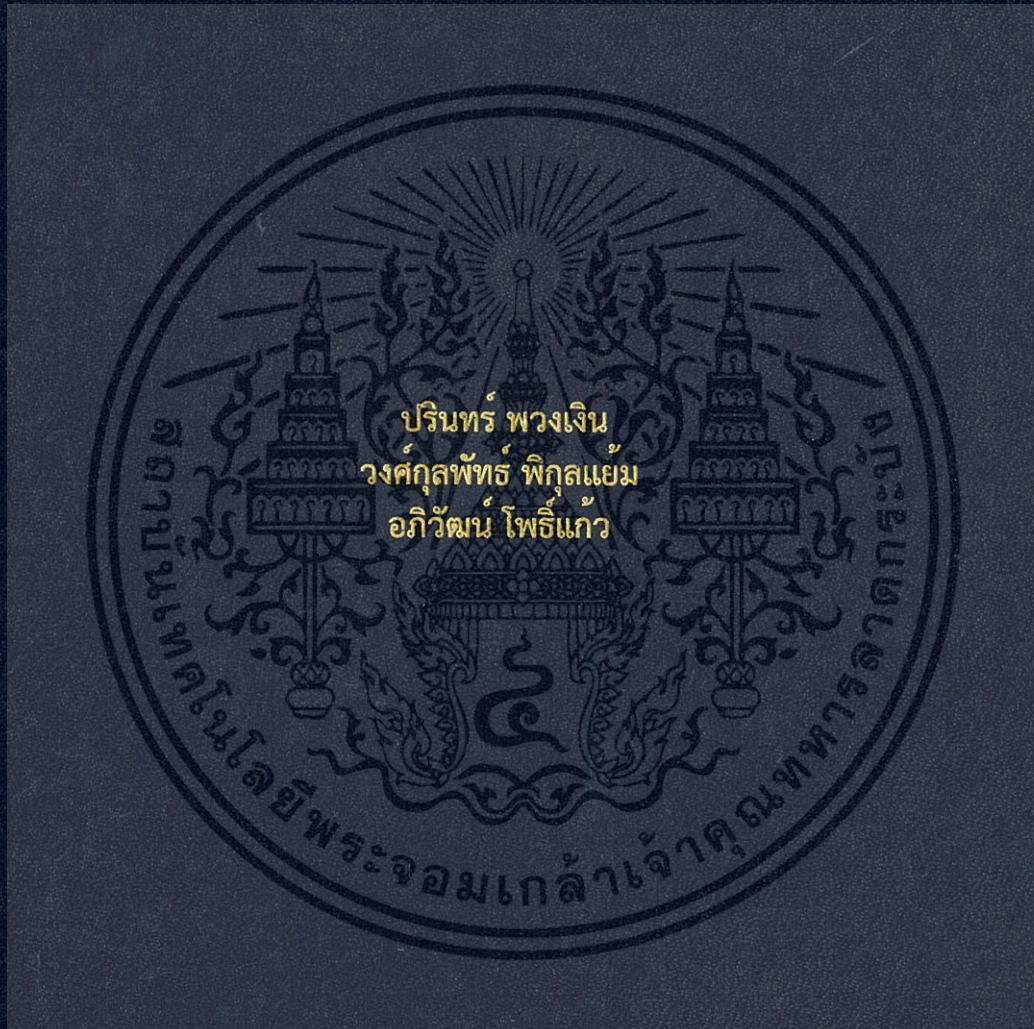


พฤติกรรมของเข็มพืดจากอิทธิพลของอาคารข้างเคียง
SHEET PILE BEHAVIOR DUE TO THE EFFECT OF
NEIGHBORING BUILDING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

พฤติกรรมของเข็มพืดจากอิทธิพลของอาคารข้างเคียง
SHEET PILE BEHAVIOR DUE TO THE EFFECT OF
NEIGHBORING BUILDING



ปริญทร์ พวงเงิน
วงศ์กุลพัทธ์ พิกุลแย้ม
อภิวัฒน์ โพธิ์แก้ว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHEET PILE BEHAVIOR DUE TO THE EFFECT OF
NEIGHBORING BUILDING



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ





หัวข้อโครงการพิเศษ พฤติกรรมของเข็มที่ติดจากอิทธิพลของอาคารข้างเคียง
SHEET PILE BEHAVIOR DUE TO THE EFFECT OF NEIGHBORING
BUILDING

นักศึกษา นายปรินทร์ พวงเงิน รหัสนักศึกษา 57010750
นายวงศ์กุลพัทธ์ พิกุลแย้ม รหัสนักศึกษา 57011080
นายอภิวัฒน์ โพธิ์แก้ว รหัสนักศึกษา 57011480

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ศลิษา ไชยพุทธ

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร.ศลิษา ไชยพุทธ	
ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์	
อาจารย์อุษะ ศิริแก้ว	
ดร.วิรุฬห์ คำชุม	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ ๔/๖/๖๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมของเข็มพืดจากอิทธิพลของอาคารข้างเคียง

นายปรินทร์ พวงเงิน รหัสนักศึกษา 57010750
นายวงศ์กุลพัทธ์ พิกุลแย้ม รหัสนักศึกษา 57011080
นายอภิวัฒน์ โปธิ์แก้ว รหัสนักศึกษา 57011480
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ศลิษา ไชยพุทธ
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการก่อสร้างใต้ดินมีมากขึ้น การก่อสร้างดังกล่าวจำเป็นต้องนำระบบโครงสร้างป้องกันดินมาประยุกต์ใช้ เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของดินที่เกิดจากการก่อสร้าง กำแพงเข็มพืดนับเป็นอีกหนึ่งระบบที่ได้รับความนิยม ถูกนำมาใช้เป็นโครงสร้างป้องกันดิน เนื่องจากมีราคาถูก การก่อสร้างมีความรวดเร็ว และยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยทั่วไปการออกแบบกำแพงเข็มพืดพิจารณาเพียงคุณสมบัติของชั้นดินในบริเวณสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจเท่านั้น ซึ่งไม่ได้คำนึงถึง อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง ว่าส่งผลกระทบต่อโครงสร้างกันดินหรือไม่ งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบที่เกิดจากน้ำหนักของอาคารข้างเคียงต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของกำแพงเข็มพืดที่ก่อสร้างในชั้นดินเหนียว เพื่อหาระยะห่างที่เหมาะสมให้เกิดความปลอดภัยในการก่อสร้างด้วยแบบจำลอง ขนาด 50*50*55 เซนติเมตร โดย 1 เซนติเมตรในแบบจำลอง มีค่าเท่ากับ 0.5 เมตรในโครงการก่อสร้างจริง และใช้น้ำหนัก 10, 20 และ 40 กิโลกรัม เทียบเท่ากับน้ำหนักของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 1 ชั้น, 2 ชั้น และกรณีที่น้ำหนักมากกว่า 2 ชั้นขึ้นไป ที่ระยะต่างๆ คือ 15, 30 และ 45 เซนติเมตร แทนที่ระยะห่าง 7.5, 15 และ 22.5 เมตร ในโครงการก่อสร้างจริง เพื่อศึกษาอิทธิพลของอาคารที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของกำแพงเข็มพืด จากการศึกษาพบว่า น้ำหนักและระยะห่างของอาคารข้างเคียงโดยเฉพาะอาคารที่วางอยู่บนฐานรากตื้น ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของโครงสร้างกำแพงกันดิน

คำสำคัญ: แรงดันดินด้านข้าง, กำแพงกันดิน, การเคลื่อนตัวของโครงสร้างกำแพงกันดิน, อาคารข้างเคียง

SHEET PILE BEHAVIOR DUE TO THE EFFECT OF NEIGHBORING BUILDING

Mr. Parin Phuangngern Student ID. 57010750

Mr. Wongkulaphat Pikulyam Student ID. 57011080

Mr. Apiwat Pokaew Student ID. 57011480

Advisor: Dr. Salisa Chaiyaput

Academic Year 2017

ABSTRACT

Nowadays, the development of underground construction has been increasing. The retaining wall has been used to prevent ground movement from the construction effect. Sheet pile wall is the most popular system to apply due to material price, construction time and reused materials. The designing of sheet pile wall considers the soil properties from the boring log only, it is not concern on the load of neighboring building, that may affect to the retaining wall. Thus, this research study on the effect of load that transfer from neighboring building to the behavior of sheet pile movement in soft clay to determine the proper distance by creating the physical model 50x50x55 centimeters, 1 centimeter in the physical model equal to 0.50 meter in the construction site. Moreover, three types of loads 10, 20 and 40 kilograms, were applied to present 1 story reinforced concrete building 1, 2, and moreover, respectively. The distance between sheet pile wall and neighboring building were studied at 15, 30 and 45 centimeters for presenting spacing 7.5, 15 and 22.5 meters in the construction site. The results found that building load and spacing, especially in case of shallow foundation are effect to the behavior of sheet pile movement.

Keywords: lateral earth pressure, retaining wall, deflection of retaining wall, neighboring building

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร.ศลิษา ไชยพุทธ ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง คอยแนะนำช่วยเหลือในการแก้ไข ปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี พวกเราผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่างๆได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่างๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดีเยี่ยม ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงการ รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาโยธาอันตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักรยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ปรินทร์ พวงเงิน
วงศ์กุลพัทธ์ พิกุลแย้ม
อภิวัฒน์ โพธิ์แก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แรงดันดินด้านข้าง.....	3
2.2 โครงสร้างกันดิน.....	12
2.3 วิธีลดการเคลื่อนตัวของกำแพง.....	27
2.4 การประเมินระดับความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารข้างเคียง.....	28
2.5 การประมาณน้ำหนักอาคาร.....	29
2.6 ระยะห่าง.....	30
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
3.1 บทนำ.....	32
3.2 การศึกษาพฤติกรรมของเข็มพืดในแบบจำลอง.....	32
บทที่ 4 เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	40
4.1 บทนำ.....	40
4.2 ผลการศึกษาจากแบบจำลอง.....	40
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา.....	55
5.1 บทนำ.....	55
5.2 สรุปผลการทดลอง.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	56
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก ก สัญลักษณ์.....	59
ภาคผนวก ข การคำนวณปริมาณความชื้น.....	61
ภาคผนวก ค การคำนวณน้ำหนักบนผิวดิน.....	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราส่วนปลอดภัยที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดิน.....	21
2.2 ระดับความเสียหายต่อโครงสร้างข้างเคียง.....	28
2.3 ข้อมูลน้ำหนักต่อหน่วยของวัสดุต่างๆโดยประมาณ.....	29
3.1 แบบจำลองที่ใช้การศึกษา.....	35
4.1 แสดงระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน.....	41
ข.1 การคำนวณเพื่อหาปริมาณความชื้นในมวลดิน.....	61
ค.1 การคำนวณน้ำหนักบนผิวดินของอาคาร.....	62



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ความดันดินด้านข้าง [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553].....	3
2.2	ความดันดินที่ความลึก Z [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553].....	4
2.3	การกระจายความดันดินที่สภาวะอยู่นิ่งและความดันน้ำ [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553].....	4
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง K_0 และ OCR [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553].....	6
2.5	ระนาบการพิบัติที่ถูกลมมิติขึ้นตามทฤษฎีของ Rankine [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553].....	7
2.6	ความดันดินด้านข้างทฤษฎี Rankine [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553].....	7
2.7	วงกลมมอร์สถานะของความเค้นประสิทธิผลที่สภาวะ Active [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553]	8
2.8	วงกลมมอร์สถานะของความเค้นประสิทธิผลทั้ง 3 สภาวะ [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553].....	9
2.9	แผนภูมิแรงดัน [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553].....	10
2.10	แบบจำลองทฤษฎีของ coulomb [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553].....	11
2.11	รูปแบบการใช้กำแพงกันดินโดยทั่วไป [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553].....	13
2.12	กำแพงกันดิน Gravity walls [กันยาณี ตรงขึ้น,2543].....	13
2.13	กำแพงกันดิน Semi-gravity walls [กันยาณี ตรงขึ้น,2543].....	14
2.14	กำแพงกันดิน Cantilever walls [กันยาณี ตรงขึ้น,2543].....	14
2.15	กำแพงกันดิน Counterfort walls [กันยาณี ตรงขึ้น,2543].....	14
2.16	กำแพงกันดิน Buttressed walls [กันยาณี ตรงขึ้น,2543].....	15
2.17	กำแพงกันดิน Crib walls [กันยาณี ตรงขึ้น,2543].....	15
2.18	กำแพงกันดินขาดเสถียรภาพ [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553].....	16
2.19	การสมมติขนาดและรูปร่างกำแพงกันดิน [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553].....	17
2.20	การพิบัติของกำแพงกันดิน [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553].....	18
2.21	แรงดันที่กระทำเนื่องจากด้าน passive [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553].....	19
2.22	แรงที่กระทำใต้อ่างกำแพงกันดิน [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553].....	20
2.23	ระบบระบายน้ำด้านหลังกำแพงกันดินรูปแบบต่างๆ [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553].....	22

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.24 การขาดเสถียรภาพภายนอกของเข็มพืดที่ตั้งอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553].....	22
2.25 ความดันดินด้านข้างที่กระทำต่อ Cantilever Sheet Pile Wall [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553].....	23
2.26 พฤติกรรมที่กระทำต่อเข็มพืด [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553].....	24
2.27 การกระจายของการเสีรูปและโมเมนต์ของ Anchored sheet pile wall [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข, 2553].....	24
2.28 แรงที่กระทำต่อเข็มพืดเมื่อหาโมเมนต์ [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553].....	25
2.29 ชนิดของ Braced cut [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553].....	26
2.30 การเสีรูปของกำแพงกันดิน [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553].....	26
2.31 ตำแหน่งและระยะห่างจากจุดที่ทำการวัดแรงสั่นสะเทือน [Krzysztof Czech, Wojciech Gosk ,2016].....	31
2.32 เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน [Krzysztof Czech, Wojciech Gosk ,2016].....	31
3.1 ดินตัวอย่าง.....	33
3.2 แผ่นเหล็กหนัก 5 กิโลกรัม.....	33
3.3 แผ่นกำแพงเข็มพืดจำลอง.....	33
3.4 Dial Gauge.....	33
3.5 ตู้แบบจำลอง.....	33
3.6 นำดินใส่ตู้แบบจำลอง.....	34
3.7 ติดตั้ง Dial Gauge ที่แผ่นกำแพงเข็มพืดจำลอง.....	34
3.8 กรณีที่ 1 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร.....	35
3.9 กรณีที่ 2 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร.....	35
3.10 กรณีที่ 3 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร.....	36
3.11 กรณีที่ 4 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร.....	36
3.12 กรณีที่ 5 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร.....	36
3.13 กรณีที่ 6 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร.....	37
3.14 กรณีที่ 7 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร.....	37
3.15 กรณีที่ 8 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร.....	37
3.16 กรณีที่ 9 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร.....	38

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 ใส่หน้ากากบรรทุกที่ระยะ 45 เซนติเมตร.....	38
4.1 การทดลองกรณีที่ 1 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร.....	41
4.2 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 1 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัมที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร.....	41
4.3 การทดลองกรณีที่ 2 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร.....	42
4.4 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 2 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร.....	42
4.5 การทดลองกรณีที่ 3 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร.....	42
4.6 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 3 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร.....	43
4.7 การทดลองกรณีที่ 4 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร.....	43
4.8 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 4 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร.....	43
4.9 การทดลองกรณีที่ 5 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร.....	44
4.10 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 5 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร.....	44
4.11 การทดลองกรณีที่ 6 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร.....	44
4.12 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 6 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร.....	45
4.13 การทดลองกรณีที่ 7 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร.....	45
4.14 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 7 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร.....	45
4.15 การทดลองกรณีที่ 8 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร.....	46
4.16 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 8 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร.....	46
4.17 การทดลองกรณีที่ 9 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร.....	46
4.18 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 9 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ **IX** อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินกับน้ำหนัที่วางอยู่บนผิวดินที่ระยะ 15 เซนติเมตร.....	48
4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินกับน้ำหนัที่วางอยู่บนผิวดินที่ระยะ 30 เซนติเมตร.....	48
4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินกับน้ำหนัที่วางอยู่บนผิวดินที่ระยะ 45 เซนติเมตร.....	49
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินกับน้ำหนัที่อยู่บนผิวดินที่ระยะห่างต่างๆ.....	49
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน และ ระยะห่างระหว่างโครงสร้างกันดินกับน้ำหนัที่อยู่บนผิวดิน โดยน้ำหนัข้างเคียงขนาด 1235 กิโลกรัมต่อตารางเมตร.....	51
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน และ ระยะห่างระหว่างโครงสร้างกันดินกับน้ำหนัที่อยู่บนผิวดิน โดยน้ำหนัข้างเคียงขนาด 2469 กิโลกรัมต่อตารางเมตร.....	52
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน และ ระยะห่างระหว่างโครงสร้างกันดินกับน้ำหนัที่อยู่บนผิวดิน โดยน้ำหนัข้างเคียงขนาด 4938 กิโลกรัมต่อตารางเมตร.....	53
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน และ ระยะห่างระหว่างโครงสร้างกันดินกับน้ำหนัที่อยู่บนผิวดิน.....	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การขยายตัวและพัฒนาของเมือง เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว สอดคล้องกับอัตราส่วนความต้องการระบบสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานของประชากรที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จึงเป็นสาเหตุให้ปัจจุบันมีโครงการก่อสร้างเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก เพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว อาทิ เช่น โครงการก่อสร้างรถไฟใต้ดิน, คอนโดเนียม หรือแม้กระทั่งที่พักอาศัย ซึ่งโครงการก่อสร้างดังกล่าวล้วนแต่ต้องการพื้นที่ใช้สอยขนาดใหญ่แทบทั้งสิ้น ในขณะที่พื้นที่ใช้สอยบนดินมีอยู่อย่างจำกัด ส่งผลให้ที่ดินมีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น ทำให้หลายๆโครงการในปัจจุบัน มุ่งเน้นการนำพื้นที่ใต้ดินมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และคุ้มค่าแก่การลงทุนมากที่สุด

Cut and cover method เป็นหนึ่งในวิธีที่นำมาใช้ในการก่อสร้างระบบโครงการใต้ดิน โดยวิธีดังกล่าวจะเริ่มด้วยการขุดเจาะเปิดหน้าดิน ทำให้วิศวกรผู้ออกแบบและวิศวกรผู้ควบคุมงาน ต้องคำนึงถึงปัญหาการเคลื่อนตัว และการพังทลายของดินเป็นลำดับแรก เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาดังกล่าว ได้มีการนำ sheet pile มาใช้เป็นโครงสร้างกันดิน

ในการออกแบบเข็มพืดสิ่งทีวิศวกรผู้ออกแบบคำนึงถึงคือ คุณสมบัติของดินบริเวณสถานที่ก่อสร้างที่ได้มาจากข้อมูลการสำรวจ โดยไม่ได้คำนึงถึงอิทธิพลของอาคารและสิ่งก่อสร้างที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้ปัจจุบัน มีปัญหาเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นปัญหาการพังของโครงสร้างกันดิน หรือแม้กระทั่งปัญหาการพังของอาคารและสิ่งปลูกสร้างข้างเคียงโครงการก่อสร้างต่างๆหลายโครงการ ซึ่งพบว่าการก่อสร้างก่อให้เกิดปัญหา ผลกระทบ และความเสียหายแก่อาคารที่อยู่ข้างเคียง ทำให้เจ้าของโครงการก่อสร้างถูกร้องเรียน เรียกร้องให้รับผิดชอบความเสียหาย จนเกิดเป็นคดีความต่างๆ ตามมามากมาย ซึ่งส่งผลกระทบต่อทั้งโครงการ และประชาชน ไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียทรัพย์สินจำนวนมาก, เวลา และสภาพจิตใจ ซึ่งมีอาจประเมินค่าได้

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเชิงเปรียบเทียบพฤติกรรมของโครงสร้างกันดินจากอิทธิพลของน้ำหนักจากอาคาร โดยเฉพาะอาคารที่ก่อสร้างบนฐานรากแผ่ที่อยู่บริเวณข้างเคียงสถานที่ก่อสร้าง เพื่อวิเคราะห์หาระยะห่างระหว่างโครงสร้างกันดินและอาคารข้างเคียงที่เหมาะสม ป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายทั้งต่อโครงสร้างกันดินและอาคารข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของกำแพงเข็มพืดจากอิทธิพลของอาคารข้างเคียง
- 2) เพื่อศึกษาน้ำหนักของอาคารข้างเคียงที่ก่อสร้างบนฐานรากตื้น ซึ่งส่งผลต่อการเคลื่อนตัวของโครงสร้างกันดิน
- 3) เพื่อศึกษาระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างโครงสร้างกันดิน และอาคารข้างเคียง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ตัวอย่างดินที่นำมาใช้เป็นแบบถูกรบกวน มีความลึกประมาณ 5 เมตร บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2) เป็นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบเพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมของเข็มพืด
- 3) ศึกษาเข็มพืดที่อยู่ในชั้นดินกรุงเทพฯ ที่ความลึก 15 เมตร
- 4) ไม่ศึกษาผลของแรงดันน้ำ
- 5) ศึกษาอาคารข้างเคียงเฉพาะกรณีฐานรากแผ่
- 6) ไม่ได้คำนึงถึงแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง
- 7) ควบคุมปริมาณความชื้น (water content) ของตัวอย่างดินที่ 80-90%

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เรียนรู้เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองและการกำหนดตัวแปรที่ส่งผลต่อเข็มพืด
- 2) ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของเข็มพืด
- 3) ฝึกการวางแผนการทำงานและการทำงานกันเป็นทีม
- 4) สามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างเพื่อป้องกันความเสียหายได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

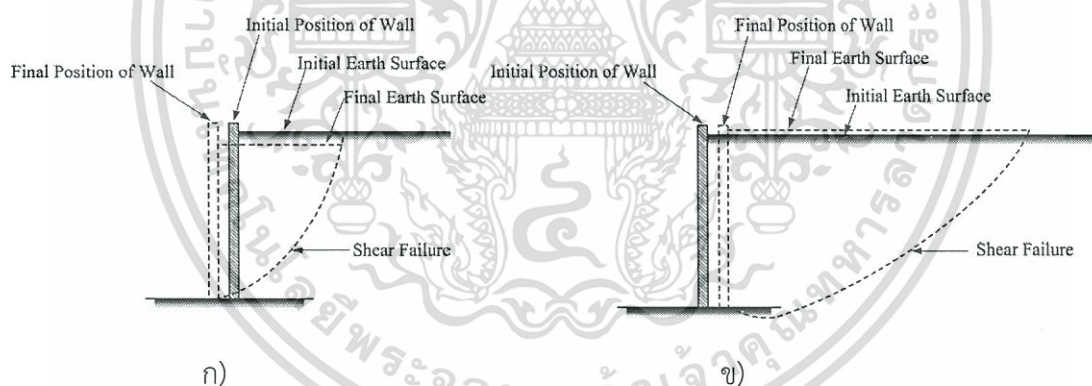
2.1 แรงดันดินด้านข้าง (Lateral Earth Pressure)

2.1.1 การวิเคราะห์และการหาค่าแรงดันด้านข้างของดิน

การวิเคราะห์และการหาค่าแรงดันด้านข้างของดินเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการออกแบบกำแพงกันดินที่รับแรงด้านข้างจากชั้นดิน เช่น ผนังชั้นใต้ดิน อ่างเก็บน้ำ เป็นต้น ดังนั้นขนาดและทิศทางของแรงดันด้านข้างเป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการใช้ออกแบบกำแพงกันดินหรือโครงสร้างกันดินต่างๆ ให้มีอัตราส่วนปลอดภัยมากเพียงพอ

ประเภทของแรงดันดินด้านข้างแบ่งออกได้ 3 ประเภท

- 1) ความดันดินที่สภาวะอยู่นิ่ง (at rest earth pressure)
- 2) ความดันดินที่สภาวะ active (active earth pressure)
- 3) ความดันดินที่สภาวะ passive (passive earth pressure)

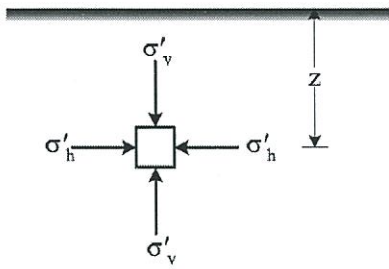


รูป 2.1 ความดันดินด้านข้าง [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553]

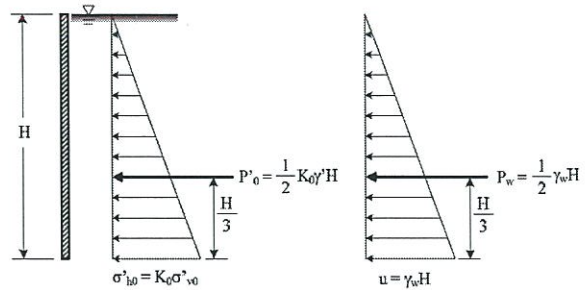
- 1) ความดันดินด้านข้างในสภาวะ Active
- 2) ความดันดินด้านข้างในสภาวะ Passive

ความดันดินที่สภาวะอยู่นิ่ง หมายถึง ความดันด้านข้างที่กระทำต่อผนังโครงสร้างของดิน โดยที่ผนังและมวลดินไม่มีการเคลื่อนตัว ความดันดินในกรณีเช่นนี้อาจเกิดขึ้นกับมวลดินถมด้านหลังกำแพงดินที่มีความหนาแน่นมากและแทบจะไม่เกิดการเคลื่อนตัวของกำแพง ดินที่สัมผัสกับกำแพงจะไม่เกิดความเครียดด้านข้าง ในกรณีเช่นนี้ ความดันดินด้านข้างจะมีขนาดอยู่ระหว่างความดันดินที่สภาวะ Active และ Passive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.2 ความดันดินที่ความลึก Z
[รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553]



รูป 2.3 การกระจายความดันดินที่สภาวะอยู่นิ่งและ
ความดันน้ำ [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553]

พิจารณาคความเค้นบนชิ้นส่วนเล็กๆ ในชั้นดินที่ความลึก z ถ้ามวลดินอยู่ที่สภาวะอยู่นิ่ง (at rest) แม้ว่ามวลดินนี้จะเกิดการทรุดตัวในแนวตั้งเมื่อมีน้ำหนักกระทำ แต่จะไม่เกิดการเคลื่อนตัวในแนวนอน สภาพเช่นนี้เปรียบเสมือนดินที่อยู่ในสภาวะสมดุลด้านหลังกำแพงกันดินที่หนาและเรียบ และไม่มีการเคลื่อนตัว ความดันดินประสิทธิผล (effective lateral earth pressure) ที่ฐานของกำแพง และแรงลัพธ์ ประสิทธิผลต่อความยาว 1 หน่วย สามารถหาได้จากสมการที่ (2.1) ,(2.2) และ (2.3)

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v \quad (2.1)$$

$$\sigma'_h = K_0 \gamma' H \quad (2.2)$$

$$P'_0 = K_0 \gamma' H \quad (2.3)$$

เมื่อ σ'_h คือ ความดันประสิทธิผลที่ฐานของกำแพง

P_0 คือ แรงลัพธ์เนื่องจากความดันดินประสิทธิผล ที่สภาวะอยู่นิ่งต่อความยาว 1 หน่วย

K_0 คือ สัมประสิทธิ์ของความดันดินที่สภาวะอยู่นิ่ง (coefficient of earth pressure at rest)

γ' คือ หน่วยน้ำหนักประสิทธิผล (submerged unit weight)

H คือ ความสูงของกำแพง

ความดันดินด้านข้างรวม (total lateral earth pressure, σ_h) ที่กระทำต่อกำแพงเท่ากับผลรวมของความดันดินด้านข้างประสิทธิผล (effective lateral earth pressure, σ'_h) และความดันน้ำ (Pore pressure, u)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_h = \sigma_h' + u \quad (2.4)$$

ความเค้นรวมที่กระทำต่อกำแพงก็จะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามความลึกเช่นเดียวกัน และแรงดันรวมที่กระทำต่อกำแพงก็จะเป็นผลรวมของแรงดันเนื่องจากแรงดันประสิทธิผลและแรงดันน้ำ

$$P_h = P_0' + P_w \quad (2.5)$$

เมื่อ P_h คือ แรงดันดินด้านข้างรวมที่กระทำต่อกำแพง

P_w คือ แรงดันน้ำ

ค่าสัมประสิทธิ์ของความดันดินที่สภาวะอยู่นิ่ง (K_0) คืออัตราส่วนระหว่างความดันดินด้านข้างต่อความดันดินในแนวตั้งในพจน์ของความเค้นประสิทธิผล โดยทั่วไป K_0 จะมีค่าน้อยกว่า 1.0 สำหรับดินเหนียวอัดตัวปกติ ยกเว้นในกรณีของดินเหนียวอัดตัวมากกว่าปกติ ซึ่งค่า K_0 อาจมีค่าสูงถึงประมาณ 3.0 สำหรับทราย K_0 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 สำหรับทรายแน่น และ 0.5 สำหรับทรายเป็นหลวม

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความดันดินด้านข้างที่สภาวะอยู่นิ่งในสนามกระทำได้ยาก Jaky (1944) ได้เสนอสมการสำหรับหาค่า K_0 ในดินเหนียวอัดตัวปกติ และดินทรายตามสมการที่ (2.6)

$$K_0 = 1 - \sin \phi' \quad (2.6)$$

เมื่อ ϕ' คือ มุมเสียดทานภายในของดิน

จากผลการทดสอบของ Brooker and Ireland (1965) ค่าของ K_0 สำหรับดินเหนียวอัดตัวปกติ สามารถประมาณได้โดยอาศัยดัชนีสภาพพลาสติก (PI) ตามสมการที่ (2.7) และ (2.8)

$$K_0 = 0.4 + 0.007(PI) \quad (2.7)$$

$$K_0 = 0.64 + 0.001(PI) \quad (2.8)$$

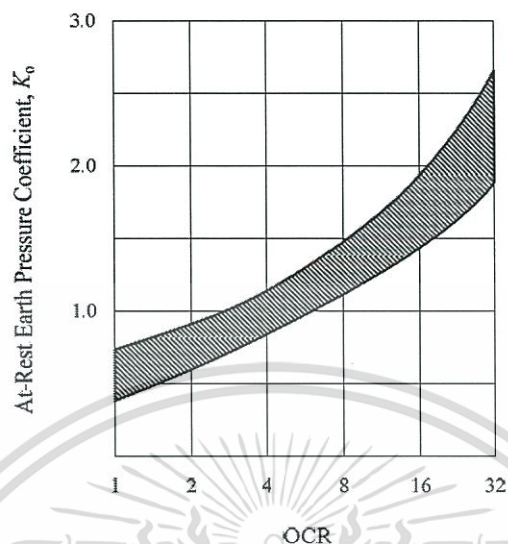
สำหรับดินเหนียวอัดตัวมากกว่าปกติ สามารถประมาณได้ดังสมการ (2.9)

$$K_0 = K_0 (\text{normally consolidation}) \sqrt{OCR} \quad (2.9)$$

เมื่อ OCR คือ อัตราส่วนการอัดตัวมากกว่าปกติ (Overconsolidated ratio)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dunn et al. (1980) เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง K_0 และอัตราส่วนการอัดตัวมากกว่าปกติ (OCR)

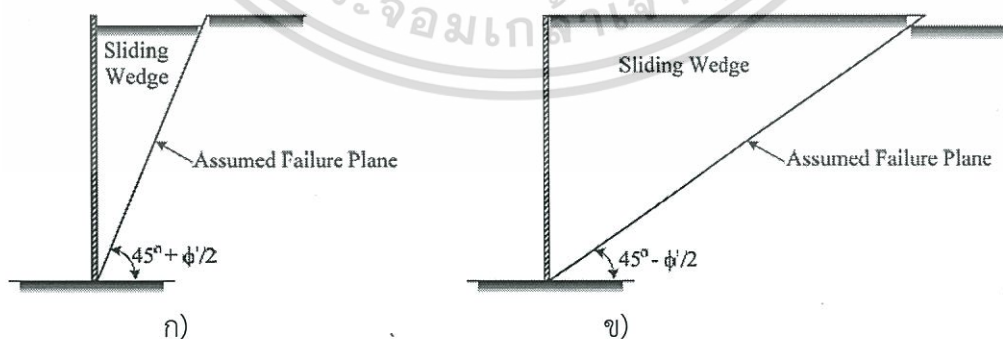


รูป 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง K_0 และ OCR [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553]

2.1.2 ทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของ Rankine (Rankine Earth Pressure)

ทฤษฎีของ Rankine สำหรับหาความดันดินด้านข้างตั้งอยู่บนสมมติฐานหลักสามข้อ ดังนี้

- 1) ไม่มีแรงยึดเหนี่ยว (adhesion) หรือความเสียดทาน (friction) ระหว่างดินกับผนัง (ผนังเรียบ)
- 2) ความดันดินด้านข้าง ใช้ได้เฉพาะกับกำแพงที่ตั้งอยู่ในแนวตั้ง การพิบัติของดินถูกสมมติให้เป็นการไหลของลิ่มตลอดแนวระนาบพิบัติ ซึ่งอยู่ในรูปของมุมเสียดทานภายในของดิน (internal friction angle, ϕ')



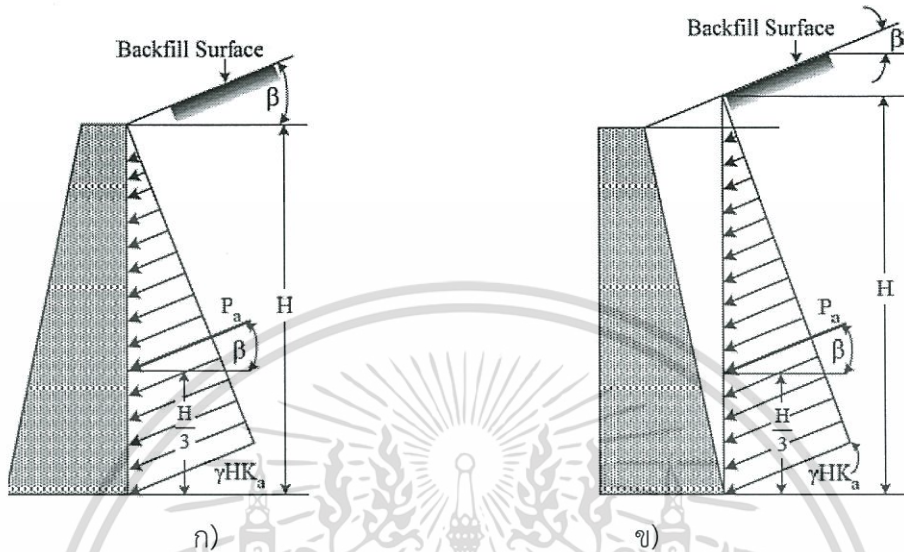
รูป 2.5 ระนาบการพิบัติที่ถูกสมมติขึ้นตามทฤษฎีของ Rankine [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553]

ก) Rankine active state

ข) Rankine passive state

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

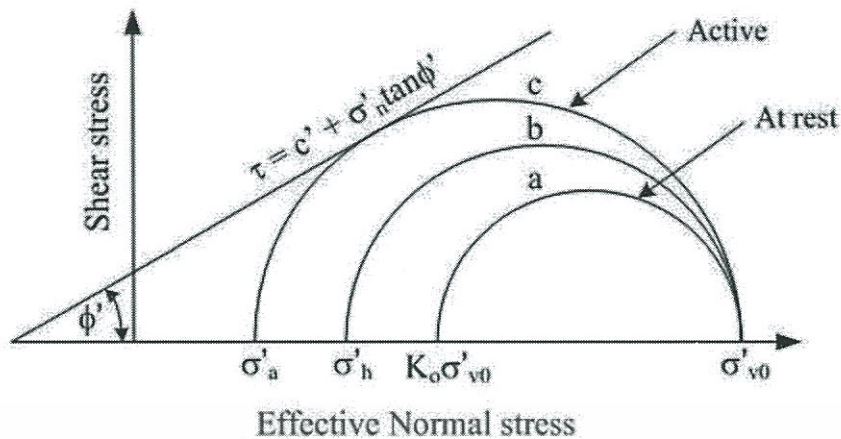
3) ความดันดินด้านข้างมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันเส้นตรงกับความลึก และแรงผลักร์เนื่องจากความดันดินด้านข้างถูกสมมติให้กระทำที่ระยะหนึ่งในสามของความสูง ซึ่งวัดจากฐานของกำแพงกันดินถึงระดับดินถม และทิศทางของแรงลักร์นี้ขนานกับผิวของดินถม



รูป 2.6 ความดันดินด้านข้างทฤษฎี Rankine [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข ,2553]

- 1) back side vertical
- 2) back side inclined

สำหรับดินเม็ดหยาบด้านหลังกำแพงกันดิน ที่สภาวะเริ่มต้น ดินจะอยู่ในสภาวะอยู่นิ่ง (at rest) สถานะของความเค้นประสิทธิผลแสดงได้ดังวงกลม a (รูป 2.6) เมื่อกำแพงกันดินเริ่มเคลื่อนตัวออกจากมวลดิน ความเค้นประสิทธิผลในแนวนอนจะมีค่าน้อยลง ขณะที่ความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้งมีค่าประมาณคงที่ ทำให้วงกลมมอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ตามการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน และสัมผัสเส้นขอบเขตความแข็งแรง (failure envelope) โดยมีค่าความดันดินด้านข้างประสิทธิผลเท่ากับ σ'_a ค่าความดันนี้ถูกนิยามว่าเป็นความดันประสิทธิผลที่สภาวะ active ของ Rankine (Rankine effective active pressure) ระบายพิบัติที่เกิดขึ้นในมวลดินจะทามุม $45^\circ + \frac{\phi}{2}$ องศา กับแนวนอน



รูป 2.7 วงกลมมอร์สถานะของความเค้นประสิทธิผลที่สภาวะ Active
[รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูล สุข ,2553]

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นหลักใหญ่และความเค้นหลักเล็กประสิทธิผลที่จุดพิบัติคือ

$$\sigma'_a = \sigma'_v \tan^2(45^\circ - \frac{\phi'}{2}) - 2c' \tan(45^\circ - \frac{\phi'}{2}) \quad (2.10)$$

ความเค้นหลักใหญ่ประสิทธิผล (σ'_1) เท่ากับ σ'_v และความเค้นหลักเล็กประสิทธิผล (σ'_3) เท่ากับ σ'_a

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 \tan^2(45^\circ + \frac{\phi'}{2}) + 2c' \tan(45^\circ + \frac{\phi'}{2}) \quad (2.11)$$

$$\sigma'_a = \sigma'_v K_a - 2c' \sqrt{K_a} \quad (2.12)$$

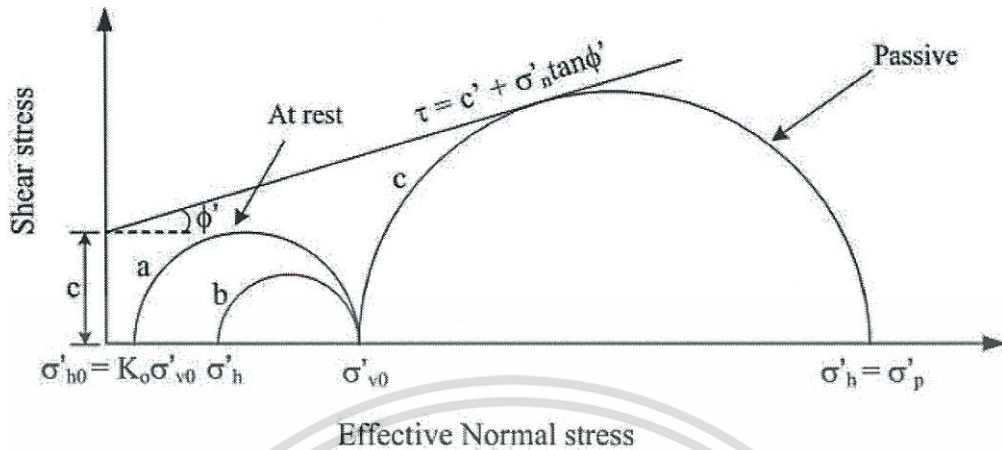
เมื่อ $K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi'}{2})$ คือ สัมประสิทธิ์ความดันดินประสิทธิผลที่สภาวะ active ของ Rankine

ถ้ากำแพงกั้นดินเคลื่อนที่เข้าหามวลดิน มวลดินจะเกิดการอัดตัวและมีค่าความดันในแนวอนเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดสภาวะพลาสติก (plastic state) ที่สภาวะนี้ความดันดินด้านข้างประสิทธิผลจะมีค่ามากที่สุดซึ่งเท่ากับความดันด้านข้างประสิทธิผลที่สภาวะ passive (σ'_p) ในขณะที่ความดันในแนวตั้งจะมีค่าประมาณคงที่

$$\sigma'_p = \sigma'_v K_p + 2c' \sqrt{K_p} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $K_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\phi'}{2})$ คือ สัมประสิทธิ์ความดันดินประสิทธิผลที่สภาวะ passive ของ Rankine



รูป 2.8 วงกลมมอร์สสถานะของความเค้นประสิทธิผลทั้ง 3 สภาวะ

[รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข, 2553]

สำหรับกรณีของดินเหนียวอิ่มตัวในสภาวะไม่ระบายน้ำ ความดันด้านข้างรวม (total lateral earth pressure) สามารถคำนวณได้โดยอาศัยขอบเขตความแข็งแรงรวม ซึ่งมุมเสียดทาน ภายในมีค่าเท่ากับศูนย์ ($\phi = 0$) ดังนั้น ความดันดินด้านข้างรวมที่สภาวะ active และ passive สามารถคำนวณได้จาก

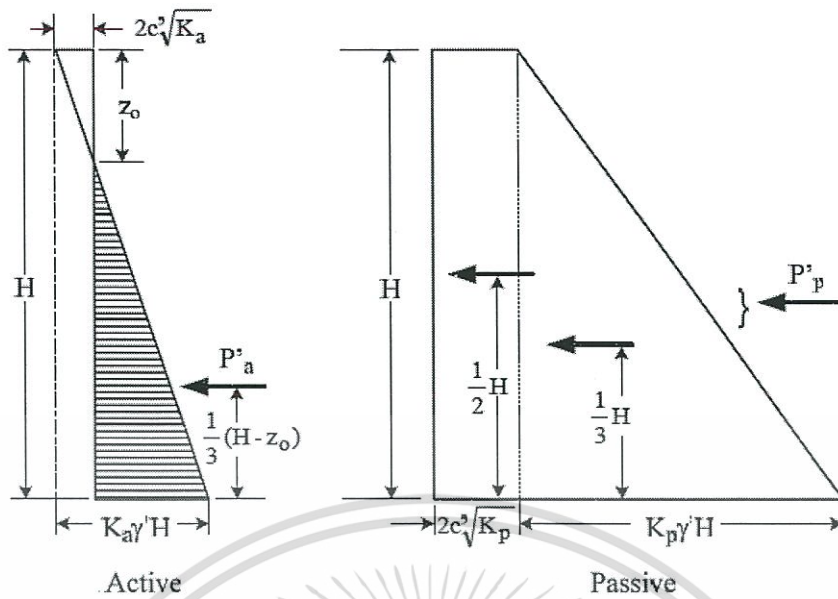
$$\sigma_a' = \sigma_v' - 2S_u \quad (2.14)$$

$$\sigma_p' = \sigma_v' + 2S_u \quad (2.15)$$

เห็นว่าความดันดินประสิทธิผลที่สภาวะ active และ passive มีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกในฟังก์ชันเส้นตรง (linear function) ถ้า $c' = 0$ การกระจายของความดันดินที่สภาวะ active จะมีรูปร่าง เป็นสามเหลี่ยมที่มีจุดยอด ($\sigma_a' = 0$) อยู่ที่ผิวดิน แต่เมื่อ c' มีค่ามากกว่า 0 ค่าของ σ_a' จะมีค่าเป็นลบ ที่ผิวดินและมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเป็นศูนย์ที่ความลึก z_0 ระยะจากผิวดินจนถึง z_0 เรียกว่า โซนแรง ดึง (tension zone) เมื่อ $\sigma_a' = 0$ จะได้

$$z_0 = \frac{2c'}{\gamma \sqrt{K_a}} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.9 แผนภูมิแรงดัน [รศ.ดร. สุขสันต์ ทอพิบูลสุข ,2553]

สำหรับดินถมที่เป็นดินเหนียวในสภาวะไม่ระบายน้ำ ($\phi = 0$) โชนแรงดึงสามารถเขียนในรูปของพารามิเตอร์กำลังรวมได้ดังนี้

$$z_0 = \frac{2su}{\gamma} \quad (2.17)$$

สัมประสิทธิ์ความดันดินด้านข้างเมื่อผิวของดินถมทำมุม β กับแนวนอนสามารถหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi'}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi'}} \quad (2.18)$$

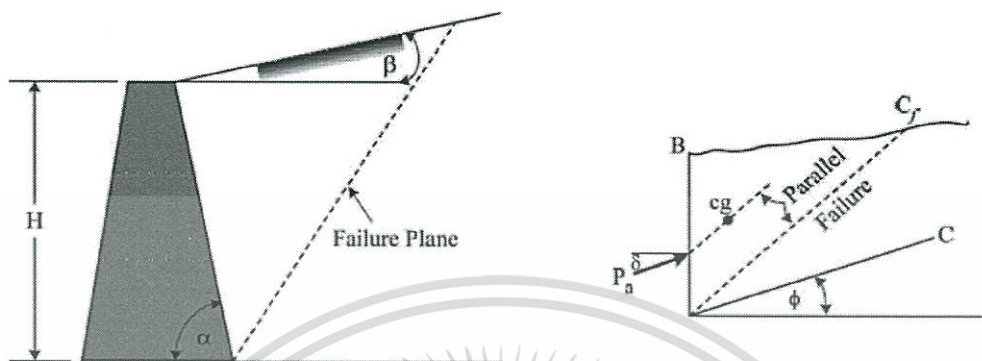
$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi'}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi'}} \quad (2.19)$$

2.1.2 ทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของ Coulomb

ทฤษฎีของ Coulomb สำหรับการศึกษาความดันดินด้านข้างได้ถูกพัฒนาขึ้นก่อนทฤษฎีของ Rankine ซึ่งสามารถใช้ได้กับกำแพงกันดินที่มีความเสียดทาน ระบายการวิบัติเริ่มจากฐานของกำแพงกันดิน ตำแหน่งของแรงลัพธ์เนื่องจากความดันดินที่สภาวะ Active หาได้จากการลากเส้นตรงจากจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์กลางมวลของลิ่ม ขนานกับระนาบวิบัติ จุดตัดของเส้นตรงนี้กับผนังกำแพงกันดินคือตำแหน่งของแรงลัพธ์ ทิศทางของแรงลัพธ์ทำมุม δ กับเส้นซึ่งตั้งฉากกับด้านหลังของผนัง เมื่อ δ คือมุมเสียดทานระหว่างผนังกำแพงและดิน



รูป 2.10 แบบจำลองทฤษฎีของ coulomb [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553]

สมการสำหรับการคำนวณความดันดินด้านข้างประสิทธิผลของ Coulomb มีดังต่อไปนี้

$$P_a' = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \tag{2.20}$$

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \beta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \tag{2.21}$$

เมื่อ α คือ มุมด้านหลังกำแพงกันดินที่กระทำกับแนวราบ

δ คือ มุมเสียดทานระหว่างผนังกำแพงและดิน

β คือ มุมระหว่างผิวของดินถมกับแนวราบ

$$P_p' = \frac{1}{2} \gamma' H^2 K_p \tag{2.22}$$

$$K_p = \frac{\sin(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \beta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \tag{2.23}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากทฤษฎีของ Coulomb เป็นวิธีที่ใช้หาความดันดินด้านข้างโดยใช้สัมประสิทธิ์ความดันดินด้านข้าง ดังนั้น วิธีการนี้จึงไม่สามารถใช้กับดินถมที่มีน้ำหนักภายนอกกระทำ

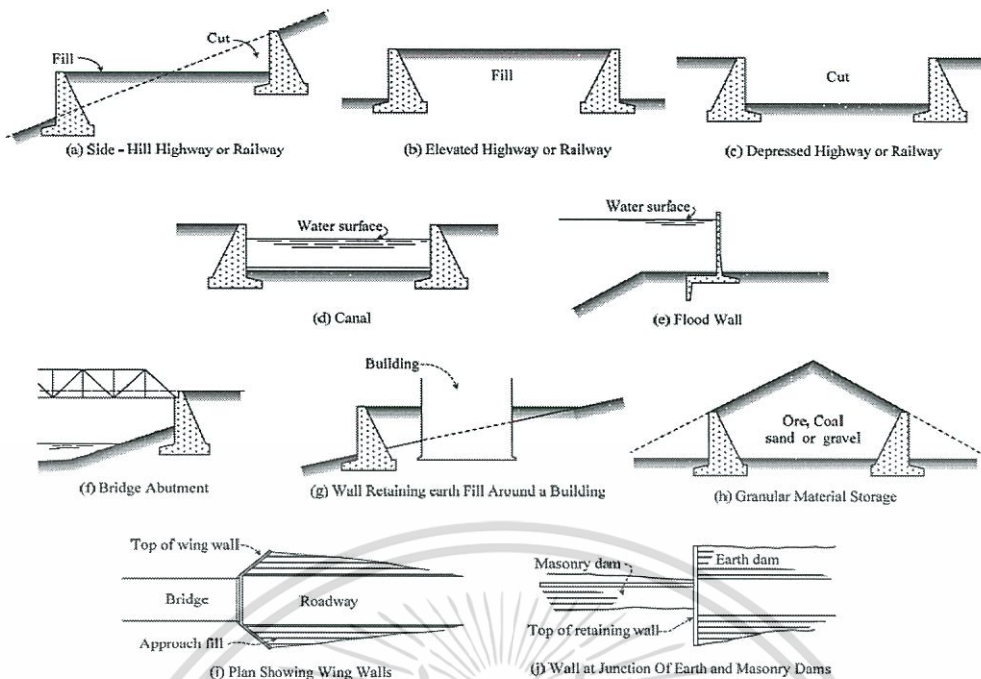
ทฤษฎีของ Rankine และ Coulomb สมมติว่าระนาบพิบัติเป็นแนวเส้นตรง สมมติฐานนี้มีได้เป็นจริงเสมอไปที่สภาวะ active ความดันดินที่คำนวณมีความแตกต่างจากความเป็นจริงไม่มากนัก แต่ที่สภาวะ passive ผลคำนวณมีความแตกต่างค่อนข้างสูง และให้ผลคำตอบที่ไม่ปลอดภัย (ผลคำนวณมีค่าสูงกว่าความเป็นจริงมาก) Terzaghi (1954) พบว่าที่สภาวะ active ระนาบพิบัติมีลักษณะเกือบเป็นแนวเส้นตรงก็ต่อเมื่อมุมเสียดทานภายในระหว่างดินและกำแพงกันดิน (δ) มีค่าน้อยกว่า $\phi/3$ แต่อย่างไรก็ตามระนาบพิบัติที่สภาวะ passive จะมีความแตกต่างจากสมมติฐานของ Rankine และ Coulomb อย่างมาก เมื่อมุม δ มีค่ามากกว่า $\phi/3$ ^[1]

2.2 โครงสร้างกันดิน

รศ.ดร.วรากร ไ้ม้เรียง (2550) กล่าวว่า โครงสร้างกันดิน คือ โครงสร้างที่รับแรงดันดินด้านข้างซึ่งเกิดจากระดับดินที่ต่างกัน เมื่อมีการก่อสร้าง หรือสภาพธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงที่ทำให้เกิดระดับดิน ที่ต่างกันและมีความลาดชันมากกว่าที่ดินจะคงตัวอยู่ได้อย่างปลอดภัย ก็จะเกิดการเคลื่อนพังทลายของมวลดิน และถ้าหากมีผลต่อการใช้งานของลาดดิน เช่น บ่อก่อสร้างฐานราก ลาดดินตัดหรือดินถม ช่องทางระบายน้ำของเขื่อน ริมตลิ่งแม่น้ำ เป็นต้น วิศวกรต้องทำการออกแบบโครงสร้างกันดินแบบต่างๆที่เหมาะสม เพื่อที่จะป้องกันการพังทลายหรือการเคลื่อนตัวที่มากเกินไป เพื่อให้สิ่งก่อสร้างที่เกี่ยวข้องสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ โดยต้องเลือกรูปแบบและชนิดโครงสร้างกันดินให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ลักษณะการใช้งาน ทำการก่อสร้างได้ และต้องประหยัด^[2]

2.2.1 กำแพงกันดิน (Retaining Wall)

เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่ใช้ประคองมิให้เกิดการพังทลาย หรือเลื่อนไถลของดิน หรือน้ำหนักอื่นๆที่มีระดับต่างกัน ส่วนมากจะทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก นอกจากนี้อาจเป็นไม้หรือเหล็ก แต่อาจมีปัญหาเรื่องการผุกร่อน วัตถุประสงค์ของการใช้กำแพงกันดินโดยทั่วไปแสดงไว้ดังรูป 2.11 ซึ่งบางครั้งไม่ได้ใช้เฉพาะกันดินเพียงอย่างเดียว แต่เป็นน้ำ หรืออย่างอื่น เช่น ถ่านหินหรือแร่^[3]



รูป 2.11 รูปแบบการใช้กำแพงกันดินโดยทั่วไป [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข, 2553]^[1]

2.2.1.1 ชนิดของกำแพงกันดิน

กำแพงกันดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

- 1) Gravity walls ทำด้วยหิน อิฐ หรือคอนกรีต กำแพงกันดินชนิดนี้ใช้น้ำหนักของตัวเองต้านทานแรงดันของดิน

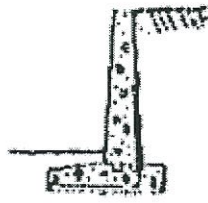


Gravity walls

รูป 2.12 กำแพงกันดิน Gravity walls [กันยาณี ตรงชื่น, 2543]

- 2) Semi-gravity walls ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมีฐานของกำแพงบางส่วนยื่นเข้าไปในดิน

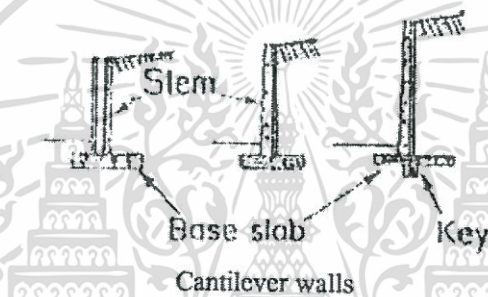
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Semi-gravity walls

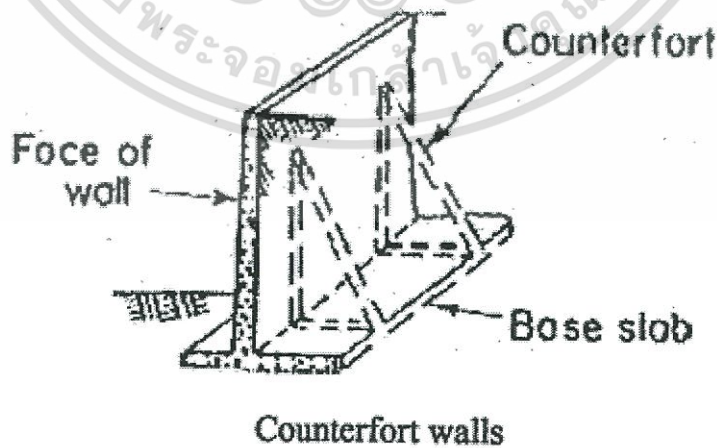
รูป 2.13 กำแพงกันดิน Semi-gravity walls [กันยาณี ตรงขึ้น,2543]

3) Cantilever walls ใช้น้ำหนักของดินที่อยู่บนฐานคอนกรีตเสริมเหล็กช่วยให้เสถียรภาพดีขึ้น เป็นกำแพงที่ประหยัดและใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ชนิดหนึ่ง



รูป 2.14 กำแพงกันดิน Cantilever walls [กันยาณี ตรงขึ้น,2543]

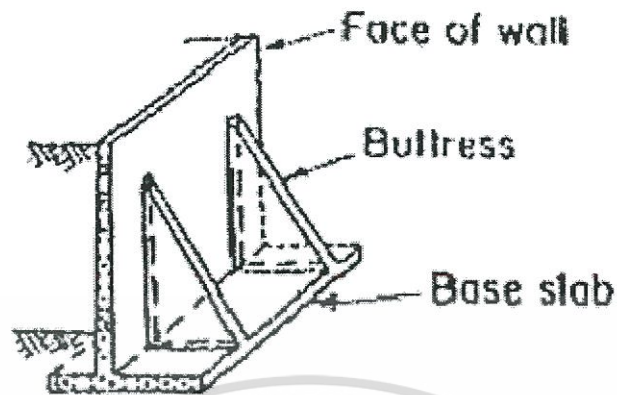
4) Counterfort walls จะมีครีบอกอยู่ด้านหลังของกำแพงหรือด้านดินถม ทำหน้าที่รับแรงดึงช่วยยึดกำแพงแนวตั้งไว้กับฐาน เหมาะสำหรับกำแพงที่สูง



รูป 2.15 กำแพงกันดิน Counterfort walls [กันยาณี ตรงขึ้น,2543]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

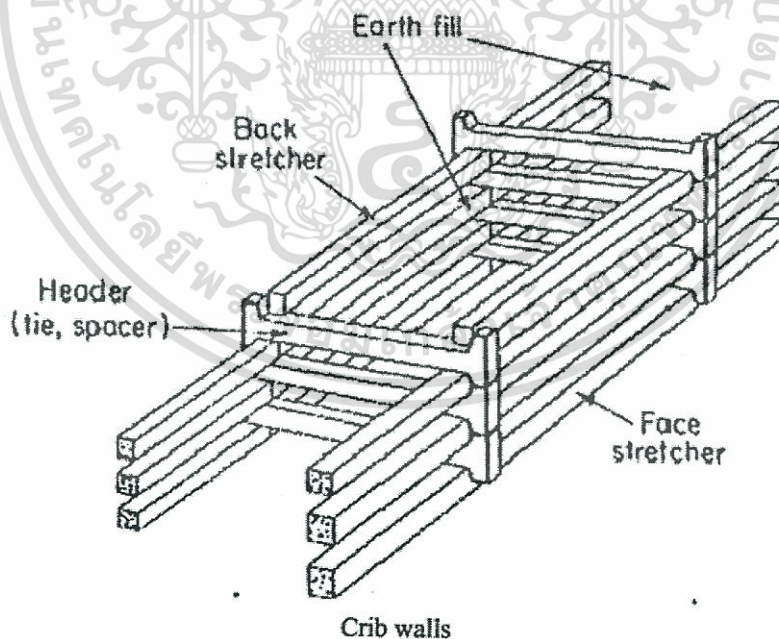
5) Buttressed walls จะมีครีบด้านหน้ากำแพงรับแรงอัด ช่วยยึดกำแพงแนวตั้งเข้ากับฐาน ไม่ค่อยนิยมใช้เพราะครีบทำให้เสียพื้นที่ด้านหน้า



Buttressed walls

รูป 2.16 กำแพงกันดิน Buttressed walls [กันยาณี ตรงขึ้น,2543]

6) Crib walls ใช้กับกำแพงที่ไม่สูง และมีแรงดันดินน้อย ทำด้วยคอนกรีตอัดแรง หรือไม้ หรือเหล็ก^[3]



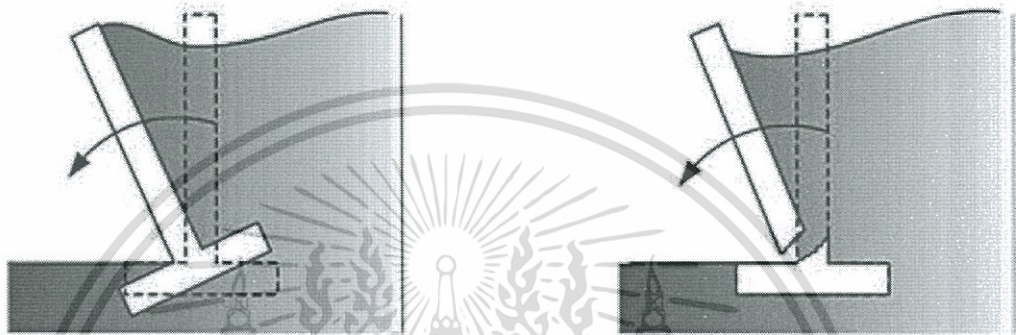
รูป 2.17 กำแพงกันดิน Crib walls [กันยาณี ตรงขึ้น,2543]^[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 การพิบัติของกำแพงกันดิน

การออกแบบกำแพงกันดินต้องคำนึงถึงสิ่งสำคัญสองประการ ดังนี้

- 1) กำแพงต้องมีเสถียรภาพภายนอก (external stability) ซึ่งหมายความว่ากำแพงกันดินต้องตั้งตั้งในตำแหน่งเดิม
- 2) กำแพงกันดินต้องมีเสถียรภาพภายใน โดยต้องความสามารถต้านความเค้นที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างโดยปราศจากการพังทลาย



ก)

ข)

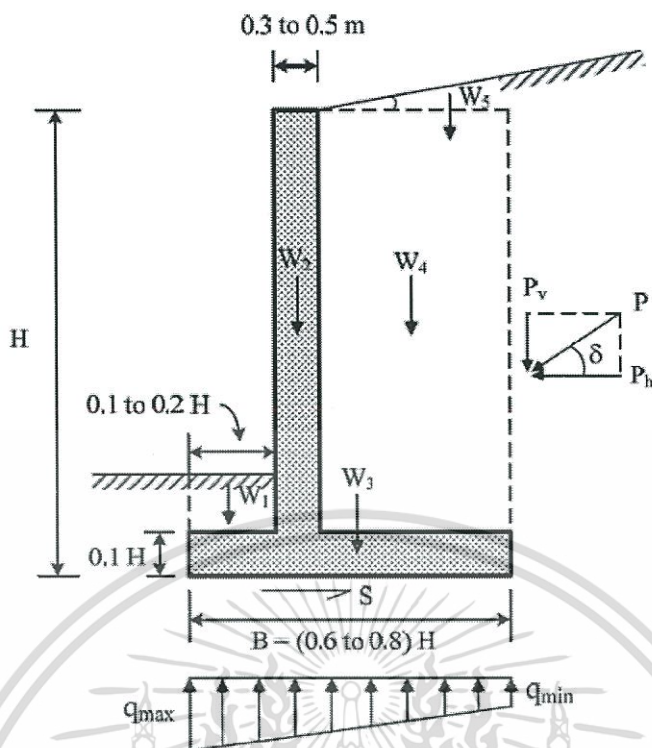
รูป 2.18 กำแพงกันดินขาดเสถียรภาพ [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข, 2553]

ก) กำแพงกันดินขาดเสถียรภาพภายนอก

ข) กำแพงกันดินขาดเสถียรภาพภายใน

2.2.1.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพภายนอกของกำแพงกันดิน

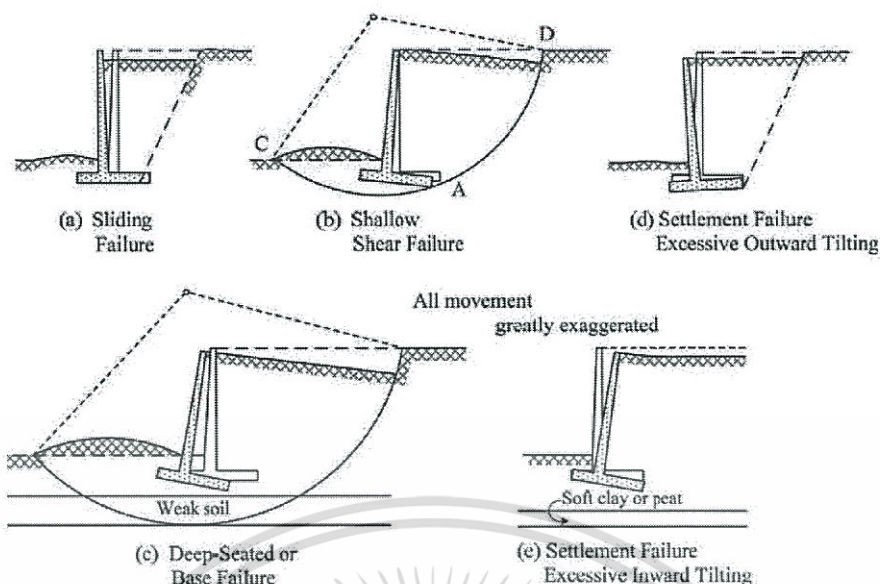
วิธีการออกแบบกำแพงกันดินด้านการพิบัติภายนอก คือ การสมมติขนาดและรูปร่างของกำแพงกันดินตั้งรูป และทำการตรวจสอบเสถียรภาพของกำแพง ถ้าพบว่าเสถียรภาพของกำแพงกันดินมีค่าต่ำหรือไม่เพียงพอ ก็ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างใหม่และทำการตรวจสอบอีกครั้ง ขั้นตอนนี้จะถูกทำซ้ำๆ จนกระทั่งพบว่ากำแพงกันดินที่ออกแบบมีเสถียรภาพเพียงพอต่อการใช้งาน



รูป 2.19 การสมมติขนาดและรูปร่างกำแพงกันดิน [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข, 2553]

กำแพงกันดินจะมีเสถียรภาพภายนอก เมื่อกำแพงกันดินไม่มีการเคลื่อนตัวในสามทิศทาง อันได้แก่ ในแนวนอน (การเลื่อนไถล) ในแนวตั้ง (การทรุดตัวที่มากกว่าปกติ และการพิบัติเนื่องจากแรงแบกทานของดินใต้ฐานราก) และการพลิกคว่ำ

การออกแบบเป็นการตรวจสอบเสถียรภาพของการเคลื่อนตัวในสามทิศทางนี้ เพื่อให้ได้อัตราส่วนปลอดภัยที่เหมาะสม การตรวจสอบการเคลื่อนตัวในแนวนอนและการพลิกคว่ำ อาศัยหลักการความสถิต (Law of statics) สำหรับการตรวจสอบการเคลื่อนตัวในแนวตั้งนั้นอาศัย ทฤษฎีกำลังรับแรงแบกทานของดิน



รูป 2.20 การพิบัติของกำแพงกันดิน [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข, 2553]

1) อัตราส่วนปลอดภัยด้านการลื่นไถล

อัตราส่วนปลอดภัยด้านการลื่นไถล คือ อัตราส่วนระหว่างแรงต้านทานการลื่นไถล (sliding resistance force) ต่อแรงกระทำ (sliding force) แรงต้านทานการลื่นไถล คือ ผลคูณของแรงเสียดทานในแนวตั้งที่กระทำต่อฐานของกำแพงกันดินกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (coefficient of friction) ระหว่างฐานของกำแพงกันดินและดินด้านใต้ฐาน ส่วนแรงที่กระทำให้เกิดการลื่นไถล ส่วนมากจะเป็นแรงในแนวนอนเนื่องจากแรงดันด้านข้างของดิน Backfill แรงต้านทานการลื่นไถล (S) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{สำหรับฐานรากที่เป็นทราย} \quad S = \Sigma V \tan(0.67\phi') \quad (2.24)$$

$$\text{สำหรับฐานรากที่เป็นดินเหนียว} \quad S = \frac{2}{3} S_u B \quad (2.25)$$

เมื่อ $\Sigma V = W_1 + W_2 + \dots + W_i + P_v$

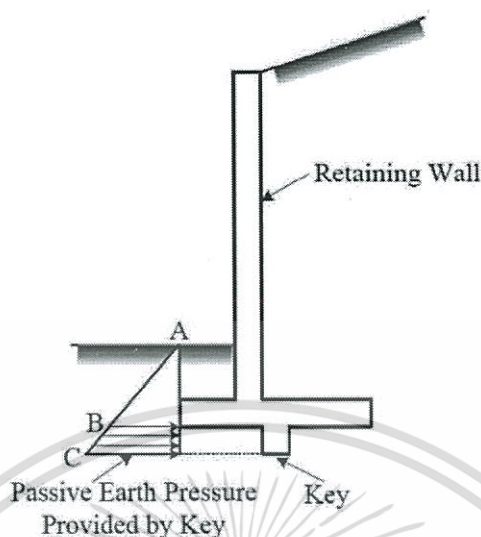
S คือ แรงต้านการลื่นไถล

S_u คือ กำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน

B คือ ความกว้างของฐานราก

ถ้าในการออกแบบพบว่ากำแพงกันดินแบบฐานเรียบ (flat-bottomed wall) มี อัตราส่วนปลอดภัยไม่เป็นไปตามที่ต้องการ อาจทำการสร้างตัวต้านทานการลื่นไถลที่เรียกว่า key ที่ฐานของกำแพงกันดิน ดินด้านหน้าของ key ทำหน้าที่ต้านทานการลื่นไถลในฐานะของความดันที่สถานะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

passive ดังแสดงโดยโซน BC แต่อย่างไรก็ตาม ดินด้านหน้าของ key อาจจะหายไป เนื่องจากการกัดเซาะ ดังนั้น ตัว key นี้จะมีประสิทธิผลอย่างมากถ้าถูกสร้างได้ดินแข็งหรือหิน



รูป 2.21 แรงต้านที่กระทำเนื่องจากด้าน passive [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข, 2553]

2) อัตราส่วนปลอดภัยด้านการพลิกคว่ำ

อัตราส่วนปลอดภัยด้านการพลิกคว่ำหาได้จากอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำทั้งหมด (Total righting moment, M_r) ต่อโมเมนต์ทั้งหมดที่ก่อให้เกิดการพลิกคว่ำ (Total overturning moment, M_o) ที่สภาวะสมดุลและการพลิกคว่ำเริ่มเกิดพอดี แรงปฏิกิริยา ระหว่างดินและกำแพงกันดินจะอยู่ที่จุด Toe พอดี ดังนั้น เพื่อความสะดวกในการคำนวณ (ไม่ต้อง พิจารณาผลของแรงปฏิกิริยา) โมเมนต์ที่ก่อให้เกิดการพลิกคว่ำ และโมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำ ทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$M_o = P_h \times \frac{H}{3} \quad (2.26)$$

$$\Sigma M_r = M_{r1} + M_{r2} + \dots + M_{rn} + (P_v \times B) \quad (2.27)$$

เมื่อ $M_{ri} = W_i x_i$

M_r คือ โมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำ

M_o คือ โมเมนต์ที่ก่อให้เกิดการพลิกคว่ำ

P_h คือ แรงดันดินด้านข้างรวมที่กระทำต่อกำแพง

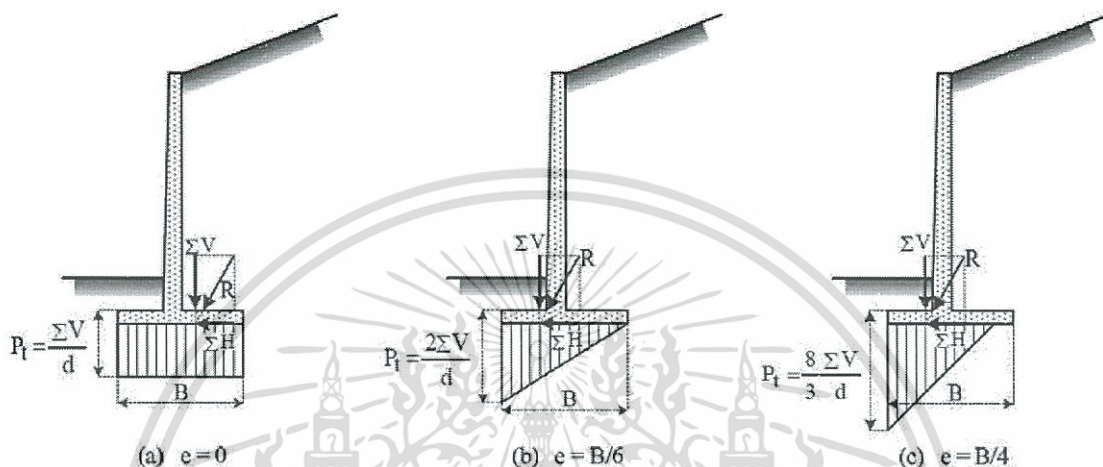
P_v คือ แรงกระทำแนวตั้ง

x_i คือ ระยะในแนวนอนที่วัดจากจุด Toe จนถึง W_i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) อัตราส่วนปลอดภัยด้านการพิบัติ

อัตราส่วนปลอดภัยด้านการพิบัติเนื่องจากแรงแบกทานของดิน หาได้จาก อัตราส่วนระหว่างกำลังรับแรงแบกทานประลัย (ultimate bearing capacity) ต่อความดันที่มากที่สุด ที่กระทำต่อฐานของกำแพงกันดิน (actual maximum contact pressure) แรงในแนวนอนอันเนื่องจากแรงดันด้านข้างของดินมักก่อให้เกิดโมเมนต์ในฐานรากของกำแพงกันดิน ซึ่งอาจส่งผลให้ความเค้นในดินใต้ฐานรากไม่สม่ำเสมอ



รูป 2.22 แรงที่กระทำใต้ฐานกำแพงกันดิน [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข, 2553]

4) ระยะเยื้องศูนย์กลางและความดันดินใต้ฐานราก

ระยะเยื้องศูนย์กลาง (e) และความดันดินใต้ฐานราก สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.28), (2.29) และ (2.30) จากประสบการณ์การออกแบบ ควรทำการตรวจสอบการเสถียรภาพเนื่องจากการพิบัติของดินฐานรากและระยะเยื้องศูนย์กลางก่อนการตรวจสอบเสถียรภาพด้านอื่น เนื่องจากเสถียรภาพด้านนี้จะเป็นตัววิกฤติที่สุด

$$e = \frac{B}{2} - \left(\frac{\Sigma Mr - Mo}{\Sigma V} \right) < \frac{B}{6} \quad (2.28)$$

$$q_{\max} = \left(\frac{\Sigma V}{B} \right) \left(1 + \frac{6e}{B} \right) < q_{\text{all}} \quad (2.29)$$

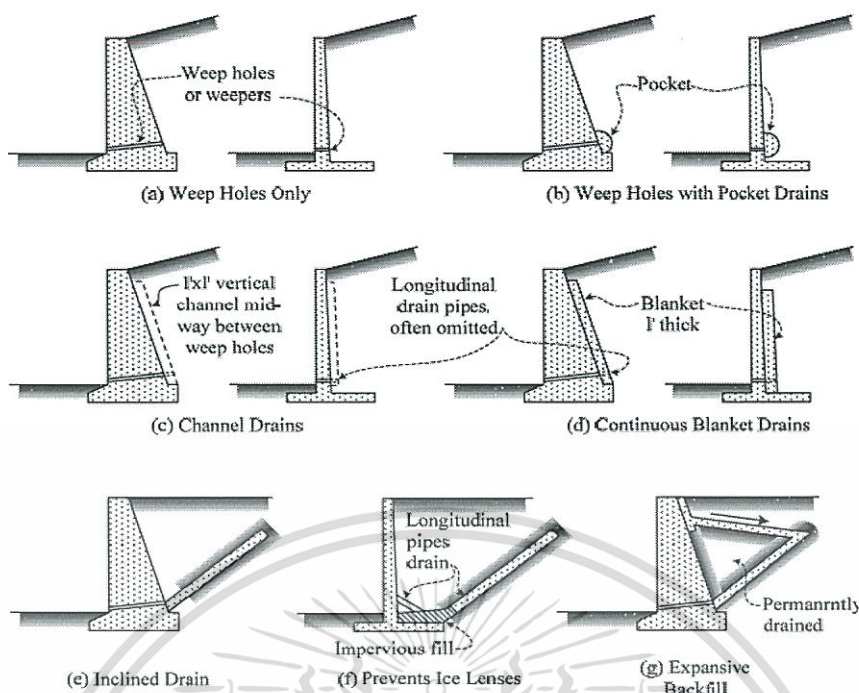
$$q_{\min} = \left(\frac{\Sigma V}{B} \right) \left(1 - \frac{6e}{B} \right) > 0 \quad (2.30)$$

ตาราง 2.1 อัตราส่วนปลอดภัยที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดิน ควรไม่น้อยกว่าค่าที่แสดง [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553]

กรณี	อัตราส่วน ความ ปลอดภัย	หมายเหตุ	อ้างอิง
การลื่นไถล	1.5	สำหรับกรณีที่ไม่พิจารณาความดันดินด้านข้างที่สภาวะ passive ที่ด้านหน้าของกำแพงกันดิน	Goodman and Karol(1968)
	2.0	สำหรับกรณีที่พิจารณาความดันดินด้านข้างที่สภาวะ passive ที่ด้านหน้าของกำแพงกันดิน	Goodman and Karol(1968)
การพลิกคว่ำ	1.5	สำหรับ Backfill ที่เป็นดินเม็ดหยาบ	Teng (1962)
	2.0	สำหรับ Backfill ที่เป็นดินเม็ดละเอียด	Teng (1962)
พิบัติแบบกำลังรับแรงเสียดทาน	3.0	-	Teng (1962)

เนื่องจากน้ำ มักเป็นตัวปัญหาอย่างมากต่อเสถียรภาพภายนอกของกำแพงกันดินผู้ออกแบบส่วนใหญ่จึงมักจัดวางระบบระบายน้ำ เพื่อลดความดันน้ำอันเกิดเนื่องมาจากความดันน้ำส่วนเกินและน้ำท่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

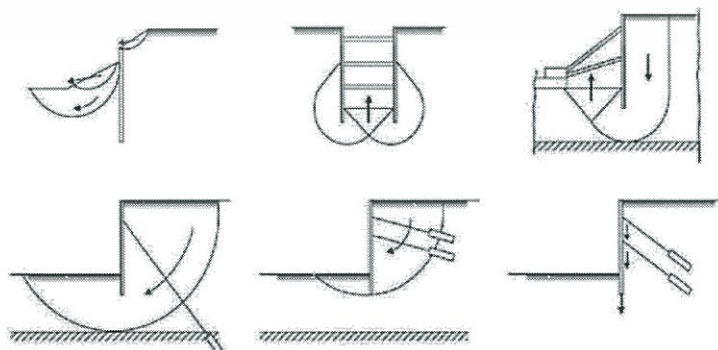


รูป 2.23 ระบบระบายน้ำด้านหลังกำแพงกันดินรูปแบบต่างๆ

[รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553]

2.2.2 เข็มพืด (sheet pile)

เข็มพืดเป็นแผ่นเหล็กยาวที่มีความกว้างประมาณ 30 เซนติเมตร ถึง 50 เซนติเมตร เข็มพืดจะถูกนำมาต่อกันเป็นแนวยาวตามแนวดินเพื่อใช้เป็นโครงสร้างกันดินและน้ำ เข็มพืดยังสามารถใช้ร่วมกับระบบค้ำยัน (ซึ่งอาจเป็นไม้หรือเหล็ก) เป็นโครงสร้างชั่วคราวสำหรับงานก่อสร้างใต้ดิน เช่น งานวางท่อน้ำ โครงสร้างกันดิน และงานโครงสร้างใต้ดิน แต่ถึงแม้ว่าระบบค้ำยันจะมีความแข็งแรงเพียงใดก็ตาม เข็มพืดเป็นแผ่นเหล็กที่มีความหนาไม่มาก หากใช้เป็นโครงสร้างกันดินในงานดินชนิดที่มีความลึกมาก หรือใช้เป็นโครงสร้างกันการเคลื่อนตัวของอาคารข้างเคียงที่มีขนาดใหญ่อาจก่อให้เกิดการเสียรูปของเข็มพืดและส่งผลให้เกิดเคลื่อนตัวของดินอย่างมาก เพื่อหลีกเลี่ยงการเคลื่อนตัวที่มาก เราอาจใช้เสาเข็มเจาะหรือเสาเข็มดินซีเมนต์เป็นโครงสร้างกันดินได้^[4]



รูป 2.24 การขาดเสถียรภาพภายนอกของเข็มพืดที่ตั้งอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน

[รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553]^[4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษองานนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 ลักษณะการใช้งานของเข็มพืด

ข้อดี 1) ตอกก่อนที่จะมีการขุดดิน

2) หน้าตัดบาง จึงไม่กระทบกระเทือนดิน

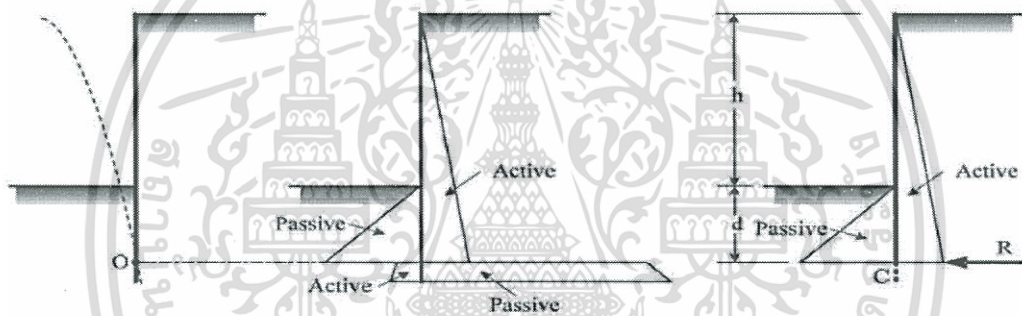
ข้อเสีย 1) Section modulus น้อยจึงมีการแอ่นโค้งง่าย ทำให้พื้นดินโดยรอบเคลื่อนตัว

2) ต้องมีสมอยึด หรือค้ำยันเมื่อมีความลึกมาก^[2]

2.2.2.2 เสถียรภาพของเข็มพืด

1. Cantilever Sheet Pile Wall

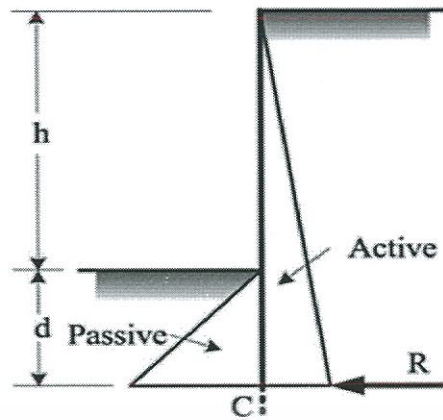
เข็มพืดมักถูกนำมาใช้เมื่อดินถมด้านหลังเข็มพืดมีความสูงไม่มากนักเสถียรภาพ ของเข็มพืดชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความต้านทานที่สถานะ passive ของดินใต้ระดับผิวดิน (dredge line)



รูป 2.25 ความดันดินด้านข้างที่กระทำต่อ Cantilever Sheet Pile Wall

[รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข, 2553]

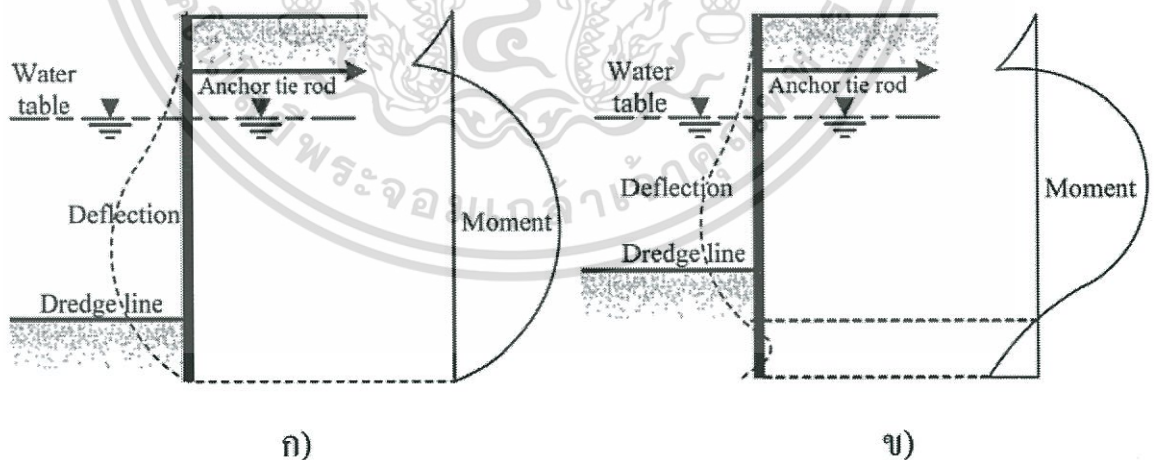
การออกแบบเข็มพืดโดยทั่วไปมักทำโดยวิธีที่เรียกว่า simplification ซึ่งแทนแรงลัพธ์ที่สถานะ passive ใต้จุด O ด้วยแรง R กระทำที่จุด C (อยู่ต่ำกว่าจุด O เล็กน้อย) ซึ่ง จุด C นี้อยู่ที่ความลึก d ใต้ระดับดินขุด ความลึก d สามารถหาได้โดยอาศัยหลักสมดุลของโมเมนต์รอบจุด C โดยพิจารณาค่าแรงต้านทานด้านหน้าเข็มพืดเท่ากับแรงต้านทานที่สถานะ passive (P_p) หากด้วยอัตราส่วนปลอดภัย ดังนั้นค่าระยะฝัง (depth of embedment) ของเข็มพืดที่ต้องการจึงควรมีค่าไม่น้อยกว่า $1.2d$ แรง R สามารถหาได้โดยอาศัยหลักสมดุลในแนวนอน



รูป 2.26 พฤติกรรมที่กระทำต่อเข็มพืด [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553]

2. Anchored Sheet Pile Wall

เมื่อ Backfill หลังกำแพงเข็มพืดมีความสูงมาก (เกินกว่า 6 เมตร) อาจมีการติดตั้งตัวเพิ่มความมั่นคงซึ่งเรียกว่าตัวค้ำ (tie-back or prop) ที่ด้านบนของเข็มพืดเป็นช่วงๆ การทำเช่นนี้จะเป็นการประหยัดกว่าการใช้ cantilever sheet pile wall กำแพงกันดินระบบนี้เรียกว่า anchored sheet pile วิธีการคำนวณหาเสถียรภาพของกำแพงกันดินชนิดนี้มีด้วยกัน 2 วิธีคือ Free earth support method และ fixed earth support method วิธี free earth support method จะเป็นวิธีที่หาระยะฝังที่น้อยที่สุดที่ไม่ทำให้เกิดการหมุนในตัวเข็มพืดตั้งนั้นจุดรองรับที่ปลายเข็มพืดถูกพิจารณาเป็นแบบหมุด (pin)



รูป 2.27 การกระจายของการเสียรูปและโมเมนต์ของ Anchored sheet pile wall

[รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข, 2553]

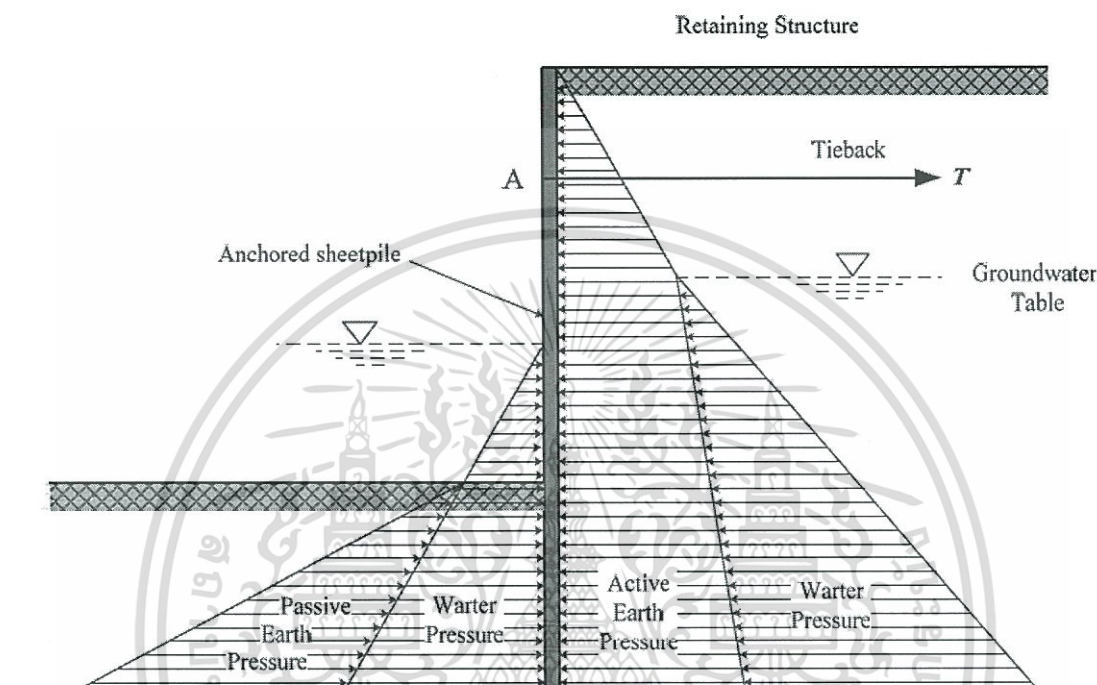
ก) free earth support method

ข) fixed earth support method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Free earth support method

วิธีการนี้จะสมมติว่าความลึกของระยะฝังได้ระดับการขุดออกของดิน (excavation level or Dredge line) ไม่มากเพียงพอที่จะทำให้เกิดสภาวะอยู่กับที่ (fixity) ที่จุดปลายของเข็มพืด ดังนั้น เข็มพืดจะอิสระต่อการหมุนที่จุดปลาย ลักษณะการพิบัติจะเป็นการหมุนรอบจุดต่อของตัวค้ำ (tie) กับ เข็มพืดที่จุด A



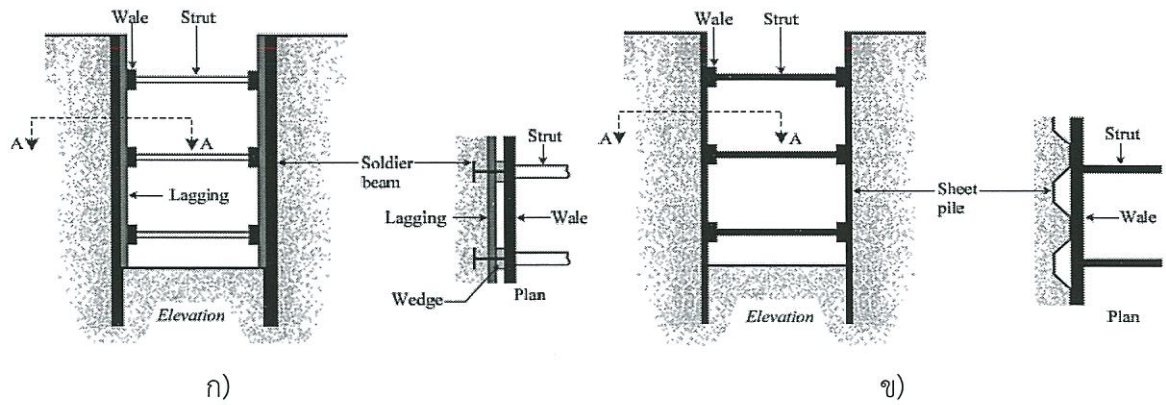
รูป 2.28 แรงที่กระทำต่อเข็มพืดเมื่อหาโมเมนต์ [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข, 2553]

สิ่งที่สำคัญที่สุดในการออกแบบคือโมเมนต์ด้านการหมุนรอบจุด A ต้องมากกว่า โมเมนต์ที่ทำให้เกิดการหมุน ระยะฝังที่ต้องการ (d) สามารถหาได้โดยหลักการที่ว่าผลรวมของ โมเมนต์รอบจุด A ต้องเท่ากับศูนย์การวิเคราะห์ลักษณะนี้จะเกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาของตัวแปรยกกำลังสอง หลังจากได้ค่า d แรงที่กระทำในตัวค้ำ (T) สามารถคำนวณได้โดยอาศัยหลักสมดุลของ แรงในแนวนอน (ผลรวมของแรงทั้งหมดในแนวนอนต้องเท่ากับศูนย์) และทำสุดการออกแบบ หน้าตัดของ เข็มพืดสามารถกระทำได้โดยอาศัยแผนภาพการกระจายโมเมนต์ระยะฝังควรเป็นค่าที่ เพิ่มขึ้นจาก ระยะ d อีก 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ได้ระยะฝังที่เพียงพอสำหรับสภาวะอยู่กับที่ (fixity) ระยะฝังควรมี ค่าไม่น้อยกว่า 1.2

2.2.3 แผงเข็มพืดที่มีค้ำยันหลายระดับ (Braced Cuts)

กำแพงกันดินระบบนี้เหมาะกับงานขุดที่มีความลึกมาก เสถียรภาพของกำแพงกันดินจะ ขึ้นอยู่กับตัวค้ำยัน (Strut) ที่กระทำตามขวางของดินขุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



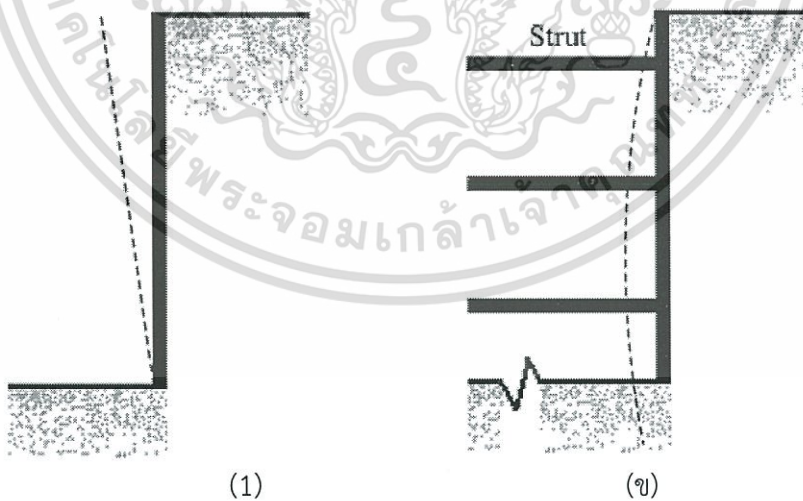
รูป 2.29 ชนิดของ Braced cut [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553]

ก) การประยุกต์ใช้ของคาน

ข) การประยุกต์ใช้ของเข็มพืด

กำแพงกันดินแบบ Cantilever sheet pile มีแนวโน้มที่จะเกิดการหมุนที่ปลายของเข็มพืดเมื่อต้านรับดินถม และแรงดันด้านข้างสามารถประมาณได้โดยอาศัยทฤษฎีของ Rankine หรือ Coulomb ลักษณะการกระจายความดันด้านข้างของ Cantilever sheet pile ไม่สามารถนำมาใช้กับ Braced cuts ได้ เนื่องจาก

ลักษณะการเสียรูปที่ความแตกต่าง การเสียรูปของกำแพงกันดินระบบ Braced cuts จะเพิ่มขึ้นตามความลึก



รูป 2.30 การเสียรูปของกำแพงกันดิน [รศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข,2553]

(1) กำแพงกันดินแบบ Cantilever sheet pile

(2) กำแพงกันดินระบบ Braced cuts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันดินด้านข้างที่ด้านบนจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่สภาวะอยู่นิ่ง (At rest) เนื่องจากเกิดการเคลื่อนตัวน้อย ในขณะที่ ด้านล่างของกำแพงกันดินจะเกิดการเคลื่อนตัวมาก และส่งผลให้ความดันดินด้านข้างมีค่าใกล้เคียงกับค่าความดันด้านข้างของ Rankine active earth pressure ความดันดินด้านข้างที่สภาวะ Active ที่ระดับเหนือระดับดินขุด (Excavation level) มีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎีของ Rankine มาก และเริ่มมีค่าใกล้เคียงกันที่ระดับดินต่ำกว่าระดับดินขุด ในขณะที่ความดันดินที่สภาวะ Passive ที่ได้จากการคำนวณและการวัดมีค่าใกล้เคียงกันมาก^[4]

2.3 วิธีลดการเคลื่อนตัวของกำแพง

- 1) เพิ่มสติเฟนสการตัด (EI) ของกำแพง เช่น เปลี่ยนจากกำแพงเข็มพืดเหล็กเป็นกำแพงเสาเข็มเจาะ ผิวน้ำผสม (CBP) กำแพงเสาเข็มเจาะซ้อน (SBP) หรือกำแพงไดอะแฟรม หากต้องการสติเฟนสการตัด สูงมาก อาจต้องใช้กำแพงไดอะแฟรมรูปตัวที (T-Shaped Diaphragm Wall)
- 2) ฝังตีนกำแพงลงในชั้นดินแข็งที่อยู่ใต้ระดับขุด อย่างไรก็ตามก็ดี ถ้าชั้นดินอ่อนหนามาก การเพิ่มความยาวของกำแพงลงไปถึงชั้นดินแข็งที่อยู่ลึกจากระดับขุดมาก จะไม่สามารถลดการเคลื่อนตัวได้มากนัก
- 3) เพิ่มระดับค้ำยันให้สูงขึ้น หรืออัดแรงในค้ำยัน
- 4) ใช้คานคอนกรีตขวาง (Cross Beams หรือ Cross Walls) ระหว่างกำแพงใต้ระดับขุด โดยเว้นระยะห่างตามความเหมาะสม คานคอนกรีตนี้จะต้องหล่อก่อนเริ่มงานขุดดิน
- 5) เปลี่ยนไปใช้ระบบกำแพงรูปวงกลม (Circular Shape)
- 6) ปรับปรุงคุณภาพดินก่อนงานขุดดิน เช่น ปรับปรุงดินใต้ระดับค้ำยัน เพื่อใช้รับแรงก่อนติดตั้งค้ำยันจริง
- 7) ลดความกว้างของงานขุดถ้าเป็นไปได้
- 8) ใช้คันดินเสริม (Berm)

2.4 การประเมินระดับความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารข้างเคียง

ตารางที่ 2.2 ระดับความเสียหายต่อโครงสร้างข้างเคียง^[5]

ประเภท	ระดับความรุนแรง	บรรยายความเสียหาย	ขนาดรอยแตก(มม.)	ความเครียดแรงดึง(%)
0	ไม่สำคัญ	รอยแตกบางเหมือนเส้นผม ไม่ต้องทำอะไร	<0.1	0 ถึง 0.05
1	น้อยมาก	รอยแตกขนาดเล็ก ซ่อมแซมรักษาได้ง่ายด้วยการตกแต่งธรรมดา ความเสียหายโดยมากเกิดขึ้นที่พื้นผิว กำแพงด้านใน หากตรวจสอบโดยละเอียดอาจพบรอยแตกบ้างที่งานก่ออิฐด้านนอก	0.1 ถึง 1	0.05 ถึง 0.075
2	น้อย	สามารถอุดรอยแตกได้ง่าย อาจต้องมีการตกแต่งใหม่ รอยแตกข้างสามารถปิดได้ด้วยวัสดุบุรอนที่เหมาะสม อาจเห็นรอยแตกภายนอก และอาจต้องเลาะปูนระหว่างอิฐแล้วอุดด้วยปูนใหม่เพื่อไม่ให้น้ำซึม ประตูและหน้าต่างอาจขีดเล็กน้อย	1 ถึง 5	0.075 ถึง 0.15
3	ปานกลาง	อาจต้องตัดแต่งรอยแตกและอุดปะ ต้องเลาะปูนระหว่างอิฐแล้วอุดด้วยปูนใหม่ ต้องเปลี่ยนอิฐใหม่บ้าง ประตูและหน้าต่างขีด ท่อประปาอาจแตก น้ำซึมผ่านได้	5 ถึง 15	0.15 ถึง 0.3
4	รุนแรง	งานซ่อมแซมเป็นบริเวณกว้างเกี่ยวกับการทุบและทำกำแพงบางส่วนใหม่ โครงประตูและหน้าต่างบิดเบี้ยว พื้นเอียงมากกว่า1/150 กำแพงเอียงหรือรูดคานหลายตัวอาจสูญเสียการรับน้ำหนัก ท่อประปาแตกใช้การไม่ได้	15 ถึง 25 แต่ขึ้นอยู่กับจำนวนด้วย	มากกว่า0.3
5	รุนแรงมาก	อาจต้องรื้ออาคารบางส่วนหรือทั้งหมด คานสูญเสียการรับน้ำหนัก กำแพงเอียงมากจนต้องใช้ค้ำยันช่วย หน้าต่างแตกและบิดเบี้ยว โครงสร้างขาดเสถียรภาพ และมีอันตราย	>25 แต่ขึ้นอยู่กับจำนวนด้วย	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การประมาณน้ำหนักอาคาร

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลน้ำหนักต่อหน่วยของวัสดุต่างๆโดยประมาณ^[10]

น้ำหนักบรรทุกคงที่ของวัสดุ	หน่วยน้ำหนักโดยประมาณ
1.คอนกรีตเสริมเหล็ก	2300- 2400 กก./ลบ.ม.
2.เหล็ก	7700 – 7900 กก./ลบ.ม.
3.ไม้	460 – 490 กก./ลบ.ม.
4.กระจก	2900 – 3000 กก./ลบ.ม.
5.น้ำ	1000 กก./ลบ.ม.
6. ผนังอิฐบล็อกรวมฉาบหนา 10 ซม.	120 – 150 กก./ตร.ม.
7. ผนังอิฐมอญรวมฉาบหนา 10 ซม.	180 – 200 กก./ตร.ม.
8.ผนังอิฐบล็อกมวลเบารวมฉาบหนา 10 ซม.	90 – 100 กก./ตร.ม.
9.ผนังเบา เช่น ไม้อัด, ยิปซัม รวมโครงคร่าว	20 – 40 กก./ตร.ม.
10.หลังคากระเบื้องลอนคู่, ลอนเล็ก รวมแป	12 – 15 กก./ตร.ม.
11.หลังคากระเบื้องโมเนีย, ดินเผาเคลือบ รวมระแนง	50 – 70 กก./ตร.ม.
12.โครงสร้างหลังคา	20 – 50 กก./ตร.ม.
13.ฝ้าเพดาน รวมโครงคร่าว	15 – 20 กก./ตร.ม.
14.พื้นไม้รวมตง	30 – 50 กก./ตร.ม.
15.พื้นสำเร็จรูปรวมคอนกรีตทับหน้า รวมหนา 10 ซม.	240 – 260 กก./ตร.ม.
16.กระเบื้องปูพื้นรวมปูนทราย หนา 5 ซม.	120 – 150 กก./ตร.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ระยะห่าง

ระยะห่างระหว่างกำแพงเข็มพืดและโครงสร้างอาคารข้างเคียงอ้างอิงจากกฎกระทรวง ฉบับที่ 55 (พ.ศ.2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 หมวด 4 แนวอาคารและระยะต่างๆของอาคาร ข้อ 49^[9] ดังนี้

“ข้อ 49 การก่อสร้างอาคารในบริเวณด้านข้างของห้องแถวหรือตึกแถว”

1. ถ้าห้องแถวหรือตึกแถวนั้นมีจำนวนรวมกันได้ตั้งแต่สี่คูหา หรือมีความยาวรวมกันได้ตั้งแต่ 40 เมตรขึ้นไป และอาคารที่จะสร้างขึ้นเป็นห้องแถวหรือตึกแถว ห้องแถวหรือตึกแถวที่จะสร้างขึ้นต้องห่างจากผนังด้านข้างของห้องแถวหรือตึกแถวเดิมไม่น้อยกว่า 4 เมตร แต่ถ้าเป็นอาคารอื่นต้องห่างจากผนังด้านข้างของห้องแถวหรือตึกแถวไม่น้อยกว่า 2 เมตร

2. ถ้าห้องแถวหรือตึกแถวนั้นมีจำนวนไม่ถึงสี่คูหาและมีความยาวรวมกันไม่ถึง 40 เมตร อาคารที่สร้างขึ้นจะต้องห่างจากผนังด้านข้างของห้องแถวหรือตึกแถวเดิมไม่น้อยกว่า 2 เมตร เว้นแต่การสร้างห้องแถวหรือตึกแถวต่อจากห้องแถวหรือตึกแถวเดิม

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 ศิริมาส วิเศษศรี (1998)

ศิริมาส วิเศษศรี (1998) ศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของเข็มพืด สำหรับงานชุดค้ำยันในดินเหนียวอ่อน โดยใช้โปรแกรม PLAXIS วิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางด้านของเข็มพืดในโครงการโรงพยาบาลเปาโล,โครงการไบหยก 2,โครงการเพนนิชูลาและโครงการศาลาแดง ^[6]

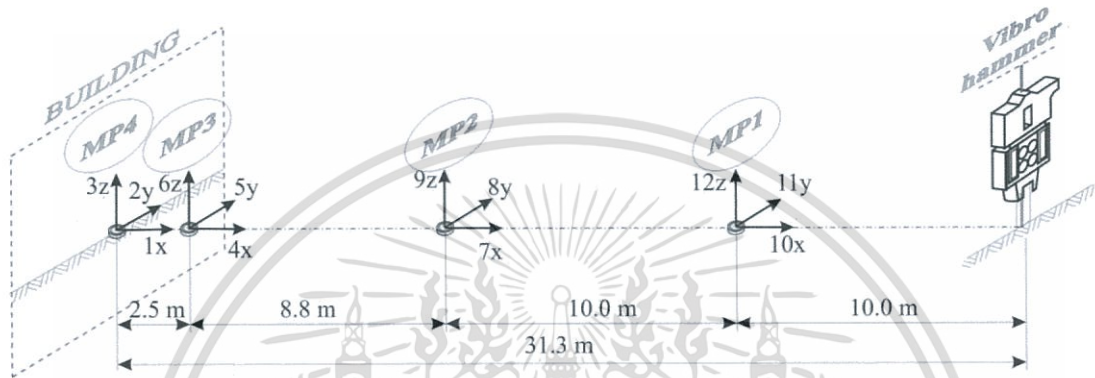
2.7.2 ณรงค์ ทศนิพนธ์,กมล สิงห์โตแก้ว,ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์ (2007)

ณรงค์ ทศนิพนธ์,กมล สิงห์โตแก้ว,ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์ (2007) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินที่เกิดจากการขุดดินเพื่อก่อสร้างห้องใต้ดิน พบว่าสามารถควบคุมปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินให้น้อยที่สุดได้ในขั้นตอนการออกแบบและขั้นตอนการก่อสร้าง โดยการเลือกระบบป้องกันดินและกำหนดวิธีการขุดดินตลอดจนวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในแต่ละโครงการ เพื่อให้ปริมาณการเคลื่อนตัวอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และลดผลกระทบต่อโครงสร้างข้างเคียง ^[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 Krzysztof Czech, Wojciech Gosk (2016)

Krzysztof Czech, Wojciech Gosk (2016) ได้ทำการวิเคราะห์แรงสั่นสะเทือนจากการถอนและตอกเข็มพืดที่ส่งผลต่อโครงสร้างอาคารใกล้เคียงโดยติดตั้งเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน 3 แกนห่างจากเข็มพืด 3 จุด และที่อาคารใกล้เคียงอีก 1 จุด พบว่าแรงสั่นสะเทือนส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารข้างเคียงทั้งตอนถอนและตอกเข็มพืด [8]



รูป 2.31 ตำแหน่งและระยะห่างจากจุดที่ทำการวัดแรงสั่นสะเทือน
[Krzysztof Czech, Wojciech Gosk ,2016]



รูป 2.31 เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน [Krzysztof Czech, Wojciech Gosk ,2016]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของกำแพงเข็มพืดจากอิทธิพลของอาคารข้างเคียงที่วางบนฐานรากตื้น และเพื่อวิเคราะห์หาระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างกำแพงเข็มพืดและอาคารที่อยู่ข้างเคียงที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งต่อโครงสร้างกันดินและอาคารข้างเคียง โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2 ศึกษาพฤติกรรมของเข็มพืดในแบบจำลอง

ทำการสร้างแบบจำลองโดยใช้อัตราส่วน 1 ต่อ 50 โดยจำลองเข็มพืดยาว 15 เมตร และระดับของดินทั้ง 2 ฝั่งของเข็มพืดต่างกัน 4 เมตร โดยลึก 25 เมตร และ 21 เมตร ตามลำดับ

3.2.1 การเก็บตัวอย่างดิน

เนื่องจากชั้นดินในกรุงเทพฯ เป็นดินที่ตกตะกอนอยู่บริเวณปากแม่น้ำ โดยลักษณะการเกิดของดินเหนียวอ่อนบริเวณน้ำแม่ตดินจะถูกพัดพาจากแม่น้ำลงสู่ทะเลและน้ำทะเลก็หนุนกลับเข้ามาตกตะกอน ทำให้ชั้นดินเหนียวอ่อนนั้นมีทั้งแบบตกตะกอนในแม่น้ำและในทะเล ซึ่งเป็นลักษณะการเกิดของดินเหนียวอ่อนบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างหรือที่เรียกว่าดินเหนียวกรุงเทพฯ (Bangkok Clay) โดยมีลักษณะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนหนาประมาณ 10-15 เมตร ชั้นถัดไปจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งและชั้นทรายสลับกันไป จึงทำการเก็บตัวอย่างดินเหนียวอ่อนมาใช้ในการทดลอง โดยทำการเก็บตัวอย่างดินมาจากบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ความลึก 4-5 เมตร ดินตัวอย่างเป็นดินที่ถูกรบกวน

3.2.2 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

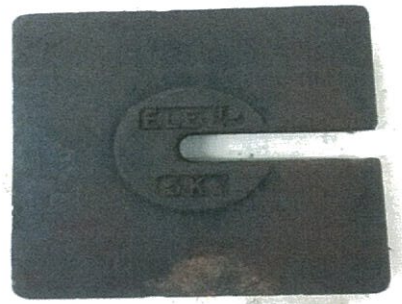
อุปกรณ์ที่ใช้ในแบบจำลอง

- 1) ดินตัวอย่างปริมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร
- 2) ใช้แผ่นสังกะสีขนาด 30*50 เซนติเมตร เพื่อเป็นกำแพงเข็มพืดจำลอง
- 3) ตู้แบบจำลอง ขนาด 50*90*90เซนติเมตร
- 4) Dial gauge
- 5) แผ่นเหล็กหนัก 1, 2, 5, 10 และ 20 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ดินตัวอย่าง



รูปที่ 3.2 แผ่นเหล็กหนัก 5 กิโลกรัม



รูปที่ 3.3 แผ่นกำแพงเข็มพืดจำลอง



รูปที่ 3.4 Dial Gauge



รูปที่ 3.5 ตู้แบบจำลอง

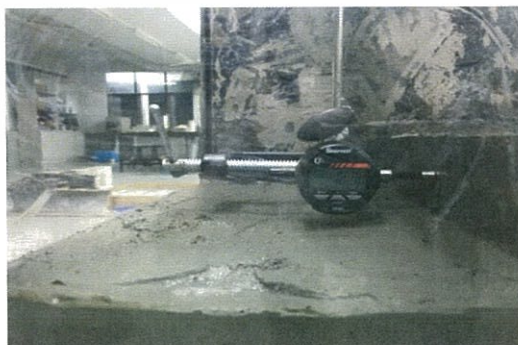
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์การทดลองในแบบจำลอง

- 1) นำดินตัวอย่างมาใส่ในตู้แบบจำลองพร้อมกับบดอัด โดยแบ่งเป็น 6 ชั้น จนได้ความสูง 55 เซนติเมตร
- 2) หาปริมาณความชื้นในมวลดินทุกความสูงระดับชั้น 10 เซนติเมตร เพื่อควบคุมปริมาณความชื้นให้เท่ากันทั้งแบบจำลอง
- 3) เมื่อนำดินตัวอย่างใส่ตู้จนถึงระดับที่ต้องการแล้วนำแผ่นก้ำแพงเข็มพืดจำลองมาเสียบลงไปบนดิน
- 4) นำดินส่วนที่เกินออก เพื่อจำลองการขุดดิน
- 5) ติดตั้ง Dial Gauge เพื่อใช้วัดการเคลื่อนตัวของก้ำแพงเข็มพืดจำลอง (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)
- 6) ใส่น้ำหนักบรรทุกทุกที่จะใช้ทำการทดลองที่ระยะต่างๆ



รูปที่ 3.6 นำดินใส่ตู้แบบจำลอง



รูปที่ 3.7 ติดตั้ง Dial Gauge ที่แผ่นก้ำแพงเข็มพืดจำลอง

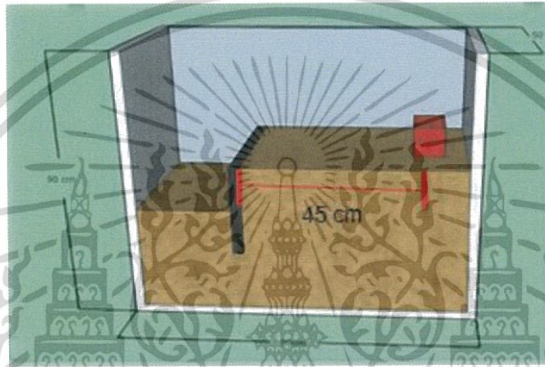
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 3.1 แบบจำลองที่ใช้การศึกษา

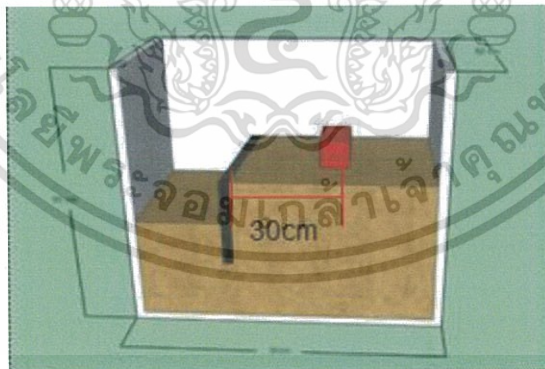
Load (kg.)	Distance (cm.)		
10	15	30	45
20			
40			

กรณีที่ 1 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร



รูปที่ 3.8 กรณีที่ 1 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร

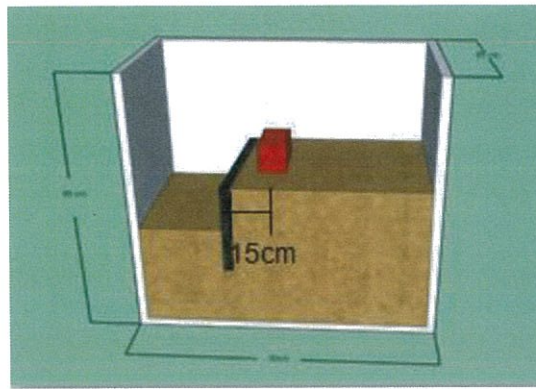
กรณีที่ 2 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 3.9 กรณีที่ 2 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร

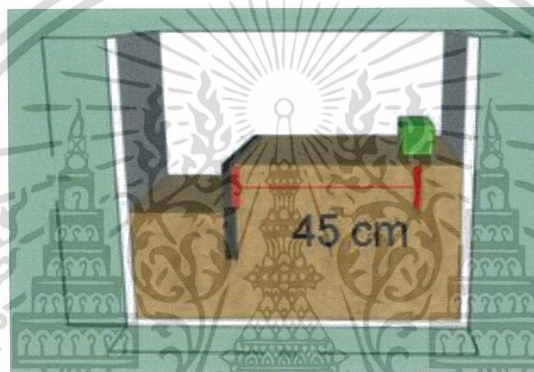
กรณีที่ 3 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



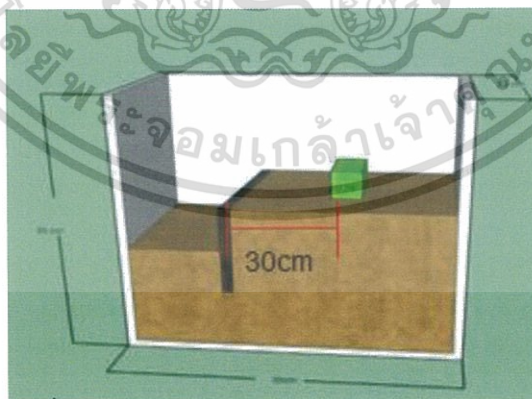
รูปที่ 3.10 กรณีที่ 3 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร

กรณีที่ 4 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร



รูปที่ 3.11 กรณีที่ 4 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร

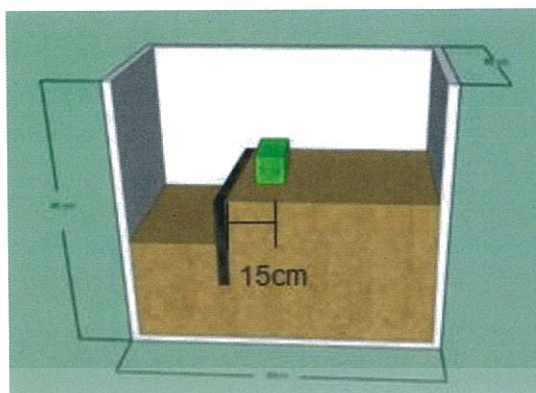
กรณีที่ 5 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 3.12 กรณีที่ 5 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร

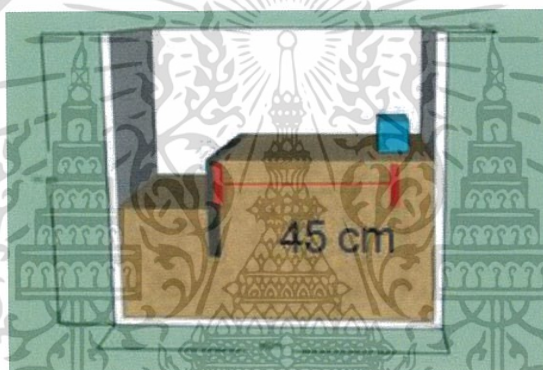
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 6 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร



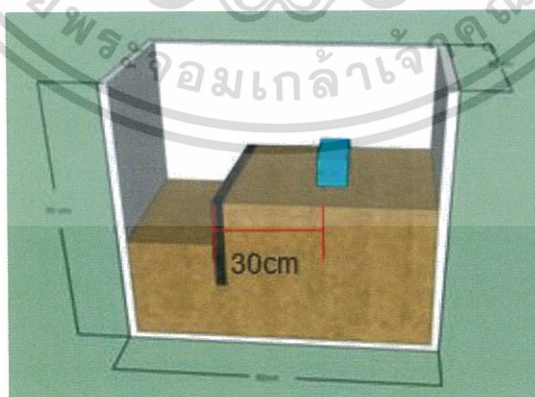
รูปที่ 3.13 กรณีที่ 6 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร

กรณีที่ 7 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร



รูปที่ 3.14 กรณีที่ 7 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร

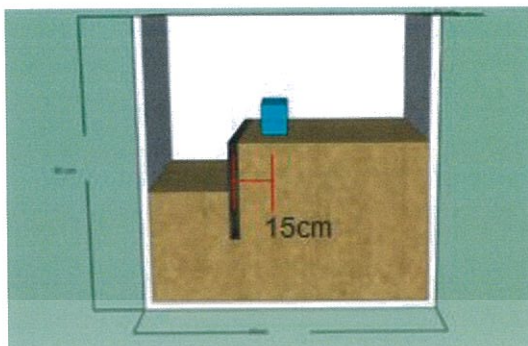
กรณีที่ 8 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 3.15 กรณีที่ 8 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 9 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร



รูปที่ 3.16 กรณีที่ 9 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร

วิธีทดลองแบบจำลองเข็มพืด

- 1) นำน้ำหนักบรรทุกทุกวางบนดินที่ระยะ 45 เซนติเมตรห่างจากกำแพงเข็มพืดจำลอง
- 2) อ่านค่าการเคลื่อนตัวของDial Gauge โดยรอจนค่าการเคลื่อนตัวหยุดนิ่งประมาณ 60 นาที จึงอ่านค่าการเคลื่อนตัวและบันทึกผล
- 3) นำดินและกำแพงเข็มพืดออกจากตู้แบบจำลอง
- 4) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1-3 โดยเปลี่ยนระยะห่างของน้ำหนักบรรทุกเป็น 30 และ 15 เซนติเมตรตามลำดับ
- 5) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1-4 โดยเปลี่ยนน้ำหนักบรรทุกเป็น 20 และ 40 กิโลกรัมตามลำดับ



รูปที่ 3.17 ใส่ น้ำหนักบรรทุกที่ระยะ 45 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ปริมาณความชื้นในมวลดิน (มาตรฐานอ้างอิง : ASTM D 4959-00)

อุปกรณ์

- 1) ตู้อบไฟฟ้า
- 2) เครื่องชั่ง อ่านละเอียด 0.01 กรัม
- 3) กระจกใสตัวอย่างดิน
- 4) ถุงมือกันความร้อน

ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) ทำความสะอาดกระป๋องตัวอย่างดิน ตรวจสอบเบอร์กระป๋อง ชั่งน้ำหนักกระป๋อง (W_1)

ถ้าเป็นกระป๋องแบบมีฝาปิด

- 2) เลือกตัวอย่างดินที่เป็นตัวแทนดินในกอง
- 3) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินเปียกรวมกระป๋อง (W_2)
- 4) นำกระป๋องตัวอย่างเข้าอบในตู้อบ หลังอบตัวอย่างไว้ประมาณ 18-24 ชั่วโมง
- 5) นำกระป๋องตัวอย่างขึ้นชั่ง เป็นน้ำหนักตัวอย่างดินแห้งรวมกระป๋อง (W_3) จดบันทึก

น้ำหนัก

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น, } W_c (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักกระป๋อง

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างดินเปียก+กระป๋อง

W_3 คือ น้ำหนักตัวอย่างดินแห้ง+กระป๋อง

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 บทนำ

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน จากผลของน้ำหนักสิ่งก่อสร้างข้างเคียงที่อยู่บนดิน และระยะห่างระหว่างโครงสร้างกันดินกับสิ่งก่อสร้าง ด้วยการศึกษจากแบบจำลองโครงสร้างกันดิน โดยใช้น้ำหนัก 10, 20, และ 40 กิโลกรัม โดยมีระยะห่างจากโครงสร้างกันดิน 15, 30, และ 45 เซนติเมตรและเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบจึงทำการแปลงน้ำหนักบรรทุกเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร การวิเคราะห์ผลการทดลอง และการเคลื่อนตัวของโครงสร้างกันดินซึ่งมีผลการศึกษา ดังนี้

4.2 ผลการศึกษาจากแบบจำลอง

4.2.1 การศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวด้วยแบบจำลองระบบกำแพงกันดิน

จากการทดลองในแบบจำลองโดยการใส่น้ำหนักข้างเคียงขนาดต่างกันลงบนดินด้วยระยะห่างจากกำแพงกันดินที่ต่างกัน ได้ผลการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินดังตาราง 4.1 โดยที่

น้ำหนัก 10 กิโลกรัม = $10 \text{ กิโลกรัม} / \text{แผ่นเหล็กขนาด } 0.18 \times 0.18 \text{ เมตร} = 1234.567 \text{ กิโลกรัม}$
ต่อตารางเมตร

น้ำหนัก 20 กิโลกรัม = $20 \text{ กิโลกรัม} / \text{แผ่นเหล็กขนาด } 0.18 \times 0.18 \text{ เมตร} = 2469.135 \text{ กิโลกรัม}$
ต่อตารางเมตร

น้ำหนัก 40 กิโลกรัม = $40 \text{ กิโลกรัม} / \text{แผ่นเหล็กขนาด } 0.18 \times 0.18 \text{ เมตร} = 4938.27 \text{ กิโลกรัม}$
ต่อตารางเมตร

ตารางที่ 4.1 แสดงระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน (มิลลิเมตร)

Distance(cm) \ Load(kg/m ²)	15	30	45
1234.567	0.472	0.051	0.023
2469.135	1.655	0.315	0.097
4938.270	2.312	1.285	0.252



รูปที่ 4.1 การทดลองกรณีที่ 1 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร



รูปที่ 4.2 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 1 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร

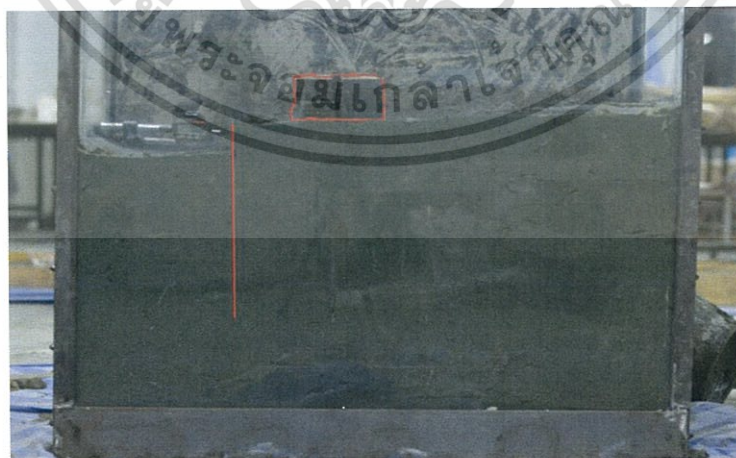
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การทดลองกรณีที่ 2 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 4.4 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 2 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 4.5 การทดลองกรณีที่ 3 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 3 น้ำหนักบนผิวดิน 10 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร

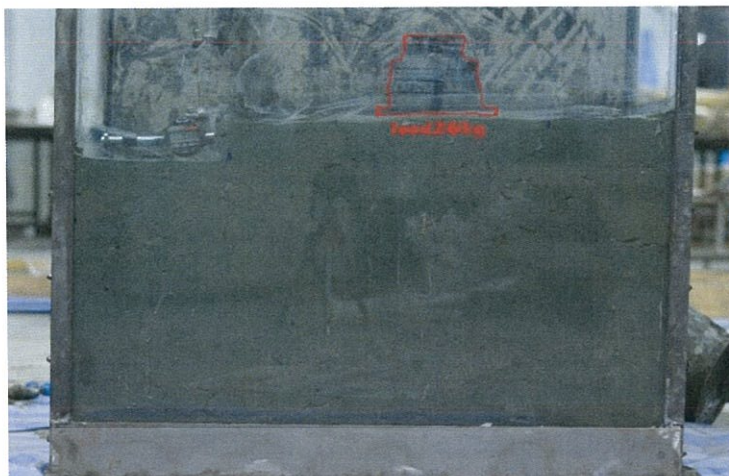


รูปที่ 4.7 การทดลองกรณีที่ 4 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร



รูปที่ 4.8 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 4 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร

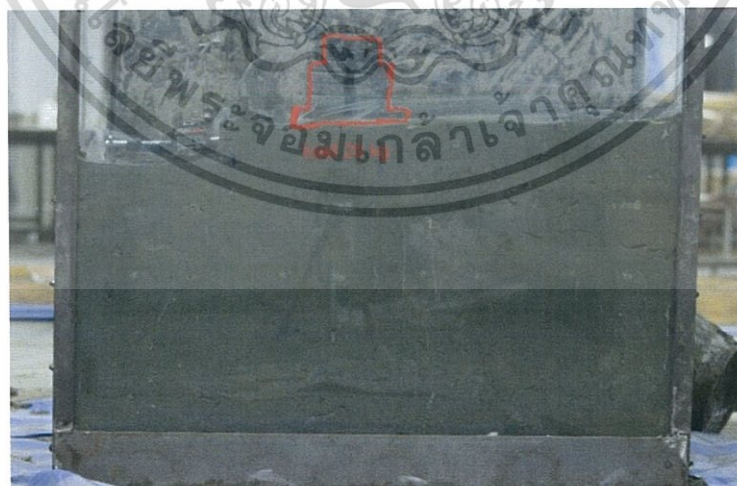
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การทดลองกรณีที่ 5 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 4.10 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 5 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 4.11 การทดลองกรณีที่ 6 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



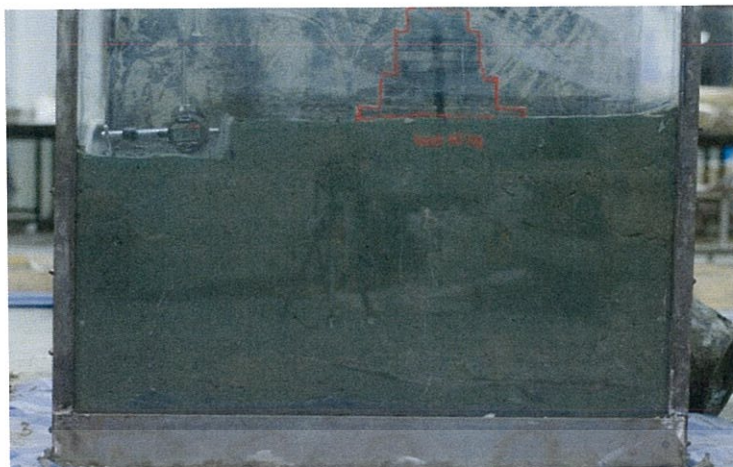
รูปที่ 4.12 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 6 น้ำหนักบนผิวดิน 20 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร



รูปที่ 4.13 การทดลองกรณีที่ 7 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร



รูปที่ 4.14 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 7 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 การทดลองกรณีที่ 8 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 4.16 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 8 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 4.17 การทดลองกรณีที่ 9 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

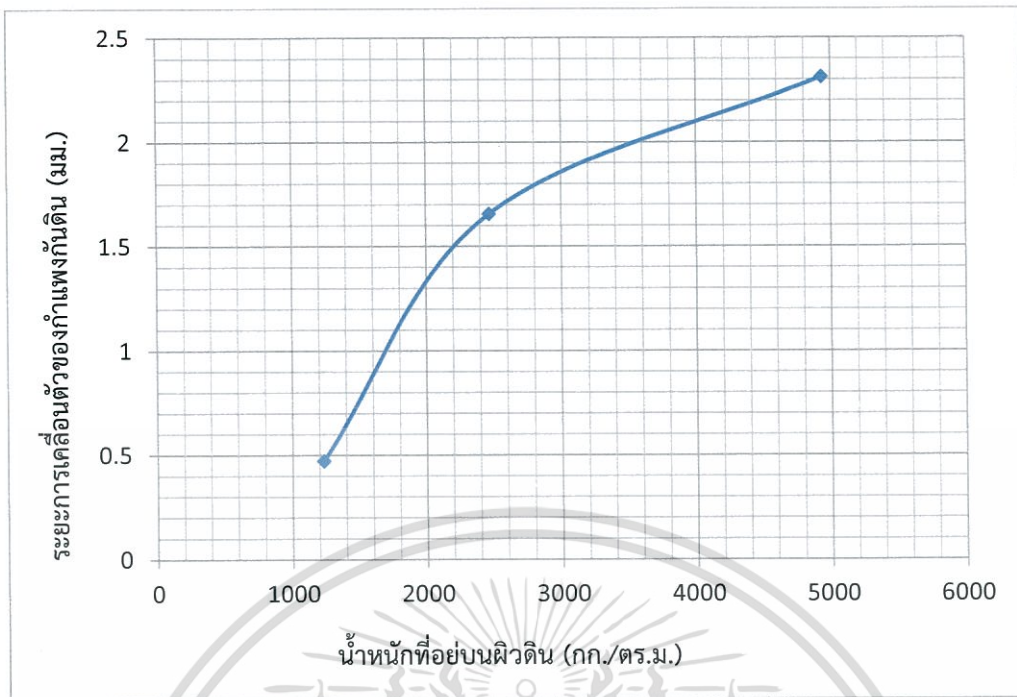


รูปที่ 4.18 ค่าการเคลื่อนตัวของกรณีที่ 9 น้ำหนักบนผิวดิน 40 กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร

4.2.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักข้างเคียงและระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

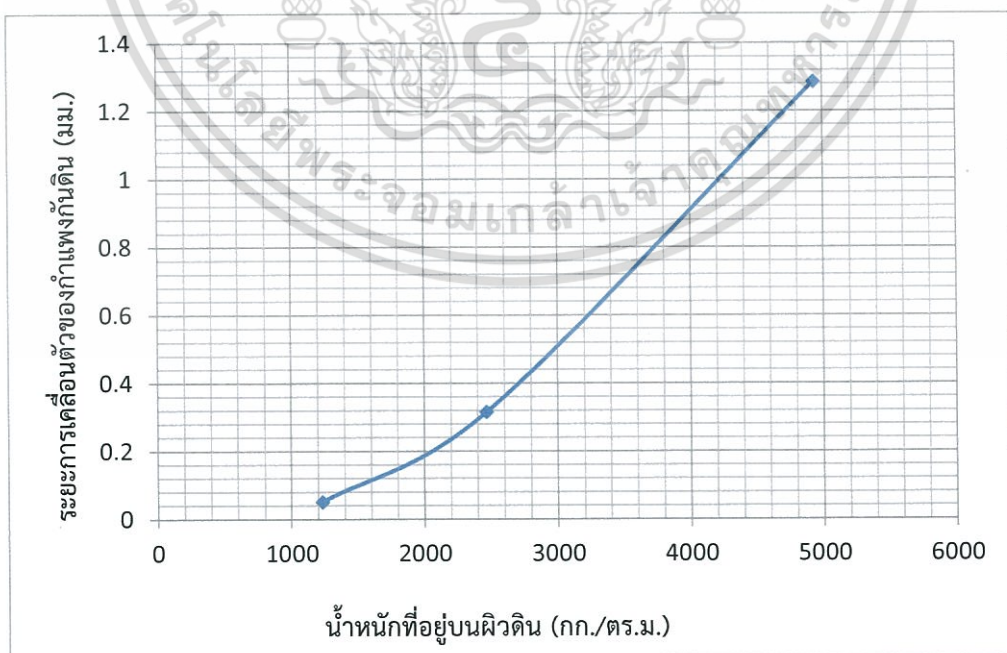
จากผลการทดลองโดยการใส่น้ำหนักข้างเคียงขนาดต่างกันแบบจำลอง ทำให้ได้ค่าระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มีการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่วางอยู่บนดินและระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน โดยใช้กราฟในการแสดงข้อมูล แกนนอน (แกน x) แสดงข้อมูลน้ำหนักที่วางอยู่บนผิวดิน ในหน่วยกิโลกรัม และแกนตั้ง (แกน y) แสดงข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน ในหน่วยมิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินกับ น้ำหนักที่วางอยู่บนผิวดินที่ระยะ 15 เซนติเมตร

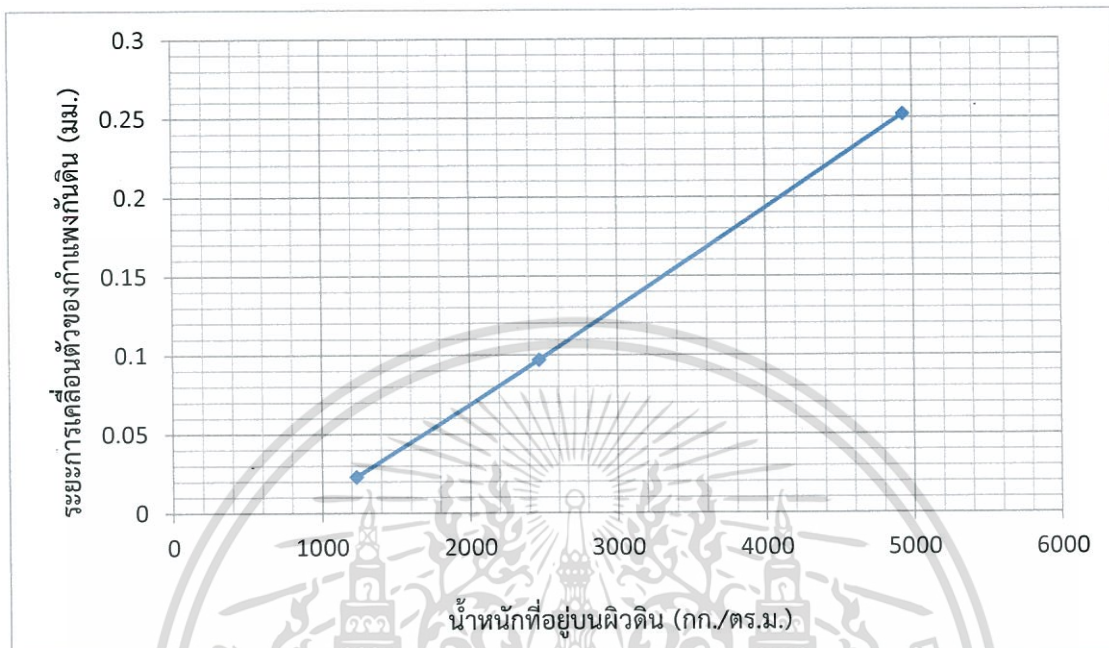
จากรูปที่ 4.19 ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร เมื่อน้ำหนักบรรทุกมากขึ้น ทำให้ระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินมากขึ้นเช่นกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงความชันเมื่อน้ำหนักบรรทุกมากกว่า 2000 กิโลกรัมต่อตารางเมตร



รูป 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

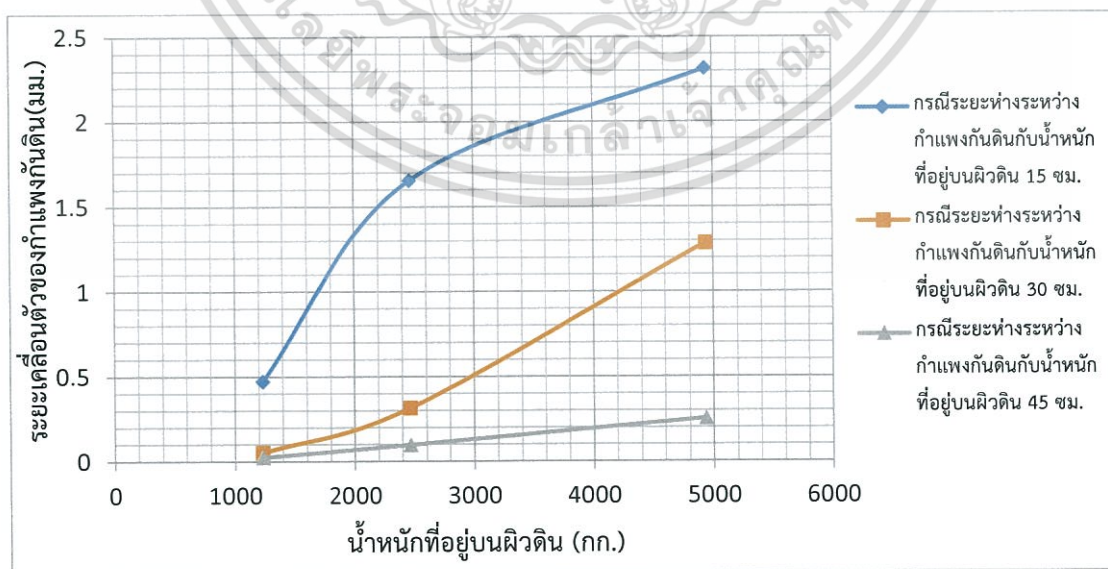
กับน้ำหนักที่วางอยู่บนผิวดินที่ระยะ 30 เซนติเมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.20 ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร กราฟมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นเมื่อน้ำหนักข้างเคียงมากกว่า 2000 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นน้อยมากเมื่อน้ำหนักข้างเคียงมากกว่า 3000 กิโลกรัมต่อตารางเมตร



รูป 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินกับน้ำหนักข้างที่อยู่บนผิวดินที่ระยะ 45 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.21 ที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร ค่าระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ตามน้ำหนักที่อยู่บนผิวดินที่เพิ่มขึ้น



รูป 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

กับน้ำหนักที่อยู่บนผิวดินที่ระยะห่างต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

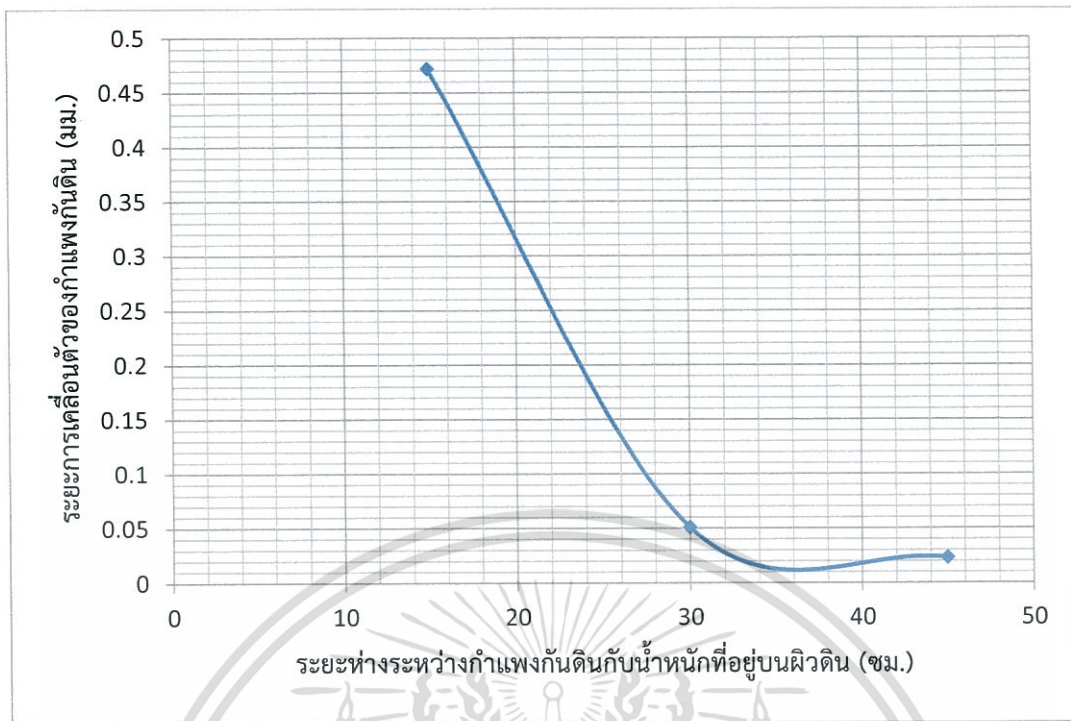
จากกราฟในรูป 4.22 สามารถวิเคราะห์ผลออกมาได้ดังนี้

1. กรณีระยะห่างระหว่างกำแพงกันดินกับน้ำหนักรูปที่อยู่นบนผิวดิน 45 เซนติเมตร กราฟมีการเปลี่ยนแปลงความชันน้อยมาก และระยะเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับระยะห่างอื่นๆ ซึ่งถือได้ว่าที่ระยะ 45 เซนติเมตรขึ้นไป น้ำหนักรูปที่อยู่นบนผิวดินจะไม่ส่งอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน
2. กรณีระยะห่างระหว่างกำแพงกันดินกับน้ำหนักรูปที่อยู่นบนผิวดิน 15 เซนติเมตร น้ำหนักมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเป็นอย่างมาก สำหรับกรณีที่ระยะห่างระหว่างกำแพงกันดินกับน้ำหนักรูปที่อยู่นบนผิวดิน 30 เซนติเมตร น้ำหนักข้างเคียงมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน แต่มีอิทธิพลน้อยกว่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ระยะห่างระหว่างกำแพงกันดินกับน้ำหนักรูปที่อยู่นบนผิวดิน 15 เซนติเมตร ซึ่งถือได้ว่าน้ำหนักรูปที่อยู่นบนผิวดินจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินมาก เมื่อระยะห่างจากกำแพงกันดินมีค่าน้อย
3. เมื่อพิจารณาที่น้ำหนักรูปที่อยู่นบนผิวดิน 1235 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ที่ระยะห่างระหว่างกำแพงกันดินกับน้ำหนักรูปที่อยู่นบนผิวดินเป็น 30 และ 45 เซนติเมตร ค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อน้ำหนักรูปที่อยู่นบนผิวดินมีค่าน้อย แต่มีระยะห่างที่เหมาะสม น้ำหนักรูปที่อยู่นบนผิวดินก็จะไม่ส่งอิทธิพลต่อกำแพงกันดิน

4.2.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน กับ ระยะห่างระหว่างโครงสร้างกันดินกับน้ำหนักรูปที่อยู่นบนผิวดิน

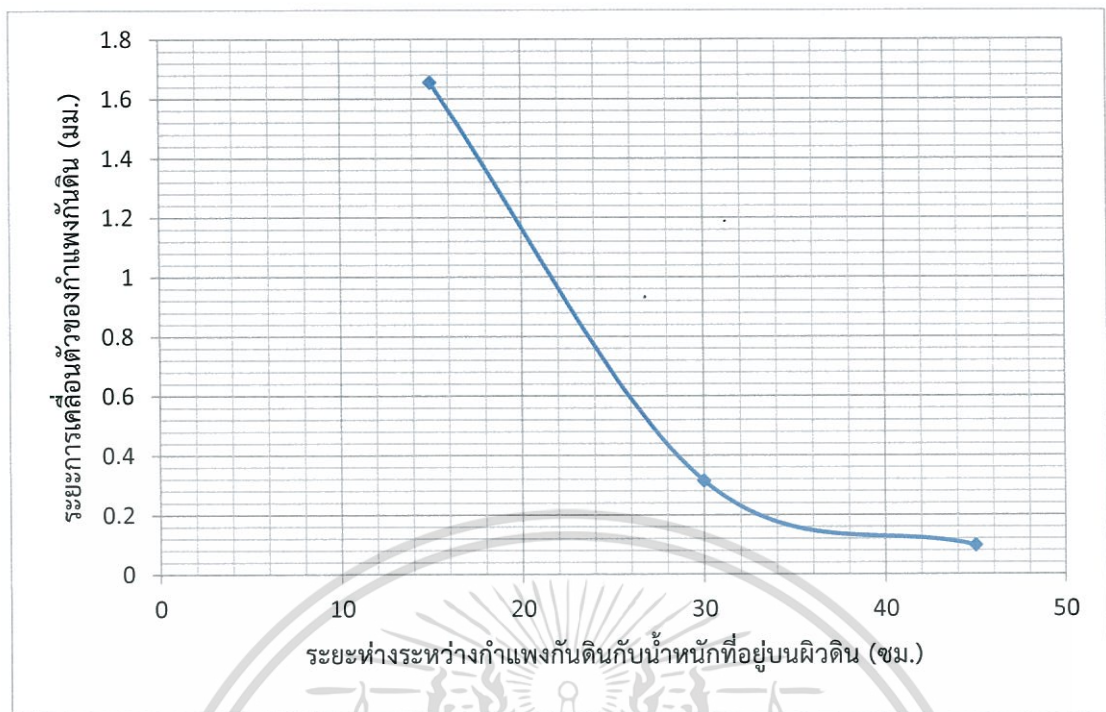
จากผลการทดลองโดยการใส่น้ำหนักลงในแบบจำลองด้วยระยะห่างจากกำแพงกันดินที่ต่างกัน ทำให้ได้ค่าระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มีการหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินและระยะห่างระหว่างกำแพงกันดินกับน้ำหนักรูปที่อยู่นบนผิวดิน โดยใช้กราฟในการแสดงข้อมูล

แกนนอน(แกนx) แสดงข้อมูลระยะห่างระหว่างกำแพงกันดินกับน้ำหนักรูปที่อยู่นบนผิวดิน ในหน่วยเซนติเมตร และแกนตั้ง(แกนy) แสดงข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน ในหน่วยมิลลิเมตร



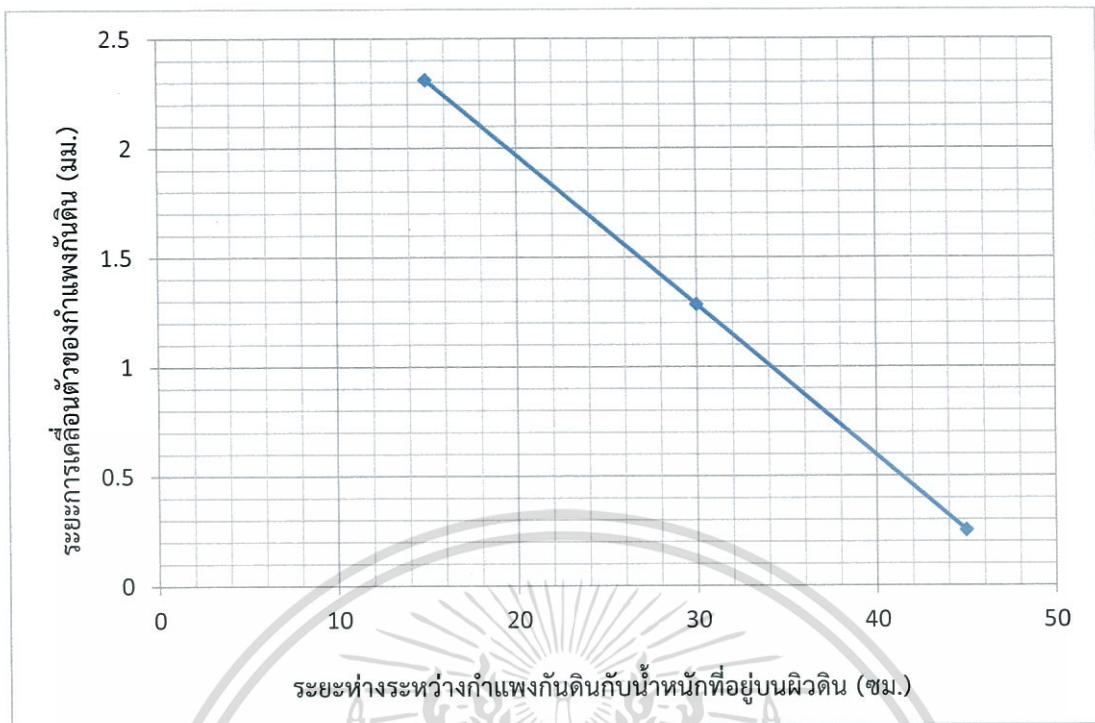
รูป 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน และ ระยะห่างระหว่างโครงสร้างกันดินกับน้ำหนึ่กที่อยู่บนผิวดิน โดยน้ำหนึ่กที่อยู่บนผิวดินขนาด 1235 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

จากรูป 4.23 กรณีน้ำหนึ่กบรรทุก 1235 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตรมีค่าการเคลื่อนตัวมาก และเมื่อเพิ่มระยะห่างขึ้นเป็น 30 และ 45 เซนติเมตร จะเห็นว่าค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินนั้นลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับระยะห่าง 15 เซนติเมตร



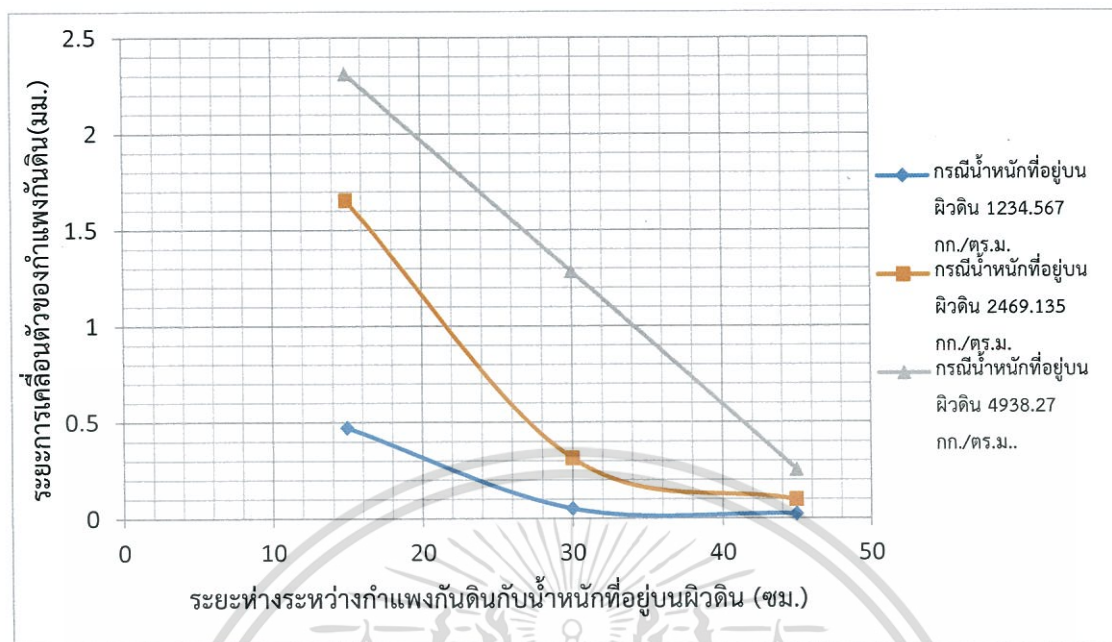
รูป 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน และ ระยะห่างระหว่างโครงสร้างกันดินกับน้ำหนัที่อยู่บนผิวดิน โดยน้ำหนัที่อยู่บนผิวดินขนาด 2469 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

จากรูป 4.24 กรณีน้ำหนัที่บรรทุก 2469 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เมื่อเพิ่มระยะห่างมากกว่า 30 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินนั้นมีค่าลดลงมากเมื่อเทียบกับค่าการเคลื่อนตัวที่ระยะ 15 เซนติเมตร



รูป 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน และ ระยะห่างระหว่างโครงสร้างกันดินกับน้ำหนึ่กที่อยู่บนผิวดิน โดยน้ำหนึ่กที่อยู่บนผิวดินขนาด 4938 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

จากรูป 4.25 กรณีน้ำหนึ่กที่อยู่บนผิวดิน 4938 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เมื่อระยะห่างเพิ่มมากขึ้น ระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินจะลดลงอย่างคงที่



รูป 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน และ ระยะห่างระหว่างโครงสร้างกันดินกับน้ำหนักรู้อยู่บนผิวดิน

จากกราฟในรูป 4.26 สามารถวิเคราะห์ผลออกมาได้ดังนี้

1. ในกรณีน้ำหนักรู้อยู่บนผิวดิน 1235 และ 2469 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ที่ระยะห่างจากกำแพงกันดิน 30 เซนติเมตร เป็นต้นไป กราฟมีการเปลี่ยนแปลงความชันน้อยมาก ซึ่งทำให้ทราบว่า ระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก ซึ่งเกือบจะคงที่ ซึ่งถือได้ว่าเป็นระยะที่ปลอดภัย
2. ในกรณีน้ำหนักรู้อยู่บนผิวดิน 4938 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ที่ระยะห่างจากกำแพงกันดิน 30 ซม. จากกราฟ แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักรู้อยู่บนผิวดินยังมีผลต่อการเคลื่อนตัวอยู่มาก แต่เมื่อระยะห่างจากกำแพงกันดินเพิ่มเป็น 45 เซนติเมตร ระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินลดลงจนใกล้เคียงกับน้ำหนักรู้อยู่บนผิวดินอื่นๆ ซึ่งถือได้ว่าเป็นระยะปลอดภัย
3. ในกรณีระยะห่างระหว่างกำแพงกันดินและน้ำหนักรู้อยู่บนผิวดิน 45 เซนติเมตร ระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินจากการวิเคราะห์ทุกกรณีศึกษามีค่าใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่า ระยะห่างระหว่างกำแพงกันดินและน้ำหนักรู้อยู่บนผิวดินนั้นมีค่ามากเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 บทนำ

ผลการศึกษาระยะเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน จากผลของน้ำหนักข้างเคียง และระยะห่างระหว่างกำแพงกันดินกับน้ำหนักข้างเคียง สามารถศึกษาได้ด้วยแบบจำลองทางกายภาพ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินและน้ำหนักข้างเคียง และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินและระยะห่างระหว่างกำแพงกันดินกับน้ำหนักข้างเคียง ซึ่งสามารถอธิบายถึงพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในแบบจำลองได้

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการเคลื่อนตัวของโครงสร้างกันดินโดยอิทธิพลของระยะห่างจากโครงสร้างกันดินถึงอาคารข้างเคียงและอิทธิพลของน้ำหนักของอาคารข้างเคียง สามารถสรุปได้ว่า

- 1) โครงสร้างกันดินและอาคารข้างเคียงควรมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 2 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับกฎกระทรวง ฉบับที่ 55 (พ.ศ.2543) พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 หมวด 4 แนวอาคารและระยะต่างๆของอาคาร ข้อที่ 49 ในกรณีที่ไม่ได้ค้ำนึ่งอาคารข้างเคียง
- 2) ในการก่อสร้าง ควรพิจารณาถึงน้ำหนักของอาคารข้างเคียงในขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย
- 3) ที่ระยะห่างเท่ากันน้ำหนักจากอาคารข้างเคียงจะส่งผลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินต่างกันตามน้ำหนักของอาคารข้างเคียง ยิ่งมีน้ำหนักมาก ยิ่งส่งผลให้โครงสร้างกันดินมีการเคลื่อนตัวมากขึ้น แต่ถ้าระยะห่างระหว่างอาคารข้างเคียงและโครงสร้างกันดินมากพอ น้ำหนักจากอาคารข้างเคียงจะไม่ส่งผลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรนำผลที่ได้ ไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element
- 2) ควรเพิ่มกรณีศึกษาของแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบให้ได้ผลที่สามารถอธิบายได้มากขึ้น
- 3) ควรเพิ่มจำนวนครั้งในการทดลองในแบบจำลอง
- 4) นำผลที่ได้ไปศึกษาต่อเพื่อใช้ในการทำงานจริง
- 5) ในกรณีที่อาคารข้างเคียงวางอยู่บนฐานรากเสาเข็มควรประเมินหรือตรวจสอบความยาวของเสาเข็มว่ามีความยาวมากเพียงพอ และวางอยู่บนชั้นดินที่มีความแข็งแรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุขสุขสันต์ หอพิบูลสุข. (2553, มิถุนายน). *แรงดันดินด้านข้าง*. สืบค้นจาก <http://eng.sut.ac.th/ce/oldce/Suksun/Chapter5.pdf>
- [2] รศ.ดร.วรารกร ไม้เรียง. (2550, สิงหาคม). *กำแพงกันดิน*. สืบค้นจาก http://irrigation.rid.go.th/rid4/km4/_data/58/rampart%20design.pdf
- [3] นางสาวกันยาณี ตรงชื่น. (2543). *การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบกำแพงกันดินชนิดคานยื่น*. สืบค้นจาก http://www.lib.kps.ku.ac.th/SpecialProject/Irrigation_Engineering/2544/Bs/KanyaneeTc/KanyaneeTcAll.pdf
- [4] สุขสุขสันต์ หอพิบูลสุข. (2553, มิถุนายน). *โครงสร้างกันดิน*. สืบค้นจาก <http://eng.sut.ac.th/ce/oldce/Suksun/Chapter6.pdf>
- [5] Punlop Visudmedanukul. (2559, เมษายน). *Deep Excavations by Rigid Walls*. สืบค้นจาก https://www.researchgate.net/publication/311667746_Deep_Excavations_by_Rigid_Walls.
- [6] ศิริมาส วิเศษศรี. (2541). *พฤติกรรมและการเคลื่อนตัวของเข็มที่ตสำหรับงานขุดค้ำยัน ในดินเหนียวอ่อน กรุงเทพฯ*. สืบค้นจาก <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/9198>
- [7] ณรงค์ ทศนนิพันธ์,กมล สิงห์โตแก้ว,ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์ (2550). *การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินที่เกิดจากการขุดดินเพื่อก่อสร้างห้องใต้ดิน*. สืบค้นจาก http://seafco.co.th/src/pdf/Research_Development/Thai_Paper_31.pdf
- [8] KrzysztofCzech, Wojciech Gosk (2016). *Analysis of the Vibration Propagation Induced by Pulling out of Sheet Pile Wall in a Close Neighbourhood of Existing Buildings*. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816306191>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] กฎกระทรวง ฉบับที่ 55 (พ.ศ.2543), พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 หมวด 4 แนวอาคาร และระยะต่างๆของอาคาร ข้อที่ 49 [ลงวันที่ 28 กรกฎาคม 2543].
- [10] *น้ำหนักบรรทุกคงที่*. สืบค้นจาก <http://bann-engineer.blogspot.com/2011/09/dead-load-dl.html>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สัญลักษณ์

B	=	ความกว้างของฐานราก
e	=	ระยะเยื้องศูนย์กลาง
H	=	ความสูงของกำแพง
K_a	=	สัมประสิทธิ์ของความดันดินที่สภาวะ active
K_0	=	สัมประสิทธิ์ของความดันดินที่สภาวะอยู่นิ่ง
K_p	=	สัมประสิทธิ์ของความดันดินที่สภาวะ passive
M_0	=	โมเมนต์ที่ก่อให้เกิดการพลิกคว่ำ
M_r	=	โมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำ
P_h	=	แรงดันดินด้านข้างรวมที่กระทำต่อกำแพง
P_0	=	แรงลัพธ์เนื่องจากความดันดินประสิทธิผล ที่สภาวะอยู่นิ่งต่อความยาว 1 หน่วย
P_v	=	แรงกระทำแนวดิ่ง
P_w	=	แรงดันน้ำ
S	=	แรงต้านทานการลื่นไหล
S_u	=	กำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน
u	=	ความดันน้ำ (pore pressure)
W_c	=	ปริมาณความชื้น, %
W_s	=	น้ำหนักดินอบแห้ง, กรัม
W_1	=	น้ำหนักขวดมีน้ำผสมดิน ที่อุณหภูมิที่ทดลอง ($T^\circ\text{C}$), กรัม
W_2	=	น้ำหนักขวดมีน้ำเต็มที่อุณหภูมิที่ทดลอง ($T^\circ\text{C}$), กรัม
X_i	=	ระยะในแนวนอนที่วัดจากจุด Toe จนถึง W_i
α	=	มุมด้านหลังกำแพงกันดินที่กระทำกับแนวราบ
β	=	มุมระหว่างผิวของดินถมกับแนวราบ
γ'	=	หน่วยน้ำหนักประสิทธิผล
δ	=	มุมเสียดทานระหว่างผนังกำแพงและดิน
σ'_a	=	ความดันดินด้านข้างรวมที่สภาวะ active
σ'_1	=	ความเค้นหลักใหญ่ประสิทธิผล
σ'_3	=	ความเค้นหลักเล็กประสิทธิผล
σ_h	=	ความดันดินด้านข้างที่กระทำต่อกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- σ_h' = ความดันดินด้านข้างประสิทธิผลที่ฐานของกำแพง
 σ_p' = ความดันดินด้านข้างประสิทธิผลที่สภาวะ passive
 \emptyset = มุมเสียดทานภายในของดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การคำนวณปริมาณความชื้น

ตาราง ข.1 การคำนวณเพื่อหาปริมาณความชื้นในมวลดิน

ตัวอย่างดิน	W ₁ (g.)	W ₂ (g.)	W ₃ (g.)	water content (%)
1	14.95	41.00	29.51	78.91483516
2	14.15	26.00	20.76	79.27382753
3	14.42	31.00	23.61	80.41349293
4	14.52	28.00	21.68	88.26815642
5	15.09	39.00	28.34	80.45283019
6	13.79	30.00	22.94	77.15846995
7	15.11	36.00	26.99	75.84175084
8	15.77	34.00	26.37	71.98113208
9	13.30	31.00	23.12	80.24439919
10	13.26	34.00	24.97	77.11357814
11	20.02	52.00	37.73	80.57594579
12	20.67	68.00	47.38	77.19955073
13	19.15	47.00	34.42	82.383759
14	13.46	35.00	25.41	80.25104603
15	15.09	39.00	28.56	77.50556793

คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร $W_c = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การคำนวณน้ำหนักบนผิวดิน

ตาราง ค.1 การคำนวณน้ำหนักบนผิวดินของอาคาร

ประเภทของวัสดุ	หน่วยน้ำหนัก (kg/m ²)
1. โครงสร้างหลังคา	50
2. หลังคากระเบื้อง รวมระแนง	70
3. ฝ้าเพดานรวมโครงคร่าว	20
4. พื้นสำเร็จรูปรวมคอนกรีตทับหน้ารวมหนา 10 ซม.	260
5. กระเบื้องปูพื้นรวมปูนทราย หนา 5 ซม.	150
6. ผนังอิฐมวลเบารวมฉาบหนา 10 ซม.	200
7. น้ำหนักบรรทุกทุกจรของหลังคา	50
8. น้ำหนักบรรทุกทุกจรของพื้น	200
รวม	1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้