

ทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา

2.1 บทนำ

พฤติกรรมทางด้านสถิติศาสตร์ ของฐานรากเสาเข็ม ที่ตกลงในชั้นทรายเป็นแขนงหนึ่งที่มีการศึกษากันมากที่สุด ในทางวิศวกรรมฐานราก งานวิจัยที่ผ่านมา มีมาก และมีผู้เสนอเรื่องเกี่ยวกับกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม และเรื่องที่เกี่ยวข้องกับเสาเข็ม Franki ก็จะได้รวบรวม ไว้ในบทนี้

2.2 กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (Bearing Capacity of Piles)

มีวิธีการอยู่สองวิธีที่ใช้หาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มคือ

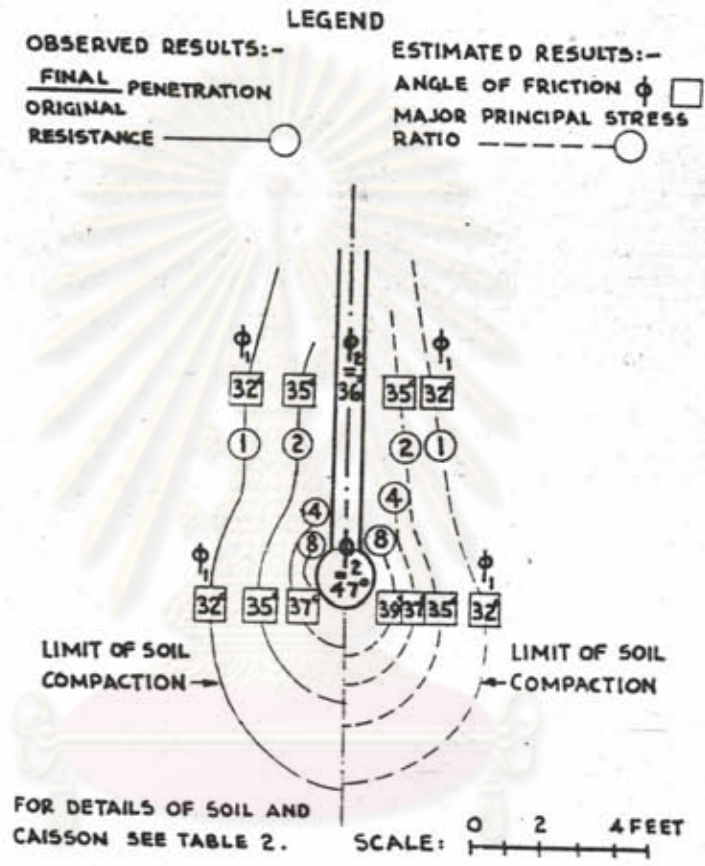
- สมการทางสถิติศาสตร์ซึ่งเป็นเรื่องเกี่ยวกับหลักการ หาค่ากำลังของเสาเข็มโดยการใช้ค่าคุณสมบัติของดิน หรือ ผลการทดสอบน้ำหนักของเสาเข็ม (pile load test)
- สมการทางด้าน dynamic ซึ่งหาน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็ม โดยใช้ข้อมูลขณะตอกเสาเข็ม

2.2.1 การอัดตัวของดินทรายใกล้กับเสาเข็ม

เมื่อเสาเข็มถูกตอกดินจะถูกอัดตัว และมีการสั่น อันเป็นผลให้ เกิดการเรียงตัวใหม่ของเม็ดดิน และเม็ดดินบางส่วนแตกออก ในอีกทางหนึ่งก็จะเกิดการอัดตัวของเม็ดดินซึ่งในการตอกเสาเข็ม Franki ก็เช่นกัน ในขณะที่ทำการขยายฐานเมื่อมีการตอก plug และตอกคอนกรีตแห้ง ฐานของเสาเข็มจะขยายออก และเกิดแรงเนื่องจากการตอกไปดันดิน ทำให้เกิดการอัดตัวอย่างมากในบริเวณใกล้ๆกับฐาน พลังงานในการตอกแต่ละครั้งขณะทำการขยายฐาน จะต้องมากกว่าความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน Meyerhof (1959) เสนอว่า พลังงานที่ต้องการสำหรับการขยายฐานคือ

$$W_h = (q_b + f_s) / (s + c/2) \tag{2.1}$$

และยังได้ชี้ว่าค่ากำลังรับน้ำหนักจะเพิ่มขึ้น เป็นอย่างมากเนื่องจากการอัดตัวของดิน
 ดังกล่าว ในกรณีที่ได้มีการศึกษาสำหรับเสาเข็ม Franki แสดงว่าค่ามุม ϕ' จะเพิ่มขึ้น
 แสดงไว้ในรูปที่ 2.1



TEST NO. 11. WORCESTER, MASS.

รูปที่ 2.1 มุม ϕ' ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการตอก และขยายฐานเสาเข็ม Franki Meyerhof,(1959)

2.2.2 การหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยวิธีทางสถิติศาสตร์

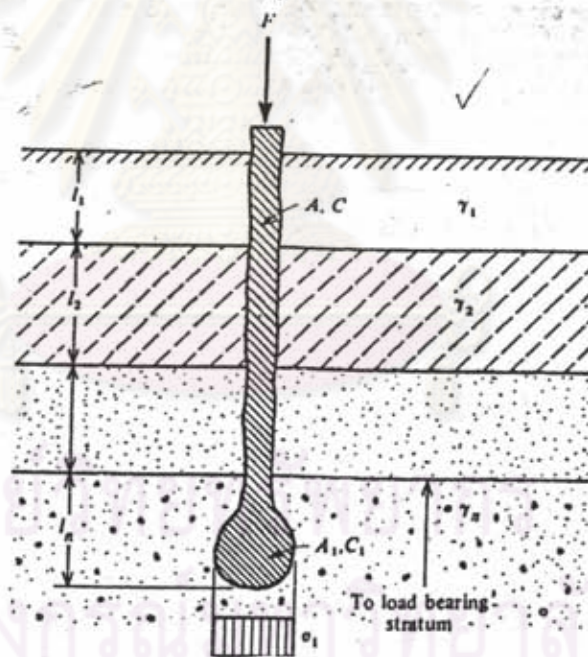
ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุก ของเสาเข็ม, Q_u ดังแสดงโดยสมการ

$$Q_u = Q_s + Q_p - W_p \quad (2.2)$$

หรือ $Q_u = CLf_s + A_p q_p - W_p$

- เมื่อ W_p = น้ำหนักของเสาเข็ม
 C = เส้นรอบรูปของเสาเข็ม
 L = ความยาวของเสาเข็ม
 f_s = หน่วยแรงเสียดทาน
 q_p = หน่วยแรงต้านปลายเข็ม
 A_p = พื้นที่ส่วนปลายของเสาเข็ม(เป็นพื้นที่ส่วนที่ขยายออก

ในกรณีของเสาเข็ม Franki, (projected area of pile base) รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การคำนวณกำลังรับแรงธารใช้พื้นที่ส่วนที่ขยายออกของเสาเข็ม Franki

น้ำหนักที่กระจายที่ผิวของเสาเข็มสามารถแสดงได้โดย

$$Q_s = \int_0^L C(c_a + \sigma'_v K_s \tan \phi'_a) dz \quad (2.3)$$

- เมื่อ
- c_a = แรงยึดเกาะของดิน
 - σ'_v = ค่า effective vertical stress
 - K_s = ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง
 - ϕ'_a = ค่ามุมเสียดทานภายในประสิทธิผลระหว่างดิน และเสาเข็ม

กำลังรับแรงธารของเสาเข็ม Q_p คำนวณได้โดยสมการ

$$Q_p = A_p(C_u N_c + \sigma'_v N_q + 0.5 \gamma_s N_\gamma) \quad (2.4)$$

- เมื่อ
- C_u = แรงยึดเกาะของดิน
 - σ'_v = แรงในแนวตั้งประสิทธิผลของดินที่ระดับปลายเสาเข็ม
 - γ_s = หน่วยน้ำหนักของดิน
 - d = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของเสาเข็ม
 - N_c, N_q, N_γ = ค่าประกอบกำลังของเสาเข็มซึ่งขึ้นอยู่กับ มุมเสียดทานภายใน ประสิทธิผล ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ของดิน และเสาเข็ม และ รูปร่างของเสาเข็ม

ในดินร่วนค่าหน่วยแรงรับแรงด้านปลายเข็มคำนวณโดยสมการ

$$q_p = \sigma'_{vcp} N_q \quad (2.5)$$

- เมื่อ
- σ'_{vp} = แรงในแนวตั้งประสิทธิผลของดินที่ระดับปลายเสาเข็ม หรือที่ ความลึกวิกฤติ (critical depth)
 - N_q = ค่าประกอบกำลังรับแรงธาร

ค่าความลึกวิกฤตินั้นขึ้นอยู่กับสภาพของดิน ภายใต้อุณหภูมิค่าหน่วยแรงเสียดทาน และ

หน่วยแรงต้านปลายเข็มจะมีค่าคงที่ รายละเอียดของหลักการนี้วิเคราะห์ไว้โดย Meyerhof (1976)

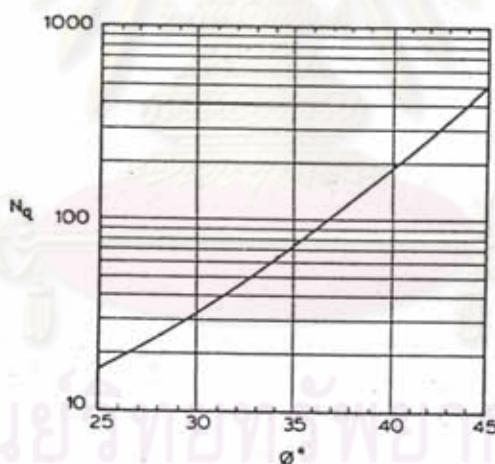
- ค่าความลึกวิกฤติ (critical depth) โดย Australian Code, Z_c แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ค่า Z_c/d ตามที่ได้เสนอโดย Vesic (1967), แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 เมื่อ d เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม

Hansbo (1981) เสนอค่า หน่วยแรงต้านปลายเข็ม (critical unit point resistance), q_{cr} , โดย

$$q_{cr} = 50 N_q \tan \phi \quad (2.6)$$

N_q , ก็คือค่าตัวประกอบรับแรงชาร หาได้จากรูปที่ 2.4 และสามารถหาค่าของ Berezantzev et.al.,(1961) และ Australian Code (ตารางที่ 2.1)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมุม ϕ และ N_q โดย Berezantzev et.al.,(1961)

Soil condition	Relative density	z_c/d	N_q
Loose	0.2 - 0.4	6	60
Medium	0.4 - 0.75	8	100
Dense	0.75 - 0.90	15	180

ตารางที่ 2.1 ค่าความลึกวิกฤติโดย Australian Code

Kishida (1967), ใช้ผลจากห้องปฏิบัติการทดสอบตัวอย่างดิน และค่าจากในสนาม เสนอว่า ในการหาค่าตัวประกอบรับแรงธาร N_q นั้นจะใช้ค่ามุม ϕ ที่ได้ส่วนปลายเสาเข็ม ดังสมการที่ 2.6

$$\phi = \frac{\phi' + 40}{2} \quad (2.7)$$

Meyerhof (1959) เสนอสมการที่ได้รวมผลของการอัดตัวของดินด้วย โดยมีการเพิ่มขึ้นของค่ามุม ϕ ใกล้เคียงของเสาเข็มโดย

$$Q_u = \frac{\gamma' B N \gamma' + K_b \gamma' D N_q' + K_s \gamma' D \tan \phi' a}{2} \quad (2.8)$$

เมื่อ $N \gamma', N_q'$ = ค่าตัวประกอบกำลังของเสาเข็ม ซึ่งรวมผลของการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของดิน (รวมผลของวิธีการก่อสร้างไว้ด้วย)

γ' = ค่าเฉลี่ยของหน่วยน้ำหนักประสิทธิผล ซึ่งรวมผลของการอัดตัวของดินใกล้ส่วนหัวเสาเข็ม(ความหนาแน่นสัมพัทธ์ D_1) และส่วนฐานของเสาเข็ม (ความหนาแน่นสัมพัทธ์ D_2), โดยใช้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ $(D_1 + D_2)/2$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

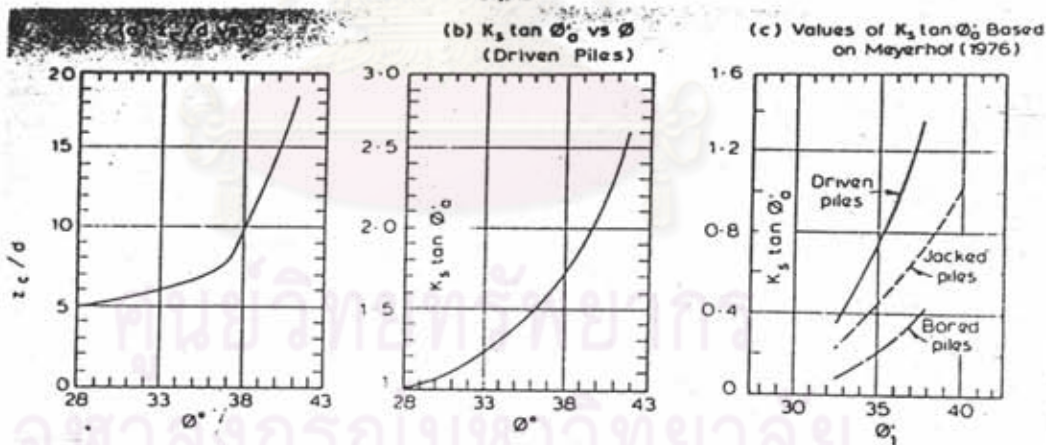
ในการหาค่า $K_s \tan \phi'_a$ และ Z_c/d ค่ามุม ϕ ที่ใช้ เป็นค่าเฉลี่ยตลอดความยาวเสาเข็มก่อนตอก เสาเข็ม ค่าหน่วยแรงเฉียดทานของเสาเข็มจะหาโดยสมการที่ 2.8

$$f_s = K_s \tan \phi'_a \sigma'_v \tag{2.9}$$

- เมื่อ σ'_v = ค่าเฉลี่ยของแรงในแนวตั้งตลอดความยาวของเสาเข็มจนถึงความลึกวิกฤต
 ϕ'_a = ค่ามุมเสียดทานภายในระหว่างเสาเข็ม และดิน

ϕ'_a เป็นค่าซึ่งขึ้นกับ วัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม กับชนิดของดิน (Potyondy, 1961)

Vesic (1967), จากผลการทดลองได้เสนอค่า $K_s \tan \phi'_a$ ไว้ในรูปที่ 2.3 รูปเดียวกับที่ เสนอโดย Meyerhof (1976)



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม ϕ และ Z_c/d และมุม ϕ และ $K_s \tan \phi'$

2.2.3 การหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยการทดสอบในสนาม

2.2.3.1 Static cone penetration test การทดสอบโดยใช้ cone เป็นวิธีการที่ดีในการหาค่ากำลังรับน้ำหนัก ในสภาพดินร่วน สามารถที่จะใช้หาค่ากำลังรับแรงหาร ได้โดยตรง ค่าของกำลังรับแรงหารที่ได้นี้ กำหนดจากการเฉลี่ยค่าทั้งส่วนเหนือ และใต้ cone ,Van der Ween(1957) และ Begeman (1977) ทั้งนี้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

Reference	Depth above pile tip	Depth below pile tip	Notes
Van der Ween (1957)	3.5 d	1.0 d	Loose sand
Begeman (1977)	8.0 d	3.5 d	Dense sand
Te Kam (1977)	8.0 d	0.7-4.0 d	0.7 d if q_c increases with depth
Thorburn (1979)	8.0 d	2.0 d	

d = pile diameter

ตารางที่ 2.2 ระยะที่ใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยของ cone

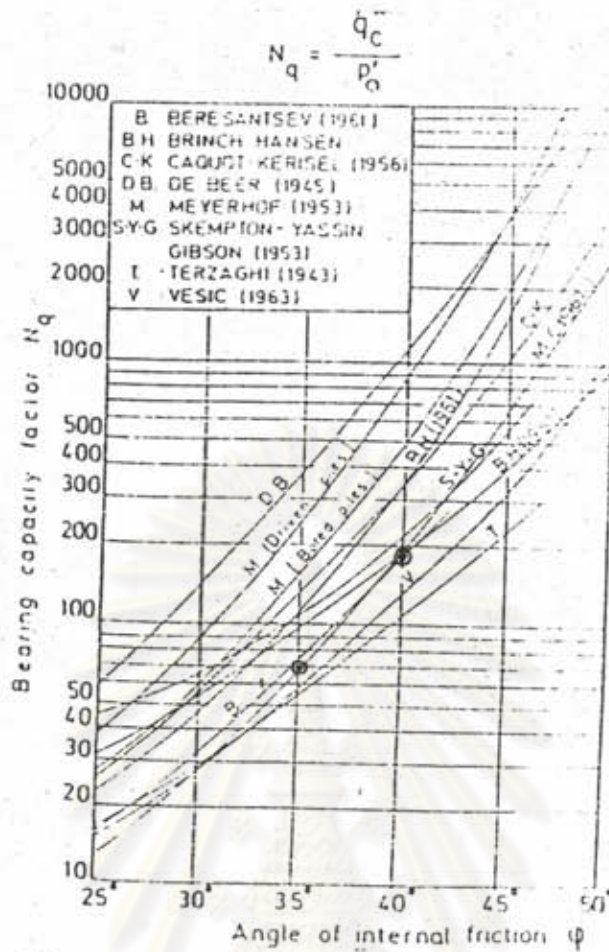
การหาค่ามุม ϕ โดยการทดสอบ cone penetration

ในการหาค่ามุม ϕ มีหลายวิธีที่เสนอโดยผู้แต่งหลายท่าน บางวิธีที่รวบรวมไว้ในที่นี้ ใช้ขนาดของ cone เป็นขนาดมาตรฐาน (เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. และมีมุมที่ปลาย 60 องศา) (ASTM D3441-75 T)

$$q_c = \sigma'_{vo} N_q \quad (2.10)$$

เมื่อ q_c = ค่าความต้านทานของ cone
 σ'_{vo} = น้ำหนักในแนวตั้งประสิทธิผล (effective overburden pressure)
 N_q = ค่าตัวประกอบรับแรงหารที่กระทำกับ wedge

De Beer (1974) ,ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N_q กับค่ามุม ϕ หาได้ทั่วไปดังที่ได้รวบรวมและแสดงไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม ϕ และ N_q , De Beer (1974)

ความสัมพันธ์ empirical ระหว่างค่า CPT และกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

Meyerhof (1956,1982) เสนอค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

$$q_{ult} = q_c (B+D)/12 \text{ ksc.} \quad (2.11)$$

เมื่อ B และ D คือความกว้างและ ความลึกของฐานตามลำดับ (หน่วยเป็น เมตร) ค่า limit ของหน่วยแรงต้านปลายเข็ม และค่าหน่วยแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม แสดงไว้ในสมการที่ 2.12

$$f_s = 0.005 q_c \text{ for dense sand } (q_c = 10 \text{ MPa}) \quad (2.12)$$

$$f_s = 0.01 q_c \text{ for loose sand } (q_c = 35 \text{ MPa})$$

เมื่อ q_c คือค่าเฉลี่ยของ cone ตลอดช่วงความยาวของเสาเข็มถ้า local friction วัดโดยใช้ปลอก (sleeve) ค่าหน่วยแรงเสียดทานจะเป็น 0.5 ถึง 1 เท่า ของค่าแรงเสียดทานของ sleeve

2.2.3.2 การทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน

ในทางปฏิบัติโดยทั่วไป ข้อมูลที่ได้บางครั้งมีเพียงค่า N (SPT) ดังนั้นการที่จะหาค่ามุม ϕ' จึงต้องหาค่า N Kishida(1967) ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม ϕ' และค่า N ดังสมการ

$$\phi' = \sqrt{20 N + 15} \quad (2.13)$$

Decourt (1982) เสนอขั้นตอนเพื่อการหาค่ากำลังรับ น้ำหนักของเสาเข็มในดินทั่วไป โดยค่า แรงเสียดทานของเสาเข็ม

$$Q_s = CLf_s \quad (2.14)$$

เมื่อ C = เส้นรอบรูปของเสาเข็ม
 L = ความยาวของเสาเข็ม
 f_s = ค่าหน่วยแรงเสียดทานของเสาเข็ม

เมื่อให้ค่า N เป็นค่าเฉลี่ยตลอดตัวเสาเข็มดังนั้น

$$f_s = N/0.3 + 10 \quad (2.15)$$

สำหรับ N น้อยกว่า 3, ให้ค่า N เป็น 3 N มากกว่า 50, N 50 ค่าแรงด้านปลายเข็มคือ

$$Q_p = A_p K_1 N \quad (2.16)$$

เมื่อ K_1 = ค่าสัมประสิทธิ์ ขึ้นกับชนิดของดิน แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ในขณะที่ Fukui & Shioi(1982) ก็ได้แสดงค่านี้ไว้ เช่นเดียวกัน

2.2.3-3 การหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์จากค่า SPT

ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ของดินโดยเฉพาะในทราย เป็นค่าที่มีผลอย่างมาก ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม และต่อค่ามุมเสียดทานภายใน ϕ

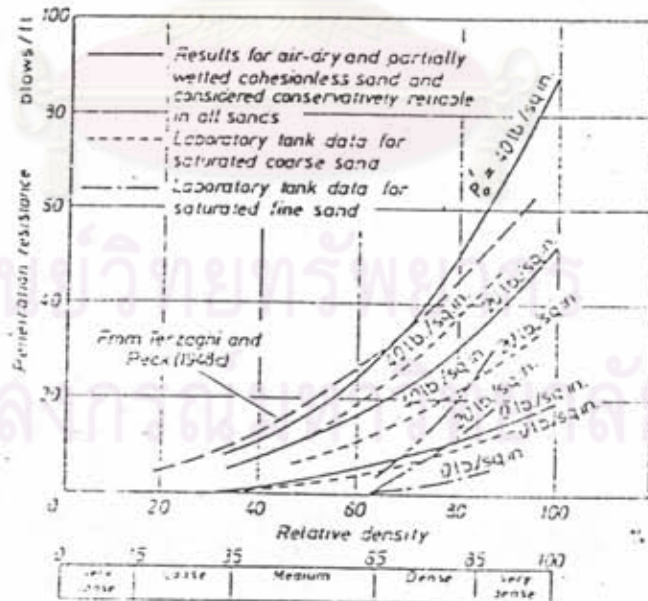
Samanwongthai (1983) , รวบรวมวิธีที่จะหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ไว้ดังนี้

ก. Terzaghi & Peck (1948) - ในดิน submerged dense fine silty sand ถ้าวัดค่า "N" ได้มากกว่า 15 ,ควรจะทำการลดค่าโดย

$$N' = 15 + 0.5(N-15) \quad \text{ถ้า } N > 15$$

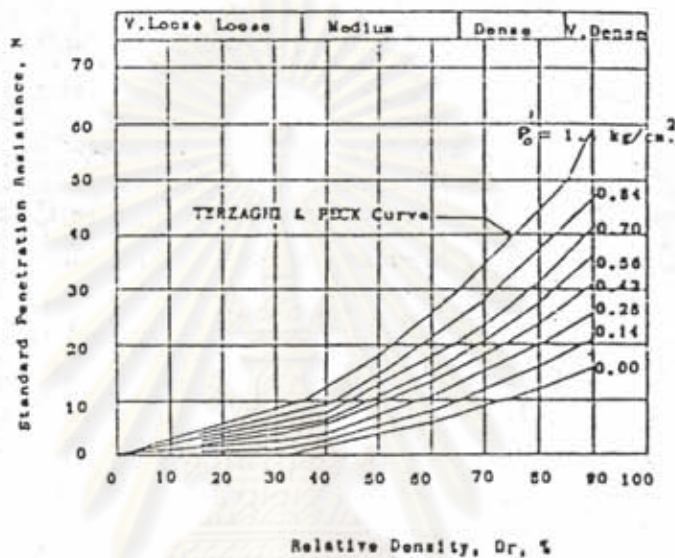
$$N' = N \quad \text{ถ้า } N < 15$$

ข. Gibbs & Holtz (1957) - ทำการหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ และทดสอบในสนามกับตัวอย่าง dry coarse saturated sand และ fine sand จำนวนมาก และรวมผลของแรงในแนวตั้งประสิทธิผล (effect of effective overburden pressure) ไว้ด้วย ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การหาความหนาแน่นสัมพัทธ์โดยวิธีการของ, Gibbs&Holtz (1957)

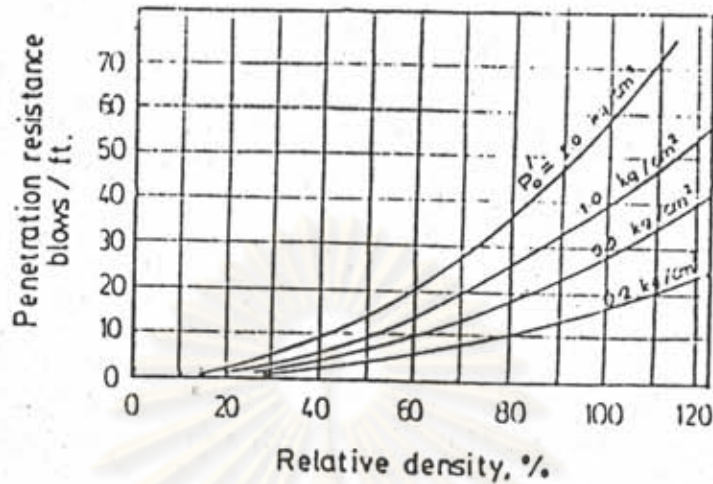
ก. Thornburn (1963) จากการทดสอบในสนาม plate bearing test ได้เสนอความสัมพันธ์ที่รู้จักแพร่หลายสำหรับการหาค่า D_r จาก SPT, โดยทดสอบ SPT ในดินร่วนความสัมพัทธ์นี้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง SPT กับ ความหนาแน่นสัมพัทธ์, Thornburn (1963)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๑. Schultze & Melzer (1965) เสนอความสัมพันธ์จาก การทดสอบในทราย ความสัมพันธ์แสดงไว้ในรูปที่ 2. และค่าความสัมพันธ์ของ Schultze & Menzenbach (1961) แสดงไว้ในรูปที่ 2.8



2.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง SPT กับ ความหนาแน่นสัมพัทธ์, Schultze&Menzenbach (1961)

2.2.4 การหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากการทดสอบเสาเข็ม

2.2.4 ก. ทดสอบจนถึงวิบัติ

การทดสอบเสาเข็มจนถึงจุดวิบัติ เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด ในการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม แต่ก็ไม่ได้หมายความว่า เป็นทางเดียวที่จะทราบ พฤติกรรมการรับน้ำหนัก ของเสาเข็ม ทั้งนี้เพราะ กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มยังขึ้นอยู่กับ ชนิดของเสาเข็ม และสภาพชั้นดินที่เฉพาะ ในแต่ละสถานที่ ดังนั้น การทดสอบเสาเข็มจนถึงวิบัติ จึงต้องกระทำเป็นชุดของการทดสอบ จึงจะสามารถทราบ พฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ในสภาพดิน ที่ทำการศึกษานั้นได้

2.2.4 ข. ทดสอบไม่ถึงวิบัติ

สำหรับเสาเข็มที่การทดสอบน้ำหนักหยุดก่อนที่จะถึงจุดวิบัติ ทั้งนี้เนื่องจากเงื่อนไขข้อจำกัดในการให้น้ำหนักกับ ตัวเสาเข็มหรือเนื่องจากการทดสอบแบบ proof testing วิธีการหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม ในกรณีเช่นนี้ อาจประเมินได้โดยวิธีการของ Chin (1970)

โดยทำการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมของกราฟ stress-strain ของการทดสอบ direct shear และ triaxial test พบว่ามีลักษณะเป็น hyperbolic เช่นเดียวกับของเสาเข็มก่อนที่จะถึงจุดวิบัติ slope ของการ พล็อตค่าระหว่าง ค่าการทรุดตัว/น้ำหนักที่กระทำ ต่อ ค่าการทรุดตัว จะเป็นเส้นตรง และน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติ จะหาได้จากการกลับ inverse ค่า slope ดังกล่าว

2.3 การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

จุดประสงค์ของการทดสอบน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มเพื่อ

- ทดสอบค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติของเสาเข็ม
- หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวและน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยเฉพาะน้ำหนักบรรทุกใช้งาน
- ตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีการก่อสร้างเสาเข็ม

วิธีการในการทดสอบที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางและใช้ในการวิจัยนี้ได้แก่

1. Slow ML Comp. Test
2. Quick ML Test Comp

ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการทดสอบและการแปลความหมายผลการทดสอบตลอดจนความ คลาดเคลื่อนของผลการทดสอบจะได้เสนอต่อไป

2.3.1 วิธีการทดสอบ

น.น.บรรทุกจะถูกกระทำเป็นขั้นๆ โดยค่าน้ำหนักบรรทุกแต่ละขั้นเอาไว้ จนกว่าปริมาณการทรุดตัวไม่เพิ่มตามเวลา หรืออัตราการทรุดตัวน้อยกว่าพิกัดที่กำหนด เมื่อครบเวลา การลงน้ำหนักต่ำสุดแล้ว จึงเพิ่มน้ำหนักในขั้นต่อไป ตามข้อกำหนด ASTM D1143-57T กำหนดไว้ว่าจะเพิ่มน้ำหนักขั้นต่อไปเมื่อ อัตราการทรุดตัวลดลงถึง 0.012 inch/hr หรือ เวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง การเพิ่มน้ำหนักจะกระทำไปจนถึงน้ำหนักบรรทุก ใช้งานและคงไว้จนอัตราการทรุดตัวอยู่ในพิกัด และครบเวลาการแช่น้ำหนัก จากนั้นจึงลดน้ำหนักลง เป็นขั้นๆจนถึงศูนย์แล้วปล่อยให้เสาเข็มลอยตัวจนปริมาณการลอยตัวคงที่แล้วจึงเพิ่มน้ำหนัก เป็นขั้นๆในทำนองเดียวกันกับการให้น้ำหนักครั้งแรกจนถึง น้ำหนักสูงสุดที่ต้องการ แล้วจึงกลายน้ำหนักลงเป็นขั้นๆจนถึงศูนย์อีกครั้ง โดยการลดน้ำหนักในแต่ละขั้น จะต้องรอให้อัตราการลอยตัวคงที่ และอยู่ในพิกัดก่อนที่จะลดน้ำหนักขั้นต่อไป

2.3.2 การแปลความหมายผลการทดสอบ

- Boston Building Code กำหนดว่าน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ควรมีค่าน้อย เท่ากับ 2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกใช้งาน และคณน้ำหนักทดสอบนี้ไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง และจนกว่าอัตรา การทรุดตัวมีค่าไม่เกิน 0.22 inch/hr โดยน้ำหนักบรรทุกใช้งานไม่ควรมีค่าเกิน 1/2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด ซึ่งเสาเข็มยังไม่เกิดการวิบัติ หรือ ปริมาณการทรุดตัว มีค่าไม่เกิน 1/2 inch

- Building Laws of The City of NYK กำหนดว่า น้ำหนักบรรทุก ใช้งานจะมีค่าเท่ากับ 1/2 ของน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด โดยเมื่อคลายน้ำหนักบรรทุกนี้ ออกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ว ปริมาณการทรุดตัวของเสาเข็มที่ค้างอยู่จะต้องมีค่าไม่เกิน 0.01 inch ต่อน้ำหนัก บรรทุกทดสอบ สูงสุด (ตัน)

- W.H. Rabe แนะนำว่า นน.บรรทุกใช้งานมีค่าเท่ากับ 1/2 และ 1/3 ของน้ำหนักบรรทุก ทดสอบในกรณีของน้ำหนักใช้งานแบบ static และ dynamic ตามลำดับ โดยน้ำหนักบรรทุก ที่กล่าวถึงนี้ จะต้องมีปริมาณการทรุดตัวรวม ไม่เกิน 0.03 inch ต่อน้ำหนัก ทดสอบที่เพิ่มขึ้น (ตัน)

- R.L. Nordlund แนะนำว่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานมีค่าเท่ากับ 1/2 และ 1/3 ของน้ำหนัก บรรทุกทดสอบในกรณี น้ำหนักใช้งานแบบ static และ dynamic ตามลำดับ โดย นน.บรรทุกทดสอบตามที่กำหนดนี้ จะต้องมีปริมาณการทรุดตัวรวม หรือพลาสติกไม่เกิน 0.05 หรือ 0.03 inch ต่อน้ำหนักบรรทุกทดสอบที่เพิ่มขึ้น (ตัน) ตามลำดับ

- United States Steel Code กำหนดว่าค่า นน.บรรทุกใช้งานมีค่าเท่ากับ 2/3 ของ ค่าน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ที่ปริมาณการทรุดตัวไม่มากเกินไป และความสัมพันธ์ระหว่าง Q และ ค่าการทรุดตัวยังคงอยู่ในรูปเส้นตรง

2.3.3 การศึกษานน.บรรทุกวิบัติ

- Terzaghi(1943) แนะนำว่า น้ำหนักบรรทุกประลัย มีค่าเท่ากับน้ำหนักบรรทุกที่ ประมาณ การทรุดตัว มีค่าเท่ากับ 0.1D เมื่อ D คือขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง

- Civil Engineering Code of Practice No. 4-1954 กำหนดว่าน้ำหนัก บรรทุกประลัย มีค่าเท่ากับค่าน้ำหนักที่ ปริมาณการทรุดตัวเพิ่มขึ้นไม่หยุดโดยน้ำหนักบรรทุก มีค่าคงที่

- De Beer(1967); Chin(1970); Butler & Hoy(1970); Mazurkiewicz(1972) Davisson(1972);จากการทดสอบแบบ Qucik Maintain Load Test และ Butler & Hoy(1977)

ได้เสนอวิธีการในการประมาณค่าน้ำหนักประลัย ของเสาเข็มโดยอาศัยหลักเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์ ที่แตกต่างกันดังแสดงในรูป 2.42 Fellenius(1980) ได้เสนอการเปรียบเทียบค่ากำลังรับน้ำหนัก ของเสาเข็ม ตามวิธีการต่าง ๆ ข้างต้นดังแสดงในรูป 2.9



2.4 การแยกน้ำหนักที่ปลาย และที่ตัวเสาเข็ม

ในการที่จะทราบพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็ม สิ่งที่จะต้องทราบคือ กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ซึ่งแยกออกเป็นสองส่วนคือ น้ำหนักที่ถ่ายผ่านผิวเสาเข็ม ลงสู่ดินชั้นลึก, Q_e และน้ำหนักที่กระจายผ่านผิวเสาเข็ม, Q_s เมื่อทราบน้ำหนักทั้งสองส่วน ดังกล่าวแล้ว ก็สามารถที่จะหาค่าตัวประกอบ ในการออกแบบเช่น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน $K_s \tan \phi'_a$ และตัวประกอบ รับแรงซาร์ N_q ที่สภาพดิน และสภาวะของเสาเข็มเหล่านั้นได้ การที่จะทราบสัดส่วน ของน้ำหนักดังกล่าวได้ต้องใช้การวัด โดยตรง การวัดโดยอ้อม และการประเมินจากรูปร่างของ load-settlement curves ของเสาเข็ม

2.4.1 การวัดโดยตรง (direct measurement)

การวัดโดยวิธีนี้อาจเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการหาน้ำหนักที่ปลายของเสาเข็ม และการกระจาย น้ำหนักที่ผิวของเสาเข็ม ที่สภาวะของน้ำหนักต่างๆกัน วิธีการนี้กระทำโดยการติดตั้ง load cell ไว้ในตัวเสาเข็ม การติดตั้งอาจติดไว้ที่ปลายของเสาเข็ม และติดไว้เป็นระยะๆ ในเสาเข็ม จนกระทั่งถึงส่วนปลายของเสาเข็ม ทั้งนี้เพื่อให้สามารถแยกน้ำหนัก ออกเป็นน้ำหนัก กระจายที่ผิวเสาเข็ม และน้ำหนักที่กระทำที่ส่วนปลายเสาเข็มได้ การทดสอบลักษณะนี้ ไม่ค่อยพบในประเทศไทย ทั้งนี้เพราะ ราคาในการทดสอบสูง มีเพียงการทดสอบเสาเข็มเจาะ ขนาดใหญ่ ในกรุงเทพฯ ไม่มากนัก (Muktabhant & Suwanakul, 1971 and Holmberg 1970)

2.4.2 การวัดโดยทางอ้อม (Indirect measurement)

อีกลักษณะของการหาการกระจายน้ำหนักในตัวเสาเข็ม คือการวัดโดยทางอ้อม ซึ่งใช้การติดตั้ง strain rod หรือ "tell-tale" rod และวัดค่า strain ที่ได้จาก dial gage เพื่อนำมาคำนวณหาค่าอีกครั้งหนึ่ง การติด "tell-tale" สามารถติดได้ทั้งที่ผิวของเสาเข็ม และหล่อไปพร้อมกับตัวเสาเข็ม (ในกรณีเป็นเสาเข็มหล่อในที่) Hanna(1970) การติดตั้ง สามารถติดเป็นระยะๆ ตามความยาวในเสาเข็ม การวัดค่า strain ทำการวัดที่ส่วนบนสุด

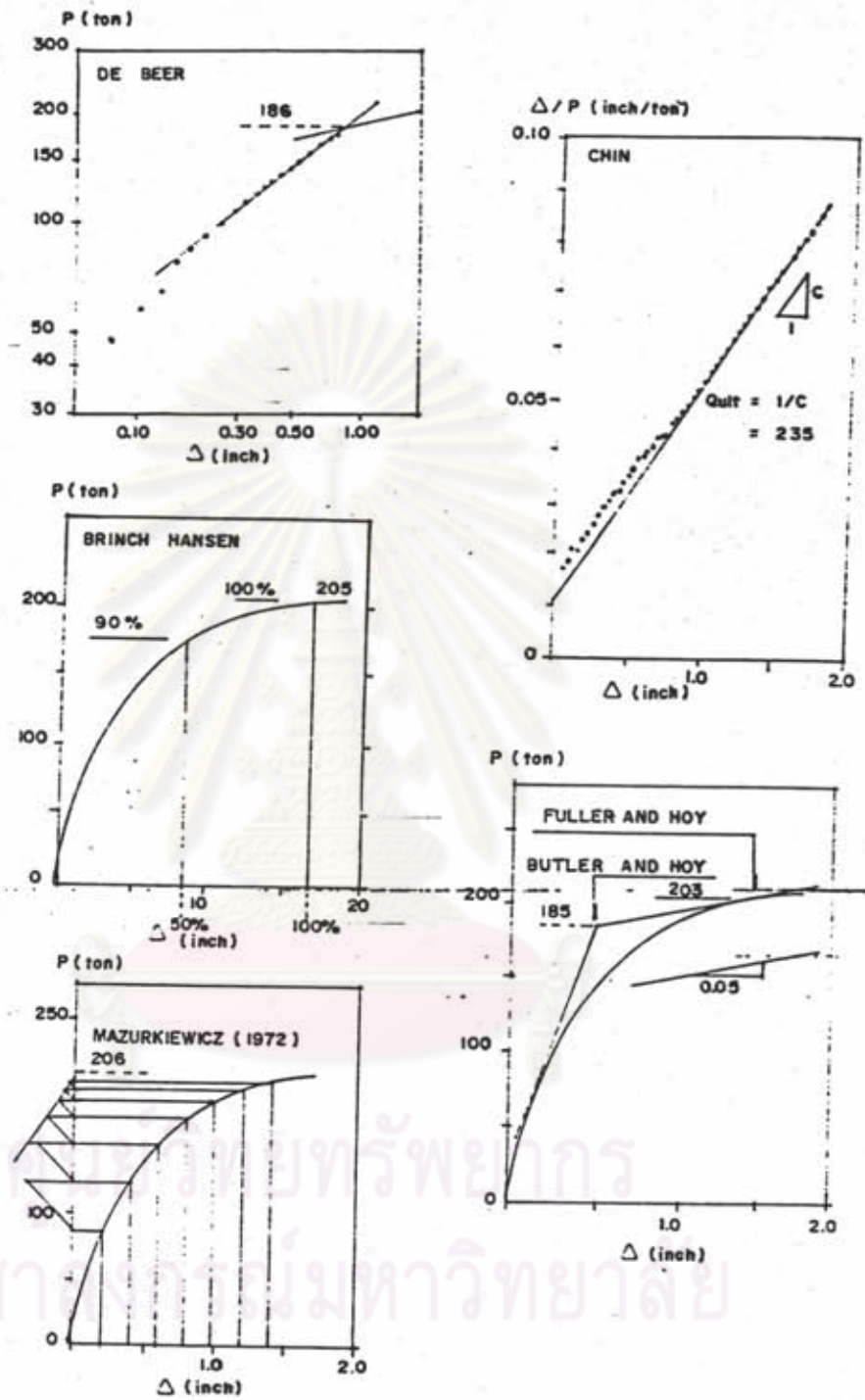
ของเสาเข็มเมื่อเสาเข็มได้รับน้ำหนักบรรทุก การวัดค่า strain ของเสาเข็มในเพื่อนำไปคำนวณ และทราบพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เพื่อทราบลักษณะของการกระจาย น้ำหนัก ในสภาพดิน รูปร่างของเสาเข็ม และลักษณะของการก่อสร้างเสาเข็มนั้นๆ

2.4.3 การประเมินจาก load-settlement curves

ในการทราบสัดส่วนของน้ำหนักบรรทุกที่ปลายเสาเข็ม และน้ำหนักที่ผิวของเสาเข็ม แต่ไม่ได้คิดเครื่องมือเพื่อทำการวัด ก็สามารถหาค่า น้ำหนักที่กระจายผ่านผิวเสาเข็มทั้งหมดได้ Van Weele (1957) สังเกตพฤติกรรมของเสาเข็ม และทดสอบเสาเข็มที่ตอกใน ดินทราย เป็นจำนวนมากพบว่าค่า elastic compression ของดิน และปลายเสาเข็มเป็น สัดส่วนกับน้ำหนัก ที่กระทำที่ส่วนหัวของเสาเข็ม (จากการทดสอบแบบ ML test) ซึ่งค่าการทรุดตัวนี้ประกอบไปด้วย ค่าการทรุดตัวของดินชั้นปลายเสาเข็ม ค่าการหดตัวเนื่องจาก เสาเข็มได้รับน้ำหนักมากกระทำ และค่าการทรุดตัวเนื่องจากสภาพ plastic ทั้งนี้ค่าการทรุดตัว ทราบค่าจากช่วง rebound (elastic rebound)

Jain & Kumar (1963) ได้ใช้วิธีการที่เสนอโดย Van Weele (1957) แต่ลดตัวแปรลงโดยในช่วง rebound จะประกอบไปด้วยค่าการทรุดตัวเนื่องจากดิน (elastic compression of subgrade) และ ค่าการคืนตัวของเสาเข็มเมื่อคลายน้ำหนัก (elastic of pile) ทั้งสองวิธีนี้มีสมมุติฐานว่าเมื่อเสาเข็มได้รับแรงกระทำและการจ่ายผ่านผิวจนมีค่ามากที่สุดแล้ว หลังจากนั้น ค่าน้ำหนักดังกล่าวจะคงที่ และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอีกจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับ น้ำหนักที่กระทำที่หัวของเสาเข็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.9 แสดงวิธีการคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกวิบัติ (Ultimate load) ตามวิธีซึ่งเสนอโดยนักวิจัยต่าง ๆ