

## การศึกษากำลังแบกทานของดินทรายจากผลการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา

### BEARING CAPACITY DETERMINATION OF SANDY SOIL LAYER USING LIGHT WEIGHT PENETRATION TEST

ชูศักดิ์ ศีรีรัตน์

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

วิทยาเขตวังไกลกังวล ประจวบคีรีขันธ์ 77110

CHUSAK KERERAT

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin,

Wangklaikangwon Campus, Prachuap Khiri Khan, 77110

Email: chusak.k@rmutr.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังแบกทานของดินทรายโดยใช้เครื่องมือทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา โดยพิจารณาอิทธิพลของมุมมองศาลายกรวยและระดับน้ำใต้ดิน การศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวอย่างดินทรายปนตะกอน (SM) เป็นตัวแทนดินทราย การทดสอบได้จำลองให้ดินอยู่ในสภาพแห้งและมีระดับน้ำใต้ดิน จากผลการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบาพบว่า การเพิ่มขึ้นของมุมมองศาลายกรวยจะส่งผลให้จำนวนครั้งการตอกเพิ่มขึ้น โดยค่าปรับแก้จำนวนครั้งการตอกจากมุมมองศาลายกรวย 60 องศา เป็น 90 องศา และ 180 องศา เป็น 90 องศา มีค่าเท่ากับ 1.188 และ 0.878 (ค่าเฉลี่ยจากผลการทดสอบ) ตามลำดับ และเมื่อนำค่าจำนวนครั้งการตอกแปรผลเป็นค่ามุมเสียดทานภายในพบว่าสามารถใช้ได้ในระดับความลึกตั้งแต่ 0.6 เมตร เป็นต้นไป สำหรับอิทธิพลของระดับน้ำใต้ดินส่งผลให้ค่ากำลังแบกทานของดินลดลงร้อยละ 70 - 75 เมื่อเปรียบเทียบกับดินในสภาพแห้ง และมีผลต่อกำลังแบกทานของดินที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินขึ้นไปจนถึงระดับ 0.6 เมตร โดยลดลงเฉลี่ยร้อยละ 25 - 30 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพดินแห้งที่ความลึกเดียวกัน ดังนั้นการพิจารณาระดับฐานรากจึงควรคำนึงถึงผลกระทบของระดับน้ำใต้ดิน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในงานก่อสร้างมากยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** กำลังแบกทานของดิน ดินทรายปนดินตะกอน การทดสอบเจาะหยั่งแบบเบา มุมมองศาลายกรวย ระดับน้ำใต้ดิน

### ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of the 3 apex angles of cone and the water levels on the bearing capacity of sandy soil layer by using kunzelstab test. The silty sandy soil (SM) was used as the representative of sandy soil. According to the results, the cone angle increase, a number of blows increase and the adjusted factors of the blows from the apex angles of  $60^\circ$  and  $180^\circ$  to be that of the apex angle of  $90^\circ$  (control) were 1.188 and 0.878 (average value from testing data), respectively. The correlation of the blows against the internal friction angles of SM soil can be used for calculating the soil bearing capacity under the condition that the depth was deeper than 1 m below the ground surface. The soil bearing capacity of SM soil below the water level decreases 70-75 percent comparing to dry soil. Moreover, the bearing capacity of SM soil above the water level up to 0.6 m decreases 25-30 percent comparing to that of the dry soil at the same depth. Therefore, the calculation of the soil bearing capacity in the silty sandy soil layer should be considered the effect of the water level.

**Keywords:** bearing capacity, silty sandy soil, Kunzelstab test, apex cone angle, water level

### บทนำ

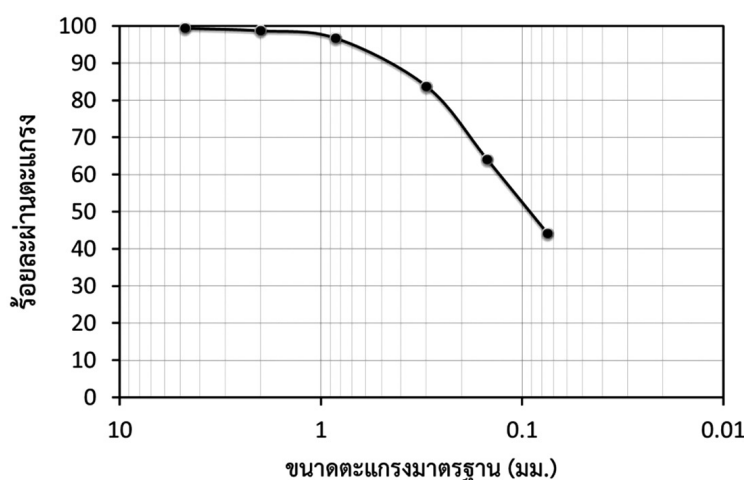
การก่อสร้างอาคารต่าง ๆ นั้น ฐานรากถือว่าเป็นองค์อาคารที่สำคัญ และการออกแบบฐานรากมีความจำเป็นที่จะต้องทราบกำลังแบกทานของดินก่อน สำหรับอาคารขนาดเล็กหรืออาคารที่พักอาศัยทั่วไปที่ก่อสร้างในบริเวณที่ไม่ใช่ดินอ่อนมักจะใช้ฐานรากแผ่ การเจาะสำรวจดินสำหรับอาคารขนาดเล็กอาจเป็นการสิ้นเปลืองเกินไป ดังนั้นการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา (Kunzelstab Test) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถหาลำดับกำลังแบกทานของดินได้เนื่องจากการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบาสามารถปฏิบัติงานได้รวดเร็ว ประหยัด และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีน้ำหนักเบาสามารถขนย้ายเข้าถึงสถานที่ต่าง ๆ ได้ง่าย อัฐพลและคณะ (2546) แสดงให้เห็นว่าผลจากการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบาสามารถใช้ประมาณค่ากำลัง ความหนาของชั้นดินและใช้ระบุชั้นดินว่าอยู่ในสภาพอ่อนหรือแข็งได้ นอกจากนี้ อัฐพลและคณะ (2549) ยังแสดงให้เห็นว่าผลจากการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบาสามารถสร้างความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ด้านความแข็งแรงของดินได้ สำหรับการทดสอบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มุมปลายกรวยที่ใช้ในการทดสอบมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ มุม 60 องศาตามมาตรฐานอเมริกา (ASTM) และมุม 90 องศาตามมาตรฐานเยอรมัน (DIN) โดยการทดสอบในปัจจุบันมักใช้มุมปลายกรวย 60 องศา แต่ใช้มาตรฐานเยอรมัน ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่ถูกต้องจึงอาจจะทำให้ผลที่ได้จากการทดสอบนั้นมีความไม่ถูกต้องหรือผิดพลาดจากความเป็นจริง และการแปรผลด้วยสมการสำเร็จรูปนั้นเป็นสมการที่ได้จากผลการทดสอบ

ในต่างประเทศซึ่งอาจไม่เหมือนกับดินในประเทศไทย นอกจากนี้ในต่างจังหวัดยังมีวิธีซึ่งใช้วิธีการทดสอบกำลังแบกทานของดินที่คล้ายกับการเจาะหยั่งแบบเบาโดยใช้เหล็กขนาด 20 มิลลิเมตร และตอกด้วยค้อนปอนด์โดยเหล็กที่ใช้ตอกนั้นมีมุม 180 องศา ซึ่งยังไม่มีทฤษฎีไหนมารองรับ จึงทำให้เกิดแรงงูใจในการทำการศึกษาอิทธิพลขององศาปลายกรวยและระดับน้ำใต้ดินที่มีผลต่อการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา โดยสามารถนำผลการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบามาใช้ในการหาค่ากำลังแบกทานของดินด้วยสมการของ Terzaghi ซึ่งอาศัยค่ามุมเสียดทานภายในของดินจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

## วิธีการ

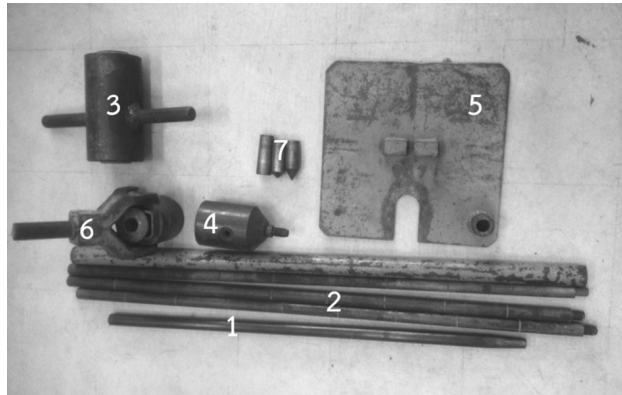
### 1. วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ใช้ตัวอย่างดินทราย (Sandy Soil) เป็นตัวแทนดินทรายซึ่งนำมาจากแหล่งดินในพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยเมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพแล้ว พบว่าการกระจายตัวของเม็ดดินซึ่งทดสอบด้วยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจุดข้อมูลแสดงค่าร้อยละผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาดต่างๆ จากรูปที่ 1 พบว่าตัวอย่างดินมีค่าร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 44.39 สำหรับค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, LL) ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) และค่าดัชนีความเหนียว (Plastic Index, PI) เท่ากับร้อยละ 18.15 ร้อยละ 14.44 และ 3.17 ตามลำดับ ค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.68 เมื่อจำแนกประเภทดินด้วยวิธี USCS แล้วพบว่าเป็นดินทรายปนดินตะกอน (SM)



รูปที่ 1 การกระจายตัวของเม็ดดิน

การทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา มีรายละเอียดของเครื่องมือดังแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วย (1) เหล็กนำ (2) ก้านเจาะ (3) ตั้มน้ำหนัก (4) แท่นเหล็กรองตอก (5) แผ่นเหล็กควบคุมการตอก (6) ชุดควบคุมการตอก และ (7) หัวกรวยเหล็กมีมุมปลายกรวย 60 องศา 90 องศา และ 180 องศา

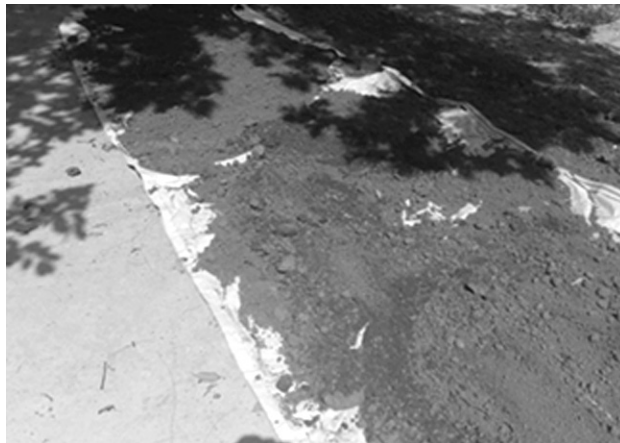


รูปที่ 2 เครื่องมือการเจาะหยั่งแบบเบา

## 2. การเตรียมตัวอย่างดินในบ่อทดสอบ

สำหรับการเตรียมตัวอย่างดินได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 นำตัวอย่างดินมาตากแดดในพื้นที่โล่งแจ้งที่มีแสงแดดและลมสามารถพัดผ่านได้ เพื่อให้ตัวอย่างดินอยู่ในสภาพแห้ง ดังรูปที่ 3 โดยดำเนินการตรวจสอบดินว่าอยู่ในสภาพแห้งหรือไม่ จากการเก็บตัวอย่างดินบริเวณที่คาดว่าจะมีความชื้นมากที่สุด แล้วนำไปหาปริมาณความชื้นดำเนินการจนกระทั่งปริมาณความชื้นของดินตัวอย่างมีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 3 การตากดินให้แห้ง

2.2 นำตัวอย่างดินที่ตากแห้งแล้วโรยใส่ในบ่อทดสอบขนาด  $1.0 \times 1.0 \times 1.8$  เมตร โดยควบคุมความหนาแน่นของดินเท่ากับ  $1.9$  ตันต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งการโรยดินจะเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นมีความหนา 5 เซนติเมตร ตามเส้นที่ขีดไว้ที่ผนังภายในบ่อทดสอบดังรูปที่ 4 ภายใต้การควบคุมปริมาตรและน้ำหนักของดินให้เท่ากันในแต่ละชั้นจนตัวอย่างดินเต็มบ่อทดสอบ



รูปที่ 4 การเตรียมตัวอย่างดินในบ่อทดสอบ

2.3 สำหรับการทดสอบที่พิจารณาถึงอิทธิพลของระดับน้ำใต้ดิน เมื่อเตรียมตัวอย่างดินเต็มบ่อแล้วจะทำการปล่อยน้ำเข้าบ่อทดสอบจากบริเวณล่างสุดของบ่อทดสอบให้มีความสูงของระดับน้ำตามที่กำหนด ดังตารางที่ 1 (เมื่อ SM แทนชนิดของดิน; d แทนสภาพแห้ง; 1.0 แทนระดับใต้ดิน 1.0 เมตร นับจากผิวดิน; 1.5 แทนระดับใต้ดิน 1.5 เมตร นับจากผิวดิน)

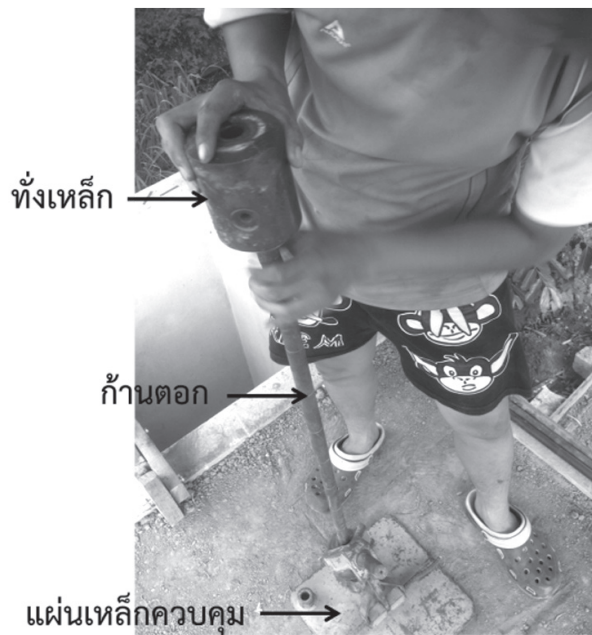
ตารางที่ 1 ชื่อย่อและข้อกำหนดในการทดสอบ

| มุมมองศาลายกรวย<br>(องศา) | ระดับน้ำใต้ดินนับจากผิวดิน<br>(เมตร) |        |        |
|---------------------------|--------------------------------------|--------|--------|
|                           | ไม่มี                                | 1.0    | 1.5    |
| 60                        | SM-d                                 | SM-1.0 | SM-1.5 |
| 90                        | SM-d                                 | SM-1.0 | SM-1.5 |
| 180                       | SM-d                                 | SM-1.0 | SM-1.5 |

#### 1. การทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา

ขั้นตอนการทดสอบ (สถาพร, 2544; ชูศักดิ์, 2555) สามารถอธิบายได้ดังนี้

1.1 เตรียมอุปกรณ์ทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบาโดยการวางแผนเหล็กควบคุมตามตำแหน่งที่ต้องการทดสอบ ยึดแผ่นเหล็กให้แน่น และประกอบหัวกรวยกับก้านตอกเข้ากับแผ่นเหล็กควบคุม แล้วติดตั้งทั้งเหล็กกับก้านตอก โดยจัดก้านตอกให้อยู่ในแนวตั้ง ดังรูปที่ 5



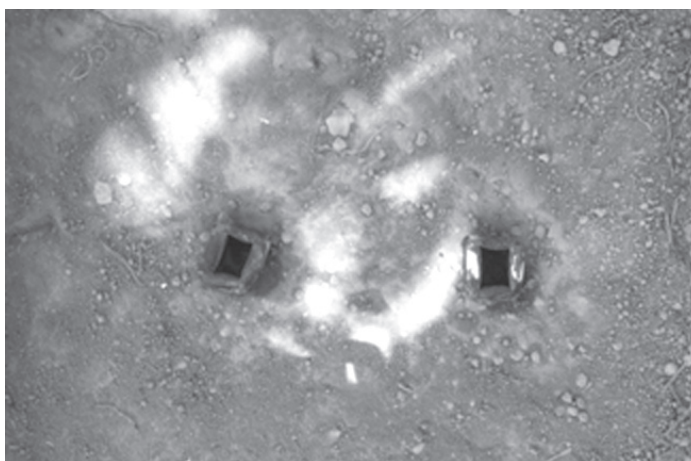
รูปที่ 5 การประกอบชุดเครื่องมือทดสอบ

1.2 ดำเนินการตอกทดสอบ โดยใช้ลูกตุ้มหนัก 10 กิโลกรัม มีระยะตกกระทบของลูกตุ้ม 50 เซนติเมตร ซึ่งจะนับจำนวนครั้งการตอกทุกระยะ 20 เซนติเมตร ดำเนินการทดสอบจนกระทั่งถึงความลึก 1.6 เมตร นับจากผิวดิน ดังรูปที่ 6 และทำการถอนชุดทดสอบโดยใช้คานงัดดึงก้านตอกขึ้น การทดสอบจะจำลองระดับน้ำที่ความลึก 1 เมตร และ 1.5 เมตร นับจากผิวดิน และทำการปรับเปลี่ยนมุมมองสายกรวยที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ 60, 90 และ 180 องศา ตามลำดับ



รูปที่ 6 การประกอบชุดเครื่องมือทดสอบ

1.3 ทำการเก็บตัวอย่างดินหลังจากทดสอบเสร็จ ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างซึ่งทำจากเหล็กกล่องขนาด  $30 \times 30$  มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึกที่ 0.2, 0.6, 1.0 และ 1.4 เมตร นับจากผิวดิน ดังรูปที่ 7 โดยนำตัวอย่างดินที่เก็บได้มาหาค่าความหนาแน่นและปริมาณความชื้น เพื่อใช้เตรียมตัวอย่างดินสำหรับการทดสอบแรงเฉือนตรงต่อไป



รูปที่ 7 การเก็บตัวอย่างดิน

1.4 สร้างกราฟความสัมพันธ์ซึ่งแสดงจำนวนครั้งการตอกทุกระยะจุม 20 เซนติเมตร (อ้างอิงตามมาตรฐาน DIN 4094-3) ตลอดความลึกของชั้นดิน เปรียบเทียบระหว่างการใช้มุมมองศาลายกรวยที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของมุมมองศาลายกรวยที่มีต่อจำนวนครั้งการตอก และอิทธิพลของระดับน้ำใต้ดินที่ส่งผลต่อจำนวนครั้งการตอก

## 2. การทดสอบแรงเฉือนตรง

การทดสอบแรงเฉือนตรง เพื่อหาค่าพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือนได้แก่ หน่วยแรงยึดเกาะ (c) และมุมเสียดทานภายใน ( $\phi$ ) มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

2.1 เตรียมตัวอย่างดินให้มีปริมาณความชื้นและความหนาแน่นเท่ากับค่าที่วัดได้จากการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0.2, 0.6, 1.0 และ 1.4 เมตร ตามลำดับ

2.2 เตรียมน้ำหนักกดตัวอย่าง (Load) โดยพิจารณาจากหน่วยแรงกดทับในบ่อทดสอบทุกระดับที่เก็บตัวอย่างดิน ได้แก่ 3.8 กิโลกรัม 11.5 กิโลกรัม 19.1 กิโลกรัม และ 26.7 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยแต่ละตัวอย่างการทดสอบ จะใช้น้ำหนักกดตัวอย่าง 3 ค่า คือ  $1/2$ , 1 และ 2 เท่าของน้ำหนักกดทับในบ่อทดสอบ

2.3 ดำเนินการทดสอบ ตามลำดับความหนาแน่นและปริมาณความชื้นทุก ๆ ระดับที่เก็บตัวอย่างดิน ดังแสดงในรูปที่ 8 จนครบทุกตัวอย่าง แล้วดำเนินการหาค่าพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือนต่อไป



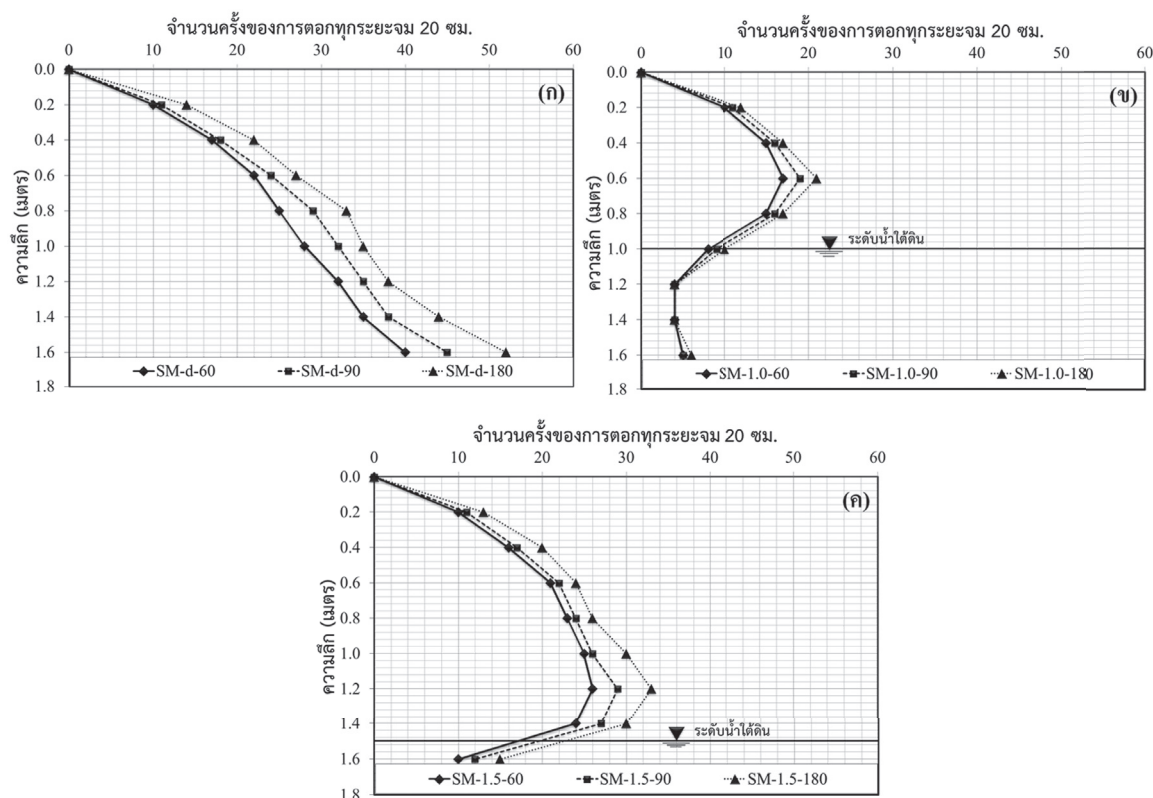
รูปที่ 8 การทดสอบแรงเฉือนตรง

### ผลการวิจัยและวิจารณ์

#### 1. การเจาะหยั่งแบบเบา

ผลการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา ซึ่งจำแนกตามมุมมองศาลายกรวย และอิทธิพลของระดับน้ำใต้ดิน อธิบายได้ดังนี้

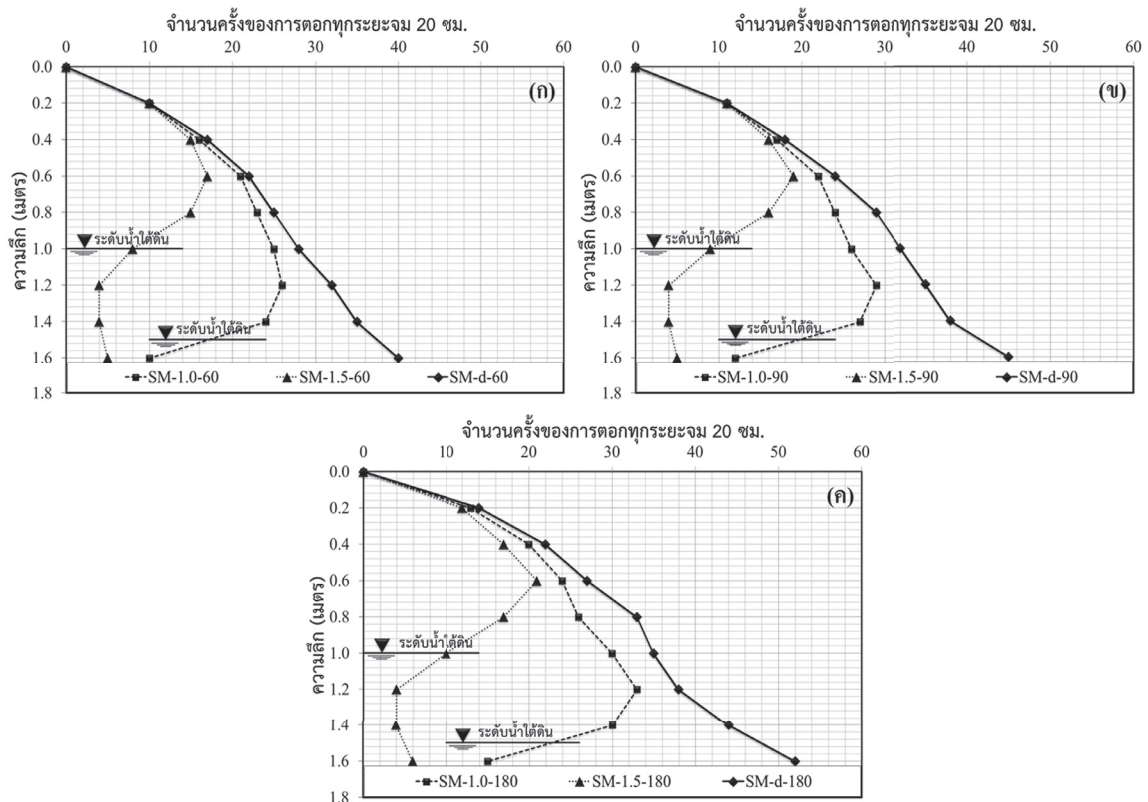
1.1 อิทธิพลของมุมมองศาลายกรวยที่มีผลต่อจำนวนครั้งการตอก ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งแสดงผลการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบาด้วยมุมมองศาลายกรวยที่แตกต่างกัน (60 องศา 90 องศา และ 180 องศา) โดยรูปที่ 9 (ก) แสดงผลการทดสอบในสภาพดินแห้ง (SM-d) รูปที่ 9 (ข) แสดงผลการทดสอบในสภาพดินที่จำลองระดับน้ำใต้ดินลึก 1.0 เมตร นับจากผิวดิน (SM-1.0) และรูปที่ 9 (ค) แสดงผลการทดสอบในสภาพดินที่จำลองระดับน้ำใต้ดินลึก 1.5 เมตร นับจากผิวดิน (SM-1.5) เมื่อพิจารณาแรงต้านของดินทรายที่กระทำต่อปลายกรวยทดสอบพบว่า มุมมองศาลายกรวยที่มีค่าน้อยจะมีการทะลุทะลวงที่ดีกว่าในทุกสภาพดิน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ มุมมองศาลายกรวยที่มีค่าน้อยจะมีแรงต้านของดินที่ปลายกรวยน้อย ส่งผลให้จำนวนครั้งของการตอกน้อยกว่าการใช้มุมมองศาลายกรวยที่มากกว่า จากการทดสอบพบว่าค่าที่ได้จากการใช้มุมมองศาลายกรวย 90 องศา มีค่าสูงกว่าการใช้มุมมองศาลายกรวย 60 องศา โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 18.8 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุวิทย์พงษ์และอนวัช (2556) และค่าที่ได้จากการใช้มุมมองศาลายกรวย 180 องศา มีค่าสูงกว่าการใช้มุมมองศาลายกรวย 90 องศา โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 13.4 สำหรับลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟเมื่อเปรียบเทียบตามมุมมองศาลายกรวยที่แตกต่างกัน พบว่ามีลักษณะรูปร่างเหมือนกัน โดยเส้นกราฟมีการเพิ่มขึ้นและลดลงสอดคล้องกันในทุกมุมมองศาลายกรวย เมื่อทดสอบในบ่อทดสอบที่มีการเตรียมตัวอย่างดินในสภาพเดียวกัน



รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตอกทุกระยะ 20 เซนติเมตร ต่อความลึกของชั้นดินสำหรับ มุมองศาปลายกรวย 60 องศา 90 องศา และ 180 องศา ตามลำดับ (ก) สภาพแห้ง (สัญลักษณ์ SM-d) (ข) สภาพดินที่มีระดับน้ำ 1 เมตร (สัญลักษณ์ SM-1.0) (ค) สภาพดินที่มีระดับน้ำ 1.5 เมตร (สัญลักษณ์ SM-1.5)

1.2 อิทธิพลของระดับน้ำใต้ดินที่มีผลต่อจำนวนครั้งการตอก ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งแสดงผลการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบาเมื่อใช้มุมองศาปลายกรวยเดียวกันทดสอบในสภาพดินที่แตกต่างกัน (สภาพแห้ง, ระดับน้ำใต้ดิน 1.0 เมตร และระดับน้ำใต้ดิน 1.5 เมตร) โดยรูปที่ 10 (ก) แสดงผลการทดสอบเมื่อใช้มุมองศาปลายกรวย 60 องศา (SM-d-60, SM-1.0-60 และ SM-1.5-60) รูปที่ 10 (ข) แสดงผลการทดสอบเมื่อใช้มุมองศาปลายกรวย 90 องศา (SM-d-90, SM-1.0-90 และ SM-1.5-90) และรูปที่ 10 (ค) แสดงผลการทดสอบเมื่อใช้มุมองศาปลายกรวย 90 องศา (SM-d-180, SM-1.0-180 และ SM-1.5-180) จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เมื่อทดสอบกับตัวอย่างดินสภาพแห้งจะมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนครั้งการตอกตามความลึกของชั้นดิน เป็นผลเนื่องจากหน่วยแรงกดทับ (Overburden Stress) สำหรับกรณีตัวอย่างดินที่มีระดับน้ำใต้ดิน จำนวนครั้งการตอกจะลดลงเมื่อระดับการทดสอบใกล้ถึงระดับน้ำใต้ดินต่อเนื่องไปจนถึงระดับต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน เมื่อเปรียบเทียบที่ความลึกเดียวกันเมื่อทดสอบกับตัวอย่างดินแห้งพบว่าจำนวนครั้งการตอกลดลงร้อยละ 70 - 75 เป็นผลเนื่องจากเม็ดดินละเอียดมีแรงดูดน้ำ

จากตำแหน่งระดับน้ำใต้ดินมาก ทำให้ความชื้นของดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังแบกทานของดินลดลง ดังนั้นอิทธิพลของระดับน้ำใต้ดินมีผลทำให้กำลังแบกทานของดินลดลง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 10 สำหรับทุกมุมมองศาลายกรวยพบว่า จำนวนครั้งของการตอกจะเริ่มลดลงตั้งแต่ระยะ 0.6 เมตร เหนือระดับน้ำใต้ดินต่อเนื่องไปจนถึงระดับต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งการตอกทุกระยะ 20 เซนติเมตร ต่อความลึกของชั้นดินสำหรับสภาพดินที่มีระดับน้ำใต้ดิน 1.0 เมตร ระดับน้ำใต้ดิน 1.5 เมตร และสภาพดินแห้ง ตามลำดับ (ก) ทดสอบด้วยมุมมองศาลายกรวย 60 องศา (ข) ทดสอบด้วยมุมมองศาลายกรวย 90 องศา (ค) ทดสอบด้วยมุมมองศาลายกรวย 180 องศา

## 2. แรงเฉือนตรง

จากผลการทดสอบแรงเฉือนตรง เมื่อนำมาหาค่ามุมเสียดทานภายในและหน่วยแรงยึดเกาะของตัวอย่างดินแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 2 ถึง ตารางที่ 4 ซึ่งแสดงผลการทดสอบแรงเฉือนตรงของดิน ณ ความลึกที่มีการเก็บตัวอย่างดินจากแต่ละบ่อทดสอบ โดยการเตรียมสภาพตัวอย่างให้เหมือนกับในบ่อทดสอบสภาพดินแห้ง สภาพดินที่มีระดับน้ำใต้ดิน 1.0 เมตร และสภาพดินที่มีระดับน้ำใต้ดิน 1.5 เมตร จากข้อมูล

ผลการทดสอบพบว่า มุมเสียดทานภายในมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกของชั้นดิน เมื่อพิจารณาสภาพของดินพบว่าดินอยู่ในสภาพแน่นปานกลาง (Medium Dense) โดยพิจารณาจากจำนวนครั้งการตอกทุกระยะ 20 เซนติเมตร สำหรับมุมองศาปลายกรวย 60 องศา ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 22-35 ครั้ง (แทนด้วยสัญลักษณ์  $N_{KPT}$ ) ซึ่งเมื่อแปลงเป็นค่า  $N_{SPT}$  จากสมการ  $N_{SPT} = 0.539 (N_{KPT} + 0.954)$  (สถาพร, 2544) จะได้ค่า  $N_{SPT}$  อยู่ในช่วงประมาณ 12 - 19 และมีค่ามุมเสียดทานภายในจากผลการทดสอบ (ประมาณ 36 - 39 องศา) อยู่ในช่วง 35-40 องศา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Meyerhof (1965) สำหรับกรณี que ที่พิจารณาอิทธิพลของระดับน้ำใต้ดินพบว่า ค่ามุมเสียดทานภายในของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำมีค่าระหว่าง 7-9 องศา โดยค่ามุมเสียดทานภายในของดินจะลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามุมเสียดทานภายในของดินในสภาพแห้ง ที่ความลึกเดียวกัน สำหรับข้อมูลค่ามุมเสียดทานภายในของดินที่สัมพันธ์กับจำนวนครั้งการตอกทุกระยะ 20 เซนติเมตร ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณกำลังแบกทานของดิน โดยเฉพาะกรณี que ออกแบบเป็นฐานรากตื้นของอาคารที่พักอาศัยหรืออาคารที่มีความสูงไม่มาก โดยไม่จำเป็นต้องทำการเจาะสำรวจดินเพื่อแปลผลค่ามุมเสียดทานภายใน ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย และให้ข้อมูลที่มีความปลอดภัยในด้านวิศวกรรม สำหรับการเลือกใช้ผลการทดสอบควรใช้ข้อมูลการทดสอบดินในสภาพแห้ง ที่ความลึก 0.6 เมตร เป็นต้นไป เนื่องจากเมื่อทำการทดสอบในชั้นดินที่อยู่ใกล้ผิวดิน จะเกิดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเม็ดดินมาก เพราะชั้นดินมีหน่วยแรงกดทับและหน่วยแรงดันรอบข้างที่น้อย นอกจากนี้ ควรหลีกเลี่ยงการวางฐานรากบริเวณใกล้กับระดับน้ำใต้ดินเนื่องจากกำลังแบกทานลดลงอย่างมาก

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแรงเฉือนตรงของตัวอย่างดินแห้ง

| ความลึก<br>(ม.) | ปริมาณ<br>ความชื้น<br>(ร้อยละ) | ความ<br>หนาแน่น<br>เฉลี่ย<br>(ตัน/ม. <sup>3</sup> ) | หน่วยแรงยึด<br>เกาะ<br>(กก./ชม. <sup>2</sup> ) | มุมเสียด<br>ทาน<br>ภายใน<br>(องศา) | จำนวนครั้งทุกระยะ 20 ซม. |                 |                 |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|
|                 |                                |                                                     |                                                |                                    | มุมปลาย<br>กรวย          | มุมปลาย<br>กรวย | มุมปลาย<br>กรวย |
|                 |                                |                                                     |                                                |                                    | 60°                      | 90°             | 180°            |
| 0.2             | 0                              | 1.91                                                | 0.145                                          | 36.97                              | 10                       | 11              | 14              |
| 0.6             | 0                              | 1.94                                                | 0.145                                          | 37.13                              | 22                       | 24              | 27              |
| 1.0             | 0                              | 1.95                                                | 0.245                                          | 38.88                              | 28                       | 32              | 35              |
| 1.4             | 0                              | 1.96                                                | 0.209                                          | 39.73                              | 35                       | 38              | 44              |

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบแรงเฉือนตรงของตัวอย่างดินที่มีระดับน้ำต่ำกว่าผิวดิน 1 เมตร

| ความลึก<br>(ม.) | ปริมาณ<br>ความชื้น<br>(ร้อยละ) | ความ<br>หนาแน่น<br>เฉลี่ย<br>(ตัน/ม. <sup>3</sup> ) | หน่วยแรงยึด<br>เกาะ<br>(กก./ชม. <sup>2</sup> ) | มุมเสียด<br>ทาน<br>ภายใน<br>(องศา) | จำนวนครั้งที่ทุกระยะ 20 ซม. |                        |                         |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|
|                 |                                |                                                     |                                                |                                    | มุมปลาย<br>กรวย<br>60°      | มุมปลาย<br>กรวย<br>90° | มุมปลาย<br>กรวย<br>180° |
| 0.2             | 0                              | 1.91                                                | 0.145                                          | 36.97                              | 10                          | 11                     | 12                      |
| 0.6             | 0                              | 1.93                                                | 0.145                                          | 37.13                              | 17                          | 19                     | 21                      |
| 1.0             | 8.12                           | 1.97                                                | 0.035                                          | 7.72                               | 8                           | 9                      | 10                      |
| 1.4             | 16.28                          | 2.06                                                | 0.031                                          | 8.98                               | 4                           | 4                      | 4                       |

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบแรงเฉือนตรงของตัวอย่างดินที่มีระดับน้ำต่ำกว่าผิวดิน 1.5 เมตร

| ความลึก<br>(ม.) | ปริมาณ<br>ความชื้น<br>(ร้อยละ) | ความ<br>หนาแน่น<br>เฉลี่ย<br>(ตัน/ม. <sup>3</sup> ) | หน่วยแรงยึด<br>เกาะ<br>(กก./ชม. <sup>2</sup> ) | มุมเสียด<br>ทาน<br>ภายใน<br>(องศา) | จำนวนครั้งที่ทุกระยะ 20 ซม. |                        |                         |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|
|                 |                                |                                                     |                                                |                                    | มุมปลาย<br>กรวย<br>60°      | มุมปลาย<br>กรวย<br>90° | มุมปลาย<br>กรวย<br>180° |
| 0.2             | 0                              | 1.91                                                | 0.145                                          | 36.97                              | 10                          | 11                     | 13                      |
| 0.6             | 0                              | 1.93                                                | 0.145                                          | 37.13                              | 21                          | 22                     | 24                      |
| 1.0             | 0                              | 1.95                                                | 0.245                                          | 38.88                              | 25                          | 26                     | 30                      |
| 1.4             | 14.29                          | 2.08                                                | 0.036                                          | 7.40                               | 24                          | 27                     | 30                      |

## สรุป

การศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบการเจาะหยั่งดินแบบเบาในชั้นดินชนิดดินทรายปนดินตะกอน (SM) ซึ่งเป็นชั้นดินที่มีลักษณะเม็ดดินเป็นรูปทรงเป็นเหลี่ยม (Angular Grains) และมีสภาพแน่นปานกลาง แสดงให้เห็นว่าการใช้มุมองศาปลายกรวยที่แตกต่างกันส่งผลต่อจำนวนครั้งที่การตอกทุกระยะ 20 ซม. โดยสามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของการตอกเมื่อใช้มุมองศาปลายกรวย 60 องศาเป็นจำนวนครั้งของการตอกเมื่อใช้มุมองศาปลายกรวย 90 องศา คือ  $N_{90} = 1.188N_{60}$  และสมการความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของการตอกเมื่อใช้มุมองศาปลายกรวย 180 องศาเป็นจำนวนครั้งของการตอกเมื่อใช้มุมองศา

ปลายกรวย 90 องศา คือ  $N_{90} = 0.878N_{180}$  เมื่อมององศาปลายกรวย 90 องศาเป็นมุมตามมาตรฐานการเจาะหยั่งแบบเบา DIN 4094-3 (มาตรฐานเยอรมัน) นอกจากนี้ควรเลือกใช้ผลการทดสอบตั้งแต่ความลึก 0.6 เมตรนับจากผิวดินเป็นต้นไป เนื่องจากการทดสอบในชั้นดินอยู่ใกล้ผิวดิน จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเม็ดดินมาก เป็นผลให้ค่าที่ได้มีความไม่ถูกต้อง

2. กรณีที่ชั้นดินทรายปนดินตะกอนมีระดับน้ำใต้ดิน อิทธิพลของระดับน้ำใต้ดินส่งผลให้จำนวนครั้งของการตอกลดลงเมื่อระดับการทดสอบใกล้ระดับน้ำใต้ดินเมื่อเปรียบเทียบกับดินในสภาพแห้งที่ระดับเดียวกัน โดยจำนวนครั้งการตอกลดลงร้อยละ 70 - 75 แสดงให้เห็นว่ากำลังแบกทานของดินจะลดลงอย่างมากเมื่อดินอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนครั้งการตอกเริ่มลดลงตั้งแต่ระดับ 0.6 เมตร เหนือระดับน้ำใต้ดิน ดังนั้นระดับของฐานรากควรวางให้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินอย่างน้อย 1 เมตร โดยประมาณ

3. ผลจากข้อมูลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง แสดงให้เห็นว่า สำหรับชั้นดินสภาพแห้งสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการตอกทุกระยะจม 20 ซม. และค่ามอดุลีดานภายใน ดังสมการ  $y = 0.0054x^2 - 0.1553x + 37.978$  เมื่อ  $y$  แทนค่ามอดุลีดานภายใน และ  $x$  แทนจำนวนครั้งการตอกเมื่อใช้มุมองศาปลายกรวย 90 องศา สำหรับชั้นดินที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินค่ามอดุลีดานภายในมีค่าระหว่าง 7 - 9 องศา

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย จากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2557 รวมทั้งขอขอบคุณ นายสุทธิศักดิ์ อินทรสนธิ นายสมภาพ เมฆขยาย และนายบัญชา อ่อนฉ่ำ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา

### เอกสารอ้างอิง

- ชูศักดิ์ ศิริรัตน์. (2555). **คู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์**. ประจวบคีรีขันธ์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล.
- สถาพร คูวิจิตรจรรู. (2544). **การเจาะสำรวจดินทางวิศวกรรม: การเจาะสำรวจ เก็บตัวอย่าง และการทดสอบในสนาม**. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุวิทย์พงษ์ เฟื่องศรี, และอนวัช เจียมวัฒนฤกษ์. (2556). **การหาความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบดินด้วยวิธี KPT กับวิธี SPT**. (ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต). มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
- อัฐพล ศักดิ์มณี, และก่อโชค จันทรวงกูร. (2546). **การสำรวจชั้นดินด้วยเครื่องตอกหยั่งชั้นดินขนาดเบา**. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41 (490-497). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัฐพล ศักดิ์มณี และก่อโชค จันทรวงูร. (2549). การต้านทานของการตอกหยั่งชั้นดินแบบพลวัตในชั้นดินทราย. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 11. ภูเก็ต: โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท ป่าตอง.

Meyerhof, G.G. (1965). Shallow Foundations. **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, 91(SM2), 21-31.