# 8 , 8G 8H9 I JK I OL
# )("&@" #$% $% he Ee%* h $M N+#(e% ?#&e O; @P#%* F;%"Q#R ?+$O#%* : e h$N

,S T 8 L,UKV OT, JWO X 2 Y G 8G,ZJ> L S [\\ S-

[1,2,3]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จ.สกลนคร
[4] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร
*Corresponding author; E-mail address: Nattawut.he@rmuti.ac.th

## [ J I

การเจาะสำรวจชั้นดินด้วยวิธีตอกทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน เป็นการหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินในสนามแบบพลศาสตร์ และถูกนำไปใช้ในการออกแบบประเภท หน้าตัด ขนาด และความยาวเสาเข็มโดยใช้วิธีทางสถิตศาสตร์ ระยะจมในการตอกเสาเข็มถูกนำมาใช้ประเมินความสามารถในการรับกำลังของเสาเข็มในการก่อสร้าง บ่อยครั้งที่ความยาวเสาเข็มที่ออกแบบไว้ไม่จมอยู่ในชั้นดินที่ต้องการ อาจเนื่องมาจากความแปรปรวนของลักษณะชั้นดิน ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายและเวลาในการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้น วิธีการตอกหยั่งพลวัตเป็นวิธีการสำรวจชั้นดินรูปแบบหนึ่ง ซึ่งมีวิธีการสำรวจที่มีขั้นตอนง่าย และประหยัดกว่าการเจาะสำรวจวิธีมาตรฐาน

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างระยะจมของการตอกหยั่งพลวัตกับความสามารถในการรับแรงของเสาเข็มที่ได้จากสมการ Hiley จากข้อมูลจำนวนครั้งการตอกหยั่งพลวัตและการตอกเสาเข็มสี่เหลี่ยมตัน 3 ขนาดคือ 0.35*0.35 0.22*0.22 และ 0.18*0.18 เมตร โดยมีความยาว 8.5-11 เมตร จำนวนทั้งหมด 118 ต้น ที่ตอกในชั้นดินทรายแป้งปนดินเหนียว และ ทรายแน่น ในพื้นที่จังหวัดสกลนคร

ผลการศึกษาพบว่า ผลการทดสอบตอกหยั่งพลวัตมีความสอดคล้องกับกำลังของเสาเข็ม ระยะจมในการตอกหยั่งพลวัตสามารถนำมาประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกด้วยสมการตอก Hiley ได้และพบว่ารูปแบบการตอกหยั่งพลวัตแบบ DPSH-B ให้ความน่าเชื่อถือมากที่สุด การประมาณความยาวเสาเข็มจากการทดสอบตอกหยั่งพลวัตสามารถประมาณการได้จากจำนวนครั้งในการตอกหยั่งพลวัต

คำสำคัญ: การตอกหยั่งพลวัต, สมการตอกเข็ม, การเจาะสำรวจดินวิธีมาตรฐาน

## COP +"R

Soil exploration by using Standard Penetration Test (SPT) is an in-situ dynamic penetration test designed to provide information on the geotechnical engineering. It will be used to design the type, cross-section, size, and length of the pile using static methods. Often the designed pile length is not bedded on the desired soil layer, due to the variability of soil characteristics which increases construction cost and time. Dynamic probing is a rapid and economical ground investigation method.

The purpose of this study was to determine the mathematical relation between the penetration from the Dynamic Probing (DP) and the ultimate load capacity of the pile obtained from the Hiley's formula. In this research, data were collected on the blow count of Dynamic Probing and driving of square piles of 3 sizes: 0.35*0.35, 0.22*0.22 and 0.18*0.18 meters, with a length of 8.5-11 meters, totaling 118 piles in sand with clay and dense sand in Sakon Nakhon province.

The study found that the results of the dynamic probing test are consistent with the ultimate load of piles. The penetration in Dynamic probing method can be used to assess the load bearing capacity of piles and to estimate the pile length. It was found that the DPSH-B gave the most accuracy.

Keywords: Dynamic probing, Pile driving formula, Standard penetration test

## U6 ],]

วิธีการสำรวจชั้นดินเพื่อนำไปออกแบบฐานราก ในประเทศไทยนิยมใช้วิธีการตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Pentation Test, SPT) รวมกับข้อมูลชั้นดินที่ได้จะนำไปออกแบบขนาดและความยาวเสาเข็มโดยวิธีสถิตศาสตร์ ถ้าฐานรากถูกออกแบบเป็นเสาเข็มตอก เมื่อถึงขั้นตอนการติดตั้งเสาเข็มจะถูกประเมินความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุกด้วยระยะจมของเสาเข็มที่จำนวนครั้งในการตอก 10 ครั้งสุดท้าย โดยใช้เกณฑ์ที่ควบคุมจากสมการตอกเสาเข็ม (pile driving formulas) ซึ่งเป็นการคำนวณจาก

คุณสมบัติของเสาเข็ม และอุปกรณ์ในการตอก บ่อยครั้งที่ปลายเสาเข็มที่ไม่อยู่ในระดับความลึกดินที่ได้จากข้อมูลที่สำรวจ เช่น เสาเข็มที่สั้นอาจสั้นหรือยาวเกินไป ทำให้เกิดผลกระทบในการทำงานที่ตามมาเช่น ถ้าตำแหน่งในการตัดเสาเข็มเกินเหล็ก dowel ที่อยู่ในเสาเข็มทำให้ผู้รับจ้างต้องทำการแก้ไขโดยการเจาะและฝังเหล็ก dowel ใหม่ ผลเสียจากความยาวเสาเข็มที่ไม่เหมาะสมทำให้มีค่าใช้จ่าย เสียเวลาในการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้น

เพื่อเพิ่มความมั่นใจในการกำหนดความยาวเสาเข็มผู้รับจ้างบางรายในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนจะทำทดสอบหาความยาวเสาเข็มด้วยวิธีเชิงประสบการณ์ โดยการตอกเหล็กข้ออ้อยด้วยตุ้มน้ำหนักโดยใช้หลักเกณฑ์หาความยาวเสาเข็มที่จะใช้จะเท่ากับความยาวเหล็กข้ออ้อยที่ตอกลงในดิน ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและค่าใช้จ่ายน้อย เครื่องมือที่ใช้ไม่ซับซ้อน

การศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการสำรวจชั้นดินแบบตอกหยั่งพลวัต (Dynamic Probing) ซึ่งเป็นวิธีสำรวจคุณสมบัติชั้นดินที่มีหลักการคล้ายๆ กับการตอกเสาเข็มและมีค่าใช้จ่ายในการเจาะสำรวจน้อยกว่าการสำรวจแบบ SPT เพื่อใช้เป็นทางเลือกในการหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินและหาความยาวเสาเข็มให้มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากขึ้น ซึ่งจะเป็นผลดีกับวิศวกร ผู้รับเหมา ในงานก่อสร้างต่างๆ ที่ใช้ฐานรากแบบเสาเข็มตอก

## 26 12^ L , 5 8 HK

### *2.1 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยสมการตอกเสาเข็ม (Pile driving Formulas)*

การประมาณการรับแรงแบกทานแบบสถิตของเสาเข็มโดยสมการตอกเสาเข็ม เป็นวิธีประสบการณ์ซึ่งต้องการความสัมพันธ์ของแรงต้านกับการตอกเข็ม โดยทั่วไปจะใช้จำนวนครั้งในการตอกต่อระยะจมซึ่งขึ้นอยู่กับแรงต้านของดินในขณะที่ตอก หลักการพื้นฐานของสมการพลังงาน เมื่อพลังงานจลของตุ้มน้ำหนักกระแทกเสาเข็มเท่ากับพลังงานที่เกิดขึ้นในเสาเข็ม ผลจากพลังงานจลคือการเคลื่อนที่ของเสาเข็มและการต้านของดินจากการเคลื่อนที่ ซึ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย คุณสมบัติของดิน แผ่นรอง (Cushion) หัวครอบเข็ม (Cap block) เสาเข็ม การสูญเสียพลังงานในส่วนต่างๆ เป็นต้น

สมการที่ใช้ประมาณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในขณะทำการตอกมีจำนวนมาก สมการที่นิยมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนคือ Hiley's formula โดยมีรูปแบบของสมการ [1] ดังนี้

$$P_u = \left[\frac{e_h WH}{s+\frac{C_c+C_p+C_q}{2}}\right]\left[\frac{W+n^2P}{W+P}\right] \quad (1)$$

$$C_c = \left(\frac{1.8L_2}{A}\right)P_u \quad (2)$$

$$C_p = \left(\frac{0.72L}{A}\right)P_u \quad (3)$$

$$C_q = \left(\frac{3.6}{A}\right)P_u \quad (4)$$

โดยที่

$P_u$ คือ กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม

$e_h$ คือ ประสิทธิภาพของปั้นจั่น.

$n$ คือ Coefficient of restitution

$C_c$ คือ Elastic compression of cap block and pile cap

$C_p$ คือ Elastic compression of pile

$C_q$ คือ Elastic compression of soil

$W$ คือ น้ำหนักตุ้ม

$H$ คือ ระยะยกตุ้ม

$P$ คือ น้ำหนักเสาเข็ม

$A$ คือ พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม

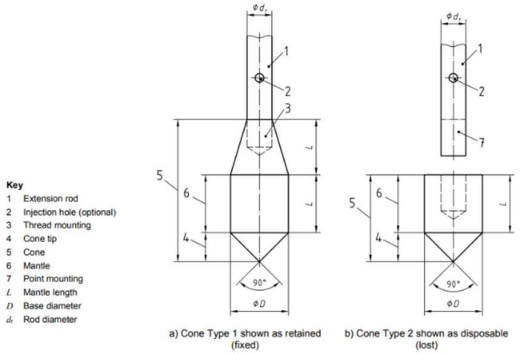
$L$ คือ ความยาวเสาเข็ม

$L_2$ คือ ความหนาวัสดุรองหัวเข็ม

$s$ คือ ระยะที่เสาเข็มจมลงต่อการตอกหนึ่งครั้ง

### *2.2 การสำรวจชั้นดินด้วยวิธีตอกหยั่งพลวัต (Dynamic Probing, DP)*

การตอกหยั่งพลวัตตามมาตรฐาน EN ISO 22476 [2] เป็นการสำรวจชั้นดินด้วยการหาแรงต้านของดินหรือหินในสนามด้วยการทำให้หัวเจาะแบบกรวยกลมจมลงไปในดินจากการตกกระทบของตุ้มน้ำหนัก แรงต้านการจมเห็นได้จากจำนวนครั้งในการตอกเพื่อให้กรวยจมลงไปในดินที่ระยะจมคงที่ จำนวนครั้งในการตอกจะถูกรวบรวมไว้ตามความลึก การทดสอบจะสมบูรณ์เมื่อก้านตอกสามารถหมุนได้อย่างอิสระ [3] โดยมีแรงเสียดทานเป็นตัวแปรที่สำคัญได้มีงานวิจัยต่างๆ เช่น [4] ได้ใช้การขยายขนาดหลุมเจาะโดยใช้กรวยกลมและก้านเจาะที่มีขนาดใหญ่ขึ้นแต่วิธีนี้ต้องใช้เวลาที่มากขึ้น ซึ่งวิธีการนี้จะไม่มีการเก็บตัวอย่างดิน [5] ลดแรงเสียดทานด้วยการใช้หัวฉีดแบบพิเศษที่ฉีดน้ำโคลนระหว่างทดสอบ การทดสอบพลวัตสามารถทำได้ 5 แบบ โดยอุปกรณ์ในการทดสอบประกอบไปด้วย หัวกดรูปกรวย (Cone) ก้านตอก (Driving Rod) ตุ้มน้ำหนัก (Driving Device Hammer) และ แท่นรองตอก (Anvil) รูปหัวเจาะสำหรับการตอกหยั่งพลวัต แสดงในรูปที่ 1 ข้อกำหนดสำหรับเครื่องมือตอกหยั่งพลวัต แสดงในตารางที่ 1 และ 2




7 U หัวเจาะสำหรับการตอกหยั่งพลวัต (EN ISO 224476-3)

U ข้อกำหนดสำหรับเครื่องมือในการตอกหยั่งพลวัตตามมาตรฐาน )!
D_` 22-a/.2

| Dynamic Probing Apparatus | Symbol | Unit | DPL (light) | DPM (medium) | DPH (heavy) |
|---|---|---|---|---|---|
| Driving device | | | | | |
| Hammer mass, new | m | kg | 10±0.1 | 30±0.3 | 50±0.5 |
| Hight of fall | h | mm | 500±10 | 500±10 | 500±10 |
| Anvil | | | | | |
| diameter | d | mm | 50<d<Dn2 | 50<d<Dn2 | 50<d<0.5Dn2 |
| mass (max.) | m | kg | 6 | 18 | 18 |
| (guide rod included) | | | | | |
| 90° Cone | | | | | |
| nominal base area | A | $cm^2$ | 10 | 15 | 15 |
| base diameter, new | D | mm | 35.7±0.3 | 43.7±0.3 | 43.7±0.3 |
| base diameter, worn (min.) | | | 34 | 42 | 42 |
| mantle length (mm) | L | mm | 35.7±1 | 43.7±1 | 43.7±1 |
| length of cone tip | | | 17.9±0.1 | 21.9±0.1 | 21.9±0.1 |
| tip max. permissible wear | | | 3 | 4 | 4 |
| Drive rods | | | | | |
| mass (max) | m | kg/m | 3 | 6 | 6 |
| diameter OD (max) | dr | mm | 22 | 32 | 32 |
| rod deviation | | | | | |
| lowermost 5 m | | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| remainder | | % | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Specific work per blow | mgh/ A En | $KJ/m^2$ | 50 | 100 | 167 |

2 ข้อกำหนดสำหรับเครื่องมือในการตอกหยั่งพลวัตตามมาตรฐาน )!
D_` 22-a/.2 bต่อ)

| Dynamic Probing Apparatus | Symbol | Unit | DPSH (super heavy) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | DPSH-A | DPSH-B |
| Driving device | | | | |
| Hammer mass, new | m | kg | 63.5±0.5 | 63.5±0.5 |
| Hight of fall | h | mm | 500±10 | 750±20 |
| Anvil | | | | |
| diameter | d | mm | 50<d<0.5Dn2 | 50<d<0.5Dn2 |
| mass (max.) | m | kg | 18 | 30 |
| (guide rod included) | | | | |
| 90° Cone | | | | |
| | A | $cm^2$ | 16 | 20 |
| nominal base area | D | mm | 45.0±0.3 | 50.5±0.5 |
| base diameter, new | | | 43 | 49 |
| base diameter, worn (min.) | | | | |
| mantle length (mm) | L | mm | 90.0±2b | 51±2 |
| length of cone tip | | | 22.5±0.1 | 25.3±0.4 |
| tip max. permissible wear | | | 5 | 5 |
| Drive rods | | | | |
| mass (max) | m | kg/m | 6 | 6 |
| diameter OD (max) | dr | mm | 32 | 35 |
| rod deviation | | | | |
| lowermost 5 m | | % | 0.1 | 0.1 |
| remainder | | % | 0.2 | 0.2 |
| Specific work per blow | mgh/A En | $KJ/m^2$ | 194 | 238 |

### *2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง*

#### *2.2.1 การสูญเสียพลังงานการตอก*

[6] ได้ทำการศึกษาพลังงานในการตอกของอุปกรณ์ทดสอบ SPT พบว่าการตอกด้วยตุ้มแบบโดนัท เซฟตี้ และทริป มีค่าเท่ากับ 49, 68 และ 95 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับการศึกษาของ [7] พบกว่าการตอกแบบทริปให้ค่าสูงกว่าการตอกแบบอื่นๆ เนื่องจากตุ้มน้ำหนักที่ตรงศูนย์มากกว่าและมีการตกอย่างอิสระ

[7] ศึกษาการสูญเสียพลังงานจากก้านเจาะมีถึง 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อก้านเจาะมีความยาวเท่ากับ 12 เมตร ซึ่งมีสาเหตุมาจากการโก่งของก้านเจาะ

ค่าประสิทธิผลจากเครื่องตอกหยั่งพลวัตแบบเบา (DPL) ในดินเหนียวอ่อนมีค่า 67.07% [8]

#### *2.2.2 การประเมินความสามารถในการรับแรงของเสาเข็ม*

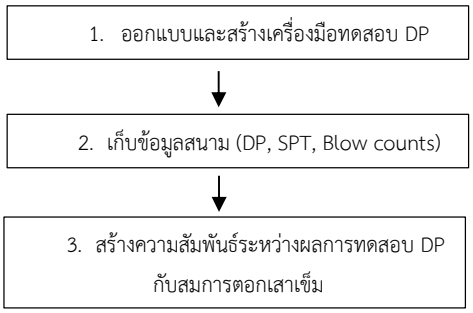
สาเหตุความแตกต่างระหว่างวิธีสถิตศาสตร์และพลศาสตร์กับการทดสอบในสนามเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของคุณสมบัติดินและสมการที่ใช้ในการคำนวณ เมื่อเปรียบเทียบกันการรับกำลังและการทรุดตัวของเสาเข็มระหว่างวิธีการทดสอบในสนามกับวิธีสถิตศาสตร์และวิธีพลศาสตร์ พบว่าผลการทดสอบหากำลังรับแรงสูงสุดในสนามมีค่ามากกว่าวิธีสถิตศาสตร์ และค่าการทรุดตัวของเสาเข็มจากการทดสอบในสนามมีค่าน้อยกว่าการหาด้วยวิธีสถิตศาสตร์และวิธีพลศาสตร์ [9] แต่เมื่อพิจารณาถึงความปลอดภัยวิธีสถิตศาสตร์เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด โดยเฉพาะในกรณีที่ซับซ้อนและไม่แน่นอนของพื้นที่หรือข้อมูล

[10] การศึกษาความน่าเชื่อถือของสมการตอกเข็มกับผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกประลัยด้วยวิธีพลศาตร์พบว่าสมการของ Hiley ให้ผลใกล้เคียงมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับข้อแนะนำของกรมทางหลวงชนบทให้ใช้สมการของ Hiley กับเสาเข็มที่รับน้ำหนักโดยแรงต้านที่ปลายเสาเข็มในชั้นดินเหนียวแข็งหรือชั้นทรายแน่น

วิธีประเมินความยาวเสาเข็มโดยวิธีเชิงประสบการณ์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนนิยมใช้ เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ตอกลงดินด้วยตุ้มน้ำหนัก 30 กก. ยกสูง 1.0 ม. สามารถหาความยาวเข็มและเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจาก สูตร Hiley ได้เป็นอย่างดี โดยการใช้ค่าประสิทธิภาพของปั้นจั่นและ Coefficient of restitution เท่ากับ 0.8 และ 0.25 ตามลำดับ [1]

>6 c2

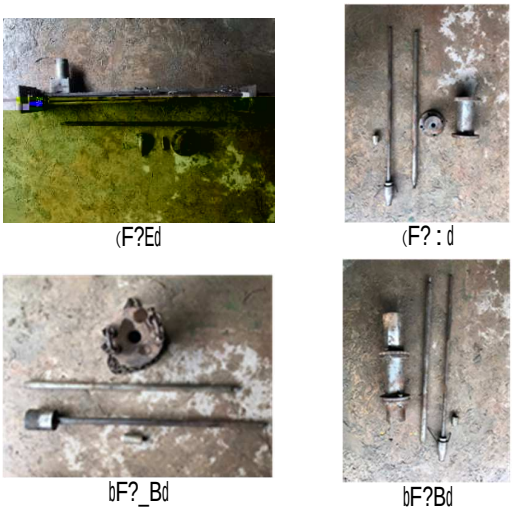
รายละเอียดขั้นตอนการทำงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 2




7 2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

*3.1 เครื่องมือการตอกหยั่งพลวัต*

อุปกรณ์การทดสอบพลวัตมีที่มาจากการทดสอบแบบ Kunzelstab (KPT) อุปกรณ์การทดสอบพลวัตมีขนาดอุปกรณ์แตกต่างกันไปตามความลึกที่ต้องการทดสอบ [9] การวิจัยนี้ได้ออกแบบ สร้างอุปกรณ์ และดัดแปลงอุปกรณ์ให้เป็นแบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากระยะยกสำหรับการตอกหยั่งพลวัตแบบเบา (DPL) โดยใช้หลักการใช้งานเหมือนกันการทดสอบ SPT ที่มีตุ้มน้ำหนักแบบโดนัท เพื่อลดความแตกต่างของการสูญเสียพลังงานระหว่างตอกให้น้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3




7 > ชุดอุปกรณ์สำหรับการตอกหยั่งพลวัต

การตอกหยั่งพลวัตมีหลักการในการทำการทดสอบใกล้เคียงกับการทดสอบ SPT และ Kunzelstab ซึ่งคล้ายกับหลักการตอกเสาเข็ม ที่ตรวจสอบระยะจมในดินต่อครั้งในการตอกได้ ซึ่งระยะจมของเสาเข็มยังประเมินความสามารถในการรับกำลังได้อีกด้วย ดังนั้นจึงน่าจะสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการตอกหยั่งพลวัตกับกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มได้

*3.2 สถานที่ทดสอบ*

ทำการทดสอบตอกหยั่งพลวัตและตอกมาตรฐานที่จังหวัดสกลนครทั้งหมด 3 โครงการ ข้อมูลสำหรับการทำวิจัยที่ได้รวบรวมมาประกอบไปด้วย ประเภทและความยาวของเสาเข็ม ลักษณะของปั้นจั่น น้ำหนักตุ้มตอกเข็ม ข้อมูลชั้นดิน น้ำหนักที่ปลอดภัย (Save loaded) ของเสาเข็ม และ Pile driving formula และจำนวนครั้งในการตอกเสาเข็มที่ระยะจมทุก 1 ฟุต ที่ใช้ในโครงการต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้ดังแสดงตารางที่ 3 และ 4

> รายละเอียดปั้นจั่น

| โครงการที่ | ปั้นจั่น | | | | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|
| | ประเภทปั้นจั่น | น้ำหนักตุ้มตอก (ตัน), W | ระยะยก (ม.), H | ความหนาแผ่นรองตอก* (ม.), $L_2$ | |
| 1 | ตีนตะขาบ | 5.0 | 0.50 | 0.=4 | *ไม้และกระสอบป่าน |
| 2 | ตีนตะขาบ | 5.0 | 0.80 | 0.04 | |
| 3 | ตีนตะขาบ | 4.5 | 0.50 | 0.04 | |

- รายละเอียดเสาเข็ม

| โครงการที่ | เสาเข็ม | | | สูตรการตอกเสาเข็ม | Safe load (ตัน) | F.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | หน้าตัด | ขนาด (ม.) | ความยาว (ม.), L | | | |
| 1 | สี่เหลี่ยมตัน | 0.35*0.35 | 9 | Hiley | 30 | 2.5 |
| 2 | สี่เหลี่ยมตัน | 0.35*0.35 | 11 | Hiley | 30 | 2.5 |
| 3 | สี่เหลี่ยมตัน | 0.22*0.22 | 8.5 | Hiley | 18 | 2.5 |
| | | 0.18*0.18 | 8.5 | | 15 | 2.5 |

*3.3 กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม*

เมื่อแทนค่าคุณสมบัติพื้นฐานการตอกเสาเข็มในโครงการต่างๆ ในสมการที่ (1) พบความสัมพันธ์ระหว่างระยะจมต่อการตอกเข็มหนึ่งครั้งกับกำลังรับน้ำหนักประลัยดังแสดงในตารางที่

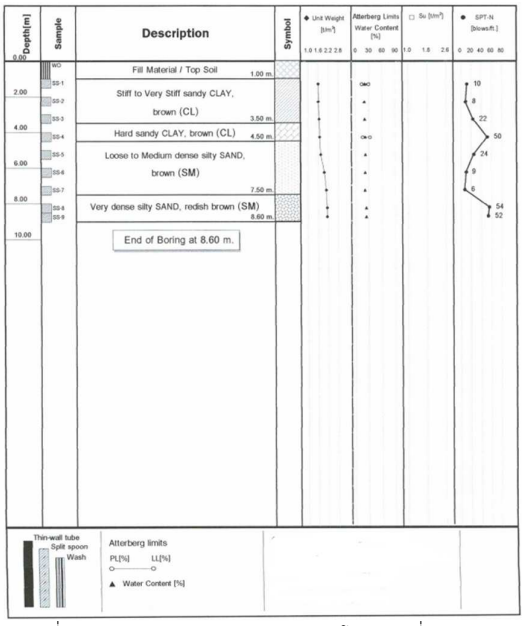
- สมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะจมของเข็มกับกำลังรับน้ำหนักประลัย

| โครงการที่ | ความสัมพันธ์ตามสมการ (1) | ขนาดเข็ม | สมการ |
|---|---|---|---|
| 1 | $S*P_u+0.0047P_u^2=202$ | 0.35*0.35 | (5) |
| 2 | $S*P_u+0.004P_u^2=135$ | 0.35*0.35 | (6) |
| 3.1 | $S*P_u+0.01P_u^2=169$ | 0.22*.022 | (7) |
| 3.2 | $S*P_u+0.015P_u^2=178$ | 0.18*0.18 | (8) |

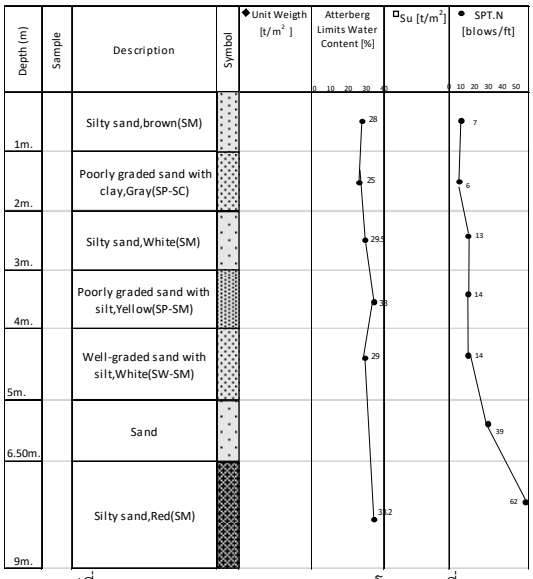
## -ϕ eL JGI[

### *4.1 ผลทดสอบตอกมาตรฐาน*

การตอกมาตรฐานทดสอบทั้งหมด 2 หลุมเจาะ มีความลึก 10 เมตร มีลักษณะดินเป็นดินเหนียวปนทรายที่ชั้นดินตื้น ส่วนที่ความลึกมากกว่า 5 เมตรเป็นดินทรายหลวมถึงแน่นมาก รายงานผลการเจาะทดสอบแสดงในรูปที่ 3 และ 4



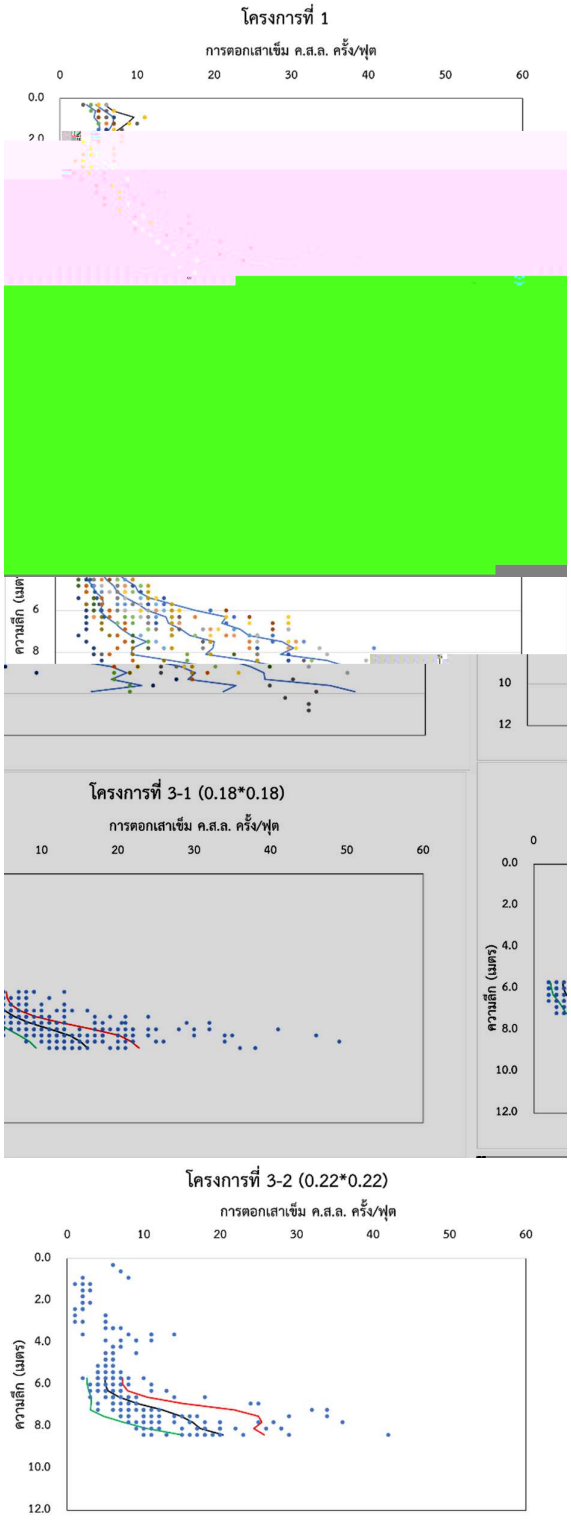

รูปที่ 3 รายงานผลเจาะทดสอบมาตรฐานโครงการที่ 1 และ 3




รูปที่ 4 รายงานผลเจาะทดสอบมาตรฐานโครงการที่ 2

### *4.2 ข้อมูลจำนวนการตอกเสาเข็มที่ระยะจม 1 ฟุต*

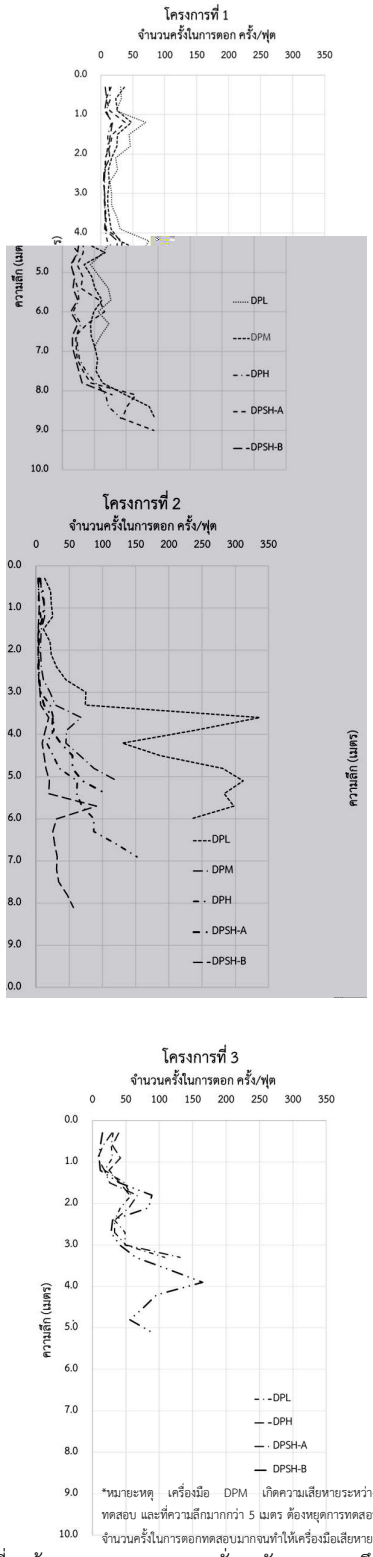
จำนวนครั้งในการตอกเสาเข็มที่ระยะจมทุก 1 ฟุตของแต่ละโครงการแสดงในรูปที่ 5




รูปที่ 5 ข้อมูลการตอกเข็มตามความลึกชั้นดิน

*4.3 ผลการทดสอบการตอกหยั่งพลวัต*

จำนวนครั้งในการทดสอบตอกหยั่งพลวัตที่ระยะจมทุก 1 ฟุตของแต่ละโครงการแสดงในรูปที่ 6

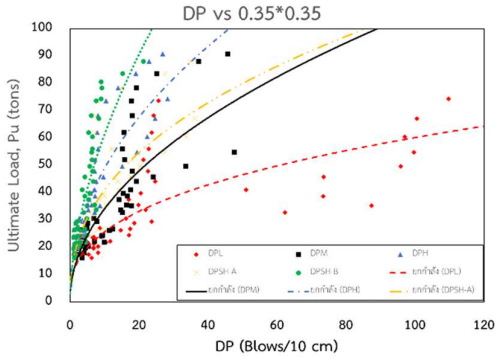



*หมายเหตุ เครื่องมือ DPM เกิดความเสียหายระหว่างทำการทดสอบ และที่ความลึกมากกว่า 5 เมตร ต้องหยุดการทดสอบเพราะจำนวนครั้งในการตอกทดสอบมากจนทำให้เครื่องมือเสียหาย

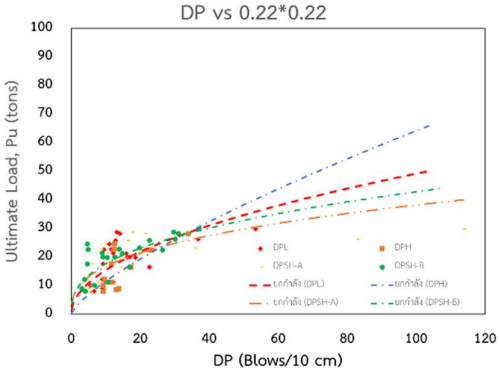
รูปที่ 6 ข้อมูลการทดสอบตอกหยั่งพลวัตตามความลึกชั้นดิน

*4.4 การหาความสัมพันธ์ระหว่างการตอกหยั่งพลวัตกับการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม*

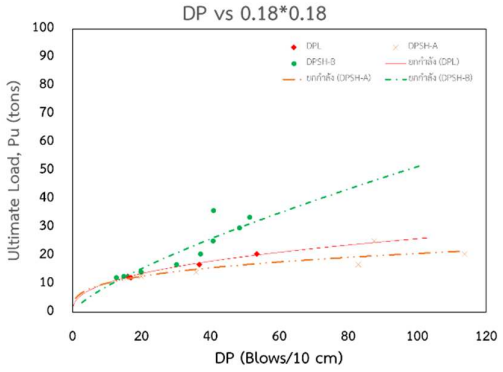
เมื่อแทนค่าระยะจมต่อครั้งในการตอกเสาเข็มในสมการที่ (5) (6) สำหรับเสาเข็มขนาด 0.35*0.35 โครงการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และสมการ (7) (8) สำหรับเสาเข็มขนาด 0.22*0.22 และ 0.18*0.18 ตามลำดับ จะได้ค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่ระดับความลึกการจมต่างๆ จากนั้นนำชุดข้อมูลระหว่างกำลังรับน้ำหนักประลัยกับจำนวนครั้งในการทดสอบตอกหยั่งพลวัตไปพอร์ตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ ซึ่งได้ความสัมพันธ์ระหว่างการตอกหยั่งพลวัตกับการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มทั้งสามขนาดดังแสดงในรูปที่ 7 8 และรูปที่ 9 สำหรับสมการและค่า $R^2$ ของเส้นแนวโน้มแสดงในตารางที่ 5




รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยเสาเข็ม 0.35*0.35 กับการทดสอบตอกหยั่งพลวัต




รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยเสาเข็ม 0.22*0.22 กับการทดสอบตอกหยั่งพลวัต




รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยเสาเข็ม 0.18*0.18 กับการทดสอบตอกหยั่งพลวัต

4 สมการความสัมพันธ์ระหว่างการตอกหยั่งพลวัตกับการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม

| ขนาดเสาเข็ม m.*m. | Dynamic Probe* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | DPL | DPM | DPH | DPSH-A | DPSH-B |
| 0.35*0.35 | $y=10.94x^{0.37}$ $R^2=0.50$ | $y=10.96x^{0.49}$ $R^2=0.66$ | $y=16.64x^{0.47}$ $R^2=0.80$ | $y=15.75x^{0.42}$ $R^2=0.66$ | $y=16.64x^{0.56}$ $R^2=0.76$ |
| 0.22*0.22 | $y=4.85x^{0.50}$ $R^2=0.35$ | | | $y=7.32x^{0.36}$ $R^2=0.51$ | $y=2.06x^{0.75}$ $R^2=0.47$ |
| 0.18*0.18 | $y=4.12x^{0.40}$ $R^2=0.97$ | | | $y=5.09x^{0.31}$ $R^2=0.72$ | $y=1.64x^{0.77}$ $R^2=0.80$ |

*จำนวนครั้งการตอกหยั่ง/10 ซ.ม.

เมื่อ y = น้ำหนักบรรทุกประลัยเสาเข็ม (ตัน) และ x = จำนวนครั้งในการตอกหยั่งพลวัตทุก 10 ซ.ม.

### *4.5 การประมาณความยาวเสาเข็ม*

ในการประมาณค่าความยาวของเสาเข็มสามารถทำได้โดยผู้ทดสอบจะต้องทราบค่า $P_u$ และชนิดของการทดสอบ DP ในที่นี้สมมุติให้เป็นการตอกหยั่งชนิด DPH และ Pu ที่ต้องการเท่ากับ 45 tons ซึ่งจะตรงกับผลการทดสอบ DPH ประมาณ 20 Blow/10cm ในทางปฏิบัติเพื่อประมาณความยาวเสาเข็ม ผู้ทดสอบจะต้องนับจำนวนการตอก DPH ทุกระยะจม 10 cm ถ้าค่าการทดสอบได้ต่ำกว่า 20 Blows/10cm ให้ทำการตอกทดสอบลึกลงไปเรื่อยๆ จนกว่าผลการทดสอบจะมากกว่า 20 Blow/10cm ให้ถือว่าระดับนี้เป็นระดับปลายเสาเข็มที่สามารถรับน้ำหนัก $P_u$ ได้ 45 tons ในทางปฏิบัติควรมีการทดสอบซ้ำหลายๆ ช่วงความลึกต่อเนื่องเพื่อในกรณีที่มีชั้นดินแข็งบางๆ แทรกอยู่

## 46 G eL JGI[

1) ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างระยะจมของการตอกหยั่งพลวัตกับความสามารถในการรับแรงประลัยของเสาเข็ม ค.ส.ล. ขนาด 35*35 ซม. 22*22 ซม. และ 18*18 ซม. ได้ดังสมการตามตารางที่ 5

2) การตอกหยั่งพลวัตแบบ DPSH-B เหมาะสมกับขนาดเสาเข็มทุกขนาดที่ทดสอบ

3) การประมาณความยาวเสาเข็มจากการทดสอบตอกหยั่งพลวัตสามารถประมาณการได้จากจำนวนครั้งในการตอก

4) เนื่องจากบางการทดสอบข้อมูลอยู่ในความลึกที่ต่ำและจำนวนน้อยบางสมการจึงไม่เหมาะสำหรับนำไปใช้

โครงการนี้ได้รับสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ตามสัญญาหมายเลข RMUTI/RF/14 ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

## 8I G IKI

[1] สุรินทร์ แสงไทยทวีพร (2535). การพัฒนาเครื่องมือสำหรับการตอกหยั่งเพื่อการหาความยาวเสาเข็ม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 45, 64

[2] EN ISO 22476-2. (2013). Geotechnical investigation and testing — Field testing, (January).

[3] Cearns, P J & McKenzie, A (1988). Application of dynamic cone penetrometer testing in East Anglia. Proceedings, Geotechnology Conference: Penetration Testing in the UK, Birmingham, London: Thomas Telford, pp 123-127

[4] Meardi, G. & Gadsby, J. W. (1971). Discussion: The correlation of cone size in the dynamic cone penetration test with the standard penetration test. Ge´otechnique 21, No. 2, 184–190.

[5] Baudrillard, J. (1974). New development in dynamic penetration testing. Proc. 1st Eur. Symp. on Penetration Testing, Stockholm 2.2, 25–32

[6] สยาม ยิ้ม ศิริ (2556). การ ศึกษาพลังงานประสิทธิผลในการทดสอบ Standard Penetration Test ตาม แนวทางการทดสอบที่ดำเนินการในประเทศไทย

[7] Lukiantchuki, J. A., G. P. Bernardes, and E. R. Esquivel. (2017). Energy ratio (ER) for the standard penetration test based on measured field tests. Soils and Rocks 40.2 77-91.

[8] ธนกฤต โรจนชัยศรี และ ฐิรวัตร บุญญะฐี (2563). การหาความสัมพันธ์ระหว่างผลทดสอบ Dynamic probe light (DPL) กับ Standard penetration test (SPT) ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติจากฐานข้อมูลการทดสอบจริงในสนาม และการประดิษฐ์เครื่องมือทดสอบแบบ LWD เพื่อใช้ในงานออกแบบฐานรากระดับตื้นและงานบดอัดดินในสนาม. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563, หน้า GTE22-1-6.

[9] วรรณวรางค์ รัตนานิคม (2561). การประเมินความแม่นยำของค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธี สถิตยศาสตร์

[10] วรวิทย์ และคณะ (2562). การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากสูตรการตอกเสาเข็มกับการทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์. RMUTI JOURNAL Science and Technology, Vol 12, No. 3