

บันทึกวิชาการฉบับที่ 8

Pile Capacity จาก Pile Driving Record

บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด

บันทึกวิชาการฉบับที่ 8

Pile Capacity จาก Pile Driving Record

สารบัญ

	หน้า
1. คำนำ	1
2. Hiley Formula	1
3. สรุป	3
ตารางที่ 1 : Ultimate Load Carrying Capacity of Pile, Tons เสาเข็มคอนกรีต 0.20 x 0.20 ม. ลูกตุ้มหนัก 2.0 ตัน	4
ตารางที่ 2 : Ultimate Load Carrying Capacity of Pile, Tons เสาเข็มคอนกรีต 0.25 x 0.25 ม. ลูกตุ้มหนัก 2.0 ตัน	5
ตารางที่ 3 : Ultimate Load Carrying Capacity of Pile, Tons เสาเข็มคอนกรีต 0.30 x 0.30 ม. ลูกตุ้มหนัก 2.5 ตัน	6
รูปที่ 1 : ความสัมพันธ์ระหว่าง Ultimate Load Carrying Capacity และการฝังจมของเสาเข็ม (Penetration) เสาเข็มคอนกรีตหน้าตัด 0.20 x 0.20 ม. ลูกตุ้มหนัก 2.0 ตัน ยกสูง 100 ซม.	7
รูปที่ 2 : ความสัมพันธ์ระหว่าง Ultimate Load Carrying Capacity และการฝังจมของเสาเข็ม (Penetration) เสาเข็มคอนกรีตหน้าตัด 0.25 x 0.25 ม. ลูกตุ้มหนัก 2.0 ตัน ยกสูง 100 ซม.	8
รูปที่ 3 : ความสัมพันธ์ระหว่าง Ultimate Load Carrying Capacity และการฝังจมของเสาเข็ม (Penetration) เสาเข็มคอนกรีตหน้าตัด 0.30 x 0.30 ม. ลูกตุ้มหนัก 2.5 ตัน ยกสูง 200 ซม.	9

คำนำ

ในงานควบคุมการก่อสร้าง ซึ่งบริษัทที่ปรึกษาเข้าไปรับผิดชอบด้านควบคุมการก่อสร้าง (Construction Supervision) หรือ บริหารงานก่อสร้าง (Construction Management) ก็ตาม ปัญหาที่พบในเริ่มแรกของการทำงานก็คืองานฐานราก โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และรวมถึงบริเวณอื่น ๆ ของประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็น Piled Foundation ปัญหาที่ถกเถียงกันเสมอระหว่างผู้รับเหมาและผู้ควบคุมงาน คือ ความยาวของเสาเข็มที่เหมาะสมและเพียงพอต่อน้ำหนักกระทำ ในเบื้องต้นของรูปแบบประกอบสัญญา (Contract Drawings) ที่สมบูรณ์ จะกำหนดระดับปลายเสาเข็ม (Pile Tip Elevation) โดยคำนวณจากคุณสมบัติของดินจากการเจาะสำรวจและทดสอบ และคำนวณสมรรถนะรองรับจากสูตรสถิตยศาสตร์ (Static Formula) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดิน และความสามารถรองรับน้ำหนักได้ของเสาเข็ม อย่างไรก็ตาม การกำหนดระดับปลายเข็มเป็นเพียงประมาณการเพื่อประโยชน์ในการคำนวณ ปริมาณงานก่อสร้าง คือ ความยาวเสาเข็มทั้งสิ้นที่ต้องใช้ในโครงการ ในขณะที่ก่อสร้างจำเป็นต้องพิจารณาความยาวเสาเข็มที่เหมาะสมจากการประเมินการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่น่าจะถูกต้องและเชื่อถือได้มากที่สุดก็คือ การทดสอบรับน้ำหนักของเสาเข็ม (Pile Load Test) แต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก และไม่สามารถทำได้ทั่วถึงตลอด ดังนั้นหนทางที่จะประเมินสมรรถนะรองรับน้ำหนักได้ของเสาเข็มจึงน่าจะมาจาก Pile Driving Record โดยใช้สูตรคำนวณ และถ้านำไปสัมพันธ์กับ Pile Load Test ก็น่าจะได้อายุที่สมบูรณต่อการประเมินสมรรถนะรองรับน้ำหนักของเสาเข็มได้อย่างกว้างขวางและมั่นใจยิ่งขึ้น

ด้วยเหตุดังกล่าวข้างต้น ฝ่ายวิศวกรรมทางหลวงจึงได้จัดเตรียมตารางแสดง Ultimate Capacity ของเสาเข็มขนาดต่าง ๆ และน้ำหนักของลูกตุ้มปั้นจั่น ระยะยกลูกตุ้ม ฯลฯ เพื่อประโยชน์ใช้สอยของงานบริษัท โดยเฉพาะงานควบคุมการก่อสร้าง

Pile Capacity จาก Pile Driving Record

1. คำนำ

วิศวกรมีความคิดริเริ่มที่จะพิจารณาสมรรถนะรองรับ (Bearing Capacity) ของเสาเข็มจากบันทึกการตอกมาเป็นเวลากว่าร้อยปี โดยเริ่มแรกนั้นก็คือ การกำหนดให้พลังงานของลูกตุ้มที่กระทบหัวเสาเข็มเท่ากับงานที่ต้องสูญเสียไปในการตอกเสาเข็ม นั่นคือ

	WH	=	RS+Z
โดยที่	W	=	น้ำหนักของลูกตุ้มบั่นจั่น
	H	=	ความสูงของลูกตุ้มเหนือหัวเสาเข็ม
	R	=	ความต้านทานประลัยของดินต่อการฝังจมของเสาเข็ม
	S	=	การฝังจมของเสาเข็มในดินต่อการตอกหนึ่งครั้ง
	Z	=	ผลรวมของการสูญเสียพลังงานทั้งหมด เนื่องจากสาเหตุใด ๆ ที่จะมี

ความยุ่งยากในเชิงปฏิบัติจะอยู่ที่การพิจารณาค่า Z เนื่องจากมีสาเหตุการสูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมาก ขณะตอกเสาเข็ม อาทิเช่น การอัดตัวของดินเป็นการชั่วคราว การอัดตัวของเสาเข็มเป็นการชั่วคราว ฯลฯ

2. Hiley Formula

Hiley Formula มีรูปแบบดังนี้

	R	=	$\frac{k WH}{S + \frac{C}{2}}$
โดยที่	R	=	ความต้านทานประลัยของดินต่อการฝังจมของเสาเข็ม
	W	=	น้ำหนักของลูกตุ้ม บั่นจั่น
	H	=	ความสูงของลูกตุ้มเหนือหัวเสาเข็ม
	S	=	การฝังจมของเสาเข็มในดินต่อการตอกหนึ่งครั้ง
	K	=	สัมประสิทธิ์ มีค่าน้อยกว่า 1.0 ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพ ของการตอกหนึ่งครั้ง นั่นคือสัดส่วนของพลังงานเริ่มต้น (WH) ที่ส่งผ่านไปยังเสาเข็ม
	C	=	$C_1 + C_2 + C_3$ แทนการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการอัดตัวชั่วคราวของปลอกกรองหัวเสาเข็ม (C_1), เสาเข็ม (C_2) และดิน (C_3)

ค่า k จะแปรเปลี่ยนระหว่าง 0.15 สำหรับเสาะเข็มขนาดใหญ่ (หนัก), ลูกตุ้มเบาและหมอนรองหัวเข็มเป็นไม้อ่อน (Fresh Wood Cushion) และ 0.68 สำหรับเสาะเข็มขนาดเล็ก (เบา), ลูกตุ้มหนักและหมอนรองหัวเสาะเข็มอัดแน่นอย่างดี (Well-compacted Old Cushion) ซึ่งค่าดังกล่าวได้รวมประสิทธิภาพเครื่องจักร (Equipment Efficiency) ไว้แล้ว

ในการคำนวณ Ultimate Capacity ของเสาะเข็ม โดยใช้ Hiley Formula จะใช้สูตรดังนี้คือ

$$R = \frac{n Wh E}{S + \frac{C}{2}}$$

โดยที่

$$n = \text{ตัวคูณประสิทธิภาพ} = \frac{W + P \epsilon^2}{WP}$$

$$W = \text{น้ำหนักลูกตุ้มปั่นจั่น, ตัน}$$

$$P = \text{น้ำหนักเสาะเข็ม, ตัน}$$

$$\epsilon = \text{สัมประสิทธิ์ของหัวเสาะเข็มและหมอนรองหัวเสาะเข็ม (Cushion)}$$

$$= 0.25 \text{ สำหรับเสาะเข็มคอนกรีตใช้ขานอ้อยรองหัวเสาะเข็ม}$$

$$H = \text{ความสูงของลูกตุ้มเหนือหัวเสาะเข็ม, ซม.}$$

$$E = \text{ตัวคูณความสูญเสียของเครื่องจักรกล} = 0.75$$

$$C = \text{การอัดตัวชั่วคราว} = C_1 + C_2 + C_3$$

$$C_1 = \text{เสาะเข็มหดตัวสำหรับความยาว L} = \frac{10^5 RL}{AE_C} \text{ ซม.}$$

$$C_2 = \text{หมอนรองเสาะเข็มหดตัว} = 9.0128 \frac{R}{A}, \text{ ซม.}$$

$$C_3 = \text{ดินหดตัวได้และรอบเสาะเข็ม} = 0.25, \text{ ซม.}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดของเสาะเข็ม ซม}^2$$

$$E_C = \text{Modulus of Elasticity ของคอนกรีต} = 230,500 \text{ กก./ซม}^2$$

ดังนั้น

$$R = \frac{(W + \frac{0.0625P}{WP}) Wh (0.75)}{S + \frac{\frac{10^5 RL}{230,500 A} + \frac{9.0128 R}{A} + 0.25}{2}}$$

$$R = \frac{0.75 \frac{h}{P} (W + 0.0625 P)}{5 + \frac{0.217 RL}{A} + \frac{4.506 R}{A} + 0.125}$$

$$R = \frac{0.75 \frac{WhA}{P} + 0.047h A}{SA + 0.217 RL + 4.506 R + 0.125 A}$$

ตารางที่ 1, 2 และ 3 เป็นตารางแสดง Ultimate Load Carrying Capacity ของเสาเข็มขนาดหน้าตัด และลูกตุ้มปั่นจั่นตามที่ระบุในตารางสำหรับระยะฝังจม (Penetration) 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 และ 6.0 เซนติเมตร และได้แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวไว้ในรูปที่ 1, 2 และ 3 ทั้งนี้เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้สูตรข้างต้นคำนวณ

ตารางและรูปดังกล่าว แสดงเพื่อเป็นตัวอย่างของการใช้สูตรดังกล่าวประยุกต์เพื่อให้ภาพความสัมพันธ์ที่ได้จาก Pile Driving Record สำหรับเสาเข็มในลักษณะรูปตัดอื่น ๆ ก็คำนวณได้ในทำนองเดียวกัน ซึ่งต้องจัดเตรียมเป็นการเฉพาะสำหรับแต่ละงาน

3. สรุป

ทั้งหมดที่ได้กล่าวถึงเป็นการใช้สูตร Pile Driving Formula ของ Hiley เพื่อประเมิน Load Capacity ของเสาเข็ม โดยที่ไม่มีคุณสมบัติของดินฐานรากมาเกี่ยวข้องเลย ความเชื่อมั่นถึงค่าที่คำนวณได้ หมายถึง Calculated Load Capacity นั้น น่าจะมาจากการทำ Pile Load Test ซึ่งกระทำได้ไม่มากนัก เนื่องจากค่าทดสอบแต่ละต้นสูงมาก ไม่น่าจะต่ำกว่า 100,000 บาท ต่อ 1 ต้น ที่จะเป็นความก้าวหน้าไปอีกข้อหนึ่งก็คือความสัมพันธ์ระหว่าง Pile Load Test และ Pile Driving Record ในสภาพ Subsoil ต่าง ๆ กัน ซึ่งต้องใช้เวลารวบรวม และผู้ที่จะมีบทบาทในเรื่องนี้เป็นอย่างยิ่ง คือ บริษัทวิศวกรที่ปรึกษา

ตารางที่ 1

Ultimate Load Carrying Capacity of Pile, Tons

เสาเข็มคอนกรีต 0.20 x 0.20 ม.

ลูกตุ้มหนัก 2.0 ตัน

ความยาว เสาเข็ม (ม.)	น้ำหนัก เสาเข็ม (ตัน)	ความสูงลูกตุ้ม 100 ซม.					
		ระยะฝังจม/Blow ซม.					
		1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
8	0.768	82.8	64.0	51.0	41.9	35.2	30.3
9	0.864	75.9	58.2	46.1	37.7	31.6	27.2
10	0.960	70.1	53.4	42.1	34.3	28.7	24.6
11	1.056	65.2	49.3	38.7	31.4	26.3	22.5
12	1.152	61.0	45.9	35.9	29.1	24.3	20.8
13	1.248	57.4	42.9	33.4	27.0	22.6	19.3
14	1.344	54.2	40.3	31.3	25.3	21.1	18.0
15	1.440	51.3	38.0	29.5	23.7	19.8	16.9
16	1.536	48.8	36.0	27.8	22.4	18.6	15.9
17	1.632	46.5	34.2	26.4	21.2	17.6	15.0
18	1.728	44.4	32.6	25.1	20.1	16.7	14.2
19	1.824	42.6	31.1	23.9	19.2	15.9	13.5
20	1.920	40.8	29.8	22.8	18.3	15.2	12.9

ตารางที่ 2

Ultimate Load Carrying Capacity of Pile, Tons

เสาเข็มคอนกรีต 0.25 x 0.25 ม.

ลูกตุ้มหนัก 2.0 ตัน

ความยาว เสาเข็ม (ม.)	น้ำหนัก เสาเข็ม (ตัน)	ความสูงลูกตุ้ม 100 ซม.					
		ระยะฝังจม/Blow ซม.					
		1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
8	1.200	70.8	49.5	37.1	29.4	24.2	20.5
9	1.350	64.6	44.8	33.4	26.3	21.7	18.3
10	1.500	59.5	40.9	30.4	23.9	19.6	16.6
11	1.650	55.2	37.6	27.9	21.9	18.0	15.2
12	1.800	51.5	34.9	25.8	20.2	16.6	14.0
13	1.950	48.3	32.6	24.0	18.8	15.4	13.0
14	2.100	45.5	30.5	22.4	17.6	14.4	12.1
15	2.250	43.0	28.8	21.1	16.5	13.5	11.4
16	2.400	40.8	27.2	19.9	15.5	12.7	10.7
17	2.550	38.9	25.8	18.8	14.7	12.0	10.2
18	2.700	37.1	24.5	17.9	14.0	11.4	9.6
19	2.850	35.5	23.4	17.1	13.3	10.9	9.2
20	3.000	34.0	22.4	16.3	12.7	10.4	8.8

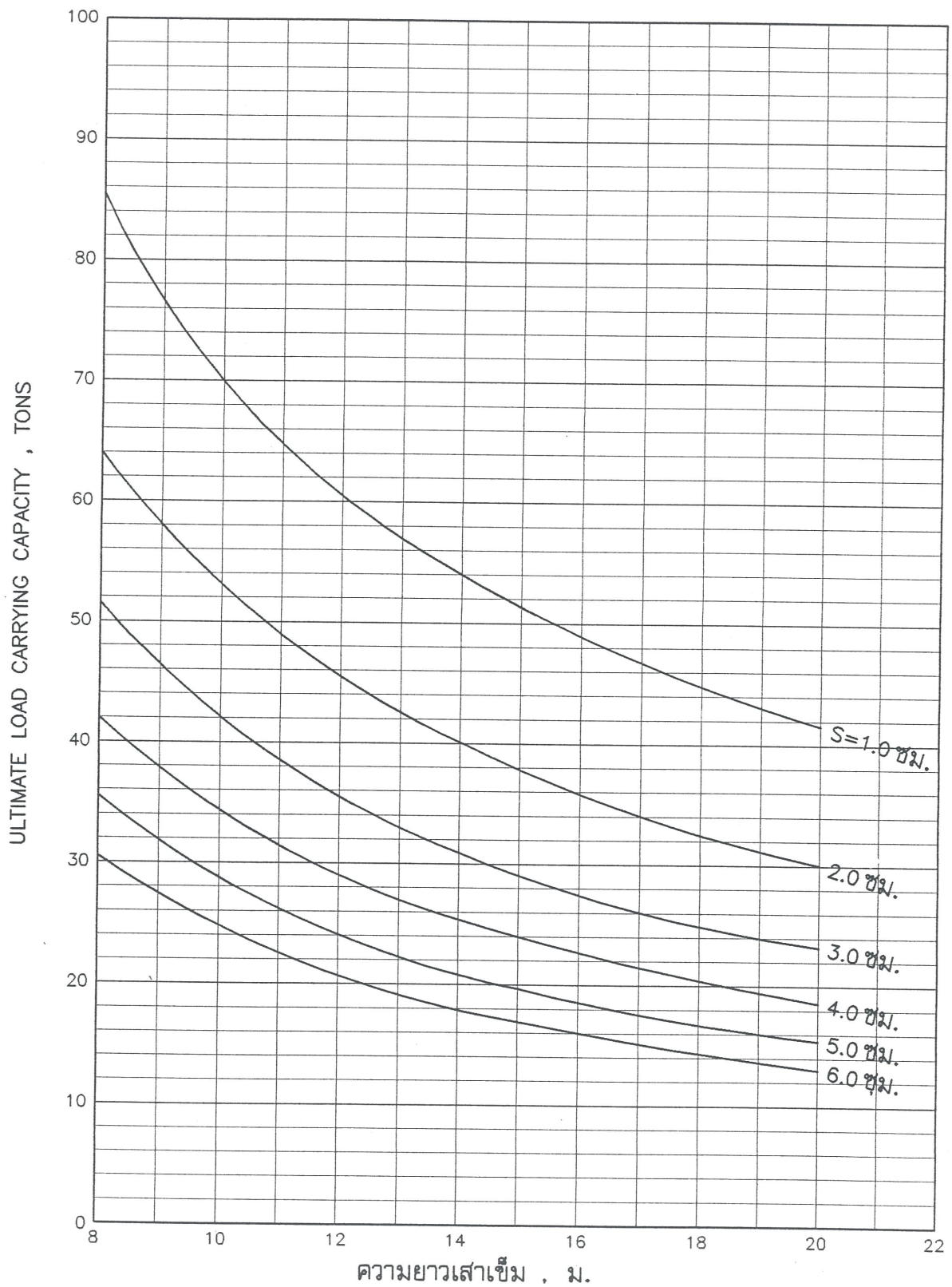
ตารางที่ 3

Ultimate Load Carrying Capacity of Pile, Tons

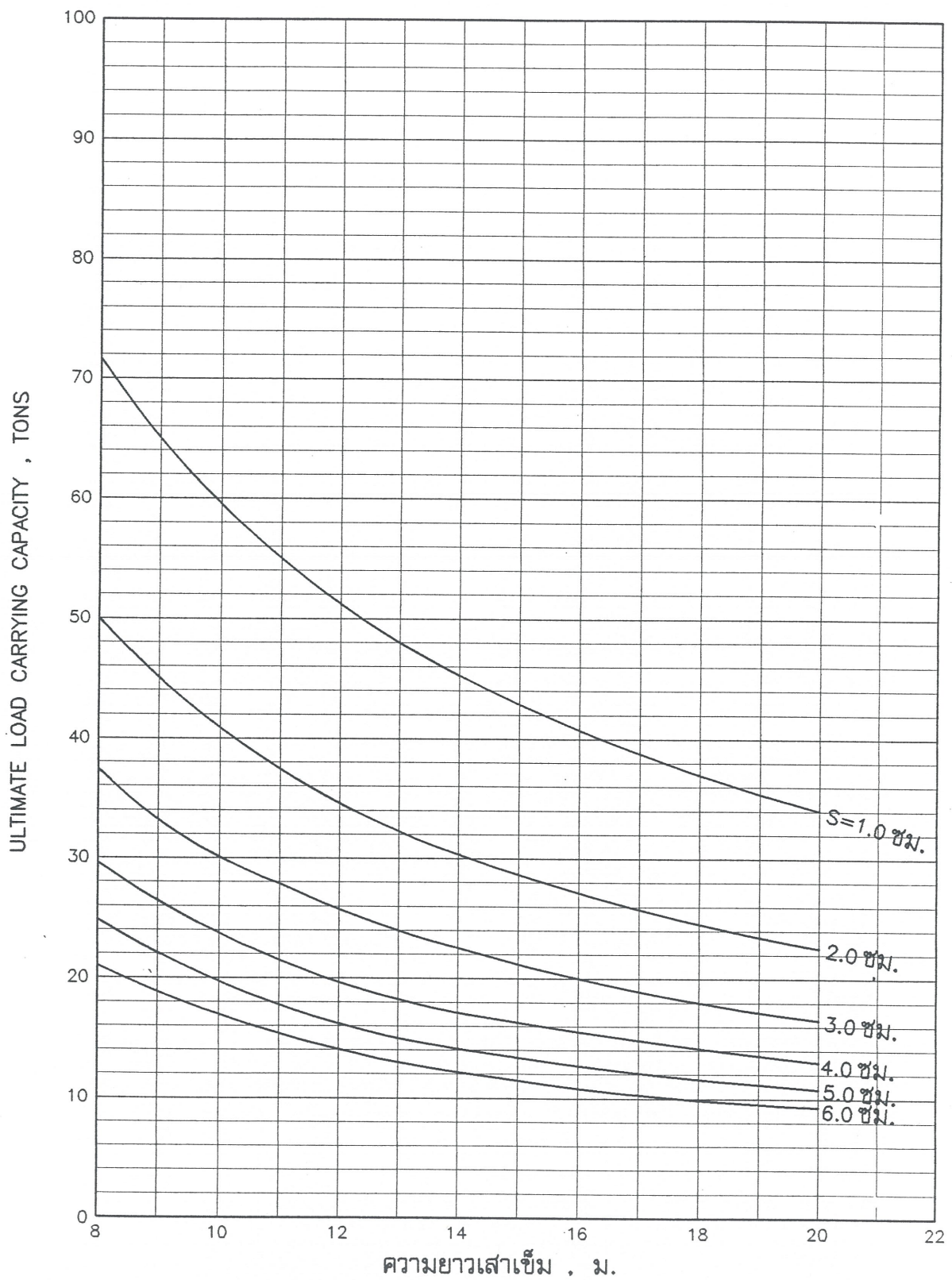
เสาเข็มคอนกรีต 0.30 x 0.30 ม.

ลูกตุ้มหนัก 2.5 ตัน

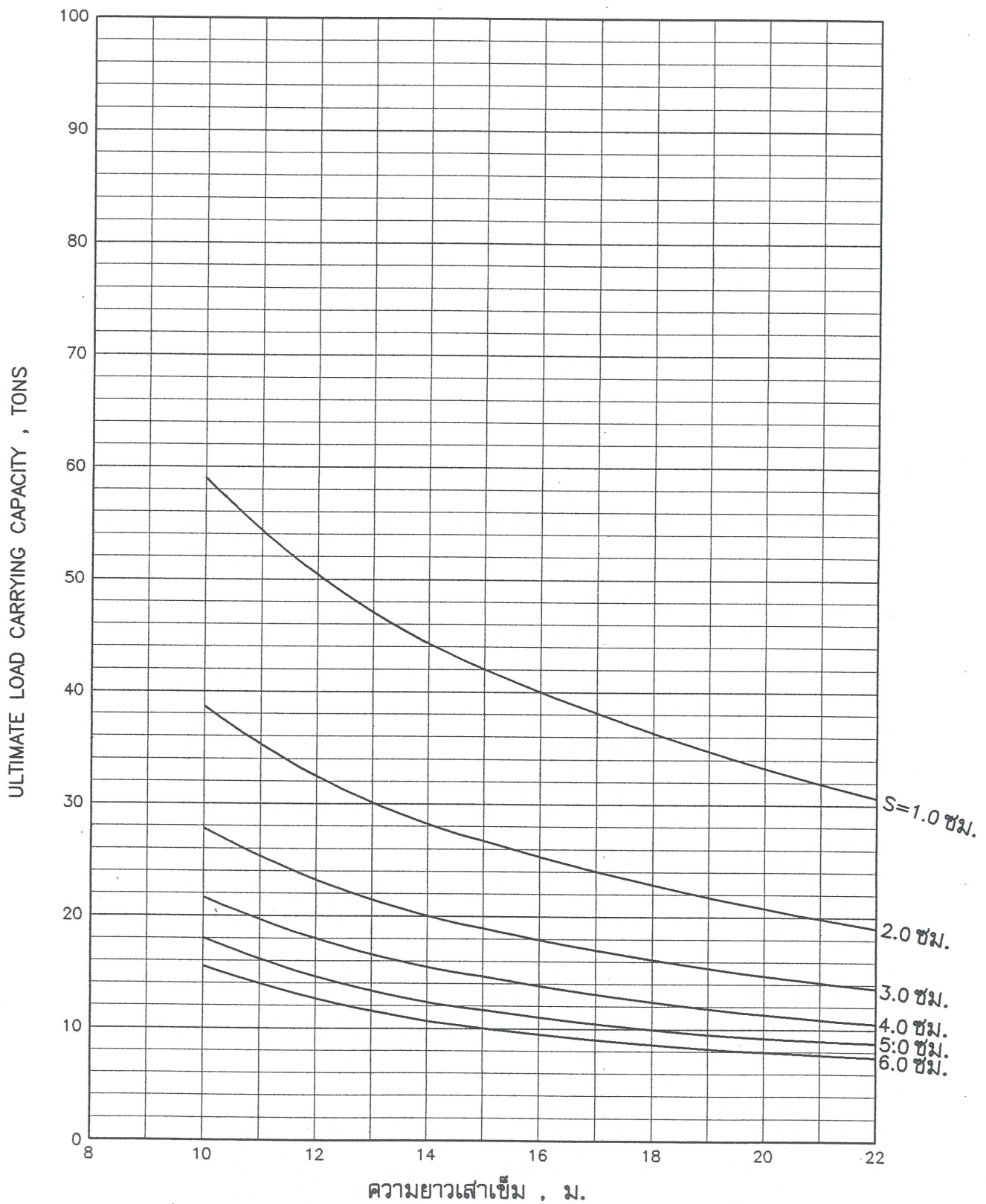
ความยาว เสาเข็ม (ม.)	น้ำหนัก เสาเข็ม (ตัน)	ความสูงลูกตุ้ม 100 ซม.					
		ระยะฝังจม/Blow ซม.					
		1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
10	2.160	58.6	38.0	27.5	21.4	17.4	14.7
11	2.376	54.3	34.9	25.2	19.6	15.9	13.4
12	2.592	50.5	32.4	23.3	18.0	14.7	12.4
13	2.808	47.0	30.3	21.8	16.9	13.7	11.6
14	3.024	44.5	28.2	20.2	15.7	12.7	10.7
15	3.240	42.0	26.6	19.0	14.7	12.0	10.1
16	3.456	39.9	25.1	17.9	13.9	11.3	9.5
17	3.672	37.9	23.8	17.0	13.1	10.7	9.0
18	3.888	36.2	22.6	16.2	12.5	10.1	8.5
19	4.104	34.6	21.6	15.4	11.9	9.7	8.1
20	4.320	33.1	20.7	14.7	11.4	9.2	7.8
21	4.536	31.8	19.8	14.1	10.9	8.8	7.4
22	4.752	30.6	19.0	13.5	10.4	8.5	7.1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ultimate Load Carrying Capacity และการฝังจมของเสาเข็ม (Penetration) เสาเข็มคอนกรีตหน้าตัด 0.20x0.20 ม. ลูกตุ้มหนัก 2.0 ตัน ยกสูง 100 ซม.



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ultimate Load Carrying Capacity และการฝังจมของเสาเข็ม (Penetration) เสาเข็มคอนกรีตหน้าตัด 0.25x0.25 ม. ลูกตุ้มหนัก 2.0 ตัน ยกสูง 100 ซม.



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ultimate Load Carrying Capacity และการฝังจมของเสาเข็ม (Penetration) เสาเข็มคอนกรีตหน้าตัด 0.30x0.30 ม. ลูกตุ้มหนัก 2.5 ตัน ยกสูง 200 ซม.