



การตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

เพื่อการศึกษารียนรู้เท่านั้น

DETERMINATION OF PILE LOAD CAPACITY

1. ULTIMATE LOAD CAPACITY OF DRIVEN PILE SHALL BE DETERMINED FROM HILEY'S FORMULA

$$R = \frac{W \cdot H \cdot C}{S \cdot L} \cdot E$$

- R = ULTIMATE BEARING CAPACITY (TON)
- W = EFFICIENCY FACTOR = $\frac{W_1 + W_2}{W_1 + W_2 + W_3}$
- W = WEIGHT OF HAMMER (TON)
- P = WEIGHT OF PILE (TON)
- H = COEFFICIENT OF PILE HEAD AND CUSHION = 0.28
- C = COEFFICIENT OF RESTITUTION
- S = HEIGHT OF DROP (CM.)
- E = EQUIPMENT LOSS FACTOR = 0.75
- S = SETTLEMENT HEIGHT OF LAST TEN BLOWS (CM.)
- C = TEMPORARY COMPRESSION = $C_1 + C_2 + C_3$
- C₁ = COMPRESSION IN PILE HEAD CUSHION (CM.) = $\frac{10 \cdot W_1}{A \cdot E_1}$
- C₂ = PILE SHORTENING FOR PILE LENGTH OF L (CM.) = $\frac{10 \cdot W_1}{A \cdot E_2}$
- C₃ = COMPRESSION IN THE SOIL UNDERNEATH AND SURROUNDING THE PILE = 0.23 CM.
- L = PILE CUSHION THICKNESS (M.)
- A = PILE LENGTH (M.)
- A = CROSS SECTIONAL AREA OF PILE (CM²)
- E₁ = MODULUS OF ELASTICITY PILE CUSHION THICKNESS (M.)
 - = 84,100 KSC. FOR SOFTWOOD CUSHION
 - = 112,300 KSC. FOR MEDIUM HARDWOOD CUSHION
 - = 136,500 KSC. FOR HARDWOOD CUSHION
- E₂ = MODULUS OF ELASTICITY FOR CONCRETE OF PILE
 - = 236,958 KSC. FOR R.C. DRIVEN PILE
 - = 284,366 KSC. FOR PRECAST DRIVEN PILE
 - = 336,882 KSC. FOR PRECAST SPUN PILE



สุธี มณีออน วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

สำนักงานทางหลวงที่ 18

การตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

วัตถุประสงค์

คู่มือการปฏิบัติงานนี้จัดทำขึ้นมาเพื่อให้ผู้ควบคุมงาน ตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม สามารถคำนวณหา ระยะที่เสาเข็มจม โดยคิดค่าเฉลี่ยจากการตอก 10 ครั้งสุดท้าย โดยใช้สูตร Hiley's Formula ได้

ขอบเขต

คู่มือการปฏิบัติงานนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมงานการก่อสร้างสะพาน หรือโครงสร้างใด ๆ ที่ใช้เสาเข็มตอก

คำจำกัดความ

Blow Count = จำนวนครั้งที่ตอก

Last 10 Blow = ระยะจมของเสาเข็ม 10 ครั้งสุดท้าย

Hiley's Formula = สูตรในการคำนวณหา กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มของ Hiley

Janbu' Formula = สูตรในการคำนวณหา กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มของ Janbu

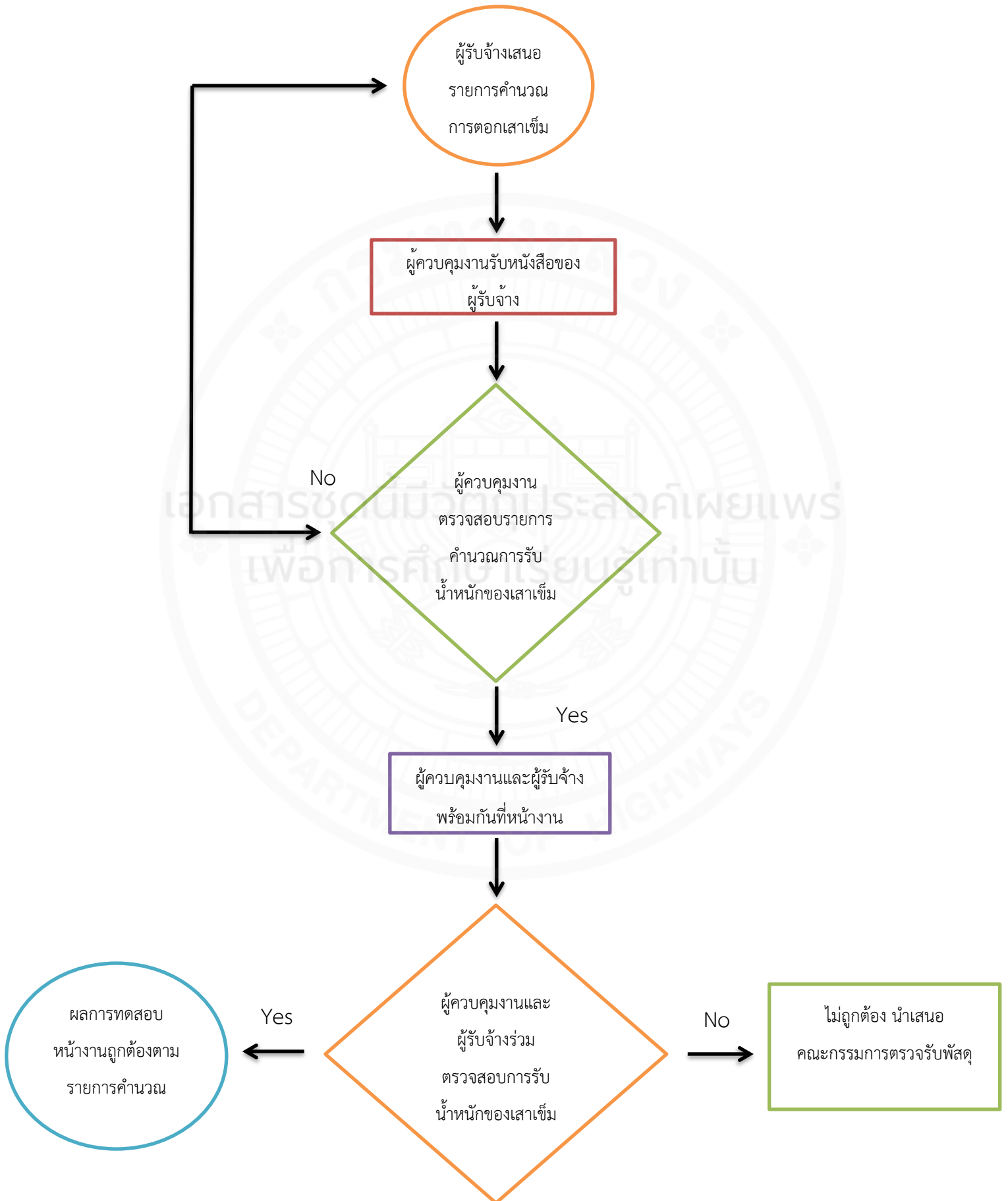
แบบมาตรฐาน = STANDARD DRAWING FOR HIGHWAY DESIGN AND CONSTRUCTION 2015
REVISION (2018 EDITION)

หน้าที่ความรับผิดชอบ

ผู้ควบคุมงาน มีหน้าที่ตรวจและควบคุมงาน ให้เป็นไปตามแบบรูปรายการละเอียด และข้อกำหนดในสัญญาทุกประการ ฯลฯ ทั้งนี้ ตามระเบียบกระทรวงการคลังว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้าง และการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ. 2560 ข้อ 178

คณะกรรมการตรวจรับพัสดุ มีหน้าที่ตามระเบียบกระทรวงการคลังว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้าง และการบริหารพัสดุ ภาครัฐ พ.ศ. 2560 ข้อ 176

Work flow chart ผังกระบวนการ



รายละเอียดงาน

1. เมื่อจะทำการก่อสร้างสะพาน หรือโครงสร้างใด ๆ ที่ต้องตอกเสาเข็ม ผู้รับจ้างจะต้องเสนอ

รายการคำนวณการตอกเสาเข็ม มาให้ผู้ควบคุมงานตรวจสอบ และเห็นชอบก่อนดำเนินการตอกเสาเข็มจริง

2. ผู้ควบคุมงาน รับหนังสือจากผู้รับจ้าง
3. ผู้ควบคุมงาน ต้องตรวจสอบรายการคำนวณการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ดังนี้

3.1 ผู้ควบคุมงานต้องตรวจสอบรายการคำนวณ ค่าความต้านทานน้ำหนักของเสาเข็มตามสูตรที่ระบุ ในแบบก่อสร้าง ทั้งนี้ตามแบบมาตรฐาน DWG.No.PL-001 กำหนดให้ใช้สูตรของ Hiley ในการคำนวณ ตามหลักการ Hiley's Formula เหมาะสำหรับเสาเข็มที่ตอกหยั่งถึงชั้นดินแข็ง (ชั้นดินเหนียวแข็งหรือชั้นทรายแน่น) ซึ่งกำลังรับน้ำหนักของดินส่วนใหญ่ เกิดจากแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม (End Bearing) ส่วน Janbu' Formula เหมาะสำหรับเสาเข็มที่ตอกและจมอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน ถึงดินเหนียวปานกลางค่อนข้างหนา ซึ่งกำลังรับน้ำหนักของดินส่วนใหญ่ จะเกิดจากแรงเสียดทาน ด้านข้างรอบผิวเสาเข็ม (Skin Friction) จากบทความ การเปรียบเทียบ กำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากสูตรการตอกเสาเข็ม กับการทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่า สูตรการตอกเสาเข็มที่ให้ผลใกล้เคียงกับผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย โดยวิธีพลศาสตร์มากที่สุด ได้แก่ Hiley's Formula , Engineering News Formula , Danish Formula และ Janbu' Formula ตามลำดับ

- 3.2 สูตร Hiley's Formula ตามแบบมาตรฐาน DWG.No.PL-001 ดังนี้

Hiley's Formula (F.S. = 2.5)

$$R = \frac{nwhe}{s + \frac{c}{2}}$$

R = Ultimate Bearing Capacity (ton)

กำลังรับแรงแบกทานประลัย หน่วยเป็นตัน

$$n = \text{Efficiency Factor} = \frac{W + Pe^2}{W + P}$$

W = Weight of Hammer (Ton)

น้ำหนักของลูกตุ้ม หน่วยเป็นตัน

P = Weight of pile (Ton)

น้ำหนักของเสาเข็มทั้งหมด หน่วยเป็นตัน

e = Coefficient of Pile Head And Cusion

= 0.25 Coefficient of Restitution

0.25 เสาเข็มคอนกรีตถูกตอกด้วยลูกตุ้มปล่อยรอกด้วยกระสอบ

H = Height of Drop (Cm.)

ระยะยกลูกตุ้มสูงจากหัวเสาเข็ม หน่วยเป็นเซนติเมตร

E = Equipment Loss Factor = 0.75

S = Settlement Height of Last Ten Blows (Cm.)

ระยะทางที่เสาเข็มจมเป็น ซม. โดยคิดเฉลี่ยจากการตอก 10 ครั้งสุดท้าย

C = Temporary Compression = $C_1 + C_2 + C_3$

แรงอัดชั่วคราว = $C_1 + C_2 + C_3$

C_1 = Compression in Pile Head Cusion (Cm.) = $\frac{10^5 Rt}{AE_1}$

C_2 = Pile Shortening For Pile Length Of L (Cm.) = $\frac{10^5 RL}{AE_C}$

C_3 = Compression in the soil Underneath And Surrounding The Pile = 0.25 Cm.

t = Pile Cushion Thickness (M.)

ความหนาของวัสดุรองหัวเสาเข็ม หน่วยเป็นเมตร

L = Pile Length (M.)

ความยาวของเสาเข็ม

A = Cross Sectional Area Of Pile (cm^2)

พื้นที่หน้าตัดสุทธิของเสาเข็ม หน่วยเป็นตร.ซม.

E1 = Modulus Of Elasticity Pile Cushion Thickness (M.)

ค่าโมดูลัส ความยืดหยุ่นของวัสดุรองหัวเสาเข็ม

= 94,100 Ksc. For Softwood Cushion

94,100 กก./ซม² สำหรับวัสดุรองหัวเสาเข็มที่ทำจากไม้เนื้ออ่อน

= 112,300 Ksc. For Medium Hardwood Cushion

112,300 กก./ซม² สำหรับวัสดุรองหัวเสาเข็มที่ทำจากไม้เนื้อปานกลาง

= 136,300 Ksc. For Hardwood Cushion

136,300 กก./ซม² สำหรับวัสดุรองหัวเสาเข็มที่ทำจากไม้เนื้อแข็ง

Ec = Modulus Of Elasticity For Concrete Of Pile

ค่าโมดูลัส ความยืดหยุ่นของคอนกรีตเสาเข็ม

= 238,958 Ksc. For R.C. Driven Pile

238,958 กก./ซม² สำหรับเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก

= 284,366 Ksc. For Precast Driven Pile

284,366 กก./ชม² สำหรับเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรง

= 339,882 Ksc. For Precast Spun Pile

399,882 กก./ชม² สำหรับเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรง โดยใช้แรงเหวี่ยง

3.3 ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่าง 1 เสาเข็มอัดแรงขนาด 40x40 ซม.² ยาว 10 ม. น้ำหนักลูกตุ้ม 5 ตัน ระยะยกลูกตุ้ม 100 ซม. ให้หา Last 10 Blow

จากโจทย์

1. เสาเข็มยาว $L = 10.00$ ม.
2. น้ำหนักของเสาเข็ม $P = 0.40 \times 0.40 \times 10 \times 2400$
 $= 3.84$ ตัน
3. เสาเข็มขนาด $A = 40 \times 40$
 $= 1600$ ซม.²
4. น้ำหนักเสาเข็ม $W = 5$ ตัน
5. กำลังรับแรงแบกทานประลัย $R = 50 \times 2.5$
 $= 125$ ตัน

จากสูตร

$$R = \frac{nWhE}{S+C/2} \quad \text{-----} \quad \textcircled{1}$$

$$n = \frac{W+Pe^2}{W+P}$$

$$= \frac{5+(3.84 \times 0.25^2)}{5+3.84}$$

$$= 0.592760181$$

$$C_1 = \frac{10^5 Rt}{AE_1}$$

$$= \frac{10^5 \times 125 \times 0.05}{1600 \times 136300} = 0.00286592 \text{ ซม.}$$

$$C_2 = \frac{10^5 RL}{AE_C}$$

$$= \frac{10^5 \times 125 \times 10}{1600 \times 284366} = 0.274733969 \text{ ซม.}$$

$$C_3 = 0.25 \text{ ซม.}$$

$$\frac{C}{2} = \frac{0.00286592 + 0.274733969 + 0.25}{2}$$

$$= 0.263799944$$

แทนค่า 1

$$R = \frac{nWhE}{S+C/2}$$

$$125 = \frac{0.592760181 \times 5 \times 100 \times 0.75}{S+0.263799944}$$

$$S = 1.514$$

Last 10 Blow = 15.14 ซม.

Ans.

ตัวอย่าง 2 เสาค้ำเข็มอัดแรง ขนาด 40x40 ซม.² ยาว 12 ม. น้ำหนักลูกตุ้ม 4.8 ตัน ระยะยกลูกตุ้ม 100 ซม. Last 10 Blow = 11.50 ซม. ให้หาค่ากำลังรับแรงแบกทานประลัย

จากโจทย์

1. เสาค้ำเข็มยาว $L = 12.00$ ม.
2. น้ำหนักเสาค้ำเข็ม $P = 0.40 \times 0.40 \times 12 \times 2400$
 $P = 4.608$ ตัน
3. เสาค้ำเข็มขนาด $A = 40 \times 40$
 $A = 1600$ ซม.²
4. น้ำหนักลูกตุ้ม $W = 4.8$ ตัน
5. Last 10 Blow = 11.50
 $S = 1.15$ ซม.

จากสูตร $R = \frac{nWhE}{S+C/2}$ 1

$$n = \frac{W+Pe^2}{W+P}$$

$$n = \frac{4.8+(4.608 \times 0.0625)}{4.8+4.608}$$

$$= 0.540816326$$

$$C_1 = \frac{10^5 R t}{AE_1}$$

$$= \frac{10^5 R \times 0.05}{1600 \times 136300}$$

$$= 0.000022927R$$

$$C_2 = \frac{10^5 RL}{AE_c}$$

$$= \frac{10^5 R \times 12}{1600 \times 284366}$$

$$= 0.002637446R$$

$$C_3 = 0.25$$

$$\frac{C}{2} = \frac{0.000022927R + 0.002637446R + 0.25}{2}$$

$$= 0.001330186R + 0.125$$

แทนค่า (1)

$$R = \frac{nWhE}{S + C/2}$$

$$= \frac{0.540816326 \times 4.8 \times 100 \times 0.75}{1.15 + 0.001330186R + 0.125}$$

$$0.001330186R^2 + 1.275R = 194.6938774$$

$$0.001330186R^2 + 1.275R - 194.6938774 = 0$$

จาก $aX^2 + bx + c = 0$, $X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

$$= \frac{-1.275 \pm \sqrt{1.275^2 - 4(0.001330186)(-194.6938774)}}{2(0.001330186)}$$

$$= \frac{-1.275 \pm \sqrt{2.66154128}}{0.002660372}$$

$$= \frac{-1.275 \pm 1.631423084}{0.002660372}$$

$$\text{เป็น - ไม่ได้} = \frac{0.356423084}{0.002660372} = 133.97 \text{ ตัน}$$

เข็มต้นนี้มีกำลังรับแรงแบกทาน 133.97 ตัน ซึ่งมากกว่าข้อกำหนดตามแบบมาตรฐาน 50x2.5 = 125 ตัน ถือว่าใช้ได้

3.4 ข้อสังเกตจากตัวอย่างทั้ง 2 นั้น ตัวอย่าง 1 เป็นการหา Last 10 Blow ของเสาเข็ม ตัวอย่างที่ 2 เป็นการตรวจสอบย้อนกลับ ในกรณีที่ต้องการหาลำดับรับแรงแบกทานประลัย ทั้ง 2 ตัวอย่างใช้ทศนิยมหลายหลัก แนวทางปฏิบัติผู้ควบคุมงานอาจใช้โปรแกรม Excel ในการคำนวณก็ได้ ขอแนะนำไม่ให้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่โหลดจากอินเทอร์เน็ต เนื่องจากเราไม่รู้ที่มาของสูตร เพราะสูตรของแต่ละหน่วยงาน ค่า C จะคิดไม่เหมือนกัน

4. ผู้รับจ้างและผู้ควบคุมงานพร้อมกันที่หน้างาน เมื่อหน้างานมีความพร้อมที่จะตอกเข็ม ผู้รับจ้างกับผู้ควบคุมงานนัดกันมาที่หน้างานเพื่อควบคุมงานตอกเสาเข็ม

5. ผู้รับจ้างและผู้ควบคุมงานร่วมตรวจสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม เมื่อเริ่มทำการตอกเสาเข็ม ผู้ควบคุมงานจะต้องตรวจสอบการตอกเสาเข็มไม่ว่าจะเป็นสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ผังการตอก ดิ่งของเข็ม น้ำหนักลูกตุ้ม ระยะยกของลูกตุ้ม ในการตอกเสาเข็มช่วง 3.00 เมตร สุดท้าย เมื่อมีอัตราการจมของเสาเข็มลดลงตามลำดับให้ประเมินได้ว่าชั้นดินสามารถรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยได้ตามที่ต้องการแล้ว โดยให้ทำการตอกเสาเข็มจำนวน 10 ครั้ง ที่ระยะยกลูกตุ้มตามระยะที่คำนวณไว้ (Last 10 Blow) แล้ววัดระยะจมของเสาเข็มเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับระยะจม 10 ครั้งสุดท้ายจากสูตรคำนวณ ดังนี้

5.1 หากระยะจม 10 ครั้งสุดท้ายเป็นไปตามที่คำนวณไว้ก็สามารถหยุดการตอกได้ซึ่งเป็นเพราะผลทดสอบหน้างานถูกต้องเป็นไปตามรายการคำนวณ

5.2 หากระยะจมน้ำ 10 ครั้งสุดท้ายไม่เป็นไปตามที่คำนวณ จะต้องให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีการตรวจสอบหรือพิสูจน์กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเพื่อให้คณะกรรมการตรวจรับพัสดุพิจารณาเห็นชอบ

มาตรฐานงาน

การตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมงานก่อสร้างสะพาน ผู้ควบคุมงานต้องทำความเข้าใจกระบวนการการทำงานให้ถ่องแท้ ไม่ปล่อยปะละเลย มีบางโครงการฯ ผู้รับจ้าง (Main Contractor) จะจ้างชุดตอกเข็ม (Sub contractor) มาตอกเข็ม โดยทำการเจาะดินเพื่อหาชั้นดินแข็ง ทำการสังเขิมมาให้ชุดตอกเข็ม ตอกเข็มตามประสบการณ์เมื่อตอกแล้วเสร็จ ผู้รับจ้างก็จะทำรายการคำนวณส่งมาให้ผู้ควบคุมงานเก็บเข้าแฟ้ม ผู้ควบคุมงานบางรายไม่ได้ใส่ใจงาน ไม่เข้าไปดูหน้างานและไม่ตรวจสอบรายการคำนวณการรับน้ำหนักของเสาเข็มเลย ซึ่งไม่ถูกต้อง ดังนั้นบทความนี้ คงจะช่วยให้ผู้ควบคุมงานเข้าใจกระบวนการ การตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มได้ดีขึ้น

ระบบติดตามประเมินผล

โครงการฯ ก่อสร้างใดที่มีงานสะพานขอให้ผู้ควบคุมงานนำเสนอการตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มให้กับคณะกรรมการตรวจรับพัสดุให้เข้าใจด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. STANDARD DRAWING FOR HIGHWAY DESIGN AND CONSTRUCTION 2015 REVISION (2018 EDITION)
2. ระเบียบกระทรวงการคลังว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ.2560
3. การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากสูตรการตอกเสาเข็มกับการทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์ วรวิทย์ โพธิ์จันทร์, อนุชาติ ลื่อนันต์ศักดิ์ศิริ และ จุติพันธ์ ป้องนาม
4. รายการละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวงเล่มที่ ๑,๒ กรมทางหลวงฉบับ กันยายน พ.ศ.2535 และคู่มือควบคุมงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม คสล.กรมทางหลวงฉบับปรับปรุงและแก้ไขครั้งที่ 4 พ.ศ.2547