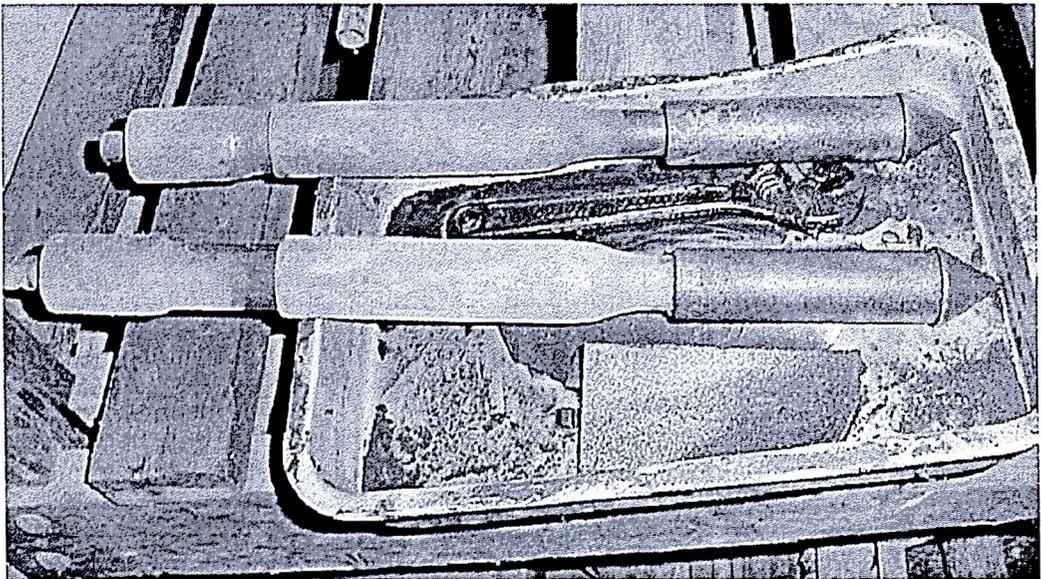


บทที่ 2. วรรณกรรมวิจารณ์

2.1 ความเป็นมา

การทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยหรือ CPT เพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมถูกเสนอโดยวิศวกรชาวฮอลแลนด์ โดยกรวยมีลักษณะหัวปลายแหลม ต่อกับก้านสำหรับกดกรวยลงในดิน ก้านกดจะมีปลอกเหล็กหุ้มอยู่ใช้สำหรับวัดแรงเสียดทานระหว่างดินกับปลอกเหล็ก ดังรูปที่ 2.1 กรวยขนาดมาตรฐานจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35.7 มิลลิเมตร กรวยมีปลายแหลมทำมุม 60 องศา ปลอกเหล็กแต่ละแท่งมีขนาดพื้นผิว 150 ตารางเซนติเมตร การทดสอบจะทำการกดกรวยลงไปในดินด้วยอัตราเร็วที่เหมาะสม



รูปที่ 2.1 อุปกรณ์การทดสอบการทะลุทะลวงของกรวย

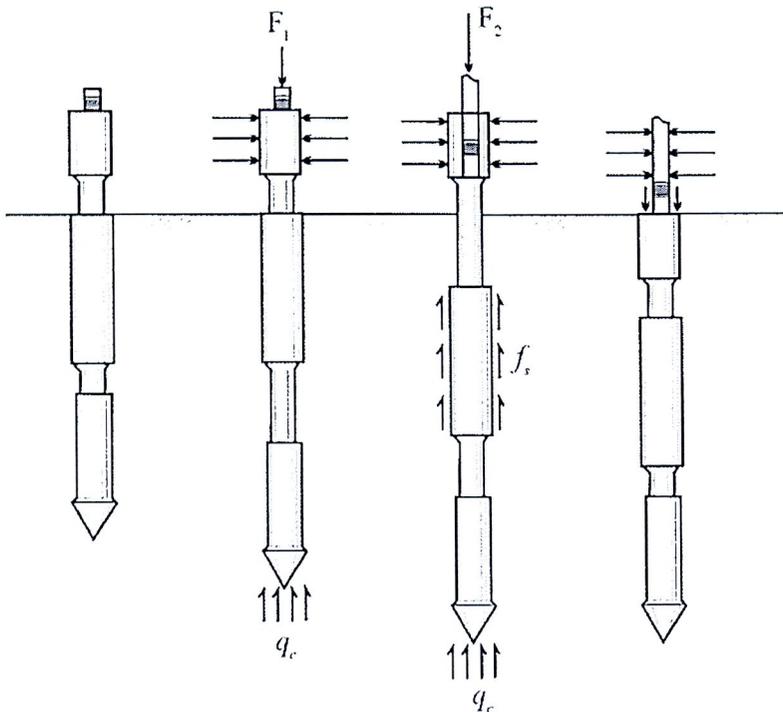
แรงด้านการกดเกิดจากผลรวมของแรงด้านที่ปลายกรวย (Cone resistance, q_c) รวมกับแรงเสียดทานระหว่างดินกับปลอกเหล็ก (Sleeve friction, f_s) แรงทั้งสองประเภทนี้สามารถนำไปแปลงเป็นคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน รวมทั้งนำไปจำแนกชนิดของดินได้

การทดสอบในขั้นแรก กรวยและปลอกเหล็กจะอยู่ใกล้กัน เมื่อเริ่มทำการทดสอบโดยดันก้านเหล็กด้วยแรง F_1 ก้านเหล็กจะดันกรวยให้ขยับลงในเนื้อดิน ในช่วงแรกนี้กรวยจะถูกดันให้เคลื่อนที่ลงเพียงขึ้นเดียว ขณะที่ปลอกยังอยู่กับที่ เมื่อกรวยขยับลงไปถึงระดับหนึ่ง คือสุดระยะอิสระของก้านเหล็ก หากต้องการให้กรวยขยับลงไปถึงอีกจะต้องออกแรงเพิ่มขึ้นเพื่อดันทั้งกรวยและปลอกลงไปด้วยพร้อมกัน แรงในขั้นตอนนี้เท่ากับแรง F_2 ในรูปที่ 2.2 และเมื่อดันก้านเหล็กลงไปถึงระยะหนึ่งแล้ว ให้ขีดยก้านเหล็กไว้ แล้วดันปลอกขึ้นบนเพื่อให้อุปกรณ์ทดสอบกลับไปจัดเรียงตัวเหมือนตอนที่เริ่มทดสอบ และพร้อมสำหรับการ

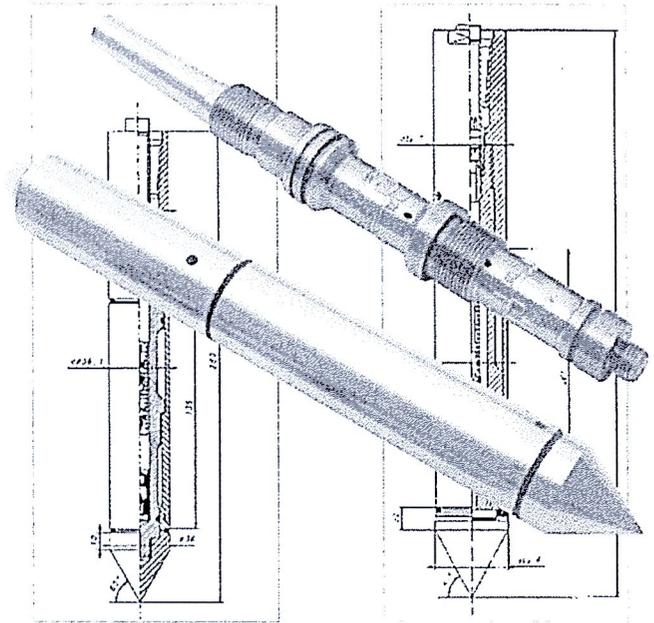
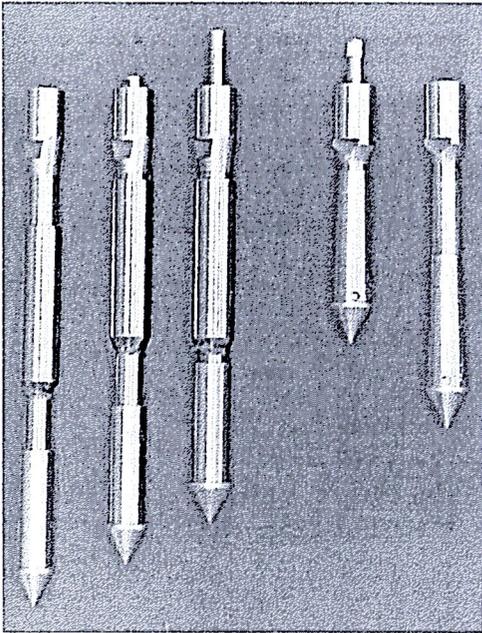
ทดสอบที่ระดับความลึกถัดไป รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวย1 ช่วงทดสอบจากรูปจะพบว่าแรงดันที่ปลายกรวย (Cone resistance, q_c) จะมีค่าเท่ากับ F_1 ส่วนแรงเสียดทานระหว่างดินกับปลอกเหล็ก(Sleeve friction, f_s) จะมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างแรง F_2 กับแรง F_1 ค่า q_c และ f_s ที่อ่านได้สามารถนำไปประมาณคุณสมบัติ และชนิดของชั้นดินได้ ดังจะกล่าวถึงต่อไป

อุปกรณ์ที่แสดงในรูปที่ 2.2เป็นอุปกรณ์ทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยเชิงกล (Mechanical cone) ซึ่งช่วงของการทดสอบสามารถทำได้ทุกๆระยะ 20 เซ็นติเมตร ต่อมามีการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยแบบไฟฟ้า (Electrical cone) โดยมีเครื่องแปลงสัญญาณวัดแรง (Load cell) อยู่ภายในกรวย และต่อสายสัญญาณขึ้นมาบนดิน ทำให้สามารถวัดแรงได้ถูกต้องมากขึ้น ไม่มีแรงเสียดทานระหว่างก้านเหล็กกับท่อเหล็กกันดิน สามารถทดสอบได้อย่างรวดเร็ว และต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยแบบวัดแรงดันน้ำ (Piezocone) โดยติดหินพรุน (Porous stone) ไว้ที่ปลายกรวย เพื่อให้สามารถวัดความดันน้ำระหว่างการทดสอบได้ด้วย รูปที่ 2.3แสดงรูปถ่ายอุปกรณ์ทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยแบบกลและแบบวัดแรงดันน้ำ

กล่าวโดยสรุปสำหรับการทดสอบโดยการทะลุทะลวงของกรวย เมื่อเทียบกับการทดสอบการทะลุทะลวงแบบมาตรฐาน การทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยสามารถทำได้รวดเร็ว มีทฤษฎีรองรับ และมีความต่อเนื่องของข้อมูลมากกว่าการทดสอบการทะลุทะลวงแบบมาตรฐาน แต่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถทดสอบกับชั้นดินแข็ง หรือดินทรายแน่นได้ นอกจากนี้ยังไม่มีการเก็บตัวอย่างดินขึ้นมาเพื่อจำแนกชนิดของดิน



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ทดสอบการทะลุทะลวงของกรวย



รูปที่ 2.3 แสดงรูปถ่ายอุปกรณ์ทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยแบบต่างๆ (<http://www.geomil.com/>)

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินกับผลทดสอบ

ค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยได้แก่ q_c และ f_s สามารถใช้ประมาณคุณสมบัติของชั้นดินหลายประการ ที่นิยมใช้ได้แก่ การประมาณกำลังรับแรงฉีกแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ดังสมการที่ 2.1

$$S_u \text{ [ton/m}^2\text{]} = \frac{q_c - P_o}{N_k} \quad (2.1)$$

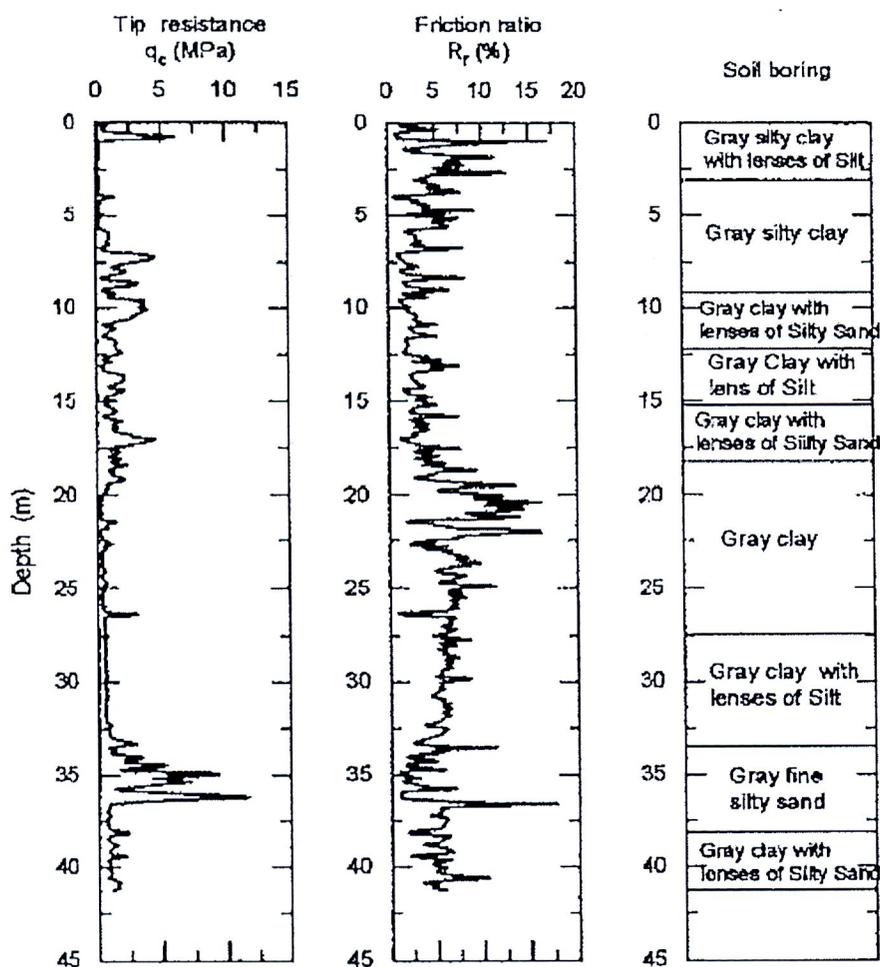
- q_c เป็นแรงต้านที่ปลายกรวย (cone resistance)
- p_o เป็นความดันกกดทับรวมในหน่วยตันต่อตารางเมตร (overburden pressure)
- N_k เป็นค่าคงตัวของกรวย (cone factor) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 10-20

(Lunne and Kleven, 1981)

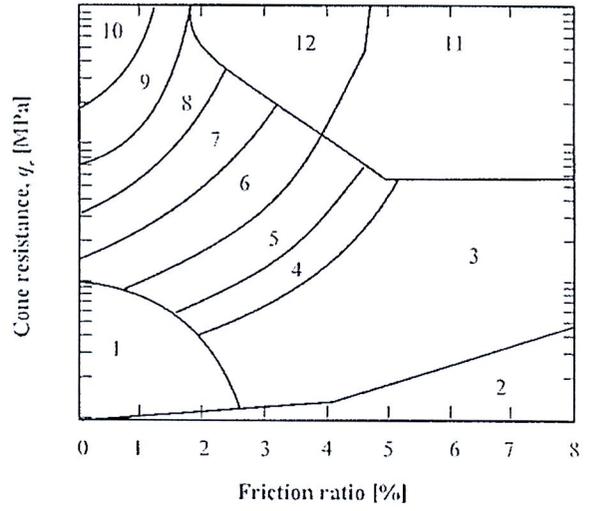
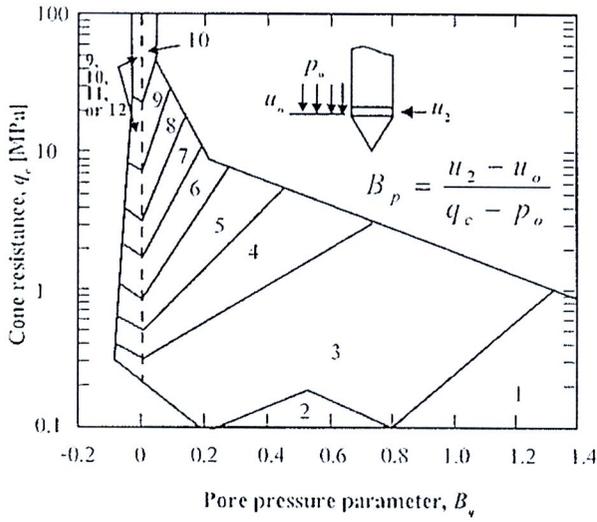
นอกจากนี้ยังสามารถนำค่าที่อ่านได้จากผลทดสอบมาจำแนกชนิดของดิน โดยจำแนกชนิดของดินจากค่า q_c และอัตราส่วนความเสียดทาน (Friction ratio, F_R) ซึ่ง F_R คำนวณจากสมการที่ 2.2

$$F_R = \frac{f_s}{q_c} \quad (2.2)$$

ในการจำแนกโดยหยาบ สามารถกระทำได้โดยพิจารณาจากค่า q_c และ F_R ดังนี้ ในดินเหนียว จะมีค่า q_c ค่อนข้างต่ำ แต่จะมีการขีดยกเกาะได้ดี เป็นผลให้ F_R มีค่าสูง ในขณะที่ดินทรายจะมีค่า q_c สูง แต่ f_s มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ q_c เป็นผลให้ F_R มีค่าต่ำ รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างผลทดสอบการเจาะหึ่ง เปรียบเทียบกับชั้นดินซึ่งได้จากการเจาะสำรวจ ซึ่งจะพบว่าในชั้นดินเหนียว จะมีค่า q_c ต่ำ แต่ f_s ค่อนข้างสูง ขณะที่ชั้นทรายจะพบว่า q_c มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และขณะเดียวกัน f_s จะมีค่าลดลงอย่างไรก็ตามการจำแนกดังกล่าวได้เพียงหยาบๆเท่านั้น มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ได้พยายามใช้ความสัมพันธ์ของค่า q_c และ F_R เพื่อจำแนกชนิดของดินโดยละเอียด ในที่นี้ผู้แต่งขอนำผลงานวิจัยของ Robertson และคณะ (1986) ซึ่งได้แสดงการจำแนกชนิดของดินไว้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 ผลทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยกับผลการเจาะสำรวจ (จาก Abu-Farsakh and Titi, 2004)



Zone: Boil Behaviour Type:

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 5. Clayed silt to silty clay | 9. Sand |
| 2. Organic material | 6. Sandy silt to clayey silt | 10. Gravelly sand to sand |
| 3. Clay | 7. Silty sand to sandy silt | 11. Very stiff fine grained* |
| 4. Silty clay to clay | 8. Sand to silty clay | 12. Sand to clayey sand* |

* Overconsolidated or cemented

รูปที่ 2.5 การจำแนกดินจากผลทดสอบการทะลุทะลวงของกรวย (จาก Robertson et al., 1986)

นอกจากนี้ยังสามารถนำผลการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวย ไปใช้ในการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ได้ดังสมการที่ 2.3

$$Q_u = \alpha Q_{TF} p + \lambda q_{c,avg} A_p - W \quad (2.3)$$

- Q_u เป็นน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม [ตัน]
- α เป็นสัมประสิทธิ์เสียดทาน
- λ เป็นสัมประสิทธิ์แรงแบกทาน
- $q_{c,avg}$ เป็นค่าเฉลี่ยแรงต้านปลายกรวย [ตัน/ตร.ม.] ตาม van Der Veen and Boersma (1957)
- W เป็นน้ำหนักเสาเข็ม
- Q_{TF} เป็นแรงฝืดรวม [ตัน/ม. เส้นรอบรูปเสาเข็ม]
- p เป็นเส้นรอบรูปเสาเข็ม [ม.]
- A_p เป็นพื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม [ตร.ม.]

ทั้งนี้ขนาดสัมประสิทธิ์เสียดทาน และสัมประสิทธิ์แรงแบกทาน ขึ้นกับชนิดของดิน สำหรับชั้นดิน กรุงเทพมหานคร Phota-Yanuwat (1979) ได้สรุปไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดสัมประสิทธิ์เสียดทาน และสัมประสิทธิ์แรงแบกทาน สำหรับเสาเข็มตอกในชั้นดิน กรุงเทพมหานคร (Phota-Yanuwat, 1979)

| α | | | | λ | |
|-----------|-------------|------------|------|-----------|------|
| Soft clay | Medium clay | Stiff clay | Sand | Clay | Sand |
| 1.0 | 0.7 | 0.5 | 0.8 | 0.33 | 0.50 |

คำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกฐานแผ่ในทราย (Meyerhof, 1956) สำหรับทรายเหนือระดับน้ำใต้ดิน ค่าทรุดตัวที่ยอมให้ไม่เกิน 25 มม. สามารถประมาณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกได้ดังสมการที่ 2.4 และ 2.5

$$q_a = q_c / 30, \quad B \leq 4 \text{ ft.} \quad (2.4)$$

$$q_a = q_c (1 + B)^2 / 50, \quad B > 4 \text{ ft.} \quad (2.5)$$

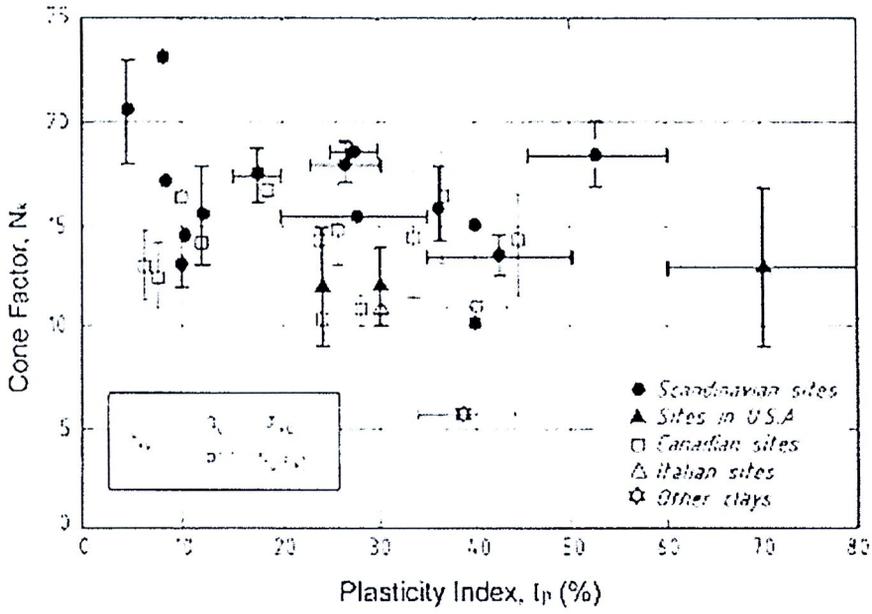
- Q_a เป็นกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย [ตัน/ตร.ม.]
- B เป็นความกว้างฐานราก

สำหรับฐานรากที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ให้คิดค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยเพียงครึ่งหนึ่งของค่าที่คำนวณได้จากสมการข้างต้น

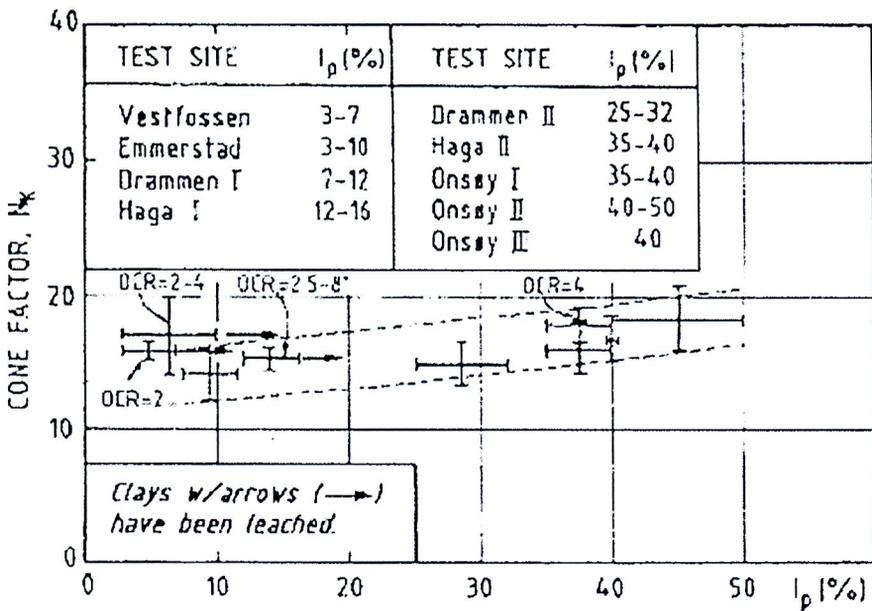
2.3 การพัฒนาชุดทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยในห้องปฏิบัติการ

จากหัวข้อที่ผ่านมาพบว่าการประมาณคุณสมบัติของดินจำเป็นต้องใช้สมการเชิงประจักษ์ (empirical equation) หรือสมการกึ่งประจักษ์ (semi-empirical equation) ซึ่งสมการเหล่านี้จะมีค่าแฟกเตอร์ของวัสดุ (material factor) ในการประมาณคุณสมบัติของดินได้อย่างถูกต้องจำเป็นต้องใช้ค่าแฟกเตอร์ของวัสดุที่ถูกต้อง ในการหาแฟกเตอร์ของวัสดุสามารถทำได้โดยการสอบเทียบกรวย (Lunne and Eide, 1978 และ Schmertmann, 1975) เช่น Lunne et al. (1976) ทำการสอบเทียบกรวยเพื่อประมาณค่า S_u ของดินในแถบสแกนดิเนเวีย Anagnostopoulos et al. (2003) ทำการสอบเทียบกรวยเพื่อหาค่าคงตัวของดินในกรีซ

Amar et al. (1975) แสดงให้เห็นว่าค่า N_k ในสมการที่ 2.1 มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 70 บางงานวิจัยอ้างว่า N_k มีความสัมพันธ์กับค่า plasticity index (I_p) ของดิน และสามารถพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่า N_k และ I_p ได้ เช่นงานวิจัยของ Lunne et al. (1976) Baligh et al. (1980) Lunne and Kleven (1981) Aas et al. (1986) และ La Rochelle et al. (1988) อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจากรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง N_k และ I_p จะพบว่ารูปดังกล่าวไม่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน ตัวอย่างในรูปที่ 2.6 สามารถแสดงให้เห็นว่าการกำหนดค่าแฟกเตอร์ของวัสดุจำเป็นต้องมีการสอบเทียบกรวย แต่การสอบเทียบกรวยในสนามเพื่อหาแฟกเตอร์วัสดุมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างมาก นอกจากนี้ยังไม่สามารถควบคุมคุณสมบัติของดินให้มีความสม่ำเสมอได้ตามต้องการ จึงมีงานวิจัยในช่วงเวลาต่อมาที่พยายามพัฒนาชุดทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้สามารถควบคุมคุณสมบัติของดินที่ทดสอบให้มีความสม่ำเสมอ ตรงตามความต้องการของผู้ทดสอบ และยังประหยัดค่าใช้จ่ายในการสอบเทียบกรวยเมื่อเทียบกับการสอบเทียบกรวยกับดินในสนามอีกด้วย Almeida and Parry (1985) ทำการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยโดยใช้กรวยขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยเท่ากับ 10 มม. ในดินเหนียวเกาลินท์ และ Piezocone ขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวย 12.7 มม. ในดินเหนียว Gault ซึ่งดินเหนียวทั้งสองชนิดนี้เป็นดินเหนียวที่ประดิษฐ์ โดยใช้น้ำโคลน (Slurry mud) และยอมให้มีการอัดตัวคายน้ำ โดยใช้เครื่องอัดตัวคายน้ำขนาดใหญ่ เมื่อดินเหนียวอัดตัวคายน้ำถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงนำมาทดสอบการทะลุทะลวงของกรวย โดยกรวยจะถูกกดลงทางด้านบนผ่าน Guide plug ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.7 Kurup et al. (1994) ทำการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยโดยใช้ Piezocone ขนาดเล็ก โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยเท่ากับ 11.28 มม. และ Quasi-static cone penetrometer ขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยเท่ากับ 12.72 มม. ในดินเหนียวเกาลินท์ การทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยทำใน Calibration chamber ดังแสดงในรูปที่ 2.8

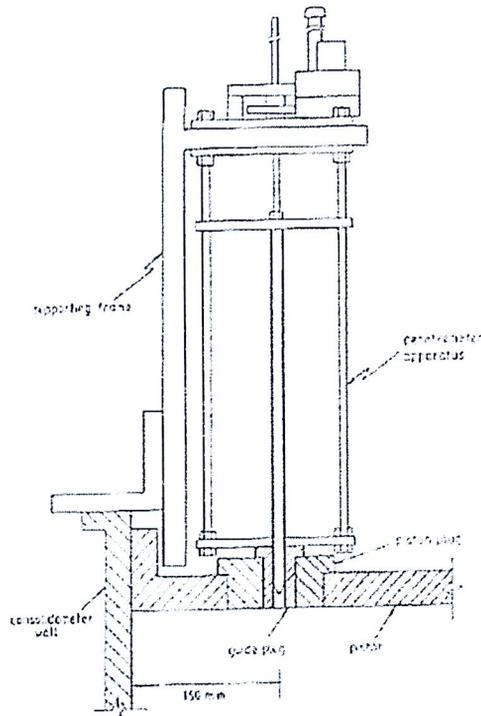


(a)

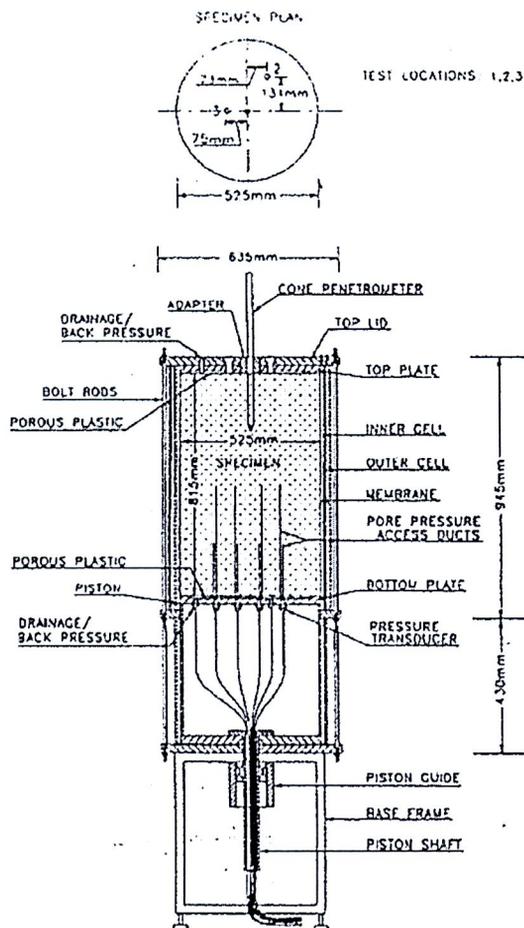


(b)

รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง N_k และ I_p (a) จากงานวิจัยของ Baligh et al. (1980) และ Lunne and Kleven (1981) Aas et al. (1986) (b) จากงานวิจัยของ Aas et al. (1986)



รูปที่ 2.7 Guide plug ของ Almeida and Parry (1985)



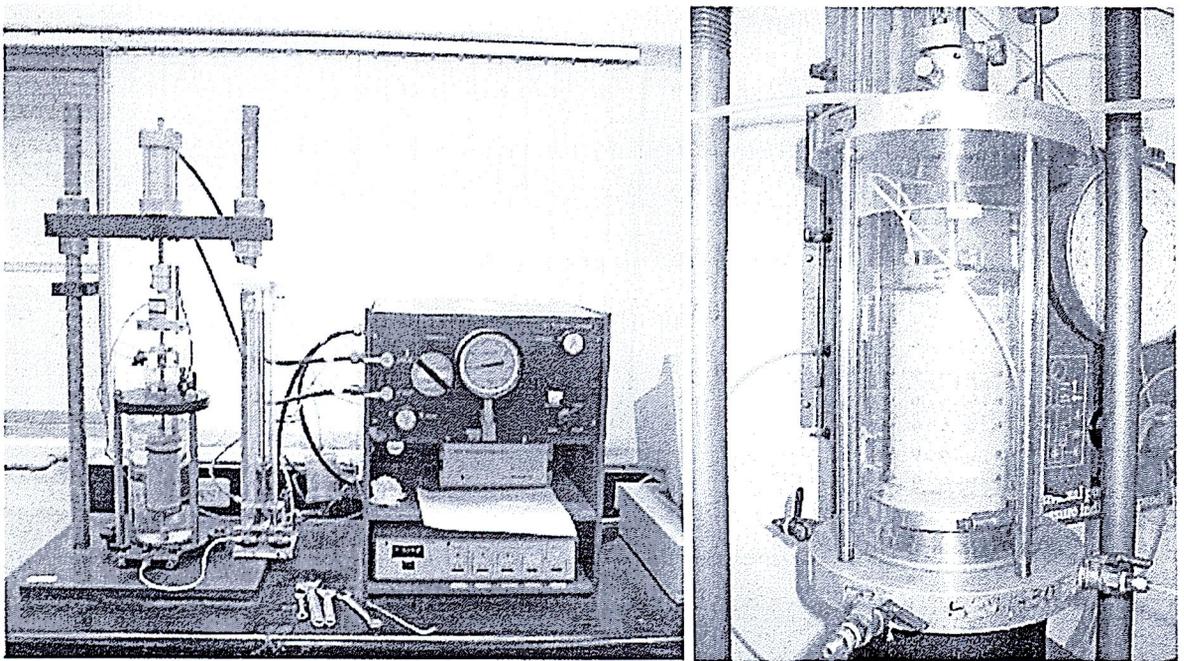
รูปที่ 2.8 Calibration chamber ของ Kurup et al. (1994)

การใช้ Calibration chamber หรือแบบขนาดใหญ่ ในการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยในห้องปฏิบัติการ มีข้อดีเมื่อเทียบกับการทดสอบในสนามคือสามารถเตรียมตัวดินให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการใช้ Chamber ขนาดค่อนข้างใหญ่จำเป็นต้องใช้เวลาในการเตรียมตัวอย่างดินค่อนข้างนาน โดยเฉพาะเมื่อดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นดินเหนียว อีกทั้งยังมีราคาแพงมาก มีเฉพาะห้องปฏิบัติการขนาดใหญ่เท่านั้นที่สามารถพัฒนาชุดทดสอบดังกล่าวได้ จากการรวบรวมของ Ghionna and Jamiolkowski ในปี ค.ศ. 1991 (Ghionna and Jamiolkowski, 1991) พบว่ามีเพียง 19 ห้องปฏิบัติการทั่วโลกที่มีชุดทดสอบดังกล่าว ตารางที่ 2.2 สรุปชุดทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยโดยใช้ Calibration chamber ที่มีอยู่ทั้งหมดในปี ค.ศ. 1991

ตารางที่ 2.2 สรุปชุดทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยโดยใช้ Calibration chamber ในปี ค.ศ. 1991

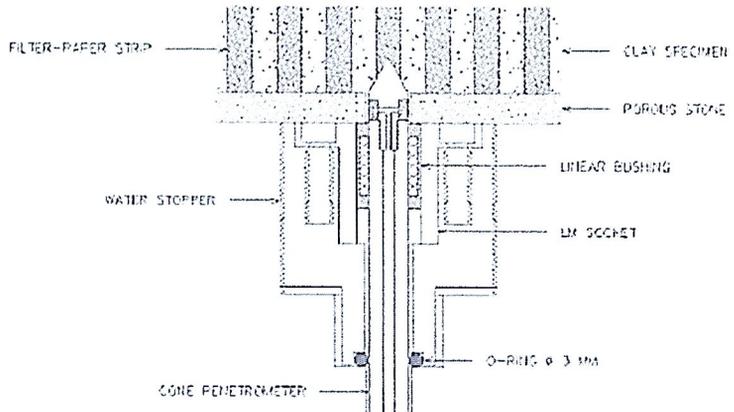
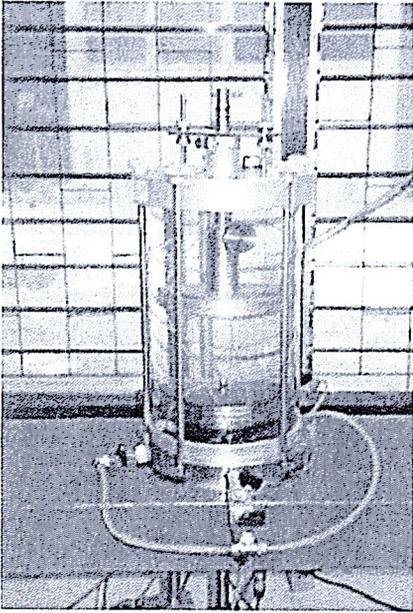
| Calibration Chamber Owner and Location | Diameter | Height | Boundary conditions | | |
|--|-----------|----------|---------------------|----------|----------|
| | [m] | [m] | Radial | Bottom | Top |
| Country road board, Australia | 0.76 | 0.91 | Flexible | Cushion | Rigid |
| University of Florida, U.S.A. | 1.20 | 1.20 | Flexible | Cushion | Rigid |
| Monash University, Australia | 1.20 | 1.80 | Flexible | Cushion | Rigid |
| Norwegian Geotechnical Institute | 1.20 | 1.50 | Flexible | Cushion | Rigid |
| ENEL-CRIS., Milano, Italy | 1.20 | 1.50 | Flexible | Cushion | Rigid |
| ISMES, Bergamo, Italy | 1.20 | 1.50 | Flexible | Cushion | Rigid |
| University of California, Berkeley, U.S.A. | 0.76 | 0.80 | Flexible | Rigid | Rigid |
| University of Texas, Austin, U.S.A. | | | Flexible | Flexible | Flexible |
| University of Houston, U.S.A. | 0.76 | 2.54 | Flexible | Cushion | Cushion |
| North Carolina State University, U.S.A. | 0.94 | 1.00 | Flexible | Rigid | Rigid |
| Louisiana State University, U.S.A. | 0.55 | 0.80 | Flexible | Flexible | Rigid |
| Golden Associates, Calgary, Canada | 1.40 | 1.00 | Flexible | Rigid | Cushion |
| Virginia Polytechnic Institutewabnd State University, U.S.A. | 1.50 | 1.50 | Flexible | Rigid | Rigid |
| University of Grenoble, France | 1.20 | 1.50 | Flexible | Cushion | Cushion |
| Oxford University, U.K. | 0.90 | 1.10 | Flexible | Cushion | Rigid |
| University of Tokyo, Japan | 0.90 | 1.10 | Flexible | Rigid | Rigid |
| University of Sheffield, U.K. | 0.79 | 1.00 | Flexible | Rigid | Flexible |
| Cornell University, U.S.A. | 2.10 | 2.90 | Flexible | Rigid | Rigid |
| Waterways experiment station, U.S.A. | 0.80-3.00 | Variable | Flexible | Rigid | Rigid |
| National Chiao-Tung University, Taiwan, R.O.C. | 0.51 | 0.76 | Flexible | Rigid | Rigid |
| National Chiao-Tung University, Taiwan, R.O.C. | 0.79 | 1.60 | Flexible | Flexible | Flexible |

จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงผู้กลุ่มวิจัยอีกกลุ่มที่พยายามพัฒนาชุดทดสอบการทะลุทะลวงกรวยที่มีขนาดเล็กลง โดยมากมักใช้ชุดทดสอบแรงอัดสามแกนมาประยุกต์ใช้ (triaxial compression test) มาประยุกต์ใช้ เช่น Chen and Chen (2008) ดังรูปที่ 2.9 และ พลากร พิรภาคย์ (2547) ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งข้อดีของชุดทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยโดยใช้ชุดทดสอบแรงอัดสามแกนคือ ดินที่จะนำใช้การทดสอบสามารถเตรียมได้รวดเร็ว เพราะดินที่ใช้จะเป็นตัวอย่างดินเหมือนกับตัวอย่างดินสำหรับการทดสอบแรงอัดสามแกน จึงทำให้ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายในการทดสอบได้มาก นอกจากนี้การทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ต่างๆ ซึ่งต้องการการทดสอบจำนวนมาก สามารถทำได้ในงบประมาณ และเวลาที่จำกัด ถึงแม้จะมีข้อดีหลายประการดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ชุดทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยขนาดเล็กโดยใช้ชุดทดสอบแรงอัดสามแกน ไม่เป็นที่นิยมมากนัก และมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องน้อย เนื่องจาก ชุดทดสอบแรงอัดสามแกนมีราคาแพง นอกจากนี้การใช้ตัวอย่างขนาดเล็กอิทธิพลขอบขอบเขต (boundary conditions) จะส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของผลทดสอบที่ได้



รูปที่ 2.9 ชุดทดสอบ mCPT โดยใช้ชุดทดสอบแรงอัดสามแกน (Chen and Chen, 2008)





รูปที่ 2.10 ชุดทดสอบ mCPT โดยใช้ชุดทดสอบแรงอัดสามแกน (พลากร พีรภาคย์, 2547)

2.4 อิทธิพลของอัตราการกดกรวยในการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวย

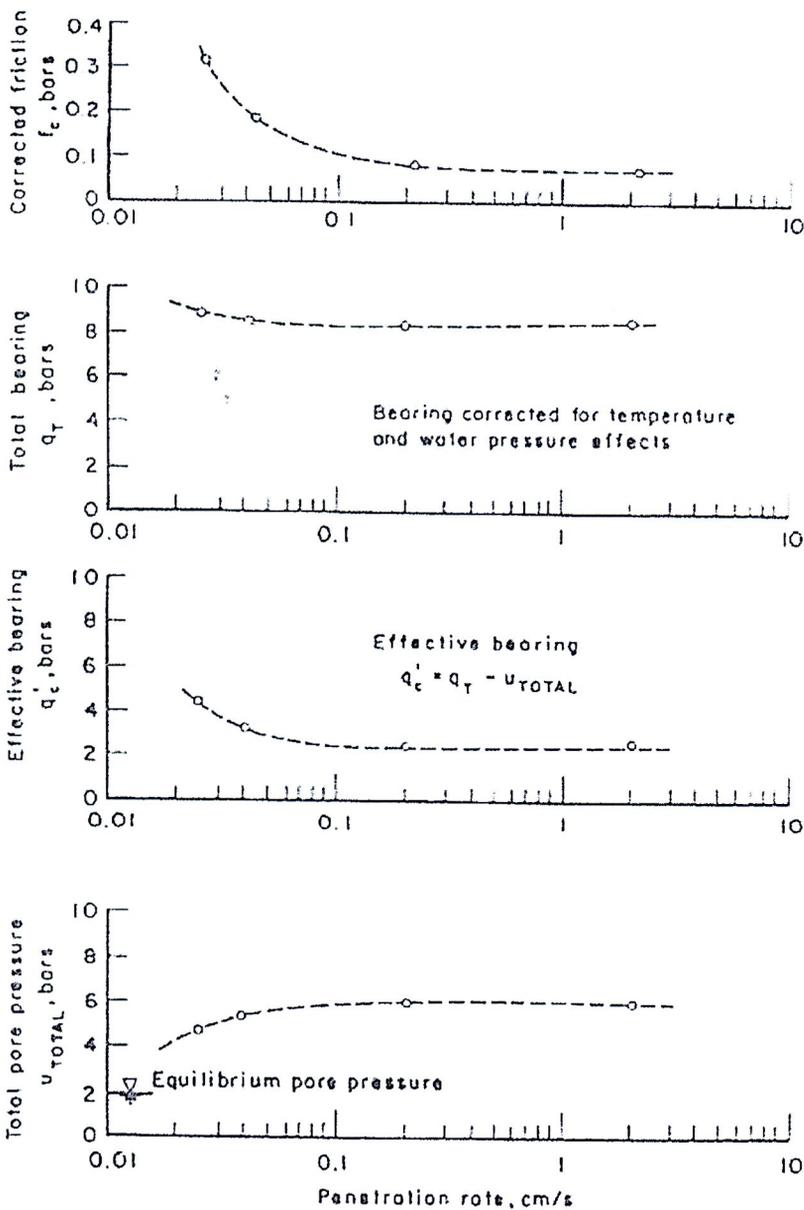
เป็นที่ทราบว่ามีปัจจัยอิทธิพลหลายประการที่ส่งผลต่อผลทดสอบการทะลุทะลวงของกรวย ไม่ว่าจะเป็น รูปร่างของกรวย วิธีการทดสอบ ชนิดของดิน ฯลฯ (Campanella et al., 1982; Roy et al., 1982; Tumay and Acar, 1985; Lunne et al., 1986; Voyiadjis et al., 1994) อัตราการกดกรวยซึ่งเป็นปัจจัยอิทธิพลที่สำคัญตัวหนึ่ง และพบว่าขนาดของแรงต้านที่กรวย (Cone resistance, q_c) จะมีขนาดลดลงเมื่ออัตราการกดน้อยกว่า 2 ซม./วินาที (ซึ่งเป็นอัตราการกดมาตรฐานในการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวย) นอกจากนี้ อัตราการกดยังส่งผลต่อขนาดของแรงต้านที่ปลอก (Sleeve friction, f_s) และความดันน้ำส่วนเกินด้วย

Kok (1982) ทำการศึกษาผลกระทบของอัตราเร็วในการกดกรวยต่อผลทดสอบการทะลุทะลวงของกรวย โดยทำการทดสอบกับกรวยแบบกล และแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้อัตราการกด 5 และ 20 มม.ต่อนาที ในพื้นที่ทางทิศตะวันออกฝั่งใต้ของกรุงอัมสเตอร์ดัม ซึ่งสภาพชั้นดินเป็นชั้นทราย ปกคลุมด้วยชั้นดินเหนียว จากผลการศึกษาพบว่าค่า q_c ที่วัดได้ไม่มีความแตกต่างกันตามอัตราการกด แต่ค่า q_c ที่วัดได้จากชุดทดสอบแบบกล จะแตกต่างจากค่า q_c ที่วัดได้จากชุดทดสอบแบบอิเล็กทรอนิกส์อย่างชัดเจน

Campanella et al. (1982) ได้ทำการศึกษารถึงผลกระทบที่มีต่อการวัดค่าพารามิเตอร์เนื่องจากอัตราการกดกรวยในการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยที่ต่างกัน โดยทำการทดสอบในสนามกับกรวยแบบอิเล็กทรอนิกส์ พื้นที่ทดสอบอยู่ใกล้สนามบินนานาชาติแวนคูเวอร์ สภาพชั้นดินเป็นดินตะกอนปนดินเหนียว (Clayey silt) อัตราการกดทดสอบอยู่ระหว่าง 0.025 ถึง 2.0 ซม./วินาที ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราการกดน้อย

กว่า 0.2 ซม./วินาที จะส่งผลให้แรงดันน้ำทั้งหมดที่วัดได้ลดลง ในขณะที่ q_c และ f_s จะมีค่าเพิ่มขึ้น ผลทดสอบที่ได้แสดงดังรูปที่ 2.11

Almeida and Parry (1985) ทำการศึกษาถึงผลกระทบของอัตราการกด CPT ที่มีผลต่อค่า q_c ในดินเหนียวประติษฐ์ โดยทำการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวย และ Peizocone ขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ ผลทดสอบพบว่าผลกระทบของอัตราการกดกรวยในดินเหนียวกาลินท์ จะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของ OCR โดยเฉพาะที่ OCR เท่ากับ 3 และ 10 จะมีผลกระทบเกิดขึ้นน้อยมาก สำหรับในดินเหนียว Gault ที่ OCR มากกว่า 1 แรงดันน้ำที่วัดได้ และค่า q_c จะไม่ได้รับผลกระทบจากอัตราการกดของกรวยที่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ยกเว้นที่ OCR เท่ากับ 1 ซึ่งแรงดันน้ำจะได้รับอิทธิพลของอัตราการกดมากกว่าค่า q_c

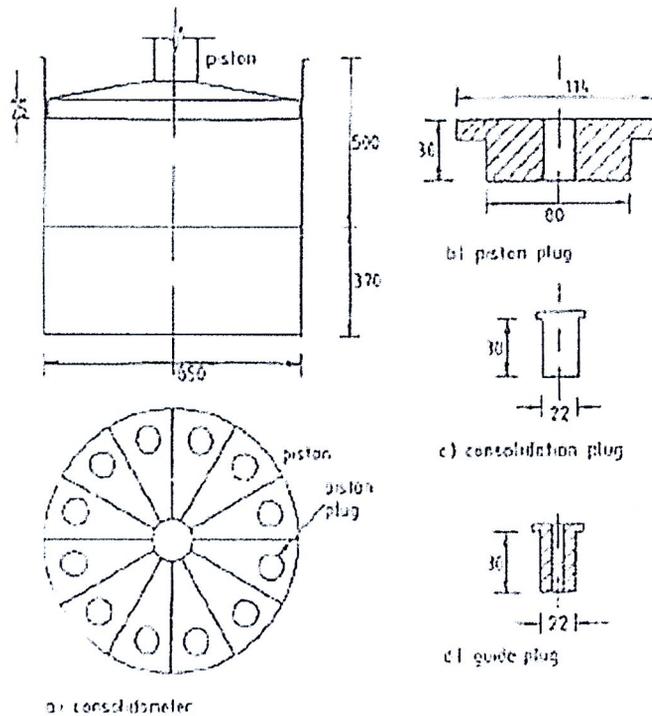


รูปที่ 2.11 อิทธิพลของอัตราการกดกรวยจากการทดสอบของ Campanella et al. (1982)

2.5 อิทธิพลของขนาดของแบบต่อผลทดสอบการทะลุทะลวงของกรวย

เป็นที่ทราบดีว่าข้อจำกัดหนึ่งในการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยในห้องปฏิบัติการคือปัญหาขอบเขต (Boundary problem) เนื่องจากสภาพดินในสนามมีขอบเขตกว้าง เมื่อนำกรวยทดสอบในสนามมาจำลองในห้องปฏิบัติการที่มีขอบเขตจำกัด ขอบเขตที่ถูกจำกัดนี้ย่อมส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของผลทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยในห้องปฏิบัติการ (Fahey (1980), Parkin and Lunne (1982), Bellotti (1984) และ Parkin (1988)) ซึ่งงานวิจัยในช่วงต้นนี้พบว่าหากทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยในดินทรายหลวม สภาพขอบเขตไม่ส่งผลกระทบต่อความแตกต่างระหว่างผลทดสอบในสนามและผลทดสอบในห้องปฏิบัติการ แต่ในดินทรายแน่น ความแตกต่างระหว่างผลทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยในสนามและในห้องปฏิบัติการจะแสดงออกอย่างชัดเจน

Almeida and Parry (1985) ทำการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยขนาดเล็กในดินเหนียวประดิษฐ์โดยใช้เครื่องมือเตรียมตัวอย่างดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 850 ม.ม. ดังแสดงในรูป 2.12 เพื่อกำจัดอิทธิพลของปัญหาขอบเขต Almeida and Parry ทำการทดสอบโดยให้อัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างดินและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยมีค่าเท่ากับ 24



รูปที่ 2.12 การทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยขนาดเล็กของ Almeida and Parry (1985)

ในปี ค.ศ. 1990 Schnaid (Schnaid, 1990) ได้ทำการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยในแบบทดสอบขนาดใหญ่ (Calibration chamber) โดยเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยที่ใช้กดสามขนาดได้แก่ กรวยที่มีขนาดหน้าตัด 15 ตร.ซ.ม. 10 ตร.ซ.ม. และ 5 ตร.ซ.ม. ขณะที่แบบเป็นแบบบรรจุดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 ม. การทดสอบใช้ดินทรายที่มีความหนาแน่นต่างกันสามค่าคือ ดินทรายที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ 30% 65% และ 90% ซึ่ง Schnaid พบว่าอิทธิพลของปัญหาขอบเขตจะมีค่ามากในดินทรายแน่น และทรายแน่นปานกลาง ในขณะที่อิทธิพลของปัญหาขอบเขตจะยังคงอยู่ในดินทรายหลวม แต่มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับผลที่เกิดในดินทรายแน่น และทรายแน่นปานกลาง

Salgado (1993) พบว่าปัจจัยอิทธิพลที่ส่งผลต่อปัญหาขอบเขตของแบบขนาดใหญ่ในการทดสอบการทะลุทะลวงของกรวยในดินทราย ได้แก่ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของดินทราย อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของแบบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวย สภาวะเริ่มต้นของดินก่อนการทดสอบ รวมทั้งคุณสมบัติข้างประการของดินทราย