



รายงานสหกิจศึกษาบับสมบูรณ์

ระบบป้องกันดินพังในงานก่อสร้างบ่อน้ำชั้นใต้ดิน
Soil protection in the construction of pond

นายกฤษณะ ชมภู

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ระบบป้องกันดินพังในงานก่อสร้างบ่อน้ำชั้นใต้ดิน

Soil protection in the construction of pond

นายกฤษณะ ชมภู

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา ระบบป้องกันดินพังในงานก่อสร้างบ่อน้ำชั้นใต้ดิน

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายกฤษณะ ชมภู

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน คุณวัชรชัย จระระ

ชื่อสถานประกอบการ บริษัทพฤกษา เรียลเอสเตท จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

ในการก่อสร้างโครงสร้างชั้นใต้ดินจำเป็นต้องทำการขุดดินเพื่อทำการก่อสร้างซึ่งทำให้ดินเกิดการทรุดตัวและเคลื่อนตัวจากจุดเดิม ก่อให้เกิดความเสียหายเป็นบริเวณกว้างส่งผลกระทบต่อคนงานก่อสร้างและบริเวณบ้านข้างเคียงเป็นเหตุให้เกิดการฟ้องร้องกันเป็นส่วนใหญ่ การเคลื่อนตัวของดินที่เกิดจากการขุดดินเพื่อก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินเป็นสิ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้แต่สามารถควบคุมปริมาณการเคลื่อนตัวให้น้อยที่สุดได้ในขั้นตอนการออกแบบและขั้นตอนการก่อสร้าง โดยการเลือกระบบป้องกันดินและกำหนดวิธีการขุดดินตลอดจนวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในแต่ละโครงการ เพื่อให้ปริมาณการเคลื่อนตัวอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และลดผลกระทบต่อโครงสร้างข้างเคียง ซึ่งในรายงานสหกิจฉบับนี้จะนำเสนอให้เห็นถึงแนวคิดวิธีการออกแบบ และขั้นตอนการก่อสร้างของระบบป้องกันดินที่ใช้ในการก่อสร้างบ่อน้ำดีของอาคารคอนโดมิเนียม เพื่อป้องกันการพังทลายของดินในระหว่างการทำงาน

คำสำคัญ : การก่อสร้างใต้ดิน, กำแพงกันดิน, ระบบค้ำยัน

Co-operative Title: Soil protection in the construction of pond

Student Name: Mr. Krisana Chomphu

Faculty: Engineering

Department: Civil Engineering

Advisor Name: Dr.Arthit Petchsasithon

Mentor Name: Wattanai chara

Company: Pruksa Real Estate Public

ABSTRACT

Construction of basement necessitates soil excavation in order to construct; as a result, it costs soil settlement and movement compared to the first soil condition. Furthermore, this damages widely the area and affects workers and neighborhood; Mainly, the project ends up being accused due to this. The movement of soil is because of soil excavation which cannot be avoided. However, it is possible to control the amount of the movement to be at least. This is able to be done in the method statement by choosing the soil protection system, specifying the method of excavation and the appropriate method for construction for each projects in order to restrict the amount of movement to be under tolerance and reduce effects on damage to neighborhood. In this report of cooperative education, it expresses the idea of designing and method statement of soil protection system for Groundwater pond of condominium in order to avoid any disaster of soil during the time of construction.

keywords : Underground construction, Retaining wall, Bracing system

กิตติกรรมประกาศ

จากการศึกษาและค้นคว้ารายงานสหกิจศึกษาเล่มนี้สามารถสำเร็จและลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับคำแนะนำและความอนุเคราะห์จากหน่วยงานต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทาง บริษัท พุกกษา เรียล เอสเตท จำกัด (มหาชน) ที่เปิดโอกาสและคอยดูแลตลอดโครงการสหกิจศึกษาในครั้งนี้ ทั้งนี้ผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณ ดังรายนามต่อไปนี้

1. ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร อาจารย์ที่ปรึกษาในโครงการสหกิจศึกษา ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำรายงานสหกิจ
2. ผศ. สมเกียรติ ขวัญพุกกษ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา สจล. ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำเรื่องระบบป้องกันดินพัง
3. คุณ วัชรนัย จระระ Project Manager บริษัท พุกกษา เรียล เอสเตท จำกัด(มหาชน) ที่เสี่ยงในโครงการสหกิจศึกษาที่คอยให้คำแนะนำและคอยติดต่อประสานงานกับทางผู้รับเหมาให้การดำเนินงานเป็นไปได้อย่างดี
4. คุณ เจนวิทย์ สุขนิคม Project Manager บริษัท เอบีว เมเนจเม้นท์ ที่เสี่ยงในไซต์งานที่สอนงานและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ในการทำงานจริง

ตลอดทั้งครอบครัว คณาจารย์ และเพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้กำลังใจมาด้วยดีโดยตลอดจนทำให้รายงานสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กฤษณะ ชมภู

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	1
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ความเป็นมาของระบบป้องกันดินพัง.....	3
2.2 ชนิดของโครงสร้างกันดิน.....	3
2.3 ระบบค้ำยันแบบเข็มพีต (Sheet Pile Bracing System)	4
2.4 แรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อระบบค้ำยัน.....	5
2.5 การออกแบบระบบค้ำยัน.....	6
2.6 หน่วยแรงรวมในการออกแบบเหล็กค้ำยัน.....	9

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 ข้อควรระวังในการก่อสร้างระบบค้ำยันแบบเข็มพืด.....	14
2.8 การวิเคราะห์ Heave Effect.....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ.....	17
3.1 การวิเคราะห์ผลการเจาะสำรวจชั้นดิน.....	17
3.2 ขั้นตอนการคำนวณระบบค้ำยัน.....	22
3.3 ขั้นตอนการติดตั้งระบบป้องกันดินพัง.....	23
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	27
4.1 ความเป็นมาของโครงการและลักษณะโครงการ.....	27
4.2 ลักษณะชั้นดิน.....	30
4.3 การคัดเลือกรูปแบบกำแพงกันดินของบ่อน้ำดีภายในโครงการ.....	36
4.4 การออกแบบป้องกันดินพังแบบกำแพงเข็มพืดพร้อมค้ำยัน.....	36
4.5 การติดตั้งระบบกำแพงกันดินแบบเข็มพืดพร้อมค้ำยัน.....	48
4.6 การตรวจสอบงานระบบป้องกันดิน.....	59
4.7 ปัญหา อุปสรรค และการแก้ไขปัญหา.....	64
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา.....	67
5.1 การเลือกใช้ระบบป้องกันดิน.....	67
5.2 การคำนวณและออกแบบ.....	67
5.3 การตรวจสอบระบบป้องกันดินพัง.....	68
5.4 ปัญหา อุปสรรค และการแก้ไขปัญหา.....	68

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก.....	71
ภาคผนวก ก.....	72
ประวัติผู้จัดทำโครงการ.....	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 สรุปลักษณะสมบัติของชั้นดินสำหรับการออกแบบภายในโครงการ.....	35
4.2 เปรียบเทียบเหล็ก H-Beam ขนาดต่างๆที่ใช้ในการออกแบบคานรัศรอบ.....	43
4.3 เปรียบเทียบเหล็ก H-Beam ขนาดต่างๆที่ใช้ในการออกแบบค้ำยัน.....	45
4.4 เปรียบเทียบเหล็ก H-Beam ขนาดต่างๆที่ใช้ในการออกแบบเสาเหล็กหลัก.....	47
4.5 แสดงแผนงานก่อสร้างระบบป้องกันดินพัง.....	59
4.6 แสดงระยะเวลาการเคลื่อนตัวเฉลี่ยในแต่ละวันของระบบป้องกันดินพัง วันที่ 10 / 07 / 2017.....	60
4.7 แสดงระยะเวลาการเคลื่อนตัวเฉลี่ยในแต่ละวันของระบบป้องกันดินพัง วันที่ 13 / 07 / 2017.....	61
4.8 แสดงระยะเวลาการเคลื่อนตัวเฉลี่ยในแต่ละวันของระบบป้องกันดินพัง วันที่ 19 / 07 / 2017.....	62
4.9 แสดงระยะเวลาการเคลื่อนตัวเฉลี่ยในแต่ละวันของระบบป้องกันดินพัง วันที่ 22 / 07 / 2017.....	63
5.1 เปรียบระบบค้ำยันกับทางผู้รับเหมา.....	67

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบระบบค้ำยันแบบเข็มพืด.....	4
2.2 ไดอะแกรมสำหรับใช้คำนวณแรงดันดินด้านข้างในกรณีที่มีค้ำยัน.....	5
2.3 แรงดันดินที่ได้จากการตรวจวัดจริง เทียบกับแรงดันดิน แบบ Empirical ที่เสนอไว้โดย Peck.....	6
2.4 วิธีการอย่างง่ายในการหาแรงในค้ำยัน เข็มพืด และคานรอบ.....	6
2.5 วิธีการอย่างง่ายในการหาแรงในค้ำยัน เข็มพืด และคานรอบ (2).....	7
2.6 แสดงหน่วยแรงรวมกระทำที่เสาเอียงศูนย์.....	10
2.7 แสดงหน่วยแรงบนหน้าตัดที่ค่าโมเมนต์ต่างกัน.....	11
2.8 แสดงหน่วยแรงรวมกระทำที่เสาเอียงศูนย์.....	13
2.9 แสดงลักษณะการพิบัติเนื่องจากระบบค้ำยัน.....	14
2.10 แสดงลักษณะการพิบัติเนื่องจากดินทะเลลึกลับหลุม.....	14
2.11 แสดงลักษณะการพิบัติเนื่องจากดินทะเลลึกลับหลุม.....	15
2.12 แสดงการวิเคราะห์ Heave Effect ใน Soft Soil.....	15
3.1 แสดงตัวอย่าง Summary of test results.....	18
3.2 แสดงตัวอย่างตาราง Boring log	20
3.3 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำการตัดดินออกให้ได้ระดับ 1.00 m.....	23
3.4 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำการตอก King Post.....	23
3.5 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำการขุดดินชั้นที่ 1.....	24
3.6 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำการติดตั้งสะพานชั่วคราว.....	24
3.7 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำการติดตั้ง Wale และ Strut.....	25

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.8 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำการขุดดินชั้นที่ 2.....	25
3.9 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำงานในส่วนของ Footing เสร็จเรียบร้อย.....	26
3.10 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำบ่อทำการรื้อถอน Bracing และ king Post เสร็จเรียบร้อย.....	26
4.1 แสดงตำแหน่งที่จะทำการก่อสร้างบ่อน้ำดี.....	27
4.2 Shop Drawing แสดงตำแหน่งและขนาดของบ่อน้ำดี.....	28
4.3 แสดงรูปตัดบ่อน้ำดี.....	29
4.4 Summary of test results (1)	30
4.5 Summary of test results (2)	31
4.6 Boring Log (1).....	32
4.7 Boring Log (2)	33
4.8 Boring Log (3)	34
4.9 แสดงการวิเคราะห์เพื่อออกแบบ Sheet Pile.....	37
4.10 แสดงการวิเคราะห์เมื่อติดตั้งค้ำยัน.....	38
4.11 แสดงไดอะแกรมในการคำนวณแรงดันดินด้านข้างของ Peck (1964)	39
4.12 แสดงไดอะแกรมในการคำนวณแรงดันดินที่กระทำ R_0	40
4.13 แสดงแรงกระจายที่กระทำต่อคานรัดรอบและค้ำยัน.....	41
4.14 แสดงแรงกระจายที่กระทำต่อเหล็กค้ำยัน.....	43
4.15 แสดงแรงกระจายที่กระทำต่อเหล็กหลัก (King Post) แต่ละต้น.....	45
4.16 แสดงคุณสมบัติของชั้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	46
4.17 แสดงตำแหน่งที่จะปัก Sheet Pile กับ King Post.....	48

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.18 แสดงงานขุดดิน.....	48
4.19 แสดงงานตอก Sheet Pile.....	49
4.20 แสดงงานตอก King Post.....	49
4.21 แสดงแนวการตอก Sheet Pile.....	50
4.22 แสดงการขุดดินให้ถึงระดับที่ทำการติดตั้งค้ำยันชั้นที่ 1.....	50
4.23 ภาพแสดงการติดตั้ง Support และ สะพานชั่วคราว.....	51
4.24 แสดงการติดตั้งค้ำยัน.....	51
4.25 แสดงงานเท lean คอนกรีต หลัง Wale และร่อง Wale.....	52
4.26 แสดงงาน Preload.....	52
4.27 แสดงงานขุดดินครั้งที่ 2 ถึงระดับที่จะทำงานฐานราก.....	53
4.28 แสดงงานตัดหัวเข็มภายในบ่อเพื่อทำงานฐานราก.....	53
4.29 แสดงงานตรวจตำแหน่งฐานราก.....	54
4.30 แสดงงานเทฐานรากภายในบ่อ.....	54
4.31 แสดงการรื้อถอน Wale และ Bracing.....	55
4.32 แสดงงานเทพื้นบ่อน้ำดี.....	55
4.33 แสดงการติดตั้งค้ำยันแบบเทคอนกรีตผนังบ่อน้ำดี.....	56
4.34 แสดงงานเทคอนกรีตผนังบ่อน้ำดี.....	56
4.35 แสดงงานรื้อถอน Sheet Pile.....	57
4.36 แสดงงานรื้อถอนสะพานชั่วคราว.....	57

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.37 แสดงงานรื้อถอน king Post.....	58
4.38 แสดงงานพื้นบ่อน้ำด้านบน.....	58
4.39 แสดงการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของระบบกำแพงกันดิน.....	64
4.40 แสดงปัญหาฝนตกหนักทำให้น้ำท่วมภายในบ่อ.....	65
4.41 แสดง Vibratory Hammer เกิดปัญหา.....	65
4.42 แสดงปัญหาการเกิดรอยร้าวที่ผนังบริเวณบ้านเคียง.....	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันงานก่อสร้างในประเทศไทยได้มีการพัฒนาที่ก้าวหน้าไปมากขึ้น ก่อให้เกิดหมู่บ้าน อาคารและตึกสูงชันมากมาย เพื่อรองรับการเกิดที่มากขึ้นของประชากรในประเทศ ซึ่งส่งผลให้ที่ดินมีมูลค่าสูงขึ้น เพราะฉะนั้นการก่อสร้างจึงต้องมีการปรับตัว โดยการจัดสรรทรัพยากรที่ดินที่มีอยู่ให้คุ้มค่ามากที่สุด หนึ่งในการจัดสรรทรัพยากรที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นก็คือการทำโครงสร้างชั้นใต้ดิน

โครงสร้างชั้นใต้ดิน หมายถึงสิ่งปลูกสร้างต่างๆที่ก่อสร้างโดยใช้พื้นที่ใต้ดิน เช่น บ่อน้ำที่ใช้เป็นระบบสาธารณูปโภคที่หล่อเลี้ยงภายในอาคาร ลานจอดรถ สถานีรถไฟ ปล่อยอุโมงค์ต่างๆ เป็นต้น โดยการที่จะก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินนั้นจะต้องทำการขุดดินที่มีความลึกมากๆจึงจำเป็นต้องมีระบบป้องกันดินเพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายในการก่อสร้างและต่อบริเวณบ้านใกล้เคียง งานระบบป้องกันดินพึงเป็นงานที่เกี่ยวข้องกันหลายภาคส่วน ได้แก่ งานก่อสร้างระบบกำแพงกันดิน ระบบป้องกันดินพัง และองค์อาคารใต้ดิน ซึ่งในแต่ละส่วนจำเป็นต้องอาศัยการควบคุมงานและการวางแผนที่ดี เพื่อให้งานก่อสร้างเสร็จสิ้นตามแผน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันดินพัง
2. ศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างของระบบป้องกันดินพัง
3. ศึกษาขั้นตอนการตรวจสอบระบบป้องกันดิน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษาขั้นตอนการสร้างระบบป้องกันดินพังเพื่อใช้ในการก่อสร้างบ่อน้ำใต้ภายในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการนำข้อมูลจากการสำรวจชั้นดิน มาวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างระบบป้องกันดิน พร้อมทั้งตรวจสอบผลการออกแบบกับทางผู้รับเหมาที่รับผิดชอบงานป้องกันดินพังของโครงการนี้

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ทำการศึกษาข้อมูลดินภายในโครงการ
2. วิเคราะห์และเลือกระบบกำแพงกันดิน
3. ขั้นตอนการก่อสร้างระบบป้องกันดิน
4. วิเคราะห์แรงดันดินด้านข้าง และออกแบบระบบค้ำยัน
5. ออกแบบ wale, strut และ kingpost
6. ขั้นตอนการตรวจสอบงานระบบป้องกันดิน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สร้างความตระหนักและความสำคัญของระบบกำแพงกันดินต่อผู้ก่อสร้าง
2. สร้างความตระหนักและความสำคัญของระบบกำแพงกันดินต่อผู้ว่าจ้าง
3. เข้าใจพฤติกรรมและการเคลื่อนตัวของดิน สามารถคาดคะเนการเคลื่อนตัวของดินได้
4. สามารถออกแบบและเข้าใจขั้นตอนการติดตั้งระบบกันกำแพงกันดิน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นมาของระบบป้องกันดินพัง

ระบบป้องกันดินพังหรือระบบค้ำยันสำหรับการขุดดิน เป็นระบบที่ช่วยป้องกันการพังทลายและการเคลื่อนตัวของดินเนื่องจากการเกิดความต่างระดับของผิวดิน ที่ดินจะสมดุลอยู่ได้ด้วยตัวของมันเอง วิศวกรจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีและพฤติกรรมของดินเพื่อที่จะออกแบบระบบป้องกันดินแบบต่างๆที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการพังทลายของดิน เพื่อให้งานก่อสร้างใต้ดินสามารถดำเนินงานต่อไปได้ โดยต้องเลือกชนิดของระบบป้องกันดินพังให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน ลักษณะการใช้งานในขณะที่ทำการก่อสร้างและต้องประหยัดไม่แพงเกินความจำเป็น

2.2 ชนิดของโครงสร้างกันดิน

ผนังกันดิน หรือโครงสร้างกันดิน คือ โครงสร้างที่รับแรงดันดินด้านข้าง ซึ่งเกิดจากระดับดินที่ต่างกัน โดยแบ่งตามที่นิยมที่ใช้ดังนี้

2.2.1 ระบบกำแพงกันดินแบบยืดหยุ่น (Flexible Wall)

เป็นระบบป้องกันดินที่มีความยืดหยุ่นสูง ยอมให้ดินเคลื่อนที่ได้แต่ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม เหมาะสำหรับงานขุดดินลึกไม่เกิน 10-12 เมตร ราคาในการก่อสร้างต่ำ ก่อสร้างง่าย ประหยัดเวลาในการก่อสร้าง และสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ ระบบกำแพงกันดินแบบยืดหยุ่นที่นิยมใช้ได้แก่ Sheet Pile Bracing System

2.2.2 ระบบกำแพงกันดินแบบแข็ง (Rigid Wall)

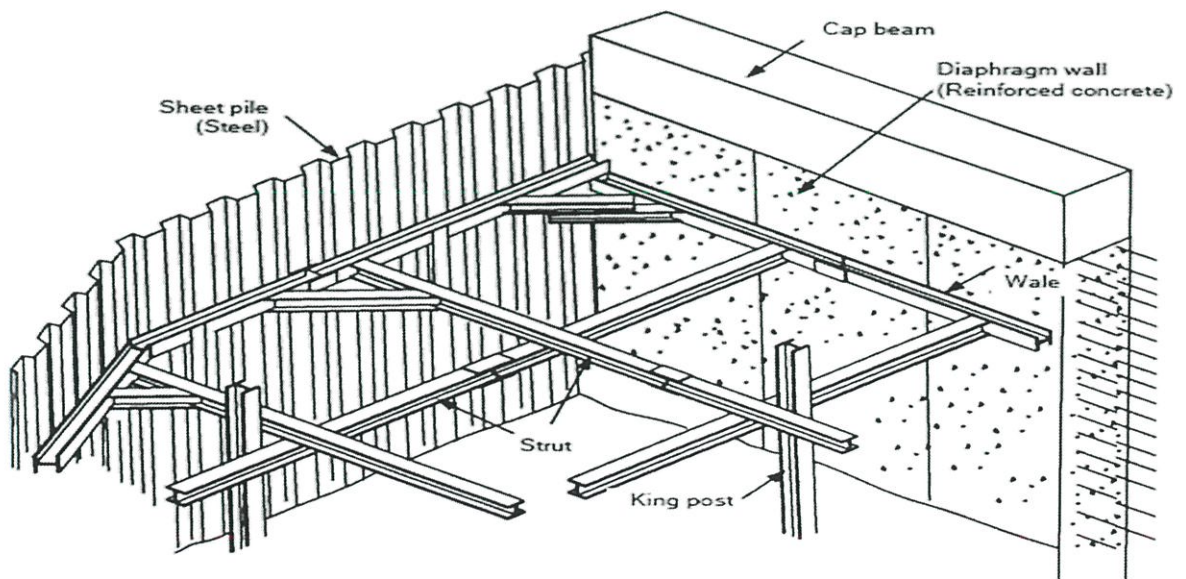
เป็นระบบป้องกันดินที่มีความแข็งแรงและต้องการควบคุมการเคลื่อนตัวของดินให้น้อยที่สุด สามารถใช้เป็นโครงสร้างถาวรได้ เหมาะกับงานที่ต้องการขุดดินลึกๆ มีราคาค่อนข้างสูง ระบบกำแพงกันดินแบบแข็งที่นิยมใช้ได้แก่ Diaphragm Wall Bracing System

2.3 ระบบค้ำยันแบบเข็มพืด (Sheet Pile Bracing System)

กำแพงกันดินระบบนี้เหมาะกับงานขุดที่มีความลึกมาก เสถียรภาพของกำแพงกันดินจะขึ้นอยู่กับตัวค้ำยัน (Strut) ที่กระทำตามขวางของดินขุด

2.3.1 ส่วนประกอบของระบบค้ำยันแบบเข็มพืด

1. เข็มพืด (Sheet Pile) เป็นแผ่นเหล็กลอนรูปต่างๆ มีความยาวตามกำหนดใช้ตอกในแนวตั้ง สำหรับป้องกันแรงดันน้ำ และแรงดันดิน
2. คานรัดรอบ (Wale) เป็นส่วนของโครงสร้างที่ต้านแรงกระทำทางด้านข้างจากแผ่นเหล็กเข็มพืด (Sheet Pile) ซึ่งจะถ่ายแรงเป็นแรงกระจาย เข้าสู่เหล็กค้ำยันรอบ (Wale) ส่วนใหญ่นิยมใช้ เหล็ก H-Beam
3. เหล็กค้ำยัน (Strut) เป็นส่วนโครงสร้างที่รับแรงแนวแกนที่ถ่ายจากเหล็กคานค้ำยันรอบ (Wale) และอาจรับแรงแนวตั้งที่ถ่ายจากแผ่นเหล็กพื้น (Platform) ซึ่งนำมาวางบนเหล็กค้ำยัน (Strut)
4. เสาหลักเหล็ก (King Post) เป็นส่วนที่รับแรงจากเหล็กค้ำยัน (Strut) หรือจากแผ่นเหล็กพื้น (Platform) แล้วถ่ายลงสู่ดินทำหน้าที่เหมือนเสาในอาคารขนาดใหญ่
5. แผ่นพื้นเหล็ก (Platform) เป็นโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยตงเหล็กและแผ่นเหล็กที่นำมาเชื่อมติดกันทำหน้าที่เหมือนกับพื้นวางอยู่บนค้ำยัน (Strut) หรือ เสาเหล็กหลัก (King Post) เพื่อใช้ประโยชน์ในการขุดดินหรือการขนส่งวัสดุ



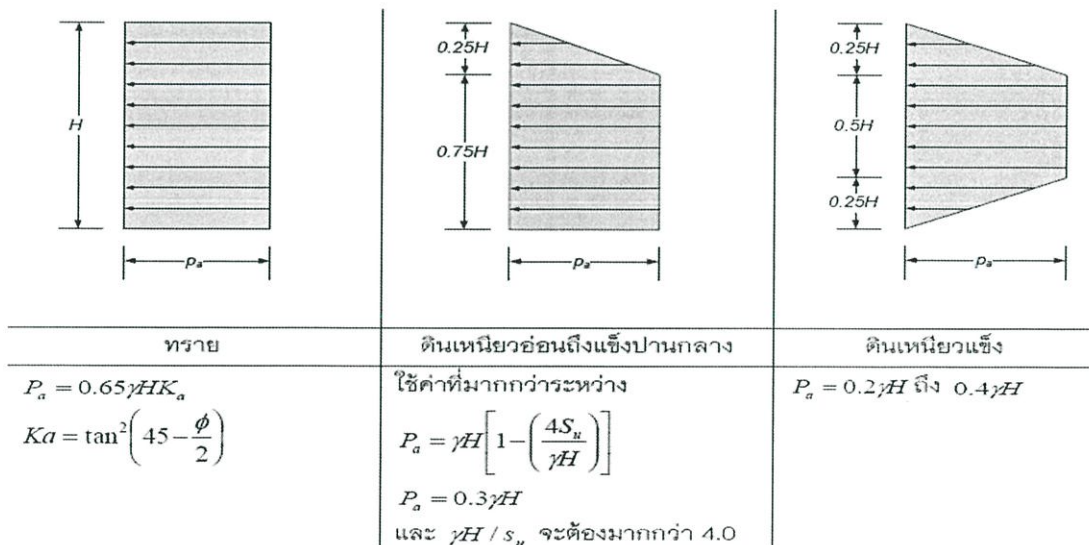
ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบระบบค้ำยันแบบเข็มพืด

[ที่มา : <https://www.siamvibro.com/14389189/ซีทไฟล์-ระบบป้องกันดินพัง>]

2.4 แรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อระบบค้ำยัน

กำแพงกันดินแบบ Cantilever sheet pile มีแนวโน้มที่จะเกิดการหมุนที่ปลายของเข็มพืดเมื่อต้านรับดินถม และแรงดันด้านข้างสามารถประมาณได้โดยอาศัยทฤษฎีของ Rankine หรือ Coulomb ลักษณะการกระจายความดันด้านข้างของ Cantilever sheet pile ไม่สามารถนำมาใช้กับ Braced cuts ได้ เนื่องจากลักษณะการเสีรูปร่างที่ความแตกต่าง การเสีรูปร่างของกำแพงกันดินระบบ Braced cuts จะเพิ่มขึ้นตามความลึก ความดันดินด้านข้างที่ด้านบนจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่สถานะอยู่นิ่ง (At rest) เนื่องจากเกิดการเคลื่อนตัวน้อย ในขณะที่ ด้านล่างของกำแพงกันดินจะเกิดการเคลื่อนตัวมาก และส่งผลให้ความดันดินด้านข้างมีค่าใกล้เคียงกับค่าความดันด้านข้างของ Rankine active earth pressure ความดันดินด้านข้างที่สถานะ Active ที่ระดับเหนือระดับดินขุด (Excavation level) มีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎีของ Rankine มาก และเริ่มมีค่าใกล้เคียงกันที่ระดับดินต่ำกว่าระดับดินขุด ในขณะที่ความดันดินที่สถานะ Passive ที่ได้จากการคำนวณและการวัดมีค่าใกล้เคียงกันมาก

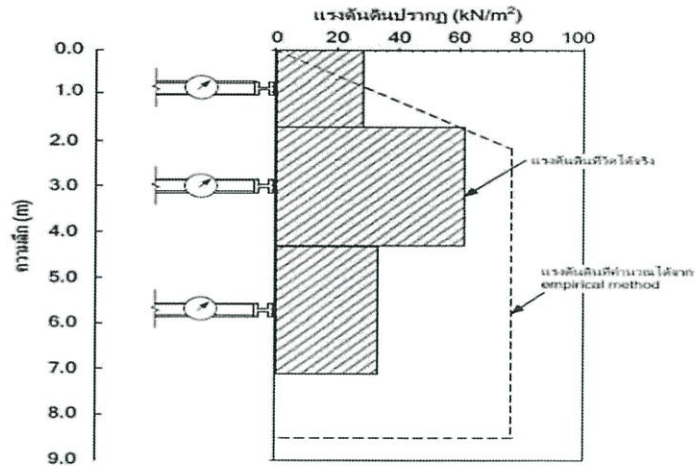
Peck (1969) ได้ทำการศึกษากำแพงเข็มพืดแบบมีค้ำยันในหลายๆโครงการ และได้นำเสนอไดอะแกรมสำหรับใช้ออกแบบกำแพงกันดินสำหรับดินเหนียวและดินทราย



ภาพที่ 2.2 ไดอะแกรมสำหรับใช้คำนวณแรงดันดินด้านข้างในกรณีที่มีค้ำยัน

[ที่มา : วิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง, 2554 : 277]

สำหรับงานก่อสร้างในชั้นดินอ่อนกรุงเทพฯ นั้นได้มีผลการยืนยันแล้วว่าสามารถใช้ไดอะแกรมของ Peck ในการคำนวณได้ โดยแรงดันดินที่เกิดขึ้นจริงต่ำกว่าค่าที่ Peck ได้นำเสนอไว้



ภาพที่ 2.3 แรงดันดินที่ได้จากการตรวจวัดจริง เทียบกับแรงดันดินแบบ Empirical ที่เสนอไว้โดย

Peck

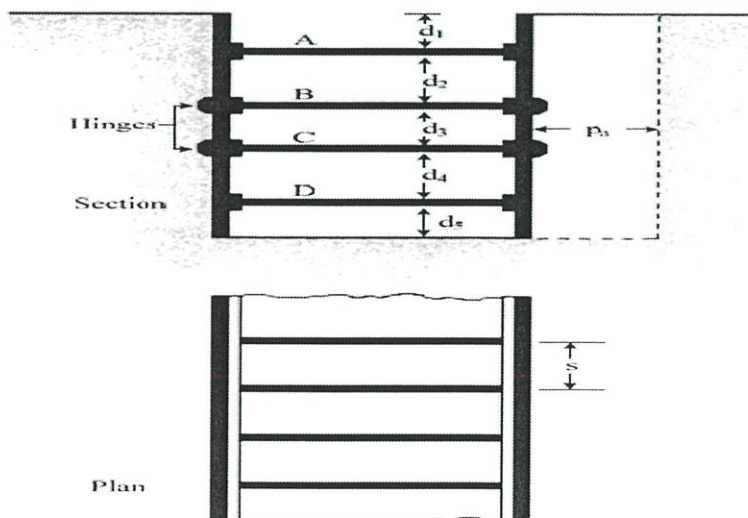
[ที่มา : วิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง, 2554 : 278]

2.5 การออกแบบระบบค้ำยัน

2.5.1 การออกแบบค้ำยัน (Strut)

สำหรับการก่อสร้างในดินเหนียว ตัวค้ำยันตัวแรกควรอยู่ที่ระยะต่ำกว่าผิวดินน้อยกว่า โชนแรงดึง (Tension crack) ซึ่งเท่ากับ $2Su / \gamma$ เพื่อป้องกันแรงดันน้ำที่อาจจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีน้ำขัง

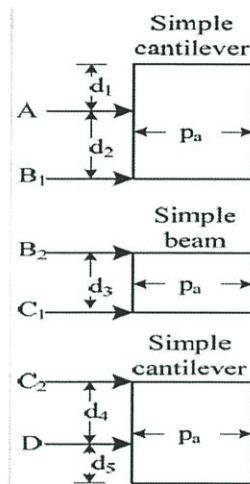
1. หาค่าโมเมนต์สูงสุดที่เกิดขึ้นในคานแต่ละช่วงโดยการวาดเส้นขอบเขตความดันดิน สำหรับระบบค้ำยัน พร้อมทั้งแสดงตำแหน่งของค้ำยัน



ภาพที่ 2.4 วิธีกรอย่างง่ายในการหาแรงในค้ำยัน เข็มพืด และคานรอบ

[ที่มา : คู่มือวิศวกรรมฐานราก ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธานุกุล, 2558 : 476]

2. คำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อตัวค้ำยัน โดยพิจารณาเป็นแบบคานยื่น (Cantilever beam) สำหรับตัวค้ำยันตัวบนสุดและตัวล่างสุด และพิจารณาเป็นคานธรรมดา (Simple beam) สำหรับตัวค้ำยันระหว่างตัวบนสุดและตัวล่างสุดแรงปฏิกิริยาเหล่านี้คือ A_1 , B_1 , B_2 , C_1 , C_2 , และ D



ภาพที่ 2.5 วิธีการอย่างง่ายในการหาแรงในค้ำยัน เข็มพืด และคานรอบ (2)
 [ที่มา : คู่มือวิศวกรรมฐานราก ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธาณุกุล, 2558 : 476]

แรงกระทำในตัวค้ำยันสามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 FA &= (A)(s) \\
 FB &= (B_1 + B_2)(s) \\
 FC &= (C_1 + C_2)(s) \\
 FD &= (D)(s)
 \end{aligned}$$

3. เมื่อ FA , FB , FC , และ FD คือแรงที่กระทำต่อตัวค้ำยันแต่ละตัวที่ระดับ A , B , C , และ D ตามลำดับ และ s คือระยะห่างในแนวนอนของตัวค้ำยัน

4. เมื่อทราบแรงที่กระทำต่อตัวค้ำยันแต่ละตัวแล้ว ทำการเลือกหน้าตัดของตัวค้ำยันตามมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็ก

2.5.2 การออกแบบเข็มพืด (Sheet Pile)

ขั้นตอนต่อไปนี้เป็นขั้นตอนการออกแบบเข็มพืด

1. สำหรับแต่ละชั้นส่วนคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัด (Bending moment) สูงสุด
2. หาค่าโมดูลัสหน้าตัดยอมให้ (Allowable section modulus, S_x) ของเข็มพืด

ที่ต้องการจาก

$$S_x = \frac{M}{F_b}$$

เมื่อ M คือโมเมนต์ดัดสูงสุด (Maximum bending moment) และ F_b คือความเค้นยอมให้ของวัสดุที่ใช้ทำเข็มพืด

3. เลือกเข็มพืดที่มีค่าโมดูลัสหน้าตัดมากกว่าหรือเท่ากับค่าโมดูลัสหน้าตัดยอมให้

2.5.3 การออกแบบคานรัตรอบ (Wale)

Wale รอบอาจถูกพิจารณาเป็นชั้นส่วนที่ต่อเนื่อง โมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำต่อ Wale (โดยการสมมติว่า Wales ยึดติดกับตัวค้ำยัน) คือ

$$\begin{aligned} \text{ที่ระดับ A : } M_{\max} &= \frac{Al^2}{8} \\ \text{ที่ระดับ B : } M_{\max} &= \frac{(B_1 + B_2)l^2}{8} \\ \text{ที่ระดับ C : } M_{\max} &= \frac{(C_1 + C_2)l^2}{8} \\ \text{ที่ระดับ D : } M_{\max} &= \frac{Dl^2}{8} \end{aligned}$$

เมื่อได้โมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำต่อ Wales แต่ละระดับแล้ว ทำการเลือก Wales ที่มีโมดูลัสหน้าตัดใหญ่กว่าหรือเท่ากับ $S_x = \frac{M}{F_b}$

เมื่อ M คือโมเมนต์ดัดสูงสุด (Maximum bending moment) F_b คือความเค้นยอมให้ของวัสดุที่ใช้ทำเข็มพืด และ S_x โมดูลัสหน้าตัดยอมให้

2.5.4 การออกแบบเสาเหล็กหลัก (King Post)

การออกแบบ king Post จะออกแบบให้รับแรงเฉพาะในแนวแกนคือ น้ำหนักจาก Surcharge ของ Platform เท่านั้น หลักการในการคำนวณเดียวกันกับการออกแบบแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มและแรงต้านปลายเสาเข็ม โดยระยะของแรงเสียดทานของ king Post

$$Q_a = \sum Q_f + Q_b - W_b$$

$$Q_f = \text{แรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม} = \alpha_1 S_{u1} A_p$$

เมื่อ α = Adhesive Factor, S_{u1} = Shear Strength และ A_p = เส้นรอบรูป King

Postคูณกับความยาว King Post

$$Q_b = \text{แรงต้านปลายเสาเข็ม} = 9 S_{u1} A_e$$

เมื่อ S_{u1} = Shear Strength และ A_e = พื้นที่หน้าตัด King Post

$$W_b = \text{น้ำหนักเสาเข็ม}$$

2.6 หน่วยแรงรวมในการออกแบบเหล็กค้ำยัน

2.6.1 หน่วยแรงอัดตามแนวแกน

การออกแบบเสาหรือองค์อาคารรับแรงอัดตามแนวแกนคือการเลือกหน้าตัดที่เหมาะสมเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกให้ได้ตามต้องการสำหรับความยาวและสภาวะจตุรรองรับที่กำหนดมาหน่วยแรงอัดที่ต้องการคำนวณหาได้จาก

$$f_a = \frac{P}{A}$$

เมื่อ f_a = หน่วยแรงอัดใช้งาน

P = น้ำหนักบรรทุกที่ต้องการ

A = พื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ

สูตรของออยเลอร์จะใช้ได้เฉพาะกับเสาชะลูดซึ่งมีการโก่งเดาะอีลาสติก (Elastic buckling) แต่เสาที่ใช้กันอยู่นั้นมักจะเป็นเสายาวปานกลางซึ่งใช้กับสูตรออยเลอร์ไม่ได้ AISC ได้กำหนดค่ามากที่สุด KL/r ให้จำกัดอยู่ที่ 200 โดยจะนำสูตรของออยเลอร์มาหารด้วยอัตราส่วนความปลอดภัยคงที่ในช่วงอีลาสติก และใช้สูตรพาราโบลิกหารด้วยอัตราส่วนความปลอดภัยแปรผันในช่วงอินอีลาสติก ค่า KL/r ที่แบ่งระหว่างการโก่งเดาะอีลาสติกและอินอีลาสติกจะเป็นค่าที่ให้หน่วยแรงโก่งเดาะออยเลอร์เท่ากับ $F_y/2$ โดยจะเรียกค่า KL/r นี้ว่า C_c หาโดยการแทนค่าหน่วยแรงลงในสูตรออยเลอร์

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

เมื่อ F_y มีหน่วยเป็น ค่าของ C_c ของเหล็ก A36 มีค่าเท่ากับ 128.8

สำหรับเสาที่มีค่า KL/r น้อยกว่า C_c หน่วยแรงอัดตามแนวแกนที่ยอมให้ F_o พิจารณาได้จาก

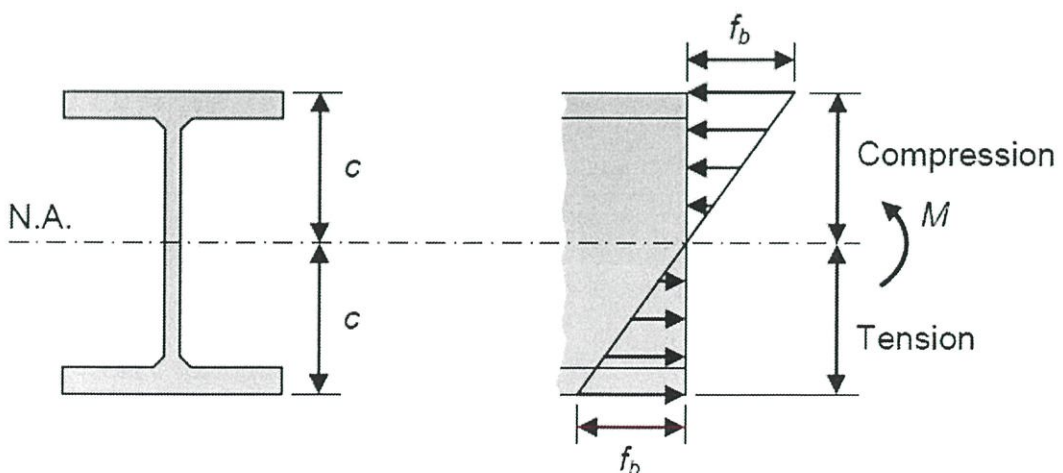
$$F_o = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2 \times C_c^2} \right] \times F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3 \times (KL/r)}{8 \times C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8 \times C_c^3}}$$

สำหรับเสาที่มีค่า KL/r มากกว่า C_c

$$F_o = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2}$$

2.6.2 หน่วยแรงดัด

หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดมีขนาดแปรผันตามระยะจากแกนสะเทินเป็นรูปสามเหลี่ยมดังในภาพที่ 2.6 คานเหล็กซึ่งส่วนใหญ่เป็นหน้าตัดปีกกว้างระยะ c จากแกนสะเทินถึงผิวบนและล่างจะเท่ากัน



ภาพที่ 2.6 แสดงหน่วยแรงรวมกระทำที่เสาเอียงศูนย์

[ที่มา : หนังสือการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ผศ.ดร.มงคล จิรวรรณเดช, 2548 : 7-2]

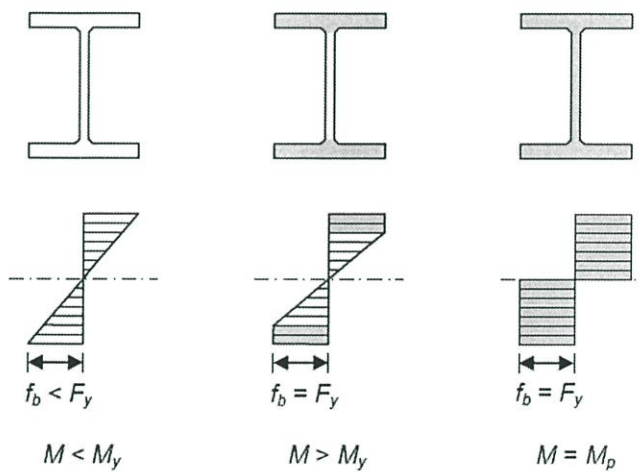
จากสมการ $f_b = \frac{M}{S} = \frac{Mc}{I}$

เมื่อ c = ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวนอกสุดของหน้าตัด

I = โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดรอบแกนสะเทิน

$S = I/c$ = โมดูลัสหน้าตัดรอบแกนสะเทิน

เมื่อโมเมนต์ดัดเพิ่มขึ้นหน่วยแรงดัดบนหน้าตัดก็จะเพิ่มขึ้นตามจนกระทั่งหน่วยแรงที่ผิวนอกสุดถึงค่าหน่วยแรงคราก โดยโมเมนต์ครากของหน้าตัดถูกนิยามให้เป็นโมเมนต์ที่พอดีที่ทำให้ผิวนอกสุดถึงจุดคราก $M_y = F_y S$ ถ้าโมเมนต์ยังเพิ่มขึ้นอีกคานจะยังไม่วิบัติแต่หน่วยแรงที่ผิวในถัดเข้ามาจะถึงจุดครากมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุดครากทั้งหน้าตัด โมเมนต์ดัดที่กระทำจนถึงสภาวะนี้เรียกว่า โมเมนต์พลาสติก (Plastic moment)



ภาพที่ 2.7 แสดงหน่วยแรงบนหน้าตัดที่ค่าโมเมนต์ต่างกัน

[ที่มา : หนังสือการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ผศ.ดร.มงคล จิรวัชรเดช, 2548 : 7-3]

ในการออกแบบคานสำหรับโมเมนต์ M และหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ F_b สามารถหาได้จากสูตรการดัดดังนี้

$$S = \frac{M}{F_b} = \frac{I}{C}$$

เมื่อระยะห่างระหว่างจุดรองรับด้านข้างเพิ่มขึ้นจน $L_b > L_c$ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ F_b จะมีค่าลดลงนอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงความคอมแพ็คของหน้าตัดอีกด้วยทำให้การพิจารณาคอนข้างซับซ้อน AISI ได้กำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาหน่วยแรงดัดคานโดยจะพิจารณาแบ่งคานออกเป็นสามกลุ่มคือ

กลุ่มที่ 1: คานที่มีหน้าตัดคอมแพ็ค และ $L_b \leq L_c$

คานในกลุ่มนี้จะมีความต้านทานต่อการโก่งเดาะเฉพาะที่และการโก่งเดาะแบบบิดออกทางด้านข้างได้ดีหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของกลุ่มนี้มีค่ามากที่สุดคือ $F_b = 0.66 F_y$

กลุ่มที่ 2: คานที่มีหน้าตัดไม่คอมแพ็ค และ $L_b \leq L_c$

คานในกลุ่มนี้จะมีหน่วยแรงดัดที่ยอมให้น้อยกว่ากลุ่มแรก เนื่องจากการโก่งเดาะเฉพาะที่ โดยหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ F_b จะมีค่าอยู่ระหว่าง $0.66 F_y$ และ $0.60 F_y$ เป็นไปตามสมการ

$$F_b = F_y \left[0.79 - 0.00024 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{F_y} \right]$$

ถ้าหน้าตัดคานไม่ผ่านเงื่อนไขเกี่ยวกับความคอมแพ็คทั้งปีกและเอว แต่ความยาว L_b ยังไม่เกิน L_c ค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้จะเท่ากับ $0.60 F_y$

กลุ่มที่ 3: คานที่มีหน้าตัดคอมแพ็คหรือไม่คอมแพ็ค และ $L_b > L_c$

การโก่งเดาะแบบบิดออกด้านข้างจะเป็นรูปแบบการวิบัติที่มีผลมากกว่าการโก่งเดาะเฉพาะที่ค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้คำนวณได้ตามสมการของ AISI แต่จะต้องไม่เกิน $0.60 F_y$ ดังสมการ

$$F_b = \frac{843600 C_b}{L_d / A_f} \leq F_y$$

2.6.3 การคำนวณหน่วยแรงรวม

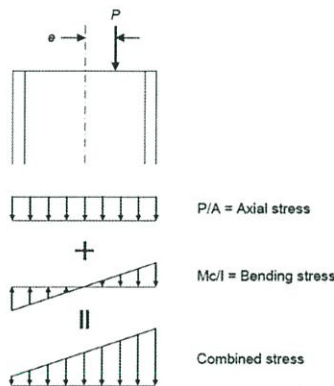
องค์อาคารหรือโครงสร้างที่รับแรงอัดตามแนวแกนเพียงอย่างเดียวมันไม่มีอยู่จริง ทุกองค์อาคารหรือโครงสร้างเกือบทุกอย่างที่รับแรงอัดนั้นจะมีโมเมนต์ดัดอยู่ปริมาณหนึ่งเสมอ โมเมนต์ดัดอาจเกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกเยื้องศูนย์หรือน้ำหนักบรรทุกทุกจรที่ไม่สมมาตรก็จะเกิดโมเมนต์ดัดขึ้นได้เช่นกัน

จากความรู้กลศาสตร์วัสดุหน่วยแรงรวมกระทำที่เกิดในองค์อาคารที่รับหน่วยแรงดัดและหน่วยแรงตามแนวแกนหาได้โดยการนำหน่วยแรงจากแต่ละกรณีมารวมกันดังภาพที่ 2.8 โดยเขียนเป็นสมการได้คือ

$$f = f_o + f_b = \frac{P_w}{A} + \frac{M}{S}$$

เมื่อ f_o = หน่วยแรงตามแนวแกน

f_b = หน่วยแรงดัด



ภาพที่ 2.8 แสดงหน่วยแรงรวมกระทำที่เสาเยื้องศูนย์

[ที่มา : หนังสือการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ผศ.ดร.มงคล จิรวีชรเดช, 2548 : 9-3]

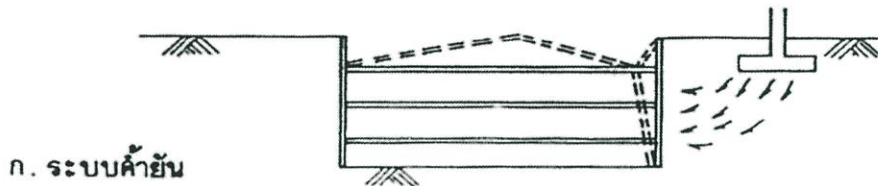
2.6.4 ข้อกำหนดสำหรับหน่วยแรงรวมกระทำ

ในการวิเคราะห์และออกแบบองค์อาคารหรือโครงสร้างรับหน่วยแรงรวมกระทำจะใช้สูตรปฏิสัมพันธ์คำนวณอัตราส่วนของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละรูปแบบมารวมกันโดยกำหนดให้ผลรวมมีค่าไม่เกิน 1.0

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1$$

2.7 ข้อควรระวังในการก่อสร้างระบบค้ำยันแบบเข็มพืด

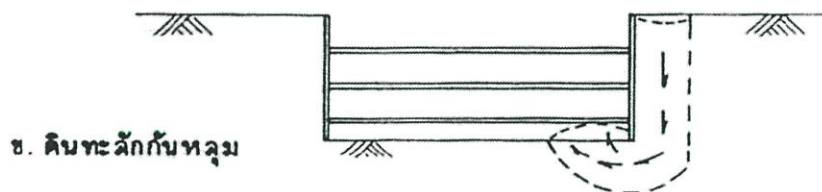
1. การพิบัติของระบบค้ำยัน เกิดจากโครงสร้างค้ำยันรับแรงดันจากดินไม่ไหว เกิดการโก่งงอ หรือเกิดการต่อเชื่อมค้ำยันไม่ดีพอ การออกแบบโครงสร้างค้ำยันชั้นบนสุดนอกจากต้องรับแรงดันจากดินแล้วอาจต้องออกแบบเผื่อให้รับน้ำหนักจรของรถขนส่งวัสดุที่วิ่งอยู่ด้านบนโครงสร้างเหล็ก ด้วย สามารถป้องกันได้โดยการตรวจสอบรายการคำนวณให้รอบคอบอีกครั้งก่อนทำการติดตั้ง และในช่วงติดตั้งต้องปฏิบัติตามขั้นตอนการก่อสร้างให้ถูกต้องอย่างเคร่งครัด



ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะการพิบัติเนื่องจากระบบค้ำยัน

[ที่มา : หนังสือวิศวกรรมฐานราก ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์, 2548 : 5-57]

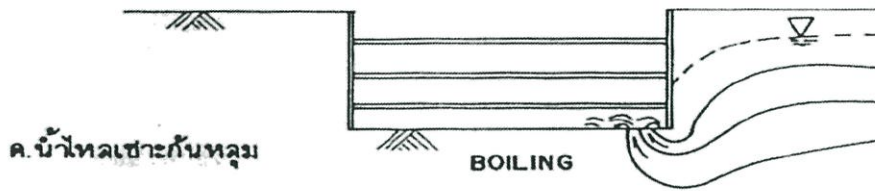
2. การพิบัติของดินทะลักกันหลุม เกิดมวลดินด้านนอกกำแพงไหลดันผ่านใต้กำแพงเข้าแทนที่ดินที่ถูกขุดออกไป สามารถสังเกตการพิบัติได้จากการบวมตัว หรือดินอุดขึ้นมาของดินกันหลุม ขุด สามารถป้องกันและตรวจสอบดินทะลักกันหลุม ได้โดยการคำนวณหาประมาณ F.S. การเกิดดินทะลักกันหลุมก่อนการก่อสร้าง หรือทำการหยั่งกำแพงกันดินให้ถึงชั้นดินที่แข็งแรงเพียงพอ



ภาพที่ 2.10 แสดงลักษณะการพิบัติเนื่องจากดินทะลักกันหลุม

[ที่มา : หนังสือวิศวกรรมฐานราก ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์, 2548 : 5-57]

3. การพิบัติที่เกิดจากน้ำไหลเซาะที่กันหลุม เกิดจากแรงดันน้ำใต้ดินภายนอกหลุมชุด พยายามดันเข้ามาจากด้านใต้หลุมชุด ทำให้ชั้นดินสูญเสียกำลัง ส่วนมากเป็นการขุดดินใกล้ลำน้ำหรือ แหล่งน้ำตามธรรมชาติ สามารถป้องกันได้โดยยังให้กำแพงกันดินลึกลงไปมากขึ้นเพื่อเพิ่มระยะการ ไหลของน้ำ ทำให้น้ำมีแรงดันลดลง หรือการใช้การสูบน้ำเข้าช่วยขณะทำการขุด

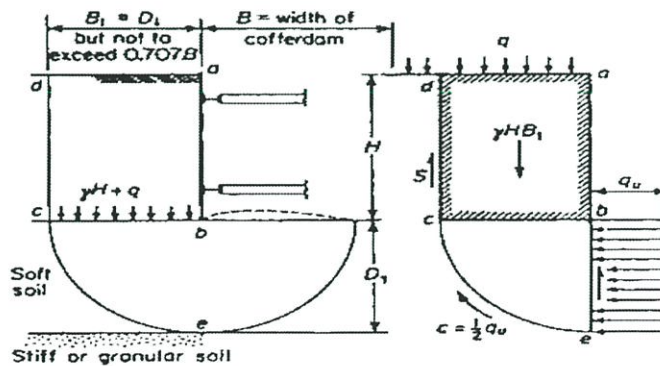


ภาพที่ 2.11 แสดงลักษณะการพิบัติเนื่องจากดินทะลักกันหลุม

[ที่มา : หนังสือวิศวกรรมฐานราก ดร.ขนาดล คงสมบูรณ์, 2548 : 5-57]

2.8 การวิเคราะห์ Heave Effect

การวิเคราะห์ Heave Effect นั้นจะขึ้นอยู่กับความกว้างของพื้นที่ของการขุดเทียบกับ ความลึกของการขุด



ภาพที่ 2.12 แสดงการวิเคราะห์ Heave Effect ใน Soft Soil

[ที่มา : การออกแบบและการใช้งาน Steel Sheet Piles ในงานขุดในดินเหนียวอ่อน, รศ.ดร.วันชัย เทพรักษ์ 2552 : 32]

เมื่อพิจารณาน้ำหนักของดินที่ Slide ลงมา abcd รวมกับน้ำหนัก Surcharge q ซึ่งจะต้านทานด้วย Shear resistance, S บนผิว cd และด้วย Cohesive resistance S_u บนผิว ce และแรง Passive Pressure บนผิว be ค่า Net passive earth pressure มีค่าเท่ากับ $q_{u_1} = 2S_{u_1}$ เมื่อพิจารณา Moment รอบจุด b จะได้

$$F.S. = \frac{\text{Resisting Moment}}{\text{Acting Moment}}$$

$$F.S. = \frac{2S + S_u HB_1 + 2S_u B_1}{(\gamma H + q)B_1} \quad (\text{Teng 1980})$$

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การวิเคราะห์ผลการเจาะสำรวจชั้นดิน

รายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดิน กลุ่มงานวิเคราะห์วิจัยและพัฒนา สำนักควบคุมการก่อสร้าง กรมโยธาธิการและผังเมือง จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ส่วนของตารางแสดงผลการทดสอบ ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการเพื่อจะแสดงลักษณะของการจัดเรียงตัวของชั้นดิน (Soil stratum) ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของดินที่เจาะสำรวจได้ (Summary of test results) ค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติของดิน (Soil properties) และตารางแสดงค่าตาราง Boring log ซึ่งจะแสดงคุณลักษณะของชั้นดิน และคุณสมบัติของดิน เมื่อเทียบกับความลึกที่เจาะสำรวจ และส่วนที่ 3 เป็นส่วนของการสรุปและข้อเสนอซึ่งจะแนะนำโดยประมาณของการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม พร้อมทั้งแสดงขนาดหน้าตัดและความยาวของเสาเข็มต้องฝังลึกลงไปในชั้นดิน หรือประมาณการรับน้ำหนักปลอดภัยของชั้นดิน เพื่อนำไปออกแบบฐานรากแบบแผ่ต่อไป

ข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจชั้นดิน นอกจากนำไปใช้เพื่อการออกแบบฐานรากทั้งแบบตื้นและแบบใช้เสาเข็มแล้ว ยังสามารถนำผลการทดสอบ มาวิเคราะห์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการหาสาเหตุความเสียหาย พร้อมกับเสนอแนวทางการแก้ไขได้ด้วย เช่น การวิเคราะห์การวิบัติของเชิงลาดของเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำต่างๆ เป็นต้น รายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดินจะใช้ประโยชน์ได้สูงสุดก็ต่อเมื่อผู้อ่านสามารถเข้าใจค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในรายงานได้อย่างครบถ้วน เพื่อประโยชน์ในการนำค่าต่างๆไปใช้ในการออกแบบต่อ

ส่วนประกอบหลักของรายงานการเจาะสำรวจชั้นดิน โดยทั่วไปประกอบด้วย

1. ลักษณะภูมิประเทศและข้อมูลทั่วไปของโครงการ
2. ตำแหน่งหลุมเจาะและระดับปากหลุม
3. ระดับน้ำใต้ดิน
4. ลักษณะชั้นดิน
5. การวิเคราะห์ทางปฐพีวิศวกรรมศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง
6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ
7. เอกสารแนบท้าย ซึ่งประกอบไปด้วย ภาพถ่ายและผังบริเวณพื้นที่ที่ทำการสำรวจ

ตารางสรุปผลการทดสอบดินจากห้องปฏิบัติการ (Summary of Test Results) Boring Log และผลการทดสอบอื่นเพิ่มเติม (ถ้ามี) เช่น ผลการตอกหยั่ง (Sounding Test) เป็นต้น

ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลดินใน Summary of Test Result และ Boring Log มีดังนี้

3.1.1 ส่วนประกอบของตารางแสดงผลการทดสอบของตัวอย่างดิน

โครงการ			สำนักควบคุมการก่อสร้าง										ผู้ทดสอบ								
สถานที่			กรมโยธาธิการและผังเมือง										วิศวกร								
หลุมเจาะที่			SUMMARY OF RESULT										หัวหน้ากลุ่มงานปฐพีฯ								
ระดับปากหลุม			เมตร			ระดับน้ำใต้ดิน			เมตรจากผิวดิน				วันที่ทดสอบ		งานเลขที่						
DEPTH 2 (m.)		SAMPLE 3 TYPE	GROUP 4 SYMBOL	ATTERBERG'S LIMITS 5 (%)			MC. 6 %	L.C. 7 %	L.P. 8 %	UNI WEIGHT 9 (%)		SPT 10 blows ft.	Sp.Gr. 11	VANE SHEAR STRENGTH 12 Ks.			DIRECT 13 SHEAR TEST		GRAIN SIZE 14 (% finer)		
FORM	TO	No.		LL.	PL.	PL.				7f	7d			PS.	RS.	ST.	C	φ	No. 4	No. 200	
0.00	1.50	PA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50	1.95	SS-1	OL-ML	37.40	24.88	12.52	9.57	-	0.50	1.32	1.20	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.00	3.50	ST-2	CL	38.75	23.82	14.93	39.23	0.16	0.25	1.78	1.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.50	5.00	ST-3	OH-MH	51.75	31.92	19.83	86.06	-	0.25	1.39	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.00	6.50	ST-4	OH-MH	51.95	33.74	18.21	85.15	0.05	0.25	1.50	0.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.50	8.00	ST-5		No recovery								-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9.00	9.50	ST-6	CL-ML	27.50	19.53	7.97	49.66	0.49	0.25	1.73	1.15	-	-	-	-	-	-	-	-	97.73	68.84
10.50	11.00	ST-7	OL-ML	45.50	27.84	17.66	83.55	-	-	1.38	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.00	12.50	ST-8	CL	45.60	25.56	20.04	81.27	0.40	0.25	1.46	0.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13.50	14.00	ST-9	OH-MH	50.50	29.95	20.55	76.38	0.53	0.50	1.59	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15.00	15.50	ST-10	OL-ML	28.75	18.07	10.68	20.24	1.79	1.75	2.13	1.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16.50	16.95	SS-11	CL	44.20	18.77	25.43	19.13	2.55	1.75	2.11	1.77	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18.00	18.45	SS-12	CL	33.95	17.78	16.17	19.11	2.04	2.75	2.12	1.78	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.50	19.95	SS-13	CL	34.10	17.21	16.89	20.51	-	4.25	2.07	1.72	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21.00	21.45	SS-14	CL	33.6	16.37	17.23	19.57	2.84	4.5	2.17	1.81	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22.50	22.95	SS-15	SM	NP			21.12	-	-	1.99	1.64	57	-	-	-	-	-	-	-	89.47	46.99
24.00	24.45	SS-16	CL	31.05	13.43	17.62	15.49	3.01	4.00	2.15	1.86	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25.50	25.95	SS-17	SM	NP			16.20	-	-	2.00	1.72	33	-	-	-	-	-	-	-	100.00	31.37
END OF BORING																					▶

ภาพที่ 3.1 แสดงตัวอย่าง Summary of test results

[ที่มา : การอ่านรายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดิน กลุ่มงานวิเคราะห์วิจัยและพัฒนา

สำนักควบคุมการก่อสร้าง, 2547 : 2]

ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ
ช่องที่ 1 เป็นส่วนที่แสดงเกี่ยวกับ รายละเอียดของชื่อโครงการ ,สถานที่ตั้งโครงการ,หลุม
เจาะสำรวจที่.. ,ระดับปากหลุมเจาะ ,ระดับน้ำใต้ดินในหลุมเจาะต่ำจากระดับปากหลุม ,ผู้ทดสอบ
วิศวกรผู้คำนวณและผู้ตรวจรับรองผลการทดสอบ ,วันเดือนปีที่ทำ เจาะสำรวจชั้นดิน และรหัสงานที่
ทดสอบในปัจจุบัน

ช่องที่ 2 (Depth) แสดงช่องระดับความลึกของตัวอย่างดินที่เก็บตัวอย่างในแต่ละชั้น

ช่องที่ 3 (Sample type) แสดงแบบของวิธีการเก็บตัวอย่างดินที่เก็บได้ เช่น ถ้าใช้
กระบอกบางเก็บตัวอย่างจะใช้อักษรย่อว่า ST (Shelby tube sampling) แสดงถึงตัวอย่างดินแบบคง
สภาพและถ้าเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่าอักษรย่อจะใช้ SS (Split spoon sampling)จะเป็น
ตัวอย่างดินชนิดไม่คงสภาพ

ช่องที่ 4 (Group symbol) แสดงชื่อหรือชนิดของดินที่จำแนกได้ตามระเบียบวิธีของ
Unified soil classification system เช่น

OL – ML หมายถึง ตะกอนทรายอินทรีย์และดินเหนียวปนตะกอนทรายอินทรีย์ มีความ
เหนียวต่ำ หรืออาจเป็นตะกอนทรายอินทรีย์และทรายละเอียดมาก หินฝุ่น ทรายละเอียดปนตะกอน
ทรายหรือ ดินเหนียวมีความเหนียวเล็กน้อย

CL หมายถึง ดินเหนียวอินทรีย์ มีความเหนียวต่ำถึงปานกลาง ดินเหนียวปนตะกอนทราย

SM หมายถึง ทรายมีตะกอนทรายปน

ช่องที่ 5 (Atterberg's limits) แสดงค่า Atterberg 's limits คือค่าขีดจำกัดความเหลว
ของดิน(Liquid limits) ดินที่มีค่า LL สูงๆเกินกว่า 50 จะมีความเหนียวมาก และในทางกลับกันถ้าค่า
LL น้อยกว่า50 จะเป็นดินที่มีความเหนียวต่ำถึงปานกลาง หรือ บางที่อาจเป็นดินชนิดที่ไม่มี
เชื่อมแน่นเลยก็ได้

ช่องที่ 6 (Moisture content) แสดงค่าปริมาณความชื้นมวลดิน

ช่องที่ 7,8 (Unconfined compressive(UC), Pocket penetrometer test(UP)) แสดง
ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบ Unconfined compressive strength และ
Pocket penetrometer test ตามลำดับ

ช่องที่ 9 (Unit weight) แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของดิน(Bulk unit weight)

ช่องที่ 10 (SPT) แสดงค่า standard penetration test (SPT) ที่ได้จากการจดบันทึกจาก
การเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกผ่า โดยใช้ผลรวมระยะฝังลึก 30 ซม.สุดท้าย

ช่องที่ 11 (Specific gravity) แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

ช่องที่ 12 (Vane shear strength) แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบ
แบบ Vane shear test

ช่องที่ 13 (Direct shear test) แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบ
Direct shear test (C) และแสดงค่ามุมเสียดทานภายใน ϕ (Angle of internal friction)

ช่องที่ 1 แสดงรายละเอียดทั่วๆ และรายละเอียดโครงการ ไป เช่น ชื่อโครงการ สถานที่ตั้งโครงการ หมายเลขหลุมเจาะ ระดับปากหลุมเจาะ ระดับน้ำใต้ดิน เป็นต้น

ช่องที่ 2 (Soils description) แสดงลักษณะของชั้นดิน (Soils description) ที่ความลึกต่างๆ ว่าเป็นดินชนิดอะไร มีสีหรือ consistency อย่างไร เช่น Soft to Medium dark brown silty clay หมายถึง เป็นชั้นดินอ่อนถึงปานกลางสีน้ำตาลเข้มดินเหนียวปนซิลต์ เป็นต้น

ช่องที่ 3 (Soil profile) แสดงแถบสัญลักษณ์ของชั้นดิน ซึ่งจะมีรูปแบบเป็นลักษณะเฉพาะตัวตามชนิดของดิน

ช่องที่ 4 (Depth) แสดงความลึกของชั้นดิน ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินเริ่มจากระดับปากหลุมเจาะจนถึงสิ้นสุดความลึกหลุมเจาะ

ช่องที่ 5 (Sample type no.) แสดงลักษณะวิธีการเก็บตัวอย่างดิน และหมายเลขตัวอย่างที่เก็บ ตามแบบชนิดลักษณะการเก็บตัวอย่างแบบ SS (Split Spoon Sample), ST (Shelby Tube Sample) หรือ PA (Power Auger) ก่อนลงไปถึงที่ระดับความลึกเท่าใด

ช่องที่ 6 (LL, PL, Wn) แสดงค่าขีดจำกัดความเหลวโดยพิจารณาเปรียบเทียบ ค่าปริมาณความชื้นในดินแต่ละชั้นความลึก กับขีดจำกัดความเป็นพลาสติกของดิน และค่าปริมาณความชื้นในดินแต่ละชั้นตามระดับความลึก

ช่องที่ 7 (1/2UC, 1/2UP, Vane shear test) แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ ที่ระดับความลึกต่างๆกัน สำหรับการทดสอบด้วยวิธี Unconfined compressive strength, Pocket penetrometer test และ วิธี Vane shear test ซึ่งมีทั้งแบบกำลังสูงสุด (Peak Strength) และแบบ remolded Strength ค่าที่ได้จาก 2 วิธีหลังนี้จะสามารถบ่งบอกถึงความไวตัวของดินได้ (Sensitivity)

ช่องที่ 8 (Standard penetration test) แสดงค่า SPT ที่จดบันทึกจากการเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกผ่า มีหน่วยเป็น Blows/foot

ช่องที่ 9 (Total density:) แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของดินเปียกและหน่วยน้ำหนักดินแห้ง ในแต่ละชั้นดินนั้น

3.2 ขั้นตอนการคำนวณระบบค้ำยัน

3.2.1. ออกแบบ Sheet Pile

- ตรวจสอบ Heave เพื่อหาขนาดของ sheet pile
- ตรวจสอบระดับค้ำยัน
- คำนวณแรงดันดินด้านข้างจากไดอะแกรมของ Peck และ ใช้ Section Modulus เพื่อเลือก Type ของ Sheet Pile

3.2.2. ออกแบบ Wale

- คำนวณแรงดันดินด้านข้างที่ถ่ายมาที่ Wale
- คำนวณแรงอัดและโมเมนต์ดัดในแนวแกนและพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อแรงอัด
- ทดลองเลือกหน้าตัด คำนวณอัตราส่วนความชะลูด และตรวจสอบหน่วยแรงรวม

3.3.3. ออกแบบ Struts

- คำนวณแรงที่ถ่ายลง Struts
- ทดลองเลือกหน้าตัด และคำนวณอัตราส่วนความชะลูด
- คำนวณค่าแรงอัดที่ยอมให้ โดยพิจารณาทั้งแรงที่กระทำทั้งแกน X และแกน Y

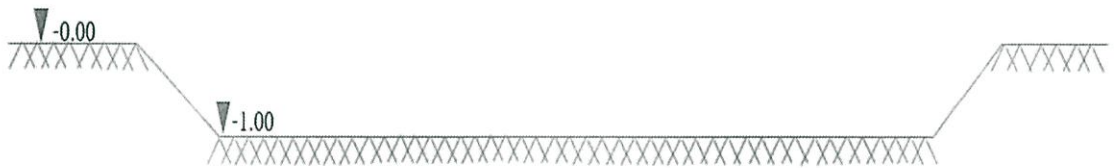
3.3.4. ออกแบบ King Post

- คำนวณน้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลง King Post
- ทดลองเลือกหน้าตัดและความยาวของ King Post
- คำนวณกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของ King Post

3.3 ขั้นตอนการติดตั้งระบบป้องกันดินพัง

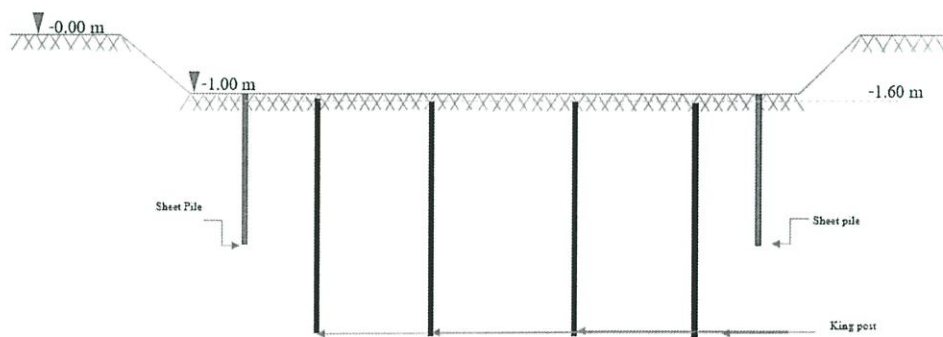
ได้แบ่งการก่อสร้างออกเป็น 8 ขั้นตอนด้วยกัน

3.3.1. ทำการสำรวจพื้นที่ และใช้เครื่องจักรตัดดินออกให้ได้ระดับ -1.00 m โดยห้ามกองดินบริเวณปากบ่อ และกำหนดแนว Sheet Pile กับ King Post ตามแบบ Shop Drawing ดังภาพที่ 3.3



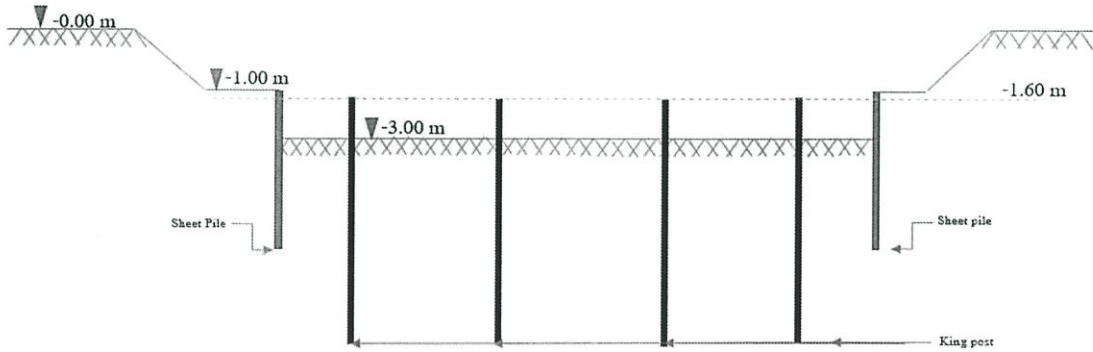
ภาพที่ 3.3 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำการตัดดินออกให้ได้ระดับ -1.00 m

3.3.2. ทำการตอก Sheet Pile โดยใช้ Backhoe Vibro ที่ระดับ -1.00 m และตอก King Post ที่ระดับ 1.60 m ดังภาพที่ 3.4



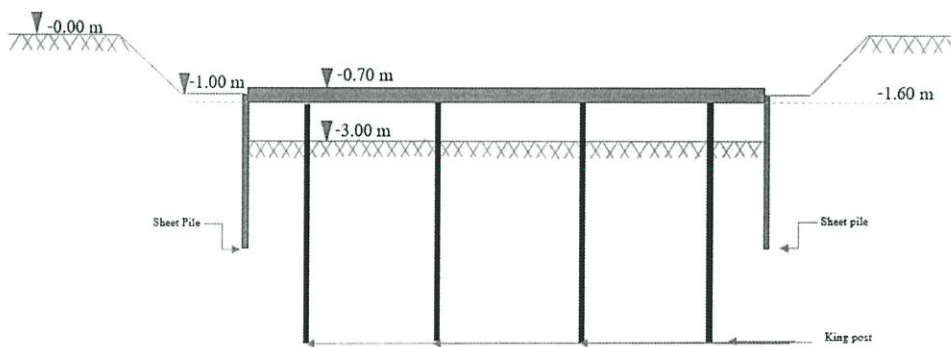
ภาพที่ 3.4 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำการตอก King Post

3.3.3 เมื่อตอก Sheet Pile และ King Post แล้วเสร็จแล้ว ให้ทำการขุดดินต่อให้ถึงระดับ -3.00 m เพื่อเตรียมติดตั้งสะพานชั่วคราวและค้ำยันชั้นที่ 1 ดังภาพที่ 3.5



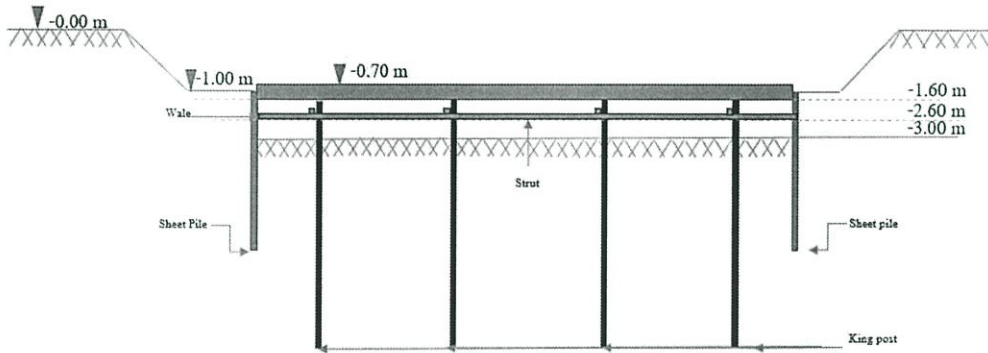
ภาพที่ 3.5 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำการขุดดินชั้นที่ 1

3.3.4 ติดตั้ง Support โดยรอบ Sheet Pile และที่เสา King Post เพื่อรองรับ Bracing ชั้นที่ 1 พร้อมกับการติดตั้งสะพานชั่วคราวดังภาพที่ 3.6



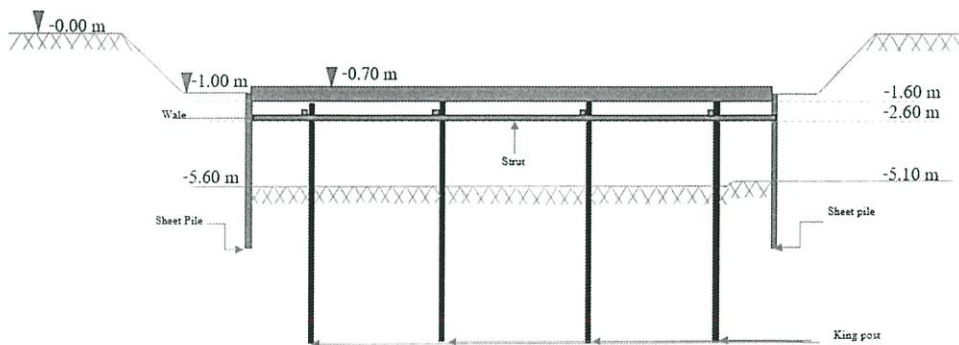
ภาพที่ 3.6 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำการติดตั้งสะพานชั่วคราว

3.3.5 ติดตั้ง Support เสริม ให้ทำการติดตั้งค้ำยันชั้นที่ 1 ไปชนแนว Sheet Pile ที่ระดับ 1.90 m (upper) และระดับ 2.60 m (bottom) ดังภาพที่ 3.7 และเมื่อติดตั้งเสริมให้ทำการเทคอนกรีต Lean หลัง Wale และในร่อง wale ตลอดแนว พร้อมทำการ Preload

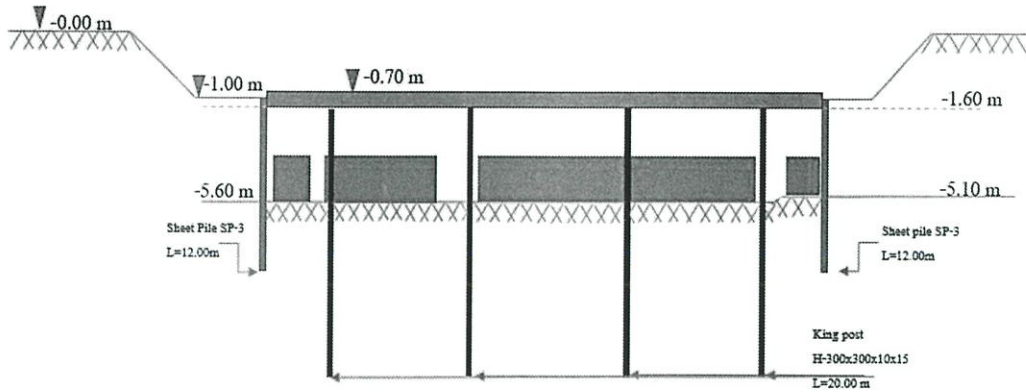


ภาพที่ 3.7 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำการติดตั้ง Wale และ Strut

3.3.6 เมื่อ Preload เรียบร้อยแล้ว ให้ทำการขุดดินจนถึงระดับที่ทำการเทริน (เปิดหน้าดินทีละส่วน) และทำงานในส่วนของงาน Footing และทำการเท Lean โดยรอบแนว Sheet Pile โดยรอบเพื่อช่วยดันดินด้านล่างดังภาพที่ 3.8



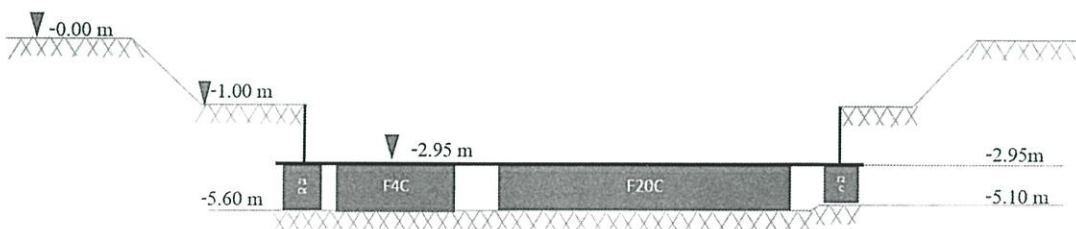
ภาพที่ 3.8 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำการขุดดินชั้นที่ 2



ภาพที่ 3.9 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำงานในส่วนของ Footing เสร็จเรียบร้อยแล้ว

3.3.7 เมื่อทำงานโครงสร้างฐานรากภายในบ่อให้เสร็จ ให้ทำการรื้อ Bracing ออกแล้วทำการถมดินโดยรอบฐานรากและเท Lean ลงเหล็ก ฟัน ผึง และทำงานในส่วนโครงสร้างพื้นบ่อน้ำใต้ดินดังภาพที่ 3.9

3.3.8 เมื่อทำงานโครงสร้างในส่วนผนังบ่อเสร็จแล้วให้ทำการถอน Sheet pile ทั้งหมด รื้อสะพานชั่วคราว และถอน king Post ออก และทำงานส่วนของโครงสร้างเสาและฝาบ่อต่อไปดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 แสดงสภาพแวดล้อมเมื่อทำบ่อทำการรื้อถอน Bracing และ king Post เสร็จเรียบร้อยแล้ว

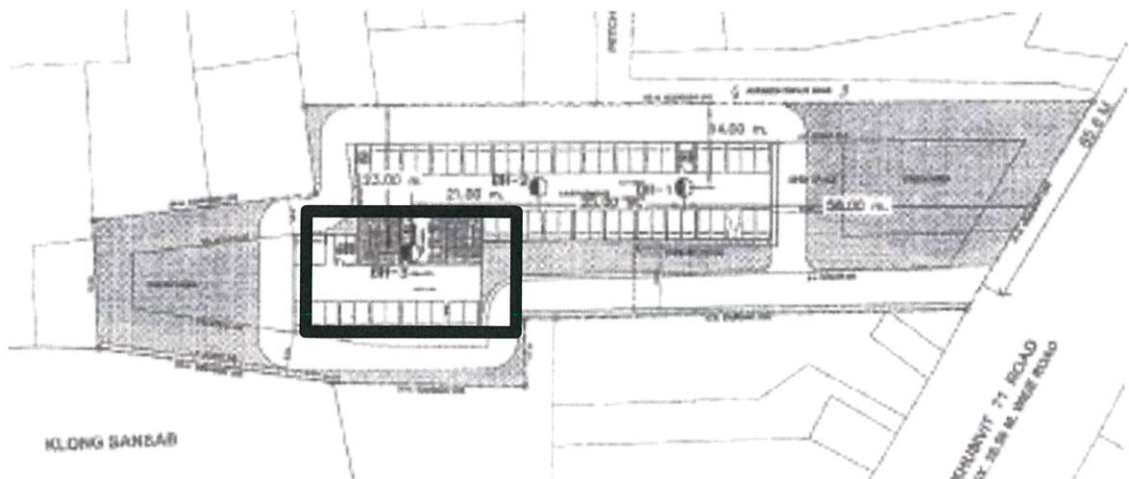
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

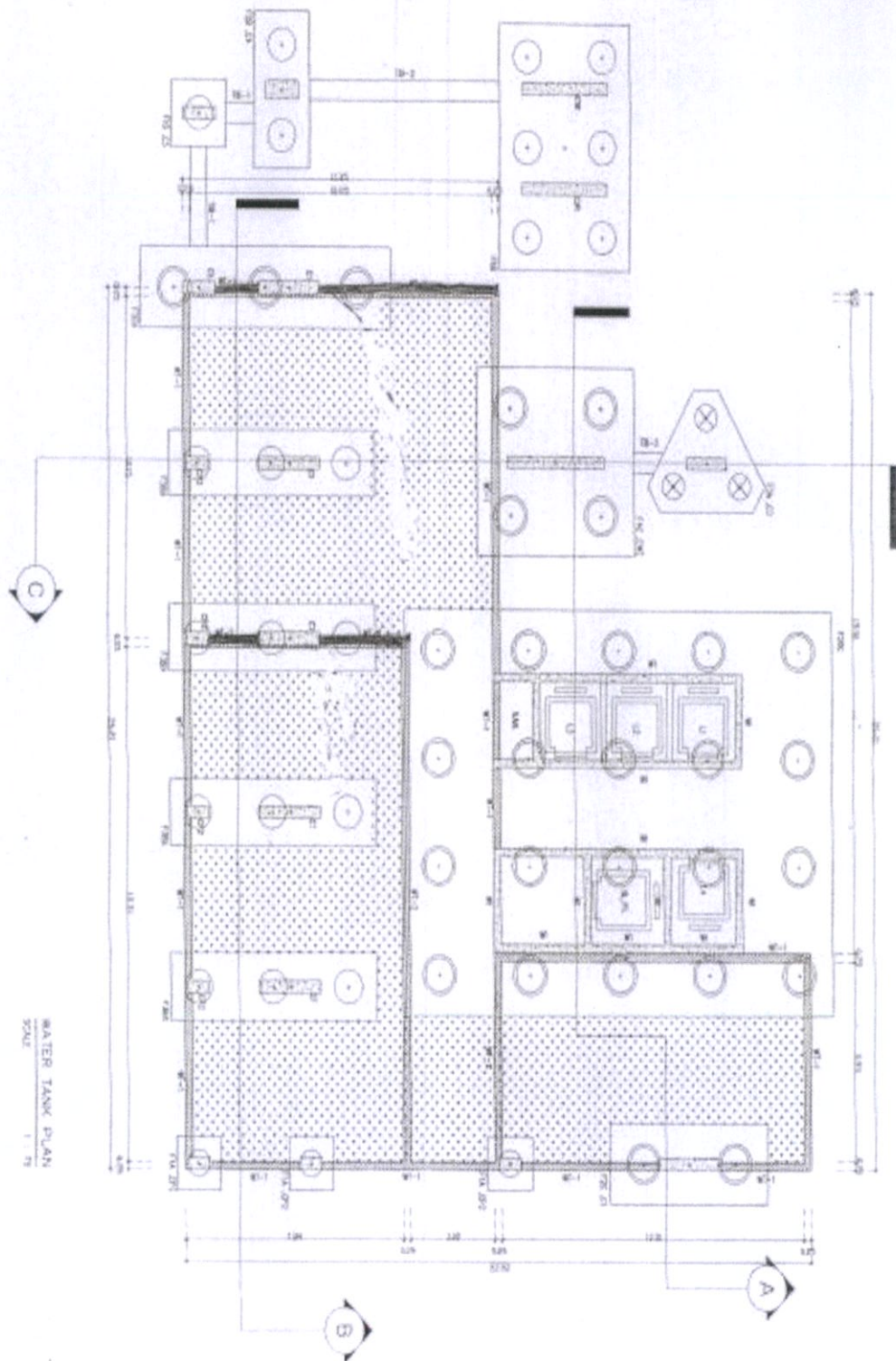
4.1 ความเป็นมาของโครงการและลักษณะโครงการ

โครงการ The Tree Sukhumvit 71 – Ekamai คอนโดมิเนียมรูปแบบใหม่ ที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากป่าสน (Pine Forest) สู่การออกแบบที่ให้ธรรมชาติสอดประสานไปกับทุกองค์ประกอบของการใช้ชีวิตภายในโครงการตั้งแต่อย่างก้าวแรกยันจรดฟ้า ภายใต้พื้นที่ 5,808 ตารางเมตร เป็นอาคารสูง 33 ชั้น จำนวน 1 อาคาร มีจำนวนห้องทั้งหมด 883 ยูนิต ห้องชุดเพื่อการพาณิชย์จำนวน 3 ยูนิต

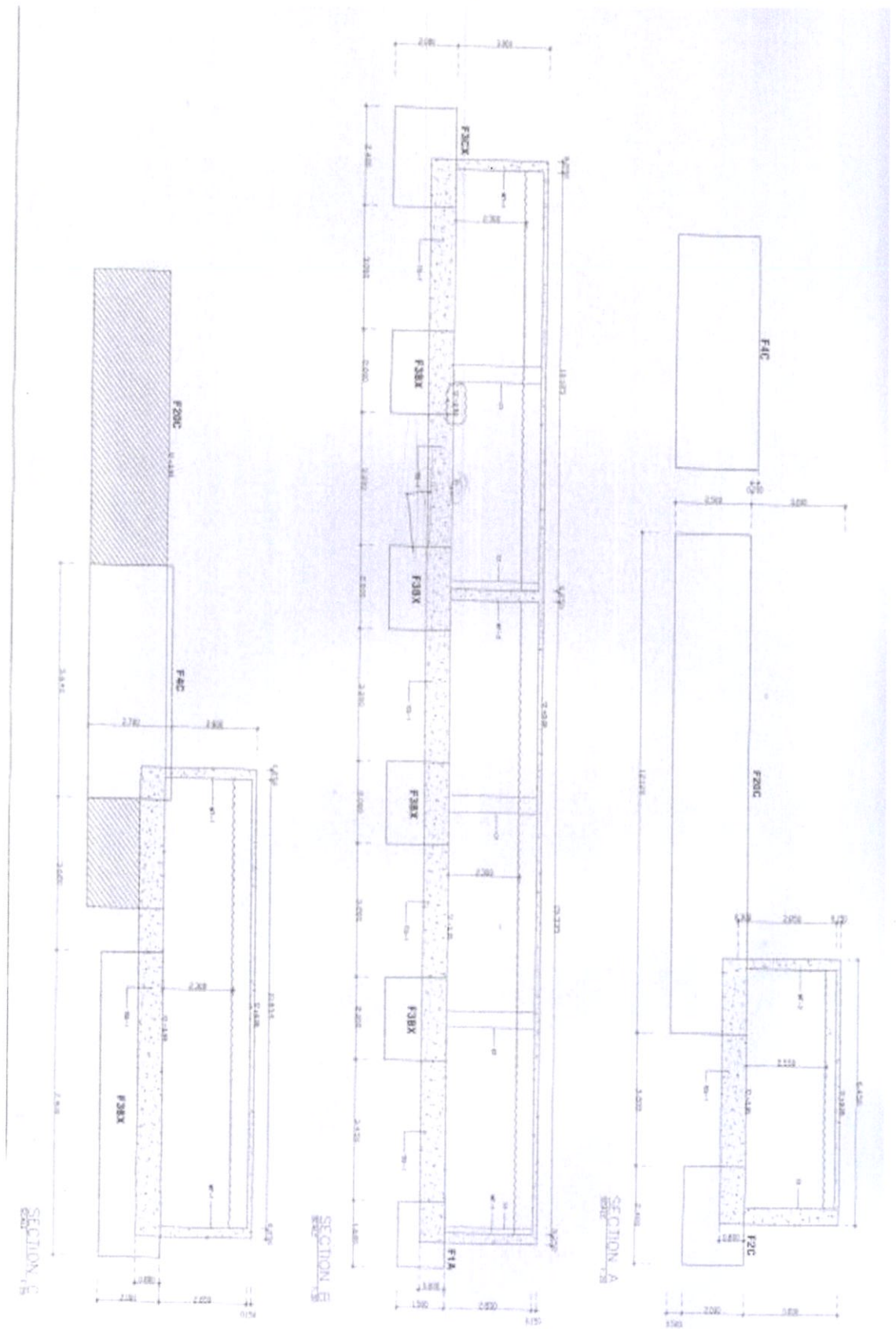
โครงการคอนโดมิเนียมแห่งนี้มีต้องการระบบสาธารณูปโภคด้านการประปาเพื่อใช้หล่อเลี้ยงภายในโครงการประมาณ 600 ลูกบาศก์เมตร จึงได้ออกแบบบ่อน้ำดีเพื่อใช้เป็นระบบประปาภายในโครงการ บ่อน้ำดีแห่งนี้เป็นบ่อน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กโดยแบ่งแยกออกเป็น 3 บ่อ มีความจุรวมประมาณ 600 ลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 4.1 แสดงตำแหน่งที่จะทำการก่อสร้างบ่อน้ำดี



ภาพที่ 4.2 Shop Drawing แสดงตำแหน่งและขนาดของบ่อน้ำดี



ภาพที่ 4.3 แสดงรูปตัดบ่อน้ำดี

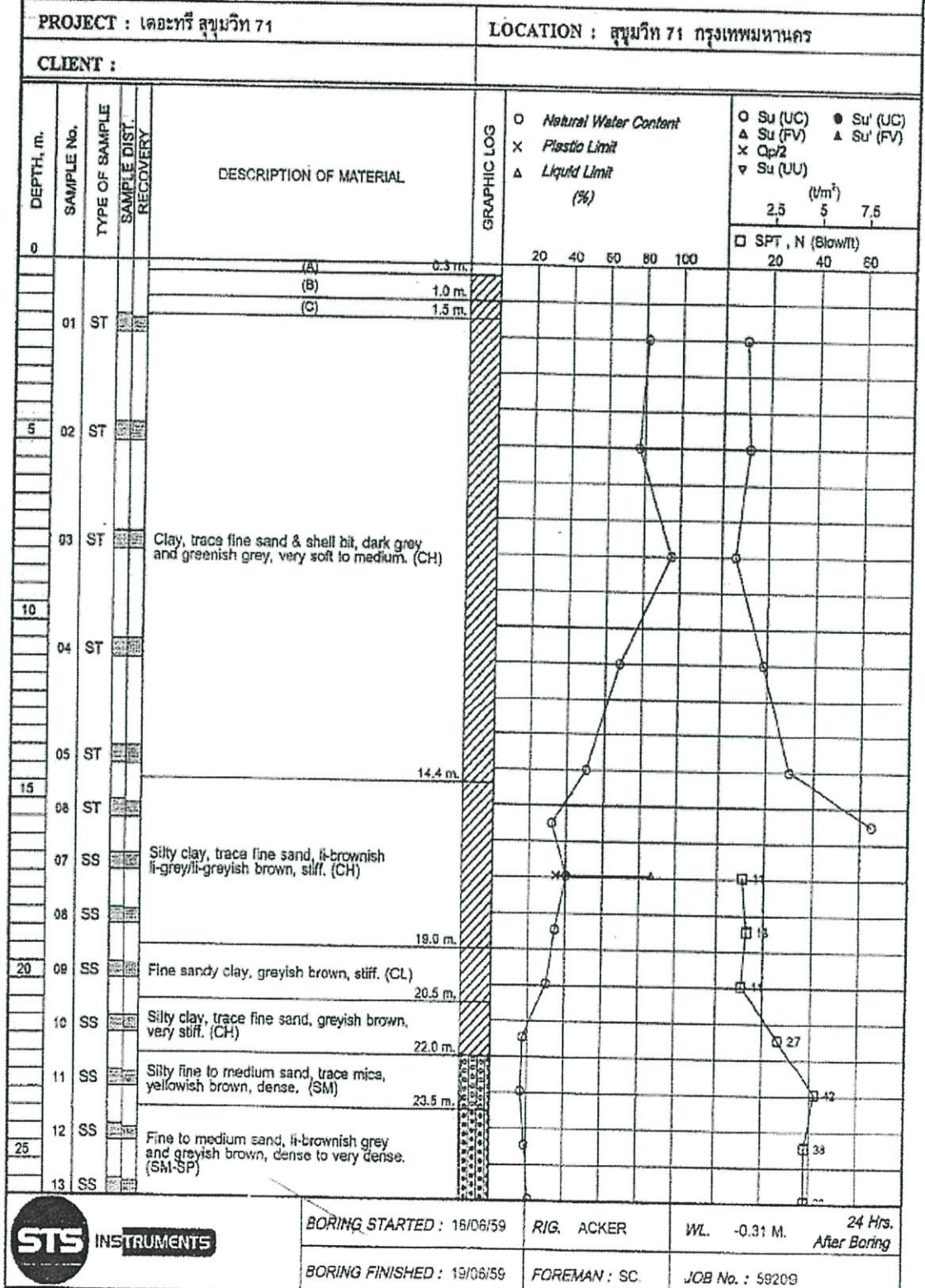
4.2 ลักษณะชั้นดิน

สำหรับบริเวณพื้นที่ก่อสร้างบ่อน้ำดีแห่งนี้ได้มีการเจาะสำรวจชั้นดินในชั้นนอกแบบ
รายละเอียดจำนวน 1 หลุม ความลึกประมาณ 70.30 เมตร ดังรายละเอียดตาม ภาพที่ 4.3, 4.4, 4.5,
4.6 และ 4.7

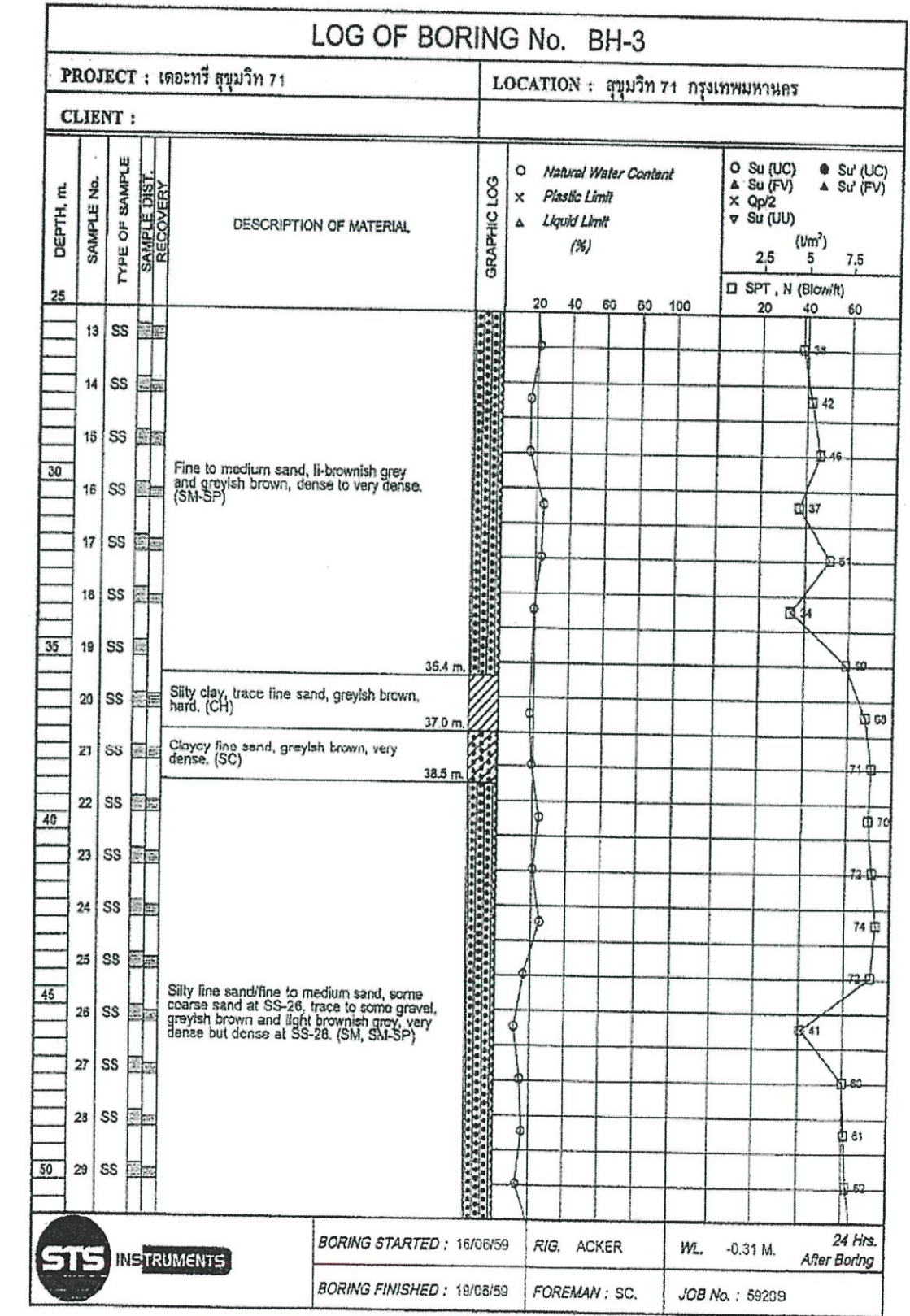
STS INSTRUMENTS COMPANY LIMITED																			
SUMMARY OF TEST RESULTS																			
PROJECT		เลขที่ ทุ่งวิท 71			LOCATION			เลขที่ 71 กรุงเทพมหานคร			BY		NC		OBSERVED W.L.				
DATE		21/7/2559			BORING No.			BR-3			JOB No.		59209		-0.31 M.				
SAMPLE No.	DEPTH		WATER CONTENT	ATTERBERG LIMIT			WET UNIT WEIGHT	SIEVE ANALYSIS					CLASSIFICATION	UNDRAINED SHEAR STRENGTH cm^2				STANDARD PENETRATION (blow/ft)	
	FROM	TO		LL	PL	PI		No. 3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200		UNCONFINED SHEAR	TORVANE SHEAR	UU TEST	POCKET PENETRATION		
SR-01	1.50	2.00	81.2				1.52						CR	1.21				1.3	
SR-02	4.50	5.00	76.9				1.59						CR	1.42				1.3	
SR-03	7.50	8.00	95.1				1.43						CR	0.74				1.3	
SR-04	10.50	11.00	67.8				1.62						CR	2.30				1.3	
SR-05	13.50	14.00	50.4				1.75						CR	3.78				3.8	
SR-06	15.00	15.50	31.9				1.94						CR	8.10				8.8	
SR-07	16.50	16.95	40.2	96.7	34.5	52.2	1.78						CH					8.8	11
SR-08	18.00	18.45	34.3				2.01						CR	6.55				8.8	13
SR-09	19.50	19.95	29.8					100	99	96	50		CS					3.8	11
SR-10	21.00	21.45	17.4										CH					22.54	27
SR-11	22.90	23.95	16.6					100	96	77	13		SK						42
SR-12	24.00	24.45	18.9										SK-OP						30
SR-13	25.50	25.95	21.3										SK-SP						38
SR-14	27.00	27.45	16.1					100	97	89	40		EM-SP						42
SR-15	28.50	28.95	16.1										EM-SP						46
SR-16	30.00	30.45	24.2										EM-SP						37
SR-17	31.50	31.95	23.3										EM-SP						51
SR-18	33.00	33.45	19.5					100	95	26	6		EM-SP						34
SR-19	34.50	34.95	(No Recovery)										(EM-SP)						59
SR-20	36.00	36.45	27.8										CH						68
SR-21	37.50	37.95	19.2										BC						71

ภาพที่ 4.4 Summary of test results (1)

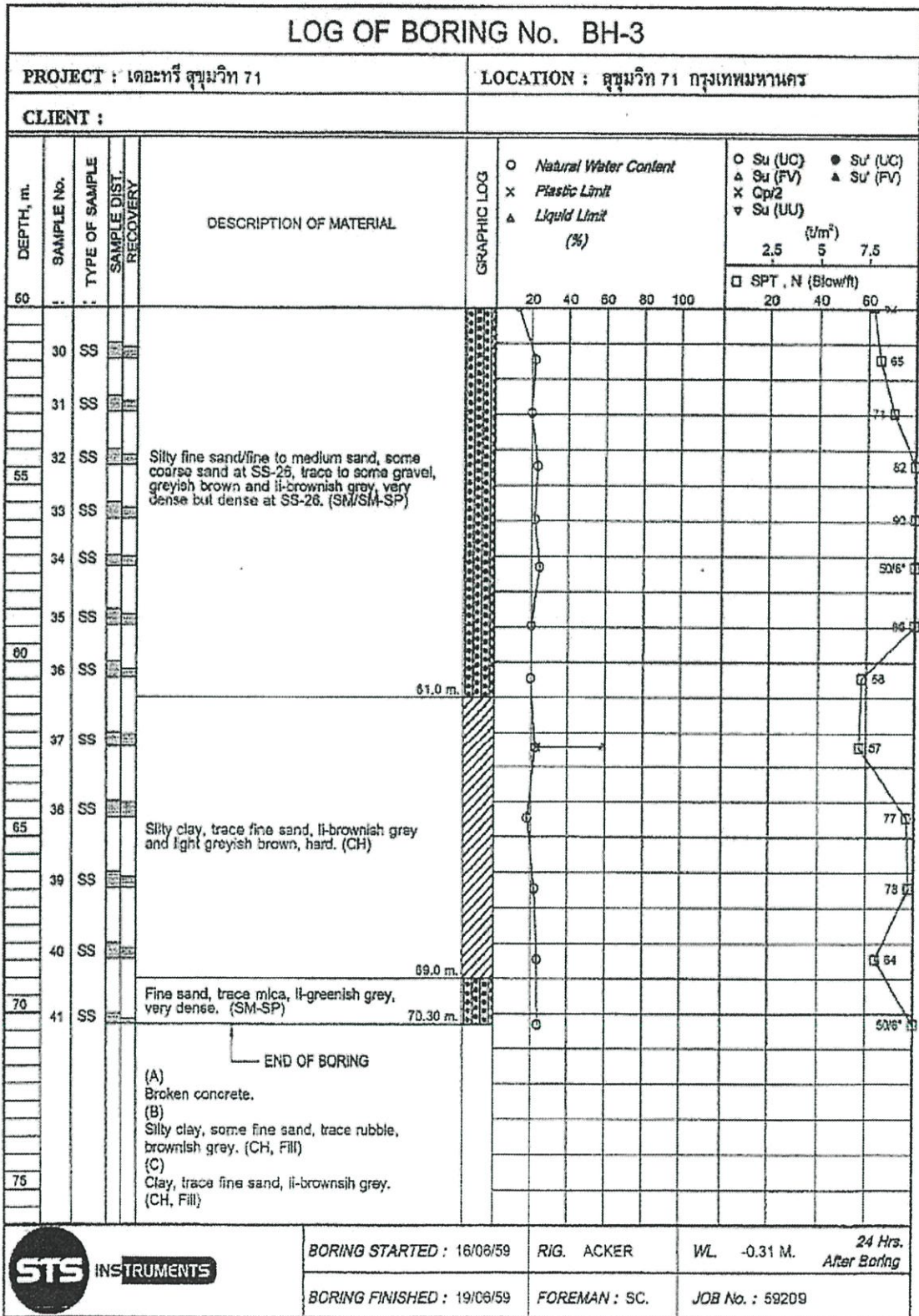
LOG OF BORING No. BH-3



ภาพที่ 4.6 Boring Log (1)



ภาพที่ 4.7 Boring Log (2)



ภาพที่ 4.8 Boring Log (3)

จากผลการสำรวจชั้นดินพบว่าที่จากผิวหน้าดินถึงระดับความลึก 1.50 เมตร ลักษณะชั้นดินเป็นดินเหนียวอ่อนปนซากวัสดุ จึงต้องทำการตัดหน้าดินนี้ทิ้งไปก่อนเพื่อเปิดหน้าดิน จากระดับความลึก 1.50 เมตร ดินมีลักษณะเป็นดินเหนียวอ่อนมากถึงแข็งปานกลางถึง 14.50 เมตร เปลี่ยนเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง ถึงความลึก 19.00 เมตร เปลี่ยนเป็นชั้นดินเหนียวแข็งมากถึง 23.50 เมตร เปลี่ยนเป็นชั้นดินทรายแน่นถึง 38.50 เมตร เปลี่ยนเป็นชั้นดินทรายแน่นมากถึงความลึก 70.30 เมตร สรุปคุณสมบัติของชั้นดินสำหรับการออกแบบ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปคุณสมบัติของชั้นดินสำหรับการออกแบบภายในโครงการ

Layer	Soil	Elevation (m)		γ	ϕ	S_u	N
No.	Description	From	To	t/m ³	Degree	t/m ³	Blows/ft
1	Fill Material	0.00	-1.50	1.80	0.00	4.00	-
2	Soft to Medium Clay	-1.50	-14.50	1.60	0.00	1.50	-
3	Stiff Clay	-14.50	-19.00	2.00	0.00	6.00	13
4	Very Stiff Clay	-19.00	-23.50	2.10	0.00	10.00	25
5	Dense Sand	-23.50	-38.50	2.00	40.00	-	42
6	Very Dense Sand	-38.50	-70.30	2.00	40.00	-	75

4.3 การคัดเลือกรูปแบบกำแพงกันดินของบ่อน้ำดีภายในโครงการ

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้ระบบป้องกันดินพังมีดังนี้

1. มีความสอดคล้องกับพื้นที่การก่อสร้าง รูปแบบการก่อสร้าง และเวลาในการก่อสร้าง
2. สภาพของชั้นดินและคุณสมบัติของดิน
3. ความลึกในการก่อสร้าง
4. มีความแข็งแรงปลอดภัย
5. ราคาค่าก่อสร้าง
6. ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อพื้นที่ข้างเคียง

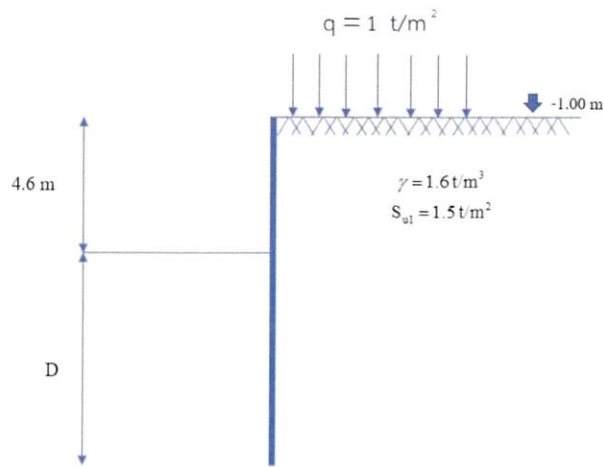
จากข้อพิจารณาเนื่องจากชั้นดินของทางโครงการที่ระดับความลึก 1.50 เมตร ถึง 14.50 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนถึงปานกลาง ซึ่งบ่อน้ำที่ต้องการก่อสร้างนั้นมีลึกที่ไม่ได้ลึกมาก มีระยะการขุดดินจากผิวดินประมาณ 5 เมตรเท่านั้น และด้วยระยะเวลาในการก่อสร้างมีจำกัดจึงต้องการระบบป้องกันดินพังที่มีความรวดเร็วในการติดตั้งและปลอดภัยต่อสภาพแวดล้อมจึงได้เลือกใช้ระบบป้องกันดินพังแบบ Sheet Pile Bracing System เนื่องจากระบบป้องกันดินพังแบบกำแพงเข็มพืดพร้อมค้ำยัน (Sheet Pile Bracing System) เป็นระบบที่ติดตั้งได้สะดวก ปักเสียบแล้วสามารถทำงานได้ทันที และยังสามารถนำ เข็มพืดเหล็ก (Sheet Pile) กลับมาใช้ ทำงานอื่นๆภายในโครงการได้อีก

4.4 การออกแบบระบบป้องกันดินพังแบบกำแพงเข็มพืดพร้อมค้ำยัน (Sheet Pile Bracing System)

4.4.1 การออกแบบเข็มพืดเหล็ก (Sheet Pile)

4.4.1.1 ทำการคำนวณหาความยาวของ Sheet Pile ที่ต้องการใช้งาน โดยการสุ่มค่าความยาวของ Sheet Pile และทำการเช็คค่า Heave Effect โดยวิธีของ Teng (1980)

กำหนดให้ใช้ค่า F.S. ของการเกิด Heave เท่ากับ 1.25 มี Surcharge, q เท่ากับ 1 t/m^2 $S_{u1} = 1.5 \text{ t/m}^2$, $S_{u2} = 1.5 \text{ t/m}^2$, $\gamma = 1.6 \text{ t/m}^3$ (ค่า S_{u1} , S_{u2} และ γ จากตารางที่ 4.1) ทำการขุดดินชั้นแรกถึงระดับ 4.60 เมตร



ภาพที่ 4.9 แสดงการวิเคราะห์เพื่อออกแบบ Sheet Pile

$$\text{จาก } F.S. = \frac{\text{Resisting Moment}}{\text{Acting Moment}}$$

$$F.S. = \frac{2S + S_u HD + 2S_u D}{(\gamma H + q)D} \quad (\text{Teng 1980})$$

เลือกใช้ Sheet Pile 12 เมตร $L = 12\text{ m}$

$$D = L - H = 12 - 4.6 = 7.4 \text{ m}$$

หาค่า S จาก

$$S = S_u \left(H - \frac{2S_{u1}}{\gamma} \right) = 1.5 \left(4.6 - \frac{2 * 1.5}{1.6} \right) = 4.088 \text{ t/m}$$

$$\text{และ } \gamma H + q = (1.6 \times 4.6 + 1) = 8.36 \text{ t/m}^2$$

$$\text{แทนค่า } F.S. = \frac{2 \times 4.088 + 1.5 \times 4.6 \times 7.4 + 2 \times 1.5 \times 7.4}{8.36 \times 7.4}$$

$$F.S. = 1.32 \geq 1.25 \quad \text{OK}$$

เพราะฉะนั้นเลือกใช้ Sheet Pile ยาว 12 เมตร

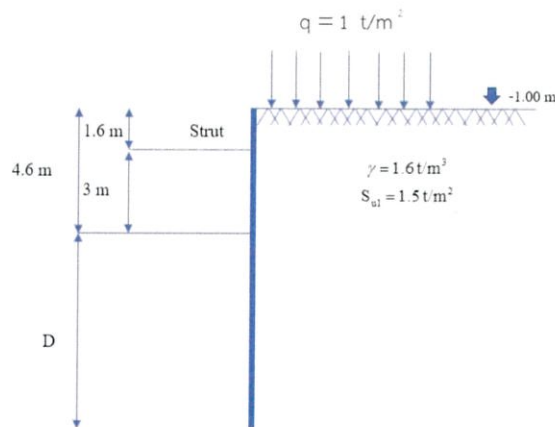
4.4.1.2 กำหนดระดับค้ำยันชั้นที่ 1 โดยที่ระดับค้ำยันชั้นที่ 1 ต้องอยู่ต่ำกว่าระดับการเกิด Tension Crack

กำหนดระดับค้ำยันชั้นที่ 1 อยู่ที่ -1.60 เมตร

$$\text{จาก Tension Crack} = \frac{2S_u}{\gamma}$$

$$\text{แทนค่า Tension Crack} = \frac{2 \times (1.5)}{1.6} = 1.875 \text{ m} > 1.6 \text{ OK}$$

เพราะฉะนั้นติดตั้งค้ำยันตัวแรกไว้ที่ระดับ -1.60 เมตร



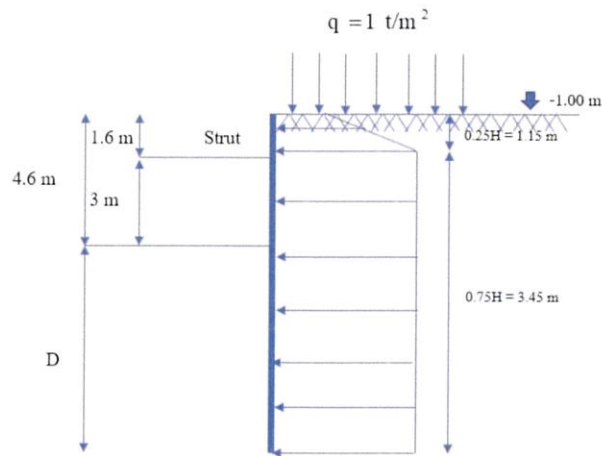
ภาพที่ 4.10 แสดงการวิเคราะห์เมื่อติดตั้งค้ำยัน

4.4.1.3 คำนวณแรงดันดินด้านข้างจากไดอะแกรมของ Peck และ เช็ค Section Modulus เพื่อเลือก Type ของ Sheet Pile

ทำการหาตัวเลขเสถียรภาพของดินเหนียว

$$\text{จาก } \frac{H}{S_u} = \frac{1.6(4.6)}{1.5} = 4.91 \geq 4 \text{ เป็นดินเหนียวอ่อนถึงปานกลาง}$$

จากการหาเสถียรภาพของดินเหนียวทราบว่าเป็นดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนปานกลาง เพราะฉะนั้นไดอะแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาแรงดันดินเป็นดังภาพ 4.9



ภาพที่ 4.11 แสดงไดอะแกรมในการคำนวณแรงดันดินด้านข้างของ Peck (1964)

ทำการคำนวณแรงดันดินด้านข้างโดยแบ่งเป็น 2 กรณี โดยใช้ค่าแรงดันดินที่มากที่สุดในการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{กรณีที่ 1 } \mathcal{H} - \frac{4S_u}{F.S.} + q &= 1.6(4.6) - \frac{4(1.5)}{2} + 1 \\ &= 5.36 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{กรณีที่ 2 } 0.3\mathcal{H} + q &= 0.3 \times 1.6 \times 4.6 \\ &= 3.21 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

เลือกแรงดันดินในกรณีที่ 1 ในการคำนวณ

คำนวณ Moment ใน Sheet Pile โดยพิจารณา Sheet Pile เหมือนคาน Simple Beam

$$\begin{aligned} \text{จาก } M &= \frac{\omega^2}{8} \text{ (Simple Beam)} \\ &= \frac{5.36 \times 4.6^2}{8} = 14.18 \text{ t} * \text{m} \end{aligned}$$

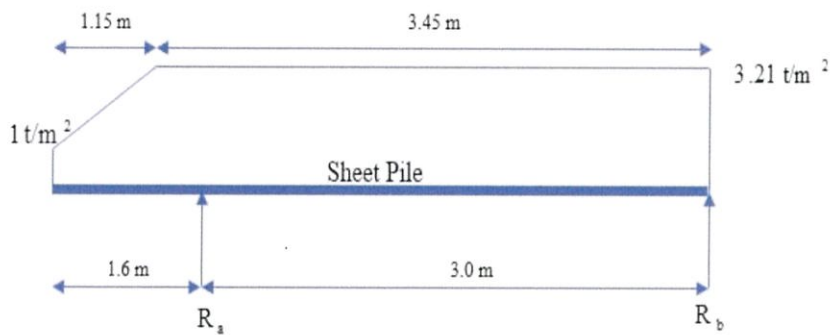
นำค่า Moment ที่คำนวณได้มาคำนวณหาค่า Section Modulus

$$\begin{aligned} \text{จาก } S_x &= \frac{M}{F_b} \\ &= \frac{14.18 \times 10^5}{0.6 \times 2500} = 945.3 \text{ cm}^3 / m \end{aligned}$$

ทำการเปิดตารางวัสดุของ Sheet Pile (ภาคผนวก ก.) จะได้ว่า Sheet Pile SP3 มีค่า $S_x = 1340 \text{ cm}^3 / m$ ซึ่งมามีค่ามากกว่าที่คำนวณได้ เพราะฉะนั้นเลือกใช้ Sheet Pile SP 3 ยาว 12 เมตร

4.4.2 การออกแบบคานรัดรอบ (Wale)

4.4.2.1 คำนวณแรงดันดินด้านข้างที่ถ่ายลงมาสู่คานรัดรอบ



ภาพที่ 4.12 แสดงไดอะแกรมในการคำนวณแรงดันดินที่กระทำ R_o

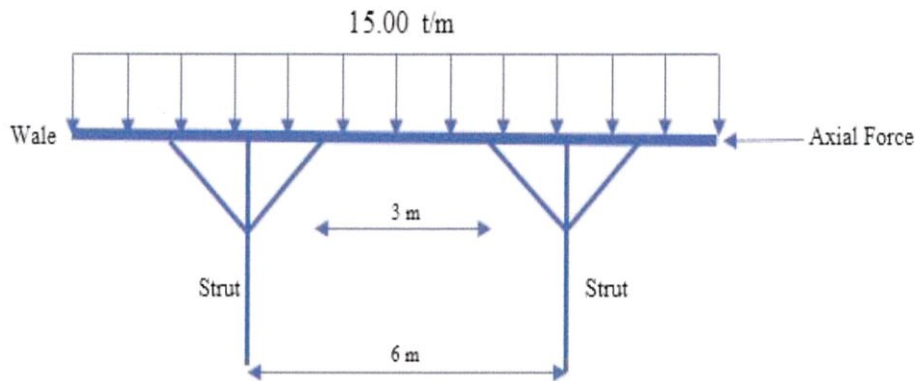
หาแรงดันดินที่ถ่ายลงมาที่ R_o โดยการหาโมเมนต์รอบ R_b

$$\text{จาก } \sum M_{R_b} = 0$$

$$R_a(3) = (1) \left(\frac{4.6^2}{2} \right) + (0.5)(1.15)(5.36 - 1) \left(3 + \frac{1.15}{3} \right) + (5.36 - 1) \frac{(3 + 1.6 - 1.15)^2}{2}$$

$$R_a = 15.00 \text{ t/m}$$

4.4.2.2 คำนวณแรงอัดและโมเมนต์ดัดในแนวแกนและพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อแรงอัด



ภาพที่ 4.13 แสดงแรงกระจายที่กระทำต่อคานรัดรอบและค้ำยัน

คานรัดรอบ (Wale) มีพฤติกรรมเสมือนคานต่อเนื่องในแนวนอนทำการหาโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อคานรัดรอบ

$$M = \frac{\omega l^2}{10} \text{ (Continuous Beam)}$$

$$= \frac{15 \times 3^2}{10} = 13.5 \text{ t} \cdot \text{m}$$

หาแรงอัดด้านข้างที่กระทำต่อคานรัดรอบ

$$\text{Axial Force in wale } P_w = \frac{6 \times 15}{2} = 45.00 \text{ t}$$

พิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อแรงอัด

$$\text{Stress due to Temperature Change} = 0.000011 \times E_s \times \Delta t$$

$$= 0.000011 \times 2.1 \times 10^5 \times 10 = 231 \text{ ksc}$$

4.4.2.3 พิจารณาเลือกหน้าตัดเหล็ก คำนวณอัตราส่วนความชะลุด

ตัวอย่างการคำนวณ ทดลองเลือกใช้เหล็ก H-350mm x 350mm x 137
kg/m

$$A = 173.9 \text{ cm}^2, S_x = 2300 \text{ cm}^3, r_x = 15.2 \text{ cm}, r_y = 8.84 \text{ cm (ภาคผนวก ก.)}$$

คำนวณอัตราส่วนความชะลุดและพิจารณาหน่วยแรงรวม

$$\text{อัตราส่วนความชะลุด} \frac{Kl}{r_x} = \frac{(1)(3 \times 100)}{15.2} = 19.74$$

$$\text{ค่า } C_c \text{ ของเหล็ก A36 มีค่าประมาณ } 128.8 \geq \frac{Kl}{r}$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ } F_a &= \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2 \times C_c^2} \right] \times F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3 \times (Kl/r)}{8 \times C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8 \times C_c^3}} \\ &= \frac{\left[1 - \frac{19.74^2}{2 \times 128.77^2} \right] \times 2500}{\frac{5}{3} + \frac{3 \times 19.74}{8 \times 128.77} - \frac{19.74^3}{8 \times 128.77^3}} = 1433.32 \text{ ksc} \end{aligned}$$

หาแรง Axial Force และ Bending Force

$$\text{Axial Force} = f_a = \frac{P_w}{A} = \frac{45 \times 1000}{173.9} = 258.38 \text{ ksc}$$

$$\text{Bending Force} = f_b = \frac{M}{S_x} = \frac{13.5 \times 10^5}{2300} = 586.96 \text{ ksc}$$

พิจารณาหน่วยแรงรวม

$$\frac{f_a + f_{\Delta r}}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = \frac{258.77 + 231}{1433.32} + \frac{586.96}{0.6 \times 2500} = 0.65 \leq 1 \quad \text{OK}$$

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบเหล็ก H-Beam ขนาดต่างๆที่ใช้ในการออกแบบคานรัดรอบ

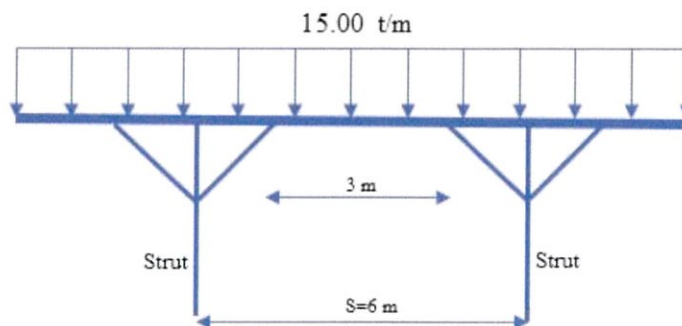
ขนาดของเหล็ก H-Beam	อัตราส่วนความขรุขระ (KL/r)	หน่วยแรงอัดตามแนวแกนที่ยอมให้ (F_o)	หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (F_o)	Axial Force (f_o) + $f_{\Delta r}$	Bending Force (f_b)	หน่วยแรงรวม
H-mmxmmxkg/m	-	ksc	Ksc	ksc	ksc	≤ 1
H-250x250x72.4	27.78	1398.26	1500	719.18	1557.09	1.55
H-300x300x94	22.90	1420.06	1500	606.63	992.65	1.09
H-350x350x137	19.74	1433.32	1500	373.88	586.96	0.73

เพราะฉะนั้นเลือกใช้เหล็ก H-Beam ขนาด 350 mm x 350 mm x 137 kg/m ในการติดตั้งคานรัดรอบ(Wale)

4.4.3 การออกแบบเหล็กค้ำยัน (Strut)

4.4.3.1 ทดลองเลือกขนาดเหล็กและคำนวณแรงที่ถ่ายทอดค้ำยันเหล็ก (Strut)

Struts ทำหน้าที่รับแรงอัดตามแนวแกนเหมือนเสาที่วางในแนวนอนและรับแรงในแนวตั้งเมื่อมีการทำงานบน Struts กำหนดระยะห่างระหว่าง Strut เท่ากับ 6 เมตร DL = ตามขนาดเหล็ก และ LL = 500 kg/m



ภาพที่ 4.14 แสดงแรงกระจายที่กระทำต่อเหล็กค้ำยัน

ตัวอย่างการคำนวณ ทดลองเลือกใช้เหล็ก H-300mm x 300mm x 94 kg/m

$$A = 119.8 \text{ cm}^2, S_x = 1360 \text{ cm}^3, r_x = 13.1 \text{ cm}, r_y = 7.51 \text{ cm} \text{ (ภาคผนวก ก.)}$$

หาแรงตามแนวแกนของ Strut ; $P = R_o \times S = 15 \times 6 = 90 \text{ t}$

แรงในแนวตั้งบน Strut ; $DL+LL = 94+500 = 594 \text{ kg/m}$

$$\text{หาโมเมนต์สูงสุดภายใน Strut } M = \frac{594 \times 6^2}{8} \times \frac{1}{1000} = 2.67 \text{ t-m}$$

4.4.3.2 คำนวณอัตราส่วนความชะลุดและหน่วยแรงรวม

$$\text{อัตราส่วนความชะลุด } \frac{Kl}{r_x} = \frac{(1)(6 \times 100)}{13.1} = 45.8$$

$$\text{ค่า } C_c \text{ ของเหล็ก A36 มีค่าประมาณ } 128.8 \geq \frac{Kl}{r}$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ } F_a &= \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2 \times C_c^2} \right] \times F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3 \times (Kl/r)}{8 \times C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8 \times C_c^3}} \\ &= \frac{\left[1 - \frac{45.8^2}{2 \times 128.77^2} \right] \times 2500}{\frac{5}{3} + \frac{3 \times 45.8}{8 \times 128.77} - \frac{45.8^3}{8 \times 128.77^3}} = 1305.15 \text{ ksc} \end{aligned}$$

หาแรง Axial Force และ Bending Force

$$\text{Axial Force} = f_a = \frac{P_w}{A} = \frac{90 \times 1000}{119.8} = 751.8 \text{ ksc}$$

$$\text{Bending Force} = f_b = \frac{M}{S_x} = \frac{2.67 \times 10^5}{1360} = 196.32 \text{ ksc}$$

พิจารณาหน่วยแรงรวม

$$\frac{f_a + f_{\Delta r}}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = \frac{751.8 + 231}{1305.15} + \frac{196.32}{0.6 \times 2500} = 0.88 \leq 1 \quad \text{OK}$$

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบเหล็ก H-Beam ขนาดต่างๆที่ใช้ในการออกแบบค้ำยัน

ขนาดของเหล็ก H-Beam	อัตราส่วนความขะลุค (KL/r)	หน่วยแรงอัดตามแนวแกนที่ยอมให้ (F_o)	หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (F_b)	Axial Force (f_o) + $f_{\Delta t}$	Bending Force (f_b)	หน่วยแรงรวม
H-mmxmmxkg/m	-	ksc	Ksc	ksc	ksc	≤ 1
H-250x250x72.4	55.56	1246.92	1500	1207.35	296.42	1.16
H-300x300x94	45.80	1305.15	1500	982.25	196.32	0.88
H-350x350x137	39.47	1340.06	1500	633.04	124.78	0.65

เพราะฉะนั้นเลือกใช้เหล็ก H-Beam ขนาด 300 mm x 300 mm x 94 kg/m ในการติดตั้งค้ำยัน (Strut)

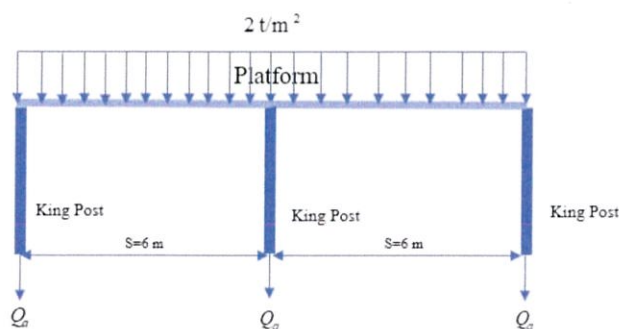
4.4.4 การออกแบบเหล็กหลัก (King Post)

4.4.4.1 การออกแบบ Plat form

ในส่วนของ Plat form นั้นได้ออกแบบให้ King Post รับแรงในแนวแกนจากน้ำหนักจาก Surcharge ของ Platform เท่านั้น โดยกำหนดน้ำหนักจรในการออกแบบเท่ากับ 2 t/m^2 และให้ปลายเสาเหล็กอยู่ลึก 20 เมตร โดยให้ค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Safety Factor) เท่ากับ 1.2

4.4.4.2 คำนวณแรงที่ Platform ถ่ายลง King Post แต่ละต้น

$$\text{แรงที่กระทำต่อ King Post เท่ากับ } Q_o = 2 \times 6 \times \frac{6}{2} = 36 \text{ t}$$

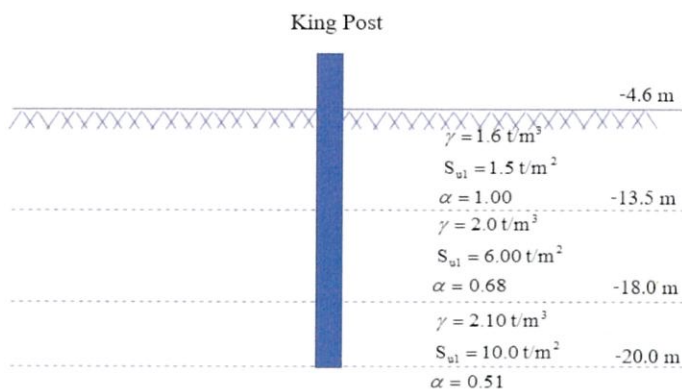


ภาพที่ 4.15 แสดงแรงกระจายที่กระทำต่อเหล็กหลัก (King Post) แต่ละต้น

4.4.4.2 ทดลองเลือกขนาดเหล็ก

ตัวอย่างการคำนวณ ทดลองเลือกใช้เหล็ก H-300mm x 300mm x 94 kg/m

$$A = 119.8 \text{ cm}^2, S_x = 1360 \text{ cm}^3, r_x = 13.1 \text{ cm}, r_y = 7.51 \text{ cm} \text{ (ภาคผนวก ก.)}$$



ภาพที่ 4.16 แสดงคุณสมบัติของชั้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์

4.4.4.3 คำนวณกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของ King Post

เสาเหล็กหลัก (King Post) มีพฤติกรรมการรับน้ำหนักเหมือนกับเสาเข็ม เพราะฉะนั้นสามารถใช้สูตรการคำนวณของเสาเข็มมาคำนวณได้เลย

$$\text{จาก } Q_o = \sum Q_f + Q_b - W_b$$

คำนวณแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (Q_f)

ที่ระดับ -4.60 ถึง -13.50 :

$$Q_{f_1} = \alpha_1 S_{u_1} A_p = 1 \times 1.5 \times [0.3 \times 4 \times (13.5 - 4.6)] = 16.02 \text{ t}$$

ที่ระดับ -13.50 ถึง -18.00 :

$$Q_{f_2} = \alpha_2 S_{u_2} A_p = 0.68 \times 6 \times [0.3 \times 4 \times (18 - 13.5)] = 22.03 \text{ t}$$

ที่ระดับ -18.00 ถึง -20.00 :

$$Q_{f_3} = \alpha_3 S_{u_3} A_p = 0.51 \times 10 \times [0.3 \times 4 \times (20 - 18)] = 12.24 \text{ t}$$

ผลรวมของแรงเสียดทานผิว

$$\sum Q_f = 16.02 + 22.03 + 12.24 = 50.29 \text{ t}$$

เนื่องจากเหล็กมีผิวที่ลื่นกว่าผิวคอนกรีตจึงลดแรงเสียดทานผิว 20 %

$$\therefore \sum Q_f = 0.8 \times 50.29 = 40.23 \text{ t}$$

คำนวณแรงต้านปลายเสาเข็ม (Q_b):

$$Q_b = 9S_u A_e = 9 \times 10 \times (0.3 \times 0.3) = 8.1 \text{ t}$$

คำนวณน้ำหนักของเสาเข็ม (W_b): $W_b = 0.094 \times 20 = 1.88 \text{ t}$

กำลังรับน้ำหนักประลัย (Q_u):

$$Q_u = 40.23 + 8.1 - 1.88 = 50.45 \text{ t}$$

ตรวจสอบค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Safety Factor)

$$F.S. = \frac{Q_u}{Q_o} = \frac{50.45}{36} = 1.40 \geq 1.2 \text{ OK}$$

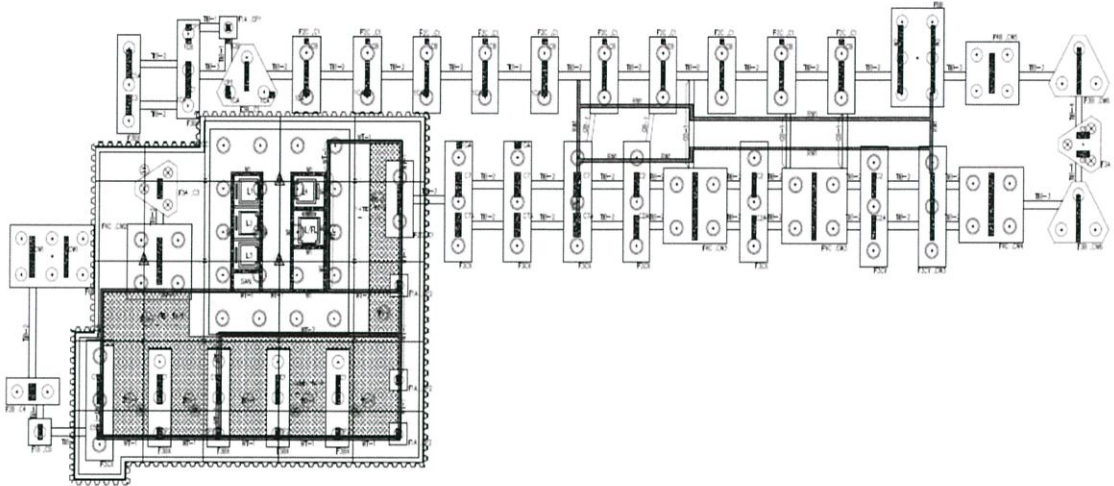
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบเหล็ก H-Beam ขนาดต่างๆที่ใช้ในการออกแบบเสาเหล็กหลัก

ขนาดของเหล็ก H-Beam ยาว 20 m	น้ำหนัก บรรทุกที่ ยอมให้ (Q_o)	แรงเสียด ทานผิวของ เสาเข็ม (Q_f)	แรงต้าน ปลาย เสาเข็ม (Q_b)	น้ำหนัก ของ เสาเข็ม (W_b)	กำลังรับ น้ำหนัก ประลัย (Q_u)	ค่าสัดส่วน ความ ปลอดภัย (F.S.)
H-mmxmmxkg/m	ton	ton	ton	ton	ton	≥ 1.2
H-250x250x72.4	36.0	34.25	5.62	1.45	38.42	1.06
H-300x300x94	36.0	40.23	8.1	1.88	50.45	1.40
H-350x350x137	36.0	47.94	11.02	2.74	56.22	1.56

เพราะฉะนั้นเลือกใช้เหล็ก H-Beam ขนาด 300 mm x 300 mm x 94 kg/m ในการปักทำเป็นเสาเหล็กหลัก (King Post)

4.5 การติระบบกำแพงกันดินแบบเข็มพืดพร้อมค้ำยัน

1 ทำการสำรวจพื้นที่พบว่าดินที่ระดับ 0.00 ถึงระดับ -1.00 m เป็นดินที่มีซากวัสดุปะปนอยู่ จึงทำการตักคัดดินออกเป็นระยะ -1.00 m และทำการกำหนดแนว Sheet Pile กับ King Post ตามแบบ Shop Drawing



ภาพที่ 4.17 แสดงตำแหน่งที่จะปัก Sheet Pile กับ King Post

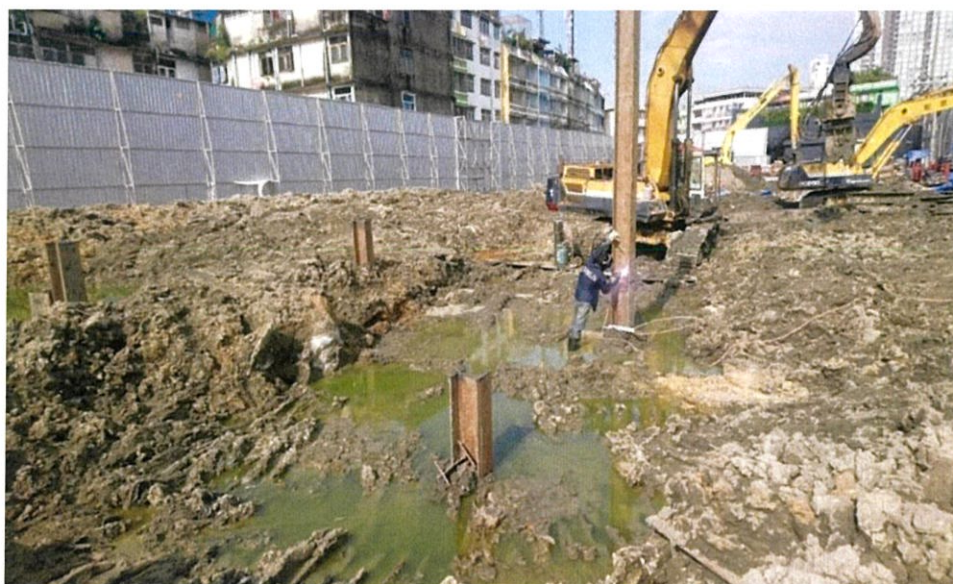


ภาพที่ 4.18 แสดงงานขุดดิน

2. จากนั้นทำการตอก Sheet Pile โดยใช้ Backhoe Vibro ที่ระดับ -1.00 m และตอก King Post ที่ระดับ 1.60 m



ภาพที่ 4.19 แสดงงานตอก Sheet Pile



ภาพที่ 4.20 แสดงงานตอก King Post



ภาพที่ 4.21 แสดงแนวการตอก Sheet Pile

3. เมื่อตอก Sheet Pile และ King Post แล้วเสร็จแล้ว ให้ทำการขุดดินต่อไปถึงระดับ -3.00 m เพื่อเตรียมติดตั้งสะพานชั่วคราวและค้ำยันชั้นที่ 1



ภาพที่ 4.22 แสดงการขุดดินให้ถึงระดับที่ทำการติดตั้งค้ำยันชั้นที่ 1

4. ติดตั้ง Support โดยรอบ Sheet Pile และที่เสา King Post เพื่อรองรับ Bracing ชั้นที่ 1 พร้อมกับการติดตั้งสะพานชั่วคราว



ภาพที่ 4.23 ภาพแสดงการติดตั้ง Support และ สะพานชั่วคราว

5. ติดตั้ง Support เสร็จ ให้ทำการติดตั้งค้ำยันชั้นที่ 1 ไปชนแนว Sheet Pile ที่ระดับ 1.90 m (upper) และระดับ 2.60 m (bottom) และเมื่อติดตั้งเสร็จให้ทำการเทคอนกรีต Lean หลัง Wale และในร่อง wale ตลอดแนว



ภาพที่ 4.24 แสดงการติดตั้งค้ำยัน



ภาพที่ 4.25 แสดงงานเท lean คอนกรีต หลัง Wale และร่อง Wale

6. ทำการ Preload 30-40% ของค่าแรงที่ใช้ในการออกแบบ



ภาพที่ 4.26 แสดงงาน Preload

7. เมื่อ Preload เรียบร้อยแล้ว ให้ทำการขุดดินจนถึงระดับที่ทำการเทริน (เปิดหน้าดินที่
ละส่วน) และทำงานในส่วนของงาน Footing และทำการเท Lean โดยรอบแนว Sheet Pile โดยรอบ
เพื่อช่วยดันดินด้านล่าง



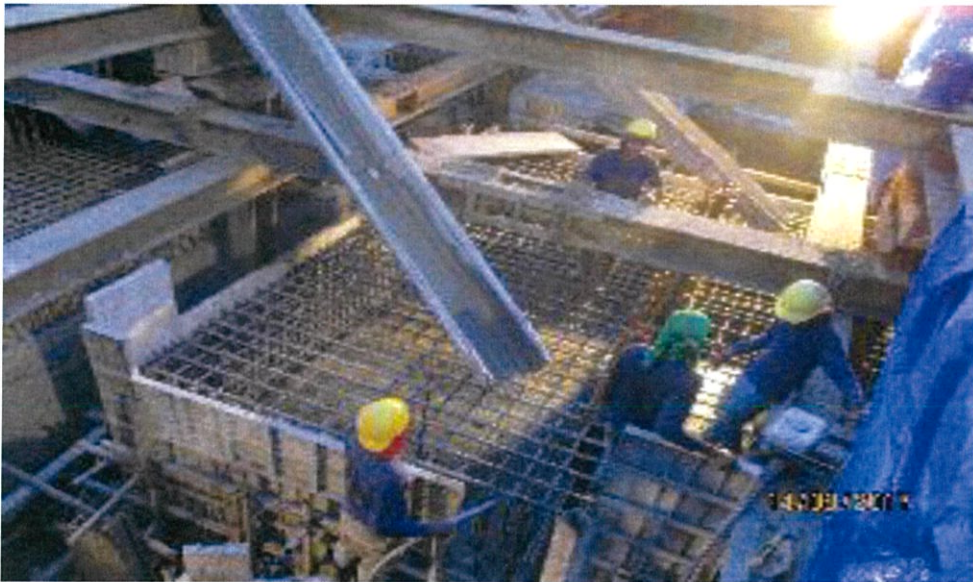
ภาพที่ 4.27 แสดงงานขุดดินครั้งที่ 2 ถึงระดับที่จะทำงานฐานราก



ภาพที่ 4.28 แสดงงานตัดหัวเข็มภายในบ่อเพื่อทำงานฐานราก

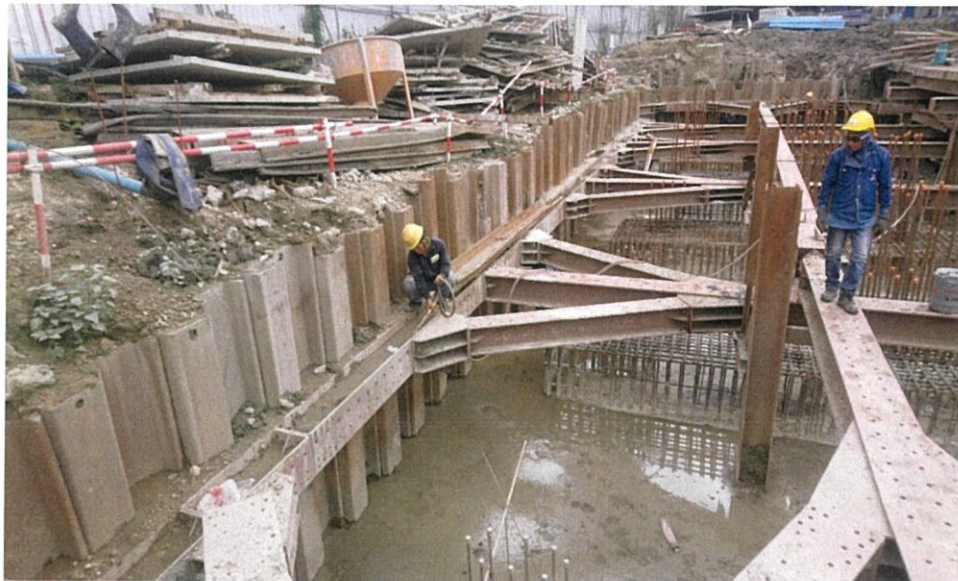


ภาพที่ 4.29 แสดงงานตรวจตำแหน่งฐานราก



ภาพที่ 4.30 แสดงงานเทฐานรากภายในบ่อ

8. เมื่อทำงานโครงสร้างฐานรากภายในบ่อให้เสร็จ ให้ทำการรื้อ Bracing ออกแล้วทำการถมดินโดยรอบฐานรากและเท Lean หนา 5.00 cm เพื่อปรับหน้าดินให้ได้ระดับ จากนั้นทำงานในส่วนโครงสร้างพื้นและผนังบ่อน้ำใต้ดิน



ภาพที่ 4.31 แสดงการรื้อถอน Wale และ Bracing



ภาพที่ 4.32 แสดงงานเทพื้นบ่อน้ำใต้



ภาพที่ 4.33 แสดงการติดตั้งค้ำยันแบบเทคอนกรีตผนังบ่อน้ำดี



ภาพที่ 4.34 แสดงงานเทคอนกรีตผนังบ่อน้ำดี

9. เมื่อทำงานโครงสร้างในส่วนผนังบ่อเสร็จแล้วให้ทำการถอน Sheet pile ทั้งหมด รื้อสะพานชั่วคราว และถอน king Post ออก



ภาพที่ 4.35 แสดงงานรื้อถอน Sheet Pile



ภาพที่ 4.36 แสดงงานรื้อถอนสะพานชั่วคราว



ภาพที่ 4.37 แสดงงานรื้อถอน king Post



ภาพที่ 4.38 แสดงงานพื้นปอน้ำด้านบน

ตารางที่ 4.5 แสดงแผนงานก่อสร้างระบบป้องกันดินพัง

ลำดับงาน	มิ.ย.60	ก.ค.60	ส.ค.60	ก.ย.60	ต.ค.60	พ.ย.60
1. งานขนย้าย Sheet Pile						
2. งานกด Sheet Pile และ King Post						
3. งานขุดดินชั้นที่ 1 ระดับ -3.20 เมตร						
4. งานติดตั้งสะพานและค้ำยัน						
5. งานขุดดินชั้นที่ 2 ระดับ -5.40 เมตร						
6. งานเทฐาน Footing ใต้บ่อ						
7. งานรื้อถอนค้ำยัน						
8. งานเทพนังบ่อและพื้นบ่อ						
9. งานรื้อถอน Sheet Pile และ King Post						

4.6 การตรวจสอบงานระบบป้องกันดิน

เนื่องจากงานก่อสร้างเป็นระบบป้องกันดินชั่วคราว การตรวจสอบพฤติกรรมระหว่างการก่อสร้าง จะเน้นในเรื่องพฤติกรรมเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงกันดินเป็นหลัก จากผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน โดยการใส่ค่าพิงกันไว้ที่หัวของ Sheet Pile แล้วทำการสอบวัดค่าพิงกัณฑ์และจดบันทึก ทุก 3-4 วัน ซึ่งสามารถคำนวณค่าการเคลื่อนตัวของ Sheet Pile ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงระยะการเคลื่อนตัวเฉลี่ยในแต่ละวันของระบบป้องกันดินพัง วันที่ 10 / 07 / 2017

จุดที่	N (ค่าพิกัดอ้างอิง)	E (ค่าพิกัดอ้างอิง)	N (ค่าพิกัดที่วัดได้)	E (ค่าพิกัดที่วัดได้)	ระยะการ เคลื่อนตัว (mm)
1	2019.328	922.223	2019.309	922.239	24.8
2	2020.868	916.807	2020.848	916.824	26.2
3	2023.173	909.191	2023.152	909.199	22.4
4	2024.883	903.059	2024.859	903.057	24.1
5	2026.475	897.952	2026.463	897.962	15.6
6	2025.671	896.555	2025.648	896.597	47.9
7	2026.514	893.787	2026.489	893.824	44.6
8	2028.418	893.394	2028.408	893.425	32.6
9	2033.822	894.886	2033.803	894.880	19.9
10	2037.188	895.725	2037.190	895.730	5.4
11	2037.897	897.957	-	-	-
12	2043.135	899.699	2043.086	899.735	60.8
13	2049.172	901.476	2049.141	901.507	43.8
14	2049.687	904.182	2049.662	904.214	40.6
15	2047.489	910.465	2047.460	910.484	34.7
16	2049.554	912.034	2049.534	912.050	25.6
17	2047.490	919.038	2047.473	919.036	17.1
18	2045.216	925.863	2045.206	925.883	22.4
19	2044.106	929.679	2044.157	929.682	51.1
20	2040.840	929.197	2040.845	929.175	22.6
21	2035.465	927.466	2035.463	927.421	45.0
22	2025.734	924.426	2025.741	924.406	21.2
23	2020.656	922.996	2020.667	922.977	11.0

หมายเหตุ : - คือ ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้เนื่องจากมีสิ่งของก้ำบัง

ตารางที่ 4.7 แสดงระยะการเคลื่อนตัวเฉลี่ยในแต่ละวันของระบบป้องกันดินพัง วันที่ 13 / 07 / 2017

จุดที่	N (ค่าพิกัดอ้างอิง)	E (ค่าพิกัดอ้างอิง)	N (ค่าพิกัดที่วัดได้)	E (ค่าพิกัดที่วัดได้)	ระยะการ เคลื่อนตัว (mm)
1	2019.328	922.223	2019.321	922.238	16.5
2	2020.868	916.807	2020.897	916.758	56.9
3	2023.173	909.191	2023.165	909.180	13.6
4	2024.883	903.059	2024.879	903.061	4.47
5	2026.475	897.952	2026.472	897.957	14.1
6	2025.671	896.555	2025.652	896.599	47.9
7	2026.514	893.787	2026.497	893.810	28.6
8	2028.418	893.394	2028.423	893.419	25.5
9	2033.822	894.886	2033.803	894.914	33.8
10	2037.188	895.725	2037.169	895.777	55.4
11	2037.897	897.957	-	-	-
12	2043.135	899.699	2043.129	899.684	16.2
13	2049.172	901.476	2049.156	901.512	39.4
14	2049.687	904.182	2049.694	904.216	34.7
15	2047.489	910.465	2047.473	910.498	36.7
16	2049.554	912.034	2049.544	912.060	27.8
17	2047.490	919.038	2047.470	919.023	25.0
18	2045.216	925.863	2045.194	925.903	45.6
19	2044.106	929.679	2044.115	929.712	34.2
20	2040.840	929.197	2040.853	929.199	13.2
21	2035.465	927.466	2035.458	927.458	10.6
22	2025.734	924.426	2025.739	924.463	37.3
23	2020.656	922.996	2020.667	923.002	12.5

หมายเหตุ : - คือ ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้เนื่องจากมีสิ่งของก้ำบัง

ตารางที่ 4.8 แสดงระยะการเคลื่อนตัวเฉลี่ยในแต่ละวันของระบบป้องกันดินพัง วันที่ 19 / 07 / 2017

จุดที่	N (ค่าพิกัดอ้างอิง)	E (ค่าพิกัดอ้างอิง)	N (ค่าพิกัดที่วัดได้)	E (ค่าพิกัดที่วัดได้)	ระยะการ เคลื่อนตัว (mm)
1	2019.328	922.223	2019.296	922.254	44.5
2	2020.868	916.807	2020.828	916.847	56.5
3	2023.173	909.191	2023.147	909.200	27.5
4	2024.883	903.059	2024.859	903.067	25.3
5	2026.475	897.952	2026.453	897.962	10.8
6	2025.671	896.555	2025.648	896.601	51.4
7	2026.514	893.787	2026.482	893.823	48.2
8	2028.418	893.394	2028.408	893.438	45.1
9	2033.822	894.886	2033.788	894.929	54.8
10	2037.188	895.725	-	-	-
11	2037.897	897.957	-	-	-
12	2043.135	899.699	2043.081	899.707	54.6
13	2049.172	901.476	2049.140	901.494	36.7
14	2049.687	904.182	2049.687	904.218	36.0
15	2047.489	910.465	2047.468	910.498	39.1
16	2049.554	912.034	2049.536	912.076	45.7
17	2047.490	919.038	2047.451	919.027	40.5
18	2045.216	925.863	2045.180	925.890	45.0
19	2044.106	929.679	2044.119	929.713	36.4
20	2040.840	929.197	-	-	-
21	2035.465	927.466	-	-	-
22	2025.734	924.426	2025.723	924.460	35.7
23	2020.656	922.996	2020.646	923.015	21.5

หมายเหตุ : - คือ ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้เนื่องจากมีสิ่งของก้ำบัง

ตารางที่ 4.9 แสดงระยะการเคลื่อนตัวเฉลี่ยในแต่ละวันของระบบป้องกันดินพัง วันที่ 22 / 07 / 2017

จุดที่	N (ค่าพิกัดอ้างอิง)	E (ค่าพิกัดอ้างอิง)	N (ค่าพิกัดที่วัดได้)	E (ค่าพิกัดที่วัดได้)	ระยะการ เคลื่อนตัว (mm)
1	2019.328	922.223	2019.326	922.245	22.1
2	2020.868	916.807	-	-	-
3	2023.173	909.191	-	-	-
4	2024.883	903.059	2024.854	903.077	34.1
5	2026.475	897.952	2026.455	897.954	2.8
6	2025.671	896.555	2025.655	896.612	59.2
7	2026.514	893.787	2026.510	893.840	53.2
8	2028.418	893.394	2028.417	893.431	37.0
9	2033.822	894.886	2033.833	894.914	30.1
10	2037.188	895.725	-	-	-
11	2037.897	897.957	-	-	-
12	2043.135	899.699	2043.106	899.732	43.9
13	2049.172	901.476	2049.149	901.495	29.8
14	2049.687	904.182	2049.676	904.209	29.2
15	2047.489	910.465	2047.468	910.496	37.4
16	2049.554	912.034	2049.548	912.083	49.4
17	2047.490	919.038	2047.456	919.023	37.2
18	2045.216	925.863	2045.202	925.895	34.9
19	2044.106	929.679	2044.131	929.721	48.9
20	2040.840	929.197	-	-	-
21	2035.465	927.466	-	-	-
22	2025.734	924.426	2025.730	924.476	50.2
23	2020.656	922.996	2020.657	923.009	13.0

หมายเหตุ : - คือ ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้เนื่องจากมีสิ่งของก้ำบัง

จากตารางที่บันทึกผลการเคลื่อนตัวของ Sheet Pile ข้างต้นพบว่ามีการเคลื่อนตัวมากที่สุด อยู่ประมาณ 50-60 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยสามารถทำงานก่อสร้างต่อไปได้



ภาพที่ 4.39 แสดงการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของระบบกำแพงกันดิน

4.7 ปัญหา อุปสรรค และการแก้ไขปัญหา

1. งานขุดดินทำได้ล่าช้าเนื่องจากภายในโครงการมีขนาดเล็กไม่สามารถขุดดินไว้ภายในโครงการได้ จึงต้องทำการขุดดินออกนอกโครงการ จึงติดปัญหาจราจรบางเวลาไม่สามารถที่จะขุดดินออกนอกโครงการได้

วิธีแก้ไขปัญหา : ทำการคุยกับจราจรขอช่วงเวลาที่ทำการขุดดิน

2. ในระหว่างช่วงก่อสร้างมีฝนตกหนักเป็นส่วนใหญ่ทำให้การทำงานบางอย่างไม่สามารถทำได้ ทำให้งานเกิดการล่าช้า เช่น เกิดน้ำขังภายในบ่อ การเชื่อมเข้าแบบทำไม่ได้ เป็นต้น

วิธีแก้ไขปัญหา : ทำการเร่งสูบน้ำออกจากบ่อเพื่อทำงานต่อ ส่วนงานเข้าแบบให้รีบทำก่อนที่ฝนจะตก

3. ในขณะทำการรื้อถอน King Post รถ Vibratory Hammer เกิดปัญหาทำให้ทำงานได้ล่าช้ากว่ากำหนด

วิธีแก้ไขปัญหา : รีบทำการซ่อมแซม Vibratory Hammer เพื่อทำงานต่อ

4. หลังจากทำการรื้อถอน Sheet Pile ไปแล้ว เกิดรอยร้าวที่บ้านข้างเคียง บริเวณติดกับโครงการ

วิธีแก้ไขปัญหา : เข้าไปคุยกับทางบ้านข้างเคียงเพื่อเข้าซ่อมแซมช่วยเหลือ



ภาพที่ 4.40 แสดงปัญหาฝนตกหนักทำให้น้ำท่วมภายในบ่อ



ภาพที่ 4.41 แสดง Vibratory Hammer เกิดปัญหา



ภาพที่ 4.42 แสดงปัญหาการเกิดรอยร้าวที่ผนังบริเวณบ้านเคียง

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 การเลือกใช้ระบบป้องกันดิน

การก่อสร้างระบบป้องกันดินพังเพื่อก่อสร้างบ่อน้ำดีภายในโครงการเดอะทรี สุขุมวิท 71-เอกมัย ในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ได้มีการวางแผนคัดเลือกกระบบป้องกันดินพังโดยพิจารณาจากปัจจัยดังต่อไปนี้ 1.สภาพชั้นดิน 2.ขนาดสภาพแวดล้อมที่ทำการก่อสร้าง 3.วิธีการก่อสร้าง และ 4.ระยะเวลาในการก่อสร้าง จากการพิจารณา ได้เลือกใช้ระบบป้องกันดินพังแบบระบบค้ำยันแบบเข็มพืดโดยพร้อมทั้งระบบค้ำยัน 1 ชั้น โดยมีการอัดแรง (Preload) เพื่อช่วยลดการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

5.2 การคำนวณและออกแบบ

จากการคำนวณออกแบบระบบค้ำยันแบบเข็มพืดได้เลือกใช้ เข็มพืด SP 3 ยาว 12 เมตร โดยทำการคำนวณตรวจสอบค่า Heave effect และค่า Section Modulus ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนด และเลือกใช้คานรัตรอบด้วยเหล็ก H-Beam ขนาด 350mm x 350mm โดยได้ตรวจสอบหน่วยแรงรวมใช้งานแล้วว่าสามารถรับน้ำหนักจากแรงดันดินด้านข้างได้ เลือกใช้เหล็ก H-Beam ขนาด 300mm x 300mm เป็นเหล็กค้ำยันคอยรับแรงที่ถ่ายลงมาจากคานรัตรอบ สุดท้ายเลือกใช้เหล็ก H-Beam ขนาด 300mm x 300mm ยาว 20 เมตร เป็นเสาหลักคอยรับน้ำหนักที่ถ่ายจากแผ่นเหล็กที่ใช้ทำสะพานชั่วคราวและใช้เป็นตัวลงไม่ให้ค้ำยันเกิดการแอ่นตัว ซึ่งจากที่ได้คำนวณและออกแบบได้นำมาเปรียบเทียบการการใช้งานจริง โดยผู้รับเหมาบริษัท FONG FU MACHINERY ตามตารางดังนี้ ตารางที่ 5.1 เปรียบระบบค้ำยันกับทางผู้รับเหมา

วัสดุอุปกรณ์	จากนักศึกษา	จากผู้รับเหมา
เข็มพืด	SP 3 ยาว 12 เมตร	SP 3 ยาว 12 เมตร
คานรัตรอบ	H-Beam 350 mm x 350mm x137 kg/m	H-Beam 350 mm x 350mm x137 kg/m
ค้ำยัน Y 60° (Spacing 6 เมตร)	H-Beam 300 mm x 300mm x94 kg/m	H-Beam 350 mm x 350mm x137 kg/m
เสาหลัก	H-Beam 300 mm x 300mm x94 kg/m ยาว 20 เมตร	H-Beam 300 mm x 300mm x94 kg/m ยาว 20 เมตร

จากตารางข้างต้นพบว่าวัสดุที่ออกแบบและใช้งานจริงต่างกันที่ค้ำยันซึ่งทางผู้รับเหมาหลัก ออกแบบได้ใช้เหล็ก H-Beam ที่ขนาดใหญ่กว่า ซึ่งสามารถรับแรงได้มากกว่าและปลอดภัยกว่า

5.3 การตรวจสอบระบบป้องกันดินพัง

ในการก่อสร้างของระบบป้องกันดินพังเพื่อก่อสร้างบ่อน้ำดี ได้มีการดำเนินการติดตั้งเข็มพืด พร้อมกับค้ำยัน 1 ชั้น แล้วเสร็จโดยรอบบ่อก่อสร้างและได้ดำเนินการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของแนว Sheet Pile ทั้งก่อนและหลังการอัดแรง พบว่ามีค่าการเคลื่อนตัวของเข็มพืด มากที่สุดมีค่าอยู่ที่ ประมาณ 50-60 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยตามที่กำหนด อย่างไรก็ตามในการก่อสร้าง ระบบค้ำยันแบบเข็มพืดนั้นมีความยืดหยุ่นที่สูงมาก การเคลื่อนตัวและทรุดตัวเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยง ไม่ได้ แต่เราสามารถควบคุมให้มันอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยได้ โดยผ่านการคำนวณ การดูแลการก่อสร้าง อย่างใกล้ชิด ทั้งนี้ก็ต้องคอยระมัดระวังในขั้นตอนการขุดดินไม่ให้คนงานไปกองดินบนบริเวณรอบปาก บ่อ เพราะจะเป็นการเพิ่ม Surcharge ซึ่งอาจส่งผลทำให้ Sheet pile รับน้ำหนักมากกว่าที่คำนวณไว้ จนทำให้ Sheet Pile เกิดการวิบัติได้

5.4 ปัญหา อุปสรรค และการแก้ไขปัญหา

เนื่องจากภายในโครงการมีพื้นที่ขนาดเล็กไม่สามารถกองดินไว้ภายในโครงการเพื่อใช้ในงานส่วนอื่นๆได้ ส่งผลให้ต้องทำการขนย้ายดินออกนอกโครงการอยู่ตลอดเวลาซึ่งเป็นการเพิ่ม ค่าใช้จ่ายและเสียเวลาประกอบกับทำการก่อสร้างในฤดูฝนทำให้ในช่วงก่อสร้างมีฝนตกหนักเป็นช่วงๆ ก่อให้เกิดน้ำท่วมภายในบ่อขุดจึงต้องเสียเวลาในการสูบน้ำออกจากบ่อจึงจะสามารถทำการก่อสร้าง ต่อได้เป็นเหตุให้งานเกิดความล่าช้าจากแผนที่วางไว้และในช่วงถอนการติดตั้งเข็มพืดเครื่อง Vibratory Hammer เกิดเหตุขัดข้องทางผู้รับเหมาต้องเร่งแก้ไขเพื่อรีบจบ จึงไม่ได้ติดตั้งเครื่อง ตรวจวัดแรงสั่นสะเทือน เป็นเหตุให้เกิดผลกระทบต่อบ้านข้างเคียง ทางบริษัทผู้รับเหมาได้ทำการ ช่วยเหลือและเยียวยาซ่อมแซมบ้านให้เป็นการแก้ไข

เอกสารอ้างอิง

ดร. ชนาดล คงสมบูรณ์. (2548), วิศวกรรมฐานราก. เอกสารประกอบการสอน.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

พรพจน์ ตั้งเส็ง. (2554). วิศวกรรมฐานราก. เอกสารประกอบการสอน. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา. (ออนไลน์). แหล่งที่มา :

http://www.tumcivil.com/engfanatic/article_gen.php?article_id=989&hit=1

พรพจน์ ตั้งเส็ง. (2554). ปฐพีกลศาสตร์. เอกสารประกอบการสอน. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา. (ออนไลน์). แหล่งที่มา :

<http://www.gooshared.com/g/MTYyMC0x>

ดร. พัลลภ วิสุทธิ์เมธานุกุล. (2558). คู่มือวิศวกรรมฐานราก. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด

(มหาชน)

ผศ.ดร. มงคล จิรวัชรเดช. (2548). การออกแบบโครงสร้างเหล็ก. สาขาวิศวกรรมศาสตร์.

สำนักวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

นครราชสีมา. (ออนไลน์). แหล่งที่มา :

http://www.tumcivil.com/engfanatic/article_gen.php?article_id=676&hit=1

รศ.ดร. วรากร ไม้เรียง (2553). วิศวกรรมฐานราก. เอกสารประกอบการสอน.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. (ออนไลน์). แหล่งที่มา :

http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Graduate/Downloads/warakorn/Found_ กำแพงกันดิน_1BW.pdf

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

ดร. วิชาญ ภูพัฒน์. (2530). ลักษณะ ชนิด การใช้งานและพฤติกรรมของ Sheet Pile

ในการก่อสร้าง. การออกแบบและก่อสร้าง Sheet Pile. การสัมมนาทางวิชาการจัดโดย คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. (หน้า1-49). กรุงเทพฯ. (ออนไลน์). แหล่งที่มา :

http://www.tumcivil.com/engfanatic/article_gen.php?article_id=1254&hit=1

รศ.ดร. วันชัย เทพรักษ์. (2544). การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของชั้นดินกรุงเทพฯ เนื่องจากการ

ก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 7.กรุงเทพมหานคร.

รศ.ดร. วันชัย เทพรักษ์. (2552). การออกแบบและการใช้งาน Sheet Pile

ในงานชุดในดินเหนียวอ่อน. เอกสารประกอบการสอน. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา.

จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

(ออนไลน์). แหล่งที่มา :

http://www.tumcivil.com/engfanatic/article_gen.php?article_id=881&hit=1

รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข. (xxxx). วิศวกรรมฐานราก. เอกสารประกอบการสอน.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา. (ออนไลน์).

แหล่งที่มา : <http://eng.sut.ac.th/ce/oldce/Suksun/Chapter6.pdf>

ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ (2530). การคำนวณแรงดันดินด้านข้างและข้อมูลดิน

ในการออกแบบก่อสร้าง. การออกแบบและก่อสร้าง Sheet Pile. การสัมมนาทางวิชาการ จัดโดยคณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. (หน้า51-90). กรุงเทพฯ

(ออนไลน์). แหล่งที่มา :

http://www.tumcivil.com/engfanatic/article_gen.php?article_id=1254&hit=1

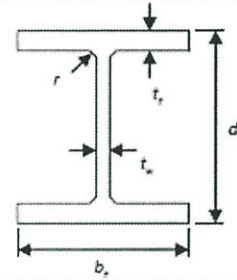
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

หน้าตัดเหล็กgrupพรรณที่นำไปใช้ในการคำนวณ

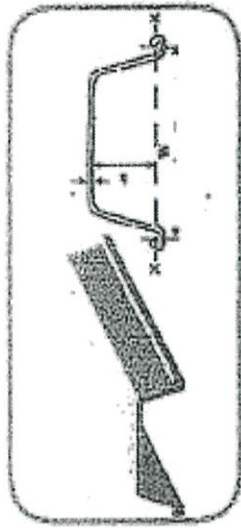
ตารางเหล็กรูปตัด W และ H

คุณสมบัติของเหล็กรูปตัด W และ H												
หน้าตัด	ขนาด			ความหนา		พื้นที่หน้าตัด	โมเมนต์อินเนอร์เซีย		รัศมีไจเรชั่น		โมเมนต์หน้าตัด	
	d	b_f	r	t_w	t_f	A	I_x	I_y	r_x	r_y	S_x	S_y
mm × kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³
900×286	912	302	28	18	34	364.0	498,000	15,700	37.0	6.56	10,900	1,040
900×243	900	300	28	16	28	309.8	411,000	12,600	36.4	6.39	9,140	843
900×213	890	299	28	15	23	270.9	345,000	10,300	35.7	6.16	7,760	688
800×241	808	302	28	16	30	307.6	339,000	13,800	33.2	6.70	8,400	915
800×210	800	300	28	14	26	267.4	292,000	11,700	33.0	6.62	7,290	782
800×191	792	300	28	14	22	243.4	254,000	9,930	32.3	6.39	6,410	662
700×215	708	302	28	15	28	273.6	237,000	12,900	29.4	6.86	6,700	853
700×185	700	300	28	13	24	235.5	201,000	10,800	29.3	6.78	5,760	722
700×166	692	300	28	13	20	211.5	172,000	9,020	28.6	6.53	4,980	602
600×175	594	302	28	14	23	222.4	137,000	10,600	24.9	6.90	4,620	701
600×151	588	300	28	12	20	192.5	118,000	9,020	24.8	6.85	4,020	601
600×137	582	300	28	12	17	174.5	103,000	7,670	24.3	6.63	3,530	511
600×134	612	202	22	13	23	107.7	103,000	3,180	24.6	4.31	3,380	314
600×120	606	201	22	12	20	152.5	90,400	2,720	24.3	4.22	2,980	271
600×106	600	200	22	11	17	134.4	77,600	2,280	24.0	4.12	2,590	228
600×94.6	596	199	22	10	15	120.5	68,700	1,980	23.9	4.05	2,310	199
500×128	488	300	26	11	18	163.5	71,000	8,110	20.8	7.04	2,910	541
500×114	482	300	26	11	15	145.5	60,400	6,760	20.4	6.82	2,500	451
500×103	506	201	20	11	19	131.3	56,500	2,580	20.7	4.43	2,230	257
500×89.6	500	200	20	10	16	114.2	47,800	2,140	20.5	4.33	1,910	214
500×79.5	496	199	20	9	14	101.3	41,900	1,840	20.3	4.27	1,690	185
450×124	440	300	24	11	18	157.4	56,100	8,110	18.9	7.18	2,550	541
450×106	434	299	24	10	15	135.0	46,800	6,690	18.6	7.04	2,160	448
450×76.0	450	200	18	9	14	96.76	33,500	1,870	18.6	4.40	1,490	187
450×66.2	446	199	18	8	12	84.30	28,700	1,580	18.5	4.33	1,290	159
400×605	498	432	22	45	70	770.1	298,000	94,400	19.7	11.1	12,000	4,370
400×415	458	417	22	30	50	528.6	187,000	60,500	18.8	10.7	8,170	2,900
400×283	428	407	22	20	35	360.7	119,000	39,400	18.2	10.4	5,570	1,930
400×232	414	405	22	18	28	295.4	92,800	31,000	17.7	10.2	4,480	1,530
400×200	406	403	22	16	24	254.9	78,000	26,200	17.5	10.1	3,840	1,300
400×197	400	408	22	21	21	250.7	70,900	23,800	16.8	9.75	3,540	1,170
400×172	400	400	22	13	21	218.7	66,600	22,400	17.5	10.1	3,330	1,120
400×168	394	405	22	18	18	214.4	59,700	20,000	16.7	9.65	3,030	985
400×147	394	398	22	11	18	186.8	56,100	18,900	17.3	10.1	2,850	951
400×140	388	402	22	15	15	178.5	49,000	16,300	16.6	9.54	2,520	809
400×107	390	300	22	10	16	136.0	38,700	7,210	16.9	7.28	1,980	481
400×94.3	386	299	22	9	14	120.1	33,700	6,240	16.7	7.21	1,740	418



ตารางเหล็กรูปตัด W และ H (ต่อ)

หน้าตัด	ขนาด			ความหนา		พื้นที่ หน้าตัด <i>A</i>	โมเมนต์ อินเนอร์เซีย		รัศมี จายเรชั่น		โมคลัส หน้าตัด	
	<i>d</i>	<i>b_f</i>	<i>r</i>	<i>t_w</i>	<i>t_f</i>		<i>I_x</i>	<i>I_y</i>	<i>r_x</i>	<i>r_y</i>	<i>S_x</i>	<i>S_y</i>
mm × kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³
400×66.0	400	200	16	8	13	84.12	23,700	1,740	16.8	4.54	1,190	174
400×56.6	396	199	16	7	11	72.16	20,000	1,450	16.7	4.48	1,010	145
350×159	356	352	20	14	22	202.0	47,600	16,000	15.3	8.90	2,670	909
350×156	350	357	20	19	19	198.4	42,800	14,400	14.7	8.53	2,450	809
350×137	350	350	20	12	19	173.6	40,300	13,600	15.2	8.84	2,300	776
350×131	344	354	20	16	16	166.6	35,300	11,800	14.6	8.43	2,050	669
350×115	344	348	20	10	16	146.0	33,300	11,200	15.1	8.78	1,940	646
350×106	338	351	20	13	13	135.3	28,200	9,380	14.4	8.33	1,670	534
350×79.7	340	250	20	9	14	101.5	21,700	3,650	14.6	6.00	1,280	292
350×69.2	336	249	20	8	12	88.15	18,500	3,090	14.5	5.92	1,100	248
350×49.6	350	175	14	7	11	63.14	13,600	984	14.7	3.95	775	112
350×41.4	346	174	14	6	9	52.68	11,100	792	14.5	3.86	641	91
300×106	304	301	18	11	17	134.8	23,400	7,730	13.2	7.57	1,540	514
300×106	300	305	18	15	15	134.8	21,500	7,100	12.6	7.26	1,440	466
300×94.0	300	300	18	10	15	119.8	20,400	6,750	13.1	7.51	1,360	450
300×87.0	298	299	18	9	14	110.8	18,800	6,240	13.0	7.51	1,270	417
300×84.5	294	302	18	12	12	107.7	16,900	5,520	12.5	7.16	1,150	365
300×65.4	298	201	18	9	14	83.36	13,300	1,900	12.6	4.77	893	189
300×56.8	294	200	18	8	12	72.38	11,300	1,600	12.5	4.71	771	160
300×36.7	300	150	13	6.5	9	46.78	7,210	508	12.4	3.29	481	67.7
300×32.0	298	149	13	5.5	8	40.80	6,320	442	12.4	3.29	424	59.3
250×82.2	250	255	16	14	14	104.7	11,500	3,880	10.5	6.09	919	304
250×72.4	250	250	16	9	14	92.18	10,800	3,650	10.8	6.29	867	292
250×66.5	248	249	16	8	13	84.70	9,930	3,350	10.8	6.29	801	269
250×64.4	244	252	16	11	11	82.06	8,790	2,940	10.3	5.98	720	233
250×44.1	244	175	16	7	11	56.24	6,120	984	10.4	4.18	502	113
250×29.6	250	125	12	6	9	37.66	4,050	294	10.4	2.79	324	47.0
250×25.7	248	124	12	5	8	32.68	3,540	255	10.4	2.79	285	41.1
200×65.7	208	202	13	10	16	83.69	6,530	2,200	8.83	5.13	628	218
200×56.2	200	204	13	12	12	71.53	4,980	1,700	8.35	4.88	498	167
200×49.9	200	200	13	8	12	63.53	4,720	1,600	8.62	5.02	472	160
200×30.6	194	150	13	6	9	39.01	2,690	507	8.30	3.61	277	67.6
200×21.3	200	100	11	5.5	8	27.16	1,840	134	8.24	2.22	184	26.8
200×18.2	198	99	11	4.5	7	23.18	1,580	114	8.26	2.21	160	23.0
175×40.2	175	175	12	7.5	11	51.21	2,880	984	7.50	4.38	330	112
175×23.3	169	125	12	5.5	8	29.65	1,530	261	7.18	2.97	181	41.8
175×18.1	175	90	9	5	8	23.04	1,210	97.5	7.26	2.06	139	21.7
150×31.5	150	150	11	7	10	40.14	1,640	563	6.39	3.75	219	75.1
150×21.1	148	100	11	6	9	26.84	1,020	151	6.71	2.37	138	30.1
150×14.0	150	75	8	5	7	17.85	666	49.5	6.11	1.66	88.8	13.2
125×23.8	125	125	10	6.5	9	30.31	847	293	5.29	3.11	136	47.0
125×13.2	125	60	9	6	8	16.84	413	29.2	4.95	1.32	66.1	9.73
100×17.2	100	100	10	6	8	21.90	383	134	4.18	2.47	76.5	26.7
100×9.30	100	50	8	5	7	11.85	187	14.8	3.98	1.12	37.5	5.91



STEEL SHEET PILES
(TIS 1390 : 1996 / JIS A5528 : 1988)

UNIT : MM

Section	Dimensions		Sectional Area		Weight		Moment of Inertia		Section Modulus	
	w	h	per pile	per pile	per wall width	per pile	per wall width	per pile	per wall width	
	mm	mm	cm ²	kg/m	kg/m ²	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³ /m	
	in	in	in ²	lbs/ft	lbs/ft ²	in ⁴	in ⁴ /ft	in ³	in ³ /ft	
SP-III	400.0	125.00	13.000	60.0	150.0	2,220.0	16,800	223.0	1,340.0	
	15.7	4.92	0.512	40.3	30.7	53.3	123	13.6	24.9	
SP-IV	400.0	170.00	15.500	76.1	190.0	4,670.0	36,800	362.0	2,270.0	
	15.7	6.69	0.610	51.1	38.9	112.0	283	22.1	42.2	

ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล	นายกฤษณะ ชมภู
วัน/เดือน/ปี เกิด	20 ธันวาคม 2538
ที่อยู่	1249/3 ถนนสุขุมวิท 71 แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250
เบอร์โทรศัพท์	0954680236

ประวัติการศึกษา

ปี พ.ศ. 2551	สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถม (ป.6) จาก โรงเรียนอนุบาลพิบูลเวศม์
ปี พ.ศ. 2557	สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยม (ม.6) จาก โรงเรียนปทุมคงคา
ปี พ.ศ. 2557 - ปัจจุบัน	กำลังศึกษาอยู่ในระดับอุดมศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ประสบการณ์ทำงาน

- นักศึกษาฝึกงานและนักศึกษาโครงการสหกิจศึกษา
- สังกัดสายงาน PMC1 Project Management & Control MDCDG1
- ฝ่าย PMC1 Project Construction Mgt.1-CD4
- บริษัท พฤกษา เรียลเอสเตท จำกัด (มหาชน)