

บันทึกวิชาการฉบับที่ 19

สมรรถนะรองรับของเสาเข็ม
คำนวณจาก STATIC FORMULA

บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด

บันทึกวิชาการฉบับที่ 19

สมรรถนะรองรับของเสาเข็ม

คำนวณจาก STATIC FORMULAR

สารบัญ

หน้า

1.	บทนำ	1
2.	การรองรับน้ำหนักของเสาเข็มเดี่ยว	2
3.	สมรรถนะรองรับของกลุ่มเสาเข็ม	
รูปที่ 1	: ตัวคูณสมรรถนะรองรับสัมพันธ์กับค่ามุม ϕ	3
รูปที่ 2	: ความสัมพันธ์ระหว่างมุมแรงเฉียดทาน และตัวคูณสมรรถนะรองรับ, N_q	5
รูปที่ 3	: ความสัมพันธ์ระหว่างตัวคูณสมรรถนะรองรับน้ำหนัก, N_c และ d/B	9
รูปที่ 4	: การกระจายน้ำหนักระหว่างเสาเข็มของกลุ่มเสาเข็มสี่เหลี่ยมจัตุรัส 9 ต้น โดยมีระยะห่างระหว่างเสาเข็ม (ก) 2d (ข) 4d และ (ค) 8d	11
รูปที่ 5	: การกระจายน้ำหนักระหว่างเสาเข็มของกลุ่มเสาเข็มสี่เหลี่ยมจัตุรัส 25 ต้น ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากับ 2d	12
รูปที่ 6	: ประสิทธิภาพ และองค์ประกอบระยะห่าง, เป็นผลการทดสอบกลุ่มเสาเข็มประเภทเสาเข็มอิสระ มีระยะฝังจมในดินเหนียว 48d	13
รูปที่ 7	: ประสิทธิภาพของกลุ่มเสาเข็มจากการคำนวณ เปรียบเทียบกับผลของการทดสอบสำหรับเสาเข็มฝังจมในดินเหนียว 48d เส้นประที่แทนผลของการทดสอบของกลุ่มเสาเข็มนิยอิสระ, เส้นประที่แทนผลการทดสอบของฐานรากบนเสาเข็ม, เส้นที่บ่งแทนค่าจากการคำนวณสำหรับฐานรากบนเสาเข็ม เมื่อเกิดการวิบัติแบบกลอง	14
รูปที่ 8	: แรงกดดินที่ทำให้เกิดการทรุดตัว 1 นิ้ว (25.4 มม.) สำหรับฐานรากที่มีความกว้างแตกต่างกันไปด้วยค่า N ที่แตกต่างกัน	18
ตารางที่ 1	: แรงเค้นแนวราบกระทำบนเสาเข็มตอกในชั้นดินทราย	6
ตารางที่ 2	: ตัวคูณส่วนลดสำหรับกลุ่มเสาเข็มในดินเหนียว	8
ตารางที่ 3	: ค่า N_c และอัตราส่วน ความลึก/ความกว้าง	15

คำนำ

บันทึกวิชาการฉบับนี้ เป็นวิธีการประเมินสมรรถนะรองรับของเสาเข็ม ซึ่งเป็นลักษณะของฐานราก ลึก (Deep Foundation) จาก Static Formula ซึ่งเป็นการนำคุณสมบัติที่ได้จากการเจาะสำรวจ (Boring) และการทดสอบทั้งในสนามและในห้องทดลองจากตัวอย่างดินที่เก็บนำขึ้นมาได้จากการเจาะสำรวจ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสำคัญสำหรับประโยชน์ของการเจาะสำรวจที่จะนำมาใช้ในการออกแบบ นั่นคือการประเมินขนาดและความยาวและประเภทของเสาเข็มที่จะใช้รองรับน้ำหนักโครงสร้างส่วนบน ในเบื้องต้นและเป็นบรรทัดฐานคำนวณค่าก่อสร้างโครงสร้างรองรับประกอบด้วยค่าก่อสร้างเสาเข็ม, ฐานรากครอบหัวเสาเข็ม งานชุด ฯลฯ

การจัดเตรียมบันทึกวิชาการในลักษณะเช่นนี้จะป็นหนทางเพิ่มพูนความรู้ ความสามารถของบุคลากรบริษัทที่ปรึกษา สังเกตได้ประการหนึ่งจากการประเมินการบริการให้กับลูกค้า (Client Assessment) ส่วนใหญ่จะออกมาในเชิงลบ ทำให้ได้ข้อคิดว่า Demand ของลูกค้าค่อนข้างสูง แต่การตอบสนองหรือ Supply ของที่ปรึกษาน้อยไปไม่สมดุลย์กับ Demand ทั้งนี้ทั้งนั้นก็คงเป็นเพราะขาดความรู้ความสามารถด้วย อย่างหนึ่ง

สมรรถนะรองรับของเสาเข็มคำนวณ จาก Static Formula

1. บทนำ

ลักษณะของเสาเข็มเป็นฐานรากลึก (Deep Foundation) ซึ่งจะใช้ในบริเวณที่ดินส่วนบนอ่อน จำเป็นต้องส่งถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างส่วนบนไปยังชั้นดินลึกซึ่งมีความมั่นคงเพียงพอรับน้ำหนัก การส่งถ่ายน้ำหนักผ่านเสาเข็มไปยังชั้นดินลึกเป็นวิธีการหนึ่ง ซึ่งยังมีวิธีการอื่น ๆ อีก ที่อาจจะประหยัดกว่าวิธีการดังกล่าว

ฐานรากในอุดมคติในสถานะการณ์หนึ่งขึ้นกับ

- ประเภทของดินในบริเวณนั้น
- ขอบเขตของดินอ่อน
- ประเภทของโครงสร้าง หมายถึง ลักษณะของโครงสร้างส่วนบนที่มีผลต่อการเลือกประเภทของฐานราก
- มูลค่าที่ได้จากชั้นใต้ดิน
- เวลาที่มีอยู่สำหรับงานก่อสร้าง
- ดินที่จะนำมาใช้ทำ Preloading

โดยทั่วไปมักใช้ฐานรากลึก คือ การส่งถ่ายน้ำหนักผ่านเสาเข็ม บริเวณที่มีดินอ่อนอยู่ในชั้นบนเป็นส่วนใหญ่

ฐานรากลึกที่มักเป็นการใช้เสาเข็มตอก หรือเสาเข็มเจาะไปยังชั้นดินที่มีความมั่นคงเพียงพอรองรับน้ำหนักที่กระทำ แต่อาจมีลักษณะอื่นอีก เช่น Caisson Foundation ฯลฯ

การก่อสร้างหรือติดตั้งเสาเข็มอาจกระทำโดย

- การเสียบเสาเข็มยังหลุมที่เจาะไว้ (Bored Hole)
- การกดเสาเข็มลงแทนที่ดินด้วย น้ำหนักสถิตย์ (Static Loads)
- การตอกเสาเข็มลงแทนที่ดินโดยใช้ลูกตุ้มกระแทก

ดังที่ทราบกันดีอยู่ สำหรับการแบ่งประเภทเสาเข็มออกแบบ 2 ประเภท คือ

- กรณีที่การรองรับน้ำหนักส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทาน หรือแรงยึดเกาะบริเวณผิวด้านข้าง (Shaft) ของเสาเข็ม เรียกว่า เสาเข็มเสียดทาน (Friction Pile)
- กรณีที่การรองรับน้ำหนักส่วนใหญ่เกิดจากฐานที่ปลายเสาเข็ม เรียกว่า เสาเข็มรองรับที่ปลาย (Point - bearing Pile)

2. การรองรับน้ำหนักของเสาเข็มเดี่ยว

น้ำหนักที่กระทำกับเสาเข็มซึ่งรวมถึงน้ำหนักของเสาเข็มจะถูกรองรับร่วมกันระหว่างดินที่อยู่ปลายเสาเข็มและดินรอบข้างเสาเข็ม น้ำหนักสูงสุดที่เสาเข็มรองรับได้ เรียกว่า สมรรถนะรองรับของเสาเข็ม คือ

$$Q = Q_p + Q_s$$

$$Q_p = \text{ความต้านทานที่ปลายเสาเข็ม}$$

$$= A_p (\Delta q_s) u$$

$$= A_p \left(C N_c + \frac{\gamma B}{2} N_\gamma + \gamma_d N_q \right)$$

และ $Q_s = \text{ความต้านทานที่ผิวเสาเข็ม}$

$$= \sum (\Delta L) (a_s) (s_s)$$

โดยที่ $A_p = \text{พื้นที่ของฐานปลายเสาเข็ม}$

$$(\Delta q_s) u = \text{สมรรถนะรองรับประลัย}$$

$$\Delta L = \text{ความยาวของเสาเข็มตามส่วน}$$

$$a_s = \text{พื้นที่ของผิวเสาเข็มที่สัมผัสกับดินในส่วนของความยาวเสาเข็ม } \Delta L$$

$$s_s = \text{ความต้านทานที่ผิวเสาเข็มต่อหน่วยพื้นที่}$$

$$C = \text{แรงยึดเกาะ (Cohesion) ของดินต่อหน่วยพื้นที่}$$

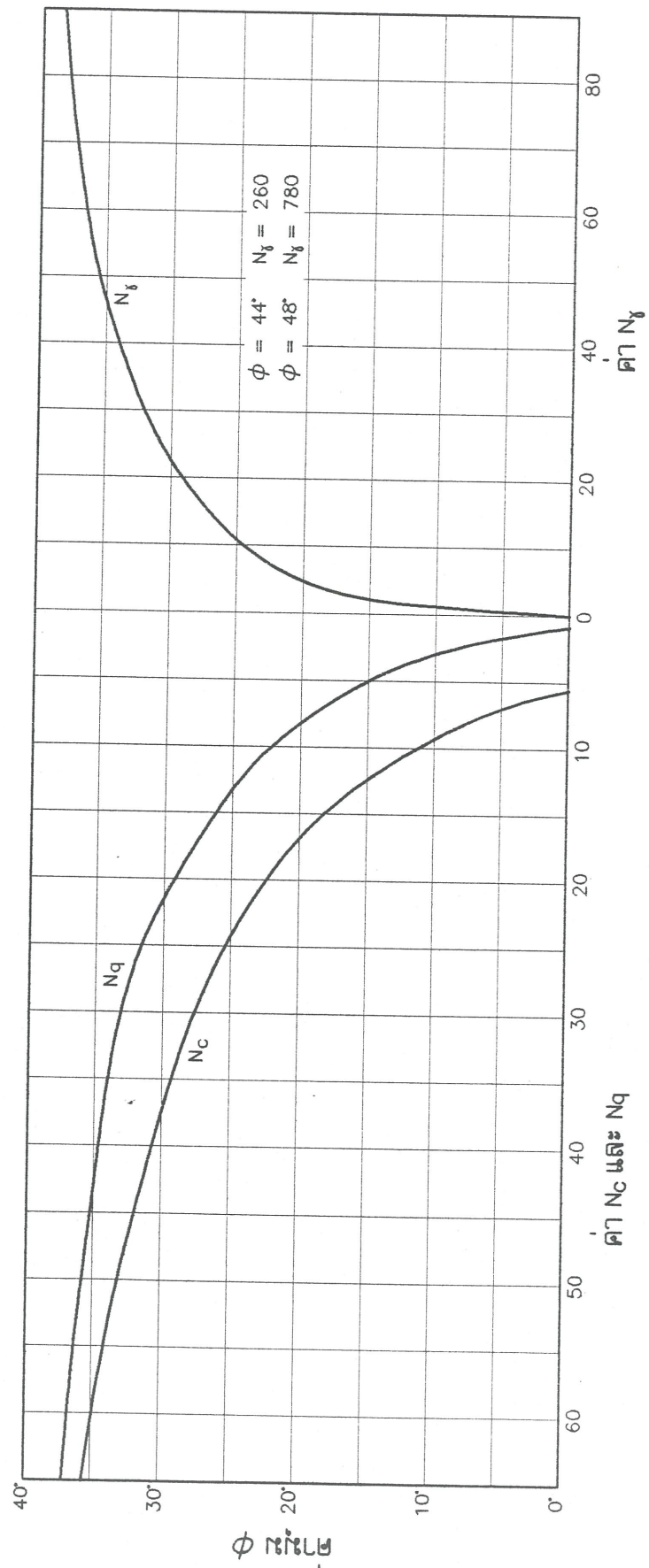
$$B = \text{ความกว้างของฐานรากหรือปลายเสาเข็ม}$$

$$\gamma = \text{น้ำหนักต่อหน่วยของดิน}$$

$$d = \text{ความลึกของเสาเข็มจากผิวดิน}$$

$$N_c, N_\gamma \text{ และ } N_q = \text{ตัวคูณสมรรถนะรองรับ พิจารณาได้จากรูปที่ 1 ซึ่งสัมพันธ์กับมุมแรงเสียด}$$

ทาน (Friction Angle), ϕ

รูปที่ 1 ตัวคูณสมรรถนะรองรับ สัมพันธ์กับ ค่ามุม ϕ

ก) ความต้านทานที่ปลายเสาเข็ม

ได้นำเอาหลักการสมรรถนะรองรับของฐานรากตื้น (Shallow Foundation) มาใช้กับฐานรากลึก ตำแหน่งของผิววิบัติ (Failure Surface) สำหรับฐานรากลึกเป็นที่รู้กันน้อยกว่าฐานรากตื้น และมีผู้วิเคราะห์คำนวณตัวคูณสมรรถนะรองรับได้ค่าต่าง ๆ นานา ขึ้นกับผิววิบัติที่สมมติขึ้น โดยมีแนวโน้มแสดงว่าค่า N_q จะต้องสูงกว่านี้ถ้าเสาเข็มยิ่งลึก ค่า N_q ยิ่งสูงขึ้นไปอีก รูปที่ 2 แสดงค่า N_q ที่สรุปได้จากผู้ทำการวิเคราะห์

สำหรับดินทราย $C = 0$ และ $\phi = \phi$

$$Q_p = A_p \left(\frac{\gamma B}{2} N_\gamma + \gamma_d N_q \right)$$

เนื่องจากค่า $\left(\frac{\gamma B}{2} \right) N_\gamma$ น้อยมากเมื่อเทียบกับ $\gamma_d N_q$ ทั้งนี้โดยค่า B (ความกว้างของปลายเสาเข็มน้อยมาก) ดังนั้นความต้านทานที่ปลายเสาเข็มสำหรับดินทรายคือ

$$Q_p = A_p (\gamma_d N_q)$$

สำหรับดินเหนียว ซึ่งมีมุมของแรงเสียดทาน $\phi = 0$

ดังนั้น

$$Q_p = A_p (C N_c + \gamma_d)$$

ข) ความต้านทานที่ผิวเสาเข็ม

ในการคำนวณเพื่อหาความต้านทานที่ผิวเสาเข็มนั้น ไม่เพียงแต่จะต้องพิจารณาประเภทของดินที่อยู่รอบเสาเข็มเท่านั้น แต่จะต้องพิจารณาถึงวิธีการติดตั้งเสาเข็มว่าเป็นเสาเข็มตอกหรือเสาเข็มเจาะ วิธีการติดตั้งเสาเข็มมีผลต่ออัตราการที่ดินถูกกระทบกระเทือน, แรงเค้นด้านข้างที่กระทำกับเสาเข็ม, มุมแรงเสียดทาน และรวมถึงพื้นที่ผิวสัมผัส ความยุ่งยากจะอยู่ที่การประเมินความต้านทานที่ผิวเสาเข็มต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

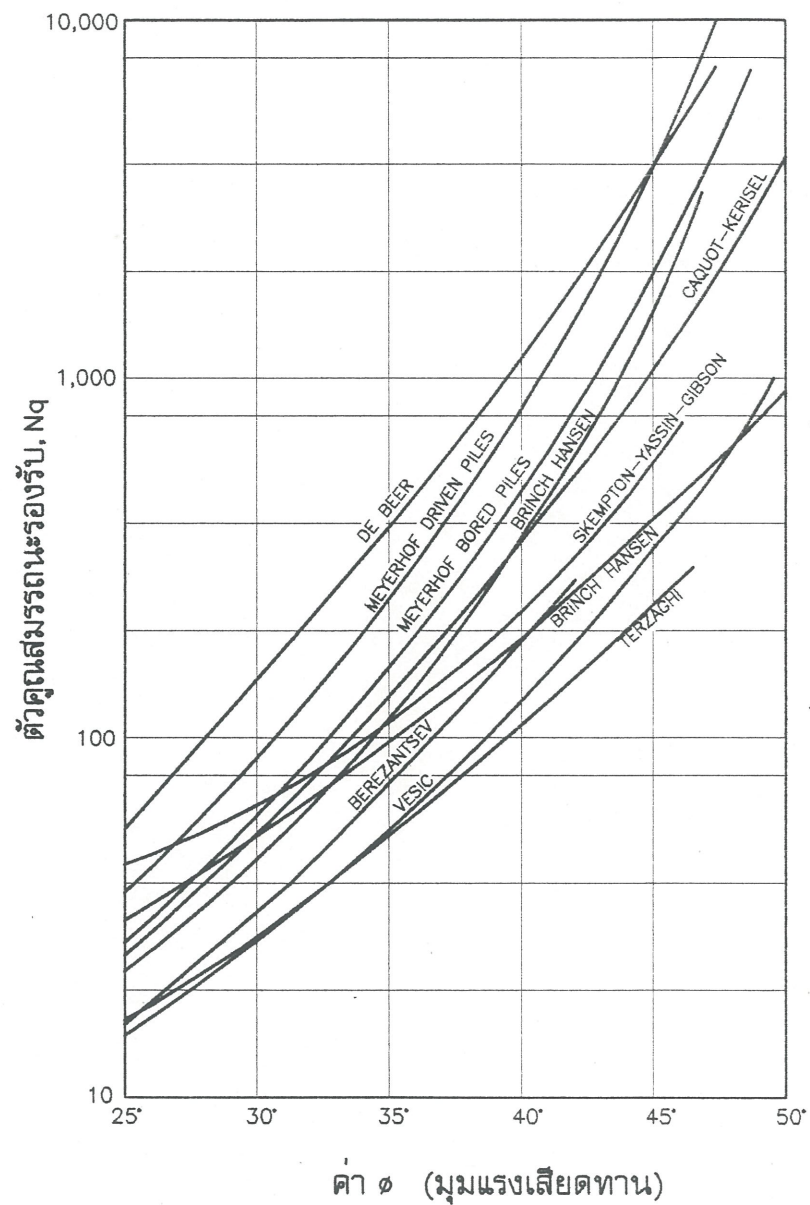
สำหรับดินทราย ความต้านทานที่ผิวเสาเข็ม คือ

$$S_s = \tau_{ff} = \bar{\sigma}_{ff} \tan \phi$$

โดยที่ τ_{ff} = แรงเค้นเฉือนที่ผิววิบัติขณะเกิดการวิบัติ

$\bar{\sigma}_{ff}$ = แรงเค้นตั้งฉากกับผิววิบัติขณะเกิดวิบัติ

ϕ = มุมเสียดทานโดยมีพื้นฐานจากแรงเค้นประสิทธิผล



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมแรงเสียดทาน และตัวคูณสมรรถนะรองรับ , N_q

เสาเข็มในทราย ปกติจะใช้วิธีกดหรือตอก การสั่นสะเทือนที่เกิดจากการตอกเสาเข็มจะมีผล 2 ประการคือ ทำให้ทรายแน่นขึ้น และเพิ่มค่า K (อัตราส่วนแรงเค้นด้านข้าง)

ค่าแรงเค้นแนวราบประสิทธิผลมีความแตกต่างกันมากตามที่มีผู้วิเคราะห์และสรุปไว้ใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1

แรงเค้นแนวราบกระทำบนเสาเข็มตอกในชั้นดินทราย

ผู้วิเคราะห์	ความสัมพันธ์	พื้นฐานของความสัมพันธ์
Brinch Hansen และ Lundgren (1960)	(ก) $\bar{\sigma}_h = \cos^2 \phi \cdot \bar{\sigma}_v = 0.43 \bar{\sigma}_v$ ถ้า $\phi = 30$ (ข) $\bar{\sigma}_h = 0.8 \bar{\sigma}_v$	(ก) ทฤษฎี (ข) การทดสอบเสาเข็ม (Pile Test)
Henry (1956)	$\bar{\sigma}_h = Kp \cdot \bar{\sigma}_v = 3 \bar{\sigma}_v$	ทฤษฎี
Ireland (1957)	$\bar{\sigma}_h = K \cdot \bar{\sigma}_v = (1.75 \text{ to } 3) \cdot \bar{\sigma}_v$	การทดสอบดึง (Pulling Tests)
Meyerhof (1951)	$\bar{\sigma}_h = 0.5 \bar{\sigma}_v$ (ทรายหลวม) $\bar{\sigma}_h = 1.0 \bar{\sigma}_v$ (ทรายแน่น)	การวิเคราะห์ ข้อมูลจากสนาม
Mansur และ Kaufman (1958)	$\bar{\sigma}_h = K \cdot \bar{\sigma}_v$; $K = 0.3$ (แรงอัด) $K = 0.6$ (แรงดึง)	การวิเคราะห์ ข้อมูลจากสนาม

โดยเหตุผลค่า K ควรมากกว่า 1 และอาจถึง 2

สำหรับค่าความต้านทานต่อหน่วยพื้นที่ของดินเหนียวที่กระทำกับผิวของเสาเข็มไม้หรือคอนกรีต ควรใกล้เคียงกับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินนั้น

โดยสรุป สมรรถนะรองรับน้ำหนักของเสาเข็มเดี่ยวจะเท่ากับความต้านทานที่ปลาย (Point Resistance), Q_p บวกกับ ความต้านทานที่ผิวเสาเข็ม (Shaft Resistance), Q_s สำหรับดินที่ระบายน้ำได้อิสระ (Free - draining Soil)

$$Q = A_p \bar{\sigma}_{v0} N_q + \sum (\Delta L) (a_s) (K \bar{\sigma}_{v0} \tan \bar{\phi})$$

โดยที่

$$K = 1 \text{ ถึง } 3$$

$$\bar{\phi} = \phi_u = \text{สำหรับเสาเข็มเหล็ก และ } \bar{\phi}_{cv} \text{ สำหรับเสาเข็มไม้หรือคอนกรีต}$$

$$\phi_u = \text{Total Stress Strength Parameters}$$

$$\phi_u = \phi \text{ at Constant Volume}$$

สำหรับดินที่ระบายน้ำไม่อิสระ (Nonfree - draining Soil)

$$Q = A_p (S_u N_c + \bar{\sigma}_{v0}) + \sum (\Delta L) (a_s) (S_u)$$

โดยที่

$$\bar{\sigma}_{v0} = \text{แรงเค้นแนวดิ่งประสิทธิผลเริ่มแรก (Initial Effective Vertical Stress)}$$

$$S_u = \text{กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength)}$$

N_c ได้จาก **รูปที่ 3**

3. สมรรถนะรองรับของกลุ่มเสาเข็ม

โดยทั่วไป สมรรถนะรองรับจะไม่เท่ากับผลรวมของสมรรถนะรองรับของเสาเข็มแต่ละต้นในกลุ่มกระทำในลักษณะเข็มเดี่ยว อัตราส่วนของสมรรถนะรองรับของกลุ่มต่อผลรวมของสมรรถนะของเสาเดี่ยวเรียกว่า ประสิทธิภาพของกลุ่ม (Group Efficiency) หรือตัวคูณส่วนลด (Reduction Factor)

ประสิทธิภาพของกลุ่มของเสาเข็มแรงเสียดทาน (Friction Pile) ในดินเหนียว ปกติจะน้อยกว่า 1 ขณะที่ประสิทธิภาพของกลุ่มเสาเข็มแรงเสียดทานในดินทรายจะมากกว่า 1 ประสิทธิภาพของกลุ่มของเสาเข็มรองรับน้ำหนักที่ปลายโดยปกติจะน้อยกว่า 1

สำหรับเสาเข็มเดี่ยว ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางทั้งทางทฤษฎีและการรวบรวมข้อมูลจากสนามในเรื่องสมรรถนะการรองรับ ในอีกด้านหนึ่งสำหรับเสาเข็มกลุ่มจะมีข้อมูลด้านสมรรถนะรองรับน้อยมากเนื่องจากความยุ่งยากในการทดสอบเต็มขนาด (Full - scale Tests) กับกลุ่มเสาเข็ม

สำหรับเสาเข็มแรงเสียดทานในดินเหนียว Kerisal ได้นำเสนอตัวคูณส่วนลด แสดงใน **ตารางที่ 2**

ตารางที่ 2

ตัวคูณส่วนลดสำหรับกลุ่มเสาเข็มในดินเหนียว

ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางเสาเข็ม (จำนวนเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง)	ตัวคูณส่วนลด
10	1
8	0.95
6	0.90
5	0.85
4	0.75
3	0.65
2 1/2	0.55

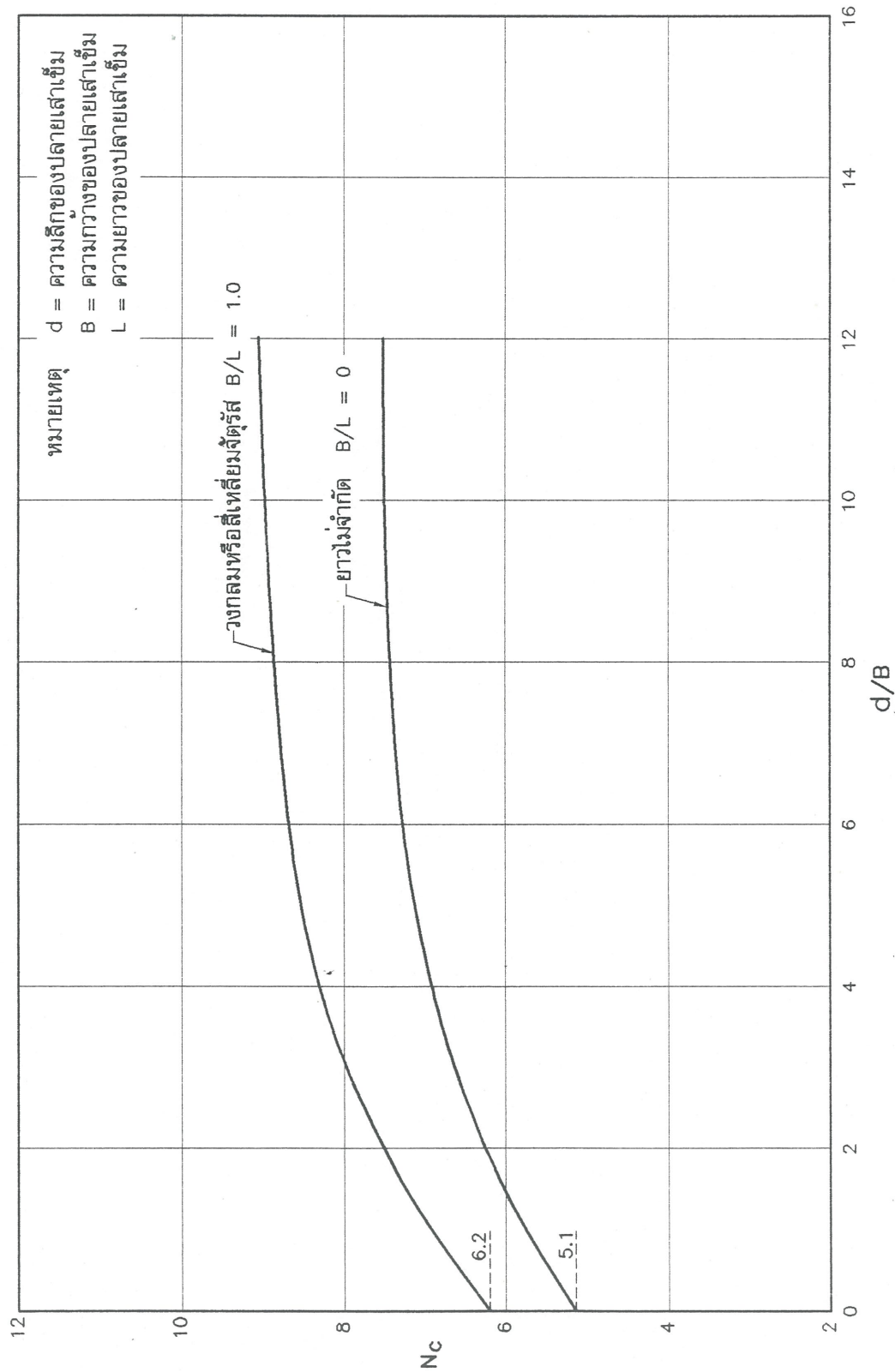
โดยมากแล้วน้อยมากที่จะใช้เสาเข็มเพียงด้านเดียว โดยทั่วไปมักใช้เสาเข็มเป็นกลุ่ม โดยมีคานครอบ (Cap) ครอบหัวเสาเข็มนั้นเพื่อกระจายน้ำหนักไปยังแต่ละเสาเข็ม ในกรณีที่คานครอบหล่อบนพื้นดิน จะเรียกว่า ฐานรากบนเสาเข็ม (Piled Foundation) ในกรณีที่คานครอบอยู่เหนือจากพื้นดิน จะเรียกว่า กลุ่มยืนอิสระ (Free - standing Group)

การทรุดตัวของกลุ่มเสาเข็มแนวดิ่งโดยรองรับน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นตามที่กำหนดให้ อาจจะแตกต่างจากการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวรับน้ำหนักเท่า ๆ กัน ในทำนองเดียวกันน้ำหนักประลัยที่กลุ่มเสาเข็มสามารถรองรับได้ไม่จำเป็นต้องเท่ากับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มเดี่ยว คูณด้วยจำนวนเสาเข็มในกลุ่ม พฤติกรรมเช่นนี้รวมทั้งกลไกของความสัมพันธ์เกี่ยวข้องระหว่างเสาเข็มที่อยู่ต่อเนื่องกัน เรียกว่า การกระทำของกลุ่ม (Group Action) ดังกล่าวมีความสำคัญในกรณีของเสาเข็มแรงเสียดทานในดินเหนียว อาจจะไม่สำคัญสำหรับเสาเข็มรองรับน้ำหนักที่ปลายในดินทรายแน่นหรือกรวด และไม่มีค่าเลยในกรณีที่เสาเข็มตอกลงถึงชั้นหิน

เพื่อความสะดวกจะอ้างอิงถึงกลุ่มเสาเข็มด้วยประสิทธิภาพและอัตราส่วนการทรุดตัว ทั้งนี้เนื่องจากค่าดังกล่าวนี้เป็นดัชนีแสดงความเกี่ยวข้องสัมพันธ์เนื่องจากการกระทำของกลุ่ม โดยประสิทธิภาพหมายถึงอัตราส่วนของน้ำหนักกระทำต่อต้นเมื่อเกิดการวิบัติของกลุ่มเสาเข็ม ต่อน้ำหนักกระทำที่จุดวิบัติของเสาเข็มเดี่ยว

ก. กลุ่มเสาเข็มในดินเหนียว

กรณีที่กลุ่มเสาเข็มแนวดิ่งรองรับคานครอบแข็งเกร็ง โดยมีน้ำหนักกระทำอยู่กลางคานครอบ เสาเข็มแต่ละต้นจะทรุดตัวเท่า ๆ กัน และโดยทั่วไปมักสมมติว่าเสาเข็มแต่ละต้นรับน้ำหนักเท่า ๆ กัน อย่างไรก็ตามจากการทดสอบพบว่าความต้านทานของเสาเข็มที่ระยะห่างตามปกติจะไม่เท่ากัน

รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวคูณสมรรถนะรับน้ำหนัก , N_c และ d/B

ได้มีการทดสอบกลุ่มเสาเข็มยื่นอิสระในดินเหนียว จำนวน 9 ต้น จัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผลการกระจายน้ำหนักดังแสดงในรูปที่ 4

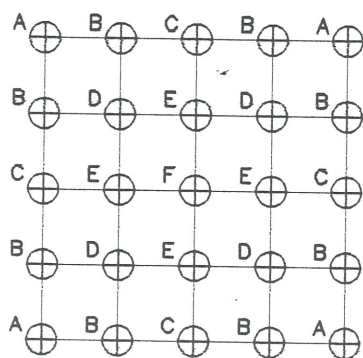
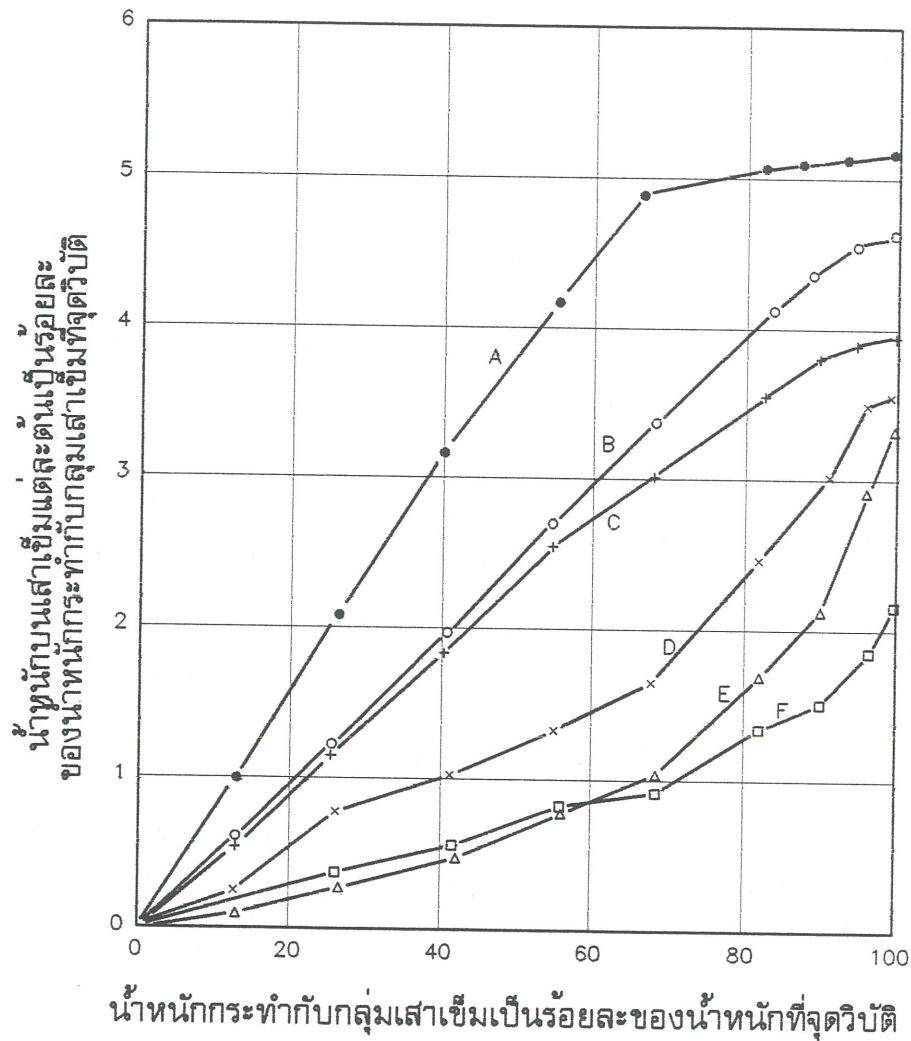
รูปที่ 5 แสดงการกระจายน้ำหนักของกลุ่มเสาเข็มสี่เหลี่ยมจัตุรัส จำนวน 25 ต้น โดยมีระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากับ 2d

จากการทดสอบเข็มกลุ่มยื่นอิสระ (Free - standing Groups) ในดินเหนียวสม่ำเสมอพบว่าการวิบัติอยู่ 2 อย่างคือ การวิบัติแบบกล่อง (Block Failure) และการวิบัติจากการกดยุบของเสาเข็มแต่ละต้น สำหรับกลุ่มเสาเข็มด้วยจำนวนเสาเข็มและความยาวที่กำหนดให้ จะมีค่าวิกฤติของระยะห่างของเสาเข็ม ซึ่งทำให้กลไกของการวิบัติเปลี่ยนไป

สำหรับระยะห่างที่น้อยกว่าค่าวิกฤติจะเกิดขึ้นจากการเกิดการเลื่อนไถลในระนาบตั้งที่ต่อเสาเข็มรอบนอก กล่องของดินเหนียวที่ถูกครอบโดยระนาบเลื่อนไถล จะจมลงไปพร้อมกับเสาเข็มโดยสัมผัสกับผิวทั่วไปของดินเหนียว สำหรับระยะห่างของเสาเข็มที่มากกว่านั้นจะเกิดการวิบัติจากการฝังจมของเสาเข็มเฉพาะที่ (Local Penetration of Piles) ลงในดินเหนียว

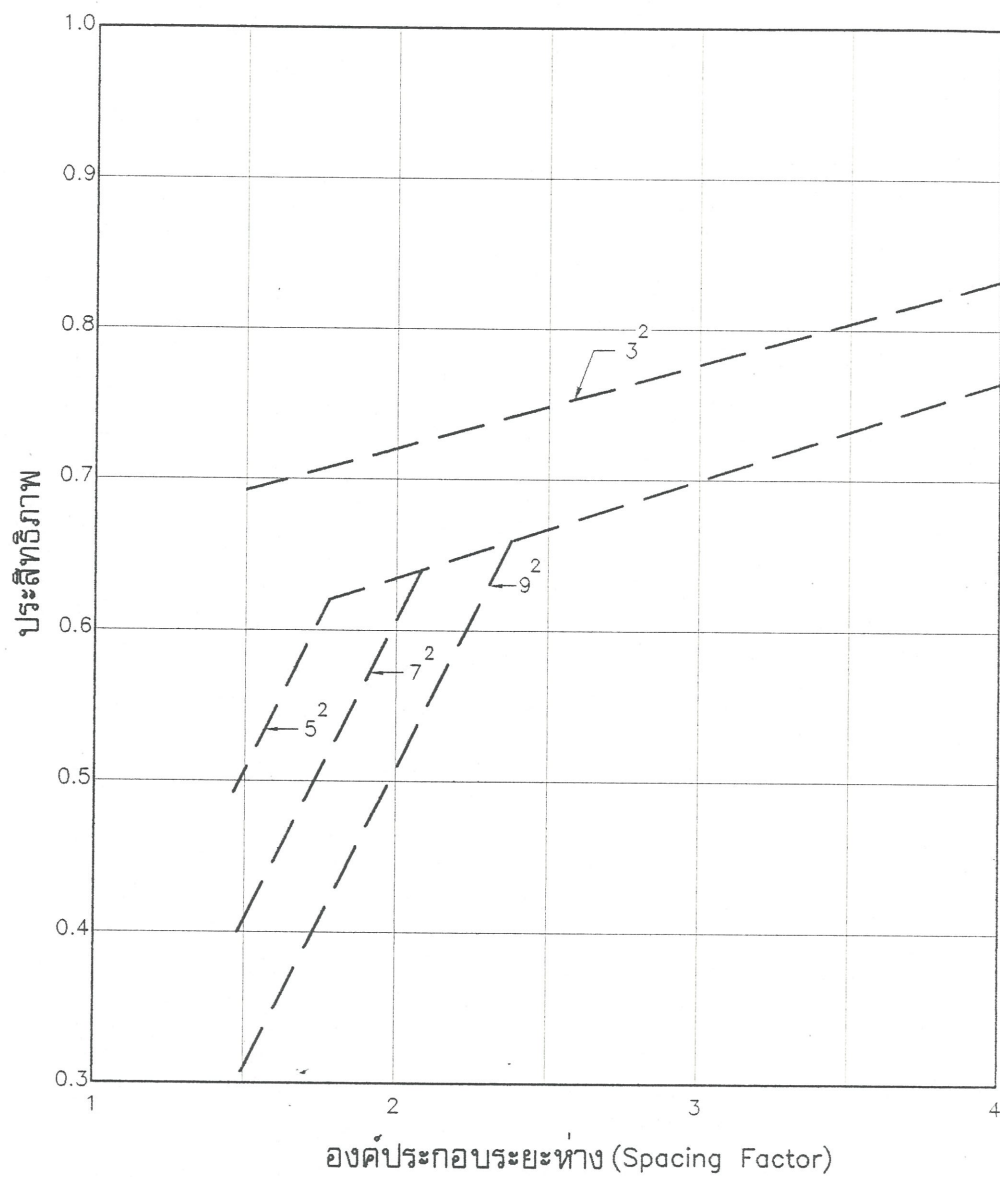
รูปที่ 6 แสดงประสิทธิภาพและองค์ประกอบระยะห่าง (Spacing Factor) ของเสาเข็มกลุ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัสของเสาเข็มยื่นอิสระฝังจมในดินเหนียวด้วยระยะเท่ากับ 48d องค์ประกอบระยะห่างเป็นอัตราส่วนของระยะห่างเสาเข็ม (ศูนย์กลางถึงศูนย์กลาง) ต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม ประสิทธิภาพ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยต่อเสาเข็มหนึ่งต้นเมื่อกลุ่มเสาเข็มเกิดวิบัติต่อน้ำหนักที่จุดวิบัติของเสาเข็มเดี่ยว จะเห็นได้จากรูปที่ 6 ว่าความลาดชันของเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและองค์ประกอบระยะห่างจะเปลี่ยนอย่างกระทันหันที่ค่าวิกฤติของระยะห่าง ยิ่งเส้นมีความลาดมากเท่าใดในบริเวณที่ค่าองค์ประกอบระยะห่างน้อยกว่าค่าวิกฤติจะแทนสถานะของการวิบัติแบบกล่อง เมื่อคานครอบบนผิวของดินเพื่อเปลี่ยนกลุ่มเสาเข็มเป็นฐานรากบนเสาเข็ม ถ้าคานครอบไม่ใหญ่กว่าริมนอกของกลุ่มเสาเข็มในกรณีที่กลุ่มเสาเข็มมีองค์ประกอบระยะห่างน้อยกว่าค่าวิกฤติคานครอบไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ สำหรับระยะห่างมากกว่าค่าวิกฤติ เส้นของประสิทธิภาพและองค์ประกอบของระยะห่างสำหรับฐานรากบนเสาเข็มจะเป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นส่วนต่อของเส้นที่แทนการวิบัติแบบกล่อง แสดงในรูปที่ 7 อย่างที่คานครอบทำให้เกิดการวิบัติแบบกล่อง ซึ่งจะไม่เกิดขึ้นในลักษณะนั้นถ้าเป็นเสาเข็มยื่นอิสระ



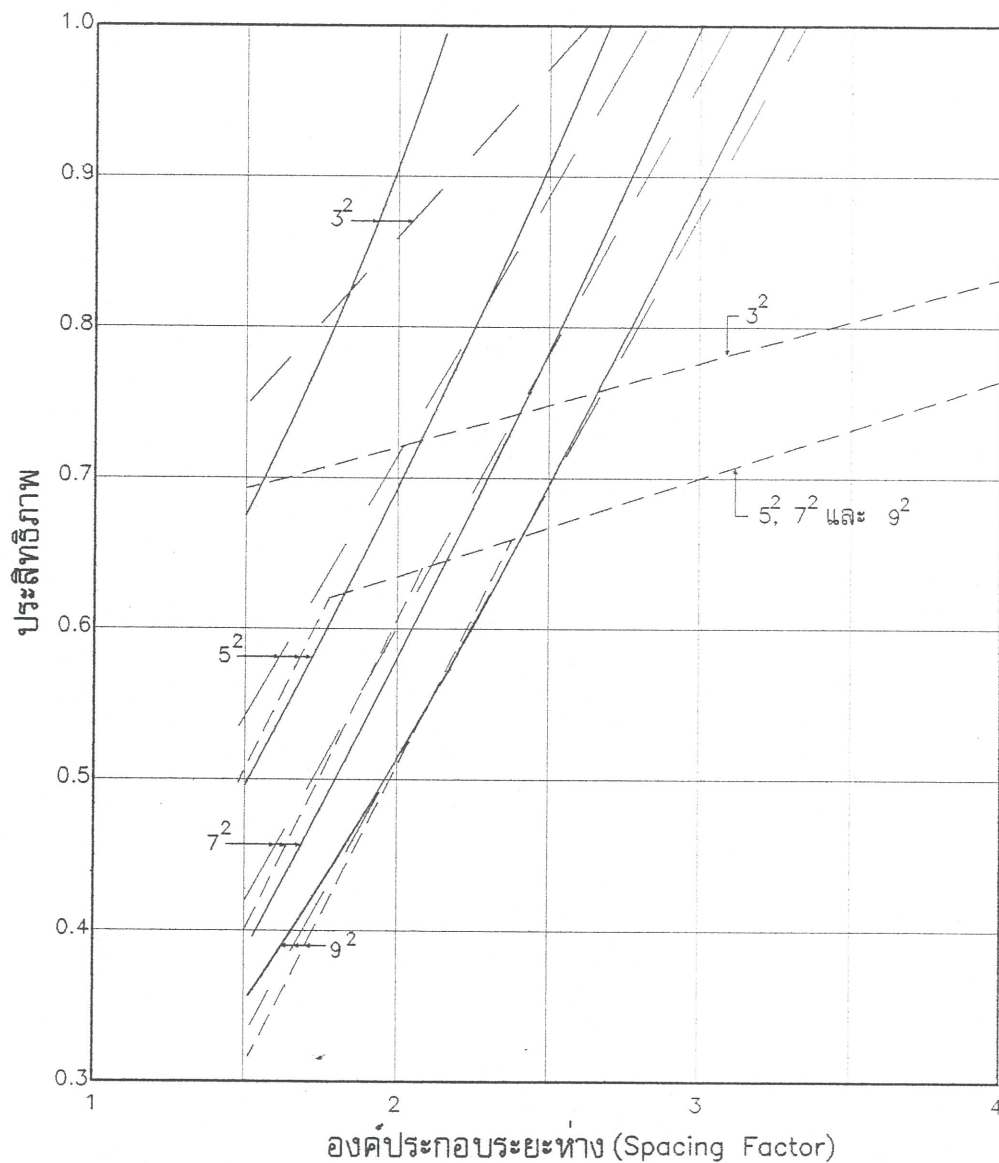


- เกลียวสำหรับเสาเข็ม A
- เกลียวสำหรับเสาเข็ม B
- +—+ เกลียวสำหรับเสาเข็ม C
- ×—× เกลียวสำหรับเสาเข็ม D
- △—△ เกลียวสำหรับเสาเข็ม E
- เกลียวสำหรับเสาเข็ม F

รูปที่ 5 การกระจายน้ำหนักกระทำระหว่างเสาเข็มของกลุ่มเสาเข็มสี่เหลี่ยมจัตุรัส 25 ต้น ระยะห่างระหว่างเสาเท่ากับ 2d



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพและองค์ประกอบระยะห่าง , เป็นผลการทดสอบ กลุ่มเสาเข็มประเภทเสายืนอิสระ มีระยะฝังจมในดินเหนียว 48d



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพของกลุ่มเสาเข็มจากการคำนวณ เปรียบเทียบกับ ผลของการทดสอบสำหรับเสาเข็มฝังจมในดินเหนียว 48d เส้น ประสิทธิภาพผลการทดสอบของกลุ่มเสาเข็มยื่นอิสระ, เส้นประทาง แทนผลการทดสอบของฐานรากบนเสาเข็ม, เส้นทึบแทนค่าจาก การคำนวณสำหรับฐานรากบนเสาเข็ม เมื่อเกิดการวิบัติแบบกลอง

เมื่อเกิดการวิบัติแบบกลิ้งในดินเหนียว แรงต้านการวิบัติคือกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวบนผิวรับแรงเฉือนประกอบขึ้นเป็นด้านข้างของกลิ้ง และความต้านทานของฐานของกลิ้งกับการวิบัติรองรับ (Bearing Failure)

ในกรณีของเสาเข็มกลุ่มเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เส้นที่ประกอบเป็นเส้นขอบของกลุ่มคือ $4[(m-1)Kd + \pi d / 4]$ ดังนั้นพื้นที่ของผิวรับแรงเฉือนแนวดิ่งก่อเป็นรูปกลิ้งคือ $4L[(m-1)Kd + Kd + d]$ และพื้นที่ของฐานคือ $[(m-1)Kd + d]^2$ โดยที่

- d = เส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม
- k = องค์ประกอบระยะห่าง (Spacing Factor)
- L = ความยาวของเสาเข็ม
- m = จำนวนเสาเข็มในด้านของกลุ่มเสาเข็มรูปจัตุรัส

ถ้าสมมติว่าความต้านทานสูงสุดที่ขอบนอกและที่ฐานเกิดขึ้นพร้อมกัน ดังนั้นแล้วน้ำหนักวิบัติของกลุ่มแสดงโดย $4\bar{C}L[(m-1)Kd + d] + C_b N_c [(m-1)Kd + d]^2$.

โดยที่

- $\bar{C}$ = กำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียว บนผิวแนวดิ่งของกลิ้ง
- C_b = กำลังรับแรงเฉือนที่ฐานของกลิ้ง
- N_c = ตัวคูณสมรรถนะรองรับน้ำหนักสำหรับฐานของกลิ้ง

ค่า N_c จะแปรผันตามอัตราส่วน ความลึก/ความกว้าง ของกลิ้งแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3

ค่า N_c และอัตราส่วนความลึก/ความกว้าง

อัตราส่วน ความลึก/ความกว้าง	N_c
1.5	8.4
2.0	8.6
3.0	9.1
4.0	9.3
> 4.0	9.3

สูตรที่ใช้คำนวณประสิทธิภาพของกลุ่มเสาเข็ม รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า จำนวนเสาเข็ม $m \times n$ ต้น คือ

$$E = 1 - \frac{\theta}{90} \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \right)$$

โดยที่

E = ประสิทธิภาพ

m = จำนวนแถว

n = จำนวนเสาเข็มในแถว

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม

s = ระยะห่างของเสาเข็ม กึ่งกลางถึงกึ่งกลาง

θ = $\tan^{-1} d/s$ ตาม Uniform Building Code of the Pacific Coast Building Officials Conference

หรือ θ = $\tan^{-1} d/2s$ ตามภาคผนวก ก ของ Rules and Regulations of the State of California Division of Architecture

วิธีการออกแบบในเชิงปฏิบัติอันเป็นที่ยอมรับมากที่สุดสำหรับสมรรถนะรองรับประลัยของฐานรากบนเสาเข็มในดินเหนียว คือ การหาค่าที่ได้จากการสมมติการวิบัติเป็นกล่อง หรือเท่า กับจำนวนเสาเข็มคูณด้วยสมรรถนะรองรับต่อต้น โดยใช้ค่าที่น้อยกว่า ถ้ากลุ่มเสาเข็มเป็นแบบยื่นอิสระ ควรใช้สัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ จากรูปที่ 6 สำหรับกลุ่มซึ่งองค์ประกอบระยะห่างมากกว่าค่าวิกฤติของกลุ่มเสาเข็ม เมื่อการวิบัติแบบกล่องมีข้อบังคับประกอบจำกัด

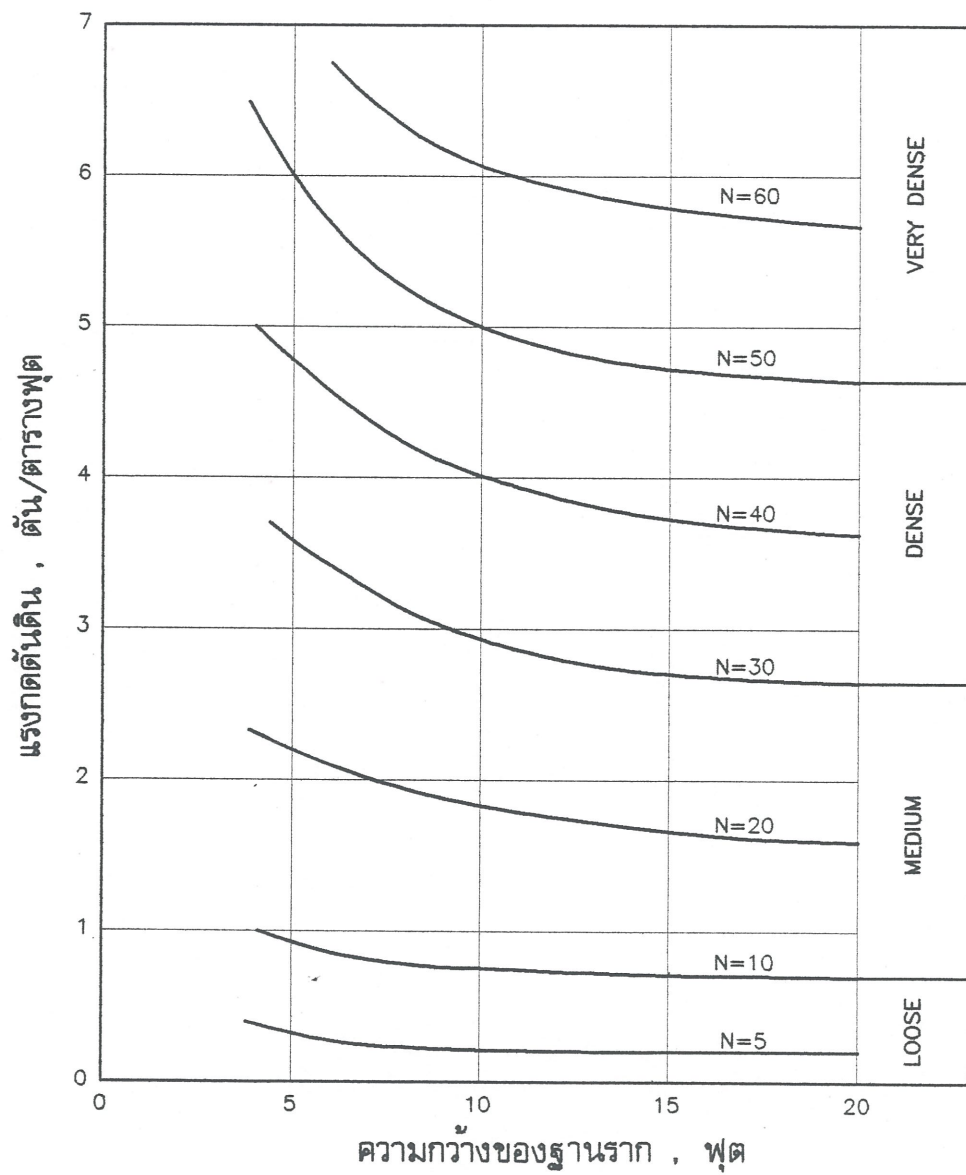
ข) กลุ่มเสาเข็มในดินทราย

การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของดินทรายภายในหรือรอบกลุ่มของเสาเข็มแทนที่ดิน (Displacement Piles) และการเปลี่ยนแปลงที่ตามมาคือความต้านทานแรงเฉือนก่อเป็นรูปลักษณะในการพิจารณาพฤติกรรมของกลุ่มเสาเข็มในดินทราย เมื่อตอกเสาเข็มลงไปจะทำให้ทรายแน่น ประสิทธิภาพของกลุ่มเสาเข็มยื่นอิสระ โดยทั่วไปจะเกิน 1.0 และในบางสถานะอาจถึง 3.0 หรือสูงกว่านั้น ในดินทรายที่แน่นมากการตอกเสาเข็มอาจทำให้ดินหลวม ประสิทธิภาพอาจต่ำกว่า 1.0 จากการทดลองพบว่าการวิบัติแบบกล่องเกิดขึ้นในกลุ่มเสาเข็มยื่นอิสระ เมื่อระยะห่างของเสาเข็มชิดกันมาก และการวิบัติโดยการฝังจมของเสาเข็มแต่ละต้นเกิดขึ้นเมื่อเสาเข็มห่างกันมากในลักษณะเช่นเดียวกับกลุ่มเสาเข็มยื่นอิสระในดินเหนียว

การกระจายของน้ำหนักในระหว่างเสาเข็มแนวดิ่งในกลุ่ม ในดินทราย ได้มีการพิจารณาทั้งในการทดสอบเต็มมิติและการทดสอบโดยแบบจำลอง ได้ผลตรงกันโดยทั่วไปว่า เสาเข็มต้นกลางรับน้ำหนักมากที่สุด และเสาเข็มที่มุมรับน้ำหนักน้อยที่สุด

โดยมากแล้วเสาเข็มไม่ได้อยู่ในดินทรายทั้งหมด โดยทั่วไปจะตอกเสาเข็มผ่านชั้นวัสดุอ่อนและไปหยุดที่ชั้นทรายหรือกรวด สมรรถนะรองรับประลัยของกลุ่มเสาเข็มสำหรับวัตถุประสงค์การออกแบบจะเท่ากับสมรรถนะรองรับประลัยของเสาเข็มเดี่ยวคูณด้วยจำนวนเสาเข็มในกลุ่มนั้น หรือสมรรถนะรองรับของพื้นที่ครอบคลุมเส้นเกิดเป็นเส้นขอบของกลุ่มที่ระดับของปลายเสาเข็ม โดยใช้ค่าที่น้อยกว่า ทั้งนี้จะต้องไม่มีชั้นดินอ่อนรองรับอยู่ข้างล่าง

การทรุดตัวของกลุ่มเสาเข็มเกิดขึ้นจากการกดยุบ (Compression) ของวัสดุที่อยู่ใต้ชั้นที่ถูกทำให้แน่นถัดจากปลายเสาเข็มลงไป ซึ่งยังคงมีความหนาแน่นเดิม ทั้งนี้ต้องหาค่า Standard Penetration N การทรุดตัวของกลุ่มเสาเข็มไม่น่าจะเกินฐานรากแผ่ (Raft Foundation) ด้วยขนาดพื้นที่เท่ากับกลุ่มเสาเข็มบนชั้นดินที่มีความหนาแน่นเท่ากัน และมีแรงกดเท่ากัน การออกแบบอาจตรวจสอบได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดต้นบนดิน, ความกว้างฐานราก และค่า N ในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แรงกดดินที่ทำให้เกิดการทรุดตัว 1 นิ้ว (25.4 มม.) สำหรับฐานรากที่มีความกว้างแตกต่างกันไป ด้วยค่า N ที่แตกต่างกัน

บันทึกวิชาการฉบับที่ 18

ความเหมาะสมของน้ำหนัก
รถสิบล้อ 21 หรือ 28 ตัน
ในด้านวิศวกรรมทางหลวง

บันทึกวิชาการฉบับที่ 18

ความเหมาะสมของน้ำหนักรถ

สิบล้อ 21 หรือ 28 ตัน

ในด้านวิศวกรรมทางหลวง

สารบัญ

	หน้า
1. น้ำหนักรถบรรทุกบนทางหลวง	1
2. การศึกษาสภาพผิวทางและสภาพการจราจร (น้ำหนักรถ) ในต่างประเทศ	13
3. การประเมินการทำลายผิวทางของรถบรรทุกต่าง ๆ	20

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1	:	รถบรรทุก 4 ล้อ ยางเดี่ยว 4 ล้อ น้ำหนักบรรทุกน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 8,5000 กิโลกรัม	3
รูปที่ 2	:	รถบรรทุก 2 เพลา เพลาหน้ายางเดี่ยว เพลาหลังยางคู่ เรียกกันทั่วไปว่า รถบรรทุก 6 ล้อ น้ำหนักบรรทุกน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 12,000 กิโลกรัม	4
รูปที่ 3	:	รถบรรทุก 2 เพลา เพลาหน้าเดี่ยว ยางเดี่ยว เพลาหลังยางคู่ (Tandem Axle) ยางเดี่ยว รวม 6 ล้อ น้ำหนักบรรทุกน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 15,300 กิโลกรัม	5
รูปที่ 4	:	รถบรรทุก 2 เพลา เพลาหน้าเดี่ยว ยางเดี่ยว เพลาหลังเพลาคู่ยางคู่ รวม 10 ล้อ น้ำหนักบรรทุกน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 21,000 กิโลกรัม	6
รูปที่ 5	:	รถบรรทุก 3 เพลา รวม 6 ล้อ น้ำหนักบรรทุกน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 10,500 กก.	7
รูปที่ 6	:	รถบรรทุก 3 เพลา รวม 8 ล้อ น้ำหนักบรรทุกน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 14,000 กก.	8
รูปที่ 7	:	รถบรรทุก 3 เพลา เพลาหลังเป็นเพลาคู่ ยางเดี่ยว จำนวน 8 ล้อ น้ำหนักบรรทุกน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 18,800 กิโลกรัม	9
รูปที่ 8	:	รถบรรทุก 3 เพลาหลังเป็นเพลาคู่ ยางคู่ จำนวน 12 ล้อ น้ำหนักบรรทุกน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 25,200 กิโลกรัม	10
รูปที่ 9	:	รถกึ่งพ่วง (Semi - trailer) จำนวน 18 ล้อ น้ำหนักบรรทุกน้ำหนักบรรทุก 37,400 กิโลกรัม	11
รูปที่ 10	:	รถพ่วง จำนวน 18 ล้อ น้ำหนักบรรทุกน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 39,200 กิโลกรัม	12
รูปที่ 11	:	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของผิวทาง, น้ำหนักเพลาและจำนวนน้ำหนักเพลาที่กระทำซ้ำ ๆ กัน สำหรับ PSI เท่ากับ 1.5	15
รูปที่ 12	:	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเพลา และตัวคูณเทียบเท่า เมื่อ Present Serviceability Index = 2.0	16
รูปที่ 13	:	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเพลาและตัวคูณเทียบเท่า เมื่อ Present Serviceability Index = 2.5	17
รูปที่ 14	:	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเพลาและตัวคูณเทียบเท่า	18
รูปที่ 15	:	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเพลาและตัวคูณเทียบเท่า โดยน้ำหนักเพลาเริ่มตั้งแต่ประมาณ 5 เมตริกตันขึ้นไป	19
รูปที่ 16	:	ผลการทำลายผิวทางของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ	21
รูปที่ 17	:	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถ 10 ล้อ และตัวคูณเทียบเท่าเพลามาตรฐาน 8,160 กก.	22

คำนำ

เนื่องจากได้มีข้อถกเถียงเรื่องน้ำหนักรถบรรทุก ซึ่งส่วนใหญ่ในประเทศไทยใช้รถสิบล้อเป็นหลัก น้ำหนักรถรวมน้ำหนักบรรทุกสำหรับสิบล้อตามกฎหมาย ไม่เกิน 21 เมตริกตัน การบรรทุกน้ำหนักของรถสิบล้อเป็นที่รู้สึว่าเกินกว่าที่กฎหมายกำหนดมาเป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 30 ปี นับจากมีการใช้รถสิบล้อเป็นรถบรรทุกเนื่องจากมีล้อช่วยกระจายน้ำหนักยังล้อต่าง ๆ ลงบนผิวถนน ปัจจุบันได้มีความพยายามที่จะเพิ่มขีดจำกัดน้ำหนักดังกล่าวเป็น 28 เมตริกตัน ก่อนหน้านั้นนานมาแล้วก็มีความพยายามที่จะเพิ่มขีดจำกัดดังกล่าว และก็คงจะมีอีกต่อ ๆ ไปในอนาคต ถ้าปัจจุบันความพยายามดังกล่าวยังไม่สำเร็จ

เป็นที่ทราบกันดี ไม่ว่าใครก็ตามสามารถกล่าวได้ว่า ในเชิงคุณภาพ (Qualitative Term) รถบรรทุกหนักเกินทำลายถนน แต่ถ้าจะกล่าวในเชิงปริมาณ (Quantitative Term) ว่าทำลายเท่าใดด้วยขนาดเป็นปริมาณเท่าใด คิดเป็นต้นทุนค่าบำรุงรักษาเพื่อคงสภาพ (Preventive Maintenance) เท่าไรแล้ว ก็ยากที่จะตอบได้ แม้แต่คนที่มืออาชีพวิศวกรรมโยธาก็ตาม

บทความนี้จะนำเสนอในเชิงปริมาณของผลการทำลาย (Damaging Effect) ของน้ำหนักล้อรถหรือเพลาต่อผิวถนนทั้งผิวลาดยาง และผิวคอนกรีต ทั้งนี้เป็นผลการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกา อย่างไรก็ตาม สำหรับประเทศไทย ยังไม่มีการสำรวจ, ทดสอบและวิเคราะห์ในเรื่องนี้ ในเชิงปริมาณอย่างเป็นทางการแบบเดียวกับที่ดำเนินการไปแล้วในต่างประเทศ น่าที่จะมีการศึกษาในเรื่องนี้อย่างจริงจัง แม้จะต้องเสียเงินเพื่อการนี้เป็นร้อย ๆ ล้านบาทที่จะทำ เนื่องจากมีผลต่อเศรษฐกิจ, สังคม ความปลอดภัย ฯลฯ อย่างมากมาย ซึ่งต้องทราบผลต่าง ๆ อย่างแน่ชัด ก่อนที่จะกำหนดขีดจำกัดใด ๆ ขึ้นมา