

การพัฒนาพื้นที่ปลอดภัยของอุโมงค์เนื่องจากผลกระทบของเสาเข็มใน
กรุงเทพมหานคร

Development of a tunnel safe area due to the impact of
piles in Bangkok



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Development of a tunnel safe area due to the impact of piles in Bangkok



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.


Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาพื้นที่ปลอดภัยของอุโมงค์เนื่องจากผลกระทบของเสาเข็มใน
กรุงเทพมหานคร
Development of a tunnel safe area due to the impact of piles in
Bangkok

นักศึกษา ว่าที่ร้อยตรีปิวิณา อาริยะ รหัสนักศึกษา 61015051
นายพีรวัฒน์ ทองทิพย์ รหัสนักศึกษา 61015056
นายวานนท์ วงศ์ธานี รหัสนักศึกษา 61015071

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ประทีป หลื่อประเสริฐ

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ประทีป หลื่อประเสริฐ	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่.....

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การพัฒนาพื้นที่ปลอดภัยของอุโมงค์เนื่องจากผลกระทบของเสาเข็มใน กรุงเทพมหานคร

ว่าที่ร้อยตรีปิวิณา อาริยะ		รหัสนักศึกษา 61015051
นายพีรวัฒน์ ทองทิพย์		รหัสนักศึกษา 61015056
นายวานนท์ วงศ์ธานี		รหัสนักศึกษา 61015071

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ประทีป หลือประเสริฐ
ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

การพัฒนาพื้นที่ปลอดภัยของอุโมงค์เนื่องจากผลกระทบของเสาเข็ม ถือเป็นเรื่องที่สำคัญ เนื่องจากอุโมงค์เป็นทางเลือกที่ดีในการเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านคมนาคมและด้านสาธารณสุขปโภคที่ใช้ อย่างแพร่หลายในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และในการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างใหม่นั้นไม่อาจหลีกเลี่ยงตำแหน่งของอุโมงค์เดิม ดังนั้นความปลอดภัยทั้งชีวิตและทรัพย์สินเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง จึงนำมาทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ปลอดภัยของอุโมงค์ จากเดิมมีกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาพื้นที่ปลอดภัยของอุโมงค์ กรณีศึกษาผลกระทบจากสิ่งก่อสร้างต่ออุโมงค์ที่มีอยู่ และกรณีศึกษาของการนำเสาเข็มเจาะ Benote มาใช้ในการก่อสร้างที่อยู่ใกล้กับอุโมงค์ โดยผลของกรณีศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าเสาเข็มมีผลกระทบต่ออุโมงค์ขึ้นอยู่กับชั้นดินและระยะความลึกของปลายเสาเข็มและระยะห่างระหว่างอุโมงค์และเสาเข็ม โดยจากการวิจัยนี้ได้มีแนวทางการวิเคราะห์ปัญหาและลักษณะกายภาพของโครงการ MRTA โครงการอุโมงค์รถไฟฟ้าหิวซุนและ MWA เพื่อที่จะได้ผลที่ครอบคลุมประเภทของอุโมงค์ทั้งหมดโดยใช้ข้อมูลของชั้นดินในกรุงเทพมหานคร โดยมีหลักการพิจารณาความลึกของปลายเสาเข็มและระยะห่างระหว่างเสาเข็มและผนังอุโมงค์ภายนอกที่แตกต่างกันรวมถึงชั้นดินที่พิจารณาแตกต่างกันทั้งสี่กรณี วิจัยนี้ได้กล่าวถึงกรณีศึกษาที่ผ่านมาและกำหนดกรณีศึกษาเพื่อทำการสร้างแบบจำลองวิเคราะห์การเสีรูปของอุโมงค์เพื่อสร้างพื้นที่ปลอดภัยของอุโมงค์และเสาเข็มต่อไป

คำสำคัญ พื้นที่ปลอดภัยปลอดภัย , ระยะระหว่างเสาเข็มและอุโมงค์ , อุโมงค์ใต้ดิน , ความลึกของปลายเสาเข็ม , ชั้นดินในกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Development of a tunnel safe area due to the impact of piles in Bangkok

Paweena Ariya Student ID. 61015051

Peelawat Thongtip Student ID. 61015056

Wanon Wongthanee Student ID. 61015071

Advisor : Asst.Prof.Dr. Prateep Lueprasert

Academic Year 2020

ABSTRACT

The development of a tunnel safe area due to the impact of the piles is important. This is because tunnels are a good choice for improving the efficiency of transportation and utilities that are widely used in the Bangkok area. And in the construction of a new building, the location of the original tunnel cannot be avoided. Therefore, the safety of both life and property is an important consideration. Therefore, it was used to analyze the safe area of the tunnel. Previously, there were case studies that involved the analysis of tunnel safety areas. Case studies of the effects of buildings on existing tunnels. And a case study of using Benote bored piles in construction near the tunnel. As a result of the case studies mentioned above, it was found that the impact of piles on the tunnel depends on the soil layer and the depth of the end of the pile, and the distance between the tunnel and the pile. From this research, the problem analysis and physical characteristics of the MRTA Project, the Liu Chun Railway Project, and the MWA were obtained to obtain the results that cover all types of tunnels using data on soil layers in Bangkok. The principles for the depth of the pile ends and the distances between the piles and the external tunnel walls were determined in all four different cases. This research addresses past case studies and sets out a case study to continue modeling tunnel deformation analysis to create safe areas of tunnels and piles.

Keywords : Safe, safe area, the distance between pile and tunnel, underground tunnel, depth of pile end, soil in Bangkok.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร. ประทีป หลีอประเสริฐฐ ที่กรุณาให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง อีกทั้งสละเวลาเพื่อให้คำปรึกษา กับคณะผู้จัดทำตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับงานวิจัยนี้ พวกเราผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาท่านต่างๆ ที่ให้คำแนะนำ และกำลังใจอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณพี่ปริญญาโทที่ให้คำปรึกษา คอยช่วยเหลือในการให้คำแนะนำในการทำโครงการ รวมถึงการให้กำลังใจและความรู้ตลอดระยะเวลา ที่ได้ศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธานี้ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจ ในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้คณะ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ว่าที่ร้อยตรีปิวิณา	อาริยะ	รหัสนักศึกษา 61015051
นายพีรวัฒน์	ทองทิพย์	รหัสนักศึกษา 61015056
นายวานนท์	วงศ์ธานี	รหัสนักศึกษา 61015071

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง-ฉ
สารบัญรูป.....	ช-ฌ
สารบัญตาราง.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและปัญหา.....	1-2
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	3
2.1 ข้อมูลโครงการกรณีศึกษา.....	3
2.1.1 โครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน สายเฉลิมรัชมงคล(MRTA).....	3
2.1.2 โครงการอุโมงค์รถไฟหลิวซุน (Liucun tunnel).....	4
2.1.3 โครงการท่อส่งน้ำและอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวง(WMA).....	4
2.2 วิธีการก่อสร้างอุโมงค์โดยหัวเจาะแบบปรับความดันสมดุล.....	5
2.2.1 การขุดเจาะอุโมงค์โดยหัวเจาะแบบปรับความดันสมดุล (Tunnel construction by Tunnel Earth pressure balance shield).....	5
2.2.2 ฉนังอุโมงค์.....	6
2.2.3 เทคนิคการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยหัวเจาะแบบปรับความดันดินสมดุล.....	6
2.3 ลักษณะทั่วไปของอุโมงค์ (Tunnel geometry).....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
2.4. พฤติกรรมที่อุโมงค์ที่ได้รับผลกระทบ.....	8-10
2.5 เสาค้ำรับแรงด้านข้าง.....	11
2.5.1 เสาค้ำที่ใช้ในกรุงเทพในปัจจุบัน.....	11
2.5.2 พฤติกรรมการรับแรงของเสาค้ำ.....	11-12
2.6 โมดูลส์ต้านทานรบกวนราบของดิน (Modulus of horizontal sugrade reaction).....	13-14
2.7. รูปแบบของเสาค้ำและขนาดของเสาค้ำ.....	15
2.7.1 เสาค้ำตอก (Driven Pile).....	15-17
2.7.2 เสาค้ำเจาะหล่อในที่ (Bored Pile).....	18-19
2.7.3 ขนาดอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน (MRTA).....	19
2.7.4 ขนาดของอุโมงค์ส่งน้ำ.....	19-22
2.8. พื้นที่อิทธิพล	23-26
2.8. สภาพทางธรณีวิทยา.....	27-28
บทที่ 3 ขั้นตอนการวิเคราะห์.....	29
3.1 แนวทางการวิเคราะห์.....	29
3.2 การพิจารณาปัญหาและลักษณะกายภาพของโครงการ MRTA โครงการอุโมงค์รถไฟฟ้าหลิวง และ MWA.....	30
3.2.1 หลักการพิจารณาปัญหา.....	30
3.2.2 กรณีศึกษา.....	31
3.3 การวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM).....	35
3.3.1 การเทียบวัดแบบจำลอง Calibration	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
3.3.2 คุณสมบัติที่ใช้ในการเทียบวัดแบบจำลอง.....	35-36
3.3.3 สภาวะขอบเขตของแบบจำลอง.....	37
บทที่ 4 กรณีศึกษาจากงานวิจัยอื่น.....	38
4.1 การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการประเมินผลกระทบ ของเสาเข็มภายใต้ การโหลดติดกับอุโมงค์ที่มีอยู่.....	38-39
4.2 แรงเยื้องศูนย์ของอุโมงค์เดิมเนื่องจากการก่อสร้างสะพานด้านข้างเคียง.....	40-42
4.3 อิทธิพลของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto ต่ออุโมงค์ที่มีอยู่ในบริเวณ ใกล้เคียง: กรณีศึกษา A.....	42
4.3.1 สภาพพื้นดินการประเมินเบื้องต้นจากการสำรวจทางวิศวกรรม....	42-43
4.3.2 การทดสอบและติดตั้งเครื่องมือ.....	43-45
4.3.3 Field measurements ผลข้อมูลภาคสนาม.....	45-48
4.4 การศึกษาเชิงตัวเลขเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอุโมงค์ที่มีอยู่เดิม เนื่องจากการขุดลึกในเชียงใหม่.....	49-53
4.5 พฤติกรรมของอุโมงค์ที่มีอยู่เนื่องจากการสร้างอุโมงค์ใหม่ด้านล่าง.....	53-54
4.5.1 การวิเคราะห์Parametric.....	54-55
4.5.2 การเบี่ยงเบนของอุโมงค์ที่มีอยู่ที่มีความยาวของดิน.....	55
4.5.3 ระยะห่างแนวนอนของอุโมงค์ใหม่.....	56-57
4.5.4 ระยะห่างในแนวตั้งระหว่างอุโมงค์ใหม่และที่มีอยู่.....	57-58
4.6 อิทธิพลของเสาเข็มแถวภายใต้การรับแรงใกล้กับอุโมงค์ที่มีอยู่.....	59-61
บทที่ 5 แนวทางการกำหนดพื้นที่อิทธิพล.....	62
บรรณานุกรม.....	63-65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 1.1 อุโมงค์ผ่านสิ่งก่อสร้างและโครงสร้างข้างเคียงในเขตชุมชนเมือง.....	1
รูปที่ 2.1 แผนที่ตั้งรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล.....	3
รูปที่ 2.2 เส้นทางอุโมงค์ส่งน้ำที่ทำการศึกษา.....	5
รูปที่ 2.3 หัวเจาะแบบปรับความดันดินสมดุล.....	6
รูปที่ 2.4 การติดตั้งผนังอุโมงค์บริเวณท้ายหัวเจาะ.....	6
รูปที่ 2.5 ลักษณะของอุโมงค์.....	7
รูปที่ 2.6 การเสียรูปของผนังอุโมงค์แบบต่อเนื่อง.....	9
รูปที่ 2.7 การเสียรูปของผนังอุโมงค์แบบชิ้นส่วนประกอบ.....	9
รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบการเสียรูปของโครงสร้างผนังอุโมงค์ในขั้นตอนการใส่เสาเข็มรับแรง.....	10
รูปที่ 2.9 กำลังรับแรงแบกทานของดินที่ปลายเสาเข็ม.....	12
รูปที่ 2.10 เสาเข็มรับแรงในแนวแกน แรงด้านข้างและโมเมนต์ตัด.....	13
รูปที่ 2.11 แนวคิดในการคำนวณค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดิน.....	14
รูปที่ 2.12 หน้าตัดเสาเข็มชนิดต่างๆ.....	15
รูปที่ 2.13 แนวเส้นทางโครงการอุโมงค์ระบายน้ำคลองแสนแสบและ คลองลาดพร้าวลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา.....	20
รูปที่ 2.14 ระบบส่งน้ำและสถานีสูบน้ำโครงการระยะแรกและสอง.....	21
รูปที่ 2.15 แสดงรายละเอียดส่วนประกอบของอุโมงค์ส่งน้ำประปา.....	22
รูปที่ 2.16 โซนพื้นที่ปลอดภัยในการก่อสร้างเสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกทุกใกล้เคียงอุโมงค์ เดิมในกรุงเทพฯ.....	23
รูปที่ 2.17 ระยะปลอดภัยของอุโมงค์.....	24
รูปที่ 2.18 เส้นเขตพื้นที่ผลกระทบของการเคลื่อนตัวของดินและเข็มจากการขุดอุโมงค์.....	25
รูปที่ 2.19 เขตพื้นที่ผลกระทบของการเคลื่อนตัวของเสาเข็มรอบๆการขุดอุโมงค์ ในดินเหนียวอ่อนและทรายแน่นจากการทดสอบขนาดจริงที่.....	25
รูปที่ 2.20 ข้อเสนอแนะการขุดอุโมงค์ใกล้กับฐานรากเสาเข็มที่มีอยู่เดิม.....	26
รูปที่ 2.21 บริเวณคุ้มครองของการก่อสร้างอุโมงค์เมื่อมีสิ่งก่อสร้างใกล้เคียง.....	27
รูปที่ 2.22 สภาพความดันน้ำทั่วไปในกรุงเทพฯ.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการวิเคราะห์.....	29
รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบการพิจารณาปัญหา.....	30
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะชั้นดินต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	31
รูปที่ 3.4 ลักษณะทางกายภาพของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงิน (MRTA) และอุโมงค์รถไฟฟ้าหลิวง.....	32
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะทางกายภาพของอุโมงค์ส่งน้ำการประปานครหลวง (MWA).....	33
รูปที่ 3.6 แสดงการวางตัวของปลายเสาเข็ม.....	34
รูปที่ 3.7 ผลการเทียบวัดแบบจำลองของอุโมงค์ด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์แบบ 2 มิติ.....	36
รูปที่ 3.8 ผลการเทียบวัดแบบจำลองของเสาเข็มด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์แบบ 2 มิติ.....	37
รูปที่ 4.1 กรณี A อุโมงค์ตั้งอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน.....	38
รูปที่ 4.2 กรณี B อุโมงค์ตั้งอยู่บนชั้นดินเหนียว.....	39
รูปที่ 4.3 กรณี C อุโมงค์ตั้งอยู่ในชั้นดินเหนียว.....	39
รูปที่ 4.4 ค่าการเสียรูปของผนังอุโมงค์และชั้นส่วนที่รับแรง เนื่องจากการก่อสร้างสะพาน(C/D = 0.15, E/D = 0.75).....	40
รูปที่ 4.5 ค่าการเสียรูปของผนังอุโมงค์และชั้นส่วนที่รับแรงเนื่องจาก การก่อสร้างสะพานที่ส่วนกลาง (C/D = 0.15, E/D = 0.75).....	40
รูปที่ 4.6 การเพิ่มขึ้นสูงสุดของชั้นส่วนที่รับแรง กับ C/D (E / D = 0.75).....	41
รูปที่ 4.7 รายละเอียดของดินและพารามิเตอร์ทางธรณีเทคนิคในพื้นที่ที่วิเคราะห์.....	42
รูปที่ 4.8 แสดงแผนผังระนาบของอุโมงค์ที่มีอยู่และเสาเข็มเจาะ Benote.....	44
รูปที่ 4.9 ภาพร่างไดอะแกรมของเครื่องวัดความเอียงและวิธีการประมวลผลข้อมูล.....	44
รูปที่ 4.10 कैาโครงสร้างของเสาเข็มเจาะ Benote และอุโมงค์ ที่มีอยู่รวมถึงเครื่องมือ inclinometers.....	45
รูปที่ 4.11 การกระจัดด้านข้างที่ M2 ระหว่างการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto.....	45
รูปที่ 4.12 การกระจัดด้านข้างที่ M7 ระหว่างการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto.....	46
รูปที่ 4.13 การกระจัดด้านข้างที่ M9 ระหว่างการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการวิจัยทางวิชาการเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใจใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.14 การกระจัดด้านข้างที่ M11 ระหว่างการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto.....	47
รูปที่ 4.15 การกระจัดด้านข้างที่ M13 ระหว่างการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto.....	47
รูปที่ 4.16 การกระจัดด้านข้างที่ M15 ระหว่างการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto.....	48
รูปที่ 4.17 แบบแผนโครงการขุดดิน และ อุโมงค์เส้นที่ 6 ด้านข้าง.....	49
รูปที่ 4.18 ตาข่ายของแบบจำลอง.....	49
รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ของอุโมงค์ใต้ดินเส้นทางที่ 6 และเสาเข็ม.....	50
รูปที่ 4.20 การเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงดินและดิน (หน่วย m.).....	51
รูปที่ 4.21 การเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงดินของอุโมงค์ใต้ดินเส้นทางที่ 6.....	52
รูปที่ 4.22 แสดงผลการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของกำแพงดินและดิน(หน่วย m.).....	52
รูปที่ 4.23 ตำแหน่งจุด4จุดที่ทำการวิเคราะห์.....	53
รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนตัวในแนวตั้งใน4จุด.....	53
รูปที่ 4.25แบบจำลองเชิงตัวเลขของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	53
รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบคำนวณโดยวิธีที่เสนอและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	54
รูปที่ 4.27 (a) การโก่งตัวตามอุโมงค์ที่มีอยู่.....	54
รูปที่ 4.27 (b) การเปรียบเทียบเชิงลบสูงสุด.....	55
รูปที่ 4.28 (a) การโก่งตัวตามอุโมงค์ที่มีอยู่.....	55
รูปที่ 4.28 (b) การเปรียบเทียบเชิงลบสูงสุด.....	56
รูปที่ 4.29 (a) ความดันในการขนถ่าย.....	56
รูปที่ 4.29 (b) การเปรียบเทียบของอุโมงค์ที่มีอยู่.....	57
รูปที่ 4.29 (c) การเปรียบเทียบเชิงลบสูงสุดของอุโมงค์ที่มีอยู่ในระหว่างการขุดอุโมงค์ใหม่.....	57
รูปที่ 4.30 (a) การเปรียบเทียบของอุโมงค์ที่มีอยู่.....	58
รูปที่ 4.30 (b) การเปรียบเทียบเชิงลบสูงสุด.....	58
รูปที่ 4.31 (a) ลักษณะดินกรุงเทพและ pore water pressure (b) ตำแหน่งของปลายเสาเข็ม.....	59
รูปที่ 4.32 FE mesh และขนาดของโมเดล.....	59
รูปที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ด้วยระยะห่างต่างๆ.....	60
รูปที่ 4.34 การเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์ด้วยตำแหน่งปลายเสาเข็มต่างๆ.....	60
รูปที่ 4.35 พื้นที่อิทธิพลของอุโมงค์สำหรับเสาเข็มรับแรงที่อยู่ติดกัน.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงการรับน้ำหนักปลอดภัยและขนาดเสาเข็มวงกลมกลวง.....	15-16
ตารางที่ 1.2 แสดงการรับน้ำหนักปลอดภัยและขนาดเสาเข็มสี่เหลี่ยมกลวง.....	16
ตารางที่ 1.3 แสดงการรับน้ำหนักปลอดภัยและขนาดเสาเข็มสี่เหลี่ยมตัน.....	16-17
ตารางที่ 1.4 แสดงการรับน้ำหนักปลอดภัยและขนาดเสาเข็มหกเหลี่ยมกลวง.....	17
ตารางที่ 1.5 แสดงการรับน้ำหนักปลอดภัยและขนาดเสาเข็มตัวไอ.....	17-18
ตารางที่ 1.6 แสดงการรับน้ำหนักปลอดภัยและขนาดเสาเข็มวงกลม.....	18-19
ตารางที่ 1.7 แสดงชนิดและขนาดท่อ กปน.....	20
ตารางที่ 1.8 ความยาวของอุโมงค์ส่งน้ำประปา กปน.....	21
ตารางที่ 1.9 ขนาดอุโมงค์ตามสัญญาก่อสร้าง.....	22
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของชั้นดินในการสร้างแบบจำลอง.....	35
ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของวัสดุ.....	36
ตารางที่ 4.1 Material parameters in the case study.....	43
ตารางที่ 4.2 สรุปการกระจัดด้านข้างสูงสุดที่วัดได้โดยระยะติดตั้งเครื่องมือ inclinometers ที่แตกต่างกัน.....	48
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของดิน.....	50
ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนท์เอลิเมนต์.....	50
ตารางที่ 4.5 ลำดับการขุด.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

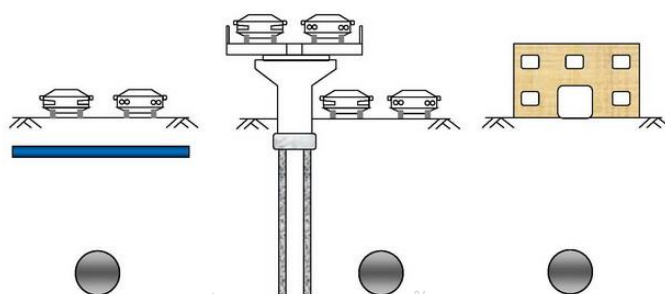
บทนำ

1.1. ที่มาและปัญหา

พื้นที่กรุงเทพมหานครที่มีความก้าวหน้าอย่างมากและมีจำนวนประชากรที่หนาแน่นมากขึ้นรวมไปถึงสิ่งก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นอุโมงค์จึงเป็นทางเลือกที่ดีในการเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านคมนาคมและด้านสาธารณสุขในพื้นที่กรุงเทพมหานคร แต่ในการก่อสร้างอุโมงค์นั้นไม่อาจหลีกเลี่ยงเสาเข็มจากสิ่งปลูกสร้างเดิมได้ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากสิ่งก่อสร้างฐานรากที่ส่งผลกระทบต่อการเล่นรูปร่างและแรงภายในของอุโมงค์ โดยสิ่งที่ต้องพิจารณาต่อผลกระทบนี้ คือ ขนาดของอุโมงค์ที่มีขนาดต่างกันตามการใช้งาน, ในความรู้สึกที่ระดับชั้นดินนั้นๆ รวมไปถึงระยะห่างของเสาเข็มกับอุโมงค์ที่เหมาะสม และในปัจจุบันโครงการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับไฟฟ้าและก๊าซได้รับความสนใจอย่างยิ่งด้วยเหตุผลการใช้งานของอุโมงค์ที่แตกต่างกันในแต่ละประเภท มิติของอุโมงค์ (tunnel dimension) ซึ่งหมายถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ภายนอกถึงผนังอุโมงค์ย้อมมีอัตราส่วนที่ต่างกัน ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อโครงสร้างอุโมงค์ก็จะมี ความแตกต่างเช่นกัน แม้ว่าแนวเส้นทางของอุโมงค์ (Tunnel alignment) โดยทั่วไปจะวางตัวไปตามแนวถนนใหญ่ เพื่อไม่ให้อุโมงค์ได้รับผลกระทบจากโครงสร้างข้างเคียง

ดังนั้นโครงสร้างคมนาคมและระบบสาธารณสุขจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อรองรับจำนวนประชากรและเห็นความสำคัญเรื่องความปลอดภัยรวมทั้งผลกระทบต่างๆของเสาเข็มที่ส่งผลต่อโครงสร้างอุโมงค์ ซึ่งการประเมินผลกระทบของเสาเข็มต่ออุโมงค์จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากต่อโครงสร้างในระยะยาว ดังแสดงในรูปที่ 1.1 อุโมงค์ผ่านสิ่งก่อสร้างและโครงสร้างข้างเคียงในเขตชุมชนเมือง

อุโมงค์ผ่านสิ่งก่อสร้างและโครงสร้างข้างเคียง ในเขตชุมชนเมือง



ก) อุโมงค์ลอดใต้แนวท่อเดิม ข) อุโมงค์ผ่านเสาเข็มตอม่อทางด่วน ค) อุโมงค์ลอดผ่านบ้านพักอาศัย

รูปที่ 1.1 อุโมงค์ผ่านสิ่งก่อสร้างและโครงสร้างข้างเคียงในเขตชุมชนเมือง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการศึกษาผลกระทบของเสาเข็มที่รับน้ำหนักจากสิ่งปลูกสร้างที่ส่งผลต่ออุโมงค์เดิม พบว่ามีการศึกษา ในปี 2015 Lueparsert al [2] ได้ศึกษา พื้นที่อิทธิพลสำหรับผลกระทบของเสาเข็มรับแรงที่ส่งผลต่ออุโมงค์ โดยพิจารณาการเสีรูปร่าง และต่อมาในปี 2017 Lueparsert al [3] ได้นำเสนอวิธีประเมินผลกระทบของเสาเข็มรับแรงข้างเคียงที่ส่งผลเสียต่ออุโมงค์เดิมที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์สูงสุด (the maximum changes in tunnel diameter) โดยใช้แบบจำลองจากผลกระทบของเสาเข็มเดียวเท่านั้นและได้ทำการศึกษานขนาดของอุโมงค์เพียงอย่างเดียวคือ อุโมงค์รถไฟฟ้า ขนาด 6.30 เมตรและผนังขนาด 0.30 เมตร ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวยังไม่ครอบคลุมถึงอุโมงค์ในเขตกรุงเทพมหานคร

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ผลกระทบของระยะห่างเสาเข็มรับแรงข้างเคียงที่ส่งผลต่อการเสีรูปร่างและแรงภายในของอุโมงค์และอุโมงค์ส่งน้ำโดยศึกษาจากการจำลองอุโมงค์ที่มีขนาดแตกต่างกัน , ความยาวของเสาเข็มที่แตกต่างกัน และรวมไปถึงระดับความลึกของชั้นดินที่ต่างกัน โดยการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการประเมินระยะห่างของเสาเข็มแบบแถวกับโครงสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล (MRTA) ,โครงการอุโมงค์รถไฟฟ้าชานุม (Liucun tunnel) และอุโมงค์ส่งน้ำของ กปน (การประปานครหลวง) ซึ่งเป็นอุโมงค์ที่มีอยู่ในกรุงเทพมหานครและมีขนาดที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาพื้นที่ปลอดภัยของอุโมงค์และค่าการเสีรูปร่างของอุโมงค์ที่ได้รับผลกระทบจากเสาเข็มในระยะห่างที่แตกต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาการเสีรูปร่างของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินและอุโมงค์ส่งน้ำ เนื่องจากผลกระทบของเสาเข็มรับแรงข้างเคียง โดยพิจารณาขนาดอุโมงค์ และความหนาของผนังอุโมงค์ที่แตกต่างกัน
2. ศึกษากรณีที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่ออุโมงค์ที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์พื้นที่อิทธิพลของอุโมงค์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. วิเคราะห์ผลกระทบโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 2 มิติ
2. สภาพทางธรณีวิทยาพิจารณาโดยอ้างอิงคุณสมบัติของชั้นดินในกรุงเทพมหานคร
3. ศึกษาเฉพาะค่าการเสีรูปร่างของอุโมงค์ และไม่ได้คำนึงถึงขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ข้อมูลโครงการกรณีศึกษา

2.1.1 โครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน สายเฉลิมรัชมงคล(MRTA)

อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล (MRTA)[9] เป็นโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกของประเทศไทยโดยมีระยะทาง 20 กิโลเมตรเป็นโครงการใต้ดินตลอดสาย โดยเริ่มต้นที่สถานีรถไฟฟ้าหัวลำโพง และสิ้นสุดที่สถานีรถบางซื่อ รวมทั้งหมด 18 สถานี ลักษณะของโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน เป็นอุโมงค์คอนกรีตเสริมเหล็กอยู่ใต้ดินลึกจากผิวถนนประมาณ 15 – 25 เมตร สถานีจะมีความกว้างประมาณ 18 – 25 เมตร ยาวประมาณ 150 – 200 เมตร ซึ่งโครงการได้ถูกออกแบบให้มีระบบป้องกันน้ำท่วมภายในตัวสถานีและอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินพร้อมทั้งระบบสัญญาณแจ้งเหตุและเตือนภัยอัตโนมัติสำหรับการป้องกันอัคคีภัย ภายในอุโมงค์มีการติดตั้งรางวิ่งรถไฟรางที่สาม ทางเดินซ่อมบำรุง อุปกรณ์ระบบระบายอากาศ ระบบดูดอากาศใต้ฐานขาลาและระบบตรวจจับความร้อน รูปแบบโครงการเป็นอุโมงค์คู่รางเดี่ยว คือ เดินรถอุโมงค์ละหนึ่งทิศทาง มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.7 เมตร หนา 30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 6.3 เมตร โดยแผนที่ตั้งรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคลได้แสดงไว้ในรูป 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2-1 แผนที่ตั้งรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล[9]
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อที่บุคคลอื่นใด และต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2 โครงการอุโมงค์รถไฟลิวซุน (Liucun tunnel)

อุโมงค์รถไฟลิวซุน[10] เป็นอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง เส้นทางนครหนานหนิง-เมืองฉงจั่ว เป็นรถไฟความเร็วสูงสายแรกของกวางซี ซึ่งตัวอุโมงค์ถูกออกแบบให้เป็นอุโมงค์รถไฟทางคู่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์ของผนังภายนอก 12.40 เมตรและผนังอุโมงค์รอบใน 11.30 เมตร ความยาวอุโมงค์ 5725 เมตร แผ่นคอนกรีตผนังอุโมงค์แบบโค้งมีความกว้าง 2 เมตรและความหนา 0.55 เมตร โดยเทคนิคที่ใช้ในการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟทางคู่นี้ใช้วิธี Earth Pressure Balance (EPB) หรือสมดุลแรงดันดินด้วยโล่หัวเจาะขนาดใหญ่ และมีความแม่นยำสูงเนื่องจากต้องขุดลอดใต้รถไฟความเร็วสูง 6 สาย รถไฟฟ้าใต้ดิน 1 สายและถนนสายหลัก 6 เส้น รวมทั้งสภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยาที่มีความซับซ้อนของชั้นดิน ซึ่งอุโมงค์รถไฟความเร็วสูงนี้มีบทบาทสำคัญในระบบงานขนส่งและโลจิสติกส์ระหว่างจีนกับอาเซียน

2.1.3 โครงการท่อส่งน้ำและอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวง (WMA)

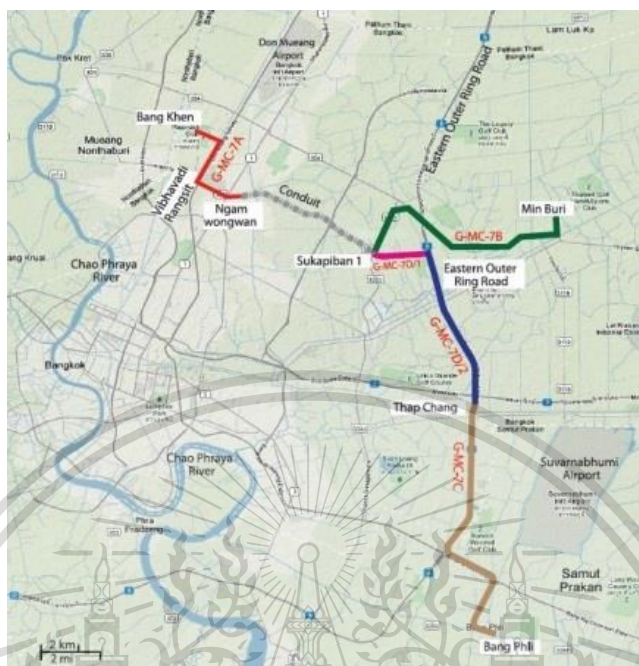
การประปานครหลวง[12] มีหน้าที่ดำเนินธุรกิจอื่นที่เกี่ยวข้องหรือเป็นประโยชน์แก่การประปาและคำนึงถึงประโยชน์ของรัฐและประชาชน โดยจัดหาแหล่งน้ำดิบให้ได้มาซึ่งแหล่งน้ำดิบเพื่อใช้ในการประปา ผลิตจัดส่งและจำหน่ายน้ำประปาในเขตท้องที่ กรุงเทพมหานครและควบคุมมาตรฐานเกี่ยวกับระบบประปาในเขตในส่วนงานขยายกิจการตามโครงการแผนหลักแบ่งเป็นโครงการย่อยๆ เช่น โครงการระบบน้ำดิบ โครงการอุโมงค์ส่งน้ำ เป็นต้น โดยเส้นทางที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลของโครงการ (G-MC-7A) โครงการอุโมงค์ส่งน้ำวางตัวในแนวเส้นทาง บางเขน - วิภาวดีรังสิต - งามวงศ์วาน ระยะทางโดยประมาณ 6.70 กิโลเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอุโมงค์ 4200 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3770 มิลลิเมตร เป็นท่อเหล็กความหนา 18 มิลลิเมตร และผนังอุโมงค์ชั้นนอก (Primary Lining) ที่เป็นคอนกรีตมีความหนา 150 มิลลิเมตร ผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) หนา 170 มิลลิเมตร ซึ่งวางตัวอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff clay) มีความลึกประมาณ 17 - 20 เมตร วัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการรับแรงดันน้ำจากการส่งผ่านระบบสูบน้ำ โดยบางกรณีอาจต้องรับแรงดันที่สูงถึง 7.50 บาร์ จึงจะได้รับการออกแบบเป็นท่อเหล็กเหนียว ซึ่งผลิตและควบคุมคุณภาพจากโรงงานก่อนทำการขนส่งมาใช้งาน ซึ่งใช้เทคนิคในการขุดเจาะแบบ Manual shield , Mechanical shield , Slurry shield และ Semi - Mechanical shield สำหรับการก่อสร้างในอดีต แต่ปัจจุบันได้ใช้เทคนิคที่ทันสมัยอย่างหัวเจาะแบบปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความดันสมดุล (Earth pressure balance shield) ที่มีเส้นผ่านกลางภายนอก ตั้งแต่ 3.16 – 4.56 เมตร เคลื่อนที่ด้วย Hydraulic Jacks โดยเส้นทางอุโมงค์ส่งน้ำที่ทำการศึกษาก็ได้แสดงไว้ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เส้นทางอุโมงค์ส่งน้ำที่ทำการศึกษา[12]

2.2 วิธีการก่อสร้างอุโมงค์โดยหัวเจาะแบบปรับความดันสมดุล

2.2.1 การขุดเจาะอุโมงค์โดยหัวเจาะแบบปรับความดันสมดุล (Tunnel construction by Tunnel Earth pressure balance shield) [11] การก่อสร้างอุโมงค์เป็นการขุดเจาะโดยอาศัยแรงดันให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามแนวแกนของอุโมงค์พร้อมกับทำการขุดดิน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของดินและพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของดินที่มีความแตกต่างกันตามพื้นที่และระดับความลึกของแต่ละชั้นดิน ซึ่งในการขุดเจาะอุโมงค์ในปัจจุบันนิยมใช้เทคนิคการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยหัวเจาะแบบปรับความดันดินสมดุล (Earth pressure balance shield) ซึ่งหัวเจาะแบบปรับความดันดินสมดุล ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน สายเฉลิมรัชมงคล (MRTA) เนื่องจากชั้นดินในกรุงเทพฯ เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนจนถึงชั้นดินเหนียวแข็งซึ่งเหมาะกับหัวเจาะแบบปรับความดันดินสมดุลชนิดนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

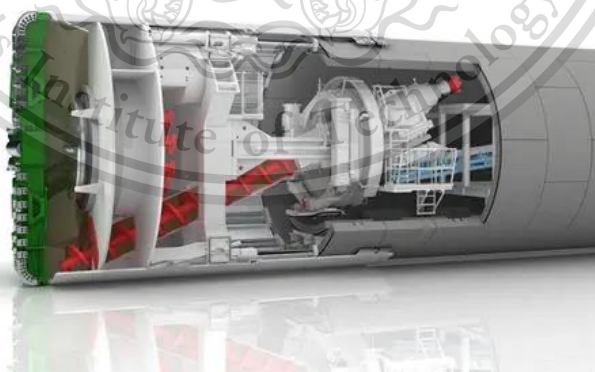
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3 หัวเจาะแบบปรับความดันดินสมดุล

2.2.2 ผนังอุโมงค์จะทำการติดตั้งบริเวณส่วนท้ายของหัวเจาะ ผนังอุโมงค์ที่เป็นระบบแบบผนังถาวรในขั้นตอนเดียว (One-pass) เป็นระบบที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขในการรักษาเสถียรภาพของการก่อสร้าง และใช้เป็นผนังอุโมงค์ถาวรในส่วนเดียวกัน โครงสร้างรถไฟใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคลที่เป็นระบบแบบผนังถาวรในขั้นตอนเดียว (One-pass) โดยทั่วไปผนังอุโมงค์ที่ประกอบกันเป็นอุโมงค์จะมีขนาดที่เล็กกว่าหัวเจาะเพราะว่าการติดตั้งจะเกิดขึ้นภายใน ส่วนท้ายของหัวเจาะ ดังนั้นช่องว่างที่เกิดขึ้นโดยรอบจะถูกเติมเต็มด้วยการอัดฉีดน้ำปูนในกรณีที่อุโมงค์ทำการก่อสร้างในดินเปียก เพื่อป้องกันการไหลซึมของน้ำ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การติดตั้งผนังอุโมงค์บริเวณท้ายหัวเจาะ

2.2.3 เทคนิคการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยหัวเจาะแบบปรับความดันดินสมดุลเป็นการขุดเจาะอุโมงค์ที่เคลื่อนไปด้านหน้าของหัวเจาะจะเกิดขึ้นพร้อมกัน เมื่อหัวตัดดินด้านหน้าหัวเจาะเริ่มทำการหมุนตัดดิน แม้เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวัสดุสำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับถาดเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แรงไฮดรอลิคด้านหลังหัวเจาะก็จะยืดออกและดันด้านกับผนังของอุโมงค์ ดินที่ถูกขุดออกจะถูกลำเลียงไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้ ด้วยเกลียวหมุนลำเลียงดิน (Screw conveyor) และสายพานลำเลียงดิน (Belt conveyor) จากห้องกักดิน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(Earth chamber) จากนั้นการลำเลียงดินจะผ่านการขนย้ายโดยรรางลำเลียงดินหรือใช้ระบบท่อสูบต่อเข้ากับสลักเกลียวหมุนลำเลียงดินโดยตรง รวมทั้งในทางปฏิบัติเพื่อลดการเคลื่อนตัวของดินให้น้อยที่สุด ความดันดินที่หัวเจาะขณะทำการตัดดินด้านหน้าจะต้องคอยติดตามผลและควบคุม ดังนี้

ก) การกำหนดความดันหน้าหัวเจาะ (Face pressure) ในแต่ละรอบการขุดเจาะจำเป็นที่จะต้องถูก

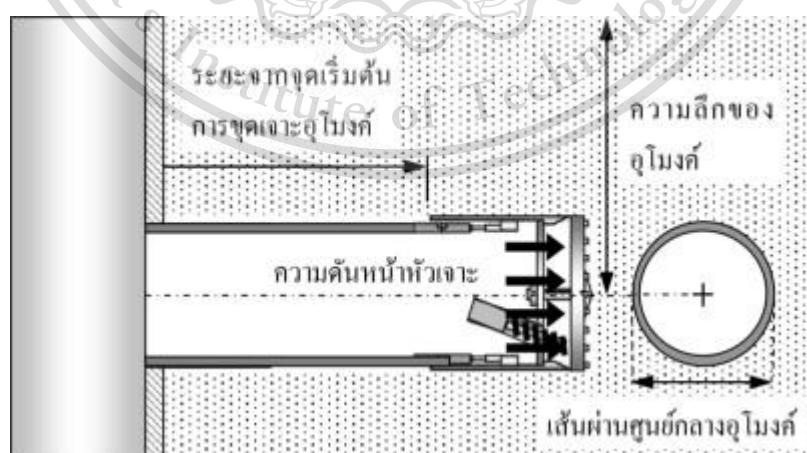
กำหนดไว้ ก่อนที่การขุดเจาะจะเกิดขึ้น โดยทำการประเมินจากแนวเส้นทางอุโมงค์และสภาพทางธรณีซึ่งความดันหน้าหัวเจาะที่กำหนดนี้จะใช้เป็นปัจจัยควบคุมขณะทำการขุดเจาะ

ข) ในระหว่างการขุดเจาะความดันหน้าหัวเจาะที่ใช้จะต้องถูกบันทึกควบคุม และรักษาให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้

ค) ในแต่ละรอบของการขุดเจาะความดันหน้าหัวเจาะที่ทำการกำหนดไว้ก่อนการขุดเจาะและความดันหน้าหัวเจาะที่เกิดขึ้นจริงขณะทำการขุดเจาะต้องถูกบันทึกในรายงานการขุดเจาะเพื่อใช้อ้างอิง

2.3 ลักษณะทั่วไปของอุโมงค์ (Tunnel geometry)

ระดับความลึกและสภาพทางธรณีวิทยาเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของผิวดินขณะที่มีการก่อสร้างหรือขุดเจาะอุโมงค์ ซึ่งในการขุดเจาะอุโมงค์จะต้องมีปัจจัยอื่นๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่นเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์(Tunnel diameter)ที่มีขนาดแตกต่างกัน ระยะเริ่มต้นของการขุดเจาะอุโมงค์ (Distance from launching station) ที่มักส่งผลกระทบต่อปริมาณการหลุดตัวของผิวดิน โดยลักษณะของอุโมงค์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.5 ลักษณะของอุโมงค์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4. พฤติกรรมที่อุโมงค์ที่ได้รับผลกระทบ

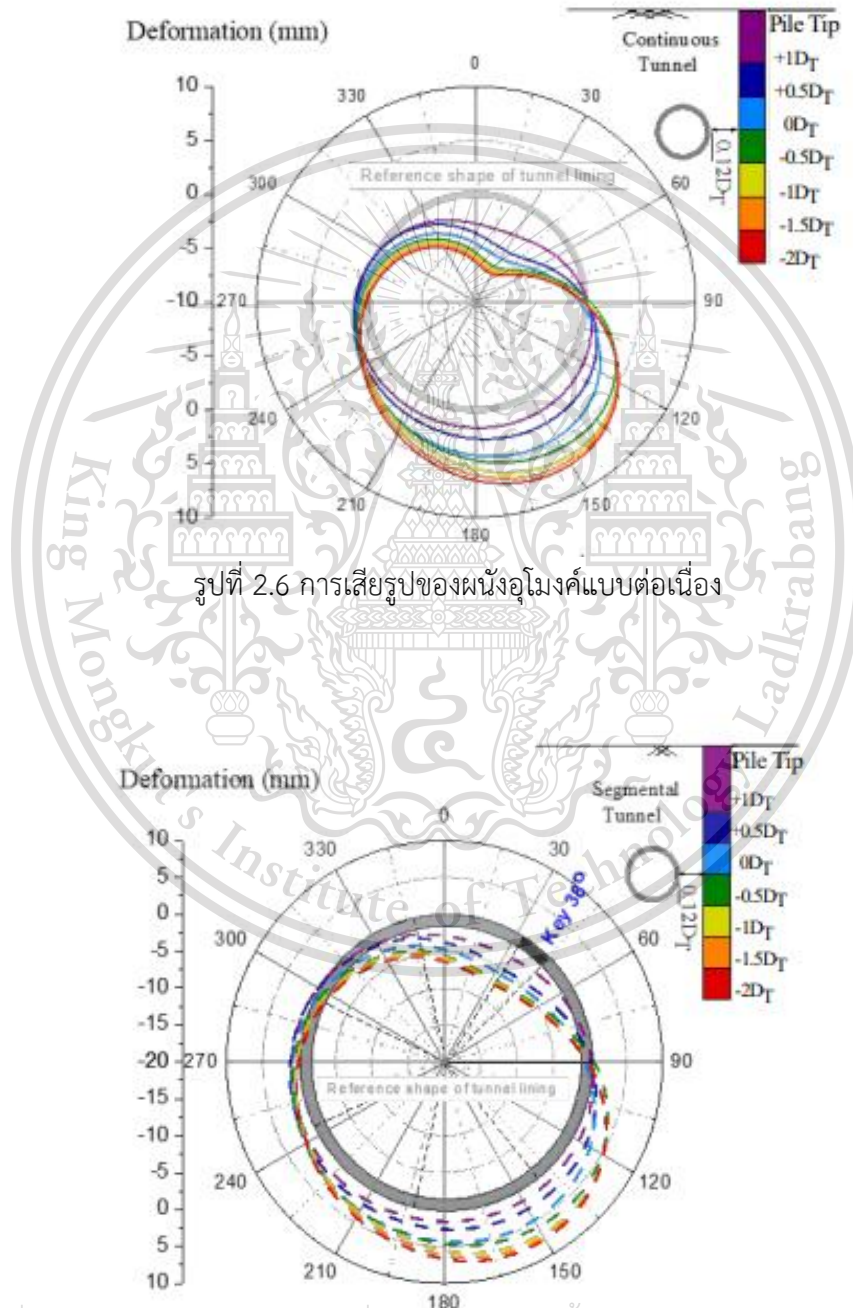
กลไกและพฤติกรรมการเสียรูปอุโมงค์เนื่องจากเสาเข็มรับแรงข้างเคียงถูกตรวจสอบโดยละเอียดในงานวิจัย [3] ว่ากลไกหลักคือการเคลื่อนตัวของดินรอบๆอุโมงค์ ซึ่งยังคงพิจารณาผนังอุโมงค์โดยจำลองอุโมงค์เป็นลักษณะท่อต่อเนื่อง ในสภาพจริงผนังอุโมงค์ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้นส่วนยึดติดด้วยข้อต่อประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้นส่วนยึดติดด้วย ข้อต่อ ในวงแหวนหนึ่งวงจะประกอบไปด้วย 6-8 ชิ้นส่วน ได้แก่ คีย์เช็ก เมนต์ 1 ชิ้น เช็กเมนต์ที่อยู่ติดกับคีย์เช็กเมนต์ 2 ชิ้น และเช็กเมนต์มาตรฐาน 3-5 ชิ้น โดยชิ้นส่วนคีย์เช็กเมนต์ เป็นชิ้นส่วนที่เล็กที่สุดจึงกลายเป็นจุดที่วิกฤตของวงแหวนอุโมงค์ การศึกษาเมื่อไม่นานมานี้ระบุว่าเมื่อพิจารณาผนังอุโมงค์เป็นแบบชิ้นส่วนประกอบและแบบต่อเนื่อง ในการศึกษานี้ดำเนินการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อศึกษาผลกระทบของเสาเข็มรับแรงข้างเคียงต่อผนังอุโมงค์ที่มีอยู่เปรียบเทียบพฤติกรรมของผนังอุโมงค์ระหว่างการจำลองเป็นแบบชิ้นส่วนประกอบและแบบต่อเนื่อง ตรวจสอบในแง่ของการเสียรูป พฤติกรรมของอุโมงค์เนื่องจากเสาเข็มรับแรงข้างเคียงวิเคราะห์โดยการจำลองสภาพ ความเค้นของดินก่อนที่จะมีเสาเข็ม หลังจากจำลองสภาพความเค้นในตัวของดินแล้ว จำลองการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยการลบเอลิเมนต์ของดินใน อุโมงค์ออกแล้วใส่เอลิเมนต์ของผนังอุโมงค์เข้ามาเมื่อเสร็จขั้นตอนนี้ ได้กำหนดให้การเคลื่อนตัวเท่ากับศูนย์เพื่อการเริ่มวัดค่าการเคลื่อนตัว ดังนั้นการเสียรูปของผนังอุโมงค์จึงเป็นผลจากเสาเข็มรับแรงเท่านั้น และขั้นตอนที่สองคือการมีอยู่ของเสาเข็มและให้น้ำหนักกระทำตามแนวแกนต่อเสาเข็ม โดยให้น้ำหนักกระทำต่อเสาเข็มเท่ากับค่าแรงที่ใช้งาน (Working load) พบว่าการเคลื่อนที่และการบิดเบี้ยวของอุโมงค์มีลักษณะแบบไม่สมมาตร โดยที่ตำแหน่งชิ้นส่วนด้านบนของผนังอุโมงค์ที่ใกล้ปลายเสาเข็มรับแรงเกิดการเคลื่อนที่ลงและยุบเข้าหาศูนย์กลางอุโมงค์ ในขณะที่ตำแหน่งชิ้นส่วนด้านล่างของผนังอุโมงค์ที่ห่างกับปลายของเสาเข็มรับแรงเคลื่อนที่ออกห่างจากศูนย์กลางของอุโมงค์ ซึ่งก็คือชิ้นส่วนของอุโมงค์ด้านที่ใกล้เสาเข็มรับแรงหนีห่างออกจากเสาเข็มรับแรง ในขณะที่อีกด้านของผนังอุโมงค์ในชิ้นส่วนเดียวกันทั้งส่วนด้านบนและด้านล่างที่ห่างจากตำแหน่งเสาเข็มรับแรงเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเมื่อระยะของปลายเสาเข็มรับแรงอยู่ห่างจากผนังของอุโมงค์ 0.5 Diameter ของอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การศึกษา[4]การเสียรูปตามวงรอบของอุโมงค์ที่เกิดจากเสาเข็มรับแรงโดยมีความยาวเสาเข็มต่าง ๆ (ให้น้ำหนักตามแนวแกนต่อเสาเข็มที่แตกต่างกัน) สำหรับผนังอุโมงค์ทั้งสองรูปแบบและการมีตำแหน่งชั้นส่วนค้ำยันที่ต่างกัน โดยไม่พิจารณาการเสียรูปของอุโมงค์ในขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์ พบว่าการเคลื่อนที่และการบิดเบี้ยวของอุโมงค์มีลักษณะแบบไม่สมมาตรซึ่งสังเกตได้ชัดเจน ดังรูปที่ 2.6 แสดงการเสียรูปของผนังอุโมงค์แบบต่อเนื่อง



รูปที่ 2.6 การเสียรูปของผนังอุโมงค์แบบต่อเนื่อง

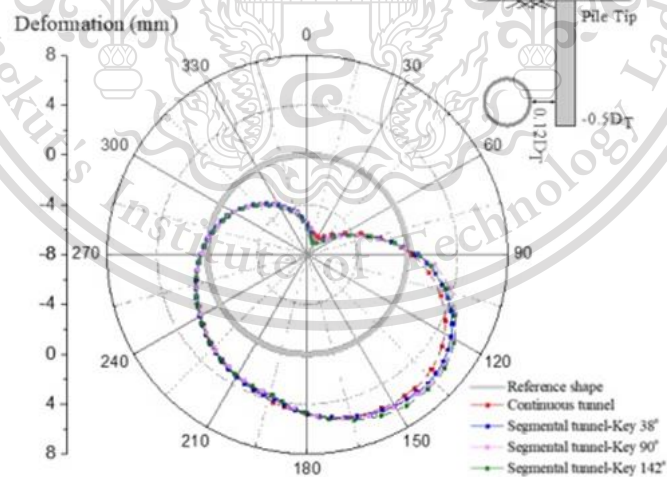
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.7 การเสียรูปของผนังอุโมงค์แบบชิ้นส่วนประกอบ

รูปที่ 2.7 สำหรับแบบชิ้นส่วนประกอบ (กรณีคีย์เช็กเมนต์อยู่ที่ 38 องศา) เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งของปลายเสาเข็มต่างๆจากผลการศึกษาพบว่าตำแหน่งส่วนด้านขวาของส่วนยอดอุโมงค์ (ด้านใกล้กับเสาเข็ม) เกิดการเคลื่อนที่ลงและยุบเข้าหาศูนย์กลางอุโมงค์ (หนีออกจากเสาเข็ม) ในขณะที่ตำแหน่งส่วนด้านขวาของอุโมงค์ส่วนล่างเกิดการเคลื่อนที่ลงและยึดหนีศูนย์กลางอุโมงค์ (เข้าหาเสาเข็ม) สำหรับด้านซ้ายของ อุโมงค์ (ด้านที่อยู่ห่างจากเสาเข็ม) สังเกตได้ว่าการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย การเสียรูปของผนังอุโมงค์ทั้งแบบต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา [2] และแบบชิ้นส่วนประกอบรูปที่ 2.7 มีลักษณะการเสียรูปเป็นวงรีหรือรูปไตที่มีแกนหลักเอียงและการเสียรูปของผนังอุโมงค์ทั้งแบบต่อเนื่องและแบบชิ้นส่วนประกอบมากขึ้นตามความลึกของปลายเสาเข็มที่มากขึ้น (แรงที่มากขึ้น) และรูปที่ 2.8 แสดงการเสียรูปของผนังอุโมงค์ทั้งแบบต่อเนื่องและแบบชิ้นส่วนประกอบกรณีปลายเสาเข็มอยู่ที่ระดับ $-0.5 DT$ จากรูปจะ เห็นว่าลักษณะการเสียรูปของทุกกรณีมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันสังเกตได้ว่าผนังอุโมงค์ทั้งแบบต่อเนื่องและแบบชิ้นส่วนประกอบเกิดการเสียรูปแบบยึดตัวสูงสุดที่ตำแหน่งประมาณ 150 องศาและการเสีย รูปแบบหดตัวสูงสุดที่ตำแหน่งประมาณ 30 องศา เมื่อตรวจสอบอย่างละเอียดพบว่าผนังอุโมงค์แบบชิ้นส่วนประกอบกรณีคีย์เช็กเมนต์อยู่ที่ 142 องศา มีค่าการเสียรูปโดยรวมมากที่สุด (การเสีย รูปแบบยึดตัวและแบบหดตัว) และกรณีคีย์เช็กเมนต์ที่ 38 องศา มีค่าการเสียรูปโดยรวมมากกว่า 90 องศา ทั้งนี้ในกรณีตำแหน่งคีย์เช็กเมนต์อยู่ที่ 142 องศา ส่งผลให้คีย์เช็กเมนต์อยู่ใกล้ปลายเสาเข็ม ($-0.5DT$) มากที่สุด



รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบการเสียรูปของโครงสร้างผนังอุโมงค์ในขั้นตอนการใส่เสาเข็มรับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 เสาค้ำรับแรงด้านข้าง

เสาค้ำถือว่าเป็นส่วนสำคัญในการถ่ายน้ำหนักของอาคารลงสู่ดินที่ระดับลึก ในกรณีที่จะต้องใช้เสาค้ำได้แก่

- 1.) เมื่อชั้นดินระดับตื้นเกิดการทรุดตัวมากเกินไปเมื่อมีน้ำหนักของอาคารกดทับ จึงต้องใช้เสาค้ำในการถ่ายน้ำหนักของอาคารลงสู่ชั้นดินแข็งที่อยู่ในระดับลึก
- 2.) เมื่อโครงสร้างอาคารที่รับแรงด้านข้างเช่น กำแพงกันดิน อาคารที่รับแรงลม หรือแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นดินไหวซึ่งจะถูกออกแบบเสาค้ำให้รับแรงในแนวตั้งและโมเมนต์
- 3.) โครงสร้างของสะพานเมื่อมีการไหลของน้ำจากัดเซาะที่ท้องน้ำ จึงต้องใช้เสาค้ำเพื่อถ่ายน้ำหนักสะพานลงสู่ชั้นดินที่น้ำกัดเซาะลงไปไม่ถึง

2.5.1 เสาค้ำที่ใช้ในกรุงเทพมหานครในปัจจุบัน

- 1.) เสาค้ำคอนกรีตสำเร็จรูป ส่วนใหญ่ใช้ในอาคารขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นเสาค้ำหล่อในโรงงานและขนย้ายไปก่อสร้างซึ่งมีความยาวตั้งแต่ 7 เมตรถึง 12 เมตร
- 2.) เสาค้ำคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่หรือเสาค้ำเจาะ เป็นเสาค้ำคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ดินเป็นแบบหล่อมักจะใช้เป็นฐานรากขนาดใหญ่หรือในกรณีที่ใช้เสาค้ำตอกจะทำให้อาคารข้างเคียงเกิดการขรุขระ เสาค้ำคอนกรีตสำเร็จรูปส่วนใหญ่จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.35 เมตร ถึง 2 เมตร กำลังรับน้ำหนักของเสาค้ำเจาะจะสูงมากเพราะสามารถเจาะให้มีความลึกได้ถึง 60 เมตร

2.5.2 พฤติกรรมการรับแรงของเสาค้ำ

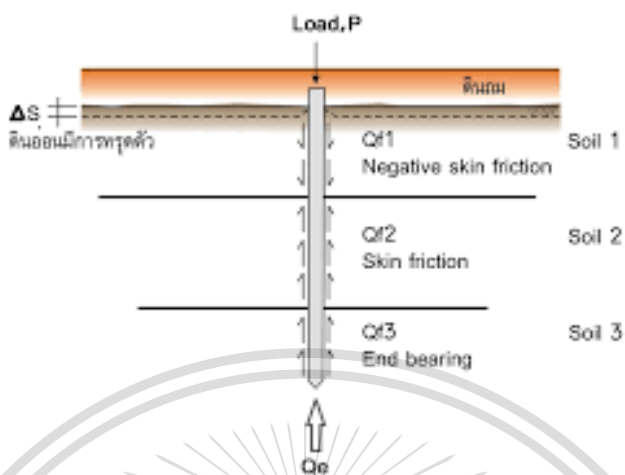
เมื่อมีน้ำหนักกดทับที่หัวเสาค้ำ เสาค้ำจะถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดิน จากแรงที่เสาค้ำส่งผ่านชั้นดินจำแนกได้สองส่วนคือ แรงเสียดทานที่ผิวเสาค้ำและแรงต้านทานที่ปลายเสาค้ำ(Skin friction) เป็นผลรวมของแรงเสียดทานอันเกิดจากแรงยึดเกาะ(Adhesion) ระหว่างเสาค้ำและดินตลอดหน้าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และความยาวของเสาเข็ม ส่วนแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม เป็นกำลังรับแรงแบกทานของดินที่ปลายเสาเข็ม ดังแสดงดังรูป 2.9



รูปที่ 2.9 กำลังรับแรงแบกทานของดินที่ปลายเสาเข็ม [7]

เสาเข็มรับแรงด้านข้าง การวิเคราะห์เสาเข็มรับแรงด้านข้างจะต้องตรวจสอบเงื่อนไข 2 สภาวะ 1 สภาวะกำลังและ 2 สภาวะใช้งาน โดยสภาวะกำลังต้องตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นดินและ ความสามารถในการรับน้ำหนักของหน้าตัดของเสาเข็ม ดังนั้นสำหรับเงื่อนไขในสภาวะใช้งานผู้ออกแบบต้องควบคุมไม่ให้เกิดการทรุดตัว หรือ เอียงตัวมากเกินไปจนเป็นสาเหตุให้โครงสร้างไม่สามารถใช้งานได้

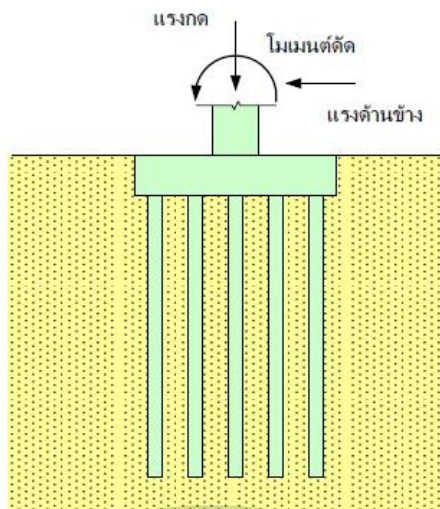
การวิบัติของเสาเข็มรับแรงด้านข้างจะเกิดขึ้น 2 กรณีคือ

- 1.) การวิบัติของดินรอบข้างเสาเข็มโดยจะต้องตรวจสอบไม่ให้แรงด้านข้างใช้งานที่กระทำต่อเสาเข็มมีค่ามากกว่ากำลังรับแรงด้านข้างประลัยหารด้วยอัตราส่วนความปลอดภัยของเสาเข็ม
- 2.) การวิบัติของเสาเข็มโดยจะต้องตรวจสอบโมเมนต์ดัดประลัยที่เกิดขึ้นในเสาเข็ม ไม่ให้เกินกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดเสาเข็มซึ่งคูณด้วยตัวลดค่าแรงดัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.10 เสาเข็มรับแรงในแนวแกน แรงด้านข้างและโมเมนต์ดัด

2.6 โมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดิน (Modulus of horizontal subgrade reaction)

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์เสาเข็มในกรณีที่ต้องรับแรงในแนวราบ เรียกว่า ค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดิน (Modulus of horizontal subgrade reaction) ใช้สัญลักษณ์คือ k_s ซึ่งมีหน่วยเป็น “แรง/ปริมาตร” ซึ่งสำหรับหน่วยตันและเมตร จะมีค่าเป็น “ตัน/ล.บ.เมตร” จากรูปที่ 2.8 เมื่อทราบค่า k_s จะสามารถคำนวณค่าความแข็งเกร็งของดินได้ดังนี้

$$K = k_s \times B \times \Delta L$$

โดยที่ K_s คือ ค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดิน (Modulus of horizontal subgrade reaction)

B คือ ความกว้างของเสาเข็ม

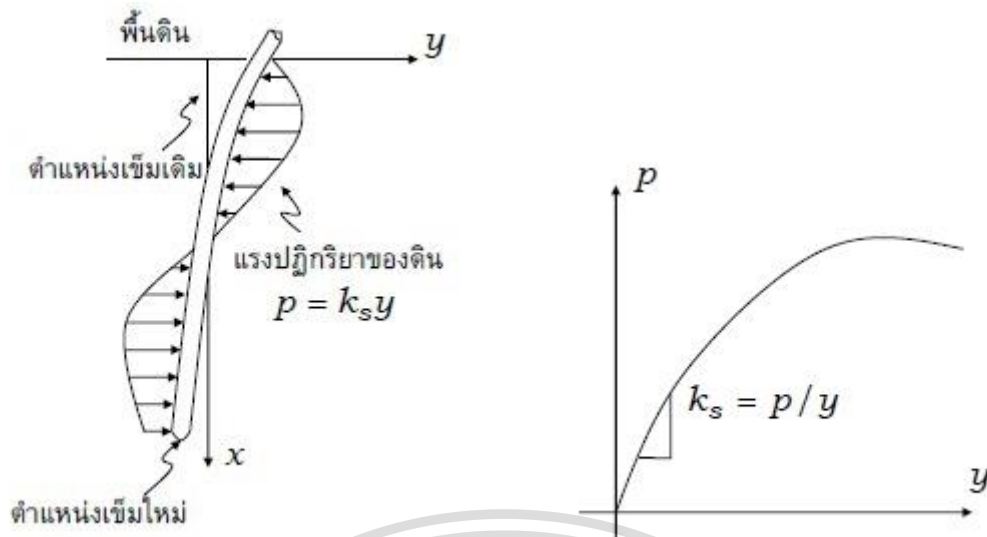
ΔL คือ ระยะเรียงของสปริง

การคำนวณค่า k_h จะทำได้โดยการนำแรงดัน (Pressure, p) ที่เข็มสัมผัสกับดิน ซึ่งเกิดจากการผลัก เข็ม ออกไปทางข้างหารด้วยระยะทางในแนวราบที่เกิดขึ้นหรือ y (ดูรูป 2.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เมื่อ p เป็น แรงดันดิน (ตัน/ม².)

y เป็น ระยะที่เสาเข็มโก่งตัวในแนวราบ (เมตร)

รูปที่ 2.11 แนวคิดในการคำนวณค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดิน

ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าค่า k_s คือ ค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์แรงดันและระยะโก่งในแนวราบ (เส้นโค้ง $p - y$) นั้นเอง

$$k = \frac{p}{y}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

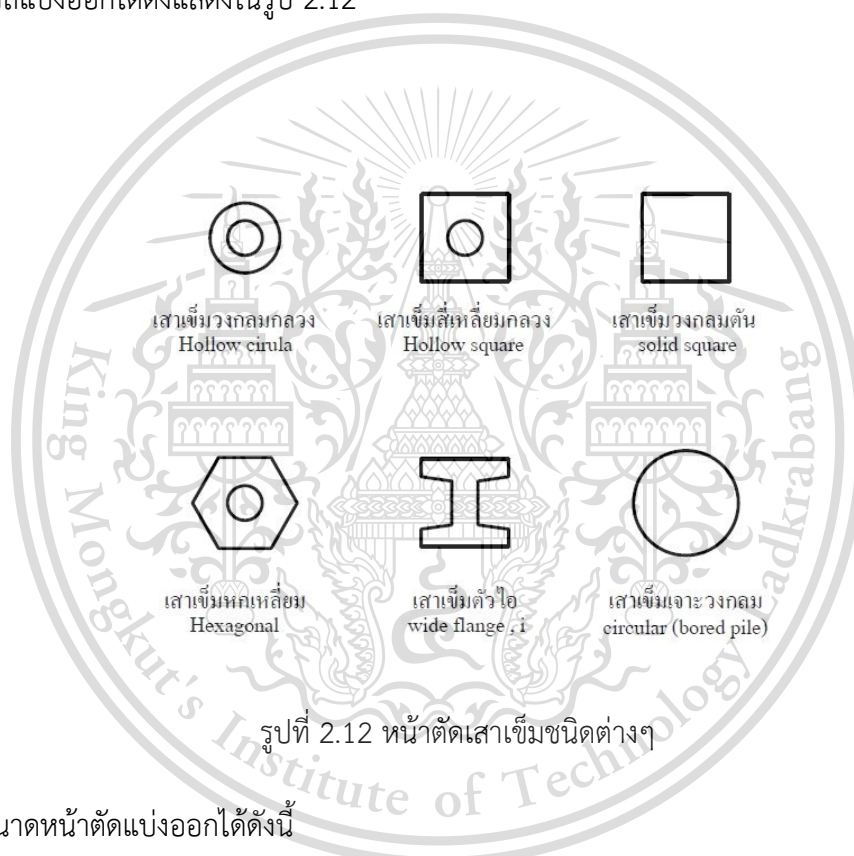
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7 รูปแบบของเสาเข็มและขนาดของเสาเข็ม

ประเภทของเสาเข็มสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.7.1 เสาเข็มตอก (Driven Pile) การใช้ปั้นจั่นตอกเสาเข็มลงไปในดินจนได้ความลึกที่ต้องการ เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเนื่องจากวิธีการก่อสร้างไม่ซับซ้อนและค่าใช้จ่ายไม่สูง แต่ในปัจจุบันมีปัญหาในการก่อสร้างในพื้นที่ ที่มีอาคารรอบข้าง เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนในการตอกและการเคลื่อนตัวของดินที่ถูกแทนที่ด้วยเสาเข็ม การตอกเสาเข็มเพื่อทำฐานราก บนชั้นดินเหนียวอ่อนบริเวณกรุงเทพและปริมณฑล (Bangkok Clay) ถ้าเป็นบ้านและอาคารทั่วไป ค่าเฉลี่ยความลึกอยู่ที่ 21 เมตร หน้าตัดเสาเข็มตอกสามารถแบ่งออกได้ดังแสดงในรูป 2.12



1. เสาเข็มวงกลมกลวง

ขนาด	พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	เส้นรอบรูป (ซม.)	น้ำหนัก (กก / ม.)	รับน้ำหนักปลอดภัย (ตัน)
∅ 0.25 × 28 ม.	337	79	87	30
∅ 0.30 × 28 ม.	480	94	125	45
∅ 0.35 × 28 ม.	616	110	160	60

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

∅ 0.40 × 30 ม.	766	126	200	80
∅ 0.50 × 30 ม.	1,159	157	300	100
∅ 0.60 × 30 ม.	1,571	188	400	120
∅ 0.80 × 30 ม.	2,564	251	660	200
∅ 1.00 × 30 ม.	3,782	314	980	300

ตารางที่ 1.1 แสดงการรับน้ำหนักปลอดภัยและขนาดเสาเข็มวงกลมกลวง

2. เสาเข็มสี่เหลี่ยมกลวง

ขนาด	พื้นที่หน้าตัด (ซม ²)	เส้นรอบรูป (ซม)	น้ำหนัก (กก / ม.)	รับน้ำหนัก ปลอดภัย (ตัน)
0.40 × 0.40 × 21.00 ม.	1,286	160	309	50-70
0.525 × 0.525 × 21.00-28.00 ม.	2,650	210	492	70-100

ตารางที่ 1.2 แสดงการรับน้ำหนักปลอดภัยและขนาดเสาเข็มสี่เหลี่ยมกลวง

3. เสาเข็มสี่เหลี่ยมตัน

ขนาด	พื้นที่หน้าตัด (ซม ²)	เส้นรอบรูป (ซม)	น้ำหนัก (กก / ม.)	รับน้ำหนัก ปลอดภัย (ตัน)
0.16 × 0.16 × 2.00 ม.	256	64	61	0.50
0.16 × 0.16 × 3.00 ม.	256	64	61	0.90
0.16 × 0.16 × 4.00 ม.	256	64	61	1.30
0.16 × 0.16 × 5.00 ม.	256	64	61	1.70
0.16 × 0.16 × 6.00 ม.	256	64	61	2.10
0.16 × 0.16 × 10.00 ม.	256	64	61	5.00
0.18 × 0.18 × 12.00 ม.	324	72	78	10
0.18 × 0.18 × 16.00 ม.	324	72	78	15
0.18 × 0.18 × 18.00 ม.	324	72	78	20
0.22 × 0.22 × 16.00 ม.	484	88	116	20

0.22 × 0.22 × 18.00 ม.	484	88	116	25
0.22 × 0.22 × 21.00 ม.	484	88	116	30
0.26 × 0.26 × 21.00-24.00 ม.	676	104	160	35-40
0.30 × 0.30 × 21.00-26.00 ม.	900	120	216	45-50
0.35 × 0.35 × 21.00-26.00 ม.	1,225	140	294	50-60
0.40 × 0.40 × 21.00-26.00 ม.	1,600	160	384	60-80

ตารางที่ 1.3 แสดงการรับน้ำหนักปลอดภัยและขนาดเสาเข็มสี่เหลี่ยมตัน

4. เสาเข็มหกเหลี่ยมกลวง

ขนาด	พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	เส้นรอบรูป (ซม)	น้ำหนัก (กก / ม.)	รับน้ำหนัก ปลอดภัย (ตัน)
0.15 × 0.15 × 3.00 ม.	138	50	33	0.70
0.15 × 0.15 × 4.00 ม.	138	50	33	1.00
0.15 × 0.15 × 5.00 ม.	138	50	33	1.30
0.15 × 0.15 × 6.00 ม.	138	50	33	1.60

ตารางที่ 1.4 แสดงการรับน้ำหนักปลอดภัยและขนาดเสาเข็มหกเหลี่ยมกลวง

5. เสาเข็มตัวไอ

ขนาด	พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	เส้นรอบรูป (ซม)	น้ำหนัก (กก / ม.)	รับน้ำหนัก ปลอดภัย (ตัน)
0.18 × 0.18 × 12.00 ม.	235	83	57	7.5
0.18 × 0.18 × 14.00 ม.	235	83	57	10
0.18 × 0.18 × 16.00 ม.	235	83	57	15
0.22 × 0.22 × 14.00 ม.	332	105	80	15
0.22 × 0.22 × 18.00 ม.	332	105	80	20
0.22 × 0.22 × 21.00 ม.	332	105	80	25
0.26 × 0.26 × 21.00-24.00 ม.	460	126	110	30-35

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับอาจารย์และบุคลากรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

0.30 × 0.30 × 21.00-24.00 ม.	570	154	137	35-45
0.35 × 0.35 × 21.00-24.00 ม.	880	165	211	50-60
0.40 × 0.40 × 21.00-24.00 ม.	1235	180	296	60-70

ตารางที่ 1.5 แสดงการรับน้ำหนักปลอดภัยและขนาดเสาเข็มตัวโอ

2.7.2 เสาเข็มเจาะหล่อในที่ (Bored Pile)

เสาเข็มเจาะหล่อในที่คือเสาเข็มที่ก่อสร้างโดยหล่อคอนกรีตลงไปในดินที่ถูกเจาะเป็นหลุมไว้ล่วงหน้าให้เต็ม เป็นวิธีก่อสร้างที่ช่วยแก้ปัญหาที่พบจากการใช้เสาเข็มตอก ทั้งการขนย้ายเสาเข็มเข้าพื้นที่ก่อสร้าง การรบกวนอาคารรอบข้างเนื่องจากแรงสั่นสะเทือนจากการตอก รวมทั้งการควบคุมตำแหน่งและแนวของเสาเข็ม การเจาะอาจกระทำโดยกระบวนการแห้ง (Dry Process) คือการเจาะโดยไม่ต้องใช้น้ำช่วยในกรณีที่ดินข้างหลุมเจาะมีเสถียรภาพ ส่วนใหญ่จะเป็นเสาเข็มเจาะขนาดเล็ก (Small Diameter Bored Pile) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 35-60 เซนติเมตร (ส่วนใหญ่จะเป็น ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 35, 40, 50, 60 เซนติเมตร) มีความลึกอยู่ในช่วงประมาณ 18-23 เมตร

แต่ถ้าหากดินข้างหลุมเจาะพังทลาย จำเป็นต้องใส่น้ำผสมสารเบนโทไนท์หรือโพลีเมอร์ลงไปในหลุมเพื่อช่วยพยุงดินข้างหลุม เรียกว่ากระบวนการเปียก (Wet Process) ส่วนใหญ่จะเป็นเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ (Large Diameter Bored Pile) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 60 เซนติเมตรขึ้นไป (ส่วนใหญ่จะมี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80, 100, 120, 150 เซนติเมตร) มีความลึกอยู่ในช่วงประมาณ 25-65 เมตร

ขนาดหน้าตัด แบ่งได้ดังนี้

1. เสาเข็มวงกลม

ขนาด	พื้นที่หน้าตัด (ซม ²)	เส้นรอบรูป (ซม)	น้ำหนัก (กก / ม.)	รับน้ำหนัก ปลอดภัย (ตัน)
∅ 0.35 × 21.00 ม.	962	110	231	30
∅ 0.40 × 21.00 ม.	1,257	126	302	40
∅ 0.50 × 21.00 ม.	1,964	157	471	50
∅ 0.60 × 21.00 ม.	2,828	188	679	60
∅ 0.80 × 40.00 ม.	5,027	251	1,206	200

∅ 1.00 x 50.00 ม.	7,854	314	1,855	400
∅ 1.20 x 50.00 ม.	11,310	377	2,714	600
∅ 1.50 x 50.00 ม.	17,672	471	4,241	1,000
∅ 2.00 x 50.00 ม.	31,416	628	7,540	1,500

ตารางที่ 1.6 แสดงการรับน้ำหนักปลอดภัยและขนาดเสาเข็มวงกลม

2.7.3 ขนาดอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน (MRTA)

ในปัจจุบันได้มีการก่อสร้างอุโมงค์ในกรุงเทพฯ ขึ้นอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็น อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน และอุโมงค์ส่งน้ำ ในโครงการต่างๆ ซึ่งมีขนาดของอุโมงค์ และความลึกที่ขุดอุโมงค์แตกต่างกัน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่พิจารณาการเสีรูปของอุโมงค์ ขนาดและความลึกอุโมงค์ได้แบ่งเป็นโครงการต่างๆ ดังนี้ โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล เป็นโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกของกรุงเทพฯ การก่อสร้างอุโมงค์คู่เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6.3 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.7 เมตร มีความยาวทั้งสิ้น 20 กิโลเมตรและระยะความลึกของอุโมงค์วัดจากผิวดินถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ ประมาณ 15 ถึง 25 เมตร

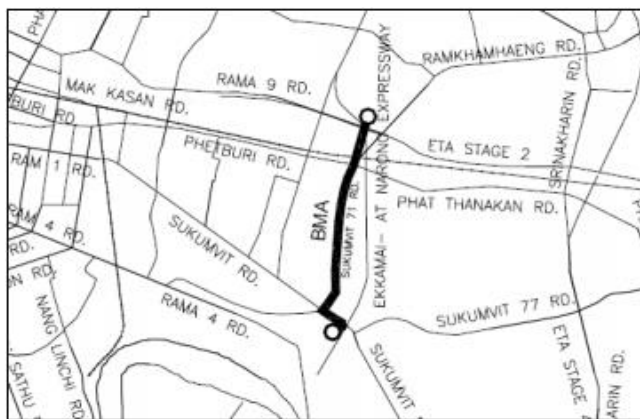
2.7.4 ขนาดของอุโมงค์ส่งน้ำ

โครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำคลองแสนแสบและคลองลาดพร้าวลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นโครงการที่อยู่ในความควบคุมของสำนักระบายน้ำกรุงเทพฯ เพื่อหาทางป้องกันและแก้ไขปัญหา น้ำท่วมในเขตห้วยขวาง บางกะปิ บึงกุ่ม ลาดพร้าว และสะพานสูง จากแนวเส้นทางการระบายน้ำเดิม คือ จากคลองลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา รวมระยะทางสิ้น 25 กิโลเมตร เพื่อลดระดับน้ำเข้าสู่อุโมงค์ระบายน้ำคลองแสนแสบและคลองลาดพร้าวลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาที่สถานีสูบน้ำพระโขนง เพื่อทำการระบายน้ำผ่านอุโมงค์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 เมตร ที่ทำการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยหัวเจาะแบบปรับความดันดินสมดุล และมีปล่องอุโมงค์รับน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เมตรลึก 35 เมตร บริเวณบึงพระราม 9 และผันน้ำผ่านอุโมงค์ที่ระดับความลึก 27 เมตร เป็น ระยะทางประมาณ 5.3 กิโลเมตร ดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.13 แนวเส้นทางโครงการอุโมงค์ระบายน้ำคลองแสนแสบและคลองลาดพร้าวลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา

จากข้อมูล[8] อุโมงค์ส่งน้ำประปาของ กปน. การขนส่งน้ำประปาผ่านท่อหรืออุโมงค์ส่งน้ำใต้ดิน ในเขตกรุงเทพมหานคร เพื่อที่จะลำเลียงน้ำ ที่สะอาดให้แก่ผู้บริโภคได้ใช้อย่างทั่วถึง ซึ่งชนิดของท่อ กปน. นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลัก ๆ ตามตารางที่ 1.7

ชนิดท่อ	ขนาดท่อ (เมตร)
ท่อบริการ	<0.10
ท่อจ่ายน้ำ	0.40, 0.30, 0.20, 0.15, 0.10
ท่อประธาน	1.80, 1.50, 1.20, 1.00, 0.90, 0.80, 0.70, 0.60, 0.50
อุโมงค์และท่อส่งน้ำ	5.00, 4.10, 3.40, 3.20, 3.00, 2.80, 2.50, 2.30, 2.00, 1.50

ตารางที่ 1.7 แสดงชนิดและขนาดท่อ กปน.

สำหรับท่อขนาดเล็ก เช่น ท่อบริการและท่อจ่ายน้ำจะมีตำแหน่งที่ความลึกไม่มากและใช้วิธีการก่อสร้าง แบบขุดแล้วกลบกลับและ pipe jacking เป็นหลัก ซึ่งขนาดท่อใหญ่สุดที่ใช้วิธี pipe jacking คือ เส้นผ่าน ศูนย์กลาง 1.5 เมตร ในขณะที่อุโมงค์ส่งน้ำประปาขนาดใหญ่

การก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาของ กปน. โดยมีเส้นผ่าน ศูนย์กลางตั้งแต่ 2.0 - 4.56 เมตร และมีการก่อสร้างอยู่ที่ความลึก 17-20 เมตร และมีบางช่วงต้องก่อสร้างลอดใต้ แม่น้ำเจ้าพระยาที่ลึกมากกว่า 30 เมตร ซึ่งความยาวของการก่อสร้างอุโมงค์ขนาดต่าง ๆ นั้น ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.14 ระบบส่งน้ำและสถานีสูบน้ำโครงการระยะแรกและสอง[8]

ขนาดอุโมงค์ (mm)	จำนวน โครงการ	ความยาวรวม ท่อส่งน้ำ กปน. (m)	ความยาวรวม อุโมงค์ส่งน้ำ กปน. (m)	ความยาวรวม (m)
1500	2	7,458	-	7,458
2000	16	20,363	13,585	33,948
2300	3	7,062	13,750	20,812
2500	8	4,154	13,104	17,258
2800	3	-	25,000	25,000
3000	5	12,130	-	12,130
3200	8	19,202	12,616	31,818
3400	5	8,816	16,829	25,645
3140	-	-	14,000	14,000
3640	-	-	17,500	17,500
4010	-	-	3,000	3,000
4200	-	-	6,700	6,700

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เชิงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

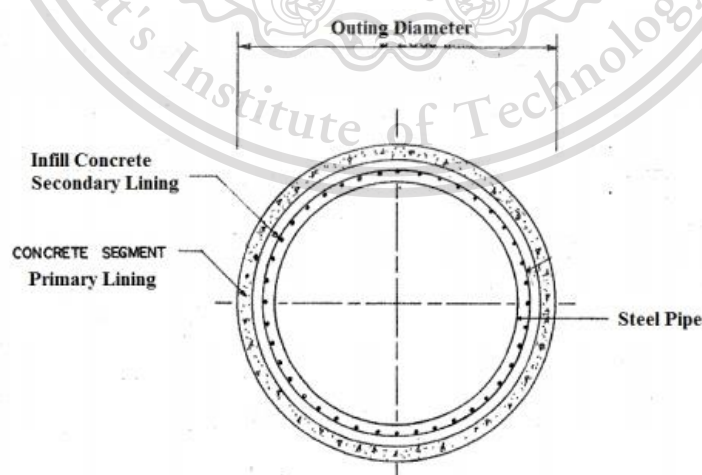
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นอกจากนี้[8] ได้รวบรวมข้อมูลแบบก่อสร้างท่อส่งน้ำและอุโมงค์ส่งน้ำของ กปน. ตามเอกสารสัญญาเลขที่ต่าง ๆ ที่ได้รับจากทาง กปน. เพื่อรวบรวมรูปแบบขนาดอุโมงค์ความหนาของผนังอุโมงค์และข้อมูลอื่น ๆ ของท่อส่งน้ำและอุโมงค์ส่งน้ำประปา

เลขสัญญา	ขนาดอุโมงค์ O.D. (mm)	ความหนา ท่อ เหล็ก (mm)	ความหนา Primary Lining (mm)	ความหนา Secondary Lining (mm)
G-MC-7A	4200	18	150	170
G-MC-7B	3000	16	150	-
G-MC-7C	3500	15	150	-
G-MC-7D/1	4010	-	215	190
G-MC-7D/2	4010	-	215	190
G-MC-7B	3000	16	-	150
G-TN-7	3200	14	150	186
G-TN-1B	2710	11	150	190
G-TN-3A-R	3810	-	155	350
G-TN-5C	2760	11.8	150	203
G-TN-1A	4450	-	150	375
G-BC-5C	2660	11	150	170

ตารางที่ 1.9 ขนาดอุโมงค์ตามสัญญาก่อสร้าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.15 แสดงรายละเอียดส่วนประกอบของอุโมงค์ส่งน้ำประปา[8]

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.8. พื้นที่อิทธิพล

จากผลงานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับพื้นที่ผลกระทบ (Influenced Zone) ร่วมกับประสบการณ์และข้อพิจารณาต่างๆ โดยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชั้นดินที่อุโมงค์วางตัวอยู่ ตำแหน่งของปลายเสาเข็มเดี่ยว และระยะห่างระหว่างเสาเข็มเดี่ยวกับอุโมงค์เดิม โดยเป็นการศึกษาเพื่อทำการพัฒนาโซนพื้นที่ปลอดภัยในการก่อสร้างเสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกทุกใกล้เคียงอุโมงค์เดิมในกรุงเทพฯ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ทำให้เกิดการสร้างเขตอิทธิพลนี้ขึ้นเพื่อแนะนำระยะที่ปลอดภัยในการก่อสร้างข้างเคียงอุโมงค์โดยเขตอิทธิพลนี้มีระยะ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์ด้านบนและด้านล่างจากจุดกึ่งกลางอุโมงค์และมีระยะแนวราบ(Clearance) เท่ากับ 0.6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์จากผิวด้านข้างของอุโมงค์ ดังแสดงในรูปที่ 2.16

นี้มีระยะ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์ด้านบนและด้านล่างจากจุดกึ่งกลางอุโมงค์และมีระยะแนวราบ(Clearance) เท่ากับ 0.6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์จากผิวด้านข้างของอุโมงค์ ดังแสดงในรูปที่ 2.16

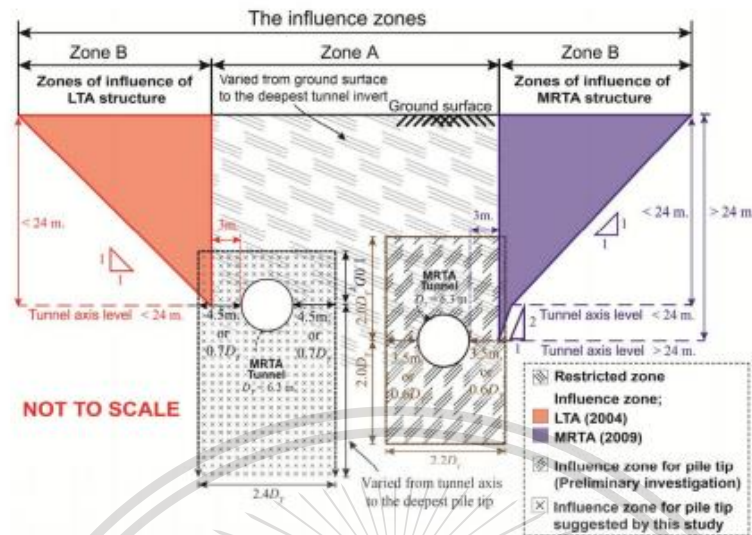


รูปที่ 2.16 โซนพื้นที่ปลอดภัยในการก่อสร้างเสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกทุกใกล้เคียงอุโมงค์เดิมในกรุงเทพฯ[2]

ต่อมาได้มีการศึกษาต่อจากงานวิจัย [2] พบว่าเขตอิทธิพลสำหรับอุโมงค์ที่ได้รับผลกระทบจากเสาเข็มที่รับแรงสามารถมีขนาดที่เล็กกว่าเขตอิทธิพลเดิมที่มีอยู่แล้ว ซึ่งได้กำหนดเขตอิทธิพลใหม่มีระยะทางด้านบนจากจุดกึ่งกลางของอุโมงค์ เท่ากับ 1.0 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ระยะทางด้านล่างมีค่าเท่ากับปลายเสาเข็มที่ลึกที่สุด และสำหรับระยะในแนวราบมีค่าเท่ากับ 7.0 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์ จากผิว ด้านข้างของอุโมงค์ ดังรูปที่ 2.17

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.17 ระยะเวลาปลอดภัยของอุโมงค์ [3]

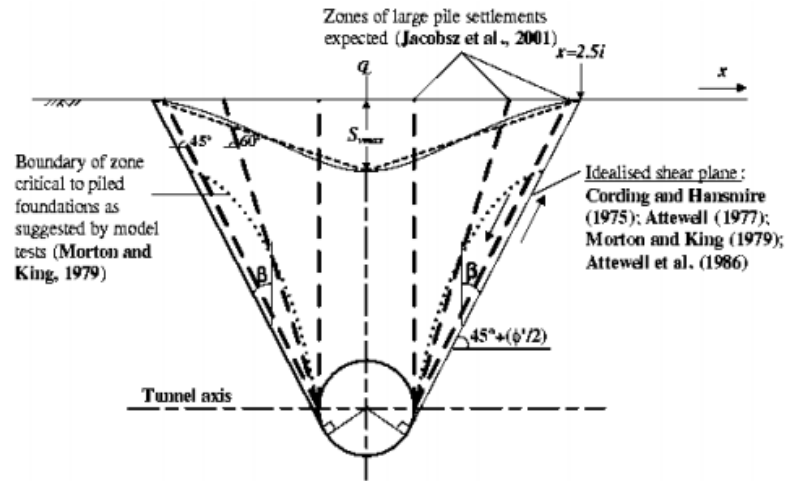
จากการศึกษาอิทธิพลของขนาดและความหนาของตาดอุโมงค์ต่อผลการเสียรูปของอุโมงค์จากเสาเข็ม รับแรงที่อยู่ใกล้เคียงของ[6] พบว่าผลกระทบของผนังอุโมงค์หลังได้รับแรงกระทำจากเสาเข็มเดี่ยวค่าการเปลี่ยนแปลง ของผนังอุโมงค์สูงสุดและต่ำสุด ในกรณีอุโมงค์วางตัวอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อนมีค่ามากที่สุดที่ระดับปลายเสาเข็ม ต่ำกว่าระดับอุโมงค์หนึ่งเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ($-1.0DT$) ในขณะที่กรณีที่มีชั้นดินเหนียวแข็งเส้นผ่านศูนย์กลางของผนังอุโมงค์ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระดับความลึกปลายเสาเข็ม

ซึ่งจาก [5] Morton and King(1979) เสนอว่าเขตพื้นที่ผลกระทบนี้ใช้กำหนดตำแหน่งสัมพัทธ์ของอุโมงค์ต่อฐานรากเสาเข็ม ซึ่งกำหนดเป็นเส้นตรงจากขอบอุโมงค์โดยทำมุม β เรียกว่า β lines ซึ่งเป็นระนาบวิบัติแบบเฉือนเนื่องจากงานขุดอุโมงค์ โดยค่า β จะมีค่าเท่ากับ $45^\circ - \phi'/2$ โดยวัดจากแนวตั้ง เมื่อ ϕ' คือมุมเสียดทานประสิทธิผลของดินจากผลการทดสอบแบบย่อส่วน ระนาบนี้ยังกำหนดโดย Wedge ที่กว้าง $\pm 2.5i$ ที่ผิวดิน เมื่อ i เป็นระยะจากเส้นกึ่งกลางอุโมงค์ถึงจุด Inflexion (Cording and Hansmire, 1975; Attewell, 1977 และ Attewell et al., 1986) นอกจากนี้ Jacobz et al. (2001) 6 ได้ทำการทดลองโดยแบบจำลองแบบหมุนเหวี่ยง และยังได้เสนอว่าเขตวิกฤติได้จากการลากเส้นทำมุม 60° วัดจากขอบอุโมงค์ และเขตพื้นที่ผลกระทบได้จากการลากเส้นทำมุม 45° วัดจากขอบอุโมงค์ โดยจะเป็นบริเวณที่เกิดการทรุดตัวของเสาเข็มมากจากการขุดอุโมงค์ ดังแสดงในรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

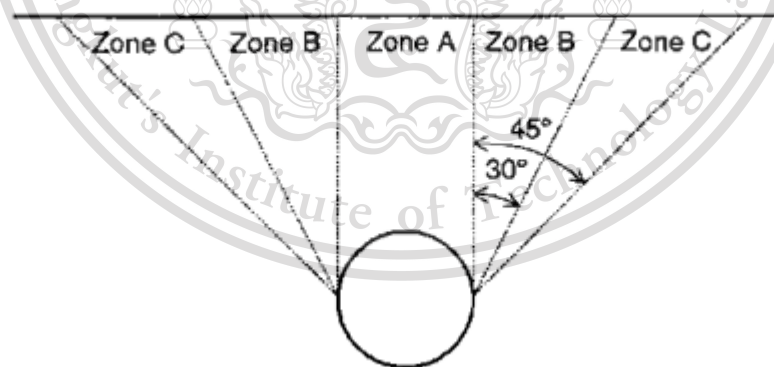
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.18 เส้นเขตพื้นที่ผลกระทบของการเคลื่อนตัวของดินและเข็มจากการขุดอุโมงค์[5]

นอกจากแนวคิดเรื่องระนาบวิบัติแบบเฉือนโดยทั่วไปของการพังทลายของดินที่ใช้ในการ กำหนดเขตปลอดภัยแล้ว การศึกษาในระยะหลังที่เป็นการทดสอบขนาดจริงจากการทดลองก่อสร้าง (Kaalberg et al., 1999) และการตรวจวัดการก่อสร้างจริง (Coutts and Wang, 2000) ได้ให้ข้อมูล เกี่ยวกับการทรุดตัวของเสาเข็มที่พอจะประเมินเป็นเขตพื้นที่ผลกระทบที่พิจารณาจากค่าการทรุดตัว ของเสาเข็มได้ดังรูปที่ 6.4 โดยเขตแรกเสาเข็มจะเกิดการทรุดตัวมากกว่าผิวดิน เขตที่สองจะมีค่าการ ทรุดตัวของเข็มเท่ากับค่าการทรุดตัวของดิน และเขตปลอดภัยที่ค่าการทรุดตัวของเสาเข็มจะน้อยกว่าการทรุดตัวของดิน จะเห็นได้ว่าได้แนวเขตไม่ต่างไปจากแนวคิดเรื่องระนาบวิบัติแบบเฉือนมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.19



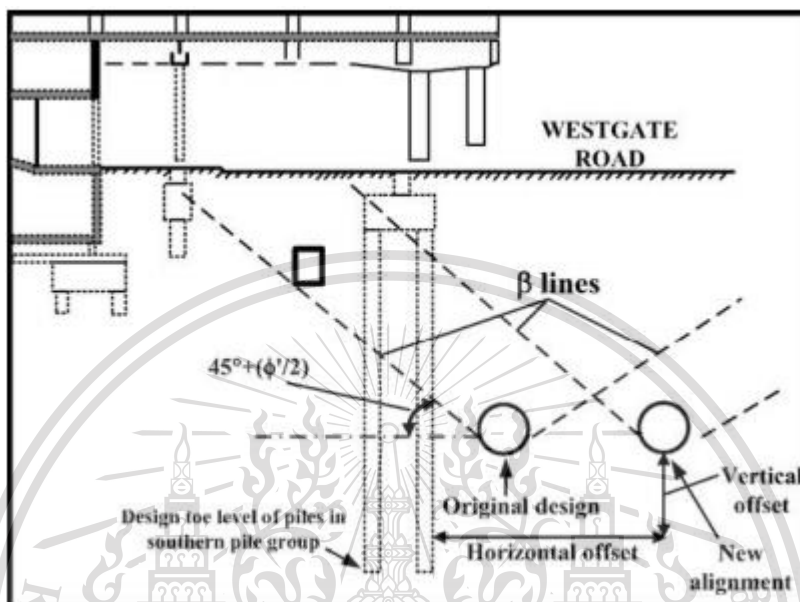
รูปที่ 2.19 เขตพื้นที่ผลกระทบของการเคลื่อนตัวของเสาเข็มรอบๆการขุดอุโมงค์ในดินเหนียวอ่อน และทรายแน่นจากการทดสอบขนาดจริงที่ Heinenoord-Rotterdam (Kaalberg et al., 1999) [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยผลการศึกษาที่ผ่านมาถูกประยุกต์ใช้สำหรับการขุดอุโมงค์ใกล้เคียงกับฐานรากอาคารเดิม เช่น เป็นข้อแนะนำการกำหนดตำแหน่งอุโมงค์ในชั้นดินเมืองนิวคาสเซิล ดังแสดงในรูปที่ 2-3 ที่แนวเดิมทำให้ฐานรากเสาเข็มอยู่ในเขตพื้นที่ผลกระทบของงานก่อสร้างอุโมงค์ซึ่งต้องวางแนวใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2.20



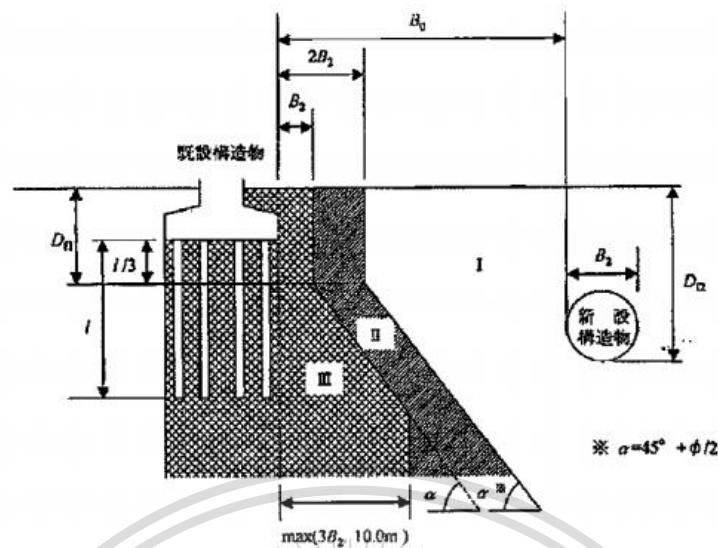
รูปที่ 2.20 ข้อแนะนำการขุดอุโมงค์ใกล้กับฐานรากเสาเข็มที่มีอยู่เดิม Westgate House, Newcastle upon Tyne, England (after Attewell et al., 1986) [5]

แนวคิดเรื่อง β lines ซึ่งพิจารณาระนาบวิถีของการก่อสร้างอุโมงค์ได้ถูกนำไปใช้กับเขตพื้นที่ผลกระทบเพื่อคุ้มครองฐานรากเสาเข็มเดิม ดังเขตพื้นที่ผลกระทบเพื่อการกำหนดตำแหน่งของ อุโมงค์เมื่อมีสิ่งก่อสร้างใกล้เคียงของประเทศญี่ปุ่น ดังรูปที่ 2-5 จะเห็นได้ว่าถึงสิ่งที่ควบคุมยังเป็นระยะปลอดภัยระหว่างอุโมงค์กับเข็มซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดอุโมงค์ด้วยแต่มีค่าพาดานก กำหนดไว้ นอกจากนี้จะพบว่าระยะที่ควบคุมมากขึ้นเมื่ออุโมงค์อยู่ใกล้ปลายเข็ม ดังแสดงในรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.21 บริเวณค้ำครองของการก่อสร้างอุโมงค์เมื่อมีสิ่งก่อสร้างใกล้เคียง (Railways Technical Research Institute, 2007) [5]

2.9. สภาพทางธรณีวิทยา

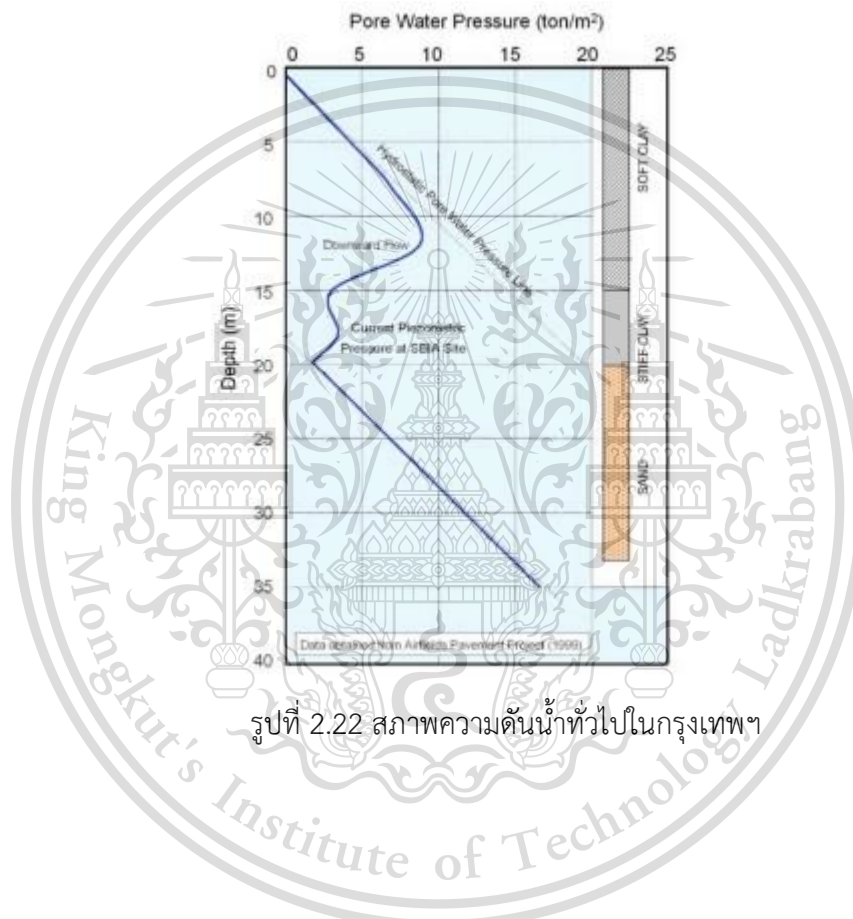
ดินในกรุงเทพ[12] โดยทั่วไปเป็นดินที่ตกตะกอนอยู่บริเวณปากแม่น้ำ โดยเม็ดดินจะถูกพัดพาจากแม่น้ำลงสู่ทะเลและน้ำทะเลจะหนุนกลับเข้ามาตกตะกอนทำให้ชั้นดินเหนียวอ่อนมีทั้งแบบตกตะกอนในแม่น้ำและในทะเล ซึ่งดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok clay) หรือดินเหนียวอ่อนบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างตลอดที่ราบลุ่มซึ่งชั้นดินตะกอนดังกล่าวพบตั้งแต่พื้นผิวไปถึงระดับความลึก 30 เมตร (ในบริเวณกรุงเทพมหานคร) ส่วนชั้นตะกอนที่รองรับชั้นตะกอนดินเหนียวกรุงเทพเป็นตะกอนดินเหนียวแข็งปะปนทรายสีเหลืองเทา (Bangkok stiff clay) ชั้นทราย (Sand) ชั้นดินเหนียวแข็งมาก (Hard clay) และชั้นทรายแน่น (Very dense sand) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระดับน้ำใต้ดิน (Water table level) [12] ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทรุดตัวของผิวดินซึ่งระดับน้ำใต้ดินเป็นเรื่องที่น่าเป็นห่วงมากสำหรับแต่ละวิธีการที่นำมาใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์ที่มีระดับความลึกมากจากผิวดิน ในกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่เหนือจากส่วนล่างสุดของอุโมงค์จะมีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะมีน้ำไหลเข้ามาทาง ส่วนหน้าของอุโมงค์ทำให้เป็นอุปสรรคในการควบคุมความดันหน้าหัวเจาะ อีกทั้งการไหลเข้ามาของระดับน้ำใต้ดิน จะนำมาสู่การทรุดตัวที่เกิดจากการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) ของดินบริเวณเหนืออุโมงค์ได้อีกด้วย โดยความดันน้ำในกรุงเทพฯ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 สภาพความดันน้ำทั่วไปในกรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

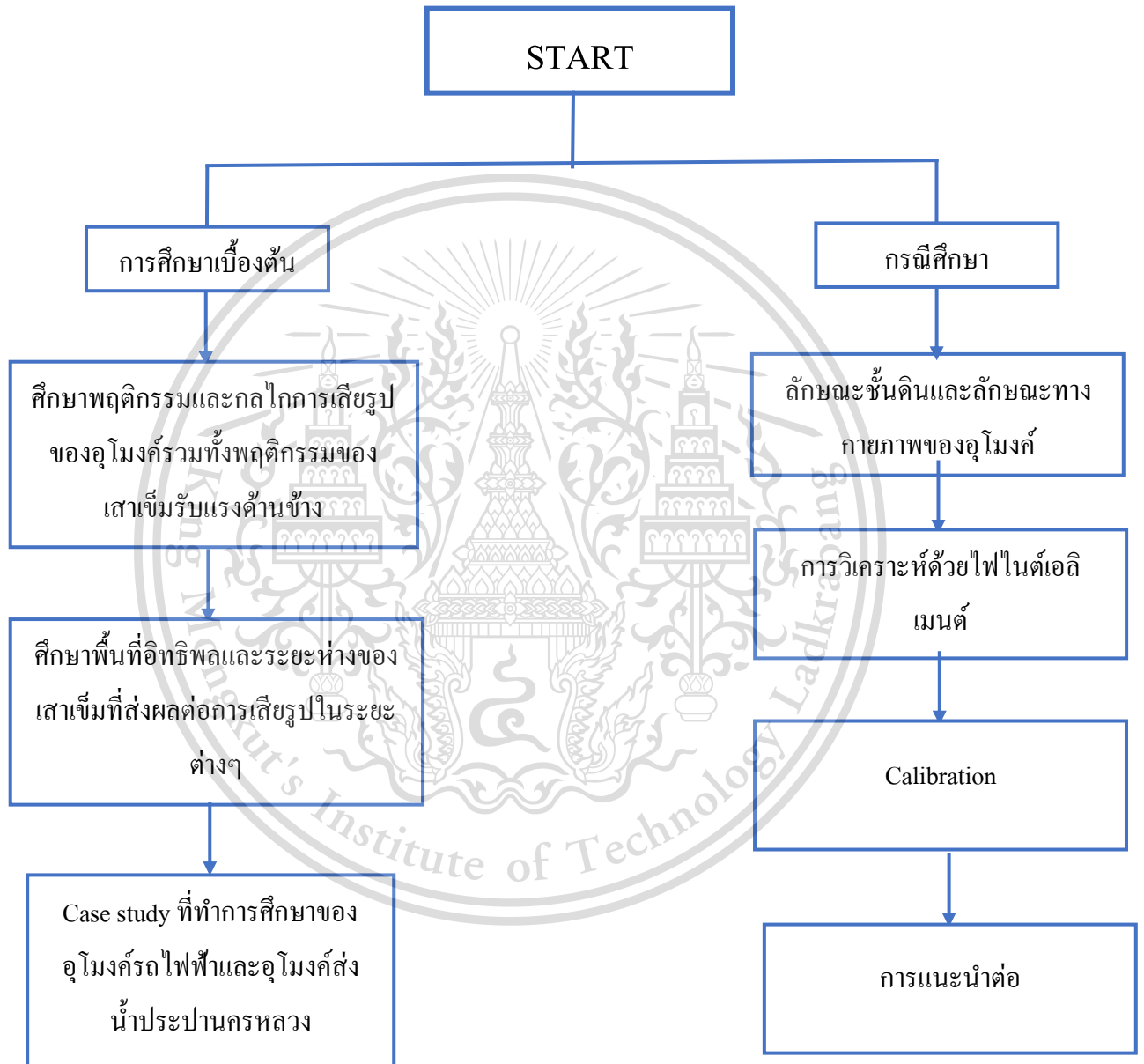
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

ขั้นตอนการวิเคราะห์

3.1 แนวทางการวิเคราะห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการวิเคราะห์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

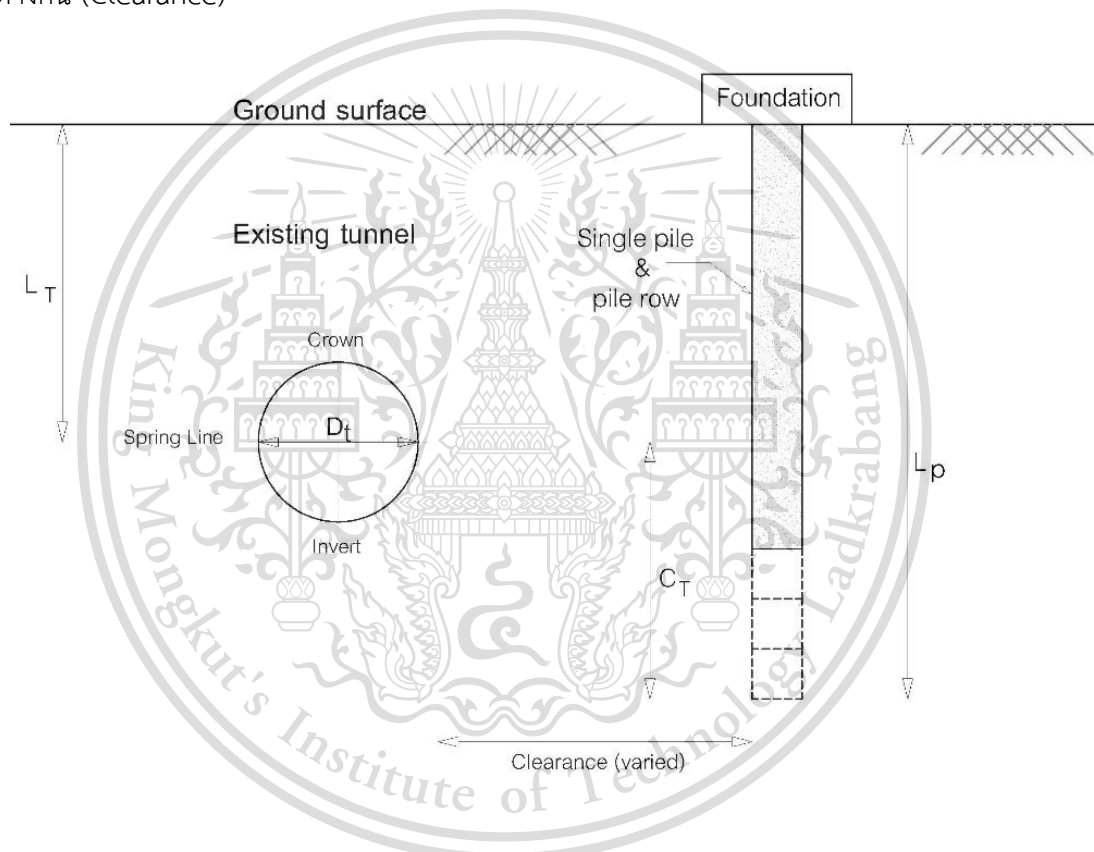
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 การพิจารณาปัญหาและลักษณะกายภาพของโครงการ MRTA โครงการอุโมงค์รถไฟฟ้าหิวซุน และ MWA

3.2.1 หลักการพิจารณาปัญหา

หลักการพิจารณาปัญหาแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยขนาดอุโมงค์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แตกต่างกัน โดยอ้างอิงลักษณะของอุโมงค์จากโครงการอุโมงค์รถไฟฟ้าสายสีน้ำเงินส่วนต่อขยาย (MRTA) โครงการอุโมงค์รถไฟฟ้าหิวซุนและโครงการอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวง (MWA) โดยมีเสาเข็มที่มีความยาวต่างกันวางตัวอยู่เพียงด้านเดียวกับอุโมงค์ และมีระยะห่างจากขอบเสาเข็มกับผนังอุโมงค์ภายนอกที่แตกต่างกัน (Clearance)



รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบการพิจารณาปัญหา

โดยที่ L_T คือ ระยะความลึกของอุโมงค์

L_p คือ ระยะความยาวของเสาเข็ม

C_T คือ ระยะผลต่างระหว่างระดับกึ่งกลางของอุโมงค์กับระดับปลายเสาเข็ม

D_T คือ ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

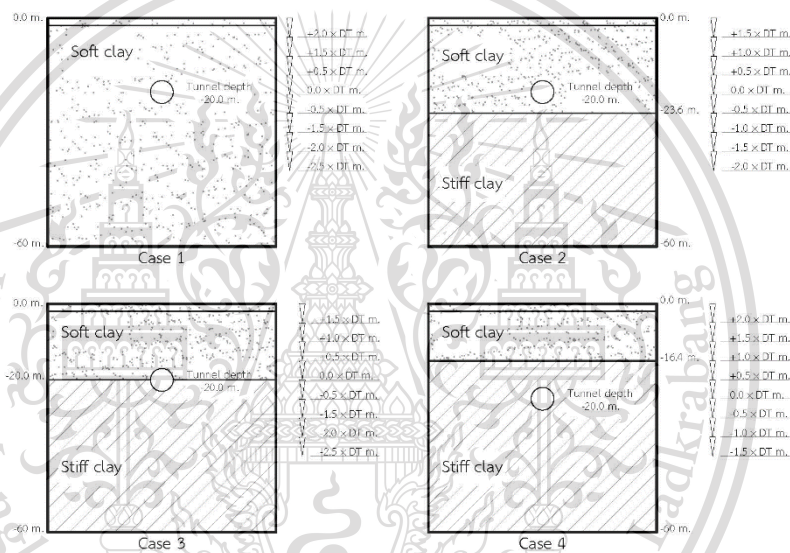
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2 กรณีศึกษา

1) ลักษณะชั้นดินในการวิเคราะห์

พิจารณาจากการวางโครงสร้างอุโมงค์ที่ระดับความลึกใต้ดินวัดจากระดับผิวดิน 20 เมตร ในลักษณะชั้นดินที่แตกต่างกัน 4 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 วางโครงสร้างใต้ดินในชั้นดินเหนียวอ่อน กรณีที่ 2 วางโครงสร้างบนชั้นดินเหนียวอ่อนที่ห่างจากชั้นดินเหนียวแข็งที่ความลึกห่างจากศูนย์กลางอุโมงค์ 3.6 เมตร กรณีที่ 3 วางโครงสร้างบนชั้นดินระหว่างชั้นดินเหนียวอ่อนกับชั้นดินเหนียวแข็ง กรณีที่ 4 วางบนชั้นดินเหนียวแข็ง



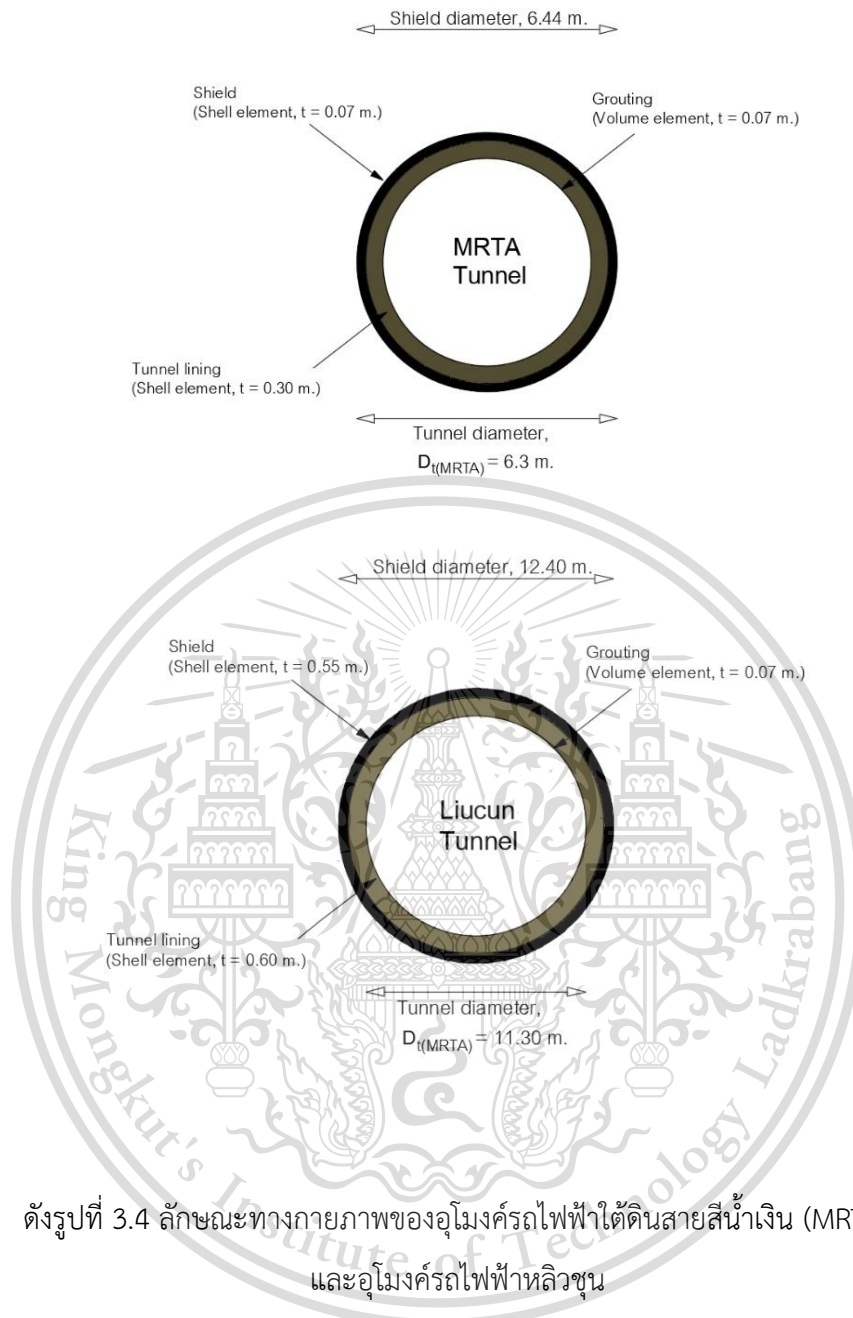
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะชั้นดินต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์

2) ลักษณะทางกายภาพของอุโมงค์

อุโมงค์ใต้ดินสำหรับการคมนาคมที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบไปด้วยอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงิน(MRTA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6.30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.70 เมตร อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินทวิขุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 12.4 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 11.30 เมตร ผนังอุโมงค์มีความหนา 0.55 เมตร ดังรูปที่ 3.4 และอุโมงค์ใต้ดินสำหรับสาธารณูปโภคที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบไปด้วย อุโมงค์ส่งน้ำการประปานครหลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.66 เมตร 3.2 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.51 เมตร ผนังอุโมงค์มีความหนา 0.15 เมตร และท่อเหล็กมีความหนา 0.011 เมตร และอุโมงค์ส่งน้ำการประปานครหลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 5.2 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.99 เมตร ผนังอุโมงค์มีความหนา 0.215 เมตร และท่อเหล็กมีความหนา 0.018 เมตร ดังรูปที่ 3.5

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

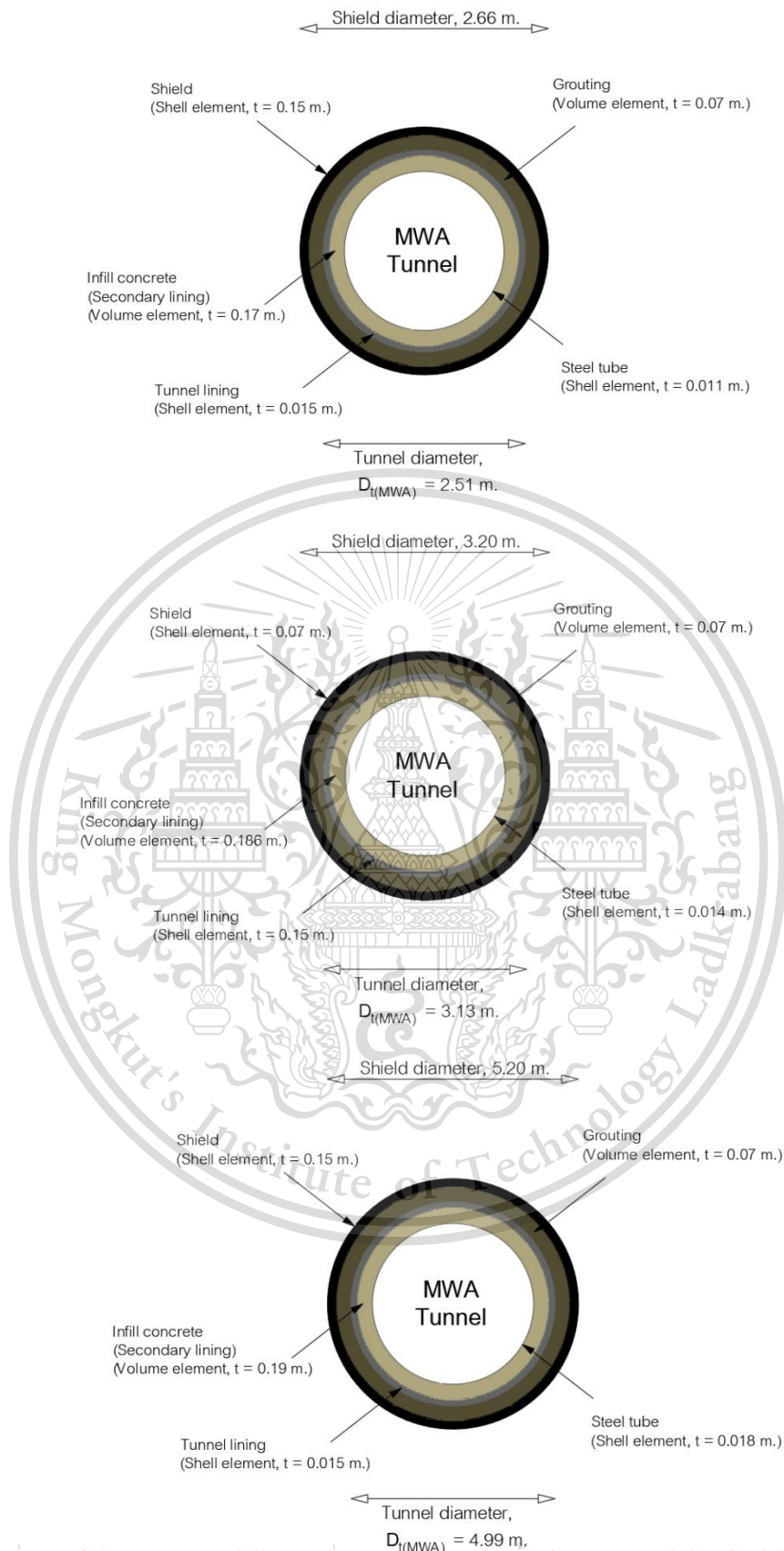


ดั่งรูปที่ 3.4 ลักษณะทางกายภาพของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงิน (MRTA) และอุโมงค์รถไฟฟ้าหลิวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะทางกายภาพของอุโมงค์ส่งน้ำการประปานครหลวง (MWA)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

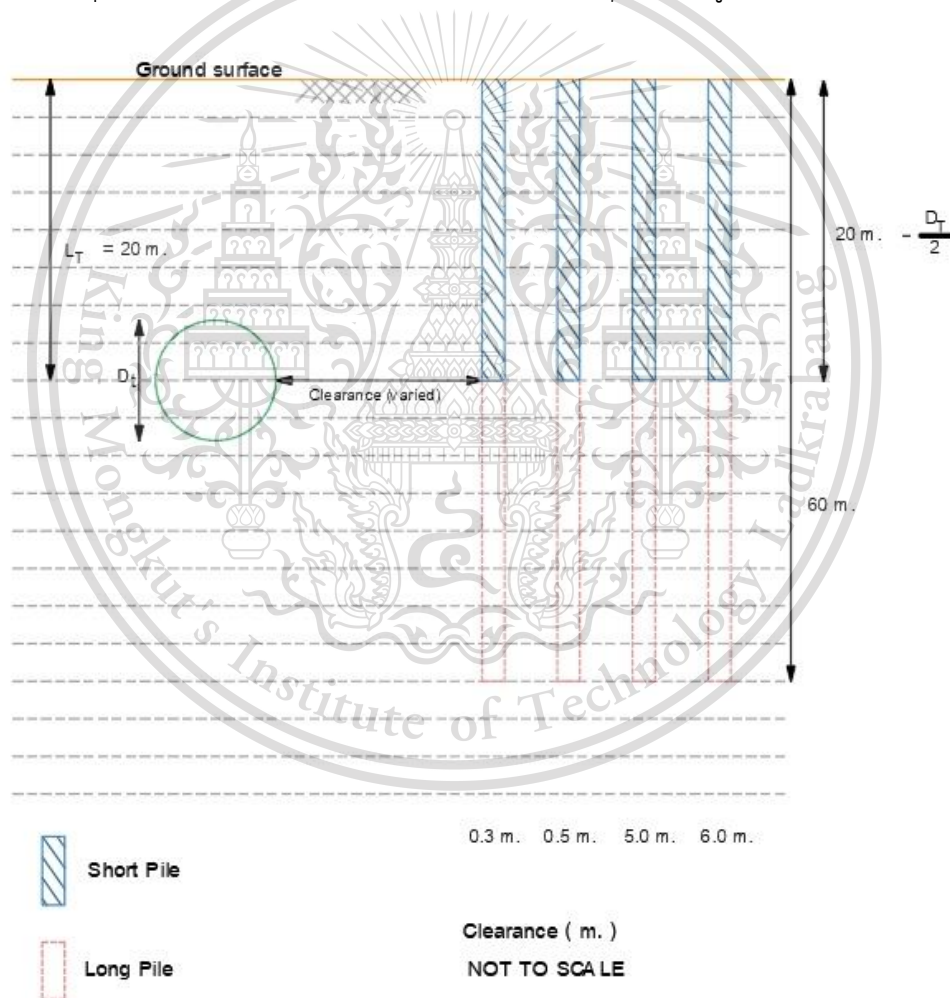
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3) การวางตัวของปลายเสาเข็ม

กรณีที่เป็นชั้นดินเหนียวอ่อน การศึกษาครั้งนี้กำหนดให้เสาเข็มเป็นแบบเสาเข็มแฉกรับแรงกระทำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตรวางตัวอยู่ทางด้านขวาของอุโมงค์และระยะห่างระหว่างขอบอุโมงค์กับขอบเสาเข็ม 4 ระยะ (clearance) คือ 0.3 , 0.5 , 5.0 และ 6.0 เมตร และตำแหน่งของปลายเสาเข็มสั้นนับตั้งแต่กึ่งกลางอุโมงค์เป็นระยะ 20-1/2DT เมตร เหนือแนวกึ่งกลางของอุโมงค์

กรณีที่เป็นชั้นดินเหนียวแข็ง การศึกษาครั้งนี้กำหนดให้เสาเข็มเป็นแบบเสาเข็มแฉกรับแรงกระทำ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตรวางตัวอยู่ทางด้านขวาของอุโมงค์และระยะห่างระหว่างขอบอุโมงค์กับขอบเสาเข็ม 4 ระยะ (clearance) คือ 0.3 , 0.5 , 5.0 และ 6.0 เมตรและตำแหน่งของปลายเสาเข็มยาวนับตั้งแต่กึ่งกลางอุโมงค์เป็นระยะ 40 เมตร ได้ระดับกึ่งกลางของอุโมงค์ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.6 แสดงการวางตัวของปลายเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

3.3.1 การเทียบวัดแบบจำลอง Calibration

การเทียบวัดแบบจำลองโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 2 มิติ ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ทางคอมพิวเตอร์ คือ PLAXIS 2D เวอร์ชัน 2018 โดยขึ้นส่วนต่างๆการวิเคราะห์ประกอบ(element) รูปทรงพีระมิดสามเหลี่ยม (Tetrahedron) แบบจุดต่อ (node) โดยขั้นตอนการเทียบวัดจะเป็นขั้นตอนที่จะสร้างความน่าเชื่อถือ และถูกต้องให้กับแบบจำลองก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อขั้นตอนการจำลองการวิเคราะห์ โดยมีแบบจำลองที่มีขนาดความกว้าง 60 เมตร และขนาดความสูง 60 เมตร

3.3.2 คุณสมบัติที่ใช้ในการเทียบวัดแบบจำลอง

คุณสมบัติของชั้นดินที่นำมาใช้ในแบบจำลองได้จากการเทียบวัดจากโครงการอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ในกรุงเทพมหานคร[14] ดังแสดงในตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของชั้นดินในการสร้างแบบจำลองชั้นดินที่ใช้ในการศึกษาเป็นชั้นดินจากโครงสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล (MRTA) โดยใช้ชั้นดิน Section CS-9A ประกอบด้วยชั้นดินเหนียวอ่อน (soft clay) ดินทราย (sand) และชั้นดินเหนียวแข็ง (stiff clay) โดยคุณสมบัติแบบจำลองชั้นดินเป็นแบบ Hardening Soilmodel (HS) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับสภาพชั้นดินกรุงเทพ (Bangkok clay) ดังแสดงในตารางที่ 3.2คุณสมบัติของวัสดุ [14][15][16]

คุณสมบัติของชั้นดินในการสร้างแบบจำลอง [14]

Soil layer	Material Model	E' (kpa)	E_{oed}^{ref} (kpa)	E_{50}^{re} (kpa)	E_{ur}^{ref} (kpa)	γ_{sat} (kN/m ³)	v'	ϕ (°)	C (kpa)	M	P_{ref} (kpa)
Wea. crust	MC	6000	-	-	-	17	0.32	22	8	-	-
Soft Clay	HS	-	5,000	5,000	15,000	16	0.33	22	5	1	100
Stiff Clay	HS	-	6000	6000	18000	18	0.33	22	18	1	95
Sand	Mc	80000	-	-	-	20	0.3	36	0	-	-

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของชั้นดินในการสร้างแบบจำลอง

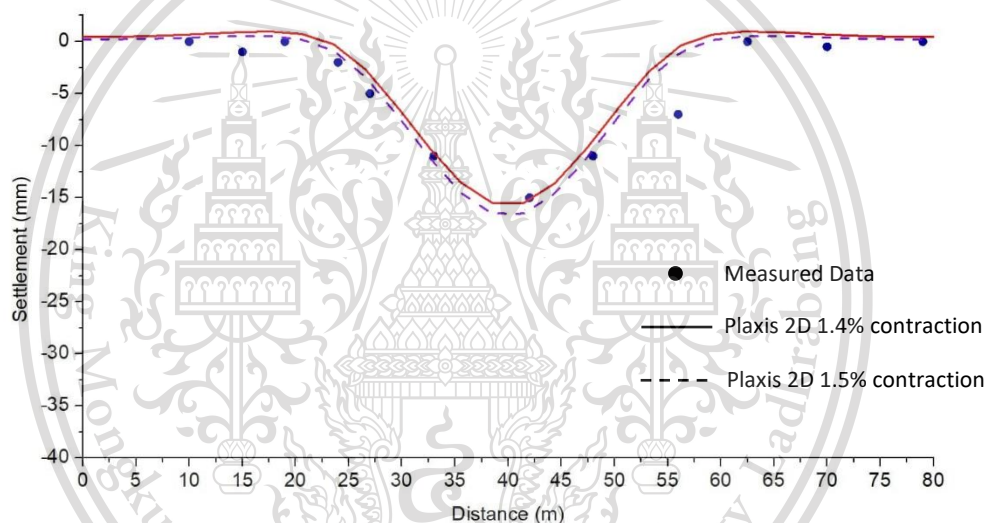
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Material	Tunnel lining and Pile	Grouting Concrete	EPB shield
Young Modulus , E (kN/m^2)	3.1×10^6	0.20	24
Poisson's ratio , ν'	1×10^6	0.30	21
Unit weight , γ_c (kN/m^3)	21×10^7	0.28	78

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของวัสดุ [14][15][16]

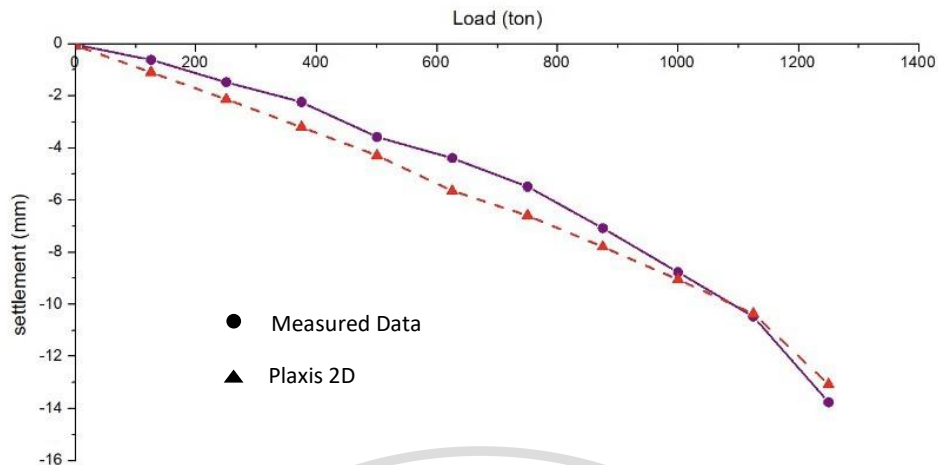


รูปที่ 3.7 ผลการเทียบวัดแบบจำลองของอุโมงค์ด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์แบบ 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 ผลการเทียบวัดแบบจำลองของเสาเข็มด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์แบบ 2 มิติ

3.3.3 สภาวะขอบเขตของแบบจำลอง

ในการวิเคราะห์การเสียรูปของอุโมงค์ จำเป็นจะต้องมีการกำหนดสภาวะขอบเขตของแบบจำลอง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเสียรูปของอุโมงค์ในแนวแกน เมื่อตัวอุโมงค์ได้รับผลกระทบจากเสาเข็มด้านข้าง โดยจำกัดการเคลื่อนที่ของอุโมงค์ในแนวตั้ง แต่ให้ตัวอุโมงค์สามารถเคลื่อนที่ได้อิสระในแนวราบ และการวิเคราะห์ในการศึกษานี้เป็นแบบไม่ระบายน้ำ (undrain analysis) โดยกำหนดให้สภาวะเริ่มต้นของความเค้นสุทธิของชั้นดิน (effective stress) แนวตั้งและแนวราบถูกกำหนดด้วยค่าหน่วยน้ำหนัก ของดิน (unit weight) และค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง K_0 เพิ่มขึ้นตามระดับความลึกของชั้นดิน โดย กำหนดระดับน้ำใต้ดินเป็นแบบ Piezometric drawdown ซึ่งในขั้นตอนนี้ จะสามารถนำไปทำแบบจำลองต่อไป เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ปลอดภัยต่อได้โดยนำข้อมูลและกรณีศึกษาจากเล่มนี้ เนื่องจากโปรเจกต์นี้ได้กำหนดการดำเนินการ กรณีศึกษาและศึกษากรณีต่างๆที่เกี่ยวกับผลกระทบต่ออุโมงค์ที่มีอยู่เพื่อจะนำความรู้ไปวิเคราะห์อย่างถูกต้องที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

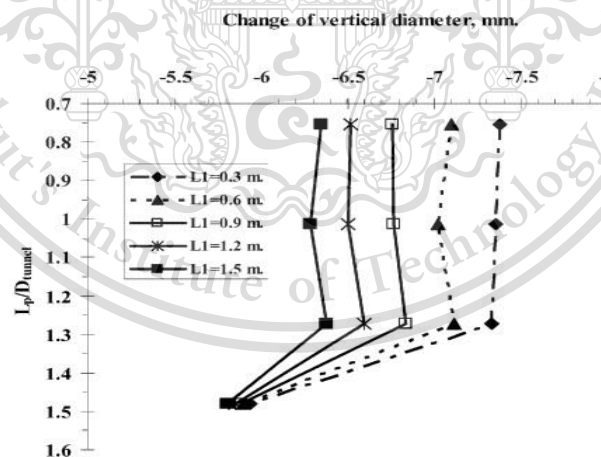
กรณีศึกษาจากงานวิจัยอื่น

บทนี้บรรยายถึงกรณีศึกษาผลกระทบจากการก่อสร้างภายใต้โหลดของเสาเข็มกระทำต่ออุโมงค์ที่มีอยู่เพื่อประเมินหาโซนที่ปลอดภัยต่ออุโมงค์ ซึ่งสามารถทำการศึกษาได้ 3 กรณี ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการประเมินผลกระทบของเสาเข็มภายใต้การโหลดติดกับอุโมงค์ที่มีอยู่

ในการก่อสร้างเสาเข็มใกล้กับพื้นที่อุโมงค์ที่มีอุโมงค์เดิมมักจะมีโหลดอันเนื่องมาจากเสาเข็มกระทำต่อตัวอุโมงค์ส่งผลให้อุโมงค์เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือทำให้ทำให้อุโมงค์บิดเบี้ยว โดยการเสียรูปของอุโมงค์จะสังเกตได้จากส่วนด้านบนของอุโมงค์จะลดลงเคลื่อนที่เข้าใกล้ศูนย์กลางอุโมงค์ในแนวตั้งและการเปลี่ยนแปลงจะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างเสาเข็มและอุโมงค์มีค่าเพิ่มขึ้น(Clearance) ซึ่งในกรณีศึกษาที่ 4.1 นี้แบ่งออกเป็น 3 กรณี ดังนี้

สำหรับกรณี A ค่าการบิดเบี้ยวสูงสุดเกือบคงที่ที่ตำแหน่งปลายเสาเข็มตั้งอยู่ที่ 0.75-1.25 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์และค่าการบิดเบี้ยวจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อตำแหน่งความลึกที่ปลายเสาเข็มผ่านความลึกที่ระดับ 1.25 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์



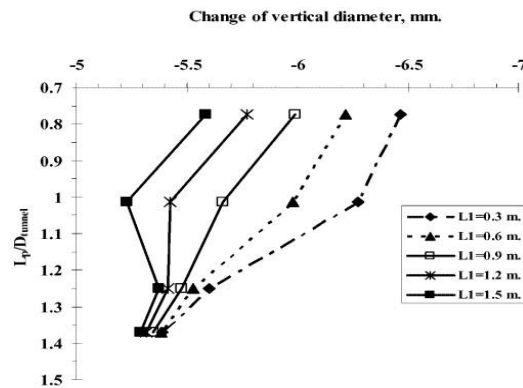
รูปที่ 4.1 กรณี A ที่ตั้งอยู่ในดินเหนียวอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

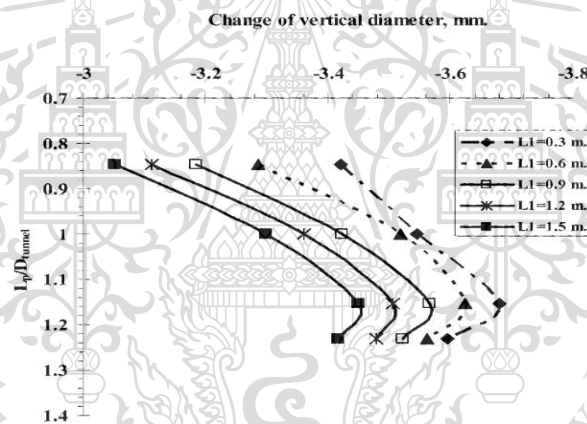
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ส่วนกรณี B การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ในแนวตั้งจะลดลง โดยการที่ปลายเสาเข็มลึกลงมากขึ้น



รูปที่ 4.2 กรณี B อุโมงค์ตั้งอยู่บนชั้นดินเหนียว

และกรณี C การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ในแนวตั้งจะลดลง โดยการที่ปลายเสาเข็มลึกลงมากขึ้น



รูปที่ 4.3 กรณี C อุโมงค์ตั้งอยู่ในชั้นดินเหนียว

การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการประเมินผลกระทบของเสาเข็มภายใต้การโหลดติดกับอุโมงค์ที่มีอยู่จะเห็นได้ว่า กรณี B การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ในแนวตั้งลดลงโดยการที่ปลายเสาเข็มลึกลงมากขึ้น แตกต่างกับทั้งสองกรณีข้างต้น การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ในแนวตั้งจะเพิ่มขึ้นจากการที่ตำแหน่งของปลายเสาเข็มลึกลงที่ละน้อยจนถึงความลึกระดับ 1.2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์และค่าจะลดลงหลังจากผ่านความลึกที่จุดนี้ (1.2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์)

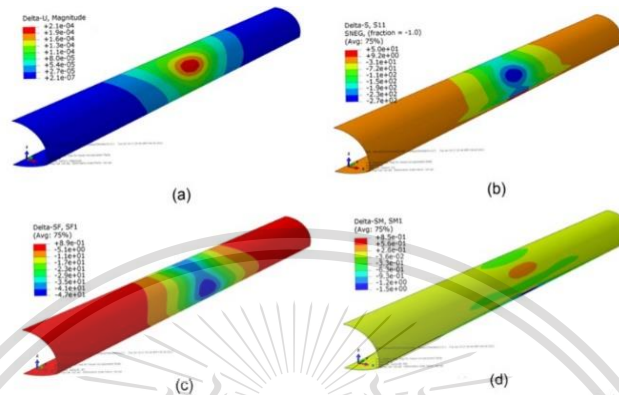
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

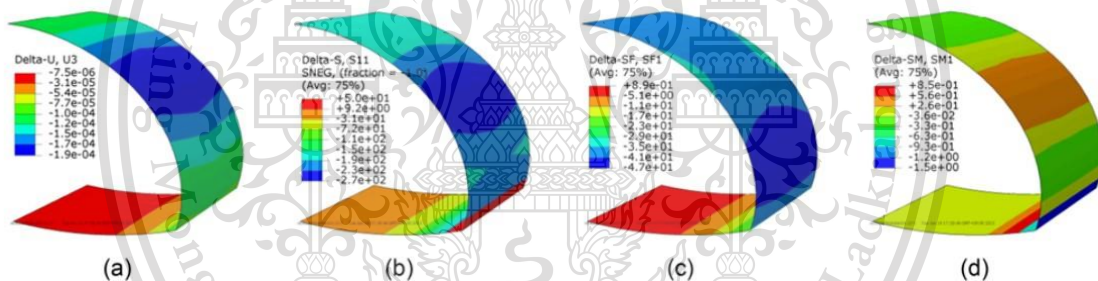
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 แรงเยื้องศูนย์ของอุโมงค์เดิมเนื่องจากการก่อสร้างสะพานด้านข้างเคียง

ผลกระทบของการก่อสร้างสะพานบนอุโมงค์ที่มีอยู่เดิม โดยได้แบ่งค่าการเสียรูปออกเป็น 4 ประเภทหลักได้แก่ (a) การเคลื่อนตัว(m),(b) ความเค้นในแนวแกน(kPa), (c) แรงในแนวแกน (kN), (d) โมเมนต์(kN-m) แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 ค่าการเสียรูปของผนังอุโมงค์และชิ้นส่วนที่รับแรงเนื่องจากการก่อสร้างสะพาน



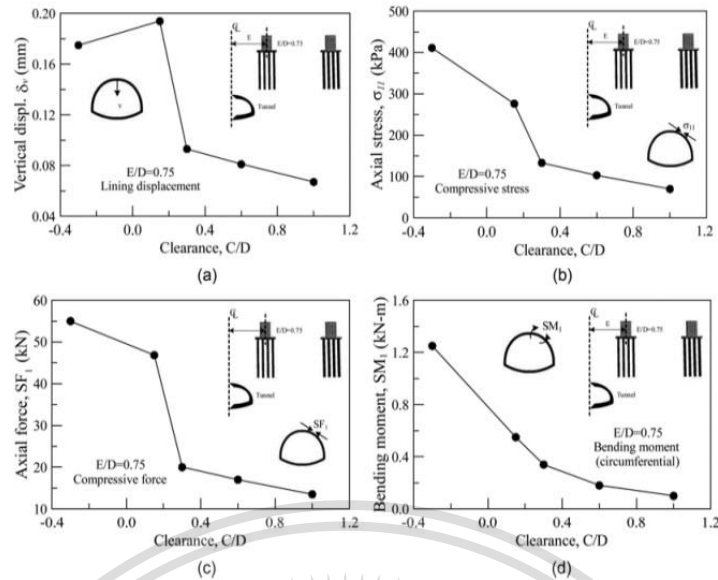
รูปที่ 4.5 ค่าการเสียรูปของผนังอุโมงค์และชิ้นส่วนที่รับแรงเนื่องจากการก่อสร้างสะพานที่ส่วนกลาง

ซึ่งเกณฑ์ในการใช้ประเมิน คือ อัตราส่วนระยะปลายเสาเข็มถึงจุดด้านบนสุดของอุโมงค์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ $C/D = 0.15$ และอัตราส่วนระยะศูนย์กลางของฐานรากเสาเข็มต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ $E/D = 0.75$ ซึ่งโดยค่าการเสียรูปสูงสุดของผนังอุโมงค์และชิ้นส่วนที่รับแรงจะเกิดขึ้นที่ระดับ Haunch มากกว่าที่ระดับ Crown เนื่องจากตำแหน่งของเสาเข็มในอัตราส่วนระยะศูนย์กลางของฐานรากเสาเข็มต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ $E/D = 0.75$ และการเพิ่มขึ้นของแรงตามแนวแกน $\sigma_{11} = 300$ kPa ก็เป็นเพียง 50% สำหรับในกรณีที่อัตราส่วนระยะศูนย์กลางของฐานรากเสาเข็มต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ $E/D = 0$ แสดงได้ดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.6 การเพิ่มขึ้นสูงสุดของชิ้นส่วนที่รับแรงกับ C/D ($E / D = 0.75$)

โดยจากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า การเสีรูปของผนังอุโมงค์และชิ้นส่วนที่รับแรงลดลงและอัตราส่วนระยะปลายเสาเข็มถึงจุดด้านบนสุดของอุโมงค์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ C/D โดยการลดลงของการเสีรูปของผนังอุโมงค์และชิ้นส่วนที่รับแรงจะเด่นชัดมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนระยะปลายเสาเข็มถึงจุดด้านบนสุดของอุโมงค์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ C/D เพิ่มขึ้นถึง 0.15 ถึง 0.30 แม้ว่าค่าการเสีรูปของผนังอุโมงค์และชิ้นส่วนที่รับแรงจะไม่เป็นศูนย์สำหรับค่าอัตราส่วนระยะปลายเสาเข็มถึงจุดด้านบนสุดของอุโมงค์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ C/D ที่มีค่อนข้างมากจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นจะเล็กน้อย เมื่อ C / D ถึง 0.5 ซึ่งแนะนำได้ว่าค่า C / D = 0.5 เป็นค่าวิกฤตของกรณีที่มี E / D = 0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

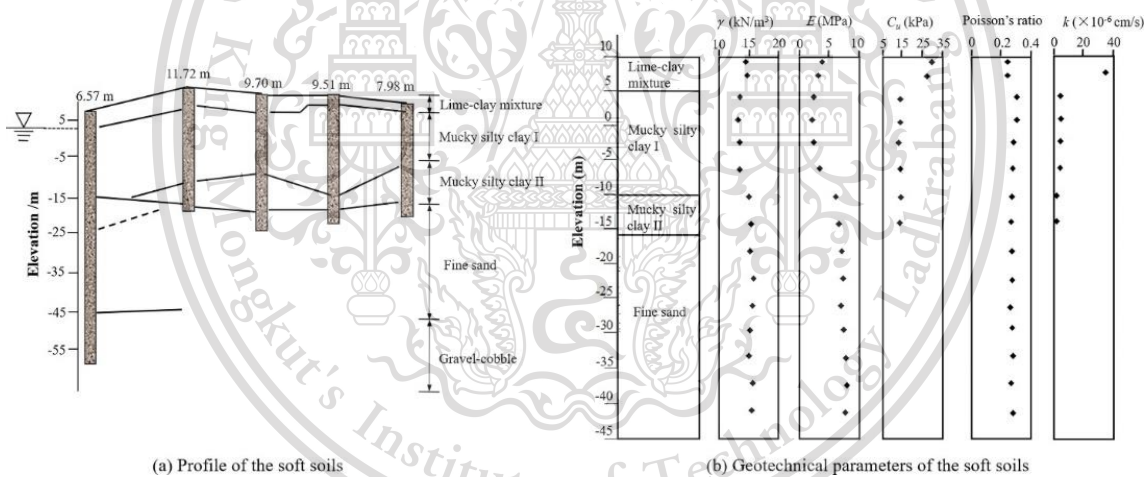
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 อิทธิพลของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto ต่ออุโมงค์ที่มีอยู่ในบริเวณใกล้เคียง : กรณีศึกษา A

กรณีศึกษาในเมืองหนานจิงประเทศจีนเกี่ยวกับการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto ใกล้กับอุโมงค์ที่มีอยู่ เพื่อความปลอดภัยของอุโมงค์ที่มีอยู่จึงมีการติดตั้งเครื่องวัดความเอียง (inclinometers) 16 ตัว เพื่อใช้ตรวจสอบการเคลื่อนที่ด้านข้างของอุโมงค์ตลอดกระบวนการก่อสร้าง โดยโครงการนี้ตั้งอยู่ที่เขตชายแดนระหว่างสายที่ 1 ของ Rapid-Transit Tram และอุโมงค์ที่มีอยู่ในเมืองหนานจิงประเทศจีน สภาพทางธรณีวิทยาเป็นดินบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำแยงซี โดยอุโมงค์มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.5 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6.2 เมตร ดังนั้นเสาเข็มเจาะ Benoto จึงถูกนำมาใช้เป็นฐานรากเสาเข็มเนื่องจากการรบกวนสิ่งรอบข้างน้อย

4.3.1 สภาพพื้นดินการประเมินเบื้องต้นจากการสำรวจทางวิศวกรรม ดินดานประกอบด้วยส่วนผสมของปูนขาว ดินเหนียวโคลนและทรายละเอียดซึ่งวางอยู่เหนือก้อนกรวดทั้งนี้การตรวจสอบทางธรณีเทคนิครวมถึงการทดสอบในห้องปฏิบัติการและในแหล่งกำเนิดได้ดำเนินการก่อนการก่อสร้าง แสดงในรูปที่ 4.7 และแสดงในตารางที่ 4.1



(a) Profile of the soft soils

(b) Geotechnical parameters of the soft soils

รูปที่ 4.7 รายละเอียดของดินและพารามิเตอร์ทางธรณีเทคนิคในพื้นที่ที่วิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Soils	Thickness h (m)	Unit weight γ (kN/m^3)	Void ratio e	Cohesion c (kPa)	Friction angle φ ($^\circ$)	E_s (MPa)	Coefficient of earth pressure at rest, K_0	Water content w (%)	Pern coef (cm/
Lime- clay mixture	1.0–5.0	14.9	0.8	26.0	15.7	6.1	0.49	36.6	3.53:
Mucky silty clay I	6.0–18.0	12.5	1.1	9.5	12.5	3.5	0.62	34.0	1.86:
Mucky silty clay II	2.0–10.0	14.9	0.8	9.6	28.7	10.9	0.38	43.4	1.43:
Fine sand	23.0–30.0	15.0	0.7	8.1	30.1	11.2	-	-	-

ตารางที่ 4.1 Material parameters in the case study.

4.3.2 การทดสอบและติดตั้งเครื่องมือ

เสาเข็มเจาะ Benoto ถูกสร้างใกล้เคียงกับอุโมงค์ที่มีอยู่แล้ว (เช่น 8.0–15.4 เมตรถึงเส้นกึ่งกลางของอุโมงค์ที่มีอยู่) ซึ่งเกณฑ์การออกแบบสำหรับการควบคุมการเปลี่ยนรูปของอุโมงค์ได้ถูกกำหนดโดยอาศัยการตรวจสอบโดยละเอียดของปัญหาต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างในบริเวณใกล้เคียงกับอุโมงค์ที่มีอยู่ ดังนี้

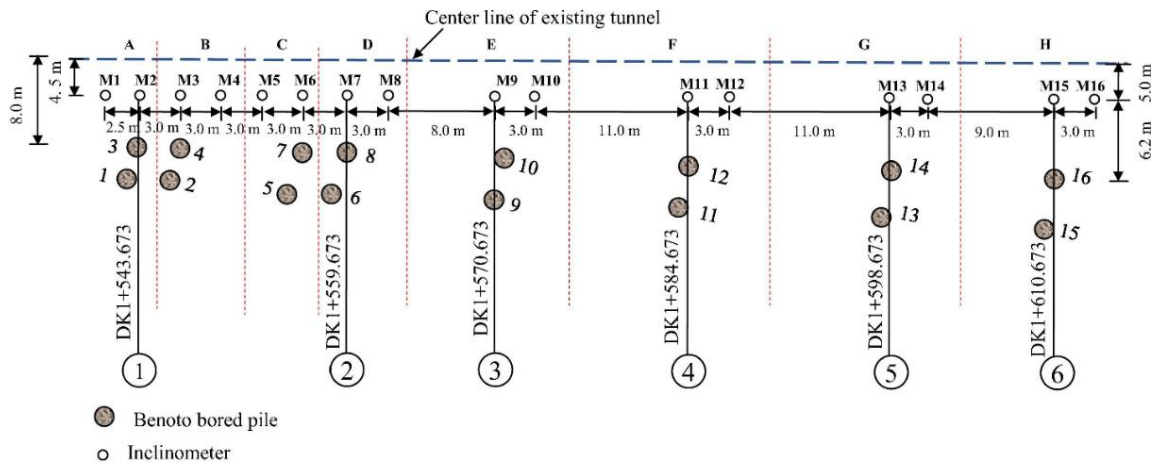
- (1) การทรุดตัวสูงสุดทั้งด้านข้างและแนวตั้ง รวมถึงการทรุดตัวสุดท้ายหลังจากการรับน้ำหนักอาคารในอุโมงค์รถไฟที่ ≤ 20 มม.
- (2) การตอบสนองสูงสุดในอุโมงค์รถไฟใต้ดินที่ 15 มม.
- (3) ความโค้งงอของเส้นเค้งการเปลี่ยนรูปตามยาวในอุโมงค์รถไฟที่ $\leq 1 / 15000$
- (4) การเคลื่อนตัวด้านข้างของเส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัดที่เกิดจากการเคลื่อนตัวตามยาวของโครงสร้าง lining อุโมงค์รถไฟที่ ≤ 10 มม.
- (5) โหลดเพิ่มเติมบนผนังภายนอกอุโมงค์ที่เกิดจากการรับน้ำหนักในแนวตั้งของอาคารและกิจกรรมการก่อสร้างบางอย่างเช่นการสูบน้ำและการฉีด ≤ 20 kPa

(6) ความเร็วสูงสุดของการสั่นสะเทือนของอุโมงค์ที่เกิดจากการตอกเสาเข็มและการระเบิดชั้นส่วนค้ำยันที่ ≤ 2.5 ซม. / วินาที

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

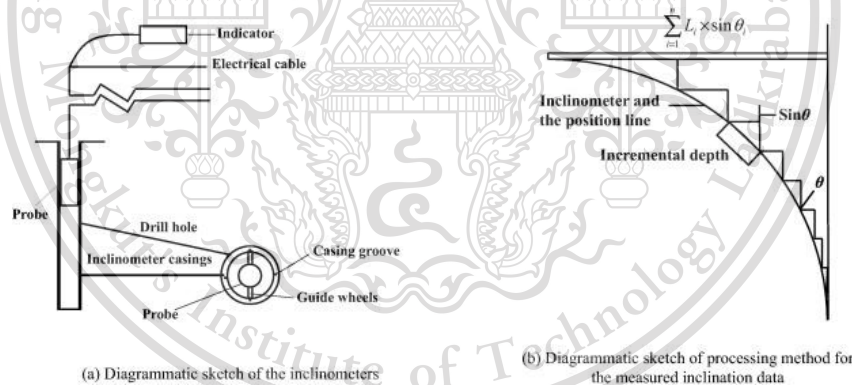
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 แสดงแผนผังระนาบของอุโมงค์ที่มีอยู่และเสาเข็มเจาะ Benote ทั้งหมด 16 เสา

Inclinometers ถูกติดตั้งเป็นคู่ใกล้เคียงกับเสาเข็มสองต้นที่ตั้งฉากกับเส้นกึ่งกลางของอุโมงค์ที่มีอยู่ (กำหนดเป็นส่วน AH ในรูปที่ 4.8) เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถรับการเคลื่อนที่ด้านข้างที่เกิดจากการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto ได้ โดยภาพร่างไดอะแกรมของเครื่องวัดความเอียงและวิธีการประมวลผลข้อมูลแสดงในรูปที่ 4.9



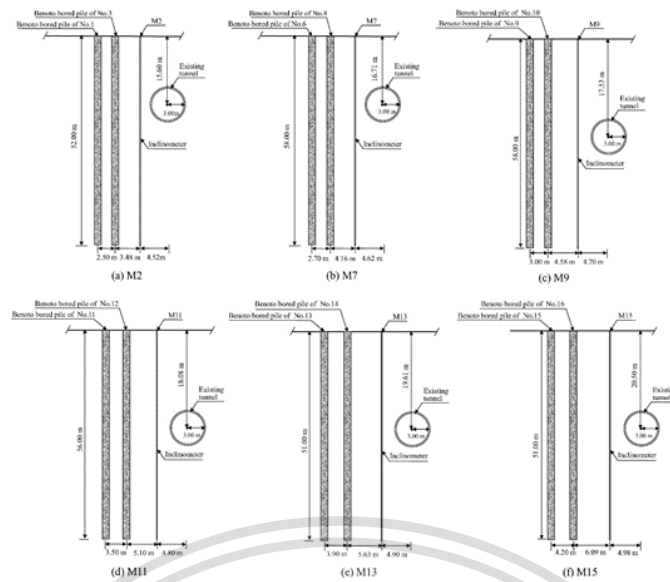
รูปที่ 4.9 ภาพร่างไดอะแกรมของเครื่องวัดความเอียงและวิธีการประมวลผลข้อมูล

ในระหว่างการก่อสร้างมีการสร้างเสาเข็มสองต้นในแนวตั้งฉากกับเส้นกึ่งกลางของอุโมงค์ในเวลาเดียวกันและการก่อสร้างเสาเข็มเป็นไปตามลำดับดังนี้ลำดับที่ 15 และ 16 → เลขที่ 2 & 4 → เลขที่ 9 & 10 → เลขที่ 1 และ 3 → เลขที่ 13 และ 14 → ฉบับที่ 5 และ 7 → เลขที่ 11 และ 12 → เลขที่ 6 และ 8 รวมทั้งติดตั้งเครื่องมือ inclinometers แสดงในรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

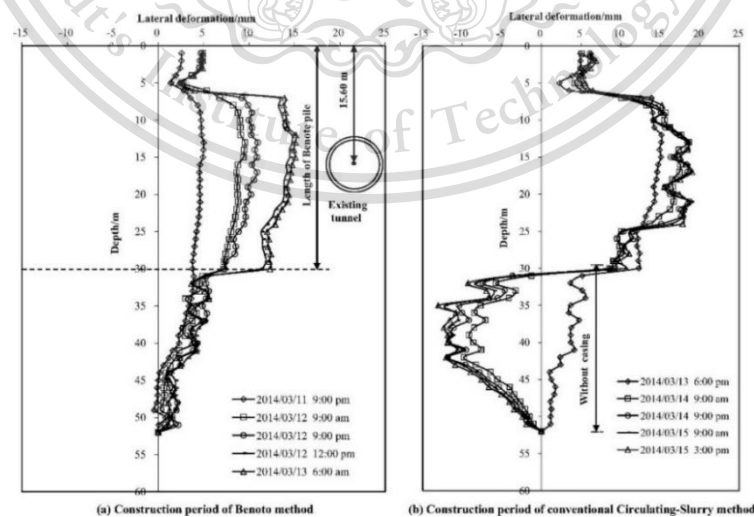
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.10 เค้าโครงของเสาเข็มเจาะ Benoto และอุโมงค์ที่มีอยู่รวมถึงเครื่องมือ inclinometers

4.3.3 Field measurements ผลข้อมูลภาคสนาม

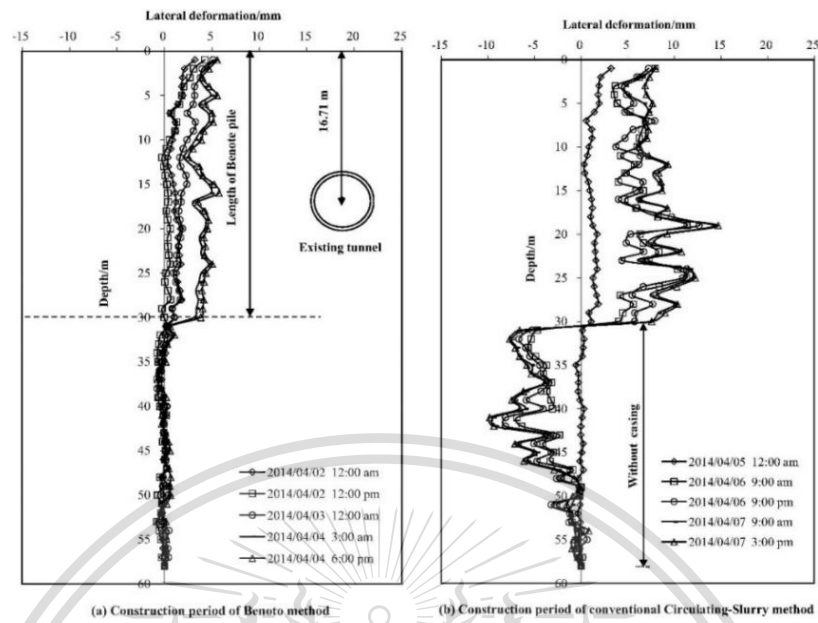
เทคโนโลยีของเสาเข็มเจาะ Benoto ถูกนำมาใช้อย่างประสบความสำเร็จในโครงการนี้และได้มีการตรวจสอบประสิทธิภาพของการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto ในอุโมงค์ที่มีอยู่ในบริเวณใกล้เคียงอย่างครอบคลุม โดยการเคลื่อนตัวด้านข้างวัดได้จากดินอ่อนที่จุดตรวจสอบแสดงในรูปที่ 4.11, รูปที่ 4.12, รูปที่ 4.13, รูปที่ 4.14, รูปที่ 4.15, รูปที่ 4.16 ซึ่งค่าที่ได้จากการตรวจสอบถูกวัดตลอดกระบวนการทั้งหมดตั้งแต่วันที่ เริ่มต้นจนถึงวันที่สิ้นสุดของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto



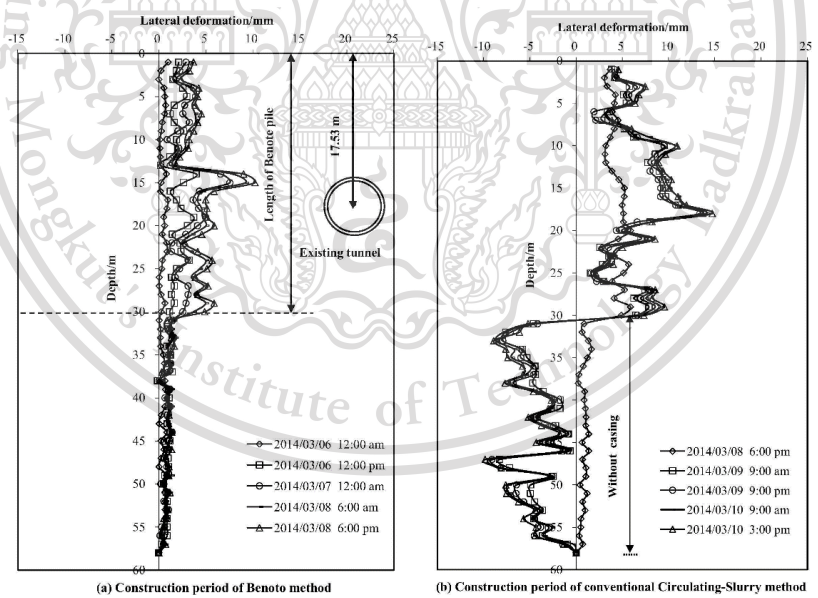
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.11 การกระจัดด้านข้างที่ M2 ระหว่างการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ย้ำทางห้ามเผยแพร่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.12 การกระจัดด้านข้างที่ M7 ระหว่างการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto

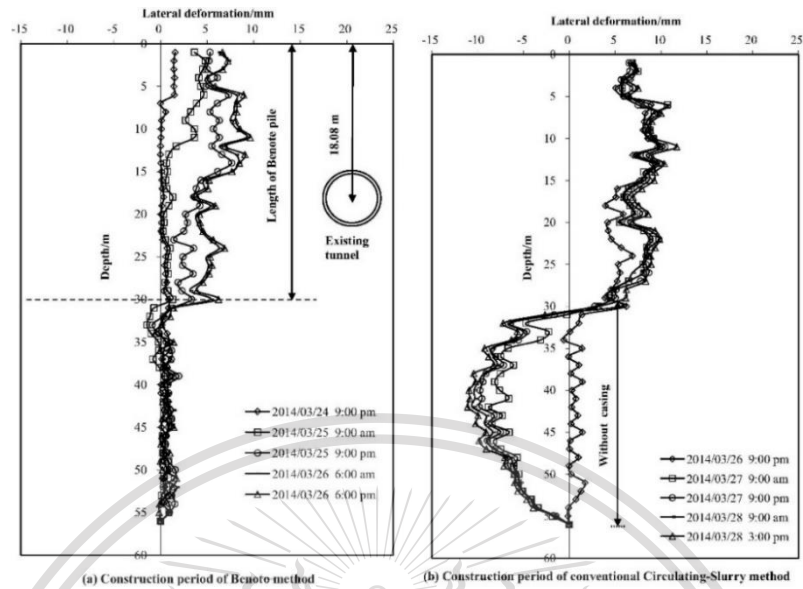


รูปที่ 4.13 การกระจัดด้านข้างที่ M9 ระหว่างการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto

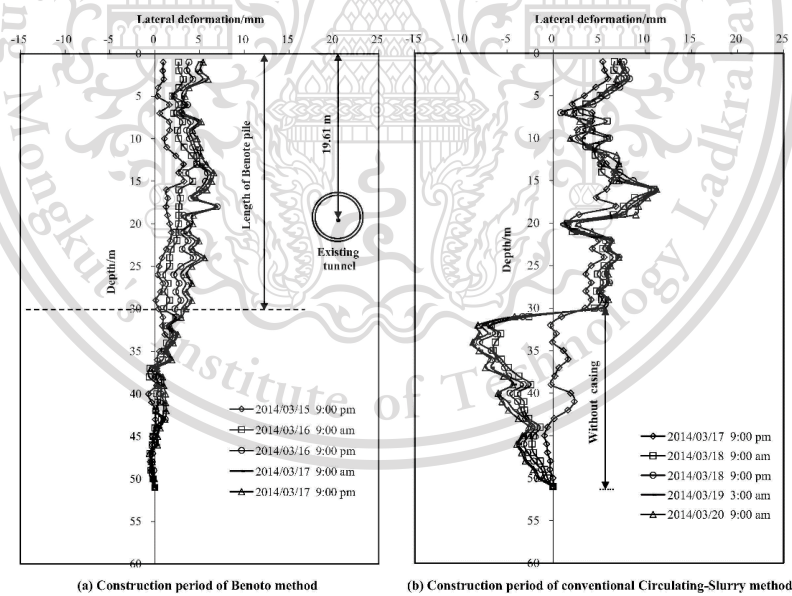
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.14 การกระจัดด้านข้างที่ M11 ระหว่างการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto

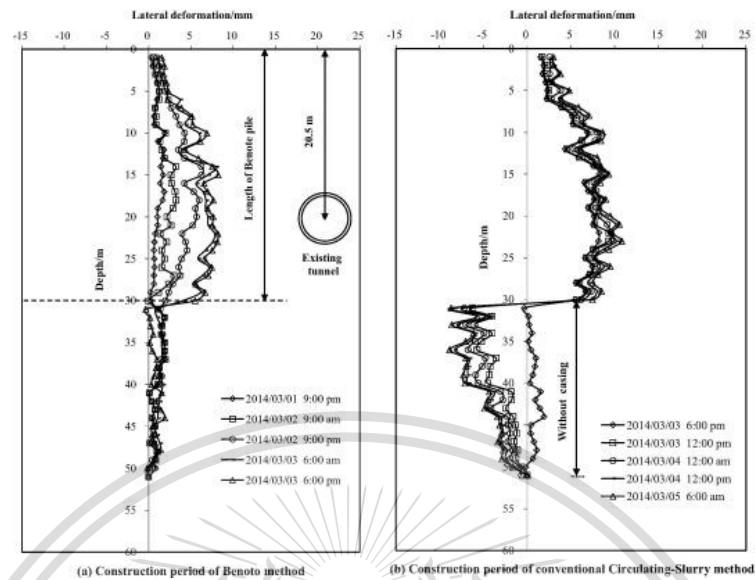


รูปที่ 4.15 การกระจัดด้านข้างที่ M13 ระหว่างการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.16 การกระจัดด้านข้างที่ M15 ระหว่างการสร้างเสาเข็มเจาะ Benoto

ดังแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนรูปแบบของการกระจัดด้านข้างที่ค่อนข้างใหญ่ที่ความลึก 5-30 ม. อาจเป็นผลมาจากลักษณะของดินอ่อน (Mucky silty clay) ที่มีอัตราส่วนช่องว่างมากมีความเป็นพลาสติกสูงการซึมผ่านไม่ดีปริมาณน้ำสูงแรงเฉือนต่ำ ความแข็งแรงและโมดูลัสต่ำของการเสียและรูปการกระจัดด้านข้างที่ความลึก 12.6–18.6 เมตร เนื่องจากอุโมงค์ที่มีอยู่ปิดกั้นดินที่เคลื่อนออกจากบล็อก และกระจัดด้านข้างสูงสุดลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างเสาเข็มและเครื่องวัดความเอียง (inclinometers) ค่าทริกเกอร์สะสม (20 มม.) ดังแสดงในตารางที่ 2 เนื่องจากค่าทริกเกอร์สะสมค่อนข้างที่จะเป็นที่ยอมรับ การกระจัดด้านข้างที่ค่อนข้างใหญ่อาจไม่มีอิทธิพลร้ายแรงต่ออุโมงค์ที่มีอยู่

Inclinometer No.	M2	M7	M9	M11	M13	M15
Distance between inclinometer to piles (m)	3.48	4.16	4.58	5.10	5.63	6.09
Maximum positive lateral displacement (mm)	19.04	14.69	14.72	11.72	11.23	10.80
Maximum negative lateral displacement (mm)	-13.04	-9.8	-9.83	-11.09	-8.70	-8.87

เอกสารนี้เป็นตารางที่ 4.2 สรุปการกระจัดด้านข้างสูงสุดที่วัดได้โดยระยะติดตั้งเครื่องมือ inclinometers ที่แตกต่างกัน การคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

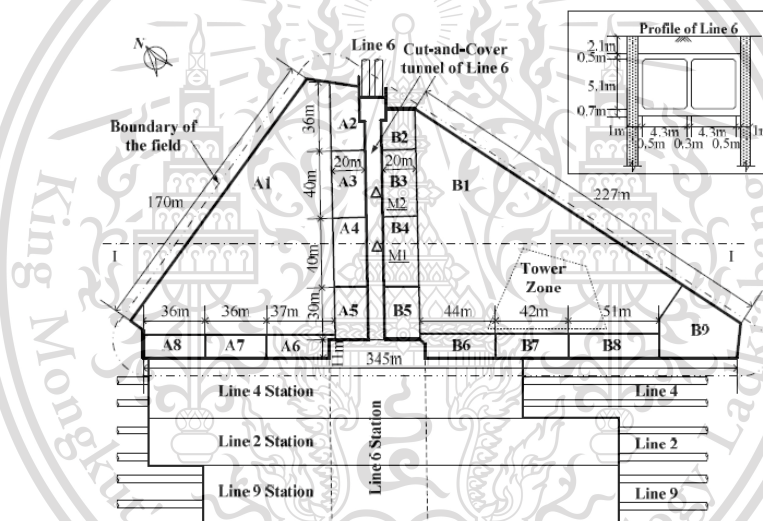
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

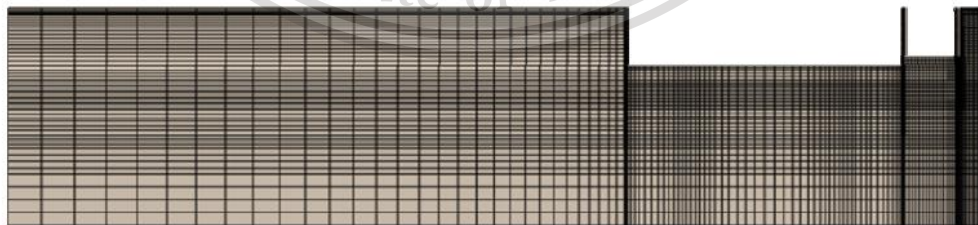
4.4 การศึกษาเชิงตัวเลขเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอุโมงค์ที่มีอยู่เดิมเนื่องจากการขุดลึกในเชียงใหม่

การศึกษาเชิงตัวเลขเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอุโมงค์ที่มีอยู่เดิมเนื่องจากการขุดลึกในเชียงใหม่ แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และพารามิเตอร์มีการวิเคราะห์พื้นที่อิทธิพลของการขุดดินบนอุโมงค์ใต้ดินก่อนที่จะเริ่มทำการก่อสร้าง เนื่องจากมีอุโมงค์รถไฟใต้ดินเส้นทางที่ 6 ได้รับผลกระทบมากที่สุดจากการขุดดิน ซึ่งในการวิเคราะห์ได้นำวิธีการวิเคราะห์ในเชิงตัวเลข โดยหน้าตัดที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์เป็นหน้าตัดที่สมมาตรที่สุดที่ถูกเลือกมาใช้ในการวิเคราะห์และมีการวิเคราะห์แบบตาข่าย คือ 250 m. x 90 m. ซึ่งมีเงื่อนไขของขอบเขตในการกำหนดบนพื้นผิวหน้าตัดที่สมมาตรของแบบจำลองและแบบจำลองได้ถูกจำกัดการเคลื่อนที่ในด้านข้าง และจำกัดการเคลื่อนที่ในแนวตั้งด้านล่างของแบบจำลอง แสดงแบบแผนโครงการขุดดินและอุโมงค์เส้นทางที่ 6 ด้านข้างในรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 ตาข่ายของแบบจำลอง



รูปที่ 4.17 แบบแผนโครงการขุดดิน และ อุโมงค์เส้นทางที่ 6 ด้านข้าง

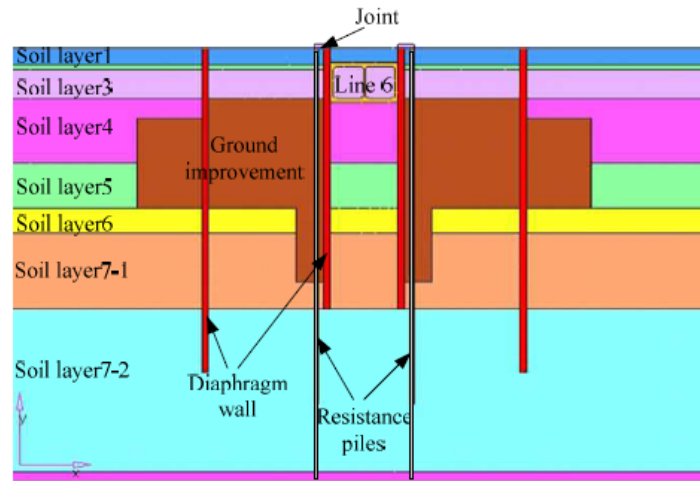


รูปที่ 4.18 ตาข่ายของแบบจำลอง

สำหรับการจำลองพื้นที่อิทธิพลการเคลื่อนที่ของดินในส่วนของเสาเข็มในพื้นที่ทำการขุดดินจะถูกเปรียบให้เสมือนคานคู่และและจำลองเสาเข็ม, จุดต่อระหว่างกำแพงกันดินของอุโมงค์ใต้ดินเส้นทางที่ 6 ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสี่ ล้วนทั้งหมดยังให้ค่าแบบเดียวกัน และค่าอ้างอิงจึงมีค่าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ และบริเวณรอบๆ เสาเข็มถูกเปรียบเสมือนกับกำแพงกันดิน แสดงในรูปที่ 3

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ของอุโมงค์ใต้ดินเส้นทางที่ 6 และเสาเข็ม

แบบจำลองนี้เป็นดินซีเมนต์จะใช้จำลองพฤติกรรมของดินแบบไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งคุณสมบัติของดินในตารางที่ 2 และคุณสมบัติที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 แสดงลำดับการขุดงานก่อสร้างในการจำลองการวิเคราะห์เชิงตัวเลขซึ่งอิงจากขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการนี้

Period	Layer No.	Soil Layer name	H (m)	w (%)	γ (kN/m ³)	e	C' (kPa)	ϕ' (°)	C_c	CPT-1 p_c (MPa)	CPT-2 q_c (MPa)	f_s (kPa)	E_m (MPa)	PMT C_u (kPa)
Q ₄ ³	1	Filled soil	1.5-6.5											
	2	Silty clay	0.5-2.0	27.4	18.0	0.94	1	30.3	0.168	0.78	/		4.9	45
Q ₄ ²	3	soft Silty clay	2.5-6.9	34.7	17.2	1.18	5	33.5	0.241	0.84	0.99	13.3	3.1	37.8
	4	Very soft silty clay	8.4-10.0	48.6	17.0	1.43	5	25.3	0.383	0.55	0.51	14.9	6.5	45
Q ₄ ¹	5	Clay	5.0-8.1	34.2	18.2	1.03	2	31.8	0.244	1.01	0.99	26.6	10.5	72
Q ₃ ²	6	Hard clay	2.4-4.8	22.5	19.9	0.71	5	33.0	0.131	2.34	2.22	72.5	17.7	123
	7-1	Sandy clay	9.4-13.1	29.9	18.9	0.84	0	34.5	0.101	11.44	12.44	91.4	22	/
	7-2	Fine sand	23.5-27.5	27.1	19.1	0.76	0	35.0	0.125	23.75	24.01	139.4	27.8	/
Q ₃ ¹	9-1	sand	18.1-22.8	25.9	19.7	0.68		0.112	23.92	24.05	24.05	156.2	/	/
	9-2	coarse sand	2.7-10.0	23.2	19.9	0.61		0.096	24.71	26.26	120.7	/	/	

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของดิน

Table 2. Parameters adopted in FEM analysis.

Layer No.	H (m)	Soil				Interface							
		λ	κ	M	friction coefficient		critical shear stress						
					ϕ' (°)	Range of μ	μ	p_c (MPa)	f_0 (kPa)	f_1 (kPa)	Limits (kPa)	f_s (kPa)	f_{sp} (kPa)
1	2.6	0.073	0.0061	0.24			0.3					20	7
2	0.8	0.073	0.0061	0.24	30.3	0.27~0.37	0.3	0.78	39	29	15~30	20	7
3	4.6	0.105	0.0087	1.38	33.5	0.30~0.41	0.25	0.84	42	32	15~25	20	7
4	10	0.166	0.0139	0.69	25.3	0.22~0.30	0.25	0.55	28	21	15~30	20	7
5	6.9	0.106	0.0088	1.29	31.8	0.28~0.39	0.35	1.01	50	38	40~55	40	13
6	3.9	0.057	0.0047	1.20	33	0.30~0.40	0.3	2.34	84	63	50~80	65	22
7-1	11.9	0.044	0.0037	1.20	34.5	0.31~0.42	0.4	11.44	229	172	55~75	75	25
7-2	25.3	0.054	0.0045	1.20	35	0.32~0.43	0.4	23.75	475	356	55~80	75	25
9-1	20.0	0.049	0.0041	1.10			0.4	23.92	478	359	70~100	100	33
9-2	4.0	0.042	0.0035	1.10				24.71	494	371	70~100		

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

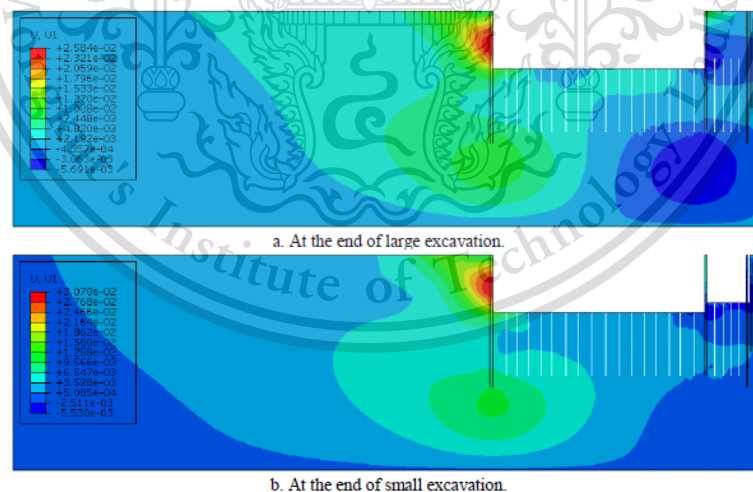
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Step No.	Construction activities
Initial	1 Geotress condition, and Construct diaphragm wall and pile foundation
Large pit	2 Construct the 1 st level of strut, excavate to depth of 6.2 m in center zone
	3 Excavate to depth of 6.2 m at surrounding zone
	4 Construct the 2 nd level of strut, excavate to depth of 11 m in center zone
	5 Excavate to depth of 11 m at surrounding zone
	6 Construct the 3 rd level of strut, excavate to depth of 15.5 m in center zone
	7 Excavate to depth of 15.5 m at surrounding zone
	8 Construct the 4 th level of strut, excavate to depth of 19.8 m in center zone
	9 Excavate to depth of 19.8 m at surrounding zone
	10 Construct the 5 th level of strut, excavate to depth of 22.8 m in center zone
	11 Excavate to depth of 22.8 m at surrounding zone
	12 Construction the bottom slab of basement
13 Construct the substructure of floor B4, B3, and B2; remove struts respectively	
Small pit	14 Construct the 1 st level of strut, excavate to depth of 5.65 m
	15 Construct the 2 nd level of strut, excavate to depth of 9.85 m
	16 Construct the 3 rd level of strut, excavate to depth of 13.85 m
	17 Construct the 4 th level of strut, excavate to depth of 16.59 m
	18 Construct the 5 th level of strut, excavate to depth of 19.75 m
	19 Construction the bottom slab of basement
20 Construct the substructure of floor B3, and B2; remove struts respectively	
Final	21 Construct the substructure of floor B1; remove up part of dividing wall

ตารางที่ 4.5 ลำดับการขุด

ผลลัพธ์ในการวิเคราะห์ การเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงดินและดิน กำแพงดินเคลื่อนตัวในแนวราบมากที่สุดที่ 25.8 mm. ที่ก้นหลุมขุดที่ใหญ่ และเพิ่มถึง 30.7 mm. ดังแสดงในรูปที่ 4.20 และเมื่อการขุดเสร็จสิ้น การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเดิมในแนวราบของอุโมงค์เส้นทางที่ 6 แสดงในรูปที่ 4.21 ส่วนบนสุดมีการเคลื่อนตัวเพียงเล็กน้อยเพราะ ความแข็งแรงของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูงและขุดดินสมมาตรและการทรุดตัวสูงสุดที่หน้าผาดินคือ 11 mm. ระหว่างการขุดหลุมที่ใหญ่ ผิวน้ำของดินที่หลุมขุดยกตัว 95.3 mm.หลังจากเสร็จสิ้นการขุดหลุมใหญ่ผิวน้ำของดินที่หลุมขุดยกตัว 44.7 mm.หลังจากเสร็จสิ้นการขุดหลุมเล็ก แสดงในรูปที่ 4.22

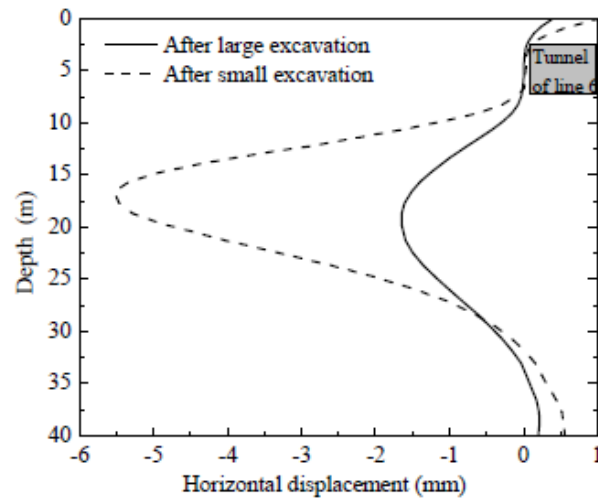


รูปที่ 4.20 การเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงดินและดิน (หน่วย m.)

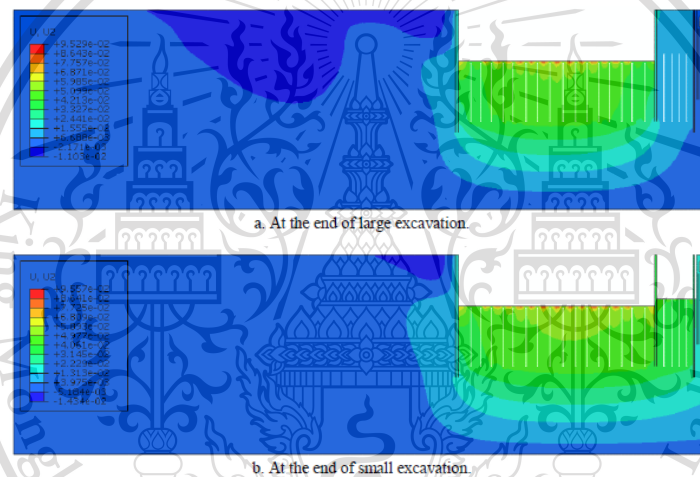
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.21 การเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงดินของอุโมงค์ใต้ดินเส้นทางที่ 6



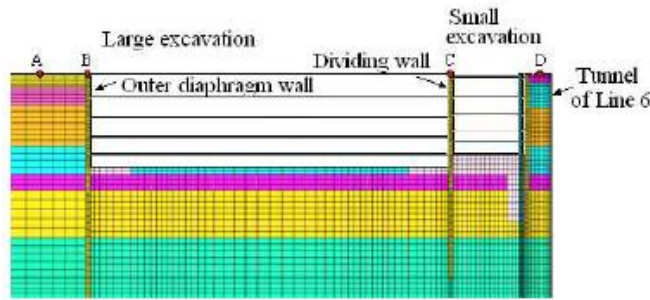
รูปที่ 4.22 แสดงผลการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของกำแพงดินและดิน(หน่วย m.)

ดังนั้นในการศึกษาการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของตัวอุโมงค์และอิทธิพลการขุดบนการขุดเปิดหน้าดินของอุโมงค์เส้นทางที่ 6 การเคลื่อนตัวในแนวตั้งของจุดทั้ง 4 จุดที่ทำการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24 แสดงการเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนตัวในแนวตั้งใน 4 จุดระหว่างทำการขุดการทรุดตัวที่จุด A เนื่องจากการขุดหลุมใหญ่ทรุดตัวที่ 9.6 และเพิ่มขึ้นถึง 13mm. หลังจากการขุดหลุมเล็กเสร็จสิ้น

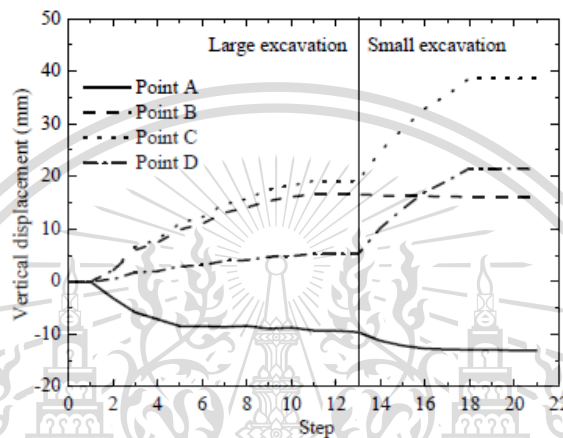
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



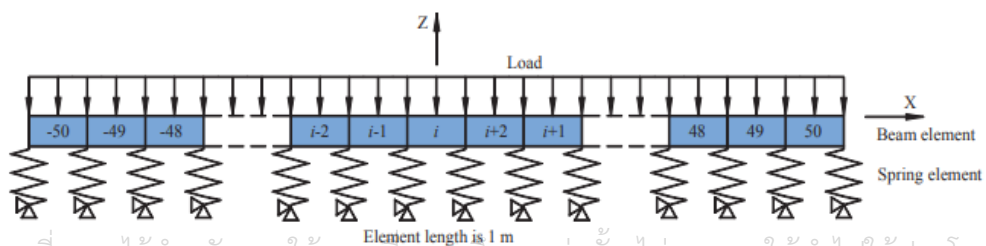
รูปที่ 4.23 ตำแหน่งจุด 4 จุดที่ทำการวิเคราะห์



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนตัวในแนวตั้งใน 4 จุด

4.5 พฤติกรรมของอุโมงค์ที่มีอยู่เนื่องจากการสร้างอุโมงค์ใหม่ด้านล่าง

แบบจำลองที่นำเสนอจะมีการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับสิ่งที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขซอฟต์แวร์ MATLAB มาใช้ในการคำนวณสำหรับแบบจำลองการวิเคราะห์ ABAQUS คำนวณเชิงตัวเลขโดยจำลองแบบจำลองเป็นคานแบบ 2 มิติมีความยาว 1 ม. ดังแสดงในรูปที่ 4.25 และเมื่อวิเคราะห์จากแบบจำลองจะพบความแตกต่างระหว่างผลการวิเคราะห์และผลตัวเลขในแต่ละจุดมีค่าน้อยกว่า 10% สำหรับกรณีเฉพาะของการสร้างอุโมงค์ใหม่ด้านล่างอุโมงค์ที่มีอยู่แสดงได้ดังรูปที่ 6 การเบี่ยงเบนคำนวณโดยวิธีที่เสนอและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



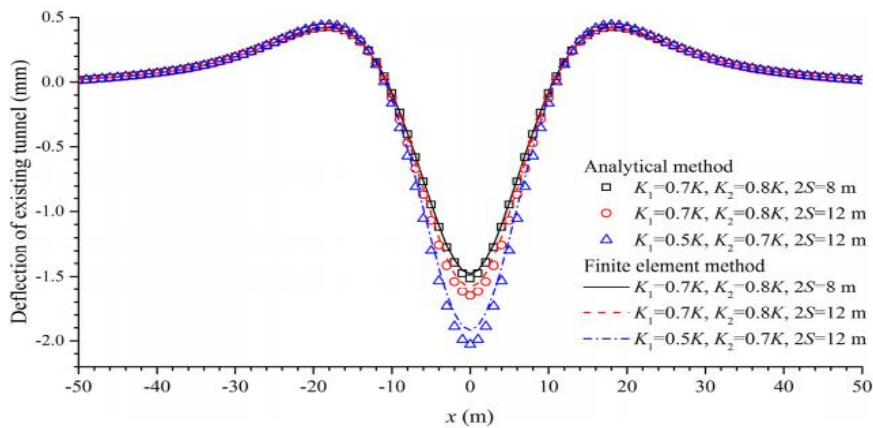
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.25 แบบจำลองเชิงตัวเลขของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

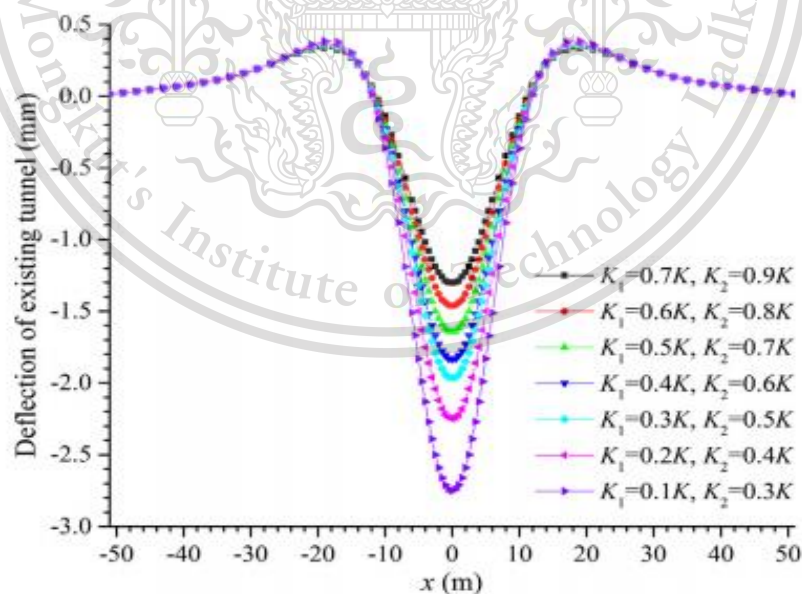


รูปที่ 4.26 การเบี่ยงเบนค่านวณโดยวิธีที่เสนอและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4.5.1 การวิเคราะห์ Parametric

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการโก่งตัวของอุโมงค์ที่มีอยู่แบ่งออกเป็น 4 ปัจจัยหลักๆ ดังนี้

4.5.1.1 . ค่าสัมประสิทธิ์ของปฏิกิริยาย่อยเป็นการเบี่ยงเบนของอุโมงค์ที่มีอยู่ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ต่างกันของปฏิกิริยาย่อยด้วยการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์ของปฏิกิริยาลดระดับทั้งค่าการโก่งสูงสุดและการเบี่ยงเบนเชิงลบสูงสุดของอุโมงค์ที่มีอยู่เพิ่มขึ้นแสดงในรูปที่ 4.27 การโก่งตัวของอุโมงค์ที่มีอยู่โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ปฏิกิริยาระดับย่อยที่แตกต่างกัน

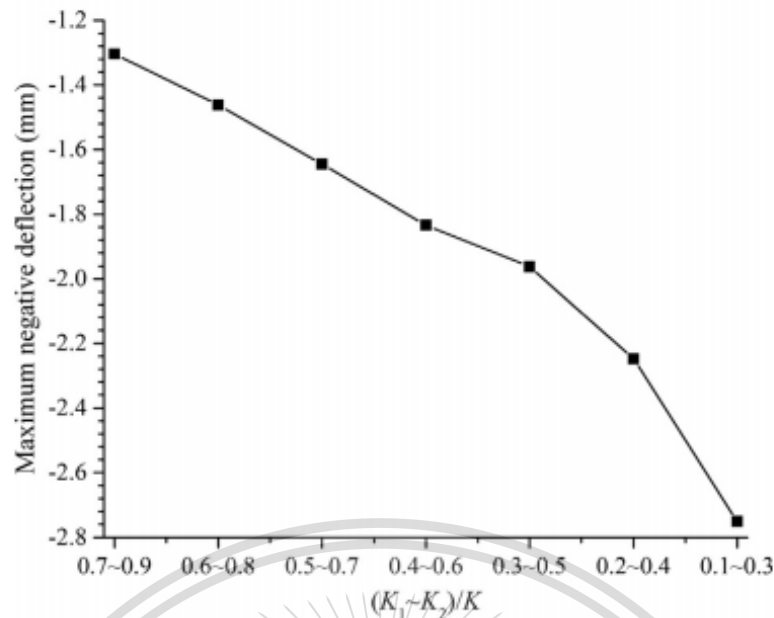


รูปที่ 4.27 (a) การโก่งตัวตามอุโมงค์ที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

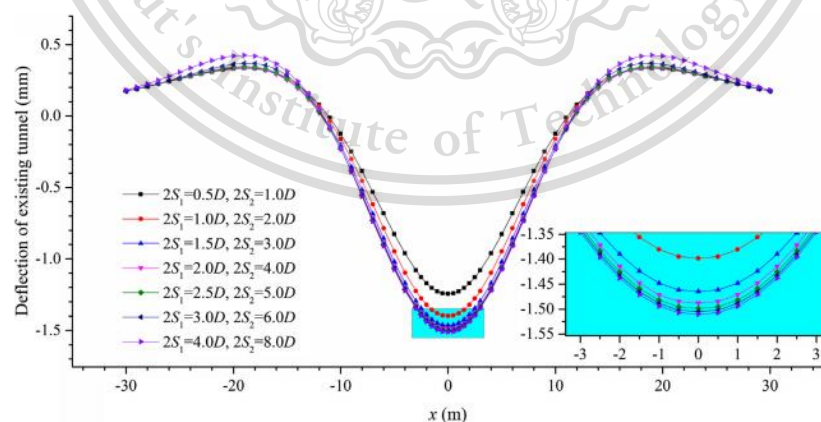
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.27 (b) การเบี่ยงเบนเชิงลบสูงสุด

รูปที่ 4.27 การโค้งตัวของอุโมงค์ที่มีอยู่โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ปฏิกริยาระดับย่อยที่แตกต่างกัน

4.5.1.2 . การเบี่ยงเบนของอุโมงค์ที่มีอยู่ที่มีความยาวของดินที่ถูกรบกวนแตกต่างกันสามารถแสดงในรูปที่ 4.28(a) ความกว้างของเส้นโค้งจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความยาวของดินที่ถูกรบกวน ในขณะที่เดียวกัน การโค้งตัวที่เป็นบวกของอุโมงค์ที่มีอยู่ก็เพิ่มขึ้น การเบี่ยงเบนเชิงลบสูงสุดที่มีความยาวของดินที่ถูกรบกวนแตกต่างกันแสดงในรูปที่ 4.28 (b) ความแรงของการโค้งตัวเชิงลบสูงสุดจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของดินที่ถูกรบกวน

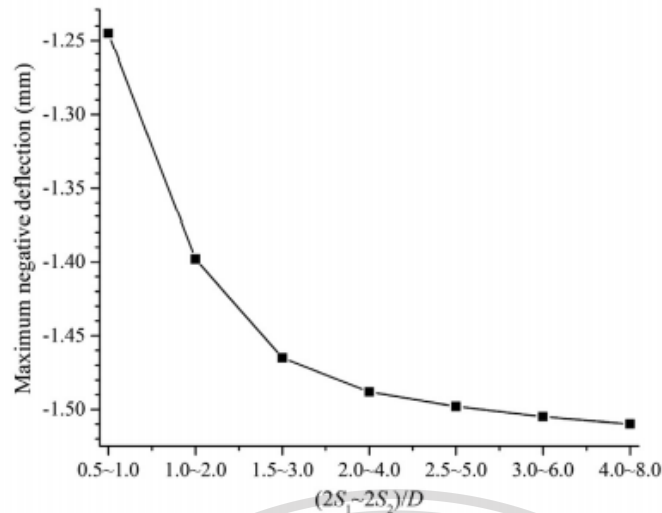


รูปที่ 4.28 (a) การโค้งตัวตามอุโมงค์ที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

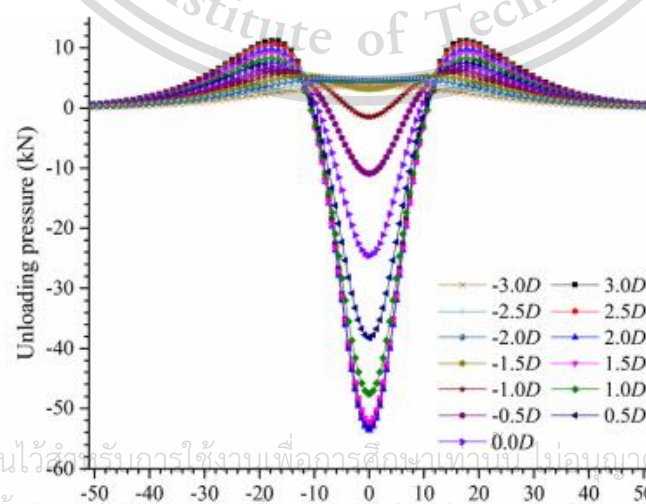
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.28 (b) การเบี่ยงเบนเชิงลบสูงสุด

รูปที่ 4.28 การเบี่ยงเบนของอุโมงค์ที่มีอยู่โดยพิจารณาจากความยาวที่ต่างกันของดินที่ถูกรบกวน

4.5.3 ระยะทางแนวนอนของอุโมงค์ใหม่ โดยมีระยะทางแนวนอนที่ต่างกันระหว่างอุโมงค์ใหม่และที่มีอยู่แสดงในรูปที่ 4.29 (a) ความดันขนถ่ายที่จุดกำเนิดเป็นบวกและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก $L_2 = -3D$ ถึง $L_2 = -2D$ เมื่อ L_2 อยู่ระหว่าง $+2D$ ถึง $+3D$ ขนาดของความดันในการขนถ่ายจะลดลงการโค้งตัวของอุโมงค์ที่มีอยู่ระหว่างการขุดอุโมงค์ใหม่จะแสดงในรูปที่ 4.29(b) ลักษณะของเส้นโค้งการโค้งตัวจะคล้ายกับเส้นโค้งแรงกดที่ไม่บรรทุก การเบี่ยงเบนเชิงลบสูงสุดของอุโมงค์ที่มีอยู่ซึ่งมีระยะทางแนวนอนต่างกันระหว่างอุโมงค์ใหม่และที่มีอยู่แสดงในรูปที่ 4.29 (c) การเบี่ยงเบนเชิงลบสูงสุดของอุโมงค์ที่มีอยู่จาก $L_2 = -2D$ ถึง $L_2 = +2D$ การเบี่ยงเบนของอุโมงค์ที่มีอยู่จะเปลี่ยนไปเล็กน้อยเมื่อนำชุดใหม่เป็น $2D$ ด้านหลังหรือเกินกึ่งกลางของอุโมงค์ที่มีอยู่ เส้นโค้งจะเลื่อนระดับออกเมื่อระยะทาง L_2 มากกว่าค่าที่กำหนด



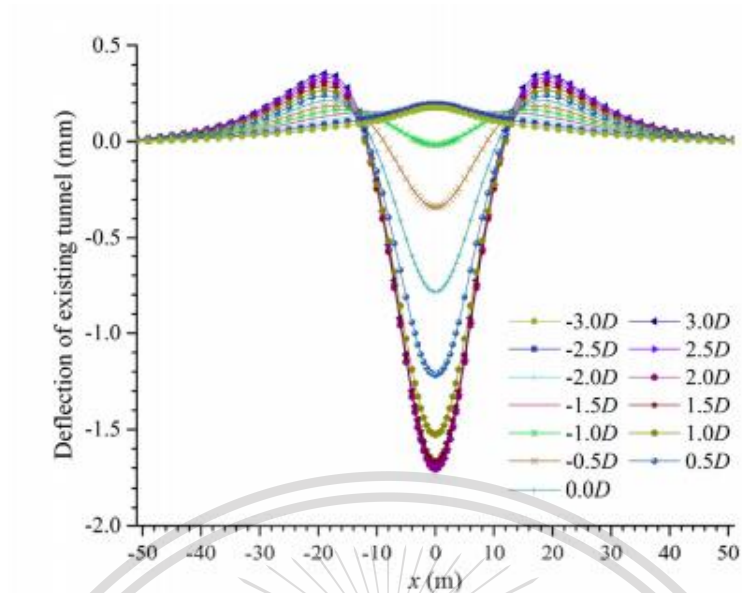
รูปที่ 4.29 (a) ความดันในการขนถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะที่ออกการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

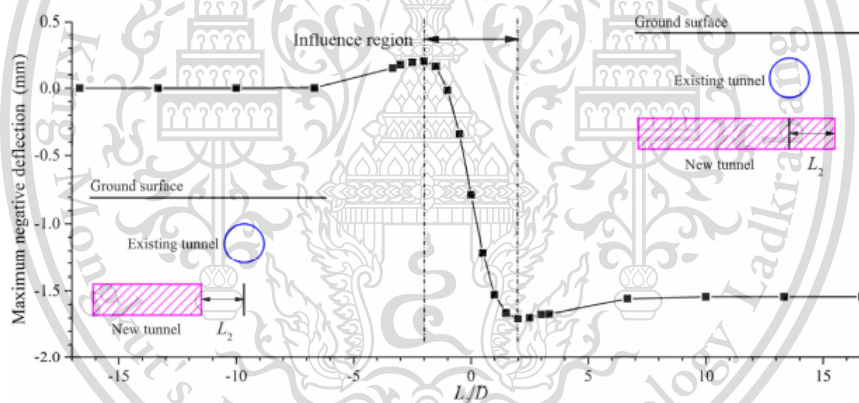
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.29 (b) การเบี่ยงเบนของอุโมงค์ที่มีอยู่



รูปที่ 4.29 (c) การเบี่ยงเบนเชิงลบสูงสุดของอุโมงค์ที่มีอยู่ในระหว่างการขุดอุโมงค์ใหม่

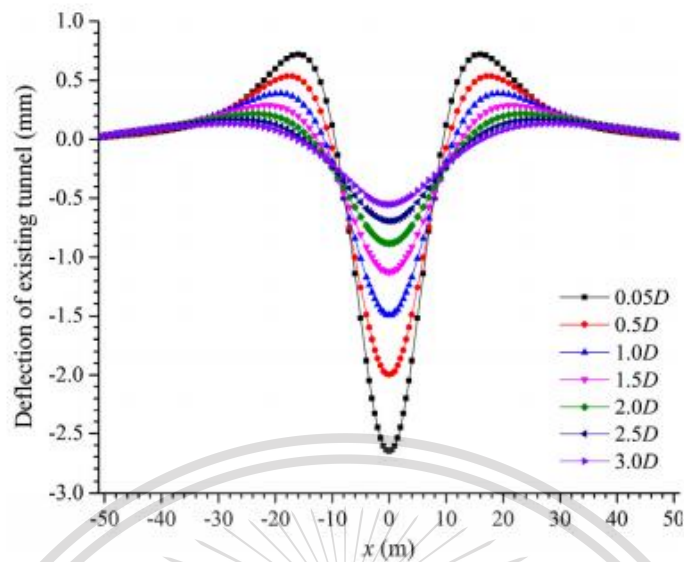
รูปที่ 4.29 ความดันขนถ่ายและการเบี่ยงเบนโดยพิจารณาจากระยะทางแนวนอนที่แตกต่างกัน

4.5.4 ระยะห่างในแนวตั้งระหว่างอุโมงค์ใหม่และที่มีอยู่ ได้แสดงในรูปที่ 4.30 (a) ขนาดของทั้งการเบี่ยงเบนเชิงลบและการโก่งตัวในเชิงบวกจะเพิ่มขึ้นตามการลดลงของระยะห่างในแนวตั้ง การเบี่ยงเบนเชิงลบสูงสุดพร้อมระยะห่างในแนวตั้งที่แตกต่างกันแสดงในรูปที่ 4.30(b) ขนาดของความเบี่ยงเบนเชิงลบสูงสุดจะลดลงเมื่อระยะห่างแนวตั้งเพิ่มขึ้น

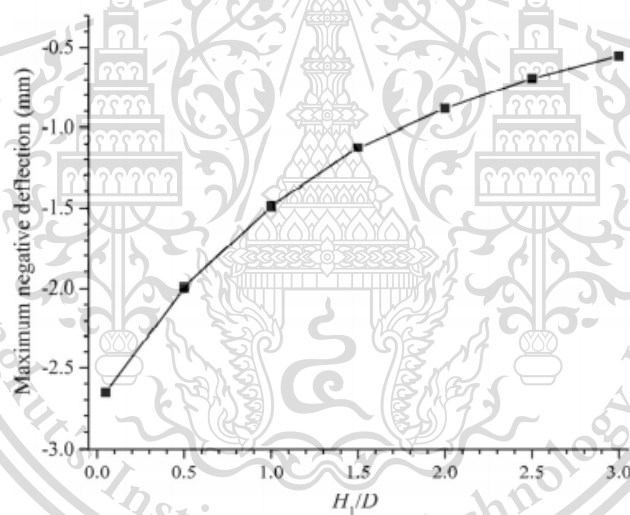
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.30 (a) การเบี่ยงเบนของอุโมงค์ที่มีอยู่



รูปที่ 4.30 (b) การเบี่ยงเบนเชิงลบสูงสุด

รูปที่ 4.30 การเบี่ยงเบนของอุโมงค์ที่มีอยู่โดยพิจารณาจากระยะห่างในแนวตั้งที่แตกต่างกัน

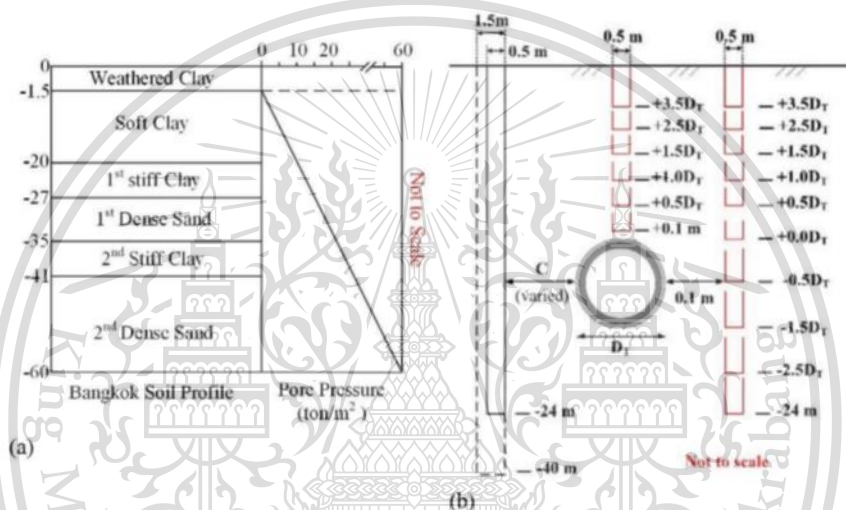
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

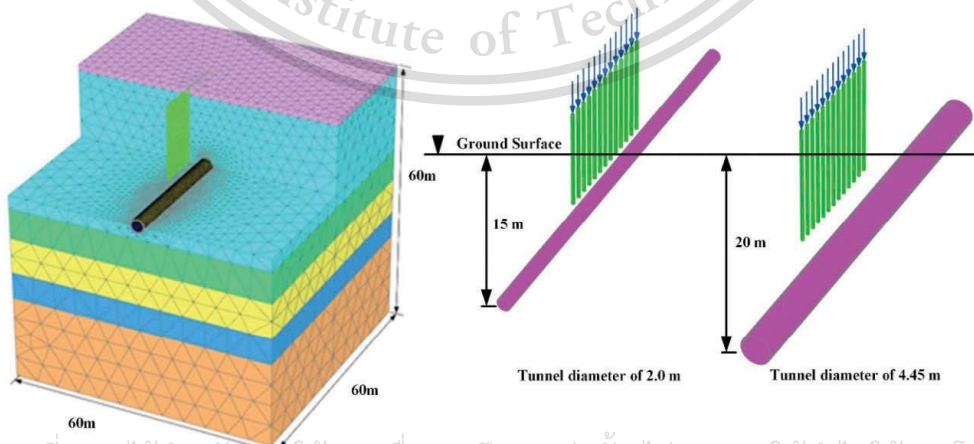
4.6 อิทธิพลของเสาเข็มแถวภายใต้การรับแรงใกล้กับอุโมงค์ที่มีอยู่

กรณีนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบต้ออุโมงค์ส่งน้ำที่มีอยู่ เนื่องจากเสาเข็มแถวที่อยู่ติดกันภายใต้การโหลดโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 3D (3DFEM) ครอบคลุมเสาเข็มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ม., 1.5 ม. ระยะห่าง 3 ม., 4.5 ม และอุโมงค์ส่งน้ำมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 ม. 4.45 ม. ระดับของปลายเสาเข็มและระยะห่าง (C) แสดงดังรูป 4.31 ข้อมูลอุโมงค์การประปานครหลวง (กปน.) และคุณสมบัติของดินกรุงเทพมหานครได้รับการพิจารณาในการวิเคราะห์ที่ไฟไนต์เอลิเมนต์ แบบ 3 มิติผลการวิเคราะห์จะแสดงในเงื่อนไขของทั้งปัจจัยด้านความปลอดภัยและการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์ และแนะนำพื้นที่อิทธิพลของอุโมงค์เนื่องจากเสาเข็มแถวภายใต้การรับแรง



รูปที่ 4.31 (a) ลักษณะดินกรุงเทพและ pore water pressure (b) ตำแหน่งของปลายเสาเข็ม

รูปที่ 4.32 แสดงตัวอย่าง 3D-finite element mesh ที่ใช้ในการศึกษานี้ มิติของ FE แบบจำลอง 60 ม. ในทุกทิศทาง (แนวตั้งแนวยาวและแนวขวาง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

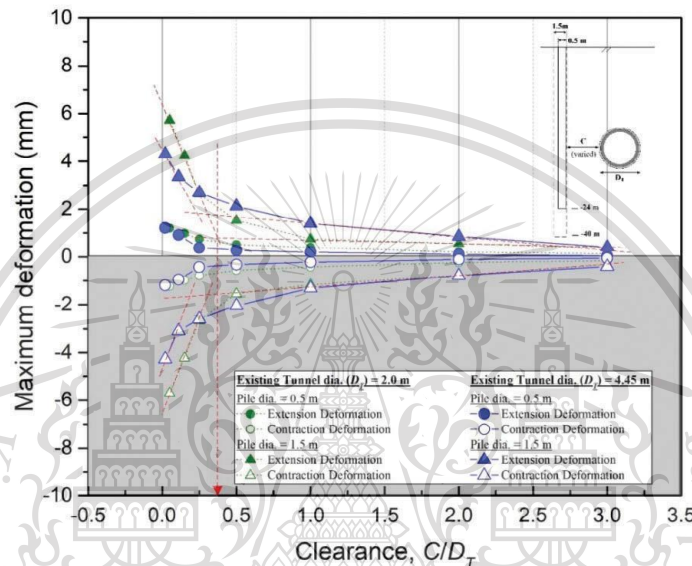
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.32 FE mesh และขนาดของโมเดล

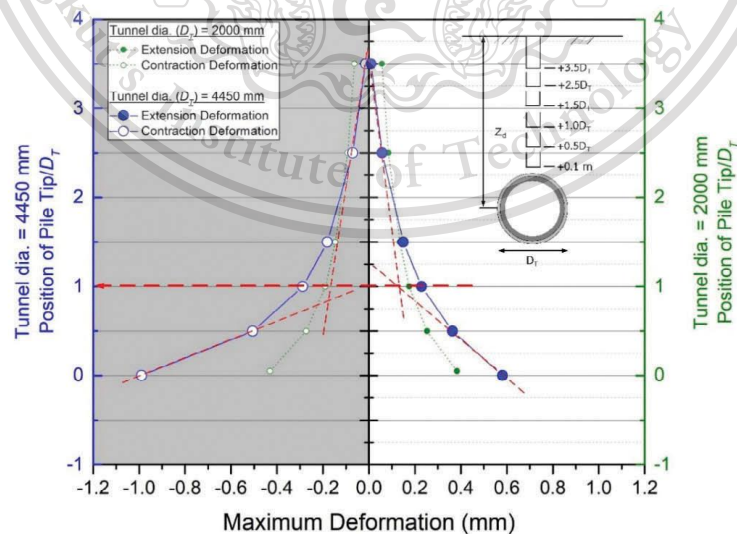
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.33 แสดงให้เห็นถึงการเสียรูปของอุโมงค์สูงสุดเนื่องจากเสาเข็มแถว ระยะห่างจะถูกทำให้เป็นมาตรฐานโดยเส้นผ่านศูนย์กลางกลางอุโมงค์ (C/D_T) และเทียบกับการเสียรูปของอุโมงค์ ($\Delta\phi_E$ และ $\Delta\phi_C$) มีความคล้ายคลึงกันมากสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ทั้งหมด การเคลื่อนตัวของดินโดยรอบของเสาเข็มขนาดใหญ่และยาวกว่าจึงมีความเด่นชัดมากกว่า นอกจากนี้การเสียรูปสูงสุดของอุโมงค์จะเกิดขึ้นเมื่อระยะห่างของเสาเข็มและอุโมงค์น้อยกว่า $0.4 D_T$ และจะเริ่มเป็นเส้นตรงเมื่อระยะห่างของเสาเข็มมากกว่า $1.0 D_T$



รูปที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ด้วยระยะห่างต่างๆ

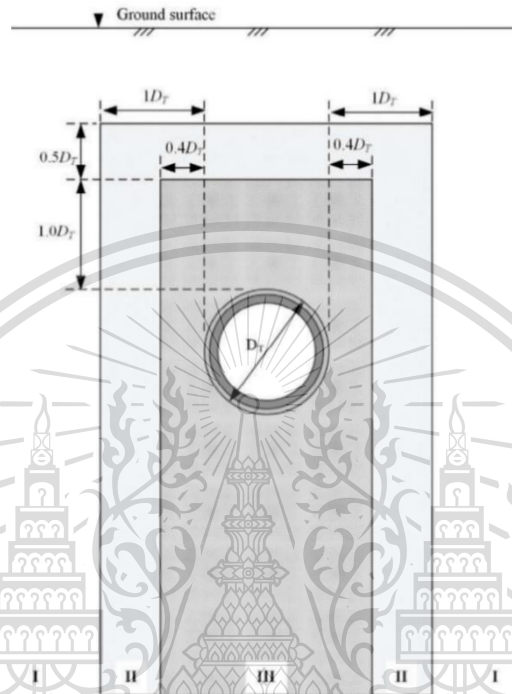


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.34 การเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์ด้วยตำแหน่งปลายเสาเข็มต่างๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.34 เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มที่ 0.5 ม. จะสังเกตเห็นว่าการเสียรูปของอุโมงค์ดูเหมือนจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความลึกจนถึงปลายเสาเข็ม 1.5DT การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสามารถเห็นได้ชัดเจนเมื่อส่วนปลายของเสาเข็มอยู่ที่ 1.0DT ดังนั้นจึงสามารถแนะนำระยะห่างแนวตั้ง 1.0DT และ 1.5DT เป็นขอบเขตของพื้นที่อิทธิพล แสดงดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 พื้นที่อิทธิพลของอุโมงค์สำหรับเสาเข็มรับแรงที่อยู่ติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

แนวทางการกำหนดพื้นที่อิทธิพล

จากการศึกษาในกรณีศึกษาจากงานวิจัยอื่นๆ ทั้ง 6 กรณี พบว่าอุโมงค์ที่ทำการศึกษาในกรณีศึกษาได้เสนอพื้นที่อิทธิพลของอุโมงค์ เมื่อมีการก่อสร้างใกล้เคียงกับอุโมงค์เดิมมากและในงานวิจัยทั้ง 6 กรณียังไม่ครอบคลุม เนื่องจากกรณีศึกษาส่วนใหญ่มีการพิจารณาขนาดอุโมงค์เพียงขนาดเดียว ซึ่งไม่ครอบคลุมกับขนาดอุโมงค์ที่มีการใช้งานจริงในใต้ดิน

ดังนั้นในเล่มวิจัยนี้จะได้นำเสนอการพัฒนาต่อเพื่อให้ได้พื้นที่อิทธิพลของอุโมงค์ให้ครอบคลุมกับขนาดของอุโมงค์ที่แตกต่างกันไปตามการนำไปใช้งาน โดยในการพัฒนาต่อควรมีการจำแนกประเภทของอุโมงค์และขนาดของอุโมงค์ ตามวัตถุประสงค์รวมทั้งกำหนดชั้นดินและลักษณะทางกายภาพของอุโมงค์ในแต่ละประเภท โดยข้อจำกัดและแนวทางการกำหนดพื้นที่อิทธิพลของเสาเข็มรับแรงที่อยู่ติดกับอุโมงค์ที่มีอยู่

1. จากการศึกษางานจากวิจัยอื่น สังเกตได้ว่า เมื่อระยะในแนวราบของเสาเข็ม (Clearance) เข้าใกล้อุโมงค์มากขึ้น จะส่งผลต่อการเสีรูปร่างของอุโมงค์มาก และจะสามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่อิทธิพลในระยะแนวราบได้
2. จากการศึกษางานวิจัยอื่น สังเกตได้ว่า เมื่อความลึกของปลายเสาเข็มอยู่ในช่วงยอดของอุโมงค์ (Crown) อุโมงค์จะเริ่มเสีรูปร่าง และเสีรูปร่างมากที่สุดในช่วงศูนย์กลางอุโมงค์ (center) และการเสีรูปร่างค่อยๆ ลดลงเมื่อความลึกของปลายเสาเข็มผ่านส่วนล่างของอุโมงค์ (invert) ไปแล้ว ซึ่งข้อจำกัดนี้จะสามารถนำไปหาพื้นที่อิทธิพลในแนวตั้งได้
3. ลักษณะชั้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้ก็มีผลต่อการกำหนดขอบเขตพื้นที่อิทธิพล เนื่องจากอุโมงค์ที่อยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อนจะเสีรูปร่างมากกว่าอุโมงค์ที่ตั้งอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง โดยการเสีรูปร่างใหญ่จะเกิดในส่วนยอดของอุโมงค์ (Crown)
4. จากการศึกษางานจากวิจัยอื่น ขอบเขตของพื้นที่อิทธิพลจะถูกกำหนด เมื่อกราฟการเสีรูปร่างของอุโมงค์จะเริ่มเป็นเส้นตรงหรือคงที่ โดยสามารถประมาณขอบเขตพื้นที่อิทธิพลของงานวิจัยนี้ โดยระยะห่างในแนวตั้งอยู่ที่ 0.8DT – 1.2DT จากผิวอุโมงค์ และระยะห่างในแนวราบ 0.5DT จากผิวอุโมงค์

ซึ่งสามารถนำไปทำแบบจำลองต่อไปเพื่อวิเคราะห์พื้นที่ปลอดภัยต่อได้โดยนำข้อมูลและกรณีศึกษาจากเล่มนี้ เนื่องจากโปรเจกต์นี้ได้กำหนดการดำเนินการ กรณีศึกษาและศึกษารณีต่างๆ ที่เกี่ยวกับผลกระทบต่อ

อุโมงค์ที่มีอยู่เพื่อจะนำความรู้ไปวิเคราะห์อย่างถูกต้องและแม่นยำและที่สำคัญต้องปลอดภัยต่ออุโมงค์ใน
ไม่ว่ากรณีที่เป็นอุโมงค์รถไฟใต้ดิน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] Schroeder F. C., Potts D. M. and Addenbrooke T. I., “The influence of pile group loading on existing tunnels”, *Geotechnique*, 2004, 54, pp. 351-362.

[2] Lueprasert P., Jongpradist P., Charoenpak K., Chaipanna P. and Suwansawat S. “Three dimensional finite element analysis for preliminary establishment of tunnel influence zone subject to pile loading”, *Maejo Int. J. of science technology*, vol. 9, 2015, pp. 209-223.

[3] Lueprasert P., Jongpradist P., Jongpradist P., Suwansawat S. “Numerical investigation of tunnel deformation due to adjacent loaded pile and pile-soil-tunnel interaction”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2017

[4] สมชาย จิราวัฒน์นาการ , กฤษดา ตระกูลจันทน์ และ พรเกษม จงประดิษฐ์ “A Study on Responses of Tunnel Segmental Lining due to Adjacent Loaded Pile by Numerical Analysis” The 24 th National Convention on Civil Engineering July 10-12, 2019, Udonthani, Thailand, THAILAND

[5] ยงยุทธ แต่ศิริ พรเกษม จงประดิษฐ์ อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช สมโพธิ อยู่ไวย จุฑา สนุติยศกุล วรัช ก้องกิจกล นรินทร์ ศรีสมพันธ์ อนุชา วงษ์เลิศ อัครพัฒน์ สว่างสุริย์ อภิวัฒน์ ตรีเล็ก “รายงานทางวิศวกรรม ประกอบ ร่าง คู่มือและข้อกำหนดการขออนุญาต ก่อสร้างสาธารณูปโภคในเขตทางหลวง” รายงานฉบับที่วพ. 288 กรกฎาคม 2553

[6] Lueprasert, P; Jongpradist, P; Ruangvirrojanakul, K; Suwansawat, S “DEPENDENCE OF TUNNEL DEFORMATION DUE TO ADJACENT PILE UNDER LOADING ON TUNNEL GEOMETRY” *International Journal of GEOMATE* (2186-2982) , 2019

[7] พรพจน์ ต้นเส็ง “ วิศวกรรมฐานราก ” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี Rev.1/2554

[8] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี “ โครงการพัฒนาเขตคู่มือและมาตรฐานการป้องกันท่อส่งน้ำและอุโมงค์ส่งน้ำจากการก่อสร้างในบริเวณข้างเคียง ” กรกฎาคม 2561

[9] การรถไฟขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย

<https://www.mrta.co.th/th/projectelectrictrain/bangkok-and-vicinities/chaleamline/>

“โครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน สายเฉลิมรัชมงคล(MRTA) ” ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [19] G. Gao, Y. Zhuang, K. Wang, L. Chen “Soils and Foundations(2019) PP.544-555”
- [20] Chungsik yoo* “Three Dimensional Numerical Investigation on the Effect of Bridge Construction on Existing Tunnel” Received June 27,2013/Accepted August 24,2013.
- [21] Kitcha Charoenpak1 , Pakawat Pormmoon, Preecha Kaewkalya, Wichit Klubjaidai2 , Pornkasem Jongpradist and Sompote Youwai “Finite Element Analysis for Evaluating the Effects of Pile Under Loading Adjacent to Existing Tunnel” JOURNAL OF RESEARCH IN ENGINEERING AND TECHNOLOGY Vol.3, No.2, April - June 2006
- [22] Xiang Liu, Qian Fang* , Dingli Zhang, Zhongju Wang “Behaviour of existing tunnel due to new tunnel construction below”
- [23] J.J.Chan, J.H.Wang, G.W.Xiang, S.L. Wen, Y.Du “Numerical Study on the Movement of Existing Tunnel Due to Deep Excavation in Shanghai”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.