

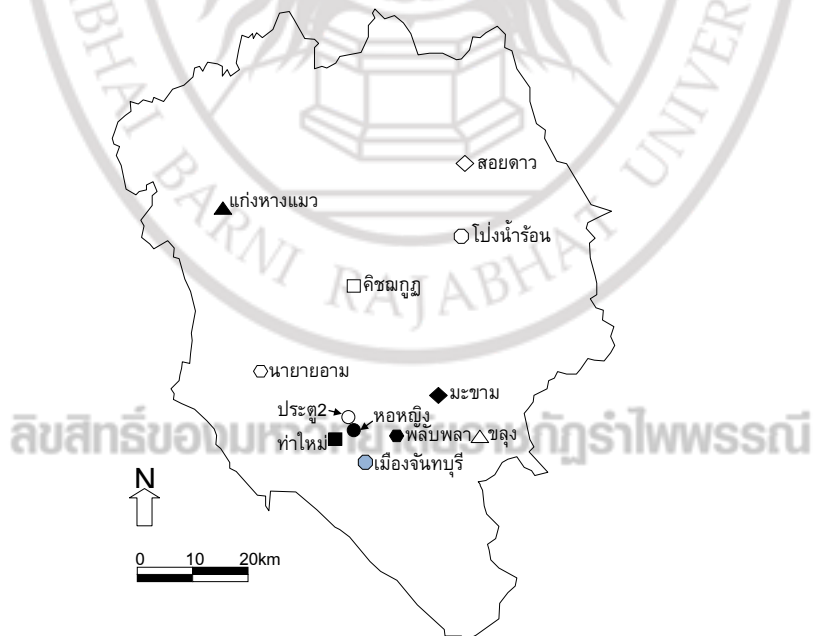
## ผลการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วย ผลการทดสอบทั้งภาคสนาม และในห้องปฏิบัติการ รวมถึงการวิเคราะห์ผลการทดสอบ มีหัวข้อต่างๆ ดังนี้

- 4.1 ตำแหน่งของสถานที่ทดสอบภาคสนาม
- 4.2 ผลการทดสอบภาคสนาม
- 4.3 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
- 4.4 วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดสอบ
- 4.5 การนำไปใช้ในการออกแบบฐานราก

## 4.1 ตำแหน่งของสถานที่ทดสอบภาคสนาม

สถานที่ทดสอบภาคสนาม 11 แห่งทั่วทุกอำเภอในจังหวัดจันทบุรี ยกเว้น อำเภอแหลมสิงห์ ซึ่งมีภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ได้ถูกเลือกสำหรับการทดสอบ ชื่อสถานที่และค่าพิกัดแสดงในตารางที่ 4.1 และทำการทดสอบบนดินลูกรังเดิม พร้อมเก็บตัวอย่างมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.1 แผนที่ตำแหน่งของสถานที่ทดสอบภาคสนาม

ตารางที่ 4.1 พิกัดของสถานที่ทดสอบภาคสนาม

| ลำดับที่ | สถานที่                                | N         | E          |
|----------|--|-----------|------------|
| 1        | ประตูสอง มรรพ. ต.ท่าช้าง อ.เมือง       | 12.666260 | 102.096656 |
| 2        | หน้าหอหญิง มรรพ. ต.ท่าช้าง อ.เมือง     | 12.660466 | 102.101329 |
| 3        | คลองกระสือน้อย ต.ตะเคียนทอง อ.ศิขณภูมิ | 12.876838 | 102.094383 |
| 4        | เขาสิ่งห์ ต.พลอยแหวน อ.ท่าใหม่         | 12.627548 | 102.063525 |
| 5        | ต.ตกพรหม อ.ขลุง                        | 12.622848 | 102.312266 |
| 6        | ต.แก่งหางแมว อ.แก่งหางแมว              | 12.998303 | 101.870222 |
| 7        | วัดเนินทอง ต.ทรายขาว อ.สอยดาว          | 13.077991 | 102.282354 |
| 8        | บ้านอ่าง ต.อ่างศิรี อ.มะขาม            | 12.640074 | 102.240756 |
| 9        | วัดหนองสีงา ต.วังใหม่ อ.นายายอาม       | 12.730970 | 101.938473 |
| 10       | บ่อดิน ต.พลับพลา อ.เมือง               | 12.618369 | 102.168308 |
| 11       | วัดน้ำเขียว ต.ทับไทร อ.โป่งน้ำร้อน     | 12.960187 | 102.280033 |

#### 4.2 ผลการทดสอบภาคสนาม

การทดสอบภาคสนาม ประกอบด้วย การทดสอบการตอกแบบมาตรฐาน และการรับกำลังแบกทานด้วยจาน แสดงผลการทดสอบในตารางที่ 4.2 พร้อมทั้งจำแนกดินตามระบบเอกภาพจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และจัดประเภทความความหนาแน่นของทราย/ ความแข็งของดินเหนียว จากผลการทดสอบการตอกแบบมาตรฐาน (Peck et al., 1974) ในการทดสอบการรับกำลังแบกทานอยู่ระหว่าง 71-150 t/m<sup>2</sup> สังเกตได้ว่ามี 3 สถานที่ที่ไม่สามารถทดสอบกำลังน้ำหนักสูงสุดได้เนื่องจากน้ำหนักกดทับไม่เพียงพอ โดยค่าจำนวนการตอกแบบมาตรฐานมีค่าอยู่ระหว่าง 7-19 ครั้ง/ฟุต โดยส่วนใหญ่ มีค่าเฉลี่ย 12.5 ครั้ง/ฟุต ยกเว้นสถานที่ทดสอบ วัดเนินทอง อ.สอยดาว เพราะพื้นด้านล่างบริเวณที่ทดสอบนั้นเป็นชั้นหิน ทำให้ค่าการตอกสูงถึง 35 ครั้ง/ฟุต

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการตอกแบบมาตรฐาน และการรับกำลังแบกทานในภาคสนาม

| สถานที่       | จำแนกกลุ่มดินตามระบบเอกภาพ | จำนวนการตอกแบบมาตรฐาน (ครั้ง/ฟุต) | กำลังแบกทานสูงสุด (t/m <sup>2</sup> ) | ความหนาแน่นของดินเม็ดหยาบ/ความแข็งของดินเม็ดละเอียด (Peck et. Al., 1974) |
|---------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--|
| มรรพ. ประตู 2 | CL                         | 15                                | 85.3                                  | Stiff  |
| มรรพ. หอหญิง  | SC                         | 7                                 | 85.3                                  | Loose  |
| ศิขณภูมิ      | SC                         | 13                                | 142.2                                 | Medium dense   |
| ท่าใหม่       | SC                         | 8                                 | 71.1                                  | Medium dense   |
| ขลุ้ง         | SM                         | 18                                | มากกว่า 149.3*                        | Medium dense   |
| แก่งหางแมว    | SM                         | 13                                | มากกว่า 71.0*                         | Medium dense   |
| สอยดาว        | SM                         | 35                                | มากกว่า 97.4*                         | Dense  |
| มะขาม         | MH                         | 12                                | 127.9                                 | Stiff  |
| นายายอาม      | CL                         | 9                                 | 142.9                                 | Stiff  |
| พลับพลา       | ML                         | 11                                | 71.1                                  | Stiff  |
| โป่งน้ำร้อน   | CL                         | 18                                | 142.2                                 | Very stiff   |

หมายเหตุ \* น้ำหนักกดทับไม่เพียงพอ

### 4.3 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

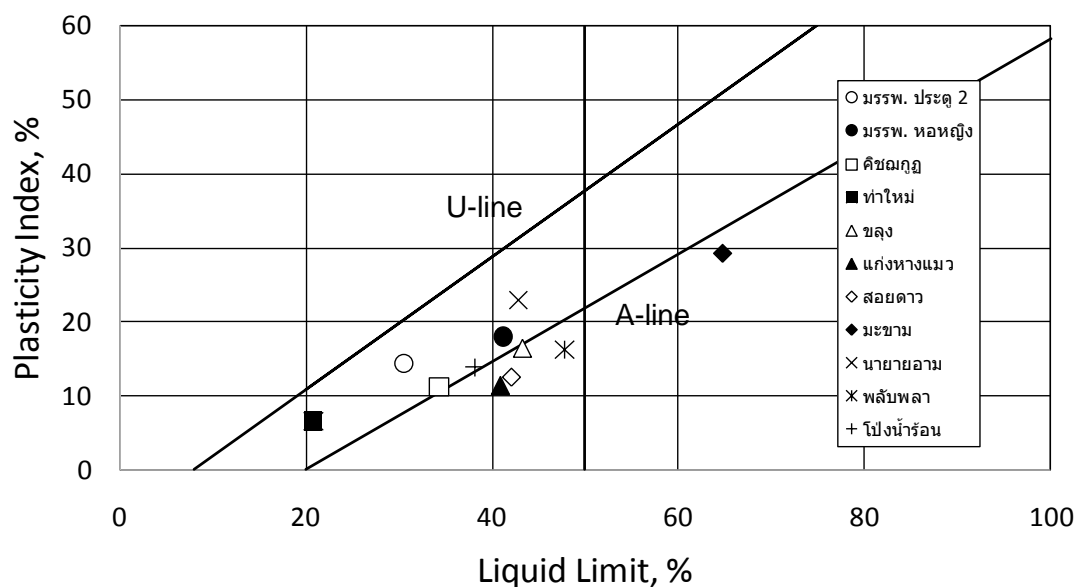
ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย การทดสอบขีดจำกัดอัตราเตอร์เบอร์ก การทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อน และการบดอัดแบบมาตรฐาน มีรายละเอียดผลการทดสอบดังนี้

#### 4.3.1 ผลการทดสอบขีดจำกัดอัตราเตอร์เบอร์ก

จากผลการทดสอบ ดินลูกรังในทั้ง 11 แห่งในจังหวัดจันทบุรีพบว่า โดยส่วนใหญ่ดินลูกรังมีค่าขีดจำกัดเหลวอยู่ในช่วง 20-50% มีเพียง ดินลูกรังจาก อ.มะขาม ที่มีค่าขีดจำกัดเหลวเกินกว่า 50% โดย สถานที่ที่มีค่าขีดจำกัดเหลวน้อยที่สุดคือ ดินจาก อ.ท่าใหม่ ได้ค่าขีดจำกัดเหลว 20.8 % และสถานที่ ที่มีขีดจำกัดเหลวมากที่สุดคือ อ.มะขาม 64.8 % โดยมีค่าขีดจำกัดเหลวเฉลี่ยอยู่ที่ 40.6 % ดังตารางที่ 4.3 ส่วนขีดจำกัดพลาสติกอยู่ในช่วง 16-35% และมีดัชนีพลาสติกอยู่ในช่วง 6-29% เมื่อนำข้อมูลของดินทั้งหมดไปวาดลงบนแผนผังพลาสติกดังรูปที่ 4.2 พบว่า ข้อมูลที่นำไปวาดกราฟ มีทั้งที่อยู่เหนือ เส้น A ซึ่งแสดงว่ามีส่วนผสมที่เป็น ดินเหนียว และที่อยู่ใต้เส้น A ซึ่งแสดงว่ามีส่วนผสมที่เป็น ดินทรายแบ่ง  $y =$

ตารางที่ 4.3 ซีดจำกัดอัตราเตอร์เบอร์ก

| สถานที่       | Liquid Limit (%) | Plastic Limit (%) | Plastic Index (%) |
|---------------|------------------|-------------------|-------------------|
| มรรพ. ประตุ 2 | 30.5             | 16.2              | 14.3              |
| มรรพ. หอหญิง  | 41.2             | 23.2              | 18.0              |
| ศิษฏภฏ        | 34.3             | 23.2              | 11.2              |
| ทำใหม่        | 20.8             | 14.3              | 6.5               |
| ขลุง          | 43.3             | 26.8              | 16.4              |
| แก่งหางแมว    | 40.9             | 29.6              | 11.3              |
| สอยดาว        | 42.1             | 29.5              | 12.6              |
| มะขาม         | 64.8             | 35.5              | 29.3              |
| นายายอาม      | 42.8             | 19.8              | 23.0              |
| พลับพลา       | 47.8             | 31.6              | 16.2              |
| โป่งน้ำร้อน   | 38.1             | 24.2              | 13.9              |

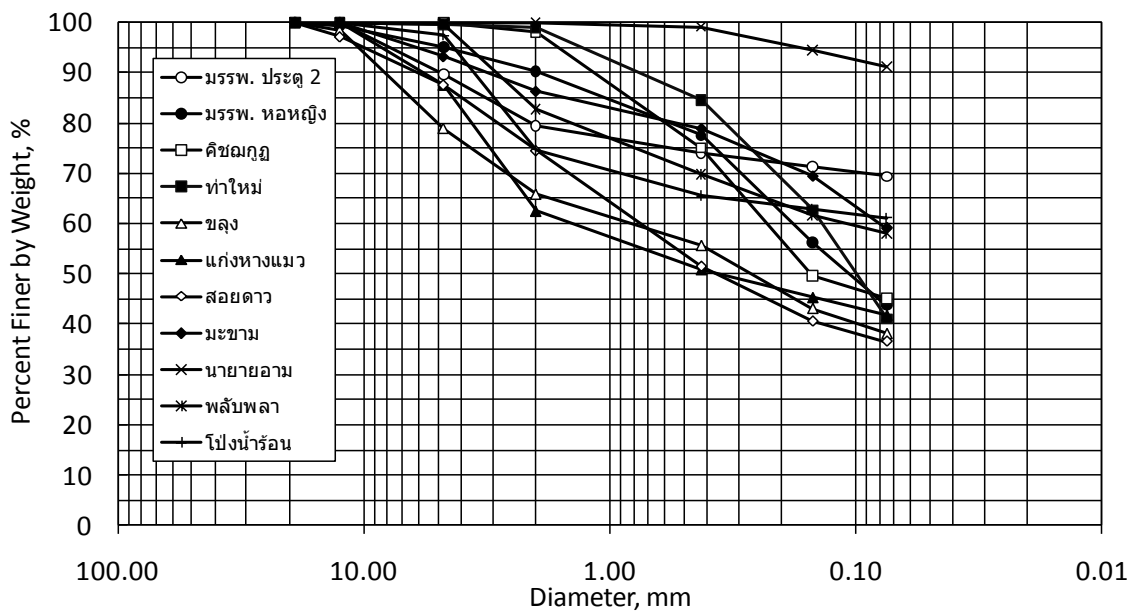


รูปที่ 4.2 ซีดจำกัดเหลวกับดัชนีพลาสติกของดินในแผนผังพลาสติก

#### 4.3.2 ผลทดสอบ หาขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อน

จากผลการทดสอบ ดินลูกรังในทั้ง 11 แห่งในจังหวัดจันทบุรีพบว่า ขนาดเม็ดดินส่วนใหญ่ ขนาดเม็ดดินเท่ากับทราย หรือ ดินเหนียว หรือ ทรายแป้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.3 ตารางที่ 4.4 ขนาดคละของเม็ดดิน

| สถานที่        | ขนาดคละของเม็ดดิน (%) |      |      |
|----------------|-----------------------|------|------|
|                | ดินเหนียวหรือทรายแป้ง | ทราย | กรวด |
| มรรพ. ประตู่ 2 | 69.3                  | 20.4 | 10.3 |
| มรรพ. หอหญิง   | 43.4                  | 51.6 | 5.0  |
| ศิขมกุฎ        | 44.9                  | 55.0 | 0.1  |
| ท่าใหม่        | 38.2                  | 61.4 | 0.4  |
| ขลุง           | 37.8                  | 41.1 | 21.1 |
| แก่งหางแมว     | 41.7                  | 45.9 | 12.4 |
| สอยดาว         | 35.9                  | 51.7 | 12.4 |
| มะขาม          | 52.3                  | 40.9 | 6.8  |
| นายายอาม       | 90.9                  | 9.1  | -    |
| พลับพลา        | 57.9                  | 41.8 | 0.3  |
| โป่งน้ำร้อน    | 61.0                  | 36.4 | 2.6  |



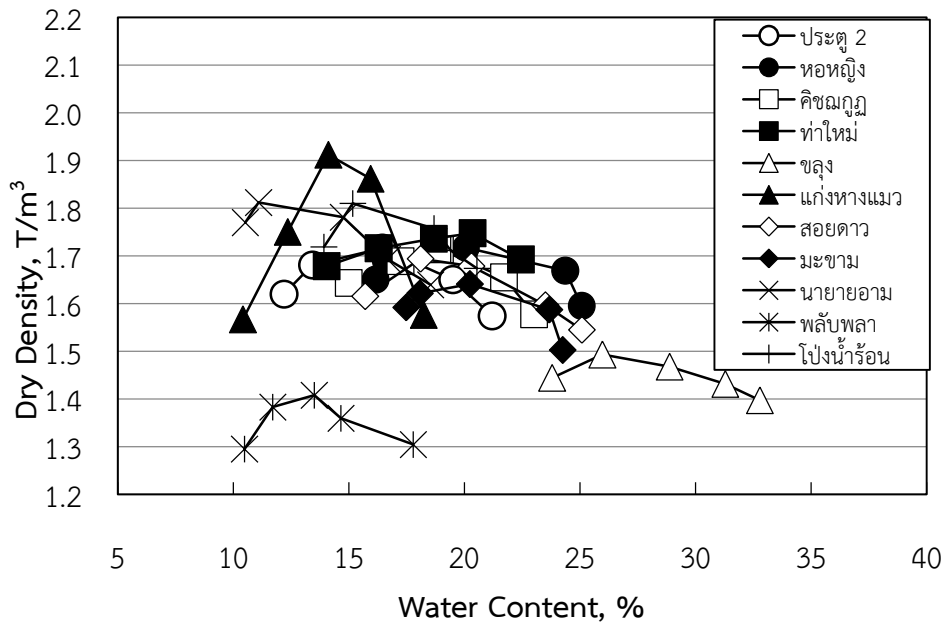
รูปที่ 4.3 ขนาดคละของดินที่ทดสอบ

#### 4.3.3.1 ผลทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน

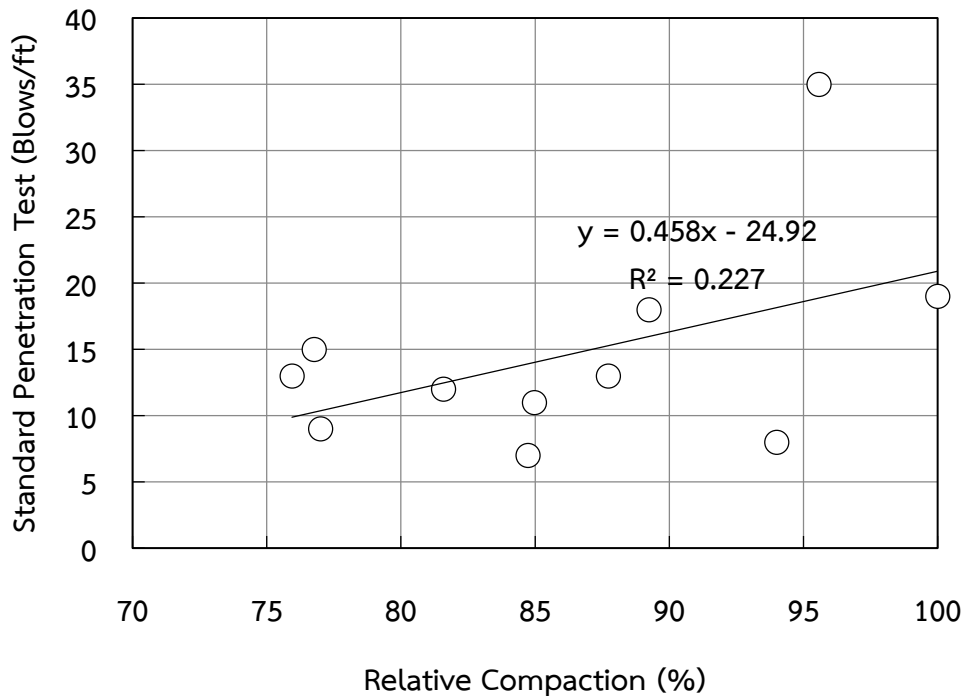
จากผลการทดสอบ ดินลูกรังในทั้ง 11 แห่ง พบว่า ความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินลูกรังอยู่ในช่วง 1.50 – 1.91 ตัน/ลูกบาศก์เมตร และมีค่าความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 11-25% ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และในกราฟรูปที่ 4.4 และ ความสัมพันธ์ระหว่างการบดอัดสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นแห้งในสนามกับความหนาแน่นสูงสุดของการบดอัดแบบมาตรฐาน กับค่าการตอกแบบมาตรฐานถูกแสดงในกราฟรูปที่ 4.5 พบว่า การบดอัดสัมพัทธ์เพิ่ม ค่าการตอกมาตรฐานเพิ่ม โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ  $y = 0.4582x - 24.924$

**ตารางที่ 4.5** ความหนาแน่นแห้งและความชื้นที่เหมาะสมจากการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน และสูงกว่ามาตรฐาน

| สถานที่      | บดอัดแบบมาตรฐาน                             |                               | บดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน                      |                               |
|--------------|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
|              | ความหนาแน่นแห้งสูงสุด<br>(ตัน/ลูกบาศก์เมตร) | ความชื้นที่<br>เหมาะสม<br>(%) | ความหนาแน่นแห้งสูงสุด<br>(ตัน/ลูกบาศก์เมตร) | ความชื้นที่<br>เหมาะสม<br>(%) |
| มรรพ.ประตู 2 | 1.72  | 16.4                          | 2.02  | 12.1                          |
| มรรพ.หอหญิง  | 1.72  | 20.1                          | 2.06  | 9.9                           |
| ศิษณกุฎ      | 1.71  | 18.9                          | 1.93  | 13.2                          |
| ท่าใหม่      | 1.75  | 20.4                          | 2.01  | 11.3                          |
| ขลุง         | 1.50  | 26.0                          | 1.92  | 15.9                          |
| แก่งหางแมว   | 1.91  | 14.1                          | 2.07  | 13.9                          |
| สอยดาว       | 1.69  | 18.1                          | 1.88  | 13.5                          |
| มะขาม        | 1.64  | 20.2                          | 1.76  | 17.3                          |
| นายายอาม     | 1.81  | 14.1                          | 1.85  | 16.1                          |
| พลับพลา      | 1.41  | 13.6                          | 2.00  | 13.5                          |
| โป่งน้ำร้อน  | 1.81  | 15.2                          | 1.86  | 15.4                          |



รูปที่ 4.4 ความหนาแน่นแห้งกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินบดอัดแบบมาตรฐาน

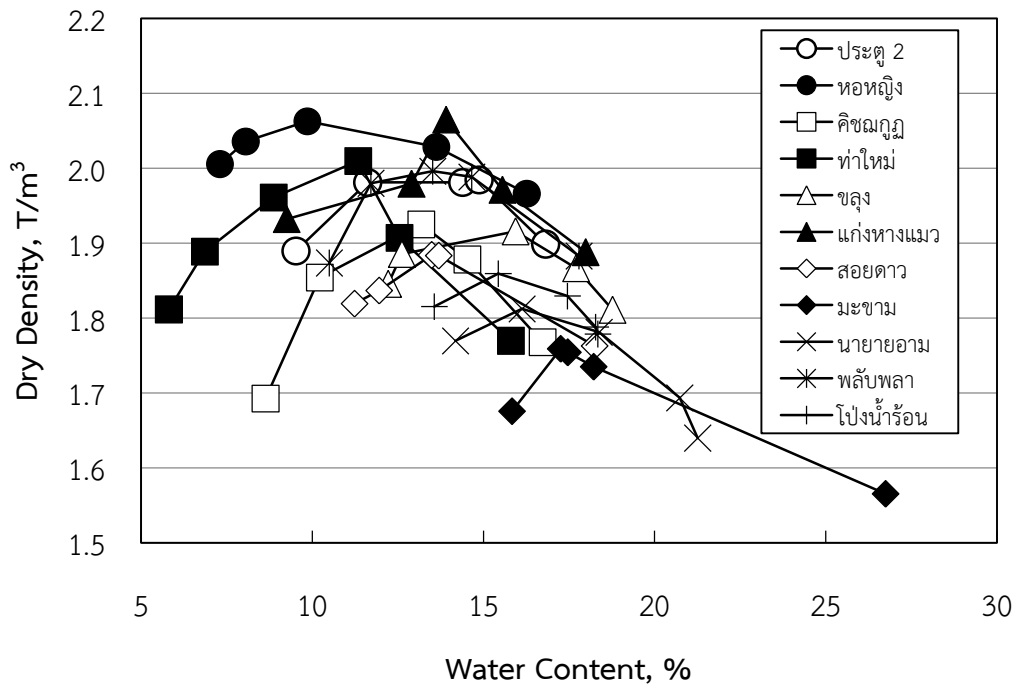


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการบดอัดสัมพัทธ์กับค่าการตอกแบบมาตรฐาน



#### 4.3.3.2 ผลทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

จากผลการทดสอบ ดินลูกรังในทั้ง 11 แห่ง พบว่า ความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินลูกรังอยู่ในช่วง 1.78 - 2.07 ตัน/ลูกบาศก์เมตร และมีค่าความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 10-17% ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และในกราฟรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความหนาแน่นแห้งกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

#### 4.3.4 ผลทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือน

จากผลการทดสอบ ดินลูกรังในทั้ง 11 แห่ง พบว่า ค่าพารามิเตอร์รับกำลังของดินซึ่งได้แก่ มุมความเสียดทานอยู่ในช่วง 22.0 - 38.0 องศา และความชื้นแน่นอยู่ในช่วง 1.0 - 3.0 ตันต่อตารางเมตร ดังแสดงตารางที่ 4.6

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

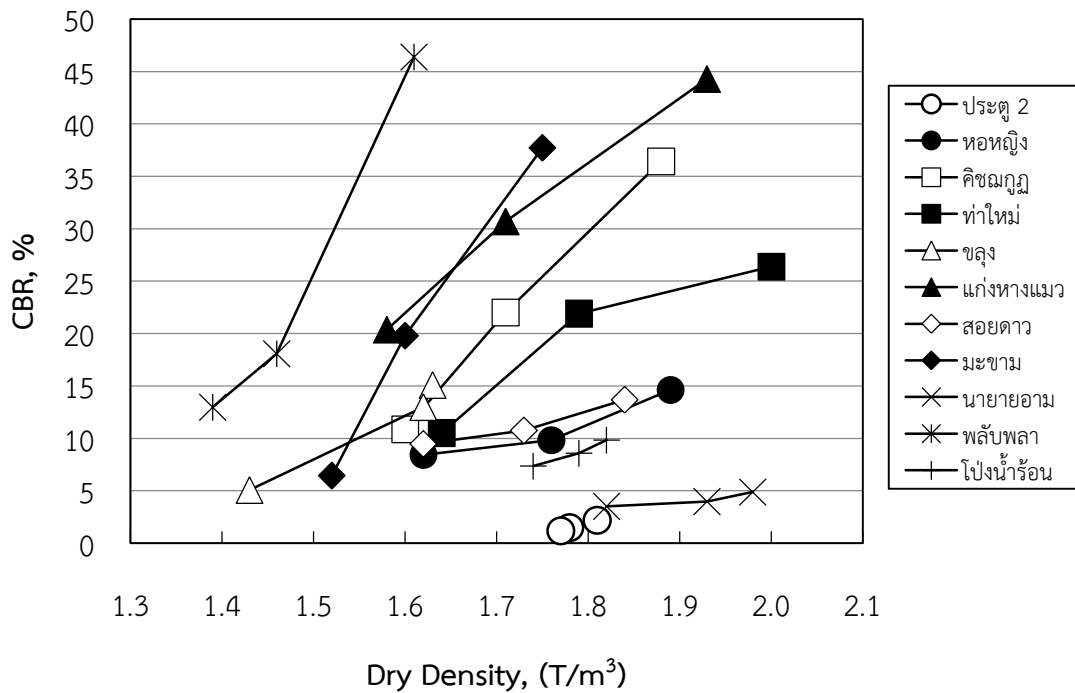


ตารางที่ 4.6 มุมความเสียดทาน และความเชื่อมแน่นของดิน

| สถานที่      | มุมความเสียดทาน<br>( $\phi$ , องศา) | ความเชื่อมแน่น<br>(c, ตันต่อตารางเมตร) |
|--------------|-------------------------------------|--|
| มรรพ.ประตู 2 | 25                                  | 3.0                                    |
| มรรพ.หอหญิง  | 31                                  | 1.0                                    |
| ศิษณภูมิ     | 32                                  | 1.0                                    |
| ท่าใหม่      | 30                                  | 2.0                                    |
| ขลุ้ง        | 30                                  | 2.4                                    |
| แก่งหางแมว   | 22                                  | 2.0                                    |
| สอยดาว       | 38                                  | 1.0                                    |
| มะขาม        | 30                                  | 2.0                                    |
| นายายอาม     | 33                                  | 2.0                                    |
| พลับพลา      | 29                                  | 1.5                                    |
| โป่งน้ำร้อน  | 35                                  | 1.5                                    |

#### 4.3.5 ผลทดสอบค่า ซีบีอาร์

จากผลการทดสอบดินลูกรังในทั้ง 11 แห่ง พบว่า ดินมีค่า ซีบีอาร์ แบบไม่แช่น้ำ อยู่ระหว่าง 1-47 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ค่าซีบีอาร์กับความหนาแน่นแห้ง

## 4.4 วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดสอบ

### 4.4.1 การจำแนกดินในระบบเอกภาพ และระบบ ASSHTO

การจำแนกดินในระบบเอกภาพ และระบบ ASSHTO สำหรับดินลูกรังจากแหล่งต่างๆ 11 แหล่ง ถูกแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า

จำแนกในระบบเอกภาพได้เป็น SC (ดินทรายปนดินเหนียว) 3 แหล่ง SM (ดินทรายปนดินทรายแป้ง) 3 แหล่ง CL (ดินเหนียวพลาสติกต่ำ) 3 แหล่ง ML (ดินทรายแป้งพลาสติกต่ำ) และ MH (ดินทรายแป้งพลาสติกสูง) 1 แหล่ง แหล่งดินส่วนใหญ่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่มาก

จำแนกดินในระบบ ASSHTO กลุ่ม A-4 1 แหล่ง กลุ่ม A-6 3 แหล่ง กลุ่ม A-7-5 1 แหล่ง และ กลุ่ม A-7-6 6 แหล่ง เช่นเดียวกับการจำแนกในระบบเอกภาพ การจำแนกดินในระบบ ASSHTO แสดงให้เห็นว่า แหล่งดินส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่ม A-4, A-6 และ A-7 ซึ่งมีดินเม็ดละเอียดปนอยู่มาก

ตารางที่ 4.7 การจำแนกดินในระบบเอกภาพ และระบบ ASSHTO

| สถานที่        | ขนาดคละของเม็ดดิน (%)     |      |      | กลุ่มดิน |           |
|----------------|---------------------------|------|------|----------|-----------|
|                | ดินเหนียวหรือ<br>ทรายแป้ง | ทราย | กรวด | เอกภาพ   | ASSHTO    |
| มรรพ. ประตู่ 2 | 69.3                      | 20.4 | 10.3 | CL       | A-6(5)    |
| มรรพ. หอหญิง   | 43.4                      | 51.6 | 5.0  | SC       | A-7-6(2)  |
| ศิษย์ภูมิ      | 44.9                      | 55.0 | 0.1  | SC       | A-6(2)    |
| ท่าใหม่        | 38.2                      | 61.4 | 0.4  | SC       | A-4(0)    |
| ขลุ้ง          | 37.8                      | 41.1 | 21.1 | SM       | A-7-6(1)  |
| แก่งทางแมว     | 41.7                      | 45.9 | 12.4 | SM       | A-7-6(1)  |
| สอยดาว         | 35.9                      | 51.7 | 12.4 | SM       | A-7-6(0)  |
| มะขาม          | 52.3                      | 40.9 | 6.8  | MH       | A-7-6(6)  |
| นายายอาม       | 90.9                      | 9.1  | -    | CL       | A-7-6(13) |
| พลับพลา        | 57.9                      | 41.8 | 0.3  | ML       | A-7-5(6)  |
| โป่งน้ำร้อน    | 61.0                      | 36.4 | 2.6  | CL       | A-6(5)    |

### 4.4.2 การนำแหล่งดินลูกรังไปใช้เป็นวัสดุงานทาง

ทั่วไปแล้วมาตรฐานกรมทางหลวงกำหนดคุณภาพวัสดุสำหรับงานพื้นทาง และรองพื้นทาง (มาตรฐานที่ ทล.-ม. 202/2531, ทล.-ม. 205/2532) ต้องมีส่วนละเอียดน้อยกว่า 20% ซึ่งแหล่งดินที่ทดสอบทั้ง 11 แหล่ง พบว่า ทุกแหล่งลูกรังมีส่วนละเอียดมากกว่า 20% ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ทำให้ไม่สามารถใช้เป็นวัสดุพื้นทาง หรือ รองพื้นทางได้ หากไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ

#### 4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง การตอกแบบมาตรฐาน และการรับกำลังแบกทาน

การตอกแบบมาตรฐานมีความสัมพันธ์กับค่ามุมเสียดทาน (Friction angle,  $\phi$ ) สำหรับดินเม็ดหยาบ (Granular soils) โดยอ้างอิงจาก (Peck et. al., 1974) และ ค่าความเชื่อมแน่น (Cohesion,  $c$ ) สำหรับดินเม็ดละเอียด (Cohesive soils) โดยอ้างอิงจาก Terzaghi and Peck (1967) และ Sower (1979)

##### 1. มุมเสียดทานสำหรับดินเม็ดหยาบ

ค่าการตอกแบบมาตรฐานสามารถถูกใช้ในการประมาณมุมเสียดทาน ในสนามได้ สำหรับดินเม็ดหยาบ ซึ่งโดยปกติแล้วการทดสอบนี้นิยมใช้在地ที่ไม่มี ความเชื่อมแน่นเนื่องจากการเก็บตัวอย่างแบบไม่รบกวนเป็นไปได้ยาก ค่า การตอกแบบมาตรฐานอาจมีค่าสูงเกินกว่าความเป็นจริงได้ หากขอบของตัวอย่างตอกถูกเม็ดกรวดขนาดใหญ่

มุมเสียดทานของดินเม็ดหยาบ ถูกนำไปหาความสัมพันธ์กับค่า การตอกแบบมาตรฐาน Peck, Hanson และ Thornburn (1974) ได้ให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $N$  และ  $\phi$  ในรูปแบบของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งสามารถประมาณได้โดยสมการที่ 4.1 (Wolff, 1989)

$$\phi^\circ = 27.1 + 0.3N - 0.00054N^2 \quad (4.1)$$

ในญี่ปุ่น “Road Bridge Specifications” สำหรับ ค่า  $N > 5$  (Shioi and Fukui, 1982 คัดลอกจาก Aggour, 2002)

$$\phi^\circ = (15 N)^{1/2} + 15 \quad (4.2)$$

และ “The Design Standards for Structures” (Shioi and Fukui, 1982 คัดลอกจาก Aggour, 2002)

$$\phi^\circ = 0.3N + 27 \quad (4.3)$$

ในตารางที่ 4.8 แสดงค่า  $\phi^\circ$  ตามฟังก์ชันของ  $N$  ทั้งสามสมการ ค่าจากสมการที่ 4.3 ใกล้เคียงกับสมการที่ 4.1 ดังนั้นสมการที่ 4.3 ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้ เพราะเป็นการประมาณแบบเส้นตรงที่ง่ายระหว่างค่ามุมเสียดทาน  $\phi$  กับค่าการตอกมาตรฐาน  $N$

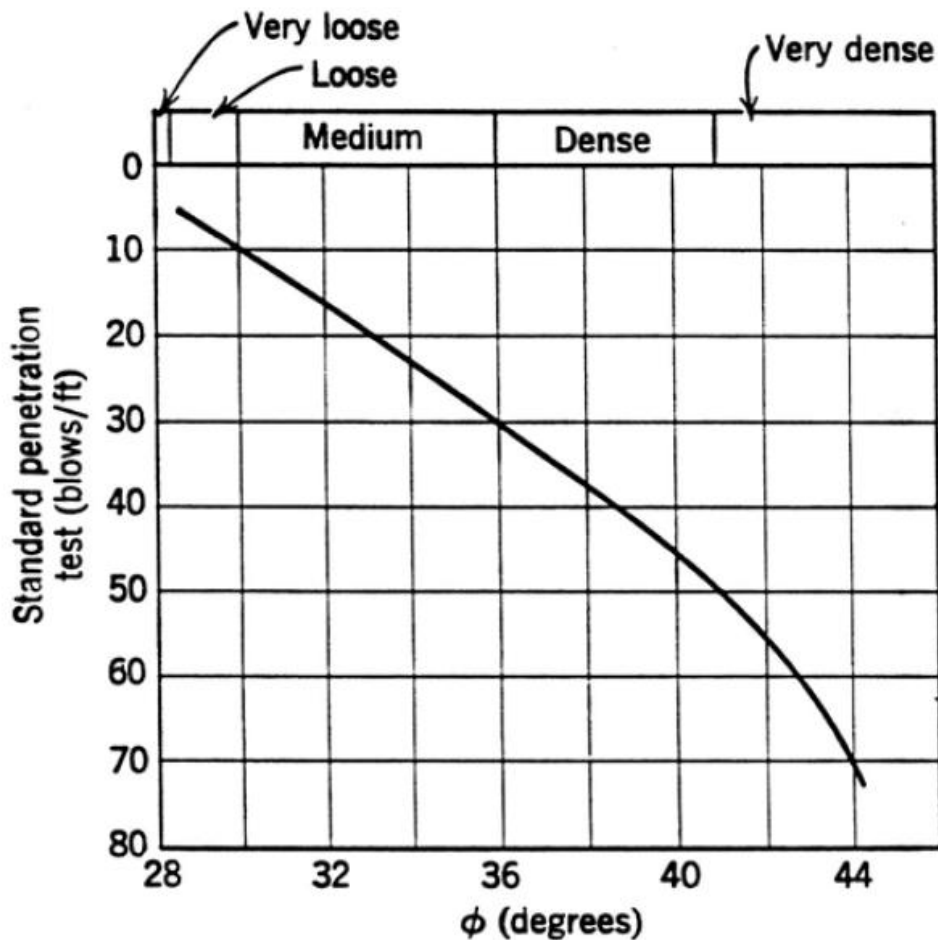
##### 2. ความเชื่อมแน่นสำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น

ค่าการตอกแบบมาตรฐานสำหรับดินเหนียวที่กำหนดให้อาจเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินตามฤดูกาล ดังนั้นข้อมูลที่มีอาจไม่เพียงพอที่จะบอกลักษณะของดินเหนียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรับกำลังของมัน มีความสัมพันธ์ซึ่งประมาณค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ โดยเป็นฟังก์ชันของค่าการตอกมาตรฐาน  $N$  ความสัมพันธ์เหล่านี้

ไม่เหมาะสมสำหรับ ดินเหนียวที่มีความไวตัวและเป็นดินเหนียวที่อ่อนหรือแข็งปานกลางซึ่งผลของการรบกวนระหว่างการเก็บตัวอย่างอาจส่งผลให้ค่าการตอกมาตรฐาน  $N$  ต่ำกว่าความเป็นจริง

ในญี่ปุ่น “Road Bridge Specifications” (Shioi and Fukui, 1982 คัดลอกจาก Aggour, 2002) ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างความเชื่อมแน่น  $c$  และ ค่าการตอกมาตรฐาน  $N$  สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่นดังนี้

$$c = (0.66 \text{ to } 1.10)N \text{ t/m}^2 \quad (4.4)$$



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $N$  และ  $\phi$  (Peck et. Al., 1974)

ตารางที่ 4.8  $\phi$  จากทั้งสามสมการ

| N (ครึ่ง/ฟุต) | $\phi$ (องศา) |        |        |
|---------------|---------------|--------|--------|
|               | Eq 4.1        | Eq 4.2 | Eq 4.3 |
| 2             | 27.70         |        | 27.60  |
| 4             | 28.29         |        | 28.20  |
| 6             | 28.88         | 24.49  | 28.80  |
| 8             | 29.47         | 25.95  | 29.40  |
| 10            | 30.05         | 27.25  | 30.00  |
| 12            | 30.62         | 28.42  | 30.60  |
| 14            | 31.19         | 29.49  | 31.20  |
| 16            | 31.76         | 30.49  | 31.80  |
| 18            | 32.33         | 31.43  | 32.40  |
| 20            | 32.88         | 32.32  | 33.00  |
| 22            | 33.44         | 33.17  | 33.60  |
| 24            | 33.99         | 33.97  | 34.20  |
| 26            | 34.53         | 34.75  | 34.80  |
| 28            | 35.08         | 35.49  | 35.40  |
| 30            | 35.61         | 36.21  | 36.00  |
| 32            | 36.15         | 36.91  | 36.60  |
| 34            | 36.68         | 37.58  | 37.20  |
| 36            | 37.20         | 38.24  | 37.80  |
| 38            | 37.72         | 38.87  | 38.40  |
| 40            | 38.24         | 39.49  | 39.00  |
| 42            | 38.75         | 40.10  | 39.60  |
| 44            | 39.25         | 40.69  | 40.20  |
| 46            | 39.76         | 41.27  | 40.80  |
| 48            | 40.26         | 41.83  | 41.40  |
| 50            | 40.75         | 42.39  | 42.00  |

ในรูปที่ 4.9 จาก NAVFAC (1982) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด และค่าการตอกมาตรฐาน N สำหรับดินเหนียวซึ่งสรุปได้ดังนี้

ความสัมพันธ์โดยเฉลี่ยของความเชื่อมั่นแน่นและ ค่าการตอกมาตรฐาน N สำหรับดินเหนียวทั้งหมดโดย Terzaghi และ Peck

$$c = 0.71N \text{ t/m}^2 \quad (4.5)$$

สำหรับดินเหนียวพลาสติกสูงโดย Sower

$$c = 1.40N \text{ t/m}^2 \quad (4.6)$$

สำหรับดินเหนียวพลาสติกปานกลางโดย Sower

$$c = 0.82N \text{ t/m}^2 \quad (4.7)$$

สำหรับดินเหนียวพลาสติกต่ำโดย Sower

$$c = 0.41N \text{ t/m}^2 \quad (4.8)$$

สำหรับดินเหนียวกรุงเทพพลาสติกสูงโดย Pitupakorn (1983)

$$c = 0.67N \text{ t/m}^2 \quad (4.9)$$

สำหรับดินเหนียวกรุงเทพพลาสติกต่ำโดย Pitupakorn (1983)

$$c = 0.52N \text{ t/m}^2 \quad (4.10)$$

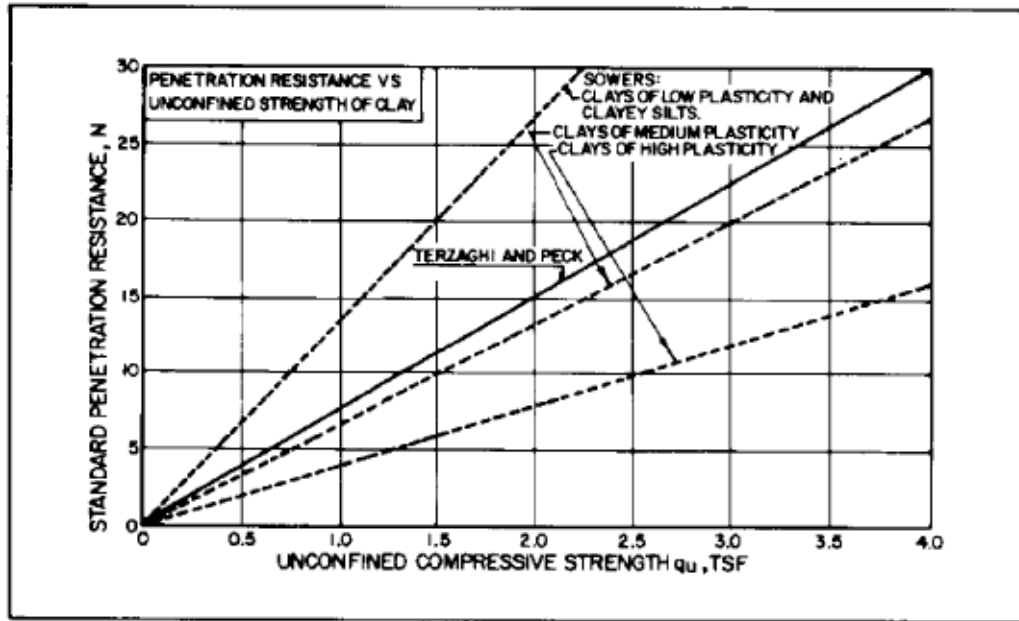
อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้จะใช้ความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Pitupakorn ตามสมการที่ 4.9 สำหรับดินเหนียวพลาสติกสูง (CH) และ สมการที่ 4.10 สำหรับดินเหนียว สำหรับ ดินเหนียวพลาสติกต่ำ (CL) และ ดินทรายแป้ง (ML และ MH)

### 3. สมการรับกำลังแบกทานของดิน

จากการวิจัยเกี่ยวกับการรับกำลังแบกทานของดินอย่างกว้างขวาง ทำให้การวิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆถูกพัฒนาขึ้น งานวิจัยเริ่มจาก Terzaghi (1943) และตามด้วย Skempton (1951), Meyerhof (1951), Hansen (1961), De Beer and Ladanyi (1961), Meyerhof (1963), Hansen (1970), Vesic (1973, 1975), และอื่นๆ สมการรับกำลังแบกทานที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางที่สุดในปัจจุบัน ได้แก่ สมการของ Terzaghi ซึ่งมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป

Terzaghi (1943) นำเสนอชุดสมการสำหรับการรับกำลังแบกทานของดินขึ้นเป็นครั้งแรก สมการเหล่านี้สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางและยังคงถูกใช้มาตลอดเนื่องจากเป็นสมการที่ใช้งานได้ง่าย Terzaghi ได้พัฒนาสมการนี้ต่อมาจากงานของ Prandtl (1921) ซึ่งสร้างสมการสำหรับคำนวณการรับกำลังของวัสดุที่เป็นโลหะขึ้นโดย Terzaghi ได้คิดผลของน้ำหนักวัสดุเข้าไปในสมการด้วย ชุดสมการของ Terzaghi มีดังนี้





รูปที่ 4. 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด และค่าการตอกมาตรฐาน (NAVFAC (1982))

N

ฐานรากแบบแถบ

$$q_{ult} = cN_c + \gamma DN_q + 0.5\gamma BN_\gamma \quad (4.11)$$

ฐานรากแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส

$$q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma DN_q + 0.4\gamma BN_\gamma \quad (4.12)$$

ฐานรากแบบวงกลม

$$q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma DN_q + 0.3\gamma BN_\gamma \quad (4.13)$$

เมื่อ:

$c$  = ความเชื่อมแน่นของดิน

$\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดิน

$D$  = ความลึกของฐานราก

$B$  = ความกว้างของฐานราก (เส้นผ่านศูนย์กลางในกรณีฐานรากวงกลม)

$N_c, N_q, N_\gamma$  = แฟคเตอร์การรับกำลังแบกทานซึ่งไม่มีหน่วย และเป็นฟังก์ชันของ  $\phi$

ค่าแฟคเตอร์เหล่านี้ถูกแสดงในตารางที่ 4.9



ตารางที่ 4.9 แฟคเตอร์การรับกำลังแบกทานของ Terzaghi (1943)

| $\phi$ | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ | $\phi$ | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ | $\phi$ | $N_c$  | $N_q$  | $N_\gamma$ |
|--------|-------|-------|------------|--------|-------|-------|------------|--------|--------|--------|------------|
| 0      | 5.70  | 1.00  | 0.00       | 17     | 14.60 | 5.45  | 2.18       | 34     | 52.64  | 36.50  | 38.04      |
| 1      | 6.00  | 1.1   | 0.01       | 18     | 15.12 | 6.04  | 2.59       | 35     | 57.75  | 41.44  | 45.41      |
| 2      | 6.30  | 1.22  | 0.04       | 19     | 16.57 | 6.70  | 3.07       | 36     | 63.53  | 47.16  | 54.36      |
| 3      | 6.62  | 1.35  | 0.06       | 20     | 17.69 | 7.44  | 3.64       | 37     | 70.01  | 53.80  | 65.27      |
| 4      | 6.97  | 1.49  | 0.10       | 21     | 18.92 | 8.26  | 4.31       | 38     | 77.50  | 61.55  | 78.61      |
| 5      | 7.34  | 1.64  | 0.14       | 22     | 20.27 | 9.19  | 5.09       | 39     | 85.97  | 70.61  | 95.03      |
| 6      | 7.73  | 1.81  | 0.20       | 23     | 21.75 | 10.23 | 6.00       | 40     | 95.66  | 81.27  | 115.31     |
| 7      | 8.15  | 2.00  | 0.27       | 24     | 23.36 | 11.40 | 7.08       | 41     | 106.81 | 93.85  | 140.51     |
| 8      | 8.60  | 2.21  | 0.35       | 25     | 25.13 | 12.72 | 8.34       | 42     | 119.67 | 108.75 | 171.99     |
| 9      | 9.09  | 2.44  | 0.44       | 26     | 27.09 | 14.21 | 9.84       | 43     | 134.58 | 126.50 | 211.56     |
| 10     | 9.61  | 2.69  | 0.56       | 27     | 29.24 | 15.90 | 11.60      | 44     | 151.95 | 147.74 | 261.60     |
| 11     | 10.16 | 2.98  | 0.69       | 28     | 31.61 | 17.81 | 13.70      | 45     | 172.28 | 173.28 | 325.34     |
| 12     | 10.76 | 3.29  | 0.85       | 29     | 34.24 | 19.98 | 16.18      | 46     | 196.22 | 204.19 | 407.11     |
| 13     | 11.41 | 3.63  | 1.04       | 30     | 37.16 | 22.46 | 19.13      | 47     | 224.55 | 241.80 | 512.84     |
| 14     | 12.11 | 4.02  | 1.26       | 31     | 40.41 | 25.28 | 22.65      | 48     | 258.28 | 287.85 | 650.87     |
| 15     | 12.86 | 4.45  | 1.52       | 32     | 44.04 | 28.52 | 26.87      | 49     | 298.71 | 344.63 | 831.99     |
| 16     | 13.68 | 4.92  | 1.82       | 33     | 48.09 | 32.23 | 31.94      | 50     | 347.50 | 415.14 | 1072.80    |

4. กราฟสำหรับดินเม็ดหยาบ

4.1 ฐานรากแบบแถบ จากสมการที่ 4.11

$$q_{ult} = cN_c + \gamma DN_q + 0.5\gamma BN_\gamma$$

เมื่อ  $c = 0$  สำหรับดินเม็ดหยาบ

จะได้

$$q_{ult} = \gamma DN_q + 0.5\gamma BN_\gamma$$

$$= \gamma [DN_q + 0.5BN_\gamma]$$

$$= \gamma [Dx_1 + Bx_2]$$

เมื่อ:  $x_1 = N_q$

$$x_2 = 0.5N_\gamma$$

4.2 ฐานรากแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส จากสมการที่ 4.12

$$q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma DN_q + 0.4\gamma BN_\gamma$$

เมื่อ  $c = 0$  สำหรับดินเม็ดหยาบ

จะได้

$$q_{ult} = \gamma DN_q + 0.4\gamma BN_\gamma$$

$$= \gamma [DN_q + 0.4BN_\gamma]$$

$$= \gamma [Dx_1 + Bx_2]$$

$$\begin{aligned}\text{เมื่อ: } x_1 &= N_q \\ x_2 &= 0.4N_\gamma\end{aligned}$$

4.3 ฐานรากแบบวงกลม จากสมการที่ 4.13

$$q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma DN_q + 0.3\gamma BN_\gamma$$

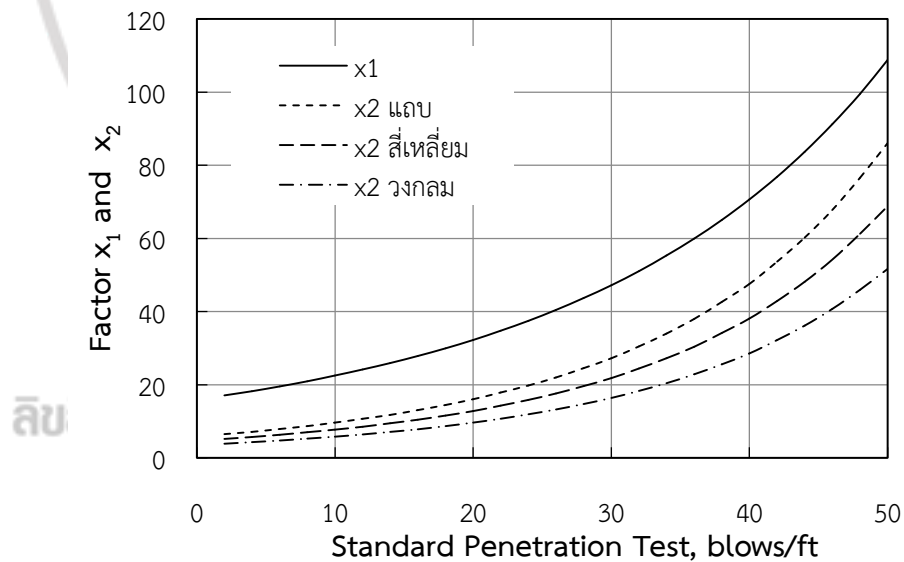
เมื่อ  $c = 0$  สำหรับดินเม็ดหยาบ

จะได้

$$\begin{aligned}q_{ult} &= \gamma DN_q + 0.3\gamma BN_\gamma \\ &= \gamma [DN_q + 0.3BN_\gamma] \\ &= \gamma [Dx_1 + Bx_2]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{เมื่อ: } x_1 &= N_q \\ x_2 &= 0.3N_\gamma\end{aligned}$$

รูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.10 แสดงค่าแฟคเตอร์  $x_1$  และ  $x_2$  จากค่าการตอกมาตรฐาน  $N$  สำหรับฐานรากรูปแบบต่างๆ บนดินเม็ดหยาบ



รูปที่ 4.10 ค่าแฟคเตอร์  $x_1$  และ  $x_2$  จากค่าการตอกมาตรฐาน  $N$  สำหรับฐานรากรูปแบบต่างๆ บนดินเม็ดหยาบ

ตารางที่ 4.10 ค่าแฟคเตอร์  $x_1$  และ  $x_2$  จากค่าการตอบมาตรฐาน N สำหรับฐานรากรูปแบบต่างๆ บนดินเม็ดหยาบ

| N  | $x_1$  | $x_2$ ของฐานรากแบบ |                   |       |
|----|--------|--------------------|-------------------|-------|
|    |        | แถบ                | สี่เหลี่ยมจัตุรัส | วงกลม |
| 2  | 17.01  | 6.43               | 5.14              | 3.86  |
| 4  | 18.22  | 7.10               | 5.68              | 4.26  |
| 6  | 19.52  | 7.84               | 6.27              | 4.71  |
| 8  | 20.93  | 8.68               | 6.94              | 5.21  |
| 10 | 22.46  | 9.57               | 7.65              | 5.74  |
| 12 | 24.11  | 10.62              | 8.50              | 6.37  |
| 14 | 25.89  | 11.75              | 9.40              | 7.05  |
| 16 | 27.83  | 13.01              | 10.41             | 7.81  |
| 18 | 29.94  | 14.45              | 11.56             | 8.67  |
| 20 | 32.23  | 15.97              | 12.78             | 9.58  |
| 22 | 34.72  | 17.80              | 14.24             | 10.68 |
| 24 | 37.44  | 19.76              | 15.81             | 11.85 |
| 26 | 40.39  | 21.97              | 17.57             | 13.18 |
| 28 | 43.62  | 24.50              | 19.60             | 14.70 |
| 30 | 47.16  | 27.18              | 21.74             | 16.31 |
| 32 | 51.02  | 30.45              | 24.36             | 18.27 |
| 34 | 55.25  | 33.97              | 27.18             | 20.38 |
| 36 | 59.90  | 37.97              | 30.38             | 22.78 |
| 38 | 65.00  | 42.59              | 34.07             | 25.55 |
| 40 | 70.61  | 47.52              | 38.01             | 28.51 |
| 42 | 76.80  | 53.60              | 42.88             | 32.16 |
| 44 | 83.62  | 60.18              | 48.14             | 36.11 |
| 46 | 91.16  | 67.74              | 54.19             | 40.64 |
| 48 | 99.50  | 76.55              | 61.24             | 45.93 |
| 50 | 108.75 | 86.00              | 68.80             | 51.60 |

## 5. กราฟสำหรับดินเม็ดละเอียด

5.1 ฐานรากแบบแถบ สี่เหลี่ยมจัตุรัส และวงกลม จากสมการที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ จะได้

$$q_{ult} = cN_c + \gamma DN_q + 0.5\gamma BN_\gamma$$

$$q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma DN_q + 0.4\gamma BN_\gamma$$

$$q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma DN_q + 0.3\gamma BN_\gamma$$

เมื่อ  $\phi = 0$  สำหรับดินเม็ดละเอียด  $N_c = 5.7$ ,  $N_q = 1.0$  and  $N_\gamma = 0.0$  จะได้

$$q_{ult} = 1.3c(5.7) + \gamma D(1)$$

$$q_{ult} = 7.41c + \gamma D$$

หากไม่คิดค่า  $\gamma D$  จะกลายเป็น

$$q_{ult} = 7.41c \text{ สำหรับ ฐานรากแบบแถบ}$$

และ  $q_{ult} = 5.7c$  สำหรับ ฐานรากแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสและวงกลม

สำหรับดินเหนียวพลาสติกสูง

จะได้  $q_{ult} = 7.41(0.67N) \text{ t/m}^2 = 4.96N \text{ t/m}^2$  สำหรับ ฐานรากแบบแถบ

$$q_{ult} = 5.7(0.67N) \text{ t/m}^2 = 3.82N \text{ t/m}^2 \text{ สำหรับ ฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัส}$$

และวงกลม

สำหรับดินเหนียวพลาสติกต่ำ

จะได้  $q_{ult} = 7.41(0.52N) \text{ t/m}^2 = 3.85N \text{ t/m}^2$  สำหรับ ฐานรากแบบแถบ

$$q_{ult} = 5.7(0.52N) \text{ t/m}^2 = 2.96N \text{ t/m}^2 \text{ สำหรับ ฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัส}$$

และวงกลม

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

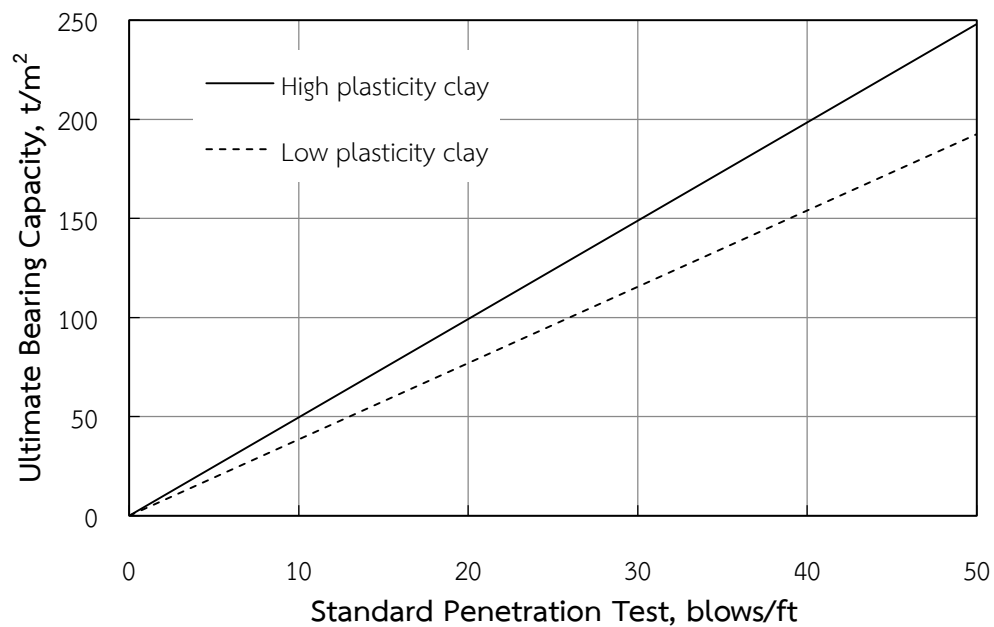
รูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.11 แสดงกำลังแบกทานของฐานรากแบบแถบ

รูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.12 แสดงกำลังแบกทานของฐานรากแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส

และวงกลม

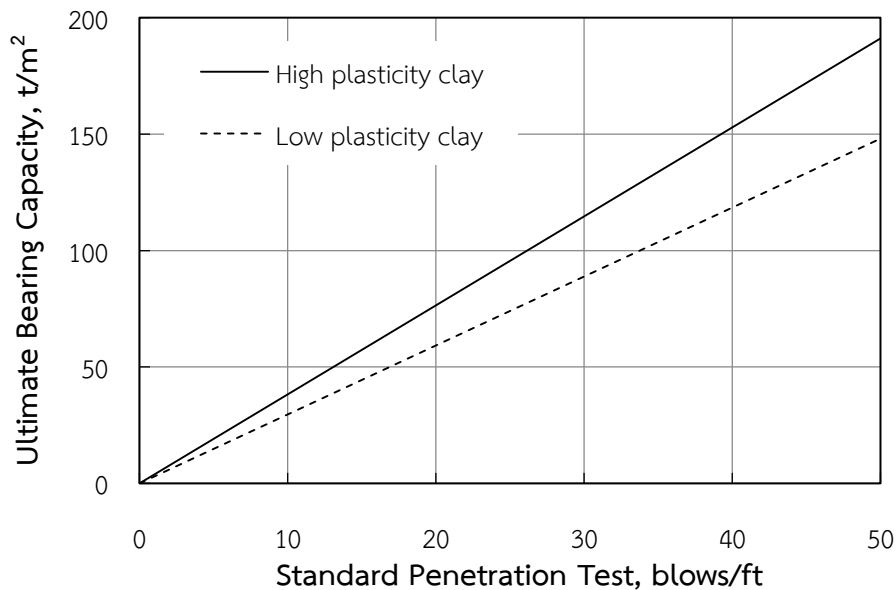
ตารางที่ 4.11 กำลังแบกทานในฟังก์ชันของค่าการตอกมาตรฐาน N

| ชนิดของดิน          | กำลังแบกทาน ( $q_{ult}$ , $t/m^2$ ) |   |
|---------------------|-------------------------------------|---|
|                     | ฐานรากแบบแถบ                        | ฐานรากแบบสี่เหลี่ยม<br>จัตุรัส หรือ วงกลม |
| ดินเหนียวพลาสติกสูง | 4.96N                               | 3.82N                                     |
| ดินเหนียวพลาสติกต่ำ | 3.85N                               | 2.96N                                     |



รูปที่ 4.11 กำลังแบกทานสูงสุดของฐานรากแบบแถบ

หมายเหตุ การท่รดตัวไม่ได้พิจารณาในกราฟนี้



รูปที่ 4.12 กำลังแบกทานสูงสุดของฐานรากแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และวงกลม

หมายเหตุ การทบทวนไม่ได้พิจารณาในกราฟนี้

- เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง การตอกแบบมาตรฐาน และการรับกำลังแบกทานสูงสุด  
ผลจากการทดสอบในสนามด้วยวิธีการรับกำลังแบกทานแบบจานถูกนำไปเปรียบเทียบกับกำลังแบกทานสูงสุดซึ่งได้จากการคำนวณในสมการที่ 4.13 ด้วยพารามิเตอร์  $\phi$  และ  $s_u$  ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่าง การตอกแบบมาตรฐาน  $N$  ดังแสดงรายละเอียดไว้ก่อน ในหัวข้อนี้ นอกจากนี้ยังถูกนำไปเปรียบเทียบกับ การรับกำลังแบกทานซึ่งคำนวณด้วยพารามิเตอร์  $\phi$  และ  $c$  จากกราฟการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบโดยตรงในหัวข้อที่ 4.3.4

ตัวอย่างการคำนวณจาก ดินบริเวณประตูสอง มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ซึ่งจัดด้วยระบบเอกภาพ อยู่ในกลุ่ม CL (ดินเหนียวพลาสติกต่ำ)

ค่าการตอกแบบมาตรฐาน  $N = 15$

ใช้ค่าความสัมพันธ์จากตารางที่ 4.11 จะได้

$$q_{ult} = 2.96N = 2.96 \times 15 = 44.4 \text{ t/m}^2$$

ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบโดยตรง คำนวณจากพารามิเตอร์ในตารางที่ 4.6 ได้ มุมความเสียดทาน  $\phi = 25.0^\circ$  และ ค่าความเชื่อมแน่น  $c = 3 \text{ t/m}^2$  จากตารางที่ 4.9 ได้ค่า  $N_c = 25.13$ ,  $N_q = 12.72$  และ  $N_\gamma = 8.34$  แล้วแทนค่าในสมการที่ 4.13 จะได้

$$q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma DN_q + 0.3\gamma BN_\gamma$$

$$q_{ult} = 1.3 \times 3 \times 25.13 + 1.48 \times 0.5 \times 12.72 + 0.3 \times 1.48 \times 0.3 \times 8.34$$

$$= 108.5 \text{ t/m}^2$$

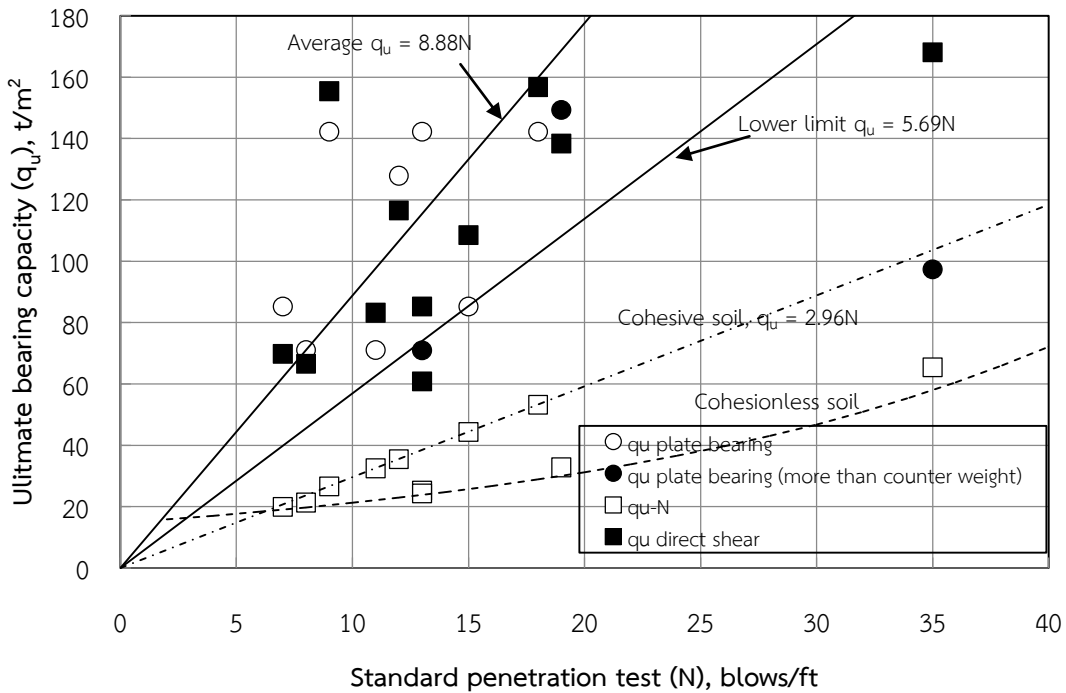
จากการคำนวณความสัมพันธ์แบบต่างๆ สามารถสรุปค่าได้ดังตารางที่ 4.12 และกราฟรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 กำลังแบกทานที่ได้จากในสนามเปรียบเทียบกับค่าการตอกแบบมาตรฐานและ จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน

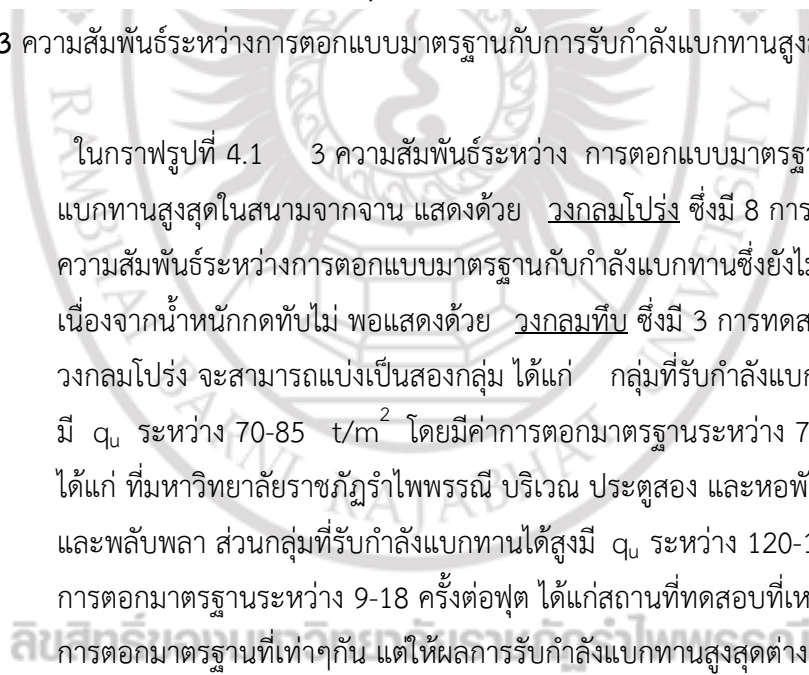
| สถานที่       | จำนวนการตอกแบบมาตรฐาน (ครั้ง/ฟุต) | กำลังแบกทานสูงสุด ( $\text{t/m}^2$ ) |                                      |  |
|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
|               |                                   | จากจากรับน้ำหนักในสนาม               | คำนวณจากความสัมพันธ์การตอกแบบมาตรฐาน | คำนวณจากพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน |
| มรรพ. ประตู 2 | 15                                | 85.3                                 | 44.40                                | 108.5  |
| มรรพ. หอหญิง  | 7                                 | 85.3                                 | 19.97                                | 69.8   |
| คิซณภูฏ       | 13                                | 142.2                                | 25.30                                | 85.3   |
| ท่าใหม่       | 8                                 | 71.1                                 | 21.41                                | 66.6   |
| ขลุ้ง         | 18                                | มากกว่า 149.3*                       | 32.85                                | 138.3  |
| แก่งหางแมว    | 13                                | มากกว่า 71.0*                        | 24.40                                | 60.9   |
| สอยดาว        | 35                                | มากกว่า 97.4*                        | 65.48                                | 168.1  |
| มะขาม         | 12                                | 127.9                                | 35.52                                | 116.6  |
| นายายอาม      | 9                                 | 142.9                                | 26.64                                | 155.4  |
| พลับพลา       | 11                                | 71.1                                 | 32.56                                | 83.3   |
| โป่งน้ำร้อน   | 18                                | 142.2                                | 53.28                                | 156.8  |

หมายเหตุ \* น้ำหนักกดทับไม่เพียงพอ





รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการตอกแบบมาตรฐานกับการรับกำลังแบกทานสูงสุดด้วยวิธีต่างๆ



ในกราฟรูปที่ 4.1 3 ความสัมพันธ์ระหว่างการตอกแบบมาตรฐานกับการรับกำลังแบกทานสูงสุดในสนามจากงาน แสดงด้วย วงกลมโปร่ง ซึ่งมี 8 การทดสอบ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างการตอกแบบมาตรฐานกับกำลังแบกทานซึ่งยังไม่ถึงจุดวิกฤติเนื่องจากน้ำหนักกดทับไม่พอแสดงด้วย วงกลมทึบ ซึ่งมี 3 การทดสอบ สังเกตได้ว่าวงกลมโปร่ง จะสามารถแบ่งเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่รับกำลังแบกทานได้ปานกลางมี  $q_u$  ระหว่าง 70-85  $t/m^2$  โดยมีค่าการตอกมาตรฐานระหว่าง 7-15 ครั้งต่อฟุต ได้แก่ ที่มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี บริเวณ ประตูสอง และหอพักหญิง ทำใหม่ และปลั๊ปลา ส่วนกลุ่มที่รับกำลังแบกทานได้สูงมี  $q_u$  ระหว่าง 120-140  $t/m^2$  ซึ่งมีค่าการตอกมาตรฐานระหว่าง 9-18 ครั้งต่อฟุต ได้แก่สถานที่ทดสอบที่เหลือ สาเหตุที่ค่าการตอกมาตรฐานที่เท่าๆกัน แต่ให้ผลการรับกำลังแบกทานสูงสุดต่างกันมากอาจเกิดได้เนื่องจากดินลูกรังจะเกิดบริเวณพื้นที่เชิงเขาเป็นส่วนใหญ่ การฝังเป็นชั้นดินลูกรังจากชั้นหินเป็นชั้นหนาไม่มากและมีความหนาไม่แน่นอน ทำให้บางพื้นที่ซึ่งชั้นดินลูกรังบางและมีชั้นหินแข็งรองรับอยู่ด้านล่างให้ค่ารับกำลังแบกทานที่สูงมากได้ เส้นตรงในกลุ่มวงกลมโปร่ง แสดง ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ซึ่งแทนด้วยสมการ  $q_u = 8.88N t/m^2$  ส่วน เส้นตรงที่อยู่ด้านล่างของกลุ่มวงกลมโปร่ง แสดง ขอบเขตต่ำสุดของกลุ่มวงกลมโปร่งซึ่งเป็นความสัมพันธ์แทนด้วยสมการ  $q_u = 5.69N t/m^2$

ความสัมพันธ์ระหว่างการตอกแบบมาตรฐานกับการรับกำลังแบกทานจากการคำนวณมูมเสียตทาน ( $\phi$ ) โดยค่าการตอกแบบมาตรฐานในสมการที่ 4.3 สำหรับดินที่ไม่มีคุณสมบัติแน่น แล้วนำค่า  $\phi$  ไปหาแฟคเตอร์การรับกำลังแบกทานในตารางที่ 4.9 แล้วคำนวณการรับกำลังแบกทานจากสมการของ Terzaghi (สมการที่ 4.12) โดยใช้ความกว้าง 0.3 m และความลึก 0.5 m ตามลักษณะงานและความลึกที่ทดสอบในสนาม สำหรับดินที่มีความแน่นคำนวณโดยใช้ สมการ  $q_{ult} = 2.96N t/m^2$  ตามตารางที่ 4.11 ซึ่งความสัมพันธ์เหล่านี้ ถูกแสดงด้วย สี่เหลี่ยมโปร่ง เส้นประสองเส้น แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างการตอกแบบมาตรฐานกับการรับกำลังแบกทานจากสมการที่คำนวณ สำหรับทั้งดินที่มีความแน่นซึ่งเป็นเส้นตรง และดินที่ไม่มีคุณสมบัติแน่นซึ่งเป็นเส้นโค้งที่ให้ค่ารับกำลังแบกทานต่ำกว่า

ความสัมพันธ์ระหว่างการตอกแบบมาตรฐานกับการรับกำลังแบกทานจากการคำนวณมูมเสียตทาน ( $\phi$ ) และ ความแน่น (c) ที่ได้จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบโดยตรง โดย สมการของ Terzaghi (สมการที่ 4.12) ใช้ความกว้าง 0.3 m และความลึก 0.5 m ตามลักษณะงานและความลึกที่ทดสอบในสนาม ซึ่งความสัมพันธ์เหล่านี้ ถูกแสดงด้วย สี่เหลี่ยมทึบ จากการศึกษาพบว่า ค่ามูมเสียตทาน และความแน่นของตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดตัวอย่างภายหลัง ให้ได้ค่าความหนาแน่นเท่ากับดินในสนาม ผลการรับกำลังแบกทานที่ได้มีลักษณะเป็นกลุ่มกระจายตัว เหนือเส้นที่คำนวณได้จากการตอกแบบมาตรฐาน ทั้งนี้เพราะการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบโดยตรงสามารถให้ค่าพารามิเตอร์ มูมเสียตทาน ( $\phi$ ) และความแน่น (c) ได้พร้อมกันซึ่งเป็นลักษณะที่ใกล้เคียงกับดินลูกรังในธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบมีความสำคัญมาก หากแนวการเฉือนในการทดสอบผ่านดินเม็ดหยาบจะให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงกว่าดินเม็ดละเอียดซึ่งทำให้ผลการทดสอบที่ได้มีค่าไม่แน่นอน

โดยสรุปค่ารับกำลังแบกทานโดยการทดสอบด้วยงานในสนามให้ค่าสูงสุด ตามด้วยการคำนวณพารามิเตอร์มูมเสียตทาน และค่าความแน่นจากการทดสอบ กำลังรับแรงเฉือนแบบโดยตรง และ การคำนวณมูมเสียตทาน และค่าความแน่นจากค่าการตอกแบบมาตรฐาน ตามลำดับ สาเหตุที่การทดสอบในสนามให้ค่าสูงสุดเนื่องจากในดินลูกรังมีการเชื่อมประสานระหว่างเม็ดดินด้วยสารละลายออกไซด์อิสระของเหล็กเข้าด้วยกัน (Krinitzsky, 1976) ทำให้มีกำลังรับแรงเฉือนมากที่สุดตามสภาพธรรมชาติ รวมทั้งความหนาของชั้นดินลูกรังอาจน้อยและมีชั้นดินแข็งหรือหินแข็งรองรับอยู่ ถัดมาเป็นการคำนวณพารามิเตอร์มูมเสียตทาน และค่าความแน่นจากการทดสอบ กำลัง

รับแรงเฉือนแบบโดยตรง เพราะการทดสอบนี้สามารถให้ค่ามุมเสียดทานและความ  
เชื่อมแน่นพร้อมกัน

#### 4.5 การนำไปใช้ในการออกแบบฐานราก

จากการศึกษาครั้งนี้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ ค่ากำลังแบกทานปลอดภัยของดินประเภท  
ต่างๆ ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.  
2522 ข้อที่ 18

“น้ำหนักบรรทุกบนดินที่ฐานรากของอาคารนั้น ต้องคำนวณให้เหมาะสม เพื่อความมั่นคง  
และปลอดภัย ถ้าไม่มีเอกสารที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้แสดงผลการทดลองหรือการคำนวณ  
จะต้องไม่เกินกำลังแบกทานของดินประเภทต่างๆ ดังต่อไปนี้

- (1) ดินอ่อนหรือดินถมไผ่แน่นตัวเต็มที่ 2 เมตริกตันต่อตารางเมตร
- (2) ดินปานกลางหรือทรายร่วน 5 เมตริกตันต่อตารางเมตร
- (3) ดินแน่นหรือทรายแน่น 10 เมตริกตันต่อตารางเมตร
- (4) กรวดหรือดินดาน 20 เมตริกตันต่อตารางเมตร
- (5) หินดินดาน 25 เมตริกตันต่อตารางเมตร
- (6) หินปูนหรือหินทราย 30 เมตริกตันต่อตารางเมตร
- (7) หินอัคนีที่ยังไม่แปรสภาพ 100 เมตริกตันต่อตารางเมตร”

จากรูปที่ 4.13 สังเกตได้ว่า สำหรับดินลูกรังที่แน่นปานกลาง (Medium stiff clay) หรือ  
ทรายร่วน (Loose sand) ซึ่งค่าการตอกมาตรฐานระหว่าง 4-10 ครั้งต่อฟุต มีค่ากำลังแบกทานใน  
สนามอย่างน้อยประมาณ  $70 \text{ t/m}^2$  เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังแบกทานในสนามกับที่กำหนดให้ใน  
กฎกระทรวง ซึ่งเท่ากับ  $5 \text{ t/m}^2$  ต่ำกว่ากันประมาณ 14 เท่า สำหรับดินลูกรังที่แน่น (Stiff clay) หรือ  
ทรายแน่นปานกลาง (Medium dense sand) ซึ่งค่าการตอกมาตรฐานระหว่าง 10-30 ครั้งต่อฟุต มี  
ค่ากำลังแบกทานในสนามอย่างน้อยประมาณ  $80 \text{ t/m}^2$  เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังแบกทานในสนามกับ  
ที่กำหนดให้ในกฎกระทรวง ซึ่งเท่ากับ  $10 \text{ t/m}^2$  ต่ำกว่ากันประมาณ 8 เท่า จะเห็นได้ว่า หากมีการ  
ทดสอบในสนามจะสามารถใช้ดินลูกรังรับกำลังมากกว่าที่กำหนดได้มากพอสมควร

ถ้ามีการทดสอบการตอกมาตรฐานในดินลูกรังในสนาม ผู้ออกแบบสามารถนำค่าการตอก  
มาตรฐานไปใช้ในสมการความสัมพันธ์  $q_u = 5.69N$  ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ จะทำให้ได้ค่าการรับกำลัง  
แบกทานสูงสุดที่สมเหตุสมผล แล้วจึงทำการออกแบบฐานรากต่อไปได้