

การศึกษาการออกแบบและปัญหาการก่อสร้างกำแพงกันดินไคอะแฟรม
A STUDY OF DESIGN AND PROBLEM IN CONSTRUCTION
DIAPHRAGM WALL



รฟ
ก3647
2547

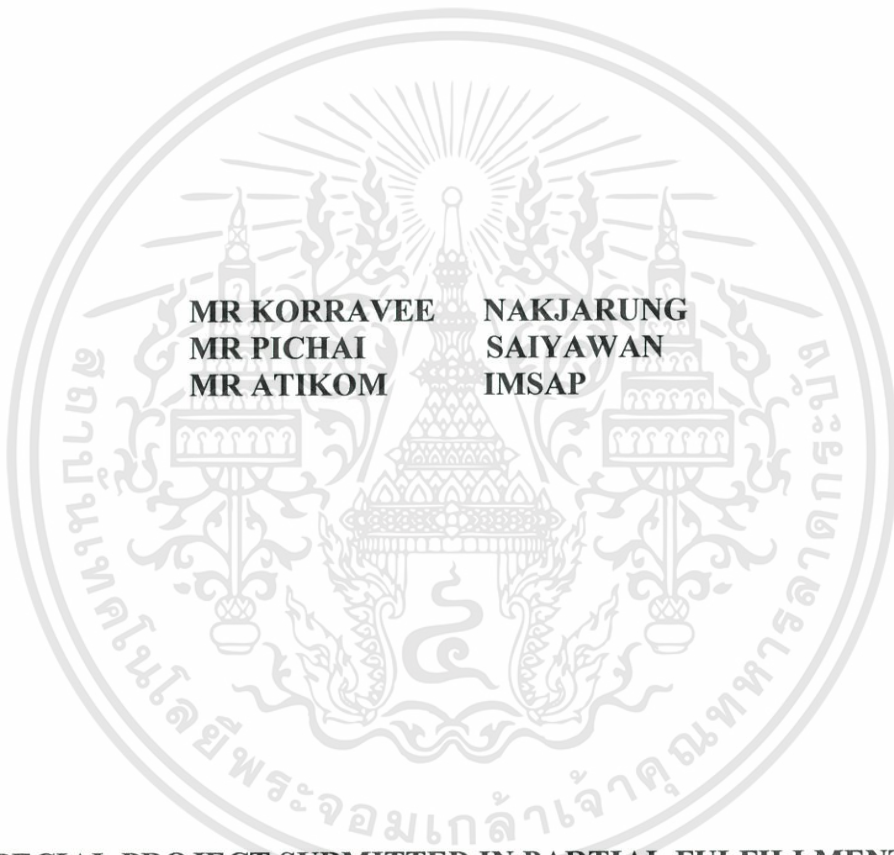
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....61406
วัน,เดือน,ปี...1.7.0.ค. 2549

โดย
นายกรวี นายจรุง
นายพิชัย ไสยวัน
นายอริคม อัมทรัพย์

b. 11๕๕๙๖๖๖
.....
.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

**A STUDY OF DESIGN AND PROBLEM IN CONSTRUCTION
DIAPHRAGM WALL**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2004**

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการออกแบบและปัญหาการก่อสร้าง Diaphragm Wall
นักศึกษา นาย กอรวี นาคจรุง รหัสประจำตัว 44010638
นาย พิชัย ไสยวัน รหัสประจำตัว 44010775
นาย อธิคม อิมทรัพย์ รหัสประจำตัว 44010886
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.สุพจน์ ศรีนิล	
ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์	
ดร.อูมา สีนุญเรือง	
อ.สมเกียรติ ขวัญพุกภัย	
อ.อุปะ ศิริแก้ว	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว


(ผศ.สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 22 เดือน เมษายน พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ การศึกษาการออกแบบและปัญหาการก่อสร้างของกำแพงพืดกันดินชนิดชุด-หล่อในที่
A STUDY OF DESIGN AND PROBLEM IN CONSTRUCTION DIAPHRAGM WALL

นักศึกษา	นายกอร์วี	นาคจรุง
	นายพิชัย	ไสยวัน
	นายอริคม	อิมทรัพย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สุัชชวีร์	สุวรรณสวัสดิ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา	
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์	
ปีการศึกษา	2547	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาปัญหา และการออกแบบกำแพงพืดกันดินชนิดชุด-หล่อในที่ (Diaphragm Wall) โดยทำการศึกษา และวิเคราะห์ข้อมูลจากการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในส่วนของโครงการรถไฟฟ้ามหานครสายเฉลิมรัชมงคล ประกอบไปด้วยการศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างโดยใช้เทคนิคการก่อสร้างจากบนลงล่าง (Top-Down Construction) ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในการก่อสร้าง ขั้นตอนการก่อสร้าง วิธีการออกแบบพร้อมทำการเสนอแนะแนวทางการออกแบบที่ปลอดภัยต่อการก่อสร้าง และการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการเคลื่อนตัว (Displacement) สำหรับการศึกษพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของกำแพงพืดกันดินชนิดชุด-หล่อในที่ (Diaphragm Wall) นั้น ได้มีการจัดทำฐานข้อมูลค่าการเคลื่อนตัว โดยทำการจัดเก็บในรูปแบบโปรแกรม (Database Program) เพื่อสะดวกต่อการนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ออกแบบสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินส่วนต่อขยาย และกำแพงกันดินในระบบ Diaphragm Wall ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

Title : A STUDY OF DESIGN AND PROBLEM IN
CONSTRUCTION DIAPHRAGM WALL

Name : MR.KORRAVEE NAKJARUNG
MR.PICHAJ SAIYAWAN
MR.ATIKOM IMSAP

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : ASST.PROF.SUCHATCHAVEE SUWANSAWAS

ABSTRACT

This thesis has studied Diaphragm Wall by using the information from Bangkok MRT ISP Blue Line project construction. It is consist of construction technique with Top-Down construction method, problems in construction, method statements and designing of Diaphragm Wall. The objective is for safety designing and studying displacement behavior in Diaphragm Wall and collecting information presented by database program which be useful for analysis and design of construction Diaphragm Wall in the future.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ดีด้วยความอนุเคราะห์ของ ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ซึ่งท่านได้ให้ความรู้คำแนะนำ ข้อมูลต่างๆ พร้อมแนวทางการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง ตลอดระยะเวลาที่ทำโครงการพิเศษนี้ และท่านยังได้ให้คำแนะนำ พร้อมสั่งสอนสิ่งต่าง ๆ มากมายนอกเหนือจากในตำราเรียน ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าในการดำเนินชีวิต

ขอขอบคุณ พี่โอห์ม และพี่ชาญชัย วิศวกรประจำบริษัท SEAFCO พี่พีรณัฐ สุวัตติพันธ์ นักศึกษาปริญญาโทสาขาวิศวกรรมปฐพีจากสถาบันเทคโนโลยีเอเชีย (AIT) พี่จินตนา และพี่ปู วิศวกรโยธา จากการผลิตไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย ที่ให้คำปรึกษา และให้ข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับ Diaphragm Wall แก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดี และขอขอบคุณ เพื่อนภาควิศวกรรมโยธาทุกคนที่เป็นกำลังใจให้ รวมไปถึงนายสันติชล ชัชวาลูรัตน์ เพื่อนภาควิศวกรรมสารสนเทศที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านการเขียน โปรแกรม

นอกจากนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบคุณ บรรดาคณาจารย์ทุกท่านตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันที่ได้ให้ความรู้ต่างๆ ทั้งในความรู้ทางการศึกษาและความรู้ทั่วไปจนทำให้ข้าพเจ้าได้นำความรู้ที่อาจารย์ได้สอนมาพัฒนาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการทำโครงการพิเศษนี้จนสำเร็จ ลุล่วงด้วยดีและข้าพเจ้าหวังว่าโครงการพิเศษที่ข้าพเจ้าได้ทำมาจะมีประโยชน์ไม่มากก็น้อยต่อผู้ที่ศึกษาต่อไปในอนาคต

และขอกล่าวคำขอบคุณทุกสิ่งทุกอย่างที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มีโอกาสในการศึกษาตลอดหลักสูตร วิศวกรรมบัณฑิตอันถือเป็นเกียรติสูงสุดสำหรับผู้ประพันธ์

ท้ายสุดนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และญาติพี่น้องซึ่งสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้ศึกษาเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นายกอร์วี นาคจรุง
นายพิชัย ไสยวัน
นายอริคม อิ่มทรัพย์

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอำนวยการ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฅ
	สารบัญรูป	ฉ
1	บทนำ	
	1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
	1.3. ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ	2
	1.4. ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
	1.5. วิธีที่ใช้ในการดำเนินการโครงการพิเศษ	2
	1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1. บทนำ	4
	2.2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
	2.3. ชนิดของระบบ Support ที่ใช้ในการขุดดิน	6
	2.3.1. ระบบ กำแพงเข็มพืด	6
	2.3.2. ระบบ Jet-Grouted Wall	6
	2.3.3. ระบบกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน	7
	2.4. ระบบค้ำยันของกำแพงกันดิน	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.4.1. ปัจจัยที่ก่อให้เกิดแรง กระทำต่อ Strut	8
	2.4.2. การออกแบบรับแรงดิน	9
	2.5. ความมั่นคงในการขุด-ตัด ดินเหนียว	9
	2.5.1. การวิเคราะห์การอูด (Heave) ในระบบ Diaphragm Wall	10
	2.6. การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวด้านข้างของดิน	11
	2.6.1. ความสัมพันธ์จากการเคลื่อนตัวด้านข้างและการทรุดตัวแนวตั้ง	11
	2.6.2. การประมาณค่าการทรุดตัวรอบบริเวณขุดหลุมลึก	12
	2.6.3. การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน	14
	2.7. ปริมาณของการเคลื่อนตัวของดิน	15
	2.7.1. ปริมาณของการเคลื่อนตัวของดิน	18
3	วิธีการก่อสร้าง และความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น ในการก่อสร้าง Diaphragm Wall	
	3.1. ทั่วไป	19
	3.2. วิธีการก่อสร้าง Diaphragm Wall	20
	3.3. ข้อดีของกำแพงกันดินในระบบ Diaphragm Wall	23
	3.4. ความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น และการป้องกัน	24
	3.4.1. ปัญหาจากชั้นดินและอุปสรรคใต้ดินในหน่วยงานก่อสร้าง	24
	3.4.2. ปัญหาอันเนื่องมาจากการก่อสร้าง Guide Wall ไม่เหมาะสมเพียงพอ	25
	3.4.3. ปัญหาอันเนื่องมาจากการจัดเหล็กเสริม Diaphragm Wall ไม่เหมาะสม	25
	3.4.4. ปัญหาอันเนื่องมาจากสารละลายเป็นโทไนท์	25
	3.4.5. ปัญหาจากการเทคอนกรีต	27
	3.4.6. ปัญหาจากการขุดเจาะ	31
	3.4.7. ปัญหาจากบุคลากร	31

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
4	การออกแบบโครงสร้าง Diaphragm Wall	
4.1.	กล่าวนำ	35
4.2.	ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ	35
4.2.1.	การออกแบบน้ำหนักบรรทุก	35
4.2.2.	แรงดันด้านข้างของดิน	35
4.2.2.1.	แรงดันดินเชิงรุก (Active Pressure)	36
4.2.2.2.	แรงดันดินเชิงรับ (Passive Pressure)	36
4.3.	ทฤษฎีเกี่ยวกับแรงดันดิน	37
4.3.1.	ทฤษฎีของ Rankine	37
4.3.1.1.	การหาแรงดันดินแบบ Active ของดินชนิดไม่มี ความเชื่อมั่น โดยวิธีของ Rankin	37
4.3.1.2.	การหาแรงดันดินแบบ Active ของดินชนิดมีความเชื่อมั่น	38
4.3.1.3.	การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินชนิดที่ไม่มี ความเชื่อมั่น โดยวิธีของ Rankine	39
4.3.1.4.	การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินชนิดที่มีความเชื่อมั่น	39
4.4.	แรงดันน้ำ	39
4.5.	การรวมน้ำหนักบรรทุก	40
4.6.	การออกแบบและวิเคราะห์ Diaphragm Wall	40
4.6.1.	แรงดันดินและน้ำหนักบรรทุก	40
4.7.	การคำนวณหาแรงดันดินเชิงรับ(Passive) ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่	42
4.8.	การคำนวณหาแรงในค้ำยัน	42
4.8.1.	การคำนวณหาแรงในค้ำยันเมื่อมีการขุดดินลึก 2 ระดับ	43
4.9.	การวิเคราะห์หาค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์ค้ด	44
4.10.	ขั้นตอนการสร้างแผนภาพแรงเฉือนและแผนภาพ โมเมนต์ค้ด	45
4.10.1.	ขั้นตอนในการสร้างแผนภาพแรงเฉือน	45
4.10.2.	ขั้นตอนในการสร้างแผนภาพ โมเมนต์ค้ด	45

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.11. การออกแบบเหล็กเสริม	46
	4.12. การออกแบบคานรับแรงดัด	46
	4.13. การออกแบบคานรับแรงเฉือน	49
	4.14. ขั้นตอนการออกแบบ Diaphragm Wall	50
	4.15. การหาการแอ่นตัวใน Diaphragm Wall	51
	4.16. ตัวอย่างการออกแบบ Diaphragm wall	51
5	เทคนิคการก่อสร้าง Diaphragm Wall ของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน	
	5.1. กล่าวนำ	71
	5.2. งานขั้นเตรียมการที่สนาม	72
	5.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้าง Diaphragm Wall	74
	5.4. การขุดดิน Diaphragm Wall	75
	5.5. การลำเลียงดิน	76
	5.6. การลงเหล็กเสริม	76
	5.7. การเทคอนกรีต	76
	5.8. การเตรียมรอยต่อของแผง	77
6	ระบบฐานข้อมูลการก่อสร้าง Diaphragm Wall ในโครงการรถไฟฟ้ามหานคร	
	6.1. กล่าวนำ	79
	6.2. ข้อมูลลักษณะของสถานี	80
	6.3. ข้อมูลระดับความลึกของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในระดับชั้นต่างๆ	83
	6.4. ข้อมูลกิจกรรมการก่อสร้าง	85
	6.5. ข้อมูลสภาพชั้นดิน	85
	6.6. ข้อมูลการเคลื่อนตัว	88
	6.6.1. การจัดเก็บค่าการเคลื่อนตัว Diaphragm Wall ในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน	88

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
7	โปรแกรมระบบฐานข้อมูล Diaphragm Wall	
	7.1. คำนำ	91
	7.2. วัตถุประสงค์	91
	7.3. หลักการ	91
	7.4. วิธีการใช้โปรแกรม	92
8	ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ	
	8.1. คำนำ	95
	8.2. ข้อสรุป	95
	8.3. ข้อเสนอแนะ	96
	บรรณานุกรม	97
	ภาคผนวก ก	
	รูปแสดงอุปกรณ์และคุณสมบัติของอุปกรณ์การก่อสร้างที่ใช้	พ1

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
3.1.	ตารางสรุปสาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphragm Wall เกิดการบดพร่อง	32
4.1.	ตารางการคำนวณแรงดันดินส่วนเกิน (Overburden Pressure)	53
4.2.	ตารางการคำนวณแรงดันดินเชิงรุก (Active Pressure)	54
4.3.	ตารางคำนวณแรงดันดินเชิงรับสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อขุดดินลึก 8 เมตร	55
4.4.	ตารางคำนวณแรงดันดินเชิงรับสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อขุดดินลึก 15 เมตร	57
4.5.	ตารางคำนวณแรงดันดินเชิงรับสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อขุดดินลึก 23 เมตร	59
6.1.	ตารางข้อมูลความลึกของระดับชั้นต่างๆ	83
6.2.	ตารางลักษณะชั้นดินโดยทั่วไปของโครงการรถไฟฟ้ามหานคร	87
ผ3.	ตารางแสดงคุณสมบัติของเบ้นโทไนท์	ผ4

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อ	รูปหน้า
2.1.	กำแพงกันดินระบบจมปล่องอุโมงค์	4
2.2.	กำแพงกันดินแบบเข็มเจาะเรียงต่อเนื่อง	5
2.3.	การค้ำยันเบื้องต้น	8
2.4.	การเคลื่อนตัวค้ำยันข้าง	14
2.5.	การติดตั้งค้ำยันแบบคريب	15
2.6.	กำแพงกันดินแบบเข็มพืดที่มีการค้ำยันแน่นอนหนา	16
2.7.	การค้ำยันในกำแพงระบบ Diaphragm Wall	17
2.8.	การนำกองดิน (Berm) ช่วยในการค้ำยัน	17
3.1.	แผนผังของ Diaphragm Wall Panel	19
3.2.	รอยต่อแบบใส่ยางกันน้ำรั่วซึม	19
3.3.	แบบต่างๆของ Guide Wall	20
3.4.	เครื่องมือขุดเจาะ Diaphragm Wall แบบ Cable Hang Grab	21
3.5.ก.	Stop End Plates ก่อนการติดตั้ง	21
3.5.ข.	การติดตั้ง Stop End Plates ที่ปลายร่องขุด	22
3.6.	การลงเหล็กเสริม	22
3.7.	การเทคอนกรีตใต้น้ำ (Tremie Concrete)	23
3.8.	ทรายและทรายฝุ่นในสารละลายที่แยกโดย Desander & Desilter Unit	23
3.9.	วิธีแก้ปัญหาเมื่อพบสิ่งกีดขวางใต้ร่องขุด	24
3.10.	ผนังปูคบบวมที่ได้ระดับ Guide Wall	24
3.11.	เหล็กไม่มีคอนกรีตหุ้ม	25
3.12.	รอยต่อกำแพงรั้ว	26
3.13.	ภาชนะสำหรับเก็บสารละลายควรมีปริมาณ ไม่น้อยกว่า 2.5 เท่าของที่ใช้	27
3.14.	คอนกรีตเกิดการแยกตัว	28
3.15.	ผิวผนังขรุขระ	28
3.16.	คอนกรีตเป็นโพรง	29
3.17.	การชักท่อขึ้นๆลงๆทำให้คอนกรีตกลบตะกอน	30

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อ	รูปหน้า
3.18.	การเทคอนกรีตฝังปลายที่เหล็กมากเกินไป	31
4.1.	น้ำหนักบรรทุกที่ระดับพื้นดิน	35
4.2.(ก).	แรงดันดินแบบ Active	37
4.2.(ข).	แรงดันดินแบบ Passive	37
4.3.	การหาแรงดันดินแบบ Active ชนิดไม่มีความเชื่อมั่น	37
4.4.	การหาแรงดันดินแบบ Active ชนิดมีความเชื่อมั่น	38
4.5.	แรงดันน้ำ	40
4.6.	การหาแรงดันดินเชิงรับที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่	42
4.7.	การหาแรงในค้ำยัน	42
4.8.	การคำนวณแรงในค้ำยันเมื่อมีการขุดดินลึก 2 ระดับ	43
4.9.	Free Body Diagram ของ Diaphragm Wall	44
4.10.	การกระจายความเครียดและหน่วยแรงในหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	47
4.11.	แผนที่สถานีที่จะทำการออกแบบ	51
4.12.	Lay out ของตัวสถานี	51
4.13.	คุณลักษณะของชั้นดินที่สถานีรถไฟฟ้ามหานคร	52
4.14.	ลักษณะชั้นดินและน้ำหนักกดทับที่ผิวดินเมื่อขุดดินลึก 8 เมตร	53
4.15.	แผนภาพแรงดันดินด้านข้างที่เกิดขึ้นเมื่อขุดดินลึก 8 เมตร	55
4.16.	ลักษณะชั้นดินและน้ำหนักกดทับที่ผิวดินเมื่อขุดดินลึก 15 เมตร	56
4.17.	แผนภาพแรงดันดินด้านข้างที่เกิดขึ้นเมื่อขุดดินลึก 15 เมตร	57
4.18.	ลักษณะชั้นดินและน้ำหนักกดทับที่ผิวดินเมื่อขุดดินลึก 23 เมตร	58
4.19.	แผนภาพแรงดันดินด้านข้างที่เกิดขึ้นเมื่อขุดดินลึก 23 เมตร	59
4.20.	แผนภาพแรงเฉือนเมื่อขุดดินลึก 8 เมตร	61
4.21.	แผนภาพโมเมนต์ค้ดเมื่อขุดดินลึก 8 เมตร	61
4.22.	แผนภาพแรงเฉือนเมื่อขุดดินลึก 15 เมตร	62
4.23.	แผนภาพ โมเมนต์ค้ดเมื่อขุดดินลึก 15 เมตร	62
4.24.	แผนภาพแรงเฉือนเมื่อขุดดินลึก 23 เมตร	63
4.25.	แผนภาพ โมเมนต์ค้ดเมื่อขุดดินลึก 23 เมตร	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อ	รูปหน้า
4.26.	กราฟการแอ่นตัวที่ระดับการขุดดินลึก 8 เมตร	64
4.27.	กราฟการแอ่นตัวที่ระดับการขุดดินลึก 15 เมตร	64
4.28.	กราฟการแอ่นตัวที่ระดับการขุดดินลึก 23 เมตร	65
4.29.	แบบก่อสร้าง Diaphragm Wall	70
5.1.	หัวเจาะแบบ Cable Hang Grab	71
5.2.	การเตรียมพื้นที่ทำงาน	72
5.3.	การทำ Guide Wall	73
5.4.	ดึงบรรจุสารละลายเป็นโทไนท์	74
5.5.	การขุดดินโดยใช้หัวแบบ Cable Hang Grab	75
5.6.	การลงเหล็กเสริม	76
5.7.	การเทคอนกรีตที่อู่	77
6.1.	แผนที่สถานีรถไฟฟ้าส่วนใต้	80
6.2.	แผนที่สถานีรถไฟฟ้าส่วนเหนือ	80
6.3.	ชานชาลาข้าง	81
6.4.	ชานชาลากลาง	81
6.5.	ชานชาลาซ้อนกัน	82
6.6.	ลักษณะชั้นดิน โดยทั่วไปของโครงการรถไฟฟ้ามหานครสายเฉลิมรัชมงคล	86
6.7.	การจัดเก็บตัวแปรชื่อสถานี	89
6.8.	การจัดเก็บตัวแปรหมายเลข Inclinator	89
6.9ก.	การจัดเก็บค่าการเคลื่อนตัวเทียบกับความลึกในสถานีหัวลำโพง	90
6.9ข.	การจัดเก็บค่าการเคลื่อนตัวเทียบกับความลึกในสถานีหมอชิต	90
7.1.	แผนภาพแสดงการเข้าถึงข้อมูล	92
7.2.	หน้าจอหลักโปรแกรม	93
7.3ก.	แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Inclinator สถานีลาดพร้าว	93
7.3ข.	แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Inclinator สถานีพระรามเก้า	93
7.4.	ภาพตัวอย่างการเลือกระดับความลึกและวันที่ทำการวัด	94
7.5.	ภาพแสดงผลข้อมูลที่ได้เลือก	94

7.6.	ตัวอย่างลักษณะการแสดงผล	94
8.1.	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการเคลื่อนตัว และค่าความแข็งแรง	96
ผ1.	แสดงรูปตัดของ Guide Wall	ผ2
ผ2.	แสดงการเตรียมการและเก็บกักเป็น โทไนท์	ผ3
ผ4.	แสดงการติดตั้งรอยต่อ WSI	ผ4
ผ5.	แสดงลักษณะของหัวขุดเจาะ	ผ5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันสภาพในกรุงเทพมหานคร โดยเฉพาะในย่านธุรกิจที่มีปัญหาการจราจร ทำให้การเดินทางเป็นไปอย่างแออัด เนื่องจากระบบขนส่งมวลชนที่ดีไม่เพียงพอ ดังนั้นทางรถไฟฟ้ามหานครแห่งประเทศไทย (รฟม.) จึงได้ให้ทางเลือกในการช่วยบรรเทาปัญหาการจราจรที่ติดขัดอยู่ในชั้นวิกฤตในขณะนี้ โดยการสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล และในส่วนของกรมทางหลวงก็ได้ใช้วิธีการแก้ปัญหาการจราจร โดยการสร้างอุโมงค์ลอดทางแยกในบริเวณทางแยกที่มีการจราจรติดขัด

ในส่วนของโครงการรถไฟฟ้ามหานครสายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน) เป็นโครงการก่อสร้างเพื่อเติมเต็มความต้องการ การคมนาคมที่รวดเร็ว และปลอดภัย โดยใช้ที่ว่างซึ่งอยู่ใต้ดิน โดยมีกำแพงพืดกันดินชนิดชุด-หล่อในที่ (Diaphragm Wall) เป็นโครงสร้างหลักในการสร้างสถานีรถไฟฟ้ายูใต้ดินทั้ง 18 สถานี โดยใช้เทคนิคการก่อสร้างแบบจากบนลงล่าง (Top-Down Construction)

สำหรับการขุดหลุมลึกในดินเหนียวกรุงเทพฯ (Bangkok Clay) นั้นได้มีการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมและการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นอย่างมากมาย โดยค่าที่บอกลักษณะพฤติกรรมนี้ คือค่าการเคลื่อนตัว (Displacement) โดยใช้เครื่องมือวัดค่าการเคลื่อนตัว (Inclinometer) เป็นตัววัด ดังนั้นในกรณีศึกษาครั้งนี้ จึงได้จัดทำระบบฐานข้อมูลของค่าการเคลื่อนตัวของ Diaphragm Wall ในการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้ายูใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล และปัญหาความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นในการก่อสร้าง เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินสายอื่นๆ และงานก่อสร้าง Diaphragm Wall ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตให้เกิดความปลอดภัย และได้มาตรฐานสูงสุด

1.2. วัตถุประสงค์

1. จัดทำฐานข้อมูลค่าการเคลื่อนตัว เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของ Diaphragm Wall ที่ก่อสร้างในประเทศไทย โดยเฉพาะงานรถไฟฟ้าใต้ดิน และงานกรมทางหลวง
2. เพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในงานก่อสร้าง และเสนอแนะแนวทางการก่อสร้าง Diaphragm Wall เพื่อการออกแบบที่เหมาะสม

1.3. ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

1. ใช้ทฤษฎีการก่อสร้าง และการวิเคราะห์แรงดันดินด้านข้างของ Diaphragm Wall เมื่อมีการขุดดินในแต่ละชั้น เพื่อใช้ในการออกแบบ Diaphragm Wall
2. เมื่อมีการขุดดินในชั้นดินอ่อนสิ่งที่เกิดขึ้นก็คือ การเคลื่อนตัวของดิน ซึ่งต้องมีโครงสร้างเพื่อมาต้านการเคลื่อนตัวนี้
3. โครงสร้างที่จะนำมาสร้างเป็น ผนังรับแรง (Retaining Wall) ต้องมีความแข็งแรงสูงเพื่อป้องกันการเกิดการเคลื่อนตัว และการเปลี่ยนรูป (Displacement and Deformation)

1.4. ขอบเขตของโครงการพิเศษ

การศึกษาและวิเคราะห์ใน โครงการพิเศษนี้จะเป็นการศึกษาถึงปัญหา ที่เกิดขึ้นในงานก่อสร้าง ผนังรับแรงในระบบ Diaphragm Wall และนำปัญหามาวิเคราะห์ รวบรวมข้อมูล และรวมไปถึงการศึกษาการออกแบบ Diaphragm Wall เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด โดยอาศัยการวิเคราะห์จากทฤษฎี ข้อมูลจากบริษัทที่เชี่ยวชาญ และงานก่อสร้างที่เคยทำมาก่อน ในอดีต โดยโครงการพิเศษนี้จะทำการศึกษาดูงานใน โครงการดังต่อไปนี้

1. โครงการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนสายเฉลิมรัชมงคล
2. โครงการก่อสร้างของกรมทางหลวง

1.5. วิธีที่ใช้ในการดำเนินการโครงการพิเศษ

1. ศึกษาทฤษฎีการก่อสร้างจากข้อมูลการก่อสร้างในอดีต และปัจจุบัน
2. ศึกษาการพังทลายของ Diaphragm Wall ที่เกิดขึ้น
3. ศึกษาดูงานการก่อสร้างจากสถานที่จริง
4. จัดเก็บ และสร้างระบบฐานข้อมูล
5. นำข้อมูลต่างๆ ที่ได้มาวิเคราะห์ และศึกษาปัญหาการก่อสร้าง Diaphragm Wall
6. สรุปถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง Diaphragm Wall และเสนอแนะแนวทางการออกแบบที่เหมาะสม

1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงปัญหาในการก่อสร้าง Diaphragm Wall และวิธีป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นในการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำให้ทราบถึงวิธีการก่อสร้าง Diaphragm Wall ตั้งแต่ขั้นตอนการสำรวจดินจนไปถึงการก่อสร้างตัว Diaphragm Wall และสามารถประยุกต์ใช้ระบบ Diaphragm Wall ให้เหมาะสมกับสภาพของบริเวณที่จะทำการก่อสร้างได้
3. ทำให้ทราบถึงวิธีการออกแบบ Diaphragm wall และสามารถเสนอแนะแนวทางการออกแบบได้อย่างเหมาะสม
4. เพื่อเป็นระบบฐานข้อมูลการก่อสร้าง Diaphragm Wall ที่เกิดขึ้นในอดีต



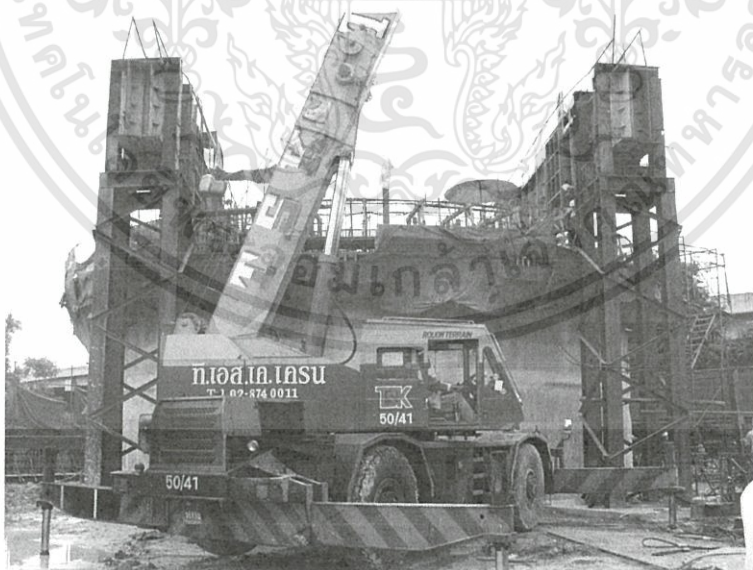
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

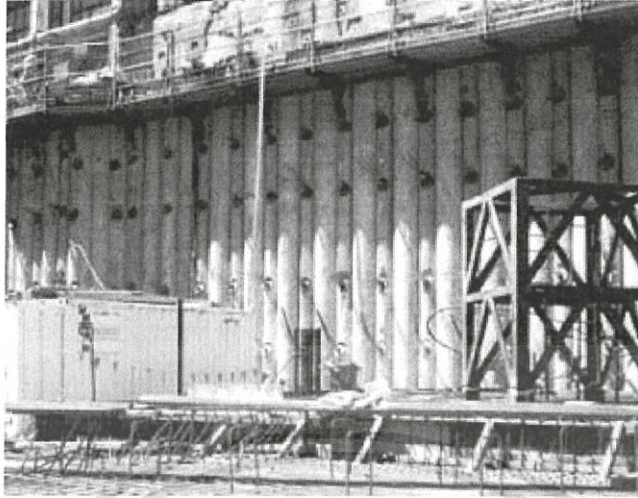
2.1. บทนำ

ในการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดิน หรือการขุดดินลึกสิ่งที่มีความสำคัญที่สุดคือ ส่วนที่ป้องกันแรงดันด้านข้าง และโครงสร้างที่ใช้ในการป้องกัน คือกำแพงกันดิน ซึ่งมีอยู่ 3 ประเภทคือ การก่อสร้างโดยใช้ระบบจมปล่องอุโมงค์ (Sinking caisson system) (รูปที่ 2.1.) ระบบเสาเข็มเจาะเรียงต่อเนื่อง (Secant Bored Pile Wall) (รูปที่ 2.2.) และระบบกำแพงกันดินชนิดขุดหล่อในดิน (Diaphragm Wall) การพิจารณาเลือกระบบการก่อสร้างขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะสภาพแวดล้อมและชั้นดินบริเวณที่จะก่อสร้าง การเลือกระบบก่อสร้างที่เหมาะสมจะช่วยลดทั้งระยะเวลาการก่อสร้างและค่าใช้จ่ายตลอดจนปัญหาและอุปสรรคในการก่อสร้าง โดยโครงสร้างกำแพงกันดินที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือกำแพงกันดินประเภท Diaphragm Wall เพราะมีความสามารถในการรับโมเมนต์ซึ่งเกิดจากแรงดันดินด้านข้างได้สูงกว่า และยังสามารถลดปริมาณการเคลื่อนตัวของดินได้สูงกว่าระบบยืดหยุ่น (Flexible) และที่สำคัญคือใช้เวลาในการก่อสร้างที่น้อยกว่าวิธีอื่น



รูปที่ 2.1. กำแพงกันดินระบบจมปล่องอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2. กำแพงกันดินแบบเข็มเจาะเรียงต่อเนื่อง

ในการก่อสร้าง Diaphragm wall ในปัจจุบันมีหลายหน่วยงานที่นำไปใช้ เช่น กรมทางหลวง ซึ่งได้นำไปสร้างเป็นอุโมงค์ทางลอดทางแยกเพื่อแก้ปัญหาการจราจรติดขัดในทางแยก และการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย ซึ่งได้นำไปใช้ในการก่อสร้างในโครงการรถไฟฟ้ามหานครสายรัชมวงกลม ในส่วนโครงสร้างตัวผนังสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

การก่อสร้างสถานีและการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน Hooi (2003) วิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกำแพงโดยใช้โปรแกรม Plaxis เปรียบเทียบกับข้อมูลที่มี และอธิบายลำดับการก่อสร้างสถานี ลำดับการก่อสร้างสถานีนี้ถูกนำมาใช้ในการขุดดินทุกสถานีโดยใช้ระบบพื้นเป็นค้ำยัน โดยเฉลี่ยแล้วหน้าตัดของสถานีรถไฟฟ้าลึก 20 เมตร กว้าง 18-25 เมตรและยาว 150-200 เมตรสถานีที่ก่อสร้างมีอยู่ 3 ชนิด คือ

1. ชานชาลาอยู่ตรงกลาง
2. ชานชาลาอยู่ด้านข้าง
3. ชานชาลาอยู่ซ้อนกัน

ส่วนการเลือกใช้ชนิดของแต่ละสถานีขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ด้าน เช่น การวิเคราะห์สภาวะดินที่ได้ฐาน ความลึกชั้นสุดท้ายที่ทำการขุด และสถานีที่ตั้งของสถานี เป็นต้น

2.2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีแรงดันด้านข้าง (Lateral Pressure)
2. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforce Concrete Design)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กลศาสตร์ของดิน (Soil Mechanics)

2.3. ชนิดของระบบ Support ที่ใช้ในการขุดดิน

ในการขุดดินจุดประสงค์ก็เพื่อการก่อสร้างชั้นใต้ดิน และงานฐานราก ซึ่งก็มีทั้งการใช้ฐานรองรับ และไม่ใช้ฐานรองรับ

ในกรณีที่ขุดดินแล้วไม่มีการใช้ฐานรองรับ ก็คือเป็นการขุดโดยใช้ ความ มั่นคงของลาดดิน (Slope Stability) เป็นที่ช่วยไม่ให้ดินเคลื่อนตัว เพราะการใช้วิธีนี้จะไม่เป็นการขัดขวางการทำงาน เพราะไม่ต้องมีโครงสร้างใด ๆ เป็นตัวค้ำยัน และราคาก็ถูกในการก่อสร้างด้วย แต่วิธีนี้ก็ยังมีขีดจำกัดอยู่ มาก เช่น พื้นที่ที่ขุด ความลึกของดินที่ขุด ชนิดของดินที่ขุด และสภาพของอาคารข้างเคียงบริเวณขุด โดยเฉพาะถ้าเป็นการขุดดินในกรุงเทพฯ จะใช้วิธีนี้ไม่ได้ เพราะเป็นดินอ่อนและอาคารข้างเคียงมีมาก โอกาสที่จะมีผลกระทบทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย ดังนั้นจึงจะต้องมีระบบ โครงสร้างฐานรองรับ กำแพงกันดิน(Retaining Support) เข้ามาช่วยในการขุดดิน ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งแต่ละระบบจะมีลักษณะดังนี้

2.3.1. ระบบ กำแพงเข็มพืด(Sheet-pile Wall)

กำแพงเข็มพืด (Sheet Pile) เป็นระบบที่ใช้เป็น โครงสร้างรับแรงดันด้านข้างที่มีใช้งานมากในงานทั่วไปที่มีการขุดดินลึก ไม่เกิน 10 เมตร ซึ่งชนิดของวัสดุที่ใช้ก็มีหลายชนิด เช่น ไม้ คอนกรีต และเหล็ก ซึ่งเป็นชนิดที่นิยมมาก อีกทั้งมีการประยุกต์ให้มีระบบค้ำยัน (Bracing) ด้วย ในระบบ กำแพงเข็มพืด (Sheet Pile) การก่อสร้างต้องมีการระบบยึดภายใน (Interlock) ระหว่างชิ้นซึ่งมีความหนาประมาณ 10 มม. ซึ่งจะใช้การตอกลงไปนดินให้ต่อเนื่องกัน แต่การใช้ กำแพงเข็มพืด(Sheet-pile) มีข้อควรคำนึงถึงคือ การโค้งตัวหรือการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้าง เนื่องจากกำแพงเข็มพืด (Sheet Pile) เป็นโครงสร้างที่เกิดการ โค้งตัวได้ง่ายเพราะมีความแข็งแรงแรง (EI) น้อย

2.3.2. ระบบ Jet-Grouted Wall

Jet-Grouting เป็นการก่อสร้างที่ใช้เทคนิคของการเพิ่มเสถียรภาพให้กับดินอ่อน ทำได้ โดยการฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูงเพื่อลงไปปรับปรุงความแข็งแรงของดินอ่อนให้สูงขึ้น ซึ่งเมื่อ Grout Cement ลงไปผสมกับดินอ่อนก็จะมีลักษณะเป็นเสาซีเมนต์ที่แข็งแรงต่อเนื่องและหนาซึ่งจะทำให้ดินมีน้ำหนักมากขึ้น ในกรณีนี้เองที่ทำให้สามารถใช้ระบบนี้เป็น ฐานรองรับ (Support) ในการขุดดินได้ ซึ่งถ้าการ Jet-Grouted หนามากก็จะทำให้สามารถใช้ป้องกันดินในการขุดดินลึกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3. ระบบกำแพงกันดินชนิดชุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall)

ระบบนี้ถือว่าเป็นระบบที่ทันสมัย และกำลังเป็นที่นิยมมากในประเทศไทย ซึ่งเหมาะสำหรับงานของการขุดดินลึกเพื่อทำห้องใต้ดิน (Basement) หรือทำสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน โดยสามารถทำได้ในทุกสภาวะ

กำแพงกันดินชนิดชุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) โดยทั่วไปแล้วจะออกแบบเพื่อเป็นโครงสร้างรับแรงด้านข้าง ซึ่งเกิดจากแรงดันดิน แรงดันน้ำ และแรงจาก Surcharge ต่าง ๆ โดยเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง (Stiffness) สูงกว่า ระบบกำแพงเข็มพืดมาก ซึ่งมีผลดีในการป้องกันการโก่งตัวและการเคลื่อนตัว และสามารถรับโมเมนต์คัตได้มาก

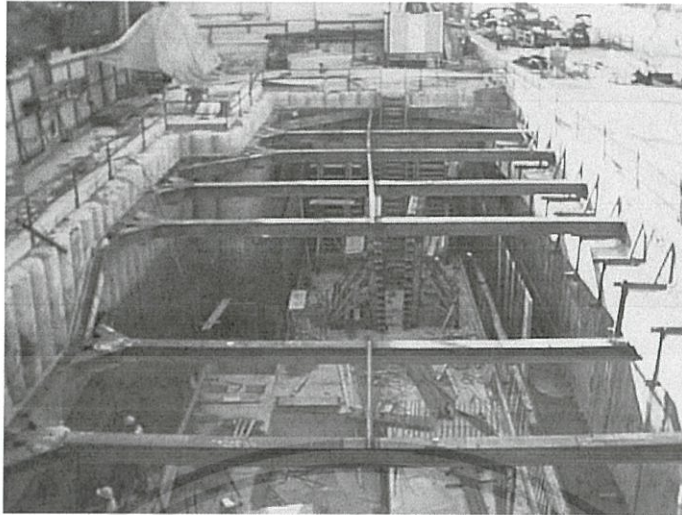
นอกจาก กำแพงกันดินชนิดชุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) จะเป็นโครงสร้างที่รับแรงด้านข้างแล้วยังสามารถรับน้ำหนักในแนวดิ่งได้ด้วย เปรียบเสมือนเป็นเสาที่มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือเรียกว่า Barrette pile หรือ เรียกง่าย ๆ ว่า Legs Diaphragm Wall ซึ่งกำแพงกันดินชนิดชุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) เป็นได้ทั้งโครงสร้างชั่วคราว และ โครงสร้างถาวร

สำหรับการออกแบบและก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดชุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) ในกรุงเทพฯ ได้มีการประยุกต์ระบบต่างๆที่ใช้ในการขุดดินได้ หลายวิธี ได้แก่

1. Diaphragm Wall with “Top-Down” Method
2. Diaphragm Wall with “Bottom-Up” Method
3. Diaphragm Wall with Internal Steel Strut and Preloading
4. Free Standing Diaphragm Wall

2.4. ระบบค้ำยันของกำแพงกันดิน (Braced Cofferdams)

การติดตั้งระบบค้ำยัน (Bracing) ในเบื้องต้นจะกระทำที่ด้านบนของกำแพงเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวซึ่งเกิดขึ้นจากการขุดดินในกรณีที่มีระบบค้ำยันจะมีลักษณะเป็นดังในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3. การค้ำยันเบื้องต้น

ลักษณะที่สำคัญคือ การเคลื่อนตัวจะเป็นการหมุนรอบจุดบน(Top) การโค้งตัวและการเคลื่อนตัวจะขึ้นอยู่กับตัวแปร (Factor) ต่างๆ ต่อไปนี้

1. ระยะของของระบบค้ำยัน (Bracing)
2. ความแข็งแรง (Stiffness) ของกำแพง
3. ความแข็งแรง (Stiffness) ของดินที่ด้านล่าง (Base) ของกำแพง

โดยปกติลักษณะการเคลื่อนตัวจะมีลักษณะเหมือน Arching Active Condition ดังนั้นการกระจายแรงดันที่มีลักษณะใกล้เคียงกับแรงที่กระทำต่อกำแพงจริงๆจะเป็นแบบ Parabolic

2.4.1. ปัจจัยที่ก่อให้เกิดแรง (Load) กระทำต่อ Strut ได้แก่

1. ความแข็งแรงทนทานและความมั่นคงของการเชื่อมต่อระหว่าง Strut, Wale และ Wall
2. มีการ Preload ต่อ Strut ก่อนหรือไม่
3. อุณหภูมิของค้ำยัน (Bracing) ในระหว่างและหลังการติดตั้ง (Bracing Load) จะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยเฉพาะในการขุดดินที่ไม่ได้มีการป้องกันร่มเงา)
4. ระยะห่างของการค้ำยัน (Bracing)
5. ความแข็งหรืออ่อนของดินใต้ระดับที่ขุด
6. น้ำหนัก (Surcharge) ในการก่อสร้าง
7. การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินบ่อยๆ

2.3.2. การออกแบบรับแรงดิน (Design Earth Pressure Diagram)

Terzaghi และ Peck (1968) ได้แนะนำให้ใช้ Earth Pressure Diagram สำหรับการออกแบบ Braced wall ซึ่ง Strut จะถูกออกแบบให้รับแรง (Load) ภายในพื้นที่ระหว่างจุด 2 จุดของ ค้ำยัน (Bracing) ด้านบน และด้านล่าง

ในกรณีของดินอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลาง (Soft to Medium Clay) ไคอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบขึ้นอยู่กับ Stability Number, ($N = \gamma H / S_u$) การคำนวณแรงดัน (Earth Pressure) ของดินเหนียว (Clay) จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักทั้งหมดของดิน (Total Weight of Soil) ซึ่งสมมติให้ดินเหนียวมีสภาพเป็นแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained) ดังนั้นแรงดันดิน (Earth Pressure) จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักทั้งหมด (Total Unit Weight) และค่ากำลังรับแรงเฉือนเริ่มต้น (Initial Shear Strength) ของดิน

เมื่อ Stability Number (N) มีค่า 5 – 6 จะสังเกตว่าไคอะแกรมจะเท่ากับแรงดันแรงกิ้น (Rankin Pressure) ที่แสดงไว้เปรียบเทียบ ซึ่ง Peck (1969) กล่าวว่าค่า 'm' จะเท่ากับ 0.4 ในดินชนิดดินเหนียวที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitive Clay) และจะเท่ากับ 1.0 ในดินชนิดไม่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (Insensitive clay)

2.4. ความมั่นคงในการขุด-ตัด ดินเหนียว (Stability of Slurry Trench Cut in Saturated Clay)

ในการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) ชั้นเริ่มต้นจะต้องขุดดินให้ได้ตามขนาดของ Panel ที่ต้องการ ซึ่งในการขุดดินในกรุงเทพฯ ส่วนมากจะเป็นดินเหนียวอ่อนที่เกือบจะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ซึ่งอาจจะมีผลกระทบจากการกระทำต่างๆ ในขณะที่เริ่มต้นขุด เช่น แรงดันดินด้านข้าง และ น้ำหนัก (Surcharge) ของฐานรากอาคารข้างเคียง, เครื่องจักรอุปกรณ์ในการก่อสร้างหรือน้ำหนักจากรถที่วิ่งบนถนนรอบๆ บริเวณที่ขุดซึ่งในกรณีเช่นนี้จะต้องมีการทำให้หลุมขุดมีเสถียรภาพโดยไม่ใช้ Bracing ซึ่งจะใช้สารละลายเบนโทไนท์ใส่ลงไป ในหลุมที่ขุดอยู่ตลอดเวลา และสามารถคำนวณเสถียรภาพในกรณีเช่นนี้โดยอาศัยสูตรของ Professor G.G. Meyerhof, F.ASCE. ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$\text{Factor of Safety} = \frac{N * C_u}{[P_o - P_L + (K * C_u) + S]} \quad (2.1.)$$

เมื่อ D = ความลึกของ Diaphragm Wall จากผิวดิน

B = ความกว้างของ Panel ที่ขุด

K = สัมประสิทธิ์ของ MEYERHOF ดังในรูปที่ 2.15

$P_o = D * \text{ความหนาแน่นของดิน}$

$P_L = D * \text{ความหนาแน่นของสารละลายเบนโทไนท์}$

$C_u = \text{Undrained Shear Strength}$

$S = \text{Surcharge}$ ช้างหลังหลุมที่ขุด

$N = \text{Stability Factor}$ หาได้จาก MEYERHOF

2.4.1. การวิเคราะห์การอูด (Heave) ในระบบ Diaphragm Wall

เป็นที่รู้จักกันอยู่แล้วว่าเมื่อมีการขุดดินออกแล้วจะทำให้แรงในแนวตั้งลดลง ซึ่งก็จะทำให้แรงดันดินเชิงรับ (Passive) น้อยลง และจะก่อให้เกิดปัญหาการอูดของดินด้านล่าง (Bottom Heave) ขึ้นในดินอ่อนที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือน (S_u) ของดินเกือบคงที่ตลอดความลึกที่ต่ำกว่าพื้นขุดแล้วจะทำให้แรงดันเนื่องจากชั้นดินด้านล่างผ่านลงมาอูดขึ้นที่บริเวณขุด แต่ถ้าบริเวณพื้นขุดมีค่ากำลังรับแรงเฉือน (S_u) สูงก็จะมีแรงต้านเพียงพอกับแรงดันที่เกิดขึ้นนี้ ช่วยไม่ได้เกิดการอูดของพื้นขุดได้ โดยแรงต้านแรงดันดินเชิงรับ (Passive) ในดินนี้จะขึ้นอยู่กับค่ากำลังรับแรงเฉือน (Under Drained Shear Strength) ซึ่งสามารถพิจารณาชั้นส่วนที่พื้นล่างขุดได้

ซึ่งในกรณีเช่นนี้อาจจะไม่ต้องคิดแรงดันน้ำก็ได้ เพราะว่าแรงดันของน้ำ (Pore Pressure) เราถือว่ารวมอยู่ในค่าของกำลังรับแรงเฉือน (S_u) อยู่แล้ว (ถือว่ามีสถานะเป็น Undrained)

สำหรับในการขุดดินออกและก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) จะต้องให้มี Embedment มากเพียงพอที่จะทำให้เกิดแรงดันดินเชิงรับ (Passive) เพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการอูดขึ้นด้านล่าง (Bottom Heave) ได้ และจะต้องมีการตรวจสอบค่าตัวประกอบความปลอดภัย (Factor of Safety) สำหรับกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) ด้วยคือ

$$F = \frac{N_c S_u + [2(B + L)h / BL] \alpha S_u}{\gamma H + q} \quad (2.2.)$$

เมื่อ F = ค่าตัวประกอบความปลอดภัย (Factor of Safety)

H = ความลึกของการขุด (Depth of Excavation)

γ = ความหนาแน่นของดิน (Soil Density)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Su = ค่า Undrained Shear Strength ของดินด้านล่างและบริเวณก่อสร้าง
- Q = น้ำหนัก (Surcharge Load) ที่ผิวดิน
- Nc = Stability Number ซึ่งหาได้จากรูปที่ 2.20 เมื่อ $D = H + h$
- h = ระยะฝังของกำแพงใต้ระดับดินขุด (Wall Embedment Below Excavation Level)
- α = Adhesion Factor สำหรับดินเหนียวอ่อน = 1
- B = ความกว้างของการขุด (Width of Excavation)

ในการวิเคราะห์นี้อัตราส่วน D/B เป็นอัตราส่วนที่นำไปใช้ในการหาค่า Nc ถ้า L น้อยกว่า B ก็ให้ใช้ค่า D/L ไปหาค่า Nc และถ้าเกิดว่ากำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) ฝังลงไปลึกถึงชั้นดินแข็งหรือมีค่ากำลังรับแรงเฉือน (Su) มากก็แสดงว่าค่าตัวประกอบความปลอดภัย จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลกระทบในด้านการขุดของดินด้านล่าง (Bottom Heave) อาจจะไม่ต้องศึกษาก็ได้ถือว่าปลอดภัย

2.5. การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวด้านข้างของดิน

2.5.1. ความสัมพันธ์จากการเคลื่อนตัวด้านข้างและการทรุดตัวแนวตั้ง

เป็นที่รู้กันอยู่แล้วว่าในการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากการขุดดินจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของดินในแนวตั้ง ซึ่งในกรณีนี้จะต่างจากการทรุดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน (Consolidation Settlement) จากประสบการณ์ที่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้โดยอาศัยวิธี Finite Element สำหรับดินชนิดดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง (Soft to Medium Clay) จะได้รูปแสดงค่าการทรุดตัวในแนวตั้งเฉลี่ย ปกติแล้วจะมีค่าน้อยกว่าการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้าง และจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้าง(ไม่รวมการ Consolidated) และจากการศึกษาที่ผ่านมาการทรุดตัวในแนวตั้งส่วนมากจะอยู่ระหว่าง 1/2 - 3/2 เท่า ของการเคลื่อนตัวในแนวราบ และมากที่สุดอยู่ระหว่าง 2/3 – 4/3 เท่า ของการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้าง ถ้าหากเรารู้ถึงโซนที่มีผลกระทบต่อ การเคลื่อนตัวหลังผนังใกล้ๆกับบริเวณที่ขุดดิน โดยการคาดการณ์ล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำแล้วก็จะทำให้ การขุดดินเป็น ไปอย่างปลอดภัย เพราะได้เตรียมการออกแบบไว้ล่วงหน้า

Peck (1969) ได้อธิบายถึงบริเวณที่มีผลกระทบต่อการทรุดตัวของบริเวณที่ขุดดิน ซึ่งก็อาศัยจากการวัดและการสังเกตในสภาพการทำงานจริง และได้แสดงให้เห็นว่าผลกระทบจากการทรุดตัวในแนวตั้งที่เกิดขึ้น ในดินชนิดมีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesive Soil) ประมาณได้เป็น 2 เท่า ของความลึกที่ขุดลงไปจากผิวดินส่วนดินที่เป็นไม่มีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesionless Soil) เช่นพวกทราย ระยะที่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรุดตัวอาจจะไม่ถึง 2 เท่าของความลึกที่ขุด โดยบริเวณที่มีการอัดตัวมากจะอยู่ที่ระดับต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งก็เป็นลักษณะคล้ายๆกับการการยุบอัดตัวของดิน (Consolidation) และจะเห็นได้ว่าการทรุดตัวของดินข้างหลังกำแพง นั้นจะแปรผันไปตามคุณสมบัติของดินหรือค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength)

2.5.2. การประมาณค่าการทรุดตัวของรอบบริเวณขุดหลุมลึก (Estimate of Ground Loss Around Excavation)

Caspe (1966) ได้ศึกษาและเสนอวิธีการประมาณการทรุดตัวของดินหลังผนัง ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะอาศัยการ โกงตัวทางด้านข้างของผนังมาคิด และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีของ Peck (1943) ซึ่งได้ผลออกมาใกล้เคียงกัน โดยมีวิธีการประมาณการทรุดตัวดังนี้

1. วัดการ โกงตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall)
2. คำนวณปริมาตรที่โกงตัวออกไป(V_s) โดยใช้ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ซึ่งก็จะได้เป็นปริมาตรของดินที่เคลื่อนตัวออกไป
3. คำนวณระยะทางด้านหลังผนังที่มีผลกระทบของการทรุดตัวนี้ วิธีการหากี่เสนอโดย Caspe และต้องเป็นดินประเภท Clay-base Soil ด้วย

- หาคความสูงของกำแพง (H_w)
- คำนวณหาระยะต่ำกว่าระดับขุดดิน (Dredge Line) (H_p) โดยจะใช้ $H_p = B$ ในดินที่มี $\phi = 0$ ส่วนดินที่มี $\phi > 0$ ก็ใช้ $H_p = 0.5B \tan(45 + \phi/2)$

เมื่อ $B =$ ความกว้างของการขุดดิน
จะได้ $H_t = H_w + H_p$ (2.3.)

- คำนวณหาระยะที่มีผลกระทบกับการทรุดตัวเป็นระยะ D

$$D = H_t \tan(45 - \phi/2) \quad (2.4.)$$

4. คำนวณหาผิวการทรุดตัวที่บริเวณกำแพง

$$S_w = 4V_s/D \quad (2.5.)$$

5. คำนวณหาระยะการทรุดตัว ระยะห่าง S_i จากผนังโดยเริ่มมาจากระยะ D ไปหาค่าแพงและสมมติให้ การแปรผันเป็นแบบ Parabolic

$$S_i = S_w(X/D)^2 \quad (2.6.)$$

เมื่อ $X = D - i$

ตัวอย่างการคำนวณการทรุดตัว(Settlement) จากกราฟการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Deflection) สมมติว่าการเคลื่อนตัวมีดังรูปที่ 2.4 . เมื่อ Excavation เท่ากับ 52 ฟุต และมี $\phi = 0$ ที่ ระยะ-14ฟุตลงไป

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 อินทิเกรตค่าการแอ่นตัวของกำแพง (Wall Deflection) ช่วงละ 1 ฟุต ที่ระยะ -1 ถึง -35 ฟุต และคำนวณค่า V_s

$$V_s = 2/12 * \{[(1.2+0.2)/2] + 1.3+1.4+...+0.5\} = 4.4 \text{ ฟุต}^3$$

ระยะการทรุดตัว (Settlement-Influence Distance) จะเท่ากับ 90 ฟุต คำนวณได้ดังนี้

$$H_i = 38 + 52 = 90 \text{ ฟุต } D = 90 \tan 45 = 90 \text{ ฟุต } (\phi = 0)$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า Ground Settlement (S_w)

$$S_w = 4.4(4)/90 = 0.196 \text{ ฟุต} = 2.35 \text{ นิ้ว (วิธีของ Peck จะได้ 2.04)}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า Settlement ที่ระยะ 20, 40 และ 60 จากกำแพง

$$S_{20} = 2.35(70/90)^2 = 1.42 \text{ นิ้ว (Peck ประมาณ 1.3)}$$

$$S_{40} = (50/90)^2 = 0.72 \text{ นิ้ว (Peck ประมาณ 0.7)}$$

$$S_{60} = 2.35(30/90)^2 = 0.26 \text{ นิ้ว (Peck ประมาณ 1.3)}$$

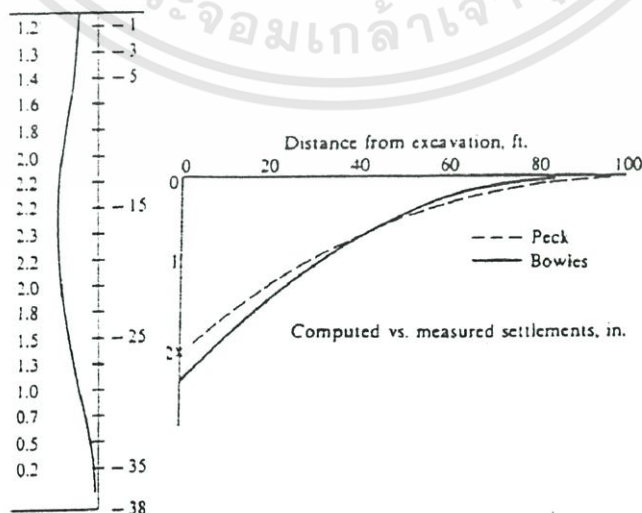
2.5.3. การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน (Lateral Deformation in Soil)

ตามปกติแล้วการทรุดตัวของแนวค้ำจะเป็นตัวที่มีผลกระทบต่อการเสียหายของโครงสร้าง และค่าการทรุดตัวก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางการเคลื่อนตัวในแนวราบซึ่งค่าที่เกิดขึ้นจริงนั้นอาจจะมากกว่าค่าที่ประมาณไว้ก็ได้

การศึกษานี้จะแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน นั้นก็เป็นสาเหตุของการเสียหายได้เหมือนกัน เพราะการทรุดตัวก็เกิดจากการเคลื่อนตัวด้วยเหมือนกัน ดังนั้นค่าทั้งสองอย่างนี้ก็จะมีความสัมพันธ์ แต่ก็ไม่สามารถบอกได้ว่าการทรุดตัว หรือการเคลื่อนตัวจะทำให้เกิดความเสียหายมากกว่ากัน เพราะว่าในแง่ของความรู้สึกของวิศวกรแล้วคำว่าความเสียหายนี้ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ถือว่ามีความรุนแรงหมด ซึ่งส่วนมากแล้วงานใต้ดินจะมีการตรวจสอบการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้างเป็นส่วนมาก เพราะจะวัดได้ง่ายและแน่นอนกว่าการวัดการทรุดตัวในแนวค้ำ โดยเฉพาะในดินประเภท Heavily Overconsolidated Clay ซึ่งจะมีการเคลื่อนตัวด้านข้างเป็นส่วนใหญ่เพราะว่าดินประเภทนี้ จะมีความเค้นในแนวราบ (Horizontal Stress) หลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะเกิดขึ้นเนื่องจากการขุดดินนั่นเอง ซึ่งตามปกติแล้วการเคลื่อนตัวด้านข้างจะมีค่ามากที่สุดที่บริเวณผิวของผนังและจะน้อยลงเรื่อยๆเมื่อห่างจากผนังออกไป ดังนั้นรูปปร่างการ โกงตัวของผนังจะเกิดจากการกระจายการเคลื่อนตัวด้านข้างในมวลดิน

จากข้อมูลที่วัดในสนาม จะมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างจะเป็นไปตามลักษณะการ โกงตัวของผนัง
2. การเคลื่อนตัวจะเพิ่มตามความลึกของดินที่ขุด



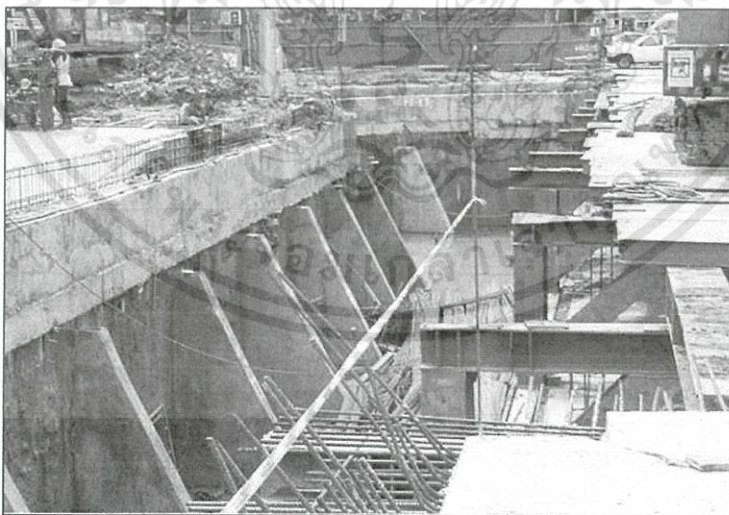
รูปที่ 2.4. รูปแสดงการเคลื่อนตัวด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6. ปริมาณของการเคลื่อนตัวของดิน

การเคลื่อนตัวด้านข้างของดินใกล้กับบริเวณที่ขุดดิน ซึ่งมีสาเหตุต่างๆที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวแต่จริงๆแล้วมีความซับซ้อนมากพอสมควรที่จะทำการวิเคราะห์และแบ่งตัวแปรแต่ละอย่างเป็นข้อมูลพื้นฐานทั่วไป อย่างไรก็ตามก็จะได้อธิบายถึงตัวแปรต่างๆที่คิดว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้างและแนวตั้งของดินด้านนอกบริเวณที่มีการขุด ดังนี้

1. เกิดจากการเคลื่อนตัวของผนัง (Displacement) ของผนังที่ใช้ ในที่นี้จะรวมไปถึงระบบของค้ำยัน (Bracing) ด้วย คือ ถ้าโครงสร้างที่มีความแข็งแรง เช่นกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm wall) ก็จะทำให้สามารถลดการเคลื่อนตัวของดินลงได้มาก และอีกอย่างหนึ่งคือการติดตั้งระบบค้ำยัน (Bracing) จะต้องดีและระยะห่างของระบบค้ำยัน (Bracing) แต่ละชั้นก็ต้องไม่ห่างกันเกินไป (รูปที่ 2.5.) เพราะการเคลื่อนตัวด้านข้างจะมีความแปรผันโดยตรงกับระยะห่าง (Spacing) ของค้ำยัน (Bracing) และถ้าได้มีการเพิ่มความเค้น (Stress) เข้าไปกับระบบค้ำยันโดยการทำการให้แรงกระทำ (Preload) ด้วยแล้วจะสามารถช่วยลดการเคลื่อนตัวด้านข้างได้เป็นอย่างดี และอีกตัวแปรหนึ่งที่น่าจะมีผลกับประเทศไทยคือ อุณหภูมิที่ร้อนมากจะทำให้เกิดความเครียด (Strain) ในระบบค้ำยัน ได้ง่ายขึ้นเมื่อรับแรงดันในแนวด้านข้างมากๆ

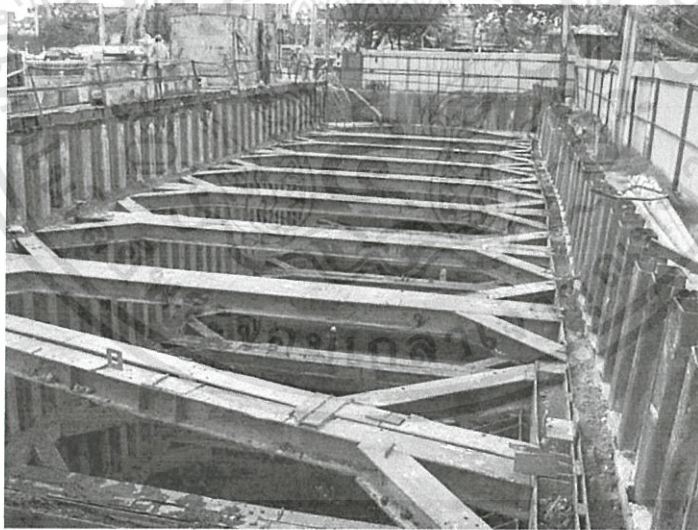


รูปที่ 2.5. การติดตั้งค้ำยันแบบครีบบ

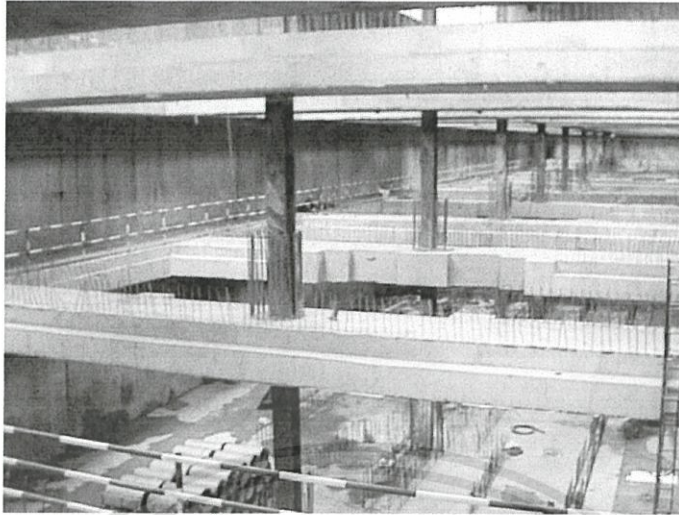
2. การเคลื่อนตัวจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength) ของดิน เพราะค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน (S_u) นี้จะเป็นความสามารถในการต้านทานแรงเฉือนของดินแต่ละชนิด ถ้าดินนั้นมีค่า S_u มากก็แสดงว่ามีเสถียรภาพมากขึ้นด้วย ซึ่งจะไม่ทำให้เกิด Lateral Strain เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้นไปเมื่อมีการขุดเอาดินออกและจะไม่ทำให้เกิดการอูด หรือ Heave ขึ้นที่พื้นล่างของการขุดด้วย เพราะว่าดินที่พื้นล่างมีกำลังต้านทานแรงเฉือนได้เพียงพอ และจะทำให้แรงดัน σ_h ทางด้านแรงดันดินเชิงรับ (Passive Pressure) ลดลงด้วย เพราะว่าเมื่อขุดดินออกก็แสดงว่าเป็นการลดความเค้นในแนวตั้ง (σ_v) ซึ่ง σ_h ก็จะลดลงด้วยตาม K_0 ($K_0 = \sigma_v/\sigma_h$) ซึ่งในการก่อสร้างเราจะแก้ปัญหาในกรณีนี้ได้โดยการขุดตรงกลางของพื้นที่ขุดออกก่อน แล้วทำฐานรากตรงกลางก่อน ซึ่งน้ำหนักของฐานรากจะช่วยเพิ่มความเค้นในแนวตั้ง (Vertical Stress) ได้

3. ขึ้นอยู่กับความแข็งแรง (EI) ของโครงสร้างที่นำมาเป็นกำแพงกันดิน (Retaining Wall) เพราะถ้าเกิดนำโครงสร้างที่เป็นโครงสร้างแบบยืดหยุ่น (Flexible Structure) เช่น ระบบกำแพงดินแบบเข็มพืด (Sheet Pile) มาใช้ ก็จะทำให้เกิดการโก่งตัวได้ง่ายกว่าโครงสร้างที่แข็งแรง (Rigid) กว่า เช่น กำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) (รูปที่ 2.6.) และมีผลให้ดินบริเวณรอบๆ ที่ขุดเคลื่อนตัวตามไปด้วย แต่โครงสร้างที่เป็นแบบยืดหยุ่น (Flexible) ก็สามารถทำให้แข็งแรง (Rigid) ได้โดยการเพิ่มระบบค้ำยัน (Bracing) เข้าไปในระบบ (รูปที่ 2.7.) เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งอาจจะสามารถที่จะลดการเคลื่อนตัวได้มากกว่า กำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) ก็ได้



รูปที่ 2.6. ระบบกำแพงกันดินแบบเข็มพืดที่มีการค้ำยันแน่นหนา



รูปที่ 2.7. การค้ำยันในกำแพงระบบ Diaphragm Wall

4. ผลกระทบด้านน้ำหนัก (Surcharge) ซึ่งจะทำให้แรงดันด้านข้างเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินได้มากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณจุดที่อยู่ใกล้ถนนหรือมีรถวิ่งอยู่รอบ ๆ บริเวณจุดจะต้องออกแบบกำแพงกันดิน (Retaining Wall) และทำการให้แรงกระทำ (Preload) ตามเปอร์เซ็นต์ของแรงดันด้านข้างเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของผนังได้อีกส่วนหนึ่ง และก่อนที่จะทำการติดตั้ง Strut นั้นก็ควรจะนำกองดิน (Earth Berm) (รูปที่ 2.8.) ไว้เป็นฐานรองรับชั่วคราว (Temporary Support) ก่อนซึ่งจะช่วยป้องกันการเคลื่อนตัวได้นิดหน่อยเท่านั้น อีกทั้งต้องติดตั้งค้ำยัน (Bracing) อย่างรวดเร็วไม่ปล่อยให้เวลาล่วงเลยไปนาน ๆ เพราะการเคลื่อนตัวก็จะเกิดขึ้นเรื่อยๆตามเวลา



รูปที่ 2.8. การนำกองดิน (Berm) ช่วยในการค้ำยัน

2.5.4. ผลกระทบของ Wall Stiffness ต่อการเคลื่อนตัวด้านข้างในดินเหนียว

ความแข็งแรงของกำแพง (Wall Stiffness) ในที่นี้ไม่ได้หมายถึงเฉพาะตัวโครงสร้างกำแพงเท่านั้น แต่จะรวมถึงระบบค้ำยันต่างๆ และระยะห่างระหว่าง Wale ในแนวตั้งด้วย การวัดความแข็งแรงของผนังจะอยู่ในรูปของ Rowe's Flexibility Number สำหรับผนัง คือ

$$\frac{EI}{L^4} \quad (2.7.)$$

เมื่อ E = Modulus of Elasticity of Wall
I = Moment of Inertia of Wall
L = Vertical Spacing between Support Level

โดยปกติแล้วกำแพงกันดินชนิดชุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) จะมีค่าความแข็งแรง (EI) มากกว่ากำแพงเข็มพืด (Sheet-pile) และถ้าจะมีการเทียบระยะห่างของ Wale ด้วยแล้วก็จะยังมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากกำแพงเข็มพืด (Sheet-pile) มีระบบค้ำยัน (Bracing) ที่มากพอก็จะมีค่าความแข็งแรงกว่ากำแพงกันดินชนิดชุดเจาะหล่อในดินก็ได้

แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาจะเห็นได้ว่า Diaphragm Wall จะลดค่าการเคลื่อนตัวในดินอ่อนถึงดินเหนียวแข็งได้มากกว่าการใช้กำแพงเข็มพืดที่เดียว ความพยายามที่จะศึกษาถึงผลกระทบของความเพิ่มของผนังกับการเคลื่อนตัวของดินนี้ เราจะได้เขียนกราฟออกมาในรูปของ Stability Number ($N=\gamma H/S_u$) [ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง Overburden Stress (γH) กับค่า Undrained Shear Strength (S_u)] และค่าประกอบความแข็งแรง (EI/L^4) ซึ่งจะเป็นการหาความสัมพันธ์ของกำลัง หรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดิน โดยการวัดหาความสัมพันธ์ของกำลังหรือการเคลื่อนตัวของดินจะได้ว่า

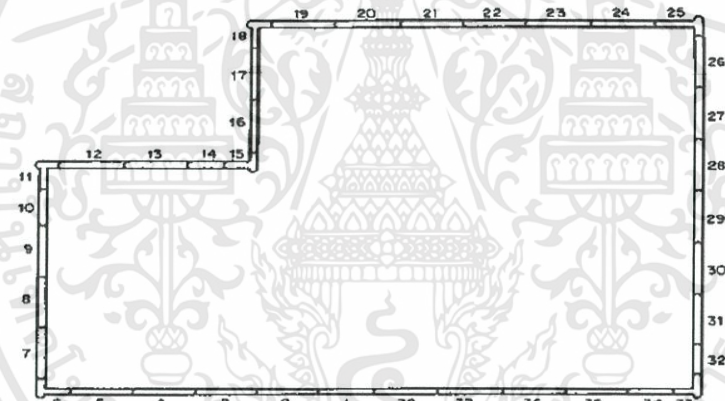
1. การเคลื่อนตัวทางด้านข้างจะมีค่ามากกว่าการทรุดตัวในแนวตั้ง ถ้าหากว่ายังไม่มีทรุดตัวเนื่องจากยุบอัดตัว (Consolidated Settlement)
2. ค่า N ที่คำนวณได้มากที่สุดจะแปรผันตามค่ากำลังรับแรงเฉือน (S_u) โดย H เป็นความลึกที่ขุดต่ำสุดระหว่างชั้นดินเหนียวที่กระทำกับกำแพง
3. ความแข็งแรงของ กำแพงจะมีพื้นฐานมาจากระยะห่าง (Spacing) ระหว่าง Wale ถ้า N ที่เกิดขึ้นมีค่ามากที่สุดในช่วงการขุดดิน ค่า L ก็จะคำนวณมาจากค่าระยะห่างระหว่าง Wale และบวกเพิ่มไปอีก 2 ฟุต (Overcut) แต่ถ้า N มากที่สุดที่ระดับการขุดดิน (Base Excavation) ค่า L จะคำนวณจากระยะระหว่าง Strut ชั้นล่างสุดกับระดับการขุดดิน

บทที่ 3

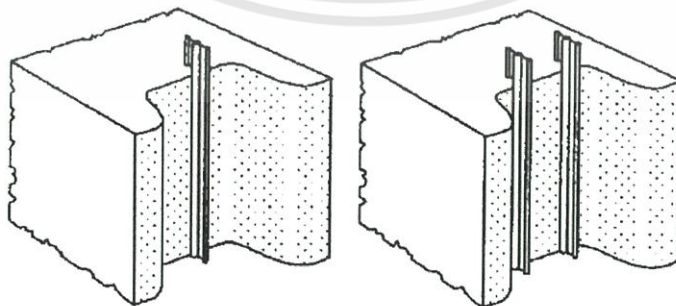
วิธีการก่อสร้าง และความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น ในการก่อสร้าง Diaphragm Wall

3.1. ทัวไป

กำแพงกันดินแบบขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) จะทำการก่อสร้างเป็นแผง (Panels) ต่อเนื่องติดต่อกันไป (รูปที่ 3.1) รอยต่อของแต่ละแผง (Joint) สามารถออกแบบใช้ได้หลายชนิด และการก่อสร้าง Diaphragm Wall ในชั้นดินกรุงเทพฯ โดยทั่วไปจะเลือกใช้แบบมีแผ่นยางกันน้ำรั่ว (Water Stop) ตรงรอยต่อ (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.1. แผนผังของ Diaphragm Wall Panel



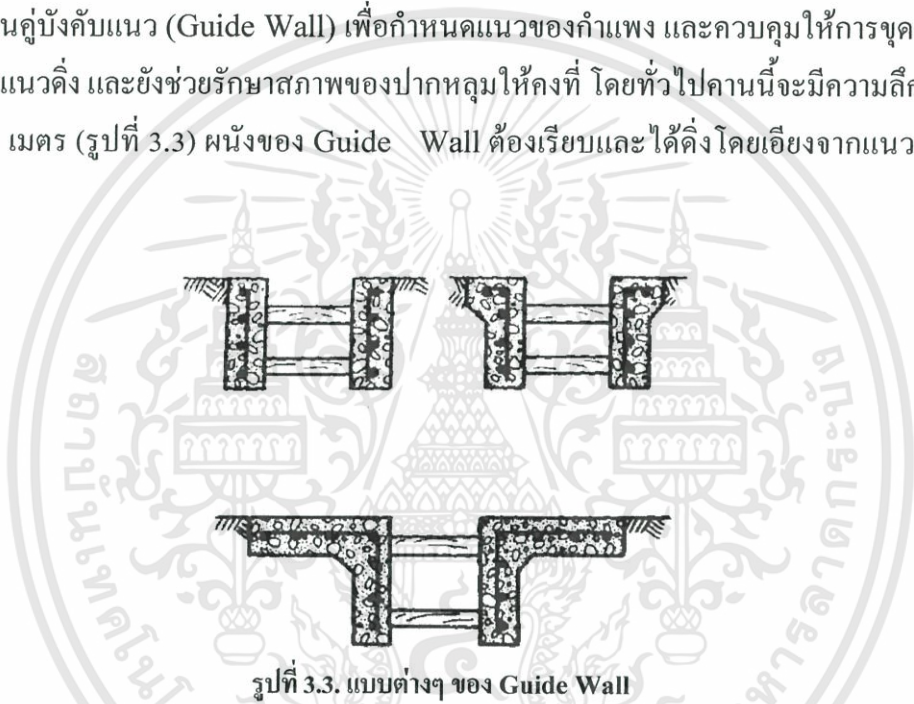
รูปที่ 3.2. รอยต่อแบบใส่ยางกันน้ำรั่วซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. วิธีการก่อสร้าง Diaphragm Wall

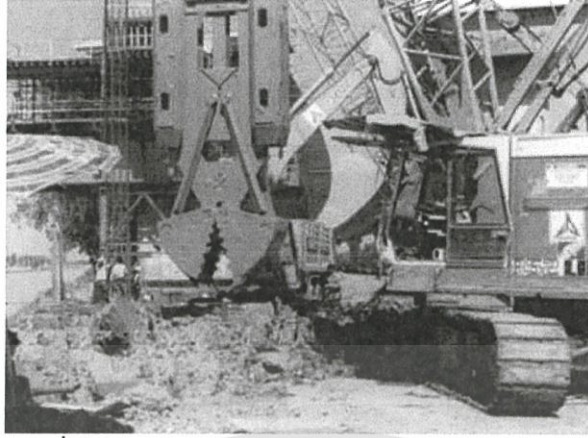
เนื่องจาก Diaphragm Wall เป็นการก่อสร้างโดยตรงในชั้นดิน ไม่มีปลอกเหล็กป้องกันดินพังเหมือนการทำเสาเข็มเจาะ และมีการขุดดินภายในออกมาพร้อมกับการก่อสร้าง ดังนั้นในการทำงานจึงต้องมีความระมัดระวังสูงมาก ทั้งเรื่องแนวการขุด ระยะการค้ำยัน รวมถึงระดับการขุดในแต่ละชั้นด้วย โดยสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนการทำงานเป็นขั้นๆ ได้ ดังนี้

1. การสำรวจเพื่อให้ค่าพิคคของแนวกำแพง รวมถึงการให้ค่าระดับด้วย
2. การทำคานค้ำยันแนว (Guide Wall) เพื่อกำหนดแนวของกำแพง และควบคุมให้การขุดกำแพงให้เป็นไปในแนวค้ำ และยังช่วยรักษาสภาพของปากหลุมให้คงที่ โดยทั่วไปคานนี้จะมีความลึกประมาณ 1.50-2.00 เมตร (รูปที่ 3.3) ผนังของ Guide Wall ต้องเรียบและได้ค้ำโดยเอียงจากแนวค้ำไม่เกิน 1:200



รูปที่ 3.3. แบบต่างๆ ของ Guide Wall

3. การขุดเจาะโดยทั่วไปใช้หัวเจาะแบบ Cable Hang Grab (รูปที่ 3.4) อาจเป็นแบบ Mechanical หรือ Hydraulic การเจาะใช้หัวตัดขุดดินในร่อง Guide Wall ออกจนถึงระดับใต้ Guide Wall แล้วจึงเติมสารละลายเป็นโทไนท์ (Bentonite Slurry) ลงไปในร่องให้ด้านแรงดันของดินมิให้บีบตัวหรือพังเข้ามา การเติมสารละลายต้องให้สูงกว่าระดับใต้ Guide Wall ตลอดเวลา และคุณสมบัติของสารละลายที่เติมลงไปต้องมีคุณสมบัติพอที่จะต้านแรงดันของดินมิให้บีบตัวหรือพังทลายเข้ามาในร่องที่เจาะไว้ โดยต้องตรวจสอบทุกขั้นตอนคือ (ก) เมื่อผสมใหม่ (ข) ตอนกำลังขุดเจาะ และ (ค) ตอนก่อนเทคอนกรีต โดยเก็บจากกันหลุมมาทดสอบ



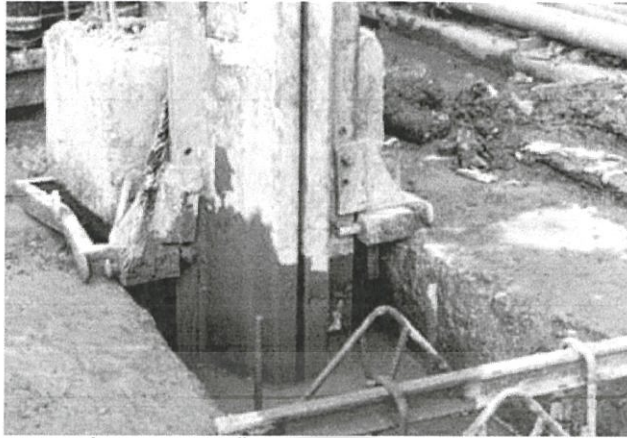
รูปที่ 3.4. เครื่องมือขุดเจาะ Diaphragm Wall แบบ Cable Hang Grab

4. เมื่อเจาะร่องกำแพงได้ความยาว และความลึกที่ได้ออกแบบไว้แล้วต้องทำความสะอาดละลายเป็น โทไนท์ในหลุมเจาะโดยการ Recycle Bentonite Slurry จนกว่าคุณสมบัติของสารละลายที่กั้นหลุม เจาะมาทดสอบ จะได้ตามรายการจึงทำการติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต (Stop End Plates) ที่ปลายร่อง ขุด (รูปที่ 3.5ก และ 3.5ข) จากนั้นทำการหย่อน โครงเหล็กที่ผูกเตรียมล่วงหน้าไว้แล้วลงในหลุมเจาะ (รูปที่ 3.6) หากโครงเหล็กหนัก และยาวเกินกว่าที่จะยกได้ในครั้งเดียวโดยไม่เกิดการบิดเบี้ยวหรือ โค้งงอ ก็อาจผูกเป็น 2-3 ท่อน แล้วต่อที่ปากหลุมเจาะก็ได้ การลงเหล็กเสริมต้องจัดให้ได้ระดับและ ตรงตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้

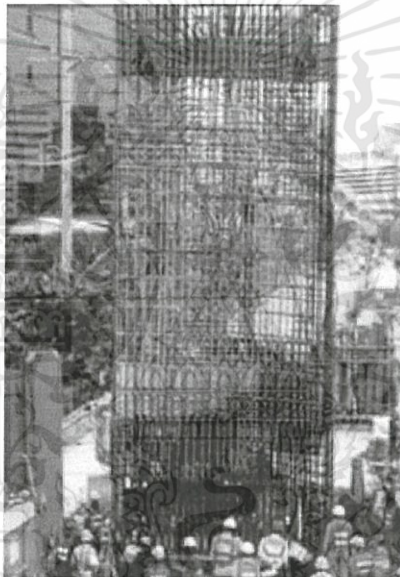


รูปที่ 3.5.ก Stop End Plates ก่อนการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5.ข การติดตั้ง Stop End Plate ที่ปลายร่องชุด



รูปที่ 3.6. การลงเหล็กเสริม

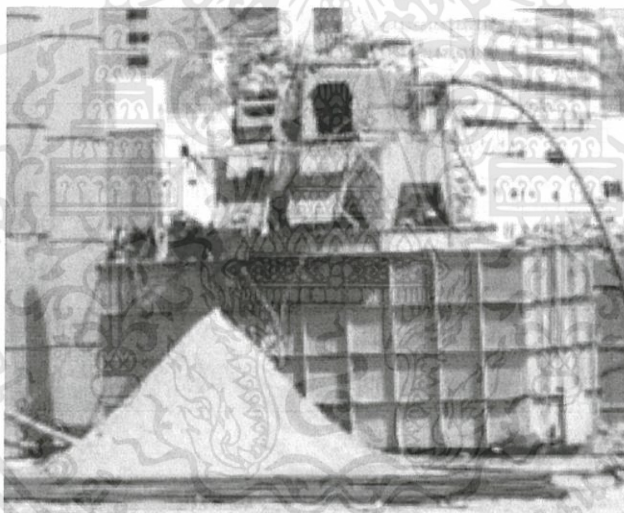
5. หลังจากลงโครงเหล็กเรียบร้อยแล้ว จึงทำการใส่ท่อเทคอนกรีตสำหรับเทคอนกรีตได้นำ (Tremie Concrete) แล้วเก็บตัวอย่างสารละลายเป็นโทไนท์จากก้นหลุมมาทดสอบคุณสมบัติให้ได้ตามรายการก่อนทำการเทคอนกรีต หากไม่ได้ตามข้อกำหนดต้อง Recycle เพิ่มเติมจนกว่าคุณสมบัติของสารละลายจะได้ตามรายการ การใส่ท่อเทอาจใส่ท่อเดียว หรือมากกว่าก็ได้ ขึ้นอยู่กับความยาวของร่องที่ขุด โดยทั่วไป หากร่องขุดยาวเกิน 3.50 เมตร ควรจะใส่ 2 ท่อ (รูปที่ 3.7) เพื่อให้คอนกรีตที่เทลงไปได้คุณภาพสม่ำเสมอ สารละลายเป็นโทไนท์ที่ถูกแทนที่โดยคอนกรีตจะไหลลื่นและถูกดูดไปทำความสะอาดโดย Desander & Desilter Unit (รูปที่ 3.8) เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำอีก และในระหว่างเทคอนกรีตปลายของท่อเทคอนกรีตจะต้องฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีตไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร ตลอดเวลาแต่ไม่ควรฝังปลายท่อในคอนกรีตลึกเกินไป (ณรงค์และคณะ, 2542) และต้องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลานับหลังจากทำความสะอาดสารหลุมเจาะแล้วเสร็จจนถึงเริ่มเทคอนกรีตให้ชั้นที่สุด Martin (1996) แนะนำอย่าให้เกิน 5 ชั่วโมง



รูปที่ 3.7. การเทคอนกรีตใต้น้ำ (Tremie Concrete)



รูปที่ 3.8. ทRAY และ ทRAYฝุ่น ในสารละลายที่ถูกแยกโดย Desander&Desilter Unit

3.3. ข้อดีของกำแพงกันดินในระบบ Diaphragm Wall

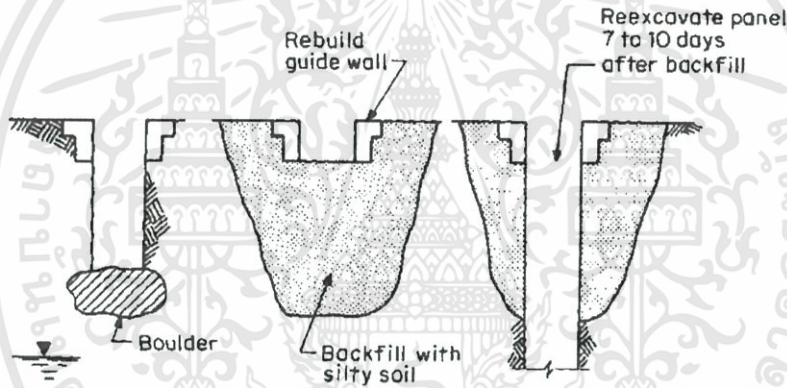
1. สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว
2. สามารถสร้างได้ในที่ระดับความลึกมากๆ
3. สามารถนำมาใช้เป็นที่โครงสร้างชั่วคราว และถาวรได้
4. สามารถออกแบบเป็นผนังรับแรงได้ โดยอาจใช้รับแรงแทนเสาเข็มได้
5. ในขณะที่ก่อสร้างก่อให้เกิดเสียงรบกวน และการสั่นสะเทือนเพียงเล็กน้อย
6. ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างน้อย ไม่รบกวนพื้นที่ หรือสิ่งก่อสร้างข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4. ความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น และการป้องกัน

3.4.1 ปัญหาจากชั้นดินและอุปสรรคใต้ดินในหน่วยงานก่อสร้าง

ชั้นดินของกรุงเทพฯระดับ 20 เมตร แรกส่วนมากส่วนมากจะเป็นชั้นดินเหนียว โดยใน ระดับ 0- 15 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวอ่อน ระดับต่ำลง ไปเป็นดินเหนียวแข็ง หากมีการควบคุมสารละลาย อย่างถูกขั้นตอนแล้วจะไม่พบว่าผนังดินของร่องเจาะเกิดการพังทลาย แต่หากเจาะในชั้นดินทรายหรือ กรวด โดยเฉพาะชั้นทรายหลวม อาจมีโอกาสร่องขุดพังเนื่องจากสารละลายซึมหายเข้าไปในดินเร็วทำ ให้ระดับสารละลายลดต่ำลง (Fluid Loss) หรืออีกในกรณีหนึ่งที่เจาะลงไปแล้ว มีฐานรากเก่าขวางอยู่ เมื่อขุดหรือออกเป็นบริเวณกว้าง และถมดินใหม่ลงไปแทนที่ (รูปที่ 3.9) ถ้าหากดินที่ถมใหม่ไม่สามารถคง รูปได้ จะมีบางส่วนพังลงมาเมื่อเทคอนกรีต ผนังจะบวมปูดเข้าไปในดินส่วนที่พัง (รูปที่ 3.10)



รูปที่ 3.9. วิธีการแก้ปัญหาเมื่อพบสิ่งกีดขวางใต้ร่องขุด



รูปที่ 3.10. ผนังปูดบวมที่ใต้ระดับ Guide Wall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2. ปัญหาอันเนื่องมาจากการก่อสร้าง Guide Wall ไม่เหมาะสมเพียงพอ

Guide Wall ที่ออกแบบไว้เป็นแบบมาตรฐาน ไม่สามารถนำไปใช้ได้ในทุกหน่วยงาน การกำหนดความลึกและเหล็กเสริมใน Guide Wall ขึ้นอยู่กับสภาพดินได้ระดับ Guide Wall จึงต้องพิจารณาเป็นงานๆ ไปหากออกแบบ Guide Wall ให้มีความลึกไม่เพียงพอ อาจทำให้ร่องใต้ Guide Wall บีบตัวหรือพังได้ หรือ ที่หล่อไว้แตกหักในระหว่างการขุดเจาะทำให้ผนังที่หล่อผิดแนว ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องทำให้รอยต่อระหว่างแผงไม่สนิท เกิดน้ำรั่วซึมได้ง่ายหรือก่อสร้าง Guide Wall ไว้ไม่ได้ดังทำให้ร่องเจาะเรียงตามไม่ได้ดังไปด้วย

3.4.3. ปัญหาอันเนื่องมาจากการจัดเหล็กเสริม Diaphragm Wall ไม่เหมาะสม

Diaphragm Wall ต้องเทคอนกรีตระบบได้น้ำ ซึ่งจะไม่สามารถทำให้แน่นหรือไหล โดยใช้หัวจี้คอนกรีตได้ แต่คอนกรีตจะไหลไปเองจากปลายท่อเทคอนกรีตด้วย Gravity Action หากเหล็กเสริมมีปริมาณมาก หลังจากจัดวางในตำแหน่งแล้วตีหรือแน่นจนเกินไปคอนกรีตอาจไหลออกไปไม่เต็มร่อง ทำให้คอนกรีตไม่หุ้มเหล็กเสริม (รูปที่ 3.7) กำแพงไม่แข็งแรง และน้ำรั่วซึมได้ง่าย การจัดเหล็กเสริมควรมีระยะห่างของเหล็ก จากผิวถึงผิวของเหล็กเส้นไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร และความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมแต่ละด้าน ไม่น้อยกว่า 7.5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.11. เหล็กไม่มีคอนกรีตหุ้ม

3.4.4. ปัญหาอันเนื่องมาจากสารละลายเป็นโทไนท์

สารละลายเป็นโทไนท์ที่ผสมใหม่ (Fresh Mixed Slurry) หรือสารละลายที่นำกลับมาใช้ซ้ำ (Reused Slurry) หากควบคุมคุณภาพไม่ดีพอ จะทำให้เกิดปัญหาเช่น ผิวกำแพงดูไม่เรียบร้อย, รอยต่อรั่ว ดังแสดง (รูปที่ 3.8) สารละลายเป็นโทไนท์ผสมใหม่จะใช้ส่วนผสมของผงเป็นโทไนท์ประมาณ 3-6 % โดยน้ำหนักของปริมาตรสารละลาย 1 ลูกบาศก์เมตร ในบางกรณีอาจเติมสารเคมีบางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิด (Chemical Additive) เพิ่มเข้าไป เช่น Caroxymethyl Cellulose, CMC ฯลฯ วัตถุประสงค์หลักของสารละลายเป็นโทไนท์ คือ

- ก) ก่อเยื่อที่บดน้ำบางๆ ขึ้นที่ผิวของผนังดินร่อนชุด (Impermeable Filter Cake) เพื่อไม่ให้น้ำในดินไหลเข้ามาในขณะที่เดียวกันก็ป้องกันไม่ให้สารละลายไหลซึมออกไปโดยง่าย
- ข) เพื่อสร้างแรงต้านแรงดันดินไม่ให้ผนังร่อนชุดบีบตัวหรือร่อนชุดพังทลายเข้ามา
- ค) เพื่ออ้อมตะกอนเล็กๆ ที่เกิดจากการร่อนชุดเจาะให้แขวนลอยตัวอยู่ในสารละลาย ได้โดยไม่ตกตะกอนเร็วเกินไป คุณภาพของสารละลายเป็นโทไนท์ เมื่อนำมาใช้แล้ว คุณภาพจะเสื่อมลงอันเนื่องมาจากผสมกับตะกอนดินเล็กๆ , ผสมกับน้ำใต้ดิน หรือผสมกับซีเมนต์ในคอนกรีตที่เทลงไป ซึ่งสารละลายที่เสื่อมนี้จะมีผลกระทบทางอ้อมต่อความเรียบร้อยของผนังกำแพงทั้งหมดว่ามีความสมบูรณ์หรือเกิดข้อบกพร่องด้วย

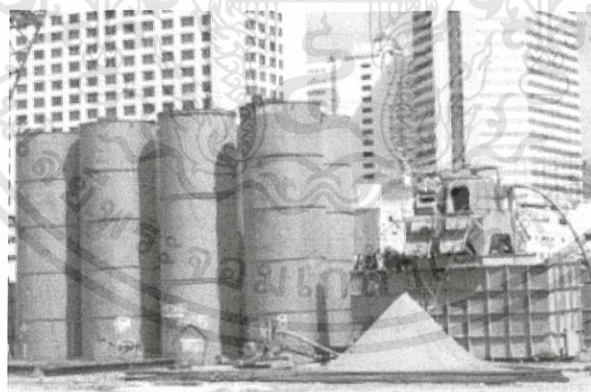


รูปที่ 3.12. รอยต่อกำแพงรั่ว

จุดบกพร่องในผนังคอนกรีตส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากปัญหาการควบคุมคุณสมบัติสารละลายเป็นโทไนท์ไม่ดีพอเพราะละเลยการทดสอบและปรับปรุงคุณภาพของสารละลายเป็นโทไนท์ให้เป็นไปตามขั้นตอน คุณสมบัติของสารละลายจะสามารถทราบได้โดยการทดสอบหาค่า Density, Viscosity, pH Value, Sand Content และ Filter Loss เมื่อใดพบว่าค่าต่างๆ ที่ทดสอบไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด จะต้องปรับปรุงใหม่ หรือเมื่อพบว่าค่าที่ทดสอบได้ต่ำกว่ามาตรฐานมากๆ ไม่ควรนำมาปรับปรุงใช้อีก ก็ควรทิ้งเสีย Woo et al , (1993) รายงานว่าเมื่อนำสารละลายเป็นโทไนท์ที่ผสมใหม่มาใช้ชุดเจาะค่า pH Value โดยเก็บตัวอย่างมาจากที่หลายระดับความลึกของร่องที่ชุดพบว่ามีความใกล้เคียงกันโดยตลอดคือ 8-9 ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากก่อนเดิมลงในร่องชุดมากนัก (7.5- 9) แต่เมื่อทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเทคอนกรีตลงในหลุมเจาะเดียวกันนี้ ค่า pH Value เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อาจเพิ่มสูงถึง 12 โดยเฉพาะที่ระดับใกล้ผิวหน้าคอนกรีต สาเหตุมาจากซีเมนต์ที่ผิวหน้าของคอนกรีตลอยขึ้นมาผสมกับสารละลายเป็นโทไนท์ซึ่งมีตะกอนดินทรายเล็กๆ ลอยแขวนอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่าซีเมนต์ได้จับตัวกับสารละลายซึ่งมีตะกอนลอยแขวนทำให้เกิดรวมตัวกันเป็นก้อน (Flocculated of Slurry Mud) เมื่อเทคอนกรีตได้ระดับมากขึ้น การรวมตัวดังกล่าวก็สะสมมากขึ้นทุกขณะบนผิวหน้าของคอนกรีตซึ่งวัดความหนาได้ถึง 3.50 เมตร บนผิวหน้าของคอนกรีตส่วนบน

ส่วนสารละลายในระดับบนๆซึ่งอยู่ห่างจากผิวหน้าของคอนกรีตมาก และตะกอนแขวนลอยได้ตกลงทับบนผิวหน้าคอนกรีตด้านล่างเกือบหมดแล้วนั้น ค่า pH และ Viscosity จะมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก และเมื่อเทคอนกรีตจนเหลือระยะเวลาอีกเพียง 3 เมตรก็จะถึงระดับตัดที่ต้องการ สารละลายในส่วนที่เหลืออยู่นี้จะเรียกว่า “Cement Contaminated Zone” ค่า pH , Viscosity และ Density จะเพิ่มขึ้นสูงมากทั้งนี้เพราะสารละลายส่วนนี้เคยอยู่ในส่วนที่ลึกๆ มาก่อน และถึกดันขึ้นมาเพราะถูกแทนที่โดยคอนกรีตที่เทลงไป ผู้ทำการรวบรวมผลทดสอบครั้งนี้แนะนำว่าสารละลายเป็นโทไนท์ที่เตรียมไว้ควรมีปริมาณไม่น้อยกว่า 2.58 เท่าของปริมาณที่ใช้ในการเจาะแต่ละแ่ง (รูปที่ 3.9) เพราะหากมีปริมาณน้อยกว่านี้อาจไม่พอหมุนเวียนในการทำความสะอาดสารละลายเพื่อให้มี Sand Content ในสารละลายลดลงไม่เกิน 2 % ก่อนทำการเทคอนกรีต



รูปที่ 3.13. ภาพสำหรับเก็บสารละลาย
ควรมีปริมาณไม่น้อยกว่า 2.5 เท่าของปริมาณที่ใช้เจาะ

3.4.5. ปัญหาจากการเทคอนกรีต

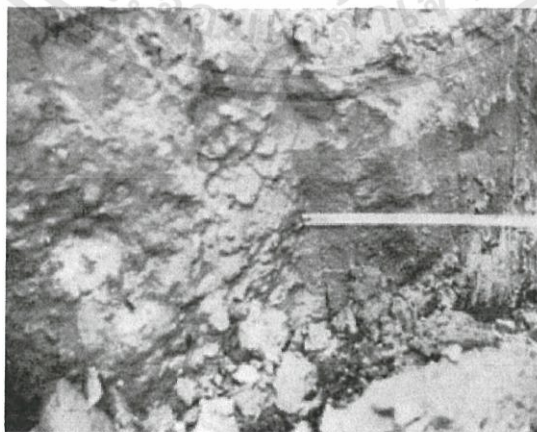
การเทคอนกรีตหล่อผนังให้งานเสร็จเพื่อใช้เป็น โครงสร้างเป็นขั้นตอนที่สำคัญ และมีหลายจุดที่จะต้องพิจารณาอันดับแรกจะต้องเลือกคุณภาพของคอนกรีตให้เหมาะสมกับการเทคอนกรีต ได้น้ำกล่าวคือต้องเลือกคอนกรีตที่มีการไหล (Flowability) ที่ดี Slump ที่พอเหมาะอยู่ในช่วงประมาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17.5-20 เซนติเมตร ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) ไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง ส่วนผสมของซีเมนต์ (Cement Content) ไม่น้อยกว่า 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขนาดมวลหยาบไม่ควรเกิน 20 มิลลิเมตร และมวลหยาบไม่ควรใช้ Flakie Shape นอกเหนือจากนั้นวิธีการเทคอนกรีตผ่านท่อเทคอนกรีตได้น้ำจะต้องได้รับการตรวจสอบตลอดเวลาที่เทว่าดำเนินการอย่างถูกต้อง จุดที่ต้องพิจารณา มีหลากหลายประการ คือ

- 3.4.5.1. การวางตำแหน่งท่อเท (Tremies) หากร่องกำแพงมีความยาวเกิน 3.50 เมตร แต่ไม่เกิน 6.00 เมตร ควรใช้ท่อเท 2 ชุด เพื่อให้คอนกรีตไหลทั่วถึงโดยสม่ำเสมอ ไม่เกิดโพรง
- 3.4.5.2. การเทคอนกรีตชุดแรกต้องระมัดระวังไม่ให้คอนกรีตทะลุผ่าน Plug หากทะลุผ่าน Plug คอนกรีตจะเกิดการแยกตัว (รูปที่ 3.10) ทำให้กำแพงเกิดการร้าว ไม่แข็งแรงและผิวผนังไม่เรียบเรียบร้อยขณะแลดูน่าเกลียด (รูปที่ 3.11)



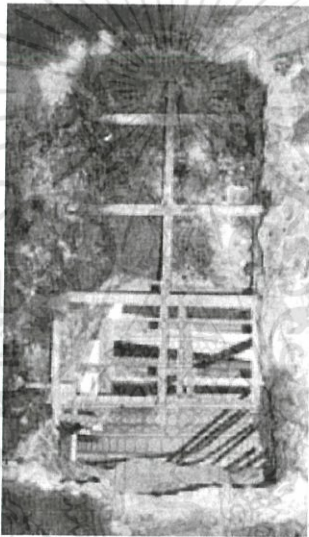
รูปที่ 3.14. คอนกรีตเกิดการแยกตัว



รูปที่ 3.15. ผิวผนังขรุขระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

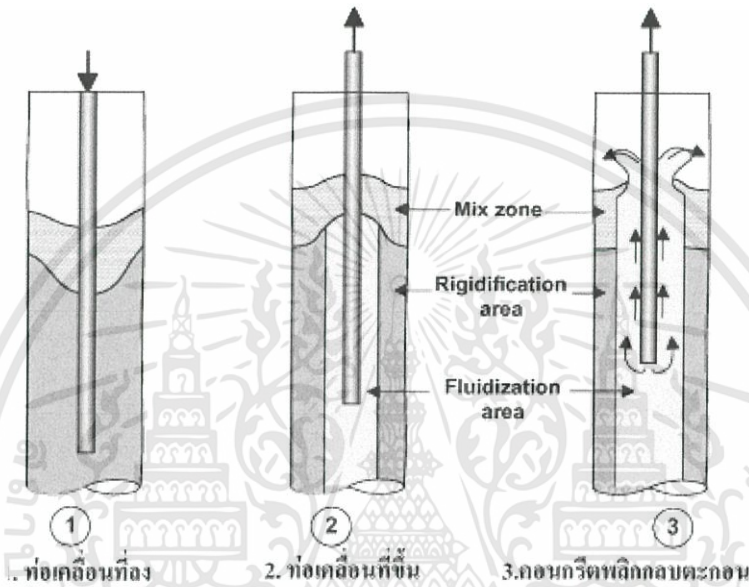
- 3.4.5.3. ก่อนเทคอนกรีตต้องทำกันหลุมให้สะอาดหากมีตะกอนตกค้างที่กันหลุม เมื่อเทคอนกรีต ชูดแรกลงไปจะผสมกับตะกอน ทำให้คุณภาพคอนกรีตต่ำตะกอนอาจผสมหรือแทรกตัว เข้าไปในคอนกรีตได้ และตะกอนถูกคอนกรีตไล่ไปฝังตัวที่รอยต่อกำแพง ทำให้ผิว กำแพง และรอยต่อเกิดความไม่สมบูรณ์น้ำรั่วซึมได้ง่าย
- 3.4.5.4. ก่อนเทคอนกรีตต้องทำให้สะอาดสารละลายให้ Sand Content ของสารละลายที่เก็บ จากกันหลุมมีปริมาณไม่เกิน 2 % หาก Sand Content เกิน 2 % ที่ผิวกำแพงจะมีเม็ด ทรายเกาะขรุขระดูน่าเกลียดและคอนกรีตอาจไหลและแทนที่สารละลายไม่หมดทำให้เกิด โพรรงได้ (รูปที่ 3.12) และทรายฝังตัวในรอยต่อกำแพงน้ำรั่วซึมได้ง่าย



รูปที่ 3.16. คอนกรีตเป็นโพรง

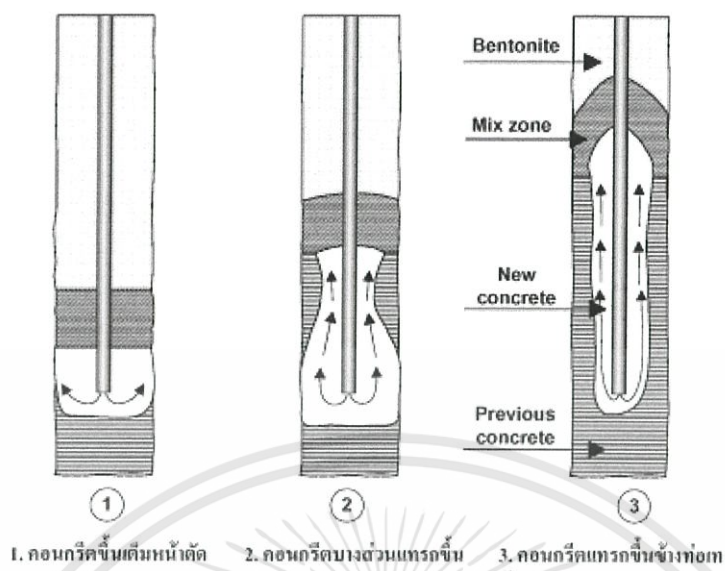
- 3.4.5.5. การเทคอนกรีต ควรเทให้สูงกว่าระดับตัดหัว (Cut Off) ประมาณ 1.00 เมตร เนื่องจาก คอนกรีตไม่สามารถทำให้แน่นด้วยเครื่องจักร จึงต้องอาศัยน้ำหนักของคอนกรีตส่วนเกินกด ทับให้แน่น จากประสบการณ์ของผู้เขียนพบว่าในกรณีที่ระดับตัดหัวอยู่สูงใกล้ระดับผิว ดิน และเทคอนกรีตเผื่อไว้เพียง 30-40 เซนติเมตร เมื่อสกดถึงระดับตัดหัวยังมีสภาพไม่ ดีพอ
- 3.4.5.6. ในการเทคอนกรีตแผงที่ติดกับแผงที่เทคอนกรีตไว้เรียบร้อยแล้ว (Primary Panel) หาก ตำแหน่งท่อเทห่างจากรอยต่อกำแพงมากแรงดันคอนกรีตจากปลายท่ออาจครูดตะกอน ที่จับตัวติดกับผิวคอนกรีตรอยต่อกำแพงแผง Primary และที่ตกค้างกันหลุมออกไม่หมด ทำให้รอยต่อรั่วได้ง่าย ดังนั้นควรจัดตำแหน่งของท่อเทให้เหมาะสมที่จะครูดสิ่งสกปรก ออกหมดได้นอกจากนั้น เมื่อเจาะเสร็จ ควรจะทำความสะอาดรอยต่อ Primary Panel เพื่อให้สิ่งสกปรกที่รอยต่อหลุดออกไปก่อนด้วย

3.4.5.7. ในระหว่างการเทคอนกรีตต้องให้ปลายท่อเทคอนกรีต ฝังอยู่ในคอนกรีตตลอดเวลาไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร หากปลายท่อเทยกขึ้นพื้นผิวหน้าจะทำให้คอนกรีตเกิดการไม่ต่อเนื่อง ทำให้มีปัญหาในความมั่นคงแข็งแรง นอกจากนี้ในระหว่างเทควรหลีกเลี่ยงการชักท่อขึ้นๆ ลงๆ เพราะสารละลายอาจแทรกเข้าผสมในคอนกรีตทำให้หิน และซีเมนต์ในคอนกรีตมีโอกาสแยกตัวจากกันได้ และทำให้คอนกรีตพลิกกลับตะกอน (รูปที่ 3.13)



รูปที่ 3.17. การชักท่อขึ้นๆลงๆทำให้คอนกรีตกลับตะกอน

3.4.5.8. ปลายท่อเท (Tremie Pipe) นอกจากต้องควบคุมให้ฝังในเนื้อคอนกรีตตลอดเวลาแล้ว ยังต้องควบคุมไม่ให้ปลายท่อเทไม่ให้ปลายท่อเทฝังตัวในเนื้อคอนกรีตมากเกินไปด้วย ต้องคอยตัดให้สั้นลงเป็นระยะๆ สัมพันธ์กับคอนกรีตที่เทเพิ่มลงไป หากปลายท่อเทฝังในคอนกรีตลึกเกินไปแล้ว คอนกรีตที่เทออกจากปลายท่อจะดันขึ้นมาไม่เต็มหน้าตัดหลุมเจาะแต่ละเจาะแทรกขึ้นมาตามข้างท่อ (รูปที่ 3.14) ทำให้คอนกรีตไม่สามารถครูดสารละลายที่จับตัวเป็นก้อนที่ผนังรูเจาะออกได้ทำให้มี Filter Cake หนาและคอนกรีตไม่หุ้มเหล็ก และการฝังปลายท่อลึกเกินไปอาจดันให้โครงเหล็กขยับลอยขึ้นได้ด้วยทำให้ตำแหน่ง Dowel ที่ฝังไว้คาดเคลื่อน



รูปที่ 3.18. การเทคอนกรีตฝังปลายที่เหล็กมากเกินไป

3.4.6. ปัญหาจากการขุดเจาะ

1. ถึงแม้ว่าจะทำการก่อสร้าง Guide Wall ได้คั้งแล้วหากผู้ควบคุมหัวเจาะไม่ชำนาญเพียงพอ เมื่อเจาะพื้นระดับได้ Guide Wall แล้วไม่ควบคุมให้ดี ร่องเจาะอาจเบี่ยงเบนจากแนวคั้งได้ ซึ่งจะมีผลให้ลงเหล็กเสริมไม่ได้ดี ทำให้คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม ไม่เพียงพอ และรอยต่อระหว่างแผงกำแพงไม่สนิท น้ำรั่วซึมได้ง่ายในการก่อสร้างควรทำการตรวจสอบความคั้งของรูเจาะด้วยเครื่อง Drilling Monitoring ทุกแผง
2. การขุดเจาะร่องกำแพงยาวเกินไป โดยทั่วไปร่องที่ขุดเพื่อการก่อสร้างกำแพงจะมีความยาว ประมาณ 2.5 ถึง 6.0 เมตร ขึ้นอยู่กับสภาพของชั้นดิน และความเหมาะสมของงาน แต่การขุดร่องกำแพงยาวกว่า 5.0 เมตร จะต้องใช้ความระมัดระวังและมีการควบคุมอย่างใกล้ชิด เพราะร่องขุดอาจมีเสถียรภาพไม่เพียงพอดินข้างๆร่องที่ขุดไว้อาจบีบตัวเข้าหากันทำให้เหล็กมีคอนกรีตหุ้มไม่เพียงพอ หรืออาจเกิดการพังทลายของร่องที่กำลังเจาะได้ ดินในกรุงเทพฯไม่ควรเจาะยาวเกิน 5.00 เมตร

3.4.7. ปัญหาจากบุคลากร

จากปัญหาต่างๆที่บรรยายมาแล้วสามารถแก้ไขได้หากบุคลากรผู้เกี่ยวข้องมีประสบการณ์ในงานประเภทนี้ดีและมีความตั้งใจในการทำงาน ปัญหาที่พบในการก่อสร้างกำแพงชนิดนี้ในกรุงเทพฯกว่า 50 % จะเกิดจากบุคลากร โดยเฉพาะกรณีต้องใช้บุคลากรชาวต่างชาติเข้ามาทำงานชนิดนี้แทนคนไทย (เนื่องจากปัจจุบันยังมีบุคลากรชาวไทยที่ชำนาญงานประเภทนี้ไม่เพียงพอ) บุคคลต่างชาติเหล่านี้มักจะมาทำงานเฉพาะ โครงการช่วงสั้นๆ ระยะเวลาเพียงไม่กี่เดือน เมื่อเข้ามาแล้วมักจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิบัติตัวเหมือนมาพักผ่อนมากกว่ามาทำงานและไม่เอาใจใส่งานจึงทำให้เกิดข้อบกพร่องอย่างไม่น่าจะเกิดเนื่องจากบุคลากรเหล่านี้จะไม่สนใจปัญหาที่จะพบเห็นได้ภายหลัง เพราะกว่าจะขุดดินเปิดเห็นผิวกำแพงเขาก็จะกลับไปทำงานในประเทศอื่นแล้ว

3.4.8. จากที่บรรยายมาข้างต้นจะสามารถสรุปถึงสาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphragm Wall เกิดความบกพร่อง ดังที่ได้รวบรวมไว้ใน ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1. ตารางสรุปสาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphragm Wall เกิดการบกพร่อง

สาเหตุที่ 1. มาจากการจัดพื้นที่การทำงานในสนามไม่เหมาะสม

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
1.1 ถังเก็บสารละลายเบนโทไนท์ไม่เพียงพอ	1.1 ทำให้การควบคุมคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากจะทำให้ เบนโทไนท์ที่เสียไม่มีที่เก็บแยกต่างหากและปริมาณไม่พอหมุนเวียนทำความสะอาด
1.2 ปลดปล่อยให้มีเครื่องจักร หรือรถบรรทุกวิ่งใกล้กับร่องขุด	1.2 ทำให้ร่องขุดมีโอกาสปัง
1.3 ร่องขุดยาวเกินไป	1.3 ทำให้ร่องขุดมีโอกาสปัง(ไม่ควรยาวเกิน 5.00 เมตร)
1.4 ร่องขุดสั้นเกินไป	1.4 หัวเจาะคุดขัดในหลุมเจาะ

สาเหตุที่ 2. มาจากสภาพชั้นดินที่จะก่อสร้าง

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
2.1 ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำใต้ดิน	2.1 ทำให้การควบคุมสารละลายเบนโทไนท์ไม่ได้ดี เนื่องจากน้ำใต้ดินอาจมีสภาพความเป็นกรดหรือด่าง
2.2 คุณสมบัติ (sensitivity) ของชั้นดินอ่อนเปลี่ยนแปลงขณะเจาะ	2.2 ทำให้ร่องขุดพังง่าย หรือทำให้ร่องขุดเกิดการบีบตัวแคบลง
2.3 ชั้นทรายหลวม (Loose sand)	2.3 ทำให้ร่องขุดพังง่าย หรือทำให้ร่องขุดเกิดการบีบตัวแคบลง

สาเหตุที่ 3. มาจากการเตรียมงานไม่ดี

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
3.1 Surcharge มากไปข้างร่องขุด	3.1 จะทำให้ Guide Wall และร่องขุดพังได้ง่าย
3.2 มีแรงสั่นสะเทือนกระทบร่องขุดมากไป	3.2 จะทำให้ Guide Wall และร่องขุดพังได้ง่าย
3.3 มีน้ำผิวดินไหลซึมลงในชั้นดินใกล้ร่องที่ขุด	3.3 จะทำให้ Guide Wall และร่องขุดพังได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุที่ 4. การก่อสร้าง Guide Wall ไม่ดีพอ

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
4.1 ความลึกของ Guide Wall ไม่เพียงพอ	4.1 ทำให้ร่องชุดได้ Guide Wall บีบตัวได้ และร่องชุดอาจพังลง
4.2 Guide Wall สร้างไม่ได้ตั้ง	4.2 ทำให้ร่องชุดเอียงไม่ได้ตั้ง และทำให้หลัง โครงเหล็กล้มบาก
4.3 ดินใต้และหลัง Guide Wall บดอัดไม่แน่นพอ	4.3 ทำให้ Guide Wall พังหรือบิดเบี้ยวได้ง่าย ทำให้ร่องชุดไม่ตรง และไม่ได้แนว

สาเหตุที่ 5. มาจากการชุด

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
5.1 ชุดร่องไม่ได้ตั้ง	5.1 ทำให้หลัง โครงเหล็กไม่ได้ และทำให้รอยต่อระหว่างแผงไม่สนิททำให้น้ำรั่วและกำแพงชื้นไปมาไม่ได้แนว
5.2 ผนังร่องชุดไม่เรียบ ขรุขระ	5.2 ทำให้ผนังคอนกรีตไม่เรียบร้อย และทำให้คอนกรีตหุ้มเหล็กไม่เพียงพอ
5.3 รอยต่อร่องชุดไม่สะอาดพอก่อนเทคอนกรีต	5.3 ทำให้เกิดโพรงที่รอยต่อ และทำให้น้ำรั่วที่รอยต่อ

สาเหตุที่ 6. การควบคุมคุณสมบัติสารละลายเบนโทไนท์

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
6.1 ใช้สารละลายเบนโทไนท์ที่สกปรกมากไป(ใช้หลายครั้งเกินไป)	6.1 อาจทำให้ร่องชุดบีบตัวหรือพังได้โดยง่าย ผิวผนังไม่เรียบคุณภาพเกิดขึ้นและน้ำรั่วซึมได้ง่ายทั้งที่ผิวและรอยต่อ
6.2 มีตะกอนเบนโทไนท์มากเกินไป	6.2 ทำให้คุณภาพคอนกรีตที่เทลงไปคุณภาพต่ำ และตะกอนจะแทรกตัวในเนื้อคอนกรีต รอยต่อรั่วได้ง่าย
6.3 ตะกอนและปริมาณทรายมาก	6.3 คอนกรีตผสมตะกอน ผิวกำแพงขรุขระน้ำรั่วซึมได้ง่าย

สาเหตุที่ 7. เกิดจาก โครงเหล็กเสริม

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
7.1 ระยะห่างของเหล็กแคบเกินไป	7.1 ทำให้คอนกรีตมีรูพรุน มีโพรงและคอนกรีตหุ้มเหล็กไม่พอได้
7.2 โครงเหล็กโค้งตัวขณะยก และไม่คืนกลับ	7.2 ทำให้หลัง ไม่ได้หรือลงล้มบาก ทำให้คอนกรีตหุ้มบางส่วน ของโครงเหล็กไม่เพียงพอ
7.3 แซ่โครงเหล็กในร่องเจาะนานเกินไปและ สารละลายไม่อยู่นิ่งๆ (Non Agitation)	7.3 ทำให้ตะกอนเกาะติดเหล็ก ทำให้แรงยึดเหนี่ยวลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 วางไม้ได้ระดับตามที่กำหนดไว้	7.4 ทำให้เหล็ก Dowel ที่เผื่อไว้เชื่อมกับพื้น หรือฐานรากติดผิดตำแหน่ง
7.5 Box Out ในโครงเหล็ก	7.5 คอนกรีตผสมกับเบนโทไนท์ได้ง่ายตรงบริเวณที่ Box Out

สาเหตุที่ 8. เกิดจากการเทคอนกรีตได้น้ำ

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
8.1 Slump ต่ำเกินไป	8.1 เกิดรูพรุน เป็นโพรง หรือ Slime แทรกตัวในคอนกรีตได้
8.2 Slump มากเกินไป	8.2 เกิดการแยกตัวของคอนกรีตขณะเท
8.3 การวางท่อ Tremie ห่างเกินไป	8.3 ทำให้คุณภาพของคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ
8.4 การชักท่อ Tremie ขึ้น-ลงบ่อยๆ	8.4 มีโอกาสทำให้เบนโทไนท์แทรกตัวฝังในเนื้อคอนกรีต
8.5 การวางท่อ Tremie ห่างรอยต่อแผงมากเกินไป	8.5 ทำให้คอนกรีตไม่สามารถครูดสิ่งสกปรกบริเวณรอยต่อแผงออกหมดทำให้รอยต่อรั่ว
8.6 การยกท่อ Tremie พันระดับคอนกรีต	8.6 ทำให้คอนกรีตขาดตอน
8.7 เทคอนกรีตคันแรกทะลุโฟม (Plug)	8.7 ทำให้คอนกรีตพรุน เป็นโพรง แยกตัวผสมสารละลายและตะกอน ท่อเทคอนกรีตอาจอุดตันได้ (Blockage)
8.8 ฝึงปลายท่อลึกเกินไป	8.8 คอนกรีตไม่สามารถครูด Filter Cake ออกจากคอนกรีตหุ้มเหล็ก ไม้พ้อและผนังกำแพงขรุขระ ร่วนซิม

3.5. บทสรุป

กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กขุดเจาะหล่อในดิน (Cast-In-Situ Reinforce Concrete Diaphragm Wall) วัตถุประสงค์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นกำแพงกันดินชั่วคราวในขณะที่ก่อสร้างห้องใต้ดิน และส่วนใหญ่จะออกแบบให้ปรับเปลี่ยนให้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างถาวรหลังการก่อสร้างห้องใต้ดินเสร็จแล้ว จึงต้องเป็นกำแพงที่มีความแข็งแรง มีความเรียบร้อยและสามารถป้องกันน้ำใต้ดินรั่วเข้ามาด้วย

การก่อสร้างผนังชนิดนี้ให้มีความสมบูรณ์เรียบร้อย สารถทำได้โดยไม่ยากหากมีการเตรียมการที่ดีตั้งแต่ต้น เช่น การออกแบบให้เหมาะสม มีข้อมูลชั้นดินที่เพียงพอ จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับงานและจัดทีมงานที่มีประสบการณ์และชำนาญเพียงพอ หากไม่เอาใจใส่และไม่ควบคุมและก่อสร้างตามขั้นตอนก็จะเกิดข้อบกพร่องได้อันจะเสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการซ่อมภายหลัง

บทที่ 4

การออกแบบโครงสร้าง Diaphragm Wall

4.1. กล่าวนำ

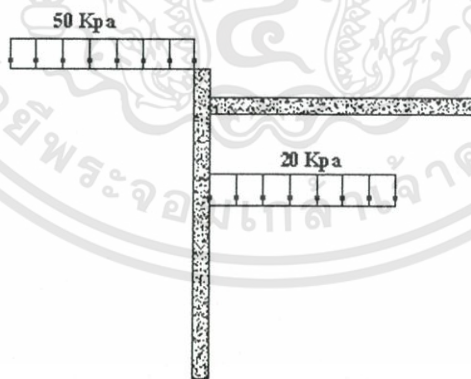
บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการหาแรงดันดินเชิงรุก(Active Pressure) และแรงดันดินเชิงรับ (Passive Pressure) ที่กระทำเพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้าง Diaphragm Wall โดยใช้ทฤษฎีของ Rankin รวมทั้งกล่าวถึงทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (Ultimate Strength Design)

4.2. ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

4.2.1. การออกแบบน้ำหนักบรรทุก (Design Load)

- น้ำหนักบรรทุกจรที่ระดับพื้นดิน (Surchage load) = 50 kPa
- น้ำหนักบรรทุกจรที่ระดับพื้นของการขุดที่ระดับต่างๆ = 20 kPa

ผังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1. น้ำหนักบรรทุกที่ระดับพื้นดิน

4.2.2. แรงดันด้านข้างของดิน (Lateral Earth Pressure)

ในการออกแบบกำแพงกันดินในระบบ Diaphragm Wall นั้นจะพิจารณาเฉพาะแรงดันดิน Active และ Passive Pressure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1. แรงดันดินเชิงรุก (Active Pressure) คือ แรงดันของดินที่กระทำต่อผนังกำแพงกันดินทางด้านข้างแล้วทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนที่ออกไปจากดินถมหลังกำแพงในกรณีที่กำแพงกันดินเกิดการเคลื่อนที่ตามแนวราบออกไปข้างหน้า แรงดันดินที่กระทำต่อผนังกำแพงจะลดลงทีละน้อยจนถึงค่าคงที่จำนวนหนึ่ง ถ้ายังมีการเคลื่อนที่ตัวอีก ดินถมหลังกำแพงก็จะพังทลาย แรงดันน้อยที่สุด ณ จุดดินเกิดการพังทลาย เรียกว่า แรงดันดินแบบ Active (σ_{ha}) (รูปที่ 4.2ก)

$$\sigma_{ha} = K_a \gamma H \quad (4.1)$$

โดยที่

$$K_a = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi}$$

γ = ความหนาแน่นของดิน (KN/m^3)

H = ความสูงของชั้นดิน (m)

4.2.2.2. แรงดันดินเชิงรับ (Passive Pressure) คือ แรงดันดินด้านข้างของดินที่กระทำต่อด้านหน้ากำแพงกันดิน แล้วทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนที่เข้าหาดินถมหลังกำแพง ในบางกรณีกำแพงอาจถูกดันเข้าหาดิน เช่น กำแพงกันดินเคลื่อนตัวเข้าหาดินถมหลังกำแพง แรงดันดินจะเพิ่มขึ้นทีละน้อย จนถึงค่าคงที่จำนวนหนึ่ง ถ้ายังมีการเคลื่อนที่ตัวอีก ดินหลังกำแพงก็จะปูดขึ้น จนพังทลาย ค่าแรงดันที่มากที่สุด ณ จุดดินเกิดการพังทลาย เรียกว่า แรงดันดินแบบ Passive (σ_{hp}) (รูปที่ 4.2ข)

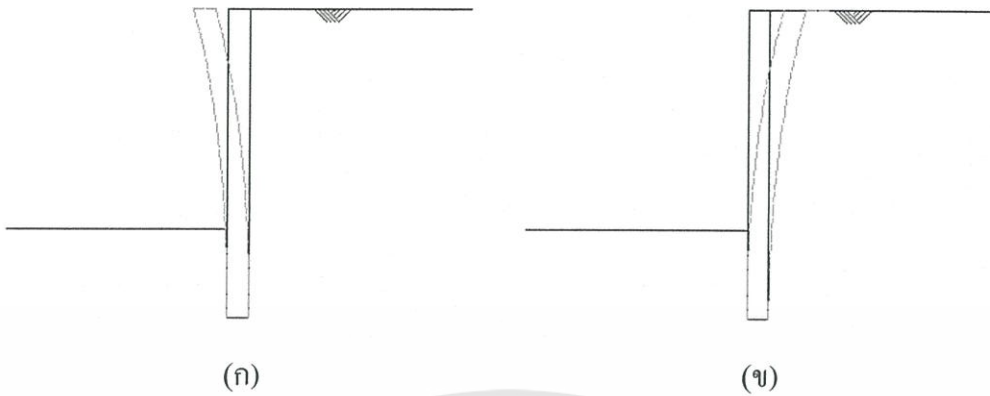
$$\sigma_{hp} = K_p \gamma H \quad (4.2)$$

โดยที่

$$K_p = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi}$$

γ = ความหนาแน่นของดิน (KN/m^3)

H = ความสูงของชั้นดิน (m)



รูปที่ 4.2 . (ก) แรงดันดินแบบ Active (ข) แรงดันดินแบบ Passive

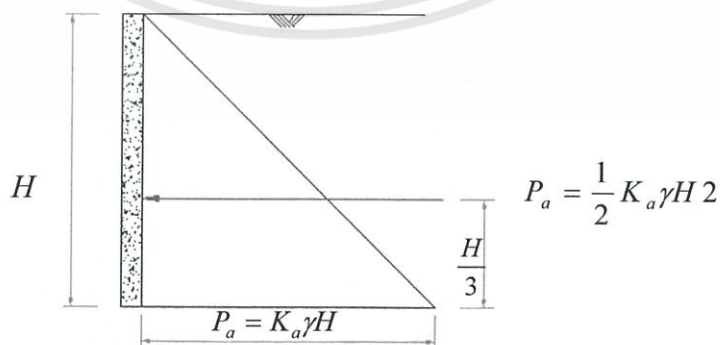
4.3. ทฤษฎีเกี่ยวกับแรงดันดิน

ในการออกแบบโครงสร้าง Diaphragm Wall ในเล่มนี้จะพิจารณาทฤษฎีของแรงดันดิน (Rankin's Theory)

4.3.1. ทฤษฎีของแรงดันดิน

พิจารณาแรงที่กระทำต่อก้อนดิน (Soil element) ในดิน โดยสมมติให้แรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อกำแพงกันดินหรือเขื่อนกันดินมีความสัมพันธ์ต่อแรงดันทางตั้ง ทฤษฎีของแรงดันดินส่วนใหญ่ใช้ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินหรือเขื่อนเป็นแนวตั้ง และผิวหน้าของดินด้านหลังกำแพงหรือเขื่อนเป็นแนวราบ ดังนั้น จึงไม่มีความฝืดหรือแรงเสียดทานระหว่างดินกับกำแพงกันดินหรือเขื่อน

4.3.1.1. การหาแรงดันดินแบบ Active ของดินชนิดไม่มีความเชื่อมแน่นโดยวิธีของ Rankin



รูปที่ 4.3. การหาแรงดันดินชนิดไม่มีความเชื่อมแน่นแบบ Active

สามารถหาแรงดัน Active (P_a) ได้จากทฤษฎีของ Rankin ดังต่อไปนี้

$$P_a = K_a \gamma H \quad (4.3)$$

และแรง Active หรือ Active thrust (P_a) สามารถหาได้ดังนี้

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \quad (4.4)$$

4.3.1.2. การหาแรงดันดินแบบ Active ของดินชนิดมีความเชื่อมแน่น

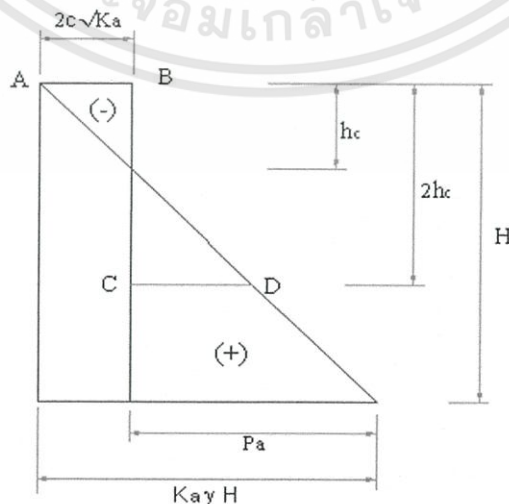
สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น แรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงกันดิน จะน้อยกว่าดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่นซึ่งมีค่าความหนาแน่นและมุมเสียดทานภายในเท่ากัน เพราะว่าส่วนหนึ่งดินจะยึดติดด้วยตัวมันเอง และสามารถหาแรงดันดินได้ดังนี้

$$P_a = K_a \gamma H - 2C \sqrt{K_a} \quad (4.5)$$

โดยที่

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad (4.6)$$

จะเห็นว่า แรงเชื่อมแน่นของดินมีผลทำให้แรงดินแบบ Active ลดลงเท่ากับจำนวน $2C \sqrt{K_a}$ นั่นคือ ดินจะยึดอยู่ด้วยตัวเองมากขึ้น สามารถเขียนผังแรงดันดิน ได้ดังรูปที่ 4.4.



รูปที่ 4.4. การหาแรงดันดินแบบ Active ชนิดมีความเชื่อมแน่น

ค่า P_a ที่เป็นลบระหว่างช่วง $h = 0$ ถึง $h = h_c$ เป็นผลเนื่องจากเกิดแรงดึงขึ้นในดิน แต่โดยปกติดินไม่สามารถต้านทานต่อแรงดึงได้ ดังนั้นก็จะเกิดรอยแตกในแนวตั้งขึ้น สำหรับในการออกแบบแรงดันในช่วงนี้จะถือว่าเป็นศูนย์

4.3.1.3. การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่นโดยวิธีของ Rankine

$$P_p = K_p \gamma H \quad (4.7)$$

โดยที่

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (4.8)$$

4.3.1.4. การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น

สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น แรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงกันดินแบบ Passive จะมีค่ามากกว่าในดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น ซึ่งมีค่าความหนาแน่นและมุมเสียดทานภายในเท่ากันและสามารถหาได้ดังนี้

$$P_p = K_p \gamma H + 2C \sqrt{K_p} \quad (4.9)$$

โดยที่

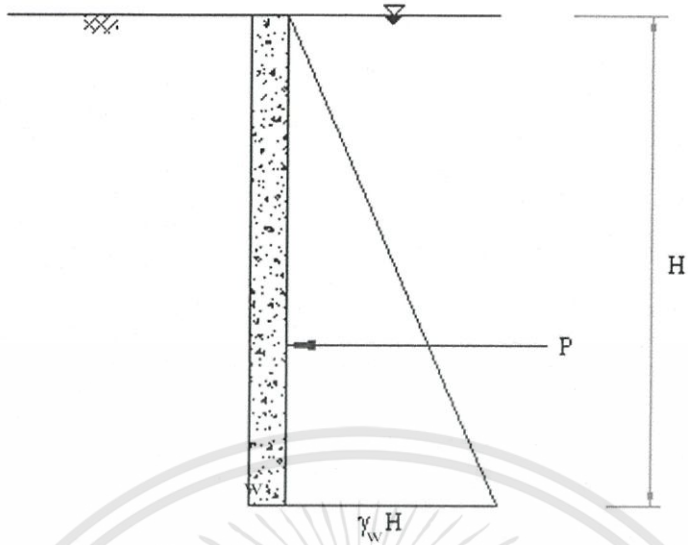
$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (4.10)$$

4.4. แรงดันน้ำ (Water Pressure)

สำหรับการวิเคราะห์แรงดันน้ำในการออกแบบโครงสร้าง Diaphragm Wall นั้นจะวิเคราะห์โดยดินที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินจะมีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ $\gamma - \gamma_w$

โดยที่ ความหนาแน่นของน้ำ (γ_w) = 10 KN/m³

แรงดันน้ำจะเท่ากันในทุกทิศทาง ดังนั้นแรงดันด้านข้างบนผิวตั้งของกำแพงเก็บกักน้ำจะเท่ากับ $\gamma_w h$ ในเมื่อ h เท่ากับความสูงของน้ำเหนือจุดที่พิจารณา



รูปที่ 4.5. แรงดันน้ำ

แรงรวม P ต่อหน่วยความยาวของกำแพงจะเท่ากับพื้นที่ของรูปแรงดัน

$$P = \frac{1}{2} \gamma_w H^2$$

(4.11)

และแรงนี้จะกระทำที่จุดศูนย์กลางถ่วงของรูปนั่นคือ $\frac{2}{3} H$ จากผิวน้ำ

4.5. การรวมน้ำหนักบรรทุก

- แรงดันดิน + น้ำหนักกดทับ + แรงดันน้ำ

4.6. การออกแบบและวิเคราะห์ Diaphragm Wall

4.6.1. แรงดันดินและน้ำหนักบรรทุก

- การคำนวณแรงดันส่วนเกิน (Overburden Pressures)

แรงดันส่วนเกิน(Overburden Pressures) ถูกคำนวณที่ระดับบนสุดของชั้นดิน

$$\text{Overburden} = \Sigma(\text{Surcharge} + ((\gamma - \gamma_w)h)) \quad (4.12)$$

เมื่อน้ำหนักกดทับ(Surcharge) = 50 kPa (น้ำหนักจากการจราจร)

γ = ความหนาแน่นดิน

γ_w = ความหนาแน่นน้ำ (10 KN/m³)

h = ความลึก

- การคำนวณแรงดันดินที่สภาวะเชิงรุก(Active Pressure)

กรณีที่มีน้ำหนักบรรทุก : ดิน + น้ำหนักกดทับ + น้ำ - แรงเชื่อมแน่น (ในกรณีที่ดินมีค่าความเชื่อมแน่น (Cohesion))

$$\text{แรงดันดิน} = (K_a \times \text{Overburden}) + \gamma_w H - 2C\sqrt{K_a} \quad (4.13)$$

โดยที่

Overburden = แรงดันส่วนเกิน (kPa)

$$K_a = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} \quad (4.14)$$

นำค่าแรงดันดินไป Plot กราฟระหว่างแรงดันดินกับความลึกพบว่าแรงดันดินที่ทำการ Plot ได้ไม่เป็นรูปสามเหลี่ยมซึ่งยากต่อการวิเคราะห์จึงเลือกค่าแรงดันดินที่มากที่สุดนำมาวิเคราะห์เป็นรูปสามเหลี่ยมเพื่อสะดวกต่อการวิเคราะห์แต่ค่าที่ได้ออกมาจะค่อนข้างเป็นค่าที่อนุรักษ์มาก (Conservative)

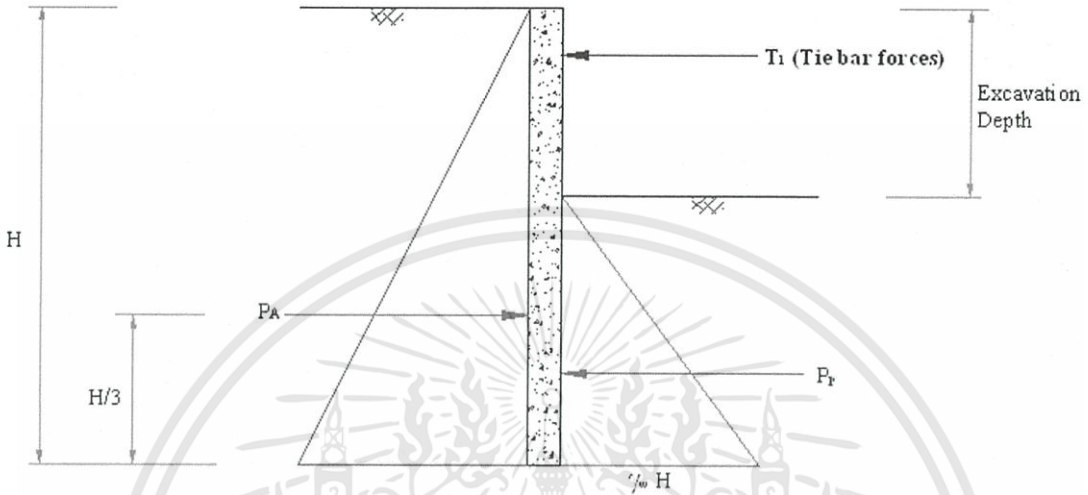
- การคำนวณแรงดันดินที่สภาวะเชิงรับ (Passive Pressure)

กรณีที่มีน้ำหนักบรรทุก : ดิน + น้ำหนักกดทับ + น้ำ - แรงเชื่อมแน่น (ในกรณีที่ดินมีค่าความเชื่อมแน่น (Cohesion))

$$\text{แรงดันดิน} = (K_p \times \text{Overburden}) + \gamma_w H + 2C\sqrt{K_p} \quad (4.15)$$

ค่าแรงดันดินเชิงรับ (Passive) ที่คำนวณได้จะเป็นค่าแรงดันที่สูงสุดที่จะเป็นไปได้ แต่ในการคำนวณต้องหาแรงดันดินเชิงรับ (Passive) ที่เกิดขึ้นจริงเพื่อตรวจสอบความปลอดภัย (Safety factor)

4.7. การคำนวณหาแรงดันดินเชิงรับ(Passive) ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่



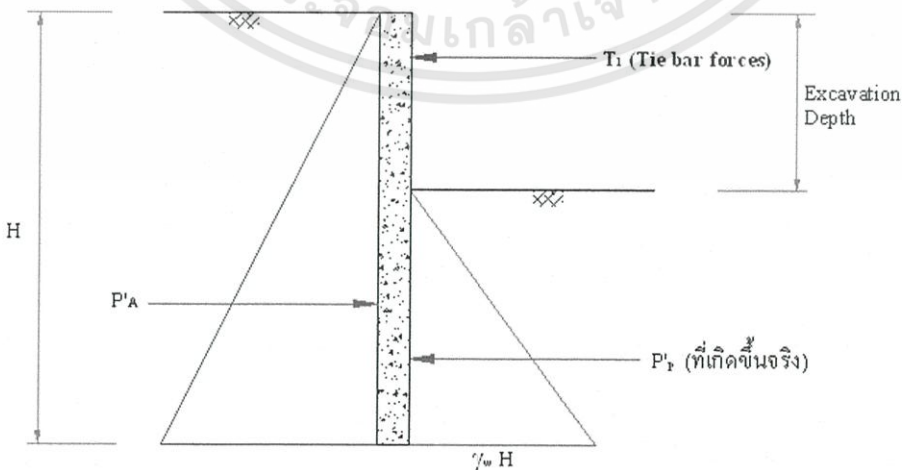
รูปที่ 4.6. การหาแรงดันดินเชิงรับที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่

พิจารณาสมการสมดุล (Equilibrium Conditions) จาก

$$\sum M = 0 \text{ รอบตัวยึด ที่จุด } T_1$$

จะสามารถหาแรง Passive ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่

4.8. การคำนวณหาแรงในค้ำยัน(Tie bar forces)



รูปที่ 4.7. การหาแรงในค้ำยัน(Strut Load)

สามารถหาได้จากสมการสมดุลดังนี้

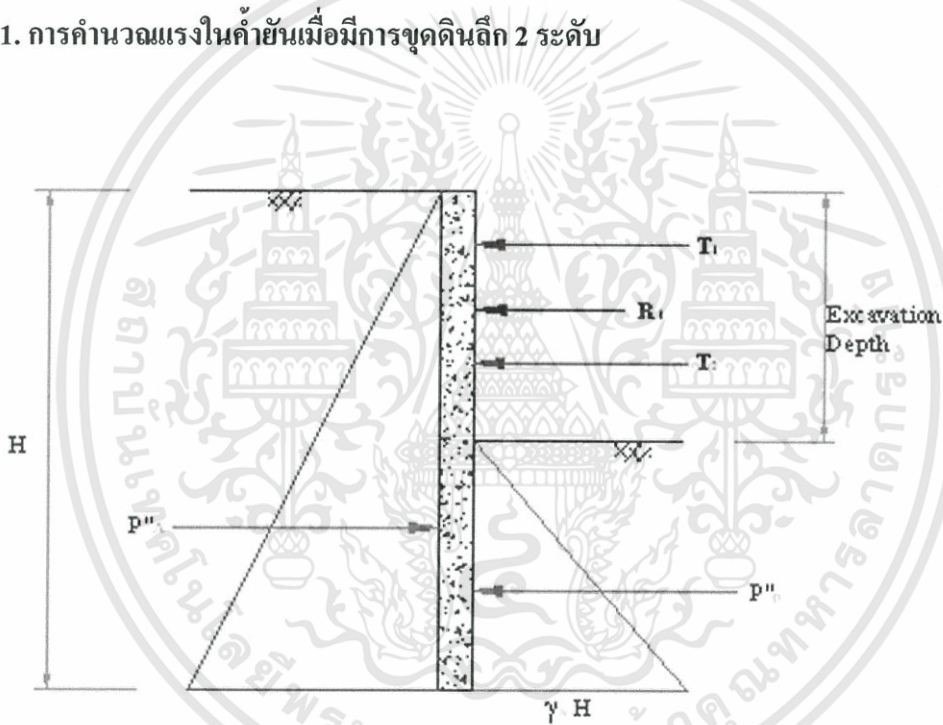
$$\sum H = 0$$

$$T_1 = P'_a - P'_p \quad (4.16)$$

$$\sum M = 0$$

$$M_a = M_p \text{ (รอบตำแหน่งของ } T_1) \quad (4.17)$$

4.8.1. การคำนวณแรงในค้ำยันเมื่อมีการขุดดินลึก 2 ระดับ



จากรูปที่ 4.8. การคำนวณแรงในค้ำยันเมื่อมีการขุดดินลึก 2 ระดับ

$$\sum H = 0$$

$$T_1 + T_2 = P''_a - P''_p \quad (4.18)$$

$$\sum M = 0$$

$$M''_p = M''_a \text{ (รอบจุดศูนย์ถ่วง (Centroid) ของ } T_1 \text{ และ } T_2) \quad (4.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_1 = T_1 + T_2 = P''_a - P''_p \quad (4.20)$$

แทนค่า T_1 จากสมการที่ (4.16)

$$P'_a - P'_p + T_2 = P''_a - P''_p \quad (4.21)$$

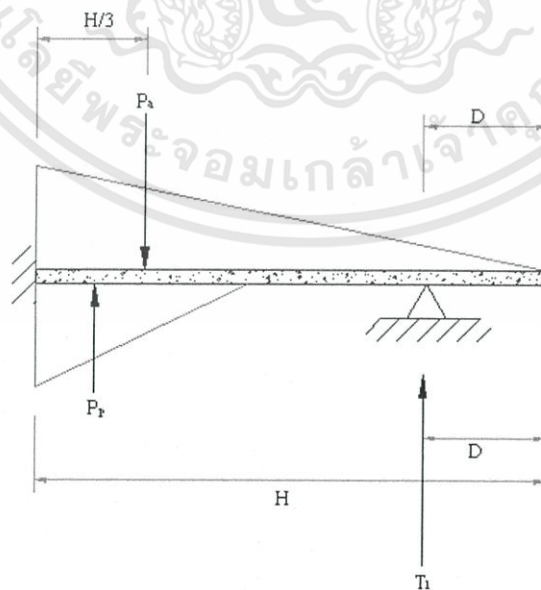
จะได้

$$T_2 = P''_a - P''_p - P'_a + P'_p \quad (4.22)$$

จากสมการข้างต้นจะสามารถคำนวณหาแรงในค้ำยัน (Strut) ได้เมื่อทราบค่าแรงในค้ำยัน (Strut) แล้วสามารถนำแรงในค้ำยัน (Strut) ไปวิเคราะห์หาแรงเฉือน (Shear) ค่าโมเมนต์ค้ำ (Moment) เพื่อใช้ในการออกแบบต่อไป

4.9. การวิเคราะห์หาค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์ค้ำ

ในการวิเคราะห์หาค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์ค้ำใน Diaphragm wall นั้นจะทำการวิเคราะห์โดยการวิเคราะห์ Diaphragm wall ให้เป็นลักษณะคานปลายถูกยึดแน่น (Fixed support) อีกด้านหนึ่งเป็นปลายปล่อย (Free End) และให้รอยต่อระหว่างพื้นคอนกรีต (Concrete slab) กับผนัง Diaphragm wall เป็นที่รองรับ (Support) ชนิดข้อต่อแบบหมุน (Hinge) ดังรูป



รูป 4.9. Free Body Diagram ของ Diaphragm wall

โดยที่

H = Depth of Diaphragm Wall (m)

D = Excavation depth (m)

B = ความลึกของพื้นคอนกรีต(Concrete Slab) (m)

P_a = แรงดันเชิงรุก (Active) (KN/m)

P_p = แรงดันเชิงรับ (Passive) (KN/m)

4.10. ขั้นตอนการสร้างแผนภาพแรงเฉือนและแผนภาพโมเมนต์คัต

4.10.1. ขั้นตอนในการสร้างแผนภาพแรงเฉือน(Shear Force Diagram)

- จาก Free Body Diagram ของคานทั้งหมดใช้สมการของสภาพสมดุลหาแรงปฏิกิริยา(Reaction) ที่ที่รองรับ (Support)
- เลือกส่วนคัตของคานแต่ละช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำ โดยแต่ละช่วงนั้นจะเลือก Free Body Diagram ของส่วนคัตของคานด้านซ้ายพิจารณาแรงเฉือนในคานและใช้สมการดังนี้

$$V = (\sum F_y)_L, \uparrow + \quad (4.23)$$

- อย่าลืมว่าการพิจารณาคานแต่ละช่วงนั้น พิจารณาค่าแห่งของส่วนคัตด้วยระยะทาง x วัดจากปลายคานด้านซ้ายเสมอ
- นำผลการคำนวณ ใน 2 ขั้นตอนมาเขียนแผนภาพแรงเฉือน(Shear Force Diagram) พร้อมทั้งหาแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้น

4.10.2. ขั้นตอนในการสร้างแผนภาพโมเมนต์คัต(Bending Moment Diagram)

- เช่นเดียวกับ ขั้นตอน 1 ในการสร้างแผนภาพแรงเฉือน(Shear Free Diagram)
- เลือก Free Body Diagram ของส่วนคัตของคานด้านซ้าย และหาโมเมนต์คัตบนหน้าคัตของคานจากสมการดังนี้

$$M = (\sum M)_L, \quad (4.24)$$

- นำผลการคำนวณของโมเมนต์คัตในชั้นตอนที่ 2 มาเขียนแผนภาพ โมเมนต์คัต(Bending Moment Diagram) พร้อมหาโมเมนต์มากที่สุดเพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบเหล็กเสริมต่อไป

4.11. การออกแบบเหล็กเสริม

สำหรับในการออกแบบเหล็กเสริมใน Diaphragm Wall นั้นจะพิจารณาให้ตัว Diaphragm Wall เป็นลักษณะคานกว้างซึ่งมีแรงต่างๆที่มากกระทำได้แก่ โมเมนต์คัต (Bending moment) และแรงเฉือน (Shear force) ซึ่งแรงทั้งสองนี้ที่เกิดขึ้นจึงส่งผลให้ต้องมีการออกแบบเหล็กเสริมใน Diaphragm Wall เพื่อที่จะทำให้ Diaphragm Wall สามารถรับแรงต่างๆได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

วิธีการออกแบบเหล็กเสริมที่ผู้เขียนได้นำมาใช้ในการออกแบบเหล็กเสริมคือวิธี การออกแบบคานรับโมเมนต์คัตโดยวิธี USD ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.12. การออกแบบคานรับแรงคัต

ในการออกแบบคานรับแรงคัตจะต้องลดค่ากำลังระบุของหน้าตัดลงด้วยตัวคูณลดกำลัง ϕ เพื่อจะได้มาซึ่งกำลังที่ใช้ในการออกแบบ และกำลังที่ใช้ในการออกแบบต้องไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการ ได้แสดงออกเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

การออกแบบคานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งมีเหล็กเสริมรับแรงคัตอย่างเดียว (รูปที่ 4.10)

- ความสมดุลของแรง

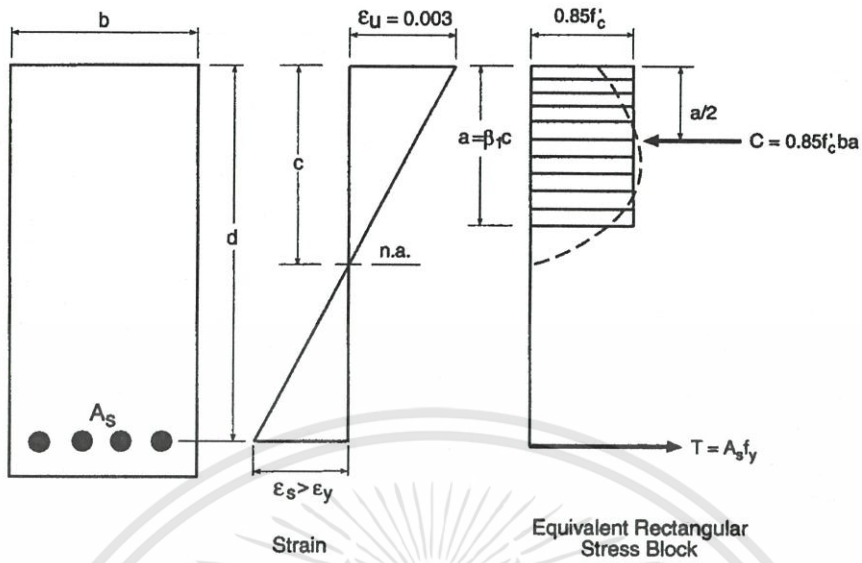
$$C = T \quad (4.25)$$

$$0.85 f'_c b a = A_s f_y = \rho b d f_y \quad (4.26)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} \quad (4.27)$$

- ความสมดุลของโมเมนต์

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{A_s f_y}{1.7 f'_c b} \right) \quad (4.29)$$



รูปที่ 4.10. การกระจายความเครียดและหน่วยแรงในหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

หาค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังระบุ R_n ได้ดังนี้

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \rho f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f'_c} \right) \quad (4.30)$$

ถ้ากำหนดขนาดของคานด้วยค่า b และ d จะหา ρ ได้จากการแก้สมการ

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85 f'_c}} \right) \quad (4.31)$$

สรุปการออกแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการเสริมเหล็กเสริมรับแรงดึงอย่างเดียวยังเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

- เลือกค่าโดยประมาณของอัตราส่วนการเสริมเหล็กรับแรงดึง ρ ซึ่งต้องไม่เกิน $0.75\rho_b$ และไม่น้อยกว่าค่าต่ำสุดที่ยอมให้ ซึ่งอัตราส่วนเหล็กเสริมที่สถานะสมดุล ρ_b หาได้จากสมการ

$$\rho_b = \frac{0.85 \beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{6120}{6120 + f_y} \right) \quad (4.32)$$

โดยที่

$$\beta_1 = 0.85 \text{ สำหรับ } f'_c \leq 280 \text{ ksc}$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05(f'_c - 280)}{70} \text{ สำหรับ } 280 \text{ ksc} < f'_c \leq 560 \text{ ksc}$$

$$\beta_1 = 0.65 \text{ ksc สำหรับ } f'_c > 560 \text{ ksc}$$

- เมื่อหาค่า ρ ได้แล้ว โดยที่ $\rho_{\min} \leq \rho \leq 0.75 \rho_b$ หาค่า bd^2 ที่ต้องการ

$$bd^2 \text{ ที่ต้องการ} = \frac{M_u}{\phi R_n} \quad (4.33)$$

โดยที่

$$R_n = \rho f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f'_c} \right) \quad (4.34)$$

$$\phi = 0.90 \text{ (สำหรับ โมเมนต์คด)}$$

M_u = โมเมนต์ที่กระทำบนหน้าตัดและคูณด้วยคูณเพิ่มแล้ว

- จัดขนาดหน้าตัดจนกระทั่งได้ bd^2 ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ
- จากค่า bd^2 ที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 หาค่าใหม่ของ ρ จากสมการ

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} \quad (4.35)$$

- หาปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ

โดยที่ ρ เป็นค่าแก้ไขจากขั้นตอนที่ 4

$$A_s = \rho(bd) \quad (4.36)$$

4.13. การออกแบบคานรับแรงเฉือน

การออกแบบรับแรงเฉือนมีพื้นฐานอยู่บนความสัมพันธ์ตามสมการดังต่อไปนี้กำลังเฉือนที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ \geq กำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการ

$$\phi V_n = V_u \quad (4.37)$$

โดยที่

$$V_n = V_c + V_s \quad (4.38)$$

$$\phi V_c + \phi V_s \geq V_u \quad (4.39)$$

กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต(V_c)

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c}b_wd \quad (4.40)$$

ในกรณีที่ $V_u < \phi V_c$ ตามทฤษฎีแล้วไม่ต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือนแต่ข้อกำหนดต้องมีปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุดที่ต้องมีดังต่อไปนี้

$$A_v = \frac{3.5b_ws}{f_y} \quad (4.41)$$

สรุปขั้นตอนการออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

1. หาแรงเฉือนที่ต้องการ V_u
2. หากำลังรับแรงเฉือนโดยคอนกรีตจาก

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c}b_wd$$

3. แรงเฉือนส่วนเกินที่ต้องรับโดยเหล็กถูกตั้งจาก

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (4.42)$$

4. เลือกขนาดเหล็กเสริมที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ระยะเรียงของเหล็กปลอกน้อยที่สุดจาก

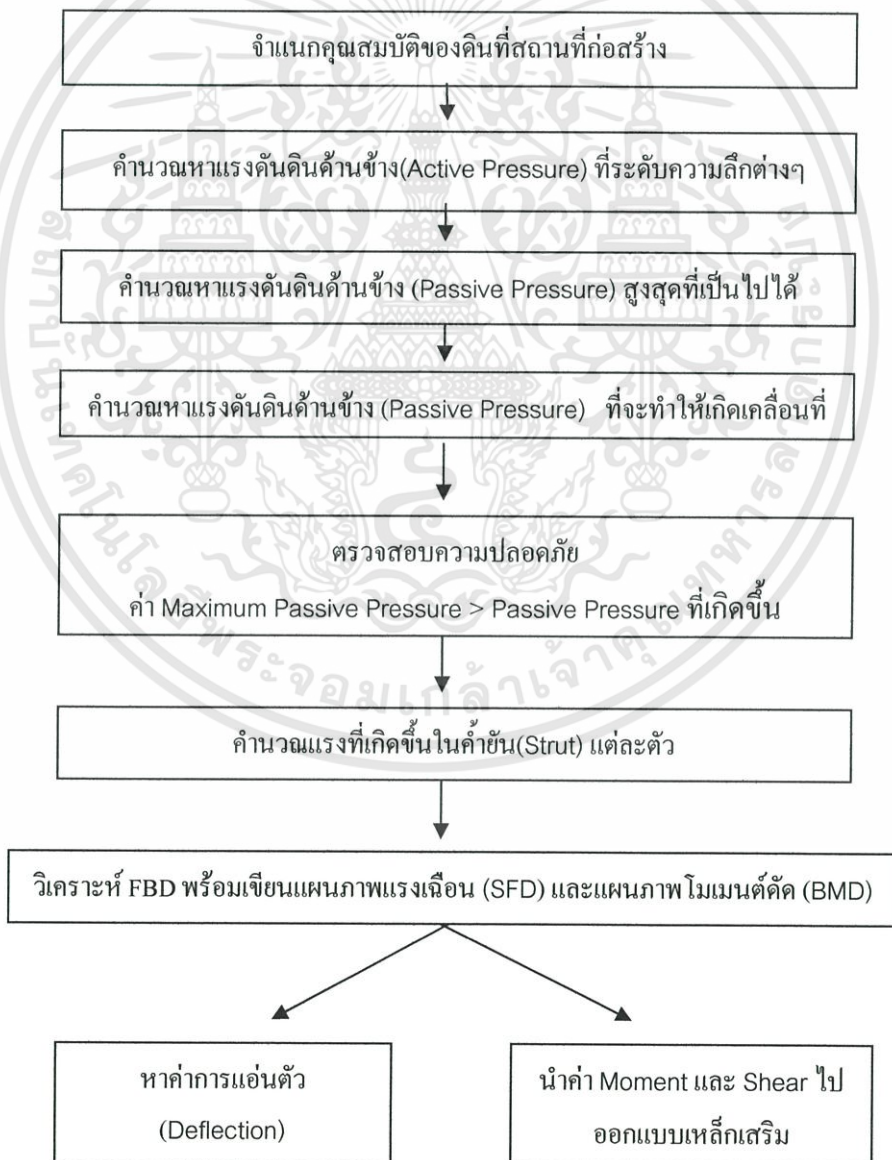
$$S = \frac{A_y f_y d}{V_s}$$

$$S = \frac{A_s f_y}{(3.5b_w)}$$

$$S = \frac{d}{2}$$

(4.43)

4.14. ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้าง Diaphragm wall



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้าง Diaphragm wall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 50 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.15. การหาการแอ่นตัว(Deflection) ใน Diaphragm Wall

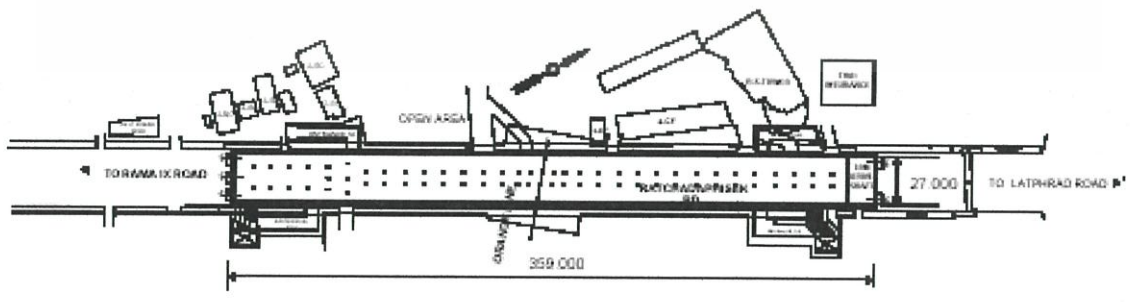
สำหรับการคำนวณหาการแอ่นตัว(Deflection) ใน Diaphragm wall นั้นสามารถใช้ได้หลายทฤษฎี เช่น Superposition method, Slope-deflection, Least work ซึ่งวิธีเหล่านี้สามารถนำมาคำนวณได้ทั้งสิ้น

4.16. ตัวอย่างการออกแบบ Diaphragm wall

สถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งชาติ (เทียมร่วมมิตร), โครงการรถไฟฟ้าฟ้ามหานครสายเฉลิมรัชมงคล



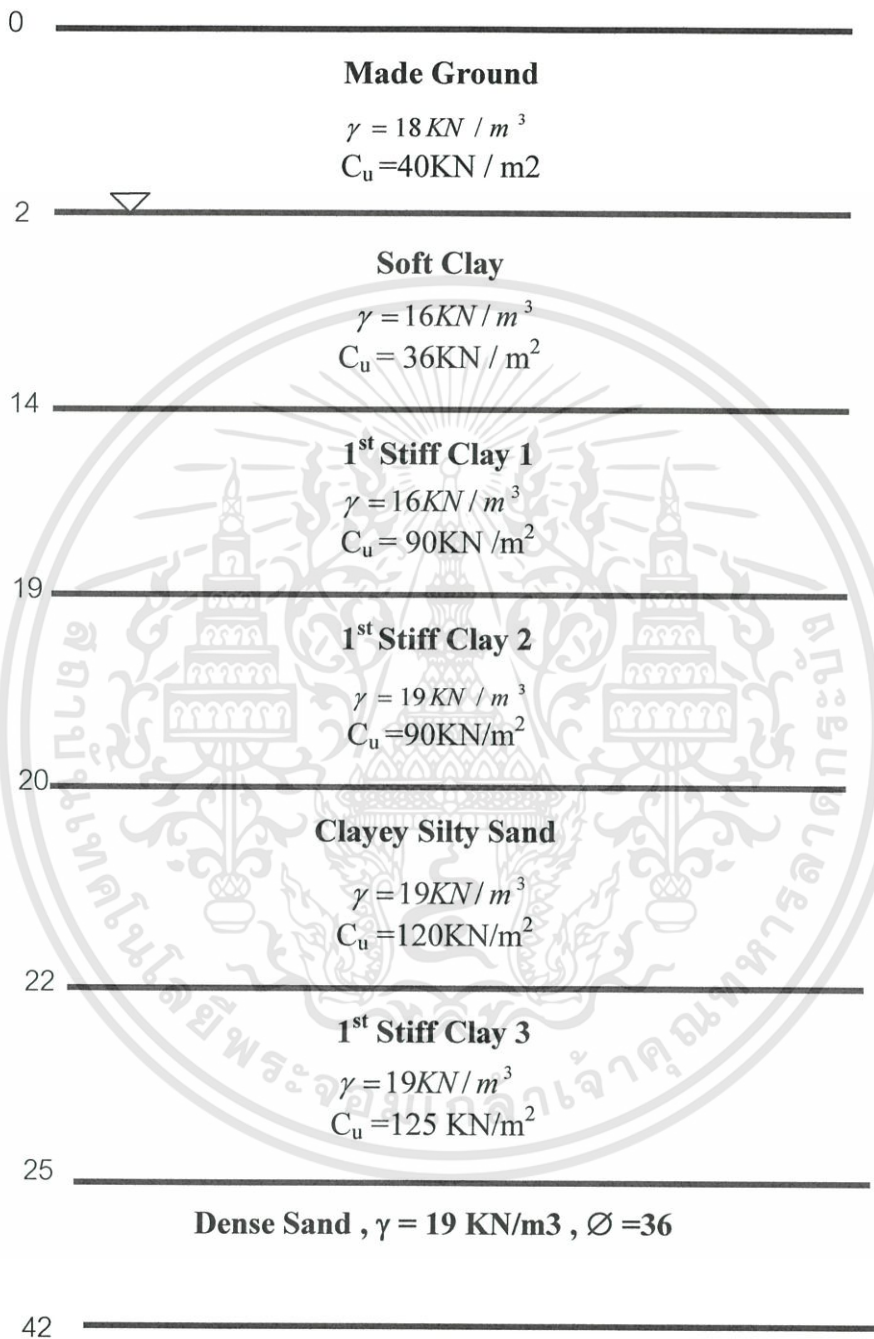
รูปที่ 4.11. แผนที่สถานีที่จะทำการออกแบบ



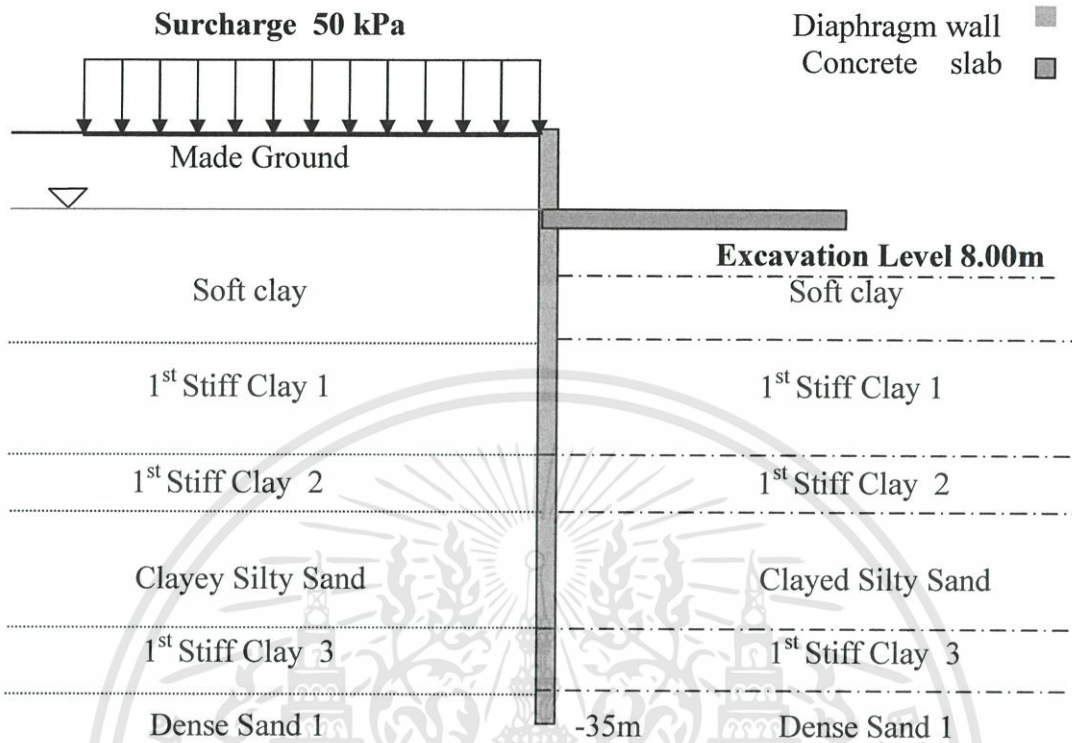
รูปที่ 4.12. Lay out ของตัวสถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 51 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของดินที่สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินเทียนร่วมมิตร(Soil Profile)



รูปที่ 4.13. แสดงคุณลักษณะของดินที่สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินเทียนร่วมมิตร



รูปที่ 4.14. แสดงลักษณะชั้นดินและน้ำหนักกดทับที่ผิวดินเมื่อขุดดินลึก 8 m

การคำนวณแรงดันดินด้านข้างเมื่อขุดลึก 8 m (ด้าน Active Pressure)

- แรงดันดิน Overburden = $\sum (\text{Surcharge} + (\gamma - \gamma_w)h)$
- สมมติหน่วยน้ำหนักกดทับ 50 kPa, $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

ตารางที่ 4.1. การคำนวณแรงดันดินส่วนเกิน(Overburden Pressure)

Depth(m)	Overburden Pressure (kPa)	Total Overburden (kPa)
0	50	0
2	50+(18x2)	86
14	86+((16-10))x12	158
19	158+((16-10))x5	188
20	188+((19-10))x1	197
22	197+((19-10))x2	215
25	215+((19-10))x3	242
35	242+((19-10))x10	332

การคำนวณแรงดันดินเชิงรุก(Active Pressure)

จากสมการที่ (4.6)

$$K_a = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi}$$

ตารางที่ 4.2. การคำนวณแรงดันดินเชิงรุก(Active Pressure)

Depth (m)	Overburden Pressure (kPa)	Total Overburden Pressure(kPa)	Ka	แรงดันดินด้านข้าง (kPa)	แรงดันน้ำ (kPa)	แรงเชื่อมแน่น $2C\sqrt{K_a}$ (kPa)	แรงดันรวมด้านข้าง (kPa)
0	50	0	1.00	50	0	-80	-30
2	50+(18x2)	86	1.00	86	0	-152	-66
14	86+((16-10)x12)	158	1.00	158	120	-252	+26
19	158+((16-10) x5)	188	1.00	188	170	-360	-2
20	188+((19-10)x1)	197	1.00	197	180	-420	-43
22	197+((19-10)x2)	215	1.00	215	200	-490	-75
25	215+((19-10)x3)	242	1.00	242	230	-250	+222
35	242+((19-10)x10)	332	0.26	86	330	0	+416

การคำนวณแรงดันดินเชิงรับสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้(Maximum Passive Pressure)

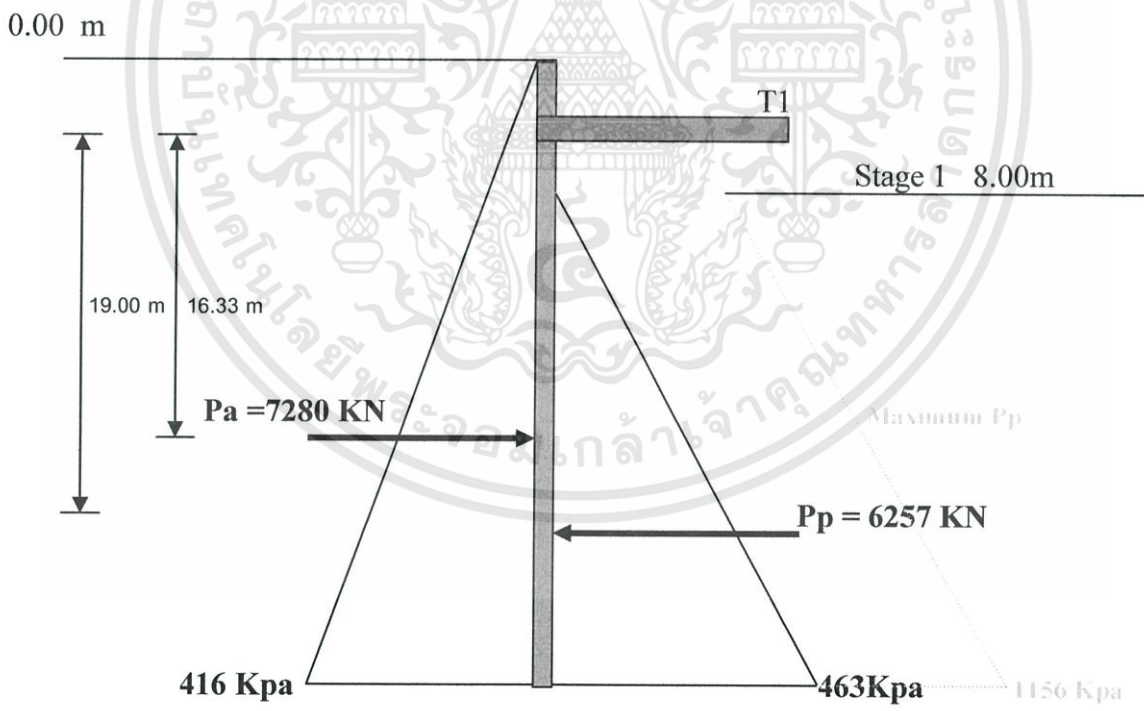
จากสมการที่ (4.10.)

$$K_p = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi}$$

ตารางที่ 4.3. การคำนวณแรงดันดินเชิงรับสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อขุดดินลึก 8 m

Depth (m)	Overburden Pressure (kPa)	Total Overburden Pressure(kPa)	Kp	แรงดันดินด้านข้าง (kPa)	แรงดันน้ำ(kPa)	แรงเชื่อมแน่น $2C\sqrt{K_p}$ (kPa)	แรงดันรวมด้านข้าง (kPa)
8	20	0	1.00	20	0	+72	+82
14	$20+((16-10)\times 6)$	56	1.00	56	60	+252	+368
19	$56+((16-10)\times 5)$	86	1.00	86	110	+360	+556
20	$86+((19-10)\times 1)$	95	1.00	95	120	+420	+635
22	$95+((19-10)\times 2)$	113	1.00	113	140	+490	+743
25	$113+((19-10)\times 3)$	140	3.85	540	170	+250	+960
35	$140+((19-10)\times 10)$	230	3.85	886	270	0	+1156

แรงดันดินด้านข้างเมื่อขุดดินลึก 8 m



รูปที่ 4.15. แสดงแผนภาพแรงดันดินด้านข้างที่เกิดขึ้นเมื่อขุดดินลึก 8 m

พิจารณาโมเมนต์เมื่อขุดดินลึก 8 m.

$M_a = M_p$ (Take moment รอบ T1)

$$\frac{1}{2} \times 416 \times 35 \times 16.33 = P_p \times 19$$

$$P_p = 6257 \text{ KN}$$

$$T_1 = 7280 - 6257$$

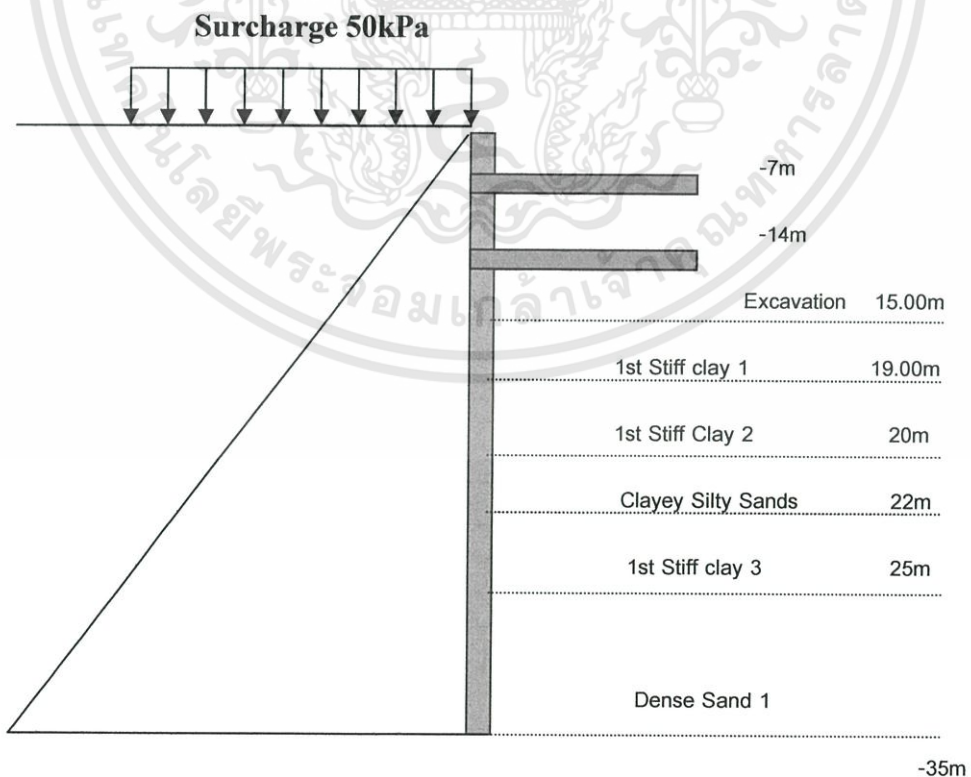
$$T_1 = 1023 \text{ KN}$$

แรงดัน Passive ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่

$$6257 = \frac{1}{2} \times 27 \times P_p$$

$$P_p = 463 \text{ Kpa} < 1156 \text{ Kpa} \dots \text{O.K.}$$

พิจารณาเมื่อขุดดินลึก 15 m



รูปที่ 4.16. แสดงลักษณะชั้นดินและน้ำหนักกดทับที่ผิวดินเมื่อขุดดินลึก 15 m.

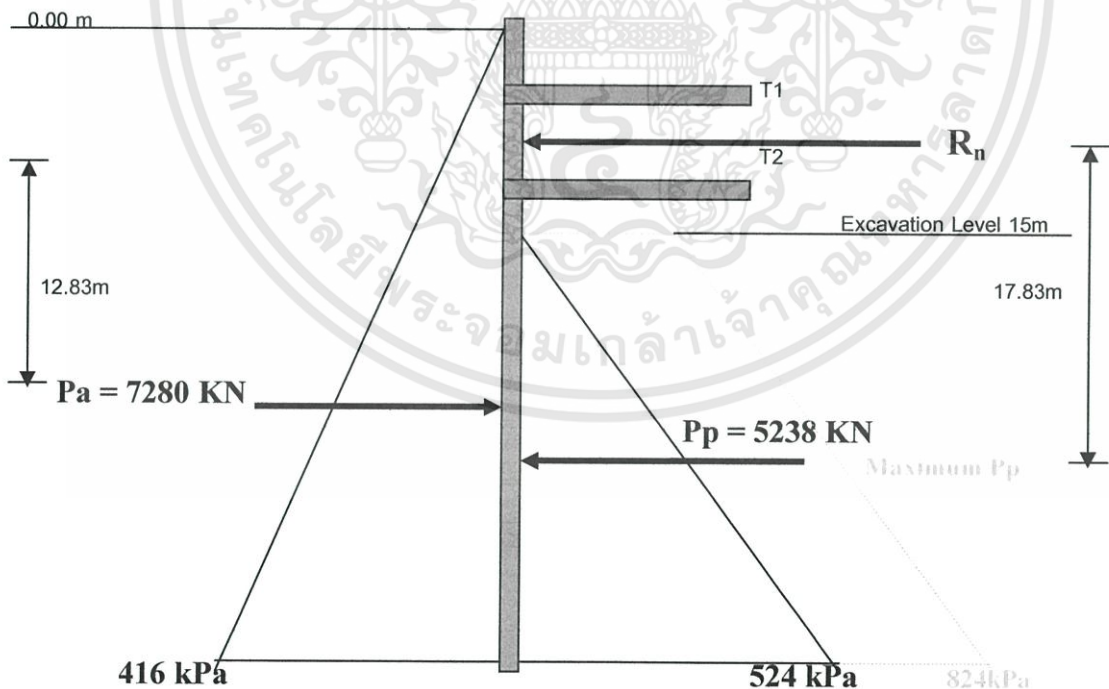
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณแรงดันดินเชิงรับสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้(Maximum Passive Pressure)

ตารางที่ 4.4. การคำนวณแรงดันดินเชิงรับสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อขุดดินลึก 15 m

Depth (m)	Overburden Pressure (kPa)	Total overburden Pressure (kPa)	Kp	แรงดันดินด้านข้าง (kPa)	แรงดันน้ำ (kPa)	แรงเชื่อมแน่น $2C\sqrt{K_p}$ (kPa)	แรงดันรวมด้านข้าง (kPa)
15	20	0	1.00	20	0	+180	+200
19	$20+((16-10)\times 4)$	44	1.00	44	40	+360	+444
20	$44+((19-10)\times 1)$	53	1.00	53	50	+420	+523
22	$53+((19-10)\times 2)$	71	1.00	71	70	+490	+631
25	$71+((19-10)\times 3)$	98	3.85	377	100	+250	+727
35	$98+((19-10)\times 10)$	188	3.85	724	200	0	+824

แรงดันดินด้านข้างเมื่อขุดดินลึก 15 m



รูปที่ 4.17. แผนภาพแรงดันดินด้านข้างที่เกิดขึ้นเมื่อขุดดินลึก 15 m.

Ma = Mp (Take Moment รอบ R1)

$$\frac{1}{2} \times 416 \times 35 \times 12.83 = P_p \times 17.83$$

$$P_p = 5238 \text{ KN}$$

$$T_1 + T_2 = P_a - P_p$$

$$1023 + T_2 = 7280 - 5238$$

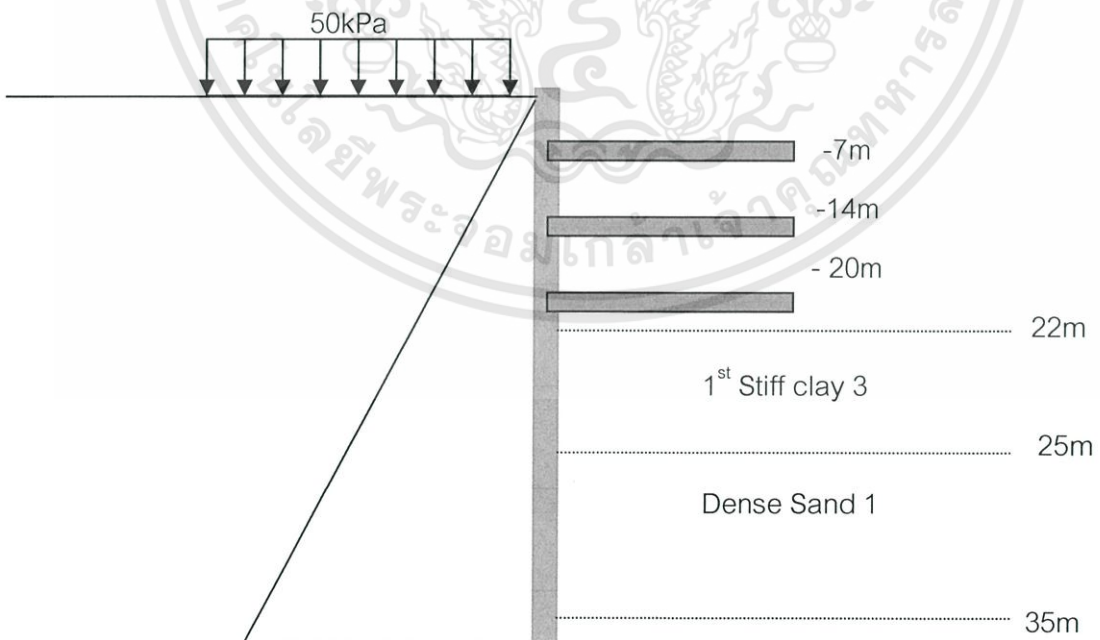
$$T_2 = 1019 \text{ KN}$$

แรงดัน Passive ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่

$$5238 = \frac{1}{2} \times 20 \times P_p$$

$$P_p = 524 \text{ Kpa} < 824 \text{ Kpa} \dots\dots \text{O.K.}$$

พิจารณาเมื่อขุดดินลึก 23 m.



รูปที่ 4.18. แสดงลักษณะชั้นดินและน้ำหนักกดทับที่ผิวดินเมื่อขุดดินลึก 23 m.

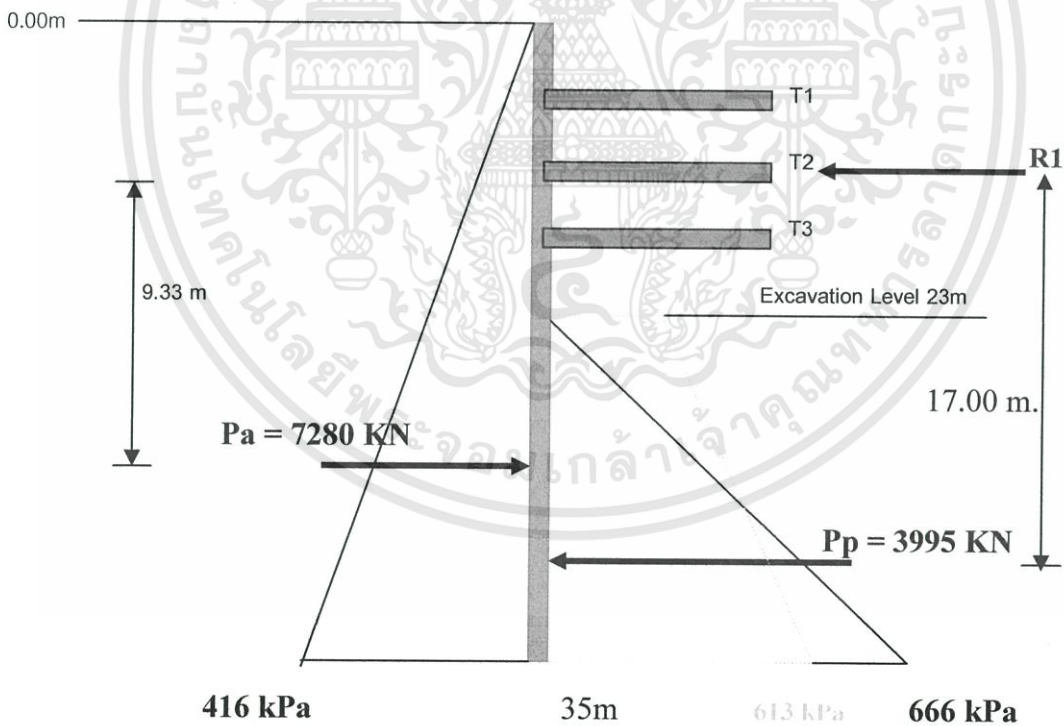
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 58 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณแรงดันดินเชิงรับสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้(Maximum Passive Pressure)

ตารางที่ 4.5. การคำนวณแรงดันดินเชิงรับสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อขุดดินลึก 23 m.

Depth (m)	Overburden Pressure (kPa)	Total overburden Pressure (kPa)	Kp	แรงดันดินด้านข้าง (kPa)	แรงดันน้ำ (kPa)	แรงเชื่อมแน่น $2C\sqrt{K_p}$ (kPa)	แรงดันรวมด้านข้าง (kPa)
23	20	0	1.00	20	0	+250	+270
25	$20+((19-10)\times 2)$	38	3.85	146	20	+250	+416
35	$38+((19-10)\times 10)$	128	3.85	493	120	0	+613

แรงดันดินด้านข้างเมื่อขุดดินลึก 23 m



รูปที่ 4.19. แผนภาพแรงดันดินด้านข้างที่เกิดขึ้นเมื่อขุดดินลึก 23 m

Ma = Mp (Take Moment รอบ R1)

$$\frac{1}{2} \times 416 \times 35 \times 9.33 = P_p \times 17$$

$$P_p = 3995 \text{ KN}$$

$$T_1 + T_2 + T_3 = P_a - P_p$$

$$1023 + 1019 + T_3 = 7280 - 3995$$

$$T_3 = 1243 \text{ KN}$$

แรงดัน Passive ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่

$$3995 = \frac{1}{2} \times 12 \times P_p$$

$$P_p = 666 \text{ KPa}$$

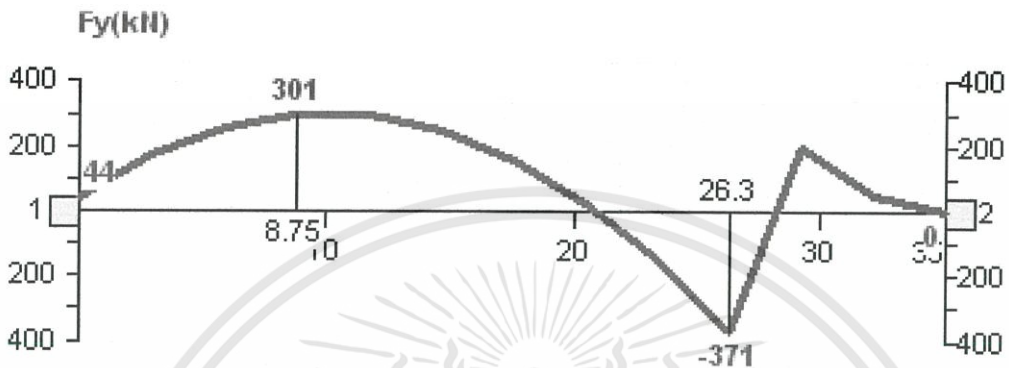
$$P_p = 3995 < 5280 \text{ KN} (P_{p(max)}) \quad \text{ใช้ได้}$$

4.17. แผนภาพแรงเฉือน (Shear Force Diagram) และแผนภาพโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram)

จากการวิเคราะห์แรงดันดินจากข้างต้นสามารถนำแผนภาพแรงดันดินจากการขุดดินลึกที่ระดับ 8 , 15 , 23 เมตร ตามลำดับ นำมาวิเคราะห์หาแรงเฉือน (Shear Force) โมเมนต์ดัด (Bending Moment) และค่าการแอ่นตัว (Deflection) ของ Diaphragm Wall ได้จากทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้เบื้องต้น จากแผนภาพแรงดันดินที่วิเคราะห์ได้เบื้องต้นสามารถนำมาเขียนแผนภาพแรงเฉือน (Shear Force Diagram) แผนภาพโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram) และกราฟการแอ่นตัว (Deflection Curve) ที่ระดับความลึกต่างๆ ได้ดังนี้

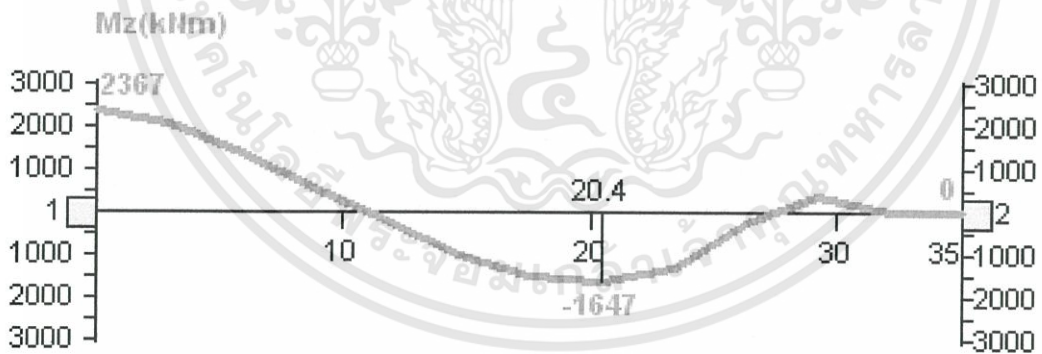
ที่ระดับความลึก 8 เมตร

แผนภาพแรงเฉือน



รูปที่ 4.20.แผนภาพแรงเฉือนเมื่อขุดดินลึก 8 m

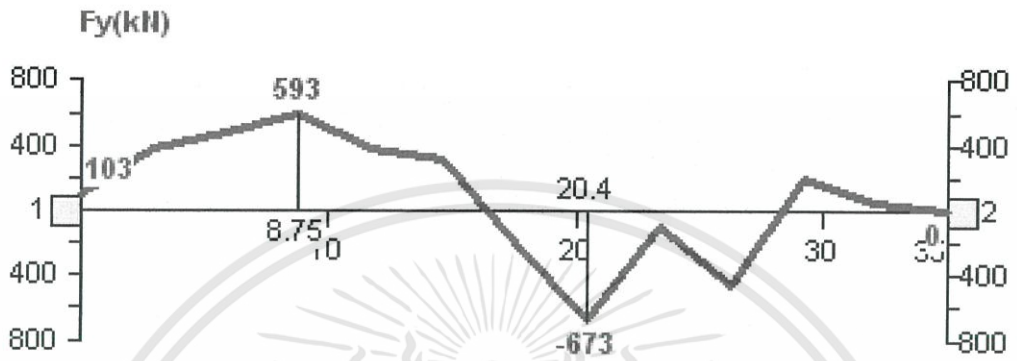
แผนภาพโมเมนต์คัต



รูปที่ 4.21. แผนภาพโมเมนต์คัตเมื่อขุดดินลึก 8 m

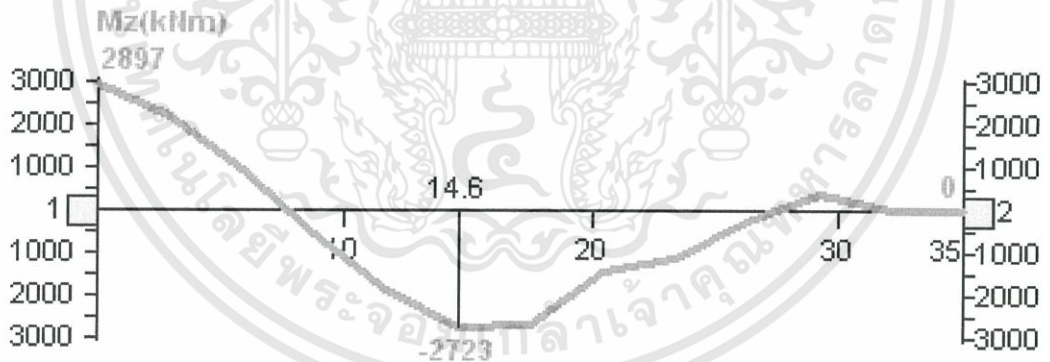
ที่ระดับความลึก 15 เมตร

แผนภาพแรงเฉือน



รูปที่ 4.22. แผนภาพแรงเฉือนเมื่อขุดดินลึก 15 m

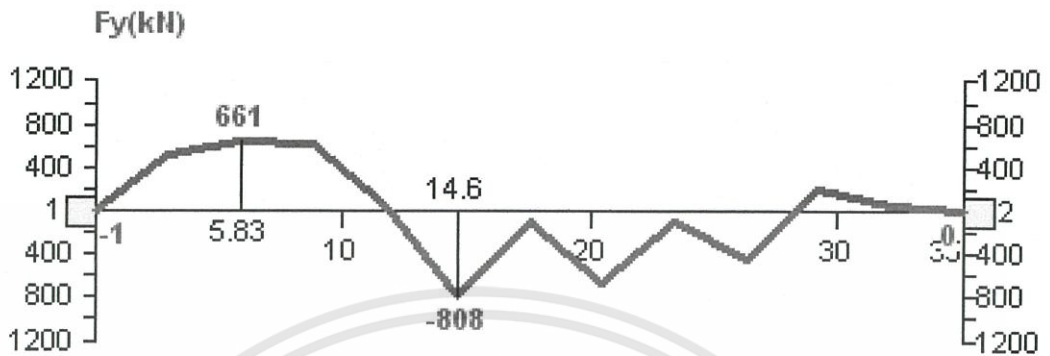
แผนภาพโมเมนต์ดัด



รูปที่ 4.23. แผนภาพโมเมนต์ดัดเมื่อขุดดินลึก 15 m

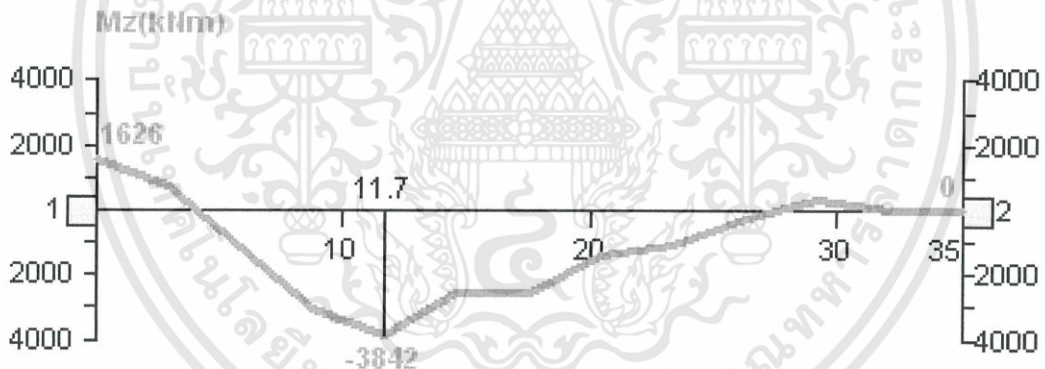
ที่ระดับความลึก 23 เมตร

แผนภาพแรงเฉือน



รูปที่ 4.24. แผนภาพแรงเฉือนเมื่อขุดดินลึก 23 m

แผนภาพโมเมนต์คัต



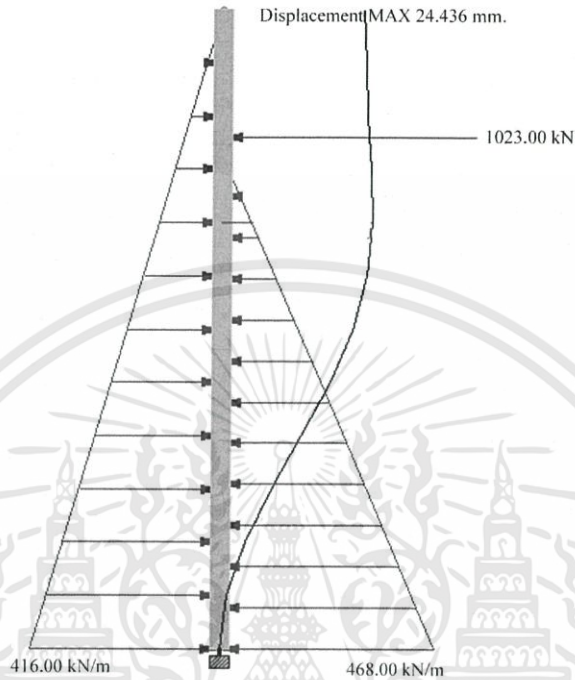
รูปที่ 4.25. แผนภาพโมเมนต์คัตเมื่อขุดดินลึก 23 m.

จากแผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์คัตจากการขุดดินลึกทั้ง 3 ระดับพบว่าที่ระดับ 8 เมตร ให้ค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์คัตมากที่สุดเท่ากับ 371 KN และ 2367 KN.m ตามลำดับ ที่ระดับ 15 เมตร ให้ค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์คัตมากที่สุดเท่ากับ 673 KN และ 2897 KN.m ตามลำดับ ที่ระดับ 23 เมตร ให้ค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์คัตมากที่สุดเท่ากับ 808 KN และ 3842 KN.m ตามลำดับ จากทั้ง 3 กรณีเลือกค่าโมเมนต์และแรงเฉือนที่มีค่ามากที่สุดจากทั้ง 3 กรณีจะได้ค่าโมเมนต์มากที่สุดเท่ากับ 3842 KN.m แรงเฉือนมากที่สุดเท่ากับ 808 KN นำค่านี้ไปทำการออกแบบเหล็กเสริมในโครงสร้าง Diaphragm Wall ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 63 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

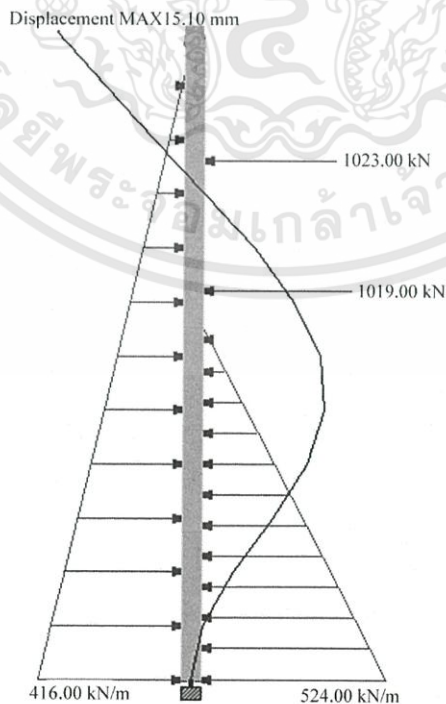
4.18. กราฟการแอ่นตัว(Deflection Curve) ที่ระดับความลึกต่างๆดังนี้

ที่ระดับความลึก 8 เมตร



รูปที่ 4.26. กราฟการแอ่นตัวที่ระดับการขุดดินลึก 8 เมตร

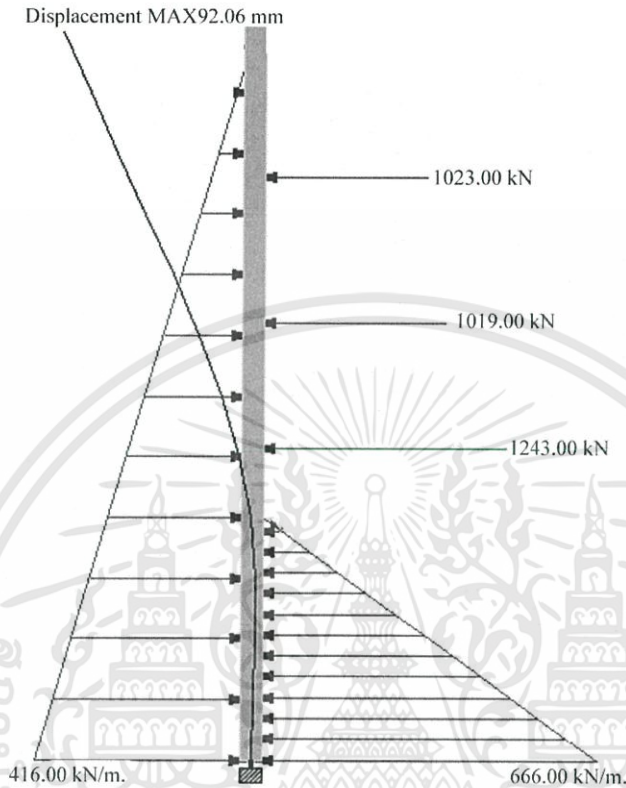
ที่ระดับความลึก 15 เมตร



รูปที่ 4.27. กราฟการแอ่นตัวที่ระดับการขุดดินลึก 15 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 64 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระดับความลึก 23 เมตร



รูปที่ 4.28. กราฟการแอนตัวที่ระดับการขุดดินลึก 23 เมตร

จากกราฟค่าการแอนตัวข้างต้นพบว่าค่าการแอนตัวมากที่สุดที่ระดับการขุดดินลึก 8 เมตร 15 เมตร และ 23 เมตร มีค่าเท่ากับ 24.436 , 15.09, 92.057 มม. ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าที่ควบคุมการแอนตัวคือ 92.057 มม. เป็นค่าที่ต้องควบคุมไม่ให้มีค่าที่เกินกว่าค่าที่ยอมให้เพื่อความปลอดภัยของตัวโครงสร้าง Diaphragm Wall

หาปริมาณเหล็กเสริม

Material Properties

Concrete	:	$f'_c = 350 \text{ ksc}$
Reinforcement	:	SD 40 : $f_y = 4000 \text{ ksc}$

Concrete segment

Panel length	:	4.50 m
Thickness	:	1.00 m

ใช้การออกแบบวิธีกำลัง

1. เหล็กรับโมเมนต์

จากการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นทั้ง 3 กรณีพบว่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นมากที่สุด(M_{max}) มีค่าเท่ากับ 384,200 Kg.m ซึ่งได้นำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้าง Diaphragm Wall

$$M_{u(max)} = 384,200 \text{ Kg.m}$$

ตัวคูณเพิ่มกำลัง(1.4)

$$M_u = (1.4)(384,200)$$

$$M_u = 537,880 \text{ Kg.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} : (\phi = 0.9 \text{ for bending})$$

โมเมนต์ที่ใช้ในการออกแบบ(M_n)

$$M_n = \frac{537,880}{0.9}$$

$$M_n = 597,644 \text{ Kg.m}$$

ปริมาณเหล็กเสริมสมดุล(ρ_b)

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{6120}{6120 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{(0.85)(0.80)(350)}{(4000)} \left(\frac{6120}{6120 + 4000} \right)$$

$$\rho_b = 0.036$$

ปริมาณเหล็กเสริมมากที่สุดสำหรับหน้าตัดรับแรงดึงอย่างเดียว(ρ_{max})

$$\rho_{max} = 0.75\rho_b$$

$$\rho_{max} = (0.75)(0.036)$$

$$\rho_{max} = 0.027$$

หน้าตัดรับได้สูงสุด

$$R_{n(max)} = \rho_{max} f_y \left(1 - \frac{\rho_{max} f_y}{1.7 f'_c} \right)$$

$$R_{n(max)} = (0.027)(4000) \left(1 - \frac{(0.027)(4000)}{(1.7)(350)} \right)$$

$$R_{n(max)} = 88.40 \text{ ksc}$$

กำหนดให้ความลึกประสิทธิภาพ $d = 0.85h = (0.85)(100) = 85 \text{ cm}$

กำลังระบุของหน้าตัดสูงสุด($M_{n(max)}$)

$$M_{n(max)} = R_{n(max)} b d^2$$

$$M_{n(max)} = (88.40)(450)(85)^2$$

$$M_{n(max)} = 2,874,105 \text{ Kg.m}$$

หน้าตัดสามารถรับ โมเมนต์ได้สูงสุด $M_{u(max)}$

$$M_{u(max)} = \phi M_n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_{u(\max)} = (0.9)(2,874,105)$$

$$M_{u(\max)} = 2,586,695 \text{ Kg.m} > M_u$$

ใช้ได้

คุณสมบัติของวัสดุ(Material Properties)

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2}$$

$$R_n = \frac{(597,644)(100)}{(450)(85)^2}$$

$$R_n = 18.38 \text{ ksc}$$

หา % เหล็กเสริม

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85 f'_c}} \right)$$

$$\rho = 0.0047$$

ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ

$$A_s = \rho bd$$

$$A_s = (0.0047)(450)(85)$$

$$A_s = 180 \text{ cm}^2$$

ใช้เหล็กข้ออ้อย(DB) ขนาด 28mm ($A_s=6.16 \text{ cm}^2$) จำนวน 30 เส้น เสริมทั้งบนและล่างโดยมีระยะเรียง 15cm (DB 28 mm @ 0.15 m)

2. เหล็กรับแรงเฉือน

จากการวิเคราะห์ค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นทั้ง 3 กรณีพบว่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นมากที่สุด (V_{\max}) มีค่าเท่ากับ 80,800 Kg ซึ่งได้นำมาใช้ในการออกแบบเหล็กปลอกรับแรงเฉือนในโครงสร้าง Diaphragm Wall

$$V_{\max} = 80,800 \text{ Kg}$$

ตัวคูณเพิ่มกำลัง(1.4)

$$V_u = (1.4)(80,800)$$

แรงเฉือนที่เกิดขึ้น(V_u)

$$V_u = 113,120 \text{ Kg}$$

แรงเฉือนที่คอนกรีตรับได้(V_c)

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_c = 0.53\sqrt{350}(450)(85)$$

$$V_c = 379,264 \text{ Kg} > V_u \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

กำลังแรงเฉือนที่ต้องทำการออกแบบ(V_n)

$$V_n = \frac{V_u}{\phi}$$

$$V_n = \frac{113,110}{0.85}$$

$$V_n = 133,082 \text{ Kg}$$

คอนกรีตสามารถรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นได้แต่ตามมาตรฐานของ วสท. (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย)

$\phi V_c > V_u$ กำหนดให้จะต้องเสริมเหล็กปริมาณน้อยที่สุด ($A_{v\min}$)

เลือกใช้เหล็กปลอกข้ออ้อยขนาด 16 mm (DB 16 mm)

$$\text{ระยะเรียงห่างสุด} = \frac{d}{2} = \frac{85}{2} = 42 \text{ cm}$$

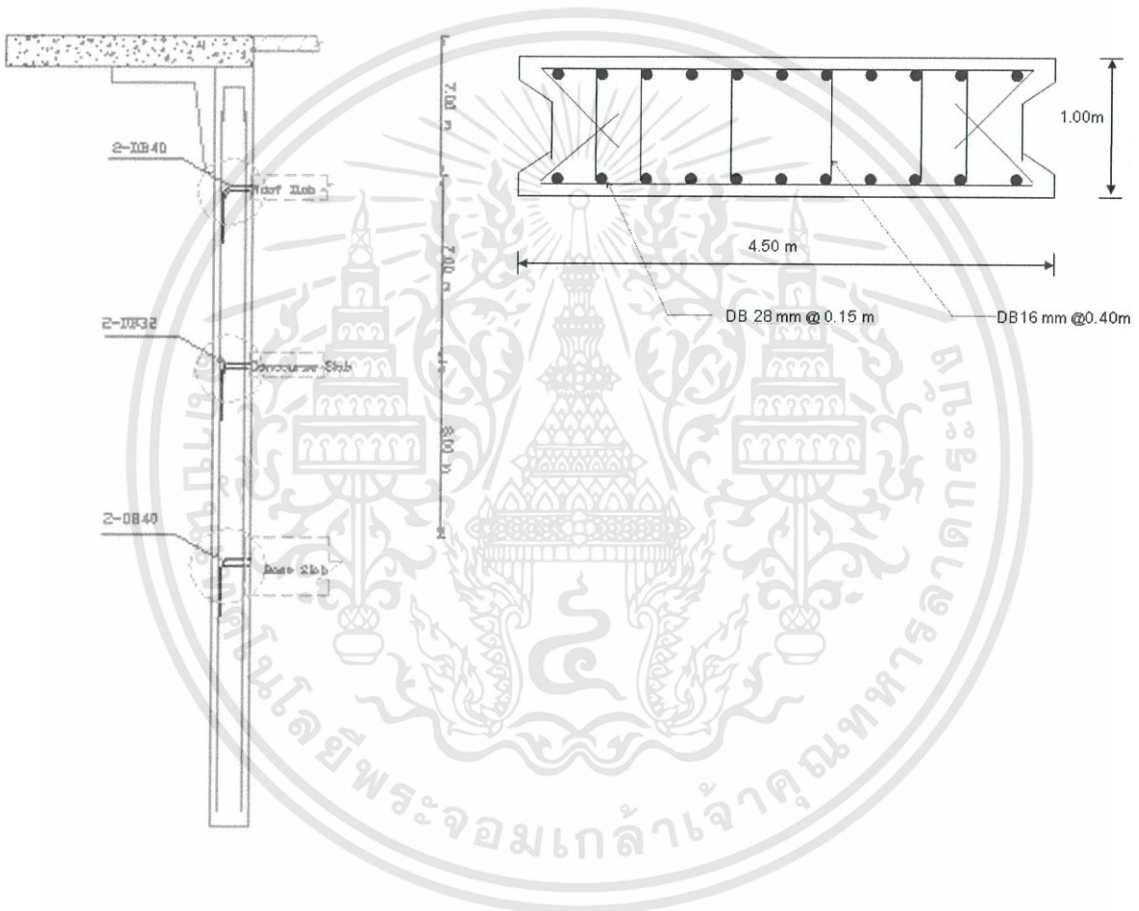
$$A_{v\min} = \frac{3.5b_w s}{f_y}$$

$$A_{v\min} = \frac{(3.5)(450)(42)}{4000}$$

$$A_{v(\min)} = 17\text{cm}^2$$

ใช้เหล็กปลอกข้ออ้อยขนาด 16 mm (DB 16 mm) 8 ขา ระยะเรียง @ 0.40 m

แบบก่อสร้าง Diaphragm wall



รูปที่ 4.29. แบบก่อสร้าง Diaphragm Wall

บทที่ 5

เทคนิคการก่อสร้าง Diaphragm Wall ของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน

5.1. กล่าวนำ

ในขบวนการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) จะเป็นการสร้างกำแพงคอนกรีตภายใต้ผิวดินการก่อสร้างจะทำให้เสร็จไปทีละแผง (Panel) ภายใต้ผิวดินแต่ละแผงจะถูกขุดดินออกโดยใช้หัวขุดเจาะ (Cable Hang Grab) (รูปที่ 5.1) ซึ่งติดตั้งอยู่บนรถปั้นจั่นดินตะขาบ ในการก่อสร้างหลุมที่ขุดดินออกจะทำให้มีเสถียรภาพโดยสารละลายเป็นโทไนท์ โดยโคลนเป็นโทไนท์ที่ใช้ในการขุดดินจะถูกดินเจือปนจึงต้องทำให้สะอาดด้วยขบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ หลังจากขุดดินเสร็จก็จะใส่เหล็กเสริม โดยจะใส่ให้ต่ำกว่า โคลนเป็นโทไนท์ที่ปากหลุม การเสริมเหล็กต้องต่อเนื่องถึงระดับที่ต้องการ และเมื่อจะเทคอนกรีตต่อคอนกรีต (Tremie) จะติดตั้งที่ฐานกำแพงแล้วใช้วิธีเทคอนกรีตแบบใต้น้ำ คอนกรีตจะแข็งมาถึงระดับตัด (Cut-Off) ในระหว่างเทคอนกรีต โคลนเป็นโทไนท์จะถูกแทนที่และจะเก็บกักไว้เพื่อนำไปใช้ใหม่ แผงที่อยู่ติดกันจะขุดโดยใช้ขบวนการเดียวกัน



รูปที่ 5.1. หัวเจาะแบบ Cable Hang Grab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2. งานขั้นเตรียมการที่สนาม (Preliminary Site Works)

1. พื้นที่ทำงาน (Working Platform) เป็นการเตรียมพื้นที่ให้มั่นคงและเหมาะสมเพื่อรองรับเครื่องมือที่ใช้ก่อสร้าง โดยพื้นที่ทำงานจะเตรียมไว้รอบๆ ภายในกำแพง (รูปที่ 5.2)



รูปที่ 5.2. การเตรียมพื้นที่ทำงาน

2. Guide Wall คือกำแพงสองด้านขนานกันเพื่อกำหนดตำแหน่งของ Diaphragm Wall นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์อื่น ดังนี้
 - เพื่อให้การขุดแต่ละแผงอยู่ในพิภคที่ถูกต้องแน่นอน
 - ป้องกันการพังของดินสู่ปากหลุม
 - รองรับเหล็กเสริม Tremie และเครื่องมืออื่นๆ

การก่อสร้าง Guide Wall (รูปที่ 5.3) จะสร้างโดยใช้ขบวนการก่อสร้างปกติทั่วไปโดยผนังของ Guide Wall ต้องเรียบและได้ตั้ง และสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการก่อสร้าง Guide Wall คือความกว้างภายใน และพิภคระหว่างผิวหน้าภายในของ Guide Wall ตัวแปรสองตัวนี้จะเป็นการบอกถึงคุณภาพขั้นสุดท้าย และความเหมาะสมในการทำกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall)



รูปที่ 5.3. การทำ Guide Wall

3. สารละลายเบ็นโทไนท์ (Bentonite Mud)

สารละลายเบ็นโทไนท์จะใช้ Trugel 100 GTC4 หรือเทียบเท่า เป็นโทไนท์นี้ผลิตในออสเตรเลีย โดย Australia Bentonite สารละลายเบ็นโทไนท์จะถูกเก็บไว้ที่หน้างานด้วยภาชนะ (รูปที่ 5.4.) ผุ่นที่เกิดขึ้นจะถูกควบคุมโดยการเปิดเครื่องผสมโดยตรง เบ็นโทไนท์จะถูกผสมในเครื่องผสมแบบ High Turbulence และถูกสูบสู่อินโดยตรงคุณภาพของโคลนเบ็นโทไนท์ถูกรักษาโดยการหมุนเวียนหรือการเขย่า โคลนเบ็นโทไนท์จะถูกลำเลียงโดยท่อเหล็ก 4” และนำกลับจากปากหลุมหลังการขุดดิน โดยผ่านเข้าไปใน Desanding และถูกนำกลับไปใช้ในการขุดดินได้ต่อ โคลนที่ใช้แล้วมีสิ่งเจือปนมาก จะถูกเก็บไว้ที่หน้างานชั่วคราวก่อนนำออกไปจากหน้างาน และมีห้องทดสอบที่จัดตั้งขึ้นที่หน้างานเพื่อควบคุมคุณภาพของเบ็นโทไนท์ โดยห้องทดสอบจะประกอบด้วยเครื่องมือ ดังนี้

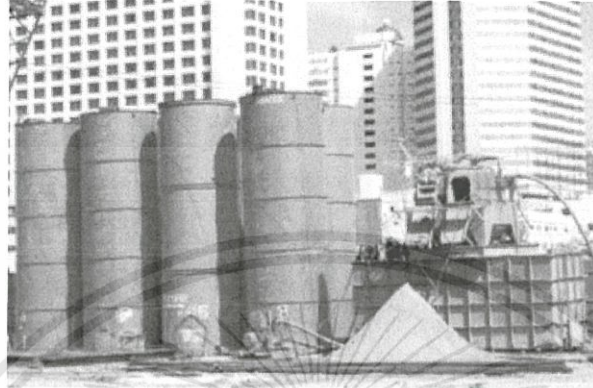
- Baroid filter press (free water)
- Mud balance (density)
- Marsh funnels (viscosity)
- Sand screen set (sand content)
- Apparatus for measuring pH

ตัวอย่างการทดสอบ และช่วงของผลที่ยอมรับได้อธิบายรายละเอียดในภาคผนวก ก.3. และการจะใช้สารผสมเพิ่มในโคลนเบ็นโทไนท์ นั้นอธิบายรายละเอียดของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ในภาคผนวก ก.3. และเพื่อควบคุมความหนืด ให้ได้คุณสมบัติตามต้องการจะมีสารที่ใช้ คือ

- GSTP หรือเทียบเท่า
- Alcomer 74L หรือเทียบเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sodium Bicarbonate
- Sodium Carbonate



รูปที่ 5.4. ถังบรรจุสารละลายเป็นโทไนท์

5.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้าง Diaphragm Wall ในโครงการรถไฟฟ้ามหานคร

- Crawler Cranes (type LS 418 or Liebherr 852 or equivalent) (รถปั้นจั่นดินตะขาบ)
- Service Cranes (type LS 118 , LS 128 or equivalent) (เกรน)
- Mechanical Clamshells of Size 800 mm to 1,500 mm (หัวขุดดิน)
- Chisels (สลัก)
- Desanding Unit (อุปกรณ์ทำความสะอาดเป็นโทไนท์)
- High Turbulence Bentonite Mixer (เครื่องผสมเป็นโทไนท์)
- Bentonite mud pump (เครื่องสูบเป็นโทไนท์)
- Tremie pipe (ท่อเทคอนกรีต)
- Silos and Tank (ถังและบ่อบรรจุเป็นโทไนท์)
- Electricity Generators (เครื่องปั่นไฟ)
- Welding sets (ชุดเชื่อม)
- Electrical switch boxes
- Container for storage , workshop and office (สำนักงานสนาม)
- Forklift or backhoe (โฟล์คลิฟท์ หรือ รถขุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4. การขุดดิน Diaphragm Wall (Diaphragm Wall Excavation)

การขุดดินของ Diaphragm Wall จะใช้หัวขุดเจาะ (Cable Hang Grab) ขนาดยาว 2,800 มม. กว้าง 800 มม. ถึง 1,500 มม. หนัก 8-9 ตัน (รูปที่ 5.5) และมีหัวขุดที่ยาว หัวขุดเจาะจะถูกติดตั้งบนรถป็นจันตีนตะขาบ (Crawler Cranes) หนัก 70 และ 100 ตัน ในขณะที่ทำการขุดดินจะรักษาเสถียรภาพหลุมเจาะโดยใช้โคลนเป็นโทไนท์ แผลงที่ขุดโดยทั่วไปจะขุดยาว 6.5 เมตร การขุดดินในแต่ละแผลงจะขุด 3 ชั้นตอนคือขุดด้านข้างทั้งสองข้างก่อน แล้วจึงขุดบริเวณใกล้ศูนย์กลาง ดินที่ถูกขุดขึ้นมาจะถูกตรวจสอบและจดบันทึก แผลง Primary จะถูกขุดและทำให้เสร็จก่อน เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มขุดจนถึงเทคอนกรีตเรียบร้อยขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัวรวมถึงหน้าตัดของแผลง และสถานะของดินแม้ว่าในการก่อสร้างจะรักษาปากหลุมด้วยโคลนเป็นโทไนท์ ในระหว่างที่ขุด โคลนเป็นโทไนท์จะถูกเจือปนโดยดิน ดังนั้น โคลนจึงต้องการความสะอาดหรือเปลี่ยน ชั้นตอนการทำความสะอาดและขบวนการจัดการโคลนโดยทั่วไปแสดงในภาคผนวก ก.2. ระหว่างขุดเจาะแนวจะตรวจสอบแนวโค้งโดยดูจากแนวโค้งของหัวขุดเจาะ การตรวจสอบจะใช้ลูกดิ่ง และตำแหน่งจะสัมพันธ์กับ Guide Wall ความลึกของการขุดดินจะถูกแสดงอย่างต่อเนื่องโดยใช้เครื่องตรวจสอบความสมบูรณ์ของหลุม (Drilling Monitoring) ซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงทุกๆ เมตร ถ้ามีการพังทลายเกิดขึ้นจะสังเกตเห็นได้อย่างรวดเร็ว และวัดประมาณได้ ในกรณีที่พังเสียหายมากการขุดดินจะถูกถมกลับด้วยคอนกรีตหยาบ เครื่องนี้จะใช้เพื่อให้เห็นวากันหลุมนั้นสะอาดเมื่อจะเทคอนกรีต



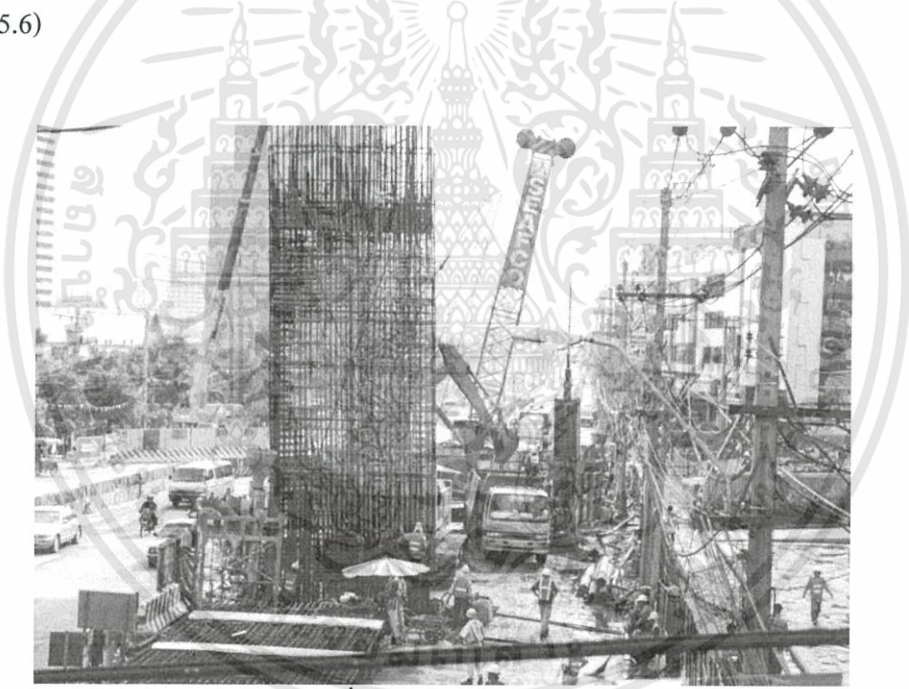
รูปที่ 5.5. การขุดดินโดยใช้หัวแบบ Cable Hang Grab

5.5. การลำเลียงดิน (Removal of Spoil)

การเคลื่อนย้ายดินจากหลุมโดยหัวขุดจะเก็บไว้หน้างานชั่วคราว แล้วเคลื่อนย้ายออกไปข้างนอกต่อไป โดยจะเคลื่อนย้ายออกจากหน้างานในตอนกลางคืน

5.6. การลงเหล็กเสริม (Placing of Reinforcement)

โดยทั่วไปโครงเหล็กเสริมจะทำสำเร็จรูปแล้วลำเลียงมาที่หน้างาน โดยจะใช้ความยาวสูงสุดของเหล็กคือ 12 เมตร แต่อาจจะต้องต่อความยาวเพื่อจะติดตั้งลงในหลุม โครงเหล็กแต่ละหน้าตัดจะถูกต่อโดยหน้าตัดที่ต่ำกว่าจะรองรับด้วย Guide Wall และหน้าตัดที่สูงกว่าจะถูกยกมาต่อด้วยเครน การต่อเหล็กจะต่อให้มีระยะเหลื่อมกัน และเมื่อได้โครงเหล็กลงหลุมแล้วจะต้องให้มีระดับต่ำกว่าปากหลุม (รูปที่ 5.6)



รูปที่ 5.6. การลงเหล็กเสริม

5.7. การเทคอนกรีต (Placing of Concrete)

คอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้าง Diaphragm Wall จะผสมให้มี Slump 160 มม. ถึง 200 มม. คอนกรีตจะผสมเสร็จแล้วขนส่งมาที่หน้างาน ท่อเทคอนกรีตมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 270 มม. ท่อเทคอนกรีตจะอยู่เหนือพื้นขณะที่เทแล้วค่อยยกขึ้นมาข้างบน แต่ต้องรักษาให้ท่อเทคอนกรีตจมอยู่ในคอนกรีตอย่างน้อย 3 เมตร โดยทั่วไปแผงที่ยาว 6 เมตรจะใช้ท่อเทคอนกรีต 2 ท่อ (รูปที่ 5.7)



รูปที่ 5.7. การเทคอนกรีตท่อน

5.8. การเตรียมรอยต่อของแผง (Panel Joint Preparation)

รอยต่อระหว่างแผงที่ติดต่อกันจะทำโยใช้ขบวนการ WSI หลังจากขุดดินออกเรียบร้อยแล้ว รอยต่อ WSI จะถูกติดตั้งที่ปลายของผนังที่ขุด โดย Primary Panel จะติดตั้งทั้ง 2 ข้าง ซึ่งจะติดตั้งต่ำกว่าระดับขุดดิน 2-3 เมตรหรือถึงชั้นดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้น้อย รอยต่อ WSI จะถูกเอาออกเมื่อทำการขุดดิน Secondary Panel เสร็จ และการใช้รอยต่อ WSI มีประโยชน์ ดังนี้

- ทำให้คอนกรีตตรงปลายทั้งสองข้างไม่เคลื่อนที่ และ ได้รูปทรง
- สามารถติดตั้ง Water Stop ได้
- WSI จะปกป้องคอนกรีตของแผงที่เทก่อน

บทที่ 6

ระบบฐานข้อมูลการก่อสร้าง Diaphragm Wall ในโครงการรถไฟฟ้ามหานคร

6.1. กล่าวนำ

ในบทนี้จะพูดถึงระบบฐานข้อมูลของการก่อสร้างกำแพงกั้นดินชนิดชุด-หล่อในที่ (Diaphragm Wall) ซึ่งในช่วงหลังนี้ได้รับความสนใจในการนำมาเป็นโครงสร้างกั้นดินเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในการก่อสร้างโครงการใหญ่ๆ เนื่องจากมีข้อดีในการช่วยลดเวลาในการก่อสร้างของโครงการ และโครงการรถไฟฟ้ามหานครก็เป็นโครงการหนึ่งที่มีการก่อสร้างที่เป็นโครงสร้างใต้ดินจำนวนมาก ทั้งตัวอุโมงค์ที่มีความยาวถึง 22 กิโลเมตร และตัวสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่มีมากถึง 18 สถานี โดยโครงสร้างหลักล้วนแต่เป็นโครงสร้างกั้นดินแบบ Diaphragm Wall ทั้งสิ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าโครงการนี้เป็นโครงการที่ใหญ่ และเป็นโครงการแรกของไทย เพื่อความคล่องตัวในการทำงานจึงได้แบ่งโครงการนี้ออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนใต้โดยกลุ่มกิจการร่วมค้า BCKT ซึ่งประกอบด้วย Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft, Ch.Karnchang Public Co., Ltd., Kumakai Gumi Co., Ltd. และ Tokyo Construction Co., Ltd. เป็นผู้รับจ้าง (รูปที่ 6.1) และส่วนเหนือโดยกลุ่มกิจการร่วมค้า ION เป็นผู้รับจ้างซึ่งประกอบด้วย Italian Thai Development Public Co., Ltd., Obayashi Corporation and Nishimatsu Construction Co., Ltd. (รูปที่ 6.2) จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าโครงการนี้ประกอบด้วยผู้รับจ้างหลักมากถึง 7 บริษัทด้วยกัน จึงทำให้ข้อมูลการก่อสร้างที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา และการก่อสร้างในอนาคตนั้นกระจัดกระจาย ดังนั้นในกรณีศึกษาจึงได้เก็บรวบรวมข้อมูลที่สำคัญจะเป็นประโยชน์ของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ามหานคร ในส่วนของการก่อสร้าง Diaphragm Wall ของตัวสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินโดยมีการจัดเก็บข้อมูล ดังนี้

1. ข้อมูลลักษณะของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
2. ข้อมูลระดับความลึกของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในระดับชั้นต่างๆ
3. ข้อมูลกิจกรรมการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
4. ข้อมูลสภาพชั้นดิน
5. ข้อมูลค่าการเคลื่อนตัวของ Diaphragm Wall ของตัวสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน



รูปที่ 6.1. แผนที่สถานีรถไฟฟ้าส่วนใต้



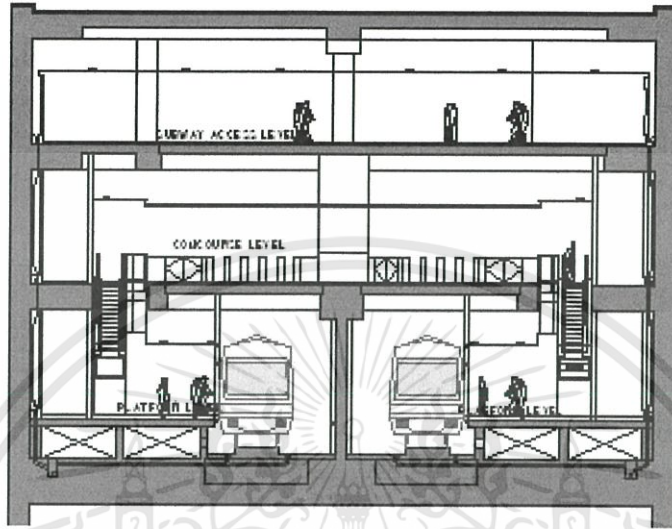
รูปที่ 6.2. แผนที่สถานีรถไฟฟ้าส่วนเหนือ

6.2. ข้อมูลลักษณะของสถานี

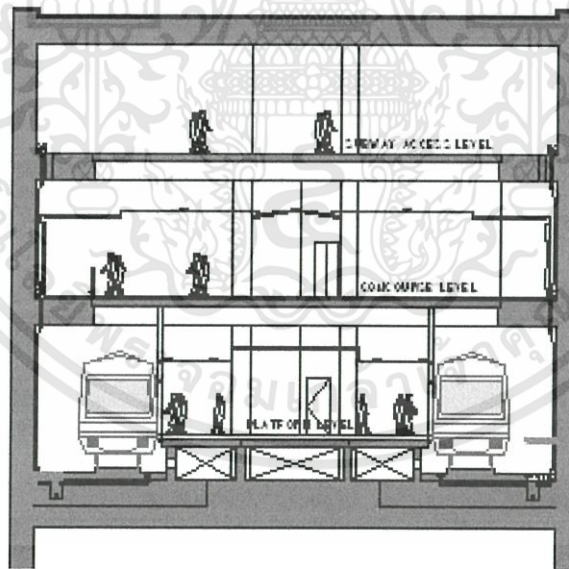
ในการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินนั้น มีข้อจำกัดอยู่หลายอย่าง ดังนั้นจำเป็นต้องทำการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นๆ จึงทำให้ตัวสถานีมีลักษณะต่างๆ กัน โดยตัวสถานีมีขนาดโดยเฉลี่ย ลึกประมาณ 20 เมตร กว้างประมาณ 18-25 เมตร และยาวประมาณ 150-200 เมตร โดยมีลักษณะตัวสถานี 3 แบบด้วยกัน คือ แบบชานชาลาข้าง (Side Platform) (รูปที่ 6.3) แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชานชาลากลาง (Centre Platform) (รูปที่ 6.4) และชานชาลาซ้อนกัน (Staked Platform) (รูปที่ 6.5) โดยหลักการเลือกจะขึ้นอยู่กับ ความลึกในการขุดถึงระดับสุดท้าย และสภาพชั้นดินในบริเวณนั้นๆ

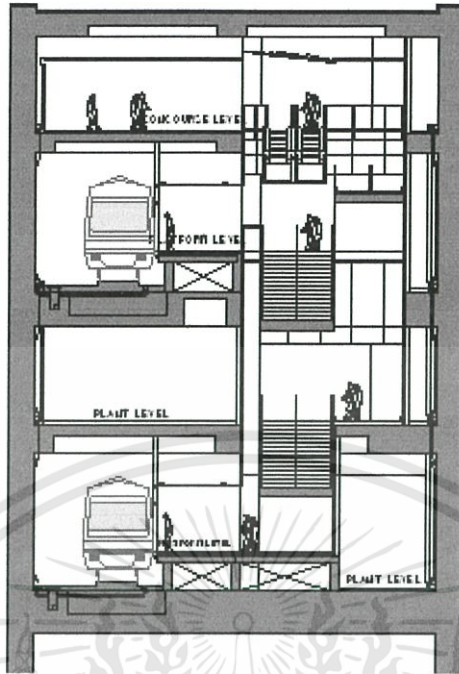


รูปที่ 6.3. ชานชาลาข้าง



รูปที่ 6.4. ชานชาลากลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5. ขานขาลาซ้อนกัน

สถานีศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ ซึ่งเป็นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินแบบมีขานขาลาตรงกลาง โดยตัวสถานีด้านตะวันตกอยู่ใต้ถนนรัชดาภิเษก ส่วนด้านตะวันออกจะอยู่ใต้อาคารศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ทำให้สถานีนี้มีความลึกจากระดับผิวดินมากกว่าสถานีอื่นๆ

ส่วนของสถานีเทียบร่วมมิตร (ปัจจุบันใช้ชื่อสถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งชาติ) ซึ่งลักษณะตัวสถานีเป็นแบบซ้อนกัน โดยในอนาคตสถานีนี้จะเป็นสถานีสับเปลี่ยนเส้นทางระหว่างสายสีน้ำเงิน (สายรัชเฉลิมรัชมงคล) กับสายสีส้ม ซึ่งเป็นสายต่อขยายในอนาคตโดยตัวโครงสร้างสถานี ใช้ผนังกันดิน Diaphragm Wall และมีเสาเข็มทรงเหลี่ยม (Barrettes Pile) ที่มีการติดตั้งเสาเหล็กสะแตนเชียน (Stanchion) ที่หัวเสาเข็มไว้ล่วงหน้า เพื่อใช้ในการก่อสร้างตัวสถานีแบบก่อสร้างจากบนลงล่าง (Top-Down Construction)

สถานีสีลมซึ่งตั้งอยู่ใต้สะพานข้ามแยกไทย-ญี่ปุ่น โดยสภาพการจราจรในบริเวณแยกนี้ติดขัดเป็นอย่างมาก ลักษณะของสะพานสร้างจากเหล็ก และคอนกรีต โดยทางด้านทิศเหนือของสถานีอยู่ติดกับอนุสาวรีย์รัชกาลที่ 6 ดังนั้นในการก่อสร้างต้องทำด้วยความระมัดระวังอย่างมาก และมีขั้นตอนการก่อสร้างต่างจากสถานีอื่นๆ เนื่องจากต้องทำเข็ม Barrettes ขึ้นมาเพื่อรับน้ำหนักจากตอม่อสะพาน ก่อนที่จะทำการตัดเข็มของสะพานทิ้ง ดังนั้นสถานีนี้จึงมีลักษณะเป็นแบบขานขาลาซ้อนกัน

6.3. ข้อมูลระดับความลึกของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในระดับชั้นต่างๆ

ดังที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่านอกจากรายละเอียดที่แตกต่างกันของแต่ละสถานี แล้วยังมีข้อมูลระดับความลึกของชั้นต่างๆ ที่แตกต่างกันอีกด้วย ดังนั้นจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวไว้แสดงในตารางที่ 6.1 ดังนี้

ตารางที่ 6.1. ข้อมูลความลึกของระดับชั้นต่างๆ

สถานีบางซื่อ	สายใต้		สถานีพระราม 9	สายเหนือ	
	Level	Depth (m.)		Level	Depth (m.)
	Roof	2.00		Roof	1.50
	Intermediate	7.00		Access	6.70
	Base Slab	14.70		Concourse	12.20
	Toe D/Wall	35.00		Base slab	19.05
				Toe	35.00
สถานีกำแพงเพชร	Level	Depth (m.)	สถานีเพชรบุรี	Level	Depth (m.)
	roof	1.70		Roof	3.10
	Retail	6.70		Access	8.30
	Concourse	11.90		Concourse	13.80
	Base Slab	19.60		Base	20.65
	Toe D/Wall	36.50		Toe	35.00
สถานีหมอชิต	Level	Depth (m.)	สถานีสุขุมวิท	Level	Depth (m.)
	roof	1.90		Roof	1.20
	Retail	7.10		Access	6.40
	Concourse	12.30		Concourse	11.90
	Base Slab	20.25		Base	18.75
	Toe D/Wall	32.00		Toe	35.00
สถานีพหลโยธิน	Level	Depth (m.)	สถานีศูนย์ประชุม แห่งชาติสิริกิติ์		N/A
	roof	0.50			
	Retail	5.90			
	Concourse	11.10			
	Base Slab	17.95			
	Toe D/Wall	32.50			
			สถานีบ่อนไก่		N/A
			สถานีลุมพินี		N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4. ข้อมูลกิจกรรมการก่อสร้าง

ในการก่อสร้างตัวสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินนั้น ในส่วนที่เป็นโครงสร้างหลักจะใช้เป็นกำแพงกันดิน แบบ Diaphragm Wall โดยทั้ง 2 ส่วนจะมีขั้นตอนการก่อสร้างที่คล้ายกัน และใช้เวลา รวมประมาณ 5 ปี โดยใช้วิธีการก่อสร้างแบบจากบนลงล่าง (Top-Down Method) ทั้งหมด และแบ่ง ขั้นตอนการทำงานเป็น ดังนี้

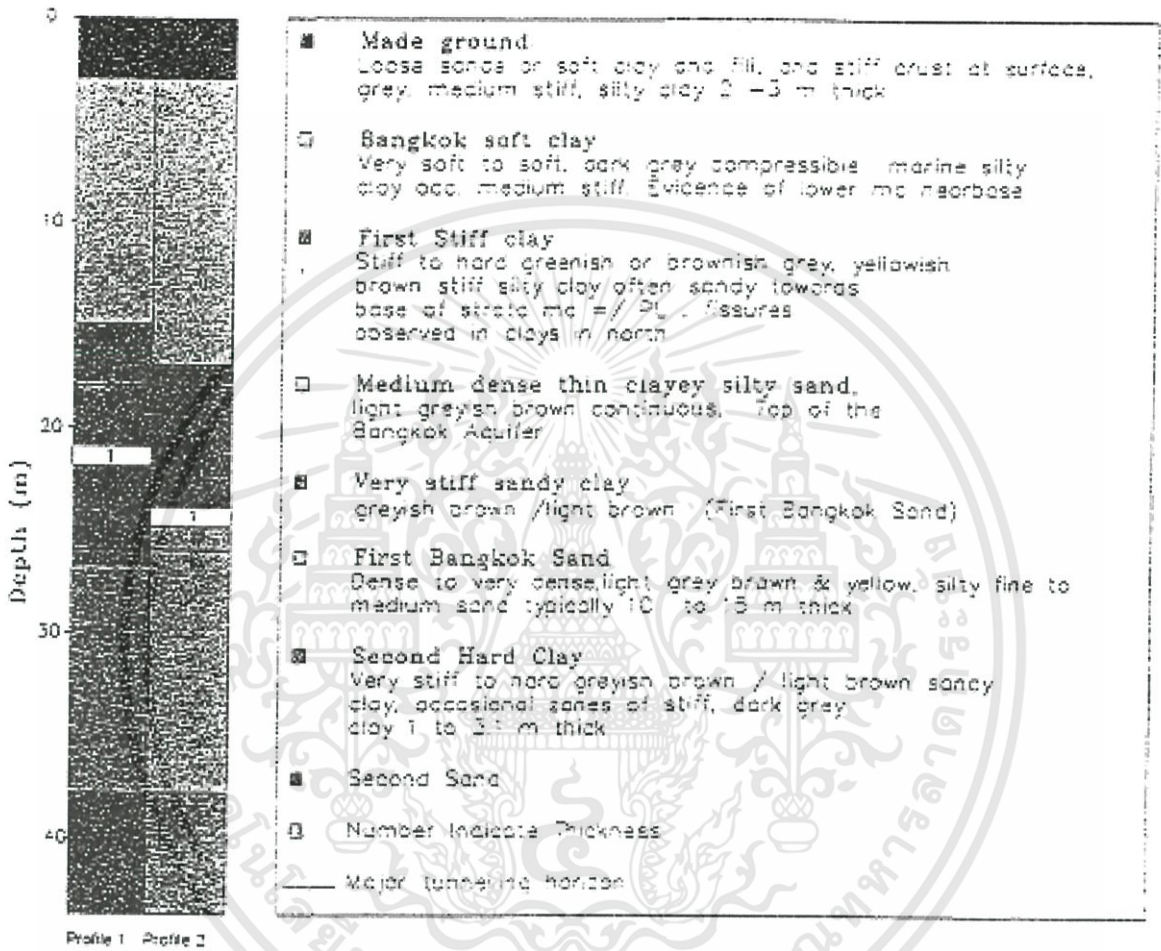
1. โยกย้ายระบบสาธารณูปโภค
2. ก่อสร้างผนังกำแพงสถานี และเสาเข็มกลางสถานี
3. ติดตั้งพื้นผิวจราจรชั่วคราว
4. ขุดดินและก่อสร้างหลังคาสถานี
5. ขุดดินและก่อสร้างพื้นชั้นรองรับผู้โดยสาร
6. ขุดดินและก่อสร้างพื้นชั้นห้องโถงผู้โดยสาร
7. ขุดดินและก่อสร้างพื้นชั้นล่าง
8. ก่อสร้างชานชาลา
9. งานตกแต่ง
10. งานติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์
11. คืบผิวถนน

6.5. ข้อมูลสภาพชั้นดิน

จากการสรุปสภาพ และคุณสมบัติของชั้นดิน ของโครงการรถไฟฟ้ามหานครสายเฉลิม รัชมงคล ทำโดย Maconochi (2001) แสดงไว้ในรูปที่ 6.6 และตารางที่ 6.2 ความแตกต่างของสภาพดิน สามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

- ลักษณะแรก จะมีลักษณะมีชั้นทรายแน่น (dense sand) อยู่ใต้ชั้นดินเหนียว (very stiff clay) ซึ่ง วางตัวอยู่ระหว่างสถานีหัวลำโพง ถึงสถานีสามย่าน และสถานีสีลมถึงสถานีลุมพินี มีลักษณะชั้นดิน คือมีชั้นดินเหนียว (very stiff clay) วางตัวอยู่ด้านบนสุด ทัดลงไปเป็นชั้นทรายแน่น (dense sand) และชั้นดินเหนียวแข็ง (hard clay) ตามลำดับ
- ลักษณะที่สอง จะพบลักษณะชั้นดินนี้ในช่วงสถานีศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ ถึงสถานีเพชรบุรี ซึ่ง จะไม่มีชั้นทรายชั้นแรก โดยมีชั้นดินเหนียวแข็งมาก (very stiff clay) ที่มีความหนาแน่นมาแทนที่ และมีชั้นดินเหนียวแข็ง (very stiff clay) อยู่เป็นชั้นที่สอง

โดยปกติแล้วพื้นที่ในกรุงเทพฯจะมีชั้นให้น้ำ (Aquifer) อยู่ในชั้นดินเหนียวชั้นที่สาม ซึ่งมีความลึกประมาณ 70 เมตร จากระดับผิวดิน



รูปที่ 6.6. ลักษณะชั้นดินโดยทั่วไปของโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล (Maconochi, 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 ลักษณะชั้นดินโดยทั่วไปของโครงการรถไฟฟ้ามหานคร
สายเฉลิมรัชมงคล (Maconochi, 2001)

Stratum Name	Thickness	Description	Engineering Properties
Made Ground	0.1 to 4.0 (m)	Loose sands or soft clay and fill, and Stiff crust at surface mc =/ LL, grey, medium stiff, silty clay 2 - 3 m thick	mc=30 - 50 %, $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$
Bangkok Soft Clay	9.0 to 15.8	very soft to soft, dark grey compressible marine silty clay occ. medium stiff. Evidence of lower mc near base	mc= 50-90% \sim LL, LI=0.5 -1.0, PL=20 - 40%, $C_u/s_{vo}' = 0.35$, $C_u(\text{re}) = 10 \text{ kPa}$, organics = 6%, $\gamma = 16.5 \text{ kN/ m}^3$, $M_v=1 \text{ m}^2/\text{MN}$, $C_v= 3 \text{ m}^2/\text{yr}$, OCR=1-1.2, $c'=0 \text{ kPa}$, $\phi'=20^\circ$, $K_o=0.75$
First Stiff clay	5.3 to 14.4	Stiff to hard greenish or brownish grey, yellowish brown stiff silty clay often sandy towards base of strata mc =/ PL , fissures observed in clays in north	mc = 25-40% \sim PL, LL= 60 to 80%, clay content 85% above depth 18 m, mc= 15-25%, LL=30 to 50% below 18m, LI=-0.25 to 0.4, $C_u = 50+8z < 120 \text{ kPa } z=0 @ 86\text{m}$ ISD, $\gamma=19 \text{ kN/ m}^3$, $K_o=0.65$ to 0.85, $M_v=0.1 \text{ m}^2/\text{MN}$, OCR=1-1.2, $C_v= 5$ to 7 m^2/yr
Top of Bangkok Aquifer	1 to 2	Medium dense, light greyish brown continuous thin clayey silty sand	mc=20-30% \sim PL, low to interm. plasticity, $N\sim 20$ & $C_u = 6\text{N}$, $\Rightarrow C_u=120 \text{ kPa}$, $\gamma = 19.5 \text{ kN/ m}^3$, $M_v=0.1 \text{ m}^2/\text{MN}$, OCR=1.6 to 2.0
Very Stiff silty Clay , FBS Profile 1	5 to 15	very stiff greyish brown / light brown silty clay	mc=15 - 40% \sim PL, LI=0.1 to 0.3, $N\sim 25$ & $C_u=5\text{N}$, $\Rightarrow C_u=125 \text{ kPa}$, $\gamma= 20.5 \text{ kn/ m}^3$, $K_o=0.65$ to 0.85, $M_v=0.03 - 0.08 \text{ m}^2/\text{MN}$, OCR=1.6 to 3.0, $C_v = 5 \text{ m}^2/\text{yr}$
First Bangkok Sand Profile 2	to depth of 38 to 44	Dense to very dense, light grey brown & yellow silty fine to medium sand typically 10 to 15 m thick	mc=10 - 25%, Typical SPT $N=35$ to 48, $\phi'=36^\circ$, $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $K_o=0.5$ to 0.8
Second Hard Clay		Very stiff to hard greyish brown / light brown sandy clay, occasional zones of stiff, dark grey clay 1 to 3.1 m thick	mc=15-30% \sim PL, LI= - 0.2 to 0.2, SPT=30 - 40, $C_u=5\text{N}$, $C_u=200 \text{ kPa}$, $\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$, $M_v=0.05 - 0.03 \text{ m}^2/\text{MN}$, $\phi '=23^\circ$ OCR=1.6 to 3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6. ข้อมูลค่าการเคลื่อนตัว (Displacement)

ในการขุดหลุมลึกซึ่งมีการติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ ไว้เช่น เครื่องมือวัดความเอียง (Inclinometer) วัดการเคลื่อนตัวของกำแพง จุดประสงค์เพื่อตรวจสอบความปลอดภัยของงานก่อสร้างและประเมินผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับโครงสร้างข้างเคียง โดยจะมีการกำหนดระดับความระมัดระวังในการทำงาน (Trigger Level) เพื่อเป็นบรรทัดฐานในการควบคุมงาน โดยกำหนดเป็น 3 ระดับ คือ

- Alert Level คือระดับความระมัดระวังเมื่อค่าที่วัดได้จริงมีค่ามากกว่า 70% ของค่าที่วิเคราะห์ได้ทางทฤษฎี ในระดับนี้ผู้เกี่ยวข้องของทุฝ่ายต้องทำการตรวจสอบขั้นตอนการก่อสร้าง
- Alarm Level คือระดับความระมัดระวังเมื่อค่าที่วัดได้จริงมีค่ามากกว่า 80% ของค่าที่วิเคราะห์ได้ทางทฤษฎี ในระดับนี้ผู้เกี่ยวข้องต้องปรึกษากับผู้ออกแบบ เพื่อความมั่นใจว่าระบบก่อสร้างมีความปลอดภัย และไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างข้างเคียง
- Action Level คือระดับความระมัดระวังเมื่อค่าที่วัดได้จริงมีค่ามากกว่า 90% ของค่าที่วิเคราะห์ได้ทางทฤษฎี ในระดับนี้ต้องหยุดการก่อสร้างเพื่อตรวจสอบความปลอดภัย ผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียงอย่างละเอียด

6.6.1. การจับเก็บค่าการเคลื่อนตัว Diaphragm Wall ในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน

ในการจับเก็บค่าการเคลื่อนตัวของผนัง Diaphragm Wall ของโครงการรถไฟฟ้ามหานคร ใช้โปรแกรม Microsoft Access ในการจัดเก็บข้อมูล และในส่วนกรณีศึกษานี้ได้เก็บข้อมูลในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (รูปที่ 6.7) ในส่วนสถานี ต่อไปนี้

- สถานีบางซื่อ
- สถานีกำแพงเพชร
- สถานีหมอชิต
- สถานีพหลโยธิน
- สถานีลาดพร้าว
- สถานีรัชดา
- สถานีสุทธิสาร
- สถานีประชากรศาสตร์บำเพ็ญ
- สถานีพระราม 9
- สถานีเพชรบุรี
- สถานีสุขุมวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สถานีสีลม
- สถานีสามย่าน
- สถานีหัวลำโพง

Station_ID	Station	Zone
0	BANG SU	S
1	KHAMPHENG PHET	S
2	MO CHIT	S
3	PHAHONYOTHIN	S
4	LATPHRAO	S
5	RATCHADA	S
6	SUTTHISAN	S
7	PRACHARAT BAMPHEN	S
8	THAILAND CULTURAL CENTRE	S
9	RAMA IX	N
10	PETCHABURI	N
11	SUKHUMVIT	N
12	SIRIKIT CENTRE	N
13	KLONG TURG	N
14	LUMPHINI	N
15	SILOM	N
16	SAMYAN	N
17	HUA LUMPHONG	N
0		

รูปที่ 6.7 การจัดเก็บตัวแปรชื่อสถานี

โดยการจัดเก็บจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการเคลื่อนตัว (Displacement) กับ ระดับความลึก (Depth) (รูปที่ 6.8) โดยมีตัวแปรในการเข้าถึงข้อมูล คือ หมายเลข Inclinator (รูปที่ 6.9ก และ 6.9ข) และวันที่ทำการตรวจวัด

IW_ID	IW	Station_ID
0	21-IW-001	0
1	21-IW-002	0
2	20-IW-001	1
3	20-IW-002	1
4	20-IW-003	1
5	19-IW-001	2
6	19-IW-002	2
7	19-IW-003	2
8	18-IW-001	3
9	18-IW-002	3
10	18-IW-003	3
11	18-IW-004	3
12	16-IW-001	4
13	16-IW-002	4
14	16-IW-003	4
15	16-IW-004	4
16	16-IW-005	4
17	16-IW-006	4
18	16-IW-007	4
19	16-IW-008	4

รูปที่ 6.8 การจัดเก็บตัวแปรหมายเลข Inclinator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DispA_ID	IW_ID	Level_ID	DispA_Date	Depth	DispA
1	77	4	15/3/2542	0	14.28
2	77	4	15/3/2542	5	9.56
3	77	4	15/3/2542	10	5.54
4	77	4	15/3/2542	15	2.48
5	77	4	15/3/2542	20	1.06
6	77	4	15/3/2542	25	.76
7	77	4	15/3/2542	30	.31
8	77	4	15/3/2542	35	.01
9	77	4	15/3/2542	40	0
10	77	4	15/3/2542	45	0
11	77	4	15/3/2542	50	0
12	77	0	15/3/2542	0	19.65
13	77	0	15/3/2542	5	13.25
14	77	0	15/3/2542	10	7.46
15	77	0	15/3/2542	15	2.41
16	77	0	15/3/2542	20	.7
17	77	0	15/3/2542	25	.7
18	77	0	15/3/2542	30	.04
19	77	0	15/3/2542	35	1
20	77	0	15/3/2542	40	0
21	77	0	15/3/2542	45	0

รูปที่ 6.9ก. การจัดเก็บค่าการเคลื่อนตัวเทียบกับความลึกในสถานีหัวลำโพง

DispA_ID	IW_ID	Level_ID	DispA_Date	Depth	DispA
1	5	0	23/6/2542	0	0
2	5	0	23/6/2542	.5	0
3	5	0	23/6/2542	1	0
4	5	0	23/6/2542	1.5	0
5	5	0	23/6/2542	2	0
6	5	0	23/6/2542	2.5	0
7	5	0	23/6/2542	3	0
8	5	0	23/6/2542	3.5	0
9	5	0	23/6/2542	4	0
10	5	0	23/6/2542	4.5	0
11	5	0	23/6/2542	5	0
12	5	0	23/6/2542	5.5	0
13	5	0	23/6/2542	6	0
14	5	0	23/6/2542	6.5	0
15	5	0	23/6/2542	7	0
16	5	0	23/6/2542	7.5	0
17	5	0	23/6/2542	8	0
18	5	0	23/6/2542	8.5	0
19	5	0	23/6/2542	9	0
20	5	0	23/6/2542	9.5	0
21	5	0	23/6/2542	10	0
22	5	0	23/6/2542	10.5	0
23	5	0	23/6/2542	11	0
24	5	0	23/6/2542	11.5	0
25	5	0	23/6/2542	12	0

รูปที่ 6.9ข. การจัดเก็บค่าการเคลื่อนตัวเทียบกับความลึกในสถานีหมอชิต

เนื่องจากระบบฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ และมีปริมาณมากดังนั้นจึงทำการรวบรวมข้อมูลไว้ใน CD ที่แนบมากับงานศึกษานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

โปรแกรมระบบฐานข้อมูล Diaphragm Wall

7.1. กล่าวนำ

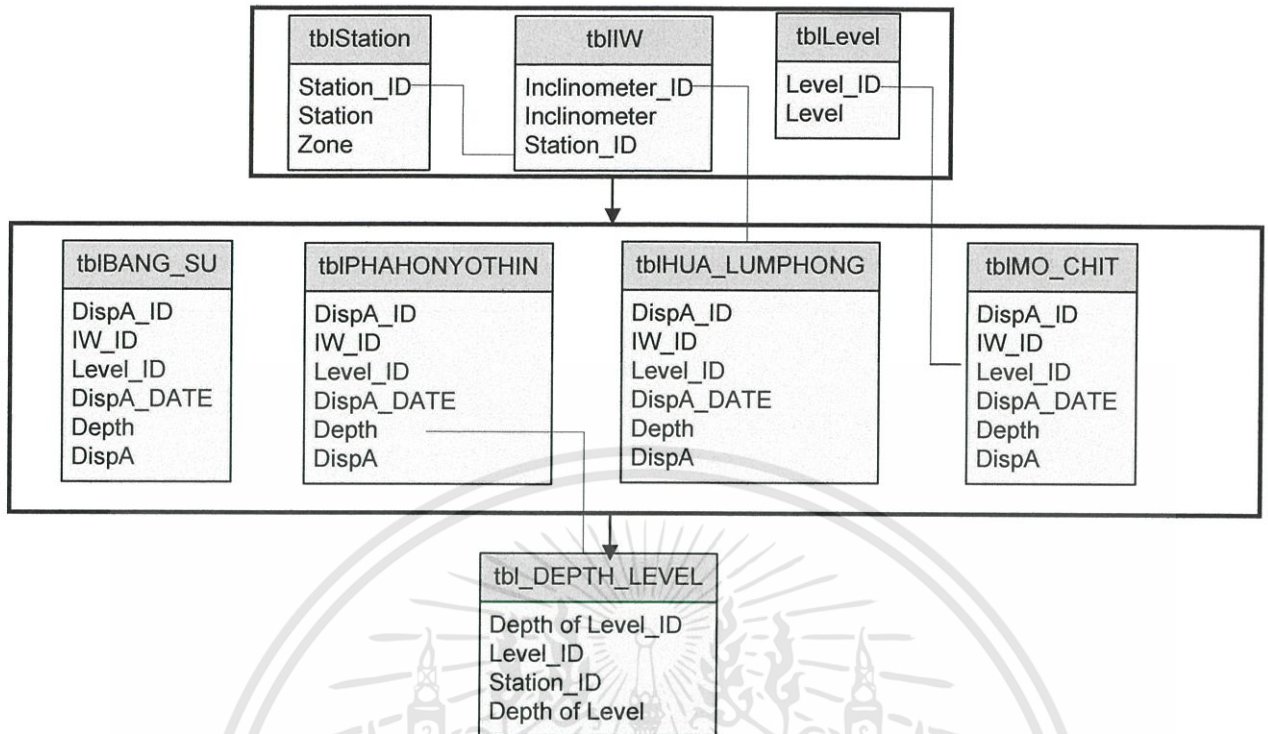
ในการจัดทำระบบฐานข้อมูลนี้ใช้โปรแกรมหลักๆ 2 โปรแกรม คือโปรแกรม Microsoft Access เพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูลค่าการเคลื่อนตัว และโปรแกรม Visual Basic 6 เพื่อใช้ในการดึงข้อมูลเพื่อมาแสดงผล และยังทำให้ใช้ได้ง่าย

7.2. วัตถุประสงค์

1. โปรแกรมนี้จัดทำขึ้นเพื่อความสะดวกในการใช้แสดงผลค่าการเคลื่อนตัว
2. เพื่อให้บุคคลผู้สนใจสามารถนำโปรแกรมนี้ไปประยุกต์ใช้ได้
3. เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนตัวของ Diaphragm Wall

7.3. หลักการ

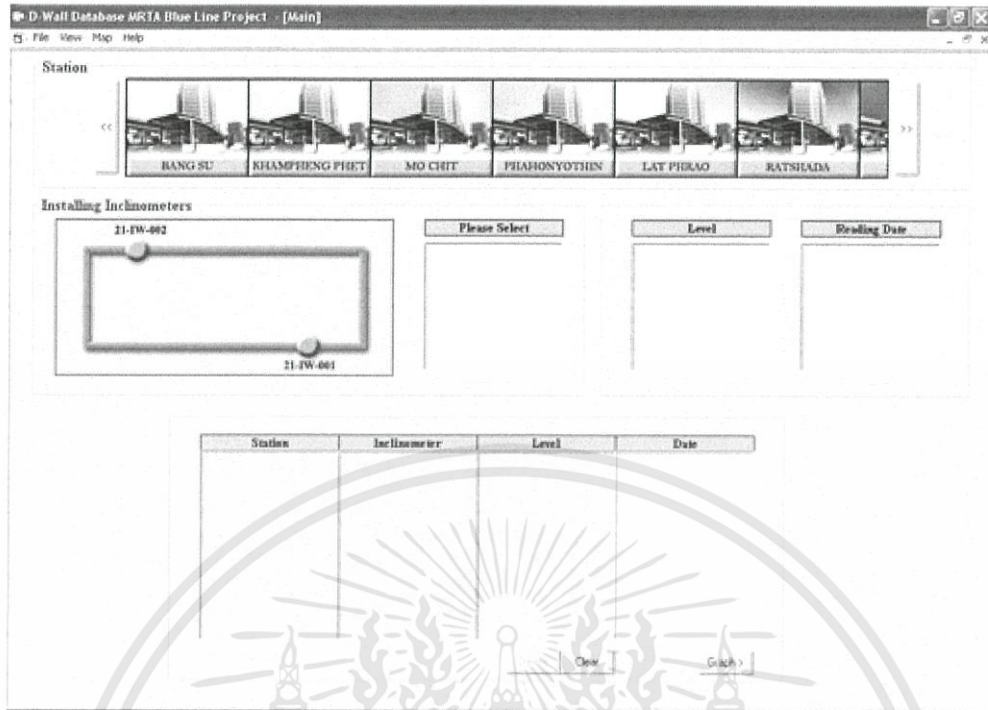
เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าการเคลื่อนตัวของ Inclinator จะได้ข้อมูลที่เก็บอยู่ในรูปของ Microsoft Excel หากต้องการนำข้อมูลมาใช้งานผู้ใช้จำเป็นต้องมีความรู้ในโปรแกรม Microsoft Excel พอสมควรทำให้นำมาใช้งานได้ยาก ความสัมพันธ์ของข้อมูลขาดความยืดหยุ่น ทำให้เพิ่มเติมในอนาคตได้ยาก ดังนั้นจึงทำให้มีการเปลี่ยนวิธีการจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบฐานข้อมูล Microsoft Access แทน โดยมีวิธีการจัดเก็บ และการเข้าถึงข้อมูลเพื่อนำไปแสดงผลใน Visual Basic 6 (รูปที่ 7.1)



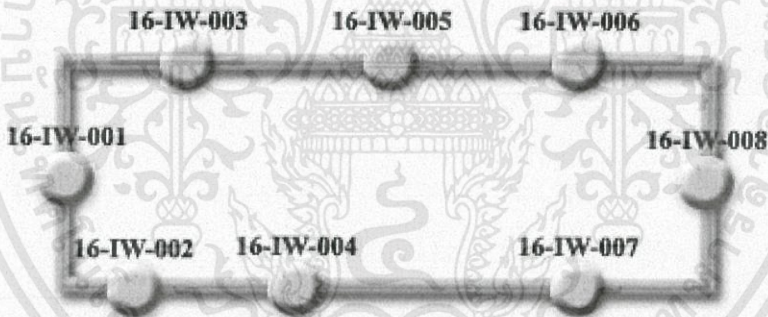
รูปที่ 7.1. แผนภาพแสดงการเข้าถึงข้อมูล

7.4. วิธีการใช้โปรแกรม

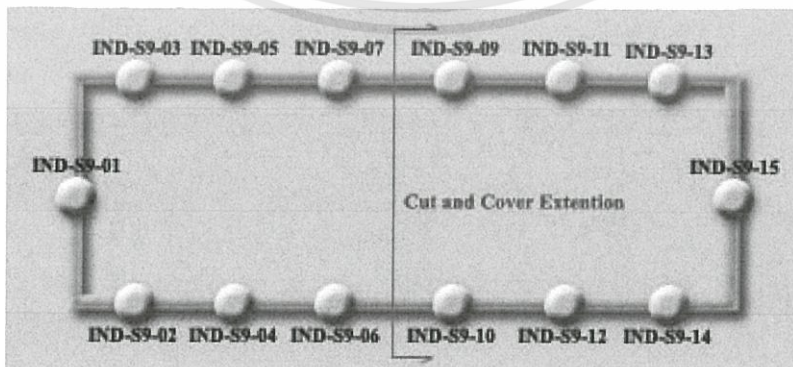
1. ทำการติดตั้ง โปรแกรมโดยเรียกไฟล์ setup.exe และดำเนินการตามขั้นตอนการติดตั้ง
2. เข้าสู่โปรแกรมจากโฟลเดอร์ที่ท่านได้ติดตั้งไว้ โดยปกติโปรแกรมจะทำการติดตั้งไว้ในโฟลเดอร์ C:\Program Files\D-Wall Database.exe
3. เมื่อเรียกใช้งาน โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าต่างหลัก (รูปที่ 7.2)
4. ทำการเลือกสถานีที่ท่านต้องการ
5. เลือกตำแหน่ง Inclinometer ที่ท่านต้องการดูข้อมูล โดยตำแหน่งการติดตั้งจะแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 7.3ก และ 7.3ข
6. เลือกระดับความลึก ซึ่งแสดงถึงข้อมูลค่าการเคลื่อนตัวที่ระดับค่าอื่นต่างๆ ดังรูปที่ 7.4
7. เลือกวันที่ โดยวันที่จะแสดงข้อมูลวันที่ทำการวัดค่าการเคลื่อนตัว ดังรูปที่ 7.4
8. จากนั้น โปรแกรมจะรวบรวมข้อมูลที่ได้เลือกไว้ และแสดงในกรอบแสดงผล ดังรูปที่ 7.5
9. เมื่อท่านได้ตรวจสอบว่าได้เลือกข้อมูลที่ต้องการแล้วให้คลิกปุ่ม เพื่อเข้าสู่หน้าจอแสดงกราฟ (รูปที่ 7.6) ต่อไป
10. ท่านสามารถเลือกข้อมูลภายใน Inclinometer ตัวเดียวกันได้ เพื่อเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้น ณ ระดับต่างๆ ได้
11. ท่านสามารถคลิกบนเส้นกราฟเพื่อเลือกดูข้อมูล ซึ่งข้อมูลจะปรากฏในตารางข้างล่างกราฟ (รูปที่ 7.6)



รูปที่ 7.2. หน้าจอหลักโปรแกรม

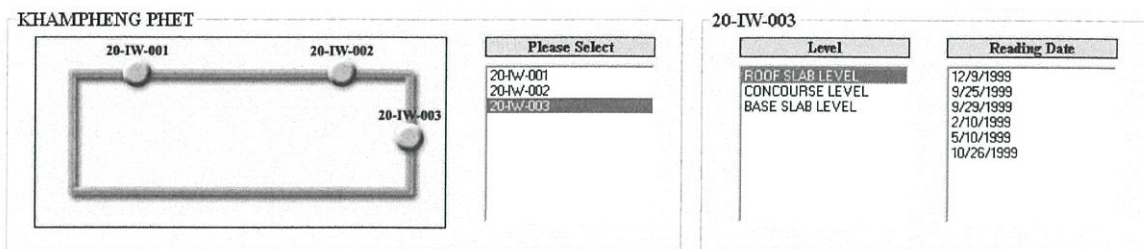


รูปที่ 7.3ก. แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Inclinometer สถานีลาดพร้าว



รูปที่ 7.3ข. แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Inclinometer สถานีพระราม 9

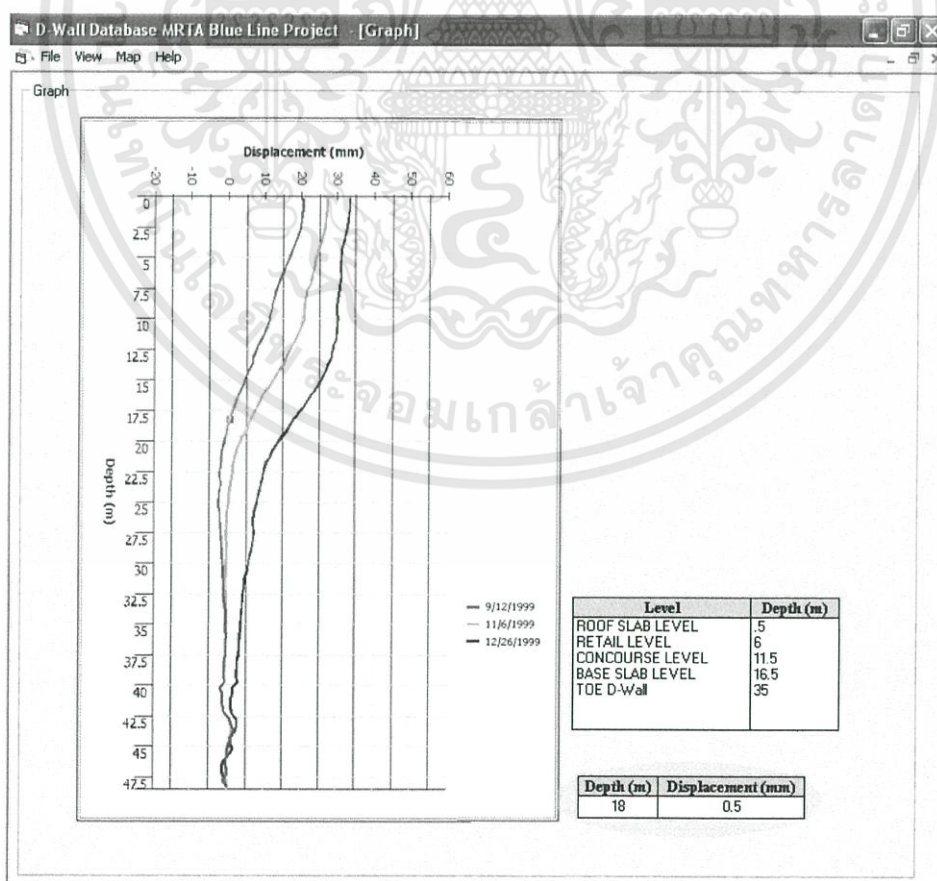
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 93 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4. ภาพตัวอย่างการเลือกระดับความลึก และวันที่ทำการวัด

Station	Inclinometer	Level	Date
KHAMPHENG PHET	20-IW-003	ROOF SLAB LEVEL	5/10/1999
		ROOF SLAB LEVEL	10/26/1999
		CONCOURSE LEVEL	11/29/1999
		CONCOURSE LEVEL	6/12/1999
		BASE SLAB LEVEL	12/23/1999
		BASE SLAB LEVEL	7/1/2000

รูปที่ 7.5 ภาพแสดงผลข้อมูลที่ได้เลือก



รูปที่ 7.6. ตัวอย่างลักษณะหน้าต่างแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 94 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

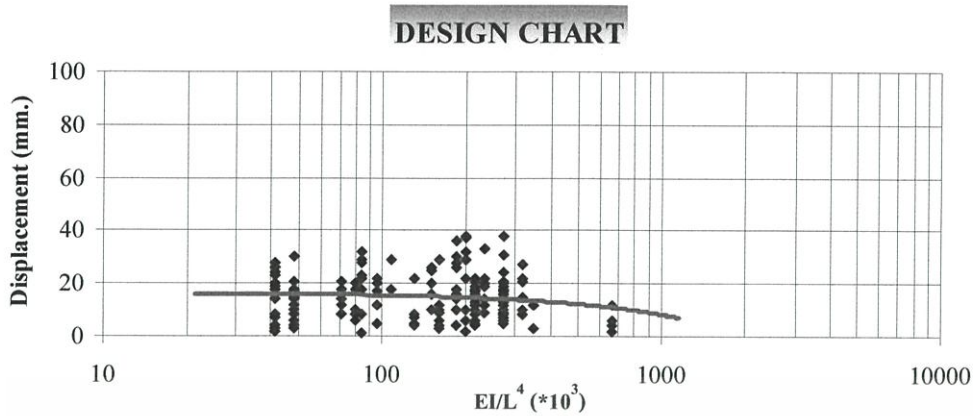
8.1. กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อสรุปของโครงการพิเศษที่ได้ทำมาทั้งหมดและรวมถึงข้อเสนอแนะจากการที่ได้ศึกษาโครงการพิเศษนี้

8.2. ข้อสรุป

1. ปัญหาที่สำคัญที่สุดของกำแพงกันดินคือการแอ่นตัวของกำแพงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดินซึ่งอาจจะสร้างความเสียหายอย่างร้ายแรงได้
2. กำแพงกันดินปัจจุบันแบ่งโดยใช้ความแข็งแรงของกำแพงออกได้เป็นแบบยืดหยุ่น (Flexible) และแบบแข็ง (Rigid) โดยกำแพงแบบแข็ง (Rigid) ระบบหนึ่งที่ได้รับคามนิยมนคือระบบ Diaphragm Wall ซึ่งสามารถใช้เป็นโครงสร้างถาวรได้
3. กำแพงกันดินระบบ Diaphragm Wall เป็นกำแพงกันดินที่มีความแข็งแรงมาก เนื่องจากมีค่าความแข็งแรง (Stiffness) สูง
4. การออกแบบ Diaphragm Wall ควรคำนึงถึงสภาพของชั้นดิน ระยะเวลาขั้วยัน และวิธีการก่อสร้างที่ประยุกต์ใช้กับ Diaphragm Wall
5. การออกแบบ Diaphragm Wall ในกรณีศึกษาที่ใช้ค่าโมเมนต์ตัดสูงสุดเพียงค่าเดียว
6. การก่อสร้าง Diaphragm Wall เมื่อประยุกต์ใช้กับการก่อสร้างจากบนลงล่างจะสามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว
7. การก่อสร้าง Diaphragm Wall ปัญหาที่พบบ่อยในการก่อสร้างคือขั้วยันไม่เพียงพอ และผู้ชำนาญการในประเทศมีน้อย
8. ในการเทคอนกรีตเพื่อก่อสร้าง Diaphragm Wall ต้องใช้วิธีการเทคอนกรีตได้นำซึ่งต้องต้องควบคุมขั้นตอนการทำงานให้ถูกต้อง และรอบคอบเพื่อให้ Diaphragm Wall ออกมามีคุณภาพ
9. ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการแอ่นตัวของทุกสถานีของโครงการรถไฟฟ้าสายเฉลิมรัชมงคลเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบและก่อสร้างในอนาคต
10. จากข้อมูลค่าการเคลื่อนตัวของ Diaphragm Wall ในโครงการรถไฟฟ้ามหานคร ได้รวบรวมและนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการเคลื่อนตัว (Displacement) และค่าความแข็งแรง (Stiffness) ดังรูปที่ 7.1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการเคลื่อนตัว และค่าความแข็งแรง

8.3. ข้อเสนอแนะ

1. ในกรณีศึกษา นี้ อธิบายถึงรายละเอียดการก่อสร้าง การออกแบบ ปัญหาที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง และฐานข้อมูลการเคลื่อนตัวของ Diaphragm Wall ในโครงการรถไฟฟ้ามหานครสายเฉลิมรัชมงคล
2. การออกแบบควรใช้โมเมนต์คัตสูงสุด 2-3 ค่า ตามระยะค้ำยันเพื่อความสะดวกในการก่อสร้าง
3. ในการจัดทำฐานข้อมูลนี้ จะมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นหากในอนาคตมีการรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบ และการก่อสร้าง Diaphragm Wall ในอนาคต โดยเฉพาะในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายใหม่ที่จะเกิดขึ้น

บรรณานุกรม

- จักรกริช นาควิโรจน์, จำลอง สีโท , 2536. การศึกษาการเคลื่อนตัวของดินเมื่อมีการขุดดินลึกด้วยระบบ Diaphragm Wall ในดินเหนียวกรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- กิติพงษ์ หนูห่วง, สุมาลี แต่ประเสริฐ , 2537. การศึกษาเปรียบเทียบระบบกำแพงกันดินระหว่าง Diaphragm Wall กับ Secant Pile Wall ของดินในเขตกรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร , 2545. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรง . พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร.
- Xanthakos, Petros P. Slurry Walls as structural systems. Second edition. McGraw-Hill, Inc.
- Clayton, C.R.I. Earth pressure and earth retaining structure. Blackie Academic & Professional.
- Macnab, Alan. Earth retention system handbook. McGraw-Hill, Inc.
- ดร.วันชัย เทพรักษ์ . พฤติกรรมของกำแพงไคอะแฟรมวอลล์และพารามิเตอร์ของดินในการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินในดินกรุงเทพฯ, การประชุมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 8 พ.ศ. 2546
- ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์, ซอว์ ซอว์ เอ, ธยานันท์ นุณยรัักษ์ . พฤติกรรมของกำแพงพีคกันดินอย่างบางชนิดขุด-หล่อในที่โครงการอาคารจอดรถใต้ดินในกรุงเทพฯ, การประชุมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 8 พ.ศ. 2546
- Mr. Korakod Nusit . Analysis Of Ground Movement Using A non-linear Soil Model For Braced Excavations In The Bangkok MRT Project , M.Eng.Thesis , AIT.
- ณรงค์ ทัศนนิพันธ์, เผด็จ รุจิขจรเดช, กมล สิงห์โตแก้ว. กำแพงกันดินชนิดขุดหล่อในชั้นดิน กรุงเทพฯ : ความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นและการป้องกัน, การประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรมประจำปี พ.ศ. 2542
- A Design Study Of Diaphragm Wall , E.L. James And E.J. Jack

- อรพรรณ นัตร์ไพศาล , 2545 . สร้างฐานข้อมูลกับ Access XP : สำนักพิมพ์ บริษัท ออฟเซ็ทเพรส จำกัด

- กมล สิงโตแก้ว , สิทธิพล สุรอังกูร , สุเมธ ประเวศวรารัตน์ . การก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดขุดหล่อในที่ และเสาเข็มแบเรียดัดสำหรับสถานีเทียบร่วมมิตร รถไฟฟ้าขนส่งมวลชนสายเฉลิมรัชมงคล , การประชุมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 8 พ.ศ. 2546

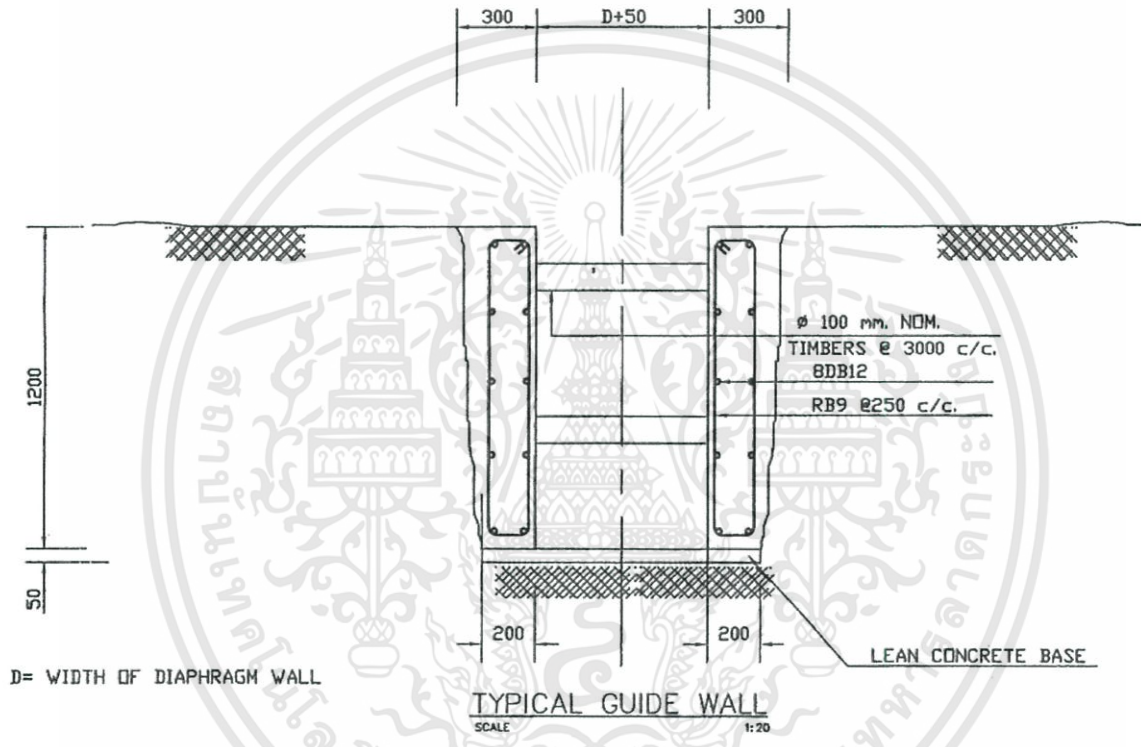


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

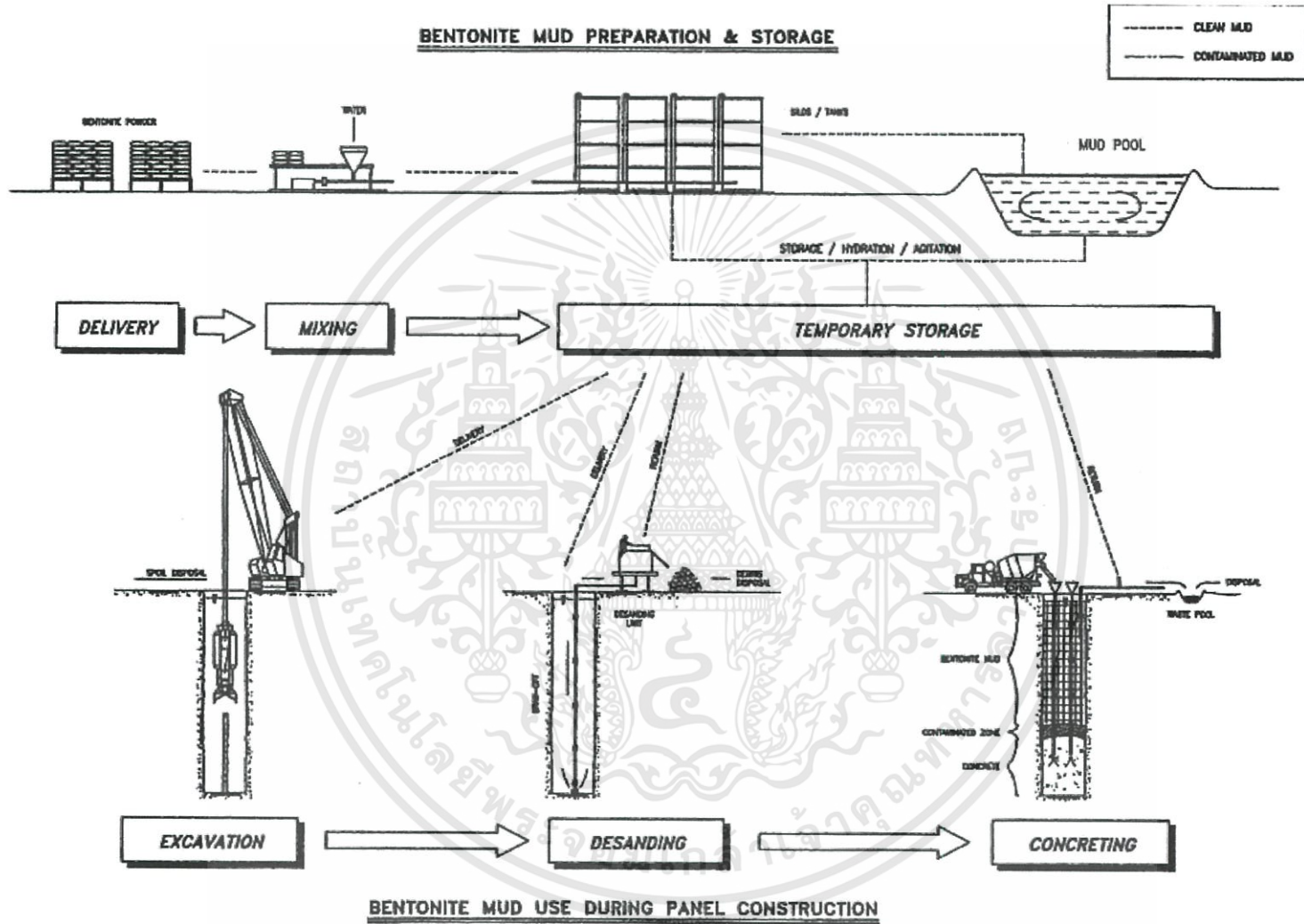
ภาคผนวก

รูปแสดงอุปกรณ์ และคุณสมบัติของอุปกรณ์การก่อสร้างที่ใช้ใน โครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน





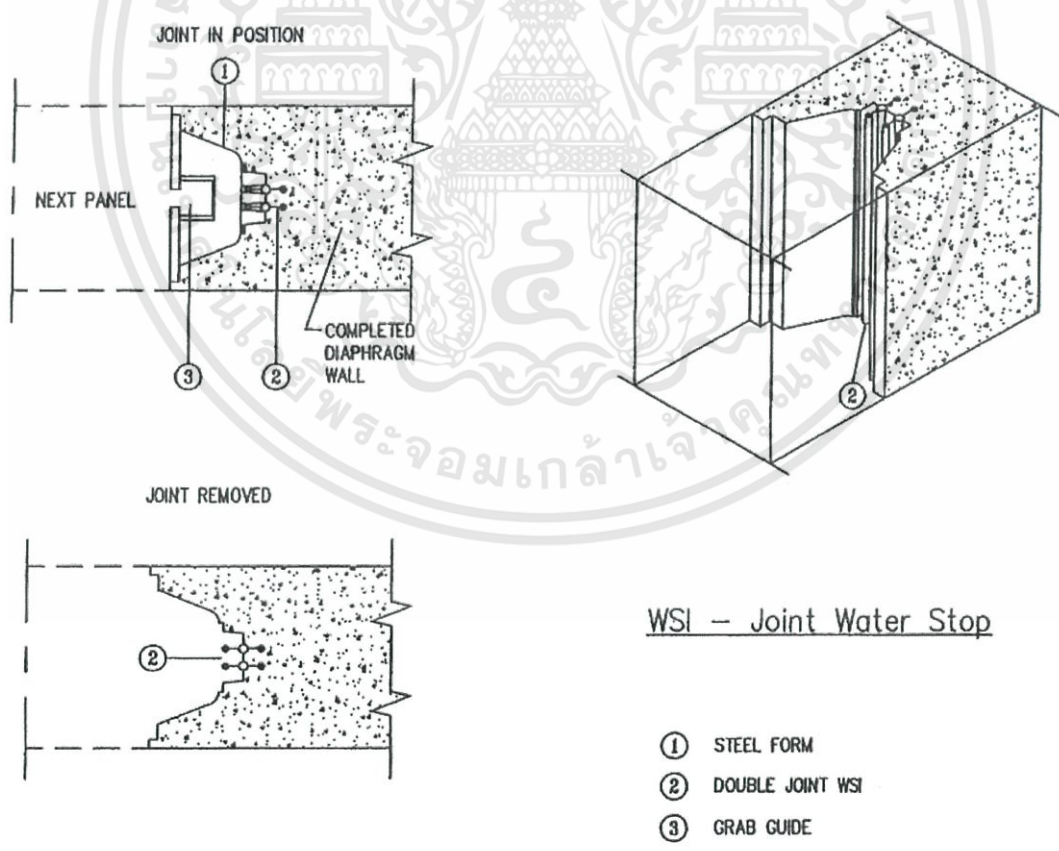
รูปที่ ผ1. แสดงรูปตัดของ Guide Wall



รูปที่ ๒2 แสดงการเตรียมการและเก็บกักเป็นโพไนท์

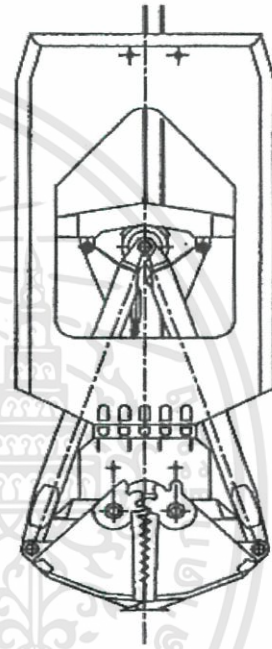
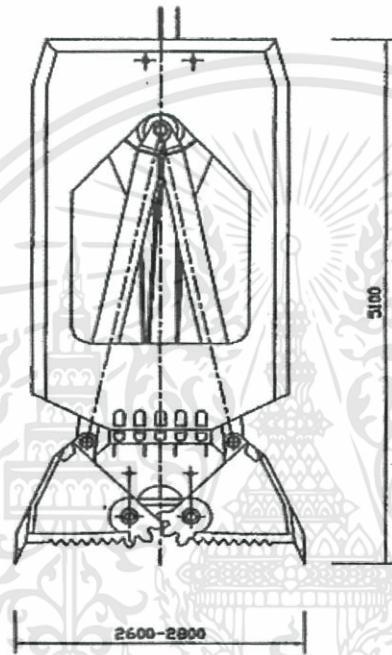
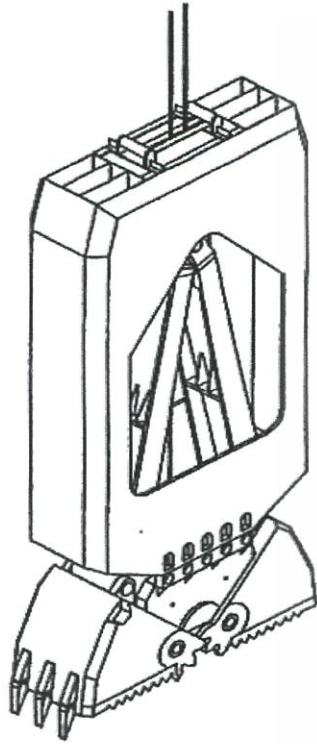
Property to be Measured	Test Method and Apparatus*	Fresh Mud	During Excavation	Sample from Panel Prior to Placing Cage
Density	Mud Balance	1.02 to 1.05	1.02 to 1.30	Less than 1.15
Viscosity	Marsh cone	30 to 36	Less than 45	34 to 42
Fluid Loss : CC for 30 min. test	Bariod	Less than 25	Less than 45	Less than 35
Cake mm for 30 min.	Bariod	Less than 3	Less than 5	Less than 3
Sand content %	Sand Screen set	N.A.	N.A.	Less than 3%
pH	pH paper	8 to 11	8 to 12	Less than 11.7
Frequency		twice / day	twice / day	Each panel

ตารางที่ ๓. แสดงคุณสมบัติของเบินโทไนท์



รูปที่ ๓. แสดงการติดตั้งรอยต่อ WSI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Unit Weight 8Tonne (800mm) to 9.2 Tonne (1200mm)

รูปที่ ผ5. แสดงลักษณะของหัวขุดเจาะ