

ฐานข้อมูลทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคของชั้นดินกรุงเทพสำหรับการออกแบบฐานรากเสาเข็ม

นางสาวกมลรัตน์ งามเจริญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Geotechnical engineering database of Bangkok subsoils for pile foundation design

Miss Kamonrat Ngamcharoen



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

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ฐานข้อมูลทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคของชั้นดินกรุงเทพ
สำหรับการออกแบบฐานรากเสาเข็ม

โดย

นางสาวกมลรัตน์ งามเจริญ

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร. สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร. สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ฐิรวัตร บุญญะฐิติ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ทยากร จารุชัยมนตรี)

กมลรัตน์ งามเจริญ : ฐานข้อมูลทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคของชั้นดินกรุงเทพฯสำหรับการออกแบบฐานรากเสาเข็ม (Geotechnical engineering database of Bangkok subsoils for pile foundation design) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร. สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง, 72 หน้า.

เนื่องจากการก่อสร้างจำนวนมากในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล ล้วนแล้วแต่มีการเจาะสำรวจชั้นดินและทดสอบหาคคุณสมบัติของชั้นดิน ส่งผลให้มีปริมาณข้อมูลการเจาะสำรวจและผลทดสอบคุณสมบัติของชั้นดินกรุงเทพฯเป็นจำนวนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งถ้ามีการจัดเก็บฐานข้อมูลดังกล่าวอย่างเป็นระบบ ก็จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างได้มาก งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษากระบวนการจัดเก็บและพัฒนาฐานข้อมูลวิศวกรรมธรณีเทคนิค โดยมีการรวบรวมข้อมูลหลุมเจาะในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑลจำนวนมาก เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองแสดงความหนาของชั้นดินแต่ละประเภทตามการเรียงตัวของชั้นดินในแต่ละพื้นที่ด้วยเทคนิคการประมาณค่าระหว่างช่วง และเก็บรวบรวมค่าคุณสมบัติดินและค่าพารามิเตอร์ดินที่ได้จากทั้งผลทดสอบในสนามและห้องปฏิบัติการ เช่น ปริมาณความชื้นในมวลดิน หน่วงน้ำหนัก ค่าขีดจำกัดความชื้นเหลว กำลังรับแรงเฉือน และค่าการตอกทะลวงมาตรฐาน เป็นต้น ผลการศึกษาจะได้แบบจำลองดินสามมิติที่สามารถนำมาสร้างภาพตัดขวางแสดงความแปรปรวนของชั้นดินในแต่ละพื้นที่ได้ อีกทั้งยังสามารถนำเสนอเส้นชั้นความสูงของข้อมูลคุณสมบัติดินและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของชั้นดินได้ สำหรับการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองดินและฐานข้อมูลพารามิเตอร์ดินสามารถนำไปใช้สำหรับการออกแบบฐานรากเสาเข็มในเบื้องต้นได้ เช่น การกำหนดความยาวเสาเข็ม การประมาณค่ากำลังแบกทานของเสาเข็ม เป็นต้น นอกจากนี้ ฐานข้อมูลดินนี้ยังสามารถนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในการแปลผลค่าพารามิเตอร์ดินจากผลการทดสอบและการเจาะสำรวจชั้นดินได้ด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5770104121 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: SOIL BORING DATABASE / SUBSOIL MODEL / BANGKOK SUBSOILS / PILE FOUNDATION / ฐานข้อมูลดิน / แบบจำลองชั้นดิน / ชั้นดินกรุงเทพ / ฐานรากเสาเข็ม

KAMONRAT NGAMCHAROEN: Geotechnical engineering database of Bangkok subsoils for pile foundation design. ADVISOR: PROF. SUCHED LIKITLERSUANG, D.Phil, 72 pp.

Several construction projects in Bangkok and vicinity have been demanly increasing. This leads to an increase of ground investigation and soil testing from each of projects. It is very useful if the boringlog report and soil testing data are systematically collected and managed. This research presents a process of developing a geotechnical engineering database by means of integrating the borehole data and soil investigation report. The subsoil modelling is generated by interpolation technique, in which each subsoil layers are defined its location and thickness. The engineering properties of each layers such as water content, total unit weight, Atterberg's limits, undrained shear strength and SPT-N value are collected from soil investigation reports. After solid model of Bangkok subsoil generated, a cross section at any particular area presented variations of Bangkok subsoil and the contour of soil parameters can be conducted. The cross section can be used for pile design such as desciding the pile tip location and/or calculating the pile capacity based on subsoil model and average soil parameters. In addition, the Bangkok soil parameters data can be used to verify the result of soil investigation in the future.

Department: Civil Engineering

Student's Signature

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยการดูแลและช่วยเหลือจากศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยผลักดัน ให้คำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์ในการศึกษา ตลอดระยะเวลาสองปี รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิรวัตร บุญญะฐิติ ที่ช่วยให้คำแนะนำในหลายเรื่องตลอดการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้ง รองศาสตราจารย์ สุพจน์ เตชวรสินสกุล อาจารย์ ดร.ทยากร จารุชัยมนตรี ที่ช่วยตรวจแก้และให้คำแนะนำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนแล้วเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบริษัท เจนเนอร์ล เอนจิเนียริง จำกัด (มหาชน) ผู้สนับสนุนทุนในการศึกษาวิจัย ขอขอบคุณ คุณนเรศ ผจงวิริยาทร ช่วยติดต่อประสานงานในการหาข้อมูลให้เป็นอย่างดี

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอระลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ครู อาจารย์ ทุกท่านที่เคยได้อบรมสั่งสอนมา และ เพื่อน พี่ น้อง ทุกๆท่าน ที่ร่วมให้คำแนะนำและกำลังใจตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ (Background).....	1
1.2 วัตถุประสงค์ (Objectives).....	1
1.3 ขอบเขต (Scopes).....	2
1.4 แผนการดำเนินงานวิจัย (Research schedule).....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected outcomes).....	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ธรณีวิทยาและชั้นดินกรุงเทพ (Geological condition and Bangkok subsoils).....	4
2.1.1 ธรณีวิทยาของพื้นที่ราบภาคกลาง.....	4
2.1.2 ชั้นดินกรุงเทพ	5
2.2 ฐานรากและการออกแบบเสาเข็ม (Pile foundation and pile design).....	6
2.2.1 ประเภทฐานรากเสาเข็ม.....	8
2.2.2 การติดตั้งเสาเข็ม (Pile Installation).....	9
2.2.3 วิธีการออกแบบเสาเข็ม.....	10
2.2.4 พารามิเตอร์สำหรับออกแบบเสาเข็ม.....	13
2.3 การสำรวจชั้นดินในประเทศไทย (Soil investigation in Thailand).....	15

2.3.1 แนวทางการตรวจสอบชั้นดิน	15
2.3.2 การสำรวจชั้นดินสำหรับงานออกแบบ	18
2.4 ข้อมูลชั้นดินกรุงเทพ (Bangkok subsoils data).....	24
2.4.1 ฐานข้อมูลชั้นดินกรุงเทพ	24
2.4.2 พารามิเตอร์ดินกรุงเทพสำหรับออกแบบเสาเข็ม	25
2.6 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.....	26
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Relevant research).....	29
2.5.1 การสร้างฐานข้อมูลดิน.....	29
2.5.2 แบบจำลองชั้นดิน	29
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	31
3.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย	31
3.2 การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลหลุมเจาะ	32
3.3 แนวทางการกำหนดมาตรฐานของฐานข้อมูลชั้นดินและสมบัติของดิน	35
3.4 พัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	37
3.4 วิเคราะห์ประมวผล.....	41
3.5 ฐานข้อมูลชั้นดิน.....	42
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	43
4.1 แบบจำลองชั้นดิน	43
4.1.1 การสร้างแผนภาพความหนาของชั้นดิน	44
4.1.2 การสร้างเส้นชั้นความลึกของชั้นดิน	46
4.2 ข้อมูลสมบัติของดินจากฐานข้อมูล	49
4.3 การเปรียบเทียบผลจากฐานข้อมูลดิน	56
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	59

รายการอ้างอิง	60
ภาคผนวก.....	62
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	72



สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน/แผนงาน (Methodology and Schedule).....	2
ตารางที่ 2.1	ค่า N_q^* จากทฤษฎีของ Meyerhof (จาก Das, 2010).....	11
ตารางที่ 2.2	แสดงมุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับทราย (จาก Kulhawy, 1984).....	12
ตารางที่ 2.3	สัมประสิทธิ์ความดันด้านข้างกระทำต่อเสาเข็ม (จาก Das, 2012).....	12
ตารางที่ 2.4	สรุปสมการที่ใช้ในการประมาณความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มเดี่ยว ด้วยวิธีทาง สถิตยศาสตร์ (Static Analysis Method).....	13
ตารางที่ 2.5	สรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบเสาเข็ม.....	14
ตารางที่ 2.6	ความลึกของหลุมเจาะที่ใช้เป็นแนวทางสำหรับการเจาะสำรวจในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล จาก (จาก คณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี, 2555).....	16
ตารางที่ 2.7	ความลึกของหลุมเจาะที่ใช้เป็นแนวทางสำหรับการเจาะสำรวจในพื้นที่ต่างจังหวัด จาก (จาก คณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี, 2555).....	17
ตารางที่ 2.8	ค่าอัตราส่วนพลังงาน ER (%) ของค้อนประเภทต่าง ๆ สำหรับปรับแก้ค่า N ในการทดสอบ SPT.....	21
ตารางที่ 2.9	การเปรียบเทียบสมบัติต่างๆของดินเม็ดหยาบ (coarse grained soil) กับค่า N และ N_{60} (จาก สุเชษฐ์, 2557).....	22
ตารางที่ 2.10	ค่า SPT-N และกำลังอัดแกนเดี่ยว (unconfined compression strength) ของดินเหนียวแต่ละชนิด (จาก Budhu, 2010).....	23
ตารางที่ 3.1	ขอบเขตที่ทำการรวบรวมข้อมูลพร้อมทั้งขนาดพื้นที่ของแต่ละจังหวัด.....	32
ตารางที่ 3.2	ข้อมูลที่ต้องการจัดเก็บ จากรายงานการสำรวจดิน.....	35
ตารางที่ 3.3	ลำดับชั้นดินและค่าพารามิเตอร์สำหรับกำหนดชั้นดินแต่ละชั้น.....	36
ตารางที่ 3.4	ขอบเขตของข้อมูลสมบัติดิน.....	41
ตารางที่ 3.5	ข้อมูลหลุมเจาะจำแนกตามเขตจังหวัดและแหล่งที่มาของข้อมูล.....	42
ตารางที่ 4.1	ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง SPT-N กับ s_u ของดินเหนียว ในเขตกรุงเทพฯ.....	52

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง SPT-N กับ s_u ของดินเหนียว CH ,CL ของงานวิจัย
 อื่นๆ 53

ตารางที่ 4.3 การเรียงตัวชั้นดินตามความลึก และสมบัติทางวิศวกรรม 54



สารบัญญภาพ

รูปที่ 2.1 เงื่อนไขที่จำเป็นจะต้องใช้ฐานรากเสาเข็ม (จาก Das, 2010).....	7
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง N_u^* กับมุมเสียดทานของดิน ϕ' (จาก Meyerhof, 1976).....	11
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสำรวจสภาพชั้นดิน	18
รูปที่ 2.4 Standard penetration test จาก (จาก Look, 2014)	20
รูปที่ 2.5 จำแนกหมวดหมู่ของดินเหนียวโดยใช้ข้อมูลขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน (Plasticity chart) (ดัดแปลงจาก Casagrande, 1948, Howard, 1977).....	24
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_u กับ N ของดินเหนียว CL (จาก วีรนนท์ ปิตุภรณ์, 2526) .	25
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_u กับ N ของดินเหนียว CH (จาก วีรนนท์ ปิตุภรณ์, 2526).....	25
รูปที่ 2.8 หน้าต่างการทำงาน RockWorks 2D	27
รูปที่ 2.9 หน้าต่างการทำงาน RockWorks 3D	27
รูปที่ 2.10 Shapefile จังหวัดตามขอบเขตการดำเนินงาน	28
รูปที่ 2.11 แบบจำลองธรณีสามิติของกรุงเทพมหานคร	30
รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย.....	31
รูปที่ 3.2 แผนที่ขอบเขตของพื้นที่ในการวิเคราะห์รวบรวมข้อมูล.....	32
รูปที่ 3.3 คุณลักษณะชั้นดินและสมบัติของดินเมื่อเทียบกับความลึก	33
รูปที่ 3.4 ผลการทดสอบดินจากหลุมเจาะ	34
รูปที่ 3.5 แผนที่แสดงตำแหน่งและพิกัดของหลุมเจาะ	34
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดหลุมเจาะ.....	38
รูปที่ 3.7 การกำหนดชื่อลำดับชั้นดินภายในโปรแกรมจัดเก็บฐานข้อมูล	39
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลการเรียงตัวชั้นดินและความลึก	39
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลสมบัติของดินจากตารางสรุปผลการสอบในแต่ละหลุม	40
รูปที่ 3.10 ตำแหน่งหลุมเจาะในระบบฐานข้อมูล.....	42

รูปที่ 4.1 แบบจำลองความหนาชั้นดินแบบ Stratigraphy.....	43
รูปที่ 4.2 ภาพตัดสามมิติจำลองความหนาชั้นดินและตำแหน่งของแต่ละหลุมเจาะ	43
รูปที่ 4.3 ภาพความหนาของชั้น Made Ground.....	44
รูปที่ 4.4 ภาพความหนาของชั้น Very Soft to Soft Clay.....	45
รูปที่ 4.5 ภาพความหนาของชั้น Medium Stiff Clay.....	45
รูปที่ 4.6 ภาพความหนาของชั้น Stiff Clay.....	45
รูปที่ 4.7 ภาพความหนาของชั้น 1 st Sand	46
รูปที่ 4.8 ภาพชั้นความลึกด้านบนของชั้นดินเหนียว Soft to Very Soft Clay.....	47
รูปที่ 4.9 ภาพชั้นความลึกด้านบนของชั้นดินเหนียว Medium Stiff Clay.....	47
รูปที่ 4.10 ภาพชั้นความลึกด้านบนของชั้นดินเหนียว Stiff Clay.....	47
รูปที่ 4.11 ภาพชั้นความลึกของชั้นดินทราย1 st Sand	48
รูปที่ 4.12 ภาพชั้นความลึกด้านบนของชั้นดินเหนียว Stiff to Very Stiff Clay.....	48
รูปที่ 4.13 แผนภูมิพลาสติกซิตี ของข้อมูลดิน บนเส้น A-line และ U-line.....	49
รูปที่ 4.14 แบบจำลองสามมิติจากฐานข้อมูลดินของข้อมูลดินของขีดจำกัดเหลว (LL) (ก) และ ขีดจำกัดพลาสติก (PL) (ข).....	49
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของค่าหน่วยน้ำหนักของดิน (ก) และปริมาณความชื้นในมวลดิน (ข) ตามความลึกของชั้นดิน	50
รูปที่ 4.16 ภาพตัดจากแบบจำลองสามมิติจากฐานข้อมูลดินของค่าหน่วยน้ำหนักของดิน (ก) และ ปริมาณความชื้นในมวลดิน (ข).....	50
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (ก) และค่าการตอก ทะลวงมาตรฐาน (ข) ตามความลึกของชั้นดิน.....	51
รูปที่ 4.18 ภาพตัดจากแบบจำลองสามมิติจากฐานข้อมูลดินของกำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ ระบายน้ำ (ก) และค่าการตอกทะลวงมาตรฐาน (ข).....	51
รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง SPT-N กับ s_u ของดินเหนียว CH แบบตัดจุด กำเนิด.....	52

รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง SPT-N กับ s_u ของดินเหนียว CL แบบตัดจุด กำเนิด	53
รูปที่ 4.21 ภาพตัดตามแนวทิศเหนือ - ใต้ ของฐานข้อมูลดินกรุงเทพ	56
รูปที่ 4.22 ภาพตัดตามแนวทิศเหนือ - ใต้ กลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง (จาก วิศวกรรมสถานแห่ง ประเทศไทย, 2549)	56
รูปที่ 4.23 สมบัติของดินบริเวณรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงินส่วนต่อขยาย (Likitlersuang, Surarak et al., 2013).....	57
รูปที่ 4.24 ภาพตัดชั้นดินและสมบัติของดิน บริเวณสถานีบางหว้า	58



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ (Background)

ในปัจจุบันมีการก่อสร้างจำนวนมากในบริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑล ทั้งงานก่อสร้างที่พักอาศัย อาคารโรงงาน อาคารสูง ระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ ซึ่งเป็นมาตรฐานทางวิศวกรรมที่ทุกงานก่อสร้าง จำเป็นจะต้องมีการเจาะสำรวจสภาพชั้นดินบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง เพื่อทดสอบหาสมบัติของชั้นดินในทางวิศวกรรม ซึ่งจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบฐานรากที่ใช้รองรับโครงสร้างโดยวิศวกรผู้ออกแบบ เพื่อให้มีความเหมาะสมทั้งในเรื่องความแข็งแรง ความปลอดภัยและงบประมาณ ดังนั้นจึงมีการเจาะสำรวจเพื่อตรวจสอบชั้นดินในพื้นที่กรุงเทพฯจึงเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก แต่ยังคงขาดการรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลให้เป็นระบบที่ดีที่จะสามารถนำไปใช้ได้ง่ายในอนาคต โดยปกติแล้วการเจาะสำรวจดินแต่ละครั้งมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ทำให้มีจำนวนข้อมูลหลุมเจาะดินค่อนข้างจำกัดในแต่ละพื้นที่ก่อสร้าง จึงเห็นว่าควรจะมีการจัดเก็บฐานข้อมูลดินอย่างเป็นระบบ ที่จะสามารถใช้ประโยชน์ได้ในงานก่อสร้าง โดยทำการสร้างแบบจำลองแสดงความหนาของชั้นดินแต่ละประเภท เพื่อที่จะแสดงการเรียงตัวของชั้นดินในแต่ละพื้นที่ และเก็บรวบรวมค่าสมบัติดินและค่าพารามิเตอร์ดินที่ได้จากทั้งผลทดสอบในสนามและในห้องปฏิบัติการ เช่น การทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน ค่าหน่วยน้ำหนักของดิน ค่าการตอกทะลวงมาตรฐาน (SPT) ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ภายหลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การออกแบบฐานรากแบบเสาเข็ม ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลดินจากการเจาะสำรวจเป็นหลัก จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลดินที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือได้ในปริมาณที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ (Objectives)

- 1.2.1 รวบรวมข้อมูลดินและหลุมเจาะ ในเขตกรุงเทพฯและจังหวัดข้างเคียง
- 1.2.2 วิเคราะห์ข้อมูลดิน จำแนกชนิด และจัดเก็บค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในงานออกแบบเสาเข็ม
- 1.2.3 สร้างระบบการจัดเก็บฐานข้อมูลชั้นดิน
- 1.2.4 พัฒนาระบบการจัดการฐานข้อมูล

1.3 ขอบเขต (Scopes)

การจัดทำฐานข้อมูลวิศวกรรมธรณีเทคนิคของชั้นดินกรุงเทพสำหรับการออกแบบเสาเข็มนี้ มีขอบเขตงานดังนี้

1.3.1 รวบรวมข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดินในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดข้างเคียง ในช่วงเวลา 20 ปี ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี นครปฐม สมุทรสงคราม สมุทรปราการ และฉะเชิงเทรา

1.3.2 วิเคราะห์และประมวลผลค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับออกแบบเสาเข็ม เช่น ค่าหน่วยน้ำหนักของดิน ค่าขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ค่า SPT-N

1.3.3 ใช้ Software RockWorks ในการเก็บข้อมูลหลุมเจาะในรูปแบบฐานข้อมูล

1.4 แผนการดำเนินงานวิจัย (Research schedule)

ขั้นตอนและแผนการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน/แผนงาน (Methodology and Schedule)

กิจกรรม	พ.ศ. 2558							พ.ศ. 2559						
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
รวบรวมข้อมูลหลุมเจาะ														
ศึกษาระบบจัดเก็บ ฐานข้อมูล														
ศึกษาพารามิเตอร์ที่ใช้ ในการออกแบบเสาเข็ม														
สร้างฐานข้อมูลและ จัดเก็บข้อมูลหลุมเจาะ														
ประมวลผล														

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected outcomes)

1.5.1 สามารถแสดงแบบจำลองลักษณะชั้นดินในพื้นที่กรุงเทพฯและจังหวัดข้างเคียง และทราบถึงลักษณะการเรียงตัวของชั้นดิน

1.5.2 สามารถประมวลสภาพข้อมูลชั้นดินที่จะใช้ช่วยในงานออกแบบเสาเข็มเบื้องต้น ในพื้นที่ที่ต้องการได้

1.5.3 สร้างระบบจัดเก็บฐานข้อมูลผลการสำรวจชั้นดินในกรุงเทพฯและปริมณฑล



บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ธรณีวิทยาและชั้นดินกรุงเทพ (Geological condition and Bangkok subsoils)

2.1.1 ธรณีวิทยาของพื้นที่ราบภาคกลาง

กรมทรัพยากรธรณี (2558) พื้นที่ราบภาคกลางเป็นที่ราบกว้างใหญ่ที่สุดในประเทศไทยมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า ส่วนที่แคบที่สุดอยู่ทางด้านทิศเหนือและยาวต่อเนื่องลงมาจนถึงอ่าวไทย โดยมีแนวเนินเขาและเขาสูงต่ำ ปรากฏให้เห็นเป็นหย่อมๆ ในเขตจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งใช้เป็นแนวในการแบ่งที่ราบลุ่มภาคกลางออกเป็น 2 บริเวณ คือ ที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบน (Upper Central Plain) และที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง (Lower Central Plain)

พื้นที่ราบภาคกลางบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างครอบคลุมพื้นที่ตอนล่างของจังหวัดนครสวรรค์ ตั้งแต่บริเวณปากน้ำโพเรื่อยลงมาจนถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดสมุทรปราการ ระดับความสูงของบริเวณนี้แตกต่างกันไปตามแต่ละท้องที่ ตัวอย่างเช่น ขอบตลิ่งแม่น้ำเจ้าพระยา ในเขตจังหวัดนครสวรรค์ ชัยนาท สิงห์บุรี มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 20 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง จากนั้นระดับความสูงจะลดต่ำลงจนถึงบริเวณจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 2.5 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง บริเวณที่อยู่ใกล้แม่น้ำเจ้าพระยาจะเห็นร่องรอยของการเคลื่อนที่ของแม่น้ำสายนี้จากลักษณะของทะเลสาบรูปแอก (oxbow lake) และรอยทางน้ำโค้งตัว (meander scar) ตั้งแต่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ลงมาจนถึงกรุงเทพมหานคร ซึ่งอยู่ห่างจากปากแม่น้ำเจ้าพระยาประมาณ 21 กิโลเมตร มีระดับความสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 1.5 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยทั่วไปบริเวณนี้มีลักษณะแบนราบแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างเกิดจากการไหลบ่าเข้ามาของทะเลโบราณ แล้วถอยร่นออกไปในช่วงเวลาต่อมา ที่ราบนี้ประกอบไปด้วยที่ลุ่มชื้นแฉะ (marsh) ที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง (tidal flat) ดินดอนสามเหลี่ยม (delta) เช่น ที่จังหวัดนครปฐม และทางทิศใต้ของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา หาดทราย (beach) และสันดอนทราย (sand bar) ซึ่งส่วนใหญ่จะพบเห็นได้เด่นชัดในบริเวณจังหวัดพระนครศรีอยุธยาและบางบริเวณของกรุงเทพมหานคร ลักษณะทางธรณีวิทยาในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ทั้งหมดเป็นที่ราบดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำใหม่ ที่อยู่ในเขตตะกอนธรณีทับถมอิทธิพลน้ำกร่อย เช่นจังหวัดในที่ราบภาคกลางตอนล่าง โดยเป็นการสะสมตัวของตะกอนน้ำกร่อย และตะกอนน้ำเค็ม ด้านบนจะปิดทับด้วยตะกอน น้ำจืดจากแม่น้ำสายใหญ่ 4 สาย คือ แม่น้ำแม่กลอง ท่าจีน เจ้าพระยา และบางปะกง ช่วยกันประสานระบบพัดพามาสะสมในยุคควอเทอร์นารี ประกอบด้วย ชั้นทรายสลับกับชั้นดินเหนียวอยู่หลายชั้น โดยมีटरรชนิบางตัวที่บ่งชี้ถึงลักษณะการสะสมของตะกอนน้ำเค็ม และน้ำกร่อยในเบื้องล่าง (Bunopas, 1982)

2.1.2 ชั้นดินกรุงเทพฯ

กรุงเทพมหานครนั้นตั้งอยู่ใกล้กับชายฝั่งทะเลปากอ่าวไทย พื้นที่กรุงเทพฯได้รับอิทธิพลจากน้ำท่วมอยู่บ่อยครั้งเนื่องจากมีแม่น้ำเจ้าพระยาไหลผ่านตรงกลางของกรุงเทพฯ มีสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่กระจุกอยู่หนาแน่นในเขตกรุงเทพฯชั้นใน และในปัจจุบันมีงานก่อสร้างขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วทั้งพื้นที่กรุงเทพฯ สมบัติของดินในกรุงเทพมหานครนั้นมีการกระจายตัวค่อนข้างสูงเป็นผลมาจากอิทธิพลของน้ำทะเลและน้ำจืดที่แตกต่างกันในขณะตกตะกอน จึงส่งผลทำโครงสร้างของดินและปริมาณน้ำในดินแตกต่างกันมาก (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2549)

ลักษณะชั้นดินกรุงเทพฯโดยทั่วไปนั้นแบ่งออกได้เป็นดังนี้

1) ชั้นบนสุดเป็นชั้นหน้าดินเป็นการสลายตัวตามสภาพแวดล้อม มีความหนาประมาณ 2-5 เมตร เป็นดินที่ถูกรบกวนทำให้สมบัติเปลี่ยนแปลงไปมาก คือผิวตอนบนถูกความร้อนจากแดด ทำให้เกิดชั้นหน้าดินแข็ง (Drying crust) และด้านล่างเกิดการกร่อนทางเคมี (chemical weathering) และเนื้อดินโดยชะล้างจากน้ำที่ซึมลงไปในดิน ทำให้เกิดชั้นดินกัดกร่อน (weathering zone) ผลจากการบวกรวนต่างๆ ทำให้ดินชั้นนี้ มีความชื้นในมวลดินต่ำ ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น กำลังเพิ่มขึ้น และปริมาณเกลือแร่ในดินต่ำลง

2) ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) มีความหนาประมาณ 5-15 เมตร มีความหนามากที่สุดบริเวณใกล้กับอ่าวไทย มีซากพืชและเปลือกหอยกระจายอยู่ทั่ว มีเกลือแร่ในดินสูงเพราะเป็นดินตะกอนน้ำเค็ม โดยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเม็ดดินเหนียว ปนด้วยดินแป้ง แร่ในดินเหนียวที่ส่วนใหญ่เป็นมอร์มอลิโลไนต์ (montmorillonite) มีสีเทาเข้ม เนื้ออ่อนนุ่ม มีค่าความชื้นในดินสูง

3) ชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) มีสีเทาน้ำตาลจนถึงเหลือง ความหนาประมาณ 10 เมตร พบที่ความลึกจากผิวดินประมาณ 15-25 เมตรเป็นชั้นที่อยู่ใต้ดินเหนียวอ่อนลงมา มีค่าความชื้นในดินต่ำกว่า มีชั้นทรายแทรกอยู่บ้างในบางพื้นที่ พบแร่เหล็กและแมงกานีสเป็นจุดสีเหลืองแดง

4) ชั้นทราย (Sand) เป็นตะกอนดินที่เกิดมาจากอิทธิพลของธารน้ำ ที่นำดินตะกอนจากทางตอนเหนือของประเทศมาตกตะกอนในบริเวณตอนกลาง ชั้นทรายนี้จะอยู่ตื้นชั้นในทางทิศเหนือของประเทศ และอาจมีชั้นดินเหนียวแทรกอยู่เป็นช่วงๆ

ลึกลงจากนี้จะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งมากสลับกันไปกับชั้นดินทราย และในชั้นดินทรายหลายชั้นเป็นแหล่งกักเก็บน้ำใต้ดินที่สำคัญของกรุงเทพฯด้วย

2.2 ฐานรากและการออกแบบเสาเข็ม (Pile foundation and pile design)

ฐานรากเสาเข็ม เป็นส่วนที่สำคัญของโครงสร้าง ซึ่งทำจาก เหล็ก คอนกรีต หรือไม้ ทำหน้าที่รับน้ำหนักของโครงสร้าง ถ่ายลงสู่ชั้นดินที่แข็งแรงกว่า ซึ่งมีค่าใช้จ่ายมากกว่าฐานรากตื้น โดยมีเงื่อนไขที่จำเป็นจะต้องใช้ฐานรากเสาเข็มเพื่อความปลอดภัยของโครงสร้างมีดังนี้ (Vesic, 1977)

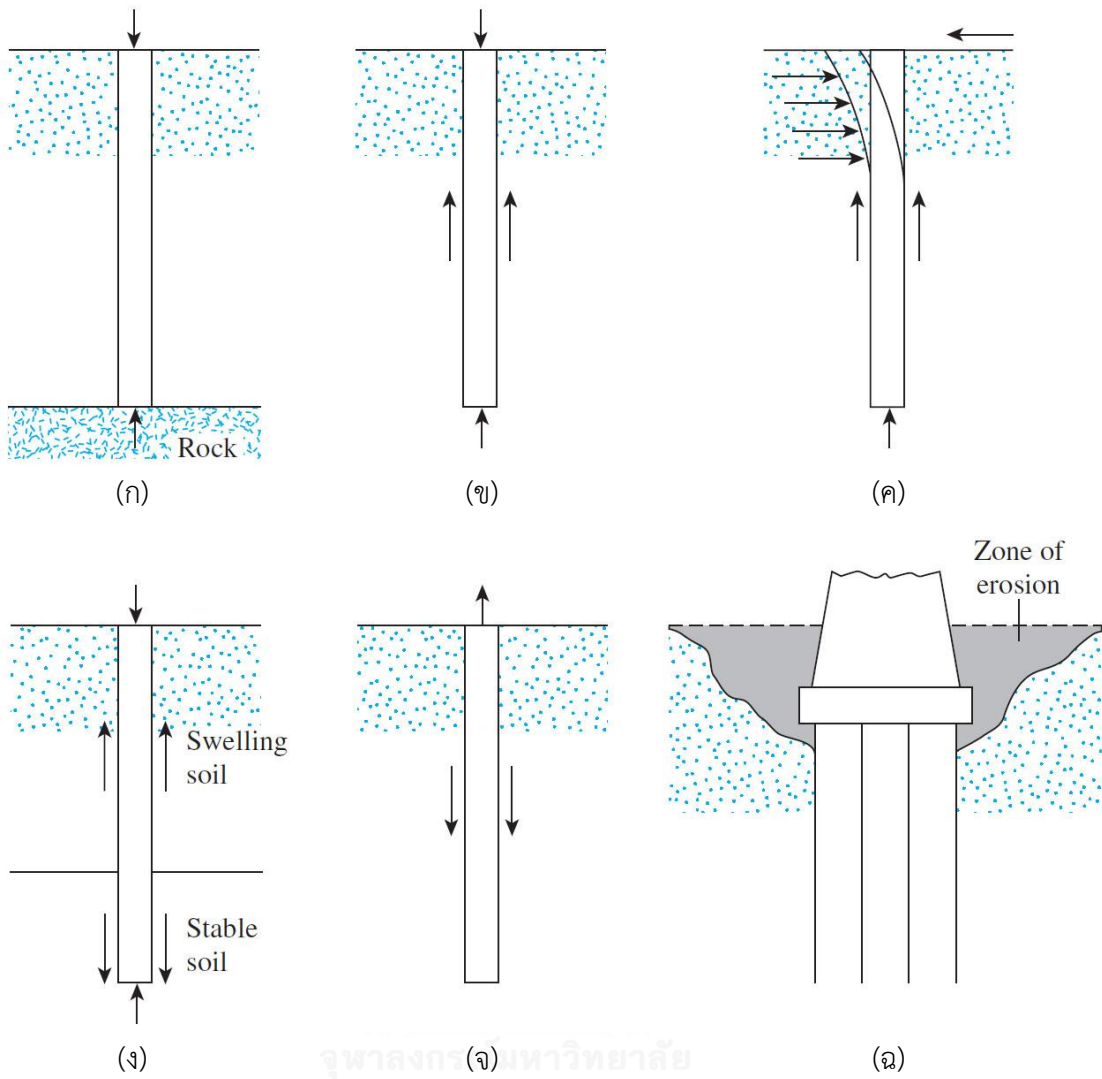
1) เมื่อชั้นดินด้านบนเป็นดินอ่อน หรือมีการยุบอัดตัวมาก จนไม่เพียงพอต่อการรับน้ำหนักจากโครงสร้างด้านบนได้ และชั้นดินแข็งอยู่ในระดับลึก จำเป็นต้องใช้ฐานรากเสาเข็ม เพื่อรับน้ำหนักจากโครงสร้างแล้วถ่ายแรงลงในชั้นดินที่แข็งแรงกว่าเช่นชั้นดินทราย ดินดาน ที่ปลายเข็ม เรียกว่าเสาเข็มรับน้ำหนักที่ปลาย (end-bearing piles) แสดงดังรูปที่ 2.1(ก) หรือรองรับน้ำหนักของโครงสร้างในลักษณะการถ่ายน้ำหนักในรูปของแรงเสียดทานที่ด้านผิวข้างตลอดความยาวของเสาเข็ม ซึ่งจะเรียกว่าเสาเข็มเสียดทาน (frictional piles) แสดงดังรูปที่ 2.1(ข)

2) เมื่อต้องรับแรงกระทำในแนวนอน จะใช้ฐานรากเสาเข็มต้านทานโมเมนต์และยังรับแรงกระทำในแนวตั้งจากโครงสร้างด้านบนในเวลาเดียวกัน ซึ่งพบได้ในการก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดิน (earth-retaining wall) อาคารสูงที่รับแรงลม หรือแรงจากแผ่นดินไหว แสดงดังรูปที่ 2.1(ค)

3) เมื่อพบดินพองตัว (expansive soil) และดินพังทลาย (collapsible soil) ซึ่งถูกทำลายโครงสร้าง เปลี่ยนแปลง จึงบวมตัวและหดตัวได้ง่าย เมื่อรับน้ำหนักจากโครงสร้างและได้รับความชื้น จะเกิดการทรุดตัวอย่างมาก ควรเลือกใช้ฐานรากเสาเข็มเมื่อพบดินชนิดดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 2.1(ง)

4) ฐานรากของโครงสร้างบางอย่าง เช่น หอส่งสัญญาณ แทนชุดเจาะนอกชายฝั่ง หรือโครงสร้างชั้นใต้ดินที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ที่เกิดแรงยก (uplift force) ต้องใช้ฐานรากแบบเสาเข็มเพื่อต้านไม่ให้โครงสร้างลอยตัว แสดงดังรูปที่ 2.1(จ)

5) ตอม่อสะพานและท่าเรือส่วนใหญ่ มักจะถูกสร้างด้วยฐานรากแบบเสาเข็มแทนการใช้ฐานรากตื้น เนื่องจากต้องการหลีกเลี่ยงการสูญเสียกำลังรับน้ำหนักจากการถูกกัดกร่อนและแรงกระแทกจากคลื่น แสดงดังรูปที่ 2.1(ฉ)



รูปที่ 2.1 เงื่อนไขที่จำเป็นจะต้องใช้ฐานรากเสาเข็ม (จาก Das, 2010)

2.2.1 ประเภทฐานรากเสาเข็ม

เสาเข็มประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในงานก่อสร้าง ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำหนักที่กระทำ สมบัติชั้นดิน และระดับน้ำใต้ดิน แบ่งประเภทของเสาเข็มที่นิยมใช้ในประเทศไทยตามวัสดุที่นำมาใช้งานเป็นดังนี้

1) เสาเข็มเหล็ก (steel piles) ปกติมีใช้ทั้งแบบท่อเหล็ก (pipe pile) และเหล็กรูปพรรณ (H-section pile) โดยเสาเข็มท่อเหล็ก (pipe pile) นั้นมีใช้ทั้งแบบปลายเปิดและปลายปิด ส่วนใหญ่ มักจะมีการเทคอนกรีตลงไปภายในช่องว่าง หลังจากตอกเข็มลงไปดินเรียบร้อยแล้ว และเสาเข็มเหล็กรูปพรรณ ซึ่งเป็นที่นิยมกว่าเข็มตัวไอ (I-section pile) เนื่องจากมีหน้าตัดสมมาตร ความหนาแกน (web) และปีก (flange) เท่ากัน ง่ายในการใช้งาน ด้านทานการโก่งเดาะได้ดี สามารถตอกทะลุผ่านชั้นดินแข็งได้ มีข้อเสียในเรื่องการถูกกัดกร่อนได้ง่าย ราคาแพง แรงเสียดทานที่ผิวน้อยกว่าเสาเข็มคอนกรีต

2) เสาเข็มคอนกรีต (concrete piles) จะแบ่งเป็นสองประเภทคือ เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ (precast piles) และ เสาเข็มหล่อในที่ (cast-in-situ piles) เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จนั้นยังแบ่งได้เป็นอีกสองชนิดคือ เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก กับเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง ข้อเสียของเสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จนั้นคือยากต่อการขนส่ง และการตัดหัวเสาเข็ม เสาเข็มแบบหล่อในที่นั้น จะทำการก่อสร้างโดยการเจาะรูลงไปดินจนถึงความลึกที่ต้องการหรือตอกแบบเหล็กลงไปดินแล้วขุดดินภายในปลอกขึ้นมา แล้วหล่อเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในหลุม หลังจากนั้นดึงปลอกเหล็กออกก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว

3) เสาเข็มคอมโพสิต (composite piles) ประกอบไปด้วยวัสดุสองชนิดขึ้นไป อย่างเช่น เหล็กกับคอนกรีต ไม้กับคอนกรีต คอนกรีตเสริมไฟเบอร์ การเทคอนกรีตลงไปภายในช่องว่างเสาเข็มท่อเหล็ก หลังจากตอกเข็มลงไปดินเรียบร้อยแล้ว หากเป็นวัสดุสองชนิดต่างกันด้านบนและด้านล่าง ต้องระวังบริเวณรอยต่อ ในการถ่ายแรงจากด้านบนลงมาที่วัสดุด้านล่าง

2.2.2 การติดตั้งเสาเข็ม (Pile Installation)

เสาเข็มตอก (driven piles)

เสาเข็มส่วนใหญ่จะถูกตอกด้วย การปล่อยตุ้มน้ำหนัก (hammers) ด้วยวิธีการต่าง ๆ และการตอกโดยใช้แรงสั่น เสาเข็มตอกนั้นจะมีราคาถูกกว่าการติดตั้งเสาเข็มประเภทอื่น ๆ แรงสั่นสะท้อนจากการตอกส่งผลกระทบต่อสิ่งก่อสร้างข้างเคียง และต้องมีการออกแบบการต่อเสาเข็มในกรณีที่เสาเข็มมีความยาวไม่เพียงพอต่อการใช้งาน เพื่อให้เหมาะสมกับการรับน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้าง เช่น ตอกโดยปล่อยตุ้มน้ำหนัก (drop hammer) โดยทำการใช้เครื่องจักรยกตุ้มน้ำหนักให้สูงขึ้นด้วยลวดสลิง แล้วปล่อยให้ตก ทำให้เกิดแรงสั่นสะท้อนอย่างมาก และใช้เวลานาน ตอกโดยตุ้มน้ำหนักโดยเครื่องยนต์ดีเซล (diesel hammer) ทำงานโดยใช้ความดันจากการจุดชนวนระเบิดน้ำมันดีเซลจนเกิดแรงยกตุ้มน้ำหนัก ให้กระแทกลงบนหัวเสาเข็ม ตุ้มสั่นสะท้อน (vibratory hammer) ใช้แรงสั่นกับน้ำหนักกดเขย่าให้เสาเข็มให้จมลงไปในดิน เกิดแรงสั่นสะท้อนน้อยกว่าวิธีการตอกมาก เป็นต้น

เสาเข็มเจาะ (bored piles)

เสาเข็มเจาะ จะทำการเจาะดินลงไปด้วยสว่านหมุนดินขึ้นมา อาจใช้ปลอกเหล็กชั่วคราวป้องกันการพังทลาย จนลึกถึงระดับที่ต้องการ จากนั้นใส่เหล็กเสริมลงไป หลุม เเทคอนกรีตจนเต็ม นำปลอกเหล็กชั่วคราวออกก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว เสาเข็มเจาะนั้นมีด้วยกันสองระบบคือ เสาเข็มเจาะแบบแห้ง (dry Process) กับเสาเข็มเจาะแบบเปียก (wet Process) เสาเข็มเจาะเปียกนั้น มีขนาดใหญ่กว่าเสาเข็มเจาะแบบแห้งและใช้ในการรับน้ำหนักบรรทุกได้เยอะกว่า อยู่ต่ำกว่าระดับชั้นทรายน้ำใต้ดิน จะใช้สารละลายเบนโทไนท์ (bentonite) หรือ สารละลายโพลิเมอร์ (polymer) เพื่อรักษาเสถียรภาพ ป้องกันการพังทลายของผนังหลุมเจาะ เสาเข็มเจาะนั้น สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เยอะ เกิดผลกระทบจากการสั่นสะท้อนกับอาคารข้างเคียงน้อยกว่าเสาเข็มตอก กำหนดความลึกของเสาเข็มได้ตามต้องการ มีราคาสูงกว่า เนื่องจากมีกระบวนการติดตั้งที่ซับซ้อน แต่สามารถตรวจสอบคุณภาพของเสาเข็มได้ยาก

2.2.3 วิธีการออกแบบเสาเข็ม

การประมาณความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มเดี่ยว ด้วยวิธีทาง สถิตยศาสตร์ (Static Analysis Method) การคำนวณออกแบบนั้น จำเป็นต้องใช้สมบัติของดินที่ได้จากการเจาะสำรวจทางวิศวกรรมมาใช้ในการคำนวณออกแบบ กำหนดความยาวของเสาเข็ม และประเมินกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม น้ำหนักที่กระทำบนเสาเข็มนั้นจะถูกแบกรับด้วยสองส่วนคือแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มและแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสของเสาเข็มกับดิน

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p \quad (2.1)$$

Q_p = แรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (point bearing capacity)

Q_s = แรงต้านเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับดิน (frictional resistance)

W_p = น้ำหนักของเสาเข็ม (weight of pile)

กำลังรับน้ำหนักที่ปลายเข็ม (Q_p)

$$Q_p = A_p q_p = A_p (c' N_c^* + \sigma'_{vo} N_q^*) \quad (2.2)$$

A_p = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม

q_p = หน่วยแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม (unit point resistance)

วิธีของเมเยอเฮอฟ (Meyerhof method) สำหรับการคำนวณหน่วยแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม

$$\text{สำหรับดินเหนียว} \quad q_p = c' N_c^* = 9c' \quad (2.3)$$

$$\text{สำหรับดินทราย} \quad q_p = \sigma'_{vo} N_q^* \quad (2.4)$$

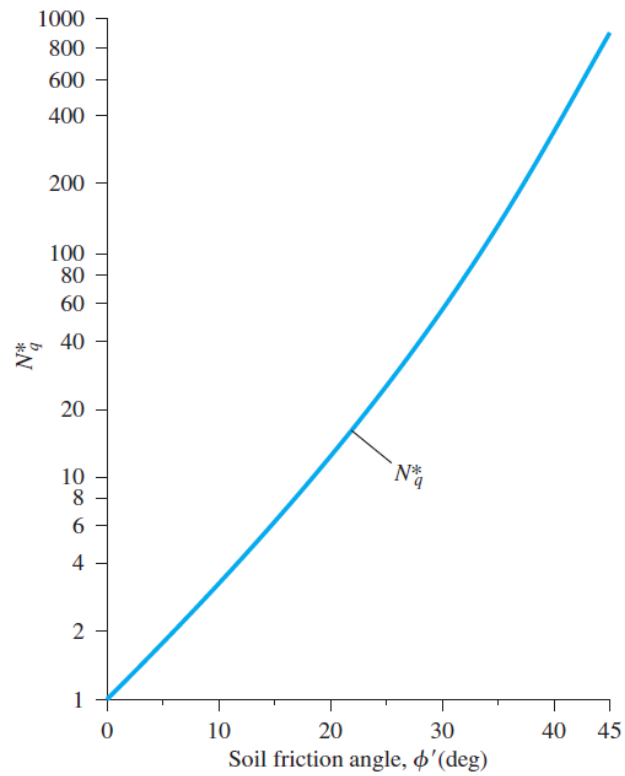
c' = แรงแยัดเหนียวของดินบริเวณปลายเข็ม

N_c^* = สัมประสิทธิ์ความสามารถในการรับกำลังแบกทานของดิน (bearing capacity factors)

โดยใช้ $N_c^* = 9$ สำหรับงานออกแบบฐานรากลึกตามงานวิจัยของเมเยอเฮอฟ (Meyerhof, 1976)

N_q^* = สัมประสิทธิ์กำลังรับน้ำหนักแบกทานที่ปลายเสาเข็ม (bearing capacity coefficient) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ มุมเสียดทานของดินดังรูปที่ 2.2 และ ตารางที่ 2.1

σ'_{vo} = หน่วยแรงประสิทธิผล (effective vertical stress)



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง N_q^* กับมุมเสียดทานของดิน ϕ' (จาก Meyerhof, 1976)

ตารางที่ 2.1 ค่า N_q^* จากทฤษฎีของ Meyerhof (จาก Das, 2010)

Soil friction angle, ϕ' (°)	N_q^*	Soil friction angle, ϕ' (°)	N_q^*
20	12.4	33	96.0
21	13.8	34	115.0
22	15.5	35	143.0
23	17.9	36	168.0
24	21.4	37	194.0
25	26.0	38	231.0
26	29.5	39	276.0
27	34.0	40	346.0
28	39.7	41	420.0
29	46.5	42	525.0
30	56.7	43	650.0
31	68.2	44	780.0
32	81.0	45	930.0

แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม (Q_s)

$$Q_s = A_s f_s \quad (2.5)$$

A_s = พื้นที่ผิวด้านข้างของเสาเข็ม

f_s = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับดิน

สำหรับดินเหนียว

$$f_s = \alpha \cdot s_u \quad (2.6)$$

สำหรับดินทราย

$$f_s = (K \tan \delta) \sigma'_{vo} = \beta \cdot \sigma'_{vo} \quad (2.7)$$

s_u = กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (undrained shear strength)

σ'_{vo} = ความเค้นประสิทธิผลแนวตั้ง (vertical effective stress)

δ = ค่ามุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับทราย โดยขึ้นอยู่กับมุมเสียดทานของดิน ดังตารางที่ 2.2

K = สัมประสิทธิ์ความดันด้านข้างของดินประสิทธิผล สามารถคำนวณได้จากค่า K_0

(ซึ่ง $K_0 = 1 - \sin \phi'$) ตามประเภทของเสาเข็ม ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 แสดงมุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับทราย (จาก Kulhawy, 1984)

วัสดุเสาเข็ม	δ
เหล็ก (ผิวเรียบ)	$0.5\phi' - 0.7\phi'$
เหล็ก (ผิวหยาบ)	$0.7\phi' - 0.9\phi'$
คอนกรีตหล่อสำเร็จ	$0.8\phi' - 1.0\phi'$
คอนกรีตหล่อในที่	$1.0\phi'$
ไม้	$0.8\phi' - 0.9\phi'$

ตารางที่ 2.3 สัมประสิทธิ์ความดันด้านข้างกระทำต่อเสาเข็ม (จาก Das, 2012)

ประเภทของเสาเข็ม	ค่า K
เสาเข็มเจาะ	$\approx K_0$
เสาเข็มตอกที่ดินเกิดการเคลื่อนตัวน้อย	$\approx K_0 - 1.4K_0$
เสาเข็มตอกที่ดินเกิดการเคลื่อนตัวมาก	$\approx K_0 - 1.8K_0$

*หมายเหตุ $K_0 = 1 - \sin \phi'$

จากสมการที่ใช้ในการประมาณความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีทางสถิตยศาสตร์ (Static Analysis Method) ทั้งหมด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สรุปสมการที่ใช้ในการประมาณความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มเดี่ยว ด้วยวิธีทาง สถิตยศาสตร์ (Static Analysis Method)

Static Analysis Method		
Point Bearing Capacity, Q_p	$Q_p = A_p q_p = A_p (c' N_c^* + \sigma'_{vo} N_q^*)$	
	Clay	$q_p = c' N_c^* = 9c'$
	Sand	$q_p = \sigma'_{vo} N_q^*$
Frictional Resistance, Q_s	$Q_s = A_s f_s = A_s (K_s \tan \delta \cdot \sigma'_{vo} + \alpha \cdot s_u)$	
	Clay	$f_s = \alpha \cdot s_u$
	Sand	$f_s = (K_s \tan \delta) \sigma'_{vo}$
Ultimate Load Capacity	$Q_u = Q_p + Q_s - W_p$	

2.2.4 พารามิเตอร์สำหรับออกแบบเสาเข็ม

จากวิธีการประมาณความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มเดี่ยวที่กล่าวมานั้น สามารถสรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบดังตารางที่ 2.5 การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของดินที่ปลายเข็มนั้น ในชั้นทรายนั้นอาศัยการคำนวณหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง (σ'_{vo}) กับค่า N_q^* ซึ่งมีความสัมพันธ์กับมุมเสียดทานของดิน ในดินเหนียวนั้นคำนึงถึงแรงยึดเหนี่ยวของดินบริเวณปลายเข็มแรงเสียดทานที่ผิว ในทรายคำนวณหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง มุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับทรายเป็นและพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานข้างที่กระทำต่อเสา ส่วนในดินเหนียวคำนวณจากกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

σ'_{vo} = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง (effective vertical stress)

s_u = กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (undrained Shear Strength)

c' = แรงยึดเหนี่ยวของดินบริเวณปลายเข็ม

γ = หน่วยน้ำหนักของดิน (unit weight of soil)

ตารางที่ 2.5 สรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบเสาเข็ม

พารามิเตอร์		วิธีการ
γ_{soil}		เก็บตัวอย่างดินในสนามมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ
SPT-N Value		จากผลการทดสอบกระบอกทะลวงมาตรฐาน
s_u	Clay CH	$s_u (t / m^2), (s_u = 0.685N)$ วีรนนท์, 2526
	Clay CL	$s_u (t / m^2), (s_u = 0.520N)$ วีรนนท์, 2526
ϕ'	Sand	$\phi'(^{\circ}) = 27.1 + 0.3N_{60} - 0.00054 [N_{60}]^2$
N_q^*	Sand	ความสัมพันธ์ระหว่าง N_q^* กับมุมเสียดทานของดิน ϕ' ของ Meyerhof

2.3 การสำรวจชั้นดินในประเทศไทย (Soil investigation in Thailand)

2.3.1 แนวทางการตรวจสอบชั้นดิน

การเจาะสำรวจดินบริเวณสถานที่ก่อสร้างเป็นงานที่สำคัญของการพิจารณาออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรม เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและประหยัดในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง และสามารถเลือกใช้วิธีดำเนินการก่อสร้างที่เหมาะสม เพื่อให้อาคารตั้งอยู่บนรากฐานและชั้นดินที่แข็งแรงเพียงพอ

วัตถุประสงค์ของการสำรวจชั้นดินด้วยวิธีทางวิศวกรรมปฐพีเพื่อที่จะได้ทราบข้อมูลที่ถูกต้องของสภาพชั้นดินในบริเวณที่ต้องการก่อสร้าง สำหรับวิศวกรออกแบบฐานรากและทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทุกฝ่ายที่ทำงานมีความเข้าใจและเห็นความสำคัญของของสภาพชั้นดิน ที่มีผลต่อการก่อสร้าง ช่วยในการวางแผนและควบคุมงาน และจัดสรรงบประมาณได้อย่างถูกต้อง การตรวจสอบสภาพชั้นดินในพื้นที่โครงการ จะทำให้ทราบข้อมูลของสภาพชั้นดินทั้งทางกายภาพ กำลังดิน การทรุดตัว และสภาพการระบายน้ำของชั้นดิน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานออกแบบด้านวิศวกรรมปฐพีและการก่อสร้างงานดิน เพื่อนำไปใช้งานออกแบบและงานแก้ไขปัญหาก่อสร้างที่เกี่ยวกับสภาพชั้นดินได้ถูกต้อง

โดยทั่วไปแล้วหลักเกณฑ์ที่ปฏิบัติกัน ในงานอาคารถ้าชั้นดินมีสภาพสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงมาก หลุมเจาะอาจจะลึกประมาณ 2 – 2.5 เท่าของความกว้างด้านสั้นของอาคารก่อสร้างนั้น หลุมเจาะแต่ละหลุมโดยทั่วไปจะห่างกันประมาณ 40 – 60 เมตร ส่วนในงานถนนนั้น หลุมเจาะแต่ละหลุมอาจห่างกันถึง 250 – 500 เมตร ตามแนวยาวของถนนในแนวราบ สำหรับอาคารสูงหรือโรงงานนั้นมีข้อเสนอแนะในการเจาะสำรวจชั้นดินในบริเวณต่าง ๆ แบ่งตามลักษณะการรับน้ำหนัก และการใช้งานในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล ดังตารางที่ 2.6 และในพื้นที่ต่างจังหวัดดังตารางที่ 2.7 แต่ในกรณีที่พบชั้นหินอยู่ในระดับตื้นก่อนถึงเกณฑ์กำหนด ต้องมีการตรวจสอบว่าชั้นหินนี้เป็นชั้นหินลอย(หินก้อน) หรือว่าเป็นชั้นจริงที่แผ่สม่ำเสมอ การตรวจสอบทำได้ด้วยการเพิ่มจำนวนหลุมเจาะ หรือเจาะทะลุชั้นหินนี้ลงไปอีกไม่น้อยกว่า 3 ถึง 5 เมตร (คณະอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี, 2555)

ตารางที่ 2.6 ความลึกของหลุมเจาะที่ใช้เป็นแนวทางสำหรับการเจาะสำรวจในเขตกรุงเทพฯและ
ปริมณฑล จาก (จาก คณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี, 2555)

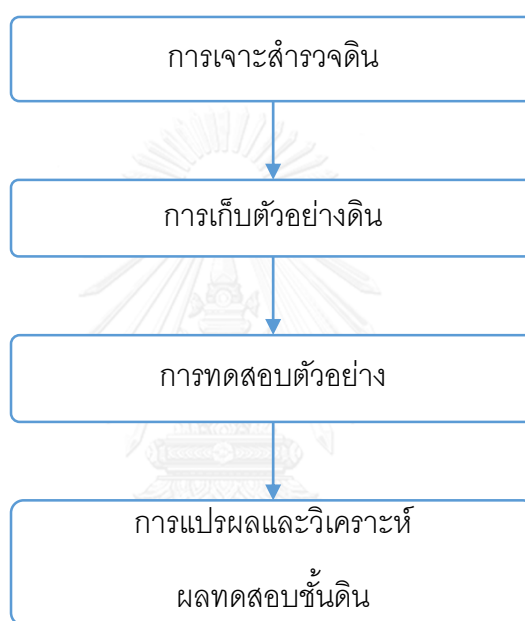
โครงสร้าง	ประมาณการความลึก ของปลายเสาเข็มที่จะใช้ (เมตร)	ความลึกของหลุมเจาะ (เมตร)
อาคารปกติสูงไม่เกิน 5 ชั้น หรือโรงงานขนาดเบา	21-23	30
อาคารปกติสูงไม่เกิน 10 ชั้น หรือโรงงานขนาดหนัก	22-25	35-40
อาคารสูงไม่เกิน 15 ชั้น	25-30	40-45
อาคารสูงไม่เกิน 20 ชั้น	25-45	50-60
อาคารสูงไม่เกิน 24 ชั้น	45-55	60-70
อาคารสูงไม่เกิน 28 ชั้น	50-60	70-80
อาคารสูง 30 ชั้นขึ้นไป	-	80-120

ตารางที่ 2.7 ความลึกของหลุมเจาะที่ใช้เป็นแนวทางสำหรับการเจาะสำรวจในพื้นที่ต่างจังหวัด จาก (จาก คณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี, 2555)

โครงสร้าง	ความลึกประมาณการ สูงสุด (เมตร)	เกณฑ์สังเกตควบคุม ก่อนสิ้นสุดการเจาะสำรวจดิน
อาคารปกติสูง 1 – 2 ชั้น หรืออาคารโครงสร้างชั่วคราว ขนาดใหญ่	25	N > 35, หนาต่อเนื่องกัน ไม่ต่ำกว่า 3 เมตร
อาคารปกติสูง 3 – 4 ชั้น (หรือ โรงงาน/โกดัง) ขนาดเบา	25	N > 35, หนา 4 – 5 เมตร หรือ N > 40, หนา 3 เมตร
อาคารปกติสูง 5 – 6 ชั้น (หรือ โรงงาน/โกดัง) ขนาดหนักปานกลาง	30	N > 40, หนา 4 – 5 เมตร หรือ N > 45, หนา 3 เมตร
อาคารปกติสูง 6 – 9 ชั้น (หรือ โรงงาน/โกดัง) ขนาดหนัก	30	N > 45, หนา 4 – 5 เมตร หรือ N > 50, หนา 3 เมตร
อาคารหนักมาก หรือ สูง ประมาณ 10 – 15 ชั้น ขนาดหนักมาก	35-40	N > 45, หนา 6 เมตร และความลึก หลุมเจาะต้องไม่น้อยกว่า 15 เมตร หรือ N > 50, หนา 4 – 5 เมตร และ ความลึกหลุมเจาะต้องไม่น้อย กว่า 15 เมตร
อาคารหนักพิเศษ เช่น หอประชุม, โรงภาพยนตร์, ห้างสรรพสินค้าอาคารที่มีระยะ ช่วงเสาห่างกันมากหรือ อาคาร สูง 16 – 18 ชั้น	40-50	N > 50, หนา 6 – 8 เมตร และ ความลึกหลุมเจาะไม่ควรน้อยกว่า 20 เมตร

2.3.2 การสำรวจชั้นดินสำหรับงานออกแบบ

การเตรียมการวางแผนเบื้องต้นเพื่อการเจาะสำรวจชั้นดินควรต้องทราบลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นดินทั่วไปโดยสังเขปของบริเวณนั้น โดยตรวจสอบจากข้อมูลการก่อสร้างที่มีอยู่แล้วหรือจากข้อมูลทางรายงานก่อนหน้านี้ ทำการกำหนดหลุมเจาะเพื่อสำรวจหาข้อมูลเฉพาะเจาะจงถึงลักษณะและสมบัติชั้นดิน และหาความหนาและความลึกที่เหมาะสม ในชั้นดิน เพื่อก่อสร้างฐานรากสำหรับรับน้ำหนักโครงสร้าง โดยมีขั้นตอนการตรวจสอบสภาพชั้นดินดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสำรวจสภาพชั้นดิน

วิธีการเจาะสำรวจดิน

ในการเจาะสำรวจหลุมลึกวิธีที่สะดวกที่สุดและมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก สามารถเลือกทำได้โดยวิธีการเจาะล้าง การเจาะปั่น และการเจาะสว่าน

1) การเจาะล้าง (wash boring) เป็นการเจาะดิน โดยการฉีดอัดน้ำผ่านก้านเจาะลงไปที่ยกหลุมเจาะด้วยปั้มน้ำแรงสูงและเป่า ออกมาที่หัวเจาะ ในขณะที่หัวเจาะกระทบก้นดินให้แตกย่อยออก ทำให้น้ำพัดพาเอาดินขึ้นมาตามผนังหลุมเจาะ ไหลไปลงบ่อตกตะกอนด้านนอก เพื่อเป็นการกรองและน้ำจะถูกสูบกลับมาใช้ใหม่ ในการเจาะสำรวจชั้นดินวิธีนี้จำเป็นต้องมีการตอกท่อกรุ (casing) ลงไปในชั้นดินเหนียวอ่อนเพื่อป้องกันผนังหลุมเจาะพัง และเมื่อเจาะผ่านชั้นทราย จำเป็นจะต้องอาศัยเบโทไนต์ ช่วยป้องกันการพังทลายของหลุม การเจาะดินด้วยวิธีนี้ทำได้ง่าย อุปกรณ์ที่ใช้ไม่สลับซับซ้อนสะดวกต่อการขนย้าย ข้อจำกัดของการเจาะดินด้วยวิธีนี้ คือ ไม่สามารถเจาะผ่านชั้นกรวดใหญ่ ลูกธึงแข็ง หินผุหรือชั้นดินดาน

2) การเจาะปั่น (rotary drilling) เป็นการเจาะดินโดยใช้เครื่องยนต์หมุนหัวเจาะปั่นด้วยความเร็วรอบที่กำหนด ที่หัวเจาะปั่นจะมีรู สำหรับฉีดปล่อยน้ำโคลนออกมาโดยสูบจากถังน้ำโคลน และคล้ายคลึงกับการเจาะล้าง การเจาะด้วยวิธีนี้ทำโดยใช้แรงดันจากปั้มน้ำสามารถฉีดไล่ดินในขณะที่หมุนเจาะ และเมื่อพบดินเปลี่ยนชั้นหรือถึงระดับความลึกที่กำหนดหัวเจาะจะถูกนำขึ้นมาจากหลุม และเปลี่ยนเป็นหัวเก็บตัวอย่างแทน เพื่อให้สามารถเก็บตัวอย่างที่คงสภาพเดิมไว้ได้มากที่สุด เป็นการเจาะที่รบกวนชั้นดินน้อยที่สุด การเจาะด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับชั้นดินและหินทุกชนิด โดยเฉพาะในดินแข็ง ลูกธึง ทรายปนกรวด และหินผุ

3) การเจาะสว่าน (auger boring) ใช้สำหรับการเจาะหลุมตื้น ที่ความลึกไม่มาก เป็นวิธีการเจาะแบบแห้ง คือไม่ต้องใช้น้ำล้างหลุมเจาะ โดยการตอกสว่านแล้วหมุนลงไปในชั้นดินเป็นช่วงสั้นๆ ตรวจสอบชนิดของดิน จากการชักตัวอย่างดินส่วนที่ติดกับใบสว่านขึ้นมา แล้วนำกลับลงไปหมุนในหลุมให้ฝังจมเป็นระยะสั้นๆ ชักสว่านขึ้นลงเพื่อตรวจสอบสภาพดิน ดำเนินการจนกว่าสว่านไม่สามารถหมุนจมลงไปได้อีก หรือใช้ใบสว่านที่มีเกลียวแบบต่อเนื่องกันดินจะถูกหมุนขึ้นมาตามเกลียวจนถึงปากหลุม แต่จะไม่สามารถกำหนดความลึกที่แน่นอนของตัวอย่างดินนั้นได้ การเจาะด้วยสว่านไม่สามารถเจาะได้ในระดับที่พบน้ำใต้ดินเพราะไม่สามารถนำดินขึ้นมาตรวจสอบได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นดินทราย

ตัวอย่างดิน (soil sampling) มีด้วยกันสองประเภทคือ ตัวอย่างดินแปรสภาพและตัวอย่างดินคงสภาพ โดยในการเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างนั้นจะทำการเก็บตัวอย่างทุก 1.5 เมตร โดยมีลักษณะดังนี้

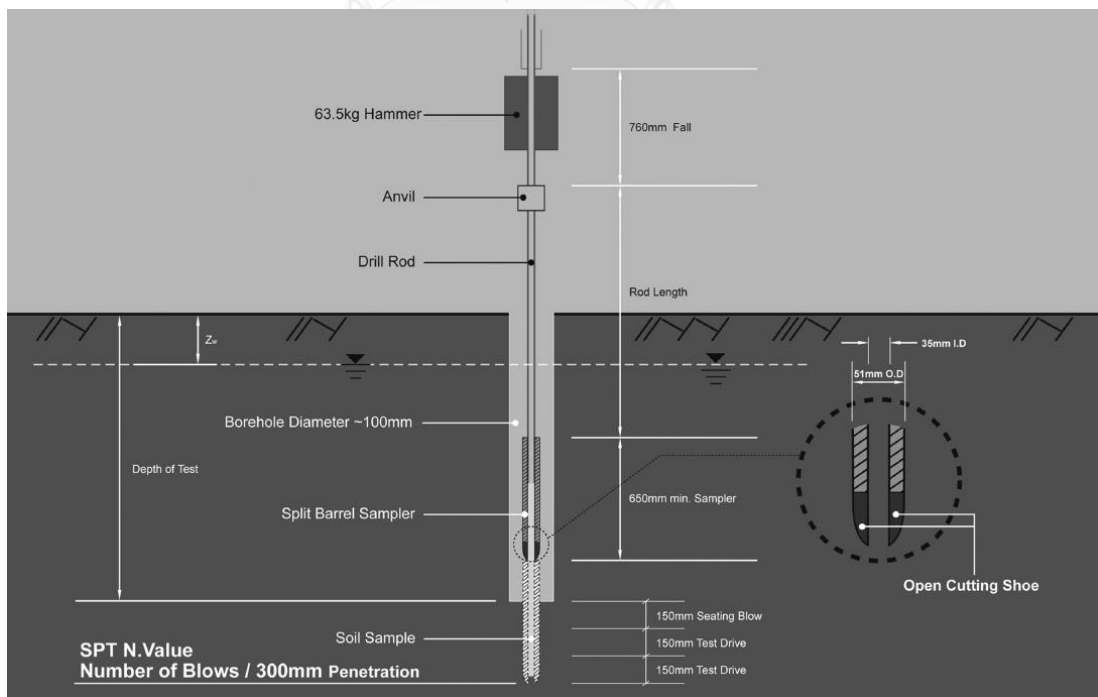
- ตัวอย่างดินแปรสภาพ (disturbed sample) เป็นตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนจากกระบวนการเก็บตัวอย่าง ทำให้โครงสร้างของดินถูกทำลาย ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ทดสอบหากำลังรับแรงเสียด

หรือ ทดสอบอื่นๆในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างดินแปรสภาพนั้นจะได้มาจากวิธีการเก็บตัวอย่างด้วย กระบอกผ่า (Split-spoon Sampling, SS)

- ตัวอย่างดินคงสภาพ (undisturbed sample) เป็นตัวอย่างดินที่มีลักษณะใกล้เคียงกับธรรมชาติของดินในบริเวณความลึกนั้นๆ มวลดินจะยังคงสภาพโครงสร้างอยู่ ไม่มีการสูญเสีย น้ำระหว่างจัดเก็บ และเก็บได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกบาง (Shelby Tube Sampling ,ST)

การทดสอบกระบอกทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test – SPT)

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ของชั้นดินทราย กรวด หรือหาค่าความแข็ง-อ่อนของชั้นดินเหนียวได้อย่างคร่าวๆ ทดสอบโดยการตอกกระบอกผ่าซีกมาตรฐานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 35 มิลลิเมตร ภายนอก 51 มิลลิเมตร เพื่อเก็บตัวอย่าง การตอกให้ตุ้มน้ำหนัก (hammer weight) 63.5 kg ยกสูง 760 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.4 แล้วปล่อยให้หล่นลงมาอย่างอิสระ โดยปกติจะทำการทดสอบทุก ๆ 1-1.5 เมตร นับจำนวนครั้งที่ตอกซึ่งทำให้กระบอกผ่าจมลงไปในดินได้ 450 มิลลิเมตร แบ่งเป็นสามช่วง ช่วงละ 150 มิลลิเมตร โดยนับสองช่วงหลังเป็นค่า SPT-N หน่วยเป็นจำนวนครั้ง/300 มิลลิเมตร ค่าการทดสอบกระบอกทะลุทะลวงมาตรฐานนั้นสามารถแบ่งชนิดของดินและมีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของดินเม็ดหยาบดังตารางที่ 2.9และตารางที่ 2.10 สำหรับดินเหนียว



รูปที่ 2.4 Standard penetration test จาก (จาก Look, 2014)

ตุ้มตอกแต่ละแบบจะมีการให้พลังงานในการตอกที่ไม่เท่ากันซึ่งส่งผลต่อความถูกต้องของค่า N จึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้ค่า SPT-N จากประเภทของค้อนที่ใช้ในการทดสอบ โดยอ้างอิงจากค้อนประเภทปลอดภัย (safety US) ซึ่งมีอัตราส่วนพลังงาน 60% ซึ่งเรียกว่า N_{60} ซึ่งมีค่าอัตราส่วนพลังงาน (Energy ratio, ER) ของค้อนแบบต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.8 โดยที่ C_h คือค่าปรับแก้จากประเภทของค้อน

$$N_{60} = C_h N \quad (2.8)$$

ตารางที่ 2.8 ค่าอัตราส่วนพลังงาน ER (%) ของค้อนประเภทต่าง ๆ สำหรับปรับแก้ค่า N ในการทดสอบ SPT

ชนิดของค้อน (hammer)	อัตราส่วนพลังงาน ER(%)	C_h
โดนัท (donut)	45	0.75
ปลอดภัย (safety) US	55 – 60	0.92 – 1
ปลอดภัย (safety) UK	50	0.83
อัตโนมัติ (automatic trip) US	55 – 83	0.92 – 1.38
อัตโนมัติ (automatic trip) UK	60	1
เข็ม (pin-weight hammer)	72	1.2

การปรับแก้ค่า SPT-N เนื่องจากแรงดันทับ (overburden pressure) สำหรับดินเม็ดร่วน (granular soil) ที่ระดับความเค้นอ้างอิง $p_a \approx 100 \text{ kN/m}^2$

$$N_1 = N \sqrt{\frac{p_a K_{0NC}}{\sigma'_0 K_{0OC}}} \quad (2.9)$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ามุมเสียดทานของดิน (Soil friction angle) กับ ค่าการทดสอบกระบอกทะลวงมาตรฐาน (Standard penetration Number)

ค่ามุมเสียดทานของดินทราย (granular soil) มีความสัมพันธ์กับ N_{60} หรือ $(N_1)_{60}$ ดังนี้

1. สมการของเพค และคณะ (Peck, Hanson, and Thornburn, 1974) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ามุมเสียดทานของดิน ϕ' กับ N_{60} ในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ และสามารถประมาณเป็นสมการดังนี้

$$\phi'(^{\circ}) = 27.1 + 0.3N_{60} - 0.00054[N_{60}]^2 \quad (2.10)$$

2. สมการของเชอเมทแมน (Schmertmann, 1975) ได้จัดทำความสัมพันธ์ระหว่าง N_{60} , σ'_0 และ ϕ' ประมาณเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้ (p_a, σ'_0 ใช้หน่วยเดียวกัน, $p_a \approx 100 \text{ kN/m}^2$)

$$\phi' = \tan^{-1} \left[\frac{N_{60}}{12.2 + 20.3 \left(\frac{\sigma'_o}{P_a} \right)} \right]^{0.34} \quad (2.11)$$

3. สมการของฮาทานากาและอุซิดะ (Hatanaka and Uchida, 1996) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ' กับ $(N_1)_{60}$ ด้วยสมการอย่างง่ายดังนี้

$$\phi' = \sqrt{20(N_1)_{60}} + 20 \quad (2.12)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT-N กับพารามิเตอร์ดิน

ประมาณค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ของทราย (Relative Density, D_r %)

$$D_r (\%) = 100 \times \sqrt{\frac{N_{60}}{0.23\sigma'_{vo} + 16}} \quad (2.13)$$

$$D_r (\%) = 100 \times \sqrt{\frac{N'_{60}}{60}} \quad (2.14)$$

ตารางที่ 2.9 การเปรียบเทียบสมบัติต่างๆของดินเม็ดหยาบ (coarse grained soil) กับค่า N และ N_{60} (จาก สุเชษฐ์, 2557)

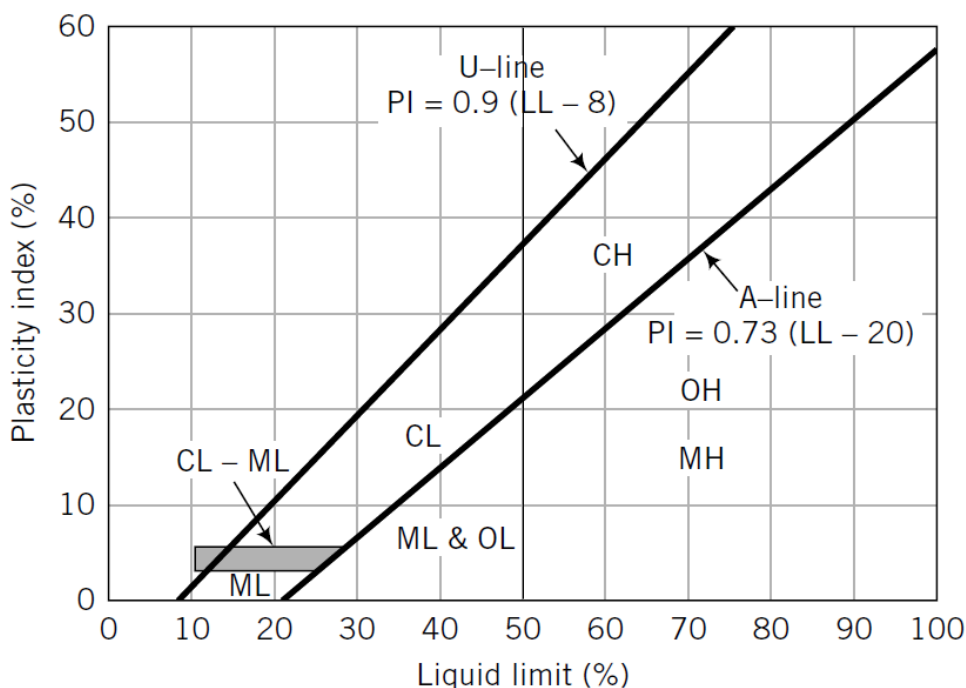
N	N_{60}	ระดับการบดอัด (Compactness)	หน่วยน้ำหนัก (γ , kN/m ³)	ความหนาแน่น สัมพัทธ์ (D_r %)	มุมเสียดทาน ภายใน (ϕ°)
0 – 4	0 – 3	หลวมมาก (Very loose)	11 – 13	0 – 20	26 – 28
4 – 10	3 – 9	หลวม (Loose)	14 – 16	20 – 40	29 – 34
10 – 30	9 – 25	ปานกลาง (Medium)	17 – 19	40 – 70	35 – 40
30 – 50	25 – 45	แน่น (Dense)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

ตารางที่ 2.10 ค่า SPT-N และกำลังอัดแกนเดี่ยว (unconfined compression strength) ของดินเหนียวแต่ละชนิด (จาก Budhu, 2010)

Cohesive soil	Standard penetration number, N_{60}	Unconfined compression strength, q_u (t/m ²)
Very soft Clay	< 2	< 2.5
Soft Clay	2 – 5	2.5 – 5
Medium Clay	5 – 8	5 – 10
Stiff Clay	8 – 15	10 – 20
Very stiff Clay	15 – 30	20 – 40
Hard Clay	> 30	> 40

การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างดินที่เก็บจากการเจาะสำรวจในสนาม จะนำมาทดสอบสมบัติดังต่อไปนี้

- 1) ทดสอบหาค่าความหนาแน่นเปียก (wet density)
- 2) ทดสอบหาความปริมาณชื้นในมวลดิน (water content)
- 3) ทดสอบหาขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน (Atterberg's limit test)
- 4) ทดสอบหาขนาดผละของมวลรวม (grain size analysis)
- 5) ทดสอบแรงอัดแกนเดี่ยว (unconfined compression test) เพื่อหากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (undrained shear strength) สำหรับตัวอย่างดินเหนียว
- 6) ทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (consolidation test)



รูปที่ 2.5 จำแนกหมวดหมู่ของดินเหนียวโดยใช้ข้อมูลขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน (Plasticity chart) (ดัดแปลงจาก Casagrande, 1948, Howard, 1977)

2.4 ข้อมูลชั้นดินกรุงเทพฯ (Bangkok subsoils data)

2.4.1 ฐานข้อมูลชั้นดินกรุงเทพฯ

ในประเทศไทยได้มีการจัดเก็บรวบรวมและเผยแพร่ข้อมูลหลุมเจาะต่อสาธารณะโดยกรมโยธาธิการและผังเมือง ปี พ.ศ.2547 ได้ทำการรวบรวมข้อมูลดิบและจัดทำฐานข้อมูลออนไลน์ของผลการเจาะสำรวจชั้นดินทั่วประเทศ โดยเผยแพร่ข้อมูลผ่านทางเว็บไซต์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง มีข้อมูลหลุมเจาะสำรวจชั้นดินมีจำนวนทั้งสิ้น 1,000 หลุมเจาะ โดยแบ่งข้อมูลตามตำบล/แขวง ของแต่ละจังหวัดในประเทศไทย

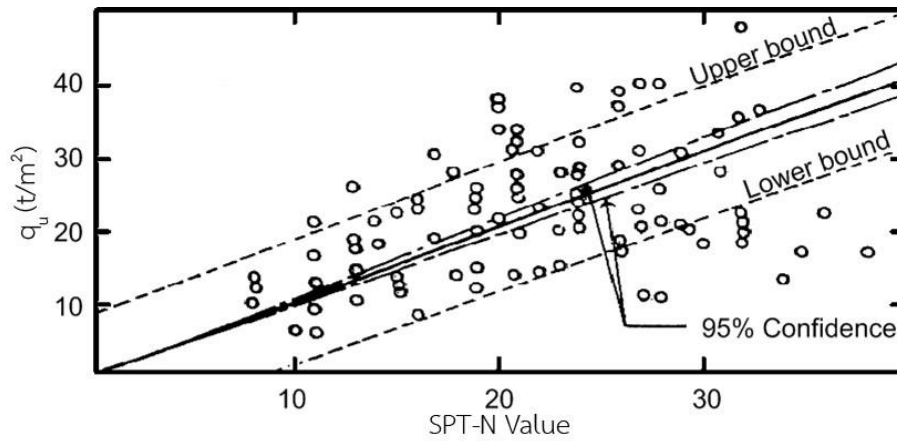
ปี 2558 กรมโยธาธิการและผังเมืองทำการพัฒนาปรับปรุงระบบการทำงานของโปรแกรมสารสนเทศข้อมูลหลุมเจาะดิน สามารถค้นหาและแสดงผลได้ในระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GIS) และข้อมูลการจัดเรียงตัวชั้นดินได้ทั้งในระบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ทำการรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบดินและBoring Log เป็นแบบฟอร์มมาตรฐานเดียวกัน ง่ายต่อการนำไปใช้งาน โดยทำการเผยแพร่ข้อมูลต่อผู้สนใจทั่วไปทางเว็บไซต์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง

2.4.2 พารามิเตอร์ดินกรุงเทพฯสำหรับออกแบบเสาเข็ม

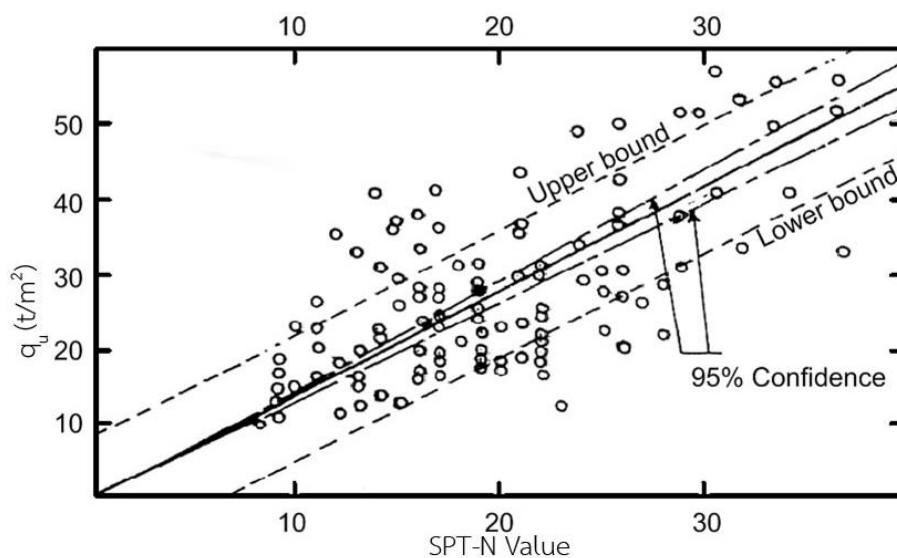
(วีรนนท์ ปิตุปกรณ, 2526)ได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT-N กับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำที่ได้จากการทดสอบแรงอัดแกนเดียวของดินเหนียวแข็งในชั้นดินกรุงเทพฯ สำหรับการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก ของดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกต่ำ (CL) ดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง (CH) โดยแบ่งชนิดดินเหนียวจากค่าข้อมูลขีดจำกัดความชื้นเหลวของดินดังรูปที่ 2.5 และมีกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 โดยสมการเป็นดังนี้

$$\text{ดินเหนียว CL} \quad s_u = 0.520N \quad (2.15)$$

$$\text{ดินเหนียว CH} \quad s_u = 0.685N \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_u กับ N ของดินเหนียว CL (จาก วีรนนท์ ปิตุปกรณ, 2526)



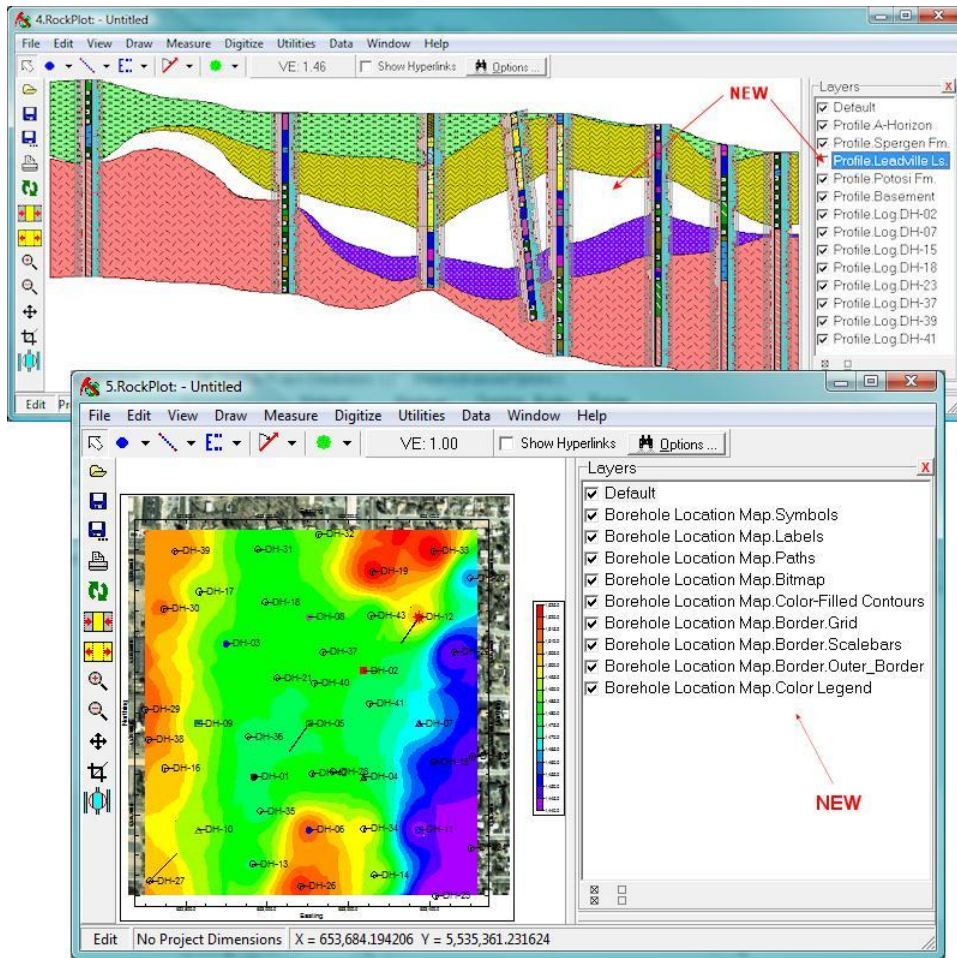
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_u กับ N ของดินเหนียว CH (จาก วีรนนท์ ปิตุปกรณ, 2526)

2.6 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

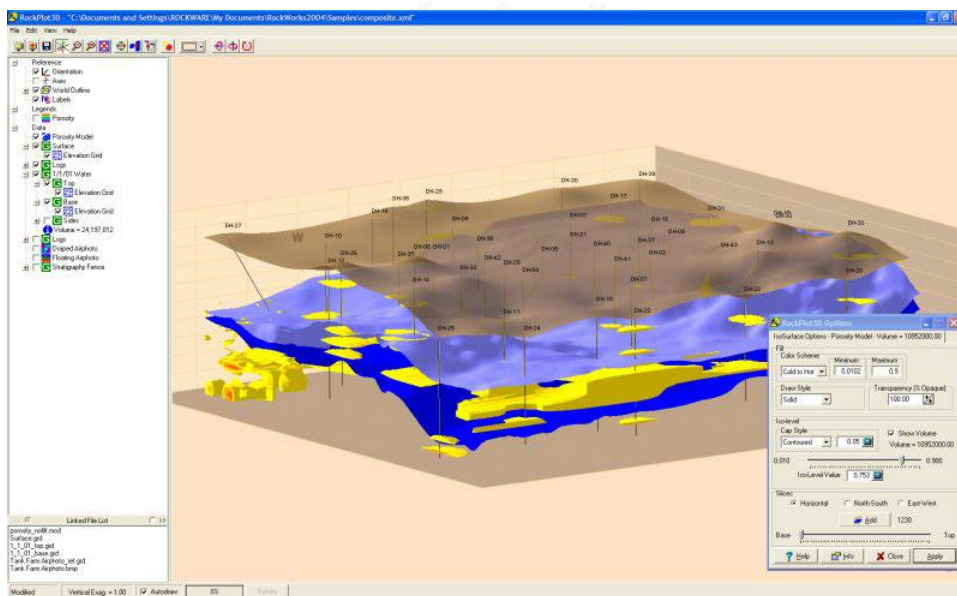
RockWorks เป็นโปรแกรมแบบเบ็ดเสร็จที่ใช้สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลทางธรณีวิทยา วิเคราะห์ผล และ จำลองภาพทางธรณีวิทยา ที่ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี 1985 โดยกลุ่มบริษัท RockWare เพื่อใช้งานทางด้านธรณีวิทยาและเชิงวิศวกรรม ในรูปแบบของการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (computer modeling) โดยโปรแกรม RockWorks ได้ถูกนำไปใช้งานในวงกว้าง สำหรับงานเหมืองแร่ สิ่งแวดล้อม พิโตเลียม แหล่งน้ำ ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยโปรแกรมเหมาะสำหรับใช้ในการจำลองภาพข้อมูลชั้นดินในรูปแบบต่างๆ เช่น ภาพตัดขวาง (cross-sections), Fence diagrams, solid model ลักษณะโครงสร้าง แผนที่ทั้งในแบบสองมิติ และแบบสามมิติ โดยจะใช้โปรแกรมย่อย Borehole data manager เป็นกระบวนการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการสร้างฐานข้อมูล หลุมเจาะที่ได้จากจัดเก็บข้อมูลทางธรณีฟิสิกส์ต่างๆ รวมถึงรายละเอียดงานเจาะสำรวจ ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีตามระดับความลึก ซึ่งจะสามารถนำฐานข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นไปประมวลผลและทำการสร้างแผนภาพชั้นความลึกข้อมูลต่างๆ ได้ เช่น ภาพตัดขวาง, Fence diagrams และแผนภาพบล็อก (block diagrams) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการสร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยาที่สร้างขึ้น อีกทั้งยังสามารถเกี่ยวกับการคำนวณหาปริมาตร หรือการคาดคะเนหาหลุมเจาะที่เหมาะสม ยกตัวอย่างเช่นในงานเหมืองแร่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดขึ้น ตามที่ผู้ใช้งานต้องการใช้งานและแสดงผลร่วมกับโปรแกรม Google Earth ในรูปแบบสองมิติ และสามมิติ อีกทั้งโปรแกรม Rockwork ยังสามารถนำข้อมูลออกไปในรูปแบบของตารางเพื่อนำไปใช้สำหรับโปรแกรม RockWorks Utilities

โปรแกรม RockWorks ประกอบด้วยหน้าต่างการแสดงผลสามส่วนหลักได้แก่ RockPlot2D ใช้สำหรับแสดงและแก้ไขข้อมูลสองมิติ เช่นแผนที่แนวราบ ชั้นข้อมูล และภาพตัด อีกทั้งยังรวมถึงการบันทึกข้อมูล นำข้อมูลออก RockPlot3D ใช้สำหรับแสดงภาพจำลองแบบสามมิติ เช่น ข้อมูลชั้นดิน fence diagram, solid model และพื้นผิวสามมิติ อีกทั้งโปรแกรมจะสามารถปรับแต่งการแสดงผลของภาพได้ทันที ReportWorks ใช้สำหรับการรายงานผลรวมถึงการจัดหน้าเพื่อแสดงผลและสั่งพิมพ์

RockWorks Utilities เป็นโปรแกรมย่อยอีกหนึ่งโปรแกรมที่อยู่ภายในโปรแกรม RockWorks โดยจะมีเครื่องมือให้ใช้เพิ่มเติมในการวิเคราะห์ และ RockWorks EarthApps ซึ่งจะเป็นเครื่องมือในการแสดงค่าข้อมูลต่างๆ ลงบนแผนที่ร่วมกับโปรแกรมกูเกิล เอิร์ธ (Google Earth) ที่พัฒนาโดยบริษัทกูเกิล (Google Inc.)

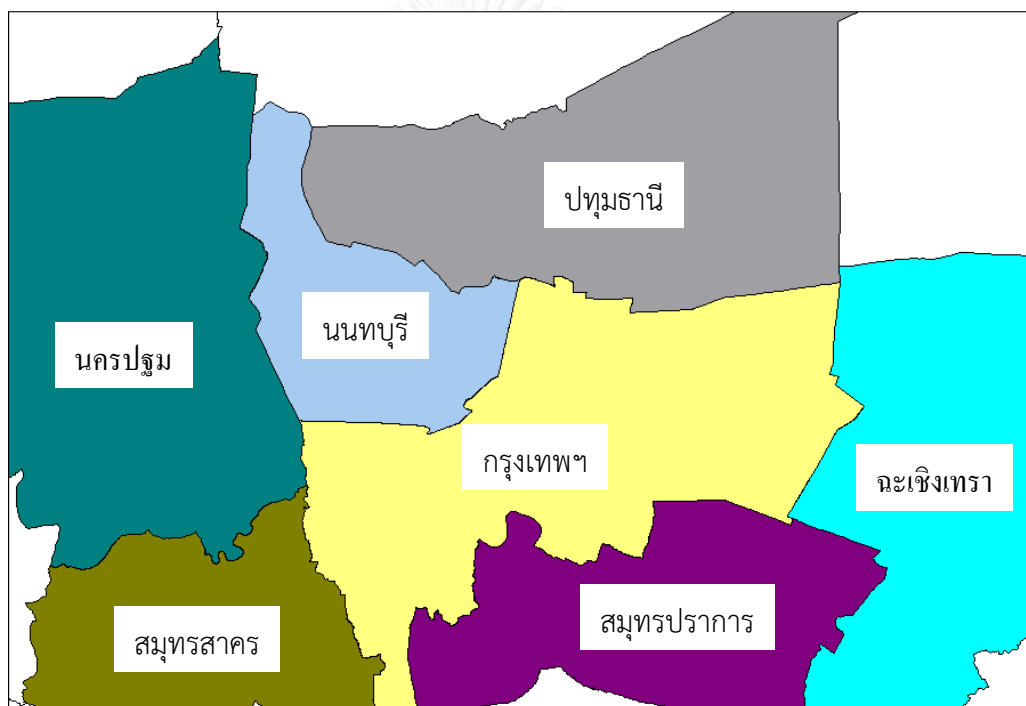


รูปที่ 2.8 หน้าต่างการทำงาน RockWorks 2D



รูปที่ 2.9 หน้าต่างการทำงาน RockWorks 3D

อีกทั้งโปรแกรม สามารถผนวกผลการวิเคราะห์แบบสองมิติร่วมกับข้อมูลแบบ Shapefile ในงานวิจัยนี้จะนำ Shapefile จังหวัดต่าง ๆ ตามขอบเขตการดำเนินงานมาซึ่งรูปที่ 2.10 รูปที่ 2.10 โดย Shapefile คือข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ประเภทหนึ่งที่เกี่ยวข้องข้อมูลอยู่ในรูปของเวกเตอร์ (Vector) ใน 3 ลักษณะ คือ จุด (Point) เส้น (Line) และรูปปิด (Polygon) ซึ่งจะแยกเก็บออกเป็นแต่ละชั้นข้อมูล (Layer) ซึ่ง Shapefile หนึ่ง ๆ จะประกอบด้วยไฟล์อย่างน้อย 3 ไฟล์ที่มีการอ้างอิงถึงกันและกันและไม่สามารถขาดไฟล์ใดไฟล์หนึ่งไปได้ ได้แก่ ไฟล์ประเภท (.shp) ไฟล์นี้จะประกอบไปด้วยข้อมูลเวกเตอร์แต่ละประเภท ซึ่งแต่ละเวกเตอร์ประกอบเป็น Shape File นั้นจะอ้างอิงพิกัด UTM ไฟล์ประเภท (.dbf) ไฟล์นี้จะประกอบไปด้วยข้อมูลในรูปแบบตารางฐานข้อมูลเพื่อแสดงรายละเอียดของแต่ละเวกเตอร์ ไฟล์ประเภท (.shx) ไฟล์นี้จะทำหน้าที่ผสมผสานไฟล์ (.shp) และ (.dbf) เข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.10 Shapefile จังหวัดตามขอบเขตการดำเนินงาน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Relevant research)

2.5.1 การสร้างฐานข้อมูลดิน

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก (2553) ทำการพัฒนาระบบฐานข้อมูลชั้นดิน วิเคราะห์และประมวลผลด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยระบบที่พัฒนาขึ้นมานั้นจะไม่ใช่เป็นระบบที่เข้ามาแทนที่การเจาะสำรวจดิน หรือทดแทนการแปลผลเพื่อการออกแบบและก่อสร้าง แต่เป็นระบบที่ใช้ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจ และใช้ในการวางแผนและบริหารจัดการ โครงสร้างพื้นฐานเบื้องต้น นำมาใช้ในการวางแผนเพื่อลดผลกระทบในบริเวณกว้าง เช่นการวิเคราะห์ พื้นที่ตอบสนองของชั้นดินอ่อนต่อแรงกระทำแผ่นดินไหวหรือ การศึกษาผลกระทบจากการทรุดตัวของ การสูบน้ำบาดาล เป็นต้น โดยได้เน้นการพัฒนาฐานข้อมูลดินในพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Soft Bangkok Clay) พื้นที่ดินบวมตัวหรือพื้นที่ดินกระจายตัว ระบบฐานข้อมูลชั้นดิน เริ่มต้นด้วยการรวบรวมข้อมูลชั้นดิน ฐานข้อมูลชั้นดิน การจัดเก็บข้อมูลชั้นดินจากผลการเจาะสำรวจ การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแล้วทำการแปลผลชั้นดินเชิงพื้นที่ในลักษณะกริด ขนาด 5x5 ต.กม. และศึกษาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรม โดยแบ่งเป็น คุณสมบัติเชิงพื้นที่ (แต่ละกริด)ตามความลึก และความสัมพันธ์ของคุณสมบัติต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา

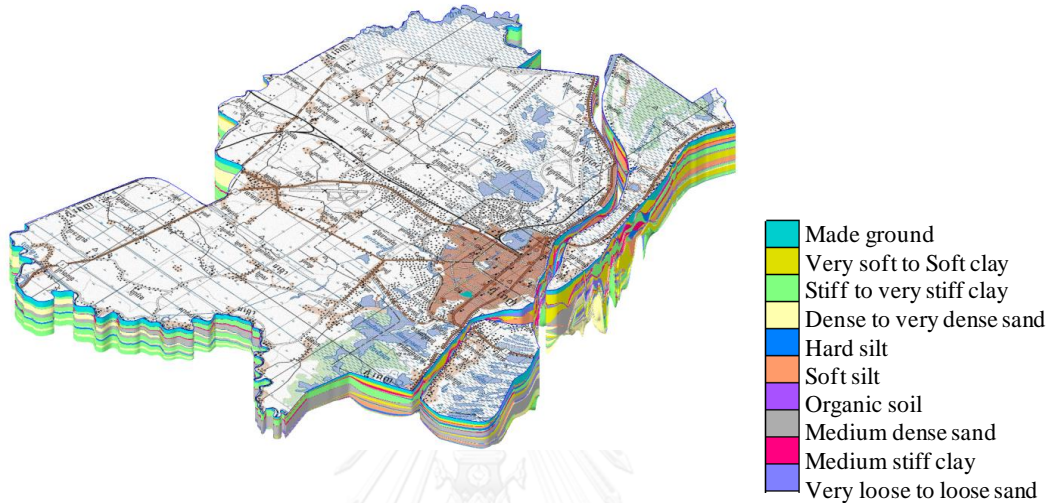
คมศิลป์ (2544) ได้ทำการสร้างแผนที่ชั้นดินของกรุงเทพฯ สร้างแผนที่เส้นชั้นกำลังรับแรงเฉือนแบบอินเดรน และสร้างแผนที่เส้นชั้น SPT โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ อาศัยหลักสถิติของพื้นที่ในกรุงเทพฯและแบ่งพื้นที่ตามเขตการปกครอง ข้อมูลที่ใช้ได้จากการรวบรวมข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดินจำนวน 1,083 หลุม โดยพิจารณาที่ระดับความลึกไม่เกิน 25 เมตร ทำการเปรียบเทียบกับผลการวิจัยในอดีต สรุปค่าต่าง ๆ ที่ได้ตามเขตพื้นที่การปกครอง และพบว่าสภาพดินในพื้นที่บางเขตมีความแปรปรวนมาก การกระจายของข้อมูลการเจาะสำรวจดินไม่ครอบคลุมถึงพื้นที่บางส่วนของพื้นที่เกษตรกรรม

ภูษิต (2554) สร้างฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์คุณสมบัติชั้นดินเพื่อสนับสนุนการออกแบบฐานราก สำหรับพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน โดยใช้ข้อมูลการเจาะสำรวจดินจำนวน 106 หลุม นำคุณสมบัติของดินในแต่ละชั้นที่แตกต่างกัน อธิบายคุณลักษณะเชิงพื้นที่ ชนิด คุณสมบัติ และความลึกของดิน โดยบันทึกไว้ในตารางสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อสนับสนุนการออกแบบฐานราก ในด้านความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานปลอดภัยฐานรากตื้น 8 - 14 ตันต่อตารางเมตร และกำหนดความยาวสูงสุดของเสาเข็มคือ 13 เมตร

2.5.2 แบบจำลองชั้นดิน

ซัมพอ ทัช (2554) ได้ทำการสร้างแบบจำลองสามมิติ โดยนำข้อมูลการสำรวจทางวิศวกรรมธรณีจากบริษัทเอกชนในประเทศกัมพูชา ด้วยจำนวน 1,200 หลุมเจาะ ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของ

กรุงเทพมหานคร โดยจำแนกข้อมูลชั้นดินตามเขตการปกครองของกรุงเทพมหานคร ทำการสร้างแบบจำลองธรณีสามมิติและนำผลการทดสอบมาสร้างฐานข้อมูลทางวิศวกรรมธรณีเทคนิค โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลในระบบภูมิสารสนเทศ (GIS) เริ่มจากการระบุชื่อชั้นดินในแนวราบ และอาศัยการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น เพื่อกำหนดขอบเขตของชั้นดินจากข้อมูลหลุมเจาะดินที่ใกล้เคียงกัน และทำการกำหนดค่าตัวแทนคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินต่าง ๆ ด้วย

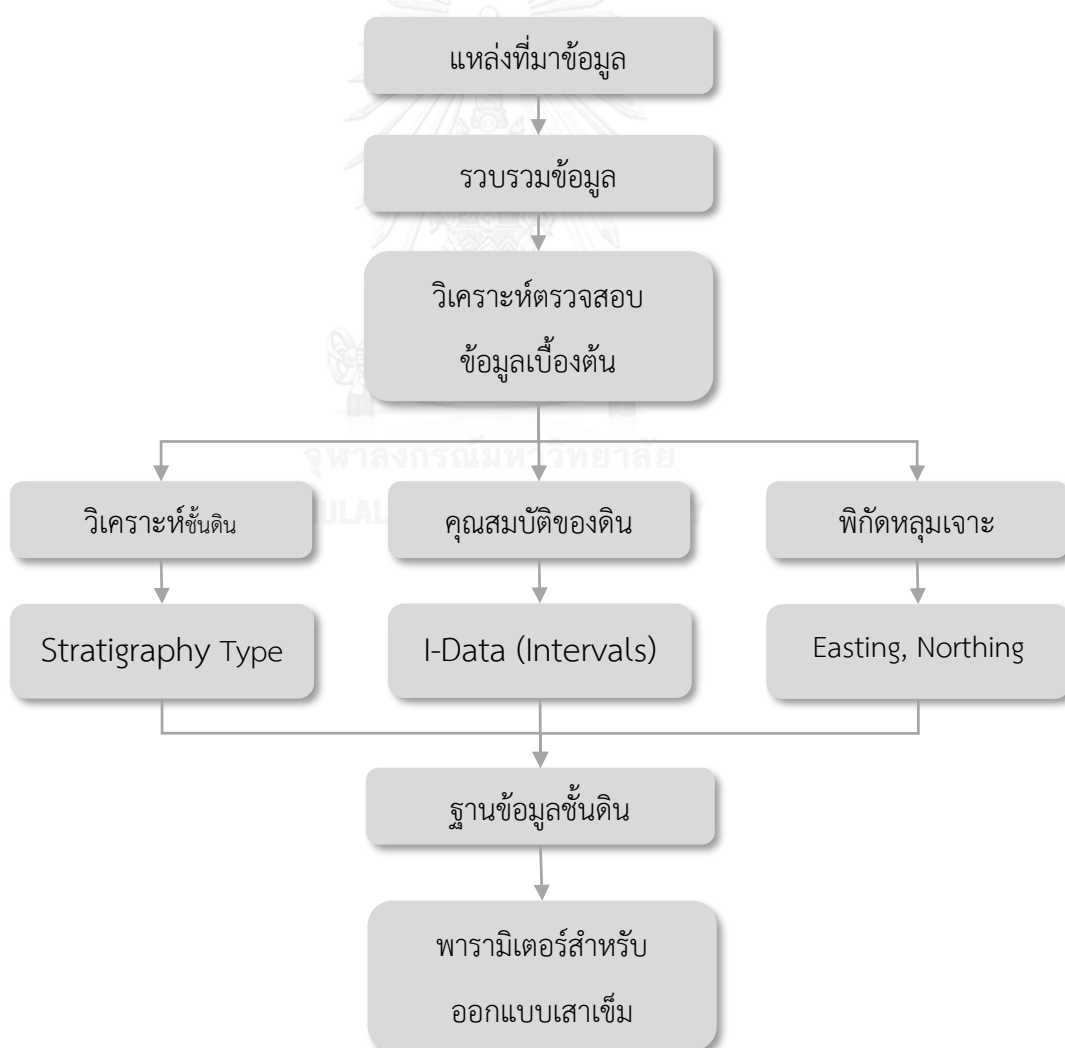


รูปที่ 2.11 แบบจำลองธรณีสามมิติของกรุงเทพมหานคร

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย

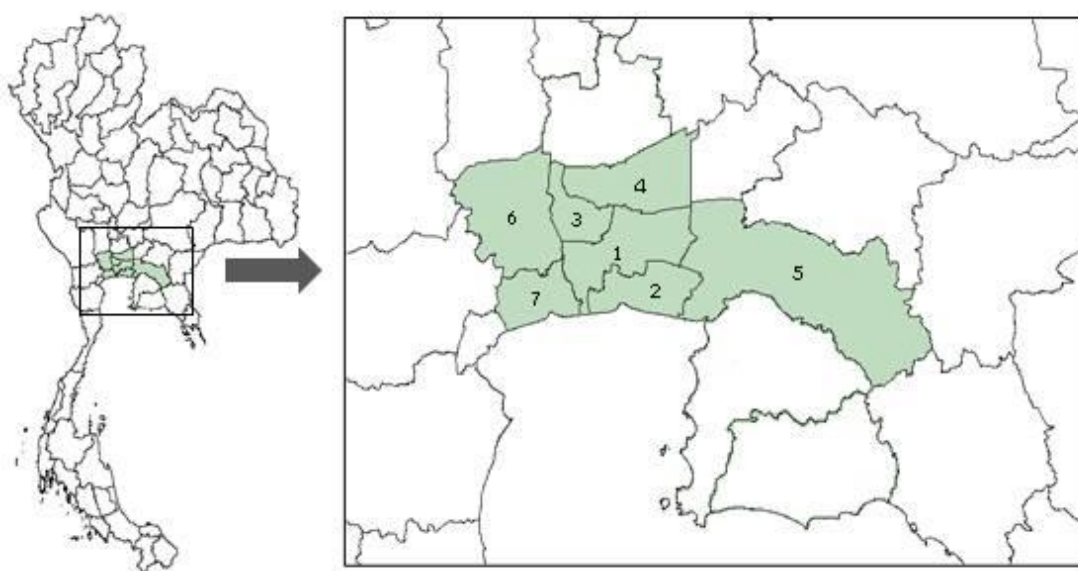
ในการจัดทำฐานข้อมูลทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคของชั้นดินกรุงเทพฯ เพื่อใช้สำหรับการคำนวณออกแบบฐานรากเสาเข็มนั้น การดำเนินงานที่สำคัญคือ การรวบรวมหลุมเจาะ วิเคราะห์ข้อมูลของหลุมเจาะเบื้องต้น ทำการกำหนดมาตรฐานของการจัดเก็บฐานข้อมูล การจัดเก็บบันทึกข้อมูล พัฒนาระบบฐานข้อมูล การทำการวิเคราะห์ผลประมวลผล จนถึงการนำพารามิเตอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานออกแบบฐานรากเสาเข็ม โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

3.2 การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลหลุมเจาะ

รวบรวมข้อมูลผลการเจาะสำรวจดินโดยวิธีการเจาะล้าง (Wash boring) เนื่องจากเป็นที่แพร่หลายในประเทศไทย ทำการเจาะสำรวจในขอบเขตที่ต้องการศึกษาประกอบด้วยพื้นที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ สมุทรสาคร นนทบุรี นครปฐม และ บางส่วนของจังหวัดฉะเชิงเทรา ดังตารางที่ 3.1 คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 13,000 ตารางกิโลเมตร มีขอบเขตดังรูปที่ 3.2 โดยใช้สำเนาข้อมูลรายงานผลการเจาะสำรวจดิน ที่ถูกรวบรวมไว้โดยบริษัท เจเนเนอรัล เอนจิเนียริง จำกัด (มหาชน) กรมโยธาธิการและผังเมือง การไฟฟ้านครหลวง และแหล่งข้อมูลอื่น



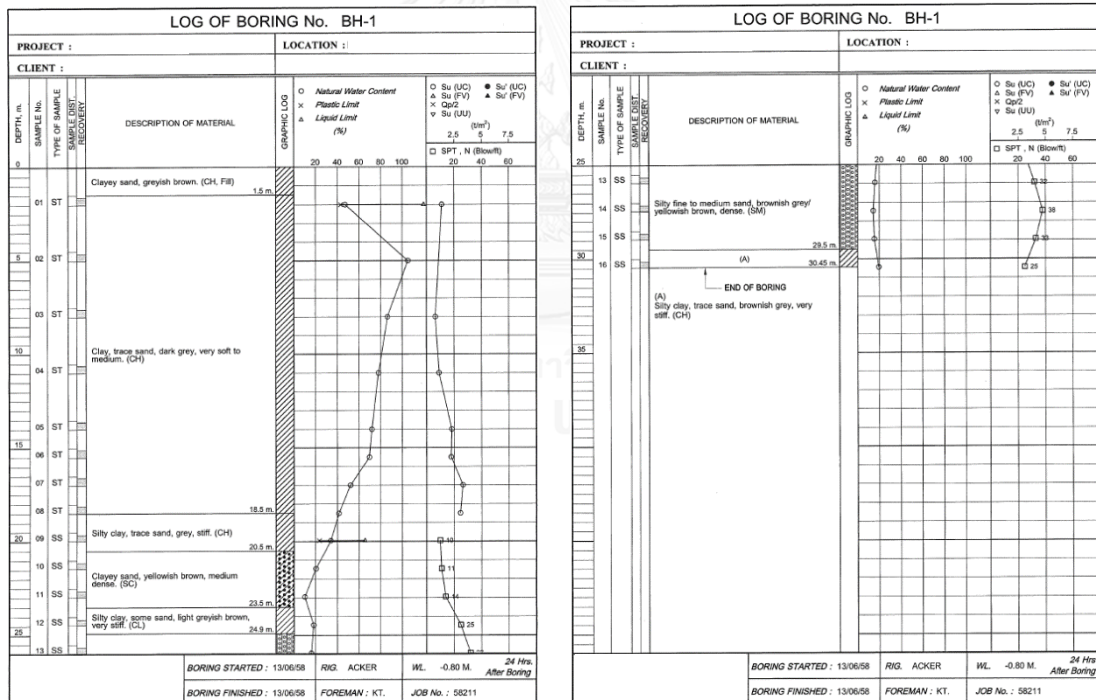
รูปที่ 3.2 แผนที่ขอบเขตของพื้นที่ในการวิเคราะห์รวบรวมข้อมูล

ตารางที่ 3.1 ขอบเขตที่ทำการรวบรวมข้อมูลพร้อมทั้งขนาดพื้นที่ของแต่ละจังหวัด

ลำดับ	รหัสจังหวัด (ตามเขตการปกครอง)	ชื่อจังหวัด	ชื่อย่อ	ขนาดพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)
1	10	กรุงเทพมหานคร	BKK	1,569
2	11	สมุทรปราการ	SMP	1,004
3	12	นนทบุรี	NTB	622.3
4	13	ปทุมธานี	PTN	1,526
5	24	ฉะเชิงเทรา	CCS	5,351
6	73	นครปฐม	NKP	2,168
7	74	สมุทรสาคร	SMK	872.3

จัดแบ่งข้อมูลที่ได้รับรวมได้โดยจัดเรียงตามจังหวัดและทำการคัดเลือกข้อมูลโดยการตรวจสอบความครบถ้วน ชัดเจน ของสำเนาเอกสารรายงานข้อมูลหลุมเจาะ โดยในเอกสารจะต้องประกอบด้วยข้อมูลโครงการ รายละเอียดของโครงการ วันเดือนปีที่ทำการเจาะสำรวจ แผนที่สถานที่ตั้งของโครงการ ตำแหน่งของหลุมเจาะ ระดับของผิวดินบริเวณหลุมเจาะ ชื่อผู้ทดสอบ วิศวกรที่คำนวณรับรองผล ระดับน้ำใต้ดินที่ทำการเจาะสำรวจ ตารางข้อมูลคุณลักษณะชั้นดินและสมบัติของดินเมื่อเทียบกับความลึกดังรูปที่ 3.3 ตารางแสดงผลการทดสอบสมบัติของดินดังรูปที่ 3.4 ซึ่งต้องมีข้อมูลที่ครบถ้วน ชัดเจน เพียงพอที่จะสามารถทำการบันทึกข้อมูลดังตารางที่ 3.2 หากข้อมูลไม่ครบถ้วน จะพิจารณาข้อมูลเป็นรายโครงการไป

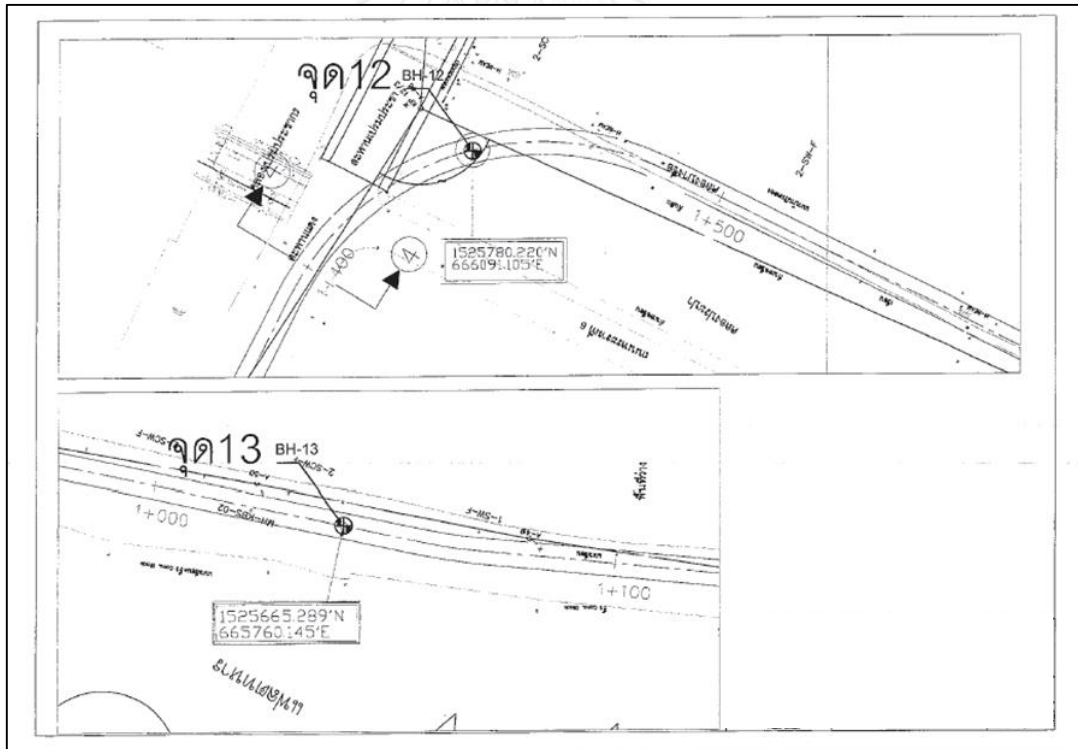
การหาพิกัดของข้อมูลหลุมเจาะ อ้างอิงพิกัดละติจูด และลองจิจูด จากโปรแกรมกูเกิล เอิร์ท (Google Earth) โดยนำชื่อโครงการ สถานที่ก่อสร้าง แผนที่ข้อมูลหลุมเจาะดังรูปที่ 3.5 ไปทำการสืบค้นตำแหน่ง เพื่อหาพิกัดสำหรับใช้ในการบันทึกค่าลงบนฐานข้อมูล



รูปที่ 3.3 คุณลักษณะชั้นดินและสมบัติของดินเมื่อเทียบกับความลึก

DATE		18/06/15		BORING No.		BH-1		JOB No.		S8211		BY		PT		OBSERVED W.L.		-0.80 M.		
SAMPLE No.	DEPTH M.		WATER CONTENT %	ATTERBERG LIMIT %			WET UNIT WEIGHT γ_{wet}	SIEVE ANALYSIS % FINER					CLASSIFICATION	UNDRAINED SHEAR STRENGTH, u/m^2					STANDARD PENETRATION (N) (blow/ft)	
	FROM	TO		LL.	PL.	PI.		No. 3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200		UNCONFINED SHEAR		FIELD VANE SHEAR		UU TEST		POCKET PENETRATION
	Qu/2	Qu'/2		Qv	Qv'	Su		1/2 Q _p												
ST-01	1.50	2.00	47.4	120.3	43.2	77.1	1.68						CH	1.40						
ST-02	4.50	5.00	105.2				1.38						CH							
ST-03	7.50	8.00	86.6				1.44						CH	0.82						
ST-04	10.50	11.00	78.1				1.49						CH	1.15						
ST-05	13.50	14.00	71.8				1.54						CH	2.30					0.5	
ST-06	15.00	15.50	69.5				1.56						CH	2.24					1.3	
ST-07	16.50	17.00	52.2				1.65						CH	3.31					1.3	
ST-08	18.00	18.50	41.4				1.76						CH	3.08					7.5	
SS-09	19.50	19.95	33.9	65.4	23.3	42.1							CH						10.0	10
SS-10	21.00	21.45	20.4										SC							11
SS-11	22.50	22.95	10.1										SC						11.3	14
SS-12	24.00	24.45	18.2				2.13		100	99	86		CL	17.20					18.8	25
SS-13	25.50	25.95	16.1						100	77	17		SM							32
SS-14	27.00	27.45	14.5										SM							38
SS-15	28.50	28.95	15.5					100	97	91	57	9	SM-SP							33
SS-16	30.00	30.45	19.7				2.08						CH						22.5+	25

รูปที่ 3.4 ผลการทดสอบดินจากหลุมเจาะ



รูปที่ 3.5 แผนที่แสดงตำแหน่งและพิกัดของหลุมเจาะ

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลที่ต้องการจัดเก็บ จากรายงานการสำรวจดิน

No	Information	Units
1	Borehole Name	-
2	Borehole Location	UTM Meters
	- Easting	Meters
	- Northing	Meters
3	Elevation (Z)	m
4	Total Depth of Borehole	m
5	Stratigraphy Type	ตารางที่
6	Natural Water Content	%
7	Total Unit Weight	t/m ³
8	SPT	Blow/ft
9	Undrained Shear Strength	t/m ²
10	Field Vane Shear	t/m ²
11	Plastic Limit	%
12	Liquid Limit	%
13	Water Level	m
14	Sample Date	-

3.3 แนวทางการกำหนดมาตรฐานของฐานข้อมูลชั้นดินและสมบัติของดิน

เพื่อให้ข้อมูลหลุมเจาะที่รวบรวมมาจากหลายแหล่ง ได้ถูกจำแนกลักษณะชั้นดินในรูปแบบเดียวกันทั้งหมดในการจัดเก็บและสร้างฐานข้อมูลชั้นดินในรูปแบบเดียวกัน ในงานวิจัยนี้จึงเลือกกำหนดชื่อชั้นดินตามลักษณะการเรียงตัวของชั้นดิน (Stratigraphy) และขอบเขตของชั้นดิน ตามสมบัติด้านกำลังเช่น ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (s_u) หรือค่าการทดสอบกระบอกทะลวงมาตรฐาน (SPT-N) ดังสรุปในตารางที่ 3.3 รายละเอียดของชั้นดินในแต่ละชั้นมีลักษณะดังนี้

1) MG (Made Ground) ชั้นที่มีความแปรปรวน เกิดการแปรสภาพตามธรรมชาติ หรือการถมการบดอัดของมนุษย์ อาจเป็นดินเหนียวหรือทราย มีค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (s_u) ค่าการทดสอบกระบอกทะลวงมาตรฐาน (SPT-N) ไม่นแน่นอน

2) SOC (Very Soft to Soft Clay) ชั้นดินเหนียวอ่อน มีลักษณะทางกายภาพเป็นสีเทา เนื้ออ่อนนุ่ม มีความชื้นสูง เกิดการทรุดตัวคายน้ำได้ง่าย มีกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (s_u) ต่ำ อยู่ที่ไม่เกิน 2.5 ตันต่อตารางเมตร

3) MSC (Medium Stiff Clay) ชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง ชั้นดินนี้ค่อนข้างบาง พบได้ในบางพื้นที่ มีค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (s_u) ระหว่าง 2.5 ถึง 5 ตันต่อตารางเมตร ค่าการทดสอบกระบอกทะลวงมาตรฐาน (SPT-N) 5 – 8 ครั้ง/ฟุต

4) SC (Stiff Clay) ชั้นดินเหนียวแข็ง วางตัวอยู่บนดินทรายอาจมีชั้นทรายปนบ้างเล็กน้อย มีตะกอนสีเหลืองปน มีค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (s_u) ระหว่าง 5 ถึง 10 ตันต่อตารางเมตร ค่าการทดสอบกระบอกทะลวงมาตรฐาน (SPT-N) 9 – 15 ครั้ง/ฟุต

5) FS (1st Sand) ชั้นดินทราย ชั้นทรายชั้นแรก ส่วนใหญ่เป็นทรายแน่นจนถึงแน่นมาก ค่าการทดสอบกระบอกทะลวงมาตรฐาน (SPT-N) มากกว่า 30 ครั้ง/ฟุต

6) VSC (Stiff to Very Stiff Clay) ชั้นดินเหนียวแข็งจนถึงแข็งมาก วางตัวอยู่ทรายสองชั้น มีค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (s_u) ระหว่าง 5 ถึง 20 ตันต่อตารางเมตร ค่าการทดสอบกระบอกทะลวงมาตรฐาน (SPT-N) 9 – 30 ครั้ง/ฟุต

7) SS (2nd Sand) ชั้นดินทราย ส่วนใหญ่เป็นทรายแน่นจนถึงแน่นมาก ค่าการทดสอบกระบอกทะลวงมาตรฐาน (SPT-N) มากกว่า 30 ครั้ง/ฟุต

8) SHC (Very Stiff to Hard Clay) ชั้นดินเหนียวที่มีความแข็งสูง มีค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (s_u) สูงมากกว่า 20 ตันต่อตารางเมตร ค่าการทดสอบกระบอกทะลวงมาตรฐาน (SPT-N) มากกว่า 30 ครั้ง/ฟุต

ตารางที่ 3.3 ลำดับชั้นดินและค่าพารามิเตอร์สำหรับกำหนดชั้นดินแต่ละชั้น

ลำดับ	ชื่อย่อ	ชั้นดิน	s_u (t/m ²)	SPT-N
1	MG	Made Ground หรือ Crust	-	-
2	SOC	Very Soft to Soft Clay	0 – 2.5	0 – 4
3	MSC	Medium Stiff Clay	2.5 – 5	5 – 8
4	SC	Stiff Clay	5 – 10	9 – 15
5	FS	1st Sand	-	> 30
6	VSC	Stiff to Very Stiff Clay	5 – 20	9 – 30
7	SS	2nd Sand	-	> 30
8	SHC	Very Stiff to Hard Clay	> 20	> 30


สมบัติของดินที่ทำการจัดเก็บในฐานข้อมูลดินประกอบไปด้วยสามส่วนหลักคือ สมบัติดัชนี (Index properties) สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) สมบัติทางวิศวกรรม (Engineering properties)

- 1) สมบัติดัชนี ประกอบด้วย ชีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, LL) ชีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL)
- 2) สมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย ความชื้นในมวลดิน (Water Content, W) หน่วยน้ำหนักของดิน (Total Unit Weight, γ_t)
- 3) สมบัติทางวิศวกรรม ประกอบด้วย ค่าการตอกทะลวงมาตรฐาน (SPT) กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ที่ได้จากการทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression test)

3.4 พัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การนำเข้าข้อมูลหลุมเจาะที่ผ่านการคัดกรองตรวจสอบเบื้องต้นสู่ระบบระบบ Borehole Manager ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ RockWorks เพื่อจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลดิน พิจารณาจากข้อมูลสองส่วนหลัก ประกอบด้วย ตารางข้อมูลคุณลักษณะชั้นดิน (Boring Log) และตารางสรุปผลการทดสอบดิน (Summary of test results) ใช้พิจารณาประกอบกันเพื่อบันทึก ทำการกรอกข้อมูลรายละเอียดหลุมเจาะ ได้แก่ Borehole Name ตั้งชื่อเป็นอักษรย่อของชื่อจังหวัด ตามตัวเลขแทนเขตหรืออำเภอของหลุมเจาะ, Horizontal Coordinates พิกัดของหลุมเจาะเมื่อใส่ค่าแล้วให้แสดงตำแหน่งบนโปรแกรม Google Earth ที่เชื่อมโยงกันอยู่เพื่อตรวจสอบ ความถูกต้องของพิกัดหลุมเจาะ และ Total Depth ค่าความลึกของกันหลุมเจาะ ดังรูปที่ 3.6 (ก) โดยจะมีการบันทึกรายละเอียดโครงการ วันที่ทำการเจาะสำรวจ ชื่อผู้ทำการทดสอบ และแหล่งที่มาขอข้อมูลไว้ด้วยไว้ด้วย ดังรูป ดังรูปที่ 3.6 (ข) และ(ค)ตามลำดับ

Borehole Location Information

Borehole Name* CCS-03010-1 Symbol 

Collar Coordinates | Comments | Other Coords | Optional

Horizontal: UTM Meters, Datum: WGS-84 (NAD-83), Zone: 47

Easting* 712,142.8 Meters

Northing* 1,544,990.73 Meters

Vertical: Meters

Z (Elevation)* 0.0 Meters

Collar Elevation* 0.0 Meters

Total Depth* 30.45 Meters

* Required fields.

(ก)

Collar Coordinates | Comments | Other Coords | Optional

ก่อสร้างสถานีสำรวจจุดรต่าบหลุมเพติ
ต.ตอณิมเพติ อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา

(ข)

Collar Coordinates | Comments | Other Coords | Optional

Source

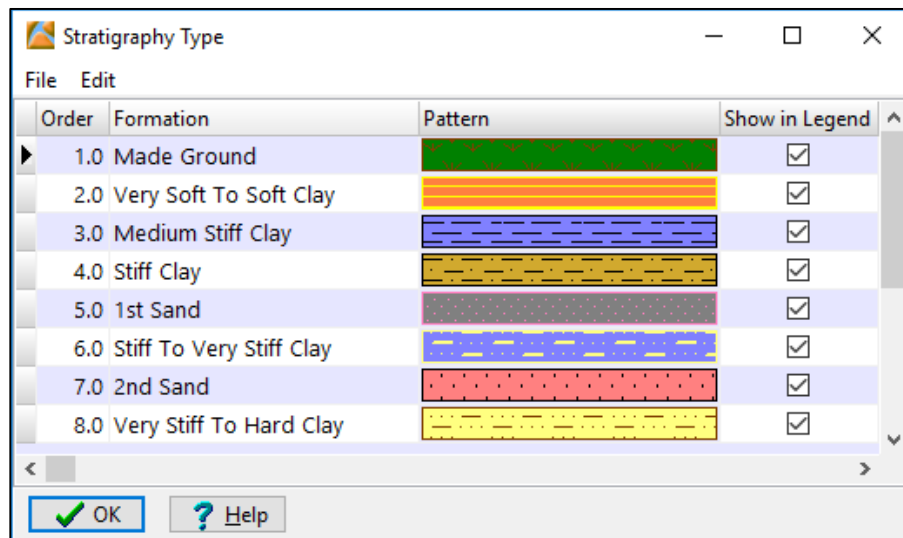
Made By นายเกษม พันธศรี, นายชูนนุฒ ปิ่นเงิน

Date 01/_1/08

(ค)

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดหลุมเจาะ

การจัดเก็บข้อมูลชั้นดินตามความลึก โดยมีการเรียงตัวของดินตามระดับความลึกตามลักษณะชั้นดินกรุงเทพ ดังรูปที่ 3.7 โดยอาศัยข้อมูลตารางข้อมูลคุณลักษณะชั้นดิน (Boring Log) ควบคุมพิจารณาค่าการทดสอบในห้องทดลองจากรายการสรุปผลการทดสอบดิน (Summary of test results) ตัวอย่างการจัดเก็บดังรูปที่ 3.8 หากบางค่าข้อมูลความลึกไม่เหมาะสม ให้พิจารณาจากหลุมเจาะข้อมูลของพื้นที่ข้างเคียง



รูปที่ 3.7 การกำหนดชื่อลำดับชั้นดินภายในโปรแกรมจัดเก็บฐานข้อมูล

Depth to Top	Depth to Base	Formation
0.0	1.0	Made Ground
1.0	15.0	Very Soft To Soft Clay
15.0	16.0	Medium Stiff Clay
16.0	21.0	Stiff Clay
21.0	29.5	1st Sand
29.5	30.45	Stiff To Very Stiff Clay

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลการเรียงตัวชั้นดินและความลึก

สมบัติของดินจากผลการทดสอบชั้นดินจากตารางสรุปผลการทดลอง นำมาจัดเก็บข้อมูลใน I-Data (Intervals) เพื่อจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลของหลุมเจาะ แต่ละหลุมจัดเก็บสมบัติของดินตามความลึกต่าง ๆ ตามสำเนาข้อมูลหลุมเจาะที่ได้ทำการรวบรวม โดยทำการจัดเก็บพารามิเตอร์ดังรูปที่ 3.9 ประกอบไปด้วยค่าความลึกของชั้นที่ทำการเก็บดินมาทดสอบ ค่าสมบัติดัชนี คือค่าชี้จำกัดเหลว ค่าขีดจำกัดพลาสติก ที่จะทดสอบกับดินเหนียว ค่าสมบัติทางกายภาพ คือค่าความชื้นในมวลดิน ค่าหน่วยน้ำหนักของดิน และค่าสมบัติทางวิศวกรรม กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ ของดินเหนียว ค่าการตอกทะลวงมาตรฐานของชั้นดินแข็ง โดยพารามิเตอร์ทั้งหมดถูกกำหนดด้วยค่าต่ำสุดและสูงสุดดังตารางที่ 3.4 เพื่อเป็นการสอบทานค่าเบื้องต้นก่อนนำไปวิเคราะห์

Depth to Top	Depth to Base	Water content (%)	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Total unit weight (t/m ³)	Su (UC) (t/m ²)	SPT (blows/foot)
3.0	3.5	57.9	70.0	30.0	1.85	1.24	
6.0	6.5	58.6	65.0	25.0	1.73	4.32	
7.5	8.0	80.7	80.0	35.0	1.56	4.77	
9.0	9.5	82.2	85.0	35.0	1.53	5.47	
10.5	11.0	50.1	75.0	25.0	1.69	6.89	
12.0	12.5	34.9	40.0	20.0	1.88	6.52	
13.5	14.0	64.9	80.0	35.0	1.65	6.14	
15.0	15.45	24.7	42.0	20.0	2.04		19.0
16.5	16.95	29.2	55.0	25.0	2.01		21.0
18.0	18.45	38.1	75.0	30.0			19.0
19.5	19.95	28.1			2.18		26.0
21.0	21.5						37.0
22.5	22.95	21.8			2.17		29.0
24.0	24.45	28.0			2.09		23.0
25.5	25.95	23.8					55.0
27.0	27.5	28.3					75.0
28.5	28.95	28.3					67.0
30.0	30.45	25.0					150.0
31.5	31.95	29.1					86.0
33.0	33.45						150.0
34.5	34.95	24.3					150.0
36.0	36.45	19.0					67.0
37.5	37.95	18.8					55.0
39.0	39.45	18.8			2.02		75.0
39.55	40.0	27.1	30.0	20.0	2.19		67.0
42.0	42.45	18.1			2.21		75.0
43.5	43.45	19.5			2.22		35.0
45.0	45.45	18.6			2.13		60.0

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลสมบัติของดินจากตารางสรุปผลการสอบในแต่ละหลุม

ตารางที่ 3.4 ขอบเขตของข้อมูลสมบัติดิน

No	Information	Code Name	Minimum Value	Maximum Value	Units
1	Liquid Limit	LL	10	120	%
2	Plastic Limit	PL	< LL		%
3	Natural Water Content	W	10	200	%
4	Total Unit Weight	γ_t	1.1	2.5	t/m ³
5	Undrained Shear Strength	s_u	0	50	t/m ²
6	SPT-N Value	SPT	< 50		Blow/ft

3.4 วิเคราะห์ประมวลผล

วิเคราะห์ชั้นดิน ออกมาในสองรูปแบบคือความหนาของชั้นดิน (Stratigraphic Thickness Maps) และความลึกของชั้นดิน (Stratigraphic Structure Maps) ของดินแต่ละชนิด คือ ความหนาของชั้น Made Ground หรือ Crust ชั้น Very Soft To Soft Clay ชั้น Medium Stiff Clay ชั้น Stiff Clay ชั้น 1st Sand ชั้น Stiff To Very Stiff Clay ชั้น 2nd Sand แสดงในรูปแบบเส้นชั้นความสูง (Contour) พร้อมทำการสร้างแบบจำลองสามมิติแสดงการเรียงตัวของชั้นดินแต่ละบริเวณตามระดับความลึก

สมบัติของดิน ที่ได้ทำการบันทึกลงในระบบจัดเก็บข้อมูล นำมาสร้าง แผนที่สองมิติ (2-dimensional map) แสดงถึงค่าสมบัติของดิน โดยประมาณ ตามหน้าตัดในแนวราบที่ต้องการ ในรูปสีและเส้นชั้นความสูง (Contour) หรือทำการตามหน้าตัดในแนวตั้งเพื่อแสดงรูปภาพหน้าตัดสมบัติของดินตามความลึกในแนวตั้งของพิกัดที่ต้องการทราบข้อมูล เพื่อใช้ในการออกแบบเสาเข็มต่อไปตามต้องการ

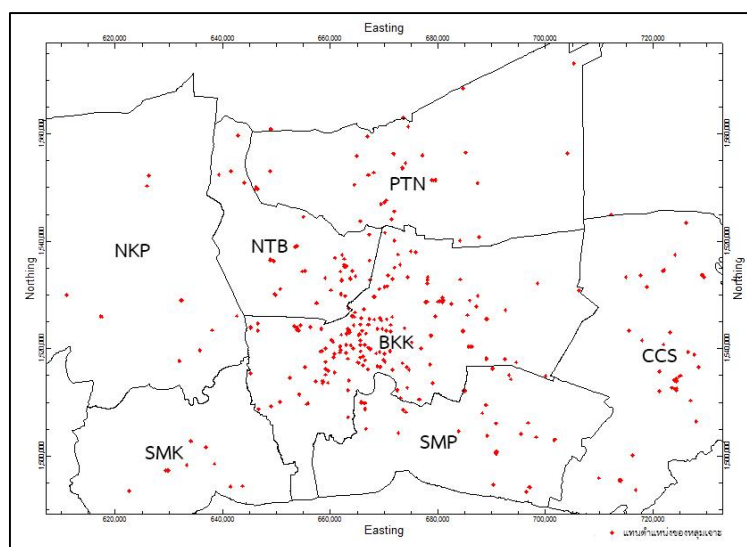
3.5 ฐานข้อมูลชั้นดิน

จากการสร้างฐานข้อมูลหลุมเจาะที่ทำการจัดเก็บได้มาจากแหล่งต่างๆอันประกอบด้วย บริษัท เจนเนอรัล เอนจิเนียริง จำกัด (มหาชน) กรมโยธาธิการและผังเมือง การไฟฟ้าานครหลวง และ แหล่งข้อมูลอื่น ทั้งหมดจำนวน 496 หลุมเจาะ โดยจำแนกที่มาดังตารางที่ 3.5 โคนจะเห็นว่าข้อมูล ส่วนใหญ่นั้น หนาแน่นในบริเวณกรุงเทพฯ และกระจายตัวในบริเวณปริมณฑล ในเขตที่มีความเจริญ และแหล่งชุมชน ดังในรูปที่ 3.10 เป็นพื้นที่ขนาดความยาวด้านลองจิจูด 120 กิโลเมตร ด้านละติจูด 82 กิโลเมตร เนื่องจากจังหวัดฉะเชิงเทรามีพื้นที่ขนาดใหญ่กว้างไปถึงบริเวณชลบุรี จึงพิจารณาเฉพาะ พื้นที่ใกล้กับกรุงเทพซึ่งประกอบด้วย อำเภอเมืองฉะเชิงเทรา บางน้ำเปรี้ยว บางประกง และบ้านโพธิ์

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลหลุมเจาะจำแนกตามเขตจังหวัดและแหล่งที่มาของข้อมูล

ลำดับ	ชื่อจังหวัด	ชื่อย่อ	แหล่งที่มาของข้อมูลดิน				รวม
			GEL	MEA	DPT	แหล่งอื่นๆ	
1	กรุงเทพมหานคร	BKK	9	54	184	7	254
2	สมุทรปราการ	SMP	2	-	37	5	44
3	นนทบุรี	NTB	7	-	51	-	58
4	ปทุมธานี	PTN	7	-	39	-	46
5	ฉะเชิงเทรา*	CCS	-	-	62	-	62
6	นครปฐม	NKP	-	-	18	-	18
7	สมุทรสาคร	SMK	5	-	9	-	14
รวม			30	54	400	12	496

*พื้นที่บางส่วนของจังหวัดฉะเชิงเทรา ได้แก่ อำเภอเมือง ,บางน้ำเปรี้ยว

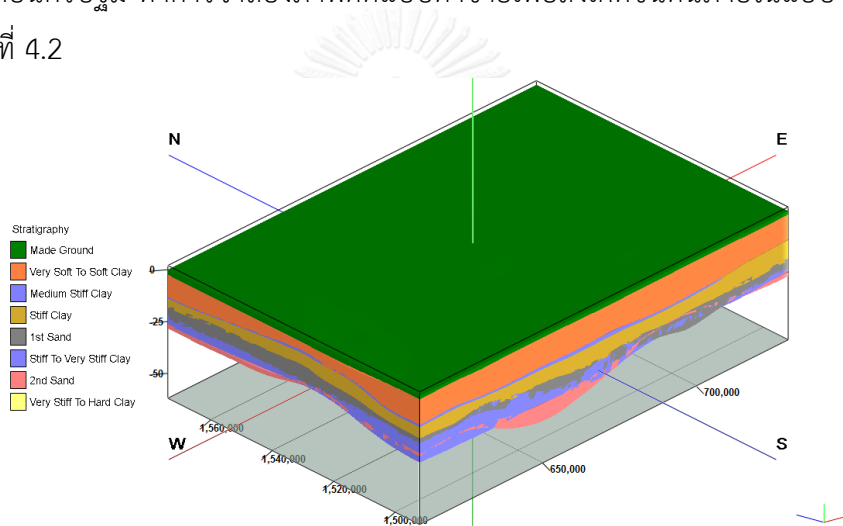


รูปที่ 3.10 ตำแหน่งหลุมเจาะในระบบฐานข้อมูล

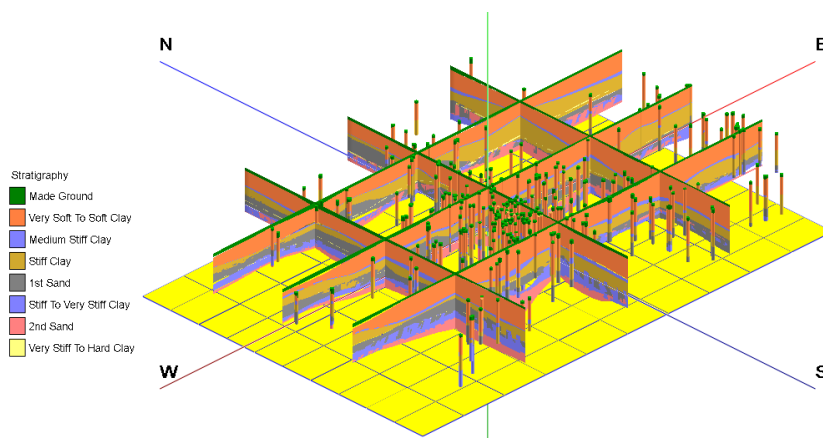
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 แบบจำลองชั้นดิน

ผลจากการดำเนินงานเก็บรวบรวมข้อมูลหลุมเจาะจากแหล่งต่างๆ จำนวน 496 หลุมเจาะตั้งรูปที่ 3.10 และทำการจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลสมบัติชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ เมื่อนำมาสร้างแบบจำลองความหนาของชั้นดินตามการเรียงตัวดังรูปที่ 4.1 ซึ่งมีขนาดพื้นที่ 10,080 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมทั้งหมด 7 จังหวัด โดยทิศเหนือคือจังหวัดปทุมธานี ทิศใต้คือสมุทรปราการ ตะวันออก ฉะเชิงเทรา ตะวันตกคือนครปฐม ทำการจำลองภาพตัดแบบตาข่ายเพื่อสังเกตชั้นดินภายในแบบจำลองสามมิติเป็นดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แบบจำลองความหนาชั้นดินแบบ Stratigraphy



รูปที่ 4.2 ภาพตัดสามมิติจำลองความหนาชั้นดินและตำแหน่งของแต่ละหลุมเจาะ

4.1.1 การสร้างแผนภาพความหนาของชั้นดิน

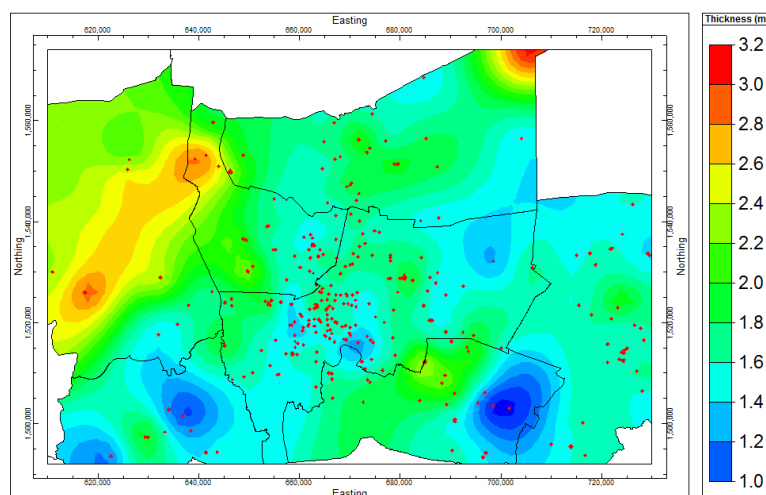
ฐานข้อมูลดินเบื้องต้นสามารถนำไปสร้างแผนภาพความหนาของชั้นดินแต่ละชนิดได้ ดังรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.7 แสดงความหนาของชั้น MG SOC MC SC และ FS ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังนี้
ชั้นดิน MG ในบริเวณกรุงเทพฯพบความหนาอยู่ที่ประมาณ 2 เมตร แล้วแต่พื้นที่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินถม ตามด้วย

ชั้นดิน SOC มีความหนาเฉลี่ยประมาณ 8 – 15 เมตร โดยบริเวณค่อนข้างไปทางอ่าวไทยได้แก่ สมุทรปราการ สมุทรสาคร บางเขตของกรุงเทพฯ ได้แก่ เขตจอมทอง ราษฎร์บูรณะ คลองเตย วัฒนา บางนา มีชั้นดินนี้หนาประมาณ 13 - 15 เมตร ถัดไปทางทิศเหนือจะมีความหนาของชั้นดินเหนียว บางลง บางส่วนนครปฐมพบชั้นดินเหนียวบางถึง 4 – 5 เมตร จากนั้นอาจพบ

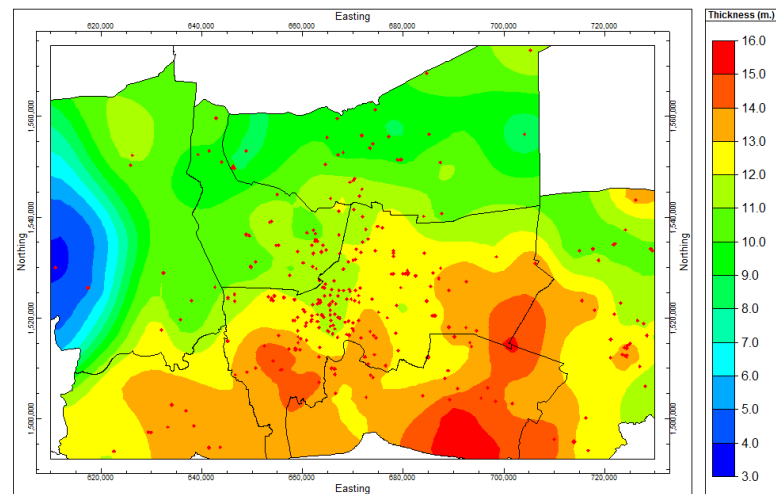
ชั้น MC บริเวณปทุมธานี ทิศเหนือของนนทบุรี และนครปฐม พบชั้นนี้มีความหนาน้อยกว่าหนึ่งเมตร นนทบุรี สมุทรปราการ กรุงเทพฯและพื้นที่ใกล้เคียง พบชั้นดินนี้หนาประมาณ 2 เมตร พบว่าชั้น MC นี้มีความบางมาก มีบางจุดเท่านั้นที่จะหนาถึง 3 เมตร และไม่พบชั้นดินนี้เลยในบางพื้นที่

ชั้น SC กรุงเทพฯและสมุทรปราการ มีความหนา 6 – 9 เมตร บริเวณฝั่งตะวันตกของแผนที่พบดินชั้นนี้บางต่ำกว่า 5 เมตร ฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือพบชั้นนี้หนามากกว่า 10 เมตร

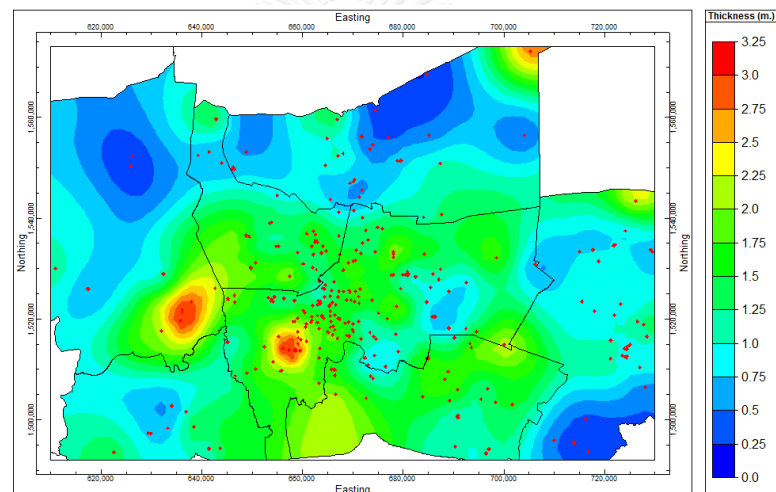
พบชั้น FS มีความหนาประมาณ 7 – 8 เมตร มีบางบริเวณพบว่ามีความหนาถึง 10 เมตร และบางส่วนทางทิศใต้มีชั้นทรายบางมาก ลึกกว่านั้น ข้อมูลยังมีไม่เพียงพอที่จะสามารถประมาณค่าความลึกได้ เนื่องจากข้อมูลการเจาะสำรวจดินส่วนมากหยุดที่ประมาณ 30 เมตร ซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับชั้นทราย



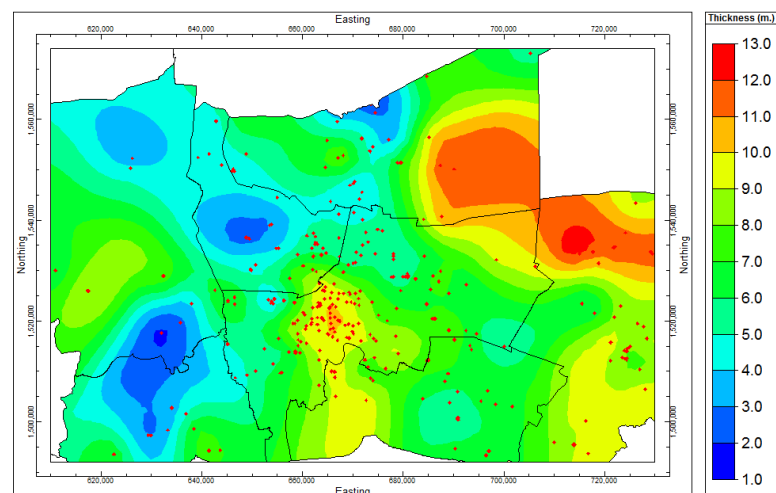
รูปที่ 4.3 ภาพความหนาของชั้น Made Ground



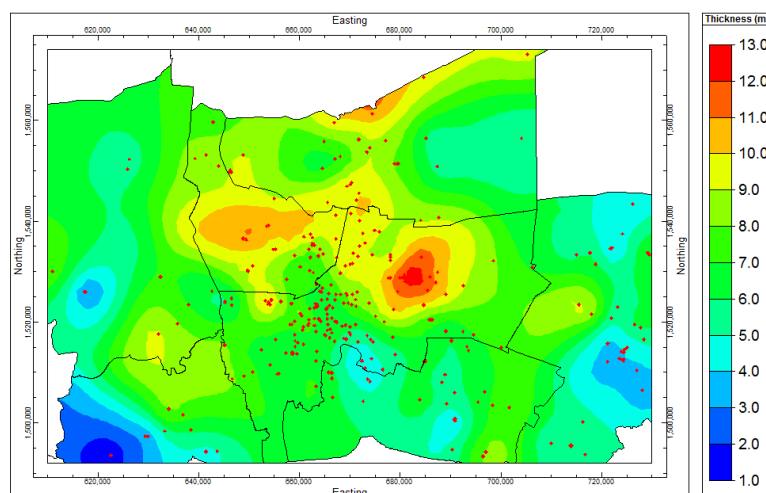
รูปที่ 4.4 ภาพความหนาของชั้น Very Soft to Soft Clay



รูปที่ 4.5 ภาพความหนาของชั้น Medium Stiff Clay



รูปที่ 4.6 ภาพความหนาของชั้น Stiff Clay



รูปที่ 4.7 ภาพความหนาของชั้น 1st Sand

4.1.2 การสร้างเส้นชั้นความลึกของชั้นดิน

ทำการสร้างเส้นชั้นความลึกของชั้นบนของดินแต่ละชนิดจากฐานข้อมูลดินดังรูปที่ 4.8 ถึง รูปที่ 4.12 แสดงเส้นชั้นความลึกของชั้น SOC MC SC FS และ VSC ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

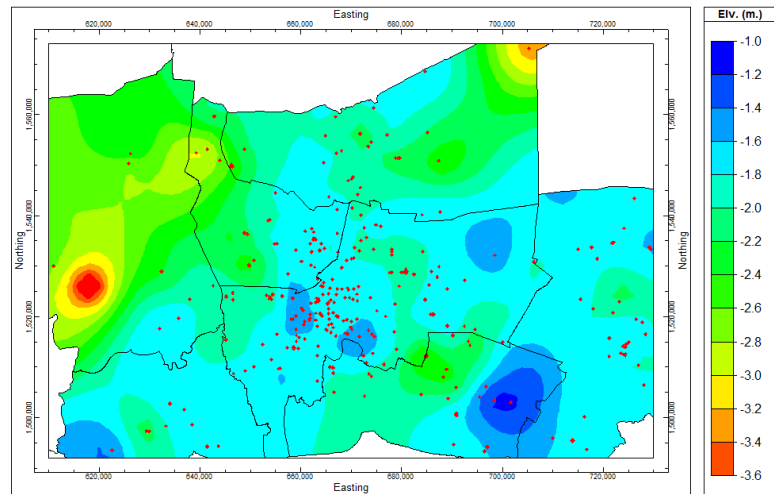
ชั้น SOC พบที่ความลึกประมาณ 1 – 3 เมตร กรุงเทพฯ สมุทรปราการ ฉะเชิงเทรา สมุทรสาคร เริ่มพบที่ประมาณ 1.5 เมตรจากระดับผิวดิน นครปฐม นนทบุรี ปทุมธานี ประมาณ 2 – 3 เมตร

ชั้น MC เริ่มพบที่ประมาณ 10 – 15 เมตร นครปฐมฝั่งตะวันตกพบที่ลึก 6 เมตร ปทุมธานี นนทบุรี ส่วนบนของฉะเชิงเทรา นครปฐมฝั่งที่ติดนนทบุรี พบที่ความลึกประมาณ 12 เมตร ส่วนใหญ่ที่ใต้พบลึก ประมาณ 15 เมตร

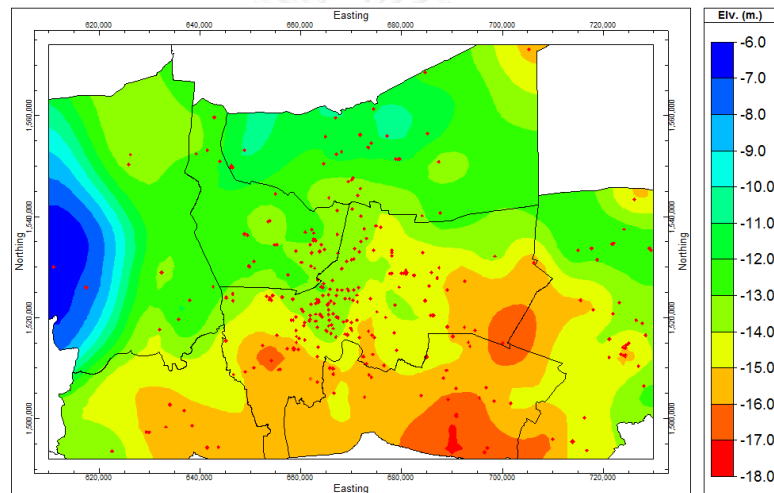
ชั้น SC ซึ่งเป็นชั้นที่ใช้ในการรับของปลายเสาเข็มในการก่อสร้างที่พักอาศัยขนาดกลางนั้น ในบริเวณปทุมธานี นนทบุรีและนครปฐมส่วนที่ติดกัน ฉะเชิงเทรา พบที่ความลึกประมาณ 13 – 14 เมตร ใต้ลงไปพบที่ลึกประมาณ 17 เมตร

พบชั้น FS ที่ระดับความลึกต่างๆ กันไปตามพื้นที่ ส่วนใหญ่ชั้นนี้ใช้ในการรับของของเสาเข็มในการก่อสร้างนั้น ด้านเหนือพบที่ความลึกประมาณ 14 – 18 เมตร บริเวณด้านใต้พบต่ำกว่า 23 เมตร ลงไป

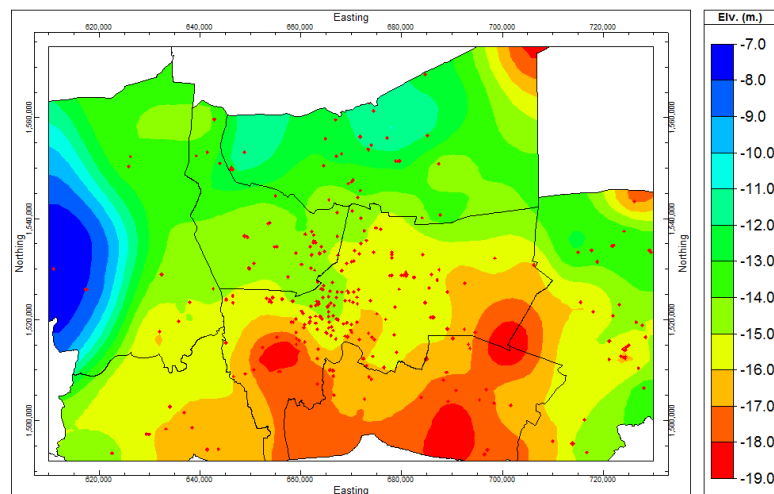
สำหรับชั้น VSC นครปฐม สมุทรสาคร พบที่ ลึกประมาณ 22 เมตร กรุงเทพฯ และพื้นที่ใกล้เคียงพบที่ความลึก 27 เมตร ชั้น SS หรือลึกกว่านั้น ข้อมูลยังมีไม่เพียงพอที่จะสามารถประมาณค่าความลึกได้ เนื่องจากข้อมูลการเจาะสำรวจดินส่วนมากจำกัดอยู่ที่ประมาณ 30 เมตร



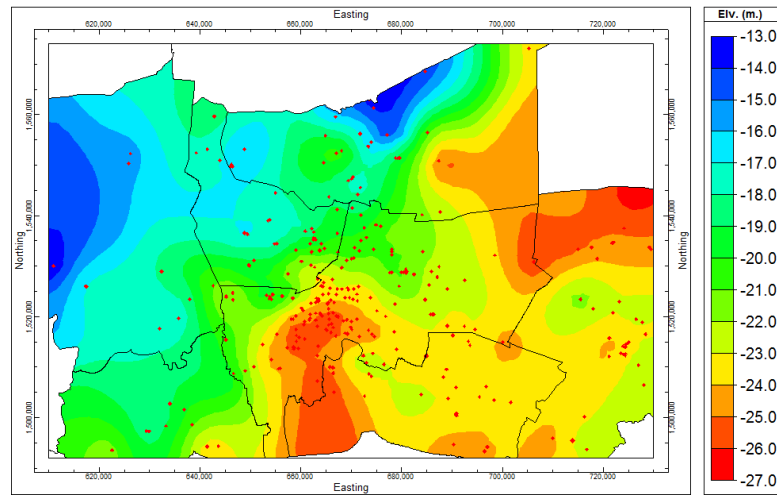
รูปที่ 4.8 ภาพชั้นความลึกด้านบนของชั้นดินเหนียว Soft to Very Soft Clay



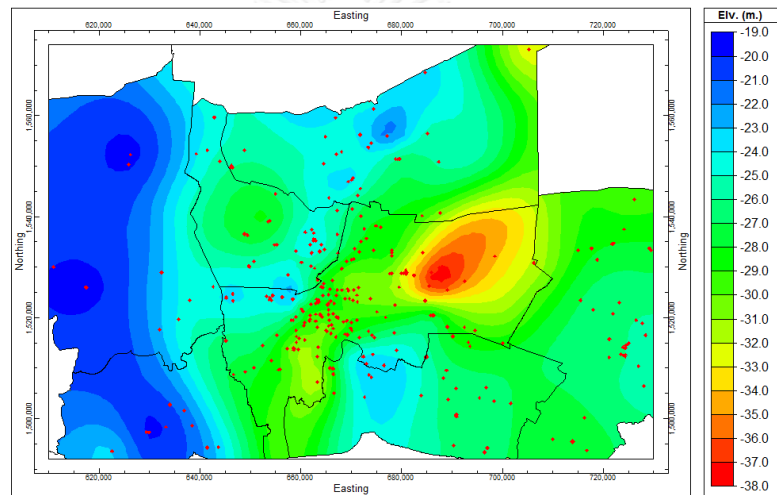
รูปที่ 4.9 ภาพชั้นความลึกด้านบนของชั้นดินเหนียว Medium Stiff Clay



รูปที่ 4.10 ภาพชั้นความลึกด้านบนของชั้นดินเหนียว Stiff Clay



รูปที่ 4.11 ภาพชั้นความลึกของชั้นดินทราย 1st Sand

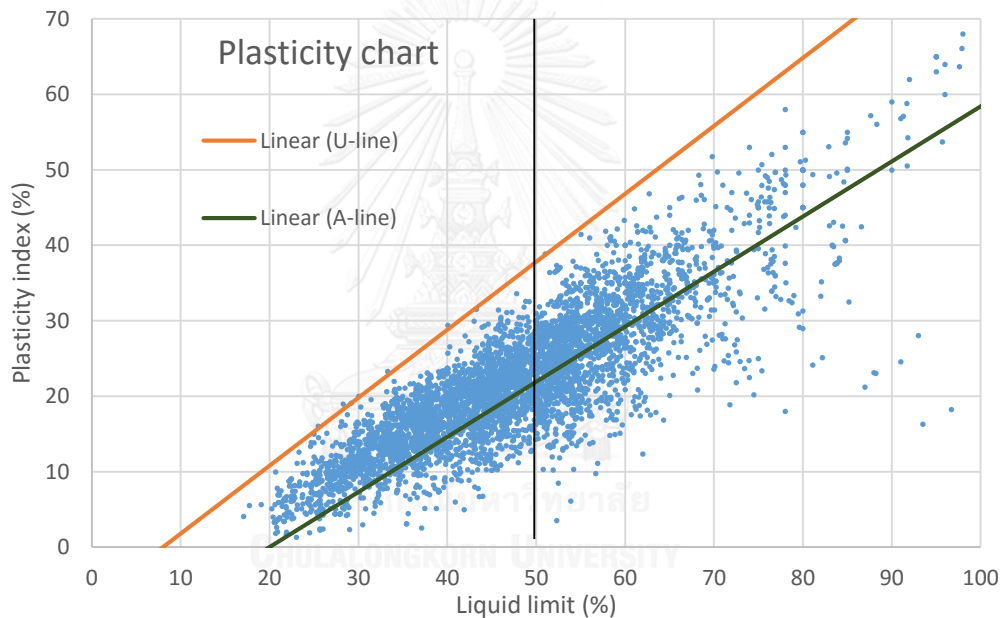


รูปที่ 4.12 ภาพชั้นความลึกด้านบนของชั้นดินเหนียว Stiff to Very Stiff Clay

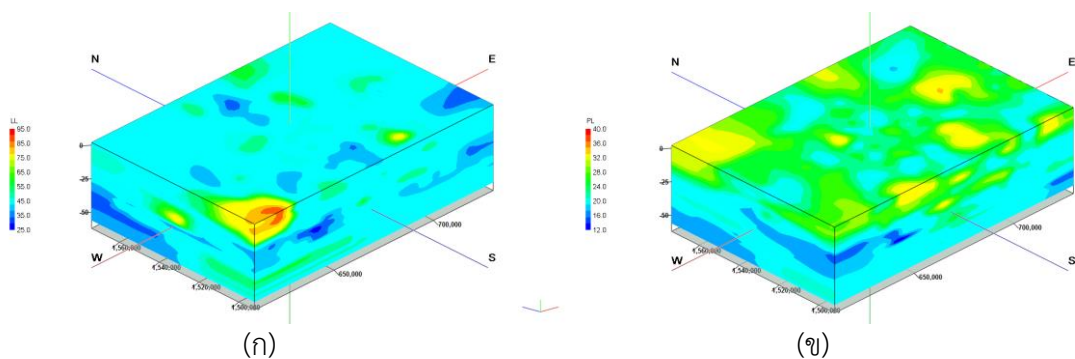
4.2 ข้อมูลสมบัติของดินจากฐานข้อมูล

สมบัติดัชนี (Index properties)

จากฐานข้อมูลดินสามารถนำไปสร้างเป็นแบบจำลองสามมิติของค่าขีดจำกัดพลาสติก ขีดจำกัดเหลวดังรูปที่ 4.14 นำค่าขีดจำกัดพลาสติกและขีดจำกัดเหลว ทั้งหมด 5,022 ชุดข้อมูล ถูกใช้คำนวณค่าดัชนีพลาสติก และพล็อตค่าลงบนแผนภูมิพลาสติกซีดี ที่ประกอบไปด้วยเส้น A line และ U line ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งค่าทั้งหมดอยู่ใต้เส้น U line ถือเป็น การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในอีกทางหนึ่งด้วย โดยประมาณร้อยละ 70 อยู่เหนือเส้น A line เป็นดินเหนียว และที่เหลือเป็นทรายแป้ง เป็นกลุ่มค่าข้อมูลที่มีค่าขีดจำกัดเหลวต่ำกว่า 50 % อยู่ประมาณร้อยละ 60 สูงกว่า 50 % ประมาณร้อยละ 40



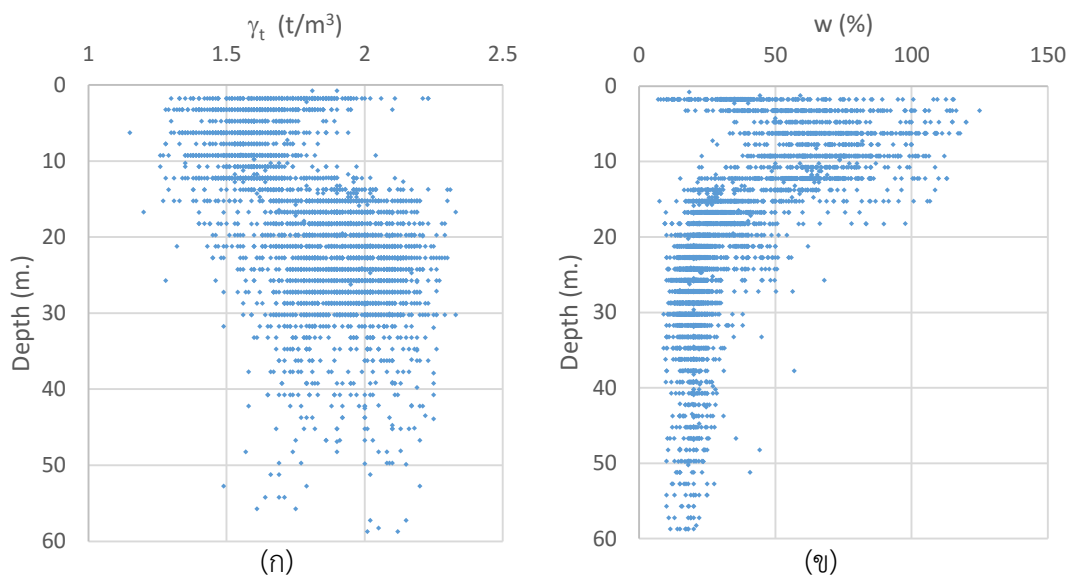
รูปที่ 4.13 แผนภูมิพลาสติกซีดี ของข้อมูลดิน บนเส้น A-line และ U-line



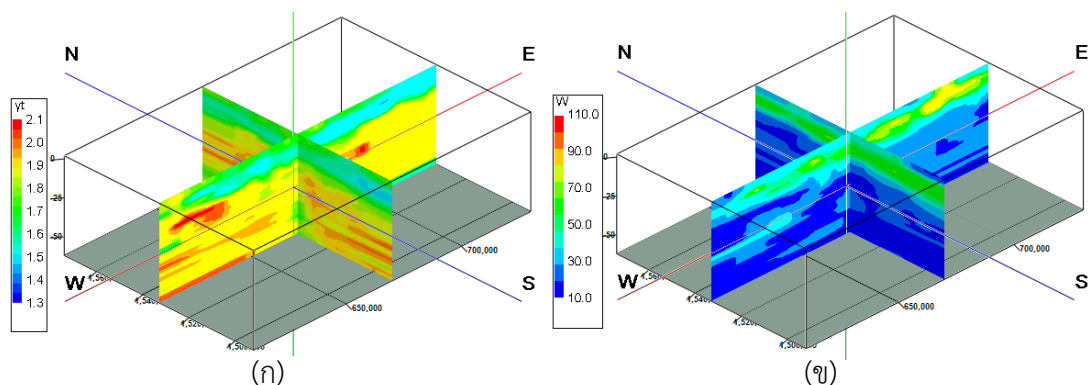
รูปที่ 4.14 แบบจำลองสามมิติจากฐานข้อมูลดินของข้อมูลดินของขีดจำกัดเหลว (LL) (ก) และ ขีดจำกัดพลาสติก (PL) (ข)

สมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากฐานข้อมูลดินทั้งหมดของข้อมูลหน่วยน้ำหนักของดินทั้งหมด 7,158 ชุดข้อมูล พบค่าสูงสุด 2.33 ตัน/ลบ.ม. ต่ำสุด 1.12 ตัน/ลบ.ม. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.82 ตัน/ลบ.ม. ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) 0.23 ตัน/ลบ.ม. โดยมีการกระจายตัวดังรูปที่ 4.15 (ก) ช่วงบนที่เป็นชั้นดินอ่อนมีหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าช่วงล่างที่เป็นชั้นดินแข็ง และผลจากค่าปริมาณความชื้นของมวลดินที่จัดเก็บในระบบฐานข้อมูลจำนวน 8,354 ชุดข้อมูล พบค่าสูงสุด 131 % ต่ำสุด 6.75 % โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.6 (%) โดยพบว่าระหว่าง 20 เมตรแรก มีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูงเนื่องจากเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน และมีความแปรปรวนมากกว่าระดับต่ำกว่า 20 เมตรลงไป ที่มีค่าอยู่ในช่วง 10 – 30 % ตามรูปที่ 4.15 (ข)



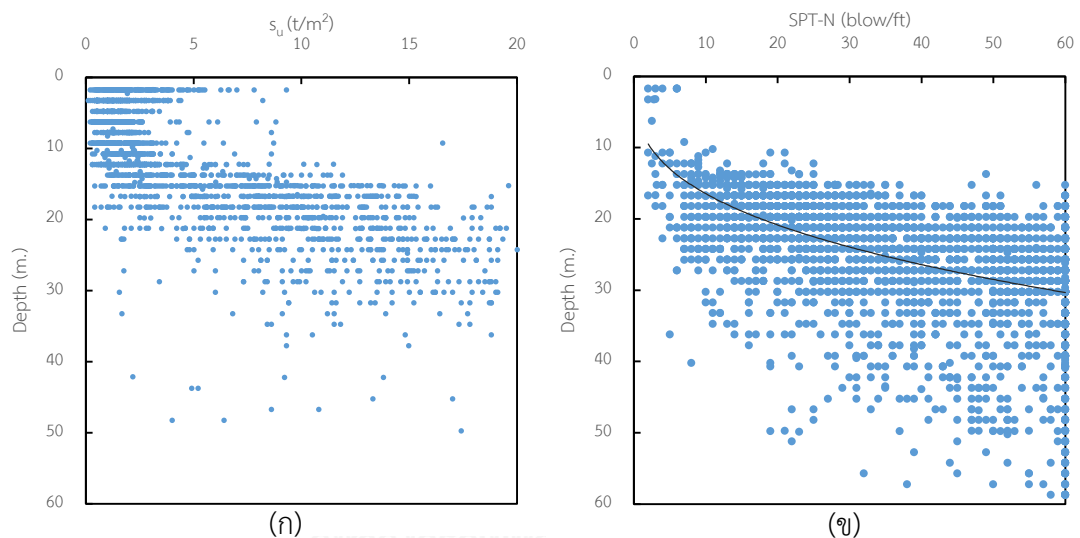
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของค่าหน่วยน้ำหนักของดิน (ก) และปริมาณความชื้นในมวลดิน (ข) ตามความลึกของชั้นดิน



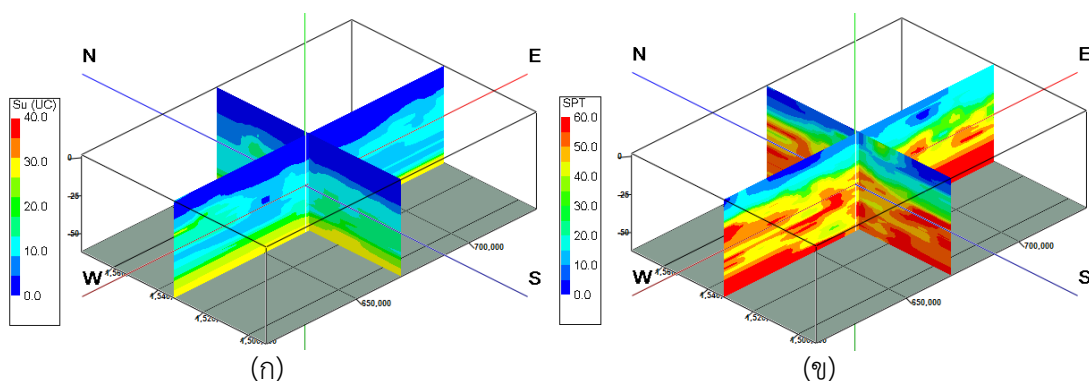
รูปที่ 4.16 ภาพตัดจากแบบจำลองสามมิติจากฐานข้อมูลดินของค่าหน่วยน้ำหนักของดิน (ก) และปริมาณความชื้นในมวลดิน (ข)

สมบัติทางวิศวกรรม (Engineering properties)

ค่าข้อมูลของกำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ที่ได้จากการทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) ค่าการตอกทะลวงมาตรฐาน (SPT) เมื่อนำสร้างกราฟความสัมพันธ์กับความลึกดังรูปที่ 4.17 พบว่า ค่ากำลังรับแรงเฉือน ที่ผิวดินนั้นมีค่าสูง และลดลงเมื่อเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน มีค่าไม่เกิน 2.5 t/m^2 ความลึกต่ำลงไปจะค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ เพราะเป็นชั้นดินที่แข็งมากขึ้น และค่าจากการทดสอบเริ่มมีข้อมูลน้อยลง เพราะชั้นดินแข็งและทรายเป็นจำนวนมากไม่ได้ทำการทดสอบนี้ สำหรับค่า SPT นั้นช่วง 10 เมตรแรก ข้อมูลจะน้อยเนื่องจากเป็นชั้นดินอ่อน และหลังจากความลึก 10 เมตร ค่าเริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 5 – 60 ครั้งต่อฟุต เห็นได้ชัดเจนในภาพตัดจากแบบจำลองสามมิติดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (ก) และค่าการตอกทะลวงมาตรฐาน (ข) ตามความลึกของชั้นดิน

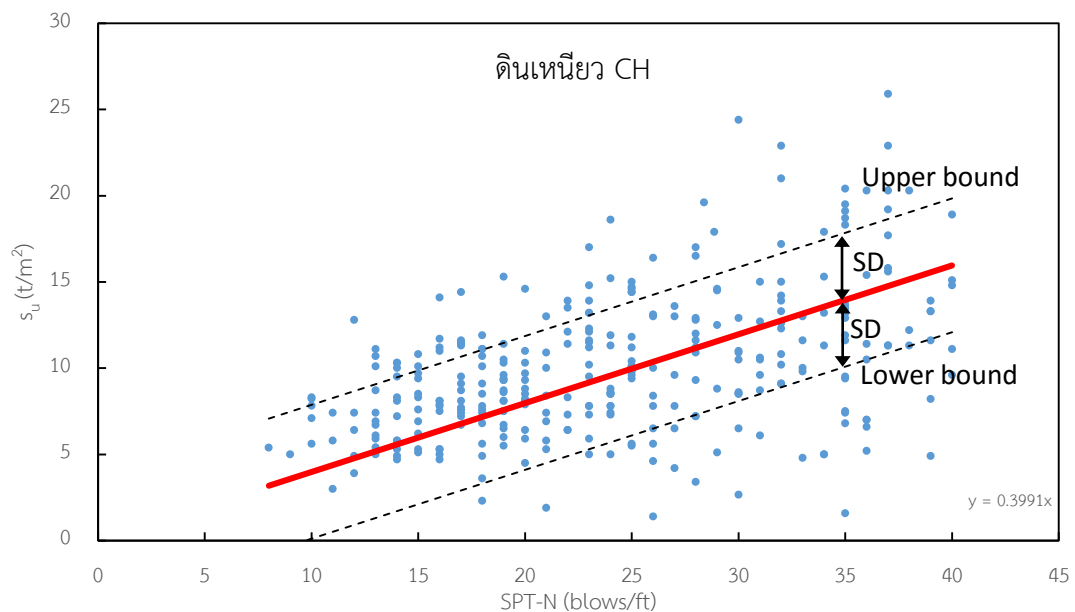


รูปที่ 4.18 ภาพตัดจากแบบจำลองสามมิติจากฐานข้อมูลดินของกำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (ก) และค่าการตอกทะลวงมาตรฐาน (ข)

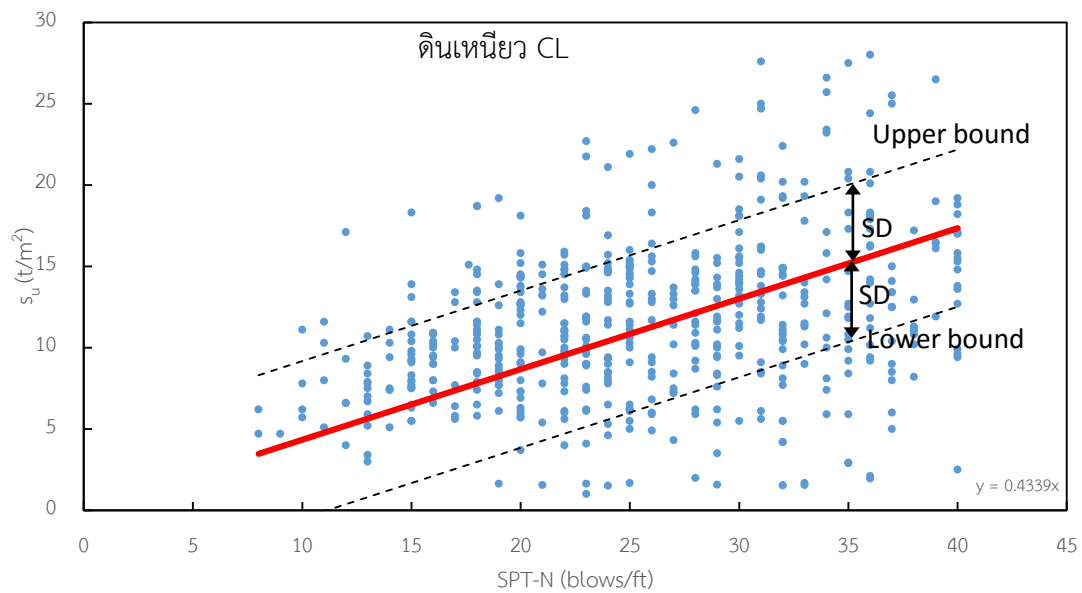
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตอกทะลวงมาตรฐาน (SPT) กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ที่ได้จากการทดสอบแรงอัดแกนเดียว ของดินเหนียวที่ระดับความลึก 14 – 25 เมตร จากสมบัติของดินที่ทำการรวบรวมไว้ในเฉพาะบริเวณกรุงเทพฯ ดินเหนียว CH จำนวนข้อมูลทั้งหมด 314 ชุดข้อมูล ดินเหนียว CL จำนวนข้อมูลทั้งหมด 555 ชุดข้อมูล ดังภาคผนวก ก พิจารณาแยกประเภทเป็นดินเหนียว CH และ CL ตามแผนภูมิพลาสติกซิตี (Plasticity Chart) โดยค่า SPT อยู่ระหว่าง 8 – 40 ครั้งต่อฟุต และ s_u ในหน่วยตันต่อตารางเมตร โดยค่าการทดสอบได้จากการเก็บตัวอย่างแบบกระบอกบาง ดังรูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.20 และเมื่อวิเคราะห์ด้วยสมการเชิงเส้นแบบถดถอย แบบตัดจุดกำเนิด โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง SPT-N กับ s_u ของดินเหนียว ในเขตกรุงเทพฯ

ดินประเภท	สมการเส้นตรง	R^2	SD
CH	$s_u = 0.399N$	0.873	3.882
CL	$s_u = 0.434N$	0.853	4.832



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง SPT-N กับ s_u ของดินเหนียว CH แบบตัดจุดกำเนิด



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง SPT-N กับ s_u ของดินเหนียว CL แบบตัดจุดกำเนิด

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของพลาสติกซิตี ที่ความลึก 14 -25 เมตร ของดินเหนียว CH เท่ากับ 32 % ของดินเหนียว CL เท่ากับ 18 % ไปหาความสัมพันธ์ของ SPT กับ กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ ด้วยความสัมพันธ์เชิงประสบการณ์ของ สตราวท์ (Stroud, 1974) และ เคลย์ตัน (Clayton, 1990) และสมการจากงานวิจัยของวีรนนท์ (วีรนนท์ ปิตุปกรณ์, 2526) ในหน่วย ตันต่อตารางเมตร ดังตารางที่ 4.2 พบว่างานวิจัยในครั้งนี้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับความสัมพันธ์เชิงประสบการณ์ของสตราวท์และเคลย์ตัน และมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของสตราวท์

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง SPT-N กับ s_u ของดินเหนียว CH ,CL ของงานวิจัยอื่นๆ

ผลการศึกษาจาก	CH	CL
สตราวท์ (Stroud,1974)	$s_u = 0.444N$	$s_u = 0.568N$
เคลย์ตัน (Clayton,1990)	$s_u = 0.364N_{60}$	$s_u = 0.466N_{60}$
วีรนนท์ (วีรนนท์ ปิตุปกรณ์, 2526)	$s_u = 0.685N$	$s_u = 0.520N$
งานวิจัยนี้	$s_u = 0.399N$	$s_u = 0.434N$

จากผลการสร้างแบบจำลองชั้นดิน สร้างแผนภาพชั้นความหนา เส้นชั้นความลึกของชั้นดิน และทำการวิเคราะห์ข้อมูลสมบัติของดิน โดยการตัดภาพทั้งในแนวนอน และแนวตั้ง นำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์กับความลึกของชั้นดิน พบว่าความลึกของชั้นดินแต่ละชนิด และสมบัติทางวิศวกรรม มีค่าแตกต่างกันไปตามแต่ละพื้นที่ เนื่องจากฐานข้อมูลมีขนาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ถึง 10,080 ตารางกิโลเมตร จึงทำการสรุปค่าความลึกที่พบชั้นดิน ความหนาของชั้นดิน และสมบัติทางวิศวกรรม แบ่งออกตามพื้นที่จังหวัดทั้งหมด 7 จังหวัด ดังตารางที่ 4.3

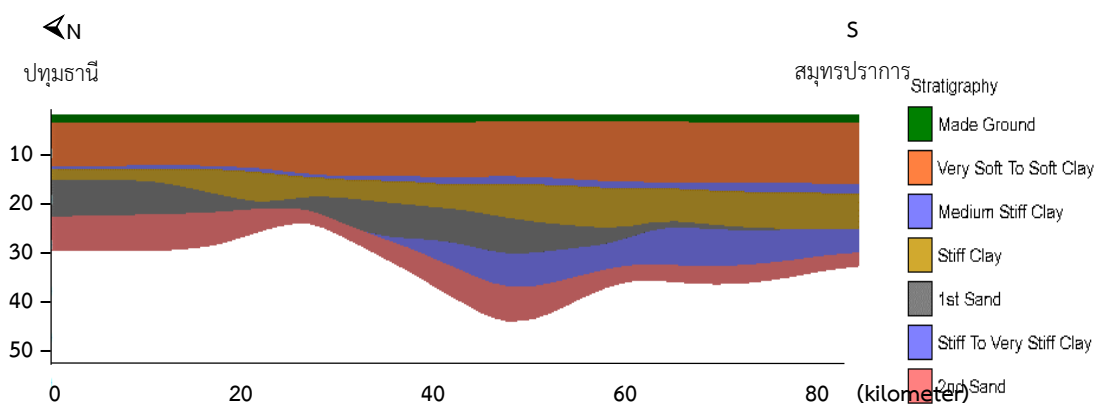
ตารางที่ 4.3 การเรียงตัวชั้นดินตามความลึก และสมบัติทางวิศวกรรม

ชั้นดิน	ความลึก (เมตร)	ความหนา (เมตร)	SPT-N (ครั้ง/ฟุต)	s_u (ตัน/ตร.ม.)
กรุงเทพมหานคร				
Made Ground	0	1.4 – 1.8	3 – 5	0.5 – 3
Very Soft to Soft Clay	1.5 – 1.8	12 – 14	3 – 5	0.5 – 1.75
Medium Stiff Clay	14 – 16	1.25 – 2	6 – 9	2.5 – 5
Stiff Clay	15 – 17	6 – 9	10 – 30	5 – 9
1st Sand	21 – 26	6 – 9	20 – 45	-
Stiff to Very Stiff Clay	30 – 33	-	36 – 56	9.5 – 16
สมุทรปราการ				
Made Ground	0	1 – 2	2 – 5	0.5 – 2.5
Very Soft to Soft Clay	1.2 – 1.6	13 – 15	3 – 7	0.5 – 1.75
Medium Stiff Clay	15 – 16	1.25 – 2	5 – 8	2 – 5
Stiff Clay	16 – 18	6 – 9	15 – 35	6 – 9
1st Sand	23 – 26	5 – 7	25 – 45	-
Stiff to Very Stiff Clay	26 – 30	-	34 – 56	12 – 16
นนทบุรี				
Made Ground	0	1.8 – 2.4	3 – 5	1 – 3
Very Soft to Soft Clay	2 – 2.6	9 – 11	2 – 7	2 – 2.5
Medium Stiff Clay	12	0.75 – 1.75	5 – 9	3 – 6
Stiff Clay	13 – 15	2 – 5	15 – 30	6 – 10
1st Sand	17 – 21	8 – 10	30 – 45	-
Stiff to Very Stiff Clay	25 – 27	-	34 – 50	10 – 20

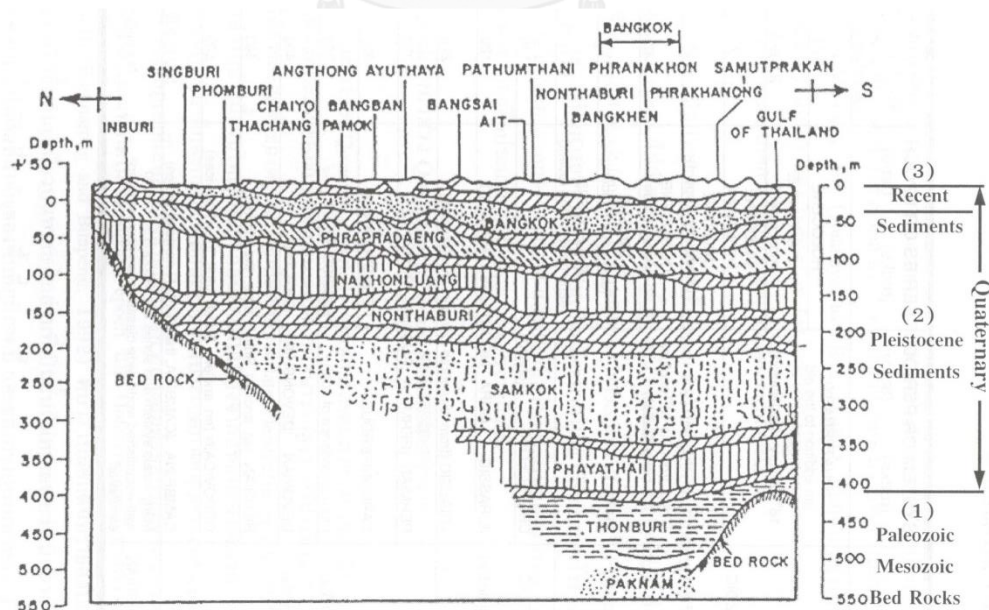
ชั้นดิน	ความลึก (เมตร)	ความหนา (เมตร)	SPT-N (ครั้ง/ฟุต)	s_u (ตัน/ตร.ม.)
ปทุมธานี				
Made Ground	0	2 – 1.6	2 – 8	0 – 3.5
Very Soft to Soft Clay	1.8 – 2	8 – 10	3 – 7	0.75 – 2.5
Medium Stiff Clay	11 – 12	0.25 – 1	6 – 9	2.5 – 5
Stiff Clay	13	6 – 11	15 – 30	6 – 10
1st Sand	16 – 22	6 – 9	20 – 25	-
Stiff to Very Stiff Clay	23 – 26	-	28 – 40	8.5 – 17
ฉะเชิงเทรา				
Made Ground	0	1.4 – 1.6	4 – 6	0.5 – 3
Very Soft to Soft Clay	1.4 - 1.8	11 – 14	3 – 7	0.75 – 2.5
Medium Stiff Clay	12 – 15	0.25 – 1	7 – 8	2.5 – 4.5
Stiff Clay	14 – 17	8 – 12	10 – 25	5.5 – 10
1st Sand	23 – 26	5 – 9	25 – 40	-
Stiff to Very Stiff Clay	26 – 30	-	36 – 46	13 – 18
นครปฐม				
Made Ground	0	2.2 – 2.6	3 – 5	1.5 – 4
Very Soft to Soft Clay	2.6	5 – 9	2 – 6	1.75 – 2.75
Medium Stiff Clay	8 – 12	0.5 – 2.5	5 – 8	2.5 – 6
Stiff Clay	10 – 15	5 – 8	20 – 40	8 – 12
1st Sand	15 – 20	6	45 – 55	-
Stiff to Very Stiff Clay	21 – 26	-	46 – 58	12.5 – 16
สมุทรสาคร				
Made Ground	0	1.2 – 1.6	3 – 5	0.25 – 2
Very Soft to Soft Clay	1.7	12 – 14	4 – 5	0.5 – 2
Medium Stiff Clay	13 – 16	0.75 – 1.25	6 – 8	2 – 6
Stiff Clay	15 – 18	3 – 5	15 – 23	6 – 12
1st Sand	18 – 22	2 – 6	30 – 55	-
Stiff to Very Stiff Clay	20 – 27	-	36 – 54	10 – 25

4.3 การเปรียบเทียบผลจากฐานข้อมูลดิน

จากแบบจำลองสามมิติของชั้นดินกรุงเทพฯ นำมาสร้างภาพตัดตามแนวทิศเหนือ - ใต้ เริ่มจากจังหวัดปทุมธานี ไปจนถึงจังหวัดสมุทรปราการ ตัดผ่านกรุงเทพมหานคร พบว่าทางเหนือของภาพตัดชั้นดินเหนียวอ่อนบางและหนาขึ้นเรื่อย ๆ ไปทางทิศใต้ พบชั้นดินแข็งในบริเวณต้น ค่อนไปทางปากอ่าวไทยพบว่าชั้นดินเหนียวมีความหนามาก และพบชั้นทรายลึกชั้นสองและมีขนาดชั้นบาง ดังรูปที่ 4.21 พบว่าภาพตัดที่ได้จากแบบจำลองสามมิติ มีแนวโน้มเดียวกับภาพตัดตามแนวทิศเหนือ - ใต้ ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง รูปที่ 4.22

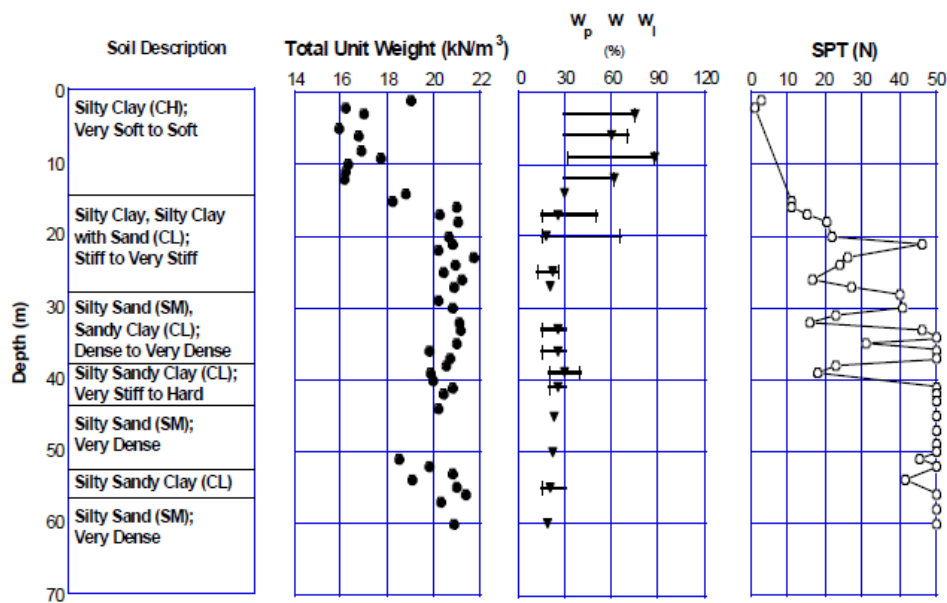


รูปที่ 4.21 ภาพตัดตามแนวทิศเหนือ - ใต้ ของฐานข้อมูลดินกรุงเทพฯ



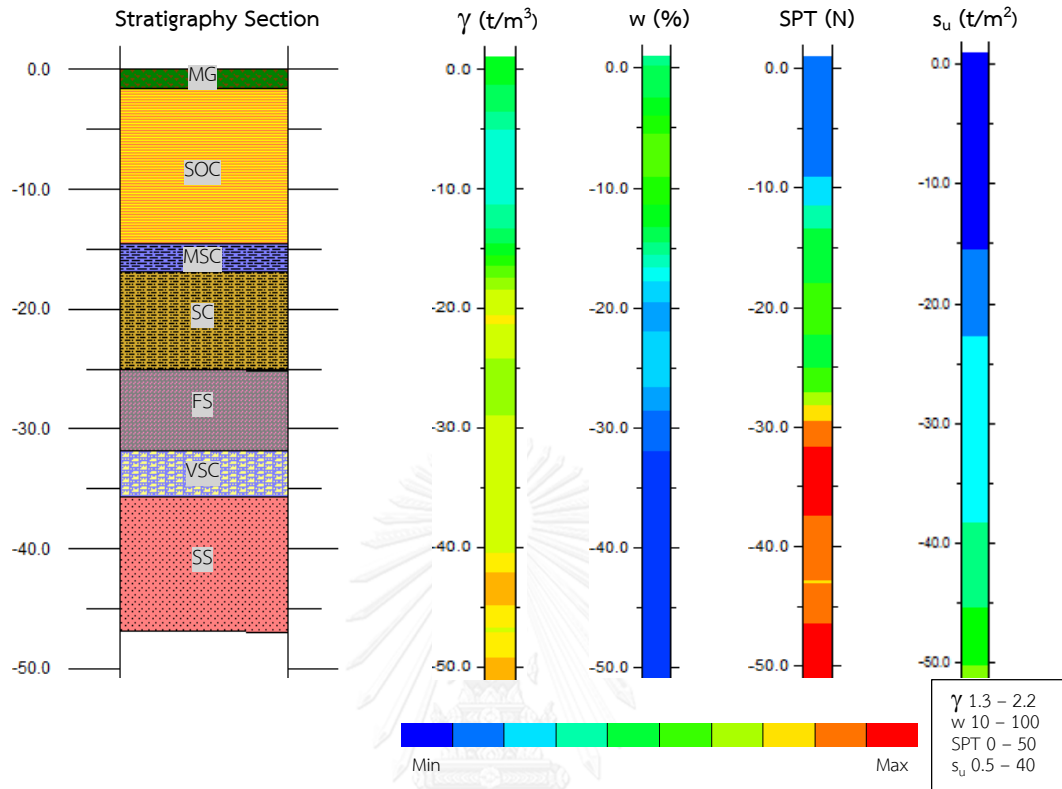
รูปที่ 4.22 ภาพตัดตามแนวทิศเหนือ - ใต้ ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง (จาก วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2549)

จากฐานข้อมูลดินที่จัดทำขึ้น นำมาสร้างเป็นแบบจำลองสามมิติของชั้นดินกรุงเทพฯ แบบจำลองสามมิติของค่าสมบัติต่างๆ ของดิน ทั้งสมบัติดัชนี สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางวิศวกรรม และทำการสร้างภาพตัดของสถานีบางหว่าความยาวคิดเป็นระยะทาง 143 เมตร ที่พิกัด 657574.29 m N, 1517289.46 m E ถึง 657698.41 m N, 1517360.05 m E ดัง รูปที่ 4.24 เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลเจาะสำรวจดินของรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงินส่วนต่อขยาย ดังรูปที่ 4.23 พบว่าความลึกของชั้นดินแต่ละชั้น หน่วยน้ำหนักของดิน ความชื้นในมวลดิน และค่าการตอกทะลวงมาตรฐาน มีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 4.23 สมบัติของดินบริเวณรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงินส่วนต่อขยาย (Likitlersuang, Surarak et al., 2013)

BangWha Station



รูปที่ 4.24 ภาพตัดชั้นดินและสมบัติของดิน บริเวณสถานีบางหว้า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการรวบรวมข้อมูลผลการเจาะสำรวจดินทั้งหมดจำนวน 496 หลุม ในพื้นที่ กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ สมุทรสาคร นนทบุรี นครปฐม และ บางส่วนของจังหวัดฉะเชิงเทรา และนำมาจัดเก็บสร้างแบบจำลองชั้นดิน จากอ่าวไทยขึ้นไปถึงปทุมธานีเป็นระยะทาง 84 กิโลเมตร จากฉะเชิงเทราจนถึงนครปฐม 120 กิโลเมตร ขนาด 10,080 ตารางกิโลเมตร จัดทำฐานข้อมูลขึ้นในรูปแบบที่ง่ายต่อการใช้งาน และเก็บรวบรวมค่าคุณสมบัติดิน ตลอดจนค่าพารามิเตอร์ดินที่ได้จากผลทดสอบในสนามและในห้องปฏิบัติการ ทำการประมวลผลในรูปแบบจำลองสามมิติและสองมิติได้ สามารถแสดงความหนาของชั้นดิน การเรียงตัวของชั้นดินในแต่ละพื้นที่ โดยฐานข้อมูลนี้สามารถเพิ่มข้อมูลหลุมเจาะ วิเคราะห์และพัฒนาในการนำไปใช้ในด้านอื่น ๆ ได้อีกในอนาคต

นอกจากนี้โปรแกรมฐานข้อมูลดินนี้สามารถสร้างภาพตัดตามบริเวณที่ต้องการทั้งแนวระนาบ และแนวตั้งได้ตามที่ต้องการวิเคราะห์ และเมื่อลองสร้างภาพตัด บริเวณสถานีรถไฟฟ้าวางหัว มาเปรียบเทียบกับข้อมูลเจาะสำรวจดินของรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงินส่วนต่อขยาย พบว่า ชั้นดินและค่าสมบัติของดินไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบชั้นดินเหนียวแข็ง ที่ประมาณ 16 เมตร ใกล้เคียงกัน ที่ความลึก 30 เมตร ลงไปมีค่าการตอกทะลวงมาตรฐาน (SPT-N) ประมาณมากกว่า 50 ครั้งต่อฟุต

ข้อเสนอแนะ ข้อมูลหลุมเจาะบริเวณ ใกล้แม่น้ำ แหล่งน้ำ หรือริมตลิ่งนั้น มีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ซึ่งควรมีการเพิ่มเส้นทางการไหลของน้ำลงบนฐานข้อมูล อีกทั้งฐานข้อมูลดินนี้สมมติให้ค่าระดับของผิวดินที่ปากหลุมเจาะอยู่ที่ระดับเดียวกับระดับน้ำทะเล ซึ่งหากใช้ค่าระดับของผิวดินตามจริงจะทำให้ฐานข้อมูลดินนี้สมบูรณ์มากขึ้น อีกทั้งข้อมูลในบางบริเวณยังไม่หนาแน่นเพียงพออาจทำให้ผลในบริเวณที่มีข้อมูลน้อยคลาดเคลื่อนได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมทรัพยากรธรณี (2558). Retrieved 27 สิงหาคม, 2558, from <http://www.dmr.go.th/>.
- กวีวงศ์ คุสุวรรณ (2531). การประเมินค่าทางสถิติของสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดิน กรุงเทพมหานคร. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต.
- คณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี (2555). แนวทางการตรวจสอบชั้นดินเพื่องานฐานราก. กรุงเทพมหานคร, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- คมกริช บิดร (2543). ฐานข้อมูลการสำรวจดินทางวิศวกรรม โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. วิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต.
- คมศิลป์ ว่างยาว (2544). การทำแผนที่ชั้นดินกรุงเทพมหานครโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. กรุงเทพมหานคร, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2549). ข้อมูลสภาพดินบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. กรุงเทพมหานคร, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- วีรนนท์ ปิตุปรกรณ์ (2526). การคาดคะเนการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยสแตนด์การ์ด เพนเนเตอร์ชั้น ตล. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต.
- สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง (2557). ปฐพีกลศาสตร์:หลักการพื้นฐาน. ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

- Budhu, M. (2010). "Soil mechanics and foundations." Soil mechanics and foundations(Ed. 3).
- Bunopas, S. (1982). Paleogeographic history of western Thailand and adjacent parts of South-east Asia: a plate tectonics interpretation, Geological Survey Division, Department of Mineral Resources.
- Casagrande, A. (1948). "Classification and identification of soils." Transactions of the American Society of Civil Engineers **113**(1): 901-930.

- Clayton, C. (1990). "SPT energy transmission: theory, measurement and significance." Ground Engineering **23**(10): 33-42.
- Das, B. (2010). Principles of foundation engineering, Cengage learning.
- Das, B. (2012). Fundamentals of geotechnical engineering, Cengage Learning.
- Howard, A. K. (1977). Laboratory Classification of Soils: Unified Soil Classification System, US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Engineering and Research Center, Division of Research, Geotechnical Branch.
- Kulhawy, F. H. (1984). Limiting tip and side resistance: Fact or fallacy? Analysis and Design of Pile Foundations, ASCE.
- Likitlersuang, S., et al. (2013). "Geotechnical parameters from pressuremeter tests for MRT Blue Line Extension in Bangkok." Geomechanics and Engineering: An International Journal **5**(2): 99-118.
- Look, B. G. (2014). Handbook of geotechnical investigation and design tables, CRC Press.
- Sinsakul, S. (2000). "Late Quaternary geology of the Lower Central Plain, Thailand." Journal of Asian Earth Sciences **18**(4): 415-426.
- Stroud, M. (1974). The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks. Proceedings of the 1st European Symposium on Penetration Testing, Stockholm, Sweden.
- Vesic, A. (1977). "Design of pile foundations." NCHRP synthesis of highway practice(42).



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

ค่าสมบัติดิน SPT-N และ s_u ของชั้นดินเหนียวแข็ง ที่ความลึก 14 – 25 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค่าสมบัติดิน SPT-N และ s_u ของชั้นดินเหนียวแข็ง CL ที่ความลึก 14 – 25 เมตร

SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$
8	4.7	14	9.4	16	9.4	18	12.8
8	6.2	14	10.3	16	10.2	18	13.5
9	4.7	14	7.4	16	10.8	18	10.8
10	11.1	14	7.4	16	10.9	18	10.1
10	6.2	14	7.5	16	10.9	18	9.6
10	7.8	15	10.4	16	8	18	11.1
10	5.7	15	9.6	16	9	18	7.9
11	8	15	6.5	16	9	18	8.5
11	5.1	15	7.5	16	9.5	18	11.6
11	10.3	15	10.8	16	10.4	18	14.8
11	11.6	15	13.9	16	6.6	18	6.5
12	4	15	9.1	16	10	18	13.4
12	6.6	15	11.6	17	5.6	18	11.6
12	17.1	15	9.8	17	12.8	18	9.7
12	6.6	15	13.1	17	5.8	18	11
12	9.3	15	7.9	17	6.4	18	10.5
13	7.8	15	8	17	13.4	18	14.5
13	10.7	15	5.5	17	10.4	19	7.7
13	3.4	15	7.6	17	10	19	13.9
13	5.9	15	5.5	17	7.7	19	8.5
13	7.9	15	8.3	17.62	15.1	19	7.2
13	3	15	6.3	18	11.4	19	10.8
13	5.2	15	18.3	18	10.1	19	8.9
13	8.9	15	9.3	18	18.7	19	9.9
13	7.5	15	9.2	18	8.4	19	10
13	8.4	15	7.7	18	10.1	19	8
13	7	15	11.6	18	18.7	19	10.2
13	6.7	15	7.5	18	5.8	19	19.2
14	11.1	16	7.3	18	9.5	19	7.7
14	5.1	16	8	18	7.4	19	9.3

SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$
19	8	20	9.9	22	10	23	9
19	11.1	20	7.3	22	11.1	23	13.5
19	12.6	20	6.1	22	7.8	23	15
19	8.7	20	3.7	22	6	23	11.9
19	10.3	20	15.2	22	5.6	23	10.5
19	6.1	20	14.4	22	9	23	9.6
19	9.5	20	13.4	22	9.3	23	14.9
19	1.63	20	12.7	22	7.3	23	18.1
20	14.5	20	12.7	22	13.7	23	6.2
20	9.1	20	9.8	22	11.5	23	7.6
20	12.3	20	6.3	22	13.2	23	18.4
20	8	21	13.6	22	9.7	23	11.8
20	9	21	7.8	22	14.5	23	1
20	14.3	21	13.2	22	15.9	23	9
20	13.8	21	12.2	22	4	23	4.1
20	9.1	21	1.55	22	14.8	23	13.3
20	5.7	21	9.7	22	14.8	23	21.74
20	5.7	21	5.4	22	11	23	11.9
20	7.3	21	13.2	22	11	23	9.8
20	13.7	21	15.1	22	13	24	14.8
20	6.9	21	14.5	22	15.7	24	5.3
20	11.5	22	10.5	23	6.1	24	14.9
20	12.8	22	6.1	23	10.1	24	13.5
20	18.1	22	10.7	23	7.4	24	9.3
20	12.6	22	9.8	23	8.9	24	9
20	12	22	10.7	23	9.8	24	13.2
20	9.6	22	14.5	23	1.64	24	1.51
20	15.8	22	8.1	23	22.7	24	14.6
20	14.3	22	15.1	23	11.6	24	11.7
20	5.9	22	11.5	23	10.6	24	16.9

SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$
24	8.1	25	14.3	26	16.4	28	5.9
24	14.7	25	6.1	26	13	28	13.5
24	15.2	25	10	26	15.6	28	12.1
24	13	25	14.9	26	8.2	28	11.6
24	12.8	25	14.9	27	4.3	28	13.9
24	15.7	25	15.4	27	7.2	28	14.8
24	11.4	25	5.5	27	8.4	28	13.9
24	21.1	25	15.1	27	7.5	28	11.4
24	8.4	25	10.3	27	11.4	28	15.6
24	8.5	25	6.5	27	7.3	29	13
24	7.8	25	9.1	27	10.2	29	11.6
24	6.5	25	6.2	27	12.6	29	15.2
24	7.9	25	6.2	27	13	29	1.57
24	4.6	25	14.3	27	22.6	29	9.5
24	9.4	25	14.6	27	13.3	29	10
25	15.2	26	4.9	27	13.7	29	11.7
25	13.9	26	13.3	28	14.2	29	14.3
25	10.6	26	5.9	28	10.3	29	21.3
25	13.3	26	8.5	28	8.7	29	15.5
25	11.6	26	20	28	10.9	29	10.2
25	1.67	26	6.8	28	9.2	29	8.4
25	5	26	6	28	13.5	29	11.1
25	16	26	12.8	28	15.8	29	5.4
25	21.9	26	15.3	28	10.1	29	8.3
25	14.5	26	9.1	28	6.2	29	3.5
25	12.7	26	14.7	28	10.2	29	9.4
25	12.8	26	22.2	28	14.1	29	13.7
25	11.4	26	18.3	28	24.6	29	13.9
25	15	26	9.4	28	14.6	29	7.6
25	11.1	26	11.7	28	1.99	29	6.2

SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$
28	5.9	29	11.9	31	16.2	32	8.9
28	13.5	30	15.2	31	5.6	32	10.5
28	12.1	30	13.2	31	16.2	32	14.9
28	11.6	30	13.6	31	14.5	32	11.1
28	13.9	30	14	31	13.4	32	14.9
28	14.8	30	12.7	31	11.7	32	14.9
28	13.9	30	13.1	31	12.4	32	8.1
28	11.4	30	20.5	31	13.3	32	10.4
28	15.6	30	10.1	31	13.3	32	14.5
29	13	30	14.4	31	6.1	32	11.4
29	11.6	30	9.5	31	13.8	32	14.8
29	15.2	30	14.2	31	14.7	32	13.2
29	1.57	30	13	31	11.9	32	19.3
29	9.5	30	13	31	20.4	32	4.2
29	10	30	5.5	31	8.5	32	4.2
29	11.7	30	18.1	31	16	32	20.2
29	14.3	30	16.1	31	24.7	32	1.54
29	21.3	30	14	31	16.1	32	1.53
29	15.5	30	18.1	31	16.2	32	9.9
29	10.2	30	21.6	31	25	32	10.9
29	8.4	30	17.1	31	24.7	32	14.4
29	11.1	30	12	31	9.1	32	7.7
29	5.4	30	11.2	31	8.4	32	10.8
29	8.3	30	11.5	31	19.1	33	20.2
29	3.5	30	18.5	31	27.6	33	12.7
29	9.4	30	15.6	31	12.8	33	10.2
29	13.7	30	15.5	32	22.4	33	11.5
29	13.9	30	14.6	32	5.5	33	17.8
29	7.6	30	13.9	32	19.2	33	13.1
29	6.2	31	20.59	32	5.5	33	11.4

SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$
33	13.4	35	2.9	37	10.4	40	2.5
33	19.3	35	11.9	37	13.4	40	17.1
33	11.3	35	12.5	37	8.5	40	17
33	1.56	35	20.4	37	12.5	40	15.8
33	9	35	20.8	37	25	40	9.4
33	1.68	35	11.8	37	6	40	18.8
33	14	35	10.5	37	12.5	40	15.3
34	10.6	35	10.8	37	12.5	40	13.6
34	17.1	36	2.1	37	13.4	40	14.8
34	10	36	18	37	25.5	40	15.5
34	15.8	36	20.1	37	8	40	13.8
34	7.4	36	11.8	37	9	40	19.2
34	23.4	36	14	37	5	40	18.2
34	12.1	36	16.2	37	15	40	12.7
34	26.6	36	17.9	38	8.2	40	9.6
34	14.2	36	18.3	38	11		
34	8.1	36	24.4	38	11.1		
34	23.2	36	16.3	38	17.2		
34	5.9	36	11.2	38	10.8		
34	25.7	36	14.2	38	11.3		
35	2.94	36	17.3	38	12.95		
35	9.2	36	12.7	38	10.2		
35	9.9	36	28	39	19		
35	14.7	36	9.4	39	16.1		
35	27.5	36	18.2	39	16.5		
35	12.7	36	10.15	39	26.5		
35	5.9	36	9.2	39	16.4		
35	8.4	36	20.8	39	11.9		
35	18.3	36	1.94	40	9.9		
35	17.3	37	14.1	40	17		

ค่าสมบัติดิน SPT-N และ s_u ของชั้นดินเหนียวแข็ง CH ที่ความลึก 14 - 25 เมตร

SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$
8	5.39	14	4.9	16	5.3	18	7.4
9	5	14	5.8	16	14.1	19	9.6
10	8.23	14	9.5	17	11.3	19	6.7
10	8.3	14	10.3	17	14.4	19	8.6
10	7.1	14	8.1	17	7.6	19	11.4
10	5.6	14	5.8	17	9.1	19	9.3
10	7.82	14	8.3	17	8.7	19	15.3
11	3	14	10	17	9.5	19	10.5
11	5.8	15	9.7	17	7.4	19	5.5
11	7.4	15	8.3	17	7.2	19	8.7
12	7.4	15	8.5	17	7.7	19	9.4
12	12.8	15	5.3	17	11.4	19	9.3
12	4.9	15	10.1	17	11.6	19	10.3
12	3.9	15	7.6	17	8.1	19	6
12	6.4	15	9.4	17	6.7	19	7.5
13	10.1	15	5.1	17	11.44	19	6.5
13	5.9	15	6.2	18	11.9	19	8.1
13	5	15	6.9	18	8.5	19	7.5
13	11.1	15	10.8	18	11.1	19	8.1
13	5.4	16	7.9	18	9.1	20	8.1
13	6.9	16	11	18	6.8	20	7.9
13	6.7	16	7.8	18	5.6	20	8.8
13	10.7	16	11.7	18	7.6	20	9.3
13	6.1	16	7.5	18	7.8	20	5.9
13	7.4	16	8.1	18	4.9	20	8.5
13	8.7	16	8.1	18	10.7	20	10.3
14	10.3	16	5	18	3.6	20	4.5
14	7.2	16	11.2	18	11.1	20	9.7
14	5.3	16	4.7	18	2.3	20	8.2
14	4.7	16	5.3	18	10.1	20	14.6

SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$
20	11	23	7.8	25	15	28	12.9
20	6.4	23	13.2	25	11.2	28	17
21	10	23	11.6	25	9.9	28	12
21	7.4	23	5.9	25	9.9	28	9.3
21	5.8	23	17	25	14.6	28	16.5
21	6.9	23	13.9	25	10.1	29	14.5
21	5.3	24	11.9	25	11.8	29	8.8
21	8.4	24	8.5	26	7.8	29	12.5
21	13	24	18.6	26	5.6	29	14.6
21	1.9	24	7.8	26	13.1	29	5.1
21	10.9	24	8.5	26	4.6	30	2.65
22	8.3	24	7.3	26	6.5	30	24.4
22	13.5	24	7.8	26	10	30	8.6
22	6.4	24	11.3	26	8.4	30	10.5
22	12.1	24	8.6	26	13	30	12.9
22	7.3	24	8.8	26	16.4	30	11
22	13.9	24	8.5	26	1.4	30	10.9
22	11.4	24	15.2	27	13.6	30	8.5
22	6.4	24	5	27	9.6	30	8.5
23	5	24	7.4	27	4.2	30	6.5
23	9.5	25	5.6	27	13	31	15
23	14.8	25	9.6	27	6.5	31	8.7
23	11.2	25	5.5	27	7.8	31	9.6
23	13.2	25	9.8	28	7.2	31	12.7
23	11.5	25	14.4	28	10.9	31	10.6
23	12.1	25	14.4	28	3.4	31	10.5
23	7.3	25	9.4	28	7.2	31	6.1
23	12.3	25	14.7	28	11.2	32	13.9
23	10.2	25	10.4	28	11.6	32	22.9
23	7.8	25	10.1	28	12.8	32	12.6

SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$	SPT-N	$s_u(t/m^2)$
32	9.1	35	13.2	38	20.3
32	9.1	35	13.4	39	13.3
32	15	35	1.58	39	13.3
32	10.2	35	13.2	39	13.9
32	10.8	35	7.4	39	11.6
32	13.3	35	13.2	39	8.2
32	14.2	35	7.5	39	4.9
32	17.2	35	9.5	40	15.1
32	12.3	35	13.5	40	11.1
32	21	35	20.4	40	9.6
33	4.8	35	11.6	40	18.9
33	9.8	36	5.2	40	14.8
33	13	36	15.4		
33	10	36	10.5		
33	11.6	36	11.4		
34	5	36	20.3		
34	17.9	36	7		
34	13.2	36	7		
34	15.3	36	6.6		
34	11.3	37	22.9		
34	5	37	20.3		
35	18.3	37	17.7		
35	9.4	37	11.3		
35	13.7	37	11.3		
35	6.8	37	15.8		
35	19.1	37	19.2		
35	12.9	37	15.6		
35	19.5	37	25.9		
35	11.9	38	11.3		
35	18.7	38	12.2		

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกมลรัตน์ งามเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2535 สำเร็จการศึกษา
ระดับปริญญาบัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2556 และในปีการศึกษา 2557 เข้าศึกษาต่อในสาขาวิชา
วิศวกรรมธรณีเทคนิค ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

