รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

แนวทางการตรวจสอบและควบคุมงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกในส่วนของวิธีการดำเนินการก่อสร้างสำหรับ โครงการเดอะลอฟท์สีลม

The Guidelines of Inspecting and Supervising Wet Process Piling Work in terms of Method Statement for Project : The Lofts Silom

นายชนันวัฒน์ สินธุมงคลชัย

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

แนวทางการตรวจสอบและควบคุมงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกในส่วนของวิธีการดำเนินการก่อสร้างสำหรับ โครงการเดอะลอฟท์สีลม

The Guidelines of Inspecting and Supervising Wet Process Piling Work in terms of Method Statement for Project : The Lofts Silom

นายชนันวัฒน์ สินธุมงคลชัย

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

งานวิจัย แนวทางการตรวจสอบและควบคุมงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกในส่วนของวิธีการดำเนินการก่อสร้างสำหรับ โครงการเดอะลอฟท์สีลม

นักศึกษา นายชนันวัฒน์ สินธุมงคลชัย รหัสประจำตัว 57010241

สาขา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์นิเทศ ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร

ผู้นิเทศงาน คุณวิษณุ สาธิตพิฐกุล

สถานประกอบการ บริษัท ไรมอนด์แลน์ จำกัด (มหาชน)

(RAIMON LAND PUBLIC COMPANY LIMITED)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้หลักๆมีเพื่อจัดทำแนวทางการตรวจสอบและควบคุมงานเข็มเจาะระบบเปียกในส่วนของวิธีการดำเนินงานก่อสร้าง การวิจัยนี้เริ่มต้นมาจากการที่ผู้วิจัยถูกมอบหน้าที่ให้เป็นผู้ตรวจสอบงานและควบคุมงานในบางส่วนของงานเสาเข็มเจาะซึ่งในที่นี้ใช้ระบบเปียกของโครงการเดอะลอฟท์สีลม ดังนั้นเพื่อที่จะปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายได้อย่างมีประสิทธิผลและประสิทธิภาพ ผู้วิจัยคาดหวังว่าในระหว่างการดำเนินการวิจัยผู้วิจัยจะได้รับข้อมูลและประสบการณ์ที่เพียงพอเพื่อใช้ในการตรวจสอบและควบคุมงานที่ได้รับมอบหมาย โดยขอบเขตของการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นการจัดทำแนวทางที่ส่วนใหญ่ถูกอ้างอิงและทำขึ้นเพื่อใช้กับโครงการเดอะลอฟท์สีลมที่เป็นหนึ่งโครงการที่กำลังถูกดำเนินการก่อสร้างขึ้นในขณะที่ผู้วิจัยกำลังศึกษาวิจัย ซึ่งเป็นโครงการของบริษัท ไรมอนด์แลน์ จำกัด (มหาชน) นอกจากนี้อีกจุดประสงค์หนึ่งของผู้วิจัยในการจัดทำงานวิจัยนี้ก็เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องและสนใจงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาต่อไป สำหรับขั้นตอนการวิจัย ส่วนมากจะเป็นการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร หนังสือและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผนวกกับประสบการณ์จากผู้เกี่ยวข้องที่ผู้วิจัยได้ทำการสอบถาม โดยหลังจากได้ข้อมูลเพียงพอแล้ว ผู้วิจัยก็ได้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดทำแนวทางต่อไป นอกเหนือจากแนวทางที่สำเร็จแล้ว ผู้วิจัยยังได้แสดงวิธีการดำเนินงานที่ไม่ถูกต้องซึ่งอาจเป็นผลให้เกิดความเสียหายต่อโครงการอีกด้วย

คำสำคัญ : เข็มเจาะขนาดใหญ่, การตรวจสอบงาน, การควบคุมงาน, วิธีการดำเนินงานก่อสร้าง

Research	The Guidelines of Inspecting and Supervising Wet Process Piling Work in terms of Method Statement for Project : The Lofts Silom
Student	Mr.Chananwath Sinthumongkhonchai ID 57010241
Department	Civil Engineering
Advisor	Dr. Arthit Petchsasithon
Supervisor	Mr. Visanu Sathitpitakul
Enterprise	RAIMON LAND PUBLIC COMPANY LIMITED

Abstract

This research is mainly to produce *The Guidelines of Inspecting and Supervising Wet Process Piling Work in terms of Method Statement for Project : The Lofts Silom*. This research begins because the researcher is authorized to be responsible for inspecting and partly supervising piling work using wet process of The Lofts Silom project. Consequently, to finish efficiently and effectively the work given, the researcher anticipates that, during the process of researching, the researcher is going to earn sufficient knowledge and experience to be able to inspect and supervise the work being responsible for. The boundary of the research is mostly to make the guidelines referred to and made to be used with The Lofts Silom project which is one of the projects being constructed in the time the researcher is researching; it belongs to Raimon Land Co., Ltd. Furthermore, another purpose of researching this research is to provide further study for related and interested people. Most of the method of this research is to research and collect the details from many resources including articles, books, researches and people - those people are asked by the researcher. The details are analyzed and compared for the provision of the guidelines when they are collected sufficiently. Along with the guidelines, the researcher also shows the defective ways for the construction which may lead to damage to the project.

Keywords : Huge bored piles, inspection, supervision, Method statement for construction

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยได้รับการอนุเคราะห์จาก ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ของผู้วิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของพี่ผู้จัดการหน่วยงานก่อสร้างฝ่ายเจ้าของโครงการ คุณวิษณุ สาธิตพิฐกุล พี่วิศวกรหน่วยงานก่อสร้างฝ่ายเจ้าของโครงการ คุณอุดมศักดิ์ เรืองชัยวุฒิคุณ ที่ช่วยเสนอแนวคิด และแจงข้อบกพร่องต่างๆ จนโครงงานเล่มนี้ออกมาเสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาจึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ผู้ศึกษาขอขอบคุณพี่วิศวกรโครงการฝ่ายผู้รับเหมา คุณชวิน รุ่งนพคุณ ที่คอยให้ความรู้และตอบคำถามของผู้วิจัยตลอดเวลาที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณนักศึกษาทุกๆท่านที่คอยให้คำปรึกษารวมถึงให้กำลังใจกันมาโดยตลอดตั้งแต่เริ่มทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้จนจบ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณผู้ที่เป็นห่วง ผู้ที่คอยให้กำลังใจผู้วิจัยมาโดยตลอด อาทิเช่นบิดา มารดา และคุณป้าของผู้วิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ชนันวัฒน์ สินธุมงคลชัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าน่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ผู้ควบคุมงานก่อสร้าง.....4

2.2 การตรวจงานก่อสร้าง.....5

2.3 ฐานรากเสาเข็ม.....5

2.4 ขั้นตอนการดำเนินงานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่.....8

2.5 ข้อพิจารณาสำคัญในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ.....12

2.6 การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มหลังก่อสร้างเสร็จแล้วโดยใช้คลื่นเสียง(Sonic integrity test) 12

2.7 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยการทดสอบด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test).....14

2.8 วัสดุที่ใช้ในงานเข็มเจาะขนาดใหญ่.....17

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.9 พื้นฐานที่ใช้ในงานสำรวจ.....33

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ลำดับการวิจัย.....36

3.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการใช้ตรวจสอบและควบคุมงานเข็มเจาะระบบเปียก....37

3.3 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากการดำเนินงานเข็มเจาะระบบเปียกจากผู้มีประสบการณ์หน้างาน.....50

3.4 ศึกษาแบบก่อสร้างของงานเข็มเจาะโครงการเดอะลอฟท์สีลม.....50

3.5 การวิเคราะห์และศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลที่ถูกรวบรวม.....51

3.6 จัดทำแนวทางที่ถูกต้องในการตรวจสอบและควบคุมงานเข็มเจาะระบบเปียก.....52

3.7 ประสานผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อปรับเปลี่ยนลักษณะการทำงานที่แตกต่างไปจากแนวทาง.....52

บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย

4.1 แนวทางการตรวจสอบและควบคุมงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกในส่วนของวิธีการดำเนินการก่อสร้างสำหรับ โครงการเดอะลอฟท์สีลม.....53

4.2 การดำเนินการงานที่อาจส่งผลเสียต่อโครงการ.....83

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย.....86

5.2 ข้อเสนอแนะ.....87

เอกสารอ้างอิง.....88

ภาคผนวก ก. คำนิยามปฏิบัติการ.....91

ภาคผนวก ข. แบบสำหรับการก่อสร้างงานเข็มเจาะโครงการเดอะลอฟท์สีลม.....93

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงสมบัติเชิงกลของเหล็กเส้นตามมาตรฐาน.....24
2.2 มุมดัดโค้งและเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกดสำหรับการทดสอบการดัดโค้งตามมาตรฐาน.....25
2.3 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของเหล็กเส้นกลมและเหล็กเส้นข้ออ้อย.....25

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การเคลื่อนตัวของดินบริเวณเสาเข็ม....6
2.2 การถ่ายน้ำหนักของเข็มบนดินหลายชั้น....7
2.3 ขั้นตอนการก่อสร้างเข็มเจาะขนาดใหญ่....9
2.4 (1) ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่....10
2.4(2) ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่....11
2.5 หลักการ seismic test....13
2.6 ตัวอย่างผลทดสอบ seismic....13
2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะทรุดของหัวเสาเข็ม....15
2.8 ภาพการทดสอบเสาเข็มโดยใช้ Anchor pile....16
2.9 การติดตั้งเครื่องมือ....17
2.10 แบบสำหรับทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต....21
2.11 Type of Concrete Slump....21
2.12 อุปกรณ์ mud balance....30
2.13 ชุดอุปกรณ์หาปริมาณทรายในของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ....31
2.14 อุปกรณ์ในการทดสอบหาค่าความหนืด....32
2.15 ระบบพิกัดและการคำนวณค่าพิกัด....33
2.16 นิยามของการรังวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์แทคิโอมิทรี....35
3.1 ลำดับการดำเนินการวิจัย....37
4.1 แสดงค่าพิกัดของเข็ม No 1. ที่ตัดออกมาจากแบบสำหรับการก่อสร้าง....55
4.2 ค่าพิกัดที่ถูกตรวจสอบในโปรแกรม Autocad....55
4.3 ผลกำลังรับแรงอัดคอนกรีต trial mix ที่อายุ 14 วัน ซึ่งมีค่ามากกว่า 280 ksc....56
4.4 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเส้นข้ออ้อย ขนาด DB25 SD50T....57
4.5 Boring log ของโครงการเดอะลอฟท์สีลมที่ความลึก ประมาณ 15 เมตร....57
4.6 เครื่องจักรที่กำลังทำงานบนพื้นที่มีแผ่นเหล็กกระจายรับน้ำหนัก....59
4.7 คุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (ณรงค์, 2543) 59
4.8 การทดสอบหาค่าส่วนผสมของทรายในของเหลวพยุงเสถียรภาพดิน....60
4.9 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นของของเหลวพยุงเสถียรภาพดิน....60
4.10 การทดสอบหาค่า p.H. ของของเหลวพยุงเสถียรภาพดิน....60
4.11 การทดสอบหาค่าความหนืดของของเหลวพยุงเสถียรภาพของดิน....60
4.12 นักสำรวจกำลังสอบจุดตั้งกล้อง....61
4.13 การตรวจสอบการตั้งกล้อง....61

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

4.14 การให้ตำแหน่งเสาเข็ม....62
4.15 การควบคุมการเคลื่อนตัวทางแนวราบของเสาเข็ม....63
4.16 การตรวจสอบดิ่งของปลอกเหล็ก....63
4.17 การขุดเจาะในชั้นดินอ่อน....68
4.18 ลักษณะของดินทรายช่วงความลึกก้นหลุม....68
4.19 การตรวจสอบลูกหนุน covering....69
4.20 การตรวจสอบความลึกหลุมเจาะ....70
4.21 เหล็กหิ้วกรงเหล็ก....70
4.22 การตรวจสอบ ช่วงทาบของเหล็กเสริมคอนกรีต....71
4.23 การลงท่อเทคอนกรีต....72
4.24 วัสดุแบ่งที่ถูกใส่ลงไปในท่อเทคอนกรีต....72
4.25 ตัวอย่างใบจ่ายสินค้าของโครงการเดอะลอฟท์สีลม....75
4.26 การวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด....75
4.27 ตัวอย่างคอนกรีตที่ถูกเก็บไว้ในแบบทรงกระบอก....76
4.28 หัวทำความสะอาดก้นหลุมเจาะ....76
4.29 การเทคอนกรีตเสาเข็มเจาะ....76
4.30 ตัวอย่างใบรายงานผลการทดสอบคอนกรีตที่อายุ 7 วัน....78
4.31 ตัวอย่างใบรายงานผลการทดสอบคอนกรีตที่อายุ 14 วัน....78
4.32 ตัวอย่างใบตรวจสอบการก่อสร้างงานเข็มเจาะระบบเปียก....79
4.33 ตัวอย่างผลบันทึกงานก่อสร้างงานเข็มเจาะระบบเปียก....80
4.34 ตัวอย่างข้อมูลดิบจากการสำรวจ....81
4.35 ตัวอย่างข้อมูลดิบจากการเทคอนกรีต....82

หัวข้อวิจัย แนวทางการตรวจสอบและควบคุมงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกในส่วนของวิธีการดำเนินการก่อสร้างสำหรับ โครงการเดอะลอฟท์สีลม

The Guidelines of Inspecting and Supervising Wet Process Piling Work in terms of Method Statement for Project : The Lofts Silom

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เริ่มต้นด้วยการที่บริษัท ไรมอนแลนด์ จำกัด (มหาชน) ได้มีการจัดตั้งโครงการอีกหนึ่งโครงการขึ้นจากหลายๆโครงการที่เน้นความหรูหราและคุณภาพของงานขึ้น โดยโครงการที่ว่านี้คือโครงการเดอะลอฟท์สีลม(The Lofts Silom) โดยความพิเศษข้อหนึ่งของโครงการนี้คือการที่ทางโครงการจะให้พนักงานประจำของบริษัท ไรมอนแลนด์ จำกัด(มหาชน) ในฝ่ายพัฒนาโครงการ (project development) เข้าไปร่วมทีมกับบริษัทที่รับหน้าที่บริหารโครงการให้กับทางบริษัท ไรมอนแลนด์ จำกัด(มหาชน)โดยเป็นบริษัทภายนอกที่ทาง ไรมอนด์แลนด์ได้ทำการจัดจ้าง ซึ่งในที่นี้คือ บริษัท โปรเจค แอลไล แอ็นซ์ จำกัด

ผู้ศึกษาได้เข้ามาร่วมฝึกงานกับทีมพนักงานประจำของบริษัท ไรมอนแลนด์ จำกัด (มหาชน)ที่รับหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของทีมควบคุมงานก่อสร้างของโครงการเดอะลอฟท์สีลม และในช่วงของการฝึกงาน ก็เป็นช่วงที่ทางโครงการได้เริ่มเข้าสู่ช่วงงานเข็มเจาะ โดยระบบที่ใช้เป็นระบบเปียก สำหรับบริษัทผู้รับจ้างที่เข้ามารับงานเข็มเจาะนี้ไปก็คือบริษัท ไทย บาวเออร์ จำกัด โดยทางโครงการได้เริ่มงานเข็มเจาะนี้ขึ้นในวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ.2560 ซึ่งในระยะแรกของโครงการทางบริษัทโปรเจค แอลไล แอ็นซ์ จำกัดยังไม่ได้นำผู้ตรวจงานก่อสร้างของทางบริษัทเข้ามาทำหน้าที่เพราะยังไม่จำเป็นที่จะต้องใช้บุคคลากรมากขนาดนั้นในการดำเนินงาน ทำให้ทางผู้ศึกษาได้รับหน้าที่ของการตรวจสอบเป็นหลักรวมถึงมีหน้าที่คอยควบคุมงานที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบอีกด้วย เหตุนี้เพื่อที่จะดำเนินการตรวจสอบการก่อสร้างของงานเข็มเจาะระบบเปียกของโครงการเดอะลอฟท์สีลมได้อย่างมีคุณภาพ ผู้ศึกษาจึงได้ริเริ่มความคิดที่จะจัดทำการวิจัยแนวทางการตรวจสอบและควบคุมงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกในส่วนของวิธีการดำเนินการก่อสร้างสำหรับโครงการเดอะลอฟท์สีลมขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาวิธีการดำเนินงานเข็มเจาะระบบเปียกที่ถูกต้อง

1.1.2 เพื่อศึกษาวิธีการตรวจสอบและควบคุมงานก่อสร้างในส่วนของวิธีการดำเนินงานก่อสร้างช่วงงานเข็มเจาะระบบเปียกอย่างถูกต้อง

1.1.3 เพื่อสร้างความสัมพันธ์กับพนักงานและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงาน

1.1.4 เพื่อทดลองนำความรู้ทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้หน้างาน

1.1.5 เพื่อจัดทำแนวทางการตรวจสอบและควบคุมงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกในส่วนของวิธีการดำเนินการก่อสร้างสำหรับ โครงการเดอะลอฟท์สีลม

1.1.6 เพื่อค้นหาการดำเนินการงานที่อาจส่งผลเสียต่อโครงการที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไข

1.1.7 เพื่อเป็นส่วนช่วยในหน้าที่ของการตรวจสอบและควบคุมงานที่ได้รับมอบหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตด้านระยะเวลา

การศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยใช้เวลาในการเรียนรู้ เก็บข้อมูลและจัดทำแนวทางตั้งแต่วันเริ่มงานเข็มเจาะคือวันที่ 11พฤศจิกายน พ.ศ.2560 จนถึงวันสุดที่ 8 ธันวาคม พ.ศ.2560 ที่เป็นวันสุดท้ายของการศึกษารูปแบบงานกับทางบริษัทไรมอนแลนด์ จำกัด (มหาชน) ธันวาคม พ.ศ.2560

ขอบเขตด้านเนื้อหา

ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องและจำเป็นในการตรวจสอบงานเข็มเจาะระบบเปียก และจัดทำแนวทางการตรวจสอบงานและควบคุมงานเข็มเจาะระบบเปียกเฉพาะในส่วนของวิธีการดำเนินการก่อสร้างโดยงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยใช้อ้างอิงสำหรับโครงการเดอะลอฟท์สีลม

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการใช้ตรวจสอบและควบคุมงานเข็มเจาะระบบเปียก

1.4.2 ศึกษาการดำเนินงานเข็มเจาะระบบเปียกจากผู้มีประสบการณ์หน้างาน

1.4.3 ศึกษาแบบก่อสร้างของงานเข็มเจาะโครงการเดอะลอฟท์สีลม

1.4.4 ทำการวิเคราะห์และศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลที่ถูกรวบรวม

1.4.5 จัดทำแนวทางการตรวจสอบและควบคุมงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกในส่วนของวิธีการดำเนินการก่อสร้างสำหรับโครงการเดอะลอฟท์สีลม

1.4.6 ประสานผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อปรับเปลี่ยนลักษณะการทำงานที่แตกต่างไปจากแนวทาง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าน่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนวิชา Foundation engineering มาประยุกต์ใช้ได้

1.5.2 ได้ความรู้จากการศึกษาวิธีการก่อสร้างจากหน้างานจริง

1.5.3 ได้เรียนรู้กรณีศึกษามากมายที่เกิดจากความบกพร่องในโครงการนี้

1.5.4 มีโอกาสที่จะได้เรียนรู้และสร้างปฏิสัมพันธ์กับบุคลากรหลากหลายหน้าที่

1.5.5 ฝึกหน้าที่การควบคุมงานและตรวจสอบงานกับผู้รับผิดชอบที่มีประสบการณ์

1.5.6 เรียนรู้วิธีการทำงานและระบบงานที่ปรากฏในโครงการ

1.5.7 ได้รับประสบการณ์ทางตรงที่สามารถนำไปต่อยอดได้ในอนาคต

1.5.8 เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจและเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้สำหรับทำการศึกษาและอ้างอิงต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ผู้ควบคุมงานก่อสร้าง

2.1.1 ความหมายของผู้ควบคุมการก่อสร้าง

ผู้ควบคุมงาน มีความหมายในหลายระดับ แล้วแต่ความต้องการของเจ้าของงานที่จะให้ทำ ทั้งนี้ผู้ควบคุมงานอาจจะมาจากผู้ออกแบบ หรือเป็นวิศวกรที่เจ้าของโครงการจ้างไว้เพื่อเป็นพนักงานของฝ่ายเจ้าของโครงการก็ได้ ผู้ควบคุมงาน หมายถึง ผู้ที่เป็นผู้แทนของผู้ว่าจ้างซึ่งอาจเป็นบุคคลคนเดียวสำหรับงานขนาด เล็ก หรือเป็นกลุ่มบุคคล หรือบริษัท ที่ปรึกษาสำหรับงานขนาดใหญ่ โดยจะเป็นชุดเดียวกับชุดออกแบบก็ได้ (หน้าที่ของผู้ควบคุมและตรวจงานก่อสร้าง..., ม.ป.ป.)

2.1.2 หน้าที่ของผู้ควบคุมงานก่อสร้าง

1) ควบคุมงานก่อสร้าง ให้เป็นไปตามรายละเอียดและข้อกำหนดในสัญญาการก่อสร้างทุกประการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ ถ้าผู้รับจ้างไม่ปฏิบัติตาม ผู้ควบคุมงานสามารถสั่งหยุดงานนั้นเฉพาะส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดแล้วแต่กรณี จนกว่า ผู้รับจ้างจะปฏิบัติให้ถูกต้องตามคำสั่ง และ ให้รายงานคณะกรรมการตรวจการจ้างทันที

2) ในกรณีที่ปรากฏว่าแบบรูปรายการละเอียดหรือข้อกำหนดในสัญญามีข้อความขัดแย้งกัน หรือเป็นที่คาดหมายได้ว่าถึงแม้งานนั้นจะได้เป็นไปตามแบบรูป รายละเอียดและข้อกำหนดในสัญญาแต่เมื่อสำเร็จแล้วไม่มั่นคงแข็งแรง หรือไม่เป็นไปตามหลักวิชาช่างที่ดี หรือไม่ปลอดภัย ให้สั่งพักงานนั้นไว้ก่อน แล้วรายงานคณะกรรมการตรวจการจ้างโดยเร็ว

3) จดบันทึกสภาพการปฏิบัติงานของผู้รับจ้างและเหตุการณ์แวดล้อมเป็นรายวันพร้อมทั้งผลการปฏิบัติงานหรือการหยุดงานและสาเหตุที่มีการหยุดงาน

4) ให้คำแนะนำในการปฏิบัติงานการก่อสร้างให้ถูกต้องตามหลักวิชาการและสั่งหยุดปฏิบัติงานเมื่อเกิดข้อผิดพลาด หรือจะทำให้เกิดความเสียหาย

5) ตรวจสอบรายการวัสดุคุณภาพ และความถูกต้องในการเก็บตัวอย่างเพื่อการทดสอบตามหลักวิชาการ

6) ตรวจสอบและให้คำแนะนำ ในการอนุมัติการจ่ายเงินว่าตรงตามงวดงานหรือไม่

7) ทำรายงานความก้าวหน้าของงานเป็นระยะๆ และรายงานให้วิศวกรทราบทันทีหากมีการเปลี่ยนแปลงการก่อสร้างที่ผิดไปจากแบบที่วิศวกรออกแบบ

8) ประสานงาน เพื่อขจัดความขัดแย้งที่เกิดขึ้นในงานก่อสร้าง เช่นความขัดแย้งระหว่างผู้ว่าจ้างกับผู้รับจ้าง ผู้รับจ้างกับผู้ออกแบบ และผู้ว่าจ้างกับผู้รับเหมาช่วงเป็นต้น

9) ติดตามและตรวจสอบ การทำงานของผู้รับเหมาว่าเป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้หรือไม่เพื่อจะได้ทราบความก้าวหน้าและความล่าช้าของงานก่อสร้าง

10) ตรวจสอบดูแลความปลอดภัยในการปฏิบัติงานมาตรการการป้องกันความเสียหาย และอันตรายต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในบริเวณสถานที่ก่อสร้างรวมทั้งความสะอาดเรียบร้อยของสิ่งแวดล้อม (หน้าที่ของผู้ควบคุมและตรวจงานก่อสร้าง..., ม.ป.ป.)

2.2 การตรวจงานก่อสร้าง

การตรวจงานก่อสร้าง หมายถึง กระบวนการตรวจสอบให้งานก่อสร้างเป็นไปตามแบบ ก่อสร้าง และรายการประกอบแบบ การใช้วัสดุ และลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานต้องเป็นไปตาม มาตรฐานหลักวิชาช่างที่ดี การตรวจสอบงานก่อสร้างจะจะต้องปฏิบัติควบคู่ไปกับการควบคุมงาน ผู้ที่ทำ หน้าที่ในการตรวจงานนั้นจะเป็นตัวแทนของฝ่ายเจ้าของโครงการโดยตรง และจะต้องดูแลรักษา ผลประโยชน์ของเจ้าของเพียงอย่างเดียว การตรวจงานจะเป็นขั้นตอนการทำงานที่ต่อเนื่องจากการ ควบคุมงาน มีอำนาจสั่งเปลี่ยนแปลงแก้ไขเพิ่มเติมหรือตัดทอนงานจ้างได้ตามที่เห็นสมควร และตามหลักวิชาที่ดี (หน้าที่ของผู้ควบคุมและตรวจงานก่อสร้าง..., ม.ป.ป.)

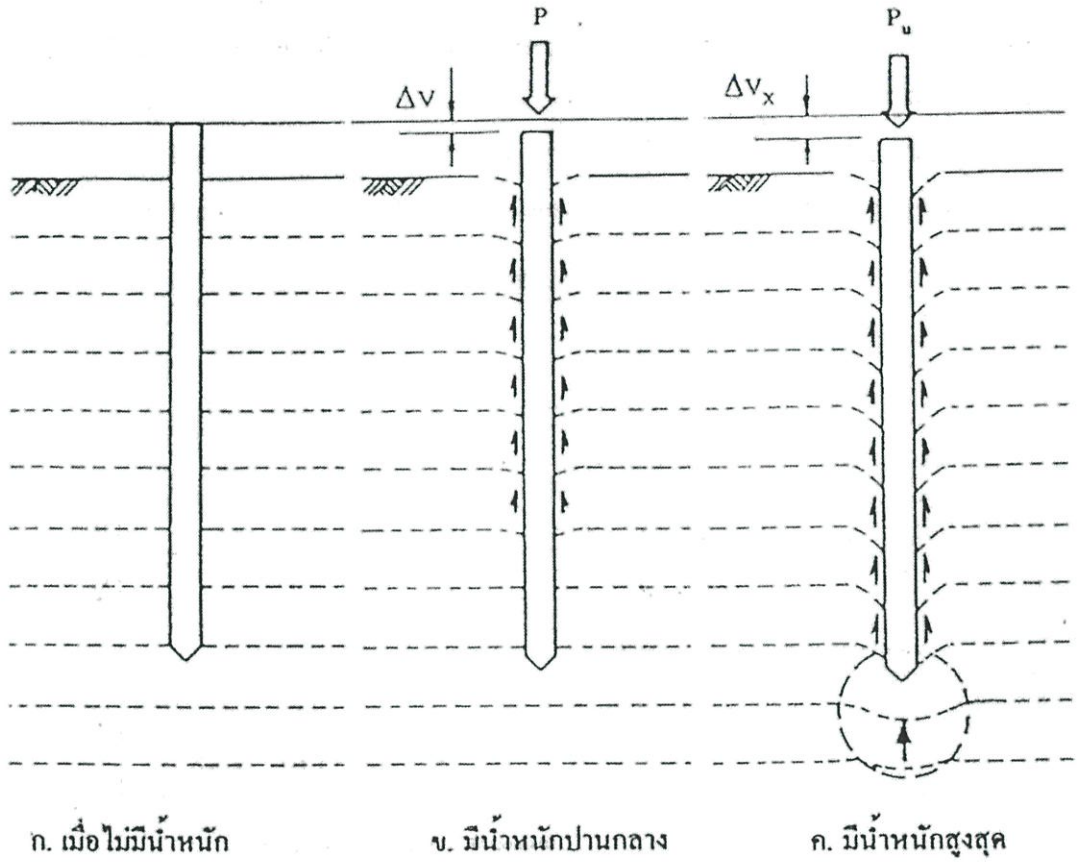
2.3 ฐานรากเสาเข็ม

2.3.1 พฤติกรรมของดินโดยรอบเสาเข็ม

เมื่อเริ่มบรรทุกน้ำหนักลงบนเสาเข็ม เสาเข็มก็จะเคลื่อนที่ลงตามทิศทางของแรง ในขณะเดียวกันดินที่เกาะอยู่ข้างๆ ผิวเสาเข็มก็จะพยายามต้านทานด้วยแรงเสียดทาน(Friction) ชั้นดินเองที่พยายามต้านทานแรงที่ถ่ายลงมาจากเสาเข็มก็จะเคลื่อนตามเสาเข็มลงไปด้วย การเคลื่อนที่จะมากขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกสูงขึ้น เช่นเดียวกับหลักการของการเกิดความเค้นก็ต้องเกิดความเครียดและเมื่อมีการถ่ายแรงลงสู่ชั้นดินมากขึ้น แรงเสียดทานจะถูกถ่ายจากหัวเสาเข็มลงสู่เสาเข็มที่ลึกลงไปมากขึ้น จนในที่สุดแรงต้านทานจะถูกถ่ายแรงลึกลงสู่ปลายเสาเข็ม เกิดแรงต้านที่ปลายเสาเข็มเข้ามาร่วมด้วยที่เรียกว่า End Bearing

ผลสุดท้ายเมื่อน้ำหนักบรรทุกมากจนชั้นดินไม่สามารถจะต้านทานได้ ก็จะเกิดเป็นแนวเคลื่อนพัง (Shear Plane) โดยรอบผิวเสาเข็มและที่ปลายเสาเข็ม โดยจะมีการเคลื่อนที่ลงของเสาเข็มอย่างต่อเนื่อง (Progressive settlement) น้ำหนักบรรทุกที่จุดซึ่งเสาเข็มเริ่มทรุดตัวลงอย่างต่อเนื่องนี้เรียกว่า น้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Ultimate Pile Capacity) โดยทั่วไปแล้ว การเคลื่อนที่เป็นสาเหตุจากคุณสมบัติทางด้านอี

ลาสติก มีค่าเพียงพอที่จะทำให้เกิดการพัฒนาของกำลังเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม ส่วนแรงต้านที่ปลายจะถูกพิจารณาเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ลงมามากกว่า 10% ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับเสาเข็มตอกและอาจถึง 30% ของเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับเสาเข็มเจาะ(Carroll, 1987)



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนตัวของดินบริเวณเสาเข็ม (วรากร 2539)

ในกรณีที่เสาเข็มวางอยู่ในชั้นดินหลายชนิดตลอดความยาวของเสาเข็ม เสาเข็มจะมีการถ่ายน้ำหนักลงสูชั้นดินแต่ละชนิดไมเท่ากันถึงแม้วาการเคลื่อนตัวจะใกล้เคียงกันก็ตามข้อสังเกต จากการทดสอบเสาเข็มเจาะในชั้นดินกรุงเทพฯในรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักที่ถ่ายลงชั้นดินส่วน ใหญ่จะส่งถ่ายถึงผิวเสาเข็มประมาณ 75-90% ของน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด สวนที่ปลายเสาเข็มจะมีการถ่ายน้ำหนักเพียง 10-25% เท่านั้น แต่จะต่อยๆสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากการคลายแรงต้านที่ผิวของดินส่วนบนเกิดการเคลื่อนที่ลงหรือทรุดตัวของเสาเข็มมากขึ้น ทำให้เสาเข็มกดลงสูชั้นดินที่ปลายเสาเข็มมากขึ้น

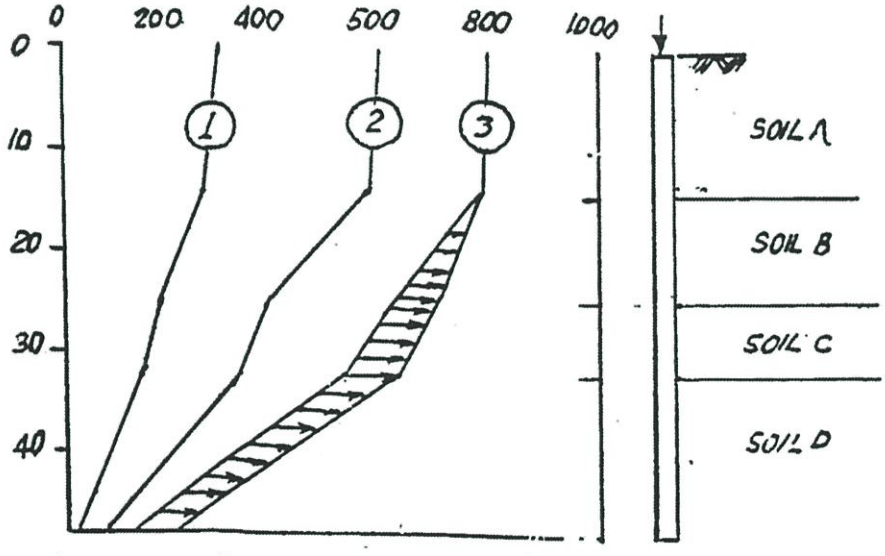
สัดส่วนการถ่ายแรงที่ผิวเสาเข็มและที่ปลายเสาเข็มนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของดิน เช่นในกรณีที่เสาเข็มหยั่งลงไปถึงชั้นหินแข็ง การถ่ายน้ำหนักจะเกิดขึ้นปลายของเสาเข็มเป็นส่วนใหญ่ เพราะหากเสาเข็มเคลื่อนที่ลงเพียงเล็กน้อยชั้นหินก็จะรับน้ำหนักได้มาก ในขณะที่ชั้นดินรอบข้างเสาเข็มยังไม่สามารถถ่ายน้ำหนักได้เลย จึงเรียกเสาเข็มแบบนี้ว่า End Bearing Pile

จากหลักการถ่ายแรงจากเสาเข็มที่ถ่ายลงชั้นดินเป็นการถ่ายแรงที่ส่งถ่ายทางผิวเสาเข็ม (Friction Resistance) และที่ปลายเสาเข็ม (End หรือ Point Bearing) สัดส่วนของการถ่ายแรงเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของดิน

ดังนั้น ในการวิเคราะห์แรงต้านของเสาเข็ม เราจึงมักจะแบ่งแรงต้านทานของเสาเข็มออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม (Friction)
2. แรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (End Bearing)

แต่ต้องไม่มองข้ามหลักการสำคัญที่ว่าแรงต้านทานทั้งหมด(Friction และ End bearing จะต้องไม่มากกว่ากำลังรับแรงอัดของเสาเข็มที่ใช้เป็นฐานราก (ธนาดล คงสมบูรณ์, ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.2 การถ่ายน้ำหนักของเข็มบนดินหลายชั้น (ธนาดล คงสมบูรณ์, ม.ป.ป.)

2.3.2 ชนิดของเสาเข็มตามลักษณะการติดตั้ง

1. เสาเข็มแทนที่ดิน (Displacement pile) ได้แก่ เสาเข็มที่ติดตั้งด้วยการตอกหรือการกด ดังนั้นเสาเข็มจึงไปแทนที่ดินเท่าปริมาตรของเสาเข็ม ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินโดยรอบเสาเข็ม

2. เสาเข็มกึ่งแทนที่ (Semi-displacement pile) ได้แก่ เสาเข็มเหล็กหรือเสาเข็มคอนกรีตซึ่งมีการเจาะดินให้เป็นรูขนาดเล็กกว่าเสาเข็มนำไปก่อนขั้นตอนการตอกเสาเข็ม ทำให้มีการแทนที่ดินส่วนน้อย จึงก่อให้เกิดปัญหาจากการเคลื่อนตัวของดินน้อยลง

3. เสาเข็มไม่แทนที่ดิน (Non-displacement pile) ได้แก่เสาเข็มเจาะหรือเสาเข็มคอนกรีตหล่อในที่ ซึ่งมีการเจาะเอาดินออกก่อนแล้วจึงเทคอนกรีตลงไปแทน จึงไม่เกิดปัญหาการเคลื่อนตัวของดิน

แต่อาจมีการเคลื่อนพังของหลุมเจาะขณะการก่อสร้างจึงต้องมีการป้องกันโดยการใช้ปลอกเหล็กหรือน้ำโคลนประคองหลุมไว้ (ธนาดล คงสมบูรณ์, ม.ป.ป.)

2.4 ขั้นตอนการดำเนินงานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่

1.กดปลอกเหล็กในชั้นดินอ่อน เมื่อได้ตำแหน่งเสาเข็มเจาะที่ถูกต้องตามแบบแล้ว จะต้องกดปลอกเหล็กลงไปตลอดชั้นดินเหนียวอ่อน เพื่อป้องกันรูเจาะเป็นคอคอด ป้องกันน้ำในชั้น ดินไหลเข้าสู่รูเจาะและป้องกันการพังของรูเจาะในชั้นดินเหนียวอ่อน

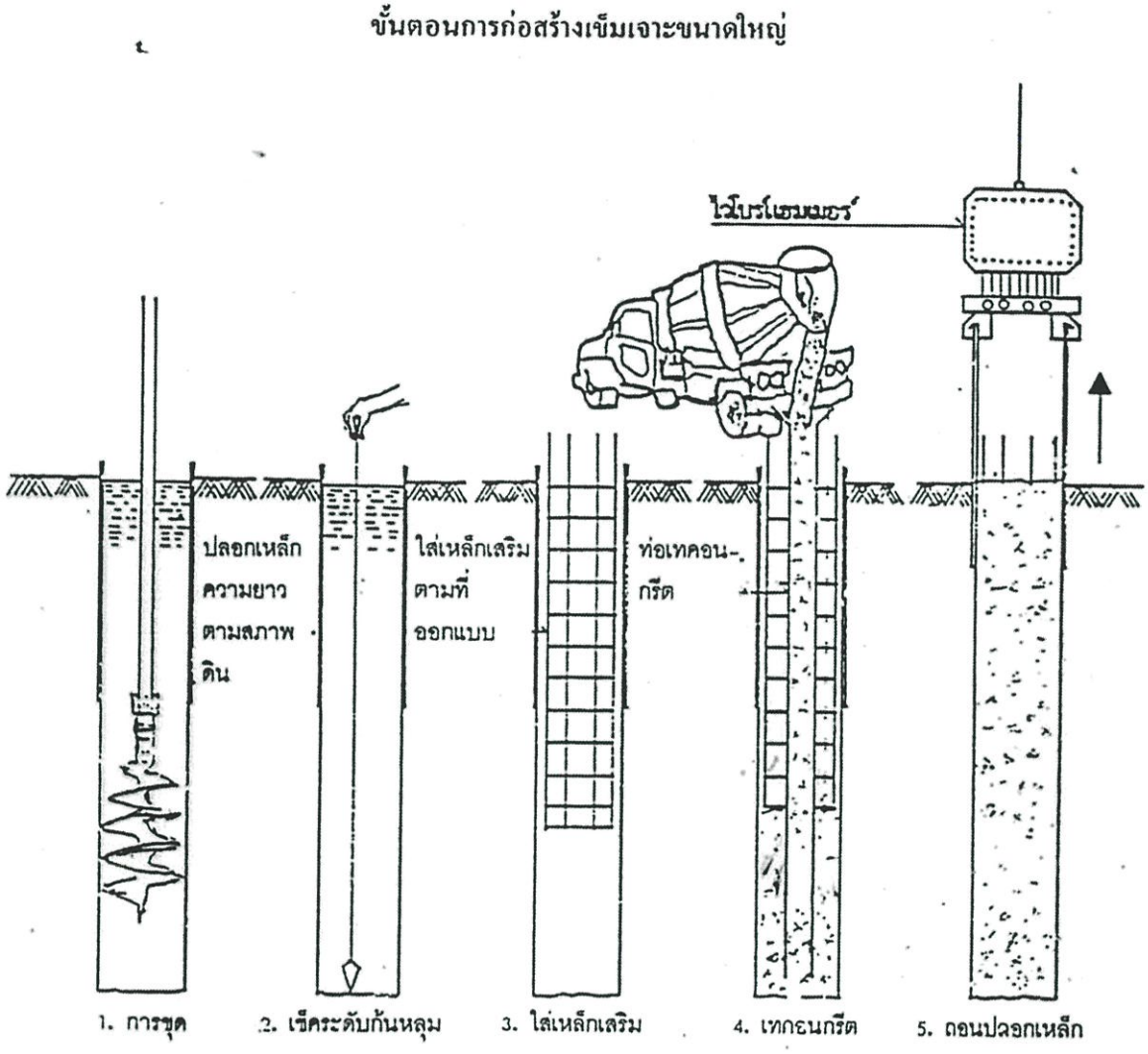
2.เจาะดินหลังจากกดปลอกเหล็กเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงเริ่มเจาะรูเสาเข็ม โดยปกติจะใช้หัวเจาะแบบสว่านเจาะเอาดินออกได้ตลอดความยาวที่ฝังปลอกเหล็ก เมื่อพบน้ำในรูเจาะและลักษณะชั้นดินมีทรายรวมอยู่เป็นจำนวนมากขึ้นจะไม่สามารถเจาะได้ด้วยหัวเจาะแบบสว่านจะต้องเปลี่ยนหัวเจาะเป็นแบบถัง(Bucket) เพื่อให้ถังสามารถเก็บดินที่เจาะขึ้นมาได้ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องเติมสารละลายเบนโทไนท์ หรือสารละลายโพลีเมอร์ เพื่อป้องกันดินในรูเจาะพังทลายและป้องกันน้ำจากชั้นดินไหลเข้าสู่รูเจาะ

3.ใส่เหล็กเสริมเสาเข็มเมื่อเจาะรูเสาเข็มได้ขนาดและความลึกที่ต้องการแล้ว หลักจากขบวนการทำความสะอาดก้นหลุม ก็นำเหล็กเสริมเข็มตามที่ออกแบบไว้ใส่ลงไปในรูเจาะต่อกันจนได้ความยาวที่กำหนดไว้

4.ลงท่อเทคอนกรีต หลังจากใส่เหล็กเสริมเสาเข็มครบจำนวนแล้วก็นำท่อเทคอนกรีตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเทประมาณ 5-8 นิ้วหย่อนลงไปในรูเจาะจนถึงก้นหลุม

5. เทคอนกรีต ก่อนเทคอนกรีตต้องใช้วัสดุสำหรับไล่น้ำในรูเจาะออกไปจากท่อเทเช่น โฟมเม็ดแล้วจึงเทคอนกรีตผ่านกรวยรับคอนกรีตให้ไหลลงไปในท่อเท คอนกรีตจะดันโฟมเม็ดให้ขับน้ำโคลนออกไปจากท่อเท โฟมเม็ดจะหลุดออกจากปลายล่างสุดของท่อเทแล้วลอยขึ้นมาที่ปากรูเจาะ ส่วนคอนกรีตที่เทลงไปจะเข้าแทนที่น้ำโคลน ไล่น้ำโคลนจากก้นหลุมขึ้นมาจนคอนกรีตดันขึ้นมาเต็มรูเจาะ

6.ดึงปลอกเหล็กขึ้น หลังจากเทคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็ทำการดึงปลอกเหล็กขึ้นจากรูเจาะทันที (ธนาดล คงสมบูรณ์, ม.ป.ป.)



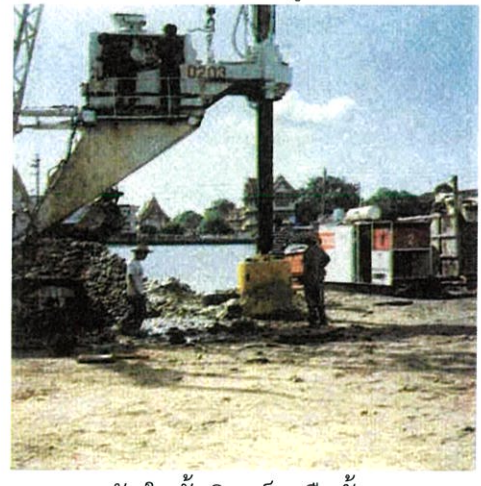
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการก่อสร้างเข็มเจาะขนาดใหญ่ (ชนันต์ และ เกรียงศักดิ์,2538)

1)กดปลอกเหล็กชั่วคราวก่อนเจาะดิน

2)ตรวจแนวดิ่งของปลอกเหล็ก

3)ตรวจตำแหน่งของศูนย์เสาเข็ม

4)ปลอกเหล็กชั่วคราวที่ถูกกดลงในดินแล้ว



5) การเจาะดินด้วยหัวเจาะแบบสว่าน 6) การใช้หัวเจาะแบบถัง ในชั้นดินแข็งหรือชั้นทราย

รูปที่ 2.4 (1) ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่(ชนันต์ และเกรียงศักดิ์,2538)

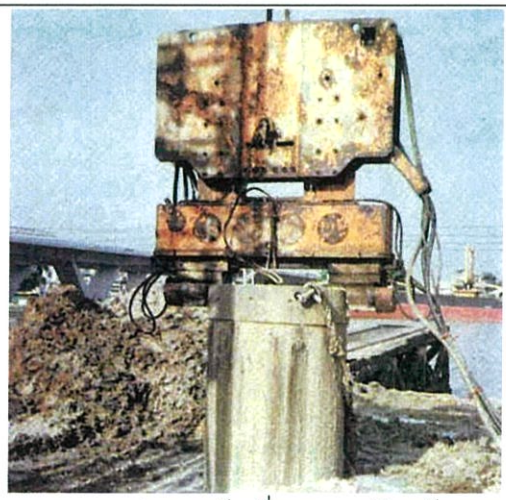
7) ใส่สารละลายเบนโทไนท์

8) ใสกรงเหล็กเสริมเสาเข็ม

9) ใสทอเทคอนกรีต

10) เทคอนกรีตใตสารละลายเบนโทไนท

11) การหยั่งระดับของคอนกรีตที่เท



12) การถอนปลอกเหล็กเมื่อเทคอนกรีตเสร็จแลว

รูปที่ 2.4(2) ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ (ชนันต์ และเกรียงศักดิ์,2538)

2.5 ข้อพิจารณาสำคัญในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ

1. กำหนด elevation ของหัวเสาเข็ม และชนิดของดินที่ปลายเสาเข็มตลอดจนระดับของปลายเสาเข็มโดยประมาณ โดยเสาเข็มเจาะต้องกำหนด ความลึกของปลายเสาเข็มในชั้นดินที่ต้องการ

2. ข้อกำหนดการเคลื่อนตัวของปลายและหัวเสาเข็มที่เคลื่อนไปจากตำแหน่งที่กำหนดให้เช่นการเบี่ยงเบนไปจากแนวดิ่งต้องไม่มากกว่า 1/100 และหัวเข็มเปลี่ยนตำแหน่งได้ไม่เกิน 5 ซม. เป็นต้น

3. กำหนดข้อมูลที่ต้องจัดส่งระหว่างการก่อสร้างเช่น จะต้องบันทึกชนิดดินที่เก็บได้ที่ความลึกต่างๆ ขณะทำการเจาะดิน บอกตำแหน่งของระดับน้ำโคลน bentonite คุณภาพของน้ำโคลน bentonite ที่ก้นหลุมก่อนเทคอนกรีต ความลึกของ casing ที่ป้องกันดินพังและ เวลาและเครื่องมือที่ใช้ในการ ขุดเจาะดิน เวลาที่ใส่ reinforced cage เวลาและ pressure ที่ใช้ในการทำ air lift ปริมาณของน้ำโคลน bentonite ในหลุมก่อนเทคอนกรีต ปริมาณและเวลาในการเทคอนกรีต ความหนาของคอนกรีตที่เทเกิน cut off level ปริมาณของน้ำโคลน bentonite ที่ดูดกลับปริมาณของคอนกรีตที่เกิด over break และตำแหน่งที่เกิด over break เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการก่อสร้างเป็นต้น

4. สำหรับเสาเข็มเจาะ ควรกำหนดคุณภาพของน้ำโคลน bentonite แนะนำเครื่องมือที่ใช้ในการขุด ความยาว casing และปริมาณ over breakที่ยอมให้

5.กำหนดตำแหน่งและจำนวนเสาเข็มที่ต้องทดสอบ มาตรฐานในการทดสอบ ระดับน้ำหนักทดสอบต่างๆที่ใช้ (maintain load) และน้ำหนักสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ กำหนดวิธีการคาดคะเนหรือหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม กำหนดการเคลื่อนที่ working load เพื่อควบคุมคุณภาพ

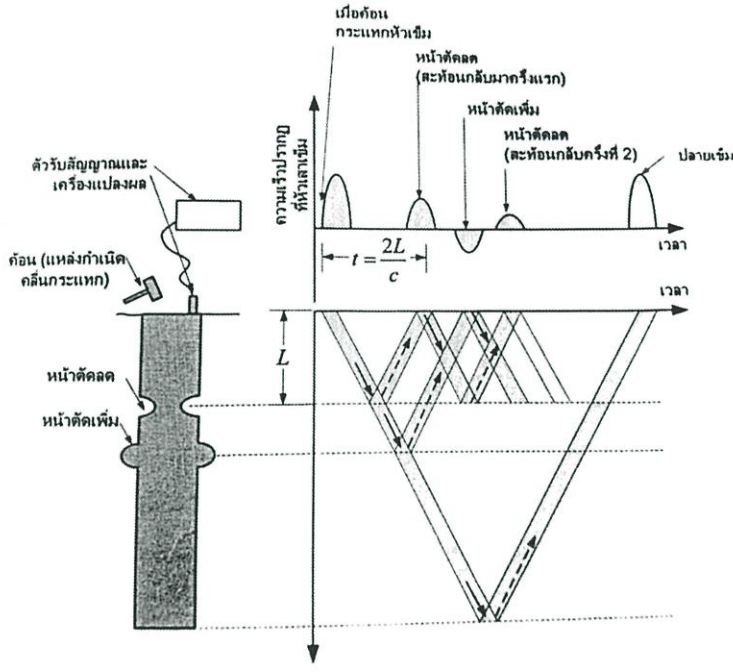
6. กำหนดคุณภาพของคอนกรีตและเหล็กที่ใช้ทำเสาเข็ม ตลอดจน minimum reinforcement

7. กำหนดวิธีการทดสอบคุณภาพทางด้านโครงสร้างของเสาเข็มหลังการก่อสร้างเช่น การทำ seismic หรือ sonic testing (ธนาดล คงสมบูรณ์, ม.ป.ป.)

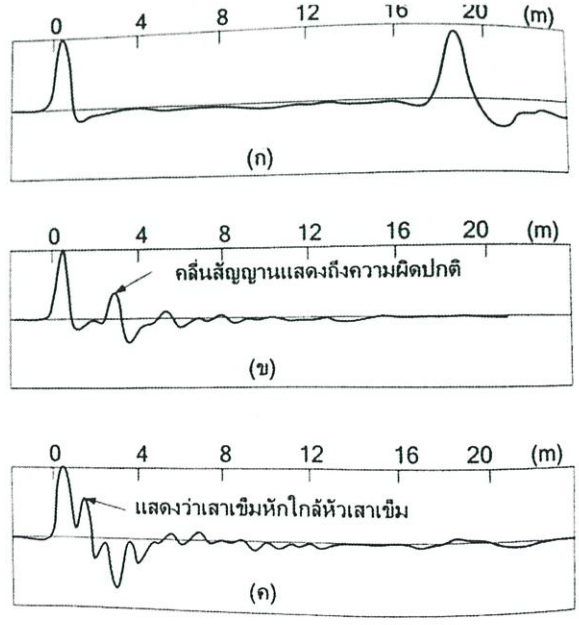
2.6 การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มหลังก่อสร้างเสร็จแล้วโดยใช้คลื่นเสียง (Sonic integrity test)

การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive tests) หลักการพื้นฐานของวิธีนี้คือการสังเกตการณ์สะท้อนกลับของคลื่นที่เดินทางในหัวเสาเข็ม โดยการทดสอบจะใช้ค้อนขนาดเล็กเคาะที่หัวเสาเข็มเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นและเมื่อคลื่นเดินทางในหัวเสาเข็มไปกระทบขนาดหน้าตัดหรือ

สติฟเนสที่เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่น ซึ่งคลื่นที่สะท้อนกลับจะถูกตรวจจับโดย Accelerometer ซึ่งวางอยู่บนหัวเสาเข็ม (พรพจน์ ตันเส็ง,2554)



รูปที่ 2.5 หลักการ seismic test (ณรงค์ 2548)



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างผลทดสอบ seismic (พรพจน์ ตันเส็ง,2554)

2.7 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยการทดสอบด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test)

การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจะต่างจากการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มตรงที่การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจะทราบพฤติกรรมของเสาเข็มเมื่อรับแรงกระทำ โดยปกติแล้วการทดสอบเสาเข็มจะเป็นการทดสอบการรับแรงกดตามแกน ซึ่งการทดสอบจะเป็นการยืนยันว่าเสาเข็มที่ทดสอบนั้นสามารถรับแรงกดตามที่ออกแบบไว้ได้ โดยปกติแล้วจะทำการทดสอบเสาเข็มต้นที่ใช้งานจริง ในการทดสอบเสาเข็มส่วนใหญ่จะอ้างอิงมาตรฐาน ASTM ซึ่งจำแนกตามลักษณะของแรงกระทำต่อเสาเข็ม 3 ประเภทได้แก่

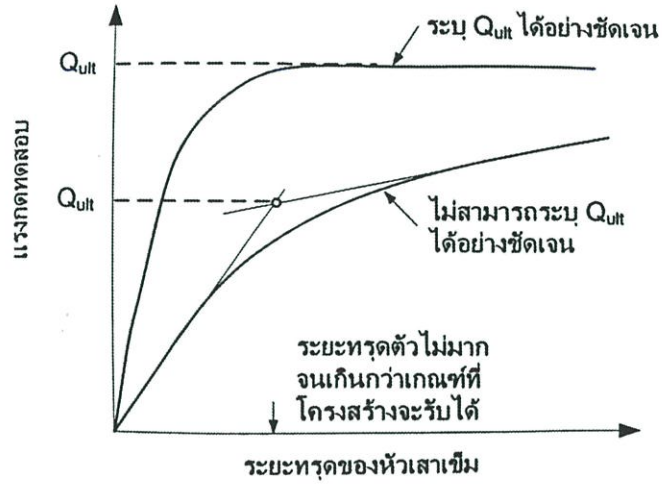
- ASTM D 1143-81 มาตรฐานสำหรับการทดสอบเสาเข็มด้วยแรงกด
- ASTM D 3689-83 มาตรฐานสำหรับการทดสอบเสาเข็มด้วยแรงดึง
- ASTM D 3966-81 มาตรฐานสำหรับการทดสอบเสาเข็มด้วยแรงดันด้านข้าง

การทดสอบด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ คือการทดสอบเสาเข็มโดยการเพิ่มแรงกระทำต่อหัวเสาเข็มอย่างช้าๆ มีลักษณะการทดสอบ เช่น

- วิธี Constant Rate of Penetration (CRP) – เป็นการทดสอบโดยการเพิ่มแรงกดอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการกดที่คงที่จนกระทั่งถึงจุดวิบัติอัตราการกดอาจเท่ากับ 0.75mm/min สำหรับ friction pile ในดินเหนียวและ 1.55mm/min สำหรับ end bearing pile ในดินทราย
- วิธี Maintained Load (ML) test – เป็นการเพิ่มแรงกดทดสอบเป็นขั้น จนแรงกดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1.5-2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (working load) ในการทำการทดสอบจะบันทึกค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต่อเวลาไว้ทุกขั้นการเพิ่มแรงกดก่อนการเพิ่มแรงกดขั้นต่อไปต้องรอจนกระทั่งอัตราการทรุดตัวน้อยกว่า 0.25mm/hr การทดสอบนี้อาจจะทดสอบจนถึงจุดวิบัติก็ได้ วิธีการทดสอบนี้เหมาะกับการทดสอบตามสัญญาโดยเฉพาะการทดสอบ Proof load กับเสาเข็มใช้งาน (working pile)

ในการเพิ่มแรงกดจะใช้แม่แรงดันหัวเสาเข็มซึ่งในการทดสอบจำเป็นจะต้องสร้างแรงกดทับแม่แรงเอาไว้เพื่อเป็นแรงปฏิกิริยา วิธีที่ใช้กันก็คือการใช้ (1) น้ำหนักกดทับ (2) วิธีใช้เสาเข็มสมอเพื่อสร้างแรงต้านที่เป็นแรงดึง การทดสอบจะวัดระยะยุบตัวของหัวเสาเข็มเนื่องจากแรงกด ผลการทดสอบจะแสดงอยู่ในรูปของกราฟระยะทรุดของหัวเสาเข็มที่สัมพันธ์กับน้ำหนักกดทดสอบ และระยะทรุดของหัวเสาเข็มกับเวลา จากกราฟจะสามารถระบุถึงกำลังประลัยของเสาเข็มได้ แต่ในบางกรณีที่ไม่สามารถระบุกำลังประลัยของ

เข็มได้อย่างชัดเจนอาจจะต้องใช้วิธีเชิงประสบการณ์ในการหากำลังประลัยของเสาเข็ม ตัวอย่างที่ง่ายที่สุด คือการหาจุดตัดของเส้นตรงสองเส้นที่ลากสัมผัสกราฟการทดสอบเสาเข็มดังรูปที่ 2.7 ผลการทดสอบจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดทับระยะทรุดของหัวเสาเข็ม (พรพจน์ ตันเส็ง,2554)



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะทรุดของหัวเสาเข็ม (พรพจน์ ตันเส็ง, 2554)

2.7.1 ข้อกำหนดในการทดสอบเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ (ตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522)

กล่าวว่าในการคำนวณฐานรากบนเสาเข็มที่มีเอกสารจากสถาบันที่เชื่อถือได้แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของดิน หรือมีการทดสอบหากำลังแบกทานของเสาเข็มในบริเวณก่อสร้างหรือใกล้เคียงให้ใช้กำลังแบกทานของเสาเข็มไม่เกินอัตรา ดังต่อไปนี้

- กำลังแบกทานของเสาเข็มที่คำนวณจากการทดสอบคุณสมบัติของดินให้ใช้กำลังแบกทานได้ไม่เกินร้อยละ 40 ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด
- กำลังแบกทานของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบให้ใช้กำลังแบกทานได้ไม่เกินร้อยละ 50 ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด

ในการทดสอบกำลังแบกทานของเสาเข็ม อัตราการทรุดตัวและการทรุดตัวของเสาเข็มเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดจะต้องอยู่ในเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- การทรุดตัวทั้งหมดของเสาเข็มจากการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดแล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต้องไม่เกิน 25 มิลลิเมตร

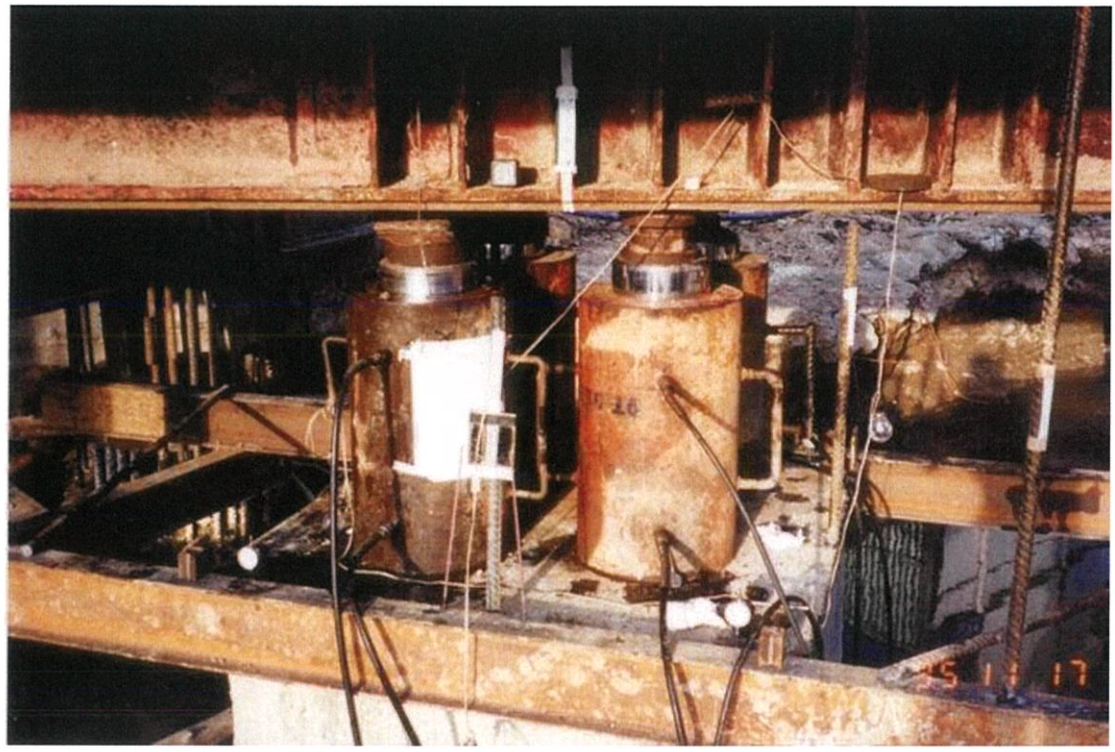
- อัตราการทรุดตัวเฉลี่ยของเสาเข็มหลังจากรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดแล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง ต้องไปไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง
- การทรุดตัวสุทธิของเสาเข็มหลังจากปล่อยให้รับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วคลายน้ำหนักบรรทุกจนหมดปล่อยทิ้งไว้โดยไม่รบกวนอีก 24 ชั่วโมงต้องไม่เกิน 6 มิลลิเมตร (พรพจน์ ตันเส็ง,2554)

2.7.2 เกณฑ์การตัดสินใจ

1. ในระหว่างเวลาทดสอบ ถ้าปรากฏว่าการทรุดตัวรวมกันเกินกว่า 25 มิลลิเมตร หรืออาการทรุดตัวเร็วเกิน 0.02 มิลลิเมตรต่อนาที และไม่มีที่สิ้นสุดลงภายใน 2 ชั่วโมง ผู้ว่าจ้างมิสิทธิ์ที่จะสั่งเลิกการทดสอบครั้งนี้ และให้เริ่มทำการทดสอบใหม่ ตามที่ผู้ว่าจ้างจะกำหนดหรือตัดสินว่าน้ำหนักที่ใช้ทดสอบถึงขณะนั้นเป็นน้ำหนักสูงสุด ให้นำไปใช้ในการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นดินได้

2. ถ้าดำเนินการทดสอบตามขั้นตอนต่างๆแล้วการทรุดตัวทั้งหมดไม่เกิน 25 มิลลิเมตร และไม่แสดงลักษณะว่าถึงจุดประลัย ก็ให้ถือว่าผลการทดสอบนี้พอกับความต้องการ
(พรพจน์ ตันเส็ง,2554)

รูปที่ 2.8 ภาพการทดสอบเสาเข็มโดยใช Anchor pile (ธนาดล คงสมบูรณ์, ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.9 การติดตั้งเครื่องมือ (ธนาดล คงสมบูรณ์, ม.ป.ป.)

2.8 วัสดุที่ใช้ในงานเข็มเจาะขนาดใหญ่

2.8.1 คอนกรีตผสมเสร็จ

คอนกรีตผสมเสร็จ คือ ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ที่ผสมกันเบ็ดเสร็จจากโรงงาน ซึ่งตั้งอยู่นอกหรือในหน่วยงานก่อสร้าง รวมถึงบริการจัดส่งไป ณ หน่วยงานก่อสร้างโดยรถผสมคอนกรีต ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จเป็นทั้งการขายผลิตภัณฑ์ และการขายบริการ

คอนกรีตผสมเสร็จที่ผลิตขึ้นนี้จะต้องเป็นที่พึงพอใจของทั้งวิศวกรผู้ออกแบบ หรือผู้ควบคุมงานและผู้รับเหมาก่อสร้างโดยมีรายละเอียดดังนี้

- สิ่งที่ผู้ควบคุมงานต้องการ

  1. คอนกรีตที่มีคุณภาพตามข้อกำหนดทั้งในสภาพคอนกรีตและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว
  2. คอนกรีตที่ผลิตจากบริษัทที่มีประสบการณ์ มีระบบการจัดส่งที่ดี มีความสามารถจัดส่งอย่างต่อเนื่อง

- สิ่งที่ผู้รับเหมาต้องการ

  1. การจัดส่งตรงต่อเวลาอัตราที่เหมาะสมกับสภาพการเท
  2. มีค่าการยุบตัวที่เหมาสมกับวิธีการเท

3. มีปริมาณถูกต้อง
4. ราคาคอนกรีตรวมค่าขนส่งต้องเป็นราคาที่เหมาะสม

จะพบว่าผู้ควบคุมงานให้ความสนใจในคุณภาพของคอนกรีตเป็นส่วนใหญ่ในขณะที่ผู้รับเหมาให้ความสนใจในเรื่องการบริการและราคาที่เหมาะสม

2.8.1.1 การควบคุมคุณภาพ ณ หน่วยงานก่อสร้าง

วัตถุประสงค์สำคัญของการควบคุมคุณภาพคอนกรีต ณ หน่วยงานก่อสร้างก็เพื่อตรวจสอบคอนกรีตว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของงานก่อสร้างนั้นๆหรือไม่ สำหรับงานก่อสร้างทั่วๆไปในประเทศไทย จะมีข้อกำหนดของงานคอนกรีตซึ่งส่วนใหญ่จะกำหนดให้ทำการทดสอบคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ

1. การทดสอบค่ายุบตัว
2. การทดสอบกำลังอัด

ในปัจจุบันเวลาก่อสร้างมีจำกัด ผู้รับเหมาส่วนใหญ่ จะเปลี่ยนจากการผสมคอนกรีตที่หน่วยงานก่อสร้าง มาเป็นการใช้คอนกรีตผสมเสร็จที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนด กล่าวคือในขณะที่เป็นคอนกรีตสดต้องไปค่ายุบตัวตามต้องการ และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วต้องได้กำลังอัดตามข้อกำหนด ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ คือ เมื่อรถผสมคอนกรีตมาถึงหน่วยงานก่อสร้างจะสุ่มคอนกรีตเพื่อทำการทดสอบค่าการยุบตัวเมื่อค่าการยุบตัวที่ได้อยู่ในช่วงที่กำหนด ก็จะนำคอนกรีตไปเทในส่วนของโครงสร้างโดยที่ยังไม่ทราบว่าคอนกรีตนี้มีค่ากำลังอัดเท่าใด นำคอนกรีตที่เหลืออยู่ในรถเข็นมาทำตัวอย่างทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมงจึงแกะแบบออก นำก้อนตัวอย่างไปบ่มโดยการแช่น้ำและทดสอบที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน ผลกำลังจะรับรองที่อายุคอนกรีต 28 วัน

การสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบค่ายุบตัว จะทำเมื่อผู้ควบคุมงานสงสัยว่า คอนกรีตนั้นจะยุบตัวไม่ได้ตามข้อกำหนดส่วนการสุ่มตัวอย่างเพื่อทำก้อนตัวอย่างมาทดสอบกำลังอัด ตามมาตรฐานทั่วๆไปกำหนดให้สุ่มเก็บตัวอย่าง 1 ชุด ต่อคอนกรีตที่เททุกๆ 50 ลูกบาศก์เมตร ตัวอย่าง 1 ชุด ประกอบด้วยก้อนตัวอย่าง 3 ก้อน จะนำไปทดสอบที่อายุ 7 วัน 1 ก้อน และ 28 วัน 2 ก้อน (ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2539)

2.8.1.2 การทดสอบที่เกี่ยวข้อง

- การทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสด (Test for Slump of Fresh Concrete)
  ASTM : C 143 – 90a

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อทดสอบหาความสามารถในการไหลและในการเทลงแบบของคอนกรีตสดทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตนั้น หากมากหรือน้อยเกินไป จะมีผลต่อการเทและจี้เขย่าให้แน่นอาจเป็นเหตุให้คอนกรีตเสียกำลังเมื่อแข็งตัวเต็มที่

<u>วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ</u>

1. คอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆ ด้วยอัตราซีเมนต์ : ทราย : หิน ต่างๆกันตามต้องการ
2. แบบทดสอบมาตรฐานที่ทำด้วยโลหะซึ่งซีเมนต์ไม่ยึดเกาะผิว ลักษณะเป็นแบบรูปกรวยกลมปลายเปิดทั้งสองด้าน โดยส่วนที่เป็นฐานสำหรับวางสัมผัสพื้น จะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. (8”) และ รูปกรวยจะสอบเล็กลงจนเหลือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายด้านบน 102 มม. (4”) แบบมีความสูง 305 มม. (12”) แผ่นโลหะที่นำมาทำเป็นแบบดังกล่าว ต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 1.61 มม. (0.06”) และมีที่สำหรับเท้าเหยียบและมือจับอยู่ตรงข้ามกันทั้งสองด้าน
3. เหล็กกระทุ้ง เป็นแท่งเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. (5/8”) และมีความยาวประมาณ 600 มม. ปลายด้านกระทุ้งจะเป็นมนโค้งครึ่งวงกลม
4. เกรียงเหล็ก
5. ไม้บรรทัด
6. ที่ตักคอนกรีต
7. ถอดหรือแผ่นเหล็ก

<u>ขั้นตอนการทดสอบ</u>

1. เตรียมพื้นที่สำหรับวางกรวยควรเป็นพื้นที่แข็งราบเรียบและไม่ดูดซึมน้ำ เมื่อวางกรวบเรียบร้อยแล้วใช้เท้าทั้งสองข้างเหยียบกดลงบนที่สำหรับเท้าเหยียบให้แน่น
2. นำคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆเทใส่ลงในกรวยโดยเทแบ่ง 3 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรเฉลี่ยเท่าๆกันและแต่ละชั้นให้ใช้กระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง การกระทุ้งชั้นล่างสุดให้พยายามกระทุ้งด้วยการตั้งท่อนเหล็กให้ตรงขณะกระทุ้งบริเวณรอบศูนย์กลางกรวย และเอียงเหล็ก ตามของกรวยเมื่อกระทุ้งแถวขอบกรวย การกระทุ้งชั้นบนสุดให้พยายามเติมคอนกรีตให้เต็มแบบตลอดเวลาที่กระทุ้ง เสร็จแล้วปาดผิวบนให้เรียบ

3. ค่อยๆยกกรวยขึ้นในแนวดิ่งด้วยความเร็วสม่ำเสมอ อย่าให้กรวยเอียงหรือก่อให้เกิดการบิดใดๆ ในคอนกรีตเป็นอันขาด ยกกรวยให้พ้นภายใน 5-10 วินาที และเวลาตั้งแต่เริ่มเทคอนกรีตลงในกรวยจนถึงขั้นสุดท้ายนี้ไม่ควรเกิน 2 ½ นาที
4. ให้วัดระยะการยุบตัวของคอนกรีตทันที โดยนำกรวยที่ยกออกแล้ว มาวางข้างๆ เอาเหล็กกระทุ้งวางพาดบนขอบกรวย ให้ปลายเหล็กยื่นเข้ามาเหนือตัวอย่างคอนกรีตที่ยุบตัวแล้วใช้ไม้บรรทัดวัดระยะ

<u>หมายเหตุ</u> ระยะยุบตัวของคอนกรีตสดที่ค่าต่างๆเหมาะสมสำหรับงานประเภทต่างๆดังต่อไปนี้

ระยะยุบตัว 0 – 2.5 ซม.

เหมาะสำหรับงานถนนหรืองานคอนกรีตที่ใช้อุปกรณ์เครื่องกลเขย่า ให้แน่น

ระยะยุบตัว 2.5 – 5.0 ซม.

เหมาะสำหรับงานถนนหรืองานคอนกรีตมวลใหญ่ที่ใช้อุปกรณ์เครื่องกลขนาดเล็กเขย่าให้แน่น

ระยะยุบตัว 5.0 – 10 ซม.

สำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปที่ใช้เทคาน พื้น ที่มีอุปกรณ์เครื่องกลเขย่าให้แน่น

ระยะยุบตัว 10 – 17.5 ซม.

สำหรับงานคอนกรีตที่มีเหล็กเสริมแน่นหรือพื้นที่ไม่เหมาะสมที่จะใช้เครื่องเขย่า

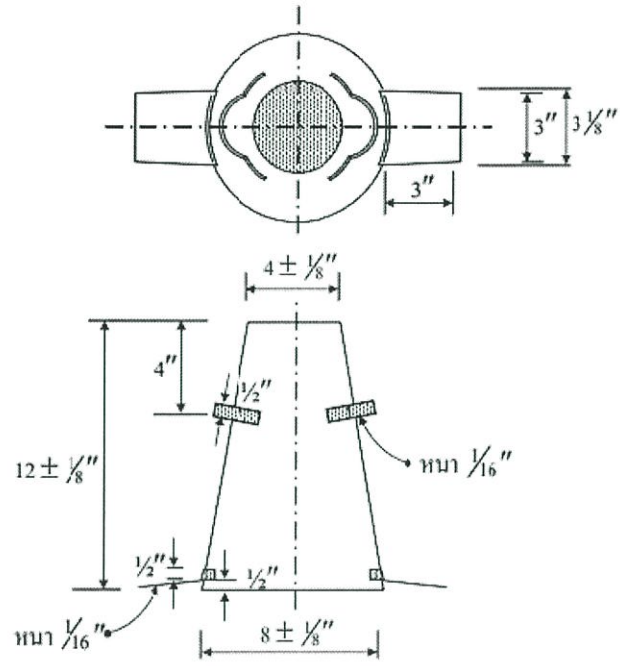
(คมสัน มาลีสี และ สิริวัฒน์ ไชยชนะ, 2555)

<u>ค่าคลาดเคลื่อนในค่าการยุบตัว</u>

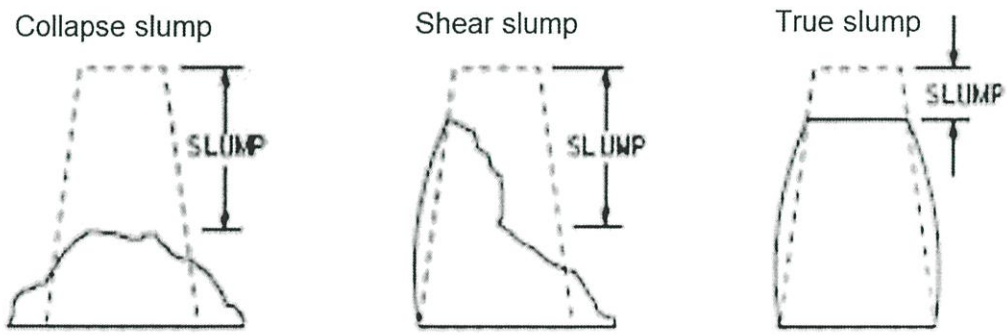
มาตรฐานทั่วไปกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนในค่าการยุบตัวมีค่า $\pm$ 2.5 ซม. เช่น ถ้าต้องการค่ายุบตัว 7.5ซม. ค่าที่ยอมรับได้คือ 7.5 $\pm$ 2.5 ซม. หรือ 5 – 10 ซม. (ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2539)

<u>รูปแบบการยุบตัวของคอนกรีต</u>

1. การยุบตัวแบบถูกต้องเป็นการยุบตัวของคอนกรีตภายใต้น้ำหนักของตัวคอนกรีตภายใต้น้ำหนักของตัวคอนกรีต
2. การยุบตัวแบบเฉือนเป็นการยุบตัวที่เกิดจากการเลื่อนไถลของคอนกรีตส่วนบน ในลักษณะเฉือนลงไปด้านข้าง
3. การยุบตัวแบบล้ม เป็นการยุบตัวที่เกิดจากคอนกรีตมีความเหลวมาก



รูปที่ 2.10 แบบสำหรับทดสอบหาคาการยุบตัวของคอนกรีต
(มยผ. 1209-50 มาตรฐานการทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Standard Test Method for Slump of Concrete)..., ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.11 Type of Concrete Slump (ภาพจาก http://www.engineeringcivil.com/what-are-the-differences-between-shear-slump-and-collapse-slump-in-slump-test.html)

- การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ASTM : C 39-93a
  (Test for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen)

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่างๆกัน โดยการใส่แรงอัดโดยตรงกับแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM

<u>วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ</u>

1. คอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบ
2. เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Machine)
3. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกทำด้วยโลหะที่มีซีเมนต์ไม่เกาะติดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6” และ สูง 12”
4. เครื่องชั่งขนาดใหญ่
5. เครื่องมือวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง
6. เครื่องหล่อหมวก(Capped) หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

ขั้นตอนการทดสอบ

(ก) การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว
2. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม้ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุด ขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

(ข) การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ๆ
2. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบและใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ
3. ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉยๆประมาณ 24 ชม. จึงถอดแบบออกนำแท่งคอนกรีตไปบ่มโดยแช่ในถังบ่มจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบและควรทดสอบก่อนตัวอย่างจะแห้งสนิท ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

(ค) การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีตให้ทดสอบโดยเร็วสุด หลังจากนำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ก่อนการทดสอบควรตรวจสอบระนาบของแท่งคอนกรีตว่าแบนราบหรือไม่ ระนาบดังกล่าวไม่ควรเอียงมากว่า 0.5 (หรือประมาณ 3 มม. ใน 300 มม.) หากไม่อยู่ภายในขอบเขตดังกล่าวให้ทำการหล่อหมวกหัวท้ายเสียก่อน โดยปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM C 617-84 สำหรับระยะเส้นผ่านศูนย์กลางที่จำนำมาใช้คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดให้ใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัดสองแนวตั้งฉากซึ่งกันและกันที่ตำแหน่งกึ่งกลางแท่งทดสอบ

(ง) การคำนวณ

ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีต จะหาได้จากสูตร

f_c = P/A

f_c = กำลงประลัยของแท่นคอนกรีต, กก./ซม.^2

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง, กก.

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ

(คมสัน มาลีสี และ สิริวัฒน์ ไชยชนะ, 2555)

2.8.1.3 คุณสมบัติของคอนกรีตที่จะถูกใช้ในงานเข็มเจาะขนาดใหญ่

1. ตองมีความสามารถในการเคลื่อนไหลดี (Excellent Fluidity)
2. ตองมีความสามารถในการอัดตัวแน่นด้วยน้ำหนักตัวเอง (Self compaction under self-weight)
3. ตองมีการทนทานต่อการแยกตัวและการเยิ้ม (Resistance to Segregation and Bleeding)
4. ตองสามารถควบคุมเวลาการก่อตัวได (Controlled setting)
5. ตองมีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมทานที่ไมปกติ (Resistance to harsh environment)
6. ตองมีความทนทานต่อการถูกน้ำไตดินชะล้าง (Resistance to leaching)
7. ตองมีกำลังอัดและความแข็งแรงตามที่ออกแบบไว (Appropriate Strength and Stiffness)

(Reese and O' Neil, 1988)

2.8.2 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

2.8.2.1 มาตรฐานเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

ลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปของเหล็กเส้นที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างที่ดีนั้นจะต้องเป็นเหล็กเส้นที่มีผิวเรียบสำหรับเส้นกลม และผิวมีรอยย้ำหรือบั้งและครีบสำหรับเหล็กข้ออ้อย ระยะของข้ออ้อยต้องมีบั้งเป็นระยะๆเท่าๆกันตลอดทั้งเส้น โดยบั้งต้องทำมุมกับแกนของเหล็กเส้นไม่น้อยกว่า 45 องศามุมที่ทำตั้งแต่ 45-70องศา บั้งจะว่างสวนทางกันของด้านบนกับด้านล่าง แต่ถ้าตัวบั้งทำมุมเกิน 70 องศาไม่จำเป็นต้องสลับกัน ผิวของทั้งเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อยจะต้องไม่มีรอยปริแตกหรือรอยร้าว โดยหน้าตัดมีลักษณะกลมตลอดพื้นที่ลาดตัดขวางอย่างสม่ำเสมอ สามารถนำไปใช้เสริมในงานคอนกรีตได้ ที่ผิวเหล็กเส้นจะต้องมีรอยพิมพ์นูนระบุชั้นคุณภาพสัญลักษณ์ขนาดเหล็ก และอักษรย่อโรงงานที่ผลิตหรือเครื่องหมายการค้าเหล็กที่นำเข้ามาใช้ในหน่อยงานจะต้องถูกตรวจสอบ ให้มีชั้นคุณภาพและขนาดเหล็กให้ตรงกับที่ระบุในแบบและมาตรฐาน สำหรับเหล็กเส้นกลมต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามที่ระบุในมาตรฐาน มอก. 24-2543 และเหล็กเส้นข้ออ้อยต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามที่ระบุในมาตรฐานมอก. 24-2548 นอกจากนั้นจะต้องทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อส่งไปทดสอบคุณสมบัติ ได้แก่ ขนาดเหล็ก แรงดึง เค้นที่จุดคลาก และที่จุดสูงสุด เปอร์เซ็นต์ความยืด การดัดโค้งเย็น และน้ำหนักต่อตารางเมตร ซึ่งเหล็กที่ได้มาตรฐานจะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามตารางที่ 2.1, 2.2 และ 2.3

ชั้นคุณภาพ	แรงเค้นดึงไม่น้อยกว่า		ความยืดต่ำสุด (L=5D)
	ที่จุดคลาก	สูงสุด	
SR24	235	385	21%
SD30	295	480	17%
SD40	390	560	15%
SD50	490	620	13%

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติเชิงกลของเหล็กเส้นตามมาตรฐาน มอก. 20-2543 และ 24-2548 (แหลมทอง เหล่าคงถาวร และสุพจน์ ศรีนิล, 2553)

สัญลักษณ์	เส้นผ่านศูนย์กลาง ระบุ mm.	มุมดัดโค้ง (องศา)	เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกดชิ้นทดสอบ
SR24	ทุกขนาด	180	3 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
SD30	ไม่เกิน 16	180	3 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
	เกิน 16		4 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
SD40	ทุกขนาด	180	5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
SD50	ไม่เกิน 25	90	5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
	เกิน 25		6 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

ตารางที่ 2.2 มุมดัดโค้งและเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกดสำหรับการทดสอบการดัดโค้ง ตามมาตรฐาน มอก. 20-2543 และ 24-2548 (แหลมทอง เหล่าคงถาวร และสุพจน์ ศรีนิล, 2553)

เหล็กเส้นกลม				เหล็กเส้นข้ออ้อย			
ชื่อ	มวลระบุ	เกณฑ์ความคลาด		ชื่อ	มวลระบุ	เกณฑ์ความคลาด	
ขนาด	(kgs/m)	เคลื่อน (%)		ขนาด	(kgs/m)	เคลื่อน (%)	
		ต่อเส้น	เฉลี่ย			ต่อเส้น	เฉลี่ย
RB6	0.222	± 10	±5	DB6	0.222	± 8	± 7
RB8	0.395	± 6	± 3.5	DB8	0.395		
RB9	0.499			DB12	0.616	± 6	± 5
RB10	0.616			DB12	0.888		
RB12	0.888			DB16	1.578		
RB15	1.387			DB20	2.466	± 5	± 4
RB19	2.226			DB22	2.984		
RB22	2.984			DB25	3.853		
RB25	3.853			DB28	4.834		
RB28	4.834			DB32	6.313	± 4	±3.5
RB34	7.127			DB36	7.99		
				DB40	9.865		

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของเหล็กเส้นกลมและเหล็กเส้นข้ออ้อย (แหลมทอง เหล่าคงถาวร และสุพจน์ ศรีนิล, 2553)

เหล็กเส้นที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างจะต้องมีหลังคาคลุม และมีผนังกำบังเพื่อป้องกันน้ำฝนและความชื้น และต้องเก็บไว้เหนือพื้นดินไม่น้อยกว่า 20 ซม. และแยกเก็บไว้ตามขนาดและชั้นคุณภาพโดยทำป้ายบอกไว้อย่างชัดเจนเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานหรืออาจใช้ผ้าใบอย่างหนาคุมกันความชื้น (แหลมทอง เหล่าคงถาวร และสุพจน์ ศรีนิล, 2553)

2.8.2.2 การต่อเหล็กเสริมในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก

โดยปกติจะไม่ยอมให้มีการต่อเหล็กเสริม นอกจากที่ได้แสดงไว้ในแบบหรือที่ได้ระไว้หรือโดยคำสั่งของวิศวกร (แหลมทอง เหล่าคงถาวร และสุพจน์ ศรีนิล, 2553)

2.8.3 ของเหลงพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2548)

2.8.3.1 จุดประสงค์ทั่วไป

ในกรณีที่การก่อสร้างเสาเข็มเจาะจะต้องนำของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ(support fluids) มาใช้ในการรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะ คุณสมบัติและ วิธีการใช้จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

ก) สามารถรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะขณะทำการเจาะได้อย่างต่อเนื่อง
ข) สามารถแขวนลอยตะกอนดินได้(กรณีใช้สารละลายเบ็นโทไนท์)
ค) สามารถเร่งตะกอนดินที่แขวนลอยให้ตกลงสู่ก้นหลุมได้เร็ว(กรณีใช้สารละลายโพลีเมอร์)
ง) สามารถถูกแทนที่ได้โดยง่ายขณะเทคอนกรีต
จ) ไม่จับตัวติดกับเหล็กเสริม ซึ่งเป็นผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตลดลง
ฉ) ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อชั้นดินและน้ำใต้ดิน ทั้งก่อนระหว่างและหลังการใช้งาน

ในขั้นตอนการประมูลงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะ ผู้รับจ้างงานเสาเข็มจะต้องนำเสนอรายละเอียดและประเภทของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะที่จะนำมาใช้ รวมทั้งใบรับรองวัสดุจากโรงงานผู้ผลิตซึ่งระบุส่วนประกอบและอัตราส่วนของส่วนผสมด้วย

ข้อแนะนำ

ในปัจจุบันวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะอย่างแพร่หลายมีดังต่อไปนี้

น้ำ (water)

ในบางสภาวะที่อำนวยให้ น้ำสามารถนำมาใช้เป็นของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะได้ โดยจะต้องรักษาระดับของน้ำในหลุมเจาะให้สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินอย่างน้อย 1-2เมตร เพื่อให้สามารถคงเสถียรภาพหลุมเจาะไว้ได้ ดังนั้นการจัดส่งน้ำมาเติมใส่ในหลุมเจาะอย่างต่อเนื่องถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญ

การพิจารณาอนุญาตให้นำน้ำมาเป็นของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะจะต้องคำนึงถึงสภาพชั้นดินฐานรากที่จะทำ การเจาะเสาเข็มสภาพชั้นดินฐานรากประเภทชั้นดินทรายแป้ง ชั้นดินเหนียวปนทราย ชั้นดินโคลน(Mudstones) หรือชั้นหิน Shale การใช้น้ำจะทำให้ชั้นดินดังกล่าวเกิดการพองและอ่อนตัว (Swelling and softening) จนทำให้กำลังรับน้ำหนักของชั้นดินลดลงได้

การใช้น้ำจะมีลักษณะเหมือนกับการใช้โพลีเมอร์ (polymer) คือ จะไม่สามารถพยุงตะกอนให้แขวนลอยได้ดังนั้น จึงต้องกำหนดให้ทำความสะอาดก้นหลุมเจาะอย่างทั่วถึงก่อนทำการเทคอนกรีต

<u>สารละลายเบนโทไนท์ (Bentonite)</u>

- เบนโทไนท์ตามธรรมชาติ(Natural sodium bentonite) มีความสามารถในการพองตัวสูง มีค่า Liquid limit สูงและมีค่าการไหลสูญหายของน้ำ (Fluid loss) ต่ำ แต่หายากและมีราคาแพง จึงไม่ได้รับความนิยมในการใช้งาน
- แคลเซียมเบ็นโทไนท์ตามธรรมชาติ (Natural calcium bentonite) มีความสามารถในการพองตัวต่ำ มีค่า Liquid limit ต่ำกว่าและมีค่าการไหลสูญหายของน้ำ (Fluid loss) สูงกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับ Natural sodium bentonite จึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในงานเสาเข็มเจาะ
- เบนโทไนท์ชนิดผสมโซเดียม (Sodium – activated bentonite) ผลิตขึ้นโดยการเติมสารละลาย Sodium carbonate ลงไปใน Calcium bentonite ในวงการอุตสาหกรรมเสาเข็มเจาะทั่วโลกส่วนใหญ่ใช้เบนโทไนท์ประเภทนี้

เมื่อนำผงเบนโทไนท์จำนวน 3% โดยน้ำหนักหรือมากกว่าผสมลงในน้ำและกวนให้เข้ากันจนทั่ว จะกลายเป็นของเหลวที่มีความหนืด (Viscous slurry) และจะหนืดเพิ่มมากขึ้นเมื่อปล่อยให้อยู่ในสภาวะนิ่งๆ แต่ความหนืดจะลดลงเมื่อทำการกวนให้เกิดการไหลเวียน ปรากฏการณ์ดังกล่าวรู้จักกันในชื่อที่เรียกว่า Thixotropy

สารละลายเบนโทไนท์จะก่อต่อเป็นเยื่อบุทึบน้ำ (seal) ในรูปของ Filter cake ขึ้นปิดที่ผิวผนังหลุมเจาะที่เป็นชั้นดินโปร่งน้ำเป็นผลให้ความดันที่เกิดจากสารละลายในหลุมเจาะสามารถพัฒนาขึ้นเพื่อสร้างเสถียรภาพภายในหลุมเจาะได้นอกจากนี้เยื่อบุทึบน้ำที่ก่อตัวขึ้นนี้จะเป็นแนวป้องกันไม่ให้สารละลายเบนโทไนท์ไหลสูญหายเข้าไปภายในผิวผนังหลุมเจาะจนเป็นสาเหตุให้แรงดันน้ำ (pore pressure) ในชั้นดินเพิ่มสูงขึ้น และกำลังรับแรงเฉือน (Shear strength) ของชั้นดินลดลงเยื่อบุบทึบน้ำที่เกิดชั้นนี้มีผลทำให้สารละลายสามารถสร้างเสถียรภาพให้เกิดขึ้นในหลุมเจาะได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

เยื่อบุทึบน้ำ (seals) สามารถก่อตัวขึ้นได้ด้วยขบวนการที่แตกต่างกัน 3 ขบวนการดังต่อไปนี้

- ก่อตัวขึ้นที่ผิวหลุมเจาะ (surface filtration) เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวรั้งของอนุภาคของเบนโทไนท์ในสารละลายเบนโทไนท์ที่บริเวณต้นทางของช่องว่างเล็กๆในชั้นดิน (pore in the soil) จนก่อตัวรวมกันเป็น Filter cake โดยมีเบนโทไนท์เพียงเล็กน้อยที่แทรกซึมเข้าไปในชั้นดินขณะที่ filter cake กำลังก่อตัว และในภายหลังการก่อตัวแล้วน้ำในสารละลายเบนโทไนท์จะถูกกรองให้ไหลผ่าน filter cake นี้เข้าสู่ชั้นดิน น้ำที่ซึมหายไปในดินโดยขบวนการนี้ถูกเรียกว่า fluid loss จากการทดลองพบว่า fluid loss สามารถแยกได้เป็นสองส่วนอย่างชัดเจนคือ ส่วนแรกเกิดขึ้นระหว่างการก่อตัวของ filter cake และส่วนที่สองเกิดขึ้นเพิ่มเติมภายหลังการก่อตัวแล้ว
- ก่อตัวขึ้นที่หลังผนังหลุมเจาะ (deep filtration) เกิดขึ้นจากสารละลายเบ็นโทไนท์แทรกซึมเข้าไปในชั้นดินและเกิดการอุดช่องว่างเล็กๆ ในดินอย่างช้าๆจนกลายเป็น filter cake ในชั้นดินลึกเข้าไปจากผนังหลุมเจาะ ในกรณีนี้เยื่อบุทึบน้ำ (seal) ที่เกิดขึ้นอาจแทรกอยู่ในชั้นดินลึกเข้าไปประมาณ 40 ถึง 50 มม.
- ก่อตัวอุดช่องว่างในชั้นดินที่มีช่องว่างมากหลังผนังหลุมเจาะ (rheological blocking) เกิดขึ้นเมื่อสารละลายเบนโทไนท์แทรกซึมเข้าไปในชั้นดินที่มีช่องว่างมากจนกระทั่งถูกหยุดโดยความหนืดของสารละลายเบนโทไนท์เอง ในกรณีนี้สารละลายเบนโทไนท์อาจไหลแทรกซึมผ่านผนังหลุมเจาะได้ลึกหลายเมตร

ในการก่อตัวของเยื่อบุทึบน้ำทั้งสามดังกล่าว การก่อขึ้นที่ผิวหลุมเจาะ (surface filtration)จะเป็นประเภทที่ต้องการให้เกิดมากที่สุด เนื่องจากเยื่อบุทึบน้ำประเภทนี้จะเกิดขึ้นได้เร็วมาก และสารละลายเบนโทไนท์จะไม่ไหลแทรกซึมเข้าไปในชั้นดินมาก

บางครั้งมีการนำสารเคมีผสมเพิ่มชนิดที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคเบนโทไนท์ (Dispersants) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการไหล (flow characteristic) ของสารละลายเบนโทไนท์ให้ดีขึ้น เช่นเดียวกับน้ำยาเพิ่มความหนืดหรือเพิ่ม การจับตัว (Viscosifiers or flocculating agents) ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแขวนลอย (Gelling) และในการอุด (Blocking) ของสารละลายเบนโทไนท์ ข้อแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับสารละลายเบนโทไนท์ ดูได้จาก CIRIA report PG3

<u>สารละลายโพลีเมอร์ (Polymers)</u>

โพลีเมอร์สามารถนำมาใช้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะแทนเบนโทไนท์ได้ ในการพยุงเสถียรภาพของหลุมเจาะโดยสารละลายโพลีเมอร์จะไม่มีขบวนการก่อตัวของเยื่อบุทึบน้ำขึ้นที่ผิวดินเพื่อเป็นผนังรักษาความดันเหมือนเบนโทไนท์ แต่สารละลาย แต่สารละลายโพลีเมอร์จะก่อตัวเป็นสิ่ง

กีดขวาง (Barrier) อุดช่องว่างเล็กๆในดิน (Pores) โดยวิธี Rheological blocking สารละลายโพลีเมอร์จึงเป็นของเหลวที่เหมาะสมที่สุดในการรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะ เพราะสารละลายโพลีเมอร์มีค่าความหนืดสูงที่อัตราแรงเฉือนมีค่าต่ำ (High viscosity at low shear rates) ในขณะเดียวกันก็สามารถรักษาความหนืดให้ต่ำได้ที่อัตราแรงเฉือนสูง (Maintaining low viscosity at low shear rates) ภายใต้สภาวะที่ของเหลวอยู่นิ่ง (Under quiescent conditions) จะต้องการความหนืดสูงเพื่อลดการแทรกซึมเข้าไปในชั้นดินและช่วยพยุงตะกอนที่เกิดจากการขุดเจาะให้แขวนลอยได้ เมื่อของเหลวถูกกวน (Agitated) สภาวะดังกล่าวจะต้องการความหนืดต่ำลง Pumping pressure เพื่อช่วยทำให้ของเหลวไหลเวียนผ่านอุปกรณ์ที่ใช้ขุดเจาะได้ดี และช่วยเพิ่มสมรรถนะของการแยกตัวของตะกอนในขั้นตอนการทำความสะอาดก้นหลุมเจาะได้ดีขึ้นด้วย สารละลายโพลีเมอร์จะแทรกซึมเข้าไปในชั้นดินเหนียวได้ไม่ลึกมาก แต่สามารถจะแทรกซึมเข้าไปในชั้นทรายได้ลึกมาก ดังนั้นเมื่อนำเบนโทไนท์มาผสมร่วมกับโพลีเมอร์ในการขุดเจาะในชั้นดินทรายได้จะช่วยในการอุดช่องว่างในชั้นทรายได้ดีขึ้น

ในกรณีที่ทำงานชั้นดินเหนียว ชั้นหินหรือก่อสร้างเสาเข็มรับแรงดึง การใช้โพลีเมอร์ที่ออกแบบให้มีค่าความหนืดต่ำจะเหมาะสมต่อการทำให้อนุภาคที่แขวนลอยตกตะกอนได้ดีขึ้น ในสภาวะเช่นนี้การทำความสะอาดก้นหลุมเจาะจะต้องกระทำอย่างดีก่อนทำการเทคอนกรีต

การผสมสารละลายโพลีเมอร์ควรใส่ผงโพลีเมอร์ให้เกิดกระจายตัวเต็มที่ในน้ำที่ใช้ผสมก่อนการรวมตัวผสมกับน้ำ มิฉะนั้นแล้วจะก่อตัวเป็น Fish eyes ซึ่งเกิดขึ้นจากผงโพลีเมอร์แห้งจับตัวเป็นก้อนจนไม่สามารถสัมผัสกับน้ำที่ใช้ ผสม เนื่องจากถูกชั้นของโพลีเมอร์ที่รวมตัวกับน้ำแล้วกั้นไว้ เมื่อเกิดเป็นลักษณะ Fish eyes ขึ้นมาแล้ว ผงโพลีเมอร์แห้งที่ถูกห่อหุ้มไว้ด้านในอาจจะทำให้เกิดการต่อต้านการรวมตัวผสมกับน้ำอย่างเต็มที่ ดังนั้นผงโพลีเมอร์ที่จับตัวกันเป็น Fish eyes จะทำให้สารละลายที่ผสมแล้วไม่เกิดความหนืด เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว ผู้ผลิตสามารถเคลือบ Grains ของโพลีเมอร์ด้วย Hydrophobic chemical ซึ่งหลังจากเกิดการกระจายตัว (Dispersion) แล้วจะถูกกำจัดออกเองโดยปฏิกิริยาเคมี แรงเฉือน อุณหภูมิและเวลา

ในการใช้โพลีเมอร์เป็นของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะนั้นจะใช้ปริมาณน้อยกว่าการใช้เบนโทไนท์ โดยทั่วไปแล้วจะต้องการปริมาณโพลีเมอร์ที่สามารถทำให้ของเหลวมีคุณสมบัติตามที่ต้องการนั้นเพียงประมาณ 1 % ถึง 10 % ของปริมาณที่ต้องใช้เบนโทไนท์เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ราคาของโพลีเมอร์แพงกว่าราคาของเบนโทไนท์มาก จึงต้องการควบคุมอย่างใกล้ชิดเพื่อลดการสูญเสียระหว่างการใช้งาน

ก่อนทำการทิ้งสารละลายโพลีเมอร์ที่ไม่ใช้งานแล้วนั้น ตะกอนที่อยู่ในสารละลายโพลีเมอร์สามารถถูกแยกออกได้โดยการใช้สารรวมตัวกันให้ตกตะกอน (Flocculants) ของเหลวที่เหลือจากการตกตะกอนจะไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจนสามารถทิ้งลงในท่อระบายน้ำหรือทางน้ำได้

2.8.3.2 การทดสอบคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ

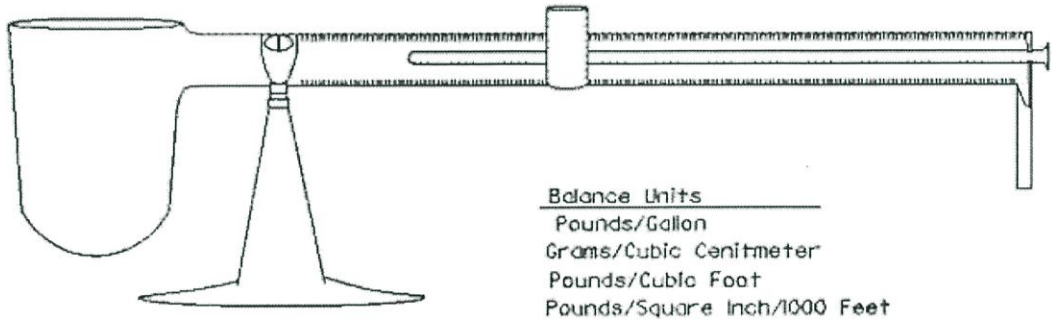
- **การทดสอบหาค่าความหนาแน่น**

<u>จุดประสงค์</u>

การทดสอบนี้เป็นการหาค่าความหนาแน่นของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะที่ใช้เป็นเทคนิคในงานก่อสร้างเพื่อเป็นตัวป้องกันการเคลื่อนที่ของดินในแนวดิ่ง

<u>เครื่องมือ</u>

1. อุปกรณ์ mud balance ซึ่งประกอบด้วย mud cup ซึ่งติดอยู่ที่ปลายของคานอุปกรณ์ ซึ่งจะถูกทำให้สมดุลด้วยน้ำหนักถ่วงที่อยู่อีกด้านหนึ่งซึ่งจะถูกปรับให้สมดุลด้วยตัวเลื่อน
2. ระดับน้ำซึ่งอยู่บนอุปกรณ์



รูปที่ 2.12 อุปกรณ์ mud balance (Texas Department of Transportation, 2009)

<u>การสอบเครื่องมือ</u>

1. เติมน้ำให้เต็มถ้วยอุปกรณ์
2. ปิดฝาแล้วปล่อยให้น้ำส่วนเกิดล้นออกมา
3. เมื่อเลื่อนตัวเลื่อนสเกลมา ตำแหน่งที่ความหนาแน่นเป็นหนึ่งควรจะทำให้คานอุปกรณ์เกิดความสมดุลขึ้น

<u>ขั้นตอนการทดสอบ</u>

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ให้ได้ระดับ
2. ใส่สารเหลวพยุงเสถียรภาพดินลงไปในถ้วยของอุปกรณ์ที่สะอาดและการปิดฝาลงไปและทำการหมุนๆขยับให้ดีโดยให้แน่ใจว่าฝานั่งสนิทบนอุปกรณ์แล้ว โดยให้ของเหลวส่วนเกินล้นออกมาจากฝา
3. ล้างของเหลวส่วนเกินที่อยู่ภายนอกออกไป
4. ขยับตำแหน่งตัวเลื่อนจนระดับน้ำอยู่ตรงกลางและคานได้ระดับซึ่งแสดงถึงสภาวะสมดุล

5. ทำการอ่านความหนาแน่นที่อุปกรณ์ชี้อยู่
6. ทำความสะอาดและเก็บอุปกรณ์ให้เรียบร้อย

- **การทดสอบหาปริมาณทราย**

<u>จุดประสงค์</u>

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาปริมาณทรายในของเหลวพยุงเสถียรภาพที่ใช้ในงานก่อสร้าง

<u>เครื่องมือ</u>

1. ตะแกรงเบอร์ 200 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm
2. กรวย
3. ถ้วยตวงเพื่อใช้วัดปริมาณทราย

รูปที่ 2.13 ชุดอุปกรณ์หาปริมาณทรายในของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ ((Texas Department of Transportation, 2009)

<u>ขั้นตอนการทดสอบ</u>

1. เติมถ้วยตวงแก้วไปจนถึงระดับที่กำหนดด้วยของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ
2. เติมน้ำลงไปเพิ่มจนถึงระดับต่อไป
3. ปิดปากถ้วยตวงแล้วทำการเขย่า
4. เทสารผสมลงไปในตะแกรงเบอร์ 200
5. ทิ้งของเหลวที่ผ่านตะแกรงไป
6. ทำการเติมน้ำลงไปในถ้วยตวงแก้วแล้วเทลงไปในตะแกรง แล้วทำวนซ้ำไปมาจนกว่าน้ำที่ผ่านออกมาจะใส
7. ทำการล้างทรายที่ยังอยู่บนตะแกรงให้สะอาด
8. นำกรวยขึ้นมาสวมทับตะแกรง
9. ทำการกลับด้านแล้วนำปากกรวยเข้าไปจ่อที่ถ้วยตวงแก้ว
10. ทำการฉีดน้ำให้ทรายที่เหลืออยู่บนตะแกรงกลับลงไปในถ้วยตวงแก้ว
11. รอให้ทรายตกตะกอนและทำการอ่านค่าปริมาตรของทรายเป็นเปอร์เซ็นต์

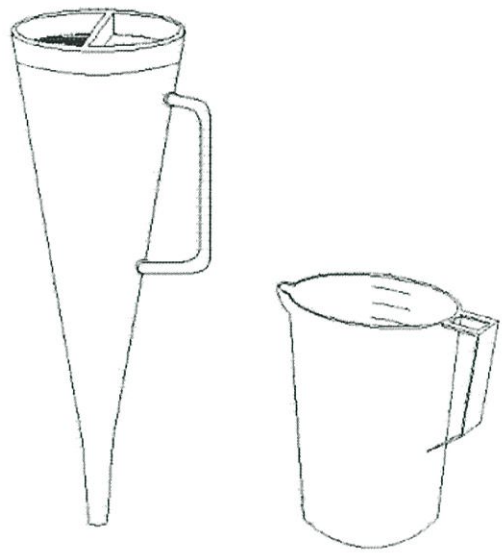
- **การทดสอบหาค่าความหนืด**

<u>จุดประสงค์</u>

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความหนืดของสารละลายในงานขุดเจาะ

<u>เครื่องมือ</u>

1. ถ้วยตวงปริมาตร 1 ลิตร
2. นาฬิกาจับเวลา
3. กรวยสำหรับการทดสอบหาค่าความหนืด



รูปที่ 2.14 อุปกรณ์ในการทดสอบหาค่าความหนืด ((Texas Department of Transportation, 2009)

<u>ขั้นตอนการทดสอบ</u>

1. ทำการอุดกรวยด้านก้นไว้ด้วยนิ้ว แล้วทำการเทของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะตัวอย่างลงไปผ่านหน้ากากกรองทำการเติมจนของเหลวพยุงขึ้นไปถึงใต้หน้ากากกรอง
2. นำนิ้วออกพร้อมปล่อยให้ของเหลวพยุงดินไหลออกพร้อมกับจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลาจนกว่าของเหลวจะครบ 1 qt (946 cm^2) ซึ่งจะมีตำแหน่งบอกอยู่ที่ถ้วยตวง
3. ทำการบันทึกเวลา

2.9 พื้นฐานที่ใช้ในงานสำรวจ

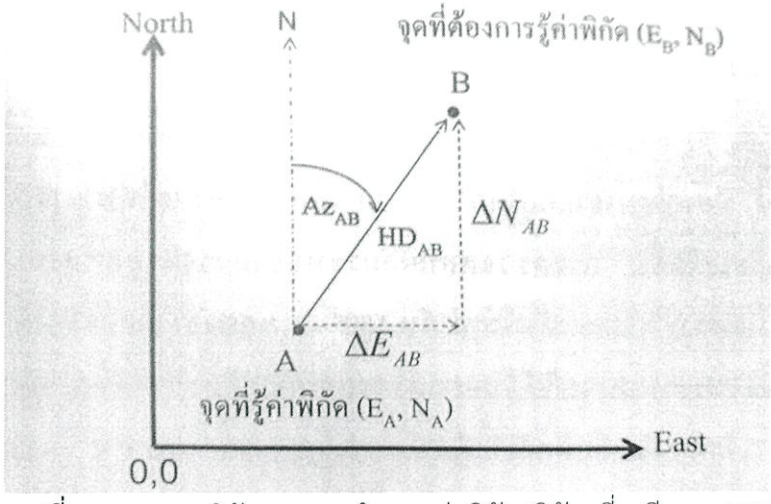
2.9.1 ระบบแอซิมัท (วิชัย เยี่ยววีรชน, 2555)

ระบบแอซิมัท คือ การบอกทิศของเส้น จากจุดเริ่มต้น ไปยังจุดปลายด้วยค่ามุมที่วัดเทียบกับเส้นเมริเดียนที่ผ่านจุดเริ่มต้นนั้น โดยวัดตามเข็มนาฬิกา (Clockwise) ได้รอบครบวงกลม 360 องศา (Whole circle) ซึ่งปกติค่ามุมแอซิมัทจะวัดเทียบกับทิศเหนือของเส้นเมอริเดียน ทำนองเดียวกันการเรียกชนิดของทิศแอซิมัทจะเรียกตามชนิดของเส้นเมอริเดียนที่ใช้คือ geodetic azimuth, magnetic azimuth, assumed azimuth และ grid azimuth

2.9.2 ระบบพิกัดระนาบและการคำนวณค่าพิกัด (วิชัย เยี่ยววีรชน, 2555)

2.9.2.1 ระบบพิกัดระนาบ

ระบบพิกัดที่ใช้ในงานสำรวจบนระนาบ (plane surveys) จะแยกค่าพิกัดทางราบและทางดิ่งออกจากกัน เนื่องจากพื้นผิวที่ใช้ในการอ้างอิงเป็นคนละพื้นผิว กล่าวคือ ค่าพิกัดทางดิ่งหรือค่าความสูง (H) นับอ้างอิงกับผิวระดับ (level surface) ที่ระดับน้ำทะเลปลานกลาง (msl) และค่าพิกัดทางราบ (x,y) เป็นระบบพิกัดบนระนาบ 2 มิติ มีทิศบวกในระบบพิกัดมุมฉากมือขวาโดยมีทิศเหนือเป็นแกน Y และทิศตะวันออกเป็นแกน X บนพื้นที่สำรวจขนาดเล็กพื้นผิวระดับเป็นพื้นผิวระนาบเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.15 ระบบพิกัดและการคำนวณค่าพิกัด (วิชัย เยี่ยววีรชน, 2555)

การระบุทิศของตำแหน่งหรือแนวเส้นในระบบพิกัดของงานสำรวจ สำหรับประเทศไทยใช้ระบบอ้างอิงแบบแอซิมัทเทียบกับทิศเหนือ

2.9.2.2 การคำนวณพิกัดระนาบ

จากรูป 2.15 จุด A เป็นจุดที่ทราบค่าพิกัด (E_A, N_A) เมื่อทราบทิศทางเส้น AB เทียบกับทิศเหนือคือ Az_{AB}และระยะทางราบ HD_{AB} จะทำให้สามารถคำนวณพิกัดของจุด B ได้ดังนี้

$$\Delta E_{AB} = HD_{AB} sin Az_{AB} \quad (2.1)$$

$$\Delta N_{AB} = HD_{AB} cos Az_{AB} \quad (2.2)$$

$$E_B = E_A + \Delta E_{AB} \quad (2.3)$$

$$N_B = N_A + \Delta N_{AB} \quad (2.4)$$

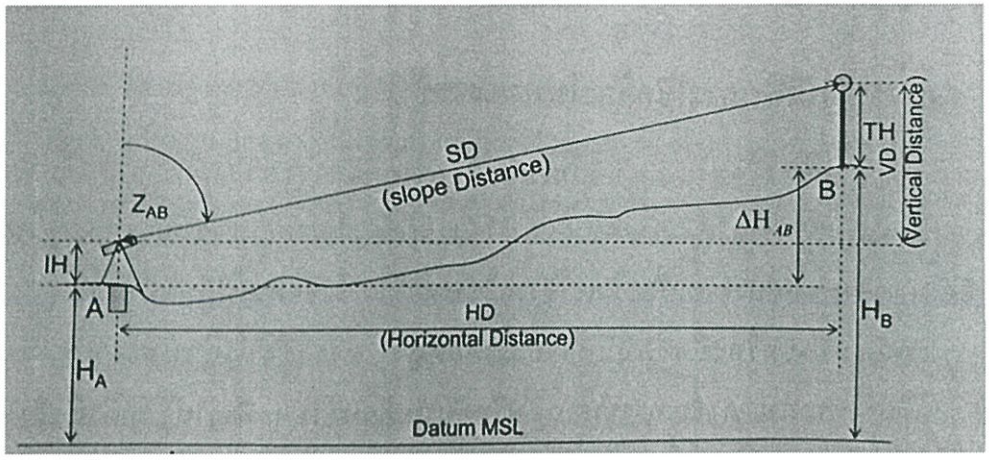
จะเห็นว่า เมื่อทราบตำแหน่งพิกัดของจุด A การระบุตำแหน่งจุด B การะระบุตำแหน่งจุด *B* สามารถระบุในเชิงระบบพิกัดเป็น (E_B, N_B) ซึ่งเป็นการอ้างถึงเทียบกับระบบพิกัดที่มีศูนย์กำเนิดแน่นอนเรียกว่าการอ้างอิงตำแหน่งเชิงสัมบูรณ์ *(absolute positioning)* ปกติแล้วผู้ใช้ไม่สามารถจินตนาการถึงตำแหน่งของจุด *B* ได้โดยง่าย แต่หากอ้างอิงในลักษณะเชิงสัมพันธ์ *(relative positioning)* คือจุด *B* อยู่ห่างจากจุด *A* เป็นระยะทางราบเท่ากับ HD_{AB} ทางทิศแอซิมัทเท่ากับ Az_{AB} ซึ่งสามารถจินตนาการตำแหน่ง *B* ได้ง่ายกว่า ซึ่งทั้งสองวิธีมีความเหมาะสมต่อการใช้งานที่แตกต่างกัน และสามารถคำนวณกลับไปกลับมาระหว่างค่าพิกัด และค่าแอซิมัทกับระยะราบได้ดังนี้

$$HD_{AB} = \sqrt{(N_B - N_A)^2 + (E_B - E_A)^2} \quad (2.5)$$

$$Az_{AB} = \tan^{-1} \frac{(E_B - E_A)}{(N_B - N_A)} \quad (2.6)$$

2.9.3 การรังวัดอิเล็กทรอนิกส์แทคิโอมิทรี *(Electronic Tacheometry)* (วิชัย เยี่ยววีรชน, 2555)

อิเล็กทรอนิกส์แทคิโอมิทรี คือเทคนิคการวัดเช่นเดียวกับการวัดแทคิโอมิทรีแบบสเตเดียในด้วยการใช้กล้องโททอลสเตชันวัดค่าทิศทาง มุมดิ่ง ระยะเอียงระหว่างกล้องไปยังเป้าปริซึมสะท้อนแสง ทำให้สามารถคำนวณค่าระยะราบ ค่าระยะดิ่ง ค่าต่างระดับของจุดที่วัดเทียบจุดตั้งกล้องและค่าระดับจุดนั้นได้



รูปที่ 2.16 นิยามของการรังวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์แทคิโอมิทรี (วิชัย เยี่ยววีรชน, 2555)

1. ความสูงกล้อง *(instrument height, IH)*
2. ความสูงเป้าสะท้อนแสง *(target height, TH)*
3. ค่าจานองศาราบ *(horizontal circle reading)*
4. ค่าจานองศาดิ่ง *(vertical circle reading, Z_{AB})*
5. ค่าระยะเอียง *(slope distance, SD)*

ดังนั้น นอกจากจะสามารถคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งจุดเป้าสะท้อนแสงจากการคำนวณแอซิมัทและระยะราบ ยังสามารถคำนวณค่าระดับความสูงของจุดเป้าสะท้อนแสงเทียบกับตำแหน่งตั้งกล้องได้ ดังนี้

$$\mathrm{HD} = SD sin Z_{AB} \quad (2.7)$$

$$\mathrm{VD} = SD cos Z_{AB} \quad (2.8)$$

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = IH + VD - TH \quad (2.9)$$

$$H_B = H_A + IH + VD - TH \quad (2.10)$$

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อรวบรวมคำแนะนำและขั้นตอนที่ถูกต้องในการควบคุมงานเข็มเจาะระบบเปียกโดยเริ่มต้นการวิจัยด้วยการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด อาทิเช่น หน้าที่ของผู้ควบคุมงาน เอกสารการตรวจสอบงานที่มีอยู่ หรือแม้แต่งานวิจัยเก่าๆซึ่งเกี่ยวข้องกับการการวิจัยนี้เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดที่มีมาวิเคราะห์และต่อยอดเป็นงานวิจัยชิ้นนี้

3.1 ลำดับการวิจัย

ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งวิธีการวิจัยได้เป็นขั้นตอนดังนี้

3.1.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการใช้ตรวจสอบและควบคุมงานเข็มเจาะระบบเปียก

3.1.1.1 การทบทวนเอกสาร และงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาค้นคว้าความรู้และทฤษฎีที่จำเป็นสำหรับงานวิจัย โดยทำการรวบรวมจาก บทความทางวิชาการ หนังสือ เอกสารต่าง ๆ ข้อมูลที่สามารถสืบค้นได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต

3.1.1.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นจากวิธีการทำงานที่ถูกต้องตามที่ผู้ออกแบบได้มีการกำหนดมาในแบบเพื่อการประมูล (The Lofts Silom Piling Specification FOR TENDER)

3.1.1.3 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นจากวิธีการทำงานที่ถูกต้องตามที่ผู้รับเหมาได้มีการเสนอส่งเพื่อการก่อสร้างจริง (General Method statement for Bored Pile Construction)

3.1.1.4 ศึกษาและรวมข้อมูลที่จำเป็นจากข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะของ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

3.1.1.5 ศึกษาและรวมข้อมูลที่จำเป็นจากใบตรวจสอบคุณภาพของการทำงานของงานเข็มเจาะระบบเปียก(Checklist)

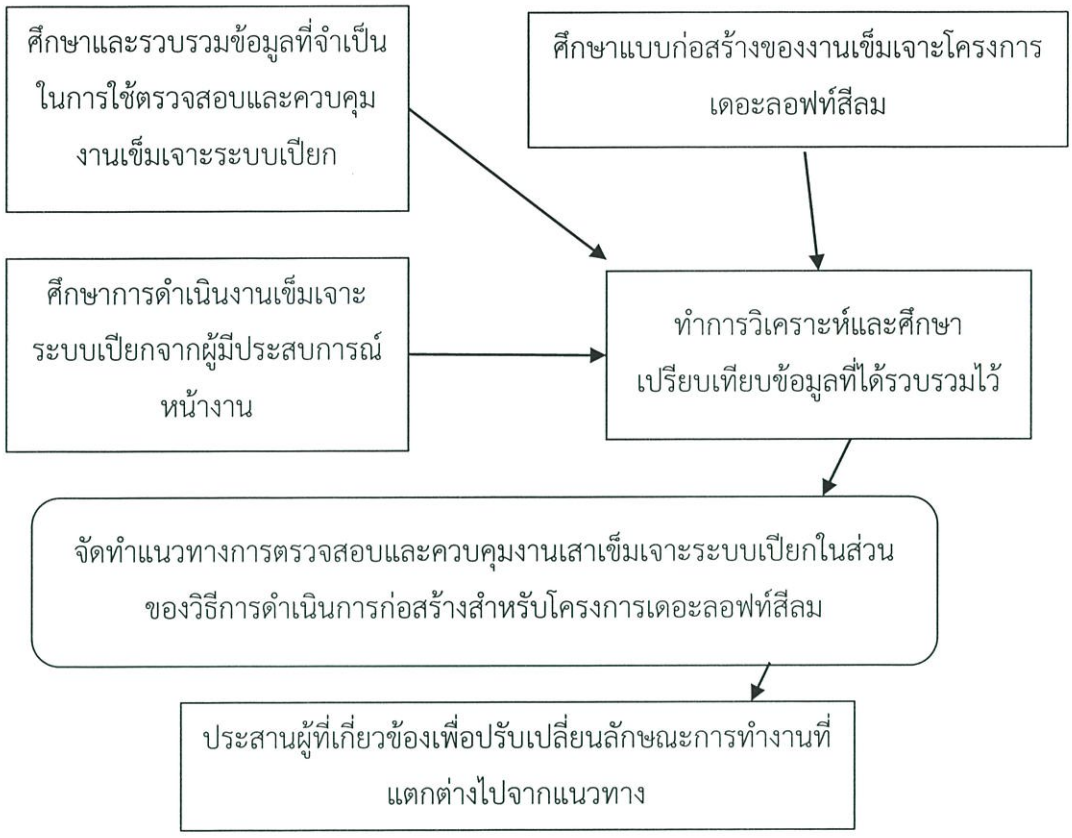
3.1.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากการดำเนินงานเข็มเจาะระบบเปียกจากผู้มีประสบการณ์หน้างาน

3.1.3 ศึกแบบก่อสร้างของงานเข็มเจาะโครงการเดอะลอฟท์สีลม

3.1.4 การวิเคราะห์และศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลที่มี

3.1.5 จัดทำแนวทางที่ถูกต้องในการตรวจสอบและควบคุมงานเข็มเจาะระบบเปียก

3.1.6 ประสานผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อปรับเปลี่ยนลักษณะการทำงานที่แตกต่างไปจากแนวทาง



รูปที่ 3.1 ลำดับการดำเนินการวิจัย

3.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการใช้ตรวจสอบและควบคุมงานเข็มเจาะระบบเปียก

3.2.1 การทบทวนเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการค้นคว้าหาข้อมูลจากเอกสาร และงานวิจัยเก่าๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ เพื่อที่จะได้ใช้ประโยชน์จากงานวิจัยเหล่านั้น ส่วนหนึ่งก็เพื่ออ้างอิงข้อมูลที่มีอยู่ในการวิจัยชิ้นนี้ และอีกส่วนหนึ่งก็เป็นการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเพื่อใช้ในการควบคุมงานก่อสร้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง งานเข็มระบบเปียก

- รายชื่อเอกสารที่ทำการทบทวน

  3.2.1 วิศวกรรมฐานราก (พรพจน์ ตันเส็ง)

  3.2.2 วิศวกรรมฐานรากและการออกแบบ (ธนาดล คงสมบูรณ์)

  3.2.3 คอนกรีตเทคโนโลยี

  3.2.4 ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี

3.2.5 มาตรฐานการยุบตัวของคอนกรีต

3.2.6 หน้าที่ของผู้ควบคุมและตรวจงานก่อสร้าง

3.2.7 ชนิดของการยุบตัวของคอนกรีต

3.2.8 วัสดุวิศวกรรมก่อสร้าง

3.2.9 การสำรวจวิศวกรรม1

3.2.10 Slurry testing

3.2.11 การสร้างมาตรฐานงานก่อสร้างเสาเข็มระบบเจาะเปียกในประเทศไทยที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากลในยุคโลกาภิวัฒน์

3.2.12 การศึกษาเรื่องผลกระทบต่อแรงเสียดทานของเสาเข็มเจาะจากระยะเวลาก่อสร้างและความหนืดของสารละลายเบ็นโทไนท์

3.2.13 สมรรถนะของเสาเข็มระบบเจาะเปียกด้วยสารละลายเบ็นโทไนท์ในชั้นดินกรุงเทพ

3.2.14 คู่มือปฏิบัติงาน การทำเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่

- **ข้อมูลที่รวบรวมได้จากเอกสารต่างๆที่ได้กล่าวมาจากเอกสารที่ทบทวนในขั้นต้น**

1) หัวข้อที่ต้องทำการทดสอบในครั้งแรกก่อนการเริ่มงาน (ชนันต์ และเกรียงศักดิ์, 2534)

- ตรวจสอบว่าความยาวของปลอกเหล็กที่ผู้รับเหมาเสนอส่งมาสอดคล้องกับลักษณะของชั้นดินในเอกสาร soil investigation หรือไม่

- ตรวจสอบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยคอนกรีตมีขนาดใหญ่กว่าปลอกเหล็กที่ไม่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์ที่กรวยเทคอนกรีตตกลงไป

- จะต้องมีการตรวจอนุมัติผังบริเวณก่อการทำงาน

2) หัวข้อที่ต้องตรวจสอบสำหรับงานสำรวจ (ชนันต์ และเกรียงศักดิ์, 2534)

- ตรวจสอบตำแหน่งที่จะเจาะให้ถูกต้อง

- ตรวจการใส่ casing ชั่วคราวตรวจดิ่งของ casing และแกนของเครื่องเจาะด้วยระดับน้ำ เพื่อควบคุมความดิ่งของเสาเข็มให้ไม่เกินข้อกำหนด โดยใช้ระดับน้ำที่มีความยาวไม่ต่ำกว่า 1 เมตร ทาบที่ปลอกเหล็ก 2 ด้านที่ตั้งฉากกันจะทำให้ปลอกเหล็กได้ดิ่ง

- ตรวจความลึกของรูเจาะด้วยลูกดิ่งหรือวิธีอื่นที่วิศวกรอนุมัติ

- ต้องมีการตรวจสอบหลังจากกดปลอกเหล็กเสร็จแล้วว่ามีระยะคลาดเคลื่อนเกินค่าที่ยอมให้หรือไม่

- ต้องควบคุมตำแหน่งของปลอกเหล็กในขณะกดปลอกเหล็กลงไปในดินโดยใช้ไม้ซึ่งมีความยาวเท่ากันทาบจากหมุดบนดินไปยังด้านทั้งสอบของปลอกเหล็ก

- เมื่อกดปลอกเหล็กลงไปในดินแล้ว และต้องการตรวจจุดศูนย์กลางของตำแหน่งเสาเข็มก็สามารถทำได้โดยใช้ไม้พาดบนปากปลอกเหล็ก เพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางเสาเข็มแล้วสอบระยะ กับหมุดอ้างอิงที่ได้ทำไว้ ว่ามีค่าคลาดเคลื่อนหรือไม่

3) รายการที่ต้องตรวจสอบช่วงของการขุดเจาะดิน (ชนันต์ และเกรียงศักดิ์, 2534)

- เมื่อพบน้ำในรูเจาะ และลักษณะดินมีทรายรวมอยู่เป็นจำนวนมากขึ้นจะต้องเปลี่ยนเป็นหัวเจาะแบบถัง

- ในกรณีที่ใช้ Bentonite หมุนเวียนให้ตรวจสอบคุณภาพ ความหนาแน่น viscosity เปอร์เซ็นต์ทราย ค่า pH ให้ถูกต้องตามบทกำหนด

- ก่อนเทคอนกรีตต้องตรวจสอบความลึก และการพังทลายของดินข้างหลุม ตลอดจนตะกอนก้นหลุม

- ก้านเจาะรูเสาเข็มจะต้องทำการตรวจดิ่งโดยใช้กล้อง หรือระดับน้ำ เพื่อให้รูเจาะไม่เอียง

- จะต้องเจาะให้ลึกลงไปจนปลายเสาเข็มฝังในชั้นทรายได้ 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง

- หากต้องทิ้งรูเจาะไว้ข้ามคืนระดับสุดท้ายที่ขุดค้างไว้ไม่ควรเป็นชั้นทรายที่ปลายเสาเข็มเพื่อจะได้มาทำการขุดนำตะกอนที่ตกหล่นไปออกต่อได้ในวันต่อไป

- หากใช้เวลาการติดตั้งเสาเข็มนานมากกว่า 24 ชั่วโมงหรือปล่อยให้สารละลายในรูเจาะอยู่นิ่งนานเกินกว่า 4 ชั่วโมงแล้วก่อนจะเทคอนกรีตต้องทำการเจาะคว้านใหม่เพื่อครูดผงเบนโทไนท์ที่เกาะติดผิวรูเจาะออก (ณรงค์ ทัศนนิพันธ์, 2543)

- เสาเข็มเจาะระบบเปียกด้วยการใช้สารละลายเบนโทไนท์ในชั้นดินกรุงเทพฯ หากใช้เวลาก่อสร้างไม่เกิน 40 ชั่วโมงและความหนืดของสารละลายไม่เกิน 55 sec/qt. แล้วจะมีค่าแรงเสียดทานไม่น้อยกว่าค่าแรงเสียดทานที่ประเมินโดยใช้ตามค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้มีการวิจัยกันไว้ในทศวรรษก่อน (ณรงค์ ทัศนนิพันธ์, 2544)

4) รายการที่ต้องตรวจสอบสำหรับเหล็กเสริมคอนกรีต (ชนันต์ และเกรียงศักดิ์, 2534)

- ก่อนที่จะทำการลงเหล็กเสริมคอนกรีตต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติของสารพยุงดินที่ก้นหลุมเจาะ ไม่ใช่เพียงแค่การตรวจสอบจากการตักที่ผิวของสารละลายของหลุมเจาะมาทำการทดสอบ (ณรงค์ ทัศนนิพันธ์, 2543)

- ตรวจสอบโครงเหล็กเสริมให้ถูกต้องตาม shop drawing และการตรวจการเชื่อมเหล็ก

- ในระหว่างการทำการใส่เหล็กเสริมจะต้องเห็นสารละลายพยุงหลุมเจาะเกือบเต็มหลุมเจาะ

- การต่อเหล็กเสริมเสาเข็มแต่ละท่อนโดยการทาบให้ได้จำนวนรอยทาบตามข้อกำหนด โดยใช้การเชื่อมแต้มรอยทาบเป็นบางเส้นเพื่อยึดรอยต่อระหว่างท่อนของเหล็กเสริมไม่ให้เกิดการหลุดออกจากกันในขณะหย่อนลงไปในรูเจาะ

- ต้องใส่วัสดุลงไปในปากกรวยของท่อเทคอนกรีตด้านบน เช่น โฟมเม็ด

5) รายการที่ต้องตรวจสอบสำหรับช่วงของการเทคอนกรีต (ชนันต์ และเกรียงศักดิ์, 2534)

- ก่อนเทคอนกรีตต้องตรวจสอบความลึก และการพังทลายของดินข้างหลุม ตลอดจนตะกอนก้นหลุม

- ตรวจสอบส่วนผสมคอนกรีตให้ตรงตาม Mix design ที่ได้รับอนุมัติแล้ว

- ตรวจสอบความยาวท่อเทในครั้งแรกปลายจะอยู่ห่างจากก้นหลุมประมาณ 10 ซม. จากนั้นจะต้องจมอยู่ในคอนกรีตไม่น้อยกว่า 2 เมตร ตลอดเวลา ก่อนใช้ท่อเททุกครั้ง ท่อเทต้องสะอาดและผนึกแน่น

- ในระหว่างการเทคอนกรีตพยายามอย่ายกท่อเทคอนกรีตขึ้นๆลงๆเพราะจะทำให้เกิดการพลิกลงไปมาของสารละลายซึ่งสุดท้ายแล้วอาจจะไปผสมกับคอนกรีตสด

- ระหว่างการเทคอนกรีตฝังปลายท่อในคอนกรีตลึกมากเกินไป ทำให้คอนกรีตที่ไหลออกจากปลายท่อไม่สามารถดันคอนกรีตชุดเก่าขึ้นเติมหน้าตัดรูเจาะ ทำให้คอนกรีตชุดหลังแทรกตัวขึ้นรอบๆท่อเทเท่านั้นทำให้ครูด filter cake ไม่ออกและกลบทับสิ่งสกปรกหน้าผิวคอนกรีต

- ตรวจสอบปริมาณคอนกรีตที่เทไปแล้วเทียบกับค่าที่คำนวณไว้เป็นระยะๆ

- ทำระเบียนบันทึกเวลาทำงาน ปริมาณคอนกรีต และสิ่งผิดปกติต่างๆ

- การวัดความลึกที่ดีควรจะวัดความลึกของหลุมเจาะ 2 – 3 จุดและทำการหาค่าเฉลี่ย

- หากมีการเทคอนกรีตสำหรับเสาเข็มที่มีระดับตัดหัวเสาเข็มที่ผิวดินอาจจะต้องดึง casing ขึ้นสูงกว่าระดับปกติประมาณ 2 เมตรเพื่อที่เมื่อเวลาถอนปลอกเหล็กขึ้นแล้วจะได้มีคอนกรีตเต็มความลึก

- การตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีตต้องมีค่าการยุบตัวตามที่กำหนด เพื่อสามารถเทผ่านท่อได้ง่าย และมีกำลังคอนกรีตที่จะใช้มากกว่า 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และจะต้องใช้สารผสมหน่วงเพื่อยืดเวลาแข็งตัวออกไปให้มากกว่า 4 ชั่วโมง สำหรับการเก็บคอนกรีตอาจจะสุ่มเก็บคอนกรีต 3 คัน คันละ 3 ตัวอย่างสำหรับเสาเข็ม 1 ต้น

- ต้องมีการกำหนด Ove break ของปริมาณการเทคอนกรีต (ธนาดล, ม.ป.ป.)

6) รายการที่ต้องตรวจสอบสำหรับช่วงการถอนปลอกเหล็ก(ชนันต์ และเกรียงศักดิ์, 2534)

- หลังจากทำการเทคอนกรีตเสร็จให้ทำการถอนปลอกเหล็กทันที

- ในระหว่างที่ทำการถอนปลอกเหล็กต้องมีการตรวจสอบดิ่งด้วย

3.2.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นจากวิธีการทำงานที่ถูกต้องตามที่ผู้ออกแบบได้มีการกำหนดมาในแบบเพื่อการประมูล (The Lofts Silom Piling Specification FOR TENDER)

ก่อนที่จะมีการคัดเลือกผู้รับเหมาที่เหมาะสมเข้ามารับงานของโครงการแล้วส่วนใหญ่จำเป็นต้องผ่านการคัดเลือกหรือประมูลจากฝ่ายเจ้าของโครงการก่อน เพราะการคัดเลือกผู้รับเหมาที่เสนอราคาที่เหมาสมและมีคุณภาพที่สมควรจะเป็นประโยชน์ต่อบริษัทเจ้าของโครงการมาก สำหรับในโครงการเดอะลอฟท์สีลมในช่วงงานเข็มก็เช่นกัน มีการคัดเลือกผู้รับเหมาและเอกสารหนึ่งฉบับที่ผู้รับเหมางานเข็มได้รับก็คือ The Lofts Silom Piling Specification ซึ่งเป็นเอกสารที่ระบุมาตรฐานการทำงานเบื้องต้นให้ผู้รับเหมางานเข็มไปประเมินราคา และตรวจสอบมาตรฐานชองตัวเองก่อนเริ่มทำงาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เริ่มศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นจากเอกสารฉบับนี้เพื่อใช้ในการตรวจสอบงาน ควบคุมงานและดำเนินการวิจัย

- **เนื้อหาที่สำคัญเพื่อใช้ในการวิจัย**

1) เรื่องทั่วๆไปเกี่ยวกับงานเข็ม (General Information)

- เสาเข็มที่ได้ออกมาต้องมีสภาพยังคงเต็มหน้าตัด

- คอนกรีตที่ผ่านการเทแล้วจะต้องบรรจุเต็มไม่มีส่วนผสมของดิน, น้ำ และสารลายป้องกันดินพัง

- ผู้รับเหมาจะต้องส่งรายละเอียดของเครื่องจักรที่สำคัญให้กับผู้ออกแบบ

- ผู้รับเหมาจะต้องระบุและส่งรายละเอียดของเสาเข็มต้นที่จะทำการ load testing ลงไปในแผนงาน

- ระบุและส่งรายละเอียดการทำงาน Method statement

- จำเป็นที่จะต้องมีวิศวกร สำหรับ Site safety และ Site Supervision พูดที่จะควบคุมงานและยอมรับการทำงานของ วิศวกรของผู้รับเหมา

2) การเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากสภาพของดิน (Change in Ground Conditions)

- วิศวกรของผู้รับเหมาจำเป็นต้องทราบถึงสภาพของดินที่ต่างกับรายงาน Soil report แต่ไม่จำเป็นต้องแก้ไขอะไร

3) งานที่ผิดพลาด (Defective Work)

- หากเกิดผลลัพธ์อันเนื่องมาจากการทำงานที่ผิดพลาดขึ้นให้ดำเนินการแจ้ง

4) วิธีการทำงาน (Method Statement)

- ผู้ออกแบบต้องการให้ผู้รับเหมาเสนอส่งขั้นตอนการเจาะและเทคอนกรีต

- ผู้ออกแบบต้องการให้ผู้รับเหมาเสนอส่งวิธีการตรวจสอบค่าผิดพลาดที่ยอมให้

- ผู้ออกแบบต้องการให้ผู้รับเหมาเสนอส่งวิธีการตรวจสอบเสถียรภาพของหลุมเจาะ

- ผู้ออกแบบต้องการให้ผู้รับเหมาเสนอส่งคุณสมบัติของปลอกเหล็กและสารละลาย

- ผู้ออกแบบต้องการให้ผู้รับเหมาเสนอส่งวิธีการติดตั้งเหล็กเสริมและการเทสารละลาย

- ผู้ออกแบบต้องการให้ผู้รับเหมาเสนอส่งวิธีการทำความสะอาดหลุมเจาะก่อนการเทคอนกรีต

- ผู้ออกแบบต้องการให้ผู้รับเหมาเสนอส่งวิธีการถอดปลอกเหล็กออกและวิธีการกำจัดสารละลายที่ปนเปื้อน

-ผู้ออกแบบต้องการให้ผู้รับเหมาเสนอส่งวิธีการรับมือกับโครงสร้างใต้ดินที่มีอยู่เดิม

5) ลำดับขั้นตอนในการทำงาน (Sequence of Construction)

- ทางผู้รับเหมาจะต้องเสนอวิธีการดำเนินการก่อสร้างที่ไม่ส่งผลกระทบและรบกวนสิ่งก่อสร้างและบ้านค้างเคียง

- งานเข็มต้นถัดไปหากไม่ได้เจาะห่างกับต้นที่แล้วเกิน 24ซม. ต้องมีระยะห่างจากันเกิน 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง

6) ปลอกเหล็ก

- ผู้รับเหมาจะต้องเสนอความลึกของปลอกเหล็กและต้องเป็นผู้รับผิดชอบในส่วนของการออกแบบความลึกของปลอกเหล็ก

7) ความลึกของการขุด (Depth of Excavation)

- ความลึกของการขุดจะเป็นไปตามกำหนดตามแบบแนบสัญญา

8) สารละลายที่ใช้ในการรักษาเสถียรภาพระหว่างการขุด (Support Fluid in Excavation)

- ผู้รับเหมาจะต้องหาวิธีการการป้องกันการไหลล้นของสารละลายระหว่างการขุด

- ระดับผิวของสารละลายจะต้องอยู่ภายใน 0.3เมตรจากระดับดินหน้างาน

- สุดท้ายแล้วตัวสารละลายจะต้องไม่เป็นอันตรายต่อหลุมเจาะ

- ต้องทำการตรวจสอบสภาพของสารละลายที่ก้นหลุมก่อนทำการลงเหล็กเสริมหากไม่เป็นไปตามสภาพที่ควรจะเป็นตามที่ระบุไว้ให้ทำการปรับปรุงคุณภาพของสารละลายก่อน

9) เหล็กเสริม (Reinforcement)

- สำหรับระยะหุ้มระหว่างตัวผิวคอนกรีตกับผิวเหล็กเสริมจะต้องมีระยะห่างกันไม่น้อยกว่า 75mm และไม่มากกว่า 95mm

- เหล็กเสริมที่ถูกผูกเป็นกรงแล้วจะต้องมีสภาพที่ดีและไม่เสียรูปทรง

- จุดยกของเหล็กเสริมจะต้องได้รับการยอมรับจากวิศวกรผู้ควบคุมงาน

10) การเตรียมก้นหลุม (Preparation of Bored Pile Bases)

- ก่อนที่จะมีการเทคอนกรีตจะต้องมีการตรวจระดับก้นหลุมและทำความสะอาดก้นหลุมเสียก่อน

- ต้องมีร่วมสังเกตุวัสดุที่ก้นหลุมโดยวิศวกรควบคุมงาน

10) ระดับหัวเข็ม (Pile Head)

- ระดับของหัวเข็มจะต้องอยู่เกินระดับตัดหัวเข็ม (Cut-off level) ไป 1-2 เมตร

- คอนกรีตภายใต้ระดับ Pile cut-off level จะต้องเป็นคอนกรีตที่สม่ำเสมอไม่มีสารเจือปน

11) ค่าที่ยอมให้ได้ (Tolerance)

- ตำแหน่งจริงเทียบที่ cut-off level จะต้องไม่ต่างจากตำแหน่งที่ออกแบบไว้เกิน 50mm

- ค่าที่ยอมให้ในแนวดิ่งจะต้องไม่เกิน 1/100

12) การตรวจสอบความสมบูรณ์ของเข็มที่เสร็จแล้ว (Seismic Integrity Tests of Completed Bored Piles)

- ต้องมีการทดสอบหาความสมบูรณ์ของเข็มในทุกๆต้นที่เสร็จแล้ว

13) การทดสอบการรับน้ำหนักของเข็มที่เสร็จแล้ว (Load Testing of Completed Bored Piles)

- การทดสอบจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D1143

- ผู้รับเหมาต้องส่งการออกแบบและแบบสำหรับเข็มสมอให้มีความสามารถในการรับน้ำหนักการทดสอบได้

14) รายงานและบันทึก (Report and Records)

- มีรายงานประจำวันส่งให้สำหรับเข็มทุกต้นซึ่งประกอบด้วย วันที่, สภาพอากาศ, หมายเลขเสาเข็ม, ชนิดของงาน, ระดับผิวดิน, ค่าความลึกที่ขุดได้ในแต่ละวัน ความล่าช้าและอุปสรรคที่เกิดขึ้น, ระดับtop concrete, เวลาเริ่มและเวลาจบงานเทคอนกรีต เป็นต้น

15) ผลทดสอบของคอนกรีตสำหรับเข็มเจาะเปียก

- ในทุกๆครั้งที่มีการเทคอนกรีตต้องมีการส่งผลทดสอบทรงกระบอกของคอนกรีตใน 6 ตัวอย่าง เป็นอย่างน้อยซึ่งเป็นของ 7วัน และ 28วันอย่างละ3ตัวอย่าง

16) ตัวอย่างทรงกระบอก (Test Cylinders)

- ต้องมีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C31 โดยเป็นทรงกระบอกมาตรฐานขนาด 300mm

17) คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete)

- รถปูนต้องใช้เวลาไม่มากกว่า 1 ½ ชม.ตั้งแต่ผสมจนถึงเวลาเทคอนกรีตยกเว้นแต่มีสารใส่เพิ่มที่เหมาะสม

- จะต้องมีการจดรายละเอียดของรถปูนเช่น เวลาการมาถึง, เวลาผสม, จดหมายเลขรถ, เวลาที่คอนกรีตถูกเท, ตำแหน่งของเสาเข็มที่ถูกเท และ ค่าslump

- ต้องมีการให้ทางผู้ควบคุมงานเข้าไปตรวจการทำงานของ supplier คอนกรีตผสมเสร็จ

18) การเทคอนกรีตผ่านท่อส่งคอนกรีต (Tremie concrete)

- กำลังของคอนกรีตที่ 28 วันต้องไม่น้อยกว่า 25MPa (ประมาณ 255 ksc)

- ค่า Slumpของคอนกรีตที่ผ่านท่อส่งผ่านคอนกรีตต้องมีค่ามากกว่า 150 ถึง 200 มม.

- คอนกรีตจากการใช้ท่อส่งผ่านคอนกรีตต้องมีความสูงเหนือระดับตัดหัวเสาเข็มตามความเหมาสม แต่ต้องสูงกว่าอย่างน้อย 1.5 ม.

- ระดับของปลายของท่อส่งคอนกรีตต้องต่ำกว่าระดับคอนกรีตสดไม่น้อยกว่า 2 ม.

19) เหล็กเสริม (Steel Reinforcement)

- มาตรฐานชองเหล็กที่นำมาใช้ต้องเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.)

- เหล็กที่นำมาใช้ต้องไม่เปื้อนดิน, คราบน้ำมัน, เป็นสนิม หรือไม่ได้ตามขนาดที่ระบุไว้

- ผู้รับเหมาต้องให้ทางวิศวกรผู้ควบคุมงานตรวจสอบถึงแหล่งที่มาของเหล็กเสียก่อนที่จะทำการสั่ง

- ผู้รับเหมาต้องแจ้งการส่งเหล็กทุกครั้งเพื่อให้วิศวกรผู้ควบคุมงานมั่นใจว่าเหล็กมาจากที่ซึ่งผู้รับเหมาได้ส่งของอนุมัติแล้ว

- ผู้รับเหมาต้องส่งทดสอบการรับกำลังที่จุดครากของเหล็กด้วยความยาวเหล็ก 900 มม. เป็นจำนวน 2 ตัวอย่าง ต่อขนาดเหล็ก 1 ขนาด โดยต้องเป็นวิศวกรผู้ควบคุมงานเป็นผู้สุ่มตรวจสอบ

3.2.3 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นจากวิธีการทำงานที่ถูกต้องตามที่ผู้รับเหมาได้มีการเสนอส่งเพื่อการก่อสร้างจริง (General Method statement for Bored Pile Construction)

1) รายการที่ต้องตรวจสอบช่วงของการขุดเจาะดิน

- ระดับโดยทั่วไปของของเหลวพยุงดินต้องอยู่ที่ระดับเดียวกับระดับดินที่ใช้ทำงานและจะต้องไม่ลดลงไปต่ำกว่า 2 ม. จากระดับดินหลังจากที่หัวเจาะถูกยกออก

- จะต้องทำการเปลี่ยนหัวเป็นหัวทำความสะอาดหลุมก่อนการทำความสะอาด

2) รายการที่ต้องตรวจสอบสำหรับเหล็กเสริมคอนกรีต

- จะต้องทำการลงเหล็กเสริมทันทีหลังจากทำการทำความสะอาดหลุม

3) รายการที่ต้องตรวจสอบสำหรับช่วงของการเทคอนกรีต

- จะต้องทำการเทคอนกรีตหลังจากการใส่เหล็กเสริมให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้

- ทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตตามว่ามีคุณสมบัติเป็นไปตามสัญญา

- คอนกรีตต้องมีการตรวจเช็คค่าการยุบตัวก่อนการเทคอนกรีตให้เป็นไปตามสัญญา

- ขนาดของท่อเทคอนกรีตจะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 22.5 cm

- ต้องมีการใส่ตัวแบ่งคอนกรีตชุดแรกกับสารพยุงดิน ในที่นี้คือ Styrofoam

- ในระหว่างการเทคอนกรีตท่อเทคอนกรีตต้องอยู่ต่ำกว่า คอนกรีตสดอย่างน้อย 2 ม.

- สำหรับคุณสมบัติของคอนกรีตที่ดีอย่างต่อเนื่อง จะมีการเทคอนกรีตเกินระดับ cut-off level ไปประมาณ 1 ม.

4) รายการที่ต้องตรวจสอบสำหรับช่วงการถอนปลอกเหล็ก

- ให้ทันการทอนปลอกเหล็กทันทีหลังจากที่มีการเทคอนกรีตเสร็จเรียบร้อย

ศึกษาและรวมข้อมูลที่จำเป็นจากข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะ ของ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

3.2.4 ศึกษาและรวมข้อมูลที่จำเป็นจากข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะ ของ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

1) รายการที่ต้องตรวจสอบก่อนเริ่มงานในครั้งแรก

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มจะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มที่กำหนดไว้ในแบบหรือข้อกำหนดเฉพาะงาน ในการเจาะเสาเข็มแต่ละต้นจะต้องทำการวัดขนาดความกว้างของอุปกรณ์ขุดเจาะ ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหัวอุปกรณ์ขุดเจาะที่ยอมให้คือ $\pm 5\%$

- ปลอกเหล็กชั่วคราวที่ใช้จะต้องไม่บิดเบี้ยว และมีรูปทรงหน้าตัดที่สม่ำเสมอตลอดความยาว

2) รายการที่ต้องตรวจสอบสำหรับงานสำรวจ

- ผู้รับจ้างงานเสาเข็มเจาะจะต้องตรวจสอบตำแหน่งเป็นระยะๆ และจะต้องตรวจสอบตำแหน่งของปลอกเหล็กกันดินพังอีกครั้งหลังจากที่ติดตั้งเสร็จแล้ว

- จะยอมให้มีค่าความเบี่ยงเบนสูงสุดจากจุดศูนย์กลางเสาเข็มที่กำหนดไว้ที่ระดับผิวดินเริ่มต้นเจาะได้ไม่เกิน 75 มม. ในทุกแกน สำหรับเสาเข็มที่มีระดับตัดของหัวเสาเข็มใช้งานต่ำกว่าระดับผิวดินเริ่มต้นเจาะ จะยอมให้ค่าความเบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นได้ โดยสอดคล้องกับที่กำหนดไว้ในข้อถัดไป

- ค่าความเบี่ยงเบนแนวดิ่งที่ยอมให้เกิดขึ้นของเสาเข็มก่อสร้างแล้วเสร็จวัดที่ระดับใดๆจะต้องมีค่าไม่เกิน 1 : 100

- ระยะห่างของเสาเข็มต้นใหม่กับเสาเข็มต้นที่เพิ่งหล่อคอนกรีตแล้วเสร็จภายในเวลาไม่เกิน 24 ชม. จะต้องไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มต้นที่ใหญ่กว่าโดยวัดจากศูนย์กลางเสาเข็มเป็นเกณฑ์

3) รายการที่ต้องตรวจสอบช่วงของการขุดเจาะดิน

- เพื่อความปลอดภัยระหว่างการทำงานควรจะยกปากระดับของปลอกเหล็กให้อยู่สูงกว่าระดับดินที่ทำงานประมาณ 1 เมตร

4) รายการที่ต้องตรวจสอบสำหรับเหล็กเสริมคอนกรีต

- ค่าผิดพลาดยอมได้สำหรับตำแหน่งของโครงเหล็กในแนวดิ่ง คือ สูงขึ้นมาไม่เกิน 150 มม.หรือต่ำไม่เกิน 50 มม. ในกรณีใช้การต่อเหล็กโดยการเชื่อมจะต้องมีการส่งแบบรายละเอียดและขั้นตอนต่างๆ ก่อนการทำงาน

- สำหรับเหล็กยืนจะต้องมีคอนกรีตหุ้มไม่น้อยกว่า 75 มม. สำหรับตำแหน่งติดตั้งลูกหนุนจะต้องส่งให้วิศวกรตรวจสอบก่อนและยอมรับ

5) รายการที่ต้องตรวจสอบสำหรับช่วงของการเทคอนกรีต

- การเทคอนกรีตต้องมีความไม่มีการหยุดชะงักจนเป็นผลให้คอนกรีตที่เทไปแล้วเกิดการก่อตัว ซึ่งเป็นทำให้เนื้อคอนกรีตของเสาเข็มเกิดความไม่ต่อเนื่องกันในส่วนนั้น

- การเทคอนกรีตจะต้องตรวจวัดและบันทึก ความลึกของระดับผิวบนของคอนกรีตสด ความยาวท่อ และปริมาณคอนกรีตที่เทไปแล้วเป็นระยะๆ และต้องคำนวณเปรียบเทียบระหว่างปริมาณคอนกรีตที่ใช้จริงๆ

- ปลายท่อจะต้องมีระยะฝังจมอยู่ในคอนกรีตที่เทไปแล้วไม่น้อยกว่าเมตรตลอดการเทคอนกรีต

- ควรหลีกเลี่ยงการชักท่อขึ้นๆลงๆเพราะอาจทำให้คอนกรีตสดเกิดการปนเปื้อนได้ง่าย

- ในระหว่างการก่อสร้างจะต้องรักษาระดับของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะที่อยู่ในปลอกเหล็กกันดินพังหรือในหลุมเจาะที่มีเสถียรภาพให้สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินไม่น้อยกว่า 2 เมตร ตลอดเวลาการก่อสร้างเสาเข็มเจาะต้นนั้น

- สำหรับเข็มเจาะระบบเปียกที่ต้องเทคอนกรีตใต้ระดับน้ำหรือใต้ของเหลงที่ป้องกันหลุมเจาะพัง โดยท่อเทผ่านท่อเท ค่ายุบตัวที่เหมาะสมของคอนกรีตสดจะอยู่ที่ช่วง 175 – 225 มม.โดยคอนกรีตสดที่เหมาะสมสำหรับงานเสาเข็มเจาะควรมีค่าการยุบตัวลดลงอย่างช้าๆและไม่ต่ำกว่า 100 มม.. เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมงหลังจากการผสมคอนกรีต

- ให้เก็บตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกกกอย่างน้อย 9 แท่งจากคอนกรีตทุกๆจำนวน 50 ลูกบาศก์เมตร ที่ใช้เทลงในเสาเข็มเจาะแต่ล่ะต้นและให้บ่มตัวอย่างที่เก็บในสถานที่ก่อสร้าง โดยให้เก็บตัวอย่างอย่างน้อยหนึ่งชุดต่อเสาเข็มหนึ่งต้น ตัวอย่างแท่งคอนกรีตต้องถูกเก็บและบ่มชื้นอย่างต่อเนื่องตามวิธีบ่มชื้นแบบมาตรฐาน หรือบ่มชื้นภายใต้สภาวะเดียวกับที่บ่มโครงสร้างคอนกรีต เมื่อกำหนดให้ทดสอบกำลังอัดไปตามมาตรฐานวิธีการซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยสากล โดยทดสอบกำลังอัดของแท่งตัวอย่างอย่างน้อย 3 แท่งที่อายุ 7 วัน และทดสอบแท่งตัวอย่างอย่างน้อย 3 แท่งที่อายุ 28 วัน ส่วนแท่งตัวอย่างที่เหลืออีกอย่างน้อย 3 แท่งให้เก็บไว้เป็นตัวอย่างสำรองในกรณีที่ต้องการทดสอบเพิ่มเติมในระยะยาว

- ผลการทดสอบค่ากำลังอัดประลัยเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน จะต้องไม่ต่ำกว่ากำลังอัดที่กำหนด (fc') และค่ากำลังอัดที่ทดสอบได้ของคอนกรีตแต่ล่ะแท่งจะต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 ของค่ากำลังอัดที่กำหนด

- ไม่ควรเทคอนกรีตต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินถึงแม้ระดับตัดใช้งานจะอยู่ต่ำกว่า แต่ในกรณีที่จะเทคอนกรีตต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน จะต้องตรวจสอบและป้องกันน้ำใต้ดินที่จะไหลเข้ามาปนเปื้อนกับคอนกรีตสด ในขณะถอนปลอกเหล็กชั่วคราวออก

- ค่าที่ยอมให้ในการเทคอนกรีตเหนือระดับตัดใช้งานของเสาเข็มเจาะแบบเปียกที่ระดับดับใช้งานใต้ระดับดินเริ่มต้น(H) อยู่ที่ 0.15-10.00 จะเป็น 1.0 + H/12 + C/8

* หากค่า H มีค่ามากกว่า 10 ม. ให้ใช้ค่า 10 ม.

** C คือความยาวของปลอกเหล็กกันดินพังที่ฝังอยู่ใต้ระดับตัดเสาเข็มใช้งาน

-หลังจากการเทคอนกรีตถึงระดับที่ต้องการแล้ว ควรกลบปากหลุมเจาะทันที ด้วยวัสดุเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับคอนกรีต

- ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเจาะจนถึงการเทคอนกรีตแล้วเสร็จในแต่ละต้น จะต้องไม่เกิน 24 ชม. โดยเริ่มนับเวลาตั้งแต่การเจาะได้ระดับปลายปลอกเหล็กชั่วคราว

3.2.5 ศึกษาและรวมข้อมูลที่จำเป็นจากใบตรวจสอบคุณภาพของการทำงานของงานเข็มเจาะระบบเปียก(Checklist)

1) รายการที่ต้องตรวจสอบก่อนการก่อสร้าง

- แบบสำหรับการก่อสร้างได้รับการอนุมติหรือไม่

- การเทคอนกรีตและวิธีการเทคอนกรีตได้รับการอนุมัติแล้วหรือไม่

2) รายการที่ต้องตรวจสอบก่อนการเริ่มทำการขุดเจาะ

- สภาพดินได้รับการสังเกตแล้วหรือไม่

- หมุดอ้างอิงและตำแหน่งอ้างอิงได้รับการสำรวจแล้วหรือไม่

- แนวราบคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 75.00 มม.

- ความเอียงที่ยอมให้ตามแนวดิ่งเอียงได้ไม่เกิน 1/100

- ขนาดและความหนาของปลอกเหล็กได้รับการวัดหรือไม่

- ปลอกเหล็กมีสภาพสมบูรณ์หรือไม่

- มีการตรวจสอบคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพดินแล้วหรือไม่ ผ่านกำหนดหรือไม่

- ขนาดเหล็ก และจำนวนเหล็กเป็นไปตามแบบสำหรับการก่อสร้าง

- ระยะทาบตำแหน่งและระยะหุ้มคอนกรีตได้รับตรวจสอบแล้วหรือไม่

- ความลึกหลุมเจาะตามค่าที่ออกแบบ และ ความยาวปลอกเหล็กที่ทางหน้างานเข้าใจเป็นไปตามแบบสำหรับการก่อสร้างหรือไม่

- สภาพแวดล้อม และเครื่องจักรพร้อมสำหรับการทำงานหรือไม่

3) รายละเอียดที่ต้องตรวจสอบหลังจากถูกอนุมัติให้ก่อสร้าง (ระหว่างการก่อร้าง)

- ข้อมูลทางหน้างานต้องได้รับการตรวจสอบ

- ปริมาตรหลุมเจาะ และความลึกต้องได้รับการตรวจสอบ

- ความลึกหลุมจริงจากปลายบนสุดของปลอกเหล็กต้องได้รับการตรวจสอบ

- คุณสมบัติของคอนกรีตสดเป็นไปตามที่กำหนดในแบบสำหรับการก่อสร้าง

- เสียงและข้อจำกัดของเวลาการทำงานต้องได้รับการตรวจสอบ

4) รายละเอียดที่ต้องตรวจสอบหลังจากการก่อสร้าง

- ปริมาตรของคอนกรีตเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่

- วิธีการถอนปลอกเหล็กเป็นไปตามแบบสำหรับการก่อสร้าง

- มีการทำความสะอาดหลังจากการก่อสร้างหรือไม่

5) เอกสารและรายงานที่ต้องได้รับการตรวจสอบ

- Static และ Seismic test ผ่านหรือไม่

- เอกสารการสำรวจของเสาเข็มต้นนั้น

- รายงานการเทคอนกรีต

- ผลกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน ผ่านหรือไม่

3.3 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากการดำเนินงานเข็มเจาะระบบเปียกจากผู้มีประสบการณ์หน้างาน

เนื่องจากผู้วิจัยมีความเห็นว่าการที่จะตรวจสอบและควบคุมงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยก็จำเป็นต้องมีความเข้าในลำดับขั้นตอนของการดำเนินงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกในเชิงปฏิบัติพอสมควร รวมถึงจำเป็นต้องทราบข้อจำกัดและอุปสรรคปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นหน้างานจริง เพื่อจะนำทุกสิ่งทุกอย่างที่ผู้วิจัยได้พบเห็น มาศึกษาและหาคำตอบต่อไปสำหรับข้อสงสัยบางประการที่เกิดขึ้นหน้างาน นอกจากนี้ผู้วิจัยยังใช้โอกาสที่ได้เรียนรู้จากการปฏิบัติจริงหน้างานในการสอบถามบุคลากรในหลายๆความรับผิดชอบ เพื่อให้ทราบถึงรายละเอียดที่ผู้วิจัยสงสัยและต้องการหาคำตอบ

3.4 ศึกษาแบบก่อสร้างของงานเข็มเจาะโครงการเดอะลอฟท์สีลม

หลังจากมีความเข้าใจการดำเนินงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติแล้ว ผู้วิจัยก็มีความพร้อมทางด้านข้อมูลและหลักวิชาการในการก่อสร้าง ผู้วิจัยจึงศึกษาแบบก่อสร้างของงานเข็มเจาะของทางโครงการ เพื่อที่จะเตรียมความพร้อมสำหรับการตรวจสอบและควบคุมงานในส่วนที่เกี่ยวข้องให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างที่ผู้ออกแบบได้กำหนดมา พร้อมกับตรวจสอบว่าแบบก่อสร้างที่ผู้ออกแบบอนุมัติมา

เป็นไปตามหรือขัดแย้งกับข้อมูลที่ได้รับมาจากทางหน้างาน และความรู้ทางทฤษฎีที่ได้รับมาจากเอกสารและการวิจัยต่างๆอย่างไร

3.5 การวิเคราะห์และศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลที่ถูกรวบรวม

เนื่องจากข้อมูลที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและค้นคว้ามานั้นมีจำนวนมากและจากหลายแหล่ง ผู้วิจัยจึงต้องทำการวิเคราะห์และแยกแยะข้อมูลที่ผู้วิจัยจะใช้ออกจากข้อมูลที่ไม่ใช้ เมื่อข้อมูลมีความสอดคล้องกันก็เป็นการยืนยันได้ว่าข้อมูลที่ผู้วิจัยจะใช้มีความน่าเชื่อถือ แต่หากข้อมูลที่รวบรวมมามีความขัดแย้งกันหรือไม่สอดคล้อง ผู้วิจัยก็จะเลือกข้อมูลที่มากจากแหล่งข้อมูลที่ทางหน้างานและทางเจ้าของยอมรับโดยลำดับความสำคัญของข้อมูลเป็นดังนี้

1) ข้อมูลจากสัญญาระหว่างผู้ว่าจ้างกับผู้รับจ้าง
2) ข้อมูลจากวิธีการทำงาน(specification)ที่กำหนดโดยผู้ออกแบบซึ่งแนบในสัญญา
3) เอกสาร Method statement ที่ถูกเสนอส่งให้ผู้ออกแบบพร้อมกับแบบสำหรับการก่อสร้าง / เนื่องจากผู้ออกแบบมีการตอบที่หน้าเอกสารมาว่า อนุมัติ Method statement ของผู้รับจ้างโดยต้องมีข้อมูลสอดคล้องกับ specification/
4) เอกสารมาตรฐานของ ว.ส.ท.
   / เนื่องจากในตัวมาตรฐานเอง ในบทที่ 1 หัวข้อ 1.1 มีเขียนไว้ดังนี้: ในกรณีที่มีข้อกำหนดในมาตรฐานฉบับนี้ขัดแย้งกับข้อกำหนดในสัญญาก่อสร้าง ให้ถือข้อความในสัญญาก่อสร้างเป็นสำคัญ/
5) เอกสารและงานวิจัยต่างๆที่ผู้วิจัยค้นคว้าเอง
6) ข้อมูลที่ไม่ได้มีการรับรองซึ่งผู้วิจัยได้รับมาจากการสอบถามหน้างาน

ยกตัวอย่างเช่น ค่าที่ยอมให้ของความคลาดเคลื่อนในแนวราบของเสาเข็มที่ระดับผิวดิน ทางผู้ออกแบบมีการกำหนดมาทาง specification ที่แนบมาในสัญญาหลักเป็น 50 mm ในทุกแกน แต่ทางผู้รับว่าจ้างอ้างว่าในสัญญา ระบุเป็นไปตาม ว.ส.ท. ซึ่งในที่นี้คือจะอ้างถึง

- จะยอมให้มีค่าความเบี่ยงเบนสูงสุดจากจุดศูนย์กลางเสาเข็มที่กำหนดไว้ที่ระดับผิวดินเริ่มต้นเจาะได้ไม่เกิน 75 มม. ในทุกแกน สำหรับเสาเข็มที่มีระดับตัดของหัวเสาเข็มใช้งานต่ำกว่าระดับผิวดินเริ่มต้นเจาะ จะยอมให้ค่าความเบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นได้ โดยสอดคล้องกับที่กำหนดไว้ในข้อถัดไป

- ค่าความเบี่ยงเบนแนวดิ่งที่ยอมให้เกิดขึ้นของเสาเข็มก่อสร้างแล้วเสร็จวัดที่ระดับใดๆจะต้องมีค่าไม่เกิน 1 : 100

เป็นต้น

แต่หากข้อมูลที่จำเป็นไม่ได้มีระบุไว้ในเอกสารที่มีความสำคัญลำดับบนสุด ผู้วิจัยก็จะเลือกที่จะอ้างอิงจากเอกสารที่มีการความสำคัญรองลงมา ตัวอย่างเช่น ไม่มีกำหนดไว้ตรงส่วนไหน ของสัญญา กำหนดของผู้ออกแบบ ขั้นตอนการทำงานของผู้ว่าจ้าง แม้แต่ในมาตรฐานของ ว.ส.ท. ก็ตามไม่ได้มีระบุไว้ถึงความห่างปลายสุดของท่อเทคอนกรีตกับก้นหลุมเจาะว่าควรจะเป็นเท่าใด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะใช้ข้อมูลจากเอกสารที่ผู้วิจัยค้นคว้ามา ก็คือ 10 ซม. (ชนันต์ และเกรียงศักดิ์, 2534)

แต่ในกรณีพิเศษบางกรณี ที่ข้อกำหนดต่างๆที่อยู่ในเอกสารที่มีความสำคัญลำดับแรกๆแต่จะทำให้ผู้รับจ้างมีความลำบากมากขึ้นในการทำงาน ผู้รับจ้างจึงขออนุญาตจากผู้ควบคุมงานให้ใช้ข้อกำหนดที่สะดวกต่อการทำงานมากกว่า เช่น ในเอกสารของผู้ออกแบบกำหนดให้

- งานเข็มต้นถัดไปหากไม่ได้เจาะห่างกับต้นที่แล้วเกิน 24ซม. ต้องมีระยะห่างจากันเกิน 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง

แต่มาตรฐานของ ว.ส.ท. กำหนดไว้เพียง 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มที่ใหญ่กว่า วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางเท่านั้น ทางผู้ควบคุมงานจึงทำเอกสารไปถามขอความคิดเห็นจากผู้ออกแบบ โดยผู้ออกแบบตอบมาว่า สำหรับข้อกำหนดนี้จะใช้ตาม ว.ส.ท. ก็ได้แต่มันก็ไม่ใช้เงื่อนไขที่จะทำให้ผู้รับจ้างหมดความรับผิดชอบจาก ความสมบูรณ์ของเสาเข็มคอนกรีตด้วยกรณีใดๆ

3.6 จัดทำแนวทางที่ถูกต้องในการตรวจสอบและควบคุมงานเข็มเจาะระบบเปียก

หลังจากการวิเคราะห์และศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลที่ถูกรวบรวมมา ขั้นต่อไปก็คือการที่ผู้วิจัยจำจัดทำแนวทางที่ถูกต้องในการตรวจสอบและควบคุมงานเข็มเจาะระเปียก เพื่อที่ใช้เป็นต้นแบบสำหรับวิธีการตรวจสอบงานและควบคุมงานที่เกี่ยวข้องกับวิธีการดำเนินงานก่อสร้างเฉพาะโครงการเดอะลอฟท์ สีลม โดยผลการวิจัยที่ออกมาของงานวิจัยนี้ หรือก็คือคู่มือที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นจะถูกแสดงไว้ในบทที่ 4 ของงานวิจัยเล่มนี้

3.7 ประสานผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อปรับเปลี่ยนลักษณะการทำงานที่แตกต่างไปจากแนวทาง

เมื่อผู้วิจัยได้จัดทำแนวทางการตรวจสอบและควบคุมงานเข็มเจาะระบบเปียกซึ่งเกี่ยวกับขั้นตอนและลักษณะการทำงานแล้ว ผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าลักษณะการทำงานบางส่วนของผู้รับจ้างหรือแม้แต่ของผู้ควบคุมงานซึ่งก็รวมถึงผู้วิจัยเองด้วย มีลักษณะที่แตกต่างไปจากแนวทางที่ผู้วิจัยได้จัดทำไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการประสานผู้ที่เกี่ยวข้องเหล่านี้เพื่อชี้แจงให้พวกเขาทราบถึงลักษณะการทำงานที่อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงการได้ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดก็สามารถอ้างอิงได้จาก แนวทางที่ผู้วิจัยได้แสดงไว้ในบทที่ 4 นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างการดำเนินการงานที่อาจส่งผลเสียต่อโครงการไว้ในบทที่ 4 ของงานวิจัยเล่มนี้เช่นกัน

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

4.1 แนวทางการตรวจสอบและควบคุมงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกในส่วนของวิธีการดำเนินการก่อสร้าง สำหรับ โครงการเดอะลอฟท์สีลม

- **ช่วงก่อนดำเนินการก่อสร้าง (Pre-Construction)**

<u>ข้อพึงระลึก</u> ก่อนที่ผู้ควบคุมงานจะอนุมัติให้ดำเนินงานก่อสร้างได้ หัวข้อที่วิศวกรผู้ออกแบบและผู้ควบคุมงานต้องการให้ผู้รับจ้างส่งเอกสารเพื่อขออนุมัติก่อนเริ่มงานก่อสร้างจำเป็นนั้น ต้องถูกอนุมัติเสียก่อน อาทิเช่น เหล็กเส้นต้องเป็นเหล็กเส้นที่ถูกผลิตจากบริษัทที่ได้รับ มอก. ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของวิศวกรผู้ออกแบบ ถ้าหากวัสดุสำคัญเช่นเหล็กเส้นยังไม่ได้รับการอนุมัติก่อนการก่อสร้าง ผู้รับจ้างอาจใช้วัสดุที่ไม่ได้มาตรฐานมาใช้ในการก่อสร้างก็เป็นได้

1. รายการที่ผู้ควบคุมงานต้องร่วมตรวจสอบก่อนการดำเนินงานก่อสร้าง
    - ร่วมดำเนินการสำรวจกับผู้รับจ้างเพื่อจัดทำหมุดอ้างอิง Base point
    - ร่วมดำเนินการสำรวจเก็บข้อมูลจากการสำรวจเพื่อนำไปหาค่าพิกัดของหมุดเขตที่ดินเพื่อเสนอส่งแบบผังบริเวณสำหรับการก่อสร้างที่ผู้รับจ้างทำการสำรวจพิกัดหมุดที่ดินจริงและนำไปครอบกับแปลนพื้นสถาปัตยกรรมของผู้ออกแบบ

<u>ข้อแนะนำ</u> ในขั้นตอนการสำรวจนักสำรวจจากทีมผู้รับจ้างจะทำการใช้กล้องเก็บข้อมูลดิบเป็นมุมกับระยะตั้งแต่หมุดอ้างอิงที่สมมุติโดยผู้รับจ้างไปจนถึงหมุดเขตที่ดินทั้งหมดที่ปรากฏหน้างานในระหว่างการเก็บข้อมูลนั้นสิ่งที่ผู้ควบคุมงานควรทำคือสังเกตความแม่นยำในการสำรวจ เช่น การตั้งกล้องได้ระดับทุกครั้งที่ตั้งกล้องหรือไม่ กล้องเล็งตรงหัวหมุดพอดีหรือไม่ ช่างสำรวจที่ตั้งปริซึมตั้งได้ระดับหรือไม่ ค่าดิบที่นักสำรวจจดไปมีความถูกต้องตรงตามที่ปรากฏในกล้องหรือไม่ หลังจากนั้นนักสำรวจจะทำการคำนวณหาค่าพิกัดของหมุดเขตที่ดินทุกจุดออกมาโดยเทียบกับจุดอ้างอิง สำหรับโครงการเดอะลอฟท์สีลมใช้เป็น (N,E) = (5000,2000) ในขั้นตอนนี้ผู้ควบคุมงานสามารถตรวจสอบรายการการคำนวณของผู้รับจ้างได้ หรือถ้าหากผู้รับจ้างไม่ส่งรายการการคำนวณผู้ควบคุมงานต้องคำนวณเพื่อตรวจสอบว่าพิกัดที่ปรากฏในแบบผังบริเวณตรงกับค่าดิบจากการสำรวจหรือไม่

2. รายการที่ผู้ควบคุมงานต้องให้ผู้รับจ้างเสนอส่งเพื่อขออนุมัติก่อนดำเนินการก่อสร้าง
    - รายการที่เกี่ยวข้องกับแบบสำหรับการก่อสร้าง
        - แบบผังบริเวณที่ต้องถูกอนุมัติโดย Architectural designer
        - แบบรายละเอียดเสาเข็มสำหรับการก่อสร้างที่ต้องถูกอนุมิติโดย Structural engineer

- แบบที่แสดงค่าพิกัดของเสาเข็มแต่ละต้นที่ถูกรวมเข้าไปในผังบริเวณที่ถูกตรวจสอบโดยผู้ควบคุมงาน

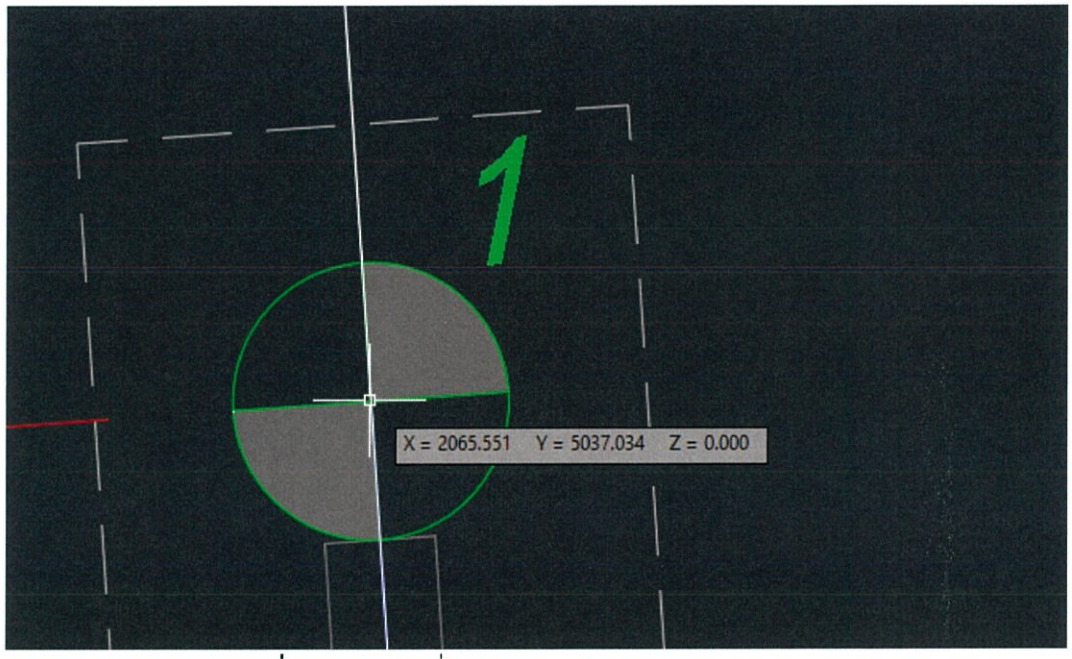
- รายการที่เกี่ยวข้องวัสดุและอุปกรณ์สำหรับการก่อสร้างที่ต้องได้รับการอนุมัติจากวิศวกร
  - Mix design ของบริษัท Ready mix concrete ตามจำนวนที่ผู้ควบคุมงานต้องการ (สำหรับบริษัท Ready mix concrete ผู้รับจ้างเป็นผู้เลือกเอง)
  - ใบรายงานผลการทดสอบคอนกรีตแสดงกำลังรับแรงอัดของ Trial mix ตามบริษัทที่ผู้รับจ้างได้เสนอส่ง Mix design ต่อผู้ควบคุมงาน
  - ผลการทดสอบต่างๆของเหล็กเส้นจากสถาบันที่หน้าเชื่อถือที่ต้องได้รับการอนุมัติโดยผู้ควบคุมงาน ผู้รับจ้างต้องส่งทดสอบการรับกำลังที่จุดครากของเหล็กด้วยความยาวเหล็ก 900 มม. เป็นจำนวน 2 ตัวอย่าง ต่อขนาดเหล็ก 1 ขนาด โดยต้องเป็นวิศวกรผู้ควบคุมงานเป็นผู้สุ่มตรวจสอบ และมาตรฐานชองเหล็กที่นำมาใช้ต้องเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม(มอก.)
  - ผลการทดสอบของการรับแรงดึง
  - ของรอยทาบที่ต้องได้รับการตรวจสอบจากสถาบันที่หน้าเชื่อถือ
  - รายการคำนวณและผลการทดสอบที่แสดงว่ารอยเชื่อมสำหรับเหล็กเข็มสมอมีความสามารถในการรับแรงดึงที่มากกว่าของเหล็กเส้นที่ทำหน้าที่รับแรงดึง
  - ระบุและส่งรายละเอียดการทำงาน Method statement ให้แก่ผู้ออกแบบได้พิจารณาโดยต้องมีรายละเอียดเป็นไปตามที่ผู้ออกแบบได้กำหนดมาตามแบบแนบสัญญาดังนี้
    - เสนอส่งขั้นตอนการเจาะและเทคอนกรีต
    - วิธีการตรวจสอบค่าผิดพลาดที่ยอมให้
    - วิธีการตรวจสอบเสถียรภาพของหลุมเจาะ
    - คุณสมบัติของปลอกเหล็กและสารละลาย
    - วิธีการติดตั้งเหล็กเสริมและการเทสารละลาย
    - วิธีการทำความสะอาดหลุมเจาะก่อนการเทคอนกรีต
    - วิธีการถอดปลอกเหล็กออกและวิธีการกำจัดสารละลายที่ปนเปื้อน
    - วิธีการรับมือกับโครงสร้างใต้ดินที่มีอยู่เดิม

3. วิเคราะห์เพื่ออนุมัติรายการที่ผู้รับจ้างเสนอให้ผู้ควบคุมงานพิจารณา
   - ทำการตรวจสอบค่าพิกัดที่ปรากฏอยู่ในแบบสำหรับการก่อสร้าง โดยทำการตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งจากไฟล์ Autocad ว่าค่าพิกัดที่ถูกบันทึกเป็นไปตามนี้หรือไม่ โดยใช้คำสั่ง ID เพื่อที่จะใช้ตรวจสอบค่าพิกัด

ยกตัวอย่าง การตรวจสอบค่าพิกัด pile no.1 จากโปรแกรม Autocad พบว่ามีค่าตรงกับค่าที่ถูกแสดงไว้ในแบบสำหรับการก่อสร้าง

Pile No.	Northing	Easting
1	5037.034	2065.551

รูปที่ 4.1 แสดงค่าพิกัดของเข็ม No 1. ที่ตัดออกมาจากแบบสำหรับการก่อสร้าง



รูปที่ 4.2 ค่าพิกัดที่ถูกตรวจสอบในโปรแกรม Autocad

- ทำการตรวจสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในแบบทรงกระบอกของ trial mix concrete ว่าเป็นไปตามค่าที่ผู้ออกแบบกำหนดหรือไม่ fc' = 280 ksc สำหรับ working pile และ anchor pile ส่วน test pile จะใช้ fc' = 350 ksc
  ยกตัวอย่างผลทดสอบตามรูปที่ 4.3 ผลการทดสอบคอนกรีต trial mix ที่อายุ 14 วันมีค่ามากกว่า 280 ksc

Concrete Class : 320 KSC (Cube) / 280 KSC (Cylinder) AT 28 DAYS

Curing Condition : WATER CURING

Specified Slump : 20.0 ± 2.5 CM.

Specimens Made by : N.H.C.

Type of Specimens : CYLINDER 15X30 CM.

Plant : หน่วยผลิตรัชดา

Date of Casting : 27/09/2560 Date of Testing : 11/10/2560 Age (Days) : 14

Sample No.	Weight (kgs.)	Load Reading (KN)	Max Load (kgs.)	Strength ($kgs./cm^2$)	Remark
1	12.86	583.48	59,501.35	336.87	บจก.ไทยบาวเออร์
2	12.90	557.86	56,888.99	322.08	THE LOFTS SILOM
3	12.95	607.87	61,988.30	350.95	CS2860B2

รูปที่ 4.3 ผลกำลังรับแรงอัดคอนกรีต trial mix ที่อายุ 14 วัน

- ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของเหล็กเส้นจากผลการทดสอบจากสถาบันที่หน้าเชื่อถือ โดยสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติได้จากตาราง ที่ 2.1

  ยกตัวอย่าง ผลการทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเส้นข้ออ้อยขนาด DB25 SD50T มีคุณสมบัติเทียบกับตารางที่ 2.1 ทั้งด้านแรงดึงเค้นที่จุดคลากและจุดสูงสุด รวมถึงความยืดต่ำสุดโดยทั้งหมดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ชั้นคุณภาพ	แรงเค้นดึงไม่น้อยกว่า		ความยืดต่ำสุด (L=5D)
	ที่จุดคลาก	สูงสุด	
SR24	235	385	21%
SD30	295	480	17%
SD40	390	560	15%
SD50	490	620	13%

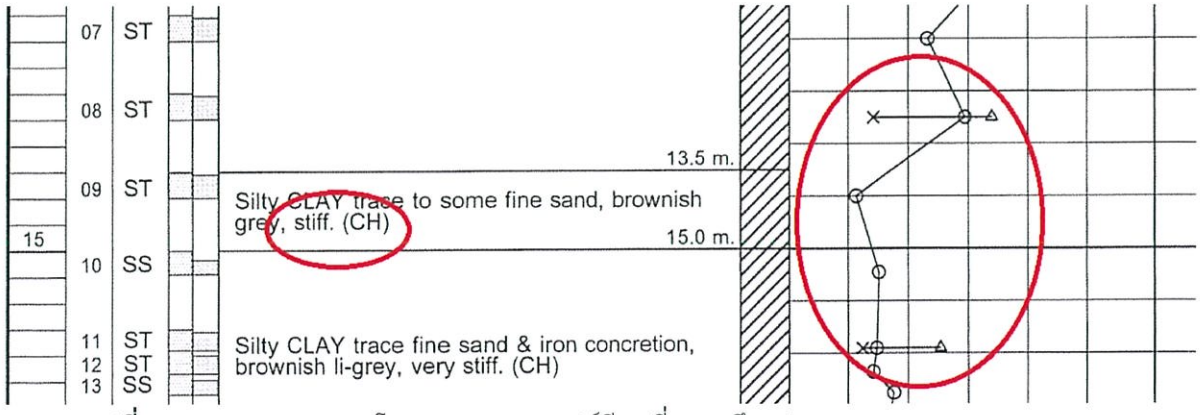
ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติเชิงกลของเหล็กเส้นตามมาตรฐาน มอก. 20-2543 และ 24-2548 (แหลมทอง เหล่าคงถาวร และสุพจน์ ศรีนิล, 2553)

ชื่อตัวอย่าง	เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย ขนาด DB25 SD50T		
หมายเลขตัวอย่าง	1	2	3
หมายเลขปฏิบัติการ	TC 6102057	TC 6102058	TC 6102059
รายการทดสอบ	ผล	ผล	ผล
แรงดึงที่จุดคราก (kN)	268.76	267.06	269.98
ความต้านแรงดึงที่จุดคราก (MPa)	547.49	544.02	549.97
แรงดึงสูงสุด (kN)	337.97	334.93	336.31
ความต้านแรงดึงสูงสุด (MPa)	688.47	682.28	685.08
ความยืด (%)	22.7	19.6	22.5

รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเส้นข้ออ้อย ขนาด DB25 SD50T

- ตรวจสอบผลการรับน้ำหนักของรอยทาบว่าสามารถรับน้ำหนักของเหล็กเสริมทั้งกรงได้หรือไม่ (สำหรับโครงการเดอะลอฟท์สีลมผลที่ออกมาเกินกว่าขั้นต่ำไปมาก)
- ตรวจสอบรายการการคำนวณของรอยเชื่อมที่รอยทาบของเสาเข็มสมอเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถทนแรงดึงสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบกำลังการรับน้ำหนักของเสาเข็มได้ (สำหรับโครงการเดอะลอฟท์สีลมผลที่ออกมาเกินกว่าขั้นต่ำไปมาก)
- ตรวจสอบว่าความยาวของปลอกเหล็กมีความเหมาะสมกับการใช้ป้องกันการพังถลายของดินอ่อนส่วนบน โดยการตรวจสอบ Boring log จาก Soil Investigation report

  ยกตัวอย่าง โครงการเดอะลอฟท์สีลม ผู้รับจ้างใช้ความยาวปลอกเหล็กเป็น 15 ม.โดยตาม SI report แล้วพบว่าที่ความลึก 15 ม.(ระดับ 0.00 ของ SI report มีค่าพอๆกับของหน่วยงาน) มีลักษณะของดินเป็น stiff clay และลักษณะของดินในระดับนั้นมีสภาวะเป็นพลาสติกค่อนข้างมาก สรุปว่าที่ความลึกของปลอกเหล็กมีความเหมาะสม ตามรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 Boring log ของโครงการเดอะลอฟท์สีลมที่ความลึก ประมาณ 15 เมตร

- **ช่วงระหว่างการก่อสร้าง (During Construction)**

<u>ข้อพึงระลึก</u> ระหว่างการดำเนินงานก่อสร้างผู้ควบคุมงานและผู้ตรวจสอบงานต้องเข้าใจถึงหลักการที่วิศวกรใช้ในการออกแบบ โดยหัวข้อสำคัญจะเป็นไปตามข้อกำหนดที่วิศวกรผู้ออกแบบได้แจกแจงไว้ใน Specification ที่ใช้แนบสัญญา อาทิเช่น

- ➢ เสาเข็มที่ได้ออกมาต้องมีสภาพยังคงเต็มหน้าตัด
- ➢ สุดท้ายแล้วตัวสารละลายจะต้องไม่เป็นอันตรายต่อหลุมเจาะ
- ➢ คอนกรีตที่ผ่านการเทแล้วจะต้องบรรจุเต็มไม่มีส่วนผสมของดิน, น้ำ และสารลายป้องกันดินพัง
- ➢ วิศวกรของผู้รับจ้างจำเป็นต้องทราบถึงสภาพของดินที่ต่างกับรายงาน Soil report แต่ไม่จำเป็นต้องแก้ไขอะไร
- ➢ หากเกิดผลลัพธ์อันเนื่องมาจากการทำงานที่ผิดพลาดขึ้นให้ดำเนินการแจ้งวิศวกร
- ➢ จำเป็นที่จะต้องมีวิศวกร สำหรับ Site safety และ Site Supervision พูดที่จะควบคุมงานและยอมรับการทำงานของ วิศวกรของผู้รับจ้าง
- ➢ ผู้รับจ้างจะต้องระบุและส่งรายละเอียดของเสาเข็มต้นที่จะทำการ load testing ลงไปในแผนงาน

1. รายการที่ต้องตรวจสอบและควบคุมในครั้งแรกหลังการอนุมัติให้ดำเนินการก่อสร้าง
   - ○ ตรวจสอบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยคอนกรีตมีขนาดใหญ่กว่าปลอกเหล็กที่ไม่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์ที่กรวยเทคอนกรีตตกลงไป
   - ○ ตรวจสอบความยาวของปลอกเหล็กแต่ละขนาดว่าความยาวของปลอกเหล็กมีความยาวตามที่ผู้รับจ้างได้แจ้งไว้ข้างต้นหรือไม่ หากความยาวของปลอกเหล็กที่ใช้งานน้อยกว่าที่ควรจะเป็นแล้วหน้าตัดของเสาเข็มในชั้นดินแข็งปลานกลางอาจคลอดตัดลงได้ทำให้หน้าตัดของเสาเข็มไม่สม่ำเสมอตามที่วิศวกรได้ออกแบบเอาไว้
   - ○ ปลอกเหล็กชั่วคราวที่ใช้จะต้องไม่บิดเบี้ยว และมีรูปทรงหน้าตัดที่สม่ำเสมอตลอดความยาว
   - ○ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มจะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มที่กำหนดไว้ในแบบหรือข้อกำหนดเฉพาะงาน ในการเจาะเสาเข็มแต่ละต้นจะต้องทำการวัดขนาดความกว้างของอุปกรณ์ขุดเจาะ ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดหัวอุปกรณ์ขุดเจาะที่ยอมให้คือ $\pm 5\%$
   - ○ ตรวจสอบใบรับรองการตรวจสอบทดสอบตามแบบตรวจสอบเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างของเครื่องจักรสำคัญในงานก่อสร้าง
   - ○ ตรวจสอบสภาพของถังเก็บสารเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะว่าสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่

- ตรวจสอบขนาดและสภาพของท่อเทคอนกรีต และให้แน่ใจว่าท่อเหล่านั้นสามารถป้องกันไม่ให้สารพยุงเสถียรภาพดินภายในหลุมเจาะผ่านเข้ามาปนกับคอนกรีตสดได้
- ตรวจสอบพื้นที่ดำเนินการสร้างว่าเหมาะสมและพร้อมต่อการดำเนินงานหรือไม่ อาทิเช่น มีแนวทางการป้องกันการพลิกคว่ำของเครื่องจักร สำหรับโครงการเดอะลอฟท์สีลม ผู้รับจ้างใช้แผ่นเหล็กมาทำหน้าที่รับการกระจายแรง

รูปที่ 4.6 เครื่องจักรที่กำลังทำงานบนพื้นที่มีแผ่นเหล็กกระจายรับน้ำหนัก

2. รายการที่ต้องตรวจสอบและควบคุมก่อนการขุดเจาะเสาเข็ม
   - ตรวจสอบคุณสมบัติของของเหลวพยุงดินเพื่อตรวจสอบว่าของเหลวพยุงดินในขณะนั้นมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะรักษาเสถียรภาพหลุมเจาะหรือไม่ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้จากค่าที่ปรากฏในรูปที่ 4.7

Property to be measured	Test Method and apparatus	API RP13 Section	Compliance values measured at 20 °C	
			As Supplied to pile	Sample from pile prior to placing concrete
Density	Mud balance Low temperature	1	Less than 1.10 g/ml	Less than 1.15 g/ml
Fluid loss (30 minute test)	test fluid loss	3	Less than 40 ml	Less than 60 ml
Viscosity	Marsh Cone	2	30 to 70 seconds (27 - 50)(1)	Less than 90 sec. (Less than 60 sec.) (1)
Shear strength (10 min gel strength)	Fann Viscometer	2	4 to 40 N/m^2	4 to 40 N/m^2
Sand Content	Sand screen set	4	Less than 2%	Less than 2%
pH	(2)		9.5 - 10.8 (8 - 11)(1)	9.5 - 11.7 (<12)(1)

หมายเหตุ 1). ตัวเลขในวงเล็บเป็นความเห็นของผู้เขียน 2.) วัดโดย Electrical pH meter แต่ใช้ pH paper แทนได้

รูปที่ 4.7 คุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (ณรงค์, 2543)

รูปที่ 4.8 การทดสอบหาค่าส่วนผสมของทรายในของเหลวพยุงเสถียรภาพดิน

รูปที่ 4.9 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นของของเหลวพยุงเสถียรภาพดิน

รูปที่ 4.10 การทดสอบหาค่า p.H. ของของเหลวพยุงเสถียรภาพดิน

รูปที่ 4.11 การทดสอบหาค่าความหนืดของของเหลวพยุงเสถียรภาพของดิน

- ตรวจสอบตำแหน่งตั้งกล้องว่าคลาดเคลื่อนไปจากค่าพิกัดที่ได้บันทึกไว้หรือไม่ เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบว่ากล้องนั้นถูกตั้งได้อย่างถูกต้องหรือไม่ด้วยการตรวจสอบทั่วไป อาทิเช่น การสังเกตที่ระดับน้ำของกล้องและหัวหมุดว่าอยู่ตรงตำแหน่งหรือไม่ จากนั้นก็ทำการ set ค่าที่หมุดอ้างอิงให้เป็นมุม Azimuth ที่ต้องการ หลังจากนั้นเพื่อเป็นการสอบจุดตั้งกล้องให้ส่องไปหาหมุดอ้างอิงอีกจุดหนึ่งแล้วอ่านค่า Azimuth และ ระยะเทียบกับจุดตั้งกล้องว่าเป็นไปตามค่าที่ถูกคำนวณไว้ทางทฤษฎีหรือไม่ โดยการคำนวณหาค่า Azimuth กับระยะทางจากพิกัดหนึ่งไปอีกพิกัดหนึ่งสามารถทำได้ด้วยฟังก์ชันง่ายๆบนเครื่องคิดเลข หลังจากที่คำนวณค่าที่ได้จากเครื่องคิดเลขแล้ว ก็นำไปตรวจสอบกับค่าที่ปรากฏบนกล้องสำรวจว่ามีค่าแตกต่างกันมากเท่าใด สำหรับค่าแตกต่างที่ยอมให้ก็ขึ้นอยู่กับผู้ควบคุมงานว่าจะยอมให้มากน้อยเพียงใด ถ้าผู้สำรวจจะเลือกตรวจสอบโดยการสอบจุดอ้างอิงเป็นค่าพิกัดผู้ตรวจสอบงานก็แค่ทำการตรวจสอบว่าค่าที่ออกมาต่างกับพิกัดของจุดอ้างอิงที่ถูกบันทึกไว้มากน้อยเท่าใด

  <u>ตัวอย่าง</u> พิกัดตั้งกล้อง (INS.) (N1,E1) = (5037,2018) และ หมุดอ้างอิง (N2,E2) = (5000,2000) สามารถใช้คำสั่ง pol() บนเครื่องคิดเลข เพื่อจะคำนวณหาค่า Azimuth และระยะทางจากจุด 1 ไปจุด 2 ต้องกดคำสั่งดังนี้

  Pol(N2-N1,E2-E1) = Pol(5000-5037,2000-2018)

  เครื่องคิดเลขจะแสดงค่าออกมาดังนี้

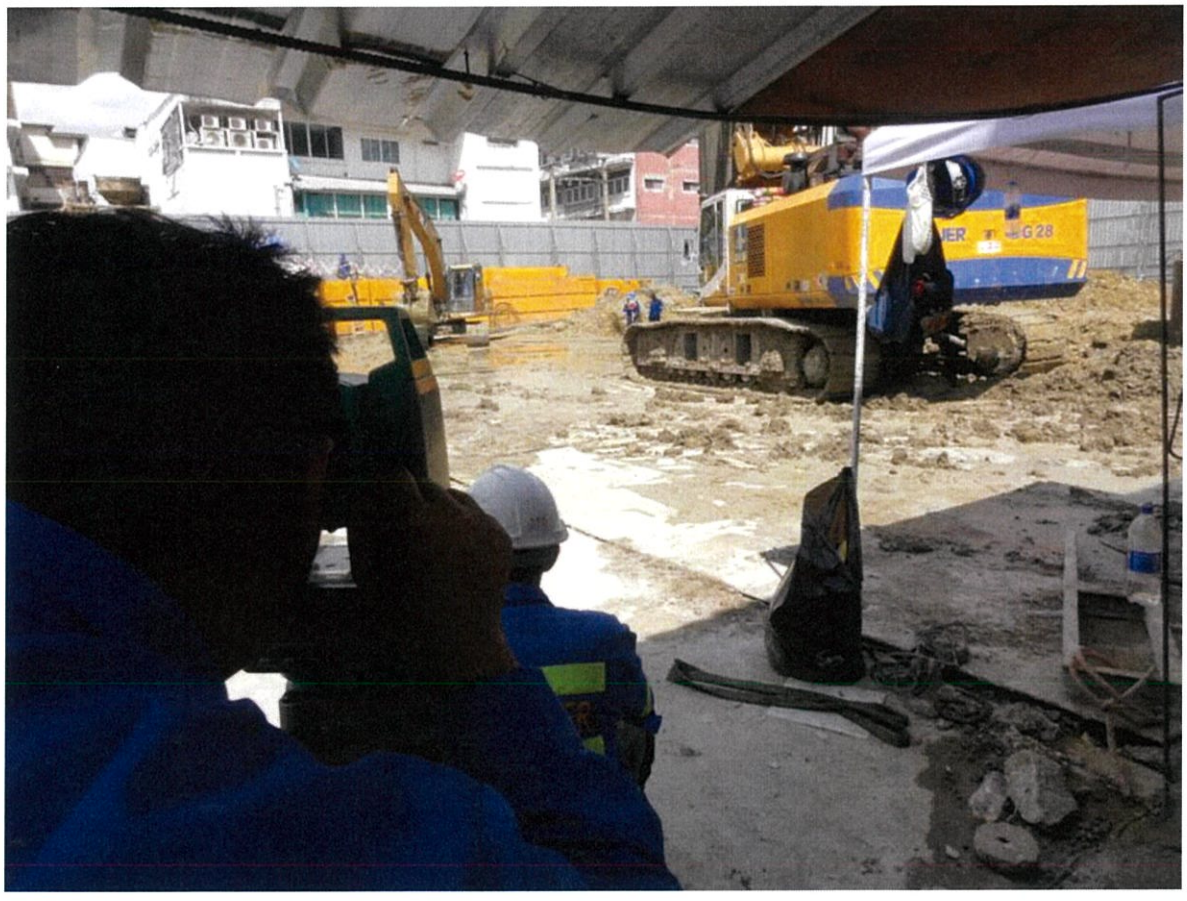
  Azimuth = 205* 56’ 32.28’’

  r = 41.146

รูปที่ 4.12 นักสำรวจกำลังสอบจุดตั้งกล้อง

รูปที่ 4.13 การตรวจสอบการตั้งกล้อง

- ตรวจสอบการสำรวจหาตำแหน่งของเสาเข็ม นักสำรวจสามารถป้อนตำแหน่งของกึ่งกลางเสาเข็มได้ 2 วิธี คือป้อนพิกัดของกึ่งกลางเสาเข็ม หรือ ป้อนเป็น Azimuth กับระยะทางก็ได้ ไม่ว่าจะด้วยวิธีใดผู้ตรวจสอบงานต้องสังเกต ค่าพิกัด หรือ ค่า Azimuth กับระยะทางที่ถูกป้อนเข้าไปว่าถูกต้องหรือไม่ โดยในระหว่างการหาตำแหน่งนักสำรวจจะให้ช่างสำรวจอีกคนขยับเป้าปริซึมให้เข้าใกล้ตำแหน่งขึ้นเรื่อยๆ โดยค่า Azimuth จริงกับระยะห่างที่เหลือจะขึ้นบนจอแสดงผลสุดท้ายแล้วก็ขึ้นอยู่กับผู้ควบคุมงานว่าต้องการความแม่นยำในขั้นตอนนี้มากแค่ไหน สำหรับโครงการเดอะลอฟท์สีลมความคลาดเคลื่อนด้านระยะทางที่ยอมให้เป็น ± 5 มม. และความคลาดเคลื่อนของ Azimuth ที่ยอมให้เป็น 5'' นอกจากการตรวจสอบที่หน้าจอแสดงผลแล้วทางที่ดีควรจะมีผู้ช่วยผู้ตรวจสอบคอยดูว่าปริซึมได้ดิ่งหรือไม่



รูปที่ 4.14 การให้ตำแหน่งเสาเข็ม

- ตรวจสอบการลงปลอกเหล็ก สำหรับการลงปลอกเหล็กนั้นทางนักสำรวจจะใช้ท่อนเหล็กหรือวัสดุอื่นๆที่เป็นแท่งตรงมาวางทาบระยะไว้ 2 แกนสำหรับการรักษาระยะทางแนวราบของการกดปลอกเหล็ก ผู้ควบคุมงานต้องคอยสังเกตไม้ทาบระยะทั้งสองแกนนี้ เพื่อที่จะควบคุมการกดปลอกเหล็ก นอกจากนี้ในระหว่างการกดปลอกเหล็ก ผู้ควบคุมงานต้องคอยสังเกตดิ่งของปลอกเหล็ก โดยอาจจะให้ทำการตรวจสอบดิ่งด้วยระดับน้ำทั้งสองแกนที่ช่วงหัว กลาง และท้ายของปลอกเหล็กหรือเมื่อผู้ควบคุมงานสังเกตเห็นว่าปลอกเหล็กค่อนค้างจะอยู่ในลักษณะที่เอียงอยู่ ทั้งหมดนี้ก็เพื่อที่จะไม่ให้ความเอียงและระยะตามแนบราบของเสาเข็มเกินข้อกำหนด และสิ่งที่ผู้ตรวจสอบควรทราบไว้สำหรับการตรวจสอบความดิ่ง คือ ระดับน้ำต้องมีความยาวเกินกว่า 1 ม. และก่อนที่จะใช้ระดับน้ำต้องให้แน่ใจว่าบริเวณที่จะใช้ระดับน้ำต้องเรียบ(ถ้ามีเศษดินต้องให้ขูดออกก่อน)

รูปที่ 4.15 การควบคุมการเคลื่อนตัวทางแนวราบของเสาเข็ม

รูปที่ 4.16 การตรวจสอบดิ่งของปลอกเหล็ก

<u>ข้อแนะนำ</u> เพื่อความปลอดภัยในการทำงานควรให้ระยะจากผิวดินถึงขอบบนของปลอกเหล็กประมาณ 1 เมตร แต่เพราะการกำหนดค่าให้ได้พอดีจะเพิ่มความลำบากต่อการทำงาน หน้างานจริงสามารถผ่อนผันกันได้

- ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เบื้องต้น เนื่องมาจากค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้จริงๆแล้วต้องตรวจสอบที่ระดับตัดหัวเสาเข็ม โดยจะยอมให้มีค่าความเบี่ยงเบนสูงสุดจากจุดศูนย์กลางเสาเข็มที่กำหนดไว้ที่ระดับผิวดินเริ่มต้นเจาะได้ไม่เกิน 75 มม. ในทุกแกน สำหรับเสาเข็มที่มีระดับตัดของหัวเสาเข็มใช้งานต่ำกว่าระดับผิวดินเริ่มต้นเจาะ จะยอมให้ค่าความเบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นได้ โดยสอดคล้องกับที่กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนแนวดิ่งที่ยอมให้เกิดขึ้นของเสาเข็มก่อสร้างแล้วเสร็จวัดที่ระดับใดๆจะต้องมีค่าไม่เกิน 1 : 100 โดยการตรวจสอบค่าที่คลาดเคลื่อนจะต้องใช้

กล้องโททอลสเตชั่นในการสำรวจ เพื่อเก็บค่าพิกัดที่แท้จริงของกึ่งกลางปลอกเหล็ก (ทั้งนี้นักสำรวจสามารถเลือกเก็บค่าดิบของกึ่งกลางปลอกเหล็กเป็นค่า Azimuth และ ระยะทางเทียบกับจุดตั้งกล้องก็สามารถทำได้ โดยสำหรับทางโครงการเดอะลอฟท์สีลม ช่างสำรวจมักจะใช้วิธีนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบตัวนักสำรวจเองอีกด้วย) ในขั้นตอนนี้ผู้ตรวจสอบต้องจดบันทึกค่าพิกัดที่แท้จริงไว้ด้วย จากนั้นก็ตรวจสอบว่านักสำรวจใช้ค่าดิบนั้นจริงๆในการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนในแนวราบ หรือ อีกทางเลือกหนึ่งก็คือ วิศวกรผู้ควบคุมงานอาจจะนำตัวเลยนั้นไปคำนวณเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนในแนวราบเพื่อตรวจสอบผู้รับจ้างด้วยก็สามารถทำได้ ถ้าผลที่ออกมาคือ ค่าคลาดเคลื่อนทางแนบราบ เกินกว่า 75 มม. หรือความเอียงมีค่ามากกว่า 1/100 ต้องทำการถอนปลอกเหล็กและกดใหม่

<u>ตัวอย่าง</u> ต้องการจะทรายค่าความคลาดเคลื่อนในแนวรายของเสาเข็มหมายเลข 70 ซึ่งมีพิกัดเป็น (N,E) = (5009.177,2081.745) นักสำรวจเลือกที่จะเก็บค่าดิบเป็น Azimuth = 65*32'16'' ระยะทาง = 16.773 โดยพิกัดของจุดตั้งกล้องเป็น (N,E) = (5002.217,2066.467) สามารถคำนวณค่าคลาดเคลื่อนทางแนวราบได้ดังนี้

จากสมการที่ 2.1 $\Delta E_{AB} = HD_{AB} sin Az_{AB}$

$= 16.773 \sin(65*32'16'')$

$= 15.267$

จากสมการที่ 2.2 $\Delta N_{AB} = HD_{AB} cos Az_{AB}$

$= 16.773 \cos(65*32'16'')$

$= 6.946$

จากสมการที่ 2.3 $E_B = E_A + \Delta E_{AB}$

$= 2066.467+15.267$

$= 2081.734$

จากสมการที่ 2.4 $N_B = N_A + \Delta N_{AB}$

$= 5002.217+6.946$

$= 5009.163$

ได้ว่า พิกัดที่แท้จริงของเสาเข็มหมายเลข 70 (N,E) เป็น (5009.163,2081.734)

(ซึ่งในความเป็นจริงหากนักสำรวจเลือกที่จะเก็บข้อมูลเป็นพิกัดเลยรายการคำนวณก็สามารถที่จะข้ามมาถึงขั้นตอนนี้ได้เลย)

Pile deviation = $\sqrt{(5009.163 - 5009.177)^2 + (2081.734 - 2081.745)^2}$

= 0.0178 m. (ซึ่งน้อยกว่า0.075 ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้)

ตัวอย่าง จากตัวอย่างที่แล้วสามารถคำนวณความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งของเข็มหมายเลข 70 ได้ดังนี้

เริ่มจากตั้งสมมุติฐานว่าปลายปลอกเหล็กที่ลงไปอยู่ในตำแหน่งทางแนบราบที่ตรงกับพิกัดตามแบบสำหรับการก่อสร้าง ซึ่งเมื่อจบขั้นตอนการกดปลอกเหล็กแล้วถือว่าส่วนล่างของปลายปลอกเหล็กยังอยู่ที่พิกัดทางแนวราบเดิม จึงได้ว่าปลอกเหล็กซึ่งยาว 15 ม. นี้มีการเคลื่อนตัวทางแนวราบเท่ากับ Pile devation ดังนั้น ความดิ่ง = ระยะคลาดเคลื่อนตามแนวราบของปากปลอกเหล็ก/ความยาวปลอกเหล็ก

= 0.0178/15

= 1/842.67 (ซึ่งน้อยกว่า 1/100 ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้)

ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากการยกตัวอย่างทั้งสองข้อก่อนหน้านี้ เป็นการตรวจสอบเพื่ออนุญาติให้ทำการขุดเจาะเนื่องจาก ตำแหน่งของปลอกเหล็กที่ระดับทำงานมีค่าเป็นไปตามที่ยอมให้แต่ การตรวจสอบค่าความเบี่ยงเบนของเสาเข็มที่แท้จริงนั้นจะตรวจวัดที่ระดับตัดใช้งานของเสาเข็มซึ่งค่าการเคลื่อนตัวตามแนวราบที่ได้คำนวณไปเป็นแค่ค่าที่อยู่ที่ระดับทำงาน ซึ่งข้อกำหนดยอมให้การเคลื่อนตัวที่ระดับตัดใช้งานเป็นค่าที่รวมผลของความคลาดเคลื่อนตามแนวดิ่งเข้าไปด้วย

ตัวอย่าง เมื่อระดับตัดใช้งานเสาเข็มอยู่ที่ระดับ -8.5 ม. ระดับ T.C.L. อยู่ที่ระดับ +0.31 สามารถคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวราบที่ยอมให้ได้ดังนี้

ค่ายอมให้ตามแนวราบ = 0.075 + 1/100*(ระยะจากปากปลอกเหล็กถึง Pile cut-off)

= 0.075 + 1/100*(8.5+0.31)

= 0.1631 m. ที่ระดับตัดใช้งาน

- ตรวจสอบรายการการคำนวณของค่า Top casing level (T.C.L.) รวมถึงค่า Ground level (G.L.) ในระหว่างที่นักสำรวจส่องเพื่อหาพิกัดจุดศูนย์กลางของเสาเข็มที่แท้จริง นักสำรวจจะจดมุมดิ่ง มาด้วยพร้อมกับจดค่าความสูงจากหัวปริซึมถึง Top casing level และ จากค่าความสูงหัวปริซึมถึงระดับพื้นดินเพื่อใช้ในการคำนวณค่า T.C.L. และ G.L. ถ้าเป็นไปได้ผู้ตรวจสอบควรร่วมตรวจสอบค่าเหล่านี้ เพื่อให้เกิดความแม่นยำให้ได้มากที่สุดในการทำงาน

  <u>ตัวอย่าง</u> นักสำรวจจดค่ามุมzenithได้เป็น 92*07'38'' จดระยะจากปริซึมถึงกึ่งกลางปากปลอกเหล็กได้เป็น 16.775 ม. จดระยะจากปากปลอกเหล็กถึงผิวดินได้เป็น 0.52 ม.จดระยะจากปริซึมถึง ปากปลอกเหล็กได้เป็น 0.4 และวัดความสูงจากพื้นถึงแกนกล้องได้ 1.52 ให้ระดับที่จุดตั้งกล้องเป็น -0.25 สามารถคำนวณหา T.C.L. และ G.L. ได้ดังนี้

  ความต่างระดับจากแกนกล้องถึงปริซึม (Diff) = ระยะราบxtan(มุมดิ่ง)

  = 16.773tan(92*07'38''- 90*)

  = 0.623 ม.

  ระดับแกนกล้อง = ระดับที่จุดตั้งกล้อง+ความสูงแกนกล้อง

  = -0.25+1.52

  = +1.27

  ระดับแกนปริซึม = ระดับแกนกล้อง – Diff

  = 1.27 – 0.623

  = +0.647

  T.C.L. =ระดับแกนปริซึม–ความสูงจากปริซึมถึงปากปลอก

  = 0.647-0.4

  = +0.247

  G.L. = T.C.L. – ความสูงจากปากปลอกถึงผิวดิน

  = 0.247-0.52

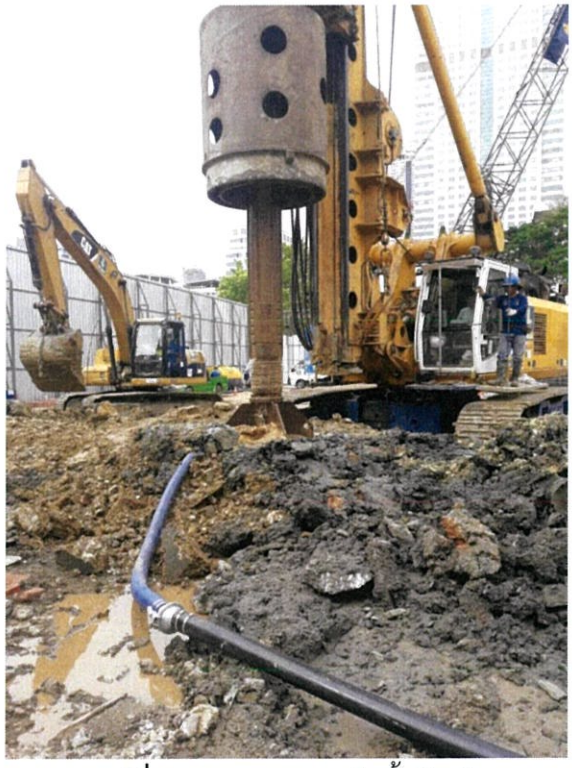
  = -0.273

  (ให้มุมดิ่งเป็นมุมที่ระดับแกนกล้องทำกับเส้นตรงที่ลากจากแกนกล้องไปยังแกนปริซึม)

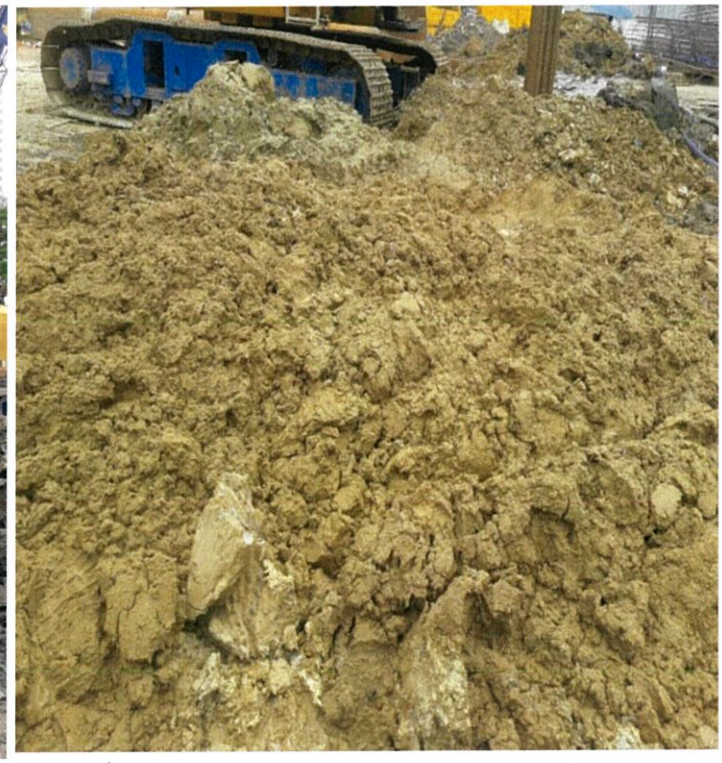
3. รายการที่ต้องตรวจสอบและควบคุมระหว่างขั้นตอนการขุดเจาะ
   - สำหรับขุดเจาะในครั้งแรกๆ วิศวกรผู้ควบคุมงานหรือวิศวกรผู้รับจ้างควรที่จะต้องเก็บตัวอย่างดินในแต่ละความลึกที่ลักษณะดินมีความเปลี่ยนแปลง และทำการแจ้งวิศวกรผู้ออกแบบหากลักษณะของชั้นดินมีการเปลี่ยนแปลงไปมาก (สำหรับโครงการเดอะลอฟท์สีลมทางผู้ควบคุมงานไม่ได้ request ให้ผู้รับจ้างทำการเก็บตัวอย่างดินอย่างเป็นทางการ)
   - ในระหว่างการขุดเจาะเมื่อพ้นระดับปลอกเหล็กผู้ควบคุมงานควรสุ่มให้มีการตรวจสอบดิ่งของก้านเจาะเพราะถึงแม้ว่าปลอกเหล็กจะได้ดิ่งก็ตามแต่ก้านเจาะอาจจะไม่ได้ดิ่งก็เป็นไปได้
   - เมื่อพบน้ำในรูเจาะ และลักษณะดินมีทรายรวมอยู่เป็นจำนวนมากขึ้นจะต้องเปลี่ยนเป็นหัวเจาะแบบถัง แต่เพื่อความมั่นใจว่าน้ำใต้ดินจะไม่เข้าภายในหลุมเจาะและทำให้หลุมเจาะพังทลายแล้ว เมื่อความลึกของการขุดเจาะลงไปเกือบจะสุดปลายปลอกเหล็กแล้ว ผู้ควบคุมงานควรสั่งให้ทำการเปลี่ยนหัวขุดจากแบบหัวสว่านเป็นแบบถึงได้ (แต่หากรีบเปลี่ยนหัวเจาะมากเกินไป จะทำให้เวลาในการทำงานเพิ่มขึ้นเนื่องจากการขุดเจาะด้วยหัวเจาะแบบถังจะใช้เวลานานกว่าพอสมควรเมื่อเทียบกับการใช้หัวเจาะแบบสว่านในการขุดเจาะดินความลึกเท่ากัน) แต่สำหรับโครงการเดอะลอฟท์สีลมผู้ควบคุมงานไม่ได้กำหนดว่าต้องเปลี่ยนหัวเจาะเมื่อใด โดยผู้รับจ้างจะดูจากลักษณะของชั้นดินประกอบกับการคาดเดาด้วยประสบการณ์
   - ก่อนที่จะทำการขุดเจาะต่อด้วยหัวเจาะแบบถัง ผู้รับจ้างต้องเติมของเหลวพยุงเสถียรภาพดินที่ผ่านการตรวจสอบคุณสมบัติแล้ว ให้เต็มหลุมเจาะก่อน ผู้ควบคุมงานต้องคอยสังเกตการณ์ลักษณะของลำดับการทำงานอย่างใกล้ชิด
   - ผู้ควบคุมงานต้องคอยกำชับกับผู้รับจ้างให้ควบคุมระดับผิวของสารเหลงพยุงเสถียรภาพดินให้ดี เพราะหากมากเกินไปก็จะเลอะบริเวณก่อสร้างด้วยเหตุนี้ ผู้รับจ้างจะต้องหาวิธีการการป้องกันการไหลล้นของสารละลายระหว่างการขุด ซึ่งจริงๆระดับโดยทั่วไปของของเหลวพยุงดินต้องอยู่ที่ระดับเดียวกับระดับดินที่ใช้ทำงานและจะต้องไม่ลดลงไปต่ำกว่า 2 ม. จากระดับดินหลังจากที่หัวเจาะถูกยกออก (ที่ต้องควบคุมให้อยู่ที่ผิวดินเพราะเราไม่แน่ใจว่าระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับเท่าใด การควบคุมให้อยู่ในสภาวะที่ปลอดภัยที่สุดจึงเป็นเรื่องดีกว่า) เพราะการรักษาระดับผิวของของเหลวให้สูงไว้จะเป็นส่วนสำคัญในการรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะให้ต้านทานแรงดันน้ำภายในดินไว้ได้
   - หากต้องทิ้งรูเจาะไว้ข้ามคืน ระดับสุดท้ายที่ขุดค้างไว้ไม่ควรเป็นชั้นทรายที่ปลายเสาเข็มเพื่อจะได้มาทำการขุดนำตะกอนที่ตกตะกอนลงไปออกได้ในวันต่อไป
   - หากใช้เวลาการติดตั้งเสาเข็มนานมากกว่า 24 ชั่วโมงหรือปล่อยให้สารละลายในรูเจาะอยู่นิ่งนานเกินกว่า 4 ชั่วโมงแล้วก่อนจะเทคอนกรีตจะต้องทำการเจาะคว้านใหม่เพื่อครูดผงเบนโทไนท์ ที่

เกาะติดผิวรูเจาะออก นอกจากนี้ผู้ควบคุมงานควรทราบว่า จากงานวิจัย เสาเข็มระบบเจาะเปียกด้วยสารละลายเบนโทไนท์ในชั้นดินกรุงเทพฯ หากใช้เวลาก่อสร้างไม่เกิน 40 ชั่วโมงและความหนืดของสารละลายไม่เกิน 55 sec/qt. แล้วจะมีค่าแรงเสียดทานไม่น้อยกว่าค่าแรงเสียดทานที่ประเมินโดยใช้ตามค่าพารามิเตอรต่างๆที่ได้มีการวิจัยกันไวในทศวรรษก่อน (ณรงค์ ทัศนนิพันธ์, 2544)

- ผู้ควบคุมงานควรจะสังเกตการณ์การขุดเจาะช่วงความลึก 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางสุดท้ายว่าเป็นชั้นทรายหรือไม่ เพราะการให้ปลายเสาเข็มอยู่บนชั้นทรายด้วยความหนาที่เพียงพอจะเป็นการลดการทรุดตัวของเสาเข็มเมื่อไรรับแรงกระทำ ดังนั้นหากผู้ควบคุมงานสังเกตเห็นว่าในช่วงความลึกดังกล่าวยังไม่ปรากฏลักษณะของชั้นดินทราย ผู้ควบคุมงานควรจะให้ผู้รับจ้างทำการขุดเจาะต่อไป (สำหรับโครงการเดอะลอฟท์สีลมไม่ได้มีการตกลงกับผู้รับจ้างไว้ก่อน ร่วมถึงไม่ได้มีการกำหนดไว้จากวิศวกรผู้ควบคุมงานจึงไม่ต้องควบคุมผู้รับจ้างในหัวข้อนี้ แต่ถึงอย่างนั้นจากการสังเกตของผู้วิจัย การกำหนดให้ปลายเสาเข็มอยู่ในช่วงความลึก – 60.00 ม. มีความครอบคลุมอยู่แล้ว แต่ก็เป็นไปได้ว่าสภาวะของเดินในบริเวณอื่นๆอาจไม่ได้เป็นชั้นดินทราย ผู้ควบคุมงานควรจะสังเกตและแจ้งแก่วิศวกรผู้รับผิดชอบ)



รูปที่ 4.17 การขุดเจาะในชั้นดินอ่อน



รูปที่ 4.18 ลักษณะของดินทรายช่วงความลึกก้นหลุม

4. รายการที่ต้องตรวจสอบและควบคุมระหว่างการลงเหล็กเสริมคอนกรีต

- ผู้รับจ้างต้องแจ้งการส่งเหล็กทุกครั้งเพื่อให้วิศวกรผู้ควบคุมงานมั่นใจว่าเหล็กมาจากที่ซึ่งผู้รับจ้างได้ส่งของอนุมัติแล้ว
- ตรวจสอบโครงเหล็กเสริมให้ถูกต้องตาม shop drawing และการตรวจการเชื่อมเหล็ก ผู้ตรวจสอบต้องตรวจสอบตั้งแต่ขนาดเหล็กเส้นของเหล็กแกน เหล็ก spiral เหล็ก stiffener และโครงเหล็กทั้งหมด
- ต้องถูกมัดติดกันอย่างดีด้วยลวดผูกเหล็ก โดยความห่างของการผูกเหล็กและความแน่นหนา ก็ต้องได้รับการตรวจสอบจากผู้ตรวจสอบ นอกจากนี้ผู้ตรวจสอบต้องตรวจสอบระยะห่างของเหล็ก spiral และเหล็กเสริม stiffener ให้เป็นไปตาม shop drawing
- ตรวจสอบส่วนของโครงสร้างเหล็กเสริมที่จะต้องถูกยกขึ้นด้วยเครื่องจักรว่ามีความแน่นหนาและปลอดภัยหรือไม่
- สำหรับระยะหุ้มระหว่างตัวผิวคอนกรีตกับผิวเหล็กเสริมผู้ตรวจสอบงานจะต้องควบคุมให้ระยะห่างกันไม่น้อยกว่า 75mm และไม่มากกว่า 95mm
- หลังจากที่มีการให้สัญญาณจากผู้ขับรถเจาะดินว่าได้ดำเนินการขุดดินถึงความลึกที่กำหนดแล้ว ผู้ตรวจสอบงานต้องเข้าร่วมตรวจสอบความลึกของหลุมเจาะโดยต้องระลึกเสมอว่า ความลึกของหลุมเจาะนั้นจะเป็นความลึกจาก T.C.L. (Top casing level) จนถึงระดับ Pile tip ของหลุมเจาะนั้น โดยการวัดระยะก้นหลุมที่ถูกต้องควรจะวัดจาก หลายๆจุดแล้วทำการหาค่าเฉลี่ยกัน <u>ตัวอย่าง</u> T.C.L = +0.310 ม. ส่วน pile tip เป็น -60.00 ม. ดังนั้นระยะที่ผู้ตรวจสอบจะยอมรับได้ต้องมีค่าประมาณ 60.5 ม. เป็นต้น

รูปที่ 4.19 การตรวจสอบลูกหนุน covering

รูปที่ 4.20 การตรวจสอบความลึกหลุมเจาะ

รูปที่ 4.21 เหล็กหิ้วกรงเหล็ก

- ผู้ควบคุมงานต้องทำการประสานงานกับผู้รับเหมาถึงเวลาที่รถปูนจะมาถึงที่หน้างานได้ เพื่อจะได้พิจารณาได้ว่า เหมาะสมที่จะอนุมัติให้ผู้รับจ้างทำความสะอาดก้นหลุมได้หรือไม่
- ก่อนการเทคอนกรีตผู้รับจ้างจะทำการใช้รถเจาะจับปลอกเหล็ก ทำการหมุนให้ได้จนรอบรวมทั้งยกขึ้นยกลง ผู้ควบคุมงานต้องคอยสังเกตและทำให้แน่ใจว่า แรงเสียดทานรอยปลอกเหล็กได้คลายออกไปมากแล้ว เพื่อว่าหลังจากการเทคอนกรีตจะเป็นการง่ายที่จะถอนปลอกเหล็ก
- จะต้องทำการเปลี่ยนหัวเป็นหัวทำความสะอาดหลุมก่อนการทำความสะอาด
- ในการทำความสะอาดตะกอนก้นหลุมผู้ควบคุมงานต้องคอยสังเกตว่าการทำความสะอาดก้นหลุมเพียงพอหรือยัง
- ก่อนที่จะทำการลงเหล็กเสริมคอนกรีตต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติของสารพยุงดินที่ก้นหลุมเจาะอีกครั้งไม่ใช่เพียงแค่การตรวจสอบจากการตักที่ผิวของสารละลายของหลุมเจาะมาทำการทดสอบให้ผ่านตามเกณฑ์ตามรูปที่ 4.7
- หลังจากที่ผู้ควบคุมงานมั่นใจแล้วว่าก้นหลุมมีความสะอาด รวมถึงสารเหลวพยุงเสถียรภาพของหลุมเจาะก็ต้องมีความเหมาะสมต่อการเทคอกรีตภายหลัง
- ผู้ควบคุมงานต้องคอยสังเกตให้เหล็กเสริมที่ถูกผูกเป็นกรงแล้ว จะต้องมีสภาพที่ดีและไม่เสียรูปทรง รวมถึงไม่มีดินหรือโคลนเปรอะโครงเหล็กเสริมจนเกินไป ในทุกท่อนของกรงเหล็ก
- ในระหว่างการทำการใส่เหล็กเสริมจะต้องเห็นสารละลายพยุงหลุมเจาะเกือบเต็มหลุมเจาะ
- ผู้ตรวจสอบจะต้องตรวจวัดระยะของเหล็กหิ้วกรงเหล็กเพื่อจะให้กรงเหล็กอยู่ในระยะตามแนวดิ่งที่ถูกต้อง ซึ่งจะทำให้เหล็กเดือยที่โผล่ขึ้นมามีระยะตามที่วิศวกรผู้ออกแบบกำหนดมา โดยค่าผิดพลาดยอมได้สำหรับตำแหน่งของโครงเหล็กในแนวดิ่ง คือ สูงขึ้นมาไม่เกิน 150 มม.หรือต่ำไม่

เกิน 50 มม. ในกรณีใช้การต่อเหล็กโดยการเชื่อมจะต้องมีการส่งแบบรายละเอียดและขั้นตอนต่างๆ ก่อนการทำงาน

ข้อแนะนำ แต่ถึงแม้อย่างนั้นผู้รับจ้างทำการเสนอต่อทีมผู้ควบคุมงานว่าเมื่อเหล็กเสริมต้องรอยตัวอยู่ในคอนกรีตสดแล้วโครงเหล็กจะเกิดการยุบตัวลงตามธรรมชาติโดยระยะการยุบตัวนั้นจะอยู่ประมาณ 200 - 300 มม. ด้วยเหตุนี้ทางทีมงานผู้ควบคุมงานเดอะลอฟท์สีลมจึงยอมให้ระดับเหล็กเสริมสูงกว่าจริงไปประมาณ 300 มม.

ตัวอย่าง เสาเข็มหมายเลขหนึ่งมี pile cut off – 8.5 ม. มีระดับ T.C.L. เป็น +0.31 ม. ระยะของเหล็กหิ้วกรงเหล็กจึงมีค่าเท่ากับ 0.31+8.5-0.3 ซึ่งมีค่าประมาณ 8.5 ม. (โดย -0.3 คือเหล็กหิ้วที่มีระยะสั้นลงไป 0.3 ม. เพราะยอมให้เหล็กสูงขึ้นไป 0.3 ม.เผื่อการจมลงของเหล็ก)

- ก่อนที่จะมีการลงเหล็กเสริมคอนกรีตผู้ควบคุมงานต้องไปทำการตรวจสอบการลำดับและหัวท้ายของท่อนกรงเหล็กกับ Foreman ของผู้รับจ้างว่าเป็นไปตามลำดับที่ปรากฏใน Shop drawing หรือไม่
- ในระหว่างการทาบเหล็กผู้ตรวจสอบงานต้องเข้าไปทำการร่วมตรวจสอบระยะทาบเหล็กเสริมคอนกรีตในแต่ละช่วง นอกจากเป็นการทำให้ตรงตามแบบแล้ว ยังเป็นการตรวจสอบในครั้งที่สองด้วยเพราะว่าหากระยะทาบไม่ทาบกันพอดีอาจหมายถึงว่า ท่อนเหล็กที่ทาบกันนั้นอาจมีการจัดอันดับผิดก็เป็นไปได้
- นอกจากระยะทาบแล้วผู้ตรวจสอบงานยังต้องตรวจสอบรายละเอียดการทาบต่อเหล็กว่าเป็นไปตาม Shop drawing หรือไม่ (สำหรับโครงการเดอะลอฟท์สีลมจะใช้ U-clamp เป็นตัวประกบรอยทาบในเสาเข็มปกติ และในส่วนของเสาเข็มสมอในส่วนท่อนบนจะใช้การเชื่อมเข้ามาร่วมด้วย)

รูปที่ 4.22 การตรวจสอบช่วงทาบของเหล็กเสริมคอนกรีต

5. รายการที่ต้องตรวจสอบและควบคุมในช่วงของการเทคอนกรีต

- ตรวจสอบความยาวของท่อเทคอนกรีตโดยในครั้งแรกปลายจะอยู่ห่างจากก้นหลุมประมาณ 10 ซม. จากนั้นจะต้องจมอยู่ในคอนกรีตไม่น้อยกว่า 2 เมตร ตลอดเวลา ก่อนใช้ท่อเททุกครั้ง ท่อเทต้องสะอาดและผนึกแน่น เพราะหากความยาวท่ออยู่หากจากก้นหลุมมากเกินไปไม่เพียงแต่ปริมาณคอนกรีตสดชุดแรกที่ลงไปจะปนเปื้อนกับสารเหลวพยุงดินเป็นปริมาณมากแล้ว คอนกรีตที่เสียๆเหล่านั้นยังไม่สามารถถูกเทไล่ขึ้นมาได้อีกด้วยทำให้ความสามารถในการแบกทานที่ปลายเสาเข็มลดลงด้วย
- เมื่อทำการลงเทคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้วต้องใส่วัสดุขั้นระหว่างของเหลวพยุงเสถียรภาพกับคอนกรีตลงไปในปากกรวยของท่อเทคอนกรีตด้านบน เช่น โฟมเม็ด เพื่อแยกคอนกรีตชุดแรกไม่ให้ลงไปผสมกับของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ ผู้ควบคุมงานต้องสังเกตการณ์ทำงานในขั้นตอนนี้ด้วยโดยที่ปริมาณก็ต้องให้มากพอที่จะให้วัสดุนี้ครอบคลุมให้เต็มหน้าตัดของท่อเทคอนกรีต
- หลังจากการลงเหล็กเสริมคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้วไม่ควรจะปล่อยให้เหลือเวลาระหว่างการรอเทคอนกรีตมากจนเกินไป เพราะทุกๆครั้งที่ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะอยู่นิ่ง filter cake ที่เกิดจากผงเบนโทไนท์จะเพิ่มทึบหนาขึ้นที่บริเวณรอบๆผนังหลุมเจาะ เป็นผลทำให้แรงฝืดของเสาเข็มนั้นลดลงหลังจากการเทคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว นอกจากนี้ยังเป็นผลทำให้เกิดการตกตะกอนที่มากขึ้นเรื่อยๆที่ปลายหลุมเจาะอีกด้วย

รูปที่ 4.23 การลงท่อเทคอนกรีต

รูปที่ 4.24 วัสดุแบ่งที่ถูกใส่ลงไปในท่อเทคอนกรีต

- เมื่อรถผสมคอนกรีตมาถึงผู้ควบคุมงานต้องเข้าไปตรวจสอบใบส่งสินค้า ซึ่งต้องตรวจสอบเบื้องต้นว่าค่าการยุบตัว และกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน มีค่าตามที่กำหนดโดยวิศวกรผู้ออกแบบหรือไม่
- การตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีตต้องมีค่าการยุบตัวตามที่กำหนด เพื่อสามารถเทผ่านท่อได้ง่าย และมีกำลังคอนกรีตที่จะใช้มากกว่า 280 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(สำหรับโครงการเดอะลอฟท์สีลม) และจะต้องใช้สารผสมหน่วงเพื่อยืดเวลาแข็งตัวออกไปให้มากกว่า 4 ชั่วโมง สำหรับการเก็บคอนกรีตอาจจะสุ่มเก็บคอนกรีต 3 คัน คันละ 3 ตัวอย่างสำหรับเสาเข็ม 1 ต้น แต่อย่างน้อยต้องมีการเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบทรงกระบอกของคอนกรีต 6 ตัวอย่างซึ่งเป็นของ 7วัน และ 28 วันอย่างละ3ตัวอย่าง และอีก 3 ตัวอย่างจะถูกเก็บไว้เผื่อการทดสอบในระยะยาว
- ผู้ควบคุมงานต้องทราบวิธีการเก็บตัวอย่างที่ถูกต้อง เพื่อจะได้ควบคุมคุณภาพในการเก็บตัวอย่างได้
- ผลการทดสอบค่ากำลังอัดประลัยเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน จะต้องไม่ต่ำกว่ากำลังอัดที่กำหนด (fc') และค่ากำลังอัดที่ทดสอบได้ของคอนกรีตแต่ล่ะแท่งจะต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 ของค่ากำลังอัดที่กำหนด
- สำหรับเข็มเจาะระบบเปียกที่ต้องเทคอนกรีตใต้ระดับน้ำหรือใต้ของเหลงที่ป้องกันหลุมเจาะพังโดยท่อเทผ่านท่อเท ค่ายุบตัวที่เหมาะสมของคอนกรีตสดจะอยู่ที่ช่วง 175 – 225 มม.โดยคอนกรีตสดที่เหมาะสมสำหรับงานเสาเข็มเจาะควรมีค่าการยุบตัวลดลงอย่างช้าๆและไม่ต่ำกว่า 100 มม.. เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมงหลังจากการผสมคอนกรีต
- เนื่องจากการเทคอนกรีตใต้ระดับน้ำไม่สามารถทำให้คอนกรีตแน่นได้คอนกรีตต้องมีความสามารถในการอัดแน่นด้วยตัวเอง รวมถึงระยะทางที่ปล่อยให้คอนกรีตสดตกลงอย่างอิสระมีระยะทางค่อนค้างมากในระหว่างการตรวจสอบการยุบตัวผู้ตรวจสอบไม่เพียงแต่ต้องตรวจสอบค่าการยุบตัวแต่ยังต้องตรวจสอบลักษณะที่ออกมาของการยุบตัวอีกด้วย หากลักษณะที่ออกมาเป็นแบบ shear slump (การยุบตัวแบบเฉือน) หมายความว่าคอนกรีตสดถูกผสมกันมาไม่ดีเป็นผลทำให้เกิดการแยกตัวเพราะไม่มีการยึดเหนี่ยวที่มากพอไม่เหมาะสมที่ผู้ควบคุมงานจะปล่อยให้ทำการเทได้
- ตามมาตรฐานแล้วรถปูนต้องใช้เวลาไม่มากกว่า 1 ½ ชม.ตั้งแต่ผสมเสร็จจนถึงเวลาเทคอนกรีตยกเว้นแต่มีสารใส่เพิ่มที่เหมาะสม ผู้ควบคุมงานต้องคอยตรวจสอบใบส่งสินค้าของคอนกรีตทุกๆใบเพราะหากรถผสมปูนคันใดใช้เวลามากเกินกว่าเวลาข้างต้น ผู้ควบคุมงานควรสั่งให้มีการตรวจสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดของรถคันนั้นเพิ่มเติม

- การเทคอนกรีตต้องมีความไม่มีการหยุดชะงักจนเป็นผลให้คอนกรีตที่เทไปแล้วเกิดการก่อตัว ซึ่งเป็นทำให้เนื้อคอนกรีตของเสาเข็มเกิดความไม่ต่อเนื่องกันในส่วนนั้น
- ระหว่างการเทคอนกรีตฝังปลายท่อในคอนกรีตลึกมากเกินไป ทำให้คอนกรีตที่ไหลออกจากปลายท่อไม่สามารถดันคอนกรีตชุดเก่าๆขึ้นเติมหน้าตัดรูเจาะ ทำให้คอนกรีตชุดหลังแทรกตัวขึ้นรอบๆ ท่อเทเท่านั้นทำให้ครูด filter cake ไม่ออกและกลบทับสิ่งสกปรกหน้าผิวคอนกรีต
- ในระหว่างการเทคอนกรีตพยายามอย่ายกท่อเทคอนกรีตขึ้นๆลงๆเพราะจะทำให้ของเหลวพยุงเสถียรภาพด้านบนพลิกลงไปทำให้คอนกรีตสดด้านล่างปนเปื้อนได้
- การเทคอนกรีตจะต้องตรวจวัดและบันทึก ความลึกของระดับผิวบนของคอนกรีตสด ความยาวท่อ และปริมาณคอนกรีตที่เทไปแล้วเป็นระยะๆ และต้องคำนวณเปรียบเทียบระหว่างปริมาณคอนกรีตที่ใช้จริงๆเพื่อเป็นการตรวจสอบว่าคอนกรีตที่คำนวณไว้ตามทฤษฎีกับคอนกรีตที่เท ณ หน้างานจริงมีความแตกต่างกันมากเพียงใด ผู้ควบคุมงานสามารถคาดคะเนถึงการพังทลายของหลุมเจาะ หรือแม้แต่ปัญหาที่อาจจะเกิดจากหลุมเจาะได้จากขั้นตอนนี้ โดยปริมาณคอนกรีตที่เกินมาจะถูกเรียกว่า Over break

- ค่าที่ยอมให้ในการเทคอนกรีตเหนือระดับตัดใช้งานของเสาเข็มเจาะแบบเปียกที่ระดับดับใช้งานใต้ระดับดินเริ่มต้น(H) อยู่ที่ 0.15-10.00 จะเป็น 1.0 + H/12 + C/8

  * หากค่า H มีค่ามากกว่า 10 ม. ให้ใช้ค่า 10 ม.

  ** C คือความยาวของปลอกเหล็กกันดินพังที่ฝังอยู่ใต้ระดับตัดเสาเข็มใช้งาน

  เนื่องมาจากคอนกรีตใต้ระดับตัดหัวเข็มใช้งานจำเป็นต้องเป็นคอนกรีตต่อเนื่องที่ได้คุณภาพไม่มีสารเจือปน ดังนั้นผู้รับจ้างจึงต้องเทคอนกรีตเลยระดับตัดใช้งานขึ้นมา แต่หากเทขึ้นมามากจนเกินไปจะมีผลทำให้เกิดความยากลำบากในการทำการของผู้รับจ้างถัดไปที่จะเข้ามารับช่วงงานต่อในการตัดหัวเสาเข็มที่ยาวเกินไป

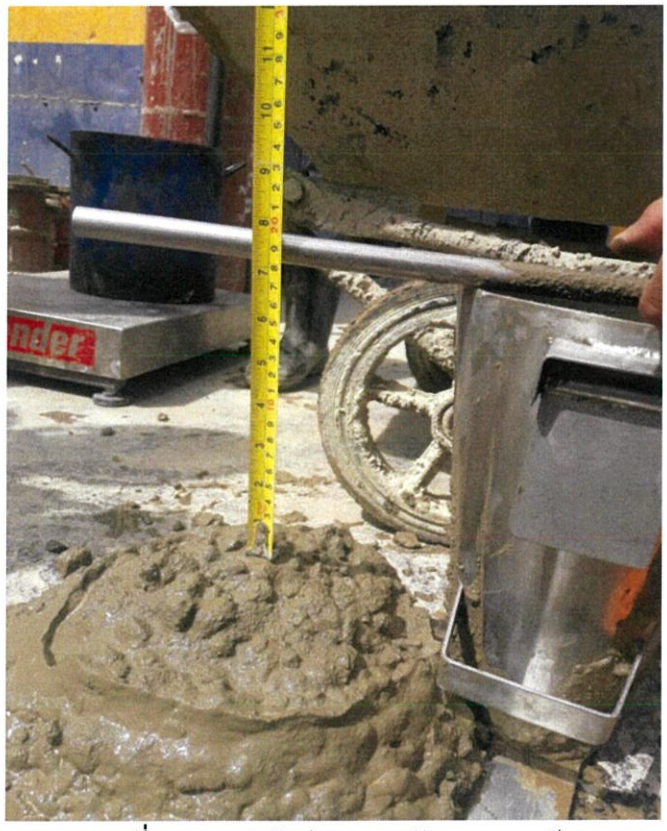
  <u>ตัวอย่าง</u> ปลอกเหล็กยาว 15 ม. ระดับตัดหัวเสาเข็มใช้งานเป็น - 8.5 ม.

  C = 6.5 H ประมาณ 8.5

  ค่าที่ยอมให้ในการเทคอนกรีตเหนือระดับตัดใช้งานจึงมีค่าเท่ากับ 1.0 +8.5/12+6.5/8

  ได้ค่าเป็น 2.52 ม. เหนือระดับตัดหัวเสาเข็มใช้งาน
- หากมีการเทคอนกรีตสำหรับเสาเข็มที่มีระดับตัดหัวเสาเข็มที่ผิวดินอาจจะต้องดึง casing ขึ้นสูงกว่าระดับปกติประมาณ 2 เมตรเพื่อที่เมื่อเวลาถอนปลอกเหล็กขึ้นแล้วจะได้มีคอนกรีตเต็มความลึก

รูปที่ 4.25 ตัวอย่างใบจ่ายสินค้าของโครงการเดอะลอฟท์สีลม



รูปที่ 4.26 การวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด

รูปที่ 4.27
ตัวอย่างคอนกรีตที่ถูกเก็บไว้ในแบบทรงกระบอก

รูปที่ 4.28
หัวทำความสะอาดก้นหลุมเจาะ

รูปที่ 4.29
การเทคอนกรีตเสาเข็มเจาะ

6. รายการที่ต้องตรวจสอบและควบคุมในช่วงการถอนปลอกเหล็ก
    - หลังจากทำการเทคอนกรีตเสร็จให้ทำการถอนปลอกเหล็กทันที
    - ในระหว่างที่ทำการถอนปลอกเหล็กต้องมีการตรวจสอบดิ่งด้วย
    - ก่อนจะถอนปลอกเหล็กต้องแน่ใจว่าคอนกรีตสดภายใต้ระดับตัดหัวเสาเข็มใช้งานจะไม่ถูกระดับน้ำใต้ดินมารบกวน
    - หลังจากนั้นผู้ควบคุมงานต้องคอยควบคุมให้ผู้รับจ้างจัดทำสัญลักษณ์หรือสิ่งใดๆที่แสดงให้เห็นชัดเจนว่าบริเวณหลุมเจาะที่เพิ่งได้รับการเทคอนกรีตเสร็จอยู่บริเวณใดเพื่อความปลอดภัย
7. รายการที่ต้องตรวจสอบและพิจารณาหลังจากขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มต้นดังกล่าวเสร็จสิ้น
    - มีรายงานประจำวันส่งให้สำหรับเข็มทุกต้นซึ่งประกอบด้วย วันที่, สภาพอากาศ, หมายเลขเสาเข็ม , ชนิดของงาน, ระดับผิวดิน, ค่าความลึกที่ขุดได้ในแต่ละวัน ความล่าช้าและอุปสรรคที่เกิดขึ้น, ระดับtop concrete, เวลาเริ่มและเวลาจบงานเทคอนกรีต เป็นต้น โดยผู้ควบคุมงานต้องตรวจสอบถึงความถูกต้องของรายงาน รวมถึงเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ผู้ควบคุมงานได้ทำการบันทึกมา
    - ทำการอนุมัติใบตรวจสอบคุณภาพงาน
    - ตรวจสอบผลการทดสอบตัวอย่างของคอนกรีตเมื่อเอกสารจากผู้รับจ้างมาถึง
8. รายการที่ต้องตรวจสอบและควบคุมก่อนเริ่มงานเสาเข็มในต้นต่อไป
    - ระยะห่างของเสาเข็มต้นใหม่กับเสาเข็มต้นที่เพิ่งหล่อคอนกรีตแล้วเสร็จภายในเวลาไม่เกิน 24 ชม. จะต้องไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มต้นที่ใหญ่กว่าโดยวัดจากศูนย์กลางเสาเข็มเป็นเกณฑ์
9. รายการที่ต้องติดตามหลังจากจบขั้นตอนการก่อสร้างงานเข็มเจาะ
    - ต้องมีการทดสอบหาความสมบูรณ์ของเข็มในทุกๆต้นที่เสร็จแล้ว (โครงการเดอะลอฟท์สีลมใช้การทดสอบแบบ Seismic test)
    - ต้องมีการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม (โครงการเดอะลอฟท์สีลมใช้เป็นการทดสอบแบบ static load test)

ใบรายงานผลการทดสอบคอนกรีต

TEST CERTIFICATE

PROJECT NAME : The Lofts Silom

CUSTOMER NAME : บริษัท ไทยบาวเออร์ จำกัด

MIX CODE : B3226 Str. 280 Ksc. , Class -

SPECIMEN TYPE : Cylinder

STRUCTURE : Bored Pile No. 56

ISSUE DATE : 27 November 2017

TESTING DATE : 20 November 2017

CASTING DATE : 13 November 2017

PLACE OF TEST : Central Lab

PAGE : 1

SPEC. No.	CROSS SECTION AREA (sq.cm.)	SLUMP (cm.)	AGE (Days)	WEIGHT (kg.)	DENSITY (kg/cu.m.)	ULTIMATE LOAD (kN.)	ULTIMATE STRENGTH (ksc.)	COMPRESSION TESTING MACHINE	CERTIFICATE NO.	CALIBRATION ERROR	CALIBRATION EQUATION
A1	176.71	20.0	7	12.92	2,437	400	235.69	13029497	S0315B-17	11.7667	0.992
B1	176.71	19.0	7	12.78	2,410	412	242.55	13029497	S0315B-17	11.7667	0.992
C1	176.71	20.0	7	12.74	2,403	396	233.40	13029497	S0315B-17	11.7667	0.992
						AVG.	237.21				

รูปที่ 4.30 ตัวอย่างใบรายงานผลการทดสอบคอนกรีตที่อายุ 7 วัน

ใบรายงานผลการทดสอบคอนกรีต

TEST CERTIFICATE

PROJECT NAME : The Lofts Silom

CUSTOMER NAME : บริษัท ไทยบาวเออร์ จำกัด

MIX CODE : B3226 Str. 280 Ksc. , Class -

SPECIMEN TYPE : Cylinder

STRUCTURE : Bored Pile No. 56

ISSUE DATE : 27 November 2017

TESTING DATE : 27 November 2017

CASTING DATE : 13 November 2017

PLACE OF TEST : Central Lab

PAGE : 1

SPEC. No.	CROSS SECTION AREA (sq.cm.)	SLUMP (cm.)	AGE (Days)	WEIGHT (kg.)	DENSITY (kg/cu.m.)	ULTIMATE LOAD (kN.)	ULTIMATE STRENGTH (ksc.)	COMPRESSION TESTING MACHINE	CERTIFICATE NO.	CALIBRATION ERROR	CALIBRATI EQUATION
A2	176.71	20.0	14	12.67	2,390	477	279.75	13029497	S0315B-17	11.7667	0.992
B2	176.71	19.0	14	13.00	2,452	513	300.35	13029497	S0315B-17	11.7667	0.992
C2	176.71	20.0	14	12.83	2,420	486	284.90	13029497	S0315B-17	11.7667	0.992
						AVG.	288.33				

รูปที่ 4.31 ตัวอย่างใบรายงานผลการทดสอบคอนกรีตที่อายุ 14 วัน

PM

06 DEC

Bored Pile (Wet Process) Checklist P6

Document no. : A1.1.1 Rev. 01 Site Doc. Ref. no. : / /

Raimon Land PCL.	Project : The Lofts Silom Location : Silom, Bangkok	Tower : - Floor : -	Attachments :
Main Contractor : Thai Bauer			

Casting Date : 4 Dec 17

Casting Time Period : 10:00-12:05

Concrete Ready Mix Code : ☐ NHC CS2860B2 ☑ Cpac ZBDM04257A ☐ ORC B3226 ☐ TPI 328221

Concrete Grade : 280 ksc. cylinder

Concrete Volume Requested : 68 m^3

Qty. of Test Cubes / Cylinder Requested : 9

	ITEMS TO BE CHECKED	CRITERIA	Check Required YES	Check Required NO	NC	C	INITIALS	DATE	COMMENTS
A.	PRE-CONSTRUCTION CHECKS								
A1	Drawing & Method Statement Checks								
	- Shop drawing approved for construction	Approved	✓			✓		3 Dec 17	
	- Concrete pouring & curing method approved for construction	Approved	✓			✓		3 Dec 17	
A2	Pre-Drive & Pour Checks								
	- Soil conditions checked	Visual Check							
	- Reference baseline & BM checked	Survey Check	✓			✓		3 Dec 17	
	- Pile Setting out checked (specify actual data)	± 75.00 mm	✓			✓		3 Dec 17	
	- Horizontal angle & distance checked	1/100	✓			✓		3 Dec 17	
	- Casing dimension & thickness checked	Measure	✓			✓		3 Dec 17	
	- Casing deformation & damage checked	Visual Check	✓			✓		3 Dec 17	
	- Bentonite or Polymer slurry density/viscosity/PH/sand content checked (specify actual data)	Conform Method Statement	✓			✓		3 Dec 17	
	- Bar dimension (dia, length) & no. of bars checked	Conform Shop Drawing	✓			✓		3 Dec 17	
	- Bar shape, bend, anchorage & hook checked	Conform Specification	✓			✓		3 Dec 17	
	- Overlap position/spacing & covering of bars checked	Conform Shop Drawing	✓			✓		3 Dec 17	
	- Design pile tip, depth of bore hole & casing length checked	Conform Shop Drawing	✓			✓		3 Dec 17	
	- Heavy machine/equipment & environment checked	Visual Check	✓			✓		3 Dec 17	

CASING DRIVING & CONCRETE POURING APPROVAL GIVEN ☑ YES ☐ NO

Approved by : Udomsak R. — *Full Name (Resident Engineer)* — *Signature* — 3 Dec 17 — *date - month - year*

B.	DURING CONSTRUCTION CHECKS								
	- Bored pile field data checked	Conform Method Statement	✓			✓		4 Dec 17	
	- Soil volume/depth of bore hole checked	Conform Shop Drawing	✓			✓		4 Dec 17	
	- Actual pile depth from T.C.L. (temporary casing top level) checked	Conform Shop Drawing	✓			✓		4 Dec 17	
	- Concrete pouring (slump, temperature, delivery period & pouring time) checked	Visual Check	✓			✓		4 Dec 17	
	- Anti-noise & limitation of working time checked	Visual Check	✓			✓		4 Dec 17	
C.	POST CONSTRUCTION CHECKS								
	- Concrete volume checked	Visual Check	✓			✓		4 Dec 17	
	- Casing extraction checked	Conform Shop Drawing	✓			✓		4 Dec 17	
	- Cleaning & curing checked	Visual Check	✓			✓		4 Dec 17	
D.	REPORT-RECORD ATTACHMENTS in BORED PILE WORK								
	- Bored pile (Dynamic / Static / Seismic) test certificate	Conform Specification							Test Later
	- Bored pile survey record	Visual Check	✓			✓		4 Dec 17	
	- Concrete casting report	Visual Check	✓			✓		4 Dec 17	
	- Concrete delivery docket	Visual Check	✓			✓		4 Dec 17	
	- Concrete test certificate at 28 days	Laboratory Test & Approved							Report Later

C : Conform NC : Not Conform

Submitted by :	Mr.Schwin R. — *Full Name (Engineer in charge of Contractor)*	*Signature*	6 Dec 17 — *date - month - year*
Verified by :	Mr.Udomsak R. — *Full Name (Resident Engineer)*	*Signature*	6 Dec 17 — *date - month - year*
Approved by :	Mr.Udomsak T. — *Full Name (Site Manager)*	*Signature*	6 Dec 17 — *date - month - year*

รูปที่ 4.32 ตัวอย่างใบตรวจสอบการก่อสร้างงานเข็มเจาะระบบเปียก

THAI BAUER CO.,LTD.
Piling & Foundation Specialists

BORED PILE RECORD

Index No. 26
Rig No. 1

Project : THE LOFTS SILOM
Location : SILOM

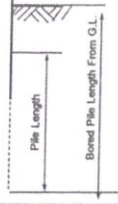
Drawing No. : JB389
Bore Pile No. : P06
Pile Diameter : 1.20 M.

Pile Length From C.O.L. To Actual Tip : 57.6 M.
Bored Depth From G.L. To Actual Tip : 60.11 M.

Weather: ■ Fine ☐ Cloudy ☐ Rain Time To

BORING :
Machine Type : BG28
Start Boring Date : 2-Dec-17 Time 14:10 To Date : 4-Dec-17 Time 8:35

			T.C.L.	0.252 MSL.
Temporary Casing Top Level	=	0.252	G.L.	-0.338 MSL.
Existing Ground Level	=	-0.338		
Temporary Casing Length	=	0.590 m.	C.O.L.	-2.850 MSL.
Cut Off Level (C.O.L.)	=	-2.850		
Design Tip Level	=	-60.000		
Expected Pile Depth from T.C.L.	=	60.252 m.		
Actual Pile Depth	=	60.700 m.		
Horizontal Deviation	N =	0.012 m.	Design Tip	-60.00 MSL.
	E =	-0.006 m.	Actual Tip	-60.45 MSL.



STRATALOG

Depth From G.L. From	To	DESCRIPTION
0.00	20.00	Silty Clay,grey
20.00	29.00	Fine sandy Clay,Very Stiff
29.00	49.00	Silty CLAY trace fine sand, brown,hard
49.00	61.00	Silty fine Sand,li-greylish brown,dense to very dense

Steel cage Installation :1st 12 DB25 X 12.00M. 2nd 12 DB25 X 12.00M. 3rd 12 DB25 X 12.00M. 4th 12 DB25 X 12.00M. 5th 12 DB25 X 12.00M. 6th 12 DB25 X 5.30M.
SPIRAL STIR : 1-DB12 @ 0.30 m.
Cage Installation Time : 8:40 to : 9:25 Total : 0:45 Hrs.

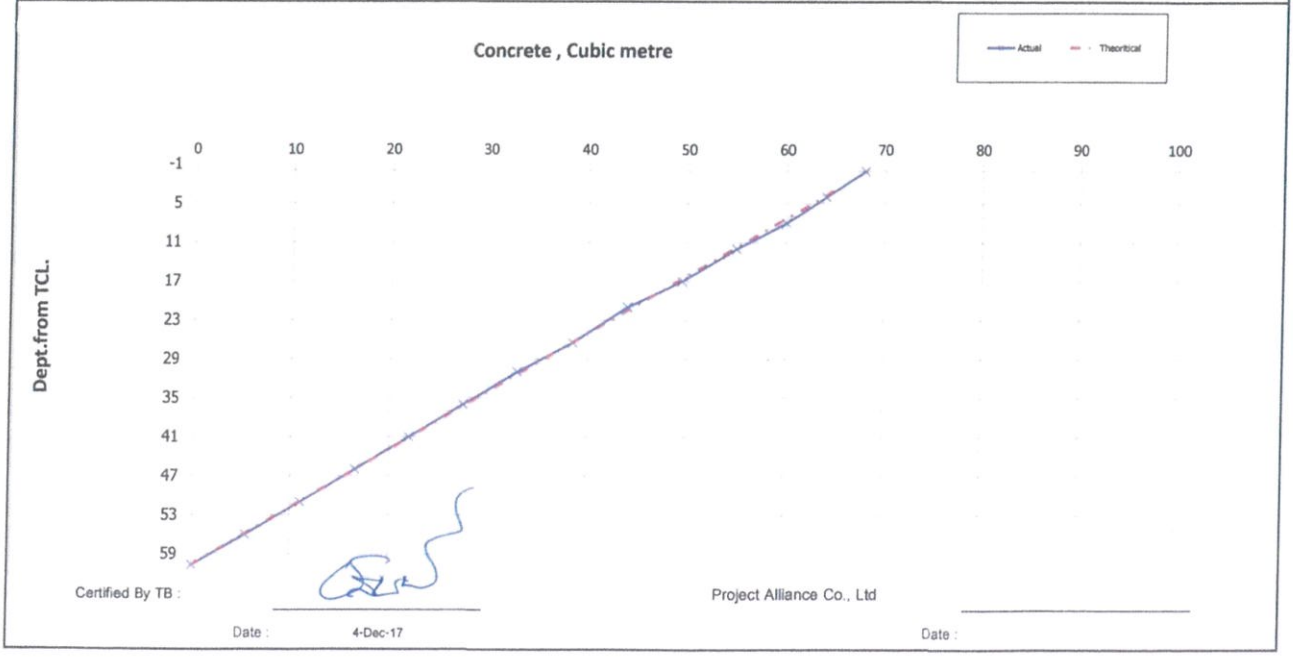
Polymer Properties Ckecking Density : 1.02 g./ cm³ Viscosity : 49 sec. pH : 10 Sand Content : - %

Concrete Placement Date : 4-Dec-17
Tremie pipe Installation Time : 9:30 To : 9:45 Duration 0:15 Hrs.
Starting Casting Time : 10:00 Hrs. Finished Time : 12:05 Hrs.
Casting Duration : 2:05 Hrs.

Concrete Supplier : CPAC Grade : 280 ksc.(Cylinder)
Theoretical Volume : 64.64 M³
Actual Volume : 68.00 M³
Overbreak Concrete : 5.21 %

Truck	Delivery Ticket	Time Pouring start	Time Pouring finish	Volume	Cumul. Volume	Concrete Depth	Tremie Length (m)	Slump (MM.)	Concrete Sampling	Remarks
1	2349	10:00	10:05	5.50	5.50	56.00	60	190	3	
2	1367	10:07	10:10	5.50	11.00	51.00	60			
3	2336	10:12	10:15	5.50	16.50	46.00	60			
4	2476	10:17	10:20	5.50	22.00	41.00	60			
5	1353	10:22	10:25	5.50	27.50	36.00	60			
6	2355	10:30	10:34	5.50	33.00	31.00	45	200	3	
7	2326	10:36	10:39	5.50	38.50	26.50	45			
8	2575	10:41	10:44	5.50	44.00	21.00	45			
9	2572	10:45	10:48	5.50	49.50	17.00	45			
10	2474	11:10	11:15	5.50	55.00	12.00	30			
11	2332	11:17	11:20	5.00	60.00	8.00	30	200	3	
12	2353	11:35	11:39	4.00	64.00	4.00	15			
13	2475	12:00	12:05	4.00	68.00	0.00	10			
14										
15										
16										
17										
18										

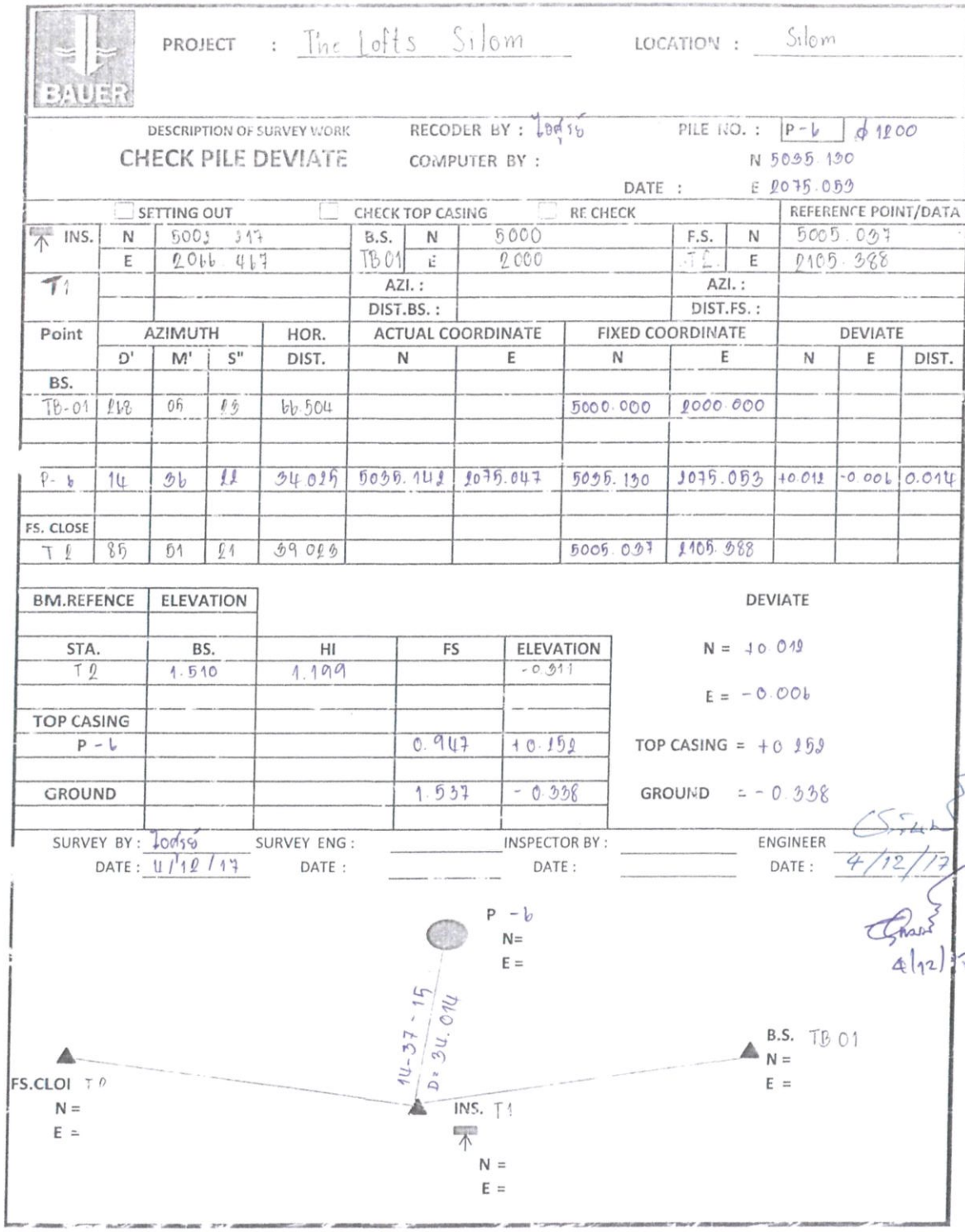
Depth From T.C.L. to C.O.L. : 3.102 M. Final Concrete Depth From GL. After Extractin 0.00 M.



Certified By TB :
Date : 4-Dec-17

Project Alliance Co., Ltd
Date :

รูปที่ 4.33 ตัวอย่างผลบันทึกงานก่อสร้างงานเข็มเจาะระบบเปียก



PROJECT : The Lofts Silom LOCATION : Silom

DESCRIPTION OF SURVEY WORK: CHECK PILE DEVIATE
RECODER BY : โดยรัง
COMPUTER BY :
DATE :
PILE NO. : P-6 ϕ 1200
N 5035.130
E 2075.053

☐ SETTING OUT ☐ CHECK TOP CASING ☐ RE CHECK

									REFERENCE POINT/DATA
INS.	N	5003.317	B.S.	N	5000	F.S.	N	5005.037	
	E	2066.467	TB01	E	2000	T2	E	2105.388	
T1			AZI. :			AZI. :			
			DIST.BS. :			DIST.FS. :			

Point	AZIMUTH			HOR.	ACTUAL COORDINATE		FIXED COORDINATE		DEVIATE		
	D'	M'	S"	DIST.	N	E	N	E	N	E	DIST.
BS.											
TB-01	178	06	13	66.504			5000.000	2000.000			
P-6	14	36	12	34.025	5035.142	2075.047	5035.130	2075.053	+0.012	-0.006	0.014
FS. CLOSE											
T2	86	01	21	39.023			5005.037	2105.388			

BM.REFENCE	ELEVATION

STA.	BS.	HI	FS	ELEVATION
T2	1.510	1.199		-0.311
TOP CASING				
P-6			0.947	+0.152
GROUND			1.537	-0.338

DEVIATE
N = +0.012
E = -0.006
TOP CASING = +0.152
GROUND = -0.338

SURVEY BY : โดยรัง DATE : 4/12/17
SURVEY ENG : DATE :
INSPECTOR BY : DATE :
ENGINEER DATE : 4/12/17

4/12/17

P-6
N=
E=

14-37-15
D: 34.014

FS.CLOI T2
N =
E =

INS. T1
N =
E =

B.S. TB 01
N =
E =

รูปที่ 4.34 ตัวอย่างข้อมูลดิบจากการสำรวจ

F-10-039

บันทึกการเทคอนกรีตที่หน่วยงาน

แผ่นที่ 1/1

วันที่ 4-12-60 โรงงานที่จัดส่ง 310M ลูกค้า ไทยวาเคอร์ หน่วยงาน The Loft

โครงสร้าง # 6, 71 รหัสสินค้า 04257A ผู้บันทึก สมพร

*บันทึกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างเท						
1.คอนกรีตเหลว (Slump เกิน)	2.เนื้อคอนกรีตแยกตัว (ออกหินหรือมีน้ำเยิ้ม)	3.ย้ายเทรน -	4.ปั๊มเสีย	5.ย้ายปั๊มหรือต่อท่อ	6.เทรนเสีย
7.ลูกค้าให้เติมน้ำปรับ Slump	8.รถโม่ขาดช่วง (เทไม่ต่อเนื่อง)	9.รถโม่ติดหล่ม	10.ฝนตก	11.แบบแตกหรือชำรุด	12.อื่นๆให้ระบุ

ลำดับ	เบอร์รถโม่	หมายเลข D/P	คอนกรีต (คิว)	Slump (ซม.)	เวลา			* บันทึกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเท
					รถถึง	เริ่มเท	เทเสร็จ	
1	2349	4194001235	5.50	19	9.35	10.04	10.07	¢ 3 A1-3 10.45 310L
2	1367	1236	5.50		9.45	10.08	10.14	
3	2356	4077203058	5.50		9.48	10.15	10.19	
4	2426	4175005556	5.50		9.55	10.24	10.28	ตัดท่อ
5	1393	4194001236	5.50		10.02	10.30	10.35	
6	2355	4144073148	5.50	20	10.10	10.36	10.39	¢ 3 B1-3 10.20 31EY
7	2326	5147	5.50		10.14	10.42	10.47	
8	2575	4175005557	5.50		10.22	10.49	10.55	
9	2572	5558	5.50		10.37	10.56	11.02	
10	2474	4175005559	5.50		11.10	11.11	11.14	
11	2358	4194001246	5.0	20	11.15	11.17	11.22	¢ 3 C1-3 11.20 3KOA
12	2353	1242	4.0		11.36	11.38	11.44	
13	2475	4175005564	4.0		12.00	12.01	12.06	
1	1351	4081145945	5.50		14.50	15.30	15.34	No 71
2	2355	4194001257	5.50	19	14.57	15.35	15.39	¢ 3 D1-3 15.15 310M
3	2342	4081145947	5.50		15.03	15.41	15.47	
4	2353	4194001258	5.50		15.07	15.50	15.54	
5	2331	4081145950	5.50		15.12	15.58	16.04	ตัดท่อ
6	1353	4194001260	5.50		15.25	16.05	16.10	
7	2352	11262	5.50	20	15.32	16.11	16.15	¢ 3 E1-3 15.40 310A
8	2351	1263	5.50		15.37	16.17	16.22	
9	2364	4077203075	5.50		15.50	16.24	16.28	
10	2352	4194001261	5.50		16.02	16.29	16.35	
11	2356	4077203076	5.0	20	16.33	16.36	16.42	¢ 3 F1-3 16.40 31L
12	1372	4077203078	5.0		17.19	17.14	17.18	

CPAC: F-10-039 Rev.05/Oct15 ผู้ปรับปรุง : วันชัย ว.

Ref : M-CPAC SYSTEM, W-10-107,W-10-108

รูปที่ 4.35 ตัวอย่างข้อมูลดิบจากช่วงการเทคอนกรีต

4.2 การดำเนินการงานที่อาจส่งผลเสียต่อโครงการ

การดำเนินงานบางอย่างของผู้รับจ้างและผู้ควบคุมงานซึ่งไม่ตรงกับแนวทางที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นที่ผู้วิจัยคาดว่าอาจจะมีส่วนให้เกิดความเสียหายขึ้นแก่ทางโครงการได้ โดยผู้วิจัยได้ทำการแจ้งแก่ผู้รับจ้างให้ดำเนินการแก้ไขลักษณะการทำงานในลักษณะนั้นเป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยข้อมูลเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยและคาดว่าน่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจ โดยผู้วิจัยสรุปได้ดังนี้ได้ดังนี้

- ผู้รับจ้างไม่ได้เสนอส่งรายการคำนวณของรอยเชื่อมสำหรับรอยทาบเหล็กเสริมของเข็มสมอ โดยอ้างว่าจากประสบการณ์เพียงเท่านี้ก็เพียงพอแล้ว และเนื่องจากว่าวิศวกรผู้ออกแบบไม่ได้ติดใจอะไรและอนุมัติให้ทำการเสริมรอยทาบของเหล็กเสริมด้วยการเชื่อมโดยไม่ขอดูรายการคำนวณ ผู้ควบคุมงานจึงปล่อยให้งานดำเนินไปทั้งๆแบบนั้น
- ผู้รับจ้างไม่ได้เสนอส่วนผสมของสารเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะต่อวิศวกรผู้ออกแบบ เพียงแค่ส่งเอกสารข้ออนุมัติการใช้วัสดุที่จะมาทำสารเหลวนี้เท่านั้น โดยอ้างว่าโครงการก่อนหน้าของทางบริษัทก็ใช้ส่วนผสมนี้ ซึ่งจริงๆแล้วไม่ถูกต้องเพราะไม่มีข้อมูลใดมายืนยันได้เลย ถึงแม้อย่างนั้นทางผู้ควบคุมงานก็ยอมให้ทำงานได้ ผนวกกับว่าจากการตรวจสอบปริมาณของคอนกรีตทางทฤษฎีเทียบกับปฏิบัติแล้วคาดว่าหลุมเจาะไม่ได้พังถลาย ผู้ควบคุมงานจึงอนุมานว่าส่วนผสมนี้สามารถใช้งานได้
- แม้ว่าผู้รับจ้างจะส่งผลการทดสอบของเหล็กเส้นให้แก่ผู้ควบคุมงานไปนานพอสมควรแล้ว แต่ผู้ควบคุมงานไม่ทำการติดตามผลการอนุมัติซึ่งในที่นี้ผู้ควบคุมงานยกให้เป็นหน้าที่ของผู้ออกแบบในการอนุมัติโดยกว่าจะได้รับการอนุมัติ ทางผู้รับจ้างก็ดำเนินงานมาได้ระยะหนึ่งแล้วซึ่งไม่ถูกต้องตามขั้นตอนที่สมควรจะเป็น
- ทางผู้รับจ้างไม่พร้อมที่จะมีการทดสอบคุณสมบัติบางอย่างของสารเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะที่จำเป็นต้องทดสอบในปัจจุบันอันเนื่องมาจากผู้รับจ้างไม่มีอุปกรณ์ที่จะทดสอบคุณสมบัติบางอย่าง อาทิเช่น การทดสอบ Shear strength และ การทดสอบ Fluid loss
- นักสำรวจของผู้รับจ้างไม่ได้ทำการสอบกล้องก่อนทำการสำรวจหาตำแหน่งของเสาเข็ม นักสำรวจเพียงแค่ทำการส่องไปหาหมุดอ้างอิงแค่ 1 จุดเพื่อทำการ set ค่า แต่หลังจากนั้นก็ไม่ได้ทำการสอบกับหมุดอ้างอิงอื่นก่อนที่จะทำการหาตำแหน่งของเสาเข็ม
- ทางผู้รับจ้างไม่ได้เสนอส่งวิธีการตรวจวัดความดิ่งให้วิศวกรผู้ออกแบบได้ทราบ ถึงแม้ผู้รับจ้างจะอ้างว่ามีการจับระดับน้ำตลอดการกดปลอกเหล็ก ซึ่งก็เป็นสิ่งที่ถูกต้องแต่กระนั้นก็ไม่ได้เป็นการบ่งบอกหรือยืนยันได้ว่าผลลัพธ์ที่ออกมาจะอยู่ในภายใต้ค่าที่ยอมให้ คือ 1/100

- ระดับที่ปรากฏใน Date record ไม่ใช่ระดับที่แท้จริงเนื่องมาจากว่าตัวเลขเพื่อการคำนวณทั้งหมดรังวัดได้มาจากหลังการกดปลอกเหล็กสำเร็จ แต่ก่อนที่จะทำการลงปลอกเหล็กมีขั้นตอนที่ผู้รับจ้างต้องทำการถอนปลอกเหล็กเพื่อให้แน่ใจว่าความฝืดได้คลายได้จากปลอกเหล็กแล้ว ซึ่งหลังจากนั้นระดับที่ได้จากการวัดด้วยเทปทั้งหมดก็ไม่ใช่ค่าที่แท้จริง แต่เนื่องจากผู้ควบคุมงานมีความเห็นว่าระดับ T.C.L. ใหม่มีค่าแตกต่างไปจากระดับเก่าไม่มากจึงไม่ได้ให้นักสำรวจสำรวจใหม่
- ผู้รับจ้างไม่ได้คำนึงถึงผลที่มีโอกาสเกิดขึ้นหากทำการเจาะด้วยหัวสว่านลงไปต่ำกว่าปลอกเหล็ก แน่นอนว่าในทางปฏิบัติสามารถทำได้จนกว่าจะเจอน้ำเข้ามาในหลุมเจาะ แต่ในทางทฤษฎีแล้วการทำเช่นนี้เสี่ยงต่อการที่หลุมเจาะจะเกิดการพังทลายได้หากดินใต้ปลอกเหล็กไม่มีเสถียรภาพมากพอ
- เนื่องจากเป็นการยุ่งยากที่จะรักษาระดับผิวของสารเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะให้อยู่ที่ระดับผิวดิน เนื่องจากผู้รับจ้างไม่เพียงต้องให้ผู้ทำหน้าที่เปิดปิดเครื่องดูดบ่อยๆแล้ว ยังมีโอกาสสูงมากที่สารเหลวจะล้นออกมาท่วมบริเวณที่ดำเนินงาน (แม้ว่าผู้รับจ้างจะมีการทำเนินดินมาบังล้อมรอบปากปลอกแล้วก็ตาม) แต่ในทางทฤษฎีแล้วเนื่องจากไม่ทราบว่าระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับใด จึงเป็นการเสี่ยงที่จะสารเหลวจะมีแรงดันไม่พอต้านแรงดันน้ำจากภายนอกซึ่งจะทำให้หลุมเจาะพังทลายได้
- ผู้รับจ้างมักจะปล่อยให้มีการหยุดการเจาะหลุมเจาะไว้ข้ามคืน แม้ว่าผู้รับจ้างจะอ้างว่าในระหว่างการขุดเจาะต่อไปในวันรุ่งขึ้น filter cake ที่เกาะอยู่จะถูกครูดออกระหว่างการขุดเจาะ แต่ถึงแม้จะเป็นเช่นนั้น แน่นอนว่า filter cake อาจจะโดนครูดออกไม่หมด ซึ่งเป็นผลทำให้กำลังการรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มลดลงแน่นอนซึ่งจะส่งผลต่อระยะการทรุดตัวของเสาเข็มใช้งานซึ่งมากกว่าปกติในสภาวะการรับน้ำหนักที่เท่ากัน
- ผู้ควบคุมงานไม่ได้ระบุเป็นพิเศษต่อผู้รับจ้างถึงระยะจมของเสาเข็มในชั้นทราย ซึ่งจริงๆควรจะมีระยะประมาณ 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม แต่สำหรับโครงการนี้ไม่ได้มีการตรวจสอบเป็นพิเศษซึ่งอาจจะส่งผลต่อการทรุดตัวที่มากขึ้น ในกรณีที่ปลายเสาเข็มไม่ได้ลงไปในชั้นทรายมากกว่าที่กำหนดไว้ด้านบน
- ก่อนที่จะทำการลงเหล็กเสริมคอนกรีต ผู้รับจ้างไม่ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพของสารเหลวพยุงเถียรภาพหลุมเจาะที่ก้นหลุมในเสาเข็มใช้งาน (Working pile) ถึงแม้ว่าจะทำการตรวจสอบคุณภาพของสารเหลวที่ก้นหลุมในเสาเข็มทดสอบกับเสาเข็มสมอก็ตาม เพราะหากไม่ตรวจสอบก็จะไม่ทราบว่าคุณสมบัติของมันเหมาะสมในสภาวะที่ต้องเทคอนกรีตหรือไม่ (แต่ในขณะที่ทดสอบคุณสมบัติของสารเหลวที่ก้นหลุมของเสาเข็มสมอพบว่าคุณสมบัติผ่านเกณฑ์จึงไม่ต้องเปลี่ยนสารเหลวผู้ควบคุมงานจึงอนุมานว่าในเสาเข็มใช้งานก็มีโอกาสสูงที่จะผ่านเช่นกัน)

- ผู้รับจ้างไม่มีงานวิจัยใดๆมาอ้างอิงว่าเหล็กเสริมคอนกรีตจะจมลงจากปกติประมาณ 30 ซม. แต่ผู้ควบคุมงานก็ยอมให้ผู้รับจ้างทำตามที่เสนอมาก็คือให้ระดับของเหล็กเสริมต่ำลงมากว่าปกติไป 30 ซม. ซึ่งหากไม่เป็นไปตามที่ผู้รับจ้างอ้างแล้ว เหล็กเสริมเกือบทุกต้นของโครงการเดอะลอฟท์สีลมจะอยู่ในระดับที่มากกว่าที่ยอมให้เทียบกับแบบ
- ผู้รับจ้างไม่ได้ทำการถอนท่อเทคอนกรีตออกทีละท่อนเมื่อความลึกของท่อเทคอนกรีตที่อยู่ใต้สารเหลวพยุงเสถียรภาพดินนั้นมากพอแล้ว (ข้อกำหนดจะกำหนดระดับขั้นต่ำไว้ว่าเป็น 2 ม.) แต่เนื่องจากความยุ่งยากจะเกิดขึ้นอย่างมากหากจำเป็นต้องถอดท่อเทคอนกรีตออกทุกครั้งที่เป็นไปได้นั่นคือการถอดออกทีละท่อน ซึ่งปัจจุบัน Foreman ของผู้รับจ้างจะสั่งให้ถอดออกทีละ 3 ท่อน (สุดความสามารถของ Crane) โดยจะสั่งให้ถอดเมื่อคอนกรีตเทไม่ค่อยลงแล้ว ซึ่งจริงๆแล้วการทำเช่นนั้นเป็นการทำที่ไม่ถูกต้องเพราะหากเทคอนกรีตไม่ค่อยลงแล้ว อ้างอิงจากการวิจัยของคุณณรงค์ หากถอดปลอกเหล็กออกได้อย่างต่อเนื่องแล้วจะทำให้คอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างเต็มหน้าตัดและจะช่วยครูด Filter cake ที่สะสมที่ผนังของหลุมเจาะได้ แต่หากไม่ถอดออกเช่นนั้นแล้ว Filter cake จะไม่ถูกครูดออกเพราะคอนกรีตในหลุมเจาะที่ทำการเทไม่ค่อยลงนั้น จะเพียงแค่แทรกตัวขึ้นระหว่างท่อเทซึ่งพฤติกรรมแบบนั้นไม่อาจครูด filter cake ได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อแนะนำ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีขึ้นเพื่อจัดทำแนวทางการตรวจสอบและควบคุมงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกในส่วนของวิธีการดำเนินการก่อสร้างสำหรับ โครงการเดอะลอฟท์สีลม เพราะผู้ทำการวิจัยเห็นว่างานเข็มเจาะขนาดใหญ่เป็นงานที่มีลักษณะเฉพาะและมีช่วงระยะเวลาในการทำงานที่ค่อนข้างสั้นเมื่อเทียบกับการดำเนินงานก่อสร้างของทั้งโครงการ ดังนั้นสำหรับผู้ควบคุมงานทั่วๆไปแล้วโดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้มีประสบการณ์น้อยหรือแม้แต่ผู้ควบคุมงานที่ไม่เคยผ่านงานเข็มเจาะขนาดใหญ่มาเลย คงเป็นความท้าทายอย่างมากสำหรับพวกเขาเหล่านั้นที่จะมารับหน้าที่ควบคุมงาน นอกจากนี้เพื่อที่จะเป็นแนวทางหนึ่งที่ผู้รับจ้างท่านใดที่สนใจสามารถนำมาศึกษาเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและควบคุมคุณภาพของงานของตนเองก็เป็นไปได้ ผู้วิจัยยังคงคาดหวังด้วยว่า ผลงานวิจัยชิ้นนี้จะสามารถเป็นต้นแบบให้ผู้วิจัยท่านอื่นสามารถศึกษาอ้างอิงเพื่อใช้ทำงานวิจัยที่ละเอียดมีความถูกต้องแม่นยำและครบถ้วนมากกว่างานวิจัยนี้ขึ้นไปอีก

จากการวิจัยของผู้วิจัยระหว่างการศึกษาค้นคว้าเพื่อจัดทำแนวทางของผู้วิจัยนี้พบว่า ปัญหามากมายที่เกิดขึ้นกับกำลังการรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็ม (Ultimate bearing capacity) ไม่ได้เกิดขึ้นมาเพราะปัญหาจากคุณภาพของวัสดุที่ถูกใช้ในการก่อสร้าง เนื่องจากคุณภาพของวัสดุในปัจจุบันนี้สามารถถูกำหนดและควบคุมคุณภาพได้ตามข้อกำหนด และปัญหาก็ไม่ได้ก็มาจากข้อกำหนดที่วิศวกรตั้งขึ้นในการก่อสร้างเพราะข้อกำหนดเหล่านั้นก็เมื่อขึ้นเพื่อใช้ในควบคุมคุณภาพที่เกิดจากการก่อสร้างนั้นแหละ เพราะปัจจุบันนี้กว่าจะได้ข้อกำหนดข้อใดมา ผู้เกี่ยวข้องต้องมีการสืบค้นและรวบรวมข้อมูลมาจากเอกสารต่างๆอย่างละเอียดและรอบคอบแล้ว แล้วเช่นนี้ปัญหาที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากอะไร จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากเอกสารหนังสือและงานวิจัยต่างๆก็ต่างชี้ไปในทางเดียวกัน นั้นก็ขั้นตอนและวิธีการทำงานบางอย่างที่ไม่ถูกต้องสามารถทำให้ผลลัพธ์ในด้านกำลังการรับน้ำหนักและการทรุดตัวของเสาเข็มนั้นแย่ลงกว่าเสาเข็มที่ถูกก่อสร้างด้วยขั้นตอนและวิธีการทำงานที่ถูกต้องพอสมควรเลย ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงจัดทำงานวิจัยนี้ขึ้นเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ควบคุมงานหรือผู้ตรวจสอบงานที่เล็งเห็นถึงความสำคัญนี้ในการศึกษาเพิ่มเติม

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังเป็นส่วนช่วยให้ผู้วิจัยทำหน้าที่ในฐานะผู้ตรวจสอบงานและควบคุมงานในบางส่วนของโครงการเดอะลอฟท์สีลมได้อย่างลุล่วงอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะจากการใช้ประโยชน์จากการวิจัย

ข้อมูลที่ปรากฏในงานวิจัยนี้เกิดขึ้นจากการการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆที่น่าเชื่อถือและส่วนมากมีการอ้างอิง แต่ก็มีข้อมูลบางส่วนเช่นกันที่ถูกแต่งเติมเข้ามาโดยผู้วิจัยเอง ซึ่งได้มาจากทั้งการประยุกต์ข้อมูลที่มีและได้รับมาจากประสบการณ์ซึ่งได้มาจากการทำงานและผู้มีประสบการณ์ในการทำงาน ทั้งหมดนี้ก็เพื่อให้สอดคล้องและเป็นไปตามกำหนดเงื่อนไขของวิศวกรผู้ออกแบบพร้อมทั้งให้ผู้รับจ้างเกิดความมั่นใจในการทำงาน เฉพาะของโครงการเดอะลอฟท์สีลมเท่านั้น ดังนั้นผู้ที่สนใจจะศึกษาหรืออ้างอิงข้อมูลจากการวิจัยเล่มนี้ควรจะเข้าใจจุดประสงค์ของการวิจัยเพื่อผู้ที่ต้องการจะใช้ประโยชน์จากการวิจัยนี้จะเข้าใจก่อนว่า การวิจัยนี้มีขึ้นเพื่อจัดทำแนวทางเพื่อให้ผู้ที่สนใจทำการศึกษาข้อมูลต่างๆที่ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยขึ้นมา ได้ศึกษาขั้นตอนเหล่านี้เพื่อที่ท่านจะได้นำไปปรับใช้หรือค้นคว้าต่อไปสำหรับงานวิจัยข้องท่านในอนาคต

5.2.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยในครั้งต่อไป

นอกจากการใช้ประโยชน์จากการวิจัยนี้แล้ว ผู้ที่สนใจจะวิจัยในหัวข้ออื่นๆทีมีความใกล้เคียงหรือเพิ่มเติมจากการวิจัยนี้ก็เป็นไปได้ โดยการวิจัยที่อาจเป็นไปได้ เช่น แนวทางการออกแบบเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ แนวทางในการรับจ้างงานเข็มเจาะขนาดใหญ่ การควบคุมงานเข็มเจาะขนาดใหญ่ในเชิงการบริหารงานก่อสร้างและการจัดการ คู่มือความปลอดภัยในการดำเนินงานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ และอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นงานวิจัยใดๆก็ตามที่ผู้สนใจมีความต้องการหรือความจำเป็นที่จะทำ ผู้วิจัยเสนอให้ท่านได้ทำการศึกษางานวิจัยของผู้วิจัยเพื่อเป็นแนวทางหรือใช้ในการอ้างการทำวิจัยของท่านต่อไป

เอกสารอ้างอิง

คมสัน มาลีสี และสิริวัฒน์ ไชยชนะ. (2555). **ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี**. กรุงเทพฯ: มีน เซอร์วิส ซัพพลาย

ชัชวาล เศรษฐบุตร. (2539). **คอนกรีตเทคโนโลยี**. ม.ป.ท.:ม.ป.พ.

ชนันต์ แดงประไพ และเกรียงศักดิ์ จารุพรพาณิช. (2534). **คู่มือปฏิบัติงานการทำเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่**. กรุงเทพฯ: เอเชียเพรส จำกัด

ณรงค์ ทัศนนิพันธ์ และ ทัชชะพงษ์ ประเวศวารัตน์. (2542). **สมรรถนะของเสาเข็มระบบเจาะเปียกด้วยสารละลายเบ็นโทไนท์ในชั้นดินกรุงเทพ**. หัวข้อการศึกษาจากการประชุมใหญ่วิชาการแห่งชาติประจำปี 2542.

ณรงค์ ทัศนนิพันธ์. (2543). **การสร้างมาตรฐานงานก่อสร้างเสาเข็มระบบเจาะเปียกในประเทศไทยที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากลในยุคโลกาภิวัฒน์**. หัวข้อการศึกษาจากการประชุมใหญ่ทางวิศวกรรมประจำปี 2543.

ณรงค์ ทัศนนิพันธ์, เผด็จ รุจิขจรเดช, สิทธิพล สุรอังกูร และพรพจน์ ตันเส็ง. (2544). **การศึกษาเรื่องผลกระทบต่อแรงเสียดทานของเสาเข็มเจาะจากระยะเวลาก่อสร้างและความหนืดของสารละลายเบ็นโทไนท์**. หัวข้อการศึกษาจากการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 7

ธนาดล คงสมบูรณ์. (ม.ป.ป). **วิศวกรรมฐานรากและการออกแบบ**. เอกสารประกอบการสอน สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พรพจน์ ตันเส็ง. (2554). **วิศวกรรมฐานราก**. เอกสารประกอบการสอน สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

มยผ. 1209-50 มาตรฐานการทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Standard Test Method for Slump of Concrete). ค้นเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2560. จาก http://services.dpt.go.th/dpt_rsbldg/modules/standard/data_standard/Std_ts_method/1209.pdf

วิชัย เยี่ยงวีรชน. (2555). **การสำรวจทางวิศวกรรม1**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2548). **ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะ**. ม.ป.ท.:ม.ป.พ.

หน้าที่ของผู้ควบคุมและตรวจงานก่อสร้าง. ค้นเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2560.

จาก http://www.tatc.ac.th/files/10020216161146_11060716160311.pdf

Texas Department of Transportation. (2009). slurry testing. **TXDOT DESIGNATION: TEX-130-E**. Retrieved December 12, 2017, from ftp://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/cst/TMS/100-E_series/pdfs/soi130.pdf

What are the differences between shear slump and collapse slump in slump test?. ค้นเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2560

จาก http://www.engineeringcivil.com/what-are-the-differences-between-shear-slump-and-collapse-slump-in-slump-test.html

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

คำนิยามปฏิบัติการ

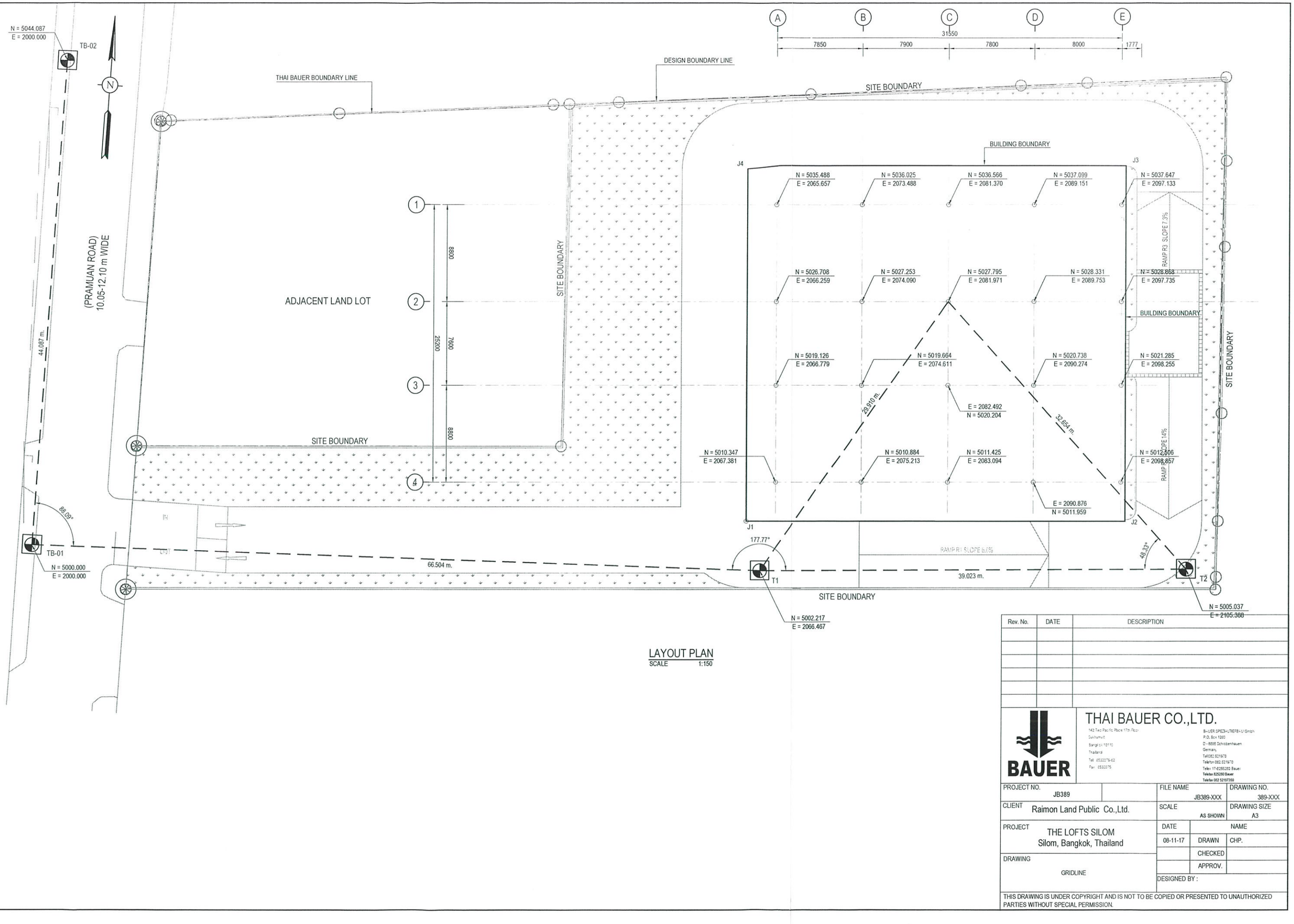
คำนิยามปฏิบัติการ

1. ผู้ออกแบบ (Designer) หมายถึง บุคคลผู้ที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการออกแบบเสาเข็ม
2. ระดับตัดใช้งาน (Cut-off level) หมายถึง ระดับที่คอนกรีตหัวเสาเข็มถูกสกัดต่ำลงมาถึงระดับที่ต้องการเชื่อมต่อหัวเสาเข็มเข้ากับฐานรากโครงสร้าง
3. ระดับดินผิวเริ่มต้นเจาะ (Commencing surface) หมายถึง ระดับของผิวดินที่เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในงานเสาเข็มเริ่มเจาะหรือตอกเข้าไปในดิน ระดับผิวดินเริ่มต้นเจาะนี้ไม่จำเป็นต้องเป็นระดับเดียวกันกับระดับที่เครื่องจักรยืนทำงานอยู่ในขณะนั้น
4. รายการข้อกำหนด (Specification) หมายถึง เอกสารซึ่งจัดเตรียมขึ้นมาเพื่อใช้ในการควบคุมงานก่อสร้าง
5. วิศวกร (Engineer) หมายถึง วิศวกรที่เป็นสมาชิกและได้รับใบประกอบวิชาชีพวิศวกรควบคุมของสภาวิศวกร
6. เสาเข็มเจาะ (Bored pile) หมายถึง เสาเข็มที่ก่อสร้างโดยการขุดหรือเจาะลงไปในชั้นดินโดยอาจใช้ปลอกเหล็กกันดินพังหรือไม่ก็ตาม แล้วหล่อคอนกรีตลงไปในหลุมที่เจาะแล้วเสร็จ
7. เสาเข็มใช้งาน (Working pile) หมายถึง เสาเข็มต้นที่ใช้ประกอบเป็นฐานรากของโครงสร้าง
8. เสาเข็มทดสอบ (Test pile) หมายถึง เสาเข็มต้นใดๆ ที่ถูกใช้สำหรับทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก
9. เสาเข็มสมอ (Anchor pile) หมายถึง เสาเข็มต้นใดๆ ที่ถูกออกแบบเพื่อให้ต้านทานแรงถอนที่เกิดขึ้นจากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นอื่น

ภาคผนวก ข.

แบบสำหรับการก่อสร้างงานเข็มเจาะ

โครงการเดอะลอฟท์สีลม



LAYOUT PLAN
SCALE 1:150

Rev. No.	DATE	DESCRIPTION

BAUER

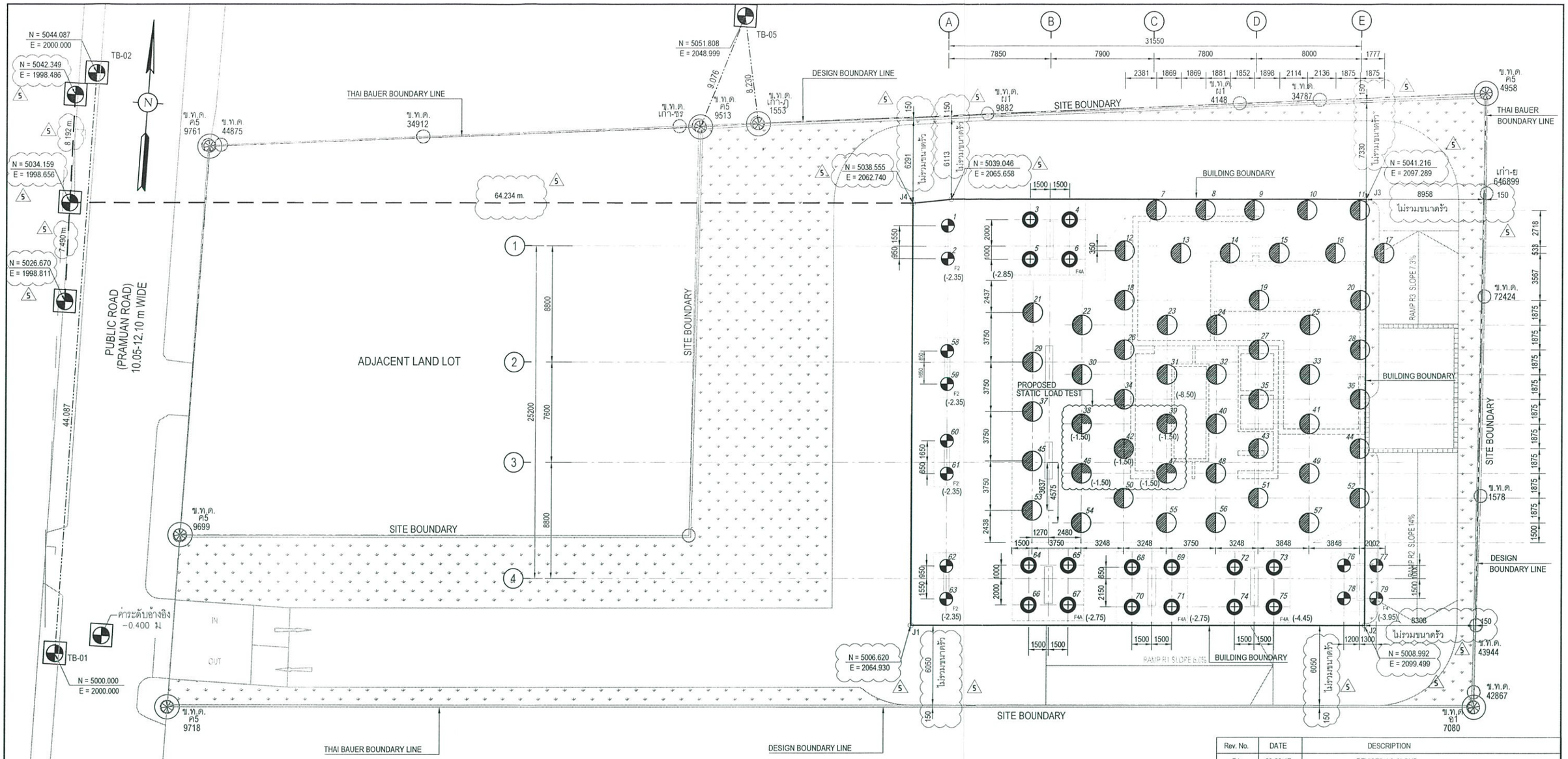
THAI BAUER CO.,LTD.

142 Two Pacific Place 17th Floor
Sukhumvit
Bangkok 10110
Thailand
Tel. 6533075-82
Fax 6533075

BAUER SPEZIALTIEFBAU GmbH
P.O. Box 1260
D - 8898 Schrobenhausen
Germany
Tel 082 82197/0
Telefon 082 82197/0
Telex 17-826520 Bauer
Telefax 826230 Bauer
Telefax 082 82197350

PROJECT NO. JB389		FILE NAME JB389-XXX	DRAWING NO. 389-XXX
CLIENT Raimon Land Public Co.,Ltd.		SCALE AS SHOWN	DRAWING SIZE A3
PROJECT THE LOFTS SILOM Silom, Bangkok, Thailand		DATE 08-11-17	NAME DRAWN CHP.
			CHECKED
DRAWING GRIDLINE			APPROV.
		DESIGNED BY :	

THIS DRAWING IS UNDER COPYRIGHT AND IS NOT TO BE COPIED OR PRESENTED TO UNAUTHORIZED PARTIES WITHOUT SPECIAL PERMISSION.



LAYOUT PLAN

SCALE 1:150

COORDINATES			
No.	Northing	Easting	Remark
ข.ท.ด. ฉ1 7080	5003.377	2108.244	
ข.ท.ด. ค5 4958	5049.849	2105.841	
ข.ท.ด. ฎ 1553	5043.736	2050.605	
ข.ท.ด. ค5 9513	5043.186	2046.163	
ข.ท.ด. ค5 9761	5039.144	2008.939	
ข.ท.ด. ค5 9699	5009.637	2008.841	
ข.ท.ด. ค5 9718	4996.558	2008.834	

CORNER & GIRDLINE			
No.	Northing	Easting	Remark
1A	5036.025	2073.488	
1E	5037.647	2097.133	
4A	5010.347	2067.381	
4E	5012.506	2098.857	
J1	5006.620	2064.930	
J2	5008.992	2099.499	
J3	5041.216	2097.289	
J4	5038.555	2062.740	

Rev. No.	DATE	DESCRIPTION
R1	29-09-17	REVISED AS CLOUD
R2	09-10-17	REVISED AS CLOUD
R3	10-10-17	REVISED AS CLOUD
R4	24-10-17	REVISED AS CLOUD
R5	03-11-17	REVISED AS CLOUD

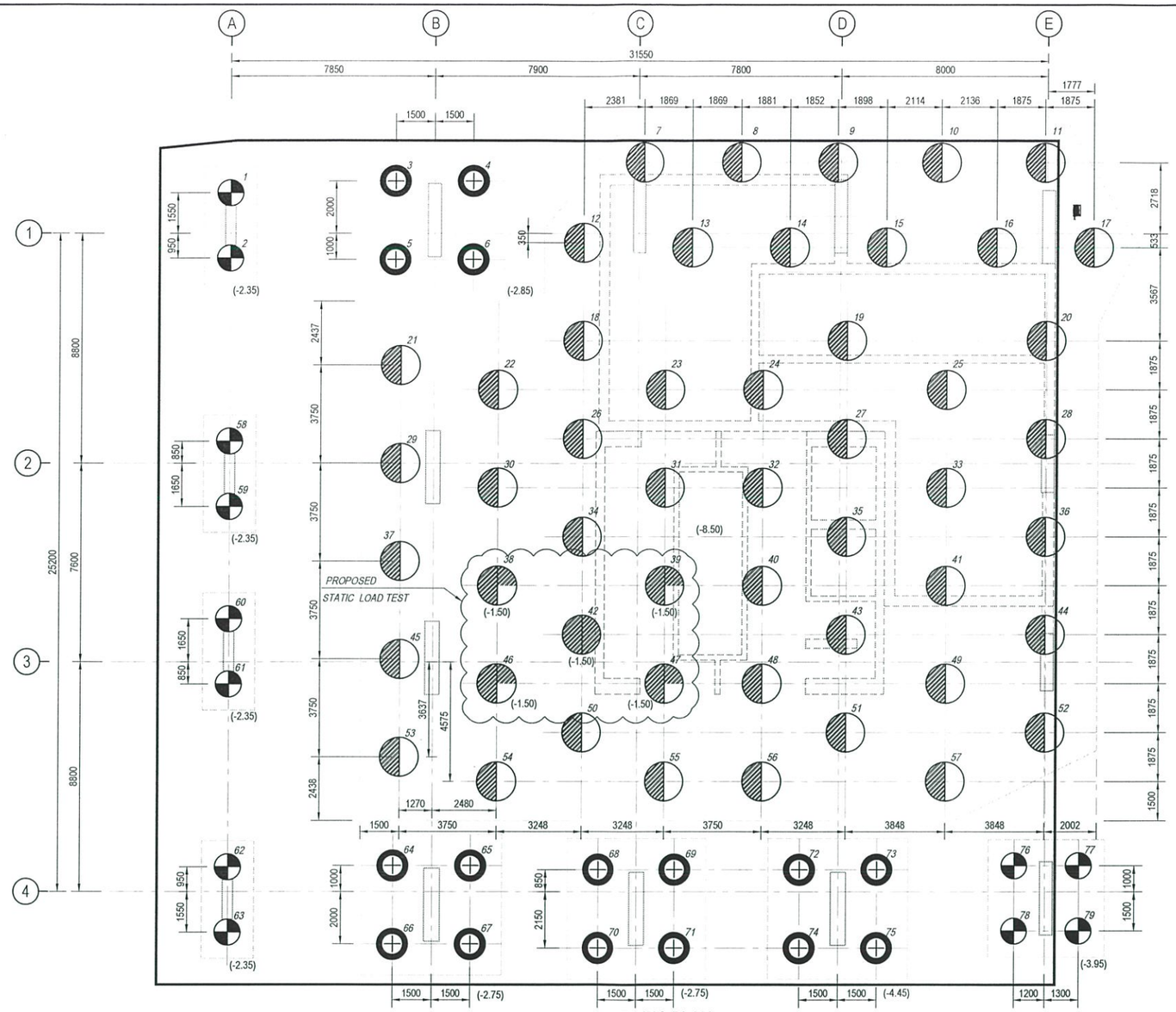
THAI BAUER CO.,LTD.

142 Two Pacific Place 17th Floor
Sukhumvit
Bangkok 10110
Thailand
Tel 6532075-83
Fax 6532075

BAUER-SPEZIALTIEFBAU GmbH
P.O. Box 1260
D - 8898 Schrobenhausen
Germany
Tel 082 82/19-0
Telefon 082 82/19-70
Telex 17-825280 Bauer
Telefax 825280 Bauer
Telefax 082 82/87359

PROJECT NO.	JB389	FILE NAME	JB389-001_R5
		DRAWING NO.	389-001
CLIENT	Raimon Land Public Co.,Ltd.	SCALE	AS SHOWN
		DRAWING SIZE	A3
PROJECT	THE LOFTS SILOM Silom, Bangkok, Thailand	DATE	03-11-17
		NAME	DRAWN: CHP. / CHECKED: TKS. / APPROV.
DRAWING	LAYOUT PLAN	DESIGNED BY :	

THIS DRAWING IS UNDER COPYRIGHT AND IS NOT TO BE COPIED OR PRESENTED TO UNAUTHORIZED PARTIES WITHOUT SPECIAL PERMISSION.



PILE COORDINATES			
Pile No.	Northing	Easting	Remark
1	5037.034	2065.551	
2	5034.540	2065.722	
3	5037.918	2071.855	
4	5038.123	2074.848	
5	5034.925	2072.060	
6	5035.130	2075.053	
7	5039.292	2081.391	
8	5039.554	2085.121	
9	5039.800	2088.845	
10	5040.074	2092.848	
11	5040.349	2096.850	
12	5036.068	2079.226	
13	5036.177	2083.479	
14	5036.433	2087.220	
15	5036.690	2090.961	
16	5036.981	2095.201	
17	5037.237	2098.942	
18	5032.327	2079.483	
19	5033.028	2089.704	
20	5033.554	2097.381	
21	5030.912	2072.566	
22	5030.234	2076.371	
23	5030.678	2082.851	
24	5030.935	2086.592	
25	5031.420	2093.671	
26	5028.585	2079.739	
27	5029.287	2089.960	
28	5029.813	2097.638	
29	5027.171	2072.822	
30	5026.493	2076.628	
31	5026.937	2083.108	
32	5027.194	2086.849	
33	5027.679	2093.927	
34	5024.844	2079.996	
35	5025.545	2090.217	
36	5026.072	2097.894	
37	5023.430	2073.079	
38	5022.751	2076.884	
39	5023.196	2083.364	
40	5023.452	2087.105	

PILE COORDINATES			
Pile No.	Northing	Easting	Remark
41	5023.938	2094.184	
42	5021.103	2080.252	
43	5021.804	2090.474	
44	5022.331	2098.151	
45	5019.689	2073.335	
46	5019.010	2077.141	
47	5019.455	2083.621	
48	5019.711	2087.362	
49	5020.197	2094.441	
50	5017.362	2080.509	
51	5018.063	2090.730	
52	5018.590	2098.407	
53	5015.948	2073.592	
54	5015.269	2077.397	
55	5015.713	2083.877	
56	5015.970	2087.619	
57	5016.456	2094.697	
58	5027.556	2066.201	
59	5025.062	2066.372	
60	5020.772	2066.666	
61	5018.278	2066.837	
62	5011.295	2067.316	
63	5008.801	2067.487	
64	5011.779	2073.648	
65	5011.984	2076.641	
66	5008.786	2073.853	
67	5008.992	2076.846	
68	5012.170	2081.540	
69	5012.375	2084.533	
70	5009.177	2081.745	
71	5009.382	2084.738	
72	5012.704	2089.321	
73	5012.909	2092.314	
74	5009.711	2089.527	
75	5009.916	2092.520	
76	5013.422	2097.592	
77	5013.593	2100.086	
78	5010.927	2097.763	
79	5011.099	2100.257	

5

SYMBOLS	PILE TYPE	PILE DIA. (MM)	PILE C.O.L. (M)	PILE TIP (M)	NO. OF PILES	BORED PILE REINFORCEMENT SCHEDULE							
						1st STEEL CAGE	2nd STEEL CAGE	3rd STEEL CAGE	4th STEEL CAGE	5th STEEL CAGE	6th STEEL CAGE	SPIRAL	STIFFENER RING
⊕	WORKING PILE	1000	-2.35	-60.00	8	9 DB28 x 12.000	8 DB25 x 12.000	8 DB25 x 12.000	8 DB25 x 12.000	8 DB25 x 10.000	8 DB25 x 8.100	DB12 @ 300mm.	INITIAL - 3 DB16 SUBSEQUENCE - 2 DB16 @ 2500 mm.
			-3.95		4					8 DB25 x 12.000	8 DB25 x4.500		
⊕		1200	-2.75		8	12 DB25 x 12.000	12 DB25 x 12.000	12 DB25 x 12.000	12 DB25 x 12.000	12 DB25 x 12.000	12 DB25 x 5.325		
			-2.85		4						12 DB25 x 5.225		
			--4.45		4						12 DB25 x 3.625		
	ANCHOR PILE	1500	-1.50		4	28 DB32 x 12.000	20 DB32 x 12.000	18 DB32 x 12.000	18 DB28 x 12.000	18 DB25 x 12.000	18 DB25 x 10.925		INITIAL - 4 DB16 SUBSEQUENCE - 3 DB16 @ 2500 mm.
	TEST PILE				1	18 DB25 x 12.000	18 DB25 x 12.000	18 DB25 x 12.000	18 DB25 x 12.000	18 DB25 x 10.000	18 DB25 x 8.650		
	WORKING PILE		-8.50		46					18 DB25 x 10.575	-		
				TOTAL	79 PILES								

NOTE :

1) CYLINDRICAL CONCRETE STRENGTH AT 28 DAYS, f'c = 280 ksc FOR WORKING AND ANCHOR PILE, 350 ksc FOR TEST PILE
2) STEEL GRADE
- DEFORMED BAR SD40 : DB12, DB16
SD50 : DB25, DB28, DB32
3) EXISTING GROUND LEVEL ± 0.000

Rev. No.	DATE	DESCRIPTION
R1	29-09-17	REVISED AS CLOUD
R2	09-10-17	REVISED AS CLOUD
R3	10-10-17	REVISED AS CLOUD
R4	24-10-17	REVISED AS CLOUD
R5	03-11-17	REVISED AS CLOUD

BAUER

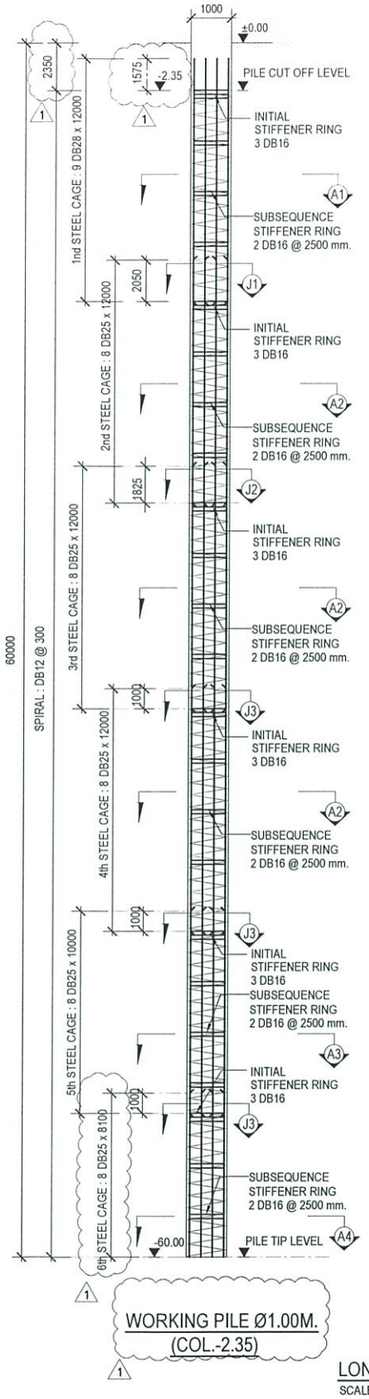
THAI BAUER CO.,LTD.

142 Two Pacific Place 17th Floor
Sukhumvit
Bangkok 10110
Thailand
Tel. 0533276-80
Fax 0533275

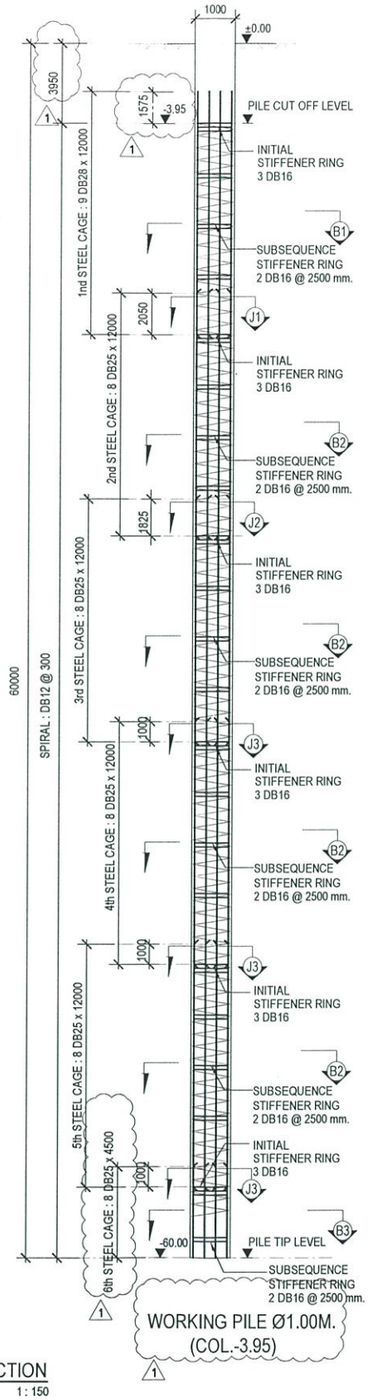
BAUER SPEZIALTIEFBAU GmbH
P.O. Box 1260
D - 8898 Schrobenhausen
Germany
Telex 527970
Telefon 082 529170
Telex 17-826280 Bauer
Telefax 825280 Bauer
Telefax 082 52197356

PROJECT NO.	JB389	FILE NAME	JB389-002_R5
		DRAWING NO.	389-002
CLIENT	Raimon Land Public Co.,Ltd.	SCALE	AS SHOWN
		DRAWING SIZE	A3
PROJECT	THE LOFTS SILOM Silom, Bangkok, Thailand	DATE	03-11-17
		NAME	
		DRAWN	CHP.
		CHECKED	TKS.
		APPROV.	
DRAWING	PILING PLAN	DESIGNED BY :	

THIS DRAWING IS UNDER COPYRIGHT AND IS NOT TO BE COPIED OR PRESENTED TO UNAUTHORIZED PARTIES WITHOUT SPECIAL PERMISSION.

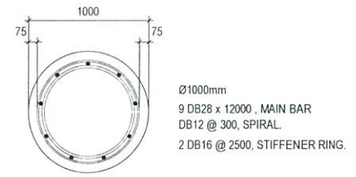


WORKING PILE Ø1.00M.
(COL.-2.35)



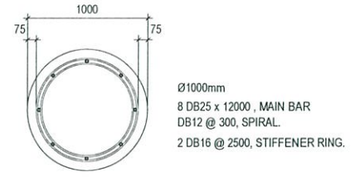
WORKING PILE Ø1.00M.
(COL.-3.95)

LONGITUDINAL SECTION
SCALE 1 : 150



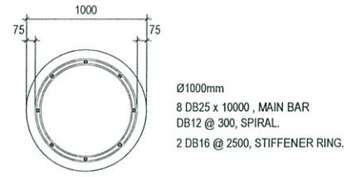
Ø1000mm
9 DB28 x 12000 , MAIN BAR
DB12 @ 300, SPIRAL.
2 DB16 @ 2500, STIFFENER RING.

SECTION A1, B1
SCALE 1 : 25



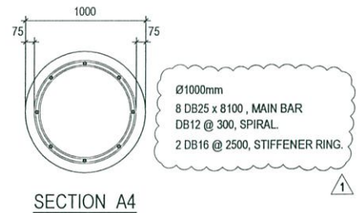
Ø1000mm
8 DB25 x 12000 , MAIN BAR
DB12 @ 300, SPIRAL.
2 DB16 @ 2500, STIFFENER RING.

SECTION A2, B2
SCALE 1 : 25



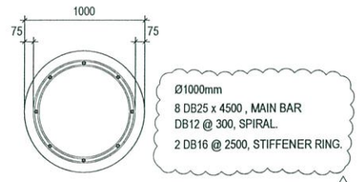
Ø1000mm
8 DB25 x 10000 , MAIN BAR
DB12 @ 300, SPIRAL.
2 DB16 @ 2500, STIFFENER RING.

SECTION A3
SCALE 1 : 25



Ø1000mm
8 DB25 x 8100 , MAIN BAR
DB12 @ 300, SPIRAL.
2 DB16 @ 2500, STIFFENER RING.

SECTION A4
SCALE 1 : 25

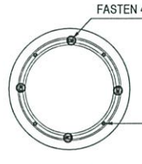


Ø1000mm
8 DB25 x 4500 , MAIN BAR
DB12 @ 300, SPIRAL.
2 DB16 @ 2500, STIFFENER RING.

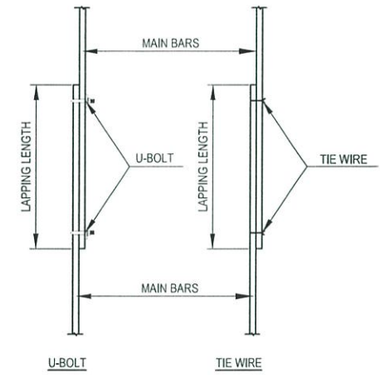
SECTION B3
SCALE 1 : 25

SECTION J1
SCALE 1 : 25

SECTION J2
SCALE 1 : 25



SECTION J3
SCALE 1 : 25



LAP SPLICES DETAIL

NOTE :

1) CYLINDRICAL CONCRETE STRENGTH AT 28 DAYS, f'c = 280 ksc
FOR WORKING AND ANCHOR PILE, 350 ksc FOR TEST PILE
2) STEEL GRADE
- DEFORMED BAR SD40 : DB12, DB16
SD50 : DB25, DB28, DB32
3) EXISTING GROUND LEVEL ± 0.000

Rev. No.	DATE	DESCRIPTION
R1	29-09-17	REVISED AS CLOUD

BAUER

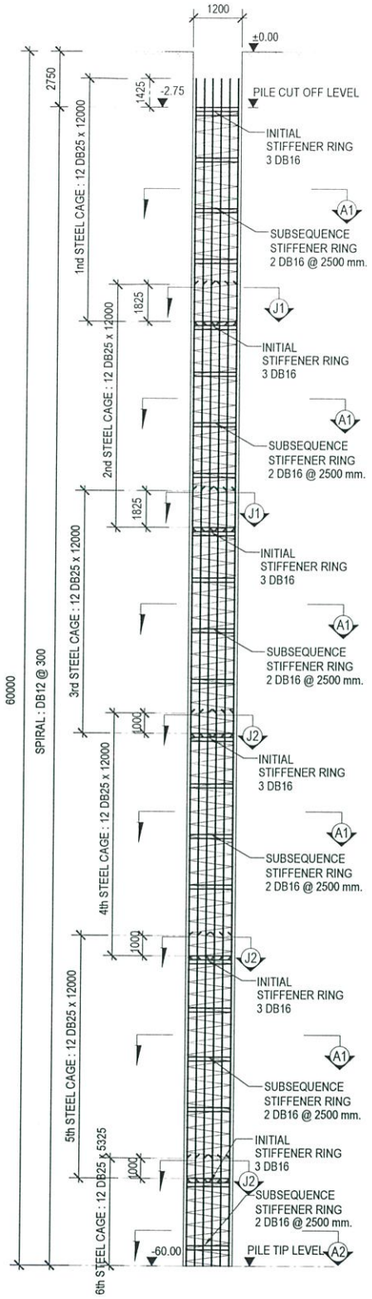
THAI BAUER CO.,LTD.

142 Tec Pacific Place 17th Floor
Sukhumvit
Bangkok 10110
Thailand
Tel. 0532075-82
Fax. 0532075

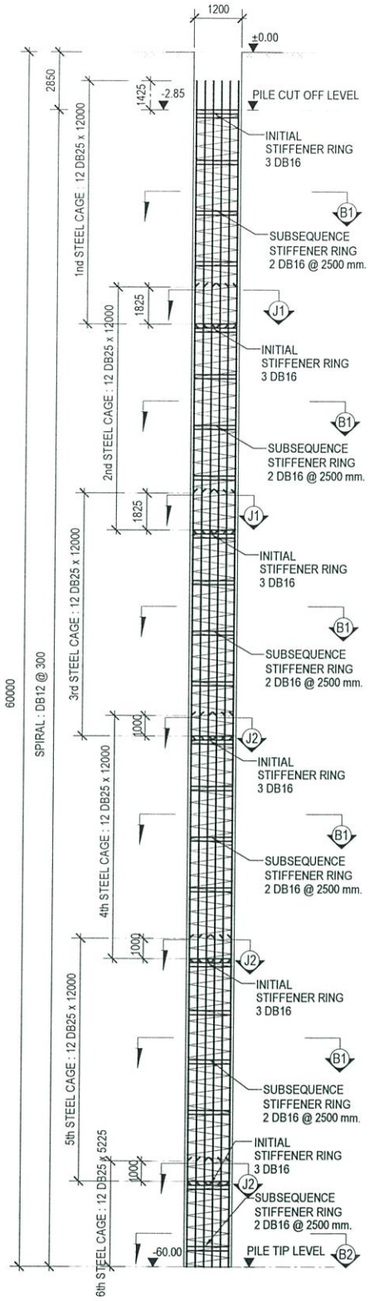
BAUER SPEZIALTIEFBAU GmbH
P.O. Box 1260
D - 8899 Schrobenhausen
Germany
Telefon 082 52197-0
Telex 17-0255282 Bauer
Telefax 825280 Bauer
Telefax 082 52197359

PROJECT NO. JB389		FILE NAME JB389-101_R1	DRAWING NO. 389-101
CLIENT Raimon Land Public Co.,Ltd.		SCALE AS SHOWN	DRAWING SIZE A3
PROJECT THE LOFTS SILOM Silom, Bangkok, Thailand	DATE	NAME	
	29-09-17	DRAWN	CHP.
		CHECKED	TKS.
		APPROV.	
DRAWING BORED PILE SECTION DETAILS (1/3)	DESIGNED BY :		

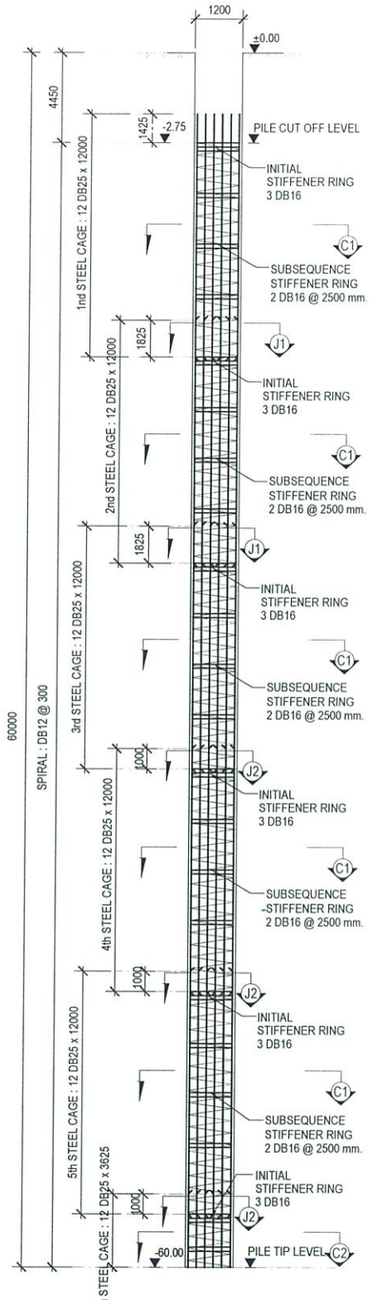
THIS DRAWING IS UNDER COPYRIGHT AND IS NOT TO BE COPIED OR PRESENTED TO UNAUTHORIZED PARTIES WITHOUT SPECIAL PERMISSION.



WORKING PILE Ø1.20M.
(COL.-2.75)

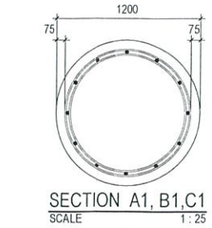


WORKING PILE Ø1.20M.
(COL.-2.85)



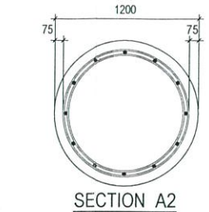
WORKING PILE Ø1.20M.
(COL.-4.45)

LONGITUDINAL SECTION
SCALE 1 : 150



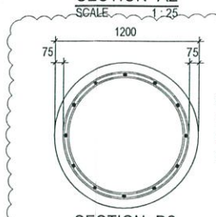
Ø1200mm
12 DB25 x 12000 , MAIN BAR
DB12 @ 300, SPIRAL.
2 DB16 @ 2500, STIFFENER RING.

SECTION A1, B1,C1
SCALE 1 : 25



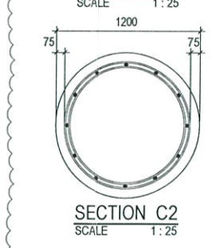
Ø1200mm
12 DB25 x 5325 , MAIN BAR
DB12 @ 300, SPIRAL.
2 DB16 @ 2500, STIFFENER RING.

SECTION A2
SCALE 1 : 25



Ø1200mm
12 DB25 x 5225 , MAIN BAR
DB12 @ 300, SPIRAL.
2 DB16 @ 2500, STIFFENER RING.

SECTION B2
SCALE 1 : 25

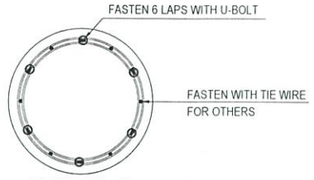


Ø1200mm
12 DB25 x 3625 , MAIN BAR
DB12 @ 300, SPIRAL.
2 DB16 @ 2500, STIFFENER RING.

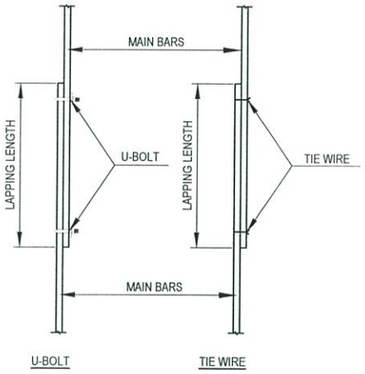
SECTION C2
SCALE 1 : 25

1

SECTION J1
SCALE 1 : 25



SECTION J2
SCALE 1 : 25



LAP SPLICES DETAIL

NOTE :

1) CYLINDRICAL CONCRETE STRENGTH AT 28 DAYS, f'c = 280 ksc
FOR WORKING AND ANCHOR PILE, 350 ksc FOR TEST PILE
2) STEEL GRADE
- DEFORMED BAR SD40 : DB12, DB16
SD50 : DB25, DB28, DB32
3) EXISTING GROUND LEVEL ± 0.000

Rev. No.	DATE	DESCRIPTION
R1	29-09-17	REVISED AS CLOUD

BAUER

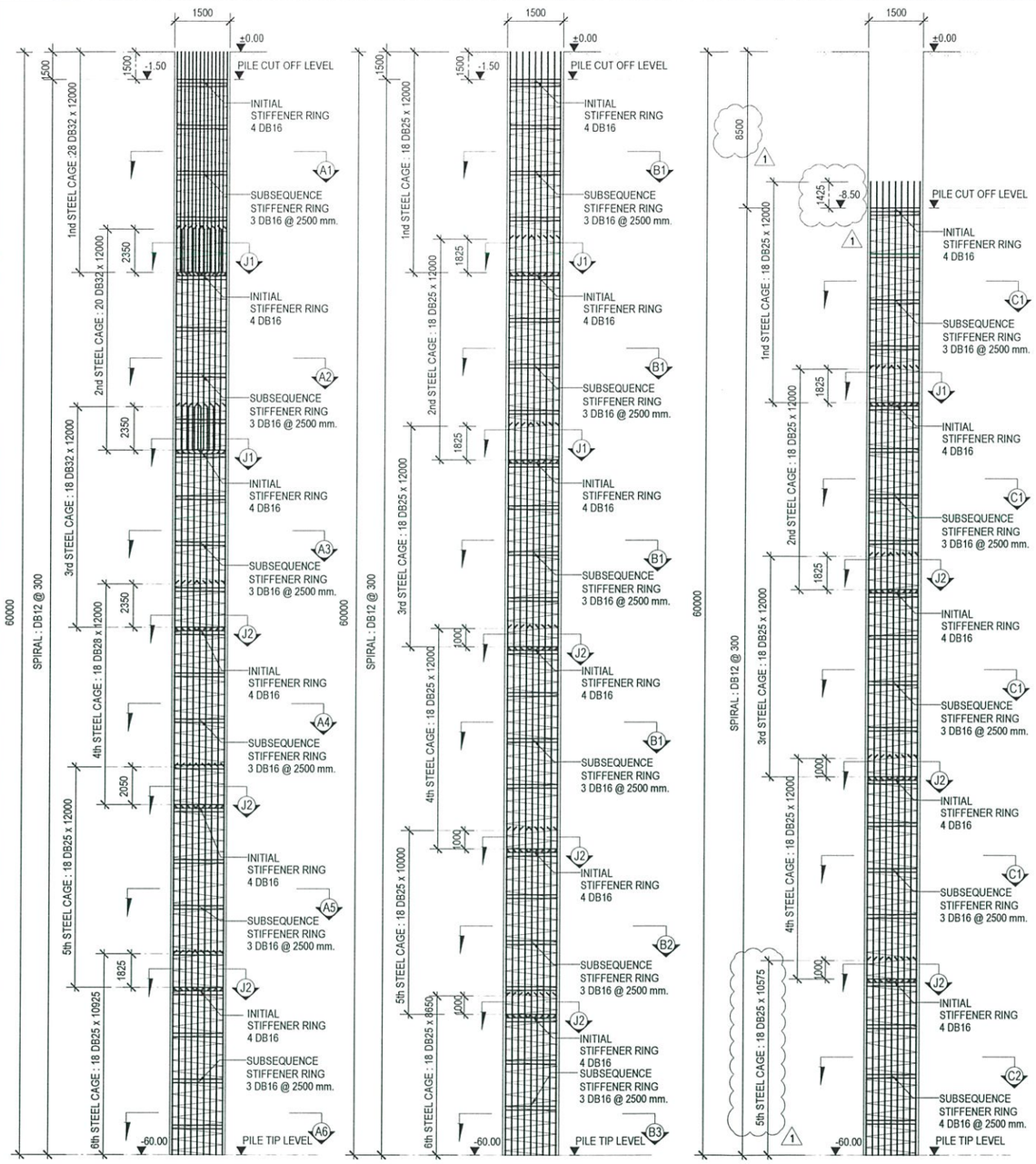
THAI BAUER CO.,LTD.

143 Teo Pacific Place 17th Floor
Sukhumvit
Bangkok 10110
Thailand
Tel. 6532075-83
Fax 6532075

BAUER SPEZIALTIEFBAU GmbH
P.O. Box 1260
D - 6086 Schrobenhausen
Germany
Telefon 082 521970
Telex 17-0255283 Bauer
Telefax 825250 Bauer
Telefax 082 52197359

PROJECT NO. JB389		FILE NAME JB389-102_R1	DRAWING NO. 389-102
CLIENT Raimon Land Public Co.,Ltd.		SCALE AS SHOWN	DRAWING SIZE A3
PROJECT THE LOFTS SILOM Silom, Bangkok, Thailand		DATE	NAME
		29-09-17	DRAWN CHP.
			CHECKED TKS.
DRAWING BORED PILE SECTION DETAILS (2/3)			APPROV.
		DESIGNED BY :	

THIS DRAWING IS UNDER COPYRIGHT AND IS NOT TO BE COPIED OR PRESENTED TO UNAUTHORIZED PARTIES WITHOUT SPECIAL PERMISSION.

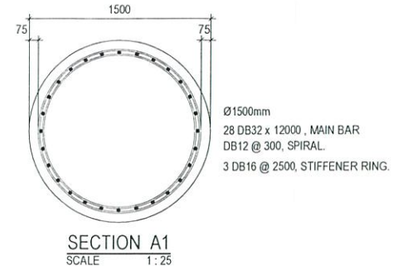


ANCHOR PILE Ø1.50M.
(COL.-1.50)

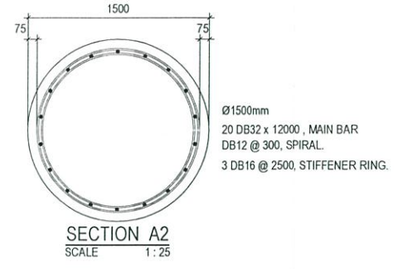
TEST PILE Ø1.50M.
(COL.-1.50)

WORKING PILE Ø1.50M.
(COL.-8.50)

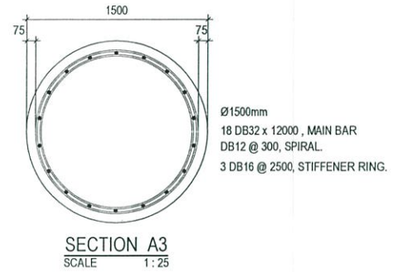
LONGITUDINAL SECTION
SCALE 1 : 150



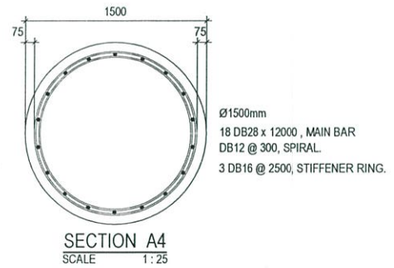
SECTION A1
SCALE 1 : 25



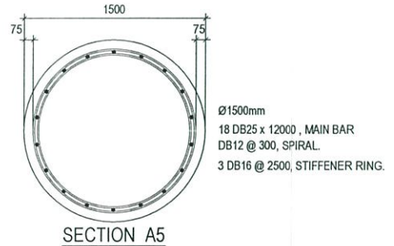
SECTION A2
SCALE 1 : 25



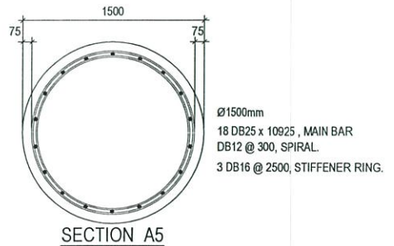
SECTION A3
SCALE 1 : 25



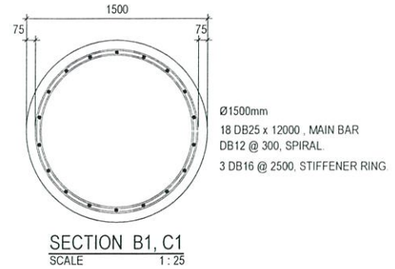
SECTION A4
SCALE 1 : 25



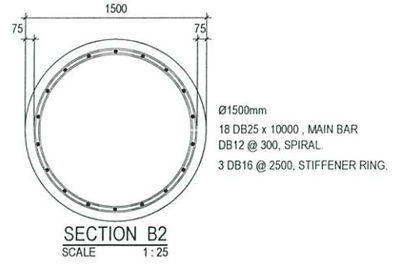
SECTION A5
SCALE 1 : 25



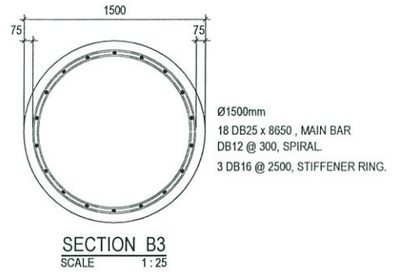
SECTION A5
SCALE 1 : 25



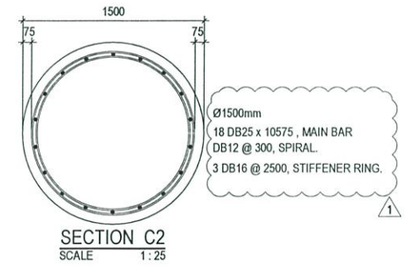
SECTION B1, C1
SCALE 1 : 25



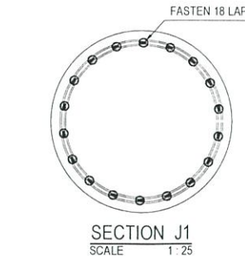
SECTION B2
SCALE 1 : 25



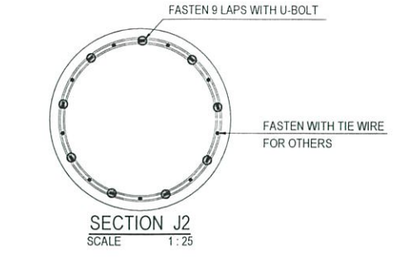
SECTION B3
SCALE 1 : 25



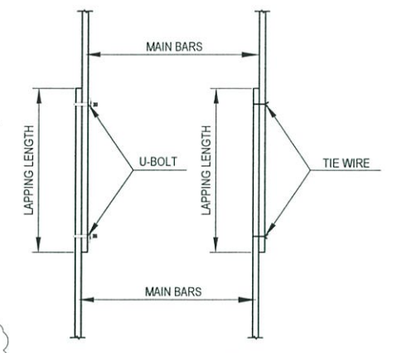
SECTION C2
SCALE 1 : 25



SECTION J1
SCALE 1 : 25



SECTION J2
SCALE 1 : 25



LAP SPLICES DETAIL

NOTE :

1) CYLINDRICAL CONCRETE STRENGTH AT 28 DAYS, f'c = 280 ksc
   FOR WORKING AND ANCHOR PILE, 350 ksc FOR TEST PILE
2) STEEL GRADE
   - DEFORMED BAR SD40 : DB12, DB16
     SD50 : DB25, DB28, DB32
3) EXISTING GROUND LEVEL ± 0.000

Rev. No.	DATE	DESCRIPTION
R1	29-09-17	REVISED AS CLOUD

BAUER

THAI BAUER CO.,LTD.

142 Two Pacific Place 17th Floor
Sukhumvit
Bangkok 10110
Thailand
Tel. 6532076-82
Fax 6532075

BAUER SPEZIALTIEFBAU GmbH
P.O. Box 1260
D - 8898 Schrobenhausen
Germany
Telefon 082 52197-0
Telefax 082 52197-359
Telex 17-852520 Bauer
Teletex 852520 Bauer

PROJECT NO. JB389		FILE NAME JB389-103_R1	DRAWING NO. 389-103
CLIENT Raimon Land Public Co.,Ltd.		SCALE AS SHOWN	DRAWING SIZE A3
PROJECT THE LOFTS SILOM, Silom, Bangkok, Thailand		DATE 29-09-17	NAME
		DRAWN	CHP.
		CHECKED	TKS.
DRAWING BORED PILE SECTION DETAILS (3/3)		APPROV.	
		DESIGNED BY :	

THIS DRAWING IS UNDER COPYRIGHT AND IS NOT TO BE COPIED OR PRESENTED TO UNAUTHORIZED PARTIES WITHOUT SPECIAL PERMISSION.