

การศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างยูโรโค้ด 7 กับแนวทางปฏิบัติสำหรับการออกแบบ
ทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทย

นายนเรศ ผจญวิริยาทร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

STUDY AND COMPARISON BETWEEN EUROCODE 7 AND THAI GENERAL
PRACTICES FOR GEOTECHNICAL ENGINEERING DESIGN

Mr.Nares Pachongviriyatorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างยูโรโค้ด 7 กับแนวทางปฏิบัติสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทย

โดย

นายนเรศ ผจญวิริยาทร

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรวัด บุญญะฐิติ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.เสถียร เจริญเหรียญ)

นเรศ ผจญวิริยาทร :การศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างยูโรโค้ด 7 กับแนวทางปฏิบัติ สำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทย.(Study and Comparison between Eurocode 7 and Thai General Practices for Geotechnical Engineering Design) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.สุเชษฐ ลิขิตเลอสรวง, 239 หน้า.

การออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทย ส่วนมากวิศวกรมักใช้ ความรู้ความชำนาญหรือประสบการณ์จากการทำงานมาใช้ออกแบบ ซึ่งแตกต่างกับหลาย ประเทศที่มีมาตรฐานการออกแบบไว้ใช้สำหรับอ้างอิง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำ มาตรฐานการออกแบบของประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปหรือที่เรียกว่ายูโรโค้ด 7 มาศึกษาและ เปรียบเทียบกับแนวทางปฏิบัติที่ใช้ในประเทศไทย โดยเลือกตัวอย่างการออกแบบทางวิศวกรรม ธรณีเทคนิคคือ ฐานรากแผ่ ฐานรากเสาเข็ม และโครงสร้างกันดิน ทั้งนี้การออกแบบตามยูโรโค้ด 7 จะอ้างอิงวิธีสถานะขีดจำกัดประลัยและใช้แฟกเตอร์บางส่วนที่คำนึงถึงการใช้ค่าแรงกระทำ พหามิเตอร์ และแรงต้านทานในการออกแบบ รวมถึงการใช้หลักการทางสถิติเพื่อประมวลผล ค่าพหามิเตอร์สำหรับการออกแบบ ซึ่งต่างจากแนวทางปฏิบัติสำหรับการออกแบบในประเทศไทย ที่ส่วนมากยังนิยมใช้วิธีหน่วยแรงใช้งานในการออกแบบโดยอ้างอิงเฉพาะค่าแฟกเตอร์ความ ปลอดภัยเพียงอย่างเดียว

จากผลการศึกษาและเปรียบเทียบด้วยวิธีการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 พบว่า การออกแบบฐานรากแผ่ และฐานรากเสาเข็มจะใช้แฟกเตอร์บางส่วนรูปแบบที่ 3 ส่วนโครงสร้าง กันดินจะใช้แฟกเตอร์บางส่วนรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 โครงสร้างที่ออกแบบตามมาตรฐานยูโร โค้ด 7 จะได้ขนาดโครงสร้างที่เล็กกว่าการออกแบบด้วยแนวทางปฏิบัติสำหรับการออกแบบ ในประเทศไทย นอกเหนือไปจากนี้การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ด้วยโปรแกรม Plaxis 3D ของโครงสร้างที่ออกแบบตามแนวทางปฏิบัติในประเทศไทยจะให้ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยที่ สูงมากเมื่อเทียบกับการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ซึ่งเป็นวิธีการออกแบบที่ใช้กำลังของ ดินได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากกว่า

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2555.....

527 06115 21: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS : EUROCODE 7 / ULTIMATE LIMIT STATE / WORKING STRESS DESIGN

NARES PACHONGVIRIYATORN: STUDY AND COMPARISON BETWEEN EUROCODE 7 AND THAI GENERAL PRACTICES FOR GEOTECHNICAL ENGINEERING DESIGN. ADVISOR: ASSOC PROF. SUCHED LIKITLERSUANG, Ph.D., 239 pp.

The general practice for geotechnical engineering design in Thailand normally refers to the personal experience of engineer since there is still no standard for geotechnical design in Thailand. The Eurocode 7 is a well-known civil engineering design standard, in which it is enforced to use in European Union. This research therefore aims to compare the geotechnical design procedure of the Eurocode 7 and the general practice in Thailand. Three examples of geotechnical works including shallow foundation, pile foundation and retaining structure are selected in this study. It can be preliminary observed that the Eurocode 7 employs the ultimate limit state design concept involved the statistical process to define the design parameter. On the other hand, the Thai general practice most likely use the working stress design concept, in which the factor of safety is referred. The result of study points out that the structure designed by Eurocode 7 is smaller than that designed according to Thai general practice. Moreover, the results from the finite element analysis using commercial software Plaxis 3D also show that the factors of safety from Thai general practices are higher than those from Eurocode 7. This could imply that the Eurocode 7 efficiently uses the soil resistance in which it would offers either less factor of safety or smaller size of structure.

Department : Civil Engineering..... Student's Signature

Field of Study : Civil Engineering..... Advisor's Signature

Academic Year : 2012.....

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างยูไรด์ 7 กับแนวทางปฏิบัติสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทย" ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐัฐ ลิขิตเลอสรวง อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำทุกสิ่งทุกอย่างในการทำวิจัย กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิรวัตถ์ บุญญะฐิติ และดร.เสถียร เจริญเหรียญ คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์นี้จนสมบูรณ์ และอาจารย์สาขาวิศวกรรมธรณีเทคนิคทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนตลอดมา

ดร.เสถียร เจริญเหรียญ วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาคาร สำนักงานควบคุมและตรวจสอบอาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง คุณเกียรติ ทศนราพันธ์ โยธาธิการและผังเมืองจังหวัดอุดรดิตถ์ คุณไพบูลย์ ณะบุตรจอม โยธาธิการและผังเมืองจังหวัดเพชรบูรณ์ คุณนพพล บัวอินทร์ คุณเฉลิมพล วิเศษทุม และวิศวกรของโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดอุดรดิตถ์และจังหวัดเพชรบูรณ์สำหรับข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอีก รวมถึงเจ้าหน้าที่และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอระลึกถึงพระคุณ บิดา-มารดา และครอบครัว สำหรับร่างกาย แรงใจ และทุนทรัพย์จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และหน่วยที่ใช้ในการออกแบบ.....	น
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 ขั้นตอนการทำงาน.....	4
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ประวัติยูโรโค้ด.....	7
2.2 โครงสร้างของยูโรโค้ด.....	9
2.3 ประวัติการพัฒนามาตรฐานการออกแบบด้านธรณีเทคนิค.....	11
2.4 โครงสร้างของยูโรโค้ด 7.....	19
2.5 หลักการทั่วไปสำหรับออกแบบตามข้อกำหนดยูโรโค้ด 7.....	20
2.6 การออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7.....	49
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน.....	83
3.1 ตัวอย่างโครงสร้างในประเทศไทยที่ทำการศึกษา.....	83
3.2 รายละเอียดของตัวอย่างโครงการ.....	83
3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์.....	84
บทที่ 4 ผลการศึกษาการออกแบบโครงสร้างทางธรณีเทคนิค.....	86
4.1 ข้อมูลที่จำเป็นในการศึกษาการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7.....	86

4.2	เปรียบเทียบการออกแบบฐานรากแผ่.....	96
4.3	เปรียบเทียบการออกแบบฐานรากเสาเข็ม.....	116
4.4	เปรียบเทียบการออกแบบโครงสร้างกันดิน.....	140
บทที่ 5	การวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม Plaxis 3D.....	156
5.1	วิเคราะห์ฐานรากแผ่.....	158
5.2	วิเคราะห์ฐานรากเสาเข็ม.....	165
5.3	วิเคราะห์โครงสร้างกันดินตัวอย่าง.....	169
บทที่ 6	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	180
	รายการอ้างอิง.....	186
	ภาคผนวก	
ก.	ตัวอย่างฐานรากแผ่ตัวอย่างที่ 1 โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	189
ข.	ตัวอย่างฐานรากแผ่ตัวอย่างที่ 2 โครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้.....	196
ค.	ตัวอย่างฐานรากเสาเข็มตัวอย่างที่ 1 โครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานกอง สนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	204
ง.	ตัวอย่างฐานรากเสาเข็มตัวอย่างที่ 2 โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น.....	213
จ.	ตัวอย่างโครงสร้างกันดินตัวอย่างที่ 1 โครงการกำแพงกันดิน.....	225
ฉ.	ตัวอย่างโครงสร้างกันดินตัวอย่างที่ 2 โครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง.....	229
ช.	ขั้นตอนการในการวิเคราะห์การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์โดย ใช้โปรแกรม Plaxis 3D version 2010.....	234
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	239

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินงานของงานวิจัย.....	6
ตารางที่ 2.1	ตารางแรงกระทำต่อโครงสร้างตามมาตรฐาน EN 1991-1.....	24
ตารางที่ 2.2	ตารางแสดงค่า ψ ตัวคูณแรงกระทำตาม มาตรฐาน EN 1991-1.....	28
ตารางที่ 2.3	ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบในสนาม.....	31
ตารางที่ 2.4	ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับดิน.....	32
ตารางที่ 2.5	ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับหิน.....	35
ตารางที่ 2.6	ตารางหาค่า $t_{N-1}^{95\%}$ เมื่อมีข้อมูล N จำนวน.....	37
ตารางที่ 2.7	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F) ที่ใช้การออกแบบในสภาวะสมดุลสถิต	40
ตารางที่ 2.8	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M) ที่ใช้การออกแบบในสภาวะสมดุล สถิต	40
ตารางที่ 2.9	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F) หรือแฟกเตอร์บางส่วนสำหรับ ผลกระทบจากแรงกระทำ (γ_E) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัดประลัยใน สภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของดิน (GEO).....	43
ตารางที่ 2.10	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M) ที่ใช้ออกแบบในสถานะ ขีดจำกัดประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัด ของดิน (GEO).....	43
ตารางที่ 2.11	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัด ประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของดิน (GEO) <u>ใช้ออกแบบฐานรากแผ่</u>	44
ตารางที่ 2.12	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัด ประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของดิน (GEO) <u>ใช้ออกแบบฐานรากเสาเข็มตอก</u>	44

ตารางที่ 2.13	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะ ขีดจำกัดประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะ ขีดจำกัดของดิน (GEO) <u>ใช้ออกแบบฐานรากเสาเข็มเจาะ</u>	44
ตารางที่ 2.14	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะ ขีดจำกัดประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะ ขีดจำกัดของดิน (GEO) <u>ใช้ออกแบบฐานรากเสาเข็มแบบ Continuous Flight Auger (CFA)</u>	45
ตารางที่ 2.15	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะ ขีดจำกัดประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะ ขีดจำกัดของดิน (GEO) <u>ใช้ออกแบบสมอยึดแบบอัดแรง (Pre-stressed Anchorages)</u>	45
ตารางที่ 2.16	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัด ประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของ ดิน (GEO) <u>ใช้ออกแบบโครงสร้างกันดิน (Retaining structures)</u>	45
ตารางที่ 2.17	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัด ประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของ ดิน (GEO) <u>ใช้ออกแบบเสถียรภาพความลาดเอียงและเสถียรภาพรวม (Slopes and overall stability)</u>	46
ตารางที่ 2.18	แฟกเตอร์บางส่วนของแรงกระทำ (γ_F) ที่ใช้ออกแบบในสภาวะการยกตัวหรือ การลอยตัวของโครงสร้างหรือส่วนของพื้นดิน (Uplift, UPL).....	47
ตารางที่ 2.19	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M) ที่ใช้ออกแบบในสภาวะการ ยกตัวหรือการลอยตัวของโครงสร้างหรือส่วนของพื้นดิน (Uplift, UPL).....	47
ตารางที่ 2.20	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F) ที่ใช้ออกแบบในสภาวะการยกตัว หรือการลอยตัวของพื้นดินที่เกิดจากแรงดันน้ำ (HYD).....	48
ตารางที่ 2.21	แฟกเตอร์แรงต้านทานของแรงแบกทานดินจากการทดสอบมาตรฐานแรงดัน.....	56

ตารางที่ 2.22 แสดงค่า ξ_3 และ ξ_4 แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับการใช้ค่าขอบล่างกับค่าเฉลี่ยของการทดสอบเสถียรภาพในการออกแบบ.....	63
ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบข้อมูลการออกแบบในประเทศไทยกับข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบตามมาตรฐานยุโรปโค๊ด 7.....	86
ตารางที่ 4.2 ตารางนำนักบรรพทุกจรรยาบรรณขั้นต่ำเพื่อใช้ควบคุมการออกแบบตามข้อกำหนดของพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 หรือข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ว่าด้วยเรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544.....	88
ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ.....	92
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของดินเม็ดหยาบกับค่า N และ N_{60}	92
ตารางที่ 4.5 สมการการออกแบบฐานรากแผ่.....	93
ตารางที่ 4.6 สมการที่ใช้ในการออกแบบเสาเข็ม (ใช้ในศึกษามาตรฐานยุโรปโค๊ด 7).....	94
ตารางที่ 4.7 สมการที่ใช้ในการออกแบบที่ได้จากตัวอย่างในประเทศไทย.....	95
ตารางที่ 4.8 สมการที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างกันดิน.....	95
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงแรงกระทำที่กระทำต่อฐานรากที่ได้จากโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	97
ตารางที่ 4.10 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบในมาตรฐานยุโรปโค๊ด 7.....	99
ตารางที่ 4.11 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแผ่ F1.....	99
ตารางที่ 4.12 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแผ่ F2.....	102
ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงแรงกระทำที่กระทำต่อฐานรากที่ได้จากโครงการก่อสร้างอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้อ.....	106
ตารางที่ 4.14 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบในมาตรฐานยุโรปโค๊ด 7 ของโครงการก่อสร้างอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้อ.....	108
ตารางที่ 4.15 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแผ่ F1A.....	108
ตารางที่ 4.16 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแผ่ F2A.....	111
ตารางที่ 4.17 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแผ่ F3A.....	113
ตารางที่ 4.18 น้ำหนักที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น และน้ำหนักรวม จากรายการคำนวณน้ำหนักโครงการอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	116

ตารางที่ 4.19 แรงกระทำที่ใช้ในการออกแบบ โครงการอาคารสำนักงาน.กongsัณัสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	115
ตารางที่ 4.20 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบในมาตรฐานยุโรปได้ด 7 โครงการอาคาร สำนักงานกongsัณัสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	118
ตารางที่ 4.21 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มหนึ่งต้น	119
ตารางที่ 4.22 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม....	123
ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงแรงกระทำที่กระทำต่อฐานรากที่ได้จากโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น.....	129
ตารางที่ 4.24 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบในมาตรฐานยุโรปได้ด 7 ของโครงการ คอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น.....	131
ตารางที่ 4.25 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มหนึ่งต้น	131
ตารางที่ 4.26 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานราก.เสาเข็มกลุ่ม...	136
ตารางที่ 4.27 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของกำแพงกันดิน.....	141
ตารางที่ 4.28 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของโครงการเขื่อนป้องกัน ตลิ่ง.....	149
ตารางที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของโมดูลัสยืดหยุ่นกับผลการทดสอบ SPT.....	156
ตารางที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของโมดูลัสยืดหยุ่นกับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ.....	156
ตารางที่ 5.3 ช่วงค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นตามชนิดของดิน.....	157
ตารางที่ 5.4 ค่าทั่วไปของอัตราส่วนบัวชง.....	158
ตารางที่ 5.5 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและอัตราส่วนบัวชงของคอนกรีตที่ใช้ในโปรแกรม Plaxis	158
ตารางที่ 5.6 ค่าของแรงกระทำรวม และขนาดของฐานรากแผ่ของโครงการอาคารคลุม เครื่องชั่งน้ำหนัก.....	159
ตารางที่ 5.7 ค่าพารามิเตอร์ดินของโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	159

ตารางที่ 5.8 ค่าของแรงกระทำรวม และขนาดของฐานรากแผ่ของโครงการอาคารศูนย์อบรม และเรียนรู้.....	162
ตารางที่ 5.9 ค่าพารามิเตอร์ดินของโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้.....	162
ตารางที่ 5.10 ค่าของแรงกระทำรวม และขนาดของฐานรากเสาเข็มกลุ่มของโครงการ ซ่อมแซมอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	166
ตารางที่ 5.11 ค่าพารามิเตอร์ดินของโครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้นสำหรับการออกแบบยูโรโค้ด 7.....	166
ตารางที่ 5.12 ค่าพารามิเตอร์ดินของโครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้นสำหรับตัวอย่างการออกแบบ.....	166
ตารางที่ 5.12 รายละเอียดกำแพงกันดิน.....	170
ตารางที่ 5.13 ค่าพารามิเตอร์ดินของกำแพงกันดิน.....	170
ตารางที่ 5.14 รายละเอียดเขื่อนป้องกันตลิ่ง.....	174
ตารางที่ 5.15 ค่าพารามิเตอร์ดินของเขื่อนป้องกันตลิ่ง.....	174
ตารางที่ 5.16 สรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างการออกแบบด้วยวิธี FEM โดยใช้โปรแกรม Plaxis 3D version 2010.....	178
ตารางที่ 6.1 สรุปรายละเอียดการเปรียบเทียบโครงสร้างฐานรากแผ่และฐานรากเสาเข็ม.....	181
ตารางที่ 6.2 สรุปรายละเอียดการเปรียบเทียบโครงสร้างกันดิน.....	182
ตารางที่ ก-1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเจาะสำรวจโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่ง น้ำหนัก.....	191
ตารางที่ ก-2 แสดงค่า N_{60} และ N_{55} โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	191
ตารางที่ ก-3 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าหน่วยน้ำหนักดินโครงการอาคารคลุม เครื่องชั่งน้ำหนัก.....	191
ตารางที่ ก-4 แสดงค่า $(N_1)_{60}$ และมุมเสียดทานภายในโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก.	192
ตารางที่ ก-5 แสดงค่าขอบล่าง และขอบบนของค่ามุมเสียดทานภายในโครงการอาคารคลุม เครื่องชั่งน้ำหนัก.....	192

ตารางที่ ก-6 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	192
ตารางที่ ก-7 แสดงค่าขอบล่าง และขอบบนของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการอาคารคลุม เครื่องชั่งน้ำหนัก.....	193
ตารางที่ ก-8 ค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในออกแบบโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	193
ตารางที่ ข-1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเจาะสำรวจโครงการอาคารศูนย์อบรมและ เรียนรู้.....	200
ตารางที่ ข-2 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้.....	200
ตารางที่ ข-3 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าหน่วยน้ำหนักดินโครงการอาคารศูนย์ อบรมและเรียนรู้.....	200
ตารางที่ ข-4 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ โครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้.....	200
ตารางที่ ข-5 แสดงค่าขอบล่าง และขอบบนของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการอาคารศูนย์ อบรมและเรียนรู้.....	201
ตารางที่ ข-6 ค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในออกแบบโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้.....	201
ตารางที่ ค-1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเจาะสำรวจโครงการซ่อมแซมอาคาร สำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	206
ตารางที่ ค-2 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าหน่วยน้ำหนักดินโครงการซ่อมแซมอาคาร สำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	207
ตารางที่ ค-2 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าหน่วยน้ำหนักดินโครงการซ่อมแซมอาคาร สำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	207
ตารางที่ ค-3 แสดงค่า N_{60} , N_{55} และ $(N_1)_{60}$ โครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	207
ตารางที่ ค-4 แสดงค่ามุมเสียดทานภายใน และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการซ่อมแซมอาคาร สำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	208

ตารางที่ ค-5 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ โครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	209
ตารางที่ ค-6 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่ามุมเสียดทานภายในโครงการซ่อมแซม อาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	209
ตารางที่ ค-7 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์โครงการซ่อมแซม อาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	209
ตารางที่ ค-8 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการซ่อมแซมอาคาร สำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	210
ตารางที่ ค-9 ค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในออกแบบโครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานกอง สนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น.....	210
ตารางที่ ง-1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเจาะสำรวจโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น...	217
ตารางที่ ง-2 แสดงค่า N_{60} และ N_{55} โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น.....	217
ตารางที่ ง-3 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าหน่วยน้ำหนักดินโครงการคอนโดมิเนียม สูง 8 ชั้น.....	217
ตารางที่ ง-4 แสดงค่า $(N_1)_{60}$ และ มุมเสียดทานภายในโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น.....	216
ตารางที่ ง-5 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น.....	216
ตารางที่ ง-6 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่ามุมเสียดทานภายในโครงการ คอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น.....	216
ตารางที่ ง-7 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น.....	220
ตารางที่ ง-8 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น.....	221
ตารางที่ ง-9 ค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในการออกแบบโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น.....	221
ตารางที่ จ-1 ค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในการออกแบบกำแพงกันดิน.....	226
ตารางที่ ฉ-1 ค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในการออกแบบโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง.....	231

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงาน.....	5
รูปที่ 2.1 ภาพจำลองความสัมพันธ์และโครงสร้างยูโรโค้ด.....	11
รูปที่ 2.2 ศาสตราจารย์ นีล เครบส์ โอเวเซน.....	12
รูปที่ 2.3 การประชุม คณะอนุกรรมการโครงการจัดทำโครงร่างยูโรโค้ด 7.....	14
รูปที่ 2.4 เอกสารโครงร่างยูโรโค้ด 7 ที่ส่งคณะกรรมการวิชาการประชาคมแห่งสหภาพยุโรปในเดือนธันวาคม ปี 1987.....	15
รูปที่ 2.5 เอกสารแรกของมาตรฐานยูโรโค้ด 7 (ฉบับไม่สมบูรณ์) ที่ยังอยู่ภายใต้คณะกรรมการของสหภาพยุโรป.....	17
รูปที่ 2.6 เอกสารยูโรโค้ด 7 อยู่ภายใต้คณะกรรมการจัดทำมาตรฐานยุโรป.....	19
รูปที่ 2.7 แผนผังหมวดการออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีเทคนิค.....	23
รูปที่ 2.8 แสดงกระบวนการได้มาของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ.....	29
รูปที่ 2.9 ความเกี่ยวข้องระหว่างกระบวนการวางแผน การทดสอบและการออกแบบ.....	30
รูปที่ 2.10 ช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการออกแบบ.....	36
รูปที่ 2.11 การเสียหายของฐานรากแผ่แบบต่างๆ.....	50
รูปที่ 2.12 รูปแสดงแรงที่กระทำพื้นที่แรงที่กระทำและระยะต่างๆในการออกแบบฐานรากแผ่.....	53
รูปที่ 2.13 แรงที่กระทำพื้นที่ผิวในการคิดแรงทานที่กระทำกับโครงสร้าง.....	64
รูปที่ 2.14 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ ($K_{a;d}$) เมื่อ $\beta = 0$	71
รูปที่ 2.15 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ ($K_{a;d}$) เมื่อ $\beta > 0$, $\frac{\delta_d}{\varphi'_d} = 0$ และ $\delta_d = 0$	72
รูปที่ 2.16 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ ($K_{a;d}$) เมื่อ $\beta > 0$ และ $\frac{\delta_d}{\varphi'_d} = 0.66$	73

รูปที่ 2.17 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ ($K_{a;d}$) เมื่อ $\beta > 0$ และ $\frac{\delta_d}{\varphi'_d} = 1.0$ 74

รูปที่ 2.18 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ ($K_{p;d}$) เมื่อ $\beta = 0$ 76

รูปที่ 2.19 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ ($K_{p;d}$) เมื่อ $\beta > 0$, $\frac{\delta_d}{\varphi'_d} = 0$ และ $\delta_d = 0$ 77

รูปที่ 2.20 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ ($K_{p;d}$) เมื่อ $\beta > 0$ และ $\frac{\delta_d}{\varphi'_d} = 0.66$ 78

รูปที่ 2.21 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ ($K_{p;d}$) เมื่อ $\beta > 0$ และ $\frac{\delta_d}{\varphi'_d} = 1.0$ 79

รูปที่ 2.22 การวิบัติเนื่องจากการสูญเสียเสถียรภาพรวม..... 80

รูปที่ 2.23 การวิบัติของกำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วง..... 80

รูปที่ 2.24 การวิบัติของกำแพงกันดินแบบฝังจม..... 81

รูปที่ 2.25 การวิบัติของกำแพงกันดินแบบฝังจม กรณีสูญเสียสมดุลแนวตั้ง..... 81

รูปที่ 2.26 การวิบัติของโครงสร้างกันดิน..... 82

รูปที่ 2.27 การวิบัติของโครงสร้างที่ช่วยในการรับแรงเช่น สมอยึด..... 82

รูปที่ 3.1 แผนผังการวิเคราะห์แบบวิธีการออกแบบซ้ำ..... 85

รูปที่ 4.1 ค่า f_1 สำหรับหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (c_u) ของสเตราท์..... 88

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบ SPT กับค่ามุมเสียดทานภายใน (φ')..... 89

รูปที่ 4.3 แปลนฐานรากโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก..... 96

รูปที่ 4.4 แปลนฐานรากโครงการก่อสร้างอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้อ..... 105

รูปที่ 4.5 แสดงรายละเอียดฐานรากใหม่ของโครงการอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น..... 118

	หน้า
รูปที่ 4.6 แปลนเสาเข็มและฐานรากโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น.....	128
รูปที่ 4.7 แปลนเสาเข็มและฐานราก F5 ตำแหน่งฐานราก D-5 ของโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น.....	135
รูปที่ 4.8 แบบโครงสร้างของโครงการโครงสร้างกันดิน.....	140
รูปที่ 4.9 แสดงรายละเอียดแรงกระทำของโครงการโครงสร้างกันดิน.....	141
รูปที่ 4.10 แสดงรายละเอียดของโครงสร้างของโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง.....	148
รูปที่ 5.1 รูปฐานรากแผ่ของโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	159
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับการทรุดตัวของฐานราก F1 โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	160
รูปที่ 5.3 การวิเคราะห์กำลังของฐานรากแผ่ F1 ด้วยวิธี FEM จากตัวอย่างการออกแบบในหัวข้อที่ 4.2.1.....	160
รูปที่ 5.4 การวิเคราะห์กำลังของฐานรากแผ่ F1 ด้วยวิธี FEM จากการออกแบบด้วยยูโรโค้ด 7	161
รูปที่ 5.5 แผนภูมิแฟกเตอร์ความปลอดภัยของฐานราก F1 โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	161
รูปที่ 5.6 รูปฐานรากแผ่ของโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้.....	162
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับการทรุดตัวของฐานราก F3A โครงการอาคารอบรมและเรียนรู้.....	163
รูปที่ 5.8 การวิเคราะห์กำลังของฐานรากแผ่ F3A ด้วยวิธี FEM จากตัวอย่างการออกแบบในหัวข้อที่ 4.2.2.....	163
รูปที่ 5.9 การวิเคราะห์กำลังของฐานรากแผ่ F3A ด้วยวิธี FEM จากการออกแบบด้วยยูโรโค้ด 7	164
รูปที่ 5.10 แผนภูมิแฟกเตอร์ความปลอดภัยของฐานราก F3A โครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้.....	164

รูปที่ 5.11 รูปฐานรากเสาเข็มของโครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานของสนับสนุน 2 สูง 3
ชั้น..... 165

รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มโครงการ
ซ่อมแซมอาคารสำนักงานของสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น..... 167

รูปที่ 5.13 การวิเคราะห์กำลังของฐานรากเสาเข็มด้วยวิธี FEM จากตัวอย่างการออกแบบ
ในหัวข้อที่ 4.3.1..... 167

รูปที่ 5.14 การวิเคราะห์กำลังของฐานรากเสาเข็มด้วยวิธี FEM จากการออกแบบด้วยยูโร
โค๊ด 7..... 168

รูปที่ 5.15 แผนภูมิแพกเตอร์ความปลอดภัยของเสาเข็มกลุ่มโครงการซ่อมแซมอาคาร
สำนักงานของสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น 168

รูปที่ 5.16 รูปกำแพงกันดิน..... 169

รูปที่ 5.17 วิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินด้วยวิธี FEM จากตัวอย่างการ
ออกแบบในหัวข้อที่ 4.4.1..... 171

รูปที่ 5.18 วิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกำแพงดินด้วยวิธี FEM จากการออกแบบด้วยยูโร
โค๊ด 7 172

รูปที่ 5.19 แผนภูมิแพกเตอร์ความปลอดภัยของกำแพงกันดิน..... 173

รูปที่ 5.20 รูปเขื่อนป้องกันตลิ่ง..... 173

รูปที่ 5.21 วิเคราะห์การเคลื่อนตัวของเขื่อนป้องกันตลิ่งด้วยวิธี FEM จากตัวอย่างการ
ออกแบบในหัวข้อที่ 4.4.2..... 175

รูปที่ 5.22 วิเคราะห์การเคลื่อนตัวของเขื่อนป้องกันตลิ่งด้วยวิธี FEM จากการออกแบบด้วย
ยูโรโค๊ด 7..... 176

รูปที่ 5.23 แผนภูมิแพกเตอร์ความปลอดภัยของเขื่อนป้องกันตลิ่ง..... 177

รูปที่ 6.1 แบบโครงสร้างกันดินโครงการโครงสร้างกันดิน..... 183

รูปที่ 6.2 แบบกำแพงกันดินโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง..... 183

รูปที่ ก-1 ผลการขุดเจาะสำรวจดินโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก..... 190

รูปที่ ก-2 แบบฐานรากแผ่โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก..... 194

รูปที่ ก-3 รายการคำนวณฐานรากแผ่โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก..... 195

รูปที่ ข-1 ผลการขุดเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะ BH 1 โครงการอาคารศูนย์อบรมและ
เรียนรู้..... 197

รูปที่ ข-2 ผลการขุดเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะ BH 2 โครงการอาคารศูนย์อบรมและ
เรียนรู้..... 198

รูปที่ ข-3 ผลการขุดเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะ BH 3 โครงการอาคารศูนย์อบรมและ
เรียนรู้..... 199

รูปที่ ข-4 แบบฐานรากแผ่โครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้..... 202

รูปที่ ข-5 ผลทดสอบ Plate bearing test โครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้..... 203

รูปที่ ค-1 ผลการขุดเจาะสำรวจดินโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้..... 205

รูปที่ ค-2 รายการคำนวณฐานรากแผ่โครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2
สูง 3 ชั้น..... 211

รูปที่ ง-1 ผลการขุดเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะ BH 1 โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น..... 214

รูปที่ ง-2 ผลการขุดเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะ BH 2 โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น..... 215

รูปที่ ง-3 ผลการขุดเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะ BH 3 โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น..... 216

รูปที่ ง-4 แบบแปลนฐานรากเสาเข็มโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น..... 222

รูปที่ ง-5 แบบฐานรากเสาเข็มฐานราก F5 โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น..... 223

รูปที่ ง-6 รายการคำนวณฐานรากเสาเข็ม โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น..... 224

รูปที่ จ-1 แบบโครงสร้างกันดินโครงการโครงสร้างกันดิน..... 226

รูปที่ จ-2 รายการคำนวณกำแพงกันดิน..... 227

รูปที่ ฉ-1 แบบโครงสร้างกันดินโครงการเชื่อมป้องกันตลิ่ง..... 230

รูปที่ ฉ-2 รายการคำนวณโครงการเชื่อมป้องกันตลิ่ง..... 232

รูปที่ ซ-1 ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างฐานรากแผ่..... 235

หน้า

รูปที่ ช-2 ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างฐานรากเสาเข็ม..... 236

รูปที่ ช-3 ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างโครงการกำแพงกันดิน..... 237

รูปที่ ช-4 ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างโครงการเชื่อมป้องกันตลิ่ง..... 238

คำอธิบายสัญลักษณ์และหน่วยที่ใช้ในการออกแบบ

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
A_b	พื้นที่หน้าตัดของปลายเสาเข็ม
a_d	ค่าออกแบบของข้อมูลเรขาคณิต (Design value of geometrical data)
a_{nom}	ค่าปกติของข้อมูลเรขาคณิต (Nominal value of geometrical data)
$A_{s;i}$	พื้นที่ผิวของเสาเข็มเดี่ยวหรือเสาเข็มกลุ่มที่ชั้นดิน i
Δa	ค่าการเปลี่ยนแปลงจากค่าปกติของข้อมูลเรขาคณิตสำหรับวัตถุประสงค์การออกแบบเฉพาะ (change made to nominal geometrical data for particular design purposes)
$A1$ และ $A2$	ตัวเลือกของแฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ
$A' = B' \times L'$	พื้นที่หน้าตัดฐานรากประสิทธิภาพผลของฐานรากแผ่
B	ความกว้างของฐานรากแผ่
B'	ความกว้างประสิทธิภาพผลของฐานรากแผ่
b_c, b_q, b_γ	แฟกเตอร์สำหรับของส่วนพื้นของฐานรากแผ่
c_c	ดัชนีการอัดตัว (Compression index) จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำหนึ่งมิติด้วยเครื่องอโดมิเตอร์ (Compressibility oedometer)
C_d	ค่าออกแบบขีดจำกัดของผลกระทบจากแรงกระทำ (Limiting design value of the effect of an action)
c_{fv}	กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength) จากการทดสอบไบบีตสนาม (Field vane test, FVT)
c_{rv}	กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินที่ถูกรบกวน (Remoulded undrained shear strength) จากการทดสอบไบบีตสนาม
C_u	กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength)
$C_{u;d}$	ค่าออกแบบของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Design value of undrained shear strength)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
c_v	ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (Coefficient of consolidation) จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำหนึ่งมิติด้วยเครื่องออดมิเตอร์
c'	ค่าแรงยึดเหนี่ยวตัดแกนประสิทธิผล (Cohesion intercept in terms of effective stress)
c_α	ดัชนีการอัดตัวครั้งที่สอง (Secondary compression index)) จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำหนึ่งมิติด้วยเครื่องออดมิเตอร์
D	ความลึกของฐานราก
D_r	ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density)
E	โมดูลัสเปลี่ยนรูป (Value of deformation modulus)
e_B, e_L	ระยะเยื้องศูนย์กลางของแรงกระทำโดยมีดัชนีล่าง B คือด้านกว้างของฐานรากแผ่และ L คือด้านยาวของฐานรากแผ่
E_d	ค่าออกแบบผลกระทบจากแรงกระทำ (Design value of the effect of action)
$E_{dst;d}$	ค่าออกแบบผลกระทบจากแรงกระทำที่ทำให้ไม่เกิดเสถียรภาพ (Design value of the effect of destabilizing actions)
E_{DMT}	โมดูลัสไดเลโทมิเตอร์ (Dilatometer modulus)
E_{FDT}	โมดูลัสไดเลโทมิเตอร์ (Dilatometer modulus) ที่ได้จากการทดสอบไดเลโทมิเตอร์
e_{max}	ค่าช่องว่างของอนุภาคดินในสภาพแน่นที่สุด
e_{min}	ช่องว่างของอนุภาคดินในสภาพหลวมที่สุด
E_M	โมดูลัสมาตรแรงดัน (Pressuremeter modulus) จากการทดสอบการทดสอบมาตรแรงดัน (Ménard pressuremeter test or Pressuremeter test, PMT)
E_s	โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$E_{std;d}$	ค่าออกแบบผลกระทบจากแรงกระทำที่ทำให้เกิดเสถียรภาพ (Design value of the effect of stabilizing actions)
$F_{c;d}$	ค่าออกแบบแรงอัดที่กระทำต่อเสาเข็ม
F_d	ค่าออกแบบของแรงกระทำ (Design value of an action)
F_k	ค่าลักษณะของแรงกระทำ (Characteristic value of an action)
F_{rep}	ค่าตัวแทนของแรงกระทำ (Representative value of an action)
f_s	แรงเสียดทานปลดออก (Local unit side friction) ของการทดสอบกรวยทะลวง (Cone penetration test, CPT) และการทดสอบกรวยทะลวงแบบฐานกรวยไพเอโซ (Piezocone penetration test, CPTU)
$F_{tr;d}$	ค่าออกแบบแรงกระทำในแนวขวางที่กระทำต่อเสาเข็ม
f_1	แฟกเตอร์สำหรับหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของสเตรซ (Stroud, 1975)
$F.S.$	แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety)
$G_{stb;d}$	ค่าออกแบบผลรวมของแรงกระทำในแนวตั้งถาวรที่ต้านทานโครงสร้างหรือส่วนของพื้นดินไม่ให้ยกตัวขึ้นหรือทำให้เกิดเสถียรภาพ
$G_{dst;d}$	ค่าออกแบบผลรวมของแรงกระทำถาวรในแนวตั้งที่ทำให้โครงสร้างหรือส่วนของพื้นดินยกตัวขึ้นหรือทำให้สูญเสียเสถียรภาพ
H	แรงกระทำแนวนอนกับฐานรากแผ่
H_d	ค่าออกแบบแรงกระทำแนวนอน
I_{CBR}	ดัชนี ซีบีอาร์ (Value of the CBR index) จากการทดสอบอัตราส่วนแบททานแคลิฟอร์เนีย (California Bearing Ratio, CBR)
i_c, i_q, i_γ	แฟกเตอร์สำหรับแรงกระทำแนวเอียงกับฐานรากที่ทำให้เกิดแรงในแนวนอน
I_D	ดัชนีความหนาแน่น (Density index)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
I_{DMT}	ดัชนีวัสดุ (material index) ของการทดสอบแบบแผ่นเรียบไดเลโทมิเตอร์ (Flat plate dilatometer test, DMT)
I_{S50}	ดัชนีกำลัง (Strength index) จากการทดสอบแรงกระทำเป็นจุด (Point-load test)
k	ค่าสัมประสิทธิ์การให้ซึมผ่านได้ (Value of the coefficient of permeability)
$K_{0;d}$	ค่าออกแบบสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างแบบสถิต
$K_{a;d}$	ค่าออกแบบสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ
K_d	ค่าออกแบบสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างสำหรับแรงต้านของแรงเสียดทานของเสาเข็ม
K_{DMT}	ดัชนีความเค้นแนวราบ (horizontal stress index) ของการทดสอบแบบแผ่นเรียบไดเลโทมิเตอร์
K_N	ค่าสัมประสิทธิ์ทางสถิติ (Statistical coefficient) N ตัวอย่างในช่วงความเชื่อมั่น 95% ของค่าพารามิเตอร์ของดิน หรือสมบัติวัสดุ
$K_{p;d}$	ค่าออกแบบสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ
L	ความยาวของฐานรากแผ่
L'	ความยาวประสิทธิผลของฐานรากแผ่
m	เลขยกกำลังในสมการหาค่าแฟกเตอร์ i_c, i_q, i_γ
$M1, M2$ และ $M3$	ตัวเลือกของแฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ของดิน หรือสมบัติของวัสดุ
n	ความพรุน
N	จำนวนครั้งในการตอก (Number of blows) จากการทดสอบการทดสอบกระบอกทะลวงมาตรฐาน (Standard penetration test, SPT)
N_{cor}	ค่าปรับแก้จำนวนครั้งในการตอก (N) สำหรับ Fine sand และ silty sand ที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
N_c, N_q, N_γ	แฟกเตอร์สำหรับแรงแบกทานของดิน
N_{55}	จำนวนครั้งในการตอก (N) ที่มีอัตราส่วนพลังงาน 55 %
N_{60}	จำนวนครั้งในการตอก (N) ที่มีอัตราส่วนพลังงาน 60 %
$(N_1)_{60}$	จำนวนครั้งในการตอก (N) ที่มีอัตราส่วนพลังงาน 60 % ที่ระดับความเค้นอ้างอิง (p_A)
p_A	ความเค้นอ้างอิง (100 kPa)
p_f	การคืบจากแรงดัน (Creep pressure) จากการทดสอบมาตรฐานแรงดัน
p_{LM}	ค่าแรงดันลิมิตจากการทดสอบมาตรฐานแรงดัน
p_0	แรงดันที่ทำให้แผ่นยึดหยุ่นสัมผัสกับดินพอดี (Corrected lift-off pressure) ของการทดสอบแบบแผ่นเรียบไดเลโทมิเตอร์
p_0	แรงดันที่ทำให้แผ่นยึดหยุ่นพองตัวออกที่ระยะ 1.1 มิลลิเมตร (Corrected expansion pressure at 1.1 mm) ของการทดสอบแบบแผ่นเรียบไดเลโทมิเตอร์
p_u	แรงดันดินที่ผิวสัมผัสปลาย (Ultimate contact pressure) จากการทดสอบกดน้ำหนักบรรทุกด้วยแผ่นเหล็ก (Plate loading test)
q	หน่วยแรงกดทับ
$q_{b;k}$	ค่าลักษณะหน่วยแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม
$q_{b;d}$	ค่าออกแบบหน่วยแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม
q_c	แรงต้านทานกรวย (Cone penetration resistance) จากการทดสอบกรวยทะลวง
$Q_{dst;d}$	ค่าออกแบบผลรวมของแรงกระทำชั่วคราวในแนวดิ่งที่ทำให้โครงสร้างหรือส่วนของพื้นดินยกตัวขึ้นหรือทำให้สูญเสียเสถียรภาพ
$q_{s;d}$	ค่าออกแบบหน่วยแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างดินกับเสาเข็ม
$q_{s;i;k}$	ค่าลักษณะหน่วยแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างดินกับเสาเข็มที่ชั้นดิน i

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
q_t	แรงต้านทานกรวยที่ปรับแก้ (Corrected cone resistance) จากการทดสอบกรวยทะลวงแบบฐานกรวยไพอิโซ
q_u	กำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined compression)
q'	หน่วยแรงกดทับประสิทธิผล
$R_{b;d}$	ค่าออกแบบแรงแบกทานของดินที่ปลายเสาเข็ม
$R_{b;k}$	ค่าค่าลักษณะแรงแบกทานของดินที่ปลายเสาเข็ม
$R_{c;d}$	ค่าออกแบบแรงต้านทานกรณีเสาเข็มรับแรงอัด
$R_{c;k}$	ค่าค่าลักษณะแรงต้านทานกรณีเสาเข็มรับแรงอัด
R_d	ค่าออกแบบแรงต้านทานจากแรงกระทำ (Design value of the resistance to an action)
R_f	อัตราส่วนเสียดทาน (Friction ratio) จากการทดสอบกรวยทะลวง
$R_{p;d}$	ค่าออกแบบแรงดันด้านข้างเพื่อต้านทานการเลื่อนไถล
$R_{s;d}$	ค่าออกแบบแรงเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็ม
$R_{s;k}$	ค่าค่าลักษณะแรงเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็ม
$R_{t;d}$	ค่าออกแบบแรงต้านทานกรณีเสาเข็มรับแรงดึง
$R_{t;k}$	ค่าค่าลักษณะแรงต้านทานกรณีเสาเข็มรับแรงดึง
$(R_{c;cal})_{min}, (R_{b;cal})_{min}, (R_{s;cal})_{min}$	ค่าลักษณะแรงต้านทานของดินโดยใช้ค่าขอบล่างของการทดสอบเสาเข็มในการออกแบบ
$(R_{c;cal})_{mean}, (R_{b;cal})_{mean}, (R_{s;cal})_{mean}$	ค่าลักษณะแรงต้านทานของดินโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการทดสอบเสาเข็มในการออกแบบ
$R1, R2, R3$ และ $R4$	ตัวเล็อกของแฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทานต่อแรงกระทำ
s_c, s_q, s_γ	แฟกเตอร์สำหรับขนาดของฐานรากแผ่
$S_{dst;d}$	ค่าออกแบบผลรวมของแรงที่เกิดจากการไหลผ่านของน้ำ (seepage force) ทำให้ส่วนของพื้นดินยกตัวขึ้นหรือทำให้สูญเสียเสถียรภาพ

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
T_d	ค่าออกแบบแรงเฉือนด้านทานรวม
u	แรงดันน้ำโพรง (Measured pore pressure) ของการทดสอบกรวย ทะลวงแบบฐานกรวยไพอิไซ
$u_{dst;d}$	ค่าออกแบบผลรวมของแรงดันน้ำที่ทำให้ส่วนของพื้นดินยกตัวขึ้นหรือทำให้สูญเสียเสถียรภาพ
V	แรงกระทำในแนวตั้งที่กระทำกับฐานรากแผ่
V_d	ค่าออกแบบกระทำในแนวตั้ง
V'_d	ค่าออกแบบกระทำในแนวตั้งประสิทธิผล
$V_{dst;d}$	ค่าออกแบบผลรวมของแรงกระทำในแนวตั้งที่ทำให้โครงสร้างหรือส่วนของพื้นดินยกตัวขึ้นหรือทำให้สูญเสียเสถียรภาพ
w	ค่าความชื้นในมวลดิน (Water content)
w_L	ขีดจำกัดเหลว (Liquid limit)
w_P	ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic limit)
X_d	ค่าออกแบบของสมบัติวัสดุ (Design value of a material property)
X_k	ค่าลักษณะของสมบัติวัสดุ (Characteristic value of a material property)
$X_{k;inf}$	ค่าขอบล่างของค่าลักษณะของวัสดุ
$X_{k;M}$	ค่าเฉลี่ยของค่าลักษณะของวัสดุ
$X_{k;sup}$	ค่าขอบบนของค่าลักษณะของวัสดุ
z	ระยะความลึก
Λ	แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor)
φ'	ค่ามุมเสียดทานภายใน
ρ	ค่าความหนาแน่น (Bulk density)
ρ_s	ค่าความหนาแน่นของอนุภาคดิน (Particle density)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
σ_c	แรงดันอัดตัว
σ'_c	แรงดันอัดตัวคายน้ำ
σ_T	กำลังรับแรงดึง (Tensile strength)
$\sigma_{stb;d}$	ค่าออกแบบผลรวมของแรงดันที่ต้านทานส่วนของพื้นดินไม่ให้ยกตัวขึ้นหรือทำให้เกิดเสถียรภาพ
σ_x	ค่าความแปรปรวน (Variance) ของค่าพารามิเตอร์ของดิน หรือสมบัติวัสดุ
μ_x	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) ของค่าพารามิเตอร์ของดิน หรือสมบัติวัสดุ
ν	อัตราส่วนปัวซอง (Value of Poisson's ratio)
α	มุมของพื้นที่ที่ทำกับแนวนอนของฐานรากแผ่
α_d	ค่าออกแบบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของเสาเข็มในชั้นดินเหนียว
θ	มุมของแรงในแนวนอนของที่ทำกับแนวความยาวของฐานรากแผ่
$\sigma_{v;0}$	ค่าความเค้นรวมในแนวตั้งเริ่มต้นที่ระดับพื้นของฐานรากแผ่
φ'_{cv}	มุมเสียดทานสถานะวิกฤตของแรงต้านทานแรงเฉือน (Critical state angle of shearing resistance) ที่ใช้ในการออกแบบ
$\varphi'_{cv;d}$	ค่าออกแบบสำหรับมุมเสียดทานสถานะวิกฤตของแรงต้านทานแรงเฉือน
$\varphi'_{cv;k}$	ค่าลักษณะมุมเสียดทานสถานะวิกฤตของแรงต้านทานแรงเฉือน
ξ_3, ξ_4	แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับการใช้ค่าขอบล่างกับค่าเฉลี่ยของการทดสอบเสาเข็มในการออกแบบ
$\sigma_{a;d}(z)$	ค่าออกแบบหน่วยแรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟที่ความลึก Z จากผิวดิน
$\sigma_{p;d}(z)$	ค่าออกแบบหน่วยแรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟที่ความลึก Z จากผิวดิน
δ_d	ค่าออกแบบมุมเสียดทานระหว่างกำแพงกับดิน

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
γ	หน่วยน้ำหนักดิน
γ_d	ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน
γ'	หน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล
γ'_d	ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล
$\gamma_{a;p}$	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับสมอยึดแบบถาวร (Partial factor for permanent anchorages)
$\gamma_{a;t}$	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับสมอยึดแบบชั่วคราว (Partial factor for temporary anchorages)
γ_b	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (Partial factor for base resistance of a pile)
γ_c	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล (Partial factor for the effective cohesion)
γ_{c_u}	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Partial factor for the undrained shear strength)
γ_E	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับผลกระทบจากแรงกระทำ (Partial factor for the effect of an action)
γ_F	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (Partial factor for an action)
γ_G	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำแบบถาวร (Partial factor for a permanent action)
$\gamma_{G;dst}$	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำแบบถาวรที่ทำให้ไม่เกิดเสถียรภาพ (Partial factor for a permanent destabilizing action)
$\gamma_{G;stb}$	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำแบบถาวรที่ทำให้เกิดเสถียรภาพ (Partial factor for a permanent stabilizing action)
γ_M	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับค่าพารามิเตอร์ของดิน หรือสมบัติวัสดุ (Partial factor for a soil parameter or material property)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
γ_Q	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำแบบแปรเปลี่ยน (Partial factor for a variable action)
$\gamma_{Q;dst}$	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำแบบแปรเปลี่ยนที่ทำให้ไม่เกิดเสถียรภาพ (Partial factor for a variable destabilizing action)
γ_{qu}	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Partial factor for unconfined strength)
$\gamma_{Q;stb}$	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำแบบแปรเปลี่ยนที่ทำให้เกิดเสถียรภาพ (Partial factor for a variable stabilizing action)
γ_R	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (Partial factor for a resistance)
$\gamma_{R;e}$	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทานดิน (Partial factor for earth resistance)
$\gamma_{R;h}$	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทานการเลื่อนไถล (Partial factor for sliding resistance)
$\gamma_{R;v}$	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทานแบกทาน (Partial factor for bearing resistance)
γ_s	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทานที่ผิวเสาเข็ม (Partial factor for shaft resistance of a pile)
$\gamma_{s;t}$	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทานแรงดึงของเสาเข็ม (Partial factor for tensile resistance of a pile)
γ_t	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทานรวมของเสาเข็ม (Partial factor for total resistance of a pile)
$\gamma_{\phi'}$	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับค่ามุมเสียดทานภายใน (Partial factor for the angle of shearing resistance)
γ_Y	แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับค่าหน่วยน้ำหนักดิน (Partial factor for weight density)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
ψ_0	แฟกเตอร์สำหรับผลรวมของแรงกระทำแบบแปรเปลี่ยน (Factor for combination value of a variable action)
ψ_1	แฟกเตอร์สำหรับค่าความถี่ของแรงกระทำแบบแปรเปลี่ยน (Factor for frequent value of a variable action)
ψ_2	แฟกเตอร์สำหรับค่าเสมือนถาวรของแรงกระทำแบบแปรเปลี่ยน (Factor for quasi-permanent value of a variable action)

หน่วยที่ใช้ในงานวิจัย

แรงกระทำ	kN (กิโลนิวตัน)
มวล	kg (กิโลกรัม), t (ตัน)
หน่วยแรง	kPa (กิโลปาสคาล), kN/m ² (กิโลนิวตันต่อตารางเมตร), t/m ² (ตันต่อตารางเมตร)
หน่วยน้ำหนัก	kN/m ³ (กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร), t/m ³ (ตันต่อลูกบาศก์เมตร)
โมเมนต์	kN-m (กิโลนิวตัน-เมตร), t-m (ตัน-เมตร)
ขนาด	mm (มิลลิเมตร), cm (เซนติเมตร), m (เมตร)
พื้นที่	cm ² (ตารางเซนติเมตร), m ² (ตารางเมตร)

การแปลงหน่วย

$$1 \text{ t} = 10 \text{ kN}$$

$$1 \text{ t/m}^2 = 10 \text{ kPa} = 10 \text{ kN/m}^2$$

$$1 \text{ t/m}^3 = 10 \text{ kN/m}^3$$

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านก่อสร้างไปอย่างมากเมื่อเทียบกับอดีต จึงทำให้สิ่งก่อสร้างมีขนาดโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้น มีความซับซ้อนและรายละเอียดของการออกแบบและการก่อสร้างเพิ่มขึ้น ดังนั้นรายละเอียดการออกแบบ การทดสอบและข้อกำหนดในการก่อสร้างจึงขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบโดยคำนึงถึงเทคโนโลยี งบประมาณ วัตถุประสงค์การใช้งานของสิ่งก่อสร้าง

ในอดีตรายละเอียดการออกแบบและขั้นตอนการก่อสร้างไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ในส่วนการออกแบบผู้ออกแบบจะเป็นผู้กำหนดรายละเอียดต่างๆ เช่น สมมุติฐาน วิธีการทดสอบ ผลการทดสอบ เทคโนโลยีที่ใช้ก่อสร้าง วิธีการตรวจสอบ วิธีการควบคุมการก่อสร้าง และข้อกำหนดในการก่อสร้างซึ่งรายละเอียดดังกล่าวขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ออกแบบ บางครั้งอาจจะไม่ครบถ้วนจนส่งผลถึงความไม่ปลอดภัยของสิ่งก่อสร้าง ดังนั้นในแต่ละประเทศจึงมีความคิดในการจัดทำมาตรฐานการออกแบบ วิธีการทดสอบ ข้อกำหนดในการก่อสร้างเพื่อเป็นแบบอย่าง แนวทางวิธีปฏิบัติและเป็นข้อแนะนำสำหรับผู้ออกแบบ วิศวกร และหน่วยงานที่ก่อสร้าง ทำให้รายละเอียดต่างๆ เช่น รายละเอียดที่ประกอบกับการออกแบบ ข้อกำหนดในการก่อสร้าง การตรวจสอบและควบคุมการก่อสร้างเป็นมาตรฐานเดียวกัน ตัวอย่างมาตรฐานที่มีอยู่ เช่น

- ประเทศสหรัฐอเมริกา เช่น American Concrete Institute (ACI), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) เป็นต้น
- ประเทศออสเตรเลีย เช่น Building code of Australia (BCA) เป็นต้น
- ประเทศแคนาดา เช่น National Building Code of Canada (NBCC) เป็นต้น
- ประเทศญี่ปุ่น เช่น Building Standard Law (BSL) เป็นต้น

และในประเทศไทยมีมาตรฐาน การออกแบบทางวิศวกรรมโยธาที่ใช้เป็นข้อแนะนำสำหรับการออกแบบ การทดสอบและข้อกำหนดในการก่อสร้างสำหรับวิศวกรภายในประเทศ มาตรฐานที่มีอยู่ในปัจจุบันได้แก่

- มาตรฐานสำหรับอาคารเหล็กรูปพรรณ ตีพิมพ์ครั้งที่ 3 ปีพ.ศ. 2548

- มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน ตีพิมพ์ครั้งที่ 11 ปีพ.ศ. 2553
- มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตอัดแรง ตีพิมพ์ครั้งที่ 4 ปีพ.ศ. 2553
- มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ปรับปรุงครั้งที่ 1 ปีพ.ศ. 2551
- มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กขึ้นรูปเย็น ตีพิมพ์ปีพ.ศ. 2553 เป็นต้น

มาตรฐานดังกล่าวขึ้นต้นออกโดยสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage, EIT)

ส่วนงานทางด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคทางสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตีพิมพ์หนังสือที่ช่วยในการออกแบบหรือการทำงานที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมธรณีเทคนิคทั้งหมด 6 เล่ม ได้แก่

- การออกแบบและการก่อสร้างชั้นใต้ดินลึกในดินเหนียวอ่อนในกรุงเทพฯ ตีพิมพ์ปีพ.ศ 2549
- ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะ ผู้แต่งคณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี ตีพิมพ์ครั้งที่ 2 ปีพ.ศ. 2548
- แนวทางการตรวจสอบชั้นดินเพื่องานฐานราก ผู้แต่งคณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี ตีพิมพ์ครั้งที่ 2 ปีพ.ศ. 2548
- โครงการสัมมนาเชิงวิชาการเรื่อง วิศวกรรมฐานราก'49 ปีพ.ศ. 2549
- วิศวกรรมปฐพี ผู้แต่งดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ ตีพิมพ์ครั้งที่ 2 ปีพ.ศ. 2548
- ข้อมูลสภาพดินลุ่มบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

แต่มาตรฐานที่ใช้แนะนำการออกแบบวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทยยังไม่มี การตีพิมพ์ ส่วนใหญ่วิธีการออกแบบ หลักการการออกแบบ สมมุติฐานที่ใช้ในการออกแบบและการเลือกวิธีการทดสอบ จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ เพื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการออกแบบวิศวกรรมธรณีเทคนิคนั้น จะได้จากประสบการณ์ของผู้ออกแบบหรือหน่วยงานในการออกแบบเป็นผู้กำหนด ดังนั้นถ้าผู้ออกแบบไม่มีประสบการณ์ในการออกแบบก็อาจจะทำให้เกิดปัญหาในควาพร้อมของรายละเอียดที่นำมาใช้ประกอบการออกแบบจนอาจจะส่งผลกระทบต่อทั้งระหว่างกา

ก่อสร้างหรือภายหลังการก่อสร้างเสร็จสิ้นแล้ว เช่น การทรุดตัวมากกว่าที่ออกแบบ การทรุดตัวไม่เท่ากันจนส่งผลต่อโครงสร้าง การประมาณค่าแรงดันดินด้านข้างน้อยกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง การวิเคราะห์เสถียรภาพของทางลาดที่ไม่ถูกต้องทำให้เกิดการพังทลายของทางลาด เป็นต้น

มาตรฐานการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมธรณีเทคนิค ในต่างประเทศมีหลายมาตรฐาน แต่งานวิจัยนี้จะเลือกมาตรฐานยุโรปหรือ ยูโรโค้ด 7 ส่วนที่ 1 (EUROCODE 7 Part 1, EN 1997-1) ออกโดยคณะกรรมการจัดทำมาตรฐานยุโรป (European Committee for Standardization, CEN) ในปีพ.ศ. 2004 เป็นแบบอย่างในการศึกษา โดยจะศึกษา วิธีการหลักการ ขั้นตอน ทฤษฎีและค่าต่างๆที่จำเป็นในการออกแบบ และนำตัวอย่างการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคที่มีการก่อสร้างจริงในประเทศไทยมาศึกษาควบคู่ พร้อมกับนำข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบการก่อสร้างในประเทศไทย มาผ่านกระบวนการตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบ เพื่อให้ได้ขั้นตอนการออกแบบ หลักการออกแบบทฤษฎีที่จำเป็นต้องใช้รวมถึงการใช้ค่าที่จำเป็นในการออกแบบให้เหมาะสมกับการก่อสร้างในประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

สามารถแบ่งออกเป็นวัตถุประสงค์หลักได้ดังต่อไปนี้

1.2.1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎีและหลักการออกแบบและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ส่วนที่ 1

1.2.2 ศึกษาการกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคที่มีการก่อสร้างจริงในประเทศไทย

1.2.3 เปรียบเทียบการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคระหว่างตัวอย่างในประเทศไทยกับการใช้ค่าพารามิเตอร์รวมค่าที่จำเป็นในการออกแบบที่ได้จากตัวอย่างในประเทศไทยนำมาผ่านกระบวนการขั้นตอนตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ส่วนที่ 1

1.2.4 อาจเสนอเป็นข้อเสนอแนะสำหรับการร่างมาตรฐานในอนาคต

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยจะครอบคลุมการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับฐานรากแผ่ ฐานรากเสาเข็มและโครงสร้างกันดินตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 โดยขึ้นอยู่กับโครงการการก่อสร้างในประเทศไทยที่ได้นำมาประกอบในงานวิจัย

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ความเหมาะสมของมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ส่วนที่ 1 ในส่วนรายละเอียดของฐานรากแผ่ ฐานรากเสาเข็มและโครงสร้างกันดิน ที่นำมาใช้ในประเทศไทย

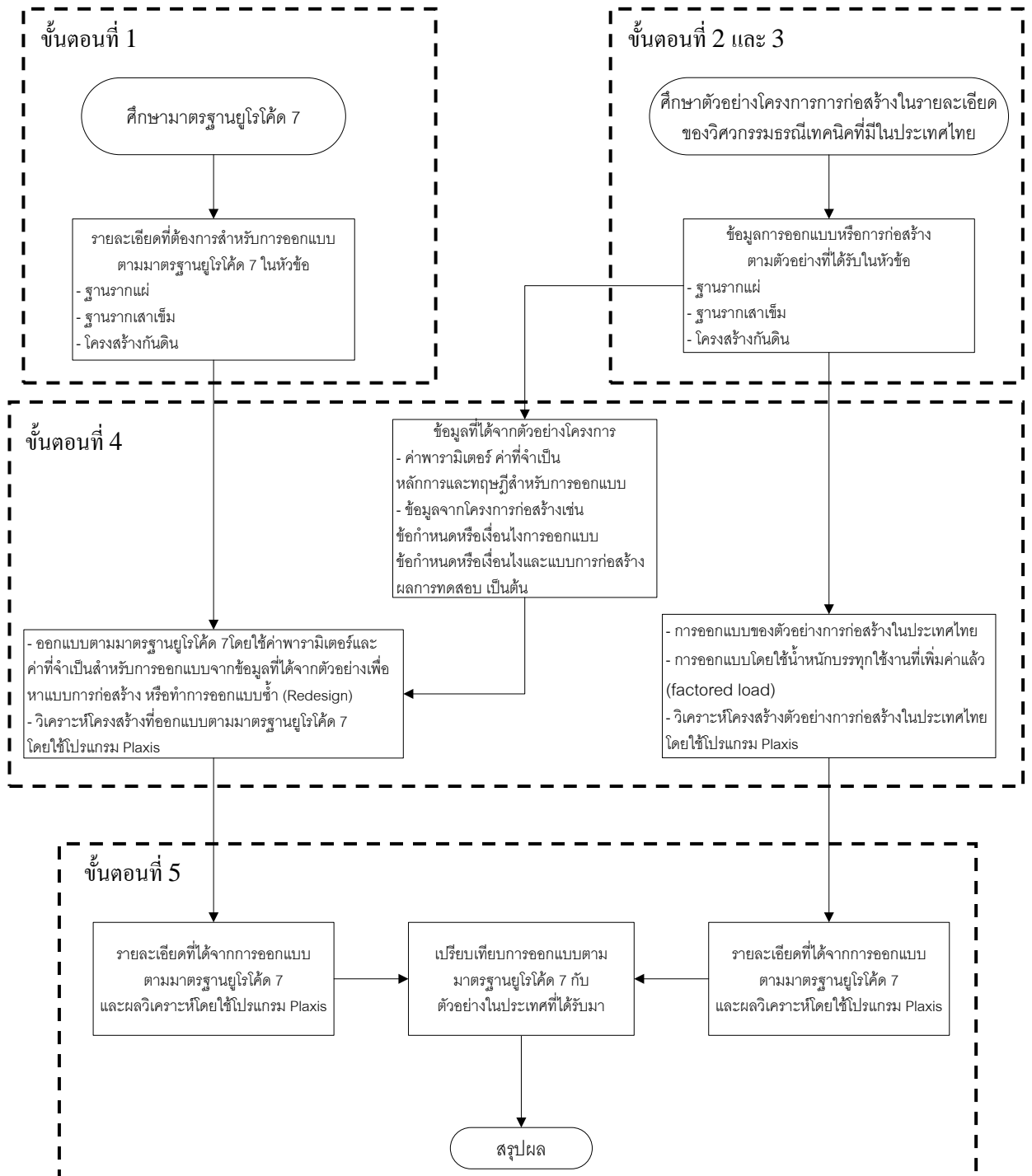
1.4.2 เป็นข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบวิศวกรรมธรณีเทคนิคที่เหมาะสมกับประเทศไทย

1.5 ขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนในการทำงานวิจัยเรียงลำดับการทำงานได้จากรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1 ศึกษารายละเอียด ข้อกำหนดต่างๆ ในการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7
- ขั้นตอนที่ 2 เลือกรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับการศึกษา
- ขั้นตอนที่ 3 เก็บรวบรวมข้อมูล รูปแบบ วิธีการ รายการคำนวณและแบบการก่อสร้างของโครงสร้างแต่ละแบบ อาจประสานงานกับ บริษัทออกแบบ บริษัทก่อสร้าง บริษัทที่ปรึกษาและหน่วยงานภาครัฐ เช่น กรมโยธา กรมทางหลวง เป็นต้น
- ขั้นตอนที่ 4 ทำการออกแบบซ้ำ (Redesign) ทำการวิเคราะห์โครงสร้างที่ได้จากการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Plaxis
- ขั้นตอนที่ 5 สรุปรายละเอียดของการออกแบบและผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Plaxis

ความเกี่ยวข้องกันของขั้นตอนทั้ง 5 ขั้นตอนสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงาน

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานของงานวิจัย

ช่วงเวลา	เดือนที่	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ปี	2553			2554									2555											
ค้นคว้าและศึกษาเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย																									
กำหนดโครงร่างเนื้อหาและเสนอหัวข้องานวิจัย																									
ศึกษาวิธีการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย																									
ทำการเก็บข้อมูลการออกแบบโครงการก่อสร้างที่มีในประเทศไทย - โครงสร้างฐานรากแม่, โครงสร้างฐานรากเสาเข็ม และ โครงสร้าง กันดิน																									
วิเคราะห์ เปรียบเทียบและสรุปผล - ออกแบบโดยวิธียูโรโค้ด 7 - เปรียบเทียบรายละเอียดที่ได้จากการออกแบบตามยูโรโค้ด 7 กับตัวอย่างการออกแบบในประเทศไทย - วิเคราะห์การออกแบบโดยใช้โปรแกรม Plaxis - สรุปและวิเคราะห์ผล																									

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติยูโรโค้ด (Eurocode)

สมัยก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 (ก่อนปีค.ศ. 1939) รายละเอียดการออกแบบและวิธีการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างจะจำกัดเฉพาะกลุ่มที่ทำงานร่วมกัน โดยรายละเอียดดังกล่าวจะอยู่ในรูปการจดบันทึก ในบันทึกจะบอกรายละเอียดการปฏิบัติงานทางวิศวกรรมที่ดีแต่ไม่มีรายละเอียดที่ชัดเจนแน่นอนในการออกแบบ

หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 อุตสาหกรรมก่อสร้างได้ขยายตัวอย่างกว้างขวางโดยวิศวกรโยธาทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการออกแบบและก่อสร้าง ช่วงทศวรรษปีค.ศ. 1950 เริ่มจัดทำจัดทำเอกสารรายงานที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง แต่ยังไม่ใช้รูปแบบที่เป็นมาตรฐาน ในปีค.ศ. 1955 สถาบันทางวิศวกรรมโครงสร้าง (Institution of Structural Engineers) ในประเทศอังกฤษได้จัดตั้งคณะกรรมการเพื่อจัดทำรายงานความปลอดภัยในการออกแบบโครงสร้าง โดยรายงานฉบับนี้ได้เสนอข้อคิดเห็นหลัก 2 ข้อที่ใช้ในการออกแบบ

- อัตราส่วนของแรงประลัย (ultimate load) ได้จากการกำหนดแรงใช้งานที่เหมาะสมและต้องทราบค่าตัวประกอบแรงประลัย
- อัตราส่วนของแรงขีดจำกัด (limiting load) ได้จากการกำหนดแรงใช้งานที่เหมาะสมและต้องทราบค่าตัวประกอบแรงขีดจำกัด

ระหว่างปีค.ศ. 1960 ถึง 1970 หน่วยงานหนึ่งในคณะกรรมการและองค์กรด้านเทคนิคของยุโรป (European technical associations and committees) ได้เริ่มความคิดในการจัดทำมาตรฐานในการก่อสร้าง โดยครั้งแรกได้ทดลองทำมาตรฐานที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับวัสดุในงานก่อสร้าง ตัวอย่างเช่น มาตรฐานในประเทศอังกฤษ (British Standard) British Standard CP110 : โครงสร้างใช้งานคอนกรีต (The Structural Use of Concrete) ตีพิมพ์สู่สาธารณชนในปีค.ศ. 1972

ในปีค.ศ. 1975 คณะกรรมาธิการประชาคมแห่งสหภาพยุโรป (Commission of the European Communities) ตัดสินใจดำเนินการโครงการมาตรฐานยุโรป (European code) ซึ่ง

เป็นโครงการจัดทำมาตรฐานการก่อสร้าง ตามข้อตกลงที่ 95 ของสนธิสัญญาทางการค้า โดยวัตถุประสงค์ของโครงการเพื่อขจัดอุปสรรคที่เกี่ยวกับเทคนิคการก่อสร้างและรวบรวมข้อมูลทางเทคนิคในประเทศสมาชิก แนวคิดของโครงการนี้คือการนำความคล้ายคลึงทางด้านเทคนิคข้อกำหนดและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างในประเทศสมาชิกรวบรวม ปรับปรุงและจัดทำให้เป็นมาตรฐานการก่อสร้างเดียวกันเพื่อนำไปใช้ในประเทศสมาชิกต่อไป

ในปีค.ศ. 1989 หลังจาก 15 ปีที่เริ่มจัดทำโครงการมาตรฐานยุโรปที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง คณะกรรมการโครงการ คณะกรรมการของสหภาพยุโรปและสมาคมการค้าเสรีสหภาพยุโรป (EFTA) ได้ตัดสินใจบนข้อตกลง ระหว่าง คณะกรรมการวิชาการประชาคมแห่งสหภาพยุโรปกับคณะกรรมการจัดทำมาตรฐานยุโรป (European Committee for Standardization, CEN)¹ ว่าด้วยโครงการจัดทำมาตรฐานการก่อสร้างภายในสหภาพยุโรป โดยคณะกรรมการโครงการ (ที่ได้รับการจัดตั้งโดย คณะกรรมการวิชาการประชาคมแห่งสหภาพยุโรป) ได้ส่งมอบหน้าที่ในการจัดทำมาตรฐานการก่อสร้างให้กับคณะกรรมการจัดทำมาตรฐานยุโรปแล้วได้เปลี่ยนชื่อโครงการจากมาตรฐานยุโรป (European code) เป็นยูโรโค้ด (Eurocode) โดยวัตถุประสงค์หลักของโครงการยังเหมือนเดิมคือจัดทำมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและวิธีการทำงานก่อสร้างสำหรับงานวิศวกรรมโยธา (BC/CEN/03/89) และการตีพิมพ์เพื่อเผยแพร่ต่อสาธารณชน ในนามของคณะกรรมการจัดทำมาตรฐานยุโรปโดยใช้รหัสมาตรฐานคือ EN 199x (EN ย่อมาจาก European Norm)

¹ CEN ย่อมาจาก Comité Européen de Normalisation สถานที่ติดต่อ CEN-CENELEC Management Centre เมืองบรัสเซลส์ ประเทศเบลเยียม หรือ URL : <http://www.cen.eu>

2.2 โครงสร้างของยูโรโค้ด

ส่วนประกอบของยูโรโค้ดมีทั้งหมด 10 มาตรฐานโดยจำลองความสัมพันธ์ของโครงสร้างในแต่ละมาตรฐานตามรูปที่ 2.1

1) EN 1990 : ยูโรโค้ด – หลักการออกแบบโครงสร้าง (Basis of Structural Design) มาตรฐานนี้บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการกำหนดหลักการออกแบบ ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยที่ต้องการ การใช้งานและความคงทนของโครงสร้าง อาจกล่าวได้ว่ามาตรฐานนี้บอกรายละเอียดภาพรวมการออกแบบ นิยาม การตรวจการออกแบบและผลกระทบของโครงสร้าง โดยจะเป็นรายละเอียดพื้นฐานที่จะใช้ในมาตรฐานที่เหลืออีก 9 มาตรฐาน

2) EN 1991 : ยูโรโค้ด 1 – แรงกระทำต่อโครงสร้าง (Actions on structures) มาตรฐานนี้บอกรายละเอียดเกี่ยวกับแรงกระทำต่อโครงสร้างที่ใช้ในการออกแบบ เช่น การกำหนดน้ำหนักของโครงสร้าง ผลกระทบของโครงสร้างที่เกิดจากไฟ น้ำหนักของหิมะ ผลกระทบที่เกิดจากลมและการกำหนดน้ำหนักการจราจรบนสะพาน เป็นต้น

3) EN 1992 : ยูโรโค้ด 2 – การออกแบบโครงสร้างคอนกรีต (Design of concrete structures) มาตรฐานนี้บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตและการทำงานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างคอนกรีต เช่น ข้อกำหนดทั่วไปของคอนกรีต การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตสำหรับการเกิดเพลิงไหม้และการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตสำหรับสะพาน เป็นต้น

4) EN 1993 : ยูโรโค้ด 3 – การออกแบบโครงสร้างเหล็ก (Design of steel structures) มาตรฐานนี้บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างเหล็กและการทำงานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเหล็ก เช่น ข้อกำหนดทั่วไปของเหล็กในการก่อสร้าง การออกแบบโครงสร้างเหล็กสำหรับการเกิดเพลิงไหม้และการออกแบบข้อต่อ เป็นต้น

5) EN 1994 : ยูโรโค้ด 4 – การออกแบบโครงสร้างประกอบระหว่างคอนกรีตกับเหล็ก (Design of composite steel and concretes structures) มาตรฐานนี้บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างประกอบระหว่างของคอนกรีตกับเหล็กและการทำงานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างประกอบระหว่างคอนกรีตกับเหล็ก เช่น ข้อกำหนดทั่วไปในการ

ก่อสร้าง การออกแบบโครงสร้างประกอบระหว่างคอนกรีตกับเหล็กสำหรับการเกิดเพลิงไหม้ และการออกแบบโครงสร้างประกอบระหว่างคอนกรีตกับเหล็กสำหรับสะพาน เป็นต้น

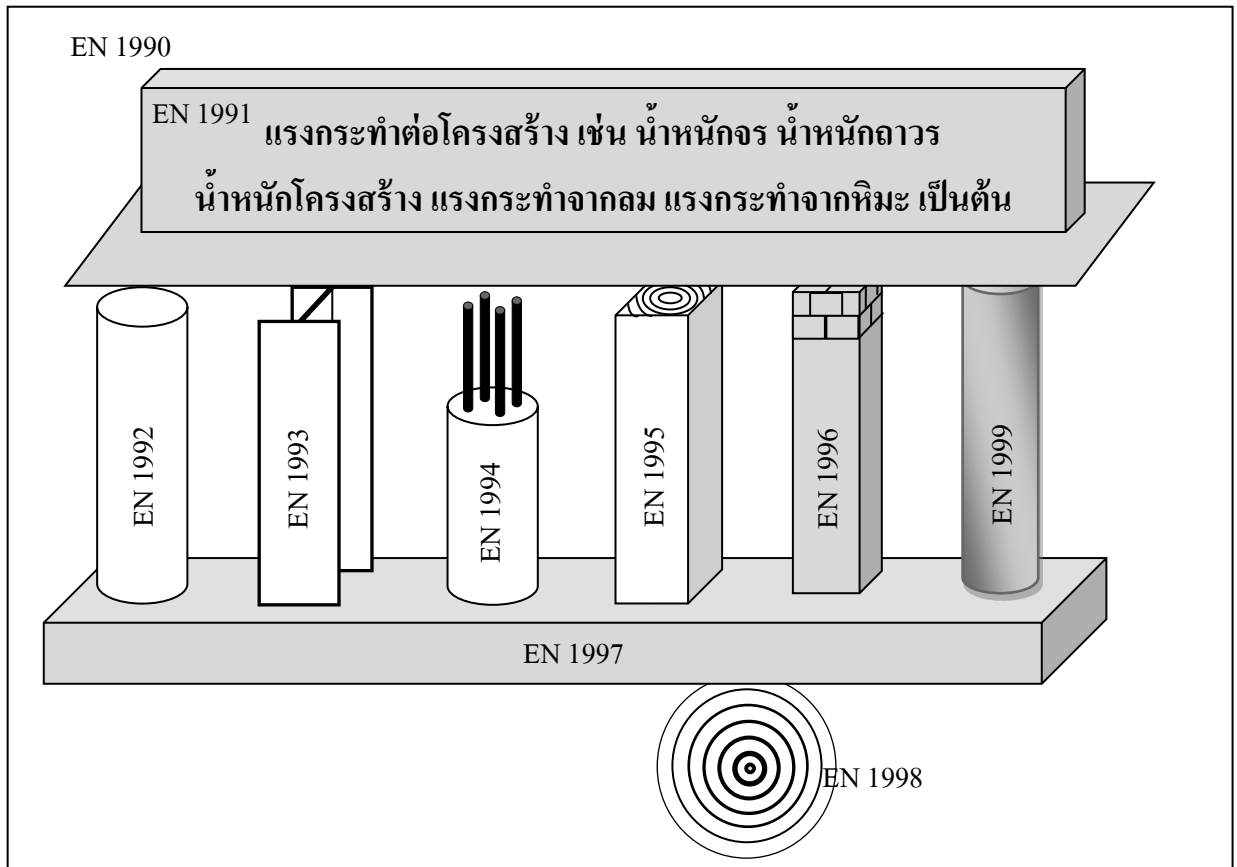
6) EN 1995 : ยูโรโค้ด 5 – การออกแบบโครงสร้างไม้ (Design of timber structures) มาตรฐานนี้บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างไม้และการทำงานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวกับโครงสร้างไม้ เช่น ข้อกำหนดทั่วไปในการก่อสร้าง การออกแบบโครงสร้างไม้สำหรับการเกิดเพลิงไหม้และการออกแบบโครงสร้างไม้สำหรับสะพาน เป็นต้น

7) EN 1996 : ยูโรโค้ด 6 – การออกแบบโครงสร้างอิฐก่อ (Design of masonry structures) มาตรฐานนี้บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างอิฐก่อและการทำงานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวกับโครงสร้างอิฐก่อ เช่น ข้อกำหนดทั่วไปในการก่อสร้างและการออกแบบโครงสร้างอิฐก่อสำหรับการเกิดเพลิงไหม้ เป็นต้น

8) EN 1997 : ยูโรโค้ด 7 – การออกแบบด้านธรณีเทคนิค (Geotechnical design) มาตรฐานนี้บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างฐานรากและการทำงานทางวิศวกรรมธรณีเทคนิค เช่น ข้อกำหนดในการออกแบบ การตรวจสอบ ทดสอบตัวอย่างดินทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม ค่าต่างๆที่จำเป็นในการออกแบบและควบคุมการก่อสร้างที่เกี่ยวข้องของวิศวกรรมธรณีเทคนิค เป็นต้น

9) EN 1998 : ยูโรโค้ด 8 – การออกแบบโครงสร้างสำหรับต้านทานแผ่นดินไหว (Design of structures for earthquake resistance) มาตรฐานนี้บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างที่รับแรงแผ่นดินไหวและการทำงานทางวิศวกรรมในบริเวณหรือพื้นที่เกิดแผ่นดินไหว เช่น ข้อกำหนดทั่วไปและผลกระทบต่อโครงสร้างที่เกิดจากแผ่นดินไหว เป็นต้น

10) EN 1999 : ยูโรโค้ด 9 – การออกแบบโครงสร้างอะลูมิเนียม (Design of aluminium structures) มาตรฐานนี้บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างอะลูมิเนียมและการทำงานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวกับโครงอะลูมิเนียม เช่น ข้อกำหนดทั่วไปในโครงสร้างและการออกแบบโครงสร้างอะลูมิเนียมสำหรับการเกิดเพลิงไหม้ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ภาพจำลองความสัมพันธ์และโครงสร้างยูโรโค้ด (วาดใหม่จาก Bond and Harris, 2008)

2.3 ประวัติการพัฒนามาตรฐานการออกแบบด้านธรณีเทคนิค

ในปีค.ศ. 1979 ศาสตราจารย์ เควิน แนช (Professor Kevin Nash) ซึ่งดำรงตำแหน่งเลขาธิการสมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมฐานรากนานาชาติ (International Society for Soil mechanics and Foundation Engineering, ISSMFE) ปัจจุบันได้เปลี่ยนเป็นสมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิค (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ISSMGE)² มีความสนใจในการจัดทำโครงร่างมาตรฐานที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับวิศวกรรมธรณีเทคนิคสำหรับสหภาพยุโรป

² ISSMGE สถานที่ติดต่อ Geotechnical Engineering Research Centre, City University กรุง ลอนดอน ประเทศ อังกฤษ หรือ Email : <mailto:enquiries@issmge.org> หรือ URL : <http://www.issmge.org/>

ในปีค.ศ. 1980 ศาสตราจารย์ เควิน แนช ได้เขียนเอกสารถึงศาสตราจารย์ ฟูกุโอกะ (Professor Fukuoka) ซึ่งเป็นประธานสมาคมในขณะนั้น (ดำรงตำแหน่งระหว่างปีค.ศ. 1977 ถึง 1981) ในเอกสารระบุการสรรหาบุคคลมาดำรงตำแหน่งหัวหน้าคณะอนุกรรมการโครงการจัดทำโครงร่างยูโรโค้ด 7 หลังจากศาสตราจารย์ ฟูกุโอกะ ได้รับเอกสารก็ได้ปรึกษากับศาสตราจารย์ เควิน แนช เรื่องการเชิญ ศาสตราจารย์ นีล เครบส์ โอเวเซน (Professor Niels Krebs Ovesen) มาดำรงตำแหน่งเป็นหัวหน้าคณะอนุกรรมการโครงการจัดทำโครงร่างยูโรโค้ด 7 (รูปที่ 2.2 และ 2.3)



รูปที่ 2.2 ศาสตราจารย์ นีล เครบส์ โอเวเซน (Professor Niels Krebs Ovesen) (จาก Trevor, 2007)

ในปีค.ศ. 1980 ยูโรโค้ด 7 ได้เริ่มต้นโครงการและศาสตราจารย์ นีล เครบส์ เข้ามารับตำแหน่งเป็นหัวหน้าคณะอนุกรรมการโครงการจัดทำโครงร่างยูโรโค้ด 7 งานแรกที่ศาสตราจารย์ นีล เครบส์ เข้ามารับตำแหน่งคือ การเชิญหน่วยงานทางวิศวกรรมปฐพีในประชาคมเศรษฐกิจยุโรป (European Economic Community, EEC) เข้าร่วมในโครงการนี้

ปีค.ศ. 1981 ได้มีการประชุมครั้งแรกในเดือน มีนาคม ที่เมืองบรัสเซลส์ ประเทศ เบลเยียม โดยมีประเทศจากประชาคมเศรษฐกิจยุโรปเข้าร่วมทั้งหมด 9 ประเทศจาก 10 ประเทศ สมาชิกประเทศที่เข้าร่วมได้แก่ ฝรั่งเศส อิตาลี เยอรมนีตะวันตก เบลเยียม เนเธอร์แลนด์ อังกฤษ เดนมาร์ก ไอร์แลนด์และกรีซ และประชุมครั้งที่ 2 ที่เมืองสตอกโฮล์มในเดือน มิถุนายน ปีค.ศ. 1981

และในปีค.ศ. 1981 ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในสมาคมปฐพีกลศาสตร์และ วิศวกรรมธรณีเทคนิค เมื่อ ศาสตราจารย์ เควิน แนช ซึ่งดำรงตำแหน่งเลขาธิการสมาคมและเป็น ผู้สนับสนุนหลักของโครงการจัดทำโครงร่างยุโรปใต้ 7 ได้เสียชีวิตอย่างกะทันหันศาสตราจารย์ จอห์น เบอแลนด์ (Professor John Burland) จึงเข้ามารับตำแหน่งเลขาธิการสมาคมชั่วคราว จนกระทั่ง ดร. อาร์ เอช จี พาร์รี (Dr. R.H.G. Parry) เข้ามารับตำแหน่งเลขาธิการสมาคมปฐพี กลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิคอย่างเป็นทางการและศาสตราจารย์ วิคเตอร์ ดี เมลโล (Professor Victor de Mello) ก็เข้ามารับตำแหน่งประธานสมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรม ธรณีเทคนิคแทนศาสตราจารย์ ฟูกุโอกะหลังจากศาสตราจารย์ วิคเตอร์ ดี เมลโล เข้ามารับ ตำแหน่งไม่นาน โครงการจัดทำโครงร่างยุโรปใต้ 7 ก็เกิดปัญหาเมื่อคณะกรรมการดำเนินงานของ สมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิคภายใต้การบริหารของ ศาสตราจารย์ วิคเตอร์ ดี เมลโล ต้องการให้คณะกรรมการโครงการจัดทำโครงร่างยุโรปใต้ 7 จะต้องมาจากตัวแทน สมาชิกในสมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิคแทนที่จะเป็นคณะกรรมการทางเทคนิค ซึ่งเป็นหน่วยงานหนึ่งในสมาคม และในวันที่ 20 พฤศจิกายน 1981 ศาสตราจารย์ วิคเตอร์ ดี เมลโล ได้ทำหนังสือถึงสมาชิกว่า คณะอนุกรรมการโครงการจัดทำโครงร่างยุโรปใต้ 7 จะต้องได้รับการ พิจารณาใหม่เพื่อให้สมาชิกในสมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิคทั้งหมดได้มีส่วนร่วม ต่อมาเมื่อ 12 พฤษภาคม 1982 ศาสตราจารย์ จอห์น เบอแลนด์ สมาชิกคณะกรรมการ ดำเนินงานของสมาคม ได้ออกเอกสารถึง ศาสตราจารย์ นีล เครบส์ ถึงความต้องการของ ศาสตราจารย์ วิคเตอร์ ดี เมลโล ซึ่งศาสตราจารย์ นีล เครบส์ ก็ยอมรับในความเห็นของเอกสารที่ ได้รับ โดยเอกสารมีเนื้อหา

- 1) คณะอนุกรรมการโครงการจัดทำโครงร่างยุโรปใต้ 7 ต้องมาจากผู้แทนสมาชิก ในสมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิคไม่ใช่คณะกรรมการเทคนิค
- 2) เมื่อทำโครงการจัดทำโครงร่างยุโรปใต้ 7 เสร็จจะต้องส่งให้สมาชิกทุกคนใน สมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิคแสดงความคิดเห็น

3) หลังได้รับความคิดเห็นจากสมาชิกในสมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิคเสรี เอกสารของโครงการจัดทำโครงร่างยูโรโค้ด 7 จะส่งไปให้คณะกรรมการวิชาการประชาคมแห่งสหภาพยุโรป เอกสารดังกล่าวจะไม่ใช้ฉบับร่างของยูโรโค้ด 7 แต่จะเป็นการเสนอ มุมมองของสมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิคต่อการจัดทำ ยูโรโค้ด 7

4) สิ่งพิมพ์ที่เผยแพร่ต่อสาธารณชนจะต่อไม่ระบุถึงความรับผิดชอบของสมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิค

ความเห็นดังกล่าวปรากฏในรายงานการประชุมของที่ประชุมคณะกรรมการดำเนินการสมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิค ในเดือนพฤษภาคม 1983



รูปที่ 2.3 การประชุม คณะอนุกรรมการโครงการจัดทำโครงร่างยูโรโค้ด 7 ที่ IEI กรุงดัมบลิน

ประเทศไอร์แลนด์ ในเดือนมกราคม ปี 1983 (จาก Trevor, 2007)

แถวหน้า : เทรเวอร์ (Trevor, Ireland) ดีมีทริส (Demetrious, Greece)

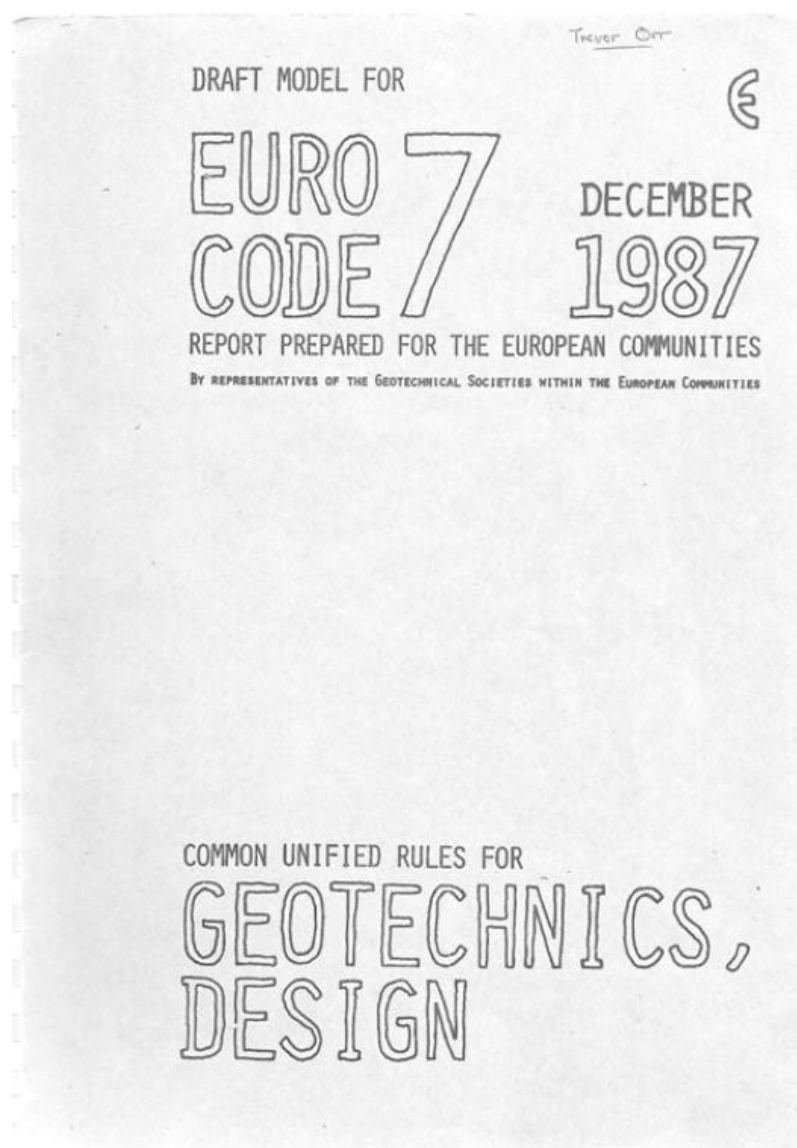
นีล เครบส์ (Niels Krebs, Denmark) วิม (Wim, Netherlands)

แถวกลาง : วิลลี (Willie, Germany) เทอร์รี่ (Terry, Germany) อี ฟาร์เรลล์ (E. Farrell, Ireland)

แถวหลัง : เบิร์น (Brian, UK) เอลมานูเอล (Emanuel, Belgium) ฟรานควัวส์ (Francois, France)

รูเจียโร (Rugiero, Italy) เฮนค์ (Henk, Netherlands)

หลังจากการประชุมคณะอนุกรรมการโครงการจัดทำโครงการร่างยูโรโค้ด 7 ทั้งหมด 22 ครั้งใน 6 (ระหว่างปีค.ศ. 1981 ถึง 1987) คณะอนุกรรมการก็จัดทำโครงการร่างยูโรโค้ด 7 เสร็จสิ้น และนำข้อเสนอแนะโครงการร่างยูโรโค้ด 7 ส่งถึงคณะกรรมการวิชาการประชาคมแห่งสหภาพยุโรป ในเดือน ธันวาคม ค.ศ. 1987 (โครงการร่างยูโรโค้ด 7 ฉบับนี้ ถูกส่งโดย ศาสตราจารย์ นีล เครบส์ แต่เอกสารดังกล่าวไม่สามารถระบุได้ว่าเอกสารได้ผ่านการยอมรับจากสมาชิกในสมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิคตามข้อกำหนดของรายงานเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 1983 ของการประชุมใน คณะกรรมการดำเนินการสมาคมหัวข้อที่ 2 และ 3) ตัวอย่างเอกสารแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เอกสารโครงการร่างยูโรโค้ด 7 ที่ส่งคณะกรรมการวิชาการประชาคมแห่งสหภาพยุโรป ในเดือน ธันวาคม ปี 1987 (จาก Trevor, 2007)

หลังจากคณะกรรมการวิชาการประชาคมแห่งสหภาพยุโรป ได้รับโครงร่างยูโรโค้ด 7 ที่ส่งโดยศาสตราจารย์ นีล เครบส์ คณะกรรมการวิชาการประชาคมแห่งสหภาพยุโรปได้ตั้งคณะกรรมการย่อย 7 เพื่อจัดทำมาตรฐานยูโรโค้ด 7 (EN 1997) โดยใช้เอกสารของโครงร่างยูโรโค้ด 7 ที่ได้รับมา

คณะกรรมการวิชาการประชาคมแห่งสหภาพยุโรป แต่งตั้ง ศาสตราจารย์ นีล เครบส์ เป็นประธานกรรมการ, เทรเวอร์ ออลส์ (Trevor Orr) รับเลือกเป็นสมาชิกและทำหน้าที่เป็นเลขานุการ ของคณะกรรมการย่อย 7

ภายใต้คณะกรรมการย่อย 7 ศาสตราจารย์ นีล เครบส์ และสมาชิกในคณะกรรมการย่อย 7 จะต้องทำหน้าที่ภายใต้คณะกรรมการวิชาการประชาคมแห่งสหภาพยุโรป (ก่อนหน้าทำหน้าที่เป็นผู้เชี่ยวชาญอิสระตัวแทนจากสมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิค) หลังจากได้เข้ามาทำหน้าที่ในคณะกรรมการย่อย 7 ได้ออกเอกสารยูโรโค้ดฉบับแรกแสดงดังรูปที่ 2.5 แต่ไม่นานก็เกิดปัญหาในคณะกรรมการของสหภาพยุโรปเรื่องการจัดการภายในและคณะกรรมการวิชาการประชาคมแห่งสหภาพยุโรปก็ไม่ใช่องค์กรที่มีหน้าที่จัดทำมาตรฐานของยุโรปจึงขาดความชำนาญในการจัดทำมาตรฐาน ดังนั้นในปีค.ศ. 1989 คณะกรรมการของสหภาพยุโรปตัดสินใจที่จะโอนงานจัดทำมาตรฐานยูโรโค้ดทั้งหมดให้กับ คณะกรรมการจัดทำมาตรฐานยุโรป

ในวันที่ 1 มกราคม 1990 คณะกรรมการจัดทำมาตรฐานยุโรปได้ทำหน้าที่ในการจัดทำมาตรฐานยูโรโค้ด แทนคณะกรรมการวิชาการประชาคมแห่งสหภาพยุโรป คณะกรรมการจัดทำมาตรฐานยุโรปได้จัดตั้งคณะกรรมการเทคนิค (Technical committees) ชื่อว่า TC 250 (CEN/TC 250) ทำหน้าที่จัดทำโครงสร้างของมาตรฐานยูโรโค้ดและคณะกรรมการที่จัดทำยูโรโค้ด 7 ก็เป็นคณะกรรมการย่อยที่มีชื่อว่า SC 7 (CEN/TC 250/SC 7)

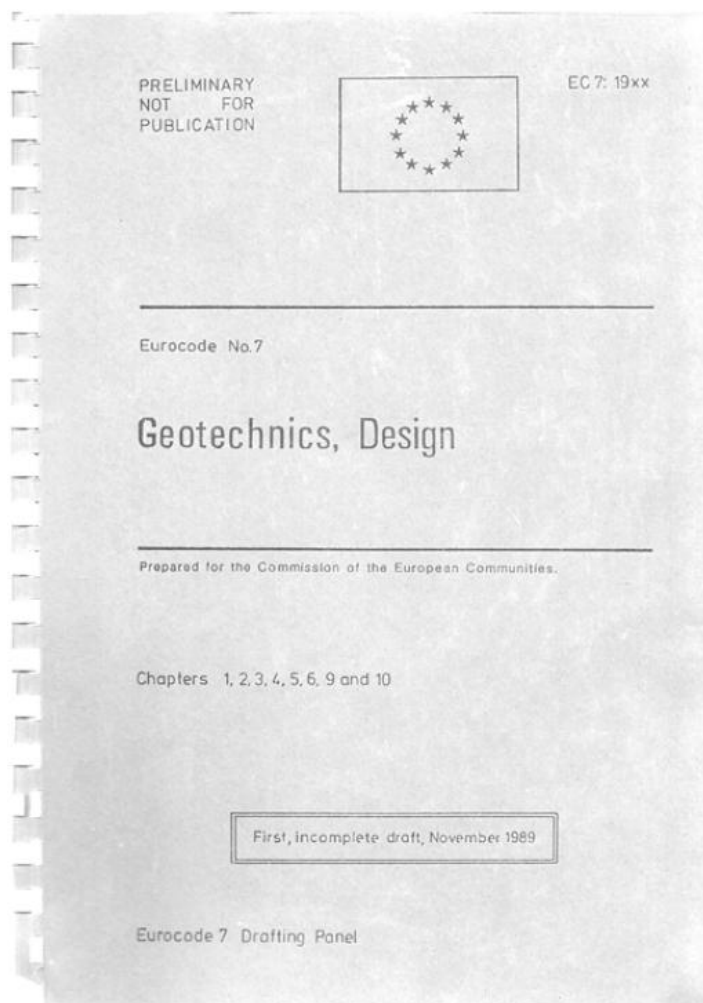
CEN/TC 250/SC 7 มีประธานคณะกรรมการคนแรกคือศาสตราจารย์ นีล เครบส์ ดำรงตำแหน่งระหว่างปีค.ศ. 1990 ถึง 1998 ประธานคณะกรรมการคนที่สองคือ โรเจอร์ แฟรงค์ (Roger Frank) ดำรงตำแหน่งระหว่างปีค.ศ. 1998 ถึง 2004 และประธานคณะกรรมการคนปัจจุบันคือ แบลน สแชมเพเนอร์ (Bernd Schuppener) เข้าเริ่มดำรงตำแหน่งตั้งแต่ปีค.ศ. 2004

ในช่วงแรกมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ได้มีการจัดทำเนื้อหาแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 เนื้อหาเกี่ยวกับข้อกำหนดทั่วไปของการออกแบบธรณีเทคนิค

ส่วนที่ 2 เนื้อหาเกี่ยวกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ส่วนที่ 3 เนื้อหาเกี่ยวกับการทดสอบในสนาม



รูปที่ 2.5 เอกสารแรกของมาตรฐานยูโรโค้ด 7 (ฉบับไม่สมบูรณ์) ที่ยังอยู่ภายใต้คณะกรรมการของสหภาพยุโรป (จาก Trevor, 2007)

แต่หลังการประชุมคณะกรรมการหลายครั้งก็ข้อสรุปและได้ออกมาตรฐานยูโรโค้ด 7 การออกแบบธรณีเทคนิค (EN 1997 : Eurocode 7 - Geotechnical design) จำนวน 2 ฉบับ คือ

1) การออกแบบธรณีเทคนิค ส่วนที่ 1 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบ (EN 1997-1 Geotechnical design - Part 1: General rules) ตีพิมพ์ในเดือน พฤศจิกายน ค.ศ. 2004 โดยมีเนื้อหาจากส่วนที่ 1 ที่เกี่ยวข้องข้อกำหนดทั่วไปของการออกแบบธรณีเทคนิค

2) การออกแบบธรณีเทคนิค ส่วนที่ 2 การตรวจสอบและการทดสอบดิน (EN 1997-2 Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing) ตีพิมพ์ในเดือน มีนาคม ค.ศ. 2007 โดยรวมเนื้อหาส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3 ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการทดสอบในสนาม

จากประวัติการพัฒนาที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การพัฒนามาตรฐานยูโรโค้ด 7 สำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคได้เริ่มต้นโครงการเมื่อปีค.ศ. 1980 โดยมีศาสตราจารย์ นีล เครบส์ เป็นประธานโครงการ จัดทำภายใต้สมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิค ได้รับการสนับสนุนโครงการจากคณะกรรมการของสหภาพยุโรป (Commission of the European Communities) การจัดทำยูโรโค้ด 7 ในช่วง 10 ปีแรก (ปีค.ศ. 1980 ถึง 1989) เกิดความล่าช้าเนื่องจากการพัฒนามาตรฐานยูโรโค้ด 7 ติดกับหลักการออกแบบและกฎหมายระหว่างประเทศในสมาชิกของสหภาพยุโรป การเข้ามามีบทบาทของสมาชิกในสมาคมปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิคเองและประกอบกับความไม่ชำนาญงานของคณะกรรมการของสหภาพยุโรปในการจัดทำมาตรฐาน แต่หลังจากปีค.ศ. 1990 ได้มีการโอนงานการจัดทำยูโรโค้ดทั้งหมดรวมถึงยูโรโค้ด 7 ให้กับหน่วยงานที่ชื่อว่า คณะกรรมาธิการจัดทำมาตรฐานยุโรป (European Committee for Standardization, CEN) หลังจากการโอนงานไม่ได้นาน คณะกรรมาธิการจัดทำมาตรฐานยุโรปก็ได้เริ่มตีพิมพ์ยูโรโค้ดเพื่อเผยแพร่ให้กับประเทศสมาชิก ตัวอย่างเอกสารยูโรโค้ด 7 ที่ออกโดยคณะกรรมาธิการจัดทำมาตรฐานยุโรปแสดงดังรูปที่ 2.6 ตีพิมพ์มาตรฐานยูโรโค้ด 7 ส่วนที่ 1 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบ ในปี ค.ศ. 2004 และส่วนที่ 2 การตรวจสอบและการทดสอบดิน ในปี ค.ศ. 2007

FORM H

cen
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Notification of National Translation of an European Prestandard to be returned to CEN/CS (INFOSYS)
Communication de la Traduction Nationale d'une Prénorme Européenne à retourner au CEN/CS (INFOSYS)
Mittellung der Nationalen Übersetzung einer Europäischen Vornorm zurück zu senden an CEN/CS (INFOSYS)

ADOPTED EUROPEAN PRESTANDARD PRÉNORME EUROPÉENNE ADOPTÉE ANGENOMMENE EUROPÄISCHE VORNORM	ENV 1997-1:1994
Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules -	
Date of ratification* (dori): 1993-05-25	
Title of National Standard in the language of publication Titre de la Norme Nationale dans la langue de publication Titel der Nationalen Norm in der Sprache der Veröffentlichung	
National reference Référence nationale Nationale Bezeichnung-Nr.	Edition Edition Fassung
Issue of the member's official journal announcing the implementation Edition du bulletin officiel du membre annonçant la mise en application Ausgabe des Offiziellen Mitteilungsblatts des Mitglieds in der die Übernahme veröffentlicht wird	

In Übereinstimmung mit den dargelegten Forderungen von Abschnitt 7, Absatz 7.6 der CEN/CENELEC Geschäftsordnung, erklärt das nachstehend genannte nationale Normungsgremium, daß die o.g. Norm auf eigene Verantwortung in die Sprache übersetzt wurde und mit den offiziellen Sprachfassungen identisch ist. Eine Kopie der o.g. Norm ist beigelegt. Für die Übersetzung wurde die Deutsche - englische - französische Fassung zu Grunde gelegt.

In accordance with the requirements set out in clause 7, subclause 7.6 of the CEN/CENELEC Internal Regulations, the hereafter mentioned national standards body declares that the above mentioned standard, of which 1 copy is enclosed, translated in language(s) under its own responsibility, is identical to the official language version(s). For the purpose of making the translation the 'English - French - German version(s)' was/were used as the reference language(s).

Conformément aux exigences stipulées dans l'article 7, paragraphe 7.6 du Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, l'organisation nationale de normalisation mentionnée ci-dessus déclare que la norme ci-dessus référencée, et dont 1 copie est jointe, a été traduite en langue sous sa responsabilité et est identique aux versions officielles. Pour effectuer cette traduction la (les) version(s) française - anglaise - allemande a (ont) été utilisée(s) en tant que langue(s) de référence.

* Nichtzutreffendes bitte streichen / Delete the inappropriate / Biffer ce qui ne convient pas

Rue de Stassart, 36 • B-1050 Bruxelles
Tel. : 32 2 519 46 11 • Fax : 32 2 519 46 19

รูปที่ 2.6 เอกสารยูโรโค้ด 7 อยู่ภายใต้คณะกรรมการบริหารจัดการทำมาตรฐานยุโรป (จาก Trevor, 2007)

2.4 โครงสร้างของยูโรโค้ด 7

2.4.1 การออกแบบเทคนิค ส่วนที่ 1 ซึ่งกำหนดทั่วไปในการออกแบบรายละเอียดประกอบด้วย 12 บทและ 9 ภาคผนวก (A – J) ภาคผนวกจะมีเนื้อเกี่ยวข้องกับข้อมูล ที่ช่วยในการออกแบบ โดยมีรายละเอียดในแต่ละบทดังนี้

บทที่ 1 – รายละเอียดโดยทั่วไป (General)

บทที่ 2 – หลักการพื้นฐานในการออกแบบเทคนิค (Basis of geotechnical design)

บทที่ 3 – ข้อมูลเทคนิค (Geotechnical data)

บทที่ 4 – การควบคุม ตรวจสอบและปรับปรุง การก่อสร้าง (Supervision of construction, monitoring and maintenance)

บทที่ 5 – งานถมดิน (Fill) การสูบน้ำ (dewatering) ปรับปรุงคุณภาพดิน (ground improvement) และการเสริมแรง (reinforcement)

บทที่ 6 – ฐานรากแผ่ (Spread foundations)

บทที่ 7 – ฐานรากเสาเข็ม (Pile foundations)

บทที่ 8 – สมอยึด (Anchorage)

บทที่ 9 – โครงสร้างกันดิน (Retaining structures)

บทที่ 10 – การพังทลายทางชลศาสตร์ (Hydraulic failure)

บทที่ 11 – เสถียรภาพรวม (Overall stability)

บทที่ 12 – คันดิน (Embankments)

2.4.2 การออกแบบธรณีเทคนิค ส่วนที่ 2 การตรวจสอบและการทดสอบดิน รายละเอียดประกอบด้วย 5 บทและ 24 ภาคผนวก (A – X) ภาคผนวกเกี่ยวกับการทดสอบดินและหิน โดยมีรายละเอียดในแต่ละบทดังนี้

บทที่ 1 – รายละเอียดโดยทั่วไป (General)

บทที่ 2 – การวางแผนการสำรวจ (Planning of ground investigations)

บทที่ 3 – การเก็บตัวอย่างดินและหิน การวัดระดับน้ำใต้ดิน (Soil and rock sampling and groundwater measurements)

บทที่ 4 – การทดสอบดินและหิน ในสนาม (Field tests in soil and rock)

บทที่ 5 – การทดสอบดินและหินในห้องปฏิบัติการ (Laboratory tests on soil and rock)

บทที่ 6 – รายงานการสำรวจและทดสอบ (Ground investigation report)

2.5 หลักการทั่วไปสำหรับออกแบบตามข้อกำหนดยูโรโค๊ด 7

หลักการออกแบบประกอบไปด้วยส่วนสำคัญต่อไปนี้

2.5.1 สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ

(1) ในแต่ละสถานะของการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคควรตรวจสอบการออกแบบเมื่อการออกแบบนั้นไม่มีสถานะขีดจำกัด (limit state) มาเกี่ยวข้องกับกรออกแบบโดยอ้างอิงรายละเอียดของสถานะขีดจำกัดตามยูโรโค๊ด 1990 (EN 1990:2002)

(2) การอธิบายสถานะการออกแบบและสถานะขีดจำกัดที่ใช้ในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงผลกระทบดังต่อไปนี้

- สมดุลและการเคลื่อนตัวของดิน ในสถานที่ก่อสร้างและพื้นที่ใกล้เคียง
- เงื่อนไขการก่อสร้างทั้งระยะสั้นและระยะยาว
- วิธีการป้องกันการกัดเซาะของดิน
- ขนาด ข้อกำหนดพิเศษและอายุการใช้งานของโครงสร้าง
- กฎหมายที่เกี่ยวข้องในพื้นที่การก่อสร้าง
- ผลกระทบภายนอกที่มีต่อโครงสร้าง เช่น โครงสร้างใกล้เคียงเส้นทางจราจร โครงสร้างใกล้เคียงแหล่งสารเคมี เป็นต้น
- รายละเอียดของชั้นดินหรือหิน สภาพเงื่อนไขและโครงสร้างชั้นดินหรือชั้นหิน
- ระดับน้ำใต้ดิน
- ระดับความเสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินไหว
- ตำแหน่งของการวางโครงสร้างเหนือดินและโครงสร้างใต้ดิน
- ผลกระทบของดินที่มีต่อโครงสร้าง และผลกระทบของโครงสร้างที่มีต่อดิน
- ผลกระทบของสิ่งแวดล้อมเช่น ระดับน้ำผิวดิน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นของดินตามฤดูกาล

(3) สถานะขีดจำกัดสามารถเกิดขึ้นทั้งในโครงสร้างหรือ พื้นดินหรือ โครงสร้างและพื้นดิน

(4) สถานะขีดจำกัดควรได้รับการตรวจสอบอย่างน้อยหนึ่งหัวข้อจากหัวข้อต่อไปนี้

- ใช้การคำนวณในการตรวจสอบ
- ใช้ข้อกำหนดในการตรวจสอบเช่นการควบคุมวัสดุ การควบคุมวิธีการทำงาน เป็นต้น
- แบบจำลองการทดลองและการทดสอบกำลัง
- การสังเกตการณ์โครงสร้าง พื้นที่ก่อสร้างและพื้นที่ข้างเคียง

(5) ในทางปฏิบัติ ผู้ออกแบบที่มีประสบการณ์มาก การออกแบบจะใช้ประสบการณ์ในการออกแบบแต่ก็ควรตรวจสอบการออกแบบตามหลักการของสถานะขีดจำกัด

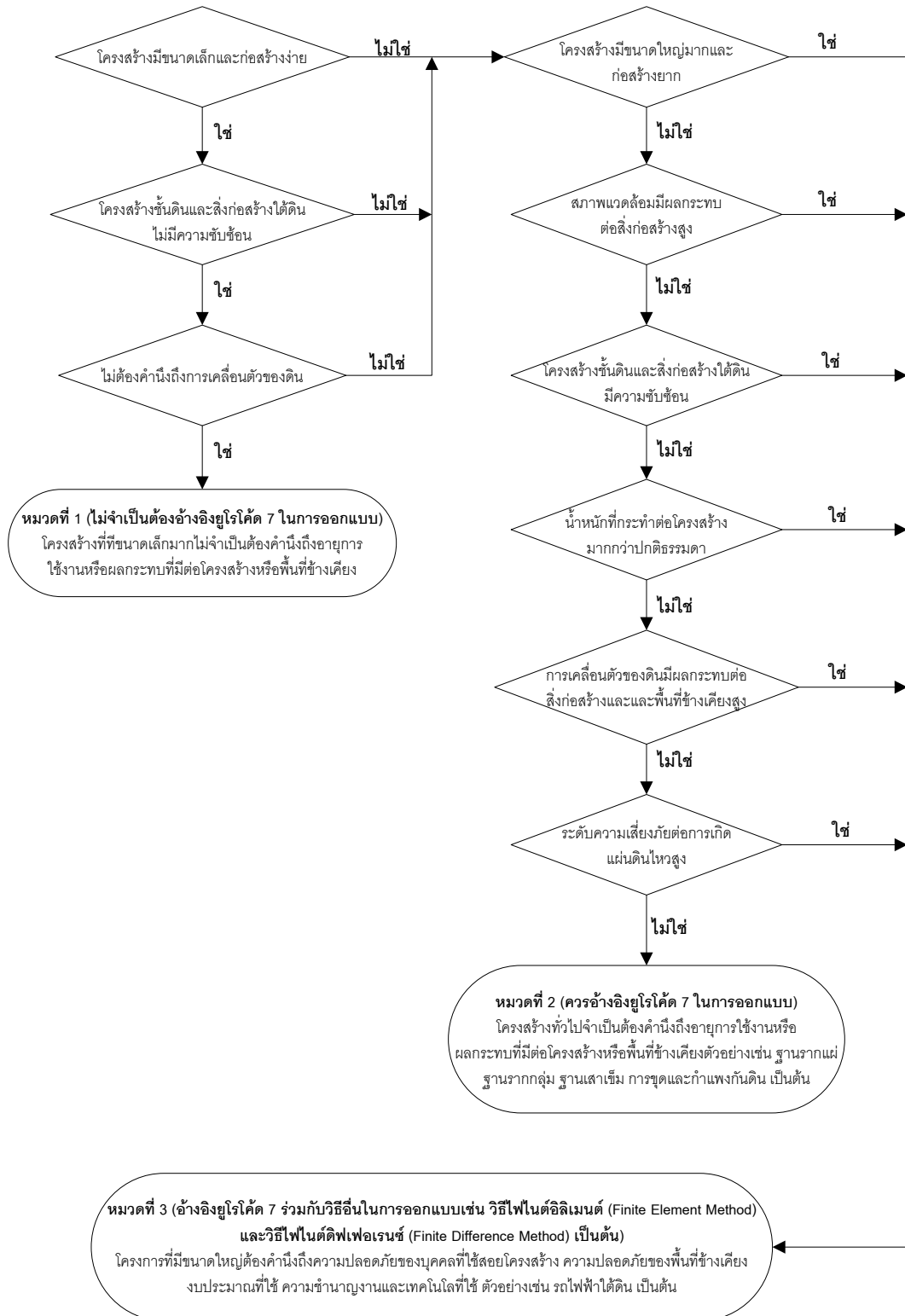
(6) โครงสร้างควรคำนึงถึงระบบป้องกัน ระดับน้ำใต้ดิน

(7) การออกแบบควรตรวจสอบกับตัวอย่างการออกแบบที่ได้ทำการก่อสร้างไปแล้ว (ถ้าสามารถทำได้)

(8) ในการออกแบบควรบอกถึงสมมุติฐานและความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น เช่น ข้อกำหนดของอายุโครงสร้าง ระดับความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว เป็นต้น

(9) ถ้าโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างหรือโครงสร้างของพื้นดิน มีความเสี่ยงที่อาจจะเกิดความเสียหายสูงในระหว่างการก่อสร้างหรือการใช้งาน ควรระบุข้อกำหนดในการออกแบบ

(10) หมวดหมู่หรือประเภทในการออกแบบกรณีเทคนิค ดังแสดงแผนผังการจัดหมวดหมู่ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนผังหมวดการออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีเทคนิค

2.5.2 การกระทำหรือแรงกระทำที่ใช้ในการออกแบบ

(1) การกระทำหรือแรงกระทำที่กระทำต่อโครงสร้างเสนอไว้โดยมาตรฐาน EN 1991-1 ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแรงกระทำต่อโครงสร้างตามมาตรฐาน EN 1991-1

	ลักษณะพื้นที่การใช้งาน	รายละเอียด	kN/m ²	kg/m ²
A	บ้าน ที่พักอาศัยเช่น พื้นที่ในที่พักอาศัย ห้องนอน และห้องผู้ป่วยในโรงพยาบาล ห้องพักในโรงแรม และในหอพัก ห้องครัว และห้องน้ำ	ส่วนพื้นที่ใช้สอย	1.5 – 2.0	150 – 200
		บันได	2.0 – 4.0	200 – 400
		พื้นที่ส่วนเชื่อมต่อ	2.5 – 4.0	250 – 400
B	พื้นที่สำนักงาน		2.0 – 3.0	200 – 300
C	พื้นที่ส่วนบุคคลสำหรับทำกิจกรรมที่มีบุคคลจำนวนมาก	พื้นที่ที่มีโต๊ะนั่งเป็นตำแหน่ง เช่น ห้องเรียน ร้านอาหาร ห้องอ่านหนังสือ คาเฟ่ เป็นต้น	2.0 – 3.0	200 -300
		พื้นที่ที่มีตำแหน่งที่นั่งถาวร เช่น พื้นที่ในโบสถ์ โรงละคร โรงหนัง ห้องประชุม ห้องบรรยาย ห้องรอรถไฟ ห้องพักรับรอง เป็นต้น	3.0 – 4.0	300 – 400
		พื้นที่โล่ง เช่น ห้องโถง พื้นที่ในพิพิธภัณฑ์ ห้องแสดงนิทรรศการ พื้นที่ต้อนรับและทางเดินของโรงแรม หรือโรงพยาบาล เป็นต้น	3.0 – 5.0	300 – 500
		พื้นที่ที่มีกิจกรรมการออกกำลังกาย เช่น ห้องออกกำลังกาย พื้นที่ส่วนเดินรำ เป็นต้น	4.5 – 5.0	450 – 500
		พื้นที่ทำกิจกรรมขนาดใหญ่ เช่น พื้นที่จัดแสดงคอนเสิร์ต สนามกีฬา พื้นที่จัดแสดงสินค้า เป็นต้น	5.0 – 7.5	500 – 750

ตารางที่ 2.1 ตารางแรงกระทำต่อโครงสร้างตามมาตรฐาน EN 1991-1 (ต่อ)

	ลักษณะพื้นที่การใช้งาน	รายละเอียด	kN/m ²	kg/m ²
D	ห้างสรรพสินค้า	พื้นที่ร้านค้าปลีก	4.0 – 5.0	400 – 500
		พื้นที่ห้างสรรพสินค้า	4.0 – 5.0	400 – 500
E1	พื้นที่เก็บสินค้า	พื้นที่เก็บสินค้า เก็บเอกสารและหนังสือ	7.5	750

(2) ค่าการกระทำหรือแรงกระทำที่ใช้ในการออกแบบวิศวกรรมธรณีเทคนิค ส่วนใหญ่เป็นค่าที่ได้จากโครงสร้างที่อยู่บนดินกระทำต่อโครงสร้างที่อยู่ใต้ดิน (ค่าที่ได้อาจจะมาจากวิศวกรที่ออกแบบโครงสร้างบนดิน) หมายเหตุ ค่าที่ได้ อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวกับโครงสร้างบนดิน

(3) ในการออกแบบวิศวกรรมธรณีเทคนิค ควรพิจารณาแรงกระทำต่อไปนี้ ด้วย

- น้ำหนักของดิน หิน และน้ำ
- ความเค้นในดิน
- แรงดันดิน และแรงดันน้ำใต้ดิน
- แรงดันในชั้นน้ำอิสระรวมถึงแรงดันจากคลื่น
- แรงเนื่องจากการไหลผ่านของน้ำ
- แรงกระทำถาวร และแรงกระทำจากโครงสร้าง
- การลดแรงกระทำหรือการขุดดิน
- แรงจากน้ำหนักจรวด
- แรงกระทำที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของดิน
- ผลจากการบวมตัวและหดตัวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือ

ความชื้น

- การเปลี่ยนแปลงและความเร่งที่เกิดจากการเกิดแผ่นดินไหว ระเบิด และการ
สั่นสะเทือนของแรงกระทำ

- แรงกระทำจากน้ำแข็ง รวมถึงน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ
น้ำแข็ง

- แรงที่ได้รับจากโครงสร้างสมอยึด (anchors) หรือ ค้ำยัน (struts)

2.5.3 ค่าที่ใช้ในการออกแบบตามมาตรฐานยุโรปได้ 7 การออกแบบกรณีเทคนิค

2.5.3.1 สัญลักษณ์ที่ใช้การออกแบบ

(1) ค่าของการกระทำหรือแรงกระทำ (Action)

F_d — ค่าออกแบบแรงกระทำ (Design value of an action)

F_k — ค่าลักษณะแรงกระทำ (Characteristic value of an action)

F_{rep} — ค่าตัวแทนของแรงกระทำ (Representative value of an action)

γ_F — แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (Partial factor for an action)

ψ_0 — แฟกเตอร์สำหรับผลรวมของแรงกระทำแบบแปรเปลี่ยน (Factor for combination value of a variable action)

ψ_1 — แฟกเตอร์สำหรับค่าความถี่ของแรงกระทำแบบแปรเปลี่ยน (Factor for frequent value of a variable action)

ψ_2 — แฟกเตอร์สำหรับค่าเสถียรถาวรของแรงกระทำแบบแปรเปลี่ยน (Factor for quasi-permanent value of a variable action)

(2) พารามิเตอร์ (Parameter) และคุณสมบัติของวัสดุ (Material property)

X_d — ค่าออกแบบของสมบัติวัสดุ (Design value of a material property)

X_k — ค่าลักษณะของสมบัติวัสดุ (Characteristic value of a material property)

- $X_{k;inf}$ — ค่าขอบล่างของค่าลักษณะของวัสดุ
- $X_{k;M}$ — ค่าเฉลี่ยของค่าลักษณะของวัสดุ
- $X_{k;sup}$ — ค่าขอบบนของค่าลักษณะของวัสดุ
- γ_M — แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับค่าพารามิเตอร์ของดิน หรือสมบัติวัสดุ (Partial factor for a soil parameter or material property)
- μ_X — ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) ของค่าพารามิเตอร์ของดิน หรือสมบัติวัสดุ
- σ_X — ค่าความแปรปรวน (Variance) ของค่าพารามิเตอร์ของดิน หรือสมบัติวัสดุ
- K_N — ค่าสัมประสิทธิ์ทางสถิติ (Statistical coefficient) N ตัวอย่างในช่วงความเชื่อมั่น 95% ของค่าพารามิเตอร์ของดิน หรือสมบัติวัสดุ

(3) ข้อมูลด้านเรขาคณิต (Geometrical data)

- a_d — ค่าออกแบบของข้อมูลเรขาคณิต (Design value of geometrical data)
- a_{nom} — ค่าปกติของข้อมูลเรขาคณิต (Nominal value of geometrical data)
- Δa — ค่าการเปลี่ยนแปลงจากค่าปกติของข้อมูลเรขาคณิตสำหรับวัตถุประสงค์การออกแบบเฉพาะ (change made to nominal geometrical data for particular design purposes)

2.5.3.2 ค่าการกระทำหรือแรงกระทำที่ใช้ในการออกแบบ

ในการออกแบบโครงสร้างหรือระบบทางวิศวกรรม โครงสร้างหรือระบบที่ได้รับออกแบบจะต้องมีหน้าที่รับการกระทำหรือแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างหรือระบบ ดังนั้นวิศวกรผู้ออกแบบจะต้องหาค่าของการกระทำหรือแรงกระทำที่มีต่อโครงสร้างหรือระบบให้ได้ หลังจากนั้นจะต้องปรับแก้ค่าที่ได้เพื่อให้ได้ค่าการกระทำหรือแรงกระทำที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบได้ในหัวข้อนี้จะเรียกว่า ค่าออกแบบแรงกระทำ (Design value of an action, F_d) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.1

$$F_d = \gamma_F F_{rep} \quad (2.1a)$$

โดย

$$F_{rep} = \psi F_k \quad (2.1b)$$

เมื่อ

F_k – ค่าลักษณะของแรงกระทำ

F_{rep} – ค่าตัวแทนแรงกระทำ

γ_F – แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ

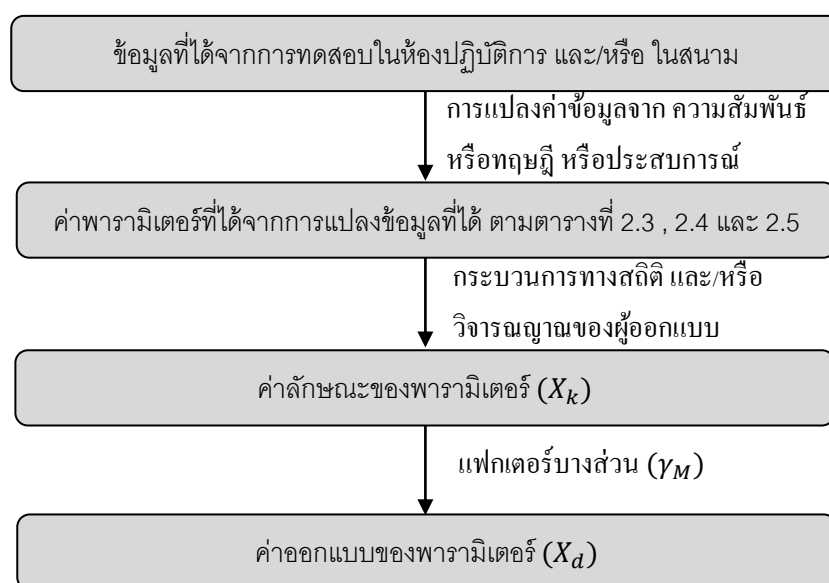
ψ – มีค่าเท่ากับ 1 หรือเท่ากับ ψ_0 , ψ_1 หรือ ψ_2 ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่า ψ ตัวคูณแรงกระทำตามมาตรฐาน EN 1991-1

แรงกระทำหรือการกระทำต่อโครงสร้าง	ψ_0	ψ_1	ψ_2
หมวด A : พื้นที่ที่อยู่อาศัย	0.7	0.5	0.3
หมวด B : พื้นที่ทำงาน	0.7	0.5	0.3
หมวด C : พื้นที่การประชุม	0.7	0.7	0.6
หมวด D : พื้นที่ห้างสรรพสินค้า	0.7	0.7	0.6
หมวด E : พื้นที่เก็บสินค้า และคลังเก็บสินค้า	1.0	0.9	0.8
หมวด F : พื้นที่การจราจร น้ำหนักการจราจร ≤ 30 kN (~3 ตัน)	0.7	0.7	0.6
หมวด G : พื้นที่การจราจร 30 kN (~3 ตัน) < น้ำหนักการจราจร ≤ 160 kN (~16 ตัน)	0.7	0.5	0.3
หมวด H : หลังคา	0	0	0
แรงลม	0.6	0.2	0
แรงกระทำที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	0.6	0.5	0

2.5.3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบสามารถหาได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ หรือในสนามผ่านโดยกระบวนการแปลงค่าข้อมูลตามทฤษฎีหรืองานวิจัยที่ได้จากประการณ์แล้วก็จะได้ค่าพารามิเตอร์เบื้องต้น นำค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นผ่านกระบวนการทางสถิติ และ/หรือใช้วิจารณ์ญาณของผู้ออกแบบในการเลือกค่าจากพารามิเตอร์เบื้องต้นมาเป็นค่าลักษณะของพารามิเตอร์ (X_k) และค่าออกแบบของพารามิเตอร์ได้จากค่าลักษณะของพารามิเตอร์และการเลือกแฟกเตอร์บางส่วนที่เหมาะสม แสดงรายละเอียดตามรูป 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงกระบวนการได้มาของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

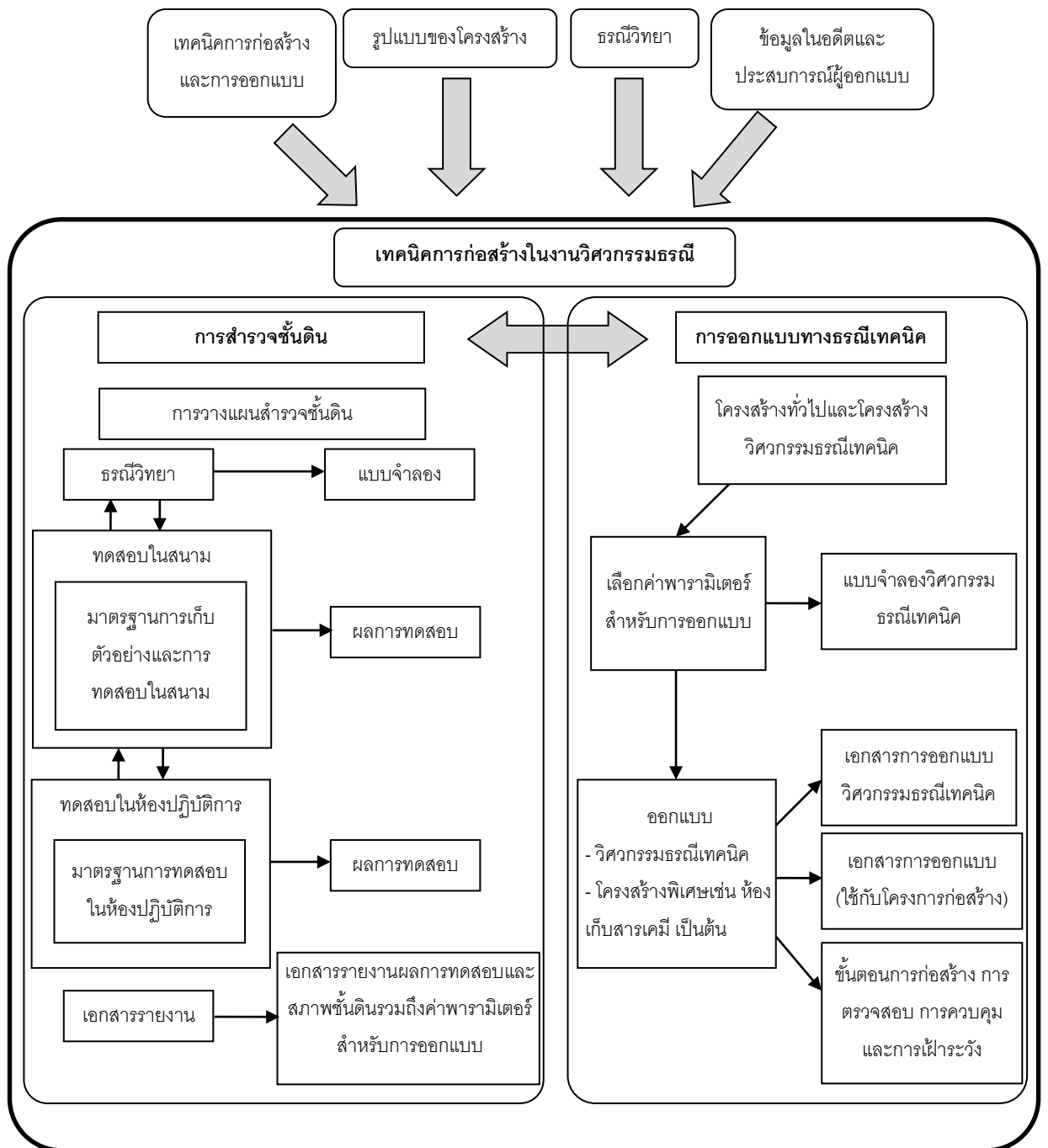
(1) พารามิเตอร์ของดินหรือหินที่ได้จากการทดสอบ

ก่อนการเก็บตัวอย่าง ทดสอบตัวอย่างในห้องปฏิบัติการหรือในสนามและการออกแบบ จะต้องมีการวางแผนโดยคำนึงถึงความเกี่ยวข้องกัน ดังแสดงได้ตามรูปที่ 2.9

การทดสอบในสนามเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของดินหรือหิน แสดงรายละเอียดตามตารางที่ 2.3

การทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของดิน แสดงรายละเอียดตามตารางที่ 2.4

การทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของหิน แสดงรายละเอียดตามตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.9 ความเกี่ยวข้องระหว่างกระบวนการวางแผน การทดสอบและการออกแบบ

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบในสนาม

การทดสอบในสนาม (Field test)	ผลการทดสอบ (Test results)
การทดสอบกรวยทะลวง (Cone penetration test, CPT)	- แรงต้านทานกรวย (Cone penetration resistance, q_c) - แรงเสียดทานปลอก (Local unit side friction, f_s) - อัตราส่วนเสียดทาน (Friction ratio, R_f)
การทดสอบกรวยทะลวงแบบฐานกรวยไพโซโซน (Piezocone penetration test, CPTU)	- แรงต้านทานกรวยที่ปรับแก้ (Corrected cone resistance, q_t) - แรงเสียดทานปลอก (Local unit side friction, f_s) - แรงดันน้ำโพรง (Measured pore pressure, u)
การทดสอบกระบอกทะลวงมาตรฐาน (Standard penetration test, SPT)	- จำนวนครั้งในการตอก (Number of blows, N) - ค่าปรับแก้จากพลังงาน (Energy correction, E_r) - ลักษณะของชั้นดิน (Soil description)
การทดสอบมาตรแรงดัน (Ménard pressuremeter test or Pressuremeter test, PMT)	- โมดูลัสของดิน (Pressuremeter modulus, E_M) - การคืบจากแรงดัน (Creep pressure, p_f) - ค่าแรงดันลิมิต (Limit pressure, p_{LM}) - กราฟเส้นโค้งการขยายตัว (Expansion curve)
การทดสอบไดเลโทมิเตอร์แบบยืดหยุ่นสำหรับดินเหนียว (Flexible dilatometer test)	- โมดูลัสของดินที่ได้จากการทดสอบไดเลโทมิเตอร์ (Dilatometer modulus, E_{FDT}) - กราฟเส้นโค้งการเคลื่อนตัว (Deformation curve)
การทดสอบมาตรแรงดันอื่นๆ All other pressuremeter tests	- กราฟเส้นโค้งการขยายตัว (Expansion curve)
การทดสอบใบมีดสนาม (Field vane test, FVT)	- กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength, c_{fv}) - กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินที่ถูกรบกวน (Remoulded undrained shear strength, c_{rv}) - กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับมุมหมุน (Torque-rotational angle curve)
การทดสอบกดน้ำหนักบรรทุกด้วยแผ่นเหล็ก (Plate loading test)	- แรงดันดินที่ผิวสัมผัสประลัย (Ultimate contact pressure, p_u)

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบในสนาม (ต่อ)

การทดสอบในสนาม (Field test)	ผลการทดสอบ (Test results)
การทดสอบแบบแผ่นเรียบไดเลโทมิเตอร์ (Flat plate dilatometer test, DMT)	<ul style="list-style-type: none"> - แรงดันที่ทำให้แผ่นยืดหยุ่นสัมผัสกับดินพอดี (Corrected lift-off pressure, p_0) - แรงดันที่ทำให้แผ่นยืดหยุ่นพองตัวออกที่ระยะ 1.1 มิลลิเมตร (Corrected expansion pressure at 1.1 mm, p_1) - โมดูลัสที่ได้จากไดเลโทมิเตอร์ (Dilatometer modulus, E_{DMT}) - ดัชนีวัสดุ (material index, I_{DMT}) - ดัชนีความเค้นแนวราบ (horizontal stress index, K_{DMT})

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับดิน

ทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับดิน (Laboratory test for soil)	ผลการทดสอบ (Test results)
ความชื้นในมวลดิน (Water content)	- ค่าความชื้นในมวลดิน (w)
ความหนาแน่นรวม (Bulk density)	- ค่าความหนาแน่น (ρ)
ความหนาแน่นของอนุภาคดิน (Particle density)	- ค่าความหนาแน่นของอนุภาคดิน (ρ_s)
การกระจายตัวของอนุภาคดิน (Particle size distribution)	- กราฟเส้นโค้งการกระจายตัวของอนุภาคดิน (Grain size distribution curve)
ขีดจำกัดความชื้นเหลว (Consistency limits)	<ul style="list-style-type: none"> - ขีดจำกัดเหลว (Liquid limit, w_L) - ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic limit, w_p)
ดัชนีความหนาแน่น (Density index)	- ค่าช่องว่างของอนุภาคดินในสภาพแน่นที่สุด (e_{max}) ค่าช่องว่างของอนุภาคดินในสภาพหลวมที่สุด (e_{min}) และ ดัชนีความหนาแน่น (Density index, I_D)

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับดิน (ต่อ)

ทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับดิน (Laboratory test for soil)	ผลการทดสอบ (Test results)
การตรวจสอบสารอินทรีย์ (Organic content)	- สารอินทรีย์ (C_{OM})
การตรวจสอบคาร์บอเนต (Carbonate content)	- ค่าคาร์บอเนต (C_{CaCO_3})
การตรวจสอบซัลเฟต (Sulfate content)	- ค่าซัลเฟต ($(C_{SO_4^{2-}}), (C_{SO_3^{2-}})$)
การตรวจสอบคลอไรด์ (Chlorite content)	- ค่าคลอไรด์ (C_{Cl})
การตรวจสอบค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	- ค่า Ph
การทดสอบการอัดตัวคายนาน้ำหนึ่งมิติด้วยเครื่องออกโดมิเตอร์ (Compressibility oedometer)	- เส้นโค้งการอัดตัว (Compressibility curve) - เส้นโค้งการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation curves) - เส้นโค้งการอัดตัวครั้งที่สองหรือเส้นโค้งการคืบ (Secondary compression curve or creep curve) - ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (Coefficient of consolidation, c_v) - ดัชนีการอัดตัว (Compression index, c_c) - ดัชนีการอัดตัวครั้งที่สอง (Secondary compression index, c_α)
การทดสอบไบริมิดในห้องปฏิบัติการ (Laboratory vane)	- กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (C_u)
การทดสอบกรวย (Fall cone)	- กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (C_u)
การทดสอบแรงอัดแกนเดี่ยว (Unconfined compression test)	- กำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (Unconfined compression, q_u) ($q_u = 2C_u$)
การทดสอบการซึมผ่านได้ (Permeability)	- ค่าสัมประสิทธิ์การให้ซึมผ่านได้ (Value of the coefficient of permeability, k):

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับดิน (ต่อ)

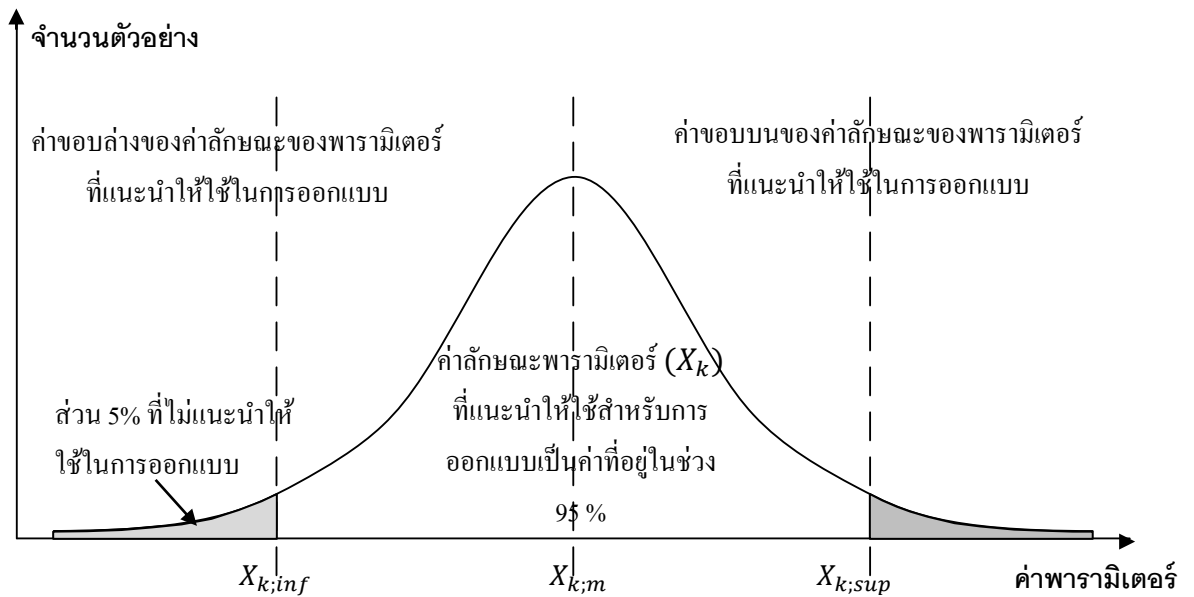
ทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับดิน (Laboratory test for soil)	ผลการทดสอบ (Test results)
การทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอัดตัวคายน้ำ (Consolidated triaxial Compression)	<ul style="list-style-type: none"> - เส้นโค้งระหว่างความเค้นกับความเครียดและเส้นโค้งแรงดันน้ำ (Stress-strain curve and pore pressure curve) - วิถีความเค้น (Stress paths) - วงกลมมอร์ (Mohr circles) - ค่าแรงยึดเหนี่ยวตัดแกนประสิทธิผล (c') - ค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ') - กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (C_u) - แรงดันอัดตัวคายน้ำ (σ'_c) - โมดูลัสยืดหยุ่นแบบระบายน้ำ (E') - โมดูลัสยืดหยุ่นแบบไม่ระบายน้ำ (E_u)
การทดสอบกล่องเฉือนโดยตรงแบบอัดตัวคายน้ำ (consolidated Direct Shear Box, DSB)	<ul style="list-style-type: none"> - เส้นโค้งระหว่างความเค้นกับการเคลื่อนที่ (Stress-displacement curve) - แผนภาพความเค้นเฉือนกับความเค้นตั้งฉาก ($\tau - \sigma$ diagram) - ค่าแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล (c') - ค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ')
อัตราส่วนแบกทานแคลิฟอร์เนีย (California Bearing Ratio, CBR)	- ดัชนี ซีบีอาร์ (Value of the CBR index, I_{CBR})

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับหิน

ทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับหิน (Laboratory test for rock)	ผลการทดสอบ (Test results)
ความชื้นในมวลหิน (Water content)	- ค่าความชื้นในมวลหิน (w)
ความหนาแน่นและความพรุน (Density and porosity)	- ค่าความหนาแน่น (ρ) และความพรุน (n)
การเปลี่ยนแปลงปริมาตรแบบ ขยายตัว (Swelling)	- ดัชนีความเครียดของการขยายตัว (Swelling Strain Index) - แรงดันของการขยายตัว (Swelling pressure) - ค่าการขยายตัวอิสระ (Free swell)
การทดสอบแรงอัดแกนเดียวและการ เคลื่อนที่ (Uniaxial compression and deformability)	- แรงดันอัดตัว (σ_c) - โมดูลัสเปลี่ยนรูป (Value of deformation modulus, E) - อัตราส่วนปัวซอง (Value of Poisson's ratio, ν)
การทดสอบแรงกระทำเป็นจุด (Point-load test)	- ดัชนีกำลัง (Strength index, I_{550})
การทดสอบกล่องเขื่อนโดยตรงแบบ อัดตัวคายน้ำ (consolidated Direct Shear Box, DSB)	- เส้นโค้งระหว่างความเค้นกับการเคลื่อนที่ (Stress- displacement curve) - วงกลมมอร์ (Mohr circles) - ค่าแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล (c') - ค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ')
การทดสอบแบบบราซิล (Brazil test) (การทดสอบแรงดึงทางอ้อม)	- กำลังรับแรงดึง (Tensile strength, σ_T)
การทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอัด ตัวคายน้ำ (Consolidated triaxial Compression)	- เส้นโค้งระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress-strain curve) - วิธีความเค้น (Stress paths) - วงกลมมอร์ (Mohr circles) - ค่าแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล (c') - ค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ') - อัตราส่วนปัวซอง (Value of Poisson's ratio, ν) - โมดูลัสเปลี่ยนรูป (Value of deformation modulus, E)

(2) ค่าลักษณะของพารามิเตอร์ (X_k) ที่ผ่านกระบวนการทางสถิติ

ในยูริโค้ด 7 การออกแบบกรณีเทคนิคส่วนที่ 1 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบแนะนำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบควรผ่านกระบวนการทางสถิติ โดยใช้การแจกแจงแบบปกติหรือการแจกแจงแบบเกาส์เซียน (Gaussian Distribution) ที่ระดับน่าเชื่อมั่น 95% ตามรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการออกแบบ

การหาค่าลักษณะของพารามิเตอร์ (X_k) ที่แนะนำให้ใช้ในการออกแบบจะต้องอยู่ในช่วง $X_{k;inf}$ ถึง $X_{k;sup}$ ค่า $X_{k;inf}$ และ $X_{k;sup}$ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

$$\left. \begin{matrix} X_{k;inf} \\ X_{k;sup} \end{matrix} \right\} = \mu_x \pm K_N \sigma_x \tag{2.2a}$$

เมื่อ

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean)

$$\mu_x = \left[\sum_{i=1}^N X_i \right] / N \tag{2.2b}$$

ความแปรปรวน (Variance)

$$\sigma_x^2 = \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \mu_x)^2 \right] / (N - 1) \quad (2.2c)$$

$$\sigma_x^2 = \left[\sum_{i=1}^N X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2 / N \right] / (N - 1) \quad (2.2d)$$

และค่าสัมประสิทธิ์ทางสถิติ (Statistical coefficient) ช่วงความเชื่อมั่น 95%

$$K_N = t_{N-1}^{95\%} \sqrt{\frac{1}{N}} \quad (2.2e)$$

โดยค่า $t_{N-1}^{95\%}$ ได้จากการแจกแจงแบบที (t distribution) ตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ตารางหาค่า $t_{N-1}^{95\%}$ เมื่อมีข้อมูล N จำนวน

$N-1$	$t_{N-1}^{95\%}$	$N-1$	$t_{N-1}^{95\%}$	$N-1$	$t_{N-1}^{95\%}$	$N-1$	$t_{N-1}^{95\%}$
1	6.314	11	1.796	21	1.721	40	1.683
2	2.920	12	1.782	22	1.717	60	1.671
3	2.353	13	1.771	23	1.714	120	1.658
4	2.132	14	1.761	24	1.711	∞	1.646
5	2.015	15	1.753	25	1.708		
6	1.943	16	1.746	26	1.706		
7	1.895	17	1.740	27	1.703		
8	1.860	18	1.734	28	1.701		
9	1.833	19	1.729	29	1.699		
10	1.812	20	1.725	30	1.697		

(3) ค่าออกแบบของพารามิเตอร์ (X_d) หาได้จากสมการที่ 2.3

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (2.3)$$

เมื่อ

X_k - ค่าลักษณะของสมบัติวัสดุ

γ_M – แฟกเตอร์บางส่วนของพารามิเตอร์ของดิน หรือสมบัติวัสดุ

(4) ข้อมูลทางเรขาคณิต (Geometrical data) ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบตามยูโรโค้ด 7 การออกแบบธรณีเทคนิคส่วนที่ 1 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบ แนะนำให้ใช้ค่าตามสมการที่ 2.4

$$a_d = a_{nom} \pm \Delta a \quad (2.4)$$

เมื่อ

a_d – ค่าออกแบบของข้อมูลเรขาคณิต

a_{nom} – ค่าปกติของข้อมูลเรขาคณิต

Δa – ค่าการเปลี่ยนแปลงจากค่าปกติของข้อมูลเรขาคณิตสำหรับวัตถุประสงค์การออกแบบเฉพาะ

(หมายเหตุ - ค่าของ Δa เช่นกรณีของฐานรากแผ่นที่มีระยะเยื้องศูนย์กลางของแรงกระทำมาก หรือกรณีโครงสร้างกันดินที่ระยะระหว่างผิวดินกับระดับผิวล่างของส่วนที่ขุด หรือระยะระหว่างผิวล่างของส่วนที่ขุดกับส่วนของโครงสร้างค้ำยันที่ใกล้ที่สุด โดยมาตรฐานยูโรโค้ด 7 แนะนำให้ค่า Δa เท่า 10% ของค่า a_{nom} เพื่อใช้ในการออกแบบ)

2.5.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

การตรวจสอบความปลอดภัยของโครงสร้าง ในการออกแบบจะตรวจสอบจากแฟกเตอร์ความปลอดภัยหรือแฟกเตอร์การใช้งาน โดยจะพิจารณาระหว่างการกระทำหรือแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับความสามารถในการรับการกระทำหรือแรงกระทำของโครงสร้างหรือดิน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.) จะบ่งบอกถึงความสามารถในการรับแรงกระทำเป็นจำนวนเท่าของค่าของแรงกระทำที่เกิดขึ้นจริงหรือที่ออกแบบไว้ ตามสมการที่ 2.5

$$F.S. = \frac{\text{ความสามารถในการรับแรงกระทำของโครงสร้าง ระบบหรือชั้นดิน}}{\text{ค่าของแรงกระทำที่ออกแบบ}} \quad (2.5)$$

วิธีที่ 2 แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ) จะนิยามถึงถึงเปอร์เซ็นต์ของแรงกระทำที่เกิดขึ้นจริงหรือที่ออกแบบกับความสามารถในการรับค่าของแรงกระทำในสถานะขีดจำกัดประลัยของโครงสร้างหรือดิน ตามสมการที่ 2.6

$$\Lambda(\%) = \frac{\text{ค่าของแรงกระทำที่ออกแบบ}}{\text{ความสามารถในการรับแรงกระทำของโครงสร้าง ระบบหรือชั้นดิน}} \times 100 \quad (2.6)$$

สถานะที่ใช้ในการออกแบบมีอยู่ 2 สถานะคือ

- 1) การออกแบบสถานะขีดจำกัดประลัย (Ultimate Limit States)
- 2) การออกแบบสถานะขีดจำกัดใช้งาน (Serviceability limit states)

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) การออกแบบสถานะขีดจำกัดประลัย (Ultimate Limit States) คือ สถานะที่โครงสร้างยังรับแรงกระทำออกแบบสูงสุดโดยที่โครงสร้าง หรือระบบยังอยู่ในขีดจำกัดที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายหรืออยู่ในขีดจำกัดที่ยอมรับได้

การออกแบบสถานะขีดจำกัดประลัยในการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคมีอยู่ 5 สภาวะคือ

(1.1) สภาวะสมดุลสถิต การออกแบบสิ่งก่อสร้าง จะออกแบบให้อยู่ในสภาพสมดุล (EQU) การออกแบบจะพิจารณาสภาวะสมดุลสถิตของสิ่งก่อสร้างหรือโครงสร้างของดินจะตรวจสอบตามสมการ 2.9

$$E_{dst;d} \leq E_{stb;d} + T_d \quad (2.7a)$$

ทำให้เกิดเสถียรภาพ;

$$E_{dst;d} = E\{F_d; X_d; a_d\}_{dst} = E\{\gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d\}_{dst} \quad (2.7b)$$

ทำให้เกิดเสถียรภาพ;

$$E_{std;d} = E\{F_d; X_d; a_d\}_{stb} = E\{\gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d\}_{stb} \quad (2.7c)$$

เมื่อ

$E_{dst;d}$ - ค่าออกแบบผลกระทบจากแรงกระทำที่ทำให้ไม่เกิดเสถียรภาพ

$E_{std;d}$ - ค่าออกแบบผลกระทบจากแรงกระทำที่ทำให้เกิดเสถียรภาพ

T_d - ค่าออกแบบแรงเฉือนด้านทานรวม

γ_F - แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ สามารถหาได้จากตารางที่ 2.7

γ_M - แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน หรือสมบัติวัสดุ สามารถหาได้จากตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F) ที่ใช้การออกแบบในสภาวะสมดุลสถิต

แรงกระทำ (Action)		สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า
ถาวร	ทำให้ไม่เกิดเสถียรภาพ	$\gamma_{G;dst}$	1.10
	ทำให้เกิดเสถียรภาพ	$\gamma_{G;stb}$	0.90
แปรเปลี่ยน	ทำให้ไม่เกิดเสถียรภาพ	$\gamma_{Q;dst}$	1.50
	ทำให้เกิดเสถียรภาพ	$\gamma_{Q;stb}$	0

ตารางที่ 2.8 แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M) ที่ใช้การออกแบบในสภาวะสมดุลสถิต

พารามิเตอร์ดิน (Soil parameter)	สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า
มุมแรงเสียดทาน (Angle of shearing resistance*)	$\gamma_{\phi'}$	1.25
แรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล (Effective cohesion)	$\gamma_{c'}$	1.25
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength)	γ_{c_u}	1.40
กำลังรับแรงกดแกนเดียว (Unconfined strength)	γ_{qu}	1.40
ความหนาแน่น (Weight density)	γ_Y	1.00
* $\phi_d = \tan^{-1}(\tan\phi_k/\gamma_{\phi'})$		

(1.2) สภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) จะออกแบบให้อยู่ในขีดจำกัดการรับแรงของโครงสร้างก่อนเกิดความเสียหายของโครงสร้างหรือขึ้นส่วนของโครงสร้าง จะพิจารณากำลังวัสดุของโครงสร้างเกี่ยวข้องกับแรงที่มากระทำ ตรวจสอบตามสมการ 2.8

(1.3) สภาวะขีดจำกัดของดิน (GEO) จะออกแบบให้อยู่ในขีดจำกัดการรับแรงของดินหรือชั้นดินก่อนเกิดความเสียหาย จะพิจารณากำลังของดินหรือหินเกี่ยวข้องกับแรงที่มากระทำ ตรวจสอบตามสมการ 2.8a ถึง 2.8f

$$E_d \leq R_d \quad (2.8a)$$

ค่าออกแบบของผลกระทบจากแรงกระทำ;

$$E_d = E\{F_d; X_d; a_d\} = E\{\gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d\} \quad (2.8b)$$

หรือ

$$E_d = \gamma_E E\{F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d\} \quad (2.8c)$$

และค่าออกแบบของแรงต้านทานต่อแรงกระทำ

$$R_d = R\{F_d; X_d; a_d\} = R\{\gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d\} \quad (2.8d)$$

หรือ

$$R_d = \frac{R\{F_d; X_k; a_d\}}{\gamma_R} = \frac{R\{\gamma_F F_{rep}; X_k; a_d\}}{\gamma_R} \quad (2.8e)$$

หรือ

$$R_d = \frac{R\{F_d; X_d; a_d\}}{\gamma_R} = \frac{R\{\gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d\}}{\gamma_R} \quad (2.8f)$$

เมื่อ

E_d – ค่าออกแบบผลกระทบจากแรงกระทำ

R_d – ค่าออกแบบแรงต้านทานต่อแรงกระทำ

(1.4) รูปแบบในการออกแบบ (Design Approaches) สำหรับสถานะสถานะขีดจำกัดประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้างและในสภาวะขีดจำกัดของดิน ควรพิจารณาทั้ง 3 รูปแบบ

รูปแบบที่ 1 ใช้หาขนาดของโครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคและตรวจสอบค่าความปลอดภัย

- สำหรับการออกแบบทั่วไปแต่ไม่ใช้กับแรงกระทำตามแนวแกนของฐานรากเสาเข็มและสมอยึด

กรณีที่ 1 โดยใช้แฟกเตอร์บางส่วนตามสมการที่ 2.9

$$A1" + " M1 "+" R1 \quad (2.9)$$

กรณีที่ 2 โดยใช้แฟกเตอร์บางส่วนตามสมการที่ 2.10

$$A2" + " M2 "+" R1 \quad (2.10)$$

- สำหรับการออกแบบที่ใช้กับแรงกระทำตามแนวแกนของฐานรากเสาเข็ม และสมอยึด

กรณีที่ 1 โดยใช้แฟกเตอร์บางส่วนตามสมการที่ 2.11

$$A1" + " M1 "+" R1 \quad (2.11)$$

กรณีที่ 2 โดยใช้แฟกเตอร์บางส่วนตามสมการที่ 2.12

$$A2" + "(M1 or M2) "+" R4 \quad (2.12)$$

M1 — ใช้สำหรับแรงกระทำของดินที่ต้านทานแรงกระทำของโครงสร้าง

M2 — ใช้สำหรับแรงกระทำที่ไม่ต้องการเช่น Negative skin friction

รูปแบบที่ 2 สำหรับการออกแบบทั่วไป ใช้หาขนาดของโครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคและตรวจสอบค่าความปลอดภัย โดยใช้แฟกเตอร์บางส่วนตามสมการที่ 2.13

$$A1" + " M1 "+" R2 \quad (2.13)$$

รูปแบบที่ 3 สำหรับการออกแบบทั่วไป ใช้หาขนาดโครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคและตรวจสอบค่าความปลอดภัย โดยใช้แฟกเตอร์บางส่วนตามสมการที่ 2.14

$$A1 or A2" + " M2 "+" R3 \quad (2.14)$$

A1 — ใช้สำหรับแรงกระทำของโครงสร้าง

A2 — ใช้สำหรับแรงกระทำของดิน

สามารถหาค่าแฟกเตอร์บางส่วนในแต่ละรูปแบบตามตารางที่ 2.9 ถึง 2.17

ตารางที่ 2.9 แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F) หรือแฟกเตอร์บางส่วนสำหรับผลกระทบจากแรงกระทำ (γ_E) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัดประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของดิน (GEO)

แรงกระทำ (Action)		สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า	
			A1	A2
ถาวร	ไม่ต้องการ (Unfavourable)	γ_G	1.35	1.00
	ที่ต้องการ (favourable)		1.00	1.00
แปรเปลี่ยน	ไม่ต้องการ (Unfavourable)	γ_Q	1.50	1.30
	ที่ต้องการ (favourable)		0	0

ตารางที่ 2.10 แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัดประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของดิน (GEO)

พารามิเตอร์ดิน (Soil parameter)	สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า	
		M1	M2
มุมแรงเสียดทาน (Angle of shearing resistance*)	$\gamma_{\varphi'}$	1.00	1.25
แรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล (Effective cohesion)	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength)	γ_{c_u}	1.00	1.40
กำลังรับแรงกดแกนเดียว (Unconfined strength)	γ_{q_u}	1.00	1.40
ความหนาแน่น (Weight density)	γ_γ	1.00	1.00
* $\varphi_d = \tan^{-1}(\tan\varphi_k/\gamma_{\varphi'})$			

ตารางที่ 2.11 แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัด
 ประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของดิน (GEO) ใช้ออกแบบ
ฐานรากแผ่

แรงต้านทาน (Resistance)	สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า		
		R1	R2	R3
แรงแบกทาน (Bearing)	$\gamma_{R,v}$	1.00	1.40	1.00
การเลื่อนไถล (Sliding)	$\gamma_{R,h}$	1.00	1.10	1.00

ตารางที่ 2.12 แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัด
 ประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของดิน (GEO) ใช้ออกแบบ
ฐานรากเสาเข็มตอก

แรงต้านทาน (Resistance)	สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า			
		R1	R2	R3	R4
แรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม (Base)	γ_b	1.00	1.10	1.00	1.30
แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม (Shaft)	γ_s	1.00	1.10	1.00	1.30
แรงต้านทานรวมของเสาเข็มรับ (Total)	γ_t	1.00	1.10	1.00	1.30
แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มรับแรงดึง (Shaft in tension)	$\gamma_{s,t}$	1.25	1.15	1.10	1.60

ตารางที่ 2.13 แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัด
 ประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของดิน (GEO) ใช้ออกแบบ
ฐานรากเสาเข็มเจาะ

แรงต้านทาน (Resistance)	สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า			
		R1	R2	R3	R4
แรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม (Base)	γ_b	1.25	1.10	1.00	1.60
แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มรับ (Shaft)	γ_s	1.00	1.10	1.00	1.30
แรงต้านทานรวมของเสาเข็ม (Total)	γ_t	1.15	1.10	1.00	1.50
แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มรับแรงดึง (Shaft in tension)	$\gamma_{s,t}$	1.25	1.15	1.10	1.60

ตารางที่ 2.14 แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัด
 ประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของดิน (GEO) ใช้ออกแบบ
ฐานรากเสาเข็มแบบ Continuous Flight Auger (CFA)

แรงต้านทาน (Resistance)	สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า			
		R1	R2	R3	R4
แรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม (Base)	γ_b	1.10	1.10	1.00	1.45
แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม (Shaft)	γ_s	1.00	1.10	1.00	1.30
แรงต้านทานรวมของเสาเข็ม (Total)	γ_t	1.10	1.10	1.00	1.40
แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มรับแรงดึง (Shaft in tension)	$\gamma_{s,t}$	1.25	1.15	1.10	1.60

ตารางที่ 2.15 แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัดประลัย
 ในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของดิน (GEO) ใช้ออกแบบสมอ
ยึดแบบอัดแรง (Pre-stressed Anchorages)

แรงต้านทาน (Resistance)	สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า			
		R1	R2	R3	R4
อัดแรงชั่วคราว (Temporary)	$\gamma_{a,t}$	1.10	1.10	1.00	1.10
อัดแรงถาวร (Permanent)	$\gamma_{a,p}$	1.10	1.10	1.00	1.10

ตารางที่ 2.16 แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้าน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัดประลัยใน
 สภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของดิน (GEO) ใช้ออกแบบโครงสร้าง
กันดิน (Retaining structures)

แรงต้านทาน (Resistance)	สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า		
		R1	R2	R3
กำลังแบกทาน (Bearing Capacity)	$\gamma_{R,v}$	1.00	1.40	1.00
ความต้านทานการเลื่อนไถล (Sliding resistance)	$\gamma_{R,h}$	1.00	1.10	1.00
ความต้านทานของดิน (Earth resistance)	$\gamma_{R,e}$	1.00	1.40	1.00

ตารางที่ 2.17 แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้าน (γ_R) ที่ใช้ออกแบบในสถานะขีดจำกัดประลัยในสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง (STR) และในสภาวะขีดจำกัดของดิน (GEO) ใช้ออกแบบเสถียรภาพความลาดเอียงและเสถียรภาพรวม (Slopes and overall stability)

แรงต้านทาน (Resistance)	สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า		
		R1	R2	R3
ความต้านทานของดิน (Earth resistance)	$\gamma_{R,e}$	1.00	1.10	1.00

(1.4) การตรวจสอบสภาวะการยกตัวหรือการลอยตัวของโครงสร้างหรือส่วนของพื้นดิน (Uplift, UPL) โดยพิจารณาแรงตามแนวดิ่ง สามารถตรวจสอบได้ตามสมการ 2.15 และใช้ค่าแฟกเตอร์บางส่วนตามตารางที่ 2.18 และ 2.19

$$V_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d \quad (2.15a)$$

โดย

$$V_{dst;d} = G_{dst;d} + Q_{dst;d} \quad (2.15b)$$

เมื่อ

$V_{dst;d}$ - ค่าออกแบบผลรวมของแรงกระทำในแนวดิ่งที่ทำให้โครงสร้างหรือส่วนของพื้นดินยกตัวขึ้นหรือทำให้สูญเสียเสถียรภาพ

$G_{stb;d}$ - ค่าออกแบบผลรวมของแรงกระทำในแนวดิ่งถาวรที่ต้านทานโครงสร้างหรือส่วนของพื้นดินไม่ให้ยกตัวขึ้นหรือทำให้เกิดเสถียรภาพ

$G_{dst;d}$ - ค่าออกแบบผลรวมของแรงกระทำถาวรที่ทำให้โครงสร้างหรือส่วนของพื้นดินยกตัวขึ้นหรือทำให้สูญเสียเสถียรภาพ

$Q_{dst;d}$ - ค่าออกแบบผลรวมของแรงกระทำชั่วคราวที่ทำให้โครงสร้างหรือส่วนของพื้นดินยกตัวขึ้นหรือทำให้สูญเสียเสถียรภาพ

ตารางที่ 2.18 แฟกเตอร์บางส่วนของแรงกระทำ (γ_F) ที่ใช้ออกแบบในสภาวะการยกตัวหรือการลอยตัวของโครงสร้างหรือส่วนของพื้นดิน (Uplift, UPL)

แรงกระทำ (Action)		สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า
ถาวร	ทำให้สูญเสียเสถียรภาพ	$\gamma_{G;dst}$	1.00
	ทำให้เกิดเสถียรภาพ	$\gamma_{G;stb}$	0.90
แปรเปลี่ยน	ทำให้สูญเสียเสถียรภาพ	$\gamma_{Q;dst}$	1.50

ตารางที่ 2.19 แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M) ที่ใช้ออกแบบในสภาวะการยกตัวหรือการลอยตัวของโครงสร้างหรือส่วนของพื้นดิน (Uplift, UPL)

พารามิเตอร์ดิน (Soil parameter)	สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า
มุมแรงเสียดทาน (Angle of shearing resistance*)	$\gamma_{\varphi'}$	1.25
แรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล (Effective cohesion)	$\gamma_{c'}$	1.25
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength)	γ_{c_u}	1.40
กำลังรับแรงกดแกนเดียว (Unconfined strength)	γ_{qu}	1.40
ความหนาแน่น (Weight density)	γ_{γ}	1.40
* $\varphi_d = \tan^{-1}(\tan\varphi_k/\gamma_{\varphi'})$		

(1.5) การตรวจสอบสภาวะการยกตัวหรือการลอยตัวของส่วนของพื้นดินที่เกิดจากแรงดันน้ำ (HYD) ตรวจสอบตามสมการ 2.16 และใช้ค่าแฟกเตอร์บางส่วนตามตารางที่ 2.20

$$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d} \quad (2.16a)$$

หรือ

$$S_{dst;d} \leq G_{stb;d} \quad (2.16b)$$

เมื่อ

$u_{dst;d}$ — ค่าออกแบบผลรวมของแรงดันน้ำที่ทำให้ส่วนของพื้นดินยกตัวขึ้นหรือทำให้สูญเสียเสถียรภาพ

$\sigma_{stb;d}$ — ค่าออกแบบผลรวมของแรงดันที่ต้านทานส่วนของพื้นดินไม่ให้ยกตัวขึ้นหรือทำให้เกิด

เสถียรภาพ

$S_{dst;d}$ — ค่าออกแบบผลรวมของแรงที่เกิดจากการไหลผ่านของน้ำ (seepage force) ทำให้ส่วนของพื้นดินยกตัวขึ้นหรือทำให้สูญเสียเสถียรภาพ

$G_{stb;d}$ — ค่าออกแบบผลรวมของแรงกระทำในแนวตั้งถาวรที่ต้านทานโครงสร้างหรือส่วนของพื้นดินไม่ให้ผกตัวขึ้นหรือทำให้เกิดเสถียรภาพ

ตารางที่ 2.20 แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F) ที่ใช้ออกแบบในสถานะการยกตัวหรือการลดยตัวของพื้นดินที่เกิดจากแรงดันน้ำ (HYD)

การกระทำหรือแรงกระทำ (Action)		สัญลักษณ์ (Symbol)	ค่า
ถาวร	ทำให้สูญเสียเสถียรภาพ	$\gamma_{G;dst}$	1.35
	ทำให้เกิดเสถียรภาพ	$\gamma_{G;stb}$	0.90
แปรเปลี่ยน	ทำให้สูญเสียเสถียรภาพ	$\gamma_{Q;dst}$	1.50

(2) การออกแบบสถานะขีดจำกัดใช้งาน (Serviceability limit states) คือการออกแบบในช่วงเวลาการก่อสร้างหรือช่วงเวลาการใช้งานโดยต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลง เช่น การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดินเพื่อใช้นิยามความเค้นว่าเป็น ความเค้นรวม (Total stress) หรือความเค้นประสิทธิผล (Effective stress) การเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำระหว่างการก่อสร้างขีดจำกัดเพื่อความปลอดภัย หรือตามกฎหมาย หรือตามสภาพแวดล้อม และข้อกำหนดจากความต้องการของเจ้าของโครงการหรือพื้นที่ใกล้เคียง เป็นต้น ตรวจสอบจากสมการ 2.17

$$E_d \leq C_d \quad (2.17a)$$

โดย

$$E_d = E\{F_d; X_d; a_d\} = E\{\gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d\} \quad (2.17b)$$

เมื่อ

E_d — ค่าการออกแบบแรงกระทำ

C_d — ค่าออกแบบขีดจำกัดของผลกระทบจากแรงกระทำ

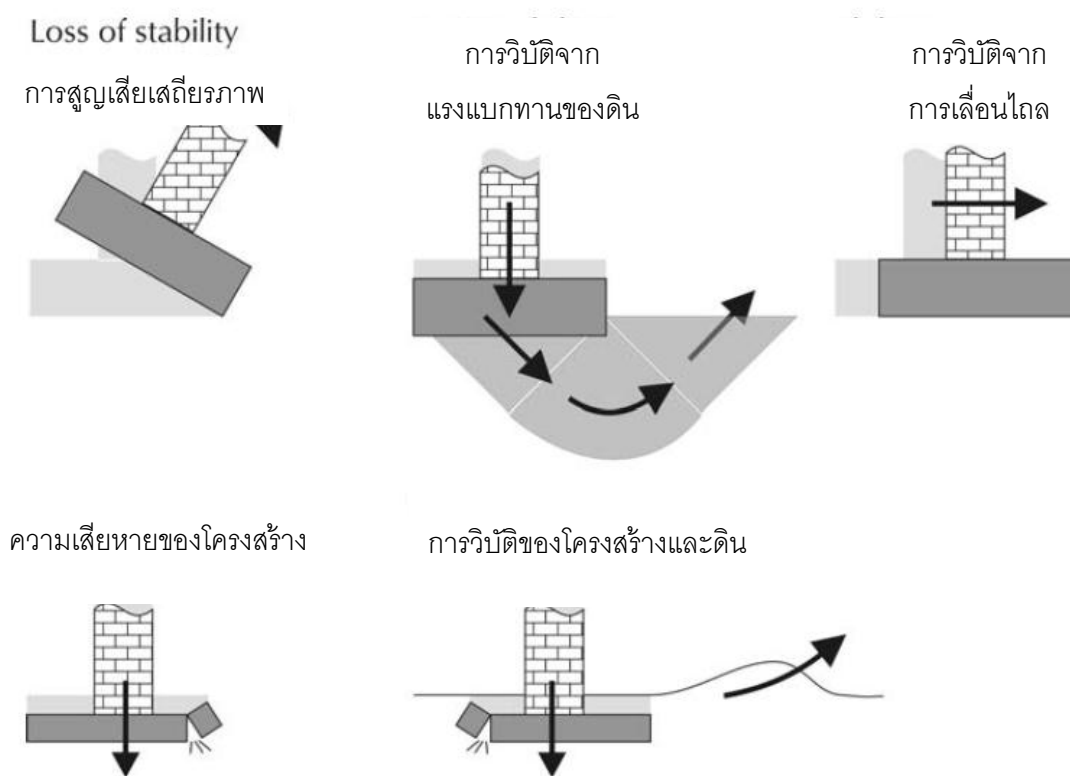
$\gamma_F, \gamma_M, \gamma_E$ และแฟกเตอร์บางส่วนอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 1

2.6 การออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคตามมาตรฐานยูโรโค๊ด 7

2.6.1) การออกแบบในหัวข้อฐานรากแผ่ (Spread foundations) จะออกแบบฐานรากที่ถ่ายแรงจากโครงสร้างลงบนดินโดยตรง ส่วนใหญ่จะเป็นฐานรากตื้น เช่น ฐานรากกำแพง (Wall or Strips) ฐานรากแพ (Rafts) เป็นต้น แต่มีฐานลึกบางประเภทที่ใช้วิธีการออกแบบเดียวกับฐานรากแผ่เช่น ฐานรากปล่อง (Caissons) เป็นต้น ดินที่รับฐานรากควรเป็นดินที่มีคุณภาพดีสามารถรับแรงจากฐานรากได้โดยตรง การออกแบบควรคำนึงถึงสถานะขีดจำกัดประลัยตามหัวข้อดังต่อไปนี้

- การสูญเสียเสถียรภาพรวม
- แรงแบกทานของดิน (Bearing) แรงเฉือนทะลุของดิน (Punching) และการเลื่อนไถล Sliding
- ความเสียหายของโครงสร้าง
- การวิบัติของโครงสร้างและดิน
- การทรุดตัวของโครงสร้างและดิน
- การยกตัวของโครงสร้างและดิน
- การสั่นสะเทือนพื้นที่การก่อสร้างและพื้นที่ข้างเคียง
- ผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว

ตัวอย่างการสูญเสียเสถียรภาพ แรงแบกทานดิน การพิบัติจากการเลื่อนไถล ความเสียหายของโครงสร้างและการพิบัติของโครงสร้างและดินตามรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การเสียหายของฐานรากแผ่แบบต่างๆ (จาก Bond and Harris, 2008)

การตรวจสอบแรงต้านทานของแรงแบกทานดิน (Bearing resistance) เมื่อสิ่งก่อสร้างถ่ายน้ำหนักลงฐานราก ฐานรากจะกระจายแรงกดลงในมวลดิน การออกแบบฐานรากแรงกระทำจากฐานรากที่ถ่ายลงในดินจะต้องไม่มากกว่าแรงต้านทานของดินที่สามารถรับได้ โดยพิจารณาตามสมการที่ 2.18

$$V_d \leq R_d \quad (2.18a)$$

เมื่อ

R_d – ค่าออกแบบแรงต้านทานต่อแรงกระทำในแนวดิ่ง

V_d – ค่าออกแบบแรงกระทำรวมในแนวดิ่งเช่น น้ำหนักของฐานราก น้ำหนักดินที่

ถมฐานราก และแรงกระทำภายนอกที่กระทำต่อฐานราก

$$R_d = \frac{R\{F_d; X_d; a_d\}}{\gamma_R} = \frac{R\left\{\gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d\right\}}{\gamma_R} \quad (2.18b)$$

การหาแรงต้านทานของแรงแบกทานดินในมาตรฐานยูโค้ด 7 แนะนำไว้ 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1 วิธีวิเคราะห์เป็นที่นิยมในการออกแบบ ส่วนใหญ่การออกแบบด้วยวิธีวิเคราะห์ต้องคำนึงถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ข้อกำหนดของสมมุติฐานเรื่องเงื่อนไขการระบายน้ำ โดยเฉพาะดินที่มีลักษณะเม็ดละเอียด เช่น ดินเหนียว เป็นต้น
- กรณีที่พื้นที่รับแรงของดินได้ฐานรากมีลักษณะเป็นดินหลายชั้นควรพิจารณาถึงลักษณะความเสียหายของดินอย่างละเอียด
- กรณีดินได้ฐานรากมีลักษณะชั้นดินส่วนบนมีความแข็งแรงกว่าดินส่วนล่าง ต้องพิจารณาถึงลักษณะการวิบัติแบบเฉือนทะลุ (Punching shear failure) ของดิน
- แนะนำให้ใช้การวิเคราะห์วิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) ในการตรวจสอบการออกแบบเพิ่มเติม

การคำนวณ

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

$A' = B' \times L'$ – พื้นที่หน้าตัดฐานรากประสิทธิผล ตามรูปที่ 2.12

b – แฟกเตอร์สำหรับแนวเอียงของฐานรากตามรูปที่ 2.12

i – แฟกเตอร์สำหรับแรงกระทำแนวเอียงกับฐานรากทำให้เกิดแรงในแนวนอนตามรูปที่ 2.12

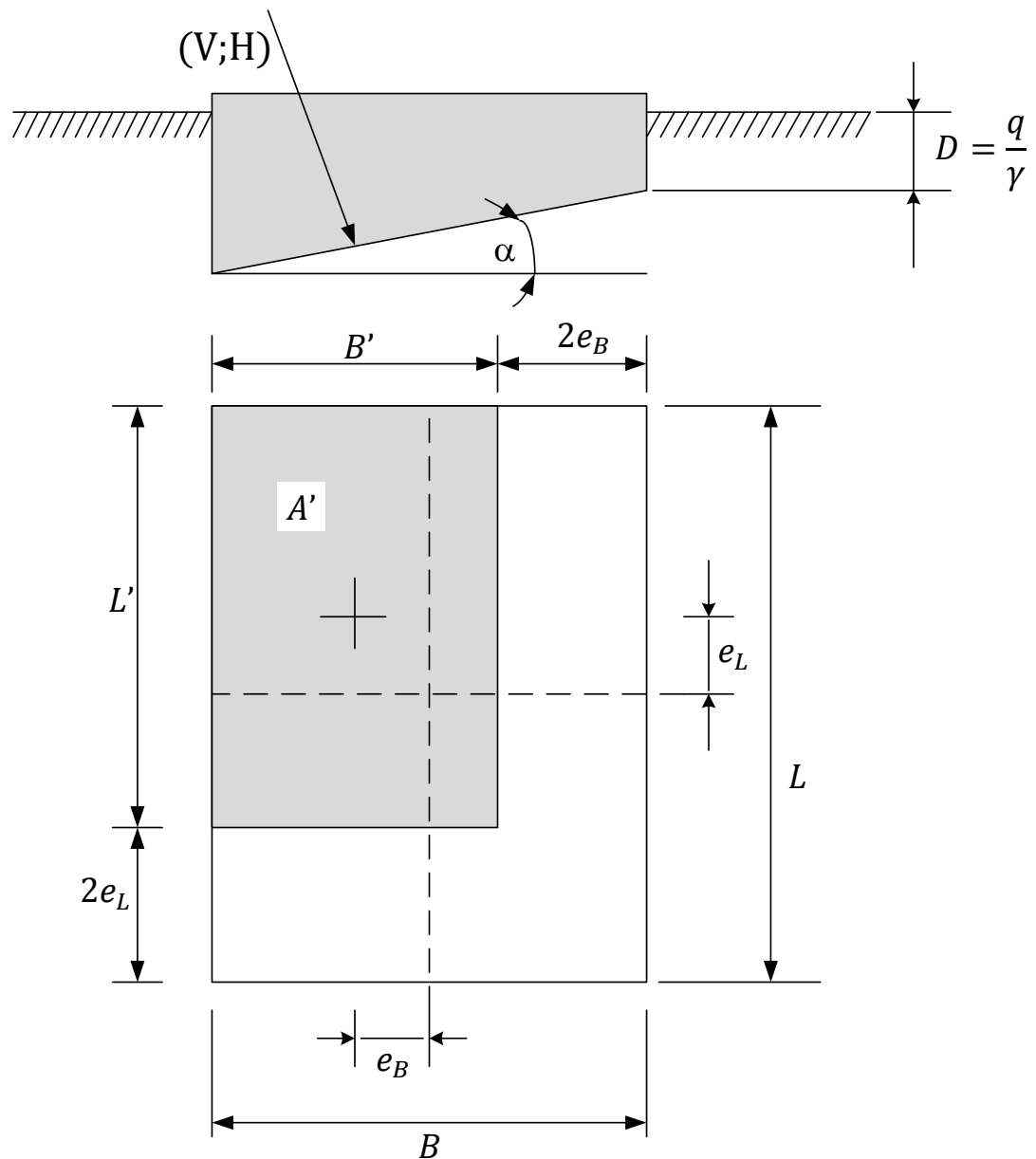
N – แฟกเตอร์แรงแบกทานของดิน

s – แฟกเตอร์ขนาดของฐานรากตามรูปที่ 2.12

สัญลักษณ์ b, i, N และ s มีค่านี้อยู่เป็น c, q และ γ โดยความหมายดังนี้ c คือค่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน q คือหน่วยแรงกดทับเหนือระดับฐานราก γ คือ หน่วยน้ำหนักประสิทธิผลของดินได้ฐานราก

B – ความกว้างของฐานรากแผ่ ตามรูปที่ 2.12

- B' – ความกว้างประสิทธิผลของฐานรากแผ่ ตามรูปที่ 2.12
- D – ความลึกของฐานราก
- e – ระยะเยื้องศูนย์กลางของแรง โดยมีดัชนีล่าง B คือด้านความกว้างของฐานราก L คือด้านความยาวของฐานราก ตามรูปที่ 2.12
- H – แรงกระทำแนวนอนกับฐานรากแผ่ตามรูปที่ 2.12
- k – ค่าแฟกเตอร์แรงต้านทานของแรงแบกทานดินจากการทดสอบมาตรฐานแรงดัน
- L – ความยาวของฐานรากแผ่ ตามรูปที่ 2.12
- L' – ความยาวประสิทธิผลของฐานรากแผ่ ตามรูปที่ 2.12
- m – เลขยกกำลังในสมการหาค่าแฟกเตอร์ i
- p_{LM} – ค่าแรงดันลิมิตจากการทดสอบมาตรฐานแรงดัน
- p_0 – ค่าแรงดันด้านข้างรวมในสภาวะสถิต
- q – หน่วยแรงกดทับเหนือระดับฐานราก
- q' – หน่วยแรงกดทับประสิทธิผลเหนือระดับฐานราก
- V – แรงกระทำในแนวตั้งที่กระทำกับฐานรากแผ่ตามรูปที่ 2.12
- α – มุมของพื้นที่ที่กำกับแนวนอนของฐานรากแผ่ตามรูปที่ 2.12
- θ – มุมของแรงในแนวนอนที่กำกับแนวความยาวของฐานรากแผ่
- $\sigma_{v;0}$ – ค่าความเค้นรวมในแนวตั้งเริ่มต้นที่ระดับพื้นของฐานรากแผ่



รูปที่ 2.12 รูปแสดงแรงที่กระทำ พื้นที่แรงที่กระทำและระยะต่างๆในการออกแบบฐานรากแผ่
(จาก BS EN1997-1, 2004)

การออกแบบในเงื่อนไขไม่ระบายน้ำ (Undrained conditions) สามารถหาได้จาก

สมการที่ 2.19

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = \frac{R\{F_d; X_d; a_d\}}{\gamma_R} \quad (2.19a)$$

$$\frac{R_k}{A'} = (\pi + 2)C_{u;d}b_c s_c i_{c;d} + q_d \quad (2.19b)$$

เมื่อ แฟกเตอร์ที่ใช้ในสมการสามารถหาได้จากรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ผลกระทบจากมุมของส่วนพื้นของฐานราก

$$b_c = 1 - \frac{2\alpha}{(\pi + 2)} \quad (2.19c)$$

- ผลกระทบจากรูปร่างของฐานราก

$$s_c = 1 + 0.2(B'/L') \quad \text{สำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า} \quad (2.19d)$$

$$s_c = 1.2 \quad \text{สำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัสและวงกลม} \quad (2.19e)$$

- ผลกระทบจากแรงในแนวนอนที่กระทำต่อฐานราก

$$i_{c;d} = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A'C_{u;d}}} \right) \quad \text{เมื่อ } H \leq A'C_{u;d} \quad (2.19f)$$

การออกแบบในเงื่อนไขระบายน้ำ (Drained conditions) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.19

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = \frac{R\{F_d; X_d; a_d\}}{\gamma_R} \quad (2.19a)$$

$$\frac{R_k}{A'} = C'_d N_{c;d} b_{c;d} s_{c;d} i_{c;d} + q'_d N_{q;d} b_{q;d} s_{q;d} i_{q;d} + 0.5\gamma'_d B' N_{\gamma;d} b_{\gamma;d} s_{\gamma;d} i_{\gamma;d} \quad (2.19b)$$

เมื่อ แฟกเตอร์ที่ใช้ในสมการสามารถหาได้จากรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ผลกระทบจากแรงต้านทานแบกทานของดิน (Bearing resistance)

$$N_{q;d} = e^{\pi \tan \varphi'_d} \tan^2(45 + \varphi'_d/2) \quad (2.19c)$$

$$N_{c;d} = (N_{q;d} - 1) \cot \varphi'_d \quad (2.19d)$$

$$N_{\gamma;d} = 2(N_{q;d} - 1) \tan \varphi'_d \quad (2.19f)$$

- ผลกระทบจากมุมเอียงของพื้นของฐานราก

$$b_{c;d} = b_{q;d} - \frac{(1-b_{q;d})}{(N_{c;d}\tan\phi'_d)} \quad (2.19g)$$

$$b_{q;d} = b_{\gamma;d} = (1 - \alpha \tan\phi'_d)^2 \quad (2.19h)$$

- ผลกระทบจากรูปปร่างของฐานราก

$$s_{q;d} = 1 + (B'/L')\sin\phi'_d \text{ สำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า} \quad (2.19i)$$

$$s_{q;d} = 1 + \sin\phi'_d \text{ สำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัสและฐานรากวงกลม} \quad (2.19j)$$

$$s_{\gamma;d} = 1 - 0.3(B'/L') \text{ สำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า} \quad (2.19k)$$

$$s_{\gamma;d} = 0.7 \text{ สำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัสและฐานรากวงกลม} \quad (2.19l)$$

$$s_{c;d} = \frac{(s_{q;d}N_{q;d-1})}{(N_{q;d-1})} \text{ สำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า จัตุรัสและวงกลม} \quad (2.19m)$$

- ผลกระทบจากแรงในแนวราบที่กระทำต่อฐานราก

$$i_{c;d} = i_{q;d} - \frac{(1-i_{q;d})}{N_{c;d}\tan\phi'_d} \quad (2.19n)$$

$$i_{q;d} = \left[1 - \frac{H}{(V+A'c'_d\cot\phi'_d)} \right]^m \quad (2.19o)$$

$$i_{\gamma;d} = \left[1 - \frac{H}{(V+A'c'_d\cot\phi'_d)} \right]^{m+1} \quad (2.19p)$$

$$m = m_B = \frac{2+(B'/L')}{1+(B'/L')} \text{ เมื่อแรงแนวราบกระทำในทิศทาง } B' \quad (2.19q)$$

$$m = m_L = \frac{2+(L'/B')}{1+(L'/B')} \text{ เมื่อแรงแนวราบกระทำในทิศทาง } L' \quad (2.19r)$$

$$m = m_\theta = m_L\cos^2\theta + m_B\sin^2\theta \text{ เมื่อแรงแนวราบทำมุม } \theta \text{ กับทิศทาง } L' \quad (2.19s)$$

วิธีที่ 2 วิธีที่ 2 ประสิทธิภาพ ในมาตรฐานยุโรปได้ 7 แนะนำการหาแรงต้านทานของแรงแบกทานดิน ได้จากการทดสอบมาตรฐานแรงดัน (Pressuremeter test) โดยนำค่าแรงดันลิมิต (Limit pressure, p_{LM}) ที่ได้จากการทดสอบมาค่าแรงต้านทานของแรงแบกทานดินตามสมการที่ 2.20

$$\frac{R_d}{A'} = \sigma_{v;0} + k(p_{LM} - p_0) \quad (2.20a)$$

เมื่อ

k – แฟกเตอร์แรงต้านทานแบกทานของดินจากการทดสอบมาตรฐานแรงดัน ตามตารางที่ 2.21

$\sigma_{v;0}$ – ความเค้นรวมในแนวดิ่งเริ่มต้นที่ระดับพื้นของฐานราก

p_{LM} – แรงดันลิมิตจากการทดสอบมาตรฐานแรงดัน

p_0 – แรงดันด้านข้างรวมในสภาวะสถิต สามารถประมาณได้จากสมการที่ 2.21

$$p_0 = K_0(\sigma_{v;0} - u) + u \text{ โดยทั่วไปใช้ค่า } K_0 = 0.5 \quad (2.20b)$$

ตารางที่ 2.21 แฟกเตอร์แรงต้านทานของแรงแบกทานดินจากการทดสอบมาตรฐานแรงดัน

ประเภทของดิน	p_{LM} (MPa)	k
ดินเหนียวและทรายแป้ง (Clay and Silt)	< 0.7	$0.8[1 + 0.25(0.6 + 0.4 B/L) \times D/B]$
	1.2 - 2.0	$0.8[1 + 0.35(0.6 + 0.4 B/L) \times D/B]$
	> 2.5	$0.8[1 + 0.50(0.6 + 0.4 B/L) \times D/B]$
ทรายและกรวด (Sand and Gravel)	< 0.7	$[1 + 0.35(0.6 + 0.4 B/L) \times D/B]$
	1.2 - 2.0	$[1 + 0.50(0.6 + 0.4 B/L) \times D/B]$
	> 2.5	$[1 + 0.80(0.6 + 0.4 B/L) \times D/B]$
หินชอล์ก (Chalk)	-	$1.3[1 + 0.27(0.6 + 0.4 B/L) \times D/B]$
ดินร่วน (Marl) และหินผุ (weathered rock)	-	$1.3[1 + 0.27(0.6 + 0.4 B/L) \times D/B]$

การตรวจสอบแรงต้านทานการเลื่อนไถล (Sliding resistance) เมื่อมีแรงในแนวนอนมากกระทำต่อโครงสร้างแรงกระทำนั้นก็พยายามกระทำให้โครงสร้างเคลื่อนที่ในแนวนอนตามทิศทางของแรง ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของโครงสร้างจะต้องตรวจสอบแรงต้านทานการเลื่อนไถลของโครงสร้างจะต้องมีค่ามากกว่าแรงในแนวนอนที่มากกระทำ สามารถพิจารณาตามสมการที่ 2.21

$$H_d \leq R_d + R_{p;d} \quad (2.21)$$

เมื่อ

H_d – ค่าออกแบบแรงกระทำในแนวนอน

$R_{p;d}$ – ค่าออกแบบแรงดันดินด้านข้างเพื่อต้านทานการเลื่อนไถลของโครงสร้างสามารถหาค่าได้ในหัวข้อการออกแบบในหัวข้อโครงสร้างกันดิน (Retaining structures)

R_d – ค่าออกแบบแรงต้านทานการเลื่อนไถลในสถานะไม่ระบายน้ำสามารถหาได้จากสมการที่ 2.22 ในสถานะระบายน้ำสามารถหาได้จากสมการที่ 2.23

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

A_c – พื้นที่หน้าตัดของฐานรากเพื่อรับแรงเสียดทานต้านทานการเลื่อนไถล

V_d – ค่าออกแบบแรงกระทำในแนวตั้ง

V'_d – ค่าออกแบบแรงกระทำในแนวตั้งประสิทธิผล

δ_d – ค่าออกแบบมุมเสียดทานที่หน้าสัมผัสระหว่างโครงสร้างกับดิน

φ'_{cv} – มุมเสียดทานสถานะวิกฤตของแรงต้านทานแรงเฉือน (Critical state angle of shearing resistance) ที่ใช้ในการออกแบบ

$\varphi'_{cv;d}$ – ค่าออกแบบสำหรับมุมเสียดทานสถานะวิกฤตของแรงต้านทานแรงเฉือน

$\varphi'_{cv;k}$ – ค่าลักษณะมุมเสียดทานสถานะวิกฤตของแรงต้านทานแรงเฉือน

- แรงต้านทานการเลื่อนไถลในสถานะไม่ระบายน้ำ

$$R_d = A_c C_{u;d} \quad (2.22a)$$

หรือ

$$R_d = \frac{(A_c C_{u;k})}{\gamma_{R;h}} \quad (2.22b)$$

- แรงต้านทานการเลื่อนไถลในสถานะระบายน้ำ

$$R_d = V'_d \tan \delta_d \quad (2.23a)$$

หรือ

$$R_d = \frac{(V'_k \tan \delta_k)}{\gamma_{R;h}} \quad (2.23b)$$

เมื่อ

δ_d – ค่าออกแบบมุมของแรงเสียดทานที่ใช้ออกแบบ, $\delta_d = \frac{2}{3} \varphi'_{cv;d}$ สำหรับโครงสร้างหล่อสำเร็จและ $\delta_d = \varphi'_{cv;d}$ สำหรับหล่อโครงสร้างในที่

$\varphi'_{cv;d}$ – ค่าออกแบบมุมเสียดทานสถานะวิกฤตของแรงต้านทานแรงเฉือน ซึ่งเท่ากับ

$$\varphi'_{cv;d} = \frac{\varphi'_{cv;k}}{\gamma_{\varphi'}}$$

หมายเหตุ – ถ้า $R_d \leq 0.4V_d$ อาจเกิดช่องว่างระหว่างดินกับฐานรากซึ่งไม่เป็นผลดีต่อแรงแบกทานของดิน

2.6.2) การออกแบบในหัวข้อฐานรากเสาเข็ม (Pile foundations) ออกแบบฐานรากที่ถ่ายแรงจากโครงสร้างลงบนเสาเข็มเพื่อให้เสาเข็มทำหน้าที่ถ่ายแรงลงสู่ดินโดยผ่านกลไกแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม แรงแบกทานบริเวณปลายเสาเข็ม และหน่วยแรงดันด้านข้างของเสาเข็ม ในหัวข้อนี้ตามมาตรฐานยุโรปได้ 7 การออกแบบเสาเข็มจะรวมถึงเสาเข็มตอก เสาเข็มเจาะแต่จะไม่รวมวิธีการฉีดน้ำปูน (Grouting)

ยุโรปได้ 7 ได้แนะนำการออกแบบควรคำนึงถึงสถานะขีดจำกัดประลัยของหัวข้อดังต่อไปนี้

- การสูญเสียเสถียรภาพรวม
- การวิบัติจากแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม
- การเคลื่อนตัวด้านข้างของเสาเข็มและการวิบัติจากการรับแรงด้านข้างของเสาเข็ม
- การวิบัติของเสาเข็ม หรือ/และดิน
- การทรุดตัวของเสาเข็ม หรือ/และดิน

- การยกตัวของเสาเข็ม หรือ/และดิน
- การสั่นสะเทือนในพื้นที่การก่อสร้างและพื้นที่ข้างเคียง
- ผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว
- ผลกระทบจากแรงดูดลงจากดินที่มีต่อเสาเข็มหรือแรงเสียดทานติดลบ (Downdrag or Negative skin friction)
- กรณีที่ช่วงความยาวของเสาเข็มผ่านชั้นดินอ่อนที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 kPa (1.0 t/m^2) ควรต้องตรวจสอบการโก่งเดาะของเสาเข็ม

การหาแรงต้านทานของดินที่ได้รับแรงกระทำจากเสาเข็มในมาตรฐานยูโค้ด 7 ได้แนะนำวิธีการออกแบบสำหรับแรงต้านทานของดินทั้ง 3 ประเภทได้แก่

- 1) แรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงอัด (Compressive ground resistance)
- 2) แรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงดึง (Ground tensile resistance)
- 3) แรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงตามแนวขวาง (Transversely load piles)

แรงต้านทานของดินสามารถหาได้ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) การหาแรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงอัด

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

A_b – พื้นที่หน้าตัดของปลายเสาเข็ม

$A_{s;i}$ – พื้นที่ผิวของเสาเข็มเดี่ยวหรือเสาเข็มกลุ่มที่ชั้นดิน i

$F_{c;d}$ – ค่าออกแบบแรงอัดที่กระทำต่อเสาเข็ม

$q_{b;k}$ – ค่าลักษณะหน่วยแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม

$q_{s;i;k}$ – ค่าลักษณะหน่วยแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างดินกับเสาเข็มที่ชั้นดิน i

$R_{b;d}$ – ค่าออกแบบแรงแบกทานของดินที่ปลายเสาเข็ม

$R_{b;k}$ – ค่าลักษณะแรงแบกทานของดินที่ปลายเสาเข็ม

$R_{c;d}$ – ค่าออกแบบแรงต้านทานกรณีเสาเข็มรับแรงอัด

$R_{c;k}$ – ค่าลักษณะแรงต้านทานกรณีเสาเข็มรับแรงอัด

$R_{s;d}$ – ค่าออกแบบแรงเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็ม

$R_{s;k}$ – ค่าลักษณะแรงเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็ม

$(R_{c;cal})_{min}, (R_{b;cal})_{min}, (R_{s;cal})_{min}$ – ค่าลักษณะแรงต้านทานของดินโดยใช้ค่าขอบล่างของการทดสอบเสาเข็มในการออกแบบ ดัชนีล่าง c คือแรงต้านทานของดินรวม b คือแรงแบกทานของดิน และ s คือแรงเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็ม

$(R_{c;cal})_{mean}, (R_{b;cal})_{mean}, (R_{s;cal})_{mean}$ – ค่าลักษณะแรงต้านทานของดินโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการทดสอบเสาเข็มในการออกแบบ ดัชนีล่าง c คือแรงต้านทานของดินรวม b คือแรงแบกทานของดิน และ s คือแรงเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็ม

ξ_3, ξ_4 – แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับการใช้ค่าขอบล่างกับค่าเฉลี่ยของการทดสอบเสาเข็มในการออกแบบ

ในการออกแบบค่าแรงต้านทานของดินต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับแรงอัดที่กระทำตามแนวแกนของเสาเข็ม แรงต้านทานของดินแบ่งได้ออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นแรงแบกทานของดินที่ปลายเสาเข็มและส่วนที่สองเป็นแรงเสียดทานระหว่างดินกับผิวของเสาเข็ม สามารถตรวจสอบการออกแบบได้จากสมการที่ 2.24

$$F_{c;d} \leq R_{c;d} \quad (2.24)$$

การออกแบบเสาเข็มรับแรงอัดจะต้องพิจารณาสิ่งต่อไปนี้

- น้ำหนักของเสาเข็มและแรงดันดินกดทับตรงตำแหน่งพื้นของฐานรากจำเป็นต้องนำมาพิจารณาก็ต่อเมื่อต้องการแรงกระทำที่แน่นอนอน เกิดแรงจุดลงจากดินที่มีต่อเสาเข็มหรือแรงเสียดทานติดลบ เสาเข็มอยู่ในชั้นดินอ่อนมากและมีส่วนของเสาเข็มบางส่วนอยู่เหนือพื้นดิน

- การออกแบบเสาเข็มกลุ่มจะพิจารณาเป็น 2 กรณีคือ กรณีแรกคิดว่าเกิดความเสียหายของเสาเข็มแต่ละต้น กรณีที่สองคิดลักษณะความเสียหายเสาเข็มเป็นแบบกลุ่ม การออกแบบต้องพิจารณากรณีที่น้อยกว่า

- การออกแบบลักษณะความเสียหายเสาเข็มเป็นแบบกลุ่ม จะต้องพิจารณาลักษณะความเสียหายเสมือนเสาเข็มต้นใหญ่ต้นเดียว แรงแบกทานและแรงเสียดทานจะต้องคิดพื้นที่เป็นกลุ่มเสาเข็ม

- การออกแบบเสาเข็มกลุ่มรองรับโครงสร้างที่มีลักษณะแข็งเกร็ง การถ่ายแรงจะกระจายลงบนเสาเข็มทุกต้น เวลาพิจารณาจะพิจารณาความเสียหายเสาเข็มเป็นแบบกลุ่มโดยไม่ต้องคำนวณความเสียหายของเสาเข็มแต่ละต้น

- การออกแบบเสาเข็มกลุ่มรองรับโครงสร้างที่มีลักษณะยืดหยุ่น การถ่ายแรงจะลงบนเสาเข็มบางต้นมากกว่าต้นอื่น เวลาพิจารณาจะพิจารณาความเสียหายจากแรงที่ลงเสาเข็มแต่ละต้นตามแรงที่มากระทำ

- แรงกระทำที่มาจากโครงสร้างมีลักษณะเยื้องศูนย์หรือมีลักษณะเอียง

- มีชั้นดินอ่อนอยู่ใต้ปลายเสาเข็มเป็นระยะน้อยกว่า 4 เท่าเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มหรือ 4 เท่าความกว้างของฐานปลายเสาเข็มกลุ่ม จะต้องพิจารณากรณีเฉือนทะลุของเสาเข็มด้วย

- กรณีฐานของปลายเสาเข็มมีขนาดใหญ่กว่ารูปร่างของเสาเข็มส่วนบนของฐานเสาเข็ม จะต้องพิจารณาผลกระทบทางลบอื่นๆที่ส่งผลต่อเสาเข็ม

- กรณีเสาเข็มกลวงหรือเสาเข็มที่มีลักษณะเป็นกล่อ่งมีช่องว่างมากกว่า 500 มิลลิเมตร จะต้องพิจารณาแรงเสียดทานระหว่างดินกับผิวของช่องว่าง การพิจารณาแรงแบกทานของปลายฐานรากจะต้องคำนึงถึงพื้นที่หน้าตัดของปลายฐานรากที่นำมาคิดคำนวณ

การหาแรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงอัดที่ได้จากการนำผลการทดสอบและสำรวจดินใช้ในการคำนวณ สามารถคำนวณได้ 2 วิธี

วิธีที่ 1 วิธีนี้เลือกค่าพารามิเตอร์ตัวแทนมาคำนวณ ตรวจสอบตามสมการที่ 2.25

$$R_{c;d} = R_{b;d} + R_{s;d} \quad (2.25)$$

เมื่อ แรงแบกทานที่ปลายเสาเข็มสำหรับการออกแบบ ($R_{b;d}$) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.26

$$R_{b;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} \quad (2.26a)$$

และ

$$R_{b;k} = A_b q_{b;k} \quad (2.26b)$$

แรงเสียดทานของเสาเข็มสำหรับการออกแบบ ($R_{s;d}$) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.27

$$R_{s;d} = \frac{R_{s;k}}{\gamma_s} \quad (2.27a)$$

และ

$$R_{s;k} = \sum_i A_{s;i} q_{s;i;k} \quad (2.27b)$$

วิธีที่ 2 ใช้ค่าการรับกำลังที่จากการทดสอบเสาเข็มในการออกแบบโดยเลือกใช้ค่าการรับกำลังของเสาเข็มต่ำสุดกับค่าเฉลี่ย ยูโรโค๊ด 7 และสามารถหาแรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงอัดที่ใช้สำหรับการออกแบบตามสมการที่ 2.28

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t} \quad (2.28)$$

เมื่อ ค่าลักษณะของแรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงอัด ($R_{c;k}$) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.29 และค่า ξ_3 และ ξ_4 หาได้จากตารางที่ 2.22

$$R_{c;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;cal})_{\text{mean}}}{\xi_3}; \frac{(R_{c;cal})_{\text{min}}}{\xi_4} \right\} \quad (2.29)$$

การหาค่าลักษณะของแรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงอัดโดยใช้ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบและสำรวจดิน $(R_{c;cal})_{mean}$ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.30

$$(R_{c;cal})_{mean} = (R_{b;cal} + R_{s;cal})_{mean} = (R_{b;cal})_{mean} + (R_{s;cal})_{mean} \quad (2.30)$$

การหาค่าลักษณะของแรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงอัดโดยใช้ค่าขอบล่างของพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบและสำรวจดิน $(R_{c;cal})_{min}$ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.31

$$(R_{c;cal})_{min} = (R_{b;cal} + R_{s;cal})_{min} = (R_{b;cal})_{min} + (R_{s;cal})_{min} \quad (2.31)$$

ตารางที่ 2.22 แสดงค่า ξ_3 และ ξ_4 แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับการใช้ค่าขอบล่างกับค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ในการออกแบบ

ค่า ξ เมื่อจำนวนตัวอย่าง $N =$	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1.40	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25
ξ_4	1.40	1.27	1.23	1.20	1.15	1.12	1.08

2) แรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงดึง (Ground tensile resistance)

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

$A_{s;i}$ – พื้นที่ผิวของเสาเข็มเดี่ยวหรือเสาเข็มกลุ่มที่ชั้นดิน i

$F_{t;d}$ – ค่าออกแบบแรงดึงที่กระทำต่อเสาเข็ม

$R_{t;d}$ – ค่าออกแบบแรงต้านทานกรณีเสาเข็มรับแรงดึง

$R_{t;k}$ – ค่าลักษณะแรงต้านทานกรณีเสาเข็มรับแรงดึง

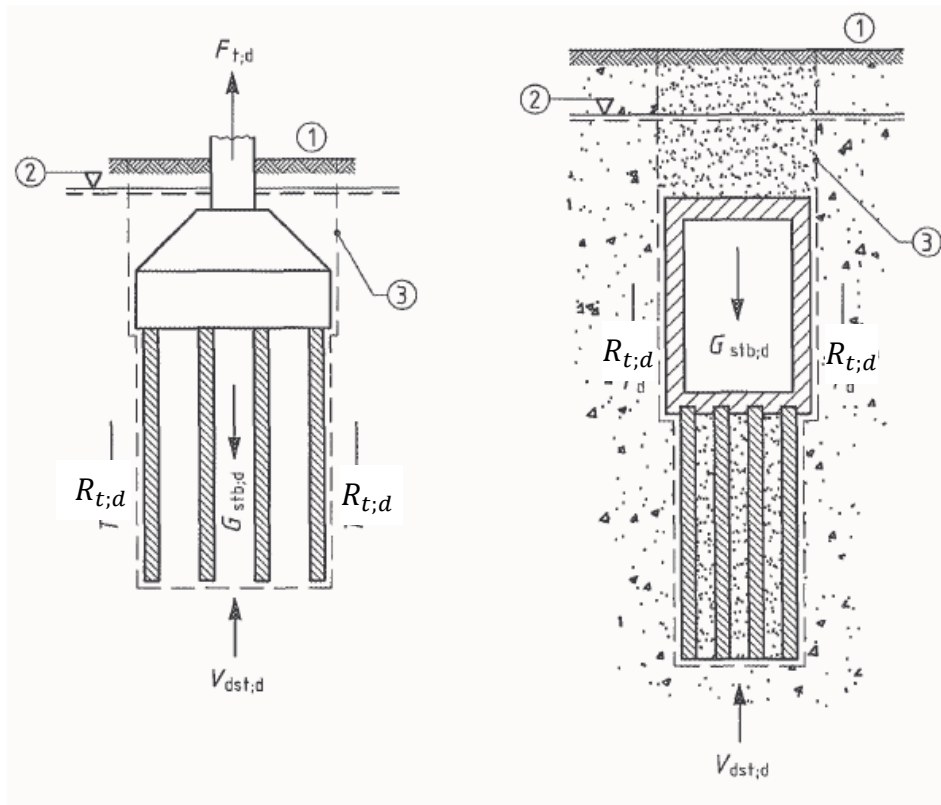
$R_{s;k}$ – ค่าลักษณะแรงเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็ม

ในการออกแบบค่าแรงต้านทานของดินต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับแรงดึงที่กระทำตามแนวแกนของเสาเข็ม แรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงดึงจะได้จากแรงเสียดทานระหว่างดินกับผิวของเสาเข็ม สามารถตรวจสอบการออกแบบได้จากสมการที่ 2.32

$$F_{t;d} \leq R_{t;d} \quad (2.32)$$

การออกแบบเสาเข็มรับแรงดึงมีรายละเอียดที่ต้องพิจารณาเหมือนกับการออกแบบเสาเข็มรับแรงอัดซึ่งแต่มีสิ่งที่จะต้องพิจารณาเพิ่มเติมคือ

- ลักษณะความเสียหายแบบเสาเข็มกลุ่มหรือเสาเข็มกลุ่มรวมกับโครงสร้างใต้ดินอาจจะพิจารณาพื้นที่ผิวในการคิดแรงเสียดทานและแรงที่มากกระทำตามรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แรงที่กระทำ พื้นที่ผิวในการคิดแรงทานที่กระทำกับโครงสร้าง (จาก BS EN1997-1, 2004)

การหาแรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงดึงที่ได้จากการนำผลการทดสอบและสำรวจดินมาใช้ในการคำนวณ สามารถคำนวณได้ 2 วิธี

วิธีที่ 1 วิธีนี้เลือกค่าพารามิเตอร์ตัวแทนมาคำนวณ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.33

$$R_{t;d} = \frac{R_{t;k}}{\gamma_{s;t}} \quad (2.33a)$$

เมื่อ

$$R_{t;k} = R_{s;k} \quad (2.33b)$$

ค่าลักษณะของแรงเสียดทานของเสาเข็มสำหรับเสาเข็มรับแรงดึง สามารถหาได้จากสมการที่ 2.34

$$R_{t;k} = R_{s;k} = \sum_i A_{s;i} q_{s;i;k} \quad (2.34a)$$

และ

$$R_{s;k} = \sum_i A_{s;i} q_{s;i;k} \quad (2.34b)$$

วิธีที่ 2 ใช้ค่าการรับกำลังที่จากการทดสอบเสาเข็มในการออกแบบโดยเลือกใช้ค่าการรับกำลังของเสาเข็มต่ำสุดกับค่าเฉลี่ย ยูโรโค้ด 7 แนะนำให้ใช้ค่าการรับกำลังต่ำที่จากสมการที่ 2.35

$$R_{t;d} = \frac{R_{t;k}}{\gamma_{s;t}} \quad (2.35)$$

เมื่อ ค่าลักษณะของแรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงดึง ($R_{t;k}$) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.36 และค่า ξ_3 และ ξ_4 หาได้จากตารางที่ 2.22

$$R_{t;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{s;cal})_{\text{mean}}}{\xi_3}; \frac{(R_{s;cal})_{\text{min}}}{\xi_4} \right\} \quad (2.36)$$

3) แรงต้านทานของดินกรณีเสาเข็มรับแรงแนวขวาง (Transverse load resistance)

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

$F_{tr;d}$ – ค่าออกแบบแรงกระทำในแนวขวางที่กระทำต่อเสาเข็ม

$R_{tr;d}$ – ค่าออกแบบแรงต้านทานเสาเข็มที่รับแรงกระทำตามแนวขวาง

ในการออกแบบค่าแรงต้านทานของดินต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับแรงตามแนวขวางที่กระทำต่อเสาเข็ม แรงกระทำที่ได้ต้องตรวจสอบการออกแบบตามสมการที่ 2.37

$$F_{tr;d} \leq R_{tr;d} \quad (2.37)$$

การออกแบบเสาเข็มรับแรงตามแนวขวางจะต้องพิจารณาสิ่งต่อไปนี้

- กลไกของความเสียหายของเสาเข็มจะต้องพิจารณา 1 จาก 2 กรณีดังต่อไปนี้ กรณีที่แรก กรณีที่เป็นเสาเข็มสั้น ความเสียหายจะเป็นแบบเสาเข็ม เกิดการหมุน หรือเกิดการเคลื่อนตัวด้านข้าง จะพิจารณาเสาเข็มเป็นวัตถุแข็งเกร็ง กรณีที่สอง กรณีที่เป็นเสาเข็มยาว ความเสียหายจะเกิดจากโมเมนต์ดัดของเสาเข็ม และต้องพิจารณาโมดูลัสของดินและการเคลื่อนตัวหรือการเปลี่ยนรูปของดินที่บริเวณใกล้หัวเสาเข็ม

- กรณีเสาเข็มกลุ่มที่รับแรงตามแนวขวางจะต้องพิจารณาแรงประกอบของแรงอัด แรงดึง และแรงตามแนวขวางที่กระทำต่อเสาเข็มแต่ละต้น

- การรับแรงตามแนวขวางของเสาเข็มเดี่ยวหรือเสาเข็มกลุ่มจะต้องพิจารณาผลกระทบทั้งหมดของแรงกระทำที่มีต่อโครงสร้าง แรงต้านทานของดินและการเคลื่อนตัวหรือการเปลี่ยนรูปร่างของดินหรือผิวดิน

- กรณีที่ช่วงความยาวของเสาเข็มผ่านชั้นดินอ่อนที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 kPa (1.019 t/m^2) จะต้องตรวจสอบการโก่งเดาะของเสาเข็ม

2.6.3) การออกแบบโครงสร้างกันดิน (Retaining structures) เป็นการออกแบบโครงสร้างหรือระบบเพื่อป้องกันการพังทลายของดินจากความต่างระดับของผิวดินที่เกิดจากการขุดหรือถมดิน ในการออกแบบส่วนแรกจะพิจารณาถึงการคงอยู่ของดินหรือหินหลังขุดหรือถม ซึ่งประกอบด้วย ดินหรือหินตามธรรมชาติ ดินหรือหินที่ถมและน้ำ ถ้าสามารถคงอยู่ก็ไม่จำเป็นต้องใช้โครงสร้างกันดิน แต่ถ้าไม่สามารถคงอยู่ได้หรือมีการเคลื่อนตัวมากกว่าที่ยอมรับได้ก็ต้องออกแบบโครงสร้างกันดิน

นิยามประเภทโครงสร้างกันดิน ตามรายละเอียดต่อไปนี้

1) กำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วง (Gravity wall) เป็นโครงสร้างกันดินที่มีลักษณะเป็นกำแพงรับแรงกระทำและต้านการเคลื่อนของดิน กำแพงกันดินสร้างจากหิน คอนกรีตหรือคอนกรีตเสริมเหล็ก ตัวกำแพงอาจมีส่วนค้ำยันจากฐาน หรืออาจจะมี Heel หรือไม่มีก็ได้ กำแพงกันดินประเภทนี้การต้านทานแรงกระทำและการเคลื่อนตัวของดินจะอาศัยกลไกในการใช้น้ำหนักของตัวกำแพง แรงเสียดทานระหว่างกำแพงกับดิน และแรงบากทานของดินเพื่อรักษาสมดุล

2) กำแพงกันดินแบบฝังจม (Embedded walls) เป็นโครงสร้างกำแพงที่มีความหนาไม่มากหรือผนังบาง โครงสร้างจะต้องประกอบด้วย กำแพงหรือผนังกันดินที่สร้างจากเหล็ก คอนกรีตเสริมเหล็กหรือไม้ และส่วนสนับสนุนในการรับแรงดันดินด้านข้างเช่น สมอยึด (Anchorage) ค้ำยัน (Struts) หรือส่วนของแรงดันดินด้านข้างเชิงรับ (Passive earth pressure) กลไกการคงอยู่ของกำแพงประเภทนี้จะอาศัยการรับโมเมนต์ดัดของกำแพงเป็นหลัก ส่วนน้ำหนักของกำแพงจะไม่มีผลสำคัญเหมือนกำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วง ตัวอย่างของกำแพงประเภทนี้ได้แก่ เข็มพืด (Sheet pile) มีทั้งแบบเหล็ก คอนกรีตเสริมเหล็กแบบอัดแรง เป็นต้น

3) โครงสร้างกันดินเชิงประกอบ (Composite retaining structures) เป็นโครงสร้างกันดินมีส่วนประกอบของโครงสร้างตั้งแต่ 2 แบบประกอบกัน ตัวอย่างเช่น ใช้เข็มพืดเป็นกำแพงกันดินรวมกับการเสริมกำลังรับแรงของดิน (เช่น เอ็นยัด (tendons) วัสดุสังเคราะห์ geotextiles หรือการฉีดน้ำปูน เป็นต้น) และโครงสร้างในการรับแรง (เช่น สมอยึด เป็นต้น)

ยูโรโค้ด 7 ได้แนะนำการออกแบบควรคำนึงถึงสถานะขีดจำกัดประลัยและรายละเอียดอื่นๆตามหัวข้อดังต่อไปนี้

- การสูญเสียเสถียรภาพรวม
- ความเสียหายของชิ้นส่วนของโครงสร้าง เช่น ตัวกำแพงกันดิน สมอยึด ค้ำยันหรือจุดเชื่อมต่อของโครงสร้าง
- เกิดการยกตัวจากแรงดันน้ำ
- การวิบัติร่วมกันระหว่างส่วนหนึ่งของโครงสร้างหรือทั้งโครงสร้างกับดิน
- การออกแบบต้องไม่ยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินในส่วนที่ออกแบบไว้ โดยจะต้องมีออกแบบการระบายน้ำเพื่อไว้ด้วย

- ไม่ยอมให้มีการเคลื่อนผ่านของดินที่ผ่านตัวกำแพงหรือใต้ฐานของกำแพง
- การออกแบบต้องคำนึงถึงผลกระทบของพื้นที่ข้างเคียง ตัวอย่างเช่น การยุบตัวหรือการยกตัวขึ้นของดิน
- การวิบัติเนื่องจากแรงแบกทานของดินใต้ฐาน (สำหรับกำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วงและโครงสร้างกันดินเชิงประกอบ)
- การวิบัติเนื่องจากการเลื่อนไถล (สำหรับกำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วงและโครงสร้างกันดินเชิงประกอบ)
- การวิบัติบริเวณผิวดิน (สำหรับกำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วงและโครงสร้างกันดินเชิงประกอบ)
- การวิบัติเนื่องจากการหมุนหรือการเคลื่อนตัวของกำแพงหรือชิ้นส่วนของระบบ (สำหรับกำแพงกันดินแบบฝังจม)
- การวิบัติเนื่องจากการเสียดลตามแนวตั้ง (สำหรับกำแพงกันดินแบบฝังจม)
- การออกแบบกำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วงจะมีบางหัวข้อที่จำเป็นต้องตรวจสอบแบบเดียวกับการตรวจสอบฐานรากแผ่ คันดินและพื้นที่ลาดเอียง
- หน่วยน้ำหนักของดินถมหลังกำแพงกันดินจะต้องมีการควบคุมให้อยู่ในขอบเขตที่ออกแบบไว้
- การพิจารณาแรงกระทำบริเวณผิวดินต้องพิจารณาน้ำหนักโครงสร้างหรือแรงกระทำจากพื้นที่ข้างเคียงที่ส่งผลต่อโครงสร้างกันดินทั้งแรงกระทำแบบแปรเปลี่ยนและถาวร
- ในการออกแบบขนาดและรูปร่างที่ในการคำนวณจะต้องพิจารณาความเป็นไปได้ในการกัดเซาะของผิวดิน
- ในกรณีที่เป็นกำแพงกันดินแบบคานยื่นระยะที่ใช้ออกแบบระหว่างผิวดินถึงระดับที่ขีดจะต้องเพิ่มระยะอีก $\Delta a = 10\%$ ของระยะความสูงที่ได้แต่สูงสุดไม่เกิน 0.5 เมตร

- ในกรณีที่เป็นกำแพงกันดินแบบคานยื่นที่มีค้ำยันเป็นระยะ ระยะที่ใช้ออกแบบระหว่างระดับชั้นส่วนที่ค้ำยันชั้นสุดท้ายถึงระดับที่ขุดจะต้องเพิ่มระยะอีก $\Delta a = 10\%$ ของระยะความสูงที่ได้แต่สูงสุดไม่เกิน 0.5 เมตร

- หน่วยน้ำหนักของน้ำที่ได้รับการปนเปื้อนเช่น น้ำเค็ม น้ำปนเปื้อนสารเคมี เป็นต้น จะต้องปรับแก้ไขหน่วยน้ำหนักให้ถูกต้องตามประเภทของน้ำ

- พิจารณาถึงการออกแบบและควบคุมการซึมผ่านของน้ำระหว่างด้านหน้ากับด้านหลังโครงสร้างกันดิน เพราะจะส่งผลถึงแรงที่กระทำต่อโครงสร้างกันดิน

- จะต้องพิจารณาถึงการออกแบบระบบระบายน้ำ และวิธีการป้องกันการกัดเซาะหน้าดิน

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการหาแรงดันดิน

$K_{0;d}$ — ค่าออกแบบสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างแบบสถิต

$K_{a;d}$ — ค่าออกแบบสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ

$K_{p;d}$ — ค่าออกแบบสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ

$\sigma_{a;d}(z)$ — ค่าออกแบบหน่วยแรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟที่ความลึก Z จากผิวดิน

$\sigma_{p;d}(z)$ — ค่าออกแบบหน่วยแรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟที่ความลึก Z จากผิวดิน

δ_d — ค่าออกแบบมุมเสียดทานระหว่างกำแพงกับดิน เมื่อ $\delta_d = \frac{2}{3} \varphi'_{cv;d}$ สำหรับ

โครงสร้างสำเร็จไม่ได้หล่อในที่ หรือโครงสร้างอยู่ในชั้นดินทรายหรือหิน และ

$\delta_d = \varphi'_{cv;d}$ สำหรับโครงสร้างหล่อในที่และการหล่อโครงสร้างต้องสัมผัสดินโดยตรง

ในการออกแบบโครงสร้างกันดินจะต้องหาค่าแรงดันดินด้านข้างที่กระทำต่อโครงสร้างกันดินแรงดันดินด้านข้างสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กรณีดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 แรงดันดินด้านข้างแบบสถิต (At rest values of earth pressure)

แรงดันดินแบบสถิต มวลดินจะไม่มีการเคลื่อนที่ ความเค้นที่เกิดขึ้นยังอยู่ในช่วงอิลาสติก หรือค่าความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าประวัติความเค้นดินในอดีต สามารถหาสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างแบบสถิต จากสมการที่ 2.38

$$K_{0;d} = (1 - \sin\phi'_d) \times \sqrt{OCR} \quad (2.38a)$$

หรือถ้าผิวดินมีความลาดเอียงทำมุมกับแนวราบเป็นมุม β และ $\beta \leq \phi'_d$

$$K_{0;\beta;d} = K_{0;d}(1 + \sin\beta) \quad (2.38b)$$

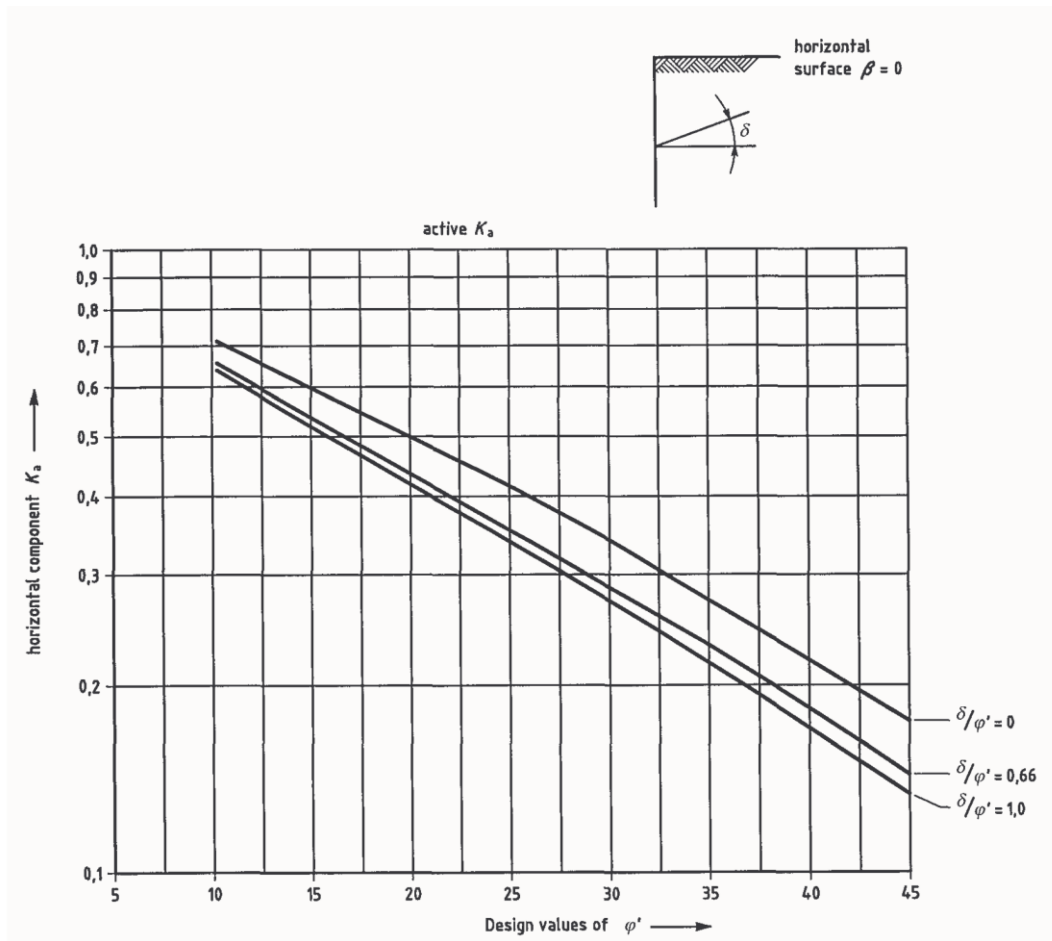
กรณีที่ 2 แรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ (Active earth pressure)

แรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ มวลดินจะมีการเคลื่อนที่เข้าหาโครงสร้างกันดิน ความเค้นที่เกิดขึ้นในมวลดินจะเกิดการพิบัติพอดี แรงดันดินด้านข้างจะกระทำต่อโครงสร้างกันดินได้ แนะนำการหาสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ จากกราฟรูปที่ 2.14 ถึง 2.17 และสามารถหาความเค้นของแรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ จากสมการที่ 2.39

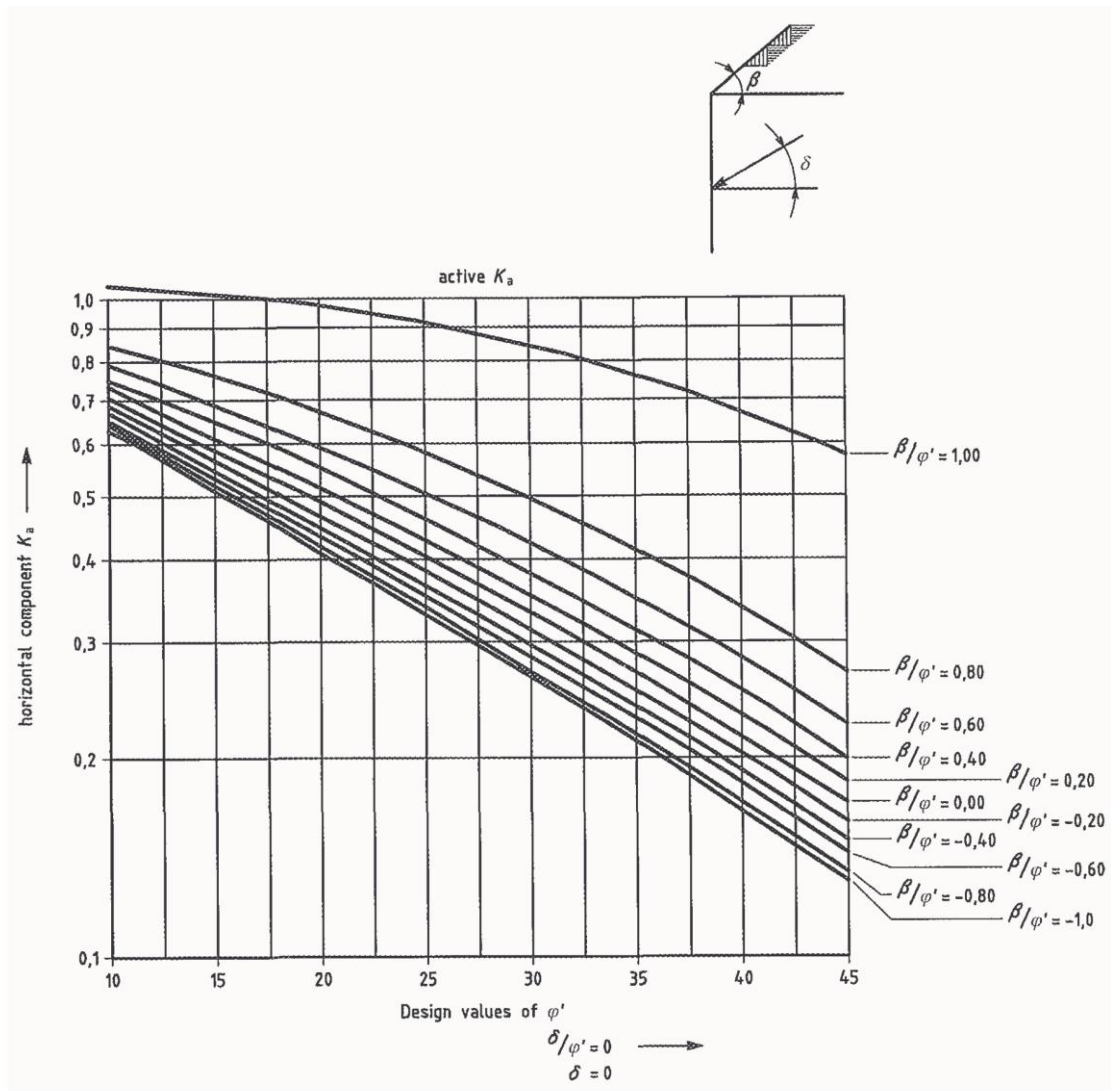
$$\sigma_{a;d}(z) = K_{a;d}(\gamma_d z + q_d) - 2C_d \sqrt{K_{a;d}} \quad (2.39)$$

ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในกราฟรูปที่ 2.14 ถึง 2.17 ตามสมการที่ 2.40

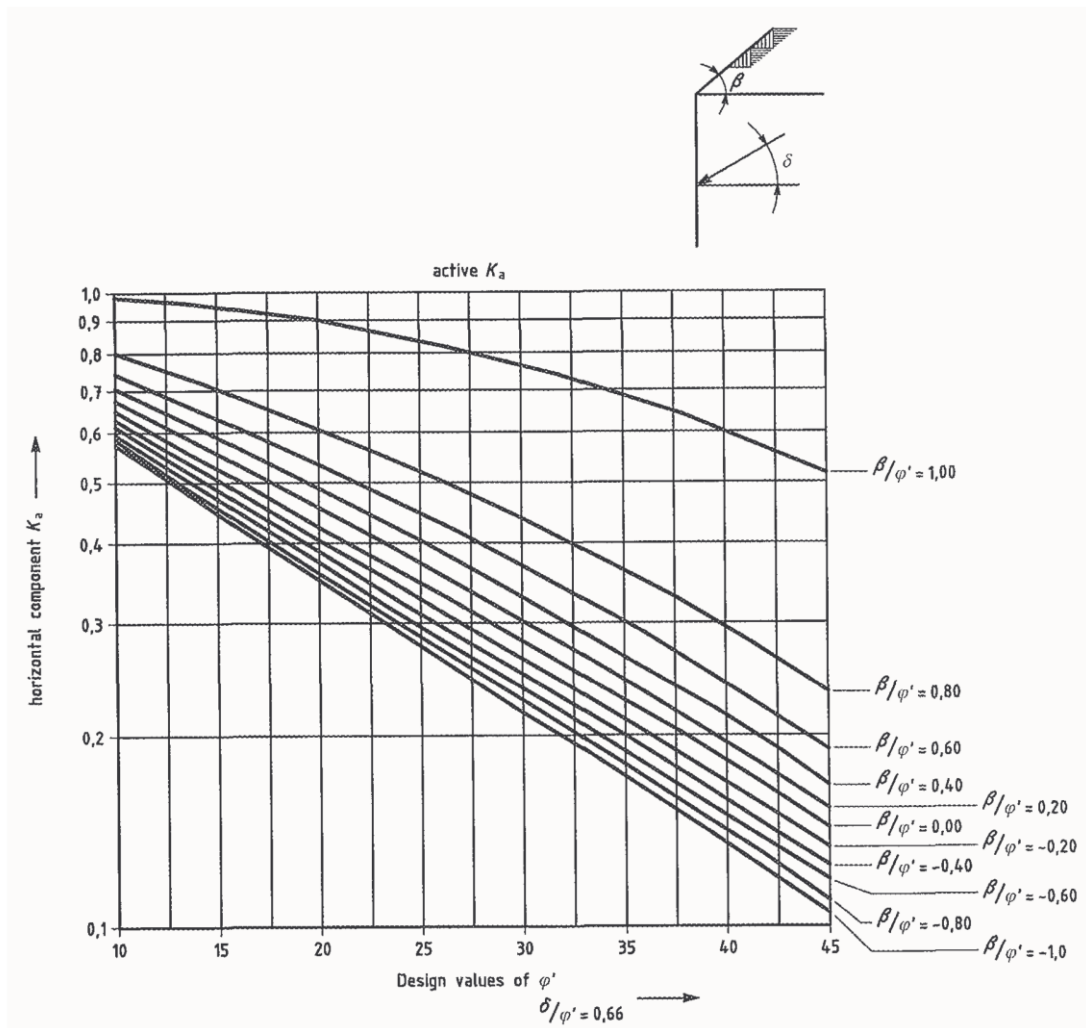
$$\text{ค่าอัตราส่วน} = \frac{\delta_d}{\phi'_d} \quad (2.40)$$



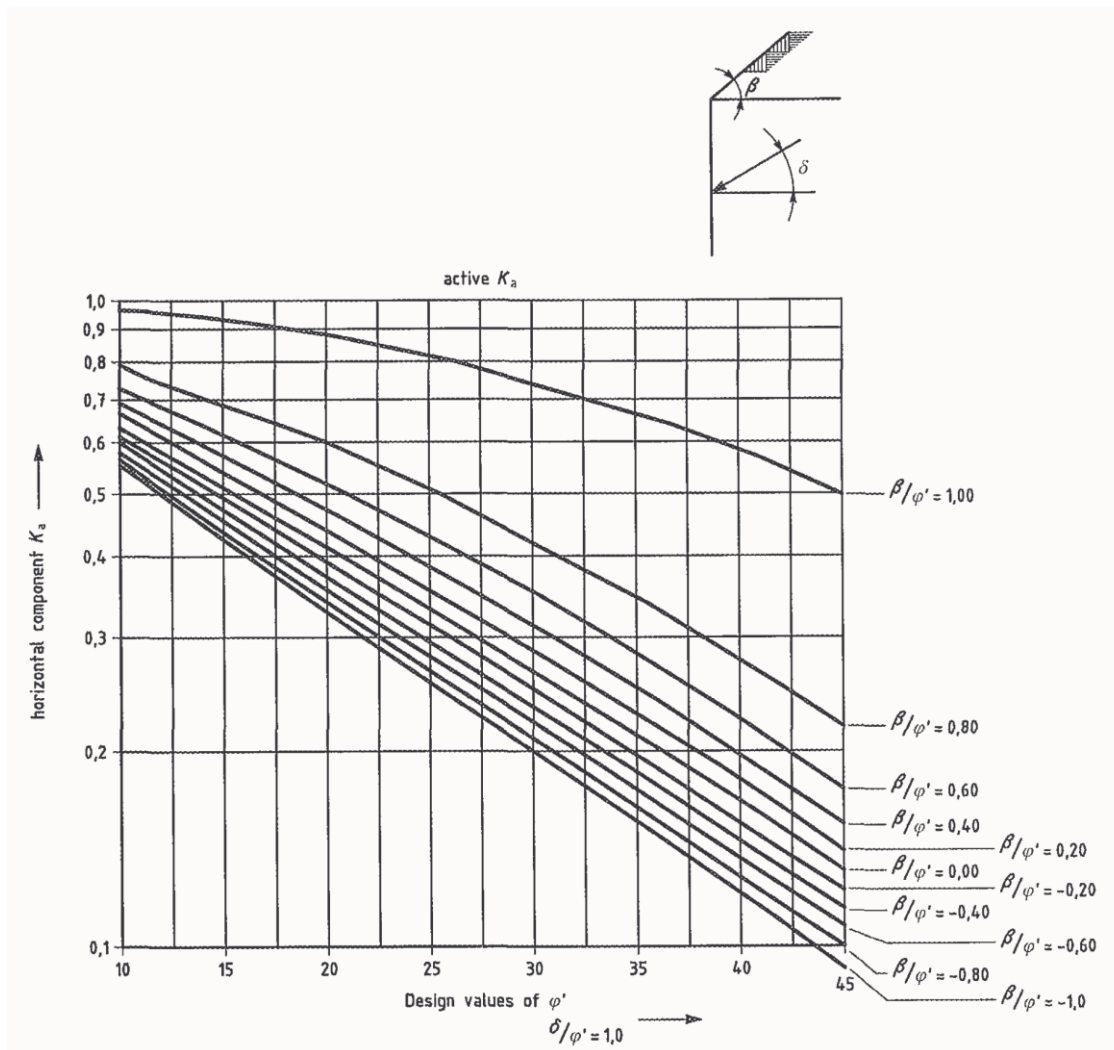
รูปที่ 2.14 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ ($K_{a;d}$) เมื่อ $\beta = 0$ (จาก BS EN1997-1, 2004)



รูปที่ 2.15 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ ($K_{a;d}$) เมื่อ $\beta > 0$, $\frac{\delta_d}{\varphi'_d} = 0$ และ $\delta_d = 0$ (จาก BS EN1997-1, 2004)



รูปที่ 2.16 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ ($K_{a,d}$) เมื่อ $\beta > 0$ และ $\frac{\delta_d}{\varphi'_d} = 0.66$
(จาก BS EN1997-1, 2004)



รูปที่ 2.17 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแอกทีฟ ($K_{a;d}$) เมื่อ $\beta > 0$ และ $\frac{\delta_d}{\varphi'_d} = 1.0$
(จาก BS EN1997-1, 2004)

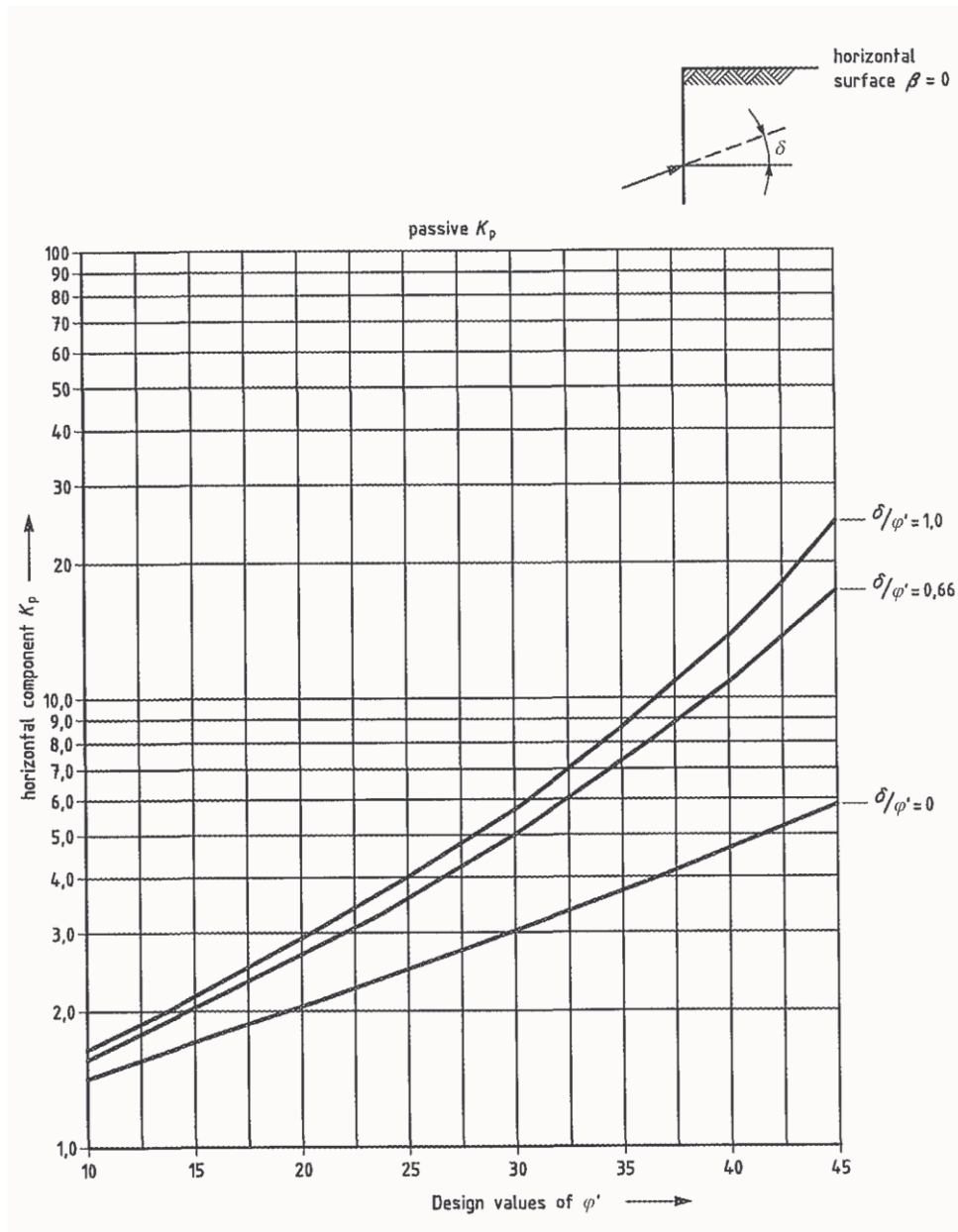
กรณีที่ 3 แรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ (Passive earth pressure)

แรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ มวลดินจะถูกการกระทำจากโครงสร้างกันดินทำให้มวลดินมีการเคลื่อนที่เข้าหากัน ความเค้นที่เกิดขึ้นในมวลดินจะเกิดการพิบัติพอดี แรงดันดินด้านข้างจะรับกระทำต่อโครงสร้างกันดิน ได้แนะนำการหาสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ จากกราฟรูปที่ 2.18 ถึง 2.21 และหาความเค้นของแรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ จากสมการที่ 2.41

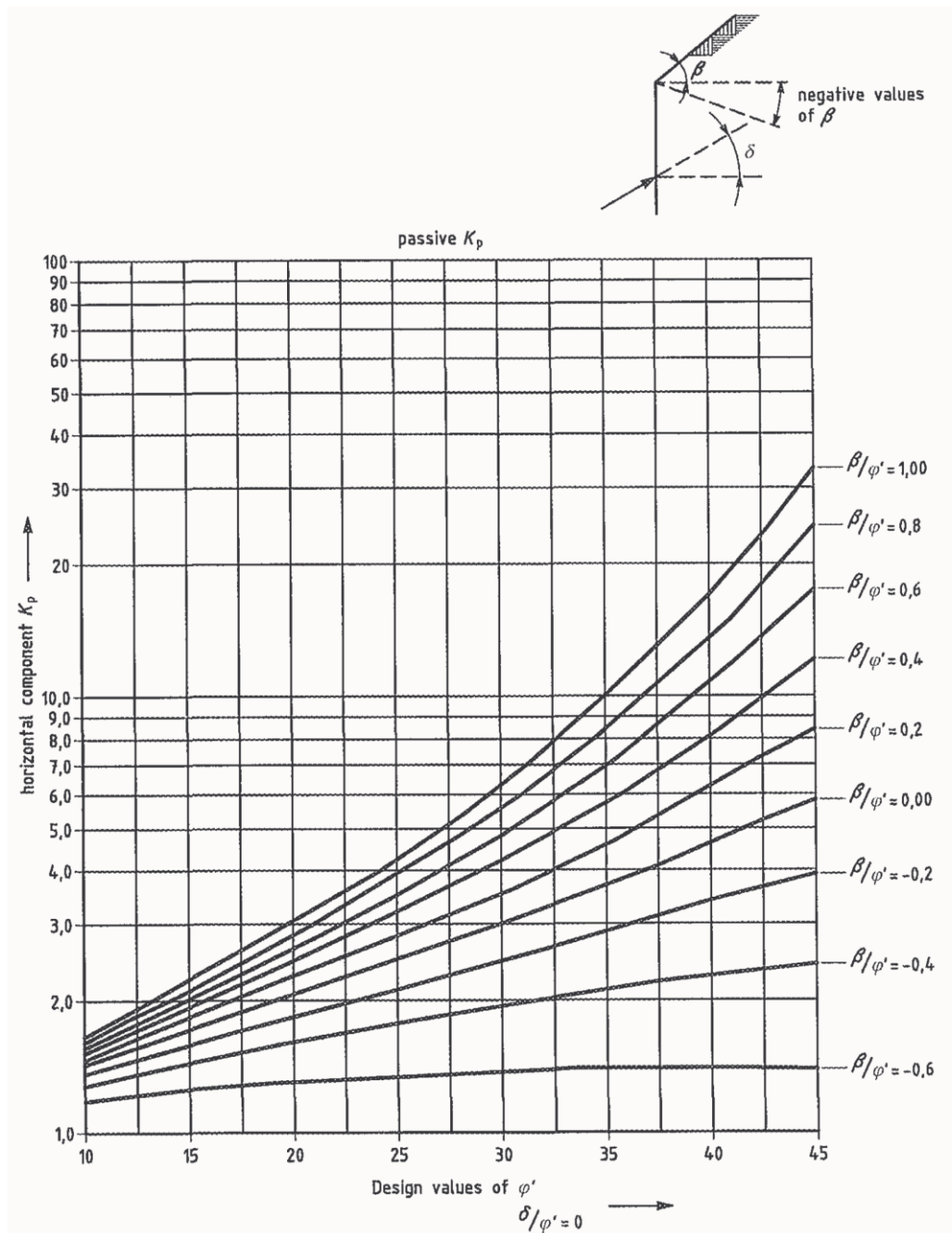
$$\sigma_{p;d}(z) = K_{p;d}(\gamma_d z + q_d) + 2C_d \sqrt{K_{p;d}} \quad (2.41)$$

ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในกราฟรูปที่ 2.18 ถึง 2.21 ตามสมการที่ 2.42

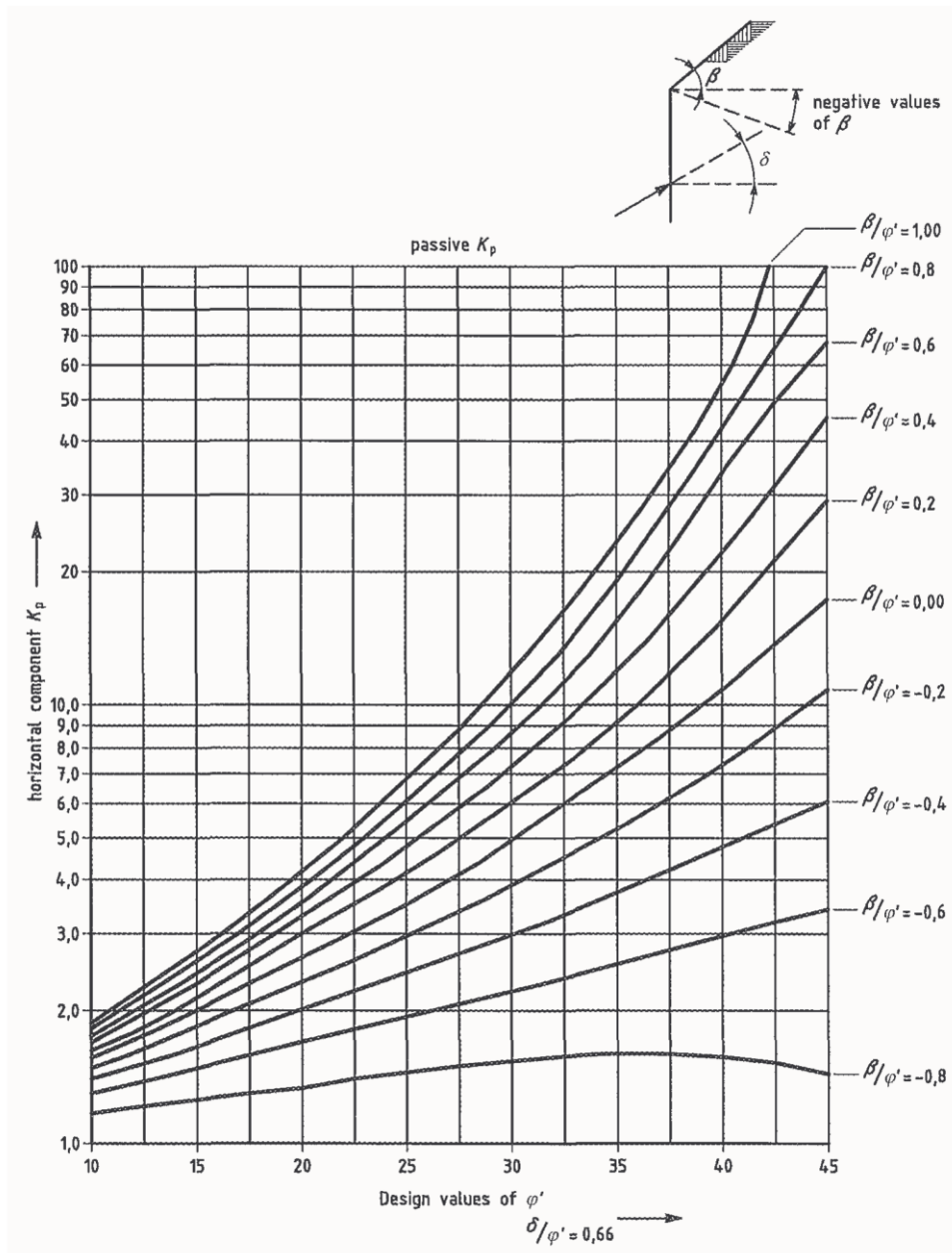
$$\text{ค่าอัตราส่วน} = \frac{\delta_d}{\varphi'_d} \quad (2.42)$$



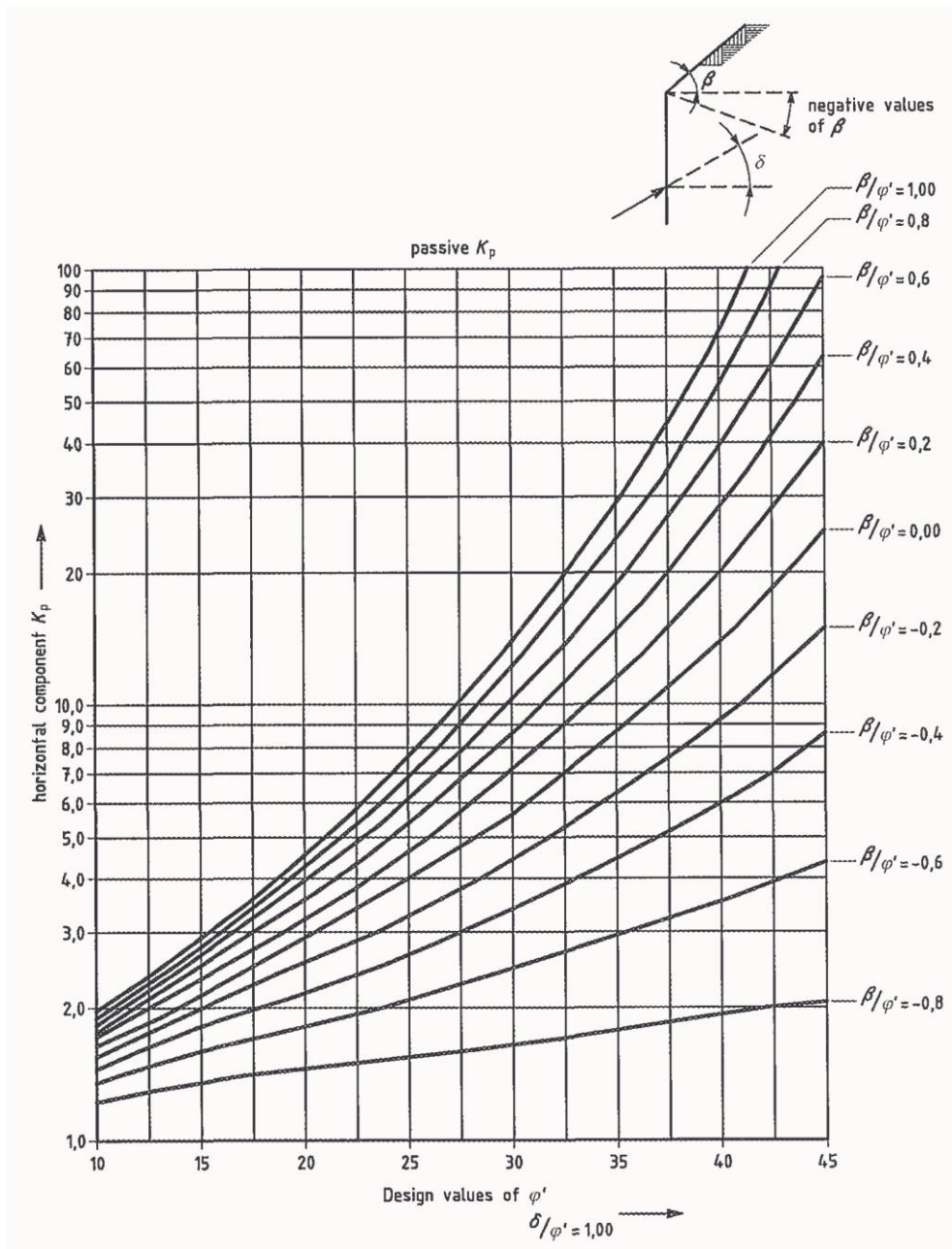
รูปที่ 2.18 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ ($K_{p;d}$) เมื่อ $\beta = 0$ (จาก BS EN1997-1, 2004)



รูปที่ 2.19 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ ($K_{p,d}$) เมื่อ $\beta > 0$, $\frac{\delta_d}{\varphi'_d} = 0$ และ $\delta_d = 0$ (จาก BS EN1997-1, 2004)



รูปที่ 2.20 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ ($K_{p,d}$) เมื่อ $\beta > 0$ และ $\frac{\delta_d}{\varphi'_d} = 0.66$
(จาก BS EN1997-1, 2004)

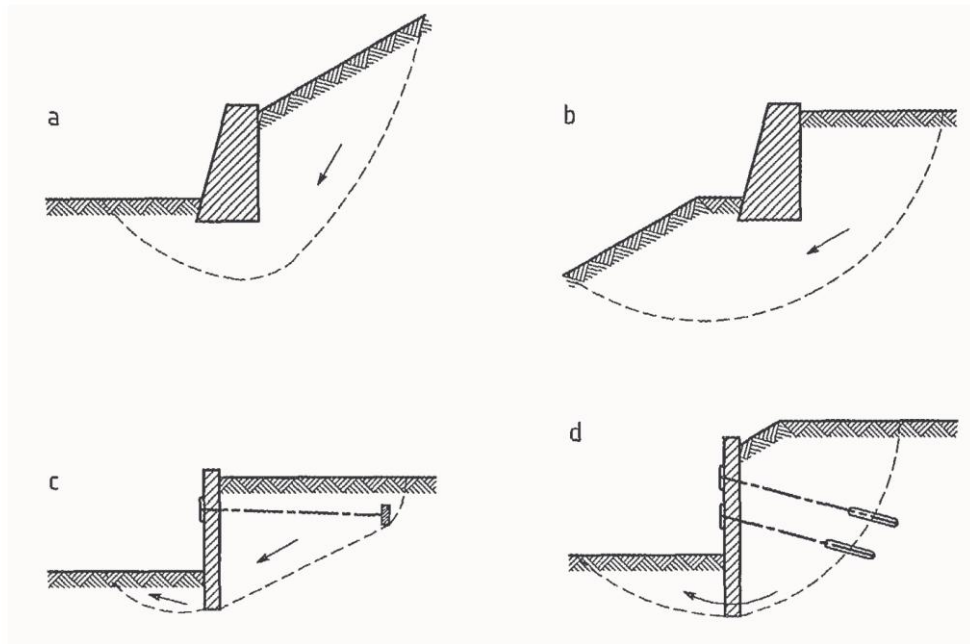


รูปที่ 2.21 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาพแพสซีฟ ($K_{p;d}$) เมื่อ $\beta > 0$ และ $\frac{\delta_d}{\varphi'_d} = 1.0$
(จาก BS EN1997-1, 2004)

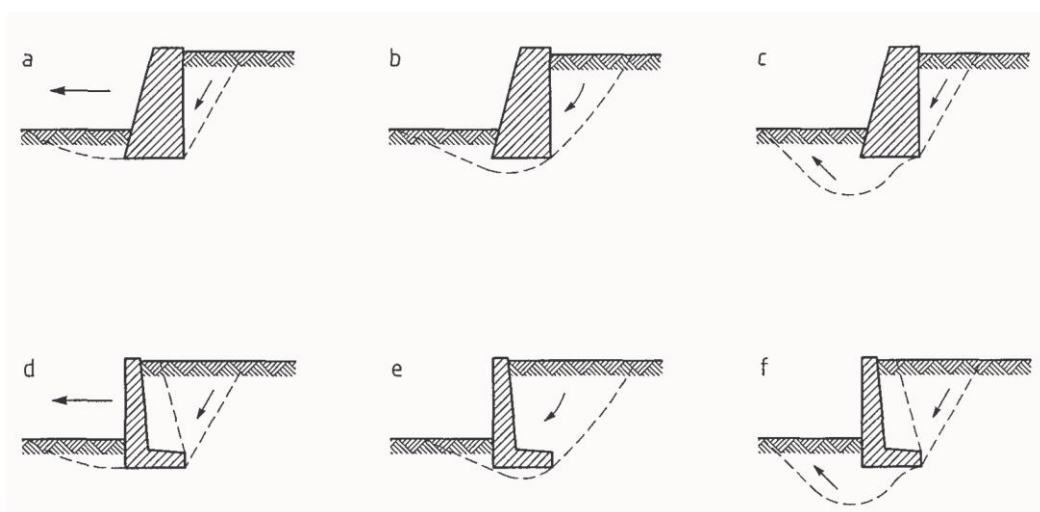
เนื่องจากการออกแบบการออกแบบโครงสร้างกันดินแต่ละแบบ ต้องออกแบบและตรวจสอบการพังทลายแตกต่างกันไป แสดงตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

- การวิบัติเนื่องจากการสูญเสียเสถียรภาพรวม ตามรูปที่ 2.22
- การวิบัติของกำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วง ตามรูปที่ 2.23

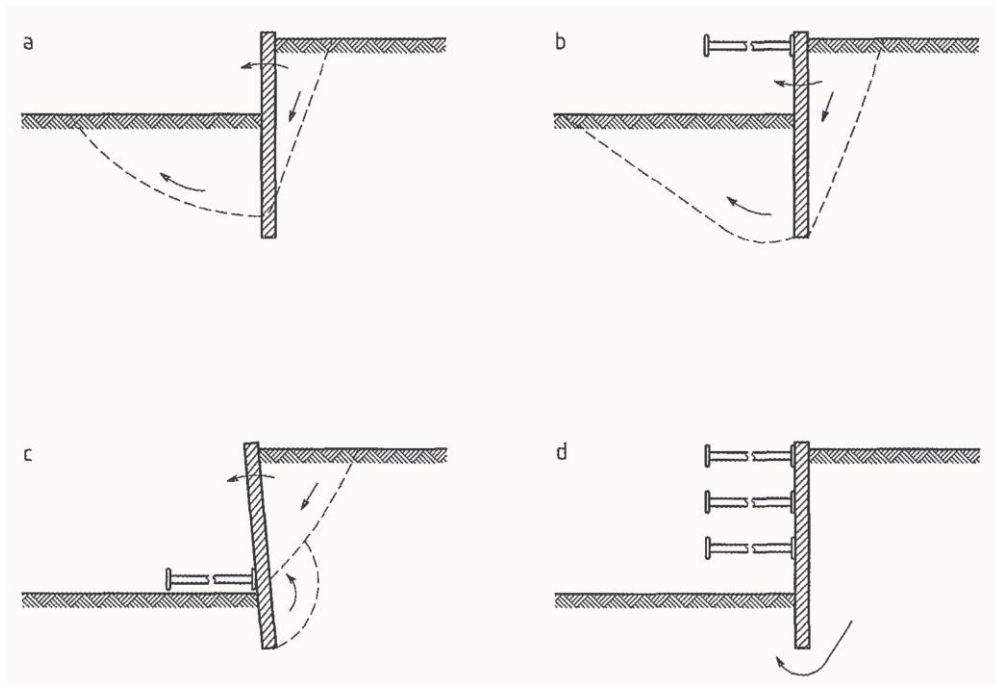
- การวิบัติของกำแพงกันดินแบบฝังจม ตามรูปที่ 2.24 และ 2.25
- การวิบัติของโครงสร้างกันดิน ตามรูปที่ 2.26
- การวิบัติของโครงสร้างที่ช่วยในการรับแรงเช่น สมอยึด เป็นต้น ตามรูปที่ 2.27



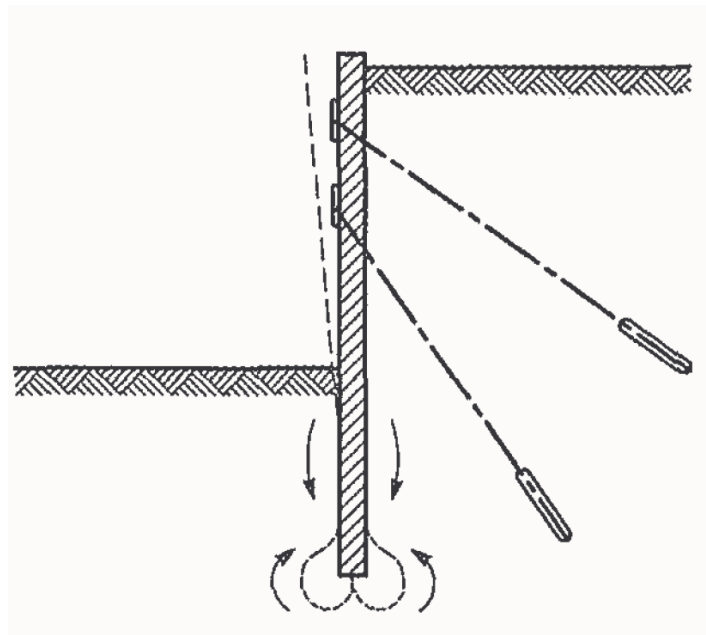
รูปที่ 2.22 การวิบัติเนื่องจากการสูญเสียเสถียรภาพรวม (จาก BS EN1997-1, 2004)



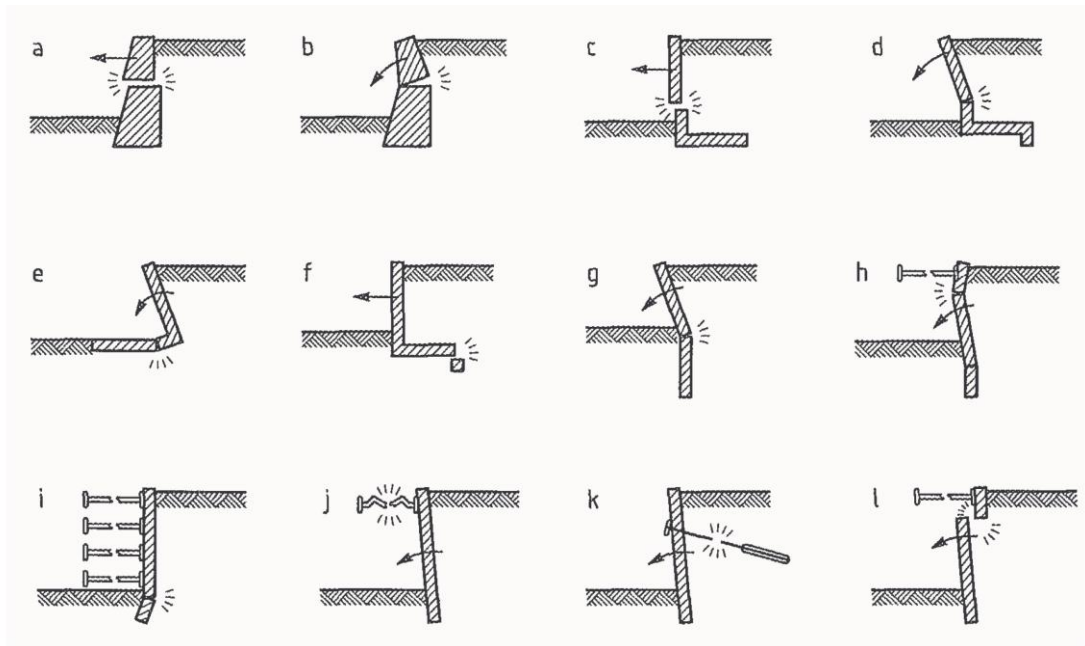
รูปที่ 2.23 การวิบัติของกำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วง (จาก BS EN1997-1, 2004)



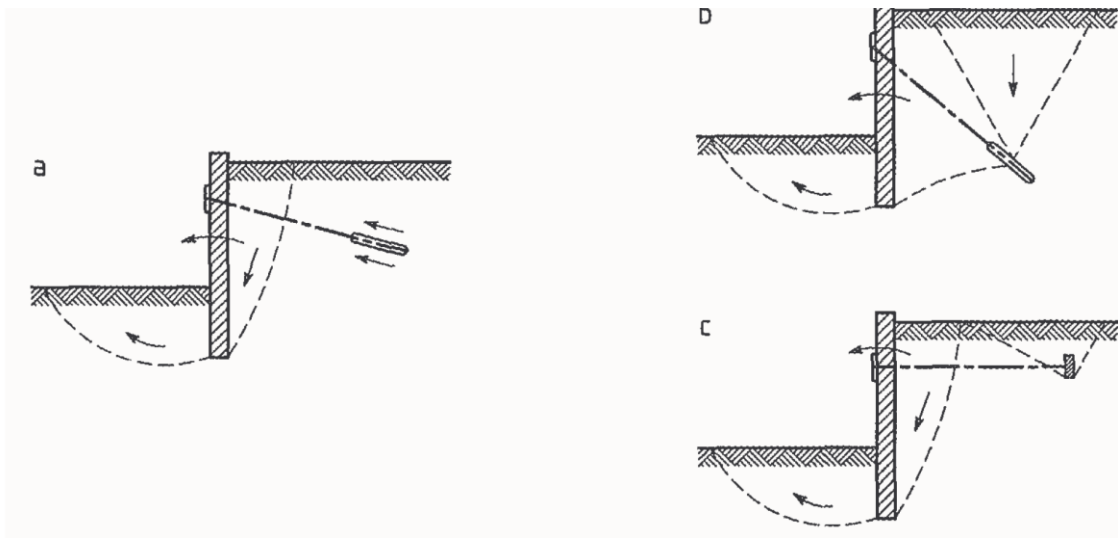
รูปที่ 2.24 การวิบัติของกำแพงกันดินแบบฝังจม (จาก BS EN1997-1, 2004)



รูปที่ 2.25 การวิบัติของกำแพงกันดินแบบฝังจม กรณีสูญเสียสมดุลแนวตั้ง (จาก BS EN1997-1, 2004)



รูปที่ 2.26 การวิบัติของโครงสร้างกันดิน (จาก BS EN1997-1, 2004)



รูปที่ 2.27 การวิบัติของโครงสร้างที่ช่วยในการรับแรงเช่น สมอยึด (จาก BS EN1997-1, 2004)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 ตัวอย่างโครงสร้างในประเทศไทยที่ทำการศึกษา

3.1.1 ฐานรากแผ่ (Spread foundations) แหล่งของข้อมูลที่ได้รับมาเช่น สำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัด บริษัทที่ปรึกษา หรือบริษัทออกแบบ เป็นต้น และตัวอย่างโครงสร้างเช่น ฐานรากแพ ฐานรากกำแพง ฐานรากปล่อง เป็นต้น

3.1.2 ฐานรากเสาเข็ม (Pile foundations) แหล่งของข้อมูลที่ได้รับมาเช่น กรมโยธาธิการและผังเมือง บริษัทที่ปรึกษา บริษัทออกแบบ หรือบริษัทเสาเข็ม เป็นต้น และตัวอย่างโครงสร้างเช่น ฐานรากเสาเข็มเดี่ยวหรือเสาเข็มกลุ่มที่ใช้เสาเข็มเจาะ เสาเข็มรูปตัวไอ เสาเข็มสี่เหลี่ยมหรือเสาเข็มกลมแรงเหวี่ยง เป็นต้น

3.1.3 การออกแบบโครงสร้างกันดิน (Retaining structures)) แหล่งของข้อมูลที่ได้รับมาเช่น กรมโยธาธิการและผังเมือง บริษัทที่ปรึกษา หรือบริษัทออกแบบ เป็นต้น และโครงสร้างที่ศึกษาสามารถแบ่งได้ 3 แบบ ได้แก่

แบบที่ 1 กำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วง (Gravity wall)

แบบที่ 2 กำแพงกันดินแบบฝังจม (Embedded walls)

แบบที่ 3 โครงสร้างกันดินแบบประกอบ (Composite retaining structures)

3.2 รายละเอียดของตัวอย่างโครงการ

3.2.1 แบบแปลนโครงสร้างของตัวอย่างโครงการที่ได้รับมา เพื่อหาแรงกระทำถาวร และแรงกระทำแปรเปลี่ยนสำหรับการออกแบบตามยูโรโค้ด 7

3.2.2 ผลการสำรวจและขุดเจาะดิน เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ดินที่จำเป็นสำหรับการออกแบบตามยูโรโค้ด 7

3.2.3 รายละเอียดการออกแบบของตัวอย่างโครงการที่ได้รับ เพื่อนำรายละเอียดการออกแบบในประเทศไทยมาเปรียบเทียบกับกรออกแบบตามยูโรโค้ด 7

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

การออกแบบแบบการออกแบบซ้ำ (Redesign) รายละเอียดการวิเคราะห์แบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนแรก คัดเลือกตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทยและเป็นข้อมูลที่มีค่าพารามิเตอร์ แรงกระทำ ทฤษฎีในการออกแบบและรายการคำนวณ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 ขนาดโครงสร้างและแฟกเตอร์ใช้งานจากการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค๊ด 7 หาแฟกเตอร์ใช้งานออกแบบโดยใช้น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (factored load) และหาแฟกเตอร์ใช้งานจากรายการคำนวณของตัวอย่างที่ได้รับมา

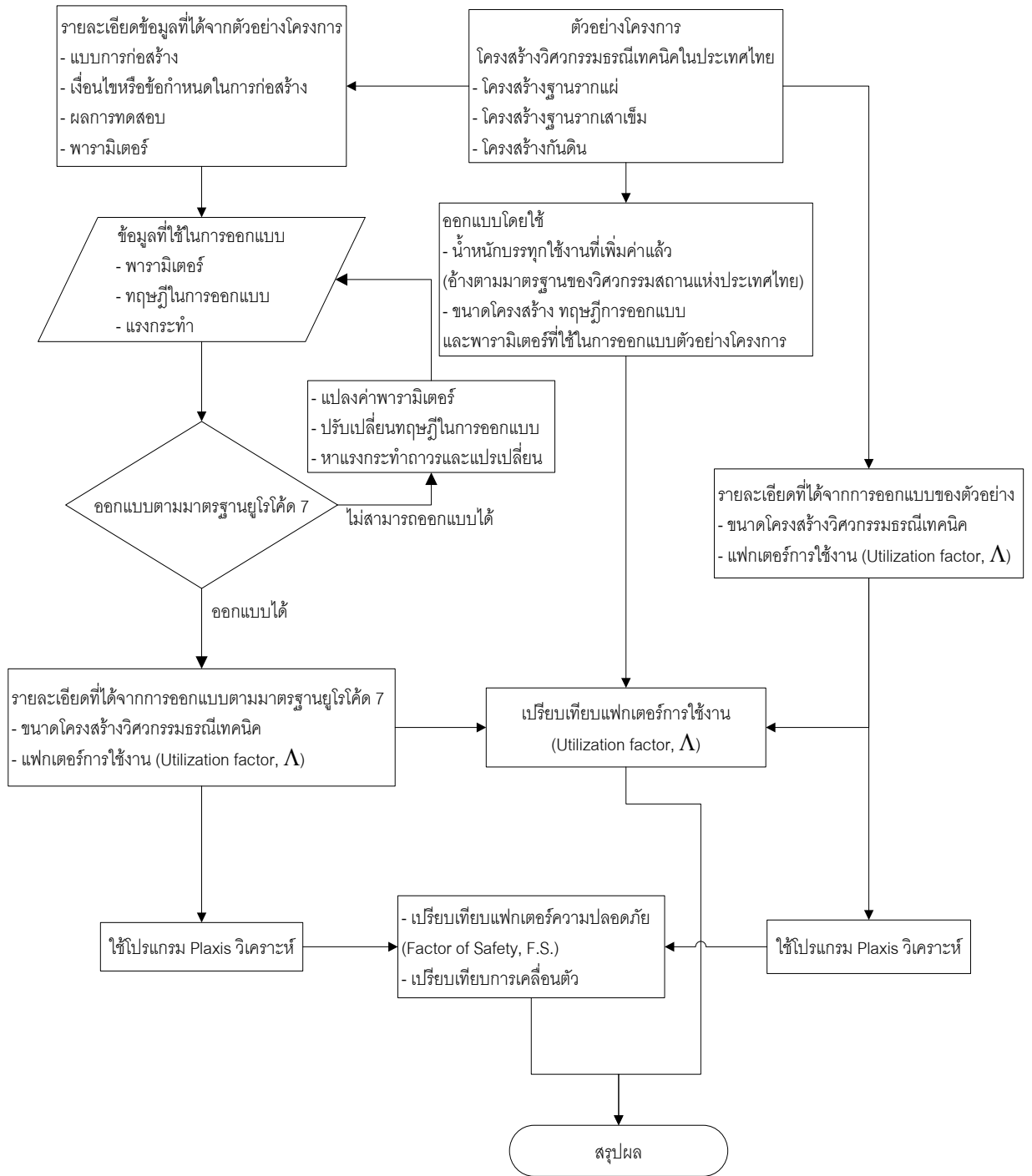
ขั้นตอนที่ 3 เปรียบเทียบแฟกเตอร์ใช้งานที่ได้จากขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ขนาดโครงสร้างของการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค๊ด 7 และโครงสร้างจากตัวอย่างที่ได้รับมา โดยโปรแกรม Plaxis ผลวิเคราะห์ที่ต้องการคือ แฟกเตอร์ความปลอดภัย และค่าการเคลื่อนตัว

ขั้นตอนที่ 5 เปรียบเทียบแฟกเตอร์ความปลอดภัย และค่าการเคลื่อนตัวที่ได้จากขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 6 สรุปผลที่ได้จากการเปรียบเทียบที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 และขั้นตอนที่ 5

ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการวิเคราะห์แบบวิธีการออกแบบซ้ำ

บทที่ 4

ศึกษาการออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมธรณีเทคนิค

ในการออกแบบโครงสร้างฐานรากแผ่ (Spread foundations) ฐานรากเสาเข็ม (Pile foundations) และโครงสร้างกันดิน (Retaining structures) ตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 จำเป็น มีต้องการค่าและรายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ ดังนี้

- 1) ค่าแรงกระทำถาวรและแรงกระทำจร
- 2) ค่าพารามิเตอร์และทฤษฎีหรือสมการที่ใช้สำหรับการแปลค่าของพารามิเตอร์
- 3) ทฤษฎีหรือสมการที่ใช้สำหรับการออกแบบ
- 4) ขนาดและรูปร่างของโครงสร้าง

4.1 ข้อมูลที่จำเป็นในการศึกษาการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7

เมื่อรวบรวมข้อมูลการก่อสร้างในประเทศไทย จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผล และจัดทำข้อมูลที่เป็นสำหรับการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 จากข้อมูลการออกแบบในประเทศไทยที่ได้รับ เมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการของข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบตามมาตรฐาน ยูโรโค้ด 7 จะแสดงได้ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบข้อมูลการออกแบบในประเทศไทยกับข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ ตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7

	ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างการ ออกแบบในประเทศไทย	ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบตาม มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7
ค่าแรงกระทำ	แรงกระทำรวม	แรงกระทำถาวรและแรงกระทำแปรเปลี่ยน
ค่าพารามิเตอร์	ρ, N, C_u และ φ'	ρ, C_u และ φ'
ขนาดและรูปร่างของ โครงสร้าง	มี	ต้องการเพื่อหาแรงกระทำและ เปรียบเทียบการออกแบบ

4.1.1 ค่าแรงกระทำแบ่งเป็น แรงกระทำแบบถาวร แรงกระทำแบบแปรเปลี่ยน (แรงกระทำจร) และแรงกระทำรวม โดยแสดงตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ค่าแรงกระทำที่ใช้ออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในการศึกษาจะ แบ่งเป็น 3 กรณีคือ

กรณีที่ 1 การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design, WSD) เป็นที่นิยมในการออกแบบของวิศวกรรมฐานรากในประเทศไทยและใช้แรงกระทำรวมในการออกแบบ

กรณีที่ 2 การออกแบบโดยวิธีกำลัง (Strength Design Method, SDM) เป็นวิธีการออกแบบวิศวกรรมโครงสร้างวิธีหนึ่งที่มีอยู่ในประเทศไทย โดย **น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (factored load)** จะอ้างอิงตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ตามสมการที่ 4.1 และจะใช้แรงกระทำแบบถาวรและแบบแปรเปลี่ยนในการออกแบบ

$$U = 1.4D + 1.7L \quad (4.1)$$

กรณีที่ 3 การออกแบบสถานะขีดจำกัดประลัย (Ultimate Limit State) เป็นวิธีการออกแบบวิศวกรรมกรณีเทคนิคตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 และจะใช้แรงกระทำแบบถาวรและแบบแปรเปลี่ยนในการออกแบบ

2) ค่าแรงกระทำแบบถาวรสามารถหาได้จากการคำนวณน้ำหนักจากแบบก่อสร้าง โดยกำหนดให้ค่าหน่วยน้ำหนักของวัสดุและค่าน้ำหนักถาวรดังนี้

- หน่วยน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก 2400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- หน่วยน้ำหนักเหล็ก 7850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- วัสดุถมหลังคา 15 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- หน่วยน้ำหนักกำแพง 180 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

3) แรงกระทำแบบแปรเปลี่ยนจะคำนวณจากการกำหนดน้ำหนักจร โดยกำหนดตามกรณีดังนี้

กรณีที่ 1 อ้างอิงตามข้อกำหนดของพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 หรือข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ว่าด้วยเรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 ได้กำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำเพื่อใช้ควบคุมการออกแบบไว้ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางนำหน้าบรรทุกจรชั้นต่ำเพื่อใช้ควบคุมการออกแบบตามข้อกำหนดของพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 หรือข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ว่าด้วยเรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544

ประเภทการใช้อาคาร	นำหน้าบรรทุกจรชั้นต่ำ (กก.ต่อตร.ม.)
1. หลังคา	50
2. พื้นกันสาดหรือพื้นหลังคาคอนกรีต	100
3. ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ-ห้องส้วม	150
4. ห้องแถว ตึกแถว อาคารชุด หอพัก โรงแรม	200
5. สำนักงาน ธนาคาร	250
6. อาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน	300
7. ห้องโถง บันไดและช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม โรงพยาบาล สำนักงาน ธนาคาร	300
8. ตลาด ห้างสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในหอสมุด ที่จอดรถ/เก็บรถยนต์นั่ง	400
9. ห้องโถง บันไดและช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน	400
10. คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑสถาน อิมเจอร์ โรงพิมพ์ โรงงาน อุตสาหกรรม ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
11. ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด ห้างสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร และหอสมุด	500
12. ห้องเก็บหนังสือของหอสมุด	600
13. ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่าและรถอื่นๆ	800
14. แรงลมที่กระทำต่ออาคาร (กรณีไม่มีเอกสารอ้างอิง)	
– ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	50
– ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	80
– ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	120
– ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 40 เมตร	160

กรณีที่ 2 แรงกระทำแบบแปรเปลี่ยนที่ใช้ในการออกแบบในมาตรฐานยูโรโค้ดสามารถหาได้จากตารางที่ 2.1

4.1.2 ค่าพารามิเตอร์และทฤษฎีหรือสมการที่ใช้สำหรับการแปลค่าของพารามิเตอร์

การแปลค่าของพารามิเตอร์ที่ได้จากการเจาะสำรวจชั้นดินในสนามโดยแปลค่าตามสมการต่อไปนี้

- ปรับค่า N สำหรับดินเม็ดหยาบตามคำแนะนำ เลี้ยว และ โรเบิร์ตส์ วิทแมน (Liao & Whitman, 1986) ตามสมการที่ 4.2a หรือ โรดริโก ซัลกาโด (Salgado, 2007) ตามสมการที่ 4.2b ที่ระดับความเค้นอ้างอิง ($p_A = 100$ kPa)

$$N_1 = N \sqrt{\frac{p_A}{\sigma'_v}} \quad (4.2a)$$

$$N_1 = N \sqrt{\frac{p_A K_{0,NC}}{\sigma'_v K_0}} \quad (4.2b)$$

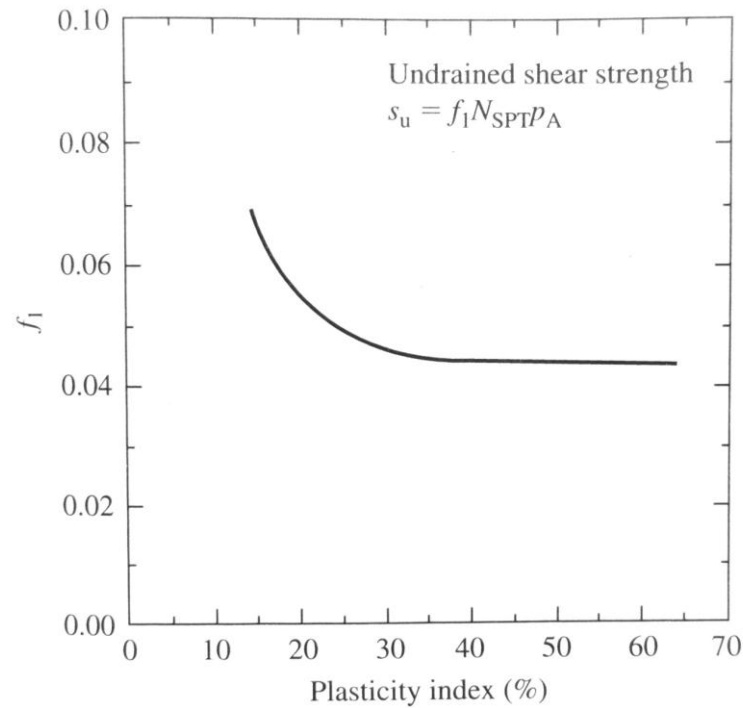
- ปรับแก้ค่า N สำหรับ Fine sand และ silty sand ที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน จะมีผลจากแรงดันน้ำ (Terzaghi และ Peck) ตามสมการที่ 4.2c และ 4.2d

$$N_{cor} = 15 + 0.5(N - 15) \quad \text{ถ้า } N > 15 \quad (4.2c)$$

$$N_{cor} = N \quad \text{ถ้า } N \leq 15 \quad (4.2d)$$

- ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (c_u) จากความสัมพันธ์เชิงประสบการณ์สำหรับตัวอย่างที่มีการทดสอบค่าดัชนีพลาสติกจะได้ตามสมการของสเตราซ์ (Stroud, 1975) แสดงตามสมการที่ 4.2f c และตามรูปที่ 4.1

$$\frac{c_u}{p_A} = 0.82 f_1 N_{60} \quad (\text{Stroud, 1975}) \quad (4.2f)$$



รูปที่ 4.1 ค่า f_1 สำหรับหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (c_u) ของสเตรอาซ์ (Stroud, 1975)

- ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (c_u) (ตัวอย่างการออกแบบในประเทศไทย) ตามสมการของที่ 4.2g

$$c_u = N_{cor}/1.5 \text{ t/m}^2 \quad (\text{Terzaghi \& Peck, 1967}) \quad (4.2g)$$

- กำลังรับแรงอัดแกนเดียว (q_u) สำหรับตัวอย่างดินเหนียวแข็งแบบไม่ถูกรบกวน ตามสมการของที่ 4.2h

$$q_u = 1.225N_{cor} \text{ t/m}^2 \quad (4.2h)$$

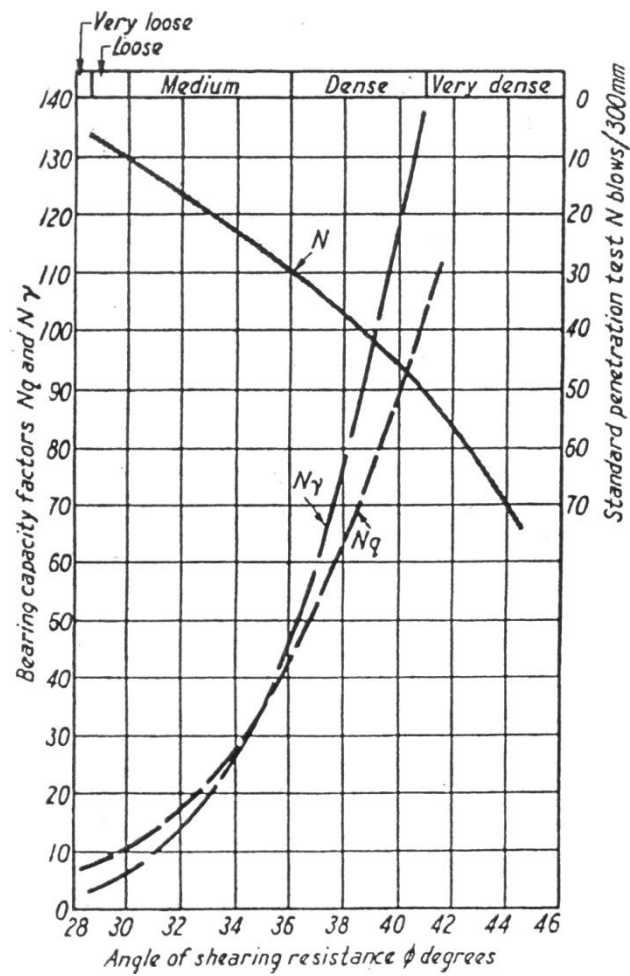
- ค่ามุมเสียดทานภายใน (φ') สำหรับดินเม็ดหยาบหาได้จากความสัมพันธ์ตามรูปที่ 4.2 หรือสมการที่ 4.2i

$$\varphi' = \sqrt{20(N_1)_{60}} + 20 \quad (\text{Hatanaka \& Uchida, 1996}) \quad (4.2i)$$

- ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density, D_r , %) หาได้จากสมการที่ 4.2j สมการที่ 4.2k หรือตารางที่ 4.4

$$D_r(\%) = \left[\frac{N_{60}}{17+24\left(\frac{\sigma'_v}{p_A}\right)} \right]^{0.5} \quad (\text{Meyerhof, 1957}) \quad (4.2j)$$

$$D_r(\%) = \left[\frac{N_{60} \left(0.23 + \frac{0.06}{D_{50}} \right)^{1.7}}{9} \left(\frac{1}{\frac{\sigma'_o}{p_A}} \right) \right]^{0.5} \times 100 (\%) \quad (\text{Cubrinovski \& Ishihara, 1999}) \quad (4.2j)$$



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบ SPT กับค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ')

ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

พารามิเตอร์	ประเภทชั้นดิน	จากตัวอย่างการออกแบบในประเทศไทย		ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ ยูโรโค้ด 7
		วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	
N -value (SPT)	Sand	N		$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{p_A}{\sigma'_v}}$ หรือ
	Fine sand หรือ Silty sand	$N_{cor} = 15 + \frac{1}{2}(N - 15)$		$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{p_A}{\sigma'_v} \frac{K_{0,NC}}{K_0}}$
	Clay			N_{60}
C_u	Clay	C_u หรือ $N_{cor}/1.5 (t/m^2)$ หรือ $0.6125N_{cor} (t/m^2)$		C_u หรือ $\frac{C_u}{p_A} = 0.82f_1N_{60}$
φ'	Fine sand หรือ Silty sand	รูปที่ 4.3		$\varphi' = \sqrt{20(N_1)_{60}} + 20$
	Sand			
ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density, D_r %)	$D_r(\%) = \left[\frac{N_{60}}{17+24\left(\frac{\sigma'_o}{p_A}\right)} \right]^{0.5}$			
	$D_r(\%) = \left[\frac{N_{60}(0.23+\frac{0.06}{D_{50}})^{1.7}}{9} \left(\frac{1}{\frac{\sigma'_o}{p_A}} \right) \right]^{0.5} (100)$ หรือตารางที่ 4.4			

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของดินเม็ดหยาบกับค่า N และ N_{60}

N	N_{60}	ระดับการบดอัด (Compactness)	หน่วยน้ำหนัก (kN/m^3)	ค่าความหนาแน่น สัมพัทธ์ (D_r %)	มุมเสียดทาน ภายใน (φ')
0 – 4	0 – 3	หลวมมาก (Very loose)	11 – 13	0 – 20	26 – 28
4 – 10	3 – 9	หลวม (Loose)	14 – 16	20 – 40	29 – 34
10 – 30	9 – 25	ปานกลาง (Medium)	17 – 19	40 – 70	35 – 40
30 – 50	25 – 45	แน่น (Dense)	20 – 21	70 – 85	38 – 45
>50	>45	แน่นมาก (Very dense)	>21	>85	>45

4.1.3 ทฤษฎีหรือสมการที่ใช้สำหรับการออกแบบ

1) ฐานรากแผ่ (Spread foundations)

สมการที่ใช้ในการออกแบบฐานรากแผ่จะแสดงตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สมการการออกแบบฐานรากแผ่

	สมการ	หมายเหตุ
ตัวอย่างการออกแบบในประเทศไทย	$q_u = \frac{N^2 BR_w + 3(100 + N^2)DR'_w}{31} \quad (t/m^2)$	จากตัวอย่าง
สำหรับดินเม็ดหยาบ (Teng, 1962)	$q_u = 2N^2 BW' + 6(100 + N^2)DW \quad (\text{psf})$	ฐานรากสี่เหลี่ยม
	$q_u = 3N^2 BW' + 5(100 + N^2)DW \quad (\text{psf})$	ฐานรากกำแพง
สมการการออกแบบที่ มาตรฐานยุโรปโคดี 7 แนะนำ	$\frac{R_k}{A'} = (\pi + 2)C_{u;d}b_c s_{c;d} i_{c;d} + q_d$	Undrained
	$\frac{R_k}{A'} = C'_{d;N} N_{c;d} b_{c;d} s_{c;d} i_{c;d} + q'_{d;N} N_{q;d} b_{q;d} s_{q;d} i_{q;d} + 0.5\gamma'_{d;B} B' N_{\gamma;d} b_{\gamma;d} s_{\gamma;d} i_{\gamma;d}$	Drained

2) ฐานรากเสาเข็ม (Pile foundations)

- สมการที่ใช้ในการออกแบบสถานะขีดจำกัดประลัยจะแสดงตามตารางที่ 4.6

- สมการที่ใช้ในการออกแบบที่ได้จากตัวอย่างในประเทศไทยจะแสดงตามตาราง

ที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 สมการที่ใช้ในการออกแบบเสาเข็ม (ใช้ในศึกษามาตรฐานยูโรโค้ด 7)

ประเภท	ดิน	แรงต้านทาน	สมการ
เสาเข็มตอก	Clay ¹	แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม	$\alpha_d = \begin{cases} \left(\frac{C_{u;d}}{\sigma'_{v;d}}\right)_{NC}^{0.5} \left(\frac{C_{u;d}}{\sigma'_{v;d}}\right)^{-0.5} & \text{เมื่อ } \frac{C_{u;d}}{\sigma'_{v;d}} \leq 1 \\ \left(\frac{C_{u;d}}{\sigma'_{v;d}}\right)_{NC}^{0.5} \left(\frac{C_{u;d}}{\sigma'_{v;d}}\right)^{-0.25} & \text{เมื่อ } \frac{C_{u;d}}{\sigma'_{v;d}} > 1 \end{cases}$
			$q_{s;i;k} = \alpha_d C_{u;d}$
		แรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม	$q_{b;k} = 10C_{u;d}$
	Sand ²	แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม	$q_{s;i;k} = K_d \sigma'_{v;d} \tan \delta_d$ เมื่อ $\delta_d = \varphi_{cv;d}$
			$K_d = 0.02 N_{q;ult;d}$
		แรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม	$q_{b;k} = q_{b,10\%;k} = N_{q;ult;d} \sigma'_{v;d}$ $N_{q;ult;d} = 0.136 \exp(0.182 \varphi'_d)$
เสาเข็มเจาะและเสาเข็มแบบ CFA	Clay ³	แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม	$q_{s;i;k} = \alpha_d C_{u;d}$ เมื่อ $\alpha_d = 0.55$
		แรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม	$q_{b;k} = q_{b,5\%;k} = \begin{cases} 6C_{u;d} & \text{if } C_{u;d} \leq 5 \text{ t/m}^2 \\ 8C_{u;d} & \text{if } 5 < C_{u;d} \leq 10 \text{ t/m}^2 \\ 9C_{u;d} & \text{if } C_{u;d} > 10 \text{ t/m}^2 \end{cases}$
	Sand ⁴	แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม	$q_{s;i;k} = K_d \sigma'_{v;d} \tan \delta_d$ เมื่อ $\delta_d = \varphi_{cv;d}$
			$*K_d = 0.7 K_{0;d} \exp \left\{ \left[0.0114 - 0.0022 \ln \left(\frac{\sigma'_{v;d}}{p_A} \right) \right] D_r \right\}$
		แรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม	$q_{b;k} = q_{b,10\%;k} = [0.23 \exp(-0.0066 D_r)] q_{bL}$
			$\frac{q_{bL}}{p_A} = 1.64 \exp[0.1041 \varphi_{c;d} + (0.0264 - 0.0002 \varphi_{c;d}) D_r] \left(\frac{\sigma'_{v;d}}{p_A} \right)^{0.841 - 0.0047 D_r}$

หมายเหตุ

¹ API (1993), Randolph and Murphy (1985), Salgado (2006a)² Fleming et al. (1992)³ O'Neill and Reese (1999)⁴ Lee and Salgado (1999), Salgado and Prezzi (2006), Fleming et al. (1999), Neely (1991)* สำหรับเสาเข็มแบบ Continuous Flight Auger (CFA); $0.9 \leq K_d \leq 1$ และ $K_d = 0.6$ เมื่ออยู่ในชั้นดิน Silt หรือ Sand containing silt

ตารางที่ 4.7 สมการที่ใช้ในการออกแบบฐานรากเสาเข็มที่ได้จากตัวอย่างในประเทศไทย

ดิน	แรงต้านทาน	สมการ	หมายเหตุ
Clay	แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม	$q_{s,i} = \alpha C_u$	-
	แรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม	$q_b = N_c C_u$	$N_c = 9$
Sand	แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม	$q_{s,i} = K_s \sigma'_v \tan \delta$	-
	แรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม	$q_b = \sigma'_v N_q$	ค่า N_q ได้จากรูปที่ 4.3

3) การออกแบบโครงสร้างกันดิน (Retaining structures)

สมการที่ใช้ในการออกแบบจะแสดงตามตารางที่ 4.8

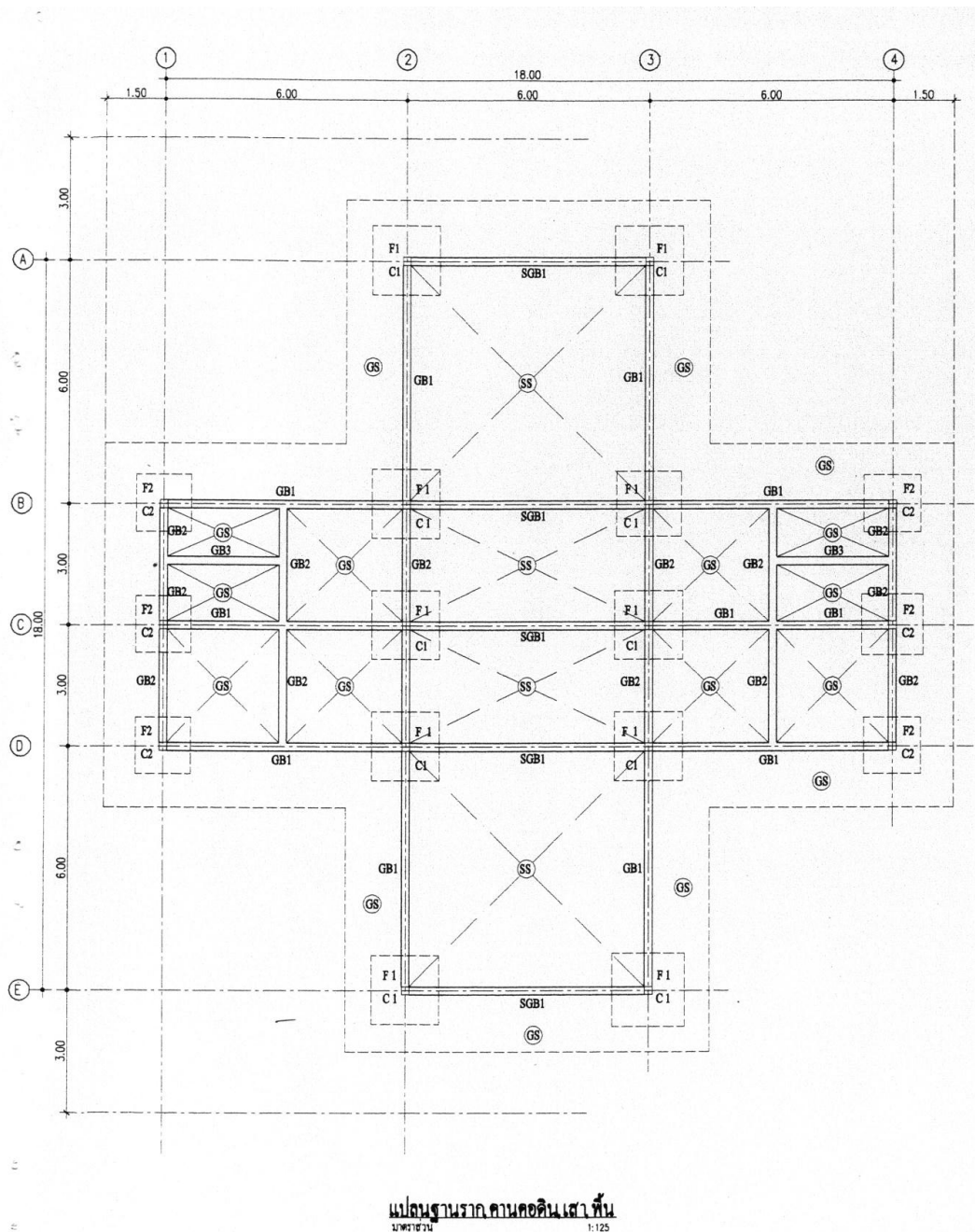
ตารางที่ 4.8 สมการที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างกันดิน

		สมการ
สมการที่มาตรฐาน ยุโรปได้ 7 แนะนำ	δ_d	$\delta_d = \frac{2}{3} \varphi'_{cv;d}$ (สำหรับโครงสร้างหล่อสำเร็จ หรือโครงสร้างอยู่ในชั้นดินทรายหรือหิน)
		$\delta_d = \varphi'_{cv;d}$ (สำหรับโครงสร้างหล่อในที่และการหล่อโครงสร้างต้องสัมผัสดินโดยตรง)
	$K_{a;d}$	จากกราฟ 2.14 ถึง 2.17
	$K_{p;d}$	จากกราฟ 2.18 ถึง 2.21
	$\sigma_{a;d}(z)$	$\sigma_{a;d}(z) = K_{a;d}(\gamma_d z + q_d) - 2C_d \sqrt{K_{a;d}}$
	$\sigma_{p;d}(z)$	$\sigma_{p;d}(z) = K_{p;d}(\gamma_d z + q_d) + 2C_d \sqrt{K_{p;d}}$
ตัวอย่างการออกแบบ ในประเทศไทย	$K_{a;d}$	$K_{a;d} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi'_d}{2} \right)$
	$K_{p;d}$	$K_{p;d} = \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'_d}{2} \right)$
	$\sigma_a(z)$	$\sigma_a(z) = K_a \gamma h$
	$\sigma_p(z)$	$\sigma_p(z) = K_p \gamma h$

4.2 เปรียบเทียบการออกแบบฐานรากแผ่

4.2.1 ตัวอย่างฐานรากแผ่ตัวอย่างที่ 1 โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก จะแสดงรายละเอียดดังนี้

- แบบก่อสร้างตามรูปที่ 4.3 แรงกระทำต่อฐานรากแสดงตามตารางที่ 4.9
- พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบแสดงในตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.3 แปลนฐานรากโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงแรงกระทำที่กระทำต่อฐานรากที่ได้จากโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

		1			2			3			4		
		DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total
A	ฐานราก	F2			F1			F1			F2		
	หน่วยแรงใช้งาน						23.12			23.12			
	วิธีกำลัง				8.820	11.025	19.845	8.820	11.025	19.845			
	ยูโรโค้ด 7				8.820	11.700	20.520	8.820	11.700	20.520			
B	ฐานราก	F2			F1			F1			F2		
	หน่วยแรงใช้งาน			18.00			23.12			23.12			18.00
	วิธีกำลัง	10.534	4.050	14.584	11.669	14.850	26.519	11.669	14.850	26.519	10.534	4.050	14.584
	ยูโรโค้ด 7	10.534	5.400	15.934	11.669	15.300	26.969	11.669	15.300	26.969	10.534	5.400	15.934
C	ฐานราก	F2			F1			F1			F2		
	หน่วยแรงใช้งาน			18.00			23.12			23.12			18.00
	วิธีกำลัง	11.951	4.050	16.001	10.111	10.350	20.461	10.111	10.350	20.461	11.951	4.050	16.001
	ยูโรโค้ด 7	11.951	5.400	17.351	10.111	10.800	20.911	10.111	10.800	20.911	11.951	5.400	17.351

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงแรงกระทำที่กระทำต่อฐานรากที่ได้จากโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก (ต่อ)

		1			2			3			4		
		DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total
D	ฐานราก	F2			F1			F1			F2		
	หน่วยแรงใช้งาน			18.00			23.12			23.12			18.00
	วิธีกำลัง	10.154	4.050	14.204	11.669	14.850	26.519	11.669	14.850	26.519	10.154	4.050	14.204
	ยูโรโค้ด 7	10.154	5.400	15.554	11.669	15.300	26.969	11.669	15.300	26.969	10.154	5.400	15.554
E	ฐานราก				F1			F1					
	หน่วยแรงใช้งาน						23.12			23.12			
	วิธีกำลัง				8.820	11.025	19.845	8.820	11.025	19.845			
	ยูโรโค้ด 7				8.820	11.700	20.520	8.820	11.700	20.520			

หมายเหตุ

วิธีกำลัง – น้ำหนักบรรทุกจรของหลังคา 50 kg/m², น้ำหนักบรรทุกจรของพื้นที่สำนักงาน 250 kg/m² และน้ำหนักบรรทุกจรของพื้นที่ชั่งน้ำหนักรถ 800 kg/m²
 ยูโรโค้ด 7 – น้ำหนักบรรทุกจรของหลังคา 50 kg/m², น้ำหนักบรรทุกจรของพื้นที่สำนักงาน 350 kg/m² และน้ำหนักบรรทุกจรของพื้นที่ชั่งน้ำหนักรถ 750 kg/m²

ตารางที่ 4.10 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบในมาตรฐานยูโรโค้ด 7

ระดับความลึก (m)	ชนิดดิน	หน่วยน้ำหนักดิน (t/m ³)		กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m ²)		ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	
		จำนวนตัวอย่าง	ค่าที่ใช้	จำนวนตัวอย่าง	ค่าที่ใช้	จำนวนตัวอย่าง	ค่าที่ใช้
0 - 20	Clayey silts	6	1.91	0	0	9	40

1) ตำแหน่ง B-1 ฐานราก F1 จะแสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของตัวอย่างกับการออกแบบมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแผ่ F1

	ตัวอย่างการออกแบบในประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐานยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F)	-	-	A1	
แรงกระทำถาวร (t)	-	11.669	11.669	11.669
น้ำหนักฐานราก	-	1.35	1.35	0.486
γ_G	-	1.4	1.35	1.35
ค่าออกแบบแรงกระทำถาวร (t)	-	18.2266	17.5757	16.4093
แรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	14.85	15.3	15.3
γ_Q	-	1.7	1.5	1.5
ค่าออกแบบแรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	25.245	22.950	22.950
E_d (t)	23.12	43.4716	40.5257	39.3593

ตารางที่ 4.11 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแผ่ F1 (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M)	-	-	M2	
N – value	15	15	-	-
R_w	0.8	0.8	-	-
R'_w	0.8	0.8	-	-
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	1.91	1.91
γ	-	-	1	1
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	1.91	1.91
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m^3)	-	-	0.91	0.91
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	-	-	0	0
γ_{cu}	-	-	1.4	1.4
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบาย น้ำ, $C_{u;d}$ (t/m^2)	-	-	0	0
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	-	-	40	40
$\gamma_{\varphi'}$	-	-	1.25	1.25
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	-	-	33.87	33.87
$N_{q,d}$	-	-	28.98	28.98
$N_{\gamma,d}$	-	-	37.56	37.56
ความกว้างประสิทธิผลของฐานราก, B' (m)	1.5	1.5	1.5	0.9
ความยาวประสิทธิผลของฐานราก, L' (m)	1.5	1.5	1.5	0.9
พื้นที่หน้าตัดฐานรากประสิทธิผล, A' (m^2)	2.25	2.25	2.25	0.81
ความหนาฐานราก (m)	0.25	0.25	0.25	0.25
ความลึกของฐานราก, D (m)	1	1	1	1

ตารางที่ 4.11 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแผ่ F1 (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
เงื่อนไขการออกแบบ	-	-	ระบายน้	
หน่วยแรงกดเหนือระดับฐานราก, q_d (t/m ²)	0	0	1.91	1.91
หน่วยแรงกดทับประสิทธิผลเหนือระดับฐาน ราก, q'_d (t/m ²)	0	0	0.91	0.91
$b(q;d)$	-	-	1	1
$b(\gamma;d)$	-	-	1	1
$s(q;d)$	-	-	1.557	1.557
$s(\gamma;d)$	-	-	0.7	0.7
$i(q;d)$	-	-	1	1
$i(\gamma;d)$	-	-	1	1
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R)	-	-	R3	
แรงแบกทานของดิน (t)	76.210	76.210	132.770	41.984
$\gamma_{R,v}$	-	-	1	1
ค่าออกแบบของแรงต้านทานต่อแรงกระทำ, R_d (t)	76.210	76.210	132.770	41.984
แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)	3.30	-	-	-
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)	30.34%	57.04%	30.52%	93.75%
ขนาดฐานราก	1.5x1.5	1.5x1.5	1.5x1.5	0.9x0.9

2) ตำแหน่ง C-1 ฐานราก F2 จะแสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของตัวอย่างกับการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแผ่ F2

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F)	-	-	A1	
แรงกระทำถาวร (t)	-	11.951	11.951	11.951
น้ำหนักฐานราก	-	1.014	1.014	0.3375
γ_G	-	1.4	1.35	1.35
ค่าออกแบบแรงกระทำถาวร (t)	-	18.151	17.503	16.589
แรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	4.05	5.4	5.4
γ_Q	-	1.7	1.5	1.5
ค่าออกแบบแรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	6.885	8.100	8.100
E_d (t)	18.00	25.036	25.603	24.689
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M)	-	-	M2	
N – value	15	15	-	-
R_w	0.8	0.8	-	-
R'_w	0.8	0.8	-	-
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	1.91	1.91
γ_r	-	-	1	1
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	15	15	1.91	1.91
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m^3)	-	-	0.91	0.91
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	-	-	0	0
γ_{Cu}	-	-	1.4	1.4
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบาย น้ำ, $C_{u;d}$ (t/m^2)	-	-	0	0

ตารางที่ 4.12 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแม่ F2 (ต่อ)

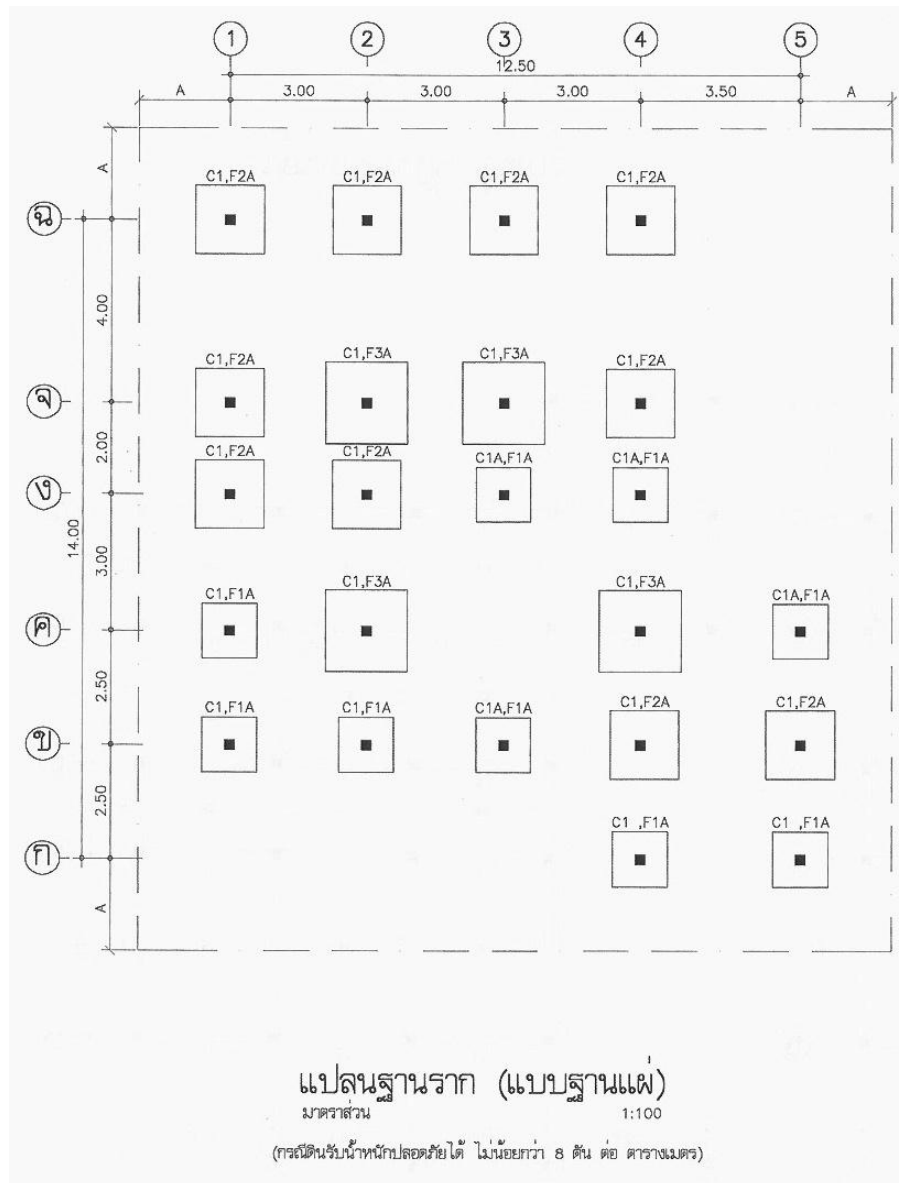
	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	-	-	40	40
γ_{φ}	-	-	1.25	1.25
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	-	-	33.87	33.87
$N_{q,d}$	-	-	28.978	28.978
$N_{\gamma,d}$	-	-	37.558	37.558
ความกว้างประสิทธิผลของฐานราก, B' (m)	1.3	1.3	1.3	0.75
ความยาวประสิทธิผลของฐานราก, L' (m)	1.3	1.3	1.3	0.75
พื้นที่หน้าตัดฐานรากประสิทธิผล, A' (m ²)	1.69	1.69	1.69	0.563
ความหนาฐานราก (m)	0.25	0.25	0.25	0.25
ความลึกของฐานราก, D (m)	1	1	1	1
เงื่อนไขการออกแบบ	-	-	ระบายนํ้า	
หน่วยแรงกดเหนือระดับฐานราก, q_d (t/m ²)	0	0	1.91	1.91
หน่วยแรงกดทับประสิทธิผลเหนือระดับฐาน ราก, q'_d (t/m ²)	0	0	0.91	0.91
$b(q;d)$	-	-	1	1
$b(\gamma;d)$	-	-	1	1
$s(q;d)$	-	-	1.557	1.557
$s(\gamma;d)$	-	-	0.7	0.7
$i(q;d)$	-	-	1	1
$i(\gamma;d)$	-	-	1	1
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R)	-	-	R3	
แรงแบกทานของดิน (t)	55.279	55.279	95.682	28.146
$\gamma_{R,v}$	-	-	1	1
ค่าออกแบบของแรงต้านทานต่อแรงกระทำ, Rd (t)	55.279	55.279	95.682	28.146

ตารางที่ 4.12 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแม่ F2 (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)	3.07	-	-	-
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)	32.56%	45.29%	26.76%	87.72%
ขนาดฐานราก	1.3x1.3	1.3x1.3	1.3x1.3	0.75x0.75

4.2.2 ตัวอย่างฐานรากแม่ตัวอย่างที่ 2 โครงการก่อสร้างอาคารศูนย์อบรมและ
เรียนรู้ จะแสดงรายละเอียดดังนี้

- แบบก่อสร้างตามรูปที่ 4.4 แรงกระทำต่อฐานรากแสดงตามตารางที่ 4.13
- พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบแสดงในตารางที่ 4.14



รูปที่ 4.4 แปลนฐานรากโครงการก่อสร้างอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้อ

หมายเหตุ

- วิธีกำลัง - น้ำหนักบรรทุกจรของหลังคา 50 kg/m^2
 - น้ำหนักบรรทุกจรของพื้นที่สำนักงาน 250 kg/m^2

- ยูไรค์ด 7 - น้ำหนักบรรทุกจรของหลังคา 50 kg/m^2
 - น้ำหนักบรรทุกจรของพื้นที่สำนักงาน 350 kg/m^2

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงแรงกระทำที่กระทำต่อฐานรากที่ได้จากโครงการก่อสร้างอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

		1			2			3			4			5		
		DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total
ด	ฐานราก	F2A			F2A			F2A			F2A					
	หน่วยแรงใช้งาน			18.00			18.00			18.00			18.00			
	วิธีกำลัง	10.34	2.06	12.40	12.11	3.54	15.65	14.10	3.54	17.64	10.15	2.06	12.21			
	ยูโรโค้ด 7	10.34	2.66	13.00	12.11	4.74	16.85	14.10	4.74	18.84	10.15	2.66	12.81			
จ	ฐานราก	F2A			F3A			F3A			F2A					
	หน่วยแรงใช้งาน			18.00			25.92			25.92			18.00			
	วิธีกำลัง	12.59	2.72	15.30	15.73	4.97	20.70	16.52	5.04	21.56	11.55	2.81	14.36			
	ยูโรโค้ด 7	12.59	3.62	16.20	15.73	6.77	22.50	16.52	6.84	23.36	11.55	3.71	15.26			
ง	ฐานราก	F2A			F2A			F1A			F1A					
	หน่วยแรงใช้งาน			18.00			18.00			11.52			11.52			
	วิธีกำลัง	9.05	2.26	11.31	12.17	4.14	16.31	7.21	3.75	10.96	4.37	1.88	6.25			
	ยูโรโค้ด 7	9.05	3.01	12.06	12.17	5.64	17.81	7.21	5.25	12.46	4.37	2.63	7.00			

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงแรงกระทำที่กระทำต่อฐานรากที่ได้จากโครงการก่อสร้างอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้ (ต่อ)

		1			2			3			4			5		
		DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total
ค	ฐานราก	F1A			F3A						F3A			F1A		
	หน่วยแรงใช้งาน			11.52			25.92						25.92			11.52
	วิธีกำลัง	7.11	2.49	9.60	14.14	6.61	20.75				14.69	5.64	20.32	6.80	1.51	8.31
	ยูโรโค้ด 7	7.11	3.31	10.43	14.14	9.09	23.23				14.69	7.72	22.41	6.80	1.95	8.74
ข	ฐานราก	F1A			F1A			F1A			F2A			F2A		
	หน่วยแรงใช้งาน			11.52			11.52			11.52			18.00			18.00
	วิธีกำลัง	4.21	1.29	5.51	6.07	2.23	8.29	4.23	1.88	6.11	10.06	3.52	13.58	8.21	2.58	10.79
	ยูโรโค้ด 7	4.21	1.67	5.88	6.07	2.98	9.04	4.23	2.63	6.86	10.06	4.77	14.83	8.21	3.46	11.66
ก	ฐานราก										F1A			F1A		
	หน่วยแรงใช้งาน												11.52			11.52
	วิธีกำลัง										6.80	1.51	8.31	6.80	1.51	8.31
	ยูโรโค้ด 7										6.80	1.95	8.74	6.80	1.95	8.74

ตารางที่ 4.14 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบในมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ของโครงการก่อสร้างอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

ระดับความลึก (m)	ชนิดดิน	หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)		กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)		ค่ามุมเสียดทานภายใน, ϕ'_k	
		จำนวนตัวอย่าง	ค่าที่ใช้	จำนวนตัวอย่าง	ค่าที่ใช้	จำนวนตัวอย่าง	ค่าที่ใช้
0 – 20	Very stiff clay	3	1.87	3	12	0	0

1) ตำแหน่ง ง-3 ฐานราก F1A จะแสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของตัวอย่างกับการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแผ่ F1A

	ตัวอย่างการออกแบบในประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐานยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F)	-	-	A1	
แรงกระทำถาวร (t)	-	7.21	7.21	7.21
น้ำหนักฐานราก	-	0.864	0.864	0.216
γ_G	-	1.4	1.35	1.35
ค่าออกแบบแรงกระทำถาวร (t)	-	11.304	10.900	10.025
แรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	3.75	5.25	5.25
γ_Q	-	1.7	1.5	1.5
ค่าออกแบบแรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	6.375	7.875	7.875
E_d (t)	11.52	17.679	18.775	17.900
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M)	-	-	M2	
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	1.87	1.87
γ_r	-	-	1	1
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	1.87	1.87

ตารางที่ 4.15 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแม่ F1A (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยุโรปได้ 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m^3)	-	-	0.87	0.87
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	-	-	12	12
γ_{Cu}	-	-	1.4	1.4
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ , $C_{u;d}$ (t/m^2)	-	-	8.57	8.57
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	-	-	0	0
γ_{φ}	-	-	1.25	1.25
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	-	-	0	0
$N_{c,d}$	-	-	5.14	5.14
$N_{q,d}$	-	-	1	1
$N_{\gamma,d}$	-	-	0	0
ความกว้างประสิทธิผลของฐานราก, B' (m)	1.2	1.2	1.2	0.6
ความยาวประสิทธิผลของฐานราก, L' (m)	1.2	1.2	1.2	0.6
พื้นที่หน้าตัดฐานรากประสิทธิผล, A' (m^2)	1.44	1.44	1.44	0.36
ความหนาฐานราก (m)	0.25	0.25	0.25	0.25
ความลึกของฐานราก, D (m)	1	1	1	1
เงื่อนไขการออกแบบ	-	-	ระบายน้ำ	
หน่วยแรงกดเหนือระดับฐานราก, q_d (t/m^2)	0	0	1.87	1.87
หน่วยแรงกดทับประสิทธิผลเหนือระดับฐานราก , q'_d (t/m^2)	0	0	0.87	0.87
$b(c;d)$	-	-	1	1
$b(q;d)$	-	-	1	1
$s(c;d)$	-	-	1.195	1.195
$s(q;d)$	-	-	1.000	1.000
$i(c;d)$	-	-	1	1
$i(q;d)$	-	-	1	1

ตารางที่ 4.15 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแม่ F1A (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
การทดสอบแรงแบกทานของดินโดยวิธี Plate bearing test				
อัตราการทรุดตัวสูงสุด (น้อยกว่า 0.02 mm/min)	0.017	0.017	-	-
การทรุดตัวสูงสุด (น้อยกว่า 25 mm)	7.858	7.858	-	-
แรงกดที่ได้จากการทดสอบ (t/m^2)	19.97	19.97	-	-
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R)	-	-	R3	
แรงแบกทานของดิน (t)	28.757	28.757	77.099	19.275
$\gamma_{R,v}$	-	-	1	1
ค่าออกแบบของแรงต้านทานต่อแรงกระทำ, R_d (t)	28.757	28.757	77.099	19.275
แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)	2.50	-	-	-
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)	40.06%	61.48%	24.35%	92.87%
ขนาดฐานราก	1.2x1.2	1.2x1.2	1.2x1.2	0.6x0.6

2) ตำแหน่ง ฉ-3 ฐานราก F2A จะแสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของตัวอย่างกับการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแม่ F2A

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F)	-	-	A1	
แรงกระทำถาวร (t)	-	14.1	14.1	14.1
น้ำหนักฐานราก	-	1.35	1.35	0.3375
γ_G	-	1.4	1.35	1.35
ค่าออกแบบแรงกระทำถาวร (t)	-	21.630	20.858	19.491
แรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	3.54	4.74	4.74
γ_Q	-	1.7	1.5	1.5
ค่าออกแบบแรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	6.018	7.110	7.110
E_d (t)	18.000	27.648	27.968	26.601
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M)	-	-	M2	
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	1.87	1.87
γ_r	-	-	1	1
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	1.87	1.87
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m^3)	-	-	0.87	0.87
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	-	-	12	12
γ_{Cu}	-	-	1.4	1.4
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ , $C_{u;d}$ (t/m^2)	-	-	8.57	8.57
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	-	-	0	0
γ_{φ}	-	-	1.25	1.25
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	-	-	0	0
$N_{c,d}$	-	-	5.14	5.14
$N_{q,d}$	-	-	1	1
$N_{\gamma,d}$	-	-	0	0

ตารางที่ 4.16 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแผ่ F2A (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
ความกว้างประสิทธิผลของฐานราก, B' (m)	1.5	1.5	1.5	0.75
ความยาวประสิทธิผลของฐานราก, L' (m)	1.5	1.5	1.5	0.75
พื้นที่หน้าตัดฐานรากประสิทธิผล, A' (m ²)	2.25	2.25	2.25	0.563
ความหนาฐานราก (m)	0.25	0.25	0.25	0.25
ความลึกของฐานราก, D (m)	1	1	1	1
เงื่อนไขการออกแบบ	-	-	ระบายน้ำ	
หน่วยแรงกดเหนือระดับฐานราก, q _d (t/m ²)	0	0	1.87	1.87
หน่วยแรงกดทับประสิทธิผลเหนือระดับฐานราก , q' _d (t/m ²)	0	0	0.87	0.87
b(c;d)	-	-	1	1
b(q;d)	-	-	1	1
s(c;d)	-	-	1.195	1.195
s(q;d)	-	-	1.000	1.000
i(c;d)	-	-	1	1
i(q;d)	-	-	1	1
การทดสอบแรงแบกทานของดินโดยวิธี Plate bearing test			-	-
อัตราการทรุดตัวสูงสุด (น้อยกว่า 0.02 mm/min)	0.017	0.017	-	-
การทรุดตัวสูงสุด (น้อยกว่า 25 mm)	7.858	7.858	-	-
แรงกดที่ได้จากการทดสอบ (t/m ²)	19.97	19.97	-	-
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ _R)	-	-	R3	
แรงแบกทานของดิน (t)	44.933	44.933	120.466	30.117
γ _{R,v}	-	-	1	1
ค่าออกแบบของแรงต้านทานต่อแรงกระทำ, R _d (t)	44.933	44.933	120.466	30.117

ตารางที่ 4.16 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแผ่ F2A (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)	2.50	-	-	-
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)	40.06%	57.79%	23.22%	88.33%
ขนาดฐานราก	1.5x1.5	1.5x1.5	1.5x1.5	0.75x0.75

3) ตำแหน่ง จ-3 ฐานราก F3A จะแสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของตัวอย่างกับการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแผ่ F3A

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F)	-	-	A1	
แรงกระทำถาวร (t)	-	16.52	16.52	16.52
น้ำหนักฐานราก	-	1.944	1.944	0.384
γ_G	-	1.4	1.35	1.35
ค่าออกแบบแรงกระทำถาวร (t)	-	25.850	24.926	22.820
แรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	5.04	6.84	6.84
γ_Q	-	1.7	1.5	1.5
ค่าออกแบบแรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	8.568	10.260	10.260
E_d (t)	25.920	34.418	35.186	33.080

ตารางที่ 4.17 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแม่ F3A (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยุโรปได้ 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M)	-	-	M2	
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	1.87	1.87
γ_Y	-	-	1	1
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	1.87	1.87
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m^3)	-	-	0.87	0.87
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	-	-	12	12
γ_{Cu}	-	-	1.4	1.4
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ , $C_{u;d}$ (t/m^2)	-	-	8.57	8.57
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	-	-	0	0
γ_{φ}	-	-	1.25	1.25
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	-	-	0	0
$N_{c;d}$	-	-	5.14	5.14
$N_{q;d}$	-	-	1	1
$N_{\gamma;d}$	-	-	0	0
ความกว้างประสิทธิผลของฐานราก, B' (m)	1.8	1.8	1.8	0.8
ความยาวประสิทธิผลของฐานราก, L' (m)	1.8	1.8	1.8	0.8
พื้นที่หน้าตัดฐานรากประสิทธิผล, A' (m^2)	3.24	3.24	3.24	0.64
ความหนาฐานราก (m)	0.25	0.25	0.25	0.25
ความลึกของฐานราก, D (m)	1	1	1	1
เงื่อนไขการออกแบบ	-	-	ระบายน้ำ	
หน่วยแรงกดเหนือระดับฐานราก, q_d (t/m^2)	0	0	1.87	1.87
หน่วยแรงกดทับประสิทธิผลเหนือระดับฐานราก , q'_d (t/m^2)	0	0	0.87	0.87
$b(c;d)$	-	-	1	1
$b(q;d)$	-	-	1	1

ตารางที่ 4.17 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากแม่ F3A (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
$s(c;d)$	-	-	1.195	1.195
$s(q;d)$	-	-	1	1
$i(c;d)$	-	-	1	1
$i(q;d)$	-	-	1	1
การทดสอบแรงแบกทานของดินโดยวิธี Plate bearing test			-	-
อัตราการทรุดตัวสูงสุด (น้อยกว่า 0.02 mm/min)	0.017	0.017	-	-
การทรุดตัวสูงสุด (น้อยกว่า 25 mm)	7.858	7.858	-	-
แรงกดที่ได้จากการทดสอบ (t/m^2)	19.97	19.97	-	-
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R)	-	-	R3	
แรงแบกทานของดิน (t)	64.703	64.703	173.472	34.266
$\gamma_{R,v}$	-	-	1	1
ค่าออกแบบของแรงต้านทานต่อแรงกระทำ, R_d (t)	64.703	64.703	173.472	34.266
แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)	2.50	-	-	-
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)	40.06%	53.19%	20.28%	96.54%
ขนาดฐานราก	1.8x1.8	1.8x1.8	1.8x1.8	0.8x0.8

4.3 เปรียบเทียบการออกแบบฐานรากเสาเข็ม

4.3.1 ตัวอย่างฐานรากเสาเข็มตัวอย่างที่ 1 โครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงาน กองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น จะแสดงรายละเอียดดังนี้

- แรงกระทำต่อฐานราก แสดงตามตารางที่ 4.18 และ 4.19 และรูปที่ 4.5 แสดงรายละเอียดฐานรากใหม่
- ค่าพารามิเตอร์ดินที่ใช้ในการออกแบบยูโรโค้ด 7 แสดงตามตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.18 น้ำหนักที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น และน้ำหนักรวม จากรายการคำนวณน้ำหนักโครงการ อาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น (หน่วย ตัน)

ตำแหน่งเสา	A-2	B-2	A-3	C-3	A-5	C-5
ชั้นที่ 1	17.755	18.593	22.834	19.572	26.096	22.368
ชั้นที่ 2	10.897	11.411	14.014	12.012	16.016	13.728
ชั้นที่ 3	10.897	11.411	14.014	12.012	16.016	13.728
ชั้นที่ 4 (ดาดฟ้า)	10.897	11.411	14.014	12.012	16.016	13.728
ชั้นที่ 5 (หลังคามีทั้งเก็บน้ำ)	5.682	11.283				
ชั้นที่ 5 (หลังคาไม่มีทั้งเก็บน้ำ)	1.917	3.823				
น้ำหนักรวมเดิม	58.045	67.932	64.876	55.608	74.144	63.552
น้ำหนักเนื่องจากฐานรากใหม่*	7.080	7.080	7.080	7.080	7.080	7.080
น้ำหนักรวมใหม่	65.125	75.012	71.956	62.688	81.224	70.632

หมายเหตุ

* น้ำหนักเนื่องจากฐานรากใหม่ = $4.10 \times 0.60 \times 1.20 \times 2.4 = 7.08$ t/ต้น

ตารางที่ 4.19 แรงกระทำที่ใช้ในการออกแบบ โครงการอาคารสำนักงานกongsันับสนุน 2 สูง 3 ชั้น
(หน่วย ตัน)

ตำแหน่งเสา	A-2			B-2		
วิธีการออกแบบ	DL	LL	Total	DL	LL	Total
วิธีหน่วยแรงใช้งาน			100			100
วิธีกำลัง	44.763	20.362	65.125	49.596	25.416	75.012
ยูโรโค้ด7	44.763	20.601	65.364	49.596	25.716	75.313
ตำแหน่งเสา	A-3			C-3		
วิธีการออกแบบ	DL	LL	Total	DL	LL	Total
วิธีหน่วยแรงใช้งาน			100			100
วิธีกำลัง	51.375	20.581	71.956	45.047	17.641	62.688
ยูโรโค้ด7	51.375	20.825	72.200	45.047	17.850	62.897
ตำแหน่งเสา	A-5			C-5		
วิธีการออกแบบ	DL	LL	Total	DL	LL	Total
วิธีหน่วยแรงใช้งาน			100			100
วิธีกำลัง	57.703	23.521	81.224	50.471	20.161	70.632
ยูโรโค้ด7	57.703	23.800	81.503	50.471	20.400	70.871

หมายเหตุ

วิธีกำลัง

น้ำหนักบรรทุกจรของชั้น 1 = 570 kg/m^2

น้ำหนักบรรทุกจรของชั้น 2 – 5 (หลังคาไม่มีถึงเก็บน้ำ) = 370 kg/m^2

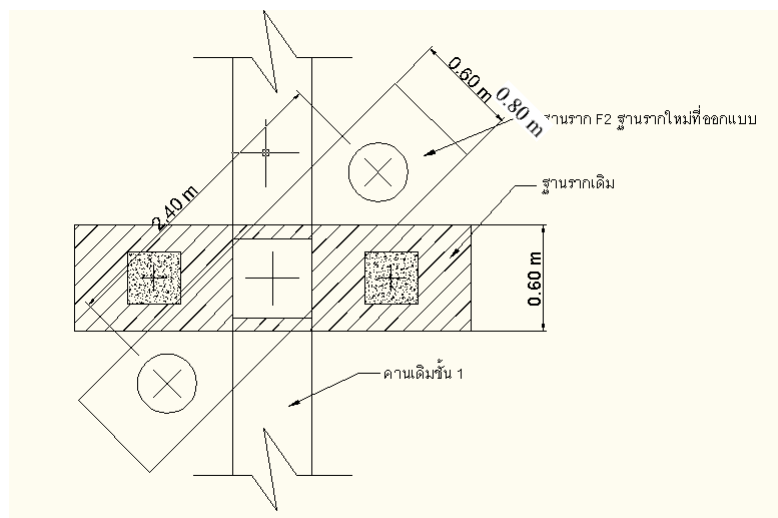
น้ำหนักบรรทุกจรของชั้น 5 (หลังคามีถึงเก็บน้ำ) = 1488 kg/m^2

ยูโรโค้ด7

น้ำหนักบรรทุกจรของชั้น 1 = 500 kg/m^2

น้ำหนักบรรทุกจรของชั้น 2 – 5 (หลังคาไม่มีถึงเก็บน้ำ) = 400 kg/m^2

น้ำหนักบรรทุกจรของชั้น 5 (หลังคามีถึงเก็บน้ำ) = 1488 kg/m^2



รูปที่ 4.5 แสดงรายละเอียดฐานรากใหม่ของโครงการอาคารสำนักงานกongsนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

ตารางที่ 4.20 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบในมาตรฐานยูโรโค้ด 7 โครงการอาคารสำนักงานกongsนสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

ระดับความลึก (m)	ชนิดดิน	หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)		กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)		ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k		Dr (%)	
		จำนวนตัวอย่าง	ค่า	จำนวนตัวอย่าง	ค่า	จำนวนตัวอย่าง	ค่า	จำนวนตัวอย่าง	ค่า
0 – 16	Soft clay	9	1.66	9	2.22	-	-	-	-
16 – 22	Medium to stiff silty clay	3	2.10	3	10	-	-	-	-
22 – 45	fine to medium sand	0	2.10	-	-	7	38	4	60

รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของตัวอย่างกับการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ของเสาเข็มต่อนึ่งต้นที่ตำแหน่งฐานราก A-5 จะแสดงในตารางที่ 4.21 และเสาเข็มกลุ่มที่ตำแหน่งฐานราก A-5 แสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.21 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มหนึ่งต้น

	ตัวอย่างการออกแบบในประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐานยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F)	-	-	A1	
แรงกระทำถาวร (t)	-	28.8515	28.8515	28.8515
น้ำหนักเสาเข็ม	10.367	10.367	10.367	3.732
γ_G	-	1.4	1.35	1.35
ค่าออกแบบแรงกระทำถาวร (t)	-	54.906	52.945	43.988
แรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	11.7605	11.9	11.9
γ_Q	-	1.7	1.5	1.5
ค่าออกแบบแรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	19.993	17.850	17.850
E_d (t)	50	74.899	70.795	61.838
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพหามิเตอร์ดิน (γ_M)	-	-	M2	
γ_Y	-	-	1	1
γ_{Cu}	-	-	1.4	1.4
$\gamma_{\phi'}$	-	-	1.25	1.25
ขนาดเสาเข็ม	\varnothing 0.5 m		\varnothing 0.5 m	\varnothing 0.3 m
ความยาวเสาเข็ม, D (m)	22	22	22	22
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	0.5	0.5	0.5	0.3
เส้นรอบรูปเสาเข็ม (m)	1.571	1.571	1.571	0.942
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม, A (m ²)	0.196	0.196	0.196	0.071
ชั้นดิน	Soft clay		Soft clay	
ช่วงของระดับชั้นดินที่เสาเข็มผ่าน	1 ถึง 16		1 ถึง 16	
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m ³)	1.47	1.47	1.66	1.66
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m ³)	1.47	1.47	1.66	1.66

ตารางที่ 4.21 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มหนึ่งต้น (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยุโรปโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m^3)	0.47	0.47	0.66	0.66
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	2	2	2.22	2.22
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบาย น้ำ, $C_{u;d}$ (t/m^2)	2	2	1.59	1.59
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	-	-	-	-
ค่ามุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;k}$	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;d}$	-	-	-	-
ชั้นดิน	Medium to stiff silty clay		Medium to stiff silty clay	
ช่วงของระดับชั้นดินที่เสาเข็มผ่าน	16 ถึง 23		16 ถึง 22	
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	1.57	1.57	2.1	2.1
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	1.57	1.57	2.1	2.1
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m^3)	0.57	0.57	1.1	1.1
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	11.5	11.5	10	10
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบาย น้ำ, $C_{u;d}$ (t/m^2)	11.5	11.5	7.143	7.143
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	-	-	-	-
ค่ามุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;k}$	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;d}$	-	-	-	-
$N_{q,d}$	20	20	-	-

ตารางที่ 4.21 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มหนึ่งต้น (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยุโรปโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
ชั้นดิน	-		Silty fine sand, fine to medium sand	
ช่วงของระดับชั้นดินที่เสาเข็มผ่าน	-	-	22 ถึง 23	
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	2.1	2.1
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	2.1	2.1
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m^3)	-	-	1.1	1.1
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	-	-	-	-
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;d}$ (t/m^2)	-	-	-	-
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	-	-	38	38
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	-	-	32.01	32.01
ค่ามุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;k}$	-	-	38	38
ค่าออกแบบมุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;d}$	-	-	32.01	32.01
ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์, D_r (%)	-	-	60	60
$K_{0,d}$	-	-	0.470	0.470
แรงต้านทาน	แรงเสียดทาน			
ชั้นดิน	Soft clay		Soft clay	
α_d	1.00	1.00	0.55	0.55
$q_{s;i;k}$	2.00	2.00	0.87	0.87
ชั้นดิน	Medium to stiff silty clay		Medium to stiff silty clay	
α_d	0.4	0.4	0.55	0.55
$q_{s;i;k}$	4.60	4.60	3.93	3.93

ตารางที่ 4.21 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มหนึ่งต้น (ต่อ)

		ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
		วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
ชั้นดิน		-		Silty fine sand, fine to medium sand	
σ_v (t/m ²)		-	-	40.21	40.21
$\sigma'_{v;d}$ (t/m ²)		-	-	17.71	17.71
K_d		-	-	0.60	0.60
δ_d		-	-	32.01	32.01
$q_{s;i;k}$		-	-	6.69	6.69
แรงแบกทาน					
ชั้นดิน		Medium to stiff silty clay		Silty fine sand, fine to medium sand	
σ_v (t/m ²)		34.51	34.51	41.26	41.26
$\sigma'_{v;d}$ (t/m ²)		11.51	11.51	18.26	18.26
q_{bL}		-	-	2134.51	2134.51
$q_{b;k}$		230.20	230.20	330.40	330.40
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R)		-	-	R3	
เงื่อนไขการออกแบบ		เสาเข็มเจาะ			
แรงเสียดทาน	$R_{s;k}$	97.70	97.70	68.09	40.85
	γ_s	-	-	1.00	1.00
	$R_{s;d}$	97.70	97.70	68.09	40.85
แรงแบกทาน	$R_{b;k}$	45.20	45.20	64.87	23.35
	γ_b	-	-	1.00	1.00
	$R_{b;d}$	45.20	45.20	64.87	23.35
γ_t		-	-	1.00	1.00
Rd (t)		142.90	142.90	132.96	64.21

ตารางที่ 4.21 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มหนึ่งต้น (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์ความปลอดภัย(F.S.)	2.86	-	-	-
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)	34.99%	52.41%	53.24%	96.31%
ขนาดเสาเข็ม	\varnothing 0.5 m	\varnothing 0.5 m	\varnothing 0.5 m	\varnothing 0.3 m
ความยาวเสาเข็ม (m)	22	22	22	22

ตารางที่ 4.22 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม

	ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7			
	รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F)	A1	A2	A1	A1
แรงกระทำถาวร (t)	57.703	57.703	57.703	57.703
น้ำหนักเสาเข็ม	7.464	7.464	7.464	7.464
γ_G	1.35	1	1.35	1.35
ค่าออกแบบแรงกระทำถาวร (t)	87.976	65.167	87.976	87.976
แรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	23.8	23.8	23.8	23.8
γ_Q	1.5	1.3	1.5	1.5
ค่าออกแบบแรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	35.700	30.940	35.700	35.700
E_d (t)	123.676	96.107	123.676	123.676
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M)	M1	M1	M1	M2
γ_γ	1	1	1	1
γ_{Cu}	1	1	1	1.4
$\gamma_{\phi'}$	1	1	1	1.25

ตารางที่ 4.22 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม (ต่อ)

	ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7			
	รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		
ขนาดเสาเข็ม	Ø 0.3 m จำนวน 2 ต้น ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางเสาเข็มเท่ากับ 2.4 m			
ความยาวเสาเข็ม, D (m)	22	22	22	22
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	0.3	0.3	0.3	0.3
เส้นรอบรูปเสาเข็มกลุ่ม (m)	6.000	6.000	6.000	6.000
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็มกลุ่ม, A (m ²)	0.810	0.810	0.810	0.810
ชั้นดิน	Soft clay			
ช่วงของระดับชั้นดินที่เสาเข็มผ่าน	1 ถึง 16			
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m ³)	1.66	1.66	1.66	1.66
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m ³)	1.66	1.66	1.66	1.66
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิภาพ (t/m ³)	0.66	0.66	0.66	0.66
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, C _{u;k} (t/m ²)	2.22	2.22	2.22	2.22
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, C _{u;d} (t/m ²)	2.22	2.22	2.22	1.59
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ' _k	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ' _d	-	-	-	-
ค่ามุมเสียดทานสถานะวิกฤต, φ' _{cv;k}	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานสถานะวิกฤต, φ' _{cv;d}	-	-	-	-
ชั้นดิน	Medium to stiff silty clay			
ช่วงของระดับชั้นดินที่เสาเข็มผ่าน	16 ถึง 22			
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m ³)	2.1	2.1	2.1	2.1
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m ³)	2.1	2.1	2.1	2.1
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิภาพ (t/m ³)	1.1	1.1	1.1	1.1
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, C _{u;k} (t/m ²)	10	10	10	10

ตารางที่ 4.22 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม (ต่อ)

	ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7			
	รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;d}$ (t/m^2)	10	10	10	7.14
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	-	-	-	-
ค่ามุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;k}$	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;d}$	-	-	-	-
ชั้นดิน	Silty fine sand, fine to medium sand			
ช่วงของระดับชั้นดินที่เสาเข็มผ่าน	22 ถึง 23			
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	2.1	2.1	2.1	2.1
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	2.1	2.1	2.1	2.1
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิภาพ (t/m^3)	1.1	1.1	1.1	1.1
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	-	-	-	-
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;d}$ (t/m^2)	-	-	-	-
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	38	38	38	38
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	38	38	38	32.01
ค่ามุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;k}$	38	38	38	38
ค่าออกแบบมุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;d}$	38	38	38	32.01
ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์, D_r (%)	60	60	60	60
$K_{0,d}$	0.384	0.384	0.384	0.470

ตารางที่ 4.22 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม (ต่อ)

	ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค๊ด 7			
	รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		
เงื่อนไขการออกแบบ	เสาเข็มเจาะ			
แรงต้านทาน	แรงเสียดทาน			
ชั้นดิน	Soft clay			
α_d	0.55	0.55	0.55	0.55
$q_{s;j;k}$	1.22	1.22	1.22	0.87
ชั้นดิน	Medium to stiff silty clay			
α_d	0.55	0.55	0.55	0.55
$q_{s;j;k}$	5.50	5.50	5.50	3.93
ชั้นดิน	Silty fine sand, fine to medium sand			
σ_v (t/m ²)	40.21	40.21	40.21	40.21
$\sigma'_{v;d}$ (t/m ²)	17.71	17.71	17.71	17.71
K_d	0.49	0.49	0.49	0.60
δ_d	38.00	38.00	38.00	32.01
$q_{s;j;k}$	6.84	6.84	6.84	6.69
	แรงแบกทาน			
ชั้นดิน	Silty fine sand, fine to medium sand			
σ_v (t/m ²)	41.26	41.26	41.26	41.26
$\sigma'_{v;d}$ (t/m ²)	18.26	18.26	18.26	18.26
q_{bL}	3705.86	3705.86	3705.86	2134.51
$q_{b;k}$	573.64	573.64	573.64	330.40

ตารางที่ 4.22 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม (ต่อ)

		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7			
		รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R)		R1	R4	R2	R3
แรงเสียดทาน	$R_{s,k}$	348.94	348.94	348.94	260.08
	γ_s	1.00	1.30	1.10	1.00
	$R_{s,d}$	348.94	268.41	317.22	260.08
แรงแบกทาน	$R_{b,k}$	464.65	464.65	464.65	267.63
	γ_b	1.25	1.60	1.10	1.00
	$R_{b,d}$	371.72	290.40	422.40	267.63
γ_t		-	-	1.00	1.00
Rd (t)		720.65	558.82	739.62	527.70
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)		17.16%	17.20%	16.72%	23.44%
สรุป		เสาเข็มเดี่ยวจะกำหนดกำลังรับน้ำหนักของฐานราก			

4.3.2 ตัวอย่างฐานรากเสาเข็มตัวอย่างที่ 2 โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้นจะ
แสดงรายละเอียดดังนี้

- แรงกระทำต่อฐานราก แสดงตามตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.6
- ค่าพารามิเตอร์ดินที่ใช้ในการออกแบบยูโรโค้ด 7 แสดงตามตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงแรงกระทำที่กระทำต่อฐานรากที่ได้จากโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

		1			2			3			4			5		
		DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total
A	ฐานราก	F4			F10			F10			F10			F7		
	หน่วยแรงใช้งาน			148			370			370			370			259
	วิธีกำลัง	121.0	26.7	147.7	268	68.4	336.4	283	71.1	354.1	284	71.1	355.1	212	49.7	261.7
	ยูโรโค้ด 7	121.0	38.7	159.7	268	98.5	366.5	283	103	386	284	103	387	212	71.8	283.8
B	ฐานราก	F4			F9			F5			F10			F7		
	หน่วยแรงใช้งาน			148			333			185			370			259
	วิธีกำลัง	112	25.5	137.5	196	51.8	247.8	153	27.1	180.1	280	79.5	359.5	199	54.7	253.7
	ยูโรโค้ด 7	112	36.8	148.8	196	74.8	270.8	153	39.8	192.8	280	115	395	199	79.1	278.1
C,D	ฐานราก	F3			F6			F5			F7			F5		
	หน่วยแรงใช้งาน			111			222			185			259			185
	วิธีกำลัง	98.6	22.1	120.7	153	36.1	189.1	152	27.1	179.1	204	52.2	256.2	163	38	201
	ยูโรโค้ด 7	98.6	31.7	130.3	153	52.7	205.7	152	39.8	191.8	204	75.3	279.3	163	54.9	217.9

ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงแรงกระทำที่กระทำต่อฐานรากที่ได้จากโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น (ต่อ)

	1			2			3			4			5			
	DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total	DL	LL	Total	
E	ฐานราก				F5			F5								
	หน่วยแรงใช้งาน						185			185						
	วิธีกำลัง				145	34.3	179.3	152	34.2	186.2						
	ยูโรโค้ด 7				145	51.4	196.4	152	51.2	203.2						
ตำแหน่งฐานราก	เสาเข็มเดี่ยว						D-2.5			B-2.5 (ลิฟท์โดยสาร)						
ฐานราก	F1(มากที่สุด)			F1(น้อยที่สุด)			F5			F8						
หน่วยแรงใช้งาน			37			37			185			296				
วิธีกำลัง	11.2	24.8	36	2.97	6.6	9.57	157	34.6	191.6	163.3	38.3	201.6				
ยูโรโค้ด 7	11.2	24.8	36	2.97	6.6	9.57	157	49.8	206.8	163.3	56.7	220				

หมายเหตุ

วิธีกำลัง – น้ำหนักบรรทุกจรที่พักอาศัย 200 kg/m² ,ที่จอดรถ 800 kg/m² และลิฟท์โดยสาร 10 คน 1400 kg ,น้ำหนักถาวรของลิฟท์โดยสาร 10 คน 1500 kg

ยูโรโค้ด 7 – น้ำหนักบรรทุกจรที่พักอาศัย 300 kg/m² ,ที่จอดรถ 800 kg/m² และลิฟท์โดยสาร 10 คน 1400 kg ,น้ำหนักถาวรของลิฟท์โดยสาร 10 คน 1500 kg

ตารางที่ 4.24 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบในมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ของโครงการ
คอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

ระดับ ความ ลึก (m)	ชนิดดิน	หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)		กำลังรับแรงเฉือน แบบไม่ระบายน้ำ , $C_{u;k}$ (t/m^2)		ค่ามุมเสียดทาน ภายใน, ϕ'_k	
		จำนวน ตัวอย่าง	ค่า	จำนวน ตัวอย่าง	ค่า	จำนวน ตัวอย่าง	ค่า
0 – 7	Fine sand	0	1.85	-	-	16	32
7 – 17	Medium to stiff sandy clays	4	1.85	4	7	-	-
17 – 40	Stiff to very stiff sandy clays	3	1.90	3	14	-	-

รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของตัวอย่างกับการออกแบบ
ตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ของเสาเข็มต่อนั่งดินตำแหน่งฐานราก D-5 จะแสดงในตารางที่ 4.25
และเสาเข็มกลุ่มตำแหน่งฐานราก D-5 แสดงในตารางที่ 4.26 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.25 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มหนึ่งต้น

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรง ใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F)			A1	
แรงกระทำถาวร (t)	-	32.6	32.6	32.6
น้ำหนักเสาเข็ม	5.292	5.292	5.292	2.091
γ_G	-	1.4	1.35	1.35
ค่าออกแบบแรงกระทำถาวร (t)	-	53.049	51.154	46.833
แรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	7.6	10.98	10.98
γ_Q	-	1.7	1.5	1.5
ค่าออกแบบแรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	-	12.920	16.470	16.470
E_d (t)	37	65.969	67.624	63.303

ตารางที่ 4.25 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มหนึ่งต้น (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M)			M2	
γ_γ	-	-	1	1
γ_{Cu}	-	-	1.4	1.4
$\gamma_{\varphi'}$	-	-	1.25	1.25
ขนาดเสาเข็ม	□ 0.35x0.35 m		□ 0.35x0.35 m	□ 0.22x0.22 m
ความยาวเสาเข็ม, D (m)	18	18	18	18
เสาเข็มกว้าง (m)	0.35	0.35	0.35	0.22
เส้นรอบรูปเสาเข็ม (m)	1.400	1.400	1.400	0.880
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม, A (m ²)	0.123	0.123	0.123	0.048
ชั้นดิน	Fine sand		Fine sand	
ช่วงของระดับชั้นดินที่เสาเข็มผ่าน	0.5 ถึง 6.5		0.5 ถึง 7	
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m ³)	1.6	1.6	1.85	1.85
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m ³)	1.6	1.6	1.85	1.85
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m ³)	0.6	0.6	0.85	0.85
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m ²)	-	-	-	-
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ , $C_{u;d}$ (t/m ²)	-	-	-	-
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	28	28	32	32
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	28	28	26.56	26.56
ค่ามุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;k}$	28	28	32	32
ค่าออกแบบมุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;d}$	28	28	26.56	26.56
$N_{q,d}$	-	-	17.096	17.096
$K_{0,d}$	-	-	0.342	0.342

ตารางที่ 4.25 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มหนึ่งต้น (ต่อ)

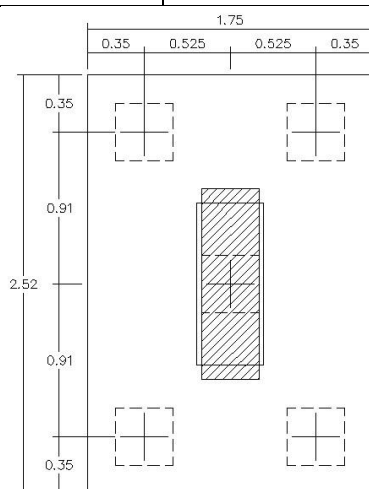
	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
ชั้นดิน	Medium to stiff sandy clays			
ช่วงของระดับชั้นดินที่เสาเข็มผ่าน	6.5 ถึง 18.5		7 ถึง 17	
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	1.85	1.85
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	1.85	1.85
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m^3)	-	-	0.85	0.85
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	10	10	7	7
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ , $C_{u;d}$ (t/m^2)	10	10	5.00	5.00
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	-	-	-	-
ค่ามุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;k}$	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;d}$	-	-	-	-
ชั้นดิน	-		Stiff to very stiff sandy clays	
ช่วงของระดับชั้นดินที่เสาเข็มผ่าน	-	-	17 ถึง 18.5	
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	1.9	1.9
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	-	-	1.9	1.9
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m^3)	-	-	0.9	0.9
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	-	-	14	14
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ , $C_{u;d}$ (t/m^2)	-	-	10	10
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	-	-	-	-
ค่ามุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;k}$	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;d}$	-	-	-	-

ตารางที่ 4.25 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มหนึ่งต้น (ต่อ)

	ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
เงื่อนไขการออกแบบ	เสาเข็มตอก			
แรงต้านทาน	แรงเสียดทาน			
ชั้นดิน	Fine sand		Fine sand	
σ_v (t/m ²)	5.60	5.60	6.94	6.94
$\sigma'_{v;d}$ (t/m ²)	2.10	2.10	3.19	3.19
K_d	1.00	1.00	0.34	0.34
δ_d	21.00	21.00	17.71	17.71
$q_{s;i;k}$	0.81	0.81	0.35	0.35
ชั้นดิน	Medium to stiff sandy clays			
α_d	0.40	0.40	1.00	1.00
$q_{s;i;k}$	4.00	4.00	5.00	5.00
ชั้นดิน	-		Stiff to very stiff sandy clays	
α_d	-	-	1.00	1.00
$q_{s;i;k}$	-	-	10.00	10.00
	แรงแบกทาน			
ชั้นดิน	Medium to stiff sandy clays		Stiff to very stiff sandy clays	
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำสำหรับแรง แบกทานของเสาเข็มเฉพาะตัวอย่างที่ได้ (t/m ²)	18.00	18.00	-	-
$q_{b;k}$	162.00	162.00	100.00	100.00

ตารางที่ 4.25 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มหนึ่งต้น (ต่อ)

		ตัวอย่างการออกแบบใน ประเทศไทย		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7	
		วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R)		-	-	R3	
แรงเสียดทาน	$R_{s;k}$	73.97	73.97	94.17	59.19
	γ_s	-	-	1.00	1.00
	$R_{s;d}$	73.97	73.97	94.17	59.19
แรงแบกทาน	$R_{b;k}$	19.85	19.85	12.25	4.84
	γ_b	-	-	1.00	1.00
	$R_{b;d}$	19.85	19.85	12.25	4.84
γ_t		-	-	1.00	1.00
Rd (t)		93.82	93.82	106.42	64.03
แฟกเตอร์ความปลอดภัย(F.S.)		2.54	-	-	-
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)		39.44%	70.32%	63.55%	98.86%
ขนาดเสาเข็ม		□ 0.35x0.35 m			□ 0.22x0.22 m
ความยาวเสาเข็ม (m)		18	18	18	18



รูปที่ 4.7 แปลนเสาเข็มและฐานราก F5 ตำแหน่งฐานราก D-5 ของโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

ตารางที่ 4.26 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม

	ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7			
	รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F)	A1	A2	A1	A1
แรงกระทำถาวร (t)	163	163	163	163
น้ำหนักเสาเข็ม	10.454	10.454	10.454	10.454
γ_G	1.35	1	1.35	1.35
ค่าออกแบบแรงกระทำถาวร (t)	234.163	173.454	234.163	234.163
แรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	54.9	54.9	54.9	54.9
γ_Q	1.5	1.3	1.5	1.5
ค่าออกแบบแรงกระทำแปรเปลี่ยน (t)	82.350	71.370	82.350	82.350
E_d (t)	316.513	244.824	316.513	316.513
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพหุคูณ (พหุคูณ) (γ_M)	M1	M1	M1	M2
γ_Y	1	1	1	1
γ_{Cu}	1	1	1	1.4
$\gamma_{\phi'}$	1	1	1	1.25
ขนาดเสาเข็มกลุ่ม	ตามรูปที่			
ความยาวเสาเข็ม, D (m)	18	18	18	18
ขนาดเสาเข็ม (m)	0.26	0.26	0.26	0.26
เส้นรอบรูปเสาเข็มกลุ่ม (m)	4.960	4.960	4.960	4.960
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็มกลุ่ม, A (m ²)	1.533	1.533	1.533	1.533
ชั้นดิน	Fine sand			
ช่วงของระดับชั้นดินที่เสาเข็มผ่าน	0.5 ถึง 7			
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m ³)	1.85	1.85	1.85	1.85
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m ³)	1.85	1.85	1.85	1.85
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m ³)	0.85	0.85	0.85	0.85

ตารางที่ 4.26 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม (ต่อ)

	ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7			
	รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	-	-	-	-
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;d}$ (t/m^2)	-	-	-	-
ค่ามุมเสียดทานภายใน, ϕ'_k	32	32	32	32
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, ϕ'_d	32	32	32	26.56
ค่ามุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\phi'_{cv;k}$	32	32	32	32
ค่าออกแบบมุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\phi'_{cv;d}$	32	32	32	26.56
$N_{q,d}$	46.012	46.012	46.012	17.096
$K_{0,d}$	0.920	0.920	0.920	0.342
เงื่อนไขการออกแบบ	เสาเข็มตอก			
ชั้นดิน	Medium to stiff sandy clays			
ช่วงของระดับชั้นดินที่เสาเข็มผ่าน	7 ถึง 17			
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	1.85	1.85	1.85	1.85
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	1.85	1.85	1.85	1.85
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m^3)	0.85	0.85	0.85	0.85
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	7	7	7	7
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;d}$ (t/m^2)	7	7.00	7.00	5.00
ค่ามุมเสียดทานภายใน, ϕ'_k	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, ϕ'_d	-	-	-	-
ค่ามุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\phi'_{cv;k}$	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\phi'_{cv;d}$	-	-	-	-

ตารางที่ 4.26 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม (ต่อ)

	ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7			
	รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		
ชั้นดิน	Stiff to very stiff sandy clays			
ช่วงของระดับชั้นดินที่เสาเข็มผ่าน	17 ถึง 18.5			
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	1.9	1.9	1.9	1.9
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	1.9	1.9	1.9	1.9
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิภาพ (t/m^3)	0.9	0.9	0.9	0.9
กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;k}$ (t/m^2)	14	14	14	14
ค่าออกแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, $C_{u;d}$ (t/m^2)	14	14	14	10
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	-	-	-	-
ค่ามุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;k}$	-	-	-	-
ค่าออกแบบมุมเสียดทานสถานะวิกฤต, $\varphi'_{cv;d}$	-	-	-	-
แรงต้านทาน	แรงเสียดทาน			
ชั้นดิน	Fine sand			
σ_v (t/m^2)	6.94	6.94	6.94	6.94
$\sigma'_{v;d}$ (t/m^2)	3.19	3.19	3.19	3.19
K_d	0.92	0.92	0.92	0.34
δ_d	32.00	32.00	32.00	26.56
$q_{s;i;k}$	1.83	1.83	1.83	0.54
ชั้นดิน	Medium to stiff sandy clays			
α_d	1.00	1.00	1.00	1.00
$q_{s;i;k}$	7.00	7.00	7.00	5.00

ตารางที่ 4.26 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม (ต่อ)

		ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ยูโรโค้ด 7			
		รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		
ชั้นดิน		Stiff to very stiff sandy clays			
α_d		1.00	1.00	1.00	1.00
$q_{s;i;k}$		14.00	14.00	14.00	10.00
		แรงแบกทาน			
ชั้นดิน		Stiff to very stiff sandy clays			
$q_{b;k}$		140.00	140.00	140.00	100.00
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R)		R1	R4	R2	R3
แรงเสียดทาน	$R_{s;k}$	493.99	493.99	493.99	329.00
	γ_s	1.00	1.30	1.10	1.00
	$R_{s;d}$	493.99	379.99	449.08	329.00
แรงแบกทาน	$R_{b;k}$	200.91	200.91	200.91	143.51
	γ_b	1.00	1.30	1.10	1.00
	$R_{b;d}$	200.91	154.55	182.65	143.51
γ_t		1.00	1.30	1.10	1.00
Rd (t)		694.90	411.18	574.30	472.51
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)		45.55%	59.54%	55.11%	66.99%
สรุป		เสาเข็มเดี่ยวจะกำหนดกำลังรับน้ำหนักของฐานราก			

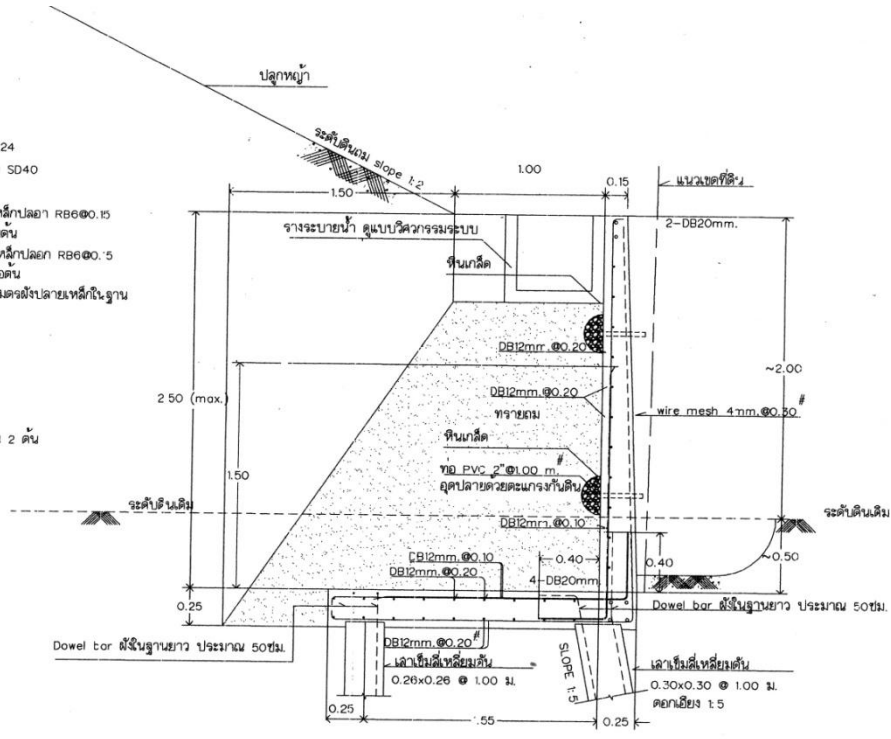
4.4 เปรียบเทียบการออกแบบโครงสร้างกันดิน

4.4.1 ตัวอย่างโครงสร้างกันดินตัวอย่างที่ 1 โครงการกำแพงกันดินจะแสดงรายละเอียดดังนี้

- แบบก่อสร้างค่าพารามิเตอร์ดินที่ใช้ในตัวอย่างโครงการ แสดงตามรูปที่ 4.8 และ 4.9

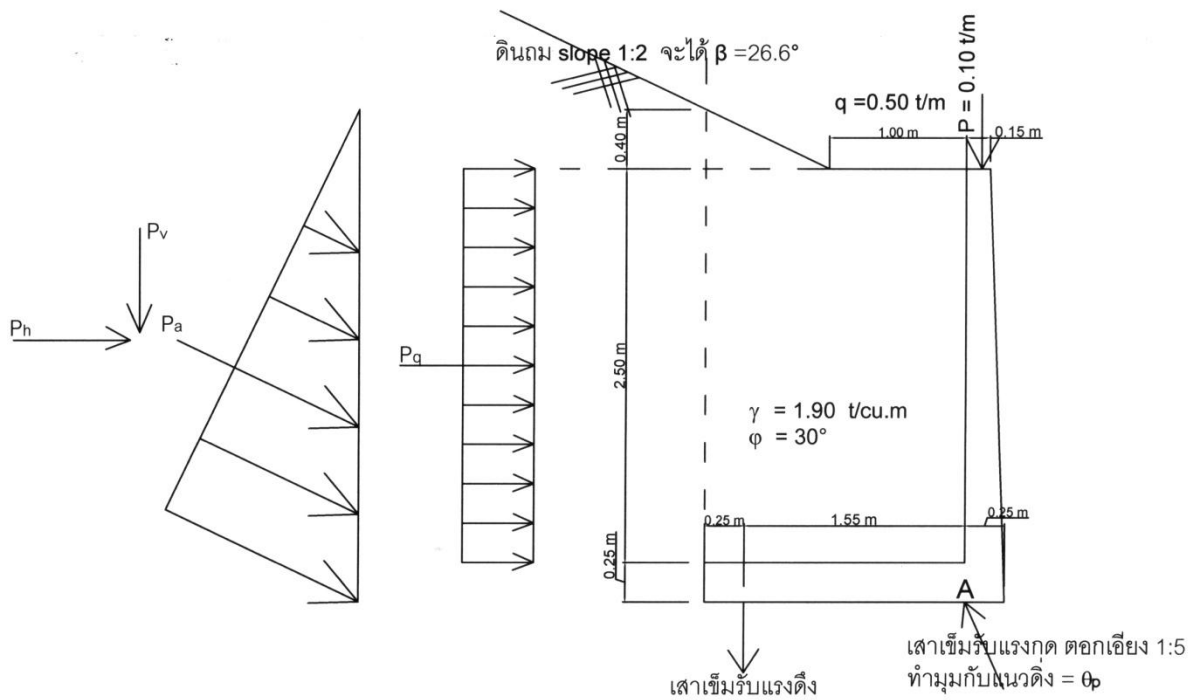
ข้อกำหนดทั่วไป

- วัสดุ
 - คอนกรีตมี f_c' 280 ksc (ทรงกระบอก)
 - เหล็กเส้นใช้
 - เหล็กเส้นกลม ϕ 6mm. - ϕ 9mm. ใช้กรด SR24
 - เหล็กเส้นขดอ้อย ϕ 12mm. - ϕ 25mm. ใช้กรด SD40
 - เสาเข็มไม้
 - สี่เหลี่ยมคี่ 0.26x0.26 เล็งเหล็ก 4DB16 เหล็กปลอก RB6@0.15 รับน้ำหนักบรรทุกตลอดใช้ไม่น้อยกว่า 15 ดันต่อตัน
 - สี่เหลี่ยมคี่ 0.30x0.30 เล็งเหล็ก 4DB20 เหล็กปลอก RB6@0.5 รับน้ำหนักบรรทุกตลอดใช้ไม่น้อยกว่า 20 ดันต่อตัน
 - เสาเข็มใช้ยาว 8.00 เมตร ทับหัวออก 0.50 เมตรฝังปลายเหล็กในฐาน
 - ตะแกรงกันดิน ใช้เป็นลอนคี่
 - ทรายถมให้ใช้ทรายหยาบหรือทรายซีกเปิด
 - ท่อ PVC ใช้ CLASS 8.5
- ให้ตัด Expansion joint ทุกระยะประมาณ 20 เมตร
- ให้ทำ pilot pie กระจายจำนวน 18 ต้น
- ให้ทำการทดสอบ pile load test แบบ restrike จำนวน 2 ต้น



กำแพงกันดิน 1: 30

รูปที่ 4.8 แบบโครงสร้างของกำแพงกันดิน



รูปที่ 4.9 แสดงรายละเอียดแรงกระทำของโครงการโครงสร้างกันดิน

รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของตัวอย่างกับการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ของกำแพงกันดิน จะแสดงในตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของกำแพงกันดิน

	การออกแบบในประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7		
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3		
หน่วยน้ำหนักน้ำ (t/m^3)	1	1	1	1	1
โครงสร้างไม่ได้หล่อในที่					
พารามิเตอร์ดิน					
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M)	-	-	M2		
γ_r	-	-	1	1	1
γ_{Cu}	-	-	1.4	1.4	1.4
γ_{ϕ}	-	-	1.25	1.25	1.25
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิภาพ (t/m^3)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

ตารางที่ 4.27 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของกำแพงกันดิน (ต่อ)

	ออกแบบในประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7		
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3		
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k	30	30	30	30	30
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d	30	30	24.79	24.79	24.79
มุมเสียดทานระหว่างกำแพงกับดิน, δ_d	-	-	16.53	16.53	16.53
β	26.60	26.60	26.60	26.60	26.60
δ_d/φ'_d	-	-	0.67	0.67	0.67
β/φ'_d	-	-	1.07	1.07	1.07
$K_{a,d}$	0.53	0.53	0.82	0.82	0.82
รายละเอียดโครงสร้างกันดิน					
คำนวณโครงสร้างกันดินต่อความยาว (m)	1	1	1	1	1
หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (t/m^3)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
ผนังหนา (m)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
ผนังสูง (m)	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
น้ำหนักผนังกันดินต่อความยาว 1 m (t)	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
ฐานหนา (m)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
ฐานกว้าง (m)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
น้ำหนักฐานต่อความยาว 1 m (t)	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
รายละเอียดและการออกแบบเสาเข็มเอียงและเสาเข็มรับแรงดึง					
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R)	-	-	R3		
แรงต้านทานรวม, γ_t	-	-	1	1	1
แรงเสียดทานกรณีเสาเข็มรับแรงดึง, $\gamma_{s,t}$	-	-	1.1	1.1	1.1
แรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม (t/m^2)	400	400	400	400	400
แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม (t/m^2)	2.167	2.167	2.167	2.167	2.167

ตารางที่ 4.27 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของกำแพงกันดิน (ต่อ)

	ออกแบบในประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7		
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3		
	เสาเข็มเอียง				
ขนาดเสาเข็ม	□ 0.3x0.3 m				
ความยาว (m)	6	6	6	11	11
ทำมุมกับแนวดิ่ง (องศา)	9.46	9.46	9.46	9.46	11.31
พื้นที่ผิว (m ²)	7.2	7.2	7.2	13.2	13.2
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม (m ²)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
$R_{s,d}$	15.602	15.602	15.602	28.604	28.604
$R_{b,d}$	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000
ค่าออกแบบของแรงต้านทาน เสาเข็มรับแรงกด, R_d (t)	51.602	51.602	51.602	64.604	64.604
	เสาเข็มรับแรงดึง				
ขนาดเสาเข็ม	□ 0.26x0.26 m				
ความยาว (m)	6	6	6	4	4
พื้นที่ผิว (m ²)	6.24	6.24	6.24	4.16	4.16
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม (m ²)	0.0676	0.0676	0.0676	0.0676	0.0676
$R_{s,d}$ (รับแรงดึง)	13.522	13.522	13.522	9.015	9.015
$R_{s,d}$ (รับแรงกด)	13.522	13.522	13.522	9.015	9.015
$R_{b,d}$ (รับแรงกด)	27.040	27.040	27.040	27.040	27.040
ค่าออกแบบของแรงต้านทานของ เสาเข็มรับแรงดึง, R_d (t)	13.522	13.522	12.293	8.195	8.195
ค่าออกแบบของแรงต้านทาน เสาเข็มรับแรงกด, R_d (t)	40.562	40.562	40.562	36.055	36.055

ตารางที่ 4.27 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างกรอกแบบของกำแพงกันดิน (ต่อ)

		ออกแบบในประเทศไทย		ยุโรปใต้ 7		
		วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3		
รายละเอียดแรงกระทำที่กระทำต่อโครงสร้างกันดิน						
		แรงกระทำแนวตั้ง				
ผนังกันดิน (แรงกระทำถาวร)	น้ำหนัก (t)	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
	ระยะจากจุด A (m)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
แรง P(แรงกระทำ แปรเปลี่ยน)	แรงกระทำ (t)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	ระยะจากจุด A (m)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ฐานผนังกันดิน (แรงกระทำถาวร)	น้ำหนัก (t)	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
	ระยะจากจุด A (m)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ดินบนฐาน (แรงกระทำถาวร)	น้ำหนัก (t)	8.55	8.55	8.55	8.55	8.55
	ระยะจากจุด A (m)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ดินส่วนลาดเอียง (แรงกระทำถาวร)	น้ำหนัก (t)	0.304	0.304	0.304	0.304	0.304
	ระยะจากจุด A (m)	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53
เสาเข็มเอียง (แรงกระทำถาวร)	แรงกระทำ (t)	50.901	50.901	50.901	63.726	63.350
	ระยะจากจุด A (m)	0	0	0	0	0
เสาเข็มรับแรงดึง (แรงกระทำถาวร)	แรงกระทำ (t) (กรณีรับแรงดึง)	13.522	13.522	13.522	9.015	9.015
	แรงกระทำ (t) (กรณีรับแรงกด)	13.522	13.522	40.562	36.055	36.055
	ระยะจากจุด A (m)	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
แรงดันดิน (แรงกระทำถาวร)	Pv (t)	2.25	2.25	5.39	5.39	5.39
	ระยะจากจุด A (m)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Surcharge (แรงกระทำแปรเปลี่ยน)	แรงกระทำ (t)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	ระยะจากจุด A (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

ตารางที่ 4.27 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของกำแพงกันดิน (ต่อ)

		ออกแบบในประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7		
		วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3		
		แรงกระทำแนวนอน				
Surcharge (แรงกระทำแปรเปลี่ยน)	Pq (t)	0.6625	0.6625	1.025	1.025	1.025
	ระยะจากจุด A (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
แรงดันดิน (แรงกระทำถาวร)	Ph (t)	4.50	4.50	10.77	10.77	10.77
	ระยะจากจุด A (m)	2.1	2.1	1.05	1.05	1.05
เสาเข็มเอียง (แรงกระทำถาวร)	แรงกระทำ (t)	8.481	8.481	8.481	10.618	12.670
	ระยะจากจุด A (m)	0	0	0	0	0
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ และแรงต้านทาน						
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F)		-	-	A1 , A2		
γ_G (แรงกระทำที่ต้องการในการออกแบบ)		-	1.4	1.35, 1	1.35, 1	1.35, 1
γ_Q (แรงกระทำที่ต้องการในการออกแบบ)		-	1.7	1.5, 1.3	1.5, 1.3	1.5, 1.3
γ_G (แรงกระทำที่ไม่ต้องการในการออกแบบ)		-	-	1	1	1
γ_Q (แรงกระทำที่ไม่ต้องการในการออกแบบ)		-	-	0	0	0
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R)		-	-	R3		
$\gamma_{R,e}$		-	-	1	1	1
ตรวจสอบเสถียรภาพการล้มคว่ำ Overturning (เสถียรภาพของโมเมนต์)						
โมเมนต์ทำให้ โครงสร้างกัน ดินล้มคว่ำ (t-m/m)	โมเมนต์ออกแบบจาก น้ำหนักผนังกันดิน	0.132	0.1848	0.1782	0.1782	0.1782
	โมเมนต์ออกแบบจากแรง P	0.010	0.017	0.015	0.015	0.015
	โมเมนต์ออกแบบจากแรง Pq	0.994	1.689	2.306	2.306	2.306
	โมเมนต์ออกแบบจากแรง Ph	9.447	13.225	11.306	11.306	11.306
	โมเมนต์ออกแบบจากแรง Pv	4.055	5.677	0.000	0.000	0.000
	ผลรวมโมเมนต์, Ed	14.637	20.793	13.806	13.806	13.806

ตารางที่ 4.27 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของกำแพงกันดิน (ต่อ)

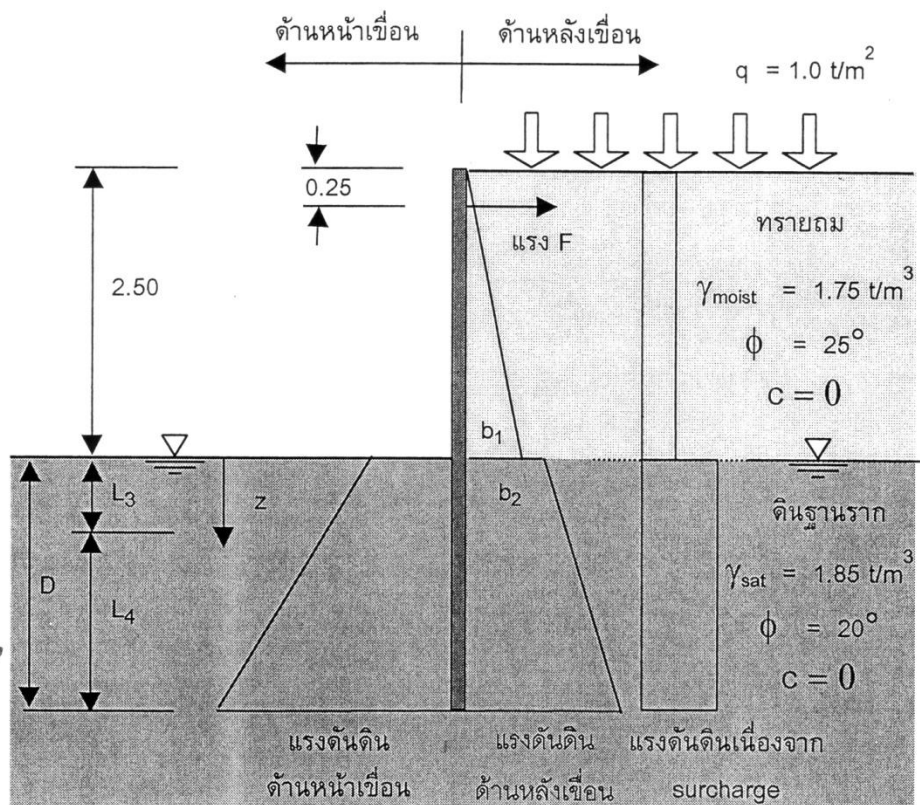
		ออกแบบในประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7		
		วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3		
โมเมนต์ ต้านทานการ ล้มคว่ำของ โครงสร้างกัน ดิน (t-m/m)	โมเมนต์จาก น้ำหนักฐานผนังกันดิน	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972
	โมเมนต์จาก น้ำหนักดินบนฐาน	7.695	7.695	7.695	7.695	7.695
	โมเมนต์จากน้ำหนักดิน ส่วนลาดเอียง	0.465	0.465	0.465	0.465	0.465
	โมเมนต์จากเสาเข็มรับแรงดึง	20.959	20.959	20.959	13.973	13.973
	โมเมนต์จากแรง Pv	0.000	0.000	9.706	9.706	9.706
	โมเมนต์จาก Surcharge	0.25	0.25	0	0	0
	ผลรวมโมเมนต์ต้านทาน, Rd	30.34	30.34	39.80	32.81	32.81
แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)		2.07	-	-	-	-
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)		48.24%	68.53%	34.69%	42.08%	42.08%
ตรวจสอบเสถียรภาพแรงแบกทาน (เสถียรภาพของแรงในแนวตั้ง)						
แรงกระทำ (t)	น้ำหนักผนังกันดิน	1.320	1.848	1.782	1.782	1.782
	น้ำหนักฐานผนังกันดิน	1.080	1.512	1.458	1.458	1.458
	น้ำหนักดินบนฐาน	8.550	11.970	8.550	8.550	8.550
	น้ำหนักดินส่วนลาดเอียง	0.304	0.426	0.304	0.304	0.304
	แรงกระทำจากแรง Pv	2.253	3.154	5.392	5.392	5.392
	แรงกระทำจากแรง P	0.100	0.170	0.150	0.150	0.150
	แรงกระทำจาก Surcharge	0.500	0.850	0.750	0.750	0.750
ค่าออกแบบแรงกระทำ, Ed		14.107	19.929	18.386	18.386	18.386

ตารางที่ 4.27 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของกำแพงกันดิน (ต่อ)

		ออกแบบในประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7		
		วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3		
แรงต้านทาน (t)	แรงกระทำจากเสาเข็มเอียง	50.901	50.901	50.901	63.726	63.350
	แรงกระทำจากเสาเข็มรับแรงดึง	0.000	0.000	40.562	36.055	36.055
	แรงต้านทาน, Rd	50.90	50.90	91.46	99.78	99.40
แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)		3.61	-	-	-	-
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)		27.71%	39.15%	20.10%	18.43%	18.50%
ตรวจสอบเสถียรภาพการเลื่อนไถล (เสถียรภาพของแรงในแนวราบ)						
แรงกระทำ (t)	ค่าออกแบบแรงกระทำจากแรง Ph	4.498	6.298	10.768	10.768	10.768
	ค่าออกแบบแรงกระทำจากแรง Pq	0.663	0.928	1.538	1.538	1.538
	ค่าออกแบบแรงกระทำ, Fd	5.161	7.225	12.306	12.306	12.306
แรงต้านทาน (t)	แรงกระทำจากเสาเข็มเอียง	8.481	8.481	8.481	10.618	12.670
	แรงต้านทาน, Rd	8.481	8.481	8.481	10.618	12.670
แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)		1.64	-	-	-	-
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)		60.85%	85.19%	145.09%	115.89%	97.12%
สรุป						
โครงสร้างกันดิน		ใช้ตามแบบ				
เสาเข็มเอียง \square 0.3x0.3 m ยาว		6 m			11 m	
เสาเข็มเอียงทำมุมกับแนวดิ่ง (องศา)		9.46				11.31
เสาเข็มรับแรงดึง \square 0.26x0.26 m ยาว		6 m			4 m	
โมเมนต์สูงสุดในผนังและพื้น (t-m)		3.45	3.45	5.34	5.34	5.34
Λ (เสถียรภาพของโมเมนต์)		48.24%	68.53%	34.69%	42.08%	42.08%
Λ (เสถียรภาพของแรงในแนวดิ่ง)		27.71%	39.15%	20.10%	18.43%	18.50%
Λ (เสถียรภาพของแรงในแนวราบ)		60.85%	85.19%	145.09%	115.89%	97.12%

4.4.2 ตัวอย่างโครงสร้างกันดินตัวอย่างที่ 2 โครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง โดยกำหนดความสูงกันดินเท่ากับ 2.5 เมตร ดินถมด้านหลังเขื่อนเป็นทรายที่มีมุมเสียดทานภายในเท่ากับ 25 องศา และมีหน่วยน้ำหนักดินเท่ากับ 1.75 t/m^3 ส่วนดินฐานรากเป็นดินอ่อนที่มีมุมเสียดทานภายในเท่ากับ 20 องศา และมีหน่วยน้ำหนักดินเท่ากับ 1.85 t/m^3 น้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ 1 t/m^2 ตำแหน่งของ tie rod อยู่ต่ำกว่าสันเขื่อนเป็นระยะเท่ากับ 0.25 m ส่วนของเสาเข็มที่อยู่ต่ำกว่า zero pressure มีความกว้างเท่ากับ 0.30 m มีการเจาะช่องระบายน้ำที่แผงกรูดคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างเพียงพอ และจะแสดงรายละเอียดอื่นตามรายการต่อไปนี้

- แบบก่อสร้างตามรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงรายละเอียดของโครงสร้างของโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง

รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของตัวอย่างกับการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค้ด 7 ของโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง จะแสดงในตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง

	การออกแบบในประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 2	
ระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่าสันเขื่อน (m)	2.5	2.5	2.5	2.5
หน่วยน้ำหนักน้ำ (t/m^3)	1	1	1	1
	โครงสร้างไม่ได้หล่อในที่			
พารามิเตอร์ดิน				
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M)	-	-	M1	
γ_r	-	-	1	1
γ_{Cu}	-	-	1	1
$\gamma_{\phi'}$	-	-	1	1
	ชั้นทรายถม			
ช่วงของระดับความลึก (m)	0 ถึง -2.5			
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	1.75	1.75	1.75	1.75
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)	1.75	1.75	1.75	1.75
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m^3)	1.75	1.75	1.75	1.75
ค่ามุมเสียดทานภายใน, ϕ'_k	25	25	25	25
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, ϕ'_d	25	25	25	25
มุมเสียดทานระหว่างกำแพงกับดิน, δ_d	-	-	16.67	16.67
β	0	0	0	0
δ_d/ϕ'_d	-	-	0.67	0.67
β/ϕ'_d	-	-	0.00	0.00
$K_{a,d}$	0.406	0.406	0.350	0.350
$K_{p,d}$	2.464	2.464	3.650	3.650

ตารางที่ 4.28 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง
(ต่อ)

		ออกแบบในประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7	
		วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 2	
		ชั้นดินเดิม			
ช่วงของระดับความลึก (m)		-2.5 ถึง -20			
หน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)		1.85	1.85	1.85	1.85
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดิน (t/m^3)		1.85	1.85	1.85	1.85
ค่าออกแบบหน่วยน้ำหนักดินประสิทธิผล (t/m^3)		0.85	0.85	0.85	0.85
ค่ามุมเสียดทานภายใน, φ'_k		20	20	20	20
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, φ'_d		20	20	20	20
มุมเสียดทานระหว่างกำแพงกับดิน, δ_a		-	-	13.33	13.33
β		0	0	0	0
δ_a/φ'_d		-	-	0.67	0.67
β/φ'_d		-	-	0.00	0.00
$K_{a,d}$		0.490	0.490	0.440	0.440
$K_{p,d}$		2.040	2.040	2.700	2.700
รายละเอียดเขื่อนป้องกันตลิ่งและเสาเข็มรับแรงดึง					
คำนวณโครงสร้างกันดินต่อความยาว (m)		1			
โครงสร้างเสาเข็มเขื่อน					
เสาเข็ม เขื่อน	ขนาด	I 0.30x0.30 m			
	ความกว้างเสาเข็มเขื่อน (m)	0.3	0.3	0.3	0.3
	เส้นรอบรูป (m)	1.2	1.2	1.2	1.2
	พื้นที่หน้าตัด, A (m^2)	0.06	0.06	0.06	0.06
	ความยาว (m)	15	15	15	12.5
ความลึกของการขุด (m)		-2.5	-2.5	-2.5	-2.5
$\Delta A = 10\%$ (m)		0	0	-0.25	-0.25
ความลึกของการขุดในการออกแบบ (m)		-2.5	-2.5	-2.75	-2.75
ระยะฝัง sheet pile (m)		12.5	12.5	12.25	9.75

ตารางที่ 4.28 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง
(ต่อ)

		ออกแบบในประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7	
		วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 2	
		โครงสร้างเสาเข็มรับแรงดึง			
เสาเข็มตอก	ขนาด	□ 0.30x0.30 m			
	เส้นรอบรูป (m)	1.2	1.2	1.2	1.2
	ความยาว (m)	15	15	15	13
	ทำมุมกับแนวตั้ง (องศา)	9.46	9.46	9.46	9.46
ออกแบบการรับแรงตามแนวแกนของเสาเข็มเขื่อน และเสาเข็มรับแรงดึงใช้รูปแบบที่ 3					
		เสาเข็มเขื่อนและเสาเข็มรับแรงดึงคิดเป็นเสาเข็มตอก			
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F)		-	-	A1	
γ_G		-	-	1.35	1.35
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับพารามิเตอร์ดิน (γ_M)		-	-	M2	
γ_γ		-	-	1	1
$\gamma_{\phi'}$		-	-	1.25	1.25
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R)		-	-	R3	
γ_R สำหรับแรงแบกทานและแรงเสียดทาน		-	-	1	1
γ_R สำหรับเสาเข็มรับแรงดึง		-	-	1.1	1.1
		ค่าที่ใช้ในการออกแบบเสาเข็มเขื่อนและเสาเข็มรับแรงดึง			
		ชั้นทรายถม			
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, ϕ'_d		20	20	20	20
N _{q,d}		-	-	5.180	5.180
K _d		0.658	0.658	0.104	0.104
มุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับดิน, δ_d		16	16	20	20
		ชั้นดินเดิม			
ค่าออกแบบมุมเสียดทานภายใน, ϕ'_d		20	20	16	16
N _{q,d}		-	-	2.502	2.502
K _d		0.658	0.658	0.050	0.050
มุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับดิน, δ_d		16	16	16	16

ตารางที่ 4.28 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง
(ต่อ)

		ออกแบบในประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7	
		วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 2	
ออกแบบการรับแรงตามแนวแกนของ Sheet pile และเสาเข็มรับแรงดึงใช้รูปแบบที่ 3					
		เสาเข็มเขื่อน			
แรงกระทำ (t)	น้ำหนักเสาเข็มเขื่อน	-	-	2.160	1.800
	แรงจากเสาเข็มเอียง	-	-	0.000	0.000
	Ed	-	-	2.916	2.430
แรงเสียดทาน (t) คิดเฉพาะส่วนของ ดินเดิม	$R_{s,k}$	-	-	2.062	1.578
	γ_s	-	-	1	1
	$R_{s,d}$	-	-	2.062	1.578
แรงแบกทาน (t)	$R_{b,k}$	-	-	3.329	2.946
	γ_b	-	-	1	1
	$R_{b,d}$	-	-	3.329	2.946
Rd (t)		-	-	5.391	4.525
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)		-	-	54%	56%
สรุป	เข็มเขื่อนสามารถรับแรงตามแนวแกนได้เมื่อแฟกเตอร์การใช้งานมีค่าไม่เกิน 100%				
		เสาเข็มรับแรงดึง			
แรงเสียดทาน (t)	σ' เฉลี่ย (t/m^2)	13.875	13.875	-	-
	$R_{s,k}$	47.121	47.121	2.332	1.224
	γ_s	-	-	1.1	1.1
	$R_{s,d}$	47.121	47.121	2.120	1.113
Rd = $R_{s,d}$ (t)		47.121	47.121	2.120	1.113
แฟกเตอร์ความปลอดภัยที่ใช้ (Factor of Safety, F.S.)		2	-	-	-
ใช้แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)		50.00%		100.00%	
เสาเข็มรับแรงดึงตามแนวแกนสูงสุดเท่ากับ		23.561	23.561	2.120	1.113

ตารางที่ 4.28 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง
(ต่อ)

		ออกแบบในประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7	
		วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 2	
ออกแบบเสาเข็มเขื่อน โดยวิธี Free earth support method					
แรงกระทำ					
		แรงกระทำหลังเขื่อน			
Surcharge (แรงกระทำ แปรเปลี่ยน)	น้ำบรรทุกจร (t/m^2)	1	1	1	1
	แรงกระทำ (t)	3.539	3.539	2.996	2.732
	ระยะจากจุด tie rod (m)	5.331	5.331	5.447	4.645
ทรายถม (แรงกระทำถาวร)	แรงกระทำ (t)	2.220	2.220	1.914	1.914
	ระยะจากจุด tie rod (m)	1.417	1.417	1.417	1.417
ดินเดิม (แรงกระทำถาวร)	แรงกระทำ (t)	21.385	21.385	18.352	14.617
	ระยะจากจุด tie rod (m)	8.580	8.580	8.792	7.519
เสาเข็มรับแรงดึง (แรงกระทำถาวร)	แรงกระทำในแนวราบ (t)	3.872	3.872	0.348	0.183
	ระยะจากหัวเสาเข็ม (m)	0.250	0.250	0.250	0.250
	ระยะจากจุด tie rod (m)	0	0	0	0
		แรงกระทำหน้าเขื่อน			
ดินเดิม (แรงกระทำถาวร)	แรงจากดินเดิม (t)	43.068	43.068	52.975	37.484
	ระยะจากจุด tie rod (m)	10.189	10.189	10.485	9.123
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ และแรงต้านทาน					
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงกระทำ (γ_F)		-	-	A1	
γ_G (แรงกระทำถาวรสำหรับแรงกระทำ)		-	1.4	1.35	1.35
γ_Q (แรงกระทำแปรเปลี่ยนสำหรับแรงกระทำ)		-	1.7	1.5	1.5
γ_G (แรงกระทำถาวรสำหรับแรงต้านทาน)		-	-	1	1
γ_Q (แรงกระทำแปรเปลี่ยนสำหรับแรงต้านทาน)		-	-	0	0
แฟกเตอร์บางส่วนสำหรับแรงต้านทาน (γ_R)		-	-	R2	
γ_R		-	-	1.4	1.4

ตารางที่ 4.28 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง
(ต่อ)

		ออกแบบในประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7	
		วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 2	
สมดุขของแรงในแนวราบ					
แรงกระทำ (t)	Surcharge	3.539	6.015	4.494	4.098
	ทรายถม	2.220	3.108	2.584	2.584
	ดินเดิม	21.385	29.939	24.776	19.733
	ค่าออกแบบแรงกระทำ, Ed	27.144	39.063	31.854	26.415
แรงต้านทาน (t)	เสาเข็มรับแรงดึง	3.872	3.872	0.348	0.183
	ดินเดิม	43.068	43.068	52.975	37.484
	ผลรวมแรงต้านทาน, Rd	46.941	46.941	38.088	26.905
แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)		1.73	-	-	-
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)		57.83%	83.22%	83.63%	98.18%
สมดุขของของโมเมนต์					
โมเมนต์ของแรง กระทำ (t-m)	Surcharge	18.863	32.068	24.481	19.036
	ทรายถม	3.145	4.404	3.661	3.661
	ดินเดิม	183.487	256.882	217.818	148.375
	ค่าออกแบบแรงกระทำ, Ed	205.496	293.353	245.960	171.072
โมเมนต์ของแรง ต้านทาน (t-m)	เสาเข็มรับแรงดึง	0.000	0.000	0.000	0.000
	ดินเดิม	438.812	438.812	555.443	341.979
	ผลรวมแรงต้านทาน, Rd	438.812	438.812	396.745	244.271
แฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)		2.14	-	-	-
แฟกเตอร์การใช้งาน (Utilization factor, Λ)		46.83%	66.85%	61.99%	70.03%

ตารางที่ 4.28 รายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบของโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง

(ต่อ)

	ออกแบบในประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7	
	วิธีหน่วยแรงใช้งาน	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 2	
สรุป				
โครงสร้างกันดิน	ใช้ตามแบบ			
เสาเข็มเขื่อน I 0.30x0.30 m ยาว	15 m		13 m	
เสาเข็มรับแรงดึง □ 0.30x0.30 m ยาว	15 m		10 m	
เสาเข็มรับแรงดึงเอียงทำมุมกับแนวตั้ง (องศา)	9.46			
ตำแหน่ง Zero pressure จากระดับความลึกของการขุด (m)	-2.00	-2.00	-1.28	-1.28
ตำแหน่ง Zero pressure จากระดับสันเขื่อน(m)	-4.50	-4.50	-4.03	-4.03
ตำแหน่งแรงเฉือน = 0 จาก ตำแหน่ง Zero pressure (m)	-3.176	-3.176	-4.002	-4.059
ตำแหน่งแรงเฉือน = 0 จากระดับสันเขื่อน(m)	-5.176	-5.176	-5.282	-5.339
โมเมนต์สูงสุดใน Sheet pile (t-m)	-	-	20.137	21.171
Λ (เสถียรภาพของโมเมนต์)	46.83%	66.85%	61.99%	70.03%
Λ (เสถียรภาพของแรงในแนวราบ)	57.83%	83.22%	83.63%	98.18%

บทที่ 5

วิเคราะห์โครงสร้างวิศวกรรมธรณีเทคนิคด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในบทนี้จะนำโครงสร้างที่ได้จากตัวอย่างในประเทศไทยและการออกแบบโดยใช้มาตรฐานยูโรโค้ด 7 จากบทที่ 4 มาวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนตัวและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) โดยใช้โปรแกรม Plaxis 3D version 2010 ซึ่งจะพิจารณาในช่วงอีลาสติก และจะไม่พิจารณาในช่วงอัดตัวคายน้ำ โดยค่าที่ใช้ในโปรแกรมจะได้จากผลการสำรวจดิน กรณีที่มีผลการทดสอบ SPT และค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจะสามารถประเมินค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity, E_s) ตามตารางที่ 5.1 และ 5.2 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้ควรอยู่ในค่าที่อ้างอิงตามตารางที่ 5.3 และอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio, ν) ตามตารางที่ 5.4 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและอัตราส่วนปัวซองของคอนกรีตที่ใช้ในโปรแกรมจะแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของโมดูลัสยืดหยุ่นกับผลการทดสอบ SPT (คัดจาก Bowles, 1996)

Soil	E_s (kPa)
Sand (normally consolidated)	$E_s = 7000\sqrt{N_{55}}$
Gravelly sand	$E_s = 1200(N_{55} + 6)$
Clayey sand	$E_s = 320(N_{55} + 15)$
Silts, sandy silt, or clayey silt	$E_s = 300(N_{55} + 6)$

ตารางที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของโมดูลัสยืดหยุ่นกับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (คัดจาก Bowles, 1996)

Soil	E_s	ใช้ในการวิเคราะห์
Clay and silt $PI > 30$ or <i>organic</i>	$E_s = (100 \text{ to } 500)C_u$	$E_s = 300C_u$
Silty or sandy clay $PI < 30$ or <i>stiff</i>	$E_s = (500 \text{ to } 1500)C_u$	$E_s = 500C_u$

ตารางที่ 5.3 ช่วงค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นตามชนิดของดิน (คัดจาก Bowles, 1996)

Soil		E_s (ksf)	E_s (MPa)
Clay	Very soft	50 – 250	2 – 15
	Soft	100 – 500	5 – 25
	Medium	300 – 1000	15 – 50
	Hard	1000 – 2000	50 – 100
	Sandy	500 – 5000	25 – 250
Glacial till	Loose	200 – 3200	10 – 150
	Dense	3000 – 15000	150 – 720
	Very dense	10000 – 30000	500 – 1440
Loess		300 – 1200	15 – 60
Sand	Silty	150 – 450	5 – 20
	Loose	200 – 500	10 – 25
	Dense	1000 – 1700	50 – 81
Sand and gravel	Loose	1000 – 3000	50 – 150
	Dense	2000 – 4000	100 – 200
Shale		3000 – 300000	150 – 5000
Silt		40 – 400	2 – 20

ตารางที่ 5.4 ค่าทั่วไปของอัตราส่วนปริมาตร (คัดจากBowles, 1996)

Type of soil	ν
Clay, saturated	0.4 – 0.5
Clay, unsaturated	0.1 – 0.3
Sandy clay	0.2 – 0.3
Silt	0.3 – 0.35
Sand, gravelly sand	-0.1 – 1.0
commonly sand	0.3 – 0.4
Rock	0.1 – 0.4
Loess	0.1 – 0.3
Ice	0.36
Concrete	0.15

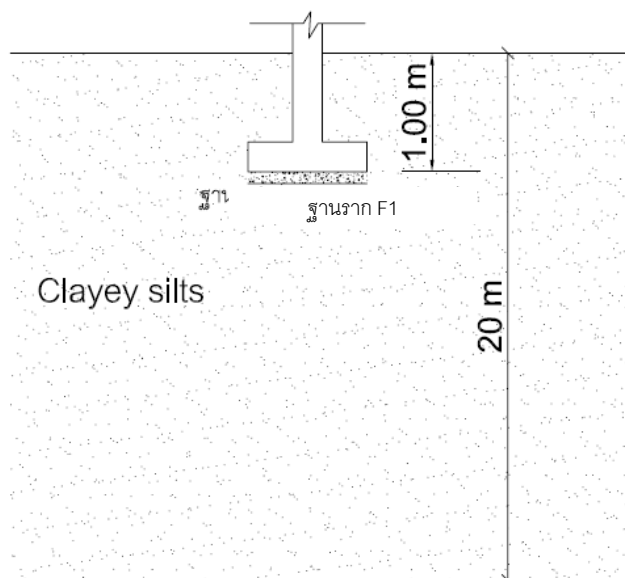
ตารางที่ 5.5 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและอัตราส่วนปริมาตรของคอนกรีตที่ใช้ในโปรแกรม Plaxis

	E_c	ν
Concrete	30,000 MPa (3,000,000 t/m ²)	0.15

5.1 วิเคราะห์ฐานรากแผ่

5.1.1 ตัวอย่างฐานรากแผ่ตัวอย่างที่ 1 โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

1) รายละเอียดและแบบของฐานรากแผ่ที่ต้องใช้ในโปรแกรม Plaxis แสดงตามรูปที่ 5.1 และตารางที่ 5.6 และ 5.7



รูปที่ 5.1 รูปฐานรากแผ่ของโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

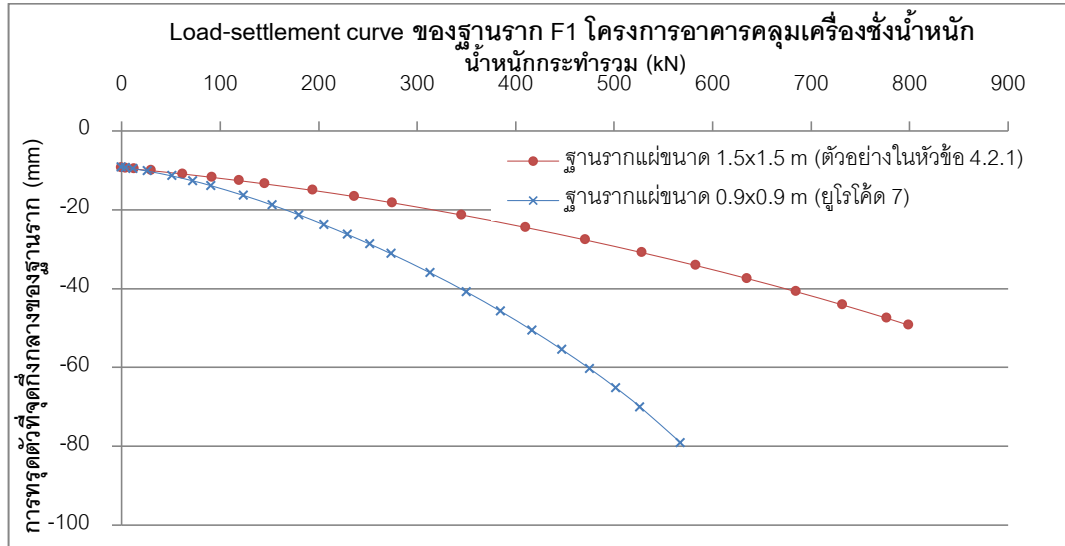
ตารางที่ 5.6 ค่าของแรงกระทำรวม และขนาดของฐานรากแผ่ของโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

ฐานราก	ขนาดของฐานราก (m)				แรงกระทำรวม, F_{rep}	
	การออกแบบ	ขนาด	หนา	ลึก	แรงที่ใช้ออกแบบ	
F1	ตัวอย่างในหัวข้อ 4.2.1	1.50x1.50	0.25	1	จากตัวอย่าง	231.20 kN (23.12 t)
					ยูโรโค้ด 7	269.7 kN (26.97 t)
	ยูโรโค้ด 7	0.90x0.90	0.25	1	จากตัวอย่าง	231.20 kN (23.12 t)
					ยูโรโค้ด 7	269.7 kN (26.97 t)

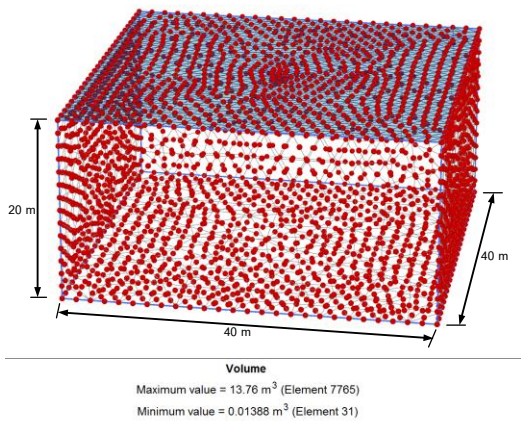
ตารางที่ 5.7 ค่าพารามิเตอร์ดินของโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

ชั้นดิน	ความลึก	γ_d	γ'_d	C_u	(ϕ')	Es	ν
	m	kN/m ³		kN/m ²		kN/m ²	
Clayey silts	0 - 20	19.1	9.1	0	40	12000	0.3

2) ผลการวิเคราะห์ฐานรากแผ่ของโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนักโดยโปรแกรม Plaxis ฐานราก F1 จะแสดงรายละเอียดตามรูปที่ 5.2, 5.3, 5.4 และ 5.5



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับการทรุดตัวของฐานราก F1 โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก



Solid element – MC (10-node tetrahedrons)

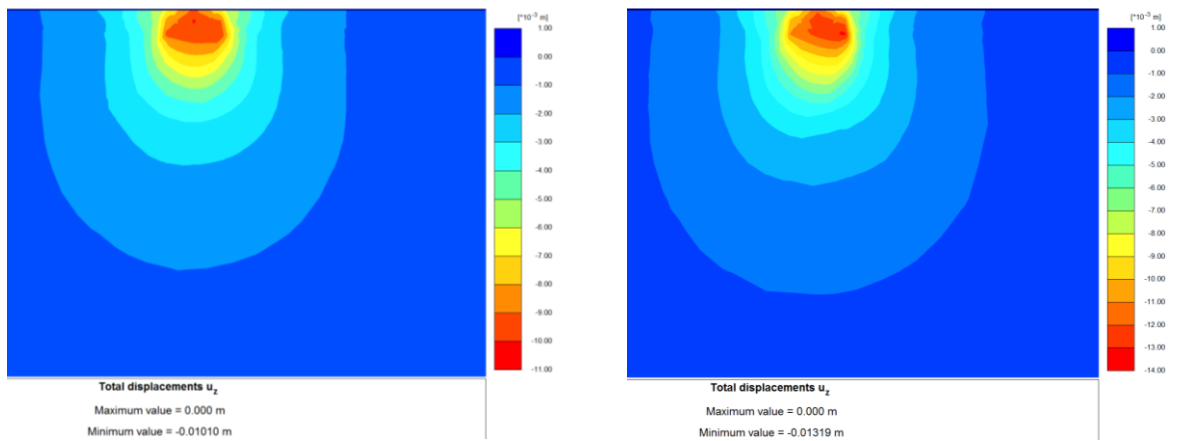
Structure – ฐานรากแผ่น F1 ขนาด 1.5x1.5x0.25 m

ใช้ Plate element วัสดุ Concrete (elasticity)

Element = 8278

Average elem. size = 1.966 m³

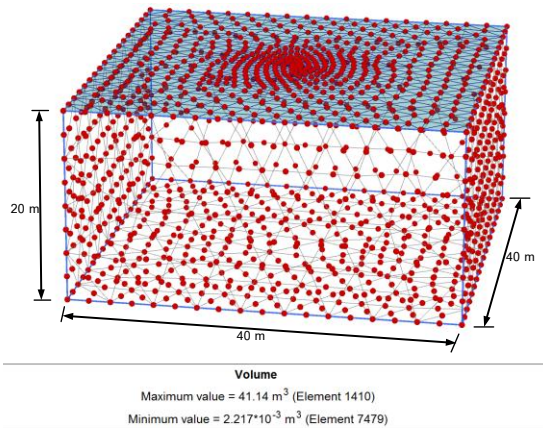
(a) การแบ่งชิ้นส่วนของฐานรากแผ่น F1



(b) แรงกระทำจากตัวอย่าง (231.2 kPa, 23.12 t)

(c) แรงกระทำแบบยูโรโค้ด 7 (269.7 kPa, 26.97 t)

รูปที่ 5.3 การวิเคราะห์กำลังของฐานรากแผ่น F1 ด้วยวิธี FEM จากตัวอย่างการออกแบบในหัวข้อที่ 4.2.1



Solid element – MC (10-node tetrahedrons)

Structure – ฐานรากแผ่น F1 ขนาด 0.9x0.9x0.25 m

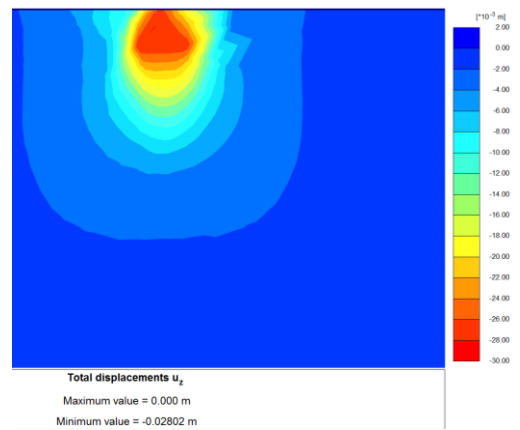
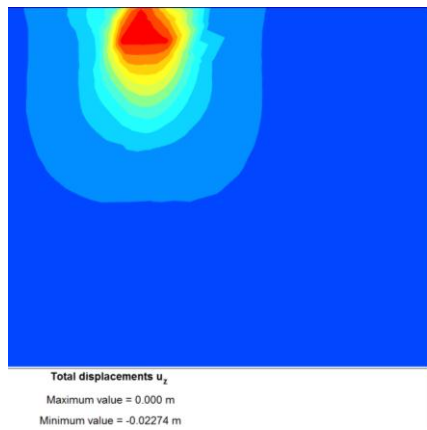
ใช้ Plate element วัสดุ Concrete (elasticity)

Element = 7775

Average elem. size = 2.029 m³

Volume
Maximum value = 41.14 m³ (Element 1410)
Minimum value = 2.217*10⁻³ m³ (Element 7479)

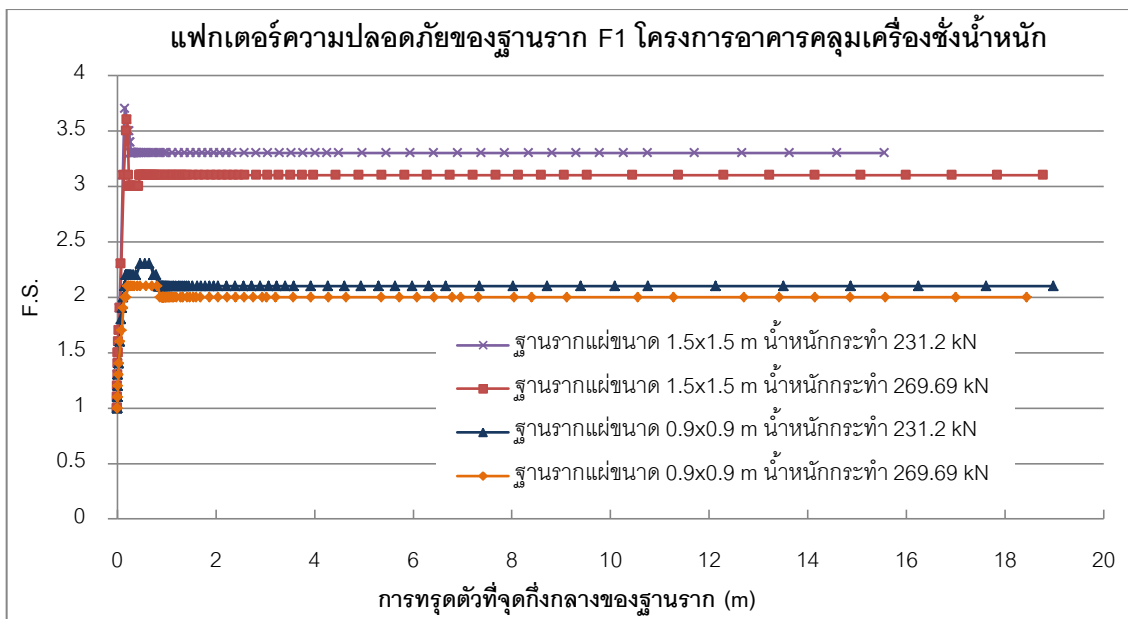
(a) การแบ่งชิ้นส่วนของฐานรากแผ่น F1



(b) แรงกระทำจากตัวอย่าง (231.2 kPa, 23.12 t)

(c) แรงกระทำแบบยูโรโค้ด 7 (269.7 kPa, 26.97 t)

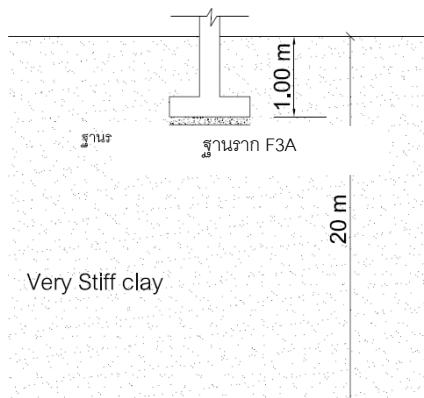
รูปที่ 5.4 การวิเคราะห์กำลังของฐานรากแผ่น F1 ด้วยวิธี FEM จากการออกแบบด้วยยูโรโค้ด 7



รูปที่ 5.5 แผนภูมิแฟกเตอร์ความปลอดภัยของฐานราก F1 โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

5.1.2 ตัวอย่างฐานรากแผ่ตัวอย่างที่ 2 โครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้อ

1) รายละเอียดและแบบของฐานรากแผ่ที่ต้องใช้ในโปรแกรมตามรูปที่ 5.6 และตารางที่ 5.8 และ 5.9



รูปที่ 5.6 รูปฐานรากแผ่ของโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้อ

ตารางที่ 5.8 ค่าของแรงกระทำรวม และขนาดของฐานรากแผ่ของโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้อ

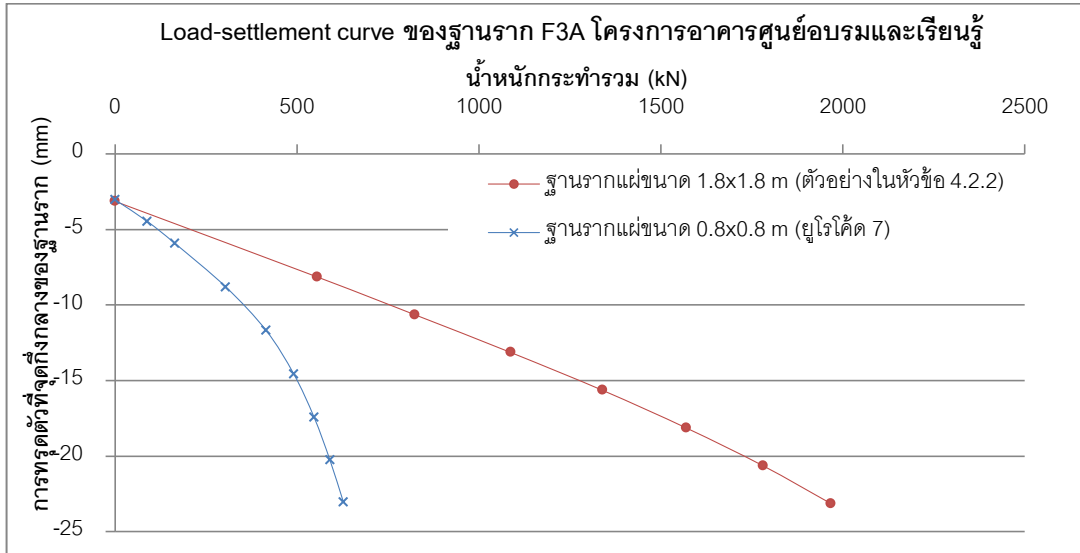
ฐานราก	ขนาดของฐานราก (m)				แรงกระทำรวม, F_{rep}	
	การออกแบบ	ขนาด	หนา	ลึก	แรงที่ใช้ออกแบบ	
F3A	ตัวอย่างในหัวข้อ 4.2.2	1.80x1.80	0.25	1	จากตัวอย่าง	259.2 kN (25.92 t)
					ยูโรโค้ด 7	233.6 kN (23.36 t)
	ยูโรโค้ด 7	0.80x0.80	0.25	1	จากตัวอย่าง	259.2 kN (25.92 t)
					ยูโรโค้ด 7	233.6 kN (23.36 t)

ตารางที่ 5.9 ค่าพารามิเตอร์ดินของโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้อ

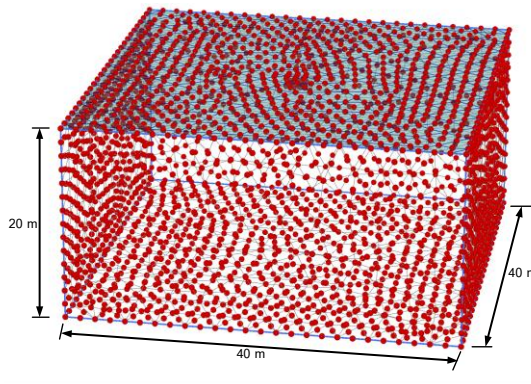
ชั้นดิน	ความลึก	γ_d	γ'_d	C_u	(ϕ')	Es	ν
	m	kN/m^3	kN/m^3	kN/m^2		kN/m^2	
Very stiff clay	0 - 20	18.7	8.7	120	0	36000	0.3

2) ผลการวิเคราะห์ฐานรากแผ่ของโครงการก่อสร้างอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้อ

โดยโปรแกรม Plaxis ฐานราก F3A จะแสดงรายละเอียดตามรูปที่ 5.7, 5.8, 5.9 และ 5.10



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับการทรุดตัวของฐานราก F3A โครงการอาคารอบรมและเรียนรู้



Solid element – MC (10-node tetrahedrons)

Structure – ฐานรากแผ่ F3A ขนาด 1.8x1.8x0.25 m

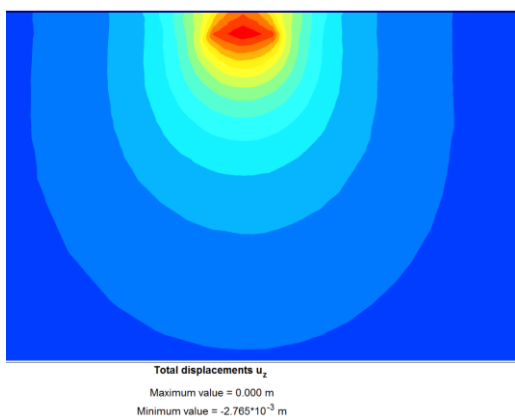
ใช้ Plate element วัสดุ Concrete (elasticity)

Element = 7641

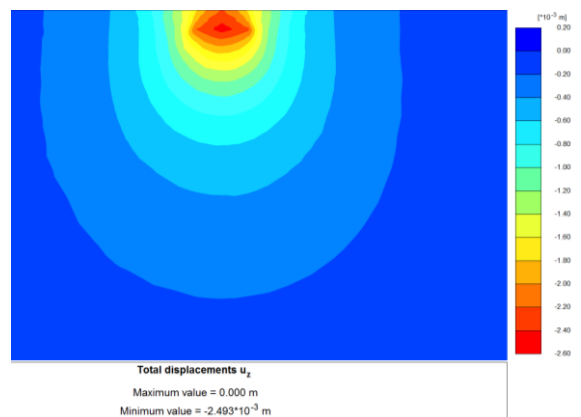
Average elem. size = 2.046 m³

Volume
 Maximum value = 13.97 m³ (Element 6165)
 Minimum value = 0.02121 m³ (Element 20)

(a) การแบ่งชิ้นส่วนของฐานรากแผ่ F3A

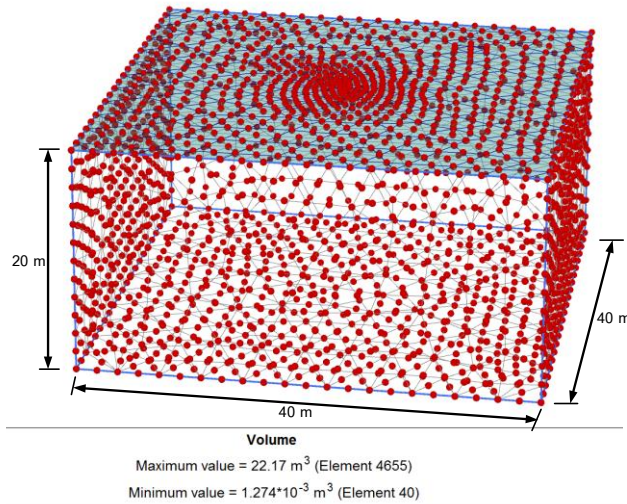


(b) แรงกระทำจากตัวอย่าง (259.2 kPa, 25.92 t)



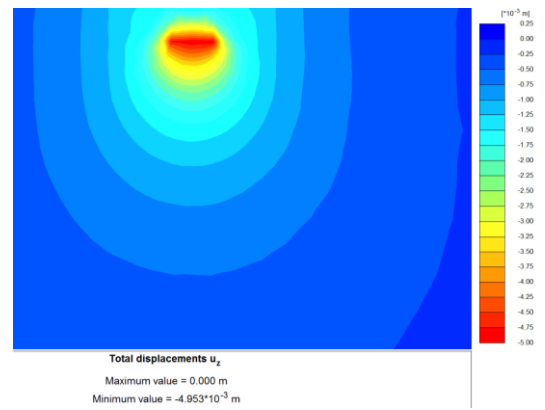
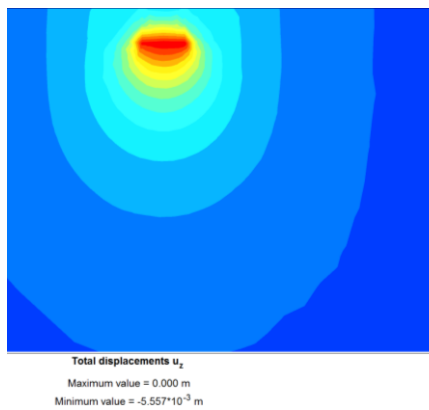
(c) แรงกระทำแบบยูโรโค้ด 7 (233.6 kPa, 23.36 t)

รูปที่ 5.8 การวิเคราะห์กำลังของฐานรากแผ่ F3A ด้วยวิธี FEM จากตัวอย่างการออกแบบในหัวข้อที่ 4.2.2



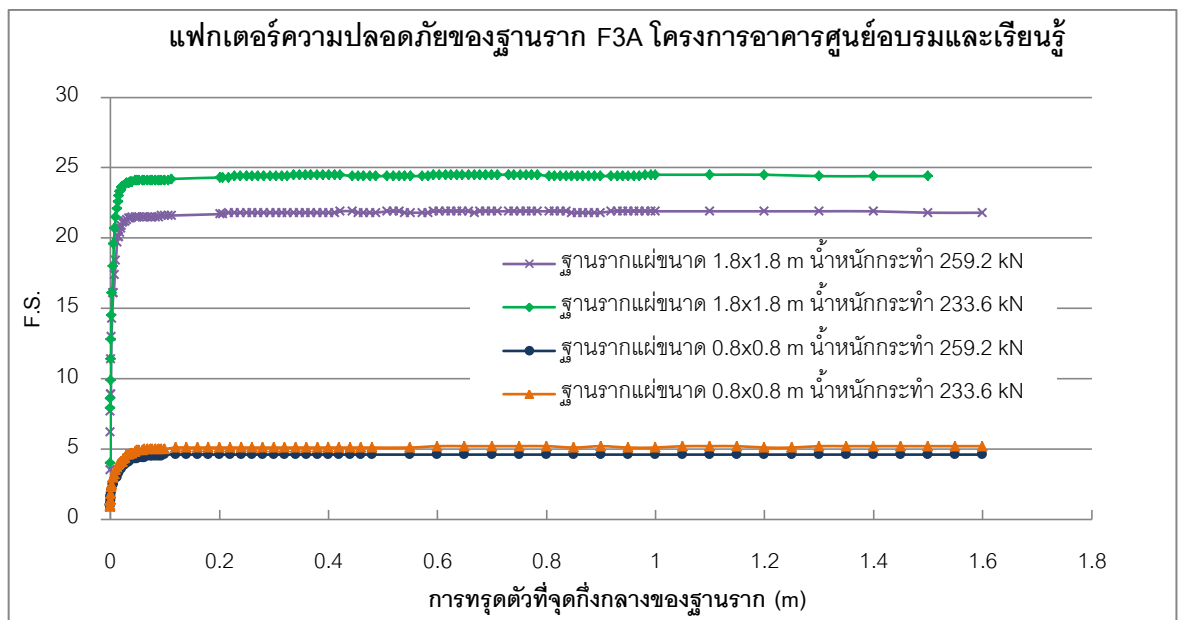
Solid element – MC (10-node tetrahedrons)
Structure – ฐานรากแผ่ F3A ขนาด 0.8x0.8x0.25 m
 ใช้ Plate element วัสดุ Concrete (elasticity)
Element = 6294
Average elem. size = 2.255 m³

(a) การแบ่งชิ้นส่วนของฐานรากแผ่ F3A



(b) แรงกระทำจากตัวอย่าง (259.2 kPa, 25.92 t) (c) แรงกระทำแบบยูโรโค้ด 7 (233.6 kPa, 23.36 t)

รูปที่ 5.9 การวิเคราะห์กำลังของฐานรากแผ่ F3A ด้วยวิธี FEM จากการออกแบบด้วยยูโรโค้ด 7

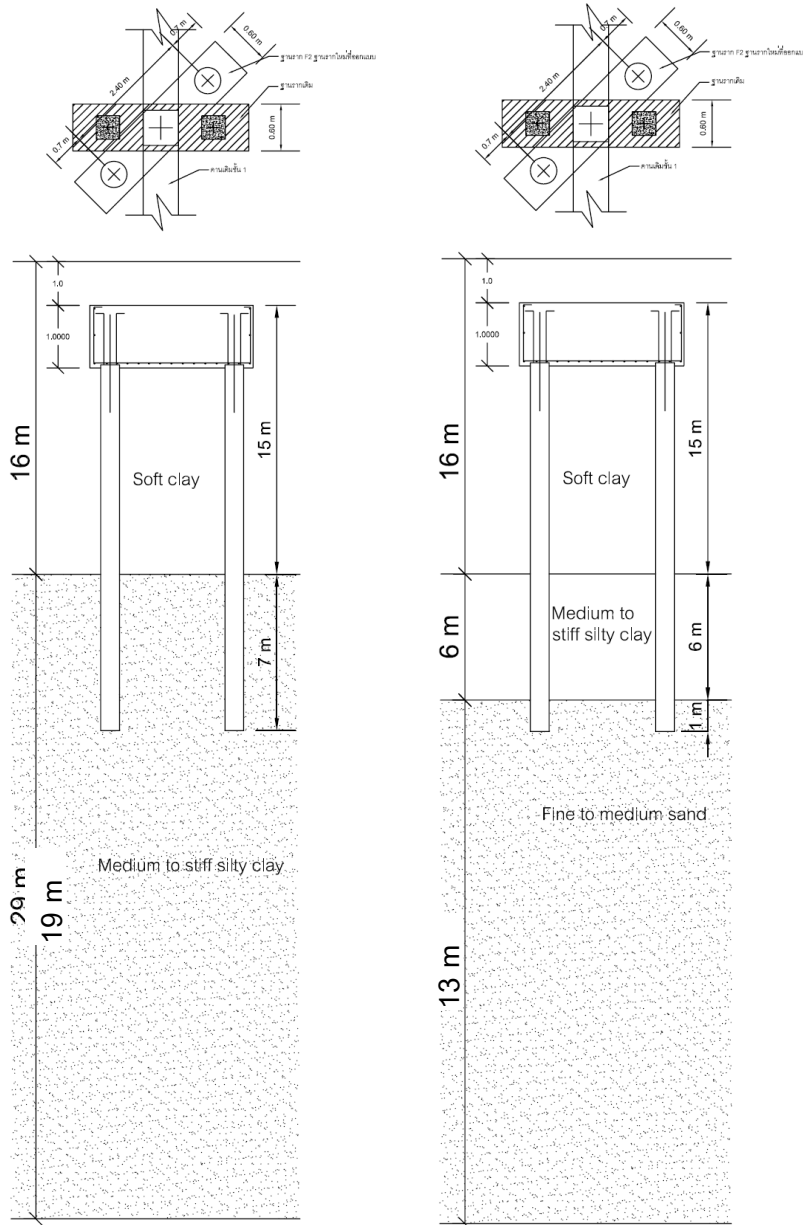


รูปที่ 5.10 แผนภูมิแพ็คเกจความปลอดภัยของฐานราก F3A โครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

5.2 วิเคราะห์ฐานรากเสาเข็ม

5.2.1 ตัวอย่างฐานรากเสาเข็มตัวอย่างที่ 1 โครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงาน กองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

1) รายละเอียดและแบบของฐานรากเสาเข็มที่ต้องใช้ในโปรแกรมตามรูปที่ 5.11 และตารางที่ 5.10, 5.11 และ 5.12



ตัวอย่างการออกแบบในหัวข้อ 4.3.1

การออกแบบยูโรโค้ด 7

รูปที่ 5.11 รูปฐานรากเสาเข็มของโครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงาน กองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

ตารางที่ 5.10 ค่าของแรงกระทำรวม และขนาดของฐานรากเสาเข็มกลุ่มของโครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานของสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

ขนาดของฐานราก (m)			แรงกระทำรวม, F_{rep}	
การออกแบบ	ขนาด	ชั้น	แรงที่ใช้ออกแบบ	
ตัวอย่างในหัวข้อ 4.3.1	Ø 0.5x22	2	จากตัวอย่าง	1000 kN (100.00 t)
			ยูโรโค้ด 7	812.2 kN (81.22 t)
ยูโรโค้ด 7	Ø 0.3x22	2	จากตัวอย่าง	1000 kN (100.00 t)
			ยูโรโค้ด 7	812.2 kN (81.22 t)

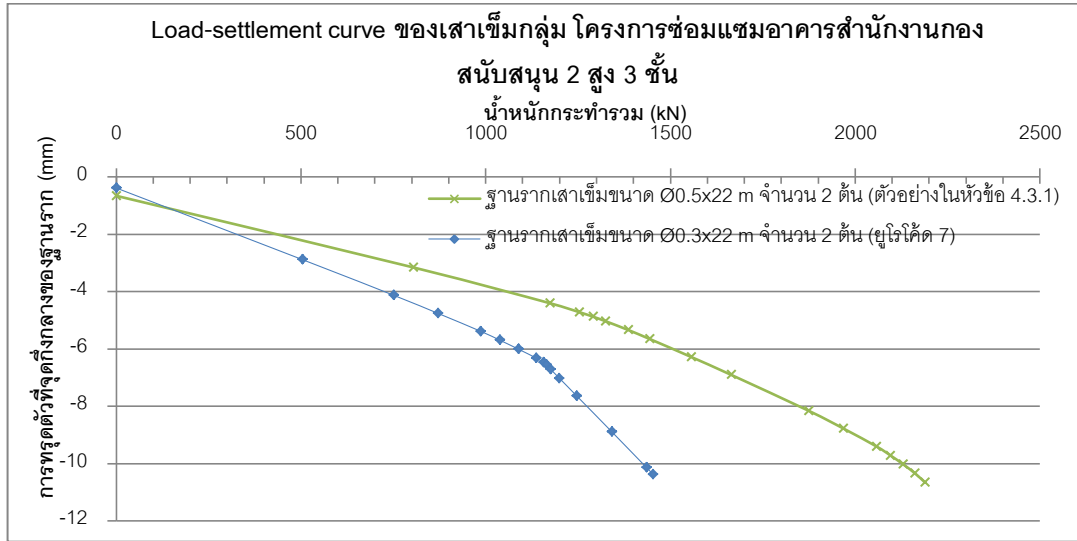
ตารางที่ 5.11 ค่าพารามิเตอร์ดินของโครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานของสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น สำหรับการออกแบบยูโรโค้ด 7

ชั้นดิน	ความลึก	γ_d	γ'_d	C_u	(ϕ')	Es	ν
	m	kN/m ³		kN/m ²		kN/m ²	
Soft clay	0 - 16	16.6	6.6	22.2	0	6500	0.35
Medium to stiff silty clay	16 - 22	21.0	11.0	100	0	30000	0.30
Silty fine sand, fine to medium sand	22 - 35	21.0	11.0	0	38	40000	0.30

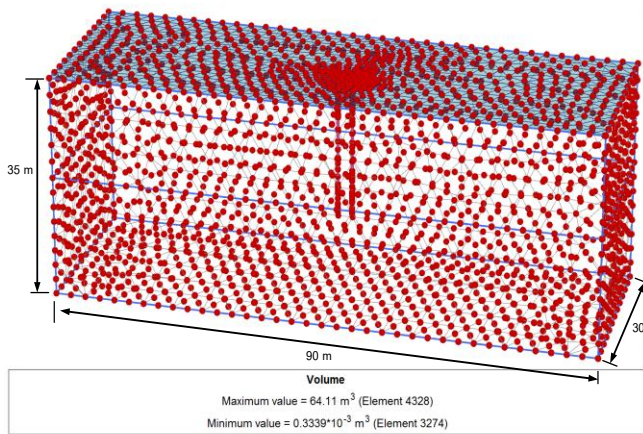
ตารางที่ 5.12 ค่าพารามิเตอร์ดินของโครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานของสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น สำหรับตัวอย่างการออกแบบ

ชั้นดิน	ความลึก	γ_d	γ'_d	C_u	(ϕ')	Es	ν
	m	kN/m ³		kN/m ²		kN/m ²	
Soft clay	0 - 16	14.7	4.7	20	0	6000	0.35
Medium to stiff silty clay	16 - 35	15.7	5.7	115	0	57500	0.25

2) ผลการวิเคราะห์ฐานรากเสาเข็มของโครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานของสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้นโดยโปรแกรม Plaxis จะแสดงรายละเอียดตามรูปที่ 5.12, 5.13, 5.14 และ 5.15



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มโครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น



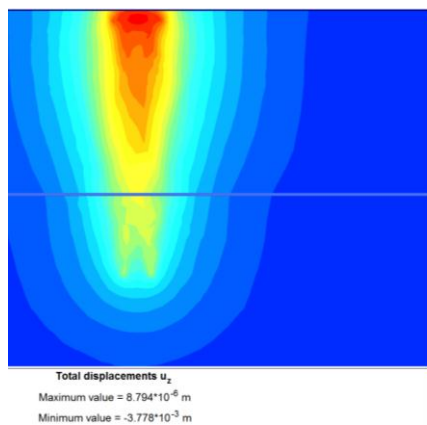
(a) การแบ่งชิ้นส่วนของเสาเข็มกลุ่มขนาด

Solid element – MC (10-node tetrahedrons)
Structure

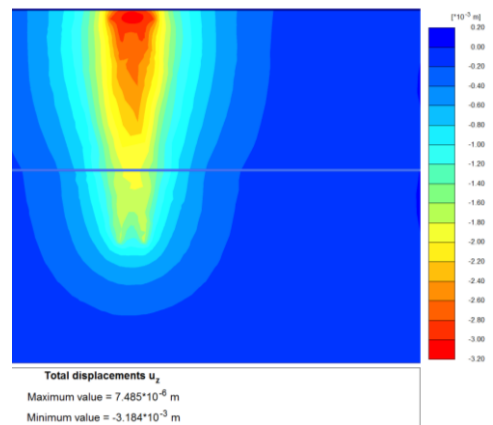
- ฐานราก ขนาด 3.8x0.8x1.0 m ใช้ Plate element
- เสาเข็มขนาด \varnothing 0.5x22 m จำนวน 2 ต้น ใช้ Embedded pile element
- วัสดุ Concrete (elasticity)

Element = 6478

Average elem. size = 3.819 m³

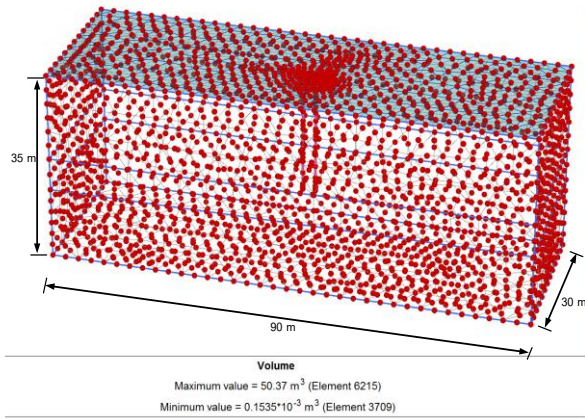


(b) แรงกระทำจากตัวอย่าง (1000 kPa, 100 t)



(c) แรงกระทำแบบยูโรโค้ด 7 (812.2 kPa, 81.22 t)

รูปที่ 5.13 การวิเคราะห์กำลังของฐานรากเสาเข็มด้วยวิธี FEM จากตัวอย่างการออกแบบในหัวข้อที่ 4.3.1



Solid element – MC (10-node tetrahedrons)

Structure

- ฐานราก ขนาด 3.8x0.8x1.0 m ใช้ Plate element

- เสาเข็มขนาด \varnothing 0.3x22 m จำนวน 2 ต้น ใช้

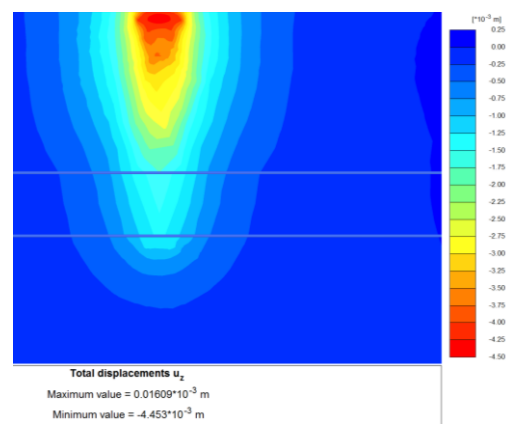
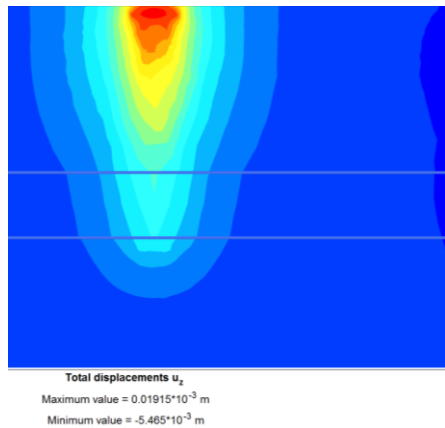
Embedded pile element

- วัสดุ Concrete (elasticity)

Element = 6614

Average elem. size = 3.780 m³

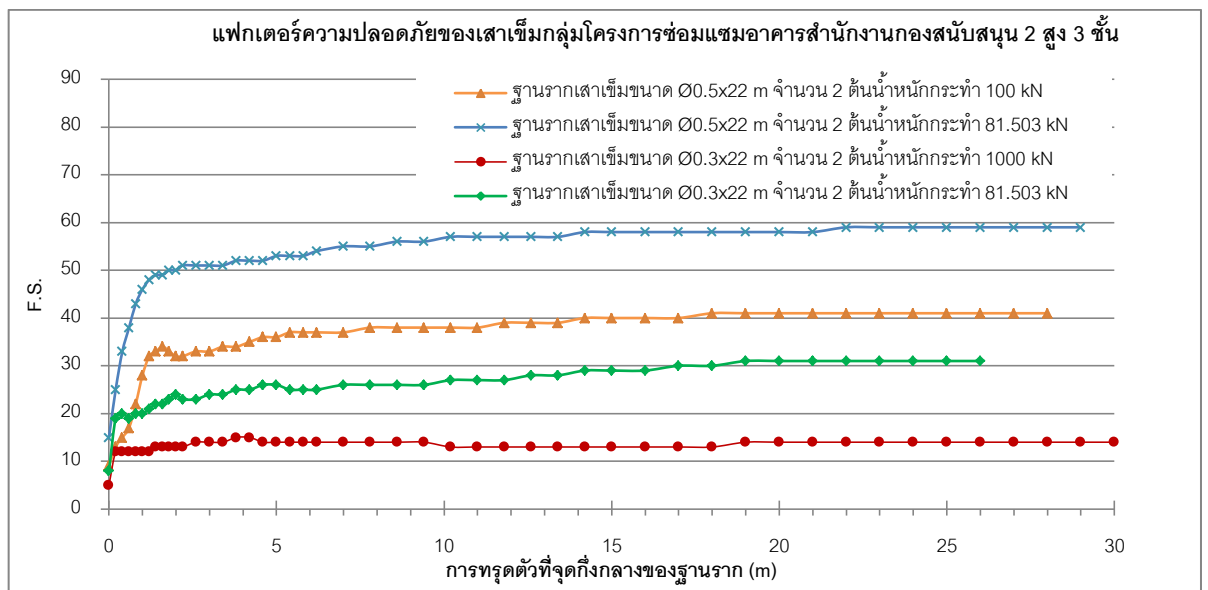
(a) การแบ่งชิ้นส่วนของเสาเข็มกลุ่มขนาด \varnothing 0.3x22 m จำนวน 2 ต้น



(b) แรงกระทำจากตัวอย่าง (1000 kPa, 100 t)

(c) แรงกระทำแบบยูโรโค๊ด 7 (812.2 kPa, 81.22 t)

รูปที่ 5.14 การวิเคราะห์กำลังของฐานรากเสาเข็มด้วยวิธี FEM จากการออกแบบด้วยยูโรโค๊ด 7

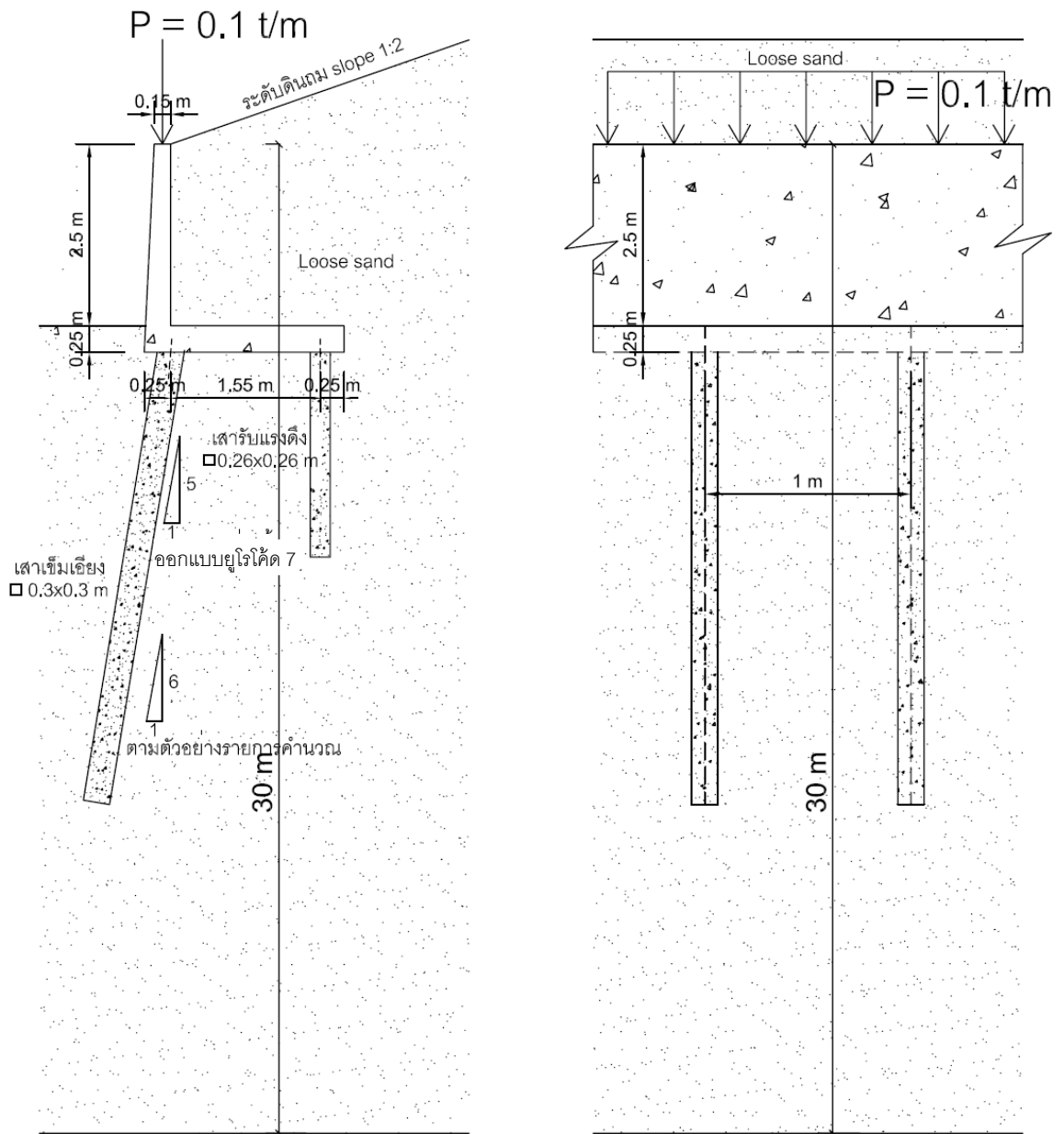


รูปที่ 5.15 แผนภูมิแฟกเตอร์ความปลอดภัยของเสาเข็มกลุ่มโครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงาน กองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

5.3 วิเคราะห์โครงสร้างกันดินตัวอย่าง

5.3.1 ตัวอย่างโครงสร้างกันดินตัวอย่างที่ 1 โครงการกำแพงกันดิน

1) รายละเอียดและแบบการก่อสร้างของกำแพงกันดินที่ต้องใช้ในโปรแกรมตามรูปที่ 5.16 และตารางที่ 5.12 และ 5.13



รูปที่ 5.16 รูปกำแพงกันดิน

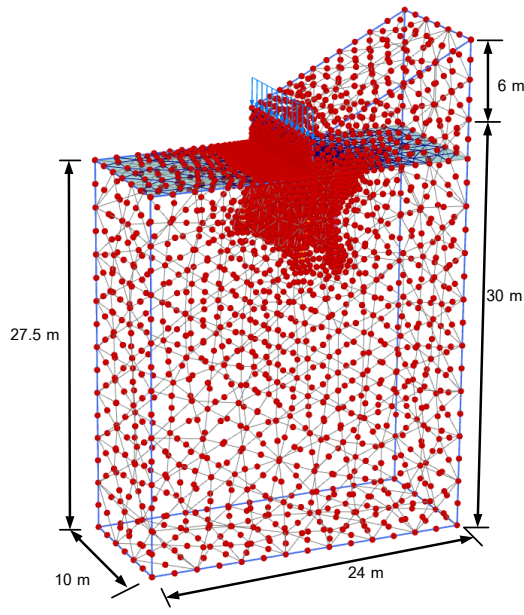
ตารางที่ 5.12 รายละเอียดค้ำแพงกันดิน

รายละเอียดโครงสร้างกันดิน (ต่อความยาว 1 m)		ตัวอย่างในหัวข้อ 4.4.1	ยูโรโค้ด 7
ค้ำแพงกันดิน	ผนังหนา (m)	0.2	0.2
	ผนังสูง (m)	2.75	2.75
	ฐานหนา (m)	0.25	0.25
	ฐานกว้าง (m)	1.8	1.8
เสาเข็มเอียง	ขนาด	□ 0.30x0.30	□ 0.30x0.30
	เสาเข็มเอียง	1:6	1:5
	ยาว (m)	6	11
เสาเข็มรับแรงดึง	ขนาด	□ 0.26x0.26	□ 0.26x0.26
	ยาว (m)	6	4

ตารางที่ 5.13 ค่าพารามิเตอร์ดินของค้ำแพงกันดิน

ชั้นดิน	ความลึก	γ_d	γ'_d	C_u	(ϕ')	Es	ν
	m	kN/m ³		kN/m ²		kN/m ²	
Sand	0 - 30	19.0	9.0	0	30	12000	0.30

2) ผลการวิเคราะห์ค้ำแพงกันดินโดยโปรแกรม Plaxis จะแสดงรายละเอียดตามรูปที่ 5.17, 5.18 และ 5.19



Solid element – MC (10-node tetrahedrons)

Structure

- ผนังกันดิน สูง 2.75 หนา 0.2 m และ พื้นของกำแพงกันดินกว้าง 1.8 หนา 0.25 m ใช้ Plate element
- เสาเข็มเอียงขนาด □ 0.30x0.30x6 m @ 1.0 m และ เสาเข็มรับแรงดึงขนาด □ 0.22x0.22x6 m @ 1.0m ใช้ Embedded pile element
- วัสดุ Concrete (elasticity)

Element = 35701

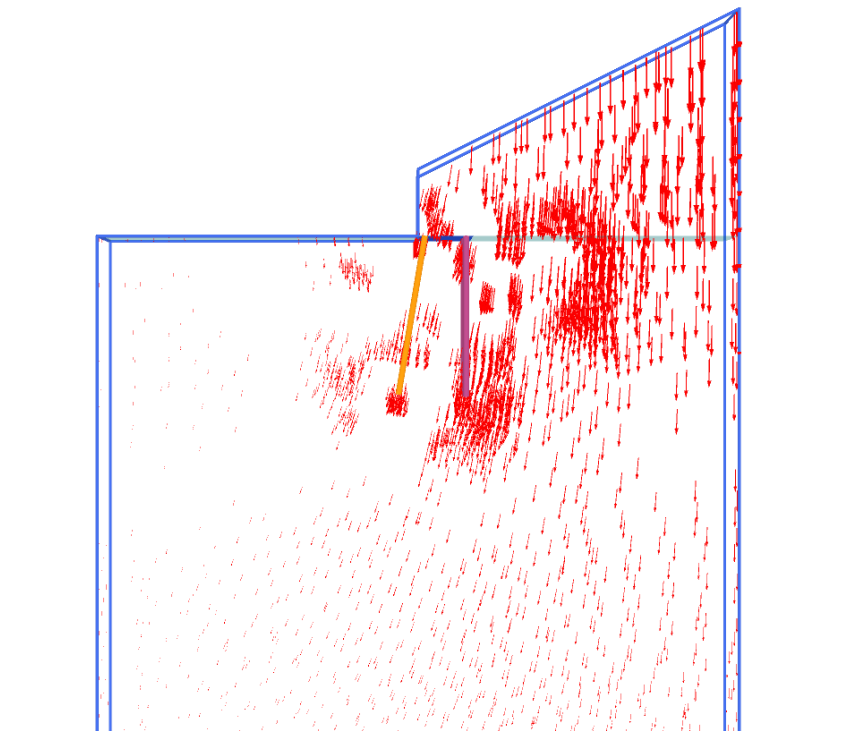
Average elem. size = 0.4919 m³

Volume

Maximum value = 12.21 m³ (Element 14154)

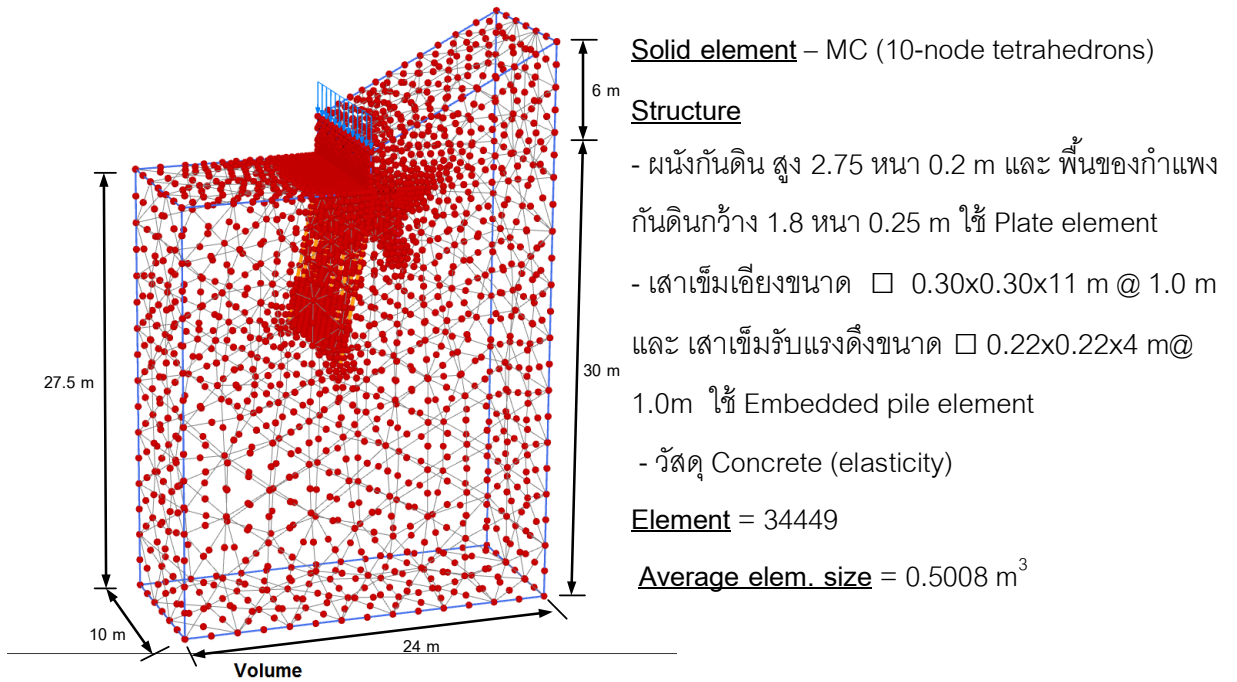
Minimum value = 0.4785*10⁻³ m³ (Element 3205)

(a) การแบ่งชิ้นส่วนของกำแพงกันดินของการออกแบบตามตัวอย่างรายการคำนวณ



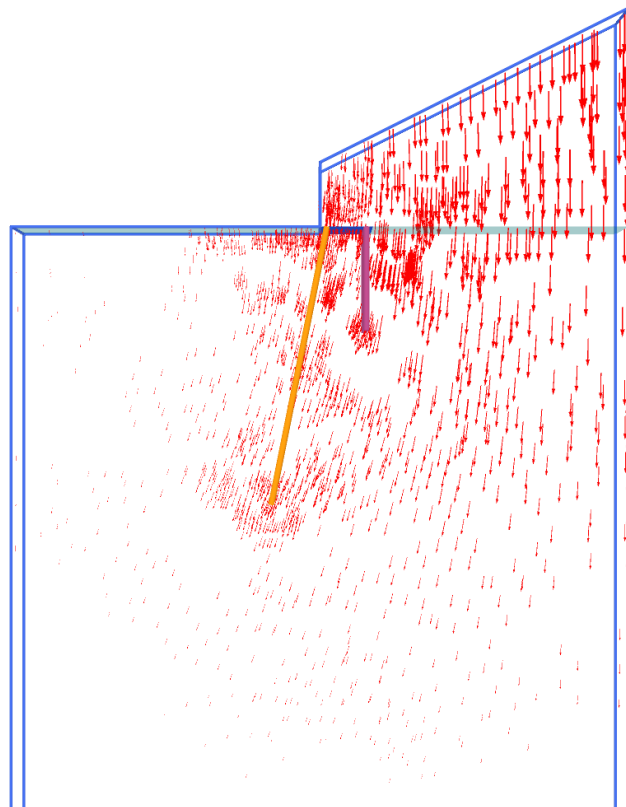
(b) การเคลื่อนตัวของดิน

รูปที่ 5.17 วิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินด้วยวิธี FEM จากตัวอย่างการออกแบบในหัวข้อที่ 4.4.1



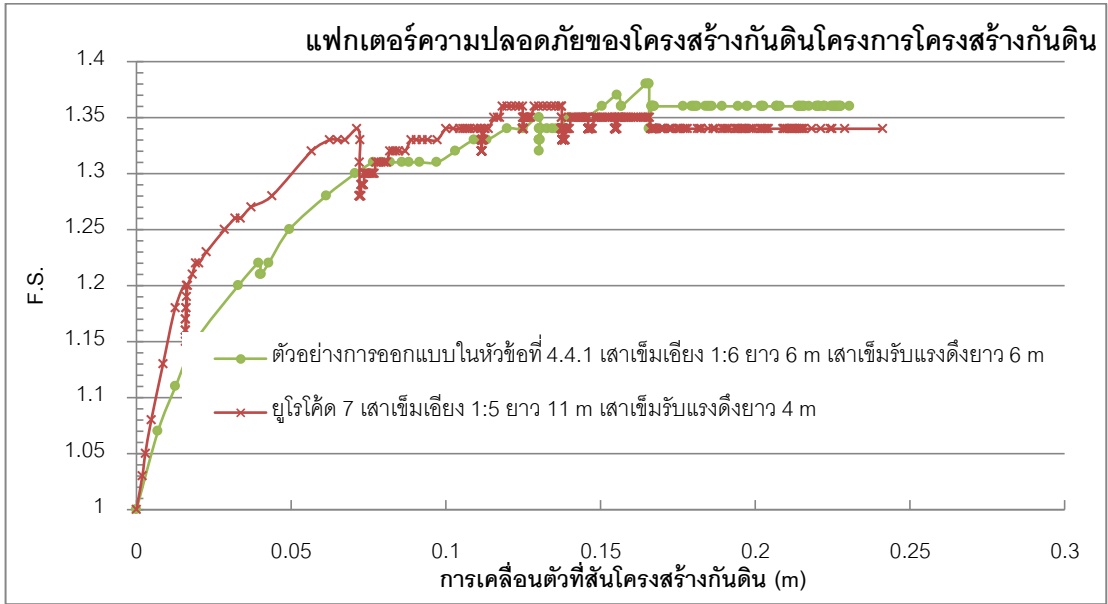
Maximum value = 13.39 m³ (Element 14211)
 Minimum value = 0.4352*10⁻³ m³ (Element 3273)

(a) การแบ่งชิ้นส่วนของกำแพงกันดินของการออกแบบด้วยยูโรโค้ด 7



(b) การเคลื่อนตัว

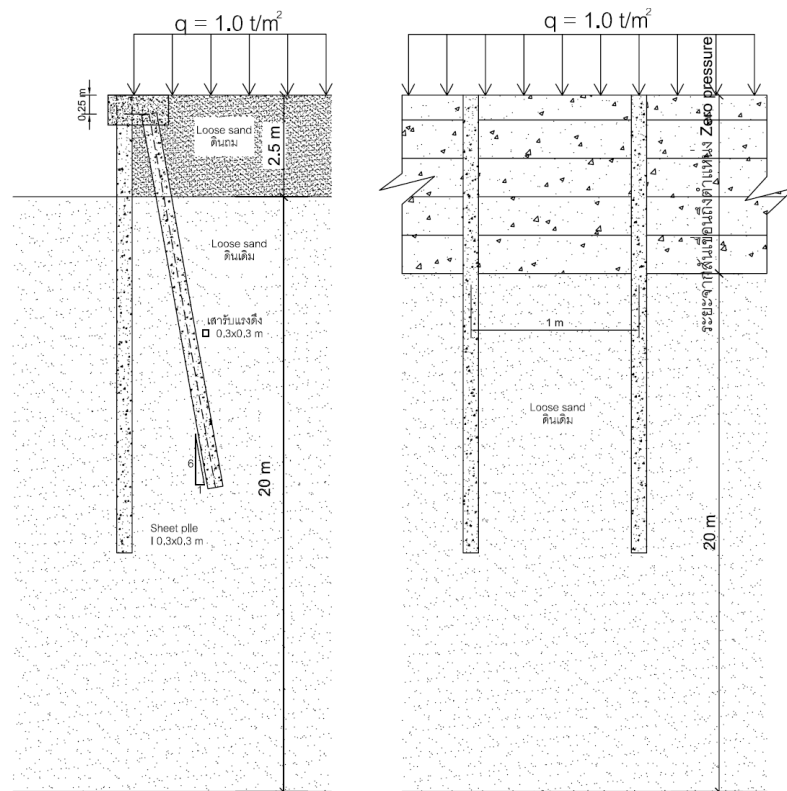
รูปที่ 5.18 วิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกำแพงดินด้วยวิธี FEM จากการออกแบบด้วยยูโรโค้ด 7



รูปที่ 5.19 แผนภูมิแฟกเตอร์ความปลอดภัยของกำแพงกันดิน

5.3.2 ตัวอย่างโครงสร้างกันดินตัวอย่างที่ 2 โครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง จะแสดง

1) รายละเอียดและแบบของเขื่อนป้องกันตลิ่งที่ต้องใช้ในโปรแกรมตามรูปที่ 5.20 และตารางที่ 5.18 และ 5.19



รูปที่ 5.20 รูปเขื่อนป้องกันตลิ่ง

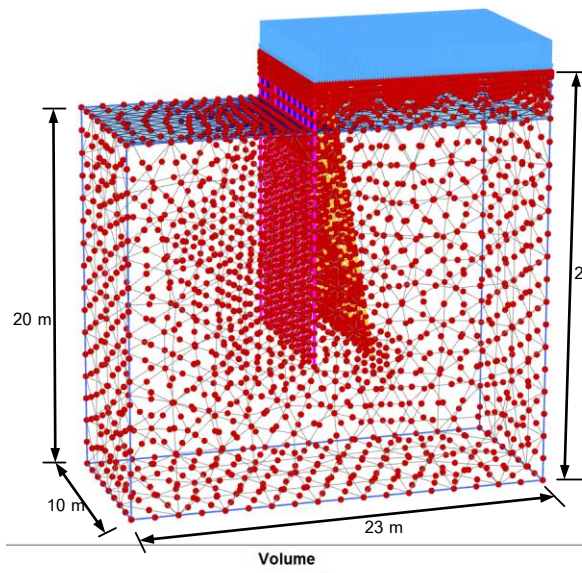
ตารางที่ 5.14 รายละเอียดเขื่อนป้องกันตลิ่ง

รายละเอียดกำแพงกันดิน (ต่อความยาว 1 m)		ตัวอย่าง	ออกแบบยูโรโค้ด 7
Sheet pile	ขนาด	I 0.30x0.30	I 0.30x0.30
	ยาว (m)	15	13
	ตำแหน่ง Zero pressure จากระดับสันเขื่อน (m)	-4.50	-4.03
เสาเข็มรับแรงดึง	ขนาด	□ 0.30x0.30	□ 0.30x0.30
	เสาเข็มเอียง	1:6	1:6
	ยาว (m)	15	10

ตารางที่ 5.15 ค่าพารามิเตอร์ดินของเขื่อนป้องกันตลิ่ง

ชั้นดิน	ความลึก	γ_d	γ'_d	C_u	(ϕ')	Es	ν
	m	kN/m ³		kN/m ²		kN/m ²	
ทรายถม	0 - 2.5	17.5	17.5	0	25	10000	0.30
ดินเดิม	2.5 - 22.5	18.5	9.5	0	20	10000	0.30

2) ผลการวิเคราะห์เขื่อนป้องกันตลิ่งโดยโปรแกรม Plaxis จะแสดงรายละเอียดตามรูปที่ 5.21, 5.22 และ 5.23



Solid element – MC (10-node tetrahedrons)

Structure

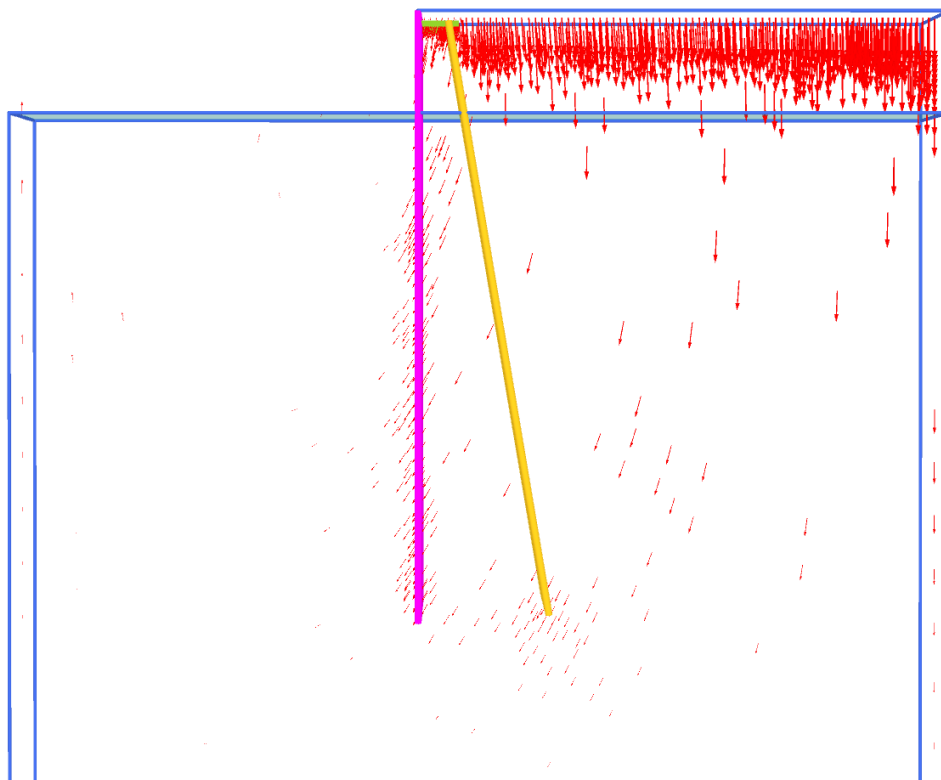
- Pile cap กว้าง 0.5 ม.หนา 0.3 ม. และแผ่นคอกกรีดกันดิน กว้าง 4.50 ม.หนา 0.3 ม. ใช้ Plate element
- เสาค้ำเชื่อมขนาด I 0.30x0.30x15 m @ 1.0 m ใช้ Beam element
- เสาค้ำรับแรงดึงขนาด □ 0.30x0.30x15 m @ 1.0 m ใช้ Embedded pile element
- วัสดุ Concrete (elasticity)

Element = 36727

Maximum value = 6.036 m³ (Element 29353)
 Minimum value = 0.02515*10⁻³ m³ (Element 23768)

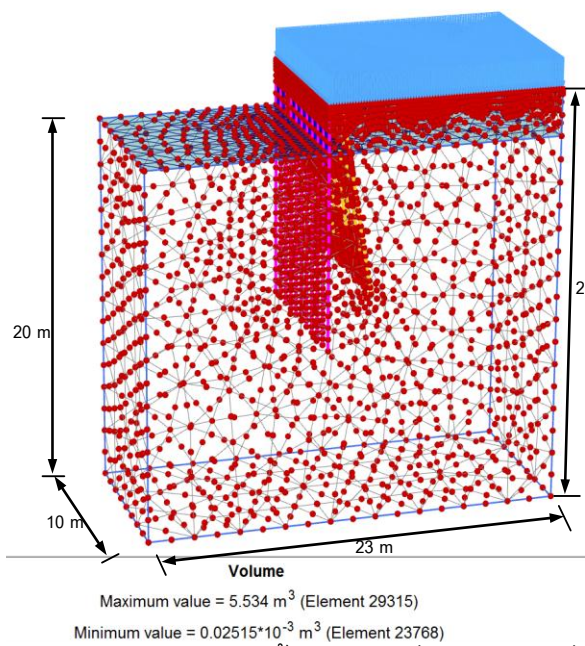
Average elem. size = 0.3754 m³

(a) การแบ่งชิ้นส่วนของเขื่อนป้องกันตลิ่งของของการออกแบบตามตัวอย่างรายการคำนวณ



(b) การเคลื่อนตัว

รูปที่ 5.21 วิเคราะห์การเคลื่อนตัวของเขื่อนป้องกันตลิ่งด้วยวิธี FEM จากตัวอย่างการออกแบบในหัวข้อที่ 4.4.2



Solid element – MC (10-node tetrahedrons)

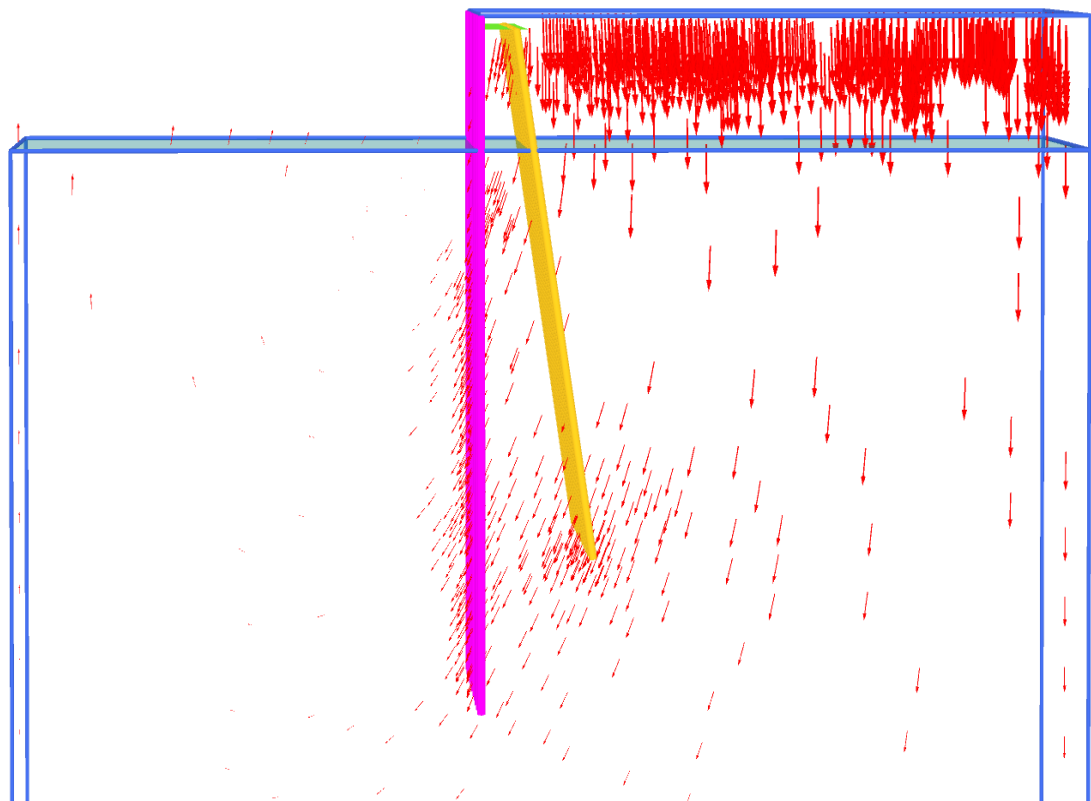
Structure

- Pile cap กว้าง 0.5 หนา 0.3 m และ แผ่นคอกกรีดกันดิน กว้าง 4.03 m หนา 0.3 m ใช้ Plate element
- เสาเข็มเขื่อนขนาด I 0.30x0.30x13 m @ 1.0 m ใช้ Beam element
- เสาเข็มรับแรงดึงขนาด □ 0.30x0.30x10 m@ 1.0m ใช้ Embedded pile element
- วัสดุ Concrete (elasticity)

Element = 35489

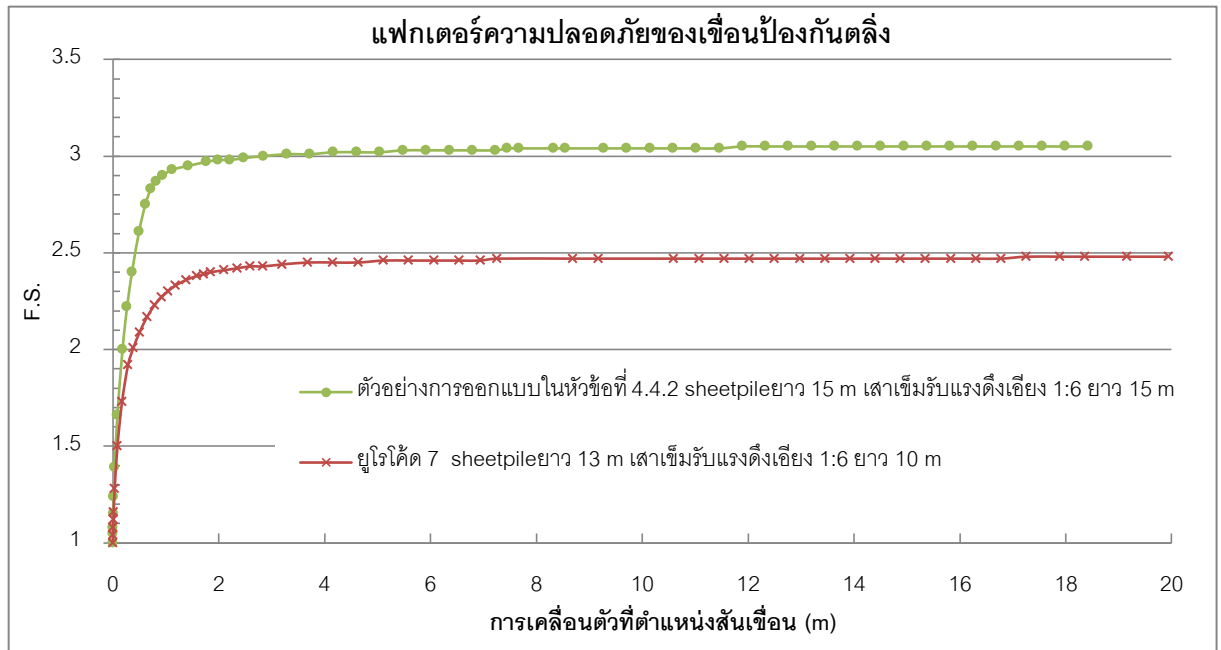
Average elem. size = 0.3819 m³

(a) การแบ่งชิ้นส่วนของเขื่อนป้องกันตลิ่งของการออกแบบด้วยยูโรโค้ด 7



(b) การเคลื่อนตัวของดิน

รูปที่ 5.22 วิเคราะห์การเคลื่อนตัวของเขื่อนป้องกันตลิ่งด้วยวิธี FEM จากการออกแบบด้วยยูโรโค้ด



รูปที่ 5.23 แผนภูมิแฟกเตอร์ความปลอดภัยของเขื่อนป้องกันตลิ่ง

สรุปผลการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์โครงสร้างฐานรากแผ่ ฐานรากเสาเข็ม และโครงสร้างกันดินที่ได้ จากตัวอย่างการออกแบบในประเทศไทยและการออกแบบโดยยูโรโค้ด 7 ในบทที่ 4 ด้วยวิธีไฟไนต์ อิลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม Plaxis 3D version 2010 และวิเคราะห์ในช่วงอีลาสติก และจะไม่ พิจารณาในช่วงอัดตัวคายน้ำสามารถสรุปค่า แฟกเตอร์ความปลอดภัยและค่าการเคลื่อนตัวซึ่งจะ แสดงตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 สรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างการออกแบบด้วยวิธี FEM โดยใช้โปรแกรม Plaxis 3D version 2010

รูปแบบโครงสร้าง	การออกแบบ	ขนาด (m)	F.S.	การทรุดตัวสูงสุด (mm)	F.S.	การทรุดตัวสูงสุด (mm)
โครงสร้างฐานรากแม่	ฐานราก F1 โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก		แรงกระทำแบบใช้งานในประเทศไทย (231.2 kPa, 23.21 t)		แรงกระทำแบบยูโรโค้ด (269.7 kPa, 26.97 t)	
	ตัวอย่างในหัวข้อ 4.2.1	1.50x1.50x0.25	3.3	10.10	3.1	13.19
	ยูโรโค้ด 7	0.90x0.90x0.25	2.1	22.74	2.0	28.02
	ฐานราก F3A โครงการอาคารอบรมและเรียนรู้อ		แรงกระทำแบบใช้งานในประเทศไทย (259.2 kPa, 25.92 t)		แรงกระทำแบบยูโรโค้ด (233.6 kPa, 23.36 t)	
	ตัวอย่างในหัวข้อ 4.2.2	1.80x1.80x0.25	22	2.765	24	2.493
	ยูโรโค้ด 7	0.80x0.80x0.25	4.5	5.557	5	4.953
โครงสร้างฐานราก เสาเข็ม	ฐานรากเสาเข็มกลุ่ม โครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานของสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น		แรงกระทำแบบใช้งานในประเทศไทย (1000 kPa, 100.00 t)		แรงกระทำแบบยูโรโค้ด (812.2 kPa, 81.22 t)	
	ตัวอย่างในหัวข้อ 4.3.1	∅ 0.5x22 – 2 ต้น	41	3.778	59	3.184
	ยูโรโค้ด 7	∅ 0.3x22 – 2 ต้น	14	5.465	31	4.453

ตารางที่ 5.16 สรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างการออกแบบด้วยวิธี FEM โดยใช้โปรแกรม Plaxis 3D version 2010 (ต่อ)

รูปแบบโครงสร้าง	โครงการทำการศึกษา											
โครงสร้างกันดิน	กำแพงกันดิน											
	การออกแบบ	โครงสร้างกันดิน	เสาเข็มเอียง			เสาเข็มรับแรงดึง		F.S.	การเคลื่อนตัวสูงสุด (mm)			
			ขนาด	เสาเข็มเอียง	ยาว (m)	ขนาด	ยาว (m)		แนวราบ	แนวตั้ง	สุทธิ	
	ตัวอย่างในหัวข้อ 4.4.1	ตามแบบใน	□ 0.30x0.30	1:6	6	□ 0.26x0.26	6	1.36	-24.47	-208.2	208.2	
	ยูโรโค้ด 7	รูปที่ 5.26	□ 0.30x0.30	1:5	11	□ 0.26x0.26	4	1.34	-20.97	-204.3	204.3	
	เขื่อนป้องกันตลิ่ง											
	การออกแบบ	โครงสร้างกันดิน	Sheet pile			เสาเข็มรับแรงดึง			F.S.	การเคลื่อนตัวสูงสุด (mm)		
			ขนาด	ยาว (m)	ตำแหน่ง Zero Pressure จากระดับสันเขื่อน (m)	ขนาด	เสาเข็มเอียง	ยาว (m)		แนวราบ	แนวตั้ง	สุทธิ
	ตัวอย่างในหัวข้อ 4.4.2	ตามแบบใน	I 0.30x0.30	15	-4.50	□ 0.30x0.30	1:6	15	3.10	-9.025	-55.24	55.24
	ยูโรโค้ด 7	รูปที่ 5.31	I 0.30x0.30	13	-4.03	□ 0.30x0.30	1:6	10	2.45	-9.031	-55.20	55.20

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาการออกแบบโครงสร้างทางธรณีเทคนิคในบทที่ 4 และผลการวิเคราะห์โครงสร้างการออกแบบด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม Plaxis 3D version 2010 ในบทที่ 5 สามารถสรุปเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

- 1) ขนาดของโครงสร้างวิศวกรรมธรณีเทคนิค
- 2) แฟกเตอร์การใช้งาน (Λ)
- 3) การทรุดตัวและการเคลื่อนตัวของโครงสร้างในช่วงอีลาสติก (Elastic)
- 4) แฟกเตอร์ความปลอดภัย (F.S.)

โดยผลการศึกษาจะมีโครงสร้างที่ออกแบบโดยตัวอย่าง โครงสร้างที่ออกแบบโดยตัวอย่างแต่มีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (factored load) เพื่อคิดเป็นกรณีการออกแบบโดยวิธีกำลัง และโครงสร้างที่ออกแบบโดยยูโรโค๊ด 7 ตัวอย่างโครงสร้างที่ทำการศึกษาทั้งหมด 3 โครงสร้างได้แก่ 1) โครงสร้างฐานรากแผ่จำนวน 2 ตัวอย่าง 2) โครงสร้างฐานรากเสาเข็มจำนวน 2 ตัวอย่าง และ 3) โครงสร้างกันดินจำนวน 2 ตัวอย่าง

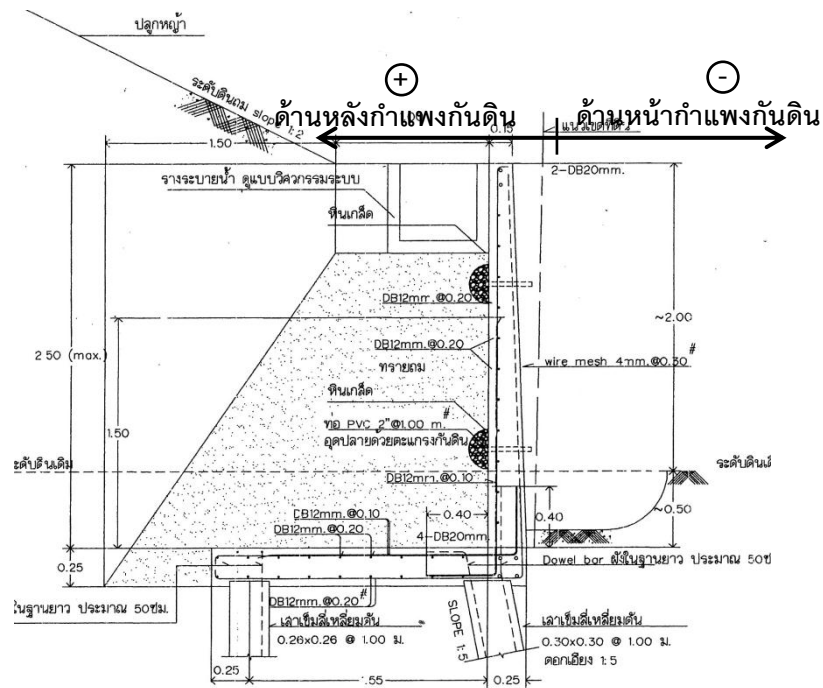
1. โครงสร้างฐานรากแผ่สรุปผลการศึกษาได้ตามตารางที่ 6.1
2. โครงสร้างฐานรากเสาเข็มสรุปผลการศึกษาได้ตามตารางที่ 6.1
3. โครงสร้างกันดินสรุปผลการศึกษาได้ตามตารางที่ 6.2 และรูปที่ 6.1 และ 6.2

ตารางที่ 6.1 สรุปรายละเอียดการเปรียบเทียบโครงสร้างฐานรากแผ่และฐานรากเสาเข็ม

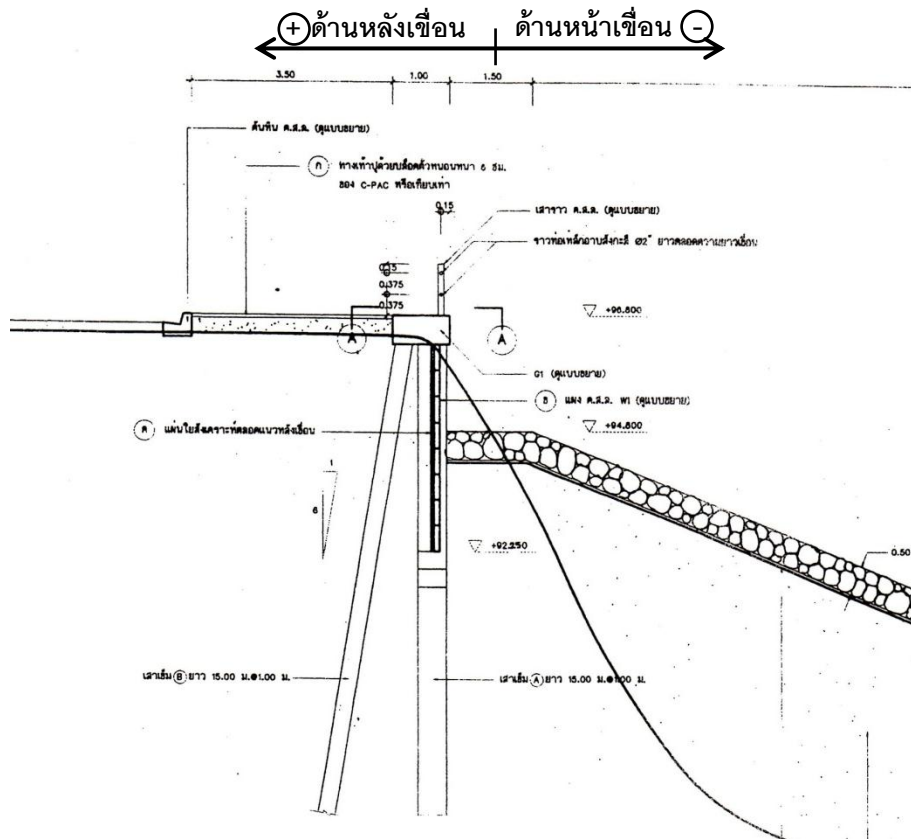
โครงสร้างที่ทำการศึกษา		ฐานรากแผ่						ฐานรากเสาเข็ม		
ฐานราก		F1 (โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก)			F3A (โครงการอาคารอบรมและเรียนรู้)			เสาเข็มกลุ่ม (โครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น)		
		ตัวอย่างใน ประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7	ตัวอย่างใน ประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7	ตัวอย่างใน ประเทศไทย		ยูโรโค้ด 7
		วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3	วิธีกำลัง	รูปแบบที่ 3			
γ_F	γ_G	-	1.5	1.35	-	1.5	1.35	-	1.5	1.35
	γ_Q	-	1.7	1.5	-	1.7	1.5	-	1.7	1.5
γ_M	γ_Y	-	-	1	-	-	1	-	-	1
	γ_{Cu}	-	-	1.4	-	-	1.4	-	-	1.4
	$\gamma_{\varphi'}$	-	-	1.25	-	-	1.25	-	-	1.25
γ_R	γ_s	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	γ_b	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	$\gamma_{R,v} \cdot \gamma_t$	-	-	1	-	-	1	-	-	1
ขนาดของโครงสร้าง (m)		1.5x1.5		0.9x0.9	1.8x1.8		0.8x0.8	Ø 0.5x22 – 2 ต้น		Ø 0.3x22 – 2 ต้น
การ ออกแบบ	F.S.	3.30	-	-	2.50	-	-	2.86	-	-
	Λ (%)	30.34%	57.04%	93.75%	40.06%	53.19%	96.54%	34.99%	52.41%	96.31%
FEM	F.S.	3.3		2.0	22		5	41		31
	การทรุดตัวสูงสุด (mm)	10.10		28.02	2.765		4.953	3.778		4.453

ตารางที่ 6.2 สรุปรายละเอียดการเปรียบเทียบโครงสร้างกันดิน

โครงการก่อสร้างที่ทำการศึกษา			โครงการกำแพงกันดิน			โครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง		
			ตัวอย่างใน ประเทศไทย	วิธีกำลัง	ยูโรโค้ด 7	ตัวอย่างใน ประเทศไทย	วิธีกำลัง	ยูโรโค้ด 7
รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 2							
γ_F	แรงกระทำ	γ_G	-	1.5	1.35, 1	-	1.5	1.35
		γ_Q	-	1.7	1.5, 1.3	-	1.7	1.5
	แรงต้านทาน	γ_G	-	-	1	-	-	1
		γ_Q	-	-	0	-	-	0
γ_M	γ_γ	-	-	1	-	-	1	
	γ_{Cu}	-	-	1.4	-	-	1	
	$\gamma_{\phi'}$	-	-	1.25	-	-	1	
γ_R	$\gamma_{R,e}$	-	-	1	-	-	1.4	
โครงสร้าง			ตามรูปที่ 6.1			ตามรูปที่ 6.2		
ประเภทของเสาเข็ม			เสาเข็มเอียง			เสาเข็มเขื่อน		
ขนาดเสาเข็ม (m)			□ 0.3x0.3	□ 0.3x0.3	□ 0.3x0.3	□ 0.3x0.3	□ 0.3x0.3	
เสาเข็มเอียง			1:6	1:5	-	-		
เสาเข็มยาว (m)			6	11	15	13		
ประเภทของเสาเข็ม			เสาเข็มรับแรงดึง			เสาเข็มเอียงรับแรงดึง		
ขนาดเสาเข็ม (m)			□ 0.26x0.26	□ 0.26x0.26	□ 0.3x0.3	□ 0.3x0.3		
เสาเข็มเอียง			-	-	1:6	1:6		
เสาเข็มยาว (m)			6	4	15	10		
การ ออกแบบ	โมเมนต์สูงสุด (t-m)		3.45	3.45	5.34	-	-	21.171
	Λ (%)	โมเมนต์	48.24%	68.53%	42.08%	46.83%	66.85%	70.03%
		แรงในแนวตั้ง	27.71%	39.15%	18.50%	-	-	-
		แรงในแนวราบ	60.85%	85.19%	97.12%	57.83%	83.22%	98.18%
FEM	F.S.		1.36	1.34	3.10	2.45		
	การเคลื่อน ตัวสูงสุด (mm)	แนวราบ	-24.47	-20.97	-9.025	-9.031		
		แนวตั้ง	-208.2	-204.3	-55.24	-55.20		
		สุทธิ	208.2	204.3	55.24	55.20		



รูปที่ 6.1 โครงการก้ำแพงกันดิน



รูปที่ 6.2 โครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง

สรุปจากผลการศึกษารูปแบบตามมาตรฐานยูโรโค๊ด 7

1. ยูโรโค๊ด 7 เป็นการออกแบบวิธีสถานะขีดจำกัดประลัยและมีแฟกเตอร์บางส่วนใช้สำหรับการออกแบบซึ่งการออกแบบวิธีนี้เป็นารออกแบบที่มีการใช้งานกำลังของวัสดุที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการออกแบบในวิธีหน่วยแรงใช้งาน

2. กระบวนการออกแบบตามมาตรฐานยูโรโค๊ด 7 มีหลายส่วนที่มาตรฐานเปิดให้ผู้ออกแบบสามารถนำรายละเอียดอื่น เช่น สูตรเชิงประสพการสำหรับการแปลค่าของพารามิเตอร์หรือการหาค่าแรงต้านทานของเสาเข็ม เป็นต้น มาช่วยในการออกแบบ

3. การออกแบบมีกระบวนการและขั้นตอนในการคำนวณที่ชัดเจน

4. ใช้กระบวนการทางสถิติในการกำหนดค่ากำลังของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบ

5. มาตรฐานยูโรโค๊ด 7 ยังมีข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบสำหรับโครงสร้างอื่นๆ อีก เช่น งานถมดิน การปรับปรุงคุณภาพดิน การพังทลายทางชลศาสตร์ เสถียรภาพรวม และงานคันดิน เป็นต้น

6. งานวิจัยจึงเป็นการเปรียบเทียบกับแนวทางปฏิบัติสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทยโดยคำนึงการออกแบบจากผู้ออกแบบเป็นหลักซึ่ง โครงสร้างฐานราก จะพิจารณาจากการทดสอบค้ำน้ำหนักบรรทุกทุกด้วยแผ่นเหล็ก ใช้แฟกเตอร์ความปลอดภัยเท่ากับ 2.5 และ 3.0 โครงสร้างฐานรากเสาเข็ม จะพิจารณาจากแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มและแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม ซึ่งใช้แฟกเตอร์ความปลอดภัยเท่ากับ 2.5 และ โครงสร้างกันดิน จะพิจารณาจากแรงดันดิน ใช้แฟกเตอร์ความปลอดภัยมากกว่า 1.0

ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม

1. ควรมีการส่งเสริมในการออกแบบวิธีสถานะขีดจำกัดประลัยสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทยซึ่งเป็นออกแบบที่ใช้ประสิทธิภาพของวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

2. การออกแบบวิธีสถานะขีดจำกัดประลัยสำหรับมาตรฐานการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทยควรมีการกำหนด สมการหรือสูตรเชิงประสพการสำหรับการแปลค่าของพารามิเตอร์ หรือการหาค่าแรงต้านทานที่แน่นอน

3. ควรมีแนวทางการออกแบบสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทย
4. การจัดทำฐานข้อมูล หรือทำงานวิจัยสำหรับ ค่าพารามิเตอร์หรือการหาค่าแรงต้านที่ใช้ในการออกแบบ ผลที่คาดว่าจะได้รับคือ การใช้พารามิเตอร์ สมการหรือสูตรเชิงประสพการ และอาจจะได้แพ็คเกจบางส่วนที่เหมาะสมกับการออกแบบในประเทศไทย แต่กระบวนการดังกล่าวผู้เขียนคิดว่าควรต้องคำนึงถึงการใช้กระบวนการทางสถิติด้วย
5. ถ้ามีการทำงานวิจัยเพิ่มเติมที่เกี่ยวกับการเปรียบเทียบมาตรฐานการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทยผู้เขียนคิดว่าควรจะขอให้มีมาตรฐานการออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทยที่จัดทำจากหน่วยงานที่น่าเชื่อถือเช่น วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย กรมโยธาธิการและผังเมือง เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- บุญเทพ นานะกรังสรรค. วิศวกรรมฐานรากและการก่อสร้างอุโมงค์. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท็อป, 2552.
- มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง. จำนวน 2000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2550.
- วินิต ช่อวิเชียร. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : วินิต ช่อวิเชียร, 2542
- สุเชษฐ ลิขิตเลอสรวง. ปฐพีกลศาสตร์ : หลักการพื้นฐาน. จำนวน 1000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- สุเชษฐ ลิขิตเลอสรวง. วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค. จำนวน 2000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ภาษาอังกฤษ

- Andrew Bond & Andrew Harris, 2008. Decoding Eurocode7. London UK, Taylor & Francis.
- British standard, 2004. Eurocode 7 : Geotechnical design – Part 1: General rules. London UK : BSI
- British standard, 2007. Eurocode 7 : Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing. London UK : BSI

Das, B.M. 2002. Principles of Geotechnical Engineering.5th ed. United States of America: Brookes/Cole Thomson Learning

European standard, 2002. Eurocode 1 : Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings. Brussels : CEN

H. Gulvanessian et al., 2004. Designers'Guide to EN 1997-1 Eurocode 7 : Geotechnical design – General rules. London UK:Thomas Telford.

Joseph E. Bowles. Foundation Analysis and Design.4th.Singapore: McGraw-Hill

Munenori Hatanaka and Akihiko Uchida. Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sandy soils. SOIL AND FOUNDATIONS Vol. 04, No. 4, 1-9, Dec.1996. Japanese Geotechnical Society.

Rodrigo Salgado, 2008. The Engineering of Foundations. Singapore : McGraw-Hill Education (Asia).

Roger Frank, 2007. Basic Principles of Eurocode 7 on 'Geotechnical design'.18th EYGEC, Ancona Italy.

Trevor L L Orr, 2007. The Develop and Implementation of Eurocode 7. Meeting of the Geotechnical Society of Ireland, Ireland.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างฐานรากแผ่ตัวอย่างที่ 1

โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

PROJECT		LL	ATTERBERG'S LIMITS				GROUP	STANDARD PENETRATOIN TEST				UNIT WEIGHTH...		VS.			
LOCATION		PL	LL	P.L.	PI	It	SYMBOL	Gs.	e.	N.	Up.	Uc.	gw	gd	Ps.	Rs.	Rd.
BORING NO. BH - 1		PI															
SAMPLE BY PAIRUCH DATE 28 พ.ค. 2553		It															
TEST BY PAIRUCH DATE 28 พ.ค. 2553		M.C.															
DEPTH	SAMPLE																
from-to (m.)	NO.	LL	P.L.	PI	It	M.C.											
1.00 - 1.45	SS1	-	-	-	-	-		-	-	5	-	-	-	-			
2.00 - 2.45	SS2	29.81	N.P	29.81	-	18.52		-	-	11	-	-	1.84	1.55			
3.00 - 3.45	SS3	32.55	N.P	32.55	-	20.31		2.64	-	16	-	-	1.91	1.59			
4.00 - 4.45	SS4	-	-	-	-	-		-	-	46	-	-	-	-			
5.00 - 5.45	SS5	-	N.P	-	-	15.42		-	-	60/15CM	-	-	2.00	1.73			
END OF BORING																	
PROJECT		LL	ATTERBERG'S LIMITS				GROUP	STANDARD PENETRATOIN TEST				UNIT WEIGHTH...		VS.			
LOCATION		PL	LL	P.L.	PI	It	SYMBOL	Gs.	e.	N.	Up.	Uc.	gw	gd	Ps.	Rs.	Rd.
BORING NO. BH - 2		PI															
SAMPLE BY PAIRUCH DATE 28 พ.ค. 2553		It															
TEST BY PAIRUCH DATE 28 พ.ค. 2553		M.C.															
DEPTH	SAMPLE																
from-to (m.)	NO.	LL	P.L.	PI	It	M.C.											
1.00 - 1.45	SS1	27.11	N.P	27.11	-	14.52		-	-	24	-	-	1.90	1.66			
2.00 - 2.45	SS2	-	N.P	-	-	17.91		2.65	-	56	-	-	1.95	1.65			
3.00 - 3.45	SS3	-	-	-	-	-		-	-	60/15CM	-	-	-	-			
4.00 - 4.45	SS4	-	N.P	-	-	15.23		-	-	60/10CM	-	-	2.04	1.77			
END OF BORING																	
PROJECT		LL	ATTERBERG'S LIMITS				GROUP	STANDARD PENETRATOIN TEST				UNIT WEIGHTH...		VS.			
LOCATION		PL	LL	P.L.	PI	It	SYMBOL	Gs.	e.	N.	Up.	Uc.	gw	gd	Ps.	Rs.	Rd.
BORING NO. BH - 6		PI															
SAMPLE BY PAIRUCH DATE 29 พ.ค. 2553		It															
TEST BY PAIRUCH DATE 29 พ.ค. 2553		M.C.															
DEPTH	SAMPLE																
from-to (m.)	NO.	LL	P.L.	PI	It	M.C.											
1.00 - 1.45	SS1	29.12	N.P	29.12	-	14.89		-	-	29	-	-	1.91	1.66			
2.00 - 2.45	SS2	27.88	N.P	27.88	-	15.72		2.65	-	55	-	-	1.95	1.69			
3.00 - 3.45	SS3	-	-	-	-	-		-	-	60/14CM	-	-	-	-			
4.00 - 4.45	SS4	-	N.P	-	-	13.62		-	-	60/8 CM	-	-	1.99	1.75			
END OF BORING																	

รูปที่ ก-1 ผลการขุดเจาะสำรวจดินโครงการอาคารคลุมเครื่องขึงน้ำหนัก

ตารางที่ ก-1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเจาะสำรวจโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

ระดับความลึก ของตัวอย่างดิน ที่เก็บ (m)	ชั้นดิน		หน่วยน้ำหนักดิน (γ) (t/m^3)			N_{SPT} (blows/ft)		
			BH 1	BH 2	BH 6	BH 1	BH 2	BH 6
1.00 – 2.00	0.00 – 4.00 m	Clayey silts	-	1.9	1.91	5	24	29
2.00 – 3.00			1.84	1.95	1.95	11	56	55
3.00 – 4.00			1.91	-	-	16	60	60
4.00 – 5.00	3.70 – 6.00 m	Silty sands	-	2.04	1.99	46	60	60
5.00 - 6.00			2	-	-	60	-	-

ตารางที่ ก-2 แสดงค่า N_{60} และ N_{55} โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

ระดับความลึก ของตัวอย่าง ดินที่เก็บ (m)	ชั้นดิน	Ch	Cr	Cs	Cd	N_{60} (blows/ft)			N_{55} (blows/ft)		
						BH 1	BH 2	BH 6	BH 1	BH 2	BH 6
1.00 – 2.00	Clayey silts	0.75	0.85	1	1	3.19	15.30	18.49	3.48	16.69	20.17
2.00 – 3.00						7.01	35.70	35.06	7.65	38.95	38.25
3.00 – 4.00						10.20	38.25	38.25	11.13	41.73	41.73
4.00 – 5.00	Silty	0.75	0.85	1	1	29.33	38.25	38.25	31.99	41.73	41.73
5.00 - 6.00	sands					38.25	-	-	41.73	-	-

ตารางที่ ก-3 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าหน่วยน้ำหนักดินโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

ชั้นดิน	จำนวน ตัวอย่าง	หน่วยน้ำหนักดิน (γ) (t/m^3)						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k,inf}$	$X_{k,m}$	$X_{k,sup}$
Clayey silts	6	1.91	0.041	2.015	0.823	1.88	1.91	1.94
Silty sands	3	2.01	0.027	2.92	1.686	1.97	2.01	2.05

ตารางที่ ก-4 แสดงค่า $(N_1)_{60}$ และมุมเสียดทานภายในโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

ระดับความลึก ของตัวอย่างดิน ที่เก็บ (m)	γ	γ'	ความลึก กึ่งกลาง ของ ตัวอย่าง	σ' (t/m ²)	$(N_1)_{60}$ (blows/ft)			มุมเสียดทานภายใน (ϕ') Hatanaka and Uchida ,1996		
					BH 1	BH 2	BH 6	BH 1	BH 2	BH 6
	(t/m ³)									
1.00 – 2.00	1.91	1.91	1.5	2.865	5.952	28.57	34.52	30.91	43.9	46.28
2.00 – 3.00			2.5	4.775	10.14	51.64	50.71	34.24	52.14	51.85
3.00 – 4.00			3.5	6.685	12.47	46.76	46.76	35.79	50.58	50.58
4.00 – 5.00	2.01	2.01	4.5	9.045	30.82	40.2	40.2	44.83	48.35	48.35
5.00 - 6.00			5.5	11.055	36.36	-	-	46.97	-	-

ตารางที่ ก-5 แสดงค่าขอบล่าง และขอบบนของค่ามุมเสียดทานภายในโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

ชั้นดิน	จำนวน ตัวอย่าง	มุมเสียดทานภายใน (ϕ')						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k,inf}$	$X_{k,m}$	$X_{k,sup}$
Clayey silts	9	44.03	8.318	1.86	0.62	38.87	44.03	49.19
Silty sands	4	47.13	1.666	2.353	1.177	45.17	47.13	49.09

ตารางที่ ก-6 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

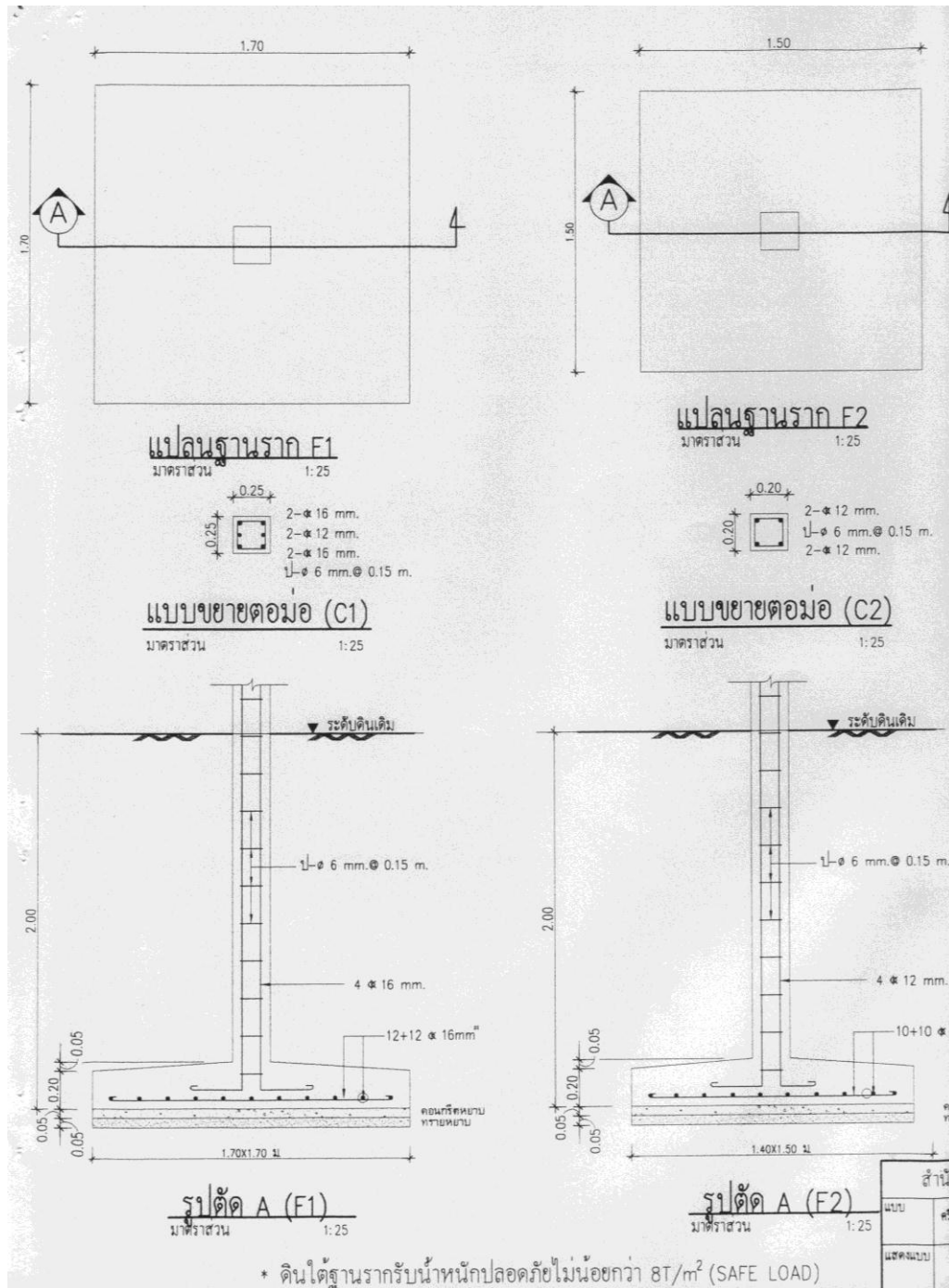
ระดับความลึก ของตัวอย่างดิน ที่เก็บ (m)	ชั้นดิน	โมดูลัสยืดหยุ่น (E_s)			
		สมการ	kPa		
			BH-1	BH-2	BH-3
1.00 – 2.00	Clayey silts	$E_s = 300(N_{55} + 6)$	2843.18	6807.27	7850.45
2.00 – 3.00			4095.00	13483.64	13275.00
3.00 – 4.00			5138.18	14318.18	14318.18
4.00 – 5.00	Silty sands	$E_s = 7000\sqrt{N_{55}}$	39592.35	45217.66	45217.66
5.00 - 6.00			45217.66	-	-

ตารางที่ ก-7 แสดงค่าขอบล่าง และขอบบนของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

ชั้นดิน	จำนวนตัวอย่าง	Es (kPa)						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k;inf}$	$X_{k;m}$	$X_{k;sup}$
Clayey silts	9	9125	4714	1.86	0.62	6202.46	9125	12048.44
Silty sands	4	43811	22729	2.353	1.177	17070.98	43811	70551.68

ตารางที่ ก-8 ค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในออกแบบโครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

ชั้นดิน	ความลึก	γ	γ'	C_u	(ϕ')	Es	ν
	m	t/m^3		t/m^2		kPa (t/m^2)	
Clayey silts	0 - 20	1.91	0.91	0	40	12000 (1200)	0.3



รูปที่ ก-2 แบบฐานรากแผ่โครงสร้างอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

รายการคำนวณความต้านทานปลอดภัย

เนื่องจากในบริเวณก่อสร้างชั้นดินที่รับน้ำหนักจากอาคาร มีลักษณะเป็นดินชนิด CLAYEY SILT & SILT TRACE SAND ซึ่งเป็นดินชนิด CHESIONLESS SOIL ดังนั้นจึงขอเสนอสูตรมาเพื่อใช้หาค่าความต้านทาน

$$Q_u = (N^2 \cdot B \cdot R_w + 3(100 + N^2) \cdot D \cdot R'w) / 31$$

เมื่อ Q_u = ความต้านทานประลัยของดิน , ตัน/ตารางเมตร

N = CORRECTED NUMBER OF STANDARD PENETRATION TEST
= 15.00 BLOWS/FT (FROM MINIMUM VALUES)

B = ความกว้างของฐานราก , เมตร

D = ความลึกของระดับฐานราก
= 2.00 เมตร

$R_w, R'w$ = ผลกระทบเนื่องจากระดับน้ำใต้ดิน

เมื่อพิจารณาว่าในบริเวณที่จะทำการก่อสร้างอาคารดังกล่าว จะไม่มีการเกิดน้ำท่วมแต่เมื่อเกิดภาวะฝนตกทำให้น้ำฝนซึมลงไปดินฐานรากดังกล่าว จึงสมควรใช้ค่า $R_w, R'w = 0.80$ และ ค่าของส่วนปลอดภัย = 3.00 หากแทนค่าต่าง ๆ ดังนี้

ตารางแสดงค่าความต้านทานปลอดภัยของดินในแง่เสถียรภาพ

B	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
Q_a	18.71	19.67	20.65	21.61	22.58	23.55	24.52

รูปที่ ก-3 รายการคำนวณฐานรากแผ่โครงการอาคารคลุมเครื่องชั่งน้ำหนัก

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างฐานรากแผ่ตัวอย่างที่ 2

โครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

DEPTH		TYPE OF SAMPLE	SPT			N	Wn (%)	g (t/m ³)	ATTERBERG'S LIMIT			% PASSING SIEVE NO. (%)				C t/sq.m.	f DEG.
FROM	TO		6"	6"	6"				LL	PL	PI	4	10	40	200		
1.00	1.50	SPT	14	25	35	60	1.87									12	
1.50	2.00	NS															
2.00	2.50	NS															
2.50	3.00	NS															
3.00	3.50	NS															
3.50	4.00	NS															
4.00	4.50	NS															
4.50	5.00	NS															
5.00	5.50	NS															
5.50	6.00	NS															
6.00	6.50	NS															
6.50	7.00	NS															
7.00	7.50	NS															
7.50	8.00	SPT	25	34	78	> 100										15	

NOTE :

Wn	=	NATURAL WATER CONTENT.	PI	=	PLASTICITY INDEX.
N	=	NUMBER OF BLOW/FT.	NP	=	NON PLASTIC.
C	=	COHESION. (T/SQ.M.)	DS	=	DISTURBED SAMPLE.
UN	=	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION	US	=	UNDISTURBED SAMPLE.
g	=	WET UNIT WEIGHT OF SOIL. (T/CU.M.)	NS	=	NO SAMPLE.
LL	=	LIQUID LIMIT.	SPT	=	STANDARD PENETRATION TEST.
PL	=	PLASTIC LIMIT.			

รูปที่ ข-1 ผลการขุดเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะ BH 1 โครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

DEPTH		TYPE OF SAMPLE	SPT			N	Wn (%)	g (t/m ³)	ATTERBERG'S LIMIT			% PASSING SIEVE NO. (%)				C t/sq.m.	f DEG.
FROM	TO		6"	6"	6"				LL	PL	PI	4	10	40	200		
1.00	1.50	SPT	16	27	38	65	1.87								12		
1.50	2.00	NS															
2.00	2.50	NS															
2.50	3.00	NS															
3.00	3.50	NS															
3.50	4.00	NS															
4.00	4.50	NS															
4.50	5.00	NS															
5.00	5.50	NS															
5.50	6.00	NS															
6.00	6.50	NS															
6.50	7.00	NS															
7.00	7.50	NS															
7.50	8.00	SPT	30	54	79	> 100								15			

NOTE :

Wn	=	NATURAL WATER CONTENT.	PI	=	PLASTICITY INDEX.
N	=	NUMBER OF BLOW/FT.	NP	=	NON PLASTIC.
C	=	COHESION. (T/SQ.M.)	DS	=	DISTURBED SAMPLE.
UN	=	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION	US	=	UNDISTURBED SAMPLE.
g	=	WET UNIT WEIGHT OF SOIL. (T/CU.M.)	NS	=	NO SAMPLE.
LL	=	LIQUID LIMIT.	SPT	=	STANDARD PENETRATION TEST.
PL	=	PLASTIC LIMIT.			

รูปที่ ข-2 ผลการขุดเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะ BH 2 โครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

PROJECT : BH-3										SPT : Wash Boring									
DEPTH		TYPE OF SAMPLE	SPT			N	Wn (%)	g (t/m^3)	ATTERBERG'S LIMIT			% PASSING SIEVE NO. (%)				C t/sq.m.	f DEG.		
FROM	TO		6"	6"	6"				LL	PL	PI	4	10	40	200				
1.00	1.50	SPT	10	15	45	60	1.87									12			
1.50	2.00	NS																	
2.00	2.50	NS																	
2.50	3.00	NS																	
3.00	3.50	NS																	
3.50	4.00	NS																	
4.00	4.50	NS																	
4.50	5.00	NS																	
5.00	5.50	NS																	
5.50	6.00	NS																	
6.00	6.50	NS																	
6.50	7.00	NS																	
7.00	7.50	NS																	
7.50	8.00	SPT	27	43	68	> 100										15			

NOTE :

Wn	=	NATURAL WATER CONTENT.	PI	=	PLASTICITY INDEX.
N	=	NUMBER OF BLOW/FT.	NP	=	NON PLASTIC.
C	=	COHESION. (T/SQ.M.)	DS	=	DISTURBED SAMPLE.
UN	=	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION	US	=	UNDISTURBED SAMPLE.
g	=	WET UNIT WEIGHT OF SOIL. (T/CU.M.)	NS	=	NO SAMPLE.
LL	=	LIQUID LIMIT.	SPT	=	STANDARD PENETRATION TEST.
PL	=	PLASTIC LIMIT.			

รูปที่ ข-3 ผลการขุดเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะ BH 3 โครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

ตารางที่ ข-1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเจาะสำรวจโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

ระดับความลึกของ ตัวอย่างดินที่เก็บ (m)	ชั้นดิน		หน่วยน้ำหนักดิน (γ) (t/m^3)			Cu (t/m^2)		
			BH 1	BH 2	BH 3	BH 1	BH 2	BH 6
1.00 – 1.50	0.00 – 4.50 m	Very stiff clay	1.87	1.87	1.87	12	12	12
7.50 – 8.00	4.50 – 8.00 m	Very stiff clay	-	-	-	15	15	15

ตารางที่ ข-2 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

ชั้นดิน		Es (โมดูลัสยืดหยุ่น)			
		สมการ	kPa		
			BH-1	BH-2	BH-3
0.00 – 4.50 m	Very stiff clay	$E_s = 300C_u$	36000	36000	36000
4.50 – 8.00 m	Very stiff clay	$E_s = 300C_u$	45000	45000	45000

ตารางที่ ข-3 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าหน่วยน้ำหนักดินโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

ชั้นดิน	จำนวน ตัวอย่าง	หน่วยน้ำหนักดิน (γ) (t/m^3)						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k;inf}$	$X_{k;m}$	$X_{k;sup}$
Very stiff clay	3	1.87	0	2.92	1.6859	1.87	1.87	1.87
Very stiff clay	0	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ข-4 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

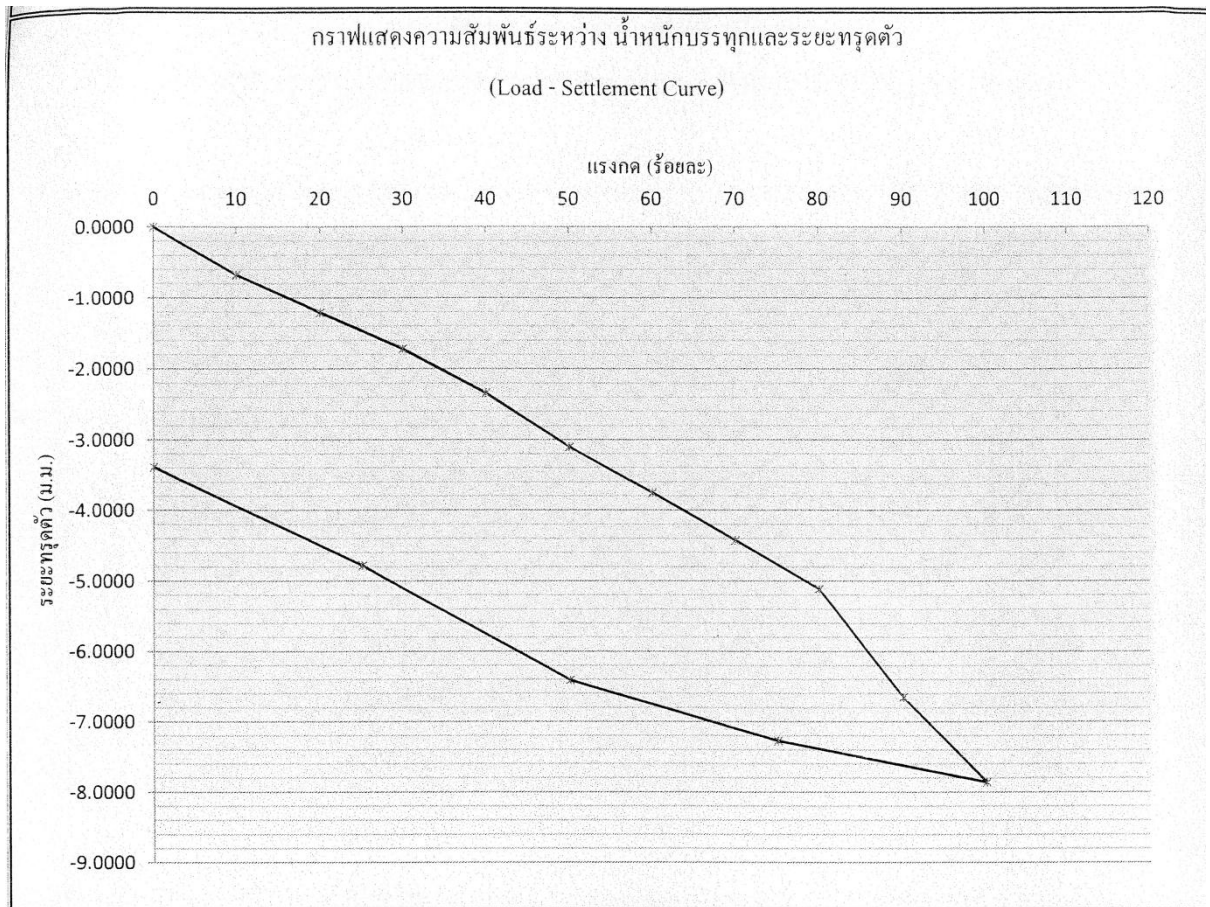
ชั้นดิน	จำนวน ตัวอย่าง	Cu (t/m^2)						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k;inf}$	$X_{k;m}$	$X_{k;sup}$
Very stiff clay	3	12	0	2.92	1.686	12	12	12
Very stiff clay	3	15	0	2.92	1.686	15	15	15

ตารางที่ ข-5 แสดงค่าขอบล่าง และขอบบนของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการอาคารศูนย์อบรมและ
เรียนรู้อ

ชั้นดิน	จำนวน ตัวอย่าง	Es (kPa)						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k;inf}$	$X_{k;m}$	$X_{k;sup}$
Very stiff clay	3	36000	0	2.92	1.686	36000	36000	36000
Very stiff clay	3	45000	0	2.92	1.686	45000	45000	45000

ตารางที่ ข-6 ค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในออกแบบโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้อ

ชั้นดิน	ความลึก	γ_d	γ'_d	C_u	(ϕ')	Es	ν
	m	t/m^3		t/m^2		kPa (t/m^2)	
Very stiff clay	0 - 20	1.87	0.87	12	0	36000 (3600)	0.3



สรุปผลการทดสอบ

โครงการ ก่อสร้างอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

สถานที่

- จากความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักบรรทุก กับ การทรุดตัวของดิน จุดที่ทำการทดสอบ

ดินทรุดตัวมากที่สุด 7.858 ม.ม. เมื่อใช้แรงกด 19,970.05 กก./ตร.ม. และมีอัตราการทรุดตัวสูงสุด 0.017 ม.ม./นาที

- ดังนั้น ดินจุดที่ทำการทดสอบนี้ สามารถรับน้ำหนักบรรทุก โดยปลอดภัยได้ 8.0 ตัน/ตร.ม.

ซึ่งมีส่วนปลอดภัย (F.S.) เท่ากับ 2.50

รูปที่ ข-5 ผลทดสอบ Plate bearing test โครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างฐานรากเสาเข็มตัวอย่างที่ 1

โครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

STS ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.
SUMMARY OF TEST RESULTS

PROJECT		LOCATION		JOB No.		BY		OBSERVED W.L.									
ถนนสาย ๒๕๕		ถนนสาย ๒๕๕		BH-1		-		-1.35 M.									
SAMPLE No.	DEPTH M.		WATER CONTENT %		ATTERBERG LIMIT %		WEIGHT UNIT WEIGHT		SIEVE ANALYSIS % FINER		CLASSIFICATION	UNDRAINED SHEAR STRENGTH l/m^2				STANDARD PENETRATION (blows)	
	FROM	TO	WATER CONTENT %	WATER CONTENT %	LL	PL	PI	WET UNIT WEIGHT	3/8"	No. 4		No. 10	No. 40	No. 200	UNCONFINED SHEAR		FIELD VANE SHEAR
														Qu/2	Qv	Su	1/2Qp
ST-01	1.50	2.00	35.60					1.82					CH	2.60			1.3
ST-02	3.00	3.50	42.20					1.79					CH	1.80			2.5
ST-03	4.50	5.00	98.10					1.52					CH	0.80			
ST-04	6.00	6.50			(No Recovery)								(CH)				
ST-05	7.50	8.00	78.80					1.52					CH	1.40			
ST-06	9.00	9.50	60.00					1.66					CH	0.80			1.3
ST-07	10.50	11.00	71.90					1.57					CH	2.10			1.3
ST-08	12.00	12.50	65.20					1.63					CH	2.20			1.3
ST-09	13.50	14.00	60.90					1.64					CH	3.90			1.3
ST-10	15.00	15.50	42.40					1.78					CH	4.40			2.5
ST-11	16.50	17.00	21.60					2.07					CH	7.60			8.8
SS-12	18.00	18.45	17.40	39.50	16.50	23.00							CL				26
SS-13	19.50	19.95	21.90					2.07					CH	13.30			8.8
SS-14	21.00	21.45	22.20					2.15					CH	11.70			12.5
SS-15	22.50	22.95	20.60						100	41	SC/SM						24
SS-16	24.00	24.45	16.50						94	94	94	92	17	SM			20
SS-17	25.50	25.95	19.80											SM			32
SS-18	27.00	27.45	17.30							100	76	13	SM				43
SS-19	28.50	28.95	15.20										SM				42
SS-20	30.00	30.45	17.50						96	89	87	68	12	SM-SP			43
SS-21	31.50	31.95	18.50										SM-SP				52

รูปที่ ค-1 ผลการทดสอบการเจาะสำรวจดินในโครงการอาคารศูนย์อบรมและเรียนรู้

ตารางที่ ค-1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเจาะสำรวจโครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานของ
สนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

ระดับความลึก ของตัวอย่างดิน (m)	ชั้นดิน		หน่วย น้ำหนักดิน (γ) (t/m ³)	PI (%)	C _u (t/m ²)	N _{SPT} (blows/ft)	D ₅₀ (mm)	Dr (%)
1.50 - 2.00	0.0 - 16.0 m	Soft clay	1.82	-	2.6	-	-	-
3.00 - 3.50			1.79	-	1.8	-	-	-
4.50 - 5.00			1.52	-	0.8	-	-	-
7.50 - 8.00			1.52	-	1.4	-	-	-
9.00 - 9.50			1.66	-	0.8	-	-	-
10.50 - 11.00			1.57	-	2.1	-	-	-
12.00 - 12.50			1.63	-	2.2	-	-	-
13.50 - 14.00			1.64	-	3.9	-	-	-
15.00 - 15.50			1.78	-	4.4	-	-	-
16.50 - 17.00			16.0 - 22.0 m	Medium to stiff silty clay	2.07	-	7.6	-
18.00 - 18.45	-	23			-	26	-	-
19.50 - 19.95	2.07	23			13.3	14	-	-
21.00 - 21.45	2.15	-			11.7	27	-	-
22.50 - 22.95	22.0 - 32.0 m	Silty fine sand, fine to medium sand	-	-	-	24	0.1	84.39
24.00 - 24.45			-	-	-	20	0.18	53.68
25.50 - 25.95			-	-	-	32	-	-
27.00 - 27.45			-	-	-	43	0.22	67.40
28.50 - 28.95			-	-	-	42	-	-
30.00 - 30.45			-	-	-	43	0.25	60.41
31.50 - 31.95			-	-	-	52	-	-

ตารางที่ ค-2 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าหน่วยน้ำหนักดินโครงการซ่อมแซมอาคาร
สำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

ชั้นดิน	จำนวน ตัวอย่าง	หน่วยน้ำหนักดิน (γ) (t/m ³)						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k;inf}$	$X_{k;m}$	$X_{k;sup}$
Soft clay	9	1.66	0.1148	1.86	0.62	1.59	1.66	1.73
Medium to stiff silty clay	3	2.1	0.0462	2.92	1.6859	2.02	2.1	2.18
Silty fine sand, fine to medium sand	0	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ค-3 แสดงค่า N_{60} , N_{55} และ $(N_1)_{60}$ โครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง
3 ชั้น

ระดับความลึก ของตัวอย่างดิน (m)	ชั้นดิน	Ch	Cr	Cs	Cd	N_{60}	N_{55}	γ	γ'	ตำแหน่งที่ ปักกลาง (m)	σ' (t/m ²)	$(N_1)_{60}$ (blows /ft)
						(blows/ft)		(t/m ³)				
22.50 - 22.95	Silty fine sand, fine to medium sand	0.75	1	1.2	1	21.6	23.56	2.1	1.1	22.75	25.025	13.79
24.00 - 24.45						18	19.64			24.25	26.675	11.13
25.50 - 25.95						28.8	31.42			25.75	28.325	17.28
27.00 - 27.45						38.7	42.22			27.25	29.975	22.57
28.50 - 28.95						37.8	41.24			28.75	31.625	21.46
30.00 - 30.45						38.7	42.22			30.25	33.275	21.42
31.50 - 31.95						46.8	51.05			31.75	34.925	25.28

ตารางที่ ค-4 แสดงค่ามุมเสียดทานภายใน และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการซ่อมแซมอาคาร
สำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

ระดับความลึก ของตัวอย่างดิน (m)	ชั้นดิน	$(N_1)_{60}$	N_{55}	C_u	มุมเสียดทาน ภายใน (ϕ')	Es (โมดูลัสยืดหยุ่น)	
		(blows/ft)	(t/m ²)	สมการ		kPa (t/m ²)	
1.50 - 2.00	Soft clay	-	-	2.6	-	$300C_u$	7800 (780)
3.00 - 3.50		-	-	1.8	-		5400 (540)
4.50 - 5.00		-	-	0.8	-		2400 (240)
7.50 - 8.00		-	-	1.4	-		4200 (420)
9.00 - 9.50		-	-	0.8	-		2400 (240)
10.50 - 11.00		-	-	2.1	-		6300 (630)
12.00 - 12.50		-	-	2.2	-		6600 (660)
13.50 - 14.00		-	-	3.9	-		11700 (1170)
15.00 - 15.50		-	-	4.4	-		13200 (1320)
16.50 - 17.00	Medium to stiff silty clay	-	-	7.6	-	$500C_u$	22800 (2280)
18.00 - 18.45		-	-	-	-		-
19.50 - 19.95		-	-	13.3	-		39900 (3990)
21.00 - 21.45		-	-	11.7	-		35100 (3510)
22.50 - 22.95	Silty fine sand, fine to medium sand	13.79	23.56	-	36.60	$7000\sqrt{N_{55}}$	33980 (3398)
24.00 - 24.45		11.13	19.64	-	34.92		31019 (3102)
25.50 - 25.95		17.28	31.42	-	38.59		39236 (3924)
27.00 - 27.45		22.57	42.22	-	41.25		45483 (4548)
28.50 - 28.95		21.46	41.24	-	40.72		44951 (4495)
30.00 - 30.45		21.42	42.22	-	40.70		45483 (4548)
31.50 - 31.95		25.28	51.05	-	42.49		50017 (5002)

ตารางที่ ค-5 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำโครงการ
ซ่อมแซมอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

ชั้นดิน	จำนวน ตัวอย่าง	Cu (t/m ²)						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k;inf}$	$X_{k;m}$	$X_{k;sup}$
Soft clay	9	2.22	1.2558	1.86	0.62	1.44	2.22	3
Medium to stiff silty clay	3	10.87	2.94	2.92	1.6859	5.91	10.87	15.83
Silty fine sand, fine to medium sand	0	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ค-6 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่ามุมเสียดทานภายใน โครงการซ่อมแซมอาคาร
สำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

ชั้นดิน	จำนวน ตัวอย่าง	มุมเสียดทานภายใน (ϕ')						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k;inf}$	$X_{k;m}$	$X_{k;sup}$
Soft clay	0	-	-	-	-	-	-	-
Medium to stiff silty clay	0	-	-	-	-	-	-	-
Silty fine sand, fine to medium sand	7	39.32	2.7348	1.943	0.7344	37.31	39.32	41.33

ตารางที่ ค-7 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์โครงการซ่อมแซมอาคาร
สำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

ชั้นดิน	จำนวน ตัวอย่าง	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Dr, %)						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k;inf}$	$X_{k;m}$	$X_{k;sup}$
Soft clay	0	-	-	-	-	-	-	-
Medium to stiff silty clay	0	-	-	-	-	-	-	-
Silty fine sand, fine to medium sand	4	66.47	36.735	2.353	1.1765	23.25	66.47	109.69

ตารางที่ ค-8 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการซ่อมแซมอาคาร
สำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

ชั้นดิน	จำนวน ตัวอย่าง	Es (kPa)						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k;inf}$	$X_{k;m}$	$X_{k;sup}$
Soft clay	10	8280	6216.4	1.833	0.5796	4677	8280	11883
Medium to stiff silty clay	3	32600	8819.9	2.92	1.6859	17731	32600	47469
Silty fine sand, fine to medium sand	7	41453	6924.4	1.943	0.7344	36367	41453	46538

ตารางที่ ค-9 ค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในออกแบบโครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานกองสนับสนุน
2 สูง 3 ชั้น

ชั้นดิน	ความลึก	γ_d	γ'_d	C_u	(ϕ')	Dr	Es	v
	m	t/m^3	t/m^2	%		kPa (t/m^2)		
Soft clay	0 - 16	1.66	0.66	2.22	0	-	6500 (650)	0.35
Medium to stiff silty clay	16 - 22	2.10	1.10	10	0	-	30000 (3000)	0.30
Silty fine sand, fine to medium sand	22 - 45	2.10	1.10	0	38	60	40000 (4000)	0.30

ISSUED	PROJECT	REV.	DESCRIPTION	DATED
	TITLE			
DRAWN				
DATED				

PLAN FA

Max. Col. Load = 100,000 kg.

$M_{max.} = 65,875 \text{ kg-m.}$

$F_b = 0.6 F_y \text{ AISC.}$
 $= 1440 \text{ ksc.}$

For bending:

$Z_{req} = \frac{65875}{14.4}$
 $= 4,574.7 \text{ cm}^3.$

USED WF 600x300x14x23 mm.
 wt. = 175 kg/m.
 $Z_x = 4620 \text{ cm}^3.$
 $I_x = 137,000 \text{ cm}^4.$

For shear:-

$f_v = \frac{VQ}{It}$
 $= \frac{V}{d \cdot tw}$
 $= \frac{55400}{60 \times 1.4}$
 $= 659.52 \text{ ksc.}$

$f_v = 0.4 F_y \text{ AISC}$
 $= 960 \text{ ksc}$
 $> f_v \text{ req.}$
 OK.

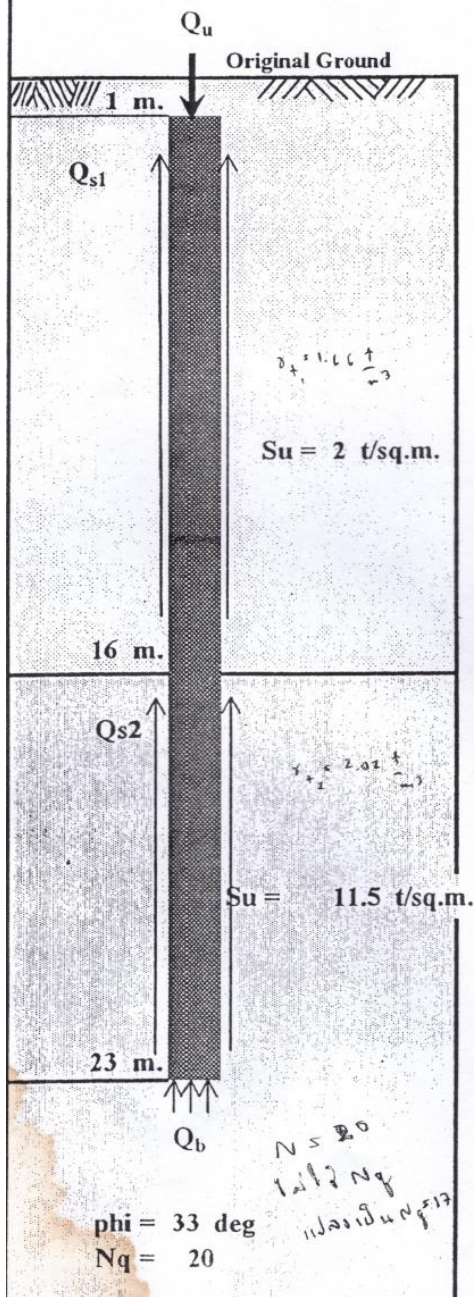
$\Delta_{center} = \frac{PL^3}{48EI} = 0.113 \text{ cm}$
 OK.

รูปที่ ค-2 รายการคำนวณฐานรากแผ่โครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานของสนับสุนน 2 ชั้น 3 ชั้น

DESIGN EXAMPLE FOR PILE FOUNDATION

PROJECT: โครงการ อาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

LOCATION: :



- Type of Pile : Bored Pile
- Pile Size : Diameter 0.50 m.
- Pile Length : 22 m.
- Cross Section Area : 0.196 m^2
- Perimeter : 1.571 m.
- Depth of Pile Top : 1 m. below ground surfac
- Depth of Pile Tip : 23 m. below ground surfac

$$Q_u = Q_s + Q_b$$

$$Q_s = K_s \times P_o \times \tan \delta \times A_s \quad (\text{For SAND})$$

$$Q_s = \alpha \times S_u \times A_s \quad (\text{For CLAY})$$

$$Q_b = P_o \times N_q \times A_b \quad (\text{For SAND})$$

$$Q_b = N_c \times S_u \times A_b \quad (\text{For CLAY})$$

Skin friction in clay layer $Q_{s1} = \alpha \times S_u \times DL = 1 \times 2 \times \pi \times 0.5$

$$Q_{s1} = 1 \times 2 \times 23.6 \quad \text{Tons}$$

$$Q_{s1} = 47.12 \quad \text{Tons}$$

Skin friction in clay layer $Q_{s2} = \alpha \times S_u \times DL = 0.4 \times 11.5 \times \pi \times 0.5$

$$Q_{s2} = 0.4 \times 11.5 \times 11.0 \quad \text{Tons}$$

$$Q_{s2} = 50.58 \quad \text{Tons}$$

End Bearing in sand layer $Q_b = 9 N_q$

$$Q_b = 11.5 \times 20 \times 0.196 \quad \text{Tons}$$

$$Q_b = 45.2 \quad \text{Tons}$$

$$Q_u = Q_s + Q_b$$

$$Q_u = 142.9 \quad \text{Tons}$$

Factor of Safety = 2.5

$$Q_{safe} = 57 \quad \text{Tons}$$

Say $Q_{safe} = 57 \quad \text{Tons}$

รูปที่ ค-2 รายการคำนวณฐานรากแผ่โครงการซ่อมแซมอาคารสำนักงานกองสนับสนุน 2 สูง 3 ชั้น

(ต่อ)

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างฐานรากเสาเข็มตัวอย่างที่ 2

โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

SUMMARY OF TEST RESULT															
Project :		คอนโดมิเนียม													
Location :											Boring : BH - 1				
Sample No.	DEPTH, m		PHYSICAL PROPERTIES				ATTERBERG LIMITS			Soil Class	ENGINEERING PROPERTIES				
	FROM	TO	W _n %	γ g/cc	% passing		LL %	PL %	PI %		S _u ton/m ²	S _{ur} ton/m ²	Q _p ton/m ²	N blows/ft	V _s ton/m ²
					#4	#200									
ST 1	1.00	1.45	15.20		68.50	22.87			NP	SM				15	
ST 2	2.00	2.45	20.97		93.05	25.84			NP	SM				14	
ST 3	3.00	3.45	21.06		98.65	32.48			NP	SM				8	
ST 4	4.50	4.95	23.80		98.14	36.92			NP	SM				2	
ST 5	6.00	6.45	23.22		100.00	32.72			NP	SM				4	
ST 6	7.50	7.95	23.42				38.00	21.67	16.33	CL				5	
ST 7	9.00	9.45	26.96		87.58	25.47			NP	SM				35	
ST 8	10.50	10.95	13.29	2.11			42.10	18.20	23.90	CL	9.40			62	
ST 9	12.00	12.45	22.20				42.20	18.33	23.87	CL				22	
SS 10	13.50	13.95	24.81		98.11	24.60			NP	SM				21	
SS 11	15.00	15.45	22.89		100.00	37.50			NP	SM				25	
SS 12	16.50	16.95	15.42				31.35	20.10	11.25	CL				29	
SS 13	18.00	18.45	20.51	1.37			28.90	18.57	10.33	CL	15.13			43	
SS 14	19.50	19.95	14.64				35.75	20.50	15.25	CL				56	
PHYSICAL PROPERTIES				ATTERBERG LIMITS					ENGINEERING PROPERTIES						
W _n =	Natural Water Content			LL = Liquid Limit					S _u = Undrained Shear Strength						
γ =	Bulk Unit Weight			PL = Plastic Limit					S _{ur} = Remolded Shear Strength						
G =	Specific Gravity			PI = Plasticity Index					V _s = Wave Shear Strength						
				SL = Shrinkage Limit					N = Standard Penetration Number						

รูปที่ ง-1 ผลการขุดเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะ BH 1 โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

SUMMARY OF TEST RESULT																	
Project : คอนโดมิเนียม																	
Location :											Boring : BH - 2						
Sample No.	DEPTH, m.		PHYSICAL PROPERTIES				ATTEBERG LIMITS			Soil Class	ENGINEERING PROPERTIES						
			W _n	γ	% passing		LL	PL	PI		S _u	S _{ur}	Q _p	N	V _s		
	FROM	TO	%	g/cc	#4	#200	%	%	%		ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	blows/ft	ton/m ²		
ST 1	1.00	1.45	16.92		54.88	16.21				NP	SM					16	
ST 2	2.00	2.45	24.12		100.00	33.62				NP	SM					9	
ST 3	3.00	3.45	25.57		100.00	63.17										5	
ST 4	4.00	4.45	29.82		70.70	37.50				NP	SM					2	
ST 5	5.50	5.95	44.92				55.56	40.00	15.56		ML					6	
ST 6	7.00	7.45	21.37				37.90	28.33	9.57		ML					11	
ST 7	8.50	8.95	20.15				27.45	18.33	9.12		CL					30	
ST 8	10.00	10.45	30.21	1.87			28.50	17.50	11.00		CL	2.63				15	
ST 9	11.50	11.95	20.32	1.90			30.20	18.50	11.70		CL	2.62				17	
SS 10	13.00	13.45	26.68													18	
SS 11	14.50	14.95	22.93													25	
SS 12	16.00	16.45	14.86				21.50	18.33	3.17		CL-ML					27	
SS 13	17.50	17.95	14.87	2.14								14.72				45	
SS 14	19.00	19.45	12.47	2.11								12.46				66	
SS 15	20.50	20.95														50 / 2 "	
PHYSICAL PROPERTIES				ATTEBERG LIMITS				ENGINEERING PROPERTIES									
W _n =	Natural Water Content			LL =	Liquid Limit			S _u =	Undrained Shear Strength								
g =	Bulk Unit Weight			PL =	Plastic Limit			S _{ur} =	Remolded Shear Strength								
G =	Specific Gravity			PI =	Plasticity Index			V _s =	Vane Shear Strength								
				SL =	Shrinkage Limit			N =	Standard Penetration Number								

รูปที่ ง-2 ผลการขุดเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะ BH 2 โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

SUMMARY OF TEST RESULT

Project :		คอนโดมิเนียม													
Location :							Boring :					BH - 3			
Sample No.	DEPTH: m		PHYSICAL PROPERTIES				ATTEBERG LIMITS			Soil Class	ENGINEERING PROPERTIES				
	FROM	TO	W _n %	γ g/cc	% passing		LL %	PL %	PI %		S _u ton/m ²	S _{ur} ton/m ²	Q _p ton/m ²	N blows/ft	V _c ton/m ²
					#4	#200									
ST 1	0.50	0.95	7.56		73.98	24.53			NP	SM				18	
ST 2	1.50	1.95	22.73		100.00	38.52			NP	SM				10	
ST 3	2.50	2.95	21.13		97.86	42.31			NP	SM				7	
ST 4	3.50	3.95	25.03		100.00	31.67			NP	SM				3	
ST 5	5.00	5.45	33.90		100.00	41.52			NP	SM				3	
ST 6	6.50	6.95	21.05				31.00	27.14	3.86	ML				4	
ST 7	8.00	8.45	15.11				31.00	25.00	6.00	CL-ML				5	
ST 8	9.50	9.95	27.09				35.20	17.14	18.06	CL				7	
ST 9	11.00	11.45	26.60				55.50	21.43	34.07	CL				30	
SS 10	12.50	12.95	25.79				34.20	15.48	18.72	CL				19	
SS 11	14.00	14.45	20.79		100.00	30.16			NP	SM				26	
SS 12	15.50	15.95	14.94	2.04							10.41			36	
SS 13	17.00	17.45	14.78		100.00	25.70			NP	SM				47	
SS 14	18.50	18.95	13.95		100.00	31.70			NP	SM				84	
SS 15	20.00	20.45												50 / 3 "	
PHYSICAL PROPERTIES				ATTEBERG LIMITS				ENGINEERING PROPERTIES							
W _n =	Natural Water Content			LL =	Liquid Limit			S _u =	Undrained Shear Strength						
γ =	Bulk Unit Weight			PL =	Plastic Limit			S _{ur} =	Remolded Shear Strength						
G =	Specific Gravity			PI =	Plasticity Index			V _c =	Vane Shear Strength						
				SL =	Shrinkage Limit			N =	Standard Penetration Number						

รูปที่ ง-3 ผลการขุดเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะ BH 3 โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

ตารางที่ ง-1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเจาะสำรวจโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

ระดับความ ลึกของ ตัวอย่างดิน (m)	ชั้นดิน		หน่วยน้ำหนักดิน (γ) (t/m^3)			N _{SPT} (blows/ft)			C _u (t/m^3)		
			BH1	BH2	BH3	BH1	BH2	BH3	BH1	BH2	BH3
0.0 - 1.0	0.0 - 7.0 m	Fine sand	-	-	-	-	-	18	-	-	-
1.0 - 2.0			-	-	-	15	16	10	-	-	-
2.0 - 3.0			-	-	-	14	9	7	-	-	-
3.0 - 4.0			-	-	-	8	5	3	-	-	-
4.0 - 5.0			-	-	-	2	2	-	-	-	-
5.0 - 6.0			-	-	-	-	6	3	-	-	-
6.0 - 7.0			-	-	-	4	-	4	-	-	-
7.0 - 8.0	7.0 - 17.0 m	Medium to stiff sandy clays	-	-	-	5	11	-	-	-	-
8.0 - 9.0			-	-	-	-	30	5	-	-	-
9.0 - 10.0			-	-	-	35	-	7	-	-	-
10.0 - 11.0			2.11	1.87	-	62	15	-	9.4	2.63	-
11.0 - 12.0			-	1.9	-	-	17	30	-	2.62	-
12.0 - 13.0			-	-	-	22	-	19	-	-	-
13.0 - 14.0			-	-	-	21	18	-	-	-	-
14.0 - 15.0			-	-	-	-	25	26	-	-	-
15.0 - 16.0			-	-	2.04	25	-	36	-	-	10.41
16.0 - 17.0	-	-	-	29	27	-	-	-	-		
17.0 - 18.0	17.0 - 20.0 m	Stiff to very stiff sandy clays	-	2.14	-	-	45	47	-	14.72	-
18.0 - 19.0			1.37	-	-	43	-	84	15.13	-	-
19.0 - 20.0			-	2.11	-	56	66	-	-	12.46	-

ตารางที่ ง-2 แสดงค่า N_{60} และ N_{55} โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

ระดับความ ลึกของ ตัวอย่างดิน (m)	ชั้นดิน	Ch	Cr	Cs	Cd	N_{60} (blows/ft)			N_{55} (blows/ft)		
						BH1	BH2	BH3	BH1	BH2	BH3
0.0 - 1.0	Fine sand	0.7 5	1	1.2	1	-	-	16.20	-	-	17.67
1.0 - 2.0						13.50	14.40	9.00	14.73	15.71	9.82
2.0 - 3.0						12.60	8.10	6.30	13.75	8.84	6.87
3.0 - 4.0						7.20	4.50	2.70	7.85	4.91	2.95
4.0 - 5.0						1.80	1.80	-	1.96	1.96	-
5.0 - 6.0						-	5.40	2.70	-	5.89	2.95
6.0 - 7.0						3.60	-	3.60	3.93	-	3.93

ตารางที่ ง-3 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าหน่วยน้ำหนักดินโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

ชั้นดิน	จำนวน ตัวอย่าง	หน่วยน้ำหนักดิน (γ) (t/m^3)						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k,inf}$	$X_{k,m}$	$X_{k,sup}$
Fine sand	0	-	-	-	-	-	-	-
Medium to stiff sandy clays	4	1.98	0.114	2.353	1.1765	1.85	1.98	2.11
Stiff to very stiff sandy clays	3	1.87	0.4362	2.92	1.6859	1.13	1.87	2.61

ตารางที่ ง-4 แสดงค่า $(N_1)_{60}$ และ มุมเสียดทานภายในโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

ระดับความลึก ของตัวอย่างดิน (m)	γ_d	γ'_d	ความลึก กึ่งกลางของ ตัวอย่าง	σ'	$(N_1)_{60}$ (blows/ft)			มุมเสียดทานภายใน (ϕ')		
	(t/m ³)			(t/m ²)	BH 1	BH 2	BH 3	BH 1	BH 2	BH 3
0.0 - 1.0	1.9	0.9	0.5	0.45	-	-	77.10	-	-	59.27
1.0 - 2.0			1.5	1.35	37.10	39.57	24.73	47.24	48.13	42.24
2.0 - 3.0			2.5	2.25	26.82	17.24	13.41	43.16	38.57	36.38
3.0 - 4.0			3.5	3.15	12.95	8.10	4.86	36.09	32.72	29.86
4.0 - 5.0			4.5	4.05	2.86	2.86	-	27.56	27.56	-
5.0 - 6.0			5.5	4.95	-	7.75	3.87	-	32.45	28.80
6.0 - 7.0			6.5	5.85	4.75	-	4.75	29.75	-	29.75

ตารางที่ ง-5 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำโครงการ
คอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

ชั้นดิน	จำนวน ตัวอย่าง	Cu (t/m ²)						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k;inf}$	$X_{k;m}$	$X_{k;sup}$
Fine sand	0	-	-	-	-	-	-	-
Medium to stiff sandy clays	4	6.27	4.2233	2.353	1.1765	1.3	6.27	11.24
Stiff to very stiff sandy clays	3	14.1	1.4379	2.92	1.6859	11.68	14.1	16.52

ตารางที่ ง-6 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่ามุมเสียดทานภายในโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8
ชั้น

ชั้นดิน	จำนวน ตัวอย่าง	มุมเสียดทานภายใน (ϕ')						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k;inf}$	$X_{k;m}$	$X_{k;sup}$
Fine sand	16	36.85	17.897	1.753	0.4383	29.01	36.85	44.69
Medium to stiff sandy clays	0	-	-	-	-	-	-	-
Stiff to very stiff sandy clays	0	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ง-7 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

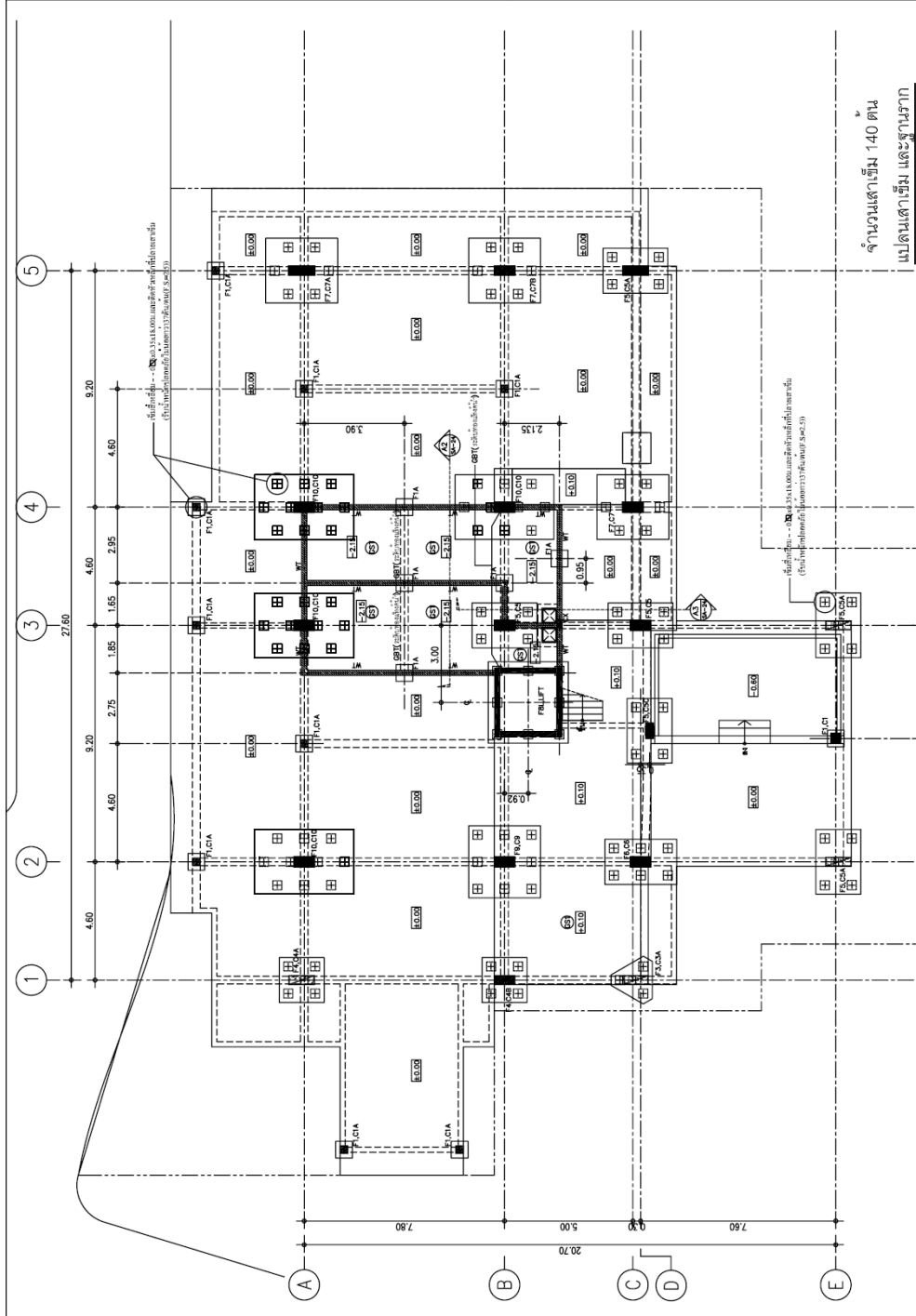
ระดับความลึก ของตัวอย่าง ดิน (m)	ชั้นดิน	Es (โมดูลัสยืดหยุ่น)						
		สมการ	(t/m ²)			kPa		
			BH-1	BH-2	BH-3	BH-1	BH-2	BH-3
0.0 - 1.0	Fine sand	$E_s = 7000\sqrt{N_{55}}$	-	-	2942.7	-	-	29427
1.0 - 2.0			2686.3	2774.4	2193.4	26863	27744	21934
2.0 - 3.0			2595.2	2080.8	1835.1	25952	20808	18351
3.0 - 4.0			1961.8	1551.0	1201.4	19618	15510	12014
4.0 - 5.0			980.9	980.9	-	9809	9809	-
5.0 - 6.0			-	1699.0	1201.4	-	16990	12014
6.0 - 7.0			1387.2	-	1387.2	13872	-	13872
7.0 - 8.0	Medium to stiff sandy clays	$E_s = 500C_u$	-	-	-	-	-	-
8.0 - 9.0			-	-	-	-	-	-
9.0 - 10.0			-	-	-	-	-	-
10.0 - 11.0			4700	1315	-	47000	13150	-
11.0 - 12.0			-	1310	-	-	13100	-
12.0 - 13.0			-	-	-	-	-	-
13.0 - 14.0			-	-	-	-	-	-
14.0 - 15.0			-	-	-	-	-	-
15.0 - 16.0			-	-	5205	-	-	52050
16.0 - 17.0			-	-	-	-	-	-
17.0 - 18.0	Stiff to very stiff sandy clays	$E_s = 500C_u$	-	7360	-	-	73600	-
18.0 - 19.0			7565	-	-	75650	-	-
19.0 - 20.0			-	6230	-	-	62300	-

ตารางที่ ง-8 แสดงค่าขอบล่างและขอบบนของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

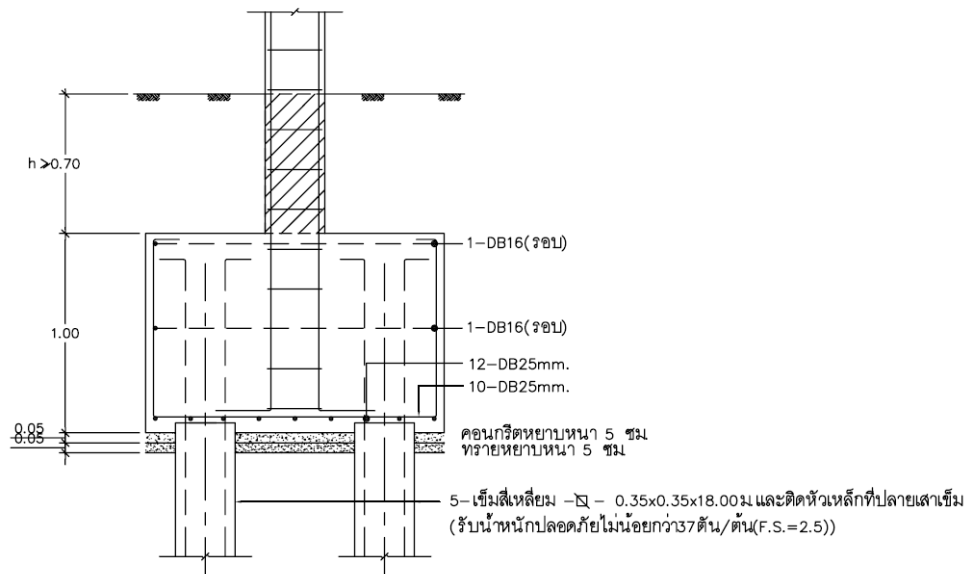
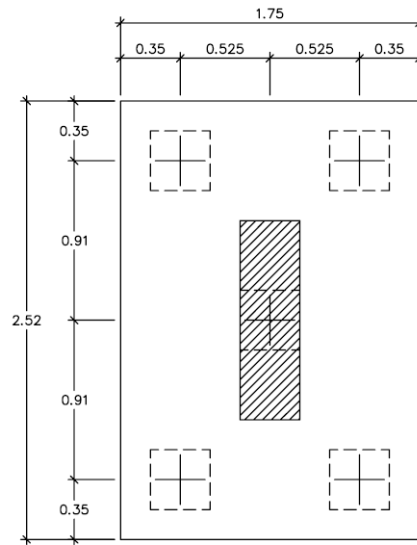
ชั้นดิน	จำนวนตัวอย่าง	Es (kPa)						
		μ_x	σ_x	$t_{N-1}^{95\%}$	K_N	$X_{k;inf}$	$X_{k;m}$	$X_{k;sup}$
Fine sand	16	18412	9821.6	1.753	0.4383	14107	18412	22717
Medium to stiff sandy clays	4	31325	12784	2.353	1.1765	16285	31325	46365
Stiff to very stiff sandy clays	3	70517	35441	2.92	1.6859	10767	70517	130267

ตารางที่ ง-9 ค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในการออกแบบโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

ชั้นดิน	ความลึก	γ_d	γ'_d	C_u	(ϕ')	Es	v
	m	t/m^3	t/m^2	kPa (t/m^2)			
Fine sand	0 - 7	1.85	0.85	0	32	19000 (1900)	0.30
Medium to stiff sandy clays	7 - 17	1.85	0.85	7	0	35000 (3500)	0.30
Stiff to very stiff sandy clays	17 - 40	1.90	0.90	14	0	70000 (7000)	0.25



รูปที่ ๓-๔ แบบแปลนฐานรากเสาเข็มโครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น



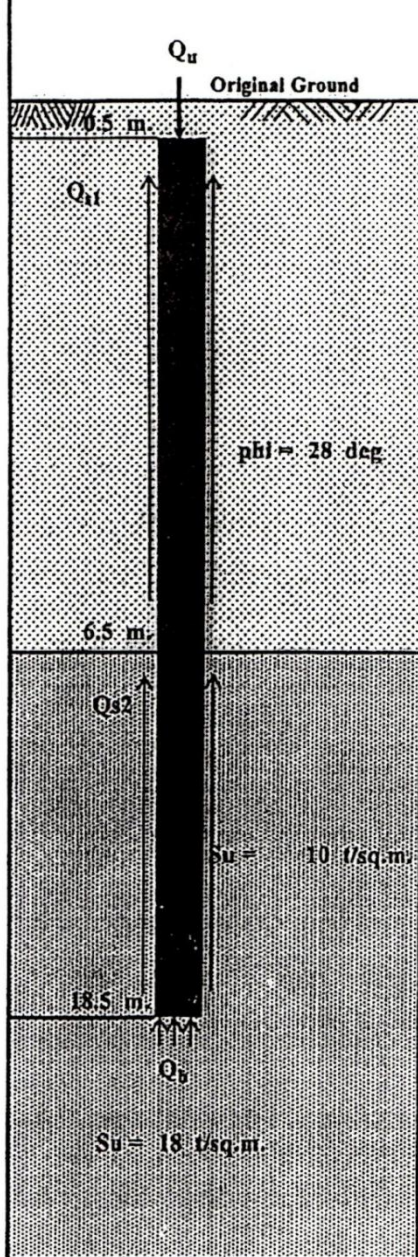
ฐานราก F5
มาตราส่วน 1:25

รูปที่ ง-5 แบบฐานรากเสาเข็มฐานราก F5 โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

DESIGN EXAMPLE FOR PILE FOUNDATION

PROJECT :

LOCATION :



- : Prestressed Concrete Pile
- Pile Size : Square-Section 0.35 x 0.35 m.
- Pile Length : 18 m.
- Cross Section Area : 0.123 m.²
- Perimeter : 1.400 m.
- Depth of Pile Top : 0.5 m. below ground surface
- Depth of Pile Tip : 18.5 m. below ground surface

$$Q_u = Q_s + Q_b$$

$$Q_s = K_f \times P_o \times \tan \delta \times A_s \quad (\text{For SAND})$$

$$Q_s = \alpha \times S_u \times A_s \quad (\text{For CLAY})$$

$$Q_b = P_o \times N_q \times A_b \quad (\text{For SAND})$$

$$Q_b = N_c \times S_u \times A_b \quad (\text{For CLAY})$$

Skin friction in SAND layer

$$Q_{s1} = 1 \times 2.1 \times 0.4 \times 8.4 \quad \text{Tons}$$

$$Q_{s1} = 6.771 \quad \text{Tons}$$

Skin friction in CLAY layer

$$Q_{s2} = 0.4 \times 10 \times 16.8 \quad \text{Tons}$$

$$Q_{s2} = 67.2 \quad \text{Tons}$$

End Bearing in CLAY layer

$$Q_b = 9 \times 18 \times 0.123 \quad \text{Tons}$$

$$Q_b = 19.8 \quad \text{Tons}$$

$$Q_u = Q_s + Q_b$$

$$Q_u = 93.8 \quad \text{Tons}$$

$$\text{Factor of Safety} = 2.5$$

$$Q_{\text{safe}} = 37.5 \quad \text{Tons}$$

$$\text{Say } Q_{\text{safe}} = 37 \quad \text{Tons} \quad \text{for Soil}$$

$$Q_{\text{safe}} = 107 \quad \text{Tons} \quad \text{for Concrete Pile} \\ f_c' = 350 \text{ KSC.}$$

รูปที่ ง-6 รายการคำนวณฐานรากเสาเข็ม โครงการคอนโดมิเนียมสูง 8 ชั้น

ภาคผนวก ๑

ตัวอย่างโครงสร้างกันดินตัวอย่างที่ 1

โครงการกำแพงกันดิน

ข้อกำหนดทั่วไป

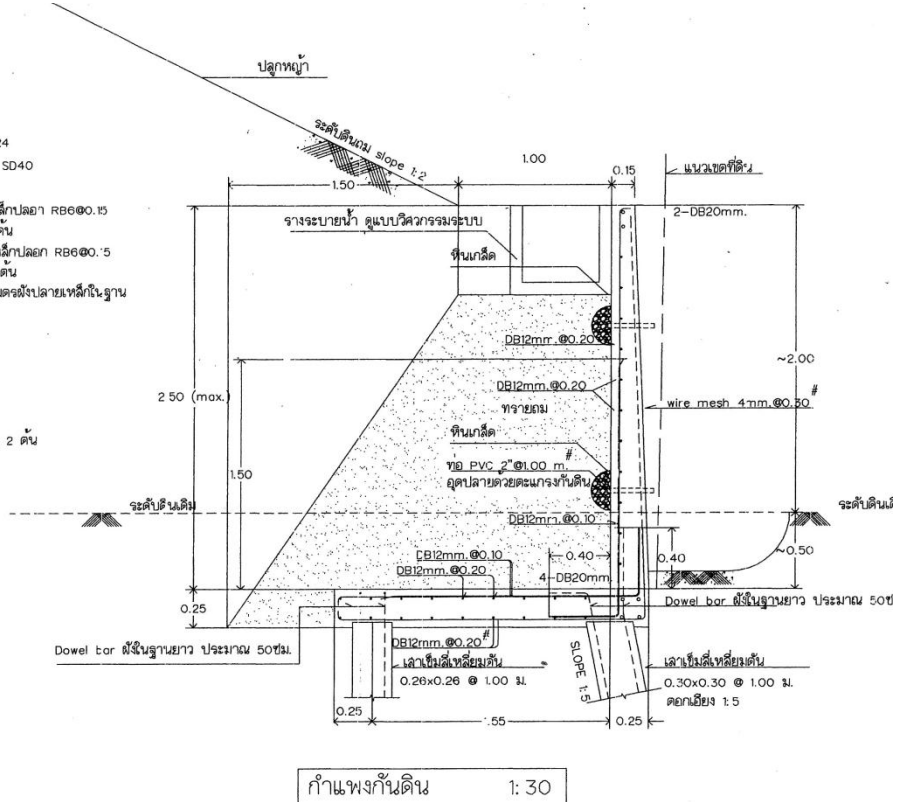
วัสดุ

- 1.1 คอนกรีตใช้ $f_c' = 280$ ksc (ทรงกระบอก)
- 1.2 เหล็กเส้นใช้
 - เหล็กเส้นกลม $\phi 6$ mm. - $\phi 9$ mm. ใช้เกรด SR24
 - เหล็กเส้นขี้อ้อย $\phi 12$ mm. - $\phi 25$ mm. ใช้เกรด SD40
- 1.3 ทรายใช้
 - ทรายหยาบ 0.26x0.26 เล็กริมเหล็ก 4D816 เหล็กปลอก RB6@0.15
 - รับน้ำหนักบรรทุกตลอดอายุไม่น้อยกว่า 15 ตันต่อตัน
 - ทรายหยาบ 0.30x0.30 เล็กริมเหล็ก 4D820 เหล็กปลอก RB6@0.15
 - รับน้ำหนักบรรทุกตลอดอายุไม่น้อยกว่า 20 ตันต่อตัน
 - ทรายหยาบ 6.00 เมตร ทูบหัวออก 0.50 เมตรส่งปลายเหล็กในฐาน
- 1.4 ตะแกรงรับดิน ใช้เส้นลอนดาด
- 1.5 ทรายถมให้ใช้ทรายหยาบหรือทรายขี้เถ้า
- 1.6 ท่อ PVC ใช้ CLASS 8.5

ให้ติดตั้ง Expansion joint ทุกระยะประมาณ 20 เมตร

ให้ทำ pilot pie กระจายจำนวน 18 ต้น

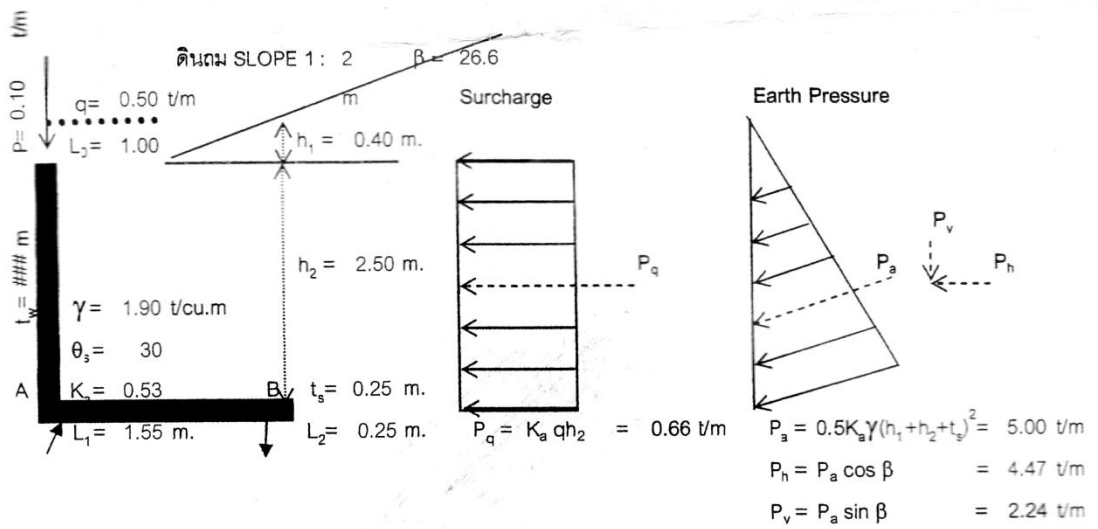
ให้การทดสอบ pile load test แบบ restrike จำนวน 2 ต้น



รูปที่ จ-1 แบบโครงสร้างกันดินโครงการโครงสร้างกันดิน

ตารางที่ จ-1 ค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในการออกแบบกำแพงกันดิน

ชั้นดิน	ความลึก	γ_d	γ'_d	C_u	(ϕ')	Es	v
	m	t/m^3		t/m^2		kPa (t/m^2)	
Sand	0 - 30	1.90	0.90	0	30	12000 (1200)	0.30



ชิ้นส่วน	Wt. (t.)	arm _A (m.)	Moment _A (t-m)
1. ผนัง	$0.2 \times 2.75 \times 2.4 + 0.1 = 1.42$	-0.1	-0.14
2. ฐาน	$0.25 \times 1.8 \times 2.4 = 1.08$	0.9	0.97
3. ดินบนฐาน คสล.	$1.9 \times 2.5 \times 1.8 = 8.55$	0.9	7.70
4. ดินส่วนลาดเอียง	$1.9 \times 0.4 \times 0.8 / 2 = 0.30$	1.53	0.47
5. Surcharge	$0.5 \times 1 = 0.5$	0.5	0.25

$(\Sigma M_A = 0)$

$R_B = (-0.14 + 0.97 + 7.7 + 0.47 + 0.25 - 0.66 \times 1.25 - 4.47 \times 2.1 - 2.24 \times 1.8) / 1.55 = -3.22 \text{ t/m}$

$(\Sigma F_y = 0)$

$R_{Av} = 1.42 + 1.08 + 8.55 + 0.304 + 0.5 - 3.22 = 15.07 \text{ t/m}$

$(\Sigma F_x = 0)$

$R_{Ah} = 4.47 + 0.66 = 5.13 \text{ t/m}$

กำหนด ให้ตอกเสาเข็มต้นหน้า เอียง 1 : 6 มุมองศาเอียงของเสาเข็ม (θ_p) = 9.46 องศา

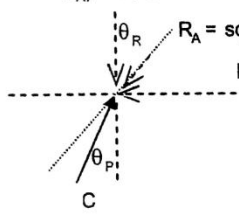
$R_{Av} = 15.07 \text{ t/m}$

$R_A = \text{sqr}(R_{Av}^2 + R_{Ah}^2) = 15.92 \text{ t/m}$ $\theta_R = \arctan(5.13 / 15.07) = 18.8 \text{ องศา}$

$R_{Ah} = 5.13 \text{ t/m}$

แตกแรงให้อยู่ในแนวของเสาเข็ม

$C = R_A / \cos(\theta_R - \theta_p) = 15.92 / \cos(18.8 - 9.46) = 16.1 \text{ t/m}$



รูปที่ จ-2 รายการคำนวณกำแพงกันดิน

ใช้เสาเข็มต้นหน้าที่จุด A เป็น compression Pile (C)			
กำหนด Pile tip -6.0 ม. จากผลสำรวจดิน	End bearing =	400 ตัน/ตรม.	friction = 13.00 t/m
ใช้เสาเข็ม สี่เหลี่ยมตัน ขนาด 0.3 x 0.30 ม. รองรับที่ จุด A ทุกระยะ 1 เมตร			
เสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยได้	=	$400 \times 0.3^2 + 13 \times 4 \times 0.3$	= 51.6 t.
เสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกทุกปลอดภัยได้	=	$51.6 / 2.5$	= 20.64 ตัน > 16.13 ตัน OK.
รับแรงอัดประลัยในแนวตั้งได้ (C_v)	=	50.90 ตัน	รับแรงประลัยในแนวราบได้ (C_h) = 8.48 t.
ใช้เสาเข็มต้นหลังเป็น Tension Pile (T)			
กำหนด Pile tip -6.0 ม. จากผลสำรวจดิน	End bearing =	0 ตัน/ตรม.	friction = 13.00 t/m
ใช้เสาเข็ม สี่เหลี่ยมตัน ขนาด 0.26 x 0.26 ม. รองรับที่ จุด B ทุกระยะ 1 เมตร			
เสาเข็มรับแรงดึงประลัยได้ (T_v)	=	$0 \times 0.26^2 + 13 \times 4 \times 0.26$	= 13.52 t.
เสาเข็มรับแรงดึงปลอดภัยได้	=	$13.52 / 2.5$	= 5.41 ตัน > 3.22 ตัน OK.
ตรวจสอบความปลอดภัยการหมุนล้มของโครงสร้างรอบจุด A			
FS. =	$\frac{M_{resist.}}{M_{overt.}}$	$= \frac{0.97 + 7.7 + 0.47 + 0.25 + 13.52 \times 1.55}{0.14 + 0.66 \times 1.25 + 4.47 \times 2.1 + 2.24 \times 1.8}$	$= \frac{30.35}{14.38} = 2.11$ > 2 OK. Not Over Turn
ตรวจสอบความปลอดภัยของการเคลื่อนตัวด้านข้าง			
FS. =	$\frac{C_h}{P_q + P_h}$	$= \frac{8.48}{4.47 + 0.66}$	$= \frac{8.48}{5.13} = 1.65$ > 1.5 OK. Not Slide
หาโมเมนต์สูงสุดในผนังและพื้น			
M =	$0.167 K_a \gamma h_2^3 + 0.50 K_a q h_2^2$		= 3.46 t/m

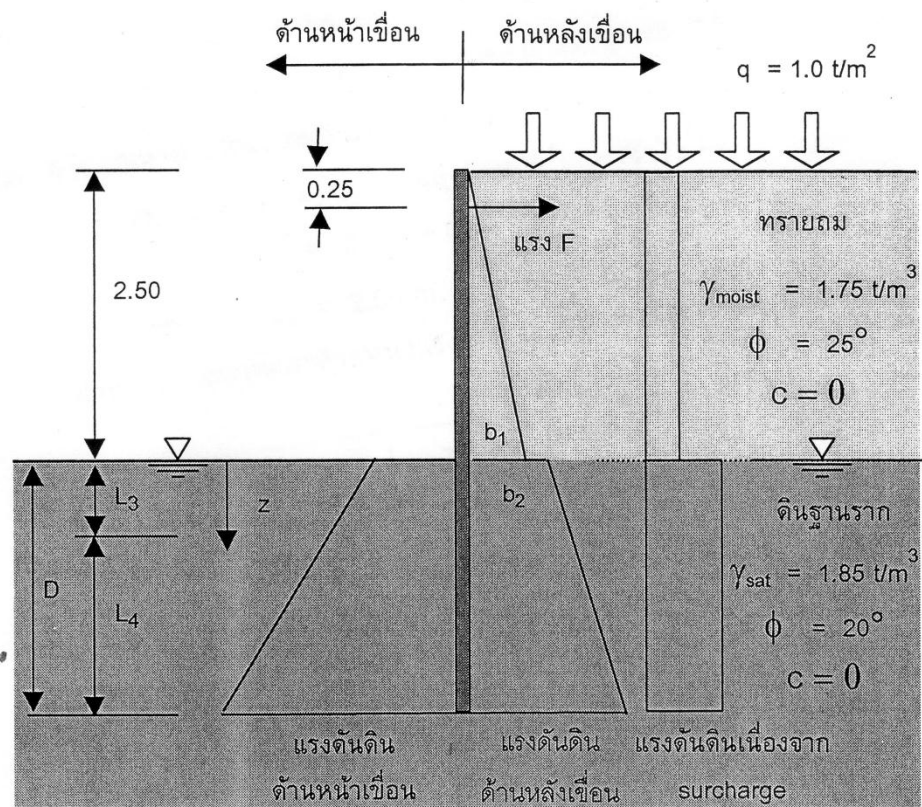
รูปที่ จ-2 รายการคำนวณกำแพงกันดิน (ต่อ)

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างโครงสร้างกันดินตัวอย่างที่ 2

โครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง

กำหนดความสูงกันดินเท่ากับ 2.5 เมตร ดินถมด้านหลังเขื่อนเป็นทรายที่มีมุมเสียดทานภายในเท่ากับ 25 องศา และมีหน่วยความหนาแน่นขึ้นเท่ากับ 1.75 ตัน/ลบ.ม. ส่วนดินฐานรากเป็นดินอ่อนที่มีมุมเสียดทานภายในเท่ากับ 25 องศา และมีหน่วยความหนาแน่นเท่ากับ 1.85 ตัน/ลบ.ม. น้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ 1 ตัน/ตร.ม. ตำแหน่งของ tie rod อยู่ต่ำกว่าสันเขื่อนเป็นระยะเท่ากับ 0.25 ม. ส่วนของเสาเข็มที่อยู่ต่ำกว่า zero pressure มีความกว้างเท่ากับ 0.30 ม. มีการเจาะช่องระบายน้ำที่แผงกรู.ส.ล.อย่างเพียงพอ จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาความไม่สมดุลย์ของระดับน้ำทั้งสองข้าง และสมมุติว่าระดับน้ำอยู่ที่ระดับ mud line



รูปที่ ฉ-1 แบบโครงสร้างกันดินโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง(ต่อ)

ตารางที่ ฉ-1 ค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในการออกแบบโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง

ชั้นดิน	ความลึก	γ_d	γ'_d	C_u	(ϕ')	Es	v
	m	t/m ³		t/m ²		kPa (t/m ²)	
ทรายถม	0 - 2.5	1.75	1.75	0	25	10000 (1000)	0.30
ดินเดิม	2.5 - 22.5	1.85	0.85	0	20	10000 (1000)	0.30

(1) คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง

$$\text{ทรายถม } ka_1 = \tan^2(45 - 0.50 \phi_1) = 0.406$$

$$\text{ดินฐานราก } ka_2 = \tan^2(45 - 0.50 \phi_2) = 0.490$$

$$kp_2 = \tan^2(45 + 0.50 \phi_2) = 2.040$$

(2) แรงดันด้านข้างเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรและหน่วยแรงดันดินด้านหลังเขื่อน

$$ka_1q = (0.406)(1.0) = 0.406 \text{ t/m}^2$$

$$ka_2q = (0.490)(1.0) = 0.490 \text{ t/m}^2$$

$$b_1 = ka_1\gamma_1h = (0.406)(1.75)(2.5) = 1.776 \text{ t/m}^2$$

$$b_2 = ka_2\gamma_1h = (0.490)(1.75)(2.5) = 2.144 \text{ t/m}^2$$

(3) คำนวณหาตำแหน่ง zero pressure (L_3)

$$\begin{aligned} \sigma(L_3) = 0 &= b_2 + ka_2q + ka_2\gamma_2' L_3 - kp_2\gamma_2' L_3 \\ &= 2.144 + 0.49 - (2.04 - 0.49)(0.85) L_3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow L_3 = 2.00 \text{ m.}$$

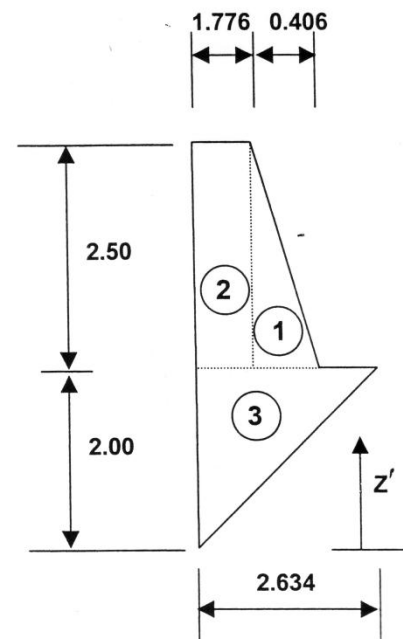
(4) คำนวณหาขนาดและตำแหน่งแรงลัพธ์ของหน่วยแรงดันดินด้านข้างเหนือ zero pressure

P_i (tons)	Z_i' (m)	$P_i Z_i'$
$0.5 \times 2.5 \times 1.776 = 2.220$	2.833	6.289
$0.406 \times 2.5 = 1.015$	3.250	3.299
$0.5 \times 2.634 \times 2.00 = 2.634$	1.333	3.512

$$\sum P_i = 5.869 \text{ t.}$$

$$\sum P_i Z_i = 13.100 \text{ t-m.}$$

$$\Rightarrow Z' = 13.1/5.869 = 2.232 \text{ m.}$$



รูปที่ ๑-2 รายการคำนวณโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง

- (5) คำนวณหาความยาวของเสาเข็มและแรงดึงในสายสมอจากสมการของโมเมนต์และแรงในแนวราบ

$$s = (0.30) [(kp_2 - ka_2) \gamma'_2 L_4 - ka_2 q]$$

$$= 0.395L_4 - 0.147$$

$$P_L = (0.5)(0.395L_4 - 0.147) L_4$$

$$= 0.197 (L_4)^2 - 0.0735 L_4$$

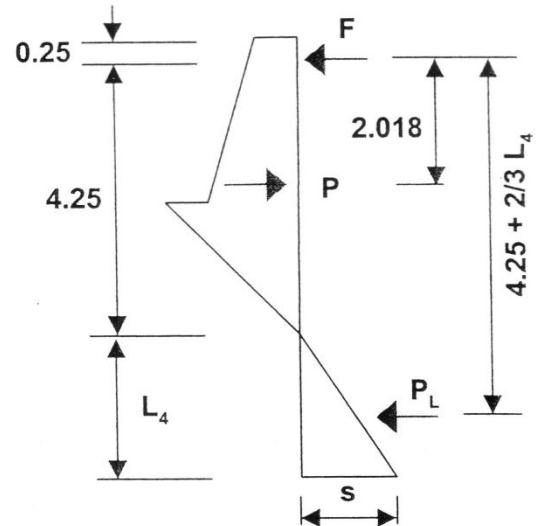
(i) $\sum M_F = 0:$

$$P(2.018) - P_L (4.25 + 2/3L_4) = 0$$

$$11.844 + 0.312 L_4 - 0.788(L_4)^2$$

$$- 0.131(L_4^3) = 0$$

$$\Rightarrow L_4 \cong 3.5 \text{ m.}$$



ความลึกของเข็มที่ฝังในดินฐานราก = 2.00 + 3.50 = 5.50 m.

เผื่อความยาว 50 %

$$\Rightarrow D = (1.5)(5.5) = 8.25 \text{ m.}$$

ความยาวเข็ม = 2 + 8.25 = 10.25 m.

(ii) $\sum F_H = 0:$ (หาแรงในสายสมอ)

$$P_L = (0.197)(3.5)^2 - (0.0735)(3.5) = 2.16 \text{ t.}$$

$$\Rightarrow F = 5.87 - 2.16 = 3.71 \text{ t.}$$

- (6) คำนวณหาแรงดึงในเสาเข็ม (T)

$$T = 3.71/\sin(9.46) = 22.57 \text{ t.}$$

$$C = 22.57 \cos(9.46) = 22.26 \text{ t.}$$

เลือกใช้เสาเข็มขนาด 0.30×0.30 ม. ยาว 15.00 ม.

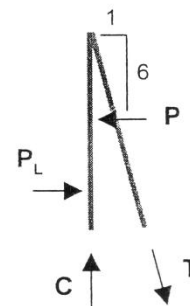
$$\sigma'_v \text{ average} = (1.850)(7.5) = 13.875 \text{ ton/m}^2$$

สมมุติว่าดินเป็น normally consolidated clay

$$K_0 = 1 - \sin \phi' = 1 - \sin 20 = 0.658$$

$$T \text{ ultimate} = \sigma'_v K_0 \tan \delta \sum pL = 13.875 (0.658)(\tan 16)(0.3)(4)(15) = 47.12 \text{ tons}$$

$$T \text{ allowable} = 47.12/2 = 23.56 \text{ tons} > 22.57 \text{ tons O.K.}$$

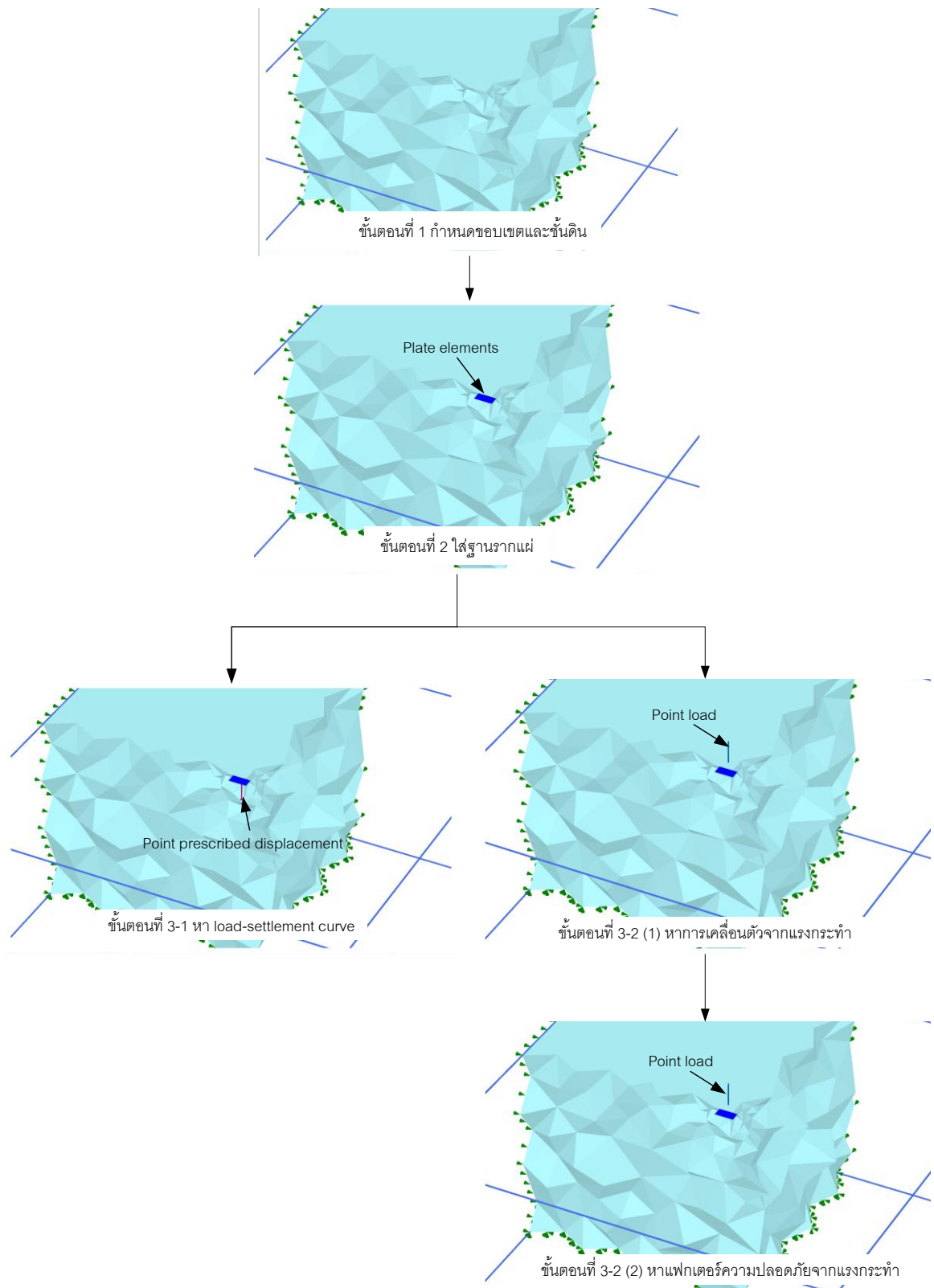


รูปที่ ข-2 รายการคำนวณโครงการเขื่อนป้องกันตลิ่ง (ต่อ)

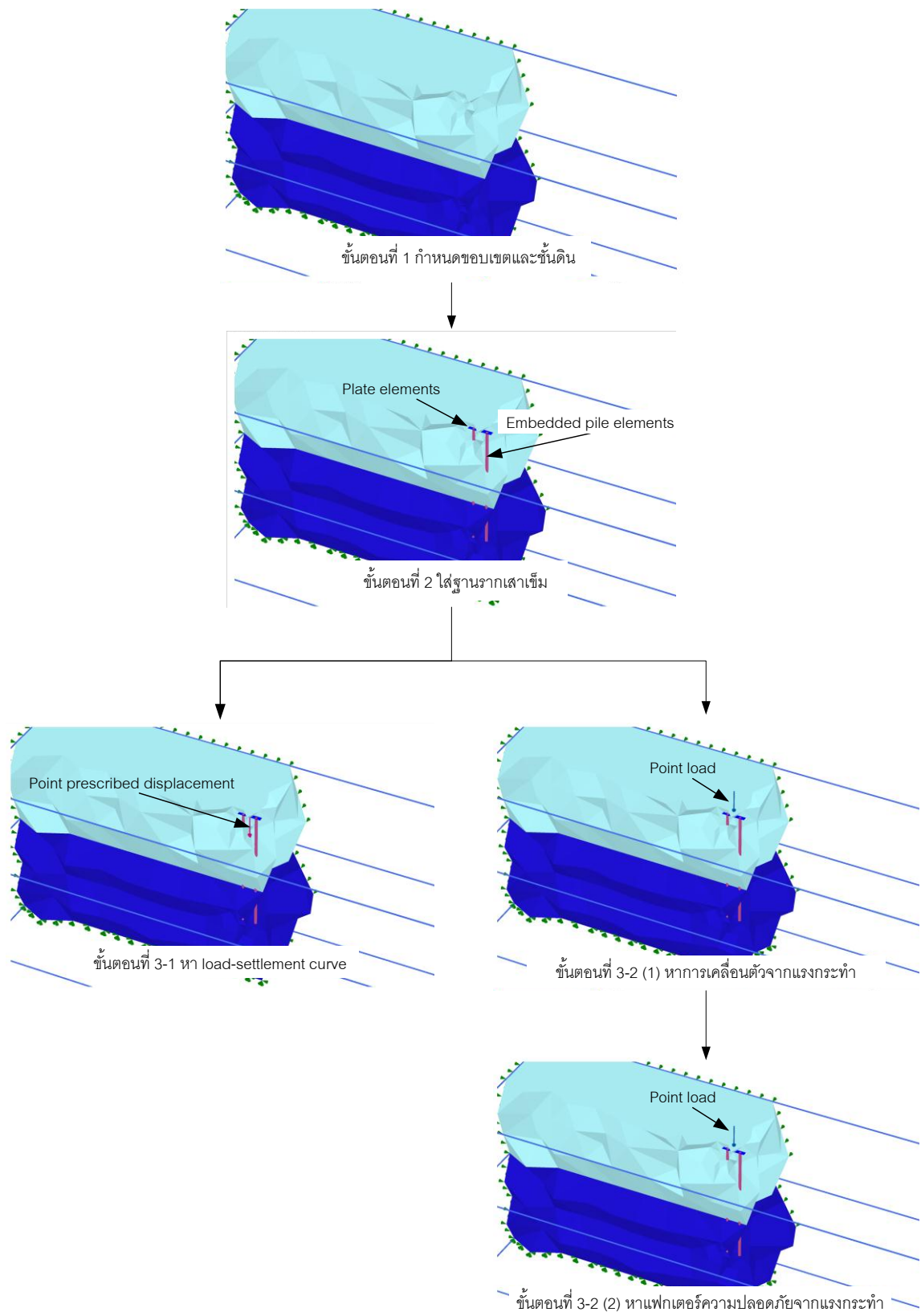
ภาคผนวก ช

ขั้นตอนการวิเคราะห์การออกแบบโครงสร้าง

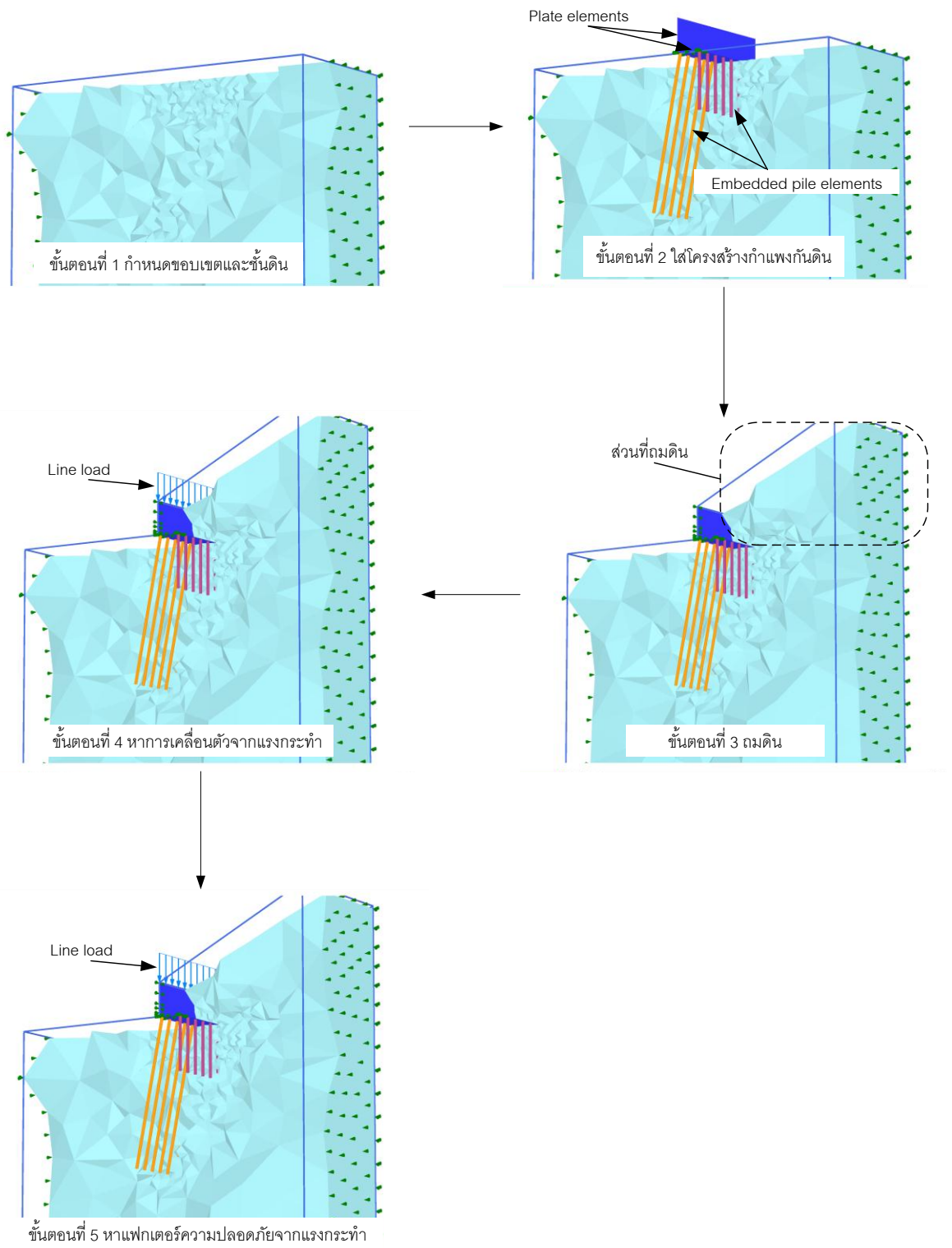
ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม Plaxis 3D version 2010



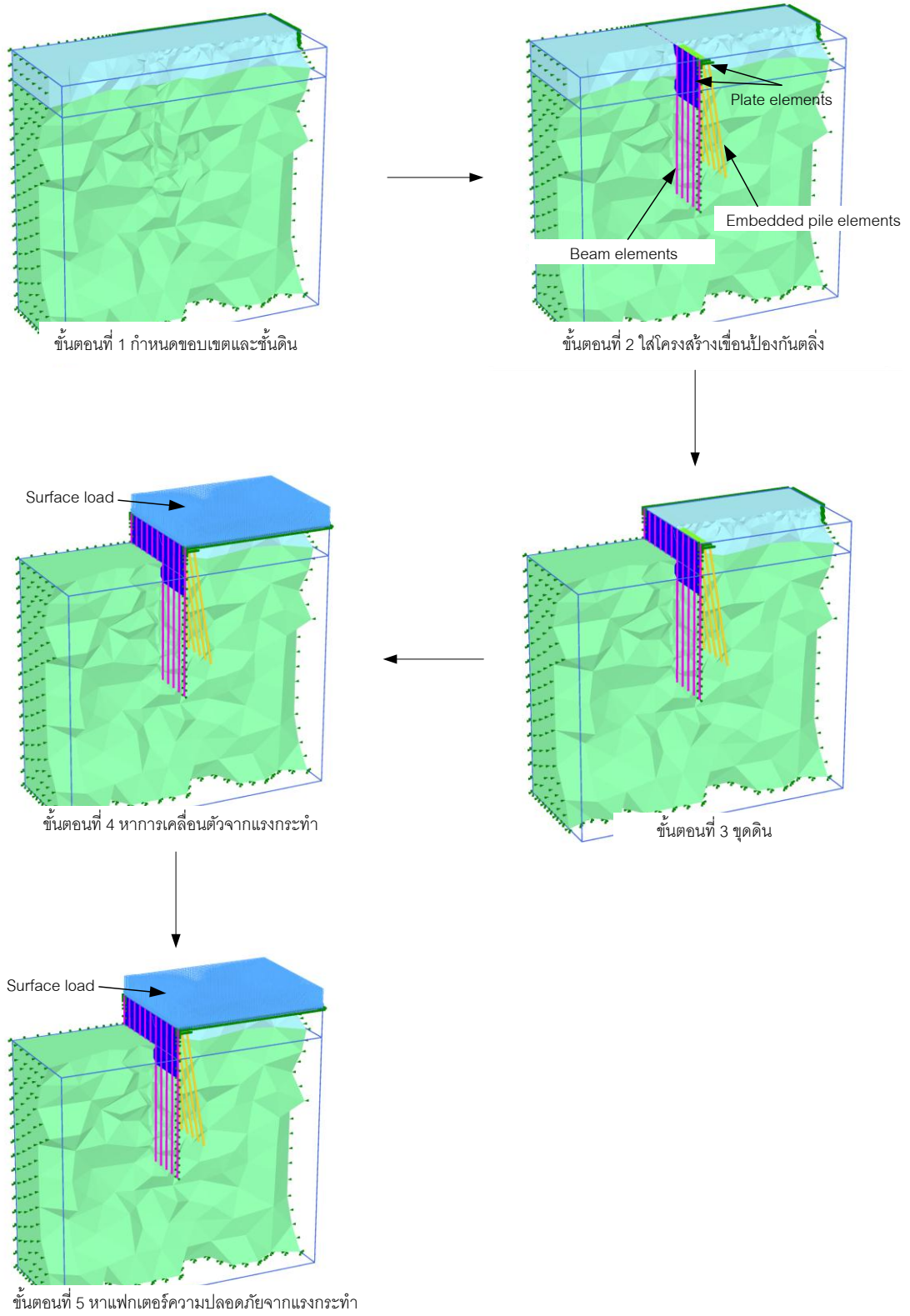
รูปที่ ข-1 ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างฐานรากแก่



รูปที่ ข-2 ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างฐานรากเสาเข็ม



รูปที่ ช-3 ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างโครงการกำแพงกันดิน



รูปที่ ข-4 ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างโครงการเชื่อมป้องกันตลิ่ง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนเรศ ผจญวิริยาทร เกิดวันที่ 21 กันยายน พ.ศ.2522 ที่จังหวัดแพร่ สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2545 ช่วงปีพ.ศ. 2548 เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรโยธาประจำโรงงาน 2 บริษัทปทุมธานีคอนกรีต ปี พ.ศ. 2550 ถึง พ.ศ.2552 ทำงานในตำแหน่ง QMR. และรักษาการผู้จัดการแผนกวิศวกรรมประจำ โรงงาน 2 บริษัทปทุมธานีคอนกรีต และเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาวิศวกรรมธรณีเทคนิค ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาการศึกษาด้าน ปีการศึกษา 2552