

อิทธิพลของขนาดแผ่นเหล็กเกลียวต่อกำลังการรับแรงแบกทาน โดยใช้ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ Influence of helical plate diameter on bearing capacity based on laboratory study

จักรพันธ์ ธงทอง^{1*}, สุริยะ ทองมณี² และ คเชนทร์ จักรแก้ว³

¹ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จ.กำแพงเพชร

^{2,3} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

*Corresponding author; E-mail address: jakkaphan_t@learning.cmu.co.th

บทคัดย่อ

การออกแบบกำลังรับแรงแบกทานของเสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียว โดยทั่วไปจะใช้วิธีการคล้ายกับพฤติกรรมเสาเข็มลึก จากผลการวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการเสริมแผ่นเหล็กเกลียวทำให้กำลังรับแรงแบกทานเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของขนาดแผ่นเหล็กเกลียว แต่แนวโน้มการเพิ่มขึ้นไม่ได้มีอัตราเพิ่มขึ้นเหมือนกับการเพิ่มของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มลึก ส่งผลให้การประเมินหรือออกแบบกำลังรับแรงแบกทานของเสาเข็มเหล็กเกลียวไม่สอดคล้องกับกำลังรับแรงแบกทานที่แท้จริง บทความนี้จึงทำการศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดแผ่นเหล็กเกลียวที่ใช้เสริมกำลังต่อกำลังแบกทานของเสาเข็มเหล็กเกลียว ภายใต้การรับแรงอัดในแนวแกน โดยใช้ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แล้วจึงเปรียบเทียบกับผลการออกแบบ ผลการศึกษาพบว่าขนาดของแผ่นเหล็กเกลียวมีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังแบกทานของเสาเข็มเหล็กเกลียว อันเกิดจากพื้นที่หน่วยแรง "stress zone" ภายใต้แผ่นเหล็กเกลียว โดยการเพิ่มขนาดแผ่นเหล็กเกลียว ส่งผลให้กำลังรับแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็มเพิ่มขึ้นในลักษณะเอกซโพเนนเชียล ตามการเพิ่มขึ้นของขนาดแผ่นเหล็กเกลียว ส่วนแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มคงที่

คำสำคัญ: เสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียว, กำลังการรับแรงแบกทาน, ฐานรากเสาเข็ม, การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

Abstract

Generally, design of the bearing capacity of helical piles is similar to the behavior of deep pile foundations. From the previous research, it is found that the reinforcing helix plate causes the bearing capacity to increase as the diameter of helix plate increases. But the tendency is not the same as the increase in the diameter of the deep pile foundations. This article studies the influence of helical plate diameter on bearing capacity under axial compression based on laboratory study and then compares with the design results. By increasing the diameter of the helix plate, the end bearing capacity of the helical pile is

increased in an exponential manner according to the increase in the diameter of the helix plate. The skin friction is constant.

Keywords: Helical pile, Bearing capacity, Pile foundation, Laboratory test

1. คำนำ

โดยทั่วไประบบฐานรากเสาเข็มเหล็กเกลียวจะนำมาใช้ในโครงสร้างหรืออาคารขนาดเบา แต่ด้วยคุณสมบัติที่ดีและได้เปรียบกว่าฐานรากระบบอื่นหลายประการ[1] ทำให้ในปัจจุบันมีการนำระบบฐานรากดังกล่าวมาใช้ในงานที่ต้องรับน้ำหนักมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการที่จะต้องเพิ่มความสามารถในการรับกำลังแบกทานให้กับเสาเข็ม ซึ่งการเพิ่มกำลังการรับแรงแบกทานให้กับเสาเข็มเหล็กเกลียว นั้น มีวิธีการหลายวิธีด้วยกัน เช่น การเพิ่มจำนวนเสาเข็ม การเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของเสาเข็ม การเสริมด้วยแผ่นเหล็กเกลียวที่มีขนาด จำนวน หรือรูปแบบต่าง ๆ เป็นต้น [2]

วิธีการเสริมกำลังแบกทานด้วยการเสริมแผ่นเหล็กเกลียวให้กับเสาเข็มนั้น พบว่าเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากความสะดวกและค่าใช้จ่ายที่ไม่สูง ซึ่งการออกแบบกำลังรับแรงแบกทานของเสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียว นั้น โดยทั่วไปจะใช้วิธีการคล้ายกับพฤติกรรมเสาเข็มลึก [2], [3] จากการศึกษาถึงพฤติกรรมของเสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียวโดยทั่วไปนั้น การเสริมแผ่นเหล็กเกลียวทำให้กำลังรับแรงแบกทานเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของขนาดแผ่นเหล็กเกลียว [2], [4], [5] แต่แนวโน้มการเพิ่มขึ้นไม่ได้มีอัตราเพิ่มขึ้นเหมือนกับการเพิ่มของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มลึก ส่งผลให้การประเมินหรือออกแบบกำลังรับแรงแบกทานของเสาเข็มเหล็กเกลียวไม่สอดคล้องกับกำลังรับแรงแบกทานที่แท้จริง

การศึกษาถึงคุณสมบัติ พฤติกรรม และอิทธิพลของแผ่นเหล็กเกลียวที่มีผลต่อกำลังการรับแรงแบกทาน เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ในการประเมินกำลังการรับแรงของเสาเข็มเหล็กเกลียว นั้น ย่อมส่งผลให้การประเมินกำลังรับแรงแบกทานมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น บทความนี้จึงทำการศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดแผ่นเหล็กเกลียวที่ใช้เสริมกำลัง ต่อกำลังแบกทานของเสาเข็มเหล็กเกลียว ภายใต้การรับแรงอัดในแนวแกน โดยใช้ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แล้วจึงเปรียบเทียบกับผลการออกแบบ

2. ข้อมูลและวิธีการทดสอบ

การศึกษาอิทธิพลของขนาดแผ่นเหล็กเกลียวต่อกำลังการรับแรงแบกทานของเสาเข็มเหล็กเกลียวนั้น ดำเนินการโดยการติดตั้งแบบจำลองเสาเข็มลงในแบบจำลองดิน ก่อนการทดสอบกำลังรับแรงอัด ในห้องปฏิบัติการ โดยมีตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงคือขนาดของแผ่นเหล็กเกลียว ส่วนในสถานะต่างๆ จะ คงที่ อันได้แก่ แบบจำลองเสาเข็ม แบบจำลองดิน และชุดอุปกรณ์การทดสอบต่างๆ ดังนั้น เพื่อให้ทุกการทดสอบสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมต่างๆ ให้คงที่มากที่สุด จึงต้องมีการจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

2.1.1 แบบจำลองเสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียว

การศึกษานี้ครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้แบบจำลองเสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียวสแตนเลส เกรด 304 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว หนา 1.1 มม. ความยาว 40 ซม. เชื่อมปิดปลายเสาเข็ม ติดตั้งแผ่นเหล็กเกลียวเสริมกำลังหนา 2 มม. ที่ระยะ 0.5 นิ้ว จากปลายเสาเข็ม (e) ที่อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางแผ่นเหล็กเกลียว (D) ต่อเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม (d) เท่ากับ 1, 2, 3 และ 4 ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยทำการทดสอบเป็นจำนวน 4 ต้น ต่ออัตราส่วน D/d ต่างๆ

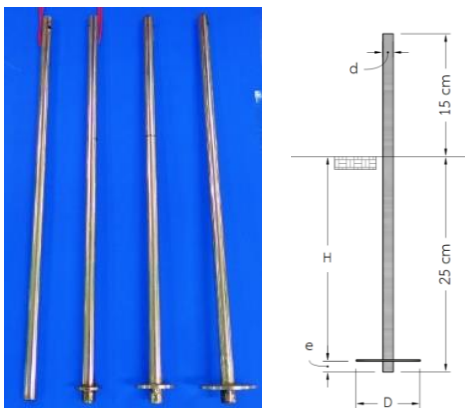
คุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของแบบจำลองเสาเข็มมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Young's modulus) เท่ากับ 180 GPa. และค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) เท่ากับ 0.270 ซึ่งเป็นค่าคุณสมบัติทั่วไปของสแตนเลส โดยรายละเอียดคุณสมบัติของแบบจำลองเสาเข็มแสดงในตารางที่ 1

2.1.2 แบบจำลองดิน

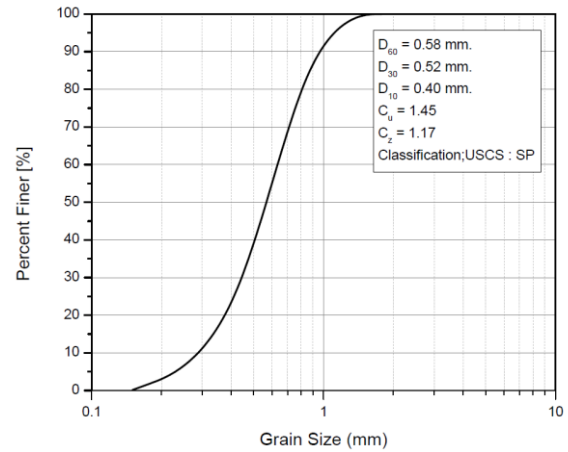
แบบจำลองดินใช้ทรายซิลิกา คัดขนาด 0.40-0.84 มม. ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 โดยมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้น ดังแสดงในรูปที่ 2 และตารางที่ 2

2.1.3 ชุดอุปกรณ์การทดสอบ

ชุดอุปกรณ์การทดสอบเป็นชุดถังโครงเหล็กรูปทรงประกอบ ขนาดภายใน กว้างยาวสูง 50x80x53 ซม. เพื่อใช้ในการบรรจุทราย รวมทั้งติดตั้งเครื่องมือการให้แรง (Hydraulic jack), เครื่องมือการอ่านค่าแรง (Load cell), เครื่องมือการวัดการทรุดตัวของโมเดลเสาเข็ม (LVDT) และเครื่องมือการบันทึกและแปลผลข้อมูล (Data logger) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 1 แบบจำลองโมเดลเสาเข็ม



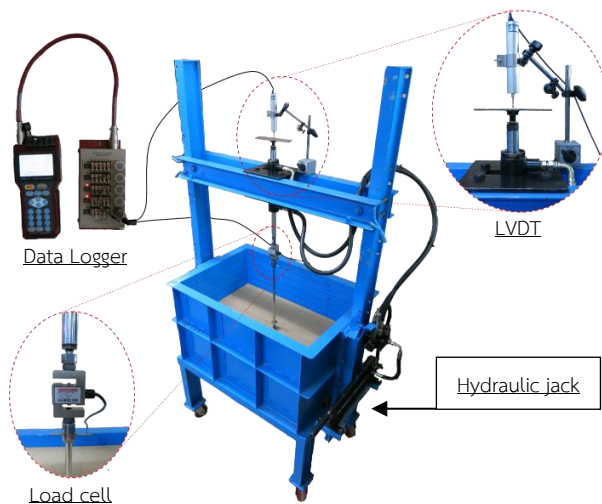
รูปที่ 2 กราฟการกระจายของขนาดเม็ดทราย

ตารางที่ 1 รายละเอียดคุณสมบัติของแบบจำลองเสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียว

Property	Value
Outer diameter, D (mm.)	12.7
Wall thickness, t (mm.)	1.1
Length from raft base, L (mm.)	400
Young's modulus, E_p (GPa.)	180
Poisson's ratio, ν	0.270
Relative density, D_r (%)	50
Interface friction angle, δ (deg.)	18.3

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของทราย

Property	Value			
Classification (USCS)	SP			
D_{50}	0.56			
Coefficient of uniformity, C_u	1.45			
Coefficient of curvature, C_c	1.17			
Specific gravity, G_s	2.65			
Maximum dry density, ρ_{dmax} (kg/m ³ .)	1,679			
Minimum dry density, ρ_{dmin} (kg/m ³ .)	1,344			
Maximum void ratio, e_{max}	0.971			
Minimum void ratio, e_{min}	0.578			
Relative density, D_r (%)	50	60	70	80
Internal friction angle, ϕ (deg.)	29.7	30.2	31.7	32.5
Dry density, ρ (kg/m ³ .)	1493	1526	1562	1599
Void ratio, e	0.775	0.735	0.696	0.657



รูปที่ 3 ชุดอุปกรณ์ถึงทดสอบ

2.2 การเตรียมการทดสอบและวิธีการทดสอบ

2.2.1 แบบจำลองชั้นดินและการติดตั้งเสาเข็มทดสอบ

การจำลองชั้นดินเพื่อให้ทุกการทดสอบคงที่มีวิธีการดำเนินการ ดังนี้

- แบ่งชั้นทรายออกเป็นชั้นๆ ชั้นละ 5 ซม. จำนวน 9 ชั้น โดยขีดเส้นไว้ที่ถึงทดสอบ
- คำนวณน้ำหนักชั้นทราย ใส่ชั้นทราย และทำการบดอัดชั้นทราย ทีละชั้น เพื่อให้ได้ความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่ต้องการ
- ใส่ชั้นทรายจนถึงระดับปลายเสาเข็ม จึงดำเนินการติดตั้งเสาเข็มเข้ากับแท่นยึดและ Load cell
- ดำเนินการใส่ชั้นทราย และทำการบดอัดชั้นทรายที่เลือกจนครบทั้ง 9 ชั้น

2.2.2 การควบคุมความสม่ำเสมอของแบบจำลองชั้นทราย

เพื่อให้การจำลองชั้นทรายมีความสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ และคงที่ในทุกการทดสอบ จึงดำเนินการทดสอบ Cone Penetration Test โดยแสดงผ่านความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดกับความลึก [6]

ในการทดสอบจะใช้แท่งเหล็กต้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มม. ความยาว 70 ซม. ปลายรูปทรงกรวย มุมเอียงทรงกรวย 60 องศา ยึดติดกับ Load Cell เพื่อใช้ในการบันทึกและอ่านค่าแรงกด

ดำเนินการกดแท่งเหล็กต้นลงบนผิวแบบจำลองชั้นทราย ที่ตำแหน่งต่างๆ ทั่วพื้นที่ผิว ดังแสดงในรูปที่ 4 กดลงด้วยอัตราคงที่ และบันทึกค่าแรงกดต้านทานที่ความลึกทุก 5 ซม.

2.2.3 การทดสอบกำลังการรับแรงแบกทาน

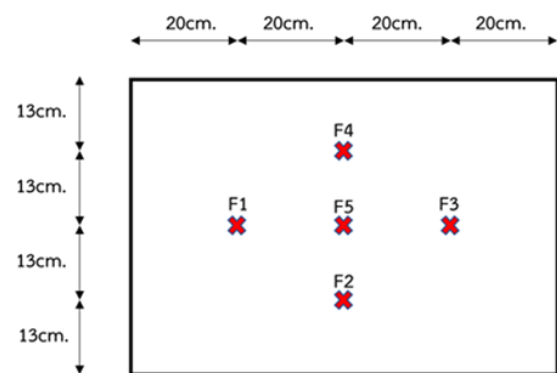
การทดสอบกำลังการรับแรงแบกทาน ดำเนินการโดยใช้ Hydraulic jack เป็นเครื่องให้แรงแบกทานในแนวตั้ง ที่อัตราการเคลื่อนตัวคงที่ ประมาณ 0.2 มม./วินาที ทำการบันทึกค่าแรงและค่าการเคลื่อนตัว ที่การเคลื่อนตัวประมาณทุก 0.25 มิลลิเมตร

3. สมมุติฐานและสมการในการออกแบบ

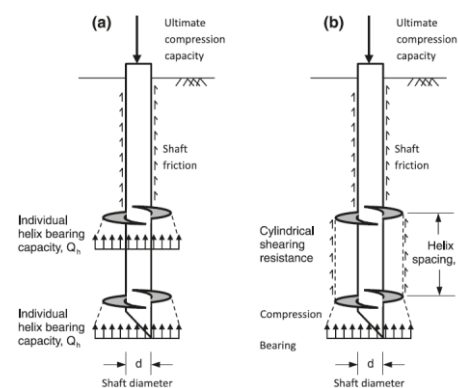
3.1 สมมุติฐานการออกแบบ

วิธีการประเมินประสิทธิภาพเสาเข็มเหล็กเกลียวที่ใช้โดยทั่วไป มี 3 วิธี คือ 1. วิธีกำลังแบกทานแบบแยกส่วน 2. วิธีกำลังแบกทานแบบทรงกระบอก (ดังแสดงในรูปที่ 5) และ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดระหว่างการติดตั้ง (installation torque) และกำลังการรับแรง [1], [3] ในการศึกษาครั้งนี้ ศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดแผ่นเหล็กเกลียวต่อกำลังการรับแรงแบกทาน โดยใช้แบบจำลองเสาเข็มที่มีแผ่นเหล็กเกลียวจำนวน 1 แผ่น ที่ขนาดต่างๆกัน และทดสอบหลังจากการติดตั้งเสาเข็มแล้วเสร็จ ในประเมินกำลังรับแรงแบกทาน จึงใช้เพียงวิธีเดียวคือ วิธีกำลังแบกทานแบบแยกส่วน

กำลังรับแรงแบกทานของเสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียวมีสมมุติฐานและพฤติกรรมระนาบการวิบัติเช่นเดียวกับฐานรากลึก โดยกลไกการถ่ายเทน้ำหนักของเสาเข็มจากโครงสร้างสู่ดิน ในระหว่างการถ่ายน้ำหนัก เสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียวจะถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างสู่ดินรอบเสาเข็ม โดยผ่านแรงเสียดทานระหว่างแกนเสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียว (shaft) หรือที่เรียกว่าแรงเสียดทานที่ผิว (skin friction) บวกกับแรงแบกทานที่แผ่นเหล็กเกลียว (end bearing) การถ่ายน้ำหนักนี้จะส่งผลให้เกิดพื้นที่หน่วยแรง "stress zone" ภายใต้อันตรึงเกลียว ซึ่งมีการกระจายแรงดันที่ด้านล่างของแต่ละแผ่นเหล็กเกลียวอย่างสม่ำเสมอทั่วแผ่น กำลังการรับแรงแบกทานของเสาเข็มได้มาจากผลรวมของแรงแบกทานที่แผ่นเหล็กเกลียว (end bearing) รวมกับแรงเสียดทานของแกนเสาเข็ม (shaft) [1], [4]



รูปที่ 4 ตำแหน่งการทดสอบ Cone Penetration



รูปที่ 5 กลไกการถ่ายน้ำหนักของเสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียว (a) วิธีกำลังแบกทานแบบแยกส่วน และ (b) วิธีกำลังแบกทานแบบทรงกระบอก [3]

3.2 สมการในการออกแบบ

สมการสำหรับการหาค่ากำลังแบกทานสำหรับเสาเข็มเกลียว [2]

$$Pu = \sum_n q_{ult} A_n + \alpha H(\pi d) \quad (1)$$

เมื่อ q_{ult} = กำลังรับแรงแบกทานประลัย
 A_n = พื้นที่หน้าตัดของแผ่นเกลียวที่ n^{th} ต่าง ๆ
 α = แรงยึดเหนี่ยวระหว่างดินและแกนเพลาสองเสาเข็ม
 H = ความยาวแกนเพลาสองเสาเข็มเหนือแผ่นเกลียวแผ่นบนสุด
 d = เส้นผ่าศูนย์กลางของแกนเพลาสองเสาเข็ม (shaft) [2]

กำลังรับแรงแบกทานประลัยของดินหาได้จากสมการกำลังรับแรงแบกทานประลัยของฐานรากรูปทรงกลม;

$$q_{ult} = 1.3cN_c + q'N_q + 0.3\gamma BN_\gamma \quad (2)$$

เมื่อ c = แรงดึงดูดของดินใต้แผ่นเกลียว soil cohesion below helical plate)
 q' = ความเค้นประสิทธิผลที่ระดับแผ่นเกลียว (effective overburden stress at the bearing depth)
 γ = หน่วยน้ำหนักของดิน (soil unit weight)
 B = เส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นเกลียว (width of the bearing element)
 N_c, N_q, N_γ = ตัวแปรกำลังรับแรงแบกทาน (bearing capacity factors)

โดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างดินและแกนเพลาสองเสาเข็มมีค่าเท่ากับ

$$\alpha = 2 / 3T \quad (3)$$

เมื่อ T = กำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน (shear strength of soil)
 โดยที่

$$T = (0.09e^{0.08\phi})(\gamma z - \gamma_w h_w) \tan \phi \quad (4)$$

เมื่อ ϕ = แรงเสียดทานภายในระหว่างเม็ดดิน (internal angle of friction)
 γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ (unit weight of water)
 h_w = ความสูงของระดับน้ำที่ความลึก z (height of water above depth z) [2]

4. ผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ผล

4.1 Cone Penetration Test

ผลของ Cone Penetration Test ของแบบจำลองดินแสดงในรูปที่ 6 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความลึก โดยค่าความต้านทานแรงกดให้ค่าแตกต่างกันของค่าต่ำสุดกับสูงสุดของในแต่ละตำแหน่ง ไม่เกิน 2.5 กก. ในทุกการทดสอบ แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอของแบบจำลองชั้นทราย และยังแสดงให้เห็นว่าความต้านทานแรง

กดไม่ได้รับอิทธิพลจากผนังด้านข้าง หากตำแหน่งอยู่ห่างจากผนังด้านข้าง 50 มม. ทั้งนี้ในการทดสอบ Cone Penetration Test นั้น เป็นการทดสอบแยกต่างหาก โดยยังไม่ได้ติดตั้งแบบจำลองเสาเข็ม [6]

4.2 กำลังการรับแรงแบกทาน

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแบกทานกับการทรุดตัวของเสาเข็มเกล็ดตัน (SP) และเสาเข็มเสริมแผ่นเกลียวที่ขนาดอัตราส่วน D/d เท่ากับ 2, 3 และ 4 พบว่า เสาเข็มเกล็ดตัน กำลังรับแรงแบกทานจะเพิ่มขึ้น ที่การทรุดตัวช่วงต้น คือที่ประมาณ 0-2 มม. หลังจากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนถึงคงที่

ส่วนเสาเข็มที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเกลียว การเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงแบกทานจะมีระยะการเพิ่มขึ้นที่มากกว่า คือมีการเพิ่มขึ้นตั้งแต่การทรุดตัวในช่วงต้นจนถึงช่วงกลาง ที่การทรุดตัวประมาณ 0-10 มม. และยังพบว่า กำลังการรับแรงแบกทานจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนโดยเฉพาะที่เสริมด้วยแผ่นเกลียวขนาดใหญ่ขึ้น ($D/d=4$)

จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของขนาดแผ่นเกลียวที่ยังมีขนาดแผ่นเกลียวกว้าง ยังมีผลต่อกำลังรับแรงแบกทานสูง อันเกิดจากพื้นที่หน่วยแรง "stress zone" ภายใต้อันเกลียว [2], [4] เมื่อเทียบกับเสาเข็มเกล็ดตัน (SP) ที่การทรุดตัวมากๆ มีเพียงแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม จึงทำให้กำลังไม่เพิ่มขึ้นเหมือนกับเสาเข็มที่เสริมด้วยแผ่นเกลียว

นอกจากนี้ที่การทรุดตัวที่มากขึ้น (20 มม.) จึงทำให้เกิดแรงอัดและพื้นที่ของหน่วยแรงใต้อันเกลียวมากขึ้นตาม โดยค่าการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงแบกทานนี้ มีลักษณะการเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียล ตามการเพิ่มของขนาดแผ่นเกลียว ดังผลที่แสดงในรูปที่ 8 และรูปที่ 9

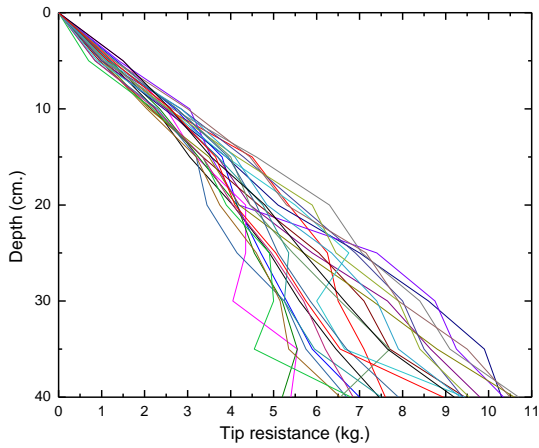
4.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการกับการออกแบบ

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยกำลังแบกทานจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการและค่าจากการออกแบบ และรูปที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยกำลังแบกทานจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการกับผลจากการออกแบบ เปรียบเทียบกับอัตราส่วน D/d พบว่าค่ากำลังแบกทานที่ได้จากการออกแบบในทุกอัตราส่วน D/d ให้ค่ากำลังแบกทานต่ำกว่าผลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยมีอัตราส่วน 2.7, 3.0, 2.6 และ 2.8 เท่า ที่อัตราส่วน $D/d = 1, 2, 3$ และ 4 ตามลำดับ อันเนื่องมาจากกำลังรับแรงแบกทานจากห้องปฏิบัติการนั้น ได้กำหนดไว้ที่การทรุดตัวเสาเข็มเท่ากับ 20 มิลลิเมตร

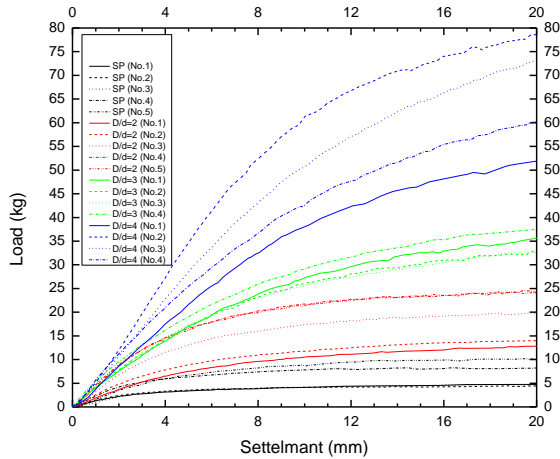
ทั้งนี้หากยึดค่ากำลังรับแรงแบกทานจากการออกแบบเป็นค่ากำลังรับแรงแบกทานสูงสุด จะพบว่าอยู่ในช่วงที่เสาเข็มทรุดตัวประมาณ 5-8% ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม ซึ่งสอดคล้องกับกำลังรับแรงแบกทานของเสาเข็มเกล็ดตันโดยทั่วไป [2], [5]

ในการออกแบบกำลังรับแรงแบกทานนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ 1. กำลังรับแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม และ 2. แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ 5

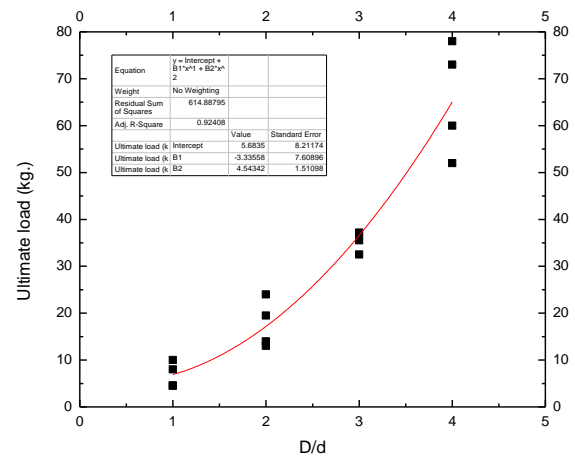
จากผลการออกแบบ พบว่า กำลังรับแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็มนั้น เป็นส่วนสำคัญต่อการกำหนดค่ากำลังรับแรงแบกทานสูงสุด โดยมีอัตราส่วน 65%, 90%, 94% และ 97% ของกำลังรับแรงแบกทานสูงสุด ที่ $D/d = 1, 2, 3$ และ 4 ตามลำดับ (รูปที่ 10 และตารางที่ 3) สอดคล้องกับผลการทดสอบของ [5] และยิ่งพบว่า การเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม ตามการเพิ่มของขนาดแผ่นเหล็กเกลียวนั้น มีลักษณะการเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียล ดังนั้น ในการออกแบบเสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญต่อการประเมินค่ากำลังรับแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม ซึ่งโดยทั่วไป ถูกกำหนดด้วยค่า N_c, N_q, N_f เป็นหลัก อันจะทำให้การประเมินกำลังรับแรงแบกทานมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น



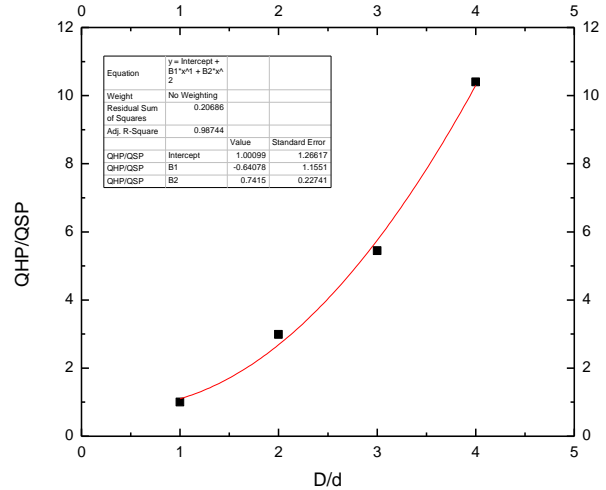
รูปที่ 6 ผลการทดสอบ Cone Penetration



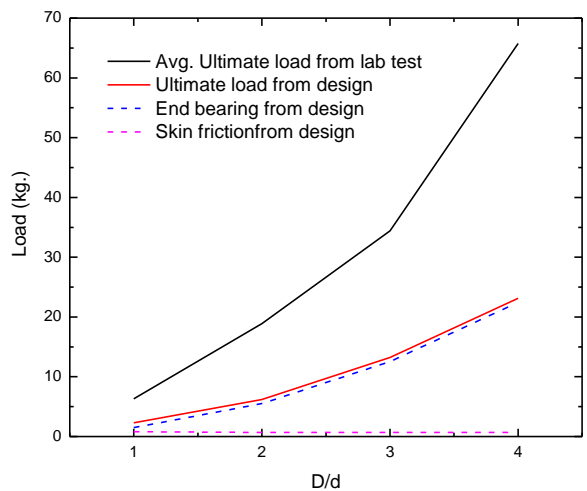
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแบกทานกับการทรุดตัว



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแบกทานกับอัตราส่วน D/d



รูปที่ 9 อัตราส่วนกำลังแบกทานของเสาเข็มเหล็กเกลียว (HP) เทียบกับเสาเข็มเหล็กตัน (SP) ที่อัตราส่วน D/d ต่างๆ



รูปที่ 10 ค่าเฉลี่ยกำลังแบกทานจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการกับผลการออกแบบเปรียบเทียบกับอัตราส่วน D/d

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยกำลังแบกทานจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการและค่าจาก

แบบจำลอง เสาเข็ม	ค่าเฉลี่ยกำลังแบกทาน จากห้องปฏิบัติการ (กน.)	ผลจากการออกแบบ (กน.)		
		P_u	$q_{ult} A_n$	$\alpha H(\pi d)$
D/d = 1	6.32	2.30	1.49 (65%)	0.81 (35%)
D/d = 2	18.9	6.20	5.52 (89%)	0.68 (11%)
D/d = 3	34.42	13.21	12.53 (94.9%)	0.68 (5.1%)
D/d = 4	65.75	23.12	22.44 (97.1%)	0.68 (2.9%)

การออกแบบ

5. บทสรุปและอภิปราย

บทความนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดแผ่นเหล็กเกลียวต่อกำลังการรับแรงแบกทาน โดยใช้ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แล้วจึงเปรียบเทียบกับผลการออกแบบ ได้ผลสรุปดังนี้

- ขนาดของแผ่นเหล็กเกลียวมีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังแบกทานของเสาเข็มเหล็กเกลียว อันเกิดจากพื้นที่หน่วยแรง "stress zone" ภายใต้แผ่นเหล็กเกลียว
- การเพิ่มขนาดแผ่นเหล็กเกลียว ส่งผลให้กำลังรับแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็มเพิ่มขึ้นในลักษณะเอกซิโพเนนเชียล ตามการเพิ่มขึ้นของขนาดแผ่นเหล็กเกลียว ส่วนแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มคงที่
- กำลังรับแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็มเป็นส่วนสำคัญต่อกำลังรับแรงแบกทานสูงสุด โดยมีอัตราส่วนมากกว่า 90% ของกำลังรับแรงสูงสุด และจะมีเพิ่มมากขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของขนาดแผ่นเหล็กเกลียว ดังนั้น ในการออกแบบเสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียว จึงจำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญต่อการประเมินค่ากำลังรับแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม ซึ่งโดยทั่วไปถูกกำหนดด้วยค่า N_c, N_q, N_r เพื่อให้การประเมินกำลังรับแรงแบกทานมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ในการที่จะเข้าใจถึงพฤติกรรมการถ่ายแรงของเสาเข็มและแผ่นเหล็กเกลียวที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ อันจะส่งผลต่อการออกแบบที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นนั้น การทดสอบกำลังรับแรงดึง เพื่อหาค่าแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม การติดตั้ง strain gauge เพื่อวัดค่า stress ของเสาเข็มที่จุดต่างๆ รวมถึงผลจากโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนท์อีลิเมนต์ ย่อมมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธ. จักรพันธ์, ท. สุริยะ, จ. พีรพงศ์, and อ. อาคิส, "การทบทวนวรรณกรรมและการประยุกต์ใช้งานเสาเข็มแผ่นเหล็กเกลียว," in *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23*, 2018.
- [2] H. A. Perko, *Helical Piles: A Practical Guide to Design and Installation*. 2009.
- [3] Jessica Young, "Uplift Capacity and Displacement of Helical Anchors in Cohesive Soil," Oregon State University, 2012.
- [4] A. Mohajerani, D. Bosnjak, and D. Bromwich, "Analysis

- and design methods of screw piles: A review," *Soils Found.*, vol. 56, no. 1, pp. 115–128, 2016, doi: 10.1016/j.sandf.2016.01.009.
- [5] M. Elkasabgy and M. H. El Naggar, "Axial compressive response of large-capacity helical and driven steel piles in cohesive soil," *Can. Geotech. J.*, vol. 52, no. 2, pp. 224–243, 2014, doi: 10.1139/cgj-2012-0331.
 - [6] Y. S. Unsever, T. Matsumoto, and M. Y. Özkan, "Numerical analyses of load tests on model foundations in dry sand," *Comput. Geotech.*, vol. 63, no. January 2016, pp. 255–266, 2015, doi: 10.1016/j.compgeo.2014.10.005.