รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ศึกษาการแก้ปัญหาฐานรากทรุดโดยวิธีการ Grouting

Solution to Grouting for Foundation Settlement

นายปียวิช ตันบุรินทร์ทิพย์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ศึกษาการแก้ปัญหาฐานรากทรุดโดยวิธีการ Grouting

Solution to Grouting for Foundation Settlement

นายปิยวิช ตันบุรินทร์ทิพย์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สภาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา ศึกษาการแก้ปัญหาฐานรากทรุดโดยวิธีการ Grouting

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นาย ปิยวิช ตันบุรินทร์ทิพย์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมโยธา

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน คุณ ศุภชัย ลัดดากุล

สถานประกอบการ บริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน การวิบัติของอาคารมีสาเหตุมาจากปัจจัยหลากหลายประการ เช่น การออกแบบผิดพลาด การใช้งานผิดวัตถุประสงค์ การก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน นอกจากปัจจัยทั้ง 3 ที่กล่าวมาแล้วนั้นอีกปัจจัยหนึ่งคือ การทรุดตัวของฐานราก ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ส่งผลให้เกิดการวิบัติของอาคารและเป็นปัจจัยที่พบมากที่สุดอย่างหนึ่ง

เหตุการณ์ การทรุดตัวของฐานรากขณะก่อสร้างอาคาร 1 ของโครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd. จากการขุดสำรวจดินใต้ฐานรากที่เกิดการทรุดตัว ผลจากการขุดสำรวจพบว่าที่ความลึก 4.50 – 5.00 เมตร มีขี้เถ้า แกลบ และขยะปะปนอยู่เป็นชั้นคั่นระหว่างชั้นดินเดิมและชั้นดินถม ซึ่งเป็นจุด Soft Spotที่เป็นสาเหตุให้เกิดการทรุดตัวของฐานรากอาคาร โดยทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัดได้เสนอให้แก้ปัญหาการทรุดตัวดังกล่าวด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินบริเวณชั้นที่เป็นจุด Soft Spot โดยใช้วิธีการทำ Grouting

จากปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้นของโครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd ผู้ศึกษาเล็งเห็นถึงความสำคัญของการศึกษาการใช้งาน Grouting ในการปรับปรุงคุณภาพชั้นดิน โดยผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาค้นคว้าวิธีการและขั้นตอนในการดำเนินงาน ข้อดี ข้อเสีย และข้อควรระวัง ในการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting เพื่อให้แก้ปัญหาฐานรากทรุดเป็นไปอย่างถูกต้องและปลอดภัย

Cooperative Title: Solution to Grouting for Foundation Settlement.

Student intern name: Mr. Piyawich Tanburinthip

Faculty: Engineering **Department:** Civil Engineering

Advisor name: Asst.Prof.Dr. Arthit Petchsasithon

Mentor name: Mr. Supachai Laddakul.

Company: JWS CONSTRUCTION CO.,LTD.

ABSTRACT

Currently, damage of building is caused by many factors, for example mistake design, misuse and construction isn't standard. In addition to 3 factors, another factor is settlement of foundation. Which is important factor that resulted in building is damaged.

The result of the excavation, the settlement of foundation of "Mercator Medical Thailand Co., Ltd", shows ash and waste between soil layers which was the soft spot at 4.50 - 5.00 meters depth. Therefore JWS proposed to solve this problem by using Grouting Method for improving soil quality at soft spot.

By this cause, researcher studies process and sequence in improving soil quality, including advantage, disadvantage and caution, by using Grouting Method for solving the settlement of foundation correctly and safely.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานสหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์อาทิตย์ เพชรศศิธร อาจารย์นิเทศสหกิจศึกษา ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงงานสหกิจศึกษา อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานสหกิจศึกษา ขอขอบคุณ บริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด สำหรับการอนุญาตให้เข้าไปฝึกงานและศึกษาเรียนรู้การทำงานกับทางบริษัท นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณ ศุภชัย ลัดดากุล และพี่พนักงานในไซต์งาน J114 ทุกท่าน ที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านระหว่างการดำเนินงานสหกิจศึกษาในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียนตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการสหกิจศึกษา

ปิยวิช ตันบุรินทร์ทิพย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	I
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 วิธีดำเนินการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แนวคิดและความสำคัญของปัญหาการทรุดตัวของฐานรากสิ่งปลูกสร้าง	6
2.2 แนวคิดและทฤษฎีของการ Grouting	8
2.3 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวางแผน ออกแบบ และการก่อสร้างของ Grouting	13
2.4 ชนิดของ Grouting และการเลือกใช้วัสดุในการ Grouting	27
2.4.1 Rock Fracture Grouting	27
2.4.2 Soil Grouting	29

2.4.3 การเลือกใช้วัสดุในการ Grouting 31

2.5 สูตรที่ใช้ในการออกแบบ 32

2.5.1 การคำนวณเปอร์เซ็นปริมาตรที่ต้องการถูกแทนที่ 32

2.5.2 การคำนวณค่าความสามารถในการ Grouting 32

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 รวบรวมเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34

3.2 การวางกรอบแนวความคิด ขอบเขต และกำหนดแนวทางในการดำเนินงานวิจัย 35

3.3 การศึกษาปัญหาการทรุดตัวของฐานรากสิ่งปลูกสร้าง 35

3.4 การศึกษาการทำ Grouting 36

3.4.1 ศึกษาทฤษฎีของ Grouting 36

3.4.2 ศึกษาการทำ Grouting จากการปฏิบัติจริง 41

3.5 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทำการศึกษา 49

3.5.1 ขั้นตอนการระบุปัญหาและตรวจสอบหาสาเหตุ 49

3.5.2 ขั้นตอนในการประเมินความเป็นไปได้ในการเลือกใช้ Grouting ในการแก้ปัญหา 49

3.5.3 ขั้นตอนการวางแผนและออกแบบวิธีการปฏิบัติการในสนาม 50

3.5.4 ขั้นตอนการดำเนินงานในสนาม 52

3.5.5 การตรวจสอบและติดตามผลการแก้ไขปัญหา 52

3.6 การจัดทำคู่มือการดำเนินการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดโดยวิธี Grouting 52

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การ Grouting กับการแก้ปัญหาฐานรากทรุด 54

4.2 ขั้นตอนการดำเนินการ Grouting ในการแก้ปัญหาฐานรากทรุด 55

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 58

5.2 ข้อเสนอแนะ 61

เอกสารที่เกี่ยวข้อง 62

ภาคผนวก ก. 63

ภาคผนวก ข. 93

ประวัติผู้เขียน 114

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ภาพอาคารที่เกิดการทรุดตัวมากเกินไป	5
2.2 ภาพอาคารที่เกิดการทรุดตัวต่างกัน	6
2.3 ภาพความเสียหายของสิ่งปลูกสร้างเนื่องจากการทรุดตัว	6
2.4 การทำ Grouting แนวราบสำหรับการขุดเจาะอุโมงค์	9
2.5 การทำ Grouting สำหรับกั้นน้ำที่ไหลซึมออกจากอ่างเก็บ	11
2.6 วัสดุที่ใช้สำหรับ Rock Fracture Grouting	28
2.7 ภาพจำลองการ Permeation Grouting ของหิน	28
2.8 ภาพจำลองการ Permeation Grouting ของดิน	29
2.9 ภาพจำลองการ Compaction Grouting	30
2.10 ภาพจำลองการ Jet Grouting	31
3.1 ผลการทดสอบ Plate bearing test โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.	42
3.2 กราฟการทรุดตัวขณะทำ Plate bearing test โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.	44
3.3 Soil boring log โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.	44
3.4 ตารางเวลาในการดำเนินงาน(Schedule) โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.	46
3.5 แบบระบุตำแหน่ง Grouting โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.	46
3.6 แบบวิธีการฝังท่อสำหรับ Grouting โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.	47
4.1 แสดงตัวอย่างคู่มือการใช้งาน Grouting ในการแก้ปัญหาฐานรากทรุด	57

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยสูงสุดที่ยอมให้ของอาคาร	7
2.2 องค์ประกอบของระยะการศึกษาความเป็นไปได้	15
2.3 องค์ประกอบของระยะของวิศวกรรมก่อนการก่อสร้างและการออกแบบ	21
2.4 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการขุดเจาะและ Grouting โดยวิธี Downstage และ Upstage	27
3.1 ค่าระดับฐานรากก่อนดำเนินการ Grouting ของอาคาร 1 โครงการMercator Medical Thailand Co. , Ltd.	41
3.2 ค่าระดับฐานรากหลังดำเนินการ Grouting ของอาคาร 1 โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd	48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัญหาการทรุดตัวของฐานรากเป็นปัญหาที่สำคัญที่วิศวกรโยธาต้องตระหนักและให้ความสำคัญ เนื่องจากปัญหาการทรุดของฐานรากเมื่อเกิดขึ้นแล้ว อาจทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างของอาคาร ถ้าหากการทรุดตัวรุนแรงมากอาจทำให้อาคารพังทลายลงมาได้ ส่งผลให้เสียเวลา ค่าใช้จ่ายที่สูง และเกิดความไม่ปลอดภัยถึงขั้นเสียชีวิตได้ ดังนั้นการแก้ปัญหาการทรุดตัวของฐานรากที่ถูกต้อง รวดเร็ว และปลอดภัยจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรให้ความสำคัญ

จากเหตุการณ์การทรุดตัวของฐานรากขณะก่อสร้างอาคาร 1 ของโครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd. หลังจากเกิดการทรุดตัวได้ทำการขุดเจาะสำรวจดินใต้ฐานรากบริเวณที่เกิดการทรุดตัว ซึ่งผลจากการขุดสำรวจพบว่าที่ความลึก 4.50 – 5.00 เมตร เมตร มีขี้เถ้า แกลบ และขยะปะปนอยู่เป็นชั้นดั่นระหว่างชั้นดินเดิมและชั้นดินถม ทำให้บริเวณดังกล่าวเป็นจุด Soft Spot ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการทรุดตัวของฐานรากอาคาร โดยทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด ได้เสนอให้แก้ปัญหาการทรุดตัวดังกล่าวด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินบริเวณชั้นที่เป็นจุด Soft Spot โดยใช้วิธีการทำ Grouting เป็นการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยการฉีดซีเมนต์ด้วยความดันลงไปในดินเพื่อให้ชั้นดินดังกล่าวแข็งแรงขึ้น แต่การปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting มีความยากอยู่ที่การควบคุมและกำหนดทิศทางการไหลแทรกตัวของซีเมนต์ให้ไปในทิศทางหรือบริเวณที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพ หากต้องการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting แล้ว ควรทำการศึกษาให้ดีเพื่อให้การแก้ปัญหาฐานรากทรุดได้ประสิทธิภาพ

จากปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้นของโครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd ผู้ศึกษาเห็นถึงความสำคัญของการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาค้นคว้าวิธีการและขั้นตอนในการดำเนินงาน ข้อดี ข้อเสีย และข้อควรระวัง ในการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting เพื่อให้แก้ปัญหาฐานรากทรุดเป็นไปอย่างถูกต้องและปลอดภัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาให้เข้าใจเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting
2. เพื่อศึกษาวิธีการและขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting
3. เพื่อศึกษาข้อดี ข้อเสีย ข้อควรระวัง และผลกระทบ ในการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการทรุดตัวของฐานรากขณะก่อสร้างอาคาร 1 ของโครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd. ซึ่งชนิดของฐานรากของอาคารดังกล่าวเป็นฐานรากแผ่ ด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินบริเวณชั้นที่เป็นจุด Soft Spot โดยใช้วิธีการทำ Grouting โดยผู้ศึกษามุ่งศึกษาเพื่อเข้าใจเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting ศึกษาวิธีการและขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting รวมไปถึงการศึกษาเกี่ยวกับข้อดี ข้อเสีย ข้อควรระวัง และผลกระทบ ในการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting ซึ่งระยะเวลาที่ผู้ศึกษาใช้เวลาในการศึกษา และจัดทำโครงงานตั้งแต่วันที่ 14 สิงหาคม 2560 ถึงวันที่ 1 ธันวาคม 2560 เป็นเวลาทั้งหมด 110 วัน

1.4 วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาในครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้เริ่มศึกษาจากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องซึ่งแบ่งได้ 2 ส่วน คือ ข้อมูลเกี่ยวข้องกับปัญหาการทรุดตัวของฐานรากขณะก่อสร้างอาคาร 1 ของโครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd. และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีและหลักการในการการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในวิเคราะห์และกำหนดวิธีการขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินในบริเวณที่เกิดแก้ปัญหาการทรุดตัวของฐานราก และยังรวมถึงการพิจารณาข้อดี ข้อเสีย ข้อควรระวัง และผลกระทบ เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างประสิทธิภาพสูงสุด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการของการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting
2. สามารถหาวิธีการและขั้นตอนในดำเนินการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting อย่าง ประสิทธิภาพสูงสุด
3. สามารถพิจารณาข้อดี ข้อเสีย ข้อควรระวัง และผลกระทบของการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและความสำคัญของปัญหาการทรุดตัวของฐานรากสิ่งปลูกสร้าง

ตั้งแต่อดีต ปัญหาการทรุดตัวของฐานรากเป็นปัญหาที่สำคัญที่วิศวกรโยธาต้องตระหนักและให้ความสำคัญ เนื่องจากปัญหาการทรุดของฐานรากเมื่อเกิดขึ้นแล้ว อาจทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างของอาคาร ถ้าหากการทรุดตัวรุนแรงมากอาจทำให้อาคารพังทลายลงมาได้ ส่งผลให้เสียเวลาค่าใช้จ่ายที่สูง และเกิดความไม่ปลอดภัย ซึ่งอาจทำให้เสียชีวิตได้ ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาให้รู้จักว่าการทรุดตัวคืออะไรและมีอันตรายอย่างไร

การทรุดตัวของฐานราก หมายถึง การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของฐานรากตามการเสียรูปของดินเนื่องจากความดันที่ฐานรากนั้นกระทำต่อดิน ซึ่งอาจทำให้อาคารเกิดความเสียหายได้ การทรุดตัวของฐานรากเกิดจากพฤติกรรมของดินประกอบด้วยกัน 3 ประเภทคือ

1) การเสียรูปจากการยืดหยุ่น (Elastic Deformation) หรือการเสียรูปทันทีทันใด(Immediate Deformation) เป็นการเสียรูปเนื่องจากการปรับตัวของเม็ดดินเมื่อมีแรงกระทำเกิดขึ้นทั้งในดินที่มีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesive Soil) และดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesionless Soil) ทำให้เกิดการทรุดตัวทันทีที่มีความดันกระทำต่อดิน

2) การอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) เป็นกระบวนการที่เมื่อดินอิ่มตัวได้รับความดัน น้ำจะรับความดันนั้นในทันทีที่ถูกกระทำ เมื่อเวลาผ่านไปน้ำที่มีความดันสูงกว่าปกติจะไหลออกจากดินทำให้ปริมาตรของดินลดลง จึงเกิดการทรุดตัวซึ่งระยะเวลาของการทรุดตัวจะขึ้นอยู่กับประเภทของดิน ดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมผ่าน (Coefficient of Permeability) สูง เช่นกรวดและทราย จะเกิดขึ้นเร็วมากจนไม่สามารถแยกการทรุดตัวนี้ออกจากการทรุดตัวเนื่องจากการเสียรูปทันทีทันใดได้ แต่ดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมผ่านต่ำ เช่นดินเหนียว จะใช้เวลาในการทรุดตัวนานมากว่ากระบวนการนี้จะเสร็จสิ้น

3) การอัดตัวระยะที่สองและการล้า (Secondary Compression and Creep) เป็นการเสียรูปโดยที่ปริมาณน้ำในดินคงที่ เกิดในดินเม็ดละเอียด เช่นดินเหนียวและดินตะกอนทราย ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดหลังจากการอัดตัวคายน้ำเสร็จสิ้นแล้ว ดังนั้น การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวระยะที่สองและการล้านี้จึงเกิดหลังจากการก่อสร้างอาคารเสร็จนานแล้วและการทรุดตัวก็มีค่าน้อย

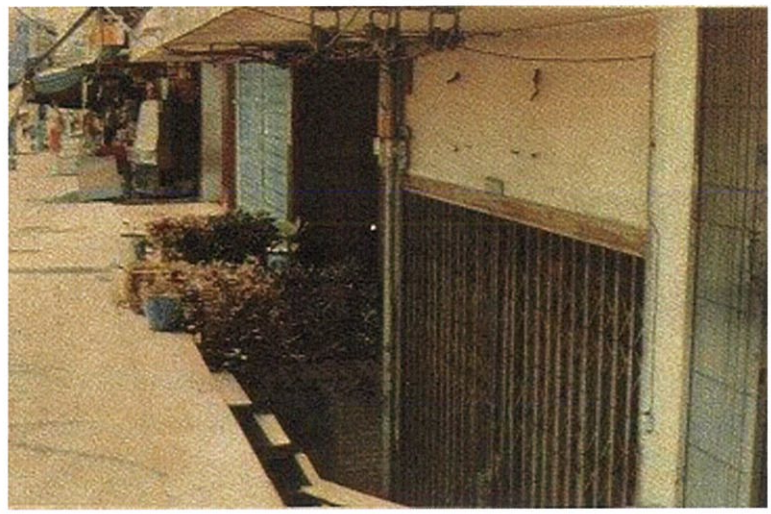
ปัญหาทางวิศวกรรมโยธาที่เกิดจากการทรุดตัวของชั้นดิน

1. การทรุดตัวมากเกินไป (Excessive settlement) ย่อมเกิดปัญหากับสิ่งก่อสร้างซึ่งไม่ได้เผื่อการทรุดตัวเหล่านี้ไว้

ภาพที่ 2.1 ภาพอาคารที่เกิดการทรุดตัวมากเกินไป

(ที่มา: เอกสารการสอนของผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์)

2. การทรุดตัวต่างกัน (Differential settlement) สิ่งก่อสร้างเดียวกันหรือต่อเนื่องกัน ถ้าเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน มักจะเกิดปัญหามาก เช่น การแตกร้าวซึ่งถ้าหากการแตกร้าวเกิดขึ้นกับโครงสร้างจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน



ภาพที่ 2.2 ภาพอาคารที่เกิดการทรุดตัวต่างกัน

(ที่มา: ชูเลิศ จิตเจือจุน บริษัท อินเตอร-คอนซัลท์ จำกัด)

3. ปัญหาข้างเคียงที่มีสาเหตุมาจากการทรุดตัว ในบางกรณีการทรุดตัวเองไม่เกิดปัญหากับโครงสร้าง แต่จะเกิดปัญหาอื่นๆที่ตามมาอันมีผลสืบเนื่องมาจากการทรุดตัวอาคารทรุดต่ำกว่าระดับน้ำ ท่วมท่อระบายน้ำ ไม่สามารถเป็นทางระบายน้ำได้ เนื่องจากเกิดความลาดเอียงที่ผิดจากที่ออกแบบไว้คันดิน หรือคันถนน ทรุดตัวต่ำกว่าระดับที่ออกแบบไว้ต้องถมที่ดินมากกว่าที่ออกแบบไว้ เนื่องจากชั้นดินทรุดตัว

ภาพที่ 2.3 ภาพความเสียหายของสิ่งปลูกสร้างเนื่องจากการทรุดตัว

(ที่มา: เอกสารการสอนของผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์)

ขีดจำกัดของการทรุดตัว (Limitation of Settlement)

อาคารอาจเกิดการทรุดตัวเฉลี่ยของทั้งหลังได้มากที่สุดดังค่าที่แสดงในตารางที่ 4.1 (ASCE,1994) โดยที่อาคารส่วนใหญ่ไม่ควรให้การทรุดตัวมากเกิน 2.5 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม อาคารบางประเภทเช่น ไซโลและหอ อาจยอมให้ทรุดตัวได้มากถึง 30 ซม.

ประเภทของอาคาร	ค่าการทรุดตัว, ซม.
อาคารที่ใช้กำแพงอิฐ มีอัตราส่วนความยาวต่อความสูงเกิน 2.5	7.5
อาคารที่ใช้กำแพงอิฐ มีอัตราส่วนความยาวต่อความสูงไม่เกิน 1.5	10.0
โครงสร้างที่เป็นโครงข้อแข็ง	10.0
อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้กำแพงอิฐ	15.0
ไซโล หอ และอาคารที่ใช้งานในลักษณะเดียวกัน และใช้ฐานรากแผ่ผืนรวมคอนกรีตเสริมเหล็ก	30.0

ตารางที่ 2.1 ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยสูงสุดที่ยอมให้ของอาคาร

(ที่มา: https://civil.kku.ac.th/site/wp-content/uploads/2010/08/การทรุดตัวทันทันใด.pdf)

การทรุดตัวที่ยอมให้ของอาคารทั้งหลังนั้น อาจพิจารณาจากเหตุผลอื่นๆ อีก เช่น ความเสียหายของระบบสาธารณูปโภค การระบายน้ำ และการเชื่อมต่อกับถนนที่เข้าสู่อาคาร เป็นต้น

สาเหตุที่สำคัญของการทรุดตัวของฐานราก

1. ความยาวของเสาเข็ม เช่นเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหกเหลี่ยม ยาว 6 เมตรกับเข็มคอนกรีตยาว 18 - 21 เมตรซึ่งเข็มคอนกรีตประเภทนี้มักจะเป็นเข็ม 2 ท่อนเชื่อมต่อกันฉะนั้นถ้าเสาเข็มที่มีความยาวต่างกันมากจะทำให้เสาเข็มจะถ่ายน้ำหนักไปสู่ดินที่มีความสามารถในการรับน้ำหนักไม่เท่ากัน ก่อให้เกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน ส่วนมากจะเกิดขึ้นจากการต่อเติมอาคารที่ใช้เข็มที่มีขนาดและความลึกต่างจากอาคารเดิม เช่น ต่อเติมห้องครัวด้านหลังบ้าน

2. บริเวณที่มีชั้นดินอ่อน ควรคำนวณหาจำนวนเสาเข็มให้พอดีกับน้ำหนักบรรทุกที่จะกระทำบนฐานแต่ละฐาน เพื่อให้กระจายน้ำหนักบรรทุกกันออกไปและไม่ควรที่จะออกแบบให้น้ำหนักที่ฐานรากแต่ละฐานบรรทุกแตกต่างกันมากจนเกินไป เพราะจะทำให้เกิดการทรุดตัวไม่เท่ากันขึ้น ฐานที่รับน้ำหนัก

มากก็จะเกิดการทรุดมากส่วนฐานที่รับน้ำหนักน้อยก็จะเกิดการทรุดตัวน้อยในบริเวณที่มีชั้นดินอ่อนควรจะออกแบบให้มีการกระจายน้ำหนักไปตามฐานรากหลายๆฐานให้ใกล้เคียงกัน

3. พื้นที่ที่มีชั้นดินแข็งตั้งแต่ด้านบนลงไป ถ้าเป็นอาคารไม่ใหญ่มากอาจจะไม่ต้องตอกเสาเข็ม และมักจะใช้ฐานรากวางบนชั้นดินแข็งจะทำให้เกิดการทรุดตัวน้อยแต่ถ้าหากใช้ฐานรากรับน้ำหนักที่แตกต่างกันมากเกินไปก็อาจเกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันขึ้นได้เหมือนกัน แม้ว่าจะออกแบบเผื่อไว้สำหรับฐานที่รับน้ำหนักบรรทุกมากแล้วก็ตาม

4. สภาพดินใต้ฐานรากไม่สม่ำเสมอ เช่น มีตาน้ำใต้ฐานราก พื้นที่เคยเป็นคูน้ำ บ่อน้ำ ในการก่อสร้างนั้นหากวางบ่อซึมไว้ใกล้ฐานรากเกินไป หรือปล่อยให้เกิดน้ำขังแฉะอยู่บริเวณเดียวกันเป็นเวลานาน จะทำให้พื้นดินในบริเวณนั้นรับน้ำหนักได้น้อยกว่าบริเวณข้างเคียง นอกจากนั้นแล้วหากสภาพดินใต้ฐานมีชั้นดินอ่อนหรือของเสียที่ไม่สามารถรับน้ำหนักได้แทรกตัวอยู่ในดินเป็นจำนวนมากโดยไม่ได้มีการปรับปรุงคุณภาพของดินหรือนำออกมาก่อนการก่อสร้าง ก็จะเป็นเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของฐานรากที่แตกต่างกันขึ้น

2.2 แนวคิดและทฤษฎีของการ Grouting

โดยทั่วไป ถ้าพูดถึงการ Grouting แล้วคนส่วนใหญ่จะเข้าใจถึงการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตที่มีการแตกร้าวเสียหายโดยใช้ซีเมนต์กำลังสูง แต่ความจริงแล้วในงานด้านวิศวกรรมโยธา การ Grouting คือการดำเนินการที่เกี่ยวกับ 1)ใช้เป็นส่วนประกอบถาวรของการก่อสร้าง 2)ใช้ในการรักษาแก้ไขหลังการก่อสร้าง 3)ใช้เป็นส่วนประกอบของการซ่อมแซมโครงสร้าง เพื่อให้ได้เข้าใจเกี่ยวกับการ Grouting ที่มากยิ่งขึ้น การศึกษาแนวคิดและหลักทฤษฎีของการ Grouting จึงเป็นสิ่งสำคัญ

ประวัติการ Grouting

ต้นกำเนิดของการ Grouting พบว่ามีต้นกำเนิดขึ้นในยุโรป ในประวัติศาสตร์ของการ Grouting ผู้คนรู้จักการทำ Grouting โดยใช้แรงดันเป็นครั้งแรกที่ฝรั่งเศสในปี 1802 ซึ่งมันเคยถูกใช้เพื่อการซ่อมแซมฐานรากของฝายไม้และโครงสร้างของทางระบายน้ำ โดยปั๊มลูกสูบแบบหยาบได้ถูกใช้ในการอัดดินเหนียวและซีเมนต์มอร์ต้าเพื่ออัดฉีดช่องว่าง และต่อมาการ Grouting ถูกนำมาใช้ในการซ่อมแซมโครงสร้างก่ออิฐในช่วงปี 1802 -1805 ในช่วงกลางปี 1850 ถึงต้นปี 1890 มีการความก้าวหน้าทางด้าน

เทคนิคมากยิ่งขึ้น ซึ่งนำไปสู่การนำเอาการ Grouting ไปใช้ในการซ่อมแซมฐานรากกันอย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังถูกนำไปใช้ในการทำเหมือง และโครงสร้างของตัวไฮโดรลิคอีกด้วย แม้แต่ถังอัดแรงดันอากาศถูกพัฒนาขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกและเพิ่มแรงดันในการฉีดให้สูงขึ้น นอกจากนั้นระบบการกวนก็ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการรักษาให้ซีเมนต์ยังคงอยู่ในสภาพของเหลว และปั๊มลูกสูบได้ถูกพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น ในช่วงระหว่างปี 1876-1878 อังกฤษได้นำการทำ Rock Grouting มาใช้สำหรับเขื่อนเป็นครั้งแรก

ภาพที่ 2.4 การทำ Grouting แนวราบสำหรับการขุดเจาะอุโมงค์

(ที่มา: http://www.rodio.ch/rodio-gmbh-spezialtiefbau/jet-grouting-rodio-gmbh-spezialtiefbau.html.)

วัตถุประสงค์ของการGrouting

1) โดยทั่วไปแล้วการ Grouting คือกระบวนการของการฉีดของเหลว สารผสมแขวนลอย หรือสารผสมกึ่งของแข็ง ภายใต้แรงดันเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุให้มีมีความแข็งแรงและเสถียรภาพมากขึ้น ซึ่งการใช้ Grouting ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมมีด้วยกัน 2 รูปแบบ 1) Permeation Grouting คือการฉีดของน้ำยาที่มีคล่องตัวสูง (HMGS) ให้ไหลซึมผ่านลงในช่องว่างขนาดเล็กของมวลดินหรือหิน ให้ ลงในช่องว่างขนาดเล็กระหว่างโครงสร้าง หรือรอยแตกร้าวภายในโครงสร้างเอง ส่วนถ้าเกิดเป็นช่องว่างขนาดใหญ่จะใช้วัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติเหมาะสม เพื่อที่จะใช้เติมลงไปแทน 2) Compaction grouting เป็นการฉีดสารที่มีคุณสมบัติเป็นพลาสติก หรือสารผสมกึ่งแข็งเพื่อเพิ่มความหนาแน่นหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและคุณสมบัติของวัสดุเหล่านั้นในแหล่งพื้นที่ที่ต้องปรับปรุงโดยการใช้ปรับเปลี่ยน หรือแทนที รวมถึงเทคนิคพิเศษ เช่น การทำ Jet grouting หรือ

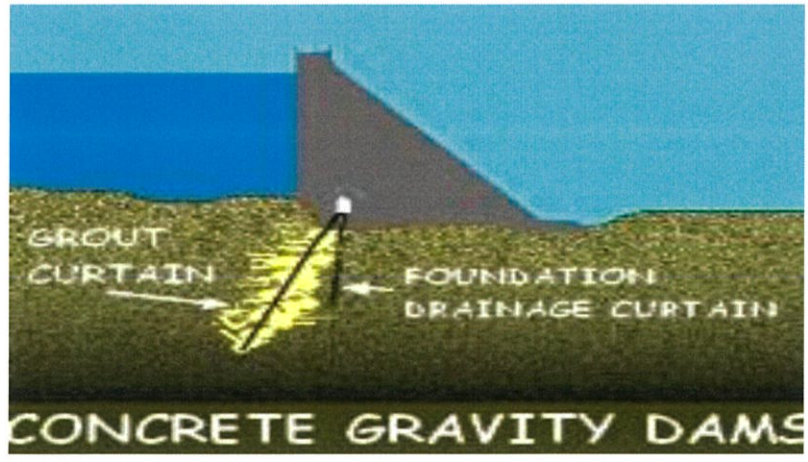
Hydrofracture grouting เป็นต้น ซึ่งทั้งนี้ทั้งนั้นการลักษณะของใช้งาน Grouting ก็ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานว่าจะใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุแต่เพียงอย่างเดียว หรือ อาจจะใช้ในร่วมกับเทคโนโลยีและวิธีการอื่น

2) ใช้ในการลดการไหลซึมโดย Grouting ถูกนำไปใช้ในการลดอัตราการรั่วซึมในโครงสร้างและฐานราก ใช้ในการลดแรงดันสถิตของน้ำที่กระทำต่อตัวโครงสร้าง ใช้ในเปลี่ยนแปลงระดับการไหลหรือเส้นทางการไหลเพื่อเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบ ใช้ในยับยั้งการกัดกร่อนและสึกหรอภายในฐานราก และใช้ในการควบคุมน้ำในการขุดเจาะอุโมงค์ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากในการช่วยนำน้ำออกได้ง่าย หรือ การเพิ่มความเสถียรภาพและมั่นคงให้กับการขุดเจาะอุโมงค์

3) ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล Grouting สามารถใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของดินหรือหินที่ใช้ในการรองรับโครงสร้างหรือการขุดเจาะอุโมงค์โดยคุณสมบัติเชิงกลที่สามารถปรับปรุงได้โดยการใช้ Grouting ได้แก่ การเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนัก การปรับปรุงคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการทรุดตัว เช่น elastic modulus และ Void ratio การปรับปรุงกำลังรับแรงเฉือน และการขจัดช่องว่างที่อาจส่งผลกระทบต่อการรับน้ำหนัก นอกจากนี้ยังสามารถใช้Grouting ในการปรับปรุงบริเวณที่เกิดการทรุดตัวเพื่อป้องกันหรือซ่อมแซมความเสียหายที่มีผลต่อโครงสร้าง

ตัวอย่างการใช้งาน Grouting

1) ประตูน้ำ ใช้ Grouting สำหรับควบคุมการรั่วซึมและกระจายแรงดันของน้ำ
2) ใช้ Grouting ในการลดการเสียรูปของฐานรากและโครงสร้างเนื่องจากการทรุดตัว
3) แทนที่ช่องว่างบริเวณที่รองรับโครงสร้าง
4) ใช้ Grouting สำหรับซ่อมแซม รอยรั่ว รอยร้าว และรอยต่อของโครงสร้าง
5) ใช้ Compaction grouting สำหรับเพิ่มความหนาแน่นให้กับดินที่หลวมหรือ ใช้ Jet grout สำหรับแทนที่ดินเดิมที่หลวม
6) ปรับปรุงบริเวณที่ต้องการจะนำเอาน้ำออกหรือบริเวณที่จะทำการขุดเจาะอุโมงค์ให้มีความเสถียรภาพ



ภาพที่ 2.5 การทำ Grouting สำหรับกั้นน้ำที่ไหลซึมออกจากอ่างเก็บน้ำ

(ที่มา: http://users.tpg.com.au/houlsby1/Use.htm)

ความน่าเชื่อถือและความเสี่ยงของ Grouting

1) ความน่าเชื่อถือของ Grouting

Grouting เป็นวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุที่เชื่อถือได้ ซึ่งถ้าหากการที่จะทำให้การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดเอาไว้นั้นจำเป็นที่จะต้องมีปัจจัยเหล่านี้ประกอบรวมอยู่ในขั้นตอนการดำเนินการด้วย 1) การสำรวจข้อมูลทางธรณีวิทยาที่จำเป็นต้องมีขอบเขตและลักษณะคุณสมบัติของข้อมูลทางธรณีวิทยาของพื้นที่บริเวณนั้นที่เพียงพอเพื่อที่จะอธิบายได้ถึงลักษณะเฉพาะของพื้นที่บริเวณนั้นได้อย่างถูกต้อง เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการทำ Grouting 2) การตีความตามข้อมูล 3) การดำเนินการ Grouting ให้มีความเหมาะสมกับ สภาพพื้นที่ การออกแบบ และระดับที่คาดหวังไว้สำหรับการดำเนินการและการควบคุมคุณภาพ 4) การประเมินอย่างละเอียดเกี่ยวกับความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับไวต่อการรบกวนของดิน 5)การวางแผนที่ดีและละเอียดจะเป็นตัวกำหนดเป้าหมาย กระบวนการและ QA/QC ในกรณีที่ขาดรายการดังที่กล่าวมานี้อย่างน้อยหนึ่งรายการ มักพบว่าการ Grouting จะไม่เป็นไปตามที่คาดหวังหรือประสิทธิภาพไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งจะส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายที่สูง

2) ความเสี่ยงของ Grouting

ตั้งแต่อดีต การ Grouting เป็นหนึ่งในส่วนประกอบที่มีความเสี่ยงสูงของการก่อสร้าง เนื่องจากจำนวนปัจจัยที่สามารถส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์โดยรวมแล้ว แต่นอกจากนี้แล้วยังรวมถึงการที่ Grouting ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนหรือไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบพฤติกรรมของการ Grouting ได้โดยตรงระหว่างปฏิบัติงาน บางครั้งเนื่องจากสภาพดินที่ไม่คาดคิด ทำให้บ่อยครั้งที่การทำ Grouting ทำให้ต้นทุน

สูงขึ้นและต้องขยายเวลาในการดำเนินการ ซึ่งวิธีการดังต่อไปนี้จะช่วยให้ความเสี่ยงในการทำ Grouting ลดลงได้

- ตรวจสอบสภาพของพื้นที่บริเวณที่จะทำ Grouting ว่ามีเหมาะสมเพียงพอหรือไม่
- ชี้แจงสภาพของพื้นที่ปฏิบัติงานให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะและทำ Grouting
- จัดทำแผนงานให้มีความเหมาะสมกับสภาพของพื้นที่ปฏิบัติงานและเป้าหมายที่คาดหวัง เช่น ระยะห่างระหว่างหลุมติดตั้งท่อ ความลึก และการวางแนว
- การจัดลำดับ ขั้นตอน และระยะเวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอนให้มีความเหมาะสม
- เลือกใช้วัสดุหรือสารผสมที่ใช้ให้เหมาะสม
- แรงดันที่ใช้ให้เหมาะสม
- ทำแบบจำลองของพื้นที่ปฏิบัติงานโดยพารามิเตอร์ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้จริง
- งบประมาณของการทำ Grouting ควรเผื่อความไม่แน่นอนด้วย
- เอกสารสัญญาและโครงสร้างของรายการการชำระเงินที่ส่งเสริมการทำงานที่มีคุณภาพและไม่เป็นอุปสรรคต่อการทำงาน
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการ ขุดเจาะ และ Grouting ต้องคุณภาพสูงและเหมาะสมเพียงพอกับการทำงาน
- ในการควบคุมคุณภาพและการประกันคุณภาพ(QC/QA) ต้องรวมถึง การตรวจสอบงานควบคุมงาน ทดสอบและวิเคราะห์ผลการทำงานของ Grouting
- มีการตรวจสอบผลของผลกระทบของการดำเนินการ
- มีอุปกรณ์ที่ใช้สังเกตการณ์สภาพการดำเนินการและสภาพความอันตรายขณะปฏิบัติงานที่เพียงพอ

3) ความคงทนของ Grouting

Grouting เป็นเทคนิคที่สามารถใช้งานได้ทั้งงานชั่วคราวและถาวร ความคงทนของ Grouting ขึ้นอยู่กับการออกแบบส่วนผสมของสารผสมที่ใช้ในการทำ Grouting และคุณสมบัติในการไหล, สภาพแวดล้อมในขณะที่ทำ Grouting ตัวอย่างเช่น ความคงทนของการทำ Grouting ในรอยการซ่อมรอยร้าวของหินขึ้นอยู่กับความสะอาดในรอยร้าวของหินหรือเต็มไปด้วยดินในรอยร้าวหรือไม่ และความสามารถในการไหลซึมผ่าน ในกรณีที่ส่วนผสมของสารผสมถูกออกแบบอย่างถูกต้องร้อยร้าวของหินจะสะอาดและความสามารถในการซึมผ่านจะต่ำ เมื่อการซ่อมแซมปิดรอยร้าวที่เสร็จสมบูรณ์แล้วสามารถออกแบบอายุการใช้งานได้เทียบเท่ากับโครงสร้างบนดิน เมื่อเราพบเจอซัลเฟตในบริเวณที่จะทำ Grouting ซึ่งซัลเฟตสามารถทำให้ความคงทนของซีเมนต์หรือสารผสมลดลงซึ่งควรจะเลือกสารผสมหรือซีเมนต์ที่ทนต่อซัลเฟตในการใช้งานเพื่อความเหมาะสม

ความแข็งแรงในระยะยาวของ Grouting มักถูกใช้เป็นข้อพิจารณาสำหรับการใช้งาน Soil Grouting ความคงทนของมวลดินที่ถูกทำ Grouting ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบเกี่ยวกับเลือกวัสดุที่จะนำใช้ทำ Grouting และต้องมีการออกแบบส่วนผสมของซีเมนต์หรือสารผสมในการทำ Grouting โดยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ สำหรับกรณีที่รอยแตกของหินไม่สะอาดและเต็มไปด้วยดินในอนาคตการบำรุงรักษา Grouting อาจจำเป็นที่ยังคงระดับการป้องกันไว้ต่อไป

2.3 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวางแผน ออกแบบ และการก่อสร้างของกระบวนการ Grouting

1) ประสิทธิภาพของการ Grouting

Grouting เป็นเทคโนโลยีการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพมาก แต่จากในอดีตที่ผ่านมามีหลายโครงการที่มีประสบการณ์ที่ไม่น่าพอใจ ผลลัพธ์ที่ไม่น่าพอใจประกอบด้วย 1) การคาดการณ์ผลของการดำเนินการที่ไม่น่าเชื่อถือ 2) ผลการดำเนินงานเบื้องต้นไม่เป็นที่น่าพอใจ 3) ผลการดำเนินงานในระยะยาวไม่เป็นที่น่าพอใจ 4) ค่าใช้จ่ายที่บานปลาย ล่าช้า และเรียกร้องค่าชดเชยเพิ่มเติม 5) การสื่อสารที่ไม่ได้ผลเกี่ยวกับความจำเป็นในการ Grouting ปริมาณของ Grouting ที่ต้องการ และผลของการ Grouting จากผลการดำเนินงานที่ไม่เป็นที่น่าพอใจในแต่ละข้อที่กล่าวมาข้างต้นนี้เป็นผลโดยตรงมาจากข้อบกพร่องอย่างน้อยหนึ่งข้อในการดำเนินการวางแผน การออกแบบ และการก่อสร้าง

2) ระยะการสำรวจตรวจสอบ

จุดประสงค์ของระยะการสำรวจตรวจสอบคือการระบุปัญหาที่มีอยู่และแนวทางแก้ไขที่เป็นไปได้ การประเมินความเป็นไปได้ของการใช้งาน Grouting ขึ้นอยู่กับข้อมูลทั่วไปทางธรณีวิทยา ข้อมูลเฉพาะของพื้นที่บริเวณนั้น และข้อมูลด้านวิศวกรรมในการตัดสินใจให้เหมาะสมสำหรับ Grouting และคาดการอย่างเหมาะสมว่าผลลัพธ์ของการใช้ Grouting เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่นที่มีอยู่สามารถแล้วใช้งานได้ดีกว่า

3) ระยะการศึกษาความเป็นไปได้

3.1) <u>จุดประสงค์ของการศึกษาความเป็นไปได้</u> คือการกำหนดวิธีการที่ทำให้การดำเนินการเป็นไปได้อย่างแน่นอน การดำเนินการในระยะการศึกษาความเป็นไปได้นี้รวมถึงการศึกษาแนวทางที่เป็นไปได้

ประเมินต้นทุนและผลประโยชน์ที่ได้ เตรียมการออกแบบเบื้องต้น และแนะนำแผนในการแก้ไขปัญหา วัตถุประสงค์ที่สำคัญคือการพัฒนาการออกแบบแผนที่ใช้ให้คำแนะนำให้มีรายละเอียดที่เพียงพอที่ซึ่งสามารถได้รับอนุญาตให้ดำเนินการก่อสร้างได้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในส่วนแนวความคิด ค่าใช้จ่ายและตารางเวลา การพิจารณา Grouting ในระยะการศึกษาความเป็นไปได้นั้นจะรวมถึงการตรวจสอบและลักษณะเฉพาะของพื้นที่บริเวณที่ปฏิบัติงาน การประเมินเบื้องต้นเกี่ยวกับความเหมาะสมทางเทคนิคของพื้นที่บริเวณที่ปฏิบัติงานสำหรับการ Grouting การกำหนดผลประโยชน์ที่อาจเกิดขึ้นจากการ Grouting และการประมาณการเบื้องต้นของค่าใช้จ่าย การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์สามารถใช้เพื่อกำหนดแนวการไหลซึมและช่วยในการออกแบบการตรวจสอบต่อไป การสำรวจทางธรณีวิทยาอาจรวมถึงการเจาะสำรวจซึ่งช่วยให้สามารถทดสอบระดับน้ำและการเจาะรูเพื่อตรวจสอบความสามารถของหินในการ Grouting หลุมเจาะเหล่านี้อาจใช้สำหรับติดตั้งเครื่องมือเพิ่มเติมในพื้นที่ที่มีข้อมูลไม่เพียงพอ ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้คือการประเมินได้อย่างรวดเร็ว แต่มีความน่าเชื่อถือได้ว่าการ Grouting มีแนวโน้มที่จะแก้ปัญหาได้ โดย ตาราง2.2 องค์ประกอบของขั้นตอนนี้

รายการ	รายละเอียด
การอธิบายลักษณะของพื้นที่ปฏิบัติงานสำหรับใช้ในการ Grouting	- วิจัย ทบทวนและสรุปข้อมูลที่มีให้พร้อมใช้งาน - ดำเนินการทำแผนที่ธรณีวิทยา ตรวจสอบภาคสนามและทดสอบ - กำหนดเงื่อนไขของพื้นที่ปฏิบัติงานทั้งหมดลงในตัวแปรในการออกแบบที่ใช้สำหรับการ Grouting (เช่น ชั้นดินและลักษณะเม็ดดิน ชั้นหิน รอยแตกร้าว, รูปแบบการไหลซึมผ่าน, คุณภาพหิน, สมบัติของมวลหิน ฯลฯ)
กำหนดจำนวนของเกณฑ์ในการออกแบบและวัตถุประสงค์	พัฒนาข้อกำหนดเฉพาะของโครงการในการดำเนินการเพื่อให้ได้งานที่สมบูรณ์ เช่น อัตราการซึมผ่านสูงสุด การเสียของรากฐานสูงสุดและโครงสร้าง ความหนาแน่นของดิน การกระจายแรงดันและแรงเฉือน
การทำแบบจำลองอย่างง่ายและการวิเคราะห์ของคุณสมบัติที่ยังไม่มีการปรับปรุง	- กำหนดขอบเขตที่จะปรับปรุงสมรรถนะของการดำเนินการของโครงการให้ดีขึ้น - กำหนดบริเวณปัญหาที่ต้องการปรับปรุง
การประเมินเบื้องต้นของความเหมาะสมของ	- กำหนดบริเวณที่สามารถทำ Grouting ได้ และระดับความน่าเชื่อถือของความเป็นไปได้ของการปรับปรุง

Grouting และปัญหาพิเศษ	- กำหนดบริเวณที่ไม่สามารถทำ Grouting ได้ - กำหนดบริเวณที่ต้องทำ Downstage grouting[1] และ บริเวณที่เหมาะสมในการทำ Upstage grouting[2] - ระบุตำแหน่งของพื้นที่พิเศษที่ต้องการทำการปรับปรุง เช่น บริเวณที่มีน้ำบาดาล บริเวณที่เป็นรอยต่อของผิวสัมผัสระหว่างดินและหิน บริเวณที่เป็นช่องว่าง และบริเวณที่เป็นดินแม่น้ำ
การกำหนดสิ่งที่คาดว่าจะได้จากการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการGrouting	- กำหนดทางเลือกอื่นที่เป็นไปได้สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติในบริเวณที่ไม่เหมาะสำหรับการทำ Grouting - กำหนดคุณสมบัติที่คาดว่าจะสามารถทำได้ตามสมควร โดยคำนึงถึงปัจจัยทั้งหมดที่อาจมีผลต่อการ Grouting
ออกแบบ ทำแบบจำลอง และวิเคราะห์ผลใหม่เกี่ยวกับคุณสมบัติที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว	- ดำเนินการและตรวจสอบข้อผิดพลาดจากการทดลองเพื่อประเมินทางเลือกต่างๆ - เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดลองแต่ละครั้งกับประสิทธิภาพที่ต้องการ
พัฒนาการประมาณการต้นทุนเบื้องต้น	- เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายโดยประมาณกับความต้องการในประสิทธิภาพในการทำงานว่าคุ้มค่าหรือไม่ - ประเมินผลประโยชน์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพโดยรวมสำหรับแต่ละทางเลือก - ประเมินผลประโยชน์ที่เพิ่มขึ้นจากแนวคิดและองค์ประกอบที่ต่างกัน
พัฒนาการประมาณการต้นทุนขั้นสุดท้าย	- พัฒนารายละเอียดของรายการงาน - ทำประมาณการต้นทุนขั้นสุดท้ายโดยใส่ปริมาณและหน่วย - ทำการตรวจสอบค่าใช้จ่ายจริงโดยใช้ข้อมูลอื่น เช่นจำนวนค่าใช้จ่ายรวมขั้นสุดท้ายของโครงการที่คล้ายกันประสบความสำเร็จหรือจากแหล่งข้อมูลภายนอก

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของระยะการศึกษาความเป็นไปได้

[1] Downstage grouting เป็นการทำ Grouting จากบนลงล่างของบริเวณที่ต้องการปรับปรุง

[2] Upstage grouting เป็นการทำ Grouting จากล่างขึ้นของบริเวณที่ต้องการปรับปรุง

(ที่มา: หนังสือ Engineering and Design GROUTING TECHNOLOGY ของ DEPARTMENT OF THE ARMY EM U.S. Army Corps of Engineer Washington, DC 20314-1000)

3.2) เงื่อนไขที่ต้องพิจารณาของพื้นที่ปฏิบัติงาน ข้อมูลการสำรวจทางธรณีวิทยาและธรณีเทคนิคต้องสรุปให้อยู่ในรูปของตัวแปรทางวิศวกรรมและในรูปของตัวแปรที่จำเป็นในการประเมินความเหมาะสมของวิธีการ Grouting ที่จะได้รับการพิจารณา สิ่งที่ควรพิจารณาสำหรับวัสดุหิน ได้แก่ (1) แสดงตำแหน่งของความไม่ต่อเนื่อง (2) แนวและช่องว่างของรอยแตกหักของหิน (3) การซึมผ่านของมวลหิน (4) คุณภาพหินที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูแลรักษารูเปิดของการ Grouting (5) ความลึกหรือความหนาของรอยสึกกร่อนและรอยร้าว (6) ความทนแรงอัดของหิน (7) ค่า elastic modulus ของหิน(8) ค่าการทดการขัดสีของหิน (9) สภาวะความเค้นที่เกิดขึ้นในหิน สิ่งที่ควรพิจารณาสำหรับวัสดุดิน ได้แก่ (1) การจำแนกประเภทของดิน) (2) ความหนาแน่นหรือความมั่นคง (3) การคละกันของขนาดเม็ดดิน (4) สมบัติการบีบตัวตัวคายน้ำ (5)สภาวะความเค้นที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักที่กดทับ โดยทั่วไปทุกที่ที่จะดำเนินการทำ Grouting ระดับแรงดันและลักษณะของการไหลเวียนของน้ำใต้ดินจะต้องเป็นสิ่งที่ทราบแน่ชัด

3.3) ประเมินความเหมาะสมและปัญหาเฉพาะของ Grouting ข้อมูลที่รวบรวมได้ระหว่างการแสดงลักษณะพื้นที่ที่ปฏิบัติงานสามารถใช้ในการกำหนดว่าพื้นที่ใดที่มีความเหมาะสมหรือไม่เหมาะสำหรับการ Grouting และระดับความน่าจะเป็นของการปรับปรุง นอกจากนี้ยังควรกำหนดพื้นที่ที่ต้องใช้ Downstage Grouting และใช้การปรับปรุงเป็นพิเศษ เช่น บริเวณที่มีแรงดัน บริเวณรอยต่อผิวสัมผัสระหว่างดินและหิน ช่องว่าง และวัสดุแม่น้ำ เป็นต้น

3.4) กำหนดเกณฑ์และวัตถุประสงค์ในการออกแบบ ต้องมีการกำหนดกฎเกณฑ์และวัตถุประสงค์การออกแบบที่ชัดเจนสำหรับการปฏิบัติงานของโครงสร้าง ตัวอย่างสิ่งที่ออกแบบ เช่น (1) อัตราการไหลสูงสุดของการซึมผ่าน (2) ความผิดปกติของฐานราก หรือการโก่งของโครงสร้าง (3) ความหนาแน่นที่กำหนด (4) รูปแบบของการกระจายแรงดัน (5) แรงเฉือนพิเศษ (6) ความสามารถในการซึมผ่านที่เฉพาะเจาะจงในพื้นที่ที่มีการ Grouting

3.5) วิเคราะห์พฤติกรรมของฐานรากและโครงสร้างที่ยังไม่ได้ทำการ Grouting เงื่อนไขพื้นฐานที่จำเป็นในการประเมินผลดีของ Grouting คือควรมีการวิเคราะห์ฐานรากและโครงสร้างก่อนการปรับปรุงเพื่อใช้สำหรับการประเมินเบื้องต้นและประเมินความเป็นไปได้ของการ Grouting แบบจำลองที่ใช้งานได้ง่ายและมีความถูกต้องควรใช้แบบจำลองเพื่อใช้ในการกำหนดพื้นที่ที่เป็นปัญหาและควรได้รับการ

ปรับปรุง ผลลัพธ์จากแบบจำลองควรได้รับการเปรียบเทียบกับเกณฑ์และวัตถุประสงค์ของการออกแบบ เพื่อพิจารณาว่าการ Grouting เป็นประโยชน์สำหรับใช้แก้ไขปัญหาได้จริงหรือไม่

3.6) พัฒนาการประมาณการต้นทุน ทางเลือกในการประมาณการต้นทุนเบื้องต้นนั้นควรประมาณราคาให้พอดีหรือมากกว่าที่ต้องการในการดำเนินการ จากนั้นควรมีการประเมินผลดีเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพของแต่ละทางเลือกและประโยชน์ที่ได้รับมากขึ้นจากแนวคิดและวิธีการที่ต่างกันกับวิธีการอื่นควรได้รับการประเมินราคา การประมาณการต้นทุนควรทำเป็นรายการและแสดงรายละเอียดของแต่ละรายการ และการประมาณการต้นทุนขั้นสุดท้ายควรนำไปเปรียบเทียบและตรวจสอบกับค่าใช้จ่ายจริงจากโครงการโครงการที่ประสบความสำเร็จอื่นและแหล่งข้อมูลภายนอก

3.7) หลักการประเมินผลเบื้องต้นของการใช้งาน Grouting หากการปรับปรุงคุณสมบัติเป็นผลดีมีประสิทธิภาพหรือมีความจำเป็นสำหรับการดำเนินการของโครงสร้าง ขั้นตอนต่อไปคือการทำการประเมินความเหมาะสมเบื้องต้นของพื้นที่สำหรับ Grouting แนวทางในการประเมินเกี่ยวกับสภาพดินและหินได้แก่

- รอยร้าวของหิน พร้อมที่จะทำ Grouting ที่ค่า Lugeon[3] มีค่า 50 -100 หรือมากกว่า และโดยทั่วไปมีความเป็นไปได้ว่าหลังจากทำ Grouting แล้วค่าการซึมผ่านจะมีค่า Lugeon เท่ากับหรือน้อย 1 ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนในการทำ Grouting

- รอยร้าวของหินที่ทำ Grouting ที่ค่า Lugeon มีค่าประมาณ 10 มันสามารถเป็นไปได้ที่ค่าการซึมหลังจากการดำเนินการทำ Grouting ตามขั้นตอนก่อนหน้านี้ ด้วยการวางแผนและดำเนินการอย่างรอบคอบเป็นอย่างมาก ถ้ามีการใช้วิธีการและวัสดุพิเศษอาจเป็นไปได้ที่จะทำให้ได้ค่าการซึมผ่านหลังการ Grouting มีค่า 0.1 Lugeon

- รอยร้าวของหินทำ Grouting แทบจะไม่เกิดขึ้นเลยที่ค่า Lugeon มีค่าประมาณ 1 ไม่จะค่อยมีความต้องการในการ Grouting ระดับนี้ไม่จำเป็นต้องเจาะรูที่ระดับนี้ แต่ถ้ามีความจำเป็นสำหรับการใช้งานพิเศษ การซึมผ่านสามารถลดลงได้ประมาณ 0.1 Lugeon ถ้าใช้วิธีการและวัสดุพิเศษ

- สารที่กัดกร่อนสูงหรือดินที่ติดอยู่ในรอยร้าวของหินเป็นปัญหาสำหรับการ Grouting โดยทั่วไปแล้วมันแทบจะเป็นไปไม่ได้เลยที่จะทำความสะอาดสารที่กัดกร่อนออกจากรอยร้าวก่อนทำการ Grouting

---

[3] ค่าสัมประสิทธิ์ Lugeon คือค่าการดูดซึมน้ำที่วัดได้ในลิตรต่อเมตรต่อนาทีที่ความดัน 1 MPa ใช้สำหรับหาปริมาณการซึมผ่านของหิน

ซึ่งราแก้ปัญหาเหล่านี้โดยการใช้หลายเส้นทางในการฉีดสาร Grouting เข้าไปและลดการไหลออกนอกพื้นที่ที่จะทำการปรับปรุง ในทุกขั้นตอนของทุกหลุมเจาะหรือทุกแนวที่ทำ Grouting ต้องอัดแรงดันเต็มตามที่กำหนดไว้เพื่อความเชื่อมั่นในพื้นที่ที่ทำ Grouting ว่ามีความแข็งแรงเพียงพอ แต่อย่างไรก็ตามก็มีความเห็นที่แตกต่างเกี่ยวกับอายุการใช้งานของการ Grouting เนื่องจากความกังวลเกี่ยวกับการกัดกร่อนในระยะยาวของสารกัดกร่อน

- บริเวณที่มีน้ำบาดาลต้องใช้เทคนิคพิเศษในการทำ Grouting

- ความสามารถของประสิทธิภาพของการ Grouting ในดินโดยการไหลซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างของรูพรุนของดินขึ้นอยู่กับลักษณะขนาดของเม็ดดินและรูปแบบการเรียงตัวของเม็ดดินเป็นอย่างมาก ในขณะที่ น้ำยาเคมีที่ใช้ Grouting มีความหนืดเทียบเท่ากับน้ำ โดยน้ำยาเคมีดังกล่าวอาจจะไหลซึมเข้าไปในดินอย่างช้ามากเนื่องจากความสามารถในการซึมผ่านต่ำมากซึ่งเป็นผลมาจากอนุภาคของทรายแป้ง ดินเหนียว หรือทรายละเอียด

- ประสิทธิภาพของ Compaction Grouting คือการทำงานของความหนาแน่นของดิน การไหลซึมผ่านของดินและระดับน้ำใต้ดิน ความหนาแน่นของดินจะถูกทำให้ลดลงเนื่องจากการสะสมของแรงดันน้ำในรูพรุน (pore pressure) ของดินซึ่งอาจจะทำให้เกิดปัญหากับดิน

3.8) <u>กำหนดคุณสมบัติที่ต้องการปรับปรุงในบริเวณที่ทำ Grouting</u> ซึ่งหลังจากกำหนดบริเวณที่สามารถทำการ Grouting แล้วได้ประสิทธิภาพ ควรกำหนดคุณสมบัติที่คาดว่าจะได้หลังจากผลลัพธ์ของการทำ Grouting สำเร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ส่วนที่สำคัญไม่แพ้กันของขั้นตอนนี้คือการกำหนดว่าบริเวณอย่างไรที่ไม่ควรเลือกวิธี Grouting ในการปรับปรุงซ่อมแซม

3.9) <u>องค์ประกอบของขนาดของพื้นที่ในการทำ Grouting และการวิเคราะห์พฤติกรรมด้วยคุณสมบัติที่ได้รับการปรับภายในบริเวณเหล่านั้น</u> กระบวนการในการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการ Trial and Error ควรใช้สำหรับการประเมินผลดีเบื้องต้นของการทำGrouting ผลจากการทดสอบในแต่ละครั้งควรนำไปใช้เปรียบเทียบกับเกณฑ์ในการออกแบบและวัตถุประสงค์ของการปฏิบัติงาน เพื่อทำความเข้าใจการดำเนินการทั้งหมดขององค์ประกอบเฉพาะและความสัมพันธ์ระหว่างประโยชน์กับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นของทางเลือกที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ควรวิเคราะห์ถึงความอ่อนไหวสำหรับผลของการทำ Grouting ด้วย

3.10) การพัฒนาการประมาณราคาต้นทุนเบื้องต้นของการ Grouting หลังจากมีการทำแผนสำหรับการทดลองทำ Grouting แล้วควรเตรียมประมาณการปริมาณและค่าใช้จ่ายคร่าวๆ ในการประเมินราคานี้วิธีการที่ง่ายที่สุดคือการใช้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการทำ Grouting จากโครงการที่สำเร็จที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกัน เมื่อใช้ข้อมูลจากโครงการอื่น สิ่งสำคัญคือต้องได้รับข้อมูลจากรายงานและบันทึกการดำเนินของโครงการแทนที่จะเป็นรายการกำหนดราคาเริ่มต้นเนื่องจากอาจมีความแตกต่างกันอย่างมาก รายงานของโครงการที่ทำสำเร็จจะแสดงข้อมูลที่เกิดขึ้นจากสภาวะงานจริงในขณะที่ค่าที่คาดการณ์จะขึ้นอยู่กับการกำหนดราคาเริ่มต้น ค่าใช้จ่ายอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับขนาดโครงการและปริมาตรที่จะทำการ Grouting

3.11) การพัฒนาการประมาณการต้นทุนขั้นสุดท้ายสำหรับระยะการศึกษาความเป็นไปได้ การประมาณต้นทุนขั้นสุดท้ายควรเป็นไปตามปริมาณและหน่วยที่ใช้จริง ค่าใช้จ่ายอาจแตกต่างกันมากไปขึ้นอยู่กับขนาดโครงการและปริมาตรที่จะทำการ Grouting

4) ระยะของวิศวกรรมก่อนการก่อสร้างและการออกแบบ

โดยทั่วไป ถ้าระยะการประเมินความเป็นไปได้แสดงแล้วว่าการ Grouting เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพทั้งทางด้านผลการดำเนินการและค่าใช้จ่ายซึ่งสามารถดำเนินการได้และเป็นส่วนหนึ่งของแผนแนะนำ ขั้นตอนต่อไปจากขั้นตอนดังกล่าวคือ ขั้นตอนของวิศวกรรมก่อนการก่อสร้างและการออกแบบ ซึ่งในขั้นตอนนี้การออกแบบถือเป็นขั้นตอนสุดท้าย ต้องเตรียมการ แผนการ ข้อกำหนด และสัญญาการก่อสร้างให้พร้อม เป้าหมายที่ตั้งไว้คือแผนในการทำ Grouting และเอกสารสัญญาที่คาดว่าจะบรรลุเป้าหมายการออกแบบ สามารถใช้งานได้ง่ายและปราศจากข้อบกพร่องด้านเทคนิคที่สำคัญ สัญญาหรือการเงิน

รายการ	รายละเอียด
โครงร่างขององค์ประกอบการดำเนินการโครงการที่สำคัญที่จำเป็นในโครงการยาก มีความสำคัญ โครงการที่ต้องการประสิทธิภาพและเงื่อนไขของไซต์	- พิจารณาถึงลักษณะพื้นฐานของเงื่อนไขของโครงการและความต้องการในการดำเนินการ Grouting - ประเมินความสำคัญของการ grouting เกี่ยวกับประสิทธิภาพและความปลอดภัยของโครงการ - ประเมินผลเมื่อสิ้นสุดการดำเนินการโครงการต่อประสิทธิภาพของผลการ Grouting - การทำ Grouting จะแน่นอนขึ้นหากทำการกำหนดวิธีการหรือถ้า

	มันอาจจะต้องมีการพัฒนาในระหว่างการทำงาน - กำหนดลักษณะและระดับของการตรวจสอบการดำเนินการให้เป็นไปตามต้องการ - ประเมินประสบการณ์และความรู้ของทีมที่จะดูแลโครงการ
การได้รับข้อมูลที่ช่วยในการออกแบบ	- ทำการสำรวจและทดสอบไซต์เพิ่มเติม - เช็คเครื่องมือที่มีอยู่และตรวจสอบว่าจำเป็นต้องการใช้เครื่องมืออื่นเพิ่มเติมหรือไม่ - ทำการทดสอบแบบเต็มรูปแบบ
การประเมินโดยละเอียดของอุปกรณ์และวิธีการใช้	- ระบุอุปกรณ์ที่จำเป็น วิธีการใช้งาน และขั้นที่จำเป็นที่ทำให้งานสำเร็จ - ระบุความต้องการพิเศษ ปัญหา ข้อจำกัด และวิธีแก้ปัญหาที่สามารถใช้งานได้
กำหนดการตรวจสอบขั้นต่ำและผลลัพธ์ที่ต้องทำให้สำเร็จ	- กำหนดรูปแบบและคุณสมบัติขั้นต่ำที่ต้องทำเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ยอมรับได้ - กำหนดค่าการซึมผ่านขั้นต่ำที่ต้องการ
กำหนดผลกระทบของการทำ Grouting ต่องานและลำดับงานในการก่อสร้าง	- วางลำดับแผนงานในการทำ Grouting โดยพิจารณากับด้านอื่น ของตารางการก่อสร้างเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ทางเทคนิคที่ดีที่สุด
ทำรายละเอียดของเค้าโครงแผนงาน	- ตรวจสอบและจัดเตรียมพื้นที่ปฏิบัติงาน หลุมและระยะห่างของแนวการวางตำแหน่งของหลุม ความลึกในการทำ Grouting กำหนดบริเวณใดที่ทำ Downstage หรือ Upstage กำหนดบริเวณใดที่ต้องปรับปรุงพิเศษ ลำดับความสำคัญ เป็นต้น
ออกแบบการติดตาม ควบคุม วิเคราะห์ และตรวจสอบแผนงานในสนาม	- กำหนดผลลัพธ์ที่จะได้รับและจะวิเคราะห์ นำเสนอและตรวจสอบผลลัพธ์อย่างไร
ออกแบบองค์กรที่รับผิดชอบในการทำ QC และ QA	- กำหนดพนักงานทั้งหมดที่ต้องการสำหรับ สังเกตการณ์ ทดสอบ จดบันทึก รายงาน และวิเคราะห์ผล - ระบุคุณสมบัติของพนักงานที่ต้องการ - •กำหนดหน้าที่และความรับผิดชอบของผู้ดูแลและผู้รับเหมา
กำหนดหน่วยวัดและการจ่ายเงิน	- ทบทวนรายการของหน่วยครั้งสุดท้ายเพื่อความเหมาะสม ยุติธรรม และยืดหยุ่น

	- ทบทวนหน่วยเพื่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพงาน (กล่าวคือหน่วยที่สร้างสิ่งจูงใจที่มีคุณภาพ)
การประมาณการต้นทุนการออกแบบเบื้องต้น	- รวมผลลัพธ์ขององค์ประกอบก่อนหน้าทั้งหมดเข้ากับการประมาณการค่าใช้จ่ายที่แก้ไขแล้วโดยขึ้นอยู่กับปริมาณสำหรับสัญญาเฉพาะที่ถูกเลือก - การเพิ่มปริมาณขึ้นอยู่กับประมาณการจำนวนเงินที่วางแผนไว้โดยตรงกับเงินทุนสำรองตามความเหมาะสม
การประมาณต้นทุนขั้นสุดท้าย	- ปรับแต่งองค์ประกอบทั้งหมดของข้อกำหนดให้กับโครงการ - เข้าใจพื้นฐานสำหรับทุกความต้องการในเอกสาร

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของระยะของวิศวกรรมก่อนการก่อสร้างและการออกแบบ

(ที่มา: หนังสือ Engineering and Design GROUTING TECHNOLOGY ของ DEPARTMENT OF THE ARMY EM U.S. Army Corps of Engineer Washington, DC 20314-1000)

4.1) <u>การประเมินลักษณะพื้นฐานของสภาพไซต์งาน (ความสำคัญและความยากของโครงการ) และประสิทธิภาพในการทำงาน</u> ขั้นตอนแรกที่สำคัญในขั้นตอนของวิศวกรรมก่อนการก่อสร้างและการออกแบบคือการพิจารณาลักษณะพื้นฐานในไซต์งานและความต้องการประสิทธิภาพในการทำงาน Grouting ของโครงการ ข้อมูลที่ต้องพิจารณาคือ (1)การ Grouting เป็นส่วนประกอบที่สำคัญหรือไม่สำคัญต่อการดำเนินการและความปลอดภัยของโครงการ (2)ความอ่อนไหวของการดำเนินการสุดท้ายของแผนงานเพื่อประสิทธิของผลการดำเนินงาน Grouting (3)ความเสี่ยงของโครงที่ส่งผลจากการทำ Grouting (4)สภาพไซต์งาน(ความรู้เกี่ยวกับสภาพไซต์งาน) ที่ได้รับอนุญาตให้ทำ Grouting ได้ถูกกำหนดโดย วิธีการ เงื่อนไขหรือความรู้ ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องเนื่องจากรายละเอียดของแผนงาน grouting อาจต้องมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำงาน (5)ลักษณะและระดับของการตรวจสอบการดำเนินการที่จำเป็น (6)ประสบการณ์และความรู้ของทีมที่ให้การกำกับดูแลโครงการ ซึ่งปัจจัยทั้งหมดเหล่านี้จะเป็นตัวควบคุมการการตัดสินใจเรื่องต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการจัดเตรียมการสัญญาและการดำเนินการภาคสนามของโครงการให้ประสบความสำเร็จรวมไปถึง (1)ขอบเขตของการสำรวจเพิ่มเติมและการทดสอบที่ต้องเป็นส่วนหนึ่งของสัญญาในการทำ Grouting (2)การเลือกใช้วัสดุและวิธีการ Grouting (3)ทางเลือกของวิธีการทำสัญญา (4)ระดับของเทคโนโลยีที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบ ควบคุมและการวิเคราะห์ (5)การ

วัดและการจ่ายเงินและหน่วยที่ใช้ (6)การประมาณการปริมาณ (7)หน่วยงานด้าน QC และ QA ที่ผู้รับเหมาและผู้ดูแลต้องการ (8)ต้องมีการทดสอบแบบเต็มรูปแบบ (9)วิธีการที่จะใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของการดำเนินการทำ Grouting (10)ความต้องการเก็บบันทึก (11)ความต้องการอุปกรณ์และเทคนิคพิเศษสำหรับโครงการ (12) ความรับผิดชอบในการตัดสินใจในระหว่างการดำเนินการ

4.2) <u>การได้มาซึ่งข้อมูลเพิ่มเติม</u> ถ้าระยะศึกษาความเป็นไปได้ หรือ ก่อนการพิจารณาสภาพไซต์และความต้องการประสิทธิภาพระหว่างการดำเนินการขั้นตอนของวิศวกรรมก่อนการก่อสร้างและการออกแบบเปิดเผยข้อมูลข้อบกพร่องหรือช่องว่างที่ขัดขวางไม่ให้การประเมินผลขั้นสุดท้ายและความเหมาะสมต่อเนื่องกับขั้นตอนของวิศวกรรมก่อนการก่อสร้างและการออกแบบ รวมถึงการตรวจสอบไซต์งานและการทดสอบจะต้องดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาข้อมูล การตรวจสอบนี้มักรวมถึงข้อจำกัดของพื้นที่ด้วย การตรวจสอบและทดสอบด้วยเทคนิคพิเศษ หรือการหาข้อมูลทั่วไปที่ยังขาดอยู่ ในส่วนของขั้นตอนการออกแบบเครื่องมือวัดที่มีอยู่ควรได้รับการประเมินเพื่อพิจารณา หากมีความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องมืออื่นเพิ่มเติมในการตรวจสอบการตอบสนองของGrouting ส่วนการทดสอบแบบเต็มรูปแบบสามารถใช้เพื่อรวบรวมข้อมูลนี้

4.3) <u>รายละเอียดการออกแบบแผนการทำ Grouting</u> ในขณะที่ขั้นตอนศึกษาความเป็นไปได้ไม่จำเป็นต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้เกี่ยวกับองค์ประกอบทุกอย่างของ Grouting แต่ขั้นตอนของวิศวกรรมก่อนการก่อสร้างและการออกแบบไม่สามารถเริ่มทำได้อย่างมีประสิทธิภาพถ้าปราศจากความรู้อย่างละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือและวิธีการใช้งานที่เหมาะสมและจำเป็นสำหรับเงื่อนไขและการใช้งาน Grouting เฉพาะโครงการ หลังจากเลือกวิธีการและอุปกรณ์ที่เหมาะสมแล้วจะต้องมีการร่างขั้นตอนการขุดเจาะและกระบวนการ Grouting สำหรับเป็นตัวอย่างในการ Grouting หลุมตามสภาพทางธรณีวิทยาของไซต์งาน รวมทั้งขั้นตอนและลำดับทั้งหมดที่อาจต้องใช้กับหลุม ต้องมีการระบุกระบวนการดำเนินการและปัญหาพิเศษทั้งหมด จะต้องมีการแก้ไขปัญหาที่ทำงานได้ ปัญหาพิเศษอาจรวมถึง (1) ข้อกำหนดพิเศษสำหรับการขุดเจาะผ่านเขื่อนกั้นน้ำ (2)การ Grouting บริเวณรอยต่อระหว่างโครงสร้างและฐานราก (3) การขุดเจาะและการGrouting ในบริเวณที่ไม่เสถียร (4) การจัดการกับช่องว่าง (5) การขุดเจาะและGrouting ในบริเวณที่หินผุกร่อน รอยต่อระหว่างผิวสัมผัสของหินและดิน และรอยแตกร้าวที่เต็มแบวาใสมนามไปด้วยดิน (6)การปฏิบัติการบริเวณที่มีน้ำบาดาล (7) การสร้างการควบคุมด้านสิ่งแวดล้อม (8) ข้อกำหนดพิเศษสำหรับความคลาดเคลื่อน (9)การกีดขวางของโครงสร้างที่ติดกัน (10)ทางเข้าไซต์และพื้นที่สำหรับติดตั้งเครื่องมืออุปกรณ์ เมื่อต้องทำการ Grouting ผ่านเขื่อนกั้นน้ำหรือ

โครงสร้างที่สำคัญอื่นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดความดันปลอดภัยที่ยอมให้ใช้ในการ Grouting สามารถใช้งานได้โดยไม่ก่อให้เกิดการรั่วซึมหรือความเสียหายเนื่องจากการแทนที่ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขหรือวิธีการอื่น ในการประมาณความเครียดในบริเวณที่การGrouting สามารถสัมผัสกับดินได้ สำหรับการ Grouting หินใต้เขื่อนจำเป็นต้องมีการพัฒนาวิธีการที่เชื่อถือได้สำหรับการแยกน้ำยาGrouting ออกจากรากฐานหรือดินเขื่อน ซึ่งอาจรวมถึงการติดตั้งสลักเกลียวเชื่อมต่อระหว่างผิวสัมผัสของดินกับหิน และทำ Downstage grouting ที่ความดันต่ำสำหรับขั้นตอนแรก หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการสำหรับหลุมตัวอย่างจะได้รับการตรวจสอบเพื่อยืนยันว่าสามารถใช้การได้ ต้องพิจารณาถึงลำดับของหลุม ความต้องการพื้นที่สำหรับทำงาน และขั้นตอนการตรวจสอบผลลัพธ์ ความเป็นจริงของอุปกรณ์ วัสดุและวิธีการ จะต้องได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบในกระบวนการนี้

4.4) <u>เกณฑ์การออกแบบขั้นสุดท้าย</u> ในระยะของวิศวกรรมก่อนการก่อสร้างและการออกแบบจำเป็นต้องสร้างผลการตรวจวัดขั้นต่ำที่สามารถทำให้ Grouting สำเร็จได้ รูปร่างและสมบัติของบริเวณที่จะทำ Grouting จำเป็นต้องมีความมั่นใจ เนื่องจากกระบวนการออกแบบที่น่าพอใจขึ้นอยู่กับการสัมฤทธิผลของคุณสมบัติเหล่านี้ พวกมันจำเป็นต้องได้รับการคัดเลือกด้วยความรอบคอบ ระมัดระวังและคำนึงถึงปัจจัยทั้งหมดที่อาจส่งผลต่อการความสำเร็จเหล่านี้ หลังจากมีการกำหนดค่าเหล่านี้แล้ว (เช่นความสามารถในการซึมผ่านเป้าหมาย) กระบวนการก่อสร้างส่งผลให้บรรลุเป้าหมายได้ ในอดีตมีหลายครั้งที่การทำ Grouting ไม่เป็นไปตามที่ออกแบบหรือตามในสัญญา หรือไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านการออกแบบในระหว่างการก่อสร้างอันเป็นผลมาจากต้องการให้ต้นทุนต่ำ ในทั้งสองสถานการณ์ผลที่ตามมาคือการต้องใช้ความพยายามและเงินจำนวนมากกับโครงการที่ผลการดำเนินงานไม่น่าพอใจ

4.5) <u>การประเมินความสามารถในการสร้าง</u> เมื่อพิจารณาถึงความต้องการโดยรวมของโครงการแล้วขั้นแรกควรจะดำเนินกระบวนการออกแบบเพื่อประเมินข้อดีและข้อเสียของการจัดลำดับขั้นตอนลำดับการดำเนินงานGrouting ที่เกี่ยวข้องกับด้านอื่นของตารางการก่อสร้างควรได้รับการวางแผนและควบคุมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ทางเทคนิคที่ดีที่สุด ตัวอย่างเช่นในบางงานอาจจำเป็นต้องชะลอการทำ Grouting เพื่อให้ส่วนอื่นของโครงการจะเสร็จ แต่บางกรณีลำดับการดำเนินงานในทางตรงข้ามอาจน่าพึงพอใจมากกว่า การทำ Grouting ฐานรากก่อนการวางแนวเขื่อนอาจลดแรงดันที่สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย อาจลดประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการทำ Grouting ก่อนจะลดขนาดหลุมเจาะ ค่าใช้จ่ายและความเสี่ยงก็มีผลต่อการขุดเจาะและ Grouting เขื่อน ความเสียหายต่อฐานรากที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทำ Grouting อาจปรากฏก่อนทำเขื่อน ในกรณีอื่น ข้อจำกัดต่างๆในการก่อสร้างเช่นค่าใช้จ่าย ตารางเวลาและ

รูปแบบของไซต์ ฤดูกาลหรือการพิจารณาด้านโลจิสติกส์อาจส่งผลไม่ดีให้ลำดับแผนงานก่อสร้าง ในกรณีเหล่านี้ถ้ามีความเสียหายก็จะเป็นเรื่องยากที่จะวัดปริมาณและทำแก้ไขได้ ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงสถานการณ์เหล่านี้ ควรมีมาตรการเพื่อปกป้องส่วนประกอบที่สร้างขึ้นก่อนหน้าและเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้

4.6) <u>การพัฒนาโครงร่างแผนงานโดยละเอียด</u> การทำงานระหว่างระยะของวิศวกรรมก่อนการก่อสร้างและการออกแบบ จะรวมถึงการทำเค้าโครงรายละเอียดของแผนงานกานขุดเจาะและการ Grouting รวมถึงระยะห่างระหว่างหลุม การเว้นระยะห่างของแนว และความเอียงหรือมุมของหลุม การกำหนดรายละเอียดแผนงาน (1) เริ่มเจาะและ Grouting จากพื้นดิน (2) ต้องเตรียมการพื้นดินและพื้นที่ดำเนินการ (3) ความลึกของ grouting (4) ความยาวของขั้นตอนสำหรับการ Grouting (5) ต้องการลำดับขั้นตอน (6) กำหนดว่าควรเจาะหลุมและทำ Grouting ด้วยวิธี Downstage Upstage หรือทั้งสองวิธี

4.7) <u>การออกแบบวิธีการสังเกต ควบคุม และตรวจสอบ</u> ควรพิจารณาอย่างรอบคอบว่าผลของแผนงานที่ได้รับการวิเคราะห์ดำเนินกระบวนการไปตามข้อกำหนดของโครงการ ซึ่งรวมถึงระดับของเทคโนโลยีที่จะใช้ บันทึกผลการดำเนินการ และจะนำเสนอบันทึกอย่างไร และใช้ในการตรวจสอบได้อย่างไร ควรคาดคะเนว่าการออกแบบ Grouting จะมีการปรับเปลี่ยนตามความคืบหน้าของงาน การออกแบบควรมีการยืดหยุ่นเพื่อให้สามารถทำงานในสนามได้

4.8) <u>ประมาณการต้นทุนการออกแบบเบื้องต้น</u> ขั้นต่อไปในขั้นตอนของวิศวกรรมก่อนการก่อสร้างและการออกแบบ คือการรวมผลลัพธ์ขององค์ประกอบก่อนหน้าทั้งหมดเข้ากับการประมาณการค่าใช้จ่ายที่ได้รับการแก้ไขแล้ว ถ้ามีค่าใช้จ่ายจากโครงการอื่นมันเป็นเรื่องจำเป็นที่การติดต่อกับตัวแทนผู้ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงในการทำงานเพื่อให้แน่ใจว่าประสบการณ์ของพวกเขานั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ได้ อย่างไรก็ตามต้องมีการดูแลเป็นอย่างดีเพื่อให้มั่นใจว่างานนั้นสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้จริง ตัวอย่างเช่น รายการเดียวกันจากสัญญาอื่นอาจรวมค่าใช้จ่ายอื่นที่จำเป็นเข้าไปด้วย แต่ไม่ได้ระบุไว้เป็นรายการสินค้าหรือระบุเป็นรายการค่าใช้จ่ายอื่น ปริมาณควรขึ้นอยู่กับจำนวนเงินที่วางแผนไว้โดยตรงโดยมีความเหมาะสมในแต่ละรายการการมีงบประมาณที่เพียงพอและเหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ และหนึ่งในปัญหาที่มีเป็นปัญหามากที่สุดในสัญญา Grouting คือการประมาณค่าใช้จ่ายและงบประมาณของโครงการที่ไม่เพียงพอ การแก้ไขปัญหานี้หลังจากทำงานเสร็จอาจส่งผลให้เกิดการเรียกร้องค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นสำหรับทั้งผู้ดูแลและผู้รับเหมา

4.9) <u>แผนและข้อกำหนด</u> หากขั้นตอนทั้งหมดในขั้นตอนความเป็นไปได้และวิศวกรรมก่อนการก่อสร้างและการออกแบบได้รับการดำเนินการอย่างเหมาะสมแล้วควรมีการจัดทำพิมพ์เขียวสำหรับการจัดเตรียมแผนและข้อกำหนด เอกสารต้องมีคำอธิบายอย่างละเอียดเกี่ยวกับ วัสดุ อุปกรณ์ ทรัพยากร วิธีการและผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยผู้รับเหมาและเป็นมาตรฐานที่ชัดเจนในการยอมรับ การวัดและการจ่ายเงินสำหรับแต่ละองค์ประกอบของงาน ในงานบางประเภทข้อกำหนดที่ค่อนข้างมาตรฐานเฉพาะสามารถใช้เป็นเอกสารมาตรฐานได้ อย่างไรก็ตามในในการใช้งานอื่นๆ ข้อกำหนดเหล่านี้จะต้องได้รับการออกแบบมาอย่างรอบคอบเพื่อให้เหมาะสมกับงาน สำหรับโครงการที่ซับซ้อนและมีความสำคัญแนะนำให้มีการระบุรายงานข้อมูลพื้นฐานทางธรณีวิทยาไว้ในเอกสารสัญญา เมื่อเอกสารสัญญาได้รับการพิจารณาว่าเสร็จสมบูรณ์แล้วพวกเขาควรได้รับการตรวจสอบขั้นสุดท้าย

4.10) <u>แผนควบคุมคุณภาพและการประกันคุณภาพ</u> ต้องรวบรวมรายชื่อบุคลากรและทักษะที่จำเป็นทั้งหมดสำหรับการควบคุมและดำเนินการให้ประสบความสำเร็จ ต้องทำรายการที่ระบุถึงความรับผิดชอบประสบการณ์ คุณสมบัติและรายละเอียดเมื่อบุคลากรเหล่านี้อยู่ในพื้นที่โครงการ ควรทำเป็นขั้นตอนการสังเกตการณ์ การทดสอบ การเก็บบันทึก การรายงานและการวิเคราะห์เป็นแผนภาพอย่างสมบูรณ์ แผนงานการควบคุมคุณภาพที่ผู้รับเหมาต้องทำควรครอบคลุมกระบวนการทั้งหมด หลังจากที่ได้มีการระบุความต้องการของแผนงานในการควบคุมคุณภาพและความต้องการบุคลากรอย่างละเอียดแล้ว แผนงานการประกันคุณภาพควรมีรายละเอียดเพื่อรับประกันว่า แผนควบคุมคุณภาพของผู้รับเหมาเพียงพอและได้รับการตรวจสอบอย่างต่อเนื่องสำหรับการปฏิบัติตามสัญญา มันเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีพนักงานที่เพียงพอและมีประสบการณ์เฉพาะด้านที่เหมาะสมกับหน้าที่และความรับผิดชอบที่ได้รับมอบหมาย การใช้พนักงานที่ไม่มีประสบการณ์จะได้รับอนุญาตเฉพาะเมื่อทำงานภายใต้การแนะนำโดยตรงของพนักงานอาวุโสที่มีประสบการณ์สูงเท่านั้น บุคลากรที่มีประสบการณ์เป็นส่วนสำคัญขององค์กรด้านการประกันคุณภาพและควรให้การดูแล 100% สำหรับการดำเนินการ Grouting

5) กระบวนการขุดเจาะและ Grouting โดยวิธี Downstage และ Upstage

ทั้งในระยะศึกษาความเป็นไปได้และระยะวิศวกรรมก่อนการก่อสร้างและการออกแบบ จำเป็นต้องกำหนดส่วนของงานที่คาดว่าจะดำเนินการขุดเจาะและGroutingโดยการใช้วิธี Downstage หรือ Upstage ซึ่งการกำหนดนี้มีความสำคัญสำหรับการก่อสร้าง การจัดเตรียมเอกสารสัญญา การประมาณต้นทุนและตารางเวลางาน การขุดเจาะและGroutingโดยการใช้วิธี Downstage คือการทำการ ขุดเจาะ ล้าง ทดสอบน้ำและทำการ Grouting เป็นช่วงๆของหลุมโดยจะต้องทำการGroutingให้เสร็จเป็นช่วงๆไปก่อนจะไปช่วง

ตอไปของหลุม การขุดเจาะและGroutingโดยการใช้วิธี Upstage คือจะเริ่มจากขุดหลุมจนถึงสุดความลึกที่ต้องการในการดำเนินการขุดครั้งเดียว แล้วจึงทำการล้างทำความสะอาดทั้งหมดตลอดความยาวหลุมในการดำเนินการล้างครั้งเดียว จากนั้นจึงทดสอบความดันและเริ่มทำการ Grouting โดยเริ่มทำจากก้นหลุมขึ้นมา

รายการ	การขุดเจาะและGrouting โดยการใช้วิธี Downstage	การขุดเจาะและGrouting โดยการใช้วิธี Upstage
เงื่อนไขทั่วไปที่นิยมใช้	- ใช้กับหินทุกชนิดและทุกเงื่อนไข - ใช้ในสถานการณ์ที่เกิดการสูญเสียน้ำหรือหลุมเจาะเชื่อมต่อกันหลายหลุม	- หินที่มีคุณภาพดี(RQD>40%) ซึ่งส่งผลให้หลุมเจาะไม่เกิดยุบตัว - หลุมมีการเชื่อมต่อกันน้อย - เกิดการสุญเสียน้ำน้อยในขณะขุดเจาะ (หากการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นต้องหยุดการทำงานและต้องทำการ Grouting บริเวณนั้นก่อนดำเนินการต่อ)
ข้อดี	- โซนตื้นสามารถทำGrouting ซ้ำได้ (โซนตื้นเป็นพื้นที่ยากที่สุดและสำคัญที่สุดสำหรับGrouting) - เป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นมากที่สุดเพื่อรองรับทุกสภาวะ - การเจาะจากบริเวณที่ต่ำกว่าไม่สามารถอุดรอยแตกในพื้นที่ที่สูงกว่าได้ - ลดการเชื่อมต่อระหว่างรูซึ่งอาจส่งผลให้การGroutingไม่สมบูรณ์หรือไม่มีประสิทธิภาพ	- ความยาวของขั้นตอนสามารถเปลี่ยนแปลงได้เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่ระบุโดยการเจาะและทดสอบความดัน -ราคาถูกและเร็วกกว่าวิธี Downstage
ข้อเสีย	- มีราคาแพงและใช้เวลานานกว่าวิธี Upstage	- การอัดฉีดแรงดันต่ำที่ใช้ในบริเวณตื้น - ทำให้รอยร้ายสกปรกตลอดความยาวหลุม - การเชื่อมต่อกับหลุมใกล้เคียงอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนหลุมก่อนที่

		จะทำ Grouting - ยากที่จะปิดรอยแตกร้าวของหิน และการทดสอบน้ำหรือGrouting อาจทำให้สูญเสียเครื่องมือเจาะ

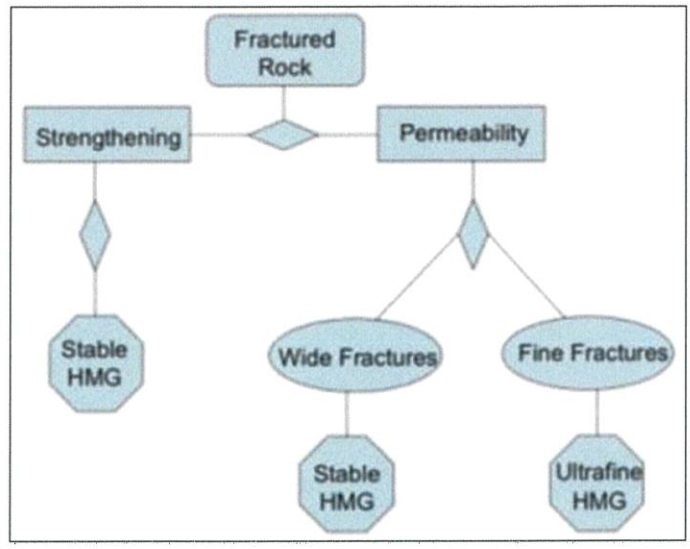
ตารางที่ 2.4 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการขุดเจาะและ Grouting โดยวิธี Downstage และ Upstage

(ที่มา: หนังสือ Engineering and Design GROUTING TECHNOLOGY ของ DEPARTMENT OF THE ARMY EM U.S. Army Corps of Engineer Washington, DC 20314-1000)

2.4 ชนิดของ Grouting และการเลือกใช้วัสดุในการ Grouting

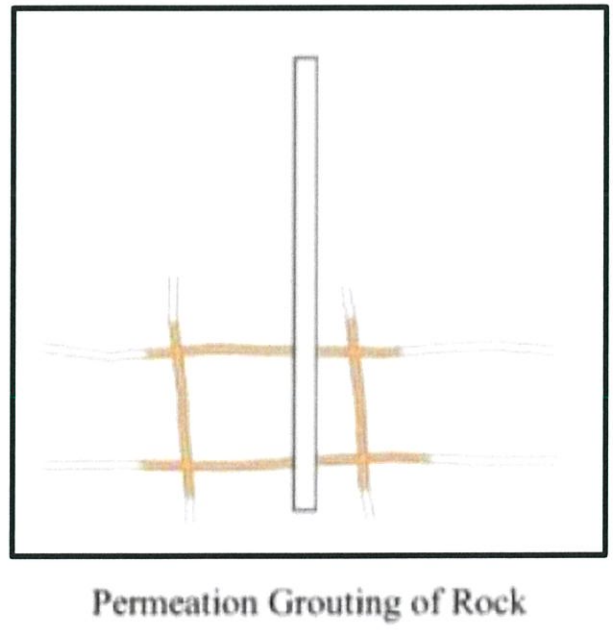
2.4.1 Rock Fracture Grouting

การใช้งานที่เกี่ยวข้องกับ Rock Fracture Grouting โดยการลดการไหลของของเหลวซึ่งทั่วไปแล้วจะใช้การ Permeation Grouting เป็นการประยุกต์ใช้งานทางกลศาสตร์ที่ซึ่งจุดประสงค์คือเพิ่มความแข็งแรงให้กับหินหรือลดการเกิดการเสียรูปในอนาคต Rock groutingต้องเจาะหลุมที่ตัดกับรอยแตกของหินและใส่น้ำยาGroutingโดยอัดเข้าไปในบริเวณที่แตกโดยใช้แรงดัน สิ่งที่คาดหวังคือน้ำยาGroutingจะเข้าไปในรอยร้าวที่ตัดกับหลุมและเติมโครงข่ายรอยแตกที่เชื่อมต่อกับรอยแตกของบริเวณใกล้หลุม หลุมGrouting จะทำการขุดและGroutingโดยให้ระยะห่างระหว่างหลุมที่ทำให้สร้างพื้นที่สำหรับGrouting ให้ทับซ้อน ซีเมนต์ที่มีเสถียรภาพมักเป็นวัสดุที่เหมาะสำหรับงาน Rock grouting ภาพที่ 2.6 ให้คำแนะนำในการเลือกวัสดุบรรจุวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในรอยร้าวของหิน ในบางครั้งอาจมีการใช้ Grouting สำหรับการแก้ปัญหาในการใช้งานที่มีความเชี่ยวชาญสูงหรือที่สำคัญซึ่งจำเป็นต้องมีค่าการไหลซึมผ่านที่ใกล้ศูนย์หรือไม่มีการซึม



ภาพที่ 2.6 วัสดุที่ใช้สำหรับ Rock Fracture Grouting

(ที่มา: หนังสือ Engineering and Design GROUTING TECHNOLOGY ของ DEPARTMENT OF THE ARMY EM U.S. Army Corps of Engineer Washington, DC 20314-1000)

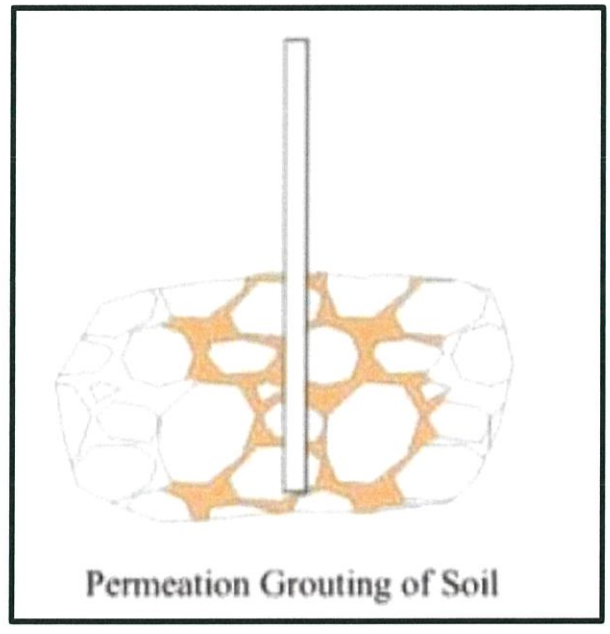


ภาพที่ 2.7 ภาพจำลองการ Permeation Grouting ของหิน

(ที่มา: หนังสือ Engineering and Design GROUTING TECHNOLOGY ของ DEPARTMENT OF THE ARMY EM U.S. Army Corps of Engineer Washington, DC 20314-1000)

2.4.2 Soil Grouting ในขณะที่ใช้เฉพาะ Permeation Grouting ในหิน แต่ในดินนั้นมีการใช้หลายวิธี ได้แก่ Permeation Grouting , Compaction Grouting , Jet Grouting, and Fracture grouting.

- Permeation Grouting ถูกจำกัดการใช้งานไว้กับดินที่สามารถซึมผ่านได้อย่างรวดเร็ว Permeation Grouting ได้รับการพิจารณาเป็นไปได้สำหรับดินที่มีค่าความละเอียดน้อยกว่า 15% เปอร์เซ็นต์นี้ไม่แน่นอนและแปรปรวนขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอของดิน ค่าความเป็นพลาสติกของดิน และวัสดุที่ใช้และชนิดของGrouting ที่ใช้สำหรับการไหลซึมผ่านดินจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของดิน และใช้งาน ทรายหยาบและกรวดที่สะอาดสามารถทำได้ด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ การใช้ Permeation grouting ของทรายจะใช้วัสดุพิเศษต้องความแข็งสูง มีต้นทุนที่ต่ำ และทนทานกว่าสำหรับงานถาวร

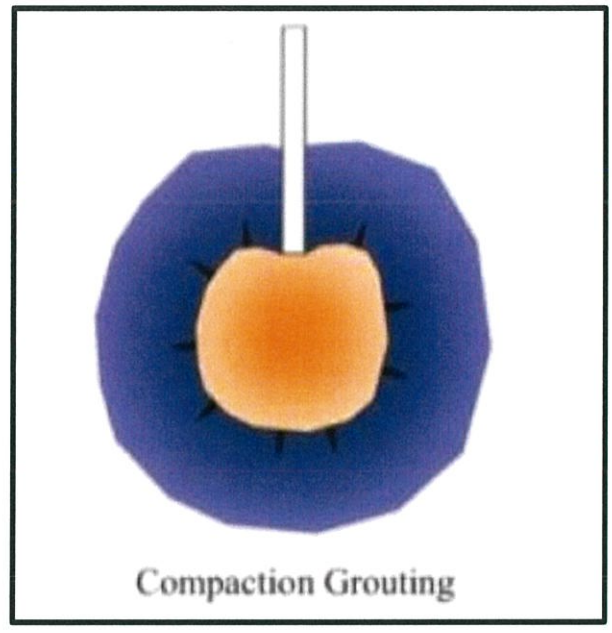


ภาพที่ 2.8 ภาพจำลองการ Permeation Grouting ของดิน

(ที่มา: หนังสือ Engineering and Design GROUTING TECHNOLOGY ของ DEPARTMENT OF THE ARMY EM U.S. Army Corps of Engineer Washington, DC 20314-1000)

- Compaction Grouting ใช้กับวัสดุที่มีการไหลต่ำ การปรับปรุงดินทำได้โดยการทยอยฉีดน้ำยาที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะแทนที่ดินและส่งผลให้เกิดการอัดแน่น การปรับปรุงดินจากการ Compaction Grouting จะเหมือนกับการใช้การบดอัดแบบคงที่ อย่างไรก็ตามยังส่งผลให้เกิดรูปแบบของดินที่มีความแข็งแรงมากขึ้นซึ่งจะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของมวลดินต่อไป ค่าความแบกทานของดินจะสูงขึ้น การทรุดตัวจะต่ำลง ความแข็งแรงมากขึ้น และค่าการซึมผ่านจะลดลง Compaction grouting เป็นทางเลือกสำหรับการ

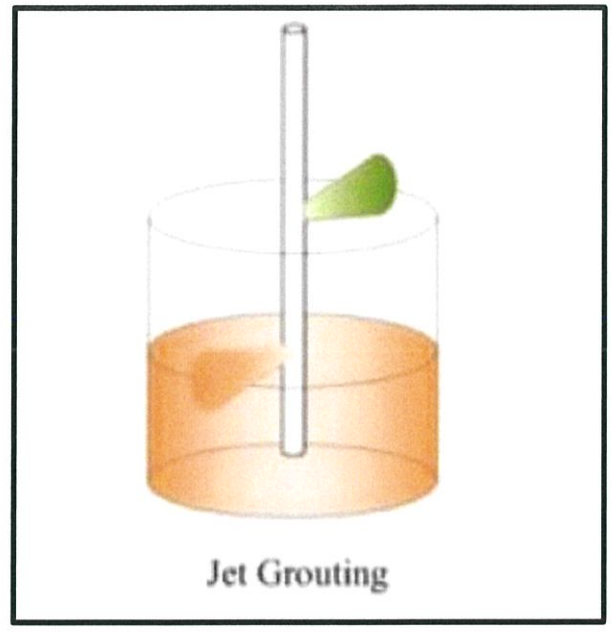
ซ่อมแซมความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัว ลดความเสียหายในอนาคตโดยการลดการทรุดตัวโดยการทำให้แน่นขึ้น



ภาพที่ 2.9 ภาพจำลองการ Compaction Grouting

(ที่มา: หนังสือ Engineering and Design GROUTING TECHNOLOGY ของ DEPARTMENT OF THE ARMY EM U.S. Army Corps of Engineer Washington, DC 20314-1000)

- Jet Grouting การผสมหรือทดแทนบางส่วนของดิน เกี่ยวข้องกับการอัดฉีดปูนซีเมนต์ (มักใช้อากาศ หรือน้ำในการอัด) ภายใต้ความกดดันสูงเพื่อผสมดินกับปูนซีเมนต์ในแนวตั้งเพื่อสร้าง "Soilcrete" 3 วิธีของ Jet Grouting เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปคือ single tube , double tube และ triple tube จำนวนท่อมีความสอดคล้องกับจำนวนของของเหลวที่ใช้ในกระบวนการ single tube ใช้เฉพาะการ Grouting เพื่อขุดและผสมดินในที่ตั้ง double tube จะใช้อากาศเพื่อช่วยในการกระบวนการขุดและJet Grouting triple tube ใช้น้ำและอากาศช่วยในการขุดเจาะและอัดฉีดซีเมนต์เป็นสายบริเวณก้นหลุมเพื่อสร้าง Soilcrete ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการเลือก Jet Grouting และอัตราการหดตัว ผลของ Jet Grouting อาจแตกต่างไปเล็กน้อยจากการผสมที่สมบูรณ์ Jet Grouting สามารถใช้กับดินชนิดใดก็ได้ ชนิดของดินมีผลอย่างมากต่อปัจจัยที่ผลต่อการทำได้ของ Soilcrete ความแข็งที่สูงขึ้นและเส้นผ่าศูนย์กลางที่มากขึ้นสามารถทำได้ในทรายที่สะอาดหรือกรวดเมื่อดินกลายเป็นละเอียดหรือสภาวะพลาสติกความแข็งและเส้นผ่าศูนย์กลางก็จะลดลง ดินเหนียวพลาสติกสูงเป็นปัญหาโดยเฉพาะอย่างยิ่งเพราะมันยากที่จะทำลายลงและผสมกับ Grouting



ภาพที่ 2.10 ภาพจำลองการ Jet Grouting

(ที่มา: หนังสือ Engineering and Design GROUTING TECHNOLOGY ของ DEPARTMENT OF THE ARMY EM U.S. Army Corps of Engineer Washington, DC 20314-1000)

2.4.2 การเลือกใช้วัสดุในการ Grouting การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมต้องต้องตอบคำถามดังนี้

- คุณต้องการปรับปรุงอะไร หิน ดิน หรือคอนกรีต ?

- อะไรเป็นวัตถุประสงค์ในการทำ Grouting ? (ลดการไหลซึมของน้ำ เพิ่มความแข็งแรง)

- แล้ววิธีการ Grouting วิธีไหนที่ทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ ?

- การพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อมคืออะไร?

- การพิจารณาค่าใช้จ่ายมีอะไรบ้าง?

การเลือกวัสดุ Grouting เบื้องต้น หลังจากที่กล่าวถึงคำถามข้างต้นแล้วก็เป็นเรื่องง่ายที่จะสามารถเลือกวิธีการและวัสดุที่ใช้ในการ Grouting ควรเลือกวิธีการและวัสดุที่ใช้กับการงานปรับปรุงส่วนใหญ่ หากต้องการปรับปรุงหรือผลลัพธ์ที่ต้องการด้วยวัสดุมากกว่าหนึ่งชิ้น การเลือกขั้นสุดท้ายควรพิจารณาความทนทานและค่าใช้จ่ายระยะยาว ค่าใช้จ่ายไม่ควรขึ้นอยู่กับต้นทุนวัตถุดิบ แต่เป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการสำหรับการใช้วัสดุนั้น

2.5 สูตรที่ใช้ในการออกแบบ

2.5.1 การคำนวณเปอร์เซ็นปริมาตรที่ต้องการถูกแทนที่

เปอร์เซ็นปริมาตรที่ต้องการถูกแทนที่ของดินนั้นใช้สำหรับคำนวณหาปริมาณวัสดุที่ต้องใช้ในการ Grouting โดยมีสูตรดังนี้

$$V_d = \frac{\gamma_f - \gamma_o}{\gamma_f} \times 100$$

โดย

Vd = เปอร์เซ็นปริมาตรที่ต้องให้การแทนที่

γf = หน่วยน้ำหนักที่ต้องการสุดท้าย

γo = หน่วยน้ำหนักแรกเริ่มของดิน.

2.5.2 การคำนวณค่าความสามารถในการ Grouting

เป็นการคำนวณว่าสามารถในการใช้งานGrouting ได้หรือไม่ จากทฤษฎี N value ของ Mitchell and Katti ในปี 1981 เมื่อ N = (D15)Soil / (D65)Grout แล้ว N < 24 ไม่สามารถใช้งาน Groutingได้ แต่ถ้า N >24 แล้วการ Grouting สามารถใช้งานได้ ในปี 2002 Akbulut and Saglamer ได้เสนอวิธีการคำนวณค่า N value ใหม่ มีสูตรว่า

$$N = \frac{D_{10(soil)}}{D_{90(grout)}} + k_1 \frac{w/c}{FC} + k_2 \frac{P}{D_r}$$

โดย

w/c = water cement ratio of the grout FC = the total soil mass passing through 0.6 mm

P = grouting pressure Dr = the relative density of the soil

k1,k2 เป็นค่าคงที่. k1 = 0.5 และ k2 = 0.01 1/kPa

N = ค่าหาความสามารถในการใช้งาน Grouting ใช้งานได้ที่ N > 28

ต่อมาในปี 2003 Karol เสนออีกทางเลือกอีกวิธีการหนึ่ง คือ ถ้า N_c = (D10)Soil / (D95)Grout แล้ว N_c > 11การ Grouting สามารถใช้งานได้ แต่ถ้า N_c < 6การ Grouting สามารถไม่สามารถใช้งานได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเล่มนี้นำเสนอการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting โดยจะแบ่งขั้นตอนการดำเนินการเป็น 6 ขั้นตอนหลัก เริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูล งานวิจัย เอกสารที่เกี่ยวข้อง ทั้งทางอินเตอร์เน็ต หนังสือ และเอกสารข้อมูลจากทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด วางกรอบขอบเขตของการศึกษา เพื่อจัดการกับข้อมูลและกำหนดแนวทางในการทำการวิจัย จากนั้นศึกษาปัญหาการทรุดตัวของฐานราก ทำความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดและหลักการของการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยวิธีการ Grouting ต่อมานำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาใช้ในการวิเคราะห์ กำหนดขั้นตอน และประเมินความเหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการ Grouting สุดท้ายคือการทำคู่มือสำหรับการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการ Grouting

3.1 รวบรวมเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลังจากที่ผู้ศึกษากำหนดปัญหาในการศึกษาเป็นที่เรียบร้อย ผู้ศึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลซึ่งนำมาใช้ในการประกอบการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับหลักการ ความรู้ และทฤษฎีที่สำคัญสำหรับงานวิจัย โดยผู้ศึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากบทความทางวิชาการ หนังสือ เอกสารที่เกี่ยวข้อง วิทยานิพนธ์ทั้งจากในประเทศและนอกประเทศ รวมถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทรุดตัวของฐานรากจากโครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd. เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการทรุดตัวของฐานรากโดยวิธีการ Grouting และสามารถกำหนดขั้นตอนและแนวทางในการดำเนินการเพื่อแก้ปัญหาการทรุดตัวของฐานราก ซึ่งมีขอบเขตและเนื้อหาดังนี้

1. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทรุดตัวของฐานรากอาคาร
2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการทรุดตัวของฐานรากอาคารโดยวิธี Grouting
3. งานวิจัยหรืองานศึกษาค้นคว้าต่างๆที่เกี่ยวข้อง

4. เอกสารจากทางโครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd. ได้แก่

- ข้อมูลการขุดเจาะสำรวจดิน
- ข้อมูลค่าระดับของฐานรากที่เกิดการทรุดตัว
- ข้อมูลวิธีการแก้ปัญหาการทรุดตัวของฐานรากดังกล่าว

3.2 การวางกรอบแนวความคิด ขอบเขต และกำหนดแนวทางในการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาการแก้ปัญหาฐานรากทรุดตัวโดยใช้วิธีการ Grouting เพื่อใช้ในการกำหนดแนวทางและขั้นตอนในการดำเนินการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของฐานราก เป็นขอบเขตของงานวิจัยชิ้นนี้เพื่อให้การแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของฐานรากเป็นไปตามหลักทฤษฎีและมีความปลอดภัยในขณะดำเนินการ โดยพิจารณาจากหัวข้อย่อยประกอบดังนี้

- ทบทวนวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
- ทบทวนเนื้อหา และหลักทฤษฎีของการ Grouting
- ศึกษาปัจจัยและความเสี่ยงของการ Grouting
- ศึกษาการดำเนินการแก้ไขปัญหาฐานฐานรากทรุดตัวโดยใช้วิธีการ Grouting ของโครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.
- วิเคราะห์ และสรุปผลงานวิจัย

3.3 การศึกษาปัญหาการทรุดตัวของฐานรากสิ่งปลูกสร้าง

การศึกษาการทรุดตัวของฐานรากเพื่อให้เราได้รู้จักพฤติกรรมการทรุดตัวมากขึ้นเพื่อใช้ประกอบการเลือกใช้วิธีการแก้ปัญหาฐานรากทรุด นอกจากนั้นแล้วเราจะศึกษาถึงสาเหตุและขีดจำกัดการทรุดตัวที่โครงสร้างรับได้ เพราะว่าปัญหาการทรุดตัวนั้นเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างซึ่งอาจทำให้เป็นอันตรายได้ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมของการทรุดตัวเพื่อที่จะได้ตระหนักถึงอันตรายและหาวิธีในการดำเนินการแก้ไขได้อย่างเหมาะสม

3.4 การศึกษาการทำ Grouting

ในส่วนของขั้นตอนนี้เป็นส่วนของการศึกษาการใช้ Grouting ในการแก้ปัญหาฐานรากทรุดนั้นแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

3.4.1 ศึกษาทฤษฎีของ Grouting

ในขั้นตอนนี้ผู้ศึกษาจะทำการศึกษาเกี่ยวกับ Grouting ในส่วนของหลักการและทฤษฎีว่าการ Grouting คืออะไร มีกี่รูปแบบ กระบวนการทำงานและขั้นตอนการเตรียมงานเป็นอย่างไร ปัจจัยในการเลือกใช้แก้ปัญหาและข้อจำกัดของการทำ Grouting มีอะไรบ้าง และความปลอดภัยในการดำเนินงานมีสิ่งใดที่ต้องให้ความสำคัญ เพื่อให้การแก้ไขปัญหาการทรุดตัวเป็นไปอย่างถูกต้องและปลอดภัย

โดยในขั้นตอนนี้จะแบ่งออกเป็น

3.4.1.1) ศึกษาประวัติความเป็นมาของGrouting

ในส่วนนี้หลายคนอาจมองข้ามว่าการศึกษาประวัติความเป็นของการGrouting ไม่ใช่สิ่งจำเป็นที่เราต้องไปศึกษามันแต่ความเป็นจริงแล้วการที่เราจะเข้าใจและประยุกต์ใช้งาน Groutingได้ดีนั้นเราควรที่จะรู้การพัฒนาการของการGroutingว่ามีความเป็นมาเช่นไร นอกจากนี้เราการที่เราศึกษาประวัติของมันทำให้เราได้เห็นถึงอุปสรรค ปัญหาและวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดกับการGrouting เมื่อได้มาลงมือปฏิบัติ เป็นผู้ออกแบบ หรือเป็นผู้วางแผนงานแล้วจะได้หลีกเลี่ยง ป้องกันและหาทางออกสำหรับปัญหาเหล่านั้นได้

3.4.1.2) ศึกษาว่าการGrouting คืออะไร

ในส่วนของขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนในการทำความเข้าใจว่าการGroutingคืออะไร มีการทำงานอย่างไร แล้ววัตถุประสงค์ของการGroutingทำไปเพื่ออะไร เพื่อที่เราจะได้ใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเมื่อเราพบปัญหาว่าเราสามารถที่จะใช้การGrouting เป็นหนึ่งในตัวเลือกที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาแต่ก็ยังไม่สามารถสรุปได้ในทันทีในขั้นตอนนี้ว่าเราจะสามารถใช้การGrouting ในการแก้ปัญหาได้จริงรึเปล่า ซึ่งเราจำเป็นต้องทำการศึกษานั้นขั้นตอนต่อไปก่อนว่าเราสามารถใช้งานได้หรือไม่ มีผลกระทบ หรือข้อจำกัดอะไรหรือไม่ สรุปได้ว่าในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ศึกษาเพื่อให้ได้รู้จักและเข้าการทำงานของการGroutingเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจเบื้องต้นว่าควรเลือกการGroutingเป็นหนึ่งในตัวเลือกสำหรับใช้แก้ไขปัญหา

3.4.1.3) ศึกษาความน่าเชื่อถือและความเสี่ยงของการ Grouting

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความน่าเชื่อถือและความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับการดำเนินการGroutingเพื่อให้เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจเลือกการGroutingเป็นวิธีการแก้ไขปัญหา และยังใช้ในกำกับดูแลระหว่างการดำเนินการให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการแก้ไขปัญหา ซึ่งในขั้นตอนนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น3 ส่วน คือ

1. ศึกษาความน่าเชื่อถือ เป็นการศึกษาว่าการดำเนินการอย่างไรหรือปัจจัยอะไรที่ทำให้การ Grouting มีความน่าเชื่อถือและผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดเอาไว้ โดยปัจจัยดังกล่าวมีดังนี้

- การสำรวจข้อมูลทางธรณีวิทยาที่จำเป็นให้เพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการทำ Grouting
- การตีความตามข้อมูล
- การดำเนินการ Grouting ให้มีความเหมาะสมกับ สภาพพื้นที่ การออกแบบ และระดับที่คาดหวังไว้สำหรับการดำเนินการและการควบคุมคุณภาพ
- การประเมินอย่างละเอียดเกี่ยวกับความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับไวต่อการรบกวนของดิน
- การวางแผนที่ดีและละเอียดจะเป็นตัวกำหนดเป้าหมาย กระบวนการและ QA/QC

2. ศึกษาความเสี่ยง เป็นการศึกษาว่าอะไรเป็นความเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ประสิทธิภาพ และค่าใช้จ่ายของการดำเนินการ Grouting ให้ไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการดำเนินการ และศึกษาว่าทำอย่างไรที่จะช่วยให้ความเสี่ยงของการดำเนินการลดลงได้ โดยวิธีดังกล่าวมีดังนี้

- ตรวจสอบสภาพของพื้นที่บริเวณที่จะทำ Grouting ว่ามีเหมาะสมเพียงพอหรือไม่
- ชี้แจงสภาพของพื้นที่ปฏิบัติงานให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะและทำ Grouting
- การจัดลำดับ ขั้นตอน และระยะเวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอนให้มีความเหมาะสม
- เลือกใช้วัสดุหรือสารผสมที่ใช้ให้เหมาะสม

- งบประมาณของการทำ Grouting ควรเผื่อความไม่แน่นอนด้วย

- มีการตรวจสอบผลของผลกระทบของการดำเนินการ

- ในการควบคุมคุณภาพและการประกันคุณภาพ(QC/QA) ต้องรวมถึง การตรวจสอบงานควบคุมงาน ทดสอบและวิเคราะห์ผลการทำงานของ Grouting

- มีอุปกรณ์ที่ใช้สังเกตการณ์สภาพการดำเนินการและสภาพความอันตรายขณะปฏิบัติงานที่เพียงพอ

- จัดทำแผนงานให้มีความเหมาะสมกับสภาพของพื้นที่ปฏิบัติงานและเป้าหมายที่คาดหวัง เช่น ระยะห่างระหว่างหลุมติดตั้งท่อ ความลึก และการวางแนว

3. ศึกษาความคงทน การศึกษาความคงทนของการGrouting เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาความน่าเชื่อถือและความเสี่ยง เนื่องจากความคงทนของการGrouting เป็นตัวบ่งชี้ว่ามีความน่าเชื่อถือและความเสี่ยงของการดำเนินการหรือไม่ ศึกษาปัจจัยอะไรที่ทำให้ให้ความคงทนของการ Grouting ลดลง

3.4.1.4) ศึกษาการวางแผนและการออกแบบกระบวนการการดำเนินงานในการทำ Grouting

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทั้งหมดก่อนเริ่มลงมือทำ Grouting ว่าก่อนที่เราจะเริ่มดำเนินการในสนามเราจะต้องมีการวางแผน เตรียมการ สำรวจ รวบรวมข้อมูลอะไรบ้างเพื่อให้ผลการดำเนินงานในการ Grouting ออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งจะรวมไปถึงการกำหนดวิธีการในการ Grouting การเลือกใช้วัสดุที่จะใช้ในการ Grouting และประเมินราคาในการดำเนินการอีกด้วย ขั้นตอนการวางแผนและการออกแบบกระบวนการการดำเนินงานในการทำ Grouting ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของการดำเนินการ Grouting เป็นตัวกำหนดทิศทาง เป้าหมาย ของการดำเนินการว่าจะออกมาบรรลุวัตถุประสงค์ของการดำเนินการหรือไม่ซึ่งขั้นตอนในการวางแผนและการออกแบบกระบวนการการดำเนินงานในการทำ Grouting มีแบ่งออกได้เป็น ขั้นตอนหลักดังนี้

1. ระยะสำรวจตรวจสอบ ในขั้นตอนนี้จะเป็นศึกษาเกี่ยวกับ การระบุปัญหาที่มีอยู่และหาแนวทางแก้ไขที่เป็นไปได้ การประเมินความเป็นไปได้ของการทำ Grouting โดยขั้นตอนนี้จะขึ้นอยู่กับข้อมูลทั่วไปทางธรณีวิทยา ข้อมูลเฉพาะของพื้นที่บริเวณนั้น และข้อมูลด้านวิศวกรรมที่ช่วยในการ

ตัดสินใจ และคาดการผลลัพธ์ที่ได้โดยอยู่บนหลักการของการ Grouting และทำการเปรียบเทียบกับการใช้วิธีอื่นในการแก้ไขปัญหาเพื่อให้แน่ใจว่าการเลือกใช้การ Grouting เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด

2. ระยะการศึกษาความเป็นไปได้ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดวิธีการที่ทำให้การดำเนินการเป็นไปได้อย่างแน่นอน ศึกษาแนวทางการประเมินต้นทุนและผลประโยชน์ที่ได้ เตรียมการออกแบบเบื้องต้น และแนะนำแผนในการแก้ไขปัญหา ซึ่งที่สำคัญที่สุดคือการพัฒนาการออกแบบที่ใช้ให้คำแนะนำในการดำเนินการให้มีรายเอียดที่เพียงพอที่จะได้รับอนุญาตให้ใช้ในการดำเนินการได้ นอกจากนี้แล้วในขั้นตอนนี้ยังรวมถึงการศึกษาการตรวจสอบลักษณะเฉพาะของพื้นที่บริเวณที่ปฏิบัติงาน การประเมินเบื้องต้นเกี่ยวกับความเหมาะสมของพื้นที่บริเวณที่ปฏิบัติงาน ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้คือการประเมินได้อย่างรวดเร็ว แต่มีความน่าเชื่อถือได้ว่าการ Grouting มีแนวโน้มที่จะแก้ปัญหาได้ โดยองค์ประกอบของขั้นตอนนี้มีดังนี้

- การอธิบายลักษณะของพื้นที่ปฏิบัติงานสำหรับใช้ในการ Grouting
- กำหนดจำนวนของเกณฑ์ในการออกแบบและวัตถุประสงค์
- การทำแบบจำลองอย่างง่ายและการวิเคราะห์คุณสมบัติโดยที่ยังไม่มีการปรับปรุง
- การประเมินเบื้องต้นของความเหมาะสมของ Grouting และปัญหาพิเศษ
- การกำหนดสิ่งที่คาดว่าจะได้จากการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการGrouting
- ออกแบบ ทำแบบจำลอง และวิเคราะห์ผลใหม่ของคุณสมบัติที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว
- พัฒนาการประมาณการต้นทุนเบื้องต้น
- พัฒนาการประมาณการต้นทุนขั้นสุดท้าย

3. ระยะของการออกแบบและวิศวกรรมก่อนการก่อสร้าง จากการศึกษาขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนเริ่มดำเนินการปฏิบัติการในสนาม ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนในการเตรียมแผนการ ข้อกำหนด สัญญาการดำเนินการGrouting และการออกแบบถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายของขั้นตอนนี้ โดยจุดมุ่งหมายของขั้นตอนนี้คือทำให้การดำเนินสามารถทำงานได้ง่าย สะดวก และปราศจากข้อบกพร่องด้านเทคนิคที่สำคัญ รวมถึงเอกสารสัญญา และเรื่องของงบประมาณที่จะต้องใช้ โดยองค์ประกอบของขั้นตอนนี้มีดังนี้

- เค้าโครงขององค์ประกอบการดำเนินการโครงการที่สำคัญและจำเป็นในโครงการที่มีความยาก มีความสำคัญ โครงการที่ต้องการประสิทธิภาพ และเงื่อนไขของไซต์

- การได้รับข้อมูลที่ช่วยในการออกแบบ

- การประเมินโดยละเอียดของอุปกรณ์และวิธีการใช้

- กำหนดการตรวจสอบขั้นต่ำและผลลัพธ์ที่ต้องทำให้สำเร็จ

- กำหนดผลกระทบของการทำ Grouting ต่องานและลำดับงานในการก่อสร้าง

- ทำรายละเอียดของเค้าโครงแผนงาน

- ออกแบบการติดตาม ควบคุม วิเคราะห์ และตรวจสอบแผนงานในสนาม

- ออกแบบองค์กรที่รับผิดชอบในการทำ QC และ QA

- กำหนดหน่วยวัดและการจ่ายเงิน

- การประมาณการต้นทุนการออกแบบเบื้องต้น

- การประมาณต้นทุนขั้นสุดท้าย

3.4.1.5) ศึกษาชนิดของ Grouting และการเลือกใช้วัสดุในการ Grouting

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษาชนิดของ Grouting และการเลือกใช้วัสดุในการ Grouting เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพ คุณสมบัติ และลักษณะของพื้นที่ของปัญหาเพื่อให้การดำเนินการแก้ไขได้ผลออกมาบรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการ ซึ่งชนิดของการ Grouting ได้แก่

1. Rock Fracture Grouting

2. Permeation Grouting of soil

3. Compaction Grouting

4. Jet Grouting

ซึ่งแต่ละวิธีก็มีการเลือกใช้ กระบวนการทำงาน และผลลัพธ์ที่แตกต่างกันจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องศึกษา นอกจากชนิดของGrouting แล้ว การเลือกวัสดุที่นำมาใช้ในการGrouting ก็เป็นสิ่งสำคัญควรเลือกให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน และเหมาะสมกับสภาพงานด้วยโดยวัสดุที่ใช้ก็ได้แก่ Suspensions Emulsions และSolutions

3.4.2 ศึกษาการทำ Grouting จากการปฏิบัติจริง

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาการทำ Grouting จากการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd. ซึ่งฐานรากของอาคาร No. 1 ซึ่งเป็นอาคารหลักของโครงการเกิดการทรุดตัวของฐานรากใน line 19A-20A ซึ่งทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด สังเกตเห็นการทรุดตัวจากการที่ขณะกำลังติดตั้ง Siding ของโครงหลังคา แต่ Siding ใน line 19A-20A ตำแหน่งที่จะทำการติดตั้งอยู่ต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้จึงได้ทำการตรวจสอบ โดยทำการตรวจสอบจากค่าระดับของหลังฐานรากได้ผลการทดสอบดังรูป

No.	Axis	Rev.	June					July					
		Level	17	20	23	26	29	2	5	8	11	14	17
15	15A	+52.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
16	16A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	17A	+52.00	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.00	0.00
18	18A	+52.00	0.00	0.30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
19	19A	+52.00	7.30	7.50	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60
20	20A	+52.00	8.40	8.50	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60
21	21A	+52.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
22	22A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	23A	+52.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
24	24A	+52.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
25	25A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 3.1 ค่าระดับฐานรากก่อนดำเนินการ Grouting ของอาคาร 1 โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.

(ที่มา: เอกสาร Report about repairing and soil stabilization building No.1 of Mercator Medical Thailand Co. , Ltd Project)

พบว่าระดับของฐานรากใน line 19A เกิดการทรุดตัวลง 7.60 เซนติเมตร และ line 20A เกิดการทรุดตัวลง 8.60 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ที่ 2 เซนติเมตร หลังจากที่ทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด ได้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจึงได้ค้นหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของฐานรากโดยทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัดเองได้ตั้งสมมติฐานไว้ 2 ข้อด้วยกัน คือ

1. การบดอัดดินไม่ได้กำลังตามที่ผู้ออกแบบได้กำหนด

สมมติฐานในข้อนี้ทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด ได้มีการทำการทดสอบ Plate bearing test ก่อนทำการก่อสร้างโดยทำการทดสอบด้วย Plate ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.46 เมตร ที่น้ำหนักทดสอบ 60 ตันต่อตารางเมตร (น้ำหนักบรรทุกออกแบบไว้ที่ 20 ตันต่อตารางเมตร) ซึ่งผลการทดสอบของ Plate bearing test เป็นรูป

Result :

Ultimate Bearing Capacity = 60.00 ton/m^2 (From Fig. 1)

F.S. = 3.0

∴ Allowable Bearing Capacity = 20.00 ton/m^2

Maximum Settlement = 5.500 mm

Modulus of Subgrade Reaction, K = 10.909 ton/m^3

(Mr. Arun LUKJAN)
Inspector

(Mr. Sommart SWASDI)
The Head of Civil Engineering Program

Date: 1 June 2017

Remark : Yield pressure, determined by 11.40 mm for clayey soil and 15.40 mm for granular soil.

ภาพที่ 3.1 ผลการทดสอบ Plate bearing test โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.

(ที่มา: เอกสาร Report about repairing and soil stabilization building No.1 of Mercator Medical Thailand Co. , Ltd Project)

ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าหลังจากการบรรทุกน้ำหนักทดสอบที่ 60 ตันต่อตารางเมตร ดินมีการทรุดตัวลง 5.50 มิลลิเมตร ซึ่งผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ให้มีการทรุดตัวได้ไม่เกิน 2 เซนติเมตร ทำให้สมมติฐานนี้ไม่ใช่สาเหตุที่ทำให้ฐานรากเกิดการทรุดตัว

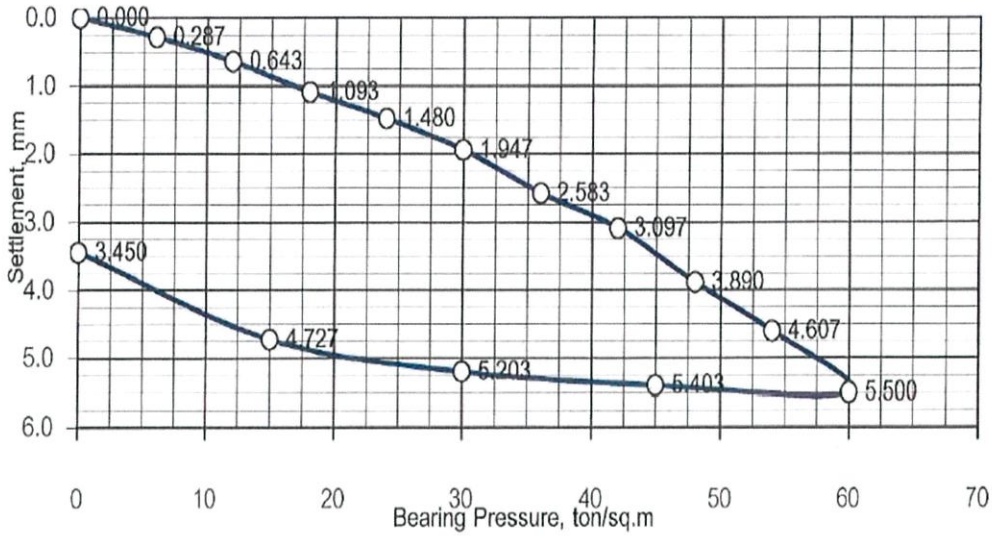


Fig. 1 Bearing Pressure - Settlement Curve, Testing of Building 1 Line A-/19-20

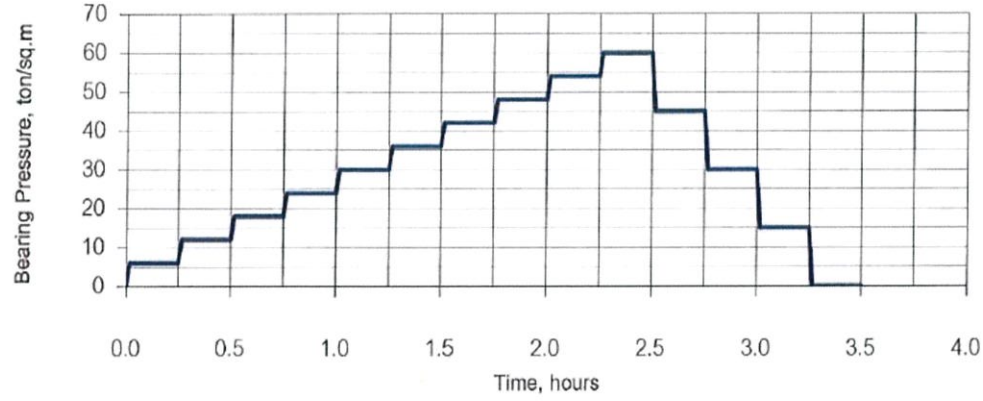


Fig. 2 Time - Bearing Pressure Curve, Testing of Building 1 Line A-/19-20

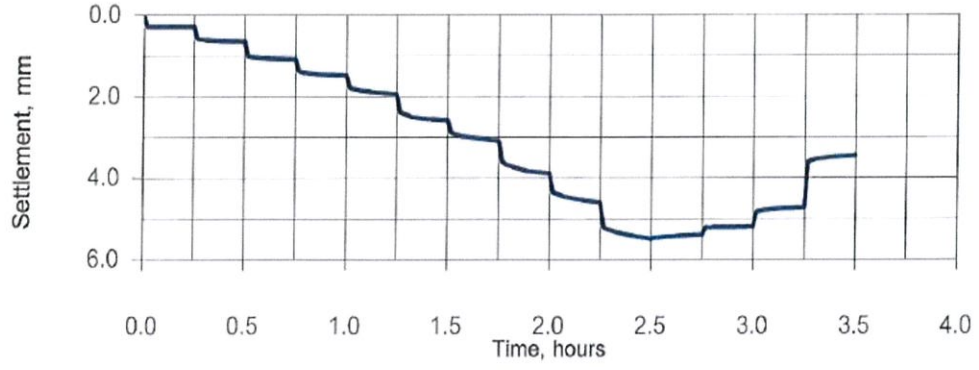


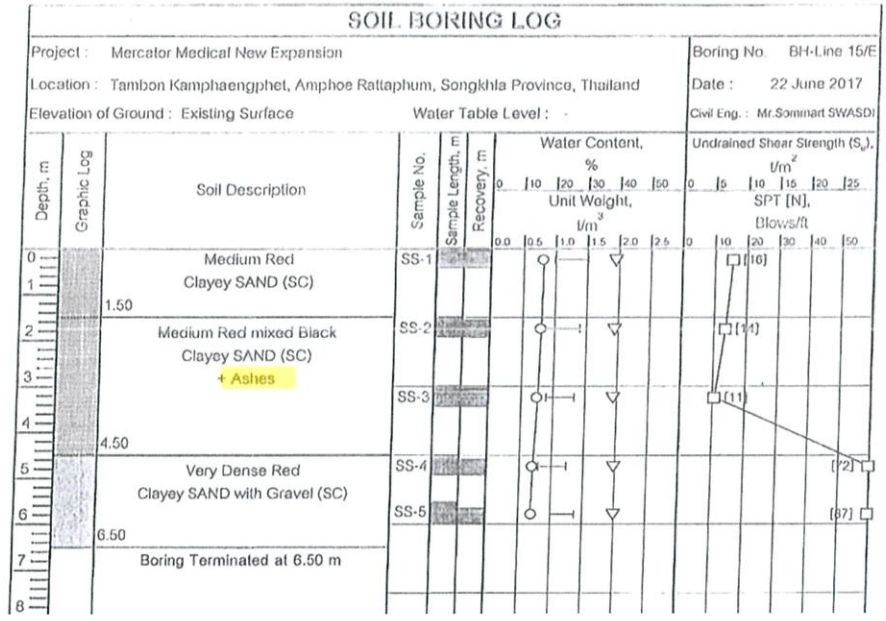
Fig. 3 Time - Settlement Curve, Testing of Building 1 Line A-/19-20

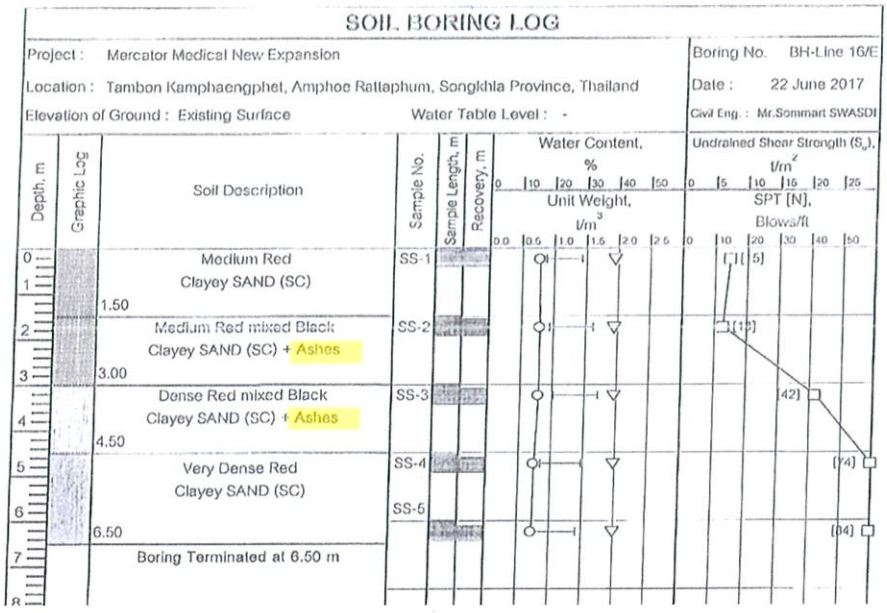
ภาพที่ 3.2 กราฟการทรุดตัวขณะทำ Plate bearing test โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.

(ที่มา: เอกสาร Report about repairing and soil stabilization building No.1 of Mercator Medical Thailand Co. , Ltd Project)

2. ชั้นดินใต้ฐานรากมีปัญหา

สมมติฐานในข้อนี้ทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด ได้ทำการขุดเจาะสำรวจดินในบริเวณที่เกิดฐานรากทรุดเพื่อเก็บตัวอย่างดินข้างใต้ฐานรากมาวิเคราะห์กำลังและคุณสมบัติทางวิศวกรรม ซึ่งได้ผลการขุดเจาะสำรวจดินดังนี้





ภาพที่ 3.3 Soil boring log โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.

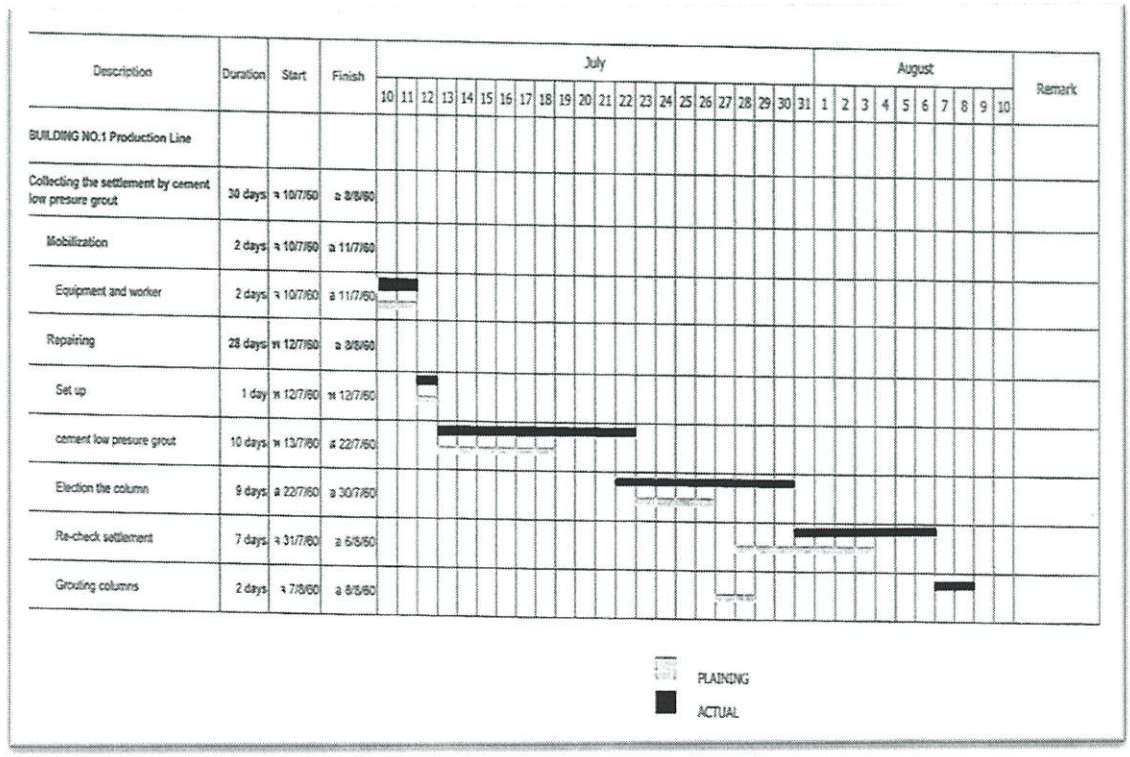
(ที่มา: เอกสาร Report about repairing and soil stabilization building No.1 of Mercator Medical Thailand Co. , Ltd Project)

ซึ่งจากผลการขุดเจาะสำรวจดินปรากฏว่าใต้ฐานราก line 19A และ 20A ที่ความลึก 1.50 – 4.50 เมตร มีการปะปนของ Ashes ในชั้นดินเป็นจำนวนมากทำให้ดินข้างล่างไม่แน่นและไม่แข็งแรงพอเมื่อรับน้ำหนักของอาคารจึงทำให้เกิดการทรุดตัวลงของฐานรากบริเวณดังกล่าว ดังนั้นสมมติฐานนี้จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการทรุดตัว

หลังจากทราบถึงสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของฐานรากใน line 19A และ 20A ว่ามาจากการที่ชั้นดินข้างใต้ฐานรากมี Ashes ปะปนอยู่ ทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด จึงได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้โดยใช้วิธีการ Grouting ซึ่งมีวิธีดำเนินงานดังนี้

1. กำหนดระยะเวลาในการดำเนินการแก้ไขปัญหา

เป็นส่วนสำคัญที่จำเป็นต้องทำเป็นอย่างแรกเพื่อให้การดำเนินการเป็นไปอย่างมีเป้าหมายและมีแบบแผน การกำหนดตารางเวลาในการดำเนินการที่ดีต้องมีความเหมาะสมทั้งเรื่องของเวลา คนปฏิบัติงาน และค่าใช้จ่ายโดยตารางดำเนินการของทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัดเป็นดังนี้

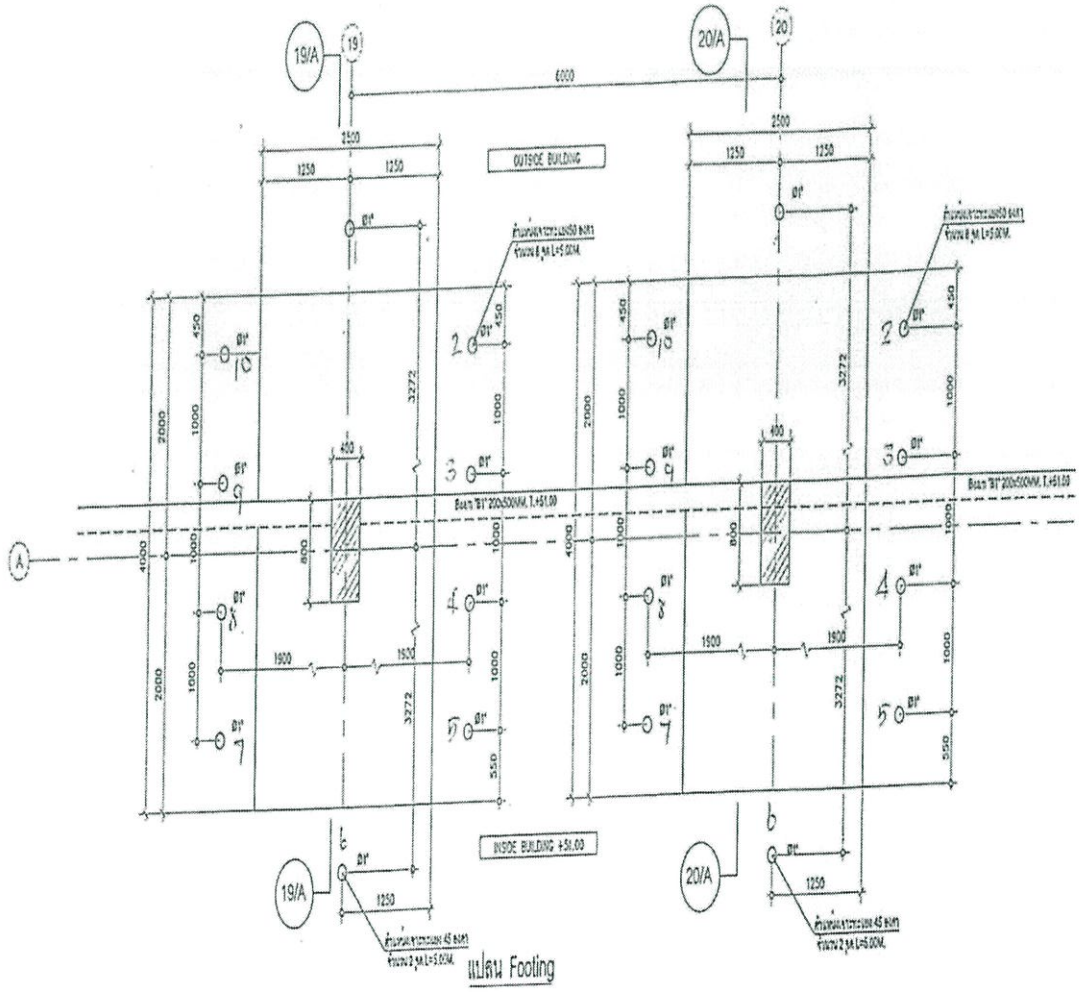


ภาพที่ 3.4 ตารางเวลาในการดำเนินงาน(Schedule) โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.

(ที่มา: เอกสาร Report about repairing and soil stabilization building No.1 of Mercator Medical Thailand Co. , Ltd Project)

2. กำหนดวิธีการในการฝังท่อเพื่อฉีดซีเมนต์

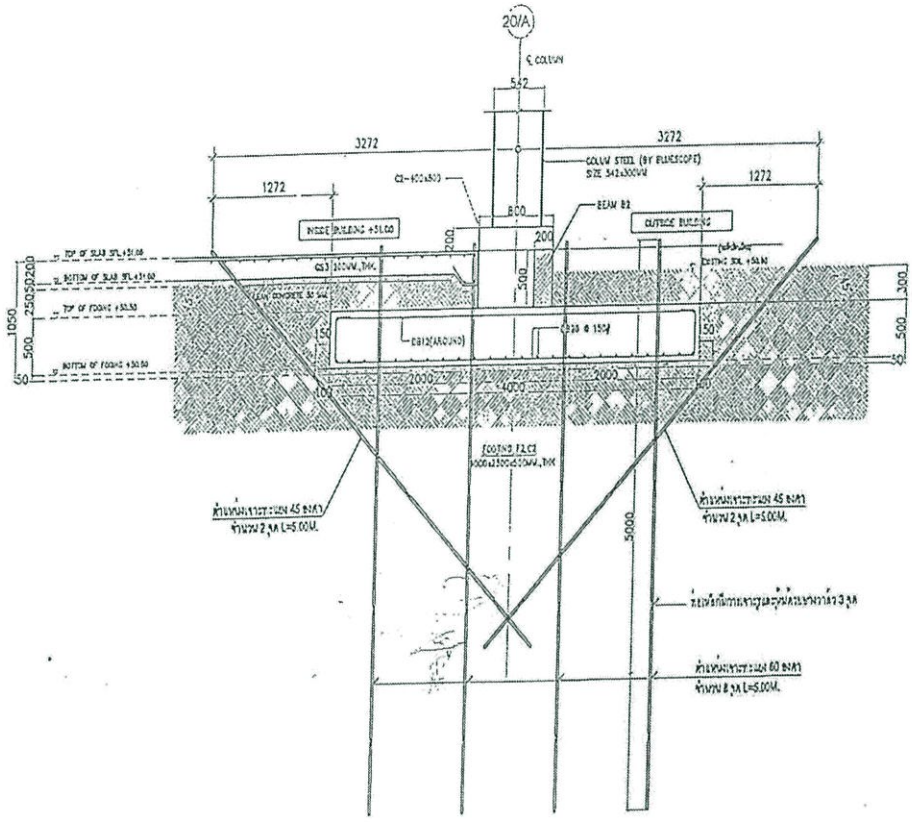
ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนในการกำหนดตำแหน่ง จำนวน และวิธีในการดำเนินการเจาะติดตั้งท่อเพื่อใช้ในการฉีดซีเมนต์ลงไปยังชั้นดินที่มีปัญหา โดยมีดำเนินการเจาะติดตั้งท่อเหล็กขนาด 1 นิ้ว ยาว 5 เมตร จำนวน 10 จุด รอบฐานรากดังรูป



ภาพที่ 3.5 แบบระบุตำแหน่ง Grouting โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.

(ที่มา: เอกสาร Report about repairing and soil stabilization building No.1 of Mercator Medical Thailand Co. , Ltd Project)

และลักษณะในการฝังท่อจะทำการเจาะฝังท่อ 60 องศาตามด้านยาวของฐานราก และ 45 องศาตามด้านกว้างของฐานรากดังรูป



ภาพที่ 3.6 แบบวิธีการฝังท่อสำหรับ Grouting โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.

(ที่มา: เอกสาร Report about repairing and soil stabilization building No.1 of Mercator Medical Thailand Co. , Ltd Project)

3. กำหนดวิธีการในการฉีดซีเมนต์

การฉีดซีเมนต์แบ่งด้วยกันทั้งหมด 3 ขั้นตอน

3.1) ขั้นที่ 1 จะทำการอัดฉีดซีเมนต์เข้าไปปริมาณ 40 ลิตร

3.2) ขั้นที่ 2 จะทำการอัดฉีดซีเมนต์เข้าไปปริมาณ 200 ลิตร ใช้แรงดันไม่เกิน 10 Bar

3.3) ขั้นที่ 3 จะทำการอัดฉีดซีเมนต์เข้าไปปริมาณ 100 ลิตร ใช้แรงดันไม่เกิน 10 Bar

3.4) หลังจากอัดฉีดซีเมนต์ครบตามปริมาณที่กำหนดเป็นอันเสร็จสิ้น

โดยระหว่างทำการอัดฉีดปูนให้มีบันทึกวันที่และเวลาตั้งแต่เริ่มจนจบการอัดฉีดซีเมนต์ในแต่ละขั้นตอนของการดำเนินการ

4. ตรวจสอบหลังการแก้ไข

หลังจากทำการอัดฉีดซีเมนต์ทั้ง 3 ขั้นตอนจนเสร็จสิ้นแล้ว ก็จะทำการใส่น้ำหนักคืนลงบนฐานรากให้ตัวฐานรากได้รับน้ำหนัก หลังจากนั้นทำการเช็คค่าระดับทันทีหลังจากให้ฐานรากรับน้ำหนักจดบันทึกผลการเช็คค่าระดับไว้ หลังจากนั้นให้ทำการเช็คค่าระดับทุกวันเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อยืนยันให้แน่ใจว่าหลังจากทำการแก้ไขปัญหาแล้วการทรุดตัวของฐานรากได้หยุดแล้วจริงโดยผลการทดสอบค่าระดับเป็นดังรูป

No.	Axis	Rev.	July				August		
		Level	28	29	30	31	1	2	3
14	14A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	15A	+52.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
16	16A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	17A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	18A	+52.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
19	19A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	20A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	21A	+52.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20

ตารางที่ 3.2 ค่าระดับฐานรากหลังดำเนินการ Grouting ของอาคาร 1 โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd

(ที่มา: เอกสาร Report about repairing and soil stabilization building No.1 of Mercator Medical Thailand Co. , Ltd Project)

จากผลการทดสอบค่าระดับหลังจากทำการแก้ไขปัญหาทุกวันเป็นเวลา 1 สัปดาห์ได้ผลว่า ไม่พบการทรุดตัวของฐานราก line 19A-20A อีกแล้ว ดังนั้นการแก้ไขการทรุดของฐานราก line 19A-20A ของอาคาร No.1 โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd. โดยการใช้ Grouting จึงเป็นอันเสร็จสิ้น

3.5 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทำการศึกษา

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษารวบรวมมาใช้ในการวิเคราะห์และกำหนดขั้นตอนในการดำเนินการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของฐานรากด้วยการ Grouting นั้น ผู้ศึกษาสามารถกำหนดขั้นตอนในการดำเนินการได้เป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

3.5.1 ขั้นตอนการระบุปัญหาและตรวจสอบหาสาเหตุ

เป็นขั้นตอนที่ผู้ดำเนินต้องระบุให้ชัดเจนว่าปัญหาที่กำลังพบนี้เป็นปัญหาที่เกิดจากการทรุดตัวหรือไม่ เพื่อให้สามารถกำหนดวิธีการในการค้นหาสาเหตุของปัญหาได้อย่างถูกต้อง โดยมี 3 ขั้นตอน

1. ระบุว่าปัญหาที่เกิดขึ้นคืออะไร

2. ตั้งสมมติฐานของปัญหาการทรุดตัวของฐานราก

3. ตรวจสอบสมมติฐาน

3.5.2 ขั้นตอนในการประเมินความเป็นไปได้ในการเลือกใช้วิธีการ Grouting ในการแก้ปัญหา

การประเมินความเป็นไปได้ของการใช้งาน Grouting ในการแก้ปัญหา โดยขึ้นอยู่กับข้อมูลทั่วไปทางธรณีวิทยา ข้อมูลเฉพาะของพื้นที่บริเวณนั้น ข้อมูลด้านวิศวกรรม และคาดการผลลัพธ์ที่ได้โดยอยู่บนหลักการของการ Grouting และทำการเปรียบเทียบกับการใช้วิธีอื่นในการแก้ไขปัญหาเพื่อให้แน่ใจว่าการเลือกใช้การ Grouting เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด นอกจากนั้นแล้วขั้นตอนนี้จะรวมถึงการศึกษาแนวทางการประเมินต้นทุนและผลประโยชน์ที่ได้ เตรียมการออกแบบเบื้องต้น และแนะนำแผนในการแก้ไขปัญหา โดยปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความเป็นไปได้มีรายละเอียดดังนี้

1. ข้อมูลทางธรณีวิทยา

2. ข้อมูลทางด้านวิศวกรรม

3. วัตถุประสงค์ของการดำเนินการกับความคุ้มค่าของงบประมาณที่ใช้

3.5.3 ขั้นตอนการวางแผนและออกแบบวิธีการปฏิบัติการในสนาม

ขั้นตอนการวางแผนและออกแบบมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำให้การดำเนินสามารถทำงานได้ง่าย สะดวก และปราศจากข้อบกพร่องด้านเทคนิคที่สำคัญ รวมถึงเอกสารสัญญา และเรื่องของงบประมาณที่จะต้องใช้ โดยประกอบไปด้วย 10 ขั้นตอนดังนี้

1. เลือกรูปแบบของGrouting ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลทั่วไปและข้อเฉพาะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ สภาพพื้นที่ปฏิบัติงาน งบประมาณ มาวิเคราะห์ว่าควรเลือกใช้ Grouting รูปแบบไหนในการปรับปรุงคุณสมบัติ

2. ทำรายการและตรวจสอบงบประมาณที่ต้องใช้ เป็นขั้นตอนที่ทำการรายการงบประมาณที่ต้องใช้ในการดำเนินการทั้งหมดอย่างละเอียดโดยทำออกมาแยกเป็นรายการและแสดงรายละเอียดของแต่ละรายการงาน ซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าวัสดุที่ใช้Grouting ค่าเช่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ ค่าแรงคนงานและค่าดำเนินการอื่น เช่น ค่าการออกแบบการดำเนินการGrouting ในกรณีที่ไม่ได้ทำการออกแบบเอง เป็นต้น

3. ทำเอกสารขออนุมัติการดำเนินการ ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ผู้ดำเนินการGrouting ทำเอกสารเสนอขออนุมัติการดำเนินการกับทางผู้ว่าจ้าง ซึ่งเอกสารจะประกอบไปด้วย วิธีการในการดำเนินการ วัสดุ Grouting ที่ใช้ในการดำเนินการ เครื่องจักรและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

4. ออกแบบการดำเนินการทำ Grouting

5. ระบุข้อกำหนดหรือเงื่อนไขเฉพาะ ข้อกำหนดหรือข้อจำกัดของการ Grouting ที่ผู้ดำเนินการในสนามจำเป็นต้องทราบควรระบุไว้เป็นข้อกำหนดและเงื่อนไขพิเศษของการดำเนินการหรือข้อควรระวังสำหรับดำเนินการเพื่อให้การดำเนินการออกมาอย่างมีประสิทธิภาพ

6. ออกแบบและทำแผนการควบคุมตรวจสอบงาน หลังจากขั้นตอนการออกแบบ และขั้นตอนการระบุข้อกำหนดหรือเงื่อนไขเฉพาะเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการทำการออกแบบและทำ

แผนการควบคุมและตรวจสอบงานให้ออกมามีประสิทธิภาพสูงสุดและบรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งประกอบไปด้วยการสังเกตการณ์ ควบคุม ตรวจสอบ จดบันทึกและรายงานผลการดำเนินการอย่างละเอียด นอกจากนั้นแล้วยังรวมถึงระบุคุณสมบัติผู้ที่จะมารับผิดชอบงานนี้ด้วย การออกแบบและทำแผนการควบคุมตรวจสอบงานต้องมีความละเอียดและครอบคลุมงานทั้งหมด

7. กำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้ดำเนินการ ขั้นตอนการกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้ดำเนินการแต่ละคนให้มีความเหมาะสมกับความรู้ ความสามารถและประสบการณ์ของแต่คนนั้นเป็นส่วนสำคัญที่มีผลทำให้การดำเนินงานเป็นไปได้อย่างสะดวกราบรื่น ซึ่งเป็นผลดีต่อดำเนินการในภาพรวม

8. ทำตารางเวลาการดำเนินงาน การทำตารางเวลาการดำเนินการเพื่อให้การดำเนินการมีเป้าหมาย มีทิศทาง และมีขอบเขตของการดำเนินงานที่ชัดเจนเพื่อให้การดำเนินการมีประสิทธิภาพและทันตามเวลาที่กำหนด กล่าวอีกอย่างคือการดำเนินงานที่ล่าช้ากว่าเวลาที่กำหนดอาจส่งผลกระทบกับการดำเนินงานในส่วนอื่น นอกจากนั้นการดำเนินการที่ล่าช้ายังส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นตามไปด้วย การทำตารางเวลาดำเนินงานที่ดีควรให้มีความเหมาะสมกับสภาพหน้างาน จำนวนผู้ปฏิบัติงาน งบประมาณและไม่ส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานในส่วนอื่น ส่วนประกอบของตารางเวลาการดำเนินงานต้องมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนที่ละเอียดครบถ้วนทุกขั้นตอน

9. เตรียมการเรื่องเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ต้องใช้งาน เป็นขั้นตอนที่ทำการเตรียมการเช่าเครื่องจักรและจัดซื้ออุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินงานGrouting ให้เพียงพอเหมาะสมตามที่จำเป็นต้องใช้งาน

10. เตรียมเอกสารที่ใช้สำหรับกับการดำเนินการหน้างาน ขั้นตอนนี้เป็นตอนสุดท้ายก่อนที่จะดำเนินการในสนาม ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่เตรียมเอกสารที่จำเป็นต้องใช้ในหน้างาน ได้แก่

- เอกสารรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดสำหรับการดำเนินงานที่ได้ออกแบบไว้
- เอกสารรายละเอียดของแผนงานที่ใช้ในการควบคุมและตรวจสอบงาน
- เอกสารตารางเวลาดำเนินงาน
- เอกสารแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

3.5.4 ขั้นตอนการดำเนินงานในสนาม

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการเริ่มดำเนินการ Grouting เพื่อปรับปรุงดินฐานรากที่ทรุดตัวโดยข้อกำหนดและเงื่อนไขการดำเนินงานจะเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ ได้แก่ ปริมาณวัสดุ Groutingที่ใช้อัดฉีดในแต่ละครั้ง จำนวนหลุมที่ฝังท่อ ขนาดและความยาวท่อที่ใช้ ลักษณะการฝังท่อ และแรงดันที่ใช้ในการอัด โดยขั้นตอนการดำเนินงานในการ Grouting ขึ้นอยู่กับรูปแบบของ Grouting ที่ใช้ ขั้นตอนการดำเนินการ Grouting จะมีเป้าหมาย มีทิศทาง และมีขอบเขตของการดำเนินงานตามที่ได้กำหนดไว้ในตารางเวลาการดำเนินงาน นอกจากนั้นแล้วการดำเนินการ Grouting จะถูกควบคุมและตรวจสอบในขณะดำเนินงานตามที่ได้ออกแบบไว้ในขั้นตอนการออกแบบและวางแผนควบคุมตรวจสอบงาน

3.5.5 การตรวจสอบและติดตามผลการแก้ไขปัญหา

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการดำเนินการเพื่อติดตามผลการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดว่าหลังจากที่ได้ดำเนินในขั้นตอนที่ 3.5.4 แล้วฐานรากยังเกิดการทรุดตัวอีกหรือไม่ ซึ่งหากยังคงมีการทรุดตัวของฐานรากอยู่จะได้ดำเนินการค้นหาสาเหตุต่อไป แต่หากการตรวจพบว่าการทรุดตัวของฐานรากได้หยุดลงแล้วถือว่าการดำเนินการแก้ไขฐานรากทรุดถือว่าเสร็จสิ้นโดยวิธีการในการดำเนินการตรวจได้แก่

1. ทำการเก็บค่าระดับหลังการดำเนินการแก้ไขปัญหาเพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าระดับก่อนการดำเนินการต่อเนื่องทุกวันเป็นระยะเวลา 2 - 4 สัปดาห์ หากไม่พบการทรุดตัวหรือมีการทรุดตัวที่ผู้ออกแบบยอมรับได้ให้ถือว่าการดำเนินการแก้ไขฐานรากทรุดถือว่าเสร็จสิ้น

2. ทำการขุดเจาะสำรวจรอบฐานรากเพื่อตรวจสอบว่าซีเมนต์ที่อัดฉีดลงไปมีการกระจายตัวไปโดยรอบฐานรากทุกทิศทาง

3.6 การจัดทำคู่มือการดำเนินการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดโดยวิธี Grouting

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลในการดำเนินการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดโดยวิธีการ Grouting ทั้งในส่วนของหลักทฤษฎีและการปฏิบัติแล้ว ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือ “ การดำเนินการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดโดยวิธีการ Grouting ” โดยในคู่มือนั้นจะประกอบไปด้วยหลักทฤษฎีของ Grouting หลักพิจารณาในการเลือกใช้ Grouting ในการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุด และขั้นตอนการ

ดำเนินการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดโดยวิธีการ Grouting ซึ่งจะถูกรวบรวมเป็นรูปเล่มไว้ในภาคผนวก ข. ท้ายงานวิจัยเล่มนี้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การ Grouting กับการแก้ปัญหาฐานรากทรุด

กระบวนการ Grouting คือกระบวนการในการอัดฉีดของเหลว สารผสมแขวนลอย หรือสารผสมกึ่งของแข็ง เช่น ปูนซีเมนต์ แอสฟัลต์ โซเดียมซิลิเกต ยูรีเทน อะคริลาไมด์ หรืออะคริเลท ลงในรอยแตกรอยต่อ หรือช่องว่าง โดยมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุให้มีมีความแข็งแรงและเสถียรภาพมากขึ้น โดยมีการใช้งาน Groutingในส่วนของ กระบวนการทำงานที่ใช้เป็นส่วนประกอบถาวรของการก่อสร้าง ใช้ในการรักษาแก้ไขหลังการก่อสร้าง และใช้เป็นส่วนประกอบของการซ่อมแซมโครงสร้าง นอกจากนี้แล้วเรายังใช้การGroutingในการลดการรั่วซึมของน้ำและใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุได้อีกด้วย

กระบวนการ Grouting กับการแก้ปัญหาฐานรากทรุด จากที่ได้ทำการศึกษากระบวนการในการ Grouting ทำให้เราทราบว่าการGroutingสามารถทำการแก้ไขและปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุให้มีมีความแข็งแรงและเสถียรภาพมากขึ้นได้โดยการที่อัดฉีดของเหลว สารผสมแขวนลอย หรือสารผสมกึ่งของแข็งเข้าไปแทนที่ช่องว่าง ซึ่งเราสามารถนำคุณสมบัตินี้ของการ Grouting มาประยุกต์ใช้งานในการแก้ไขหรือยับยั้งปัญหาการทรุดตัวของฐานรากได้ โดยชนิดของวิธีการGroutingที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาฐานรากทรุดได้ คือ Displacement Grouting เป็นการอัดฉีดวัสดุ Grout โดยใช้แรงดัน เพื่อเข้าไปแทนที่ดินบริเวณดินมีปัญหา วิธีการนี้จะเปรียบเหมือนการทำการบดอัดดิน ผลที่เกิดขึ้นทำให้เกิดรูปแบบของดินที่มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมของมวลดินต่อไป ค่าความแบกทานของดินจะสูงขึ้น การทรุดตัวจะต่ำลง ความแข็งแรงมากขึ้น และค่าการซึมผ่านจะลดลง ซึ่งเป็นทางเลือกที่ดีมากสำหรับการซ่อมแซมความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัว ลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยการลดการทรุดตัวจากการทำให้ดินแน่นขึ้น วิธีการนี้มีด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ

1. Compaction Grouting จะใช้วัสดุที่มีความเหนียวสูงแล้วอัดด้วยแรงดันสูงเข้าไปในมวลดินซึ่งจะขึ้นรูปเป็นแบบก้อนในดิน

2. Soil Fracture Grouting ซึ่งจะใช้วัสดุที่มีความเหลวสูงหรือลีนแล้วอัดด้วยแรงดันสูงเข้าไปในดิน จะขึ้นรูปเป็นเหมือนราก

จากรูปแบบทั้ง 2 ของ Displacement Grouting มีข้อดีข้อเสียและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป การเลือกว่าจะใช้งานวิธีการไหนในการดำเนินการแก้ไขฐานรากทรุดขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ทั้งในเรื่องของสภาพหน้างาน ลักษณะของชั้นดิน และค่าใช้จ่ายเป็นตัวแปรในการตัดสินใจ

4.2 ขั้นตอนการดำเนินการ Grouting ในการแก้ปัญหาฐานรากทรุด

ในการแก้ปัญหาฐานรากทรุดโดยการ Grouting นั้น ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการเป็นสิ่งจำเป็นที่ผู้ดำเนินการต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากการทำ Grouting นั้นมีความซับซ้อนและละเอียดอ่อนเป็นอย่างมาก เพราะฉะนั้นการกำหนดวิธีการดำเนินการ ข้อบังคับ เงื่อนไขพิเศษ และวิธีการตรวจสอบ ควบคุม กำกับดูแลงานจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องมีการเตรียมการให้พร้อม ซึ่งการศึกษาขั้นตอนและวิธีการดำเนินการจึงเป็นสิ่งที่ไม่อาจละเลยและควรให้ความสำคัญ ผลจากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ศึกษารวบรวมมาผู้ศึกษาสามารถกำหนดขั้นตอนและวิธีการดำเนินการสำหรับการ Grouting โดยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน

1. ขั้นตอนการระบุปัญหาและตรวจสอบหาสาเหตุ เป็นขั้นตอนที่ผู้ดำเนินต้องระบุให้ชัดเจนว่าปัญหาที่กำลังพบนี้เป็นปัญหาที่เกิดจากการทรุดตัวหรือไม่ เพื่อให้สามารถกำหนดวิธีการในการค้นหาสาเหตุของปัญหาได้อย่างถูกต้องซึ่งจะเป็นผลดีทั้งกับประสิทธิภาพในการดำเนินงาน แก้ไขปัญหาได้ถูกต้อง และประหยัดค่าใช้จ่าย หลังจากทำการระบุปัญหาได้เป็นที่เรียบร้อยแล้วจึงทำการตรวจสอบหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการทรุดตัวต่อไป

2. ขั้นตอนในการประเมินความเป็นไปได้ในการเลือกใช้วิธีการ Grouting ในการแก้ปัญหา หลังจากการตรวจสอบหาสาเหตุเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้วขั้นตอนต่อไปคือการประเมินความเป็นไปได้ของการใช้งาน Grouting ในการแก้ปัญหา โดยจะขึ้นอยู่กับข้อมูลทั่วไปทางธรณีวิทยา ข้อมูลเฉพาะของพื้นที่บริเวณนั้น ข้อมูลด้านวิศวกรรม และคาดการผลลัพธ์ที่ได้โดยอยู่บนหลักการของการ Grouting และทำการเปรียบเทียบกับการใช้วิธีอื่นในการแก้ไขปัญหาเพื่อให้แน่ใจว่าการเลือกใช้การ Grouting เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด นอกจากนั้นแล้วขั้นตอนนี้จะรวมถึงการศึกษาแนวทางการประเมินต้นทุนและผลประโยชน์ที่ได้

เตรียมการออกแบบเบื้องต้น และแนะนำแผนในการแก้ไขปัญหา ซึ่งที่สำคัญที่สุดคือการศึกษาการพัฒนาการออกแบบที่ใช้ให้คำแนะนำในการดำเนินการให้มีรายเอียดที่เพียงพอที่จะได้รับอนุญาตให้ใช้ในการดำเนินการได้

3. ขั้นตอนการวางแผนและออกแบบวิธีการปฏิบัติการในสนาม ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนในการเตรียมแผนงาน ตารางเวลา ข้อกำหนด สัญญาการดำเนินการGrouting และขั้นตอนสุดท้ายของขั้นตอนนี้คือการออกแบบการดำเนินการ โดยจุดมุ่งหมายของขั้นตอนนี้คือทำให้การดำเนินสามารถทำงานได้ง่ายสะดวก และปราศจากข้อบกพร่องด้านเทคนิคที่สำคัญ รวมถึงเอกสารสัญญา และเรื่องของงบประมาณที่จะต้องใช้

4. ขั้นตอนการดำเนินการในสนาม ในส่วนของขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนในการลงมือดำเนินการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดโดยการดำเนินการจะเป็นไปตามที่ตารางเวลาและแผนงานที่ผู้ออกแบบได้วางแผนและออกแบบเอาไว้ในขั้นตอนก่อนหน้า ซึ่งในขั้นตอนนี้ผู้ที่จะมาค่อยควบคุม ตรวจสอบและกำกับดูแลการดำเนินงานในสนามนั้นต้องเป็นคนที่รู้ขั้นตอนการทำงานเป็นอย่างดี มีประสบการณ์และสามารถประยุกต์ใช้ความรู้เมื่อการดำเนินงานไม่เป็นไปตามที่ผู้ออกแบบกำหนดได้ ในขั้นตอนนี้จะเป็นตัวชี้วัดถึงประสิทธิภาพของงานที่ออกมาว่าจะเป็นไปตามที่ตั้งเป้าหมายไว้หรือไม่

5. การตรวจสอบและติดตามผลการแก้ไขปัญหา ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการดำเนินการเพื่อติดตามผลการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดว่าหลังจากที่ได้ดำเนินการ Grouting ไปแล้วฐานรากยังเกิดการทรุดตัวอีกหรือไม่ ซึ่งหากยังคงมีการทรุดตัวของฐานรากอยู่จะได้ดำเนินการค้นหาสาเหตุต่อไปว่าทำไมถึงยังเกิดการทรุดตัวอีก แต่หากการตรวจพบว่าการทรุดตัวของฐานรากได้หยุดลงแล้วถือว่าการดำเนินการแก้ไขฐานรากทรุดถือว่าเสร็จสิ้น

ผลของการดำเนินการ Grouting ในการแก้ปัญหาฐานรากทรุดนั้นจะออกมามีประสิทธิภาพและบรรลุตามเป้าหมายของการดำเนินการหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับแผนในการดำเนินการว่ามีการวางแผนที่ดีและเหมาะสมหรือไม่ ในรูปที่ 4.1 เป็นรูปคู่มือการดำเนินการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดโดยการ Grouting ซึ่งทางผู้ศึกษาเห็นถึงความสำคัญในส่วนนี้ โดยผู้ศึกษาหวังว่าคู่มือเล่มนี้จะมีส่วนช่วยให้การวางแผนสำหรับการดำเนินการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดนั้นออกมาดีและมีประสิทธิภาพ สามารถทำให้การดำเนินการ Grouting ในการแก้ปัญหาฐานรากทรุดบรรลุวัตถุประสงค์ได้อย่างสมบูรณ์

ภาพที่ 4.1 แสดงตัวอย่างคู่มือการใช้งาน Grouting ในการแก้ปัญหาฐานรากทรุด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การ Grouting เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของฐานราก คือการซ่อมแซมและปรับปรุงคุณสมบัติของดินใต้อาคารที่เกิดการทรุดตัวโดยการอัดฉีดซีเมนต์หรือคอนกรีตภายใต้แรงดัน เข้าไปผสมและแทนที่ช่องว่างของดิน ซึ่งจะทำให้ความแข็งแรงและความเสถียรของดินสูงขึ้น เป็นผลทำให้การทรุดตัวของดินหยุดลง

จากการดำเนินการ Grouting เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดนั้นถือเป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีวิธีการหนึ่ง ทั้งในเรื่องของประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการทรุดตัวและเรื่องของค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าวิธีการอื่น ซึ่งเป็นผลให้การ Grouting เป็นที่นิยมในการใช้แก้ปัญหาการทรุดตัว และปัญหาอื่นที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพของดิน แต่อย่างไรก็ตามการ Grouting ก็ยังถือว่าเป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนและมีความเสี่ยงที่สูงอยู่ดี ผลที่ตามมาอาจทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมาไม่เป็นไปตามที่ได้คาดหวังเอาไว้ ซึ่งการที่จะทำให้การดำเนินการ Grouting ได้ผลลัพธ์ที่ออกมามีประสิทธิภาพและบรรลุเป้าหมายนั้นต้องประกอบด้วยปัจจัยดังต่อนี้

1. ด้านบุคลากร

การดำเนินการ Grouting เป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนและละเอียดอ่อน ดังนั้นทีมบุคลากรที่จะเข้าวางแผน ควบคุมและตรวจสอบการดำเนินการนั้นต้องสามารถที่จะต้องรับผิดชอบในการจัดการกับปัญหาทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการ Grouting ได้ ซึ่งประสบการณ์และความรู้ถือเป็นสิ่งที่สำคัญที่บุคลากรที่จะเข้ามารับผิดชอบในส่วนนี้ต้องมี คุณสมบัติที่ทีมบุคลากรที่รับผิดชอบต้องสามารถทำได้คือ 1) สามารถให้ข้อสนับสนุนในการเลือกใช้ Grouting เป็นทางออกในการแก้ไขปัญหาได้อย่างเหมาะสม 2) สามารถเสนอหลักการที่ใช้ในกำหนดชนิดและปริมาณของวัสดุที่ใช้ในการ Grouting 3) สามารถบอกถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการและประโยชน์ที่จะได้รับเมื่อดำเนินการเสร็จสิ้น 4) ระบุความเสี่ยงและวิธีการบริหารจัดการกับความเสี่ยงของแต่ละความเสี่ยงเหล่านั้น 5) สามรถกำหนดแผนหรือวิธีการในการตรวจสอบการดำเนินการได้ 6) สามารถประมาณค่าใช้จ่ายและคาดการความเสี่ยงได้อย่างเหมาะสม

2. ด้านงบประมาณ

งบประมาณที่ใช้ในการดำเนินการ Grouting เป็นตัวกำหนดว่าผลลัพธ์ของการการดำเนินการจะออกมาเป็นอย่างไร ซึ่งการดำเนินการที่มีการประมาณการและการวางแผนเรื่องงบประมาณที่ไม่เพียงพอหรือไม่เหมาะสมกับการดำเนินการแล้ว อาจส่งผลให้คุณภาพของงานที่ได้ไม่มีประสิทธิภาพตามที่ได้กำหนดไว้หรือทำให้การดำเนินงานเกิดความล่าช้าตารางงานที่ได้วางเอาไว้ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานในส่วนอื่นได้

3. ด้านข้อมูล

ข้อมูลเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินการ Grouting ที่ใช้ในการประกอบในการเลือกวิธีการในการGrouting ใช้ในการออกแบบและวางแผนการดำเนินการ และใช้ในการปะเมินค่าใช้จ่ายของการดำเนินการ ซึ่งที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นตัวกำหนดว่าการดำเนินการ Grouting จะให้ผลลัพธ์ที่ออกมามีประสิทธิภาพและบรรลุเป้าหมายตามที่กำหนดไว้ได้หรือไม่ โดยข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการดำเนินการได้แก่ ข้อมูลการสำรวจดินและสภาพพื้นที่ปฏิบัติงาน ข้อมูลด้านงบประมาณค่าใช้จ่ายจากโครงการ ข้อมูลเครื่องจักรที่ใช้ดำเนินการ ข้อมูลโครงสร้างของอาคาร เป็นต้น

ขั้นตอนในการดำเนินงานการ Grouting นั้นเป็นสิ่งที่ผู้ดำเนินการจำเป็นต้องศึกษาอย่างละเอียด เนื่องจากผู้ดำเนินการจำเป็นต้องเข้าใจขั้นตอนการดำเนินการในแต่ละขั้นตอนเป็นอย่างดีเพื่อให้สามารถดำเนินการ Grouting ในการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ จากการทำการศึกษาของผู้วิจัยสามารถกำหนดขั้นตอนการดำเนินการโดยสรุปออกมาได้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการระบุปัญหาและตรวจสอบหาสาเหตุ

2. ขั้นตอนในการประเมินความเป็นไปได้ในการเลือกใช้วิธีการ Grouting ในการแก้ปัญหา

3. ขั้นตอนการวางแผนและออกแบบวิธีการปฏิบัติการในสนาม

4. ขั้นตอนการดำเนินการในสนาม

5. การตรวจสอบและติดตามผลการแก้ไขปัญหา

ข้อดีและข้อเสียของการใช้Grouting ในการดำเนินการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของฐานรากมีดังนี้

ข้อดี - มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาดินทรุดได้ดี

- สามารถใช้งานได้กับดินหรือหินทุกประเภท

- ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีการอื่นที่ใช้ในการแก้ปัญหาเดียวกัน

- การดำเนินการแก้ไขปัญหาดินทรุดได้อย่างรวดเร็ว

- สามารถประยุกต์ใช้ได้หลายวิธีและวัสดุที่ใช้มีหลายตัวเลือกให้เหมาะสมกับสภาพงาน

ข้อเสีย - การดำเนินการมีความละเอียดอ่อนต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการควบคุม

- การดำเนินการมีเงื่อนไขข้อจำกัดพิเศษค่อนข้างมาก

- แม้ว่าค่าใช้จ่ายจะถูกกว่าวิธีการอื่นแต่ก็ยังถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่สูง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้งานGroutingในการแก้ปัญหาฐานรากทรุดตัวเป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนและละเอียดอ่อน ผู้ที่จะมาควบคุมการดำเนินงานและตรวจสอบคุณภาพการทำงานควรศึกษาขั้นตอนการทำงานและข้อกำหนดเงื่อนไขพิเศษต่างๆอย่างละเอียด รวมถึงต้องมีคุณสมบัติตามที่ได้กำหนดไว้ด้วย การออกแบบการทำงานในหน้างานควรให้มีผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์เป็นผู้ช่วยตรวจสอบการออกแบบ

2. การดำเนินงาน Grouting ให้ออกมามีประสิทธิภาพตามที่ได้ตั้งเป้าหมายเอาไว้ผู้ดำเนินงานทุกคนควรให้ความร่วมมือในการศึกษาขั้นตอนการทำงาน ข้อกำหนด เงื่อนไขเฉพาะ ข้อควรระวัง และความเสี่ยงของการดำเนินการ เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

3.งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นศึกษาในเรื่องของการใช้งานGroutingในการแก้ปัญหาฐานรากทรุดตัว ศึกษาขั้นตอนและการวางแผนการดำเนินการในการGroutingอย่างไรให้เกิดประสิทธิภาพตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ และศึกษาถึงข้อดีข้อเสียของการดำเนินการในการใช้งานGroutingแก้ปัญหา โดยได้จัดทำคู่มือในการดำเนินการ Groutingในการแก้ปัญหาฐานรากทรุดตัว โดยเนื้อหาข้างในจะประกอบไปด้วยทฤษฎีของการ Grouting ขั้นตอนการดำเนินการและการวางแผนงานการดำเนินการ และข้อดีข้อเสียของการใช้งาน Groutingในการแก้ปัญหาฐานรากทรุดตัวอย่างละเอียด ซึ่งจะอธิบายวิธีการทำเป็นขั้นตอน

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

- หนังสือ Engineering and Design GROUTING TECHNOLOGY ของ DEPARTMENT OF THE ARMY EM U.S. Army Corps of Engineer Washington, DC 20314-1000
- เอกสารการสอนของ Prof. G L Sivakumar Babu Department of Civil Engineering Indian Institute of Science Bangalore 560012
- เอกสารการสอนของผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์ Department of Civil Engineering kmitl.
- หนังสือ Practical Guide to Grouting of Underground Structures โดย Raymond W. Henn
- The Use of Compaction Grouting for Ground Improvement; Karst and Beyond by Tom Szynakiewicz, PE, D.GE. From WWW.GEOSTABILIZATION.COM
- เอกสาร Grouting by Sachin Pandey. From www.slideshare.net
- เอกสาร Grouting in Soils by Shoaib Wani. From www.slideshare.net
- เอกสาร Grouting by astraeaeos. From www.slideshare.net
- หนังสือวิศวกรรมฐานราก โดย ผศ.ดร.พรพจน์ ตันเส็ง

ภาคผนวก ก.

เอกสารจากทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด

ของโครงการก่อสร้างโรงงานของบริษัท เมอร์กาโต้ เมดิคัล (ไทยแลนด์) จำกัด

JWS Construction Co., Ltd .
20 Pattanakarn Rd. Soi 57 Kwaeng / Khet Pravej District Bangkok 10250
Tel : 027371011 – 5 ; Fax 027371011 Ext 2222 .

SUMMARY OF MEASUREMENT BEFORE REPAIRING

PROJECT: MERCATOR MEDICAL (THAILAND) NEW PLANT EXPANSION

JWS

Data of settlement of footing Axis A

1-Aug-17

No.	Axis	Rev.	June					July						settlement
		Level	17	20	23	26	29	2	5	8	11	14	17	(cm.)
1	1A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	5A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	6A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	8A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	9A	+52.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10	10A	+52.00	2.40	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
11	11A	+52.00	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
12	12A	+52.00	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
13	13A	+52.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.00	1.00
14	14A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	15A	+52.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
16	16A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	17A	+52.00	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.00	0.00	0.00
18	18A	+52.00	0.00	0.30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
19	19A	+52.00	7.30	7.50	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	0.00
20	20A	+52.00	8.40	8.50	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	0.00
21	21A	+52.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
22	22A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	23A	+52.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
24	24A	+52.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
25	25A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	26A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	27A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	28A	+52.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
29	29A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	30A	+52.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
31	31A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	32A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

PROJECT: MERCATOR MEDICAL (THAILAND) NEW PLANT EXPANSION

JWS

Data of settlement of footing Axis B

1-Aug-17

No.	Axis	Rev. Level	June					July						settlement (cm.)
			17	20	23	26	29	2	5	8	11	14	17	
1	1B	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2B	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3B	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4B	+52.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
5	5B	+52.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	6B	+52.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7B	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	8B	+52.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	9B	+52.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
10	10B	+52.00	1.10	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
11	11B	+52.00	2.00	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
12	32B	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

PROJECT: MERCATOR MEDICAL (THAILAND) NEW PLANT EXPANSION

JWS

Data of settlement of footing Axis C

1-Aug-17

No.	Axis	Rev. Level	June					July						settlement (cm.)
			17	20	23	26	29	2	5	8	11	14	17	
1	1C	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2C	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3C	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4C	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	5C	+52.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	6C	+52.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7C	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	8C	+52.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	9C	+52.00	0.30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
10	10C	+52.00	1.10	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
11	11C	+52.00	2.50	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
12	32C	+52.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

PROJECT: MERCATOR MEDICAL (THAILAND) NEW PLANT EXPANSION

JWS

Data of settlement of footing Axis D

1-Aug-17

No.	Axis	Rev. Level	June					July						settlement (cm.)
			17	20	23	26	29	2	5	8	11	14	17	
1	1D	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2D	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3D	+52.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
4	4D	+52.00	0.00	0.00	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
5	5D	+52.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	6D	+52.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7D	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	8D	+52.00			0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
9	9D	+52.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
10	10D	+52.00	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
11	11D	+52.00	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
12	32D	+52.00	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10

PROJECT: MERCATOR MEDICAL (THAILAND) NEW PLANT EXPANSION

JWS

Data of settlement of footing Axis E

1-Aug-17

No.	Axis	Rev.	June					July						settlement
		Level	17	20	23	26	29	2	5	8	11	14	17	(cm.)
1	1E	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2E	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3E	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4E	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	5E	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	6E	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7E	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	8E	+52.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
9	9E	+52.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
10	10E	+52.00	2.70	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
11	11E	+52.00	2.30	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
12	12E	+52.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
13	13E	+52.00	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.40	2.40
14	14E	+52.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
15	15E	+52.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
16	16E	+52.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
17	17E	+52.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
18	18E	+52.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
19	19E	+52.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
20	20E	+52.00	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
21	21E	+52.00	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
22	22E	+52.00	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
23	23E	+52.00	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
24	24E	+52.00	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
25	25E	+52.00	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90
26	26E	+52.00	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
27	27E	+52.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
28	28E	+52.00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
29	29E	+52.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.90	0.90	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
30	30E	+52.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.50	1.50	1.50	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
31	31E	+52.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
32	32E	+52.00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

JWS Construction Co., Ltd .
20 Pattanakarn Rd. Soi 57 Kwaeng / Khet Pravej District Bangkok 10250
Tel : 027371011 - 5 ; Fax 027371011 Ext 2222 .

SUMMARY OF MEASUREMENT AFTER REPAIRING

PROJECT: MERCATOR MEDICAL (THAILAND) NEW PLANT EXPANSION

JWS

Data of settlement of footing Axis A

1-Aug-17

No.	Axis	Rev. Level	July				August			settlement (cm.)
			28	29	30	31	1	2	3	
1	1A	+52.00								0.00
2	2A	+52.00								0.00
3	3A	+52.00								0.00
4	4A	+52.00								0.00
5	5A	+52.00								0.00
6	6A	+52.00								0.00
7	7A	+52.00								0.00
8	8A	+52.00								0.00
9	9A	+52.00								1.00
10	10A	+52.00	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.50
11	11A	+52.00	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
12	12A	+52.00	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
13	13A	+52.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
14	14A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	15A	+52.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
16	16A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	17A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	18A	+52.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
19	19A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	20A	+52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	21A	+52.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
22	22A	+52.00								0.00
23	23A	+52.00								1.50

PROJECT: MERCATOR MEDICAL (THAILAND) NEW PLANT EXPANSION

JWS

Data of settlement of footing Axis A

1-Aug-17

No.	Axis	Rev. Level	July				August			settlement (cm.)
			28	29	30	31	1	2	3	
24	24A	+52.00								1.00
25	25A	+52.00								0.00
26	26A	+52.00								0.00
27	27A	+52.00								0.00
28	28A	+52.00								1.20
29	29A	+52.00								0.00
30	30A	+52.00								1.00
31	31A	+52.00								0.00
32	32A	+52.00								0.00

PROJECT: MERCATOR MEDICAL (THAILAND) NEW PLANT EXPANSION

JWS

Data of settlement of footing Axis E

1-Aug-17

No.	Axis	Rev. Level	July				August			settlement (cm.)
			28	29	30	31	1	2	3	
1	1E	+52.00								0.00
2	2E	+52.00								0.00
3	3E	+52.00								0.00
4	4E	+52.00								0.00
5	5E	+52.00								0.00
6	6E	+52.00								0.00
7	7E	+52.00								0.00
8	8E	+52.00								1.00
9	9E	+52.00								1.50
10	10E	+52.00								3.00
11	11E	+52.00	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
12	12E	+52.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
13	13E	+52.00	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
14	14E	+52.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
15	15E	+52.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
16	16E	+52.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
17	17E	+52.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
18	18E	+52.00	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.00
19	19E	+52.00	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.50
20	20E	+52.00	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.60
21	21E	+52.00	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
22	22E	+52.00								1.80
23	23E	+52.00								2.10

PROJECT: MERCATOR MEDICAL (THAILAND) NEW PLANT EXPANSION

Data of settlement of footing Axis E 1-Aug-17

No.	Axis	Rev. Level	July				August			*settlement (cm.)*
			28	29	30	31	1	2	3	
24	24E	+52.00								1.80
25	25E	+52.00								2.90
26	26E	+52.00								1.10
27	27E	+52.00								3.30
28	28E	+52.00								0.80
29	29E	+52.00								1.00
30	30E	+52.00								1.70
31	31E	+52.00								1.00
32	32E	+52.00								0.30

JWS Construction Co., Ltd .
20 Pattanakarn Rd. Soi 57 Kwaeng / Khet Pravej District Bangkok 10250
Tel : 027371011 - 5 ; Fax 027371011 Ext 2222 .

LAYOUT OF BORING TEST ASH ANALYSIS TO LABORATORY

GEOTECHNICAL INVESTIGATION REPORT

For

Mercator Medical New Expansion

Tambon Kamphaengphet, Amphoe Rattaphum,

Songkhla Province, Thailand

To

JWS Construction Co., Ltd.

Prawet, Bangkok

By

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla

July, 2017

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology
Srivijaya, Songkhla

July 2017

Subject: Sending the report of geotechnical investigation

Dear: The manager of JWS Construction Co., Ltd.

Attached: The report of geotechnical investigation 1 set

According to the Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering was contacted by JWS Construction Co., Ltd. for geotechnical investigation. Now, the geotechnical investigation report was already completed.

So, the department will be send the report to you.

(Assist.Prof.Pornarai BOONRASRI)

Head of Department

Tel. 074-317100 ext. 3010

Geotechnical Investigation Report for Foundation Design

1. Introduction

1.1 This report presents the results of geotechnical investigation for the proposed building construction at Mercator Medical New Expansion, which located in Tambon Kamphaeng-phet, Amphoe Rattaphum, Songkhla Province, Thailand. This geotechnical report summarized the results of the soil investigations and soil testing to provide guidelines for foundation design.

1.2 The purposes of the investigation were to:-

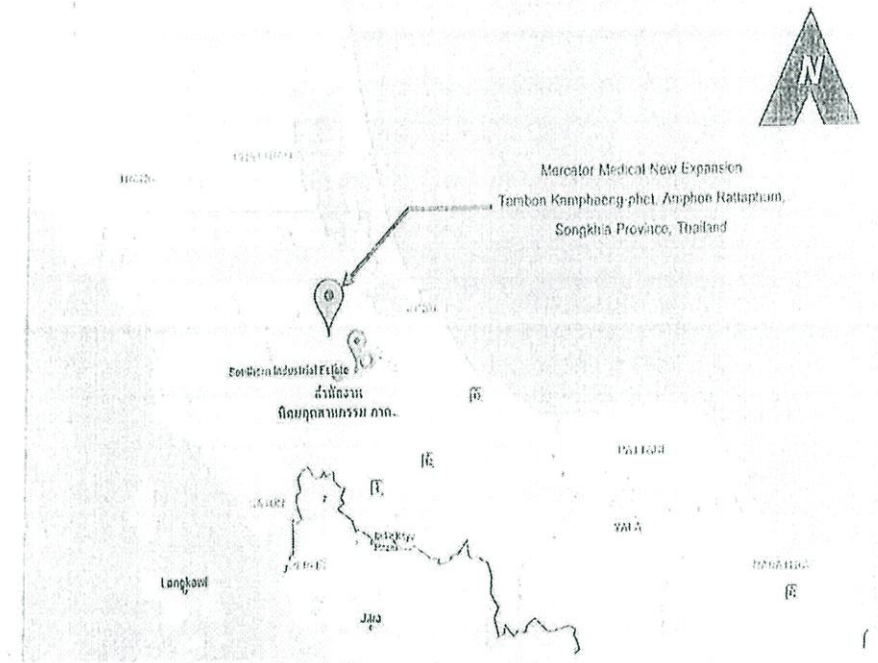
- Identify sub-soil types
- Establish soil parameters and soil characteristics
- Calculates the bearing capacity of foundation soils, which will perform adequately under these soil conditions.

2. Standard for Soil Boring, Sampling and Testing

Standards of soil boring, soil sampling and soil testing have been tested in accordance with the American Standard of Testing Materials (ASTM) as follows in the Table 1.

Table 1 Standard for Testing Soil Samples

Testing	ASTM Standard
- Soil Boring, Soil Sampling and Field Test	- D-420, D-1452, D-1586, D-1587, D-3441, D-4220, D-4719, D-4750
- Soil Classification	- D-2487, D-2488, D-3282
- Water Content, Liquid Limit and Plastic Limit	- D-427, D-4318
- Specific Gravity of Soil Solid	- D-854
- Sieve Analysis	- D-421
- Unconfined Compression Test	- D-2166



(From Google Map)

Fig. 1 Location of Project Site

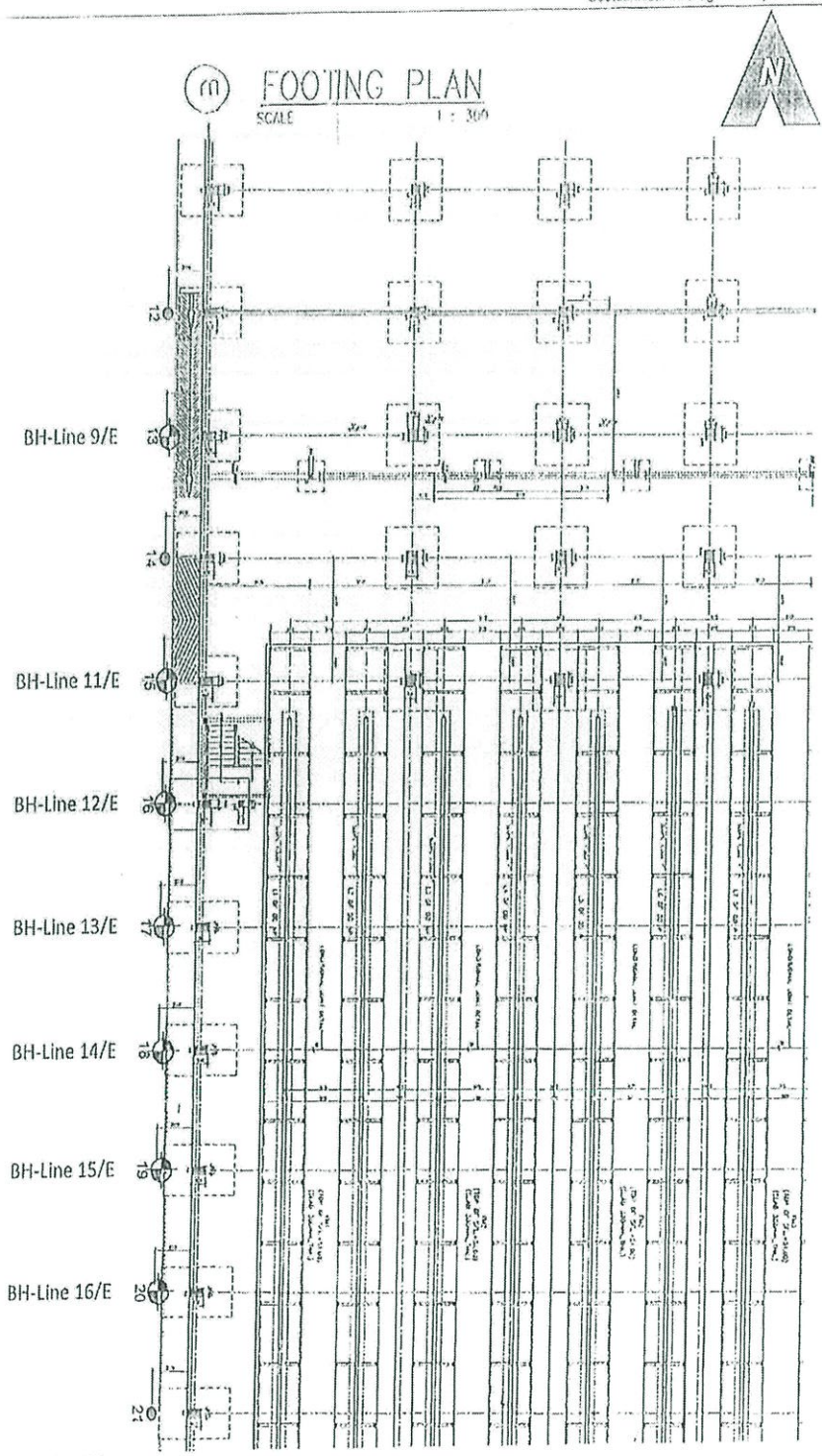


Fig. 2 Position of Bore Hole (BH)

3. Soil Investigation Result

Based on soil boring data, soil characteristics can be summarized as follows.

Table 2 Summarized of Soil Characteristics from Laboratory and Field Test of BH-Line P/E

Sample No.	Depth (m)		Atterberg Limits Natural Water Content (%)				Unit Weight (t/m³)	Recover (m)	Classification	Sieve Analysis (%)					S_u (t/m²)	N (Blows/ft)
										Gravel	Sand			Silt & Clay		
	From	To	LL	PL	PI	W_n				Fine Gravel	Coarse Sand	Medium Sand	Fine Sand			
										-3/4"+#4	-#4+#10	-#10+#40	-#10+#200	-#200		
SS-1	0.00	0.45	28.19	17.64	8.52	14.58	1.94	0.38	SC	9	16	16	15	42	-	10
SS-2	1.50	1.95	30.84	18.25	12.59	15.64	1.95	0.37	SC	3	12	26	17	42	-	13
SS-3	3.00	3.45	29.37	20.13	9.24	13.49	1.98	0.35	SC	13	20	30	13	24	-	62
SS-4	4.50	4.95	25.62	17.61	8.01	13.95	2.00	0.35	SC	16	20	28	11	25	-	67
SS-5	6.00	6.45	31.23	20.93	10.30	12.28	2.01	0.36	SC	15	18	24	14	29	-	79

Classification : Unified Soil Classification

S_u = ½ Unconfined Compressive Strength

NP = Non Plastic

-3/4"+#4 = Passed Sieve Size 3/4" (3/4") Retained Sieve No. 4 (#4)

-#4+#10 = Passed Sieve No. 4 (#4) Retained Sieve No.10 (#10)

-#200 = Passed Sieve No. 200 (#200)

Page 1/1

Table 3 Summarized of Soil Characteristics from Laboratory and Field Test of BH-Line 11/E

Sample No.	Depth (m)		Atterberg Limits Natural Water Content (%)				Unit Weight (t/m³)	Recover (m)	Classification	Sieve Analysis (%)					S_u (t/m²)	N (Blows/ft)
										Gravel	Sand			Silt & Clay		
	From	To	LL	PL	PI	W_n				Fine Gravel	Coarse Sand	Medium Sand	Fine Sand			
										-3/4"+#4	-#4+#10	-#10+#40	-#10+#200	-#200		
SS-1	0.00	0.45	26.56	18.54	8.02	14.65	1.95	0.40	SC	11	13	24	12	40	-	11
SS-2	1.50	1.95	25.81	17.86	7.95	14.39	1.95	0.39	SC	13	16	37	16	18	-	10
SS-3	3.00	3.45	23.70	16.48	7.22	14.55	1.95	0.39	SC	12	19	35	15	19	-	11
SS-4	4.09	4.45	28.24	20.43	7.81	14.56	1.96	0.37	SC	15	19	29	12	25	-	16
SS-5	5.00	5.45	30.12	20.22	9.90	14.05	2.00	0.35	SC	8	17	19	15	41	-	67
SS-6	6.00	6.45	29.53	19.09	10.44	13.98	2.01	0.36	SC	9	19	21	16	35	-	77
SS-7	6.50	6.95	31.35	19.09	12.26	13.54	2.02	0.35	SC	17	15	20	13	35	-	81

Classification : Unified Soil Classification

S_u = ½ Unconfined Compressive Strength

NP = Non Plastic

-3/4"+#4 = Passed Sieve Size 3/4" (3/4") Retained Sieve No. 4 (#4)

-#4+#10 = Passed Sieve No. 4 (#4) Retained Sieve No.10 (#10)

-#200 = Passed Sieve No. 200 (#200)

Page 1/1

Table 4 Summarized of Soil Characteristics from Laboratory and Field Test of BH-Line 12/E

Sample No.	Depth (m)		Atterberg Limits Natural Water Content (%)				Unit Weight (t/m³)	Recover (m)	Classification	Sieve Analysis (%)					S_u (t/m²)	N (Blows/ft)
										Gravel	Sand			Silt & Clay		
	From	To	LL	PL	PI	W_n				Fine Gravel -3/4"+#4	Coarse Sand -#4+#10	Medium Sand -#10+#40	Fine Sand -#40+#200	-#200		
SS-1	0.00	0.45	25.93	16.87	9.06	15.72	1.96	0.37	SC	10	11	24	15	40	-	28
SS-2	1.50	1.95	28.22	19.81	8.41	15.40	1.95	0.36	SC	9	13	26	14	38	-	21
SS-3	3.00	3.45	30.22	21.63	8.59	14.93	1.97	0.38	SC	15	19	25	13	28	-	32
SS-4	4.50	4.95	29.18	21.68	7.50	14.25	1.97	0.35	SC	18	20	24	12	26	-	18
SS-5	6.00	6.45	31.24	20.91	10.33	13.98	1.99	0.35	SC	7	15	27	15	36	-	63
SS-6	6.00	6.45	30.79	20.97	9.82	12.84	1.93	0.35	SC	9	17	28	15	31	-	69

Classification : Unified Soil Classification

S_u = ½ Unconfined Compressive Strength

NP = Non Plastic

-3/4"+#4 = Passed Sieve Size 3/4" (3/4") Retained Sieve No. 4 (#4)

-#4+#10 = Passed Sieve No. 4 (#4) Retained Sieve No.10 (#10)

-#200 = Passed Sieve No. 200 (#200)

Page 1/1

Table 5 Summarized of Soil Characteristics from Laboratory and Field Test of BH-Line 13/E

Sample No.	Depth (m)		Atterberg Limits Natural Water Content (%)				Unit Weight (t/m³)	Recover (m)	Classification	Sieve Analysis (%)					S_u (t/m²)	N (Blows/ft)
										Gravel	Sand			Silt & Clay		
	From	To	LL	PL	PI	W_n				Fine Gravel -3/4"+#4	Coarse Sand -#4+#10	Medium Sand -#10+#40	Fine Sand -#40+#200	-#200		
SS-1	0.00	0.45	28.12	19.92	8.20	15.67	1.95	0.42	SC	11	12	22	16	39	-	14
SS-2	1.50	1.95	24.59	17.05	7.54	15.52	1.95	0.42	SC	12	14	24	15	35	-	12
SS-3	3.00	3.45	28.63	19.18	9.45	15.05	1.90	0.40	SC	14	16	23	14	33	-	16
SS-4	4.50	4.95	32.27	17.69	14.58	14.86	1.96	0.39	SC	2	18	24	13	43	-	11
SS-5	6.00	6.45	30.58	19.30	11.28	14.00	2.00	0.35	SC	8	13	26	14	39	-	74

Classification : Unified Soil Classification

S_u = ½ Unconfined Compressive Strength

NP = Non Plastic

-3/4"+#4 = Passed Sieve Size 3/4" (3/4") Retained Sieve No. 4 (#4)

-#4+#10 = Passed Sieve No. 4 (#4) Retained Sieve No.10 (#10)

-#200 = Passed Sieve No. 200 (#200)

Page 1/1

Table 6 Summarized of Soil Characteristics from Laboratory and Field Test of [illegible]

Sample No.	Depth (m)		Atterberg Limits Natural Water Content (%)				Unit Weight (t/m³)	Recover (m)	Classification	Sieve Analysis (%)					S_u (t/m²)	N (Blows/ft)
										Gravel	Sand			Silt & Clay		
	From	To	LL	PL	PI	W_n				Fine Gravel -3/4"+#4	Coarse Sand -#4+#10	Medium Sand -#10+#40	Fine Sand -#40+#200	-#200		
SS-1	0.00	0.45	28.39	17.15	8.44	15.98	1.90	0.39	SC	11	15	21	15	40	-	16
SS-2	1.50	1.95	27.60	17.71	9.89	14.56	1.97	0.38	SC	11	15	25	14	35	-	21
SS-3	3.00	3.45	26.21	16.15	10.06	14.51	1.98	0.39	SC	12	17	24	13	34	-	27
SS-4	4.50	4.95	33.52	19.02	14.50	15.89	1.96	0.35	SC	3	17	24	16	40	-	32
SS-5	5.50	5.95	31.82	19.59	12.23	14.58	2.00	0.35	SC	8	16	27	15	32	-	72
SS-6	6.00	6.45	29.94	17.25	12.69	14.29	2.01	0.35	SC	9	15	20	18	38	-	74

Classification : Unified Soil Classification

S_u = ½ Unconfined Compressive Strength

NP = Non Plastic

-3/4"+#4 = Passed Sieve Size 3/4" (3/4") Retained Sieve No. 4 (#4)

-#4+#10 = Passed Sieve No. 4 (#4) Retained Sieve No.10 (#10)

-#200 = Passed Sieve No. 200 (#200)

Page 1/1

Table 7 Summarized of Soil Characteristics from Laboratory and Field Test of BH-Line 15/E

Sample No.	Depth (m)		Atterberg Limits Natural Water Content (%)				Unit Weight (t/m³)	Recover (m)	Classification	Sieve Analysis (%)					S_u (t/m²)	N (Blows/ft)
										Gravel	Sand			Silt & Clay		
	From	To	LL	PL	PI	W_n				Fine Gravel -3/4"+#4	Coarse Sand -#4+#10	Medium Sand -#10+#40	Fine Sand -#40+#200	-#200		
SS-1	0.00	0.45	30.44	20.21	10.23	16.59	1.96	0.39	SC	13	15	25	14	33	-	16
SS-2	1.50	1.95	28.25	16.76	11.49	16.22	1.96	0.38	SC	14	18	26	18	24	-	14
SS-3	3.00	3.45	26.98	18.12	8.86	15.47	1.96	0.40	SC	13	17	24	16	30	-	11
SS-4	4.50	4.95	25.00	16.31	8.69	14.64	1.99	0.36	SC	5	16	23	18	38	-	72
SS-5	5.50	5.95	27.74	20.24	7.50	14.37	2.01	0.34	SC	16	22	28	14	21	-	87

Classification : Unified Soil Classification

S_u = ½ Unconfined Compressive Strength

NP = Non Plastic

-3/4"+#4 = Passed Sieve Size 3/4" (3/4") Retained Sieve No. 4 (#4)

-#4+#10 = Passed Sieve No. 4 (#4) Retained Sieve No.10 (#10)

-#200 = Passed Sieve No. 200 (#200)

Page 1/1

Table 8 Summarized of Soil Characteristics from Laboratory and Field Test of [redacted]

Sample No.	Depth (m)		Atterberg Limits Natural Water Content (%)				Unit Weight (t/m³)	Recover (m)	Classification	Sieve Analysis (%)					S_u (t/m²)	N (Blows/ft)
										Gravel	Sand			Silt & Clay		
	From	To	LL	PL	PI	W_n				Fine Gravel -3/4"+#4	Coarse Sand -#4+#10	Medium Sand -#10+#40	Fine Sand -#40+#200	-#200		
SS-1	0.00	0.45	28.93	17.68	11.25	15.89	1.96	0.39	SC	13	16	23	15	33	-	15
SS-2	1.50	1.95	32.76	19.26	13.50	16.15	1.96	0.37	SC	5	12	22	19	42	-	12
SS-3	3.00	3.45	34.50	20.78	13.72	16.10	1.98	0.35	SC	6	13	19	17	45	-	42
SS-4	4.50	4.95	29.91	17.32	12.59	15.22	2.00	0.34	SC	8	17	24	19	32	-	74
SS-5	6.00	6.45	28.38	15.50	12.88	14.89	2.01	0.34	SC	14	22	27	11	26	-	84

Classification : Unified Soil Classification

S_u = ½ Unconfined Compressive Strength

NP = Non Plastic

-3/4"+#4 = Passed Sieve Size 3/4" (3/4") Retained Sieve No. 4 (#4)

-#4+#10 = Passed Sieve No. 4 (#4) Retained Sieve No.10 (#10)

-#200 = Passed Sieve No. 200 (#200)

Page 1/1

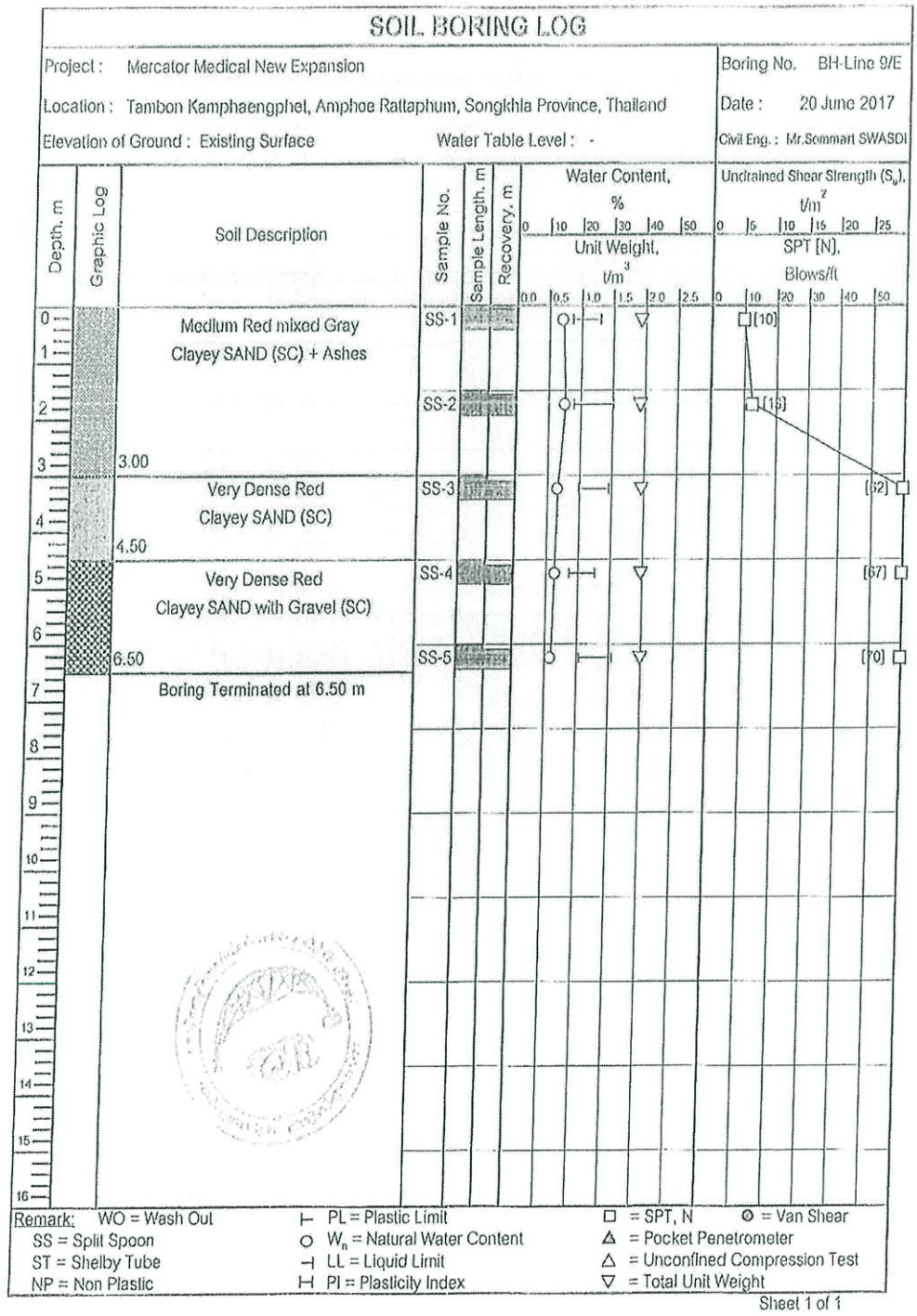


Fig. 4 Soil Boring Log of BH-Line 9/E

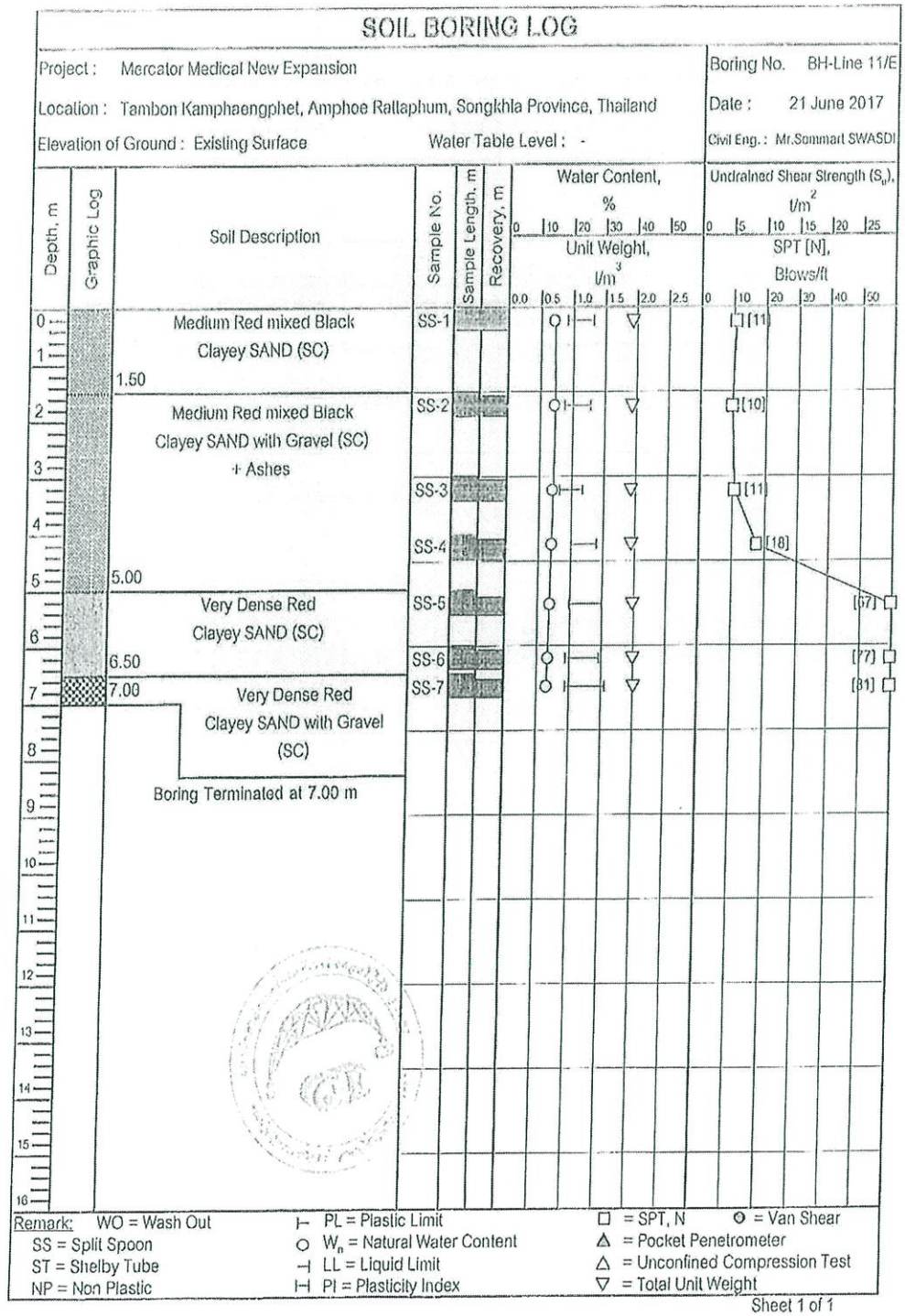


Fig. 5 Soil Boring Log of [redacted]

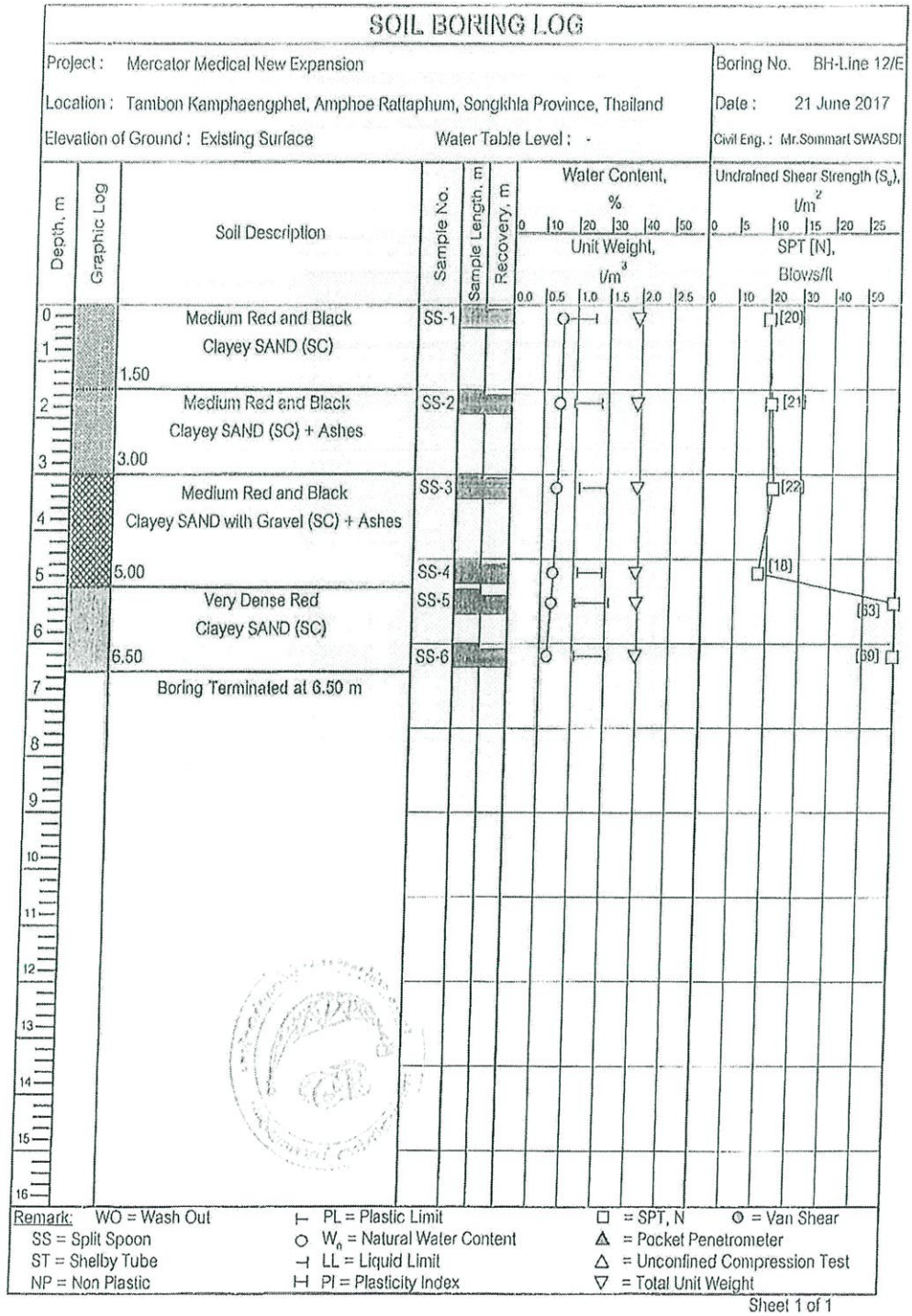


Fig. 6 Soil Boring Log of BH-Line 12/E

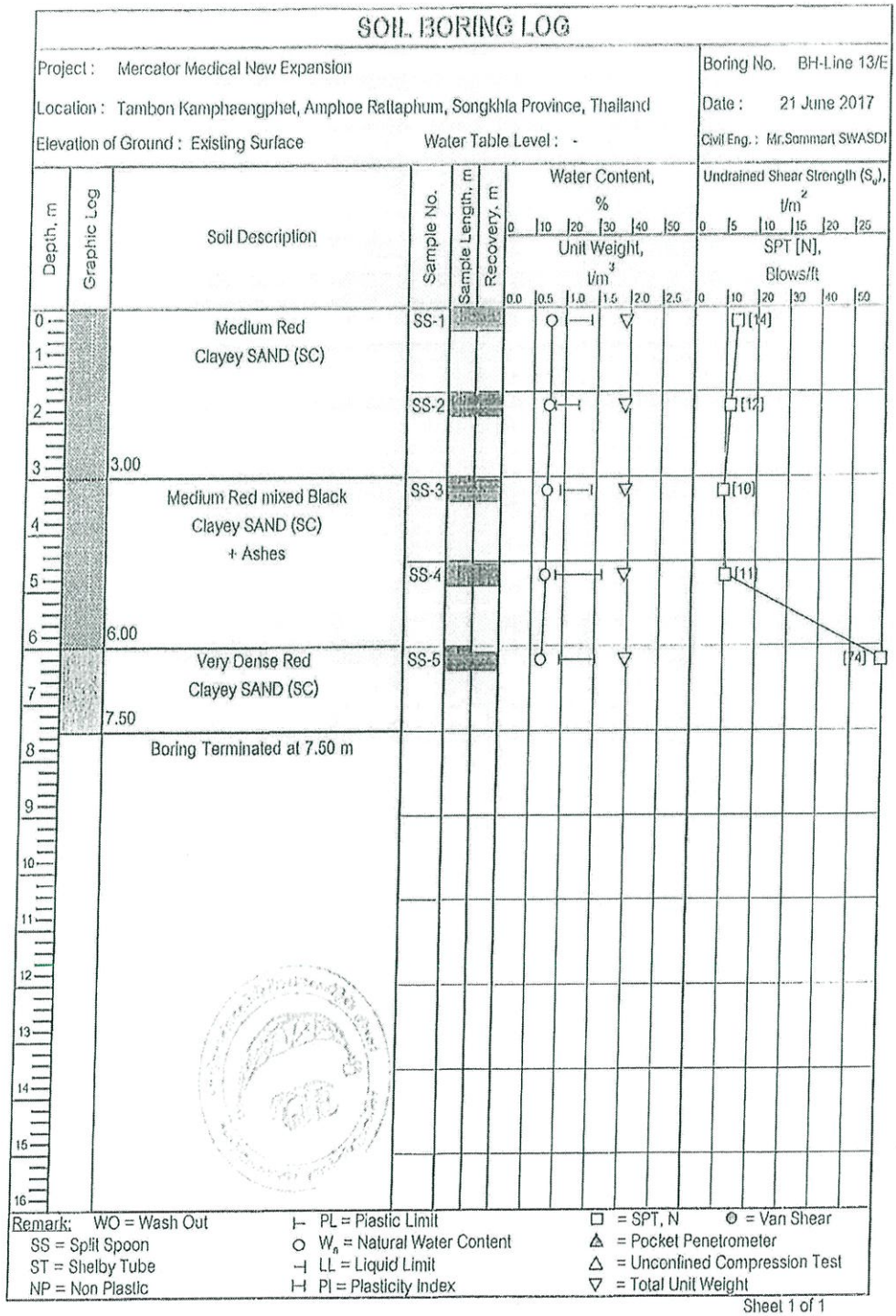


Fig. 7 Soil Boring Log of BH-Line 13/E

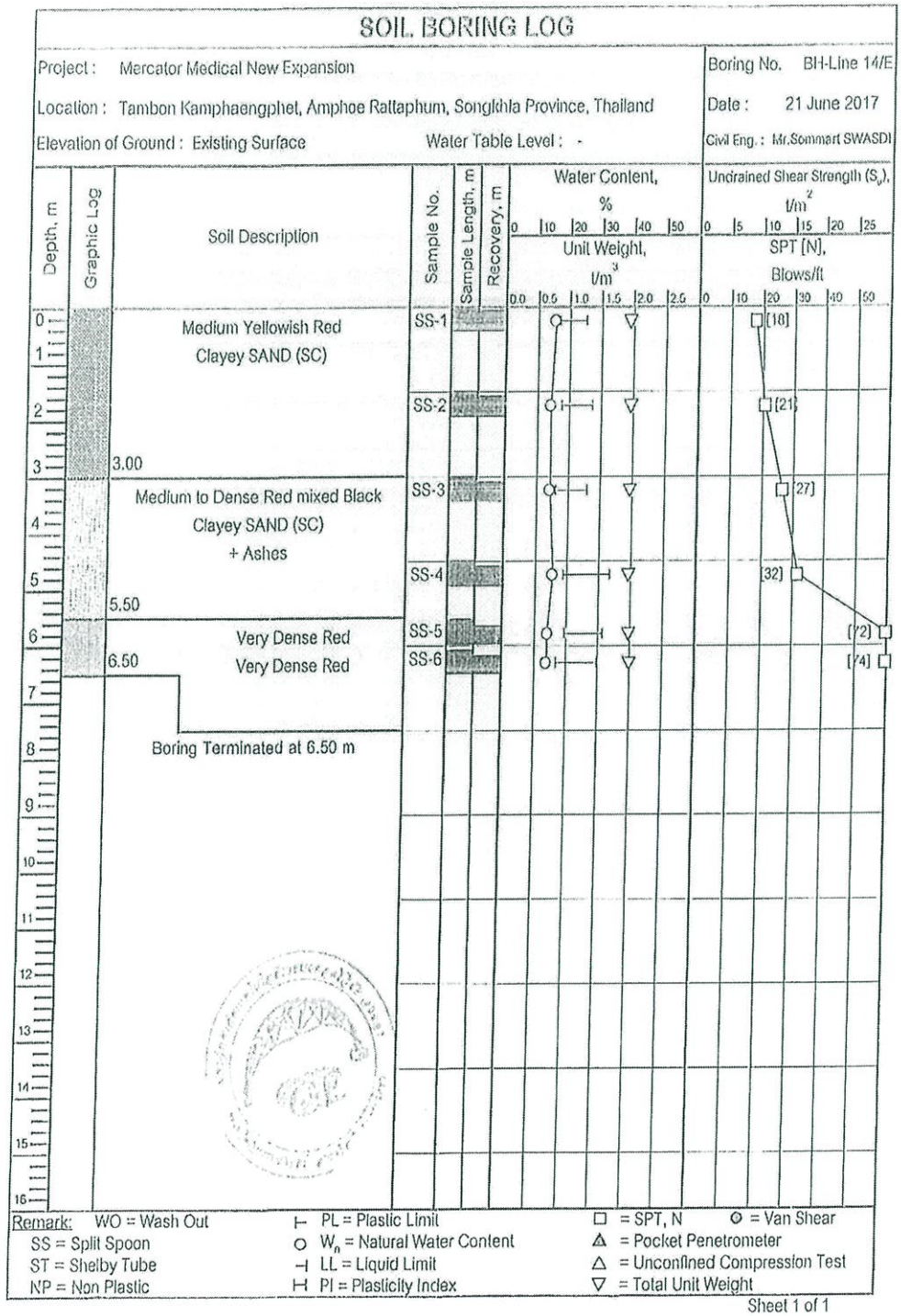


Fig. 8 Soil Boring Log of BH Line 14/E

SOIL BORING LOG

Project : Mercator Medical New Expansion
Boring No. BH-Line 15/E

Location : Tambon Kamphaengphet, Amphoe Rattaphum, Songkhla Province, Thailand
Date : 22 June 2017

Elevation of Ground : Existing Surface
Water Table Level : -
Civil Eng. : Mr.Sommart SWASDI

Depth, m	Graphic Log	Soil Description	Sample No.	Sample Length, m	Recovery, m	Water Content, % (0 10 20 30 40 50) / Unit Weight, t/m³ (0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5)	Undrained Shear Strength (S_u), t/m² (0 5 10 15 20 25) / SPT [N], Blows/ft (0 10 20 30 40 50)
0		Medium Red Clayey SAND (SC)	SS-1				[16]
1.50							
		Medium Red mixed Black Clayey SAND (SC) + Ashes	SS-2				[14]
			SS-3				[11]
4.50							
		Very Dense Red Clayey SAND with Gravel (SC)	SS-4				[72]
			SS-5				[87]
6.50		Boring Terminated at 6.50 m					

Remark: WO = Wash Out; SS = Split Spoon; ST = Shelby Tube; NP = Non Plastic
⊢ PL = Plastic Limit; ○ W_n = Natural Water Content; ⊣ LL = Liquid Limit; ⊢⊣ PI = Plasticity Index
□ = SPT, N; ⊛ = Van Shear; ⧋ = Pocket Penetrometer; △ = Unconfined Compression Test; ▽ = Total Unit Weight

Sheet 1 of 1

Fig. 9 Soil Boring Log of [illegible]

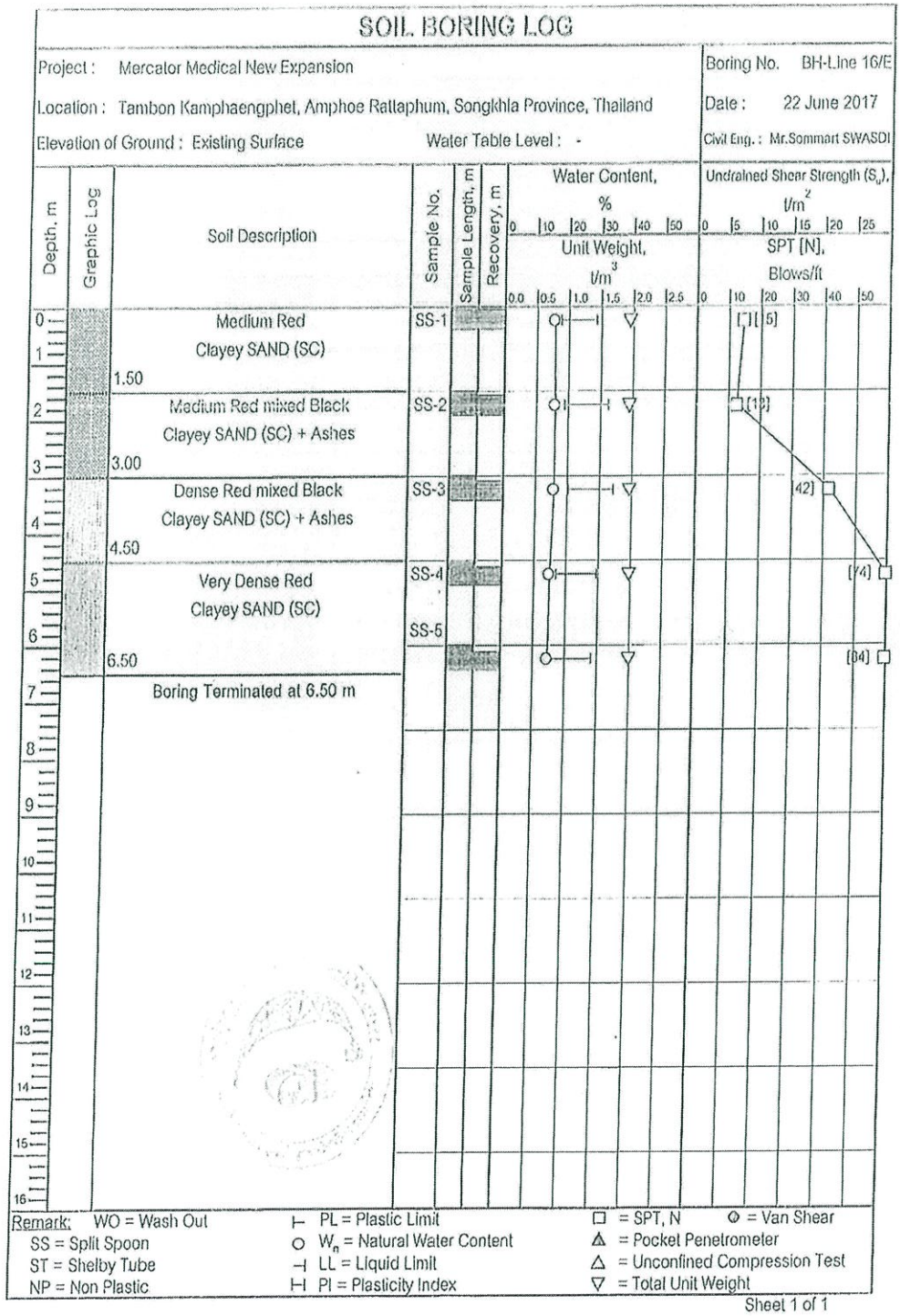


Fig. 10 Soil Boring Log of BH-Line 16/E

คณะกรรมการควบคุมการประกอบวิชาชีพวิศวกรรม

ตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม ๒๕๐๕

นายสมมาตร สาลีสิงห์ เป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรม

ประเภท วิศวกรรมโยธา สาขา วิศวกรรมโยธา

ตามใบอนุญาตเลขทะเบียน ภย.๒๕๒๙๘

ตั้งแต่วันที่ ๒๙ มกราคม ๒๕๔๒

ลงชื่อ ๑๐๕๒๕๓

(นายปรีชา ศรีสมบัติ)
ปลัดกระทรวงมหาดไทย
ประธาน ก.ว.

For attaching a geotechnical investigation report of
Mercato Medical Expansion
Tambon Kamphaeng Phet, Amphoe Rattaphum,
Songkhla Province, Thailand

นายสมมาตร สาลีสิงห์

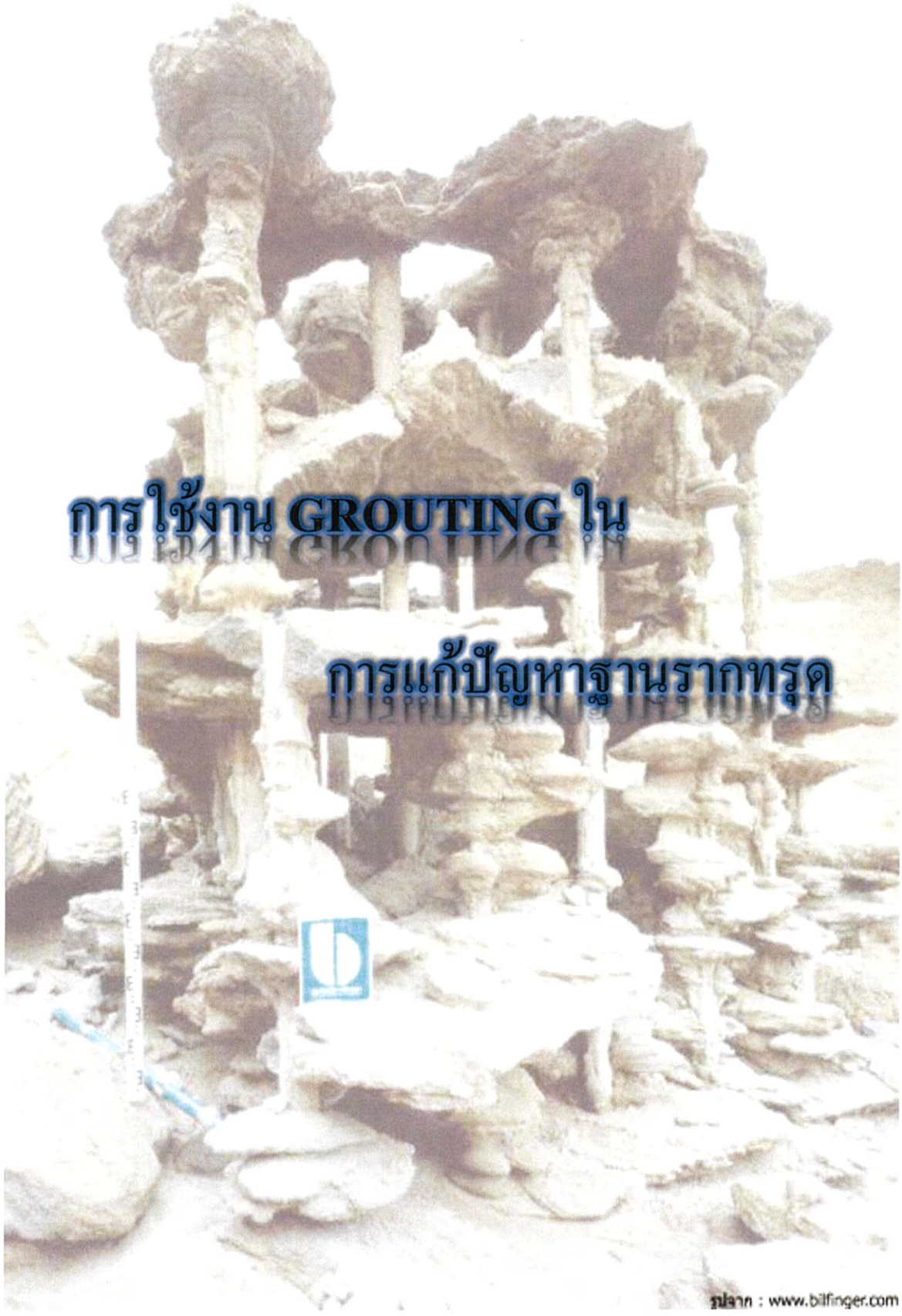
101178

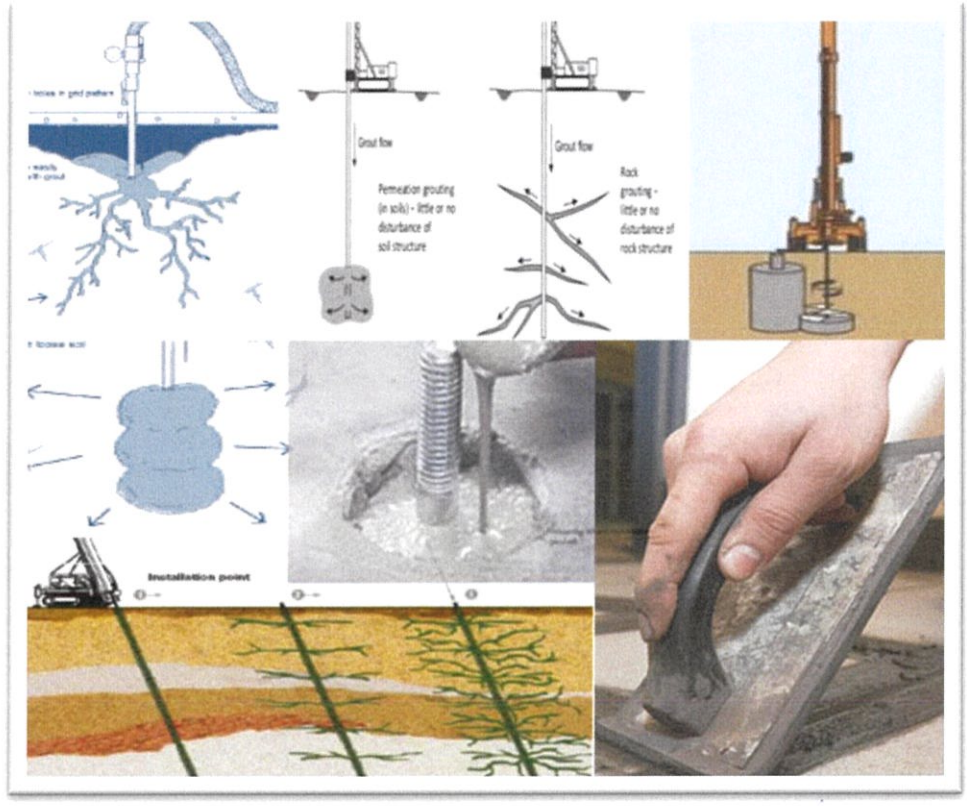
(นายปรีชา ศรีสมบัติ)
ปลัดกระทรวงมหาดไทย
ประธาน ก.ว.

ภาคผนวก ข.

คู่มือสำหรับการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการ Grouting เพื่อใช้แก้ปัญหาฐานรากทรุด

ที่จัดทำให้กับทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด


การใช้งาน GROUTING ใน
การแก้ปัญหาฐานรากทรุด
รูปจาก : www.bilfinger.com



ทั้งหมดเหล่านี้ คือการ Grouting

1.การ Grouting คืออะไร ?

คือกระบวนการในการอัดฉีดของเหลว สารผสมแขวนลอย หรือสารผสมกึ่งของแข็ง ลงในรอยแตก รอยต่อ หรือช่องว่าง โดยมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุให้มีมีความแข็งแรงและเสถียรภาพมากขึ้น

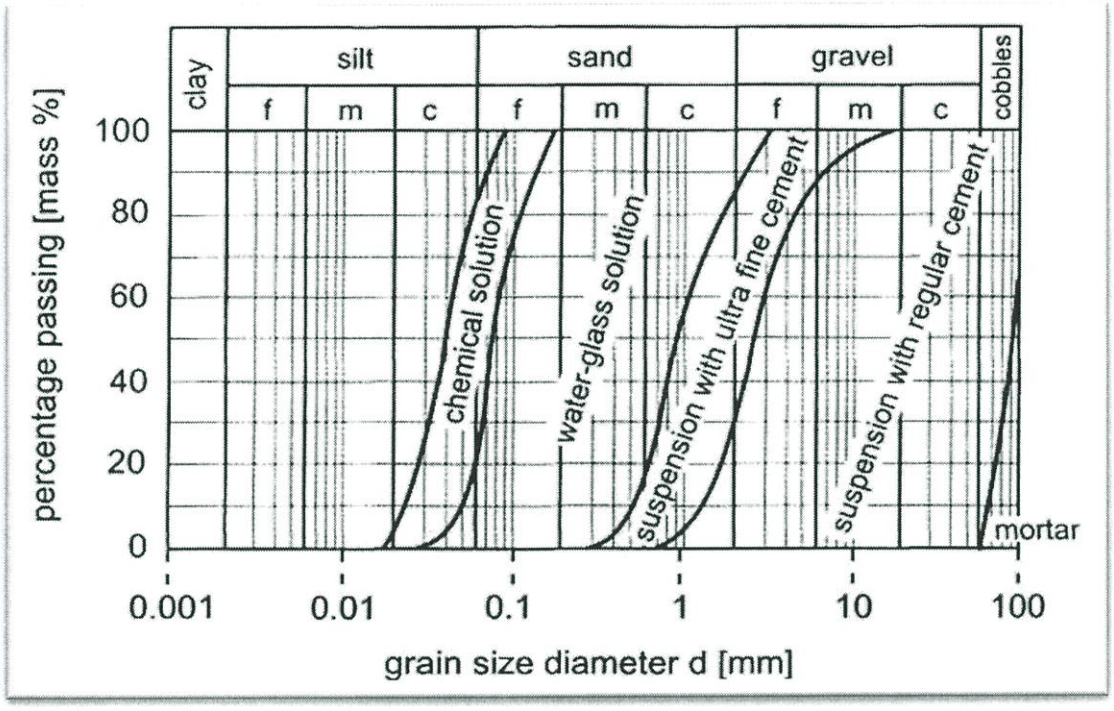
2.วัสดุที่ใช้ Grouting คืออะไร ?

วัสดุก่อสร้างที่ใช้สำหรับที่ อุดช่องว่าง คลุมรอยต่อ เชื่อมต่อระหว่างแผ่นPrecast โดยทั่วไปประกอบไปด้วยส่วนผสมของน้ำ ปูนซีเมนต์ ทราย และหินเม็ดละเอียด ซึ่งเราสามารถจำแนก วัสดุ Grouting ได้ 3 รูปแบบ

- สารแขวนลอย ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กที่กระจายตัวอยู่ในของเหลว เช่น ซีเมนต์ มอร์ต้า เบนโทไนต์

- สารอิมัลชัน ประกอบด้วยสารคอลลอยด์ของของเหลวที่กระจายตัวอยู่ในของเหลวเช่น อิมัลชันบิทูมินัส

-สารละลาย เป็นของเหลวที่เป็นเนื้อเดียวกันของสารผสมที่ผสมระหว่างวัสดุตั้งแต่สองอย่างหรือมากกว่า เช่น สารละลายโซเดียมซิลิเกตและอะคริลิคเรซิน เป็นต้น

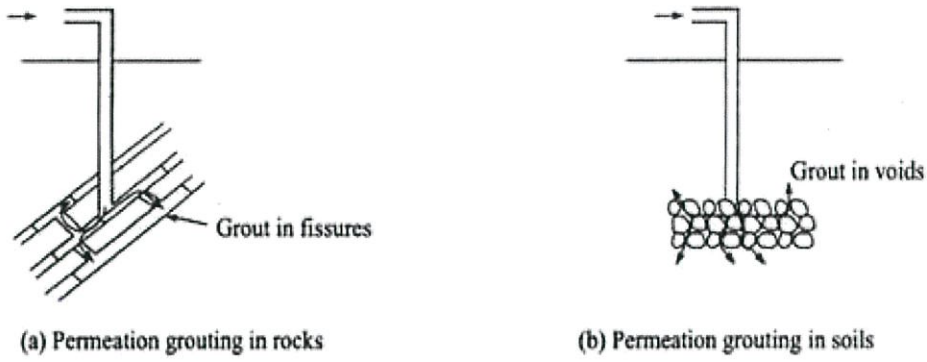


รูปที่ 1 ขนาดของเม็ดดินกับวัสดุที่เลือกใช้ในการทำ Grouting

3.ชนิดของการ Grouting

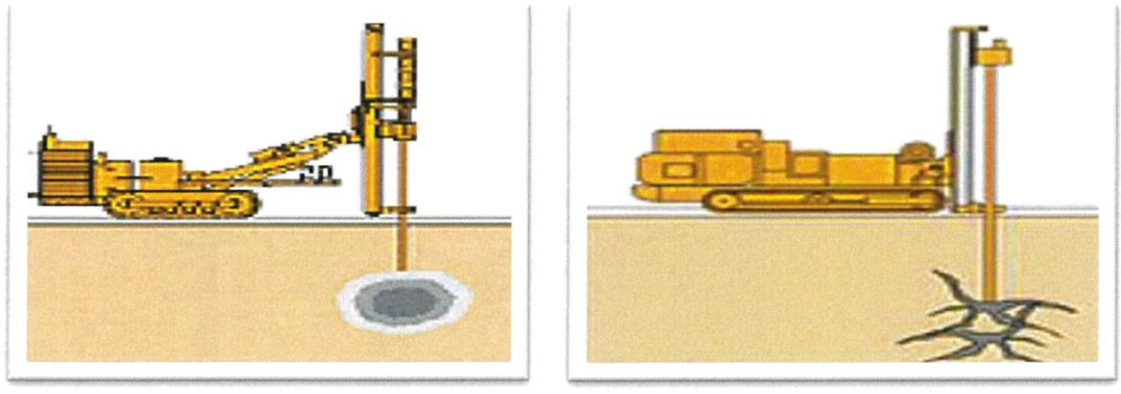
ชนิดของการ Grouting แบ่งตามการลักษณะการทำงานได้ 3 รูปแบบ คือ

- Permeation Grouting คือการฉีดวัสดุ Grout แทรกลงไปในดินเพื่อลดช่องว่างที่อยู่ในมวลดินโดยไม่รบกวนดินบริเวณนั้น โดยจุดประสงค์เพื่อกั้นน้ำและลดอัตราการไหลซึมผ่านของน้ำในมวลดิน ซึ่งวิธี Permeation Grouting ไม่ได้ช่วยให้ความแข็งแรงของดินเพิ่มขึ้นมาก มักพบใช้บริเวณที่ต้องการกั้นน้ำไม่ให้ไหลซึมเข้ามาเช่นเขื่อน หรือ ขุดอุโมงค์



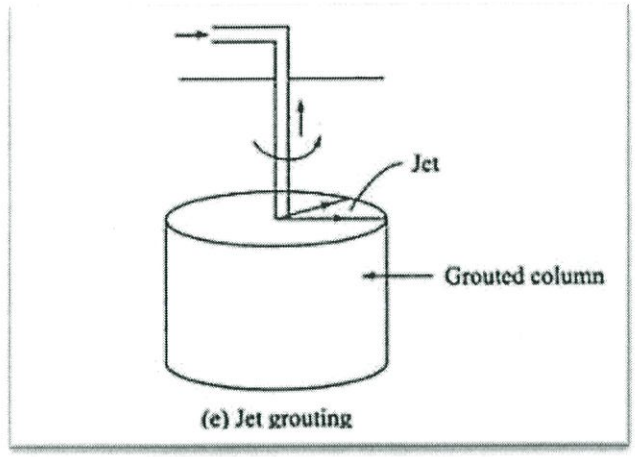
รูปที่ 2 Permeation Grouting (a)ในหิน และ (b) ในดิน

- Displacement Grouting คือการอัดฉีดวัสดุ Grout โดยใช้แรงดัน เพื่อเข้าไปแทนที่ดินบริเวณมีปัญหา วิธีการนี้จะเปรียบเหมือนการทำการบดอัดดินซึ่งจะมีการรบกวนดินโดนรอบบริเวณที่ดำเนินการ วิธีการนี้มีด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ 1.Compaction Grouting จะใช้วัสดุที่มีความเหนียวสูงแล้วอัดด้วยแรงดันสูงเข้าไปในมวลดินซึ่งจะขึ้นรูปเป็นแบบก้อนในดิน ส่วนวิธีที่ 2. Soil Fracture Grouting ซึ่งจะใช้วัสดุที่มีความเหลวสูงหรือลื่นแล้วอัดด้วยแรงดันสูงเข้าไปในดินจะขึ้นรูปเป็นเหมือนราก โดยจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้กับดิน ปรับปรุงคุณสมบัติดินให้แข็งแรงขึ้น ใช้ป้องกันหรือซ่อมแซมการทรุดตัวของดิน



รูปที่ 3 Compaction Grouting (ซ้าย) และ Soil Fracture Grouting (ขวา)

- Displacement and Replacement Grouting วิธีการนี้เป็นอัดฉีดวัสดุ Grout ลงไปในดินด้วยแรงดันสูงมากในรูปแบบของ jet เพื่อขึ้นรูปเป็นเสาดิน โดยทั่วไปเรียกวิธีนี้ว่า Jet grouting มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินเพื่อเตรียมการก่อสร้าง เพื่อกั้นน้ำ เพื่อทำกำแพงกันดินสำหรับการก่อสร้างใต้ดิน หรืออื่นๆ เป็นวิธีการหนึ่งใช้งานได้หลายรูปแบบขึ้นกับการประยุกต์ใช้งาน



รูปที่ 4 Displacement and Replacement Grouting

4.การใช้งาน Grouting ในการแก้ปัญหาฐานรากทรุด

เราทราบว่าการ Grouting สามารถทำการแก้ไขและปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุให้มีมีความแข็งแรงและเสถียรภาพมากขึ้นได้โดยการที่อัดฉีดของเหลว สารผสมแขวนลอย หรือสารผสมกึ่งของแข็งเข้าไปผสมและแทนที่ช่องว่าง ซึ่งเราสามารถนำคุณสมบัตินี้ของการ Grouting มาประยุกต์ใช้งานได้ ดังนั้นการ Grouting เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของฐานราก เป็นการซ่อมแซมและปรับปรุงคุณสมบัติของดินใต้อาคารที่เกิดการทรุดตัวโดยการอัดฉีดซีเมนต์หรือคอนกรีตภายใต้แรงดันเข้าไปผสมและแทนที่ช่องว่างของดิน ซึ่งจะทำให้ความแข็งแรงและความเสถียรของดินสูงขึ้น เป็นผลทำให้การทรุดตัวของดินหยุดลง

5.ความน่าเชื่อถือของ Grouting

Grouting เป็นวิธีการที่เชื่อถือได้ ซึ่งถ้าหากต้องการที่จะทำให้การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดเอาไว้นั้นจำเป็นที่จะต้องมีปัจจัยเหล่านี้ประกอบรวมอยู่ในขั้นตอนการดำเนินการด้วย

- การสำรวจข้อมูลทางธรณีวิทยาที่จำเป็นต้องมีขอบเขตและลักษณะคุณสมบัติของข้อมูลทางธรณีวิทยาของพื้นที่บริเวณนั้นที่เพียงพอเพื่อที่จะอธิบายได้ถึงลักษณะของพื้นที่บริเวณนั้นได้อย่างถูกต้อง เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการทำ Grouting

- การตีความข้อมูล ต้องตีความข้อมูลตามหลักทฤษฎี
- การดำเนินการ Grouting ให้มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ การออกแบบ และเป้าหมาย
- ประเมินอย่างละเอียดเกี่ยวกับความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับความอ่อนไหวต่อการรบกวนของดิน
- การวางแผนที่ดีและละเอียดจะเป็นตัวกำหนดเป้าหมาย กระบวนการและคุณภาพของงาน

ในกรณีที่ขาดรายการดังที่กล่าวมานี้ มีความเสี่ยงที่ว่าการ Grouting จะไม่เป็นไปตามที่คาดหวังหรือประสิทธิภาพไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งจะส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายที่สูง

6.ความเสี่ยงของ Grouting

การ Grouting เป็นวิธีการหนึ่งที่มีความเสี่ยงสูงของการก่อสร้าง เนื่องจากมีปัจจัยหลายปัจจัยที่สามารถส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ เช่น

- การที่ Grouting ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน
- ไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบพฤติกรรมของการ Grouting ได้โดยตรงระหว่างปฏิบัติงาน
- เนื่องจากไม่แปรปรวนของสภาพดิน

ทำให้บ่อยครั้งที่การทำ Grouting ทำให้ต้นทุนสูงขึ้นและต้องขยายเวลาในการดำเนินการขึ้น ซึ่งวิธีการดังต่อไปนี้จะช่วยให้ความเสี่ยงในการทำ Grouting ลดลงได้ ดังนี้

- ตรวจสอบสภาพของพื้นที่บริเวณที่จะทำ Grouting ว่ามีเหมาะสมเพียงพอหรือไม่
- ชี้แจงสภาพของพื้นที่ปฏิบัติงานให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะและทำ Grouting
- จัดทำแผนงานให้มีความเหมาะสมกับสภาพของพื้นที่ปฏิบัติงานและเป้าหมายที่คาดหวัง เช่น ระยะห่างระหว่างหลุมติดตั้งท่อ ความลึก และการวางแนว
- การจัดลำดับ ขั้นตอน และระยะเวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอนให้มีความเหมาะสม
- เลือกใช้วัสดุหรือสารผสมที่ใช้ให้เหมาะสม
- แรงดันที่ใช้ให้เหมาะสม
- ทำแบบจำลองของพื้นที่ปฏิบัติงานโดยตัวแปรตามเป้าหมายที่ตั้งไว้จริง
- งบประมาณของการทำ Grouting ควรเผื่อความไม่แน่นอนด้วย
- เอกสารสัญญาและรายการการชำระเงินควรที่ส่งเสริมให้การทำงานที่มีคุณภาพและไม่เป็นอุปสรรคต่อการทำงาน
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการ ขุดเจาะ และ Grouting ต้องคุณภาพสูงและเหมาะสมเพียงพอกับการทำงาน

- ในการควบคุมคุณภาพและการประกันคุณภาพ(QC/QA) ต้องรวมถึง การตรวจสอบงานควบคุมงาน ทดสอบและวิเคราะห์ผลการทำงานของ Grouting
- มีการตรวจสอบผลของผลกระทบของการดำเนินการ
- มีอุปกรณ์ที่ใช้สังเกตการณ์สภาพการดำเนินการและสภาพความอันตรายขณะปฏิบัติงานที่เพียงพอ

7.ขั้นตอนการดำเนินการแก้ปัญหาฐานรากทรุดตัวโดยใช้ Grouting

การดำเนินการแก้ปัญหาฐานรากทรุดตัวโดยใช้ Grouting ประกอบด้วยกัน 5 ขั้นตอนหลัก คือ

1.ขั้นตอนการระบุปัญหาและตรวจสอบหาสาเหตุ

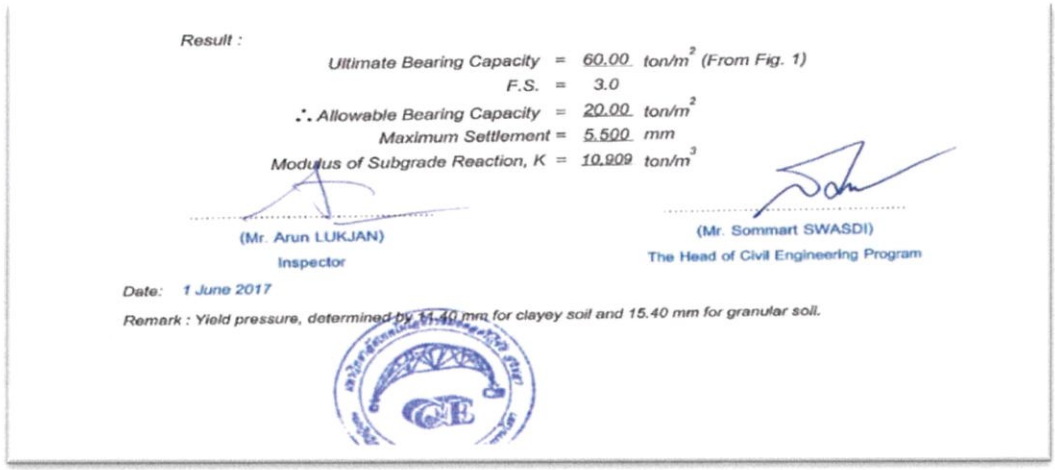
เป็นขั้นตอนที่ผู้ดำเนินต้องระบุให้ชัดเจนว่าปัญหาที่กำลังพบนี้เป็นปัญหาที่เกิดจากการทรุดตัวหรือไม่ เพื่อให้สามารถกำหนดวิธีการในการค้นหาสาเหตุของปัญหาได้อย่างถูกต้องซึ่งจะเป็นผลดีทั้งกับประสิทธิภาพในการดำเนินงาน แก้ไขปัญหาได้ถูกต้อง และประหยัดค่าใช้จ่าย หลังจากทำการระบุปัญหาได้เป็นที่เรียบร้อยแล้วจึงทำการตรวจสอบหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการทรุดตัวต่อไป โดยขั้นตอนนี้เริ่มจาก

1.1 ระบุว่าปัญหาที่เกิดขึ้นคืออะไร เป็นขั้นตอนที่เคลียร์ให้ชัดเจนว่าตอนนี้ปัญหาที่เกิดขึ้นคืออะไร เช่น กรณีที่เกิดขึ้นที่โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd. (J114) ปัญหาที่เกิดขึ้นคือขณะติดตั้งผนังด้านข้างของโรงงานด้วย Metal Sheet แต่ปรากฏว่าตำแหน่งติดตั้งใน line 19A-20A ผนังเบี้ยวต่ำลง เราก็ต้องระบุว่าปัญหาดังกล่าวคืออะไร ทำตำแหน่งติดตั้งผิด ฐานรากทรุด หรือปัญหาอื่น ซึ่งจากการตรวจสอบระบุได้ว่าปัญหาคือฐานรากใน line 19A-20A ทรุดตัว

1.2 ตั้งสมมติฐานของปัญหาการทรุดตัวของฐานราก หลังจากที่สามารถระบุถึงปัญหาการทรุดตัวของฐานราก ได้เป็นที่เรียบร้อยแล้วว่าปัญหานั้นคืออะไร ขั้นตอนต่อมาคือต้องตั้งสมมติฐานเพื่อหาว่าอะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ตัวอย่างสมมติฐานที่เกิดที่โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd. (J114) คือ ปัญหาการบดอัดดินที่ไม่เป็นไปตามที่ผู้ออกแบบกำหนด หรือคุณสมบัติของชั้นดินข้างใต้ฐานรากมีปัญหา

1.3 ตรวจสอบสมมติฐาน หลังจากที่ได้ตั้งสมมติฐานหาสาเหตุของปัญหาได้เป็นที่เรียบร้อยแล้วจึงทำการหาวิธีที่จะนำมาใช้ในการพิสูจน์หาว่าสมมติฐานไหนเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาฐานรากทรุดต่อไปซึ่งในขั้นตอนนี้ผู้ดำเนินการต้องประยุกต์ใช้เทคนิคและข้อมูลที่มีมาเลือกว่าจะใช้วิธีการไหนในการตรวจสอบสมมติฐานเหล่านั้น ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบสมมติฐานของ โครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd. (J114)

สมมติฐานที่ 1 การบดอัดดินไม่ได้กำลังตามที่ผู้ออกแบบได้กำหนด ได้มีการทำการทดสอบ Plate bearing test ก่อนทำการก่อสร้างโดยทำการทดสอบด้วย Plate ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.46 เมตร ที่น้ำหนักทดสอบ 60 ตันต่อตารางเมตร (น้ำหนักบรรทุกออกแบบไว้ที่ 20 ตันต่อตารางเมตร) ซึ่งผลการทดสอบของ Plate bearing test เป็นดังนี้



Result :

Ultimate Bearing Capacity = 60.00 ton/m² (From Fig. 1)

F.S. = 3.0

∴ Allowable Bearing Capacity = 20.00 ton/m²

Maximum Settlement = 5.500 mm

Modulus of Subgrade Reaction, K = 10.909 ton/m³

(Mr. Arun LUKJAN)
Inspector

(Mr. Sommart SWASDI)
The Head of Civil Engineering Program

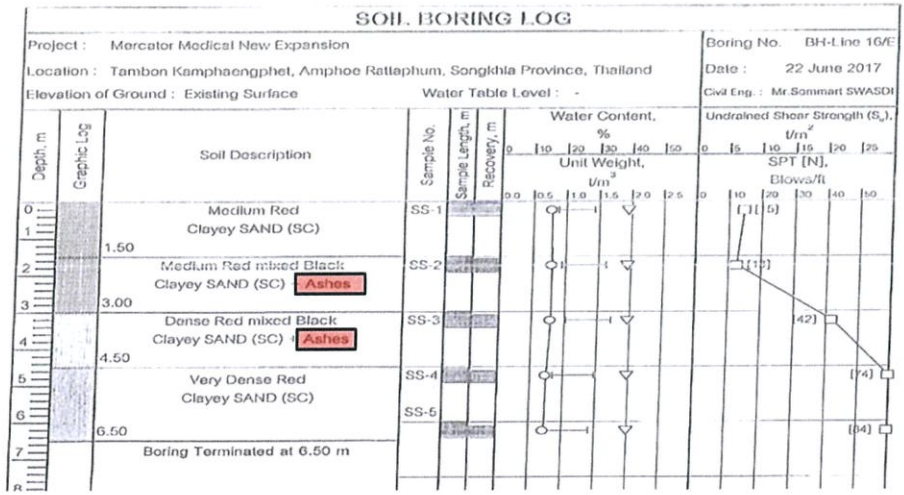
Date: 1 June 2017

Remark : Yield pressure, determined by 11.40 mm for clayey soil and 15.40 mm for granular soil.

รูปที่ 5 ผลการทดสอบ Plate bearing test

ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าหลังจากการบรรทุกน้ำหนักทดสอบที่ 60 ตันต่อตารางเมตร ดินมีการทรุดตัวลง 5.50 มิลลิเมตร ซึ่งผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ให้มีการทรุดตัวได้ไม่เกิน 2 เซนติเมตร ทำให้สมมติฐานนี้ไม่ใช่สาเหตุที่ทำให้ฐานรากเกิดการทรุดตัว

สมมติฐานที่ 2 คุณสมบัติของชั้นดินข้างใต้ฐานรากมีปัญหา ได้ทำการขุดเจาะสำรวจดินในบริเวณที่เกิดฐานรากทรุดเพื่อเก็บตัวอย่างดินข้างใต้ฐานรากมาวิเคราะห์กำลังและคุณสมบัติทางวิศวกรรม ซึ่งได้ผลการขุดเจาะสำรวจดินดังนี้



SOIL BORING LOG

Project : Mercator Medical New Expansion
Location : Tambon Kamphaengphet, Amphoe Rattaphum, Songkhla Province, Thailand
Elevation of Ground : Existing Surface
Water Table Level : -

Boring No. BH-Line 16/E
Date : 22 June 2017
Civil Eng. : Mr.Sommart SWASDI

Depth, m	Graphic Log	Soil Description	Sample No.	Sample Length, m	Recovery, m
0		Medium Red Clayey SAND (SC)	SS-1		
1.50		Medium Red mixed Black Clayey SAND (SC) Ashes	SS-2		
3.00		Dense Red mixed Black Clayey SAND (SC) Ashes	SS-3		
4.50		Very Dense Red Clayey SAND (SC)	SS-4		
			SS-5		
6.50		Boring Terminated at 6.50 m			

Water Content, %
Unit Weight, t/m³
Undrained Shear Strength (S_u), t/m²
SPT [N], Blows/ft

ซึ่งจากผลการขุดเจาะสำรวจดินปรากฏว่าใต้ฐานราก line 19A และ 20A ที่ความลึก 1.50 – 4.50 เมตร มีการปะปนของ Ashes ในชั้นดินเป็นจำนวนมากทำให้ดินข้างล่างไม่แน่นและไม่แข็งแรงพอเมื่อรับน้ำหนักของอาคารจึงทำให้เกิดการทรุดตัวลงของฐานรากบริเวณดังกล่าว ดังนั้นสมมติฐานนี้จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการทรุดตัว

2. ขั้นตอนในการประเมินความเป็นไปได้ในการเลือกใช้วิธีการ Grouting ในการแก้ปัญหา

การประเมินความเป็นไปได้ของการใช้งาน Grouting ในการแก้ปัญหา โดยขึ้นอยู่กับข้อมูลทั่วไปทางธรณีวิทยา ข้อมูลเฉพาะของพื้นที่บริเวณนั้น ข้อมูลด้านวิศวกรรม และคาดการผลลัพธ์ที่ได้โดยอยู่บนหลักการของการ Grouting และทำการเปรียบเทียบกับการใช้วิธีอื่นในการแก้ไขปัญหาเพื่อให้แน่ใจว่าการเลือกใช้การ Grouting เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด นอกจากนั้นแล้วขั้นตอนนี้จะรวมถึงการศึกษาแนวทางการประเมินต้นทุนและผลประโยชน์ที่ได้ เตรียมการออกแบบเบื้องต้น และแนะนำแผนในการแก้ไขปัญหา โดยปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความเป็นไปได้มีรายละเอียดดังนี้

2.1 ข้อมูลทางธรณีวิทยา จากการศึกษาทำให้ทราบว่าการใช้งาน Grouting นั้นสามารถใช้ได้กับทุกสภาพดินซึ่งจะขึ้นอยู่กับว่าจะเลือกใช้รูปแบบไหนของการ Grouting ในการใช้งานให้เหมาะกับสภาพชั้นดินของบริเวณที่จะปรับปรุง โดยผลกระทบของการ Grouting จะขึ้นอยู่กับระดับน้ำและแรงดันน้ำใต้ดินเสียมากกว่า ซึ่งอาจส่งผลให้การดำเนินการออกมาได้ไม่มีประสิทธิภาพตามที่ได้กำหนดไว้ โดยในขั้นตอนนี้ข้อมูลทางธรณีวิทยาจะนำไปใช้ในการพิจารณาการแก้ไขการทรุดตัวโดยวิธีการอื่นเพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับการใช้งาน Grouting เพื่อให้มั่นใจว่าการเลือกใช้งาน Grouting เป็นวิธีการที่ดีที่สุด

2.2 ข้อมูลทางด้านวิศวกรรม ผลกระทบต่อพฤติกรรมของโครงสร้างต้องได้รับการวิเคราะห์และพิจารณาผลที่จะเกิดขึ้นทั้งก่อนดำเนินการ ขณะดำเนินการและหลังการดำเนินการปรับปรุงคุณภาพของดินที่เกิดการทรุดตัวว่าก่อนการปรับปรุงพฤติกรรมโครงสร้างเป็นอย่างไร ขณะดำเนินการมีผลกระทบอย่างไร แล้วหลังจากการดำเนินการปรับแล้วพฤติกรรมของโครงสร้างเปลี่ยนไปหรือไม่ ซึ่งถ้าหากการดำเนินการ Grouting ส่งผลกระทบทำให้พฤติกรรมของโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่เป็นไปตามที่ออกแบบโครงสร้างไว้ ควรให้ผู้ออกแบบโครงสร้างตรวจสอบว่าโครงสร้างดังกล่าวสามารถรับพฤติกรรมของโครงสร้างเช่นนี้ได้หรือไม่ เพื่อใช้ตัดสินใจว่าควรใช้การ Grouting ในการแก้ไขปัญหาหรือไม่ต่อไป

2.3 วัตถุประสงค์ของการดำเนินการกับความคุ้มค่าของงบประมาณที่ใช้ ในขั้นตอนนี้ต้องทำการกำหนดว่าวัตถุประสงค์ คุณสมบัติ ประสิทธิภาพและคุณภาพ ที่ต้องการได้รับหลังจากการดำเนินการ Grouting และทำการประมาณการงบประมาณที่ใช้ทั้งหมดของการดำเนินการให้สอดคล้องวัตถุประสงค์ ประสิทธิภาพและคุณภาพที่กำหนด โดยการประมาณการงบประมาณนี้ควรประมาณการให้พอดีหรือมากกว่าที่ต้องการในการดำเนินการ เมื่อทำการประมาณการงบประมาณที่ใช้เสร็จแล้วควรนำไปเปรียบเทียบและตรวจสอบกับค่าใช้จ่ายจริงจากโครงการที่ประสบความสำเร็จอื่นและแหล่งข้อมูลภายนอก หลังจากที่ได้ประมาณการงบประมาณที่ใช้จนได้ค่าที่คิดว่าใกล้เคียงกับค่าใช้จ่ายจริงของการดำเนินการ Grouting ทำการประเมินความคุ้มค่าของค่าใช้จ่ายกับวัตถุประสงค์ คุณสมบัติ ประสิทธิภาพและคุณภาพ ที่กำหนดว่ามีความคุ้มค่าที่จะดำเนินการ Grouting หรือไม่ นอกจากนั้นแล้วยังรวมถึงการนำงบประมาณที่ใช้ในการดำเนินการ Groutingไปเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น เพื่อให้มั่นใจว่าการดำเนินการ Grouting ในการแก้ไขปัญหามีความคุ้มค่าและเหมาะสมที่สุด

หลังจากที่ผู้ดำเนินการได้ประเมินความเป็นไปได้ในการเลือกใช้วิธีการ Grouting ในการแก้ปัญหาจนมั่นใจแล้วว่าการเลือกใช้งาน Grouting ในการแก้ปัญหาเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดทั้งในแง่ของประสิทธิภาพและงบประมาณที่ใช้ ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนการวางแผนและออกแบบวิธีการปฏิบัติการในสนาม

3.ขั้นตอนการวางแผนและออกแบบวิธีการปฏิบัติการในสนาม

ขั้นตอนการวางแผนและออกแบบมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำให้การดำเนินสามารถทำงานได้ง่ายสะดวก และปราศจากข้อบกพร่องด้านเทคนิคที่สำคัญ รวมถึงเอกสารสัญญา และเรื่องของงบประมาณที่จะต้องใช้ โดยขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆดังนี้

3.1 <u>เลือกรูปแบบของGrouting</u> โดยขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลทั่วไปและข้อเฉพาะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ สภาพพื้นที่ปฏิบัติงาน งบประมาณ มาวิเคราะห์ว่าควรเลือกใช้ Grouting รูปแบบไหนในการปรับปรุงคุณสมบัติ โดยรูปแบบของ Grouting ที่ใช้ในการแก้ปัญหาฐานรากทรุดแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ Compaction Grouting และ Soil Fracture Grouting โดยจะพิจารณาการเลือกใช้จากปัจจัยดังนี้

3.1.1 ข้อมูลทางธรณีวิทยา

- Compaction Grouting เหมาะสมสำหรับทุกชนิดของดินหลวมเม็ดหยาบ ดินอ่อนเม็ดละเอียด แต่ไม่เหมาะสำหรับดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำหรือดินอ่อนเม็ดละเอียดอิ่มตัวด้วยน้ำเพราะเมื่อเริ่ม Grouting แรงดันน้ำในมวลดิน (Pore water pressure)จะสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ปัญหาการทรุดตัวรุนแรงขึ้น

- Soil Fracture Grouting ไม่เหมาะสำหรับดินเม็ดละเอียด เหมาะสำหรับ ดินหลวมเม็ดใหญ่

3.1.2 สภาพพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งจะพิจารณาว่ารูปแบบใดที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ที่ปฏิบัติงาน ทั้งในเรื่องของการรบกวนบริเวณรอบข้าง ขนาดพื้นที่สำหรับปฏิบัติงานและพื้นที่ติดตั้งเครื่องจักรต้องเลือกให้เหมาะสม

3.1.3 งบประมาณที่ใช้ พิจารณาว่างบประมาณที่ใช้ในวิธีการไหนมีความคุ้มค่ามากและประหยัดได้มากกว่า ซึ่งงบประมาณก็ขึ้นอยู่กับค่าเครื่องจักร ชนิดและปริมาณวัสดุที่ใช้ในการดำเนินการ ค่าแรงคนงานเป็นต้น

3.2 ทำรายการและตรวจสอบงบประมาณที่ต้องใช้ โดยขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ทำการรายการงบประมาณที่ต้องใช้ในการดำเนินการทั้งหมดอย่างละเอียดโดยทำออกมาแยกเป็นรายการและแสดงรายละเอียดของแต่ละรายการงาน ซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าวัสดุที่ใช้Grouting ค่าเช่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ ค่าแรงคนงานและค่าดำเนินการอื่น เช่น ค่าการออกแบบการดำเนินการ Grouting ในกรณีที่ไม่ได้ทำการออกแบบเอง เป็นต้น

3.3 ทำเอกสารขออนุมัติการดำเนินการ ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ผู้ดำเนินการGrouting ทำเอกสารเสนอขออนุมัติการดำเนินการกับทางผู้ว่าจ้าง ซึ่งเอกสารจะประกอบไปด้วย วิธีการในการดำเนินการ วัสดุ Grouting ที่ใช้ในการดำเนินการ เครื่องจักรและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

3.4 ออกแบบการดำเนินการทำ Grouting

ในการออกแบบสำหรับ Displacement Grouting นั้น ปริมาณวัสดุและแรงดันที่ใช้เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องได้รับการออกแบบ เนื่องจากปัจจัยทั้ง2มีผลต่อความหนาแน่นของดิน นอกจากนั้นแล้วยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับโครงสร้างที่อยู่บริเวณโดยรอบนั้น เนื่องจากการที่ใช้ปริมาณวัสดุและแรงดันที่มากเกินไป เช่น อาจทำให้ฐานรากข้างเคียงเคลื่อนตัว อาจทำให้ฐานรากยกตัวมากเกินจนไม่ได้ระดับ เป็นต้น

ดังนั้นการออกแบบปริมาณวัสดุและแรงดันที่ใช้จึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยการออกแบบควรให้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางหรือมีความรู้ในเรื่องนี้เป็นผู้ออกแบบเองหรือเป็นผู้ให้คำปรึกษาและตรวจสอบโดยการออกแบบมีดังนี้

- ปริมาณวัสดุที่ใช้ เราสามารถหาปริมาณวัสดุที่ใช้ได้จากเปอร์เซ็นที่ปริมาตรที่ต้องการให้แทนที่ของดิน จากสูตร

$$V_d = \frac{\gamma_f - \gamma_o}{\gamma_f} \times 100$$

โดย

Vd = เปอร์เซ็นปริมาตรที่ต้องให้การแทนที่

γf = หน่วยน้ำหนักที่ต้องการสุดท้าย

γo = หน่วยน้ำหนักแรกเริ่มของดิน.

เมื่อเราได้เปอร์เซ็นปริมาตรที่ต้องการแทนที่แล้วสามารถนำไปหาปริมาตรวัสดุที่ใช้ได้จากปริมาตรของดินที่ต้องการทำการ Grouting

Table 31.2 Displacement Grouting

Type of Grout	Soil Cement	
Constituents	Soil	: sand or silty sand with 15–30 percent fines
	Cement	: up to 25 percent of soil
	Bentonite	: up to 3 percent of cement
	Water	: adjusted to yield slump of 25 to 75 mm
Grout Hole Spacing	1.5–5.0 m	
Grout Pressure	Up to 4000 kN/m^2	

รูปที่ 7 รายละเอียดของ Displacement Grouting

จากรูปจะแสดงถึงส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ในการGrouting ระยะห่างระหว่างหลุม และแรงดันที่แนะนำให้ใช้โดยที่

- ระยะห่างระหว่างหลุม แม้ว่าจากรูประยะห่างที่แนะนำคือ 1.5 -5.0 เมตร แต่จากการทดสอบพบว่าที่ระยะ 3-3.5 เมตร นั้นเหมาะสมสำหรับเครื่องปั๊มที่มีอัตราการไหล 1-2 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

- แรงดันที่ใช้ แนะนำให้ใช้ที่มากกว่า 4000 kN/m^2 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรของ Akbulut and Saglamer (2002) ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้คำค่าหาความสามารถในการใช้งาน Grouting

$$N = \frac{D_{10(soil)}}{D_{90(grout)}} + k_1 \frac{w/c}{FC} + k_2 \frac{P}{D_r}$$

โดย

w/c = water cement ratio of the grout

FC = the total soil mass passing through 0.6 mm

P = grouting pressure

D_r = the relative density of the soil

k1,k2 เป็นค่าคงที่. k1 = 0.5 และ k2 = 0.01 1/kPa

N = ค่าหาความสามารถในการใช้งาน Grouting ใช้งานได้ที่ N > 28

โดยสามารถพิจารณาว่าการ Grouting มีความสามารถใช้งานได้ที่ค่าหาความสามารถในการใช้งาน Grouting มีค่ามากกว่า 28 ซึ่งในอีกทางหนึ่งคือแรงขั้นต่ำที่เหมาะที่จะใช้ในการ Grout ให้พิจารราที่ N = 28 แต่อย่างไรก็ตามแรงดันที่ใช้ได้ก็ต้องไม่มากกว่า 25 เปอร์เซ็นของน้ำหนักที่กดทับดินบริเวณนั้นอยู่

3.5 ระบุข้อกำหนดหรือเงื่อนไขเฉพาะ ข้อกำหนดหรือข้อจำกัดของการ Grouting ที่ผู้ดำเนินการในสนามจำเป็นต้องทราบควรระบุไว้เป็นข้อกำหนดและเงื่อนไขพิเศษของการดำเนินการหรือข้อควรระวังสำหรับดำเนินการเพื่อให้การดำเนินการออกมาอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น (1)อัตราการฉีดควรช้าพอที่แรงดันน้ำในดินจะกระจายตัวออกไป (2)ลำดับการทำงานเป็นสิ่งสำคัญมาก (3)ดินที่ยุบตัวได้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้โดยการเติมน้ำลงไปขณะเจาะก่อนเริ่มทำ Grouting (4) ห้ามใช้แรงดันเกินกว่าที่กำหนด เป็นต้น นอกจากนี้อาจจะต้องระบุข้อจำกัดเกี่ยวกับสภาพพื้นที่ปฏิบัติงานเพิ่มเติมตามสภาพงานซึ่งในแต่ละที่ก็ไม่เหมือนกัน

3.6 ออกแบบและทำแผนการควบคุมตรวจสอบงาน หลังจากขั้นตอนการออกแบบ และขั้นตอนการระบุข้อกำหนดหรือเงื่อนไขเฉพาะเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการทำการออกแบบและทำแผนการควบคุมและตรวจสอบงานให้ออกมามีประสิทธิภาพสูงสุดและบรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งประกอบไปด้วยการสังเกตการณ์ ควบคุม ตรวจสอบ จดบันทึกและรายงานผลการดำเนินการอย่างละเอียด นอกจากนั้นแล้วยังรวมถึงระบุคุณสมบัติผู้ที่จะมารับผิดชอบงานนี้ด้วย การออกแบบและทำแผนการควบคุมตรวจสอบงานต้องมีความละเอียดและครอบคลุมงานทั้งหมด

- การสังเกตการณ์ ออกแบบวิธีการและหลักการที่ใช้ในการสังเกตว่าดำเนินการไปในทิศทางที่ถูกต้องและมีความปลอดภัย นอกจากนั้นแล้วยังควรแนะนำวิธีในการสังเกตและข้อกำหนดสำหรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างและบริเวณรอบข้าง

- ควบคุมงาน กำหนดเงื่อนไขที่ผู้ควบคุมงานต้องดำเนินการให้ได้ เช่น เงื่อนไขเรื่องงบประมาณ เงื่อนไขเรื่องเวลา เงื่อนไขการดำเนินการ เงื่อนไขความปลอดภัย เงื่อนไขด้านประสิทธิภาพและเป้าหมายของงาน

- ตรวจสอบ กำหนดวิธีการในการตรวจสอบคุณภาพของวัสดุGrouting วิธีตรวจสอบประสิทธิภาพและความพร้อมของอุปกรณ์และเครื่องจักร วิธีการตรวจสอบความพร้อมของผู้ปฏิบัติงาน เช่น การตรวจสอบค่าslumpของปูน ตรวจสอบแรงดันของเครื่องปั๊ม ตรวจเครื่องแต่งกายของผู้ปฏิบัติงาน ตรวจความพร้อมของร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน เป็นต้น

- จดบันทึกและรายงานผล กำหนดสิ่งที่ต้องทำการจดบันทึกและรายงานผล เช่น รูปภาพขณะดำเนินการ วันที่และเวลาที่ดำเนินการ ปริมาณวัสดุที่ใช้ เครื่องจักรที่ใช้ แรงดันที่ใช้อัด ใครเป็นผู้กำกับดูแลงาน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ครั้งที่ดำเนินการ เป็นต้น

- คุณสมบัติของผู้ปฏิบัติงาน ต้องกำหนดคุณสมบัติ ความรู้และประสบการณ์ที่จำเป็นต้องมีสำหรับการดำเนินการของผู้ที่จะมารับผิดชอบในการควบคุมและตรวจสอบการปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การดำเนินการออกมามีประสิทธิภาพและบรรลุเป้าหมายของการดำเนินการ

3.7 กำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้ดำเนินการ ขั้นตอนการกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้ดำเนินการแต่ละคนให้มีความเหมาะสมกับความรู้ ความสามารถและประสบการณ์ของแต่คนนั้นเป็นส่วนสำคัญที่มีผลทำให้การดำเนินงานเป็นไปได้อย่างสะดวกราบรื่น ซึ่งเป็นผลดีต่อดำเนินการในภาพรวม ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

- กำหนดคุณสมบัติที่จำเป็นในแต่ละหน้าที่ที่ต้องรับผิดชอบ

- กำหนดจำนวนบุคคลที่ต้องการในแต่ละหน้าที่ที่ต้องรับผิดชอบ

3.8 ทำตารางเวลาการดำเนินงาน การทำตารางเวลาการดำเนินการเพื่อให้การดำเนินการมีเป้าหมาย มีทิศทาง และมีขอบเขตของการดำเนินงานที่ชัดเจนเพื่อให้การดำเนินการมีประสิทธิภาพและทันตามเวลาที่กำหนด กล่าวอีกอย่างคือการดำเนินงานที่ล่าช้ากว่าเวลาที่กำหนดอาจส่งผลกระทบกับการดำเนินงานในส่วนอื่น นอกจากนั้นการดำเนินการที่ล่าช้ายังส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นตามไปด้วย การทำตารางเวลาดำเนินงานที่ดีควรให้มีความเหมาะสมกับสภาพหน้างาน จำนวนผู้ปฏิบัติงาน งบประมาณ และไม่ส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานในส่วนอื่น ส่วนประกอบของตารางเวลาการดำเนินงานต้องมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนที่ละเอียดครบถ้วนทุกขั้นตอน

3.9 เตรียมการเรื่องเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ต้องใช้งาน เป็นขั้นตอนที่ทำการเตรียมการเช่าเครื่องจักรและจัดซื้ออุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินงานGrouting ให้เพียงพอเหมาะสมตามที่จำเป็นต้องใช้งาน

3.10 เตรียมเอกสารที่ใช้สำหรับกับการดำเนินการหน้างาน ขั้นตอนนี้เป็นตอนสุดท้ายก่อนที่จะดำเนินการในสนาม ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่เตรียมเอกสารที่จำเป็นต้องใช้ในหน้างาน ได้แก่

- เอกสารรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดสำหรับการดำเนินงานที่ได้ออกแบบไว้

- เอกสารรายละเอียดของแผนงานที่ใช้ในการควบคุมและตรวจสอบงาน

- เอกสารตารางเวลาดำเนินงาน

- เอกสารแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

4. ขั้นตอนการดำเนินงานในสนาม

หลังจากขั้นตอนการวางแผนและออกแบบวิธีการปฏิบัติการเสร็จสิ้นแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการเริ่มดำเนินการ Grouting เพื่อปรับปรุงดินฐานรากที่ทรุดตัวโดยข้อกำหนดและเงื่อนไขการดำเนินงานจะเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ ได้แก่ ปริมาณวัสดุ Groutingที่ใช้อัดฉีดในแต่ละครั้ง จำนวนหลุมที่ฝังท่อ ขนาดและความยาวท่อที่ใช้ ลักษณะการฝังท่อ และแรงดันที่ใช้ในการอัด โดยขั้นตอนการดำเนินงานในการ Grouting ขึ้นอยู่กับรูปแบบของ Grouting ที่ใช้ซึ่งแบ่งได้ 2 รูปแบบสำหรับแก้ปัญหาฐานรากทรุด คือ

- Compaction Grouting

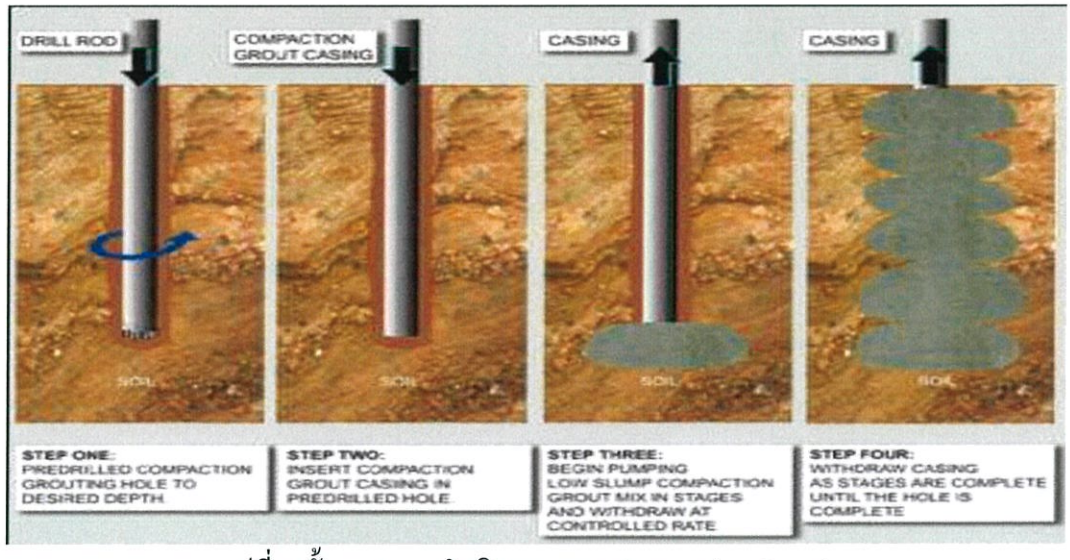
Step 1: เจาะดินและติดตั้งท่อลงไปยังตำแหน่งที่ต้องการปรับปรุง

Step 2: ติดตั้งเครื่องปั๊มและเตรียมวัสดุสำหรับGrouting ตามที่ได้ออกแบไว้

Step 3: ทำการอัดวัสดุสำหรับGrouting ลงไปในท่อโดยใช้ความดันตามที่ได้ออกแบบไว้

Step 4: เมื่ออัดจนได้ปริมาณวัสดุ Grouting ที่ได้ออกแบบหรืออัดไม่ลงแล้วให้ทำการยกท่อขึ้นไปยังช่วงต่อไปแล้วทำการอัดวัสดุ Grouting วนซ้ำจนถึงปากหลุม

Step 5: ทำตาม Step 1-4 ซ้ำจนครบทุกหลุม



รูปที่ 8 ขั้นตอนการดำเนินงานของ Compaction Grouting

- Soil Fracture Grouting

Step 1: เจาะดินและติดตั้งท่อSleeve ลงไปยังตำแหน่งที่ต้องการปรับปรุง

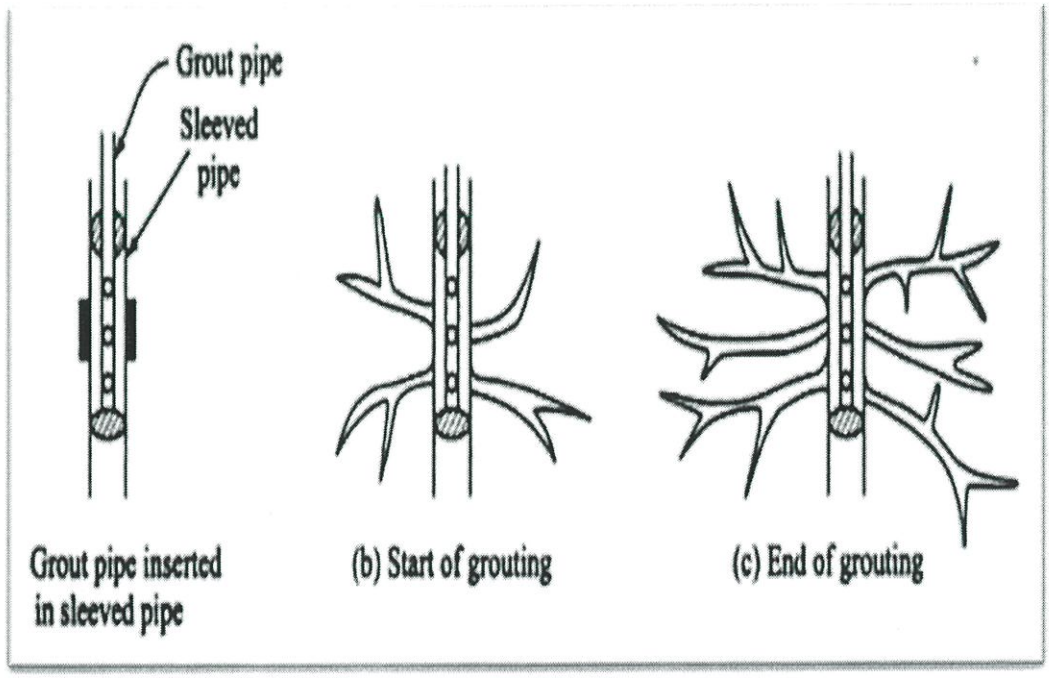
Step 2: ติดตั้งเครื่องปั๊มและเตรียมวัสดุสำหรับGrouting ตามที่ได้ออกแบไว้

Step 3: ทำการอัดวัสดุสำหรับGrouting ลงไปในท่อโดยไม่ใช้ความดันเพื่อไม่ให้ท่อเคลื่อน ทิ้งไว้ให้วัสดุสำหรับGrouting เซตตัวโดยทิ้งไว้ 12-24 ชั่วโมง

Step 4: ทำการอัดวัสดุสำหรับGrouting ลงไปในท่อโดยใช้ความดันและปริมาณวัสดุ Grouting ตามที่ได้ออกแบบไว้ ทิ้งไว้ให้วัสดุสำหรับGrouting เซตตัวโดยทิ้งไว้ 12-24 ชั่วโมง

Step 5: ทำการอัดวัสดุสำหรับGrouting ซ้ำลงไปในท่อโดยใช้ความดันและปริมาณวัสดุสำหรับ Grouting ตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งปริมาณวัสดุสำหรับGroutingที่อัดในขั้นตอนนี้จะใช้น้อยกว่า Step 4 เพื่อให้ วัสดุสำหรับGrouting กระจายไปทั่วทุกทิศทาง

Step 6: ทำตาม Step 1-5 จนครบทุกหลุม



รูปที่ 9 ขั้นตอนการดำเนินงานของ Soil Fracture Grouting

ขั้นตอนการดำเนินการ Grouting จะมีเป้าหมาย มีทิศทาง และมีขอบเขตของการดำเนินงานตามที่ได้กำหนดไว้ในตารางเวลาการดำเนินงาน นอกจากนั้นแล้วการดำเนินการ Grouting จะถูกควบคุมและตรวจสอบในขณะดำเนินงานตามที่ได้ออกแบบไว้ในขั้นตอนการออกแบบและวางแผนควบคุมตรวจสอบงาน ซึ่งประกอบด้วย

- การสังเกตการณ์ ทำการสังเกตว่าขณะทำการ Grouting เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรกับโครงสร้างหรือบริเวณรอบข้าง คอยสังเกตการทำงานหรือพฤติกรรมของผู้ปฏิบัติงานที่อาจเป็นอันตรายต่อตัวผู้ปฏิบัติงานหรือการดำเนินงาน

- การควบคุมงาน กำกับควบคุมการทำงานให้เป็นไปตามขั้นตอน เงื่อนไขและข้อกำหนดที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ นอกจากนี้แล้วยังต้องควบคุมการใช้งานเครื่องจักร การใช้วัสดุ Groutingไม่ให้เกินงบประมาณที่มี

- การตรวจสอบ ตรวจสอบประสิทธิภาพและความพร้อมของอุปกรณ์และเครื่องจักร วิธีการตรวจสอบความพร้อมของผู้ปฏิบัติงานเช่น การตรวจสอบค่าslumpของปูน ตรวจสอบแรงดันของเครื่องปั๊ม ตรวจเครื่องแต่งกายของผู้ปฏิบัติงาน ตรวจความพร้อมของร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน เป็นต้น

- การจดบันทึกผล ทำการบันทึกผลขณะดำเนินการ สิ่งที่จำเป็นต้องบันทึกได้แก่ รูปภาพขณะดำเนินการ วันที่และเวลาที่ดำเนินการ ปริมาณวัสดุที่ใช้ เครื่องจักรที่ใช้ แรงดันที่ใช้อัด ใครเป็นผู้กำกับดูแลงาน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ครั้งที่ดำเนินการ

- รายงานผล นำบันทึกผลขณะดำเนินการมารวบรวมและจัดเก็บไว้เป็นรายงาน เพื่อนำไปใช้ในการรายงานผลการดำเนินงาน นอกจากนั้นเป็นหลักฐานยืนยันว่าการดำเนินงานเป็นไปตามที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้

5. การตรวจสอบและติดตามผลการแก้ไขปัญหา

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการดำเนินการเพื่อติดตามผลการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดว่าหลังจากที่ได้ดำเนินการ Grouting ไปแล้วฐานรากยังเกิดการทรุดตัวอีกหรือไม่ ซึ่งหากยังคงมีการทรุดตัวของฐานรากอยู่จะได้ดำเนินการค้นหาสาเหตุต่อไปว่าทำไมถึงยังเกิดการทรุดตัวอีก แต่หากการตรวจพบว่าการทรุดตัวของฐานรากได้หยุดลงแล้วถือว่าการดำเนินการแก้ไขฐานรากทรุดถือว่าเสร็จสิ้น ซึ่งวิธีการตรวจได้แก่

การตรวจสอบว่ายังคงเกิดการทรุดตัวอีกหรือไม่โดยการเช็คค่าระดับทุกวันเป็นเวลา 2 สัปดาห์ หรือการสุ่มเจาะดูการกระจายตัวของวัสดุGroutingในดิน เป็นต้น

บรรณานุกรม

- เอกสารการสอนของ Prof. G L Sivakumar Babu Department of Civil Engineering Indian Institute of Science Bangalore 560012
- เอกสารการสอนของผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์ Department of Civil Engineering kmitl.
- หนังสือ Engineering and Design GROUTING TECHNOLOGY ของ DEPARTMENT OF THE ARMY EM U.S. Army Corps of Engineer Washington, DC 20314-1000
- The Use of Compaction Grouting for Ground Improvement; Karst and Beyond by Tom Szynakiewicz, PE, D.GE. From WWW.GEOSTABILIZATION.COM
- เอกสาร Grouting by Sachin Pandey. From www.slideshare.net
- เอกสาร Grouting in Soils by Shoaib Wani. From www.slideshare.net
- เอกสาร Grouting by astraeaeos. From www.slideshare.net
- หนังสือวิศวกรรมฐานราก โดย ผศ.ดร.พรพจน์ ตันเส็ง

บรรณานุกรมรูป

รูปที่ 1 ที่มา:เอกสารการสอนของ Prof. G L Sivakumar Babu Department of Civil Engineering Indian Institute of Science Bangalore 560012

รูปที่ 2 ที่มา: Grouting by Sachin Pandey. From www.slideshare.net

รูปที่ 3 ที่มา: http://civil.emu.edu.tr/old_website/data/civl454/CH7-%20Lec12%20Grouting.pdf

รูปที่ 4 ที่มา: Grouting in Soils by Shoaib Wani. From www.slideshare.net

รูปที่ 5 ที่มา: เอกสารทดสอบ Plate bearing test ของโครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.

รูปที่ 6 ที่มา: เอกสารขุดเจาะสำรวจดินของโครงการ Mercator Medical Thailand Co. , Ltd.

รูปที่ 7 ที่มา: เอกสาร Grouting by Sachin Pandey. From www.slideshare.net

รูปที่ 8 ที่มา: https://www.indiamart.com/ugc-engineering/grouting-services.html

รูปที่ 9 ที่มา: เอกสาร Grouting by Sachin Pandey. From www.slideshare.net

ประวัติผู้เขียน

ข้าพเจ้า นาย ปิยวิช ตันบุรินทร์ทิพย์ รหัสนักศึกษา 57010780 กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษา ประจำปีการศึกษา 2560 กับทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทรับเหมาก่อสร้าง เป็นเวลา 4 เดือน โดยไซต์งานที่ไปคือ โครงการก่อสร้างโรงงานของบริษัท เมอร์กาโต้ เมดิคัล (ไทยแลนด์) จำกัด อยู่อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นการฝึกงานตำแหน่ง site engineer ได้รับมอบหมายจากโปรเจคเมเนเจอร์ของโครงการให้ไปดูในส่วนของการก่อสร้างบ้านพักคนงานซึ่งเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กความสูง 3 ชั้น แต่ในส่วนของงานของโครงงานสหกิจศึกษาได้รับมอบหมายให้ศึกษาและจัดทำคู่มือเกี่ยวกับการใช้งาน Grouting ในการแก้ไขปัญหาฐานรากทรุดตัว เนื่องจากโครงการก่อสร้างโรงงานของบริษัท เมอร์กาโต้ เมดิคัล (ไทยแลนด์) จำกัดนั้นเกิดปัญหาการทรุดตัวของฐานรากอาคารเนื่องจากพบว่าคุณภาพของชั้นดินใต้ฐานรากมีปัญหาและทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัดได้เสนอให้แก้ปัญหาการทรุดตัวดังกล่าวด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการทำ Grouting แต่เนื่องจากการ Grouting เป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนและมีความเสี่ยงที่สูง ผลที่ตามมาอาจทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมาไม่เป็นไปตามที่ได้คาดหวังเอาไว้ จากปัญหาดังกล่าวผู้ศึกษาเล็งเห็นถึงความสำคัญและเพื่อให้การดำเนินการซ่อมแซมการทรุดตัวของฐานรากเป็นไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ผู้ศึกษาจึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับหลักการของการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยวิธีการ Grouting และจัดทำคู่มือสำหรับการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินโดยใช้วิธีการ Grouting ขึ้นมา