สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ศึกษาและเปรียบเทียบการก่อสร้างกำแพงกันดิน ระบบ Steel sheet pile และ Pre-cast concrete ในกรณีชั้นใต้ดินลึก 1 – 2 ชั้น ในเขตกรุงเทพมหานคร

(STUDYING THE COMPARISON OF RETAINING WALL BETWEEN STEEL SHEET PILE SYSTEM AND PRE-CAST CONCRETE SHEET PILE SYSTEM FOR 1-2 BASEMENT IN BANGKOK)

T104027

นายจักรพงษ์ ศรีภักดี

นายวิรุฬห์ ทุมเที่ยง

นางสาวปิยมาส มอญขาม

MR. JAKKRAPONG SRIPUKDEE

MR. WIRUN TOOMTIENG

MISS PIYAMAS MONKHAM

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104027
วัน,เดือน,ปี 28 ต.ค. 2552

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDYING THE COMPARISON OF RETAINING WALL BETWEEN STEEL SHEET PILE SYSTEM AND PRE-CAST CONCRETE SHEET PILE SYSTEM FOR 1-2 BASEMENT IN BANGKOK

MR. JAKKRAPONG SRIPUKDEE
MR. WIRUN TOOMTIENG
MISS PIYAMAS MONKHAM

A SPECIAL PROJECT SUMITTED IN FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING DEGREE
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ ศึกษาและเปรียบเทียบการก่อสร้างกำแพงกันดินระบบ Steel sheet pile และ Pre-cast concrete ในกรณีชั้นใต้ดินลึก 1 – 2 ชั้น ในเขตกรุงเทพมหานคร
(STUDYING THE COMPARISON OF RETAINING WALL BETWEEN STEEL SHEET PILE SYSTEM AND PRE-CAST CONCRETE SHEET PILE SYSTEM FOR 1-2 BASEMENT IN BANGKOK)

นักศึกษา
นายจักรพงษ์ ศรีภักดี รหัส 48010108
นายวิรุฬห์ ทุมเที่ยง รหัส 48010835
นางสาวปิยมาส มอญขาม รหัส 48010544

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สุพจน์ ศรีนิล

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ. สุพจน์ ศรีนิล	
อาจารย์อุบะ ศรีแก้ว	
ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ. สุพจน์ ศรีนิล)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาและเปรียบเทียบการก่อสร้างกำแพงกันดินระบบ Steel sheet pile และ Pre-cast concrete ในกรณีชั้นใต้ดินลึก 1 – 2 ชั้น ในเขตกรุงเทพมหานคร

โดย นายจักรพงษ์ ศรีภักดี
นายวิรุพห์ ทุมเที่ยง
นางสาวปิยมาส มอญขาม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สุพจน์ ศรีนิล

บทคัดย่อ

ในการก่อสร้างชั้นใต้ดินที่มีความลึกไม่มากนัก (น้อยกว่า 10 เมตร) จำเป็นจะต้องมีโครงสร้างกำแพงกันดินสำหรับรับแรงดันดินในด้านข้าง โดยอาจใช้เป็นโครงสร้างชั่วคราวเพื่อป้องกันดินในขณะก่อสร้าง หรือโครงสร้างถาวรของชั้นใต้ดิน ระบบกำแพงกันดินที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันคือระบบเข็มพืด หรือ Sheet pile ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ตามชนิดของวัสดุ ได้แก่ Steel Sheet pile wall และ Pre-cast Concrete ซึ่งทั้งสองระบบนี้นำมาใช้งานได้เหมือนกัน ดังนั้นการศึกษาและเปรียบเทียบข้อมูลปัจจัยการด้านต่างๆ ในการก่อสร้างออกแบบและก่อสร้าง เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบทางด้านเทคนิคการก่อสร้างและสรุปเปรียบเทียบข้อมูลทางด้าน ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง จะทำให้สามารถเลือกใช้ระบบกำแพงกันดินที่เหมาะสมกับการใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDYING THE COMPARISON OF RETAINING WALL BETWEEN STEEL SHEET PILE SYSTEM AND PRE-CAST CONCRETE SHEET PILE SYSTEM FOR 1-2 BASEMENT IN BANGKOK

BY MR. JAKKRAPONG SRIPUKDEE
MR. WIRUN TOOMTIENG
MISS PIYAMAS MONKHAM

ADVISOR ASST. PROF. SUPOT SRINIL

ABSTRACT

The construction of the basement depth is not much (less than 10 meters) retaining wall structure is necessary for the soil pressure on the soil side. It may be used as a temporary structure to prevent soil during construction or permanent structure of the basement. Retaining wall used in the current system is Sheet pile which can be divided into the types of materials are Steel Sheet pile wall and Pre-cast Concrete that both types used the same. Therefore, studying and compare the construction design and construction for analysis to compare the construction technical data , costs and time used in construction are important that make selecting retaining wall is suitable for use.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาและค้นคว้าโครงงานพิเศษในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ก็เพราะได้รับความกรุณาความช่วยเหลือจากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ หลายท่าน

ขอขอบพระคุณ ผศ. สุพจน์ ศรีนิล หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา และอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ได้ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ในการทำโครงงานพิเศษ

นายธเนศ เขมวาส วิศวกรบริษัท เพ็นตากอนวิศวกรรม จำกัด และบริษัทเพ็นตากอนวิศวกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลโครงการก่อสร้าง ที่นำมาใช้ประกอบการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้

คุณภัทรวรรณ มาลัยศรี รุ่นพี่วิศวกรโยธาพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง ที่คอยให้คำแนะนำ และกำลังใจในการทำโครงงานพิเศษ รวมถึงเอื้อเฟื้อตำราเรื่อง Soil Mechanics และ Foundation แก่น้องๆ

คุณบุรินทร์ นวลจันทร์ วิศวกรโครงการบริษัทพาวเวอร์ไลน์ จำกัด ที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้จัดทำโครงงาน

คุณชลธิชา บุญส่ง ซึ่งได้ให้แบบแปลนของโครงการก่อสร้างต่าง ๆ มามากมาย เพื่อให้เราได้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม

บริษัท สิกขรา โคโตบูกิ พร็อพเพอร์ตี้ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลโครงการ ที่เป็นประโยชน์และนำมาใช้ประกอบการทำโครงงานพิเศษนี้

คุณจันทิมา ทองเถื่อน ที่ช่วยเหลือในการพิสูจน์อักษร และตรวจสอบความถูกต้องของรูปเล่ม

ตลอดทั้งอาจารย์ และเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และที่ขาดเสียไม่ได้คือ บิดา - มารดา ที่ได้อุปการะเลี้ยงดู และให้ความอนุเคราะห์ทางด้านทุนทรัพย์และกำลังใจด้วยดีตลอดมา

นายจักรพงษ์ ศรีภักดี
นายวิรุฬห์ ทุมเที่ยง
นางสาวปิยมาส มอญขาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		**ก**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		**ข**
กิตติกรรมประกาศ		**ค**
สารบัญ		**ง**
สารบัญตาราง		**ช**
สารบัญรูปภาพ		**ซ**
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานวิจัย	1
	1.3 แนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ	1
	1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
	1.5 วิธีการที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ	2
	1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	**ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบกำแพงกันดิน**	**3**
	2.1 ลักษณะชั้นดินของกรุงเทพมหานคร	3
	2.1.1 ลักษณะของชั้นดินและคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อน Bangkok Clay	3
	2.1.2 โครงสร้างชั้นดินในเขตกรุงเทพมหานคร	4
	2.2 คุณสมบัติของดินด้านวิศวกรรม	5
	2.2.1 หลักการของหน่วยแรงประสิทธิผล (Principle of Effective Stress)	5
	2.2.2 แรงดันดินด้านข้าง	6
	2.2.3 องค์ประกอบที่ต้องพิจารณาในการคำนวณหาแรงดันที่กระทำต่อกำแพงกันดิน	13
	2.3 ประเภทของกำแพงกันดิน	13
	2.3.1 ระบบกำแพงแบบแข็ง (Rigid Wall)	13
	2.3.2 ระบบกำแพงแบบยืดหยุ่น (Flexible Wall)	15
	2.4 ประเภทของกำแพงกันดินระบบ Sheet pile	17
	2.4.1 Cantilever Sheet pile walls หรือ Sheet pile ในระบบคานยื่น	17
	2.4.2 Anchored Sheet pile walls หรือ Sheet pile ในระบบสมอยึด	17
	2.4.3 Batter pile walls	18
	2.5 การวิบัติของ Sheet pile	18
	2.5.1 ค่าโมเมนต์ดัดใน Sheet pile สูงเกินไป	18
	2.5.2 การวิบัติเนื่องจากการเคลื่อนที่ของเสาเข็มที่ฐานใต้ระดับ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การเปรียบเทียบผลการศึกษา	55
4.4.1 เปรียบเทียบผลการศึกษาทางด้านราคาระบบค้ำยัน	55
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	**58**
5.1 สรุปผลการศึกษา	58
5.2 สรุปข้อเปรียบเทียบของกำแพงกันดินระบบ Steel Sheet Pile	58
5.3 ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ดินขุด (Toe Failure)	18
2.5.3 การวิบัติเนื่องจากเสถียรภาพ	18
2.5.4 การทรุดตัวของดินถม	18
2.5.5 การวิบัติที่ระบบของ Anchored	18
2.6 การออกแบบกำแพงกันดินระบบ Sheet Pile สำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ	20
2.6.1 ข้อจำกัดการใช้ Sheet Pile ระบบ Brace Cut สำหรับงานขุดในกรุงเทพ	20
2.6.2 การคำนวณแรงดันด้านข้าง	20
2.6.3 การวิเคราะห์แรงกระทำใน strut	24
2.6.4 การออกแบบ Sheet Pile ระบบ Bracing Cut	26
2.6.5 วิธีและขั้นตอนการขุดดิน	31
2.7 การวิเคราะห์พฤติกรรมตัวกำแพง	32
2.7.1 Beam on elasto-plastic spring	32
2.7.2 Continuum analysis	33
บทที่ 3 เทคนิคการก่อสร้างกำแพงกันดิน	**35**
3.1 ขั้นตอนการก่อสร้าง Steel sheet pile	35
3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องจักรในการติดตั้ง Steel Sheet Pile	35
3.1.2 ขั้นตอนการติดตั้ง Sheet pile	36
3.1.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างโครงการวิลล่า สิกขรา คอนโดมิเนียม	43
3.2 โครงการที่ทำการศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างโดยใช้ Pre-cast Concrete	44
3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องจักรในการติดตั้ง Steel Sheet Pile	44
3.2.2 ขั้นตอนการติดตั้ง Sheet pile	44
3.2.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างโครงการดับเบิ้ล ทรีส์ ฯ	49
3.3 การตรวจสอบผลการก่อสร้างในระหว่างการทำงาน	50
3.3.1 การตรวจวัดโดยการสังเกตการณ์	50
3.3.2 การตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือวัด	50
3.3.3 การกำหนดระดับความระมัดระวังในการทำงาน (Trigger Level)	52
บทที่ 4 ผลการศึกษา	**53**
4.1 รายละเอียดของโครงการที่ทำการศึกษา	53
4.1.1 โครงการก่อสร้างที่ใช้ระบบ Steel Sheet Pile	53
4.1.2 โครงการก่อสร้างที่ใช้ระบบ Pre-cast Concrete Sheet Pile	53
4.2 ผลการศึกษาในด้านระยะเวลาการก่อสร้าง	53
4.3 ผลการศึกษาในด้านราคาค่าก่อสร้าง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง ที่ 2.1	แสดงการเปรียบเทียบระบบกำแพงการดินประเภทต่างๆ	16
ตารางที่ 2.2	แรงดันด้านข้างของทฤษฎี Ranking สำหรับดินเหนียว	23
ตารางที่ 2.3	ข้อดีและข้อจำกัดของการใช้กำแพงกันดินแบบมีค้ำยันก่อสร้างโครงสร้างจากบนลงล่าง	31
ตารางที่ 4.1	เปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้างในด้านต่างๆ	54
ตารางที่ 4.2	เปรียบเทียบผลการศึกษาราคาระบบค้ำยัน	55
ตารางที่ 4.3	สรุปผลการเปรียบเทียบจากกราฟ	57
ตารางที่ 5.1	สรุปข้อเปรียบเทียบของกำแพงกันดินระบบ Sheet pile	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างทางธรณีวิทยาของภาคกลาง	3
รูปที่ 2.2	โครงสร้างชั้นดินโดยทั่วไปของ Bangkok Clay	4
รูปที่ 2.3	แรงดันด้านข้างที่กระทำบนกำแพงกันดินที่สภาวะต่างๆ	7
รูปที่ 2.4	การเปลี่ยนแปลงของแรงดันด้านข้างของดินที่ Δ H/H ต่างๆ	7
รูปที่ 2.5	แรงดันดินเชิงรุกของ Rankine	11
รูปที่ 2.6	แรงดันเชิงรับของ Rankine	12
รูปที่ 2.7	กำแพงพืดกันดินชนิดขุดหล่อในที่ (Diaphragm Wall)	14
รูปที่ 2.8	กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงขบชิดกันต่อเนื่อง (Secant Bored Pile)	14
รูปที่ 2.9	กำแพงเสาเข็มพืดเหล็ก (Sheet Pile Wall)	15
รูปที่ 2.10	กำแพงปลอกเหล็กกลม	15
รูปที่ 2.11	แสดงลักษณะของ Cantilever Sheet pile walls และแรงดันด้านข้างที่กระทำ	17
รูปที่ 2.12	แสดงลักษณะของ Anchored Sheet pile walls และแรงดันด้านข้างที่กระทำ	19
รูปที่ 2.13	แสดง Soldier Pile and Lagging (Berlin Wall)	20
รูปที่ 2.14	การค้ำยันระบบ Sheet Pile แบบ Brace Cut	22
รูปที่ 2.15	สภาพการเคลื่อนตัวของกำแพง Sheet Pile และการกระจายของหน่วยแรงดัน	22
รูปที่ 2.16	หน่วยแรงดันด้านข้างของดินกับการเคลื่อนตัวของกำแพง	22
รูปที่ 2.17	Earth Pressure Diagram สำหรับดินหลายประเภท สำหรับงาน Brace Cut	24
รูปที่ 2.18	การกระจายแรงดันด้านข้างอันเนื่องจาก Surcharge หลายประเภท	25
รูปที่ 2.19	หน่วยแรงดันดินด้านข้างเนื่องจาก line load และ point load	25
รูปที่ 2.20	Diagram แสดงถึงขนาดและชนิดของงานขุด (After Hurrel & Attewell (1984))	26
รูปที่ 2.21	ค่า Stability Number สำหรับการวิเคราะห์ heave ของงาน Braced excavation	27
รูปที่ 2.22	การเกิด heave in soft clay	27
รูปที่ 2.23	การหาความยาวของ Sheet pile เพื่อป้องกัน heave สำหรับดิน	28
รูปที่ 2.24	การออกแบบขนาดของ Sheet pile ในกรณี Continuous span	29
รูปที่ 2.25	รูปแบบการวิเคราะห์หาขนาด Wale เพื่อรับ Horizontal force	29
รูปที่ 2.26	ขั้นตอนการใช้กำแพงกันดินแบบมีค้ำยัน ก่อสร้างโครงสร้างจากบนลงล่า	32
รูปที่ 2.27	Beam on elasto-plastic spring	33
รูปที่ 2.28 (ก)	Deformation mesh	33
รูปที่ 2.28 (ข)	ผลวิเคราะห์ FEM	34
รูปที่ 3.1	แสดงพื้นที่ก่อนการตอก Steel Sheet Pile	37
รูปที่ 3.2	การกองเก็บ Sheet pile เพื่อเตรียมติดตั้ง	37
รูปที่ 3.3	การใช้เครื่องจักรในการกด Sheet pile	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.4	การเข้าเขี้ยวของ Sheet pile	38
รูปที่ 3.5	ดำเนินการขุดดินหลังจากการตอก Sheet Pileรอบบริเวณเสร็จเรียบร้อย	39
รูปที่ 3.6	การทำระบบค้ำยัน Wale และ Strut	39
รูปที่ 3.7	เมื่อขุดดินหลังจากได้ระดับแล้ว ทำการการก่อสร้างคานและพื้น	40
รูปที่ 3.8	แสดงการทำงานขณะทำฐานราก	40
รูปที่ 3.9	แสดงการทำงานขณะเทคานคอนกรีต	41
รูปที่ 3.10	การตัดหัวเสาเข็มก่อนทำตอม่อ และขึ้นเสา	41
รูปที่ 3.11	ระบบกำแพงกันดินเสร็จสิ้น รอการก่อสร้างผนังชั้นใต้ดินต่อไป	42
รูปที่ 3.12	ทางเท้าเสียหายเนื่องจากผลกระทบของแรงดันดินด้านข้าง	43
รูปที่ 3.13	รอยแยกของพื้นถนนบริเวณรอบโครงการ	43
รูปที่ 3.14	Concrete Sheet Pile ที่จะทำการตอกฝังเพื่อสร้างกำแพงกันดิน	45
รูปที่ 3.15	ปั้นจั่นตอก Concrete Sheet Pile	45
รูปที่ 3.16	การสกัดหัว Sheet pile เพื่อทำการเทคอนกรีตรัดหัวเข็ม	46
รูปที่ 3.17	การเทคอนกรีตรัดหัวเข็มเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของหัวเข็ม	46
รูปที่ 3.18	การ Bracing กับเข็มพืดไม้หรือเหล็ก	47
รูปที่ 3.19	ลักษณะของการก่อสร้าง Concrete Sheet Pile	47
รูปที่ 3.20	การผูกเหล็ก ขึ้นเสา และพื้นของชั้นใต้ดิน	48
รูปที่ 3.21	ขั้นตอนการก่อสร้างกำแพงของอาคาร	48
รูปที่ 3.22	เกิดการแตกร้าวที่สระน้ำหน้าบ้านที่อยู่ใกล้กับโครงการก่อสร้าง	49
รูปที่ 3.23	เกิดรอยแยกที่พื้นบ้านที่อยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่โครงการ	49
รูปที่ 3.24	การทรุดตัวของถนนจากการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน	50
รูปที่ 3.25	การวัดค่าความสั่นสะเทือนของอาคารในขณะทำการลงปลอกเหล็ก	51
รูปที่ 3.26	การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินโดยใช้เครื่อง Inclinometer	51
รูปที่ 3.27	การติดตั้ง Settlement plate เพื่อวัดค่าการทรุดที่ผิวดิน	52
รูปที่ 4.1	กราฟเปรียบปริมาณค้ำยันของโครงการก่อสร้างของกำแพงกันดิน 3 แบบ	55
รูปที่ 4.2	กราฟเปรียบเทียบราคาในการก่อสร้าง Sheet pile ในระบบต่าง ๆ (บาท/m^2)	56
รูปที่ 4.3	กราฟเปรียบเทียบระยะเวลาในการก่อสร้าง Sheet pile ในระบบต่าง ๆ (วัน)	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กรุงเทพมหานครเป็นเมืองหลวงและศูนย์กลางทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ทำให้ปัญหาที่ตามมาของกรุงเทพมหานครคือความแออัด ที่ดินมีราคาสูง อาคารที่สร้างขึ้นส่วนใหญ่จึงมีพื้นที่ไม่มาก วิธีที่นิยมนำมาใช้แก้ไขปัญหาคือการก่อสร้างอาคารให้สูงขึ้นแต่เนื่องจากการก่อสร้างอาคารสูงนั้นมีข้อจำกัดทางกฎหมาย จึงมักมีการออกแบบสร้างชั้นใต้ดินเพื่อเพิ่มพื้นที่ใช้ประโยชน์หรือเป็นที่จอดรถ ดังนั้นในการก่อสร้างชั้นใต้ดินจึงต้องมีการศึกษาและเลือกใช้ระบบกำแพงกันดินให้เหมาะสมกับอาคารและสิ่งแวดล้อมโดยรอบอาคาร เพื่อป้องกันการพังทลายด้านข้างของดิน ซึ่งอาจส่งผลกระทบถึงอาคารหรือสิ่งที่อยู่โดยรอบอาคาร

สำหรับการก่อสร้างชั้นใต้ดิน ที่มีความลึกน้อยกว่า 10 เมตรนั้น นิยมใช้กำแพงกันดินระบบเข็มพืด (Sheet pile) ซึ่งสามารถแบ่งออกตามประเภทของวัสดุที่นิยมใช้ได้ 2 ประเภท ได้แก่

1. Steel Sheet pile
2. Pre-cast Concrete

ซึ่งระบบ Steel Sheet pile มักจะได้รับความนิยมมากกว่า ระบบ Pre-cast Concrete แม้ว่าวัสดุจะมีราคาสูงกว่าก็ตาม ทางคณะผู้ทำการวิจัยจึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบกำแพงกันดินสองระบบนี้ ในแง่ของความเหมาะสม เทคนิคการก่อสร้าง ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินการก่อสร้าง เพื่อใช้อ้างอิงในการเลือกใช้ระบบกำแพงกันดินได้อย่างเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและติดตั้งกำแพงเข็มพืดกันดิน สำหรับชั้นใต้ดินลึก 1 ถึง 2 ชั้น ในเขตกรุงเทพมหานคร
2. เพื่อศึกษาการวิเคราะห์แรงดันดินด้านข้างของดินในเขตกรุงเทพมหานครเพื่อใช้ในการออกแบบกำแพงกันดิน
3. เพื่อเปรียบเทียบกำแพงกันดินในระบบ Steel Sheet pile กับระบบ Pre-cast Concrete ในด้านความเหมาะสม เทคนิคการก่อสร้าง ระยะเวลา และค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินการก่อสร้าง

1.3 แนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

เนื่องจากการก่อสร้างชั้นใต้ดินในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายระบบ ซึ่งแต่ละระบบก็มีความเหมาะสมกับงานก่อสร้างแต่ละประเภท ดังนั้นการศึกษาข้อมูลการออกแบบและก่อสร้าง เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบทางด้านเทคนิคการก่อสร้างและสรุปเปรียบเทียบข้อมูลทางด้าน ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างออกมาในรูปของผลทางสถิติ จะทำให้สามารถเลือกใช้ระบบกำแพงกันดินที่เหมาะสมกับการใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

ตัวแปรต้น : โครงการก่อสร้างอาคารที่มีการก่อสร้างชั้นใต้ดินลึก 1 ถึง 2 ชั้น โดยระบบ Steel Sheet pile หรือ Pre-cast Concrete

ตัวแปรควบคุม : สภาพของชั้นดินในบริเวณที่ทำการก่อสร้าง ระดับความลึกของชั้นใต้ดิน และสภาพแวดล้อมของบริเวณสถานที่ก่อสร้าง

ตัวแปรตาม : ขั้นตอนการออกแบบ เทคนิคการก่อสร้าง ระยะเวลา ผลกระทบที่เกิดจากการก่อสร้าง ราคาวัสดุและค่าใช้จ่ายอื่นๆ

โดยโครงงานพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาจากโครงการก่อสร้างต่างๆ ดังต่อไปนี้

- โครงการวิลล่า สิกขรา คอนโดมิเนียม ทองหล่อ 25
- โครงการดับเบิ้ลทรีส์ เซอร์วิส อพาร์ทเมนต์

อย่างไรก็ตาม การศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้าง ข้อมูลที่นำมาอ้างอิง เป็นเพียงข้อมูลที่ได้จากการสอบถามจากผู้รับผิดชอบโครงการเท่านั้น

1.5 วิธีการที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาข้อมูลการออกแบบกำแพงกันดินจากตำราต่างๆ
2. ศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างกำแพงกันดินจากหน้างาน
3. ขอข้อมูลการก่อสร้าง การออกแบบ ข้อมูลดิน และแบบก่อสร้างของโครงการ
4. ทดลองออกแบบกำแพงกันดินโดยอาศัยข้อมูลแวดล้อมตามแบบก่อสร้างที่ได้มาเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างระบบ Steel Sheet pile และ Pre-cast Concrete
5. ตรวจสอบข้อมูลในด้านราคา ค่าแรง ค่าดำเนินการ และทำการประมาณราคา
6. วิเคราะห์ผลการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่าง ข้อดี-ข้อเสีย ของกำแพงกันดินทั้ง 2 ระบบ

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

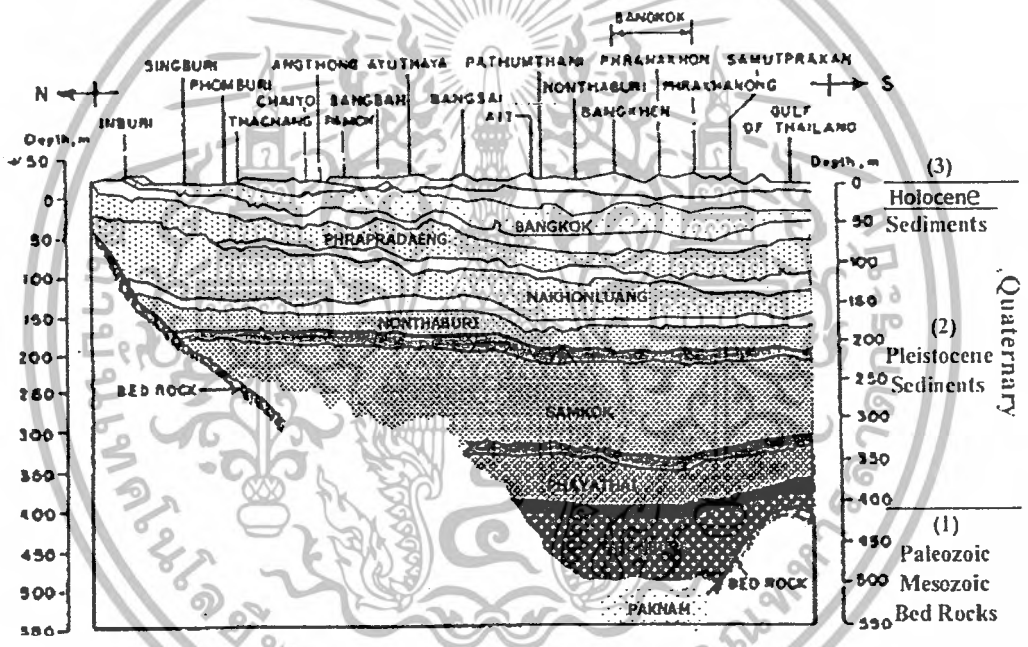
1. เข้าใจหลักการ เทคนิค และขั้นตอนออกแบบและก่อสร้างกำแพงกันดินระบบ Steel Sheet pile และ Pre-cast Concrete สำหรับชั้นดินลึก 1 – 2 ชั้น ในเขตกรุงเทพมหานคร
2. สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบกำแพงกันดินในระบบ Steel Sheet pile และ Pre-cast Concrete ในด้านความเหมาะสม เทคนิคการก่อสร้าง ระยะเวลา และค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินการก่อสร้างได้
3. สามารถเลือกใช้ระบบกำแพงกันดินที่เหมาะสมกับลักษณะของงานก่อสร้างและสภาพแวดล้อมของสถานที่ก่อสร้างได้
4. เข้าใจถึงลักษณะของชั้นดิน และพฤติกรรมทางด้านกลศาสตร์ของชั้นดินในเขตกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบกำแพงกันดิน

2.1 ลักษณะชั้นดินของกรุงเทพมหานคร

พื้นที่ของกรุงเทพมหานครเป็นเขตอิทธิพลดินตะกอนลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ที่ถูกพัดมาจากภูเขาทางภาคเหนือของประเทศ ซึ่งตะกอนเม็ดดินขนาดใหญ่ เช่น Gravel sand และ Silt ส่วนใหญ่ได้ตกตะกอนในพื้นที่ตอนบนหรือภาคเหนือไปแล้ว เม็ดดินที่เหลือหรือพวก Clay จึงถูกพัดพามาตกตะกอนในพื้นที่ส่วนล่างหรือ หรือพื้นที่ภาคกลางรวมทั้งเขตกรุงเทพมหานครนี้ด้วย ฉะนั้นดินตะกอนในภาคกลางและกรุงเทพมหานครจึงมีดินเหนียวปนอยู่มากกว่าดินตะกอนในภาคเหนือ จากแผนที่ทางธรณีวิทยาของประเทศไทยจะเห็นว่าดินตะกอนของกรุงเทพมหานครมีลักษณะเป็นตะกอนดินเหนียวอ่อน Marine clay เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนปากแม่น้ำ



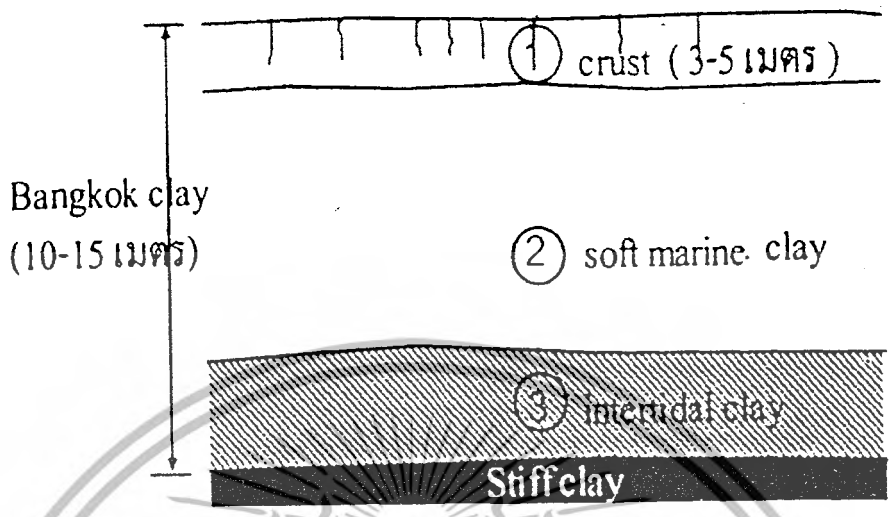
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางธรณีวิทยาของภาคกลาง

2.1.1 ลักษณะของชั้นดินและคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อน Bangkok Clay

ดินเหนียวอ่อน Bangkok Clay ส่วนที่อยู่เหนือน้ำจะถูกธรรมชาติทำให้แปรสภาพไปได้บางส่วน โดยเฉพาะส่วนที่อยู่ตอนบนของชั้นดิน ที่ถูกแดดเผาเกิดการตากแห้ง (Desiccation) ก่อตัวเป็น Crust แข็ง หนาประมาณ 3 – 5 เมตร ดินชั้นบนนอกจากจะถูกตากแห้งแล้วยังถูกน้ำฝนแปรสภาพตามกระบวนการ Weathering Leaching และ Cementation ทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม อันได้แก่ Moisture content ลดลง กำลังสูงขึ้น Liquidity Index ลดลง Pre consolidation pressure สูงขึ้น Compressibility ลดลง Liquid limit และ Plastic Index เพิ่งขึ้น Sensitivity เพิ่มขึ้น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของชั้นดินส่วนบนดังกล่าวมานี้ ทำให้โครงสร้างของดินเหนียวอ่อน Bangkok Clay มีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน ดังนี้ คือ



รูปที่ 2.2 โครงสร้างชั้นดินโดยทั่วไปของ Bangkok Clay

ชั้นที่ 1 Crust คือดินเหนียวอ่อน ประเภทดินตะกอนน้ำกร่อยชายฝั่ง (Intertidal Clay) ภายหลังถูกแดดและฝนแปรสภาพจนแห้งและแข็งปานกลาง ดินในชั้นนี้จะแข็งที่สุดที่ผิวบน กำลังของของดินจะลดลงตามความลึกจนถึงค่าต่ำที่สุดตรงบริเวณรอยต่อระหว่าง Crust กับ Marine Clay ซึ่งอยู่ในชั้นถัดไป

ชั้นที่ 2 Marine Clay คือดินเหนียวอ่อนที่ตกตะกอนในท้องทะเล และยังไม่ถูกแปรสภาพจากแดด - ฝน และน้ำใต้ดิน ดินส่วนนี้จึงยังคงสภาพเป็นดินอ่อน มีสภาวะเป็น Normally Consolidated แต่อาจเกิด Delayed Compression จนมีลักษณะ Over consolidated เล็กน้อย อย่างไรก็ตามกำลังของดินก็ยังคงต่ำ ตามเกณฑ์ของดินเหนียวอ่อน กำลังของดินส่วนนี้จะค่อยๆ เพิ่งขึ้นตามความลึกจนถึงระดับหนึ่งที่กำลังของดินเพิ่งขึ้นตามความลึกในสัดส่วนที่สูงกว่า

ชั้นที่ 3 Medium Clay คือดินเหนียวอ่อนชายฝั่งที่เกิดในช่วงน้ำทะเลยกระดับ (Transgression period) จึงวางตัวอยู่ใต้ Soft marine clay เนื่องจากดินส่วนนี้เป็นดินตะกอนชายฝั่งทะเล จึงมีโอกาสที่จะถูกตากแห้งได้ดี ดินจึงอยู่ในสภาพของ Medium Clay ที่มีกำลังสูงกว่า Marine Clay ที่ทับอยู่ตอนบน

2.1.2 โครงสร้างชั้นดินในเขตกรุงเทพมหานคร

1. ชั้นตะกอนดินเหนียวอ่อน หนาประมาณ 12 – 15 เมตร วางตัวอยู่ชั้นบนสุด

2. ชั้นดิน Stiff Clay วางตัวอยู่ในชั้นถัดลงไป มีความหนาประมาณ 4 – 8 เมตร ผิวบนและผิวล่างเป็นลอนคลื่นไม่สม่ำเสมอ ระดับความลึกของผิวหน้าทั้งสองจึงมีความไม่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชั้นดินเหนียว very stiff และ hard clay ชั้นดินเหนียวทั้งสองประเภทวางตัวอยู่ในชั้นดินเหนียว stiff clay ชั้นดินส่วนนี้มีความหนาไม่แน่นอน บริเวณส่วนกลางของ กทม. มีความหนามากจนกระทั่งผิวล่างของชั้นดินลงไปอยู่ที่ระดับความลึกมากกว่า 30 เมตร ในขณะที่พื้นที่อื่นอยู่ที่ระดับความลึก 21 – 25 เมตร

4. ชั้น 1st sand layer เป็นชั้นทรายแน่นแต่เป็นทรายละเอียดที่มีความหนาพอประมาณ (เฉลี่ยประมาณ 10 เมตร) ผิวบนของทรายนี้อยู่ที่ความลึกเฉลี่ย 20 – 25 เมตร ยกเว้นบริเวณกลางพื้นที่ของ กทม. ที่ไม่พบชั้นทรายนี้

5. ชั้นดินเหนียว stiff ถึง very stiff clay เป็นชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งมาก มีความหนาไม่สม่ำเสมอ วางตัวอยู่ระหว่างชั้นทรายที่ 1 และชั้นทรายที่ 2 ในบ่งแห่งดินชั้นนี้อาจบางมาก ๆ หรืออาจไม่มีเลย

6. ชั้น 2nd sand layer เป็นชั้นทรายที่หนาไม่มากนัก มีความหนาไม่สม่ำเสมอ มีเนื้อทรายไม่สม่ำเสมอ มักมีแถบ (lanes) ดินเหนียวปนดินแป้งแทรกอยู่ ชั้นทรายนี้ตามปกติจะวางตัวอยู่ที่ความลึกประมาณ 35 – 40 เมตร ไม่นิยมใช้รับน้ำหนักของสิ่งก่อสร้าง

7. ชั้นดินเหนียวแข็งทึบ hard clay มักจะพบชั้นดินเหนียวนี้อยู่ใต้ 2nd sand layer เป็นชั้นดินเหนียวที่ไม่หนามากนัก วางตัวอยู่ก่อนจะถึงชั้นทรายที่ 3

8. ชั้น 3nd sand layer เป็นชั้นทรายค่อนข้างมีเนื้อหยาบ มีความหนาแน่นและแข็งมาก นอกจากนี้ยังพบว่าหลายพื้นที่มีความหนามาก มีเนื้อทรายค่อนข้างจะสม่ำเสมอ ไม่มีแถบดินเหนียวหรือดินแป้งปนอยู่มากนัก ผิวบนของทรายชั้นนี้มักอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 50 – 60 เมตร ทรายชั้นนี้มักถูกใช้เป็นที่รองรับน้ำหนักอาคารหรือสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าชั้นดินในบริเวณกรุงเทพมหานครนั้นเป็นดินเหนียวอ่อนที่เกิดจากการตกตะกอนบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา เพราะฉะนั้นในการออกแบบระบบฐานรากในเขตกรุงเทพจึงมักใช้การคำนวณในกรณีของดินเหนียว แต่ทั้งนี้ก็ต้องมีกี่เจาะสำรวจชั้นดินในบริเวณที่จะก่อสร้างทุกครั้ง เพื่อให้ทราบถึงการเรียงตัวของชั้นดินที่ถูกต้อง

2.2 คุณสมบัติของดินด้านวิศวกรรม

2.2.1 หลักการของหน่วยแรงประสิทธิผล (Principle of Effective Stress)

หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress, σ') คือหน่วยแรงที่ส่งถ่ายกันโดยตรงระหว่างอนุภาคเม็ดดิน เป็นค่าที่ได้มาจากการคำนวณโดยหน่วยแรงรวม (Total Stress, σ_v) กับแรงดันน้ำ (Pore Water Pressure, U) ที่เกิดขึ้นในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ตามสมการ

$$\sigma_v = \sigma' + U$$

ถ้าเป็นหน่วยแรงในแนวดิ่งจะเขียนได้เป็น $\sigma_v = \sigma_v' + U$

และหน่วยแรงในแนวนอนจะเขียนได้เป็น $\sigma_h = K_0 \sigma_v$

โดยที่ $\sigma_v = \gamma z + q$

γ = หน่วยน้ำหนักรวมของดิน (Total Unit Weight of Soil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Z = ความลึกของจุดที่พิจารณาจากระดับผิวดิน

q = น้ำหนักแผ่กระจายภายนอกที่กระทำที่ผิวดิน

γ_w= หน่วยน้ำหนักของน้ำ

K_0 = สัมประสิทธิ์แรงดันทางด้านข้างเมื่อดินอยู่ในสภาวะสมดุล

ทฤษฎีหลักการหน่วยแรงประสิทธิผล (Bishop,1959)

- หลักการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและรูปร่างของมวลดินขึ้นอยู่กับหน่วยแรงประสิทธิผล
- กำลังรับแรงเฉือนของดิน (τ_f) ขึ้นอยู่กับหน่วยแรงประสิทธิผล ไม่ใช่หน่วยแรงที่กระทำตั้งฉากกับระนาบที่พิจารณา สามารถเขียนเป็นสมการของ Coulomb ได้เป็น

$$\tau_f = C' + \sigma \tan \phi$$

โดยที่ C' = ค่าความเชื่อมแน่นที่ปรากฏ (Apparent Cohesion)

ϕ = มุมต้านทานแรงเฉือนในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล

จากสมการ สามารถสรุปได้ว่า

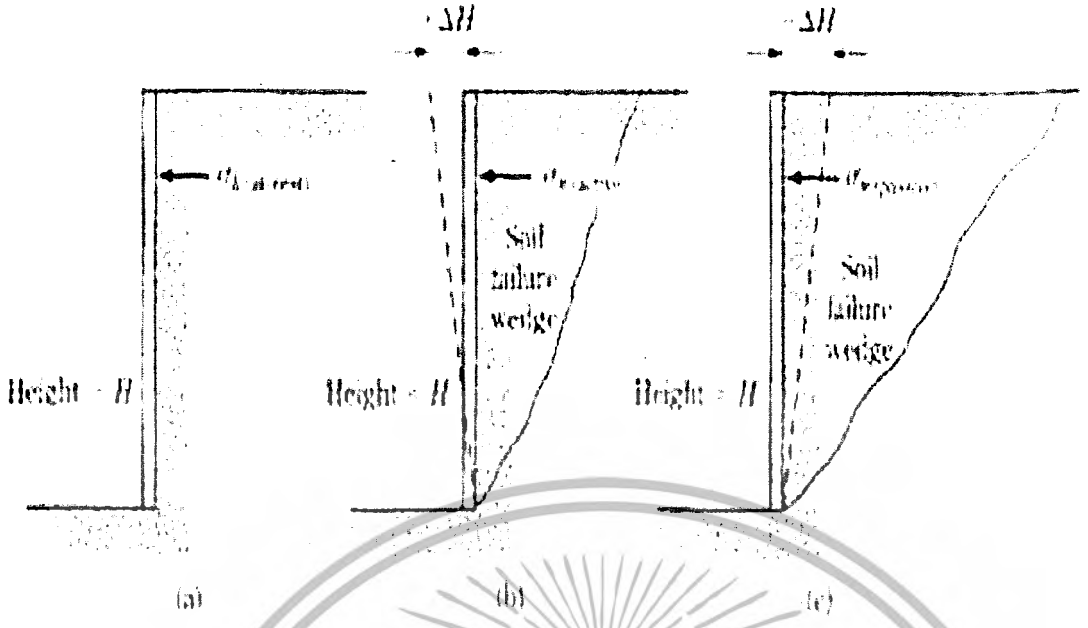
- ที่หน่วยแรงคงที่ ถ้าค่าแรงดันน้ำลดลงจำทำให้ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลเพิ่งขึ้น และกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้น
- ที่หน่วยแรงรวมคงที่ ถ้าแรงดันน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลลดลง และกำลังรับแรงเฉือนลดลง

2.2.2 แรงดันดินด้านข้าง

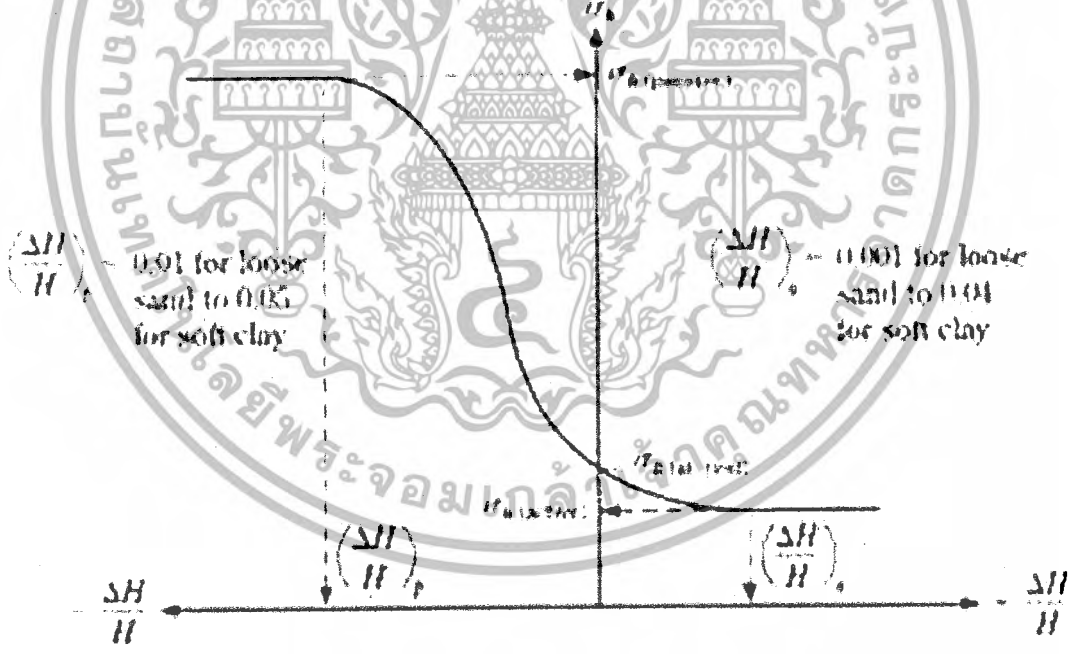
เมื่อต้องตัดลาดดินในแนวดิ่งจำเป็นต้องใช้กำแพงกันดินหรือเข็มพืดสำหรับป้องกันการพังทลายของดิน ในการออกแบบโครงสร้างดังกล่าวนั้นต้องทราบค่าแรงดันด้านข้างของดิน ซึ่งแรงดันดินด้านข้างที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการดังนี้

1) ชนิดของกำแพงกันดินและลักษณะการเคลื่อนตัว
2) ค่า shear strength parameters ของดิน
3) ค่าหน่วยน้ำหนักของดิน
4) การระบายน้ำของดินหลังกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แรงดันด้านข้างที่กระทำบนกำแพงกันดินที่สภาวะต่างๆ



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันด้านข้างของดินที่ Δ H/H ต่างๆ

กล่าวคือในรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการรับแรงจากแรงดันด้านข้างของกำแพงกันดินที่ความสูง H ในรูปที่ 2.3(a) กำแพงกันดินไม่มีการเคลื่อนที่แรงดันด้านข้างของดินที่สภาวะนี้ เรียกว่าแรงดันดินในสภาวะสมดุล (at rest) จากภาพ รูปที่ 2.3(b) กำแพงมีการเคลื่อนที่เอียงออกจากดินหลังกำแพงเมื่อกำแพงเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกห่างจากดินหลังกำแพงเพียงพอ จะทำให้ดินหลังกำแพงเกิดการวิบัติ แรงดันดินที่สภาวะนี้เรียกว่าแรงดันเชิงรุก (active earth pressure) และในรูปที่ 2.3(c) เมื่อกำแพงถูกดันเคลื่อนเข้าหามวลดินหลังกำแพงเพียงพอ จะทำให้ดินหลังกำแพงเกิดการวิบัติ แรงดันดินที่สภาวะนี้เรียกว่าแรงดันเชิงรับ (passive earth pressure) ในรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นแรงดันด้านข้างของดินที่สภาวะต่างๆของการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

แรงดันของดินธรรมชาติ (Bowles,1988) เมื่อกำแพงกันดินอยู่ในสภาวะสมดุล (State of Elastic Equilibrium) คือ ดินไม่มีการเคลื่อนที่หน่วยแรงในแนวดิ่งที่ความลึกใด ๆ จะมีค่าเท่ากับความหนาแน่นของดินคูณด้วย ความลึกของดินที่ตำแหน่งนั้น ส่วนหน่วยแรงในแนวราบมีความสัมพันธ์กับหน่วยแรงในแนวดิ่ง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งเรียกว่า สัมประสิทธิ์แรงดันทางด้านข้างเมื่อดินอยู่ในสภาวะสมดุล (Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest, K_0) ดังนั้นแรงที่กระทำต่อกำแพงกันดิน ณ ความลึก H และ ดินมีความหนาแน่น จะมีค่าเท่ากับ $\sigma_h = K_0 H$

Bowles (1988) ได้ให้ค่า K o นี้แตกต่างกันไปตามชนิดของดินดังนี้

Normally Consolidated Clay $K_0 = 0.5 - 0.75$

Over-consolidated Clay $K_0 = 1.0$

Loose Sand $K_0 = 0.4$

Dense Sand $K_0 = 0.6$

พิจารณากำแพงกันดินในแนวดิ่ง ความสูง H ดังภาพที่ 6.3 เมื่อดินหลังกำแพงมีหน่วยน้ำหนัก γ และรับแรงกระทำแบบแผ่กระจายคงที่ เท่ากับ q ที่ผิวดินค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินคือ

$$\tau = C + \sigma' \tan \phi$$

เมื่อ C = แรงยึดเหนี่ยวของดิน (cohesion)

ϕ = มุมเสียดทานของดิน (angle of friction)

σ' = หน่วยแรงตั้งฉากประสิทธิผล (effective normal stress)

ที่ระยะ z ใดๆ จากผิวดิน สามารถหาค่าหน่วยแรงดันในแนวดิ่งได้ดังนี้

$$\sigma_v = q + \gamma z$$

ถ้ากำแพงอยู่ในสภาวะสมดุล (at rest) และให้ σ'_v เป็นหน่วยแรงในแนวดิ่งประสิทธิผลและ σ_h เป็นหน่วยแรงในแนวราบจะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\sigma_h = K_0 \sigma'_h + u$$

เมื่อ u = แรงดันน้ำในดิน (pore water pressure)

K_0 = สัมประสิทธิ์แรงดันดินที่สภาวะสมดุล (at rest)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.5(a) ถ้ากำแพงกันดินเคลื่อนที่ออกจากดินด้านหลังเป็นระยะ Δx แรงดันด้านข้างของดินหลังกำแพงจะมีค่าลดลงเมื่อไม่มีความฝืดระหว่างกำแพงกับดิน แรงดันด้านข้างจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่สภาวะสมดุล ($\sigma_h = K_0 \sigma_v$) เมื่อ $\Delta x = 0$ อย่างไรก็ตามถ้า $\Delta x > 0$ ค่าแรงดันด้านข้างของดินจะน้อยกว่า $K_0 \sigma_v$

จากวงกลมของมอร์ในรูปที่ 2.5(b) วงกลม a และวงกลม b แทนที่สภาวะ $\Delta x = 0$ และ $\Delta x > 0$ ตามลำดับ และถ้า Δx ยังเพิ่มขึ้นจะทำให้วงกลมของมอร์ สัมผัสกับเส้นวิบัติของ มอร์ - คูลอมบ์ (Mohr-Coulomp failure envelope) ซึ่งมีค่าตามสมการ

$$\tau = C + \sigma \tan \phi$$

ซึ่งวงกลมนี้คือวงกลม c ใน รูปที่ 2.5(b) ซึ่งเป็นสภาวะที่ก่อให้เกิดการวิบัติขึ้นในมวลดิน โดยแรงดันดินในแนวราบมีค่าเท่ากับ σ_a ซึ่งค่า σ_a นี้เรียกว่า แรงดันเชิงรุก (active pressure) แนวการพิบัติที่เกิดขึ้นในมวลดินจะทำมุม $(45+ \phi/2)$ กับแนวราบ ดังรูปที่ 2.3 (a)

จากสมการวงกลมของมอร์ สามารถหาหน่วยแรงหลัก (principle stress) ของวงกลมที่สัมผัสกับเส้นวิบัติของ มอร์ - คูลอมบ์ ได้ดังนี้

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan 2(45+\phi/2) + 2C \tan(45+\phi/2)$$

จากวงกลม C ในรูปที่ 5 (b) หน่วยแรงในระนาบหลัก $\sigma 1 = \sigma V$

หน่วยแรงในระนาบรอง $\sigma 3 = \sigma a$ ดังนั้น

$$\sigma_v = \sigma_a \tan 2(45+\phi/2) + 2C \tan(45+\phi/2)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_v}{\tan^2\left(45+\frac{\phi}{2}\right)} - \frac{2C}{\tan\left(45+\frac{\phi}{2}\right)}$$

หรือ

$$\sigma_a = \sigma_v \tan 2(45-\phi/2) - 2C \tan(45-\phi/2)$$

$$= \sigma_v K_a - 2C \sqrt{K_a}$$

เมื่อ $K_a = \tan 2(45-\phi/2)$

= (Coefficient of Active Lateral Earth Pressure)

จากสมการพบว่า ที่ผิวดินความลึก $z = 0$ ค่า $\sigma V = 0$ ดังนั้นจะได้ว่าค่าแรงดันเชิงรุกมีค่าเท่ากับ $-2C\sqrt{K_a}$ ซึ่งเป็นหน่วยแรงดึง และหน่วยแรงดึงนี้จะมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ที่ ความลึก $z = z_c$ ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma z_c K_a - 2C\sqrt{K_a} = 0$$

หรือ $$z_c = \frac{2C}{\gamma\sqrt{K_a}}$$

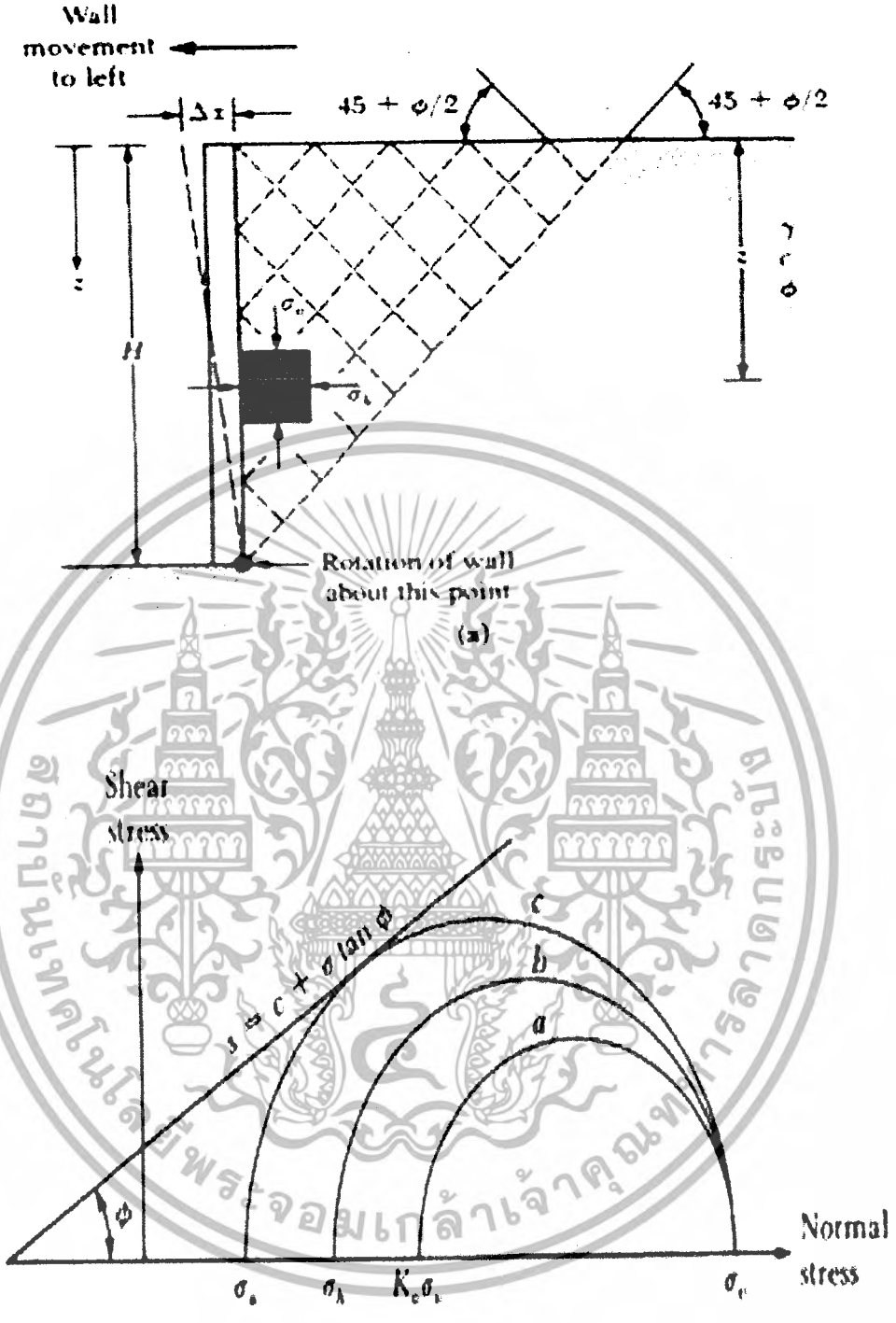
ความลึก zc เรียกว่า ความลึกของ tensile crack เนื่องจากแรงดึงที่เกิดขึ้นในดิน จะทำให้เกิดรอยแตกขึ้นระหว่างดินกับกำแพง

แรงดันดินเชิงรับ ในกรณีที่กำแพงกันดินเคลื่อนที่เข้าหามวลดินทำให้มวลดินหดตัว จะเกิดแรงด้านข้างต้านทานการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน แรงกระทำของดินในลักษณะนี้ เรียกว่า แรงดันดินเชิงรับ (Passive Lateral Earth Pressure) การเคลื่อนที่ของส่วนบนของกำแพงกันดินที่จะทำให้เกิดแรงต้านทานของมวลดินมีค่าโดยประมาณ ดังนี้ (Lambe, 1979)

ชนิดและสภาพของดิน	ปริมาณการเคลื่อนที่
ดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวในสภาพแน่น	0.02 H
ดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวในสภาพหลวม	0.15 H

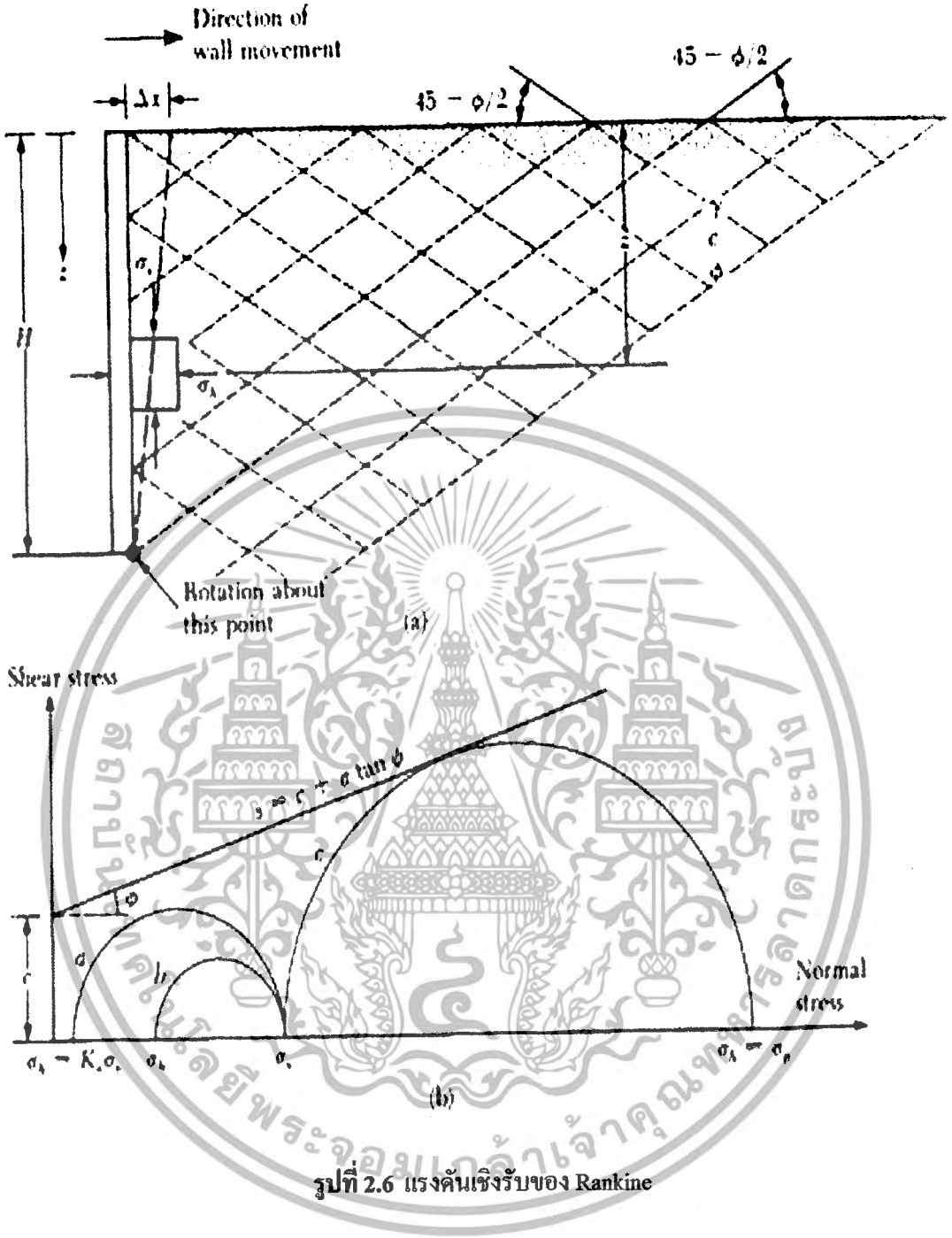
ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันทางด้านข้าง เมื่อมวลดินถูกกระทำ เรียกว่า Kp (Coefficient of Passive Lateral Earth Pressure) ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันทางด้านข้าง จะเปลี่ยนจาก Ko ไปเป็น Ka หรือ Kp มีความสัมพันธ์กับขนาด และทิศทาง การเคลื่อนที่ ของส่วนบนของกำแพงกันดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แรงดันดินเชิงรุกของ Rankine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แรงดันเชิงรับของ Rankine

จากรูปที่ 2.6 เมื่อกำแพงกันดินอยู่ในแนวดิ่ง และดินถมหลังกำแพงอยู่ในแนวราบที่ความลึก z จากผิวดิน ค่าแรงดันในแนวดิ่งของดินสามารถคำนวณได้จาก $\sigma_v = \gamma z$ ถ้ากำแพงกันดินไม่เคลื่อนที่แรงดันด้านข้างของดินจะอยู่ที่สภาวะสมดุล (at rest) คำนวณได้จาก $\sigma_h = K_0 \sigma_v$ ที่สภาวะนี้สามารถเขียนแทนด้วยวงกลม a ในรูปที่ 2.6 และเมื่อกำแพงถูกดันเข้าหามวลดินเป็นระยะ Δx ค่าแรงดันในแนวดิ่งมีค่าเท่าเดิมแต่แรงดันในแนวราบจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งดินวิบัติเมื่อวงกลมสัมผัสกับเส้น Mohr-Coulomb Envelope ดังรูปที่ 2.6(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงกลม C ค่าแรงดันด้านข้างของดินที่สภาวะนี้เรียกว่า แรงดันเชิงรับ (passive pressure) เมื่อให้หน่วยแรงหลักคือ σ_p และหน่วยแรงรองคือ σ_v จะได้สมการดังนี้

$$\sigma_p = \sigma_v \tan 2 (45+ \phi /2)+2 C \tan(45+ \phi /2)$$

2.2.3 องค์ประกอบที่ต้องพิจารณาในการคำนวณหาแรงดันที่กระทำต่อกำแพงกันดิน

น้ำหนักบรรทุกบนผิวดิน (Surcharge) น้ำหนักบรรทุกบนผิวดินด้านเหนือกำแพงกันดิน ได้แก่ น้ำหนักอาคาร วัสดุ หรือ เนื่องจากแรงภายนอกอื่น ๆ ในรูปลักษณะต่าง ๆ กัน จะทำให้แรงดันดินที่กระทำกับกำแพงกันดินเพิ่มขึ้น

รอยแตกเนื่องจากแรงดึงตัวของดิน (Tension Crack) ถ้าดินถมหลังกำแพงเป็นดินประเภทมีแรงยึดเหนี่ยว และ ดินมีการเคลื่อนตัวตามกำแพงกันดินออกไปด้วย จะทำให้เกิดรอยแตกแยกขึ้น รอยแยกนี้อาจจะเกิดขึ้นตรงรอยต่อ ระหว่างดินกับผิวของกำแพง หรือเกิดขึ้นที่ระยะหนึ่งห่างจากกำแพงโดยมีความลึกระยะหนึ่ง ไม่ว่ารอยแยกจะเกิดขึ้น ตรงตำแหน่งใด ไม่ควรที่จะนำมาพิจารณาว่าจะช่วยลดแรงดันของดิน มวลดินส่วนเหนือรอยแยก ไม่สามารถรับแรงได้ ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของน้ำหนักบรรทุกบนผิวดิน นอกจากนี้ อาจจะมีน้ำขังในรอยแตก ทำให้เกิดแรงดันต่อกำแพงเพิ่มขึ้นอีกด้วย

คุณสมบัติของดิน ดินที่อยู่ทั้งสองข้าง ของกำแพงกันดินมีผลโดยตรง ต่อค่าแรงดันโดยขึ้นอยู่กับค่า c' และ ซึ่งสามารถทราบค่าได้ จากการทดสอบคุณสมบัติของดิน สำหรับดินเหนียวควรทำการทดสอบแบบ Un-drained Test และดินทรายทำการทดสอบแบบ Drained Test

ระดับน้ำที่ต่างกัน ในกรณีที่กำแพงกันดินอยู่ริมน้ำ และไม่มีการออกแบบระบบระบายน้ำให้เพียงพอ ทำให้เกิดความต่างระดับของน้ำ ระหว่างสองข้างของกำแพง แรงดันที่กระทำต่อกำแพง จะเพิ่มขึ้น เนื่องจาก แรงดันของน้ำ นอกจากนี้ น้ำยังอาจแข็งตัว ทำให้เกิดแรงดันของน้ำแข็ง การแก้ไขปัญหานี้ ทำได้โดย การสร้างรูระบายน้ำผ่านกำแพง หรือทำร่องซับน้ำ ไว้ในดินถมหลังกำแพง

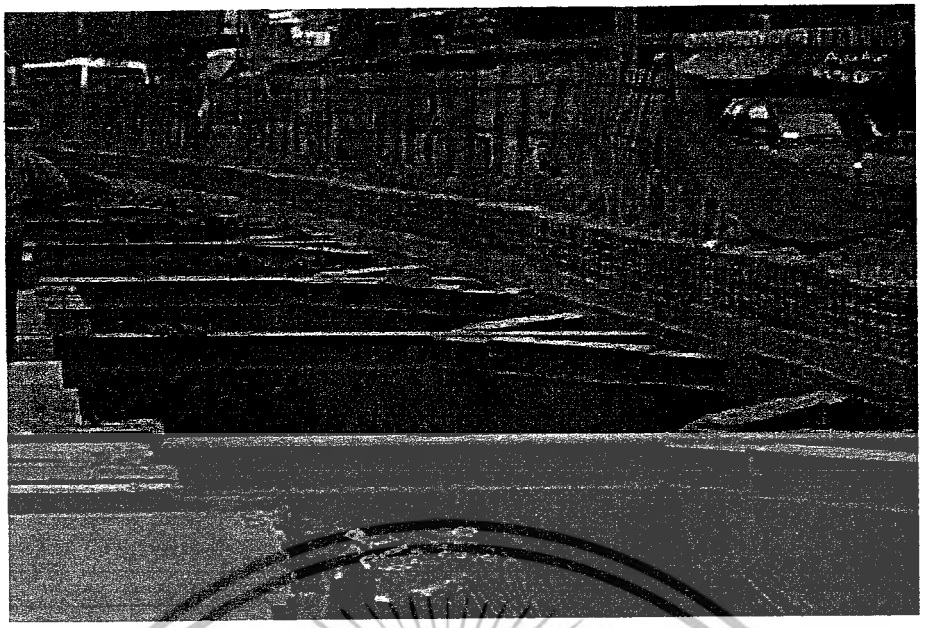
ความฝืดของผิวกำแพงกันดิน ความเสียดทานของกำแพง ไม่ได้ขึ้นกับ คุณสมบัติของดิน เท่านั้นแต่ขึ้นกับ ปริมาณ และ ทิศทางการเคลื่อนที่ ของกำแพงด้วย

2.3 ประเภทของกำแพงกันดิน

2.3.1 ระบบกำแพงแบบแข็ง (Rigid Wall) แบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

- **Diaphragm wall** ก่อสร้างโดยขุดดินลึกลงไปในแนวดิ่งด้วยเครื่องมือที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ ในระหว่างการขุดจะมีการรักษาเสถียรภาพของหลุมขุดด้วย Slurry ตลอดเวลา ดินที่ถูกขุดขึ้นมาจะถูกแทนที่ด้วย Slurry ทันที หลังจากขุดได้ขนาดและความลึกที่กำหนดจะใส่เหล็กเสริมและเทคอนกรีต หลุมที่เทคอนกรีตเสร็จจะเรียกว่า Panel จากนั้นก็ทำ Panel อื่นต่อไปจนครบ โดยใช้ Shear key ยึดแต่ละ Panel เข้าด้วยกัน จากนั้นจึงขุดดินข้างในจนถึงระดับที่ต้องการต่อไป Diaphragm wall สามารถใช้เป็นได้ทั้ง Temporary Structure และ Permanent Structure

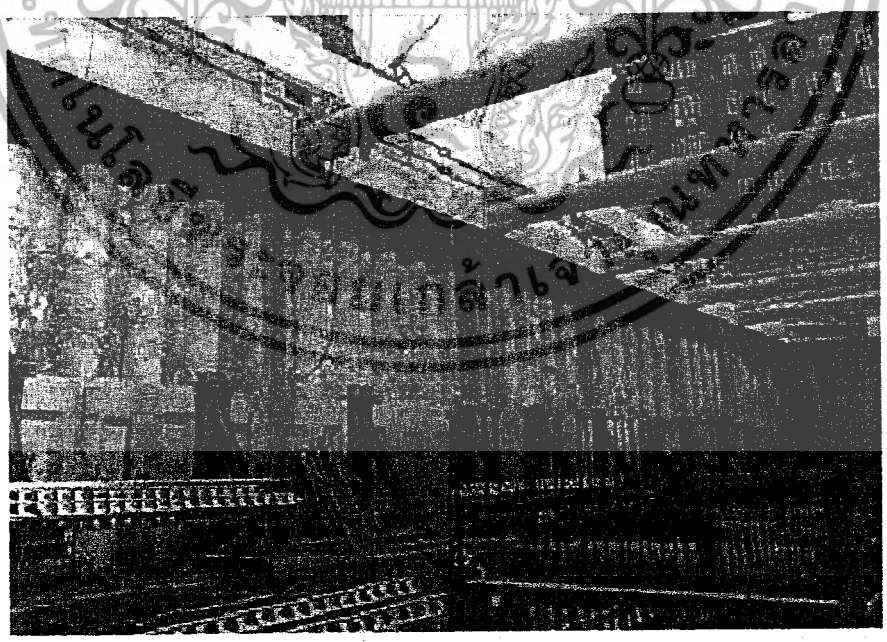
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.7 กำแพงพืดกันดินชนิดขุดหล่อในที่ (Diaphragm Wall)

- **Secant pile wall** เป็นการเจาะทำเสาเข็มเรียงซ้อนๆ กันเป็นแนวกำแพง โดยเข็มอาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากถึง 1,200 มม. สามารถขุดทำชั้นใต้ดินได้ถึง 6 ชั้น

จะเห็นว่าระบบกำแพงแบบแข็งนั้นจำเป็นต้องใช้เทคนิคในการก่อสร้างค่อนข้างสูง มีค่าใช้จ่ายแพงและใช้เวลาในการก่อสร้างมาก จึงนิยมใช้ในโครงสร้างใต้ดินที่มีความลึกมากกว่า 10 เมตรขึ้นไป

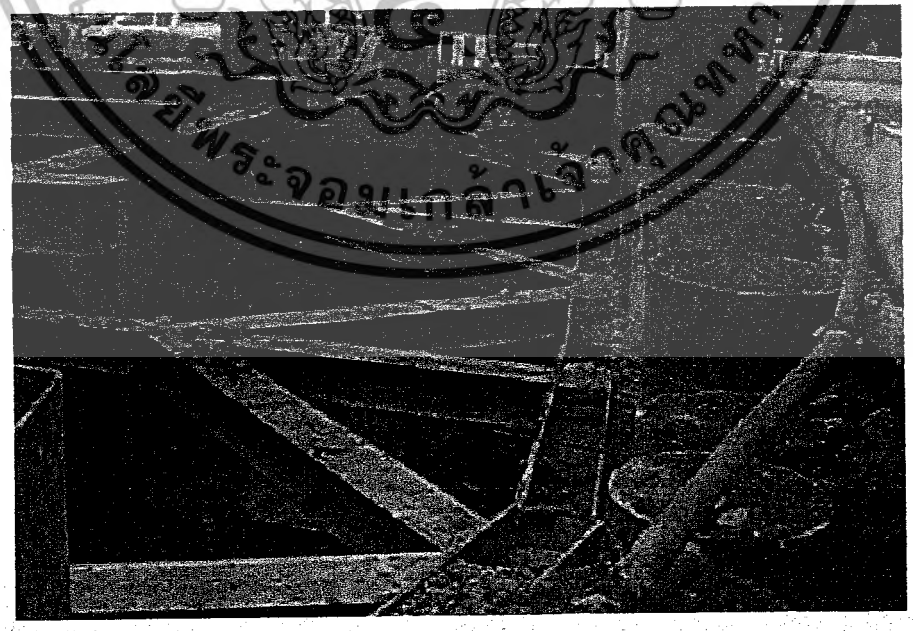


รูปที่ 2.8 กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงขบชิดกันต่อเนื่อง (Secant Bored Pile)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ระบบกำแพงแบบยืดหยุ่น (Flexible Wall) ระบบกำแพงแบบนี้ได้แก่ เข็มพืด (Sheet pile) เป็นระบบที่ใช้ในโครงสร้างรับแรงด้านข้างที่ใช้งานมากในงานทั่วๆ ไปที่มีการขุดดินลึกไม่เกิน 10 เมตร ซึ่งวัสดุที่ใช้มีหลายชนิด เช่น คอนกรีต ไม้ และเหล็ก มีการประยุกต์ให้มีระบบค้ำยัน (Bracing) ในการก่อสร้างจะมีการ Interlock ระหว่างชิ้น ซึ่งจะตอกลงไปในดินต่อเนื่องกัน แต่การติดตั้งจะต้องระมัดระวังการโก่งตัวของ Sheet pile เป็นพิเศษ เนื่องจากมีค่า Stiffness น้อย ระบบนี้มักมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถูก ก่อสร้างง่ายและรวดเร็ว

รูปที่2.9 กำแพงเสาเข็มพืดเหล็ก (Sheet Pile Wall)



รูปที่ 2.10 กำแพงปลอกเหล็กกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระบบกำแพงการดินประเภทต่างๆ

ระบบกำแพงกันดิน	ข้อดี	ข้อจำกัด
1.งานขุดที่ไม่ใช่กำแพงกันดิน (open cut)	1.มีราคาถูก 2.ใช้เวลาก่อสร้างไม่มาก 3.มีขั้นตอนและวิธีการก่อสร้างที่ง่าย	1.ใช้พื้นที่รอบข้างมาก 2.ไม่สามารถขุดดินที่มีความลึกมาก 3.ไม่สามารถกั้นน้ำใต้ดินได้ 4.เกิดการเคลื่อนที่ตัวของดินในบริเวณรอบข้างมาก
2.กำแพงเสาเข็มพืดเหล็ก (Sheet pile)	1.มีราคาไม่แพงมาก 2.สามารถกั้นน้ำใต้ดินได้ 3.สามารถใช้เป็นกำแพงถาวรได้ 4.ใช้เวลาก่อสร้างไม่มาก	1.ไม่สามารถกดปลายกำแพงได้ลึกมาก 2.ไม่สามารถกดลงได้ในดินเม็ดหยาบ 3.การกดด้วยหัวเขย่าจะเกิดแรงสั่นสะเทือนและเสียงดัง
3.กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงต่อเนื่องแบบไม่ขบกัน (Contiguous pile)	1.เป็นกำแพงคอนกรีตที่มีราคาถูกที่สุดเมื่อเทียบกับประเภทอื่น 2.สามารถเจาะลงได้ในดินทุกประเภท	1.ไม่สามารถกั้นน้ำได้เนื่องจากช่องว่างระหว่างเสาเข็ม นอกจากจะทำกำแพงกันน้ำอีกชั้น 2.ความลึกของเสาเข็มถูกจำกัดด้วยความดิ่งของเสาเข็ม
4.กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงขบชิดกันต่อเนื่องชนิดเสาเข็มแข็งคู่เสาเข็มอ่อน (Hard/Soft Secant pile)	1.สามารถกันน้ำได้ในขณะทำก่อสร้าง 2.สามารถใช้เครื่องเจาะเสาเข็มปกติได้ในการก่อสร้าง 3.สามารถเจาะลงได้ในดินทุกประเภท	1.ไม่สามารถกั้นน้ำได้ในระยะยาวเนื่องจากการซึมน้ำในเสาเข็มอ่อนนอกจากจะก่อสร้างกำแพงกันน้ำอีกชั้น 2.ความลึกของระดับขุดดินถูกจำกัดด้วยความดิ่งของเสาเข็มซึ่งควบคุมได้ยาก
5.กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงขบชิดกันต่อเนื่องชนิดเสาเข็มแข็งคู่เสาเข็มแข็ง (Hard/Hard Secant pile)	1.สามารถกันน้ำได้ในขณะทำการก่อสร้างและในระยะใช้งาน 2.สามารถใช้เป็นกำแพงถาวรได้ 3.สามารถเจาะลงได้ในดินทุกประเภท	1.ต้องใช้เครื่องเจาะเสาเข็มและเครื่องกดปลอกเหล็กที่แรงบิดสูง 2.ความลึกของระดับขุดดินถูกจำกัดด้วยความดิ่งของเสาเข็มซึ่งควบคุมได้ยาก
6.กำแพงแบบขุดเจาะหล่อในที่(Diaphragm wall)	1.สามารถกันน้ำได้ในขณะทำการก่อสร้างและในระยะใช้งาน 2.สามารถใช้เป็นกำแพงถาวรได้ 3.สามารถเจาะลงได้ในดินทุกประเภท	1.การก่อสร้างมีความซับซ้อนต้องใช้ผู้ชำนาญการเฉพาะ

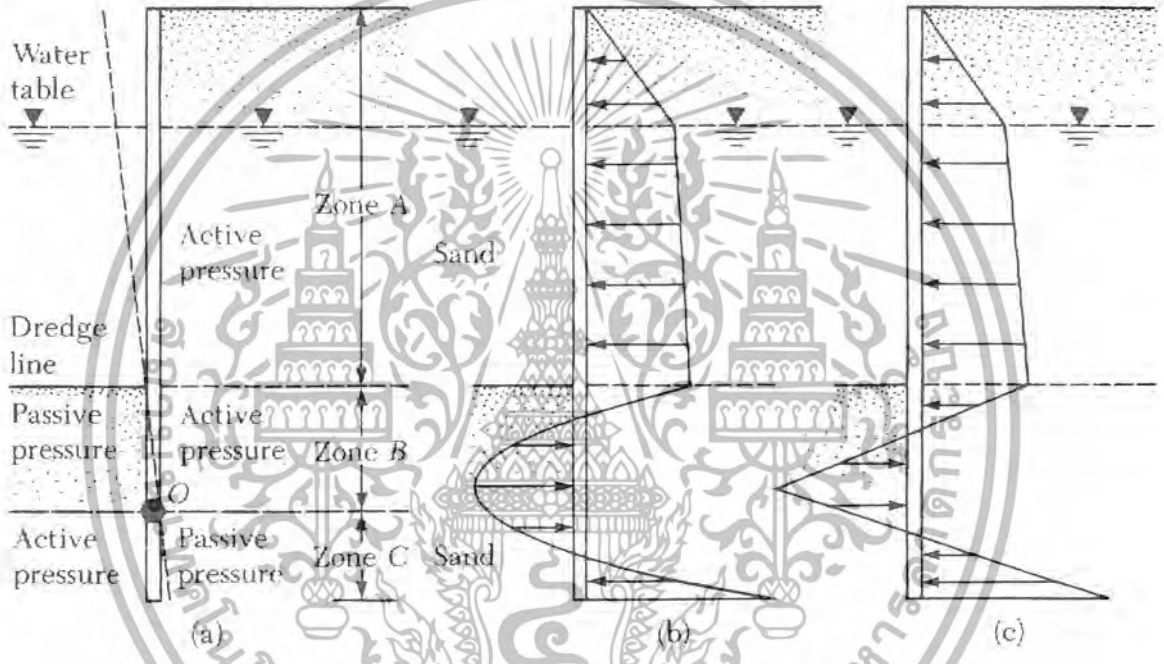
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4 ประเภทของกำแพงกันดินระบบ Sheet pile

เข็มพืด (Sheet Pile) มีลักษณะเหมือนกำแพงที่ตอกต่อเนื่องกัน เพื่อต้านทานแรงดันดินและน้ำมักใช้กับโครงสร้างที่อยู่ติดน้ำ หรือตอกป้องกันตลิ่งพัง (ที่ไม่สามารถหล่อคอนกรีตในที่ได้) หรือใช้ชั่วคราวเพื่อป้องกันการพังทลายของดินสำหรับการทำงาน หรืออาคารที่ต้องขุดดินลึก ๆ เช่น เพื่อทำฐานราก หรือชั้นใต้ดิน เข็มพืดมีทั้งที่ทำจากไม้ คอนกรีตหล่อสำเร็จ และเหล็ก

2.4.1 Cantilever Sheet pile walls หรือ Sheet pile ในระบบคานยื่น เป็นแบบของกำแพงกันดินในระดับความสูงของกำแพงกันดินในส่วนที่เหนือระดับดินขุดไม่เกิน 6 เมตร มีลักษณะเหมือนคานยื่นเหนือระดับดินขุด



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของ Cantilever Sheet pile wallsและแรงดันด้านข้างที่กระทำ

2.4.2 Anchored Sheet pile walls หรือ Sheet pile ในระบบสมอยึด มีลักษณะคล้ายเข็มพืดชนิดคานยื่น แต่จะมีการเพิ่ม Tie Rod ยึดกำแพงส่วนบนเข้ากับ Anchored plate หรือ Anchored walls หรือ Anchored pile ทำให้สามารถเพิ่มระยะขุดได้มากกว่า 6 เมตร และจากการออกแบบ Anchored นี้ ทำให้ลดขนาดกับน้ำหนักของ Sheet pile และระยะฝังอีกด้วย โดยวิธีการออกแบบเข็มพืดชนิดสมอยึด มีด้วยกัน 2 วิธี คือ

- วิธีดินเป็นฐานรองรับอิสระ (Free Earth Support)
- วิธีดินเป็นฐานรองรับยึดแน่น (Fixed Earth Support)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
104027

2.4.3 Batter pile walls มีลักษณะคล้ายคลึงกับ Anchored Sheet pile walls แต่ให้ Sheet pile เอียงเป็นตัวรับแรงด้านข้างแทนแผงสมอ

2.5 การวิบัติของ Sheet pile

ในการออกแบบและติดตั้ง Sheet pile จะต้องคำนึงถึงการวิบัติที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งมาจากหลายสาเหตุ ดังนี้

2.5.1 ค่าโมเมนต์ดัดใน Sheet pile สูงเกินไป การวิบัติด้วยสาเหตุนี้เกิดจากการใช้หน้าตัดของ Sheet pile เล็กเกินไป หรือเกิดจากการประมาณค่าแรงดันที่เกิดขึ้นไม่ถูกต้อง การใช้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยไม่เพียงพอ การใช้วัสดุถมหลัง Sheet pile ที่ไม่เหมาะสม มีน้ำหนักบรรทุกด้านหลัง Sheet pile สูงเกินไป และจากการขุดดินลึกกว่าระดับดินที่ออกแบบเอาไว้

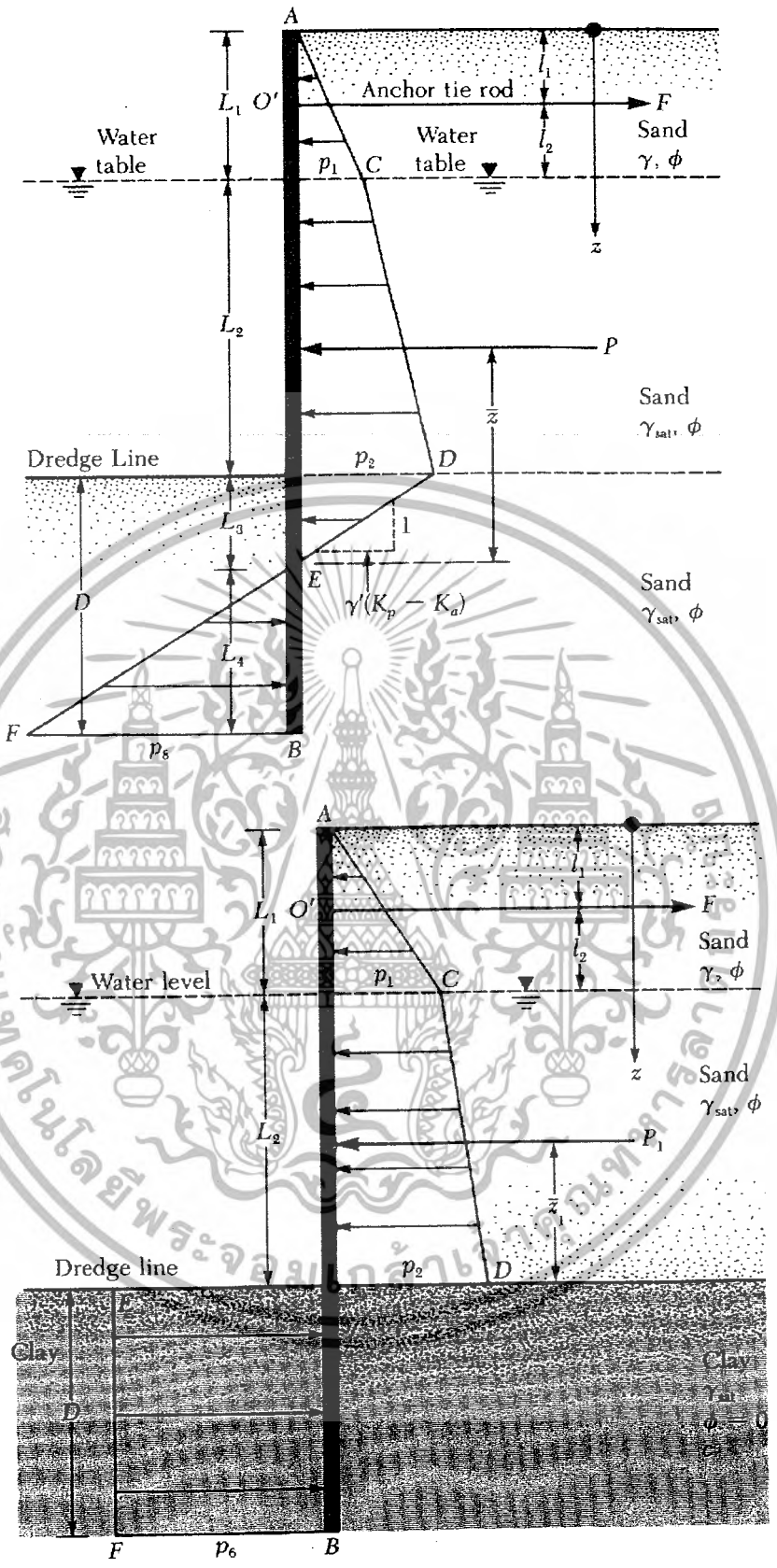
2.5.2 การวิบัติเนื่องจากการเคลื่อนที่ของเสาเข็มที่ฐานใต้ระดับดินขุด (Toe Failure) เกิดขึ้นเนื่องจากระยะฝังของเข็มพืดไม่เพียงพอ โดยอาจมีสาเหตุมาจากการขุดดินลึกเกินระดับที่ออกแบบเอาไว้ การกัดเซาะของกระแสน้ำหรือคลื่น

2.5.3 การวิบัติเนื่องจากเสถียรภาพ เป็นการเคลื่อนพังของดินเนื่องจากค่า Slope Stability ไม่เพียงพอ

2.5.4 การทรุดตัวของดินถม การวิบัติประเภทนี้มักจะเกิดขึ้นใน Sheet pile ระบบสมอยึด (Anchored Sheet pile walls) เนื่องจากการทรุดตัวของดินหลัง Sheet pile จะทำให้ Tie Rod ในระบบ Anchored หย่อนลง หรือเกิด Stress ใน Tie Rod มากขึ้น การทรุดตัวของดินนี้ อาจมีสาเหตุมาจากการกระบวนการยุบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) ของดินถมเอง หรือ เกิดจากการทรุดตัวของชั้นดินใต้ดินถม

2.5.5 การวิบัติที่ระบบของ Anchored เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงที่เกิดขึ้นใน Anchored สูงจนเกิดการวิบัติ หรือตำแหน่งที่ติดตั้ง Anchored อยู่ใกล้กำแพงมาก Tie Rod ยาวไม่เพียงพอ หรือค่า Strength ของดินไม่เพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของ Anchored Sheet pile walls และแรงดันด้านข้างที่กระทำ

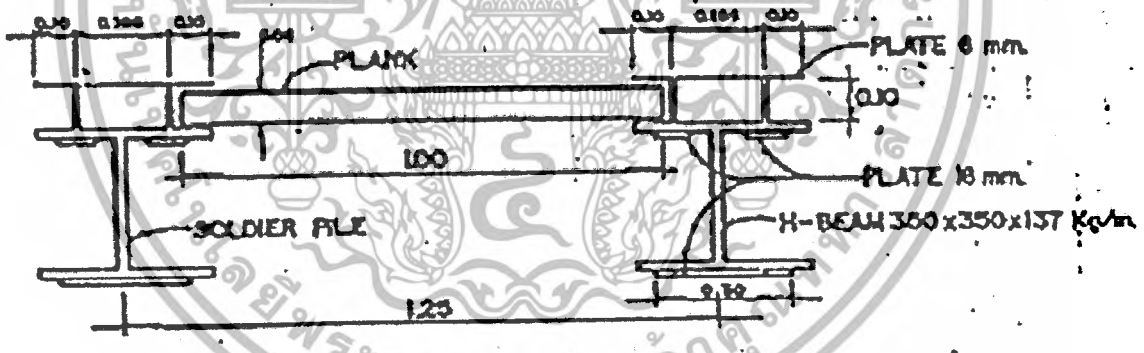
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การออกแบบกำแพงกันดินระบบ Sheet Pile สำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

2.6.1 ข้อจำกัดการใช้ Sheet Pile ระบบ Brace Cut สำหรับงานขุดในกรุงเทพ

การเลือกใช้ Sheet Pile ระบบ Brace Cut ในดินเหนียวอ่อน (Soft Bangkok Clay) จำเป็นต้องคำนึงถึงข้อกำหนดดังนี้

- Sheet Pile ต้องสามารถต้านแรงกระทำด้านข้างจากดิน แรงดันน้ำ Surcharge โดยปราศจากการเกิด Bucking ใน Sheet Pile
- โครงสร้างของระบบ Bracing ต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านรับ Bucking และระบบ Bracing ต้องต้านการเคลื่อนตัวทั้งในแนวด้านข้างและแนวดิ่ง
- Bracing ต้องจัดวางให้กว้างเพียงพอที่จะสามารถปฏิบัติงานทั้งการขุดและการขนส่งวัสดุ
- เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการเคลื่อนตัวของดินโดยรอบ ควรใช้ระบบ Pre load หรือ Jacking กับ strut
- Bracing ต้องสามารถเปลี่ยนแปลงให้สารถถ่ายน้ำหนักไปยังโครงสร้างถาวร และต้องไม่ทำให้โครงสร้างถาวรได้รับอันตราย
- Sheet Pile ควรจะสามารถถอนขึ้นมาใช้ได้อีก (Re-use)
- สำหรับงานขุดที่ลึกมากกว่า 9 เมตร ควรติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดิน เช่น Inclinometer เพื่อตรวจก่อนและป้องกันการเคลื่อนตัวของดิน



รูปที่ 2.13 แสดง Soldier Pile and Lagging (Berlin Wall)

2.6.2 การคำนวณแรงดันด้านข้าง

แรงดันด้านข้างของ Sheet Pile Brace Cut หรือ Flexible brace cut ดังรูปที่ 15 แสดงสภาพการเคลื่อนตัวของกำแพง Sheet Pile และสภาพหน่วยแรงดันดินด้านข้างของ Sheet Pile หรือ Flexible สำหรับดินทราย (รูป a) และสำหรับ soft clay (รูป b) หน่วยแรงดันด้านข้างของดินจะขึ้นกับการเคลื่อนตัวของกำแพงดังแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 16 ในกรณีการก่อสร้างที่มีค้ำยันอยู่เพียงเดียวใกล้ผิวดิน หน่วยแรงดันด้านข้างจะมีค่าใกล้เคียงกับหน่วยแรงดันในสภาพ Active ถ้ามีจุดค้ำยันอยู่หลายระดับ หน่วยแรงดันด้านข้างจะน้อยกว่าในสภาพ Active ที่วิเคราะห์โดยวิธีของ Ranking อันเนื่องจากแรง Arching ที่กำแพง Sheet Pile ซึ่งจะทำให้ค่า Vertical Stress น้อยกว่าทฤษฎีของ Ranking อย่างไรก็ตามหน่วยแรงดันดินบริเวณจุดค้ำยันหรือ strut จะสร้างกว่าสภาพ Active แต่จะไม่สูงกว่าในสภาพสถิต (At rest) ในสภาพความเป็นจริงก่อนการขุดจะมีการ Preload ที่ค้ำยัน ขนาดของ Preload ที่ใช้ต้องไม่สูงเกินไปจนกระทั่งกระทบต่อสภาพแรงดันด้านข้าง อย่างไรก็ตามในกรณี Preload อาจจะทำให้แรงดันด้างข้างสูงกว่าสภาพ At rest แต่จะน้อยกว่าในสภาพแรงด้านแบบ Passive

ตารางที่ 2.2 แสดงการคาดคะเนหน่วยแรงดันด้านข้างเฉพาะสำหรับดินเหนียวโดยใช้หลักการของ Ranking โดยปกติสำหรับกรณีดินเหนียว จะพิจารณาเป็นกรณีอิ่มตัว (Saturationed condition) และเมื่อ Sheet Pile ต้านรับการขุด ค่า shear strength และแรงดันดินจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี Un drain นั้น จะเกิดขึ้นในเวลาสั้นหลังจากการขุดดินเสร็จ (Short term after Construction) ส่วนในกรณี Drain นั้นจะเกิดเมื่อทิ้งช่วงเวลาหนึ่งหลังการขุดดิน (Long term after Construction) โดยต้องไม่มีฝนตกหนักในช่วงนั้น ค่า Ka และ Kp สำหรับทั้งกรณี Short term และ Long term ได้แสดงในตารางที่1 อนึ่งในกรณี Active ของ Cohesive Soil จะเกิด Tension crack ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการเกิดการเคลื่อนตัวของกำแพง (Wall Deflection) ซึ่งดินบริเวณ Tension crack นี้จะไม่มี Shear Strength และ $Pa = 0$ ความสูงสูงของ tension crack คำนวณโดยกำหนดให้ $q = 0$ ซึ่งจะทำให้

$$H1 = 2\sigma' / \gamma_b \sqrt{K_a}$$

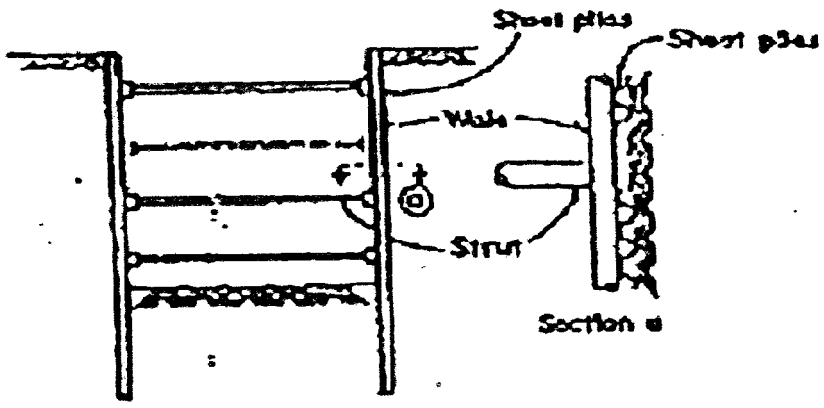
$$H1 = 2Su / \gamma t$$

(หมายเหตุ γb = buoyant unit weight, $[\gamma b = \gamma t - \gamma w]$)

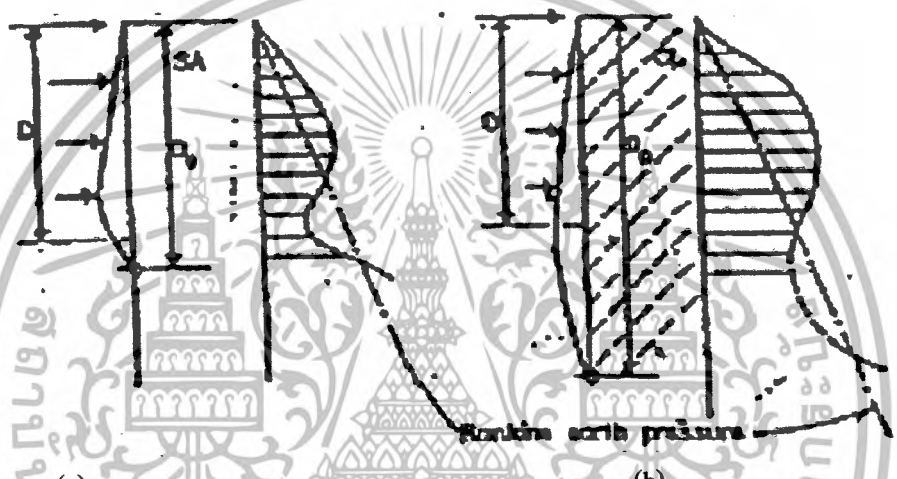
การคาดคะเนแรงด้านข้างของ Sheet Pile ชนิด Brace Cut จะคาดคะเนได้ยากลำบาก การคาดคะเนหน่วยแรงดันด้านข้างนี้ ส่วนใหญ่นิยมใช้วิธี Empirical โดยอาศัยข้อมูลจากการวัดแรงใน strut ในสนามและรวบรวมแรงใน strut ทั้งหมดเข้าด้วยกันจากนั้นเปลี่ยนมาเป็นแรงดันด้านข้างของดิน เพื่อให้ครอบคลุมทุกกรณี Diagram ของหน่วยแรงดันดินที่นิยมใช้มากที่สุดเป็น Diagram ที่เสนอโดย Terzaghi and peck (1967) ดังแสดงในรูปที่ 2.17 Diagram นี้ได้มาจากการก่อสร้าง Brace Cut ที่มีสภาพดังนี้

- การขุดลึกมากกว่า 6 เมตร
- ระดับน้ำบาดาลในทรายอยู่ต่ำกว่าระดับดินขุด
- หน่วยแรงนี้ควรใช้เพียงหาแรงใน strut
- กรณีทรายใช้ Drained condition และ กรณีดินเหนียวใช้ Un-drained condition
- ในดินเหนียว ค่า $H = \gamma_t h/c$
- เสถียรภาพของการขุดดินต้องแยกตรวจสอบ

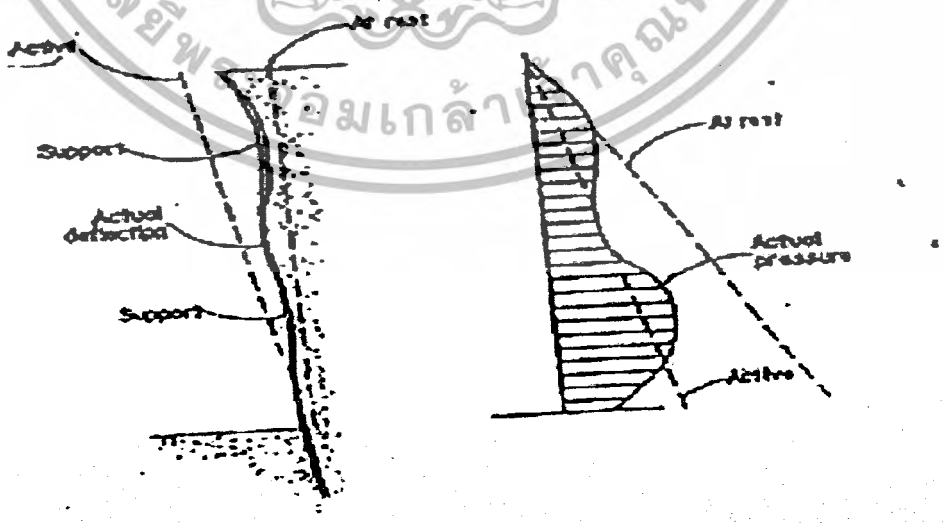
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การค้ำยันระบบ Sheet Pile แบบ Brace Cut



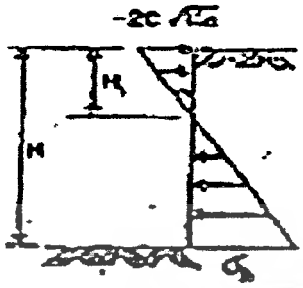
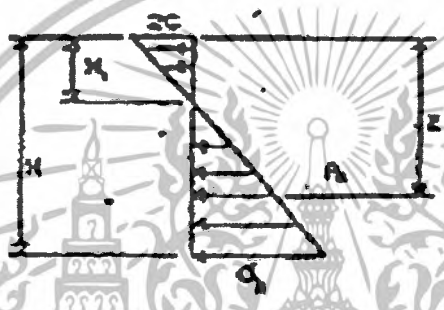
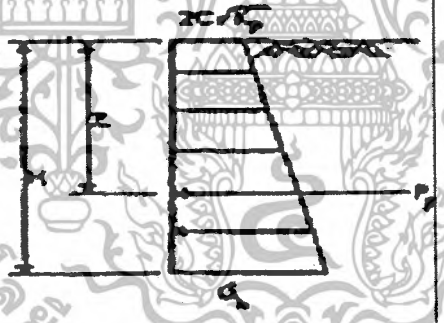
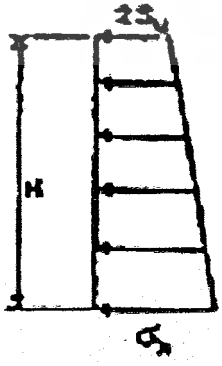
รูปที่ 2.15 สภาพการเคลื่อนตัวของกำแพง Sheet Pile และการกระจายของหน่วยแรงดัน
(a) สำหรับทรายและ (b) สำหรับดินเหนียว



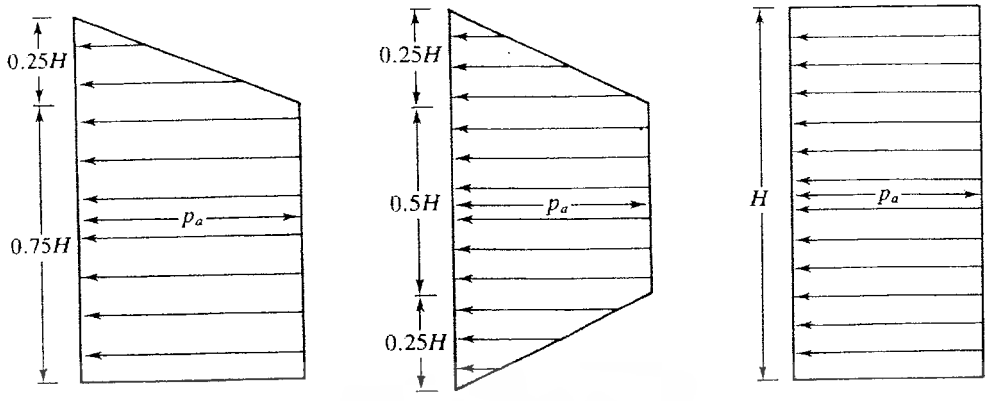
รูปที่ 2.16 หน่วยแรงดันด้านข้างของดินกับการเคลื่อนตัวของกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แรงดันด้านข้างของทฤษฎี Ranking สำหรับดินเหนียว

Condition	Pressure distribution	Pressure at depth
1. Cohesive Soil drained Condition, active State		$\sigma_h = \gamma_t z K_a - 2c\sqrt{K_a}$ where $K_a = \tan^2(45-\phi/2) - \frac{2\bar{c}}{\sigma'_v}\tan(45^\circ-\phi/2)$ $\gamma_t = \gamma_b + \gamma_w$ H_1 = Tension Crack
2. Cohesive Soil undrained Condition, $\phi=0$ active State		$\sigma_h = \gamma z - 2S_u$ where S_u = undrained shear Strength $K_a = 1 - 2S_u/\gamma h$ $H_1 = 2S_u/\gamma_t$
3. Cohesive Soil drained Condition, passive state		$\sigma_h = \gamma_t z K_p + 2c\sqrt{K_p}$ where $K_p = \tan^2(45+\phi/2) + \frac{2\bar{c}}{\sigma'_v}\tan(45+\phi/2)$
4. Cohesive Soil un-drained Condition, $\phi=0$ passive state		$q_h = \gamma z + 2S_u$ where $K_p = 1 + 2S_u/\gamma h$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Medium Clay Stiff Clay Sand

รูปที่ 2.17 Earth Pressure Diagram สำหรับดินหลายประเภท สำหรับงาน Brace Cut

2.6.3 การวิเคราะห์แรงกระทำใน strut สามารถคำนวณได้จากขั้นตอนดังนี้

- ระดับของ strut ตัวบนต้องติดตั้งก่อนที่จะขุดถึงระดับที่อาจจะเกิด Tension crack หรือ

$$Z = 2C/\gamma$$

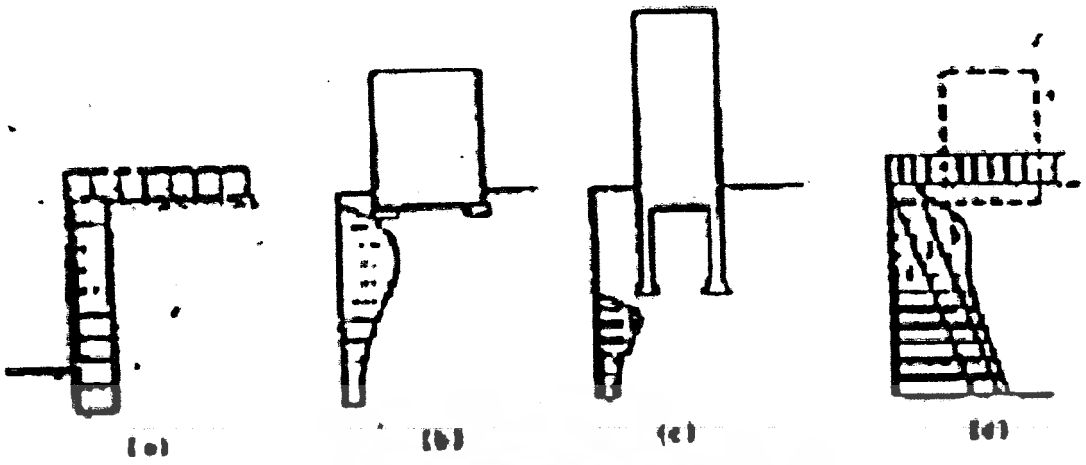
- ให้แบ่งหน่วยแรงดันดินตามชนิดตามชนิดของดินโดยคำนึงที่จุดกึ่งกลางระหว่างคู่ของ strut
- แรงดันใน strut หาจากพื้นที่ของหน่วยแรงในข้อ 2

ในการเลือกใช้หน่วยแรงดันดินด้านข้างทั้งโดยทฤษฎี Ranking และโดย diagram ที่เสนอโดย Terzaghi and Peck นั้น ควรพิจารณาถึงสภาพความเป็นจริงในสนาม เช่น ระบบ preload ใน strut ที่ใช้ การควบคุมสภาพการทำงานใน site ว่าจะสามารถแทนด้วย Active case ของ Ranking หรือไม่ ในส่วนของ Diagram ที่เสนอโดย Terzaghi and Peck นั้น บางกรณีค่อนข้างจะ Conservative แต่สามารถครอบคลุมได้ทุกกรณีของสถานภาพแรงกระทำ

นอกจากแรงกระทำด้านข้างของดินที่กล่าวมาแล้ว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงควบคู่ไปด้วย คิด Surcharge ที่อาจจะเกิดขึ้นในโครงการ เช่น จากการขนส่งวัสดุ น้ำหนักของโครงสร้างหรืออาคารที่วางอยู่บนฐานรากเข็มสั้น หรือฐานรากแผ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ขนาดของแรงกระทำด้านข้างจะกับชนิดของ Surcharge ที่กระทำ ซึ่งสามารถแยกได้เป็นกรณีดังนี้

- Uniform Loading คือ น้ำหนักเนื่องจากน้ำหนักดิน (earth surcharge) หรือ Embankment การคำนวณใช้ $\sigma_h = \sigma_{hA} + \Delta\sigma_h$ โดย $\Delta\sigma_h = qK_a$ โดย q = surcharge load
- Line Load คือ น้ำหนักจาก highway หรือ ฐานรากอาคารที่ต่อเนื่องกันรูปแบบการกระจายแรงดันด้านข้าง
- Point Load คือ น้ำหนักกระทำจากเครื่องจักร เช่น Crane รูปแบบการกระจายแรงดันด้านข้าง
- Burried Load คือ น้ำหนักกระทำจากฐานรากของอาคารใกล้โครงการ รูปแบบการกระจายแรงดันด้านข้าง

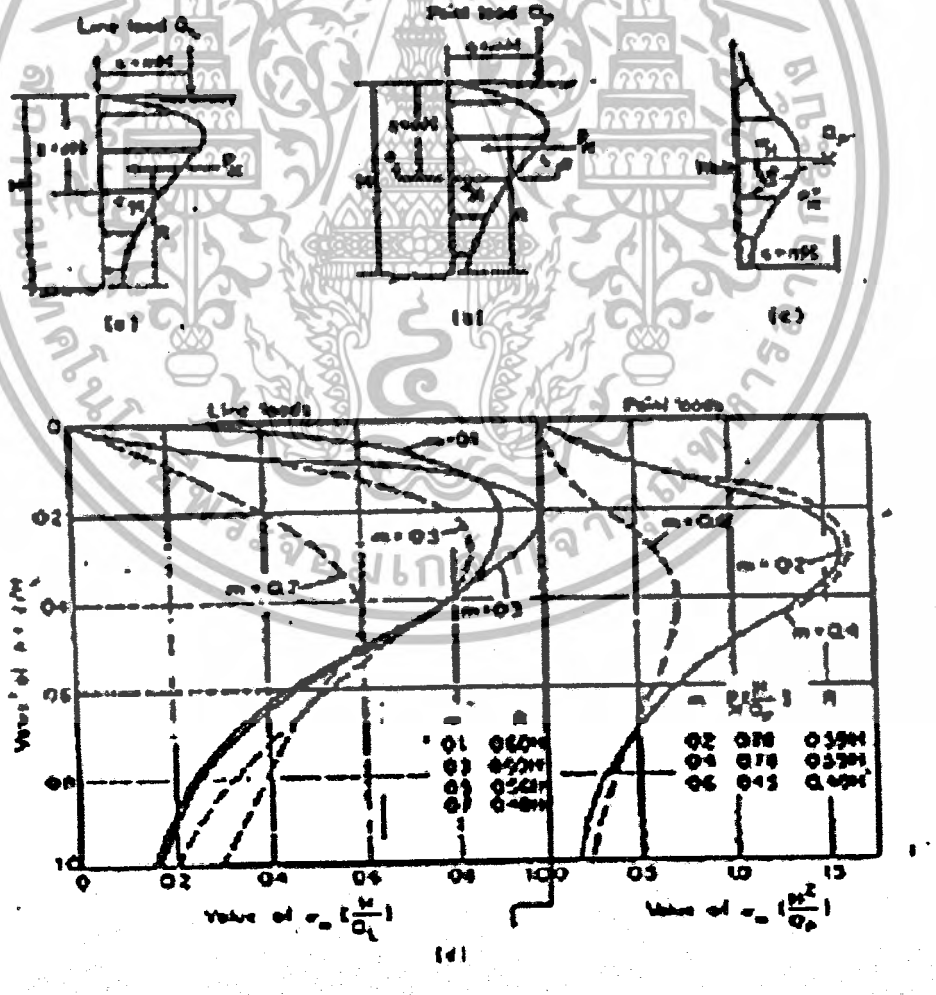
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) excavation earth or uniform surcharge (b) building on shallow foundation ;

(c) building on deep foundation ; and (d) addition of lateral pressure

รูปที่ 2.18 การกระจายแรงดันด้านข้างอันเนื่องจาก Surcharge หลายประเภท



รูปที่ 2.19 หน่วยแรงดันดินด้านข้างเนื่องจาก line load และ point load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 การออกแบบ Sheet Pile ระบบ Bracing Cut

การออกแบบระบบ Bracing Cut Flexible wall จะประกอบด้วยส่วนโครงสร้างของ Sheet Pile , Wale, Strut และ King Post ในการวิเคราะห์ brace excavation นั้นจำเป็นต้องวิเคราะห์ทั้งทั้งระบบอันประกอบด้วย

- แรงดันน้ำกระทำกับ Sheet Pile
- แรงดันดินกระทำกับ Sheet Pile
- การเคลื่อนตัวของกำแพง
- การเคลื่อนตัวของดินโดยรอบ
- การวิเคราะห์เสถียรภาพของทั้งระบบ

1. การออกแบบ Sheet Pile

การออกแบบ Sheet Pile สามารถแยกเป็น 2 ประเด็นหลัก ๆ คือ การหาความยาวของ Sheet Pile ที่สามารถป้องกันการเกิด heave และการหาขนาด section หรือชนิดของ Sheet Pile ในส่วนของการวิเคราะห์ Heave Effect นั้น จะขึ้นกับความกว้างของพื้นที่ของการขุดเทียบกับความลึกของการขุด คือ Narrow Cut หรือ Trench Excavation และ Deep brace cut ดังแสดงในรูปที่ 16 ในกรณีของ Narrow Cut จะใช้วิธีการตรวจสอบ Safety factor ต่อการเกิด bottom heave ซึ่งเสนอโดย Bjerrum and Eide (1956)

$$FS = NcSu/(\gamma H + q)$$

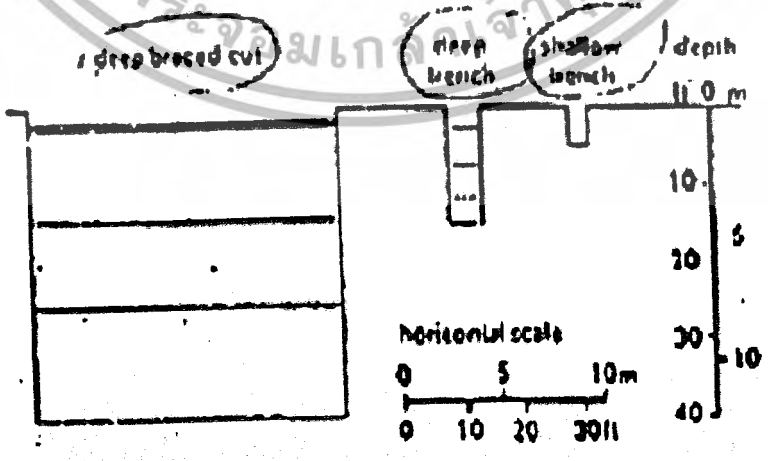
เมื่อ q = surcharge รอบๆ บริเวณการขุด

Su = Shear strength

Nc = Stability Number แสดงในรูปที่ 2.21

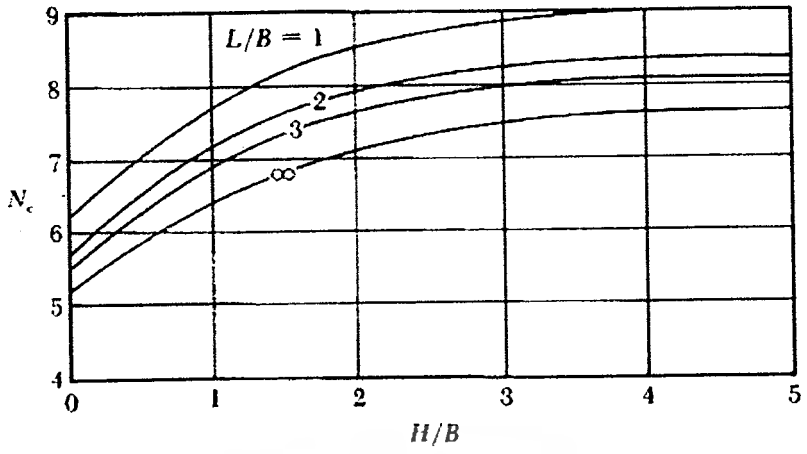
ในกรณีของ Deep brace cut การคำนวณความยาวของ Sheet pile เพื่อต้านทานการเกิด heave จะใช้การ Balance แรง ดังแสดงในรูปที่ 2.22

กรณีดินเหนียวเมื่อพิจารณา Free body diagram น้ำหนักของดินในส่วน abcd พยายามจะเคลื่อนลงด้านล่างในขณะที่ Shear resistance, S จะต้านรับ

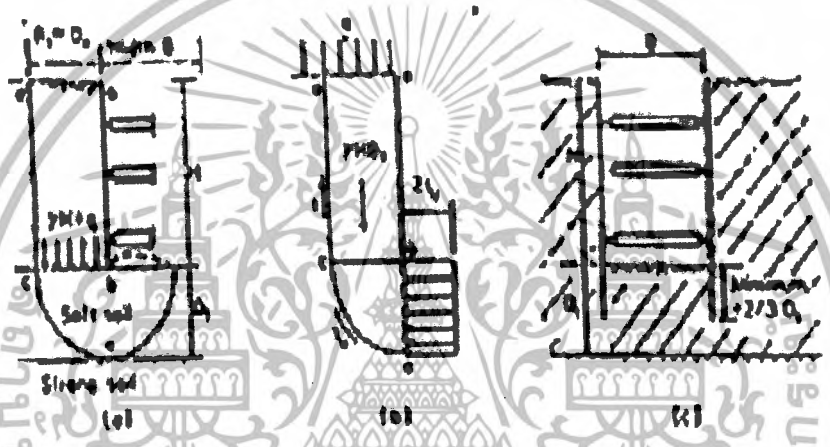


รูปที่ 2.20 Diagram แสดงถึงขนาดและชนิดของงานขุด (After Hurrel & Attewell (1984))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ค่า Stability Number สำหรับการวิเคราะห์ heave ของงาน Braced excavation



รูปที่ 2.22 การเกิด heave in soft clay (c) ความลึกของ sheet pile ที่อาจจะสามารถป้องกันการเกิด heave

$$S = Hsu - HrSu$$

เมื่อ Hr = Tention zone $= 2\,Su/\gamma$ เมื่อจัดรูปแบบแล้วจะได้

$$S = 0.5q_u(H - q_u/\gamma)$$

เมื่อ q_u = unconfined compressive strength = 2Su

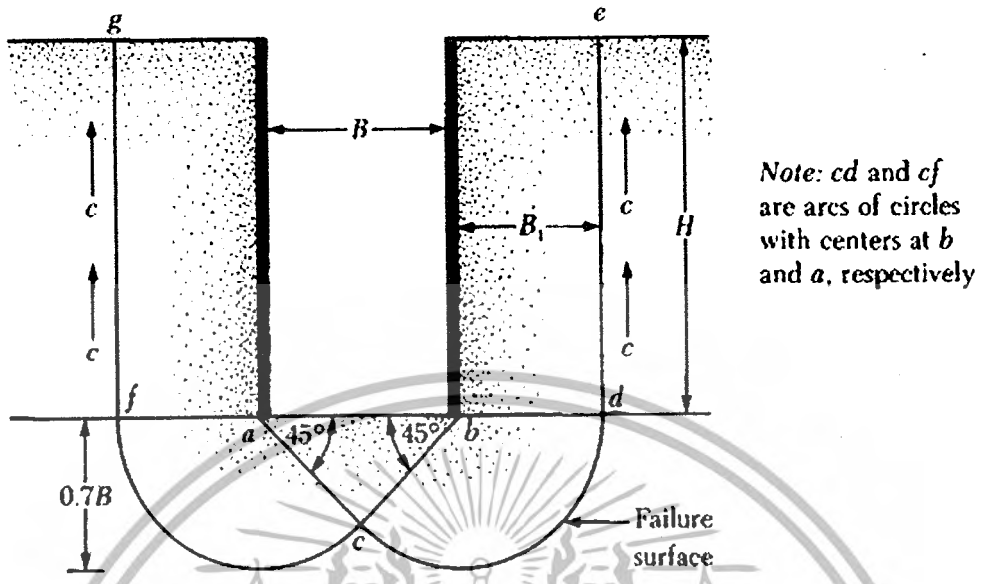
เมื่อพิจารณาน้ำหนักของดินที่ Slide ลงมา abcd รวมกับน้ำหนัก surcharge ซึ่งจะต้านด้วย shear resitance, S บนผิว cd และด้วย cohesive resistance , Su บนผิว ce และแรง passive pressure บนผิว be โดยไม่คำนึงถึงน้ำหนักใต้ดินเส้น bc และบริเวณทั้งสองด้านของเส้น be ค่า Net passive earth pressure มีค่าเท่ากับ $q_u = 2su$ เมื่อพิจารณา Moment รอบจุด b จะได้

$$(\gamma H+q)B_1 - 2S - \pi/2\, B_1 q_u \le q_u B_1$$

ความยาวของ Sheet pile ควรตอกลงไปไม่น้อยกว่า (2/3)D1 หรือ (2/3)B1 วิธีการคำนวณนี้จะเหมาะสมสำหรับกรณีที่ความกว้างของการขุดดินจะต้องกว้างกว่าความลึกของการขุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

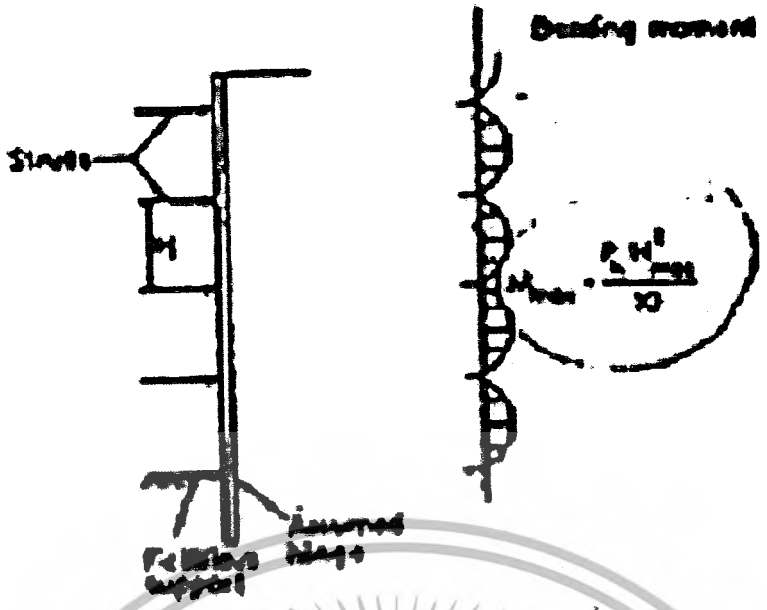
การวิเคราะห์ความยาวของ Sheet pile เพื่อป้องกันการเกิด heave อาจจะคำนวณ โดยใช้ Empirical formula เสนอโดย NAVFAC DM7 (1974) โดยมีข้อกำหนดว่าค่า Safety factor น้อยกว่า 1.5



รูปที่ 2.23 การหาความยาวของ Sheet pile เพื่อป้องกัน heave สำหรับดินเหนียว (After NAVFAC DK7, 1974)

การหา Section ของ Sheet pile จะคำนวณหาจากค่า Section Modulus ที่ได้จากการคำนวณค่า Maximum Moment ที่อาจจะเกิดขึ้นใน Sheet pile ค่า Maximum moment สามารถประมาณได้โดยใช้ แรงกระทำด้านข้าง หรือ Diagram ที่เสนอโดย Terzaghi and Peck ซึ่งมีค่าประมาณได้ดังแสดงในรูปที่ 16 Maximum moment ที่ Sheet pile จะขึ้นกับระดับและระยะของการ Bracing ซึ่งจะต้องจัดให้เหมาะสมกับขั้นตอนการก่อสร้าง

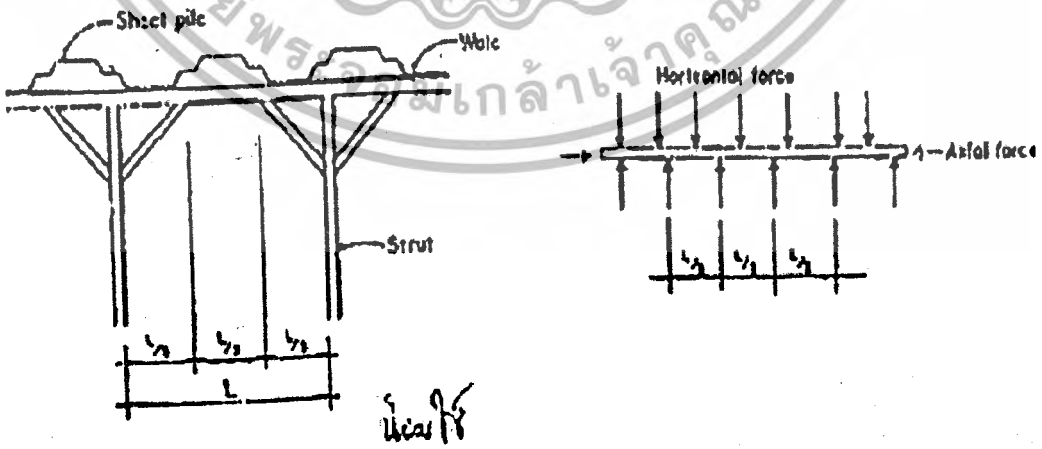
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 การออกแบบขนาดของ Sheet pile ในกรณี Continuous span

2. การออกแบบ Wale

Wale ออกแบบมาเพื่อให้ต้านแรงด้านข้างจาก Sheet pile ซึ่งจะถ่ายแรงเป็น Uniform horizontal force เข้าสู่ Wale ส่วนใหญ่จะเป็นเหล็ก H- beam และยาวตลอดเพื่อให้การถ่ายแรงได้สมบูรณ์ นอกจาก Moment จากแรงดันด้านข้างแล้ว ยังมีแรง Axial force ใน Wale เกิดขึ้นด้วยเนื่องจากแรงกระทำจากจุดตัดตั้งฉากบริเวณจุดเปลี่ยนมุม ดังนั้น การออกแบบเพื่อหาขนาดของ Wale จะคำนวณโดยให้ Wale มีความยาวต่อเนื่องกัน แรงทั้ง Lateral force และ Axial force ดังแสดงในรูปที่ 25 ขนาดของ Wale จะเปลี่ยนแปลงขึ้นกับระยะของ Bracing หรือระยะห่างของ strut ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะพยายามจำกัดให้ระยะห่างของ strut สั้นลงโดยใช้ค้ำยันจาก strut เป็นรูปตัว Y ดังแสดงในรูปที่ 25



รูปที่ 2.25 รูปแบบการวิเคราะห์หาขนาด Wale เพื่อรับ Horizontal force
จากแรงดันดินและ Axial force จากแรงกระทำต่อเนื่องบริเวณจุดเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การออกแบบ Strut

การออกแบบ Strut จะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของ Strut ระดับบนสุด และส่วน Strutระดับล่างๆ ในส่วนของ Strut ระดับล่างๆ ยกเว้นที่ระดับบนสุดจะออกแบบให้รับแรงจากแรงดันดินในแนว Axial force เท่านั้น แต่ในส่วนของ Strut ระดับบนสุด นอกจากจะออกแบบให้รับ Axial force แล้วยังต้องรับน้ำหนักจาก Platform ที่จัดทำเพื่อให้เครื่องจักรเข้ามาทำการขุดดิน และขนส่งดินออกนอกโครงการ การประมาณแรงกระทำใน Strut สามารถประมาณได้จาก Diagram ที่เสนอโดย Terzaghi and Peck โดยแบ่งแรงดินออกเป็นช่วง ๆ บริเวณ ณ กึ่งกลางของระดับ Strut

Strut ต้องออกแบบให้มีจุดยึดเพื่อป้องกันการเกิดการโก่งซึ่งจุดที่ยึดคือจุดที่ติดตั้ง Kingpost โดยกำหนดในรูปของ l/r เพื่อหาตำแหน่งที่จะติดตั้ง Kingpost ทั้งในแนวตั้งฉากและแนวเดียวกับแนวของ Strut ระยะของ kingpost หรือจุดยึดต้องห่างเพียงพอให้เครื่องจักรสามารถทำงานขุดได้

4. การออกแบบ King Post

การออกแบบ Kingpost จะกำหนดระยะห่างจากการคำนวณแรงใน Strut การวาง Kingpost อาจจะแยกเป็น 2 ระบบ คือ Kingpost สำหรับน้ำหนักจาก Platformและ Kingpost สำหรับ Strut ในกรณีที่ฐานรากเป็นฐานรากแบบ Isolate การใช้ Kingpost ของ Platform แยกจาก Kingpost ของ Strut จะสะดวกกว่า เพราะนอกจาก Strut ของ Platform จะสามารถถอนขึ้นมาใช้ได้ใหม่ได้เมท่อเสร็จโครงการแล้วยังต้องคำนึงถึงการทรุดตัวที่แตกต่างกันของ Kingpostและ Platform ว่าจะมีผลต่อ Strut หรือไม่ เนื่องเพราะแยกส่วนแล้ว

ในกรณีที่ฐานรากของอาคารเป็น Mat foundation การใช้ Kingpost สำหรับ Platform แยกจาก Kingpost ยึด Strut จะสิ้นเปลืองมาก เนื่องด้วย Kingpost ของ Platform ต้องตัดทิ้งเพราะจมอยู่ใน Mat foundation ไม่สามารถถอนขึ้นได้ ทำให้สิ้นเปลืองมากขึ้น จึงทำให้นิยมออกแบบ Kingpost สำหรับ Platform ให้เป็นตัวเดียวกันกับ Kingpost ที่ใช้ยึด Strut แต่ปัญหาเกี่ยวกับการทรุดตัวของ Kingpost ในส่วนของ Platform อาจจะทำให้เกิดการฉุด Strut ดังนั้นในกรณีต้องคำนวณปริมาณการทรุดตัวเพื่อตรวจสอบ Differential Settlement

การออกแบบ Kingpost จะออกแบบให้รับแรงเฉพาะในแนวแกนคือ น้ำหนักจาก Surcharge ของ Platform เท่านั้น หลักการคำนวณใช้หลักการเช่นเดียวกับการออกแบบแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม โดยไม่คำนึงถึงแรงต้านปลายเสาเข็ม ซึ่งค่าน้อยมาก ระยะของแรงเสียดทานของ Kingpost จะคำนึงเฉพาะในส่วนที่ลึกต่ำกว่าระดับขุดเท่านั้น การคำนวณสามารถคำนวณได้จาก

$$Qf = p\left(\sum \alpha \, Su \Delta L\right)$$

เมื่อ Qf = Ultimate Skin friction

P = เส้นรอบรูปของหน้าตัดของ Kingpost

α = adhesive factor

Su = Shear dtrength

ΔL = ความยาวของ Kingpost ในแต่ละชั้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวของ Kingpost จะคำนวณโดยให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจาก platform โดยใช้ Safety factor ประมาณ 1.2- 1.5 จากค่า Ultimate skin friction ที่คำนวณได้ข้างต้น

การออกแบบระบบ Bracing ทั้ง Strut , Wale และ Kingpost ดังกล่าวแล้วข้างต้นในแง่ปฏิบัติจะมีการเปลี่ยนแปลงบ้าง เพื่อให้สามารถทำการก่อสร้างได้ เช่น การจัดวาง Strut ต้องหลีกเลี่ยงตำแหน่งของเสาของโครงสร้าง ตำแหน่งของ Kingpost ต้องไม่ตรงกับตำแหน่งเสาเข็มจึงอาจจะทำให้ระยะห่างของ Strut เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยไปจากที่ได้ออกแบบไว้

2.6.5 วิธีและขั้นตอนการขุดดิน

การเลือกวิธีและขั้นตอนการขุดดินจะต้องพิจารณาจากสิ่งเหล่านี้คือ ระยะเวลาในการก่อสร้าง ราคางานขุดดินและระบบป้องกันดิน พื้นที่สำหรับทำงาน การใช้ค้ำยันชั่วคราว การเลือกพื้นหรือโครงสร้างถาวรเป็นค้ำยัน เป็นต้น วิธีและขั้นตอนการขุดดินดังต่อไปนี้เป็นวิธีการขุดดินหลักที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

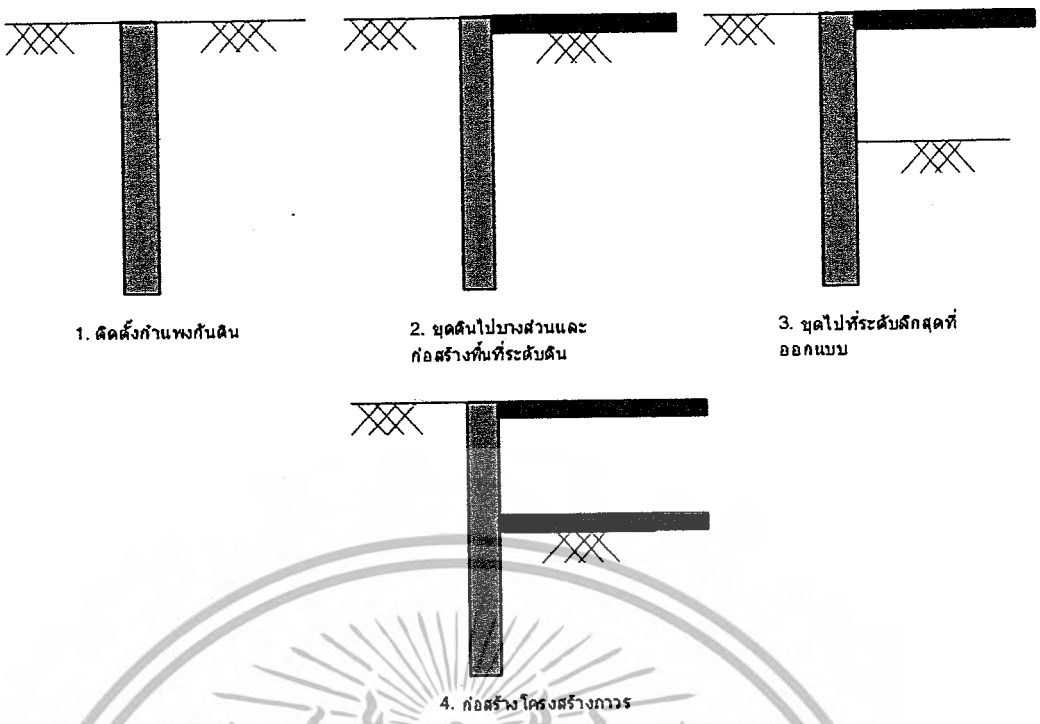
3.1กำแพงกันดินแบบมีค้ำยัน ก่อสร้างโครงสร้างจากบนลงล่าง (Top Down Construction)

วิธีการก่อสร้างแบบนี้จะใช้พื้นที่ถนนหรือโครงสร้างถาวรอื่นๆเป็นค้ำยันให้กับระบบห้องกันดินพัง โดยก่อสร้างจะสร้างพื้นชั้นบนสุดและไล่ลงมาที่ระดับต่ำกว่าจนถึงระดับสุดท้าย ตารางที่ 2 แสดงข้อดีและข้อจำกัดของการใช้กำแพงกันดินแบบมีค้ำยัน ก่อสร้างโครงสร้างจนบนลงล่าง และรูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการก่อสร้างดังกล่าว

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อจำกัดของการใช้กำแพงกันดินแบบมีค้ำยัน ก่อสร้างโครงสร้างจากบนลงล่าง

ข้อดี	ข้อจำกัด
1.สามารถเริ่มทำการก่อสร้างโครงสร้างระดับเหนือพื้นดินได้เวลาเดียวกัน 2.ไม่เสียค่าใช้จ่ายสำหรับค้ำยันชั่วคราว 3.สามารถทำให้ค่าก่อสร้างกำแพงกันดินมีราคาถูกกว่าแบบอื่น 4.โดยทั่วไปมีการเคลื่อนตัวของดินรอบๆพื้นที่ขุดดินน้อยกว่าแบบอื่น	1.งานขุดดินทำได้ช้าและลำบากกว่าวิธีอื่น 2.ต้องเสียค่าใช้จ่ายค่าเสาเหล็กที่ต้องฝังในเสาเข็ม 3.ต้องสร้างช่องเปิดในพื้นเพื่อนทำการขุดดิน 4.น้ำหนักชั่วคราวลงพื้นขณะก่อสร้างอาจสูงกว่าน้ำหนักขณะใช้งานตามปกติ ทำให้ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการออกแบบพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 ขั้นตอนการใช้กำแพงกันดินแบบมีค้ำยัน ก่อสร้างโครงสร้างจากบนลงล่าง

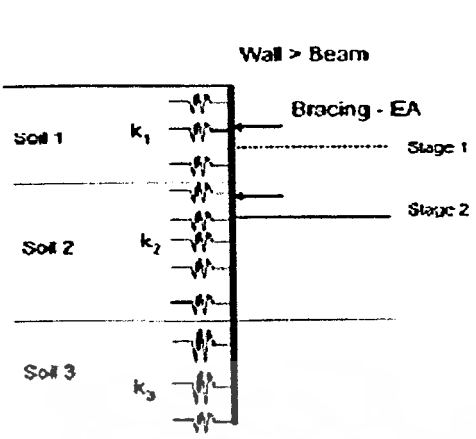
2.7 การวิเคราะห์พฤติกรรมตัวกำแพง

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมตัวกำแพงปัจจุบันใช้การวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Analysis) ซึ่งสามารถจำลองพฤติกรรมระหว่างดินและกำแพงได้อย่างใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก การวิเคราะห์พฤติกรรมกำแพงโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมีมากมายหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้มี 2 ประเภท คือ วิธี Beam on elasto-plastic spring และวิธี Continuum analysis

2.7.1 Beam on elasto-plastic spring

วิธีนี้จำลองดินเป็นอนุกรมของสปริง(รูปที่ 7) โปรแกรมที่นิยมใช้ได้แก่ WALLAP, RIDO เฉือน แรงในระบบค้ำยัน และ PAROI เป็นต้น โดยผลการวิเคราะห์ที่ได้คือค่าแรงดันดิน โมเมนต์และแรงเฉือน แรงในระบบค้ำยัน และค่าการเคลื่อนตัวของกำแพง แต่ไม่สามารถแสดงค่าการทรุดตัวของดินโดยรอบบ่อขุด

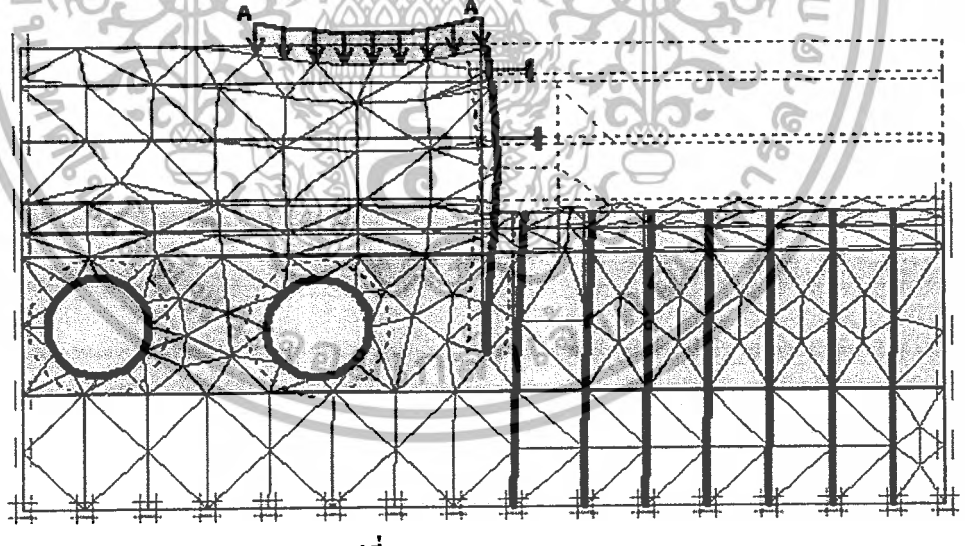
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 Beam on elasto-plastic spring

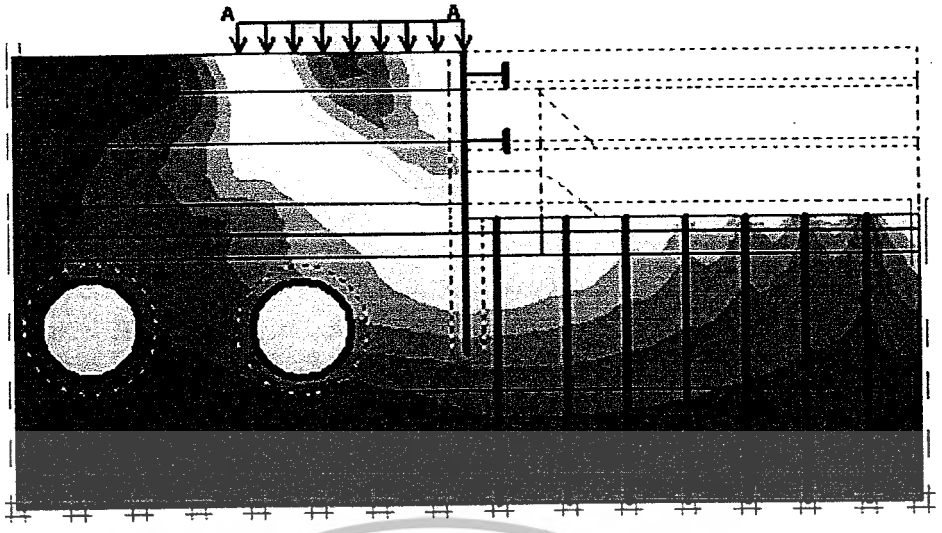
2.7.2 Continuum analysis

วิธีนี้ให้ผลวิเคราะห์ได้เหมือนกับวิธี Beam on elasto-plastic spring และยังให้ผลการทรุดตัวและเคลื่อนของดินโดยรอบบ่อขุดซึ่งสามารถใช้ดูผลกระทบของการขุดดินต่อโครงสร้างข้างเคียงได้ (รูปที่ 8)โปรแกรมที่นิยมใช้ได้แก PLAXIS, FLAC และ CRISP เป็นต้น



รูปที่2.28 (ก) Deformation mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Total displacement shading

รูปที่2.28 (ข) ผลวิเคราะห์ FEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
เทคนิคการก่อสร้างกำแพงกันดิน

ในการก่อสร้างกำแพงกันดินจำเป็นต้องมีการวางแผนก่อสร้างเป็นอย่างดี การเลือกระบบป้องกันดินแต่ละระบบก็มีผลต่อราคางานก่อสร้าง ระยะเวลาในการก่อสร้าง วิธีการก่อสร้าง และการเคลื่อนตัวของดินรอบๆ บริเวณก่อสร้าง ดังนั้นการวางแผนเลือกระบบป้องกันดินและวิธีการก่อสร้างจะต้องทำในขั้นตอนการออกแบบเพื่อเลือกระบบป้องกันดินที่เหมาะสม โดยวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ไม่ทำให้ดินรอบๆบริเวณก่อสร้างเคลื่อนตัวในระดับที่เป็นอันตรายหรือความเสียหายต่อโครงสร้างข้างเคียง
2. ไม่ทำให้ราคางานก่อสร้างโดยรวมทั้งโครงการมีราคาสูงเกินงบประมาณที่ตั้งไว้ใช้ระยะเวลาก่อสร้าง โดยรวมทั้งโครงการเหมาะสมกับแผนงาน
3. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะหรือผลกระทบที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ข้างเคียง

3.1 ขั้นตอนการก่อสร้าง Steel Sheet pile

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องจักรในการติดตั้ง Steel Sheet Pile

วัสดุ : เข็ม Steel Sheet Pile ขนาด YSP U-23 400x170x5.5 เมตร

อุปกรณ์ : Sheet Pile

เครื่องจักร :
- รถขุดดิน (Back hoe)
- Y-Bowl
- Hydraulics Jack

บุคลากร :
- วิศวกร
- ช่างสำรวจ
- ช่างควบคุม
- คนงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ขั้นตอนการติดตั้ง Sheet pile

1. เตรียมพื้นที่ที่จะทำการตอก Sheet pile โดยการวางแนวที่จะตอก Sheet pile เก็บวัสดุและอุปกรณ์ที่ไม่จำเป็นออกไปจากพื้นที่ เตรียมเครื่องจักรหนัก และทำถนนให้รถบรรทุกวิ่งเข้า – ออก ได้

2. หลังจากทำการเตรียมงานในการก่อสร้างเรียบร้อยแล้ว ทำการขนแผ่นเหล็กด้วยรถเครนมายังบริเวณที่จะทำการกด Sheet pile แล้วทำการกองเก็บไว้เพื่อรอทำการติดตั้ง

3. การกด Sheet pile โดยใช้หัวกด Y-Bowl คีบแผ่นเหล็กขึ้นมา แล้วทำการกด ลงไปตามแนวที่ได้ทำการ Survey ไว้ โดยใช้เหล็ก WF เป็นแนวแล้วกดแผ่นเหล็ก โดยกดให้ชิดขนานไปกับแนวที่ทำเอาไว้ โดยที่ต้องระวังให้แผ่นเหล็กเข้าเขี้ยวกันพอดี และระวังการบิด หรือโก่งงอของ Sheet pile

4. การขุดดิน เนื่องจากSteel Sheet Pile มีการโก่งตัวมากเมื่อเทียบกับ Concrete Sheet Pile ดังนั้นการขุดดินในชั้นแรกจึงไม่ควรขุดในระดับที่ลึกมากนัก ต้องพิจารณาจากแบบแปลนจากผู้ออกแบบ แต่ไม่ควรขุดลึกเผื่อความสะดวกในการทำงานมากนัก

5. เมื่อกดแผ่นเหล็กครบตามแนวที่ต้องการแล้วจึงทำการติดตั้ง Wale เพื่อรัด Sheet pile ที่ทำการกดไวก่อนหน้านี้ Wale จะช่วยยึด Sheet pile ไม่ให้เกิดการโก่งตัวเนื่องจากแรงดันดินด้านข้าง ในการขุดดินที่ระดับที่จะทำการค้ำยัน(Bracing)จะต้องขุดดินให้มีระดับต่ำกว่าที่จะวาง Strut , Wale เพื่อสะดวกในการทำงาน ทำการค้ำยันเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของดิน จากนั้นจึงทำการเท Lean ล็อคหัว Sheet pile

6. การก่อสร้างส่วนของ Temporary Platform ทำการตอก King post เพื่อรองรับน้ำหนัก Platform โดยใช้เหล็ก WF กดลงไปในดิน และวางคานรองรับ Platform เพื่อนำเครื่องจักร หรือ Backhoe เข้ามาหน้างาน เพื่อใช้ในการขุดดิน

7. การเทพื้นและผนัง เมื่อระบบการป้องกันการเคลื่อนตัวของดินดำเนินการเสร็จสิ้น ก็ทำการเทพื้นในชั้นล่างและก่อผนังรับแรงเฉือนเพื่อป้องกันแรงดันดินด้านข้างซึ่งคอนกรีตที่นำมาเทผนังจะเป็นคอนกรีตชั้นพิเศษมีความแข็งแรงสูง

8. การรื้อถอน Sheet pile และค้ำยันต่างๆ หลังจากที่ทำการหล่อกำแพงคอนกรีตในส่วนของห้องใต้ดินแล้วเสร็จ ก็จำเป็นที่จะต้องรื้อถอนค้ำยันต่างๆ ออก เพื่อความสะดวกในการก่อสร้างในขั้นต่อไป ซึ่งในบางกรณีก็จำเป็นจะต้องถอน Sheet pile ออกด้วย ในการรื้อถอน Sheet pile นั้นมักจะก่อให้เกิดปัญหาแรงสั่นสะเทือนที่อาจส่งผลกระทบแก่อาคารใกล้เคียงได้ ในบางโครงการจึงมีการนำ Hydraulics Jack เข้ามาช่วยในการถอนแผ่นเหล็ก แทน Y-Bowl ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาแรงสั่นสะเทือนได้ในระดับหนึ่ง และเมื่อทำการถอน Sheet pile เสร็จแล้ว ต้องมีการอุดช่องนั้นๆ ด้วยทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แสดงพื้นที่ก่อนการตอก Steel Sheet Pile ที่ทำการตอกเสาเข็มเสร็จเรียบร้อย

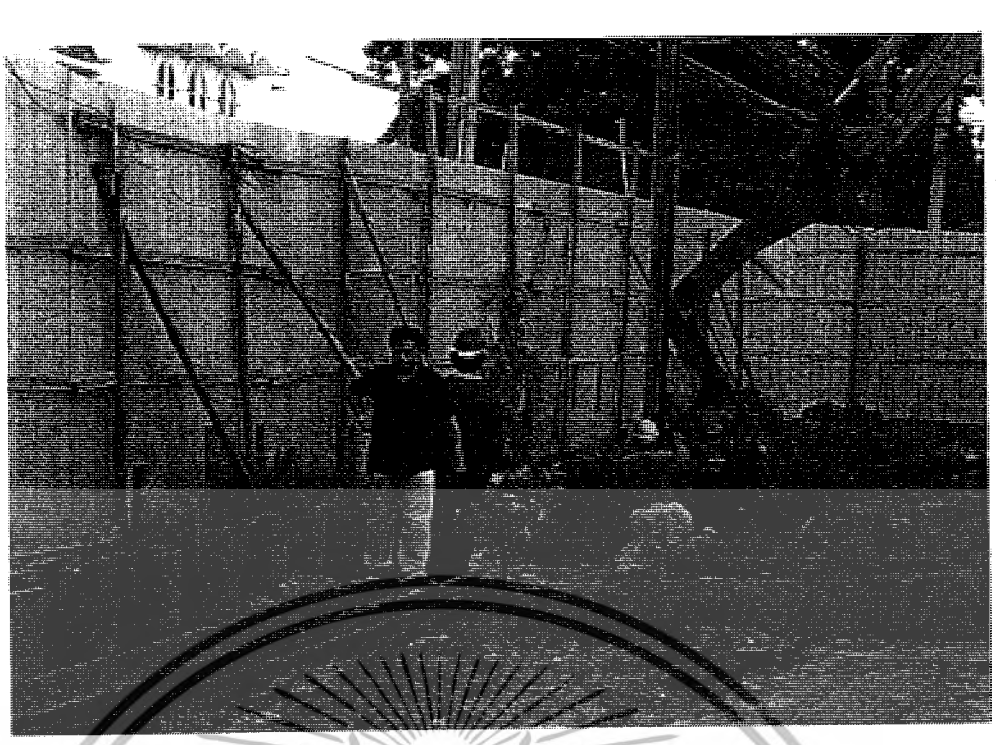
รูปที่ 3.2 การกองเก็บ Sheet pile เพื่อเตรียมติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 การใช้เครื่องจักรในการกด Sheet pile

รูปที่ 3.4 การเข้าเขี้ยวของ Sheet pile

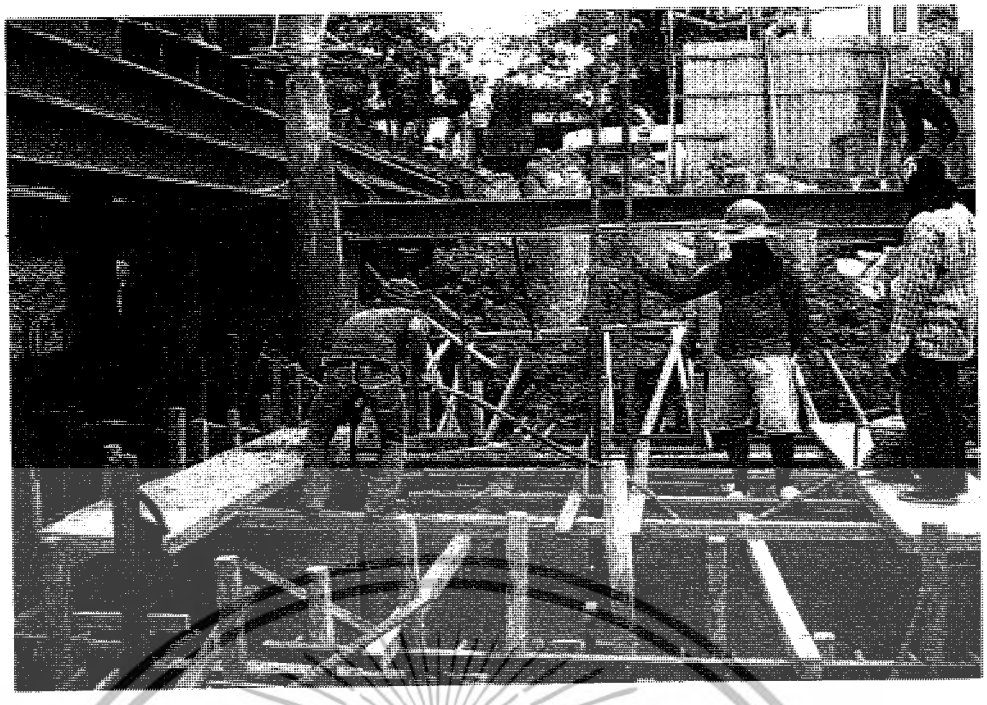
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



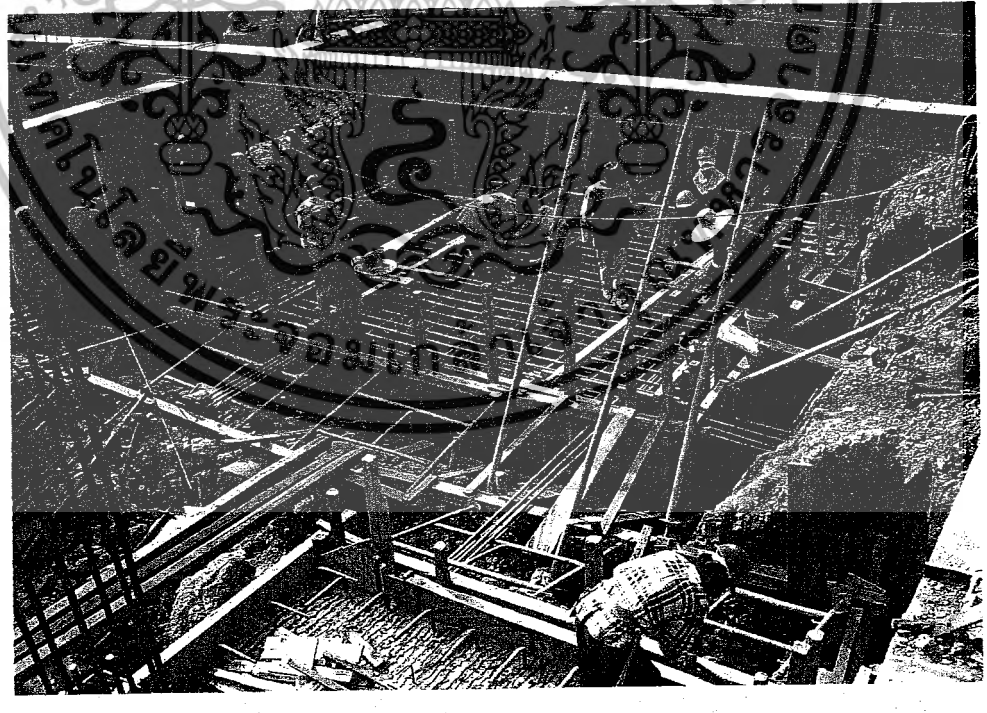
รูปที่ 3.5 ดำเนินการขุดดินหลังจากการตอก Sheet Pile รอบบริเวณเสร็จเรียบร้อย

รูปที่ 3.6 การทำระบบค้ำยัน Wale และ Strut

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

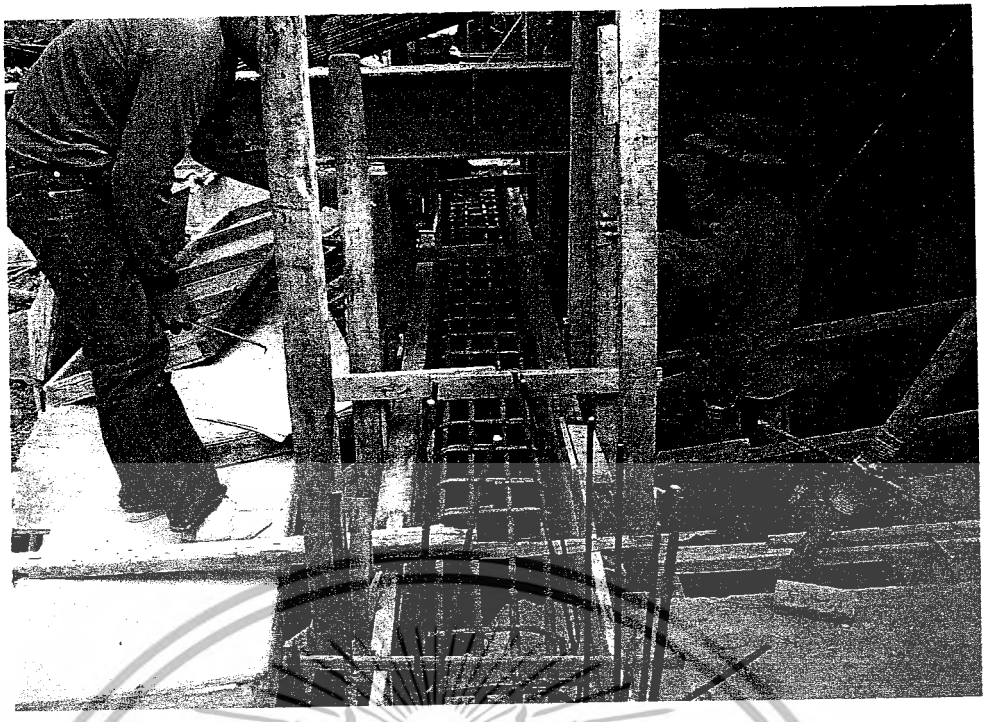


รูปที่ 3.7 เมื่อขุดดินหลังจากได้ระดับแล้ว ทำการการก่อสร้างคานและพื้น



รูปที่ 3.8 แสดงการทำงานขณะทำฐานราก

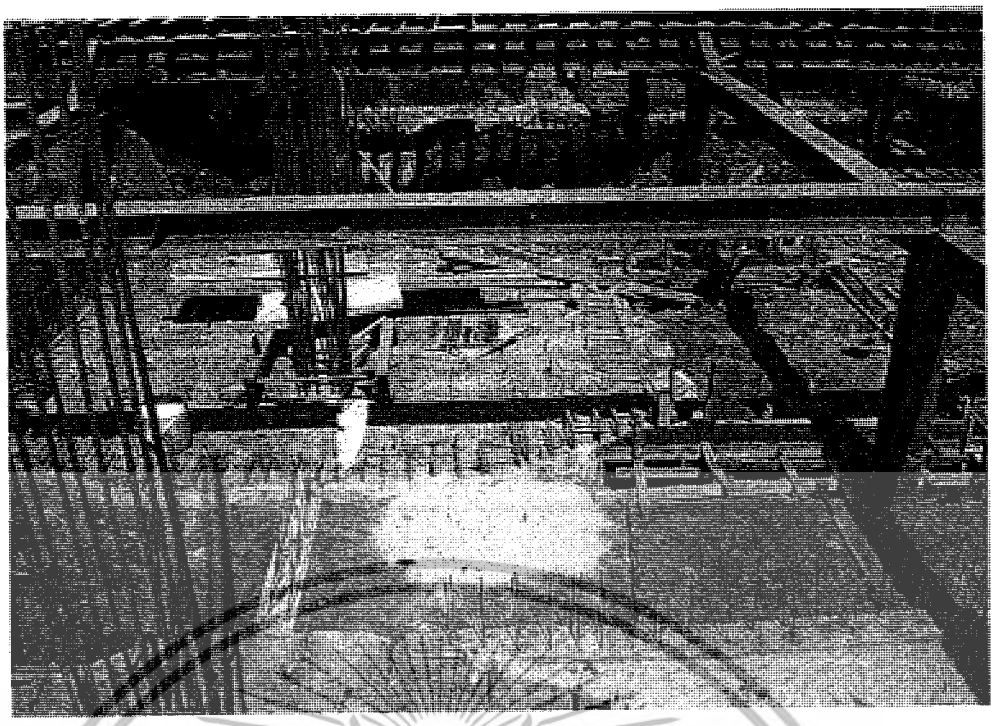
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงการทำงานขณะเทคานคอนกรีต

รูปที่ 3.10 การตัดหัวเสาเข็มก่อนทำตอม่อ และขึ้นเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ระบบกำแพงกันดินเสร็จสิ้น รอการก่อสร้างผนังชั้นใต้ดินต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างโครงการก่อสร้างของโครงการวิลล่า สิกขรา คอนโดมิเนียม

การดำเนินการตอก Steel Sheet Pile จะมีการแทนที่ของดินไม่มากนักถ้าเทียบกับ Concrete Sheet Pile แต่ก็ทำให้เกิดปัญหากับโครงสร้างที่สร้างอยู่บนผิวดิน โดยเฉพาะโครงสร้างที่ไม่มีเสาเข็มและฐานรากจะเกิดผลกระทบอย่างเห็นได้ชัดเจน

รูปที่ 3.12 ทางเท้าเสียหายเนื่องจากผลกระทบของแรงดันดินด้านข้าง

รูปที่ 3.13 รอยแยกของพื้นถนนบริเวณรอบโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 โครงการที่ทำการศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างโดยใช้ Pre-cast Concrete

3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องจักรในการติดตั้ง Steel Sheet Pile

วัสดุ : เข็ม Steel Sheet Pile ขนาด YSP U-23 400x170x5.5 เมตร

อุปกรณ์ :
- Pre-cast Concrete Sheet pile
- Steel Sheet Pile รูปตัว I

เครื่องจักร :
- รถขุดดิน (Back hoe)
- Y-Bowl
- Hydraulics Jack

บุคลากร :
- วิศวกร
- ช่างสำรวจ
- ช่างควบคุม
- คนงาน

3.2.2 ขั้นตอนการติดตั้ง Sheet pile

1. ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่และวางแนวเมื่อเตรียมพื้นที่ที่จะทำการตอก Sheet pile แล้ว ทำการวางแนวโดยการขึงเอ็นตามแนวที่วางไว้ตามแบบแปลน จากนั้นทำการขุดหน้าดินลึกประมาณ 1.00 เมตร และฉีดน้ำในส่วนที่ทำการเปิดหน้าดิน เพื่อให้ผิวหน้าดินมีความอ่อนตัว และสะดวกต่อการตอกเข็ม

2. การนำ Steel Sheet pile รูป ตัว I มาตอกนำโดยนำ Steel Sheet pile รูปตัว I ความยาว 7.00 เมตร นำมาตอกนำร่องเพื่อตรวจเช็คสภาพของดินเดิมว่ามีเข็มไม้หรือฐานรากเก่าหรือไม่ และทำให้สามารถตอก Sheet pile ได้ง่ายขึ้น ลดความเสียหายที่เกิดจากการแตกหักของตัวเข็ม ในการตอก Sheet pile ควรทำการถดจากแนวอาคารด้านในออกมาหาถนน เพื่อความสะดวก และไม่กีดขวางกับงานส่วน อื่นๆ

3. การลำเลียง Sheet pile มายังบริเวณที่จะทำการตอก ทำได้โดยการใช้ Backhoe ฉุดลากออกมาจากกองทีละต้น แล้วทำการสวมหัวครอบในการตอก

4. การตอกเข็ม Sheet pile เมื่อสวมหัวครอบเรียบร้อยแล้ว แล้วจะใช้ประคองตัวเข็ม Sheet pile ไปยังพื้นที ที่จะทำการตอก ซึ่งจะประคองตัวเข็มให้ตั้งฉากกับพื้นผิวที่จะทำการตอก จากนั้นนำ Vibro - Hammer มาจับที่หัวครอบแล้วทำการตอก Sheet pile ลงไป เมื่อตอกได้ความลึกระดับหนึ่งจึงทำการปลด Backhoe ที่ใช้ประคองออกแล้วตอกให้สุดความยาวของตัวเข็มทั้งหมด

5. การเทคอนกรีตรัดหัวเข็ม เมื่อทำการตอก Sheet pile เรียบร้อยแล้ว จึงทำการสกัดและประกอบแบบหล่อคอนกรีตรัดหัวเข็ม เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของเข็ม จากนั้นจึงทำการเทคอนกรีต และบ่มคอนกรีตไห้ได้ตามระยะเวลาที่กำหนด แล้วจึงทำการถอดแบบออก

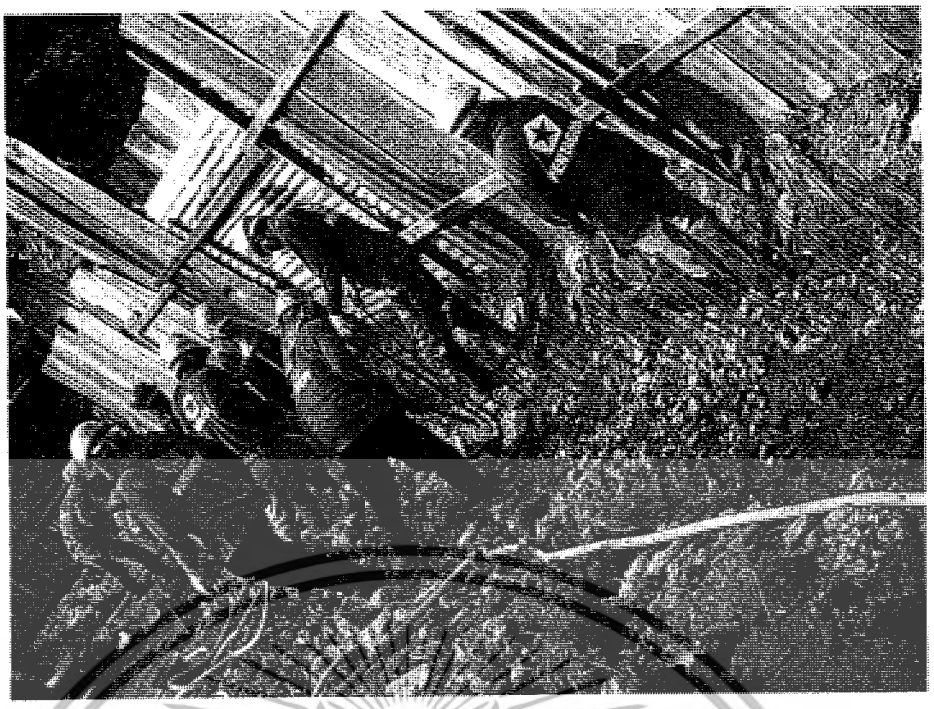
6. ทำการติดตั้ง เพื่อยึด Sheet pile ไม่ให้เกิดการโก่งตัวเนื่องจากแรงดันดินด้านข้าง ในการขุดดินที่ระดับที่จะทำการค้ำยัน(Bracing)จะต้องขุดดินให้มีระดับต่ำกว่าที่จะวาง Strut , Wale เพื่อสะดวกในการทำงาน ทำการค้ำยันเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 Concrete Sheet Pile ที่จะทำการตอกฝังเพื่อสร้างกำแพงกันดิน

รูปที่ 3.15 ปั้นจั่นตอก Concrete Sheet Pile

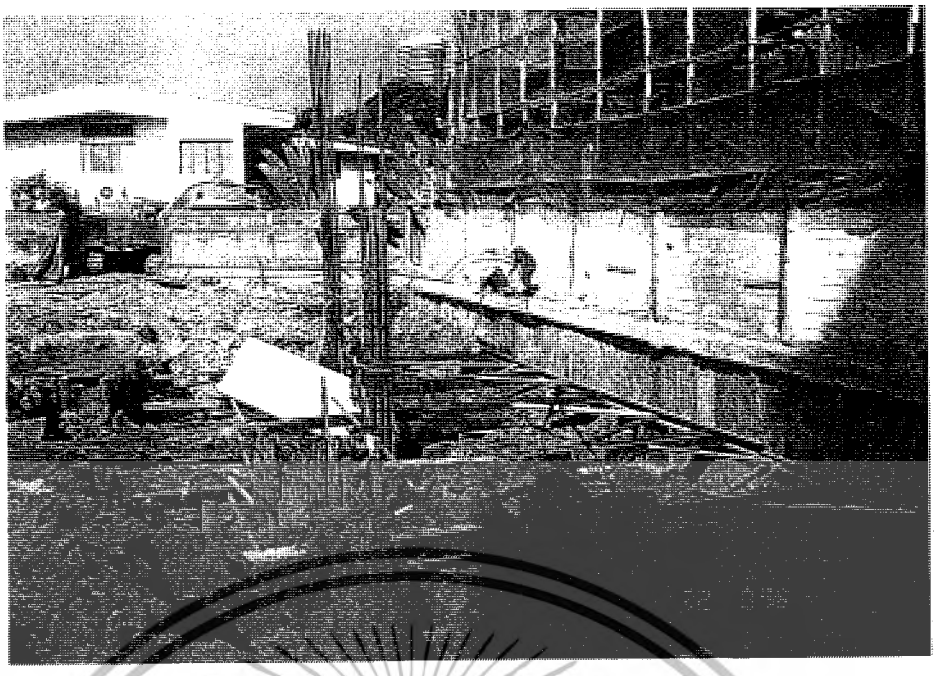
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



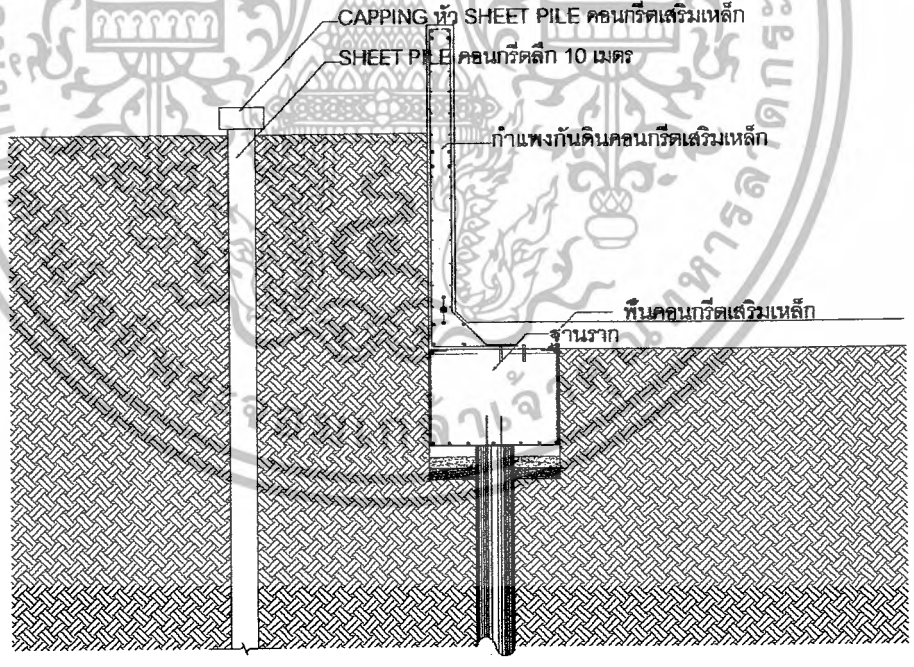
รูปที่ 3.16 การสกัดหัว Sheet pile เพื่อทำการเทคอนกรีตรัดหัวเข็ม

รูปที่ 3.17 การเทคอนกรีตรัดหัวเข็มเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของหัวเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

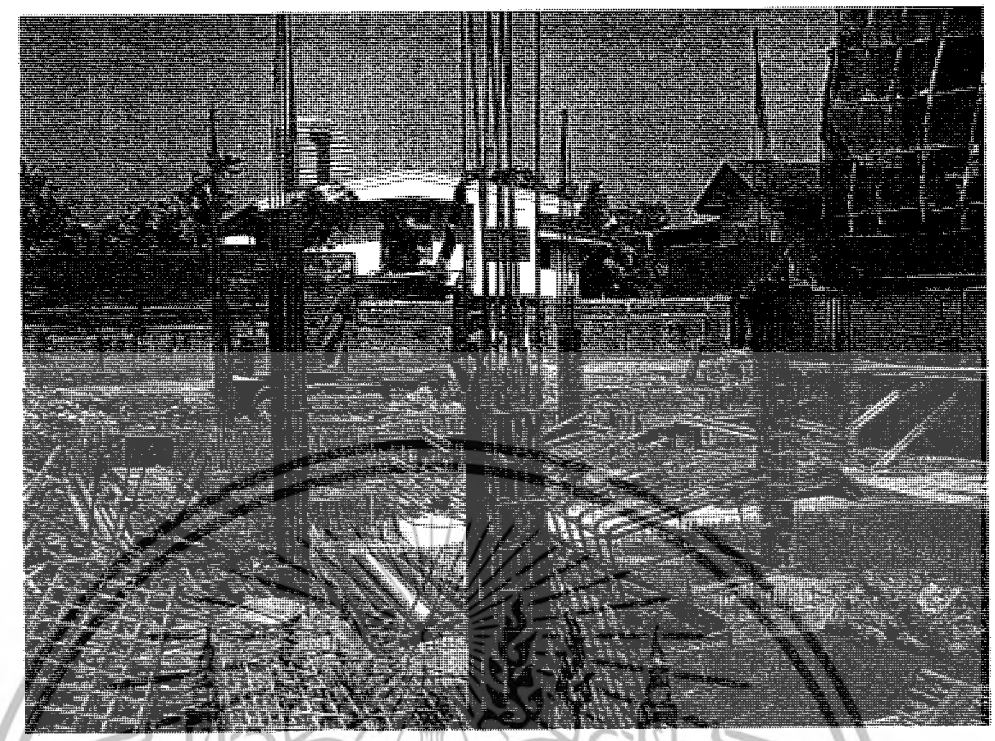


รูปที่ 3.18 การ Bracing กับเข็มพืดไม้หรือเหล็ก



รูปที่ 3.19 ลักษณะของการก่อสร้าง Concrete Sheet Pile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การผูกเหล็ก ขึ้นเสา และพื้นของชั้นใต้ดิน

รูปที่ 3.21 ขั้นตอนการก่อสร้างกำแพงของอาคาร โดยการเสริมเหล็กให้ผนังสามารถรับแรงเฉือนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างโครงการดับเบิ้ล ทรีส์ เซอร์วิส อพาร์ทเมนต์

แรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากโครงการก่อสร้างนี้ได้ส่งผลกระทบไปยังสิ่งปลูกสร้างในบริเวณข้างเคียง ทำให้เกิดการแตกร้าวละทรุดพัง ทั้งนี้ปัญหาเกิดจากผู้ออกแบบไม่ได้คำนึงถึงสิ่งปลูกสร้างในบริเวณใกล้เคียงเป็นบ้านพักอาศัยสองชั้น ที่มีเสาเข็มสั้นเป็นฐานราก และคำนวณน้ำหนักบรรทุก (Surcharge) ที่เกิดจากอาคารในบริเวณโดยรอบโครงการผิดพลาด

รูปที่ 3.22 เกิดการแตกร้าวที่สระน้ำหน้าบ้านที่อยู่ใกล้กับโครงการก่อสร้าง

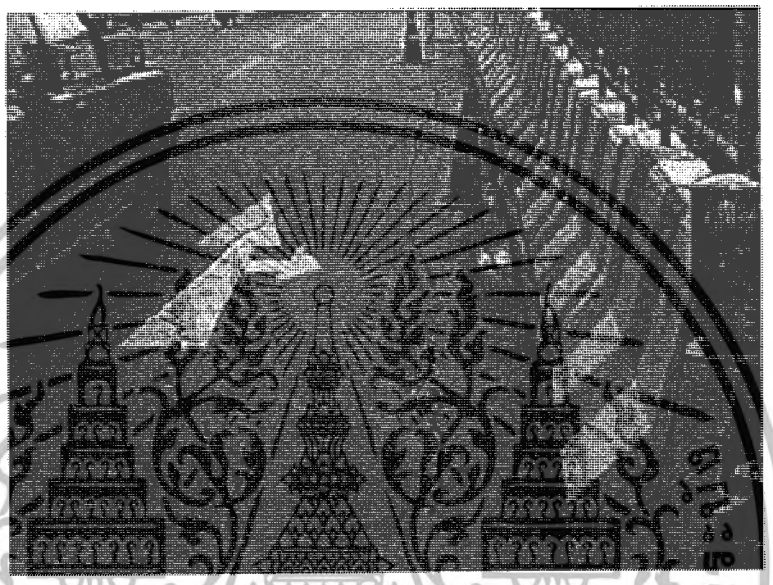
รูปที่ 3.23 เกิดรอยแยกที่พื้นบ้านที่อยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่โครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การตรวจสอบผลการก่อสร้างในระหว่างการทำงาน

3.3.1 การตรวจวัดโดยการสังเกตการณ์

ขณะทำการก่อสร้างจำต้องทำการสังเกตโดยเบื้องต้น เช่นดูปริมาณฝุ่นด้วยสายตา ตรวจสอบความดังเสียด้วยการฟัง ตรวจสอบแรงสั่นสะเทือนด้วยความรู้สึก และสังเกตโครงสร้างข้างเคียงว่ามีสิ่งที่ผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่ เช่น ในงานขุดดิน คอยคอยสังเกตดูระบบค้ำยันและถนนโดยรอบโครงการว่ามีการทรุดตัวเกิดขึ้นหรือไม่ถ้าเกิดดังตัวอย่างในรูปที่ 9 ก็ต้องหาสาเหตุเพื่อแก้ไขต่อไป



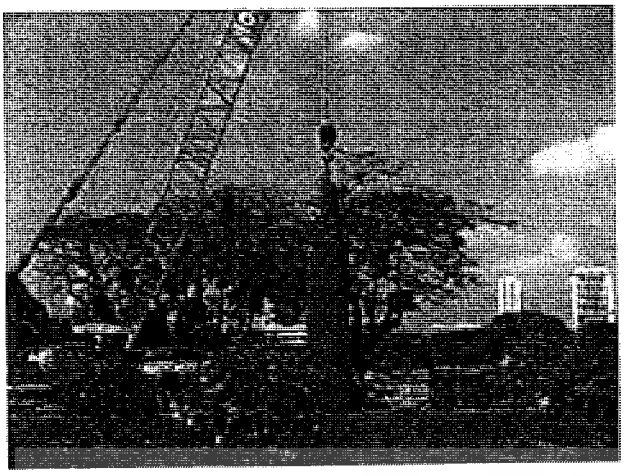
รูปที่ 3.24 การทรุดตัวของถนนรอบบ่อขุดซึ่งเป็นผลต่อเนื่องจากการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

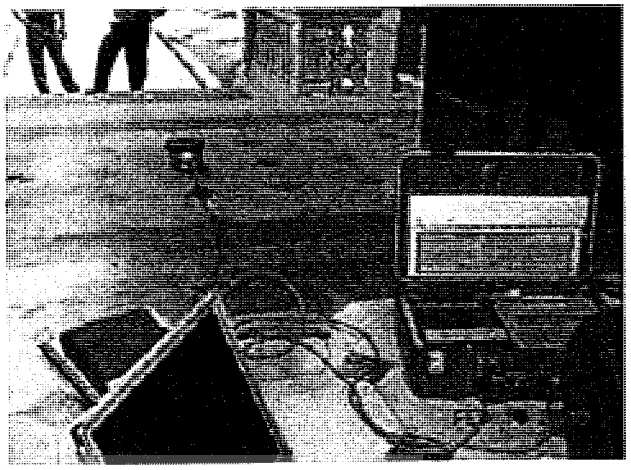
3.3.2 การตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือวัด

1. การตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือน (Vibration Test)

การตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนเป็นการตรวจวัดค่าความเร็วคลื่นอนุภาคสูงสุด (Peak Particle Velocity, PPV) ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน (Vibration Monitor) ดังแสดงในรูปที่ 10 โดยติดตั้งหัวสัญญาณแบบ3 ทิศทาง ค่าความสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดได้จะถูกบันทึกและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์หาค่าช่วงความถี่ของการสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

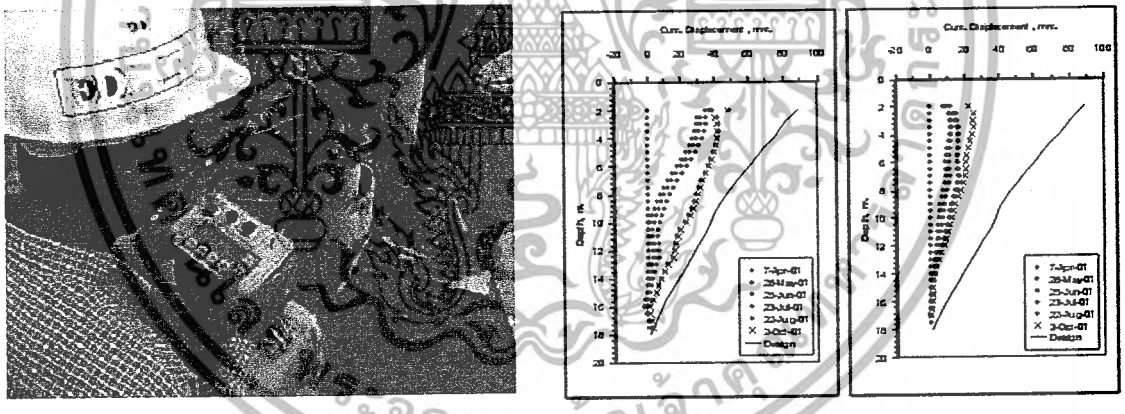




รูปที่ 3.25 การทดสอบวัดค่าความสั่นสะเทือนของอาคารประวัติศาสตร์ในขณะทำการลงปลอกเหล็กชั่วคราว

2. การวัดการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของกำแพงดินไม่ว่าจะเป็นกำแพง Sheet Pile กำแพง Diaphragm Wall หรือกำแพงแบบ Secant Pile จะใช้เครื่องมือตรวจวัดที่เรียกว่า Inclinometer ดังตัวอย่างรูปที่ 11 ค่าการเคลื่อนตัวที่วัดได้ใช้สอบทานความถูกต้องในการออกแบบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ นอกจากนั้นผลที่ได้จากการวัดยังสามารถบ่งบอกถึงแนวโน้มการทรุดตัวของผิวดินบริเวณโดยรอบบ่อขุดได้



รูปที่ 3.26 การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินโดยใช้เครื่อง Inclinometer

3. การตรวจวัดการทรุดตัวที่ผิวดิน

การตรวจวัดการทรุดตัวของผิวดินด้วย Settlement Plate ซึ่งเป็นชุดอุปกรณ์วัดการทรุดตัวในแนวดิ่ง การติดตั้งควรจะเลือกติดตั้ง Plate ตามระยะห่างจากพื้นที่ก่อสร้างที่ได้ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวทางทฤษฎีสูง การติดตั้ง Settlement plate ที่เหมาะสมควรจะติดตั้งตามตำแหน่งที่สามารถสร้างรูปตัดการทรุดตัวเทียบกับระยะห่างของพื้นที่ก่อสร้างได้ ดังแสดงในรูปที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.27 การติดตั้ง Settlement plate เพื่อวัดค่าการทรุดที่ผิวดิน

3.3.3 การกำหนดระดับความระมัดระวังในการทำงาน (Trigger Level)

ในการขุดดินซึ่งมีการติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ เช่นติดตั้ง Inclinometer วัดการเคลื่อนตัวของกำแพงหรือติดตั้ง Settlement Plate เป็นวัดค่าการทรุดตัวในแนวดิ่ง เพื่อสอบทานค่าการออกแบบกับค่าที่วัดได้จริงในสนาม ต้องกำหนดระดับความระมัดระวังในการทำงาน (Trigger Level) เพื่อเป็นบรรทัดฐานในการควบคุมงาน โดยกำหนดเป็น 3 ระดับ (วันชัย, 2545) คือ

1. Alert Level คือระดับความระมัดระวังเมื่อค่าที่วัดได้จริงมีค่ามากกว่า 70 % ของค่าที่วิเคราะห์ได้ทางทฤษฎี ในระดับนี้ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายต้องทำการตรวจสอบขั้นตอนการก่อสร้าง

2. Alarm Level คือระดับความระมัดระวังเมื่อค่าที่วัดได้จริงมีค่ามากกว่า 80 % ของค่าทีj วิเคราะห์ได้ทางทฤษฎี ในระดับนี้ผู้เกี่ยวข้องต้องปรึกษากับผู้ออกแบบเพื่อความมั่นใจว่าระบบการก่อสร้างมีความปลอดภัยและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างข้างเคียง

3. Action Level คือระดับความระมัดระวังเมื่อค่าที่วัดได้จริงมีค่ามากกว่า 90 % ของค่าที่วิเคราะห์ได้ทางทฤษฎี ในระดับนี้ต้องหยุดการก่อสร้างเพื่อตรวจสอบความปลอดภัยและผลกระทบต่อพื้นที่ประวัติศาสตร์และพื้นที่ข้างเคียงอย่างละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 รายละเอียดของโครงการที่ทำการศึกษา

4.1.1 โครงการก่อสร้างที่ใช้ระบบ Steel Sheet Pile

โครงการวิลล่า สิกขรา คอนโดมิเนียม ทองหล่อ 25 (Villa Sikhara Condominium Thonglor 25)

ที่ตั้งโครงการ:	ซอยทองหล่อ 25 ถนนสุขุมวิท 55 (ทองหล่อ) กรุงเทพฯ ห่างจากสถานีรถไฟฟ้า BTS ทองหล่อ ประมาณ 1.7 กิโลเมตร
ประเภทโครงการ:	คอนโดมิเนียม สูง 7 ชั้น พร้อมชั้นใต้ดิน 1 ชั้น จำนวน 1 อาคาร
เนื้อที่โครงการ:	1 ไร่ 2 งาน 20 ตร.ว.
ประเภทห้อง:	1-2 ห้องนอน
พื้นที่ใช้สอย:	98.7-135.5 ตร.ม.
จำนวนห้อง:	64 ยูนิต
ราคาเริ่มต้น:	8-13 ล้านบาท (90,000-96,000 บาท/ตร.ม.)
เจ้าของโครงการ :	บริษัท สิกขรา โคโตบูกิ พร็อพเพอร์ตี้ จำกัด

4.1.2 โครงการก่อสร้างที่ใช้ระบบ Pre-cast Concrete Sheet Pile

โครงการดับเบิ้ล ทรีส์ เซอร์วิส อพาร์ทเมนต์

ที่ตั้งโครงการ:	เลขที่ 27/3-4 ซอยพร้อมพรรค ถนนสุขุมวิท แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร
ประเภทโครงการ:	อาคารพักอาศัย 9 ชั้น มีชั้นจอดรถใต้ดิน
พื้นที่ก่อสร้าง:	9,500 ตารางเมตร
เจ้าของโครงการ :	บริษัทดับเบิ้ล ทรีส์ พร็อพเพอตีส์

4.2 ผลการศึกษาในด้านระยะเวลาการก่อสร้าง

- การก่อสร้างผนังกันดินของโครงการดับเบิ้ลทรีส์ เซอร์วิส อพาร์ทเมนต์	5	สัปดาห์
- การก่อสร้างผนังกันดินของโครงการวิลล่า สิกขรา คอนโดมิเนียม	4	สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการศึกษาในด้านราคาค่าก่อสร้าง

ตาราง 4.1 เปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้างในด้านต่างๆ

	ในการตีตอก Steel Sheet Pile แบบปิดหัว					ในการตีตอก Steel Sheet Pile แบบปิดหัว					ในการตีตอก Steel Sheet Pile แบบปิดหัว				
	Strut	King post	Wale	Sheet Pile	Sleeper	Strut	King post	Wale	Sheet Pile	Sleeper	Strut	King post	Wale	Sheet Pile	
จำนวน	775.87	57	383.73	532	408.89	775.87	57	383.73	532	408.89	217	240	200	434	
Section	350X350 X12X19	350X350 X12X19	400X400 X13X18	400X175 X14.7	300X300 X10X15	350X350 X12X19	350X350 X12X19	400X400 X13X18	400X175 X14.7	300X300 X10X15	350X350 X12X19	350X350 X12X19	400X400 X13X18	250x90x10	
จำนวนเสเปอร์	4		4		4	4		4		4	1		1		
หน่วยน้ำหนัก	548	137	688	74	376	548	137	688	74	376	137	137	172		
น้ำหนัก ตัน	425.177	78.00	264.006	393.68	153.743	425.177	78.00	264.006	393.68	153.743	29.729	35.62	34.4	1302	
ค่าเช่า ราคา/หน่วยน้ำหนัก บาท/ตัน/วัน	30.56	30.56	30.56	30.56	30.56	30.56	30.56	30.56	30000	30.56	30.56	30.56	30.56		
ค่าบุคลากร โกดัง บาท/ตัน	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
ค่าขนส่ง ไป ราคา/หน่วยน้ำหนัก บาท/ตัน	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320		
ค่าขอด บาท/ตัน	1333.33	1333.33	1333.33	1333.33	1333.33	1333.33	1333.33	1333.33	1333.33	1333.33	1333.33	1333.33	1333.33	7200	
ค่าทำความสะอาด บาท/ตัน	250	250	250	250	250	250	250	250		250	250	250	250		
ค่าบดขึ้น บาท/ตัน	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
ค่าขนส่งจากสัน บาท/ตัน	320	320	320	320	320	320	320	320		320	320	320	320		
ค่าประกัน บาท/ตัน	2500000	2500000	2500000	2500000	2500000	2500000	2500000	2500000		2500000	2500000	2500000	2500000		
จำนวนวัน	30	30	30	30	30	30	30	30	1	30	36	36	36		
ราคารวม	1377027.875	253021.7517	855414.5384	1275574.378	408146.1401	1377027.875	253021.7517	855414.5384	1446050.95	408146.1401	101776.8342	121944.7138	117648.056	3,124,800.00	
รวมทั้งหมด	4259784.784					17453261.36					3466239.704				
ราคาต่อหน่วยพื้นที่ (บาท/ตารางเมตร)	173453					710647									

หมายเหตุ ในการประมาณราคา ไม่รวมค่าขนส่งและค่าชดใช้ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้าง

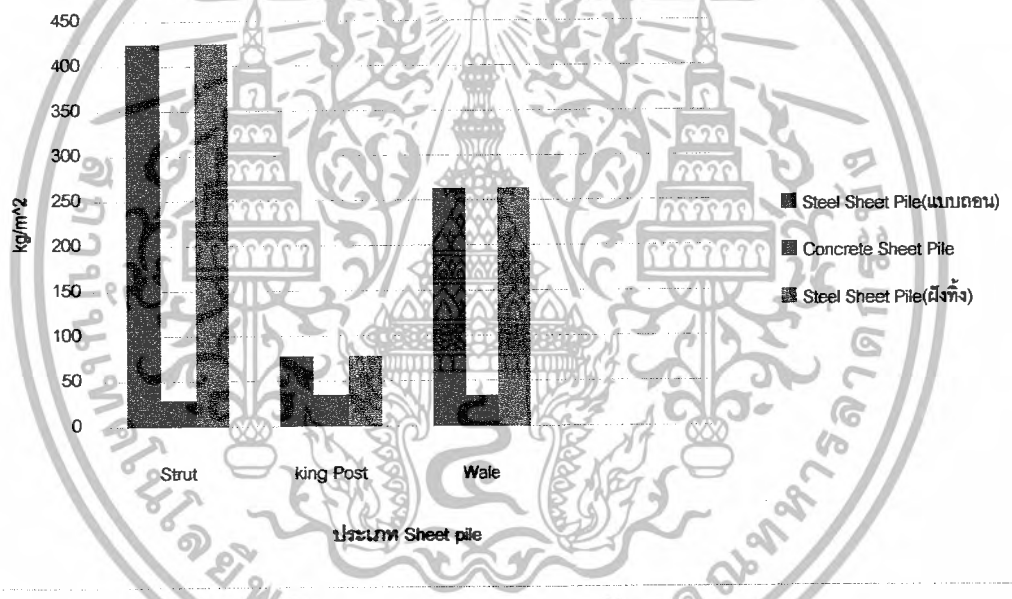
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเปรียบเทียบผลการศึกษา

4.4.1 เปรียบเทียบผลการศึกษาทางด้านราคาระบบค้ำยัน

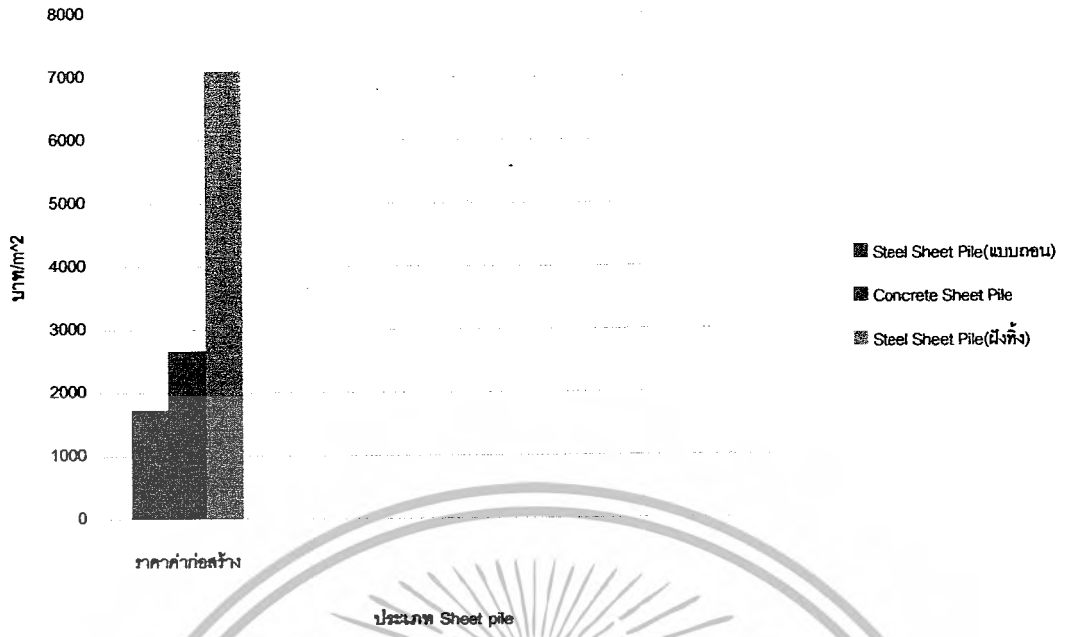
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการศึกษาราคาระบบค้ำยัน

ระบบค้ำยัน					
โครงการ	Strut (kg)	King post (kg)	Wale (kg)	TOTAL (kg)	จำนวนต่อพื้นที่ g/m^2
โครงการ VILLA SIKHARA	425.177	78.09	264	767.267	293.1328396
โครงการ Double Tree	29.729	35.62	34.4	99.749	70.71889401
ในกรณีตอก Steel Sheet Pile แบบฝังทิ้ง	425.177	78.09	264	767.267	29971.36719



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบปริมาณค้ำยันของโครงการก่อสร้าง ของค้ำแพงกันดิน 3 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบราคาในการก่อสร้าง Sheet pile ในระบบต่าง ๆ

รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบระยะเวลาในการก่อสร้าง Sheet pile ในระบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการเปรียบเทียบจากกราฟ

Criteria	Steel Sheet Pile แบบฝังทิ้ง	Steel Sheet Pile ถอน	Pre-cast Concrete
ด้านราคาในการก่อสร้าง	สูงที่สุด	น้อยที่สุด	ปานกลาง
ระยะเวลาในการก่อสร้าง	น้อย กว่าแบบที่ถอนแล้วต้องถอน เพราะไม่ต้องเสียเวลาในการถอน	น้อย กว่าแบบ concrete sheet pile เพราะไม่ต้องทำการ capping	มากกว่า แบบ steel sheet Pile เพราะต้องทำการ capping

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลของการศึกษาพบว่าการก่อสร้างกำแพงกันดินในระบบ Steel Sheet Pile และ Pre-cast Concrete Sheet Pile มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้ออกแบบการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินควรพิจารณาการออกแบบก่อสร้างตามลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ก่อสร้าง อาคารที่อยู่ใกล้เคียงที่อาจเกิดผลกระทบจากการก่อสร้าง ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยในการทำงานควรมีการติดตาม ควบคุมการทำงานทุกขั้นตอน และการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของดินไม่ให้เกินกว่าค่าที่พอรับได้

5.2 สรุปข้อเปรียบเทียบของกำแพงกันดินระบบ Sheet pile

ตาราง 5.1 สรุปข้อเปรียบเทียบของกำแพงกันดินระบบ Sheet pile

ระบบกำแพงกันดิน	ข้อดี	ข้อเสีย
Pre-cast concrete	1. สามารถปฏิบัติงานในโครงการก่อสร้างใต้ดินได้เร็ว 2. ขั้นตอนในการทำไม่ยุ่งยาก เนื่องจากไม่ต้องรื้อถอน 3. สามารถช่วยรับแรงดันดินด้านข้างให้แก่ผนังชั้นใต้ดินอีกชั้นหนึ่ง	1. การใช้งาน Pre-cast Concrete Sheet Pile ยังมีข้อจำกัดและระบบนี้ไม่ควรเลือกใช้เมื่อเป็นการก่อสร้างชั้นใต้ดินเมื่อมีระดับความลึกเกินกว่า 10 เมตร 2. ในขั้นตอนการตอก Pre-cast Concrete Sheet Pile เกิดแรงสั่นสะเทือนทำให้อาคารที่อยู่ใกล้เคียงได้รับความเสียหายมากซึ่งมีผลมากกว่าการใช้กำแพงกันดินระบบ Steel Sheet Pile
Steel	1. สามารถปฏิบัติงานในขั้นตอนการติดตั้งได้รวดเร็ว เนื่องจากสามารถกดลงในชั้นดินได้สะดวกกว่า Pre-cast Concrete Sheet Pile 2. ในขั้นตอนการกด Sheet Pile เกิดแรงสั่นสะเทือนน้อยกว่า เนื่องจากมีหน้าตัดที่เล็กกว่ามาก 3. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อยกว่า เนื่องจากเป็นการเช่าเหล็ก และมีการถอนเมื่อทำชั้นใต้ดินเสร็จ	1. ความแข็งแรงของ Steel Sheet Pile มีน้อยกว่า Pre-cast Concrete Sheet Pile หากมีการก่อสร้างในระดับชั้นใต้ดินที่ลึกมาก จะเกิดการโก่งงอของ Steel Sheet Pile 2. มีการทรุดตัวของดินบริเวณสถานที่ก่อสร้างเกิดขึ้น เนื่องจากเกิดช่องว่างของดินเมื่อทำการถอน Steel Sheet Pile ถึงแม้ว่าจะมีการป้องกันโดยการถมดินหรือทรายลงไปในบริเวณช่องว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ในการใช้ระบบกำแพงกันแต่ละประเภทเครื่องมีการติดตั้งเครื่องวัดการเคลื่อนตัวของดินหรือวัดการทรุดตัวของดินไว้เสมอเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับสิ่งก่อสร้างที่อยู่ใกล้เคียง

5.4.2 ศึกษากฎหมายในการก่อสร้างและการขออนุญาตก่อสร้างอย่างละเอียด เนื่องจากการก่อสร้างชั้นใต้ดินมีกฎหมายบังคับบางประการ

5.4.3 การรับแรงของกำแพงกันดินนั้น พื้นที่หน้าตัดของกำแพงกันดินก็มีส่วนสำคัญที่ทำให้กำแพงกันดินแต่ละประเภทสามารถรับแรงได้ต่างๆ กัน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาลักษณะ หรือคุณสมบัติของหน้าตัด Sheet pile ที่จะนำมาใช้งานให้ละเอียดถี่ถ้วน

5.4.4 ในการออกแบบควรคำนึงถึงลักษณะฐานรากของอาคารที่อยู่โดยรอบโครงการก่อสร้างเพื่อป้องกันผลกระทบที่จะเกิดจากแรงสั่นสะเทือนและการเคลื่อนตัวของดินซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออาคารใกล้เคียงก่อสร้างด้วยเสาเข็มสั้น

5.4.5 การก่อสร้างกำแพงกันดินโดยระบบ Sheet pile นั้น เหมาะสมกับการก่อสร้างชั้นใต้ดินลึกไม่เกิน 10 เมตรเท่านั้น หากต้องการก่อสร้างชั้นใต้ดินที่มีความลึกมากกว่า 10 เมตรขึ้นไป แนะนำให้ทำการก่อสร้างโดยใช้กำแพงกันดินระบบ Rigid Wall เช่น Diaphragm wall เพราะจะช่วยลดผลกระทบที่จะเกิดการสั่นสะเทือนและการวิบัติของ Sheet pile เนื่องจากการโก่งตัวของ Sheet pile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

วิชาญ ภู่พัฒน์,**"สภาพทางปฐพีและฐานรากภาคกลางและกรุงเทพ".**วิศวกรรมฐานราก 46,วสท,(2546)

ผศ.ร.ต.หญิง วรรณี ศุขสาตร , "" **วิศกรรมฐานราก FOUNDATION ENGINEERING** , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

รศ.ดร. วันชัย เทพรักษ์ , **"การออกแบบและก่อสร้างชั้นใต้ดินลึกในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานคร"**, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะทำงานจัดการความรู้, **"การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง"**, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549

วิสูตร จิระดำเกิง,ผู้ช่วยศาสตราจารย์, **"สัญญา ข้อกำหนดและการประมาณราคาก่อสร้าง"**,สำนักพิมพ์วรรณกวี, กรุงเทพมหานคร, 2549

กิตติพงษ์ หนูห่วง และ สุมาลี แต้ประเสริฐ, **"การศึกษาเปรียบเทียบระบบกำแพงกันดินระหว่าง Diaphragm Wall กับ Secant pile Wall"**, ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง, ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์,คณะวิศวกรรมศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2537

สมโชค สูนสมงาน จุฑาทิพย์ เมืองสูง และอุษาวดี จุมปาหลวง, **"กรณีศึกษาขั้นตอนการผลิตและการติดตั้งเข็ม L-Pile Concrete"**, ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมโยธาและเทคโนโลยี , วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2550

ชลชาสน์ ลิ้มสิริทวีทรัพย์ ราชันย์ แย้มขัง และสุนันทา เสสล, **"การศึกษาเทคนิคการก่อสร้างกำแพงกันดินด้วยระบบเข็มพืด"**, ปริญญานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยีโยธา, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2547

ระบบป้องกันดินเคลื่อนตัวในการก่อสร้างอาคารใต้ดิน บทความในเวบไซต์ของบริษัท ช. การช่าง http://www.ch-karnchang.co.th/articles_th.php?option=detail&nid=7

บทเรียนออนไลน์ Foundation Engineering ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนhttp://www.civil2.eng.kps.ku.ac.th/ecourse_files/foundation/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

รายงานการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการก่อสร้างชั้นใต้ดินอาคารคับเบิ้ล ทรีส์ เซอร์วิส อพาร์ทเมนต์

โดย

นายวิบูลย์ วุฒิญาณ

วิศวกรควบคุมงาน

บริษัทเพ็นตากอนวิศวกรรมจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงาน

การศึกษาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารข้างเคียง

เนื่องจากการก่อสร้างชั้นใต้ดิน อาคารดับเบิ้ลทรีส์เซอร์วิส อพาร์ทเมนต์

พร้อมการแก้ไข และข้อสรุปในปัจจุบัน

ซอยพร้อมพรรค แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ

โดย

นายวิบูลย์ วุฒิญาณ สย.7946

วิศวกรควบคุมงาน

มิถุนายน 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
1. ความเป็นมา	1
2. สภาพการดำเนินการก่อสร้าง	3
3. สาเหตุของปัญหา	12
4. วิเคราะห์ และประเมินความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตกับอาคารข้างเคียง	14
5.สรุป	16
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความเป็นมา

บริษัท ดับเบิลทรีส์ พร็อพเพอตีส์ จำกัดได้ว่าจ้างให้ บริษัท เพ็นทากอนวิศวกรรม จำกัดให้ทำการก่อสร้าง อาคารพักอาศัย 8 ชั้น มีชั้นจอดรถใต้ดิน โครงการดับเบิลทรีส์ เซอร์วิส อพาร์ทเมนต์ ที่ เลขที่ 27/3-4 ซอยพร้อมพรรค ถนนสุขุมวิท แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร ซึ่งเดิมเป็นบ้านพักอาศัย 2 ชั้น จำนวน 2 หลัง มีพื้นที่อาคารโดยรอบคือ

พื้นที่ก่อสร้าง คือ

1.1 ด้านหน้าโครงการฝั่งซ้าย เป็นอพาร์ทเมนต์ให้เช่าสูง 9 ชั้น

1.2 ด้านหน้าโครงการฝั่งขวา เป็นบ้านพักอาศัย คอนกรีตเสริมเหล็กสูง 2 ชั้นของคุณจรูญ พุ่มดอกไม้ สข.เขตวัฒนา

1.3 ด้านข้างโครงการฝั่งซ้าย เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้นกำลังก่อสร้าง

1.4 ด้านข้างโครงการฝั่งขวา เป็นอาคารพักอาศัย 1 ชั้นของคุณชาญ เชาวิศิษฐ์

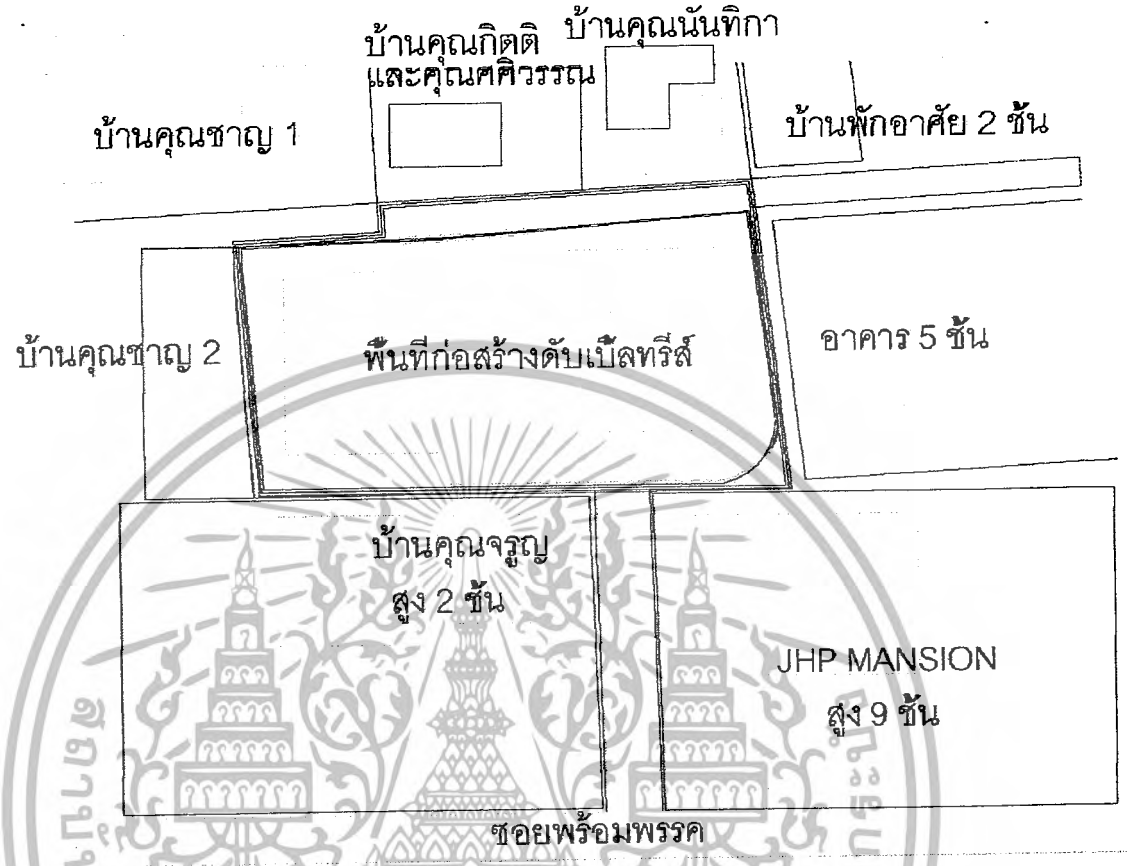
1.5 ด้านหลังโครงการ

1.5.1 เป็นบ้านพักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้น ของคุณชาญ เชาวิศิษฐ์

1.5.2 เป็นบ้านพักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้น ของคุณกิตติ ภัทราประยูร และคุณศศิวรรณ ศรุติพรหม

1.5.2 เป็นบ้านพักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้น ของคุณนันทิกา จอร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แสดงพื้นที่ก่อสร้าง และบริเวณรอบข้าง

ได้มีการทำเข็มเจาะ ในพื้นที่โครงการ และมีการตอก concrete sheet pile โดยรอบโครงการ มีการทำ concrete capping บนหัว concrete sheet pile และมีการขุดดินทำชั้นใต้ดิน มีผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือน และเกิดการเคลื่อนไหวของดิน ทำให้อาคารที่อยู่ข้างเคียงมีรอยแตกร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สภาพการดำเนินการก่อสร้าง

2.1 ขั้นตอนการก่อสร้าง

2.1.1 ได้เริ่มต้นที่งานทำเข็มเจาะ เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบ กับเพื่อนบ้านที่เป็นบ้านเก่าแก่ ที่มีอยู่โดยรอบซึ่งคาดว่ามีฐานรากเป็นระบบเข็มสั้น จึงยอมเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้น โดยใช้เข็มเจาะแทนที่จะใช้เข็มตอก ซึ่งแข็งแรงกว่าและราคาถูกกว่ามาก งานเสาเข็มเป็นงานเข็มเจาะ ระบบแห้ง(Dry process) มี 2 ขนาด คือเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เมตร และ 0.60 เมตร โดยมีความลึกจากระดับดินเดิม (level+0.00) 19 - 20 เมตร

2.1.2 ในช่วงปลายของการทำเสาเข็มเจาะ ได้เริ่มงานทำกำแพงกันดิน เป็นกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กชั่วคราว มีขนาดแผ่น กว้าง 50 ซม.หนา 25 ซม. ยาว(ลึก) 10 เมตร

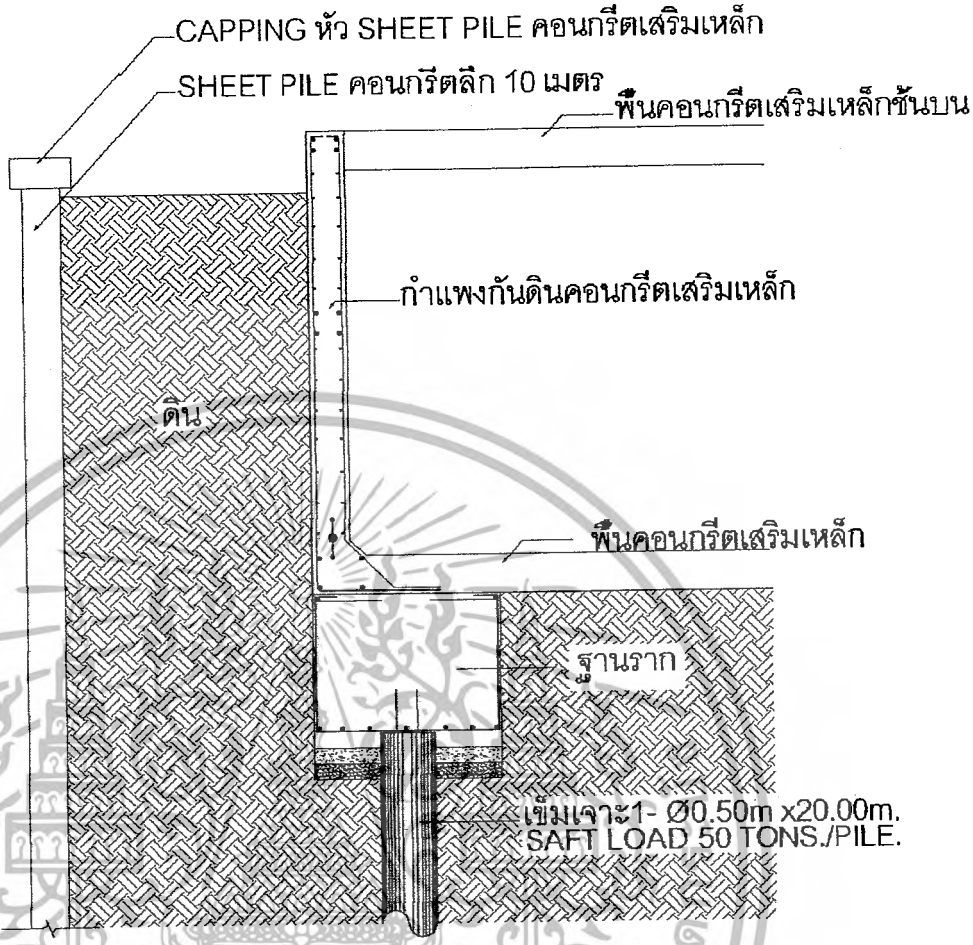
2.1.3 มีการขุดดินเพื่อทำผนังใต้ดิน

2.1.4 โดยมีการค้ำยันที่กำแพงกันดิน

2.1.5 พบว่ามีการเคลื่อนตัวของดินโดยรอบ แปลงที่ดิน

2.1.6 ได้มีการระมัดระวังป้องกัน ในขณะเดียวกันได้มีการเข้าไปตรวจดูบ้านที่ได้รับความเสียหาย

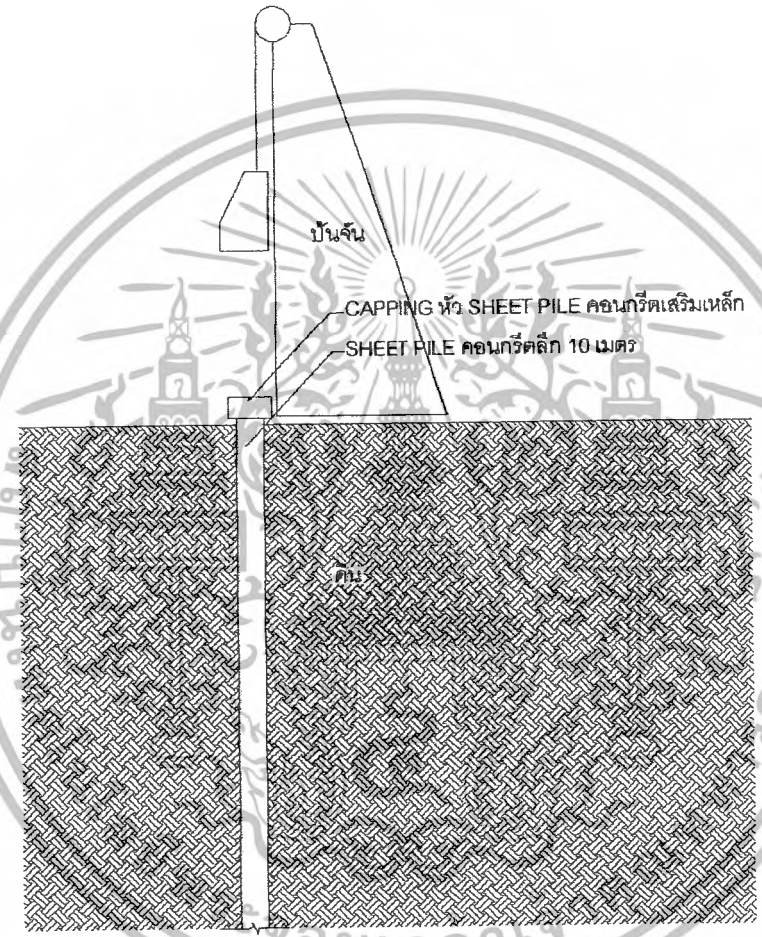
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงระบบงานเข็ม ฐานราก และชั้นใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

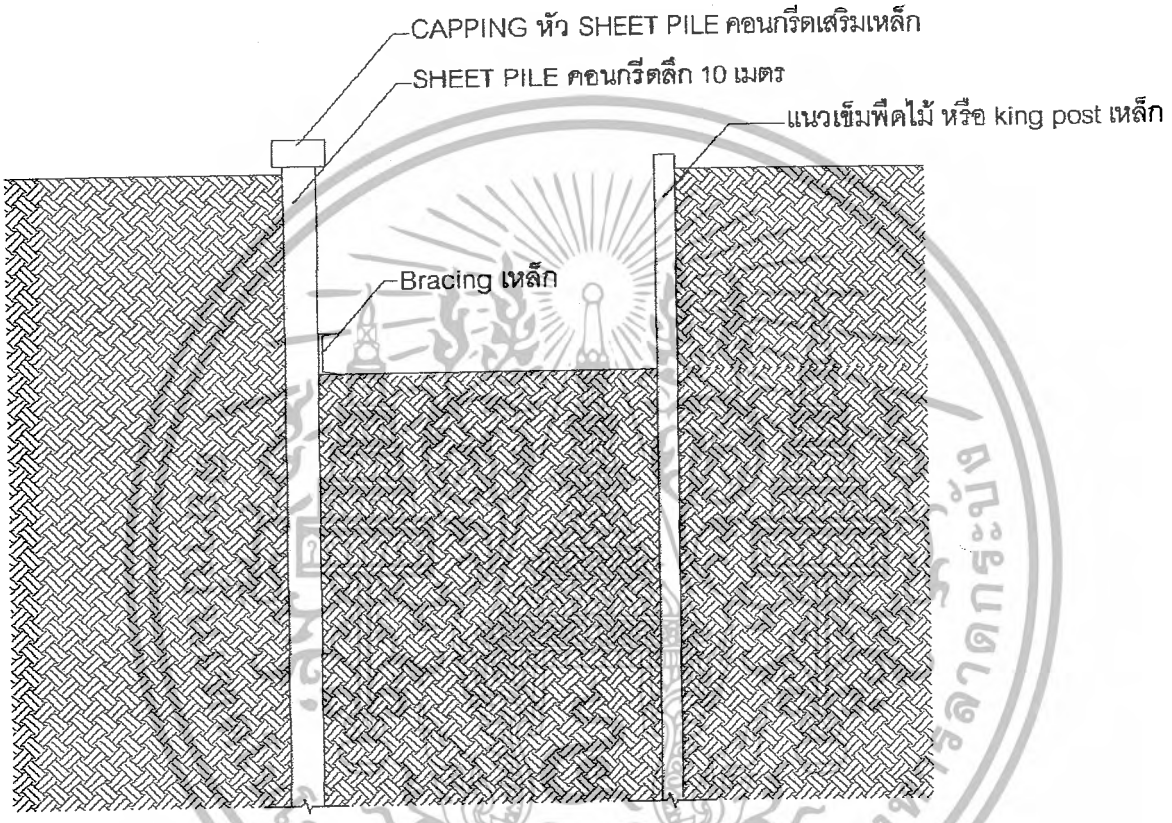
งานทำกำแพงกันดินชั่วคราวเพื่อขุดดิน ใช้ระบบกำแพงกันดินคอนกรีต ตอกลงดิน โดยใช้ปั้นจั่นที่ความลึก จากระดับดินเดิม (level +0.00 เมตร) และ ทุบหัวแผ่น sheet pile ที่เกิน ใส่เหล็กเสริม และเทคอนกรีตเพื่อยึด sheet pile ให้เป็นผืนเดียวกัน



รูปที่ 2.2 แสดงการตอก sheet pile ลงดิน และ cap หัว sheet pile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

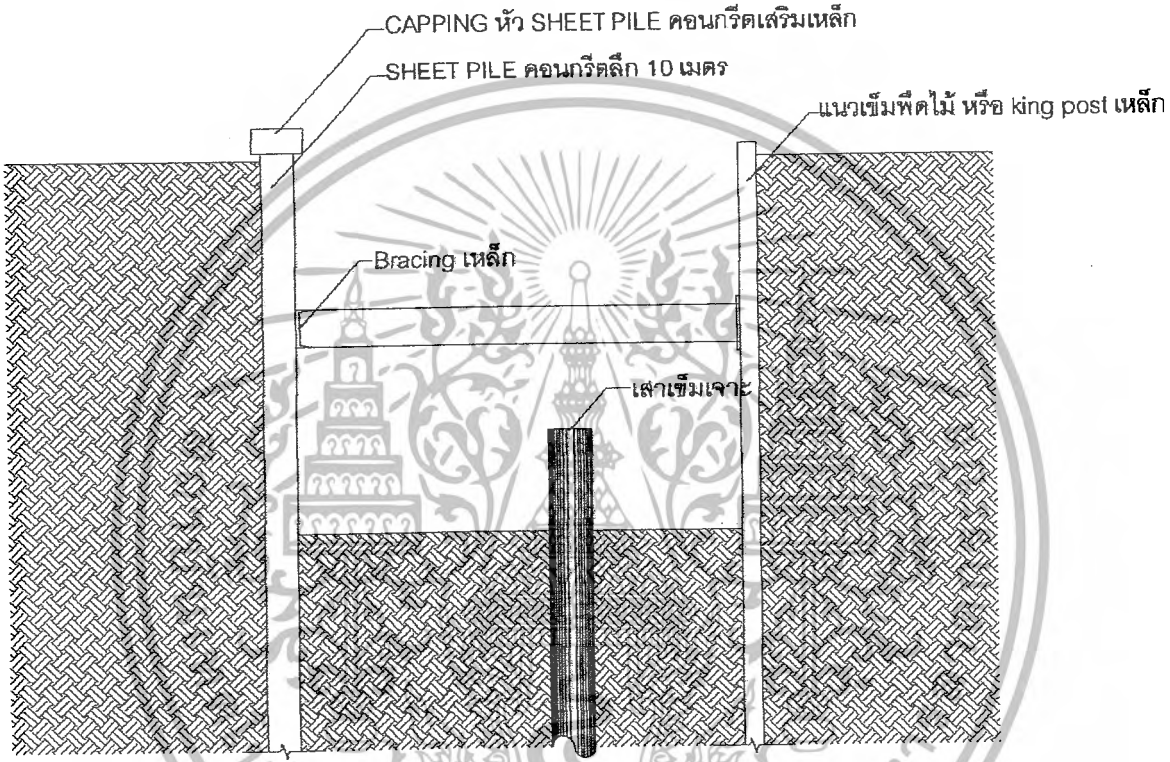
กดแนวเข็มไม้ หรือ king postเหล็กลึก 6 เมตร ด้านใน ขุดดินออกชั้นแรกที่ความลึก 1.50 เมตร และคาด Bracing เหล็กติดกับ sheet pile คอนกรีต



รูปที่ 2.3 แสดงการกดแนวเข็มไม้ ขุดดิน และคาด Bracing เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

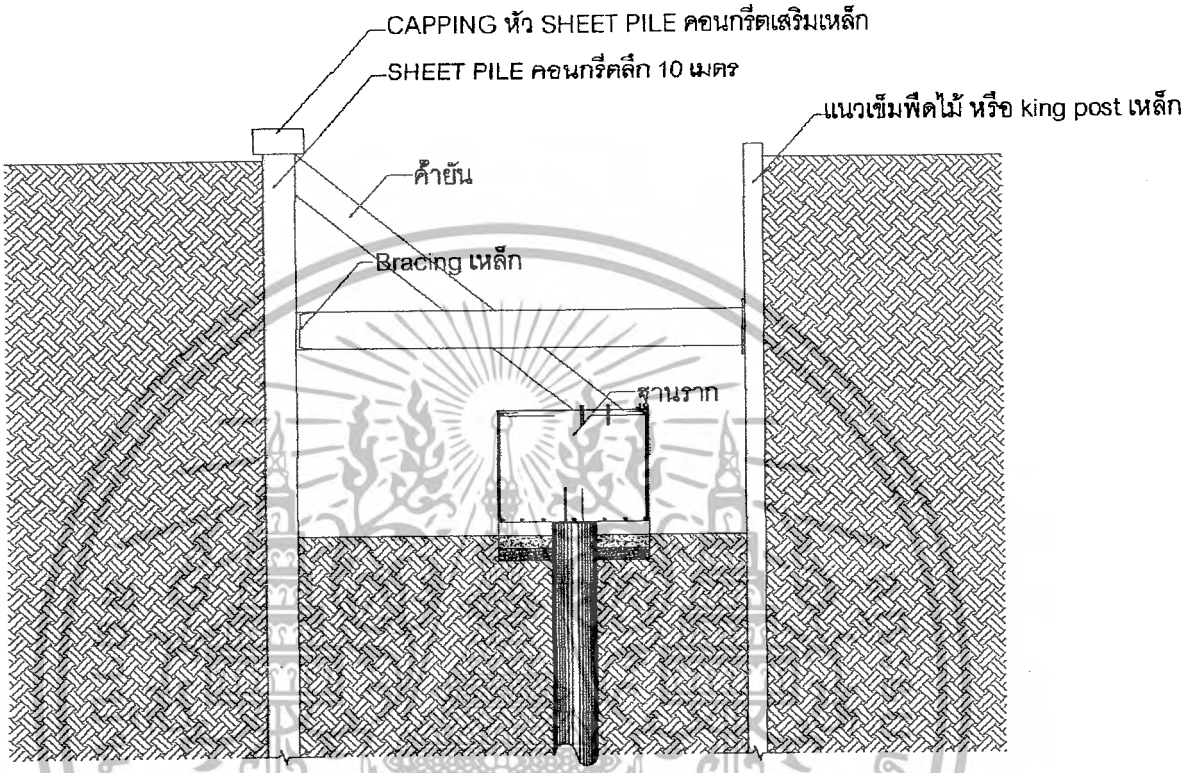
ค้ำยัน bracing เหล็กกับแนวเข็มไม้ หรือ king post และขุดดินลงลึกอีก 1.50 เมตรเพื่อทำฐานราก



รูปที่ 2.4 แสดงการค้ำ bracing และขุดดินชั้นที่ 2 เพื่อทำฐานราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

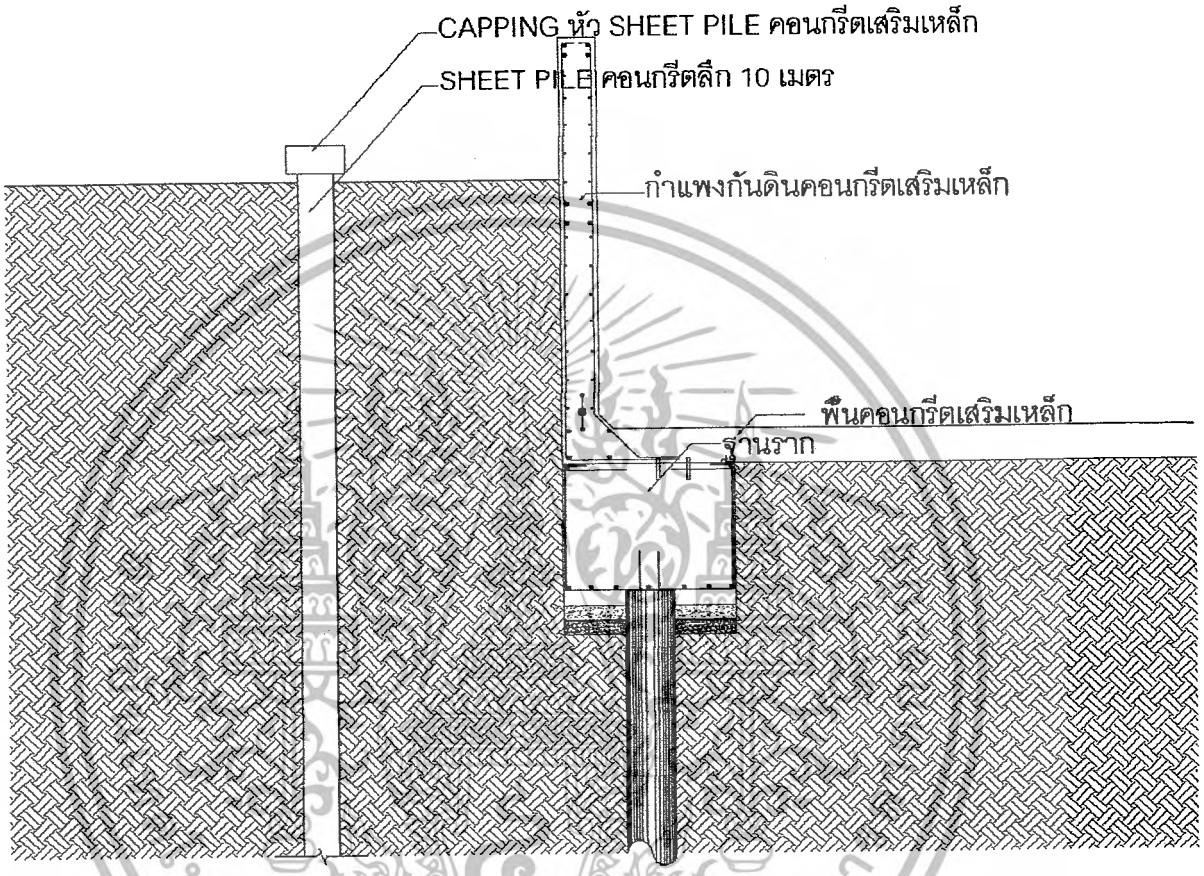
ทำฐานราก และค้ำยันเพิ่มที่หัว sheet pile เข้ากับฐานรากที่ทำเสร็จแล้ว



รูปที่ 2.5 แสดงการทำฐานราก และค้ำยันที่หัว capping sheet pile

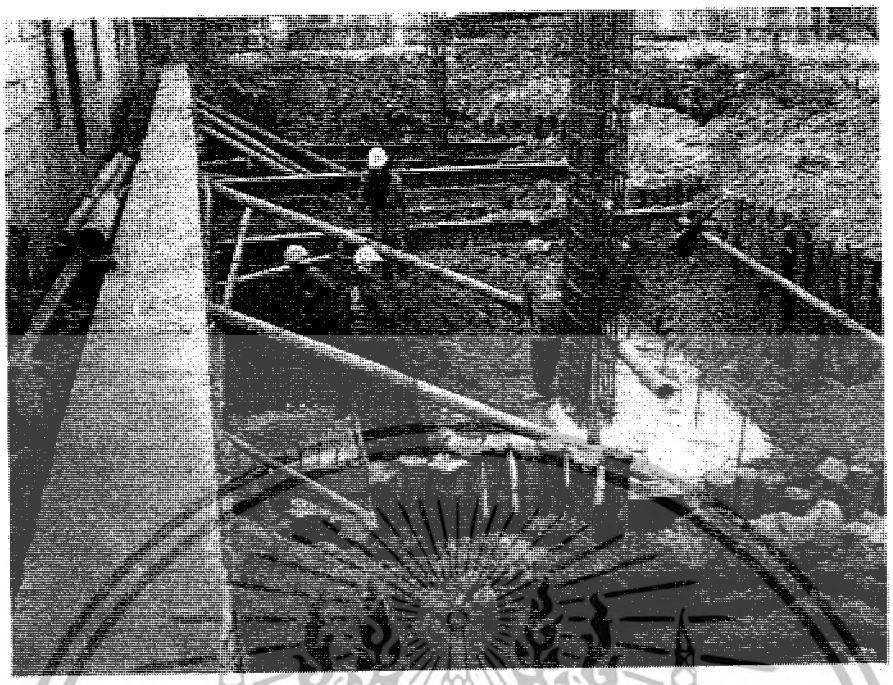
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รื้อถอนค้ำยัน bracing และเข็มพืดไม้ หรือ king post ถมดินข้างฐานราก เท
พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ถอดค้ำยัน เทผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก และถมดิน



รูปที่ 2.6 แสดงการถอดค้ำยัน เทพื้น และถมดินคืน

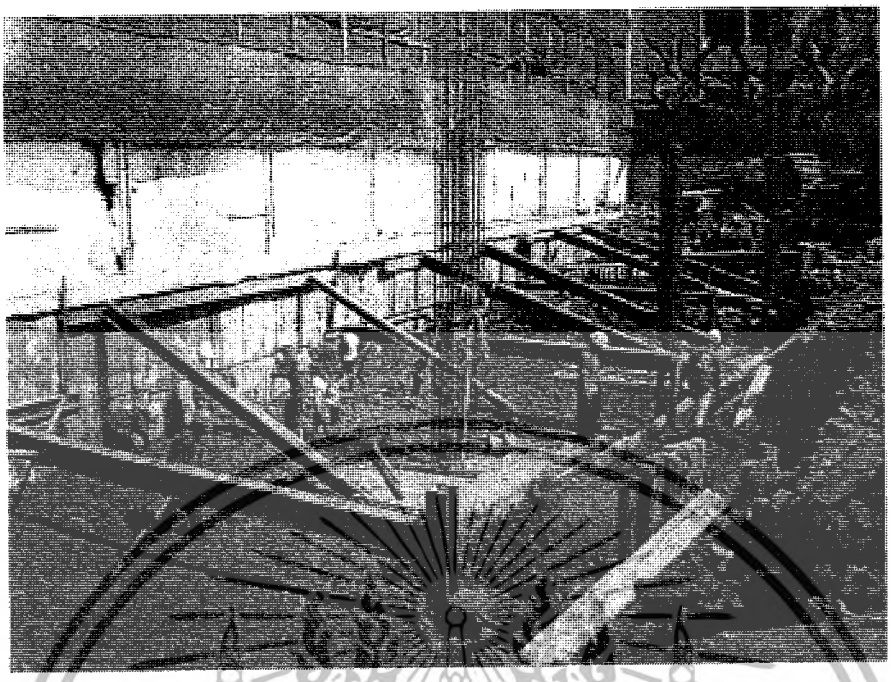
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



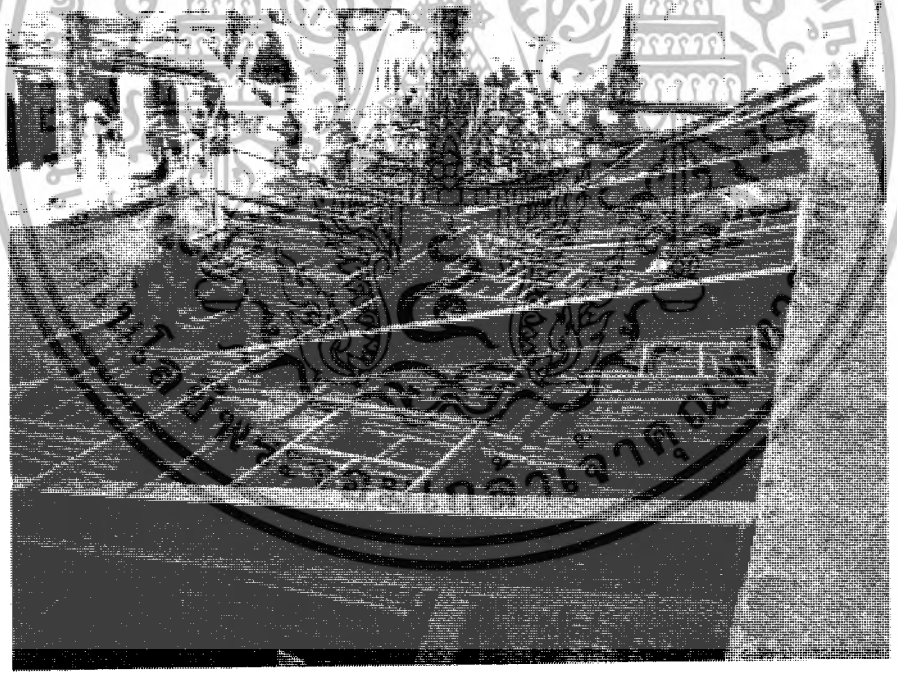
รูปที่ 2.7 แสดงการค้ำยัน sheet pile และการทำฐานราก

รูปที่ 2.8 แสดงการค้ำยัน sheet pile และการทำฐานราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการค้ำยัน sheet pile และการทำฐานราก



รูปที่ 2.10 แสดงการค้ำยัน sheet pile และการทำฐานราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สาเหตุของปัญหา

งานที่อาจเป็นสาเหตุที่ ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างอื่นๆของ พื้นที่ใกล้เคียง จากการเคลื่อนตัวของดิน หรือแรงกระแทก ตามระบุตามบทที่ 1 มีตามรายการดังนี้

3.1 งานเข็มเจาะ

3.2 งานตอก sheet pile คอนกรีต

3.3 งานขุดดิน

3.4 การทำงานของเครื่องจักรใหญ่

3.5 อื่นๆ

ตรวจสอบรายละเอียด และบันทึก แต่ละรายการ และวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เป็นไปได้ตามรายการข้างต้น แยกเป็นหัวข้อดังนี้

3.1 งานเข็มเจาะ มีการกระแทกดินจากการฝังปลอก casing เล็กน้อย แต่ไม่ก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของดิน เนื่องจากไม่มีการแทนที่ของดินเหมือนเข็มตอก ใช้การล้วงดินออก และเอาคอนกรีตเสริมเหล็กไปแทนที่

3.2 งานตอก concrete sheet pile โครงการเลือกใช้ concrete sheet pile เพื่อจะไม่มีการถอน concrete sheet pile ออก เมื่องานแล้วเสร็จ จะมีการฝังระบบป้องกันดินเคลื่อน ฝังไว้เลยเพื่อระวังการเกิดปัญหา การเคลื่อนตัวของดิน มาแทนที่ความหนาของ sheet pile การตอก sheet pile คอนกรีตทำให้การแทนที่ของดินเล็กน้อย เนื่องจาก แผ่นคอนกรีต sheet pile มีความหนา 25 ซม. เป็นสาเหตุให้เกิดการเคลื่อนตัวของดิน ไปยังพื้นที่ใกล้เคียงเล็กน้อย ทำให้เกิดกระทบกระเทือนกับอาคารเก่าที่อยู่บนเข็มเล็กๆ ขนาดสั้น ก่อให้เกิดความเสียหายกับอาคารขนาดเล็กที่โครงสร้างไม่แข็งแรงได้ แต่เนื่องจากไม่ต้องถอนคืน จึงไม่สร้างความเสียหายขณะถอนออก เหมือน sheet pile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็ก ที่ต้องใช้แรงสั่น และทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินมาก ความเสียหายจากการตอก sheet pile คอนกรีตจึงเกิดขณะตอกเท่านั้น คือมีการสั่นสะเทือนและ การแทนที่ดิน เล็กน้อยถ้าอาคารอยู่บนเข็มยาวจะแทบไม่เกิดผลกระทบ

3.3 งานขุดดิน งานขุดดินเพื่อทำฐานรากอาคาร และฐานรากชั้นใต้ดิน เกิดการสั่นจากเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่เข้าไปขุดดิน แต่ไม่ถือว่าเป็นการสั่นรุนแรงที่ทำให้องค์อาคารเสียหายได้ การเคลื่อนตัวของดินที่ขุดเกิดขึ้นน้อยเนื่องจาก sheet pile คอนกรีตมี การแอ่นตัวน้อยกว่า sheet pile เหล็กมาก และจากระบบขั้นตอนการขุดดินทำฐานรากจากบทที่ 1 ทำให้มีการค้ำยัน sheet pile ตลอดเวลาที่มีการขุดดินเกิน 1.50 เมตร

3.4 การทำงานของเครื่องจักรขนาดใหญ่ หลังจากปั้นจั่นตอกsheet pile คอนกรีตแล้วเสร็จ เมื่อสิ้นเดือนพฤศจิกายน 2550 ไม่มีการทำงานของเครื่องจักรขนาดใหญ่อื่นนอกเหนือ จากรถแบ็คโฮที่เข้าไปขุดและถมดิน ในระยะ 6 เมตร รอบพื้นที่(ยกเว้นบริเวณทางถนนเข้าออกที่มีรถใหญ่เข้าส่งของ และคอนกรีตปั๊ม)

3.5 อื่น ๆ ไม่พบว่ามีเหตุอื่นๆที่ทำให้เกิดความเสียหาย

สรุปสาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างอาคารใกล้เคียง คือการตอกแนวกำแพงกันดินชั่วคราว sheet pile คอนกรีต ซึ่งก่อให้เกิด แรงสั่นสะเทือน และการเคลื่อนตัวของดินเล็กน้อย ทำให้มีความเสียหายเกิดขึ้นกับ อาคารขนาดเล็กเช่น บ้านพักอาศัย ที่มีเสาเข็มสั้น จะมีผนังแตกร้าว การทรุดตัวของพื้นที่วางบนดิน แต่เนื่องจากไม่ต้องถอนขึ้นจึง ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายตามมาภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วิเคราะห์และประเมินความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต กับอาคารข้างเคียง

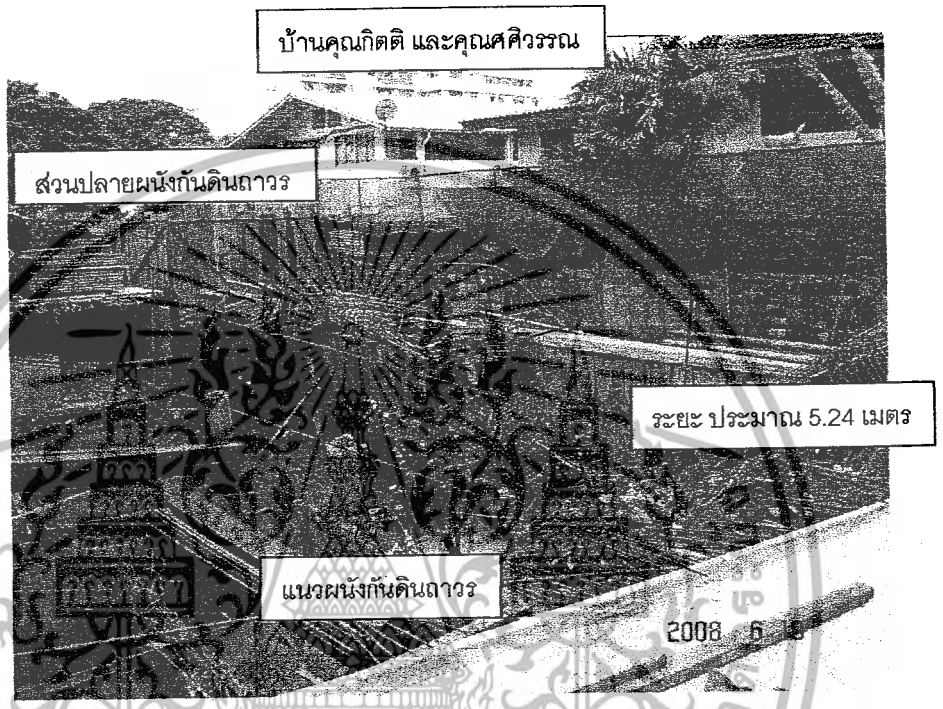
4.1 ความเสียหายที่เกิดจากงานเข็มเจาะ และงานตอก sheet pile คอนกรีต งานทั้งสองหัวข้อแล้วเสร็จตั้งแต่สิ้นเดือนพฤศจิกายน แล้ว จึงไม่มีความเสียหายที่จะเกิดขึ้นอีก

4.2 ความเสียหายที่เกิดจากการขุดดิน และถมดิน ปัจจุบันมีการขุดดินไปแล้ว คืออาจจะก่อให้เกิดความเสียหายไปแล้ว จะไม่มีการขุดดินบริเวณนั้นอีก จึงจะไม่มีสาเหตุในปัจจุบัน และอนาคตเนื่องจากการขุดดิน

รูปที่ 4.1 แสดงส่วนที่ยังทำผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กไม่แล้วเสร็จส่วนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 **งานที่เหลือคือทำกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กถาวร** ติดกับ concrete sheet pile ซึ่งไม่มีการขุดดินไม่มีการกระแทกรุนแรงจึงจะไม่เกิดการสั่นสะเทือนมาก จึงไม่มีผลกระทบกระเทือนของโครงสร้างข้างเคียง



รูปที่ 4.2 แสดงส่วนที่ยังทำผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กไม่แล้วเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

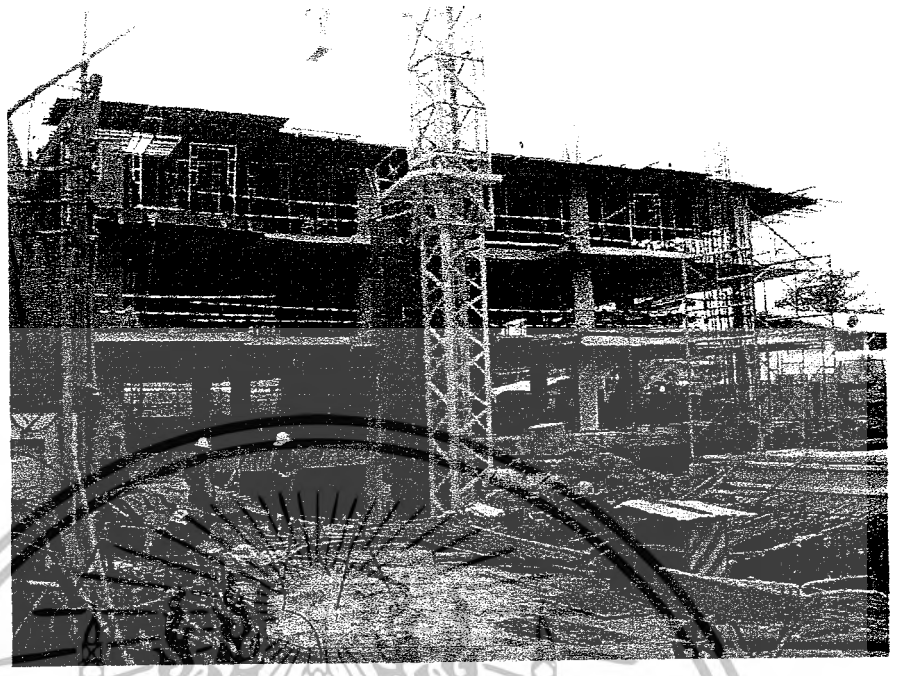
5.สรุป

5.1 จากการวิเคราะห์ สาเหตุความเสียหาย กับอาคารข้างเคียงพบว่า สาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายหลัก คืองานตอก sheet pile คอนกรีต ส่วนสาเหตุการเสียหายรองคืองานขุดดิน บริเวณใกล้เคียงกับอาคารที่สร้างบนเข็มสั้น เช่น บ้าน

5.2 งานตอกคอนกรีต sheet pile ซึ่งแล้วเสร็จ ไปเมื่อเดือนพฤศจิกายน 2550 ก่อให้เกิดความเสียหายกับอาคารรอบข้าง ให้ดำเนินการซ่อมแซมตามความเสียหายที่เกิด ยกเว้นส่วนของบ้านคุณกิตติ และคุณศศิวรรณซึ่งพอทำกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กถาวรเสร็จ ซึ่งก็เหลืออีกเพียงเล็กน้อย ก็จะดำเนินการแก้ไข ซ่อมแซม ซึ่งก็ได้รับปากไว้กับคุณปิยะวัฒน์ ตัวแทนของเจ้าของบ้าน จะแก้ไขซ่อมแซมอย่างแน่นอน เพราะเพื่อนบ้านรอบข้างที่เสียหาย ก็เข้าไปซ่อมแซมทุกบ้านเช่น บ้านคุณจรูญ บ้านคุณนันทิกา บ้านคุณชาญ

5.3 จึงสรุปได้ว่า ในการก่อสร้างในปัจจุบันได้มีการก่อสร้างที่ตัวอาคาร หลังหนึ่งได้ขึ้นถึงโครงสร้างพื้นชั้นที่ 4 แล้วอีกอาคารหนึ่งก็ได้ ขึ้นถึงโครงสร้างพื้นชั้น Ground floor แล้วไม่มีส่วนการก่อสร้างใด ๆ ที่จะกระทบกับเพื่อนบ้านอีกตามภาพ 5.1 และ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



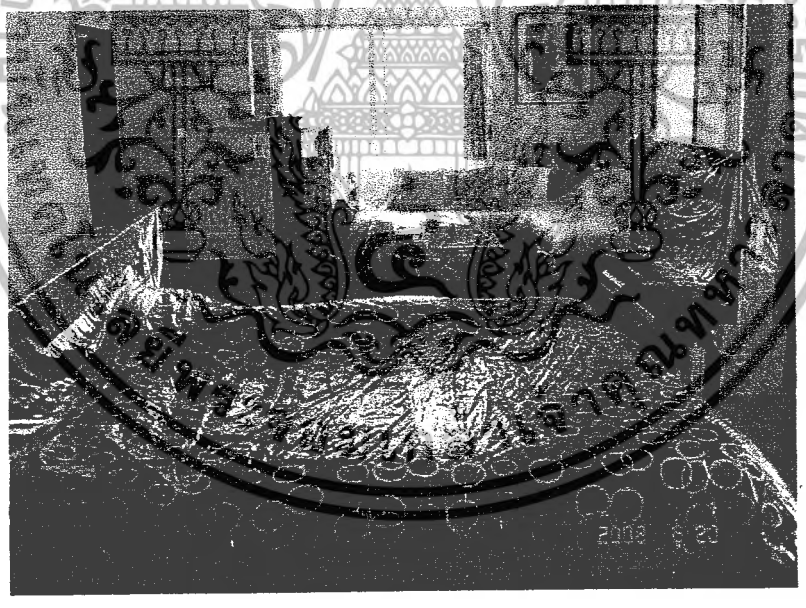
รูปที่ 5.1 แสดงงานส่วนอาคาร A

รูปที่ 5.1 แสดงงานส่วนอาคาร B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

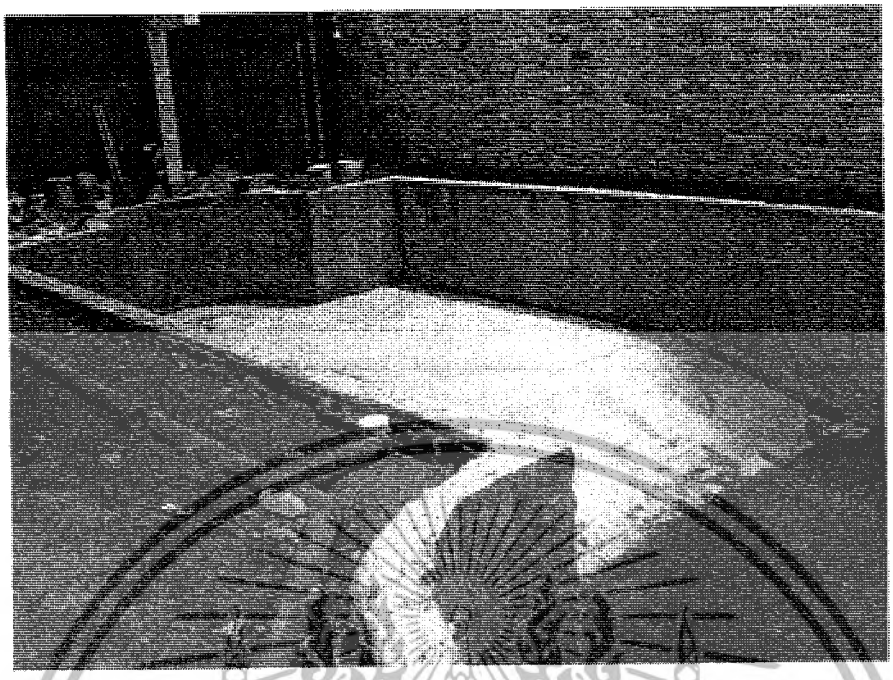
ภาคผนวก

รูปที่ ผ1 งานซ่อมแซมบ้านคุณนันทิกา

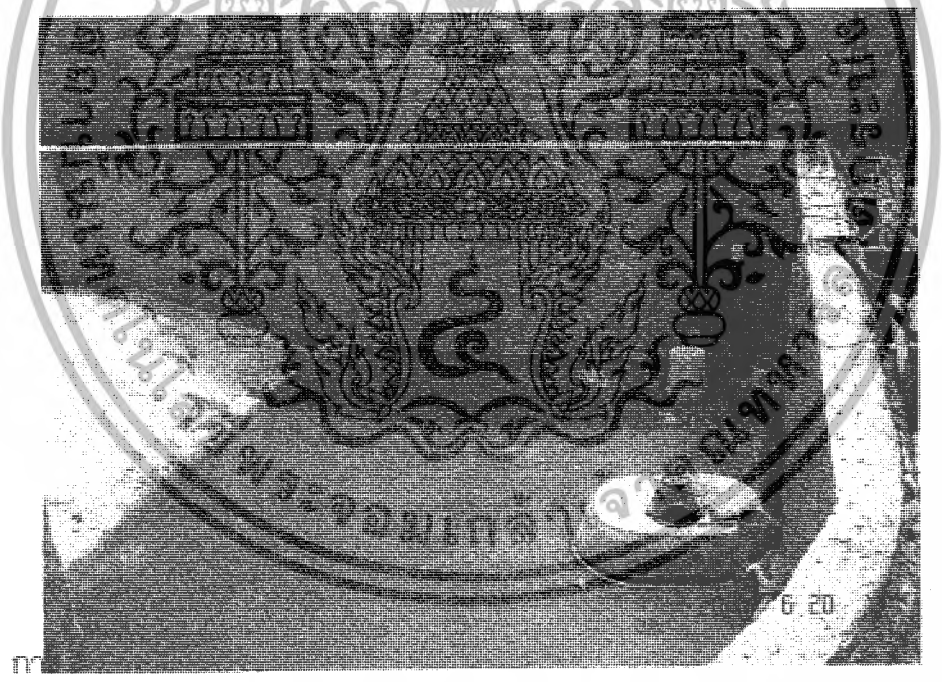


รูปที่ ผ2 งานซ่อมแซมบ้านคุณนันทิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

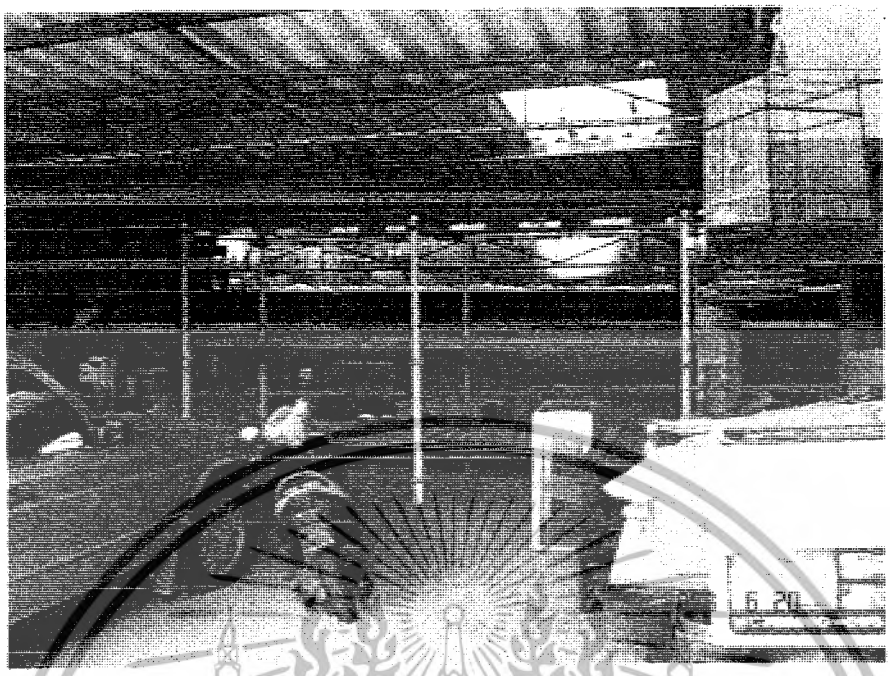


รูปที่ ผ3 งานซ่อมแซมบ้านคุณนันทิ

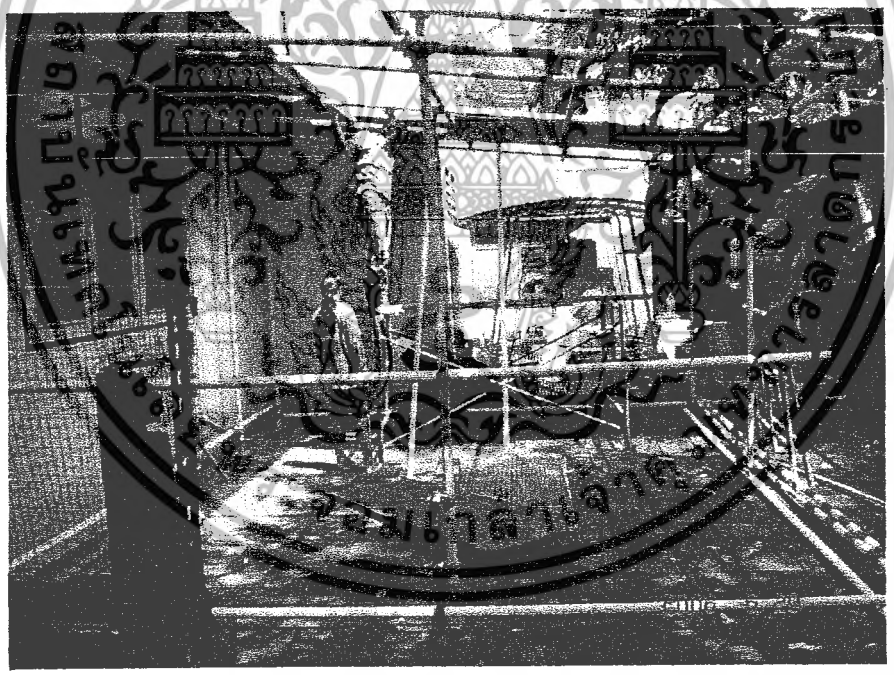


รูปที่ ผ4 งานซ่อมแซมบ้านคุณนันทิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ5 งานซ่อมแซมบ้านคุณจรูญ



รูปที่ ผ6 งานซ่อมแซมบ้านคุณจรูญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้