

ความต้านทานของการตอกหยั่งชั้นดินแบบพลวัตในชั้นดินทราย

DYNAMIC PENETROMETER RESISTANCE IN SAND

อัฒพล ศักคิมณี (Atthaphon Sakamnee)¹

ก่อโชค จันทวารงกูร (Korchoke Chantawarangul)²

¹นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมปฐพี, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ : การทดสอบหาความต้านทานของชั้นดินด้วยการตอกหยั่งแบบพลวัต เป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นดินทราย ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการจำลองชั้นดินทรายแห้งและทดสอบในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยการศึกษาขอบเขตอิทธิพลของการตอกและลักษณะการเคลื่อนตัวของดินโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพสำหรับดินที่ระดับความแน่นต่างกัน โดยศึกษาถึงผลของมุมยอดของปลายกรวย ระดับพลังงานที่ใช้ในการตอกและน้ำหนักกดทับ และทำการทดสอบหาความต้านทานของชั้นดินด้วยเครื่องตอกหยั่งชั้นดินแบบพลวัตในแบบทดสอบทรงกระบอกกลาง ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ด้านความแข็งแรงของดินได้ จากผลการศึกษาครั้งนี้ ทำให้ทราบถึงขอบเขตอิทธิพลของการตอกและลักษณะการเคลื่อนตัวของดิน ซึ่งจะเป็นการนำไปสู่การพัฒนาเครื่องมือทดสอบที่มีความเหมาะสมในการใช้งานต่อไป

ABSTRACT: Soil resistance determined by dynamic penetration method is widely used, especially for cohesionless soil layers. In this research, tests were conducted in the laboratory. Soil movement behaviors were analyzed by digital image. The purpose is to study the effect of cone apex angle, driving energy level and overburden pressure, to the resistance of soil at different density. Soil models were also tested by the dynamic cone penetrometer. The results from this study lead to empirical correlation of soil strength parameters. The results from this study will lead to development of suitable equipment in soil penetration tests.

KEYWORDS: Dynamic penetrometer, Image analysis, Influence zone

บทนำ

การเจาะสำรวจ การเก็บตัวอย่างดิน พร้อมทั้งการทดสอบในสนามที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและใช้กันมาเป็นเวลานานคือ การเก็บตัวอย่างกระบอกบาง (Shelby tube) และการตอกทดสอบมาตรฐาน (Standard penetration test - SPT) การเก็บตัวอย่างดินไม่ว่าจะทำด้วยความระมัดระวังเพียงใดก็ตาม จะมีการรบกวนตัวอย่างดินอยู่เสมอ อีกทั้งการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เป็นการจำลองสภาพความเค้นในดิน จึงมีความผิดพลาดไปจากสภาพความเป็นจริงด้วย ส่วนการทดสอบ SPT

นั้นก็ขึ้นกับชนิดของเครื่องมือ ลูกตุ้มตอก ความยาวของก้านเจาะ และประสิทธิภาพของช่างเทคนิค การขนย้ายอุปกรณ์จำเป็นต้องใช้รถยนต์ ดังนั้น บริเวณที่ดินอ่อนมาก มีความลาดชันสูง หรือพื้นที่ทุรกันดาร รถยนต์ไม่สามารถเข้าถึง จึงทำการทดสอบด้วยวิธีนี้ได้ไม่สะดวก เพื่อลดทอนโอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่องและข้อจำกัดดังกล่าวข้างต้น วิธีที่ดีที่สุดก็คือ ใช้การทดสอบชั้นดินในสถานที่จริง ดังนั้น การพัฒนาเครื่องตอกหยั่งชั้นดินขนาดเล็กเบา (Light dynamic penetrometer) ที่สามารถขนย้ายและติดตั้งได้สะดวก ไม่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการใช้งานและสามารถแปล

ความหมายได้อย่างถูกต้อง มีความน่าเชื่อถือในเกณฑ์ที่เหมาะสม นับเป็นทางเลือกหนึ่งให้วิศวกรเลือกใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อใช้หาค่าพารามิเตอร์ของดินที่ต้องการได้

การหยั่งชั้นดินด้วยวิธีการตอกหัวกรวย (Dynamic cone penetrometer - DCP)

แต่เดิมการหยั่งชั้นดินด้วยวิธีการตอกหัวกรวยได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้บ่งบอกถึงความหนาแน่นของชั้นกรวดทราย ในปัจจุบันมีการนำไปใช้มากขึ้น ทั้งการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักของดินสำหรับฐานรากตื้น หาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มและระดับของปลายเข็ม ระบุชั้นดินอ่อนหรือชั้นดินแข็ง สำรวจลาดดิน และงานถนน

ISSMFE [1] ได้กำหนดมาตรฐานวิธีการทดสอบ (International reference test procedure) สำหรับ Dynamic cone penetrometer เรียกว่า Dynamic probing (DP) วัตถุประสงค์หลักของ Dynamic probing คือการวัดความต้านทานของชั้นดินที่ยอมให้หัวกรวยทะลุผ่านลงไป ค่าความต้านทานที่ได้จะมีความสอดคล้องกับคุณสมบัติของดินชั้นนั้นๆ โดยทั่วไปจะใช้ทดสอบกับดินประเภทไร้แรงยึดเหนี่ยว (Cohesionless soil)

ส่วนประกอบของ Dynamic cone penetrometer

ชุดทดสอบ Dynamic cone penetrometer (ภาพที่ 1) ทำจากเหล็กกล้าชุบสังกะสี ยกเว้นหัวกรวยที่ทำจาก Stainless steel เพื่อป้องกันการเกิดสนิมในการนำไปใช้งาน ซึ่งมีต้นแบบในการพัฒนามาจาก Kunzelstab [2] โดยมีรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1. หัวกรวย (Cone head) ทำจาก Stainless steel กลึงเป็นกรวยมีมุมที่ปลาย 60 องศา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ในขณะที่ทำการทดสอบ หัวกรวยจะทะลุทะลวงและขัดสีกับชั้นดินมากที่สุด การชุบสังกะสีเพื่อป้องกันการสนิมอาจเกิดการหลุดลอกได้ ดังนั้น เฉพาะส่วนหัวกรวยจึงเลือกใช้ Stainless steel

2. ก้านเจาะ (Rod) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. ยาวท่อนละ 50 ซม. ทำเครื่องหมายทุกๆ ระยะ 10 ซม. โดยมีปลายด้านหนึ่งเป็นเกลียวในและอีกด้านหนึ่งเป็นเกลียวนอก

3. Guide rod และ Extension guide rod สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของลูกตุ้ม Guide rod ใช้ควบคุมชุดลูกตุ้ม 20 กก. ให้มีระยะยก 25 ซม. ส่วนลูกตุ้มขนาด 10 กก. จะต่อ Guide rod เข้ากับ Extension guide rod เพื่อให้ได้ระยะยก 50 ซม.

4. แท่นรองตอก (Anvil) ทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานจากการตกกระทบของลูกตุ้มไปยังก้านเจาะเพื่อส่งหัวกรวยจมลงไปในชั้นดิน

5. ลูกตุ้ม (Hammer) ประกอบด้วยลูกตุ้ม 2 ลูก คือ Main hammer และ Addition hammer แต่ละลูกหนัก 10 กก. การทดสอบจะใช้ Main hammer เป็นลูกตุ้มหลัก เมื่อต้องการเพิ่มน้ำหนักลูกตุ้มเป็น 20 กก. จะประกอบ Main hammer เข้ากับ Addition hammer

การทดสอบหาค่าความต้านทานของชั้นดินด้วยการตอกหยั่งแบบพลวัต เริ่มด้วยการจำลองสภาพดินในถังเหล็กทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 57 ซม. สูง 87 ซม. เพื่อสร้างแบบจำลองชั้นดิน เลียนแบบสภาพดินตามธรรมชาติที่ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ต่างๆ รวมทั้งกรณีที่มีน้ำหนักกดด้านบนแล้วทำการตอกทดสอบด้วย Dynamic cone penetrometer พบว่า ที่ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์น้อยกว่า 30% ไม่สามารถทำการทดสอบได้ทั้ง 2 ชุดลูกตุ้ม การทดสอบที่ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์อื่นๆ ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 2

การออกแบบชุดลูกตุ้มทั้งสองชุดมีสมมติฐานว่า มีพลังงานในการตกกระทบที่เท่ากัน ซึ่งถ้านำไปทดสอบกับตัวอย่างดินเดียวกัน ควรจะให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกัน จากภาพที่ 2 ไม่เป็นเช่นนั้น พบว่าลูกตุ้มขนาด 20 กก. จะให้ระยะจมเฉลี่ยต่อครั้ง (Penetration per blow - s) สูงกว่า จากการคำนวณพบว่าระยะจมต่อครั้งสูงกว่าประมาณ 25% จากผลการทดสอบดังกล่าวได้ทำการตรวจหาสาเหตุด้วยหลักการ Specific work per blow ดังนี้

$$\text{Specific work per blow} = \frac{MgH}{A}$$

จุดศูนย์กลางมวล (C.M.) ของลูกตุ้มขนาด 10 และ 20 กก. วัดสูงจากฐานลูกตุ้มเท่ากับ 9.7 และ 13.8 ซม. ตามลำดับ นำไปรวมกับระยะยกดังกล่าวคำนวณในตาราง พบว่า ชุดลูกตุ้ม 20 กก. จะให้พลังงานในการกระแทกสูงกว่าประมาณ 25%

ตารางที่ 1 แสดงค่า Specific work per blow ของลูกตุ้ม 10 และ 20 กก.

ลูกตุ้ม (กก.)	ระยะยก (ซม.)	C.M. (ซม.)	A (ตร.ซม.)	Specific work per blow	
				ระยะยก	ระยะยก+C.M.
10	50	9.7	5	100	119.4
20	25	13.8	5	100	155.4

การศึกษาขอบเขตอิทธิพลของการตอกหยั่งชั้นดินและการเคลื่อนตัวของดิน

การพัฒนาเครื่องมือชนิดนี้ขึ้นมาใช้งาน ประเด็นหนึ่งที่ต้องการศึกษา คือขอบเขตอิทธิพลของการตอกหยั่ง (Influence zone) และการเคลื่อนตัวของดินรอบๆ หัวทดสอบที่เป็นรูปกรวย วิธีการที่สามารถแสดงให้เห็นประเด็นดังกล่าวได้อย่างชัดเจนก็คือ การวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย ด้วยการจำลองชั้นดินแบบสม่ำเสมอ (Uniform) ที่ระดับความแน่นต่างๆ โดยใช้เม็ดโฟมสีขาวแทนตำแหน่งของเม็ดดิน ณ สภาวะต่างๆ ในขณะที่ทำการตอกทดสอบ ถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของโฟมด้วยโปรแกรม AutoCAD [3]

ผลการวิเคราะห์ภาพการตอกกรวยทดสอบสามารถแบ่งดินตามพฤติกรรมเคลื่อนตัวได้เป็น 4 ส่วน ได้แก่ Zone 1 คือดินส่วนที่อยู่ใต้หัวกรวย Zone 2 คือ ดินส่วนที่ใกล้หัวกรวยและมีการเคลื่อนตัวมาก Zone 3 คือ ดินส่วนที่มีการเคลื่อนตัวเพียงเล็กน้อย และ Zone 4 คือ ดินส่วนที่ไม่มีการเคลื่อนตัว

ผลจากการตอกกรวยทดสอบทรายหลวม (ภาพที่ 3) ดินจะมีการพิบัติแบบ Punching shear failure รัศมีการเคลื่อนตัวของทรายในระดับต้นมีระยะ 4 เท่าของขนาดหัวกรวย ส่วนทรายหลวมในระดับลึกลงไปที่มีน้ำหนักรวมมากขึ้น รัศมีการเคลื่อนตัวของเม็ดดินจะลดลงเหลือระยะ 3 เท่าของขนาดหัวกรวย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลของหน่วยแรงกดทับ

ผลจากการตอกกรวยทดสอบทรายแน่น (ภาพที่ 4) มีรูปแบบการพิบัติแบ่งเป็น 2 ส่วน ทรายในระดับต้นจะมีรัศมีการพิบัติ 4 เท่าของขนาดหัวกรวยเป็นการพิบัติแบบ General shear failure แต่ระยะที่ทรายไม่มีการเคลื่อนตัวอยู่ที่ระยะห่าง 6 เท่าของขนาดหัวกรวย ทรายในระดับลึกลักษณะการพิบัติเปลี่ยนไปเป็นแบบ Punching shear failure เนื่องจากน้ำหนักกดทำให้การเคลื่อนตัวของเม็ดดินที่ดันขึ้นลดลง รัศมีการเคลื่อนตัวของเม็ดดินยังคงอยู่ที่ระยะ 6 เท่าของขนาดหัวกรวย

สรุปผล

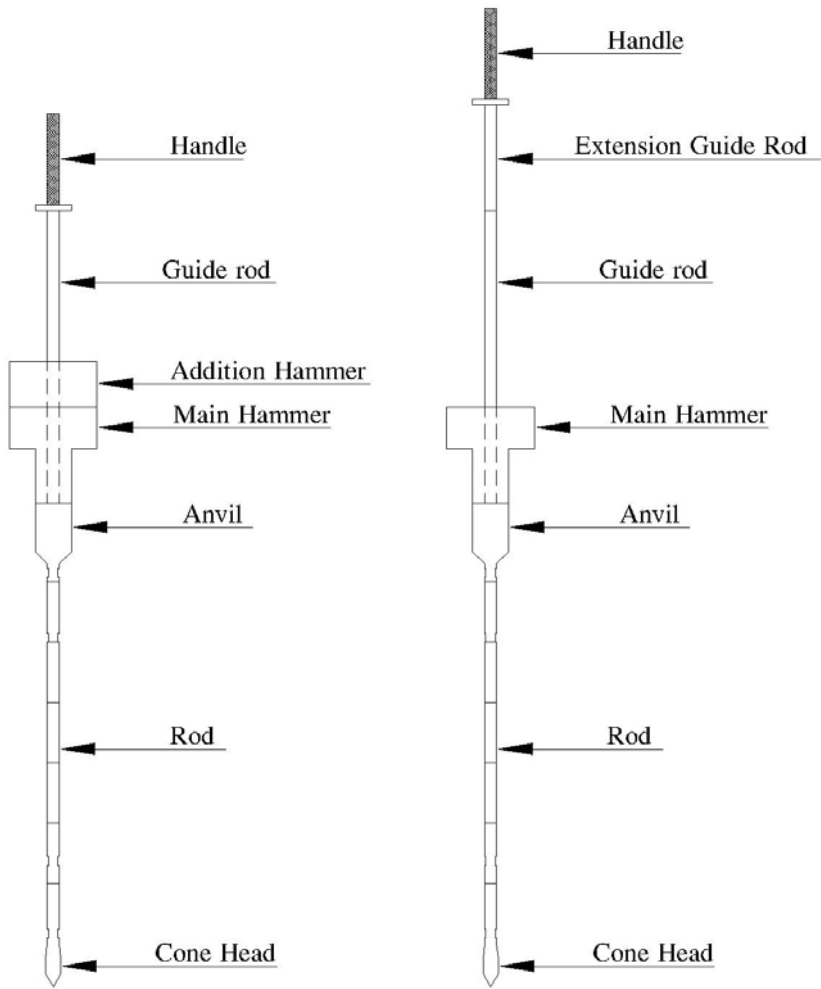
การทดสอบหาค่าความต้านทานของชั้นดินด้วยการตอกหยั่งแบบพลวัต มีความเหมาะสมในการทดสอบดินที่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เกินกว่า 50% ขึ้นไป แต่ละค่าความหนาแน่นของทราย จำนวนครั้งการตอกกับความลึก มีรูปแบบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง การเปลี่ยนแปลงของค่ามุมเสียดทาน

สูงสุด มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะจมน้อยเป็นอันมาก โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเสียดทานสูงสุดกับค่าระยะจมน้อย และการคำนวณพลังงานในการตอก ควรจะผนวกรวมระยะจุดศูนย์กลางมวลของลูกตุ้มในการคำนวณระยะยกด้วย

การนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพมาช่วยในการศึกษาพฤติกรรมและแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนตัวของมวลดิน ช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของดินมากยิ่งขึ้น ผลการวิเคราะห์ภาพการตอกกรวยทดสอบสามารถแบ่งดินตามพฤติกรรมเคลื่อนตัวได้เป็น 4 ส่วน รูปแบบการพิบัติของทรายหลวมเป็น Punching shear failure ส่วนทรายแน่นมีรูปแบบการพิบัติแบ่งเป็น 2 ส่วน ทรายในระดับต้นจะมีการพิบัติแบบ General shear failure ทรายในระดับลึกลักษณะการพิบัติเปลี่ยนไปเป็นแบบ Punching shear failure

เอกสารอ้างอิง

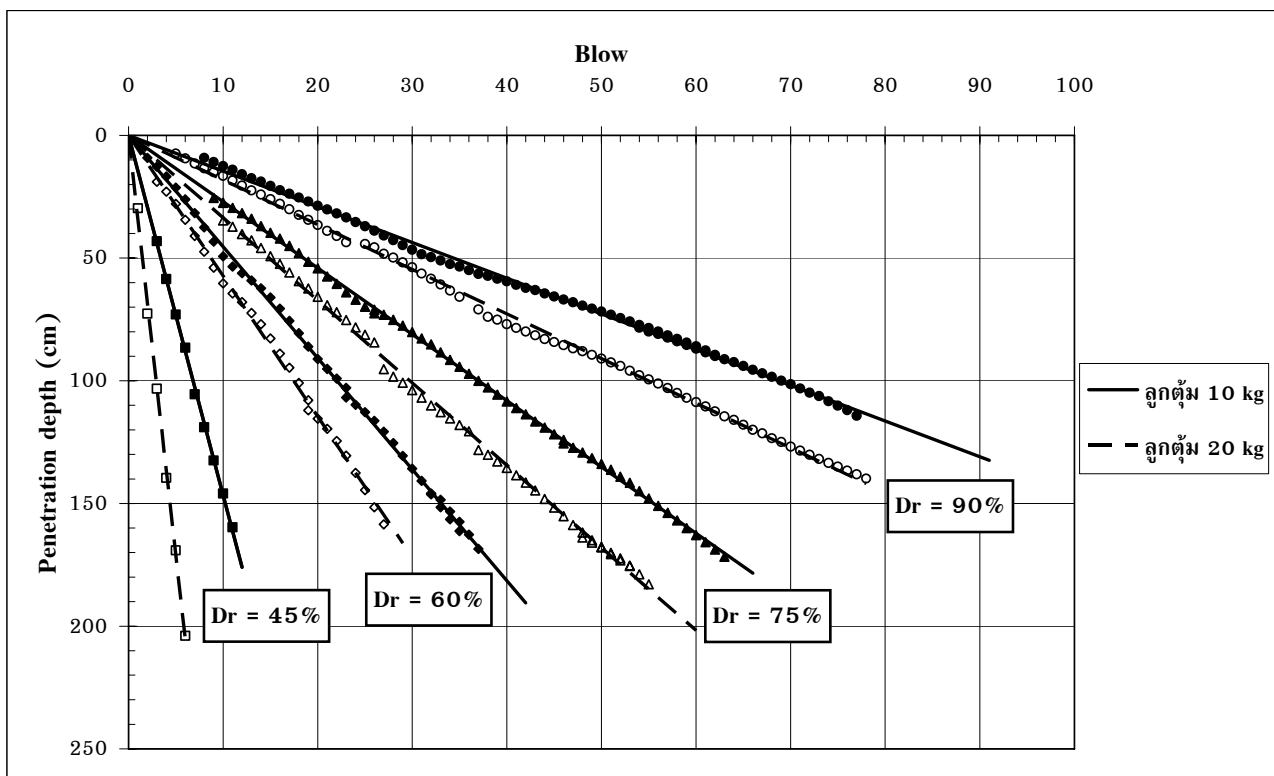
- [1] International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1989. **Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils - TC 16 with Reference Test Procedures CPT- SPT- DP- WST.** Swedish Geotechnical Institute, Linkoping, 49 p.
- [2] ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก. 2543. **รายงานการทดสอบกำลังของชั้นดินบริเวณฐานรากโดยวิธี Kunzelstab Penetration Test.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [3] อัฐพล ศักดิ์มณี. 2548. **การพัฒนาเครื่องหยั่งชั้นดินขนาดเบาในการสำรวจชั้นดินเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.



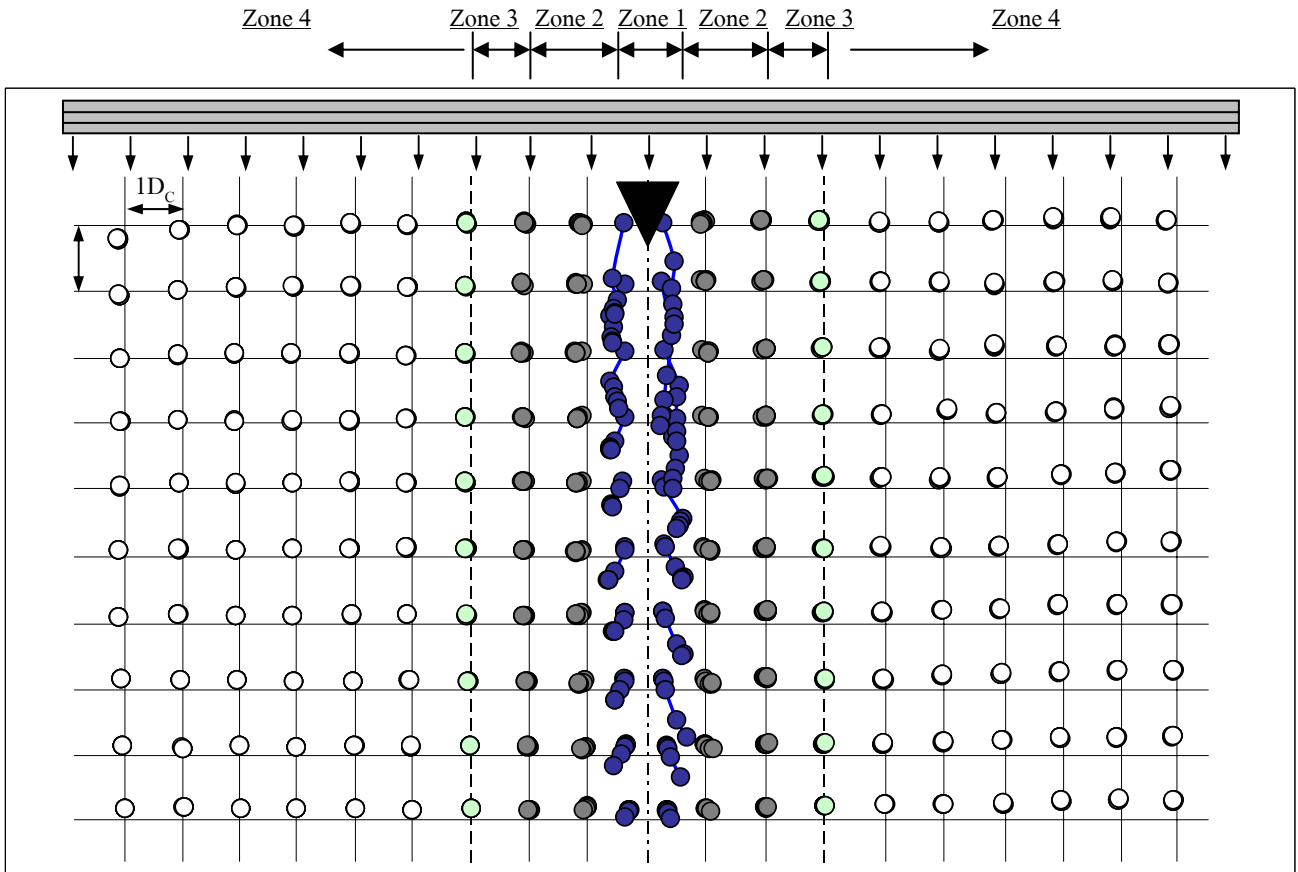
Hammer 20 kg.

Hammer 10 kg.

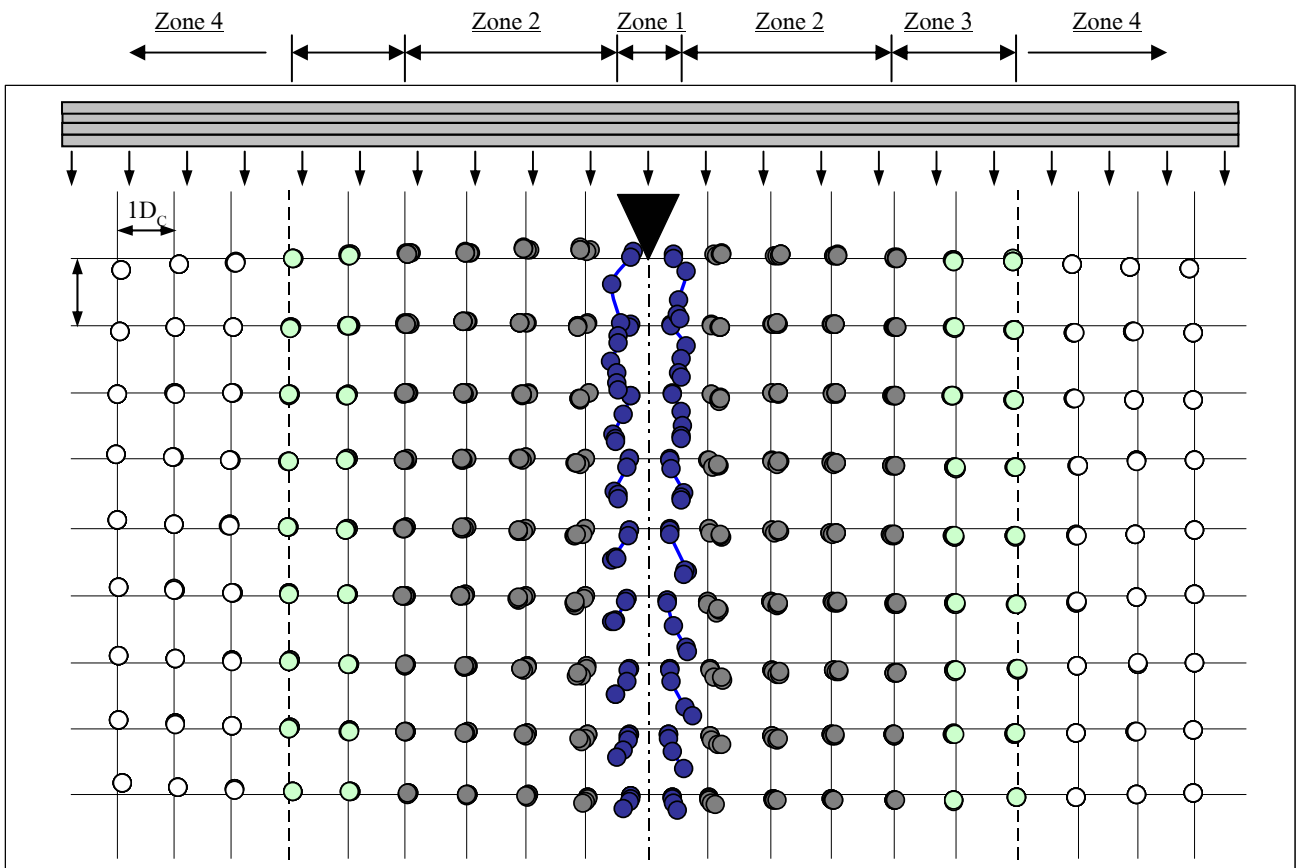
ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของ Dynamic cone penetrometer



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกและจำนวนครั้งการตอกหยั่งดินทราย ที่ระดับความหนาแน่นสัมพัทธ์ต่างๆ



ภาพที่ 3 การเคลื่อนตัวของทรายหลวมจากการตอกกรวย 60 องศา มีน้ำหนักกด 140 กก.



ภาพที่ 4 การเคลื่อนตัวของทรายแน่นจากการตอกกรวย 60 องศา มีน้ำหนักกด 200 กก.