บทที่ 5
การประมาณการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม
จากสูตรเสาเข็มตอกในชั้นดินอ่อน

5.1 บทนำ

ในบทนี้ได้ทำการประมาณกำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มโดยวิธีสูตรเสาเข็มตอก โดยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงซึ่งตอกในดินกรุงเทพฯและพื้นที่ใกล้เคียง ประกอบไปด้วยข้อมูลการตอกเสาเข็มและอุปกรณ์ที่ใช้ในขณะตอกเสาเข็มจำนวน 30 ต้น เสาเข็มรูปสี่เหลี่ยม 24 ต้น เสาเข็มรูปตัวไอ 5 ต้น และเสาเข็มรูป DH 1 ต้น โดยสูตรที่นำมาคำนวณในบทนี้มีอยู่ 4 สูตร คือ Hiley, Pacific Coast Uniform Building Code, Redtembacher และ Janbu formula ทำการคำนวณเปรียบเทียบกับกำลังรับน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม

5.2 ทฤษฎีการประยุกต์ใช้

การประมาณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสูตรเสาเข็มตอก เป็นการคำนวณด้วยสูตรพีชคณิตที่ใช้ในการประมาณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม เพื่อดูว่าการตอกเสาเข็มในสนามนั้นเสาเข็มมีความสามารถในการรับน้ำหนักที่คาดไว้หรือไม่ โดยจะไม่ดูว่าตอกเสาเข็มถึงระดับที่คำนวณไว้แล้วหรือยัง ซึ่งการตอกเสาเข็มให้ได้ตามระดับที่คำนวณไว้นั้นอาจจะได้กำลังตามที่ต้องการหรืออาจจะไม่ก็ได้ เพราะคุณสมบัติและลักษณะดินทั้งในทางดิ่งและทางราบแตกต่างกัน ดังนั้นในการคำนวณจึงต้องอาศัยข้อมูลการนับจำนวนครั้งในการตอก(blowcount) น้ำหนักของลูกตุ้ม ระยะตกของตุ้มตอก คุณสมบัติของเสาเข็มและค่าการยุบตัวในการตอกแต่ละครั้ง โดยค่าที่คำนวณได้จากสูตรจะเป็นค่าประมาณของกำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มแต่ละต้น

การใช้สูตรคำนวณแบบพลศาสตร์นั้นไม่สามารถที่จะอ้างอิงเชื่อถือได้ในระดับ 100 เปอร์เซนต์แต่จะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลา มีประโยชน์ในแง่ของการควบคุมงานในสนามเพียงรู้แค่ข้อมูลเบื้องต้นและสูตรการคำนวณที่ต้องการใช้ก็จะสามารถที่จะประมาณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มได้

5.3 วัตถุประสงค์

1.ศึกษาความน่าเชื่อถือของสูตรพลศาสตร์ โดยเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มกับกำลังรับน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม

2.เสนอวิธีการคาดคะเนการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยสูตรเสาเข็มตอกที่เหมาะสม

5.4 ขอบเขตการศึกษา

ในบทนี้จะทำการศึกษาเฉพาะเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงซึ่งตอกในบริเวณกรุงเทพฯและพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งตอกโดย Drop Hammer 29 ต้น เป็นเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยม 24 ต้น รูปตัวไอ 5 ต้น และตอกโดย Diesel Hammer 1 ต้นเป็นเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมแสดงไว้ในภาคผนวก ค. นอกจากนี้สภาพชั้นดิน ค่ากำลังแรงเฉือน และค่า SPT ข้อมูลการตอกเสาเข็มและการทดสอบเสาเข็มในสนามแสดงไว้ในภาคผนวก ง. และภาคผนวก จ. ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลการตอกเสาเข็มจำนวน 30 ต้น

เสาเข็มตอก	ขนาดเสาเข็ม	น้ำหนักเสาเข็ม	น้ำหนักตุ้มตอก	ระยะยกตุ้มตอก	ระยะจมของเสาเข็มต่อการตอก1ครั้ง		ค่าออกแบบ
	m.xm.xm.	ton	ton	m.	cm/blow	blow/ft	ton
P1	SQ 0.45x0.45x22	10.692	7.500	0.80	0.12	254	120
P2	SQ0.35X0.35X11	3.234	4.000	0.50	0.15	200	75
P3	I 0.26X0.26X34	4.227	5.400	0.50	0.50	60	30
P4A	SQ0.40X0.40X10	3.840	8.240	0.50	0.15	200	70
P4B	SQ0.40X0.40X10	3.840	8.240	0.50	0.40	75	70
P5	I 0.40X0.40X26	7.738	5.000	0.60	0.15	200	70
P6	SQ0.35X0.35X16	4.704	5.200	0.70	0.30	100	60
P7	SQ0.30X0.30X16	3.456	4.900	0.70	0.52	58	50
P8	SQ0.525X0.525X23.5	11.562	8.000	0.80	0.37	81	110
P9	SQ0.35X0.35X23	6.762	8.000	0.50	0.15	200	75
P10A	SQ0.30X0.30X20	4.320	4.500	0.50	1.50	20	50
P10B	SQ0.30X0.30X11	2.376	4.500	0.50	10.00	3	50
P11	SQ0.40X0.40X26	9.984	5.000	0.75	0.08	375	90
P12	I 0.35X0.35X24	4.488	5.200	0.80	0.28	107	50
P13	SQ0.40X0.40X17	6.528	6.700	0.90	0.60	50	70

P14A	SQ0.40X0.40X30	11.520	8.000	0.60	0.50	60	100
P14B	SQ0.40X0.40X30	11.520	8.000	0.60	0.30	100	100
P15	I 0.40X0.40X28	8.333	5.000	0.60	0.25	120	75
P16	SQ0.35X0.35X18.5	5.439	8.000	0.50	0.20	150	75
P17	SQ0.35X0.35X8	2.352	4.500	0.50	0.17	177	40
P18	I 0.35X0.35X23.5	4.394	5.000	0.50	0.22	137	60
P19	SQ0.45X0.45X14	6.804	8.000	0.80	0.18	167	90
P20	SQ0.40X0.40X13	4.992	8.000	0.80	0.05	600	90
P21	SQ0.45X0.45X27.5	13.365	7.800	0.70	0.02	1500	120
P22	SQ0.40X0.40X14	5.376	4.500	0.80	0.70	43	80
P23	SQ0.40X0.40X9	3.456	8.000	0.60	0.21	143	100
P24	SQ0.40X0.40X26	9.984	9.000	0.50	0.26	116	75
P25	DH0.525X0.525X21	10.332	8.000	0.50	0.15	200	100
P26	SQ0.40X0.40X30	11.520	8.000	0.60	0.40	75	100
P27	SQ0.35X0.35X13	3.822	4.000	0.50	0.20	150	60

5.5 การประมาณการจากปัจจัยข้อกำหนดทั่วไป

5.5.1 ค่าระยะกำหนด (pile set) 72-96 blow / ft (6-8 blow / 2.5 cm.) พบว่า

ก). จำนวนเสาเข็ม 7 ต้น ตอกได้น้อยกว่า 72 blow / ft เป็นการตอก easy driving

ข). จำนวนเสาเข็ม 3 ต้น ตอกได้ระหว่าง 72-96 blow / ft เป็นการตอก ตามระยะที่กำหนด

ค). จำนวนเสาเข็ม 20 ต้น ตอกได้มากกว่า 96 blow / ft เป็นการตอก hard driving

จำแนกดังนี้

แบบ ก). คือ เสาเข็ม P1 , P7, P10A , P10B , P13 , P14A , P22

แบบ ข). คือ เสาเข็ม P4B , P8, P26

แบบ ค). คือ เสาเข็ม P1 , P2, P4A , P5 , P6 , P9 , P11, P12 , P14B, P15 , P16, P17, P18, P19 , P20, P21, P23, P24, P25, P27

5.5.2 <u>ความสัมพันธ์ เสาเข็มตอก</u>

จากสมการ

$W = 0.076A\sqrt{B/H}$ และระยะยกที่กำหนด 0.50 – 0.80 m.

สามารถคำนวณ ความสัมพันธ์ของเสาเข็มกับตุ้มตอกได้ดังตารางที่ 5.2 ดังนี้

ตารางที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของเสาเข็มกับตุ้มตอก

เสาเข็มตอก	น้ำหนักตุ้มตอก tons	ระยะยกตุ้มตอก m.	W_{max} ton	เปรียบเทียบ น้ำหนักตุ้มตอก	ระยะกำหนด blow/ft
P1	7.500	0.80	12.97	Underweight	Hard driving
P2	4.000	0.50	11.07	Underweight	Hard driving
P3	5.400	0.50	4.04	Overweight	Easy driving
P4A	8.240	0.50	15.46	Underweight	Hard driving
P4B	8.240	0.50	15.46	Underweight	ตามที่ระยะกำหนด
P5	5.000	0.60	10.00	Underweight	Hard driving
P6	5.200	0.70	7.91	Underweight	Hard driving
P7	4.900	0.70	5.38	Underweight	Easy driving
P8	8.000	0.80	14.18	Underweight	ตามที่ระยะกำหนด
P9	8.000	0.50	11.07	Underweight	Hard driving
P10A	4.500	0.50	7.53	Underweight	Easy driving
P10B	4.500	0.50	7.53	Underweight	Easy driving
P11	5.000	0.75	10.31	Underweight	Hard driving
P12	5.200	0.80	4.55	Overweight	Hard driving
P13	6.700	0.90	8.59	Underweight	Easy driving
P14A	8.000	0.60	12.89	Underweight	Easy driving
P14B	8.000	0.60	12.89	Underweight	Hard driving
P15	5.000	0.60	10.00	Underweight	Hard driving
P16	8.000	0.50	11.07	Underweight	Hard driving
P17	4.500	0.50	11.07	Underweight	Hard driving
P18	5.000	0.50	7.28	Underweight	Hard driving

P19	8.000	0.80	12.97	Underweight	Hard driving
P20	8.000	0.80	9.66	Underweight	Hard driving
P21	7.800	0.70	14.83	Underweight	Hard driving
P22	4.500	0.80	9.66	Underweight	Easy driving
P23	8.000	0.60	12.89	Underweight	Hard driving
P24	9.000	0.50	15.46	Underweight	Hard driving
P25	8.000	0.50	22.70	Underweight	Hard driving
P26	8.000	0.60	12.89	Underweight	ตามที่ระยะกำหนด
P27	4.000	0.50	11.07	Underweight	Hard driving

จากตารางความสัมพันธ์เสาเข็มกับตุ้มตอก น้ำหนักตุ้มตอกที่เลือกใช้ในการตอกเสาเข็มต่ำกว่าน้ำหนักสูงสุดของตุ้มตอกที่จะนำมาใช้งาน 28 ตันและสูงกว่าน้ำหนักสูงสุดของตุ้มตอกที่จะนำมาใช้งาน 2 ตัน โดยการเลือกตุ้มใหญ่พบว่าใช้กับเสาเข็มที่มีค่าออกแบบระหว่าง 30-50 ตัน และผลการตอกเป็นแบบ Easy driving ที่มีความยาวเสาเข็มเฉลี่ย 24-34 เมตร

5.5.3 กำลังรับน้ำหนักเสาเข็มในสนาม

ค่ากำลังรับน้ำหนักเสาเข็มจากการทดสอบในสนาม สรุปผลได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 กำลังรับน้ำหนักเสาเข็มในสนาม

เสาเข็มตอก	ค่าออกแบบ ton	ค่าการทดสอบ ton	ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม $(0.25f'_cA)$, ton	ระยะกำหนด (blow/ft)
P1	120	300.00	106.31	Hard driving
P2	75	-	64.31	Hard driving
P3	30	75.00	27.2	Easy driving
P4A	70	175.00	84	Hard driving
P4B	70	175.00	84	ตามที่ระยะกำหนด
P5	70	175.00	65.10	Hard driving
P6	60	180.00	64.31	Hard driving

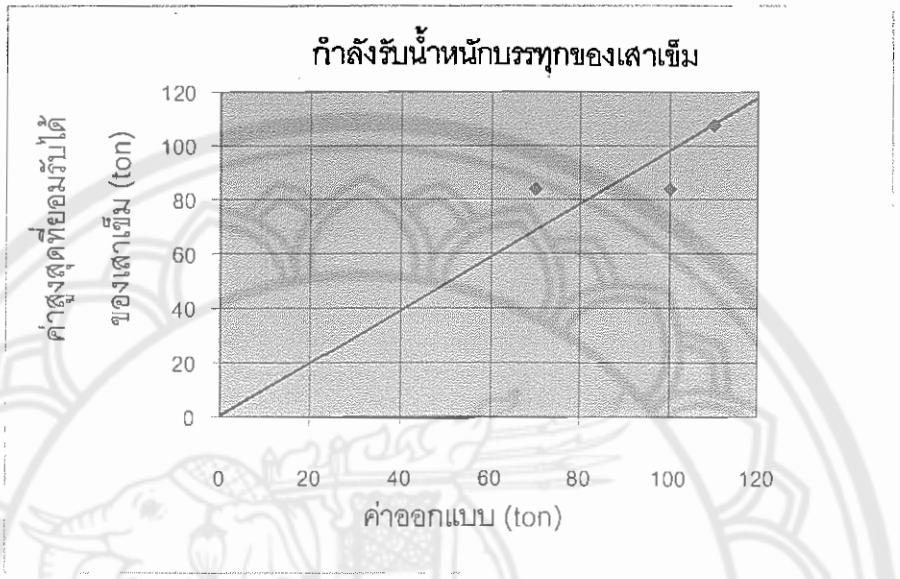
P7	50	150.00	47.25	Easy driving
P8	110	220.00	107.57	ตามที่ระยะกำหนด
P9	75	187.50	64.31	Hard driving
P10A	50	144.00	47.25	Easy driving
P10B	50	33.80	47.25	Easy driving
P11	90	292.50	84	Hard driving
P12	50	125.00	42.26	Hard driving
P13	70	240.00	84	Easy driving
P14A	100	250.00	84	Easy driving
P14B	100	250.00	84	Hard driving
P15	75	187.50	65.10	Hard driving
P16	75	187.50	64.31	Hard driving
P17	40	100.00	64.31	Hard driving
P18	60	150.00	42.66	Hard driving
P19	90	225.00	106.31	Hard driving
P20	90	225.00	84	Hard driving
P21	120	300.00	106.31	Hard driving
P22	80	200.00	84.00	Easy driving
P23	100	250.00	84	Hard driving
P24	75	317.90	84	Hard driving
P25	100	260.00	107.63	Hard driving
P26	100	-	84	ตามที่ระยะกำหนด
P27	60	-	64.31	Hard driving

ผลในตารางที่ 5.3 พบว่า

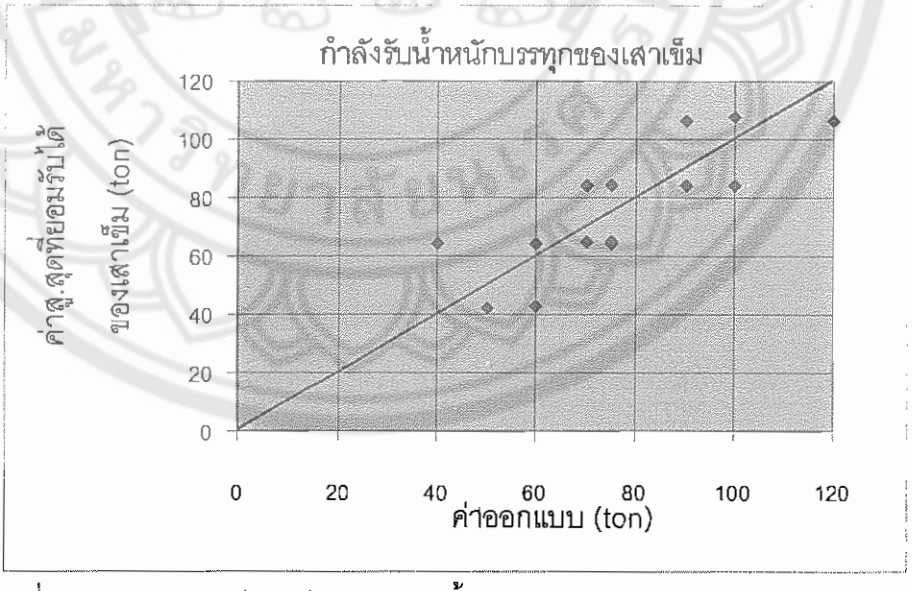
เสาเข็มที่ได้ตามระยะกำหนดมี 10% ค่าออกแบบต่ำกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม 2 ต้น และค่าออกแบบสูงกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม 1 ต้น(รูปที่ 5.1)

เสาเข็มที่เป็นการตอกแบบ Hard Driving มี 66.67% ค่าออกแบบต่ำกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม 7 ต้นและค่าออกแบบสูงกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม 13 ต้น(รูปที่ 5.2)

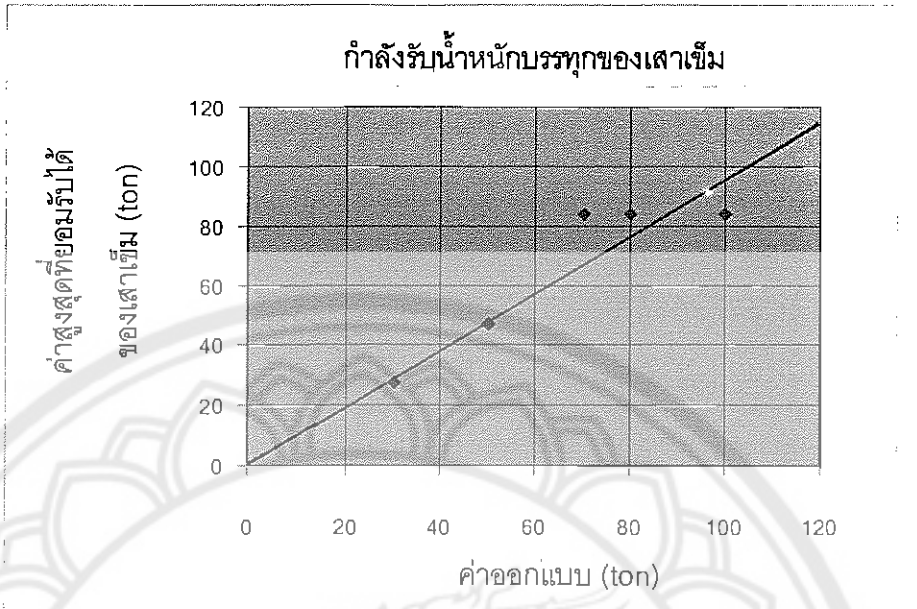
เสาเข็มที่เป็นการตอกแบบ Easy Driving มี 23.33% ค่าออกแบบต่ำกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม 2 ต้นและค่าออกแบบสูงกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม 5 ต้น(รูปที่ 5.3)



รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มระหว่างค่าออกแบบกับค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็มที่ตอกได้ตามระยะกำหนด



รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มระหว่างค่าออกแบบกับค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็มที่เป็นการตอกแบบ Hard Driving



รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มระหว่าง
ค่าออกแบบกับค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็มที่เป็นการตอกแบบ Easy Driving

จากรูปที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 พบว่า เสาเข็มที่ตอกตามระยะกำหนดได้ค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็มและได้ผลแน่นอนในช่วงแคบ การตอกแบบ Hard driving ได้ค่ากำลังรับน้ำหนักในช่วง 40-120 ตัน และ การตอกแบบ Easy driving ให้ค่ากำลังรับน้ำหนักในช่วง 30-100 ตัน

5.6 การประมาณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

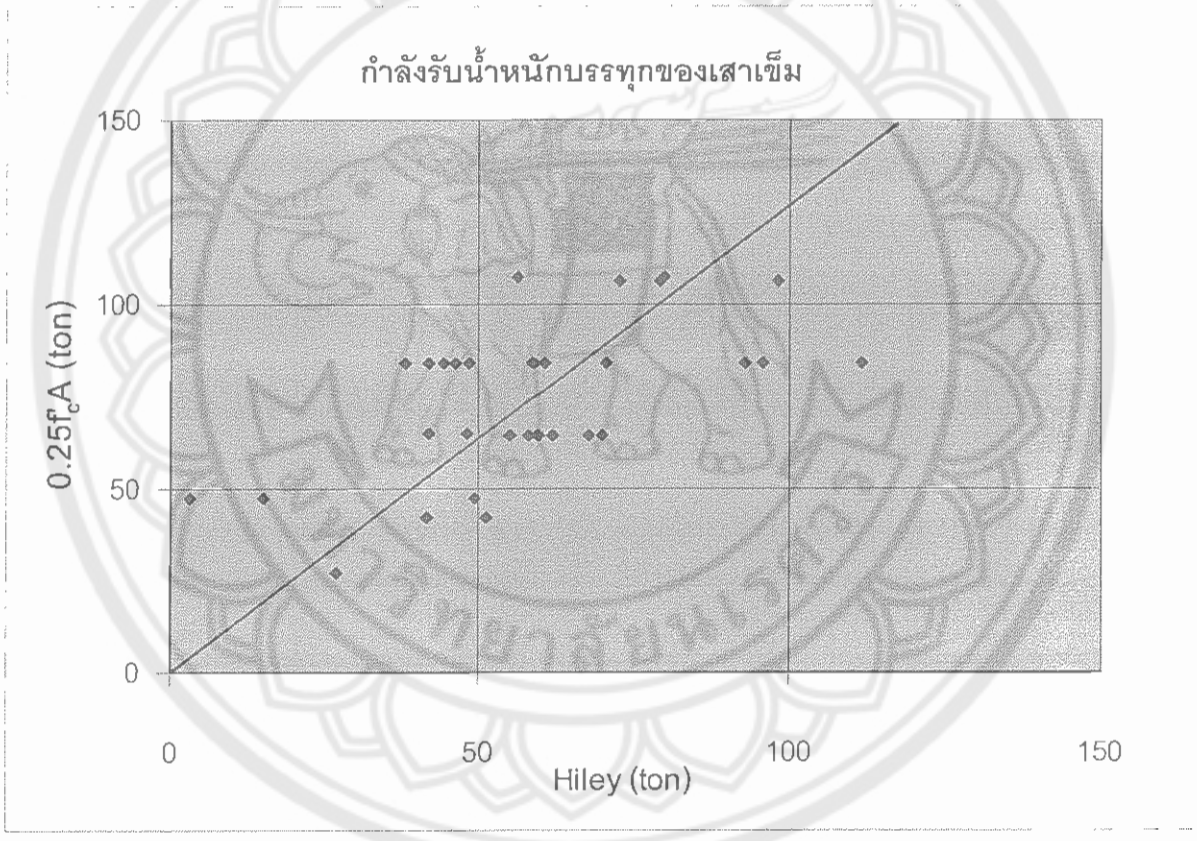
เมื่อได้รวบรวมข้อมูลการตอกเสาเข็มจำนวน 30 ต้น แล้วได้ทำการประมาณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธีสูตรพลศาสตร์ทั้งสิ้น 4 สูตร จากนั้นทำการคำนวณเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม ผลปรากฏว่า สูตรของ Hiley ให้ค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยใกล้เคียงและต่ำกว่าค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม ($0.25f'_cA$)

ในส่วนของสูตร Janbu, Redtembacher และ Pacific Coast Uniform Building Code ให้ค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยสูงกว่าค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม($0.25f'_cA$) ดังแสดงในตารางที่ 5.4 นอกจากนี้ยังได้นำข้อมูลกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสูตรของ Hiley's พล็อตลงในกราฟดังแสดงในรูปที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

เสาเข็มตอก	Hiley ton	Janbu ton	Redtembacher ton	Pacific ton	0.25f'cA ton
P1	78.9200	301.8900	224.4000	193.3100	106.3100
P2	67.4100	186.5400	152.8300	130.7100	64.3100
P3	26.8400	79.6900	65.6300	55.9400	27.2000
P4A	70.1600	254.6200	227.2000	189.9300	84.0000
P4B	48.4200	201.1900	179.6500	158.0500	84.0000
P5	48.2100	149.5700	109.0000	94.9000	65.1000
P6	61.5800	200.2100	160.2500	138.4000	64.3100
P7	49.3400	155.5600	129.7000	112.8900	47.2500
P8	79.7800	269.4500	195.5400	174.7800	107.5700
P9	55.1000	195.2500	159.6100	133.7700	64.3100
P10A	14.8500	54.7700	41.1400	41.1400	47.2500
P10B	3.0600	10.8100	9.3900	9.8600	47.2500
P11	60.2400	190.2800	132.7500	116.7200	84.0000
P12	51.2200	152.9300	124.2500	105.1500	42.2600
P13	58.6400	250.9500	195.5700	175.1100	84.0000
P14A	38.2600	175.6200	126.6800	114.4500	84.0000
P14B	46.1500	191.5000	140.2700	123.4900	84.0000
P15	41.7300	136.0000	96.6000	85.4700	65.1000
P16	59.3800	213.9200	180.8300	151.4600	64.3100
P17	69.6300	202.3100	177.6100	150.3700	64.3100
P18	41.5500	119.3400	96.6400	81.8400	42.2600
P19	98.0600	391.3900	318.6200	269.5900	106.3100
P20	111.7100	399.0400	342.6700	281.1600	84.0000
P21	72.5300	265.4400	192.4200	165.2400	106.3100
P22	92.9600	329.2600	244.5100	223.1800	84.0000

P23	95.5700	327.1500	335.3900	280.3300	84.0000
P24	44.2200	181.7800	140.3630	121.5400	84.0000
P25	56.2400	219.1600	164.8500	143.0300	107.6300
P26	41.9500	183.3600	133.2700	118.8700	84.0000
P27	58.0600	163.8800	129.7900	112.4200	64.3100



รูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มระหว่างกำลังรับน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็มกับวิธีของ Hiley

5.7 สรุป

1. กำลังรับน้ำหนักประลัยที่ได้จาก Hiley Formula จะให้ค่าที่ต่ำกว่าค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็มประมาณ 86% โดยเฉลี่ยถ้าใช้สูตรนี้ในการประมาณกำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม จะปลอดภัยแต่ไม่ประหยัดในการทำงาน

2. กำลังรับน้ำหนักประลัยที่ได้จากสูตรของ Janbu, Redtembacher และ Pacific Coast Uniform Building Code จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยสูงกว่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม ดังนั้นการใช้สูตร 3 สูตรนี้จะไม่ปลอดภัย

3. เสาเข็มที่ได้ตามระยะกำหนดมี 10% ค่าออกแบบต่ำกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม 2 ต้น และ ค่าออกแบบสูงกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม 1 ต้น

เสาเข็มที่เป็นการตอกแบบ Hard Driving มี 66.67% ค่าออกแบบต่ำกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม 7 ต้นและค่าออกแบบสูงกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม 13 ต้น

เสาเข็มที่เป็นการตอกแบบ Easy Driving มี 23.33% ค่าออกแบบต่ำกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม 2 ต้นและค่าออกแบบสูงกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของเสาเข็ม 5 ต้น

4. น้ำหนักตุ้มตอกที่เลือกใช้ในการตอกเสาเข็มต่ำกว่าน้ำหนักสูงสุดของตุ้มตอกมีจำนวน 28 ต้น และสูงกว่าน้ำหนักสูงสุดของตุ้มตอกที่จะนำมาใช้งาน 2 ต้น