รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบอกเก็บตัวอย่างดินที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่างดินของดินเหนียวกรุงเทพฯ

Development of tube sampler for collecting soil specimen of Bangkok Clay

สยาม ยิ้มศิริ

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล
(งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2558A10802029
สัญญาเลขที่ 104/2558

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบอกเก็บตัวอย่างดินที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่างดินของดินเหนียวกรุงเทพฯ

Development of tube sampler for collecting soil specimen of Bangkok Clay

สยาม ยิ้มศิริ
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สิงหาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 108/2558

บทคัดย่อ

การรบกวนต่อตัวอย่างดินระหว่างการเก็บตัวอย่างจากสนามจะทำให้ตัวอย่างดินให้ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ต่ำลง เช่น ค่า strength หรือ modulus ต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งจะเป็นผลทำให้การออกแบบและการก่อสร้างมีความสิ้นเปลืองมากขึ้น ดังนั้นตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบทางวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการจะต้องมีสภาพใกล้เคียงกับในสนามมากที่สุดโดยมีการรบกวนจากการเก็บตัวอย่างน้อยที่สุด Tanaka et al. (1996) ได้มีการแสดงว่าตัวอย่างคงสภาพของดินเหนียวอ่อนที่ได้จากกระบอกเก็บตัวอย่างแบบลูกสูบเป็นการเก็บตัวอย่างแบบกระบอกที่ดีที่สุดทั้งในแง่ของการทำงานและค่าใช้จ่าย แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการใช้กระบอกแบบลูกสูบอย่างแพร่หลายในประเทศไทยและไม่มีมาตรฐานในการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้ อีกทั้งมาตรฐานของกระบอกแบบลูกสูบในประเทศอื่น (เช่น ASTM, JIS, BS) ก็มีความแตกต่างกัน ฉะนั้นโครงการนี้จึงทำการออกแบบและผลิตกระบอกเก็บตัวอย่างสำหรับการใช้กับดินเหนียวกรุงเทพฯและขั้นตอนการทำงานเจาะสำรวจดินในประเทศไทยเพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนามาตรฐานของกระบอกเก็บตัวอย่างสำหรับประเทศไทยต่อไป

ABSTRACT

Sample disturbance during in-situ soil sampling deteriorates soil properties, i.e. decrease strength and modulus, which makes the design and construction become too conservative. Therefore, the soil specimen for laboratory testing must be in the state as close as in the field with minimum sample disturbance. Tanaka et al. (1996) showed that undisturbed specimens from piston sampler is the best in terms of ease of operation and cost. However, the use of piston sampler is not popular in Thailand and there is no country standard for this sampler. Moreover, the standard for piston sampler of other countries (e.g. ASTM, JIS, BS) are different. Therefore, this research project aims to design and produce the sampler which suits for use with Bangkok Clay. The results of this research can give prototype soil sampler and sampling operation which can be further developed as a standard procedure in the future.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ i

บทคัดย่อ ii

สารบัญ iii

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1-1

1.2 วัตถุประสงค์ 1-1

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 1-1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1-1

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเจาะสำรวจดิน 2-1

2.1.1 วิธีการขุดเจาะด้วยสว่านมือเจาะหรือเครื่องเจาะ (Auger Boring) 2-1

2.1.2 วิธีเจาะกระแทก (Percussion Drilling) 2-1

2.1.3 วิธีการเจาะแบบล้าง (Wash boring) 2-1

2.2 การรบกวนดินตัวอย่าง 2-2

2.2.1 Area ratio 2-2

2.2.2 Inside clearance ratio 2-2

2.2.3 Outside clearance ratio 2-4

2.2.4 Length-to-Diameter Ratio 2-4

2.2.5 Stress relief 2-4

2.3 กระบอกเก็บตัวอย่างดิน 2-4

2.3.1 Open-tube samplers 2-5

2.3.2 Piston samplers 2-5

2.4 Piston samplers 2-6

2.4.1 Free-Piston Samplers 2-6

2.4.2 Retractable-piston samplers 2-6

2.4.3 Fixed-Piston Samplers 2-7

2.5 การเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ของกระบอกแต่ละชนิด 2-8

2.6 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2-11

บทที่ 3 วิธีการทดลองและแผนการดำเนินงาน

3.1 วิธีการทดลอง 3-1
3.2 แผนการดำเนินงาน 3-1

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์

4.1 เปรียบเทียบดินกรุงเทพฯกับดินที่ทำการทดลองในงานวิจัยที่ตีพิมพ์ 4-1
4.2 การพิจารณาลักษณะของกระบอก 4-3
4.2.1 ลักษณะรูปร่างของกระบอก (Geometry) 4-3
4.2.2 กระบวนการทำงาน (Operation) 4-9
4.3 การเปรียบเทียบผลของการรบกวนตัวอย่างดิน 4-11
4.4 กลไกการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกลูกสูบ 4-15
4.5 กรณีศึกษาการพัฒนากระบอกลูกสูบ 4-15
4.5.1 การเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกบาง 4-16
4.5.2 การเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกลูกสูบ 4-16

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลผลิต
รายงานการเงิน
เอกสารอ้างอิง
ประวัตินักวิจัย

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ก่อนที่วิศวกรจะทำการออกแบบฐานรากให้ดีและเหมาะสมนั้น ควรที่จะทราบถึงสภาพดินทั้งคุณสมบัติทางวิศวกรรมและการวางเรียงตัวของชั้นดิน การสำรวจหาสภาพของดินประกอบไปด้วย การเก็บตัวอย่างดินในสนาม การทดสอบดินในสนามและห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์ดินจากประสบการณ์ และการสังเกต เป็นต้น ในอดีตที่ผ่านมากระบอกเก็บตัวอย่างยังมีคุณภาพที่ไม่ดีนักเนื่องจากคุณภาพของตัวอย่างดินยังมีการรบกวนมาก ซึ่งทำให้มีความต้องการในการทำความเข้าใจในเรื่องนี้มากขึ้น เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงคุณภาพของกระบอกเก็บตัวอย่าง และได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับการวิเคราะห์เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพมาโดยตลอด ซึ่งอิทธิพลของการรบกวนดินมีผลต่อคุณภาพดิน ดังนั้นเราจำเป็นต้องทำให้ค่าของการรบกวนมีค่าที่น้อยลง

การแก้ไขปัญหาการรบกวนของตัวอย่างดินสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของดินตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญเพื่อที่จะปรับปรุงคุณภาพของกระบอกเก็บตัวอย่างดิน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาในเรื่องความสัมพันธ์ในตัวแปรต่างๆ เพื่อทำการออกแบบและปรับปรุงคุณสมบัติของกระบอกเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งทำให้ค่าการรบกวนคุณภาพของตัวอย่างดินลดลงก็จะส่งผลให้ได้คุณภาพของตัวอย่างดินที่ดีที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อพัฒนากระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบลูกสูบสำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- สามารถพัฒนากระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบลูกสูบให้มีความเหมาะสมกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ตัวอย่างดินที่มีคุณภาพที่ดี
- สามารถลดการรบกวนตัวอย่างดิน
- สามารถออกแบบกระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบลูกสูบให้มีความเหมาะสมกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเจาะสำรวจดิน

การสำรวจดินบริเวณสถานที่ที่จะทำการก่อสร้างนับว่าเป็นงานที่สำคัญของการพิจารณาออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรม เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและประหยัดในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง และสามารถเลือกใช้วิธีดำเนินการก่อสร้างที่เหมาะสม โดยทั่วไปวัตถุประสงค์ของการสำรวจดินก็เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลของชั้นดินและระดับน้ำใต้ดิน ตลอดจนคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน ณ ที่นั้น การเจาะสำรวจดินด้วยหลุมเจาะมีวัตถุประสงค์หลักในการขุดเจาะหลุมลึกลงไป เพื่อวัตถุประสงค์ในการดูชั้นดินเก็บตัวอย่างตามวิธีการที่เหมาะสม มีด้วยกัน 3 วิธี

- วิธีการขุดเจาะด้วยสว่านมือเจาะหรือเครื่องเจาะ
- วิธีเจาะกระแทก
- วิธีการเจาะแบบล้าง

2.1.1 วิธีการขุดเจาะด้วยสว่านมือเจาะหรือเครื่องเจาะ (Auger Boring)

เป็นวิธีขุดที่ใช้ได้ดีสำหรับดินที่มีความยึดเหนี่ยวและไม่มีพวกกรวดขนาดใหญ่ ตลอดจนสิ่งกีดขวางใต้ดินซึ่งจะเป็นอุปสรรคในการทำงานของสว่านเจาะ เจาะดินได้ระดับลึกประมาณ 5-7 เมตร สำหรับเจาะด้วยมือ หากเจาะด้วยเครื่องเจาะ เจาะดินได้ลึกประมาณ 10 เมตร ตัวอย่างดินที่เก็บได้จะเปลี่ยนสภาพน้อยที่สุด เมื่อทำการขุดเจาะอย่างระมัดระวัง

2.1.2 วิธีเจาะกระแทก (Percussion Drilling)

เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้เจาะหลุมทดสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินแข็งหรือหิน วิธีนี้จะคล้ายกับการเจาะแบบล้าง (Wash boring) เพียงแต่ว่าหัวเจาะจะมีขนาดใหญ่และหนักมากกว่ามาก ในบางกรณีอาจไม่จำเป็นต้องใช้ปลอกกันดิน ดินและเศษหินที่ถูกกระแทกจนเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยจะพุ่งขึ้นมากับน้ำโคลน

2.1.3 วิธีการเจาะแบบล้าง (Wash boring)

เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการเจาะหลุมสำรวจโดยตอกปลอกกันดิน (Casing) ยาวประมาณ 2 ถึง 3 เมตร ลงไปในดิน อุปกรณ์เจาะสำรวจประกอบด้วย

1) หัวเจาะกระแทก (Chopping bit) ซึ่งมีด้วยกันหลายแบบ
2) ก้านเจาะ (Drill rod) ซึ่งจะเป็นท่อกลวงและใช้ประกอบกับหัวเจาะกระแทก ก้านเจาะมีความยาวตั้งแต่ 0.5-3.0 เมตร และต่อกันด้วยข้อต่อเกลียว

ระหว่างเจาะสำรวจ น้ำโคลน (เบนโทไนต์ผสมน้ำ) จะถูกฉีดด้วยความแรงผ่านก้านเจาะและพุ่งออกไปยังรูของหัวกระแทก (Chopping bit) น้ำโคลนและดินที่ถูกกระแทกจนเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยจะพุ่งขึ้นไปตาม

ช่องว่างระหว่างก้านเจาะและผนังของหลุมสำรวจ เราสามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินจากสีและขนาดของเม็ดดินที่พุ่งขึ้นมาพร้อมน้ำโคลน น้ำโคลนนอกจากจะช่วยให้เกิดความหนืด ทำให้มีเวลามากพอสำหรับการทดสอบในสนาม (In-situ test) ก่อนที่เม็ดดินจะตกกลับไปยังก้นหลุมแล้ว ยังช่วยป้องกันการพังทลายของผนังหลุมสำรวจ อุ ปกรณ์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งในการเจาะสำรวจด้วยวิธีนี้คือปั๊มน้ำ ซึ่งต้องมีความแรงเพียงพอที่จะนำเศษดินก้นหลุมขึ้นมายังผิวดิน โดยและพบว่าวิธีการเจาะสำรวจด้วยวิธีนี้ไม่เหมาะสมสำหรับดินเม็ดละเอียดที่มีดินเม็ดหยาบปน (ดินตะกอนปนกรวด หรือดินเหนียวปนกรวด) เนื่องจากในการเจาะสำรวจ ดินเม็ดละเอียดจะลอยขึ้นมากับน้ำโคลน แต่ดินเม็ดหยาบ (กรวด) ไม่สามารถลอยขึ้นมาได้เนื่องจากมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ดังนั้น ดินเม็ดหยาบนี้จะกองอยู่ก้นหลุมเจาะ ทำให้ไม่สามารถเจาะลงไปได้อีก วิธีที่เหมาะสมสำหรับดินประเภทนี้คือเจาะด้วย Rotary

2.2 การรบกวนดินตัวอย่าง

ระหว่างการเจาะหลุมสำรวจ เราสามารถที่จะทำการเก็บตัวอย่างดินที่ความลึกต่าง ๆ ที่ต้องการได้การเก็บตัวอย่างดินในสนามและขนส่งตัวอย่างดินต้องใช้ความชำนาญและความระมัดระวังอย่างมาก เพื่อให้ได้ตัวอย่างดินที่คงสภาพมากที่สุด โดยทั่วไปเราแบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 2 ชนิด คือ

ตัวอย่างดินแปรสภาพ (Disturbed sample) คือตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนเนื่องจากวิธีการเก็บตัวอย่างดินหรือการขนส่ง จนทำให้โครงสร้างของเม็ดดินและปริมาณความชื้นเปลี่ยนไป ได้แก่ ตัวอย่างดินที่เก็บจากการเจาะโดยใช้สว่านมือ หรือจากการเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกผ่าซีก (Split spoon) เป็นต้น ตัวอย่างดินประเภทนี้เหมาะสำหรับใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐาน (Basic/Physical properties) ของดิน ได้แก่ การกระจายขนาดของเม็ดดินหน่วยน้ำหนัก ปริมาณความชื้น และพิกัดอัตเตอร์เบอร์ก เป็นต้น

ตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed sample) คือตัวอย่างดินที่เก็บจากสนามโดยพยายามรักษาองค์ประกอบและโครงสร้างของดินให้เหมือนกับสภาพจริงในสนาม ได้แก่ ตัวอย่างดินที่เก็บโดยใช้กระบอกเปลือกบาง (Thin-walled tube) หรือกระบอกลูกสูบ (Piston sampler) เป็นต้น แล้วใช้ขี้ผึ้งหรือกระดาษฟอยล์ปิดหุ้มไว้ เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในมวลดิน และทำการขนส่งอย่างระมัดระวัง (ดินตัวอย่างได้รับการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด) ดินตัวอย่างชนิดนี้จะใช้ทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม อันได้แก่ การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ การทดสอบแรงอัดสามแกน และการทดสอบการซึมผ่านได้ของน้ำ เป็นต้น

การรบกวนตัวอย่างดินจะเกิดขึ้นจากตัวแปรต่างๆ ของกระบอกเก็บ แต่ละแบบ ที่มีค่าต่างกันไป ตัวแปรเหล่านี้จะส่งผลต่อคุณภาพของดินที่เก็บ ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของดินมีดังนี้: Area ratio, Inside clearance ratio, Outside clearance ratio, Length-to-Diameter Ratio, และ Stress relief

2.2.1 Area ratio

Hvorslev อธิบาย area ratio คือ

$$C_a = \frac{D_w^2 - D_e^2}{D_e^2}$$

เมื่อ

D_w = external diameter of the cutting shoe

D_e = internal diameter of the cutting shoe

เป็นค่าที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของตัวอย่างที่ไม่ถูกรบกวน Area ratio จะขึ้นอยู่กับ ประเภทของดิน กำลังของดิน การไวต่อสิ่งกระตุ้น และวัตถุประสงค์ของการเก็บตัวอย่าง Hvorslev แนะนำว่า ค่า Area ratio ควรน้อยกว่า 10-15% Area ratio น้อยเป็นผลทำให้กระบอกเปราะ แตกหักง่าย (บางมาก) และอาจทำให้งอระหว่างที่กำลังเก็บตัวอย่าง The International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering (1966) เห็นด้วยที่จะใช้ Area ratio ที่ใหญ่กว่าโดยมีข้อแม้ว่า Cutting edge taper angles ต้องเปลี่ยนและแนะนำว่า Area ration จะเพิ่มได้อีก 5-20% Cutting edge taper angle ควรลดลงจาก 15 ถึง 9 องศา ระยะที่ใช้ในการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 2-1

2.2.2 Inside clearance ratio

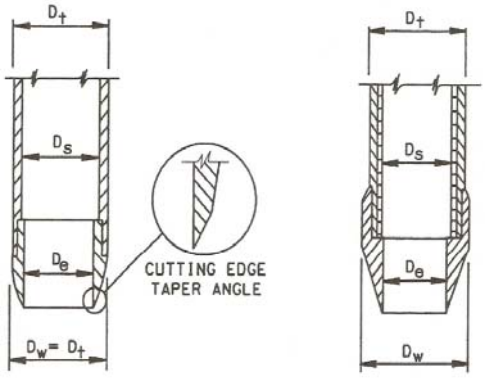
แรงเสียดทานระหว่างตัวอย่างดินกับผนังภายในกระบอก อาจจะลดลง โดยการตัดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างให้เล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอก Inside clearance ratio คือ

$$C_l = \frac{D_s - D_e}{D_e}$$

เมื่อ

D_s = inside diameter of sampling tube

Hvorslev แนะนำอัตราส่วน 0-1% ควรใช้กับกระบอกที่สั้นมาก 0.5-3% ควรใช้กับกระบอกยาวปานกลางและอัตราส่วนที่มากควรใช้กับกระบอกที่ยาว สำหรับดินส่วนใหญ่ Inside clearance ratio 0.75-1.5% แนะนำว่าสำหรับ L/D ratio 6-8 อย่างไรก็ตาม Inside clearance ratio ควรปรับตามความต้องการโดยลักษณะเฉพาะของดิน ระยะที่ใช้ในการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2-1 Parameters that Affect Sampler Disturbance: Schematic of a Sampling Tube and Cutting Shoe (after Hvorslev 1949)

2.2.3 Outside clearance ratio

แรงเสียดทานผนังด้านนอกมีอิทธิพลต่อคุณภาพของตัวอย่างดิน แรงเสียดทานที่ผนังอาจมีดินที่ไม่ต้องการเข้าไปในกระบอกได้ และได้ค่า Bearing Capacity ที่ไม่ถูกต้องได้ ถ้าหากเกิด Bearing Capacity Failure ระหว่างการเก็บตัวอย่างวัสดุเข้าไปในกระบอกจะไม่มีประโยชน์ Outside clearance ratio ควรไม่เกิน 2-3% สำหรับ Cohesive Soil ระยะที่ใช้ในการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 2-1

Outside clearance ratio; $$C_o = \frac{D_w - D_t}{D_t}$$

เมื่อ

D_t = Outside Diameter of Sampling Tube

2.2.4 Length-to-Diameter Ratio

ความยาวที่ยาวที่สุดของกระบอกไม่ถูกรบกวน ขึ้นอยู่กับประเภทของดิน กระบอกเก็บตัวอย่างดิน Inside clearance ratio และความลึกใต้ชั้นดิน อัตราส่วน L/D ควรมี Limited อยู่ระหว่าง 5 และ 10 สำหรับ Cohesionless Soil และ ระหว่าง 10-20 สำหรับ Cohesive Soil เส้นผ่านศูนย์กลางควรเลือกบนพื้นฐานของประเภทของดิน ความต้องการของห้องปฏิบัติการ การพิจารณาตามความเหมาะสม และตามความเหมาะสมของเครื่องมือ

2.2.5 Stress relief

Stress relief สามารถทำให้เกิดการนูนขึ้น เป็นโพรงในหลุมเจาะ ทำให้มั่นคงได้โดยวิธีการดังนี้

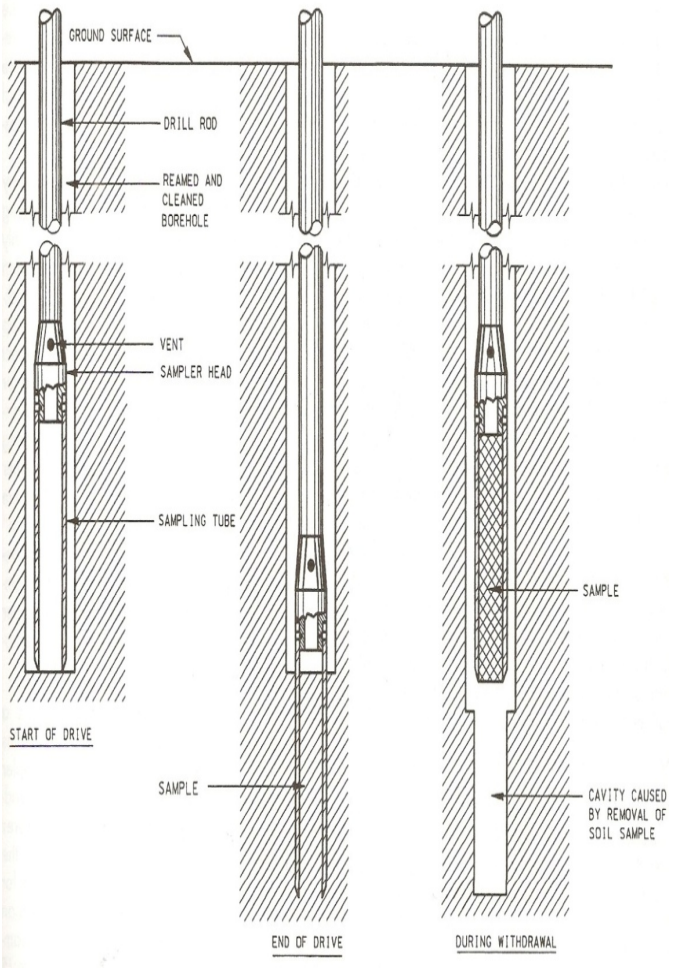
- การใช้ น้ำ เป็นวิธีที่มีผลกระทบน้อยที่สุด มันทำงานโดยลดผลกระทบของ Stress ระหว่างด้านข้างของหลุมเจาะ และลดการไหลของ Groundwater เข้าไปในหลุมอย่างไรก็ตามวิธีนี้อาจไม่ประสบผลเสร็จสำหรับหลายดิน มันจะดีสำหรับดินที่ถูกน้ำพัดพาทับถมมา
- การใช้ Drilling mud ส่วนใหญ่จะใช้ Bentonite ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:15 ถึง 1:20 โดยน้ำหนัก และลดผลกระทบของ Stress ภายในใต้ดินแต่มีผลเสียคือเพิ่มต้นทุน และต้องการการจัดการ เมื่อภายหลังการขุดเจาะแล้ว
- การใช้ Steel Casing สามารถใช้ป้องกันดินได้แต่จะรบกวนดินระหว่างที่เข้าไปแทนที่ดิน การใช้ Casing อาจถูกจำกัดโดยการพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

2.3 กระบอกเก็บตัวอย่างดิน

ในที่นี้ขอกล่าวถึงกระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ เนื่องจากเป็นกระบอกที่มีประสิทธิภาพและตัวอย่างดินที่เก็บจากสนามนั้น จะพยายามให้องค์ประกอบและโครงสร้างของดินเหมือนกับสภาพจริงในสนาม

2.3.1 Open-tube samplers

กระบอกเก็บตัวอย่างดิน Open-tube สำหรับเก็บดินที่คงสภาพ โดยใช้กระบอกเปลือกบาง (Thin wall tube) ทำจากท่อที่บางมากและปราศจากตะเข็บ และมีชื่อเรียกทั่วไปว่า Shelby tube (ดูรูปที่ 2-2) ในการเก็บดินตัวอย่างที่ความลึกใดๆ จะต้องนำเครื่องมือเจาะออกจากหลุมเจาะหลุมสำรวจก่อน แล้วนำกระบอกเปลือกบางที่ติดกับก้านเจาะ (Drilling rod) หย่อนลงไปในหลุมเจาะ ต่อจากนั้นทำการดันกระบอกเปลือกบางลงไปในดิน หลังจากที่ตัวอย่างเข้ามาในกระบอกเก็บตัวอย่างนี้ เฉือนดินรอบข้างและที่จุดปลายของกระบอกดินตัวอย่างที่ได้มาจะถูกห่ออย่างดีและนำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อทำการทดสอบต่อไป กระบอกเก็บตัวอย่างแบบนี้โดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ถึง 3 นิ้ว



รูปที่ 2-2 Sampling Operations Using the Open-tube Sampler (Clayton et al., 1992)

2.3.2 Piston samplers

กระบอกลูกสูบ (Piston sampler) เป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างที่ใช้สำหรับการเก็บตัวอย่างดินคงสภาพที่มีคุณภาพสูง ดังนั้น การเก็บตัวอย่างโดยวิธีนี้จึงมีค่าใช้จ่ายสูงมาก กระบอกเก็บตัวอย่างชนิดนี้มีหลายประเภทด้วยกัน แต่กระบอกเก็บตัวอย่างที่นำเสนอโดย Osterberg (1952) จัดว่า เป็นเครื่องมือที่มีข้อดีมาก

ที่สุด ประกอบด้วยกระบอกเปลือกบาง (Thin wall tube) และลูกสูบ (Piston) กระบอกเก็บตัวอย่างนี้จะถูกหย่อนลงไปในหลุมสำรวจและถูกดันลงไปในดินโดยผ่านตัวลูกสูบ (Piston) หลังจากนั้นความดันจะถูกปล่อยผ่านทางรูที่ก้านลูกสูบ (Piston rod) ลูกสูบทำหน้าที่ป้องกันการเสียรูปของดินตัวอย่างและป้องกันการไหลเข้าของน้ำ ดังนั้น ดินตัวอย่างที่ถูกเก็บโดยวิธีนี้ได้รับการกระทบกระเทือนน้อยมาก

2.4 Piston samplers

กระบอกบางแบบเก็บด้วยหัวเก็บแบบลูกสูบ ได้พัฒนาทั้งในยุโรปและสหรัฐอเมริกาในระยะเวลาระหว่างปี ค.ศ. 1900 และ 1940 ภายในจะมีลูกสูบอยู่ จะเคลื่อนที่สัมพันธ์กับกระบวนการเก็บตัวอย่าง วัตถุประสงค์ในการออกแบบคือ;

- ป้องกันดินที่จะเข้าไปในกระบอกก่อนที่จะไปถึงระดับที่ต้องการ
- เพื่อลดการเกิดการสูญเสียเนื่องจากตัวอย่าง เนื่องจากการทำให้แน่นไม่มีอากาศ ที่ด้านบนของท่อ ระหว่างที่เก็บตัวอย่าง
- เพื่อลดปริมาณดินที่จะเข้าไปในระหว่างการเก็บตัวอย่าง เป็นผลต่อ ความสัมพันธ์ทำให้ area ratio สูง และป้องกัน ดินเล็กๆเข้าไปในกระบอก
- เพื่อเพิ่ม อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง(L/D) ที่ยอมรับได้ ให้สูงขึ้น

โดยทั่วไป ประเภทของ Piston samplers มีอยู่ด้วยกัน 3 ประเภท ดังนี้

- Free piston samplers
- Retracted piston samplers
- Fixed piston samplers

2.4.1 Free-Piston Samplers

ภายในจะมีลูกสูบอาจจะหนีบระหว่างที่กระบอกดันลงไปในดินหรือถอนออก ระหว่างที่กระบอกทำงาน ลูกสูบที่อิสระจะเคลื่อนที่สัมพันธ์กับระดับชั้นดินและกระบอก Free-Piston Samplers จะดีกว่า Open-Tube Samplers เนื่องจากง่ายต่อการใช้งาน ความได้เปรียบของกระบอกนี้คือ สามารถดันผ่านการสะสมของเศษหินเศษดินทราย จนมาถึงความลึกที่ต้องการไว้ได้ และสร้างสุญญากาศด้านบนของตัวอย่างดิน ซึ่งช่วยในการเก็บตัวอย่างดิน

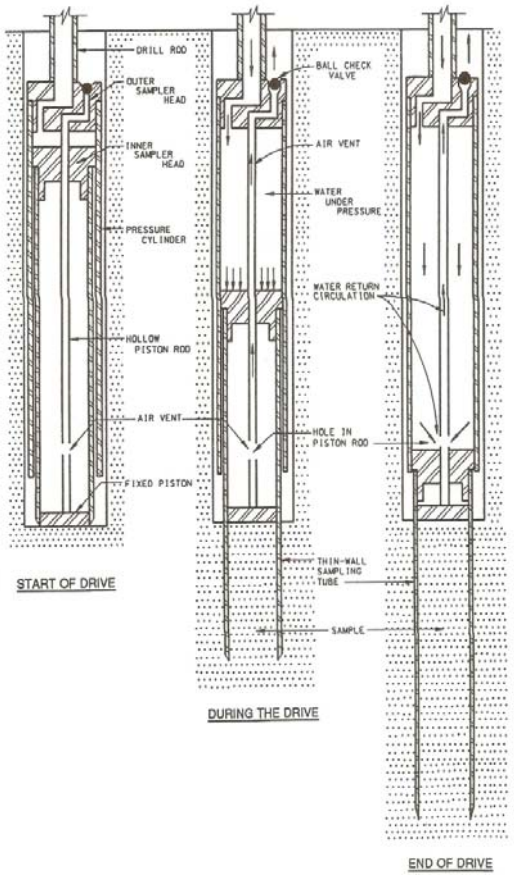
2.4.2 Retractable-piston samplers

กระบอกลูกสูบแบบหดกลับ ใช้ลูกสูบเป็นส่วนสำคัญในการป้องกันดินที่ไม่ต้องการระหว่างกระบวนการเก็บดิน เมื่อถึงระดับที่ต้องการ ลูกสูบจะหดกลับไปสู่จุดยอดของกระบอกและตัวอย่างจะเคลื่อนที่เข้าไปในดิน การหดกลับของลูกสูบใช้ได้กับดินอ่อน โดยการไหลมายังกระบอก และระหว่างที่เก็บตัวอย่าง การที่มี area

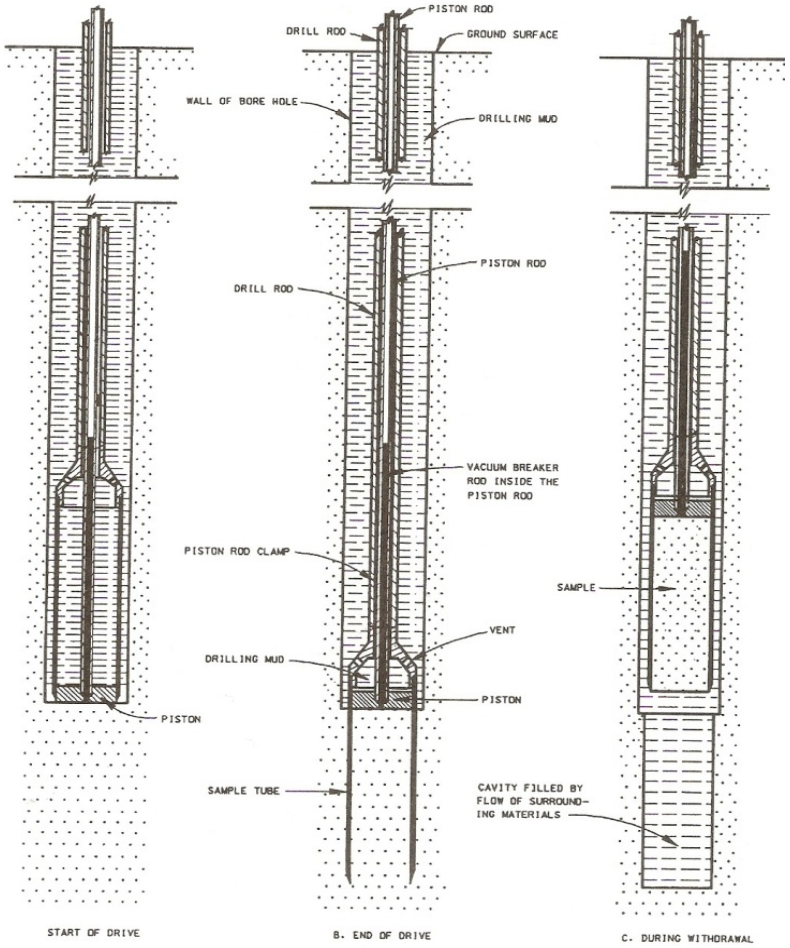
ratio มาก จะนำดินที่เกินเข้ามาในกระบอกด้วย กระบอกชนิดนี้ไม่ใช้ในสหราชอาณาจักร มันยังคงข้อเสียของ open drive sampler และยังยากต่อการใช้งาน

2.4.3 Fixed-Piston Samplers

กระบอกชนิดนี้สามารถใช้ได้กับหลุมเจาะ เมื่อกระบอกถูกดันให้ไปถึงระดับที่จะทำการเริ่มเก็บตัวอย่าง ก้านลูกสูบก็จะถูกยึดไว้ให้เคลื่อนที่ไปพร้อมกับส่วนหัวของกระบอกและท่อ เมื่อถึงระดับที่ต้องการจะเก็บตัวอย่างแล้ว ก้านลูกสูบจะถูกคลายออกทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่จากผิวดินมายังส่วนหัวของกระบอกได้ ซึ่งเป็นการเก็บดินเข้าไปในกระบอก และเมื่อลูกสูบไปแตะที่ส่วนหัวของระบอก ก้านลูกสูบก็จะถูกยึดไว้อีกครั้งเมื่อทำการดึงชุดอุปกรณ์ทั้งหมดขึ้น เมื่อกระบอกถูกกดลงไปในดิน ลูกสูบจะเป็นตัวทำให้ดินเข้ามาอยู่ในกระบอก ลูกสูบนั้นยังทำหน้าที่รักษาคุณภาพของดิน โดยเป็นตัวทำไม่ให้ดินเกิดการเคลื่อนที่ กระบอกชนิดนี้มีข้อได้เปรียบคือ มีการป้องกันการสะสมของเศษดินหลังการทำการเก็บตัวอย่าง ลดดินส่วนเกินที่จะเข้าไปในกระบอกระหว่างการทำการเก็บตัวอย่างและยังทำให้ได้ตัวอย่างที่ดี Osterberg Sampler ดังแสดงในรูปที่ 2-3 และ Hvorslev Sampler ดังแสดงในรูปที่ 2-4 เป็น Fixed-Piston Samplers โดยทั่วไปใช้โดย The U.S. Army Corps of Engineers



รูปที่ 2-3 Cross-Sectional View of Osterberg Sampler (Clayton et al., 1992)



รูปที่ 2-4 Operation of the Hvorslev Sampler (Clayton et al., 1992)

2.5 การเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ของกระบอกแต่ละชนิด

จากตารางที่ 2-1 คือการเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ของกระบอกแต่ละชนิดที่ได้ศึกษามา ได้แก่ มาตรฐานของกระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบกระบอกบางและกระบอกแบบมีลูกสูบ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนากระบอกแบบมีลูกสูบต่อไปนั้น จึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับกระบอกที่ใช้อยู่ในแต่ละท้องที่ เพื่อให้มีความสะดวกในการเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของกระบอกแต่ละชนิด

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ของกระบอกแต่ละชนิด

Sampler	Inside diameter (mm)	Sampler length (mm)	Thickness (mm)	Method of driving	Operation	อ้างอิง
Thin-Walled Steel Sampler Tubes - ขนาด 2 in - ขนาด 3 in - ขนาด 5 in	 49.56 74.55 123.95	 910 910 1450	 1.24 1.65 3.05	Pushing or Hammering	Mechanic	ASTM D 1587
Hydraulically Operated Stationary Piston Sampler - ขนาด 2 in - ขนาด 3 in - ขนาด 5 in	 49.56 74.55 123.95	 910 910 1450	 1.24 1.65 3.05	Pushing or Hammering	Hydraulic	ASTM D 6519-02
Thin-walled Tube Sampler with Fixed Piston -Stainless Steel -Brass	 75 75	 1000 1000	 1.5-2.0 1.9-2.1	Pushing	Mechanic or Hydraulic	JGS 1221-1995
Open-tube Samplers	75 or 100	-	1.1*	Pushing or Hammering	Mechanic	BS 5930:1981
Thin-walled Stationary Piston Sampler	75 or 100	-	1.1*	Pushing or Hammering	Mechanic	BS 5930:1981
NGI 54 Sampler	54	880	1.5	-	Mechanic	Clayton et al. (1992)
NGI 101 Sampler	101	457 or 1000	2.0	-	Mechanic	Clayton et al. (1992)
ELE 100	101	1000	1.7	-	Mechanic	Michael long (2003)
ELE 100 (modified)	101	1000	1.7	-	Mechanic	Michael long (2003)

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ของกระบอกแต่ละชนิด (ต่อ)

Sampler	Area ratio (%)	Inside cutting edge angle (°)	Outside cutting edge angle (°)	Inside Clearance (%)	Outside Clearance (%)	L/D ratio	หมายเหตุ
Thin-Walled Steel Sampler Tubes							ASTM D 1587
- ขนาด 2 in	7.17	-	-	1.0	-	18.4	
- ขนาด 3 in	6.58	-	-	1.0	-	12.2	
- ขนาด 5 in	7.09	-	-	1 .0	-	11.7	
Hydraulically Operated Stationary Piston Sampler							ASTM D 6519-02
- ขนาด 2 in	7.17	-	-	1.0	-	18.4	
- ขนาด 3 in	6.58	-	-	1.0	-	12.2	
- ขนาด 5 in	7.09	-	-	1.0	-	11.7	
Thin-walled Tube Sampler with Fixed Piston							JGS 1221-1995
-Stainless Steel	8.2-11.0	0	6±1	0	-	13.3	
-Brass	10.4-11.5	0	6±1	0	-	13.3	
Open-tube Samplers	10.0	-	-	1.0	-	13.3 or 10.0	BS 5930:1981
Thin-walled Stationary Piston Sampler	10.0	-	-	1.0	-	13.3 or 10.0	BS 5930:1981
NGI 54 Sampler	11.0 -12.0	-	-	1.0 -1.3	-	16.3	Clayton et al. (1992)
NGI 101 Sampler	8.0	0	-	0	-	4.52 or 9.90	Clayton et al. (1992)
ELE 100	6.8	0	30	0	-	9.9	Michael long (2003)
ELE 100 (modified)	6.8	0	5	0	-	9.9	Michael long (2003)

*คำนวณจาก Outside Clearance = 1%

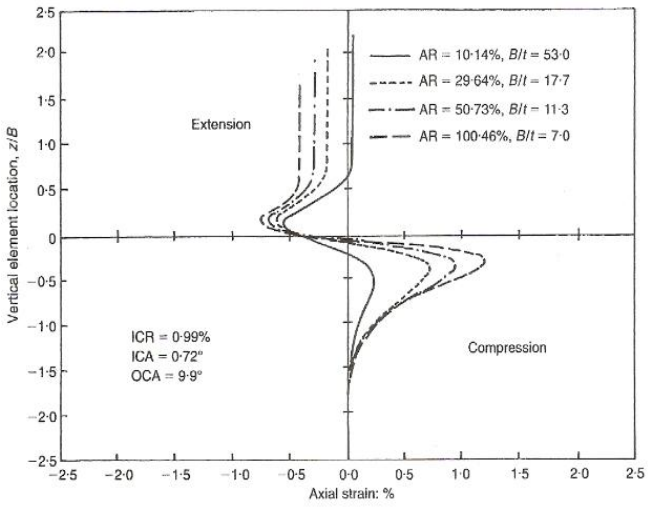
2.6 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คุณภาพของกระบอกเก็บตัวอย่างมีความสำคัญ เนื่องจากดินที่ไม่ถูกรบกวนจะมีโครงสร้างและองค์ประกอบต่างๆ ที่ใกล้เคียงกันกับดินในสนาม กระบวนการเก็บตัวอย่างดินมีหลายวิธี ซึ่งจะได้ดินที่มีการรบกวนแตกต่างกันไป นักวิจัยหลายคนพยายามที่จะป้องกันปัญหาของการรบกวนเนื่องจากกระบวนการเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งการรบกวนอาจจะเกิดขึ้นในระหว่างที่เรากำลังจะเจาะรูเพื่อเก็บตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างเร็วมากไปก็ไม่ดี การรบกวนโดยการดันกระบอกตัวอย่างเข้าไปในดิน การถอนกระบอกตัวอย่างออกจากหลุมเจาะ และการเอาตัวอย่างดินออกจากกระบอก ซึ่งในขั้นตอนต่างๆที่กล่าวมานี้ อาจทำให้เกิดการรบกวนดินได้ทั้งสิ้น จึงจำเป็นต้องลดปริมาตรการรบกวนตัวอย่างที่ได้มาทั้งหมด เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่มีคุณภาพที่ดี

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการรบกวนของตัวอย่างดินในลักษณะต่างๆและปัจจัยที่ควบคุมการรบกวนของตัวอย่างดินขึ้นอยู่กับกระบอกเก็บตัวอย่างดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบในส่วนของ cutting edge, piston และการออกแบบกระบอกเก็บตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมคุณภาพของตัวอย่างดิน ได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5 งานวิจัยด้วยกันคือ (Tanaka et al., 1996), (Clayton, 1998), (Clayton and Siddique, 1999), (Tanaka, 2000) และ (Chung et al., 2004) จากการศึกษางานวิจัยเหล่านี้พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการรบกวนตัวอย่างดินมีดังนี้

<u>Area ratio</u>

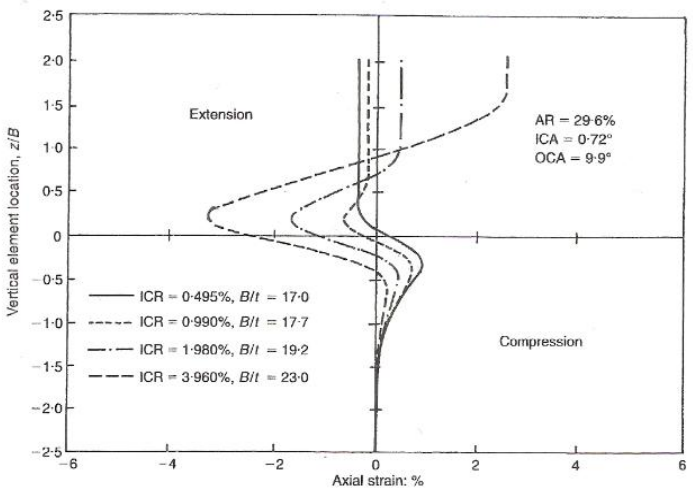
จากการเปรียบเทียบกระบอกที่มีค่าต่างกัน พบว่า กระบอกที่มีค่า Area ratio ที่น้อยที่สุดจะมีการรบกวนตัวอย่างดินที่น้อยที่สุดด้วย แต่ค่า Area ratio ขึ้นอยู่กับความหนาหรือบางของกระบอกด้วย หากกระบอกที่มีความบาง ก็จะมีการรบกวนที่น้อยที่สุดตามไปด้วย ดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 Comparison of centerline strain paths for samplers with different Area ratios (Clayton and Siddique, 1999)

Inside clearance ratio

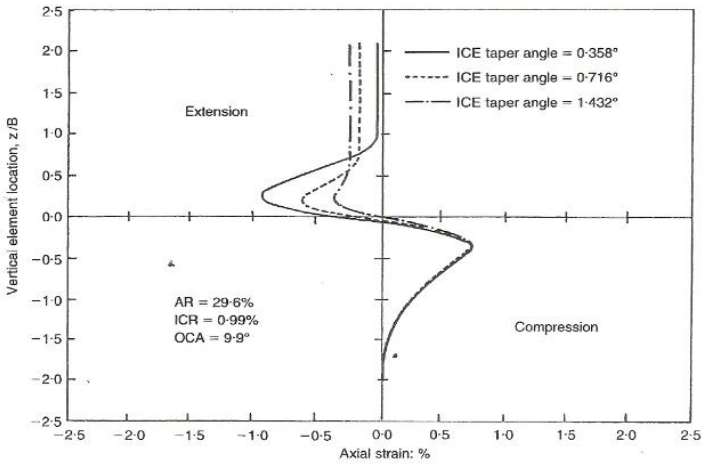
จากการเปรียบเทียบกระบอกที่มีค่าต่างกัน พบว่า กระบอกที่มีค่า Inside clearance ratio ที่ประมาณ 1.0% จะมีการรบกวนที่น้อยที่สุด ดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 Comparison of centerline strain paths for samplers with different inside clearance ratios (Clayton and Siddique, 1999)

Inside cutting-edge angle

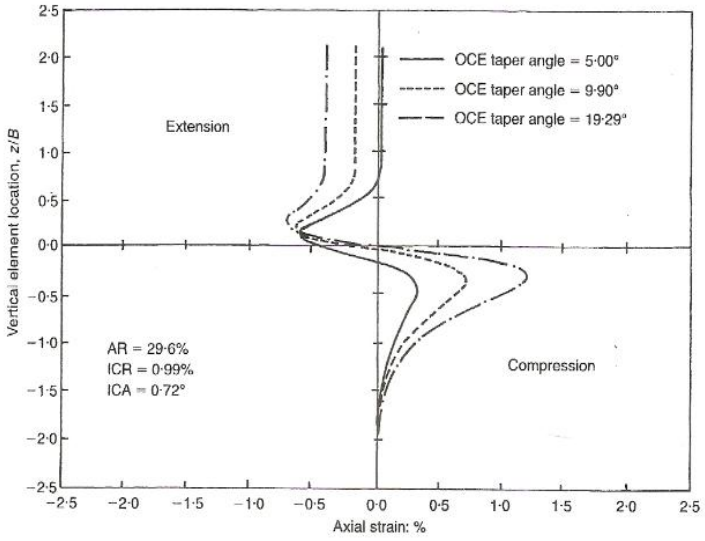
จากการเปรียบเทียบกระบอกที่มีค่าต่างกัน พบว่า กระบอกที่มีค่า Inside cutting-edge angle เท่ากับ 1.432 องศา จะมีการรบกวนที่น้อยที่สุด ดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 Comparison of centerline strain paths for samplers with different inside cutting edge angles (Clayton and Siddique, 1999)

Outside cutting-edge angle

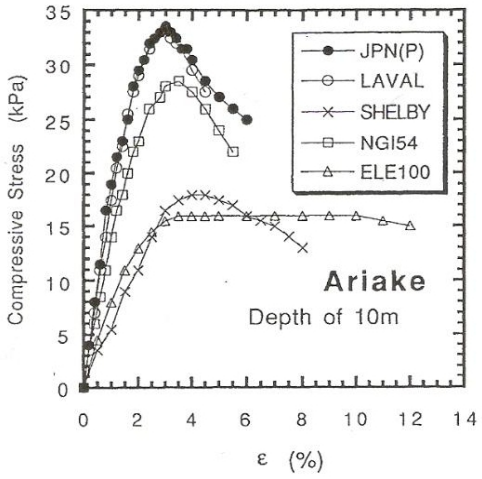
จากการเปรียบเทียบกระบอกที่มีค่าต่างกัน พบว่า กระบอกที่มีค่า Inside cutting-edge angle เท่ากับ 5.00 องศา จะมีการรบกวนที่น้อยที่สุด ดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 Comparison of centerline strain paths for samplers with different outside cutting edge angles (Clayton and Siddique, 1999)

การมีลูกสูบในกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

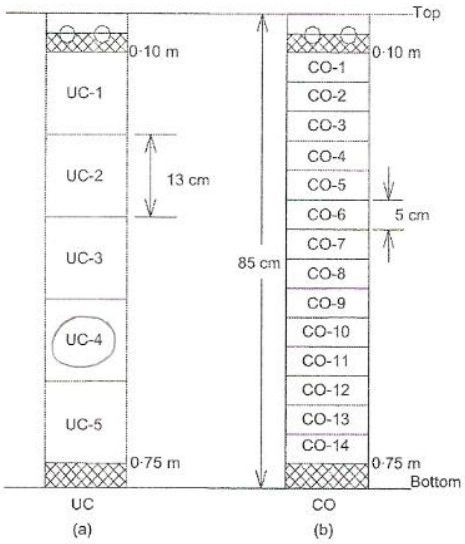
จากการเปรียบเทียบกระบอกต่างชนิดกัน ที่มีใช้อยู่ในแต่ละท้องที่ เมื่อนำดินที่เก็บได้จากกระบอกต่างๆ นั้นมาทำการทดสอบ พบว่ากระบอกที่มีลูกสูบ(JPN) จะมีการรบกวนตัวอย่างที่น้อยกว่ากระบอกที่ไม่มีลูกสูบ และกระบอกที่มีความหนามากนั้น(SHELBY และ ELE100) การรบกวนก็จะมากกว่ากระบอกอื่นๆอีกด้วย ดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 Stress and Strain curves from unconfined compression tests (Tanaka et al., 1996)

ตำแหน่งของดินในกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

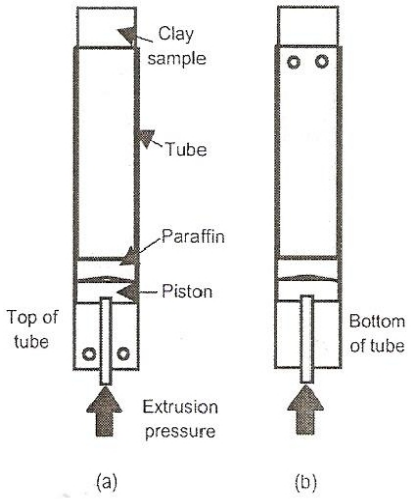
ตำแหน่งของดินมีการรบกวนที่แตกต่างกัน เมื่อนำดินไปทดสอบ UC test และ CO test จะพบว่าตำแหน่งที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดคือ UC-4 และ CO-5 ถึง CO-13 ตามลำดับ ดังรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 Position of specimens in a sample tube: (a) UC test; (b) CO test (Chung et al., 2004)

การดันดินออกจากกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

การดันดินมีอยู่ 2 ลักษณะด้วยกันคือ การดันดินแบบปกติ(normal extrusion) และการดันดินแบบกลับกัน(normal extrusion) ดังรูปที่ 2-11 จากงานวิจัยนี้พบว่า การดันดินแบบปกติ (normal extrusion) มีการรบกวนดินน้อยกว่าการดันดินแบบกลับกัน (normal extrusion)



รูปที่ 2-11 Different extrusion directions of sample: (a) normal extrusion ; (b) reverse extrusion (Chung et al., 2004)

บทที่ 3 วิธีการทดลองและแผนการดำเนินงาน

3.1 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองประกอบด้วย

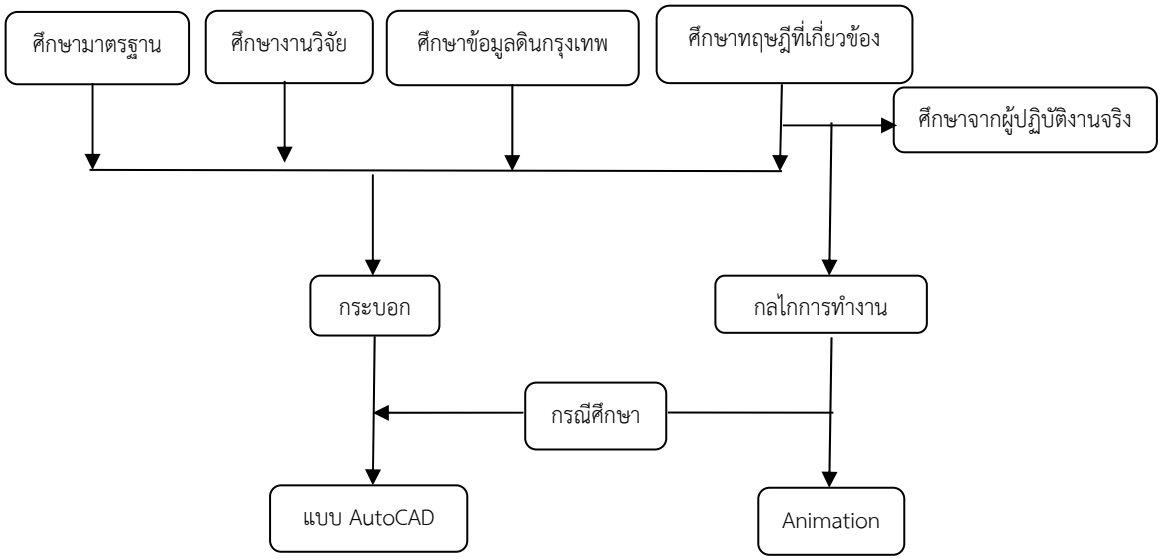
- วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการรบกวนตัวอย่างดิน ได้แก่ Area ratio , Thickness , Inside Clearance เป็นต้น
- ศึกษามาตรฐานของกระบอกแบบลูกสูบแบบต่างๆ
- เปรียบเทียบข้อมูลดิน

เปรียบเทียบดินกรุงเทพฯ ได้แก่ บริเวณถนนแจ้งวัฒนะ 15 จังหวัดนนทบุรี บริเวณถนนบางนา-ตราด กม. 31.5 จ.สมุทรปราการ และบริเวณแยกลำสาลี ถนนศรีนครินทร์ กทม.กับ ดินในงานวิจัยที่ตีพิมพ์ ได้แก่ Ariake (Japan), Bothkennar (Britain), Drammen (Norway) และ Pusan (Korea)

- วิเคราะห์คุณสมบัติของกระบอกเก็บตัวอย่างดินที่เหมาะสมกับดินในกรุงเทพมหานคร ได้แก่
  - ออกแบบเบื้องต้นของกระบอกแบบลูกสูบ
  - ออกแบบรายละเอียดของกระบอกแบบลูกสูบ
  - เขียนแบบกระบอกเก็บตัวอย่างดิน
  - ดำเนินการจัดสร้างกระบอกเก็บดินแบบลูกสูบ

3.2 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินการดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แผนการดำเนินการ

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์

4.1 เปรียบเทียบดินกรุงเทพฯกับดินที่ทำการทดลองในงานวิจัยที่ตีพิมพ์

จากการพิจารณาค่าต่างของดินกรุงเทพฯซึ่งประกอบไปด้วยดิน 2 ประเภท คือ ดินอ่อน (CLAY) และดินแข็ง (Silty CLAY) เมื่อนำค่าต่างๆของดินกรุงเทพฯที่ได้มาพิจารณากับดินที่ทำการทดลองในงานวิจัยที่ตีพิมพ์ ซึ่งในงานการทดลองในงานวิจัยที่ตีพิมพ์มีทั้งหมด 4 สถานที่ คือ Ariaka, Bothkennar, Drammen และ Pusan จากการเปรียบเทียบค่า Unit Weight, Atterberg Limits และ Strength ทำให้ทราบว่าดินอ่อน (CLAY) กรุงเทพฯมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันกับดินที่ Ariaka และ Drammen ส่วนดินแข็ง (Silty CLAY) กรุงเทพฯมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันกับดินที่ Bothkennar และ Pusan ดังแสดงในตารางที่ 4-1 แสดงให้เห็นถึงค่าต่างๆที่นำมาเปรียบเทียบ

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบข้อมูลดินกรุงเทพฯกับดินที่ทำการทดลองในงานวิจัยที่ตีพิมพ์

สถานที่	ระดับความลึก (m)	Unit Weight (kN/m^3)	Atterberg Limits		Strength (kPa)	อ้างอิง
			PL (%)	LL (%)		
Bangkok (CLAY)	*	**	42	105	24.5	STS ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD. (1995)
Bangkok (Silty CLAY)	*	**	18	105	34.3	STS ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD. (1995)
Ariake (Japan)	10	-	50	115	22	Tanaka (1996)
Bothkenner (UK)	8	-	32	72	36	Tanaka (2000)
Drammen (Norway)	12	-	19	38	25	Tanaka (2000)
Pusan (Korea)	16	16.4 (14.32)***	24	45	17	Chung et al. (2004)
Pusan (Korea)	20	16.5 (18.25)***	23	45	36	Chung et al. (2004)

* ค่า ระดับความลึก ของดินกรุงเทพมหานครต้องพิจารณาตามความลึกที่เท่ากันของงานวิจัยที่ตีพิมพ์

** ค่า Unit Weight ของดินกรุงเทพมหานครต้องพิจารณาตามความลึกที่เท่ากันของงานวิจัยที่ตีพิมพ์

*** ค่า Unit Weight ของดินกรุงเทพมหานครเมื่อพิจารณาตามความลึกที่เท่ากันของงานวิจัยที่ตีพิมพ์

จากตาราง 4-2 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบกระบอกเก็บตัวอย่างดินซึ่งทำให้ทราบถึงกระบอกเก็บตัวอย่างดินที่มีคุณภาพสูงสุด ในแต่ละสถานที่ที่ทำการทดลอง โดยได้จากการทดลองในงานวิจัยที่ตีพิมพ์มี 3 สถานที่ด้วยกัน ได้แก่ Ariake, Drammen และ Bothkenner รายละเอียดของการทดลองมีดังต่อไปนี้

Ariaka ทดสอบที่ความลึก 10 เมตร จำนวนกระบอกที่ทำการทดสอบมีทั้งหมด 6 กระบอก ซึ่งจากการทดสอบหาคุณภาพของตัวอย่างดิน โดยดูจาก Stress strain curves และทดสอบโดยวิธี CPT ทำให้ทราบคุณภาพของกระบอกจากดีที่สุดไปกระบอกแย่ที่สุด คือ Sherbrooke, JPN, LAVAL, NGI54, Shelby และ ELE 100 ตามลำดับ และเมื่อนำค่าต่าง ๆ มาเปรียบเทียบโดยใช้ Histogram of strength ratio ได้มาโดย piezocone มาเปรียบเทียบทำให้แน่ใจว่ากระบอก Sherbrooke, JPN และ LAVAL จะได้คุณภาพของตัวอย่างที่ดี ซึ่งกระบอก Sherbrooke จะมีคุณภาพของตัวอย่าง ที่ดีที่สุด ส่วนกระบอก Shelby และ ELE 100 จะได้คุณภาพของตัวอย่างที่แย่ที่สุด

Drammen ทดสอบที่ความลึก 12 เมตร จำนวนกระบอกที่ทำการทดสอบมีทั้งหมด 2 กระบอก ซึ่งจากการทดสอบหาคุณภาพของตัวอย่างดิน โดยดูจาก Stress strain curves ทำให้ทราบคุณภาพของกระบอกจากดีที่สุดไปกระบอกแย่ที่สุด ที่ระยะ 12 เมตร คุณภาพของตัวอย่างมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ผลของการเปรียบเทียบไม่เด่นชัดที่ระยะ 16 เมตร ทำให้ทราบคุณภาพของตัวอย่างของกระบอกว่ากระบอก Sherbrooke ดีกว่ากระบอก JPN

Bothkenner ทดสอบที่ความลึกที่แตกต่างกันได้แก่ ที่ 13.50 เมตร โดยกระบอก JPN ที่ความลึก 11.00 เมตรโดยกระบอก LAVAL และ ELE100 ซึ่งจากการทดสอบหาคุณภาพของตัวอย่าง โดยดูจาก Stress strain curves ทำให้ทราบคุณภาพของกระบอกจากดีที่สุดไปกระบอกแย่ที่สุด คือ JPN, LAVAL และ ELE100 และเมื่อนำค่าต่างๆ มาเปรียบเทียบโดยใช้ Histogram of strength ratio ได้มาโดย piezocone มาเปรียบเทียบทำให้แน่ใจว่ากระบอก JPN, LAVAL มีคุณภาพดีสุด ส่วนกระบอก ELE100

การรบกวนตัวอย่างดิน ทำให้ได้กระบอกเก็บตัวอย่างดินที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งได้จากผลการทดลองในตาราง 4-2 โดยมีสาเหตุของการรบกวนตัวอย่างดิน เนื่องจากกระบอก Shelby ไม่มีลูกสูบ กระบอก NGI54 มีความหนาของกระบอกที่มากเกินไป ส่วนกระบอก ELE100 ยังหาข้อสรุปไม่ได้ทั้งทีลักษณะของกระบอกก็มีความเด่นชัดที่คล้ายคลึงกันกับกระบอก JPN

ตารางที่ 4-2 ตารางเปรียบเทียบคุณภาพของกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

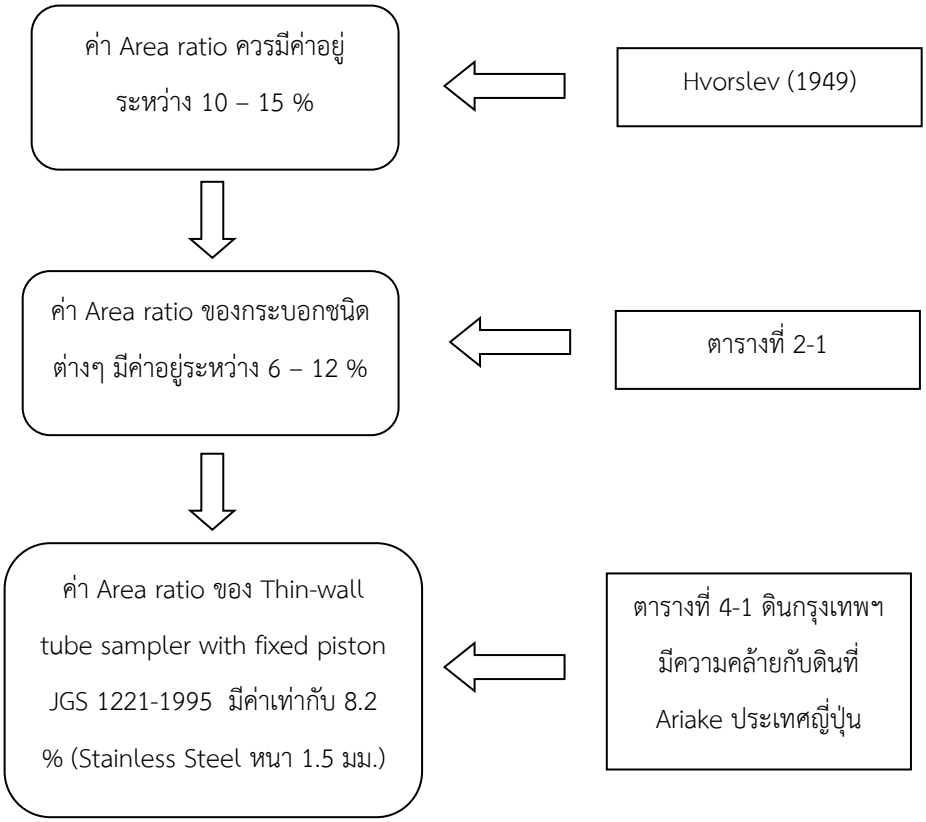
สถานที่	คุณภาพของกระบอก						หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	6	
Ariake Depth of 10 m	Sherbrooke	JPN	LAVAL	NGI 54	Shelby	ELE 100	Shelby ไม่มีลูกสูบ NGI54 ความหนาของกระบอกมาก ELE100 ยังหาข้อสรุปไม่ได้
Drammen Depth of 12 m Depth of 16 m	Sherbrooke 2 Sherbrooke	Sherbrooke 3 JPN 1	Sherbrooke 1 JPN 2	JPN 2	JPN 1		ผลที่ได้ใกล้เคียงกัน
Bothkenner	JPN (at 13.5 m)	LAVAL (at 11 m)	ELE 100 (at 11 m)				

4.2 การพิจารณาลักษณะของกระบอก

4.2.1 ลักษณะรูปร่างของกระบอก (Geometry)

Area ratio

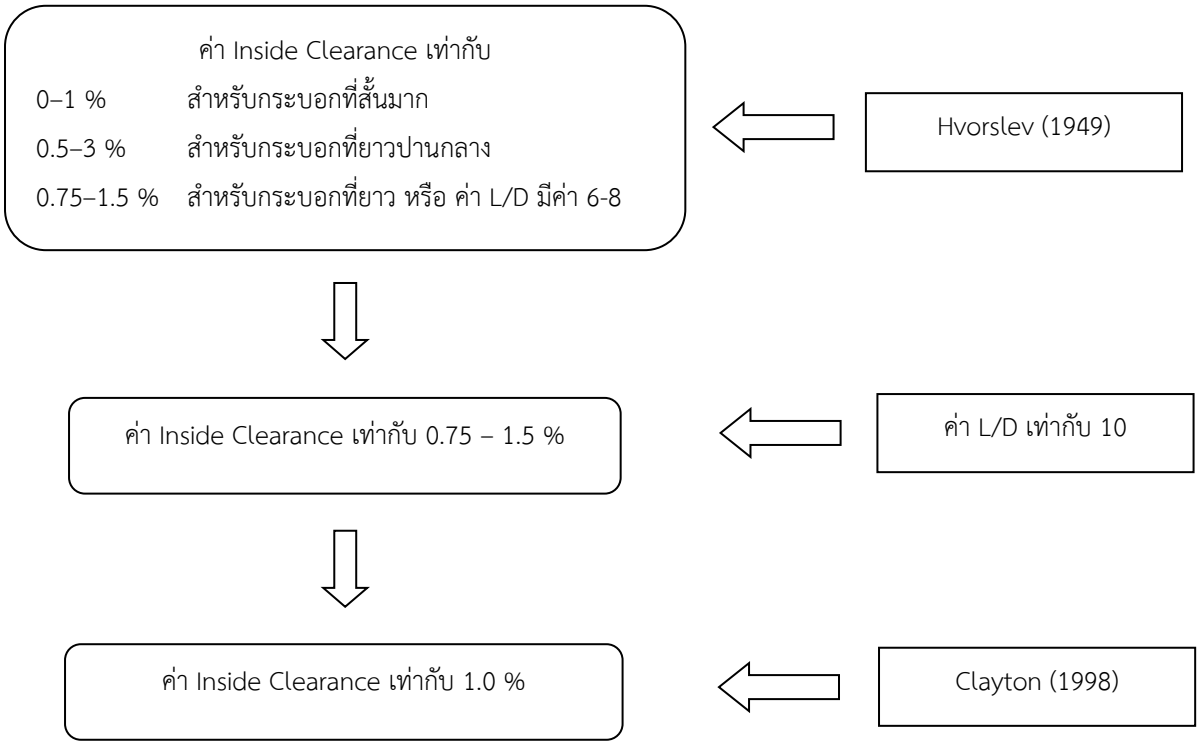
รูปที่ 4-1 แสดงการพิจารณา area ratio Hvorslev (1949) ได้กำหนดค่า Area ratio ของกระบอกเก็บตัวอย่างดินที่ดีนั้น ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 10–15% จากการศึกษามาตรฐานของกระบอกต่างๆแล้วพบว่าค่า Area ratio มีค่าอยู่ระหว่าง 6–12% ดังแสดงในตารางที่ 2-1 และเนื่องจากดินกรุงเทพมหานครฯมีความคล้ายคลึงกับดินที่ Ariake ที่ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งกระบอกที่ได้ทำการทดลองในดินที่ประเทศญี่ปุ่นที่มีการรบกวนน้อยนั้น มีค่า Area ratio เท่ากับ 8.2% จึงสรุปได้ว่ากระบอกที่กำลังพัฒนาจะใช้ ค่า Area ratio เท่ากับ 8.2%



รูปที่ 4-1 การพิจารณา area ratio

Inside Clearance

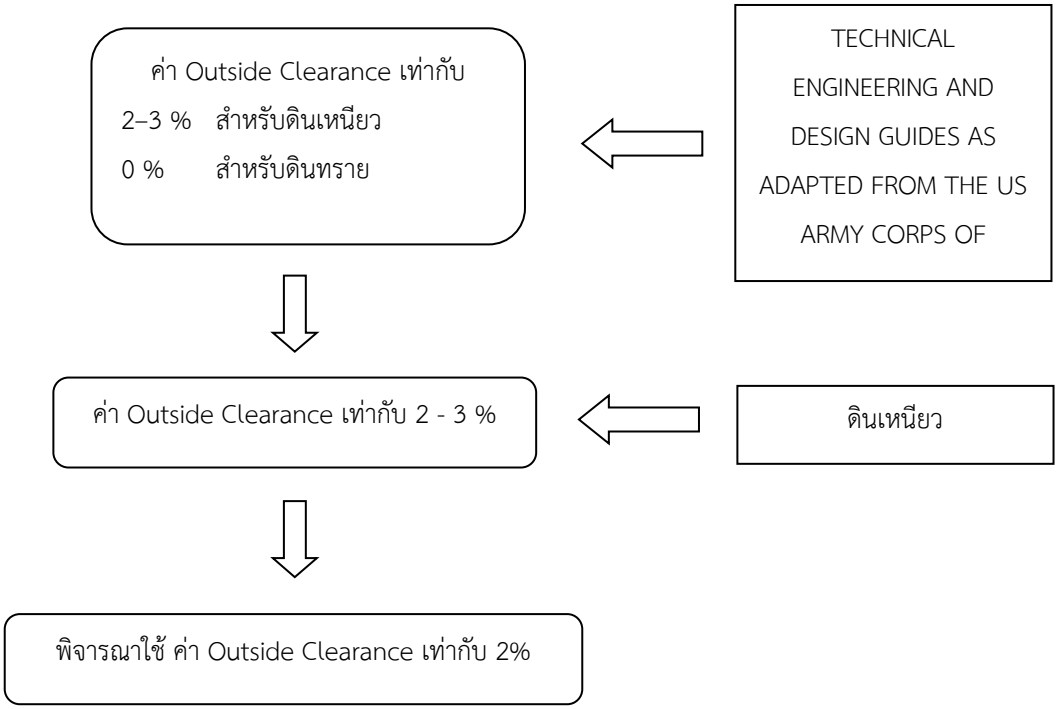
รูปที่ 4-2 แสดงการพิจารณา inside clearance Hvorslev (1949) ได้กำหนดค่า Inside Clearance เท่ากับ 0–1%, 0.5–3% และ 0.75–1.5% สำหรับกระบอกแต่ละขนาดดังนี้ กระบอกสั้นมาก กระบอกที่ยาวปานกลางและกระบอกที่ยาว หรือ ค่า L/D มีค่า 6-8 ตามลำดับ กระบอกที่กำลังพัฒนามีค่า L/D เท่ากับ 10 และในงานวิจัย Clayton (1998) พบว่า 1.0% มีการรบกวนน้อยที่สุด จึงสรุปได้ว่ากระบอกที่กำลังพัฒนาจะใช้ ค่า Inside Clearance เท่ากับ 1.0%



รูปที่ 4-2 การพิจารณา inside clearance

Outside Clearance

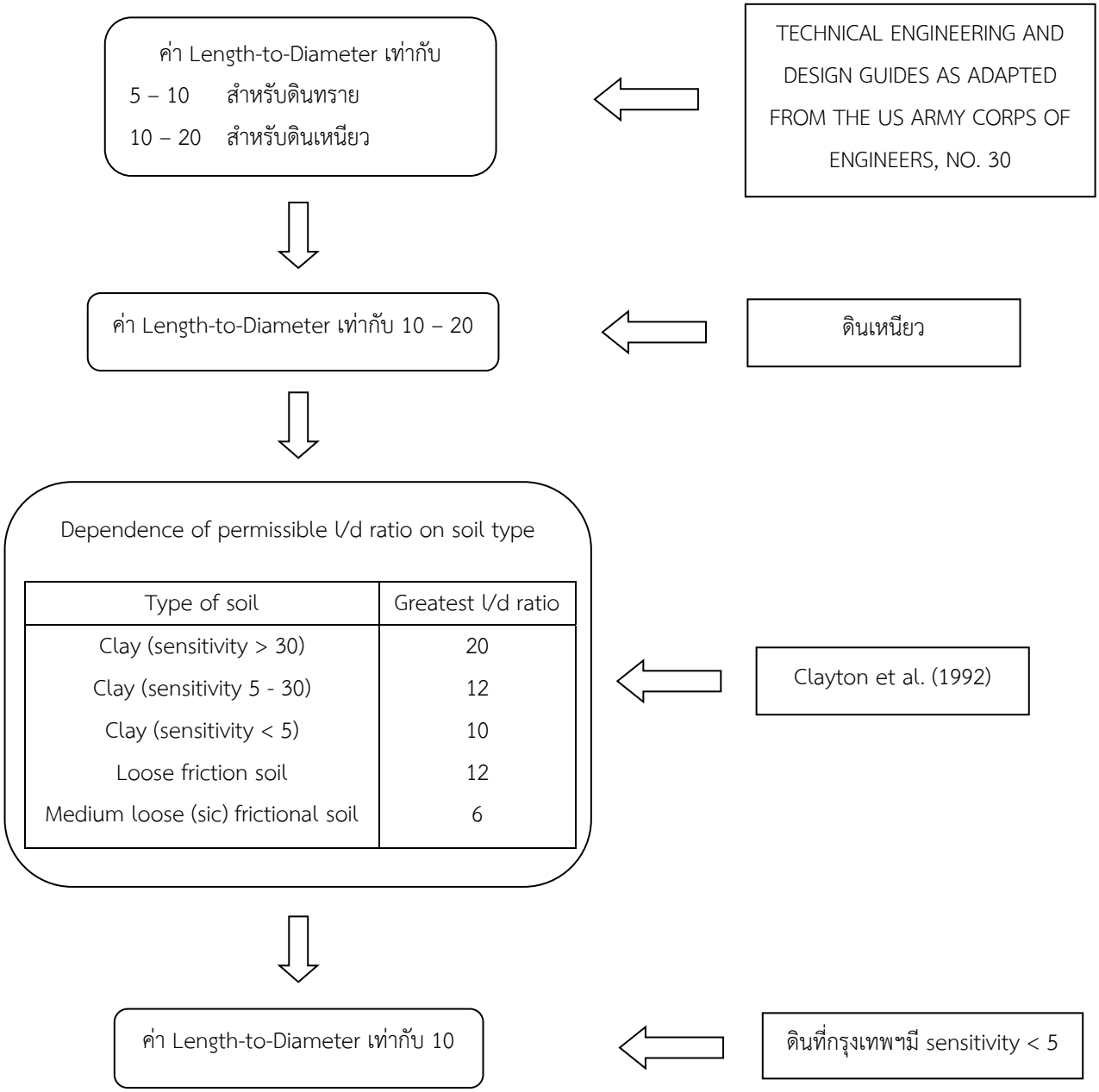
รูปที่ 4-3แสดงการพิจารณา outside clearance ข้อมูลจากหนังสือ Soil sampling ให้ค่า Outside Clearance ที่เหมาะสมกับดินเหนียวมีค่าเท่ากับ 2–3% จึงสรุปได้ว่ากระบอกที่กำลังพัฒนาจะใช้ ค่า Outside Clearance เท่ากับ 2.0%



รูปที่ 4-3 การพิจารณา outside clearance

Length-to-Diameter

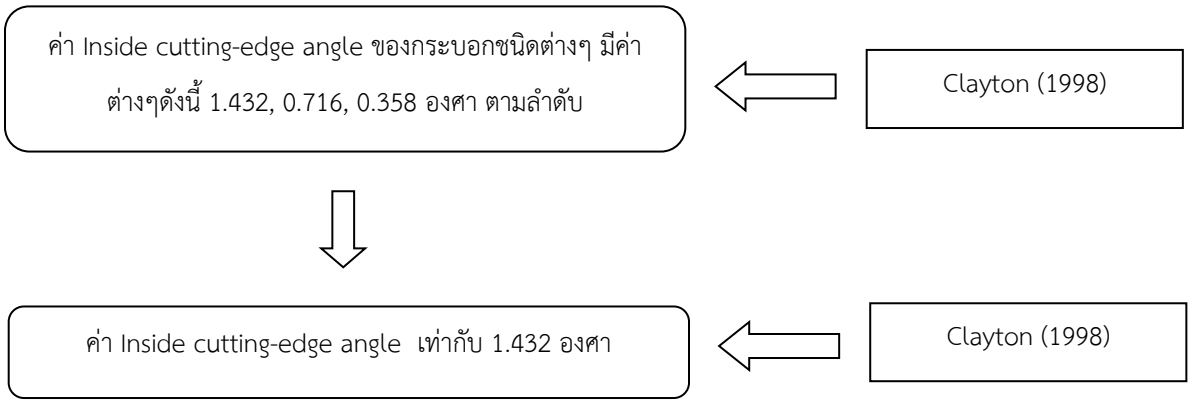
รูปที่ 4-4 แสดงการพิจารณา length-to-diameter ค่า Length-to-Diameter ที่เหมาะสมสำหรับดินเหนียวและสำหรับดินกรุงเทพมหานครฯนั้น มีค่าเท่ากับ 10 จากหนังสือ Soil sampling และหนังสือ Site investigation จึงสรุปได้ว่ากระบอกที่กำลังพัฒนาจะใช้ ค่า Length-to-Diameter เท่ากับ 10



รูปที่ 4-4 การพิจารณา length-to-diameter

Inside cutting-edge angle

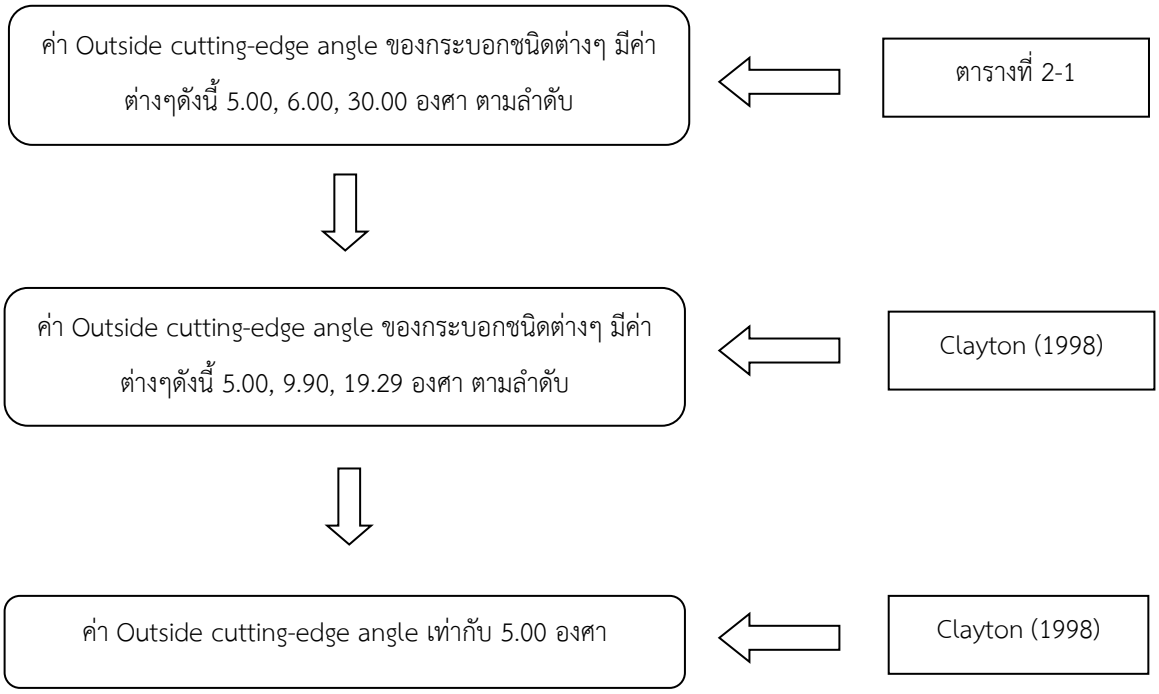
รูปที่ 4-5 แสดงการพิจารณา inside cutting-edge angle ในงานวิจัยของ Clayton (1998) พบว่าค่า Inside cutting edge angle ที่มีการรบกวนน้อยที่สุด คือ 1.432 องศา จึงสรุปได้ว่ากระบอกที่กำลังพัฒนาจะใช้ ค่า Inside cutting edge angle เท่ากับ 1.432 องศา



รูปที่ 4-5 การพิจารณา inside cutting-edge angle

Outside cutting-edge angle

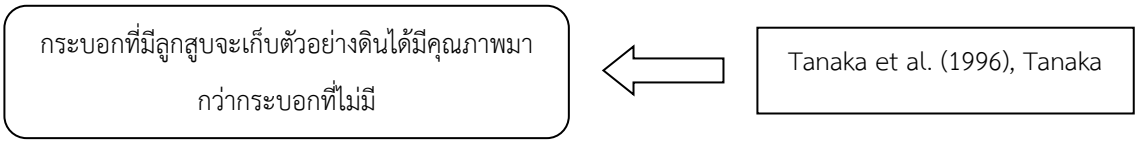
รูปที่ 4-6 แสดงการพิจารณา outside cutting-edge angle จากการศึกษามาตรฐานของกระบอกต่างๆแล้วพบว่า ค่า Outside cutting edge angle มีค่า 5.00, 6.00, 30.00 องศา ดังแสดงในตารางที่ 2-1 ในงานวิจัยของ Clayton (1998) พบว่า ค่า Outside cutting edge angle ที่มีการรบกวนน้อยที่สุด คือ 5.00 องศา จึงสรุปได้ว่ากระบอกที่กำลังพัฒนาจะใช้ ค่า Outside cutting edge angle เท่ากับ 5.00 องศา



รูปที่ 4-6 การพิจารณา outside cutting-edge angle

Piston

รูปที่ 4-7 แสดงการพิจารณาการมี piston จากการศึกษางานวิจัยของ Tanaka et al. (1996) และ Tanaka (2000) พบว่ากระบอกเก็บตัวอย่างดินที่มีลูกสูบเป็นส่วนประกอบด้วยมีการรบกวนตัวอย่างดินน้อยที่สุด จึงสรุปได้ว่ากระบอกที่กำลังพัฒนาควรมีลูกสูบเป็นส่วนประกอบด้วย

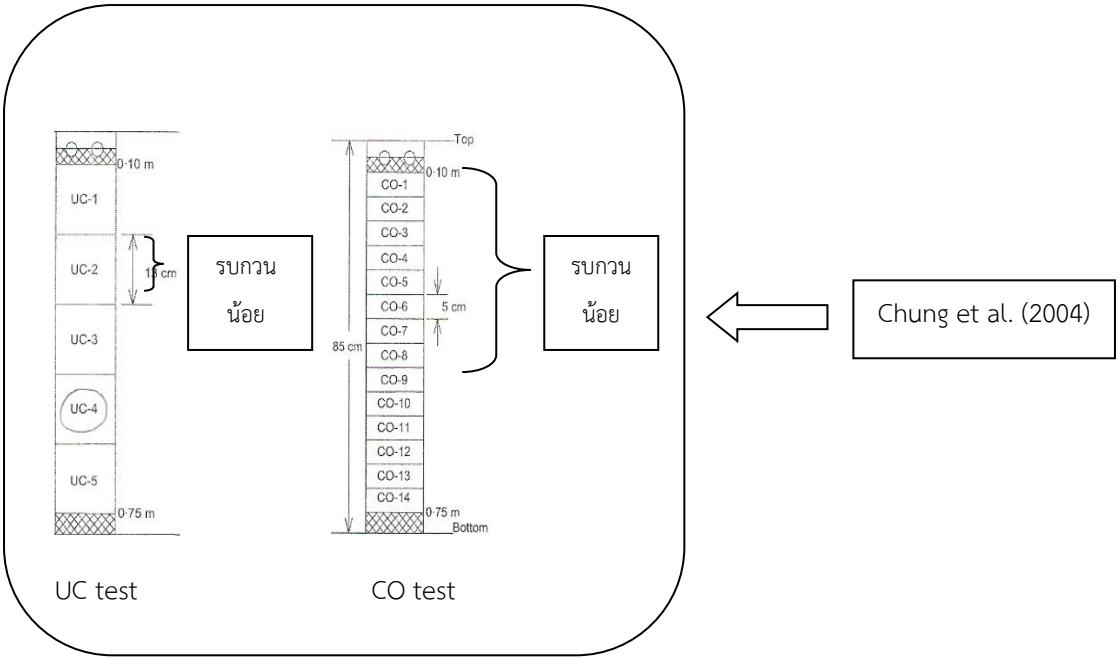


รูปที่ 4-7 การพิจารณาการมี piston

4.2.2 กระบวนการทำงาน (Operation)

Position in the sampler tube

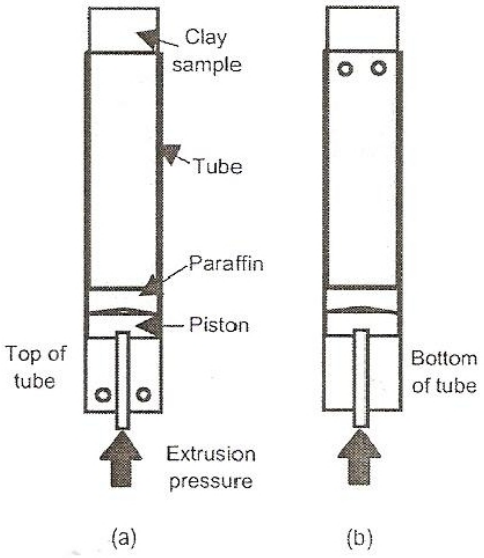
รูปที่ 4-8 แสดงการพิจารณาตำแหน่งที่ดีที่สุดของตัวอย่างดิน ตำแหน่งของดินในกระบอกเก็บตัวอย่างดินนั้น มีผลต่อการรบกวนตัวอย่างดิน เมื่อทำการทดสอบโดยวิธี UC test ตำแหน่งที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดคือ UC-4 และเมื่อทำการทดสอบโดยวิธี CO test ตำแหน่งที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดคือ CO-5 ถึง CO-13 แสดงดังรูป โดยจากการศึกษางานวิจัยของ Chung (2004)



รูปที่ 4-8 การพิจารณาตำแหน่งที่ดีที่สุดของตัวอย่างดิน

Extrusion of sample

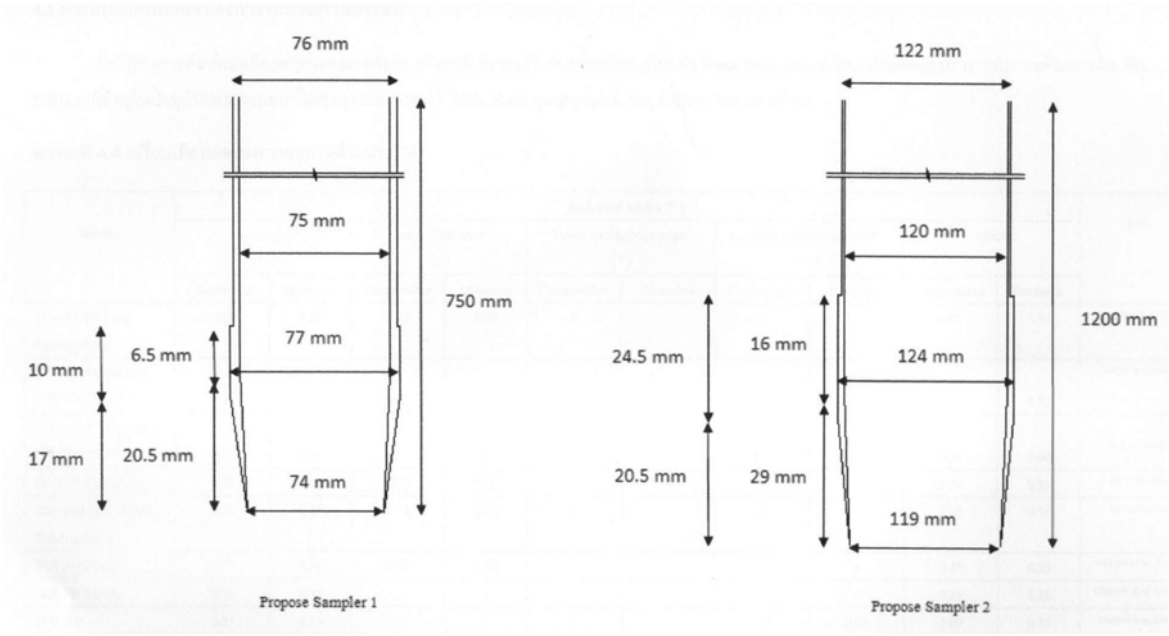
รูปที่ 4-9 แสดงการพิจารณาการดันตัวอย่างดินออกจากกระบอกเก็บตัวอย่าง การดันดินออกจากกระบอกนั้น มีผลต่อการรบกวนตัวอย่างดิน โดยการดันดินแบบปกติ คือ ดันจากส่วนหัวมายังส่วนท้ายกระบอก ดังแสดงในรูป (a) จะรบกวนน้อยกว่าการดันดินแบบกลับกัน คือ จากด้านท้ายมายังส่วนหัวของกระบอก ดังแสดงในรูป (b)



การดันดินออกแบบปกติ ดีกว่า การดันดินแบบกลับกัน ⟸ Chung et al. (2004)

รูปที่ 4-9 การพิจารณาการดันตัวอย่างดินออกจากกระบอกเก็บตัวอย่าง

รูปที่ 4-10 แสดงการออกแบบทางเรขาคณิตของกระบอกบางสำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯ ตารางที่ 4-3 เปรียบเทียบค่าต่างๆของกระบอกแต่ละชนิดกับกระบอกที่ได้ออกแบบ



รูปที่ 4-10 การออกแบบทางเรขาคณิตของกระบอกบางสำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯ

4.3 การเปรียบเทียบผลของการรบกวนตัวอย่างดิน

เมื่อได้ทำการพิจารณาเลือกค่าต่างๆของกระบอกที่เราต้องการแล้ว ทำการเปรียบเทียบค่า Peak axial strains (%) ซึ่งแสดงถึงค่าการรบกวนตัวอย่างดิน กับกระบอกที่มีอยู่ในปัจจุบันและกระบอกที่ได้ทำการออกแบบไว้ ได้ค่า Peak axial strains (%) ดังแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-3 เปรียบเทียบค่าต่างๆของกระบอกแต่ละชนิดกับกระบอกที่ได้ออกแบบ

Sampler	Area ratio (%)	Inside Clearance (%)	Outside Clearance (%)	L/D	Inside cutting edge angle (°)	Outsic cutting e angle (
Thin-Walled Steel Sampler Tubes						
- ขนาด 2 in	7.17	1.0	0	18.4	-	-
- ขนาด 3 in	6.58	1.0	0	12.2	-	-
- ขนาด 5 in	7.09	1 .0	0	11.7	-	-
Hydraulically Operated Stationary Piston Sampler						
- ขนาด 2 in	7.17	1.0	0	18.4	-	
- ขนาด 3 in	6.58	1.0	0	12.2	-	-
- ขนาด 5 in	7.09	1.0	0	11.7	-	-
						-
Thin-walled Tube Sampler with Fixed Piston						
- Stainless Steel	8.2-11.0	0	0	13.3	0	6±1
- Brass	10.4-11.5	0	0	13.3	0	6±1
Open-tube Samplers	10.0	1.0	1	13.3 or 10.0	-	-
Thin-walled Stationary Piston Sampler	10.0	1.0	1	13.3 or 10.0	-	-
NGI 54 Sampler	11.0 - 12.0	1.0 -1.3	-	16.3	-	-
NGI 101 Sampler	8.0	0	-	4.52 or 9.90	0	-

ELE 100	6.8	0	-	9.9	0	30	Yes	Michael long (2003)
ELE 100 (modified)	6.8	0	-	9.9	0	5	Yes	Michael long (2003)
Propose Sampler (1) (กระบอกแนะนำ)	8.2	1	0	10	1.432	5	Yes	
Propose Sampler (2) (กระบอกแนะนำ)	8.2	1	0	10	1.432	5	Yes	

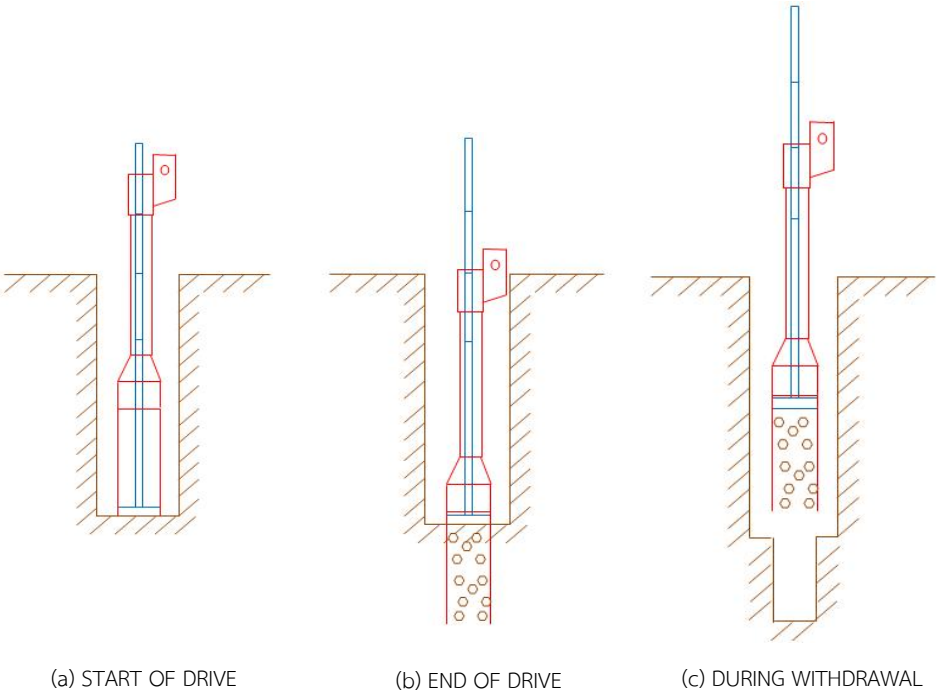
ตารางที่ 4-4 เปรียบเทียบผลของการรบกวนตัวอย่างดิน

Sampler	Peak axial strains (%)										อ้างอิง
	Area ratio (%)		Inside Clearance (%)		Inside cutting-edge angle (°)		Outside cutting-edge angle (°)		MAX		
	Comp.	Ext.	Comp.	Ext.	Comp.	Ext.	Comp.	Ext.	Comp.	Ext.	
Thin-Walled Steel Sampler Tubes	0.25	0.55	0.75	0.50	-	-	-	-	0.75	0.55	ASTM D 1587
Hydraulically Operated Stationary Piston Sampler	0.25	0.55	0.75	0.50	-	-	-	-	0.75	0.55	ASTM D 6519-02
Thin-walled Tube Sampler with Fixed Piston	0.25	0.55	-	-	-	-	0.30	0.60	0.30	0.60	JGS 1221-1995
Open-tube Samplers	0.25	0.55	0.75	0.50	-	-	-	-	0.75	0.55	BS 5930:1981
Thin-walled Stationary Piston Sampler	0.25	0.55	0.75	0.50	-	-	-	-	0.75	0.55	BS 5930:1981
NGI 54 Sampler	0.25	0.55	0.75	0.50	-	-	-	-	0.75	0.55	Clayton et al. (1992)

NGI 101 Sampler	0.25	0.55	-	-	-	-	-	-	0.25	0.55	Clayton et al. (1992)
ELE 100	0.25	0.55	-	-	-	-	1.90	0.75	1.90	0.75	Michael long (2003)
ELE 100 (modified)	0.25	0.55	-	-	-	-	0.30	0.60	0.30	0.60	Michael long (2003)
Propose Sampler 1	0.25	0.55	0.75	0.50	0.75	0.40	0.30	0.60	0.75	0.6	
Propose Sampler 2	0.25	0.55	0.75	0.50	0.75	0.40	0.30	0.60	0.75	0.6	

4.4 กลไกการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกลูกสูบ

ทำการเจาะแบบเปียก (Wash boring) จนถึงระดับความลึกที่ต้องการจะเก็บตัวอย่างดิน หลังจากนั้นนำส่วนที่เป็นหัวเจาะออก และประกอบชุดเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกลูกสูบ ทำการหย่อนอุปกรณ์ลงไปในหลุมให้ถึงระดับความลึกที่ต้องการ โดยลูกสูบและแกนลูกสูบที่อยู่ภายในกระบอกจะถูกยึดไว้ดังรูปที่ 4-11(a) เมื่อปากกระบอกอยู่ที่ตำแหน่งที่ต้องการจะเก็บตัวอย่าง ให้หมุนแกนของลูกสูบทิศทางตามเข็มนาฬิกา เพื่อให้คลายการยึดของแกนลูกสูบ แล้วทำการเลื่อนกระบอกลงไปในดินโดยลูกสูบยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิมดังรูปที่ 4-11(b) เมื่อทำการดันกระบอกลงไปในดินจนดินเต็มกระบอกแล้ว แกนของลูกสูบจะถูกยึดอีกครั้ง หลังจากนั้นก็นำกระบอกขึ้นมาจากหลุมเจาะดังรูปที่ 4-11(c) และนำไปทำการทดสอบต่อไป



รูปที่ 4-11 Sampling Operations Using the Piston-tube Sampler

4.5 กรณีศึกษาการพัฒนากระบอกลูกสูบ

ในการพัฒนากระบอกแบบลูกสูบนั้น กระบวนการเก็บมีความคล้ายคลึงกับการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกบางที่เป็นการเก็บดินเหนียวอ่อนในปัจจุบัน คือต้องทำหลังจากการเจาะแบบเปียกแล้วจึงนำกระบอกลงไปในหลุมเพื่อเก็บดิน แต่มีการเปลี่ยนแปลงและเพิ่มอุปกรณ์ขึ้นมาสำหรับการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกลูกสูบ โดยจะอธิบายดังนี้

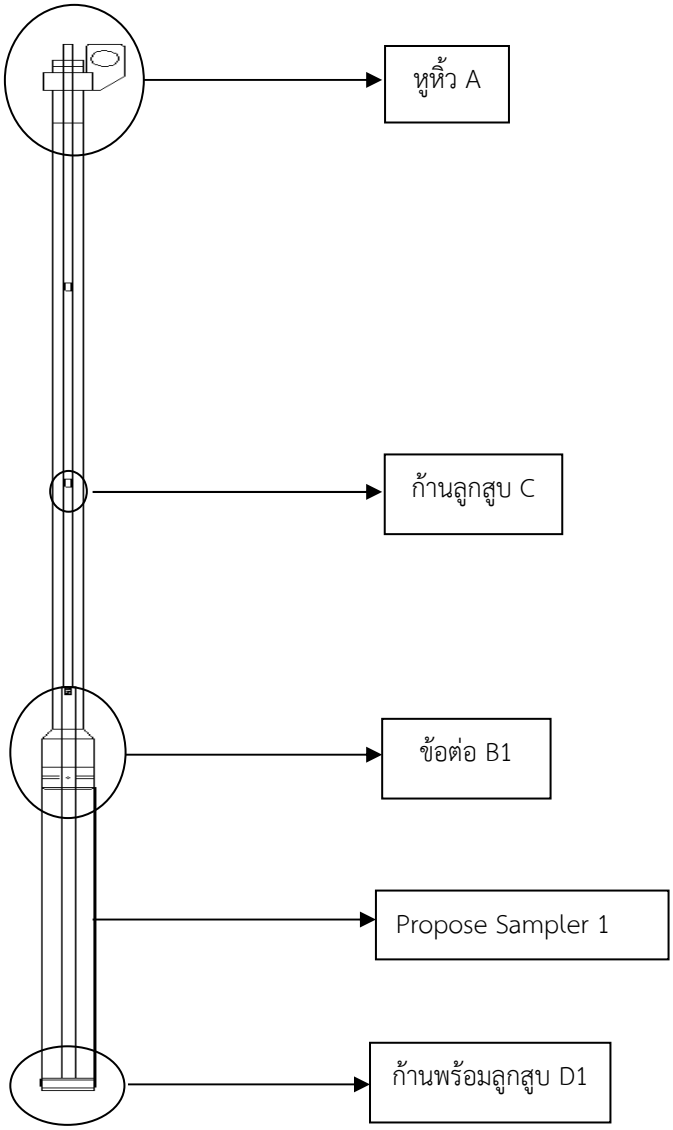
4.5.1 การเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกบาง

หลังจากทำการเจาะแบบเปียก (Wash boring) จนถึงระดับความลึกที่ต้องการจะเก็บตัวอย่างดินทำการติดตั้งกระบอกบางกับอุปกรณ์การเก็บดังรูปที่ 4-12 หลังจากนั้นทำการหย่อนกระบอกลงไปในหลุมจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ ทำการกดกระบอกลงไปในดิน แล้วนำกระบอกขึ้นมา นำไปทำการทดสอบต่อไป

4.5.2 การเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกลูกสูบ

กลไกลการเก็บตัวอย่างดิน ดังแสดงในรูปที่ 4-13 แสดงอุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงและเพิ่มขึ้นมาสำหรับการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกลูกสูบ และอุปกรณ์ต่างๆที่มาติดตั้งเพื่อทำการเก็บดินตัวอย่าง

รูปที่ 4-12 การเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบาง



รูปที่ 4-13 อุปกรณ์ที่ติดตั้งทั้งหมด (สำหรับ Propose Sampler 1)

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนากระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบลูกสูบสำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยศึกษาจากงานวิจัย 5 งานวิจัย ได้แก่ Ariake (Japan), Kinkai (Japan), Bothkennar (Britain), Drammen (Norway) และ Pusan (Korea) และศึกษาดินบริเวณถนนแจ้งวัฒนะ 15 จังหวัดนนทบุรี บริเวณถนนบางนา-ตราด กม. 31.5 จ.สมุทรปราการ และบริเวณแยกลำสาลี ถนนศรีนครินทร์ กทม.

จากผลการศึกษานี้ ทำให้ได้แบบทางวิศวกรรมของกระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบลูกสูบ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องเพิ่มขึ้นมาในกระบวนการและกลไกวิธีการเก็บตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เพื่อนำไปจัดสร้างและนำไปใช้เก็บตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ซึ่งอาจมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในอนาคตต่อไป

5.2 ปัญหาที่พบในการทำการวิจัย

- เนื่องจากกระบอกเก็บตัวอย่างดินในประเทศไทยยังมีการศึกษาที่น้อยจึงทำให้ข้อมูลที่เป็นของประเทศไทยจริงๆมีน้อยมาก ทำให้ยากในการวิเคราะห์ข้อมูลออกแบบกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

5.3 ข้อเสนอแนะ

- หาข้อมูลจากงานวิจัยที่ตีพิมพ์ให้มีความเหมาะสมกับดินและกระบอกเก็บตัวอย่างดินในกรุงเทพฯ

ผลผลิต

สยาม ยิ้มศิริ, ธนพัฒน์ ภูติภัทร์, และทิพรัตน์ ใยบัวเอี่ยม (2558), “การพัฒนากระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบลูกสูบที่เหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20, จัดโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การพัฒนากระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบลูกสูบที่เหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

Development of piston sampler for collecting soft Bangkok Clay specimen

สยาม ยิ้มศิริ[1,*] ธนพัฒน์ ภูติภัทร์[2] และ ทิพรัตน์ ใยบัวเอี่ยม[3]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

บทคัดย่อ

การรบกวนต่อตัวอย่างดินระหว่างการเก็บตัวอย่างจากสนามทำให้ผลการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการให้ค่า strength และ modulus ต่ำลงซึ่งเป็นผลทำให้การออกแบบและการก่อสร้างมีความสิ้นเปลืองมากขึ้น ดังนั้นตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการต้องมีสภาพใกล้เคียงกับในสนามมากที่สุดโดยมีการรบกวนจากการเก็บตัวอย่างน้อยที่สุด งานวิจัยในอดีตได้แสดงว่าตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพที่ได้จากกระบอกเก็บตัวอย่างแบบลูกสูบมีสภาพดีที่สุดทั้งในแง่ของคุณภาพของตัวอย่างและค่าใช้จ่าย อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังไม่มีการใช้กระบอกแบบลูกสูบอย่างแพร่หลายและไม่มีการกำหนดมาตรฐานของกระบอกประเภทนี้ อีกทั้งมาตรฐานของกระบอกแบบลูกสูบต่างๆ (เช่น ASTM, JIS, และ BS) มีความแตกต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบลักษณะของกระบอกแบบลูกสูบที่เหมาะสมสำหรับใช้กับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ พร้อมทั้งดำเนินการผลิตและทดลองใช้งานจริงเพื่อศึกษาขั้นตอนการทำงานระหว่างกระบวนการเจาะสำรวจดิน

คำสำคัญ: การเจาะสำรวจดิน, กระบอกเก็บตัวอย่าง, การรบกวนตัวอย่างดิน

Abstract

Sample disturbance during sampling process yields reduction in strength and modulus of soil specimen from laboratory tests which in turn results in too conservative design and construction. Therefore, soil specimen condition for laboratory test must be as close as that in the field with minimum degree of sample disturbance. Past researches have shown that a piston sampler gives best undisturbed sample for clay in terms of sample quality and cost. However, piston sampler is not widely used in Thailand and there is no national standard for it. Moreover, standards of piston sampler of various agencies are different (e.g. ASTM, JIS, and BS). Therefore, this research involves a design of piston sampler for use with soft Bangkok Clay. The designed sampler is also manufactured and experimentally used in real site investigation process.

Keywords: soil exploration, tube sampler, sampling disturbance

1. บทนำ

ในการออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมปฐพี เช่น ฐานรากอาคาร, งานขุดชั้นใต้ดิน, งานถมเพื่อก่อสร้างถนนและเขื่อน, หรืองานอุโมงค์ใต้ดิน นั้นต้องมีการสำรวจและทดสอบคุณสมบัติของชั้นดินที่จะทำการก่อสร้างว่ามีกำลังรับน้ำหนักเพียงพอหรือไม่และเมื่อรับแรงที่ได้คาดการณ์ไว้จะเกิดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างมากเกินไปหรือไม่ โดยหนึ่งในแนวทางที่นิยมทำคือการเก็บตัวอย่างดินจากสถานที่ก่อสร้างที่ความลึกต่างๆแล้วนำมาทดสอบทางกลศาสตร์ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินนั้น อย่างไรก็ตามในการเก็บตัวอย่างดินขึ้นมาจะมีการรบกวนต่อตัวอย่างดินจากสาเหตุต่างๆดังนี้ (i) การเปลี่ยนแปลงของสภาพความเค้น, (ii) การเสียรูปทางกล, (iii) การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอัตราส่วนช่องว่าง, และ (iv) การเปลี่ยนแปลงทางเคมี [1] ซึ่งการรบกวนนี้ทำให้ตัวอย่างดินให้ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม (เช่นกำลังและโมดูลัส) ที่ต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งเป็นผลทำให้การออกแบบและการก่อสร้างมีความสิ้นเปลืองมากขึ้น ดังนั้นตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบทางวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการต้องมีสภาพ

* ผู้เขียนผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding author)
E-mail address: ysiam@buu.ac.th

ใกล้เคียงกับในสนามมากที่สุดโดยมีการรบกวนจากการเก็บตัวอย่างน้อยที่สุด งานวิจัยในอดีตได้แสดงว่าตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพที่ได้จากกระบอกเก็บตัวอย่างแบบลูกสูบมีสภาพดีที่สุดทั้งในแง่ของคุณภาพของตัวอย่างและค่าใช้จ่าย อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังไม่มีการใช้กระบอกแบบลูกสูบอย่างแพร่หลายและไม่มีการกำหนดมาตรฐานของกระบอกประเภทนี้ ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษามาตรฐานของกระบอกแบบลูกสูบแบบต่างๆและเสนอลักษณะของกระบอกแบบลูกสูบที่เหมาะสมสำหรับการใช้กับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ คือ area ratio, clearance ratio, cutting-edge angle, และความยาวต่อคุณภาพของตัวอย่างดินจากงานวิจัยที่มีอยู่ หลังจากนั้นได้ทำการออกแบบ, ผลิต, และทดลองใช้งานจริง

2. การรบกวนจากการเก็บตัวอย่างดิน

Hvorslev [2] เป็นงานวิจัยแรกที่ศึกษาเกี่ยวกับ sample disturbance หลังจากนั้นมีงานวิจัยที่แสดงการลดลงของ shear strength เนื่องจาก sample disturbance [3, 4, 5] หลายทศวรรษต่อมา sample disturbance ก็ยังคงเป็นหัวข้อที่มีอย่างวิจัย เช่น มีแนวทางในการออกแบบ sampler ที่ดีขึ้นเพื่อเก็บตัวอย่างดินคุณภาพสูง [6], การพัฒนากระบวนการ reconsolidation เพื่อให้ได้พฤติกรรมที่ไม่ถูกรบกวนของตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ [7, 8], ข้อแนะนำในการเก็บรักษาตัวอย่างดิน [9], การศึกษาผลกระทบของ sample disturbance ต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่างๆของดินที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ [10] และการจำลองกระบวนการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้การทดสอบในห้องปฏิบัติการ [1], การคำนวณเชิงวิเคราะห์ [11], และการคำนวณเชิงตัวเลข [12]

ในเวลาต่อมามีการใช้แนวคิดเดียวกันในการศึกษาผลกระทบของ “ideal sampling approach” (ISA) disturbance ต่อคุณสมบัติต่างๆของดินเพื่อประเมินวิธีการ reconsolidation และเพื่อเข้าใจผลกระทบของ OCR, ชนิดของดิน, และสัดส่วนของกระบอกเก็บตัวอย่าง [1] ผลของการศึกษาของ Baligh et al [11] โดย strain path method ได้จำลองกระบอกเป็นปลายมนและมี inside clearance ratio (ICR) อยู่ระหว่าง 0.8-1.9% ขึ้นอยู่กับค่า B/t (ระหว่าง 20-50) ทั้งงานวิจัยแบบทำการทดลองและการวิเคราะห์ได้แสดงว่าขนาดของกระบอกและลักษณะของปลายมีผลต่อการรบกวนอย่างมาก La Rochelle et al. [6] ได้แสดงว่าการไม่มี inside clearance ratio ลดการรบกวนเพราะไม่ทำให้เกิดการขยายตัวทางด้านข้างของตัวอย่างดินเมื่ออยู่ในกระบอกและเน้นความสำคัญของการมีปลายที่คม Clayton & Siddique [13] ใช้ finite element เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดของกระบอกเก็บตัวอย่าง (inside clearance ratio, cutting edge taper angle, และอื่นๆ) ต่อ strain ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บตัวอย่างดิน ผลการศึกษาแสดงว่า inside clearance ratio (ICR), outside cutting-edge angle (มุมระหว่างแนวดิ่งกับขอบนอกของปลาย sampler), และ inside cutting-edge angle (มุมระหว่างแนวดิ่งกับขอบในของปลาย sampler) มีบทบาทสำคัญมากและ strain ที่เกิดขึ้นจาก sampler ที่มีปลายแหลมคมจะน้อยกว่าที่ประมาณโดย [11] Clayton et al. [14] แสดงว่าการเพิ่มของ ICR ทำให้ peak extension strain เพิ่มขึ้นอย่างมากในขณะที่ตัวอย่างดินเคลื่อนตัวเข้าไปในกระบอกและ peak axial strain จะลดลงบางส่วนในรูป compression หน้ากระบอก ค่า inside cutting angle มีผลกับ peak strain ในรูป extension โดยไม่มีผลกับ maximum compressive strain ในทางตรงกันข้ามเมื่อ taper angle ของ outside cutting edge เพิ่มขึ้นจะทำให้ maximum compressive strain เพิ่มขึ้น Siddique et al. [15] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาความสำคัญของลักษณะปลาย sampler ต่อการรบกวนตัวอย่างดินเหนียวอ่อน Hight & Leroueil [16] ศึกษา sampling disturbance โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการและพบว่า modified tube sampler ทำงานได้ดีเท่ากับ Sherbrooke block sampler งานทางทฤษฎีของ [1] และ [12] ศึกษาลักษณะทางเรขาคณิตของ sampler ต่างๆและพบว่าหาก cutting edge angle ลดลงจากค่ามาตรฐานที่ 30° เป็น 5° ค่า axial compressive strain ที่เกิดจากกระบวนการเก็บตัวอย่างดินจะลดลงอย่างมากและค่า tensile strain จะไม่เกิดขึ้น

3. การเปรียบเทียบลักษณะของกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

ตารางที่ 1 รวบรวมและเปรียบเทียบลักษณะของกระบอกบางชนิดต่างๆทั้งแบบที่มีและไม่มีลูกสูบเพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการพัฒนากระบอกแบบมีลูกสูบต่อไปโดยสนใจขนาด 3 นิ้วซึ่งเป็นขนาดที่นิยมใช้ในประเทศไทย ในประเทศไทยนั้นการเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพในสนามเพื่อนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไปจะใช้การเก็บตัวอย่างแบบกระบอกบาง (thin-walled tube หรือ Shelby tube) Tanaka et al. [17] ได้แสดงว่าตัวอย่างคงสภาพของดินเหนียวอ่อนที่ได้จากกระบอกบางนั้นไม่ใช่ตัวอย่างดินที่ดีเนื่องจากให้ผลการทดสอบด้านกำลังที่ต่ำ และได้สรุปว่ากระบอกเก็บตัวอย่างแบบลูกสูบน่าจะเป็นการเก็บตัวอย่างแบบกระบอกที่ดีที่สุด (ในแง่ของการทำงานและค่าใช้จ่าย) อย่างไรก็ตามยังไม่มีการใช้กระบอกแบบลูกสูบอย่างแพร่หลายในประเทศไทยและไม่มีมาตรฐานในการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้

4. การออกแบบลักษณะของกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการรบกวนของตัวอย่างดินในลักษณะต่างๆและปัจจัยที่ควบคุมการรบกวนของตัวอย่างดินขึ้นอยู่กับกระบอกเก็บตัวอย่างดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบในส่วนของ cutting edge, piston, และการออกแบบกระบอกเก็บตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมคุณภาพของตัวอย่างดิน โดยก่อนที่จะพิจารณาลักษณะต่างๆของกระบอกจะแสดงนิยามศัพท์ดังรูปที่ 1 หลังจากนั้นจะพิจารณาลักษณะที่เหมาะสมของกระบอกเก็บตัวอย่างคือ area ratio, inside clearance ratio, outside clearance ratio, inside cutting-edge angle, outside cutting-edge angle, length-to-diameter ratio, การมีลูกสูบ, ตำแหน่งของตัวอย่างดินในกระบอก, และการดันดินออกจากกระบอก

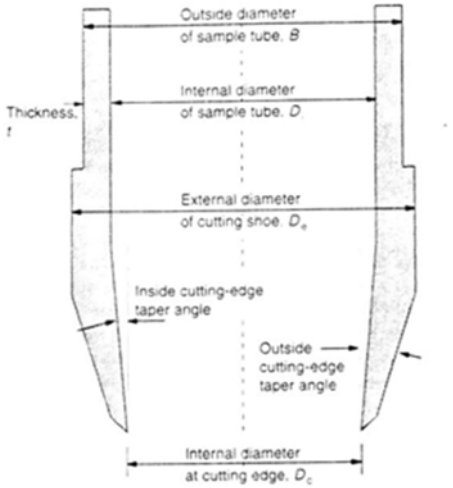
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบลักษณะของกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

กระบอก	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (มม)	ความยาว (มม)	ความหนา (มม)	การเก็บตัวอย่าง	กลไก	อ้างอิง
Thin-walled tube	74.55	910	1.65	กด/ตอก	ทางกล	[18]
Hydraulic piston sampler	74.55	910	1.65	กด/ตอก	ไฮดรอลิก	[19]
Piston sampler (stainless steel)	75	1000	1.9-2.1	กด	ทางกล/ไฮดรอลิก	[20]
Open-tube sampler	75	-	1.1*	กด/ตอก	ทางกล	[21]
Piston sampler	75	-	1.1*	กด/ตอก	ทางกล	[21]
NGI 54	54	880	1.5	-	ทางกล	[1]
NGI 101	101	457/1000	2.0	-	ทางกล	[1]
ELE 100	101	1000	1.7	-	ทางกล	[22]
ELE 100 (mod.)	101	1000	1.7	-	ทางกล	[22]
การศึกษานี้	74	750	0.72	กด	ทางกล	

*คำนวณจาก Outside clearance = 1%

ตารางที่ 1 (ต่อ) การเปรียบเทียบลักษณะของกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

กระบอก	AR (%)	ICR (%)	OCR (%)	L/D	ICA (°)	OCA (°)	ลูกสูบ	อ้างอิง
Thin-walled tube	6.58	1.0	0	12.2			ไม่มี	[18]
Hydraulic piston sampler	6.58	1.0	0	12.2			มี	[19]
Piston sampler (stainless steel)	8.2-11.0	0	0	13.3	0	6 ± 1	มี	[20]
Open-tube sampler	10.0	1.0	1	13.3 หรือ 10.0	-	-	ไม่มี	[21]
Piston sampler	10.0	1.0	1	13.3 หรือ 10.0	-	-	มี	[21]
NGI 54	11.0 -12.0	1.0 -1.3	-	16.3	-	-	มี	[1]
NGI 101	8.0	0	-	4.52 หรือ 9.90	0	-	มี	[1]
ELE 100	6.8	0	-	9.9	0	30	มี	[22]
ELE 100 (mod.)	6.8	0	-	9.9	0	5	มี	[22]
การศึกษานี้	8.2	1	2	10	1.432	5	มี	



Outside diameter of sample tube (B)
Internal diameter of sample tube (D_i)
External diameter of cutting shoe (D_e)
Internal diameter of cutting shoe (D_c)
Thickness (t)

รูปที่ 1 นิยามศัพท์ [13]

4.1 Area ratio

Area ratio (AR) มีนิยามดังสมการที่ (1) เป็นค่าที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการรบกวนตัวอย่างดินโดยกระบอกบาง ค่า AR ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับประเภทของดิน, กำลัง, และ sensitivity Hvorslev [2] ได้แสดงว่าค่า AR ของกระบอกเก็บตัวอย่างดินที่ดีควรมีค่าอยู่ระหว่าง 10–15% จากการศึกษามาตรฐานของกระบอกต่างๆดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าค่า AR อยู่ระหว่าง 6–12% นอกจากนี้ Tanaka et al. [17] พบว่ากระบอกตาม Thin-wall tube sampler with fixed piston JGS 1221-1995 [20] มีการรบกวนต่อ Ariake Clay น้อยที่สุด และดินเหนียวกรุงเทพฯมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ Ariake Clay ดังนั้นจึงเลือก AR เท่ากับของ [20] คือ 8.2%

$$C_a = \frac{D_e^2 - D_c^2}{D_c^2} \quad (1)$$

4.2 Inside clearance ratio

Inside clearance ratio (ICR) นิยามตามสมการที่ (2) inside clearance มีจุดประสงค์เพื่อป้องกันการติดขัดของตัวอย่างระหว่างการเคลื่อนที่เข้าไปในกระบอกโดยการลดค่า shear stress ระหว่างผิวในของกระบอกกับดิน แต่ข้อเสียคือทำให้เกิดการ swell ของดินเมื่อเข้าไปในกระบอก Hvorslev [2] แนะนำค่า ICR เท่ากับ 0–1% สำหรับกระบอกสั้น

มาก, 0.5–3% สำหรับกระบอกยาวปานกลาง, และ 0.75–1.5% สำหรับกระบอกยาว (L/D = 6-8) งานวิจัย Clayton et al. [1] พบว่า ICR=1.0% มีการรบกวนน้อยที่สุด โดยกระบอกที่กำลังพัฒนามีค่า L/D เท่ากับ 10 จึงสรุปได้ว่ากระบอกที่กำลังพัฒนาจะใช้ ค่า Inside clearance ratio เท่ากับ 1.0%

$$C_i = \frac{D_i - D_c}{D_c} \quad (2)$$

4.3 Outside clearance ratio

Outside clearance ratio (OCR) นิยามตามสมการที่ (3) มีจุดประสงค์เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผนังด้านนอกกับดิน US Army Corps of Engineers [23] แนะนำค่า OCR ที่เหมาะสมกับดินเหนียวมีค่าเท่ากับ 2–3% จึงสรุปได้ว่ากระบอกที่กำลังพัฒนาจะใช้ ค่า Outside clearance ratio เท่ากับ 2.0%

$$C_o = \frac{D_e - B}{B} \quad (3)$$

4.4 Inside cutting-edge angle

งานวิจัยของ Clayton et al. [1] พบว่า ค่า Inside cutting edge angle (ICA) ที่มีการรบกวนน้อยที่สุด คือ 1.432° จึงสรุปได้ว่ากระบอกที่กำลังพัฒนาจะใช้ ค่า Inside cutting edge angle เท่ากับ 1.432°

4.5 Outside cutting-edge angle

ตารางที่ 1 แสดงว่ามาตรฐานของกระบอกต่างๆมีค่า Outside cutting edge angle (OCA) เท่ากับ 5.00, 6.00, 30.00 องศา นอกจากนี้ Clayton et al. [1] แสดงว่า ค่า Outside cutting edge angle ที่มีการรบกวนน้อยที่สุด คือ 5.00 องศา จึงสรุปได้ว่ากระบอกที่กำลังพัฒนาจะใช้ ค่า Outside cutting edge angle เท่ากับ 5.00 องศา

4.6 Length-to-Diameter Ratio

US Army Corps of Engineers [23] เสนอว่าอัตราส่วน L/D ควรมีขอบเขตอยู่ระหว่าง 10-20 สำหรับ cohesive soil นอกจากนี้ดินเหนียวกรุงเทพฯมีค่า sensitivity = 5 และ Clayton et al. [1] แสดงว่า ดินที่มี sensitivity < 5 ควรมี L/D = 10 จึงสรุปได้ว่ากระบอกที่กำลังพัฒนาจะใช้ ค่า Length-to-Diameter เท่ากับ 10

4.7 การมีลูกสูบในกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

Tanaka et al. [17] พบว่ากระบอกเก็บตัวอย่างดินที่มีลูกสูบเป็นส่วนประกอบด้วยมีการรบกวนตัวอย่างดินน้อยที่สุด จึงสรุปได้ว่ากระบอกที่กำลังพัฒนาควรมีลูกสูบเป็นส่วนประกอบด้วย

4.8 ตำแหน่งของดินในกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

Chung [24] แสดงว่าตำแหน่งของดินมีการรบกวนที่แตกต่างกัน เมื่อนำดินไปทดสอบ unconfined compression และ consolidation จะพบว่าตำแหน่งที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดคือตำแหน่งที่ 2 ใน 5 ส่วนจากปลายกระบอก

4.9 การดันดินออกจากกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

Chung [24] แสดงว่าการดันดินจากกระบอกออกทางปลายกระบอก (ทิศตรงข้ามกับตอนเก็บตัวอย่างดิน) มีการรบกวนดินน้อยกว่า

5. ผลการออกแบบ

ตารางที่ 1 แสดงการออกแบบทางเรขาคณิตของกระบอกบางสำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯเปรียบเทียบค่าต่างๆของกระบอกชนิดอื่น ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่า Peak axial strains (%) ที่เกิดจากกระบอกเก็บตัวอย่างจากผลการศึกษาโดย Clayton et al. [1]

รูปที่ 2 แสดงกลไกการเก็บตัวอย่างดิน โดยอุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงและเพิ่มขึ้นมาสำหรับการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกลูกสูบแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3 ถึง 7 กระบอกสูบได้ถูกผลิตขึ้นและทดลองใช้งานจริงดังแสดงในรูปที่ 8

6. สรุปผลการทดลอง

กระบอกแบบลูกสูบที่เหมาะสำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯมีลักษณะดังนี้ AR = 8.2%, ICR = 1%, OCR = 2%, ICA = 1.432°, OCA = 5°, และ L/D = 10 โดยจะต้องดันตัวอย่างออกทางปลายกระบอก (ตรงข้ามกับตอนเก็บตัวอย่างดิน) และใช้ตัวอย่างที่ตำแหน่งที่ 2 ใน 5 ส่วนจากปลายกระบอก โดยจะเกิด maximum strain คือ 0.75% (อัด) และ 0.6% (ดึง) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับของกระบอกชนิดอื่น (ตารางที่ 2) หลังจากการผลิตและใช้งานจริงพบข้อควรหมายเหตุเพื่อการพัฒนาต่อไปดังนี้ (i) กระบอกเก็บตัวอย่างมีความบางมากเกินไปทำให้เสียหายง่ายจึงต้องมีการปรับคุณสมบัติบางอย่างของกระบอกจากที่ได้ออกแบบไว้และ (ii) มีปัญหาในการล็อกก้านเจาะตัวนอกกับตัวในให้ติดกันระหว่างการต่อกระบอกลงไปและแยกออกจากกันระหว่างการเก็บตัวอย่างดิน จึงต้องมีการออกแบบกลไกที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังต้องมีการเปรียบเทียบผลการทดสอบต่างๆ เช่น consolidation และ triaxial ระหว่างตัวอย่างดินที่ได้จากกระบอกแบบลูกสูบและกระบอกบางเพื่อยืนยันถึงคุณสมบัติของตัวอย่างดินที่ดีขึ้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 108/2558

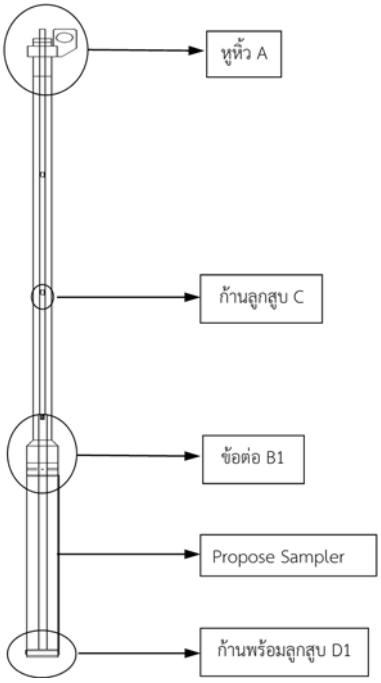
เอกสารอ้างอิง

[1] C.R.I. Clayton, M.C. Matthews, and N.E. Simons, Site Investigation, Blackwell Science; 2nd ed., 1992.

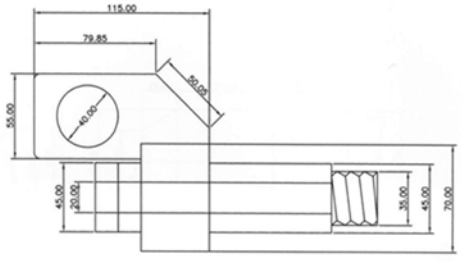
[2] M.J. Hvorslev, Subsurface exploration and sampling of soils for civil engineering purposes, Report for the Committee on Sampling and Testing, ASCE, 1949.

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลของการรบกวนตัวอย่างดิน

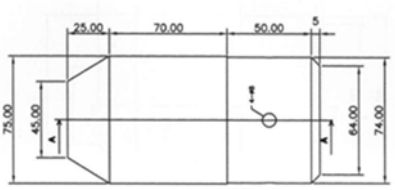
กระบอก	ค่า peak axial strain ที่เกิดจากคุณสมบัติต่างๆ (%)										อ้างอิง
	AR		ICR		ICA		OCA		ค่ามากสุด		
	อัด	ดึง	อัด	ดึง	อัด	ดึง	อัด	ดึง	อัด	ดึง	
Thin-walled tube	0.25	0.55	0.75	0.50	-	-	-	-	0.75	0.55	[18]
Hydraulic piston sampler	0.25	0.55	0.75	0.50	-	-	-	-	0.75	0.55	[19]
Piston sampler	0.25	0.55	-	-	-	-	0.30	0.60	0.30	0.60	[20]
Open-tube Sampler	0.25	0.55	0.75	0.50	-	-	-	-	0.75	0.55	[21]
Piston sampler	0.25	0.55	0.75	0.50	-	-	-	-	0.75	0.55	[21]
NGI 54	0.25	0.55	0.75	0.50	-	-	-	-	0.75	0.55	[1]
NGI 101	0.25	0.55	-	-	-	-	-	-	0.25	0.55	[1]
ELE 100	0.25	0.55	-	-	-	-	1.90	0.75	1.90	0.75	[22]
ELE 100 (mod.)	0.25	0.55	-	-	-	-	0.30	0.60	0.30	0.60	[22]
การศึกษานี้	0.25	0.55	0.75	0.50	0.75	0.40	0.30	0.60	0.75	0.6	



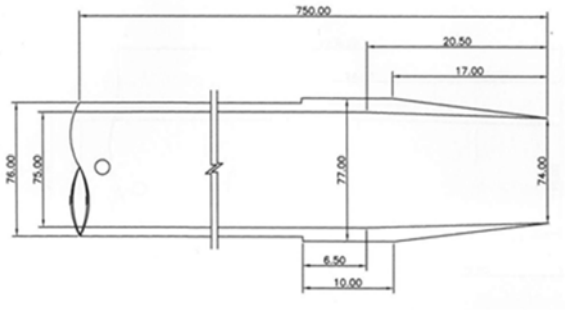
รูปที่ 2 อุปกรณ์ที่ติดตั้งทั้งหมด



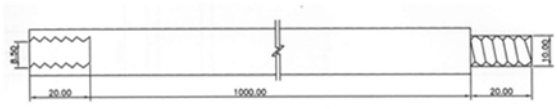
รูปที่ 3 หูหิ้ว A



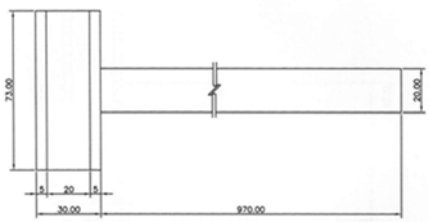
รูปที่ 4 ข้อต่อ B1



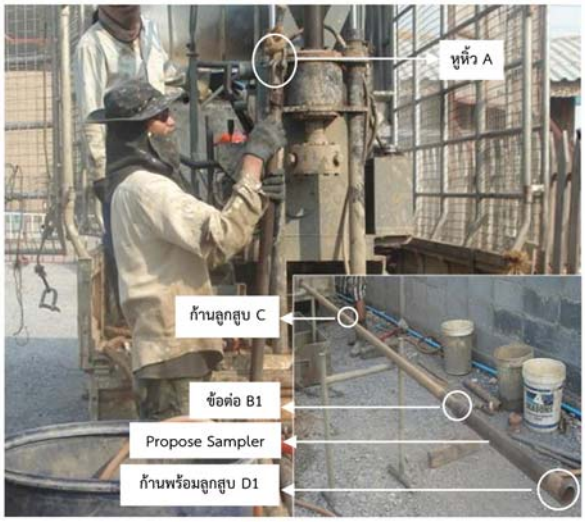
รูปที่ 5 กระบอกเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 6 ก้านลูกสูบ C



รูปที่ 7 ก้านพร้อมลูกสูบ D1



รูปที่ 8 การเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกแบบลูกสูบ

[3] A.W. Skempton and V.A. Sowa, “The behavior of saturated clays during sampling and testing”, Geotechnique, 13(4), pp. 269-290, 1963.

[4] C.C. Ladd and T.W. Lambe, “The strength of undisturbed clay determined from undrained tests”, Symp. on Laboratory Shear Testing of Soils, ASTM STP 361, pp. 342-371, 1963.

[5] I. Noorany and H.B. Seed, “In-situ strength characteristics of soft clays”, Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 91(SM2), pp. 49-80, 1965.

[6] P. La Rochelle, J. Sarrailh, F. Tavenas, M. Roy, and S. Leroueil, “Causes of sampling disturbance and design of a new sampler for sensitive soils”, Canandian Geotechnical Journal, 18(1), pp. 52-66, 1981.

[7] L. Bjeruum, “Problems of soil mechanics and construction on soft clays and structurally unstable soils”, 8th ICSMFE, Moscow, 3, pp. 111-159, 1973.

[8] C.C. Ladd and R. Foott, “New design procedure for stability of soft clays”, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 100(GT7), pp. 763-786, 1974.

[9] J.H. Atkinson, M.A. Allman, and R.J. Boese, “Influence of laboratory sample preparation procedures on the strength and stiffness of intact Bothkennar soil recovered using the Laval sampler”, Geotechnique, 42(2), pp. 349-354, 1992.

[10] D.W. Hight, R. Boese, A.P. Butcher, C.R.I. Clayton, and P.R. Smith, “Disturbance of the Bothkennar Clay prior to laboratory testing”, Geotechnique, 42(2), pp. 199-217, 1992.

[11] M.M. Baligh, A.S. Azzouz, and C.T. Chin, “Disturbance due to ideal tube sampling”, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 113(GT7), pp. 739-757, 1987.

[12] M. Budhu and C.S. Wu, “Numerical analysis of sampling disturbances in clay soils”, International Journal of Analytical Method on Geomechanics, 16, pp. 467-492, 1992.

[13] C.R.I. Clayton and A. Siddique, “Tube sampling disturbance–forgotten truths and new perspectives”, Geotechnical Engineering, 137(3), pp. 127-135, 1999.

[14] C.R.I. Clayton, A. Siddique, and R.J. Hopper, “Effects of sampler design on tube sampling disturbance–numerical and analytical investigations”, Geotechnique, 48(6), pp. 847-867, 1998.

[15] A. Siddique, S.M. Farooq, and C.R.I. Clayton, “Disturbances due to tube sampling in coastal soils”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 126(6), pp. 568-574, 2000.

[16] D.W. Hight and S. Leroueil, “Characterisation of soils for engineering purposes”, Int. Workshop on Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils, 1, pp. 255-360, 2003.

[17] H. Tanaka, P. Sharma, T. Tsuchida, and M. Tanaka, “Comparative study on sample quality using several types of samplers”, Soils and Foundations, 36(2), pp. 57-68, 1996.

[18] ASTM D1587, Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils for Geotechnical Purposes.

[19] ASTM D6519, Standard Practice for Sampling of Soil Using the Hydraulically Operated Stationary Piston Sampler.

[20] JGS 1221, Method for Obtaining Undisturbed Soil Samples using Thin-walled Tube Sampler with Fixed Piston.

[21] BS 5930, Code of practice for Site investigation.

[22] M. Long, “Sampling disturbance effects in soft laminated clays”, Geotechnical Engineering, ICE, 156(GE4), pp. 213-224, 2003.

[23] US Army Corps of Engineers, Geotechnical Investigations, EM 1110-1-1804, 2001.

[24] S.G. Chung, J.M. Kwag, P.H. Giao, S.H. Baek, and K.N. Prasad, “A study of soil disturbance of Pusan clays with reference to drilling, sampling and extruding”, Geotechnique, 54(1), pp. 61-65, 2004.

รายงายสรุปการเงิน

เลขที่โครงการระบบบริหารงานวิจัย 2558A10802029 สัญญาเลขที่ 104/2558

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการ การพัฒนากระบอกเก็บตัวอย่างดินที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่างดินของดินเหนียวกรุงเทพฯ

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน ผศ.ดร. สยาม ยิ้มศิริ

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี - เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557

<u>รายรับ</u>

จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ 1 (50%)	140,000	บาท	เมื่อ	มีนาคม 2558
งวดที่ 1 (50%)		บาท	เมื่อ	
งวดที่ 1 (50%)		บาท	เมื่อ	

<u>รายจ่าย</u>

รายการ	งบประมาณที่ตั้งไว้	งบประมาณที่ใช้จริง	จำนวนเงินคงเหลือ/เกิน
1. ค่าตอบแทน	15,000	15,000	0
2. ค่าจ้าง	0	0	0
3. ค่าวัสดุ	102,000	102,000	0
4. ค่าใช้สอย	135,000	135,000	0
5. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	28,000	28,000	0
รวม	280,000	280,000	0

.....

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

บรรณานุกรม

ASTM D1587, Standard practice for thin-walled tube sampling of soils

ASTM D6519, Standard Practice for Sampling of Soil Using the Hydraulically Operated Stationary Piston Sampler

BS 5930, Code of practice for Site investigation

Chung, S. G., Kwag, J. M., Giao, P. H., Baek, S. H., and Prasad, K. N. (2004), "A study of soil disturbance of Pusan clays with reference to drilling, sampling and extruding", Geotechnique, Vol. 54, No. 1, pp. 61-65

Clayton, C. R. I., Matthews, M. C., and Simons, N. E. (1992), Site Investigation, Blackwell Science; 2nd edition

Clayton, C. R. I. and Siddique, A. (1999), "Tube sampling disturbance – forgotten truths and new perspectives", Geotechnical Engineering, ICE, Vol. 137, No. 3, pp. 127-135

Clayton, C. R. I., Siddique, A., and Hopper, R. J. (1998), "Effects of sampler design on tube sampling disturbance – numerical and analytical investigations", Geotechnique, Vol. 48, No. 6, pp. 847-867

Hvorslev, M. J. (1949), Subsurface exploration and sampling of soils for civil engineering purposes, Report for the Committee on Sampling and Testing, Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE

International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering (1965), Report of the subcommittee on problems and practices of soil sampling, Proc. 6th Int. Conf. Mech. and Found. Eng., Montreal, Volume 3, Appendix II, pp. 64—71

JGS 1221, Method for Obtaining Undisturbed Soil Samples using Thin-walled Tube Sampler with Fixed Piston

Long, M. (2003), "Sampling disturbance effects in soft laminated clays", Geotechnical Engineering, ICE, Vol. 156, No. GE4, pp. 213-224

Osterberg, J. O. (1952), "New piston type soil sampler", Eng. News Record, Vol. 148 (17), pp. 77—78

Tanaka, H., Sharma, P., Tsuchida, T., and Tanaka, M. (1996), "Comparative study on sample quality using several types of samplers", Soils and Foundations, Vol. 36, No. 2, pp. 57-68

Tanake H. (2000), "Sample quality of cohesive soils: lessons from three sites, Ariake, Bithkennar, and Drammen", Vol. 40, No. 4, pp. 57-74

US Army Corps of Engineers (2001), Geotechnical Investigations, EM 1110-1-1804