



การศึกษาพฤติกรรมความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของ
ดินทรายที่ปนเปื้อนน้ำมัน



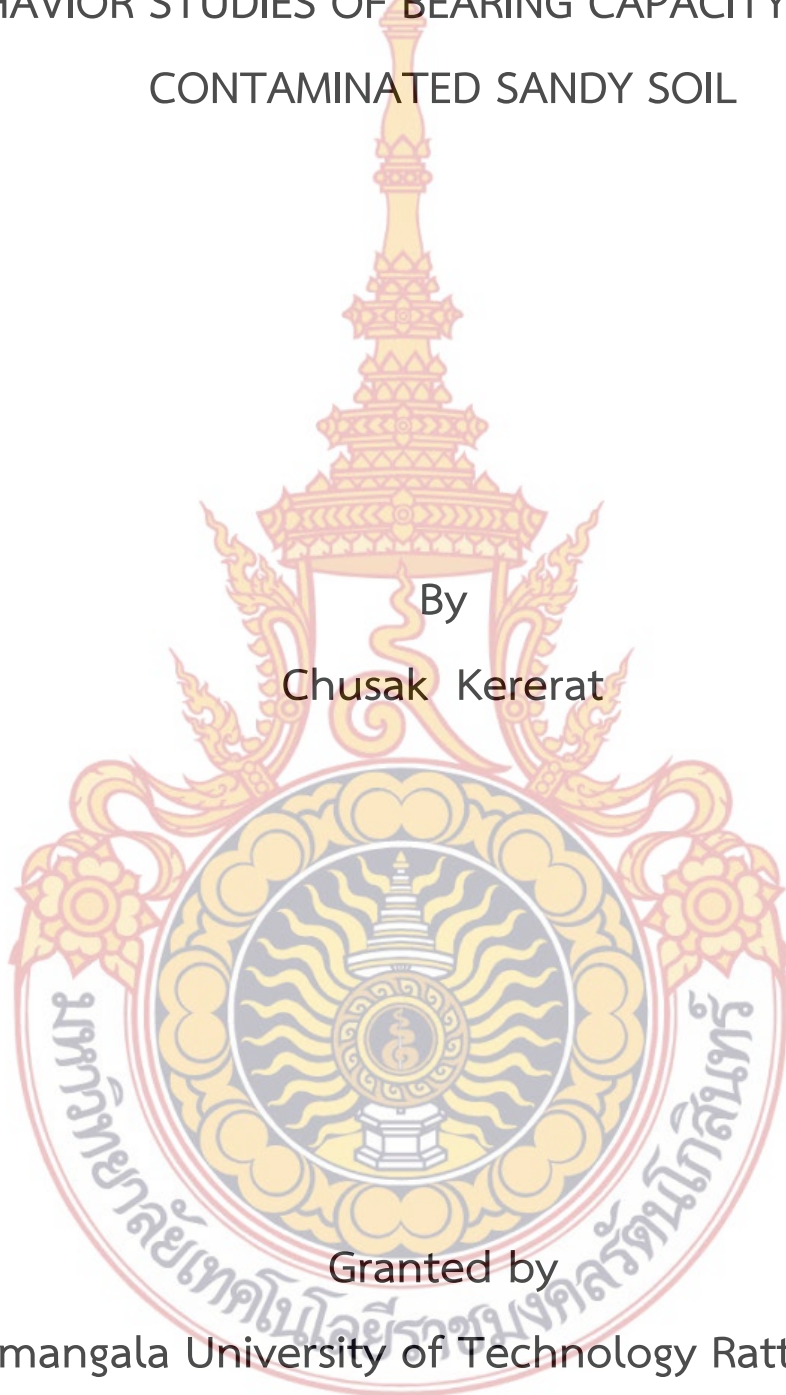
โดย
ชูศักดิ์ ศีรีรัตน์

สนับสนุนงบประมาณโดย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2558

BEHAVIOR STUDIES OF BEARING CAPACITY OF OIL-
CONTAMINATED SANDY SOIL

By

Chusak Kererat



Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2015

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้ให้เงินสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี

ชูศักดิ์ ศีรีรัตน์

มีนาคม 2558



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A20/2558

ชื่อโครงการ : การศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักแบกทานของดินทรายที่ปนเปื้อนน้ำมัน

ชื่อนักวิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ ศิริรัตน์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารปนเปื้อนและระดับน้ำใต้ดินต่อความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของพื้นที่ดินทราย ชั้นดินถูกจำลองในบ่อทดสอบภายใต้เงื่อนไขสภาพแห้ง สภาพมีระดับน้ำใต้ดิน สภาพดินในสภาพปนเปื้อนน้ำมันเบนซินร้อยละ 2 สภาพดินในสภาพปนเปื้อนน้ำมันเบนซินร้อยละ 4 และสภาพดินในสภาพปนเปื้อนพาราฟินเหลว ร้อยละ 2 การศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวอย่างดิน 2 ชนิด คือดินทรายที่มีขนาดคละไม่ตี (SP) และดินทรายปนตะกอน (SM) จากผลการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบาพบว่าอิทธิพลของระดับน้ำใต้ดินทำให้กำลังแบกทานของดินทรายชนิด SP เพิ่มขึ้นร้อยละ 14-16 ในขณะที่กำลังแบกทานของดินทรายชนิด SM ลดลงร้อยละ 81-85 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพดินแห้งที่ความลึกเดียวกัน สำหรับอิทธิพลของสารปนเปื้อนชนิดน้ำมันเบนซินในปริมาณร้อยละ 2 พบว่ากำลังแบกทานของดินทรายชนิด SP เพิ่มขึ้นร้อยละ 16-18 ในขณะที่กำลังแบกทานของดินทรายชนิด SM ลดลงร้อยละ 29-48 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพดินแห้งที่ความลึกเดียวกัน ดังนั้นในการออกแบบฐานรากจะต้องคำนึงถึงชนิดของดินที่รองรับฐานรากรวมถึงผลกระทบของระดับน้ำใต้ดินและอิทธิพลของสารปนเปื้อนในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการรั่วไหลของน้ำมันเพื่อให้เกิดความปลอดภัยของโครงสร้างมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผลจากการวิจัยครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการศึกษาอิทธิพลของสารปนเปื้อนต่อความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของดินสามารถใช้พาราฟินเหลวทดแทนการใช้น้ำมันเบนซินได้ซึ่งเป็นการช่วยลดอันตรายต่อการศึกษาในอนาคต

คำสำคัญ: ความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทาน, ระดับน้ำใต้ดิน, ดินปนเปื้อนน้ำมัน, การทดสอบการเจาะหยั่งดินแบบเบา

E-mail Address : Chusak.k@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม พ.ศ. 2557 – กันยายน พ.ศ. 2558

Abstract

Code of Project : A20/2558
Project Name : Behavior Studies of Bearing Capacity of Oil-Contaminated Sandy Soil
Researcher Name : Asst.Prof.Dr.Chusak Kererat

The objective of this research is to study the effect of contaminant and water level on the bearing capacity of sandy soil layer. The sandy soil layers are simulated in testing tank under conditions of dry, water level, benzene-contaminated soil of 2%, benzene-contaminated soil of 4% and paraffin oil-contaminated soil of 2%. Two type of sandy soil which are poorly-graded soil (SP) and silty sandy soil (SM) are provided in the process of sandy soil preparation. The results from light weight penetration test showed that the bearing capacity of SP with water level increases 14-16 percent comparing to dry soil condition and the bearing capacity of SM with water level decrease 81-85 percent comparing to dry soil condition. Moreover, the bearing capacity of benzene-contaminated SP soil of 2% increases 16-18 percent comparing to dry soil condition and the bearing capacity of benzene-contaminated SM soil of 2% decrease 29-48 percent comparing to dry soil condition. Therefore, the calculation of the soil bearing capacity for the sandy soil layer should be considered the influences of soil types, water level and contamination in risky area of oil leakage. Finally, this research also revealed that the study of bearing capacity of oil-contaminated soil can be used paraffin oil instead of benzene for further study.

Keywords: Baring Capacity, Water Level, Oil-Contaminated Sandy Soil, Light Weight Penetration Test

E-mail Address : Chusak.k@rmutr.ac.th
Period of Project : October 2014 – September 2015

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์	2
3. ขอบเขตของการวิจัย	2
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
1. สาเหตุที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง	3
2. น้ำมันเชื้อเพลิง	3
3. สภาพทางปฐพีและฐานรากประเทศไทย	14
4. การเจาะหยั่งแบบเบา	19
5. การทดสอบการเหือนโดยตรง	24
6. ทฤษฎีความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของเทอร์ซาก็	26
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	35
1. ขั้นตอนการดำเนินการ	35
2. เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	36
3. การทดสอบทางกายภาพของดินทราย	40
4. การเตรียมตัวอย่างดินสำหรับการทดสอบหาค่าลึงแบกทานของดินแบบหยั่งเบา	44
5. การทดสอบหาค่าลึงแบกทานของดินแบบหยั่งเบา	45
6. การทดสอบแรงเฉือนตรง	48
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์	52
1. ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน	52
2. ผลการทดสอบหาค่าลึงแบกทานของดินแบบหยั่งเบา	53
3. ผลการทดสอบแรงเฉือนตรง	68
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ	72
1. สรุปผล	72
2. ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม	74
ประวัติผู้วิจัย	76

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะของผลผลิตของสารปิโตรเลียม	4
2	ข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันเบนซินชนิดธรรมดาและชนิดพิเศษ	6
3	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ BTEX	8
4	ค่า LD ₅₀ และค่า TLV ของ BTEX	10
5	คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และสิ่งแวดล้อม	10
6	คุณสมบัติของพาราฟินเหลวและน้ำมันเบนซิน	13
7	การแบ่งแยกค่าความแข็งแรงของดินจากการทดสอบวิธี Kunzelstab	22
8	ความสัมพันธ์ระหว่าง N กับความแข็งแรงของดิน	22
9	สัมประสิทธิ์กำลังแบกทานสำหรับค่ามุมเสียดทานในต่างๆโดยเทอร์ซากิ	28
10	ข้อมูลการปนเปื้อนของสารต่างๆในดิน SP และ SM	45
11	คำอธิบายสัญลักษณ์การจำลองสภาพดินที่ใช้ในการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา	53
12	ค่าจำนวนครั้งการตอกหยั่งแบบเบาของตัวอย่างทดสอบชนิด SP	54
13	ค่าจำนวนครั้งการตอกหยั่งแบบเบาของตัวอย่างทดสอบชนิด SM	54
14	ผลการทดสอบแรงเฉือนตรงสำหรับตัวอย่างดิน SP สภาพแห้ง	69
15	ผลการทดสอบแรงเฉือนตรงสำหรับตัวอย่างดิน SP สภาพที่มีระดับน้ำใต้ดิน	69
16	ผลการทดสอบแรงเฉือนตรงสำหรับตัวอย่างดิน SP สภาพที่ดินการปนเปื้อนพาราฟินเหลว ร้อยละ 2	70
17	ผลการทดสอบแรงเฉือนตรงสำหรับตัวอย่างดิน SP สภาพที่ดินการปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน ร้อยละ 2	70
18	ผลการทดสอบแรงเฉือนตรงสำหรับตัวอย่างดิน SP สภาพที่ดินการปนเปื้อนพาราฟินเหลว ร้อยละ 4	71

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะการรั่วไหลของสาร DNAPL และ LNAPL	5
2	น้ำมันเบนซิน	7
3	การละลายของ LNAPL เมื่อสัมผัสกับน้ำ	12
4	เครื่องมือเจาะหยั่งแบบเบาด้วย Kunzelstab	20
5	การแปรผลการทดสอบการตอกหยั่งแบบเบา	23
6	การจัดเตรียมดินสำหรับการทดสอบการเฉือนโดยตรง	24
7	กราฟแสดงค่าแรงเค้นเฉือนและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างทรายแน่น และทรายหลวม	26
8	รูปแบบการวิบัติด้วยแรงเฉือน (General Shear Failure) สมมติฐานโดยเทอร์ซากิสำหรับฐานรากแถบ	27
9	ผลกระทบของระดับน้ำต่อการหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของดิน	29
10	ชุดทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ	36
11	ชุดทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง	37
12	ชุดทดสอบหาขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน	37
13	ชุดทดสอบหาค่าลึงแบกทานของดินในสนามแบบหยั่งเบา	38
14	ชุดทดสอบแรงเฉือนตรง	38
15	อุปกรณ์สำหรับชั่งน้ำหนักและวัดขนาดตัวอย่างทดสอบ	39
16	บ่อทดสอบ ขนาด 1.00×1.00×1.80 เมตร	39
17	ตุ้มน้ำหนัก	40
18	ขั้นตอนการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน	41
19	ขั้นตอนการทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง	42
20	ขั้นตอนการทดสอบหาขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน	43
21	การตากดินให้แห้ง	44
22	การเตรียมตัวอย่างดิน	45
23	รูปตัดชั้นดิน	45
24	การเตรียมอุปกรณ์ทดสอบ	46

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
25 การดำเนินการทดสอบ	47
26 การทดสอบความแน่นของชั้นดินในบ่อทดสอบ	47
27 การวัดขนาดกล่องบรรจุตัวอย่าง	48
28 การประกอบกล่องบรรจุตัวอย่าง	49
29 การเตรียมตัวอย่างดินในกล่องบรรจุตัวอย่าง	49
30 การวางแผนกดทับบนผิวหน้าของตัวอย่างดิน	49
31 การทำความสะอาดกล่องบรรจุตัวอย่าง	50
32 การนำกล่องตัวอย่างใส่ในเครื่องทดสอบ	50
33 การปรับเข็มของมาตรวัดการยุบตัว	51
34 การหมุนมือจับเพื่อทดสอบแรงเฉือน	51
35 แผนภูมิการกระจายตัวของตัวอย่างดินชนิด SP และ SM	52
36 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SM	55
37 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SP	55
38 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SP สภาพแห้งและสภาพที่มีระดับน้ำใต้ดิน	56
39 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SM สภาพแห้งและสภาพที่มีระดับน้ำใต้ดิน	57
40 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SP ที่สภาพแห้งและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน	58
41 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SM ที่สภาพแห้งและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน	58
42 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SP ที่สภาพแห้งและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนพาราฟินเหลว	59
43 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SP ที่สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเบนซินและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อน พาราฟินเหลว	60

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
44	กราฟความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SP สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อน พาราฟินเหลว	60
45	กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SM สภาพแห้งแะสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนพาราฟินเหลว	61
46	กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SM ที่สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเบนซินและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อน พาราฟินเหลว	62
47	กราฟความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SP สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อน พาราฟินเหลว	62
48	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก สำหรับดินชนิด SP สภาพแห้ง	63
49	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก สำหรับดินชนิด SP สภาพที่มีระดับน้ำใต้ดิน	64
50	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก สำหรับดินชนิด SP สภาพดินปนเปื้อนน้ำมัน ร้อยละ 2	64
51	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก สำหรับดินชนิด SP สภาพดินปนเปื้อนน้ำมัน ร้อยละ 4	65
52	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก สำหรับดินชนิด SP สภาพดินปนเปื้อนพาราฟินเหลว ร้อยละ 2	65
53	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก สำหรับดินชนิด SM สภาพแห้ง	66
54	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก สำหรับดินชนิด SM สภาพที่มีระดับน้ำใต้ดิน	66
55	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก สำหรับดินชนิด SM สภาพดินปนเปื้อนน้ำมัน ร้อยละ 2	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
56	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก สำหรับดินชนิด SM สภาพดินปนเปื้อนน้ำมัน ร้อยละ 4	67
57	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก สำหรับดินชนิด SM สภาพดินปนเปื้อนพาราฟินเหลว ร้อยละ 2	68



สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
A_p	พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม
A_s	พื้นที่รับน้ำหนักแบกทานของเสาเข็ม
B	ความกว้างฐานราก
c	หน่วยแรงยึดเกาะ
D_f	ความลึกของฐานราก
N_c N_q และ N_γ	สัมประสิทธิ์กำลังแบกทานเป็นฟังก์ชันในรูปของมุม ϕ
N_d	ค่านับครั้งจำนวนตอกลูกตุ้มต่อระยะจมน้ำทึบราว 20 เซนติเมตร (ครั้ง / 20 เซนติเมตร)
K_{py}	สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างแบบพาสซีฟ (Passive)
L	ความยาวฐานราก
N	ค่าทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน
q_a	ค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดิน
Q_u	น้ำหนักสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยความยาวของฐานราก
R_w	ค่าปรับแก้ลดผลกระทบระดับน้ำใต้ดิน
R_{w1}	แฟกเตอร์ลดค่าสำหรับระดับน้ำใต้ดินที่อยู่เหนือระดับฐานแผ่ของฐานราก
R_{w2}	แฟกเตอร์ลดค่าสำหรับระดับน้ำใต้ดินที่อยู่ต่ำกว่าระดับฐานแผ่ของฐานราก
S_a	ค่าทรุดตัว (0.5-1.0 นิ้ว)
S_u	ค่าแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ
γ	หน่วยน้ำหนักประสิทธิผลของดิน
γ_b	หน่วยน้ำหนักของดินจมน้ำ = $\gamma_{sat} - \gamma_w$
γ_{e1}	หน่วยน้ำหนักประสิทธิผลของดินที่วางอยู่เหนือระดับฐานแผ่ของฐานราก
γ_{e2}	หน่วยน้ำหนักประสิทธิผลของดินที่วางตัวอยู่ในช่วงความลึก B นับจากระดับฐานแผ่ของฐานราก
γ_m	หน่วยน้ำหนักขึ้นหรือหน่วยน้ำหนักอิมมิตัวของดินซึ่งวางตัวอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (กรณีที่ 1 หรือกรณีที่ 2)
γ_{sat}	หน่วยน้ำหนักอิมมิตัวของดินที่วางตัวอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน (กรณีที่ 1 หรือกรณีที่ 2)

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนำจะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ของการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ที่มาและความสำคัญ

ในสภาพการณ์ปัจจุบันปัญหาการปนเปื้อนของดินและน้ำในประเทศไทยมีให้เห็นกันบ่อยขึ้น โดยเฉพาะการปนเปื้อนของดินที่มีสาเหตุมาจากการรั่วซึมของสารปนเปื้อนและเกิดการไหลซึมลงดินและน้ำ ยกตัวอย่างเช่นปัญหาจากการรั่วของน้ำมันจากเรือบรรทุกน้ำมันลงในพื้นที่ทะเล ซึ่งส่งผลให้สารปนเปื้อนถูกพัดพาไปพร้อมกับน้ำและเกิดการสะสมอยู่บริเวณชายฝั่ง แล้วอาจไหลซึมต่อไปในพื้นที่ดินทราย หรือการรั่วซึมของน้ำมันจากเรือหาปลาบริเวณชายฝั่ง รวมถึงการรั่วของน้ำมันในบริเวณปั้มน้ำมัน เป็นต้น โดยสาเหตุดังกล่าวเป็นปัจจัยที่ทำให้ดินเกิดการปนเปื้อน ซึ่งส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมกรับน้ำหนักแบกทานของดินรวมถึงการเปลี่ยนแปลงของกำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน (Shin and Das , 2001) อาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของฐานรากหรือสิ่งก่อสร้างที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ดินถูกปนเปื้อนดังที่กล่าวมาแล้ว หรือในกรณีที่เกิดการรั่วไหลของสารปนเปื้อนในบริเวณชายฝั่งแล้วมีการไหลของสารปนเปื้อนยังใต้ของฐานรากและสิ่งก่อสร้างก็อาจจะส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยได้เช่นเดียวกันเนื่องจากเป็นพื้นที่ดินทราย ถ้าหากเป็นอาคารขนาดเล็กฐานรากที่ออกแบบไว้ส่วนใหญ่จะเป็นฐานรากตื้น ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ความสามารถในการแบกทานของฐานรากลดลง หรือถ้าเป็นฐานรากเสาเข็มสำหรับอาคารขนาดใหญ่ก็เป็นปัจจัยที่ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มลดลงได้เช่นกัน

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นแรงจูงใจให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาพฤติกรรมความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของดินทรายปนเปื้อนน้ำมัน โดยการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบในห้องปฏิบัติการและการทดสอบสนาม ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปเผยแพร่ผ่านการนำเสนอในการประชุมทางวิชาการ หรือทางวารสารทางวิชาการ ทั้งยังเป็นการสร้างความเข้าใจต่อพฤติกรรมกรับน้ำหนักแบกทานของดินที่ปนเปื้อนได้ความถูกต้องสูง นำไปสู่การวางแผนการออกแบบฐานรากในพื้นที่เสี่ยงต่อการถูกปนเปื้อนต่อไปได้ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันต่อพฤติกรรมการรับน้ำหนักแบกทานของดินทราย
2. เพื่อศึกษาพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินทราย
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินทราย
4. เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของดิน
5. เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบฐานรากในพื้นที่ที่ดินถูกปนเปื้อน
6. เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาไปเผยแพร่ถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่วิศวกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านวิศวกรรมโยธา ติพิมพ์เผยแพร่ หรือ/และนำเสนอระดับชาติ

3. ขอบเขต

1. ดินทรายที่ใช้ในการทดสอบเป็นดินทรายในพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และจังหวัดเพชรบุรี
2. การทดสอบในสนามใช้วิธีการเจาะหยั่งแบบเบาใช้เครื่องมือ Kunzelstab
3. การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินใช้วิธีการทดสอบแบบแรงเฉือนโดยตรง

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบอิทธิพลของปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันต่อพฤติกรรมการรับน้ำหนักแบกทานของดินทรายในประเทศไทย
2. ทราบพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินทรายปนเปื้อนน้ำมันในประเทศไทย
3. สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของดินได้
4. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบฐานรากที่วางในพื้นที่ดินทรายที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการถูกปนเปื้อนได้
5. เพื่อสร้างความมั่นใจต่อความปลอดภัยของโครงสร้าง
6. เป็นข้อมูลสำหรับนำไปใช้ในการวิจัยในอนาคต

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาพฤติกรรมการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงในชั้นดินทรายจำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจถึงสาเหตุการปนเปื้อน ลักษณะพื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อน ชนิดและคุณสมบัติทางธรณีวิทยาของแหล่งกำเนิด ชนิดและคุณสมบัติของสารปนเปื้อน

1. สาเหตุที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง

การปนเปื้อนจากการรั่วของถังเก็บน้ำมันใต้ดิน พบว่าหนึ่งในสาเหตุ เกิดจากการผุกร่อนของถังเก็บน้ำมันใต้ดิน และจากการรั่วซึมที่จุดต่อของวาล์ว ทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมันทำให้เกิดการปนเปื้อนของดินและน้ำ และจากโครงสร้างถังล้มเหลว ทำให้เกิดการรั่วไหล โดย Dowd (1984) กล่าวว่า มีจำนวนรวมของถังน้ำมันใต้ดินในสหรัฐอเมริกามากกว่า 3 ล้านถัง ซึ่งคาดว่าจะมี 10 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่าของถังเหล่านี้ที่เกิดการรั่ว ดังนั้นจะมีถังที่รั่วเป็นจำนวนมากถึง 3 แสนถัง ส่วน Feliciano (1984) ได้ระบุว่ามิถุนกันใต้ดินประมาณ 1.4 ล้านถัง เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่ง 85 เปอร์เซ็นต์ทำจากเหล็กและไม่มีการป้องกันการผุกร่อน โดอนส่วนมากจะถูกฝังใต้ดินมากกว่า 20 ปีแล้ว ส่วน Lerh et al. (2001) ได้ประมาณว่ามากกว่า 75,000 ของถังเก็บน้ำมันใต้ดิน มีการปล่อยน้ำมันลงสู่ชั้นดิน 11 ล้านแกลลอนภายในหนึ่งปี นอกจากนี้ยังมีผู้เชี่ยวชาญด้านปิโตรเลียมบางคนได้คาดประมาณว่ามีถังจำนวน 75,000-100,000 ถังซึ่งอาจจะเกิดการรั่วเข้าสู่ชั้นทรายใต้ดิน จากข้อมูลเหล่านี้ทำให้ทราบว่ามิถุนกันใต้ดินเกิดการรั่วตามกาลเวลา ซึ่งในประเทศไทยเราก็มีมากที่เกิดปัญหาเหล่านี้

2. น้ำมันเชื้อเพลิง

2.1 ข้อมูลทั่วไปของน้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันดิบ (Crude Oil) คือ ปิโตรเลียมที่อยู่ในลักษณะของของเหลวตามธรรมชาติ ซึ่งมีส่วนประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีหลากหลายประเภทตามลักษณะของสูตรทางเคมี และโครงสร้างโมเลกุล แต่มีเพียง 3 ประเภทเท่านั้นที่มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับปิโตรเลียม (สำนักความปลอดภัยน้ำมันเชื้อเพลิง, 2546) ได้แก่

2.1.1 ประเภทพาราฟิน (Paraffin) ซึ่งเป็นพวก Alkane สูตร C_nH_{2n+2}

2.1.2 ประเภทแนพทีน (Naphthene) ซึ่งเป็นพวก Alkane สูตร C_nH_{2n-6}

2.1.3 ประเภทอโรแมติก (Aromatic) ซึ่งเป็นพวก Cycloalkane สูตร C_nH_{2n-6}

โดยปกติน้ำมันดิบที่สูบขึ้นมา เมื่อผ่านกระบวนการกลั่นแล้ว จะได้เป็นผลผลิตปิโตรเลียมที่หลากหลายซึ่งผลผลิตปิโตรเลียมที่ได้จากการกลั่นที่อุณหภูมิต่างๆ จะได้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งแต่ละชนิดนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์หลายด้าน ไม่ว่าจะด้านอุตสาหกรรม คมนาคม หรือแม้กระทั่งใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน เช่น ให้แสงสว่าง ความร้อน เป็นต้น

ตารางที่ 1 ลักษณะของผลผลิตของสารปิโตรเลียม

ผลผลิต	ขนาดของไฮโดรคาร์บอน	ช่วงอุณหภูมิกลั่นตัว (°C)	องค์ประกอบ
1. น้ำมันเบนซิน	C ₅ -C ₁₀	40-205	Alkanes, isoalkanes Cycloalkenes,romatics,BTEX ^a
2. น้ำมันดีเซล	C ₁₅ -C ₂₅	200-400	Alkanes, isoalkanes Cycloalkenes ,PAHs
3. น้ำมันเชื้อเพลิง	C ₁₀ -C ₂₅	140-400	Alkanes, isoalkanes Cycloalkenes, BTEX, PAHs ^b
4. น้ำมันหล่อลื่น	C ₂₀ -C ₇₀	ส่วนที่เหลือจากการ เผาไหม้	Alkanes, PAHs

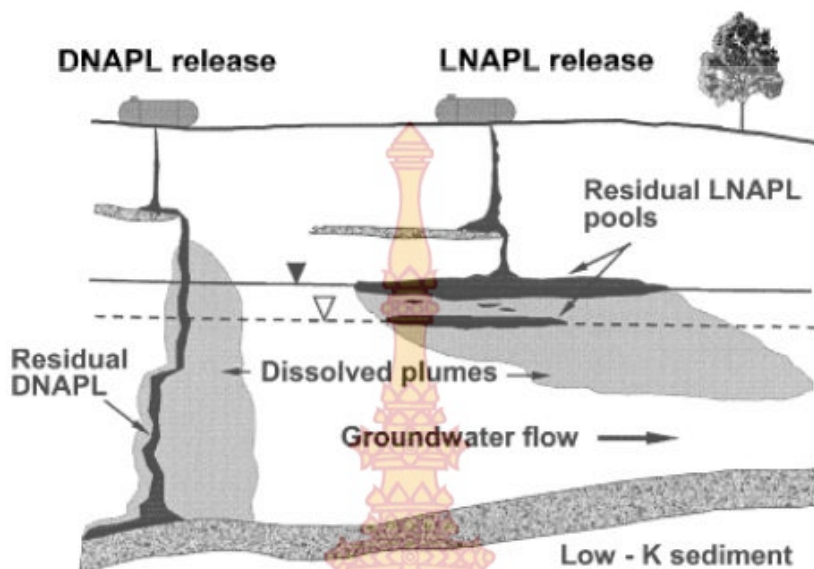
หมายเหตุ ^a BTEX = Benzene Toluene Ethylbenzene และ Xylene

^b PAHs = Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

ที่มา: เกียรติศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2546

เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งแยกตัวจากน้ำ โดยเรียกตามลักษณะของสารประกอบนี้ว่า Non Aqueous Phase Liquid (NAPL) โดยมีการแบ่งชนิดของ NAPL ตามความหนาแน่นเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. Light Non Aqueous Phase Liquid (LNAPL) เป็นของเหลวที่มีน้ำหนักเบา คือ มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำโดยทั่วไปจะลอยอยู่บนผิวน้ำ เช่น น้ำมันเชื้อเพลิงและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เป็นต้น
2. Dense Non Aqueous Phase Liquid (DNAPL) เป็นของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ โดยทั่วไปจะจมอยู่ใต้น้ำ เช่น Chlorinated Solvent เป็นต้น



ภาพที่ 1 ลักษณะการรั่วไหลของสาร DNAPL และ LNAPL

ที่มา: Molson et al., 2002

2.2 น้ำมันเบนซินหรือน้ำมันแก๊สโซลีน

น้ำมันเบนซินที่ได้จากการกลั่นโดยตรงและอาจได้จากการแยกก๊าซธรรมชาติเหลว หรือ แก๊สโซลีนธรรมชาติ น้ำมันเบนซินจะผสมสารเพิ่มคุณภาพเพื่อเหมาะกับการใช้งาน เช่น สารเพิ่มค่าออกเทน สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันได้กำหนดชนิดของน้ำมันเบนซินเป็น 2 ชนิด

2.2.1 น้ำมันเบนซินธรรมดา ซึ่งมีค่าออกเทน 91 ปริมาณสารตะกั่วไม่เกิน 0.15 กรัมต่อลิตร ใช้สำหรับเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนการอัดต่ำ

2.2.2 เบนซินพิเศษ ซึ่งมีค่าออกเทน 95 ปริมาณสารตะกั่วไม่เกิน 0.15 กรัมต่อลิตร เหมาะกับเครื่องยนต์ที่มีอัตราการอัดสูง

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันเบนซินชนิดธรรมดาและชนิดพิเศษ

คุณสมบัติ	น้ำมันเบนซิน	น้ำมันเบนซิน	วิธีทดสอบ
	(91) ขีดจำกัด	(95) ขีดจำกัด	
1. ค่าออกเทน (F-1)	ต่ำสุด 82.6	ต่ำสุด 94.6	ASTM D2699
2. ปริมาณตะกั่ว (g/1)	สูงสุด 0.40	สูงสุด 0.40	ASTM D3341
3. แรงดันไอน้ำมัน @3.78 °C หรือ @100 °F (lb)	สูงสุด 62 สูงสุด 9.0	สูงสุด 62 สูงสุด 9.0	ASTM D328
4. คราบเหนียว (g/100ml) หรือ (mg/100ml)	สูงสุด 0.005 สูงสุด 5	สูงสุด 0.005 สูงสุด 5	ASTM D381
5. ปริมาณกำมะถัน (%โดย น้ำหนัก)	สูงสุด 0.20	สูงสุด 0.20	ASTM D1266
6. การกัดกร่อนแผ่นทองแดงที่ 50 °C ในเวลา 3 ชั่วโมง	สูงสุด No.1	สูงสุด No.1	ASTM D130
7. การกลั่น			
10%ของการระเหยตัว (°C, °F)	สูงสุด 75	สูงสุด 75	ASTM D86
50%ของการระเหยตัว (°C, °F)	ต่ำสุด 75	ต่ำสุด 75	
	สูงสุด 125	สูงสุด 125	
90%ของการระเหยตัว (°C, °F)	สูงสุด 190	สูงสุด 190	
อุณหภูมิจุดสุดท้าย (°C, °F)	สูงสุด 215	สูงสุด 215	
ที่เหลือ (%โดยปริมาตร)	สูงสุด 2.0	สูงสุด 2.0	
8. สีที่มองเห็นด้วยตาเปล่า	สีแดง	สีเหลืองอ่อน	ตามที่กำหนด

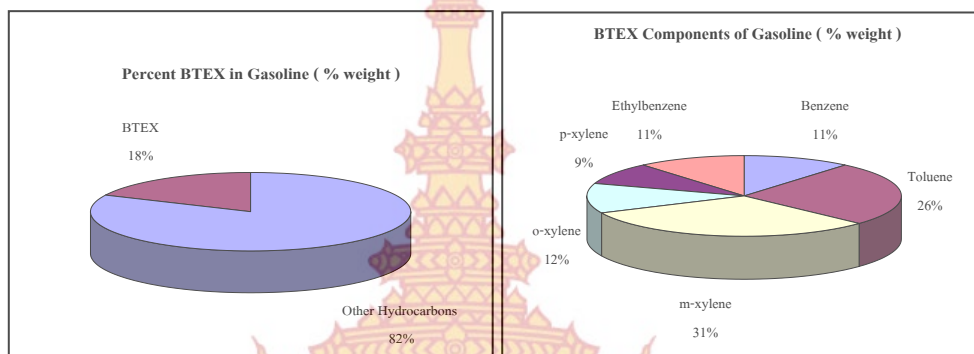
ที่มา: วรรณัฐ ศรีพงษ์วิจิตร, 2549

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเบนซิน สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ได้แก่

1. Aromatics Hydrocarbon ได้แก่ C₅ ไปถึง C₁₂ ของพวก Alkanes เช่น n-hexane
2. Aliphatic Hydrocarbon ได้แก่ สาร BTEX โดยมากใช้เป็นสารประกอบของน้ำมันเบนซินนอกจากนี้สารไซลีนและเอทิลเบนซินยังใช้เป็นสารทำละลายสำหรับการล้างทำความสะอาด และใช้เป็นสารสังเคราะห์โพลีเมอร์ต่างๆซึ่งสาร BTEX เหล่านี้จัดเป็นสารอันตรายและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้ใช้น้ำมันเบนซิน 91 เป็นตัวแทนของน้ำมันเชื้อเพลิง

2.3 รายละเอียดเกี่ยวกับ BTEX

โดยปกติน้ำมันเบนซิน (Gasoline) จะประกอบด้วย BTEX ร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก ซึ่งสาร BTEX ประกอบด้วย Benzene ร้อยละ 11, Toluene ร้อยละ 26, m-Xylene ร้อยละ 31, o-Xylene ร้อยละ 12, p-Xylene ร้อยละ 9 และ Ethylbenzene ร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสาร BTEX ดังแสดงในตารางที่ 3



(ก)


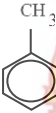
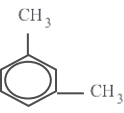
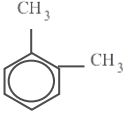
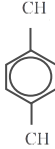
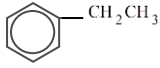
(ข)

ภาพที่ 2 น้ำมันเบนซินมี (ก) เปอร์เซ็นต์ BTEX ในน้ำมันเบนซิน และ (ข) ร้อยละสารประกอบต่างๆ ใน BTEX

ที่มา: Christensen and Elton, 1996

แม้ว่าน้ำมันเบนซินจะเป็นสารที่ไม่ผสมกับน้ำ (Immiscible) แต่เนื่องจากมีสาร BTEX เป็นสารประกอบ ซึ่งสาร BTEX นี้สามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย ดังนั้นเมื่อเกิดการรั่วไหลจากถังกักเก็บ น้ำมันใต้ดินจะสามารถแทรกซึมเข้าสู่ดินและน้ำใต้ดินได้ ทำให้เกิดปัญหามลภาวะรุนแรงในน้ำใต้ดิน โดยจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสาร BTEX

	Benzene	Toluene	m- Xylene	o- Xylene	p- Xylene	Ethyl benzene
โครงสร้างทางเคมี						
สูตรเคมี	C ₆ H ₆	C ₇ H ₈	C ₈ H ₁₀	C ₈ H ₁₀	C ₈ H ₁₀	C ₈ H ₁₀
น้ำหนักโมเลกุล, (g/mol)	78	92	106	106	106	106
อุณหภูมิ, (°C)	25	20	20	20	20	20
การละลายน้ำ, (mg/l)	1780	515	175	130	198	152
ความดันไอ, (mmHg)	95.2	22	10	10	10	7
ความหนาแน่น จำเพาะ, (kg/l)	0.8787	0.8669	0.8642	0.8802	0.8610	0.8670
ค่าสัมประสิทธิ์การ แบ่งแยกน้ำกับออก ทานอล, (log K _{ow})	2.12	2.69	3.20	2.77	3.15	3.15
ค่าคงที่ของเฮนรี, (atm*m ³ /mol)	5.5x10 ⁻³	5.18x10 ⁻³	7.98x10 ⁻³	0.011	7.05x10 ⁻³	8.73x10 ⁻³
ค่าสัมประสิทธิ์การ แบ่งแยกสารอินทรีย์ คาร์บอน, (K _{oc} ml/g)	83	300	240	240	240	1.1
มาตรฐานคุณภาพน้ำ ใต้ดิน, (mg/l)	0.005	1	10	10	10	0.7

ที่มา: Christensen and Elton, 1996; LaGrega et al., 2001

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนส่วนมากถูกพบในน้ำใต้ดิน รวมถึงสารประกอบของน้ำมันเบนซิน ซึ่งก็คือสาร BTEX มักถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากสาเหตุต่างๆ อาทิ การรั่วไหลจากถังเก็บน้ำมันใต้ดิน อุตสาหกรรมรถยนต์ เป็นต้น โดยลักษณะและอันตรายของสาร BTEX มีดังต่อไปนี้

เบนซิน (Benzene) เป็นสารระเหยง่าย ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเป็นจำนวนมาก แต่มันยังเป็นสารที่เคลื่อนที่ได้สูงในดิน ทำให้มันอาจจะเคลื่อนที่มาถึงน้ำใต้ดินได้ สารประกอบนี้เป็นที่รู้กันว่าเป็นสารประกอบก่อมะเร็งและสารนี้ยังเป็นสาเหตุของการเป็นลิวคีเมีย (Leukemia) หรือมะเร็งเม็ดเลือดขาว นอกจากนี้เมื่อสารเบนซินเข้าสู่กระแสเลือด สารนี้สามารถไปยังเนื้อเยื่อไขมันต่างๆ โดยสามารถทำปฏิกิริยาและกลายเป็นสารฟีนอล (Phenol) ซึ่งกลายเป็นสารก่อมะเร็งที่ร้ายแรงกว่าเบนซิน (Christensen and Elton, 1996) เมทตาบไลต์ของเบนซินสามารถรวมตัวกับโปรตีนและ DNA ในตับ ม้าม ไชกระดูกและเลือดของสัตว์ได้ ซึ่งการรวมตัวกันนี้มีผลต่อการทำงานของและการเจริญเติบโตของเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ไขกระดูกและม้าม (Snyder et al., 1978; Sun et al., 1990; Longacre et al., 1981) เมื่อสัมผัสเบนซินทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อผิวหนังและตา อาการทางผิวหนังที่พบคือ บวมแดง แสบร้อน ในกรณีที่รุนแรงผิวหนังจะบวมน้ำและเป็นเม็ดตุ่มพอง (Wolf et al., 1956) ส่วนโทลูอิน (Toluene) และไซลีน (Xylene) การหายใจเอาสารทั้งคู่นี้ในความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้มีอาการปวดหัว วิงเวียนศรีษะ หน้ามืดและระคายเคือง ต่อเนื้อเยื่อต่างๆ ถ้าได้รับปริมาณความเข้มข้นสูงๆ จะมีอาการร้ายแรงขึ้น ส่งผลต่อระบบประสาทส่วนกลางและถ้าได้รับเป็นระยะเวลานานก็จะทำลายสมอง แต่ไม่พบว่าเป็นสารก่อมะเร็ง (เกรียงศักดิ์, 2546; Christensen and Elton, 1996) ส่วนเอทิลเบนซิน (Ethylbenzene) สามารถเข้าสู่ผิวหนังโดยการสัมผัส ผลในระยะสั้นก่อให้เกิดการระคายเคืองตาและคอ ส่วนผลในระยะยาวเป็นสาเหตุให้การเคลื่อนไหวลดลงและวิงเวียนศรีษะ

ดังนั้น ถ้าร่างกายได้รับสาร BTEX เหล่านี้ในปริมาณที่มากกว่าค่า Median Lethal Dose 50 (LD₅₀) คือ ปริมาณเคมีที่คำนวณได้ที่จะมีผลทำให้เกิดการตาย 50 เปอร์เซ็นต์ ของประชากรที่ได้ทดสอบและ ค่า Threshold Limit Value (TLV) คือค่าความเข้มข้นของสารที่ฆ่าประชาชนที่ใช้ทดสอบตาย 50 เปอร์เซ็นต์ หลังจากได้รับเป็นระยะเวลารวม 96 ชั่วโมง (ดังแสดงในตารางที่ 4) ก็จะทำให้เกิดอันตรายอาจถึงชีวิตได้

ตารางที่ 4 ค่า LD₅₀ และค่า TLV ของ BTEX

สาร	LD ₅₀ ^a (mg/kg)	TLV ^b (ppm)
Benzene	3.306	10
Toluene	5.000	100
Ethyl Benzene	3.500	100
Xylene	5.000	100

หมายเหตุ LD₅₀^a คือ Median Lethal Dose
TLV^b คือ Threshold Limit Value

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2546

การเคลื่อนที่ของ LNAPL จากสภาวะก๊าซผ่านอนุภาคของดินนั้นจะมีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การแพร่ (Diffusion) โดยการแพร่ คือการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนผ่านอนุภาคของดิน โดยอาศัยความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารปนเปื้อนสำหรับดินที่มีความพรุนต่ำ การเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนระหว่างสถานะนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและสิ่งแวดล้อม ดังในตารางที่ 5 ซึ่งสามารถวิเคราะห์การระเหยตามการแพร่ของ LNAPL ได้ดังนี้

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและสิ่งแวดล้อม

คุณสมบัติทางกายภาพ	คุณสมบัติทางเคมี	คุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อม
-ความชื้นภายในดิน	-ความสามารถในการระเหย	-อุณหภูมิ
-ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน	-ลักษณะความเป็นขั้วระหว่าง	-การไหลของน้ำใต้ดิน
-การกระจายของขนาดดิน	สารปนเปื้อนและดิน	
-ความพรุนของดิน	-ความหนาแน่นและความหนืด	
	ของสารปนเปื้อน	

ที่มา: LaGrega et al., 2001

เมื่อ LNAPL เกิดการปนเปื้อนในดิน LNAPL จะเกิดการซึบ (Sorption) ซึ่งเป็นขบวนการเคลื่อนที่จากสถานะหนึ่งไปสู่อีกสถานะหนึ่ง โดยผ่านเส้นแบ่งสภาวะ (Boundary) โดยที่ การดูดซับ (Adsorption) เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวของตัวดูดซับ โดยการซึบจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารอินทรีย์สู่ผิวของตัวซึบ โดยปกติแล้วการส่งผ่านในชั้นฟิล์มและการแพร่ผ่าน

ในรูปพหุเป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นช้าสุด ดังนั้นจึงเป็นขั้นตอนที่ควบคุมการดูดซับ (Rate Limiting Step) เมื่อใดที่การแพร่ในรูปพหุเป็นกระบวนการที่ควบคุมการดูดซับ อัตราการแพร่ผ่านจะลดลง เมื่อสารนั้นมีน้ำหนักโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นและขนาดของรูปพหุมีขนาดเล็กลง โดยมีแรงต่างๆที่ควบคุมการดูดซับได้แก่ แรงดึงดูดระหว่างขั้ว แรง Van Der Waal

2.3.1 กลไกการซับ

การซับเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากสารประกอบที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ถูกดูดซับไว้กับดิน โดยทั่วไปการซับจะมีอยู่ 2 ชนิดที่ควรทราบ ได้แก่

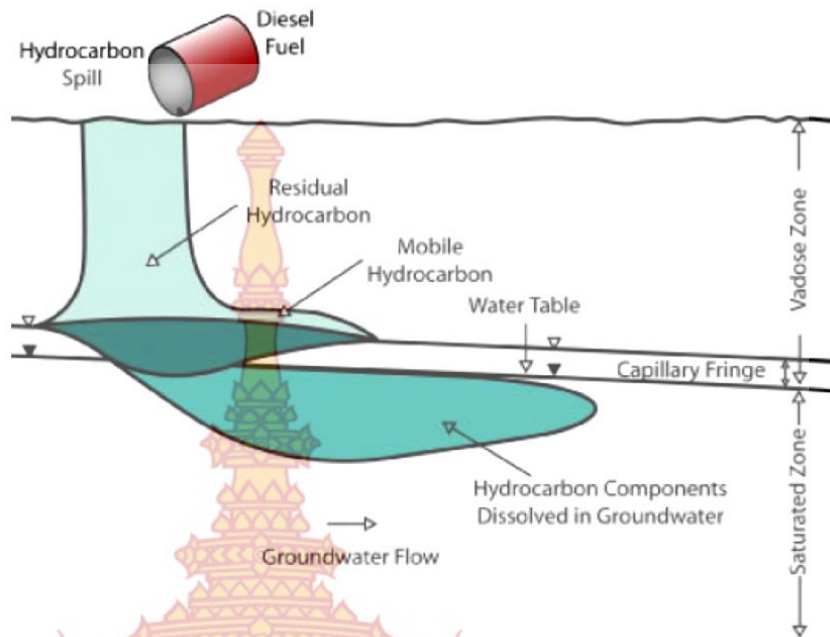
1. การดูดซับ (Adsorption) เป็นการแยกสารปนเปื้อนออกจากสารละลายแล้วเกาะติดบนของแข็ง
2. การไม่ดูดซับ (Desorption) เป็นการหลุดออกจากสารปนเปื้อนออกจากผิวของแข็ง

ดินเป็นตัวดูดซับที่มีความสำคัญตัวหนึ่งโดยจะทำการดูดซับสารปนเปื้อน ที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้น้อยหรือเป็นพวกไม่ชอบน้ำ จะทำให้ดินดูดซับสารปนเปื้อนได้มาก ทั้งนี้ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความจุของการดูดซับของดิน ได้แก่ ค่าการละลาย โครงสร้างโมเลกุลน้ำหนักโมเลกุล ขั้วของสารปนเปื้อน ค่าการอิมตัวของ LNAPL

2.3.2 การถ่ายเทมวลระหว่าง LNAPL – น้ำใต้ดิน

เมื่อ LNAPL เคลื่อนที่ถึงชั้น Capillary Fringe ซึ่งเป็นบริเวณที่มีน้ำใต้ดินแทรกขึ้นมาตามช่องว่างของเม็ดดินทราย ทำให้เกิดพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำมันและน้ำใต้ดินได้ ซึ่งน้ำมันส่วนที่สัมผัสกับน้ำใต้ดินนี้สามารถเกิดการละลายและเคลื่อนที่ไปกับน้ำใต้ดินได้ ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งอัตราการละลายของ LNAPL ในชั้นใต้ดินนี้จะขึ้นอยู่กับค่าการละลาย (Solubility) และการแพร่ของโมเลกุลของสารประกอบ LNAPL ซึ่งก็คือ สาร BTEX โดยความเข้มข้นของสาร BTEX ที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่างๆ ของสาร BTEX และสัดส่วนของสารประกอบ BTEX ในน้ำมัน

เบนซิน 91



ภาพที่ 3 การละลายของ LNAPL เมื่อสัมผัสกับน้ำ

ที่มา: Fetter, 1992

อัตราการถ่ายเทมวล (Rate of Mass Transfer) จาก LNAPL เข้าสู่ น้ำใต้ดิน ถูกแสดงโดย ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (Mass Transfer Coefficient) ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (Concentration Difference) และพื้นที่ส่วนสัมผัส (Contact Area) โดยมีสมการดังนี้

$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{อัตราการ} & & \text{สัมประสิทธิ์} & & \text{ความเข้มข้น} & & \text{พื้นที่} \\
 \text{ถ่ายเทมวล} & = & \text{การถ่ายเทมวล} & \times & \text{ที่แตกต่างกัน} & \times & \text{ส่วนสัมผัส} \\
 (M/T) & & (L/T) & & (M/L^3) & & (L^2)
 \end{array} \tag{1}$$

การละลายของ LNAPL จะเกิดที่สภาวะสมดุล ซึ่งสาร BTEX ที่เป็นสารประกอบของ LNAPL นี้มีแนวโน้มที่จะไม่ละลายน้ำหรือมีค่าการละลายน้ำต่ำ โดยพื้นฐานเหล่านี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของสาร BTEX แต่ละตัว โดยการละลายนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่แตกต่างกันของสาร BTEX กับน้ำใต้ดินที่เข้าระบบ (Uchrin and Slater, 1985) เมื่อมาพิจารณาถึงค่าในการละลายของสาร LNAPL โดยหากค่าความเข้มข้นของสาร BTEX ที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินจะใช้สมการดังนี้ (Chomsurin, 2003)

$$C_{w,i} = \left(\frac{\rho_i \times X_i \times \Delta V_{image,bottom} \times n}{Q_w \times (\Delta t)} \right) \quad (2)$$

2.4 น้ำมันดีเซล

น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่ได้จากโรงกลั่นเช่นเดียวกับน้ำมันเบนซินซึ่งเป็นน้ำมันที่เรียกว่า น้ำมันใส หรือ Distillate Fuel มีช่วงจุดเดือดประมาณ 180-370 องศาเซลเซียส น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งเป็นเครื่องยนต์แรงอัดสูง (High Compression) และจุดระเบิดเอง (Self-Ignition Engine) ซึ่งการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นจากความร้อนจากแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบโดยไม่ต้องใช้หัวเทียน

2.5 พาราฟินเหลว (Paraffin Liquid)

พาราฟินเหลวหรือที่เรียกว่าปิโตรลาตัมเหลว (Liquid Petrolatum) หรือน้ำมันแร่ชั้นคุณภาพอาหาร (Food Grade Mineral Oil) หรือน้ำมันแร่ขาว (White Mineral Oil) หมายถึง สานผสมของไฮโดรคาร์บอนเหลวที่เป็นพาราฟฟินิก (Paraffinic) และแนฟเทนิค (Naphthenic) ซึ่งได้จากการรวมวิธีการทำน้ำมันแร่ดิบ (Mineral Crude Oil) ให้บริสุทธิ์โดยผ่านขั้นตอนต่างๆ เช่น การกลั่น การสกัด การตกผลึก แล้วทำให้บริสุทธิ์อีกครั้ง โดยใช้กรด หรือตัวเร่งปฏิกิริยา คุณลักษณะต้องเป็นน้ำมันโปร่งใส ไม่มีสี ไม่เรืองแสงกลางวัน ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายในน้ำ ละลายได้เล็กน้อยในเอทานอล และละลายได้ดีในอีเทอร์ โดยมีคุณสมบัติต่างๆเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซิน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณสมบัติของพาราฟินเหลวและน้ำมันเบนซิน

	พาราฟินเหลว	เบนซิน
Formula	C ₂₀ H ₄₂ (or Above)	C ₆ H ₆
Appearance	Colorless, Odorless	Colorless
Boiling Point	30-50 °C	80.1 °C
Melting Point	≤-10 °C	5.5 °C
Solubility in Air	Nonvolatile	161 mg/1
Solubility in Water	Insoluble	1,780 mg/1 (20 °C)
Viscosity	170 mpa's	0.647 mpa's
Hazard Nature	Non Toxic	Toxic
Surface Tension	31.07 mN/m (25 °C)	28.9 mN/m

ตารางที่ 6 คุณสมบัติของพาราฟินเหลวและน้ำมันเบนซิน (ต่อ)

คุณสมบัติ	พาราฟินเหลว	เบนซิน
Interface Tension	62.06 mN/m (25 °C)	35.0 mN/m
Specific Gravity	0.83-0.89 g/cm ³	0.879 g/cm ³

ที่มา: Li Yan, 2005

3. สภาพทางปฐพีและฐานรากของประเทศไทย

3.1 สภาพทางปฐพีและฐานรากของภาคเหนือ

ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่ประกอบด้วยเทือกเขาสูงสลับซับซ้อนต่อเนื่องกันหลายเทือก ส่วนใหญ่วางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้และตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ชุมชนขนาดใหญ่ที่สำคัญส่วนใหญ่จะอยู่ในที่ราบลุ่มระหว่างหุบเขา ซึ่งมักเรียกว่าเป็นแอ่งที่ราบหุบเขา เช่น แอ่งเชียงใหม่-ลำพูน, แอ่งเชียงราย, แอ่งลำปาง, แอ่งแพร่ เป็นต้น

สภาพทางธรณีวิทยาในบริเวณภาคเหนือจะประกอบด้วยหินที่มีอายุมากที่สุดยุคพรีแคมเบรียน (Pre-Cambrian) อายุมากกว่า 544 ปี จนถึงยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) มีทั้งหินแปร หินแกรนิต หินตะกอน และหินภูเขาไฟ

3.1.1 ลักษณะชั้นดิน

ตะกอนในแอ่งหุบเขาในภาคเหนือส่วนใหญ่ จะประกอบด้วยทรายและมักแสดงการจัดเรียงขนาดจากหยาบขึ้นไปหาละเอียด เม็ดทรายมีลักษณะมนเหลี่ยม (Subangular) มีการจัดขนาดดีปานกลางในหลายระดับอาจพบชั้นแข็ง (Fe/Mn Concretions) ใต้ชั้นทรายอาจพบชั้นกรวด และบางครั้งมีชั้นดินเหนียวชนิดคาโอลินติก (Kaolinitic Clay) เกิดสลับชั้นทราย, กรวด ด้วยชั้นดินในเขตลานตะพักต่ำ (Low Terrace)

สำหรับคุณสมบัติของชั้นดินเหนียวแข็งปนทรายสีเทาอ่อน (ระดับความลึก 2-12 เมตร) ได้มีการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคไว้โดยละเอียด ผ่านการทดสอบในห้องปฏิบัติการทั้งด้านคุณสมบัติ ด้านการทรุดตัว และความแข็งแรง โดยดินชั้นนี้เป็นดินเหนียวแข็งมีค่า อัตราส่วนอัดแน่นเกินปกติ (Over Consolidation Ratio) ประมาณ 7-12

3.1.2 ฐานราก

สำหรับอาคารทั่วไป (อาคารสูง 6-7 ชั้น) ฐานรากตื้นประเภทแผ่ (Spread Footing) ก็ยังเป็นที่ยอมรับใช้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสภาพลักษณะชั้นดินในระดับตื้น มีความสามารถรับน้ำหนักได้ค่อนข้างสูง โดยปกติค่าความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของมวลดินที่ระดับความลึกประมาณ 1.5-3.0 เมตร มีค่าสูงกว่า 10 ตัน/ตารางเมตร ซึ่งเป็นค่าที่สามารถใช้ในการ

ออกแบบโดยไม่ต้องมีผลการเจาะสำรวจ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าในหลายพื้นที่ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของดินที่ระดับความลึก ดังกล่าว มีค่าต่ำกว่า 10 ตัน/ตารางเมตร

3.2 สภาพทางปฐพีและฐานรากของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือหรือภาคอีสานของประเทศไทยประกอบไปด้วย 18 จังหวัด ครอบคลุมพื้นที่หนึ่งในสามของพื้นที่ประเทศโดยมีประชากรมากที่สุด สภาพภูมิประเทศจัดว่าเป็นที่ราบสูง มีสภาพภูมิอากาศที่ร้อนและมีการกระจายตัวของฝนไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ภูมิภาคนี้ส่วนใหญ่ประสบกับปัญหาภัยแล้งและบางพื้นที่ประสบกับภัยน้ำท่วม การจัดการกับปัญหาน้ำท่วมและภัยแล้ง จำเป็นต้องมีการก่อสร้างระบบชลประทานขนาดเล็กและขนาดใหญ่กระจายตัวอยู่ทั่วพื้นที่ของภาค

3.2.1 ลำดับชั้นดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตามลักษณะทางธรณีวิทยา

ก) ชั้นดินที่เกิดจากการผุพังของหินในที่ (Residual Soil) เป็นดินที่เกิดจากการผุพังอยู่กับที่โดยปราศจากการพัดพาซึ่งอาจเป็นได้ทั้ง ดินทราย, ดินทรายแป้งหรือดินเหนียว ขึ้นอยู่กับชนิดของหินต้นกำเนิด

ข) ชั้นกรวด (Gravel Bed) เป็นชั้นดินที่วางตัวอยู่บนดินที่เกิดจากการผุพังอยู่กับที่และถูกปิดทับด้วยดินศิลาแลงหรือดินลูกรัง บางครั้งอาจพบชั้นกรวดวางตัวไม่ต่อเนื่องบนชั้นหินแข็ง ชั้นกรวดนี้ประกอบด้วยกรวดมนขนาดต่างๆ ตั้งแต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ขึ้นไปจนถึงกรวดมน ขนาดใหญ่ โดยความหนาเฉลี่ยของชั้นกรวดที่พบในภาคอีสานจะหนาประมาณ 30 เมตร

ค) ชั้นดินศิลาแลง (Laterite) เป็นดินสีสนิมเหล็กและมีรูพรุน มักพบอยู่ใต้หน้าดิน ส่วนประกอบทางเคมีชนิดนี้ได้แก่ สารประกอบเหล็กออกไซด์กับอลูมิเนียมออกไซด์ ดินศิลาแลงที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ดินศิลาแลงปนกรวด (Gravelly Laterite), ดินศิลาแลงเม็ดไข่ (Pisolitic Laterite) และดินศิลาแลงพีคใหญ่ (Massively Cemented Cellular Texture) โดยความหนาที่พบประมาณ 1-2 เมตร

ง) ชั้นดินเชิงเขา (Colluvium) เป็นดินที่ประกอบด้วยเศษดินเศษหินขนาดต่างๆ ที่แตกกระจายตกลงมาองทับถม อยู่ที่เชิงเขา ซึ่งเป็นการผุพังของหินและมีการพัดพาจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ดินเชิงเขาที่พบส่วนใหญ่เป็นดินตะกอนหลายขนาดคละปนกัน

จ) ชั้นดินลมหอบสีแดงและสีเหลือง (Red and Yellow Loess) เป็นดินซึ่งเกิดจากการพัดพาโดยลมมาจากแหล่งอื่นมาทับถมกัน ส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินทรายแป้ง (Silt) ปนทรายละเอียดมาก โดยยึดเกาะกันอย่างหลวมๆ ไม่อัดกันแน่น อาจพบดินเหนียวปนอยู่บ้างแต่ในปริมาณน้อย ความหนาของดินชนิดนี้จะอยู่ระหว่าง 0.1-6 เมตร

ฉ) ชั้นดินตะกอนในแอ่งและที่ลุ่มน้ำขัง (Swamp and Lake Deposit) ชั้นดินชนิดนี้พบอยู่พบอยู่ทั่วไปได้แก่แอ่งหนองน้ำ (Swamp), ที่ลุ่มน้ำขัง (Lake) และพื้นที่ลุ่มชื้นแฉะ (Marsh Floors) มักพบเป็นดินเหนียว, ดินเหนียวปนทราย หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงมาก

ช) ชั้นดินตะกอนที่น้ำพัดพาในตะพักระดับกลาง (Middle-Terrace Alluvial Deposit) เป็นตะกอนดินที่เกิดจากการพัดพาโดยน้ำแล้วสะสมตัวเป็นภูมิประเทศแบบขั้นบันไดริมตลิ่ง พบดินชนิดนี้มากในเขตจังหวัดมหาสารคามและจังหวัดกาฬสินธุ์ มีทั้งดินทราย, ดินทรายแป้ง และดินเหนียว ดินที่พบมีสีน้ำตาลเหลืองจนถึงเหลืองน้ำตาล ความหนาของดินชนิดนี้โดยเฉลี่ยประมาณ 6 เมตร

ซ) ชั้นดินตะกอนที่น้ำพัดพาในตะพักระดับล่าง (Low-Terrace Alluvial Deposit) จะปกคลุมพื้นที่ราบซึ่งวางตัวอยู่ในพื้นที่ต่ำ ดินชนิดนี้เป็นการทับถมของตะกอนซึ่งเกิดจากการพัดพาของน้ำในสมัยโบราณของแม่น้ำสายต่างๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สีของดินที่พบมีตั้งแต่สีน้ำตาลเทาเข้าจนถึงสีน้ำตาลเข้ม

ณ) ชั้นดินตะกอนที่เกิดจากน้ำท่วม (Flood Deposit) เป็นตะกอนดินที่น้ำในแม่น้ำพัดพาไปตกทับถมในบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง (Sheet Flood) เกิดเป็นตะกอนจากน้ำท่วม ซึ่งชั้นตะกอนจะหนามากบริเวณริมแม่น้ำและจะบางในบริเวณที่ห่างออกไป ลักษณะของดินชนิดนี้จะเกาะตัวกันอย่างหลวมๆ ไม่แข็งตัว ดินที่พบอาจจะเป็นดินทราย, ดินทรายแป้ง ที่มีสีน้ำตาลเหลือง

ด) ชั้นดินตะกอนจากทางน้ำโค้งตัว (Meandering Belt Deposit) เป็นตะกอนเป็นตะกอนดินที่ตกทับถมในลำน้ำที่โค้งไปมา มักพบในบริเวณที่น้ำไหลผ่านในพื้นที่ค่อนข้างราบที่มีการกัดเซาะของดินทางลิกน้อยกว่าด้านข้าง จะพบดินดินประเภทนี้รอบๆ ทางน้ำของแม่น้ำมูล แม่น้ำชี แม่น้ำพอง ดินส่วนใหญ่เป็นดินทรายปนดินเหนียวและดินทรายปนดินทรายแป้งความหนาเฉลี่ยของชั้นนี้ประมาณ 2 เมตร

จ) ชั้นดินตะกอนที่เกิดจากน้ำหลากแผ่ซ่าน (Sheet-Wash Deposit) เป็นตะกอนซึ่งเกิดจากน้ำหลากพัดพามาสะสมเป็นชั้นดิน ดินที่พบเป็นดินทราย, ดินทรายแป้งสีเหลืองแดง สีน้ำตาลเหลือง และสีน้ำตาล ดินจะมีสภาพเกาะตัวกันอย่างหลวมๆ ถึงหลวมมาก ความหนาเฉลี่ยของชั้นดินนี้หนาประมาณ 1 เมตร

3.2.2 ฐานราก

ฐานรากที่ใช้เกือบทั้งหมดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นฐานรากแผ่และฐานรากเสาเข็มตอก การเลือกชนิดของฐานรากมักอ้างอิงจากการก่อสร้างอาคารอื่นในพื้นที่ใกล้เคียงมากกว่าจะทำการเจาะสำรวจ ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีการก่อสร้างอาคารสูงมากนัก และเจ้าของงานมักต้องการประหยัดค่าใช้จ่าย ฐานรากเสาเข็มชนิดเจาะนั้นยังมีการใช้น้อยมาก เนื่องจากค่าใช้จ่ายสูง

กว่าเสาเข็มตอก ประกอบกับสภาพพื้นที่ยังไม่แออัดมาก ผลกระทบจากการต่อต่ออาคารข้างเคียง จึงยังไม่มากนัก

3.3 สภาพทางปฐพีของภาคใต้

สภาพภูมิประเทศของภาคใต้ ประกอบด้วย บริเวณเทือกเขา หรือเขตภูเขา บริเวณที่ราบระหว่างเทือกเขาและบริเวณที่ราบริมทะเลทั้งสองด้าน ชายฝั่งตะวันออกมีลักษณะยกตัวสูงขึ้น ในขณะที่ชายฝั่งตะวันตกจมลงในทะเล ซึ่งในแต่ละบริเวณสภาพภูมิประเทศ และชั้นดินเบื้องต้นจะแตกต่างกัน

3.3.1 สภาพชั้นดินในบริเวณต่าง ๆ

นอกจากชั้นดินที่ถูกดันขึ้นมาใกล้ผิวโลกแล้ว ชั้นดินในยุคก่อน Recent Epoch ซึ่งมีอายุเกิน 10,000 ปี ดินพวกนี้จะจับตัวกันและแข็งเพิ่มตามอายุ ถ้าทิ้งไว้ก็จะแปรสภาพเป็นหินตะกอน (Sedimentary Rock) ดังนั้น ชั้นดินอ่อนที่มีปัญหาทางด้านวิศวกรรม จะเป็นชั้นดินที่ก่อตัวขึ้นมาใหม่ ยังไม่มีการเกาะกันแน่น

ก) ชั้นดินบริเวณไหล่เขา และที่ราบเชิงเขา ดินซึ่งเกิดจากหินที่ย่อยสลาย อาจทับถมอยู่ที่เดิม (Residual Soil) หรืออาจถูกพัดพาไปทับถมในบริเวณอื่น ซึ่งเรียกว่าดินที่ถูกพัดพา (Transported Soil) โดยการกระทำของตัวแทน (Agent) ต่าง ๆ ดินบริเวณไหล่เขาลาดชันสูงอาจถล่ม ลงมากองบริเวณตีนเขาเนื่องจากแรงโน้มถ่วง หรือไหลลงไปที่กองปิดลำห้วยไว้ และเมื่อระดับในห้วยสูงพอก็จะดันกองดินเหล่านี้มาตามลำน้ำ เมื่อถึงที่ราบริมภูเขาลำห้วยจะขยายใหญ่ขึ้น และความเร็วของกระแส น้ำก็ลดลง หิน และดินเม็ดใหญ่ น้ำจะพัดพาต่อไปไม่ไหว ก็จะตกตะกอนแผ่กระจายในลำธาร (Alluvial) ทับถมกันในบริเวณนี้ กลายเป็นชั้นทรายหรือหินปนกรวดและทรายปกคลุมบริเวณที่ราบริมภูเขา

ข) ชั้นดินในบริเวณลุ่มน้ำ ลุ่มน้ำเป็นบริเวณหุบเขา ที่ชั้นดินผิวบนเกิดจากการสะสมของตะกอนที่พัดพามาโดยน้ำ บริเวณต้นน้ำสภาพภูมิประเทศมีความลาดชันสูง ตะกอนที่สะสมในบริเวณนี้จะเป็นกรวดและดินเม็ดหยาบ ล่างลงมาความเร็วของกระแสน้ำลดลง ทรายและดินเม็ดละเอียดลงมาก็เริ่มตกตะกอน และจนถึงบริเวณปากแม่น้ำ แม่น้ำเริ่มไหลคดเคี้ยว ดินเม็ดละเอียดพวกดินตะกอนและดินเหนียวก็เริ่มตกตะกอนสะสมในบริเวณนี้ เป็นชั้นดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ แม่น้ำอาจจะแตกแขนงเป็นลำน้ำย่อยหลายสาขาก่อนไหลลงทะเล นำตะกอนที่เสกมากออกไปตกสะสมเป็นดินเหนียว ขบวนการนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในฤดูฝน กระแสน้ำไหลแรงและหลากท่วมบริเวณสองฝั่ง ตะกอนที่พัดลงถึงปากแม่น้ำก็อาจเป็นดินเม็ดหยาบ พวกทรายหรือดินตะกอน

ค) สภาพชั้นดินบริเวณชายฝั่งบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตก ตั้งแต่จังหวัดระนอง ลงมาถึงภูเก็ต สภาพที่ราบแคบๆ ริมภูเขาทำให้ดินส่วนใหญ่มีสภาพเหมือนชั้นดินบริเวณที่ราบเชิงเขา

ซึ่งจะเป็นทรายและกรวดที่ไหลลงมาจากภูเขาและแผ่กระจายออกไป ทรายชายหาดเกิดขึ้นจะมีใน ปริมาณที่จำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับชายฝั่งทะเลด้านตะวันออก ล่างลงไปจากจังหวัดพังงา และอำเภอ กะเปอร์ จังหวัดระนอง ซึ่งชั้นดินเบื้องล่างจะเป็นดินเม็ดหยาบตลอด ยกเว้นในบริเวณผิวบนในช่วง 4.0-5.0 เมตร ชั้นดินแข็งจะอยู่ตื้น

บริเวณชายฝั่งตะวันออก ตั้งแต่จังหวัดสุราษฎร์ธานีลงไปถึงจังหวัดนราธิวาส ชั้นดินบริเวณชายฝั่งส่วนใหญ่จะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน ในบริเวณที่เคยเป็นชายหาดเก่าก็จะมีชั้น ทรายทับถมอยู่ข้างบน ในบางบริเวณ เช่น ที่อำเภอเมืองสงขลา และอำเภอเมืองนราธิวาส ชั้นทราย อาจหนาถึง 12 เมตร หลังสันทรายจะมีร่องน้ำซึ่งเป็นทะเลสาบขนานกับแนวชายฝั่ง ดินผิวบนใน บริเวณนี้จะเป็นดินอินทรีย์ และในบริเวณจังหวัดนราธิวาสได้แปรสภาพเป็นดินพรุ (Peat) ปกคลุมผิว บนอยู่หนา 3.0-4.0 เมตร ล่างลงไปเป็นดินเหนียวอ่อน (Marine Clay)

3.4 สภาพทางปฐพีและฐานรากของภาคกลางและกรุงเทพมหานคร

3.4.1 สภาพทางปฐพีของภาคกลาง

ภาคกลางเป็นพื้นที่ของเขตอิทธิพลดินตะกอนลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นสำคัญ (มี ตะกอนดินจากภูเขาที่ขนานบอยู่ทั้งสองด้านแทรกอยู่ในพื้นที่ด้านข้าง) ตะกอนดินในบริเวณนี้เป็นส่วน หนึ่งของชุดดินตะกอนที่ถูกแม่น้ำพัดพาจากภูเขาทางภาคเหนือของประเทศ ซึ่งตะกอนดินเม็ดขนาด ใหญ่ เช่น กรวดทราย และ ดินทรายแป้ง ส่วนใหญ่ได้ตกตะกอนในพื้นที่ตอนบน คือ ภาคเหนือของ ประเทศไปแล้ว เม็ดดินที่เหลือซึ่งเป็นเม็ดดินขนาดเล็ก เช่น ดินเหนียว จึงถูกพัดพามาตกตะกอนใน พื้นที่ส่วนล่าง คือ พื้นที่ภาคกลางของประเทศฉะนั้นดินตะกอนในภาคกลางจึงมีดินเหนียวปนอยู่ใน ปริมาณที่สูงกว่าภาคเหนือ

ซึ่งดินตะกอนในภาคกลาง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

ก) ดินตะกอนน้ำจืด เป็นดินที่อยู่ในพื้นที่ภาคกลางตอนบน (ตั้งแต่นครสวรรค์ลง ไปถึงอ่างทอง) ประกอบด้วยดินตะกอน (Fluvial Deposits) วางตัวอยู่พื้นที่ส่วนกลางขนานกับลำน้ำ เจ้าพระยา ขนานด้วย Alluvial Fan และ Terrace Deposits ในด้านตะวันตกของพื้นที่ เนื่องจาก การตกตะกอนของดินตะกอนน้ำจืด ในแต่ละครั้งจะมีชั้นค่อนข้างบาง เมื่อถูกแดดดินก็จะแข็งตัว ฉะนั้นเนื้อดินพื้นที่นี้จึงอยู่ในสภาพดินเหนียวแข็งเป็นส่วนใหญ่

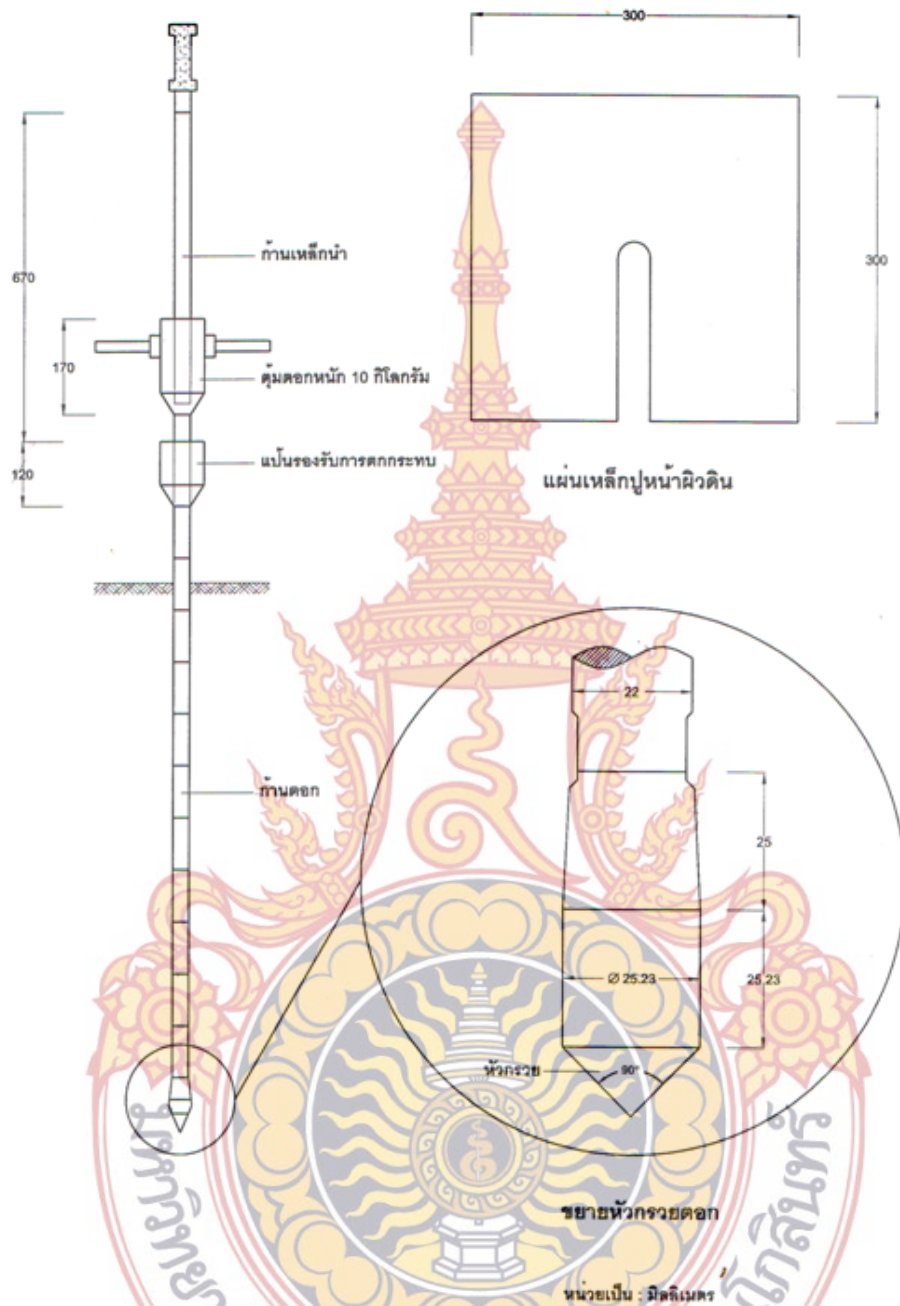
ข) ตะกอนดินเหนียวอ่อน (Marine Clay) เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนปากแม่น้ำ (Deltaic Clay) ที่ปกคลุมเกือบเต็มพื้นที่ราบลุ่มของภาคกลางตอนล่าง ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของ 14 จังหวัด รวมทั้งพื้นที่ทั้งหมดของกรุงเทพมหานคร เหตุที่ดินตะกอนส่วนนี้ยังอ่อนตัวอยู่เพราะเป็น ตะกอนดินเหนียวที่ถูกแม่น้ำพัดพาออกสู่ทะเลที่ปากอ่าวไทย แล้วเกิดการตกตะกอนในท้องทะเลลึก

3.4.2 ฐานราก

เนื่องจากเขตพื้นที่ภาคกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคกลางตอนล่างเป็นที่ราบลุ่ม มีชั้นดินเหนียวอ่อนอยู่ตอนบน ความสามารถในการรับน้ำหนักของพื้นดินมีอยู่ต่ำมากและมีการยุบตัวสูง ปัญหาด้านฐานรากของสิ่งก่อสร้างจึงมีสูงกว่าภูมิภาคอื่น ๆ ของประเทศมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่วิทยาการและเทคโนโลยีด้านฐานรากยังไม่ได้พัฒนารุดหน้าเทียบเท่าปัจจุบัน ปัญหาด้านฐานรากเหล่านี้ได้บรรเทาลงอย่างมาก เมื่อวิทยาการและเทคโนโลยีได้มีการถ่ายทอดเข้ามาสู่ประเทศไทย ประมาณตั้งแต่ปี พ.ศ. 2500 เป็นต้นมา แต่ก็ยังอยู่ในสภาพที่ไม่ดีนัก จนกระทั่งปี พ.ศ.2510 วิทยาการและเทคโนโลยีเกี่ยวกับดินเหนียวอ่อนและฐานรากในดินอ่อนเริ่มได้รับการถ่ายทอดและประยุกต์ใช้ ปัญหาต่าง ๆ จึงสามารถคลี่คลายลงได้มาก ในขณะที่งานก่อสร้างในพื้นที่ภาคกลางก็ขยายตัวมากกว่าภาคอื่น ๆ ทั้งปริมาณงานและสิ่งก่อสร้างตลอดจนรูปแบบก็หลากหลายมากขึ้น ปัจจุบันวิศวกรไทยสามารถถ่ายโอนและปรับประยุกต์ใช้วิทยาการในการออกแบบและก่อสร้าง ฐานรากของสิ่งก่อสร้างในดินอ่อนได้หลากหลายรูปแบบ อาทิเช่น ฐานรากอาคาร ฐานรากสะพาน ฐานรากอาคารระบายน้ำ ฐานรากถนนและงานดินถม งานชุด เหล่านี้ เป็นต้น

4. การเจาะหยั่งแบบเบา (Light Penetrometer) Kunselstab

Kunzelstab เป็นการทดสอบกำลังของดิน โดยใช้แท่งเหล็ก (ก้านเจาะ) ขนาด 22 มิลลิเมตร ที่มีปลายหัวกดเป็นกรวยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2-5 และใช้ตุ้มตอกน้ำหนัก 10 กิโลกรัม ยกสูง 50 เซนติเมตร ตกลงไปพร้อมนับจำนวนครั้งในช่วง 20 เซนติเมตร แล้วนำไปเปรียบเทียบกับแผนภูมิมาตรฐาน (Standard Chart)



ภาพที่ 4 เครื่องมือเจาะหยั่งแบบเบาด้วย Kunselstab
ที่มา: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545

4.1 การแปรผลการทดสอบการตอกหยั่งแบบเบา (สถาพร คูวิจิตรจารุ, 2544)

การทดสอบ ใช้ผู้ปฏิบัติงาน 2-3 คน รวมทั้งผู้จัดบันทึกข้อมูล เมื่อเริ่มการทดสอบ ตอกยึดแผ่นฐาน (Base Plate) บนพื้น ต่อหัวกรวยที่ปลายล่างของก้านเจาะ ต่อชุดที่ตอกและก้านนำที่ปลายบน ยกลูกตุ้ม 50 เซนติเมตร (ที่ร้อยขีด) ปลดปล่อยอิสระ ตอกหัวกรวยลงไปในดิน นับจำนวนครั้ง

ลูกตุ้มตอกทุกๆระยะหัวกรวยจนที่รอยขีดที่ก้านเจาะ (0.2 เมตร) ในการตอกจะต้องตอกด้วยอัตราความเร็วประมาณ 3 ครั้ง/นาที โดยต่อเนื่อง ถ้าหยุดพักขาตอกช่วงการตอก จะต้องหมายเหตุไว้เมื่อตอกหัวกรวยจนปลายบนของก้านตอกลดระดับหนึ่งที่ไม่สะดวกในการทำงานก็ต่อก้านตอกท่อนต่อไป ทดสอบจนถึงความลึกที่ต้องการหรือไม่สามารถตอกหัวกรวยลงไปได้ (Refusal) ถอนก้านตอกขึ้นพร้อมที่จะทดสอบหลุมต่อไป

ผลการทดสอบสามารถนำไปออกแบบฐานแผ่ได้โดยตรง เช่น การนำค่าผลการทดสอบออกแบบฐานแผ่ฐานเสาส่งไฟฟ้า เป็นต้น คำน้่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยฐานแผ่ขนาด 2.0×2.0 ตารางเมตร อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน ค่าทรุดตัวไม่เกิน 25 มิลลิเมตร หรืออาจใช้การอ่านค่าจากแผนภูมิ (Chart) ดังแสดงในภาพที่ 5

$$\text{ดินเหนียว (Clay) , } q_u = 1.92(N_d+0.954) \quad \text{ตัน/ตารางเมตร} \quad (3)$$

$$\text{ทราย (Sand) } q_u = 1.60(N_d+3.57) \quad \text{ตัน/ตารางเมตร} \quad (4)$$

การใช้สมการที่ (3) และ (4) อยู่ภายใต้เงื่อนไข ดังนี้

- 1) ถ้าฐานรากอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน ใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกครึ่งหนึ่งของค่าข้างบน
- 2) ใช้ส่วนปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.) เท่ากับ 2.5
- 3) ค่า N_d เป็นค่าเฉลี่ยจากความลึก 0.5 เมตรเหนือฐานราก และลึก 1.0 เมตร ใต้ฐานราก

ชนิดของดินที่เหมาะสมกับการใช้เครื่องมือทดสอบการตอกหยั่งแบบเบา มีดังต่อไปนี้

- 1) กรวด (Gravel)
- 2) กรวดปนทราย (Sand-Gravel)
- 3) ทราย (Sand)
- 4) ทรายนปนดินลูกรัง (Silty-Sand)
- 5) ดินลูกรังปนทราย (Sandy-Silt)
- 6) ดินลูกรังปนดินเหนียว (Clayed-Silt)

ชนิดของดินที่ไม่เหมาะสมกับการใช้เครื่องมือ มีดังต่อไปนี้

- 1) ดินเหนียว (Clay)
- 2) ดินเหนียวปนดินร่วน (Clay-Silt)

สำหรับการพิจารณาสภาพดินเปรียบเทียบกับความสามารถในการรับน้ำหนักของดินที่ได้จากผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 7 และตารางที่ 8

ตารางที่ 7 การแบ่งแยกค่าความแข็งแรงของดินจากการทดสอบด้วย วิธี Kunselstab

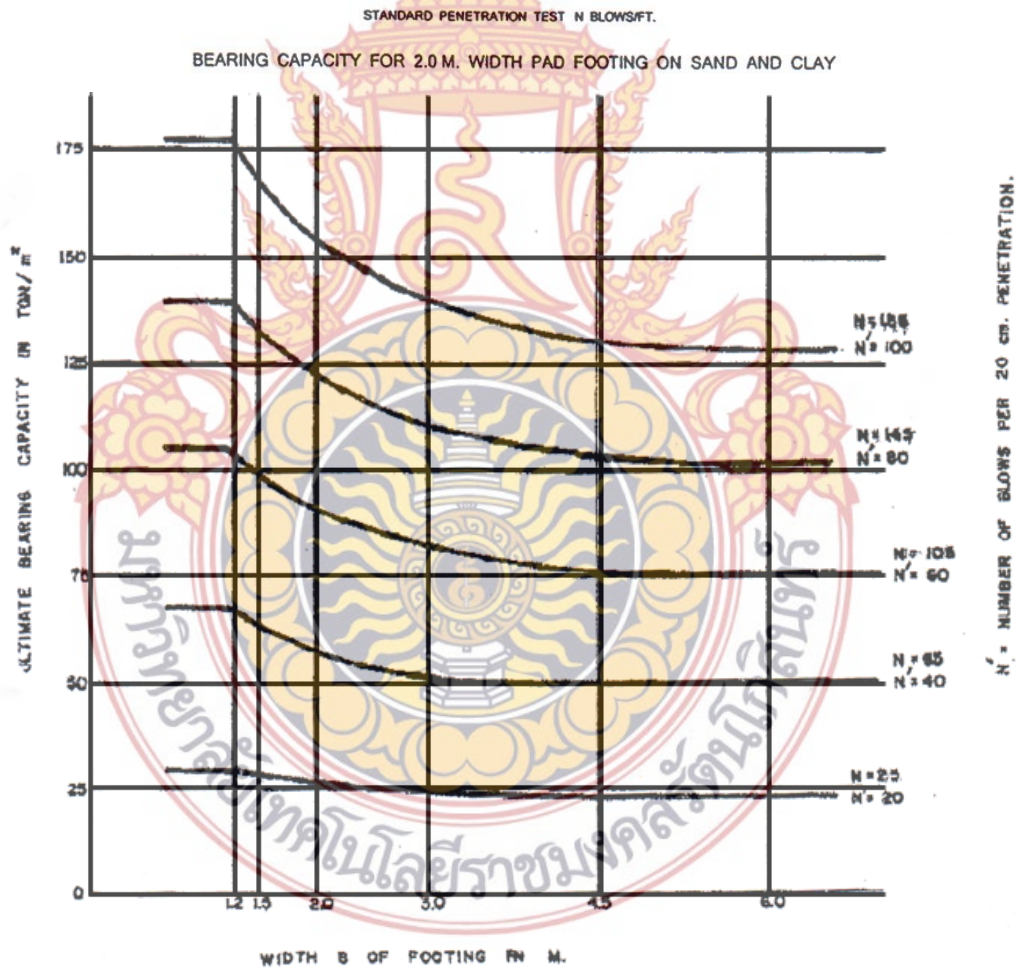
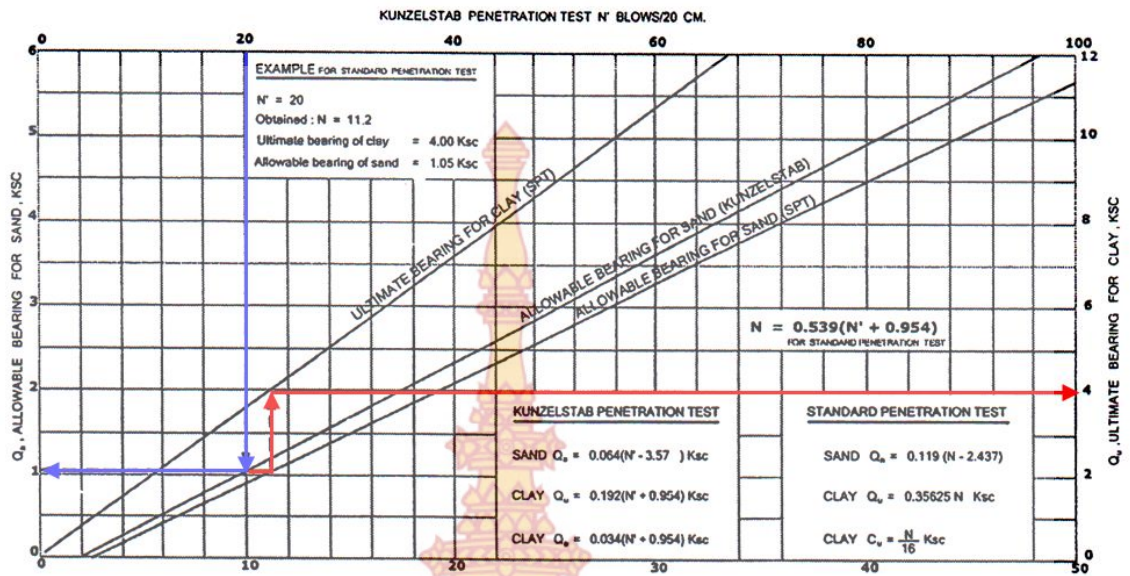
ดินทราย			ดินเหนียว		
จำนวนครั้งที่ตอกต่อ 20 เซนติเมตร (N)	สภาพดิน	ความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุด Q_u (ตัน/ตารางเมตร)	จำนวนครั้งที่ตอกต่อ 20 เซนติเมตร (N)	สภาพดิน	ความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุด Q_u (ตัน/ตารางเมตร)
1-6	หลวมมาก	<3.90	1-3	อ่อนมาก	3.75-7.59
6-22	หลวม	3.90-23.10	3-6	อ่อน	7.59-13.35
22-95	แน่นปานกลาง	23.10-82.30	6-14	ปานกลาง	13.35-28.71
มากกว่า 95	แน่น	>82.30	14-39	แข็ง	28.71-53.67
			39-95	แข็งมาก	53.67-107.43
			มากกว่า 95	แข็งที่สุด	>107.43

ที่มา: ชูศักดิ์, 2555

ตารางที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง N กับความแข็งแรงของทราย

N (blow/ft)	KPT (EGAT) (blow/ft)	Angle of internal friction ϕ (degree)	Relative density
0-4	0-6	25-30	Very loose
4-10	6-18	27-32	Loose
10-30	18-55	30-35	Medium
30-50	55-92	35-40	Dense
>50	>92	38-45	Very dense

ที่มา: ชูศักดิ์, 2555

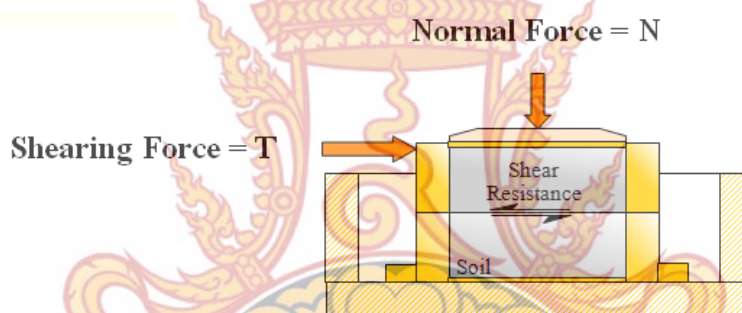


ภาพที่ 5 การแปรผลการทดสอบการตอกหยั่งแบบเบา

ที่มา: พินิจ ธรรมธสิริ, 2544

5. การทดสอบแบบการเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) (ชูศักดิ์ ศิริรัตน์, 2554)

การทดสอบแบบนี้เป็นวิธีการทดสอบที่ถือได้ว่าเก่าแก่ที่สุดและมีรูปแบบการจัดชุดการทดสอบที่ง่ายที่สุด อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดสอบคือ กล่องทดสอบแรงเฉือน (Shear Box) อาจมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมหรือวงกลมก็ได้ โดยทั่วไปแล้วกล่องทดสอบแรงเฉือนมีขนาดประมาณ 3-4 ตารางนิ้ว (1935.48-2580.64 ตารางมิลลิเมตร) และสูงประมาณ 1 นิ้ว (25.4 มิลลิเมตร) โดยกล่องแรงเฉือนสามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกับส่วนล่างถูกยึดติดอยู่กับที่และส่วนบนสามารถเคลื่อนที่ได้ตามแรงเฉือนที่กระทำ ในการทดสอบแรงกระทำตั้งฉาก (Normal Force) จะถูกปล่อยให้กระทำต่อตัวอย่างดินจากด้านบนของกล่องทดสอบแรงเฉือนด้วยน้ำหนักคงตัว (Dead Load) ค่าของแรงเค้นตั้งฉากสามารถหาได้จากน้ำหนักคงตัว ส่วนแรงเฉือนจะปล่อยให้กระทำกับส่วนบนของกล่องทดสอบแรงเฉือน ซึ่งจะเฉือนจนดินพังทลายตราบสำหรับค่าแรงเค้นหลัก (σ_1 และ σ_3) ของตัวอย่างดินสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การจัดเตรียมดินสำหรับการทดสอบการเฉือนโดยตรง

ที่มา: ชูศักดิ์ ศิริรัตน์, 2554

การใช้ชุดเครื่องมือสำหรับทดสอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

5.1 การควบคุมด้วยแรงเค้น (Stress Control Test)

แรงเฉือนที่ใช้ในการทดสอบลักษณะนี้จะอาศัยน้ำหนักคงตัว (Dead Load) ที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งทำให้ดินเกิดการพัง ซึ่งจะเกิดขึ้นตามระนาบรอยแบ่งของกล่องทดสอบแรงเฉือน หลังจากที่น้ำหนักคงตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นั้นการเคลื่อนที่ของกล่องทดสอบด้านบนจะถูกวัดโดยเกจวัดการเคลื่อนที่ในแนวนอน (Horizontal Dial Gauge) การเปลี่ยนแปลงความสูงตัวอย่างดินในระหว่างการทดสอบ (การเปลี่ยนแปลงปริมาตร) จะถูกวัดโดยเกจวัดการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical Dial Gauge) ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ด้านบนแผ่นถ่ายแรง (Loading Plate)

5.2 การควบคุมด้วยความเครียด (Strain Control)

การทดสอบแบบนี้จะกำหนดอัตราการเคลื่อนที่ซึ่งเกิดจากแรงเฉือนแบบคงที่ โดยอ่านเกจวัดการเคลื่อนที่ในแนวนอน ซึ่งเกิดจากแรงที่กระทำผ่านมอเตอร์กับกล่องทดสอบด้านบน แรงเฉือนต้านทานจะมีค่าเท่ากับแรงเฉือนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่สามารถวัดได้จากการอ่านค่าที่วงแหวนวัดแรง (Proving Ring) ในแนวนอน การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรสามารถวัดได้เช่นเดียวกับวิธีควบคุมด้วยแรงเค้น

ข้อได้เปรียบของวิธีควบคุมด้วยความเครียดซึ่งทดสอบกับดินทรายแน่น สามารถหาค่าแรงเฉือนสูงสุด (แรงต้านทานที่จุดพังทลาย (Peak Shear Resistance)) พร้อมกับค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่จุดสูงสุด (Peak) เป็นค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนหลังจากจุดพังทลาย เรียกว่า Ultimate Shear Resistance โดยสามารถที่จะสังเกตได้จากกราฟในภาพที่ 7 ส่วนในการทดสอบควบคุมด้วยแรงเค้น จะสามารถหาได้แค่เพียงแรงเฉือนสูงสุดเท่านั้น

การทดสอบแบบนี้สามารถคำนวณค่าแรงเค้นปกติ (Normal Stress; σ) ได้จากสมการดังนี้

$$\sigma = \frac{\text{แรงตั้งฉาก}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง}} \quad (5)$$

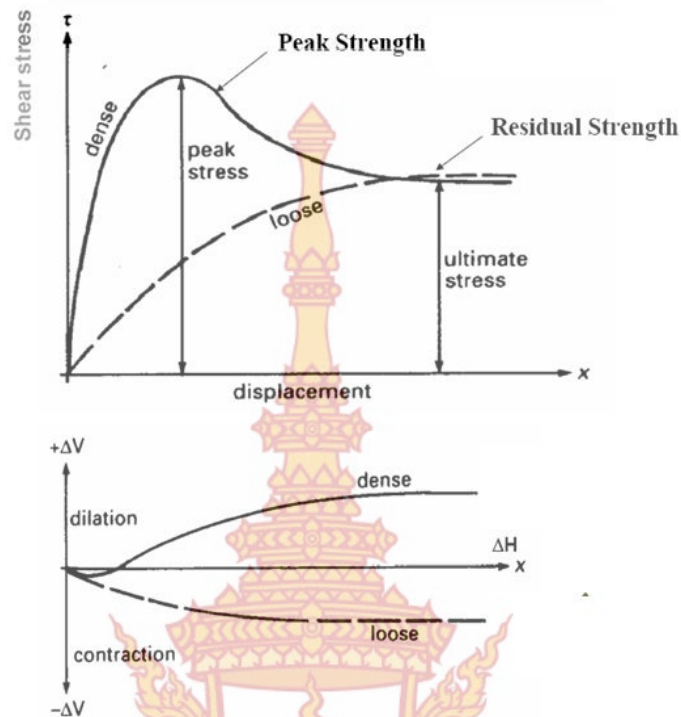
ส่วนการคำนวณหาค่าแรงเค้นเฉือน (Shear Stress; τ) สามารถที่จะคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\tau = \frac{\text{แรงเฉือน}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง}} \quad (6)$$

ภาพที่ 7 เป็นกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบควบคุมด้วยความเครียด สามารถสรุปได้ดังนี้

1. สำหรับดินหลวม ค่าความเค้นเฉือนจะเพิ่มขึ้นตามค่าการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงเฉือน จนกระทั่งถึงแรงเค้นที่จุดพังทลาย (τ_f) หลังจากนั้นค่าความเค้นเฉือนจะมีค่าในลักษณะคงที่ ตลอดการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงเฉือน

2. สำหรับดินแน่น ค่าของความเค้นเฉือนจะเพิ่มขึ้นตามค่าการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงเฉือน จนกระทั่งถึงแรงเค้นที่จุดพังทลาย (τ_f) เรียกว่า Peak Shear Strength หลังจากนั้นค่าของความเค้นเฉือนจะลดลงตามการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงเฉือน จนถึงจุดสุดท้ายที่ค่าของความเค้นเฉือนจะเริ่มคงที่ ซึ่งเรียกความเค้นที่จุดนี้ว่า Ultimate Shear Strength



ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่าแรงเค้นเฉือนและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างทรายแน่น (Dense Sand) และทรายหลวม (Loose Sand)

ที่มา: Das., 2008

6. ทฤษฎีความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของเทอร์ซาคี (ชูคักดี, 2554)

เทอร์ซาคี (1943) ใช้สมการรูปแบบเดียวกับสมการที่แนะนำโดย Prandtl (1921) และพัฒนาทฤษฎีโดยการพิจารณาน้ำหนักของดิน และผลกระทบของดินเหนียวต่อกำลังแบกทานของดิน เทอร์ซาคี ได้ตั้งสมมติฐานเพื่อพัฒนาสมการให้สามารถใช้คำนวณค่ากำลังแบกทานสูงสุด (q_u) สำหรับดินทรายที่มีความเชื่อมแน่น ดังต่อไปนี้

1) ดินมีลักษณะเป็นกึ่งอนันต์ (Semi-infinite) เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง (Isotropic)

2) ปัญหามีลักษณะเป็น 2 มิติ (Two-dimensional)

3) ฐานของฐานรากมีลักษณะหยาบ

4) ลักษณะการวิบัติมีลักษณะเป็นแบบ General Shear

5) น้ำหนักกระทำอยู่ในแนวตั้งและอยู่ในสภาพสมมาตร (Symmetrical)

6) ระดับผิวดินอยู่ในแนวราบ

7) แรงดันเนื่องจากน้ำหนักดินกดทับที่ระดับฐานรากเทียบเท่าน้ำหนักบรรทุกดั่งสมการ $q_0 = \gamma D_f$ เมื่อ γ คือ หน่วยน้ำหนักประสิทธิผลของดิน และ D_f คือความลึกของฐานรากที่มีค่าน้อยกว่าความกว้างของฐานราก

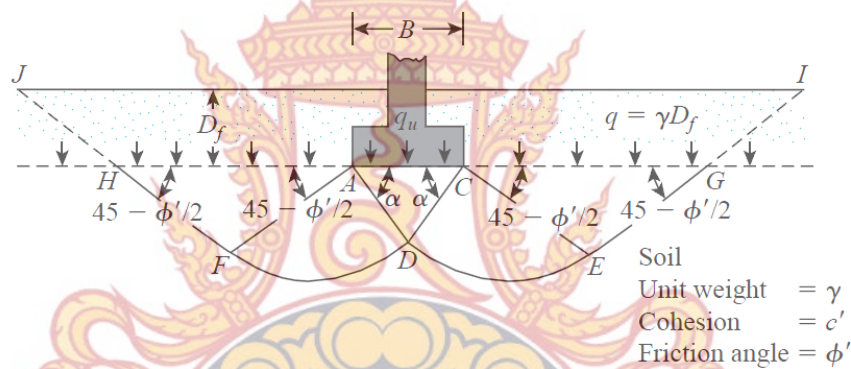
8) หลักการของการรวมค่า (Principle of Superposition) ถูกนำมาใช้

9) กฎของคูลอมบ์ถูกนำมาใช้นั้นคือ $\sigma = c + \sigma_v \tan \phi$

6.1 ความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานสูงสุดของดิน

6.1.1 ฐานรากแถบ (Strip Footing)

เทอร์ซาก็ได้พัฒนาสมการหาความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานสำหรับฐานรากแถบโดยการวิเคราะห์แรงกระทำต่อลิ้ม ADC ในภาพที่ 8 ดังสมการต่อไปนี้



ภาพที่ 8 รูปแบบการวิบัติด้วยการเฉือน (General Shear Failure) สมมติฐานโดยเทอร์ซากิ สำหรับฐานรากแถบ

ที่มา: Das., 2008

$$q_u = \frac{Q_u}{B} = cN_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \tag{7}$$

สำหรับสัมประสิทธิ์กำลังแบกทาน (Bearing Capacity Factor) สามารถหาได้จากตารางที่ 9 หรือหาจากสมการต่อไปนี้

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \tag{8}$$

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2 (45 + \phi/2)} \tag{9}$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \tan \phi \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \phi} \quad (10)$$

$$\text{เมื่อ } a_\theta = e^{\eta \tan \phi}$$

$$\eta = (0.75 - \phi/2)$$

ตารางที่ 9 สัมประสิทธิ์กำลังแบกทาน (N_c , N_q และ N_γ) สำหรับค่ามุมเสียดทานภายในต่างๆโดย เทอร์ซาคี

ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5.7	1.0	0.0
5	7.3	1.6	0.14
10	9.6	2.7	1.2
15	12.9	4.4	1.8
20	17.7	7.4	5.0
25	25.1	12.7	9.7
30	37.2	22.5	19.7
35	57.8	41.4	42.4
40	95.7	81.3	100.4
45	172.3	173.3	360.0
50	347.5	415.1	1072.8

ที่มา: Das., 2008

6.1.2 สมการสำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัส ฐานรากวงกลม และฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Equation for Square, Circular and Rectangular Foundation)

สมการกำลังแบกทานของเทอร์ซาคีได้ถูกพัฒนาให้สามารถใช้ได้กับฐานรากชนิดอื่นโดยแนะนำในรูปของปัจจัยรูปร่าง (Shape Factor) ดังสมการต่อไปนี้

ก. ฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Foundation)

$$q_u = 1.3cN_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma \quad (11)$$

ข. ฐานรากวงกลม (Circular Foundation)

$$q_u = 1.3cN_c + \gamma D_f N_q + 0.3\gamma B N_\gamma \quad (12)$$

ค. ฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Foundation)

$$q_u = cN_c \left(1 + 0.3 \frac{B}{L}\right) + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \left(1 - 0.2 \frac{B}{L}\right) \quad (13)$$

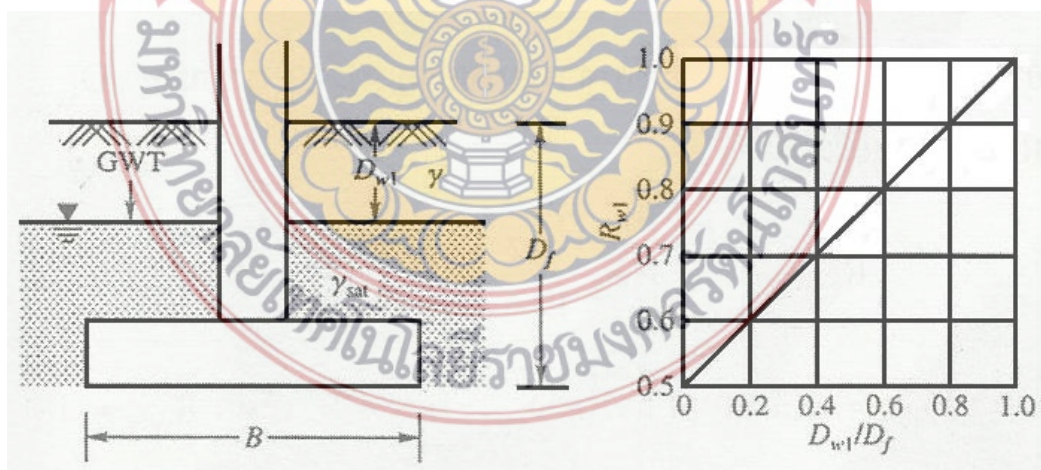
6.2 ผลกระทบของน้ำใต้ดินต่อความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทาน

สมการที่ได้จากที่ได้จากทฤษฎีซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานสูงสุดของดิน (q_u) ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับความลึกต่ำจากฐานรากมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าความกว้าง (B) ของฐานราก หรือความลึกของระดับน้ำจากผิวดินเท่ากับหรือมากกว่า (D_f+B) สมการหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานซึ่งมีผลกระทบจากระดับน้ำใต้ดิน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี (ภาพที่ 9) ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่เหนือฐานแผ่ของฐานราก

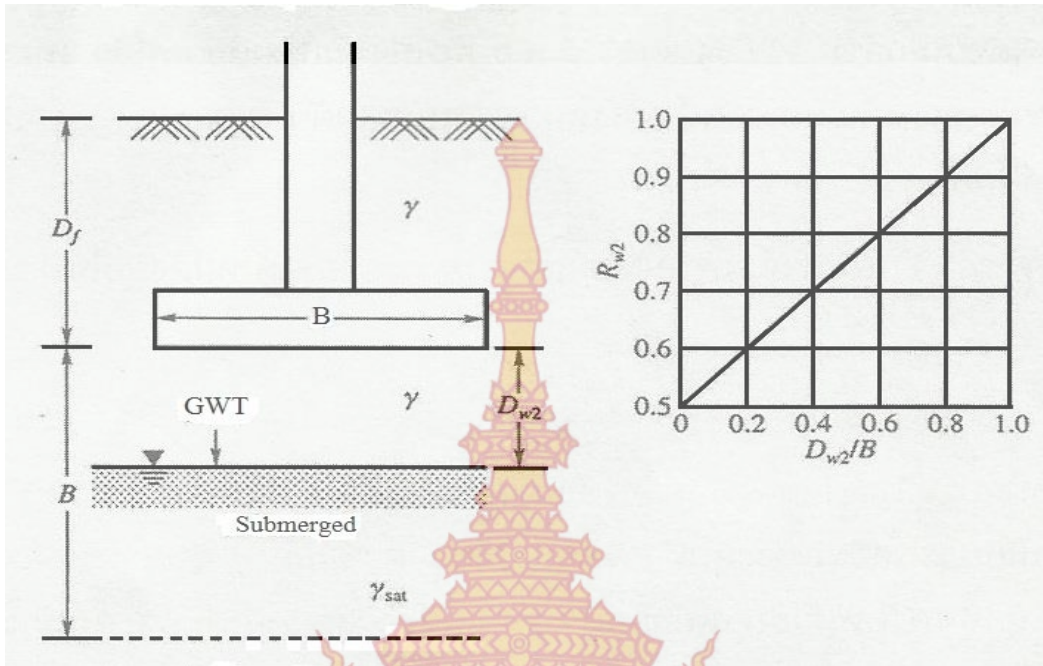
กรณีที่ 2 เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ความลึกในช่วงความกว้าง B ต่ำจากฐานราก

เราสามารถจะใช้ 2 วิธี สำหรับหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานซึ่งมีผลกระทบของระดับน้ำใต้ดินดังต่อไปนี้



(ก) ระดับน้ำอยู่เหนือระดับฐานแผ่

ภาพที่ 9 ผลกระทบของระดับน้ำต่อการหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของดิน



(ข) ระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับฐานราก

ภาพที่ 9 ผลกระทบของระดับน้ำต่อการหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของดิน (ต่อ)

ที่มา: Murthy., 2002

วิธีที่ 1 สำหรับตำแหน่งของระดับน้ำใต้ดินอยู่ในความลึก $(D_f + B)$ จักรูปของสมการได้ ดังนี้

$$q_u = cN_c + \gamma D_f N_q R_{w1} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma R_{w2} \tag{14}$$

เมื่อ $\gamma = \gamma_{sat}$ ใช้ทั้งในเทอมที่ 2 และเทอมที่ 3 ในสมการที่ (20)

กรณีที่ 1 เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่เหนือระดับฐานแผ่ของฐานราก หรือเมื่อ $D_{w1}/D_f \leq 1$ ในภาพที่ 9(ก) โดยค่า R_{w1} หาได้ดังนี้

$$R_{w1} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{D_{w1}}{D_f} \right) \tag{15}$$

เมื่อ $D_{w1}/D_f = 0$ จะได้ค่า $R_{w1} = 1.0$

กรณีที่ 2 เมื่อระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่าระดับฐานแผ่ของฐานราก หรือเมื่อ $D_{w2}/B \leq 1$ ดังภาพที่ 9(ข) โดยค่า R_{w2} หาได้ดังนี้

$$R_{w2} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{D_{w2}}{D_f} \right) \quad (16)$$

เมื่อ $R_{w2}/B = 0$ จะได้ค่า $D_{w2} = 0.5$ และสำหรับ $D_{w2}/B = 1$ จะได้ค่า $R_{w2} = 1.0$

ภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของ D_{w1}/D_f กับ R_{w1} และ D_{w2}/D_f กับ R_{w2} สำหรับสมการที่ (15) และสมการที่ (16) ตั้งอยู่บนพื้นฐานสมมติฐานที่ว่าหน่วยน้ำหนักจมน้ำของดิน (Submerged Unit Weight) เท่ากับครึ่งหนึ่งของหน่วยน้ำหนักอิ่มตัว (Saturated Unit Weight) และถือว่าดินที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินอิ่มตัว

วิธีที่ 2 จากสมการที่ (7) สำหรับฐานรากแถบสามารถเขียนได้ใหม่ดังต่อไปนี้

$$q_u = cN_c + \gamma_{e1} D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma_{e2} B N_\gamma \quad (17)$$

กรณีที่ 1 สมการสำหรับหาค่า γ_{e1} และ γ_{e2} เขียนได้ดังนี้

$$\gamma_{e1} = \gamma_b + \frac{D_{w1}}{D_f} (\gamma_m - \gamma_b) \quad (18)$$

$$\gamma_{e2} = \gamma_b \quad (19)$$

กรณีที่ 2 สมการสำหรับหาค่า γ_{e1} และ γ_{e2} เขียนได้ดังนี้

$$\gamma_{e1} = \gamma_b \quad (20)$$

$$\gamma_{e2} = \gamma_b + \frac{D_{w2}}{D_f} (\gamma_m - \gamma_b) \quad (21)$$

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อัฐพล ศักดิ์มณี และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาเพื่อทำการพัฒนาเครื่องมือสำรวจและทดสอบชั้นดินในสนามที่มีน้ำหนักเบา ใช้งานง่าย สะดวกและสามารถแปลผลได้โดยไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน เพื่อใช้หาค่าพารามิเตอร์ของดิน และนำไปใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดและการออกแบบฐานรากที่รับน้ำหนักไม่มาก โดยเน้นที่ให้ความเหมาะสมในการใช้งานในประเทศไทย ทำโดยการจำลองสภาพชั้นดินที่ค่าความหนาแน่นต่างๆ เพื่อเลียนแบบสภาพดินตามธรรมชาติในถังเหล็กทรงกระบอก ใช้ชุดทดสอบการเจาะหยั่งแบบพลศาสตร์ด้วยหัวกรวย (Dynamic Cone Penetrometer) ซึ่งผลที่ได้สัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ของทราย จากการจำแนกดิน ได้เป็นดินทรายที่ไม่โคละขนาด (SP) และในส่วนของรูปแบบการพิบัติของทรายหลวมมีรูปแบบการพิบัติแบบเฉือนทะลุ (Punching Shear Failure) ส่วนของทรายแน่นเป็นการพิบัติด้วยการเฉือน (General Shear Failure) ทางด้านรัศมีการเคลื่อนตัวของทรายจะแปรผันตามความลึก คือ ถ้ายิ่งลึกจะมีการเคลื่อนตัวของทรายที่น้อย ส่วนแรงต้านที่กระทำต่อหัวกรวยยิ่งมูมยอดปลายกรวยที่มากขึ้นก็จะมีแรงต้านมากขึ้น โดยชุดทดสอบการเจาะหยั่งแบบพลศาสตร์ด้วยหัวกรวยเหมาะกับการทดสอบดินที่มีค่าความหนาแน่นสัมพันธ์เกินกว่าร้อยละ 50

อัฐพล ศักดิ์มณี และคณะ (2546) ได้ทำการทดสอบการเจาะหยั่ง (Penetrometer) ด้วย Kunzelstab ซึ่งเป็นวิธีการหยั่งทดสอบชั้นดินในสนาม โดยใช้ลูกตุ้มกระแทกส่งหัวเจาะรูปกรวยผ่านชั้นดินลงไป ซึ่งแรงต้านการเคลื่อนที่ของหัวเจาะจะมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของชั้นดิน ผลของการทดสอบสามารถใช้ประมาณค่ากำลัง ความหนาของชั้นดินและใช้ระบุชั้นดินอ่อนหรือชั้นดินแข็งได้ ซึ่งวิธีนี้สามารถทำการทดสอบได้อย่างรวดเร็วและประหยัดกว่าการเจาะสำรวจ ในการศึกษาได้นำเสนอผลการทดสอบการเจาะหยั่งด้วย Kunzelstab ในโครงการซ่อมแซมและปรับปรุงเขื่อนมูลบน และปรับปรุงแก้ไขอาคารเรียนในจังหวัดระยอง และการสำรวจลาดดินบริเวณน้ำตกกระทิง อุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรีพบว่าสามารถใช้ระบุความหนาของชั้นดินแข็งได้เป็นอย่างดี

พิสาน อนุทรัพย์ (2549) ได้ทำการศึกษาและค้นคว้าข้อมูล เพื่อนำมาพัฒนาและจัดสร้างเครื่องทดสอบการเจาะหยั่งแบบพลศาสตร์ด้วยหัวกรวยแบบเบา (Light-weight Dynamic Penetrometer Test) เพื่อช่วยในการทดสอบทำให้มีความเหมาะสมและคล่องตัวยิ่งขึ้นกับสภาพพื้นที่ภายในประเทศโดยมีการเลือกใช้วัสดุภายในประเทศเป็นหลัก โดยจากข้อมูลการทดสอบที่ได้สามารถเป็นหลักการพื้นฐาน หรือเป็นต้นแบบในการนำไปพัฒนาจัดสร้างและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาช่วยในการทดสอบ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานที่หัวกรวย ที่ได้จากการทดสอบการเจาะหยั่งแบบพลศาสตร์ด้วยหัวกรวยแบบเบา กับค่าแรงต้านทานแรงเฉือนที่ใบพัดที่ได้จากการทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินในสนาม

(Field Vane Shear Test) ซึ่งทดสอบบริเวณโซนรังสิต และโซนบางพลีในสนาม พบว่าได้ผลที่สอดคล้องกันโดยแสดงความสัมพันธ์ในแบบเส้นตรง

อัฐพล ศักดิ์มณี และคณะ (2549) ได้ทำการทดสอบหาความต้านทานของชั้นดินด้วยการตอกหยั่งแบบพลวัต ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นดินทราย ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการจำลองชั้นดินทรายแห้งและทดสอบในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย การศึกษาขอบเขตอิทธิพลของการตอกและลักษณะการเคลื่อนตัวของดินโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพสำหรับดินที่ระดับความแน่นต่างกัน โดยศึกษาถึงผลของมุมยอดของปลายกรวย ระดับพลังงานที่ใช้ในการตอกและน้ำหนักกดทับ และทำการทดสอบหาความต้านทานของชั้นดินด้วยเครื่องตอกหยั่งชั้นดินแบบพลวัตในแบบทดสอบทรงกระบอกกรวย ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ด้านความแข็งแรงของดินได้ จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบถึงขอบเขตอิทธิพลของการตอกและลักษณะการเคลื่อนตัวของดิน ซึ่งจะเป็นการนำไปสู่การพัฒนาเครื่องทดสอบที่ความเหมาะสมที่การใช้งานต่อไป

ก้องรัฐ นกแก้ว และคณะ (2551) ได้นำเสนออิทธิพลปริมาณความชื้น (Water Content) ในดินต่อกำลังรับน้ำหนักฐานรากต้นบนชั้นดินเหนียวแข็งสกลนคร โดยทำการเตรียมตัวอย่างทดสอบค่ารับแรงเฉือนของชั้นดินเหนียวแข็งสกลนครด้วยวิธีการทดสอบแรงเฉือนตรง (Direct Shear Test) ทำการทดสอบโดยยอมให้เกิดการทรุดตัวแบบไม่ระบายน้ำที่ค่าปริมาณความชื้นร้อยละ 15 ถึงร้อยละ 36 จากนั้นจึงนำค่าหน่วยแรงยึดเกาะ (Cohesion, c_u) และค่ามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle, ϕ_u) ที่ได้ในแต่ละความชื้น วิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดด้วยสมการของ Hansen ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะมีผลให้ค่าหน่วยแรงยึดเกาะลดลง ในขณะที่ค่ามุมเสียดทานภายในแทบจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของฐานรากลดลงตามปริมาณความชื้นของดินที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ที่ค่าปริมาณความชื้น ร้อยละ 15 ร้อยละ 24 และร้อยละ 36 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของฐานรากเฉลี่ยจะมีค่าลดลงตามลำดับเท่ากับ 5.13, 3.02 และ 2.27 ตามลำดับ โดยมีค่าต่ำกว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.48

ณรงค์ แก้ววิเศษ และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาหาคุณสมบัติพื้นฐานของดินในมหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ระดับความลึกถึงชั้นดินแข็ง โดยใช้การทดสอบการตอกหยั่ง (Penetration Test) ด้วย Kunzelstab สำหรับเป็นฐานข้อมูลในการใช้งานทางด้านวิศวกรรม โดยทำการศึกษาตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร 2.00 เมตร และระดับความลึก 4.00 เมตร จากผิวดินเดิมโดยเก็บตัวอย่างดินในสภาพธรรมชาติโดยเก็บตัวอย่างดินในสภาพที่ไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Samples) และทำการทดสอบการตอกหยั่งด้วย Kunzelstab ผลที่ได้ค่าความต้านทานแรงเฉือน

จากการทดสอบวิธีแรงเฉือนตรง ค่ามุมเสียดทาน (ϕ) อยู่ในช่วง 20-34 องศา ค่าแรงยึดเหนี่ยวของเม็ดดิน (c) ประมาณ 0.518-1.232 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร อิทธิพลความชื้นในธรรมชาติต่อค่า N_{KPT} ในความชื้นประมาณร้อยละ 5-6 ค่าจำนวนครั้งการตอก (N_{KPT}) อยู่ระหว่าง 30-80 ครั้งต่อ 200 มิลลิเมตร และค่าที่ได้นี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทำงานทางด้านวิศวกรรมต่อไป

Evgin และ Das (1992) ได้ศึกษากำลังต้านทานแรงเฉือนของทรายที่ปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่อง จากผลการทดสอบพบว่าค่ามุมเสียดทานภายในของดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องลดลงทั้งในกรณีทรายหลวมและทรายแน่น ในขณะที่ความเครียดเชิงปริมาตรมีค่าเพิ่มขึ้น และพบว่าการทรุดตัวของฐานรากเพิ่มขึ้นเมื่อดินใต้ฐานรากถูกปนเปื้อน

Shin และ Das (2001) ได้ศึกษากำลังแบกทานของดินปนเปื้อนน้ำมันโดยพิจารณาจากผลการทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนในห้องปฏิบัติการ โดยพิจารณาใช้น้ำมัน 3 ชนิด ดินทราย 1 ชนิด ปริมาณการปนเปื้อนที่ใช้ในการศึกษา 0-6 เปอร์เซ็นต์ จากผลการศึกษาพบว่ามุมเสียดทานภายในของดินมีค่าลดลง ส่งผลให้กำลังรับน้ำหนักแบกทานของดินลดลงด้วย

Nasr (2009) ได้ศึกษากำลังแบกทานของทรายปนเปื้อนน้ำมันและค่าการทรุดตัวของฐานราก โดยการทดสอบรูปแบบความเครียดในระนาบของดินทรายสะอาดและทรายที่ปนเปื้อนภายใต้น้ำหนักกระทำจากฐานรากแบบแบบแข็งเกร็ง ปริมาณการปนเปื้อนที่ใช้ในการศึกษา 0-5 เปอร์เซ็นต์ของดินแห้ง จากการศึกษาพบว่ากำลังแบกทานของดินลดลง และการทรุดตัวเพิ่มขึ้นตามความหนาของชั้นที่ดินถูกปนเปื้อนเพิ่มขึ้น

Sim และคณะ (2012) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินแกรนิตและทรายทะเลที่ปนเปื้อนไปโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน โดยใช้ปริมาณการปนเปื้อนที่ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งโดยการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน จากการศึกษาพบว่าดินมีกำลังแบกทานลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

ในบทนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนการดำเนินการ รวมถึงการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของวัสดุทดสอบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการดำเนินการ

การศึกษาครั้งนี้ มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการ ดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษารวบรวมข้อมูลเนื้อหา และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร ตำราทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ รวมทั้งมาตรฐานในการทดสอบต่างๆ (ASTM)
- 2) กำหนดอัตราส่วนการผสมระหว่างดินทรายกับน้ำมันเบนซิน 95 ร้อยละ 2 และ ร้อยละ 4 และดินทรายผสมกับพาราฟินเหลวที่ร้อยละ 2
- 3) จัดหาดินทรายโดยการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติของดินทรายผสมน้ำมันเบนซิน 95 และผสมพาราฟินเหลว ตามอัตราส่วนที่ได้ ออกแบบไว้ โดยการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน วิเคราะห์ขนาดคละของเม็ดดิน การหาขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม ได้แก่ การทดสอบหาค่าลึงแบกทานของดินในสนามแบบหยั่งเบา และการทดสอบแรงเฉือนตรง
- 4) สร้างอุปกรณ์ และบ่อทดสอบสำหรับการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา
- 5) เตรียมตัวอย่างดินทรายในบ่อทดสอบ โดยควบคุมความหนาแน่นของชั้นดินให้มีความสม่ำเสมอตลอดความลึกที่ได้ออกแบบไว้
- 6) ดำเนินการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา โดยปรับเปลี่ยนปริมาณการปนเปื้อนของดิน พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาค่าความหนาแน่นจริงในสนาม
- 7) ทดสอบหาค่ามุมเสียดทานภายในของดินทรายที่ความหนาแน่นต่างๆด้วยการทดสอบแบบแรงเฉือนโดยตรง โดยควบคุมความหนาแน่นของตัวอย่างดินตามแรงดันดินกตทับในแต่ละระดับตลอดความลึกที่ทำการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา
- 8) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของดิน
- 9) สรุปอิทธิพลของน้ำมันเบนซิน 95 และพาราฟินเหลว ที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม โดยพิจารณาตามกรณีศึกษา ได้แก่ กรณีสภาพดินแห้ง กรณีสภาพดินอิมตัว กรณี

สภาพดินปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน 95 ร้อยละ 2 กรณีสภาพน้ำมันปนเปื้อน ร้อยละ 4 และกรณีสภาพดินปนเปื้อนพาราฟินเหลว ร้อยละ 2 ต่อพฤติกรรมกรรมการรับน้ำหนักแบกทานของดิน

2. เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่

- 1) ชุดทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ ดังแสดงในภาพที่ 10
- 2) ชุดทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ดังแสดงในภาพที่ 11
- 3) ชุดทดสอบหาขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน ดังแสดงในภาพที่ 12
- 4) ชุดทดสอบหาค่าลึงแบกทานของดินในสนามแบบหยั่งเบา ดังแสดงในภาพที่ 13
- 5) ชุดทดสอบแรงเฉือนตรง ดังแสดงในภาพที่ 14
- 6) อุปกรณ์สำหรับชั่งน้ำหนักและวัดขนาดตัวอย่างทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 15
- 7) บ่อทดสอบ ขนาด 1.00×1.00×1.80 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 16
- 8) ตู้อบ ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 10 ชุดทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ



ภาพที่ 11 ชุดทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีร้อนผ่านตะแกรง



ภาพที่ 12 ชุดทดสอบหาขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน



ภาพที่ 13 ชุดทดสอบหาค่าลึ้งแบกทานของดินในสนามแบบหยั่งเบา



ภาพที่ 14 ชุดทดสอบแรงเฉือนตรง



ภาพที่ 15 อุปกรณ์สำหรับชั่งน้ำหนักและวัดขนาดตัวอย่างทดสอบ



ภาพที่ 16 ป้อทดสอบ ขนาด 1.00×1.00×1.80 เมตร



ภาพที่ 17 ตู้อบ

2.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) ดินทรายในพื้นที่ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- 2) น้ำมันเบนซิน 95 จากสถานีบริการน้ำมัน ปตท. ศูนย์กลางทหารราบ (สวนสนประดิพัทธ์) อำเภอกำแพงแสน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- 3) พาราฟินเหลว (Liquid Paraffin) จากบริษัท ทีชเทค จำกัด ถนนนวมินทร์ แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม จังหวัดกรุงเทพมหานคร

3. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินทราย

การศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของเถ้าก้นเตาผสมวัสดุผสมเพิ่ม จะดำเนินการภายใต้การทดสอบดังต่อไปนี้

3.1 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

- 1) การเตรียมตัวอย่าง
 - นำตัวอย่างดินทรายทั้งชนิด SP และ SM มาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ให้ได้ปริมาณ 50 กรัม ต่อตัวอย่างดินแต่ละชนิด
- 2) การสอบเทียบ
 - เติมน้ำกลั่นลงในขวดประมาณ $3/4$ ของคอขวด จึงทำการไล่ฟองอากาศด้วยการต้มเติมน้ำกลั่นที่ต้มไล่ฟองอากาศแล้วเทลงในขวดฟลาคซ์ให้เต็มด้วยวิธีลักน้ำตรวจสอบว่าอุณหภูมิของน้ำในขวดฟลาคซ์เท่ากันทุกระดับหรือไม่ ถ้าไม่เท่ากันคลึงขวดเอียงไปมาหรือใช้หลอดแก้วคน แต่งขอบให้อยู่ที่ขีดบอกปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำขวดฟลาคซ์และน้ำขึ้นชั่ง และวัดอุณหภูมินี้ ทำการทดสอบซ้ำสัก 4-5 ครั้ง เพื่อสร้างกราฟเปรียบเทียบน้ำหนักน้ำ และขวดฟลาคซ์ตามอุณหภูมิ

3) ขั้นตอนการทดสอบ

นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ ใส่ขวดพลาสติกและใส่น้ำลงไปประมาณ 3/4 ส่วนของปริมาตรขวด โดยให้ดินทรายจมอยู่ใต้น้ำทั้งหมดและอย่าให้แก้วกันเตาติดอยู่ข้างๆขวด ทำการไล่ฟองอากาศโดยการนำน้ำไปต้มอย่างน้อย 10 นาที พร้อมกับกลิ้งขวดไปมาหลายรอบทำเช่นนี้สลับกันไปเรื่อยๆ และคอยสังเกตว่ามีฟองอากาศเกิดขึ้นอีกหรือไม่ ทำจนกระทั่งไล่ฟองอากาศหมดไป หลังจากนั้นทำการเติมน้ำกลั่น ให้มีระดับท่อน้ำอยู่ที่ขีด 500 มิลลิลิตรพอดีแล้วตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำในขวดพลาสติกเท่ากับอุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิที่ต้องการและคอยสังเกตว่าถ้าระดับน้ำในขวดพลาสติกต่ำกว่าขีด 500 มิลลิลิตร ให้เติมน้ำกลั่นให้ท่อน้ำพอดีกับขีดอยู่เสมอหลังจากนั้นนำขวดพลาสติกไปชั่ง จะได้น้ำหนักของขวดพลาสติก+น้ำ+ตัวอย่าง ทำการวัดอุณหภูมิแล้วบันทึกค่าอุณหภูมินี้ไว้ แล้วนำไปเทใส่ภาชนะ โดยต้องเทตัวอย่างออกให้หมดจากขวดพลาสติก แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส โดยทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่อบแห้งแล้วไปชั่งแล้วบันทึกค่า เพื่อนำไปหาค่าความถ่วงจำเพาะ ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ขั้นตอนการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

3.2 การทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง

1) การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างดินทรายทั้งชนิด SP และ SM มาชั่งน้ำหนักในปริมาณ 800 กรัม ต่อ ตัวอย่างดินแต่ละชนิด

2) ขั้นตอนการทดสอบ

หาขนาดคละของตัวอย่าง โดยทำความสะอาดตะแกรงแล้วนำตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกค่า หลังจากนั้นนำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันโดยให้ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่อยู่บนแล้วเรียงขนาดเล็กลงมาตามลำดับจนถึงถาดรอง ดังนี้ No. 4, 10, 60, 100, 140, 200 และ ถาดรองนำ ตัวอย่างที่เตรียมไว้ 800 กรัม เทใส่ลงบนตะแกรงชั้นบนสุด ปิดฝาแล้วนำเข้าเครื่องเขย่าใช้เวลาการ เขย่า 10 นาที แล้วจึงนำตะแกรงพร้อมตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 19 และนำไปหาเปอร์เซ็นต์ผ่านของตะแกรงแต่ละเบอร์ แล้วนำไปเขียนกราฟแสดงการกระจายตัวของ ตัวอย่างทดสอบ



ภาพที่ 19 ขั้นตอนการทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง

3.3 การทดสอบหาขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน

1) การเตรียมตัวอย่าง

นำดินตัวอย่างทั้งชนิด SP และ SM มาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40

2) ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบขีดจำกัดเหลว เตรียมตัวอย่างโดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 100 กรัม ใส่ในถ้วยเคลือบแล้วใส่น้ำประมาณ 15–20 มิลลิลิตร หรือปริมาณที่ไม่เหนียวจนเกินไปผสมให้เข้ากัน เตรียมอุปกรณ์ชุดทดสอบให้ความสูงของกันจานอยู่สูงกว่าพื้นรอง 1 ± 0.2 เซนติเมตร โดยใช้ด้ามของเครื่องมือปาดรองดิน จากนั้นวัดทำการปรับปุ่มเลื่อนต่างๆ ให้แน่นแล้วใช้มีดปาดตัวอย่างตัดตัวอย่างใส่ในจานปาดให้เรียบ ให้มีความหนาของตัวอย่างตรงกลาง ประมาณ 1 เซนติเมตร ทำการบากตัวอย่างในจานด้วยเครื่องมือปาดรองตัวอย่าง ให้เป็นร่องในครั้งเดียวกันจนเห็นพื้นของถ้วยทองเหลืองในทันที ซึ่งใช้ความเร็วในการหมุน ประมาณ 2 ครั้งต่อ 1 วินาที โดยนับจำนวนครั้งไว้ด้วย ทำการหมุนจนกระทั่งดินที่บากไว้ได้ไหลเข้ามาชนกัน เป็นระยะทาง $1/2$ นิ้ว (12.7 มิลลิเมตร) แล้วทำการตัดตัวอย่างโดยเฉพาะตรงที่ไหลมาชนกัน โดยใช้มีดปาดดินปาดชนกันให้ระยะห่างพอดีกับระยะที่ตัวอย่างไหลมาชนกันตัดหัวท้ายในแนวตั้งฉาก นำตัวอย่างที่ถูกตัดใส่กระป๋อง แล้วนำไปอบเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น ดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ขั้นตอนการทดสอบหาขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน

การทดสอบขีดจำกัดพลาสติก นำตัวอย่างร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 20 กรัม ผสมกับน้ำให้เข้ากันพยายามให้มากที่สุด ปั้นเป็นก้อนกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 มิลลิเมตร นำไปคลึงบนแผ่นกระจกในอัตรา 80–90 ครั้งต่อนาที จนกระทั่งเป็นเส้นกลมยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{1}{8}$ นิ้ว (3.2 มิลลิเมตร) แล้วให้เกิดรอยแตกเล็กๆ ทั่วไป นำตัวอย่างที่ได้ใส่ในกระป๋อง แล้วนำไปอบเพื่อหาปริมาณความชื้น

4. การเตรียมตัวอย่างดินสำหรับการทดสอบหาค่าลึงแบกทานของดินแบบหยั่งเบา

4.1 นำตัวอย่างทดสอบมาตากแดด ที่โล่งแจ้งเพื่อให้ตัวอย่างอยู่ในสภาพแห้ง ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การตากดินให้แห้ง

4.2 นำตัวอย่างดินที่ตากแห้งแล้วมาเตรียมตัวอย่างดิน โดยควบคุมความหนาแน่นเท่ากับ 2.0 ตันต่อตารางเมตร ดังภาพที่ 22 แล้วนำมาโรยใส่ในถังทดสอบซึ่งมีขนาด $1.0 \times 1.0 \times 1.8$ เมตร โดยในการโรยนั้นจะต้องทำการโรยให้มีปริมาตรและน้ำหนักเท่าๆกันในแต่ละชั้นจนเต็มถังทดสอบ สำหรับในกรณีที่ทำกรทดสอบอิทธิพลของระดับน้ำใต้ดิน จะทำการปล่อยน้ำเข้าสู่ตัวอย่างทดสอบจากบริเวณล่างสุดของบ่อทดสอบให้มีความสูงของระดับน้ำเท่ากับ 1.10 เมตร โดยมีเงื่อนไขของการทดสอบ ดังตารางที่ 10 และรูปตัดของชั้นดินสำหรับแต่ละเงื่อนไข ดังภาพที่ 23

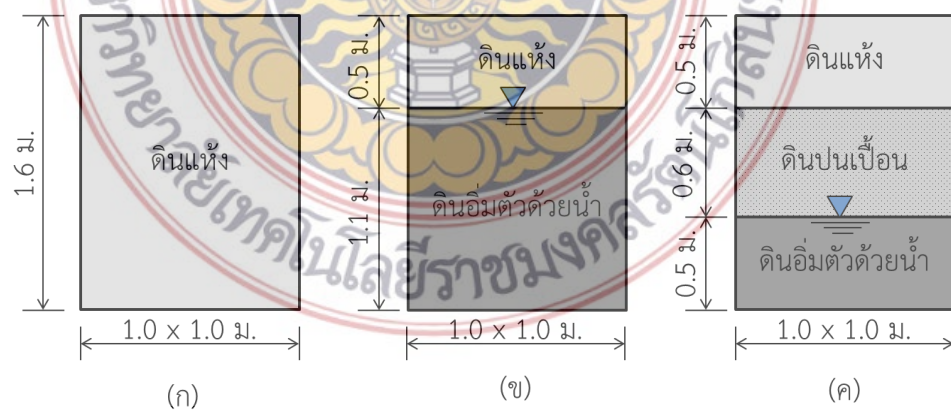


ภาพที่ 22 การเตรียมตัวอย่างดิน

ตารางที่ 10 ข้อมูลการปนเปื้อนของสารชนิดต่าง ๆ ในดิน SP และ SM

ชนิดของดิน	สภาพแห้ง	มีระดับน้ำใต้ดิน	ดินปนเปื้อน		
			เบนซิน	เบนซิน	พาราฟินเหลว
			ร้อยละ 2	ร้อยละ 4	ร้อยละ 2
SP	SP-D	SP-W	SP-B-2	SP-B-4	SP-P-2
SM	SM-D	SM-W	SM-B-2	SM-B-4	SM-P-2

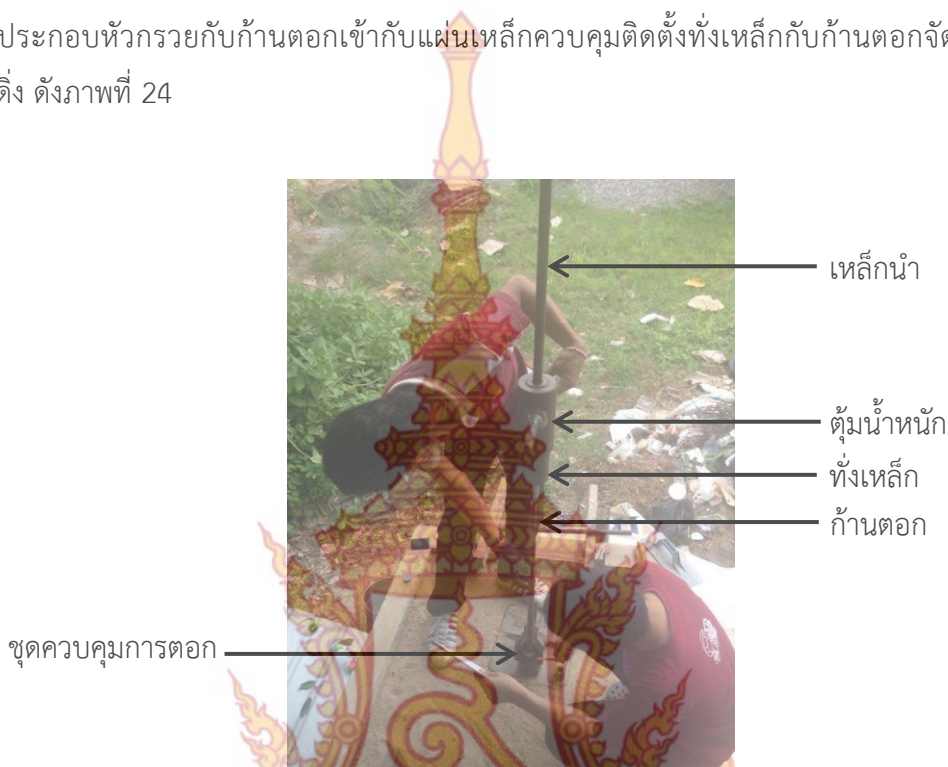
หมายเหตุ: D = ชั้นดินสภาพแห้ง, W = ชั้นดินมีระดับน้ำใต้ดิน, B = ชั้นดินปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน, P = ชั้นดินปนเปื้อนพาราฟินเหลว



ภาพที่ 23 รูปตัดชั้นดิน (ก) ชั้นดินแห้งไม่ปนเปื้อน (ข) ชั้นดินมีระดับน้ำใต้ดินไม่ปนเปื้อน (ค) ชั้นดินที่มีการปนเปื้อน

5. การทดสอบหาค่าลึกลับของดินแบบหยั่งเบา

5.1 เตรียมอุปกรณ์ทดสอบเพื่อทำการทดสอบโดยการประกอบกับแผ่นเหล็กควบคุมและประกอบหัวกรวยกับก้านตอกเข้ากับแผ่นเหล็กควบคุมติดตั้งทั้งเหล็กกับก้านตอกจัดให้อยู่ในแนวตั้ง ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 การเตรียมอุปกรณ์ทดสอบ

5.2 ดำเนินการตอกทดสอบ ซึ่งจะนับจำนวนครั้งการตอกทุกความลึก 20 เซนติเมตร ใช้ลูกตุ้มหนัก 10 กิโลกรัม โดยมีระยะยกตอกกระทบของลูกตุ้ม 50 เซนติเมตร จนกระทั่งตอกทดสอบถึงความลึกที่ 1.4 เมตร ดังภาพที่ 25 และทำการถอนชุดทดสอบโดยใช้คานงัดดึงก้านตอกขึ้น

5.3 ทำการทดสอบหาความหนาแน่นของดิน ด้วยอุปกรณ์ทดสอบโดยเริ่มจากการวางแผ่นเหล็กบนพื้นดินที่เรียบแล้วทำการชูดินลึก 10 เซนติเมตร ทำการปรับดินก้นหลุมให้เรียบดังภาพที่ 26(ก) นำดินที่ชูดออกจากหลุมไปชั่งน้ำหนัก แล้วจึงนำพลาสติกใสใส่ลงในหลุมที่ชูดไว้ นำน้ำใส่ลงในถุงโดยให้ขอบถุงแนบชิดกับขอบหลุมจนระดับน้ำเสมอกับปากหลุมพอดี ดังภาพที่ 26(ข) ดำเนินการทดสอบทุกๆความลึก 10 เซนติเมตร ตลอดความลึกของชั้นดินในบ่อทดสอบ พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างโดยสลับตำแหน่งการทดสอบระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันดังภาพที่ 26(ค) และ ภาพที่ 26(ง)

5.4 นำตัวอย่างดินไปหาค่าความหนาแน่นและปริมาณความชื้น เพื่อนำไปใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่างทดสอบแรงเฉือนตรงต่อไป



ภาพที่ 25 การดำเนินการทดสอบ



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 26 การทดสอบความแน่นของชั้นดินในบ่อทดสอบ (ก) ชูตดินลึก 10 ซม. (ข) แทนที่หลุมด้วยน้ำ (ค) และ (ง) สลับตำแหน่งทดสอบ

6. การทดสอบแรงเฉือนตรง

6.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เตรียมตัวอย่างดินให้มีปริมาณความชื้นและความหนาแน่นเท่ากับค่าที่วัดค่าได้จากการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0.2, 0.6, 1.0 และ 1.4 เมตร

6.2 การเตรียมน้ำหนักสำหรับกดตัวอย่างดิน

น้ำหนักกดตัวอย่าง (Load) พิจารณาจากหน่วยแรงกดทับในบ่อทดสอบที่ระดับความลึก 0.2, 0.6, 1.0 และ 1.4 เมตร ตามลำดับ โดยแต่ละตัวอย่างการทดสอบ จะใช้น้ำหนักกดตัวอย่าง 3 ค่า คือ $1/2\text{Load}$, Load , 2Load

6.3 การทดสอบ

1) ชั่งน้ำหนักของกล่องบรรจุตัวอย่างพร้อมอุปกรณ์ประกอบและวัดขนาดหน้าตัดของกล่องบรรจุตัวอย่าง (กล่องบรรจุตัวอย่างมีขนาดหน้าตัด 10×10 เซนติเมตร) ดังภาพที่ 27

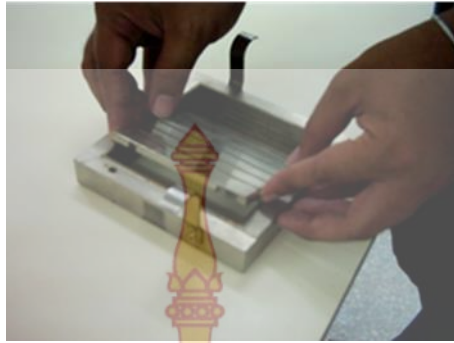


ภาพที่ 27 การวัดขนาดกล่องบรรจุตัวอย่าง

2) ประกอบกล่องบรรจุตัวอย่างบนและล่างเข้าด้วยกันด้วยสกรูให้แน่นพอสมควร แล้ววางแผ่นเหล็กฐานล่าง (Based Plate) รองรับด้านล่าง ตามด้วยแผ่นหินพรุน (Porous Stone) และแผ่นเหล็กยึดตัวอย่างดินแบบมีรูระบายน้ำในแนวขวางกับทิศทางการเฉือน ดังภาพที่ 28

3) ทำการใส่ตัวอย่างดินลงไปเป็นชั้นๆ ชั้นละประมาณไม่เกิน 5 มิลลิเมตร โดยควบคุมความหนาแน่นของตัวอย่างดินให้ใกล้เคียงสภาพในสนามที่คำนวณได้ ดังภาพที่ 29

4) วัดความหนาของตัวอย่างดินโดยให้วัดความหนา 5 - 10 จุดให้ทั่วผิวหน้าตัวอย่างดิน แล้วนำค่ามาเฉลี่ย (ความหนาของตัวอย่างดินหลังบดอัดและปรับผิวหน้าจนเรียบร้อยดีแล้ว จะหนาประมาณ 20 มม.) แล้วจึงวางแผ่นยึดตัวอย่างดินแบบมีรูระบายน้ำ และแผ่นหินพรุน แล้วจึงตามด้วยแผ่นกด (Load Hand) ตามลำดับ ทับบนผิวหน้าของตัวอย่างดิน ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 28 การประกอบกล่องบรรจุตัวอย่าง

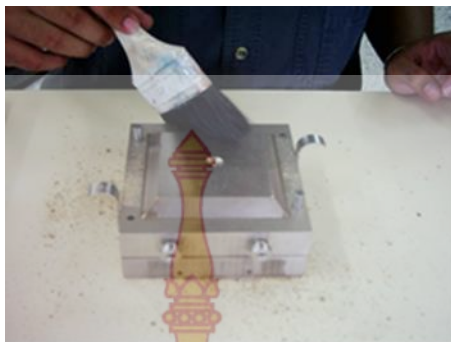


ภาพที่ 29 การเตรียมตัวอย่างดินในกล่องบรรจุตัวอย่าง



ภาพที่ 30 การวางแผนกดทับบนผิวหน้าของตัวอย่างดิน

5) ทำความสะอาดกล่องบรรจุตัวอย่าง โดยใช้แปรงขนอ่อนปิดทรายที่ติดอยู่ออกให้หมด ดังภาพที่ 31 แล้วจึงนำกล่องบรรจุตัวอย่างที่มีตัวอย่างดินบรรจุอยู่เรียบร้อยแล้วไปชั่งน้ำหนัก



ภาพที่ 31 การทำความสะอาดกล่องบรรจุตัวอย่าง

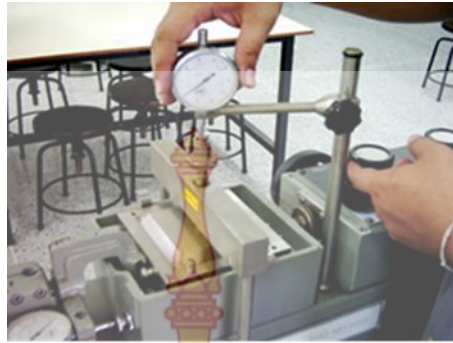
6) นำกล่องตัวอย่างใส่ในเครื่องทดสอบ ดังภาพที่ 32 ปรับแกนที่จะให้แรงเฉือนให้แน่น ติดตั้งมาตรวัดการยุบตัวแนวนอน (0.001 มิลลิเมตร/ช่อง) เพื่อใช้วัดการเคลื่อนตัวของระยะที่เฉือนตามแนวราบ ทำการใส่แรงกด (Normal Load) บนแผ่นกด ตามที่ได้คำนวณเอาไว้ และติดตั้งมาตรวัดการยุบตัวในแนวตั้ง (0.001 มิลลิเมตร/ช่อง) เพื่อใช้วัดการเคลื่อนตัวของตัวอย่างดินในแนวตั้ง



ภาพที่ 32 การนำกล่องตัวอย่างใส่ในเครื่องทดสอบ

7) หมุนสกรูที่ยึดกล่องบรรจุตัวอย่างทั้งสองข้างออกไป และปรับเข็มของมาตรวัดการยุบตัวทั้งสองให้เข็มชี้ที่เลขศูนย์ (0) ให้เรียบร้อย ดังภาพที่ 33

8) หมุนมือจับ (Jack Handle) ลง พร้อมทำการเฉือนตัวอย่างโดยให้อัตราการเฉือน 0.5 – 2 มิลลิเมตร/นาที ดังภาพที่ 34 อ่านค่าแรงเฉือนจากวงแหวนวัดแรง และการเคลื่อนตัวแนวตั้งจากมาตรวัดการยุบตัว (ค่าที่อ่านได้น้อยกว่าศูนย์มีค่าเป็นลบ) ทุก ๆ การเคลื่อนตัวในแนวราบประมาณ 10 หรือ 20 ค่า จนกระทั่งค่าของวงแหวนวัดแรงลดลงประมาณ 5 ค่าจึงหยุด



ภาพที่ 33 การปรับเข็มของมาตรวัดการยุบตัว



ภาพที่ 34 การหมุนมือจับเพื่อทดสอบแรงเฉือน

9) หลังจากตัวอย่างดินวิบัติแล้วให้นำตัวอย่างดินออกจากกล่องบรรจุตัวอย่าง และทำการเตรียมตัวอย่างดินใหม่โดยใช้ตัวอย่างดินชนิดเดียวกันนี้ ดำเนินการทดสอบตามขั้นตอนที่ 2 – 8 จนครบทุกตัวอย่าง โดยใส่หน่วยแรงกด (Normal Load) เพิ่มเป็นสองเท่าของครั้งแรกและครั้งต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน ผลการทดสอบกำลังแบกทานของดินในสนามแบบหยั่งเบา และการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงรวมถึงการวิเคราะห์ผลการทดสอบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบนำมาจากแหล่งดินในพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 2 ชนิด ซึ่งได้นำตัวอย่างไปทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน ได้แก่ การทดสอบหาขนาดคละของเม็ดดิน และการทดสอบหาขีดจำกัดความชื้นเหลวเพื่อนำไปใช้ในการจำแนกประเภทของดิน จากภาพที่ 35 เส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรงเบอร์มาตรฐาน พบว่าดินชนิดที่ 1 มีค่าร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 14.667 สำหรับค่าขีดจำกัดความชื้นเหลว และขีดจำกัดพลาสติกเท่ากับร้อยละ 16.35 และร้อยละ 15.31 ตามลำดับและมีค่าดัชนีความเหนียว (PI) เท่ากับ 1.04 มีค่าความถ่วงจำเพาะ เป็น 2.73 ซึ่งนำไปใช้ในการจำแนกประเภทดินด้วยวิธี USCS แล้วจะได้เป็นดินทรายปนดินตะกอน (SM) ส่วนดินชนิดที่ 2 ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีค่าร้อยละ 1.25 และมีค่า $C_u = 10.305$ และ $C_c = 0.855$ สำหรับค่าขีดจำกัดความชื้นเหลว และขีดจำกัดพลาสติก มีค่าเท่ากับ 0 และมีค่าความถ่วงจำเพาะ เป็น 2.66 ซึ่งนำไปใช้ในการจำแนกประเภทดินด้วยวิธี USCS แล้วจะได้เป็นดินทรายปนกรวดมีเม็ดละเอียดปนหรือไม่มีเลย (SP)



ภาพที่ 35 แผนภูมิการกระจายตัวของตัวอย่างดินชนิด SP และ SM

2. ผลการทดสอบหาค่าลึงแบกทานของดินแบบแห้งเบา

การทดสอบการเจาะแบบแห้งเบา ใช้มุมปลายกรวย 90 องศา ตามมาตรฐานการทดสอบ DIN 4093 ซึ่งจำลองสภาพของดินเป็น 5 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 11 โดยควบคุมให้ดินมีความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 1.90 ตันต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับดินชนิด SP และ 2.00 ตันต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับดินชนิด SM มีผลการทดสอบที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นดินและจำนวนครั้งของการตอดทุกระยะจุม 20 เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 12 ถึงตารางที่ 13 และภาพที่ 36 ถึงภาพที่ 37 ตามลำดับ

ตารางที่ 11 คำอธิบายสัญลักษณ์การจำลองสภาพดินที่ใช้ในการทดสอบการเจาะแห้งแบบเบา

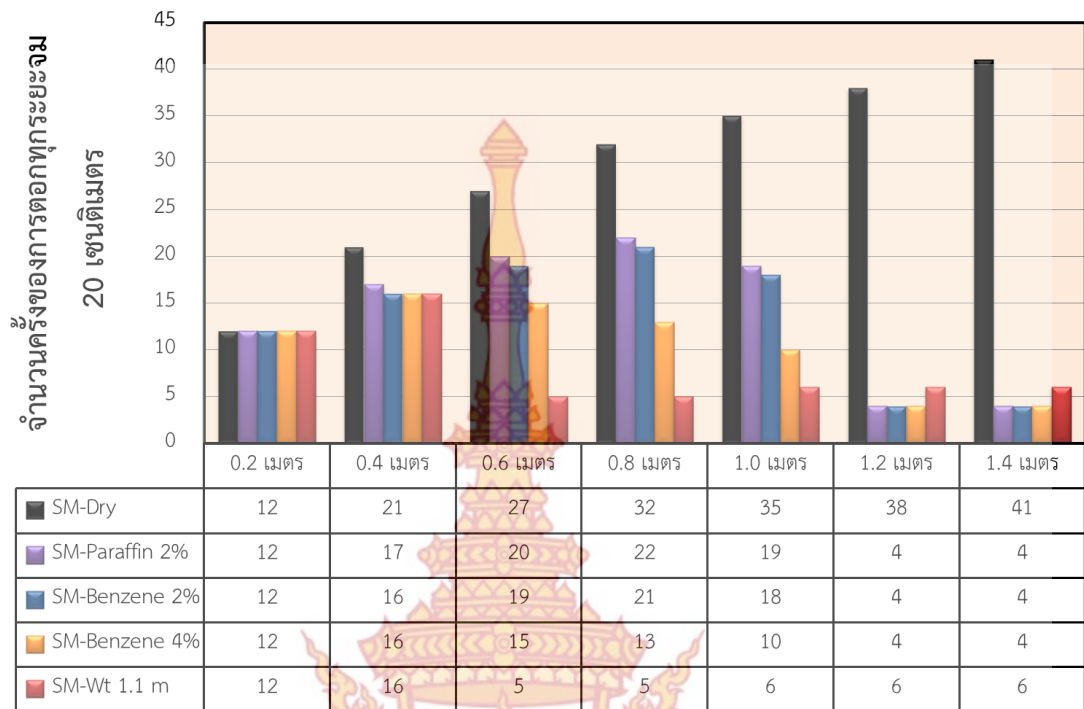
สัญลักษณ์	คำอธิบาย
SP-Dry, SM-Dry	ดินทรายชนิด SP หรือ SM สภาพแห้ง
SP-Wt, SM-Wt	ดินทรายชนิด SP หรือ SM ระดับน้ำใต้ดินสูง 1.10 เมตร
SP-Paraffin2% SM- Paraffin2%	ดินทรายชนิด SP หรือ SM มีชั้นดินปนเปื้อนพาราฟินเหลว ร้อยละ 2 หนา 0.60 เมตร วางอยู่บนชั้นดินอิมตัวด้วยน้ำ หนา 0.50 เมตร และอยู่ใต้ชั้นดินสภาพแห้ง หนา 0.50 เมตร
SP-B-2, SM-B-2	ดินทรายชนิด SP หรือ SM มีชั้นดินปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน ร้อยละ 2 หนา 0.60 เมตร วางอยู่บนชั้นดินอิมตัวด้วยน้ำ หนา 0.50 เมตร และอยู่ใต้ชั้นดินสภาพแห้ง หนา 0.50 เมตร
SP-B-4, SM-B-4	ดินทรายชนิด SP หรือ SM มีชั้นดินปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน ร้อยละ 4 หนา 0.60 เมตร วางอยู่บนชั้นดินอิมตัวด้วยน้ำ หนา 0.50 เมตร และอยู่ใต้ชั้นดินสภาพแห้ง หนา 0.50 เมตร

ตารางที่ 12 ค่าจำนวนครั้งการตอกหยั่งแบบเบาของตัวอย่างทดสอบชนิด SP

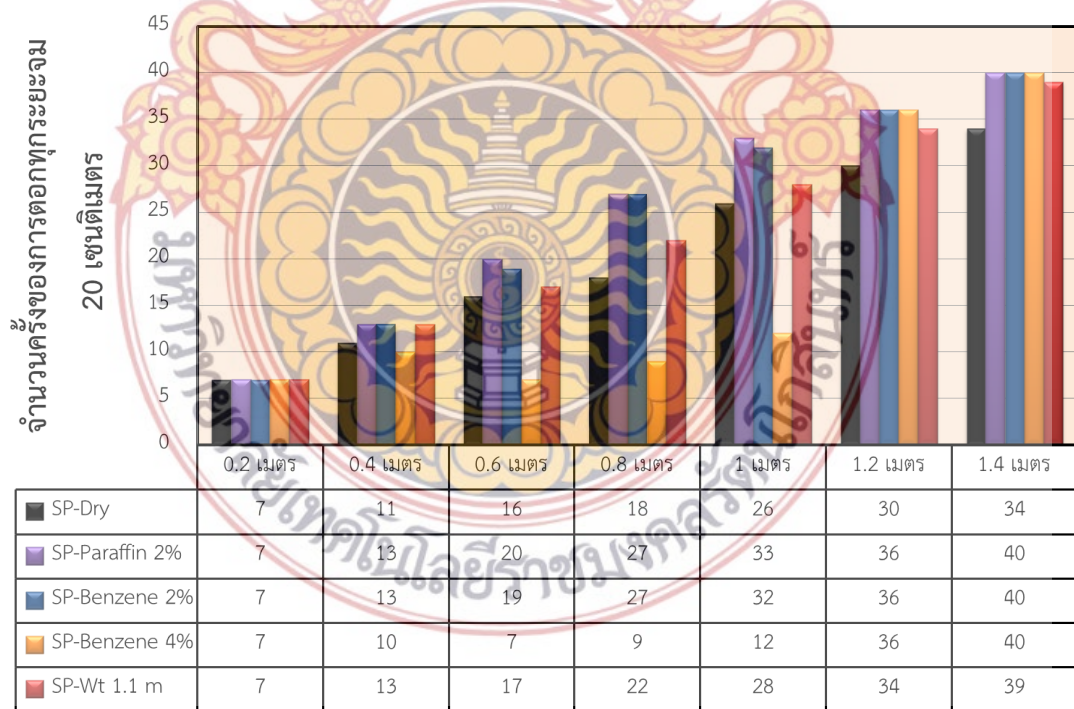
ความลึก (เมตร)	จำนวนครั้งของการตอกทุกระยะรวม 20 เซนติเมตร				
	SP-Dry	SP-Wt	SP-Paraffin 2%	SP-Benzene 2%	SP-Benzene 4%
0.20	7	7	7	7	7
0.40	11	13	13	13	10
0.60	16	17	20	19	7
0.80	18	22	27	29	9
1.00	26	28	31	34	12
1.20	30	34	36	36	36
1.40	34	39	40	40	40

ตารางที่ 13 ค่าจำนวนครั้งการตอกหยั่งแบบเบาของตัวอย่างทดสอบชนิด SM

ความลึก (เมตร)	จำนวนครั้งของการตอกทุกระยะรวม 20 เซนติเมตร				
	SM-Dry	SM-Wt	SP-Paraffin 2%	SP-Benzene 2%	SP-Benzene 4%
0.20	12	12	12	12	12
0.40	21	16	16	16	17
0.60	27	5	20	19	15
0.80	32	5	22	21	13
1.00	35	6	19	18	10
1.20	38	6	4	4	4
1.40	41	6	4	4	4



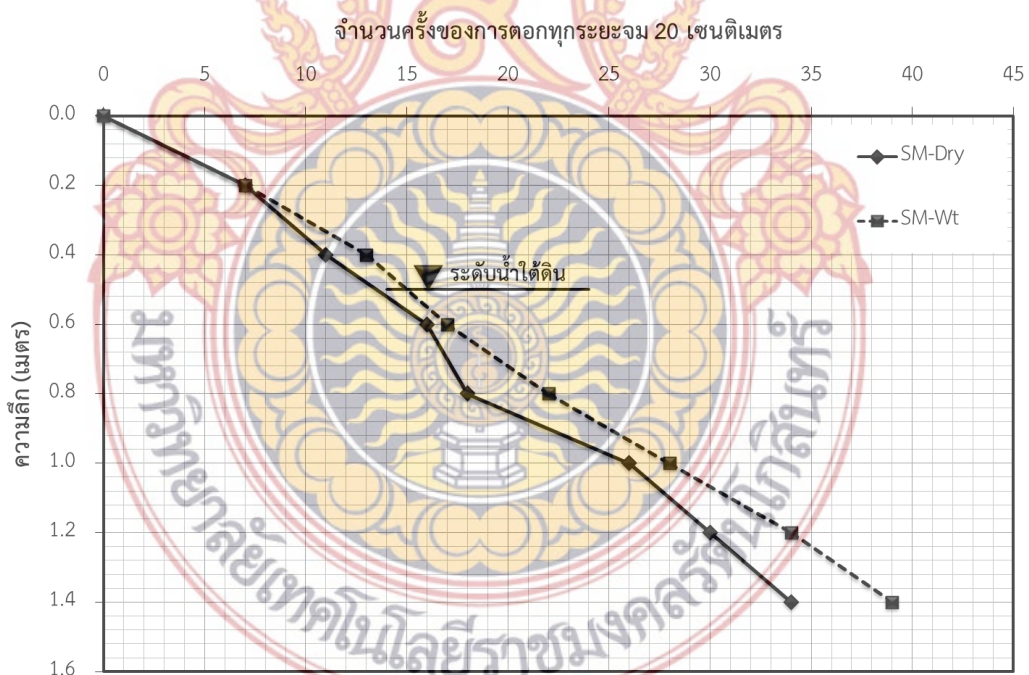
ภาพที่ 36 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SM



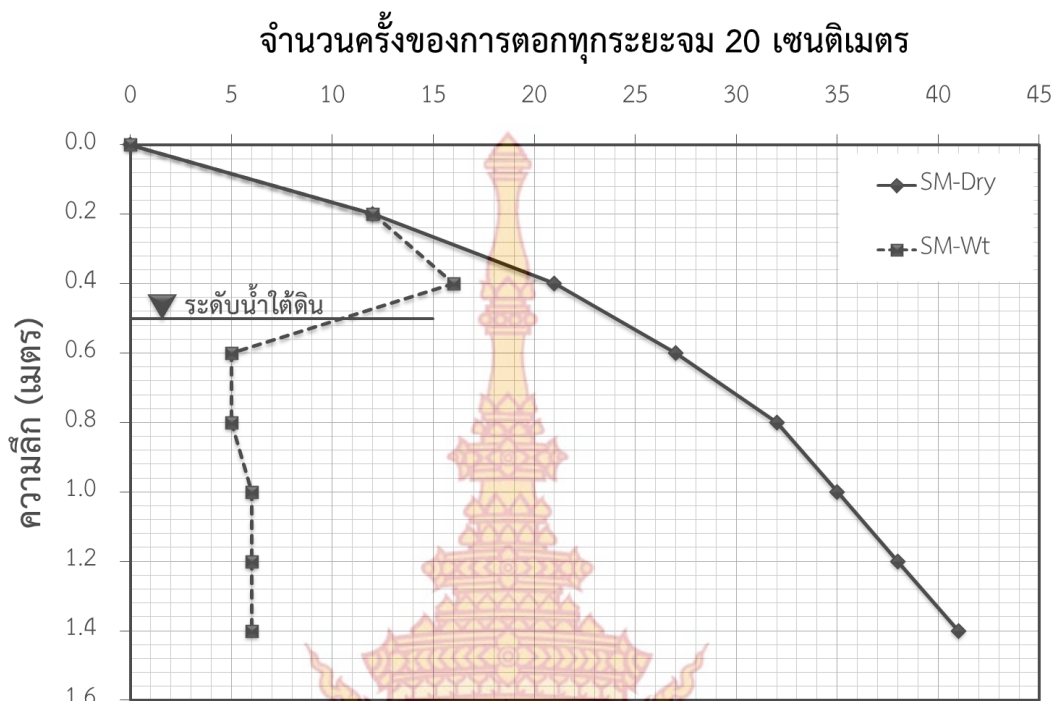
ภาพที่ 37 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SP

2.1 อิทธิพลของระดับน้ำใต้ดินที่มีผลต่อจำนวนครั้งการตอก

จากผลการทดสอบการตอกแบบหยั่งเบา นั้นแสดงให้เห็นว่าสภาพดินแห้งของทั้งตัวอย่างดินชนิด SP และ SM จะมีสัดส่วนของการเพิ่มขึ้นของจำนวนครั้งการตอกที่เพิ่มขึ้นตามความลึกของตัวอย่างทดสอบผลมาจากหน่วยแรงกดทับ (Overburden Stress) ของตัวอย่างดิน และในกรณีของตัวอย่างทดสอบที่มีระดับน้ำใต้ดินมีอิทธิพลต่อตัวอย่างดินชนิด SP ส่งผลให้จำนวนครั้งการตอกที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทดสอบในสภาพแห้งของตัวอย่างทดสอบชนิด SP ซึ่งจำนวนครั้งในการตอกจะมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 14-16 ดังภาพที่ 38 เนื่องจากอิทธิพลของน้ำใต้ดินนั้นทำให้เม็ดทรายเกิดการจัดเรียงตัวใหม่และทำให้สามารถรับกำลังได้ดีขึ้น ส่วนในกรณีของตัวอย่างทดสอบที่มีระดับน้ำใต้ดินสำหรับตัวอย่างชนิด SM นั้น มีอิทธิพลต่อจำนวนครั้งการตอกที่ลดลงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินแห้งของตัวอย่างทดสอบชนิด SM โดยมีค่าจำนวนครั้งการตอกลดลงร้อยละ 81-85 ดังภาพที่ 39 เนื่องจากเป็นเม็ดดินละเอียดมีการซึมผ่านของน้ำได้ดี ทำให้น้ำระบายออกจากตัวอย่างดินได้ช้าและส่งผลให้จำนวนครั้งการตอกมีค่าลดลง โดยอิทธิพลความชื้นของระดับน้ำใต้ดินจากการทดสอบที่ส่งผลทำให้ค่ากำลังแบกทานของดินลดลง นั้นมีผลถึงระยะ 0.3 เมตรเหนือระดับน้ำใต้ดิน



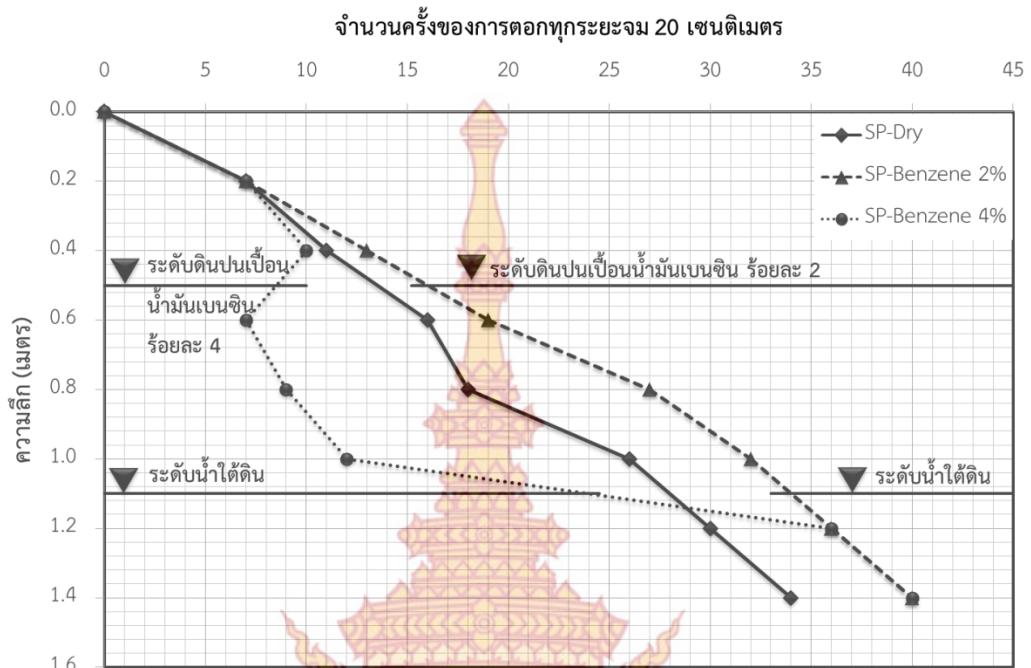
ภาพที่ 38 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SP สภาพแห้งและสภาพที่มีระดับน้ำใต้ดิน



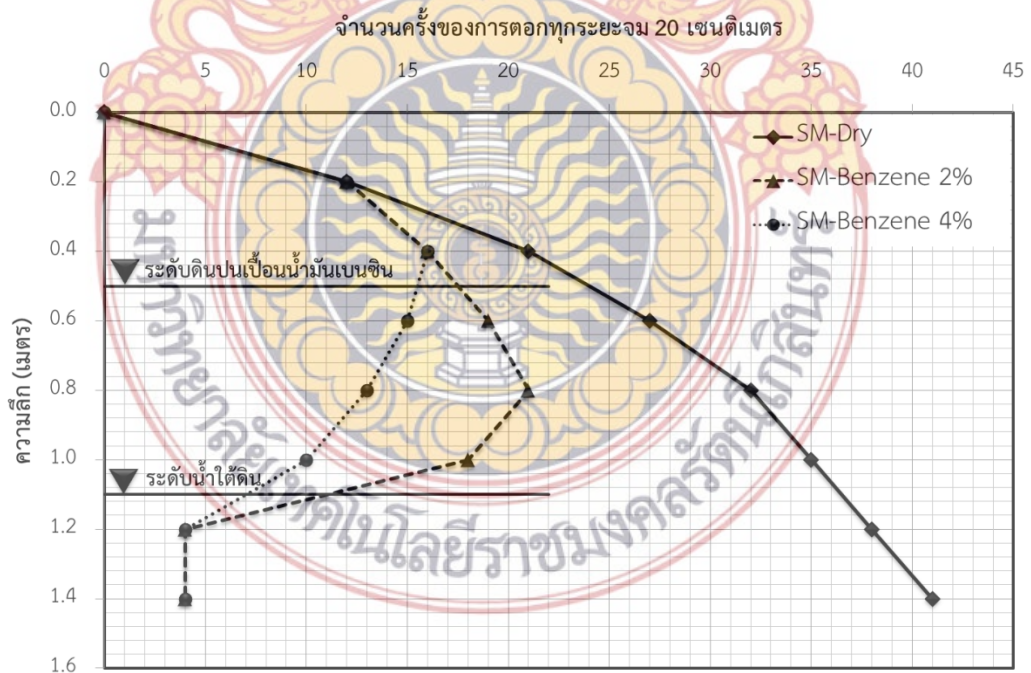
ภาพที่ 39 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SM สภาพแห้งและสภาพที่มีระดับน้ำใต้ดิน

2.2 อิทธิพลของน้ำมันเบนซินที่มีผลต่อจำนวนครั้งการตอก

จากผลการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา พบว่ากรณีของชั้นดินชนิด SP น้ำมันเบนซินมีอิทธิพลทำให้จำนวนครั้งของการตอกเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีสภาพดินแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 40 โดยกรณีที่ดินมีการปนเปื้อนด้วยน้ำมันเบนซินร้อยละ 2 พบว่ามีผลทำให้จำนวนครั้งของการตอกเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 16-18 กรณีที่ดินมีการปนเปื้อนด้วยน้ำมันเบนซินร้อยละ 4 พบว่ามีผลทำให้จำนวนครั้งการตอกลดลงประมาณร้อยละ 42-50 เนื่องจากน้ำมันเบนซินเป็นสารหล่อลื่นซึ่งส่งผลให้แรงเสียดทานระหว่างเม็ดดินลดลง โดยพบว่าเมื่อปริมาณของน้ำมันเบนซินเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่จำนวนครั้งของการตอกลดลง สำหรับกรณีของชั้นดินชนิด SM น้ำมันเบนซินมีอิทธิพลทำให้จำนวนครั้งของการตอกเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีสภาพดินแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 41 โดยกรณีที่ดินมีการปนเปื้อนด้วยน้ำมันเบนซินร้อยละ 2 พบว่ามีผลทำให้จำนวนครั้งของการตอกลดลงประมาณร้อยละ 29-48 กรณีที่ดินมีการปนเปื้อนด้วยน้ำมันเบนซินร้อยละ 4 พบว่ามีผลทำให้จำนวนครั้งการตอกลดลงประมาณร้อยละ 44-71 เนื่องจากน้ำมันเบนซินเป็นสารหล่อลื่นซึ่งส่งผลให้แรงเสียดทานระหว่างเม็ดดินลดลง โดยพบว่าดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเบนซินจำนวนครั้งของการตอกลดลง



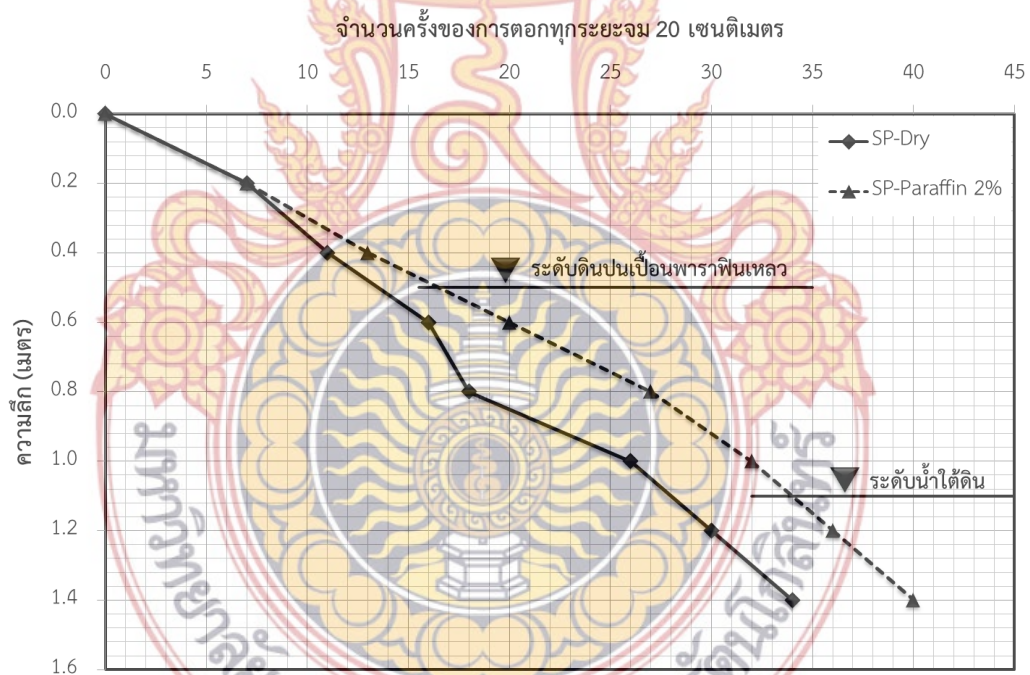
ภาพที่ 40 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SP สภาพแห้งและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน



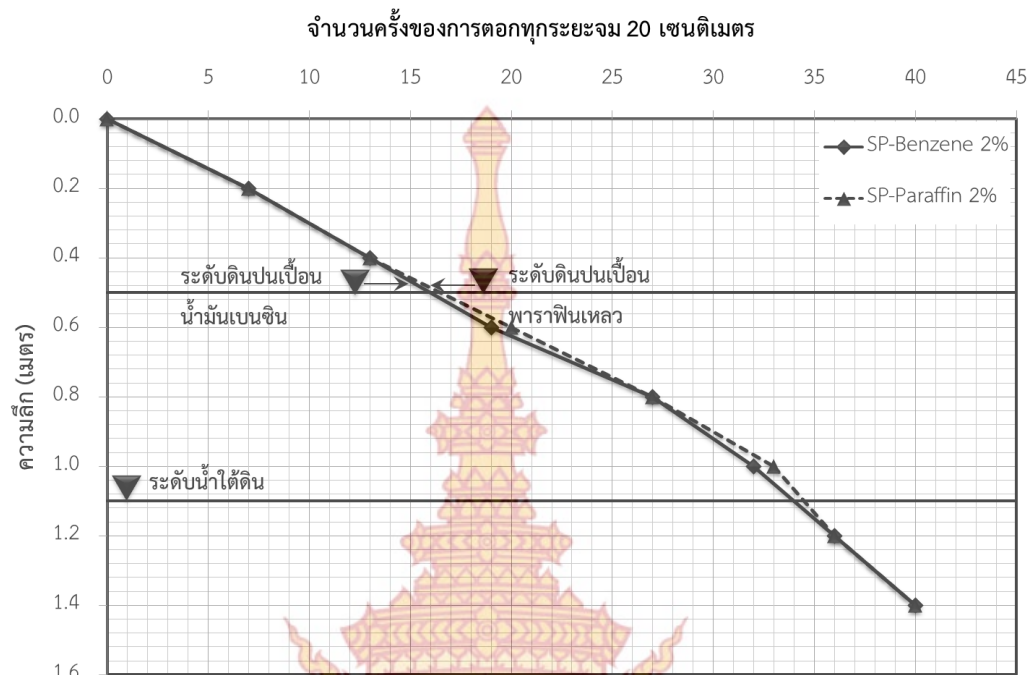
ภาพที่ 41 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SM สภาพแห้งและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน

2.3 อิทธิพลของพาราฟินเหลวที่มีผลต่อจำนวนครั้งการตอก

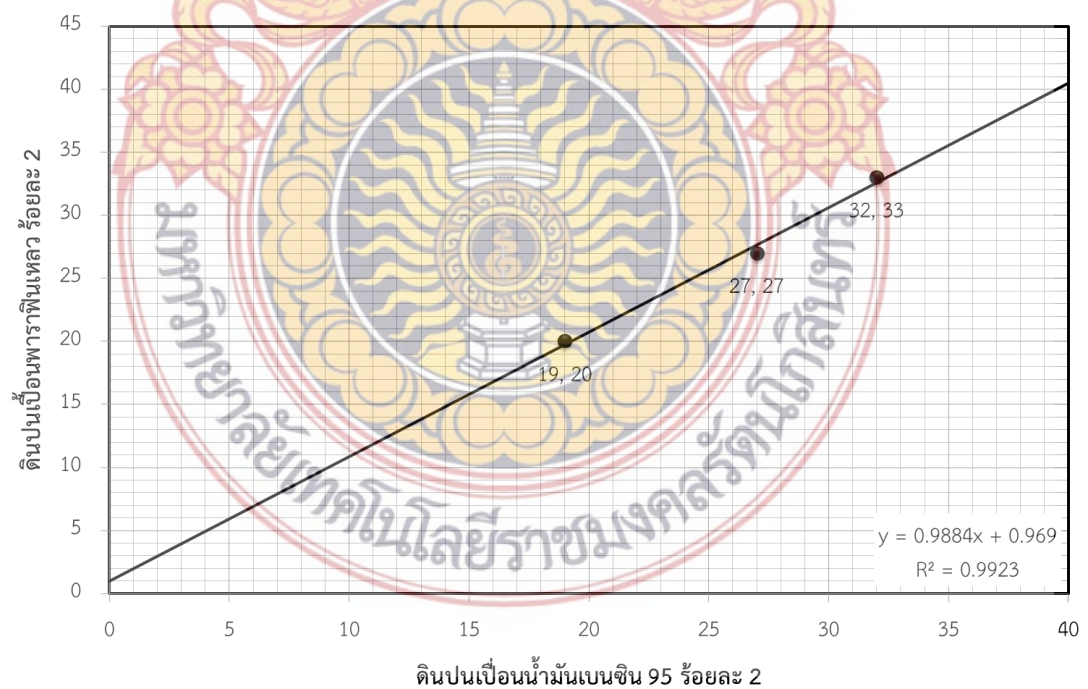
จากผลการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา พบว่ากรณีของชั้นดินชนิด SP พาราฟินเหลวมีอิทธิพลทำให้จำนวนครั้งของการตอกเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีสภาพดินแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 42 โดยกรณีที่ดินมีการปนเปื้อนด้วยพาราฟินเหลวร้อยละ 2 พบว่าทำให้จำนวนครั้งของการตอกมากขึ้นร้อยละ 25-50 เนื่องจากพาราฟินเหลวมีผลทำให้ไปเติมเต็มช่องว่างในดินส่งผลให้ดินมีกำลังแบกทานเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้ดินปนเปื้อนพาราฟินเหลวมีแนวโน้มทำให้จำนวนการตอกเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของดินปนเปื้อนพาราฟินเหลวร้อยละ 2 กับดินปนเปื้อนน้ำมันเบนซินร้อยละ 2 ที่มีผลต่อจำนวนครั้งของการตอกสามารถแสดงดังภาพที่ 43 และภาพที่ 44 โดยพบว่าความสัมพันธ์ของอิทธิพลการปนเปื้อนระหว่างน้ำมันเบนซินและพาราฟินเหลว ที่ปริมาณปนเปื้อนเท่ากันเป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการคือ $y = 0.9884x + 0.969$ (เมื่อ y คืออิทธิพลของพาราฟินเหลว และ x คืออิทธิพลของน้ำมันเบนซิน)



ภาพที่ 42 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SP สภาพแห้งและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนพาราฟินเหลว

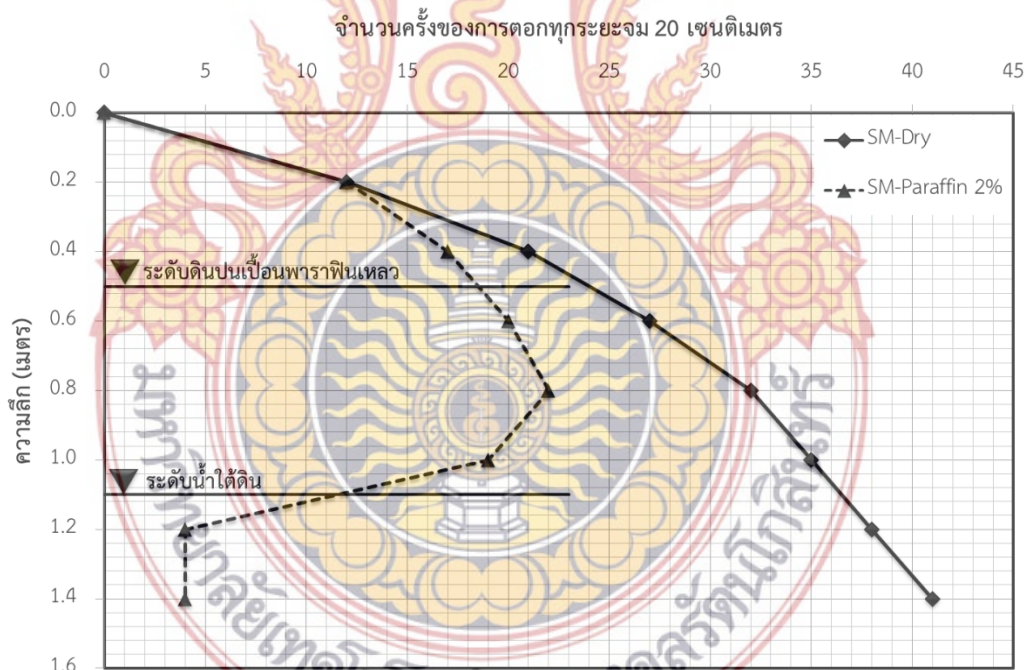


ภาพที่ 43 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SP สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนพาราฟินเหลว

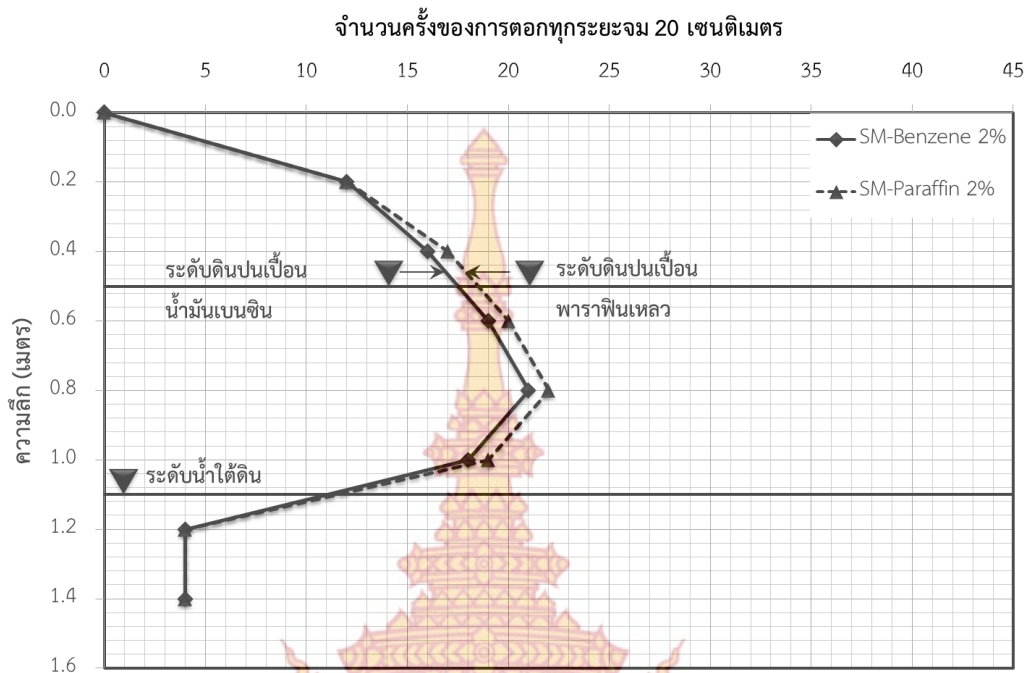


ภาพที่ 44 กราฟความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SP สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนพาราฟินเหลว

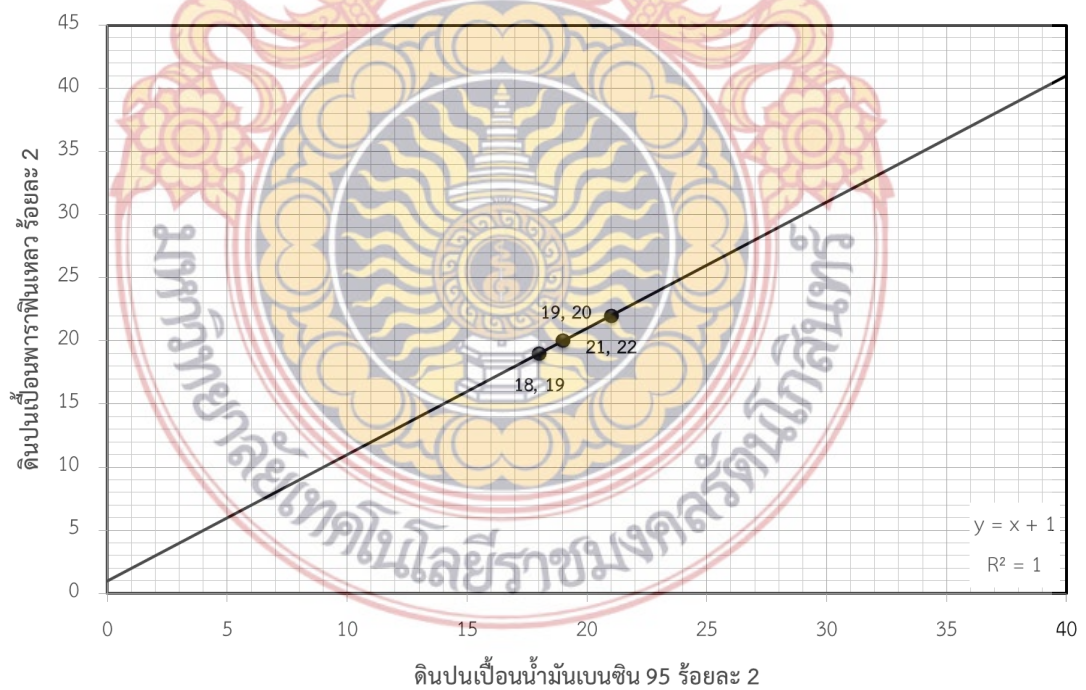
สำหรับกรณีของชั้นดินชนิด SM พาราฟินเหลวมีอิทธิพลทำให้จำนวนครั้งของการตกลงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีสภาพดินแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 45 โดยกรณีที่ดินมีการปนเปื้อนด้วยพาราฟินเหลวร้อยละ 2 พบว่าทำให้จำนวนครั้งของการตกลงร้อยละ 25-45 เนื่องจากพาราฟินเหลวมีผลทำให้เกิดเป็นสารหล่อลื่นส่งผลให้ดินมีแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดินลดลง เป็นผลทำให้ดินปนเปื้อนพาราฟินเหลวมีแนวโน้มทำให้จำนวนการตกลงลดลง เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของดินปนเปื้อนพาราฟินเหลวร้อยละ 2 กับดินปนเปื้อนน้ำมันเบนซินร้อยละ 2 ที่มีผลต่อจำนวนครั้งของการตกสามารถแสดงดังภาพที่ 46 และภาพที่ 47 โดยพบว่าความสัมพันธ์ของอิทธิพลการปนเปื้อนระหว่างน้ำมันเบนซินและพาราฟินเหลว ที่ปริมาณปนเปื้อนเท่ากันเป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการคือ $y = x+1$ (เมื่อ y คืออิทธิพลของพาราฟินเหลวและ x คืออิทธิพลของน้ำมันเบนซิน) จากข้อมูลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างการปนเปื้อนพาราฟินเหลวและการปนเปื้อนน้ำมันเบนซินของดินทรายเป็นไปในลักษณะเดียวกัน ทำให้สามารถใช้พาราฟินเหลวทดสอบแทนการใช้น้ำมันเบนซินได้



ภาพที่ 45 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SM สภาพแห้งและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนพาราฟินเหลว



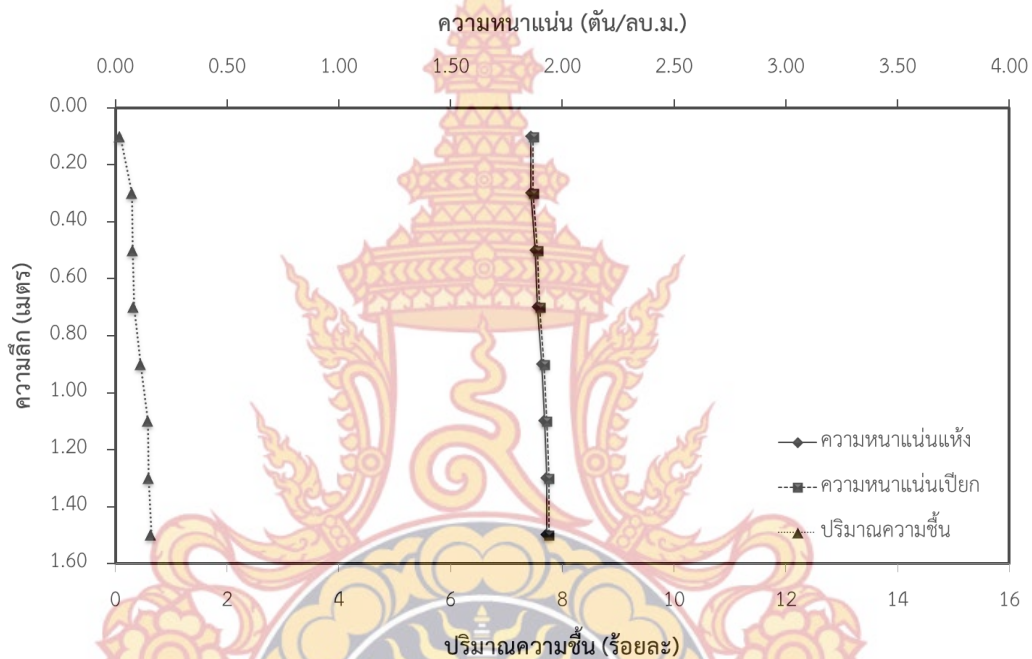
ภาพที่ 46 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SM สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนพาราฟินเหลว



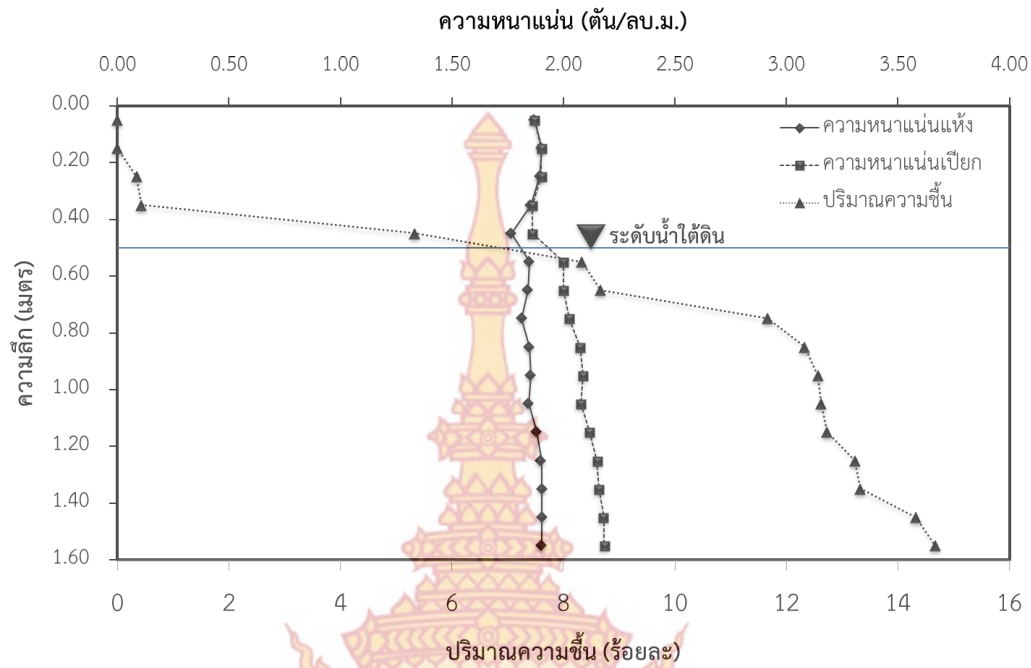
ภาพที่ 47 กราฟความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งการตอกต่อความลึกของตัวอย่างดินชนิด SM สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันและสภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนพาราฟินเหลว

2.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของชั้นดินในบ่อทดสอบ

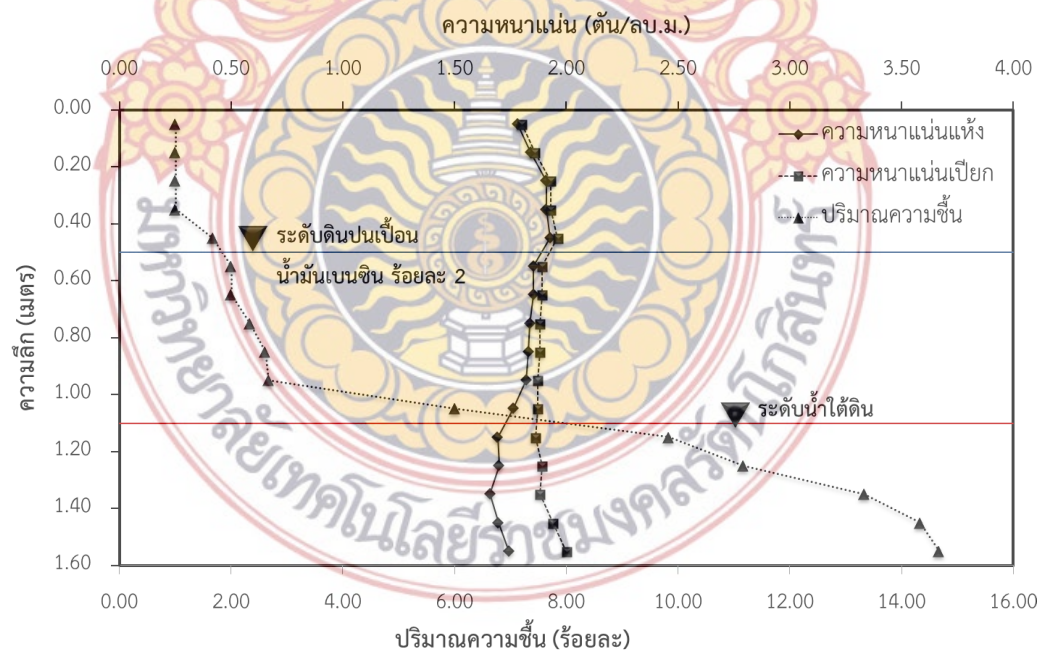
จากการทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนามโดยการแทนที่ด้วยน้ำ และการเก็บตัวอย่างดินตลอดความลึกของชั้นดินในบ่อทดสอบ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก ดังภาพที่ 48 – 57 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นแห้งที่ทดสอบได้ สอดคล้องกับความหนาแน่นแห้งที่ควบคุมในการเตรียมตัวอย่างในทุกกรณี และความหนาแน่นเปียก จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น



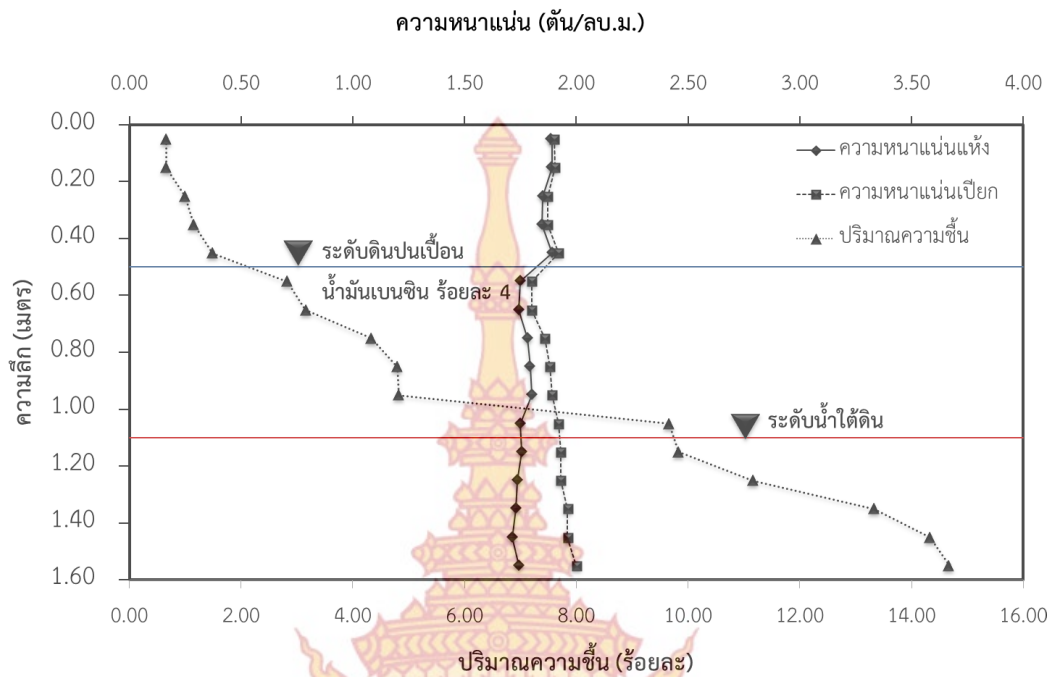
ภาพที่ 48 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก สำหรับดินชนิด SP สภาพแห้ง



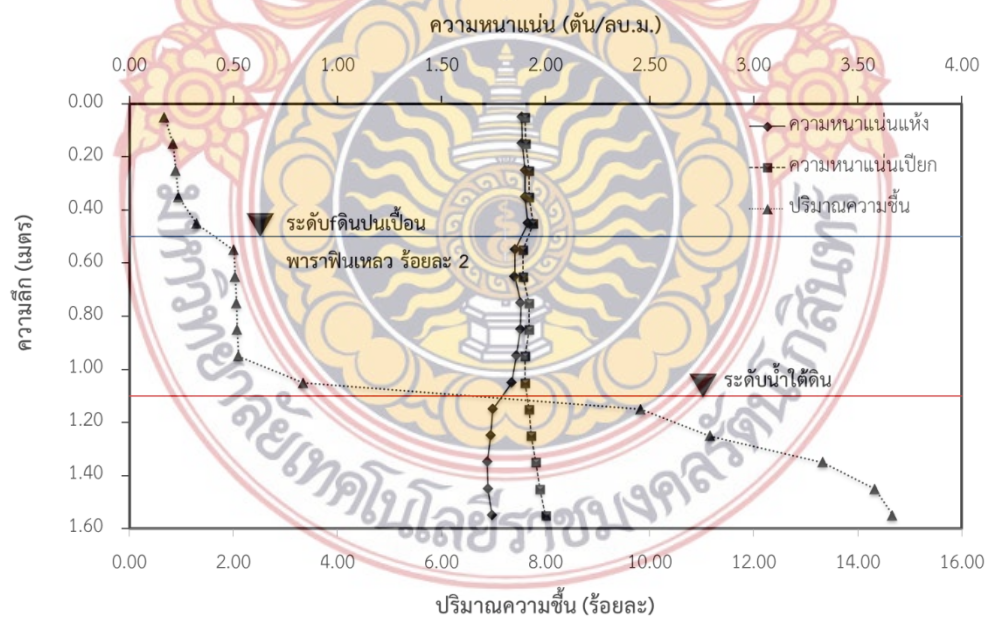
ภาพที่ 49 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก
สำหรับดินชนิด SP สภามีระดับน้ำใต้ดิน



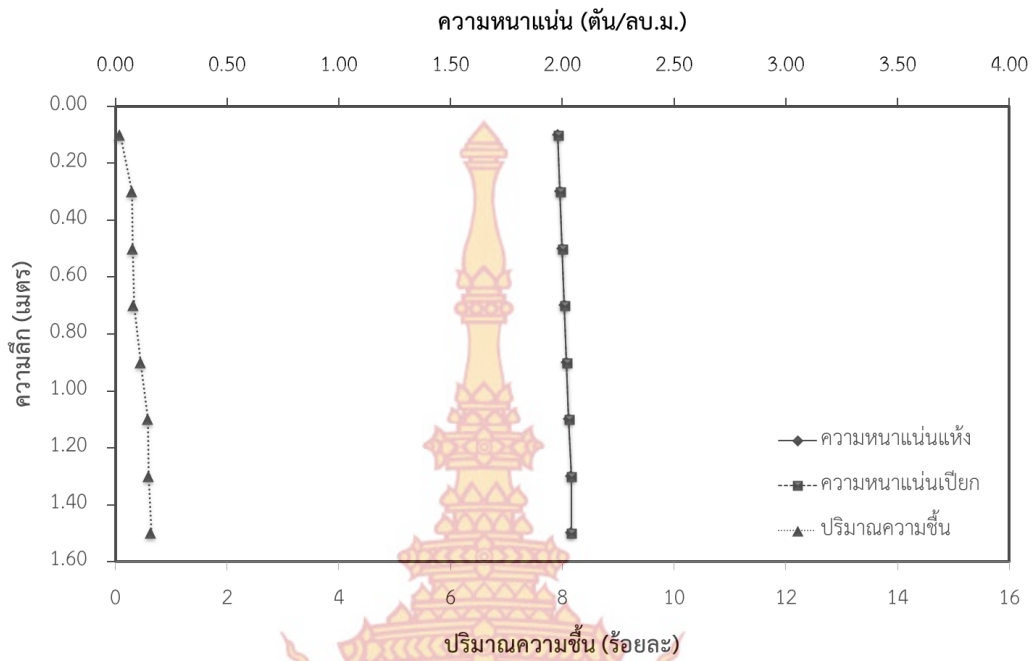
ภาพที่ 50 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก
สำหรับดินชนิด SP สภาดินปนเปื้อนน้ำมัน ร้อยละ 2



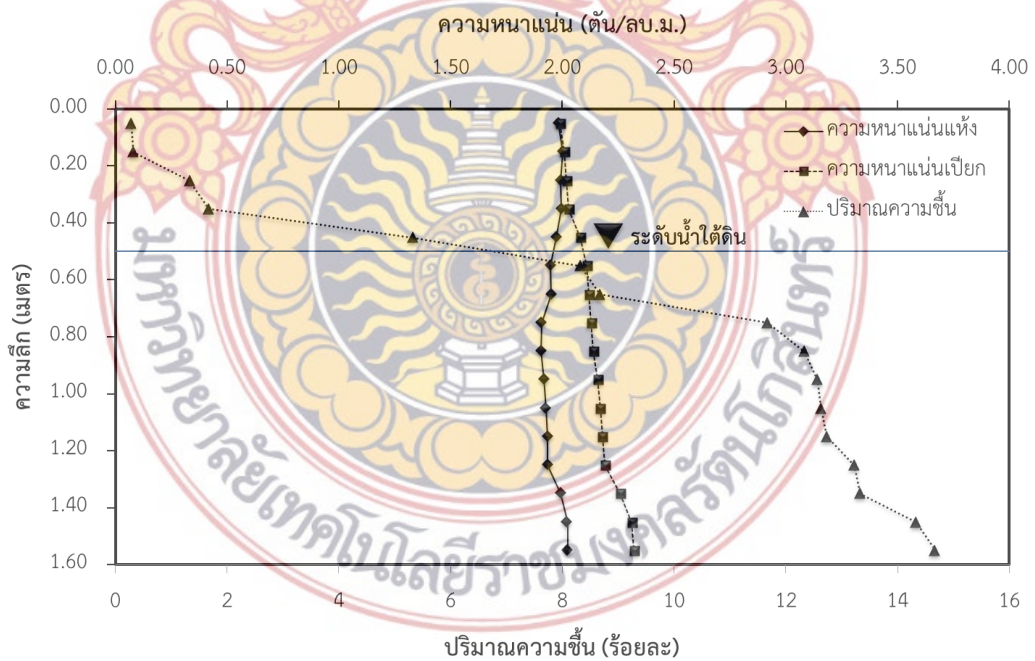
ภาพที่ 51 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก
สำหรับดินชนิด SP สภาพดินปนเปื้อนน้ำมัน ร้อยละ 4



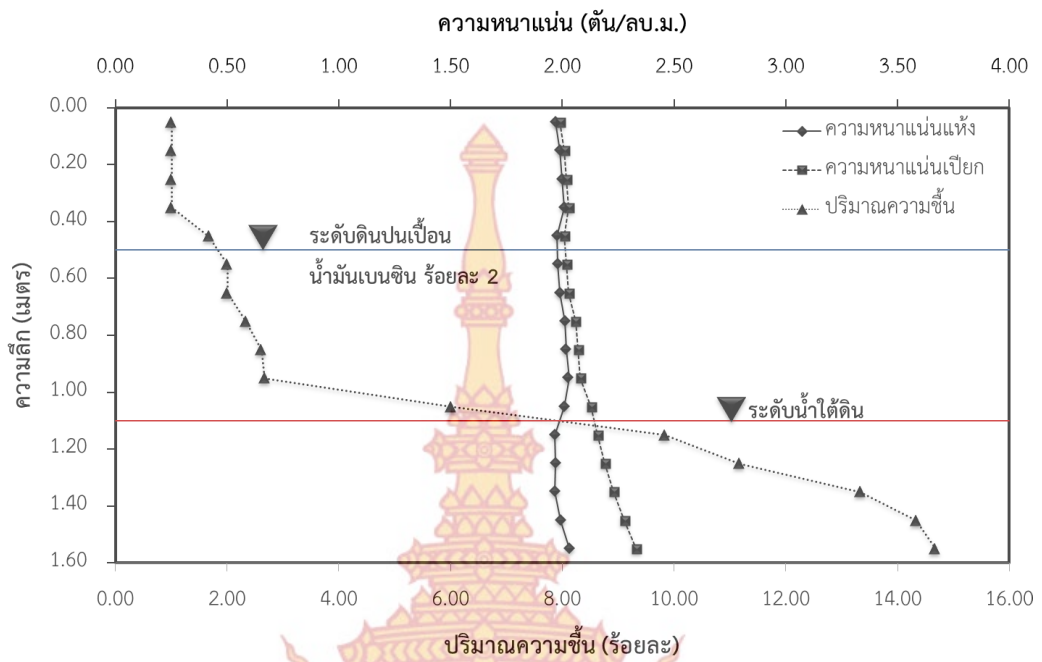
ภาพที่ 52 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก
สำหรับดินชนิด SP สภาพดินปนเปื้อนพาราฟินเหลว ร้อยละ 2



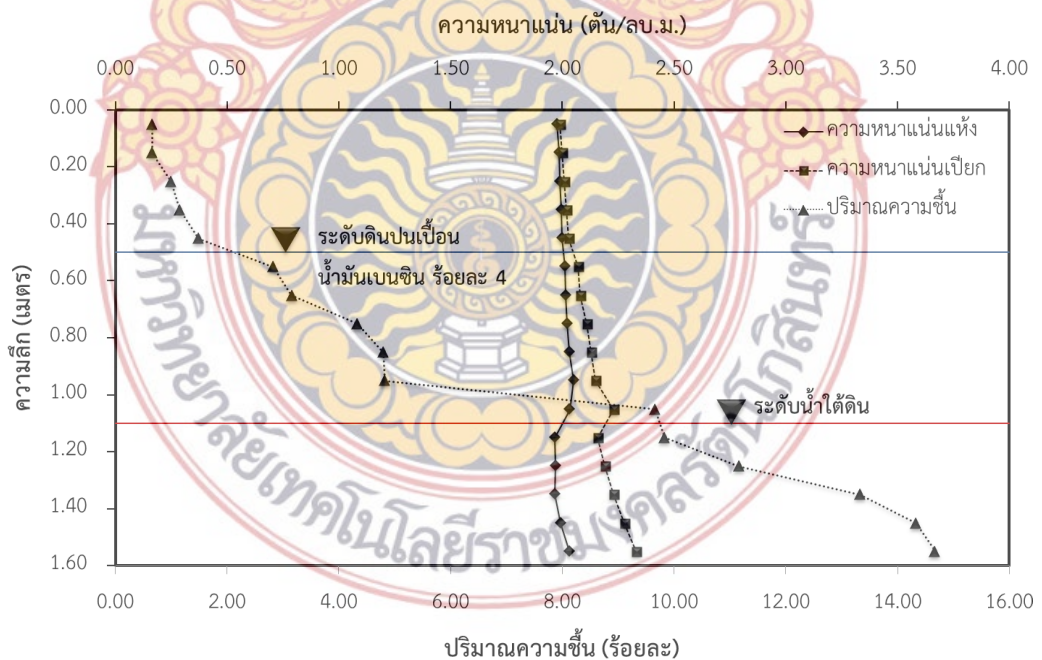
ภาพที่ 53 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก
สำหรับดินชนิด SM สภาพแห้ง



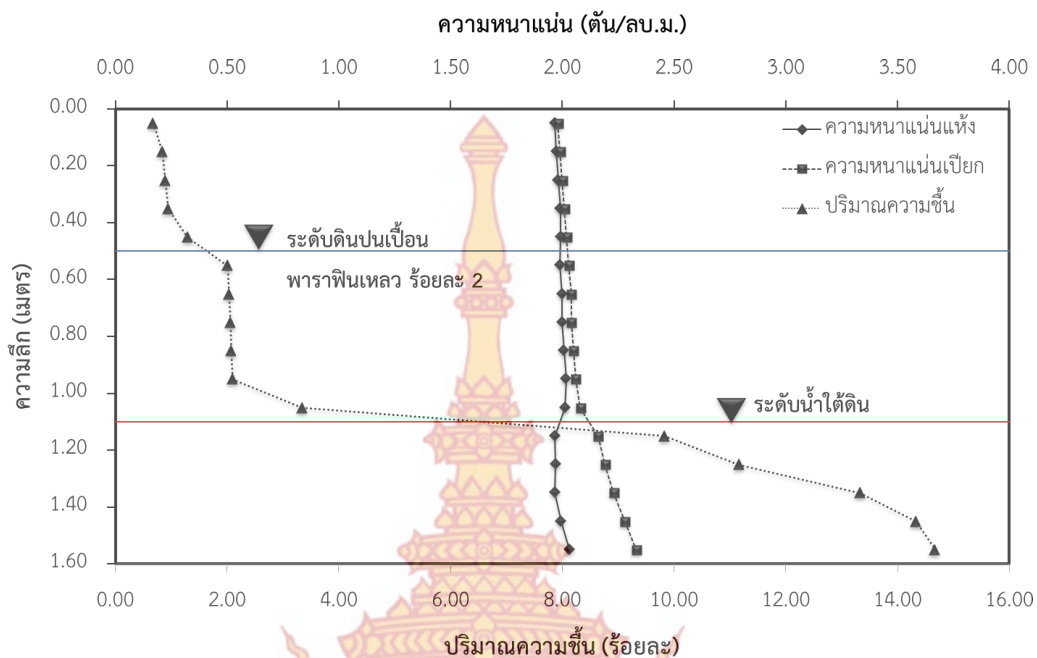
ภาพที่ 54 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก
สำหรับดินชนิด SM สภาพมีระดับน้ำใต้ดิน



ภาพที่ 55 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก
สำหรับดินชนิด SM สภาพดินปนเปื้อนน้ำมัน ร้อยละ 2



ภาพที่ 56 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก
สำหรับดินชนิด SM สภาพดินปนเปื้อนน้ำมัน ร้อยละ 4



ภาพที่ 57 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความลึก สำหรับดินชนิด SM สภาพดินปนเปื้อนพาราฟินเหลว ร้อยละ 2

3. ผลการทดสอบแรงเฉือนตรง

จากผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงกับตัวอย่างดินที่จำลองสภาพเหมือนกับชั้นดินในบ่อทดสอบ โดยใช้ความหนาแน่นเปียกและหน่วยน้ำหนักกดทับตามตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0.2, 0.6, 1.0 และ 1.4 เมตร พบว่ากรณีชั้นดิน SP สภาพแห้ง ค่ามุมเสียดทานภายในมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 42.88-49.46 องศา ดังตารางที่ 14 กรณีชั้นดิน SP สภาพที่มีระดับน้ำใต้ดินค่ามุมเสียดทานภายในมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 41.75-52.00 องศา ดังตารางที่ 15 กรณีชั้นดิน SP สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนพาราฟินเหลว ร้อยละ 2 ค่ามุมเสียดทานภายในมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 42.88-54.82 องศา ดังตารางที่ 16 กรณีชั้นดิน SP สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน ร้อยละ 2 ค่ามุมเสียดทานภายในมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 41.89-53.09 องศา ดังตารางที่ 17 กรณีชั้นดิน SP สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน ร้อยละ 4 ค่ามุมเสียดทานภายในมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 41.75-52.00 องศา ดังตารางที่ 18

ตามข้อมูลผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อดินชนิด SP อยู่ใต้ระดับน้ำทำให้ดินมีความแน่นมากขึ้นเป็นผลทำให้ดินมีมุมเสียดทานภายในเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับกรณีที่ดินมีการปนเปื้อนในปริมาณที่ไม่มากนักไม่มีผลต่อการทำให้ดินมีมุมเสียดทานน้อยลง แต่เมื่อดินถูกปนเปื้อนมากขึ้นดินมีแนวโน้มที่จะมีค่ามุมเสียดทานต่ำลง

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบแรงเฉือนตรงสำหรับตัวอย่างดิน SP สภาพแห้ง

ชนิดดิน	ความลึก	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ความหนาแน่นเปียก (ตัน/ลบ.ม.)	หน่วยแรงยึดเกาะ (กก./ตร.ซม.)	มุมเสียดทานภายใน (องศา)	จำนวนครั้งของการตอก ทุกระยะจม 20 ซม.
SP-Dry	0.2	0.08	1.87	0.055	42.88	7
	0.6	0.31	1.89	0.065	43.88	16
	1.0	0.45	1.92	0.051	45.41	26
	1.4	0.59	1.94	0.000	49.46	34

ตารางที่ 15 ผลการทดสอบแรงเฉือนตรงสำหรับตัวอย่างดิน SP สภาพที่มีระดับน้ำใต้ดิน

ชนิดดิน	ความลึก	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ความหนาแน่นเปียก (ตัน/ลบ.ม.)	หน่วยแรงยึดเกาะ (กก./ตร.ซม.)	มุมเสียดทานภายใน (องศา)	จำนวนครั้งของการตอก ทุกระยะจม 20 ซม.
SP-Wet	0.2	0.00	1.87	0.090	41.75	7
	0.6	8.33	2.00	0.035	43.88	17
	1.0	12.57	2.09	0.029	46.17	28
	1.4	13.33	2.16	0.000	52.00	39

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบแรงเฉือนตรงสำหรับตัวอย่างดิน SP สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนพาราฟินเหลว ร้อยละ 2

ชนิดดิน	ความลึก	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ความหนาแน่นเปียก (ตัน/ลบ.ม.)	หน่วยแรงยึดเกาะ (กก./ตร.ซม.)	มุมเสียดทานภายใน (องศา)	จำนวนครั้งของการตอก ทุกระยะจุม 20 ซม.
SP- Paraffin 2%	0.2	0.84	1.90	0.045	42.88	7
	0.6	2.01	1.89	0.050	44.40	20
	1.0	2.10	1.90	0.036	47.63	33
	1.4	13.33	1.95	0.079	54.82	40

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบแรงเฉือนตรงสำหรับตัวอย่างดิน SP สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน ร้อยละ 2

ชนิดดิน	ความลึก	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ความหนาแน่นเปียก (ตัน/ลบ.ม.)	หน่วยแรงยึดเกาะ (กก./ตร.ซม.)	มุมเสียดทานภายใน (องศา)	จำนวนครั้งของการตอก ทุกระยะจุม 20 ซม.
SP- Benzene 2%	0.2	1.00	1.86	0.066	41.89	7
	0.6	2.00	1.89	0.055	43.49	19
	1.0	2.67	1.87	0.050	46.96	32
	1.4	13.33	1.88	0.060	53.09	40

ตารางที่ 18 ผลการทดสอบแรงเฉือนตรงสำหรับตัวอย่างดิน SP สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน ร้อยละ 4

ชนิดดิน	ความลึก	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ความหนาแน่นเปียก (ตัน/ลบ.ม.)	หน่วยแรงยึดเกาะ (กก./ตร.ซม.)	มุมเสียดทานภายใน (องศา)	จำนวนครั้งของการตอก ทุกระยะจุม 20 ซม.
SP- Benzene 4%	0.2	1.66	1.90	0.090	41.75	7
	0.6	2.83	1.80	0.055	42.15	7
	1.0	4.83	1.89	0.065	43.84	12
	1.4	13.33	1.96	0.000	52.00	40



บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุปผล

1.1 กรณีของตัวอย่างทดสอบที่มีระดับน้ำใต้ดินมีอิทธิพลต่อตัวอย่างดินชนิด SP ส่งผลให้จำนวนครั้งการตอกที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทดสอบในสภาพแห้งของตัวอย่างทดสอบชนิด SP ซึ่งจำนวนครั้งในการตอกจะมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 14-16 ส่วนในกรณีของตัวอย่างทดสอบที่มีระดับน้ำใต้ดินสำหรับตัวอย่างชนิด SM นั้น มีอิทธิพลต่อจำนวนครั้งการตอกที่ลดลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินแห้งของตัวอย่างทดสอบชนิด SM โดยมีค่าจำนวนครั้งการตอกลดลงร้อยละ 81-85

1.2 กรณีที่ดินชนิด SP มีการปนเปื้อนด้วยน้ำมันเบนซินร้อยละ 2 พบว่ามีผลทำให้จำนวนครั้งของการตอกเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 16-18 กรณีที่ดินมีการปนเปื้อนด้วยน้ำมันเบนซินร้อยละ 4 พบว่ามีผลทำให้จำนวนครั้งการตอกลดลงประมาณร้อยละ 42-50 ส่วนในกรณีที่ดินชนิด SM มีการปนเปื้อนด้วยน้ำมันเบนซินร้อยละ 2 พบว่ามีผลทำให้จำนวนครั้งของการตอกลดลงประมาณร้อยละ 29-48 กรณีที่ดินมีการปนเปื้อนด้วยน้ำมันเบนซินร้อยละ 4 พบว่ามีผลทำให้จำนวนครั้งการตอกลดลงประมาณร้อยละ 44-71

1.3 กรณีที่ดินชนิด SP มีการปนเปื้อนด้วยพาราฟินเหลวร้อยละ 2 พบว่าทำให้จำนวนครั้งของการตอกมากขึ้นร้อยละ 25-50 ส่วนในกรณีที่ดินชนิด SM มีการปนเปื้อนด้วยพาราฟินเหลวร้อยละ 2 พบว่าทำให้จำนวนครั้งของการตอกลดลงร้อยละ 25-45 นอกจากนี้จากข้อมูลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างการปนเปื้อนพาราฟินเหลวและการปนเปื้อนน้ำมันเบนซินของดินทรายเป็นไปในลักษณะเดียวกัน ทำให้สามารถใช้พาราฟินเหลวทดสอบแทนการใช้น้ำมันเบนซินได้

1.4 จากผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงกับตัวอย่างดินที่จำลองสภาพเหมือนกับชั้นดินในบ่อทดสอบ พบว่ากรณีชั้นดิน SP สภาพแห้ง ค่ามุมเสียดทานภายในมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 42.88-49.46 องศา กรณีชั้นดิน SP สภาพที่มีระดับน้ำใต้ดินค่ามุมเสียดทานภายในมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 41.75-52.00 องศา กรณีชั้นดิน SP สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนพาราฟินเหลว ร้อยละ 2 ค่ามุมเสียดทานภายในมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 42.88-54.82 องศา กรณีชั้นดิน SP สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน ร้อยละ 2 ค่ามุมเสียดทานภายในมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 41.89-53.09 องศา กรณีชั้นดิน SP สภาพที่ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน ร้อยละ 4 ค่ามุมเสียดทานภายในมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 41.75-52.00 องศา

2. ข้อเสนอแนะ

2.1 การทดสอบในการจำลองสภาพของตัวอย่างของดินโดยการทดสอบหาค่าลึงแบกทานของดินในสนามแบบหยั่งเบา โดยกำหนดความหนาแน่นที่เท่ากัน ควรทดสอบที่ความหนาแน่นแตกต่างกันเพื่อจะสามารถเห็นความแตกต่างเนื่องจากความหนาแน่นของดินได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ผลที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น

2.2 การทดสอบโดยการจำลองสภาพของตัวอย่างของดินที่มีการปนเปื้อน ควรพิจารณาความหนาของการปนเปื้อนที่มากขึ้น และมีปริมาณการปนเปื้อนที่มากขึ้น เพื่อให้เห็นความแตกต่างของผลการทดสอบที่ชัดเจนมากขึ้น

2.3 การทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบาในบ่อทดสอบ ควรที่จะมีความลึกในการทดสอบที่มากขึ้นเพื่อจะสามารถนำมาพิจารณาค่าต่างๆ และจะได้ค่าที่ใกล้เคียงสามารถแปลผลได้ง่ายและความแม่นยำของค่าสูง



บรรณานุกรม

- เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. **ของเสียอันตราย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยรังสิต, 2546.
- ก้องรัฐ นกแก้ว และ ศุภกิจ นนทนานันท์. **อิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินต่อกำลังรับน้ำหนักฐานรากตึ้นบนดินเหนียวแข็งสกลนคร**. ชลบุรี : การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13, 2551.
- ชูศักดิ์ ศิริรัตน์. **ปฐพีกลศาสตร์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2554.
- ชูศักดิ์ ศิริรัตน์. **คู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล, 2555.
- ณรงค์ แก้ววิเศษ, วิทยา วิภาทิน และ คณาพจน์ สุตรขวัญ. **“การหาคุณสมบัติของดินโดยใช้ผลการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา”**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2553.
- พินิจ ธรรมธสิริ. **“แนวทางการสำรวจดินในประเทศไทย”**. การอบรมการประชุมที่ใช้ผลการสำรวจดินเพื่อการออกแบบ. กรุงเทพมหานคร : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2544.
- พิสาน หุ่นทรัพย์. **“การพัฒนาเครื่องทดสอบน้ำหนักเบาเจาะหยั่งแบบพลศาสตร์ สำหรับวัดความต้านทานของชั้นดินเหนียวอ่อน”**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยรังสิต, 2549.
- วรรณัฐ ศรีพงษ์พิจิตร. **“การศึกษาพฤติกรรมการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงในชั้นดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำด้วยวิธีการวิเคราะห์จากภาพดิจิทัล”**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.
- วรากร ไม้เรียง. **วิศวกรรมเขื่อนดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : ไลบราลี นาย, 2541. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. **แนวทางการตรวจสอบชั้นดินเพื่องานฐานราก**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท จุดทอง จำกัด, 2545.
- ศิริธานี วงศ์กระจำ และบัญญัติ รัตน์ภู. **“การจัดการดินทรายจัด เพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร”**. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ฉบับพิเศษ (2556) : 184-194.
- สถาพร คูวิจิตรจากรุ. **การเจาะสำรวจดินทางวิศวกรรม : การเจาะสำรวจ เก็บตัวอย่าง และการทดสอบในสนาม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- อัฐพล ศักดิ์มณี และ ก่อโชค จันทรวงูร. **การสำรวจชั้นดินด้วยเครื่องตอกหยั่งชั้นดินขนาดเบา**. กรุงเทพมหานคร : การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- อัฐพล ศักดิ์มณี. **“การพัฒนาเครื่องหยั่งชั้นดินขนาดเบาในการสำรวจชั้นดินเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน.”** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.
- อัฐพล ศักดิ์มณี และ ก่อโชค จันทรวงูร. **การต้านทานของการตอกหยั่งชั้นดินแบบพลวัตในชั้นดินทราย**. ภูเก็ต : การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12, 2549.
- Bowles, Joseph E. **Foundation Analysis and Design**. New York : McGraw-Hill, 1996.
- Budhu, M. **Soil Mechanics and Foundations**. 3rd ed. New Jersey : John Wiley & Sons, 2011.
- Das, B.M. **Fundamentals of Geotechnical Engineering**. 3rd ed. Ontario : Thomson Learning, 2008.
- Murthy, V.N.S. **Geotechnical Engineering**. New York : Marcel Dekker, 2002.
- Peck, R.B., Hanson, W.E. and Thronburn, T.H. **Foundation Engineering**. New York : Wiley and Son, 1974.
- Shin, E.C. and Das, B.M. “Bearing Capacity of Unsaturated Oil-Contaminated Sand.” **International Journal of Offshore and Polar Engineering**. 11(2001): 220-226.



ประวัตผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ ศีรีรัตน์
2. ตำแหน่งปัจจุบัน รองคณบดีประจำพื้นที่วิทยาเขตวังไกลกังวล
3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
ตำบลหนองแก อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110
โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4042
E-mail : chusak.k@rmutr.ac.th
4. ประวัติการศึกษา
ปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (เกียรตินิยม อันดับ2) สาขาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
เทคโนโลยีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศธุรกิจ
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
5. สาขาวิชาการศึกษาที่มีความชำนาญพิเศษ
 - การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Microsoft Visual Basic)
 - การประยุกต์ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) กับงานทางด้านวิศวกรรมโยธา
 - ธรณีวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (Geo-environment Engineering)
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย
หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย
 1) การพัฒนาโปรแกรมคำนวณวงรอบและเส้นชั้นความสูงด้วยภาษาวิซวลเบสิก
แหล่งทุน : งบวัสดุฝึกแผนกวิทยาศาสตร์ ประจำปี 2544
 2) โครงการวิจัยศึกษาการนำฐานข้อมูลมาประยุกต์ใช้กับการสอบทางคอมพิวเตอร์
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2545

- 3) โครงการศึกษาผลกระทบของอุทกภัย ระยะเวลา และสารอินทรีย์ ต่อการอบดินเพื่อใช้หาค่า ปริมาณความชื้นในมวลดิน
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2545
 - 4) เครื่องมือทดสอบกำลังแบกทานของดินแบบหยั่งเบา
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2549
 - 5) การพัฒนาสื่อผสมร่วมกับระบบอินเทอร์เน็ตสำหรับการทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2550
 - 6) การสร้างสื่อผสมบนระบบอินเทอร์เน็ตร่วมกับโปรแกรมทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2551
 - 7) การสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการทดสอบวัสดุก่อสร้างทางด้านวิศวกรรมโยธา
ประยุกต์ร่วมกับการใช้สื่อผสมบนระบบอินเทอร์เน็ต
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2552
 - 8) การศึกษาความเหมาะสมของการใช้ดินผสมซีเมนต์และเบนโทไนท์เพื่อการป้องกันการ
แพร่กระจายของสารปนเปื้อนในดิน
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2552
 - 9) การศึกษาคุนสมบัติทางด้านวิศวกรรมของถ้ำกันเทาผสมหินฝุ่นและปูนซีเมนต์เพื่อใช้ในงาน
วิศวกรรมธรณีสิ่งแวดลอม
แหล่งทุน : งบประมาณรายได้มหาวิทยาลัย ปี 2556
 - 10) การศึกษา กำลังแบกทานของดินทรายจากผลการทดสอบการเจาะหยั่ง แบบเบาโดย
พิจารณาอิทธิพลของมุมปลายกรวยหัวหยั่ง
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2557
- ผู้ร่วมโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย, แหล่งทุน
- 1) โครงการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับงานปฏิบัติการทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2547
 - 2) โครงการศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าการใช้ PVD และ Cement Column ในการปรับปรุง
คุณภาพดินอ่อนเชิงเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม
แหล่งทุน : สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง ประจำปี 2549
 - 3) การพัฒนาขึ้นรูปวัสดุแผ่นวัสดุผสมจากเส้นใยมะพร้าว-พลาสติกโพลีเอทิลีนเพื่องานวัสดุ
ก่อสร้างและหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์
แหล่งทุน : งบประมาณเครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนล่าง ปี 2549
 - 4) การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยโปรแกรมภาษาวิชวลเบสิก 6.0
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2550

- 5) การพัฒนากระเบื้องยางปูพื้นจากเส้นใยมะพร้าวผสมยางธรรมชาติ
แหล่งทุน : งบประมาณเครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนล่าง ปี 2551
- 6) การออกแบบจุดต่อโครงสร้างเหล็กโดยวิธีขดเบสิก 6 V.2.1
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2551
- 7) การสร้างแบบจำลองขนาดเล็กเพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนในดินผ่านกำแพงดินซีเมนต์
แหล่งทุน : งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2552
- 8) การศึกษาพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนผ่านกำแพงเสาเข็มดินซีเมนต์ โดยการสร้างบ่อทดสอบในสนาม
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2553
- 9) การพัฒนาแนวคิดการนำเข้าสู่ข้อมูลแบบกราฟฟิกเพื่อพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กร่วมกับโครงสร้างเหล็ก
แหล่งทุน : งบประมาณรายได้มหาวิทยาลัย ปี 2556

