

บทที่ 4

ผลที่ได้ และ วิจาร์ณ



ผลจากการวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) ที่เหมาะสม สำหรับเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหน้าตัดรูป DH, I และ สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ตอกภายในบริเวณกรุงเทพและใกล้เคียง โดยได้ทดลองแทนค่าต่าง ๆ ลงในสูตรการตอกเสาเข็ม 12 สูตร แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่ได้จากสูตรการตอกเสาเข็ม กับผลการทดสอบเสาเข็มในสนาม โดยวิธีการเขียนกราฟ และวิธีทางสถิติ ปรากฏว่า

1. เสาเข็มหน้าตัดรูป DH (Double Half Moon)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ โดยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่ได้จากการคำนวณจากสูตรการตอกเสาเข็ม (R_c) ทั้ง 12 สูตรกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม (R_t) แล้วดูจากลักษณะของกราฟ ปรากฏว่าสูตรที่ให้ค่าใกล้เคียงได้แก่ สูตร Engineering News, So, Janbu และ Gate แต่ต้องคูณค่าที่ได้จากสูตร (R_c) ด้วยค่าคงที่ K_1 และ K_2 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.5 เสียก่อน จึงจะได้เป็นค่าน้ำหนักพิบัติของเสาเข็ม แต่เนื่องจากการวิเคราะห์โดยการใช้อกราฟนี้ไม่สามารถคัดเลือกลงไปได้อย่างแน่นอนว่าสูตรไหนให้ค่าใกล้เคียงที่สุด จึงได้ใช้วิธีการทางสถิติโดยให้หลักการของเส้นถดถอยแบบธรรมดา และหาค่า Coefficient of Determination (R^2) ซึ่งจะสามารถหาสูตรที่ใกล้เคียงที่สุดได้โดยสูตรที่ให้ค่า R^2 มากที่สุด สำหรับเสาเข็มหน้าตัดรูป DH สูตรที่ให้ค่า R^2 มากที่สุดได้แก่สูตรของ Gate โดยให้ค่า $R^2 = 0.9789$ และให้ค่า $\sqrt{3} = 1.63$ และเมื่อนำมาเขียนเป็นสูตรใหม่จะได้ว่า

$$\begin{aligned} R_u &= 1.63 \times 4 \sqrt{e_n E_n} \log(25/S) \\ &= 6.52 \sqrt{e_n E_n} \log(25/S) \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (4.7)$$

เมื่อ $e_n = 0.75$ สำหรับ Drop hammer

$E_n = W_{rh}$, คัม-เมตร

$S =$ ระยะทรุดเฉลี่ย 10 ครั้งสุดท้าย, ซม.

และจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักพิบิตของเสาเข็มกับค่าต่าง ๆ ในสูตรที่เห็นว่าให้ค่าใกล้เคียงที่สุด 4 สูตร จะได้สูตรการตอกเสาเข็มใหม่ที่ให้ค่าใกล้เคียงที่สุดสำหรับเสาเข็มหน้าตัดรูป DH คือให้ค่า $R^2 = 0.9861$ และ $n = 1.05$ คือ

$$Re = \sqrt{Wrh} (44.6 \log t/S + 8.22) \dots\dots\dots(4.2)$$

เมื่อ Wr = น้ำหนักของลูกตุ้มตอกเสาเข็ม, ตัน

h = ระยะยกของลูกตุ้ม, เมตร

S = ระยะทรุดเฉลี่ย 10 ครั้งสุดท้าย, เมตร/ครั้ง

t = คานแคบของหน้าตัดเสาเข็ม, เมตร

จากสูตรการตอกเสาเข็มหน้าตัดรูป DH นี้ จะเห็นว่าไม่ได้เอาความยาวของเสาเข็มมาเกี่ยวข้องเลย แต่จากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นเข็มยาวที่ตอกลงไปถึงระดับประมาณ 20 เมตร จากผิวดิน ดังนั้นในการใช้สูตรการตอกเสาเข็มหน้าตัดรูป DH ตามสมการที่(4.2) จึงควรใช้สำหรับเสาเข็มที่มีความยาวและตอกลงไปถึงระดับความลึกดังกล่าว

และเพื่อให้สามารถหาน้ำหนักพิบิตของเสาเข็มหน้าตัดรูป DH นี้ได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น ได้เขียนกราฟเพื่อหาค่า Re จากสูตรในสมการที่ 4.2 ดังแสดงไว้ใน ภาคผนวก ข. รูปที่ 10

ตัวอย่างการหาน้ำหนักพิบิตของเสาเข็มหน้าตัดรูป

สมมุติ เสาเข็ม DH .36 x .36 x 21.0 ใช้ลูกตุ้มตอกขนาด 3.5 ตัน ยกสูง 40 ซม. ระยะทรุดจากการตอก 10 ครั้งสุดท้าย = 5.5 ซม.

จากกราฟรูปที่ 10 ในภาคผนวก ข.

สำหรับเสาเข็ม DH .36 x .36

$$Wrh = 3.5 \times 0.40 = 1.4 \text{ ตัน-เมตร}$$

$$S = \frac{5.5}{10 \times 100} = 0.0055 \text{ เมตร/ครั้ง}$$

$$t/S = .36/0.0055 = 65.5$$

จากกราฟจะได้น้ำหนักพิบิตของเสาเข็ม (Re) = 105 ตัน

2. เสาเข็มหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

สำหรับเสาเข็มหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสนี้ แบ่งเป็น 2 แบบคือ รูปสี่เหลี่ยมตัน (Solid Square) และรูปสี่เหลี่ยมมีรูตรงกลาง (Square Hollow) แต่ในการวิเคราะห์ที่ได้อธิบายเสาเข็มทั้ง 2 แบบนี้เข้าด้วยกัน ผลจากการวิเคราะห์ โดยเขียนกราฟระหว่างน้ำหนักพิบัติที่ได้จากสูตรการตอกเสาเข็ม (R_c) ทั้ง 12 สูตร ในตารางที่ 3.4 กับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม (R_{tt}) ปรากฏว่า สูตรที่ให้ค่าใกล้เคียงได้แก่สูตร Engineering News, Hiley, Janbu และ Gate แต่ของคูณและบรกก้วย ค่าคงที่ K_1 และ K_2 ในตารางที่ 3.5 เช่นเดียวกับเสาเข็มหน้าตัดรูป DH และเมื่อใช้วิธีทางสถิติหาค่า Coefficient of Determination (R^2) ปรากฏว่า สำหรับเสาเข็มหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม สูตรที่ให้ค่าใกล้เคียงที่สุดได้แก่ สูตรของ Janbu คือ ให้ค่า $R^2 = 0.9618$ และ $\beta = 1.54$ และเขียนเป็นสูตรใหม่ได้คือ

$$R_c = \frac{1.54 W_r h}{K_u S} \dots \dots \dots (4.3)$$

เมื่อ
$$K_u = C_d \left[1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda}{C_d}} \right]$$

$$C_d = 0.75 + 0.15 W_p / W_r$$

$$\lambda = \frac{W_r h L}{A E_L S^2}$$

$$W_p = \text{น้ำหนักของเสาเข็ม, ตัน}$$

$$W_r = \text{น้ำหนักของลูกค้อน, ตัน}$$

$$L = \text{ความยาวของเสาเข็ม, เมตร}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม, (เมตร)²}$$

$$E_L = \text{พิกัดยึคของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม} = 1.8 \times 10^6 \text{ ตัน/เมตร}^2$$

$$S = \text{ระยะทรุดเฉลี่ย 10 ครั้งสุดท้าย, เมตร/ครั้ง}$$

$$h = \text{ระยะยกของลูกค้อน, เมตร}$$

และเมื่อนำสูตรต่าง ๆ ที่ให้ค่าใกล้เคียงสำหรับเสาเข็มหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส 4 สูตรมาวิเคราะห์จะได้สูตรใหม่ที่ให้ค่าใกล้เคียงที่สุดคือ มีค่า $R^2 = 0.9741$ และ $\beta = 2.14$ คือ สูตรในสมการที่ (4.4)

$$R_u = \frac{2.14 W_r h}{K_u S + \frac{1}{2} \sqrt{2ab}} \dots \dots \dots (4.4)$$

เมื่อ K_u เหมือนกับสูตรของ Janbu ในสมการที่(4.3)

a และ b เป็นค่าตามสูตรของ S_o ในตารางที่ 3.4

จากสมการที่ (4.4) จะเห็นว่าค่า K_u , a และ b เป็นค่าที่ค่อนข้างยุ่งยากขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด รูปทรง และพลังงานที่ใช้ตอกเสาเข็ม เพื่อความสะดวกในการหาค่าหน้าหนักพิบัติของเสาเข็มจากสมการ(4.4) จึงได้เขียนเป็นกราฟในรูปที่ 11 ถึงรูปที่ 13 เพื่อหาค่า $K_u S$ และค่า $\frac{1}{2} \sqrt{2ab}$ เมื่อนำค่าทั้งสองนี้มาบวกเข้าด้วยกันแล้ว ก็จะสามารถหาค่าหน้าหนักพิบัติของเสาเข็ม (R_u) ได้จากสมการที่ (4.4)

ในการหาค่า $K_u S$ และ $\frac{1}{2} \sqrt{2ab}$ เราต้องหาค่า K ของเสาเข็มก่อน โดยที่

$$K = \frac{W_r h L}{A} \dots\dots\dots (4.5)$$

เมื่อ W_r = น้ำหนักของลูกตุ้ม, ตัน

h = ระยะยกของลูกตุ้ม, เมตร

L = ความยาวของเสาเข็ม, เมตร

A = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม, เมตร²

ตัวอย่างการหาค่าหน้าหนักพิบัติของเสาเข็มหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

สมมุติเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $.35 \times .35 \times 21.0$, $A = 0.1225$ เมตร², $W_p = 6.17$ ตัน ใช้ลูกตุ้มตอกขนาด 4.0 ตัน ยกสูง 40 ซม. ระยะทรุดจากการตอก 10 ครั้งสุดท้าย 9 ซม.

จากกราฟรูปที่ 12 ในภาคผนวก ข.

$$K = \frac{W_r h L}{A} = \frac{4.0 \times 0.4 \times 21.0}{0.1225} = 274 \text{ ตัน}$$

$$S = \frac{9}{10 \times 100} = 0.009 \text{ เมตร/ครั้ง}$$

$$W_r / W_p = \frac{6.17}{4.0} = 1.54$$

จะได้ $K_u S = 0.024$ และ $\frac{1}{2} \sqrt{2ab} = 0.007$

และได้น้ำหนักพิบัติของเสาเข็ม $R_u = \frac{2.14 \times 4 \times .40}{0.024 + 0.007} = 110 \text{ ตัน}$

3. เสาเข็มหน้าตัดรูป I

สำหรับเสาเข็มหน้าตัดรูป I เนื่องจากข้อมูลผลการทดสอบเสาเข็มที่ทำการทดสอบจนถึงน้ำหนักพิบัติมีไม่มากพอ จึงไม่ได้ทดลองแทนค่าต่างๆลงในสูตรการตอกเสาเข็ม ทั้ง 12 สูตร เหมือนกับเสาเข็มหน้าตัดรูป DH และรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส แต่เมื่อพิจารณาจากรูปร่างหน้าตัดของเสาเข็ม I แล้วจะเห็นว่ามียลักษณะคล้ายกับเสาเข็มหน้าตัดรูป DH จึงได้ทดลองนำสูตรใหม่ที่วิเคราะห์ขึ้นมาได้สำหรับเสาเข็มหน้าตัดรูป DH มาทดลองใช้สำหรับเสาเข็มหน้าตัดรูป I ปรากฏว่าส่วนใหญ่ให้ผลใกล้เคียงกับน้ำหนักพิบัติที่ได้จากการทดสอบในสนาม แต่เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม I มีค่าไม่คงที่แน่นอนจะแตกต่างกันไปเล็กน้อย ถึงแม้จะมีความกว้างหรือคานแคบ (t) ของเสาเข็มเท่ากันก็ตาม เช่นเสาเข็มหน้าตัดรูป I ขนาด $.26 \times .26$ หรือขนาด $.30 \times .30$ จะมีพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มหลายค่าแล้วแต่ความหนา บางของรูปตัว I และบริษัทที่ผลิตเสาเข็มซึ่งค่าที่แตกต่างกันเหล่านี้อาจทำให้น้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่คำนวณได้มีค่าผิดพลาดกันไปบ้างเล็กน้อย เนื่องจากสูตรการตอกเสาเข็มสำหรับเสาเข็มหน้าตัดรูป DH ไม่ได้เอาพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มมาเกี่ยวข้องในสูตรด้วย

อย่างไรก็ตามถ้ามีข้อมูลผลการทดสอบเสาเข็มของเสาเข็มหน้าตัดรูป I มากกว่า ก็อาจทำการวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็มสำหรับเสาเข็มหน้าตัดรูป I โดยเฉพาะได้ ซึ่งจะทำให้การคำนวณหาน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มหน้าตัดรูป I มีค่าใกล้เคียงยิ่งขึ้น

จากการวิเคราะห์หาสูตรการทอกเสาะเข็มสำหรับเสาะเข็มหน้าคักรูป DH และรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยแทนค่าต่าง ๆ ลงในสูตรการทอกเสาะเข็มทั้ง 12 สูตรในตารางที่ 3.4 เพื่อเลือกหาสูตรการทอกเสาะเข็มที่เหมาะสมที่สุด โดยการหาค่า Coefficient of Determina (R^2) เทียบกับน้ำหนักพิบัติที่ได้จากการทดสอบในสนาม

สำหรับสูตร Engineering News และ Modified Engineering News ได้ทดลองแทนค่าคงที่ C ตั้งแต่ 0.5 - 1.0 เพื่อหาค่า C ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสูตรทั้ง 2 ปรากฏว่า

สำหรับสูตร Engineering News ค่า $C = 0.7$ เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเสาะเข็มหน้าคักรูป DH และรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

สำหรับสูตร Modified Engineering News ค่า $C = 0.5$ และ 0.9 เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเสาะเข็มหน้าคักรูป DH และ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ตามลำดับ

สูตรการทอกเสาะเข็มที่หาขึ้นใหม่ 2 สูตร สำหรับเสาะเข็มหน้าคักรูป DH สี่เหลี่ยมจัตุรัส และ I เมื่อคิดหา Error ที่ผิดไปจากน้ำหนักพิบัติที่ได้จากการทดสอบในสนาม ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.9 และ 3.11 ปรากฏว่า ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงน้อยกว่า $\pm 20\%$ ซึ่งถือว่าใช้ได้สำหรับค่าน้ำหนักพิบัติที่หาได้จากสูตรการทอกเสาะเข็ม เพราะการจกค่าต่าง ๆ ในระหว่างการทอกเสาะเข็มไม่สามารถควบคุมให้จกอย่างละเอียดได้ จึงอาจมีข้อผิดพลาดจากการจกข้อมูลเหล่านี้ เช่น ระยะยกของลูกตุ้ม ระยะทรุดตัวของลูกตุ้ม เป็นต้น นอกจากนี้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทอกเสาะเข็มของแต่ละแห่งใช้ไม่เหมือนกัน เช่น Cap ที่รองหัวเสาะเข็มขณะทอก ความหนาของกระสอบและไม้ที่รองหัวเสาะเข็มขณะทอก จังหวะของการทอก ก็มีผลต่อค่าต่าง ๆ ในสูตรการทอกเสาะเข็มด้วย