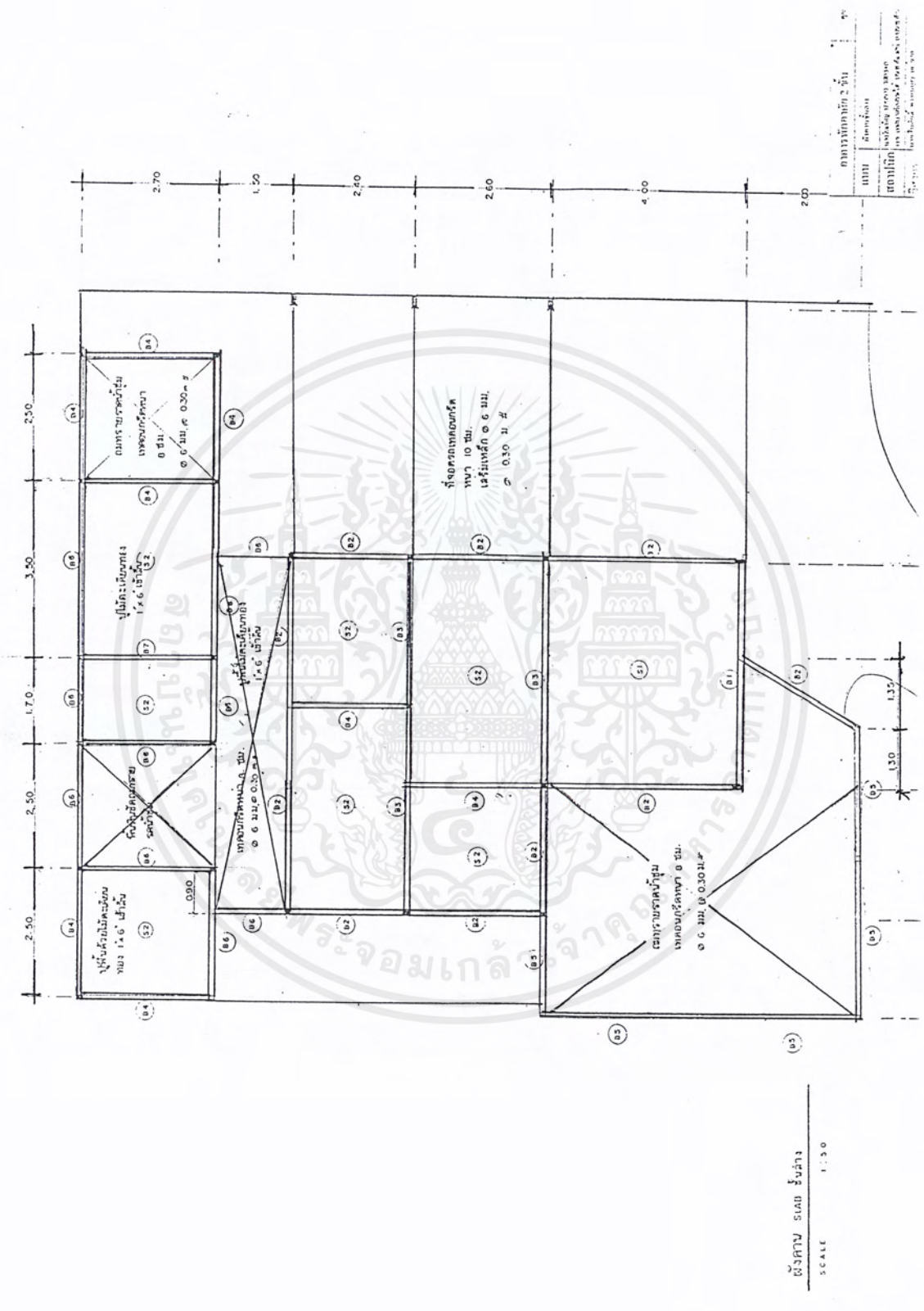
ก1. แบบอาคารบ้านเลขที่ 75 ซอยลาดพร้าว แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง จังหวัดกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



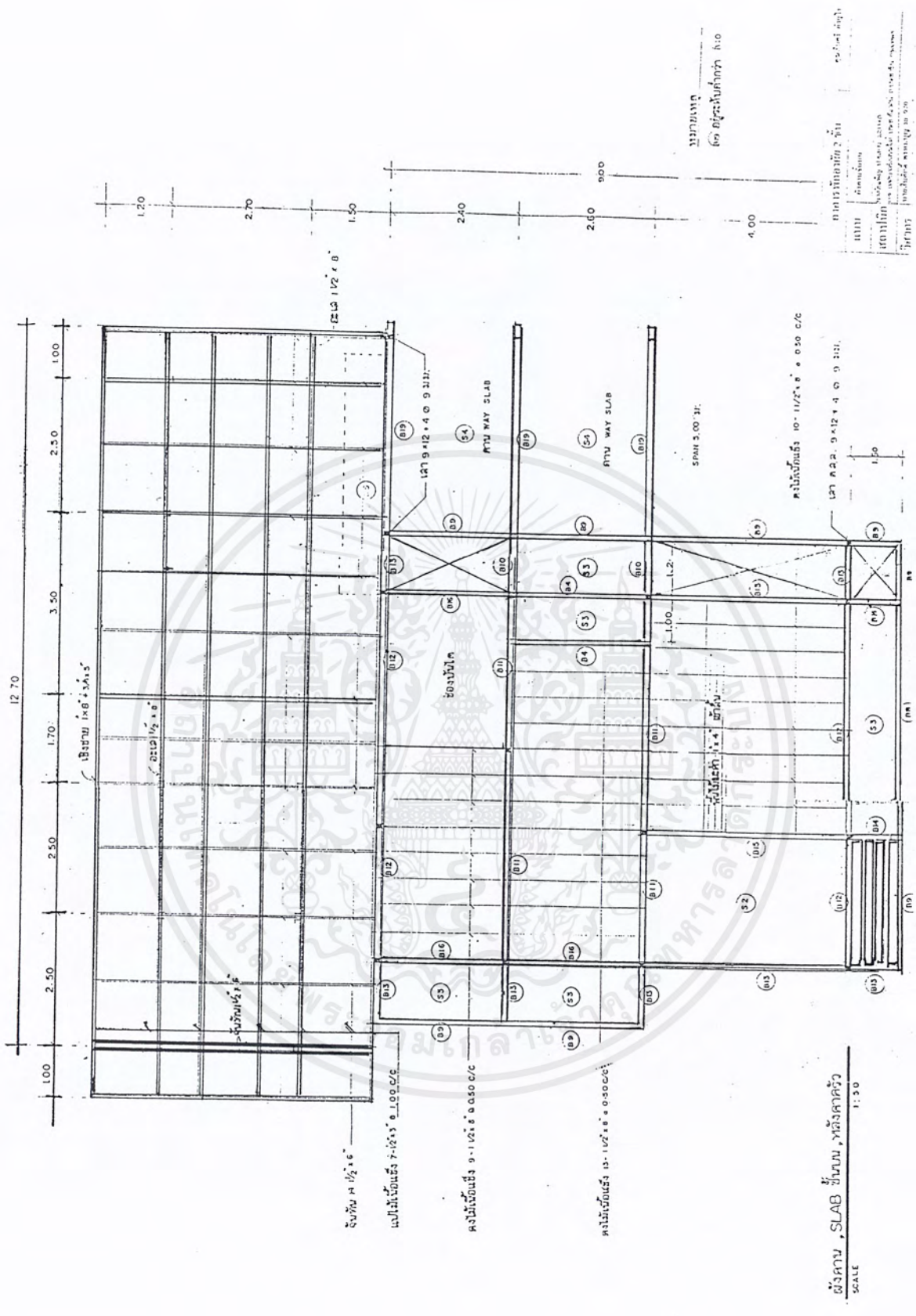
รูปที่ผ.ก.1.1 ผังฐานรากและคานคอดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



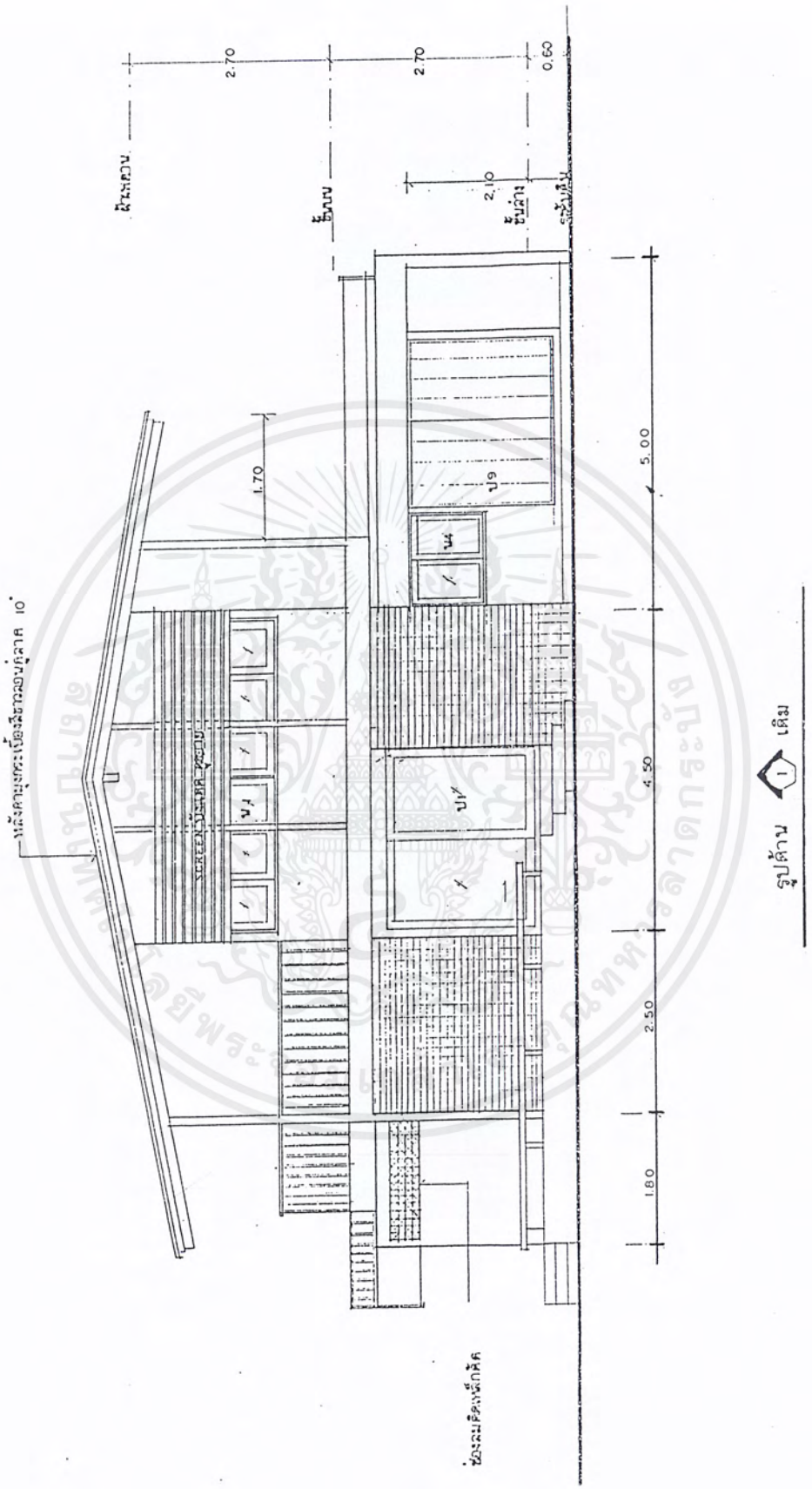
รูปที่ผ.ก.1.2 ผังคานและ Slab ชั้นล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



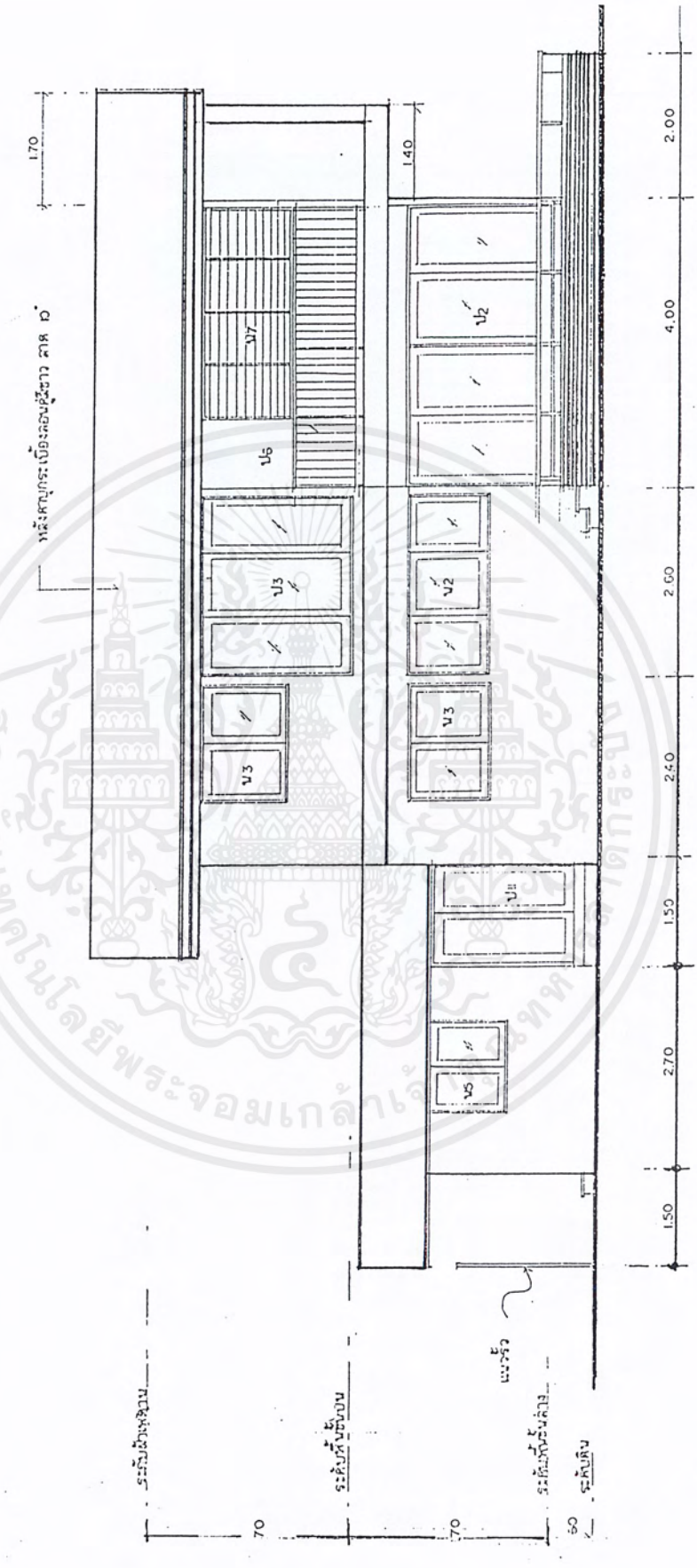
รูปที่ผ.ก.1.3 ผังคาน Slab ชั้นบนและหลังคาครัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



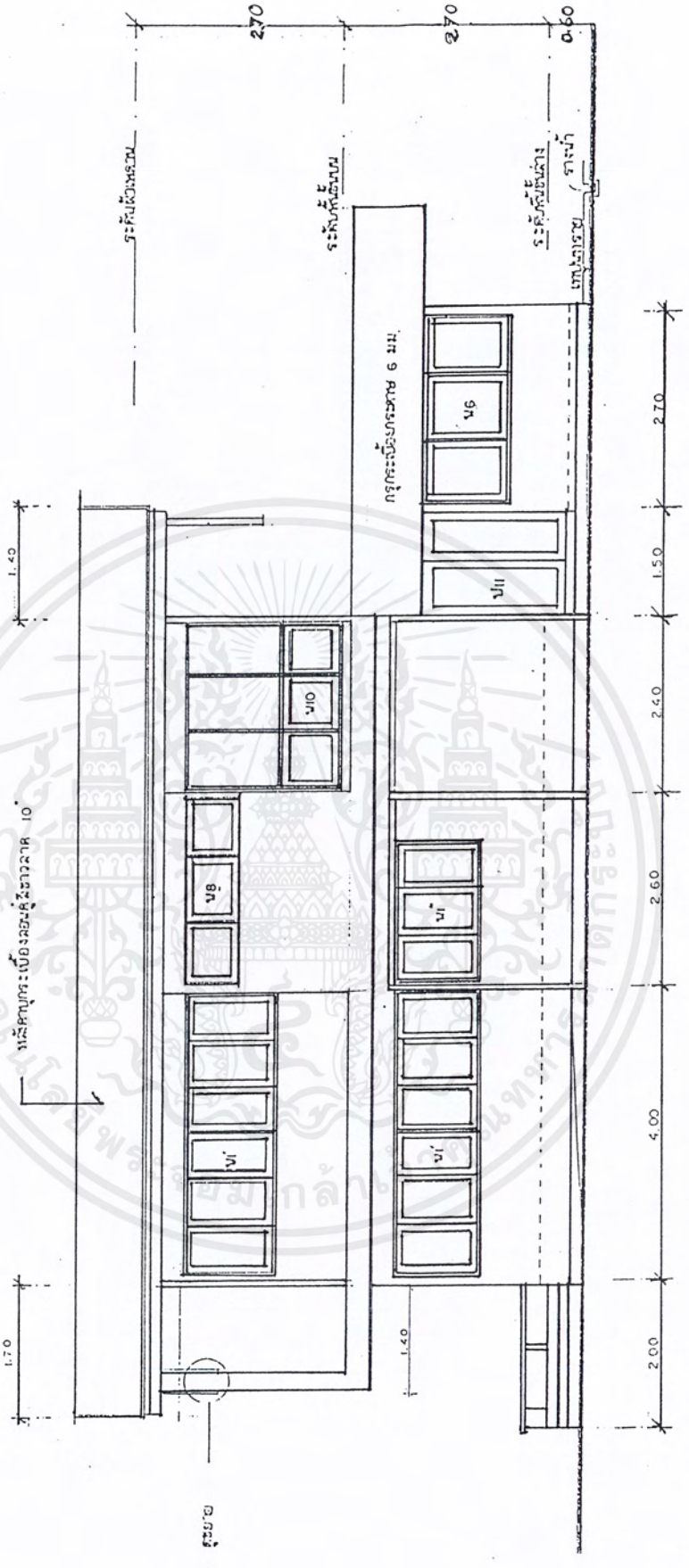
รูปที่ผ.ก.1.4 รูปด้านหน้าบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



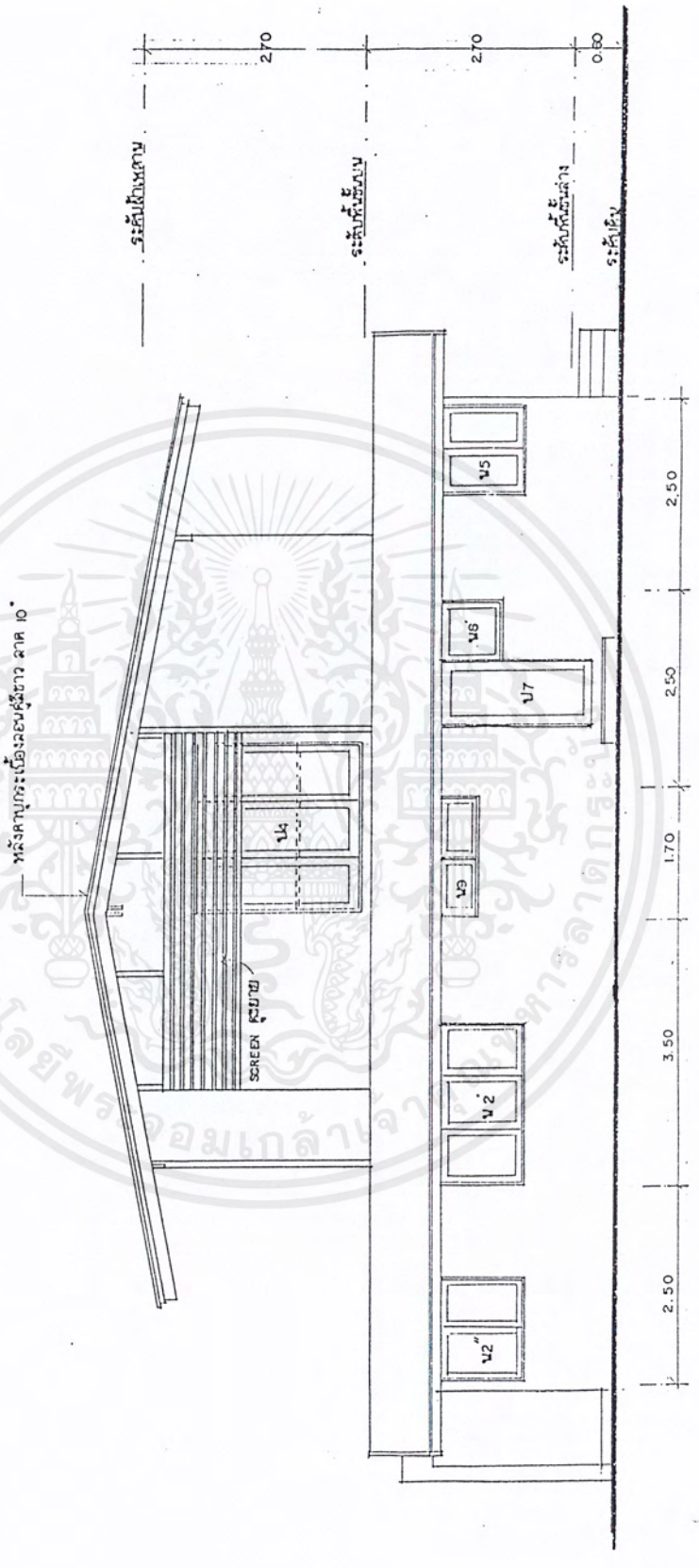
รูปที่ผ.ก.1.5 รูปด้านข้างทางซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ผ.ก.1.6 รูปด้านข้างทางขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

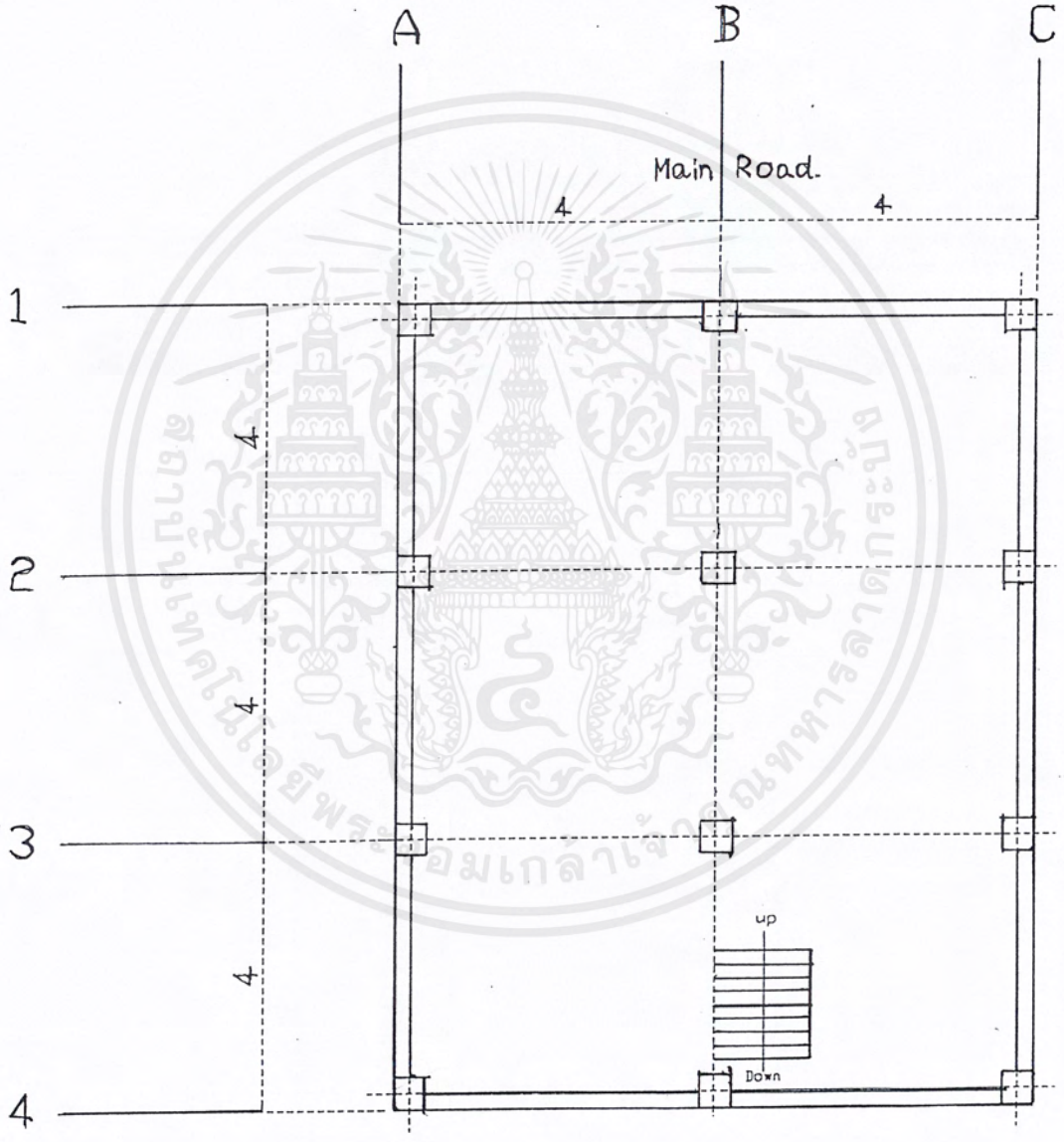


รูปที่ผ.ก.1.7 รูปด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

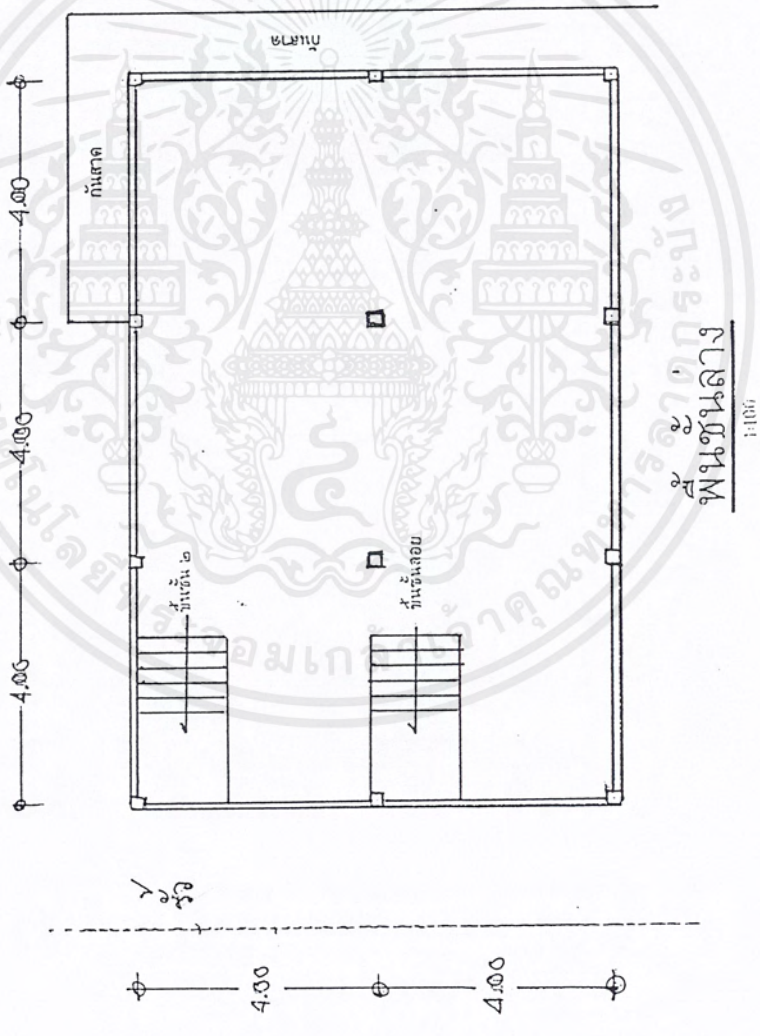
ก2. แบบบ้านเลขที่ 202/4-5 ถนนเทพารักษ์
อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



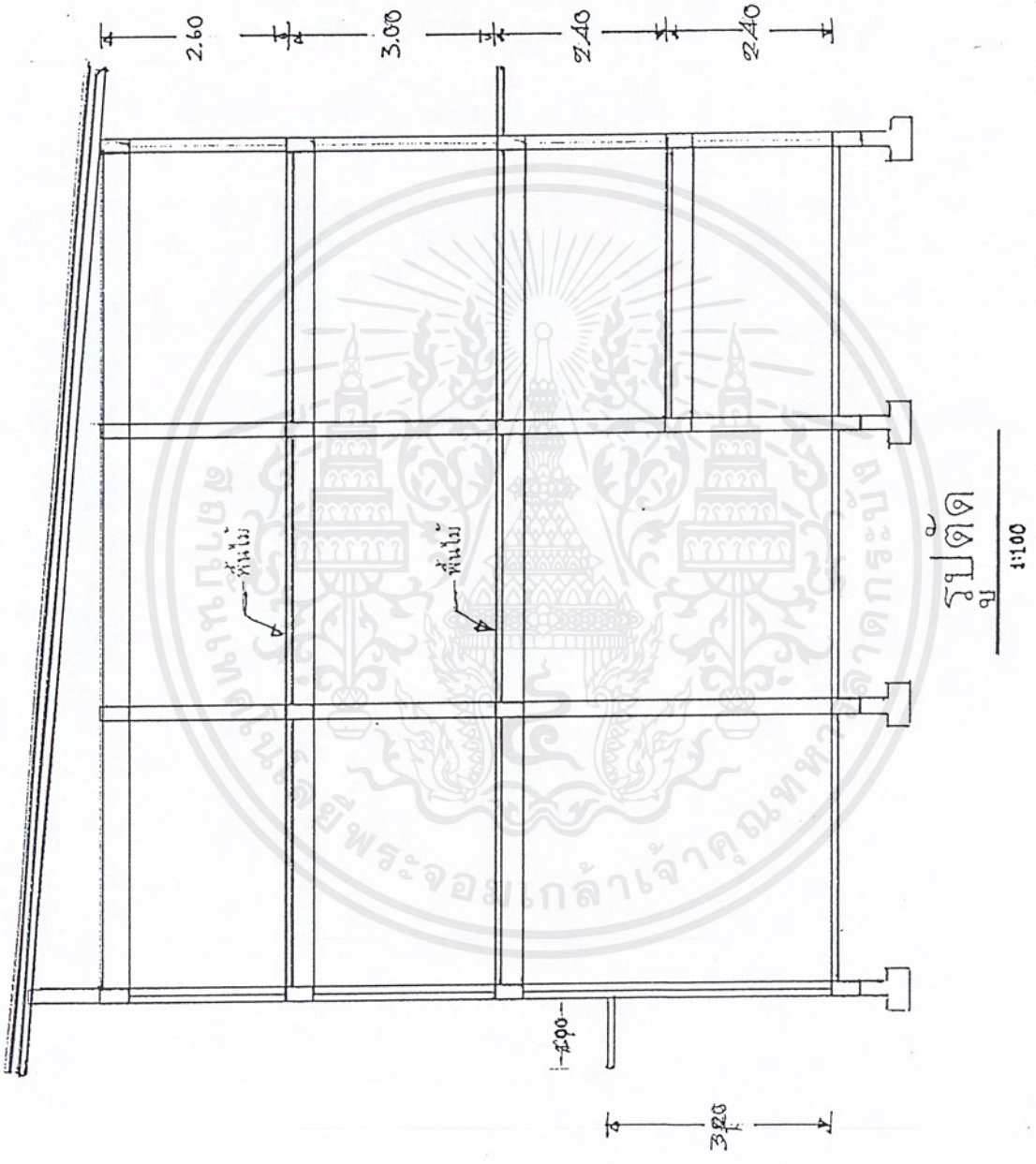
รูปที่ผ.ก.2.1 รูปแปลนที่เทพารักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ผ.ก.2.2 แปลนพื้นชั้นล่างที่เทพารักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

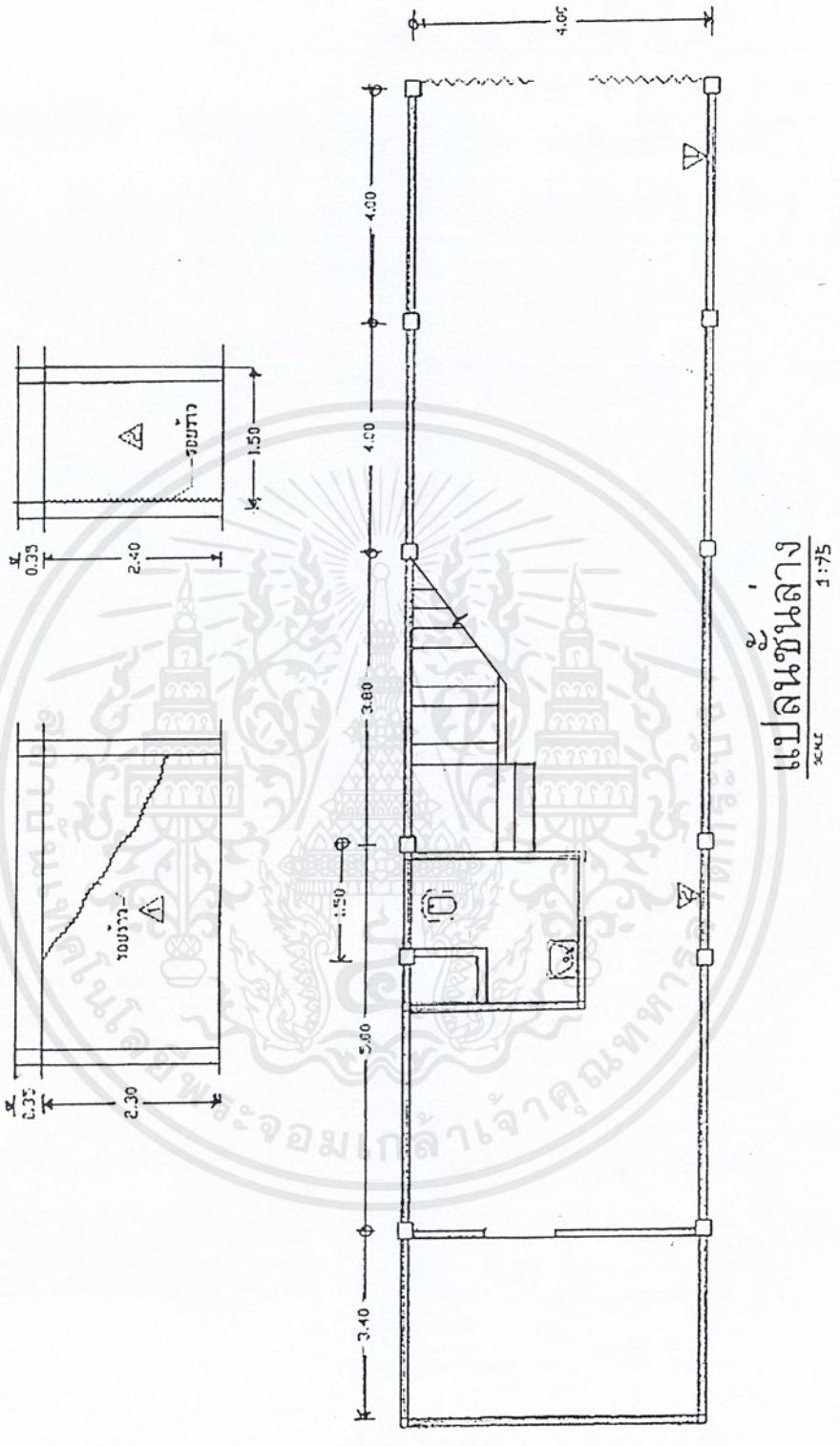


รูปที่ผ.ก.2.3 รูปตัดที่เทพารักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

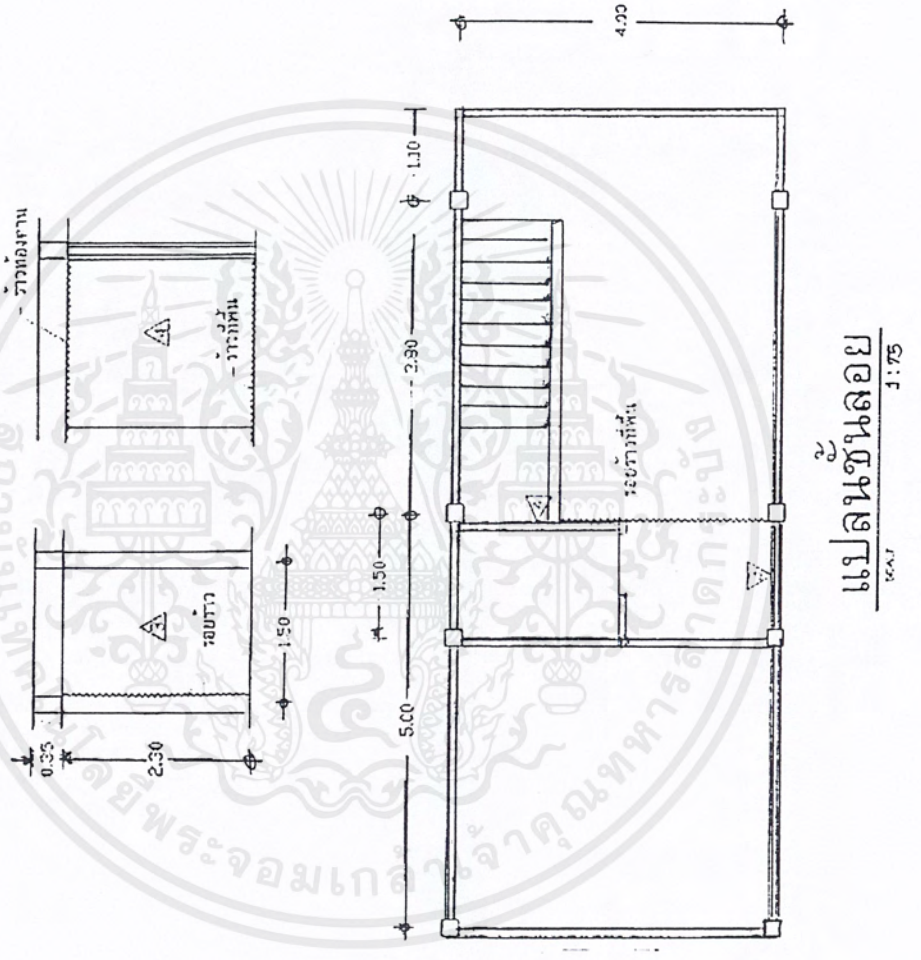
ก3. แบบบ้านเลขที่ 719 ซอยสุขุมวิท 24 ถนนสุขุมวิท จังหวัดกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



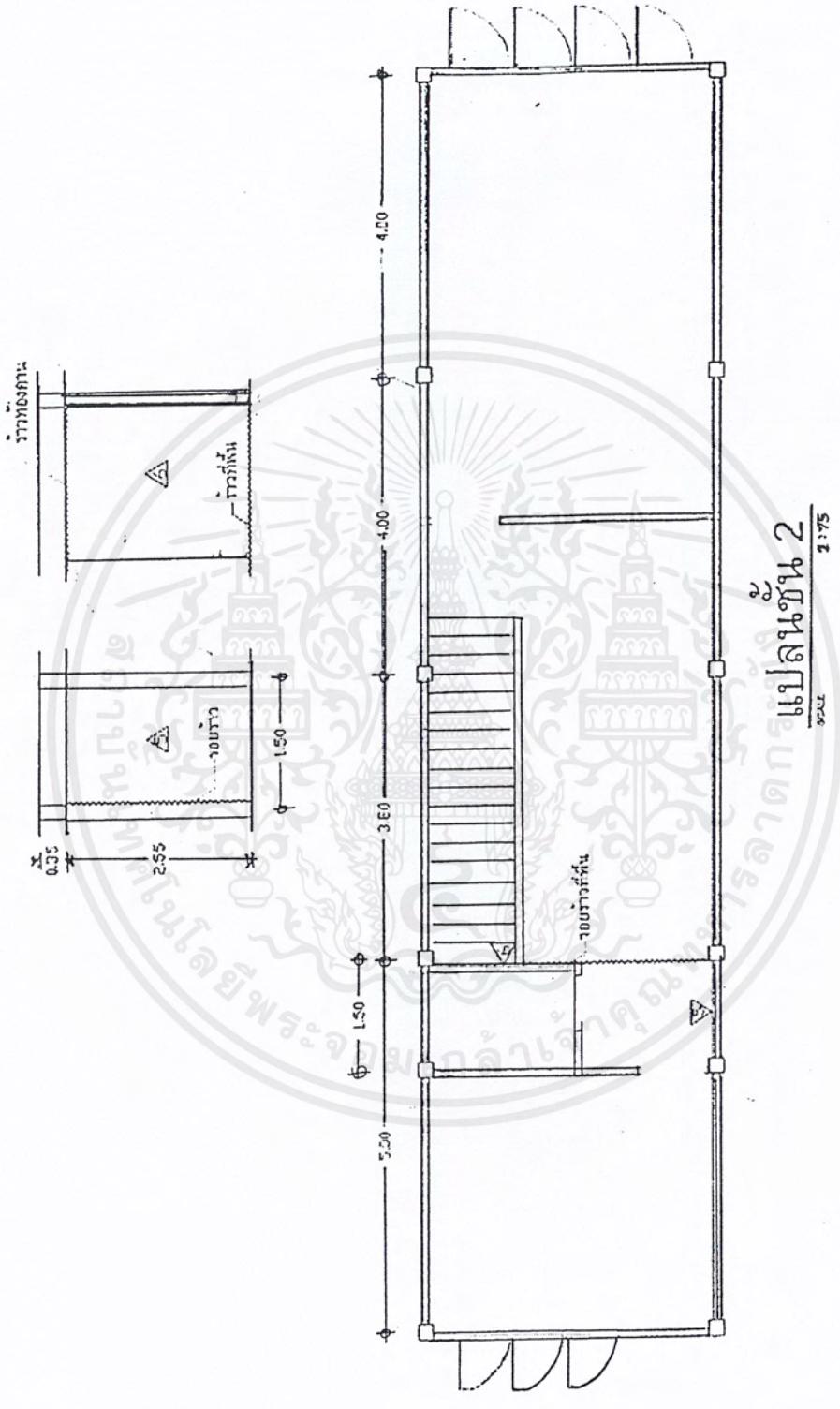
รูปที่ผ.ก.3.1 แปลนชั้นล่างบ้านเลขที่ 719 ที่สุขุมวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



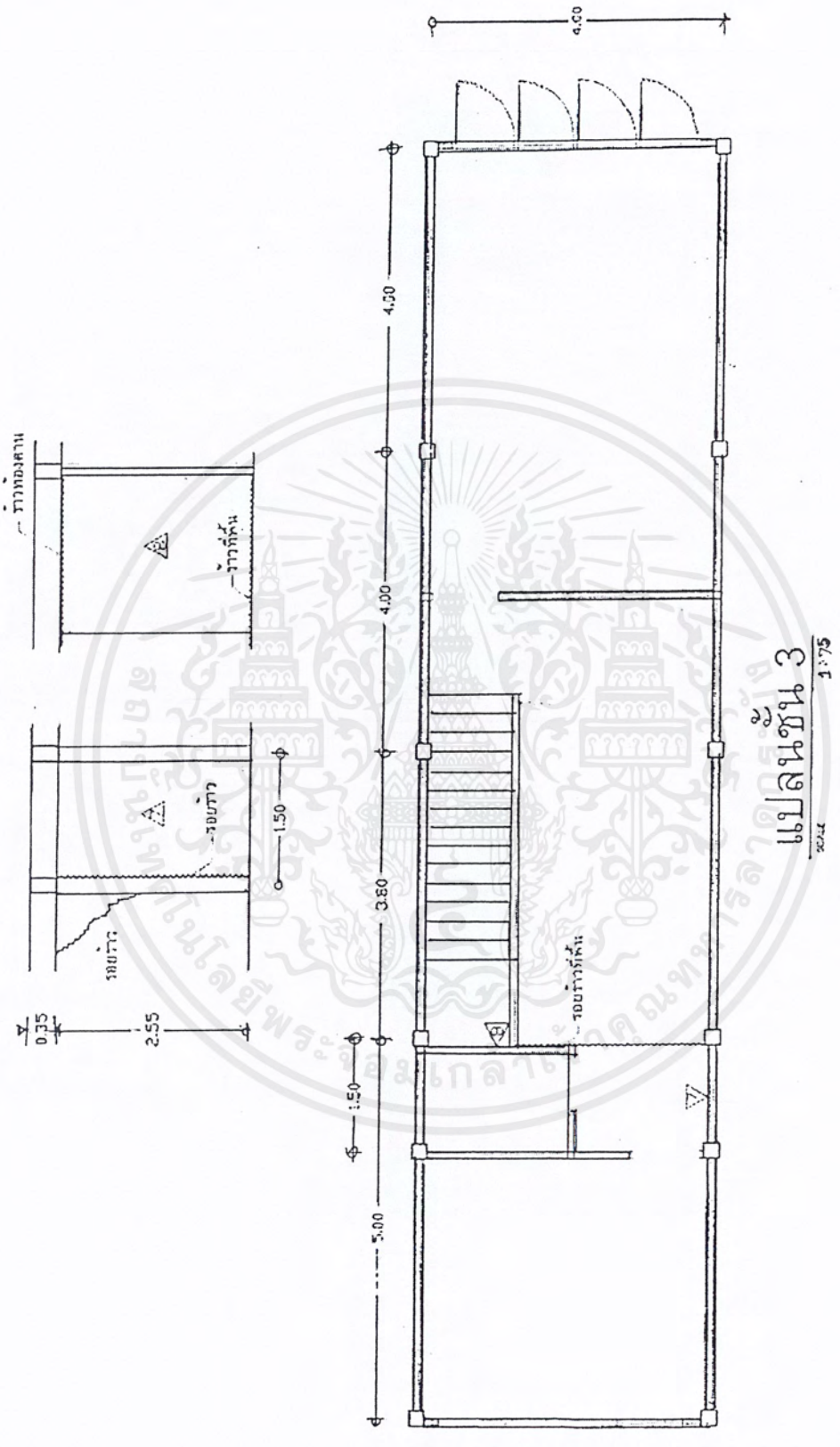
รูปที่ผ.ก.3.2 แปลนชั้นลอยบ้านเลขที่ 719 ที่สุขุมวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



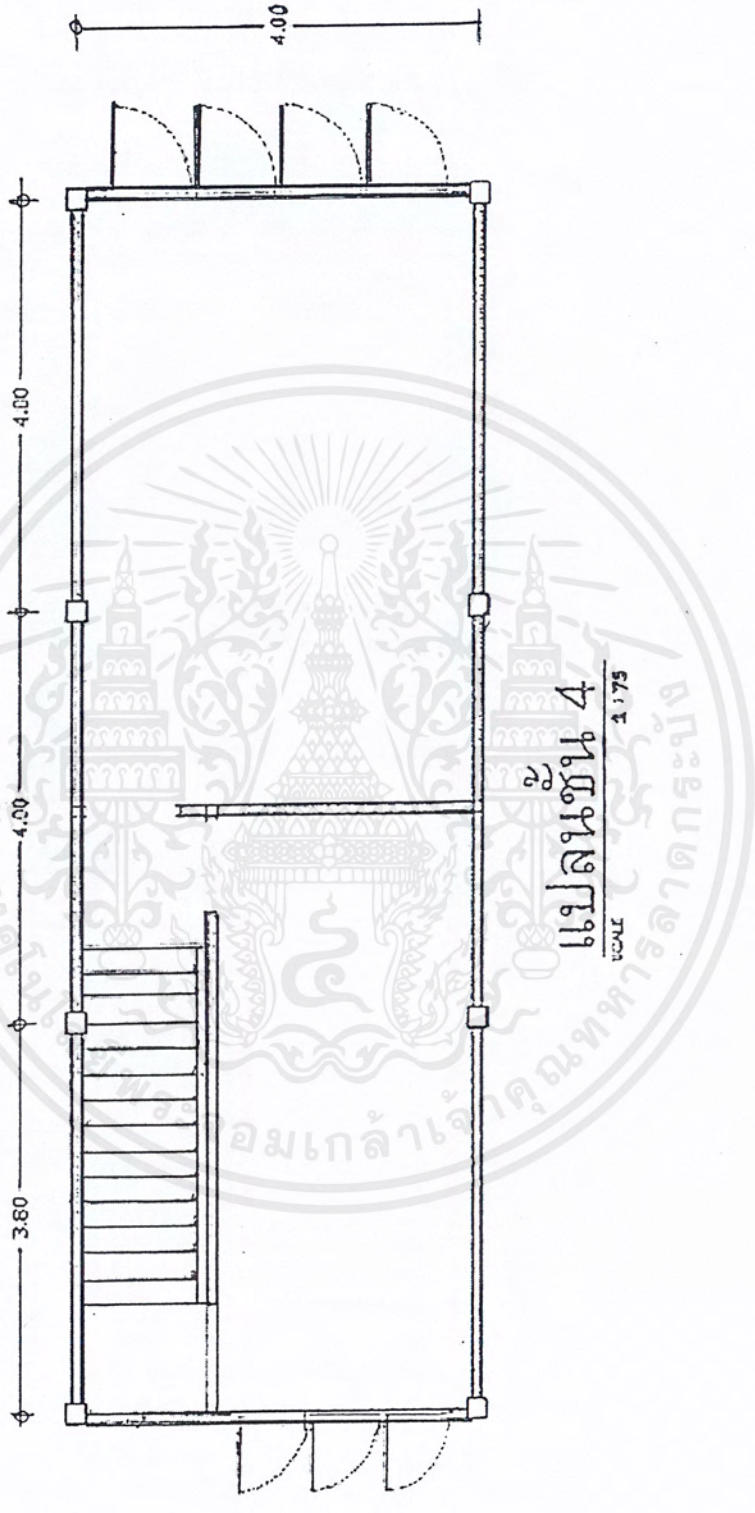
รูปที่ผ.ก.3.3 แปลนชั้น 2 บ้านเลขที่ 719 ที่สุขุมวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ผ.ก.3.4 แปลนชั้น 3 บ้านเลขที่ 719 ที่สุขุมวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

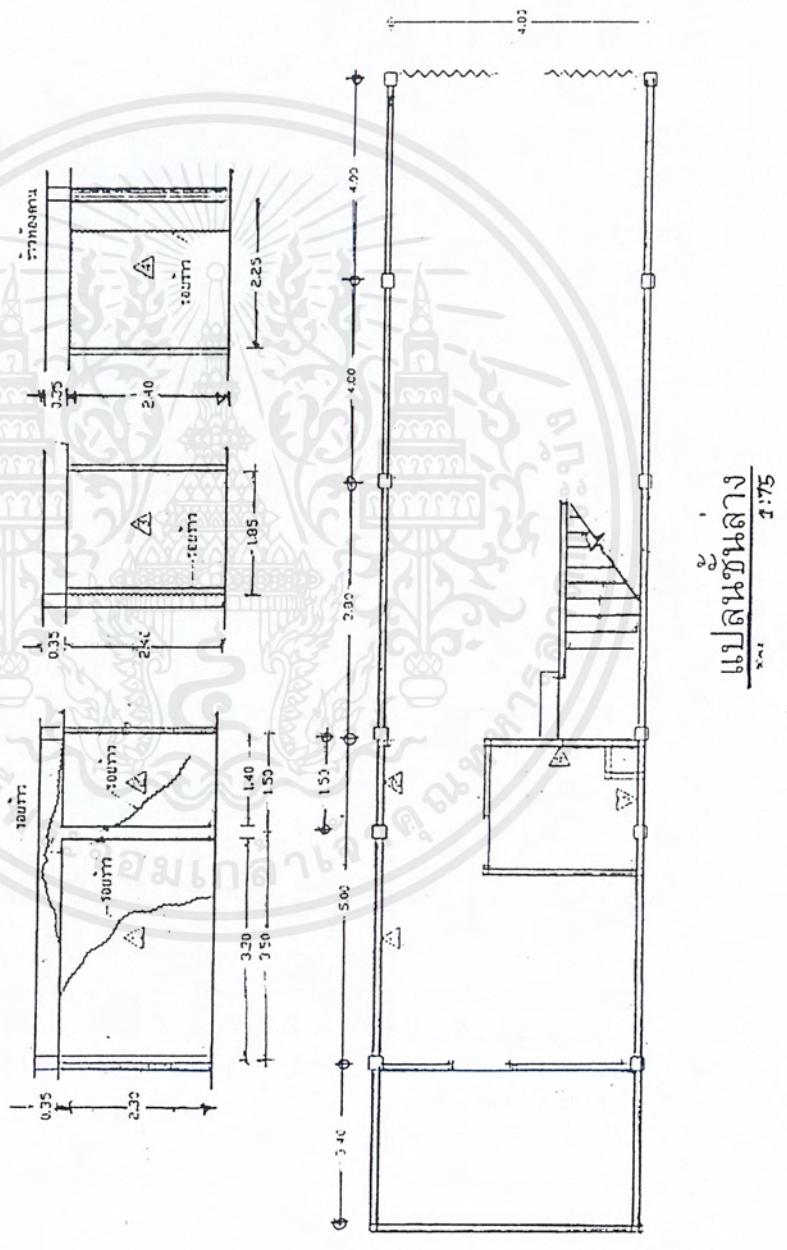


รูปที่ผ.ก.3.5 แปลนชั้น 4 บ้านเลขที่ 719 ที่สุขุมวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

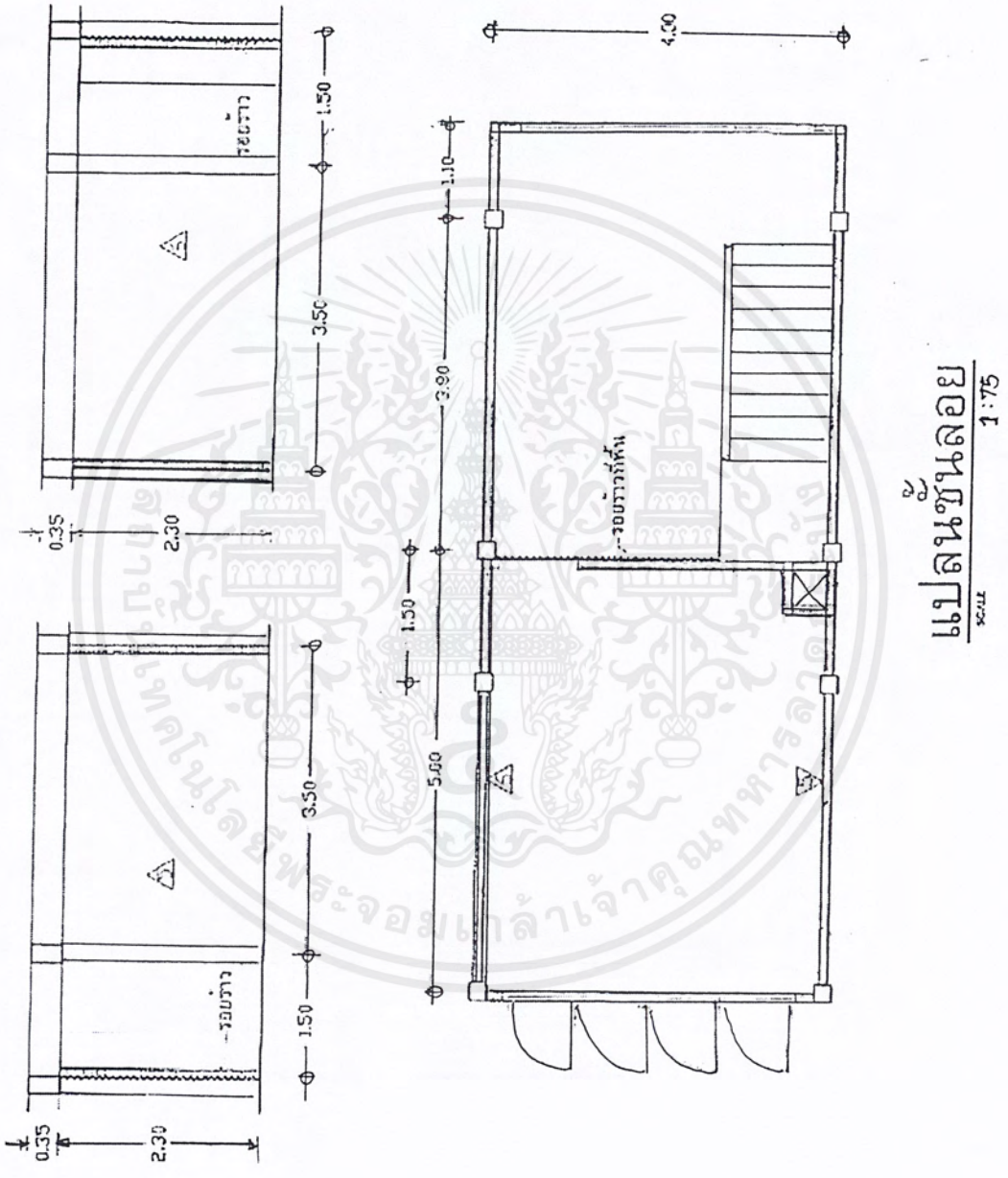
ก4. แบบบ้านเลขที่ 721 ซอยสุขุมวิท 24 ถนนสุขุมวิท จังหวัดกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



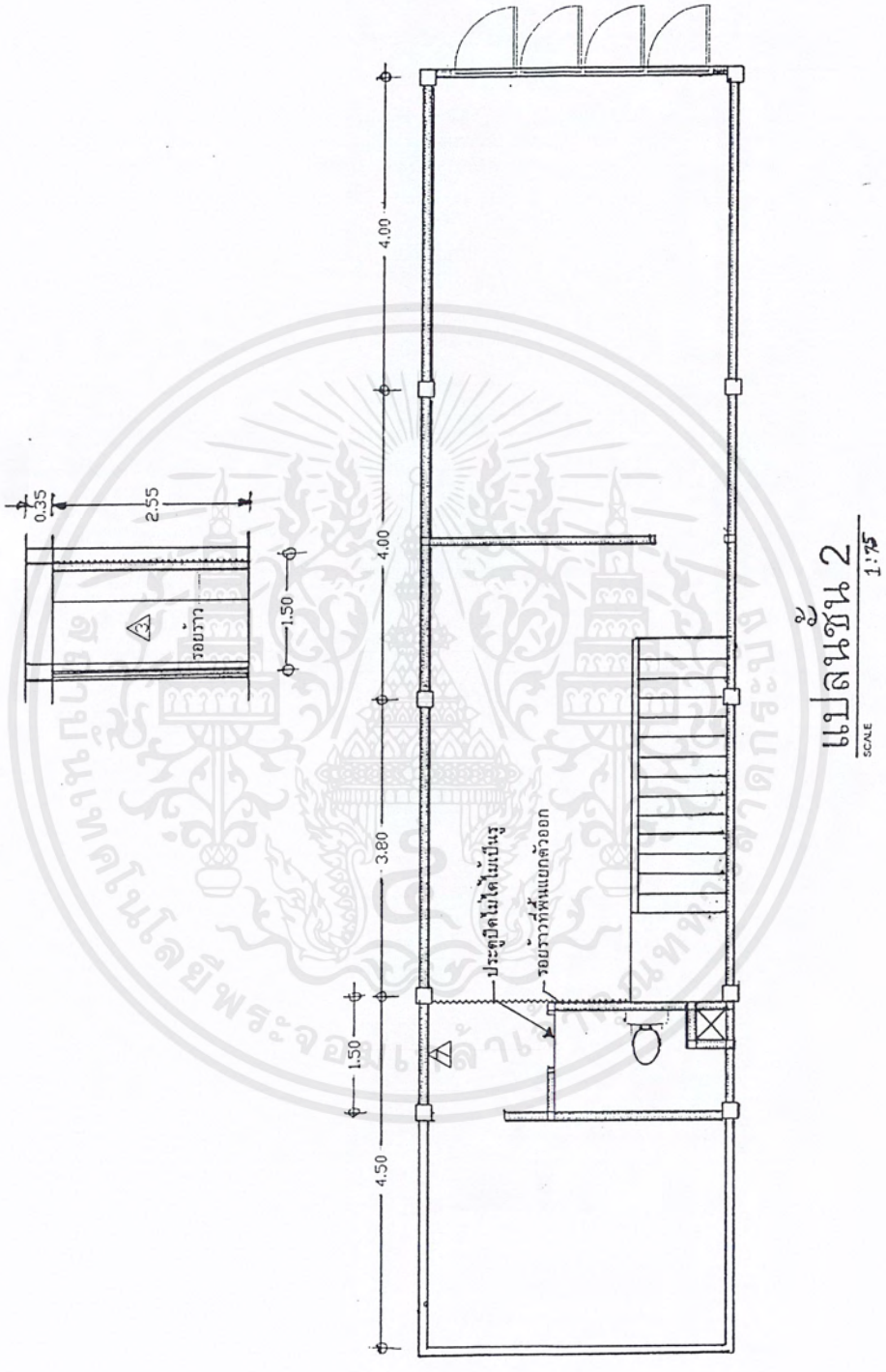
รูปที่ผ.ก.4.1 แปลนชั้นล่างบ้านเลขที่ 721 ที่สุขุมวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



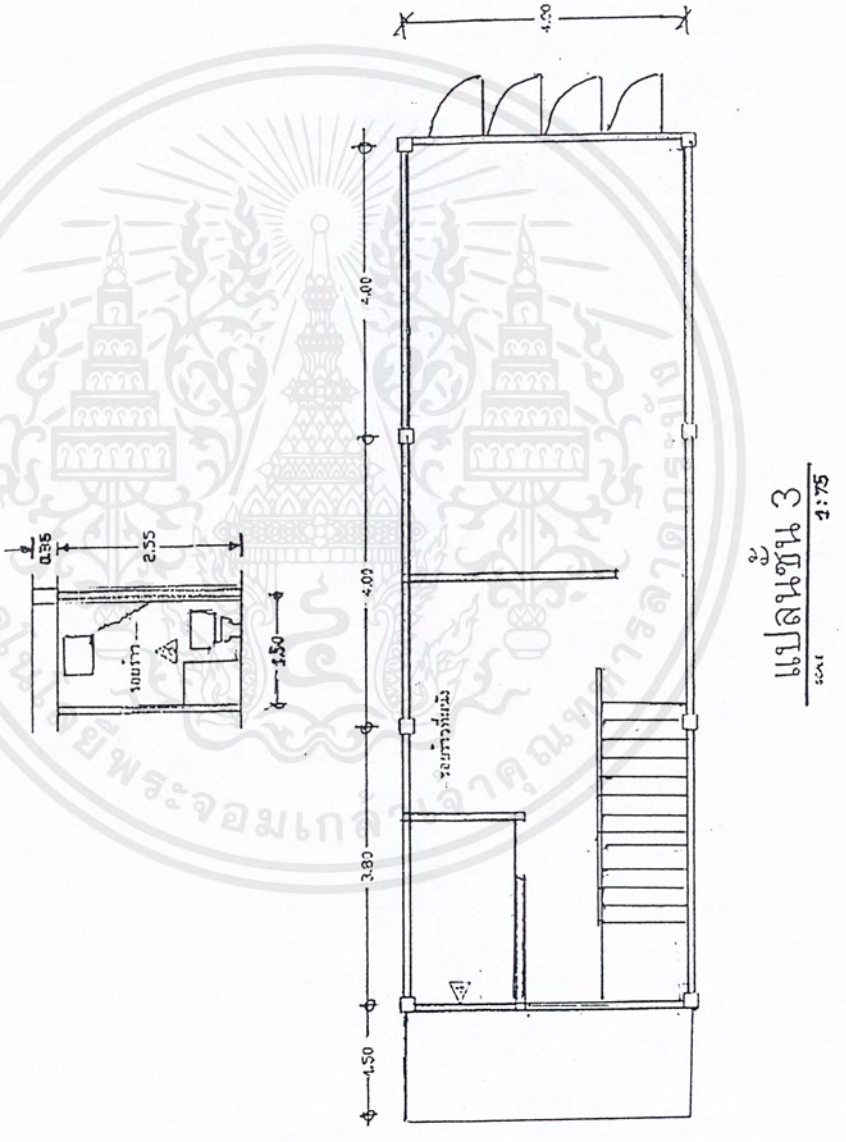
รูปที่ผ.ก.4.2 แปลนชั้นลอยบ้านเลขที่ 721 ที่สุขุมวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



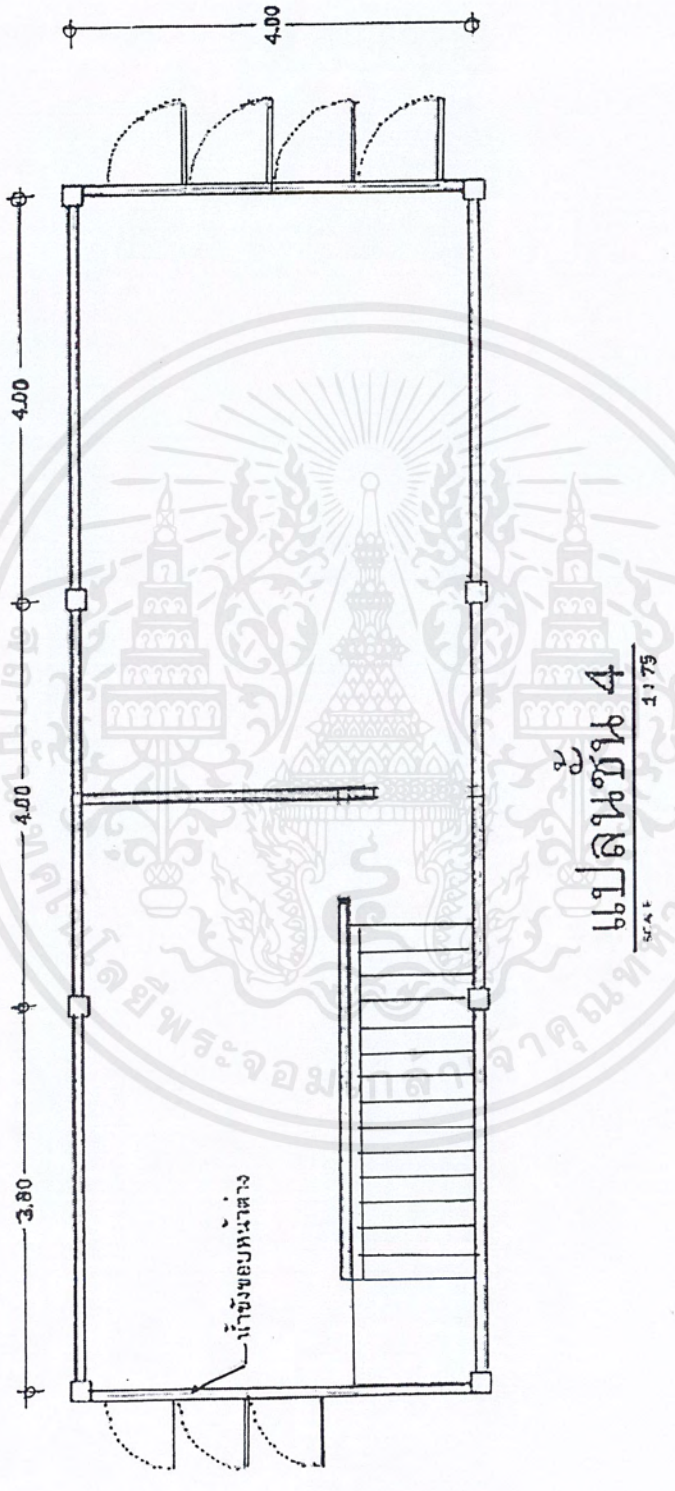
รูปที่ผ.ก.4.3 แปลนชั้น 2 บ้านเลขที่ 721 ที่สุขุมวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



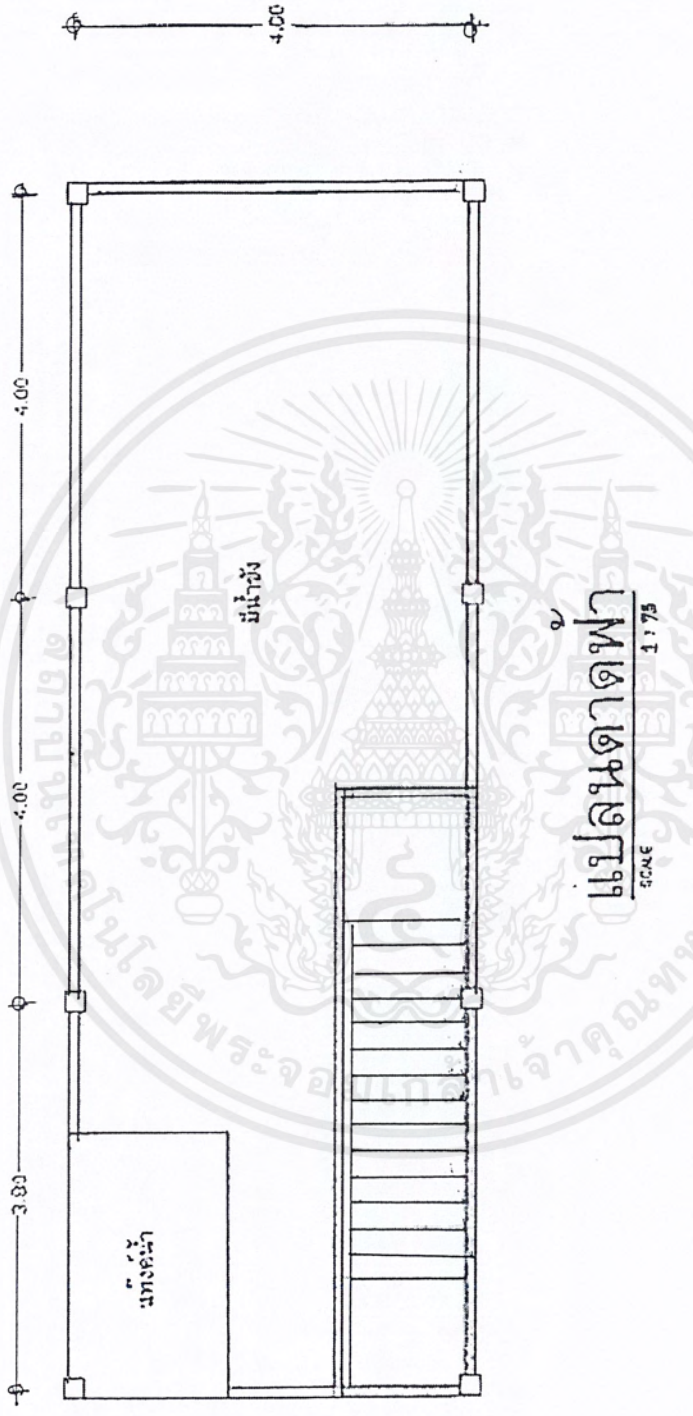
รูปที่ผ.ก.4.4 แปลนชั้น 3 บ้านเลขที่ 721 ที่สุขุมวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ผ.ก.4.5 แปลนชั้น 4 บ้านเลขที่ 721 ที่สุขุมวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ผ.ก.4.6 แปลนดาดฟ้า บ้านเลขที่ 721 ที่สุขุมวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการเจาะสำรวจดิน ในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงอาคารตัวอย่าง

ข1. ข้อมูลดิน ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

ข2. ข้อมูลดิน ที่ถนนพหลโยธิน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ข3. ข้อมูลดิน ที่ถนนสุขุมวิท ซอย 12 จังหวัดกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข1. ข้อมูลดิน ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ.ข.1.1 UNIT WEIGHT & WATER CONTENT DETERMINATION

ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

ASTM TESTING CO., LTD

Project: ตลาดสดเทศบาลเมืองสมุทรปราการ *Location* อ.เมือง จ.สมุทรปราการ

Borehole No.: BH-1 *Tested By* S.N

UNIT WEIGHT & WATER CONTENT DETERMINATION

UNIT WEIGHT DETERMINATIONS

Sample No.:		ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7	ST-8	ST-9	ST-10	ST-11	ST-12
Depth	From	1.50	3.00	4.50	6.00	7.50	9.00	10.50	12.00	13.50	15.00	16.50	18.00
	To	2.00	3.50	5.00	6.50	8.00	9.50	11.00	12.45	14.00	15.50	17.00	18.50
Diameter, cm			3.50	3.50	3.50	3.52	3.58	3.55	3.55	3.55		3.58	3.58
Area , cm²			9.62	9.62	9.62	9.73	10.07	9.90	9.90	9.90		10.07	10.07
Height, cm			6.96	6.95	6.95	6.96	6.95	6.98	6.95	6.98		6.98	6.85
Volume, cm³			66.96	66.87	66.87	67.73	69.96	69.09	68.79	69.09		70.26	68.95
Weight of Wet Soil, g			116.02	117.03	118.43	119.66	124.01	118.26	112.67	114.56		120.48	123.29
Total Unit Weight, t/m³			1.73	1.75	1.77	1.77	1.77	1.71	1.64	1.66		1.71	1.79
Dry Unit Weight, t/m³			1.15	1.15	1.17	1.19	1.23	1.13	1.09	1.09		1.14	1.31

WATER CONTENTS DETERMINATION

Container No.	A-119	A-25	A-151	A-179	A-187	A-189	A-127	A-92		A-167	A-180
Weight of Container, g	10.47	8.84	7.50	10.25	10.10	8.45	10.67	10.82		8.78	9.68
Wt. of Wet Soil + Cont., g	126.49	125.87	125.93	129.93	133.11	127.24	123.34	125.38		129.26	132.97
Wt. of Dry Soil + Cont., g	87.25	85.89	86.85	90.57	96.28	86.79	85.45	86.36		88.58	99.71
Weight of Water, g	39.24	39.98	40.08	39.34	37.83	40.42	37.89	39.02		40.68	33.26
Weight of Dry Soil, g	76.78	77.05	78.35	80.32	86.18	77.81	74.78	75.54		79.80	90.03
Water Content, %	51.11	51.89	51.16	48.98	43.90	51.93	50.67	51.65		50.98	36.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ.ข.1.1 UNIT WEIGHT & WATER CONTENT DETERMINATION

ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ (ต่อ)

ASTM TESTING CO., LTD

Project: ก่อสร้างอาคารจัดเก็บ-โรงงานไทยแลนด์ฟิล์มเคลวรี่ *Location* อ.เมือง จ.สมุทรปราการ

Borehole No.: BH-1 *Tested By* S.N

UNIT WEIGHT & WATER CONTENT DETERMINATION

UNIT WEIGHT DETERMINATIONS

Sample No.:		SS-1	SS-2	SS-3	SS-4	SS-5	SS-6	SS-7	SS-8			
Depth	From	19.50	21.00	22.50	24.00	25.50	27.00	28.50	30.00			
	To	19.95	21.45	22.95	24.45	25.95	27.45	28.85	30.45			
Diameter, cm		3.50	3.55	3.58	3.60	3.58						
Area , cm²		9.62	9.90	10.07	10.18	10.07						
Height, cm		6.95	6.20	6.80	6.88	6.95						
Volume, cm³		66.87	61.37	68.45	70.03	69.96						
Weight of Wet Soil, g		124.26	114.25	147.98	143.75	149.42						
Total Unit Weight, t/m³		1.86	1.86	2.16	2.05	2.14						
Dry Unit Weight, t/m³		1.35	1.34	1.79	1.64	1.72						

WATER CONTENTS DETERMINATION

Container No.	A-172	A-136	A-87	A-68	A-81		A-169				
Weight of Container, g	9.22	8.21	9.29	10.12	9.50		9.75				
Wt. of Wet Soil + Cont., g	133.18	122.46	159.27	161.17	158.92		119.46				
Wt. of Dry Soil + Cont., g	99.72	88.58	134.90	133.46	130.08		101.33				
Weight of Water, g	33.76	33.88	25.37	30.71	28.84		18.13				
Weight of Dry Soil, g	90.50	80.37	122.61	123.01	120.58		91.58				
Water Content, %	37.30	42.16	20.69	24.96	23.92		19.80				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

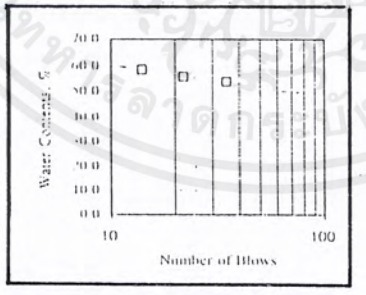
ASTM TESTING CO., LTD

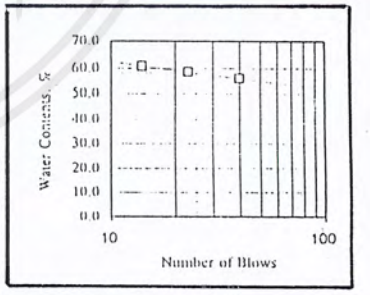
ATTERBERG LIMITS

Project: ทดสอบการทรุดตัว โรงงานโทมสันดีไซเนอร์ Location: อ.เมือง จ.สมุทรปราการ

Borehole No.: BH 1 Date: 21/8/96

		Sample No.	ST-2	Depth (m)	3.00-3.50	Sample No.:	ST-6	Depth (m):	9.00-9.50
Container No.			B 1	B-20			B-66	B-28	
Weight of Container	g		10.11	11.10			11.11	10.38	
Weight of Wet Soil + Container	g		21.59	21.22			21.76	21.17	
Weight of Dry Soil + Container	g		19.33	19.30			19.66	18.98	
Weight of Water	g		2.26	1.92			2.10	2.19	
Weight of Dry Soil	g		9.22	8.20			8.55	8.60	
Water Content	%		24.5	23.4			24.6	25.5	
Plastic Limit	%		23.96				25.01		
Number of Blows		14	22	35		14	23	40	
Container No.		A-10	A-31	A-22		A-20	A-13	A-12	
Weight of Container	g	10.18	10.67	10.44		10.66	10.94	10.66	
Weight of Wet Soil + Container	g	29.16	27.35	26.80		30.34	29.08	27.06	
Weight of Dry Soil + Container	g	22.15	21.38	21.08		22.90	22.38	21.18	
Weight of Water	g	7.01	5.97	5.72		7.44	6.70	5.88	
Weight of Dry Soil	g	11.97	10.71	10.64		12.24	11.44	10.52	
Water Content	%	58.56	55.74	53.76		60.78	58.6	55.9	
Liquid Limit, LL =			55.37 %				58.11 %		
Plasticity Index, PI =			31.41 %				33.10 %		





ตาราง ผ.ข.1.2 ATTERBERG LIMITS ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ(ต่อ)

ASTM TESTING CO., LTD

ATTERBERG LIMITS

Project: ถนนสายเลี่ยงเมืองสมุทรปราการ Location: อำเภอเมืองสมุทรปราการ

Borehole No.: BH 1 Date: 21/8/96

Sample No	ST-9	Depth (m) 13.50-14.00	Sample No	ST-12	Depth (m) 18.00-18.50
Container No	B-34	A-20		A-28	B-11
Weight of Container g	10.33	10.18		11.03	10.00
Weight of Wet Soil + Container g	21.57	21.11		21.58	20.12
Weight of Dry Soil + Container g	19.01	18.69		19.50	18.08
Weight of Water g	2.56	2.42		2.08	2.04
Weight of Dry Soil g	8.68	8.51		8.47	8.08
Water Content %	29.5	28.4		24.6	25.2
Plastic Limit %	28.97			24.90	
Number of Blows	23	36	13	20	35
Container No	A-14	A-9	A21	A-11	A-8
Weight of Container g	10.11	10.34	11.18	10.34	10.12
Weight of Wet Soil + Container g	29.39	26.95	31.19	28.39	27.14
Weight of Dry Soil + Container g	21.67	20.60	23.49	21.65	20.93
Weight of Water g	7.72	6.35	7.70	6.74	6.21
Weight of Dry Soil g	11.56	10.26	12.31	11.31	10.81
Water Content %	66.78	61.9	62.55	59.59	57.4
Liquid Limit, LL =	63.90	%	58.95	%	
Plasticity Index, PI =	34.94	%	34.04	%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

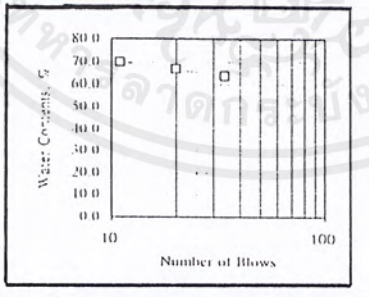
ASTM TESTING CO., LTD

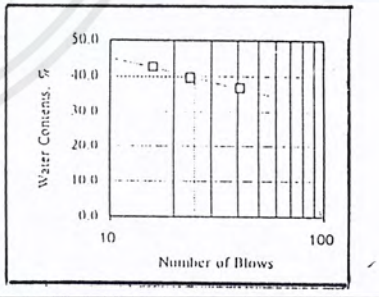
ATTERBERG LIMITS

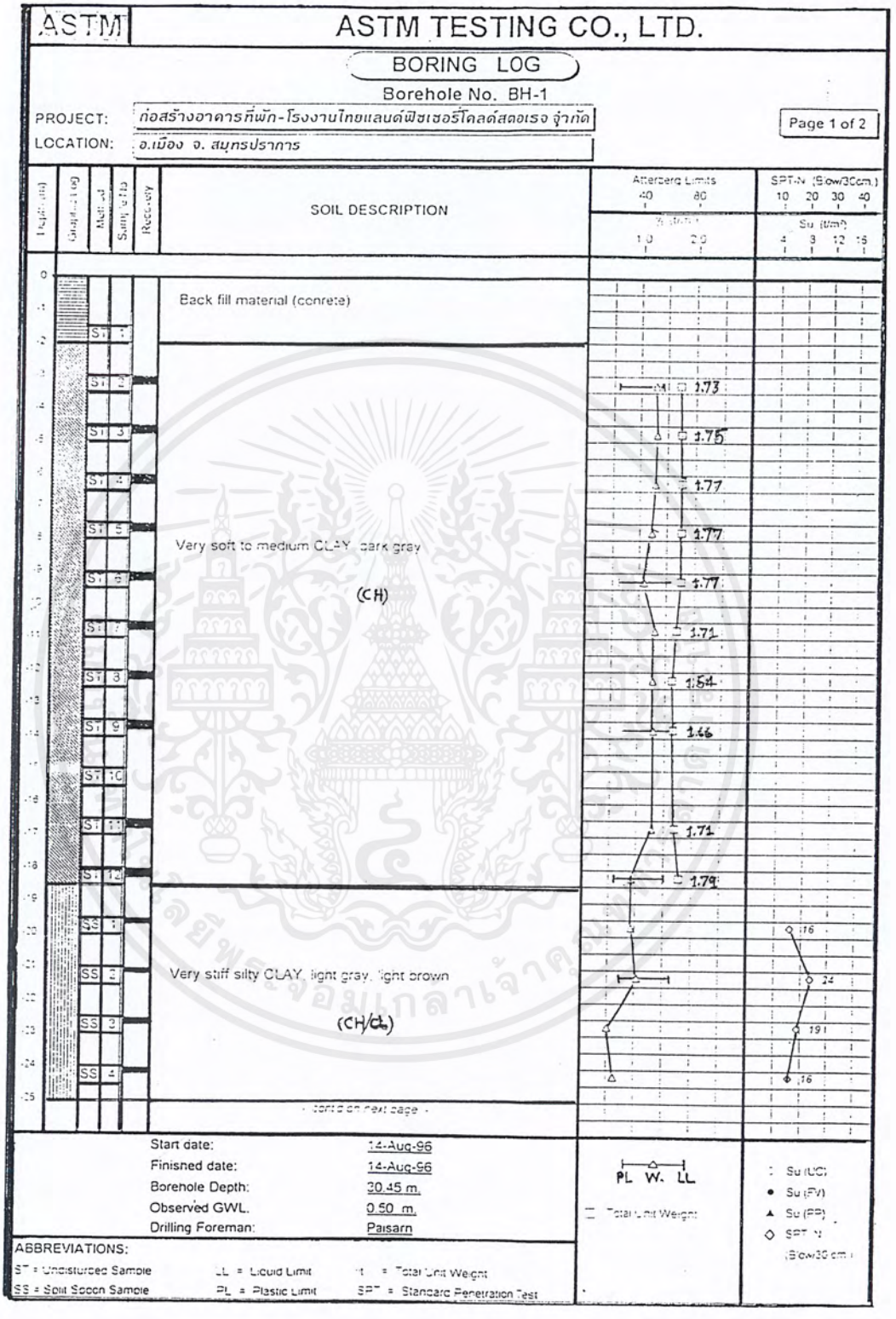
Project: ตรวจวิเคราะห์ดิน โรงงานไทยเทอมอลกลาส Location: อ.เมือง จ.สมุทรปราการ

Borehole No.: BH-1 Date: 21/8/96

		Sample No	SS-2	Depth (m)	21.00-21.45	Sample No.:	SS-5	Depth (m):	25.50-25.95
Container No			B-14	A-7			B-26	B-13	
Weight of Container	g		10.18	9.60			9.11	9.83	
Weight of Wet Soil + Container	g		21.81	19.50			20.52	20.30	
Weight of Dry Soil + Container	g		19.18	17.30			19.00	18.98	
Weight of Water	g		2.63	2.20			1.52	1.32	
Weight of Dry Soil	g		9.00	7.70			9.89	9.15	
Water Content	%		29.2	28.6			15.4	14.4	
Plastic Limit	%		28.90				14.90		
Number of Blows		11	20	34		16	24	41	
Container No		A-35	A-30	A-3		A-14	A-11	A-18	
Weight of Container	g	10.81	11.14	13.44		12.80	11.42	13.50	
Weight of Wet Soil + Container	g	24.44	24.91	25.09		26.65	26.46	25.17	
Weight of Dry Soil + Container	g	18.83	19.40	20.56		22.52	22.20	22.03	
Weight of Water	g	5.61	5.51	4.53		4.13	4.26	3.14	
Weight of Dry Soil	g	8.02	8.26	7.12		9.72	10.78	8.53	
Water Content	%	69.95	66.7	63.6		42.49	39.5	36.8	
Liquid Limit, L.L. =			65.38	%			39.62	%	
Plasticity Index, PI =			36.49	%			24.72	%	

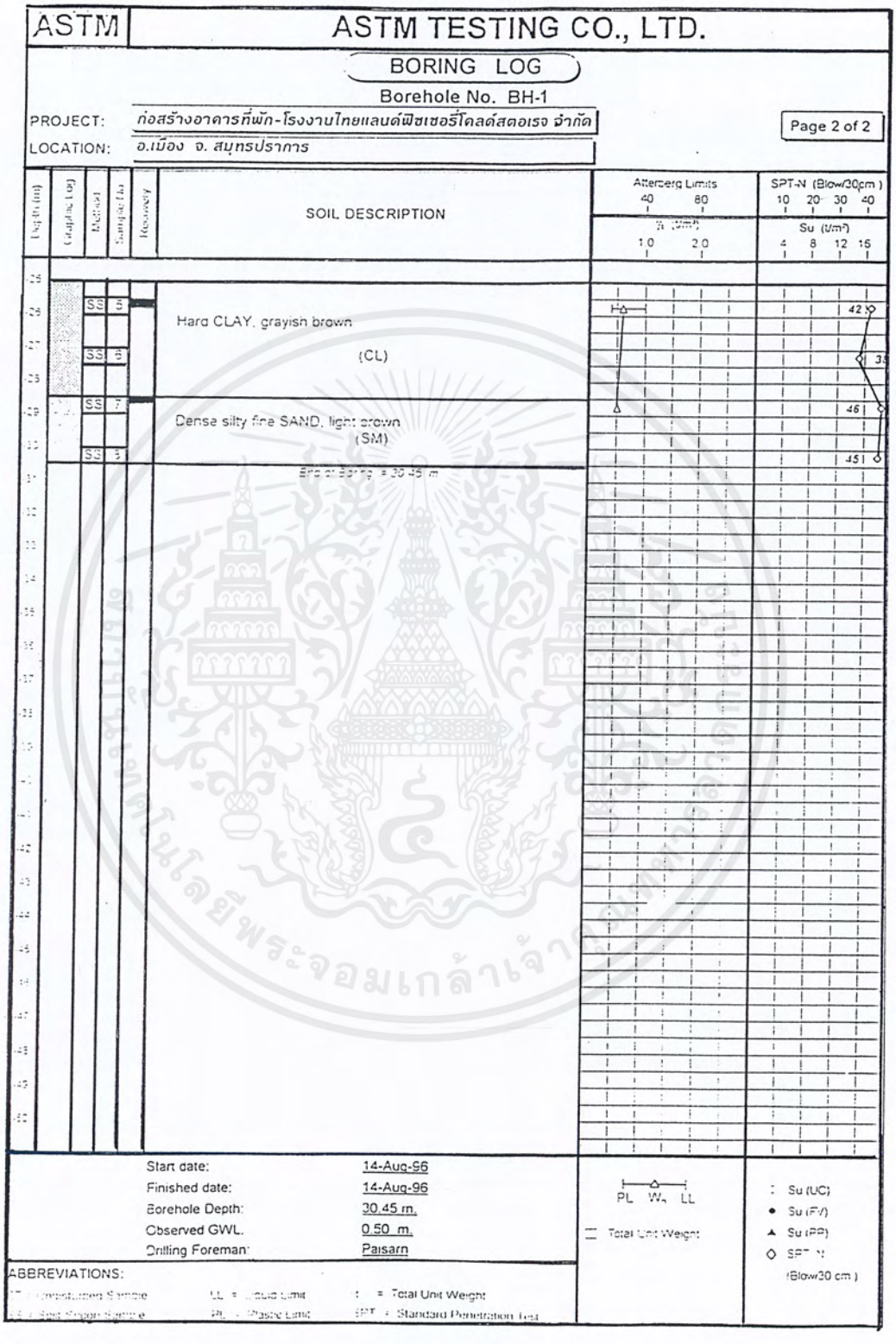






รูปที่ ผ.ข.1.1 BORING LOG ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

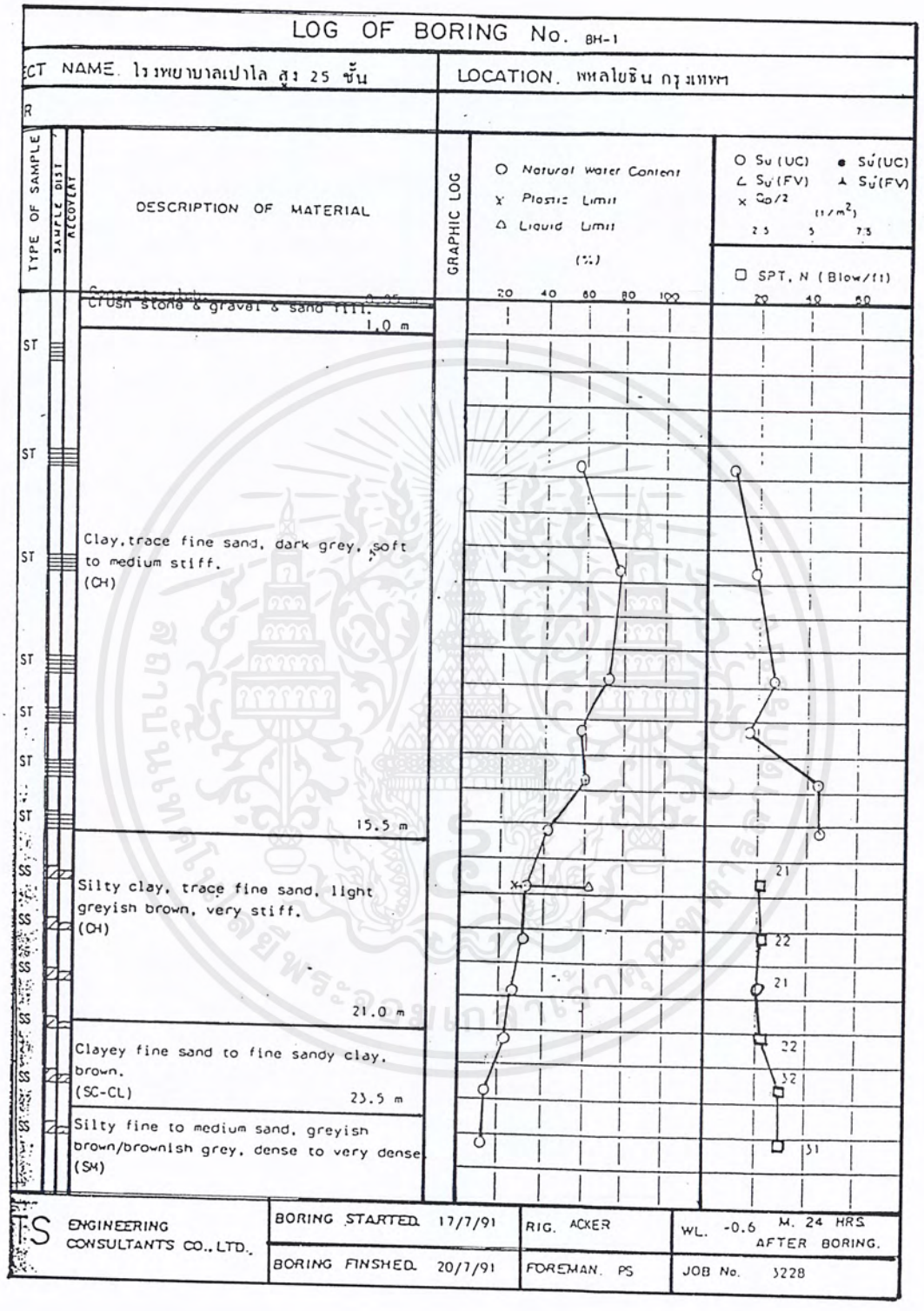


รูปที่ ผ.ข.1.1 BORING LOG ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

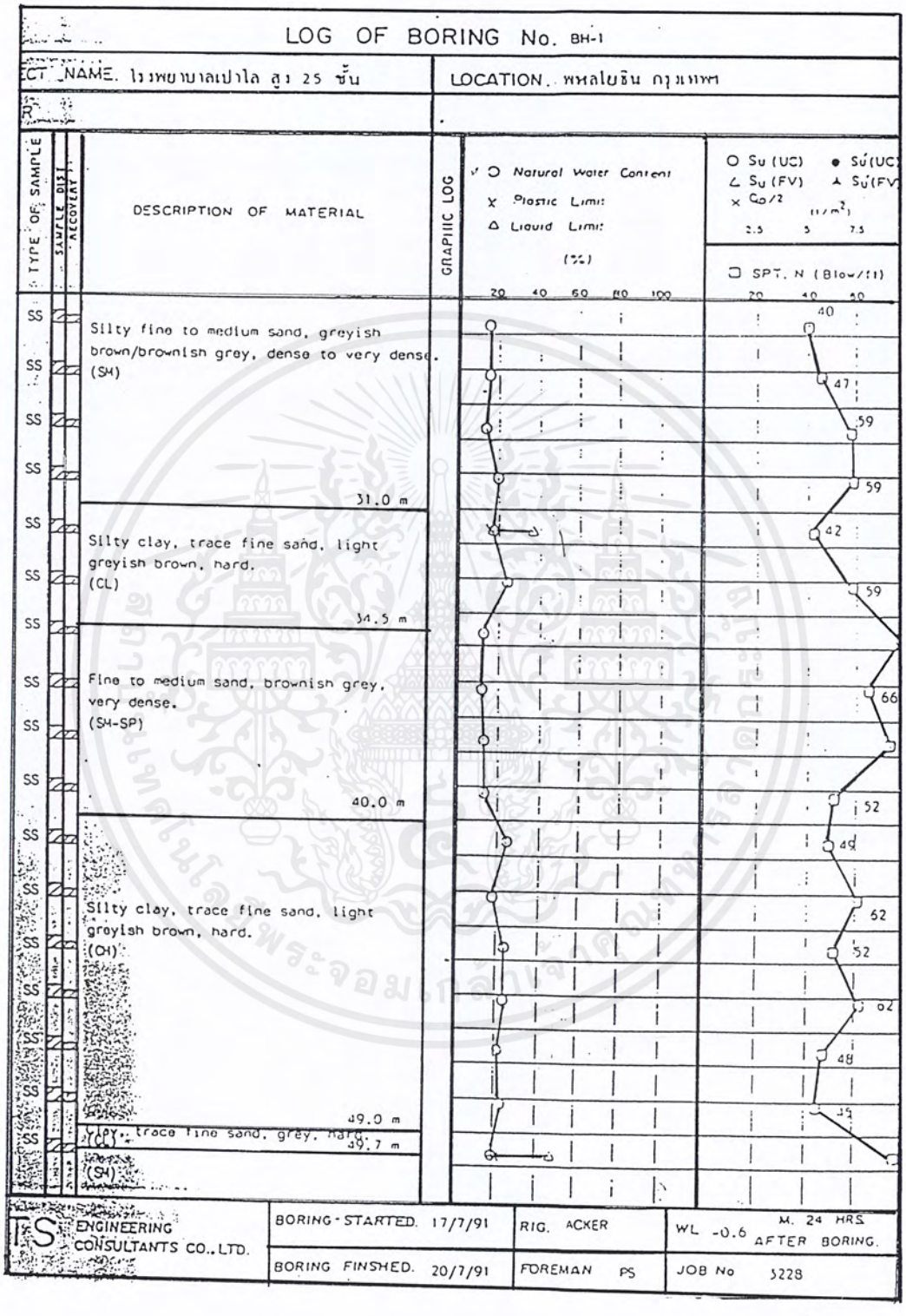
ข2. ข้อมูลดิน ที่ถนนพหลโยธิน
จังหวัดกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



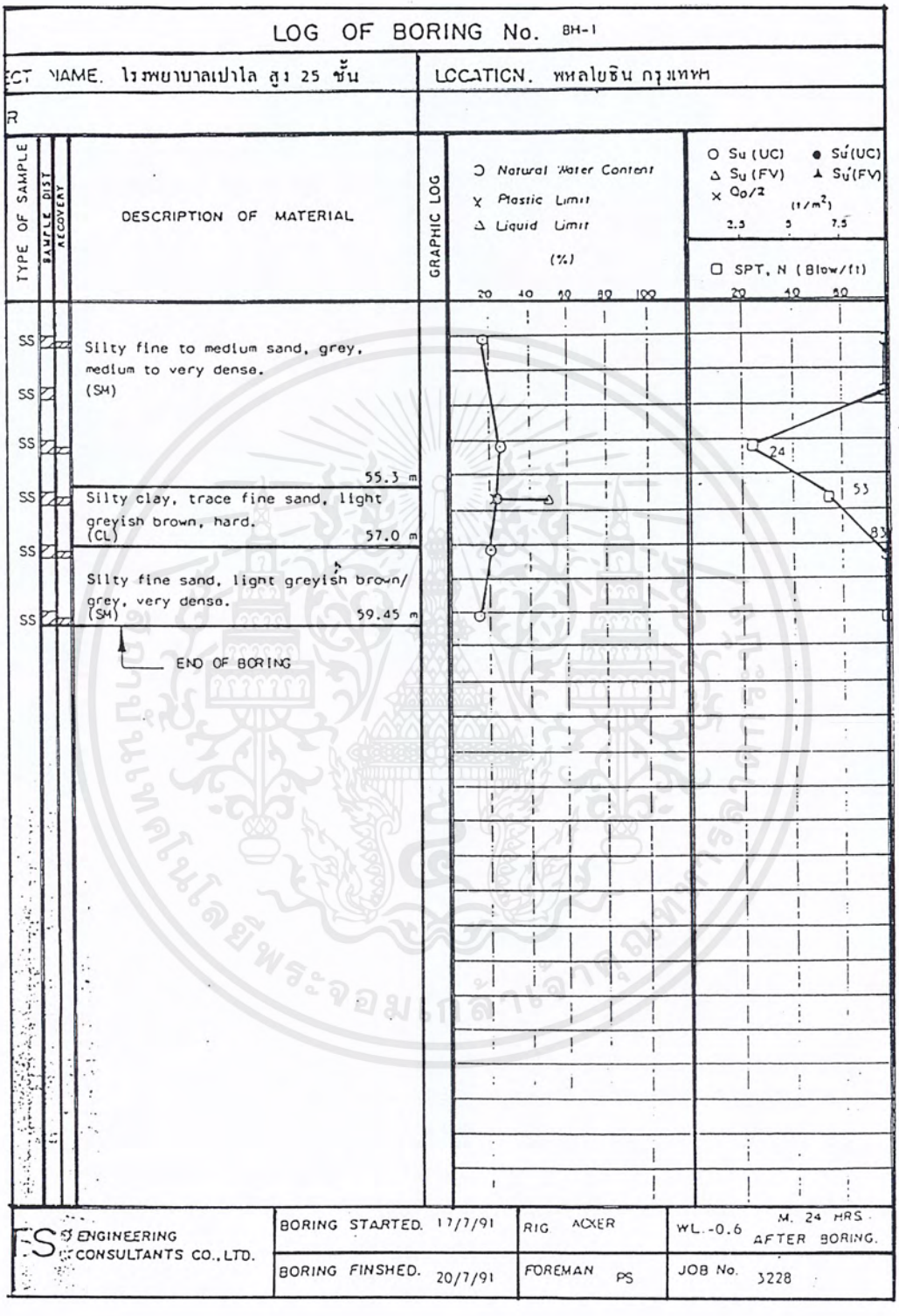
รูปที่ ผ.ข.2.1 BORING LOGที่ถนนพหลโยธิน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ข.2.1 BORING LOGที่ถนนพหลโยธิน จังหวัดกรุงเทพมหานคร (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

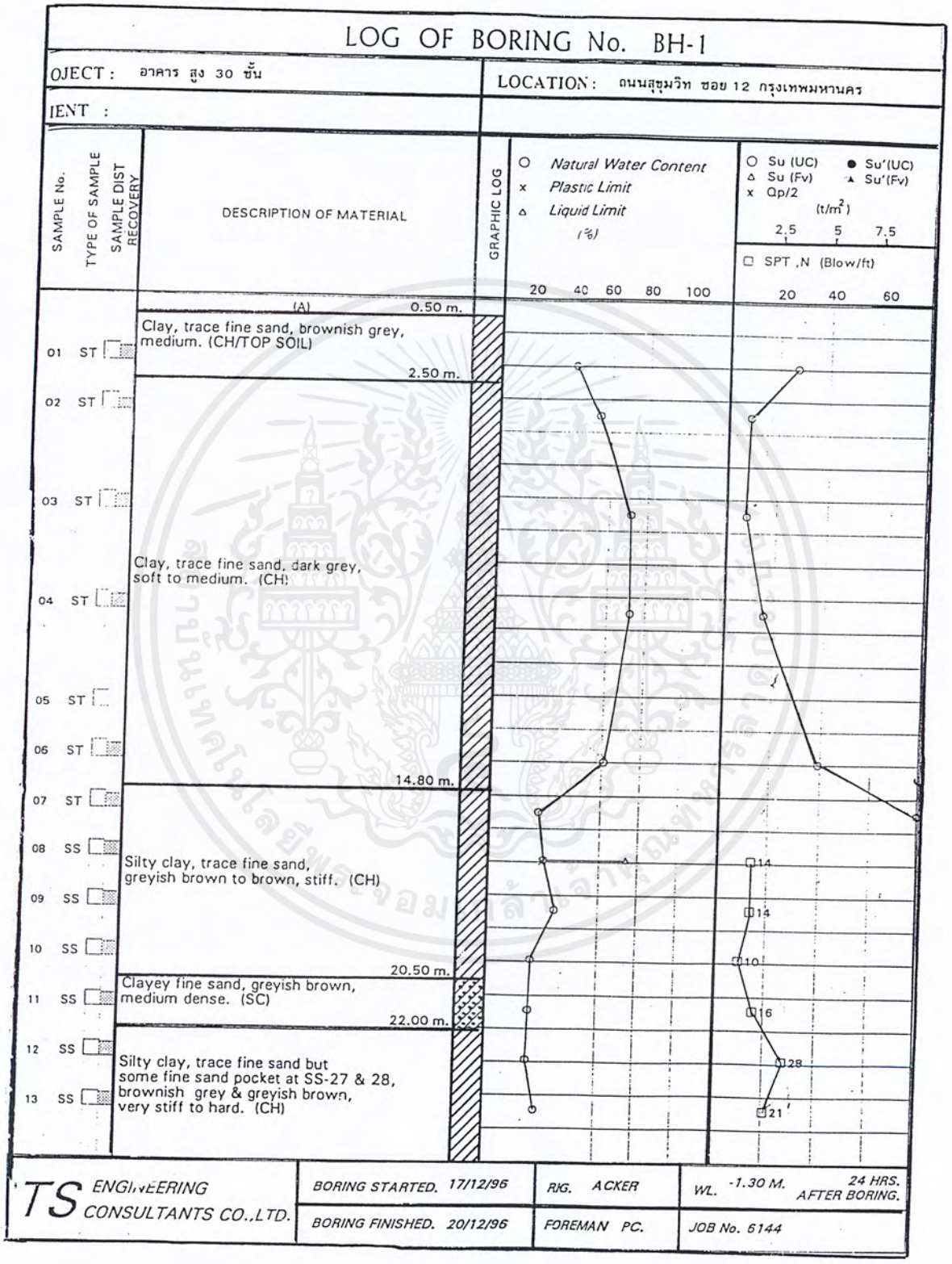


รูปที่ ผ.ข.2.1 BORING LOGที่ถนนพหลโยธิน จังหวัดกรุงเทพมหานคร (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

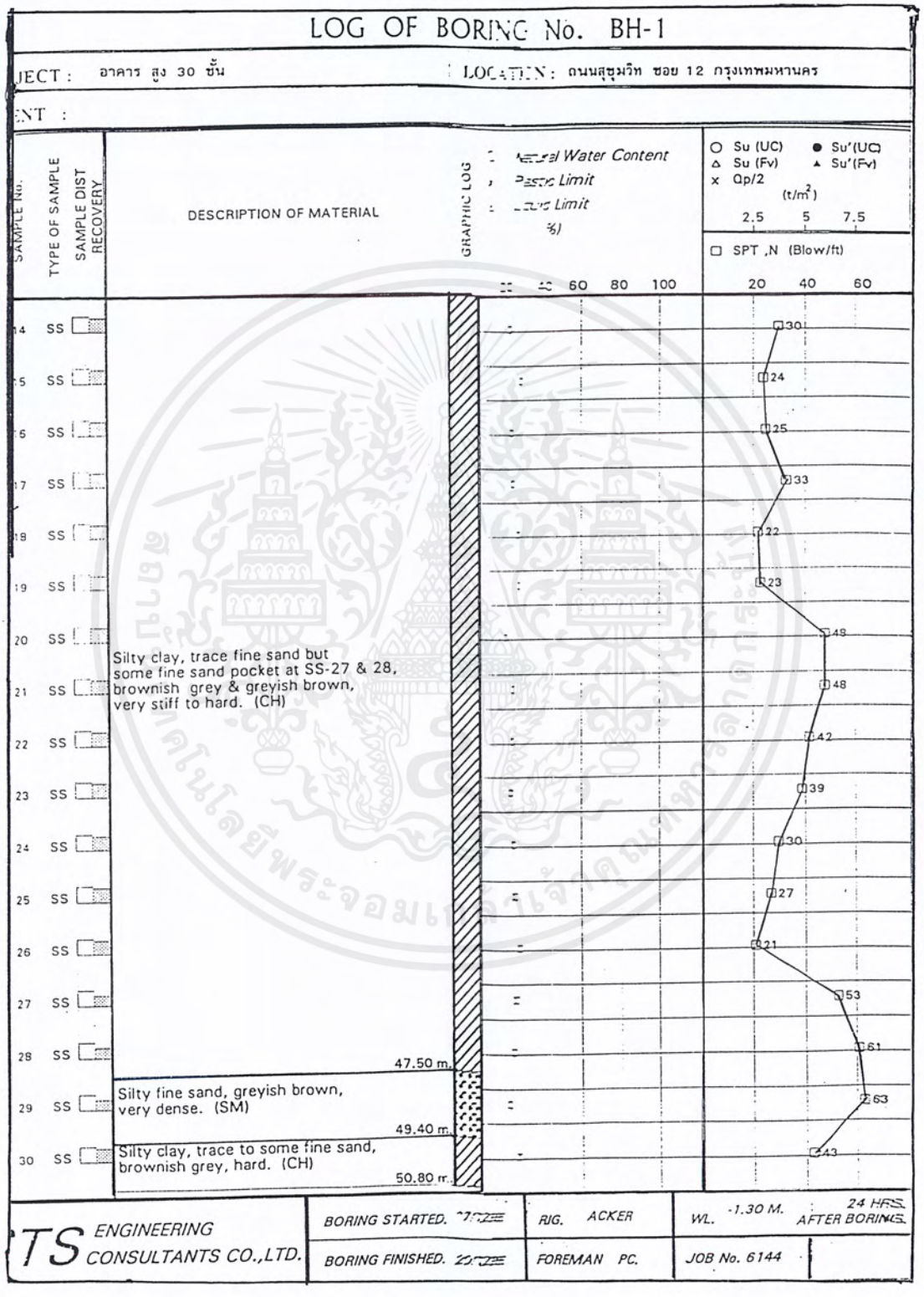
ข3. ข้อมูลดิน ที่ถนนสุขุมวิท ซอย 12
จังหวัดกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



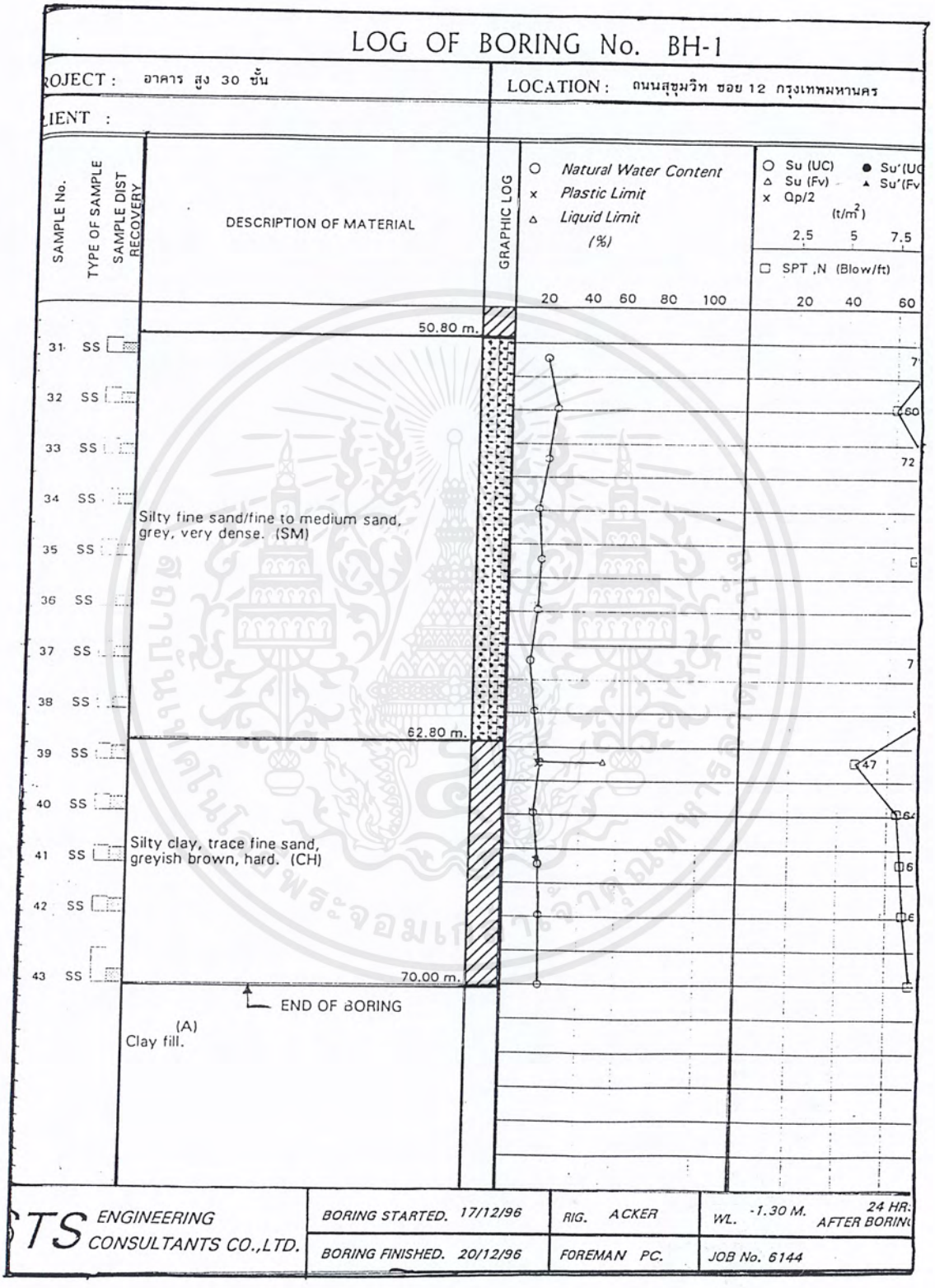
รูปที่ ผ.ข.3.1 BORING LOG ที่ถนนสุขุมวิท ซอย 12 จังหวัดกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ข.3.1 BORING LOG ที่ถนนสุขุมวิท ซอย 12 จังหวัดกรุงเทพมหานคร (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ข.3.1 BORING LOG ที่ถนนสุขุมวิท ซอย 12 จังหวัดกรุงเทพมหานคร (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

กฎหมาย เกี่ยวกับการดัดแปลงอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

เมื่อกล่าวถึงการดัดแปลงอาคาร ผู้เกี่ยวข้องส่วนใหญ่นับตั้งแต่เจ้าของอาคาร สถาปนิก วิศวกรและอาจรวมถึงเจ้าหน้าที่ของรัฐที่มีหน้าที่ทางด้านควบคุมอาคาร อาจไม่เข้าใจหรือไม่มั่นใจในรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดัดแปลงอาคารที่มีการเพิ่มน้ำหนักแก่โครงสร้างเดิม รายละเอียดและเงื่อนไขต่างๆ เกี่ยวกับการดัดแปลงอาคาร ตามกฎหมายควบคุมอาคาร คือ กฎกระทรวง ฉบับที่ 11 (พ.ศ.2528) กฎกระทรวง ฉบับที่ 12 (พ.ศ.2528) ออกตามความใน พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ.2522

2. การดัดแปลงอาคาร

"ดัดแปลง" หมายความว่า เปลี่ยนแปลง ต่อเติม เพิ่ม ลด หรือขยาย ซึ่งลักษณะขอบเขต แบบ รูปทรง สัดส่วน น้ำหนัก เนื้อที่ของโครงสร้างของอาคารหรือส่วนต่างๆของอาคาร ซึ่งได้ก่อสร้างไว้แล้วให้ผิดไปจากเดิม และมิใช่การซ่อมแซมหรือการดัดแปลงที่กำหนดในกฎกระทรวง

"ซ่อมแซม" หมายความว่า ซ่อมหรือเปลี่ยนส่วนต่างๆของอาคารให้คงสภาพเดิม

กฎกระทรวง ฉบับที่ 11 (พ.ศ.2528) ออกตามความใน พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 บัญญัติไว้ว่า การกระทำดังต่อไปนี้ ไม่ถือเป็นการดัดแปลงอาคาร คือ

1. การเปลี่ยนโครงสร้างอาคารโดยใช้วัสดุขนาด จำนวนและชนิดเดียวกับของเดิม เว้นแต่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาคารที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตอัดแรง หรือเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ
2. การเปลี่ยนส่วนต่าง ๆ ของอาคารที่ไม่เป็นโครงสร้างของอาคาร โดยใช้วัสดุชนิดเดียวกับของเดิม หรือวัสดุชนิดอื่นซึ่งไม่เป็นการเพิ่มน้ำหนักให้แก่โครงสร้างของอาคารเดิมส่วนหนึ่งส่วนใดร้อยละสิบ
3. การเปลี่ยนแปลง การต่อเติม การเพิ่ม การลด หรือการขยาย ซึ่งลักษณะขอบเขต แบบรูปทรง สัดส่วน น้ำหนัก เนื้อที่ของส่วนต่างๆของอาคารที่ไม่เป็นโครงสร้างของอาคาร ซึ่งไม่เป็นการเพิ่มน้ำหนักให้แก่โครงสร้างของอาคารเดิมส่วนหนึ่งส่วนใดเกินร้อยละสิบ
4. การลดหรือการขยายเนื้อที่ของพื้นชั้นหนึ่งชั้นใด ให้มีเนื้อที่น้อยลงหรือมากขึ้นรวมกันไม่เกินห้าตารางเมตร โดยไม่ลดหรือเพิ่มจำนวนเสาหรือคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การลดหรือการขยายเนื้อที่ของหลังคาให้มีเนื้อที่มากขึ้น รวมกันไม่เกินห้าตารางเมตร โดยไม่ลดหรือเพิ่มจำนวนเสาหรือคาน

ทั้งนี้ การกระทำข้างต้นจะต้องไม่ขัดกฎกระทรวง ข้อบัญญัติท้องถิ่น หรือประกาศใดๆแห่ง พ.ร.บ.ควบคุมอาหาร

ดังนั้น หากการกระทำใดๆที่เข้าข่ายเป็นการดัดแปลงอาคาร จำเป็นต้องขออนุญาตดัดแปลงให้ถูกต้องตามกฎหมายควบคุมอาคาร

3. การก่อสร้างอาคารผิดแบบ

กฎกระทรวง ฉบับที่ 12 (พ.ศ.2528) ออกตามความใน พ.ร.บ.ควบคุมอาหาร พ.ศ.2522 บัญญัติไว้ว่า

การก่อสร้าง ดัดแปลง รื้อถอน หรือเคลื่อนย้ายอาคารให้ผิดไปจากแผนผังบริเวณ แบบแปลน และรายการประกอบแบบแปลนที่ได้รับอนุญาต ตลอดจนวิธีการหรือเงื่อนไขที่เจ้าพนักงานท้องถิ่นกำหนดไว้ในใบอนุญาต ให้กระทำได้ในกรณีดังต่อไปนี้

1. ไม่เป็นการเปลี่ยนแปลงแผนผังบริเวณ เว้นแต่ระยะที่ตั้งของอาคารถึงขอบเขตที่ดินหรือขอบเขตที่สาธารณะ ผิดไปจากแผนผังบริเวณที่ได้รับอนุญาตเกินร้อยละยี่สิบ
(กรณีนี้ คือ สามารถเปลี่ยนแปลงระยะที่ตั้งของอาคารถึงขอบเขตที่ดินหรือขอบเขตที่สาธารณะได้ไม่เกินร้อยละยี่สิบ โดยไม่ขัดต่อกฎกระทรวง หรือบัญญัติตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร และสามารถดำเนินการได้โดยไม่ต้องได้รับอนุญาตหรือแจ้งเจ้าพนักงานท้องถิ่น)
2. ไม่เป็นการเปลี่ยนแปลง ต่อเติม เพิ่ม ลด หรือขยาย ซึ่งลักษณะขอบเขต แบบ หรือรูปทรงของโครงสร้างของอาคาร เว้นแต่

(ก) สัดส่วนโครงสร้างของอาคารจะผิดไปจากแบบแปลนหรือรายการประกอบแบบแปลนที่ได้รับอนุญาตเกินร้อยละห้า

(กรณีนี้ คือ สามารถทำการก่อสร้างช่วงเสา คาน พื้น ช่องลิฟต์ ที่เป็นโครงสร้างหลักของอาคารเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกินร้อยละห้า โดยไม่ขัดต่อกฎกระทรวง หรือข้อบัญญัติตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาคารและสามารถดำเนินการได้โดยไม่ต้องได้รับอนุญาตหรือแจ้งเจ้าพนักงานท้องถิ่น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) เมื่อคำนวณแบบแปลน รายการประกอบแบบแปลน และรายการคำนวณตามมาตรา 28 เห็นว่ามีความจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลง ต่อเติม เพิ่ม ลด หรือขยายโครงสร้างของอาคารเพื่อความมั่นคง แข็งแรง โดยไม่ทำให้ลักษณะแบบ รูปทรง เนื้อที่ และที่ตั้งของอาคารผิดไปจากที่ได้รับอนุญาต และได้แจ้งให้ผู้ควบคุมงานและเจ้าของอาคารทราบแล้ว พร้อมทั้งแจ้งเป็นหนังสือให้เจ้าพนักงานท้องถิ่นทราบ โดยมีเหตุผลแสดงความจำเป็นพร้อมด้วยแบบแปลน รายการประกอบแบบแปลน และรายการคำนวณโครงสร้างของอาคารส่วนนั้นแล้ว ทั้งนี้ต้องแจ้งก่อนใบอนุญาตก่อสร้าง ดัดแปลง รื้อถอน หรือเคลื่อนย้ายอาคารสิ้นอายุ

(กรณีนี้ คือ สามารถดำเนินการได้ในลักษณะต่างๆ ดังนี้

1) เปลี่ยนแปลงเสาเข็มเนื่องจากมีปัญหา เช่น หักหรือรับน้ำหนักได้ไม่ดีพอ ผิดศูนย์เคลื่อนที่จากตำแหน่งจริง หรือวิศวกรผู้คำนวณเห็นว่าจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลง โดย เพิ่มหรือลดขนาดชนิดของเสาเข็ม
2) เปลี่ยนแปลงขนาดฐานรากโดย ต่อเติม เพิ่ม ลด หรือขยายโครงฐานราก เช่น เปลี่ยนแปลงตามเสาเข็ม หรือวิศวกรผู้คำนวณเห็นว่าจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลง
3) เปลี่ยนแปลงขนาดเสาเข็ม เพิ่ม หรือลด หรือขยายโครงสร้างเสา เมื่อวิศวกรผู้คำนวณเห็นว่าจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลง
4) เปลี่ยนแปลงขนาดกว้างและลึกของคานโดย เพิ่ม ลด หรือขยายโครงสร้างคาน เมื่อวิศวกรผู้คำนวณเห็นว่าจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลง
5) เปลี่ยนแปลงพื้น
   5.1 จากพื้นสำเร็จรูปเป็นพื้นระบบไร้คานหรือพื้นหล่อกับที่
   5.2 จากพื้นหล่อกับที่เป็นระบบพื้นไร้คานหรือกลับกัน
6) เปลี่ยนแปลงโครงสร้างรับหลังคา
   6.1 จากโครงสร้างหลักเป็นโครงสร้าง ค.ส.ล.หรือกลับกัน
   6.2 จากโครงสร้างไม้เป็นโครงสร้างเหล็กหรือโครงสร้าง ค.ส.ล.
7) การเพิ่มหรือย้ายลิฟต์ที่เป็นโครงสร้างหลักภายในขอบเขตของอาคาร โดยใช้ผนังลิฟต์เป็นโครงสร้างป้องกันแรงลมและแผ่นดินไหว

ทั้งนี้ โดยไม่ขัดต่อกฎกระทรวง หรือข้อบัญญัติตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร และสามารถดำเนินการได้โดยผู้คำนวณแบบแปลน รายการประกอบแบบแปลน และรายการคำนวณตามมาตรา 28 ต้องดำเนินการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) แจ้งให้ผู้ควบคุมงานทราบ
2) แจ้งให้เจ้าของอาคารทราบ
3) ทำหนังสือแจ้งให้เจ้าพนักงานท้องถิ่นทราบโดยมีเหตุผล แสดงความจำเป็นพร้อมด้วยแบบแปลน รายการประกอบแบบแปลนและรายการคำนวณโครงสร้างของอาคารส่วนนั้น
4) ทั้งนี้ต้องแจ้งก่อนใบอนุญาตก่อสร้าง ดัดแปลง รื้อถอน หรือเคลื่อนย้ายอาคารสิ้นอายุ)

3. ไม่เป็นการเปลี่ยนแปลง ต่อเติม เพิ่ม ลด หรือขยายซึ่งลักษณะขอบเขต แบบ รูปทรง สัดส่วน หรือเนื้อที่ของส่วนต่างๆ ของอาคารที่ไม่เป็นโครงสร้างของอาคาร อันเป็นการเพิ่มน้ำหนักให้แก่โครงสร้างของอาคารส่วนหนึ่งส่วนใดเกินร้อยละสิบ

(กรณีนี้คือ สามารถทำการเปลี่ยนแปลง ต่อเติม เพิ่ม ลด หรือขยาย หรือย้ายบันได ห้องน้ำหรือปล่องเดินท่อ เดินงานระบบ ซึ่งถือว่าเป็นโครงสร้างของอาคาร โดยไม่เป็นการเพิ่มน้ำหนักให้แก่โครงสร้างเกินร้อยละสิบ โดยไม่ขัดต่อกฎกระทรวงหรือข้อบัญญัติตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร และสามารถดำเนินการได้โดยไม่ต้องได้รับอนุญาต หรือแจ้งเจ้าพนักงานท้องถิ่น)

ดังนั้น หากการกระทำใดๆที่นอกเหนือไปจากที่กล่าวมาข้างต้น จะเข้าข่ายเป็นการก่อสร้างอาคารผิดแบบจะมีความผิดตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร และยังคงต้องยื่นขออนุญาตดัดแปลงอาคารให้ถูกต้องตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร

4. การดัดแปลงอาคารที่มีการเพิ่มน้ำหนักแก่โครงสร้างเดิม

การดัดแปลงอาคารกรณีดังกล่าวนี้ วิศวกรโยธา แม้กระทั่งเจ้าหน้าที่เองส่วนใหญ่มักจะไม่ทราบ หรือไม่มั่นใจถึงรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินการ ทำให้เกิดความล่าช้าในการพิจารณาอนุญาตดัดแปลงอาคารนั้นๆ

หลักการในการพิจารณามีอยู่ 2 กรณี คือ

1. กรณีที่มีเรื่องเดิม หมายถึง หน่วยงานของรัฐมีเรื่องเดิมของอาคารเดิมที่เคยได้พิจารณาอนุญาตไว้ก่อนแล้ว หรือผู้ขออนุญาตฯ มีแบบแปลนเดิมของอาคารเดิมที่เคยได้รับอนุญาตและเป็นแบบแปลนชุดที่หน่วยงานของรัฐมอบให้ผู้ขออนุญาตฯ เพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐานในการได้รับอนุญาต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอาคารดังกล่าวต้องก่อสร้างถูกต้องตามแบบแปลน รายการประกอบแบบแปลนที่ได้รับอนุญาต ตลอดจนวิธีการ หรือเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในใบอนุญาต รวมถึงการแจ้งแก้ไขแบบแปลนถูกต้องตามกฎกระทรวงฉบับที่ 12 (พ.ศ.2528)

ดังนั้นในการคำนวณโครงสร้างอาคารสามารถแสดงรายการคำนวณว่าโครงสร้างของอาคารเดิมนั้นมีความสามารถที่จะรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้หรือไม่ โดยวิศวกรโยธาต้องเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตให้เป็นผู้ประกอบอาชีพวิศวกรรมควบคุมตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพวิศวกรรม

2. กรณีที่ไม่มีเรื่องเดิม หมายถึง หน่วยงานของรัฐไม่มีเรื่องเดิมของอาคารเดิมที่เคยได้พิจารณาอนุญาตไว้ก่อนแล้วและผู้ขออนุญาตฯไม่มีแบบแปลนเดิมของอาคารเดิมที่เคยได้รับอนุญาตซึ่งเป็นแบบแปลนชุดที่หน่วยงานของรัฐมอบให้เพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐานในการได้รับอนุญาต

ดังนั้น ในการคำนวณโครงสร้างอาคาร ไม่สามารถแสดงรายการคำนวณว่าโครงสร้างของอาคารเดิมนั้นมีความสามารถที่จะรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้โดยตรง เนื่องจากไม่มีแบบแปลนที่จะให้เป็นหลักฐานอ้างอิงได้ จึงจำเป็นต้องหาแนวทางหรือวิธีการอื่นเพื่อนำมาอ้าวอิงอย่างมีหลักเกณฑ์ตามหลักวิชาการ และเป็นไปตามกฎหมายควบคุมอาคาร

แนวทาง หรือวิธีการต่างๆที่สามารถนำมาอ้างอิงเพื่อใช้ยืนยันว่าโครงสร้างของอาคารเดิมนั้นมีความสามารถที่จะรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้หรือไม่นั้น กระทำได้ดังต่อไปนี้

2.1 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกจร สามารถนำมาใช้ในกรณีการดัดแปลงอาคาร พร้อมทั้งมีการเปลี่ยนการใช้อาคารบางส่วน เช่น เปลี่ยนการใช้อาคารจากภัตตาคารเป็นส่วนพาณิชย์ จะทำให้น้ำหนักบรรทุกจรเปลี่ยนแปลงจาก 400 กิโลกรัม/ตารางเมตร เป็น 300 กิโลกรัม/ตารางเมตร หากรายการคำนวณสามารถยืนยันได้ว่าโครงสร้างของอาคารเดิมที่รับน้ำหนักบรรทุกจรที่เปลี่ยนแปลงลดลง มีค่ามากกว่าส่วนของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการดัดแปลงอาคารก็สามารถที่จะนำมาใช้อ้างอิงได้

2.2 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างเดิม ซึ่งจะเห็นว่าตามกฎกระทรวงฉบับที่ 11 (พ.ศ.2528) และกฎกระทรวงฉบับที่ 12 (พ.ศ.2528) ออกตามความใน พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 หากจะเข้ากรณียกเว้นไม่เข้าข่ายการดัดแปลงอาคารหรือการก่อสร้างผิดแบบต้องไม่เป็นการเพิ่มน้ำหนักให้แก่โครงสร้างของอาคารเดิมส่วนหนึ่งส่วนใดเกินร้อยละสิบ ดังนั้นหากรายการคำนวณสามารถที่จะแสดงให้เห็นว่าการดัดแปลงอาคารดังกล่าวจะไม่เป็นการเพิ่มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนักบรรทุกให้แก่โครงสร้างของอาคารเดิม แต่ละส่วนเกินร้อยละสิบของน้ำหนักบรรทุกเดิมย่อมสามารถนำมาอ้างอิงได้

2.3 การทดสอบหาหลักฐานที่ยอมรับได้ตามหลักวิชาการในปัจจุบันนี้ วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายเริ่มเข้ามามีบทบาทในวงการก่อสร้างและเป็นที่ยอมรับกันมากขึ้น วิธีการดังกล่าวสามารถที่จะหากำลังอัดของคอนกรีตได้ เช่น วิธี "Hammer Test" หรือวิธีใช้คลื่นอัลตราโซนิก เป็นต้น ส่วนขนาดและตำแหน่งของเหล็กเสริมอาจใช้วิธี "Ultrasound" หรือวิธีฉายรังสี X ดังนั้นหากสามารถตรวจสอบโครงสร้างเดิมได้ ก็สามารถที่จะแสดงในรายการคำนวณได้ว่าโครงสร้างเดิมสามารถที่จะรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการดัดแปลงอาคารได้โดยปลอดภัย แต่วิธีการทดสอบดังกล่าวนี้ต้องกระทำโดยสถาบันที่เชื่อถือได้ (หมายความว่าส่วนราชการหรือบริษัทจำกัด ที่มีวัตถุประสงค์ในการให้คำปรึกษา แนะนำด้านวิศวกรรม ซึ่งมีวิศวกรประเภทวุฒิวิศวกรสาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพวิศวกรรมเป็นผู้ให้คำปรึกษาแนะนำและลงลายมือชื่อรับรองผลการตรวจสอบงานวิศวกรรมควบคุม)

2.4 การทดสอบความมั่นคงแข็งแรงของอาคารโดยวิธีบรรทุกน้ำหนักลงบนองค์อาคาร กรณีนี้มักใช้ในกรณีที่ได้กระทำการดัดแปลงอาคารแล้วเสร็จก่อนได้รับอนุญาต เป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยาก และวิธีการทดสอบดังกล่าว กฎหมายควบคุมอาคารก็มิได้ระบุรายละเอียดไว้ชัดเจน แต่ก็ต้องกระทำโดยสถาบันที่เชื่อถือได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ระบบการทำการยกอาคาร ที่นิยมในปัจจุบัน

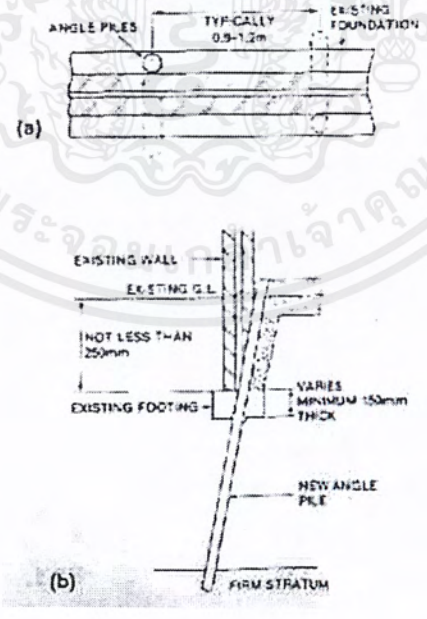
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Angle Piles

การทำการเสริมฐานราก(Underpinning)ระบบนี้ สามารถใช้ได้กับฐานรากแบบตื้นทุกแบบที่มีขนาดความยาวมากเมื่อเทียบกับขนาดความกว้างของฐานราก (Strip Foundation) ซึ่งจะมีการทำการเจาะฐานรากเก่า ทะลุไปยังใต้ดิน ในลักษณะที่ทำองศาเอียงแล้ว มีการบรรจุปลอกเหล็ก Casing ลงไป โดยตัวเข็มจะเป็น คอนกรีตเสริมเหล็ก การรับกำลังขึ้นกับขนาดของเข็ม ซึ่งอาจรับกำลังได้ 40ถึง250 กิโลนิวตัน

ข้อดีของระบบ Angle Piles

1. ไม่จำเป็นต้องขุดหลุมขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงเกิดความเสียหายน้อย
2. ที่ความลึก มากกว่า 1.00 เมตร จะประหยัดกว่า
3. ค่อนข้างปลอดภัยกว่า ถ้าเข็มมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ใหญ่กว่า 1.00 เมตร
4. รับน้ำหนักบรรทุกได้มาก
5. เหมาะสำหรับเมื่อมีพื้นที่จำกัด
6. สามารถทำการเพียงข้างเดียวของผนังได้ ถ้าถูกจำกัดโดยพื้นที่



รูปที่ ผ.ง.1 การทำการยกอาคาร โดยระบบ Angle Piles

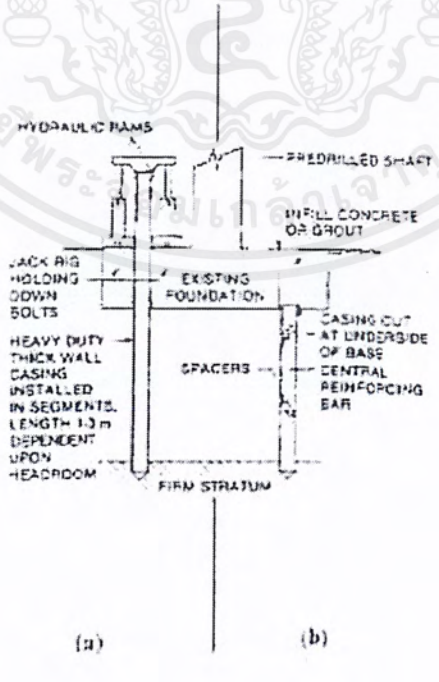
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Jack Down Piles

วิธีการนี้จะมีข้อได้เปรียบทางด้าน การลดเสียง และการสั่นสะเทือน เราสามารถทำให้เข็มลงไปโดยใช้ เครื่องมือไฮโดรลิก หลังจากต้องผ่านการวิเคราะห์จุดที่จะทำการเพิ่มกำลังในการรับน้ำหนัก (Load) หลังจากทำการกดเข็มลงไปเรียบร้อยแล้วจะมีการเชื่อมต่อ ติดกับโครงสร้างเก่าอีกขั้นหนึ่ง

ข้อดีของระบบ Jack Down Piles

1. เข็มทุกต้น เสมือนถูกทดสอบกำลัง เมื่อเวลาเรากดมันลงไปแล้วอ่านความดัน
2. ไม่มีเสียง และไม่การแรงสั่นสะเทือน
3. การกดเข็มลงไปโดย Jack ซึ่งใช้กำลังจาก เครื่องมือ Hydraulic ซึ่งสามารถโยงมาจากนอกพื้นที่ทำงานได้
4. สะอาด ไม่มีฝุ่น
5. สามารถทำให้เข็มอยู่ในตำแหน่งที่ห่างจากผนัง 260 มิลลิเมตร และ 500 มิลลิเมตร ห่างจากมุมด้านในได้
6. สามารถทำงานในพื้นที่ที่ยาก หรือจำกัดมากได้ เนื่องจากต้องการพื้นที่ทำงานสูงเพียง 1.20 – 0.70 เมตร เท่านั้น



รูปที่ ผ.ง.2 การทำการยกอาคารโดยระบบ Jack Down Piles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Pile and Reinforced Concrete Raft

ระบบนี้ใช้การ ทำเข็ม Mini Pile แล้วหล่อติดกับ Reinforced Concrete Raft ที่หล่อใหม่ ซึ่งเหมาะสมกับกรณีของห้องที่ต้องการ Underpinning ทั้งห้อง (พื้นที่ห้อง เป็นต้น) หรือการทำพื้นภายในห้องใหม่ทั้งหมด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการทรุดตัว เนื่องจากการหดตัวของดิน

ข้อดีของระบบ Pile and Reinforced Concrete Raft

1. เป็นการค้ำยันด้านข้างของผนัง ไปในตัว
2. เป็นการทำพื้นใหม่แทนตัวเก่าไปในตัวเลย
3. เหมาะกับเมื่อถูกจำกัดพื้นที่ภายนอก และมีข้อจำกัดในการค้ำยันด้านข้าง
4. ไม่เกิดความเสียหายต่อภายนอกอาคาร เช่น ท่อระบายน้ำ รางน้ำฝน
5. เหมาะสำหรับกรณีโครงสร้างที่เสียหายจาก การอุด หดตัวของดินเหนียว

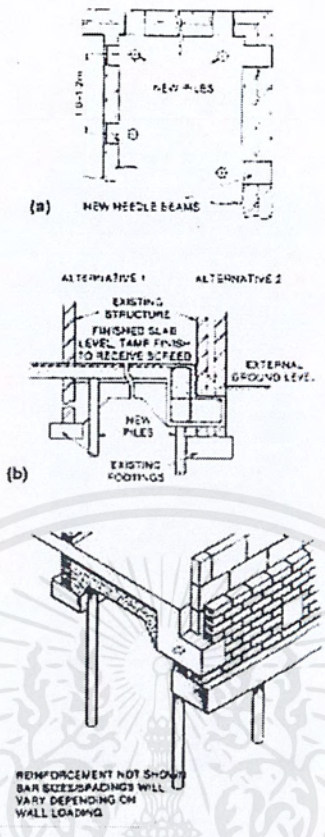
4. Cantilever Pile and Beam

ระบบนี้จะใช้ Mini Pile 2 ตัว โดยตัวหนึ่งจะรับแรงดึง ตัวหนึ่งจะรับแรงอัดเชื่อมตัวกัน โดยคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่สอดเข้าไปรองรับผนังมักทำทุก ๆ 1.00-1.50 เมตร

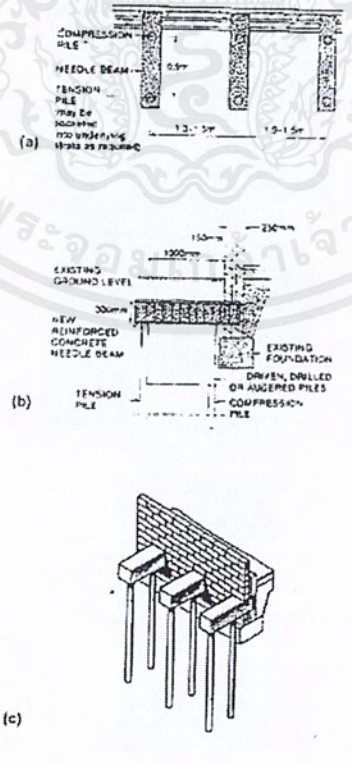
ข้อดีของระบบ Cantilever Pile and Beam

1. ไม่ต้องขุดหลุมขนาดใหญ่ ดังนั้นความเสียหายที่จะเกิดของอาคารมีน้อย
2. ใช้พื้นที่ด้านนอกของอาคารด้านเดียว ดังนั้นเจ้าของอาคารไม่จำเป็นต้องย้ายออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ง.3 การทำการยกอาคารโดยระบบ Pile and Reinforced Concrete Raft



รูปที่ ผ.ง.4 การทำการยกอาคารโดยระบบ Cantilever Pile and Beam

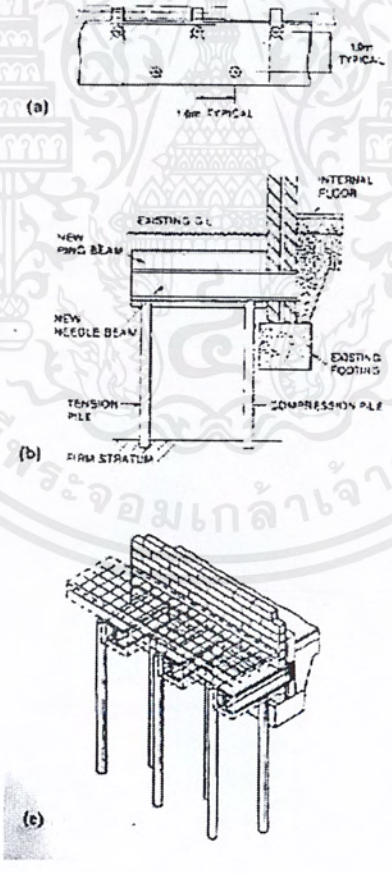
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Cantilever Ring Beam

คล้ายกับ ระบบ Cantilever Pile and Beam แต่ระบบเข็มรับแรงดึงหล่อติดกับ Ring beam ภายนอกอาคาร ซึ่ง Ring beam จะมารองรับผนังอีกที โดย Ring beam จะมีส่วนที่มี Needle Beam ร่วมอยู่ด้วย

ข้อดีของระบบ Cantilever Ring Beam

1. ไม่ต้องขุดหลุมขนาดใหญ่ ดังนั้นความเสียหายของอาคารมีน้อย
2. ใช้พื้นที่ด้านนอกของอาคารด้านเดียว ดังนั้น เจ้าของอาคารไม่จำเป็นต้องย้ายออก
3. ความมั่นคง ตามความยาวของผนังจะมีมากกว่า



รูปที่ ผ.ง.5 การทำการยกอาคารโดยระบบ Cantilever Ring Beam

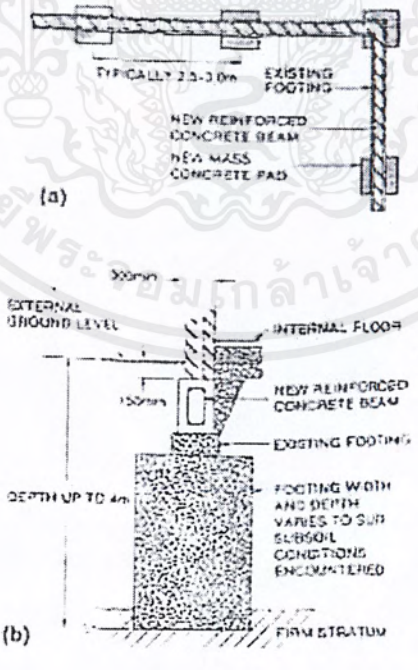
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Conventional Pad and Beam

ระบบนี้ ใช้การสอดแทรกก้อนคอนกรีต ข้างใต้โดยมีคานคอนกรีตเสริมเหล็กวางอยู่ข้างบนรองรับผนังข้างบนอีกที ระบบนี้สามารถนำมาใช้ได้กับฐานรากตื้นทุกชนิด โดยไม่ควรให้ชั้นหินแข็งอยู่ลึกเกินกว่า 1.50 เมตร และค่าความลึกเกินกว่านี้สามารถใช้ Mini Pile มารองรับตัว Concrete Pad อีกทีได้

ข้อดีของระบบ Conventional Pad and Beam

1. ค่าใช้จ่ายประสิทธิผลที่ความลึก 1.50 – 3.50 เมตร ต่ำจากระดับดินกับแรงที่หนัก ๆ ลงฐานราก
2. สามารถถูกดำเนินการจากด้านหนึ่งของผนัง โดยเจ้าของไม่ต้องย้ายออก
3. ทำงานได้เสร็จใน พื้นที่ที่ยากและจำกัด
4. เหมาะกับรองรับการก่อสร้าง Stone – Wall
5. ควรพิจารณาถึงดินเหนียวที่อูด
6. สำหรับสถานการณ์ซึ่งชั้นดินแบกทาน มีความลึกมากกว่า The Pads สามารถใช้การรองรับโดย Mini Piles



รูปที่ ผ.ง.6 การทำการยกอาคารโดยระบบ Conventional Pad and Beam

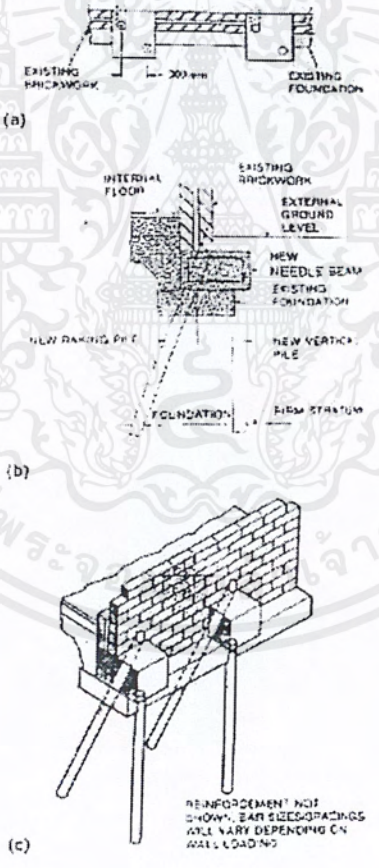
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Pile and Needle Beam

Pile และ Needle Beam คือเสาเข็ม Mini Piles ที่วางแนวดิ่งบ้าง บ้างก็แนวทแยง โดยยึดติดกับผนังโดย คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำขึ้นมาใหม่ สามารถรับแรงได้ประมาณ 40 – 90 กิโลนิวตัน

ข้อดีของระบบ Pile and Needle Beam

1. ก่อสร้างเร็ว เมื่อเทียบกับการเสริมฐานรากแบบทั่วไป
2. ประหยัด
3. สามารถถูกดำเนินการจากด้านหนึ่งของผนังโดยเจ้าของไม่ต้องย้ายออก



รูปที่ ผ.ง.7 การทำการยกอาคารโดยระบบ Pile and Needle Beam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

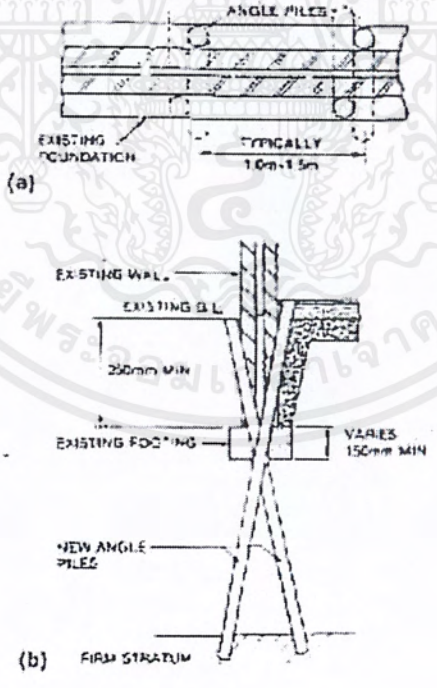
8. Dual Angie Piles

ถูกใช้สำหรับทุกแบบของฐานรากหรือพื้น (Bases) ที่ถูกพบที่ความลึกในระกับที่มากกว่า 400 มิลลิเมตร ต่ำจากระดับน้ำใต้ดิน เพื่อทำให้ผนังเสถียรภาพโดยการใช้เสาเข็มคู่ไขว้ แต่ละอันที่มุมฐานรากเก่า

เสาเข็มถูกก่อสร้างโดยการเทคอนกรีตและเสริมแรงเพื่อขยายขึ้นทะลุผ่านฐานรากไปยังระดับดินเดิม

ข้อดีของระบบ Dual Angle Piles

1. มีความสามารถในการรับแรงสูง
2. เหมาะกับพื้นที่ที่จำกัด
3. สามารถถูกใช้ในที่ ๆ ซึ่งฐานรากเก่ามีคุณภาพต่ำ



รูปที่ ผ.ง.8 การทำการยกอาคารโดยระบบ Dual Angle Piles

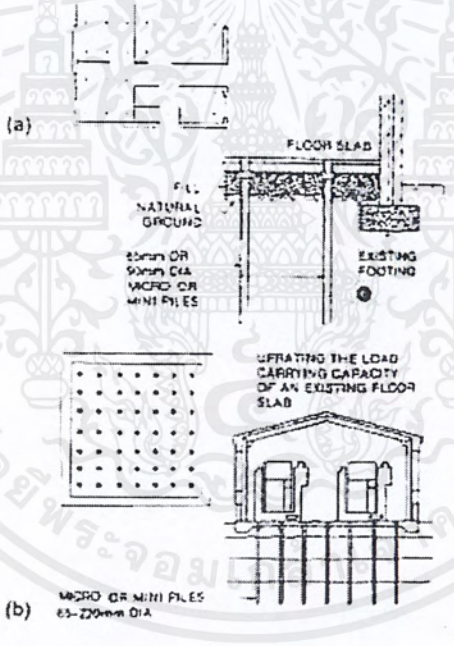
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Micro or Minipile

แบบของการเสริมฐานรากแบบนี้ถูกใช้ เพื่อเสถียรภาพหรือ ยกอาคารเก่าหรือพื้นโรงงานอุตสาหกรรมที่เบาโดยการติดตั้ง Micro Pile or Mini Pile ทะลุผ่านรอยที่มีการเจาะก่อนในพื้นที่ศูนย์กลาง โดยมันจะเป็นวิธีซ่อมแซมที่สะอาดมาก

ข้อดีของระบบ Micro or Minipile

1. เหมาะกับพื้นที่ที่จำกัด
2. ความสามารถของการติดตั้งในสภาพแวดล้อมโรงงาน โดยไม่ต้องปิดโรงงาน
3. ถูกแนะนำสำหรับข้อเสนอของฐานรากรองรับ Machine ด้าน Cost-effective



รูปที่ ผ.ง.9 การทำการยกอาคาร โดยระบบ Pile and Needle Beam

10. Pressure Grouting

ระบบ Pressure Grouting ถูกใช้ภายใต้พื้นบนดินถมที่บดอัดไม่ดี หรือที่ซึ่งเกิดช่องว่างภายใต้พื้น รูถูกเจาะเพื่อการหาแบบกริด จากการหาเบื้องต้นขึ้นกับ การเจาะสำรวจรู (Trial) และซีเมนต์ที่เหมาะสม Pulverized Fuel Ash Grout ถูกฉีดภายใต้ความดันตามดินถมและช่องว่าง หรือยกพื้นที่ทรุดตัวมายังตำแหน่งแรกเริ่มสามารถใช้ Pin Piles ถ้าต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้