



องค์ความรู้ที่ ๔
ยุทธศาสตร์ด้านการบริการด้านช่าง

ความรู้เกี่ยวกับการเจาะสำรวจชั้นดิน



การจัดการความรู้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๙



องค์ความรู้ที่ ๔

ความรู้เกี่ยวกับการเจาะสำรวจชั้นดิน

สงวนสิทธิ์ @

ห้ามลอกเลียนไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ นอกจากได้รับอนุญาต

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

กรมโยธาธิการและผังเมือง

ISBN

พิมพ์ครั้งที่

จำนวน

พิมพ์ที่ :

กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ

โทร. 0 2299 4430 โทรสาร. 0 2299 4430

สถาบันพัฒนาบุคลากรด้านการพัฒนาเมือง

โทร. 0 2299 4619-20 โทรสาร. 0 2299 4617

กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย

218/1 ถนนพระรามที่ 6 เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

คำนำ

การก่อสร้างทุกชนิด ฐานรากถือเป็นโครงสร้างหลักที่สำคัญ เพราะมีหน้าที่รับน้ำหนักที่ถ่ายจากองค์อาคารลงสู่เสาเข็มและชั้นดินข้างใต้ การเจาะสำรวจชั้นดินจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลดินที่ถูกต้องสำหรับใช้ในการออกแบบก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ เช่น งานถนน งานอาคาร งานสะพาน และเขื่อนป้องกันตลิ่ง ฯลฯ ได้อย่างเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ อันจะส่งผลให้สิ่งปลูกสร้างเกิดความมั่นคง แข็งแรง ประหยัด ปลอดภัย และเป็นไปตามหลักวิชาช่างที่ดี ซึ่งการเจาะสำรวจชั้นดินเป็นงานที่มีขั้นตอนมากและมีความยุ่งยาก เนื่องจากต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์หลากหลายชนิด ผู้ดำเนินการเจาะสำรวจต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ ทักษะ ความชำนาญ และประสบการณ์ในการดำเนินงานเจาะสำรวจเป็นอย่างดี อีกทั้งต้องมีความเข้าใจในคุณสมบัติพื้นฐานของดินอย่างเพียงพอ และสามารถนำผลวิเคราะห์ของดินที่ได้มาใช้ในการออกแบบ ตรวจสอบ หรือหาสาเหตุของความเสียหายได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ กรมโยธาธิการและผังเมือง โดยกองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ ร่วมกับคณะทำงานการจัดการความรู้ (KM Team) ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญขององค์ความรู้นี้ จึงได้รวบรวมองค์ความรู้ตามแผนการจัดการความรู้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 แผนที่ 4 เพื่อสนับสนุนยุทธศาสตร์ด้านการบริการด้านช่าง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบฐานรากของสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ

หนังสือคู่มือเล่มนี้ได้นำเสนอเนื้อหา โดยมุ่งเน้นวิชาการด้านเทคนิค วิธีการ ขั้นตอนการปฏิบัติงาน และการแปลผลข้อมูล ซึ่งได้จากประสบการณ์การปฏิบัติงานจริงของเจ้าหน้าที่ โดยใช้คำบรรยายประกอบรูปภาพ เพื่อให้อ่านเข้าใจง่าย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดประสิทธิผล

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือคู่มือ เรื่อง ความรู้เกี่ยวกับการเจาะสำรวจชั้นดินเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง และเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องเหมาะสมกับงานที่ปฏิบัติอยู่ในปัจจุบัน

กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ
กรมโยธาธิการและผังเมือง
คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	
บทที่ 1 ความสำคัญของการเจาะสำรวจ	1
บทที่ 2 การวางแผนการเจาะสำรวจชั้นดิน	3
บทที่ 3 การเก็บข้อมูลเบื้องต้น	10
บทที่ 4 วิธีการเจาะสำรวจ	11
บทที่ 5 การเก็บตัวอย่างดินและระดับน้ำใต้ดิน	17
บทที่ 6 การเจาะสำรวจชั้นดินของกรมโยธาธิการและผังเมือง	22
บทที่ 7 การทดสอบดินในสนาม	40
บทที่ 8 การจำแนกดิน	45
บทที่ 9 การบันทึกข้อมูลในสนาม	51
บทที่ 10 การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ	52
บทที่ 11 การแปลผลข้อมูลดิน	64
บทที่ 12 ส่วนประกอบของรายงานการเจาะสำรวจชั้นดิน	68
ภาคผนวก	
- คณะทำงานการจัดการความรู้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559	
แผนการจัดการความรู้ที่ 4 : ความรู้เกี่ยวกับการเจาะสำรวจชั้นดิน	
บรรณานุกรม	

บทที่ 1

ความสำคัญของการเจาะสำรวจชั้นดิน

อดีตที่ผ่านมา นั้น มักมีคำถามเกิดขึ้นเสมอว่า การเจาะสำรวจชั้นดินให้ประโยชน์อย่างไร ทั้งนี้ เนื่องจากผู้เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นเจ้าของโครงการ ผู้รับเหมาก่อสร้าง หรือบางครั้งแม้แต่ผู้ออกแบบเองก็มักจะคำนึงถึงปัจจัยด้านการเงินเป็นสำคัญ ทำให้มองข้ามความประหยัต์ที่เกิดจากการเลือกใช้ขนาด และชนิดของฐานรากที่เหมาะสมกับสภาพชั้นดินในพื้นที่ที่จะทำการก่อสร้าง ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปัญหาและอุปสรรคระหว่างการก่อสร้างฐานรากให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดแล้วยังทำให้การก่อสร้างสามารถดำเนินไปได้อย่างราบรื่น รวดเร็ว เป็นไปตามแผนงานที่วางเอาไว้ อีกทั้งความมั่นคงแข็งแรงทนทาน จากการเลือกใช้ฐานรากที่เหมาะสมดังกล่าวยังส่งผลให้โครงสร้างมีอายุการใช้งานยาวนาน รวมถึงเป็นการประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายที่ไม่ต้องแก้ปัญหาจากการคาดเดาชั้นดินที่ผิดพลาด ซึ่งจะมีผลต่อราคาค่าก่อสร้าง หรือทำให้สิ่งปลูกสร้างเกิดการวิบัติพังทลาย เสียหายก่อนเวลาอันควร

กรณีที่มีการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นจากแหล่งเก็บข้อมูลซึ่งได้มีการบันทึกไว้ อาจมีผลทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงได้ส่วนหนึ่ง และการนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ก็ต้องทำด้วยความระมัดระวัง โดยสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นหรือแนวทางเท่านั้น แต่ไม่สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้เพื่อทดแทนข้อมูลในพื้นที่จริงที่จะทำการก่อสร้าง แม้ว่าจะเป็นข้อมูลจากบริเวณพื้นที่ข้างเคียงกัน เพราะอาจเกิดความผิดพลาดและไม่ปลอดภัย ดังนั้น จึงควรพิจารณาให้มีการเจาะสำรวจหรือทดสอบชั้นดินเพิ่มเติมประกอบเข้ากับข้อมูลเบื้องต้นเหล่านั้นด้วย



(ที่มา: เอกสารประกอบการบรรยายการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง, 2556)

รูปที่ 1.1 และ 1.2 ตัวอย่างความเสียหายของเขื่อนป้องกันตลิ่ง



(ที่มา: เอกสารประกอบการบรรยายการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง, 2556)

รูปที่ 1.3 และ 1.4 การเคลื่อนตัวของดินฐานรากส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างอื่นทั้งระบบ



(ที่มา: www.prachachart.net)

รูปที่ 1.5 และ 1.6 ความเสียหายของถนนเลียบคลองจากดินฐานราก

บทที่ 2

การวางแผนการเจาะสำรวจชั้นดิน

การวางแผนการเจาะสำรวจชั้นดินสิ่งสำคัญเบื้องต้น คือ จะต้องพิจารณาว่าเป้าหมาย และวัตถุประสงค์ของโครงการเป็นเช่นไรเพื่อให้ได้มา ซึ่งข้อมูลสำคัญในการพิจารณาเลือกชนิดของฐานราก อันจะส่งผลต่อการกำหนดขอบเขตของการเจาะสำรวจ ชนิดของการทดสอบ ตลอดจนค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง หากเจ้าของโครงการสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ พื้นที่ สภาพทางภูมิศาสตร์ และการใช้พื้นที่ดั้งเดิมได้มากเท่าไรก็ยิ่งจะทำให้ผู้คำนวณออกแบบสามารถใช้ข้อมูลให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุดแก่เจ้าของโครงการมากขึ้นเท่านั้น

2.1 วัตถุประสงค์การเจาะสำรวจชั้นดิน

- 2.1.1 เพื่อหาลักษณะและความหนาของชั้นดินในบริเวณหนึ่ง ๆ
- 2.1.2 เพื่อหาคุณสมบัติของชั้นดินเหล่านั้นทั้งด้านกายภาพ และวิศวกรรม
- 2.1.3 เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ออกแบบ กำหนดขั้นตอนการก่อสร้าง หรือแก้ปัญหาทางปฐพีวิศวกรรม

2.2 ขอบเขตการเจาะสำรวจ

คำถามที่มักพบบ่อยในการเจาะสำรวจดินคือ จะต้องเจาะกี่หลุม ระยะห่างระหว่างหลุมเท่าไร เจาะลึกถึงไหน และจำนวนหลุมเจาะกี่หลุมจึงจะเพียงพอ ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะกำหนดขอบเขตการเจาะสำรวจให้เป็นมาตรฐานตายตัว เพราะไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับขนาด และชนิดของสิ่งปลูกสร้างเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับลักษณะ คุณสมบัติ และความแปรปรวนของชั้นดิน ทั้งนี้ เนื่องจากการเจาะสำรวจชั้นดินเป็นการเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบหาคุณสมบัติด้านวิศวกรรม ดังนั้น ความถี่ในการเจาะเก็บตัวอย่างด้วยขั้นตอนและวิธีการที่ถูกต้องจึงต้องมากพอที่จะสามารถได้ข้อมูลอย่างสมบูรณ์ เช่น โดยทั่วไปจะเก็บตัวอย่างที่ทุกระยะความลึก 1.50 เมตร ก็จะลดระยะเป็นทุก ๆ 1.00 เมตร หรือเมื่อชั้นดินมีการเปลี่ยนแปลง การกำหนดความลึก ระยะห่าง และจำนวนหลุมเจาะจึงมีความสำคัญ บางมาตรฐานได้กำหนดให้ความลึกของหลุมเจาะขึ้นอยู่กับขนาด และประเภทของฐานราก บางมาตรฐานก็คำนึงขนาดของหน่วยแรงที่จะถ่ายลงดิน หรือใช้ consistency ของดินเป็นตัวกำหนดแต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะให้สิ้นสุดการเจาะสำรวจชั้นดินในระดับที่ผ่านชั้นดินแข็งมาก หรือชั้นทรายแน่น และจะหยุดหากพบชั้นกรวดที่หนาหรือชั้นหินพิศ (Bed Rock) ซึ่งการใช้แนวทางที่ต่างกันเช่นนี้ อาจได้ขอบเขตในการเจาะสำรวจที่แตกต่างกันไป อย่างไรก็ตาม สิ่งสำคัญที่สุดของการกำหนดขอบเขตในการเจาะสำรวจชั้นดินคือ ต้องทำให้ได้ข้อมูลดินที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือ รวมทั้งครอบคลุมข้อกำหนดต่าง ๆ และพื้นที่ของโครงการนั้นด้วย

2.3 เกณฑ์ในการกำหนดขอบเขตการเจาะสำรวจ

- 2.3.1 คณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย แนะนำว่า

1) ความลึกของหลุมเจาะ โดยทั่วไปแล้วหลุมเจาะจะลึกประมาณ 2 – 2.5 เท่าของความกว้างด้านสั้นขององค์อาคารนั้น เนื่องจากที่ระดับความลึกนี้ การถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างได้ลดน้อยลงมาก (เหลือประมาณ 20 – 30%) อย่างไรก็ตาม การกำหนดขอบเขตการสำรวจดังกล่าวจะต้องครอบคลุมชั้นดินที่อาจมีการทรุดตัวสูง หรือชั้นดินอ่อนที่แทรกอยู่ ดังนั้น การพิจารณากำหนดความลึกของหลุมเจาะจำเป็นต้องคำนึงถึงมิติ ขนาด และการถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างประกอบการพิจารณาร่วมกับชั้นดินลำดับต่าง ๆ ใต้บริเวณโครงการก่อสร้างร่วมกันไปด้วย

2) ตำแหน่งของหลุมเจาะ ควรกำหนดตำแหน่งหลุมเจาะให้ใกล้เคียงกับองค์อาคารที่มีน้ำหนักมากที่สุด ซึ่งมักเป็นตำแหน่งวิกฤตมากที่สุด ทั้งนี้ เพื่อลดความเสี่ยงจากการเก็บข้อมูลที่แปรปรวนของชั้นดินได้ไม่เพียงพอ

3) ระยะห่าง และหรือจำนวนของหลุมเจาะ

- งานอาคาร ถ้าพบว่าชั้นดินมีสภาพสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ระยะห่างของหลุมอยู่ที่ 40 – 60 เมตร หรือประมาณ 40×40 ถึง 60×60 ตร.ม./หลุม
- งานถนน ถ้าพบว่าชั้นดินมีสภาพสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ระยะห่างของหลุมอยู่ที่ 250 – 500 เมตร ต่อหลุมตามแนวของถนน ทั้งนี้ขึ้นกับเส้นทางของถนนว่าตัดผ่านบริเวณที่ลุ่มหรือเนินเขา และสิ่งสำคัญที่ต้องเน้นในการสำรวจ คือ หาขอบเขตบริเวณที่ชั้นดินเปลี่ยนชนิด หรือเปลี่ยนโครงสร้างทางธรณีวิทยา

ตารางที่ 2.1 ความลึกของหลุมเจาะที่ใช้เป็นแนวทางสำหรับการเจาะสำรวจงานอาคารพักอาศัย อาคารสูง และโรงงานในพื้นที่กทม.^(ก) และ ปริมณฑล

ชนิดโครงสร้างอาคาร	ความลึกของหลุมเจาะ ^(ข) (เมตร)
อาคารปกติสูงไม่เกิน 5 ชั้น หรือโรงงานขนาดเบา	30
อาคารปกติสูง 5 - 10 ชั้น หรือโรงงานขนาดหนัก	35 - 40
อาคารสูง 10 - 15 ชั้น	40 - 45
อาคารสูง 15 - 20 ชั้น	50 - 60
อาคารสูง 20 - 24 ชั้น	60 - 70
อาคารสูง 24 - 28 ชั้น	70 - 80
อาคารสูง 30 ชั้นขึ้นไป	80 - 120

(ที่มา: แนวทางการตรวจสอบชั้นดินเพื่อวางฐานราก, วสท., 2551)

หมายเหตุ

(ก) ยกเว้นบริเวณที่ชั้นดินผิดแปลกจากสภาพปกติทั่วไป เช่น

- บริเวณบางรัก (สันนิษฐานว่าเป็นแนวแม่น้ำเก่า) ซึ่งมีชั้นดินเลนอ่อนมากสีดำกระจายอยู่ในช่วงชั้นความลึก 38 – 50 เมตร
- บริเวณบางพลี ดินอ่อนช่วงบนมีความหนาแน่นมาก บางพื้นที่ลึกถึง 26 เมตรจากระดับผิวดิน ซึ่งครอบคลุมบริเวณพื้นที่ประมาณ กม. 28 ของถนนบางนา – บางพลี – บางปะกง
- บริเวณฝั่งธนบุรี มักมีชั้นทรายซีเป็ด หรือตะเข็บของทรายแป้ง (Silt Seam) กระจายอยู่ทั่วไป โดยมักแทรกอยู่ในชั้นดินอ่อนช่วงบน ความลึก 0 – 15 เมตร

(ข) ได้ประมาณการความลึกของหลุมเจาะไว้ กรณีที่จะใช้เสาเข็มเจาะเป็นทางเลือก โดยมีข้อมูลทางชั้นดินที่เชื่อถือได้ของอาคารข้างเคียง ซึ่งได้ก่อสร้างเสร็จสมบูรณ์และใช้งานที่น่าพอใจแล้ว

ตารางที่ 2.2 ความลึกของหลุมเจาะที่ใช้เป็นแนวทางสำหรับการเจาะสำรวจงานอาคารพักอาศัย อาคารสูง และโรงงานในพื้นที่ต่างจังหวัด^(ก)

โครงสร้าง	ความลึกประมาณการสูงสุด (เมตร)	เกณฑ์สังเกตควบคุมก่อนสิ้นสุดการเจาะสำรวจดิน ^(ข)
■ อาคารสูง 1 - 2 ชั้น หรืออาคารโครงสร้างชั่วคราว ขนาดเบามาก	25	SPT, N-Value > 35, หนาต่อเนื่องกันไม่ต่ำกว่า 3 เมตร
■ อาคารสูง 3 - 4 ชั้น (หรือโรงงาน/โกดัง) ขนาดเบา	25	N>35 , หนา 4 - 5 เมตร หรือ N > 40 , หนา 3 เมตร
■ อาคารสูง 5 - 6 ชั้น (หรือโรงงาน/โกดัง) ขนาดหนักปานกลาง	30	N>40 , หนา 4 - 5 เมตร หรือ N > 45 , หนา 3 เมตร
■ อาคารสูง 6 - 9 ชั้น (หรือโรงงาน/โกดัง) ขนาดหนัก	30	N>45 , หนา 4 - 5 เมตร หรือ N > 50 , หนา 3 เมตร
■ อาคารหนักมาก หรือสูง ประมาณ 10 - 15 ชั้น ขนาดหนักมาก	35 - 40	N > 45 , หนา 6 เมตร และความลึกหลุมเจาะต้องไม่น้อยกว่า 15 เมตร หรือ N > 50, หนา 4 - 5 เมตร และความลึกหลุมเจาะต้องไม่น้อยกว่า 15 เมตร
■ อาคารหนักพิเศษ เช่น หอประชุม, โรงภาพยนตร์, ห้างสรรพสินค้าอาคาร ที่มีระยะช่วงเสาห่างกันมาก หรืออาคารสูง 16 - 18 ชั้น	40 - 50	N > 50, หนา 6 - 8 เมตร และความลึกหลุมเจาะไม่ควรน้อยกว่า 20 เมตร

(ที่มา: แนวทางการตรวจสอบชั้นดินเพื่อวางฐานราก, วสท., 2551)

หมายเหตุ

(ก) ยกเว้นจังหวัดที่มักพบสิ่งแปรปรวนหรือการก่อดำเนินทางธรณีวิทยาที่ไม่สม่ำเสมอ เช่น ภูเก็ต สุราษฎร์ธานี สงขลา ปราจีนบุรี (มีชั้นดินอ่อนอยู่ใต้ชั้นดินแข็ง) จันทบุรี และราชบุรีบางพื้นที่

(ข) ประเมินจากความสามารถของปั้นจั่น ชนิด และวิธีการตอกเสาเข็ม โดยทั่วไปพบว่า ค่าการทรุดตัวของชั้นดินจะลดลงเมื่อเป็นชั้นดินแข็งมาก หรือเป็นชั้นทรายแน่นที่มีค่า SPT, N - Value มากกว่า 35 หรือ 40 ครั้ง/ฟุต

กรณีที่พบชั้นหินอยู่ในระดับตื้นก่อนถึงเกณฑ์กำหนด จะต้องมีการพิสูจน์ชั้นหินนี้ว่า มิได้เป็นเพียง หินลอยหรือหินก้อน แต่เป็นชั้นหินจริงที่แผ่สม่ำเสมอ การตรวจสอบทำได้ด้วยการเพิ่มจำนวนหลุมเจาะ หรือ เจาะทะลุชั้นหินนี้ลงไปอีกไม่น้อยกว่า 3 ถึง 5 เมตร ทั้งนี้ มีความจำเป็นและความละเอียดในการพิสูจน์ยืนยัน ขึ้นอยู่กับน้ำหนัก และความสำคัญของโครงสร้างที่ออกแบบ

2.3.2 ข้อเสนอแนะในการกำหนดขอบเขต

ตารางที่ 2.3 ระยะห่างของหลุมเจาะ มีความแปรปรวนน้อย

ประเภทงาน	ระยะห่าง (เมตร)	จำนวนหลุมเจาะ	ความลึกหลุมเจาะ
ถนน	60 - 600		>1.5 ม. และลึกกว่าชั้นดินถม ชั้นดินอินทรีย์ และชั้นดินอ่อน
เขื่อนกันดิน	15 - 60		> ชั้นดินถมชั้นดินอินทรีย์ และชั้นดินอ่อน และแนวเคลื่อนมวลดิน
อาคารสูง	15 - 45	4	ลึกมากกว่าชั้นดินที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกของอาคารได้อย่างมั่นคง และการทรุดตัวภายใต้ พิกัดที่กำหนด
โรงงานชั้นเดียว	30 - 90	3	
เสาตอม่อสะพาน	8 - 30	1	

(ที่มา: ผศ.มานะ อภิพัฒน์มนตรี, 2538)

ตารางที่ 2.4 จำนวนหลุมเจาะเบื้องต้น

โครงการ	ระยะห่างระหว่างหลุมเจาะ (เมตร)			
	ความซับซ้อนของชั้นดิน			จำนวนหลุมเจาะต่ำสุด
	สม่ำเสมอ	ปานกลาง	ซับซ้อน	
ตึกสูง	50	30	15	4
ตึก 1 - 2 ชั้น	60	30	15	3
ฐานรากสะพาน, หอวิทย์		30	8	1 - 2 หลุมแต่ละฐาน
ฐานรากทางหลวง	300	150	30	
บ่อถมดิน (สำหรับดินถม)	300 - 150	150 - 60	30 - 15	

(ที่มา: สถาพร คูวิจิตรจารุ, 2544)

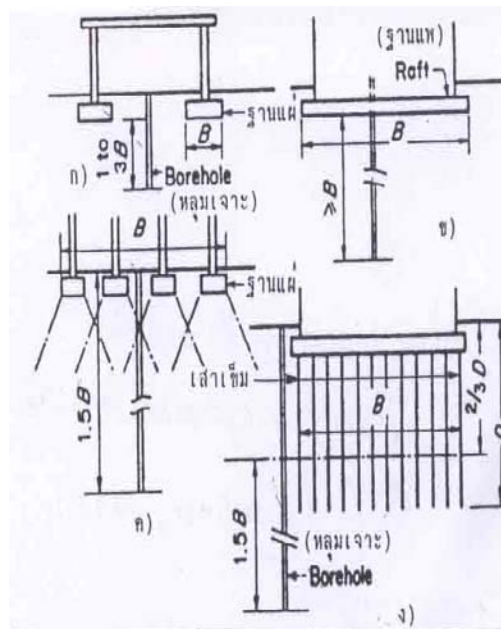
ตารางที่ 2.5 จำนวนของหลุมเจาะ และความลึก

ชื่อ	ระยะห่าง (ft.)	จำนวนหลุมเจาะ	ความลึกหลุมเจาะ
อาคารหลายชั้น	100	4	ถ้าไม่มีข้อมูลเบื้องต้น 1 – 2 หลุมแรกเจาะให้ลึกไว้ก่อน ประมาณชั้นดินแข็ง หรือเท่ากับควมกว้างอาคาร
อาคาร 1 – 2 ชั้น	100	3	
ถนน	500		อย่างต่ำ 1.5 เมตรและควรลึกกว่าชั้น Organic soil หรือชั้นที่มี Compressible Layer

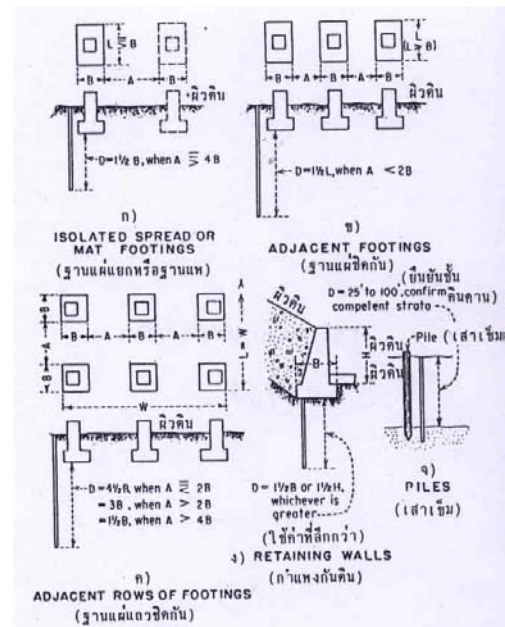
(ที่มา: WayneC. Teng, 1962)

□

ตัวอย่างวิธีการกำหนดความลึกของหลุมเจาะ



Tomlinson (1995)



USBR (1968)

(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแนวทางของ Tomlinson (1995) และ USBR (1968)

2.4 ขั้นตอนการวางแผนการเจาะสำรวจ

2.4.1 การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น (Collection of Preliminary Information) เป็นการสำรวจชนิดของโครงสร้าง และการใช้ประโยชน์ สภาพแวดล้อม ลักษณะภูมิประเทศ และสภาพทางธรณีวิทยาเบื้องต้น

2.4.2 การลงพื้นที่จริงเก็บข้อมูล (Reconnaissance) จะได้ทราบเกี่ยวกับสภาพพื้นที่จริงปัญหาการกัดเซาะดิน การระบายน้ำในพื้นที่ การกองเก็บวัสดุก่อสร้าง หรือวัสดุก่อนการก่อสร้างจริงระดับน้ำที่ปรากฏในสภาพปัจจุบัน เพื่อจะได้เข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการก่อสร้างอย่างเป็นระบบ

2.4.3 การสำรวจพื้นที่เพื่อการเจาะ (Site Investigation) เป็นขั้นตอนวางแผนสำรวจจริง เพื่อหารายละเอียดของข้อมูลชั้นดินว่า จะเจาะวิธีใด เจาะกี่หลุม เจาะลึกเท่าใด ข้อมูลที่ต้องการอะไรบ้าง หากเป็นโครงการขนาดใหญ่ อาจมีการขุดหรือเจาะดินเบื้องต้นก่อนจะถึงขั้นตอนนี้ เพื่อทราบข้อมูลคร่าว ๆ ก่อนอันจะเป็นประโยชน์ในการเตรียมการและวางแผนงานได้ดีขึ้น

2.5 ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในการวางแผนการเจาะสำรวจชั้นดิน

2.5.1 ผลกระทบจากสภาพชั้นดินที่แปรปรวน

กรณีพบว่าสภาพชั้นดินแปรปรวนหรือไม่ตรงกับที่ได้คาดไว้จากข้อมูลเดิมในบริเวณใกล้เคียง จึงมีความจำเป็นต้องวางแผน กำหนดตำแหน่ง และจำนวนหลุมเจาะสำหรับการออกแบบฐานราก โดยเฉพาะสำหรับแต่ละโครงการ เพื่อให้ทราบชัดขึ้นถึงชั้นดิน ซึ่งจะถือเป็นตัวแทนของชั้นดินในโครงการทั้งหมด และแท้ที่จริงแล้วการเจาะสำรวจนี้จะได้เพียงข้อมูลทางความลึก ณ ตำแหน่งหลุมเจาะเท่านั้น โดยจะไม่ทราบข้อมูลชั้นดินในบริเวณอื่นหรือชั้นดินระหว่างหลุมเจาะ นอกจากจะใช้หลักประมาณการ หรือคาดคะเนจากข้อมูลชั้นดินที่ทราบคุณสมบัติแล้วจากหลุมเจาะสำรวจจริงเท่านั้น ดังนั้น หากพบว่าชั้นดินในบริเวณก่อสร้างไม่ตรงกับข้อมูลเดิม หรือข้อมูลที่เคยสำรวจไว้แล้วมีน้อย ไม่เพียงพอที่จะครอบคลุมความแปรปรวนของชั้นดินที่แตกต่างกันมาก ๆ ในแต่ละจุดได้ อาจต้องทบทวนหรือปรับแก้การออกแบบก่อสร้างฐานรากทันที หรือมีการเพิ่มจำนวนหลุมเจาะ หรือเพิ่มงานสำรวจชั้นดินให้มากขึ้นหรือเสริมการสำรวจด้วยวิธีอื่น เช่น กรณีพบกระเปาะดินเหลวอ่อน หรือพบโพรงช่องว่างแทรกอยู่ใต้ชั้นดินแข็ง ซึ่งอาจทำให้อาคารวิบัติเสียหายได้ หากการสำรวจชั้นดินกระทำไปถึงชั้นที่ลึกไม่พอโดยหยุดการเจาะสำรวจเสียก่อน

2.5.2 ผลกระทบจากขนาดของโครงการ

โครงการขนาดใหญ่และที่มีการลงทุนสูง หรือโครงการที่เร่งรัดและมีความสำคัญสูง งานเหล่านี้ การตรวจสอบชั้นดินที่รอบคอบจะให้ผลคุ้มค่า เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบชั้นดินจะน้อยมาก เมื่อเทียบกับมูลค่าหรือความสำคัญของโครงการ ดังนั้นในโครงการขนาดใหญ่จึงควรพิจารณาให้มีการตรวจสอบชั้นดินให้มากเพียงพอทั้งในด้านความลึกและจำนวนหลุมเจาะแต่ในขณะเดียวกัน ความสำคัญของการตรวจสอบชั้นดินจะลดลง เมื่อโครงการนั้นมีมูลค่าการลงทุนต่ำ เช่น เป็นอาคารขนาดเล็กและน้ำหนักจากเสาฐานรากไม่มากนัก หรือเป็นอาคารที่สร้างขึ้นชั่วคราว ซึ่งยอมให้งานมีความคลาดเคลื่อนได้สูงหรือสามารถปรับแก้แบบได้ตามสภาพหน้างานก่อสร้าง การกำหนดจำนวนหลุมเจาะและความลึกของหลุมเจาะในการออกแบบอาจมีน้อยกว่า หรืออาจเจาะสำรวจดินตามปกติแต่ทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างดินเฉพาะชั้นดินเท่าที่จำเป็น

2.5.3 ผลกระทบจากคุณภาพการเก็บตัวอย่างชั้นดินและคุณภาพการวิเคราะห์ทดสอบ

หากการเก็บตัวอย่างดินมีคุณภาพต่ำ เช่น เก็บไม่ตรงตามวิธีมาตรฐาน หรือถูกรบกวน กระแทกกระเทือนมาก ทำให้ผลทดสอบคลาดเคลื่อน และส่งผลให้การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักของดินแตกต่างไป หรือกรณีที่ผู้ออกแบบขาดความเข้าใจ ไม่ได้ทำการปรับแก้ค่าทดสอบที่ได้โดยตรงจากสนาม หรือไม่เข้าใจถึง

สภาพชั้นดินที่มีปัญหา เมื่อนำผลการแปลค่าการสำรวจหรือการทดสอบที่คลาดเคลื่อนมาใช้หรือระหว่างการก่อสร้างพบว่า ข้อมูลหรือสภาพชั้นดินที่คลาดเคลื่อนหรือผิดไปจากข้อมูลเดิมที่ได้มีการสำรวจมาก่อน อย่างมีนัยสำคัญ กรณีต่าง ๆ ดังกล่าว หากไม่ได้มีการแก้ไขแบบหรือแก้ไขรายการคำนวณ หรือทำการเจาะสำรวจ ตรวจสอบใหม่ให้ถูกต้องและเหมาะสมกับสภาพชั้นดินที่พบว่าเปลี่ยนแปลงไป อาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อน หรือเกิดความผิดพลาดต่อการออกแบบ ดังนั้น จำเป็นต้องแก้ไขโดยการสำรวจหาข้อมูลเพิ่มเติม โดยการเพิ่มหลุมเจาะ หรือชนิดการทดสอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลใหม่ที่เป็นจริงกับสภาพพื้นที่และตรงกับแนวคิดในการออกแบบ

2.5.4 ผลกระทบจากข้อมูลที่ได้จากการเฝ้าตรวจวัดระหว่างการก่อสร้าง

ในการออกแบบวิศวกรรมมักจะตั้งสมมติฐานหรือกำหนดแบบจำลองโครงการให้อยู่ในกรณีวิกฤต หรือสมมติให้มีปัจจัยเสี่ยงสูง ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เพื่อให้โครงสร้างมั่นคงไม่เกิดการเสียหายในภายหลัง ดังนั้น ถ้าข้อมูลที่ได้รับระหว่างการออกแบบไม่ชัดเจนหรือไม่น่าเชื่อถือ ทำให้ได้โครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ และไม่ประหยัด แต่ถ้าเจ้าของโครงการนั้นยอมให้มีการปรับปรุง หรือแก้ไขแบบได้บางส่วน เมื่อได้รับข้อมูลเพิ่มเติม จากการคอยเฝ้าติดตามสังเกตระหว่างการก่อสร้าง หรือปรับแผนการเจาะสำรวจ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนขึ้น ก็จะทำให้วิศวกรผู้ออกแบบเชื่อมั่นและสามารถคำนวณปรับแก้ระหว่างก่อสร้างบนพื้นฐานของความเป็นจริงได้ทัน ทำให้เกิดความปลอดภัย และสามารถประหยัดค่าก่อสร้างของโครงการลงได้อีกมาก

จากปัจจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าขอบเขตการเจาะสำรวจมีความสำคัญต่อการการวางแผนการเจาะสำรวจ ซึ่งไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของสิ่งปลูกสร้างเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับลักษณะ คุณสมบัติ และความแปรปรวนของชั้นดินอีกด้วย

บทที่ 3

การเก็บข้อมูลเบื้องต้น

ก่อนทำการเจาะสำรวจชั้นดิน ควรมีการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งเป็นการสำรวจสภาพแวดล้อม ลักษณะภูมิประเทศ และสภาพทางธรณีวิทยาเบื้องต้น ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่ใช้ประกอบเพื่อช่วยในการตัดสินใจของผู้ออกแบบ และเจ้าของโครงการ กรณีที่จำเป็นต้องดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น ต้องมีการออกแบบโครงสร้างพิเศษเพิ่มเติมเพื่อป้องกันผลกระทบ หรือปัญหาและอุปสรรคระหว่างการก่อสร้าง อันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมเบื้องต้นและอาจมีผลกระทบต่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการเช่น

3.1 สภาพภูมิประเทศ เช่น พื้นที่ที่ตั้งโครงการ ทางเข้าออกของโครงการ สภาพผิวดิน การใช้ประโยชน์ของพื้นที่ข้างเคียง แนวถนน และแนวทางการไหลของน้ำ

3.2 ประวัติความเป็นมาของการใช้พื้นที่ เช่น เป็นทุ่งนา นาแก้ง บ่อปลา บ่อน้ำ ทุ่งหญ้า เป็นต้น

3.3 ตำแหน่งของวัสดุที่ถูกฝังลงไปดิน เช่น ท่อประปา ท่อระบายน้ำ ท่อก๊าซ สายโทรศัพท์ เป็นต้น

3.4 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต เช่น น้ำท่วม

นอกจากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าวแล้ว ผู้ทำการเจาะสำรวจจะต้องมีการสำรวจหาค่าระดับปากหลุมเจาะเปรียบเทียบกับหมุดสมมติฐานไว้ใช้ในการอ้างอิงค่าระดับดินในหลุมเจาะ และต้องมีการร่างผังบริเวณเพื่อแสดงตำแหน่งของหลุมเจาะรวมทั้งบันทึกค่าพิกัดภูมิศาสตร์ที่ชัดเจน (GPS) เพื่อประโยชน์ในการอ้างอิงตำแหน่งหลุมเจาะต่อไป



รูปที่ 3.1 เก็บค่าระดับปากหลุมเจาะ



รูปที่ 3.2 บันทึกค่าพิกัดภูมิศาสตร์ปากหลุมเจาะ

บทที่ 4

วิธีการเจาะสำรวจ

เนื่องจากลักษณะและคุณสมบัติของดิน มีความสำคัญต่อการออกแบบฐานรากของโครงสร้าง โดยเฉพาะคุณสมบัติด้านกำลังความแข็งแรงของดิน ดังนั้น การเจาะเก็บตัวอย่างดินจะต้องทำด้วยความระมัดระวัง เพื่อให้เกิดผลกระทบกระเทือนน้อยที่สุด เพราะดินบางชนิดมีความไวตัว (Sensitivity) สูง เมื่อถูกแรงกระทำ อาจทำให้โครงสร้างของดินนั้นเปลี่ยนแปลงไป และเมื่อนำตัวอย่างดินมาทำการทดสอบผลที่ได้ก็จะผิดไปจากความเป็นจริง จึงควรเลือกวิธีการเจาะสำรวจที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ และลักษณะดิน ซึ่งขั้นตอนและขบวนการเจาะสำรวจชั้นดินแต่ละหลุม อาจใช้วิธีการเจาะสำรวจมากกว่าหนึ่งวิธี

4.1 การเปิดบ่อทดสอบ (Trial Pits)

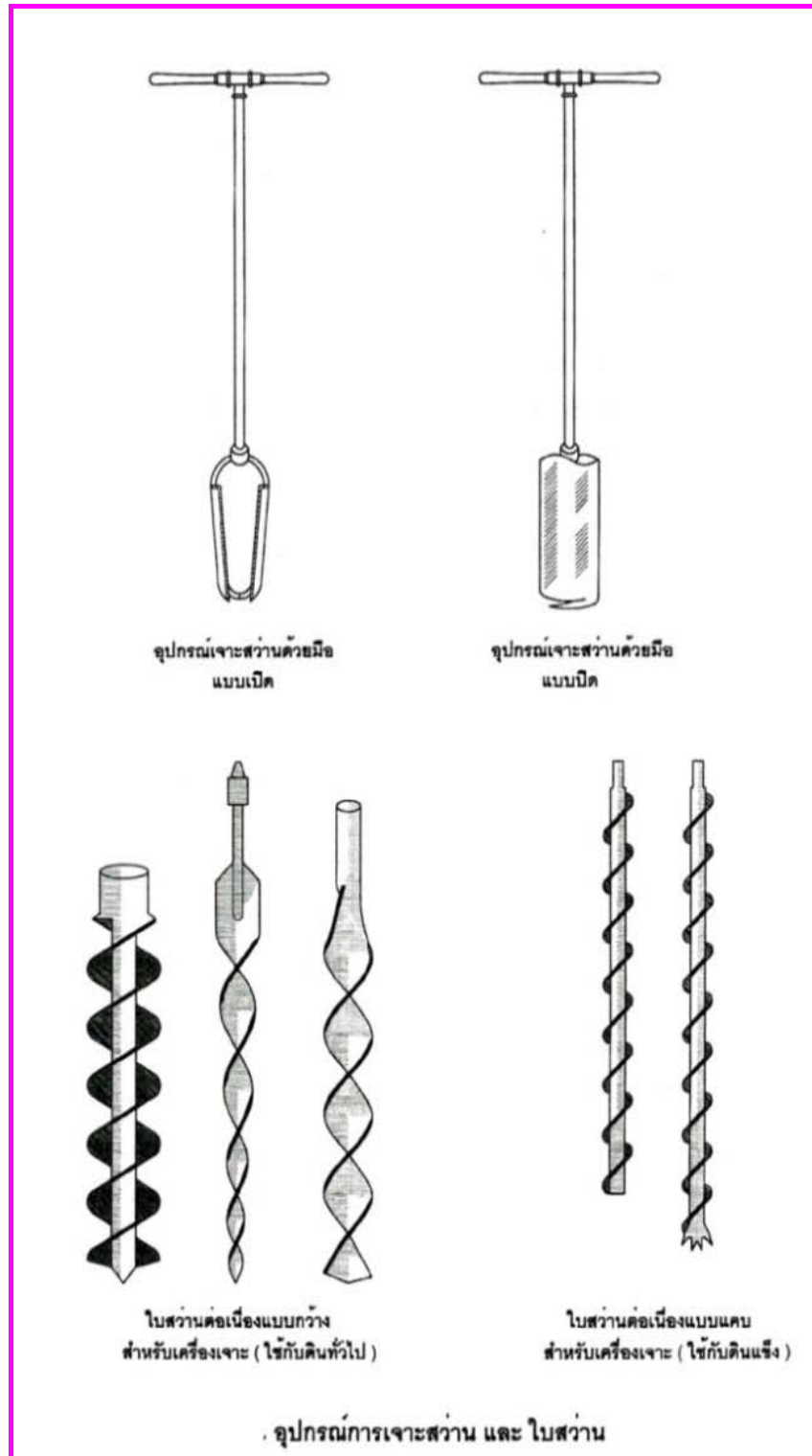
เป็นการเปิดหน้าดิน โดยใช้แรงคนขุด หรือเครื่องจักรขนาดเล็กขุดดินให้ถึงระดับที่ต้องการ จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างโดยการตักดินบรรจุใส่ในถุงและใช้วัสดุห่อหุ้มป้องกันความชื้นในมวลดินระเหยออกไป มักใช้กับดินเหนียวหรือชั้นทรายแข็ง ที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน วิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายน้อยเพราะเป็นการขุดดินที่ไม่ลึกนัก

4.2 การเจาะด้วยสว่าน (Auger Boring) แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

4.2.1 การเจาะด้วยสว่านมือ (Hand Auger) เป็นการใช้สว่านมือปั่นด้วยแรงคนเป็นหลัก

4.2.2 การเจาะด้วยสว่านโดยใช้กำลังจากเครื่องยนต์ (Mechanical Auger หรือ Power Auger) เป็นการใช้เครื่องยนต์ช่วยในการปั่นสว่าน

ทั้ง Hand Auger และ Mechanical Auger เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการเจาะหลุมตื้น หรือเรียกวิธีนี้ว่าการเจาะแห้ง เพราะไม่ต้องใช้น้ำล้างหลุมเจาะ ถ้าเป็น Hand Auger จะใช้แรงคนในการออกแรงปั่นดิน ถ้าเป็น Mechanical Auger จะเริ่มจากการใช้สว่านขนาดโตเท่าหลุมเจาะและหมุนสว่านลงไปดินเป็นช่วงสั้น ๆ จากนั้นจะชักสว่านขึ้นมาแคะดินที่ติดกับใบสว่านทิ้งหรือเก็บไปเพื่อตรวจสอบชั้นดิน ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ จะเจาะต่อไม่ได้ถ้าเจอหน้าดิน หรือชั้นทรายเนื่องจากทรายไม่มีความเหนียวมากพอที่จะเกาะติดกับใบของสว่าน



(ที่มา: แนวทางการตรวจสอบชั้นดินเพื่อวางฐานราก, วสท. 2551)

รูปที่ 4.1 สว่านรูปแบบต่าง ๆ



(ที่มา: เอกสารประกอบการบรรยาย On The Job Training, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2554)

รูปที่ 4.2 การใช้ Mechanical Auger หรือ Power Auger เพื่อเปิดหน้าดิน

4.3 การเจาะล้าง (Wash Boring)

เป็นวิธีการเจาะที่นิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากสะดวกและเสียค่าใช้จ่ายไม่มากนักอีกทั้งอุปกรณ์ประกอบที่ใช้ในการเจาะล้างก็ไม่มากจนเกินไปและมีขนาดเล็กสะดวกในการขนย้าย สามารถทำการเจาะได้ลึกพอสมควร หลักการมีอยู่ว่าทำการเปิดหน้าดินด้วยสว่าน จากนั้นใช้ท่อ Casing (ท่อกรุ) ขนาด 3 – 4 นิ้ว ตกลงไปเพื่อช่วยป้องกันหลุมพังปากท่อทำเป็นบ่ า เพื่อความสะดวกในการหมุนเวียนน้ำระหว่างการเจาะแล้วจึงทำการตอกก้านเจาะลงไปดิน โดยที่ปลายก้านเจาะข้างหนึ่งจะติดหัวเจาะกระแทก (Chopping Bits) หรือเหล็กแหลมลักษณะคล้ายหางปลา (Fish Tail) ส่วนปลายอีกข้างติดกับ Pressure Hose เพื่ออัดน้ำด้วยแรงดันสูงให้ดินและน้ำไหลตามท่อขึ้นไปสู่ด้านบน ต่อความยาวของก้านเจาะไปเรื่อยจนถึงระดับที่ต้องการ แล้วจึงเปลี่ยนหัวเจาะกระแทกเป็นหัวเก็บตัวอย่าง เช่น กระบอกลำ (Split Spoon) หรือ กระบอกลำ (Shelby Tube) ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ ไม่สามารถเจาะผ่านชั้นกรวดใหญ่ ลูกกรังแข็ง หินผุ หรือชั้นดานได้



ท่อปลูกเหล็กกันดินพัง (Casing)

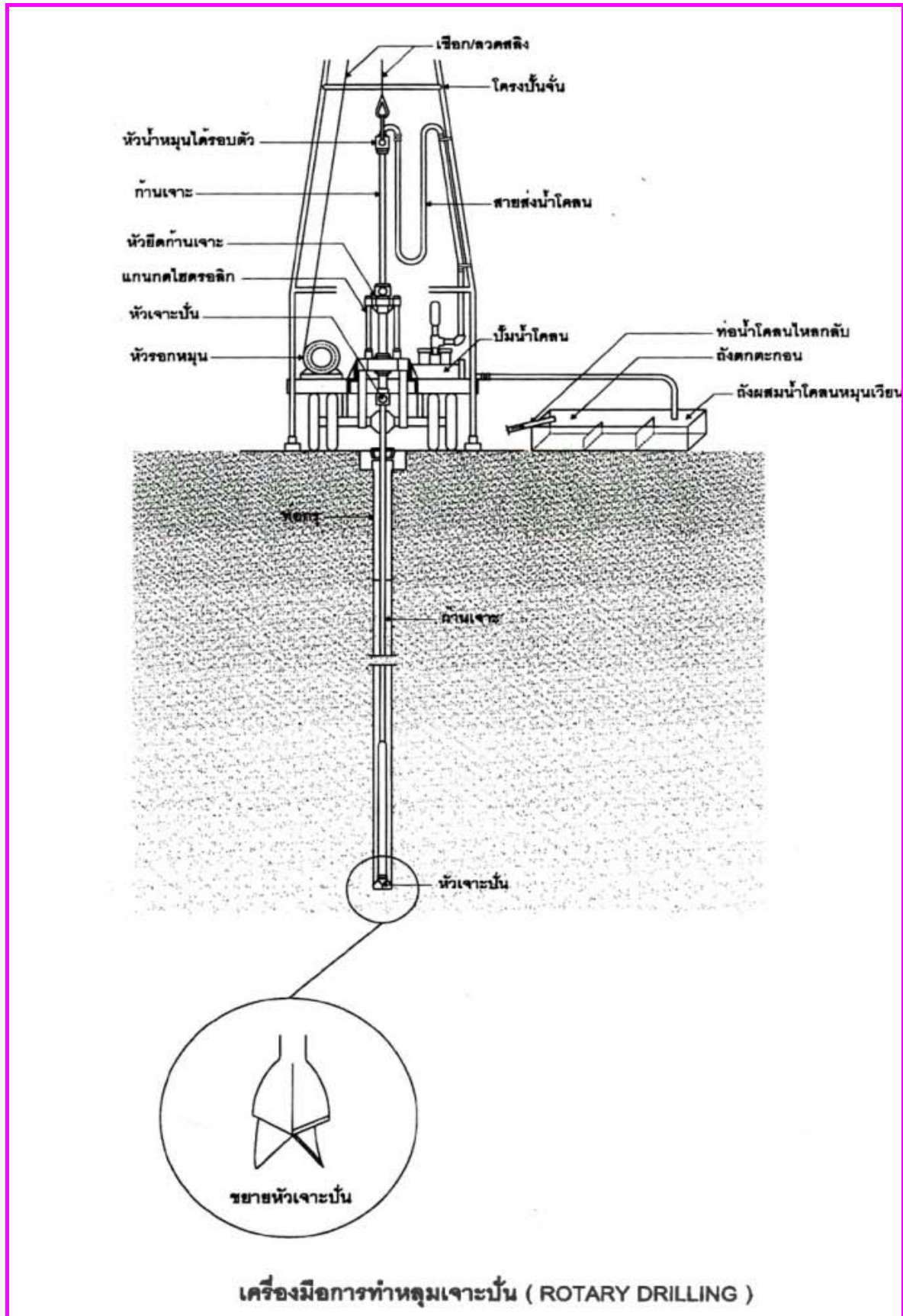


(ที่มา: เอกสารประกอบการบรรยายการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2548)

รูปที่ 4.3 การเจาะล้าง (Wash Boring)

4.4 การเจาะปั่น (Rotary Drilling)

เป็นวิธีที่คล้ายคลึงกับเจาะล้าง (Wash Boring) ทั้งยังเป็นการเจาะที่รบกวนดินน้อยสุดวิธีหนึ่ง เหมาะกับดิน หินทุกชนิด โดยเฉพาะในดินแข็ง กรวด ลูกกรัง ทราย การหมุนหัวเจาะปั่นจะใช้กำลังจากเครื่องจักร หมุนหัวเจาะด้วยความเร็วรอบที่กำหนดความลึกของหลุมเจาะที่เพิ่มขึ้นทำโดยการใช้แรงกดลงจากไฮดรอลิก หรือจากเครื่องจักรกล



(ที่มา: แนวทางการตรวจสอบชั้นดินเพื่อวางฐานราก, วสท. 2551)

รูปที่ 4.4 การเจาะปั่น

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบวิธีการเจาะ

	การเจาะล้าง (Wash Boring)	การเจาะปั่น (Rotary Drilling)	การเจาะสว่าน (Auger Boring)	การเปิดบ่อทดสอบ (Test Pits)
วิธีการ	ใช้น้ำฉีดล้างขณะยก หัวเจาะกระแทก ขึ้น – ลง พร้อมกับ ปิดก้านเจาะ	ใช้เครื่องหมุนปั่น ขณะที่กดหัวเจาะ ลงพร้อมกับใช้น้ำฉีด ออกจากรูด้านข้าง หัวเจาะ	ใช้การหมุนใบสว่าน เพื่อนำดินขึ้นมา	ขุดเปิดบ่อด้วยแรง คนหรือเครื่องจักร
การสังเกตชั้นดิน เปลี่ยนแปลง ขณะเจาะ	สังเกตจากสี ของน้ำล้นที่ขึ้นมา ปากหลุมและใช้ การสัมผัสจาก ก้านเจาะรวมทั้ง อัตราการลงของหัวเจาะ	สังเกตจากสีของน้ำ ที่ล้นขึ้นมาปากหลุม และสังเกตจากแรง กดรวมทั้งอัตราการลง ของหัวเจาะ	สัมผัสจำแนกได้ โดยตรงจากดินที่ ติดขึ้นมากับใบสว่าน (ในหลุมเจาะแห้ง)	ตรวจสอบสัมผัสได้ โดยตรงและบันทึก หรือถ่ายภาพ การเรียงตัวของชั้น ดินอย่างชัดเจน
การขนย้าย	สะดวกปานกลาง (อุปกรณ์ไม่ซับซ้อน มาก)	ยุ่งยาก (อุปกรณ์มีน้ำหนัก มากและซับซ้อน)	สะดวก (อุปกรณ์มีน้ำหนัก ไม่มาก)	สะดวก
ค่าใช้จ่าย	ไม่สูงมาก	สูง	ไม่สูง	ปานกลาง
คุณภาพ ของหลุมเจาะ	พอใช้ (เนื่องจากดินบางส่วน ถูกรบกวน)	ดีมาก (หลุมเจาะสะอาด และดินถูกรบกวน น้อย)	ดี (เมื่อเป็นหลุมเจาะ แห้งอยู่เหนือระดับ น้ำใต้ดิน)	ดีมาก
ข้อจำกัด	ไม่สามารถเจาะ ผ่านชั้นกรวดใหญ่ ลูกรังแข็ง หินผุ หรือดาน	ใช้ได้กับชั้นดิน และชั้นหินทุกชนิด	มักมีอุปสรรค ในการเจาะผ่าน ชั้นทราย - กรวด หรือการเจาะอยู่ที่ ระดับต่ำกว่าน้ำใต้ดิน	ความลึกมักไม่เกิน 2 – 3 เมตร

(ที่มา: แนวทางการตรวจสอบชั้นดินเพื่อวางฐานราก, วสท. 2551)

บทที่ 5

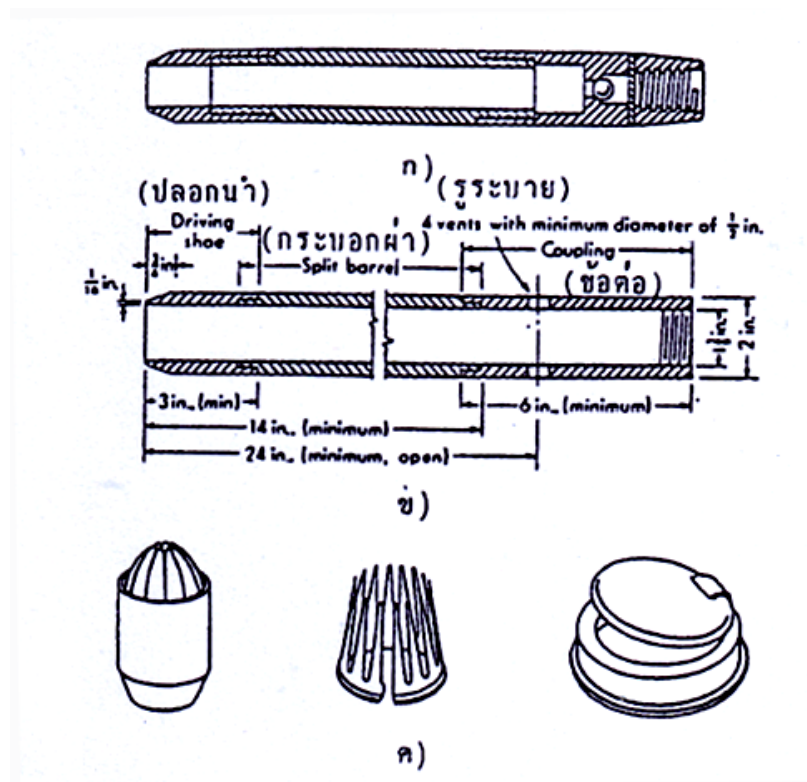
การเก็บตัวอย่างดินและระดับน้ำใต้ดิน

การเก็บตัวอย่างดินจากหลุมเจาะโดยทั่วไปจะทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 1.50 เมตร ตลอดความลึกของหลุมเจาะเมื่อชั้นดินมีลักษณะคล้ายคลึงหรือใกล้เคียงกัน ถ้าพบชั้นดินที่มีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอหรือกรณีที่ต้องการข้อมูลของดินที่ละเอียดขึ้น อาจทำการเก็บตัวอย่างดินทุก ๆ 1.00 เมตร หรือเก็บตัวอย่างต่อเนื่องแล้วแต่กรณี

5.1 วิธีเก็บตัวอย่าง

5.1.1 การเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่า (Splitspoon Soil Sampler)

กระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบผ่า เป็นกระบอกที่ผ่าครึ่งเป็น 2 ซีกตามความยาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 2 นิ้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $1\frac{3}{8}$ นิ้ว ยาว 24 นิ้ว กระบอกสำหรับเก็บตัวอย่างยาวไม่ต่ำกว่า 18 นิ้ว ส่วนล่างมีปลอกนำตอกดินทำจากเหล็กแข็งพิเศษ ขันต่อกับปลายกระบอกด้วยเกลียว และสามารถถอดเปลี่ยนได้เมื่อสึก ปลายบนสุดเป็นเกลียวสำหรับต่อเข้ากับก้านเจาะ นอกจากนี้ในกรณีตอกเก็บตัวอย่างดินประเภทไม่เชื่อมแน่นมีปัญหาเก็บตัวอย่างดินไม่ติด (No Recovery) สามารถติดตะกร้อช่วยเก็บดินชนิดต่าง ๆ ได้ตามความเหมาะสม ดังรายละเอียดในรูปที่ 5.1



(ที่มา: สถาพร คูวิจิตรจารุ, 2541)

รูปที่ 5.1 กระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบผ่า (Split Spoon Soil Sampler)
ก) แบบกระบอกผ่า ข) ขนาดของกระบอกผ่า ค) ตะกร้อช่วยเก็บดินแบบต่างๆ

กระบอกผ่าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่คงสภาพ (Disturbed Sample) กระทำได้โดยการตอกกระบอกผ่า (Split Spoon) ลงไปในชั้นดินที่ต้องการเก็บตัวอย่างตามกรรมวิธีการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) จากนั้นหมุนก้านเจาะ 2 – 3 รอบ เพื่อเป็นการตัดตัวอย่างดินบริเวณปลายกระบอกผ่าให้ขาดออกจากกัน แล้วทำการดึงหรือถอนกระบอกผ่าที่ทำการตอกลงไปขึ้นมา และสไลด์กระบอกผ่าให้แยกออกจากกันเป็น 2 ซีก ตัวอย่างดินที่ได้จากกระบอกผ่านี้ถือเป็นตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนอยู่บ้าง (Partially Disturbed Sample) เนื่องจากแรงจากการตอกกระบอกผ่าลงไปในชั้นดิน จากนั้นจึงนำตัวอย่างดินออกจากกระบอกผ่าโดยเร็ว เพื่อจำแนกลักษณะดินเบื้องต้น และเก็บตัวอย่างดินใส่ภาชนะปิดฝาให้มิดชิด เพื่อป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหยออกไป แล้วนำส่งเข้าห้องปฏิบัติการทดสอบต่อไป การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้ใช้กับการเก็บตัวอย่างดินประเภทดินเหนียวแข็งและชั้นดินทราย ซึ่งในกรณีของชั้นดินทรายตัวอย่างที่ได้มักจะถูกอัดแน่นขึ้นกว่าสภาพเดิมตามธรรมชาติทำให้ไม่อาจทราบความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่แท้จริงจากตัวอย่างที่เก็บขึ้นมาได้

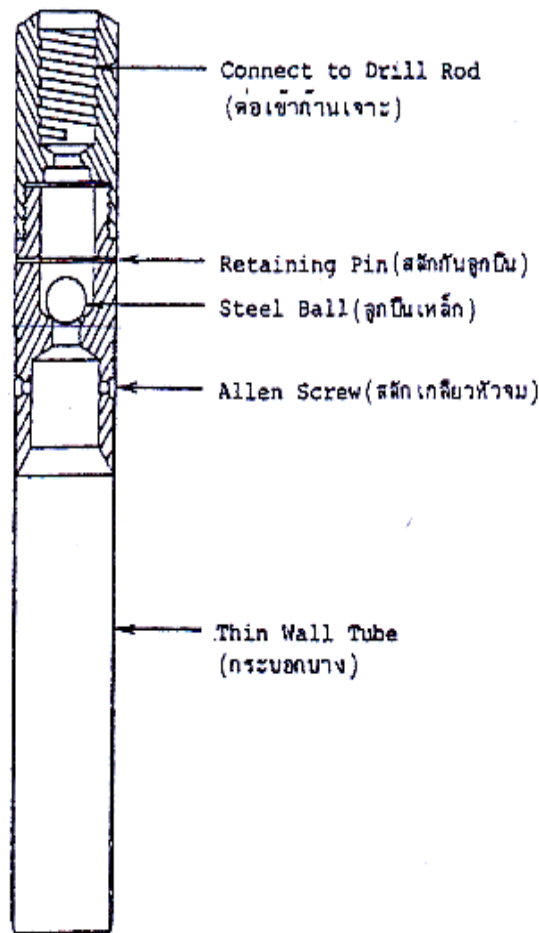
5.1.2 การเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกบาง (Shelby Tube Soil Sampler)

กระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบบางเป็นอุปกรณ์ทำจากเหล็กที่มีผิวเรียบทั้งภายนอกและภายในไม่มีตะเข็บหนาประมาณ 1.50 – 2.00 มิลลิเมตร ขนาดและความยาวของกระบอกที่สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกา (ASTM D – 1587) กำหนดไว้ดังตารางที่ 5.1 เพื่อลดแรงดึงตัวอย่างขึ้นจากหลุมเจาะ มิฉะนั้นอาจดึงกระบอกไม่ขึ้นหรือกระบอกอาจชำรุดเสียหายได้เมื่อใช้แรงดึงมาก ๆ พร้อมข้อต่อเข้ากับก้านเจาะดังรายละเอียดในรูปที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ขนาดกระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบบาง (ASTM D – 1587)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก มม. (นิ้ว)	ความหนา มม. (นิ้ว)	ความยาว มม. (นิ้ว)
50.8 (2)	1.24 (0.049)	910 (36)
76.2 (3)	1.65 (0.065)	910 (36)
127.0 (5)	3.05 (0.120)	1450 (54)

(ที่มา: สภาพร คูวิจิตรจารุ, 2541)



(ที่มา: สถาพร คูวิจิตรจารุ, 2541)

รูปที่ 5.2 กระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบบาง

การใช้กระบอกบางในการเก็บตัวอย่างทำภายหลังจากการขุดเจาะดินจนถึงระดับความลึกที่ต้องการแล้ว จะทำการเก็บตัวอย่างโดยอาศัยกระบอกบางกดลงไปในชั้นดินก้นหลุม ด้วยความเร็วสูงอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ทำการหมุนกันเจาะ 2 – 3 รอบ เพื่อเป็นการตัดตัวอย่างดิน แล้วจึงทำการดึงหรือถอนกระบอกบางที่กดลงไปขึ้นมา เนื่องจากการเก็บตัวอย่างวิธีนี้เป็นวิธีการเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) จึงควรหลีกเลี่ยงการเก็บตัวอย่างโดยการตอกกระบอก เพื่อให้ตัวอย่างดินที่ได้คงสภาพโครงสร้างภายในไว้ได้มากที่สุด และหลังจากทำการเก็บตัวอย่างดินแล้ว ต้องมีการปิดผนึกตัวอย่างในกระบอกบางด้วยเทียไนซ์ เพื่อป้องกันมิให้ความชื้นระเหยออกจากตัวอย่างดิน และนำส่งห้องปฏิบัติการทดสอบด้วยความระมัดระวังทันที การเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธีนี้ ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างดินประเภทดินเหนียวอ่อน

นอกจาก 2 วิธีดังกล่าวข้างต้นแล้ว การเก็บตัวอย่างดินยังสามารถทำได้อีกหลายวิธี เช่น โดยใช้ Piston Sample, Core Sample และ Block Sample ซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อจำกัด และการรบกวนตัวอย่างดิน ที่แตกต่างกัน การเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของดิน และคุณภาพของตัวอย่างที่ต้องการ

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบวิธีการเก็บตัวอย่างดินแต่ละลักษณะ

	กระบอกบาง	กระบอกสูบ - ชัก	กระบอกผ่า	ตัวอย่าง แท่งแกน	ตัวอย่างกล่อง
วิธีการ	เจาะหลุมถึงระดับแล้วกดเก็บโดยตรง	เจาะหลุมถึงระดับแล้วกดเก็บหรือกดถึงระดับแล้วจึงเปิดปลายเพื่อเก็บตัวอย่าง	เจาะหลุมถึงระดับแล้วตอก	เจาะหลุมถึงระดับแล้วเจาะปั่น	ขุดเปิดบ่อแล้วใช้มือตัดแต่ง
อุปกรณ์	กระบอกบางเปิด	กระบอกบางมีลูกสูบจับยึดตัวอย่างอยู่แกนใน	กระบอกหนาผ่า 2 ซีก ประกอบกัน	กระบอก 3 ชั้นมีปลายยึด-หดได้	กล่องพร้อมมีดบางหรือเกรียงตัดดิน
ขนาด (มม.)	Ø 50 - 75	Ø 50 - 75	Ø 50.8	Ø 51 - 61	 300 x 300 x 300
ค่าใช้จ่าย	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง	สูงมาก	ปานกลาง
ชนิดดิน	ดินเหนียว	ดินเหนียวอ่อน	ทุกชนิด	ดินเหนียวแข็งมากหรือหินผุ	ดินเหนียว
การรบกวนดิน	น้อย	น้อยมาก	ปานกลาง (แต่ยังคงรูปทางกายภาพเดิม)	น้อย	น้อยมาก
คุณภาพ	ดี	ดีมาก	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
ข้อจำกัด	การเก็บในดินเหนียวแข็งมากกระบอกอาจชำรุดหรือเก็บได้ไม่มาก	ระบบซับซ้อนและใช้เวลามากจึงเก็บในดินอ่อนหรือดินที่มีความไวต่อการสูญเสียกำลังสูง	ตัวอย่างดินถูกรบกวนจึงทดสอบได้เฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพหรือดัชนีจำแนกดินทั่วไป	อุปกรณ์มีราคาสูงมากและอาจต้องลงท่อกรุตามหากไม่มั่นใจในเสถียรภาพของผนังหลุมเจาะ	ความลึกไม่เกิน 2 - 3 เมตร

(ที่มา: แนวทางการตรวจสอบชั้นดินเพื่อวางฐานราก, วสท. 2551)

5.2 ป้ายฉลากตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างดินทุกชนิด จำเป็นจะต้องมีการติดฉลากเพื่อแสดงรายละเอียดของตัวอย่างดินนั้น ๆ ทุกตัวอย่างเพื่อเป็นการป้องกันการสลับตัวอย่างดิน โดยในป้ายฉลากประกอบด้วยข้อมูลหลัก ๆ ดังนี้

- 1) ชื่อโครงการ (Project) : แสดงชื่อว่าเป็นโครงการอะไร
- 2) ที่ตั้งโครงการ (Location) : แสดงตำแหน่งที่ตั้งของโครงการ
- 3) หมายเลขหลุมเจาะ (Boring Number) : บอกหมายเลขหลุมเจาะ

- 4) หมายเลขตัวอย่าง (Sample Number) : แสดงวิธีการเก็บตัวอย่างและหมายเลขตัวอย่าง
- 5) ช่วงความลึกของตัวอย่างดินที่เก็บ (Depth) : แสดงถึงช่วงความลึกของดินตัวอย่างนั้น
- 6) ค่า SPT (Blows Count) : เนื่องจากการเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกผ่า มักทำร่วมกับการทดสอบ SPT (Standard Penetration Test) มีหน่วยเป็น blows/foot จึงนิยมใส่ค่า SPT ที่ทำการตอกเพื่อเก็บตัวอย่างนั้น ๆ ไว้ในป้ายตัวอย่างด้วย
- 7) วันที่ทำการเก็บตัวอย่าง (Date)
- 8) ผู้เก็บตัวอย่าง (Sample by)

ป้ายฉลากตัวอย่างแสดงในรูปที่ 5.3

Project: _____		▲ Top of Sample
Location: _____		
Borehole No. _____	Depth _____ m	
Sample No. _____	Length _____ cm	
Description of Soil _____		
Date _____	Remarks _____	

สฟ./ท-2-2

PROJECT _____
LOCATION _____
BORING _____ SAMPLE No. _____
DEPTH _____
BLOWS COUNT _____
DATE _____ SAMPLE BY _____

รูปที่ 5.3 ป้ายฉลากแสดงรายละเอียดตัวอย่างดิน

5.3 ระดับน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินเป็นปัจจัยหนึ่ง ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงของดิน (Shear Strength of Soil) และหน่วยแรงในมวลดิน (Stress) เนื่องจากแรงดันน้ำมีผลทำให้ความสามารถในการรับแรงของดินต่ำลง โดยทั่วไปการวัดระดับน้ำใต้ดินจะทำหลังจากการเจาะสำรวจเสร็จเรียบร้อยแล้วเป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง ทั้งนี้เพราะการไหลของน้ำขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) ของดิน กรณีเป็นดินที่น้ำซึมผ่านได้ง่าย ระดับน้ำที่บันทึกจะมีความน่าเชื่อถือมากกว่าดินที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ยาก เพราะอาจต้องใช้เวลารอคอยวัดระดับน้ำเป็นเวลาหลายวัน

ดังนั้น วิธีการวัดระดับน้ำใต้ดินที่นิยมกันคือ หลังจากเสร็จสิ้นการเจาะสำรวจชั้นดินในตอนเย็น ให้นำน้ำมากรอกให้เต็มหลุมเจาะ จากนั้นทำการวัดระดับน้ำในตอนเช้าก่อนเจาะสำรวจ ปฏิบัติเช่นนี้ทุกวันที่เจาะสำรวจ และวันสุดท้ายที่เจาะสำรวจเสร็จให้เติมน้ำให้เต็มปากหลุมอีกครั้ง ทั้งไว้น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จึงทำการวัดค่าระดับน้ำใต้ดิน นำข้อมูลต่าง ๆ มาพิจารณาเปรียบเทียบกัน

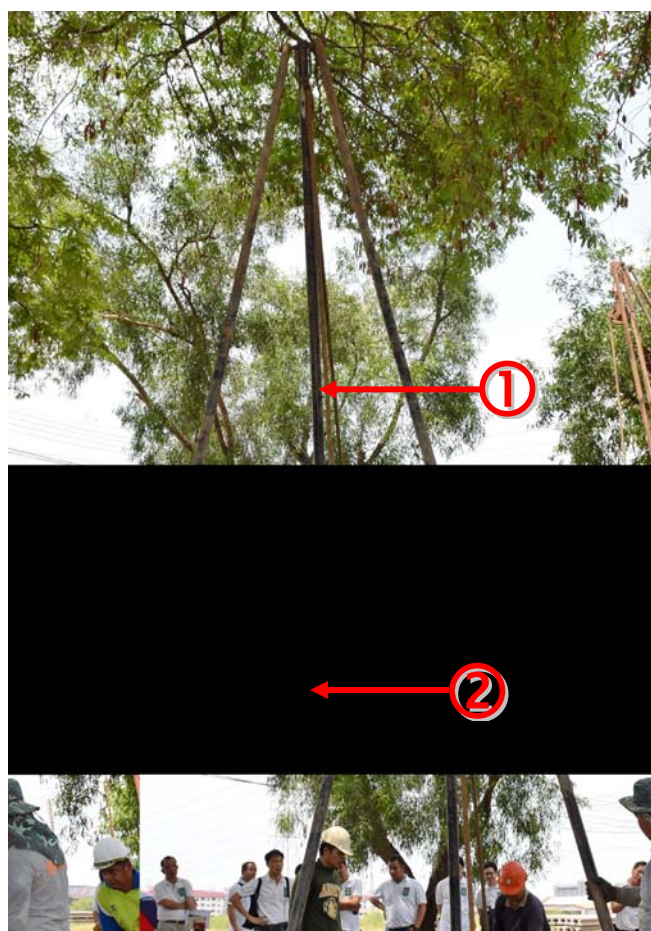
บทที่ 6

การเจาะสำรวจชั้นดินของกรมโยธาธิการและผังเมือง

งานเจาะสำรวจชั้นดินของกรมโยธาธิการและผังเมือง มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสนับสนุนงานออกแบบก่อสร้างถนน อาคาร สะพาน เขื่อน ตลอดจนระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ ในความดูแลรับผิดชอบของกรมฯ อีกทั้งยังให้บริการแก่หน่วยงานอื่นภายนอกกรมฯ ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันได้มีการดำเนินการมาเป็นเวลากว่า 30 ปี การเจาะสำรวจที่ดำเนินการมีรายละเอียด ดังนี้

6.1 เครื่องเจาะ โดยทั่วไปแบ่งตามเครื่องมือที่ใช้ในการเจาะเป็น 2 ชนิด คือ

6.1.1 เครื่องเจาะดินแบบโครงสามขาตั้งรูปที่ 6.1 ประกอบด้วย



รูปที่ 6.1 เครื่องเจาะดินแบบโครงสามขา

(1) โครงเหล็กทำจากท่อเหล็กขนาด 2 นิ้วสำหรับโครงขาหน้า และ 2.5 นิ้วสำหรับโครงขาหลัง ใช้ยึดกับเครื่องหัวกว้านเชือก มีความยาวแต่ละขาประมาณ 5.50 เมตร (ต่อกัน 2 ท่อน) ปลายล่างเป็นปลายแหลมสำหรับติดตั้งบนพื้นดิน ปลายบนยึดติดกันสามารถบิดตัวได้ระหว่างติดตั้งพร้อมห่วงแขวนรอก โดยขาคู่หน้าให้เจาะรูเพื่อใช้ร้อยเหล็กสำหรับเพิ่มความแข็งแรงของฐานในกรณีเจาะบนพื้นดินอ่อน

(2) เครื่องกว้านเชือก ประกอบด้วย หัวกว้านเชือกชุดด้วยกำลังเครื่องยนต์ขนาด 8 ถึง 13 แรงม้า

6.2 อุปกรณ์ในการเจาะดิน ดังรูปที่ 6.4 ประกอบด้วย



(1) สว่านสำหรับเปิดหน้าดิน



(2) สว่านเจาะดินแบบใช้มือหมุน



(3) ก้านเจาะ



(4) ท่อเหล็กก้นดิน



(5) ป्लอกนำตอกดิน



(6) เครื่องสูบน้ำแบบโมโน พร้อมสายดูดและสายส่ง



(7) หัวหมุนน้ำพร้อมหัวหัว



(8) ข้อต่อที่



(9) ถังน้ำเวียน



(10) เบนโทไนท์



(11) หัวกระทุ้งดิน



(12) หัวเขวนหมุน



(13) เชือกมะนิลา



(14) ประแจคอม้า



(15) ประแจโซ่

ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557

รูปที่ 6.4 อุปกรณ์เจาะดิน

- (1) ส่วนสำหรับเปิดหน้าดิน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 นิ้ว ขนาดความยาว 0.50 เมตร และ 1.00 เมตรสำหรับการเจาะแบบใช้ไฮดรอลิกช่วยเจาะ
- (2) ส่วนเจาะดินแบบใช้มือหมุน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สำหรับการเจาะเปิดหน้าดิน
- (3) ก้านเจาะมีความยาว 0.50 เมตร 1.00 เมตร 1.50 เมตร 2.00 เมตร และ 3.00 เมตร
- (4) ท่อเหล็กกันดิน ขนาด 4 นิ้ว มีความยาว 0.50 เมตร 1.00 เมตร และ 1.50 เมตร พร้อมหัวตอกท่อข้อเหล็กกันดิน
- (5) ปลอกนำตอกดิน สำหรับสวมเข้ากับปลายของท่อเหล็กกันดิน
- (6) เครื่องสูบน้ำแบบโมโน พร้อมสายดูด และสายส่งดูดกำลังด้วยเครื่องยนต์เบนซิน ขนาด 8 ถึง 13 แรงม้า
- (7) หัวหมุนน้ำพร้อมหัวและมีเกลียวต่อเข้ากับก้านเจาะ
- (8) ข้อต่อที่ใช้ต่อเข้ากับปากท่อเหล็กกันดิน เพื่อระบายน้ำที่ไหลขึ้นจากหลุมเจาะลงในถังน้ำเวียน
- (9) ถังน้ำเวียน เป็นถังเหล็กมีที่กั้นทรายให้ตกตะกอน
- (10) เบนโทไนท์ชนิดโซเดียมเบนโทไนท์ที่ใช้สำหรับป้องกันหลุมเจาะพังในชั้นดินทราย
- (11) หัวกระทุ้งดินมีเกลียวต่อเข้ากับก้านเจาะมีลักษณะเป็นแบบลิ้มสำหรับดินอ่อน และแบบสามแฉกสำหรับดินแข็ง

(12) หัวแขวนหมุ่นทำจากเหล็กมีหัวแขวนและเกลียวต่อเข้ากับก้านเจาะเชือกมะนิลาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว ยาวประมาณ 12.00 เมตร ที่ปลายมีเชือกเกลียวติดอยู่ประแจคอม้าขนาด 18 นิ้ว และ 24 นิ้ว อย่างละ 2 อัน ใช้สำหรับขันเกลียวก้านเจาะ และจับก้านเจาะระหว่างทำการเจาะสำรวจชั้นดิน

(13) ประแจโซ่จับท่อขนาด 3 ถึง 5 นิ้ว จำนวน 2 อันใช้สำหรับขันเกลียวท่อเหล็กกันดิน

6.3 ขั้นตอนการเจาะ

6.3.1 การเจาะสำรวจชั้นดินแบบสามขา เป็นวิธีการเจาะสำรวจที่ใช้ในงานเจาะที่สามารถเจาะได้ไม่ยากนักเนื่องจากอุปกรณ์มีน้ำหนักเบา ขนย้ายง่าย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในการเจาะใช้แรงคนเป็นหลัก ดังนั้น ความสามารถในการเจาะจึงน้อยกว่าการใช้เครื่องไฮดรอลิกซึ่งมีแรงจากเครื่องไฮดรอลิกเป็นตัวช่วย เมื่อเจาะผ่านชั้นดินแข็ง เครื่องเจาะแบบสามขาจะจึงนิยมใช้กับความลึกของหลุมเจาะไม่เกิน 30.00 เมตร หรืองานที่มีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ซึ่งเครื่องไฮดรอลิกเข้าถึงได้ยาก เช่น บริเวณตลิ่งล่าง หรือเชิงลาดตลิ่ง เป็นต้น ขั้นตอนการปฏิบัติมีดังนี้

ก. การติดตั้งโครงสามขา

1) กำหนดตำแหน่งหลุมเจาะ ดังรูปที่ 6.5 ประกอบโครงสามขาพร้อมชุดรอกแขวนเชือกแล้วติดตั้งโครงสามขาปรับให้จุดศูนย์กลางอยู่ตรงกับหลุมเจาะ โดยการจับตั้งด้วยหัวแขวนหมุ่นสำหรับระยะห่างของแต่ละขาให้ห่างกันอย่างน้อย 2.00 เมตร เพื่อให้มีพื้นที่ทำงานภายใต้โครง 3 ขาได้สะดวกและป้องกันเสาล้ม



ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557

รูปที่ 6.5 การกำหนดตำแหน่งหลุมเจาะ และติดตั้งโครงสามขา

2) ทำการติดตั้งเครื่องกว้านเชือกกับโครงขาหลังซึ่งเป็นขาท่อนใหญ่ตอกเหล็กสมอแล้วใช้เชือกผูกยึดกับโครงและฐานเครื่องกว้านให้แน่น ดังรูปที่ 6.6 สำหรับอีกสองขาให้ทำในลักษณะเดียวกันโดยใช้เชือกผูกยึดกับเหล็กสมอให้แน่น เพื่อเพิ่มความมั่นคงกับโครงสามขา



ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557

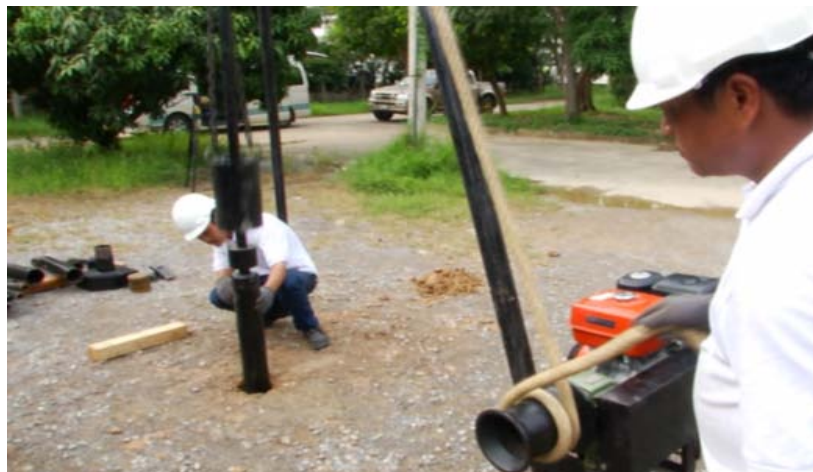
รูปที่ 6.6 การติดตั้งเครื่องควั่นเชือก

ข. การเปิดปากหลุม

ทำการเปิดหน้าดิน โดยใช้จอบหรือเสียมนำสำหรับกรณีที่ดินผิวหน้าแข็งหรือมีเศษผง เศษอิฐอยู่มาก จนกระทั่งถึงผิวดินจริง แล้วจึงใช้สว่านแบบมือหมุนเจาะเปิดปากหลุม จนกระทั่งได้ระดับความลึก 1.00 เมตร และกำหนดระดับอ้างอิง ปกติอาจให้ที่ระดับผิวดินเท่ากับ 0.00 เมตร ในระหว่างการใช้สว่านมือเจาะ เมื่อดินเต็มหัวเจาะให้ยกออกจากหลุม สังเกตความเปลี่ยนแปลงลักษณะชั้นดิน บันทึกสี ความแข็งโดยลองใช้มือบีบดู ความเหนียวของดิน ตามระดับความลึก

ค. การติดตั้งท่อเหล็กกันดิน

เมื่อเจาะดินจนได้ความลึกประมาณ 1.00 เมตร จึงทำการตอกท่อเหล็กกันดิน ดังรูปที่ 6.7 โดยใช้ชุดทั้งตอกและเหล็กนำต่อเข้ากับเกลียวข้อต่อด้านบนหรือใช้ชุดรองตอกลูกตุ้ม ใช้ควั่นเชือกยกลูกตุ้มขึ้น สวมลงในท่อนำ ใช้หัวควั่นยกลูกตุ้มตอกท่อเหล็กโดยตอกลงไปเรื่อย ๆ จนสุดความยาวแล้วจึงต่อท่อเหล็ก (กันดินเพื่อป้องกันการพังของผนังหลุมเจาะโดยเฉพาะกรณีที่ดินช่วงบนเป็นดินอ่อน) และตอกลงไปทำอย่างนี้ไปจนได้ความลึก 1.5 - 3.0 เมตร โดยทั่วไปจะใช้เหล็กกันดินขนาดความยาว 1 เมตร หรือ 1.50 เมตร เป็นขนาดมาตรฐาน



(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

รูปที่ 6.7 การตอกท่อเหล็กกันดิน

ง. การเตรียมน้ำเวียน

ติดตั้งข้อต่อที่เข้ากับท่อเหล็กกันดินแล้วจึงนำถังน้ำเวียนมาวางชิดข้อต่อที่เติมน้ำ ใส่ถังน้ำเวียนพร้อมเตรียมปั้มน้ำต่อสายยางทนความดันเข้ากับหัวหมุนน้ำ สำหรับใช้ดูดน้ำหมุนเวียนระหว่างการเจาะฉีดล้าง ดังรูปที่ 6.8

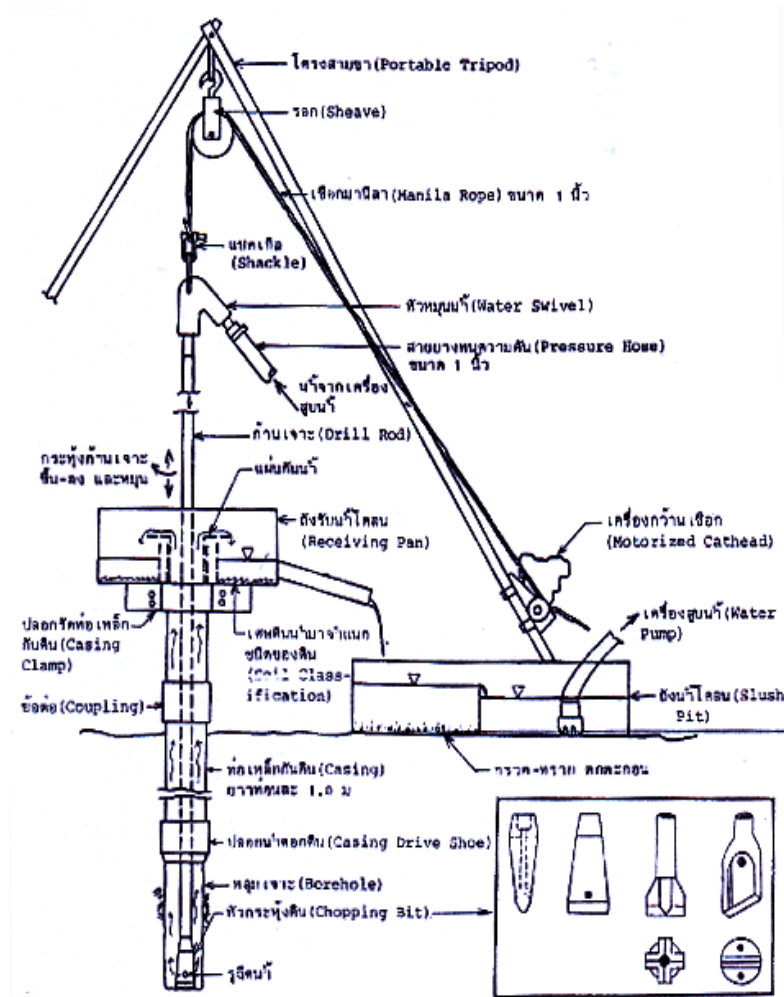


(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

รูปที่ 6.8 การเตรียมปั้มน้ำต่อสายยางทนความดันเข้ากับหัวหมุนน้ำ

จ. การเจาะแบบฉีดล้าง

1) ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการเจาะแบบฉีดล้าง โดยนำหัวหมุนน้ำต่อเข้ากับก้านเจาะที่ปลายด้านหนึ่งส่วนอีกปลายด้านหนึ่งต่อกับหัวกระทุ้งแบบลิ้มซึ่งใช้สำหรับชั้นดินอ่อน ใช้เครื่องกวนหย่อน ก้านเจาะลงหลุมเจาะเดินเครื่องสูบน้ำให้ฉีดน้ำออกที่หัวกระทุ้งก่อนเพื่อป้องกันหัวกระทุ้งอุดตันขณะกระทุ้ง หัวกระทุ้งให้ใช้ประแจคอม้าบิดหมุน (ไปทิศทางตามเข็มนาฬิกา) น้ำที่สูบผ่านสายยางทนความดันผ่านหัวแขวนหมุน และผ่านรูก้านเจาะออกทางหัวกระทุ้ง จะฉีดไล่ตะกอนที่ได้จากการกระแทกบดดินให้ย่อยเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากกันหลุม ให้ไหลขึ้นมาแล้วไหลล้นลงถังน้ำเวียน ตะกอนส่วนที่หนักจะตกตะกอนอยู่ในถังน้ำเวียน และน้ำจะถูกดูดหมุนเวียนไปใช้ต่อไป จนกระทั่งถึงระดับที่ต้องการเก็บตัวอย่างดิน ดังแสดงในรูปที่ 6.9



(ที่มา: สถาพร คูวิจิตรจรรู, 2541)

รูปที่ 6.9 การเจาะสำรวจดินชนิดล้างแบบกระทุ้งด้วยเครื่องก้านและชุดสามขา

2) ขณะที่ดำเนินการเจาะลึกลงไปให้ตรวจสอบดูเศษดินที่ไหลวนขึ้นมากับน้ำ เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนชั้นดิน โดยพิจารณาจากความแตกต่างของเศษหินทราย และสีของน้ำที่ล้นปากหลุม ที่เจาะลึกลงไปพร้อมกับจำแนกชนิดของดิน ตลอดความลึกที่เจาะลงไป หากพบว่าเจอชั้นดินทรายให้ผสมเบนโทไนท์กับน้ำโดยทั่วไปใช้อัตราส่วน 1 ต่อ 20 โดยน้ำหนักดังรูปที่ 6.10 สารละลายเบนโทไนท์ที่ได้จะมีค่าความหนาแน่นประมาณ 1.02 - 1.04 กรัม/ลบ.ซม. เพื่อวัตถุประสงค์ 3 ประการ ได้แก่ (1) เพื่อลดการซึมผ่านของน้ำเนื่องจากน้ำเบนโทไนท์จะไปเคลือบผนังหลุมเจาะ (2) เพื่อป้องกันดินพัง เนื่องจากน้ำเบนโทไนท์ที่อยู่เต็มหลุมจะเพิ่มแรงดันผนังไม่ให้ถล่ม และ (3) เพื่อเพิ่มความเข้มข้น ทำให้สามารถพาเศษดิน กรวด ที่มีเม็ดใหญ่ขึ้นมากับน้ำเบนโทไนท์ได้ กรณีหาเบนโทไนท์ในพื้นที่ปฏิบัติงานไม่ได้ให้ใช้ดินโคลนในพื้นที่ทดแทน



(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

รูปที่ 6.10 การผสมเบนโทไนท์ชนิดโซเดียมเบนโทไนท์กับน้ำ

3) การเก็บตัวอย่างจะเก็บทุก ๆ ความลึก 1.50 เมตร โดยเมื่อเจาะลึกลงถึงความลึกที่จะเก็บตัวอย่าง ปกติจะเก็บตัวอย่างทุก ๆ ความลึก 1.50 เมตร ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษอย่าให้กันหลุมถูกรบกวน โดยการเบาคีรื่องสูบน้ำ และทำการเป่าน้ำใส่จนแน่ใจว่าได้ล้างเศษดินกันหลุมจนสะอาด จึงดับเครื่องสูบน้ำ และถอนหัวกระทุ้งพร้อมกับหัวหมุนน้ำออก ทำการเจาะสลับกับการเก็บตัวอย่างไปเรื่อย ๆ จนถึงชั้นดินแข็ง จึงเปลี่ยนหัวกระทุ้งเป็นแบบสามแฉก โดยพิจารณาจากแรงที่ใช้ในการกระทุ้ง แล้วดำเนินการเจาะต่อไปจนถึงระดับที่ต้องการเก็บตัวอย่าง

6.3.2 การเจาะสำรวจชั้นดินแบบใช้ไฮดรอลิกช่วยเจาะ

เป็นวิธีการเจาะสำรวจที่ใช้ในการเจาะลึกและเป็นงานที่สำคัญ เนื่องจากสามารถควบคุมการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวนได้ดีกว่าแบบสามขาโดยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังต่อไปนี้

ก. การติดตั้งเรือนโครง

1) เช็นรถเครื่องมือเจาะดินเข้าหาหลุมเจาะ ติดเครื่องยนต์แล้วพร้อมใส่ก้านเจาะ ความยาว 3.00 เมตร เข้ากับแกนหมุนไฮดรอลิกดังรูปที่ 6.11 แล้วขันน็อตยึดพื้นจับและก้านเจาะให้แน่น เพื่อให้สามารถใช้หัวกดไฮดรอลิกค้ำยันตัวเครื่องให้อยู่ในแนวระนาบ



(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

รูปที่ 6.11 การติดตั้งรถเครื่องมือเจาะในพื้นที่สนาม

2) ทำการติดตั้งเรือนโครงดังรูปที่ 6.12 โดยยึดเสา 2 ต้น กับแท่นเครื่องเจาะที่ด้านหน้าของเครื่องเจาะด้วยน๊อต และประกอบเสาอีก 2 ต้น เข้าด้วยกันพร้อมรอกที่ปลายเรือนโครง โดยการร้อยสกรูและขันน๊อตให้แน่นร้อยเชือกมะนิลาในรอก โดยปลายเชือกด้านหนึ่งผูกติดกับหัวหมุนแขนแล้วนำปลายเชือกอีกด้านหนึ่งมาพาดกับรอกที่หัวแท่นไฮดรอลิกและนำไปพันรอบเครื่องกว้งประกอบโครงยึดเข้ากับเสาทั้งสี่ให้เป็นรูปโครงเสาสี่ต้นเลื่อนหัวแท่นไฮดรอลิกให้สูงขึ้น เข้าเกียร์ 1 ใช้เครื่องกว้งพร้อมกับดึงเชือกเพื่อดึงเรือนโครงขึ้น แล้วขันน๊อตยึดติดกับแท่นเครื่องเจาะด้านหลังให้แน่น



รูปที่ 6.12 การติดตั้งเรือนโครง

3) ปรับให้เครื่องเจาะอยู่ในแนวระนาบ โดยใช้เชือกที่ผูกติดกับหัวหมุนเป็นตัวยึดดึงเปรียบเทียบกับแนวของก้านเจาะที่อยู่ในแกนหมุนไฮดรอลิก เพื่อให้เมื่อใส่ก้านเจาะแล้วก้านเจาะอยู่ในแนวตั้ง

ข. การเปิดปากหลุม

นำสว่านต่อกับก้านเจาะ เพื่อเจาะเปิดปากหลุม ดังรูปที่ 6.13 โดยหมุนสว่านด้วยเครื่องไฮดรอลิกจนได้ระดับความลึกประมาณ 1 เมตร แล้วจึงทำการถอนสว่านขึ้นมา และกำหนดระดับอ้างอิงปกติอาจให้ที่ระดับผิวดินเท่ากับ 0.00 เมตร สังเกตความเปลี่ยนแปลงลักษณะชั้นดิน บันทึกสีความแข็ง โดยลองใช้มือบีบดูความเหนียวของดินตามระดับความลึก



(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

รูปที่ 6.13 การเจาะเปิดปากหลุม

ค. การติดตั้งท่อเหล็กกันดิน

ทำการตอกท่อเหล็กกันดิน โดยใช้ชุดทั้งตอกและเหล็กนำตอกเข้ากับเกลียวข้อต่อด้านบน หรือใช้ชุดรองตอกลูกตุ้ม ใช้เครื่องกว้านเชือกยกลูกตุ้มขึ้นสวมลงในท่อนำ ใช้เครื่องกว้านยกลูกตุ้มตอกท่อเหล็ก ลงไปเรื่อย ๆ จนสุดความยาวแล้วจึงต่อท่อเหล็กกันดิน เพื่อป้องกันการพังของผนังหลุมเจาะ โดยในกรณีที่ดิน ช่วงบนเป็นดินอ่อน และตอกลงไปทำอย่างนี้ไปจนได้ความลึก 1.5 - 3.00 เมตร โดยทั่วไปจะใช้เหล็กกันดิน ขนาดความยาว 1 เมตร หรือ 1.50 เมตร เป็นขนาดมาตรฐาน

ง. การเตรียมน้ำเวียน

ติดตั้งข้อต่อที่เข้ากับท่อเหล็กกันดินแล้วจึงนำถังน้ำเวียนมาวางชิดขอบข้อต่อที่เติมน้ำ ใส่ถังน้ำเวียนพร้อมเตรียมปั้มน้ำต่อสายยางทนความดันเข้ากับหัวหมุนน้ำ สำหรับใช้ดูดน้ำหมุนเวียนระหว่างการเจาะฉีดล้าง

จ. การเจาะแบบฉีดล้าง

1) ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการเจาะแบบฉีดล้าง โดยนำหัวหมุนน้ำต่อเข้ากับก้านเจาะ ที่ปลายด้านหนึ่งส่วนอีกปลายด้านหนึ่งต่อกับหัวกระทุ้งแบบลิ้มซึ่งใช้สำหรับชั้นดินอ่อน ใช้เครื่องกว้านหย่อน ก้านเจาะลงหลุมเจาะ เดินเครื่องสูบน้ำให้ฉีดน้ำออกที่หัวกระทุ้งก่อน เพื่อป้องกันหัวกระทุ้งอุดตันขณะกระทุ้ง หัวกระทุ้งให้ใช้ประแจคอม้าบิดหมุน (ไปทิศทางตามเข็มนาฬิกา) ดังรูปที่ 6.14 น้ำที่สูบผ่านสายยางทนความดัน ผ่านหัวแขวนหมุน และผ่านรูก้านเจาะออกทางหัวกระทุ้ง จะฉีดไล่ตะกอนที่ได้จากการกระทบตบดินให้ย่อย เป็นชิ้นเล็ก ๆ จากกันหลุมให้ไหลขึ้นมาแล้วไหลล้นลงถังน้ำเวียน ตะกอนส่วนที่หนักจะตกตะกอนอยู่ในถังน้ำเวียน และน้ำจะถูกดูดหมุนเวียนไปใช้ต่อไป จนกระทั่งถึงระดับที่ต้องการเก็บตัวอย่างดิน



(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

รูปที่ 6.14 การกระทุ้งหัวกระทุ้งพร้อมทั้งใช้ประแจคอม้าบิดหมุน

2) ขณะที่ดำเนินการเจาะลึกลงไปให้ตรวจดูเศษดินที่ไหลวนขึ้นมากับน้ำ เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนชั้นดิน โดยพิจารณาจากความแตกต่างของเศษหินทราย และสีของน้ำที่ล้นปากหลุมที่เจาะลึกลงไป พร้อมกับจำแนกชนิดของดินตลอดความลึกที่เจาะลงไป หากพบว่าเจอชั้นดินทรายให้ใช้สารละลายเบนโทไนท์เพื่อป้องกันดินพัง ในกรณีหาเบนโทไนท์ในพื้นที่ปฏิบัติงานไม่ได้ให้ใช้ดินโคลนในพื้นที่ทดแทน



(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

รูปที่ 6.15 การผสมเบนโทไนท์ชนิดโซเดียมเบนโทไนท์กับน้ำ

3) การเก็บตัวอย่างจะเก็บทุก ๆ ความลึก 1.50 เมตร โดยเมื่อเจาะลึกลงถึงความลึกที่จะเก็บตัวอย่าง ปกติจะเก็บตัวอย่างทุก ๆ ความลึก 1.50 เมตร ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษอย่าให้ก้นหลุมถูกรบกวน โดยการเบาคู่มือสูบน้ำ และทำการเป่าน้ำใส่จนแน่ใจว่าได้ล้างเศษดินก้นหลุมจนสะอาด จึงดับเครื่องสูบน้ำ และถอนหัวกระทุ้งพร้อมกับหัวหมุนน้ำออกแล้วจึงทำการเก็บตัวอย่าง จากนั้นทำการเจาะสลับกับการเก็บตัวอย่างไปเรื่อย ๆ จนถึงชั้นดินแข็งจึงเปลี่ยนหัวกระทุ้งเป็นแบบสามแฉก โดยพิจารณาจากแรงที่ใช้ในการกระทุ้งแล้วดำเนินการเจาะต่อไปจนถึงระดับที่ต้องการเก็บตัวอย่าง

จากรายละเอียดข้างต้น จะเห็นได้ว่า การเจาะโดยใช้โครงแบบสามขา หรือแบบใช้เครื่องไฮดรอลิก ล้วนสามารถทำการเจาะล้าง (Wash Boring) ได้ทั้งคู่ โดยการใช้แรงดันน้ำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเจาะให้สามารถทะลุทะลวงลงในดินได้มากขึ้นกว่าการเจาะแบบไม่ใช้น้ำ

6.4 การเก็บตัวอย่างดินและการทดสอบในสนาม

เมื่อทำการเจาะถึงระดับที่ต้องการเก็บตัวอย่างดินแล้ว ให้เปลี่ยนปลายก้านเจาะจากเหล็กหัวกระทุ้ง เป็นกระบอกเก็บตัวอย่าง กล่าวคือ ถ้าหากดินที่ก้นหลุมเป็นดินอ่อน จะเก็บตัวอย่างแบบไม่รบกวน (Undisturbed Sample) โดยใช้กระบอกบาง (Shelby Tube) ต่อกับปลายก้านเจาะ แต่ถ้าหากดินที่ก้นหลุมเป็นดินแข็งจะเก็บตัวอย่างแบบรบกวน (Disturbed Sample) โดยใช้กระบอกผ่า (Split Spoon) ต่อกับปลายก้านเจาะโดยขั้นตอนการดำเนินการมีรายละเอียดทั้งกรณีเจาะด้วยโครงแบบสามขา และแบบเครื่องไฮดรอลิก ดังนี้

6.4.1 วิธีการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนและการทดสอบตัวอย่างดินในกระบอก

(1) หย่อนกระบอกเก็บตัวอย่างลงก้นหลุม แล้วขีดระยะที่จะเก็บตัวอย่างที่ก้นเจาะเหนือปากขอบท่อเหล็กก้นดินเป็นระยะ 50 เซนติเมตร ใช้ประแจคอมม่า 2 ตัว จับก้านเจาะสำหรับการเจาะแบบสามขา แต่สำหรับการเจาะแบบใช้ไฮดรอลิกช่วยเจาะให้ใช้ประแจตัวหนึ่งจับที่ก้านเจาะ และอีกตัวหนึ่งจับที่แกนระบบไฮดรอลิกในลักษณะตั้งฉากกัน

(2) กรณีใช้วิธีเจาะสำรวจแบบสามขาให้ใช้แรงคนกดให้กระบอกเก็บตัวอย่างจมลงดินตามระยะที่ขีดไว้ด้วยแรงสม่ำเสมอและได้แนวตั้ง กรณีการเจาะสำรวจแบบใช้ไฮดรอลิกช่วยเจาะ ให้ใช้ระบบไฮดรอลิกกดให้กระบอกเก็บตัวอย่างจมลงดินตามระยะที่ขีดไว้ด้วยอัตราความเร็วสม่ำเสมอและได้แนวตั้งดังรูปที่ 6.16 ถ้ากดลงได้ไม่ถึงระยะที่กำหนดไว้ ให้จดบันทึกระยะที่กดลงได้ลงใน Field Log Test แล้วใช้ประแจคอมม่าหมุนก้านเจาะตามเข็มนาฬิกา 2 รอบเพื่อให้ดินปลายกระบอกขาคออกจากกัน



(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

(1) เจาะแบบสามขา

(2) เจาะแบบไฮดรอลิกช่วยเจาะ

รูปที่ 6.16 การเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวน

(3) ใช้เครื่องกว้านเชือกดึงก้านเจาะพร้อมกระบอกบางขึ้นจากหลุมเจาะ พร้อมทำความสะอาดกระบอกเก็บตัวอย่าง แต่งดินที่ปลายกระบอกทั้งสองด้าน วัดระยะความยาวของตัวอย่างดินที่เก็บได้บันทึกลงใน Field Log Test

(4) ทดสอบหาค่ากำลังของดินในสนามของตัวอย่างดินในสนาม สามารถทดสอบได้ด้วยเครื่องมือ 2 แบบ ดังรูปที่ 6.17 มีรายละเอียดดังนี้

ก) เครื่องทดสอบความแข็งของดินแบบพกพา (Pocket Penetrometer) เหมาะสำหรับใช้งานกับดินเหนียวแข็งปานกลางถึงแข็งเป็นเครื่องมือที่ถูกออกแบบมาให้ใช้ได้ทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ มีขนาดกะทัดรัดคล้ายปากกา มีสปริงรับแรงอยู่ด้านใน วิธีใช้งานทำได้โดยเริ่มจากเลื่อนวงแหวนสีแดงที่ด้านสเกลให้อยู่บนสุดแล้วทำการกด Pocket Penetrometer ลงบนผิวของดินในกระบอกบางหรือบนแท่งตัวอย่างดิน

ที่ถูกแต่งให้เรียบ จนกระทั่งจมถึงขีดที่กำหนดแล้วอ่านค่าที่ตามสเกลทดสอบจำนวน 3 ตำแหน่ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ (Unconfined Compressive Strength, U_p)

ข) เครื่องมือทดสอบหาค่ากำลังเฉือนของดินแบบพกพา (Torvane Shear Device) เหมาะสำหรับใช้งานกับดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมาก เป็นเครื่องมือที่ถูกออกแบบมาให้ใช้ได้ทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ มีลักษณะคล้ายใบพัด (Vane) ขนาดเล็กมีให้เลือกหลายขนาดขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่ทดสอบ วิธีใช้งานทำได้โดยเริ่มจากหมุนขีดบนหน้าปัดให้อยู่ที่เลขศูนย์ แล้วทำการกดใบพัดลงบนผิวของดินในกระบอกบาง แล้วหมุนด้วยมือให้ดินถูกตัดขาดจากกัน อ่านค่าที่หน้าปัดด้านบน จะได้ค่าเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ (Undrained Shear Strength, S_u)

ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในสนามที่ทดสอบได้จะเป็นค่าเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อความมั่นใจที่จะนำไปใช้งานจบบันทึกลงใน Field Log Test



(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

ก) การใช้ Pocket Penetrometer

ข) การใช้ Torvane Shear Device

รูปที่ 6.17 การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน

(5) นำตัวอย่างดินมาจำแนกดินเบื้องต้น โดยการสังเกตรายละเอียดจากการดูด้วยตาเปล่า และอาศัยการสัมผัสด้วยมือ ประกอบการดมกลิ่น และนำสีของตัวอย่างดินไปเทียบกับสีที่มีในสมุดเทียบสี โดยยึดเอาสีหลักที่สังเกตเห็นได้ชัด จากนั้นจึงจำแนกว่าเป็นดินชนิดใด เช่น กรวด ทราย ดินเหนียว เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องสังเกตสิ่งเจือปนที่ติดมากับตัวอย่างดินด้วย เช่น เปลือกหอย เป็นต้น โดยใช้วิธีกะปริมาณว่ามีมากน้อยขนาดไหน แล้วจึงจบบันทึกลงใน Field Log Test

(6) เพื่อให้ตัวอย่างดินที่เก็บได้คงสภาพโครงสร้างภายในไว้ให้มากที่สุด หลังจากเก็บตัวอย่างดินแล้วต้องมีการเคลือบซีเมนต์หรือพาราฟินที่เตรียมไว้ที่ปลายทั้งสองด้าน เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นระเหยออกจากตัวอย่างดิน แล้วทำการติดฉลากข้อมูลระบุถึง ชื่อโครงการ หมายเลขหลุม ความลึก วันที่เก็บตัวอย่าง เป็นต้น ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันการสลับกันของตัวอย่าง และนำส่งห้องปฏิบัติการด้วยความระมัดระวัง

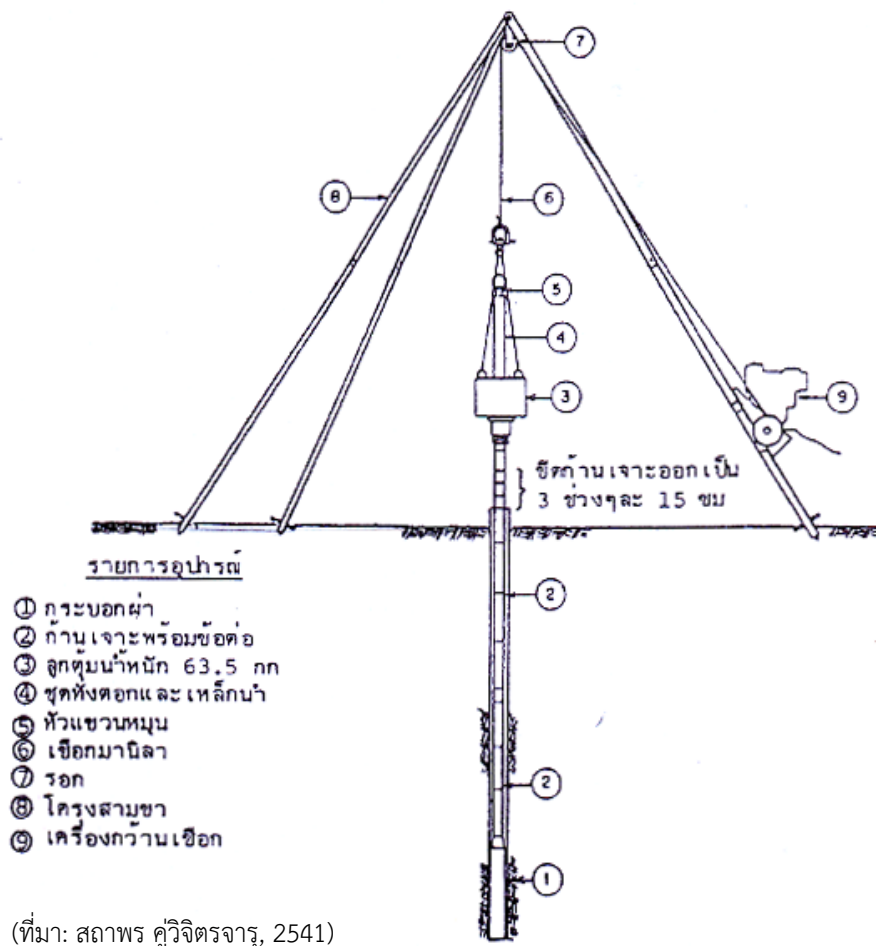
(7) ทำการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกบางไปเรื่อยๆ สลับการเจาะกระทั่งจนถึงระดับดินแข็งจนไม่สามารถเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกบางได้ ถ้าจะต้องเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนก็ให้เปลี่ยนการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกบางเป็นกระบอกผ่า

6.4.2 การเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนและการทดสอบ

การเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนทำได้โดยการตอกกระบอกผ่าลงไปในชั้นดินที่จะเก็บตัวอย่าง มักทำร่วมกับการทดสอบการตอกจมมาตรฐาน (SPT) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในประเทศไทย เพราะระหว่าง

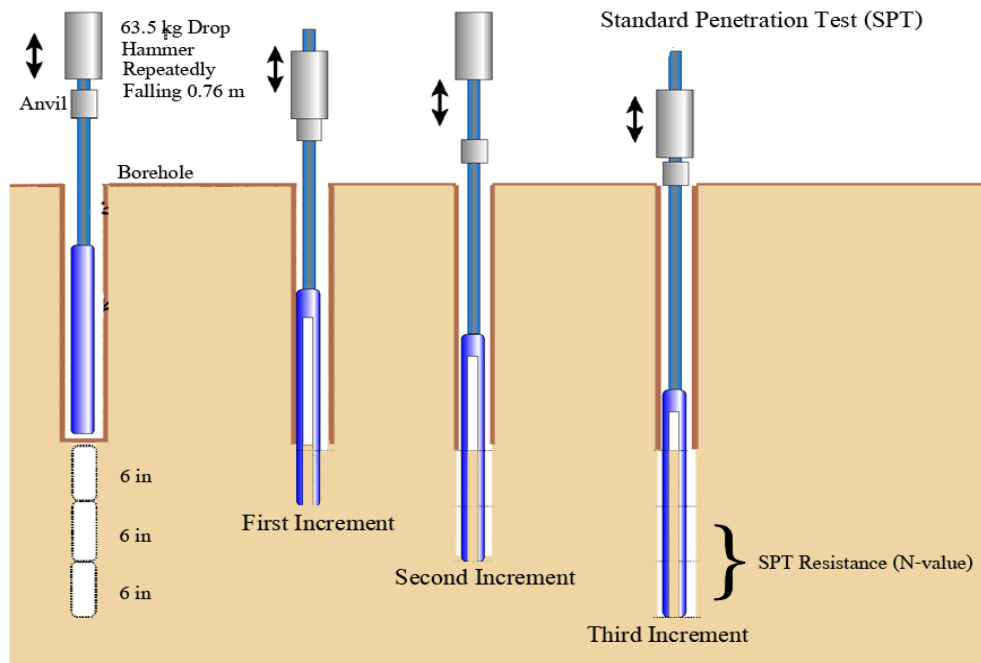
การทดสอบสามารถเก็บตัวอย่างดินเหนียวและดินเหนียวปนทรายเพื่อนำมาทดสอบ เพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ของดินได้ด้วย ดังนั้นจุดประสงค์ของการทดสอบ SPT นอกจากจะใช้หาค่าสภาพความอ่อนแข็งของดิน (Consistency) ที่มีความชื้นแน่นแล้ว ยังสามารถใช้หาค่าความแน่นสัมพัทธ์ และมุมเสียดทาน ภายในโดยประมาณของดินทรายได้อีกด้วย โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

(1) เมื่อเจาะถึงความลึกที่จะทำการทดสอบ SPT ในชั้นดินแข็ง ให้ต่อกระบอกลงเข้ากับปลายล่างก้านเจาะ คำนวณความยาวก้านเจาะ และหย่อนกระบอกลงกันหลุม ตรวจสอบความลึกที่เจาะไว้ เมื่อตรวจสอบได้ความลึกที่ถูกต้องแล้ว ชีตระยะที่ก้านเจาะเทียบระยะปากท่อเหล็กกันดินแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงละ 6 นิ้ว (15 ซม.) รวมเป็นระยะ 18 นิ้ว (45 ซม.) นำชุดตอกและเหล็กนำตอกต่อบนปลายก้านเจาะ ยกลูกตุ้มขึ้นสวมท่อ นำ ที่ท่อ นำจะมีขีดบอกระยะลูกตุ้มตก 30 นิ้ว (76 ซม.) การติดตั้งเครื่องมือทดสอบ SPT ดังรูปที่ 6.18



รูปที่ 6.18 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบ SPT

(2) ยกลูกตุ้มตอกบนทั้งตอก ควบคุมให้ได้ระยะตกของลูกตุ้ม 30 นิ้ว ทำการตอก โดยต้องปล่อยเชือกให้ลูกตุ้มตกเป็นอิสระด้วยความสม่ำเสมอ ไม่หยุด (พันเชือกที่หัวกว้านไม่ควรเกิน 2 รอบ) นับจำนวนครั้งที่ลูกตุ้มที่ตอกกระบอกลำจมลงดินทุก ๆ ระยะ 6 นิ้ว จดบันทึกจำนวนครั้งที่ตอกจนครบ 3 ช่วง เอาจำนวนครั้งที่ตอก 2 ช่วงสุดท้ายมาบวกกัน จะได้ค่า SPT N - Value (จำนวนการตอก/ระยะจม 1 ฟุต) ดังรูปที่ 6.19 แล้วบันทึกค่าลงใน Field Log Test



(ที่มา: ชูศักดิ์ ศิริรัตน์, 2554)

รูปที่ 6.19 การทดสอบ SPT

(3) นำกระบอกผ่าขึ้นจากหลุมเจาะถ้าเป็นการเจาะด้วยสามขาให้นำประแจคอม้ายึดกับก้านเจาะก่อนนำท่อเหล็กมาจัดได้ประแจคอม้า เพื่อถอนกระบอกผ่าขึ้นจากหลุมเจาะ แต่ถ้าหากเป็นการเจาะโดยใช้ไฮดรอลิกช่วยให้ใช้โซ่ปลายด้านหนึ่งผูกติดกับหัวไฮดรอลิก และอีกปลายด้านหนึ่งผูกติดกับหัวแขวนหมุนแล้วใช้ระบบไฮดรอลิกดึงขึ้นมา

(4) หมุนกระบอกผ่าออกจากปลายก้านเจาะ แล้วแยกกระบอกผ่าออกจากกัน วัดระยะความยาวตัวอย่างที่เก็บได้ นำดินออกจากกระบอกผ่าเพื่อนำไปทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในสนามด้วยเครื่องทดสอบความแข็งของดินแบบพกพา (Pocket Penetrometer) โดยมีรายละเอียดเช่นเดียวกับข้อ 6.4.1 (4) และทำการจำแนกชนิดดินเบื้องต้นดังรายละเอียดในข้อ 6.4.1 (5)

(5) เลือกตัดตัวอย่างที่มีสภาพดี ความยาว 10 เซนติเมตรใส่ขวดแก้วพร้อมทั้งนำตัวอย่างส่วนที่เหลือไปใส่ในขวดแก้วอีกใบ แล้วปิดปากขวดให้มิดชิดเพื่อป้องกันความชื้นของตัวอย่างดินเปลี่ยนแปลงแล้วทำการติดฉลากข้อมูลระบุถึงชื่อโครงการ หมายเลขหลุม ความลึก วันที่เก็บตัวอย่าง เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างดินที่เก็บได้จะถูกนำไปใช้ทดสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ ดังตัวอย่างในรูปที่ 6.20 ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันการสลับกันของตัวอย่าง



รูปที่ 6.20 ขวดเก็บตัวอย่างดินพร้อมป้ายฉลาก

(6) ทำการทดสอบ SPT สลับการเจาะกระทั่งไปเรื่อย ๆ จนถึงระดับความลึกที่ระบุในการเจาะสำรวจชั้นดิน หากไม่ได้ระบุความลึกในการเจาะสำรวจให้หยุดการเจาะสำรวจเมื่อค่า SPT มีค่ามากกว่า 50 ครั้ง อย่างน้อยจำนวน 3 ตัวอย่างติดต่อกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้

6.4.3 การเก็บตัวอย่างทราย

เนื่องจากทรายไม่มีความเชื่อมแน่น ดังนั้นจึงมีปัญหาในการเก็บตัวอย่างไม่ติด สำหรับการเก็บตัวอย่างทรายนั้น จะกระทำไปพร้อม ๆ กับการทดสอบ SPT เพียงแต่ก่อนที่จะทำการต่อกระบอกลำกับกับแกนเจาะควรใส่ตะกร้อดักทรายในกระบอกลำเสียก่อน ดังรูปที่ 6.21 แล้วจึงดำเนินการทดสอบเช่นเดียวกับหัวข้อการเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวน ในข้อที่ 6.4.2 แต่ไม่ต้องทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินในสนาม



(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

รูปที่ 6.21 การใส่ตะกร้อดักทรายในกระบอกลำ

6.5 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

- 1) กรณีที่เจาะสำรวจดินยังไม่ถึงระดับความลึกที่ต้องการแต่ไม่สามารถทำการเจาะต่อไปได้อีก เนื่องจาก เจาะชั้นดินแข็งหรือชั้นหิน ควรเปลี่ยนเครื่องมือเจาะให้เหมาะสมหรือทำการย้ายหลุมเจาะใหม่
- 2) ตัวอย่างดินที่เก็บได้ต้องรีบส่งไปยังห้องปฏิบัติการด้วยความระมัดระวัง เพื่อป้องกันการสูญเสีย น้ำ ในมวลดิน และเพื่อการทดสอบคุณสมบัติของดิน
- 3) การทดสอบ SPT ในการเจาะโดยใช้เครื่องเจาะแบบสามขา เมื่อทดสอบเสร็จแล้วไม่ควรยกตุ้มน้ำหนัก ออกห่างจากปากหลุมเจาะ เพราะอาจทำให้โครงสามขาล้มลงได้
- 4) การเจาะสำรวจชั้นดินผู้ปฏิบัติการควรสวมหมวกนิรภัยและถุงมือ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิด ขณะทำงาน
- 5) ขณะเจาะสำรวจควรสังเกต อุปกรณ์ทั้งหมดของการเจาะ หากพบว่ามีส่วนผิดปกติ ควรหยุดปฏิบัติงาน และทำการแก้ไข

บทที่ 7

การทดสอบดินในสนาม

การทดสอบดินในสนามส่วนใหญ่จะเป็นการทดสอบทางด้านกำลังของดิน โดยจะทำการทดสอบในขณะที่กำลังทำการเจาะสำรวจอยู่โดยมีการทดสอบ ดังนี้

7.1 การทดสอบ Standard Penetration Test (SPT)

เป็นวิธีการทดสอบที่นิยมใช้กันมาก เพราะระหว่างการทดสอบสามารถเก็บตัวอย่างดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายมาทำการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ของดินได้ด้วย ดังนั้นจุดประสงค์ของการทดสอบ SPT นอกจากจะใช้ในการประมาณค่า Consistency ของดินที่มีความเชื่อมโยงแน่น (Cohesive soil) แล้ว ยังสามารถใช้ในการหาค่าความแน่นสัมพัทธ์ และมุมเสียดทานภายในโดยประมาณของดินทราย (Cohesionless soil) ได้อีกด้วย

การทดสอบวิธีนี้ทำได้โดยการตอกกระบอกผ่าด้วยลูกตุ้มเหล็กหนัก 63.50 กิโลกรัม (140 ปอนด์) ยกสูง 0.762 เมตร (30 นิ้ว) ให้กระบอกผ่าจมลงไปในชั้นดินที่กั้นหลุมเจาะ ตรวจสอบให้แน่ใจว่าการตอก SPT ครั้งนี้ได้กระทำในชั้นดินคงสภาพ แล้วจึงทำการตอกกระบอกผ่านี้ให้จมลงไปในชั้นดินที่ต้องการทดสอบ โดยการแบ่งนับจำนวนการตอกออกเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 15 เซนติเมตร (6 นิ้ว) จนกระบอกผ่าจมลงดิน 3 ช่วงรวม 18 นิ้ว จำนวนครั้งที่ตอกลง 2 ช่วง (12 นิ้ว) สุดท้ายนี้เรียกว่า Standard Penetration Resistance (N-Value) มีหน่วยเป็นจำนวนครั้งต่อฟุต (blows/foot)



รูปที่ 7.1 อุปกรณ์ทดสอบ Standard Penetration Test (SPT)



รูปที่ 7.2 และ 7.3 การติดตั้งอุปกรณ์ และทำเครื่องหมายเพื่อทำการทดสอบ
Standard Penetration Test (SPT)

ตัวอย่าง การคำนวณค่า SPT

Standard Penetration Test (SPT)			
(Hammer: 140 Pounds Drop: 30 in.)			
Blows			Blows/Foot
6 in.	6 in.	6 in.	
6	10	12	22

(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

นำค่าจำนวนครั้งลูกตุ้มที่ตอกกระบอกผ่านลงดินทุกๆ ระยะ 6 นิ้ว สองช่วงสุดท้ายมาบวกกัน ดังตัวอย่าง

$$\text{SPT N-Value} = 10 + 12 = 22 \text{ Blows/Foot}$$

อย่างไรก็ดี การทดสอบนี้ เป็นเพียงการวัด consistency ของดินเท่านั้น แต่ก็ได้มีผู้รู้หลายท่าน ได้พยายามหาความสัมพันธ์ เพื่อแปลงค่า N ไปเป็นคุณสมบัติของดินด้านต่าง ๆ เช่น กำลังรับแรงเฉือนของดิน ซึ่งต้องทำด้วยความระมัดระวังเพราะอาจผิดพลาดได้ เนื่องจากค่า N เป็นค่าที่ขึ้นกับหน่วยแรงประสิทธิภาพ

ตารางที่ 7.1 แสดงสัมพันธ์ระหว่าง SPT N - Value, Consistency, Relative Density (Dr.)

Cohesive Soil			Cohesionless Soil		
SPT N-Value	Consistency	UC.Test (ksc.)	SPT N-Value	Consistency	Dr.(%)
0 - 1	Very Soft	0.00 - 0.25	0 - 4	Very Loose	0 - 15
2 - 4	Soft	0.25 - 0.50	5 - 10	Loose	15 - 35
5 - 8	Medium	0.50 - 1.00	11 - 30	Medium	35 - 65
9 - 15	Stiff	1.00 - 2.00	31 - 50	Dense	65 - 85
16 - 30	Very Stiff	2.00 - 4.00	>50	Very Dense	85 - 100
>30	Hard	>4.00			

(ที่มา: Peck, Hanson and Thornburn, 1974)

7.2 การทดสอบ Field Vane Shear Test

การทดสอบ Field Vane Shear เป็นการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength, S_u) ทำได้ในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงปานกลาง (Soft to Medium Clay) ในสภาพธรรมชาติ ปราศจากการกระทบกระเทือนต่อโครงสร้างดิน ทำโดยกดใบ Vane ซึ่งเป็นแผ่นเหล็กบาง ๆ รูปสี่เหลี่ยมคล้ายใบมีด 4 อัน เชื่อมติดอยู่ด้วยกัน มีความสูงต่อความกว้างของใบเท่ากับ 2 : 1 กดลงไปบนชั้นดินที่ต้องการทราบค่า Shear Strength จากนั้นติดตั้งเครื่องส่งถ่ายแรงบิดเข้ากับก้านของใบ Vane แล้วทำการหมุนใบ Vane ให้ตัดมวลดิน จนดินขาดออกจากกัน (Failure) นำค่าที่อ่านได้มากที่สุดมาเข้าสมการหาค่า Undrained Shear Strength, S_u หากต้องการหาค่า Remolded Shear Strength ก็ให้หมุนใบ Vane ประมาณ 25 รอบ เพื่อกวนชั้นดิน จากนั้นให้ดำเนินการทดสอบหมุนใบ Vane อีกครั้งหนึ่งโดยนำค่าที่อ่านได้เข้าสมการหาค่า Remolded Shear Strength ซึ่งปัจจุบันได้มีการแปลงค่าแรงบิดที่อ่านได้ เป็นค่าของกำลังรับแรงเฉือนแบบ ไม่ระบายน้ำ (S_u) ทำให้สามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากมาตรวัดค่าที่ติดตั้งกับตัวเครื่องมือ เพื่อความสะดวกในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น



(ที่มา: เอกสารประกอบการบรรยายงานเขื่อนป้องกันตลิ่งสำหรับวิศวกร, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2542)

รูปที่ 7.4 แสดงเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ(Field Vane Shear Test)



รูปที่ 7.5 ใบ Vane ขนาดต่าง ๆ



รูปที่ 7.6 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในที่ (In Situ Field Vane Shear Test แบบ Geonor)

จากค่า Shear Strength และค่า Remolded Shear Strength ที่ได้จากการทดสอบ Field Vane Shear ทำให้สามารถหาค่าความไว (Sensitivity) ของชั้นดินได้

$$\text{Sensitivity (St)} = \frac{\text{Peak Shear Strength}}{\text{Remolded Shear Strength}}$$

ตารางที่ 7.2 : แสดงการจำแนกความไว (Sensitivity, St.) ของดินเหนียว (Bowles, 1979)

การจำแนกความไว	ความไวของดิน
ดินเหนียวที่ไม่มีควมไว (Insensitive Clay)	< 2
ดินที่มีความไวอยู่ในชั้นปานกลาง	2 – 4
ดินเหนียวที่มีความไว (Sensitive Clay)	4 – 8
ดินเหนียวที่มีความไวสูง (Very Sensitive Clay)	8 – 16
ดินเหนียวที่มีความไวสูงมาก (Quick Clay)	> 16

(ที่มา: Joseph E. Bowles, 1979)

7.3 การทดสอบ Pocket Shear Vane Device (Torvane)

เครื่องมือชนิดนี้ เป็นเครื่องมือที่ถูกปรับปรุงขึ้นมาจากเครื่องทดสอบ Vane Shear Test ให้มีขนาดเล็กลงสามารถใช้งานได้ทั้งในห้องปฏิบัติการทดสอบและในสนามนิยมใช้กับดินเหนียวอ่อน โดยทำการกดใบ Vane ในแนวดิ่งลงไปดินที่เก็บขึ้นมาจากกระบอกบางซึ่งมีผิวเรียบ แล้วหมุนด้วยมือจนดินถูกตัดขาด จากนั้นอ่านค่ากำลังของแรงเฉือนที่ด้านบนตรงที่ด้ามหมุน ค่าที่ได้จะเป็น Undrained Shear Strength (S_u) มีหน่วยเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งใบ Vane มีหลายขนาด ขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่ทำการทดสอบ



รูปที่ 7.7 เครื่องมือทดสอบ Pocket Shear Vane Device (Torvane)

7.4 การทดสอบ Pocket Penetrometer

เป็นเครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่ถูกออกแบบมาให้ใช้ได้ทั้งในห้องปฏิบัติการทดสอบ และในสนาม มีขนาดกระทัดรัดคล้ายปากกา ซึ่งสปริงรับแรงอยู่ข้างใน วิธีใช้งานทำโดยปาดหน้าดินในกระบอกเก็บตัวอย่าง หรือแท่งตัวอย่างที่เตรียมไว้ให้มีผิวหน้าเรียบจากนั้นทำการกด Pocket penetrometer ลงไปที่ตัวอย่างดินในแนวดิ่งจนถึงขีดที่กำหนดจากนั้นทำการอ่านค่าที่ด้ามจับ ค่าที่ได้จะเป็นค่า Unconfined Compressive Strength (U_c) มีหน่วยเป็นค่าแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด



รูปที่ 7.8 เครื่องมือทดสอบทดสอบ Pocket Penetrometer test



รูปที่ 7.9 การใช้ Pocket Penetrometer test

บทที่ 8

การจำแนกดิน

การจำแนกดินเป็นการจัดกลุ่มของตัวอย่างดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ โดยจัดตัวอย่างดินที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน หรือใกล้เคียงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยอาศัยข้อมูลต่าง ๆ เช่น สี ประเภทของดิน ความสามารถรับแรงเฉือน ปริมาณความชื้น และ consistency ของดิน เป็นต้น การจำแนกดินเบื้องต้นต้องอาศัยประสาทสัมผัส (Visual Soil Classification) เช่น ตา ดู มือ จับ ดม กลิ่น เป็นต้น จากนั้นจึงพิจารณาร่วมกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อจำแนกดินโดยละเอียดอีกขั้นหนึ่ง

8.1 การจำแนกดินด้วยตาเปล่า (Visual Soil Classification)

การจำแนกดินด้วยตาเปล่านี้ เป็นการจำแนกดินเบื้องต้นในสนามซึ่งมีจุดประสงค์หลัก คือ ต้องการทราบชนิดของดินอย่างคร่าว ๆ ว่าเป็นดินชนิดใด โดยดูด้วยตา และอาศัยการสัมผัสด้วยมือเป็นส่วนใหญ่ หรือใช้อุปกรณ์อย่างง่าย ๆ เช่น ตะแกรง เพื่อดูชนิดของดินอย่างคร่าว ๆ ประกอบการดมกลิ่น เพื่อเป็นข้อมูลขั้นต้นในการเลือกชนิดการทดสอบในห้องปฏิบัติการต่อไป

การจำแนกดินด้วยวิธีนี้ ทำโดยการสังเกตสีของดินยึดเอาสีหลัก ๆ ที่ปรากฏเห็นได้ชัดเจนเพียง 1 – 2 สีเท่านั้น สีของดินจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณความชื้น การตรวจสอบสีจึงต้องทำขณะที่ดินยังมีความชื้นตามธรรมชาติ นอกจากนี้สีของดินยังเป็นตัวช่วยในการแบ่งชั้นดิน และทำให้ทราบถึงส่วนผสมในดินนั้นด้วย จากนั้นจึงทำการจำแนกว่าตัวอย่างดินที่เก็บขึ้นมาเป็นดินประเภทใด ดินเม็ดหยาบหรือเม็ดละเอียด และสังเกตจากชนิดดินจำพวกหลัก ๆ ว่าเป็นกรวด หิน หรือดินเหนียว กรณีที่ตัวอย่างดินเป็นดินเม็ดละเอียด เช่น ชิลท์และดินเหนียวจะมีขนาดเม็ดดินที่ใกล้เคียงกัน แต่มีคุณสมบัติด้านพลาสติกที่แตกต่างกัน จึงทำให้การจำแนกดินได้ลำบากกว่าเป็นดินประเภทชิลท์หรือดินเหนียวโดยดินที่เป็นดินเหนียวเมื่อดินถูกปั้นเปลี่ยนรูปทรงจะไม่แตกง่ายง่าย นอกจากนี้ ยังต้องสังเกตสิ่งเจือปนที่ติดมากับตัวอย่างดิน เช่น เปลือกหอย (Shellbits) หินผุ (Decomposed Rock) รากไม้ เป็นต้น โดยใช้วิธีกะประมาณ ว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด หรือบางครั้งอาจต้องมีการดมกลิ่นของตัวอย่างดิน เพื่อที่จะทำการจำแนกว่าตัวอย่างดินมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่หรือไม่ ดินที่มีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มากมักจะมียีสดำและมึกลิ่น และมักจะมีคุณสมบัติด้านกำลังต่ำและการทรุดตัวที่ค่อนข้างสูง

การจำแนกดินด้วยตาเปล่าในสนามอาจมีข้อผิดพลาดได้ในเรื่องของประเภทดิน โดยเฉพาะดินที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมาก เช่น ดินเหนียวปนทราย (Sandy Clay) หรือทรายปนดินเหนียว (Clayey Sand) การจำแนกดินจำพวกนี้ จึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ เป็นข้อมูลที่สำคัญในการจำแนกอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 8.1 สมุดเทียบสีดิน

ตารางที่ 8.1 แสดงตัวอย่างระหว่างความหมายของสีกับส่วนผสมในดิน

ดินที่มีสีดำ หรือน้ำตาลเข้ม	หมายถึงเป็นดินที่มีอินทรีย์สารผสมอยู่
ดินที่มีสีอมสีแดง	แสดงว่ามี Unhydrated iron oxides และมีคุณสมบัติยอมให้น้ำผ่านได้ง่าย
ดินที่มีสีเหลือง หรือน้ำตาลอมเหลือง	แสดงว่ามีธาตุเหล็กและน้ำผ่านได้ยาก
สีขาว	แสดงว่ามี silica หรือ lime หรือสารประกอบอลูมิเนียมผสมอยู่
สีน้ำเงินอมเทา และเทาปนเหลือง	แสดงลักษณะของดินที่น้ำซึมผ่านยาก

ตารางที่ 8.2 ความหมายของชื่อเรียกที่ใช้แสดงปริมาณสิ่งเจือปน

Trace	ปะปนอยู่ 1- 10%
Trace to some	10 – 20%
Some	20 – 35%
And	35 – 50%
Mottled	ปะปนอยู่เป็นจุดๆ
Seam	แทรกอยู่เป็นชั้นหนาประมาณไม่เกิน 10 ซม.
Layer	เป็นชั้นหนาดั้งแต่ 30 ซม.ขึ้นไป

ตารางที่ 8.3 แสดงตัวอย่างของสิ่งที่ปะปนมากับดิน

Decomposed Rock	หินผุ	Conglomerate	กรวดมน
Laterite	ลูกรัง	Pea Gravel	กรวดขนาดเมล็ดถั่ว
Calcareous	หินผุสีขาว	Decayed Wood	ไม้ผุ
Construction Debris	เศษวัสดุก่อสร้าง	Shell bits	เศษเปลือกหอย
Root	รากไม้	Mica sheet	แผ่นไมก้า
Bed rock	ชั้นหินฟิต	sHard pan	ชั้นดินดาน

ตารางที่ 8.4 แสดงขนาดของเม็ดดินแต่ละชนิด ตามมาตรฐาน ASTM

ชนิดของดิน	ขนาดของเม็ดดิน (มม.)
Boulders	> 300
Cobbles	300 - 76
กรวด (Gravel)	76 - 4.75
ทรายหยาบ(Coarse Sand)	4.75 - 2.00
ทรายหยาบปานกลาง(Medium Sand)	2.00 - 0.425
ทรายละเอียด(Fine Sand)	0.425 - 0.074
ดินตะกอนทราย(Silt)	0.075 - 0.002
ดินเหนียว(Clay)	<0.002

8.2 การจำแนกดินทางด้านวิศวกรรม

การจำแนกดินทางด้านวิศวกรรม เป็นการจำแนกดินโดยละเอียดโดยใช้ข้อมูลในห้องปฏิบัติการเป็นสำคัญ หลักเกณฑ์ในการจำแนกดินโดยละเอียดมีหลายมาตรฐานด้วยกัน ในที่นี้จะขอกล่าวถึงแต่เฉพาะ Unified Soil Classification ซึ่งนิยมใช้กับงานฐานรากทั่วไปเท่านั้น การจำแนกดินด้วยวิธีนี้จะทำการจำแนกดินเสียก่อนว่าเป็นดินชนิดเม็ดหยาบ หรือดินชนิดเม็ดละเอียดโดยอาศัยข้อมูลจากทดสอบ Sieve Analysis โดยดูว่ามีดินค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 อยู่เท่าไร ถ้ามีดินค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 เกิน 50 % ถือว่าเป็นดินจำพวกเม็ดหยาบ (Coarse Grained Soil) ดินจำพวกนี้ได้แก่ หกรวด (Sand) หรือ กรวด (Gravel) แต่ถ้ามีปริมาณดินที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 เท่ากับหรือน้อยกว่า 50 % ถือว่าดินดังกล่าวเป็นดินเม็ดละเอียด (Fined Grained Soil) ได้แก่ ตะกอนทราย (Silt) หรือดินเหนียว (Clay)

ในการจำแนกขั้นต้นจะใช้สัญลักษณ์ อักษรตัวหน้าของดินจะบอกชนิดของดิน เช่น

กรวด (Gravel)	อักษรตัวหน้าก็จะเป็น “G”
ทราย (Sand)	อักษรตัวหน้าก็จะเป็น “S”
ตะกอนทราย (Silt)	อักษรตัวหน้าก็จะเป็น “M”
ดินเหนียว (Clay)	อักษรตัวหน้าก็จะเป็น “C”
ดินมีสารอินทรีย์ปน(Organic)	อักษรตัวหน้าก็จะเป็น “O”
Peat	อักษรตัวหน้าก็จะเป็น “P _t ”

ส่วนอักษรที่สอง ซึ่งเป็นตัวบอกลักษณะของดิน ซึ่งหาได้จากการกระจายของเม็ดดิน และการทดสอบหาค่าความชื้นเหลวของเม็ดดิน (Atterberg's Limit) เช่น

ดินเม็ดหยาบมีขนาดเม็ดคละกันดี (Well graded)	ตัวอักษรที่สองเป็น “W”
ดินเม็ดหยาบมีขนาดเม็ดคละกันไม่ดี (Poorly graded)	ตัวอักษรที่สองเป็น “P”
ดินเม็ดละเอียดที่มีพลาสติกซึ่ต่ำ (Low Plasticity)	ตัวอักษรที่สองเป็น “L”

หากดินพวกเม็ดหยาบมีส่วนที่เป็นเม็ดละเอียดปนอยู่ อักษรตัวที่สองอาจมีการเปลี่ยนจาก W หรือ P เป็น C หรือ M ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนของดินเม็ดละเอียดผสมอยู่ ซึ่ดจำกัดเหลว และค่าพลาสติกซึ่ต่ำของดินเม็ดละเอียดที่ผสมอยู่พอที่จะสรุปได้ ดังนี้

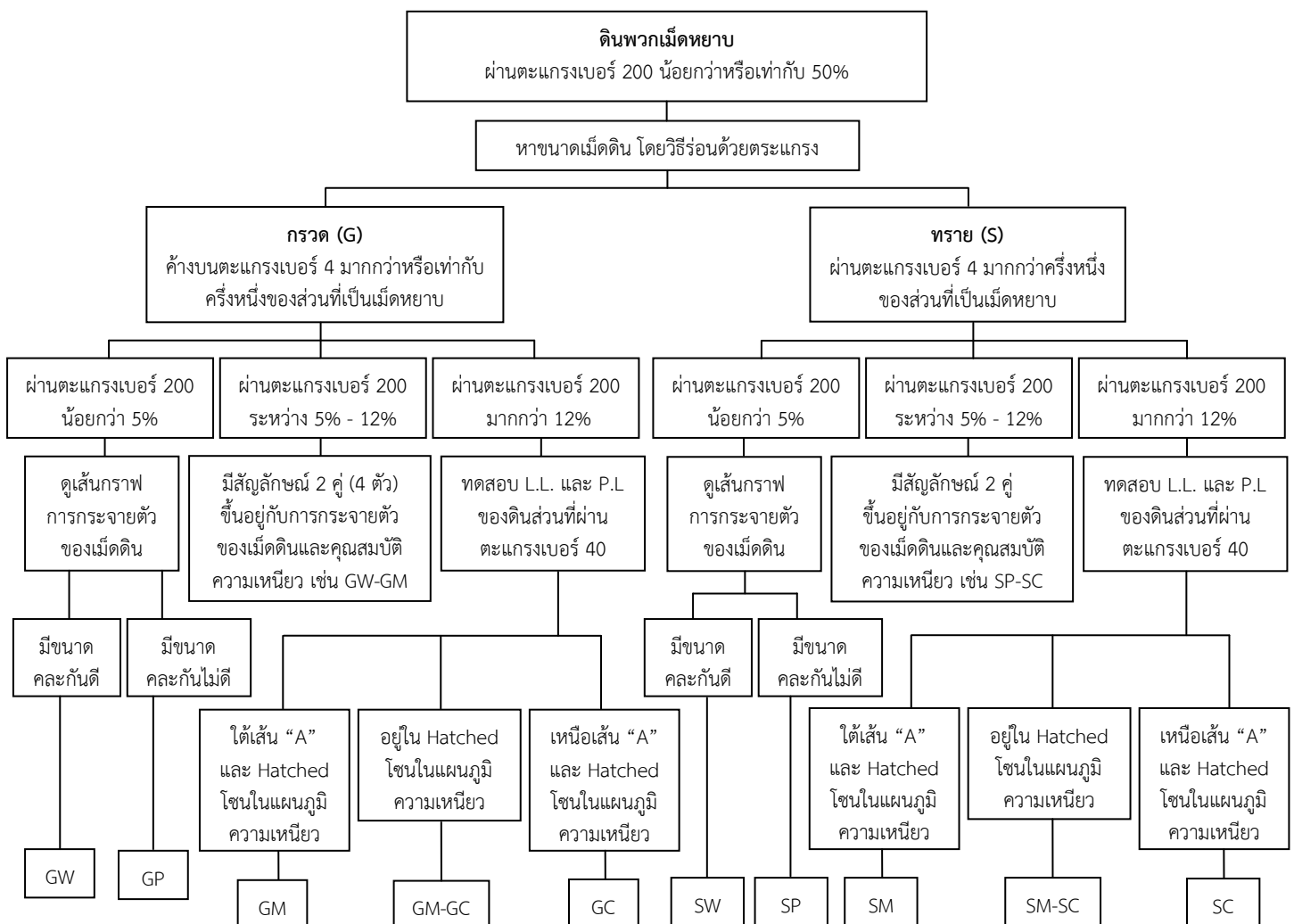
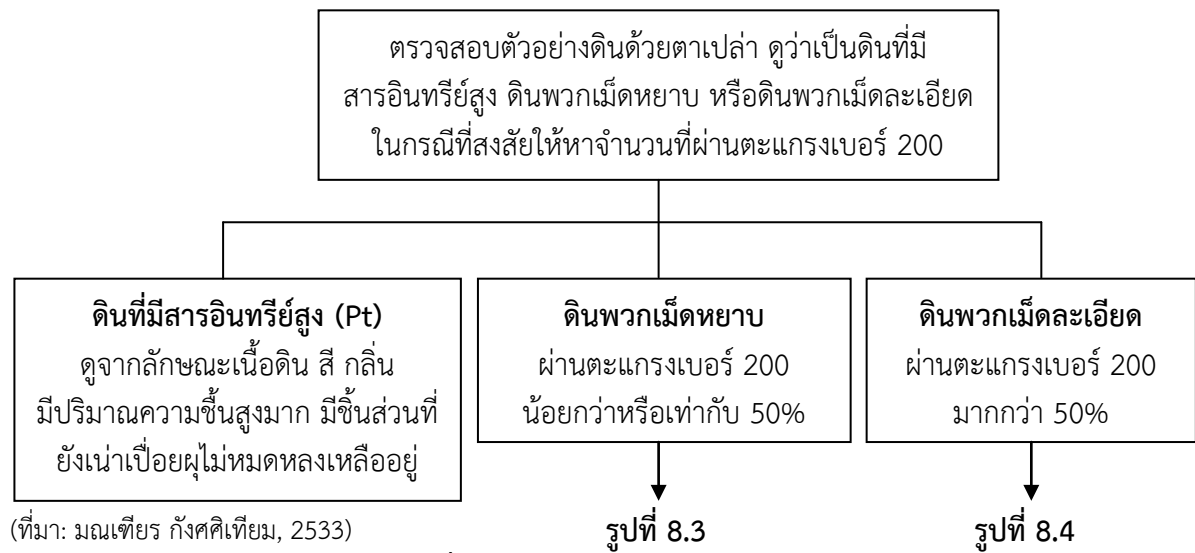
ตารางที่ 8.2.1 แสดงเปอร์เซ็นต์เม็ดดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 กับสัญลักษณ์ของกลุ่มดิน

เปอร์เซ็นต์ผ่าน เบอร์ 200	สัญลักษณ์ของกลุ่มดิน
< 5%	GW, GP, SW, SP
5% - 12%	GW - GM, GP - GM, GW - GC, GP - GC SW - SM, SP - SM, SW - SC, SP - SC
>12%	GC, GM, SC, SM

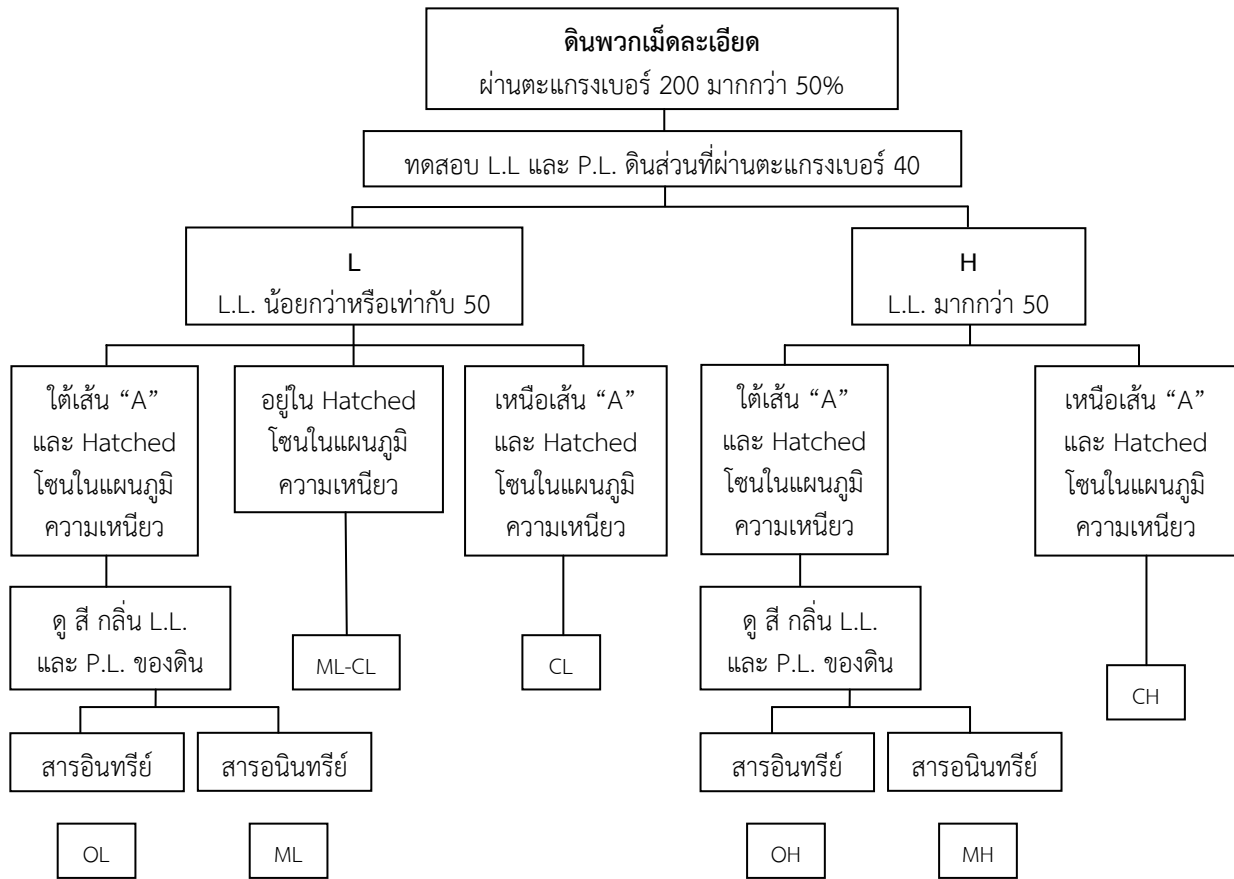
กรณีดินพวกเม็ดหยาบที่มีส่วนที่เป็นเม็ดละเอียดปนอยู่มากกว่า 12% แต่ไม่ถึง 50% โดยปกติแล้ว สัญลักษณ์ของกลุ่มดินจะอยู่ใน GC, GM, SC, SM หากค่าพลาสติกซึ่ต่ำอยู่ระหว่าง 4 - 7 สัญลักษณ์ของกลุ่มดินถูกเปลี่ยนเป็น GM - GC หรือ SM - SC

ส่วนดินเม็ดละเอียดสัญลักษณ์ของกลุ่มดินอาจจะเป็น ML, MH, OL, OH, CL, CH หรือ CL - ML ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพิกต์ความชื้นเหลว และค่าพลาสติกซึ่ต่ำ

การจำแนกดินในระบบ Unified Soil Classification นี้ สามารถจำแนกดินได้ตามผังการจำแนกดินตามขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 8.3 Flow chart การจำแนกดินเม็ดหยาบ (Coarse grained soil)



(ที่มา: มณฑิร กังคศิเทียม, 2533)

รูปที่ 8.4 Flow chart การจำแนกดินเม็ดละเอียด (Fined grained soil)

Major Division	Group Symbols	Typical Names	Classification Criteria
Coarse-grained soils More than 50% retained on No. 200 sieve	Gravels 50% or more of coarse fraction retained on No. 4 sieve	GW	Well-graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines
		GP	Poorly graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines
		GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures
		GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures
	Sands More than 50% of coarse fraction passes No. 4 sieve	SW	Well-graded sands and gravelly sands, little or no fines
		SP	Poorly graded sands and gravelly sands, little or no fines
		SM	Silty sands, sand-silt mixtures
		SC	Clayey sands, sand-clay mixtures
	Sands with fines	ML	Inorganic silts, very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands
		CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays
		OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity
		MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sands or silts, elastic silts
	Sils and Clays Liquid limit greater than 50%	CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays
		OH	Organic clays of medium to high plasticity
Highly organic soils	Pt	Peat, muck and other highly organic soils	Fibrous organic matter; will char, burn, or glow

Classification on basis of percentage of fines
 Less than 5% Pass No. 200 sieve
 More than 12% Pass No. 200 sieve
 5% to 12% Pass No. 200 sieve
 GW, GP, SW, SP
 GM, GC, SM, SC
 Borderline classification
 requiring use of dual
 symbols

Atterberg limits plot below "A" line or plasticity index less than 4
 Atterberg limits plot above "A" line and plasticity index greater than 7
 Atterberg limits plot below "A" line or plasticity index less than 4
 Atterberg limits plot above "A" line and plasticity index greater than 7

Check plasticity chart

Plasticity chart for the classification of fine-grained soils.
 Tests made on fraction finer than No. 40 sieve.

(ที่มา: ผศ.มานะ อภิพัฒนมนตรี, 2538)

รูปที่ 8.5 การจำแนกดิน Unified Soil Classification

บทที่ 9

การบันทึกข้อมูลในสนาม

ข้อมูลและรายละเอียด ที่ได้จากการเจาะสำรวจและทดสอบในสนามจะถูกนำมาบันทึกไว้ในตาราง Field Log Test ซึ่งประกอบด้วย

- 1) ข้อมูลหลุมเจาะ (ชื่อโครงการ ตำแหน่งที่ตั้ง ข้อมูลระดับน้ำ ค่าระดับ ฯลฯ)
- 2) ข้อมูลการเจาะ และวิธีเก็บตัวอย่าง ที่ความความลึกต่าง ๆ
- 3) ผลทดสอบในสนาม เช่น การทดสอบ SPT การทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังของดินในสนาม (หัวข้อในบทที่ 7 การทดสอบดินในสนาม)
- 4) การจำแนกดินเบื้องต้น (หัวข้อ 8.1 Visual Soil Classification) จุดเปลี่ยนของชั้นดิน เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกชนิดการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และเป็นประโยชน์ในการแบ่งชั้นดินอีกด้วย

FIELD BORING			PROJECT LOCATION										SHEET OF		BORING No. 1					
TEST			SURFACE ELE. = 93.151 m.										GWT. = 1.00 m.		BORING LOCATION		WEATHER		P.A. Power Auger W.O. Wash Out S.T. Shelby Tube S.S. Split Spoon O.B. Diamond Bit R.B. Rock Bit	
SAMPLE No.	DEPTH (m.)		SAMPLE METHOD	STANDARD PENETRATION TEST						PENETROMETER TEST (sec.)	DATE		FIELD VANE SHEAR TEST (ksc.)	LENGTH RECOVER (m.)	SAMPLE DESCRIPTION					
	FROM	TO		SPLIT SPOON BLOWS			N-VALUE													
				(blows)																
				6"	6"	6"	(blows/ft.)			PS.	RS.	RD.								
															organic top soil = 0.60 m					
1	1.50	1.95	SS	2	2	2	4	0.50					0.30	Soft dark brown silty clay, trace silt						
2	3.00	3.45	SS	3	4	5	9	1.00					0.25	Stiff brownish light grey silty clay						
3	4.50	4.95	SS	6	6	10	16	2.50					0.35	Very stiff light grey and yellowish red silty clay						
4	6.00	6.45	SS	5	8	10	18	2.00					0.30	Very stiff light greyish red silty clay						
5	7.50	7.95	SS	10	15	20	35	4.25					0.30	Hard yellowish red silty clay						
6	9.00	9.45	SS	10	15	18	33	4.25					0.25	Hard yellow and reddish brown silty clay						
7	10.50	10.95	SS	10	15	16	31	2.00					0.30	Hard light yellowish brown clayey silt, trace very fine sand						
8	12.00	12.45	SS	5	8	12	20	—	Change to 1130 m				0.30	Medium light greenish dark brown silty very fine sand						
9	13.50	13.95	SS	8	13	16	29	—					0.30	Medium light grey and greenish grey silt very fine sand						

รูปที่ 9.1 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลและผลการทดสอบในสนาม

ตัวอย่างข้อมูลจาก Field Log

เช่น จากข้อมูลในกรอบสีแดงของรูปที่ 9.1 อธิบายได้ว่า ดินตัวอย่างที่ 7 ช่วงความลึก 10.50 -10.95 เมตร ทำการเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกผ่า (SS) และผลทดสอบ SPT เท่ากับ 31 blows/foot มีค่า UP (Pocket Penetrometer) เท่ากับ 2.00 ksc. ความยาวของตัวอย่างดินที่เก็บได้ (Length of recovery) เท่ากับ 0.30 เมตร ลักษณะของดินจากการจำแนกเบื้องต้นเป็นซิลต์ปนดินเหนียว สีน้ำตาลปนเหลืองอ่อน มีทรายเม็ดละเอียดปนอยู่บ้าง และมี Consistency จัดอยู่ในช่วง Hard

บทที่ 10

การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการเป็นการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน (Basic Soil Properties) และคุณสมบัติด้านปฐพีวิศวกรรมของดิน (Engineering Soil Properties) เพื่อใช้จำแนกลักษณะว่าเป็นดินประเภทใด และมีคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เป็นอย่างไร เช่น คุณสมบัติด้านกำลัง (Strength Properties) คุณสมบัติด้านการยุบอัดตัว (Consolidation Properties) หรือคุณสมบัติด้านการซึมผ่านของน้ำ (Permeability Properties) ของดิน เป็นต้น

10.1 การทดสอบ Natural Moisture Content (ASTM D 2216)

การทดสอบหาความชื้นของดินตามธรรมชาติเป็นพื้นฐานที่จะให้ข้อมูลดินเกี่ยวกับสภาพดิน เช่น แรงเฉือน อัตราส่วนช่องว่างในดิน การทรุดตัว เป็นต้น ทำโดยการนำดินตัวอย่างที่ทราบค่าน้ำหนักไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนดินแห้งสนิทและมีน้ำหนักคงที่ นำดินแห้งไปหาน้ำหนักโดยการชั่งหาน้ำหนัก แล้วคิดค่าปริมาณความชื้นของดินเป็นสัดส่วนต่อน้ำหนักดินแห้งเป็นเปอร์เซ็นต์

$$M = \frac{(w - w_s)}{w_s} 100 = \frac{w_w}{w_s} 100$$

เมื่อ

M = ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้น

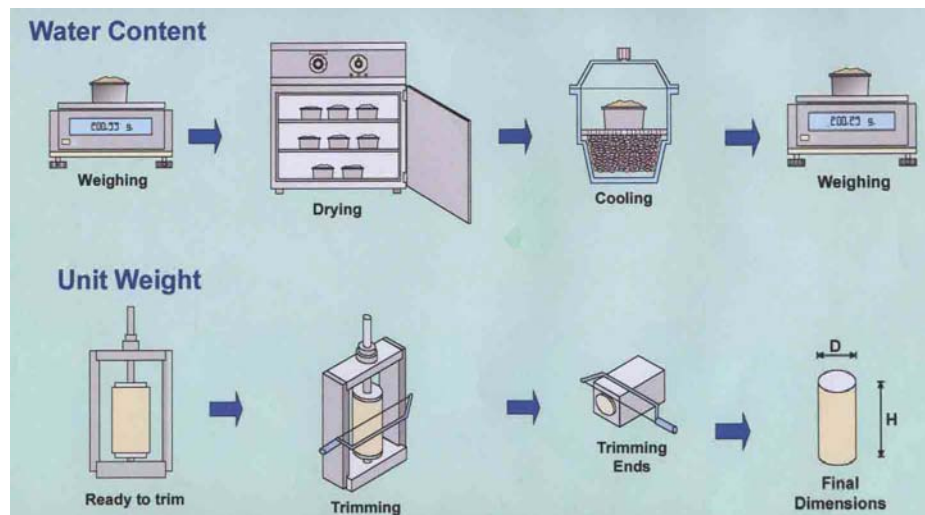
W = น้ำหนักดินทั้งหมด

W_s = น้ำหนักดินแห้ง

W_w = น้ำหนักในมวลดิน

10.2 การทดสอบ Total Unit Weight (ASTM D 4253-00)

เป็นการทดสอบหาค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตรของมวลดิน ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณค่าหน่วยแรงกดทับของชั้นดินในระดับความลึกต่าง ๆ (Overburden Pressure) การทดสอบนี้ทำโดยการดันดินออกจากกระบอกบาง หรือกระบอกผ่าแล้วทำการตัดแต่งตัวอย่าง วัดขนาด ส่วนสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรสำหรับทราย การหาค่า Total Unit Weight ทดสอบได้ลำบาก เพราะการเก็บตัวอย่างทรายแบบไม่รบกวนทำได้ยาก



(ที่มา: SeahTian Ho, เอกสารประกอบการบรรยาย Soil Mechanics วสท.)

รูปที่ 10.1 วิธีทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินตามธรรมชาติ และ Total unit weight

10.3 การทดสอบ Atterberg's Limits (ASTM D 423, D 424)

จากสภาพทั่วไปของดิน ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบ (Phase Relation) ของดิน ที่ประกอบไปด้วยเม็ดดินและน้ำ ถ้าดินมีน้ำผสมอยู่มาก สภาพของดินจะอยู่ในสภาพเป็นของเหลว (Liquid State) และมีปริมาตรอยู่ในระดับหนึ่ง เมื่อความชื้นหรือน้ำในมวลดินลดลงจนสถานะของดินเปลี่ยนเป็นพลาสติก (Plastic State) ปริมาตรของดินก็จะลดลงมาในระดับหนึ่ง และเมื่อความชื้นหรือน้ำในมวลดินลดลงอีกจนสถานะของดินเปลี่ยนสภาพเป็นกึ่งของแข็ง (Semi-solid State) ซึ่งปริมาตรของดินก็จะลดลงอีกระดับหนึ่ง และเมื่อความชื้นในมวลดินลดลงอีกสภาพของดินก็จะเปลี่ยนเป็นสภาพของแข็ง (Solid State) ปริมาตรของดินเมื่อลดลงมาถึงระดับนี้แล้วหากมีการสูญเสียความชื้นหรือน้ำในมวลดินต่อไปอีก ปริมาตรของดินก็จะอยู่คงที่ ดังนั้น ปริมาณความชื้น จึงเป็นตัวกำหนดสถานะภาพของมวลดิน โดยแสดงในรูปของค่าพิกัดต่าง ๆ ดังนี้

10.3.1 ชีตจำกัดเหลว (Liquid Limit ; L.L.)

ทำโดยใช้เครื่องมือของ Casagrande ที่เรียกว่า Liquid Limit Apparatus โดยนำดินเปียก มาใส่ในถ้วยทองเหลือง ปาดผิวหน้าให้เรียบ แล้วแบ่งดินเป็น 2 ส่วนด้วย Grooving tool หมุนให้ถ้วยยกกระแทก กับฐานเครื่องมือ ด้วยความเร็ว 2 ครั้งต่อวินาที ระยะที่ตกกระแทกเท่ากับ 10 มม. จนกระทั่งดินที่แบ่งไว้ 2 ส่วน เคลื่อนเข้ามาติดกันประมาณ 1 ซม. บันทึกจำนวนครั้งที่ตกกระแทกและนำดินนั้นไปหาปริมาณความชื้นทำซ้ำ เช่นนี้ 4 - 5 ครั้ง โดยให้ดินมีปริมาณความชื้นต่าง ๆ กัน แล้วนำผลไปเขียนเส้นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้ง กับความชื้นในกราฟ semi-log จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ซึ่ง A.Cassagrande ได้ให้ความเห็นว่าปริมาณ ความชื้นของดินที่ตกกระแทก 25 ครั้ง เป็นค่า Liquid Limit และจะมีค่าเท่ากับความชื้น ณ จุดที่กำลังของดิน เท่ากับ 25 กรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยเปรียบเทียบไว้ว่าการเคาะแต่ละครั้งเท่ากับหน่วยแรงเฉือนที่กระทำต่อ มวลดิน มีค่าประมาณ 1 กรัมต่อตารางเซนติเมตร



(ที่มา: SeahTian Ho, เอกสารประกอบการบรรยาย Soil Mechanics วสท.)

รูปที่ 10.2 แสดงวิธีการทดสอบหาขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit)

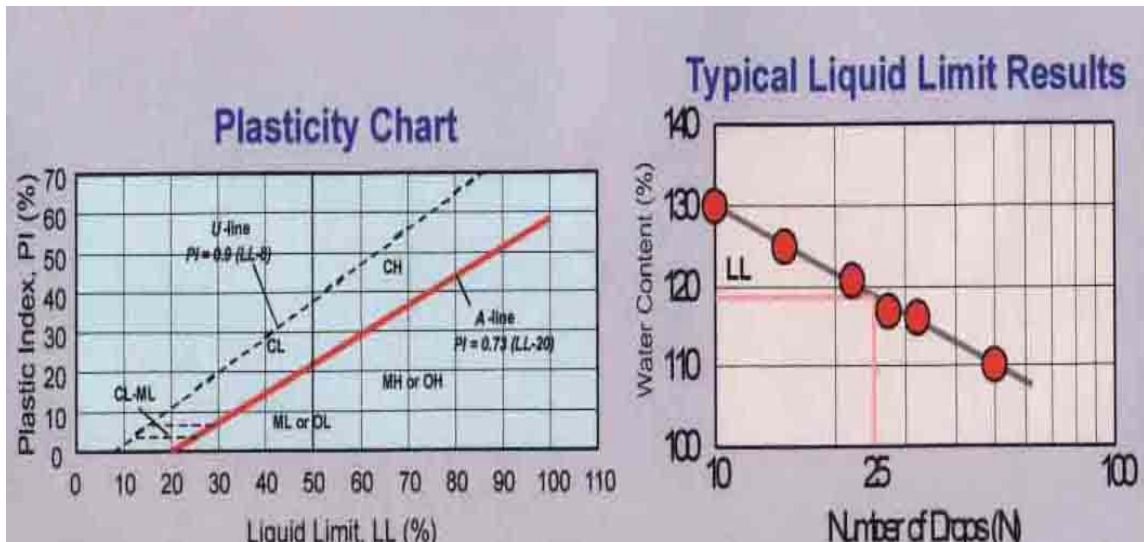
10.3.2 ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit; P.L.)

การหา Plastic Limit (P.L.) ทำโดยนำดินขึ้นมากลึงด้วยฝ่ามือบนแผ่นกระจก จนเป็นเส้นด้าย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) แล้วเริ่มเกิดรอยร้าว ปริมาณความชื้นที่จุดนั้น คือ Plastic Limit ของดิน



(ที่มา: SeahTian Ho, เอกสารประกอบการบรรยาย Soil Mechanics วสท.)

รูปที่ 10.3 แสดงวิธีการทดสอบหาขีดพลาสติก (Plastic Limit)



(ที่มา: SeahTian Ho, เอกสารประกอบการบรรยาย Soil Mechanics วสท.)

รูปที่ 10.4 แสดง Plasticity Chart และการหา Liquid Limit

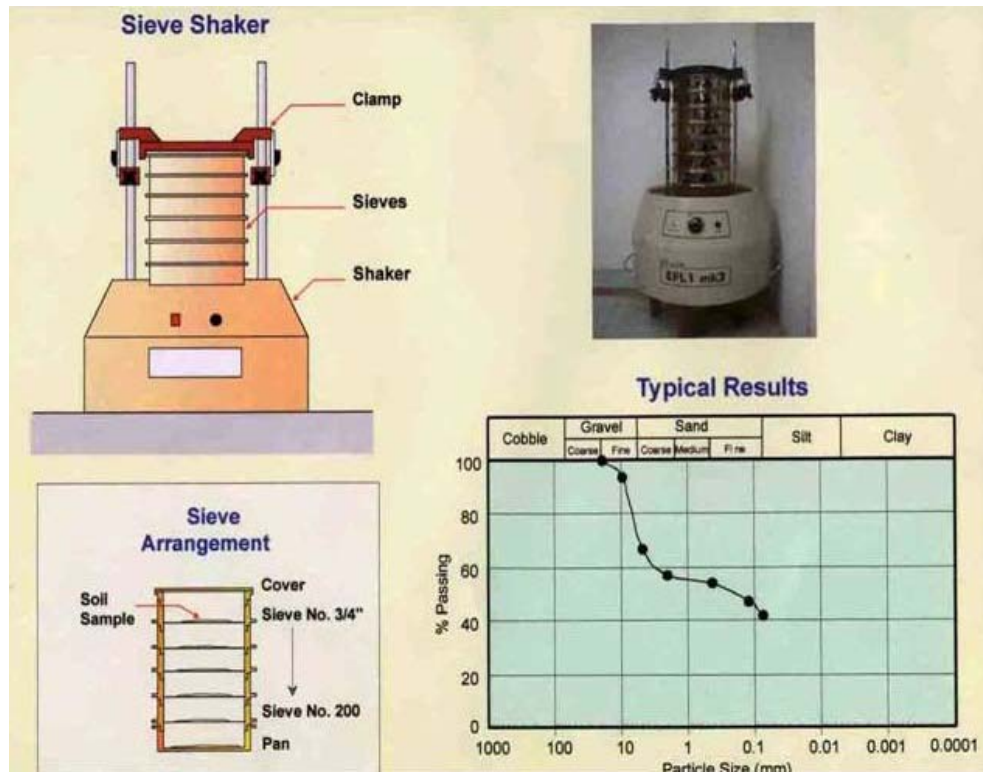
10.3.3 Shrinkage Limit (S.L.)

ทำโดยนำดินมาผสมน้ำจนอยู่ในสภาพเป็นพลาสติกจากนั้นทำเป็นก้อนทรงกลมแบน ซึ่งหาน้ำหนักของมวลดิน และวัดปริมาตรในบรอตแล้ว จึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วชั่งน้ำหนัก วัดปริมาตรอีกครั้ง จะเห็นว่าดินเปลี่ยนจากสภาพพลาสติกเป็นสภาพแห้งนั้น จะต้องผ่าน Shrinkage Limit เสียก่อน โดยที่หากมีการสูญเสียความชื้นอีกหลังจาก Shrinkage Limit แล้วปริมาตรดินก็ไม่ลดลง

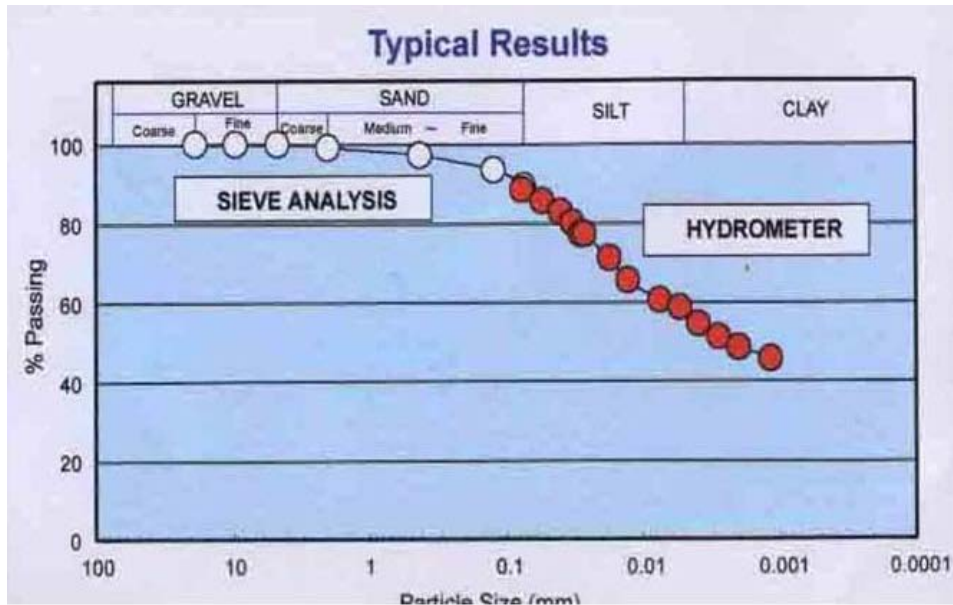
10.4 การทดสอบ Grain Size Analysis (ASTM D 422)

เป็นการทดสอบหาขนาดเม็ดของดิน และการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Distribution) เพื่อประโยชน์ในการจำแนกดิน (Soil Classification) และเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของดิน การทดสอบสามารถแบ่งเป็น 2 วิธี ขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดิน ได้แก่

10.4.1 สำหรับดินที่มีเม็ดดินหยาบ การทดสอบทำโดยวิธีร่อนด้วยตะแกรง (Sieve Analysis หรือ Mechanical analysis) ทำโดยนำดินที่ต้องการหาขนาดใส่ลงในตะแกรงมาตรฐานแล้วเขย่า ตะแกรงที่ใช้ร่อนมีหลายขนาด ตั้งแต่เบอร์ 4 (ขนาด 4.75 มม.) ถึง เบอร์ 200 (ขนาด 0.075 มม.) โดยเรียงตั้งแต่ขนาดใหญ่ไปจนถึงขนาดเล็กสุด เมื่อร่อนและนำมาชั่งก็จะคำนวณหาส่วนที่ค้างหรือผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ เป็นเปอร์เซ็นต์ กับน้ำหนักทั้งหมด



เมื่อนำผลทดสอบเพื่อหาขนาดของเม็ดดินทั้งดินเม็ดหยาบที่ได้จากการร่อนด้วยตะแกรง และดินเม็ดละเอียดที่ได้จากวิธีตกตะกอน มาเขียนเส้นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเม็ดดินกับจำนวนเปอร์เซ็นต์ของดินที่มีขนาดเล็กกว่าโดยน้ำหนัก (%fine) ในกระดาษ semi-log ก็จะได้เส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน



(ที่มา: SeahTian Ho, เอกสารประกอบการบรรยาย Soil Mechanics วสท.)

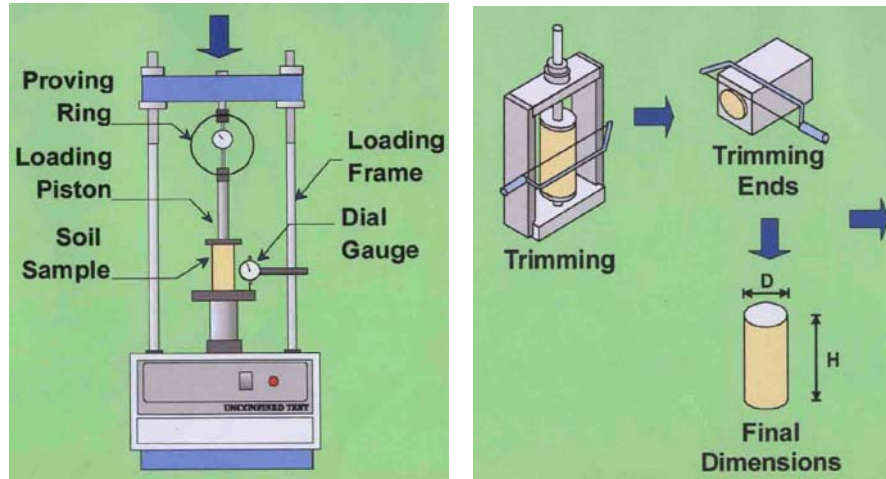
รูปที่ 10.7 แสดงตัวอย่างผลการกระจายตัวของเม็ดดินจากการทดสอบ Sieve Analysis และ Hydrometer

10.5 การทดสอบ Specific Gravity (ASTM D 854)

เป็นการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน ซึ่งดินส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ดินแต่ละที่ก็มีแร่ธาตุต่างกันไป เป็นผลทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะแตกต่างกัน ค่าความถ่วงจำเพาะของดินเป็นข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าสถานะความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของดิน เช่น ความพรุน (Porosity) อัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) ความอิ่มตัวของน้ำ (Saturation) ความหนาแน่นของดิน (Density) และยังสามารถนำค่าความถ่วงจำเพาะของดินไปคำนวณการตกตะกอนของเม็ดดินในการทดสอบไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis)

10.6 การทดสอบ Unconfined Compression Test (ASTM D 2166)

เป็นการทดสอบวัดหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวแบบไม่ระบายน้ำ เป็นวิธีการทดสอบที่นิยมใช้กันมาก สะดวก และรวดเร็ว โดยการเตรียมตัวอย่างดินให้มีขนาดความสูงเป็น 2 เท่า ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง แล้วนำไปกดในเครื่องทดสอบ โดยขณะที่ทำการทดสอบ จะไม่มีแรงดันทางข้างมากระทำ ($\sigma_3 = 0$ มีแต่แรงในแนวตั้งเท่านั้น) เมื่อค่าของแรงที่กระทำต่อตัวอย่างดิน ซึ่งอ่านค่าจากมาตรวัดของวงแหวนวัดแรง (Proving ring) เพิ่มขึ้นไปสูงสุดแล้วจะลดลง แสดงว่าถึงค่าสูงสุดของกำลังของดินแล้ว เนื่องจากการทดสอบนี้จะทำแบบเร็ว และน้ำยังไม่มีโอกาสระบายออกไปได้ จึงเป็นการ Undrained ซึ่งปกติถือว่าเป็นดินที่มีสถานะอิ่มตัว และค่ามุมเสียดทานภายในถูกสมมติว่าเป็นศูนย์ ดังนั้น ค่ากำลังต้านทานต่อแรงเฉือนของดินจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงกดสูงสุด

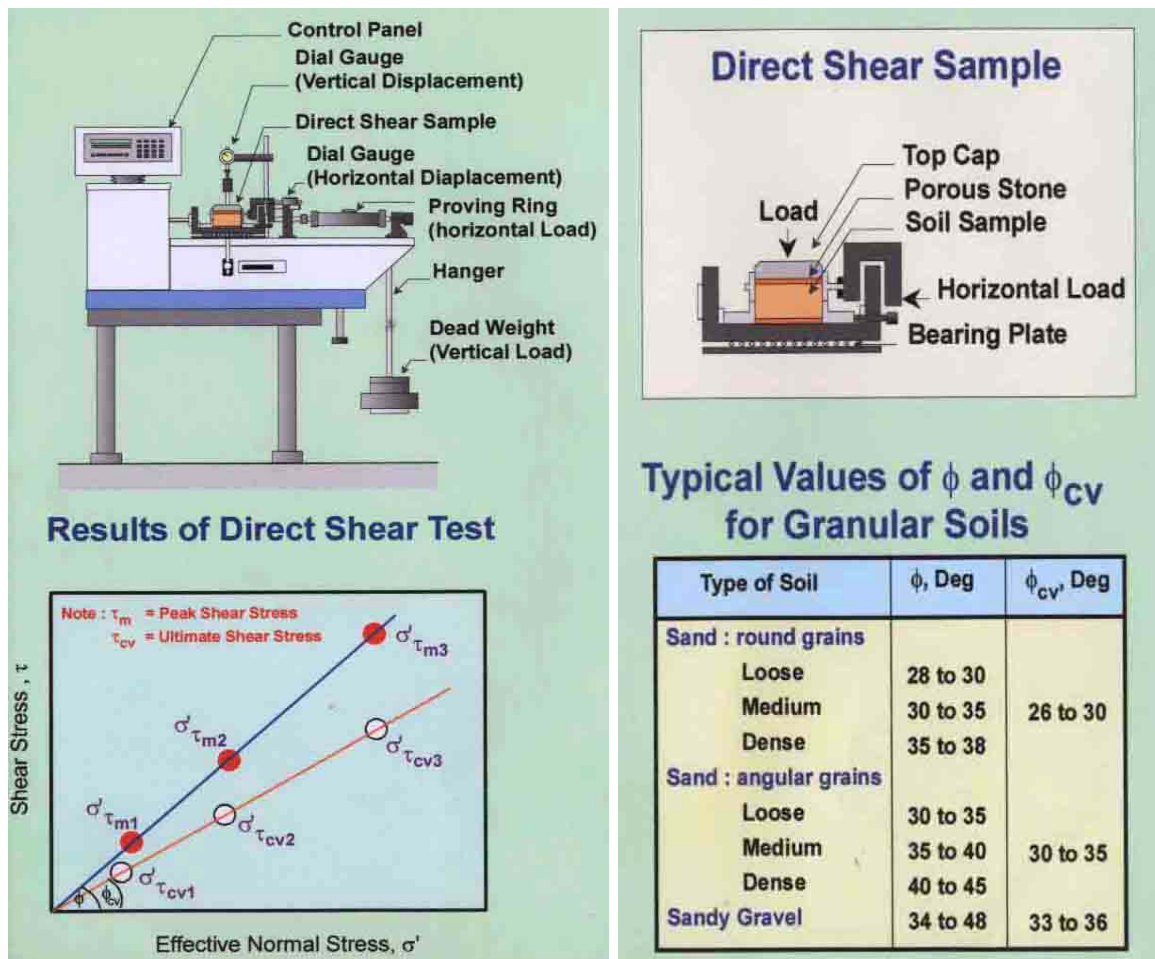


(ที่มา: SeahTian Ho, เอกสารประกอบการบรรยาย Soil Mechanics วสท.)

รูปที่ 10.8 เครื่องมือทดสอบ Unconfined Compression Test และการเตรียมตัวอย่าง

10.7 การทดสอบ Direct Shear Test (ASTM D 3080)

เป็นการทดสอบวัดหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินซึ่งสามารถใช้ทดสอบได้ทั้งดินเหนียวและดินทราย ปัจจุบันนิยมทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่เป็นดินทราย หรือทรายปนดิน โดยนำตัวอย่างทรายมาเตรียมในกล่องทดสอบ (Shear Box) ให้ได้ความหนาแน่นตามต้องการแล้วจึงนำไปทดสอบ Direct Shear



(ที่มา: SeahTian Ho, เอกสารประกอบการบรรยาย Soil Mechanics วสท.)

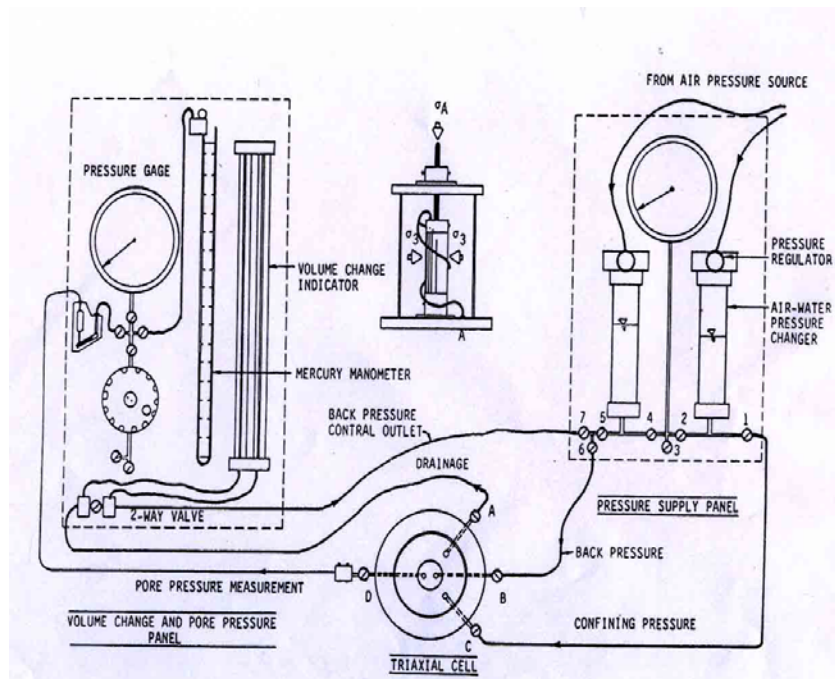
รูปที่ 10.9 เครื่องมือทดสอบและการเตรียมตัวอย่าง Direct Shear

10.8 การทดสอบแบบแรงอัดสามแกน (Triaxial Test; ASTM D 2850, D 4767)

เป็นวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ถือว่า มีสภาพใกล้เคียงความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในชั้นดินธรรมชาติมากที่สุด ทั้งนี้ เพราะความดันโดยรอบ (Confining Pressure) สามารถถูกควบคุมให้เหมาะสมตามสภาพธรรมชาติได้ และในระหว่างทำการทดสอบ ความดันน้ำในตัวอย่างดินหรือปริมาตรน้ำที่ไหลเข้าหรือออกจากตัวอย่างดินสามารถทำได้โดยละเอียด ดังนั้น การทดสอบนั้นนอกจากจะใช้ในการหาค่ากำลังของดินแล้ว ยังอาจประยุกต์ใช้ในการหาค่าการทรุดตัวของชั้นดิน และหาค่าความชื้นน้ำโดยละเอียดได้อีกด้วย



รูปที่ 10.10 เครื่องมือทดสอบ Triaxial Test



(ที่มา: ผศ.มานะ อภิพัฒน์มนตรี, 2538)

รูปที่ 10.11 แผนผังเครื่องมือทดสอบ Triaxial Test

การทดสอบหาแรงเฉือนของดินแบบแรงอัดสามแกนนี้ สามารถทำได้ทั้ง Drained และ Undrained Condition การเลือกทดสอบแบบไหนขึ้นอยู่กับสภาพบริเวณสถานที่ที่จะก่อสร้าง และลักษณะประเภทของงาน โดยทั่วไปทำได้ 3 แบบ คือ

1) Unconsolidated Undrained Test วิธีนี้ ไม่ยอมให้น้ำไหลออกจากตัวอย่างระหว่างการทดสอบ จึงไม่ต้องใช้เวลาในการระบายน้ำ และใช้เวลาในการทดสอบเร็วมาก บางครั้งเรียก Quick Test การทดสอบแบบนี้ใช้ในการวิเคราะห์แบบ Total Stress และในกรณีที่ต้องการหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินแบบ Short Term เช่น การขุดชั่วคราว หรือขณะทำการก่อสร้าง และสำหรับหาความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานรากระยะสั้น

2) Consolidated Drained Test วิธีนี้ยอมให้น้ำไหลออกจากตัวอย่างได้ในระหว่างการทดสอบ จะต้องเพิ่มแรงกดอย่างช้า ๆ เพื่อให้เวลาในการระบายน้ำ บางครั้งเรียก Slow Test การทดสอบแบบนี้ใช้ในการวิเคราะห์หน่วยแรงแบบ Effective stress เพราะยอมให้แรงดันน้ำในช่องว่างทั้งหมดระบายไปได้ และใช้กรณีต้องการหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินแบบ Long Term เช่น การตัดทาง และกรณีหลังจากก่อสร้างเสร็จแล้ว

3) Consolidation Undrained Test วิธีนี้ยอมให้น้ำไหลออกจากตัวอย่างได้ในขณะยุบอัดตัว ภายใต้แรงดันในทรงกระบอก (แรงดันด้านข้าง) แต่ไม่ยอมให้น้ำไหลออกจากตัวอย่างในขณะเพิ่มแรงกด (Shear) อย่างเร็ว ซึ่งแรงดันน้ำในดินจะเปลี่ยนไป วัดค่าแรงดันน้ำในช่วงทำการทดสอบแบบ Undrained ดังนั้น อาจใช้ในการวิเคราะห์แบบหน่วยแรงประสิทธิผล ผลการทดสอบแบบ Consolidated Undrained โดยวัดค่าแรงดันน้ำในช่องว่างนี้จะใกล้เคียงกับการทดสอบแบบ Drained แต่ทำได้เร็วกว่ามาก

10.9 การไหลซึมของน้ำในดิน (ASTM D 2434-68)

ความซึมได้ของน้ำในดิน (Permeability) หมายถึง การไหลของน้ำในช่องว่างมวลดินที่มีความดันหรือระดับต่างกันระหว่างจุด 2 จุดที่ต่อเนื่องกัน การที่น้ำจะไหลซึมผ่านได้เร็วหรือช้าขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ปริมาณการไหลและอัตราการไหลของน้ำขึ้นอยู่กับสมบัติด้านการซึมของดิน ซึ่งได้แก่ สัมประสิทธิ์ความซึมได้ (Coefficient of Permeability, k)

ในดินเม็ดหยาบ เช่น กรวด และ หิน จะยอมให้น้ำไหลซึมผ่านได้เร็ว เป็นดินที่น้ำไหลซึมผ่านได้ง่าย ค่า k จะสูง ส่วนดินเหนียว และซิลต์ เป็นดินที่ยอมให้น้ำไหลซึมผ่านไปได้ช้า ค่า k จะต่ำ หรือเรียกอีกอย่างว่าเป็นดินที่น้ำสามารถไหลซึมผ่านได้ยาก (Impervious soil)

สมมติฐานในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ (Coefficient of Permeability, k) มีดังนี้

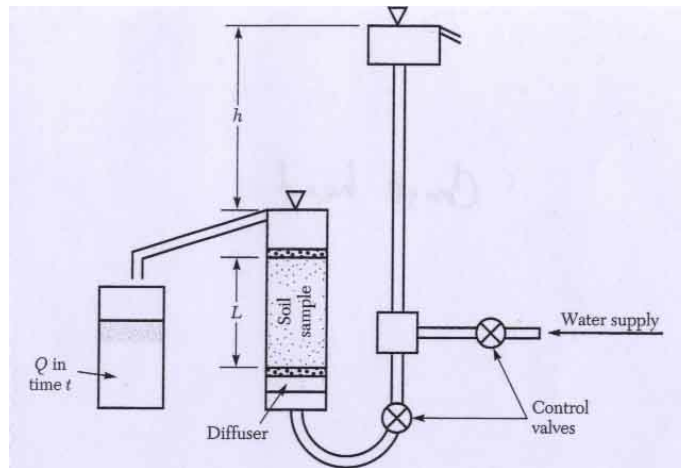
- ใช้ Darcy's Law: $v = k \cdot i$ ในการคำนวณ
- เมื่อ $v =$ อัตราเร็วของการไหลของน้ำ
- $i =$ ความชันชลศาสตร์
- การไหลเป็นแบบราบเรียบ (Laminar Flow)
- ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Soil)

การหาค่า k สามารถทำได้ทั้งในสนาม และห้องปฏิบัติการในแต่ละวิธีก็มีความเหมาะสมกับสภาพดินและเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงวิธีการทดสอบหาค่า k ในห้องปฏิบัติการ 2 วิธี โดยสังเขปคือ

1) แบบความดันน้ำคงที่ (Constant Head) วิธีนี้เหมาะสำหรับดินเม็ดหยาบ หลักการประกอบด้วยเครื่องมือที่จะทำให้เสดทั้งหมดที่แตกต่างกันระหว่างจุดน้ำเข้า และจุดที่น้ำออกเท่ากันตลอดเวลาการไหลอยู่ในสภาพคงตัวตลอด และดินอิ่มตัวด้วยน้ำในระหว่างที่ทำการทดสอบ ในการทดสอบทำโดยปล่อยน้ำที่มีความดันคงที่ให้ไหลผ่านตัวอย่างดินที่อยู่ในหลอดใส่ตัวอย่างพื้นที่หน้าตัด (A) แล้ววัดปริมาณน้ำ Q ที่ไหลผ่านตัวอย่างดิน

ในช่วงเวลา t จากนั้นอ่านค่าเฮดที่แตกต่างกัน (h) ในช่วงความยาวของการไหลซึม L จะสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินได้

$$K = Q.L/(A.h.t)$$



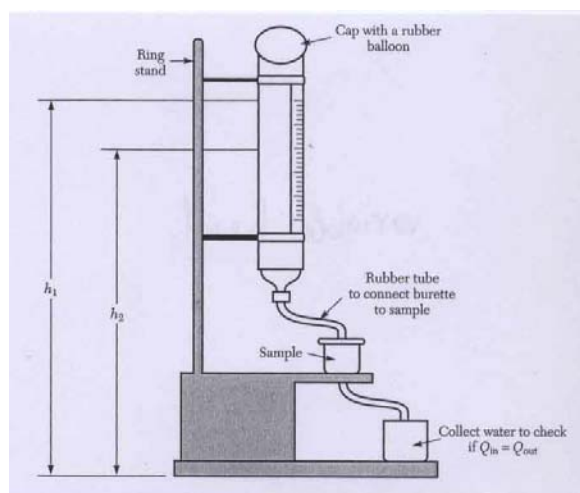
(ที่มา: Al-Khafaji&Andersland, 1992)

รูปที่ 10.12 การทดสอบแบบ Constant Head

2) แบบความดันน้ำเปลี่ยน (Variable Head หรือ Falling Head) วิธีนี้เหมาะสำหรับดินที่มีเม็ดละเอียด หลักการคือ การไหลของน้ำในหลอดแก้วจะต้องเป็นแบบคงตัวถึงแม้ว่า head ทั้งหมดที่แตกต่างกันในดินระหว่างจุดที่น้ำเข้าและออกจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ดินที่ทดสอบยังคงต้องอิ่มตัวด้วยน้ำ อาจประกอบด้วยดินเม็ดละเอียดบ้างแต่ไม่ควรมากเกินไปจนน้ำไม่ไหล หรือน้อยเกินไปจนอ่านการเปลี่ยนแปลงเฮดไม่ทัน

ระหว่างทดสอบจะวัดปริมาณน้ำ Q ในช่วงเวลาเมื่อทราบพื้นที่หลอดแก้วที่ระดับน้ำลดลง (a) พื้นที่หน้าตัดของดิน (A) และความหนาของตัวอย่าง (L) จะสามารถคำนวณหาค่า k ได้

$$k = 2.3 a.L/(A.t). \log (h_1/h_2)$$

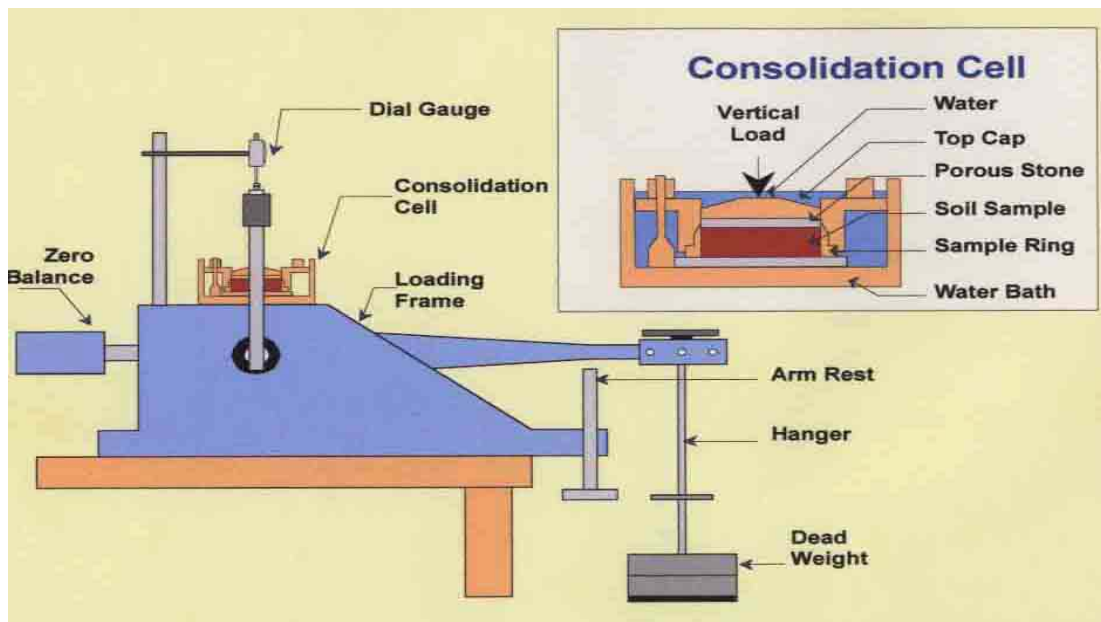


(ที่มา: Al-Khafaji&Andersland, 1992)

รูปที่ 10.13 การทดสอบแบบ Variable Head

10.10 การทดสอบการยุบอัดตัวของดิน (consolidation Test; ASTM D 2435-65)

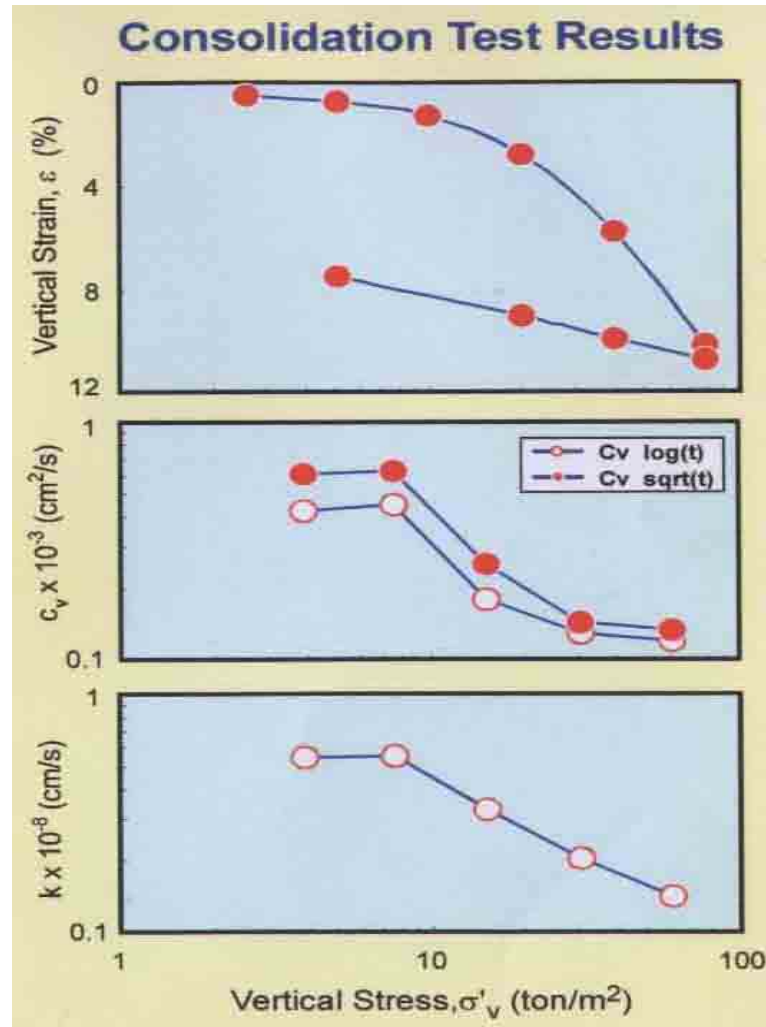
ทำโดยใช้เครื่อง Oedometer โดยบรรจุตัวอย่างดินในวงแหวนเตรียมตัวอย่าง ดินตัวอย่างอยู่ในสภาพอิ่มตัวตลอดเวลา วัดการยุบตัวเมื่อขึ้นน้ำหนัก ในช่วงเวลาต่าง ๆ จากมาตรวัด (Dial gauge) จนกว่าการยุบตัวจะมีค่าคงที่สำหรับน้ำหนักกดันนั้น ๆ หรือใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักกดันขึ้นอีกจำนวนหนึ่งเป็น 2 เท่าของน้ำหนักกดันที่กระทำอยู่ก่อน แล้ววัดการยุบตัวเช่นเดียวกัน จนกระทั่งได้น้ำหนักกดันครอบคลุมถึงน้ำหนักกระทำที่ต้องการ จากนั้นทำการลดน้ำหนักกดันลงจำนวนหนึ่ง วัดการขยายตัวหรือบวมตัวของดินต่อไปลดน้ำหนักกดันอีก แล้ววัดเช่นเดิม จนกระทั่งดินไม่บวมตัวอีก แล้วจึงนำดินตัวอย่างออก ชั่งหาน้ำหนักและปริมาณน้ำในดิน แล้วนำผลทดสอบไปเขียนกราฟ คำนวณหาค่าต่าง ๆ



(ที่มา: SeahTian Ho, เอกสารประกอบการบรรยาย Soil Mechanics วสท.)

รูปที่ 10.14 เครื่องมือทดสอบ Consolidation และการเตรียมตัวอย่าง

ผลที่ได้จากการทดลองในขั้นต้น จะประกอบด้วย ข้อมูลการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักต่าง ๆ กัน และข้อมูลความหนาแน่น และความชื้นก่อน/หลังการทดสอบ ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่าง ๆ เกี่ยวกับการยุบอัดตัวของดิน เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวเชิงปริมาตร (m_v), Compression Index (C_c), Compression Ratio (CR), Recompression Ratio (RR) และ Maximum Past Pressure (σ'_{vm}) เป็นต้น



(ที่มา: SeahTian Ho, เอกสารประกอบการบรรยาย Soil Mechanics วสท.)

รูปที่ 10.15 ตัวอย่างผลการทดสอบ Consolidation

สำหรับรายละเอียดในการทดสอบแต่ละประเภท สามารถดูได้จากคู่มือการทดสอบของกรมโยธาธิการและผังเมือง พ.ศ. 2557

บทที่ 11

การแปลผลข้อมูลดิน

ข้อมูลดินที่ได้จากการทดสอบทั้งในสนาม และการทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการจะถูกนำมา รวบรวมสรุปไว้ในตารางสำหรับการรายงานผล เพื่อการวิเคราะห์คำนวณต่อไป ซึ่งโดยทั่วไปนิยมแสดงผล การทดสอบเป็น 2 ส่วน คือ

11.1 ตารางสรุปผลการทดสอบตัวอย่างดิน (Summary of Test Results)

เป็นตารางที่รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแต่ละตัวอย่าง เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติด้านวิศวกรรม โดยข้อมูลแต่ละช่องมีความหมายดังนี้

- ช่องที่ 1 แสดงรายละเอียดและข้อมูลทั่วไปของหลุมเจาะ ได้แก่ ชื่อโครงการสถานที่ตั้งโครงการ เลขที่หลุมเจาะ ค่าระดับปากหลุมเจาะระดับน้ำใต้ดินในหลุมเจาะวันเดือนปีที่ทำการทดสอบเจ้าหน้าที่ทดสอบเจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล เจ้าหน้าที่ตรวจสอบผลและหมายเลขทะเบียนทดสอบ
- ช่องที่ 2 (Depth) แสดงค่าความลึกของดินที่เก็บตัวอย่างในแต่ละช่วง
- ช่องที่ 3 (Sample Type) แสดงวิธีการเก็บตัวอย่างดินและหมายเลขตัวอย่าง เช่น ST 3 หมายถึง ใช้กระบอกบางเก็บตัวอย่าง (Shelby Tube Sampling) ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างแบบ คงสภาพและตัวอย่างดินดังกล่าวเป็นดินตัวอย่างที่ 3 ของหลุมเจาะ หรือ SS 8 หมายถึง เก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่า (Split Spoon Sampling) เป็นตัวอย่างดินชนิดไม่คงสภาพ และเป็นดินตัวอย่างที่ 8 ของหลุมเจาะ เป็นต้น
- ช่องที่ 4 (Group Symbol) แสดงชื่อหรือชนิดของดินที่จำแนกได้ตามระเบียบวิธีของ Unified Soil Classification System (USCS) เช่น
- OL – ML หมายถึง ตะกอนทรายอินทรีย์และดินเหนียวปนตะกอนทรายอินทรีย์ มีความเหนียวต่ำ หรืออาจเป็นตะกอนทรายอินทรีย์และทรายละเอียดมากหืนฝุ่น ทรายละเอียดปนตะกอนทรายหรือดินเหนียว มีความเหนียวเล็กน้อย
 - CL หมายถึง ดินเหนียวอินทรีย์ มีความเหนียวต่ำถึงปานกลาง ดินเหนียวปน ตะกอนทราย
 - SM หมายถึง ทรายมีตะกอนทรายปน
- ช่องที่ 5 (Atterberg's Limits) แสดงค่าพิกัดอัตราโบร์ก ซึ่งประกอบด้วยค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limits, LL) ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL) และค่าดัชนีพลาสติก (Plastic Index, PI)
- ช่องที่ 6 (Moisture Content, MC) แสดงค่าปริมาณความชื้นของมวลดินตามธรรมชาติ
- ช่องที่ 7 (Unconfined Compressive Test, Q_u) แสดงค่ากำลังของดินที่ได้จากการทดสอบ Unconfined Compressive Strength (Q_u)

ช่องที่ 8 (Pocket Penetrometer Test , UP) แสดงค่ากำลังของดินเทียบเคียง Unconfined Compressive Strength (Q_p) จากการทดสอบตัวอย่างดินโดยใช้ Pocket Penetrometer

ช่องที่ 9 (Unit Weight) แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของดิน(Bulk Unit Weight, γ_t)

ช่องที่ 10 (SPT) แสดงค่า Standard Penetration Test (SPT) ที่ได้จากการจذبันที่กร่วมกับการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่า โดยใช้ผลรวมระยะ 30 เซนติเมตร สุดท้าย มีหน่วยเป็นจำนวนครั้งของการตอกต่อฟุต (blows/foot)

ช่องที่ 11 (Vane Shear Strength) แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบแบบ Vane Shear Test ซึ่งควรต้องระบุให้ชัดเจนอีกครั้งว่าเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างดินด้วยเครื่องมือ Torvane Shear Device หรือเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินในสนาม (In-Situ Vane Shear test)

ช่องที่ 12 (Direct Shear Test) แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบ Direct Shear Test ซึ่งประกอบด้วย ค่าความเชื่อมแน่น C (Cohesion) และค่ามุมเสียดทานภายใน ϕ (Angle of Internal Friction)

ช่องที่ 13 (Grain Size Analysis) แสดงค่าปริมาณของดินที่ผ่านการทดสอบร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) เบอร์ 4 และเบอร์ 200

โครงการระบบป้องกันน้ำท่วมพื้นที่ชุมชนเมือง						กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ						บพ.ส. 1249									
สถานที่ อ.เมือง จ.พิษณุโลก						กรมโยธาธิการและผังเมือง						ทะเบียนทดสอบเลขที่ 54-001-53			แผ่นที่ ๑/๑						
วันที่ทดสอบ ตุลาคม ๒๕๕๔						SUMMARY OF TEST RESULTS						เจ้าหน้าที่ทดสอบ นายอัศวิน คมแท้									
หลุมเจาะที่ 1												เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล นางพิชยา ทวีเลิศ									
ระดับปากหลุม 98.831 เมตร ①												เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ นางพิชยา ทวีเลิศ									
						ระดับน้ำใต้ดิน -3.50			เมตรจากผิวดิน												
DEPTH (m.)		SAMPLE TYPE	GROUP SYMBOL	ATTERBERG'S LIMITS (%)			MC. %	UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH ksc.		POCKET PENETROMETER TEST ksc.		UNIT WEIGHT t/m. ³	SPT blows/ft.	☐ TORVANE SHEAR TEST ksc.			DIRECT SHEAR TEST ksc.		GRAIN SIZE ANALYSIS (%) Finer		
FORM TO		No. ②	④	LL.	PL	PI.	⑥	Q _u	Q _u /2	UP	UP/2	γ _t	N _{value}	PS.	RS.	ST.	C (ksc.)	φ (°)	No. 4	No. 200	
0.00 1.50		PA-⑤			⑤		⑥	⑦		⑧		⑨	⑩		⑪			⑫		⑬	
1.50 2.00		ST- 1	CL	38.29	20.48	17.81	45.46	-	-	0.25	0.13	1.77		0.05					94.33	78.29	
3.00 3.50		ST- 2																			
4.50 5.00		ST- 3	OH or MH	54.26	31.09	23.17	98.18	0.10	0.05	0.25	0.13	1.34		0.03					100.00	99.74	
6.00 6.50		ST- 4																			
7.50 8.00		ST- 5	OL or ML	49.13	30.24	18.89	54.84	0.19	0.10	0.25	0.13	1.52		0.05					100.00	96.92	
9.00 9.50		ST- 6																			
10.50 11.00		ST- 7	OL or ML	32.08	23.82	8.26	48.74	0.45	0.23	0.50	0.25	1.71		0.22					99.36	87.38	
12.00 12.45		SS- 8	SC	34.15	20.67	13.48	11.80	2.18	1.09	4.50	2.25	2.16	48						74.44	33.95	
13.50 13.95		SS- 9	CL	32.91	17.44	15.47	20.92	2.89	1.45	4.50	2.25	2.00	39						97.96	89.21	
15.00 15.45		SS- 10	CL	36.44	19.87	16.57	20.78	3.00	1.50	4.50	2.25	1.98	42						94.26	86.30	
16.50 16.95		SS- 11	CL	38.16	15.47	22.69	19.38	4.31	2.16	4.50	2.25	2.04	45						95.38	86.88	
18.00 18.45		SS- 12	CL	27.15	16.66	10.49	16.91	-	-	4.50	2.25	2.13	46						99.60	78.02	
END OF BORING																					

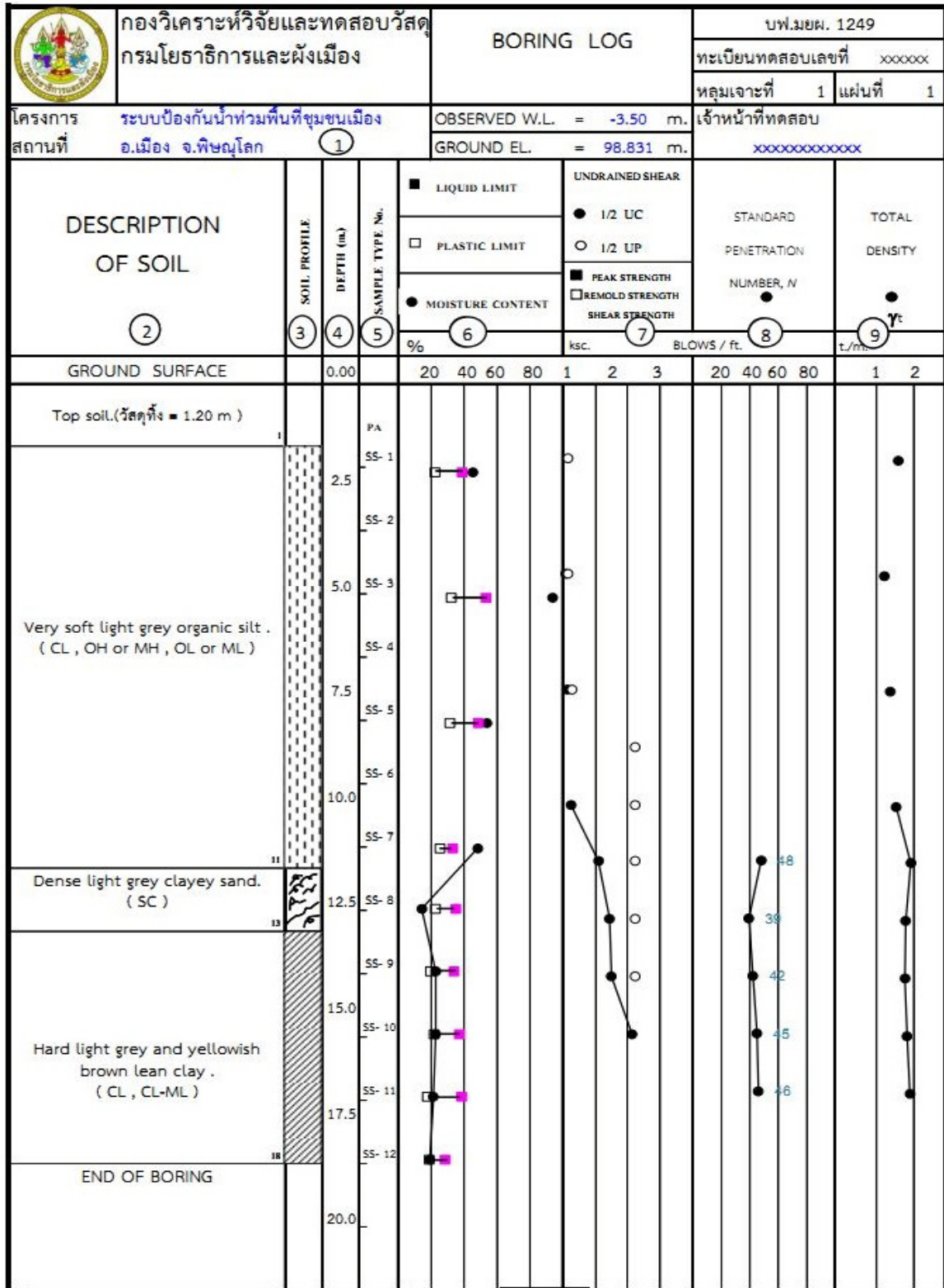
(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

รูปที่ 11.1 ตัวอย่าง Summary of Test Results

11.2 Boring Log

คือ การแสดงรายละเอียดของข้อมูลดินที่ได้จากการเจาะสำรวจและการทดสอบตัวอย่างดินของหลุมเจาะ เพื่อความสะดวกในการมองเห็นภาพโดยรวมของการจัดเรียงตัวของดินเป็นชั้น ๆ เมื่อเทียบกับความลึก โดยจำแนกตามคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน เช่น สี ลักษณะของดิน consistency เป็นต้นดังรูปที่ 11.2 ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

- ช่องที่ 1 แสดงรายละเอียดทั่ว ๆ ไปของหลุมเจาะ และรายละเอียดของโครงการ เช่น ชื่อโครงการ สถานที่ตั้งโครงการ หมายเลขหลุมเจาะ ระดับปากหลุมเจาะ ระดับน้ำใต้ดิน เป็นต้น
- ช่องที่ 2 (Soil Description) แสดงลักษณะของชั้นดินที่ความลึกต่าง ๆ ว่าเป็นดินชนิดอะไร มีสี หรือสภาพความอ่อนแข็งอย่างไร เช่น Soft to Medium dark brown silty clay หมายถึง เป็นชั้นดินอ่อนถึงปานกลางสีน้ำตาลเข้มดินเหนียวปนซิลต์ เป็นต้น
- ช่องที่ 3 (Soil Profile) แสดงแถบสัญลักษณ์ของชั้นดิน ซึ่งจะมียูนิคเป็นลักษณะเฉพาะตัวตามชนิดของดิน
- ช่องที่ 4 (Depth) แสดงความลึกของชั้นดินที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินเริ่มจากระดับปากหลุมเจาะ จนถึงสิ้นสุดความลึกหลุมเจาะ
- ช่องที่ 5 (Sample Type No.) แสดงวิธีการเก็บตัวอย่างดิน และหมายเลขตัวอย่างที่เก็บว่าเป็น การเก็บตัวอย่างแบบ SS (Split Spoon Sampling) หรือ ST (Shelby Tube Sampling) หรือ PA (Power Auger) ซึ่งหมายถึง การใช้สว่านเจาะนำ เป็นต้น
- ช่องที่ 6 (LL, PL, Wn) แสดงความเป็นพลาสติกของดิน โดยแสดงค่าปริมาณความชื้นในดิน แต่ละชั้นตามระดับความลึก กับค่าขีดจำกัดเหลว และขีดจำกัดความเป็นพลาสติกของดิน
- ช่องที่ 7 (1/2UC, 1/2UP, Vane Shear Test) แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ ที่ระดับความลึกต่าง ๆ กัน สำหรับการทดสอบด้วยวิธี Unconfined Compressive Strength Pocket Penetrometer Test และ Vane Shear Test ตามลำดับ
- ช่องที่ 8 (Standard Penetration Test) แสดงค่า SPT ที่จุดบันทึกมีหน่วยเป็น blows/foot ซึ่งมักทำรวมกับการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่า
- ช่องที่ 9 (Total Density) แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของดินเปียกของตัวอย่างดินนั้น



(ที่มา: คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557)

รูปที่ 11.2 ตัวอย่าง Boring Log

บทที่ 12

ส่วนประกอบของรายงานการเจาะสำรวจชั้นดิน

ข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจชั้นดิน เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบดินในสนาม และห้องปฏิบัติการ ซึ่งนอกจากจะถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการออกแบบก่อสร้างฐานรากของงานถนน อาคาร สะพาน เขื่อน หรือ สาธารณูปโภคต่าง ๆ แล้ว ข้อมูลดินดังกล่าวยังถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อหาสาเหตุความเสียหายของสิ่งปลูกสร้างและแนวทางการแก้ไข หรือใช้ในการกำหนดขั้นตอนการก่อสร้างฐานราก รวมทั้งให้คำแนะนำหรือข้อควรระวังอีกด้วย

รายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดินจะใช้ประโยชน์ได้สูงสุดก็ต่อเมื่อผู้อ่านสามารถเข้าใจค่าต่าง ๆ ในรายงานได้อย่างครบถ้วน เพื่อสามารถนำค่าต่าง ๆ ไปใช้ได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม ต่อไป

ส่วนประกอบหลักของรายงานการเจาะสำรวจชั้นดินโดยทั่วไป ประกอบด้วย

- 1) ลักษณะภูมิประเทศและข้อมูลทั่วไปของโครงการ
- 2) ตำแหน่งหลุมเจาะ และระดับปากหลุม
- 3) ระดับน้ำใต้ดิน
- 4) ลักษณะชั้นดิน
- 5) การวิเคราะห์ทางวิศวกรรมปฐพีที่เกี่ยวข้อง เช่น การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของชั้นดินหรือเสาเข็ม เป็นต้น
- 6) สรุปผล และข้อเสนอแนะ
- 7) เอกสารแนบท้าย ซึ่งประกอบด้วย ภาพถ่าย และผังพื้นที่บริเวณที่ทำการเจาะสำรวจ ตารางสรุปผลการทดสอบดินจากห้องปฏิบัติการ (Summary of Test Results) Boring Log และผลการทดสอบอื่นเพิ่มเติม (ถ้ามี) เช่น ผลการตอกหยั่ง (Sounding Test) หรือมาตรฐานการทดสอบที่เกี่ยวข้องพอสังเขป เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างในรูป 12.1-12.7

รายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดิน
โครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำน้อย
พื้นที่ 3 หมู่ที่ 1 ตำบลถอนสมอ อำเภอบำเหน็จ จังหวัดสิงห์บุรี

1. ลักษณะพื้นที่ภูมิประเทศ และข้อมูลทั่วไป
 บริเวณที่ทำการเจาะสำรวจชั้นดิน เป็นบริเวณรอยต่อหมู่ที่ 1 กับหมู่ที่ 8 มีถนนเลียบริมแม่น้ำน้อย ทั้งสองฝั่งแม่น้ำ ผิวจราจรกว้าง 4.00 เมตร เป็นพื้นที่ชุมชน มีโรงเรียนท่าช้างและบ้านพักอาศัยปลูกสร้าง อยู่ริมถนน
 สำนักสนับสนุนและพัฒนาตามผังเมือง มีโครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำน้อย พื้นที่ 3 หมู่ที่ 1 ตำบลถอนสมอ เป็นระยะทางยาวรวม 100 เมตร จึงได้ขอความอนุเคราะห์ ให้กองวิเคราะห์วิจัย และทดสอบวัสดุ ดำเนินการเจาะสำรวจและทดสอบชั้นดิน เพื่อใช้ในการออกแบบฯ ต่อไป

(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)

รูปที่ 12.1 ตัวอย่างลักษณะภูมิประเทศ และข้อมูลทั่วไป

2. ตำแหน่งหลุมเจาะ และระดับปากหลุม

ได้ดำเนินการเจาะสำรวจชั้นดินจำนวน 1 หลุมเจาะ โดยมีรายละเอียดของตำแหน่งหลุมเจาะดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของตำแหน่งหลุมเจาะ

หลุม เจาะ	ระดับ ปากหลุม (เมตร)	ความลึกของ หลุมเจาะ (เมตร)	ตำแหน่งพิกัด หลุมเจาะ	บริเวณที่ทำการเจาะสำรวจชั้นดิน
1	99.155	21.45	N 14°45'34.8" E 100°23'53.7"	- บริเวณริมถนนหน้าบ้านเลขที่ 38/2 หมู่ 1

- หมายเหตุ**
- ระดับปากหลุมข้างต้นให้เปรียบเทียบกับระดับสมมุติฐาน (BM.) อยู่ที่หมายสีแดงบริเวณเสาไฟฟ้า โดยให้มีระดับเท่ากับ 100.00 เมตร
 - ตำแหน่งหลุมเจาะสามารถดูได้จากผังบริเวณโดยสังเขป

(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)

รูปที่ 12.2 แสดงข้อมูลตำแหน่งหลุมเจาะ ค่าระดับปากหลุม ระดับอ้างอิง ความลึกหลุมเจาะ

3. ระดับน้ำใต้ดิน

ขณะดำเนินการเจาะสำรวจชั้นดินในช่วงเดือนธันวาคม 2558 พบระดับน้ำใต้ดินในหลุมเจาะต่ำกว่าระดับปากหลุม 2.50 เมตร อย่างไรก็ตามระดับน้ำใต้ดิน ย่อมมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามฤดูกาล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับน้ำใน แม่น้ำน้อย ปริมาณฝน และความสามารถในการดูดซึมของดินเป็นต้น

(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)

รูปที่ 12.3 แสดงข้อมูลระดับน้ำที่พบขณะเจาะสำรวจ

4. ลักษณะชั้นดิน และคุณสมบัติทางปฐพีวิศวกรรม

จากผลการเจาะสำรวจชั้นดิน และผลการทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ สามารถจำแนกลักษณะชั้นดินตามระบบ Unified Soil Classification System ได้ดังนี้

4.1 บริเวณหลุมเจาะที่ 1

ชั้น Top soil มีความหนาประมาณ 1.50 เมตร

ชั้นดินที่ 1 เป็นชั้นดินที่อยู่ใต้ชั้น Top soil ถึงระดับความลึก 2.00 เมตรของหลุมเจาะ ลักษณะชั้นดินเป็นดินประเภท Stiff dark brown silty clay จัดอยู่ในกลุ่ม ML-CL

ชั้นดินที่ 2 เป็นชั้นดินที่อยู่ใต้ชั้นดินที่ 1 ถึงระดับความลึกที่ 7.00 เมตรของหลุมเจาะ ลักษณะชั้นดินเป็นดินประเภท Soft brown silty clay จัดอยู่ในกลุ่ม CL, OL-ML

(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)

รูปที่ 12.4 ตัวอย่างการบรรยายลักษณะชั้นดิน

5. การวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะชั้นดินริมตลิ่งแม่น้ำน้อย บริเวณพื้นที่ 3 หมู่ที่ 1 ตำบลถอนสมอ อำเภอกำแพง จังหวัดสิงห์บุรี สามารถทำการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มได้โดยใช้สมการดังนี้

$$Q_u = (C_a + K_s \cdot \sigma \cdot \tan \delta) A_s + (C_p \cdot N_c + q \cdot N_q) A_p$$

เมื่อ Q_u = Ultimate Load
 C_a = Adhesive Force
 K_s = Lateral Pressure Coefficient
 $\tan \delta$ = Coefficient of Friction
 A_s = Embedded Area
 σ = Overburden Pressure
 N_c & N_q = Bearing Capacity Factors
 A_p = Cross-sectional Area at Pile Tip
 C = Average Shear Strength
 C_p = Undrained Shear Strength at Pile Tip

ผลสรุปการคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกตลอดภัย ของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดต่างๆ ของโครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำน้อย มีรายละเอียดในตารางที่ 2

(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)

รูปที่ 12.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลดินที่เกี่ยวข้อง (การคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม)

ตารางที่ 2 ผลสรุปความสามารถในการรับน้ำหนักตลอดภัยของเสาเข็ม
 ก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำน้อย
 พื้นที่ 3 หมู่ที่ 1 ตำบลถอนสมอ อำเภอกำแพง จังหวัดสิงห์บุรี

Location	Pile Top Elev. (m.)	Pile Tip Elev. (m.)	Shape	สี่เหลี่ยมคี่					
			Size (m.)	0.35	0.40	0.45	0.30 * 0.50	0.30 * 0.60	0.35 * 0.55
			Peri. (m.)	1.40	1.60	1.80	1.60	1.80	1.80
			Area (m.2)	0.1225	0.1600	0.2025	0.1500	0.1800	0.1925
BH 1	+ 99.155	+ 84.155	f_u (ton/m.)	37.12	37.12	37.12	37.12	37.12	37.12
			Q_{end} (ton/m. ²)	107.64	107.64	107.64	107.64	107.64	107.64
			$Q_{ult.}$ (ton/pile)	65.16	76.62	88.62	75.54	86.20	87.54
			$Q_{all.}$ (ton/pile)	26.06	30.65	35.45	30.22	34.48	35.02
L=	15	m.	f_u (ton/m.)	41.91	41.91	41.91	41.91	41.91	41.91
			Q_{end} (ton/m. ²)	107.64	107.64	107.64	107.64	107.64	107.64
			$Q_{ult.}$ (ton/pile)	71.86	84.28	97.23	83.20	94.81	96.16
			$Q_{all.}$ (ton/pile)	28.74	33.71	38.89	33.28	37.92	38.46
	+ 99.155	+ 83.155	f_u (ton/m.)	41.91	41.91	41.91	41.91	41.91	41.91
			Q_{end} (ton/m. ²)	107.64	107.64	107.64	107.64	107.64	107.64
			$Q_{ult.}$ (ton/pile)	71.86	84.28	97.23	83.20	94.81	96.16
			$Q_{all.}$ (ton/pile)	28.74	33.71	38.89	33.28	37.92	38.46

หมายเหตุ 1. ระดับหัวเสาเข็มและปลายเสาเข็ม ให้เปรียบเทียบกับระดับสมมุติ ที่ได้กล่าวไว้ในตารางที่ 1
 2. ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกตลอดภัยของเสาเข็ม จะต้องไม่เกินความสามารถของคอนกรีตเสริมเหล็กที่จะรับได้
 3. ค่าส่วนปลอดภัยที่ใช้ในการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 2.50

(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)

รูปที่ 12.6 ตัวอย่างแสดงผลการวิเคราะห์การรับน้ำหนักของเสาเข็มขนาดต่าง ๆ

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของระบบฐานรากแบบเสาเข็มตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนี้ อาศัยข้อมูลจากการเจาะสำรวจดินในสนามและผลการทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการเป็นสำคัญ

แต่อย่างไรก็ตามลักษณะชั้นดินอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นควรต้องคำนึงถึงสภาพธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่จะทำการก่อสร้างให้มาก ซึ่งในการตอกเสาเข็มจะต้องมีการควบคุมและแนะนำขั้นตอนการตอกเสาเข็ม (Sequence of Piling) โดยวิศวกรฐานรากที่มีความชำนาญและประสบการณ์สูง เพื่อให้เป็นที่แน่ใจว่าปลายเสาเข็มได้ถูกตอกหยั่งจมลึกถึงระดับที่ถูกต้อง และ/หรือสามารถรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยได้ตามสูตรการควบคุมการตอกเสาเข็มของ Hiley หรือ Janbu

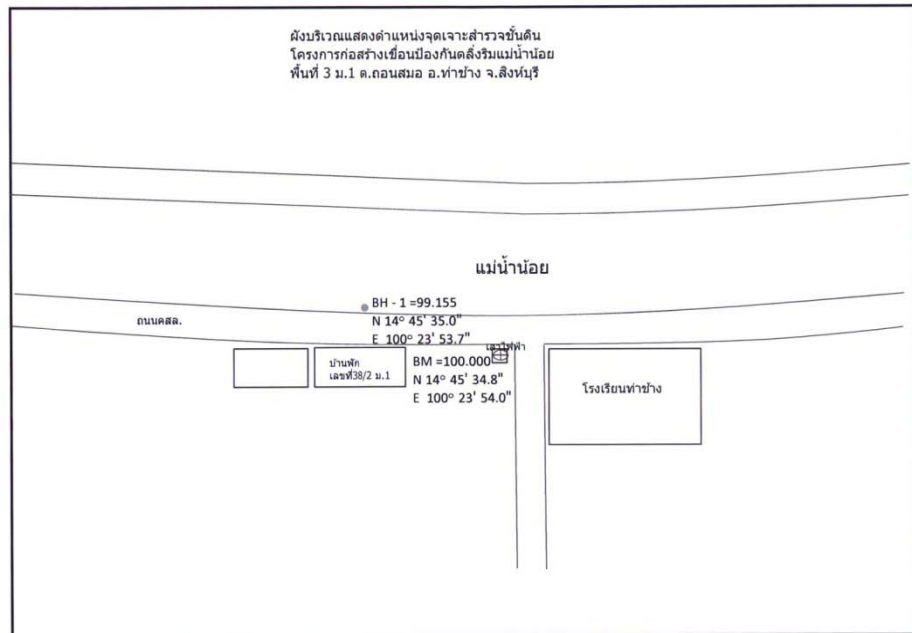
(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)

รูปที่ 12.7 ตัวอย่างการสรุปผลและข้อเสนอแนะ



(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)

รูปที่ 12.8 รูปแสดงตำแหน่งหลุม



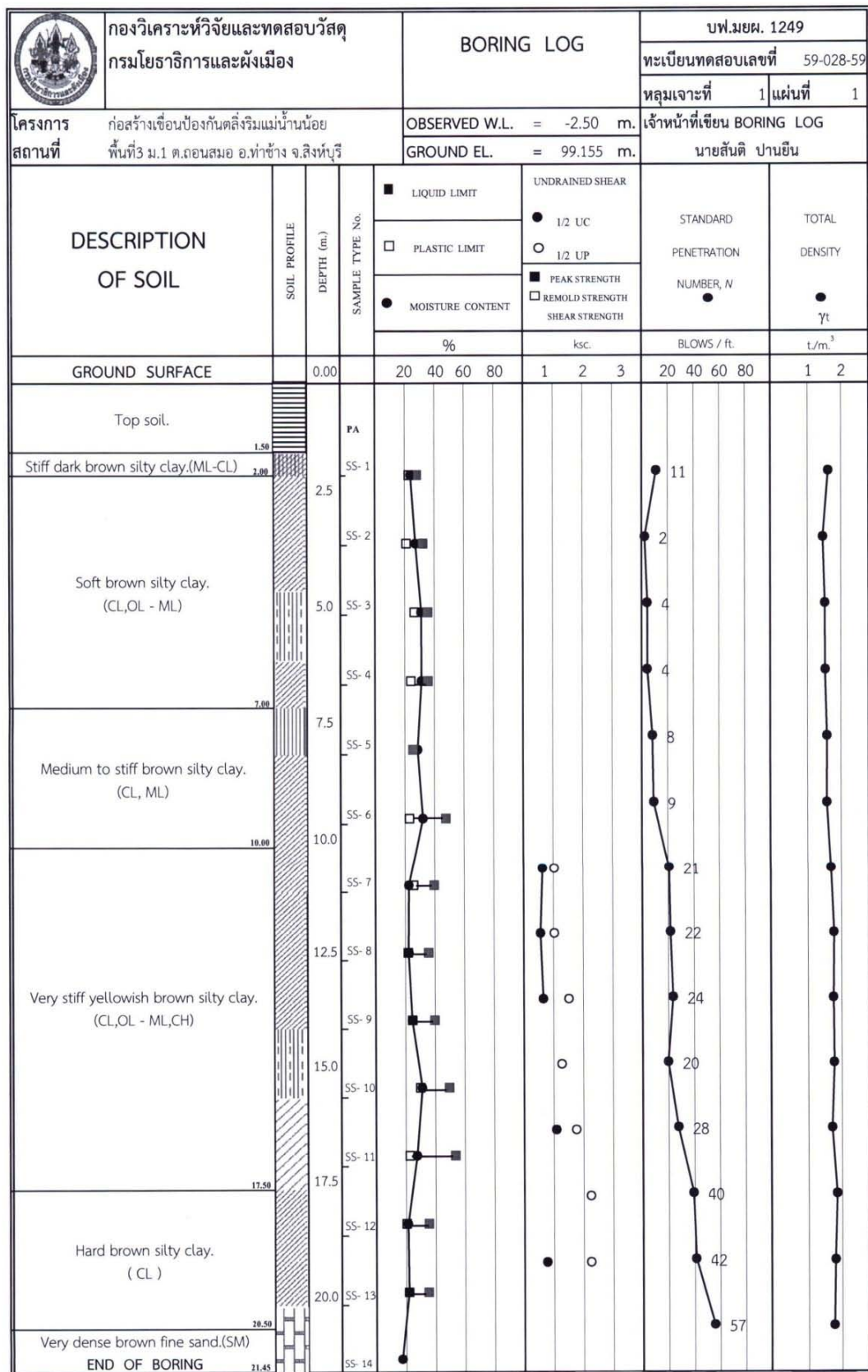
(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)

รูปที่ 12.9 แสดงผังบริเวณของตำแหน่งหลุมเจาะ

โครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำน้อย						 กองวิศวกรรมการทดสอบวัสดุ กรมโยธาธิการและผังเมือง SUMMARY OF TEST RESULTS						บพ.ส. 1249										
สถานที่ พื้นที่ 3 ม.1 ต.ดอนสมอ อ.ท่าช้าง จ.สิงห์บุรี												ทะเบียนทดสอบเลขที่ 59-028-59			แผ่นที่ ๑/๑							
วันที่ทดสอบ ธันวาคม ๒๕๕๘						ระดับน้ำใต้ดิน -2.50 เมตรจากผิวดิน						เจ้าหน้าที่ทดสอบ นายสันติ ปานอิน			เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล นายรัชพล วสุนธราภิวัฒนา							
หลุมเจาะที่ 1												เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ นางพิชชา ทวีเลิศ										
ระดับปากหลุม 99.155 เมตร																						
DEPTH (m.)		SAMPLE TYPE	GROUP SYMBOL	ATTERBERG'S LIMITS (%)			MC. %	UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH ksc.		POCKET PENETROMETER TEST ksc.		UNIT WEIGHT t/m ³	SPT blows/ft.	☐ TORVANE SHEAR TEST ksc.		DIRECT SHEAR TEST ksc.		GRAIN SIZE ANALYSIS (% Finer)				
FORM	TO	No.		LL.	PL.	PI.		Q _u	Q/2	UP	UP/2	γ _t	N _{value}	☐ IN SITU VANE SHEAR TEST ksc.		PS.	RS.	ST.	C (ksc.)	f (°)	No. 4	No. 200
0.00	1.50	PA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.79	11	-	-	-	-	-	-	-	100.00	89.66
1.50	1.95	SS-1	ML - CL	26.45	20.51	5.94	21.92	-	-	-	-	1.79	11	-	-	-	-	-	-	-	100.00	89.66
3.00	3.45	SS-2	CL	30.94	18.71	12.23	25.47	-	-	-	-	1.61	2	-	-	-	-	-	-	-	95.64	75.68
4.50	4.95	SS-3	OL - ML	34.40	24.58	9.82	29.64	-	-	-	-	1.68	4	-	-	-	-	-	-	-	100.00	97.86
6.00	6.45	SS-4	CL	34.62	22.03	12.59	29.87	-	-	-	-	1.69	4	-	-	-	-	-	-	-	100.00	95.08
7.50	7.95	SS-5	ML	23.53	NP	-	27.12	-	-	-	-	1.75	8	-	-	-	-	-	-	-	100.00	80.22
9.00	9.45	SS-6	CL	47.54	20.82	26.72	30.85	-	-	-	-	1.74	9	-	-	-	-	-	-	-	100.00	95.38
10.50	10.95	SS-7	CL	38.83	23.79	15.04	20.32	1.18	0.59	2.00	1.00	1.88	21	-	-	-	-	-	-	-	100.00	98.00
12.00	12.45	SS-8	CL	34.59	19.61	14.98	20.08	1.04	0.52	2.00	1.00	1.97	22	-	-	-	-	-	-	-	100.00	95.64
13.50	13.95	SS-9	CL	38.88	22.60	16.28	22.52	1.22	0.61	3.00	1.50	1.95	24	-	-	-	-	-	-	-	100.00	92.60
15.00	15.45	SS-10	OL - ML	49.46	28.46	21.00	29.64	-	-	2.50	1.25	1.97	20	-	-	-	-	-	-	-	100.00	97.28
16.50	16.95	SS-11	CH	53.90	20.62	33.28	25.80	2.11	1.06	3.50	1.75	1.90	28	-	-	-	-	-	-	-	100.00	97.46
18.00	18.45	SS-12	CL	34.30	17.94	16.36	18.95	-	-	4.50	2.25	2.06	40	-	-	-	-	-	-	-	100.00	92.00
19.50	19.95	SS-13	CL	34.01	19.59	14.42	19.61	1.45	0.73	4.50	2.25	2.00	42	-	-	-	-	-	-	-	100.00	81.22
21.00	21.45	SS-14	SM	-	NP	-	14.66	-	-	-	-	1.96	57	-	-	-	-	-	-	-	100.00	22.93
END OF BORING																						

(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)

รูปที่ 12.10 ตัวอย่างตารางสรุปข้อมูลดินที่ได้จากการทดสอบ(Summary of Test Result)



(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)

รูปที่ 12.11 แสดงตัวอย่าง Boring Log

คณะกรรมการจัดการความรู้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

แผนการจัดการความรู้ที่ 4 :

ความรู้เกี่ยวกับการเจาะสำรวจชั้นดิน

CEO

นายมนทล สุดประเสริฐ

อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

CKO

นายพิชัย อุทัยเชษฐ

รองอธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

ที่ปรึกษา KM

นายชนินทร์ ทิพย์รัตน์

ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านบริหารจัดการและระบบงาน

หัวหน้าทีมงาน KM

นางอัยยา เทพมงคล

ผู้อำนวยการสถาบันพัฒนาบุคลากรด้านการพัฒนาเมือง

คณะกรรมการจัดการความรู้

กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ

นายวีระพันธ์ อุปถัมภ์กุล

ผู้อำนวยการกองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ

นายชวกิจ หิรัญญาภิรมย์

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

นายวินัย สีเพียงธรรม

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

นายพิชยา ทวีเลิศ

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

นายเกษม พันธศรี

นายช่างโยธาอาวุโส

นางรัชณี โฉมงาม

เจ้าหน้าที่ธุรการ

สถาบันพัฒนาบุคลากรด้านการพัฒนาเมือง

นางน้ำทิพย์ โบสถ์ทอง

นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการพิเศษ

นางนารี พินศรี

นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการพิเศษ

น.ส.สุรัสวดี บัวชุม

นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการ

น.ส.จิตกฤตล เปาประดิษฐ์

นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการ

น.ส.ชนาภา ปานสมัย

พนักงานพัฒนาทรัพยากรบุคคล

น.ส.ศิริลักษณ์ มนูญผล

พนักงานพัฒนาทรัพยากรบุคคล

นายธนาธิป อยู่ดี

พนักงานพัฒนาทรัพยากรบุคคล

บรรณานุกรม

1. กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย. *มาตรฐานงานช่าง*. (2533). *งานโครงสร้างและปฐพีกลศาสตร์*. กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย.
2. กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ. (2542). *เอกสารประกอบการบรรยาย หลักสูตร งานเชื่อม-ป้องกันตลิ่งสำหรับวิศวกร*. กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย.
3. กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ. (2548). *เอกสารประกอบการบรรยาย หลักสูตร การเจาะสำรวจชั้นดิน*. กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย.
4. กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ. (2554). *เอกสารประกอบการบรรยาย On The Job Training*. กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย.
5. กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ. (2557). *คู่มือทดสอบการเจาะสำรวจชั้นดิน*. กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย .
6. กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ. (2558). *รายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดินกองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ*. กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย.
7. คณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี ในคณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา. (2551). *แนวทางการตรวจสอบชั้นดินเพื่อวางฐานราก*. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.
8. ชุศักดิ์ ศิริรัตน์. (2554). *ปฐพีกลศาสตร์*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ท้อป.
9. ประชาชาติธุรกิจออนไลน์. (2554). *ความเสียหายของถนนเลียบบคลองจากดินฐานราก*. ค้นเมื่อ 25 ตุลาคม 2554. จาก www.prachachart.net.
10. พิชยา ทวีเลิศ. (2556). *เอกสารประกอบการบรรยาย หลักสูตร การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง*. กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย .
11. มณเฑียร กังศศิเทียม. (2533). *กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม (พิมพ์ครั้งที่ ๓)*. กรุงเทพมหานคร: สมาคมศิษย์เก่าวิศวกร.
12. มานะ อภิพัฒน์มนตรี. (2538). *วิศวกรรมปฐพีและฐานราก*. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
13. วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติโกไร, และประทีป ดวงเดือน. (2525). *ปฐพีกลศาสตร์ ทฤษฎีและปฏิบัติการ: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*.
14. ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2547). *การทดสอบดิน-เพื่องานปฐพีวิศวกรรม*. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
15. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์. (2540). *วิศวกรรมปฐพี (พิมพ์ครั้งที่ 1)*. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย-ในพระบรมราชูปถัมภ์. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์พิมพ์ลักษณ์.
16. สถาพร คูวิจิตรจาร์. (2541). *ทดลองปฐพีกลศาสตร์*. กรุงเทพมหานคร: ไลบรารี นาย พัลลธิชิ่ง.
17. สถาพร คูวิจิตรจาร์. (2544). *ปฐพีกลศาสตร์*. กรุงเทพมหานคร: Library Nine Pub.

18. Al-Khafaji&Andersland. (1992). Geotechnical Engineering & Soil Testing. ค้นเมื่อ 3 เมษายน 2559. จาก www.ebooks.in.th.
19. Bowles, Joseph E. (1988). *Foundation Analysis and Design* (4th ed.) New York: McGraw-Hill.
20. Braja M. Das. (1990). *Principles of Foundation Engineering* (2nd ed.) Boston: PWS-KENT.
21. Joseph E. Bowles. (1979). *Foundation Analysis And Design*. McGraw-hill International - Book company.
22. Peck, R.B., Hanson, W.E., and Thornburn, T.H., (1974). *Foundation Engineering*. John Wiley & Sons, 514p.
23. Seah TianHo. (1991). *Soil Mechanics*. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. ค้นเมื่อ 3 เมษายน 2559. จาก www.ebooks.in.th.
24. Wayne.C.Teng. (1962). *Foundation Design*. Printed by G.D.Makhija at Tarun Offsot-Printers. New Delhi.and Published by Prentice of India Private Limited.



คณะผู้จัดทำ

กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ

0 2299 4430

สถาบันพัฒนาบุคลากรด้านการพัฒนาเมือง

0 2992 4619 , 20

กรมโยธาธิการและผังเมือง

กระทรวงมหาดไทย

www.dpt.go.th

