

แผนที่ชั้นดินภายในเขตเทศบาลตำบลตึก จังหวัดบุรีรัมย์



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค

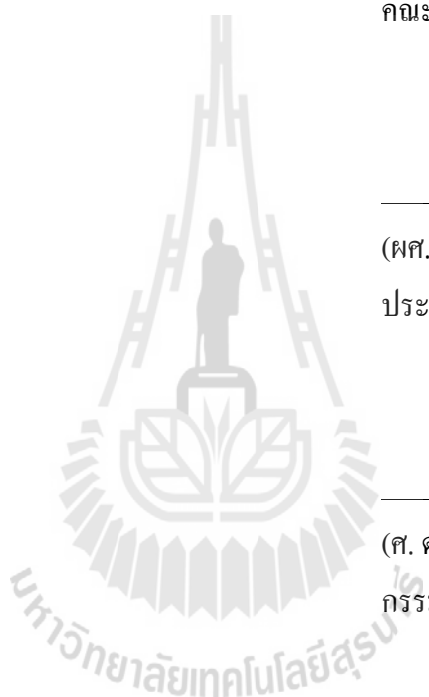
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2556

แผนที่ชั้นดินภายในเขตเทศบาลตำบลตึก จังหวัดบุรีรัมย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำโครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ



คณะกรรมการสอบโครงการ

(ผศ. ดร.พรศิริ จงกล)

ประธานกรรมการ

(ศ. ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ)

(ผศ. ดร.อนุชิต อุชายภิชชาติ)

กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ประกอบ เมทา : แผนที่ชั้นดินภายในเขตเทศบาลตำบลสตึก จังหวัดบุรีรัมย์
(GEOTECHNICAL MAP IN SATUK MUNICIPALITY, BURIRAM PROVINCE)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำแผนที่ชั้นดินภายในเขตเทศบาลตำบลสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ โดยการรวบรวมข้อมูลผลการเจาะสำรวจชั้นดิน (Boring - Log) จากหน่วยงานภาครัฐ และเอกชน ค่าตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT-N) ใช้ในการจำแนก ชั้นดิน ชั้นดินในเขตเทศบาลตำบลสตึกแบ่งออกเป็นสามกลุ่ม ได้แก่ ชั้นดินทรายปนดินเหนียว ที่มีความแข็งน้อยถึงปานกลาง ($SPT-N < 30$) ชั้นดินเหนียวปนดินตะกอนที่มีความแข็งมากถึงมากที่สุด ($30 < SPT-N < 50$) และชั้นดินเหนียวปนดินตะกอนที่มีความแข็งมากที่สุด ($SPT-N > 50$) ชั้นแรกมีความหนา 1.00 ถึง 7.00 เมตร และมีค่า SPT-N เฉลี่ยประมาณ 14 ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.10 ชั้นดินชั้นที่สองมีความหนาประมาณ 1.00 ถึง 2.00 เมตร และมีค่า SPT-N เฉลี่ยประมาณ 40 ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.14 เพื่อให้งานวิจัยเกิดประโยชน์สูงสุดต่องานวิศวกรรมฐานราก ซึ่งปลายเสาเข็มตอกมักวางอยู่ในชั้นดินที่มีค่า SPT-N > 30 และปลายเสาเข็มเจาะมักวางอยู่ในชั้นดินที่มีค่า SPT-N > 50 ความยาวแนะนำของเสาเข็มตอกแบ่งออกเป็น 6 โซน และความยาวแนะนำของเสาเข็มเจาะแบ่งออกเป็น 6 โซน

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

PRAKOB METHA : GEOTECHNICAL MAP IN SATUK MUNICIPALITY,
BURIRAM PROVINCE. ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK,
Ph.D., P.E.

This research aims at developing a geotechnical map in Satuek Municipality, Buriram Province. The development was based on the collected boring logs from private and public sectors. The standard penetration number, SPT-N was used to classify the soil deposit. Soil in this municipality is divided into three layers with low to medium clayey sand ($SPT-N < 30$), stiff to hard silty clay ($30 < SPT-N < 50$) and hard silty clay ($SPT-N > 50$). The first layer (clayey sand) has a thickness of 1.00 to 7.00 m and an average SPT-N value of 14 with a standard deviation of 8.10 . The second layer with a thickness of about 1.00 to 2.00 m has an average SPT-N value of 40 with a standard deviation of 5.14. For foundation design where the driven pile tip is in the stiff clay layer with $SPT-N > 30$ and the bored pile tip is in the hard clay with the $SPT-N > 50$ The recommended pile lengths for driven and bored piles are presented 6 zones, respectively.

School of Civil Engineering
Academic Year 2013

Student's Signature _____
Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการศึกษานี้ ประสบความสำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำแนวทางการทำงาน ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขโครงการการศึกษานี้ให้มีความถูกต้อง สมบูรณ์ตามหลักวิชาการ และให้ความเอาใจใส่ ความเมตตา ถ่ายทอดความรู้แก่ลูกศิษย์เป็นอย่างดี จึงขอขอบพระคุณท่าน ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข ไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ให้แก่ผู้ศึกษา ซึ่งเป็นความรู้และประสบการณ์ที่มีค่าและมีประโยชน์ในการทำงานของผู้ศึกษาต่อไป ขอขอบพระคุณอาจารย์ไพศาล รักพริ้ว และอาจารย์ณรงค์ คิมรัมย์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ เป็นผู้ให้ข้อมูลผลการทดสอบชั้นดินภายในเขตเทศบาลตำบลสตึก

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อนๆ นักศึกษาที่คอยช่วยเหลือ เป็นแรงบันดาลใจให้จัดทำภาคนิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ รวมทั้งขอขอบคุณเจ้าของตำราและเอกสารงานวิจัยที่ได้อ้างอิงไว้ ณ ที่นี้ด้วย



ประกอบ เมทา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ปรัชญ์นัวิศวกรรม.....	3
2.1 การกำเนิดของดิน.....	3
2.1.1 กระบวนการผุกร่อนของหิน.....	3
2.1.2 ดินที่กำเนิดอยู่กับที่.....	4
2.1.3 ดินที่เกิดจากการพัดพาของตัวกลาง.....	5
2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของดิน.....	6
2.3 คุณสมบัติของดินที่พิจารณาในโครงการวิศวกรรมโยธา.....	8
2.3.1 ปริมาณน้ำในมวลดิน (Water content).....	8
2.3.2 สถานภาพของดินเมื่อละเอียด (Consistency of ne grained soil).....	9
2.3.3 คุณสมบัติการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain size distribution).....	11
2.3.4 ค่าตุ้มตอกมาตรฐาน (SPT-N value).....	13
2.3.5 ค่ามุมของแรงเสียดทานภายใน (Angle of internal friction, ϕ).....	14
2.3.6 กำลังอัดแบบไม่โอบรัด (Unconfined compressive strength, q_u).....	15
2.3.7 กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength, S_u).....	15

2.4	ระบบการจำแนกดิน.....	15
2.4.1	ระบบการจำแนกดินเอกภาพ (Unied Soil Classication System, USCS)...	16
2.4.2	ระบบการจำแนก AASTHO (AASTHO Soil Classication System)...	16
2.5	แผนการเจาะและสำรวจชั้นดิน.....	19
2.6	วิธีการเจาะหลุมสำรวจ.....	21
2.7	วิธีการเก็บตัวอย่าง.....	27
2.7.1	การเก็บตัวอย่างโดยกระบอกผ่าซีกมาตรฐาน (Standard Spilt Spoon)....	27
2.7.2	การเก็บตัวอย่างโดยกระบอกเปลือกบาง (Thin Wall Tube).....	28
2.7.3	การเก็บตัวอย่างโดยกระบอกลูกสูบ(Piston Sampler).....	30
2.8	การรบกวนดินตัวอย่าง.....	30
2.9	การทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test).....	31
2.10	ผลการเจาะสำรวจดินและภาพตัดลักษณะชั้นดิน.....	40
2.10.1	ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ.....	40
2.10.2	ภาพตัดลักษณะชั้นดิน.....	42
2.10.3	ตารางแสดงค่าแนะนำกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มหรือฐานรากแผ่.....	43
2.11	ฐานรากลึก ทฤษฎีและการออกแบบ(Deep Foundation : Theory and Design)...	44
2.12	ประเภทของเสาเข็ม.....	45
2.12.1	เสาเข็มตอก.....	46
2.12.2	เสาเข็มเจาะแห้ง.....	49
3	วิธีการดำเนินการทำโครงการ.....	51
3.1	ข้อมูลและกลุ่มตัวอย่าง.....	51
3.2	เครื่องมือเครื่องใช้ในการศึกษา.....	51
3.3	วิธีการรวบรวมข้อมูล.....	51
3.4	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	51
4	ผลการศึกษา.....	52
4.1	การรวบรวมข้อมูล.....	52
4.2	การวิเคราะห์ผล.....	55
4.2.1	เสาเข็มตอก.....	63
4.2.2	เสาเข็มเจาะ.....	66
5	สรุปผลการศึกษา.....	68

เอกสารอ้างอิง.....	69
ประวัติผู้เขียน.....	71



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คำจำกัดความและสมการความสัมพันธ์ที่สำคัญในทางวิศวกรรมปฐพี.....	8
2.2 ค่า Atterberg limits สำหรับดินทั่วไป.....	10
2.3 สภาพของดินจากค่าดัชนีความเหลว (Liquidity Index).....	10
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัมตอกมาตรฐาน (SPT-N) มุมของแรงเสียดทานภายใน ความหนาแน่นสัมพัทธ์และสภาพดิน.....	14
2.5 ค่ากำลังอัดแบบไม่ไอบรัด.....	15
2.6 การจำแนกดินโดยวิธี USCS.....	17
2.7 การจำแนกดินโดยระบบ ASSHTO.....	18
2.8 ข้อเสนอแนะสำหรับระยะห่างระหว่างหลุมเจาะ (Sower, 1979).....	20
2.9 ข้อเสนอแนะสำหรับการกำหนดความลึกหลุมเจาะสำหรับงานฐานรากตื้น (Sower, 1979).....	21
2.10 อัตราส่วนการเก็บตัวอย่างและประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่าง.....	31
2.11 ประสิทธิภาพของก้อน SPT (Clayton, 1990).....	33
2.12 ค่าปรับแก้.....	34
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง N_{60} และกำลังต้านทานแรงเฉือนในสถานะไม่ระบายน้ำของ ดินเหนียว (Terzaghi and Peck, 1976).....	35
2.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง N' หน่วยน้ำหนัก และความหนาแน่นสัมพัทธ์ของ ดินเม็ดหยาบ (Peck et al., 1974).....	39
4.1 ข้อมูลพิกัดและระดับความสูงของชั้นดินในเขตเทศบาลตำบลสตึก.....	53

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า	
2.1	หน้าตัดดินที่กำเนิดอยู่กับที่ (Residual soil) (Little, 1969).....	5
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างเม็ดดิน น้ำ และอากาศในมวลดิน.....	7
2.3	สถานะของดินเหนียว.....	9
2.4	การวิเคราะห์ผ่านตะแกรงร่อนและตะแกรงขนาดต่างๆ.....	12
2.5	การทดสอบไฮโดรมิเตอร์ ซึ่งวัดอัตราการตกตะกอนของดินเม็ดละเอียดในน้ำ เทียบกับเวลา.....	12
2.6	ตัวอย่างการวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดิน.....	13
2.7	ช่วงของขีดจำกัดเหลวและดัชนีสภาพพลาสติกของดินสำหรับกลุ่ม A-2 , A-4 , A-5 , A-6 และ A-7.....	19
2.8	การประมาณความลึกของหลุมสำรวจ.....	21
2.9	ส่วนมือ (a) ส่วน lawn (b) ส่วน Slip.....	22
2.10	ส่วนแบบตัวก้านกลาง.....	23
2.11	หัวเจาะกระแทก.....	23
2.12	ก้านเจาะ.....	24
2.13	ภาพถ่ายการเจาะแบบเปียก (Wash boring).....	24
2.14	หัวตัด (Cutting bits).....	26
2.15	หัวเก็บตัวอย่าง (Coring bit).....	26
2.16	รูปอธิบายและภาพถ่ายกระบอกลำซีก (Split Spoon).....	28
2.17	รูปอธิบายเครื่องมือเก็บตัวอย่างเปลือกบาง (Thin wall tube).....	29
2.18	การเก็บตัวอย่างคงสภาพด้วยกระบอกลำบาง.....	29
2.19	รูปอธิบายกระบอกลำแบบลูกสูบ (Piston Sampler).....	30
2.20	ลักษณะของปากกระบอกลำเก็บตัวอย่าง.....	31
2.21	ชนิดของตึมน้ำหนัก.....	32
2.22	การทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน.....	32
2.23	ความสัมพันธ์ระหว่าง N_{60} และกำลังต้านทานแรงเฉือนในสถานะไม่ระบายน้ำ (U.S. Navy, 1992).....	35
2.24	อิทธิพลของน้ำหนักกดทับประสิทธิผลต่อค่าการทะลุทะลวงมาตรฐาน.....	36

2.25	ค่าปรับแก้ตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐาน.....	38
2.26	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐานปรับแก้และมุมเสียดทานภายใน ประสิทธิผลของดินเม็ดหยาบ (Peck et al, 1974).....	39
2.27	ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ.....	40
2.28	ภาพตัดชั้นดิน.....	42
2.29	ตารางแนะนำกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มจาก Boring Log.....	43
2.30	ลักษณะงานที่ต้องใช้ฐานรากลึก.....	45
2.31	เสาเข็มคอนกรีตหล่อในที่.....	46
2.32	รูปหน้าตัดของเสาเข็มชนิดต่างๆ.....	47
2.33	ชนิดของตุ้มน้ำหนัก (Hammer type).....	48
2.34	ขั้นตอนการทำเสาเข็มเจาะเปียก.....	50
4.1	ชั้นดินในเขตเทศบาลตำบลสตึก.....	52
4.2	แผนที่แสดงค่าความชัน (Contour) ของผิวดิน ในเขตเทศบาลตำบลสตึก.....	56
4.3	แผนที่แสดงค่าความชัน (Contour) ของ SPT-N < 30 ในเขตเทศบาลตำบลสตึก.....	57
4.4	แผนที่แสดงค่าความชัน (Contour) ของ 30 < SPT-N < 50 ในเขตเทศบาลตำบลสตึก.....	58
4.5	แผนที่แสดงค่าความชัน (Contour) ของ SPT-N > 50 ในเขตเทศบาลตำบลสตึก.....	59
4.6	แผนที่แสดงค่าความลึกของชั้นดินที่ SPT-N < 30 ในเขตเทศบาลตำบลสตึก.....	60
4.7	แผนที่แสดงค่าความลึกของชั้นดินที่ 30 < SPT-N < 50 ในเขตเทศบาลตำบลสตึก.....	61
4.8	แผนที่แสดงค่าความลึกของชั้นดินที่ SPT-N > 50 ในเขตเทศบาลตำบลสตึก.....	62
4.9	แผนที่แสดงชั้นความลึกเสาเข็มตอก (SPT-N > 30) ในเขตเทศบาลตำบลสตึก.....	65
4.10	แผนที่แสดงชั้นความลึกเสาเข็มเจาะ (SPT-N > 50) ในเขตเทศบาลตำบลสตึก.....	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันโครงการก่อสร้างทั้งภาครัฐและเอกชนเกิดขึ้นอย่างมากและรวดเร็วในเขตเทศบาล ตำบลสตึก อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ อันได้แก่ โครงการก่อสร้างถนน สะพาน และอาคาร สำนักงานของหน่วยงานราชการต่างๆ โครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์ โรงงาน หอพัก และรีสอร์ท เป็นต้น โครงการก่อสร้างอาคารทั้งหลายจำเป็นต้องมีฐานรากที่มั่นคงแข็งแรง เพื่อทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบน (Super structure) ลงสู่ชั้นดิน ฐานรากมีสองประเภท คือฐานรากตื้น (Shallow foundation) และฐานรากลึก (Deep foundation) ฐานรากตื้นเหมาะสำหรับอาคารที่มีน้ำหนักไม่มากนักและชั้นดินมีกำลังรับแรงแบกทานสูง ฐานรากลึกเหมาะสำหรับอาคารที่มีน้ำหนักสูงหรือชั้นดินที่ไม่เหมาะสม เช่น ชั้นดินเหนียวอ่อน และชั้นดินที่มีความไวต่อปริมาณความชื้น กล่าวคือ เมื่ออยู่ในสภาพแห้ง กำลังต้านทานแรงเฉือนและความต้านทานการทรุดตัวมีค่าสูง แต่เมื่อปริมาณความชื้นในดินสูงขึ้น กำลังต้านทานแรงเฉือนและความต้านทานการทรุดตัวลดลงอย่างมาก

ในการออกแบบฐานราก ไม่ว่าจะเป็นฐานรากตื้นหรือฐานรากลึก ฐานรากต้องมีอัตราส่วนปลอดภัยด้านการวิบัติเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกที่สูงพอ และต้องไม่ก่อให้เกิดการทรุดตัวของอาคารที่สูง ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากตื้นเกิดจากความต้านทานแรงแบกทานของดินฐานราก ส่วนความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากลึกเกิดจากความต้านทานแรงเสียดทานระหว่างดินและเสาเข็ม และความต้านทานแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม การประมาณความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากจำเป็นต้องทราบข้อมูลชั้นดิน ในทางวิศวกรรมโยธา ดินถูกจำแนกออกเป็นสองประเภทหลักคือ ดินเม็ดหยาบ และดินเม็ดละเอียด ซึ่งสามารถจำแนกจากขนาดของเม็ดดิน ดินเม็ดละเอียดคือดินที่มีขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร

นอกจากประเภทของดินแล้ว ผู้ออกแบบต้องทราบความหนาและพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือนของชั้นดินแต่ละชั้น เพื่อกำหนดขนาดและความยาวของเสาเข็ม ข้อมูลเหล่านี้ได้จากการเจาะสำรวจ การทดสอบในสนามและห้องปฏิบัติการ และนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์จัดทำเป็นข้อมูลชั้นดิน (Soil - Boring - Log) ในการออกแบบฐานราก ผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีข้อมูลชั้นดินที่มากพอสำหรับวิเคราะห์ลักษณะชั้นดินของทั้งพื้นที่ก่อสร้างอาคาร แต่อย่างไรก็ตามการจัดทำข้อมูลชั้นดินมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงและเป็นข้อมูลเฉพาะจุดทดสอบเท่านั้น หากมีข้อมูล

ชั้นดินในพื้นที่ข้างเคียงรวมกับข้อมูลชั้นดินที่จัดทำเฉพาะอาคารก่อสร้าง จะช่วยให้ผู้ออกแบบวิเคราะห์ลักษณะชั้นดินได้แม่นยำยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะรวบรวมข้อมูลรายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil - Boring - Log) ให้ครอบคลุมพื้นที่ในเขตเทศบาลตำบลตึก เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้เสาเข็มรับน้ำหนักของโครงสร้างได้อย่างเหมาะสมตามคุณสมบัติของชั้นดินในเขตเทศบาลตำบลตึก

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อรวบรวมข้อมูลรายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil - Boring - Log) ให้ครอบคลุมพื้นที่ในเขตเทศบาลตำบลตึก
- 1.2.2 เพื่อจัดทำแผนที่สภาพชั้นดินในเขตเทศบาลตำบลตึก
- 1.2.3 เพื่อสำรวจชั้นความลึกที่มีค่า $SPT - N > 30$ และ $SPT - N > 50$
- 1.2.4 เพื่อจัดทำแผนที่ชั้นดินที่มีค่า $SPT - N > 30$ เพื่อพิจารณาวางตำแหน่งเสาเข็มตอก และชั้นดินที่มีค่า $SPT - N > 50$ เพื่อพิจารณาวางตำแหน่งเสาเข็มเจาะ ที่มีความลึกเหมาะสมในการรับน้ำหนัก ในเขตเทศบาลตำบลตึก

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ผู้วิจัยจะรวบรวมข้อมูลรายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil - Boring - Log) ให้ครอบคลุมพื้นที่ในเขตเทศบาลตำบลตึก และจัดทำแผนที่สภาพชั้นดิน เส้นชั้นความลึกที่มีค่าตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐาน ($SPT - N$) มากกว่า 30 และ 50 เพื่อจัดทำแผนที่กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มในเขตเทศบาลตำบลตึก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ข้อมูลชั้นดินในเขตเทศบาลตำบลตึก
- 1.4.2 ได้แผนที่สภาพชั้นดินในเขตเทศบาลตำบลตึก
- 1.4.3 ได้แผนที่ชั้นดินที่มีค่า $SPT - N > 30$ และ $SPT - N > 50$ เพื่อพิจารณาวางตำแหน่งเสาเข็มที่มีความลึกเหมาะสมในการรับน้ำหนัก ในเขตเทศบาลตำบลตึก

บทที่ 2

ปฐพีศัพทวิทยา

2.1 การกำเนิดของดิน

ดินถูกจำแนกตามลักษณะการกำเนิดได้เป็นสองประเภท คือ ดินกำเนิดจากการผุกร่อนของหิน (Weathering) และไม่มีตัวกลางนำพาไปตกตะกอนที่ใด เรียกว่า ดินที่กำเนิดอยู่กับที่ (Residual soil) และดินที่เกิดจากกระบวนการพัดพา (Transportation process) ไปตกตะกอนยังที่ต่างๆ เรียกว่า ดินที่เกิดจากการพัดพา (Transported soil)

2.1.1 กระบวนการผุกร่อนของหิน (Weathering Process)

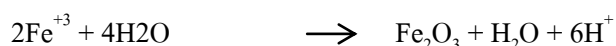
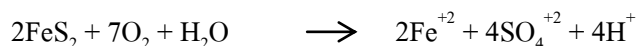
การผุกร่อนของหินอาจเป็นการผุกร่อนทางกายภาพ (Mechanical weathering) และการผุกร่อนทางเคมี (Chemical weathering) การผุกร่อนทางกายภาพ (Mechanical weathering) ก่อให้เกิดดินที่มีขนาดเม็ดดินใหญ่ ได้แก่ กรวด (Gravel) ทราย (Sand) และดินตะกอน (Silt) การผุกร่อนทางกายภาพมักเกิดจากสภาวะอากาศร้อนสลับหนาว ซึ่งทำให้หินเกิดการขยายตัวและหดตัวจนกระทั่งเกิดรอยแตกร้าวขึ้น จากนั้นน้ำซึมเข้าไปตามรอยแตกนั้น ซึ่งเมื่อน้ำกลายเป็นน้ำแข็งก็จะเกิดการขยายตัวของปริมาตร ทำให้หินแตกออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย ตัวอย่างของการผุกร่อนประเภทนี้ได้แก่ การผุกร่อนทางกายภาพของแร่ซิลิกอนไดออกไซด์ (Quartz) ซึ่งเป็นแร่ที่มีเสถียรภาพสูง การผุกร่อนนี้ทำให้เกิดกรวดและทราย ซึ่งสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ลักษณะของเม็ดดินนี้อาจจะอยู่ในรูปของ

- ก) รูปเหลี่ยม (Angular) เกิดจากการแตกสลายของหิน และเม็ดดินไม่ได้ผ่านการขัดสี ดังนั้น จึงมีความแหลมคม
- ข) กึ่งรูปเหลี่ยม (Subangular) เป็นเม็ดดินที่เกิดจากการแตกสลายของหินมาแล้วระยะหนึ่งและเกิดการขัดสีบ้าง ดังนั้น ความแหลมคมของเม็ดดินจึงลดลง แต่ยังคงเห็นได้อยู่
- ค) ผิวมน (Rounded) เกิดจากการแตกสลายของหินเป็นเวลานาน และผ่านการขัดสีและการสึกกร่อนมาก ผิวของเม็ดดินจะมีลักษณะเรียบเนียน เช่น กรวดแม่น้ำ

การผุกร่อนทางเคมี (Chemical weathering) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเม็ดดินที่ทำให้เม็ดดินมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ได้แก่ ดินเหนียว (Clay) การผุกร่อนแบบนี้เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ไฮดรอลิซิส (Hydrolysis) คาร์บอนเนชัน (Carbonation) และออกซิเดชัน (Oxidation) ตัวอย่างของการกำเนิดดินประเภทนี้ได้แก่ ดินเหนียว

ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) (ซึ่งเป็นแร่สำคัญของหินภูเขาไฟ) กับน้ำ ปฏิกิริยาที่สำคัญที่ควรทราบดังนี้

- 1) ออกซิเดชัน (Oxidation) คือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อแร่ในหินสัมผัสกับออกซิเจน ปฏิกิริยาระหว่างแร่เหล็กและออกซิเจนแสดงได้ดังนี้

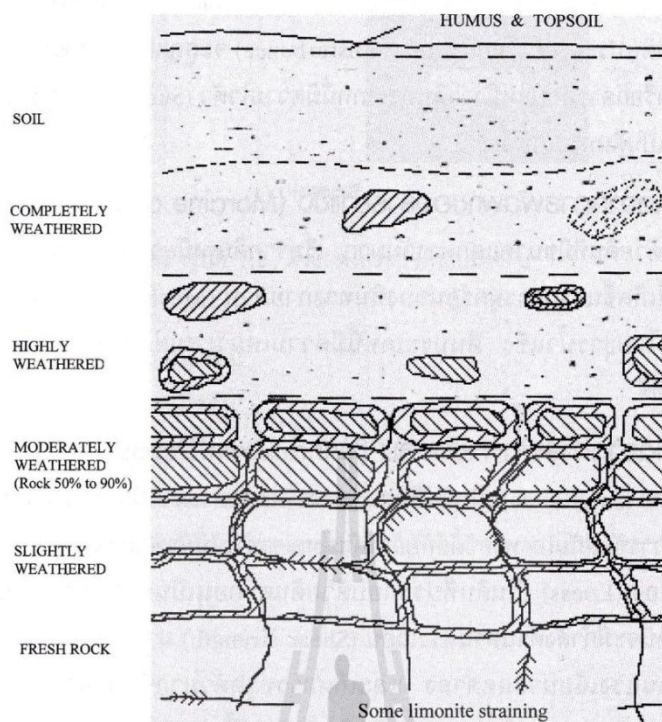


ปฏิกิริยานี้อาจเกิดขึ้นได้เมื่อน้ำฝนซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกลางสัมผัสกับหินที่มีแร่เหล็กทำให้เกิดสนิมขึ้น และเกิดการสึกกร่อนของหินในที่สุด

- 2) การละลาย (Solution) หินบางชนิดสามารถละลายน้ำได้เมื่อสัมผัสกับน้ำ โดยน้ำจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบของหินนั้น เช่น หินปูน (Limestone) เมื่อสัมผัสกับน้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide) ผสมอยู่มาก จะเกิดกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ปฏิกิริยานี้เรียกว่าคาร์บอเนชัน (Carbonation)
- 3) การนำพาของน้ำ (Leaching) หินบางชนิดเกาะกันอยู่ด้วยตัวเชื่อมประสาน (Cementing agents) เมื่อน้ำทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่เป็นตัวประสานนั้น ทำให้เม็ดหินที่เกาะกันอยู่แยกหลุดออกจากกัน และถูกพัดพาไปกับสายน้ำได้
- 4) การสลายตัวของสารประกอบเมื่อผสมกับน้ำ (Hydrolysis) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง H^+ และ OH^- ของน้ำกับแร่ต่างๆ

2.1.2 ดินที่กำเนิดอยู่กับที่ (Residual Soil)

เป็นดินที่เกิดจากการผุกร่อนของหินโดยปราศจากกระบวนการพัดพา (Transportation process) การผุกร่อนก่อให้เกิดดินที่กำเนิดอยู่กับที่มีชนิดและคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ (1) ชนิดของหิน และ (2) สภาพแวดล้อม (โดยเฉพาะอย่างยิ่งความชื้นและอุณหภูมิ) ลักษณะเด่นของดินประเภทนี้คือ ดินเม็ดละเอียดจะอยู่บริเวณผิวหน้าของชั้นดิน และเม็ดดินจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามความลึก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ดินประเภทนี้จะมีความหนาของชั้นดินและคุณลักษณะที่แตกต่างกันอย่างมากระหว่างชั้นดินในบริเวณที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งก่อปัญหาอย่างมากในการเจาะสำรวจและการก่อสร้าง



รูปที่ 2.1 หน้าตัดดินที่กำเนิดอยู่กับที่ (Residual soil) (Little, 1969)

2.1.3 ดินที่เกิดจากการพัดพาของตัวกลาง (Transported Soil)

เป็นดินที่เกิดจากการนำพาของตัวกลาง อันได้แก่ น้ำ ธารน้ำแข็ง และลม โดยที่การพาของตัวกลางต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดดินที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป

2.1.3.1 ดินที่เกิดจากพาของน้ำ

- ดินตะกอนแม่น้ำ (Alluvial deposit) เป็นดินที่มีลักษณะการตกตะกอนเป็นชั้น ๆ อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วของกระแสน้ำ ในแต่ละชั้นดินประกอบด้วยขนาดของเม็ดดินที่สม่ำเสมอ
- ดินทะเลสาบ (Lacustrine deposit) เป็นดินที่เกิดจากการทับถมอย่างต่อเนื่องโดยกระแสน้ำจากแม่น้ำลงสู่ทะเล การตกตะกอนเกิดอย่างเป็นลำดับโดยดินเม็ดใหญ่ เช่น กรวดหรือทราย จะตกตะกอนอยู่ในบริเวณไม่ไกลนัก ในขณะที่ดินเม็ดละเอียด เช่น ดินตะกอนและดินเหนียวจะถูกน้ำพัดพาไปทับถมได้ไกลกว่า
- ดินสมุทร (Marine deposit) โดยทั่วไปดินประเภทนี้จะเป็นดินเม็ดละเอียด (ดินเหนียว) ซึ่งอนุภาคของดินมีลักษณะแบนและเล็ก แรงดึงดูดจึงเป็นตัวควบคุมคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินประเภทนี้

เนื่องจากดินประเภทนี้ตกตะกอนในมหาสมุทร ดังนั้น ผิวของดินเหนียวจะถูกยึดโดยสารประจุบวกพวก Na^+ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ทำให้ดินประเภทนี้มีแรงระหว่างอนุภาค (Inter-particle force) ที่สูง ส่งผลให้มีความต้านทานแรงเฉือน (Shear strength) สูง แต่ดินประเภทนี้เมื่อถูกรบกวน (Disturbance) จะสูญเสียความต้านทานแรงเฉือนอย่างมาก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าดินประเภทนี้มีความไวตัว (Sensitivity) สูง ดินเหนียวกรุงเทพฯก็จัดว่าเป็นดินประเภทนี้

2.1.3.2 ดินที่เกิดจากการพัดพาของธารน้ำแข็ง (Moraine or Till)

ประกอบไปด้วยดินที่มีขนาดแตกต่างกันมาก เริ่มจากดินเหนียวจนถึงก้อนหินขนาดใหญ่ (Boulder) ดินประเภทนี้เกิดขึ้นจากการผุกร่อนของหินทางกายภาพ (Mechanical) และทางเคมี (Chemical) และถูกนำพาโดยธารน้ำแข็ง ดินประเภทนี้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานทางด้านวิศวกรรมเพราะมีขนาดคละที่ดี

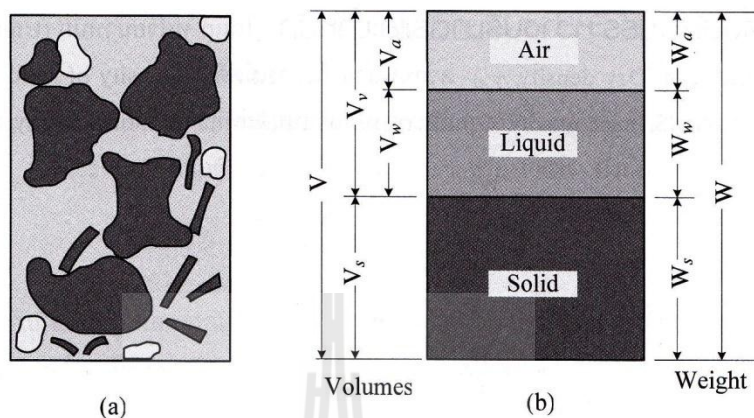
2.1.3.3 ดินที่เกิดจากการพัดพาของลม (Wind-Blown Deposit)

- เนินทราย (Sand dune) เป็นดินที่มีขนาดคละไม่แตกต่างกันนัก ระหว่างการพัดพา เมื่อดินมักเกิดการอัดสึกันเองหรืออัดสึกับก้อนหินใหญ่ๆ ทำให้มีลักษณะโค้งมน
- ดินเหลือง (Loess) เป็นดินที่ประกอบด้วยดินตะกอนเป็นส่วนใหญ่ มีโครงสร้างที่หลวม ดินชนิดนี้จะมีกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear strength) มากเมื่ออยู่ในสภาพแห้ง แต่กำลังต้านทานแรงเฉือนจะลดต่ำลง และเกิดการทรุดตัวมากขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้น (Collapse due to wetting) ดินประเภทนี้พบมากในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของดิน

คุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของดิน ประกอบด้วยปริมาณน้ำในดิน (Water content) ปริมาณอากาศ (Air content) อัตราส่วนช่องว่าง (Void ratio) ร้อยละของช่องว่างอากาศ (Percentage of air void) ระดับความอิ่มตัว (Degree of saturation) ความพรุน (Porosity) และความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เป็นต้น คุณสมบัติเหล่านี้เปรียบเสมือนดัชนีที่ระบุคุณสมบัติของดิน ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงประเภทและปัญหาทางวิศวกรรมที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อนำดินดังกล่าวไปใช้งานวิศวกรรม รูปที่ 2.2 แสดงถึงความสัมพันธ์ของเม็ดดิน น้ำ และอากาศในมวลดิน และตารางที่ 2.1

สรุปจำกัดความของคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆรวมทั้งสมการความสัมพันธ์ในพจน์ของน้ำหนักและปริมาณของมวลดิน



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเม็ดดิน น้ำ และอากาศในมวลดิน

จากความสัมพันธ์พื้นฐานสามารถแสดงได้ดังนี้

$$W = W_s + W_w \quad (2.1)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (2.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (2.3)$$

เมื่อ

V = ปริมาตรทั้งหมดของมวลดิน

V_s = ปริมาตรของเม็ดดิน

V_w = ปริมาตรของน้ำในมวลดิน

V_a = ปริมาตรของอากาศในดิน

V_v = ปริมาตรของโพรงระหว่างเม็ดดิน

W = น้ำหนักของมวลดิน

W_s = น้ำหนักของเม็ดดิน

W_w = น้ำหนักของน้ำในมวลดิน

W_a = น้ำหนักของอากาศในมวลดิน ซึ่งเท่ากับศูนย์

ตารางที่ 2.1 คำจำกัดความและสมการความสัมพันธ์ที่สำคัญในทางวิศวกรรมปฐพี

Parameter	Symbol	Definition
Unit weight	γ	$\gamma_t = \frac{W_t}{V_t}$
Dry unit weight	γ_{dry}	$\gamma_d = \frac{W_s}{V_t}$
Unit weight of water	γ_w	$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$
Buoyant unit weight	γ_b	$\gamma_{sat} - \gamma_w$
Degree of saturation	S	$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100$
Moisture content	W	$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$
Void ratio	e	$e = \frac{V_v}{V_s}$
Porosity	n	$n = \frac{V_v}{V_t} = \frac{e}{1 + e}$
Specific gravity of solids	G_s	$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w \text{ at } 4^\circ \text{ C}}$
Saturated unit weight	γ_{sat}	$\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V_t}$

2.3 คุณสมบัติของดินที่พิจารณาในโครงการวิศวกรรมโยธา

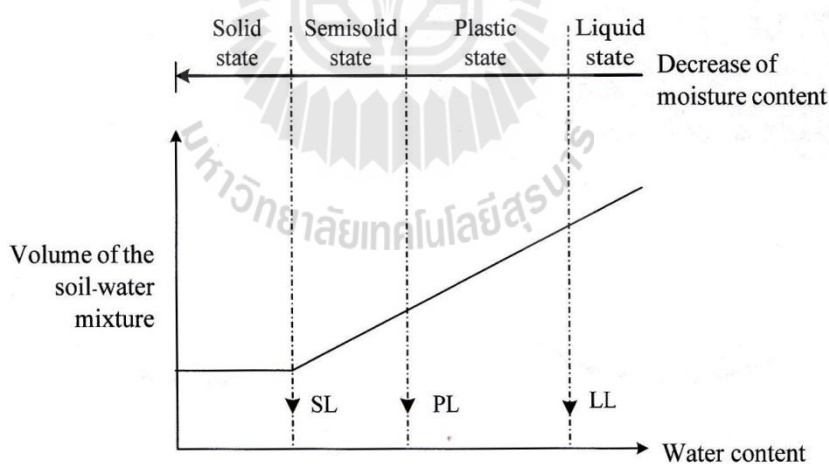
2.3.1 ปริมาณน้ำในมวลดิน (Water content)

ปริมาณน้ำในมวลดินหรือที่รู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งคือ ปริมาณความชื้น (Moisture content) เป็นคุณสมบัติของดินที่มีความสำคัญมาก สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างมวลหรือน้ำหนักของส่วนน้ำต่อมวลหรือน้ำหนักของส่วนแข็ง ปริมาณน้ำในมวลดินนิยมแสดงในหน่วยของร้อยละ โดยพบว่าในดินบางประเภทเช่นดินเหนียว ปริมาณน้ำในมวลดินอาจมีค่าสูงกว่าร้อยละ 100 ซึ่งหมายความว่ามากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักดินคือน้ำหนักน้ำนั่นเอง ปริมาณน้ำในมวลดินถือเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในทางวิศวกรรมปฐพี ดินบางประเภท เช่น ดินเหนียวจะมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน

2.3.2 สถานภาพของดินเม็ดละเอียด (Consistency of fine grained soil)

สถานภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเม็ดละเอียด (Fine grained soil) ได้รับผลกระทบอย่างมากจากปริมาณน้ำในมวลดิน (Moisture content) ถ้าดินเหนียวในสถานะของเหลว (Clay slurry) ถูกทำให้แห้งอย่างช้าๆ ดินเหนียวจะผ่านสถานะต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 คือจะผ่านจากสถานะเหลว (Liquid state) ไปเป็นสถานะพลาสติก (Plastic state) จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นกึ่งของแข็ง (Semisolid state) และของแข็ง (Solid state) ในที่สุด ในปี ค.ศ. 1911 นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนชื่อแอตเทอร์เบิร์ก (Atterberg) ได้เสนอวิธีการหาพิสัยสถานะ (Limit consistency) ของดินเหนียวจากปริมาณความชื้นในดิน (Moisture content) พิกัดเหล่านี้เป็นพิสัยที่แบ่งแยกสถานะของดินได้แก่ ชีดจำกัดเหลว (Liquid limit) พิกัดพลาสติก (Plastic limit) และพิสัยหดตัว (Shrinkage limit)

สถานะเหลว (Liquid state) เป็นสถานะที่ดินมีลักษณะเหมือนเนยอ่อน สถานะที่ดินเสียรูปได้เรียกว่าสถานะพลาสติก (Plastic state) ถ้าดินเหนียวมีลักษณะเหมือนเนยแข็งเสียรูปได้แต่มีรอยแตก เรียกสถานะนี้ว่าสถานะกึ่งของแข็ง (Semisolid state) และดินมีลักษณะเหมือนลูกกวาดแตกเมื่อมีการเสียรูปจะเรียกว่าสถานะของแข็ง (Solid state)



รูปที่ 2.3 สภาวะของดินเหนียว

ขีดจำกัดต่างๆ ที่ระบุในรูปที่ 2.3 สามารถอธิบายได้ดังนี้

- ชีดจำกัดเหลว (*Liquid Limit : LL*) คือ ปริมาณความชื้นที่น้อยที่สุดที่ทำให้ดินเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวและไหลได้ นั่นคือหากดินมีปริมาณน้ำในมวลดินใกล้เคียงค่าขีดจำกัดเหลว ดินนั้นอยู่ในสภาพเหลว

- **ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit : PL)** คือ ปริมาณความชื้นที่น้อยที่สุดที่ทำให้ดินมีความเหนียวจนสามารถปั้นเป็นก้อนได้โดยไม่เกิดรอยแตกที่ผิว
- **ขีดจำกัดหดตัว (Shrinkage Limit : SL)** คือ ปริมาณความชื้นที่น้อยที่สุดที่ทำให้ดินเปลี่ยนแปลงสภาพจากกึ่งแข็งไปเป็นของแข็ง
- **ดัชนีพลาสติก (Plastic index, PI)** สามารถหาได้จากสมการ

$$PI = LL - PL \quad (2.4)$$

ดัชนีพลาสติกแสดงถึงช่วงของปริมาณความชื้นในช่วงที่ดินมีสภาพเป็นของเหลวและพลาสติก ดินมีค่า PI สูงไม่เหมาะสำหรับการนำมาทำเป็นวัสดุพื้นทาง เนื่องจากมีความไวต่อปริมาณความชื้นสูง อาจทำให้พื้นฐานเกิดความเสียหายได้ง่ายและมีอายุการใช้งานสั้น

ตารางที่ 2.2 ค่า Atterberg limits สำหรับดินทั่วไป

ประเภทดิน	LL(%)	PL(%)	PI(%)
ทราย	ไม่มีช่วงพลาสติก		
ทรายเม็ดปน	30-40	20-25	10-15
ดินเหนียว	40-150	25-50	15-100

ทั้งนี้หากต้องการทราบว่าสภาพตามธรรมชาติของดินมีความชื้นเหลือเพียงใด ก็ให้ทำการคำนวณค่าดัชนีความเหลว (*Liquidity index, LI*) ตามสมการ (2.5) และนำไปตรวจสอบกับค่าที่ระบุในตารางที่ 2.2

$$LI = \frac{w-PL}{PI} \quad (2.5)$$

เมื่อ w คือ ปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติ

โดยในตารางที่ 2.3 ได้อธิบายถึงค่า LI ที่สัมพันธ์กับสถานะต่างๆ ของดิน

ตารางที่ 2.3 สถานะของดินจากค่าดัชนีความเหลว (Liquidity Index)

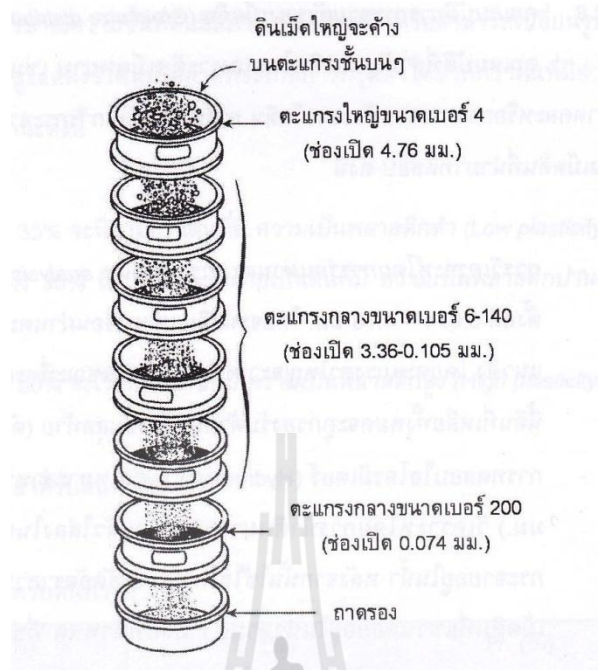
ค่า LI	สถานะของดิน
$LI < 0$	สถานะกึ่งแข็ง – กำลังสูง, เปราะ. มีโอกาสแตกหักได้
$0 < LI < 1$	สถานะพลาสติก – กำลังปานกลาง, สามารถเสียรูปแบบพลาสติก
$LI > 1$	สถานะกึ่งเหลว – กำลังต่ำ, ดินจะเสียรูปคล้ายของเหลวหนืด

2.3.3 คุณสมบัติการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain size distribution)

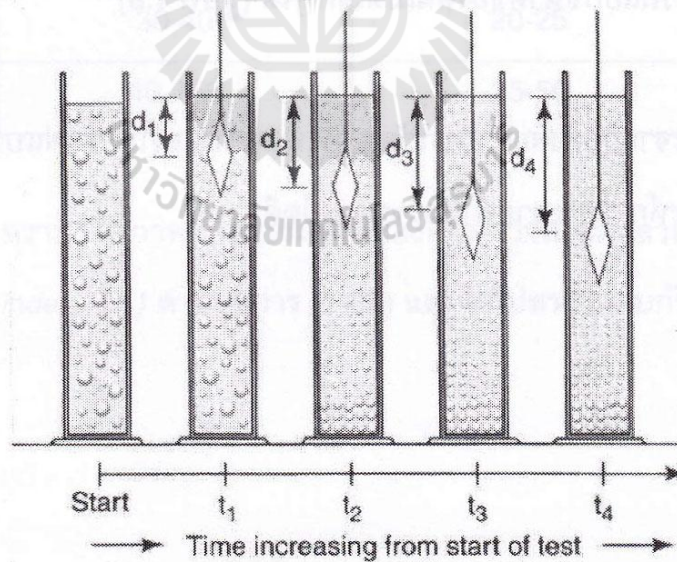
คุณสมบัติที่สำคัญของดิน โดยเฉพาะดินเม็ดหยาบ เช่น ดินทรายหรือดินที่ไม่มีความเชื่อมโยงกันคือขนาดหรือการกระจายตัวของเม็ดดิน การทดสอบหาการกระจายตัวของเม็ดดินทำได้ 2 วิธี ขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดินที่นำมาทดสอบ ดังนี้

- 1) การวิเคราะห์โดยการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) วิธีนี้เหมาะสำหรับดินเม็ดหยาบที่มีขนาดตั้งแต่ 0.075 มม. โดยจะนำดินแห้งมาร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดของช่องเปิดเรียงกันลงมาในแนวดิ่ง โดยตะแกรงตาใหญ่จะวางอยู่ด้านบนในขณะที่ตะแกรงตาถี่จะวางอยู่ด้านล่าง ในการวิเคราะห์นี้ดินที่เหลือทั้งหมดจะถูกกรองรับด้วยถาดในชั้นสุดท้าย (ดังแสดงในรูปที่ 2.4)
- 2) การทดสอบไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer test) เหมาะสำหรับดินที่มีเม็ดละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 0.075 มม.) วิเคราะห์โดยการนำดินมาละลายน้ำแล้วใส่ลงในหลอดแก้ว แล้วกวนให้เม็ดดินหรือตะกอนกระจายอยู่ในน้ำ หลังจากนั้นใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดอัตราการตกตะกอนหรือวัดค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่แขวนลอยอยู่ในน้ำตามความลึกที่กำหนด ที่ช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งหากเป็นไปตามหลักของ Stokes จะพบว่าเม็ดดินขนาดใหญ่จะตกตะกอนเร็วกว่าเม็ดดินขนาดเล็ก โดยกระบวนการทดสอบดังกล่าวทำให้สามารถแยกขนาดของดินเม็ดเล็กๆ ได้ (รูปที่ 2.5)

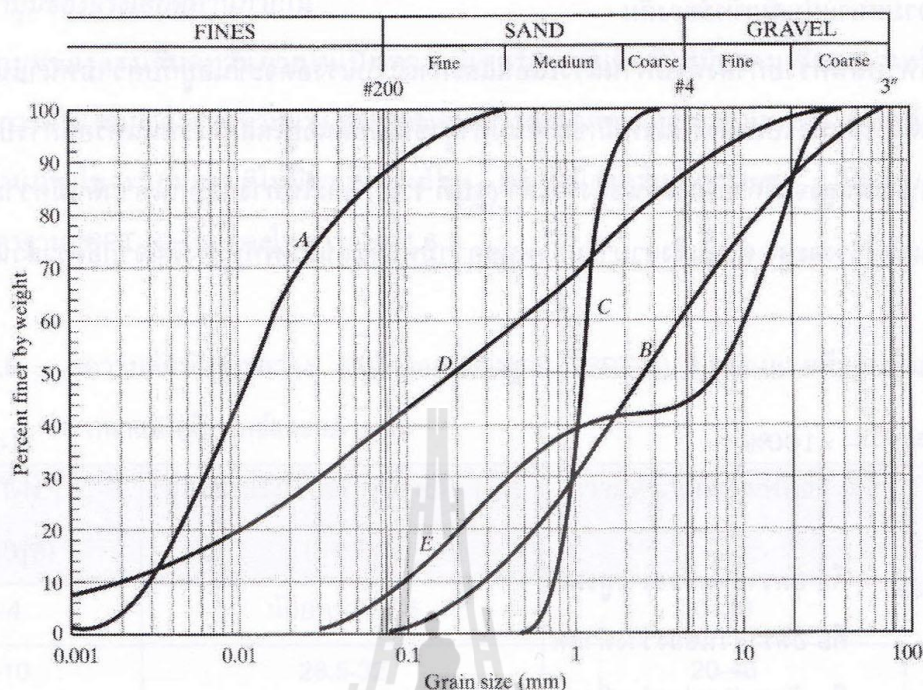
เมื่อทราบขนาดคละจากวิธีทั้งสอง จะนำข้อมูลที่ได้มาเขียนลงในกราฟแบบ Semi-log โดยในรูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างของการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน



รูปที่ 2.4 การวิเคราะห์ผ่านตะแกรงร่อนและตะแกรงขนาดต่างๆ



รูปที่ 2.5 การทดสอบไฮโดรมิเตอร์ซึ่งวัดอัตราการตกตะกอนของดินเม็ดละเอียดในน้ำเทียบกับเวลา



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดิน

เส้นโค้งแต่ละเส้นที่แสดงในรูปที่ 2.6 แสดงผลการวิเคราะห์ดิน 5 ตัวอย่าง นั่นคือ ตัวอย่าง A ถึง E ซึ่งพบว่าดิน A มีการกระจายตัวทางซ้ายมือแสดงว่ามีส่วนประกอบของดินเม็ดละเอียดมาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าดิน A มีลักษณะเป็นดินเม็ดละเอียด เช่น ดินทรายปนหรือดินเหนียว ในขณะที่ดิน B มีการกระจายตัวไปทางขวามือซึ่งแสดงว่ามีส่วนประกอบของดินเม็ดหยาบมาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าดิน B มีลักษณะเป็นดินเม็ดหยาบ อาจเป็นดินหยาบหรือกรวด ในกรณีของดิน C เส้นกราฟจะมีลักษณะชันและแคบบ่งบอกว่ามีการกระจายตัวของเม็ดดินอยู่ในช่วงแคบๆ หรือมีการคละกันของเม็ดดินที่ไม่ดี (Poorly-graded soil) ในกรณีดิน D เส้นกราฟแผ่ครอบคลุมหลายช่วงขนาด แสดงว่ามีขนาดคละที่ดี หรือเรียกว่า Well-graded soil อย่างไรก็ตามก็ตีพบว่าในดินบางประเภท เช่น ดิน E มีลักษณะกราฟที่แผ่กว้างแต่มีความชันที่สูงในบางช่วงซึ่งเรียกว่า (Gapgraded soil) หรือมีขนาดคละที่ขาดช่วง ทำให้บางครั้งอาจถือว่าเป็น Poorly-graded soil ก็ได้เช่นกัน

2.3.4 ค่าตุ้มตอกมาตรฐาน (SPT-N value)

หลักการหาค่า SPT-N value จะใช้การยกตุ้มน้ำหนัก 140 ปอนด์ สูง 30 นิ้ว แล้วปล่อยให้กระแทกกับดินอย่างอิสระ จำนวนครั้งที่นับได้ในการตอกให้ดินยุบ 1 ฟุต จะเรียกว่า SPT-N value ทำให้ค่าดังกล่าวมีหน่วยเป็น “ครั้ง/ฟุต หรือ blows/ft” ทั้งนี้ SPT-N value นิยมใช้กับดินทรายและ

ดินที่มีกรวดขนาดเล็กลงไม่มาก ค่าดังกล่าวแสดงถึงความหนาแน่นสัมพัทธ์และความแข็งแรงของดิน อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวอาจนำไปใช้ทดสอบกับดินเหนียวได้เช่นกันแต่อาจจะได้ผลไม่ดัด

ในกรณีของทรายละเอียดมากหรือทรายเม็ดปนหรือตะกอนทรายที่จมน้ำ ค่า N ที่นับได้จะผิดไปเนื่องจากแรงดันของน้ำ ดังนั้น Terzaghi และ Peck จึงเสนอสูตรปรับแก้ค่า N ในกรณีที่นับค่า N ได้มากกว่า 15 ครั้งดังนี้

$$N' = 15 + \frac{N-15}{2} \quad (2.6)$$

เมื่อ N' คือ ค่า SPT ที่ปรับแก้แล้ว (Corrected SPT-N value)

N คือ ค่า SPT ที่ทดสอบได้ในสนาม (Field SPT-N value)

2.3.5 ค่ามุมของแรงเสียดทานภายใน (Angle of internal friction, ϕ)

ค่ามุมของแรงเสียดทานภายในเป็นพารามิเตอร์สำหรับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่นหรือดินทรายที่นำไปใช้ในการคำนวณกำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน ส่วนดินที่มีความเชื่อมแน่น เช่น ดินเหนียว ค่ามุมของแรงเสียดทานภายในจะนิยมสมมุติให้มีค่าเป็นศูนย์ ($\phi=0$) ทั้งนี้สำหรับดินทรายค่า ϕ มีความสัมพันธ์กับค่าตุ้มตอกมาตรฐาน (SPT-N) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าตุ้มตอกมาตรฐาน (SPT-N) มุมของแรงเสียดทานภายใน ความหนาแน่นสัมพัทธ์และสภาพดิน

SPT-N (ครั้ง/ฟุต)	มุมของแรงเสียดทานภายใน ϕ (องศา)	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (D_r)	สภาพดิน
0-4	น้อยกว่า 28.5	0-20	หลวมมาก
4-10	28.5-32	20-40	หลวม
10-30	32-36	40-60	ปานกลาง
30-50	36-41	60-80	แน่น
มากกว่า 50	มากกว่า 41	80-100	แน่นมาก

2.3.6 กำลังอัดแบบไม่โอบรัด (Unconfined compressive strength, q_u)

กำลังอัดแบบไม่โอบรัดคำนวณได้จากการนำชั้นทดสอบดิน (ดินเหนียว) มากดตามแนวแกนโดยปราศจากแรงดันทางข้าง โดยตารางที่ 2.5 แสดงช่วงของค่า q_u ของดินเหนียวในสภาพต่างๆ

ตารางที่ 2.5 ค่ากำลังอัดแบบไม่โอบรัด

สภาพของดินเหนียว	กำลังอัดแบบไม่โอบรัด (q_u) (ตัน/ม. ²)
อ่อนมาก (Very soft)	น้อยกว่า 2.5
อ่อน (Soft)	2.5-5.0
ปานกลาง (Medium)	5.0-10.0
แข็ง (Stiff)	10.0-20.0
แข็งมาก (Very stiff)	20.0-40.0
แข็งที่สุด (Hard)	มากกว่า 40.0

2.3.7 กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength, S_u)

การทดสอบแบบไม่โอบรัดตามที่อธิบายไว้ใน 2.3.6 ถือว่าเป็นการทดสอบแบบหนึ่งของการทดสอบ 3 แกนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Triaxial test) ซึ่งจากหลักกลศาสตร์ของดินและสมมุติฐานว่าดินเหนียวมีค่า $\sigma = 0$ แล้ว จะสามารถคำนวณค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength, S_u) ได้จาก

$$S_u = \frac{q_u}{2} \quad (2.7)$$

2.4 ระบบการจำแนกดิน

การจำแนกดินคือการจัดกลุ่มดินให้เป็นกลุ่มย่อยๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในทิศทางเดียวกันของวิศวกร โดยไม่จำเป็นต้องมีการบรรยายรายละเอียด ปัจจุบันนี้ระบบการจำแนกดินที่นิยมมีด้วยกัน 2 ระบบ ได้แก่ระบบเอกภาพ (USCS) และระบบ AASHTO ระบบทั้งสองนี้ใช้คุณสมบัติพื้นฐานของดิน ได้แก่ การกระจายของเม็ดดิน (Grain-size distribution) จีดจำกัดเหลว (Liquid limit) และดัชนีสภาพพลาสติก (Plasticity index) เป็นหลักในการจำแนกดิน

2.4.1 ระบบการจำแนกดินเอกภาพ (Unified Soil Classification System, USCS)

ระบบการจำแนกดินเอกภาพเริ่มใช้ในปี ค.ศ.1942 โดยศาสตราจารย์ Casagrande และถูกปรับปรุงโดย Corps of Engineers และสำนักงานการพัฒนาที่ดิน (U.S. Bureau of reclamation) ในปี ค.ศ. 1952 รูปแบบที่ปรับปรุงใหม่นี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในทางวิศวกรรมปฐพี และงานก่อสร้างต่างๆ

ระบบเอกภาพแบ่งดินออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ ดินเม็ดหยาบ (Coarse grained soil) พวกรวดและทราย ซึ่งเป็นดินที่มีขนาดของเม็ดดินค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (ขนาด 0.075 มิลลิเมตร) มากกว่าร้อยละ 50 ของดินทั้งหมด และดินเม็ดละเอียด (Fine grained soil) พวกรวดละเอียดและดินเหนียว ซึ่งคือดินที่มีขนาดของเม็ดดินค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักดินทั้งหมด ต่อมาจะทำการจำแนกดินตามคุณสมบัติพื้นฐานของดิน สำหรับดินเม็ดหยาบ จะใช้ข้อมูลการกระจายของเม็ดดิน (Grain size distribution) และสำหรับดินเม็ดละเอียด จะใช้ข้อมูลพิกัดแอดเทอร์เบิร์ก ดังอธิบายในตารางที่ 2.6 สัญลักษณ์ของกลุ่มดินที่จำแนกโดยระบบนี้จะประกอบด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ 2 ตัว เช่น GW และ SM เป็นต้น โดยตัวอักษรตัวแรกแสดงชนิดของดิน (ดินเม็ดหยาบ หรือเม็ดละเอียด) ตัวที่สองแสดงคุณสมบัติของดินตัวอักษรแต่ละตัวมีความหมายดังต่อไปนี้

G = กรวด (Gravel)	W = มีขนาดคละดี (Well graded)
S = ทราย (sand)	P = มีขนาดคละไม่ดี (Poorly graded)
C = ดินเหนียว (Clay)	H = มีสภาพพลาสติกสูง (High plasticity)
M = ดินตะกอน (Silt)	L = มีสภาพพลาสติกต่ำ (Low plasticity)
O = ดินอินทรีย์สาร (Organic soil)	

2.4.2 ระบบการจำแนก AASHTO (AASHTO Soil Classification System)

ระบบการจำแนกดินชนิดนี้ใช้สำหรับก่อสร้างถนน ซึ่ง American Association of State Highway and Transportation Official หรือ AASHTO เป็นผู้นำมาใช้ โดยกรมการทาง (Bureau of public Roads) เป็นผู้คิดขึ้นเมื่อประมาณปลายทศวรรษที่ 1920 ระบบนี้แบ่งดินอินทรีย์เป็น 7 กลุ่ม

ตารางที่ 2.6 การจำแนกดินโดยวิธี USCS

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^A		Soil Classification		
		Group Symbol	Group Name ^B	
Coarse-Grained Soils More than 50 % retained on No.200 sieve	Gravels	C _u > 4 and 1 < C _c < 3 ^E	Well-graded gravel ^B	
	More than 50 % of coarse fraction retained on No.4 sieve	C _u < 4 and/or 1 > C _c > 3 ^E	Poorly graded gravel ^F	
Sand	50 % or more of coarse fraction passes No.4 sieve	Fines classify as ML or MH	Silty gravel ^{F,G,H}	
	Less than 50 % of coarse fraction passes No.4 sieve	Fines classify as CL or CH	Clayey gravel ^{F,G,H}	
		C _u > 6 and 1 < C _c < 3 ^E	Well-graded sand ^I	
		C _u < 6 and/or 1 > C _c > 3 ^E	Poorly graded sand ^I	
Fine-Grained Soils 50 % or more passes the No.200 sieve	Silts and Clays	Fines classify as ML or MH	Silty sand ^{G,H,I}	
	Liquid limit less than 50%	Fines classify as CL or CH	Clayey sand ^{G,H,I}	
Silty and Clays	Liquid limit less than 50%	PI > 7 and plots on or above "A" line ^J	Lean clay ^{K,L,M}	
		PI < 4 or plots below "A" line ^J	Silt ^{K,L,M}	
	Liquid limit 50% or more	Organic	Liquid limit - Oven dried < 0.75	Organic clay ^{K,L,M,N}
		Inorganic	Liquid limit - not dried < 0.75	Organic silt ^{K,L,M,O}
Highly organic soils	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor	PI > 7 and plots on or above "A" line ^J	Fat clay ^{K,L,M}	
		PI < 4 or plots below "A" line ^J	Elastic silt ^{K,L,M}	
	Liquid limit 50% or more	Organic	Liquid limit - Oven dried < 0.75	Organic clay ^{K,L,M,P}
		Primarily organic matter, dark in color, and organic odor	Liquid limit - Oven dried < 0.75	Organic silt ^{K,L,M,Q}
			Peat	

^A Based on the material passing the 3-in.(75-mm) sieve.
^B If field sample contained cobbles or boulders, or both, add "with cobbles or boulders, or both" to group name.
^C Gravels with 5 to 12% fines require dual symbols:
 GW-GM, well-graded gravel with silt
 GP-GC, well-graded gravel with clay
 GP-GM, poorly graded gravel with silt
 GP-GC, poorly graded gravel with clay
^D Sand with 5 to 12% fines require dual symbols:
 SW-SM, well-graded sand with silt
 SW-SC, well-graded sand with clay
 SP-SM, poorly graded sand with silt
 SP-SC, poorly graded sand with clay
^E C_u = D₆₀ / D₁₀, C_c = (D₃₀)² / (D₁₀D₆₀)
^F If soil contains ¹ 15% sand, add "with sand" to group name.
^G If soil contains ¹ 15% gravel, add "with gravel" to group name.
^H If soil contains ¹ 15% gravel, add "with gravel" to group name.
^I If Atterberg limits plot in hatched area, soil is a CL-ML silty clay.
^J If soil contains 15 to 29% plus No.200, add "with sand" or "with gravel" whichever is predominant
^K If soil contains ¹ 30% plus No.200, predominantly sand, add "sandy" to group name.
^L If soil contains ¹ 30% plus No.200, predominantly gravel, add "gravelly" to group name.
^M PI < 4 and plots on or above "A" line.
^N PI < 4 or plots below "A" line.
^O PI plots on or above "A" line.
^P PI plots below "A" line.

ใช้สัญลักษณ์ A-1 ถึง A-7 ซึ่งแบ่งโดยใช้ผลทดสอบการกระจายของเม็ดดิน ซีดจำกััดเหลว และ ดัชนีสภาพพลาสติก กลุ่ม A-1 ถึง A-3 เป็นดินเม็ดหยาบ และ A-4 ถึง A-7 เป็นดินเม็ดละเอียด ส่วนดินอินทรีย์นั้นถูกจัดอยู่ในกลุ่ม A-8 ดินทั้ง 7 กลุ่มนี้ (A-1 ถึง A-7) จะมีดัชนีกลุ่ม (Group index, *GI*) เป็นตัวชี้คุณสมบัติของดิน ซึ่งหาได้จากสมการ

$$GI = (F-35)[0.2 + 0.005(LL-40)] + 0.01(F-15)(PI-10) \quad (2.8)$$

เมื่อ *F* คือร้อยละของดินที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200

ค่าดัชนีกลุ่มจะบอกเป็นตัวเลขจำนวนเต็มตั้งแต่ศูนย์ โดยใช้การปัดทศนิยมตัวที่หนึ่งและวงเล็บไว้ที่หลังกลุ่มดิน เช่น A-7-7(5) ถ้าค่าดัชนีกลุ่มมีค่ามาก ดินนั้นจะไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ทำวัสดุชั้นรองคั่นทาง สำหรับดินกลุ่ม A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 และ A-3 ค่าดัชนีกลุ่มจะเท่ากับศูนย์เสมอ ตารางที่ 2.7 และรูปที่ 2.7 แสดงการแบ่งชนิดของดิน โดยระบบนี้

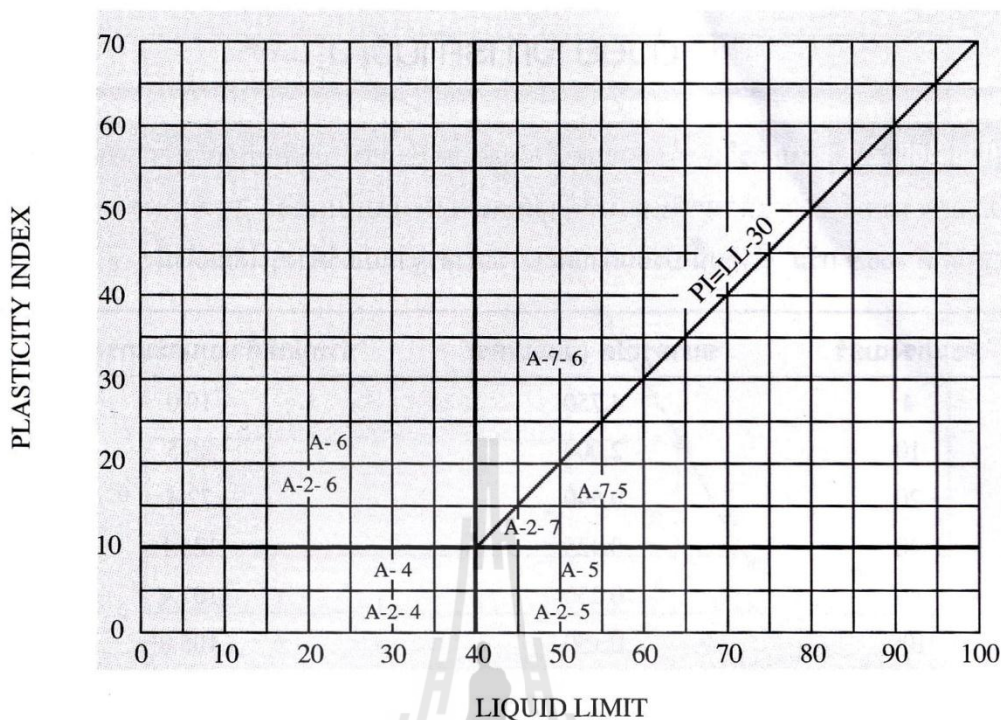
ตารางที่ 2.7 การจำแนกดินโดยระบบ AASHTO

General Classification	Granular Materials (35 % or less passing 0.075 mm.)							Silt-Clay Materials (more than 35 % passing 0.075 mm.)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5, A-7-6
Group Classification:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Sieve analysis: percent passing											
2.00 mm (No.10)	50 max.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.425mm (No.40)	30 max.	50 max.	51 min.	-	-	-	-	-	-	-	-
0.075mm (No.200)	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing 0.425 mm. (No.40)											
Liquid limit	-		-	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		NP ^a	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min. ^b
Usual types of significant Constituent materials	Stone fragments, gravel, and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand				Silty soils		Clayey soils	
General rating as subgrade	Excellent to good							Fair to poor			

^aNP, nonplastic.

^bPlasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30.

Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30 (see Figure 2.16)



รูปที่ 2.7 ช่วงของขีดจำกัดเหลวและดัชนีสภาพพลาสติกของดินสำหรับกลุ่ม A-2, A-4, A-5, A-6 และ A-7

2.5 แผนการเจาะและสำรวจชั้นดิน

แผนการเจาะและสำรวจสำหรับโครงการก่อสร้างใดๆ สามารถแบ่งอย่างคร่าวๆ ได้ 4 ขั้นตอน

- 1) การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้าง ขั้นตอนนี้จะทำการรวมข้อมูลที่จำเป็น เช่น ชนิดของโครงการที่จะก่อสร้างและการใช้ประโยชน์ในอนาคต น้ำหนักจากเสา และกำแพง เป็นต้น
- 2) การรวบรวมข้อมูลสภาพชั้นดินที่มีอยู่ จะเป็นการประหยัดอย่างมาก ถ้าวิศวกรผู้รับผิดชอบโครงการทำการวิเคราะห์ข้อมูลชั้นดินที่มีอยู่แล้ว ข้อมูลเหล่านี้สามารถหาได้จากแผนที่สำรวจทางธรณี คู่มือการทดสอบดินของกรมทางหลวง และรายงานข้อมูลดินสำหรับโครงการก่อสร้างที่อยู่ใกล้เคียง
- 3) การสำรวจพื้นที่ที่จะทำการก่อสร้าง วิศวกรควรทำการสำรวจพื้นที่ที่จะทำการก่อสร้าง และพื้นที่ใกล้เคียง ข้อมูลที่ได้รับจากการสำรวจมีคุณค่าอย่างมาก เช่น ชนิดของพืชผักในสนามอาจจะบ่งบอกถึงลักษณะของชั้นดิน การเปิดหน้าดิน อาจจะทำให้เราเห็นชั้น

ดิน ได้อย่างชัดเจน รอยแตกบนกำแพงของอาคาร ใกล้เคียงอาจบ่งบอกขนาดการทรุดตัวของอาคารที่จะทำการก่อสร้าง เป็นต้น

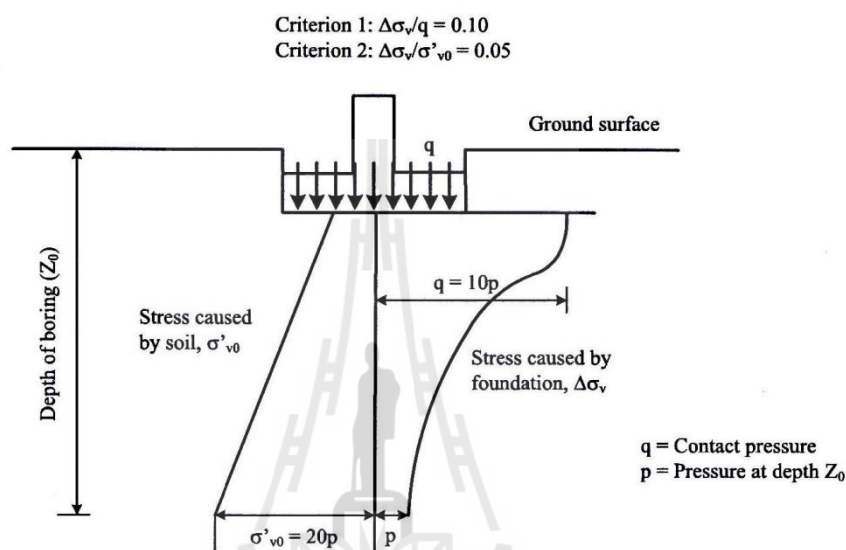
- 4) การสำรวจพื้นที่อย่างละเอียด ขั้นตอนนี้ประกอบด้วยการทำหลุมสำรวจหลายๆ หลุม และการเก็บตัวอย่างคงสภาพและแปรสภาพที่ระดับความลึกต่างๆ เพื่อการจำแนกด้วยตา และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ในการเจาะสำรวจอย่างน้อยที่สุดควรมีหลุมเจาะที่ทุกมุม และจุดกึ่งกลางของตึก การเจาะสำรวจเพิ่มอาจมีความจำเป็นขึ้นอยู่กับความแปรปรวนของชั้นดิน สำหรับการเจาะสำรวจเพื่อก่อสร้างฐานรากตื้น หลุมเจาะควรมีความลึกอย่างน้อย 1.5 ถึง 2.0 เท่าของความกว้างของรากฐาน เกณฑ์พื้นฐานในการเจาะสำรวจคือความลึกอย่างน้อยของหลุมเจาะควรเป็นความลึกซึ่งความเค้นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักโครงสร้างมีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของความเค้นจากโครงสร้าง หรือความลึกซึ่งความเค้นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักโครงสร้างมีค่าน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกดทับ (Overburden pressure) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 สำหรับงานฐานรากเสาเข็ม หลุมเจาะควรทะลุชั้นดินแข็ง 5 ถึง 7 เมตร และควรทะลุชั้นหินอย่างน้อย 1 เมตร สำหรับงานดินชุด หลุมเจาะควรมีความลึกอย่างน้อย 1.5 เท่าของความลึกของงานดินชุด ข้อเสนอแนะในการเลือกความลึกและจำนวนหลุมสำรวจแสดงดังตารางที่ 2.8 และ 2.9

ตารางที่ 2.8 ข้อเสนอแนะสำหรับระยะห่างระหว่างหลุมเจาะ (Sower, 1979)

โครงการ	ระยะห่างระหว่างหลุมเจาะ (เมตร)			จำนวนหลุมเจาะอย่างน้อย
	สภาพชั้นดินตามแนบราบ			
	สม่ำเสมอ	ธรรมดา	ไม่แน่นอน	
อาคารหลายชั้น	50	30	15	4
อาคารชั้นเดียวหรือสองชั้น	60	30	15	3
ตอม่อสะพาน หอสอง		30	7	1-2 สำหรับแต่ละหน่วย
ทางหลวง	300	150	30	
บ่อขี้ม (สำหรับดินถมบดอัด)	300-150	150-160	30-15	

ตารางที่ 2.9 ข้อเสนอแนะสำหรับการกำหนดความลึกหลุมเจาะสำหรับงานฐานรากตื้น (Sower,1979)

ประเภทของอาคาร	ความลึกหลุมเจาะ (เมตร)
แคบและเบา	3 (จำนวนชั้น) ^{0.7}
กว้างและหนัก	6 (จำนวนชั้น) ^{0.7}



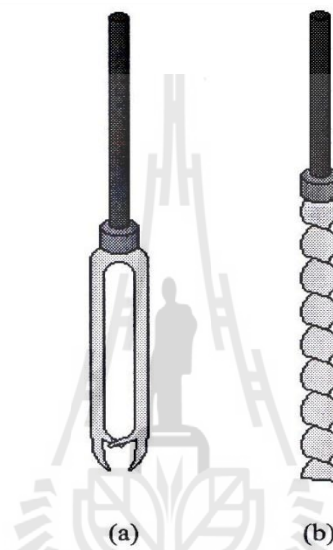
รูปที่ 2.8 การประมาณความลึกของหลุมสำรวจ

2.6 วิธีการเจาะหลุมสำรวจ

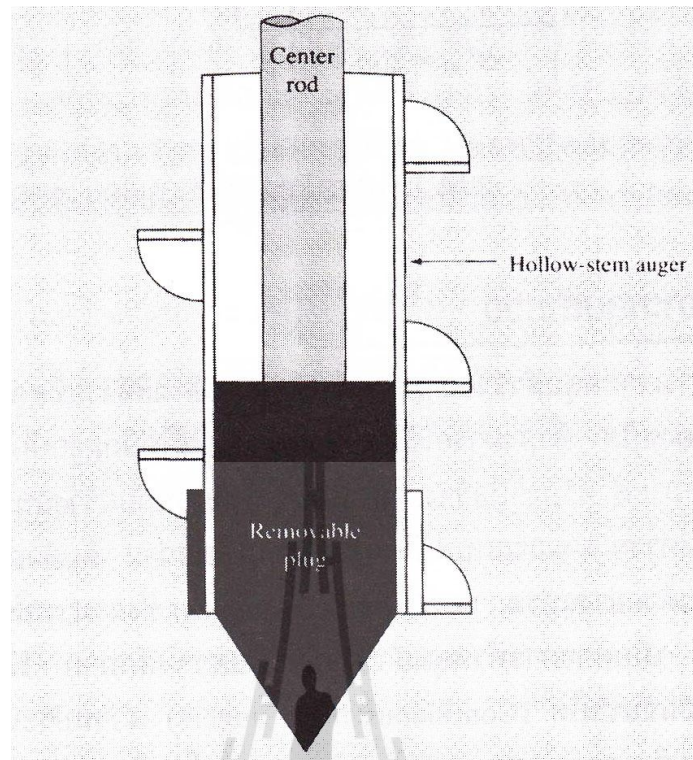
การเจาะหลุมสำรวจสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดคือการใช้สว่าน รูปที่ 2.9 แสดงสว่านมือสองชนิด ซึ่งสามารถใช้เจาะหลุมสำรวจได้ไม่ลึกมากนัก (ประมาณ 3 ถึง 5 เมตร) สว่านมือนี้เหมาะสำหรับงานสร้างอาคารเล็กๆ และงานก่อสร้างถนน ชนิดและลักษณะของดินที่ระดับความลึกต่างๆ สามารถเห็นได้จากดินที่ติดมากับสว่าน ดินตัวอย่างที่ได้จากการเจาะสำรวจโดยวิธีนี้เป็นดินตัวอย่างแปรสภาพ (Disturbed samples) ซึ่งสามารถใช้ในการหาคุณสมบัติพื้นฐาน

เมื่อต้องการทำหลุมสำรวจที่ระดับความลึกมาก วิธีที่นิยมใช้ทั่วไปคือการใช้สว่านต่อเนื่องแบบขึ้นบันได (Continuous flight augers) สว่านประเภทนี้มีความยาวประมาณ 90 ถึง 150 เซนติเมตรต่อท่อน ระหว่างทำการเจาะท่อนที่สองสามารถต่อกับท่อนที่หนึ่งได้ ทำให้เกิดความต่อเนื่องในการเจาะ ตัวก้านของสว่านแบบนี้มีสองแบบ คือแบบตัวก้านกลวง (รูปที่ 2.10) และตัวก้านตัน

สว่านต่อเนื่องแบบขับเคลื่อนได้นี้นำดินหลวมจากชั้นหลุมสำรวจมายังผิวดิน ผู้เจาะสำรวจสามารถทราบว่าการเปลี่ยนแปลงชนิดของดินโดยสังเกตความเร็วของการเจาะและเสียงที่เปลี่ยนไป ในการเจาะสำรวจโดยใช้สว่านแบบตัวก้านตัน ผู้สำรวจต้องทำการถอนสว่านขึ้นทุกระดับความลึกที่ต้องการเก็บดินตัวอย่างและทำการทดสอบในสนาม เช่น การทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard penetration test) แต่ถ้าใช้สว่านแบบตัวก้านกลวง ผู้สำรวจสามารถทำการทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐานและเก็บตัวอย่างดินโดยไม่จำเป็นต้องถอนสว่าน



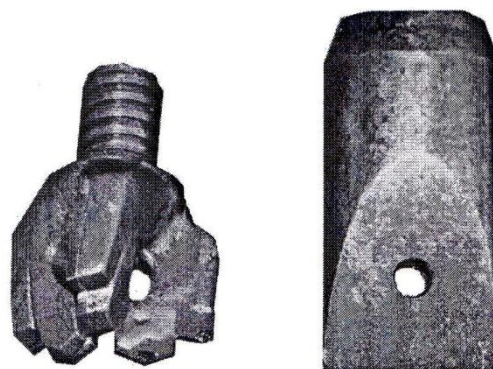
รูปที่ 2.9 สว่านมือ (a) สว่าน lawn (b) สว่าน Slip



รูปที่ 2.10 ส่วนแบบตัวก้านกลาง

วิธีการเจาะแบบเปียก (Wash boring) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการเจาะหลุมสำรวจโดยตอกปลอกกันดิน (Casing) ยาวประมาณ 2 ถึง 3 เมตร ลงไปในดิน อุปกรณ์เจาะสำรวจประกอบด้วย

- 1) หัวเจาะกระแทก (Chopping bit) ซึ่งมีด้วยกันหลายแบบ รูปที่ 2.11 แสดงรูปหัวเจาะกระแทกที่นิยมใช้
- 2) ก้านเจาะ (Drill rod) ซึ่งจะเป็นท่อกลวงและใช้ประกอบกับหัวเจาะกระแทก ก้านเจาะมีความยาวตั้งแต่ 0.5-3.0 เมตร และต่อกันด้วยข้อต่อเกลียว ดังแสดงในรูปที่ 2.12



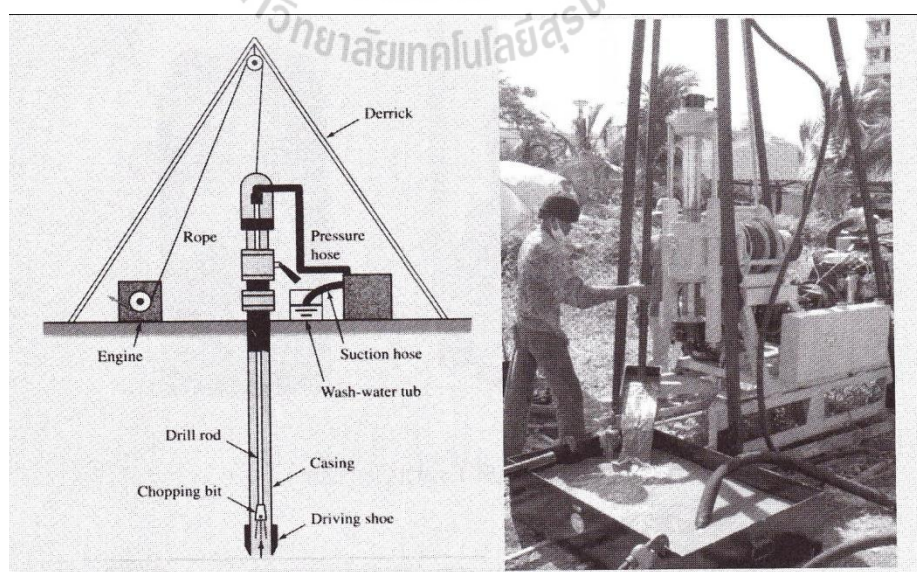
รูปที่ 2.11 หัวเจาะกระแทก



รูปที่ 2.12 ก้านเจาะ

ระหว่างเจาะสำรวจ น้ำโคลน (เบนโทไนต์ผสมน้ำ) จะถูกฉีดด้วยความแรงผ่านก้านเจาะ และพุ่งออกไปยังรูของหัวกระแทก (Chopping bit) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 น้ำโคลนและดินที่ถูกกระแทกจนเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยจะพุ่งขึ้นไปตามช่องว่างระหว่างก้านเจาะและผนังของหลุมสำรวจ เราสามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินจากสีและขนาดของเม็ดดินที่พุ่งขึ้นมาพร้อมน้ำโคลน น้ำโคลนนอกจากจะช่วยให้เกิดความหนืด ทำให้มีเวลามากพอสำหรับการทดสอบในสนาม (In-situ test) ก่อนที่เม็ดดินจะตกกลับไปยังก้นหลุมแล้ว ยังช่วยป้องกันการพังทลายของผนังหลุมสำรวจ อุปกรณ์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งในการเจาะสำรวจด้วยวิธีนี้คือปั้มน้ำ ซึ่งต้องมีความแรงเพียงพอที่จะนำเศษดินที่ระดับก้นหลุมขึ้นมายังผิวดิน

วิธีการเจาะสำรวจด้วยวิธีนี้ไม่เหมาะสมสำหรับดินเม็ดละเอียดที่มีดินเม็ดหยาบปน (ดินตะกอนปนกรวด หรือดินเหนียวปนกรวด) เนื่องจากในการเจาะสำรวจ ดินเม็ดละเอียดจะลอยปนขึ้นมาค้ำกับน้ำโคลน แต่ดินเม็ดหยาบ (กรวด) ไม่สามารถลอยขึ้นมาได้ เนื่องจากมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ดังนั้น ดินเม็ดหยาบนี้จะกองอยู่ก้นหลุมเจาะ ทำให้ไม่สามารถเจาะลงไปได้อีก วิธีที่เหมาะสมสำหรับดินประเภทนี้คือการเจาะด้วย Rotary

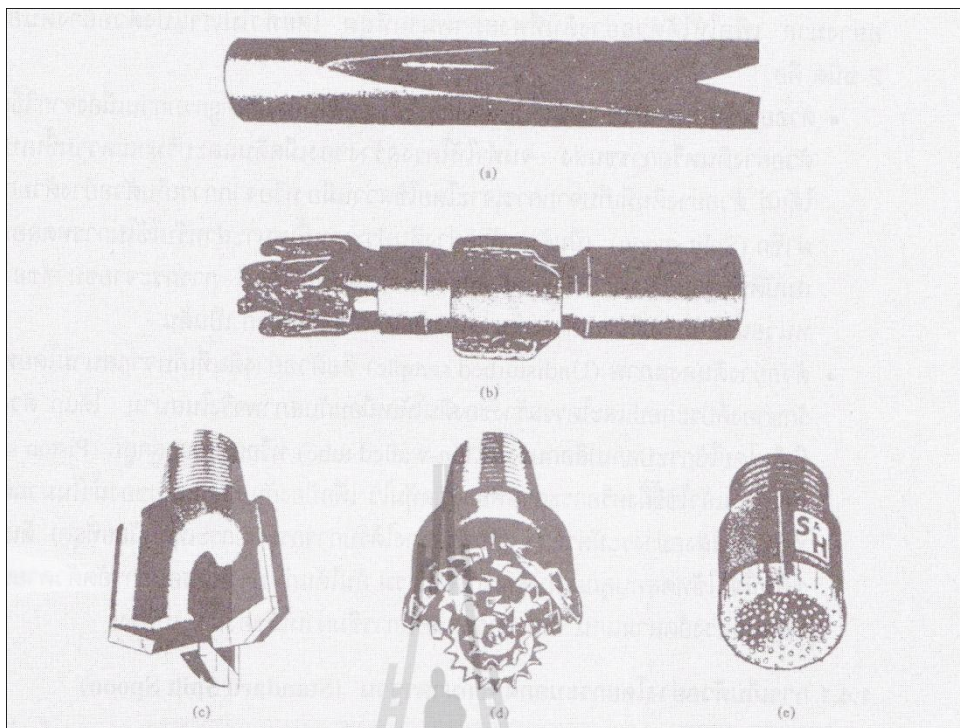


รูปที่ 2.13 ภาพถ่ายการเจาะแบบเปียก (Wash boring)

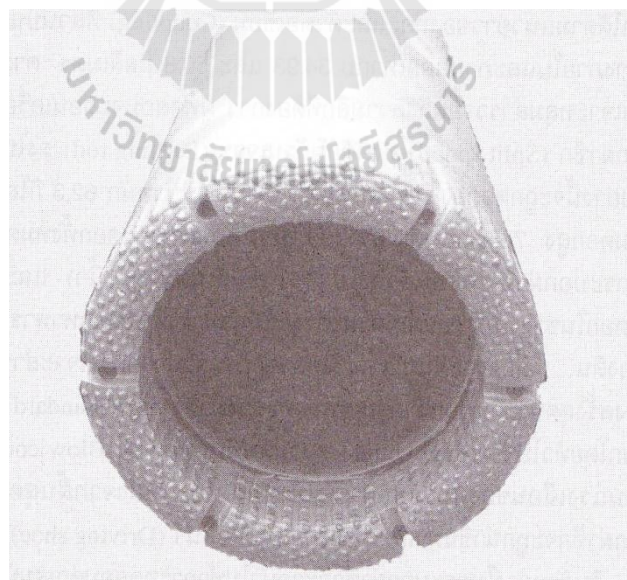
วิธีเจาะกระแทก (Percussion Drilling) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้เจาะหลุมทดสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินแข็งหรือหิน วิธีนี้จะคล้ายกับการเจาะแบบเปียก (Wash boring) เพียงแต่หัวเจาะจะมีขนาดใหญ่และหนักกว่ามาก ในบางกรณีอาจไม่จำเป็นต้องใช้ปลอกกันดิน ดินและเศษหินที่ถูกกระแทกจนเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยจะพุ่งขึ้นมากับน้ำโคลน

วิธี Rotary Drilling เป็นวิธีที่ใช้ในการเจาะสำรวจสภาพหิน แต่ก็สามารถนำมาใช้ในการสำรวจดินได้เช่นกัน อุปกรณ์ที่ใช้ในการเจาะหลุมโดยวิธีนี้ประกอบด้วยก้านเจาะแบบกลวง (Hollow drill rod) หลายๆ ท่อนต่อกัน โดยปลายล่างติดกับหัวเจาะ (Bit) ซึ่งอาจจะเป็นหัวเจาะตัด (Cutting bit) หรือหัวเจาะเก็บตัวอย่าง (Coring bit) ในระหว่างที่ทำการเจาะ ก้านเจาะที่ติดหัวเจาะจะหมุนด้วยแรงที่ส่งมาจาก Drill head ซึ่งจะหมุนและกดหัวเจาะในเวลาเดียวกัน การทำเช่นนี้นอกจากจะเป็นการกดให้หินหรือดินเม็ดหยาบแตกออกแล้ว ยังเป็นการบีบเศษหินหรือเศษดินเม็ดหยาบขนาดใหญ่ออกด้านข้างหลุมสำรวจ ในขณะเดียวกัน ของเหลว เช่น น้ำ หรือน้ำโคลน (Drilling mud) จะถูกปั๊มเข้าไปยังก้านเจาะและพุ่งออกทางรูที่อยู่บนหัวเจาะ ซึ่งเป็นหลักการเดียวกับการเจาะแบบเปียก (Wash boring) ของเหลวเหล่านี้นอกจากจะทำหน้าที่ลดความร้อนที่เกิดขึ้นในหัวเจาะในขณะที่เจาะแล้ว ยังช่วยนำเศษดินหรือหินขนาดเล็กออกจากหลุมโดยผ่านขึ้นมาตามช่องว่างระหว่างผนังของหลุมสำรวจและก้านเจาะ ถึงแม้ว่าของเหลวจำพวกน้ำโคลน (Drilling mud) สามารถใช้ป้องกันดินพังเข้าไปในหลุมสำรวจได้ในกรณีที่ไม่มีการปลอกกันดิน แต่อย่างไรก็ตาม ในการเจาะสำรวจในชั้นทรายที่หนามาก เช่น บริเวณริมฝั่งแม่น้ำ โขงน้ำโคลนเพียงอย่างเดียวไม่สามารถป้องกันการพังทลายของดินได้ จำเป็นต้องใช้ปลอกเหล็กยาวตลอดความลึกของชั้นทราย โดยปลายของปลอกเหล็กต้องเป็นหัวเจาะที่ทะลุชั้นดินด้วยการหมุน (Rotary)

ตัวอย่างของหัวเจาะตัด (Cutting bit) แสดงในรูปที่ 2.14 ส่วนหัวเจาะเก็บตัวอย่าง (Coring bit) ซึ่งสามารถใช้เก็บตัวอย่างของดินหรือหิน แสดงดังรูปที่ 2.15 หัวเจาะจะทำจากเพชร และมีรูน้ำเพื่อให้ น้ำไหลผ่านขณะเจาะเก็บตัวอย่างซึ่งจะใช้เครื่องปัมน้ำจากถังเก็บน้ำผ่านไปยังก้านเจาะและหัวเจาะ ถ้าปราศจากน้ำจะเกิดความร้อนอย่างมาก และทำให้เกิดความเสียหายกับหัวเจาะ ดังนั้น ในการเจาะสำรวจ ผู้เจาะสำรวจต้องหมั่นตรวจสอบว่ามีการลดลงของน้ำในถังน้ำหรือไม่ ถ้าพบว่าการลดลงของน้ำในถังน้ำมีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าอาจมีปัญหาก่อเกิดขึ้นกับเครื่องปัมน้ำ ผู้เจาะสำรวจควรหยุดการเจาะทันที



รูปที่ 2.14 หัวตัด (Cutting bits)



รูปที่ 2.15 หัวเก็บตัวอย่าง (Coring bit)

2.7 วิธีการเก็บตัวอย่าง

ระหว่างการเจาะหลุมสำรวจ เราสามารถที่จะทำการเก็บตัวอย่างดินที่ความลึกต่างๆ ที่ต้องการได้ การเก็บตัวอย่างดินในสนามและขนส่งตัวอย่างดินต้องใช้ความชำนาญและความระมัดระวังอย่างมาก เพื่อให้ได้ตัวอย่างดินที่คงสภาพมากที่สุด โดยทั่วไปเราแบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 2 ชนิด คือ

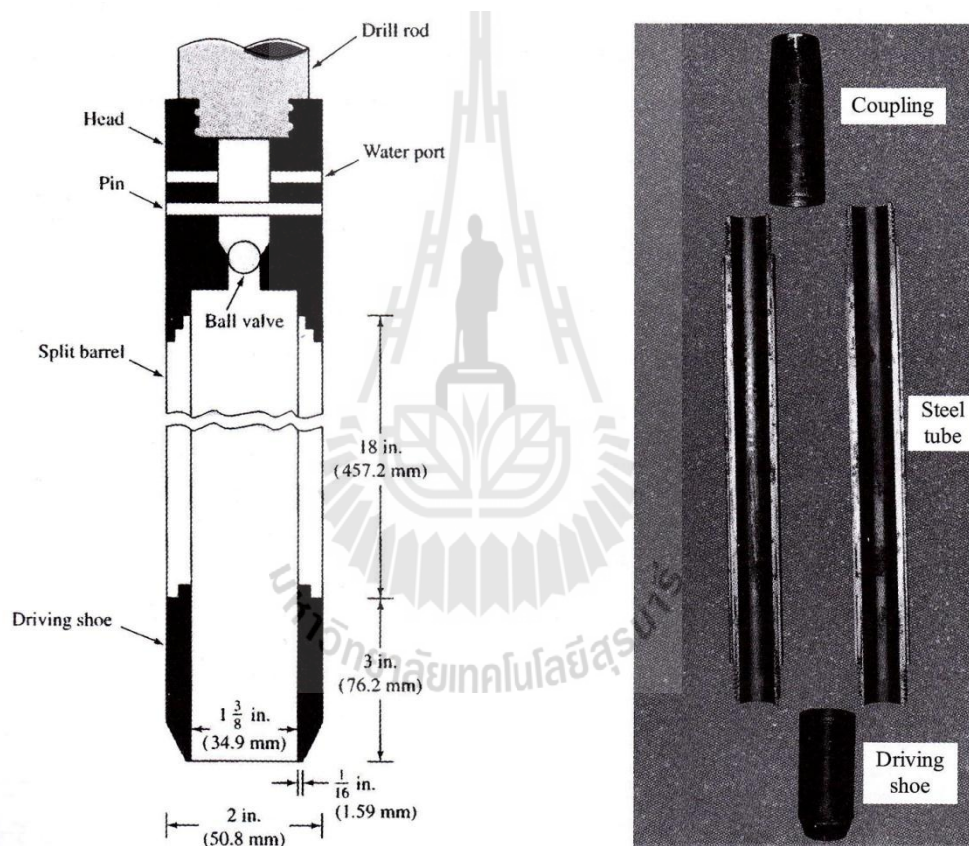
- ตัวอย่างดินแปรสภาพ (Disturbed samples) คือตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนเนื่องจากการเก็บตัวอย่างดินหรือการขนส่ง จนทำให้โครงสร้างของเม็ดดินและปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ ตัวอย่างดินที่เก็บจากการเจาะโดยใช้ส่ววนมือ หรือจากการเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกล่าชีก (Split spoon) เป็นต้น ตัวอย่างดินประเภทนี้เหมาะสำหรับใช้ในการทดสอบหาคคุณสมบัติพื้นฐาน (Basic/Physical properties) ของดิน ได้แก่ การกระจายขนาดของเม็ดดินหน่วยน้ำหนัก ปริมาณความชื้น และพิกัดอัตราเบอร์ร็อก เป็นต้น
- ตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed sample) คือตัวอย่างดินที่เก็บจากสนามโดยพยายามรักษาองค์ประกอบและโครงสร้างของดินให้เหมือนกับสภาพจริงในสนาม ได้แก่ ตัวอย่างดินที่เก็บโดยใช้กระบอกล่าชีกบาง (Thin-walled tube) หรือกระบอกลูกสูบ (Piston sampler) เป็นต้น แล้วใช้ซีลหรือกระดาษพอยล์ปิดหุ้มไว้ เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในมวลดิน และทำการขนส่งอย่างระมัดระวัง (ดินตัวอย่างได้รับการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด) ดินตัวอย่างชนิดนี้จะใช้ทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม อันได้แก่ การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ การทดสอบแรงอัดสามแกน และการทดสอบการซึมผ่านได้ของน้ำ เป็นต้น

2.7.1 การเก็บตัวอย่างโดยกระบอกล่าชีกมาตรฐาน (Standard Split Spoon)

รูปที่ 2.16 แสดงภาพอธิบายและภาพถ่ายกระบอกล่าชีก (Split spoon) กระบอกล่าชีกนี้ประกอบด้วย ปลายนำ (Driving shoe) ที่ส่วนท้าย ท่อเหล็ก (Steel tube) ที่ส่วนกลางซึ่งสามารถเปิดออกได้ตามแนวยาวของท่อ และตัวต่อเชื่อม (Coupling) ที่ส่วนบน กระบอกล่าชีกมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ 34.93 และ 50.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เมื่อเจาะหลุมสำรวจจนถึงความลึกที่ต้องการ ผู้ทดสอบจะถอนเครื่องมือเจาะออก และหย่อนกระบอกล่าชีก (Split spoon) ซึ่งติดกับก้านเจาะ (Drilling rod) ลงไปยังหลุมสำรวจ กระบอกล่าชีกนี้จะถูกตอกลงไปในดิน โดยใช้ตุ้มตอกซึ่งมีน้ำหนัก 62.3 กิโลกรัม การตอกแต่ละครั้งจะยกตุ้มตอกสูง 76.2 เซนติเมตร (30 นิ้ว) และทำการตอกทั้งหมดสามครั้ง ในแต่ละครั้งจะต้องให้กระบอกล่าชีกเคลื่อนตัวลงไป 15 เซนติเมตร (6 นิ้ว) และทำการบันทึกจำนวนตอกจำนวนตอกในช่วง 15 เซนติเมตรแรก จะไม่นำมาใช้พิจารณาหาพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน

เนื่องจากดินบริเวณดังกล่าวถูกรบกวนจากการเจาะสำรวจ ผลรวมของจำนวนตอกสองครั้งสุดท้าย เรียกว่าตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard penetration number, N) หรือเรียกโดยทั่วไปว่า Blow count ความสัมพันธ์ระหว่าง Blow count และพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินจะอธิบายในหัวข้อถัดไป หลังจากสิ้นสุดการตอก เครื่องมือเจาะจะถูกนำขึ้นมาและทำการถอดปลอกนำ (Driving shoe) และตัวเชื่อม (Coupling) ออก ดินตัวอย่างในกระบอกผ่าซีกจะถูกนำไปทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานในห้องปฏิบัติการต่อไป โดยทั่วไปการหาตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard penetration number) และการเก็บตัวอย่างจะกระทำทุกความลึก 1.5 เมตร

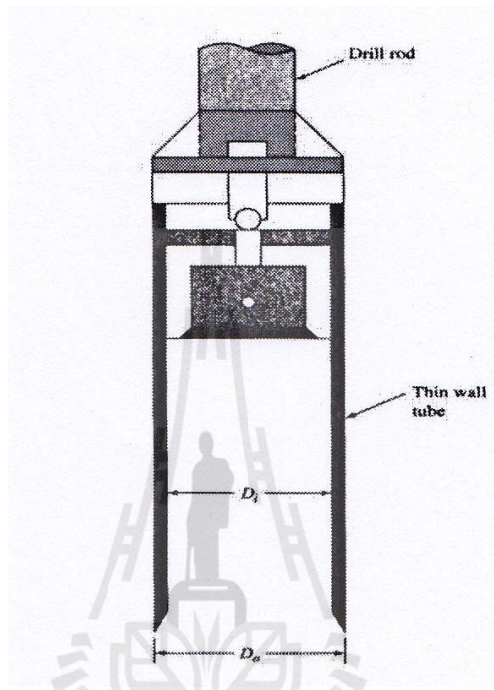


รูปที่ 2.16 รูปอธิบายและภาพถ่ายกระบอกผ่าซีก (Split spoon)

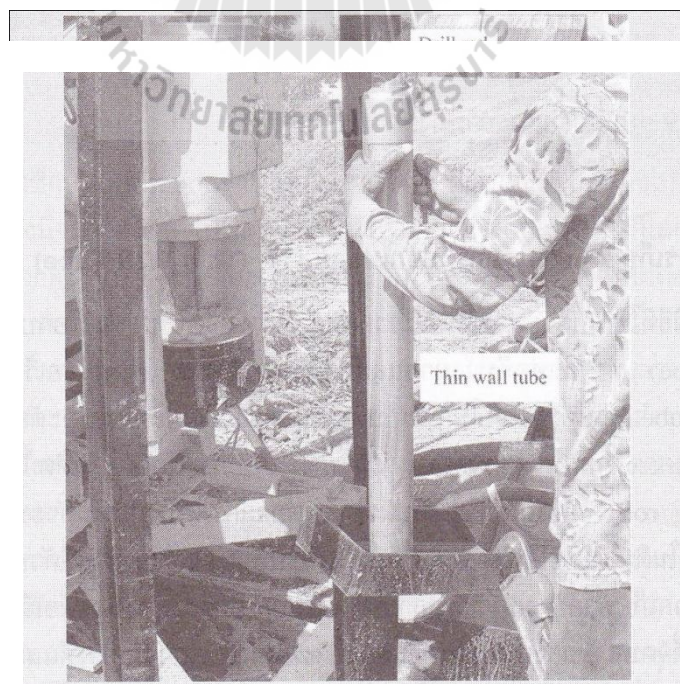
2.7.2 การเก็บตัวอย่างโดยกระบอกเปลือกบาง (Thin Wall Tube)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้เก็บตัวอย่างดินเหนียวอ่อนคงสภาพ กระบอกเปลือกบาง (Thin wall tube) ทำจากท่อที่บางมากและปราศจากตะเข็บ และมีชื่อเรียกทั่วไปว่า Shelby tube (ดูรูปที่ 2.17) ในการเก็บดินตัวอย่างที่ความลึกใดๆ จะต้องนำเครื่องมือเจาะออกจากหลุมสำรวจก่อน แล้วนำกระบอกเปลือกบางที่ติดกับก้านเจาะ (Drilling rod) หย่อนลงไปหลุมเจาะ ต่อจากนั้นทำการดันกระบอก

เปลือกบางลงไปดินโดยใช้ไฮดรอลิก ดังแสดงในรูปที่ 2.18 หลักจากที่ตัวอย่างเข้ามาในกระบอกเก็บตัวอย่างแล้ว ทำการปิดกระบอกเก็บตัวอย่างนี้ เพื่อเดือนดินรอบข้างและที่จุดปลายของกระบอกดินตัวอย่างที่ได้มาจะถูกห่ออย่างดีและนำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อทำการทดสอบต่อไป กระบอกเก็บตัวอย่างแบบนี้โดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกประมาณ 2 ถึง 3 นิ้ว



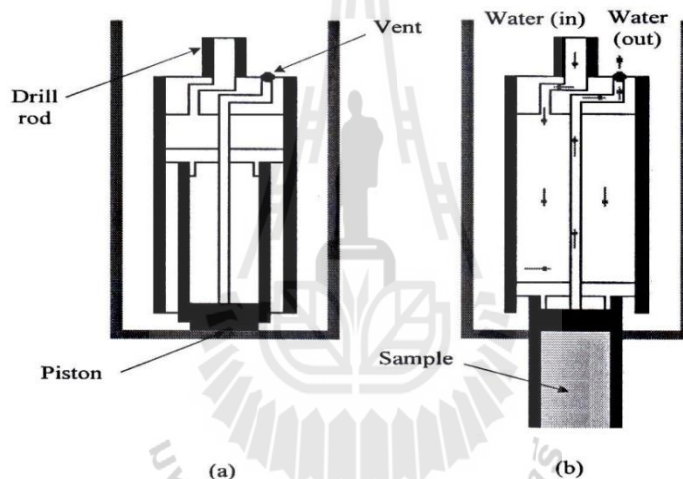
รูปที่ 2.17 รูปอธิบายเครื่องมือเก็บตัวอย่างเปลือกบาง (Thin wall tube)



รูปที่ 2.18 การเก็บตัวอย่างคงสภาพด้วยกระบอกผนังบาง

2.7.3 การเก็บตัวอย่างโดยกระบอกลูกสูบ (Piston Sampler)

กระบอกลูกสูบ (Piston sampler) เป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างที่ใช้สำหรับการเก็บตัวอย่างดินคงสภาพที่มีคุณภาพสูง ดังนั้น การเก็บตัวอย่างโดยวิธีนี้จึงมีค่าใช้จ่ายสูงมาก กระบอกเก็บตัวอย่างชนิดนี้มีหลายประเภทด้วยกัน แต่กระบอกลูกสูบที่นำเสนอโดย Osterberg (1952) จัดว่าเป็นเครื่องมือที่มีข้อดีมากที่สุด (ดูรูปที่ 2.19) ประกอบด้วยกระบอกลูกสูบ (Thin wall tube) และลูกสูบ (Piston) กระบอกเก็บตัวอย่างนี้จะถูกหย่อนลงไปในหลุมสำรวจและถูกดันลงไปดินโดยผ่านตัวลูกสูบ (Piston) หลังจากนั้นความดันจะถูกปล่อยผ่านทางรูที่ก้านลูกสูบ (Piston rod) (ดูรูปที่ 2.19b) ลูกสูบทำหน้าที่ป้องกันการเสียรูปของดินตัวอย่างและป้องกันการไหลเข้าของน้ำ ดังนั้น ดินตัวอย่างที่ถูกเก็บโดยวิธีนี้ได้รับการกระทบกระเทือนน้อยมาก



รูปที่ 2.19 รูปอธิบายกระบอกลูกสูบแบบลูกสูบ (Piston sampler)

2.8 การรบกวนดินตัวอย่าง

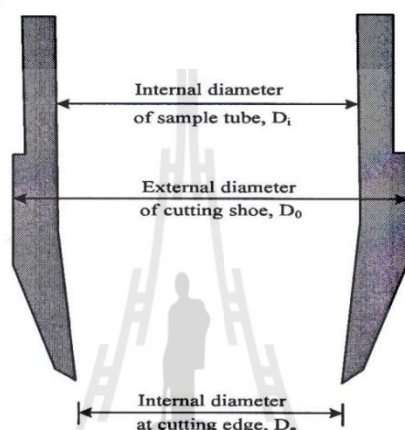
ระดับการรบกวนดินตัวอย่างที่ถูกเก็บโดยวิธีต่างๆ สามารถอธิบายในรูปของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (Area ratio, A_r) อัตราส่วนช่องว่างภายใน (Inside clearance ratio, C_r) และอัตราส่วนการเก็บตัวอย่าง (Recovery ratio, L_r) (ดูรูปที่ 2.20)

$$A_r(\%) = \frac{D_o^2 - D_i^2}{D_i^2} \times 100 \quad (2.9)$$

$$C_r(\%) = \frac{D_i - D_e}{D_i} \times 100 \quad (2.10)$$

$$L_r(\%) = \frac{L_a}{L_i} \times 100 \quad (2.11)$$

เมื่อ D_o และ D_i คือเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกและภายในของกระบอกเก็บตัวอย่างตามลำดับ D_e คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่จุดปลายของกระบอกเก็บตัวอย่าง L_u คือความยาวของตัวอย่างดินที่เก็บได้จริง และ L_i คือความยาวของตัวอย่างดินที่ควรเก็บได้ ดินตัวอย่างจัดว่าเป็นตัวอย่างคงสภาพก็ต่อเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10% และอัตราส่วนช่องว่างภายใน (Inside clearance ratio, C_r) มีค่าน้อยกว่า 1% อัตราส่วนการเก็บตัวอย่าง (Recovery ratio) บอกระดับประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 2.10



รูปที่ 2.20 ลักษณะของปากกระบอกเก็บตัวอย่าง

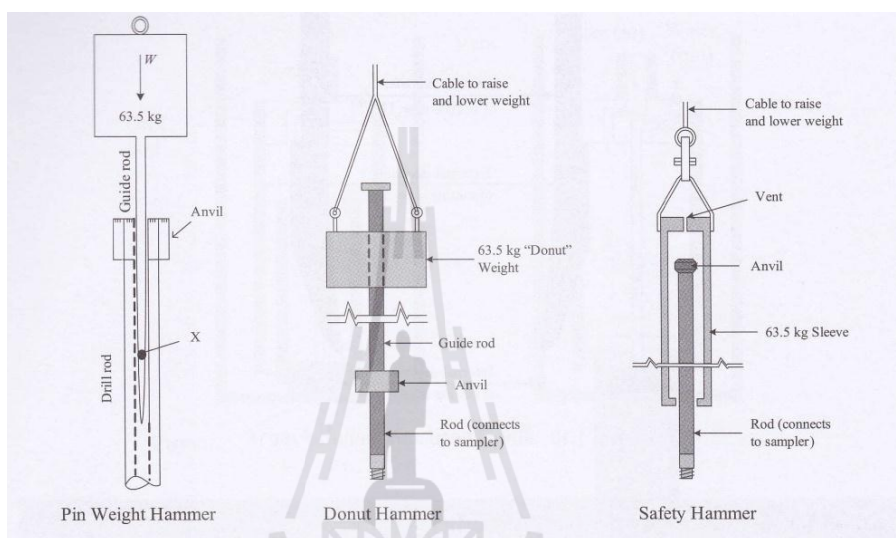
ตารางที่ 2.10 อัตราส่วนการเก็บตัวอย่างและประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่าง

L_r (%)	ประสิทธิภาพ
< 25	แย่มาก
26-50	แย่
51-75	พอใช้
76-90	ดี
> 90	ดีเยี่ยม

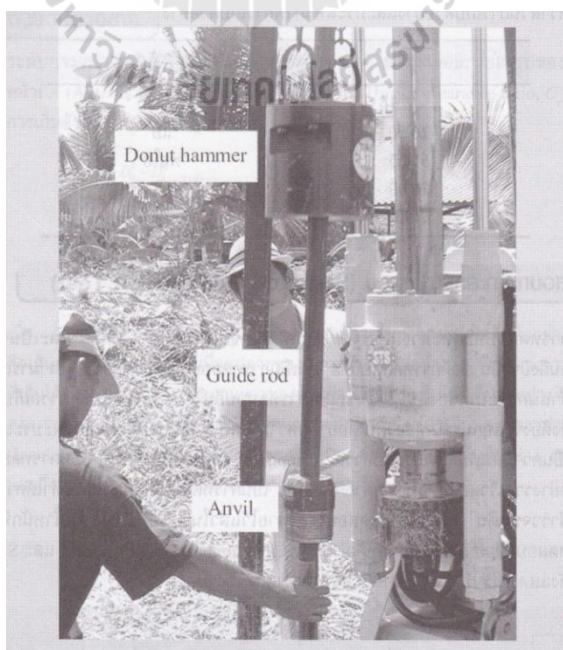
2.9 การทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test)

การทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐานได้ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1927 และเป็นที่ยอมรับใช้ต่อมาจนถึงปัจจุบัน ข้อดีการทดสอบนี้คือ 1) เป็นการทดสอบที่ได้ดินตัวอย่าง ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการจำแนกประเภทของดินได้ ในขณะที่การทดสอบอื่นโดยส่วนใหญ่ไม่สามารถเก็บดินตัวอย่างได้ จึงต้องจำแนกประเภทของดินโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างผลทดสอบและประเภทของดิน ซึ่งเป็น

ความสัมพันธ์เชิงประจักษ์ (Empirical relationship) 2) เป็นการทดสอบที่กระทำได้อย่างรวดเร็วและมีค่าใช้จ่ายต่ำ และ 3) เป็นการทดสอบที่สามารถกระทำได้ควบคู่กับการเจาะสำรวจชั้นดิน ขั้นตอนการทดสอบได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 2.7.1 คຸ່ມน้ำหนักรที่นิยมใช้ในการทดสอบมีด้วยกันสามประเภทคือ Pin weight hammer, Donut hammer และ Safety hammer ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.21 ชนิดของคຸ່มน้ำหนัก



รูปที่ 2.22 การทดสอบทะลุมวลมาตรฐาน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลทดสอบตะลุมตะวงมาตรฐาน ได้แก่ ประสิทธิภาพการทำงานของคนงาน ชนิดของตุ้มน้ำหนัก (แบบ Pin weight หรือ Donut หรือ Safety hammer) และอื่นๆ เช่น ขนาดของหลุมเจาะ วิธีการเจาะสำรวจ จำนวนรอบที่ต้องผ่านรอกเพื่อยกตุ้มน้ำหนัก น้ำหนักของแท่นรับตุ้มน้ำหนัก (Anvil) ความตรงของแกนเหล็กเจาะ (Drill rod) และอัตราเร็วของการปล่อยตุ้มน้ำหนัก เป็นต้น (DeMello, 1971 และ Nixen, 1982) ด้วยเหตุนี้เอง Seed (1985) จึงได้เสนอเกณฑ์หลักในการทดสอบไว้ดังนี้

- 1) ใช้วิธีการเจาะเปียก (Wash boring) ให้เจาะหลุมสำรวจมีขนาด 200 ถึง 250 มิลลิเมตร (4-5 นิ้ว)
- 2) ใช้ระบบตุ้มน้ำหนักที่มีประสิทธิภาพในการให้พลังงานเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์
- 3) ปล่อยตุ้มน้ำหนักกระทบแท่นรับตุ้มน้ำหนักด้วยอัตราเร็ว 30 ถึง 40 ครั้งต่อนาที

ในบางพื้นที่ ผู้ทดสอบอาจมีความจำเป็นบางประการทำให้ไม่สามารถปฏิบัติตามเกณฑ์หลักข้างต้นได้ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ค่าตัวเลขตะลุมตะวงมาตรฐานที่วัดได้จากในสนาม Skempton (1986) ได้เสนอค่าตัวเลขตะลุมตะวงมาตรฐานที่ประสิทธิภาพ 60 เปอร์เซ็นต์ (N_{60}) เพื่อใช้ในการปรับแก้ผลทดสอบในสนาม ดังนี้

$$N_{60} = \frac{E_m C_B C_R N}{0.60} \quad (2.12)$$

เมื่อ E_m คือประสิทธิภาพของตุ้มน้ำหนัก (Hammer efficient) (จากตารางที่ 2.11)

C_B คือค่าปรับแก้ขนาดของหลุมเจาะ (จากตารางที่ 2.12)

C_R คือค่าปรับแก้ความยาวของก้านเจาะ (Drill rod) (จากตารางที่ 2.12)

ตารางที่ 2.11 ประสิทธิภาพของค้อน SPT (Clayton, 1990)

ประเทศ	ชนิดของตุ้มน้ำหนัก	กลไกการปล่อยตุ้มน้ำหนัก	ประสิทธิภาพ (E_m)
อาร์เจนตินา	Donut	เชือกคล้องผ่านรอก	0.45
บราซิล	Pin weight	ตกอย่างรวดเร็ว	0.72
จีน	อัตรโนมัตติ	ตกอิสระ	
	Donut	ตกอิสระ	0.55
	Donut	เชือกคล้องผ่านรอก	0.50
กัมพูชา	Donut	เชือกคล้องผ่านรอก	0.50
	Donut	ระบบนกดทับ (Trigger)	0.78-0.85

ตารางที่ 2.11 (ต่อ)

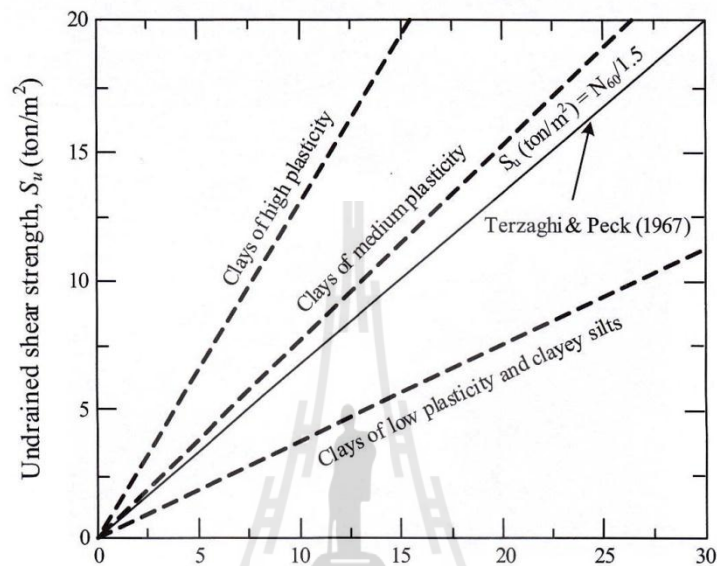
ประเทศ	ชนิดของตุ้มน้ำหนัก	กลไกการปล่อยตุ้มน้ำหนัก	ประสิทธิภาพ (E_m)
ญี่ปุ่น	Donut	ระบบนกดทับ (Trigger)	0.78-0.85
	Donut	คล็องผ่านรอก 2 รอบ + การปล่อยตกแบบพิเศษ	0.65-0.67
สหราชอาณาจักร	อัตรโนมัตติ	ตกอย่างรวดเร็ว	0.73
สหรัฐอเมริกา	Safety	คล็องผ่านรอก 2 รอบ	0.55-0.60
	Donut	คล็องผ่านรอก 2 รอบ	0.45

ตารางที่ 2.12 ค่าปรับแก้

ค่าปรับแก้	ความเปลี่ยนแปลงของอุปกรณ์	ค่า
ขนาดของหลุมเจาะ (CB)	6.5-115 มม. (2.5-4.5 นิ้ว)	1.00
	150 มม. (6 นิ้ว)	1.05
	200 มม. (8 นิ้ว)	1.15
ความยาวของก้านเจาะ (CR)	3-4 ม. (10-13 ฟุต)	0.75
	4-6 ม. (13-20 ฟุต)	0.85
	6-10 ม. (20-30 ฟุต)	0.95
	> 10 ม. (> 30 ฟุต)	1.00

ค่าตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard penetration number, N) และกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกัน ตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐานยิ่งมากนั้นก็หมายความว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินก็ย่อมต้องสูงตามไปด้วย ในกรณีของดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำซึ่งมีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำต่ำ การตอกกระบอกเก็บตัวอย่างลงในดินจะก่อให้เกิดการวิบัติในมวลดินในสถานะไม่ระบายน้ำ ดังนั้น ตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐานจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกำลังต้านทานแรงเฉือนในสถานะไม่ระบายน้ำ รูปที่ 2.23 และตารางที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงเฉือนในสถานะไม่ระบายน้ำ (S_u) และตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐาน (N_{60}) สำหรับดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Terzaghi and Peck (1967) และ U.S.

Navy (1982) จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงเฉือนและตัวเลขทดสอบมาตรฐานมีค่าแปรผันตามชนิดของดิน ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถใช้ได้แต่ในช่วงที่กำลังต้านทานแรงเฉือนมีค่าน้อยกว่า 20 ตันต่อตารางเมตร



รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง N_{60} และกำลังต้านทานแรงเฉือนในสภาวะไม่ระบายน้ำ (U.S. Navy, 1992)

ตารางที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง N_{60} และกำลังต้านทานแรงเฉือนในสภาวะไม่ระบายน้ำของดินเหนียว (Terzaghi and Peck, 1976)

ตัวเลขการทดสอบมาตรฐาน, N_{60}	ชนิดของดิน	กำลังต้านทานแรงเฉือน, S_u (T/m ²)
0-2	อ่อนมาก	0-1.2
2-5	อ่อน	1.2-2.5
5-10	แข็งปานกลาง	2.5-5.0
10-20	แข็ง	5.0-10.0
20-30	แข็งมาก	10.0-20.0
>30	แข็งมากที่สุด	>20.0

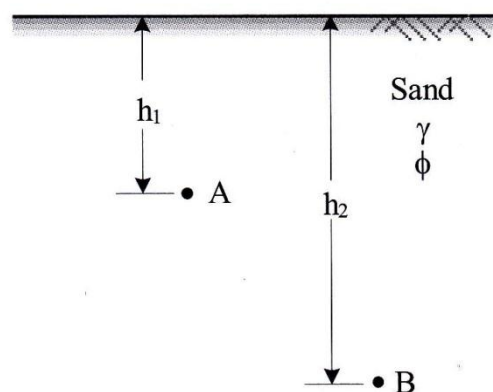
Horpibulsuk et al. (2008) ทำการคำนวณกลับ (Back calculation) ผลทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มขนาดเล็ก (Micro-pile) ในชั้นดินเหนียวปนดินตะกอนแข็งมากถึงแข็ง

มากที่สุดได้ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (SUT silty clay) และสรุปว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนยังคงมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่า N_{60} แม้ว่า N_{60} จะมีค่ามากกว่า 30 ก็ตาม พวกเขาได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงเฉือนและ N_{60} ดังนี้

$$S_u = \frac{N_{60}}{1.5} \quad \text{เมื่อ } 29 < N_{60} < 68 \quad (2.13)$$

จะเห็นได้ว่าสมการที่ (2.13) เป็นสมการเดียวกับที่เสนอโดย Terzaghi and Peck (1967) ซึ่งอยู่ระหว่างความสัมพันธ์ของดินเหนียวที่มีสภาพพลาสติกปานกลาง (Clays of medium plasticity) และดินเหนียวที่มีสภาพพลาสติกต่ำ (Clays of low plasticity) ซึ่งเสนอโดย US Navy (1967) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากดินเหนียวปนดินตะกอนในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (SUT silty clay) จัดเป็นดินเหนียวที่มีสภาพพลาสติกปานกลาง (Horpibulsuk et al. 2008)

สำหรับทราย ตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard penetration number) มีค่าแปรผันตามกำลังต้านทานแรงเฉือนในสภาวะระบายน้ำของดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักกดทับประสิทธิผล σ_v ($\tau_f = \sigma'_n \tan \phi'$) ดังจะอธิบายต่อไปนี้ พิจารณาชั้นดินทรายแห้งที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมสม่ำเสมอ (มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์และมุมเสียดทานภายในคงที่) ตลอดความลึก ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ที่ระดับความลึก h_1 ความเค้นประสิทธิผลในแนวดิ่งมีค่าเท่ากับ γh_1 และในทำนองเดียวกัน ที่ความลึก h_2 ความเค้นประสิทธิผลในแนวดิ่งมีค่าเท่ากับ γh_2 ซึ่งมีค่ามากกว่าที่ระดับความลึก h_1 ดังนั้น ตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐานและกำลังต้านทานแรงเฉือนในสภาวะระบายน้ำที่ระดับความลึก h_2 จะมีค่ามากกว่าที่ระดับความลึก h_1



รูปที่ 2.24 อิทธิพลของน้ำหนักกดทับประสิทธิผลต่อค่าการทะลุทะลวงมาตรฐาน

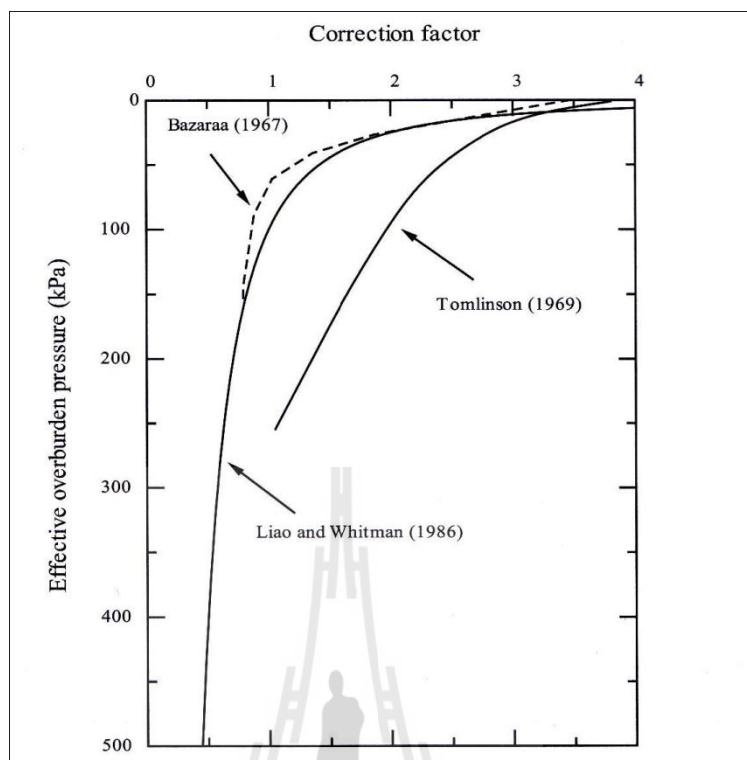
ถึงแม้ว่าตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐานจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกำลังต้านทานแรงเฉือนในสภาวะระบายน้ำ แต่ก็ไม่มีนักวิจัยในอดีตท่านใดสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงเฉือนในสภาวะระบายน้ำของทรายกับตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมในชั้นทรายโดยใช้มุมเสียดทานภายใน (ϕ') มีความถูกต้องและเป็นที่ยอมรับมากกว่า การแปลงตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐาน (ซึ่งมีค่ามากขึ้นตามความเค้นประสิทธิผลในแนวดิ่ง) ของทราย เป็นมุมเสียดทานภายในค่าเดียว จำเป็นต้องปรับแก้ค่าตัวเลขทะลุทะลวงของดินทั้งชั้นให้เป็นค่าเดียวกันโดยพิจารณาอิทธิพลของความเค้นประสิทธิผลในแนวดิ่ง การปรับแก้จะทำให้ตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐานที่ระดับความลึกมากมีค่าน้อยลงและมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ระดับตื้น ตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐานปรับแก้แสดงไว้ดังนี้

$$N' = C_N N_{60} \quad (2.14)$$

เมื่อ N' คือค่าตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard penetration number) ที่ปรับแก้แล้ว และ C_N คือตัวคูณปรับแก้ตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐานเนื่องจากอิทธิพลของความเค้นประสิทธิผลในแนวดิ่งซึ่งมีค่าดังแสดงในรูปที่ 2.25 (Bazaraa, 1967 ; Tomlinson, 1969 ; Liao and Whitman, 1986) ผู้เขียนมีความเห็นว่า ความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Liao and Whitman (1986) เป็นความสัมพันธ์ที่ง่ายต่อการจดจำและใช้งาน ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงในพจน์ของความเค้นประสิทธิผลในแนวดิ่ง ดังนี้

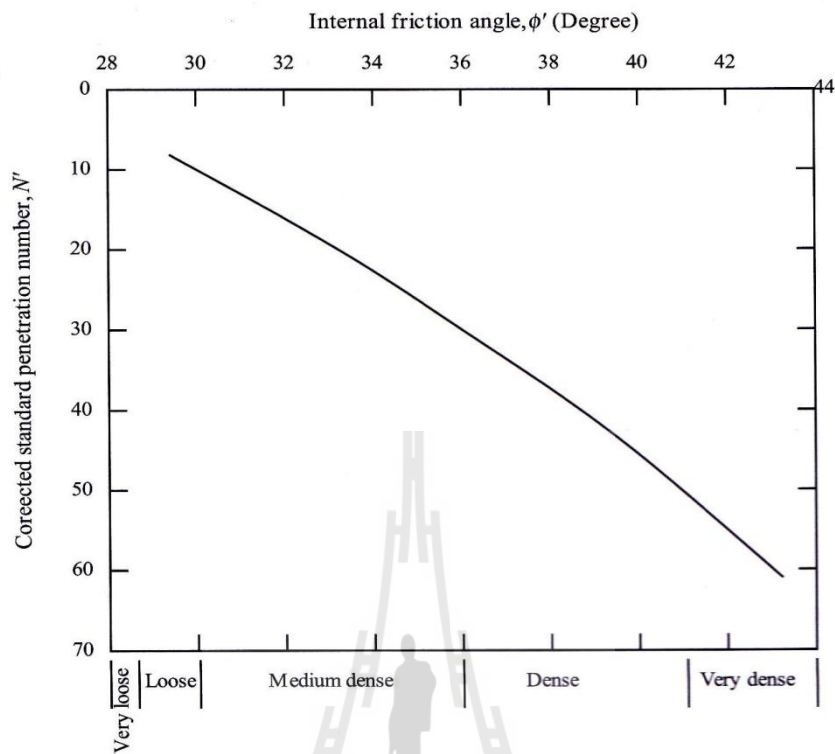
$$C_N = \sqrt{\frac{100}{\sigma'_v}} \quad (2.15)$$

เมื่อ σ'_v มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาล



รูปที่ 2.25 ค่าปรับแก้ตัวเลขทะเลวมาตรฐาน

รูปที่ 2.26 และตารางที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขทะเลวมาตรฐานปรับแก้ (N) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (D_r) และมุมเสียดทานภายใน (ϕ') ของทราย ตัวเลขทะเลวมาตรฐานนี้เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์มากในการวิเคราะห์และประเมินสภาพของชั้นดินทราย ซึ่งเป็นดินที่ไม่มีความเหนียว (Cohesionless) และทำการเก็บตัวอย่างในสนามได้ยากมาก



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐานปรับแก้และมุมเสียดทานภายใน
ประสิทธิภาพของดินเม็ดหยาบ (Peck et al., 1974)

ตารางที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง N' หน่วยน้ำหนัก และความหนาแน่นสัมพัทธ์ของดินเม็ด
หยาบ (Peck et al., 1974)

N'	คำบรรยาย	หน่วยน้ำหนัก (กน. ต่อ ลบ.ม.)	ความหนาแน่นสัมพัทธ์
0-5	หลวมมาก	11-13	0-15
6-10	หลวม	14-16	16-35
11-30	ปานกลาง	17-19	36-65
31-50	แน่น	20-21	66-85
>50	แน่นมาก	>21	>86

2.10 ผลการเจาะสำรวจดินและภาพตัดลักษณะชั้นดิน

เมื่อเจาะสำรวจและทดสอบในห้องปฏิบัติการเรียบร้อยแล้วผู้เจาะสำรวจดินจะสรุปเป็นรายงานผลการสำรวจ ซึ่งโดยทั่วไปรายงานผลการเจาะสำรวจดินจะประกอบด้วย

1. ตารางแสดงผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Summary of Test Results) รูปที่ 2.27
2. ภาพตัดแสดงชั้นดิน และค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามความลึก (Boring Log) รูปที่ 2.28
3. ตารางแสดงคำแนะนำสำหรับกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มหรือฐานรากแต่ละชนิด รูปที่ 2.29

การทำความเข้าใจเกี่ยวกับข้อมูลในรายงานการสรุปผลการทดสอบ (Summary of Test Results) และ Boring Log จะทำให้สามารถพิจารณาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับการออกแบบฐานรากและเสาเข็มได้เป็นอย่างดี เช่น การเลือกใช้ชนิดเสาเข็ม ระดับความลึกของปลายเสาเข็มที่เหมาะสม การวิเคราะห์ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นกับเสาเข็ม เป็นต้น

2.10.1 ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ

ผลการทดสอบที่ได้จากห้องปฏิบัติการจะถูกบันทึกในตาราง ซึ่งอาจนำเสนอในรูปแบบที่แตกต่างกันไป แต่อย่างน้อยที่สุดจะมีข้อมูลสำคัญพื้นฐานที่เหมือนกัน แสดงในรูปที่ 2.27

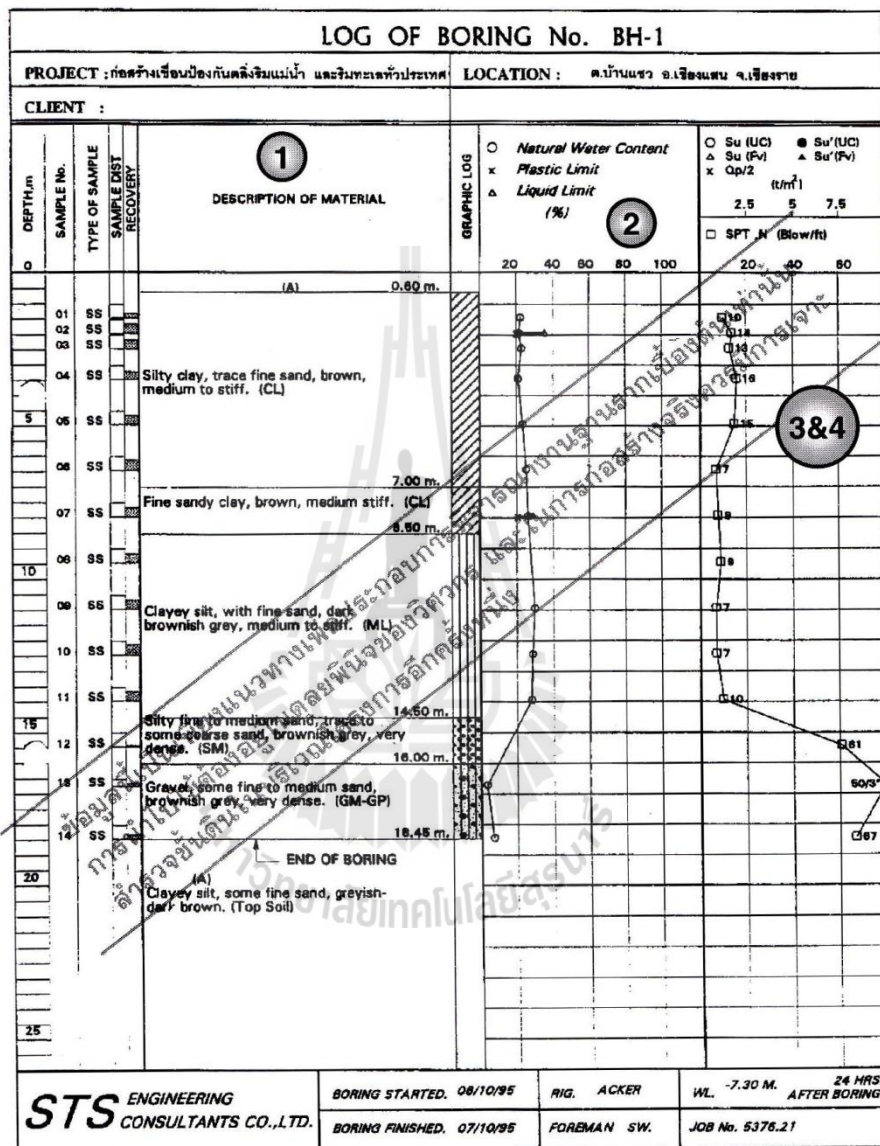
STS ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD. SUMMARY OF TEST RESULTS																					
PROJECT ก่อสร้างเขื่อนป้องกันคลื่นแม่น้ำ และบริเวณทิวประเทส												LOCATION ต.บ้านขาว อ.เมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี									
DATE 16/10/95		BORING No. BH-1		JOB No. 5276.21		BY AM		OBSERVED W.L. ^o -7.30 M.													
SAMPLE No.	DEPTH M.		WATER CONTENT %	ATTERBERG LIMIT %			WATER DIRECT WEIGHT %	SIEVE ANALYSIS % FINER					UNDRAINED SHEAR STRENGTH (kN/m ²)					Direct Shear Test			
	FROM	TO		LL	PL	PI		No. 3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	CU	UNCONFINED SHEAR	FIELD VANE SHEAR	UU TEST	POCKET PENETRATION (kg/cm ²)	UNSATURATED PENETRATION (kg/cm ²)	C	φ ^o	
SS-01	1.00	1.45	23.30				2.04										15.0	10			
SS-02	1.50	1.95	22.50	36.30	23.20	15.10	1.99										15.0	14			
SS-03	2.00	2.45	23.90				2.02										10.0	13			
SS-04	3.00	3.45	21.90														8.8	16			
SS-05	4.50	4.95	24.30				2.13										10.0	15			
SS-06	6.00	6.45	26.20														3.8	7			
SS-07	7.50	7.95	27.20	29.80	21.70	8.10															
SS-08	9.00	9.45	25.40																8	2.9	30
SS-09	10.50	10.95	30.70														3.8	7			
SS-10	12.00	12.45	29.40																		
SS-11	13.50	13.95	28.80																		
SS-12	15.00	15.45	14.00																		
SS-13	16.50	16.72	4.40																		
SS-14	18.00	18.45	7.90																		

รูปที่ 2.27 ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ

- หมายเลข 1 ช่องแสดงระดับความลึกที่เก็บตัวอย่างดิน
- หมายเลข 2 แสดงปริมาณน้ำในมวลดินธรรมชาติ (Natural water content)
- หมายเลข 3 แสดงค่า Atterberg's Limit ได้แก่ ชีดจำกัดเหลว, ดัชนีพลาสติก, ชีดจำกัดพลาสติกของดิน เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลในช่องหมายเลข 2 จะทำให้ทราบว่าดินอยู่ในสภาพเช่นใดยกตัวอย่าง เช่น กรณีที่ความชื้นของดินตามธรรมชาติมีค่าใกล้เคียงกับขีดจำกัดเหลวแสดงว่าดินนั้นอยู่ในสภาพเหลว และพร้อมจะไหล หากตำแหน่งรอยต่อของเสาเข็มอยู่ในดินเช่นนี้การเคลื่อนตัวของดินที่เกิดจากการตอกเสาเข็มต้นใกล้เคียงอาจจะดันให้รอยต่อของเสาเข็มต้นที่ตอกเสร็จไปแล้วไหลเคลื่อนหรือหลุดออกจากกันได้
- หมายเลข 4 แสดงหน่วยน้ำหนักของดิน
- หมายเลข 5 การทดสอบการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) ผลที่ได้จะนำไปใช้ในการจำแนกชนิดของดินว่าเป็นดินเหนียว ดินทราย หรือดินเหนียวปนทราย สิ่งที่ต้องสังเกตในช่องนี้คือปริมาณของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าดินตัวอย่างนั้นมี ปริมาณของดินเหนียวและดินตะกอนมากน้อยเพียงใด หากดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เป็นปริมาณมากแสดงว่าดินตัวอย่างมีดินเหนียวหรือดินตะกอนปนอยู่มาก กรณีที่กำหนดให้ปลายเสาเข็มเจาะระบบแห่งนี้อยู่ในชั้นดินที่มีปริมาณของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าร้อยละ 20 จะเกิดปัญหาน้ำใต้ดินไหลเข้ามาในหลุมเจาะขณะเจาะดินเพราะดินดังกล่าวมีส่วนที่เป็นทรายมาก ชั้นทรายเป็นชั้นที่น้ำไหลได้สะดวก ดังนั้นจะทำเสาเข็มเจาะระบบแห่งนี้ไม่ได้
- หมายเลข 6 ช่องแสดงชื่อของดินในนิยามตามปฐพีกลศาสตร์ เช่น CH หมายถึง ดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูงปั้นได้ง่าย, CL หมายถึง ดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกต่ำ, SM หมายถึงดินทรายปนตะกอน
- หมายเลข 7 ผลการวิเคราะห์กำลังอัดแบบไม่โอบรัดเพื่อระบุค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับดินเหนียว
- หมายเลข 8 ค่าตุ้มตอกมาตรฐานที่ได้จากการตอกกระบอกผ่าซีกในสนาม ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับดินทราย

2.10.2 ภาพตัดลักษณะชั้นดิน

Boring Log แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของชั้นดิน และค่าพารามิเตอร์ต่างๆของดินเทียบกับความลึก แสดงรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ภาพตัดชั้นดิน

- หมายเลข 1 แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของชั้นดินตามความลึก ชนิดของดิน สภาพความแข็งหรือสภาพความแน่นของดิน
- หมายเลข 2 ปริมาณน้ำในมวลดินตามความลึกและค่า Atterberg'Limit ในช่องนี้จะพิจารณาได้ว่าความชื้นของดินในธรรมชาติ ณ ตำแหน่งนั้นๆมีค่าใกล้เคียงกับค่าขีดจำกัดเหลวหรือขีดจำกัดพลาสติกมากน้อยเพียงใด
- หมายเลข 3 กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่ระดับความลึกต่างๆโดยกำลังต้านทานแรงเฉือนได้จากการทดสอบกำลังอัดแบบไม่ไอบรัดหรือ Pocket Penetrometer หรือได้จากการทดสอบด้วยวิธีอื่น
- หมายเลข 4 ช่องแสดงค่าตุ้มตอกมาตรฐาน (STP) สังเกตได้ว่าเมื่อใดที่สัญลักษณ์ของดินตัวอย่างในช่อง Sample type เป็น SS จะมีค่า SPT ด้วยเสมอ เพราะการเก็บตัวอย่างดินจะใช้กระบอกผ่าซีกและต้องใช้ลูกตุ้มตอก พร้อมทั้งนับจำนวนครั้งในการตอกทำให้ได้ค่า SPT ด้วย

2.10.3 ตารางแสดงค่าแนะนำกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มหรือฐานรากแผ่

เป็นตารางสรุปที่ผู้ออกแบบโครงสร้างจะนำไปใช้งานได้ โดยข้อมูลในตารางบอกค่ากำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มที่มีขนาดและความยาวต่างๆ หรือกำลังรับแรงแบกทานปลอดภัยของดินในกรณีของฐานรากแผ่ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.29 ซึ่งเป็นตารางแนะนำกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มที่มีขนาดและความลึกต่างๆ

ตารางที่ 1 แนะนำตัวอย่างกำลังรับน้ำหนักในแนวตั้งของเสาเข็มคอนกรีตสำหรับตอก (Driven Pile)

หมายเลข	ขนาดของเสาเข็ม (ม.)	ระดับความลึกปลายเข็ม (ม.)	หน่วยแรงเฉือนตามผิว (ตัน/ม.)	แรงเฉือนตามผิว (ตัน)	หน่วยแรงดันปลายเข็ม (ตัน/ม ²)	แรงดันปลายเข็ม (ตัน)	กำลังรับน้ำหนักประจักษ์ของเสาเข็ม (ตัน)	กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็ม (ตัน)
BH-1	□ 0.30 x 0.30	15	48	98	450		99	40
	□ 0.35 x 0.35	15	48	87	450	65	122	49
	□ 0.40 x 0.40	15	48	77	450		149	60
BH-2	□ 0.30 x 0.30	14	50	60	400		36	38
	□ 0.35 x 0.35	14	50	70	400	49	119	48
	□ 0.40 x 0.40	14	50	80	400	64	144	58
BH-3	□ 0.30 x 0.30	14	37	34	450		41	34
	□ 0.35 x 0.35	14	37	43	450	55	107	43
	□ 0.40 x 0.40	14	37	59	450	72	131	52
BH-4	□ 0.30 x 0.30	12	35		400		36	31
	□ 0.35 x 0.35	12	35	39	400	49	98	39
	□ 0.40 x 0.40	12	35	56	400	64	120	48

หมายเหตุ 1) ไม่ห้ามใช้ขี้เถ้าแทนทรายในกรณีใช้หลักความปลอดภัย (Safety factor) เท่ากับ 2.5
 2) ในการคำนวณความหนาแน่นและค่าตัวเชื่อมอยู่ต่ำกว่าผิวดินขณะทำการสำรวจ 1 เมตร ระดับความลึกปลายเข็มเทียบกับระดับดินขณะเจาะสำรวจ
 3) Blow Count ระหว่างการตอกเสาเข็ม ควรได้รับการยืนยันและมีค่าสูง

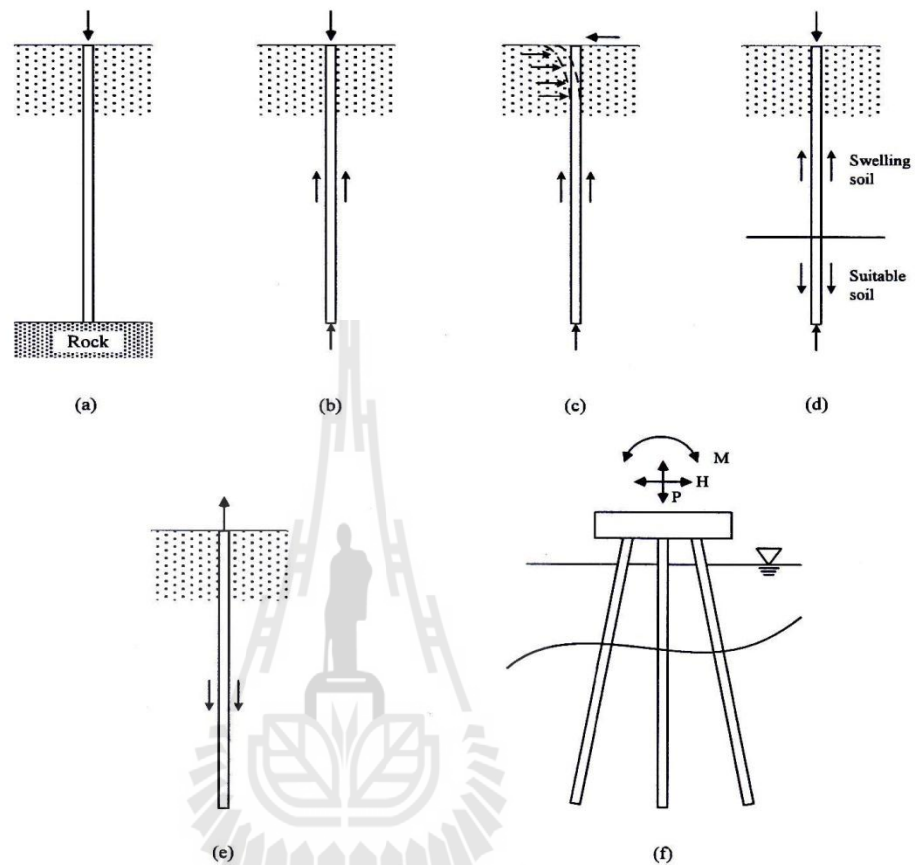
รูปที่ 2.29 ตารางแนะนำกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มจาก Boring Log

2.11 ฐานรากลึก ทฤษฎีและการออกแบบ (Deep Foundation : Theory and Design)

ฐานรากลึก คือฐานรากที่ใช้เสาเข็มทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักหรือแรงสู่ชั้นดินในลักษณะแรงเสียดทานรอบเสาเข็ม (Skin friction) และแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม (End bearing) เราสามารถแบ่งประเภทของเสาเข็มออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ ตามลักษณะการรับน้ำหนักได้ดังนี้ เสาเข็มเสียดทานหรือเสาเข็มลอย (Friction/Floating pile) คือเสาเข็มที่รับน้ำหนักบรรทุกโดยแรงเสียดทานรอบเสาเข็มเป็นส่วนใหญ่ และเสาเข็มคาล (End bearing pile) คือเสาเข็มที่มีแรงต้านที่ปลายเสาเข็มสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับแรงเสียดทานรอบเสาเข็ม ลักษณะงานที่ต้องใช้ฐานรากลึกอธิบายได้คร่าวๆ ดังนี้

- ก) เมื่อดินที่ระดับตื้นมีกำลังรับแรงแบกทานต่ำ และ/หรืออาจมีการอัดตัวมาก (High compressibility) และดินที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนสูงอยู่ที่ระดับลึก (มากกว่า 5 เมตร) เสาเข็มจะทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างผ่านชั้นดินที่ไม่เหมาะสมในระดับตื้นลงสู่ชั้นดินที่เหมาะสมในระดับลึก รูปที่ 2.30a แสดงชนิดของฐานรากลึกที่มีปลายเสาเข็มหยั่งลงบนสู่ชั้นดินแข็ง (เสาเข็มคาล) และรูปที่ 2.30b แสดงชนิดของฐานรากลึกที่รองรับน้ำหนักของโครงสร้างในรูปของแรงเสียดทานรอบเสาเข็มเป็นส่วนใหญ่ (เสาเข็มเสียดทานหรือเสาเข็มลอย)
- ข) เมื่อฐานรากต้องรับแรงในแนวนอน (Horizontal forces) เช่น กำแพงกันดินและโครงสร้างสูงที่รับแรงลม เป็นต้น เสาเข็มจะทำหน้าที่ต้านทานแรงในแนวนอนและโมเมนต์ที่จะเกิดขึ้นในฐานราก ดังแสดงในรูปที่ 2.30c
- ค) เมื่อพบชั้นดินขยายตัว (Expansive soil) ซึ่งเป็นดินที่มีคุณสมบัติบวมตัว (Swelling) เมื่อปริมาณความชื้นในดินสูง และหดตัว (Shrinkage) เมื่อสูญเสียความชื้น เสาเข็มจะช่วยลดการถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างลงสู่ดินประเภทนี้ (รูปที่ 2.30d) ในทำนองเดียวกัน เมื่อพบดินยุบตัว (Collapsible soil) ซึ่งโครงสร้างของดินถูกทำลายได้เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น อันเป็นผลทำให้เกิดการหดตัวในดินอย่างมาก
- ง) เมื่อฐานรากต้องรับแรงดึงขึ้น (Tension or uplift force) หรือต้องต้านทานการพลิกคว่ำของอาคาร (Overturning) เสาเข็มจะช่วยต้านทานแรงดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2.30e
- จ) เมื่อตำแหน่งของโครงสร้างอยู่นอกชายฝั่งทะเล (เช่น สะพาน) ฐานรากลึกจะช่วยถ่ายน้ำหนักในแนวตั้งจากโครงสร้าง แรงในแนวนอนเนื่องจากกระแสน้ำ และแรงกระแทกของเรือผ่านชั้นน้ำลงสู่ดินในระดับล่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.30f ในการ

ออกแบบฐานรากดังกล่าว ต้องพิจารณาการก่ดเซาะของดิน ซึ่งจะทำให้หน้าหน้าทับรถทุก
 ประลัยในแนวตั้งและแนวนอนมีค่าลดลง



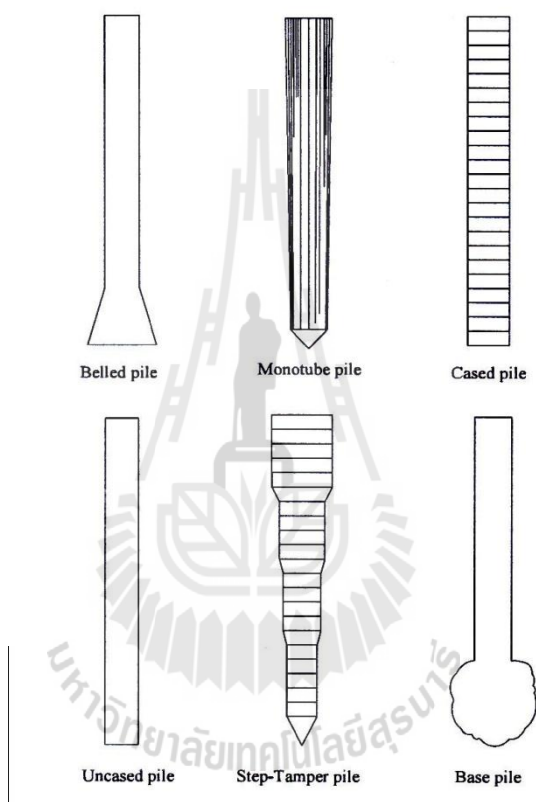
รูปที่ 2.30 ลักษณะงานที่ต้องใช้ฐานรากลึก

2.12 ประเภทของเสาเข็ม

เสาเข็มอาจจำแนกตามชนิดของวัสดุ วิธีการผลิต หรือวิธีการก่อสร้างได้ดังนี้

- ก) จำแนกตามชนิดของวัสดุ ได้แก่ เสาเข็มไม้ เสาเข็มคอนกรีต เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กและลวดอัดแรง เสาเข็มเสริมเหล็กรูปพรรณ และเสาเข็มประกอบ เช่น เสริมเหล็กรูปพรรณชนิดท่อกลมที่เติม (Filled) ด้วยคอนกรีต หรือเสาเข็มคอนกรีตที่มีแกนเหล็กรูปพรรณ เป็นต้น
- ข) จำแนกตามวิธีการผลิต ได้แก่ เสาเข็มหล่อในที่ (Cast-in-situ piles) และเสาเข็มสำเร็จรูป (Precast or Prefabricated piles) ซึ่งอาจเป็นเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง

- ค) จำแนกตามวิธีการก่อสร้าง ได้แก่ เสาเข็มเจาะ (Bored piles) เสาเข็มตอก (Driven piles) เสาเข็มเจาะเสียบ (Pre-auger piles) และเสาเข็มเหล็กชนิดหลายท่อนต่อติดตั้งโดยการกดหรือสั่นสะเทือน (Vibrating or Ramming) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีเสาเข็มหล่อในที่ที่ใช้เป็นรู นรอกของกำแพงคั่นดินแบบ Diaphragm wall ที่เรียกว่า Barrete ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่ง รือผนังสี่เหลี่ยม รูปที่ 2.31 แสดงลักษณะของเสาเข็มคอนกรีตหล่อในที่ (เสาเข็มเจาะ ๕)



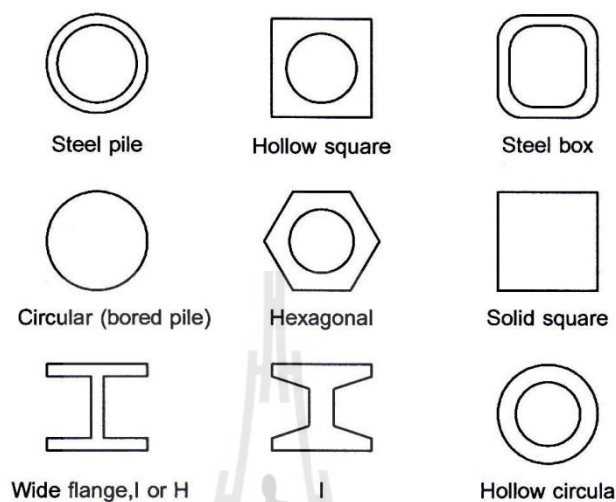
รูปที่ 2.31 เสาเข็มคอนกรีตหล่อในที่

- ง) จำแนกตามการเคลื่อนตัวของดินในระหว่างการติดตั้งเสาเข็ม ได้แก่ เสาเข็มเคลื่อนตัวมาก (Very large displacement pile) (เสาเข็มตอกปลายปิด) เสาเข็มเคลื่อนตัวน้อย (Small displacement pile) (เสาเข็มตอกปลายเปิดและเสาเข็มตอกรูปตัว H) และเสาเข็มไม่มีการเคลื่อนตัว (No displacement pile) (เสาเข็มเจาะ)

2.12.1 เสาเข็มตอก

เสาเข็มตอกส่วนใหญ่จะเป็นเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced concrete pile) หรือคอนกรีตอัดแรง (Pre-stressed pile) หน้าตัดของเสาเข็มตอกที่นิยมใช้กันในปัจจุบันแสดงดังรูปที่

2.32 การติดตั้งกระทำโดยใช้ค้อนน้ำหนัก เสาเข็มตอกเป็นเสาเข็มที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจาก การติดตั้งกระทำได้อย่างง่ายดายและมีราคาต่ำ



รูปที่ 2.32 หน้าตัดของเสาเข็มชนิดต่างๆ

ข้อดีของเสาเข็มตอกมีดังนี้

- ตรวจสอบคุณภาพของเสาเข็มได้ก่อนตอก
- การตอกเสาเข็มจะทำให้ความหนาแน่นของดินเม็ดหยาบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น
- ระดับน้ำใต้ดินไม่มีผลกระทบต่อติดตั้ง (ตอก) เสาเข็ม

ข้อเสียของเสาเข็มตอกมีดังนี้

- ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนในขณะที่ตอกเสาเข็ม และเป็นผลทำให้เกิดการยกตัวสูงขึ้นของผิวดินใกล้เคียง ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อโครงสร้างในบริเวณนั้นได้
- ทำให้เสาเข็มเกิดความเสียหาย ถ้าตอกเสาเข็มแรงเกินไป

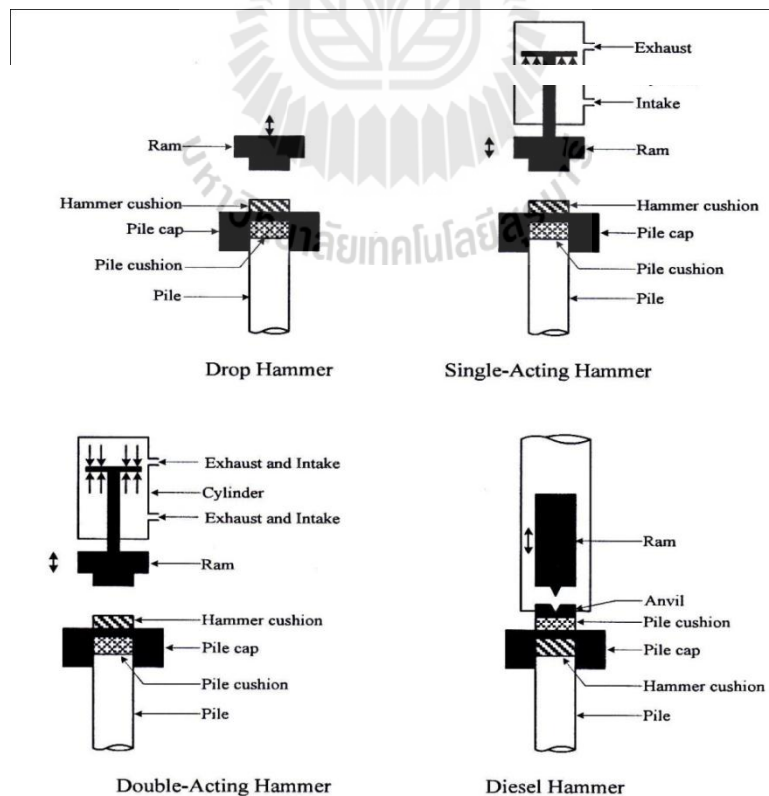
ระบบของค้อนน้ำหนักที่ใช้ตอกเสาเข็ม

ค้อนน้ำหนักที่ใช้ในการตอกเสาเข็มแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด (ดูรูปที่ 2.33)

- ก) Drop Hammer เป็นชนิดที่ได้รับความนิยมต่อเนื่องมาเป็นระยะเวลานานจนถึงปัจจุบัน ประกอบด้วยค้อนน้ำหนัก (ชนิดตั้งแต่ 2.5 – 12 ตัน) โยงยึดกับเครื่องกว้านด้วยสลิงและรอกการตอกทำได้โดยใช้เครื่องกว้านดึงค้อนน้ำหนักให้ยกตัวสูงขึ้นตามระยะที่ต้องการ แล้วปล่อยให้ตกกระทบบนเสาเข็มอย่างอิสระ (Free drop) ค้อนน้ำหนักประเภทนี้ใช้ตอก

เสาเข็มได้ทุกประเภท มีค่าใช้จ่ายต่ำ แต่มีประสิทธิผลในการส่งถ่ายพลังงานไปยังเสาเข็มค่อนข้างต่ำ (เกิดการสูญเสียพลังงานมาก)

- ข) Single-Acting Hammer เป็นปั้นจั่นที่ใช้ไอน้ำ (Steam) แรงอัดอากาศ (Air pressure) หรือแรงดันไฮดรอลิก (Hydraulic pressure) ยกตุ้มน้ำหนักขึ้นสูงตามต้องการ แล้วปล่อยให้ตกกระทบเสาเข็มอย่างอิสระ ปั้นจั่นประเภทนี้มีตุ้มน้ำหนักขนาดตั้งแต่ 2.5 – 20 ตัน และใช้ตอกเสาเข็มได้ทุกประเภท มีประสิทธิภาพสูง
- ค) Double-Acting Hammer เป็นปั้นจั่นที่ใช้ไอน้ำ แรงอัดอากาศ หรือแรงดันไฮดรอลิกในการยกตุ้มน้ำหนักขึ้นและเร่งความเร็วในการตกกระทบ ปั้นจั่นชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงมากและมีขนาดเล็กกว่า Single-Acting Hammer
- ง) Diesel Hammer ทำงานโดยการอัดฉีดน้ำมันเข้าไปในห้องเผาไหม้ในขณะที่ตุ้มน้ำหนักกำลังตกกระทบเสาเข็ม ทำให้เกิดการจุดระเบิดส่วนผสมระหว่างอากาศและน้ำมันดันให้ตุ้มน้ำหนักเคลื่อนที่กลับขึ้นไปยังตำแหน่งเดิม ปั้นจั่นประเภทนี้ไม่เหมาะสมกับการตอกเสาเข็มในชั้นดินอ่อนที่หนามาก เนื่องจากการจุดระเบิดเกิดได้อย่างไม่เต็มที่ (เสาเข็มเคลื่อนตัวมาก) ปั้นจั่น Diesel Hammer ที่มีใช้ในประเทศไทย (ขนาด 1.8 – 4.5 ตัน) จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการตอกเสาเข็มขนาดใหญ่



รูปที่ 2.33 ชนิดของตุ้มน้ำหนัก (Hammer type)

2.12.2 เสาเข็มเจาะแห้ง

เสาเข็มเจาะแห้งเป็นเสาเข็มอีกประเภทที่นิยมอย่างมาก เสาเข็มประเภทนี้มีความแตกต่างจากเสาเข็มตอกตรงที่เสาเข็มประเภทนี้เป็นเสาเข็มที่หล่อในที่ เสาเข็มเจาะแห้งเหมาะสำหรับชั้นดินที่มีระดับน้ำใต้ดินต่ำมาก และเป็นดินเชื่อมแน่น (Cohesive soils) ที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนสูงปานกลาง เช่น ดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทราย ความเชื่อมแน่นจะป้องกันไม่ให้หลุมเจาะพังทลาย เสาเข็มประเภทนี้เหมาะสำหรับดินในแถบตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งมีความแข็งมากและไม่สามารถทำการตอกเสาเข็มให้มีความลึกตามต้องการ เสาเข็มเจาะแห้งสามารถประยุกต์ใช้กับดินเหนียวอ่อนในแถบกรุงเทพมหานครและปริมณฑลได้เช่นกัน แต่ต้องระวังมิให้ทำการเจาะหลุมเจาะจนถึงชั้นทราย อันจะเป็นสาเหตุให้เกิดการพังทลายของหลุมเจาะเนื่องจากปรากฏการณ์ทรายเดือด (Boiling)

ข้อดีของเสาเข็มเจาะแห้ง

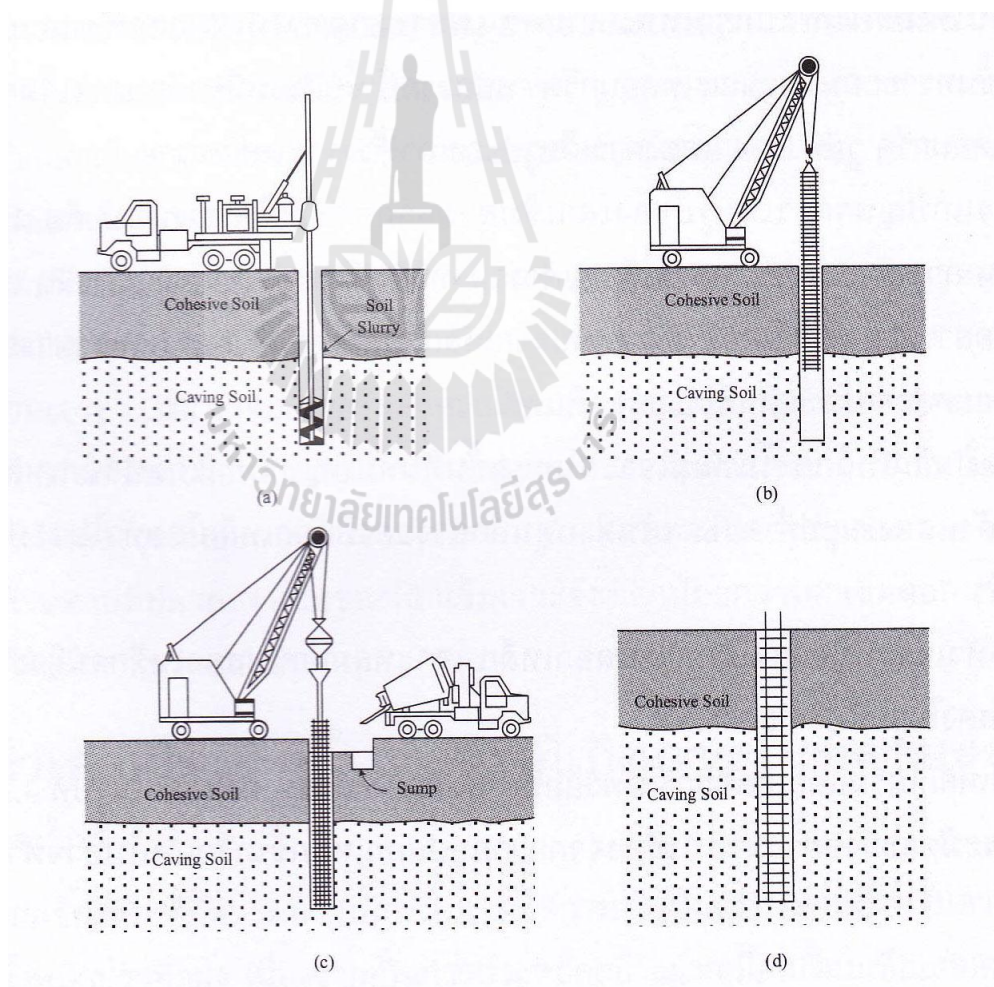
- 1) ขั้นตอนการทำงานไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางเสียงและการสั่นสะเทือนแก่อาคารและบ้านเรือนที่อยู่ใกล้เคียงบริเวณก่อสร้าง
- 2) วิศวกรสามารถสังเกตเห็นลักษณะชั้นดินและการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินขณะที่เจาะหลุม
- 3) ผู้รับจ้างสามารถเปลี่ยนขนาดและความยาวของเสาเข็มเจาะให้สอดคล้องกับสภาพดินในบางพื้นที่ที่มีความแตกต่างจากข้อมูลที่ได้จากหลุมสำรวจ
- 4) ฐานรากเสาเข็มสามารถเจาะทะลุชั้นกรวดขนาดใหญ่หรือแม้แต่หินได้

ข้อด้อยของเสาเข็มเจาะแห้ง

- 1) การก่อสร้างและควบคุมงานที่ไม่ดีจะทำให้ได้เสาเข็มที่มีคุณภาพต่ำ และส่งผลให้เสาเข็มไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามที่ออกแบบ
- 2) เสาเข็มเจาะจะมีความเสียดทานระหว่างดินและเสาเข็มน้อยกว่าเสาเข็มตอก เนื่องจากการตอกเสาเข็มจะทำให้ดินเคลื่อนตัวออกด้านข้าง ส่งผลให้แรงดันดินด้านข้างเพิ่มขึ้น ในขณะที่การทำเสาเข็มเจาะจำเป็นต้องขุดดินออก ทำให้แรงดันดินด้านข้างมีค่าเท่าเดิมหรือน้อยลง
- 3) แรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มของเสาเข็มเจาะจะมีค่าน้อยกว่าเสาเข็มตอก เนื่องจากการตอกเสาเข็มทำให้ดินที่ปลายเข็มแน่นขึ้น

วิธีการเจาะเปียก (Slurry method) แสดงดังรูปที่ 2.34 และมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ขุดหลุมเจาะประมาณ 3 เมตร
- 2) เติมส่วนผสมละลายระหว่างน้ำและเบนโทไนต์/สารละลายโพลีเมอร์เพื่อใช้เป็นของเหลวสำหรับเจาะ (Drilling slurry) ของเหลวนี้จะช่วยป้องกันการพังของหลุมเจาะ
- 3) ใช้หัวเจาะเจาะทะลุชั้นดินจนได้ความลึกที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.34a ในขณะที่เจาะต้องใส่ของเหลวสำหรับเจาะเพิ่มอยู่เสมอ
- 4) ใส่เหล็กเสริมลงในหลุมเจาะ ดังแสดงในรูปที่ 2.34b
- 5) เทคอนกรีตลงในหลุมเจาะผ่านท่อ Tremie โดยที่ปลายท่ออยู่ที่ก้นหลุม ดังแสดงในรูปที่ 2.34c คอนกรีตจะดันของเหลวสำหรับเจาะขึ้นมาที่ปากหลุมเจาะ



รูปที่ 2.34 ขั้นตอนการทำเสาเข็มเจาะเปียก

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทำโครงการ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มุ่งศึกษาสภาพชั้นดินภายในเขตเทศบาลตำบลสตึก เพื่อนำข้อมูลมาจัดทำแผนที่สภาพชั้นดิน และเส้นชั้นความลึกที่มีค่าตัวเลขทะเละดวงมาตรฐานสูงกว่า 30 เพื่อใช้ในการกำหนดความลึกของเสาเข็มตอก และเส้นชั้นความลึกที่มีค่าตัวเลขทะเละดวงมาตรฐานสูงกว่า 50 เพื่อใช้ในการกำหนดความลึกของเสาเข็มเจาะ สำหรับพื้นที่ในเขตเทศบาลตำบลสตึก โดยลำดับขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 ข้อมูลและกลุ่มตัวอย่าง

รวบรวมข้อมูลหลุมเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil - Boring - Log) ให้ครอบคลุมพื้นที่ในเขตเทศบาลตำบลสตึก

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ 1) แผนที่ของเทศบาลตำบลสตึก 2) ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil - Boring - Log) จากหน่วยงานรัฐและเอกชน ให้ครอบคลุมพื้นที่ในเขตเทศบาลตำบลสตึก 3) เครื่อง GPS สำหรับหาค่าพิกัดของข้อมูลที่ทำการทดสอบ SPT

3.3 วิธีการรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil - Boring - Log) จากหน่วยงานรัฐและเอกชน ให้ครอบคลุมพื้นที่ในเขตเทศบาลตำบลสตึก

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อรวบรวมข้อมูลแล้วจัดทำแผนที่สภาพชั้นดิน และจัดทำแผนที่ชั้นดินที่มีค่า $SPT-N > 30$ และ $SPT - N > 50$ เพื่อพิจารณาการวางตำแหน่งของเสาเข็มที่มีความลึกเหมาะสมในการรับน้ำหนักได้ ในบริเวณที่มีข้อมูลชั้นดินอยู่บริเวณใกล้เคียง

บทที่ 4

ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ ได้ทำการรวบรวมข้อมูลหลุมเจาะ (Boring-log) ในเขตเทศบาลตำบลสตึก เพื่อจัดทำแผนที่ชั้นดิน ข้อมูลหลุมเจาะรวบรวมจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชน เนื่องจากชั้นดินภายในเขตเทศบาลตำบลสตึก เป็นดินเหนียวที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนปานกลางถึงสูง การจำแนกความแข็งแรงของชั้นดินจึงประมาณจากผลการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test) ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลหลุมเจาะ จำนวน 76 หลุม ภายในเขตเทศบาลตำบลสตึก จากข้อมูลที่ได้ทั้งหมด ผู้วิจัยได้แบ่งชั้นดินในเขตเทศบาลตำบลสตึกออกเป็นสามชั้น (ดังแสดงในรูปที่ 4.1) ได้แก่ ชั้นตะกอนทรายปนดินเหนียว ที่มีความแน่นปานกลาง มีค่า SPT-N < 30 ชั้นดินเหนียวปนดินตะกอน มีความแข็งแรงมาก มีค่า $30 < \text{SPT-N} < 50$ และชั้นดินเหนียวปนดินตะกอนที่มีความแข็งแรงมากที่สุด มีค่า SPT-N > 50

▼ Z_0 ระดับผิวดิน	
D_1	SPT-N < 30 Silty Sand and Clay
D_2	$30 < \text{SPT-N} < 50$ Silty Clay
	SPT-N > 50 Hard Clay

รูปที่ 4.1 ชั้นดินในเขตเทศบาลตำบลสตึก

4.1 การรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบความแข็งแรงของดิน โดยวิธีทดสอบแบบทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test) จากหน่วยงานภาครัฐและเอกชน จำนวน 76 ผลการทดสอบ จากนั้นนำมาลงพิกัดในแผนที่เทศบาลตำบลสตึก ตำแหน่งของแต่ละหลุมเจาะประมาณได้จากเครื่องวัด Global Positioning System (GPS) ข้อมูลสถานที่ พิกัดความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางที่ระดับผิวดิน (Z_0) ระดับของชั้นดินที่มีความแข็งแรงปานกลาง SPT-N < 30 (Z_1) ระดับของชั้นดินที่มีความแข็งแรงมาก $30 < \text{SPT-N} < 50$ (Z_2) ระดับของชั้นดินที่มีความแข็งแรงมากที่สุด SPT-N > 50 (Z_3) แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลพิกัดและระดับความสูงของชั้นดินในเขตเทศบาลตำบลสตึก

ลำดับ	สถานที่	E	N	Z ₀	Z ₁	Z ₂	Z ₃
1.	อาคารศูนย์วิทยบริการ วิทยาลัยการอาชีพสตึก	315123	1690017	152	148.50	147.50	147
2.	อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น SD.คอนสตรัคชั่น	315334	1690026	150	147	146	145
3.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น	315580	1690203	142	139	138	137
4.	โรงเรียนบ้านหนองบัวเจ้าป่า	315855	1690442	140	135.50	134.50	57
5.	โรงงานผลิตหลังคาเหล็ก BK	316220	1690621	138	134	133	132
6.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น	316202	1690494	138	134	133	132
7.	โกดังเก็บวัสดุ	315527	1690582	142	138.50	137.50	137
8.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 4 คูหา	315601	1690936	141	137.50	136	135
9.	โครงการบ้านสามดี ถนนนิคมประจิม	315608	1691003	141	137.50	146	145
10.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 4 คูหา	315635	1691415	138	134	132.50	131
11.	โครงการบ้านอยู่สบาย ดิศทางหลวง 2226	315547	1691599	140	136.50	135	134
12.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 4 คูหา	315438	1691792	141	137.50	136	135
13.	อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น	315486	1691748	140	136.50	135	134
14.	ทาวน์โฮม 2 ชั้น	315617	1691731	138	134	133	132
15.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 4 คูหา	315861	1691482	137	133	131.50	130
16.	อาคารส่งเสริมสุขภาพและเอนกประสงค์ โรงพยาบาลสตึก	316135	1691186	137	130.50	129.50	129
17.	บ้านพักข้าราชการระดับ 3-4 โรงพยาบาลสตึก	315889	1691128	138	135	134	132
18.	โรงเรียนอนุบาลสายสัมพันธ์	316044	1690966	137	133	132	131
19.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 5 คูหา ถนนนิคมสมบูรณ์	316158	1690872	137	133	132	131
20.	อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น 4 คูหา ถนนนิคมสมบูรณ์	316157	1690663	138	134.50	133	132
21.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 7 คูหา ซอยโรงพยาบาล	316200	1690939	137	133	132	131
22.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 6 คูหา ซอยโรงพยาบาล	316201	1690987	137	133.50	131.50	131
23.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 4 คูหา ถนนนิคมพิทักษ์	316261	1691065	137	133.50	131	130
24.	อาคารพักอาศัย 3 ชั้น ถนนนิคมสมบูรณ์	316202	1691351	136	132	130	129
25.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 10 คูหา	316201	1691533	135	131	129	128
26.	อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น ถนนนิคมสมบูรณ์	316171	1691425	136	132	130.50	129
27.	อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	316356	1691608	135	131	129	128
28.	อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น ถนนนิคมบูรพา	316334	1691543	135	131	129	128
29.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 5 คูหา	316360	1691520	135	131	12	128

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

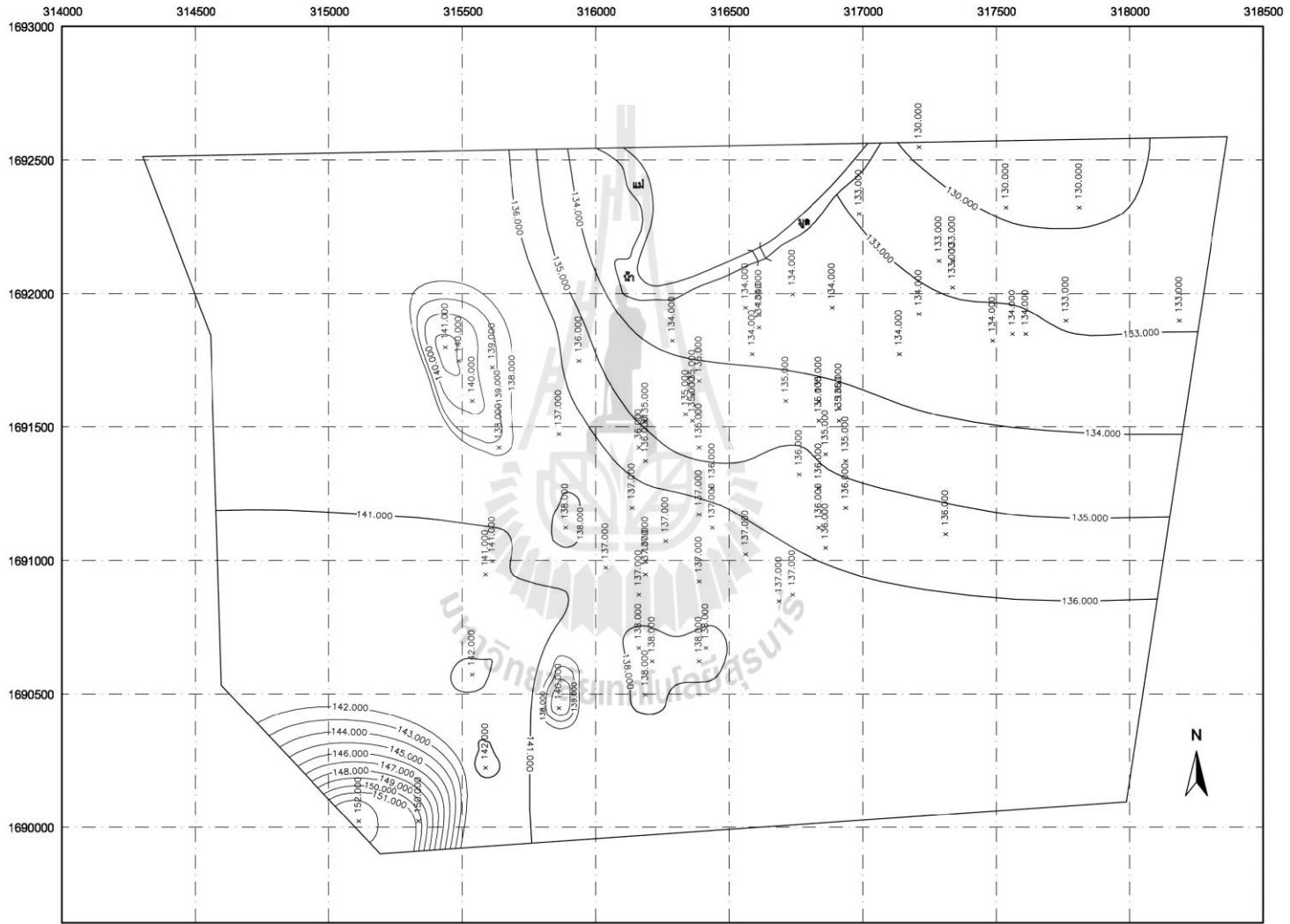
ลำดับ	สถานที่	E	N	Z ₀	Z ₁	Z ₂	Z ₃
30.	อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	316376	1691424	135	131.50	129	128
31.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 6 คูหา	316424	1691267	136	132	131	129
32.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 9 คูหา	316379	1691182	137	133	131.50	130
33.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 3 คูหา ซอยนิคมพิทักษ์	316425	1691122	137	133	132	130
34.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 4 คูหา ถนนนิคมบูรพา	316394	1690931	137	133.50	132.50	131
35.	อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น 4 คูหา ทางหลวง 219	316379	1690632	138	134.50	133	132
36.	อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น ติดทางหลวง 219	316423	1690663	138	134.50	133.50	132
37.	โกดังเก็บวัสดุ	316683	1690843	137	133.50	132	131
38.	อาคารพาณิชย์ สองชั้นครึ่ง	316730	1690876	137	133	132	131
39.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 10 คูหา	316868	1691049	136	132.50	131	130
40.	อาคารพาณิชย์ สองชั้นครึ่ง	316834	1691115	136	132.50	131	130
41.	โกดังเก็บวัสดุ ถนนนิคมพงษ์พิศ	316755	1691309	136	132.50	130	129
42.	โรงสีข้าว ถนนนิคมพงษ์พิศ	316950	1691184	136	132.50	131	130
43.	อาคารสำนักงาน 2 ชั้น	316843	1691258	136	132	130	129
44.	อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น	316929	1691365	135	131	129	128
45.	อาคารพาณิชย์ สองชั้นครึ่ง	316870	1691397	135	131.50	129.50	128
46.	อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น	316918	1691513	135	131.50	129	128
47.	อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น	316911	1691568	135	131	129	128
48.	อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น	316847	1691586	135	131	129.50	128
49.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 5 คูหา	316846	1691527	135	131	129	128
50.	อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	316713	1691591	135	130.50	128.50	128
51.	อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น	316724	1691998	134	129	127	126
52.	อาคารสำนักงานอำเภอสตึก	316568	1691937	134	129	127	126
53.	อาคารเรียน 2 ชั้น โรงเรียนบ้านสตึก	316392	1691660	135	129	128	127
54.	อาคารพักอาศัย 3 ชั้น	317003	1692289	133	127	125	124
55.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 4 คูหา ถนนท่าช้าง	317303	1692108	133	127	125	124
56.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 4 คูหา ถนนท่าช้าง	317344	1692115	133	127	125	124
57.	อาคารสำนักงานเทศบาลตำบลสตึก	317549	1692310	131	124	122	121
58.	บ้านพักอาศัย 2 ชั้น	317819	1692328	130	123	121	120
59.	บ้านพักอาศัย 2 ชั้น 10 คูหา	317768	1691900	132	126	125	124
60.	บ้านพักอาศัย 2 ชั้น 5 คูหา	317616	1691845	134	130	128	127

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

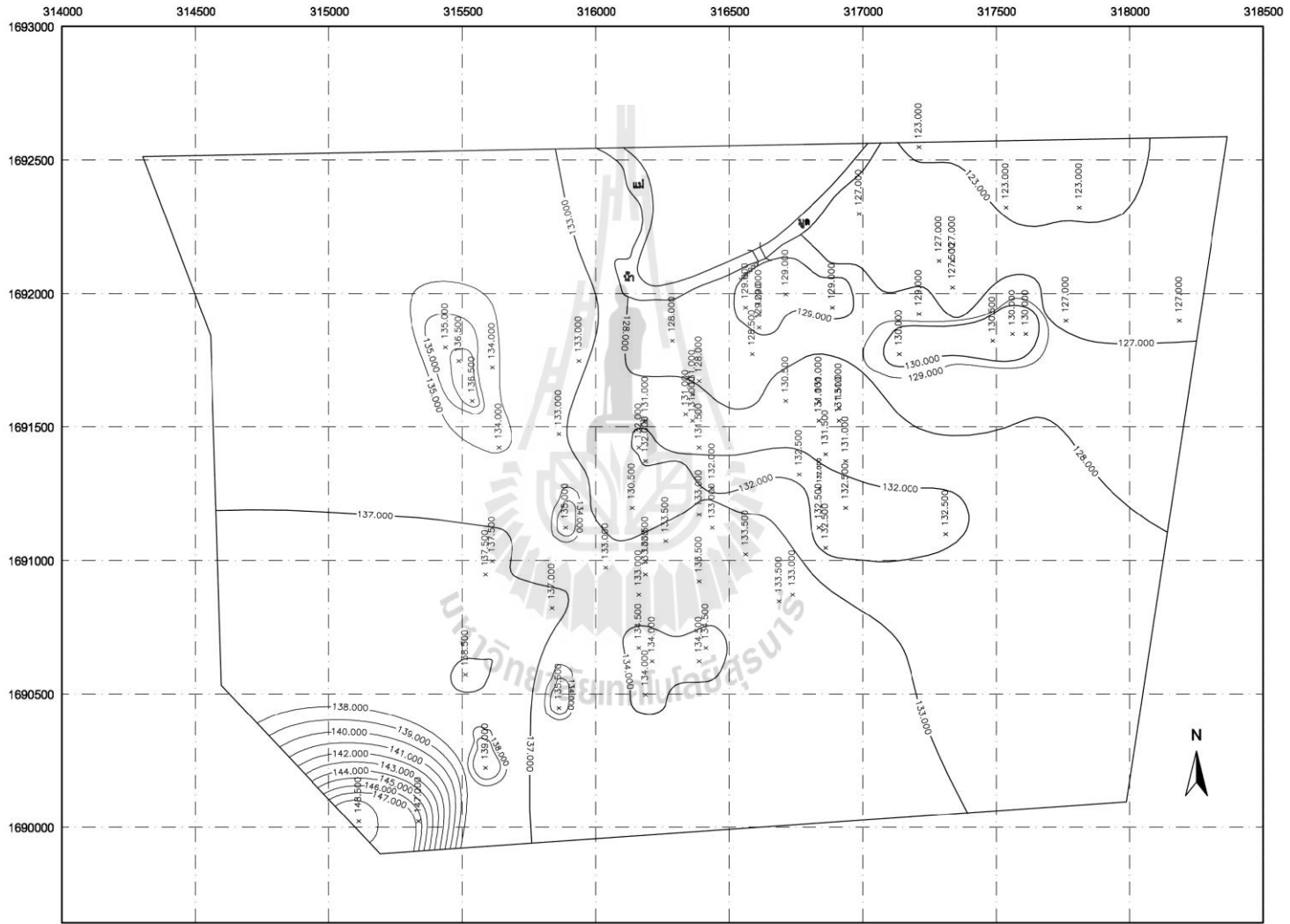
ลำดับ	สถานที่	E	N	Z ₀	Z ₁	Z ₂	Z ₃
61.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 5 คูหา	317567	1691838	134	130	128	127
62.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 8 คูหา	317487	1691825	134	130.50	128	127
63.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น	317214	1691920	134	129	127.50	126
64.	อาคารพาณิชย์ สองชั้นครึ่ง	316895	1691942	134	129	127	126
65.	โรงเรียนอนุบาลสตึก	317331	1692019	133	127.50	126	125
66.	อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น	317141	1691760	134	130	128	127
67.	ตลาดสดเทศบาลตำบลสตึก	316622	1691919	134	129	127	126
68.	ร้านทองเขาวราช	316576	1691779	134	128.50	127	126
69.	บ้านพักข้าราชการที่ว่าการอำเภอสตึก	316606	1691871	134	129	127.50	126
70.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 4 คูหา	315937	1691773	136	133	131	130
71.	โรงเรียนบ้านสตึก	136290	1691832	134	128	127	126
72.	โกดังเก็บวัสดุ	316573	1691028	137	133.50	132	131
73.	บ้านพักอาศัย 3 ชั้น	317207	1692536	130	123	122	121
74.	โกดังเก็บวัสดุ ถนนทางหลวงชนบท	317306	1691095	136	132.50	131	130
75.	โรงเรียนอนุบาลสายสัมพันธ์	315827	1690825	140	137	136	135
76.	อาคารพาณิชย์ 2 ชั้น 5 คูหา	318190	1691889	132	126	125	124

4.2 การวิเคราะห์ผล

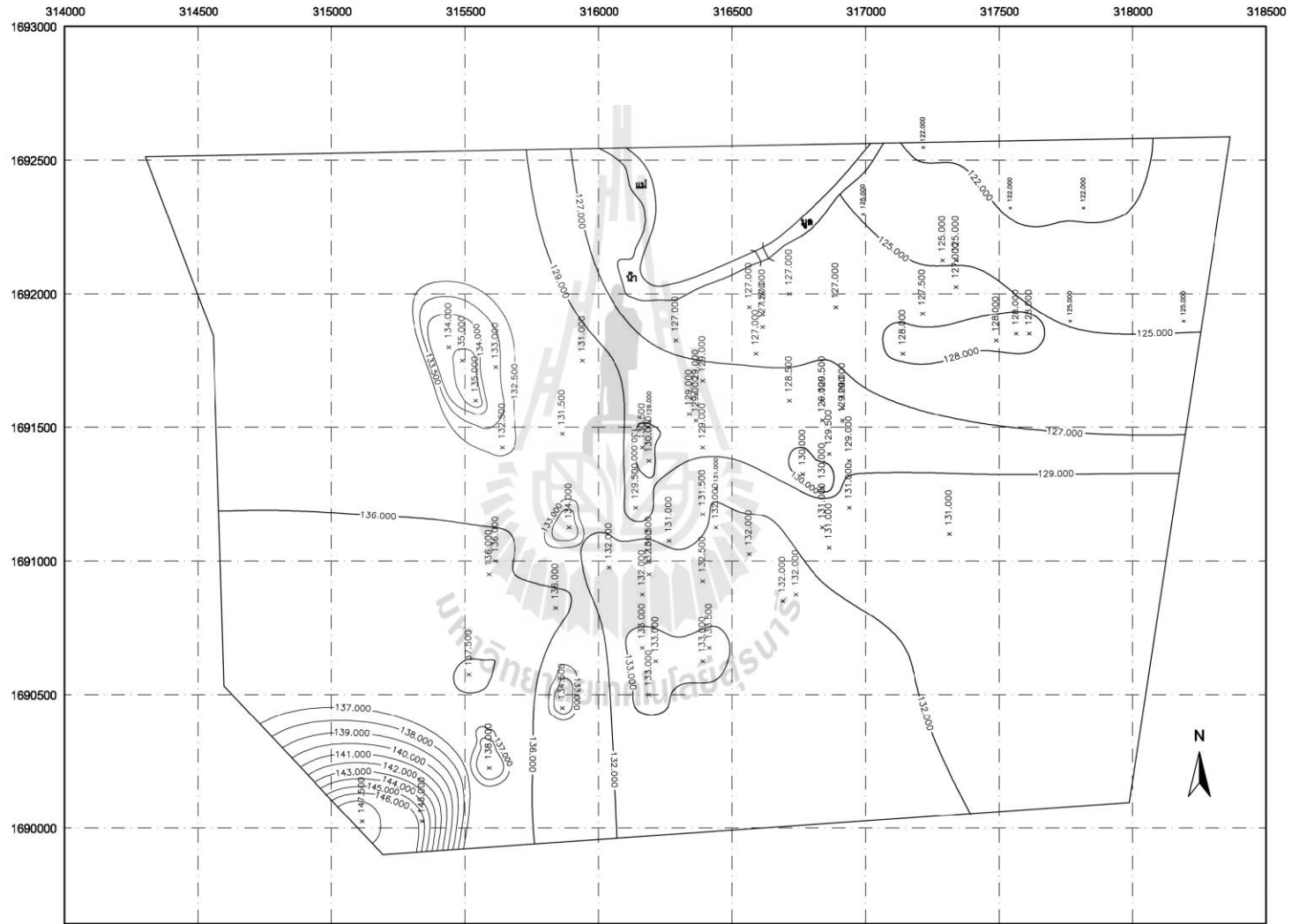
หลังจากได้ข้อมูลชั้นดิน พิกัดตำแหน่ง ความหนาของชั้นดิน และค่า SPT-N แล้ว ผู้วิจัยได้นำข้อมูลทั้งหมดป้อนใส่โปรแกรม RoadPack เพื่อจัดทำเส้นชั้นความสูง (Contour) แผนที่เส้นชั้นความสูงที่จัดทำประกอบด้วย แผนที่เส้นชั้นความสูงของระดับผิวดิน แผนที่เส้นชั้นความสูงของชั้นดินที่มีค่า SPT-N < 30 แผนที่เส้นชั้นความสูงของชั้นดินที่มีค่า 30 < SPT-N < 50 แผนที่เส้นชั้นความสูงของชั้นดินที่มีค่า SPT-N > 50 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ถึง 4.5 ความหนาของชั้นดินที่มีค่า SPT-N > 50 ไม่ได้จัดทำขึ้น เนื่องจากไม่มีข้อมูลที่เพียงพอ แต่อย่างไรก็ตาม แผนที่ที่จัดทำขึ้นนี้เพียงพอต่อการใช้งานวิศวกรรมฐานราก ซึ่งปลายเสาเข็มส่วนใหญ่จะวางอยู่ในชั้นดินที่มีค่า SPT-N ระหว่าง 30 ถึง 50 และชั้นดินมีความหนาไม่น้อยกว่า 5 ถึง 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม



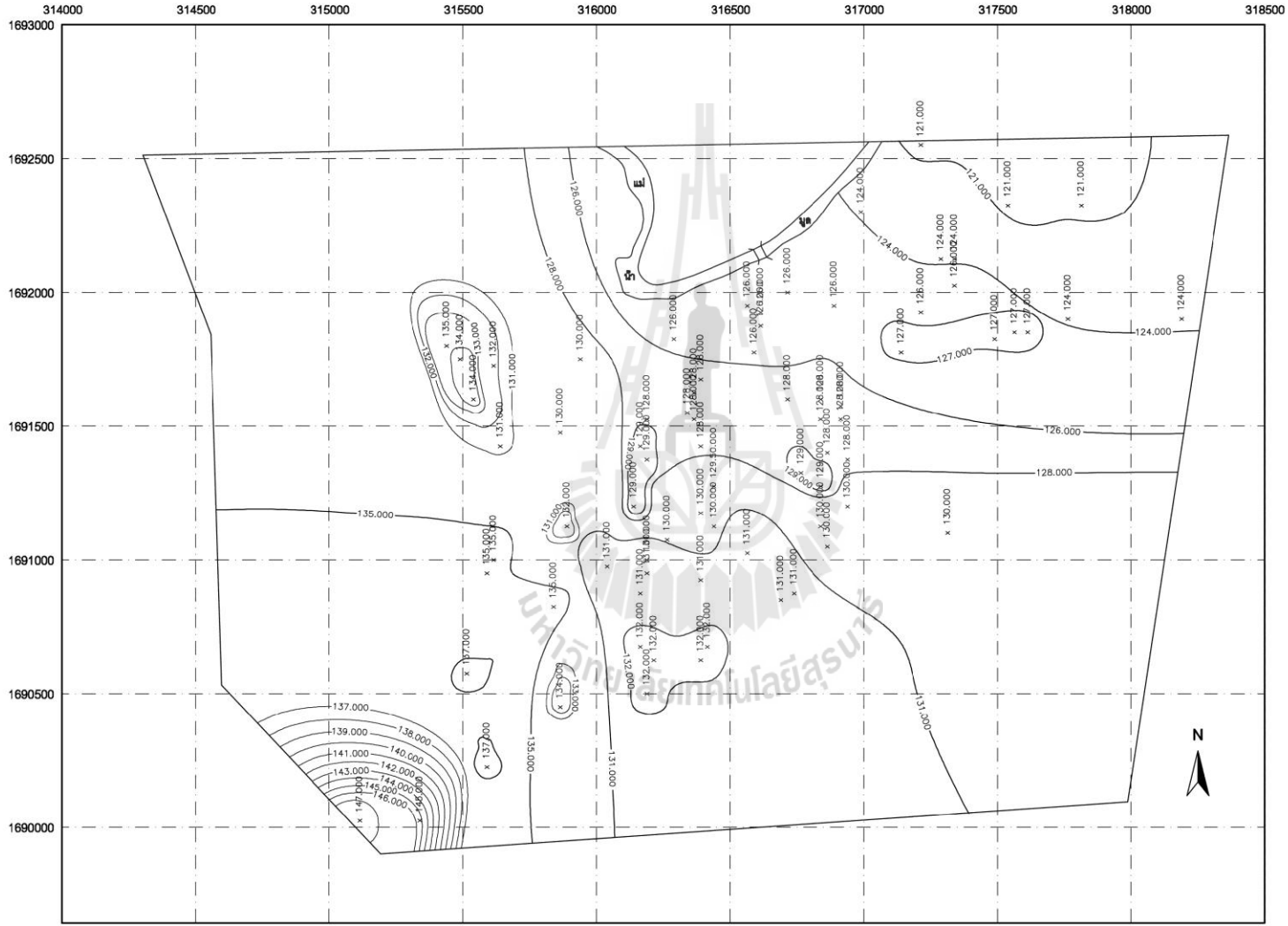
รูปที่ 4.2 แผนที่แสดงค่าความชัน (contour) ของผิวดิน ในเขตเทศบาลตำบลตึก



รูปที่ 4.3 แผนที่แสดงค่าความชัน (contour) ของ SPT-N < 30 ในเขตเทศบาลตำบลสตึก



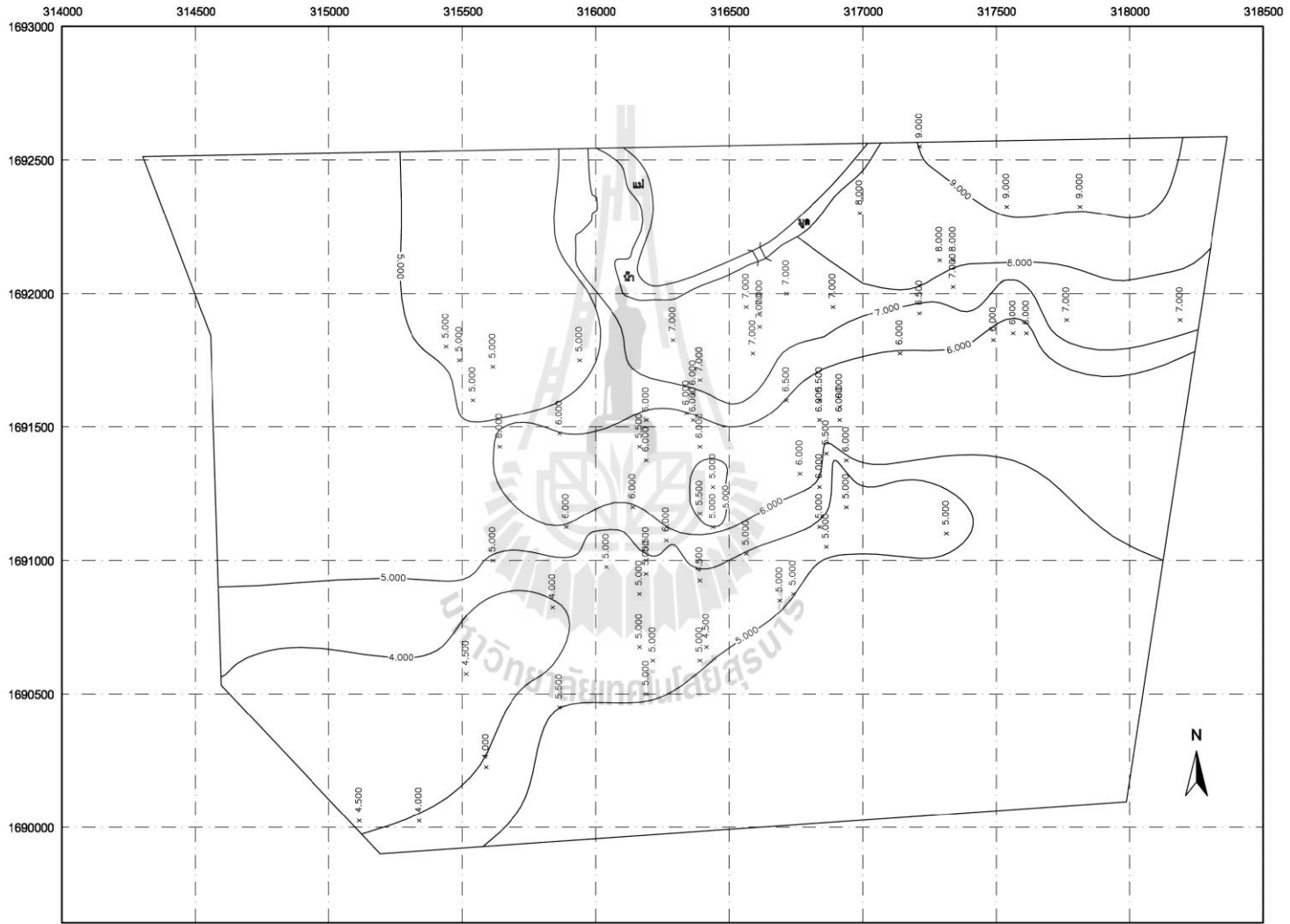
รูปที่ 4.4 แผนที่แสดงค่าความชัน (contour) ของ $30 < \text{SPT-N} < 50$ ในเขตเทศบาลตำบลตึก



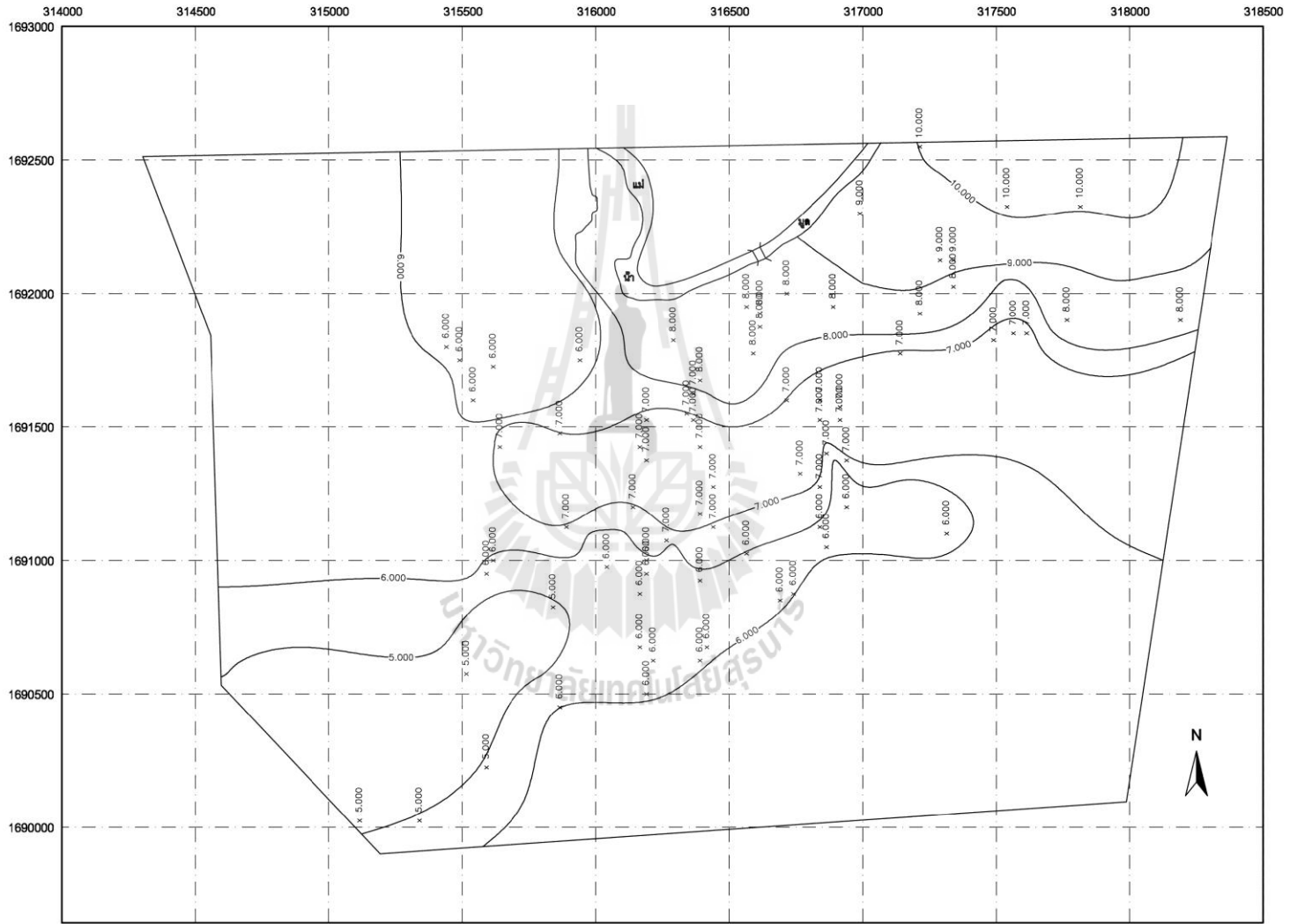
รูปที่ 4.5 แผนที่แสดงค่าความชัน (contour) ของ SPT-N > 50 ในเขตเทศบาลตำบลตึก



รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงค่าความลึกของชั้นดินที่ SPT-N < 30 ในเขตเทศบาลตำบลตึก



รูปที่ 4.7 แผนที่แสดงค่าความลึกของชั้นดินที่ $30 < \text{SPT-N} < 50$ ในเขตเทศบาลตำบลตึก



รูปที่ 4.8 แผนที่แสดงค่าความลึกของชั้นดินที่ SPT-N > 50 ในเขตเทศบาลตำบลสตึก

จากรูปที่ 4.2 ถึง 4.5 ซึ่งแสดงเส้นชั้นความสูง (Contour) ของชั้นดินในเขตเทศบาลตำบลสตึก พบว่าสภาพพื้นที่ภายในเขตเทศบาลตำบลสตึก มีค่าความแตกต่างกันสูงสุดถึง 22 เมตร บริเวณที่มีค่าระดับผิวดินสูงสุดคือ ลำดับที่ 1, 2 บริเวณวิทยาลัยการอาชีพสตึก และการประปาส่วนภูมิภาคสตึก มีระดับความสูงประมาณ 152 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง บริเวณที่มีค่าระดับผิวดินต่ำสุดคือ ลำดับที่ 57, 58, 73 บริเวณที่ตั้งสำนักงานเทศบาลตำบลสตึก บริเวณชุมชนประมง มีระดับความสูงประมาณ 130 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

ในงานทางวิศวกรรมฐานราก วิศวกรส่วนใหญ่จะเลือกวางปลายเข็มตอกในชั้นดินที่มีค่า $30 < \text{SPT-N} < 50$ และปลายเสาเข็มเจาะในชั้นดินที่มีค่า $\text{SPT-N} > 50$ ผู้วิจัยจึงได้จัดทำแผนที่ความลึกของชั้นดินที่มีค่า $30 < \text{SPT-N} < 50$ และ $\text{SPT-N} > 50$ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ ชั้นดินที่ $\text{SPT-N} < 30$ เป็นชั้นดินที่มีลักษณะเป็นตะกอนทรายปนดินเหนียวแน่นปานกลาง มีความหนาประมาณ 1.00 - 7.00 เมตร ค่า SPT-N เฉลี่ยประมาณ 14 ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.10 ชั้นดินที่มีค่า $30 < \text{SPT-N} < 50$ เป็นชั้นดินลักษณะดินเหนียวปนตะกอน มีความแข็งมากถึงมากที่สุด มีความหนาประมาณ 1.00 - 2.00 เมตร และค่า SPT เฉลี่ยประมาณ 40 ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.14

เพื่อให้งานวิจัยนี้เกิดประโยชน์สูงสุดต่องานวิศวกรรมฐานราก ปลายเสาเข็มตอกมักวางอยู่ในชั้นดินที่มีค่า $\text{SPT-N} > 30$ และปลายเสาเข็มเจาะมักวางอยู่ในชั้นดินที่มีค่า $\text{SPT-N} > 50$ ผู้วิจัยได้จัดแบ่งโซนความลึกของเสาเข็มตอก และ โซนความลึกของเสาเข็มเจาะ ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 และ 4.8 รายละเอียดของการแบ่งโซนมีดังนี้

4.2.1 เสาเข็มตอก ($\text{SPT-N} > 30$)

โซนที่ 1 : สำหรับเสาเข็มตอกความยาว 4.00 เมตร (สีแดง) มีตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่บริเวณตามลำดับที่ 1 2 3 4 7 75

โซนที่ 2 : สำหรับเสาเข็มตอกความยาว 5.00 เมตร (สีเหลือง) มีตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่บริเวณตามลำดับที่ 4 5 6 8 9 11 12 13 14 18 19 20 21 22 23 34 35 36 37 38 39 40 42 70 72

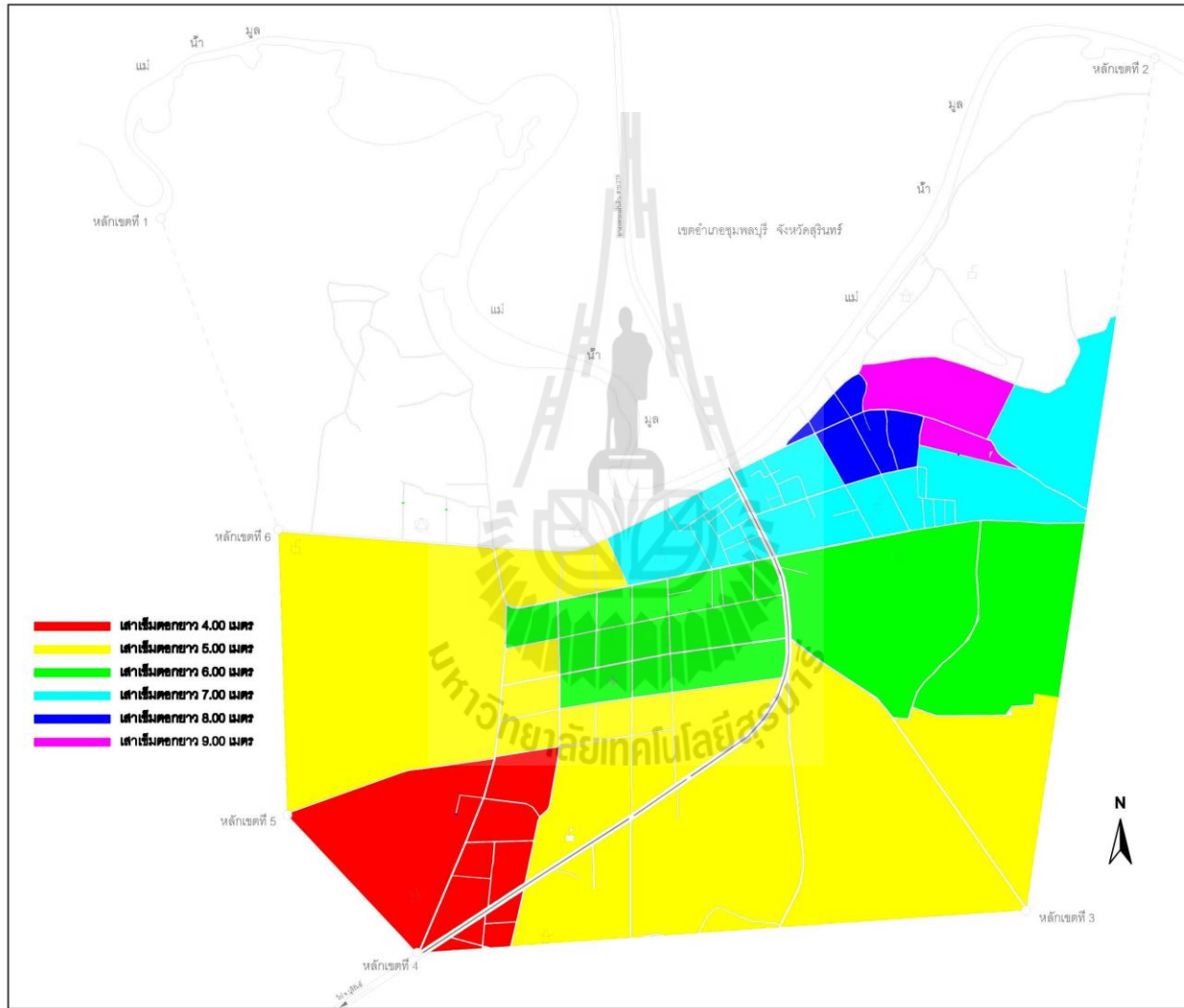
โซนที่ 3 : สำหรับเสาเข็มตอกความยาว 6.00 เมตร (สีเขียว) มีตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่บริเวณตามลำดับที่ 10 15 16 17 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 41 43 44 45 46 47 48 49 50 60 61 62 66 74

โซนที่ 4 : สำหรับเสาเข็มตอกความยาว 7.00 เมตร (สีฟ้า) มีตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่บริเวณตามลำดับที่ 51 52 53 59 63 64 65 67 68 69 71 76

โซนที่ 5 : สำหรับเสาเข็มตอกความยาว 8.00 เมตร (สีน้ำเงิน) มีตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่บริเวณตามลำดับที่ 54 55 56 73

โซนที่ 6 : สำหรับเสาเข็มตอกความยาว 9.00 เมตร (สีชมพู) มีตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่บริเวณตามลำดับที่ 57 58





รูปที่ 4.9 แผนที่แสดงชั้นความลึกเสาเข็มตอก (SPT-N > 30) ในเขตเทศบาลตำบลสตึก

4.2.2 เสาเข็มเจาะ (SPT-N > 50)

โซนที่ 1 : สำหรับเสาเข็มเจาะความยาว 5.00 เมตร (สีแดง) มีตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่บริเวณตามลำดับที่ 1 2 3 4 7 75

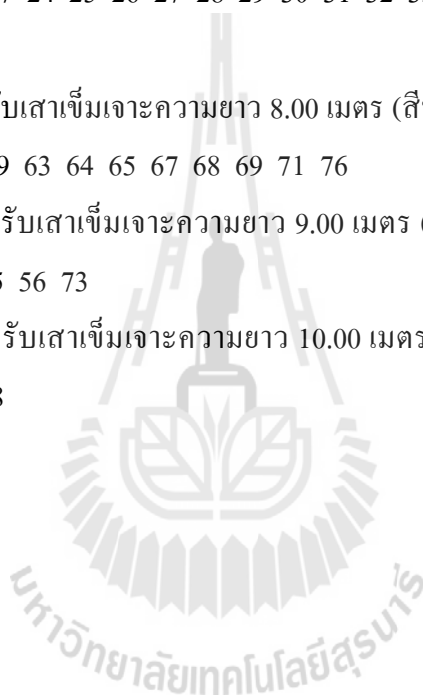
โซนที่ 2 : สำหรับเสาเข็มเจาะความยาว 6.00 เมตร (สีเหลือง) มีตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่บริเวณตามลำดับที่ 4 5 6 8 9 11 12 13 14 18 19 20 21 22 23 34 35 36 37 38 39 40 42 70 72

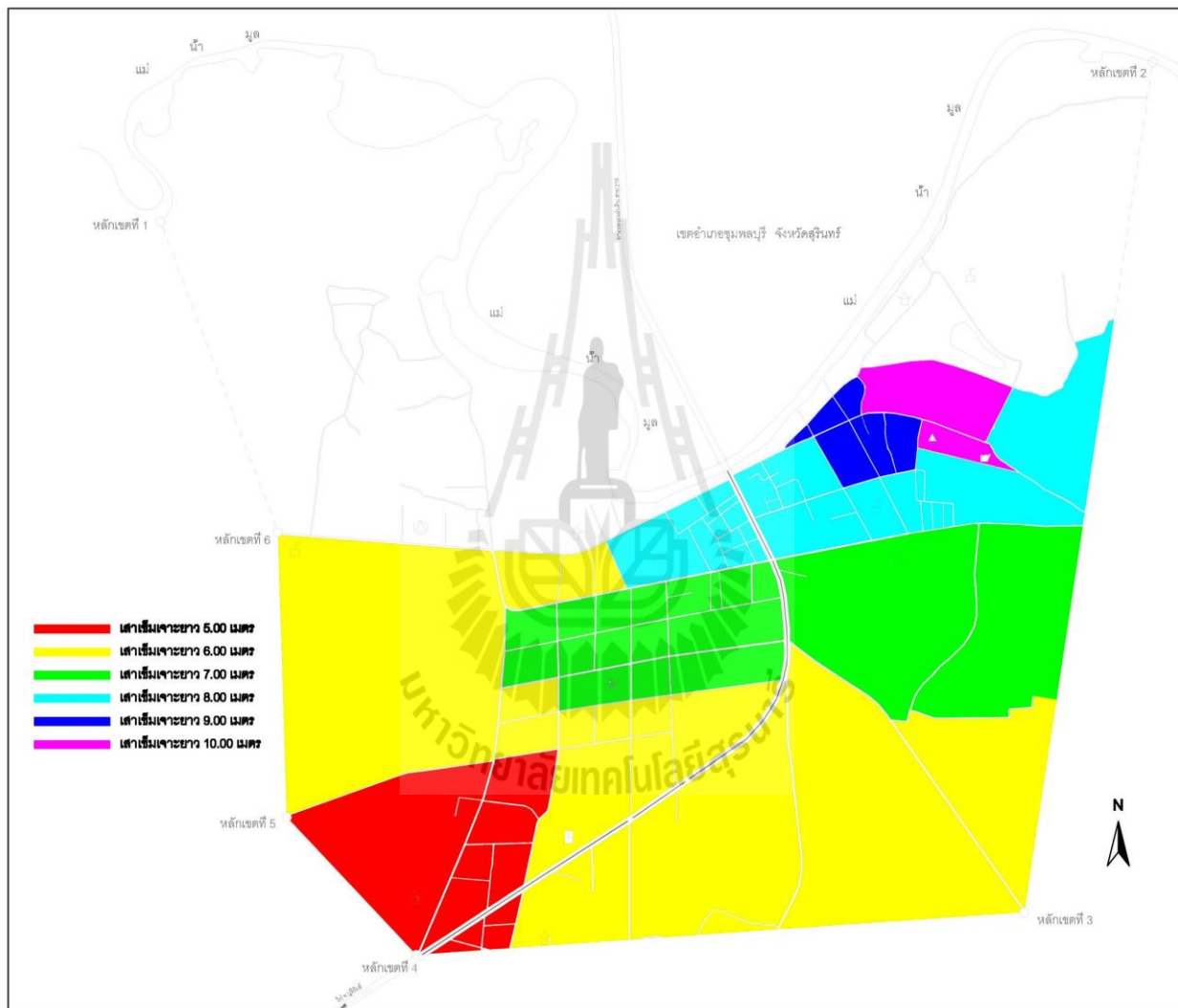
โซนที่ 3 : สำหรับเสาเข็มเจาะความยาว 7.00 เมตร (สีเขียว) มีตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่บริเวณตามลำดับที่ 10 15 16 17 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 41 43 44 45 46 47 48 49 50 60 61 62 66 74

โซนที่ 4 : สำหรับเสาเข็มเจาะความยาว 8.00 เมตร (สีฟ้า) มีตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่บริเวณตามลำดับที่ 51 52 53 59 63 64 65 67 68 69 71 76

โซนที่ 5 : สำหรับเสาเข็มเจาะความยาว 9.00 เมตร (สีน้ำเงิน) มีตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่บริเวณตามลำดับที่ 54 55 56 73

โซนที่ 6 : สำหรับเสาเข็มเจาะความยาว 10.00 เมตร (สีชมพู) มีตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่บริเวณตามลำดับที่ 57 58





รูปที่ 4.10 แผนที่แสดงชั้นความลึกเสาค้ำเข็มเจาะ (SPT-N > 50) ในเขตเทศบาลตำบลตึก

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้ทำการรวบรวมข้อมูลผลการเจาะสำรวจชั้นดิน จำนวน 76 หลุม ในเขตเทศบาลตำบลสตึก เพื่อจัดทำแผนที่สภาพชั้นดินในเขตเทศบาลตำบลสตึก จากข้อมูลชั้นดินที่ได้รวบรวม พบว่าระดับผิวดินภายในเขตเทศบาลตำบลสตึก มีค่าความแตกต่างกันสูงสุดถึง 22 เมตร โดยบริเวณวิทยาลัยการอาชีพสตึก และการประปาส่วนภูมิภาคสตึก มีค่าระดับผิวดินสูงสุด บริเวณที่ตั้งสำนักงานเทศบาลตำบลสตึก และบริเวณชุมชนประมง มีค่าระดับผิวดินต่ำที่สุด ชั้นตะกอนทรายปนดินเหนียวแน่นปานกลาง ($SPT-N < 30$) มีความหนาประมาณ 1.00 ถึง 7.00 เมตร และมีค่า $SPT-N$ เฉลี่ยประมาณ 14 ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.10 ชั้นดินเหนียวปนดินตะกอน มีความแข็งมากถึงมากที่สุด ($30 < SPT-N < 50$) มีความหนาประมาณ 1.00 ถึง 2.00 เมตร มีค่า $SPT-N$ เฉลี่ยประมาณ 40 ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.14

ผู้วิจัยได้แบ่งชั้นดินในเขตเทศบาลตำบลสตึกออกเป็นสามชั้นดิน ได้แก่ (1) ชั้นตะกอนทรายปนดินเหนียว แน่นปานกลาง มีค่า $SPT-N < 30$ (2) ชั้นดินเหนียวปนดินตะกอน แข็งมากถึงมากที่สุด มีค่า $30 < SPT-N < 50$ (3) ชั้นดินเหนียวปนดินตะกอน มีความแข็งมากที่สุด มีค่า $SPT > 50$ และจัดทำเป็นแผนที่ความลึกของชั้นดินที่มีค่า $SPT-N < 30$ แผนที่ความลึกของชั้นดินที่มีค่า $30 < SPT-N < 50$ และแผนที่ความลึกของชั้นดินที่มีค่า $SPT-N > 50$ จากแผนที่ความลึกของชั้นดินนี้ ผู้วิจัยได้จัดแบ่งโซนความลึกของเสาเข็มตอก ซึ่งจะตั้งอยู่ในชั้นดินที่มีค่า $SPT-N > 30$ และโซนความลึกของเสาเข็มเจาะ ซึ่งจะตั้งอยู่ในชั้นดินที่มีค่า $SPT-N > 50$ เพื่อประโยชน์ในการประมาณความยาวของเสาเข็มที่ใช้ในเขตเทศบาลตำบลสตึกต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- สุขสันต์ หอพิบูลสุข และรุ่งรวาลย์ ราชัน. (2554). “**ปฐพีกลศาสตร์**” (Soil Mechanics 2/e).
 สุขสันต์ หอพิบูลสุข. (2555). “**วิศวกรรมฐานราก**” (Foundation Engineering).
- อมร พิมาณมาศ ปรีดา ไชยมหาวัน และภาณุวัฒน์ จ้อยกถัด. (2555). “**การออกแบบโครงสร้าง
 ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กขั้นสูง**” (*Advanced Structural Design of Reinforced Concrete
 Footing*), พิมพ์ครั้งที่ 1.
- Bazaraa, A.R.S. (1967), **Use of the Standard Penetration Test for Estimating Settlement of
 Shallow Foundation on Sand**, Ph.d. Thesis, University of Illinois.
- Clayton, C.R.I. (1990), “**SPT energy transmission: theory, measurement and significance**”,
 Ground Engineering, Vol.23, No.10, pp.35-43.
- DeMello, V. (1971), “**The standard penetration test – a state of art report**”, *Proceedings of
 4th American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol.1, pp.1-
 86.
- Horpibulsuk, S., Kumpala, A., and Katkan, W. (2008), “**A case history on underpinning for a
 distressed building on hard residual soil underneath non-uniform loose sand**”, *Soils
 and Foundation*, Vol.48, No.2, pp.267-286.
- Liao, S. and Whitman, R.V. (1986), “**Overburden correction Factor for SPT in Sand**”, *Journal of
 Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.112, No.3, pp.373-377.
- Little, A.L. (1969), “**The engineering classification of residual tropical soils**”, *Proceedings
 of the Specialty Session on the Engineering Properties of Lateritic Soil*, 7th International
 Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, Vol.1, PP.1-10.
- Nixon, Ivan K. (1982), “**Standard penetration test – state of art report**”, *Proceedings of 2th
 Symposium on Penetration Test (ESOPT II)*, Amsterdam, Vol.1, pp.3-24.
- Osterberg, J.O. (1952), “**New piston type sampler**”, *Engineering News Solutions*, April 24.
- Peck, R.B., Hansen, W.E. and Thornburn, T.H. (1974), *Foundation Engineering*, John Wiley,
 New York.
- Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., and Chung, R.M. (1985), “**Influence of SPT
 procedures in soil liquefaction resistance**”, *Journal of Geotechnical Engineering
 Journal*, ASCE, Vol.111, No.12 pp.1425-1445.

- Sowers, G.F. (1979), *Introductory Soil Mechanics and Foundation: Geotechnical Engineering*, MacMillan Publishing Company.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd Edition, John Wiley, New York.
- Tomlinson, M.J. (1957), “**The adhesion factor of pile driven in clay soil**”, Proc. 4th *International Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol.2, pp.66-71
- U.S. Navy (1982), *Soil Mechanics, Design Manual 7.1*, Department of the Navy, Naval Facility Engineering Command (NAVFAC).
- U.S. Navy (1971), *Design Manual – Soil Mechanics, Foundation and Earth Structure*, NAVFAC DM-7, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.



ประวัติผู้เขียน

นายประกอบ เมทา เกิดเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม 2520 ที่ตำบลเสริมซ้าย อำเภอเสริมงาม จังหวัดลำปาง สถานที่อยู่ปัจจุบัน 202/2 หมู่ที่ 2 ถนนประชาบูรณะ ตำบลสตึก อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ ด้านการศึกษาจบการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง แผนกวิชาช่างโยธา วิทยาลัยเทคนิคคูสิต เขตคูสิต จังหวัดกรุงเทพมหานคร และจบการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปัจจุบันรับราชการตำแหน่ง วิศวกรโยธา 5 สำนักงานเทศบาลตำบลสตึก อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ กระทรวงมหาดไทย

