



การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก
ของเสาเข็มตอก ชนิด Precast concrete pile.

Analysis the variables that have an effect on the bearing capacity
for the driven pile which uses precast concrete pile type.



นายกฤษณ์ อ่อนงาม
นายอภากร มั่นกันนาน

13๑81885

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... ๒๗.๑๑.๒๕๕๓
เลขทะเบียน..... A310168
เลขเรียกหนังสือ..... TA
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 780
๑ 28๓

2512
ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปีการศึกษา 2542



ใบรับรองโครงการงานวิศวกรรมโยธา

หัวข้อโครงการงานวิศวกรรมโยธา : การวิเคราะห์หัวแปรงที่มีผลกระทบ ต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอก ชนิด Precast Concrete Pile

ผู้ดำเนินงานโครงการงานวิศวกรรมโยธา : นายกฤษณ์ อ่อนงาม รหัสประจำตัว 39361084
นายอภากร มั่นกันนาน รหัสประจำตัว 39361548

ที่ปรึกษาโครงการงานวิศวกรรมโยธา : ดร. ชูศักดิ์ เตชะวิเศษ


สาขาวิชา : Civil Engineering

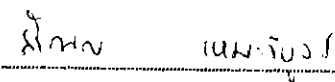
ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยย่นเรศวร

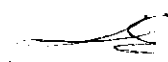
ปีการศึกษา : 2542

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยย่นเรศวร อนุมัติให้โครงการงานวิศวกรรมโยธานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการสอบโครงการงานวิศวกรรมโยธา


ประธานกรรมการ
(ดร. ชูศักดิ์ เตชะวิเศษ)


กรรมการ
(อาจารย์สรณ์กร เหมะวิบูลย์)


หัวหน้าภาค
(ผ.ศ. สมบัติ ชื่นชุกลีน)

หัวข้อโครงการวิศวกรรมโยธา	:	การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอก ชนิด Precast concrete pile.
ผู้ดำเนินงานโครงการวิศวกรรมโยธา	:	นายกฤษณ์ อ่อนงาม รหัสประจำตัว 39361084 นายอากาศ มั่นกันนาน รหัสประจำตัว 39361548
ที่ปรึกษาโครงการวิศวกรรมโยธา	:	ดร. ชูศักดิ์ เตชะวิเศษ
สาขาวิชา	:	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	:	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	:	2542

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลกระทบท่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มตอกชนิด Precast Concrete Pile ในลักษณะฐานรากเสาเข็มเดี่ยว โดยตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มคือ

1. คุณสมบัติของดิน ได้แก่ ชนิดของดิน (ดินเหนียวและดินทราย), มุมเสียดทาน (ϕ ใช้ค่าระหว่าง $28-40^\circ$), หน่วยน้ำหนักของดิน (γ_T ใช้ในช่วง $1.2-2.3 \text{ T/m}^3$), ค่าความเชื่อมแน่น (C กรณีดินเหนียว มีค่าระหว่าง $1-16 \text{ T/m}^2$)
2. ระดับของน้ำใต้ดิน (D_{GW} มี 2 กรณีคือ อยู่ที่ระดับผิวดินและใต้ปลายเสาเข็ม)
3. คุณสมบัติของเสาเข็ม ได้แก่ ขนาดเสาเข็ม (ใช้ 18×18 ถึง $35 \times 35 \text{ cm}^2$), ความยาวเสาเข็ม (ใช้ $6-16 \text{ m}$) และ ความลึกของตอม่อฐานราก (อยู่ระหว่าง $0-2 \text{ m}$ จากผิวดิน)
4. คุณสมบัติของเครื่องมือตอกเสาเข็ม (ใช้แบบ Drop Hammer) ได้แก่ น้ำหนักของตุ้มตอก (ใช้ $2-6 \text{ T}$) และระยะยกตุ้มตอก (ใช้อยู่ระหว่าง $20-75 \text{ cm}$)

ผลการศึกษาพบว่า ค่า C และ ϕ จะมีผลกระทบต่อ Q_a เป็นอย่างสูง ในขณะที่ค่า γ_T มีผลกระทบค่อนข้างน้อย ทั้งนี้ผลกระทบของ C และ ϕ มีความรุนแรงขึ้น เมื่อเสาเข็มมีหน้าตัดใหญ่ขึ้น หรือมีความยาวเพิ่มขึ้น ส่วนผลกระทบจากระดับน้ำใต้ดิน (D_{GW}) พบว่า ระดับของน้ำใต้ดินที่อยู่ลึกจากผิวดิน จะให้ค่า Q_a สูง แต่ไม่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

ผลการศึกษา สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริง ดังนี้

1. ในการสำรวจและทดสอบข้อมูลดิน ควรทำการทดลองเพื่อหาค่า C และ ϕ อย่างระมัดระวังเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะสำหรับโครงการก่อสร้างที่ใช้หน้าตัดเสาเข็มขนาดใหญ่ หรือ มีความยาวเสาเข็มมาก
2. การออกแบบฐานรากเสาเข็มชนิด Precast Concrete Pile สามารถใช้ chart ช่วยตรวจสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์ Q_a ได้
3. ใช้ตรวจสอบ Q_a ของฐานรากในขณะตอกเสาเข็มได้

Project Title : Analysis the variables that have an effect on the bearing capacity for the driven pile which uses precast concrete pile type.

Project by : Mr. Krit On-ngam Code 39361084
Mr. Apakom Mankannan Code 39361548

Project Advisor : Mr. Choosak Tachavises

Major : Civil Engineering

Department : Civil engineering

Academic Year : 1999

Abstract

This is a study of the relationship of the variables between have an effect on the allowable bearing capacity (Q_a) of the single pile which uses precast concrete pile type for the driving pile. The variables are divided into four groups as follows :

1. The variables with the characteristics of the soil group are the type of soils (clay and sand), internal friction angle (use ϕ between 28° - 40°), unit weight of soil (use γ_T interval 1.2 - 2.3 T/m³) and cohesion of soil (use C interval 1 - 16 T/m² for clay).
2. The levels of ground water table depth (use D_{GWT} at the top of ground surface and below the tip of pile).
3. The variables with the characteristics of the pile namely the size of pile (18×18 to 35×35 cm²), the length of pile (use L_p between 6 - 16 m) and the depth of footing (use D_f interval 0 - 2 m from the ground).
4. The variables with the characteristics of pile installation properties are the drop hammer type, weight of ram (use W_r interval 2 - 6 tons) and the drop height (use h between 20 - 75 cm).

From the results, it was found that C and ϕ have a high effect to Q_a while γ_T is less than these, especially when the size or the length of pile increase, it will be dramatically changed to Q_a . If the D_{GWT} depth from the surface of the ground, Q_a will be high. But the rate of change is steady.

This project can be applied to the real work as follows :

1. Use on the exploration and the test of soil in order to find C and ϕ , especially for the large projects that use large sizes or a lot of length.
2. Check the calculation of the precast concrete pile footing design with the chart to be correct.
3. Check the ultimate bearing capacity (Q_a) during installation of pile.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมโยธาชั้นนี้ประสบความสำเร็จได้ ต้องขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ทั้งที่มีส่วนร่วมและให้ความช่วยเหลือโดยตรง หรือแม้แต่ผู้ที่หวังดีและให้กำลังใจอยู่ห่างๆ ดังจะขอเอ่ยนามและแสดงความขอบคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ก่อนอื่นต้องขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้เป็นทุกอย่างสำหรับลูก เป็นผู้ให้ชีวิต เป็นผู้ให้โอกาสและสร้างโอกาสให้ ให้ลูกทุกอย่างที่ลูกต้องการเพื่อจะได้ทัดเทียมกับผู้อื่น และอีกหลายสิ่งหลายอย่าง เหนือคำบรรยายจะพรรณนาได้หมดสิ้น หากไม่มีคุณพ่อและคุณแม่แล้ว ลูกก็คงไม่มีวันนี้ จึงอยากขอขอบพระคุณอย่างสูงอีกครั้งหนึ่งและอยากบอกว่าลูกรักคุณพ่อและคุณแม่เสมอ

ขอขอบพระคุณ คณะครูอาจารย์ทุกท่าน ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และอบรมสั่งสอน ให้ศิษย์เติบโตอย่างมีคุณภาพและมีศักยภาพ จนศิษย์พบความสำเร็จในวันนี้ได้

ขอขอบคุณพี่สาวและพี่ชาย ที่คอยส่งกำลังใจและกำลังใจทรัพย์สินมาให้ ทำให้โครงการนี้บรรลุวัตถุประสงค์และสำเร็จตามเป้าหมายอย่างราบรื่น

ขอขอบคุณพี่รหัสและเพื่อนพี่รหัส รวมทั้งเพื่อนๆ ชาวโยธารุ่นที่ 3 ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและให้คำปรึกษา ตลอดจนให้การช่วยเหลือทุกอย่าง

สุดท้าย ขอขอบพระคุณผู้ที่อยู่เบื้องหลังโครงการชั้นนี้ ตั้งแต่ริเริ่มจนกระทั่งเสร็จโครงการ คือ ดร. ชูศักดิ์ เตชะวิเศษ อาจารย์ที่ปรึกษาประจำโครงการ ที่ช่วยสั่งสอนและชี้แนะแนวทางให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กฤษณ์ ช่อนงาม
อากาศกร มั่นกันนาน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ด
นิยามคำศัพท์	พ
1. บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 แผนการดำเนินงาน	4
1.7 สถานที่ดำเนินงาน	4
1.8 งบประมาณที่ใช้	5
2. หลักการและทฤษฎี	
2.1 สฐานรากเสาเข็ม	7
2.2 ชนิดของเสาเข็ม	8
2.2.1 เสาเข็มที่เกิดการเคลื่อนตัวของดินมากในระหว่างการติดตั้ง	8
2.2.2 เสาเข็มที่เกิดการเคลื่อนตัวของดินน้อยในระหว่างการติดตั้ง	10
2.2.3 เสาเข็มที่ไม่เกิดการเคลื่อนตัวของดิน	10
2.3 การใช้งานเสาเข็ม	11
2.4 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มเดี่ยว (Static Formula)	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 ฐานรากเสาเข็มในชั้นดินเหนียว	12
2.4.2 ฐานรากเสาเข็มในชั้นดินทราย	13
2.5 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มเดี่ยว (Dynamic Formula)	16
2.6 สูตรในการหาสภาพการรับน้ำหนักจากการตอกเสาเข็ม	17
2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม	20
2.8 ผลของการตอกเสาเข็ม	23
2.8.1 ผลของการตอกเสาเข็มในดินเหนียว	23
2.8.2 ผลของการตอกเสาเข็มในดินทราย	26
2.9 Negative Skin Friction	27
2.10 การทรุดตัวของเสาเข็ม	28
2.10.1 สาเหตุของการทรุดตัว	28
2.10.2 การทรุดตัวไม่เท่ากัน	28
2.11 เสาเข็มกลุ่ม	29
2.12 การทดสอบดินและเสาเข็ม	31
2.12.1 การทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม (Pile Load Test)	31
2.12.2 การตอกทดลองมาตรฐาน (Standard Penetration Test)	32
3. วิธีการดำเนินงาน	
3.1 การเตรียมงาน	33
3.2 การคำนวณผลข้อมูล	38
3.2.1 การพัฒนาโปรแกรม Microsoft Excel สำหรับการคำนวณ	38
3.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมการคำนวณ	42
3.2.3 การประมวลผลข้อมูล	42
3.3 วิเคราะห์และสรุปผลการ	49
3.4 การพิมพ์และจัดทำรูปเล่มรายงาน	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ผลและการวิเคราะห์	
4.1 ผลกระทบของคุณสมบัติของดิน	52
4.1.1 กรณีดินทราย	52
4.1.1.1 ผลกระทบของ Angle of Internal Friction (ϕ)	52
4.1.1.2 ผลกระทบของ Unit weight (γ_T)	54
4.1.1.3 ความแปรปรวนของผลกระทบจาก γ_T และ ϕ	54
ก. หน้าตัดและความยาวเสาเข็ม	54
ข. ระดับน้ำใต้ดิน	59
4.1.2 กรณีดินเหนียว	63
4.1.2.1 ผลกระทบของ Undrained Cohesion (C_u)	63
4.1.2.2 ผลกระทบของ Saturated unit weight (γ_{sat})	66
4.1.2.3 ความแปรปรวนของผลกระทบจาก γ_{sat} และ C_u	66
ก. หน้าตัดและความยาวเสาเข็ม	66
4.2 ผลกระทบจากการจัดรูปแบบฐานรากและคุณสมบัติของเสาเข็ม	73
4.2.1 ระยะ D_r ของฐานราก	73
4.2.1.1 ผลกระทบของระยะ D_r ของฐานราก	73
4.2.1.2 ความแปรปรวนของผลกระทบจากระยะ D_r ของฐานราก	73
ก. ชนิดดิน	80
ข. ระดับน้ำใต้ดิน	80
ค. หน้าตัดและความยาวเสาเข็ม	80
4.2.2 ระยะ L_p ของเสาเข็ม	81
4.2.2.1 ผลกระทบของระยะ L_p ของเสาเข็ม	81
4.2.2.2 ความแปรปรวนของผลกระทบจากระยะ L_p ของเสาเข็ม	84
ก. ชนิดดิน	84
ข. ระดับน้ำใต้ดิน	84
ค. หน้าตัด	90

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.3 ขนาดเสาเข็ม (พื้นที่หน้าตัด และเส้นรอบรูป)	90
4.2.3.1 ผลกระทบของพื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม	93
4.2.3.2 ผลกระทบของเส้นรอบรูปเสาเข็ม	93
4.2.3.3 ความแปรปรวนของผลกระทบจากขนาด ของเสาเข็ม	94
ก. ชนิดดิน	94
ข. ระดับน้ำใต้ดิน	94
ค. ความยาวของเสาเข็ม	100
4.2.4 รูปร่างหน้าตัดของเสาเข็ม	100
4.3 ผลกระทบของคุณสมบัติของเครื่องมือตอกเสาเข็ม	104
4.3.1 ผลกระทบของน้ำหนักของตุ้มตอก	104
4.3.2 ผลกระทบของระยะยกตุ้มตอก	104
5. การนำไปใช้งาน	
5.1 การนำไปใช้ในการสำรวจข้อมูลดิน	106
5.2 การนำไปใช้ในการออกแบบฐานราก	109
5.3 การนำไปใช้ในการตรวจสอบการตอกเสาเข็มในสนาม	109
6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
6.1 ผลกระทบจากคุณสมบัติของดิน	114
6.2 ผลกระทบจากระดับน้ำใต้ดิน	114
6.3 ผลกระทบจากการจัดระยะความลึกฐานราก	115
6.4 ผลกระทบจากขนาดและความยาวของเสาเข็ม	115
6.5 ผลกระทบจากน้ำหนักและระยะยกของลูกตุ้มตอกเสาเข็ม	116
6.6 ข้อเสนอแนะ	116
บรรณานุกรม	117

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก. ตารางแสดงผลการวิเคราะห์	118
ภาคผนวก ข. แสดงการคำนวณการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (สภาพดินบริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร)	183
ภาคผนวก ค. แสดงการตรวจสอบผลการวิเคราะห์	191
ภาคผนวก ง. รูปแสดงระยะจัดเรียงของเสาเข็มกลุ่ม และตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กฐานราก	200
ภาคผนวก จ. รูปแสดงขั้นตอนและรายละเอียดการทำงานของฐานรากเสาเข็มประวัติผู้จัดทำ	213
	223



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 Average Values of Earth Pressure Coefficient	14
2.2 สูตรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด	18
2.3 Relative Density of Sand in Term of the Standard Penetration Test : SPT	32
2.4 Relative Density of Sand in Term of the Standard Penetration Test : SPT	33
3.1 แสดงข้อมูลสภาพดิน กรณีดินทราย (Sand ; C = 0)	36
3.2 แสดงข้อมูลสภาพดิน กรณีดินทราย (Clay ; $\phi = 0$)	36
3.3 การกำหนดค่าสัญลักษณ์ของตัวแปร, สูตรที่ใช้, หน่วยของตัวแปร และการเขียนโปรแกรม เพื่อคำนวณหาค่า Allowble Load Capacity (Qa) กรณีดินทราย เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้เสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_f$)	45
3.4 การกำหนดค่าสัญลักษณ์ของตัวแปร, สูตรที่ใช้, หน่วยของตัวแปร และการเขียนโปรแกรม เพื่อคำนวณหาค่า Allowble Load Capacity (Qa) กรณีดินทราย เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)	46
3.5 การกำหนดค่าสัญลักษณ์ของตัวแปร, สูตรที่ใช้, หน่วยของตัวแปร และการเขียนโปรแกรม เพื่อคำนวณหาค่า Allowble Load Capacity (Qa) กรณีดินเหนียว เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)	47
3.6 การกำหนดค่าสัญลักษณ์ของตัวแปร, สูตรที่ใช้, หน่วยของตัวแปร และการเขียนโปรแกรม เพื่อคำนวณหาค่า Last Ten Blow Penetration (10s)	48
4.1 สรุปกรณี และเงื่อนไขในการวิเคราะห์ตัวแปร ที่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Qa)	51
4.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Qa สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และชนิดดินทราย (ค่า ϕ เปลี่ยนแปลง) เมื่อ $\gamma_T = 1.7 \text{ T/m}^3$ และน้ำใต้ดินอยู่ใต้ปลายเสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_f$)	60
4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Qa สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และชนิดดินทราย (ค่า γ_T เปลี่ยนแปลง) ที่ค่า ϕ ใดๆ และน้ำใต้ดินอยู่ใต้ปลายเสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_f$)	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และชนิดดินทราย (ค่า ϕ เปลี่ยนแปลง) เมื่อ $\gamma_T = 1.7 \text{ T/m}^3$ และน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)	64
4.5 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และชนิดดินทราย (เมื่อค่า γ_{sat} เปลี่ยนแปลง) ที่ค่า ϕ ใดๆ และน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)	64
4.6 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และชนิดดินเหนียว (ค่า C_u เปลี่ยนแปลง) เมื่อ $\gamma_{sat} = 1.8 \text{ T/m}^3$ และน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)	72
4.7 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และชนิดดินเหนียว (ค่า γ_{sat} เปลี่ยนแปลง) สำหรับทุกค่า C_u และน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)	72
4.8 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวของเสาเข็ม และการเปลี่ยนแปลงระยะ D_r ของฐานราก กรณีดินทราย เมื่อ $\gamma_T = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้ปลายเสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_r$)	82
4.9 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a ความสัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวของเสาเข็ม และการเปลี่ยนแปลงระยะ D_r ของฐานราก กรณีดินทราย เมื่อ $\gamma_{sat} = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)	82
4.10 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวของเสาเข็ม และการเปลี่ยนแปลงระยะ D_r ของฐานราก กรณีดินเหนียว เมื่อ $\gamma_{sat} = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)	82
4.11 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดของเสาเข็ม และการเปลี่ยนแปลงระยะ L_p ของเสาเข็ม กรณีดินทราย เมื่อ $\gamma_T = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้ปลายเสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_r$)	91

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดของเสาเข็ม และการเปลี่ยนแปลงระยะ L_p ของเสาเข็ม กรณีดินทราย เมื่อ $\gamma_{sat} =$ 1.7 T/m^3 และระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)	91
4.13 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดของเสาเข็ม และการเปลี่ยนแปลงระยะ L_p ของเสาเข็ม กรณีดินเหนียว เมื่อ $\gamma_{sat} =$ 1.7 T/m^3 และระดับน้ำใต้ดิน อยู่ที่ผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)	91
4.14 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ความยาวของเสา เข็ม และการเปลี่ยนแปลงขนาดของเสาเข็ม กรณีดินทราย เมื่อ $\gamma_T =$ 1.7 T/m^3 และระดับน้ำใต้ ดินอยู่ใต้ปลายเสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_f$)	101
4.15 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ความยาวของเสา เข็ม และการเปลี่ยนแปลงขนาดของเสาเข็ม กรณีดินทราย เมื่อ $\gamma_{sat} =$ 1.7 T/m^3 และระดับน้ำใต้ ดินอยู่ที่ผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)	101
4.16 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ความยาวของเสา เข็มและการเปลี่ยนแปลงขนาดของเสาเข็ม กรณีดินเหนียว เมื่อ $\gamma_{sat} =$ 1.7 T/m^3 และระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)	101
ก.1 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $\phi, \gamma_{sat}; W_R, h$	119
ก.1.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 18 \times 18 \text{ cm}^2$, $L_p = 6 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}; D_{GWT} > L_p + D_f, C = 0 \text{ T/m}^2, \gamma_T, \phi$; และ $W_R = 2.0, 4.0 \text{ T}, h = 20, 30 \text{ cm}$	120
ก.2 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $\phi, \gamma_{sat}; W_R, h$	121
ก.2.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22 \times 22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}; D_{GWT} > L_p + D_f, C = 0 \text{ T/m}^2, \gamma_T, \phi$; และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	120

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.3 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $\phi, \gamma_{sat}; W_R, h$	123
ก.3.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26*26 \text{ cm}^2$, $L_p = 10 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}; D_{GWT} > L_p + D_f, C = 0 \text{ T/m}^2, \gamma_T, \phi$; และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}, h = 30, 50 \text{ cm}$	124
ก.4 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $\phi, \gamma_{sat}; W_R, h$	125
ก.4.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 30*30 \text{ cm}^2$, $L_p = 12 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}; D_{GWT} > L_p + D_f, C = 0 \text{ T/m}^2, \gamma_T, \phi$; และ $W_R = 3.0, 6.0 \text{ T}, h = 30, 50 \text{ cm}$	126
ก.5 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $\phi, \gamma_{sat}; W_R, h$	127
ก.5.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 35*35 \text{ cm}^2$, $L_p = 14 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}; D_{GWT} > L_p + D_f, C = 0 \text{ T/m}^2, \gamma_T, \phi$; และ $W_R = 3.5, 6.0 \text{ T}, h = 50, 75 \text{ cm}$	128
ก.6 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $\phi, \gamma_{sat}; W_R, h$	129
ก.6.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22*22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}; D_{GWT} = 0, C = 0 \text{ T/m}^2, \gamma_{sat}, \phi$; และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	130
ก.7 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $\phi, \gamma_{sat}; W_R, h$	131
ก.7.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26*26 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}; D_{GWT} = 0, C = 0 \text{ T/m}^2, \gamma_{sat}, \phi$; และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}, h = 30, 50 \text{ cm}$	132

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.8 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $C_u, \gamma_{sat}; W_R, h$	133
ก.8.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 18*18 \text{ cm}^2$, $L_p = 6 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}; D_{GWT} = 0, \phi = 0^\circ, C_u, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	134
ก.9 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $C_u, \gamma_{sat}; W_R, h$	135
ก.9.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22*22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}; D_{GWT} = 0, \phi = 0^\circ, C_u, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	136
ก.10 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $C_u, \gamma_{sat}; W_R, h$	137
ก.10.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26*26 \text{ cm}^2$, $L_p = 10 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}; D_{GWT} = 0, \phi = 0^\circ, C_u, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 2.5, 5.0 \text{ T}, h = 30, 50 \text{ cm}$	138
ก.11 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $C_u, \gamma_{sat}; W_R, h$	139
ก.11.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 30*30 \text{ cm}^2$, $L_p = 12 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}; D_{GWT} = 0, \phi = 0^\circ, C_u, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 3.0, 6.0 \text{ T}, h = 30, 50 \text{ cm}$	140
ก.12 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $C_u, \gamma_{sat}; W_R, h$	141
ก.12.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 35*35 \text{ cm}^2$, $L_p = 14 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}; D_{GWT} = 0, \phi = 0^\circ, C_u, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 3.0, 6.0 \text{ T}, h = 50, 75 \text{ cm}$	142

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.13 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $D_f, \gamma_T; W_R, h$	143
ก.13.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22 \times 22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}, D_f; D_{GWT} > L_p + D_f, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_T;$ และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}, h = 20, 25 \text{ cm}$	144
ก.14 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $D_f, \gamma_T; W_R, h$	145
ก.14.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26 \times 26 \text{ cm}^2$, $L_p = 10 \text{ m}, D_f; D_{GWT} > L_p + D_f, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_T;$ และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	146
ก.15 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $D_f, \gamma_{sat}; W_R, h$	147
ก.15.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22 \times 22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}, D_f; D_{GWT} = 0, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}, h = 20, 25 \text{ cm}$	148
ก.16 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $D_f, \gamma_{sat}; W_R, h$	149
ก.16.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26 \times 26 \text{ cm}^2$, $L_p = 10 \text{ m}, D_f; D_{GWT} = 0, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}, h = 20, 30 \text{ cm}$	150
ก.17 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $D_f, \gamma_{sat}; W_R, h$	151
ก.17.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22 \times 22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}, D_f; D_{GWT} = 0, C_u = 4 \text{ T/m}^2, \phi = 0^\circ, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}, h = 20, 25 \text{ cm}$	152

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.18 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $D_f, \gamma_{sat}; W_R, h$	153
ก.18.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26*26 \text{ cm}^2$, $L_p = 10 \text{ m}, D_f; D_{GWT} = 0, C_u = 4 \text{ T/m}^2, \phi = 0^\circ, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 2.5, 3.5 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	154
ก.19 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $L_p, \gamma_T; W_R, h$	155
ก.19.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22*22 \text{ cm}^2$, $D_f = 1 \text{ m}, L_p; D_{GWT} > L_p + D_f, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_T;$ และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	156
ก.20 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $L_p, \gamma_T; W_R, h$	157
ก.20.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26*26 \text{ cm}^2$, $D_f = 1 \text{ m}, L_p; D_{GWT} > L_p + D_f, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_T;$ และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	158
ก.21 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $L_p, \gamma_{sat}; W_R, h$	159
ก.21.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22*22 \text{ cm}^2$, $D_f = 1 \text{ m}, L_p; D_{GWT} = 0, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	160
ก.22 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $L_p, \gamma_{sat}; W_R, h$	161
ก.22.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26*26 \text{ cm}^2$, $D_f = 1 \text{ m}, L_p; D_{GWT} = 0, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}; h = 30, 40 \text{ cm}$	162

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.23 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $L_p, \gamma_{sat}; W_R, h$	163
ก.23.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22 \times 22 \text{ cm}^2$, $D_f = 1 \text{ m}, L_p; D_{GWT} = 0, C_u = 4 \text{ T/m}^2, \phi = 0^\circ, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 2.5, 3.5 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	164
ก.24 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $L_p, \gamma_{sat}; W_R, h$	165
ก.24.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26 \times 26 \text{ cm}^2$, $D_f = 1 \text{ m}, L_p; D_{GWT} = 0, C_u = 4 \text{ T/m}^2, \phi = 0^\circ, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 2.5, 3.5 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	166
ก.25 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Size, $\gamma_T; W_R, h$	167
ก.25.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข \square section, $L_p = 10 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}, \text{Size}; D_{GWT} > L_p + D_f, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_T;$ และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	168
ก.26 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Size, $\gamma_T; W_R, h$	169
ก.26.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข \square section, $L_p = 12 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}, \text{Size}; D_{GWT} > L_p + D_f, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_T;$ และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	170
ก.27 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Size, $\gamma_{sat}; W_R, h$	171
ก.27.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข \square section, $L_p = 10 \text{ m}, D_f = 1 \text{ m}, \text{Size}; D_{GWT} = 0, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_{sat};$ และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$	172

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.28 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Size, γ_{sat} ; W_R , h	173
ก.28.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข □ section, Lp = 12 m, $D_f = 1$ m, Size ; $D_{GWT} = 0$, $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$, γ_{sat} ; และ $W_R = 2.5, 4.5$ T, h = 30, 40 cm	174
ก.29 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Size, γ_{sat} ; W_R , h	175
ก.29.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข □ section, Lp = 10 m, $D_f = 1$ m, Size ; $D_{GWT} = 0$, $C_u = 4$ T/m ² , $\phi = 0^\circ$, γ_{sat} ; และ $W_R = 2.5, 4.5$ T, h = 30, 40 cm	176
ก.30 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Size, γ_{sat} ; W_R , h	177
ก.30.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข □ section, Lp = 12 m, $D_f = 1$ m, Size ; $D_{GWT} = 0$, $C_u = 4$ T/m ² , $\phi = 0^\circ$, γ_{sat} ; และ $W_R = 3.0, 4.5$ T, h = 30, 40 cm	178
ก.31 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Type, γ_T ; W_R , h	179
ก.31.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข Size 40*40 cm ² , Lp = 10 m, $D_f = 1$ m, Type ; $D_{GWT} > L_p + D_f$, $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$, γ_T ; และ $W_R = 3.5, 6.0$ T, h = 30, 50 cm	180
ก.32 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Type, γ_{sat} ; W_R , h	181
ก.32.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข Size 40*40 cm ² , Lp = 10 m, $D_f = 1$ m, Type ; $D_{GWT} = 0$, $C_u = 4$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$, γ_{sat} ; และ $W_R = 3.5, 6.0$ T, h = 30, 50 cm	182

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.1 แสดงข้อมูลดินที่สำรวจบริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร (DATA OF EACH BORING LOG. NO. BH-2)	184
ข.2 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข \square section, $D_p = 1 \text{ m}$; In Sand Layer $C = 0 \text{ T/m}^2$, $\phi = 32^\circ$, $\gamma_{\text{sat}} = 1.8 \text{ T/m}^3$; In Clay Layer $C = 12 \text{ T/m}^2$, $\phi = 0^\circ$, $\gamma_{\text{sat}} = 2.0 \text{ T/m}^3$; และ $W_R = 3.0, 6.0 \text{ T}$, $h = 30, 50 \text{ cm}$	187
ข.3 แสดงตารางการคำนวณหาค่า Q_a ในกรณีข้อมูลจากตารางที่ ข.1	189
ข.4 แสดงตารางการคำนวณหาค่า Last Ten Blows Penetration ในกรณีข้อมูลจากตารางที่ ข.1	190
ค.1 แสดงตารางการคำนวณหาค่า Q_a ในกรณีข้อมูลจากตารางที่ ก.2	193
ค.2 แสดงตารางการคำนวณหาค่า Q_a ในกรณีข้อมูลจากตารางที่ ก.6	195
ค.3 แสดงตารางการคำนวณหาค่า Q_a ในกรณีข้อมูลจากตารางที่ ก.9	197
ค.4 แสดงตารางการคำนวณหาค่า Last Ten Blows Penetration ในกรณีข้อมูลจากตารางที่ ก.2	199

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สภาพทั่วไปที่ต้องใช้ฐานรากเสาเข็ม	7
2.2 แสดงลักษณะเสาเข็มแบบ Point Bearing Pile ใน (a) และ (b) และ Friction Pile ใน (c)	13
2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง λ กับความยาวของเสาเข็มที่ฝังในดิน (L)	15
2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Bearing Capacity Factors กับ ค่า Soil Friction Angle สำหรับฐานรากเสาเข็ม	15
2.5 แสดงความสามารถในการรับน้ำหนัก จากความเสียดทานรอบ ผิวเสาเข็มในดินทราย	16
2.6 ลักษณะของลูกตุ้มตอกเสาเข็ม	22
2.7 พฤติกรรมของดินเหนียว (a) Thixotropic (b) Partially thixotropic clay	25
2.8 การประเมินหาอัตราการหดตัวของดิน หรือแรงเสียดทานที่เพิ่มมากขึ้น	25
2.9 สภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่เพิ่มมากขึ้นตามกาลเวลาใน Soft - Stiff Clay	26
2.10 ฐานรากเสาเข็มกลุ่ม	30
2.11 Pile Load Test	30
3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานจัดทำโครงการ	35
3.2 แสดงวิธีการเข้าสู่โปรแกรม Microsoft Excel version 2000	39
3.3 แสดงหน้าจอเมื่อเข้าสู่โปรแกรม Microsoft Excel version 2000	39
3.4 แสดงขั้นตอนในการออกแบบฐานราก	40
3.5 แสดงขั้นตอนการคำนวณน้ำหนักบรรทุก โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel	41
3.6 การกำหนดตัวแปรในการคำนวณ (a) กรณี Static Formula (b) กรณี Dynamic Formula	43
3.7 การกำหนดตัวแปรในการคำนวณ (a) กรณี Static Formula (b) กรณี Dynamic Formula	43
3.8 การกำหนดตัวแปรในการคำนวณ (a) กรณี Static Formula (b) กรณี Dynamic Formula	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and ϕ . When pile is square, $D = 18$ cm, $L_p = 6$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} > L_p + D_f$	53
4.1.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 18$ cm, $L_p = 6$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} > L_p + D_f$	53
4.2.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and ϕ . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} > L_p + D_f$	55
4.2.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} > L_p + D_f$	55
4.3.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and ϕ . When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} > L_p + D_f$	56
4.3.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} > L_p + D_f$	56
4.4.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and ϕ . When pile is square, $D = 30$ cm, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} > L_p + D_f$	57
4.4.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 30$ cm, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} > L_p + D_f$	57
4.5.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and ϕ . When pile is square, $D = 35$ cm, $L_p = 14$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} > L_p + D_f$	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 35$ cm, $L_p = 14$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} > L_p + D_f$	58
4.6.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and ϕ . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} = 0$	61
4.6.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} = 0$	61
4.7.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and ϕ . When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} = 0$	62
4.7.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² and $D_{GWT} = 0$	62
4.8.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and C_u . When pile is square, $D = 18$ cm, $L_p = 6$ m, $D_f = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	65
4.8.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 18$ cm, $L_p = 6$ m, $D_f = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	65
4.9.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and C_u . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_f = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	67
4.9.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_f = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and Cu. When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	68
4.10.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h. When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	68
4.11.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and Cu. When pile is square, $D = 30$ cm, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	69
4.11.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h. When pile is square, $D = 30$ cm, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	69
4.12.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and Cu. When pile is square, $D = 35$ cm, $L_p = 14$ m, $D_f = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	70
4.12.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h. When pile is square, $D = 35$ cm, $L_p = 14$ m, $D_f = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	70
4.13.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and D_f . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$	74
4.13.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h. When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$	74
4.14.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and D_f . When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$	75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and L_p . When pile is square, $D = 22$ cm, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$	83
4.19.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$	83
4.20.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and L_p . When pile is square, $D = 26$ cm, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$	85
4.20.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 26$ cm, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$	85
4.21.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and L_p . When pile is square, $D = 22$ cm, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	86
4.21.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	86
4.22.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and L_p . When pile is square, $D = 26$ cm, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	87
4.22.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 26$ cm, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	87
4.23.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and L_p . When pile is square, $D = 22$ cm, $D_f = 1$ m ; $C_u = 4$ T/m ² , $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	88

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h. When pile is square, $D = 22$ cm, $D_f = 1$ m ; $C_u = 4$ T/m ² , $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	88
4.24.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and L_p . When pile is square, $D = 26$ cm, $D_f = 1$ m ; $C_u = 4$ T/m ² , $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	89
4.24.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h. When pile is square, $D = 26$ cm, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	89
4.25.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and Size. When pile is square, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$	92
4.25.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h. When pile is square, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$	92
4.26.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and Size. When pile is square, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$	95
4.26.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h. When pile is square, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$	95
4.27.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and Size. When pile is square, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	96
4.27.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h. When pile is square, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	96

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and Size. When pile is square, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	97
4.28.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h. When pile is square, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	97
4.29.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and Size. When pile is square, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C_u = 4$ T/m ² , $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	98
4.29.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h. When pile is square, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C_u = 4$ T/m ² , $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	98
4.30.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and Size. When pile is square, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C_u = 4$ T/m ² , $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	99
4.30.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h. When pile is square, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	99
4.31.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and Type. When pile is $D = 40$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$	102
4.31.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h. When pile is $D = 40$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m ² , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$	102
4.32.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and Type. When pile is $D = 40$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C_u = 4$ T/m ² , $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	102

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is $D = 40$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C_u = 4$ T/m ² , $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$	103
5.1 แสดงขั้นตอนการใช้ผลการศึกษาในการออกแบบและตรวจสอบการทำงานของ ฐานรากเสาเข็ม	111
ข.1 สภาพดิน From DATA OF EACH BORING LOG. NO.BH-2	185
ง.1 แสดงระยะจัดเรียงของเสาเข็มกลุ่มที่ให้ประสิทธิภาพเท่ากับ 1	201
ง.2 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 2 ต้น	204
ง.3 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 3 ต้น	205
ง.4 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 4 ต้น	206
ง.5 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 5 ต้น	207
ง.6 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 6 ต้น	208
ง.7 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 7 ต้น	209
ง.8 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 2 ต้น	210
ง.9 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 9 ต้น	211
ง.10 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 2 ต้น	212

นิยามคำศัพท์

A, A_p	=	พื้นที่หน้าตัดของปลายเสาเข็ม (m^2)
C	=	แรงเชื่อมแน่นของดิน (T/m^2)
C_u	=	Mean Untrained Shear Strength (T/m^2)
D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางและความกว้างของเสาเข็ม
D_r	=	เส้นผ่าศูนย์กลางและความกว้างของเสาเข็ม
D_{GWT}	=	ระดับน้ำใต้ดิน (วัดที่ระดับผิวดิน)
d	=	ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม
E	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุที่ทำเสาเข็ม (ของคอนกรีตมี $E = 2 \cdot 10^6 T/m^2$)
h	=	ระยะยกของลูกตุ้ม, (m)
I	=	ความหนาของที่รองหัวเสาเข็ม, (m)
K	=	Earth Pressure Coefficient
L_p	=	ความยาวของเสาเข็มที่ฝังลงในดิน, (m)
N	=	จำนวนครั้งที่ตอกเสาเข็มในระยะ 0.30 เมตรสุดท้าย (blows/cm)
Nc^*	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน
n	=	สัมประสิทธิ์การคืนสภาพ
$n_1 \cdot n_2$	=	จำนวนของเสาเข็ม
p	=	เส้นรอบรูปของหน้าตัดเสาเข็ม (m)
Q_a	=	ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (T)
Q_g	=	ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มกลุ่ม (T)
Q_p	=	ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่ปลายเสาเข็ม (T)
Q_s	=	ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่ด้านข้างเสาเข็ม (T)
Q_u	=	ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ (T)
s	=	ระยะทรุดตัวเฉลี่ยของเสาเข็ม $0.30/N$ (cm /blow)
t	=	ด้านที่แคบที่สุดของหน้าตัดเสาเข็ม (m)
W_p	=	น้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้ตอกเสาเข็ม (T)
W_R	=	น้ำหนักของเสาเข็ม (T)

คำนิยามศัพท์

$\overline{\sigma'_v}$	=	Mean effective vertical stress for the entire embedment length (T/m ²)
σ'_v	=	Effective vertical stress at the depth under Consideration (T/m ²)
δ	=	Soil – pile friction angle
η	=	ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่ม
θ	=	$\tan^{-1} (D/d)$ มีหน่วยเป็นองศา
γ_T	=	หน่วยน้ำหนักของดินในสนาม (T/m ³)
γ_{sat}	=	หน่วยน้ำหนักเปียกของดิน (T/m ³)
ϕ	=	Internal Friction Angle (°)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

งานฐานรากเป็นงานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสิ่งก่อสร้างทุกประเภท เพราะเป็นส่วนที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างต่อไปยังดินที่รองรับอยู่ใต้ฐานราก เพื่อให้สิ่งก่อสร้างที่ต้องการอยู่บนบริเวณชั้นดิน ที่ดินในระดับต้นๆ มีความแข็งแรงไม่เพียงพอที่จะรับน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการ ออกแบบ (Designed or Required Bearing Capacity) ไม่พังทลายและใช้งานได้อย่างปลอดภัย

ภายใต้ภาวะการใช้งานดังกล่าว รูปแบบหนึ่งของฐานรากที่สะดวกและนิยมใช้กันในปัจจุบันคือ การใช้เสาเข็มตอกแบบ Precast Concrete Pile เพราะสามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างได้ดี มีความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์ และดำเนินงานก่อสร้างได้ค่อนข้างง่าย

อย่างไรก็ตาม การคำนวณและวิเคราะห์หาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก เพื่อการออกแบบและนำไปใช้งาน ให้ถูกต้อง ประหยัด และปลอดภัยนั้น เป็นเรื่องที่ยุ่งยาก ใช้เวลา และง่ายต่อการเกิดข้อผิดพลาดพอสมควร เพราะมีความสัมพันธ์และตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นจำนวนมาก อีกทั้งมีข้อจำกัดและเงื่อนไขอีกมาก ส่วนตัวแปรก็ล้วนแต่มีผลต่อความสามารถในการน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง และค่าคงที่ในสูตรก็เป็นช่วงค่าที่กว้าง ทั้งต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด ดังนั้นจึงเป็นปัญหาในการตัดสินใจเลือกใช้ของวิศวกร ซึ่งอาจทำให้การคำนวณผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนได้

โครงงานนี้ จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของฐานราก โดยครอบคลุม 1. คุณสมบัติของดิน (บทที่ 3 หน้า 37), 2. ระดับน้ำใต้ดิน (D_{GW}) (บทที่ 3 หน้า 37), 3. คุณสมบัติของเสาเข็ม (บทที่ 3 หน้า 37) และ 4. คุณสมบัติของเครื่องมือตอกเสาเข็ม (บทที่ 3 หน้า 38) พร้อมทั้งได้โยงนำความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวให้ออกมาเป็นรูปแบบของ Chart ใช้งานลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ ทั้งในด้านการออกแบบและการตรวจสอบน้ำหนักบรรทุกของฐานราก Precast Concrete Pile

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกให้ผู้จัดทำโครงการ ได้นำความรู้ มาใช้ในการทำงาน และแก้ปัญหาจริง โดยเน้นให้เกิดการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ และการทำงานเป็นทีม
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ ต่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็มตอกชนิด Precast Concrete Pile ทั้งในด้านคุณสมบัติของดิน คุณสมบัติของเสาเข็ม และคุณสมบัติของเครื่องมือตอกเสาเข็ม
3. เพื่อนำเสนอความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุกในรูปแบบของ Design Chart
4. เพื่อใช้เป็นเอกสารประกอบการออกแบบและตรวจสอบผลการคำนวณน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็มชนิด Precast Concrete Pile ที่มีค่าตัวแปรในการออกแบบอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ในโครงการ

1.3 ขอบเขตการทำงาน

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับฐานรากเสาเข็มชนิด Precast Concrete Pile
2. วิเคราะห์ทฤษฎีเพื่อหาปัจจัยและตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ทั้งเรื่องคุณสมบัติของดิน คุณสมบัติของเสาเข็ม และคุณสมบัติของเครื่องมือตอกเสาเข็ม
3. ทำการคำนวณค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนปัจจัยและตัวแปร โดยการพัฒนาโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลช่วยในการคำนวณ
4. นำผลที่ได้จากการคำนวณมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มและตัวแปรทั้ง 3 กลุ่ม
5. วิเคราะห์และสรุปผลการวิเคราะห์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. กำหนดขอบเขตการทำงานและเป้าหมายในการดำเนินงาน
2. วางแผนการดำเนินงาน
3. ศึกษาทฤษฎีและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะใช้เป็นเครื่องมือในการทำงาน
4. รวบรวมข้อมูล ทำการคำนวณ และวิเคราะห์ผล
5. ทดสอบความถูกต้องของผลการคำนวณ ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาบน Microsoft Excel โดยการเปรียบเทียบกับรายการคำนวณที่มีอยู่ในเอกสารอ้างอิง (Das, 1990)
6. นำผลการวิเคราะห์และบทสรุปที่จะนำเสนอ มาทำการนำเสนอในรูปแบบของตารางและกราฟ
7. สรุปผลการทำงาน
8. จัดทำรูปเล่มของโครงการ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ผู้จัดทำโครงการได้ฝึกฝนการวิเคราะห์ การวางแผนงานให้เป็นระบบ เพื่อทำงานให้บรรลุเป้าหมาย รู้จักรับผิดชอบต่อหน้าที่และงานที่ได้รับมอบหมาย
2. ทำให้ผู้จัดทำรู้จักทำงานเป็นทีม และนำเสนอผลงานต่อผู้บังคับบัญชาหรือสาธารณชน
3. ได้ตารางแสดงผลการคำนวณ และกราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็ม Precast Concrete Pile
4. ให้เป็นเอกสารประกอบการออกแบบ และตรวจสอบผลการคำนวณของวิศวกร

1.6 แผนการดำเนินงาน

งาน	เวลาในการทำงาน									
	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	
1. เสนอโครงการและรายละเอียดของโครงการ	██████████									
2. วางแผนการดำเนินงาน	██████████									
3. ศึกษาทฤษฎีและโปรแกรมคอมพิวเตอร์	██									
4. รวบรวม ทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูล	██									
5. นำเสนอผลที่ได้	██									
6. ทดสอบการใช้งาน	██									
7. สรุปผลการทำงาน	██									
8. นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษา	██									
9. ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง	██									
10. จัดทำรูปเล่ม	██									

1.7 สถานที่จัดทำโครงการ

1. ห้องคอมพิวเตอร์ ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
2. สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
3. ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
4. ติ๊กปฏิบัติภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.8 งบประมาณที่ต้องใช้

1. ค่ากระดาษ A4 ริมละ 80 บาท 3 ริม	160 บาท
2. ค่าหมึกพิมพ์ปริ้นเตอร์สีด้ากล่องละ 1350 บาท 2 กล่อง	2700 บาท
3. ค่าแผ่นดิสก์เกตกล่องละ 280 บาท 1 กล่อง	280 บาท
4. ค่าเช่าเครื่องคอมพิวเตอร์	340 บาท
5. ค่าสแกนรูปภาพ	60 บาท
6. ค่าถ่ายเอกสาร	720 บาท
7. ค่าจัดทำรูปเล่ม เล่มละ 150 บาท 4 เล่ม	<u>600</u> บาท
รวม	<u>4860</u> บาท



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ฐานรากเสาเข็ม

ฐานรากเสาเข็ม เป็นฐานรากที่มีเสาเข็มเป็นส่วนที่จะรับน้ำหนักจากโครงสร้างลงสู่ชั้นดิน ในระดับลึกที่สามารถรองรับน้ำหนักได้โดยไม่เกิดความพิบัติ โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่ปลายเสาเข็ม (End Bearing or Point Bearing) และความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดินจากความเสียดทานระหว่างผิวเสาเข็มและดิน (Skin Frictional Resistance) ซึ่งสภาพการใช้งานส่วนใหญ่มีดังนี้ (จรรณี สุขสาตร, 2540)

1. เมื่อดินในระดับตื้นมีกำลังรับน้ำหนักไม่เพียงพอที่จะรองรับโครงสร้างได้ หรือมีค่าการยุบอัดตัวมาก (High Compressibility) และดินที่มีความแข็งแรงเหมาะสมที่จะรองรับโครงสร้างอยู่ในระดับลึก (มากกว่า 5 เมตร) จึงต้องเลือกใช้ฐานรากเสาเข็ม ซึ่งมีเสาเข็มรับน้ำหนักจากโครงสร้างผ่านชั้นดินที่ไม่เหมาะสมในระดับตื้นลงสู่ชั้นดินระดับลึกที่มีความเหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (a) และ 2.1 (b)

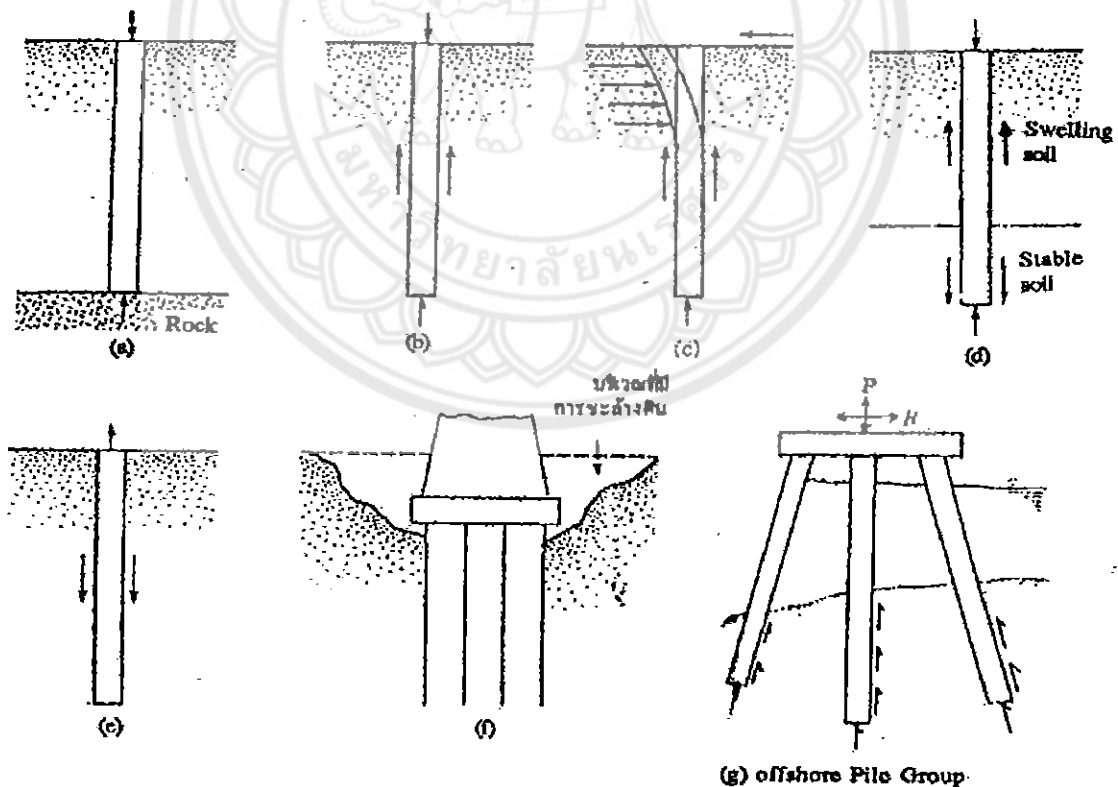
2. เมื่อฐานรากต้องรับแรงแนวนอน (Horizontal Force) ควรเลือกฐานรากเสาเข็มเพื่อต้านทานโมเมนต์ที่จะเกิดขึ้นในฐานราก ดังแสดงในรูป 2.1 (c) ยกตัวอย่างเช่น การออกแบบ Earth Retaining Wall หรือโครงสร้างสูงที่รับแรงลม เป็นต้น

3. เมื่อพบชั้นดินบางช่วงเป็นดินประเภท Expansive Soil ซึ่งเป็นดินที่มีคุณสมบัติบวมตัว (Swelling) ถ้ามีความชื้นมากขึ้นและหดตัว (Shrinkage) ถ้าสูญเสียความชื้น ควรเลือกฐานรากเสาเข็ม เพื่อหลีกเลี่ยงการถ่ายน้ำหนักโครงสร้างลงสู่ดินประเภทนี้ ในทำนองเดียวกัน เมื่อพบดินประเภท Collapsible Soil ซึ่งเป็นดินประเภทที่โครงสร้างถูกทำลายไป ถ้าได้รับความชื้นมากขึ้น อันเป็นผลทำให้เกิดการหดตัวในดินได้มากในทันที ดังแสดงในรูป 2.1 (d)

4. เมื่อฐานรากต้องรับแรงดึงขึ้น (Tension or Uplift Force) หรือต้องต้านทานการพลิกตัวของอาคาร (Overtuning) ควรเลือกเป็นฐานรากเสาเข็ม เพื่อต้านทานแรงดังกล่าว ดังแสดงในรูป 2.1 (e)

5. เมื่อโครงการเป็นงานก่อสร้างสะพาน จำเป็นต้องวางตอม่อไว้บนฐานรากเสาเข็ม เพื่อหลีกเลี่ยงความสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานราก อันเนื่องมาจากการกัดกร่อนของดิน ดังแสดงในรูป 2.1 (f)

6. เมื่อตำแหน่งของโครงสร้างอยู่นอกชายฝั่งทะเล ต้องเลือกใช้ฐานรากเสาเข็มเพื่อถ่ายน้ำหนักโครงสร้างผ่านชั้นน้ำลงสู่ดินในระดับล่าง ดังแสดงในรูป 2.1 (g)



รูปที่ 2.1 สภาพทั่วไปที่ต้องใช้ฐานรากเสาเข็ม (วรรณิ์ สุขศาสตร์, 2540)

2.2 ชนิดของเสาเข็ม

เสาเข็มมีหลายชนิด ซึ่งสามารถแบ่งได้หลายระบบ แต่ละระบบใช้วัตถุประสงค์ในการแบ่งแตกต่างกัน เช่น แบ่งตามวัสดุและการใช้งาน จะได้เป็น 4 ชนิดคือ เสาเข็มไม้, เสาเข็มคอนกรีต, เสาเข็มเหล็ก และเสาเข็มประกอบ เป็นต้น แต่ในที่นี้จะแบ่งตามการเคลื่อนตัวของดินในระหว่างติดตั้งเสาเข็ม ซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ (วรรณิ ศุขสาทร, 2540)

2.2.1 เสาเข็มที่เกิดการเคลื่อนตัวของดินมากในระหว่างการติดตั้ง

1. เสาเข็มหล่อในที่ โดยมีการตอกแบบหล่อลงไป在地ก่อนเทคอนกรีต (Driven and Cast in Place) ซึ่งมีความยาวโดยประมาณ 24 – 36 เมตร และความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดประมาณ 1500 kN โดยมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนี้ (วรรณิ ศุขสาทร, 2540)

ข้อดี

- ปรับแก้ความยาวของเสาเข็มได้ตามความเหมาะสม
- ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างของเสาเข็ม อันเนื่องมาจากตอกเสาเข็มและโมเมนต์ที่เกิดจากตำแหน่งที่ยกเสาเข็มขึ้น
- ไม่มีผลกระทบต่อเสาเข็มจากน้ำใต้ดิน เนื่องจากมีแบบหล่อตอกลงไปก่อนเทคอนกรีตลดความสั่นสะเทือนและเสียงดังที่จะเกิดขึ้นได้
- เพิ่มความหนาของดินประเภท Granular Soil ที่รองรับเสาเข็มได้ โดยการขยายปลายของเสาเข็ม (Enlarged Base) ทำให้เพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักด้วย

ข้อเสีย

- ทำให้ผิวดินด้านข้างเคียงยกตัวสูงขึ้น ซึ่งอาจเกิดผลกระทบต่อโครงสร้างบริเวณนั้นได้ เช่น เกิดเป็นรอยร้าว หรือเกิดความวิบัติในโครงสร้างได้
- ไม่สามารถตรวจสอบความแข็งแรงของคอนกรีตได้
- ทำให้เกิดความเสียหายในแบบหล่อประเภท Light Steel Section หรือ Precast Concrete Shell ได้ ถ้าตอกแบบหล่อแรงเกินไป

2. เสาเข็มตอก (Driven Precast Concrete or Prestressed Concrete Pile) เป็นเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบ Prestress โดยความยาวของเข็มมากที่สุดประมาณ 27 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดประมาณ 1000 kN มีข้อดีและข้อเสีย ดังนี้ (วรรณิ ศุขสาตร, 2540)

ข้อดี

- ตรวจสอบคุณภาพของโครงสร้างในเสาเข็มได้ก่อนตอกเสาเข็ม
- เพิ่มความหนาแน่นของดินประเภท Granular Soil เนื่องจากกาการตอกเข็มทำให้เพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักด้วย
- ไม่มีผลกระทบต่อวิธีก่อสร้างจากน้ำใต้ดิน
- สามารถเลือกใช้ความยาวเสาเข็มได้

ข้อเสีย

- ทำให้เกิดความสั่นสะเทือน เนื่องจากกาการตอกเสาเข็มและเป็นผลให้เกิดการยกตัวสูงขึ้นของผิวดินใกล้เคียง ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อโครงสร้างได้
- ทำให้เกิดความเสียหายต่อเสาเข็ม ถ้าตอกแรงมากเกินไป
- การตอกและการยกเสาเข็มจะมีผลกระทบต่อโครงสร้าง

3. เสาเข็มไม้ (Timber Pile) เป็นเสาเข็มที่มีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการขนส่งและยกขึ้น แต่มีข้อเสียคือผุพังได้ง่าย ดังนั้นโดยทั่วไป เสาเข็มไม้จะเหมาะสมสำหรับสภาพดินที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน คือทำให้เข็มไม้จมน้ำ ถึงอย่างไรก็ตาม มีวิธีป้องกันการผุพังในส่วนของเสาเข็มที่อยู่เหนือน้ำได้ โดยฉาบสารเคมี เช่น Creosote Oil รวมทั้งทำให้เกิดความเสียหายต่อเสาเข็มถ้าตอกแรงเกินไป ความยาวของเสาเข็มไม้ที่ใช้มากที่สุดประมาณ 20 เมตร โดยจะใช้รับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดประมาณ 600 kN (วรรณิ ศุขสาตร, 2540)

2.2.2 เสาเข็มที่เกิดการเคลื่อนตัวของดินน้อยในระหว่างการติดตั้ง

1. Rolled Steel Section Piles รูปหน้าตัดของเสาเข็มอาจเป็น H – Beam or I – Beam or Pipe Pile โดยมีความยาวมากที่สุดประมาณ 36 เมตรและรับน้ำหนักได้มากที่สุดประมาณ 1700 kN (วรรณิ ศุขสาตร, 2540)

2. Screw Pile เหมาะสมสำหรับงานโครงสร้างในชายทะเล เนื่องจากเป็นเสาเข็มที่รองรับได้ทั้งแรงดึงและแรงกด โดยความยาวที่ใช้มากที่สุดประมาณ 24 เมตร และรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดได้ประมาณ 2500 kN (วรรณิ ศุขสาตร, 2540)

เสาเข็มที่เกิดการเคลื่อนตัวของดินน้อยในระหว่างการติดตั้ง มีข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี

- สามารถทำการติดตั้งได้ง่าย
- ทนทานต่อแรงที่ตอก
- สามารถเปลี่ยนแปลงความยาวของเสาเข็มตามความต้องการได้
- มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้มาก

ข้อเสีย

- มักเกิดการมุก่อนในผิวโลหะ โดยเฉพาะถ้าพบดินที่มี PH น้อยกว่า 7 ดังนั้นจึงควรทำ ความป้องกันด้วยการทาสีหรือฉาบสารเคมี

2.2.3 เสาเข็มที่ไม่เกิดการเคลื่อนตัวของดิน

เป็นเสาเข็มที่ไม่เกิดการเคลื่อนตัวของดิน (No Displacement Pile) ในระหว่างการติดตั้ง เสาเข็ม เสาเข็มชนิดนี้ได้แก่ เสาเข็มเจาะ (Bored and Cast in Place Pile) ที่มีวัสดุกันดินด้านข้างพัง เช่น Casing or Drilling Mud โดยความยาวที่ใช้มากที่สุดประมาณ 45 เมตร และรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดประมาณ 10000 kN ซึ่งเสาเข็มประเภทนี้มีข้อดีและข้อเสีย ดังนี้ (วรรณิ ศุขสาตร, 2540)

ข้อดี

- ไม่เกิดการดันดินด้านข้างให้ยกตัวสูงขึ้น
- เปลี่ยนแปลงความยาวของเสาเข็มตามความต้องการได้
- ตรวจสอบคุณสมบัติของดินในหลุมเจาะและนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลดินจากการสำรวจได้
- ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างของเสาเข็ม เนื่องมาจากการตอกและการยก
- ไม่ก่อให้เกิดเสียงดังและการสั่นสะเทือน

ข้อเสีย

- อาจมีผลทำให้ดินประเภท Sandy Soil หรือ Gravelly Soil มีความหนาแน่นน้อยลง เนื่องมาจากการเจาะหลุม
 - เมื่อพบน้ำใต้ดิน จะทำให้ไม่สะดวกในการเทคอนกรีต และไม่สามารถตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตได้ แต่สามารถแก้ไขได้โดย ทำการเทคอนกรีตทันทีหลังจากเจาะหลุมแล้ว เพื่อป้องกันไม่ให้ดินอ่อนตัวลง และคอนกรีตต้องมี Workability เพียงพอ ในทางปฏิบัติ คอนกรีตควรมี Slump ประมาณ 10 – 15 เซนติเมตร ซึ่งน้ำในส่วนผสมต้องมีปริมาณไม่มากเพื่อป้องกันการเกิดข้อบกพร่องในคอนกรีต เช่น เกิด Segregation เป็นต้น ดังนั้นโดยทั่วไปในคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตรควรมีคอนกรีตเป็นส่วนผสมไม่น้อยกว่า 300 kg.
 - น้ำในหลุมเจาะ อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวหรืออาจทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มลดลงไป
 - ถ้าเป็นดินประเภท Granular Soil จะทำให้ไม่สามารถขยายปลายเสาเข็มได้

2.3 การใช้งานเสาเข็ม

การใช้งานเสาเข็มที่พบโดยทั่วไป ได้แก่ (บุญเทพ นานะรังสรรค์, 2539)

1. End Bearing or Point Bearing Piles หมายถึง การให้น้ำหนักบรรทุกเกือบทั้งหมดนั้นรับโดยดินที่อยู่ส่วนปลายเสาเข็ม (แรงต้านทานส่วนปลาย) เช่น ปลายเสาเข็มอยู่บนชั้นหินหรือจมอยู่ในชั้นทรายปนกรวดที่แน่นมาก ดังรูป 2.2 (a)

2. Friction Piles คือ นำหนักบรรทุกเกือบทั้งหมดนั้นรับโดยแรงเสียดทานรอบผิวเสาเข็ม เช่น เสาเข็มที่อยู่ในชั้นของดินเหนียวทั้งหมด ดังรูป 2.2 (b), (c)

3. Compaction Piles ใช้ในการทำให้ดินที่มีลักษณะเป็นเม็ด เช่น ทราย เรียงตัวให้แน่นขึ้นโดยการสั่นสะเทือน ซึ่งจะทำให้การรับน้ำหนักของดินมากขึ้นตามไปด้วย

4. Tension or Uplift Piles เป็นเสาเข็มที่รับแรงดึงซึ่งอาจจะเกิดจากแรงดันของน้ำ เช่น เสาเข็มของสระว่ายน้ำ หรือรับโมเมนต์ เช่น เสาเข็มของผนังกันดิน

5. Anchor Piles เป็นเสาเข็มที่ใช้ยึดกันติดกับโครงสร้างหรือดินเพื่อรับแรงดึงในแนวตั้งหรือในแนวราบ เช่น เสาเข็มที่ใช้ยึดสำหรับการทดสอบเสาเข็ม หรือเสาเข็มใน Sheet Pile Wall

6. Fender Pile and dolphin ใช้รับแรงกระแทกตามท่าเทียบเรือหรือบริเวณริมฝั่งที่มีคลื่นลมทะเล

7. Batter Piles ใช้รับแรงในแนวราบหรือแนวเอียงที่มีขนาดใหญ่หรือสูงโดยเฉพาะเสาเข็มที่ใช้ประโยชน์อื่นๆ เช่น ป้องกันการกัดเซาะของน้ำ หรือการไหลตัวของดิน เป็นต้น

2.4 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเด็ชวโคชวิธิ Static Formula

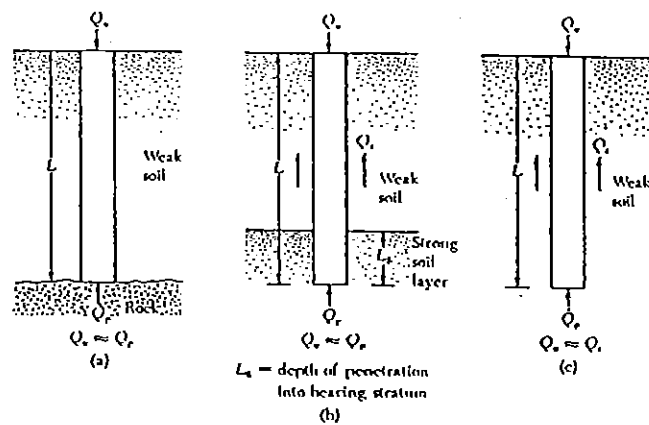
2.4.1 ฐานรากเสาเข็มในชั้นดินเหนียว

2.4.1.1 End Bearing

ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินที่ปลายเสาเข็ม (Q_p) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังนี้ (Das, 1990)

	Q_p	=	$cN_c^*A_p$
เมื่อ	Q_p	=	ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินที่ปลายเสาเข็ม (T/m^3)
	c	=	แรงเชื่อมแน่นของดิน (T/m^2)
	N_c^*	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน
	A_p	=	พื้นที่หน้าตัดของปลายเสาเข็ม (m^2)

สำหรับเสาเข็มเจาะ อาจจะขยายฐานที่ปลายเสาเข็มออกให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าต้นเสาเข็มทั้งนี้เพื่อที่จะให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะเสาเข็มแบบ Point Bearing Pile ใน (a) และ (b) และ Friction Pile ใน (c) (Das, 1990)

2.4.1.2 Skin Friction

โดยใช้วิธี λ Method จะสามารถหาค่า Unit Skin Resistance ในดินเหนียวจากสมการต่อไปนี (Das, 1990)

$$f_{av} = \lambda(\bar{\sigma}'_v + 2C_u)$$

เมื่อ $\bar{\sigma}'_v$ = Mean Effective Vertical Stress for the Entire Embedment length (T/m^2)

C_u = Mean Untrained Shear Strength (T/m^2)

ค่า λ จะเปลี่ยนแปลงไปตามความลึกของเสาเข็ม สามารถดูได้จากรูปที่ 2.3 ดังนั้น

$$Q_s = pL f_{av}$$

2.4.2 ฐานรากเสาเข็มในชั้นทราย

ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นสัมพัทธ์ของทรายเป็นส่วนใหญ่ ถ้าเสาเข็มถูกตอกลงไปชั้นทราย ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของชั้นทรายที่อยู่รอบข้างเสาเข็มจะเพิ่มขึ้นเหมือนถูกบดอัด (ยกเว้นในชั้นทรายแน่น ซึ่งอาจทำให้หลวมขึ้น)

ความสามารถในการรับน้ำหนักของทราย แบ่งออกเป็น 2 อย่างด้วยกัน คือ

2.4.2.1 End Bearing

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของทรายที่ปลายเสาเข็ม (Q_p) ซึ่งค่า Nq^* หาได้จากรูปที่ 2.4 และสมการที่ใช้หาค่า Q_p คือ (Das, 1990)

$$Q_p = q'Nq^*A_p$$

2.4.2.2 Skin Friction

ค่าเฉลี่ยของความฝืดรอบผิวเสาเข็มตลอดความยาวที่จมลงในชั้นทราย (f_s) สามารถหาได้จากสมการดังนี้ (Das, 1990)

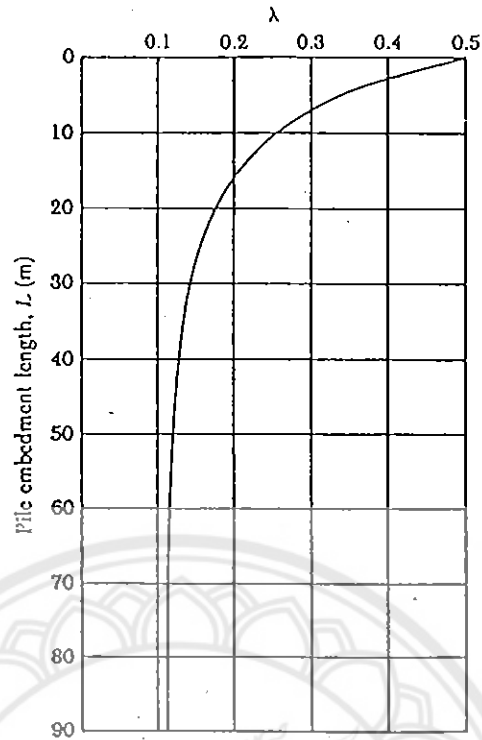
- f = $K\sigma'_v \tan \delta$
- เมื่อ K = Earth Pressure Coefficient
- σ'_v = Effective vertical stress at the depth under Consideration (T/m^2)
- δ = Soil – pile friction angle

ตารางที่ 2.1 Average Values of Earth Pressure Coefficient

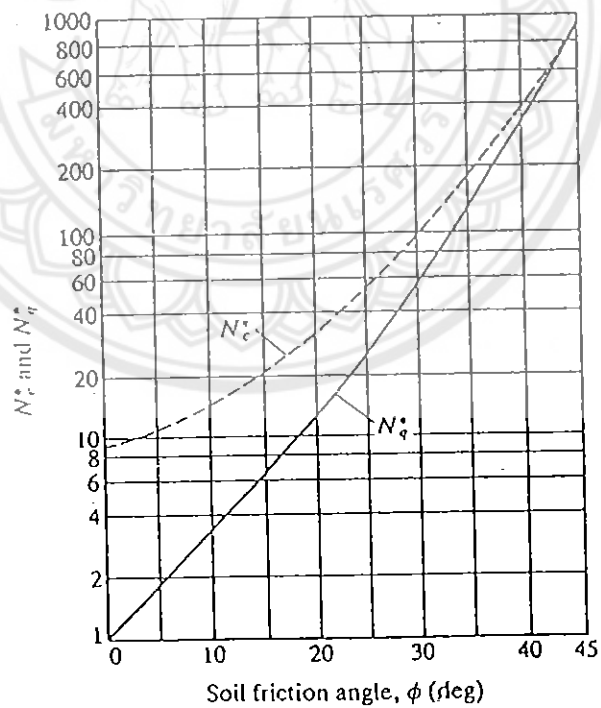
Pile Type	K
Bored or Jetted	$\approx K_0 = 1 - \sin\phi$
Low – Displacement Driven	$\approx K_0 = 1 - \sin\phi$ to $1.4K = 1.4(1 - \sin\phi)$
High – Displacement Driven	$\approx K_0 = 1 - \sin\phi$ to $1.8K = 1.8(1 - \sin\phi)$

ความเค้นในแนวตั้งประสิทธิผล (Effective Vertical Stress: σ'_v) ในสมการข้างต้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับความลึกของเสาเข็มจนถึงขีดจำกัดสูงสุดที่ความลึก 15-20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม และจากนั้นก็คงที่ ดังรูปที่ 2.5

ความลึกวิกฤต (L') เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว เช่น Soil Friction Angle, Compressibility และ Relative Density จึงได้มีการประมาณค่าและสมมติค่าเท่ากับ 15D



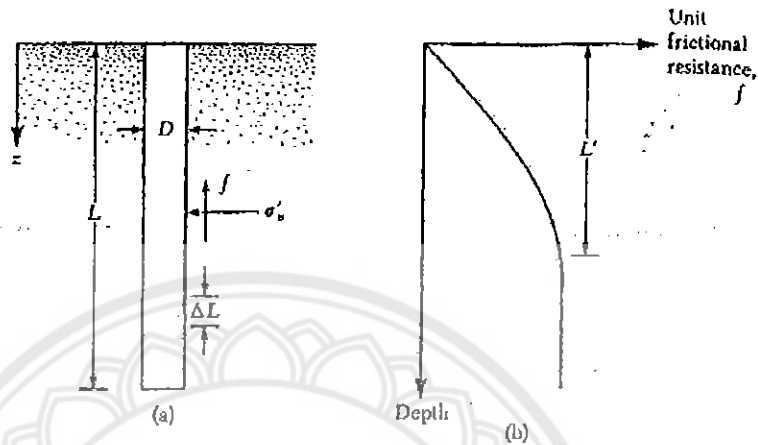
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง λ กับความยาวของเสาเข็มที่ฝังในดิน (L) (Das, 1990)



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Bearing Capacity Factors กับค่า Soil Friction Angle สำหรับฐานรากเสาเข็ม (Meyerhof, 1976)

สำหรับค่า δ จากการค้นคว้าหลายครั้ง ปรากฏว่าจะมีค่าอยู่ในช่วง $0.5\phi - 0.8\phi$ โดย

$$Q_s = pL f_{av}$$



รูปที่ 2.5 แสดงความสามารถในการรับน้ำหนักจากความเสียดทานรอบผิวเสาเข็มในดินทราย (Das, 1990)

2.5 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มเดี่ยวโดยวิธี Dynamic Formula

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า เสาเข็มตอกนั้นจะส่งผลกระทบต่อดินมากกว่าเสาเข็มชนิดอื่น ซึ่งจะมากจะน้อยขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้และวิธีการตอก บางครั้งสภาพของดินก็ก่อให้เกิดปัญหาในการตอก เช่น ดินที่มีกรวดขนาดใหญ่ปนอยู่มาก การเลือกใช้ประเภทของเสาเข็มและเทคนิคในการตอกนั้นนับว่าสำคัญมาก ข้อมูลที่ได้จากการตอกเสาเข็มสามารถนำมาใช้ประเมินสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มได้ แต่ต้องใช้ด้วยความระมัดระวังเพราะมีความผันแปรอยู่มาก (บุญเทพ นาเนกรังสรรค์, 2539)

2.6 สูตรในการหาสภาพการรับน้ำหนักจากการตอกเสาเข็ม

ในการตอกเสาเข็มนั้น จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูล เพื่อใช้ประโยชน์ในการประเมินสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยตรงสำหรับงานขนาดเล็ก (ไม่มีการวิเคราะห์จากวิธีอื่นๆ) หรือใช้การตรวจสอบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีอื่นๆ (Static Formula, Pile Load Test) หรือใช้เป็นเกณฑ์กำหนดในการให้หยุดตอกเสาเข็ม เมื่อจำนวนครั้งที่ตอก (ความต้านทานของการตอก) สูงมากพอแล้ว ควรให้หยุดตอกเพื่อมิให้เกิดความเสียหายต่อเสาเข็ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ในการตอก (สามารถใช้สูงสุดเท่ากับ 4.1 ตัน-เมตร หรือ Driving Stress ไม่เกิน $0.6 f'c$) และที่ใช้เป็นตัวกำหนดให้หยุดตอกเสาเข็มโดยประมาณมีดังนี้ (บุญเทพ นานะรังสรรค์, 2539)

เสาเข็มไม้	48 – 60 ครั้ง / 30 ซม. หรือ 5.0 – 6.2 ซม. / 10 ครั้ง
เสาเข็มคอนกรีต	72 – 96 ครั้ง / 30 ซม. หรือ 3.1 – 4.2 ซม. / 10 ครั้ง
เสาเข็มเหล็ก	144-180 ครั้ง / 30 ซม. หรือ 1.7 – 2.1 ซม. / 10 ครั้ง

การประเมินสภาพรับน้ำหนักของเสาเข็ม จากข้อมูลที่ได้จากการตอกนี้ อาศัยหลักการของโมเมนต์และพลังงานที่ไม่สูญหาย โดยได้มีการแนะนำสูตรสำเร็จกันเป็นจำนวนมาก เท่าที่สามารถหาและรวบรวมได้มีดังตารางที่ 2.2

การใช้สูตรสำเร็จดังกล่าวข้างต้น ควรระมัดระวังในการใช้หน่วยให้ถูกต้อง และควรเลือกใช้สัดส่วนหรือส่วนลด สำหรับความปลอดภัยที่เหมาะสม (ประมาณ 3-6) รายละเอียดของการวิเคราะห์ที่มาของสูตรนั้น หาได้จากหนังสือเสาเข็มทั่วไป (วรรณิ ศุขสาตร, 2540 ; บุญเทพ นานะรังสรรค์, 2539 ; Das, 1990) ในที่นี้จะไม่ขอล่าถึง

ตารางที่ 2.2 สูตรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด
(คู่มือวิศวกรรมโยธา, หน้า 279-281)

ที่	ชื่อ	สูตร	หมายเหตุ
1	Engineering News	$Q_u = \frac{Wh}{S+0.0254C}$	$0.05 \leq C \leq 1.00$
2	Modified Eng. News	$Q_u = \frac{Wh \cdot \frac{W_R + n^2 W_P}{W_R + W_P}}{S+0.0254C}$	$0.05 \leq C \leq 1.00$ $n = 0.25$
3	Hiley	$Q_u = \frac{WhZ \cdot \frac{W_R + n^2 W_P}{W_R + W_P}}{S+0.01C/2}$	$Z = 0.80, n = 0.25$ $C = C_1 + C_2 + C_3$ $C_1 = 1.80Q_u L^2/A$ $C_2 = 0.72Q_u L/A$ $C_3 = 3.60Q_u/A$
4	Dutch	$Q_u = \frac{10}{12} \frac{Wh}{S+0.0254C} \frac{W_R}{W_R + W_P}$	$C = 0.1$
5	So	$Q_u = \frac{a}{S + \sqrt{0.5ab}}$	$a = eWh, e = 0.80$ $b = L / (AE)$ $E = \text{โมดูลัสยืดหยุ่น}$ $= 2.0 \cdot 10^6 \text{ T/m}^2$
6	Janbu	$Q_u = \frac{Wh}{Ks}$	$C = 0.75 + 0.15W_P/W_R$ $K = C[1 + \sqrt{1 + \lambda/C}]$ $\lambda = WhL / (AEs^2)$ $E = 1.80 \cdot 10^6 \text{ T/m}^2$
7	Gate	$Q_u = 40\sqrt{eWh} \cdot \log(1/4S)$	$e = 0.75$

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) สูตรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูง
สุด (คู่มือวิศวกรโยธา, หน้า 279-281)

8	Eytwein	$Q_u = \frac{Wh}{S+0.0254(W_p/W_R)}$	
9	Navy Mckay	$Q_u = \frac{Wh}{S[1+0.8(W_p/W_R)]}$	
10	Rankine	$Q_u = \frac{2AE_s}{L} \left[\frac{\sqrt{1+WhL} - 1}{S^2EA} \right]$	
11	Redtenbacher	$Q_u = \frac{AE}{L} \left[\frac{S + \sqrt{S^2 + \frac{W_p W_R}{EA}}}{EA(W_p + W_R)} \right]$	
12	Pacific Coast Uniform Building Code	$Q_u = \frac{W_R h (W_R + n^2 W_p) / (W_R + W_p)}{S + (RL/AE)}$	
13	Michigan State Highway Commission	$Q_u = \frac{2.5E_n}{S+0.0254C} \frac{W_R + n^2 W_p}{W_R + W_p}$	$C = 1.0$ $E_n = W_R h$
14	Danish	$Q_u = \frac{CE_n}{S + \sqrt{CE_n L / 2AE}}$	
15	รศ. วิเชียร เต็งอำนวยการ และ สนิท พิพิธสมบัติ	$Q_u = \sqrt{W_R h} [44.6 \log(V/s) + 8.22]$ $Q_u = \frac{2.14 W_R h}{K_s + \sqrt{0.5ab}}$	ในพื้นที่กทม. และใกล้เคียง - เสาค้ำหน้าตัด I และ DH - เสาค้ำหน้าตัดสี่เหลี่ยม จัตุรัส

2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม

การเลือกใช้เครื่องมือแต่ละชนิดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพของดิน และขนาดหรือชนิดของเสาเข็มที่ใช้ โดยหลักการนั้นจะใช้ค้อนหรือลูกตุ้มตอกกระทบบนเสาเข็มที่มี Anvil หรือ Pile Cap รองรับ เสาเข็มจะจมได้ง่ายหรือยากนั้นขึ้นอยู่กับ น้ำหนักของลูกตุ้ม หรือพลังงานที่ให้แก่เสาเข็ม เครื่องตอกนี้จะยึดติดอยู่กับปั้นจั่นซึ่งเป็นโครงเหล็ก ประเภทของเครื่องตอกที่ใช้กันอยู่มีดังนี้ (บุญเทพ นานะรังสรรค์, 2539)

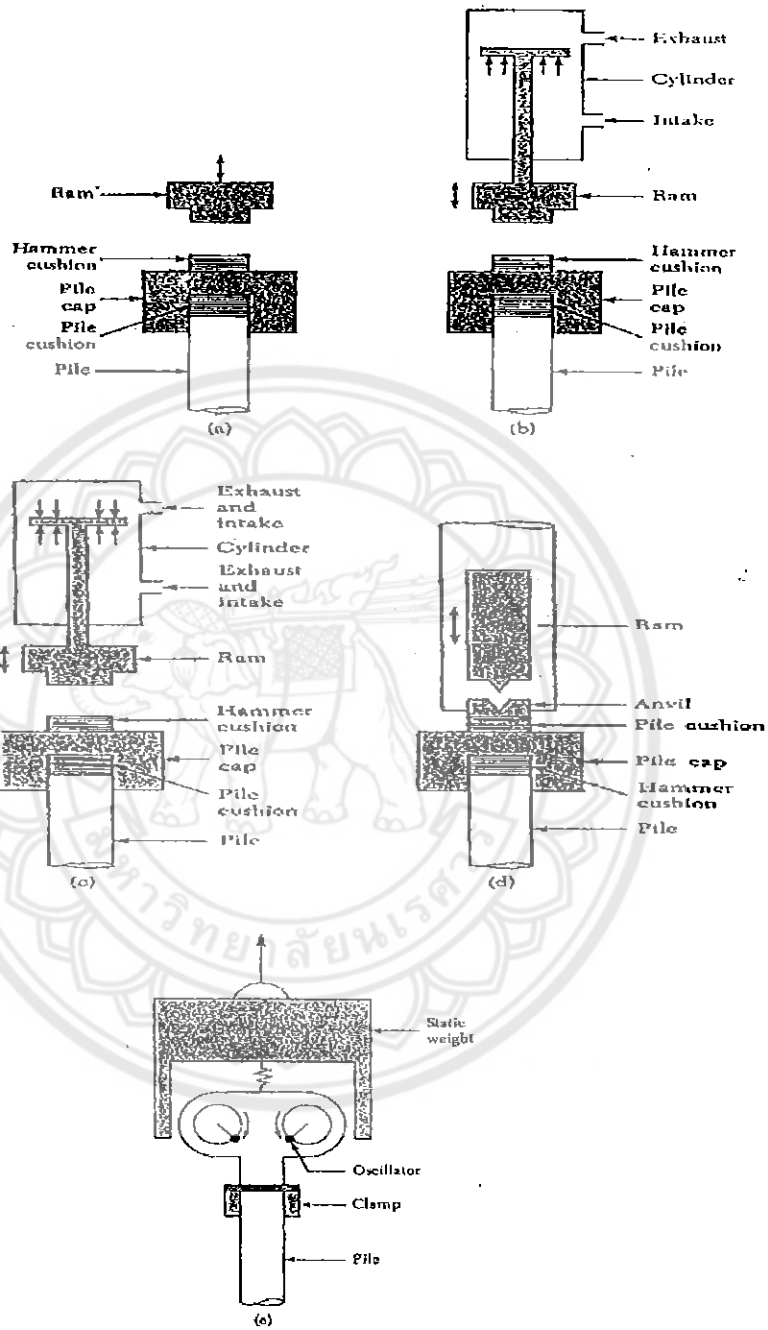
1. Drop Hammer เป็นการยกตุ้มเหล็กให้สูงขึ้นด้วยลวดสลิงซึ่งได้กำลังจากเครื่องจุดแล้วปล่อยให้ตกโดยอิสระเพื่อกระทบเสาเข็มโดยมี Pile Cap รองรับอยู่ เพราะว่าลูกตุ้มนี้จะมีน้ำหนักมาก คือ 3 – 7 ตัน จึงทำให้การตอกแต่ละครั้งเป็นไปได้ช้า (นิยมใช้ 3.5 และ 4.5 ตันเป็นส่วนใหญ่) อย่างไรก็ตามยังเป็นที่ยอดนิยมใช้กันมากในปัจจุบันนี้ เพราะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยและบำรุงรักษาได้ง่าย เหมาะสำหรับงานตอกเสาเข็มที่มีปริมาณไม่มากนัก โดยมีระยะเวลาในการดำเนินงานที่นานพอสมควร ข้อเสียอีกส่วนหนึ่งคือควบคุมการตกของลูกตุ้มได้ยากและปั้นจั่นต้องสูงพอที่จะยกลูกตุ้ม ดังแสดงในรูป 2.6 (a)

2. Single – Acting Steam Hammer เป็นการใช้ความดันของไอน้ำหรืออากาศยกลูกตุ้มให้สูงขึ้นแล้วปล่อยให้ตกโดยอิสระ น้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้โดยประมาณ 2.5 – 20 ตันและยกขึ้นสูงกว่าของ Drop Hammer แต่ไม่เกิน 1.2 เมตร โดยทั่วไปปกติจะเลือกใช้อัตราส่วนน้ำหนักของลูกตุ้มต่อเสาเข็มประมาณ 0.5 – 1.0 ความเร็วในการตอกประมาณ 60 ครั้งต่อนาที ซึ่งเร็วกว่า Drop Hammer พลังงานที่เสาเข็มได้รับนั้นเป็นความเร็วกระทบโดยน้ำหนักของลูกตุ้ม เหมาะสำหรับการตอกท่อเหล็กขนาดใหญ่ในปัจจุบัน แผนภาพดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 (b)

3. Double – Acting Steam Hammer เป็นการใช้ความดันของไอน้ำหรืออากาศทั้งในการยกลูกตุ้มขึ้นและเร่งให้เร็วขึ้น ทำให้ความเร็วในการตอกกระทบของลูกตุ้มสูงกว่าสองชนิดที่กล่าวมาก่อนนี้ (ประมาณ 100 – 300 ครั้งต่อนาที) น้ำหนักของลูกตุ้มอยู่ระหว่าง 90 – 23000 กิโลกรัม และที่พบว่าใช้สูงสุดคือ 18140 กิโลกรัม อัตราส่วนโดยน้ำหนักของลูกตุ้มต่อน้ำหนักเสาเข็มควรอยู่ระหว่าง 0.5 – 1.0 ส่วนใหญ่ใช้ในการตอก Sheet Pile และลูกตุ้มที่ใช้ทั่วไปมีความยาวประมาณ 2–4.5 เมตร ดังรูปที่ 2.6 (c)

4. Diesel Hammer เป็นการใช้การอัดและระเบิดของเชื้อเพลิงดีเซลยกลูกตุ้มให้สูงขึ้น ซึ่งขณะเดียวกันก็จะบีบให้เสาเข็มจมลงในดินพร้อมกับการกระแทกของลูกตุ้ม โดยขั้นแรกนั้นจะต้องยกลูกตุ้มให้สูงขึ้นแล้วปล่อยให้ตกลงมา เพื่อเป็นการจุดระเบิดสตาร์ทเครื่องยนต์ให้ทำงาน น้ำหนักลูกตุ้มนั้นขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 2 – 5 ตันซึ่งเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากกับดินเหนียวที่แข็งหรือทรายที่แน่น ซึ่งระยะการจมของเสาเข็มมีน้อย หากใช้กับดินที่อ่อนหรือเสาเข็มจมลงในดินมากในการตอกแต่ละครั้งแล้ว เครื่องยนต์จะดับเพราะระยะยกของลูกตุ้มไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการระเบิดของเชื้อเพลิงในครั้งต่อไป จำเป็นต้องมีการสตาร์ทเครื่องยนต์ใหม่และทำให้การทำงานไม่ค่อยได้ผลเมื่อเทียบกับชนิดอื่นๆ ความยาวของลูกตุ้มชนิดนี้ประมาณ 4.5–6.0 เมตรโดยเฉลี่ย และสามารถเคลื่อนย้ายได้คล่องตัวเพราะไม่มีท่ออัดอากาศหรือน้ำเช่นเดียวกับ Single – Acting Steam Hammer หรือ Double – Acting Steam Hammer อัตราส่วนโดยน้ำหนักของลูกตุ้มต่อน้ำหนักเสาเข็มควรอยู่ระหว่าง 0.25 – 1.0 ลักษณะของลูกตุ้มนี้แสดงไว้ในรูป 2.6 (d)

5. Vibratory Hammer เป็นเครื่องมือที่อาศัยการสั่นสะเทือนจากการเหวี่ยงของน้ำหนักสองอันซึ่งกระทำในสภาพที่ไม่เกิดการสมดุล ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (e) ลักษณะของการเหวี่ยงนี้จะทำให้เกิดการยกของน้ำหนักขึ้นและตกกระแทกต่อเสาเข็ม จึงเหมาะสมที่จะใช้ตอกเสาเข็มในทรายโดยเสาเข็มอาจจมลงในอัตราที่เร็วมาก ข้อดีของการใช้เครื่องมือตอกแบบนี้คือการลดการสั่นสะเทือนหรือเสียงที่เกิดจากการกระแทกของลูกตุ้มเพราะใช้น้ำหนักที่น้อยกว่ามากการตอกเสาเข็มดังกล่าวจะทำให้เกิดเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนในบริเวณข้างเคียงหรือบางครั้งอาจพบอุปสรรคในการตอกเสาเข็มผ่านชั้นดินที่แข็งหรือมีกรวดและทรายปน การใช้น้ำเป่าผ่านท่อไปที่ปลายเสาเข็ม (Jetting) หรือทำการเจาะดินให้เป็นรูก่อน ทำการตอก (Preaugering) จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวลงได้มาก นอกจากนั้นจึงพบว่ามีการพัฒนาการใช้ Hydraulic Hammer ในการตอกเสาเข็มในปัจจุบัน



รูปที่ 2.6 ลักษณะของลูกตุ้มตอกเสาเข็ม (Das, 1990)

2.8 ผลของการตอกเสาเข็ม

เสาเข็มที่ตอกลงในดินนั้น ปริมาตรของเสาเข็มจะเข้าแทนที่ในดิน ทำให้ดินถูกเบียดซึ่งมีทั้งในแนวตั้งและในแนวราบในขณะที่เสาเข็มจมลงดิน หลังจากเสร็จสิ้นการตอกแล้วจะพิจารณาให้แรงดันในแนวราบของดินเพิ่มขึ้น ส่วนแรงในแนวตั้งซึ่งเป็นน้ำหนักของดินนั้น ถือว่าคงที่ปริมาตรของดินส่วนที่ถูกแทนที่นี้จะดันดินอย่างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ อันอาจทำให้เกิดการพองตัวของดิน (Soil Heave) หรืออาจทำให้เสาเข็มต้นที่อยู่ข้างเคียงลอยตัวขึ้นมา (Pile Heave) หรือเคลื่อนจากตำแหน่งเดิมไป ผลดังกล่าวจะร้ายแรงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ เทคนิคในการตอก และชนิดของดิน ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด (บุญเทพ นานะรังสรรค์, 2539)

2.8.1 ผลการตอกเสาเข็มในดินเหนียว

ลักษณะที่เด่นชัดของดินเหนียวนั้นคือ มีอัตราการซึมของน้ำในดินต่ำมาก และความแข็งแรงแปรผันตามความชื้น ดินเหนียวเมื่อถูกรบกวนจะทำให้ความแข็งแรงลดลงแต่จะค่อยกลับคืนมากขึ้นตามกาลเวลา ได้มีผู้พยายามศึกษาผลกระทบของการตอกเสาเข็มในดินเหนียวสรุปได้ดังนี้ (บุญเทพ นานะรังสรรค์, 2539)

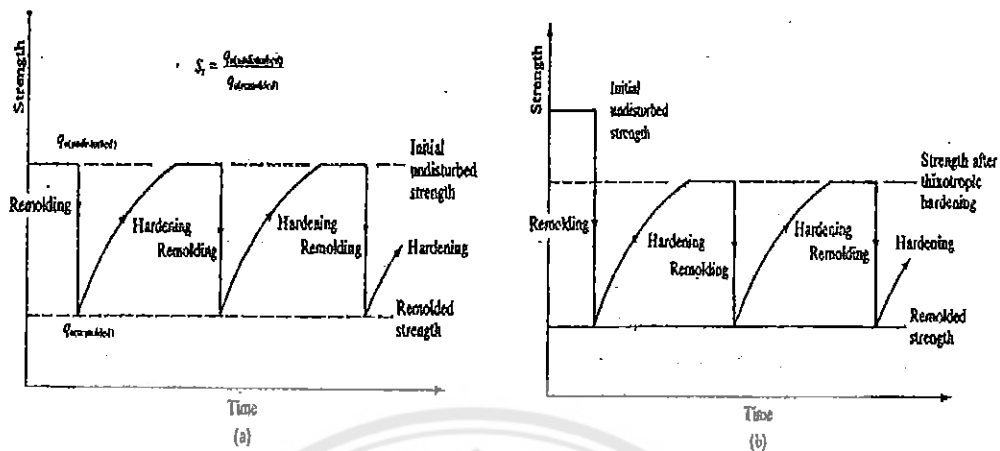
1. ความดันของน้ำในดินจะเพิ่มขึ้น (Excess Pore Water Pressure) ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากมีการเพิ่มแรงกระทำต่อดิน แต่ความดันของน้ำนี้จะลดลงอย่างรวดเร็วและจะเกิดขึ้นรอบเสาเข็มในระยะทางประมาณ 16 เท่าของขนาดเสาเข็ม อัตราส่วนความดันของน้ำที่เพิ่มขึ้นกับน้ำหนักประสิทธิผลของดินนั้นอาจมากกว่า 1 ก็ได้ โดยเปรียบเทียบเป็นความสัมพันธ์กับระยะทางจากเสาเข็มและรัศมีเสาเข็ม (r/a) ส่วนการกระจายหายไปของความดันน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้มีอยู่ 3 ทิศทาง SODERBERG (1962) ได้ประเมินโดยพิจารณา 2 ทิศทาง คือ เฉพาะในแนวราบหรือแนวรัศมีและไม่พิจารณาในแนวตั้ง เพราะถือว่าน้อยมาก ทั้งนี้ได้สมมุติให้ระนาบพังทลายมีขอบเขตจาก 3 ถึง 5 เท่าของรัศมีเสาเข็ม ($R/a = 3.5$)

2. ปริมาตรของดินซึ่งถูกแทนที่โดยเสาเข็มจะทำให้เกิดการไหลตัวของดินเหนียวอาจจะก่อให้เกิด Soil Heave ซึ่งทำให้เสาเข็มลอยขึ้นและตามด้วยการหลุดตัวต่อมาปริมาณดินส่วนที่

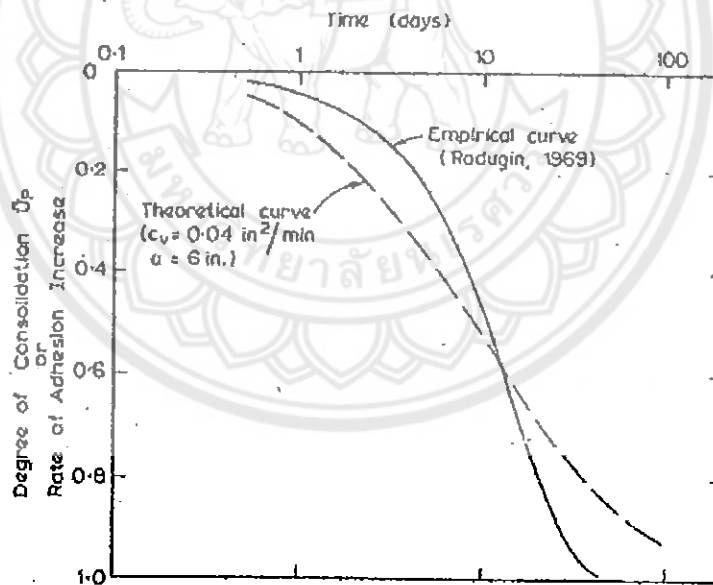
พองขึ้นมาได้มีการค้นคว้าและสำรวจโดยการศึกษามากที่เกิดขึ้นจริง แต่ได้ผลที่แตกต่างกันออกไปตามสภาพความแข็งแรงของดินเหนียวและชนิดของเสาเข็ม

จากการวัดการเคลื่อนที่ของดินสำหรับเสาเข็มในดินเหนียว Hargerty and Peck (1971) สรุปไว้ว่าการเคลื่อนที่ของ Sensitive Clay มีน้อยกว่า Insensitive Clay การพองตัวของดินผิวที่มีชั้นสลับกันของดินเหนียวและทรายจะเกิดขึ้นน้อยกว่าของ Insensitive Clay LAMBE and Hom (1965) พบว่ามีการพองตัวของดินในขณะตอกเสาเข็มแต่มีการหดตัวหลังจากการสิ้นสุดการก่อสร้างและได้เสนอวิธีการคำนวณเพื่อหาปริมาณดังกล่าวโดยใช้ Stress path method

3. ความแข็งแรงของดินจะลดลงหลังการตอกเสาเข็ม แต่จะค่อยๆเพิ่มมากขึ้นตามเวลา ทั้งนี้เพราะขณะตอกเสาเข็มนั้น Undrain Shear Strength ของดินจะลดเกือบหมดและโครงสร้างของดินรอบเสาเข็ม (จากผิวเสาเข็มถึงระยะ 2 เท่าของขนาดเสาเข็มวัดจากผิว) จะถูก Remoulded ด้วยความชื้นคงที่ หลังจากนั้นความแข็งแรงจะเพิ่มมากขึ้นเพราะผลจากการกระจายของความดันของน้ำที่ไหลออกไปและ Thixotropic Regain ที่ได้จากความแข็งแรงของดินเหนียว พฤติกรรมของดินเหนียวนี้เป็นที่ทราบกันดีในหมู่วิศวกรปฐพี และสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.7 สำหรับการกระจายของน้ำ (Rate of Consolidation) ของดินนั้นได้มีผู้พยายามประเมินหาทฤษฎีมาอธิบายดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.8 ซึ่งจะหดตัวมากใน 2 - 3 อาทิตย์แรก สำหรับความแข็งแรงของ Sensitive Clay นั้นพบว่ากลับคืนสู่ค่าสูงสุดประมาณ 9 เดือนหลังจากการตอกเสาเข็ม เมื่อมีระยะห่างเป็น 4 เท่าของขนาดเสาเข็ม (ORRJE and BROMS, 1967) ส่วน TENG (1962) กล่าวว่าความแข็งแรงจะคืนกลับมาได้ 90% ใน 30 - 50 วัน เวลาดังกล่าวจะไม่แน่นอนโดยขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่นๆอีกมาก SODERBERG (1962) ได้แสดงให้เห็นถึงการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่เพิ่มมากขึ้นตามเวลาในรูปที่ 2.9

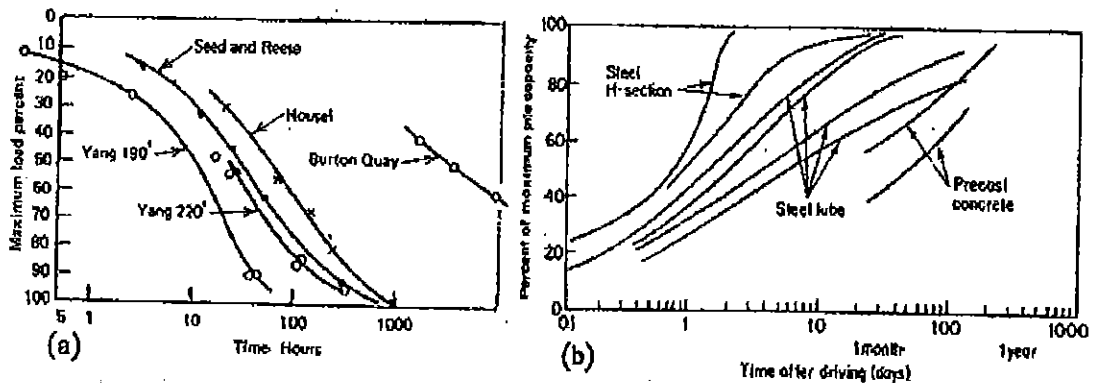


รูป 2.7 พฤติกรรมของดินเหนียว (a) Thixotropic (b) Partially thixotropic clay
(บุญเทพ นานะกรังสรณ์, 2539)



4310168
TA
780
92819
2542

รูปที่ 2.8 การประเมินหาอัตราการหดตัวของดิน หรือแรงเสียดทานที่เพิ่มมากขึ้น
(บุญเทพ นานะกรังสรณ์, 2539)



รูปที่ 2.9 สภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่เพิ่มมากขึ้นตามกาลเวลาใน Soft - Stiff Clay (บุญเทพ นานะรังสรรค์, 2539)

2.8.2 ผลการตอกเสาเข็มในทราย

การตอกเสาเข็มในทรายนั้น จะทำให้ทรายแน่นขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาตรของทรายซึ่งถูกเบียดหรือแทนที่โดยเสาเข็มพร้อมกับการสั่นสะเทือน มีผู้พยายามศึกษาการเคลื่อนที่ของทรายโดยการทำแบบจำลอง (ROBINSKY and MORRISON, 1964) พบว่า สำหรับทรายหลวมที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ประมาณ 17% ทรายส่วนที่เคลื่อนที่จะเป็นส่วนอยู่ในช่วงจากผิวเสาเข็มถึง 3-4 เท่าของขนาดเสาเข็ม และส่วนที่อยู่ได้ปลายเสาเข็มถึงระยะ 2.5 - 3.5 เท่าของขนาดเสาเข็ม

สำหรับทรายที่มีความหนาแน่นปานกลาง (ความหนาแน่นสัมพัทธ์ประมาณ 35%) นั้น ปริมาณทรายจะเคลื่อนที่มากขึ้นคือ ด้านข้างจะถึง 4.5 - 5.5 เท่าของขนาดเสาเข็มทรายส่วนปลายเสาเข็มจะแน่นขึ้นมากกว่าส่วนที่อยู่รอบเสาเข็ม (KISHIDA, 1967) ได้แนะนำการประเมินการหาความหนาแน่นของทราย โดยสมมติมุมเสียดทานภายในของดินแปรผันเป็นเส้นตรงลดลงถึงระยะ 3.5 เท่าของเสาเข็มจากศูนย์กลางเสาเข็มโดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 40° ดังนั้นมุมเสียดทานภายในหลังการปรับแก้ไขจึงเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ $(\phi + 40^\circ) \cdot 0.5$ มุมดังกล่าวจะสูงขึ้นมากเมื่อเป็นเสาเข็มกลุ่ม โดยเฉพาะที่จุดกลางของเสาเข็มกลุ่มนั้นค่าอาจมากเป็น 2 เท่า

มาตรการที่ใช้ป้องกันหรือลดผลกระทบจากการตอกเสาเข็มนั้นมีอยู่หลายวิธี ขึ้นอยู่กับเทคนิคการก่อสร้างและเครื่องมือที่ใช้ เช่น อาจตอกเสาเข็มส่วนกลางของเสาเข็มกลุ่มก่อนแล้วกระจายออกโดยรอบ การขุดคูหรือคลอง ก็อาจช่วยลดการไหลของดินส่วนบน และลดการกระจาย

ของคลื่นเสียงที่ผิวดิน บางครั้งก็ใช้วิธีเจาะดินให้เป็นรูก่อน แล้วค่อยตอกเสาเข็มแทนที่ในดิน (Preaugering) หรืออาจเลือกใช้เสาเข็มกลวงเพื่อลดปริมาตรการแทนที่ เมื่อไม่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ จำเป็นต้องใช้เสาเข็มเจาะ ซึ่งจะทำงานล่าช้าลงบ้างหรือค่าใช้จ่ายอาจสูงขึ้นเล็กน้อย

2.9 Negative Skin Friction

เป็นแรงที่เสาเข็มต้องรับมากขึ้น เนื่องจากการทรุดตัวของดินรอบเสาเข็ม บางครั้งเรียกว่า Drag Force โดยจะมีผลกระทบมากต่อ End Bearing Pile ของเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ โดยจะทำให้ส่วนลดสำหรับความปลอดภัยมีค่าลดลง การทรุดตัวของดินนี้จะไม่เกิดขึ้นทันทีทันใด แต่จะแปรผันตามเวลา (Consolidation Settlement) โดยเกิดได้จากสาเหตุหลายประการ (วรรณิ ศุขสาตร, 2540 และ บุญเทพ นานะรังสรรค์, 2539) เช่น

1. เกิดจากดินถมประเภท Granular Soil บนดินเหนียวอ่อนที่มีการทรุดตัวมาก หรือ High Compressibility Soil
2. เกิดจากดินถมเป็นดินเหนียวอ่อนบนดินทั่วไปที่แข็ง เช่น Granular Soil เป็นต้น
3. เกิดจากดินถมใหม่เป็นดินที่ไม่แข็งแรงบนดินอ่อนที่มีการทรุดตัวมาก จะทำให้ดินถมนั้นพร้อมกับดินอ่อนในชั้นถัดไปลงไปมีการทรุดตัว
4. เกิดจากการลดระดับของน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะการสูบน้ำบาดาล ซึ่งจะทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลง ทำให้ค่า Effective Vertical Stress มากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดูดให้เสาเข็มจมลงไป สาเหตุที่พบมากและมีผลต่อเสาเข็มค่อนข้างสูงได้แก่ การถมดิน ซึ่งขนาดของแรงจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ
 - ชนิดและขนาดของเสาเข็ม วิธีการตอกหรือเจาะ และการเคลือบผิวเสาเข็ม
 - คุณสมบัติของดิน เช่นความแข็งแรง ความหนาของชั้นดิน การยุบตัวของดิน
 - สาเหตุของการทรุดตัวและปริมาณการเคลื่อนที่ของดิน
 - ระยะเวลาหลังจากฝังหรือตอกเสาเข็ม

ทั้งนี้ในการดำเนินงาน จะไม่นำผลกระทบของ Negative Skin Friction มาพิจารณา

2.10 การทรุดตัวของเสาเข็ม

การทรุดตัวของฐานรากเมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำนั้น จะประกอบไปด้วยการทรุดตัว 2 ส่วนคือ Immediate Settlement ซึ่งจะเกิดขึ้นในทันทีทันใด เป็นผลมาจาก Elastic Deformation ของดินโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน และอีกส่วนคือ Consolidation Settlement ซึ่งปริมาณของดินจะลดลงอันเนื่องมาจากน้ำออกจากช่องว่างในดิน และ Total or Final Settlement จะเป็นผลรวมของ Immediate Settlement และ Consolidation Settlement

2.10.1 สาเหตุของการทรุดตัว

การทรุดตัวของเสาเข็ม จะมีสาเหตุมาจากส่วนใดส่วนหนึ่ง หรือผลรวมของสิ่งต่างๆต่อไปนี้ (บุญเทพ นานะกรังสรรค์, 2539)

1. Elastic Compression ของฐานรากและดินใต้ฐานราก
2. Inelastic Compression (Plastic) ของฐานรากและดินใต้ฐานราก
3. การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน สำหรับ Granular Soil นั้น การขึ้นและลงของน้ำใต้ดินจะอัดดินให้แน่นขึ้นทำให้เกิดการทรุดตัว ส่วนของ Fine-Grained Soil การลดลงของน้ำใต้ดิน จะทำให้เกิดการทรุดตัว อันเนื่องมาจากน้ำออกจากช่องว่างภายในเม็ดดิน
4. การขยายตัวและการหดตัวของดินเนื่องจากสภาพดินฟ้าอากาศ ซึ่งส่วนมากจะเกิดกับ Expansive Clays
5. การเคลื่อนที่ของพื้นผิวดิน เช่นการกัดเซาะของน้ำ, Slow Creep หรือ Land Slide เป็นต้น
6. การสั่นสะเทือนจากการตอกเสาเข็มหรือจากการระเบิดหรือการสั่นของเครื่องจักรจะทำให้เกิดการทรุดตัวของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับ Granular Soil ทั้งนี้เนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของเม็ดดิน
7. สาเหตุอื่นๆ เช่น การทำเหมืองใต้ดิน การกัดเซาะของน้ำใต้ดิน เป็นต้น

2.10.2 การทรุดตัวไม่เท่ากัน

ตามทฤษฎีนั้น หากฐานรากของอาคารทรุดตัวในปริมาณเท่าๆกัน ไม่ว่าจะมากหรือน้อยเท่าใดก็ตามจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง ยกเว้นส่วนประกอบอื่นๆที่มายึดติดกับ

โครงสร้างหรือตัวอาคาร แต่ถ้าหากฐานรากของอาคารหลังเดียวกันเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากันแล้ว (Differential Settlement) จะทำให้อาคารเอียงและทำความเสียหายต่อโครงสร้างได้ ดังนั้นการพิจารณาเรื่องการทรุดตัวเมื่อทำการออกแบบจึงเป็นเรื่องที่มีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่ง (บุญเทพ นาเนกรังสรรค์, 2539)

2.11 เสาเข็มกลุ่ม

ในกรณีที่ตอกเสาเข็มเป็นกลุ่มและเสาเข็มแต่ละต้นอยู่ใกล้กัน กะเปาะแรงดันของเสาเข็มแต่ละต้นอาจจะซ้อนกัน ดังรูปที่ 2.10 ดังนั้น ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มกลุ่ม จะไม่เท่ากับผลบวกของความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มแต่ละต้นรวมกัน (บุญเทพ นาเนกรังสรรค์, 2539)

ในดินทราย ถ้าเสาเข็มแต่ละต้นอยู่ห่างกันน้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางหรือความกว้างของเสาเข็มแล้ว ทรายจะมีแนวโน้มอัดตัวกันแน่นและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มกลุ่ม จะมากกว่าผลบวกของความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแต่ละต้นรวมกัน (บุญเทพ นาเนกรังสรรค์, 2539)

ในดินเหนียว การตอกเสาเข็มใกล้กันจะทำให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินลดลง ดังนั้นความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มกลุ่มจะน้อยกว่าผลบวกของความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มแต่ละต้นรวมกัน ซึ่งจะหาได้จากสมการ (บุญเทพ นาเนกรังสรรค์, 2539)

*

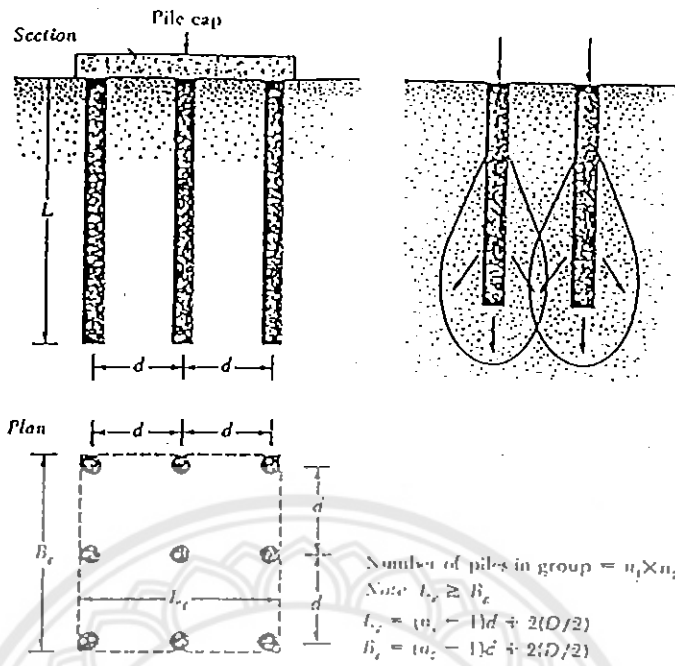
$$Q_g = \eta \cdot \sum Q_u$$

เมื่อ Q_g = ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มกลุ่ม

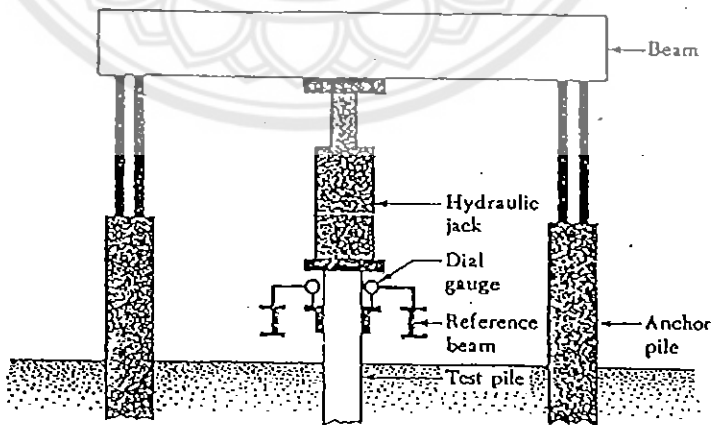
และ η = ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่ม

ซึ่งหาได้จากสมการของ Converse – Labarre ดังนี้

$$\eta = \frac{1 - \theta}{90} \left[\frac{(n_1 - 1)n_2 + (n_2 - 1)n_1}{n_1 n_2} \right]$$



รูปที่ 2.10 ฐานรากเสาเข็มกลุ่ม



รูปที่ 2.11 Pile Load Test

เมื่อ	θ	=	$\tan^{-1} (D/d)$ มีหน่วยเป็นองศา
	D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางและความกว้างของเสาเข็ม
	d	=	ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม
	$n_1 * n_2$	=	จำนวนของเสาเข็ม

ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ภายใต้โครงการนี้ ถือว่าการจัดระยะห่างเสาเข็ม (d) มีค่ามากพอ และทำให้ $\eta = 1$ (การจัดระยะเสาเข็มแนะนำไว้ในภาคผนวก ค.)

2.12 การทดสอบดินและเสาเข็ม

2.12.1 การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (Pile Load Test)

เป็นการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ตามสภาพที่ใช้งาน หรือตามความประสงค์อื่นๆ เช่น หากความแข็งแรงของดิน เป็นต้น เสาเข็มที่ทดสอบส่วนมากจะใช้ขนาดและวิธีการตอกเดียวกันกับที่ใช้งานจริง โดยจะทำการวัดการทรุดตัวของเสาเข็มตามน้ำหนักบรรทุกที่ประเมินไว้และบางครั้งอาจทำการทดสอบด้วยน้ำหนักบรรทุกถึงจุดการพังทลายของดิน แต่ส่วนใหญ่จะทดสอบถึงน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ใช้ในการออกแบบแล้ววัดการทรุดตัวของเสาเข็ม ซึ่งหากไม่เกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ แสดงว่าเสาเข็มนั้นจะนำไปใช้งานต่อหรือทิ้งไป (Working Test Pile, Test Pile) วิธีการทดสอบนั้นมีอยู่หลายวิธีเป็นไปตามการพัฒนาการของเทคโนโลยีในการก่อสร้างเสาเข็ม หากทดสอบในดินเหนียวแล้วจะให้การทรุดตัวที่มีไ้เกิดขึ้นจริง เพราะต้องทิ้งไว้เป็นเวลานานสำหรับ Consolidation Settlement ให้เกิดให้หมด อย่างไรก็ตาม วัตถุประสงค์ของการทดสอบ จะต้องอยู่ในข้อใดข้อหนึ่งหรือทั้งหมดของหัวข้อต่อไปนี้ (บุญเทพ นานกสรรค์, 2539)

1. เพื่อหาน้ำหนักบรรทุกประลัย (Ultimate Pile Load Capacity) ที่เสาเข็มสามารถรับได้
2. เพื่อหาความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัว (Load-Settlement Relationship)
3. เพื่อแยกหาแรงต้านทานส่วนปลายและแรงเสียดทานรอบผิวของเสาเข็ม

2.12.2 การตอกทดลองมาตรฐาน (Standard Penetration Test)

การทดสอบโดยวิธีนี้ใช้เครื่องมือมาตรฐาน ประกอบด้วยกระบอกเหล็กขนาดยาว 800 mm เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 51 mm เส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 35 mm ซึ่งเป็นกระบอกผ่าปลายล่างคม เพื่อใช้เป็น Cutting Edge ปลายบนสามารถยึดติดกับก้านเจาะเพื่อให้ใส่ลงไปในหลุมเจาะได้ (บุญเทพ นานะภังษวรรค์, 2539)

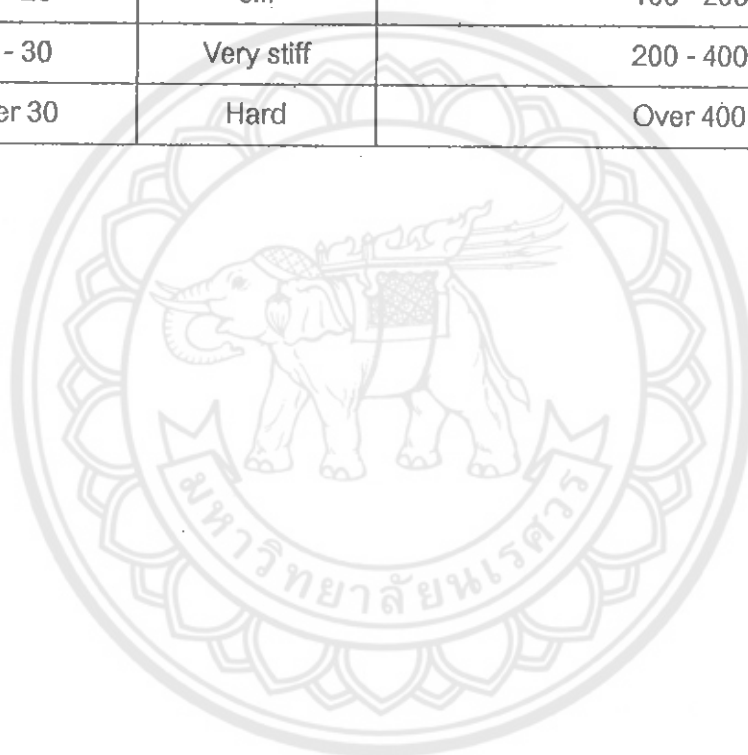
วิธีการทดสอบทำได้โดยการตอกกระบอกเหล็กทดสอบลงไปในชั้นดินกันหลุมเจาะเป็นระยะลึก 150 mm ก่อน ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าการตอกทดลองนี้กระทำในชั้นดินที่คงสภาพ ต่อไปตอกกระบอกเหล็กทดสอบด้วยลูกตุ้มน้ำหนัก 64 กก. โดยให้มีระยะตอกสูง 750 mm แล้วนับจำนวนครั้ง (Blows) ที่ใช้ในการตอกทุกๆความลึก 150 mm ให้กระบอกเหล็กจมลงไปในชั้นดินที่ทดสอบเป็นระยะลึก 300 mm จำนวนครั้งนี้เรียกว่า Standard Penetration Resistance (N) โดยที่ค่า N ที่ได้ถือว่าเป็น Empirical ซึ่งได้มีผู้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับค่า Density และ Angle of Internal Friction ให้อ้างอิงไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.3 Relative Density of Sand in Term of the Standard Penetration Test : SPT
(บุญเทพ นานะภังษวรรค์, 2539)

SPT N (Blow/ft)	Density	Angle of Internal Friction (Terzaghi) ϕ (°)
0 - 4	Very Loose	Less than 28.5
4 - 10	Loose	28.5 - 30
10 - 30	Medium Dense	30 - 36
30 - 50	Dense	36 - 41
Over 50	Very Dense	Over 41

ตารางที่ 2.4 Relative Density of Sand in Term of the Standard Penetration Test : SPT
(บุญเทพ นานะรังสรรค์, 2539)

SPT N (Blow/ft)	Consistency	Unconfined Compression Strength q_u (kN/m ²)
0 - 2	Very Soft	0 - 25
2 - 5	soft	25 - 50
5 - 10	Medium stiff	50 - 100
10 - 20	stiff	100 - 200
20 - 30	Very stiff	200 - 400
Over 30	Hard	Over 400



บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

ในการศึกษา ได้วางแผน และกำหนดขอบเขตของการดำเนินงานไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลักคือ

- 3.1 การเตรียมงาน
- 3.2 การคำนวณผลข้อมูล
- 3.3 วิเคราะห์และสรุปผลการวิเคราะห์
- 3.4 การพิมพ์และจัดทำรูปเล่มรายงาน

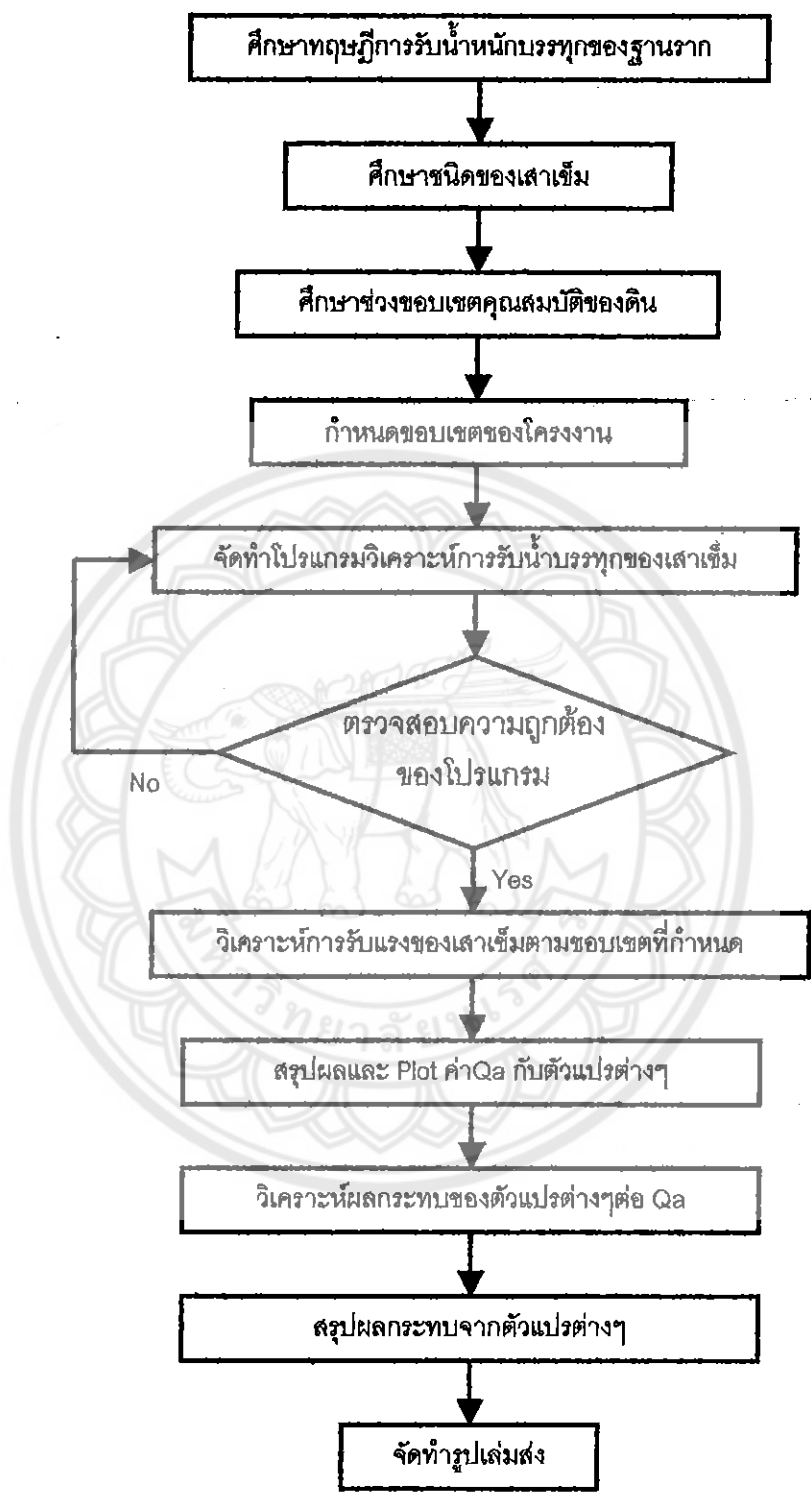
ทั้งนี้แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดและวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 การเตรียมงาน

1. คัดเลือกและกำหนดหัวข้อโครงการที่จะทำ
2. ศึกษาทฤษฎีการรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็ม
3. กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์
4. วางแผนการทำงาน เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์และเป้าหมาย
5. เขียนและนำเสนอโครงการต่ออาจารย์ที่ปรึกษา
6. ศึกษาโปรแกรม Microsoft Excel และการใช้งานคอมพิวเตอร์อย่างละเอียด
7. จัดหาข้อมูลจากแหล่งอ้างอิงต่างๆ เพื่อจะใช้เป็นวัตถุดิบในการประมวลผล
8. จัดหาซื้อและจัดหาอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทำงาน

การกำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์

สำหรับขอบเขตของตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ในโครงการนี้ ได้อ้างอิงข้อมูลจากหนังสือคู่มือวิศวกรโยธา ของบริษัท เยนเนอรัล เอนยีเนียริง จำกัด ดังข้อมูลของสภาพดินที่แสดงในตารางที่ 3.1 และข้อมูลของเสาเข็ม ที่แสดงในตารางที่ 3.2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานจัดทำโครงการ

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลสภาพดิน กรณีดินทราย (Sand ; $C = 0$)

Description	Very loose	loose	Medium	Dense	Very dense	
Relative density D_r	0	0.15	0.35	0.65	0.85	1.00
Standard penetration no. N		5 - 10	8 - 15	10 - 40	20 - 70	> 35
Approx. angle of internal friction ϕ †	25 - 30°	27 - 32°	30 - 35°	35 - 40°	38 - 43°	
Approx. range of moist unit weight γ_{sat} , pcf (kN/m ³)	70 - 100 ; (11 - 16)	90 - 115 (14 - 18)	110 - 130 (17 - 20)	110 - 140 (17 - 22)	130 - 150 (20 - 23)	

* Dependson_p ranging from 70 to 500 k Pa. Low value of N corresponds to lesser n .

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลสภาพดิน กรณีดินเหนียว (Clay ; $\phi = 0$)

Consistency	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Very stiff	Hard
q_u , ksf (kPa)	0	0.5 (25)	1.0 (50)	2.0 (100)	4.0 (200)	8.0 (400)
N , standard penetration resistance	0	2	4	8	16	32
γ_{sat} pcf (kN/m ³)		100 - 120 (16 - 19)	110 - 130 (17 - 20)		120 - 140 (19 - 22)	

* อ้างอิงข้อมูลจาก บริษัท เยนเนอรัล เอนจิเนียริง จำกัด (มหาชน). คู่มือวิศวกรรมโยธา หน้า 271.

จากข้อมูลในตารางดังกล่าว สามารถอธิบายขอบเขตตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ตัวแปรจากคุณสมบัติของดิน

1. ค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight: γ) แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ
 - กรณีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้ปลายเสาเข็ม ค่า γ_r ใช้ค่าระหว่าง 1.2-2.3 T/m³
 - กรณีระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ค่า γ_{sat} ใช้ค่าระหว่าง 1.4-2.3 T/m³
2. มุมเสียดทานภายใน (Friction Angle: ϕ) แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ
 - กรณีดินทราย ใช้ค่าระหว่าง 28-40 °
 - กรณีดินเหนียว ใช้ค่าเท่ากับ 0
3. ค่าความเชื่อมแน่น (Cohesion: C) แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ
 - กรณีดินทราย ใช้ค่าเท่ากับ 0
 - กรณีดินเหนียว ใช้ค่าระหว่าง 1-16 T/m²
4. ระดับน้ำใต้ดิน (D_{GWT}) แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ
 - กรณีระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)
 - กรณีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้ปลายเสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_p$)

กลุ่มที่ 2 ตัวแปรจากคุณสมบัติของเสาเข็ม

1. ชนิดของเสาเข็ม ใช้เสาเข็มชนิด Precast Concrete Pile
2. รูปร่างหน้าตัด ใช้หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นกรณีวิเคราะห์หลัก แต่ในบางกรณีต้องการการเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นผลจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของหน้าตัด จึงได้ใช้หน้าตัดแบบอื่นๆเพิ่มเติมในการวิเคราะห์ คือ หน้าตัดรูปวงกลมกลวง, หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมกลวง, หน้าตัดรูปตัว I
3. ขนาดหน้าตัดในการวิเคราะห์ ใช้เสาเข็มขนาด 18*18, 22*22, 26*26, 30*30 และ 35*35 cm²
4. ความยาวเสาเข็ม ใช้ความยาวตั้งแต่ 6-16 m

5. ความลึกของตอม่อฐานราก กำหนดระยะ $D_r = 1$ m เป็นกรณีหลักในการวิเคราะห์ แต่ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของ D_r ที่จะมีต่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติมได้ด้วย โดยค่า D_r ที่ใช้อยู่ในระหว่างช่วง 0-2 m จากผิวดิน

กลุ่มที่ 3 ตัวแปรจากคุณสมบัติของเครื่องมือตอกเสาเข็ม

1. ชนิดของเครื่องมือ ให้แบบลูกตุ้มปลอยตก (Drop Hammer)
2. น้ำหนักลูกตุ้ม (Weight of Ram: W_R) ใช้น้ำหนักระหว่าง 2-6 T โดยขึ้นอยู่กับความเหมาะสมระหว่างขนาดหน้าตัด และความยาวของเสาเข็ม รวมถึงน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบ
3. ระยะยกตุ้มตอก (Drop Height: h) ใช้ระยะยกระหว่าง 20-75 cm.

3.2 การคำนวณผลข้อมูล

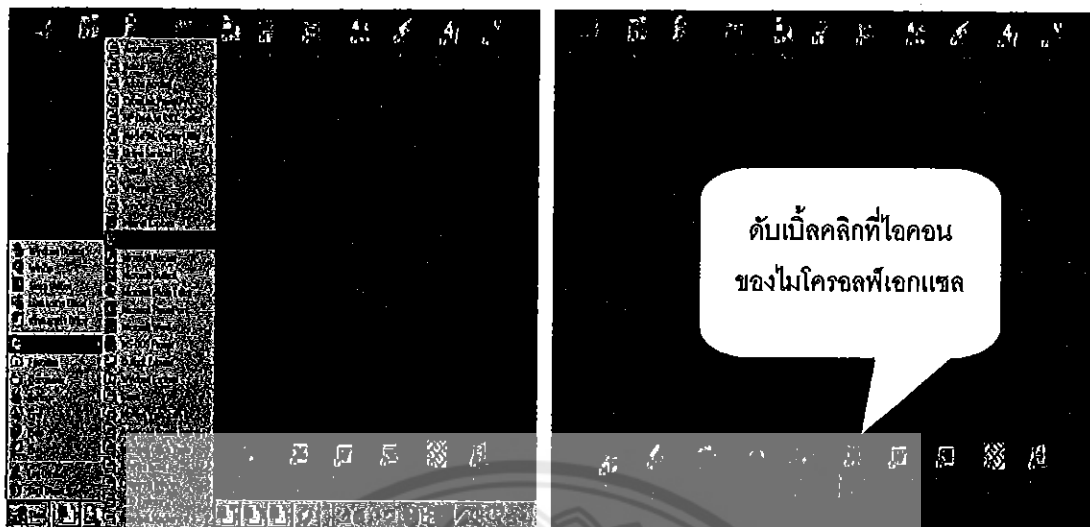
โครงการนี้ได้นำโปรแกรม Microsoft Excel Version 2000 มาพัฒนาใช้ในการประมวลผลข้อมูลการรับแรงของเสาเข็ม เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละตัวแปรภายใต้ขอบเขตที่กำหนด โดยแบ่งงานออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

- 3.2.1 การพัฒนาโปรแกรม Microsoft Excel สำหรับการคำนวณ
- 3.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมการคำนวณ
- 3.2.3 การประมวลผลข้อมูล

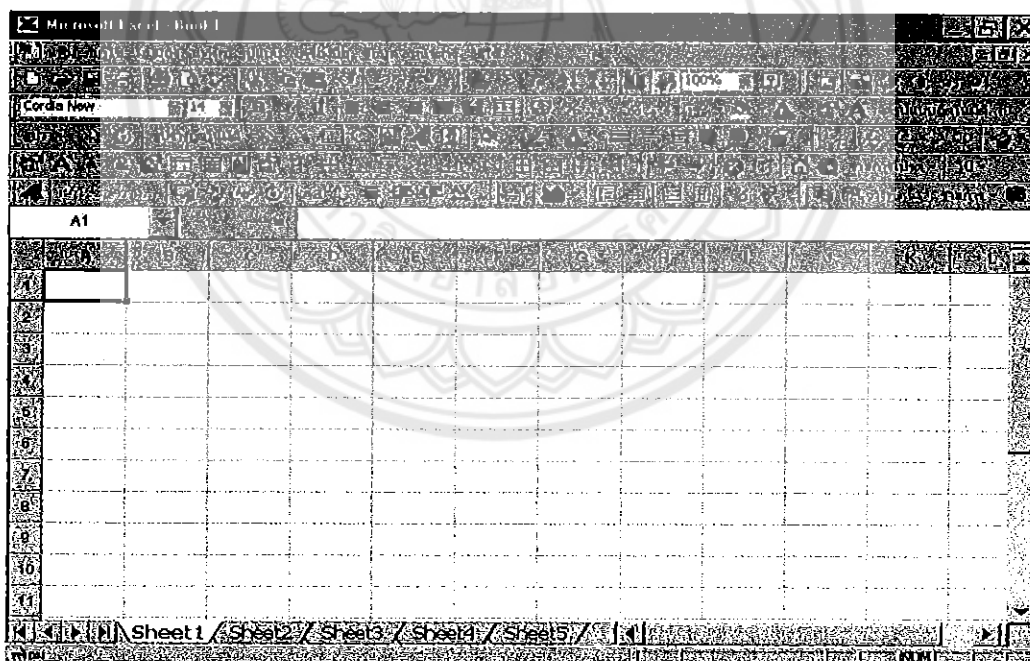
3.2.1 การพัฒนาโปรแกรม Microsoft Excel สำหรับการคำนวณ

1. การเข้าสู่โปรแกรม Microsoft Excel Version 2000 การเข้าสู่โปรแกรม Microsoft Excel Version 2000 ก็เหมือนกับโปรแกรม Microsoft Excel Version 97 คือ

- เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์แล้ว เริ่มต้นการใช้งานโดยเข้าสู่ระบบได้ด้วยการคลิก Mouse ที่ปุ่ม Start ต่อจากนั้นเลือกที่ Program และ Microsoft Excel ตามลำดับหรือคลิก Icon Excel ที่ปรากฏอยู่บน Desktop ก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3

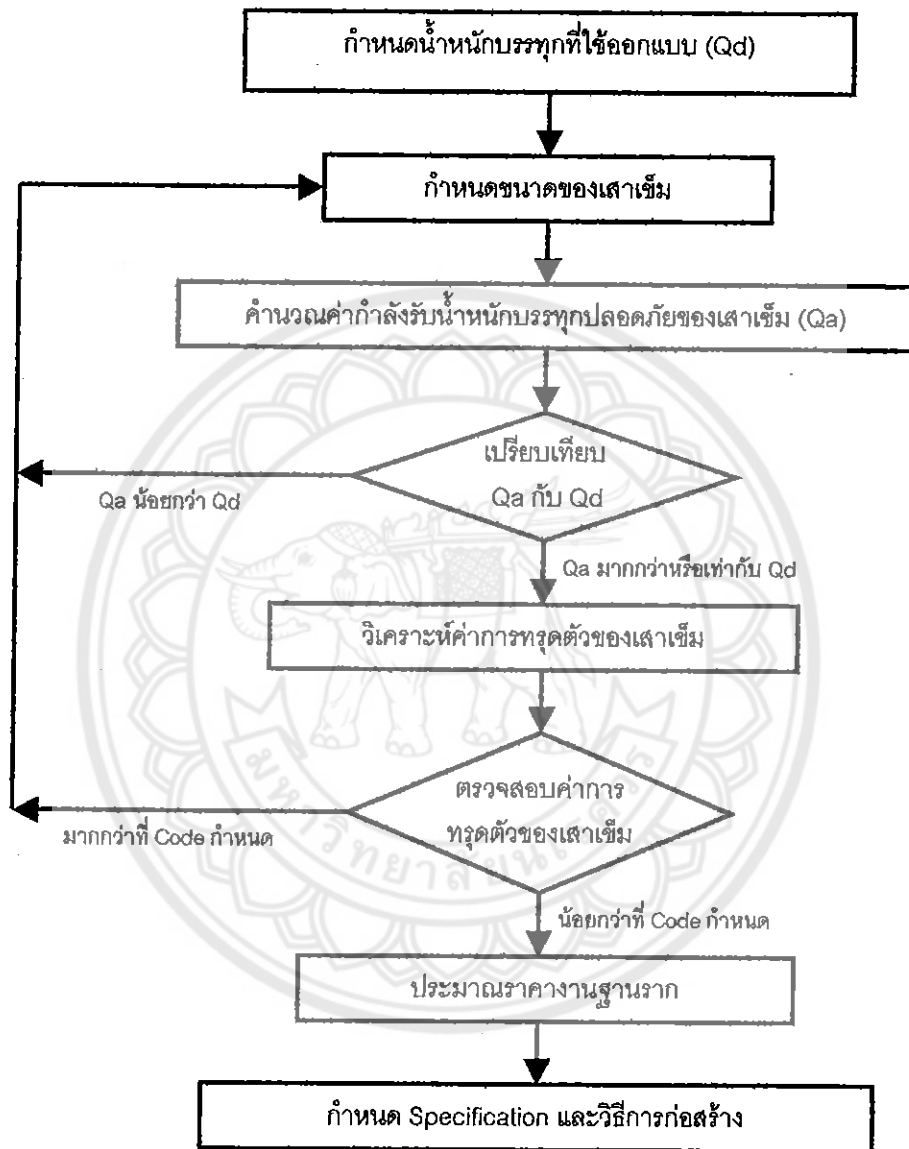


รูปที่ 3.2 แสดงวิธีการเข้าสู่โปรแกรม Microsoft Excel version 2000

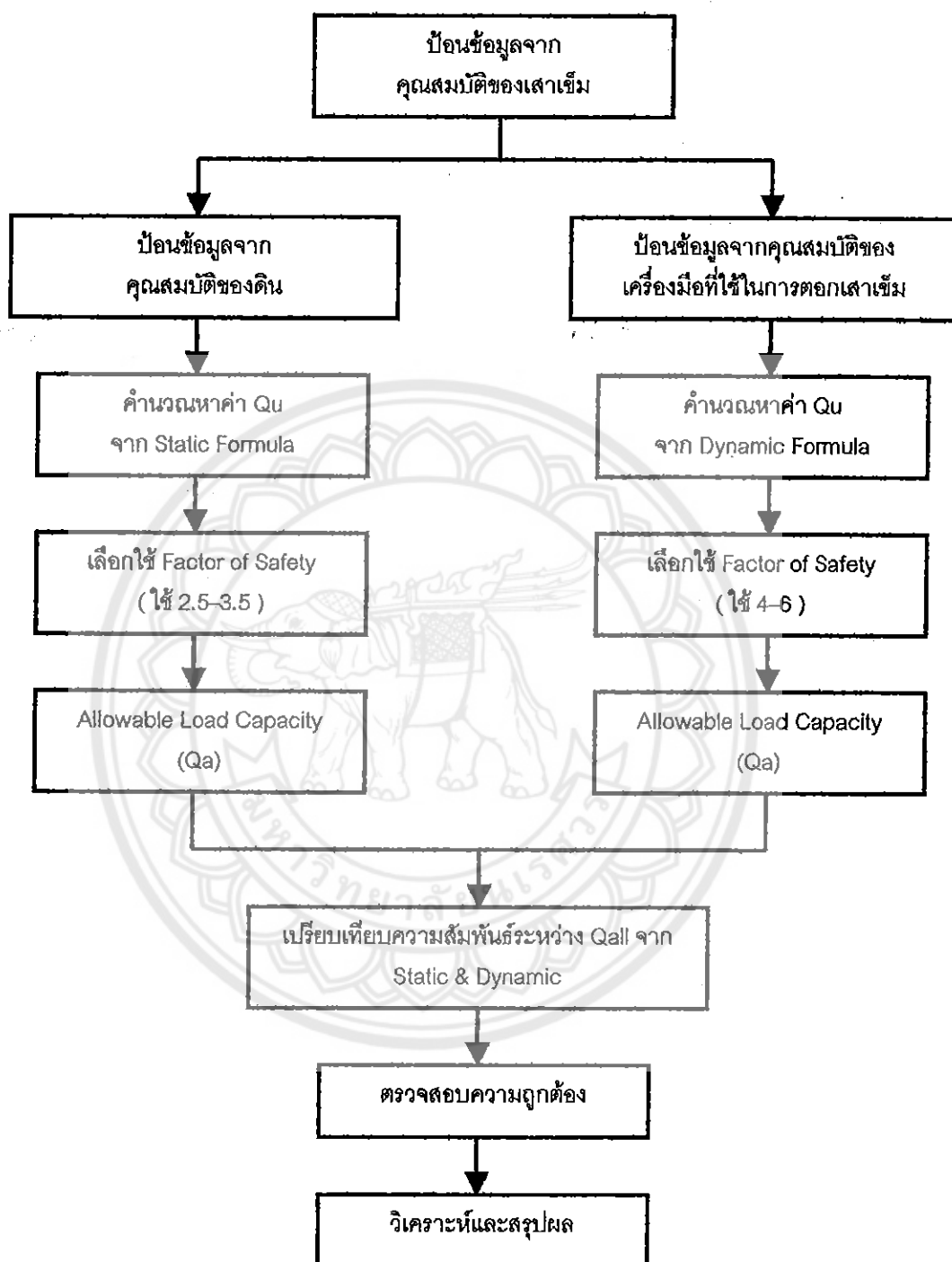


รูปที่ 3.3 แสดงหน้าจอเมื่อเข้าสู่โปรแกรม Microsoft Excel version 2000

2. การออกแบบฐานราก โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel สำหรับขั้นตอนการออกแบบฐานราก และขั้นตอนการใช้โปรแกรมคำนวณนั้น ได้แสดงไว้ใน รูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนในการออกแบบฐานราก



รูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนการคำนวณน้ำหนักบรรทุก โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

3. กรณีที่ทำการวิเคราะห์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม แบ่งได้เป็น 3 กรณี ดังนี้

ก. กรณีเป็นฐานรากเสาเข็มในชั้นทราย เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้เสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_r$) กำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3.6

ข. กรณีเป็นฐานรากเสาเข็มในชั้นทราย เมื่อระดับน้ำใต้ดินบนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$) กำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3.7

ค. กรณีเป็นฐานรากเสาเข็มในชั้นดินเหนียว เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$) กำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3.8

4. การเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณหาค่า Q_a ในโปรแกรม Microsoft Excel โดยโปรแกรมจะแบ่งเป็น 4 กรณี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3 ถึง 3.6 โดยตารางที่ 3.3 เป็นกรณีดินทราย เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้เสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_r$) ตารางที่ 3.4 เป็นกรณีดินทราย เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$) ตารางที่ 3.5 เป็นกรณีดินเหนียว และตารางที่ 3.6 เป็นกรณีการหาค่า Last Ten Blows Penetration ตามลำดับ

3.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมการคำนวณ

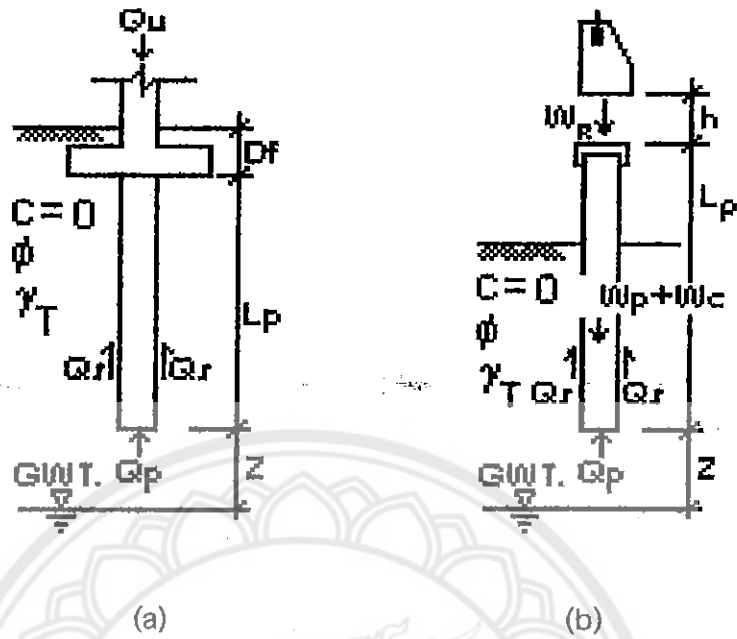
การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมการคำนวณ ได้ถูกจัดทำโดยใช้ 4 กรณี ดังนี้

1. กรณีดินทราย เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้เสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_r$)
2. กรณีดินทราย เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)
3. กรณีดินเหนียว
4. การตรวจค่า Last Ten Blows Penetration

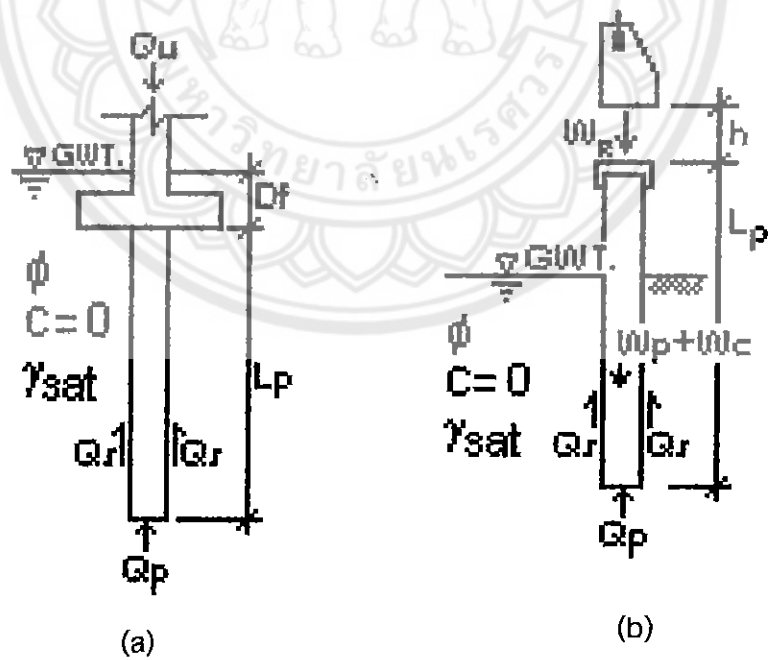
สำหรับตัวอย่างการตรวจความถูกต้องของโปรแกรมการคำนวณนั้น ได้นำไปแสดงไว้ในภาคผนวก ค.

3.2.3 การประมวลผลข้อมูล

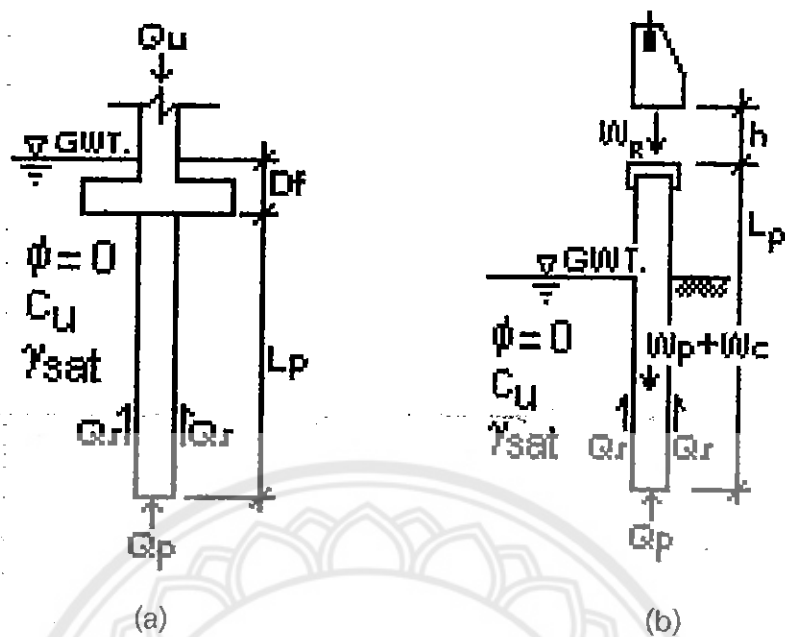
การประมวลผลข้อมูล จะออกมาในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (Q_a) ของเสาเข็ม Precast Concrete Pile กับตัวแปรโดยผลที่การดำเนินงานนั้น ได้แสดงไว้ในบทที่ 4



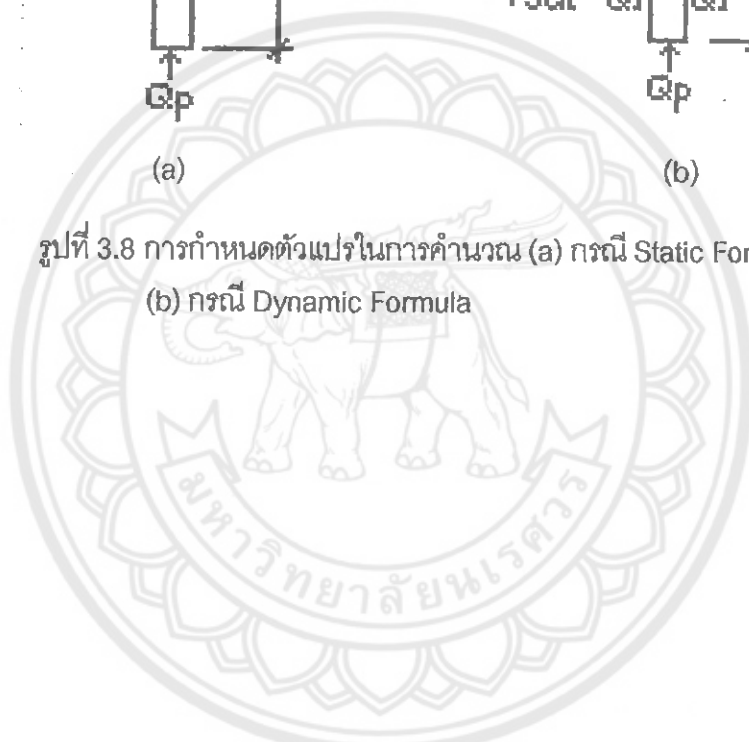
รูปที่ 3.6 การกำหนดตัวแปรในการคำนวณ (a) กรณี Static Formula
(b) กรณี Dynamic Formula



รูปที่ 3.7 การกำหนดตัวแปรในการคำนวณ (a) กรณี Static Formula
(b) กรณี Dynamic Formula



รูปที่ 3.8 การกำหนดตัวแปรในการคำนวณ (a) กรณี Static Formula
(b) กรณี Dynamic Formula



ตารางที่ 3.3 การกำหนดค่าสัญลักษณ์ของตัวแปร, สูตรที่ใช้, หน่วยของตัวแปร และการเขียนโปรแกรม เพื่อคำนวณ
 ค่า Allowable Load Capacity (Q_a) กรณีดินทราย เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้เสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_f$)

Column	Variable	Symbol&Formula	Unit	Program	Status
A	Diameter	D	cm	A1	Fill
B	Area Cross- section of Pile	$A=D^2$	cm^2	$B1=A1*A1$	Run
C	Length of Pile	L_p	m	C1	Fill
D	Perimeter	$p=4D$	cm	$D1=4*A1$	Run
E	Depth of Foundation	D_f	m	E1	Fill
F	Soil Friction Angle	ϕ	$^\circ$	F1	Fill
G	Unit Weight of Soil	γ_r	T/m^3	G1	Fill
H	Cohesion of soil	C	T/m^2	H1	Fill
I	Bearing Capacity Factor	N_q^*	-	I1	Fill
J	Bearing Capacity Factor	N_c^*	-	J1	Fill
K	Effective Vertical Stress	$q' = \gamma * (L+D_f)$	T/m^2	$K1=G1*(E1+C1)$	Run
L	Point Bearint	$Q_p = A_p * (cN_c^* + q'N_q^*)$	T	$L1=B1*(H1*J1+K1*I1)/10000$	Run
M	LimitPoint Bearint In sand	$Q_p = A_p * 50N_q^* \tan\phi$	T	$M1=B1*50*I1*(\tan(F1*3.141/180))/10000$	Run
N	Point Bearint (Final)	$Q_p(\text{Final})$	T	$N1=IF(F1=0,L1,\text{MIN}(L1,M1))$	Run
O	Earth Pressure Coefficient	$K = 1.8 * (1 - \sin\phi)$	-	$O1=1.8*(1-\sin(F1*3.141/180))$	Run
P	Soil - Pile Friction Angle	$\delta = 0.65 * \phi$	$^\circ$	$P1=0.65*F1$	Run
Q	Critical Depth	$L' = 15D$	m	$Q1 = 15*A1/100$	Run
R	Effective Vertical Stress	$\sigma'_v = \gamma * L'$	T/m^2	$R1 = G1*Q1$	Run
S	Unit Fictional Resistance	$f_{(av)} = K(\sigma'_v/2) \tan\delta$	T/m^3	$S1=O1*(R1/2)*\tan(P1*3.141/180)$	Run
T	L-L'	L-L'	m	$T1=C1+E1-Q1$	Run
U	Unit Fictional Resistance(@ Z)	$f_{qz} = K\sigma'_{(v)} \tan\delta$	T/m^3	$U1=O1*R1*\tan(P1*3.141/180)$	Run
V	Fictional Resistance (1)	$Q_{s1} = pL'f_{(av)}$	T	$V1=D1*Q1*S1/100$	Run
W	Fictional Resistance (2)	$Q_{s2} = p(L-L') f_{@z}$	T	$W1=D1*T1*U1/100$	Run
X	Fictional Resistance In Sand	$Q_{s(\text{sand})} = pL'f_{(av)} + p(L-L') f_{@z}$	T	$X1=V1+W1$	Run
Y	Ultimate Load Capacity	$Q_u = Q_p + Q_s$	T	$Y1=X1+N1$	Run
Z	Allowble Load Capacity	$Q_a = Q_u / FS$	T	$Z1=Y1/2.5$	Run

ตารางที่ 3.4 การกำหนดค่าสัญลักษณ์ของตัวแปร, สูตรที่ใช้, หน่วยของตัวแปร และการเขียนโปรแกรม เพื่อคำนวณ
 ค่า Allowable Load Capacity (Qa) กรณีดินทราย เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)

Column	Variable	Symbol&Formula	Unit	Program	Status
A	Diameter	D	cm	A1	Fill
B	Area Cross- section of Pile	$A=D^2$	cm^2	$B1=A1*A1$	Run
C	Length of Pile	Lp	m	C1	Fill
D	Perimeter	$p=4D$	cm	$D1=4*A1$	Run
E	Depth of Foundation	Df	m	E1	Fill
F	Soil Friction Angle	ϕ	$^{\circ}$	F1	Fill
G	Saturated Unit Weight of Soil	γ_{sat}	T/m^3	G1	Fill
H	Unit Weight of Water	γ_w	T/m^3	H1	Fill
I	Unit Weight of Soil	γ_r	T/m^3	$I1=G1-H1$	Run
J	Cohesion of soil	C	T/m^2	J1	Fill
K	Bearing Capacity Factor	Nq^*	-	K1	Fill
L	Bearing Capacity Factor	Nc^*	-	L1	Fill
M	Effective Vertical Stress	$q' = \gamma' * (L+Df)$	T/m^2	$M1=I1*(E1+C1)$	Run
N	Point Bearint	$Qp = Ap * (cNc^* + q'Nq^*)$	T	$N1=B1*(J1*L1+M1*K1)/10000$	Run
O	LimitPoint Bearint In sand	$Qp = Ap * 50Nq^* \tan\phi$	T	$O1=B1*50*K1*(\tan(F1*3.141/180))/10000$	Run
P	Point Bearint (Final)	$Qp(Final)$	T	$P1=IF(F1=0,N1,MIN(N1,O1))$	Run
Q	Earth Pressure Coefficient	$K = 1.8 * (1 - \sin\phi)$	-	$Q1=1.8*(1-\sin(F1*3.141/180))$	Run
R	Soil - Pile Friction Angle	$\delta = 0.65 * \phi$	$^{\circ}$	$R1=0.65*F1$	Run
S	Critical Depth	$L' = 15D$	m	$S1=15*A1/100$	Run
T	Effective Vertical Stress	$\sigma'_v = \gamma' * L'$	T/m^2	$T1=I1*S1$	Run
U	Unit Fictional Resistance	$f_{(av)} = K(\sigma'_v/2) \tan\delta$	T/m^3	$U1=Q1*(T1/2)*\tan(R1*3.141/180)$	Run
V	L-L'	L-L'	m	$T1=C1+E1-S1$	Run
W	Unit Fictional Resistance(@ Z)	$f_{(az)} = K\sigma'_v \tan\delta$	T/m^3	$W1=Q1*T1*\tan(R1*3.141/180)$	Run
X	Fictional Resistance (1)	$Qs1 = pL'f(av)$	T	$X1=D1*S1*U1/100$	Run
Y	Fictional Resistance (2)	$Qs2 = p(L-L') f @ z$	T	$Y1=D1*V1*W1/100$	Run
Z	Fictional Resistance In Sand	$Qs(sand) = pL'f(av) + p(L-L') f @ z$	T	$Z1=X1+Y1$	Run
AA	Ultimate Load Capacity	$Qu = Qp + Qs$	T	$AA1=Z1+P1$	Run
AB	Allowble Load Capacity	$Qa = Qu / FS$	T	$AB1=AA1/2.5$	Run

ตารางที่ 3.5 การกำหนดค่าสัญลักษณ์ของตัวแปร, สูตรที่ใช้, หน่วยของตัวแปร และการเขียนโปรแกรม เพื่อคำนวณ
 หาค่า Allowable Load Capacity (Qa) กรณีดินเหนียว เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่กึ่งผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)

Column	Variable	Symbol&Formula	Unit	Program	Status
A	Diameter	D	cm	A1	Fill
B	Area Cross- section of Pile	$A=D^2$	cm^2	$B1=A1*A1$	Run
C	Length of Pile	Lp	m	C1	Fill
D	Perimeter	$p=4D$	cm	$D1=4*A1$	Run
E	Depth of Foundation	Df	m	E1	Fill
F	Soil Friction Angle	ϕ	$^{\circ}$	F1	Fill
G	Saturated Unit Weight of Soil	γ_{sat}	T/m^3	G1	Fill
H	Unit Weight of Water	γ_w	T/m^3	H1	Fill
I	Unit Weight of Soil	γ_r	T/m^3	$I1=G1-H1$	Run
J	Undrain cohesion of soil	C_u	T/m^2	J1	Fill
K	Bearing Capacity Factor	Nq^*	-	K1	Fill
L	Bearing Capacity Factor	Nc^*	-	L1	Fill
M	Effective Vertical Stress	$q' = \gamma * (L+Df)$	T/m^2	$M1=I1*(E1+C1)$	Run
N	Point Bearint	$Qp = Ap * (cNc^* + q'Nq^*)$	T	$N1=B1*(J1*L1+M1*K1)/10000$	Run
O	λ	λ	-	O1	Fill
P	Effective Vertical Stress	$\sigma'_v = \gamma * L/2$	T/m^2	$P1=I1*(C1+E1)/2$	Run
Q	Unit Fictional Resistance	$f_{(av)} = \lambda * (\sigma'_v + 2C_u)$	T/m^3	$Q1=O1*(P1+2*J1)$	Run
R	Fictional Resistance in Clay	$Qs(clay) = pL(f_{(av)})$	T	$R1=Q1*(C1+E1)*D1/100$	Run
S	Ultimate Load Capacity	$Q_u = Q_p + Q_s$	T	$S1=N1+R1$	Run
T	Allowable Load Capacity	$Q_a = Q_u / FS$	T	$T1=S1/2.5$	Run

ตารางที่ 3.6 การกำหนดค่าสัญลักษณ์ของตัวแปร, สูตรที่ใช้, หน่วยของตัวแปร และการเขียนโปรแกรม เพื่อคำนวณ
 ค่า Last Ten Blow Penetration (10s)

Column	Variable	Symbol&Formula	Unit	Program	Status
A	Last Ten Blows Penetration	10S	cm	A1	Fill
B	Penetration of Pile per Hammer Blow	$S = 10S / 10$	cm	$B1=A1/10$	Run
C	Constant	C	-	C1	Fill
D	Coefficient of Restitution	n	-	D1	Fill
E	Hammer Efficiency	E	-	E1	Fill
F	Weight of Ram	W_R	T	F1	Fill
G	Drop Hight	h	cm	G1	Fill
H	Length of Pile	L_p	m	H1	Fill
I	Unit Weight of Pile	γ_p	T/m	I1	Fill
J	Weight of Pile	$W_p = (\gamma_p * L_p) + W_{CAP}$	T	$J1=(H1*I1)+0.3$	Run
K	Ultimate Load Capacity	$Q_u = ((EWRh) / S + C) * ((WR + n^2 * W_p) / (WR + W_p))$	T	$(E3 * F3 * G3) / (B3 + C3) * ((F3 + D3^2 * J3) / (F3 + J3))$	Run
L	Allowble Load Capaclty	$Q_a = Q_u / FS$	T	$L1=K1/4$	Run

3.3 การวิเคราะห์และสรุปผล

ขั้นตอนนี้ทำการวิเคราะห์ผล ที่ได้จากการคำนวณน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Qa) และสรุปความสัมพันธ์ที่ได้จากกราฟต่างๆ เมื่อทดลองเปลี่ยนค่าตัวแปรที่มีผลกระทบต่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุก โดยศึกษาผลที่ตามมา ดังนี้

- การเปลี่ยนแปลงตัวแปรเหล่านั้นจะส่งผลอย่างไรต่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม

- มีผลดีหรือผลเสียอย่างไร
- มีวิธีแก้ไขอย่างไร
- นำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้อย่างไร

3.4 การพิมพ์และจัดทำรูปเล่มรายงาน

เป็นขั้นตอนการรายงานการดำเนินงานทั้งหมด ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ, รายงานผลที่ได้จากการศึกษา การสรุปผลและข้อเสนอแนะต่างๆ รวมถึงจัดทำเอกสารอ้างอิงและภาคผนวก เพื่อเสริมให้เกิดความเข้าใจดียิ่งขึ้น เพื่อให้ผู้ที่สนใจและต้องการศึกษาสามารถค้นคว้าได้จากรายงาน โดยใช้รูปแบบรายงานมาตรฐานที่ทางคณะกำหนด และส่งให้อาจารย์ที่ปรึกษาทำการตรวจสอบ เพื่อทำการแก้ไขปรับปรุง ก่อนที่จะทำการเข้ารูปเล่มและเตรียมส่งต่อไป

บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Qa) ตามรายละเอียดที่ได้อธิบายในบทที่ 3 และสรุปในตารางที่ 4.1 ได้ถูกนำมาเสนอใน 2 ลักษณะ คือ

ลักษณะที่ 1. รูปที่ 4.1.1 ถึง 4.32.1

ผลการวิเคราะห์จะถูกนำเสนอ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 4.1.1 โดยใช้ แกน Y แสดงค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Qa) ที่ได้จากการคำนวณหาค่า Qu โดยวิธี Static Formula แล้วหารด้วย Factor of Safety (FS) ซึ่งใช้ค่าเท่ากับ 2.5 นั่นคือ $Qa = Qu/2.5$ เหตุผลที่ค่า Qa ถูกเลือกมาใช้นำเสนอ เพราะสามารถโยกไปเปรียบเทียบกับ Qa จากวิธี Dynamic Formula ดังกล่าวในส่วนที่ 2

ส่วนแกน X เป็นตัวแปรที่กำหนดในการวิเคราะห์ ซึ่งค่า Unit weight (γ) ถูกเลือกใช้ เพราะเป็นตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ทุกกรณี

ลักษณะที่ 2. รูปที่ 4.1.2 ถึง 4.32.2

ผลการวิเคราะห์จะถูกนำเสนอ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 4.1.2 โดยใช้ แกน Y แสดงค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Qa) ที่ได้จากการคำนวณหาค่า Qu โดยวิธี Dynamic Formula แล้วหารด้วย Factor of Safety (FS) ซึ่งใช้ค่าเท่ากับ 4 นั่นคือ $Qa = Qu/4$

ส่วนแกน X เป็นตัวแปรที่กำหนดในการวิเคราะห์ ซึ่งเลือกใช้ค่า Last Ten Blows Penetration (10s) เพราะค่า 10s ใช้ในการตรวจสอบการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Qa) ขณะตอกเสาเข็ม

เหตุผลที่เลือกใช้ Qa แทน Qu เพราะค่า Qa ที่คำนวณได้จากวิธี Static Formula และวิธี Dynamic Formula สามารถนำมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์กันได้ ซึ่งถ้านำค่า Qu ที่คำนวณได้จากทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์กัน จะได้ค่าที่ไม่เป็นความจริง เพราะการใช้สัดส่วน

ตารางที่ 4.1 สรุปกรณีและเงื่อนไขในการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อกำดับรับน้ำหนักแบบรหุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Qa)

ชนิดดิน	เงื่อนไขที่วิเคราะห์			ตัวแปรที่วิเคราะห์	สรุปดังแสดงใน	
	ขนาดหน้าตัด (cm ²)	ความยาวเสาเข็ม (m)	ระดับน้ำใต้ดิน		ตารางที่ (ภาคผนวก ก.)	รูปที่
ดินทราย	18*18 ถึง 35*35	6 ถึง 14	$D_{GWT} > L_p + D_f$	$\gamma_T \phi$	ก.1.1 ถึง ก.5.1	4.1.1 ถึง 4.5.1
	22*22 ถึง 26*26	8 ถึง 10	$D_{GWT} = 0$	$\gamma_{sat} \phi$	ก.6.1 ถึง ก.7.1	4.6.1 ถึง 4.7.1
ดินเหนียว	18*18 ถึง 35*35	6 ถึง 14	$D_{GWT} = 0$	$\gamma_{sat} C_u$	ก.8.1 ถึง ก.12.1	4.8.1 ถึง 4.12.1
ดินทราย	22*22 ถึง 26*26	8 ถึง 10	$D_{GWT} > L_p + D_f$	$\gamma_T D_f$	ก.13.1 ถึง ก.14.1	4.13.1 ถึง 4.14.1
	22*22 ถึง 26*26	8 ถึง 10	$D_{GWT} = 0$	$\gamma_{sat} D_f$	ก.15.1 ถึง ก.16.1	4.15.1 ถึง 4.16.1
ดินเหนียว	22*22 ถึง 26*26	8 ถึง 10	$D_{GWT} = 0$	$\gamma_{sat} D_f$	ก.17.1 ถึง ก.18.1	4.17.1 ถึง 4.18.1
ดินทราย	22*22 ถึง 26*26	8 ถึง 16	$D_{GWT} > L_p + D_f$	$\gamma_T L_p$	ก.19.1 ถึง ก.20.1	4.19.1 ถึง 4.20.1
	22*22 ถึง 26*26	8 ถึง 10	$D_{GWT} = 0$	$\gamma_{sat} L_p$	ก.21.1 ถึง ก.22.1	4.21.1 ถึง 4.22.1
ดินเหนียว	22*22 ถึง 26*26	8 ถึง 16	$D_{GWT} = 0$	$\gamma_{sat} L_p$	ก.23.1 ถึง ก.24.1	4.23.1 ถึง 4.24.1
ดินทราย	18*18 ถึง 35*35	8 ถึง 10	$D_{GWT} > L_p + D_f$	γ_T Size of pile	ก.25.1 ถึง ก.26.1	4.25.1 ถึง 4.26.1
	22*22 ถึง 26*26	8 ถึง 10	$D_{GWT} = 0$	γ_{sat} Size of pile	ก.27.1 ถึง ก.28.1	4.27.1 ถึง 4.28.1
ดินเหนียว	18*18 ถึง 35*35	8 ถึง 10	$D_{GWT} = 0$	γ_{sat} Size of pile	ก.29.1 ถึง ก.30.1	4.29.1 ถึง 4.30.1
ดินทราย	40*40	10	$D_{GWT} > L_p + D_f$	γ_T Section of pile	ก.31.1	4.31.1
ดินเหนียว	40*40	10	$D_{GWT} = 0$	γ_{sat} Section of pile	ก.32.1	4.32.1

ความปลอดภัย (Factor of Safety; FS) ของ Q_u ที่คำนวณได้จากวิธี Static Formula และวิธี Dynamic Formula จะใช้ค่าที่ต่างกัน โดยวิธี Static Formula จะใช้ค่า FS อยู่ในช่วง 2.5 ถึง 4 ส่วนวิธี Dynamic Formula นั้นจะใช้ค่า FS อยู่ในช่วง 4 ถึง 6

ผลกระทบต่อ Q_a ที่เกิดขึ้น เนื่องจากตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ (แสดงในตารางที่ 4.1) สรุปได้ดังนี้

4.1 ผลกระทบของคุณสมบัติของดิน

4.1.1 กรณีดินทราย

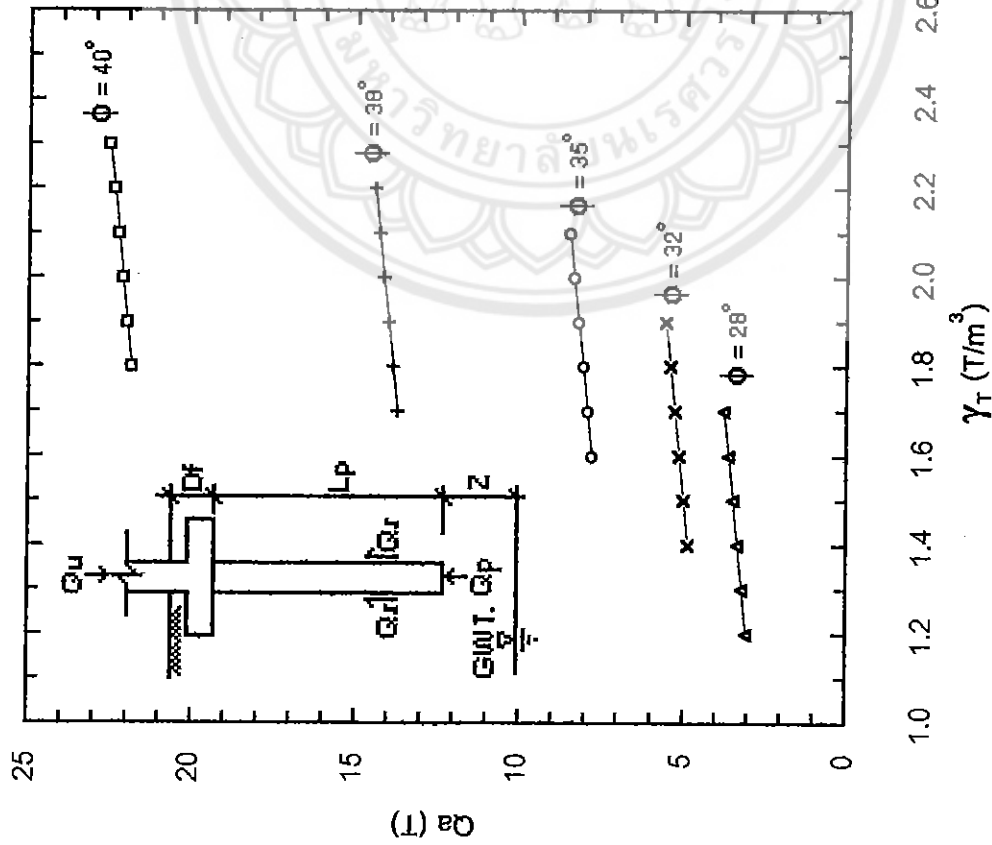
ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) ได้รับผลกระทบจากคุณสมบัติของดินทรายเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.1.1 ซึ่งพบว่า ค่า Q_a มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่า ϕ , γ_T ($Q_a \propto \phi$, γ_T) กล่าวคือ Q_a จะมีค่ามากขึ้น เมื่อค่า ϕ , γ_T มากขึ้น ทั้งนี้ผลวิเคราะห์ตรงกับข้อสันนิษฐานเบื้องต้นที่คาดไว้ เพราะ Q_a สามารถหาได้จาก สูตร $Q_a = Q_u/FS$ หรือ $[A_p(cNc^* + q'Nq^*) + (\sum pL f_{av})]/FS$ ซึ่งค่า ϕ มีผลโดยตรงต่อ Nc^* และ Nq^* (ดังแสดงในรูปที่ 2.4) ดังนั้นเมื่อ ϕ มีค่าสูง จะทำให้ค่า Nc^* และ Nq^* สูง ซึ่งจะทำให้ได้ Q_a ที่สูงขึ้น เช่นเดียวกันหาก γ_T มีค่ามากขึ้น จะทำให้ค่า q' และ f_{av} สูงขึ้น ซึ่ง Q_a จะสูงขึ้นด้วย

4.1.1.1 ผลกระทบของ Angle of Internal Friction (ϕ)

รูปที่ 4.1.1 แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ส่งผลกระทบต่อ Q_a เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะเมื่อ ϕ มีค่ามากกว่า 35° การเปลี่ยนแปลงของ ϕ จะส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรง (dramatical impact) ต่อ Q_a ตัวอย่างเช่น เมื่อ $\gamma_T = 1.7 \text{ T/m}^3$ พบว่า

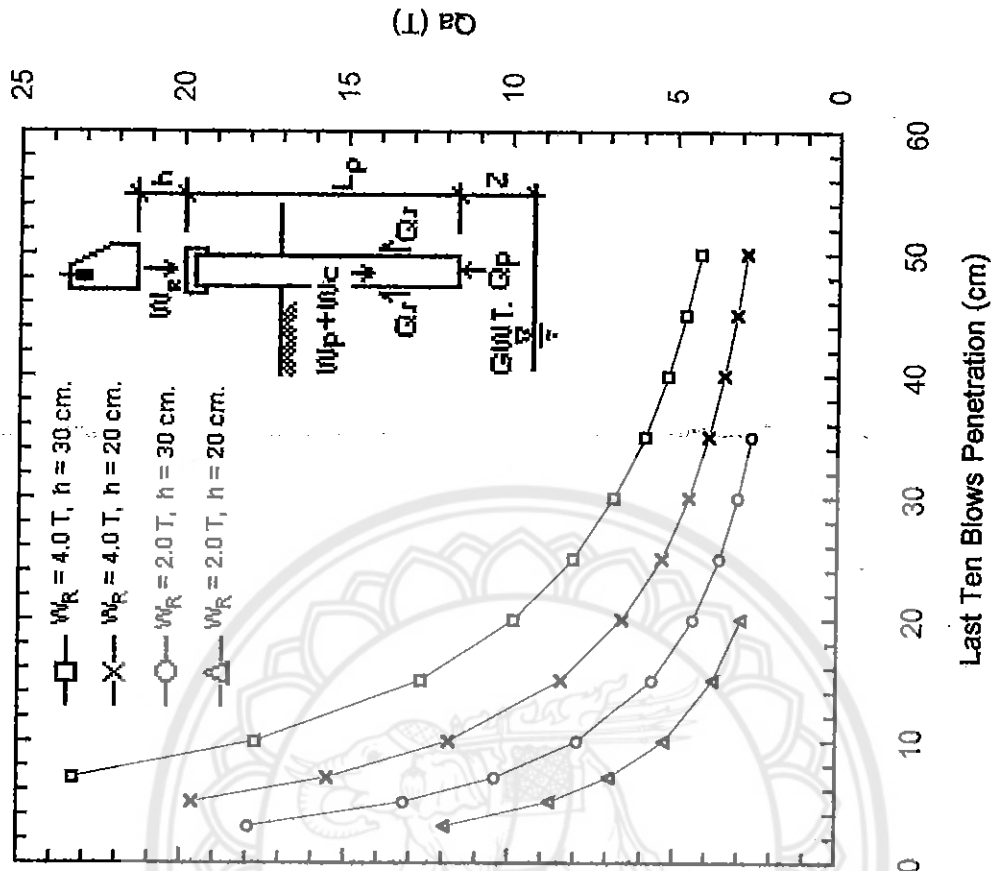
- หาก ϕ เปลี่ยนจาก 28° เป็น 32° (loose sand): Q_a ที่วิเคราะห์ได้จะเปลี่ยนจาก 3.7 T เป็น 5.7 T นั่นคือ Q_a มีอัตราเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เท่ากับ $(5.7-3.7) \text{ T}/(32-28)^\circ = 0.5 \text{ T/deg}$.

- หาก ϕ เปลี่ยนจาก 32° เป็น 35° (medium sand): Q_a ที่วิเคราะห์ได้จะเปลี่ยนจาก 5.3 T เป็น 8.0 T หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a เท่ากับ 0.9 T/deg .



รูปที่ 4.1.1 Pile Allowable Load ($FS = 2.5$) with varying γ_T and ϕ .

When pile is square, $D = 18$ cm, $L_p = 6$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0 T/m^2$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$



รูปที่ 4.1.2 Pile Allowable Load ($FS = 4$) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 18$ cm, $L_p = 6$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0 T/m^2$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$

- และหาก ϕ เปลี่ยนจาก 35° เป็น 38° (dense sand): Q_a มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เท่ากับ 1.9 T/deg .

4.1.1.2 ผลกระทบของ Unit weight (γ_T)

รูปที่ 4.1.1 ยังชี้ให้เห็นว่า ที่ค่า ϕ ใดๆ γ_T มีผลกระทบต่อ Q_a ค่อนข้างน้อย โดยเฉลี่ย สำหรับ $\phi = 28-40^\circ$ พบว่า Q_a มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นประมาณ 0.14 T เมื่อค่า γ_T เพิ่มขึ้นเพียง 0.1 T/m^3

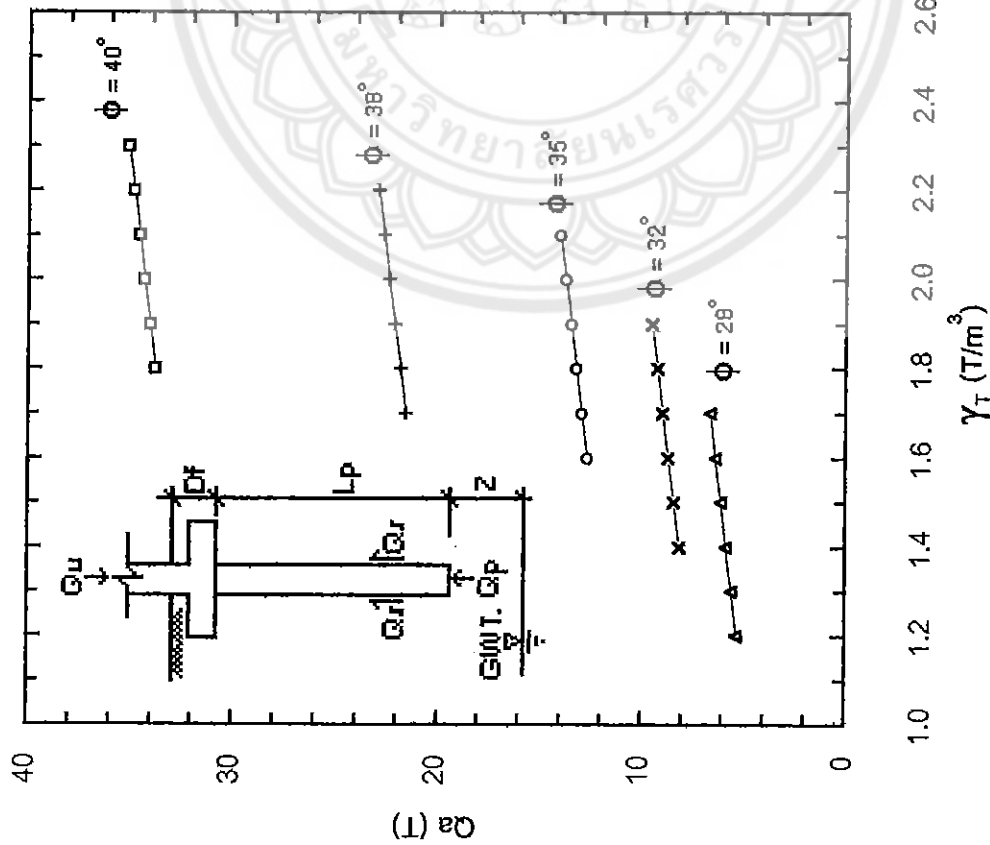
4.1.1.3 ความแปรปรวนของผลกระทบจาก γ_T และ ϕ

เพื่อตรวจสอบความแปรปรวนของผลกระทบจากคุณสมบัติของดินทราย (γ_T และ ϕ) ต่อ Q_a ที่ได้อธิบายข้างต้น การวิเคราะห์ได้ถูกจัดทำเพิ่มเติม โดย ก. การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดและความยาวเสาเข็ม และ ข. ระดับน้ำใต้ดิน (D_{GW})

ก. หน้าตัดและความยาวเสาเข็ม

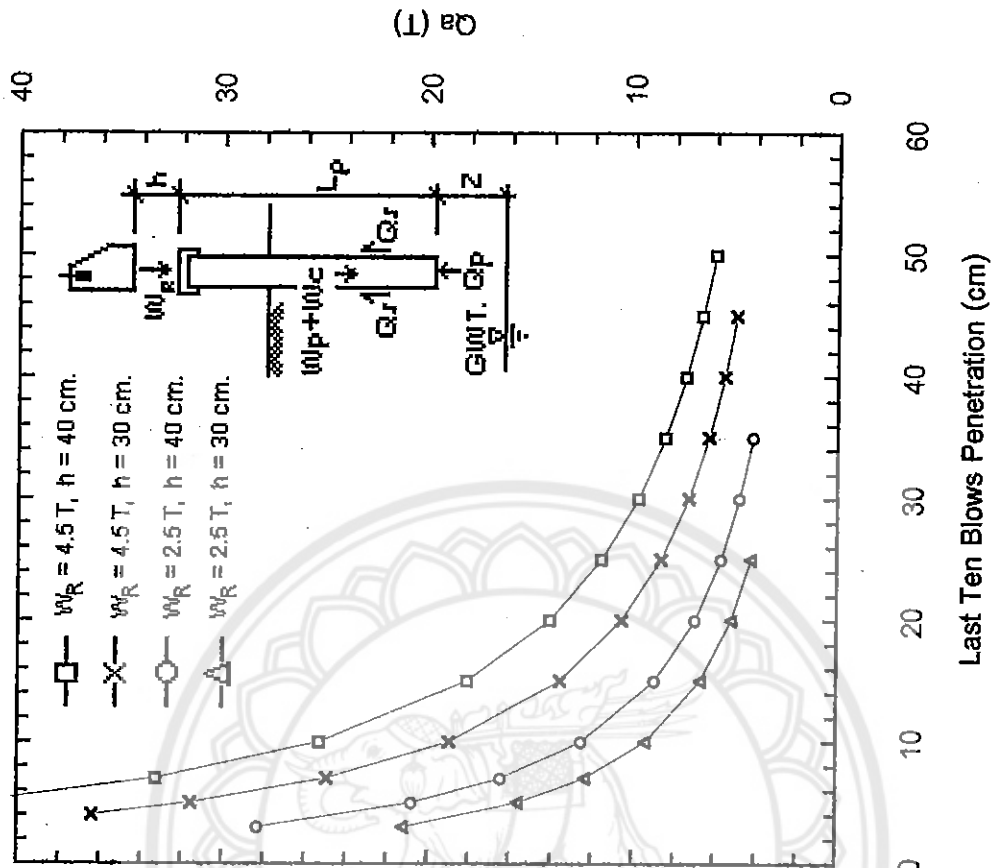
ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับ Q_a จากการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดและความยาวเสาเข็ม ได้สรุปไว้ในรูปที่ 4.2.1 ถึง 4.5.1 เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1.1 ถึง 4.5.1 พบว่า ผลกระทบของ γ_T และ ϕ ของดินทรายต่อ Q_a ยังคงเป็นไปในลักษณะเช่นเดิม แม้ขนาดของเสาเข็มจะเปลี่ยนจาก $18 \times 18 \text{ cm}^2$ เป็น 22×22 , 26×26 , 30×30 และ $35 \times 35 \text{ cm}^2$ และความยาวเสาเข็มเปลี่ยนจาก 6 m เป็น 8 , 10 , 12 , 14 และ 16 m ตามลำดับ นั่นคือ

- ค่า Q_a มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่า ϕ และ γ_T
- ค่า ϕ ส่งผลกระทบอย่างสูงต่อ Q_a โดยผลกระทบจะรุนแรงมากขึ้น เมื่อดินทรายเปลี่ยนจาก loose sand ($\phi < 32^\circ$) เป็น medium sand ($\phi = 32-35^\circ$) และ dense sand ($\phi = 35-38^\circ$)
- ที่ค่า ϕ ใดๆ γ_T มีผลกระทบต่อค่า Q_a ค่อนข้างน้อย



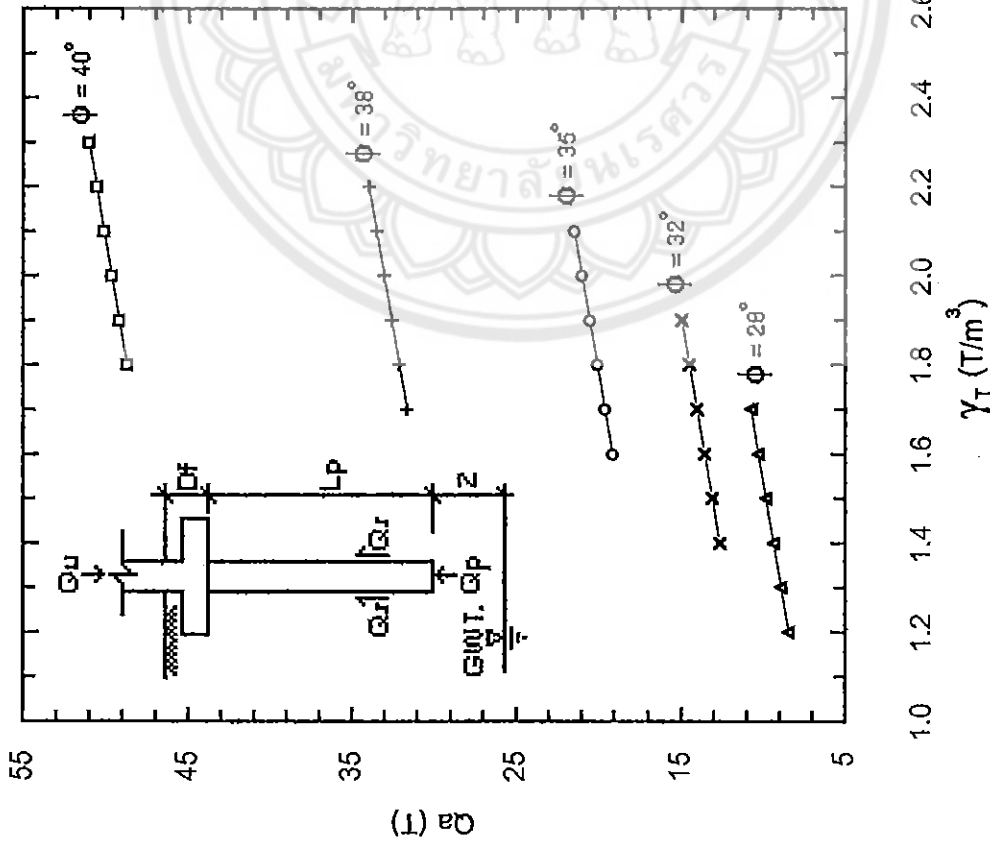
รูปที่ 4.2.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and ϕ .

When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m² and $D_{GWT} > L_p + D_f$



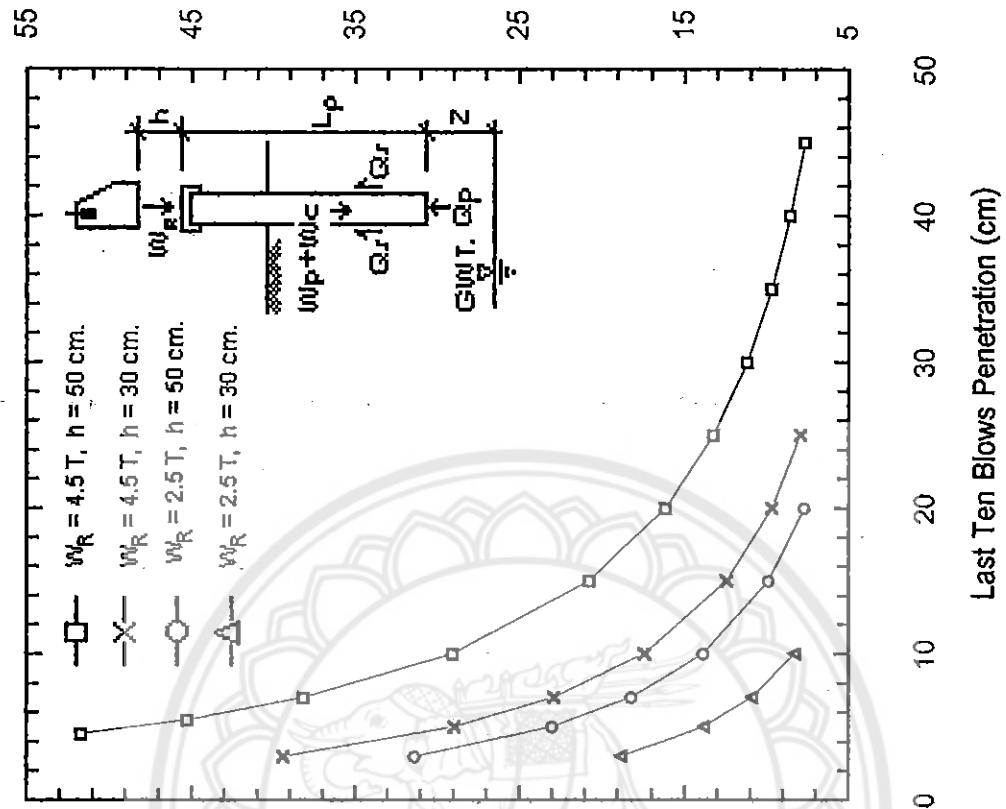
รูปที่ 4.2.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m² and $D_{GWT} > L_p + D_f$



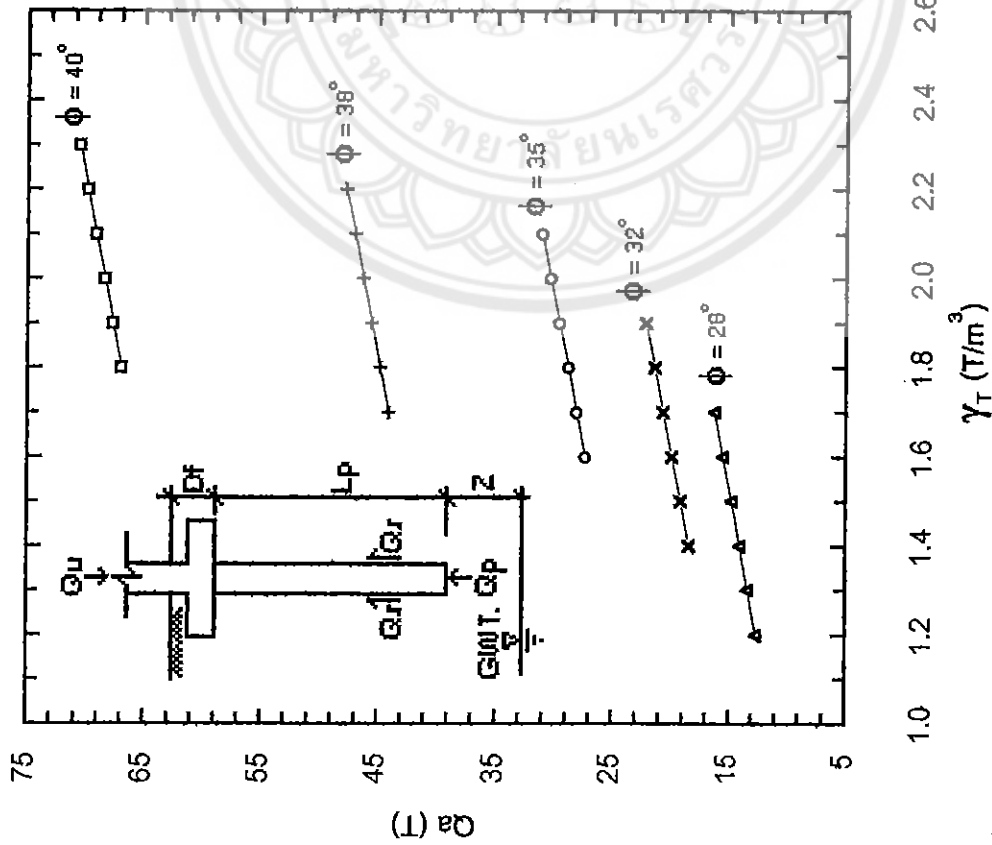
รูปที่ 4.3.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and ϕ .

When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m, $D_t = 1$ m ; C = 0 T/m² and $D_{GWT} > L_p + D_t$



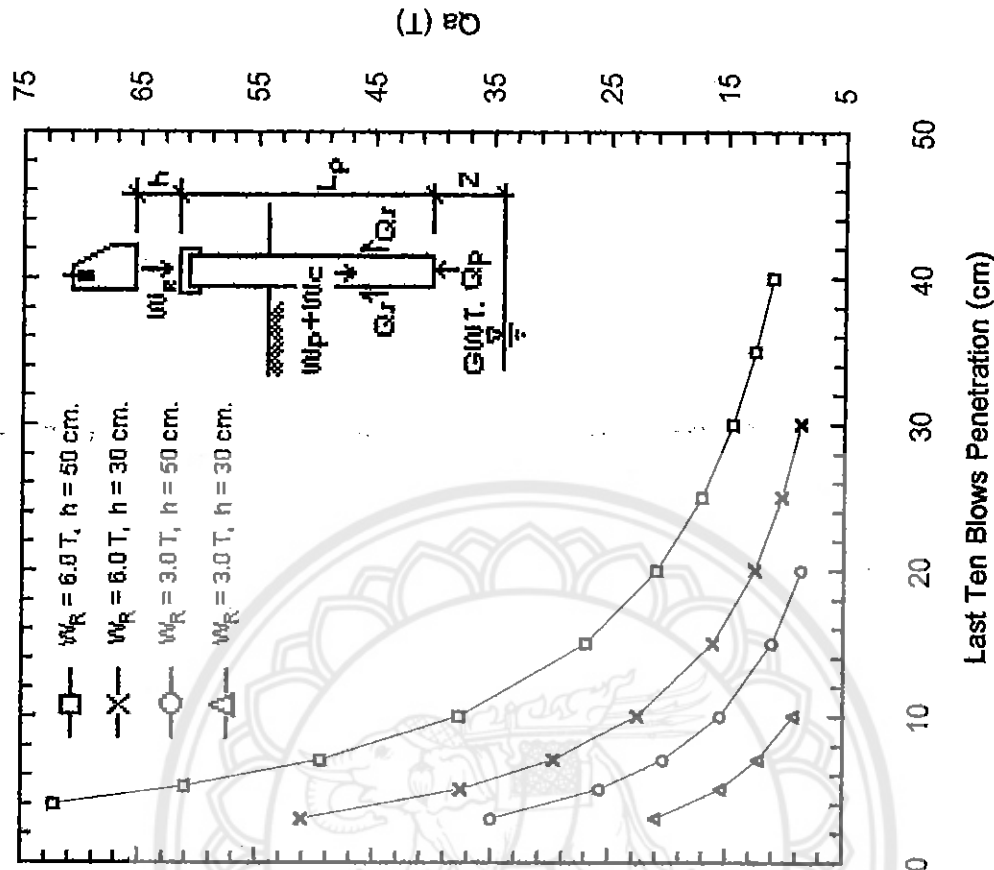
รูปที่ 4.3.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m, $D_t = 1$ m ; C = 0 T/m² and $D_{GWT} > L_p + D_t$



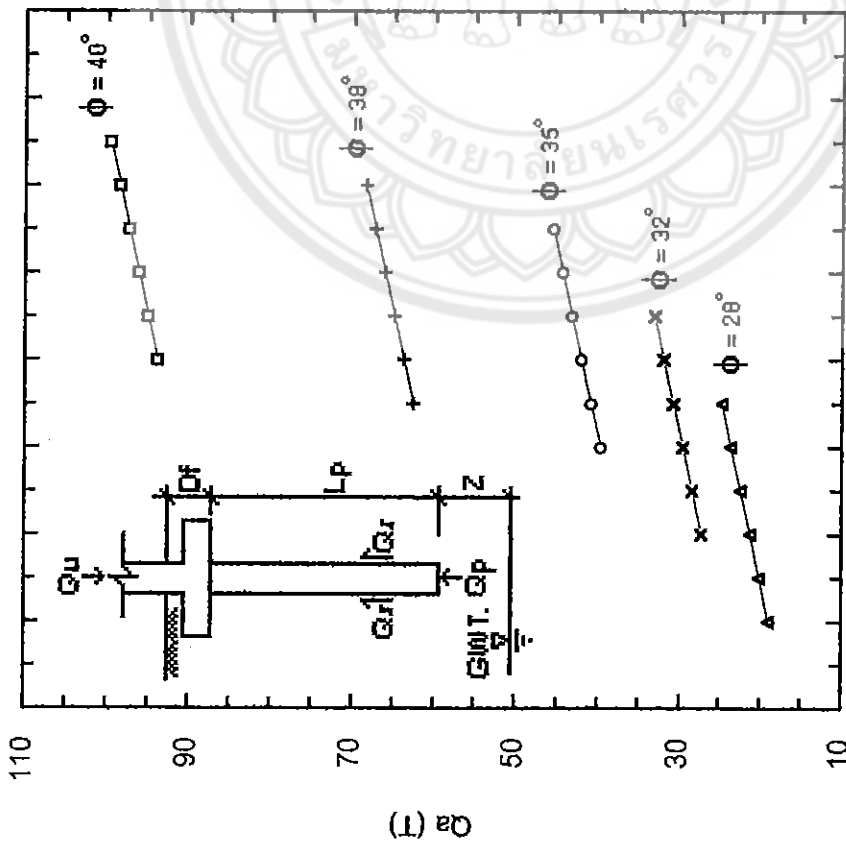
รูปที่ 4.4.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and ϕ .

When pile is square, $D = 30$ cm, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m; $C = 0$ T/m² and $D_{GWT} > L_p + D_f$



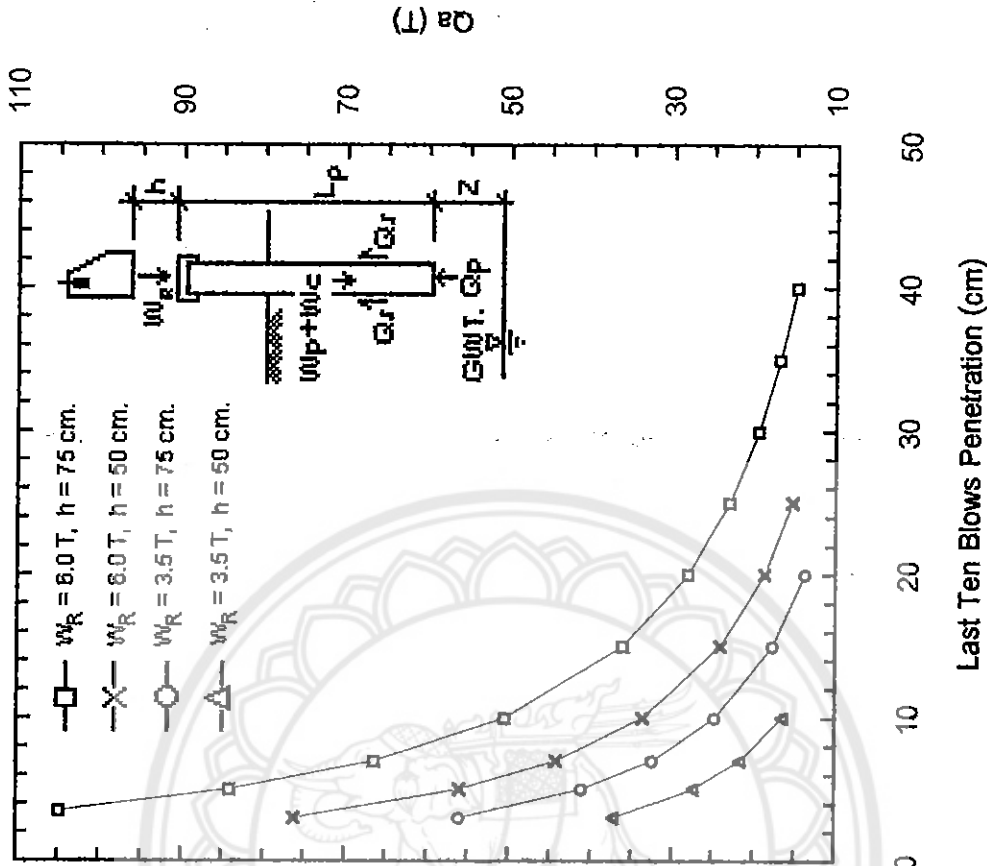
รูปที่ 4.4.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 30$ cm, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m; $C = 0$ T/m² and $D_{GWT} > L_p + D_f$



รูปที่ 4.5.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and ϕ .

When pile is square, $D = 35$ cm, $L_p = 14$ m, $D_f = 1$ m; $C = 0$ T/m^2 and $D_{GWT} > L_p + D_f$



รูปที่ 4.5.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 35$ cm, $L_p = 14$ m, $D_f = 1$ m; $C = 0$ T/m^2 and $D_{GWT} > L_p + D_f$

อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a ต่อการเปลี่ยนแปลงของ ϕ (ที่ $\gamma_T = 1.7 \text{ T/m}^3$) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 สรุปได้ว่า ค่า ϕ ของดินทรายส่งผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a รุนแรงขึ้น เมื่อเสาเข็มมีหน้าตัดขนาดใหญ่ขึ้นและมีความยาวมากขึ้น

ในทำนองเดียวกัน ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a ต่อการเปลี่ยนแปลงของ γ_T (ที่ ϕ ใดๆ) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ทำให้สรุปได้ในทำนองเดียวกันว่า ค่า γ_T ของดินทรายส่งผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a รุนแรงขึ้น เมื่อเสาเข็มมีหน้าตัดขนาดใหญ่ขึ้น หรือมีความยาวมากขึ้น

ผลวิเคราะห์ดังกล่าว ตรงกับข้อสันนิษฐานเบื้องต้น คือค่า ϕ และ γ_T ส่งผลกระทบต่อ Q_a มากขึ้น เมื่อ หน้าตัด และความยาวของเสาเข็มมีค่ามากขึ้น เนื่องจาก Q_a หาได้จาก สูตร $Q_a = [A_p (cN_c^* + q' N_q^*) + (\sum p L f_{av})] / FS$ ซึ่งหน้าตัด และความยาวเสาเข็ม มีผลต่อ A_p , q' และ f_{av} ดังนั้นเมื่อหน้าตัด และความยาวเสาเข็มมากขึ้นทำให้ A_p , q' และ f_{av} มากขึ้น และหากค่า ϕ และ γ_T สูงขึ้น ยิ่งทำให้ Q_a สูงขึ้น เพราะค่า ϕ ยังคงมีผลโดยตรงต่อ N_c^* และ N_q^* และค่า γ_T ส่งผลต่อ q' และ f_{av}

ข. ระดับน้ำใต้ดิน

ในทำนองเดียวกันกับการศึกษาผลกระทบของหน้าตัดและความยาวเสาเข็มดังได้อธิบายในหัวข้อ "ก. หน้าตัดและความยาวเสาเข็ม" การวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) ได้ถูกจัดทำเพิ่มเติม โดยเปลี่ยนระดับน้ำใต้ดินจากที่ระดับใต้เสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_p$) เป็นที่ระดับผิวดิน ($D_{GWT} = 0$) เพื่อตรวจสอบผลกระทบของ γ_{sat} และ ϕ ของดินทรายต่อ Q_a ภายใต้การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

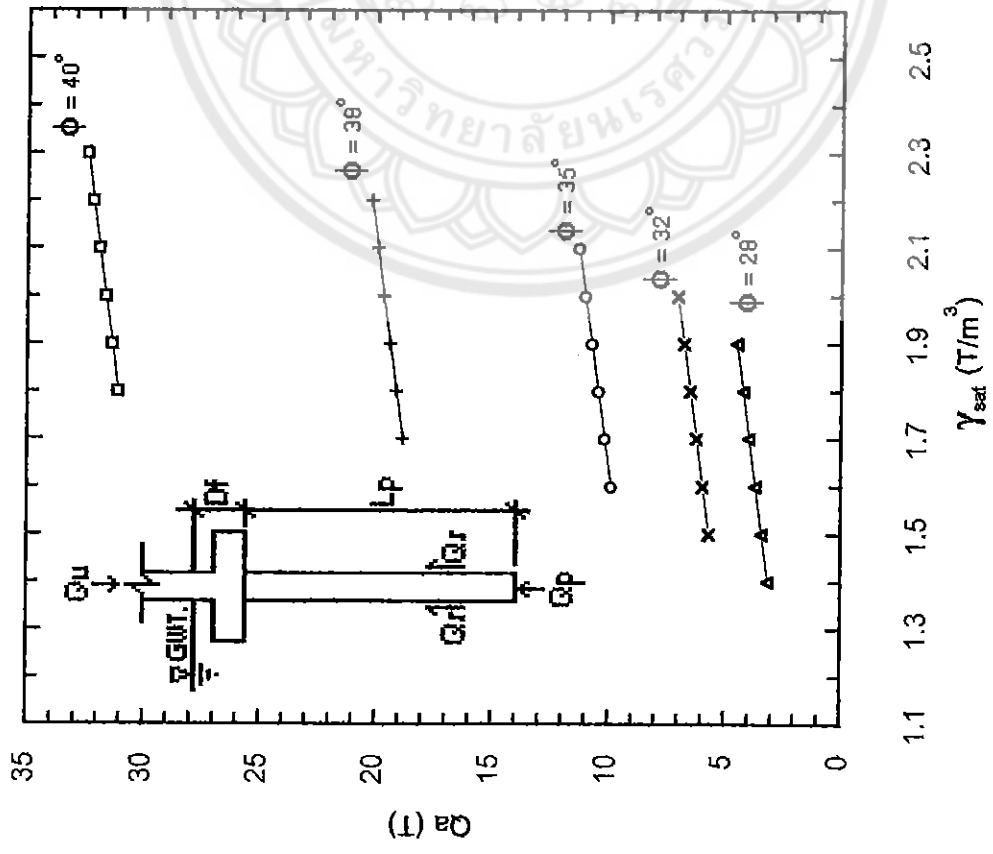
ผลการพิจารณาเปรียบเทียบรูปที่ 4.6.1 กับรูปที่ 4.2.1 และรูปที่ 4.7.1 กับรูปที่ 4.3.1 พบว่าผลกระทบของ γ_{sat} กับ ϕ ของดินทราย ยังคงแปรผันโดยตรงกับ Q_a ไม่ว่าจะเป็นกรณีี่น้ำใต้ดินอยู่ใต้เสาเข็ม หรืออยู่ที่ระดับผิวดินก็ตาม ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของค่า ϕ ยังมีผลกระทบสูงมากต่อ Q_a เมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงของ γ_{sat} (ตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และ ชนิดดินทราย (ค่า ϕ เปลี่ยนแปลง) เมื่อ $\gamma_T = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้ ปลายเสาเข็ม ($D_{\text{GWT}} > L_p + D_f$)

Pile Properties Size (cm ²); L_p (m)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a (T/deg.)			
	Loose Sand ($\phi < 32^\circ$)	Medium Sand ($\phi = 32^\circ - 35^\circ$)	Dense Sand ($\phi = 35^\circ - 38^\circ$)	Very Dense Sand ($\phi > 38^\circ$)
□ 18*18; 6	0.5	0.9	1.9	4.0
□ 22*22; 8	0.6	1.3	2.9	6.0
□ 26*26; 10	0.8	1.9	4.0	8.4
□ 30*30; 12	1.1	2.4	5.3	11.1
□ 35*35; 14	1.5	3.4	7.2	15.0

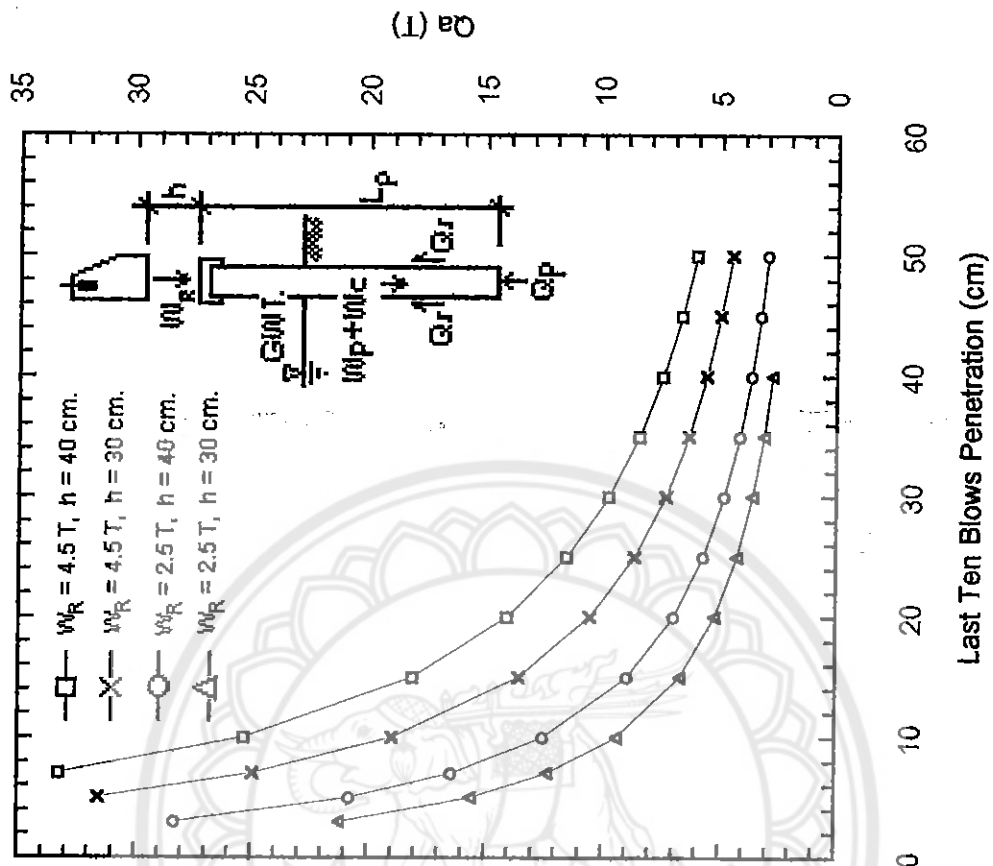
ตารางที่ 4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และ ชนิดดินทราย (ค่า γ_T เปลี่ยนแปลง) ที่ค่า ϕ ใดๆ และระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้ปลายเสาเข็ม ($D_{\text{GWT}} > L_p + D_f$)

Size (cm ²); L_p (m)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a [T/ (0.1 T/m ³)]
□ 18*18; 6	0.14
□ 22*22; 8	0.28
□ 26*26; 10	0.48
□ 30*30; 12	0.74
□ 35*35; 14	1.18



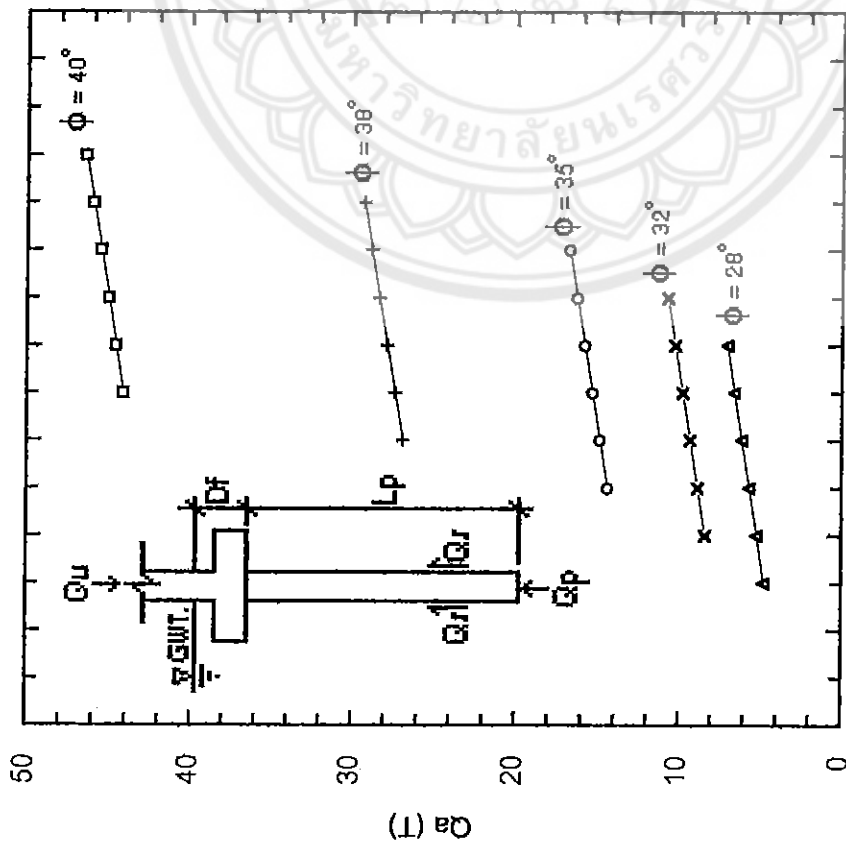
รูปที่ 4.6.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and ϕ .

When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_t = 1$ m; $C = 0$ T/m² and $D_{GWT} = 0$



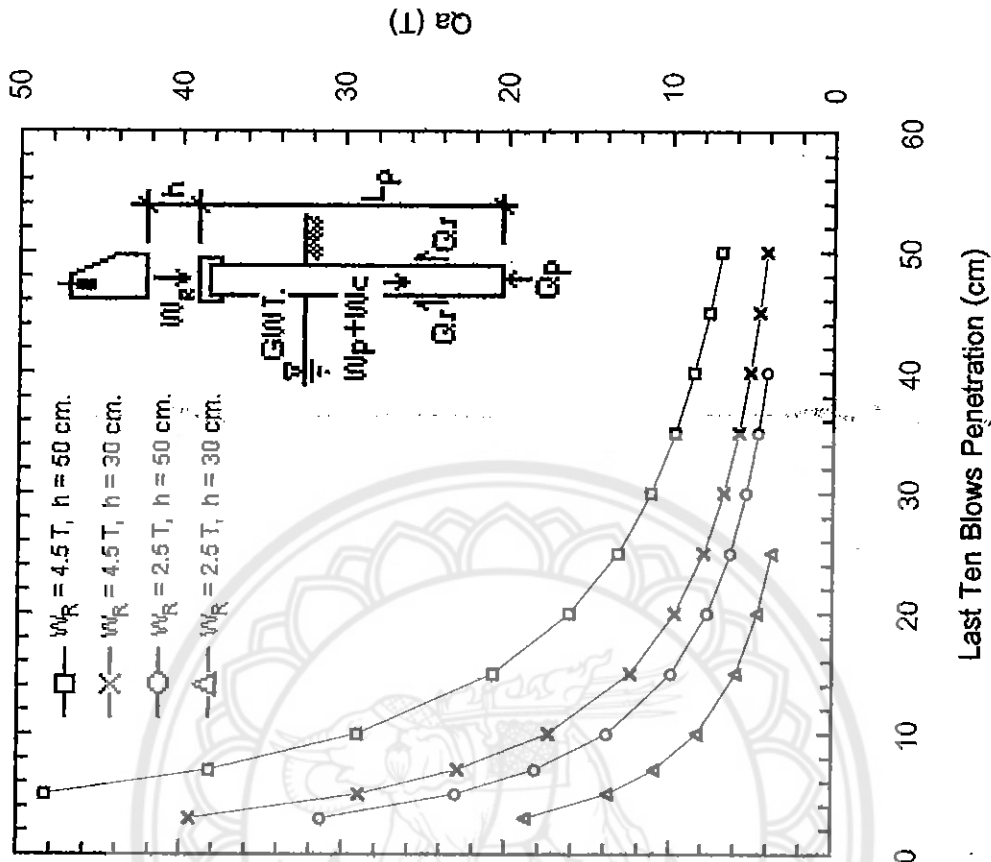
รูปที่ 4.6.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_t = 1$ m; $C = 0$ T/m² and $D_{GWT} = 0$



รูปที่ 4.7.1 Pile Allowable Load ($FS = 2.5$) with varying γ_{sat} and ϕ .

When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m² and $D_{GWT} = 0$



รูปที่ 4.7.2 Pile Allowable Load ($FS = 4$) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m² and $D_{GWT} = 0$

นอกจากนั้น การเปรียบเทียบดังกล่าว ยังแสดงให้เห็นว่า ที่คุณสมบัติของดิน และหน้าตัดและความยาวของเสาเข็มใดๆ ระดับน้ำใต้ดินมีผลกระทบต่อ Q_a โดยมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน ($Q_a \propto 1/D_{GWT}$) กล่าวคือเมื่อค่า D_{GWT} ลดระดับลง (วัดจากระดับผิวดิน) ค่า Q_a จะมีค่ามากขึ้น ซึ่งตรงกับข้อสันนิษฐานที่คาดไว้ เพราะระดับน้ำใต้ดินที่สูงขึ้น ทำให้ค่า Effective Vertical Stress ลดลง ดินจึงมีความแข็งแรงลดลง ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) ลดลง ซึ่งสูตร $Q_a = [A_p(cN_c^* + q^*N_q^*) + (\sum pL f_{av})]/FS$ ยังแสดงให้เห็นว่า ระดับน้ำใต้ดินที่สูงขึ้น ทำให้ค่า q^* ลดลง ดังนั้น Q_a จึงมีค่าลดลง และผลการวิเคราะห์ที่น่าสนใจอย่างยิ่งคือ ระดับ D_{GWT} ในชั้นดินทรายส่งผลให้ Q_a ลดลง แต่ไม่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a (เปรียบเทียบตารางที่ 4.2 กับตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.3 กับตารางที่ 4.5)

4.1.2 กรณีดินเหนียว

คุณสมบัติดินเหนียว ส่งผลผลกระทบต่อ ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) ดังรูปที่ 4.8.1 โดยค่า Q_a มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่า C_u, γ_{sat} ($Q_a \propto C_u, \gamma_{sat}$) นั่นคือ Q_a จะมีค่ามากขึ้น เมื่อค่า C_u, γ_{sat} มากขึ้น ผลการวิเคราะห์ที่ได้ตรงกับข้อสันนิษฐานที่คาดไว้ กล่าวคือค่า C_u, γ_{sat} ควรจะแปรผันตรงกับค่า Q_a เพราะ Q_a สามารถหาได้จาก สมการ $Q_a = [A_p(C_u N_c^* + q^* N_q^*) + (\sum pL f_{av})]/FS$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า C_u มีผลต่อ f_{av} ดังนั้นเมื่อ C_u มีค่าสูง จะทำให้ค่า f_{av} สูง ซึ่งจะทำได้ Q_a ที่สูงขึ้น และเมื่อพิจารณา ค่า γ_{sat} แล้วยังคงเป็นไปเหมือนในกรณีดินทราย นั่นคือ ถ้าค่า γ_{sat} มีค่าสูง จะทำให้ค่า q^* และ f_{av} สูง ซึ่งส่งผลทำให้ Q_a สูงขึ้น

4.1.2.1 ผลกระทบของ Undrained Cohesion (C_u)

รูปที่ 4.8.1 ชี้ให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงค่าของ C_u ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อ Q_a (dramatical impact) ตัวอย่างเช่น เมื่อ $\gamma_{sat} = 1.8 \text{ T/m}^3$ พบว่า

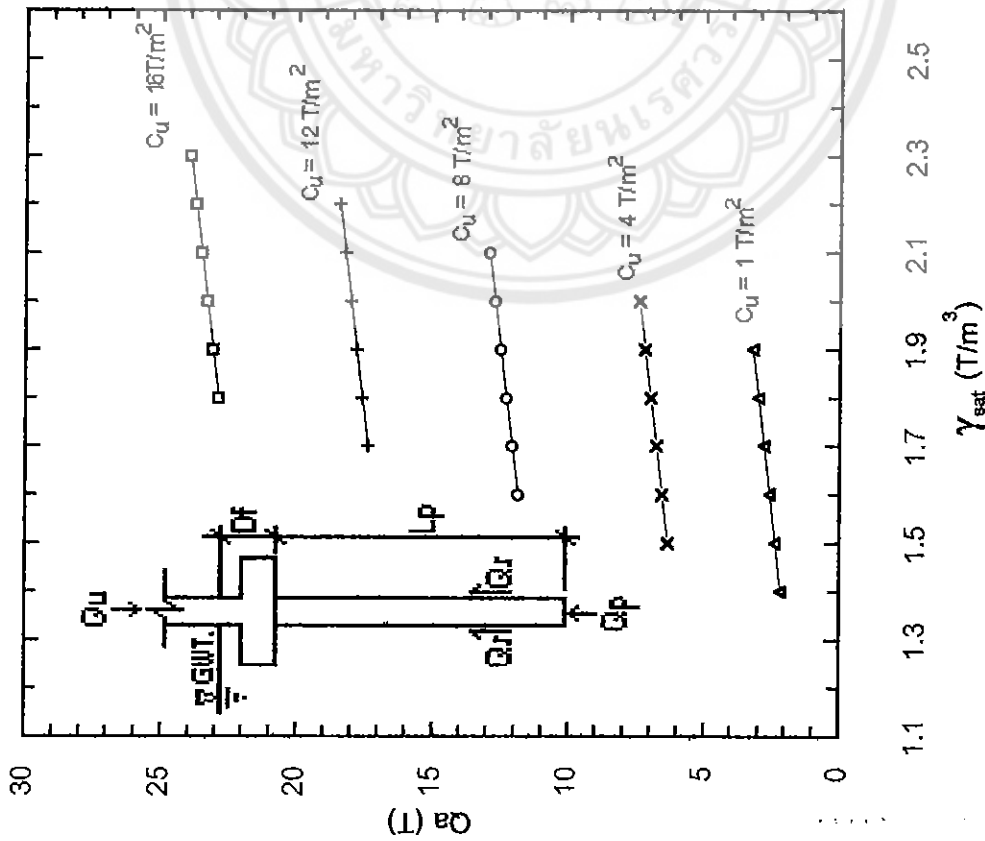
- เมื่อ C_u เปลี่ยนจาก 1 T/m^2 เป็น 4 T/m^2 (soft clay): Q_a ที่วิเคราะห์ได้จะเปลี่ยนจาก 3 T เป็น 7 T นั่นคือ Q_a มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เท่ากับ $(7-3) \text{ T}/(4-1) \text{ T/m}^2 = 1.3 \text{ T}/(\text{T/m}^2)$

ตารางที่ 4.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และ ชนิดดินทราย (ค่า ϕ เปลี่ยนแปลง) เมื่อ $\gamma_T = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)

Pile Properties	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a (T/deg.)			
	Loose Sand ($\phi < 32^\circ$)	Medium Sand ($\phi = 32^\circ - 35^\circ$)	Dense Sand ($\phi = 35^\circ - 38^\circ$)	Very Dense Sand ($\phi > 38^\circ$)
□ 22*22; 8	0.6	1.3	2.9	6.0
□ 26*26; 10	0.8	1.9	4.0	8.4

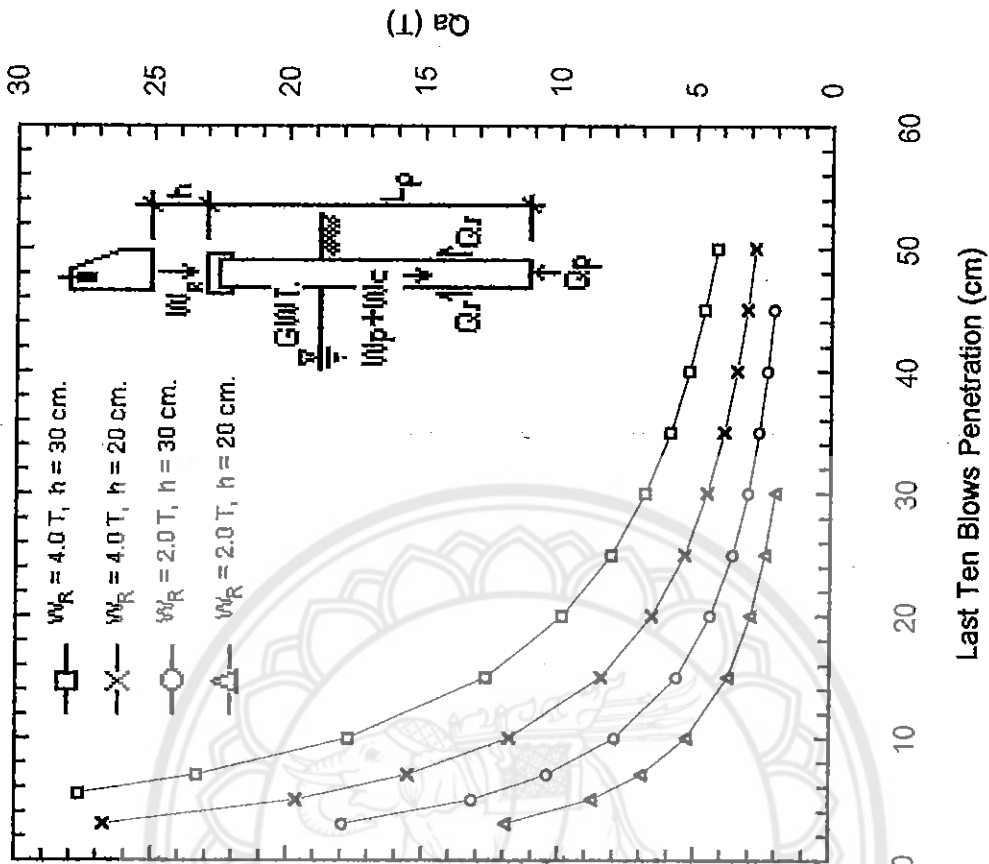
ตารางที่ 4.5 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และ ชนิดดินทราย (เมื่อค่า γ_{sat} เปลี่ยนแปลง) ที่ค่า ϕ ใดๆ และระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)

Size (cm ²); L_p (m)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a [T/ (0.1 T/m ³)]
□ 22*22; 8	0.28
□ 26*26; 10	0.48



รูปที่ 4.8.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and C_u . When

pile is square, $D = 18$ cm, $L_p = 6$ m, $D_f = 1$ m; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$



รูปที่ 4.8.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 18$ cm, $L_p = 6$ m, $D_f = 1$ m; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$

- เมื่อ C_u เปลี่ยนจาก 4 T/m^2 เป็น 8 T/m^2 (medium clay): Q_a ที่วิเคราะห์ได้จะเปลี่ยนจาก 7 T เป็น 12.3 T หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a เท่ากับ $1.3 \text{ T}/(\text{T/m}^2)$

- เมื่อ C_u เปลี่ยนจาก 8 T/m^2 เป็น 12 T/m^2 (stiff clay): Q_a ที่วิเคราะห์ได้จะเปลี่ยนจาก 12.3 T เป็น 17.6 T หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a เท่ากับ $1.3 \text{ T}/(\text{T/m}^2)$

- และเมื่อ C_u เปลี่ยนจาก 12 T/m^2 เป็น 16 T/m^2 (very stiff clay): Q_a ที่วิเคราะห์ได้จะเปลี่ยนจาก 17.6 T เป็น 22.9 T อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a ยังคงเท่ากับ $1.3 \text{ T}/(\text{T/m}^2)$

จะเห็นได้ว่า Q_a มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เท่ากับ $1.3 \text{ T}/(\text{T/m}^2)$ เท่ากันหมดทุกช่วง นั่นคือ ชนิดของดินเหนียว (การเปลี่ยนแปลงค่า C_u) ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a

4.1.2.2 ผลกระทบของ Saturated unit weight (γ_{sat})

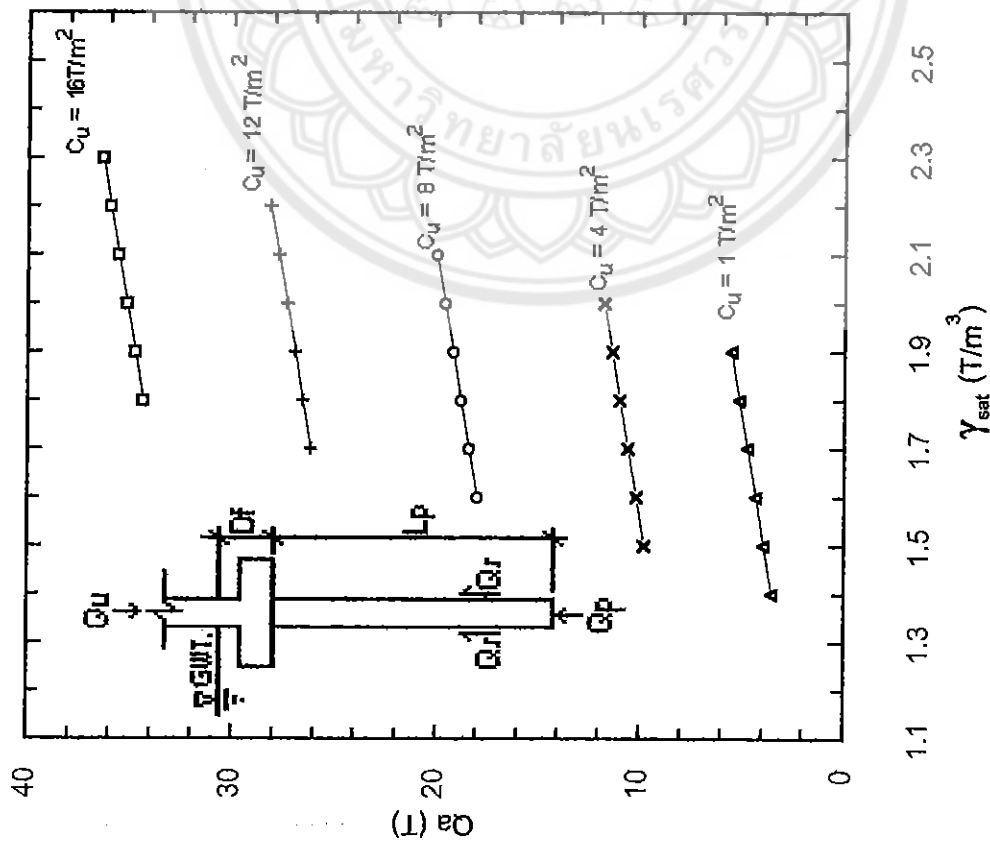
รูปที่ 4.8.1 แสดงให้เห็นว่า สำหรับทุกค่า C_u ค่า γ_{sat} มีผลกระทบต่อ Q_a ในลักษณะแปรผันตรง โดยเฉลี่ยเมื่อ $C_u = 1-16 \text{ T/m}^2$ พบว่า Q_a มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นประมาณ 0.2 T เมื่อค่า γ_{sat} เพิ่มขึ้น 0.1 T/m^3

4.1.2.3 ความแปรปรวนของผลกระทบจาก γ_{sat} และ C_u

เพื่อต้องการทราบว่า ผลกระทบจากคุณสมบัติของดินเหนียว (γ_{sat} และ C_u) ที่มีผลต่อ Q_a มีความแปรปรวนอย่างไร การศึกษาดังกล่าวได้ถูกทำเพิ่มเติม โดย ก. การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดและความยาวของเสาเข็ม และข. ระดับน้ำใต้ดิน

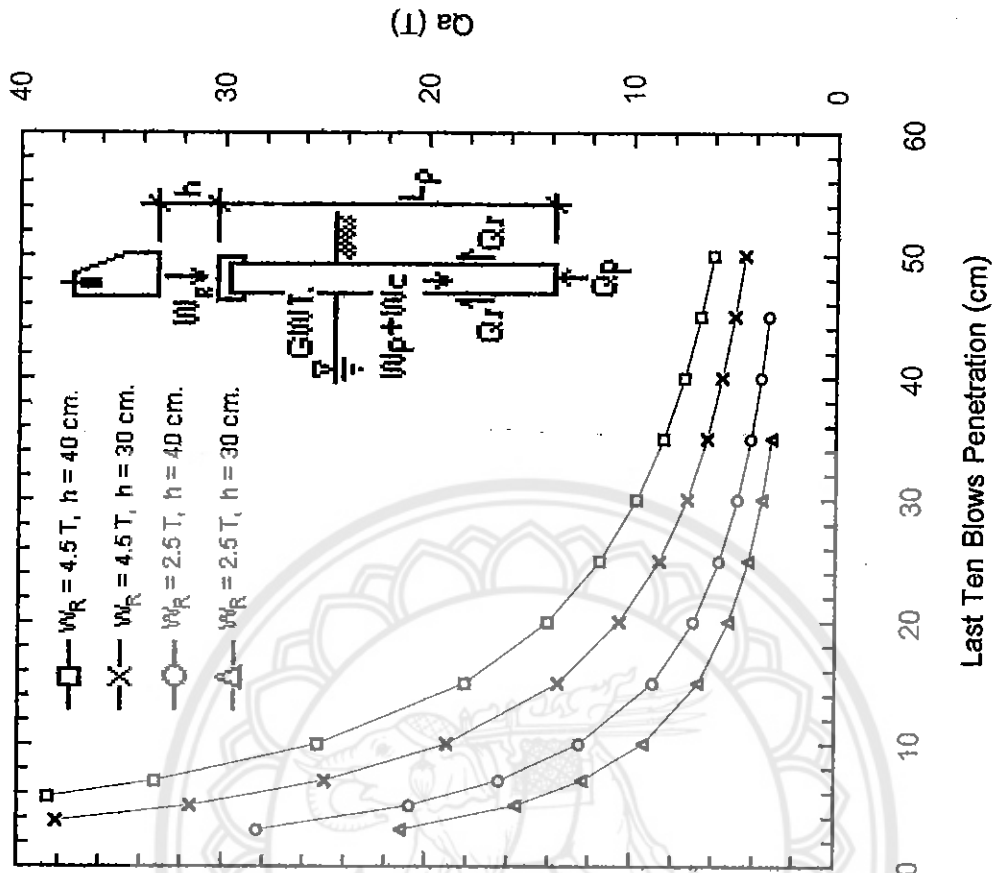
ก. หน้าตัดและความยาวเสาเข็ม

ผลกระทบที่มีต่อ Q_a ที่ได้รับจากการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดและความยาวเสาเข็ม สรุปได้ดังรูปที่ 4.9.1 ถึง 4.12.1



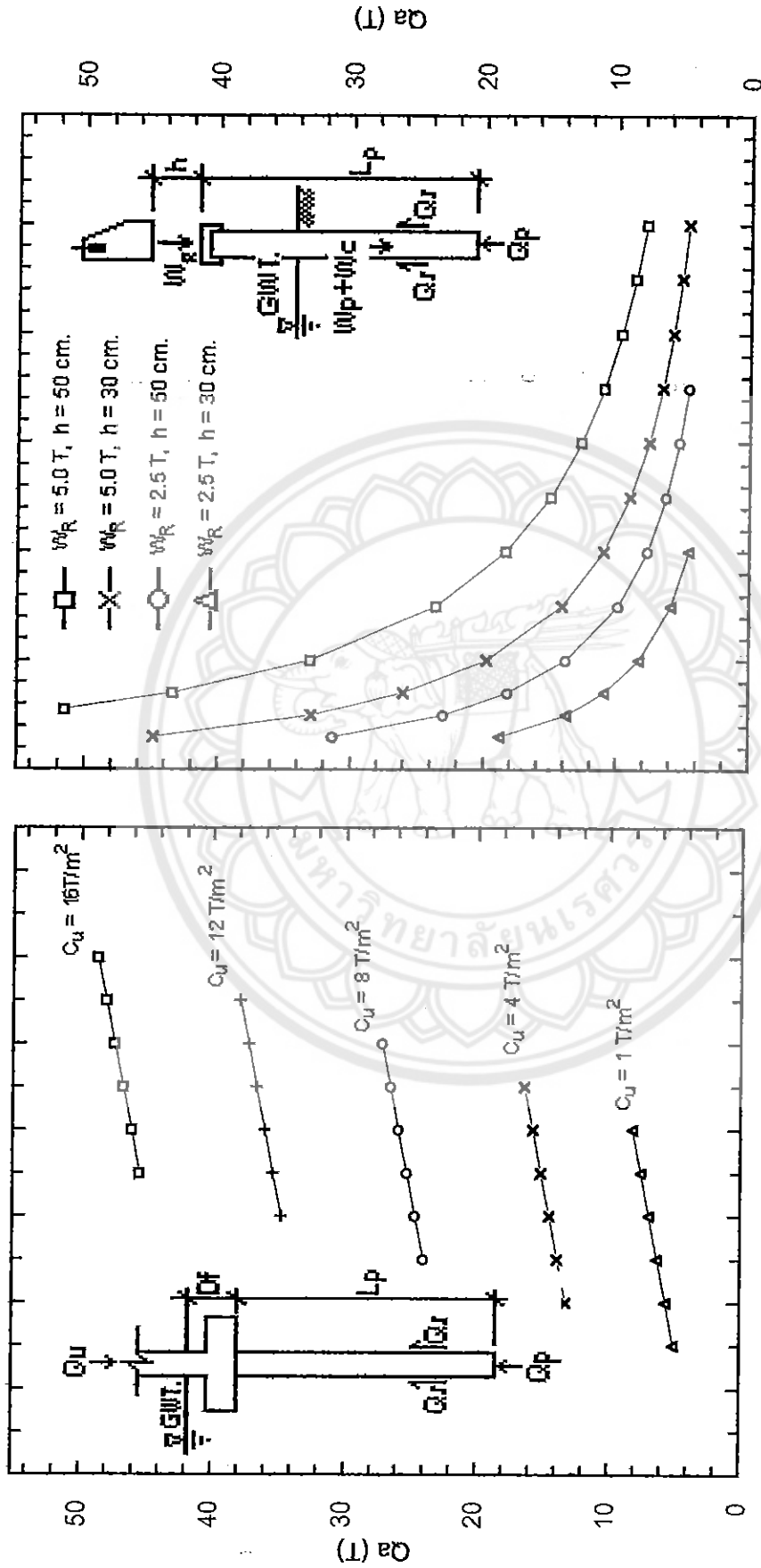
รูปที่ 4.9.1 Pile Allowable Load ($FS = 2.5$) with varying γ_{sat} and C_u . When

pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_f = 1$ m; $\phi = 0^\circ$ and $D_{gwr} = 0$



รูปที่ 4.9.2 Pile Allowable Load ($FS = 4$) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_f = 1$ m; $\phi = 0^\circ$ and $D_{gwr} = 0$

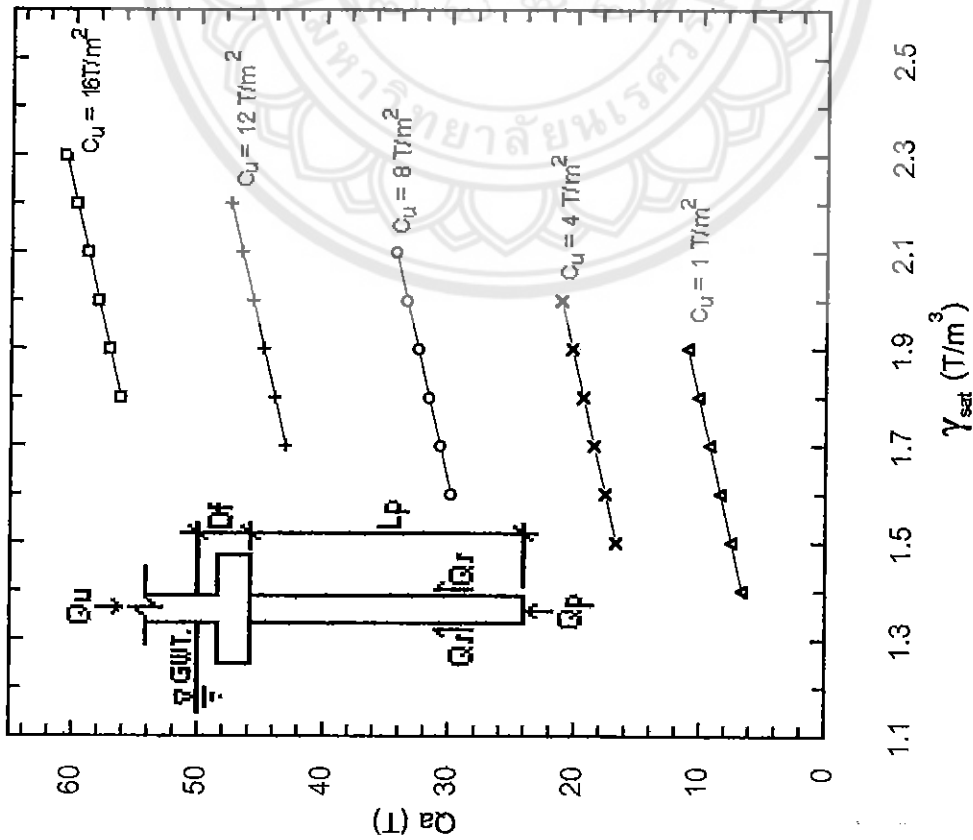


รูปที่ 4.10.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and C_u . When

pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m, $D_r = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{avr} = 0$

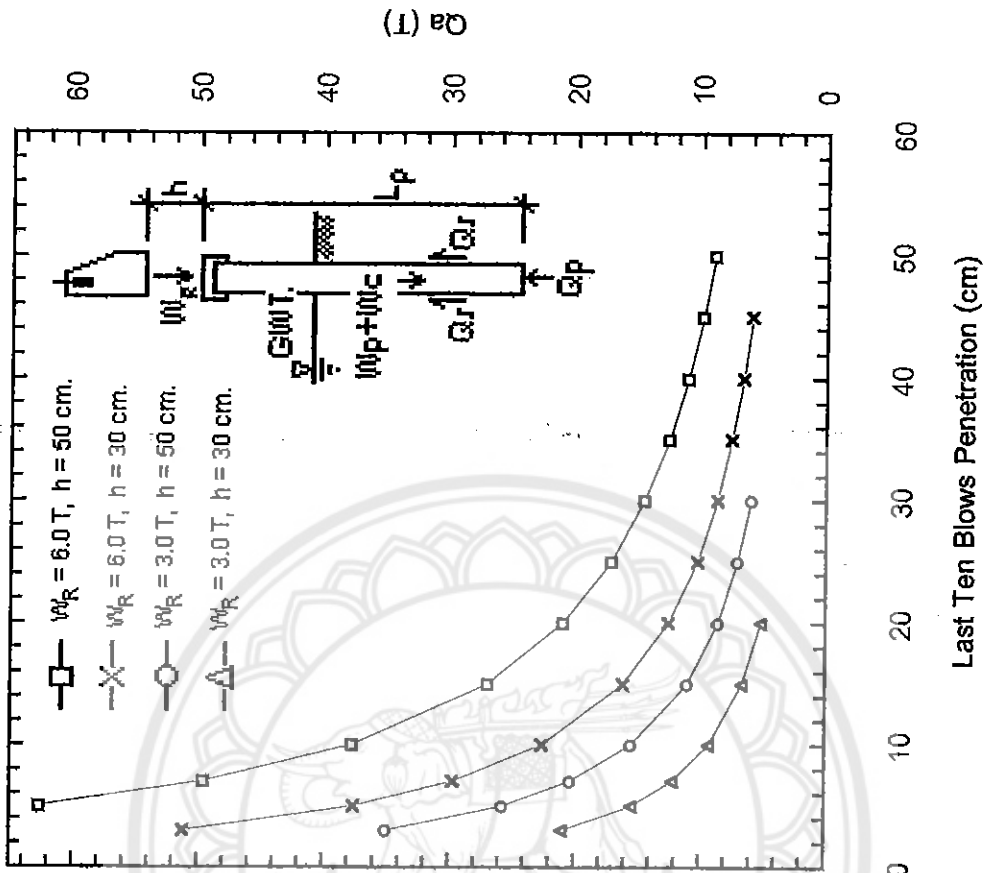
รูปที่ 4.10.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m, $D_r = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{avr} = 0$



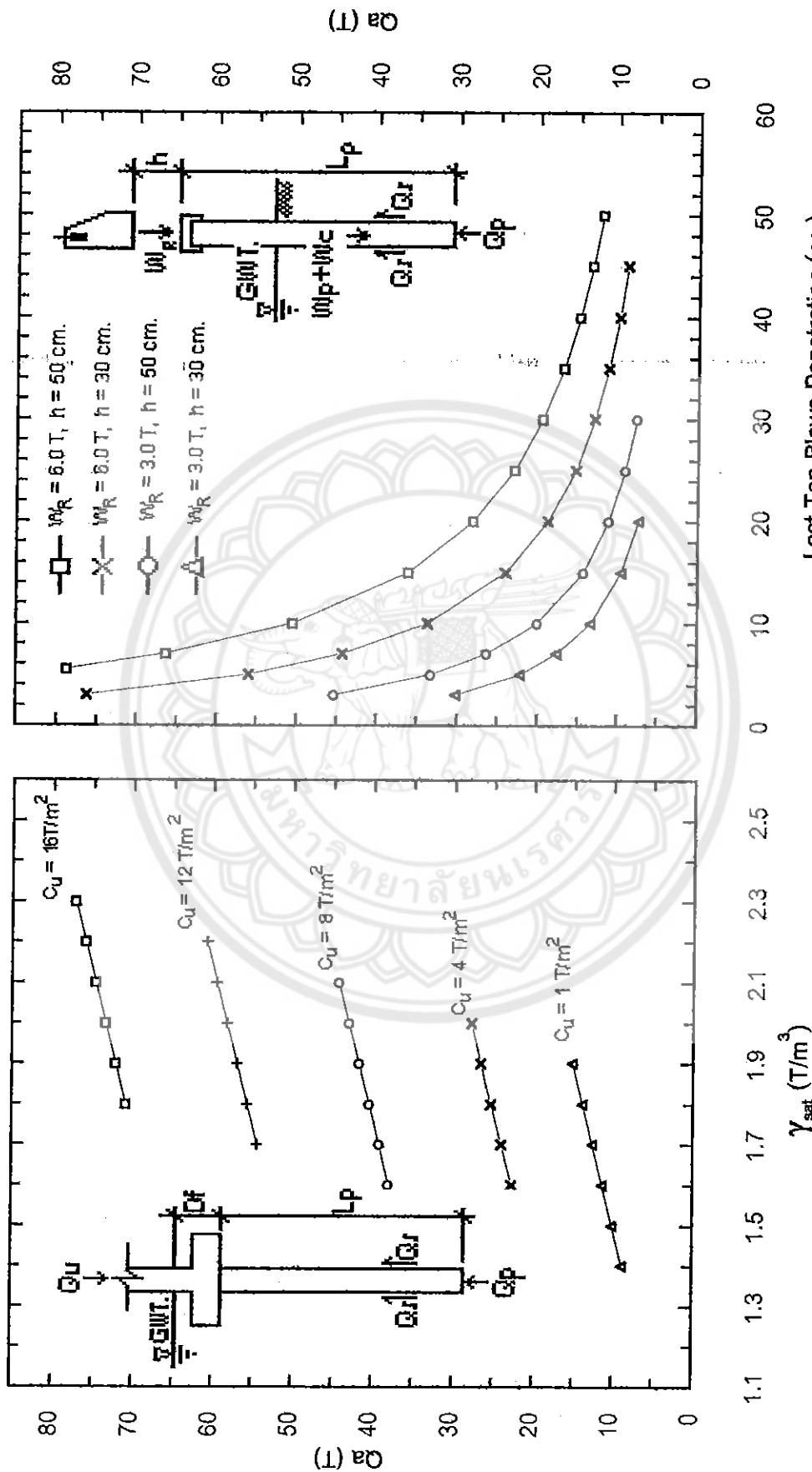
รูปที่ 4.11.1 Pile Allowable Load ($FS = 2.5$) with varying γ_{sat} and C_u . When

pile is square, $D = 30$ cm, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$



รูปที่ 4.11.2 Pile Allowable Load ($FS = 4$) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 30$ cm, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$



รูปที่ 4.12.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and C_u . When pile is square, $D = 35$ cm, $L_p = 14$ m, $D_r = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{gwr} = 0$

รูปที่ 4.12.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 35$ cm, $L_p = 14$ m, $D_r = 1$ m ; $\phi = 0^\circ$ and $D_{gwr} = 0$

ผลการพิจารณารูปที่ 4.8.1 ถึง 4.12.1 พบว่า แม้ขนาดของเสาเข็มจะเปลี่ยนจาก 18×18 cm^2 เป็น 22×22 , 26×26 , 30×30 และ 35×35 cm^2 และความยาวเสาเข็มเปลี่ยนจาก 6 m เป็น 8, 10, 12, 14 และ 16 m ดังกล่าว ผลกระทบของ γ_{sat} และ Cu ของดินเหนียว ต่อ Qa ยังคงเป็นไปเหมือนเดิม นั่นคือ

- ค่า Qa มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่า γ_{sat} และ Cu
- ค่า Cu ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อ Qa แต่ชนิดของดินเหนียว (การเปลี่ยนแปลงค่า γ_{sat} และ Cu) ยังคงไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Qa
- สำหรับทุกค่า Cu ค่า γ_{sat} มีผลกระทบต่อ Qa ค่อนข้างน้อย

นอกจากนั้น ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Qa ต่อการเปลี่ยนแปลงของ Cu (ที่ $\gamma_{\text{sat}} = 1.8 \text{ T/m}^3$) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ทำให้สรุปได้ว่า ค่า Cu ของดินเหนียวส่งผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Qa รุนแรงขึ้น เมื่อหน้าตัดเสาเข็มมีขนาดใหญ่ขึ้น และเสาเข็มยาวขึ้น

ในทำนองเดียวกัน ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Qa ต่อการเปลี่ยนแปลงของ γ_{sat} (สำหรับทุกค่า Cu) ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า เมื่อหน้าตัดเสาเข็มมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีความยาวมากขึ้น ค่า γ_{sat} ของดินเหนียวจะส่งผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Qa รุนแรงขึ้น

จากผลวิเคราะห์ตรงกับข้อสันนิษฐานที่คาดไว้ในเบื้องต้น กล่าวคือ Cu, γ_{sat} มีอิทธิพลต่อ Qa เมื่อหน้าตัด และความยาวเสาเข็มมากขึ้น เพราะ Qa สามารถหาได้จาก สูตร $Q_a = Q_u / FS$ หรือ $Q_a = [A_p(cN_c^* + q^*N_q^*) + (\sum pL f_{av})] / FS$ ซึ่งหน้าตัดและความยาวเสาเข็ม มีผลต่อ A_p , q^* และ f_{av} ดังนั้นเมื่อหน้าตัด และความยาวเสาเข็มมากขึ้น ค่า A_p , q^* และ f_{av} จะมากขึ้นด้วย และเมื่อค่า Cu, γ_{sat} มีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น ก็จะทำให้ค่า Qa ยิ่งสูงขึ้นไปอีก เนื่องจาก Cu มีผลต่อ f_{av} และ γ_{sat} ส่งผลโดยตรงต่อค่า q^* และ f_{av}

ตารางที่ 4.6 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และ ชนิดดินเหนียว (ค่า C_u เปลี่ยนแปลง) เมื่อ $\gamma_{sat} = 1.8 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)

Size (cm ²); L_p (m)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a [T/ (T/m ³)]
□ 18*18; 6	1.3
□ 22*22; 8	1.9
□ 26*26; 10	2.5
□ 30*30; 12	3.1
□ 35*35; 14	3.8

ตารางที่ 4.7 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และ ชนิดดินเหนียว (ค่า γ_{sat} เปลี่ยนแปลง) สำหรับทุกค่า C_u และระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)

Size (cm ²); L_p (m)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a [T/ (0.1 T/m ³)]
□ 18*18; 6	0.2
□ 22*22; 8	0.4
□ 26*26; 10	0.6
□ 30*30; 12	0.9
□ 35*35; 14	1.26

4.2 ผลกระทบจากการจัดรูปแบบฐานรากและคุณสมบัติของเสาเข็ม

4.2.1 ระยะ D_r ของฐานราก

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับระยะ D_r ($Q_a \propto D_r$) กล่าวคือ Q_a จะมีค่ามากขึ้น เมื่อระยะ D_r ลึกขึ้น (รูปที่ 4.13.1)

ผลการวิเคราะห์ที่ได้ตรงกับข้อสันนิษฐานเบื้องต้นที่คาดไว้ คือระยะ D_r ควรจะแปรผันตรงกับค่า Q_a เนื่องจาก Q_a สามารถหาได้จาก สูตร $Q_a = Q_u/FS [A_p(cN_c^* + q^*N_q^*)/FS]$ ซึ่งระยะ D_r มีผลต่อ q^* ดังนั้นเมื่อ ระยะ D_r มีค่าสูง จะทำให้ค่า q^* สูง ซึ่งจะทำให้ได้ Q_a ที่สูงขึ้น

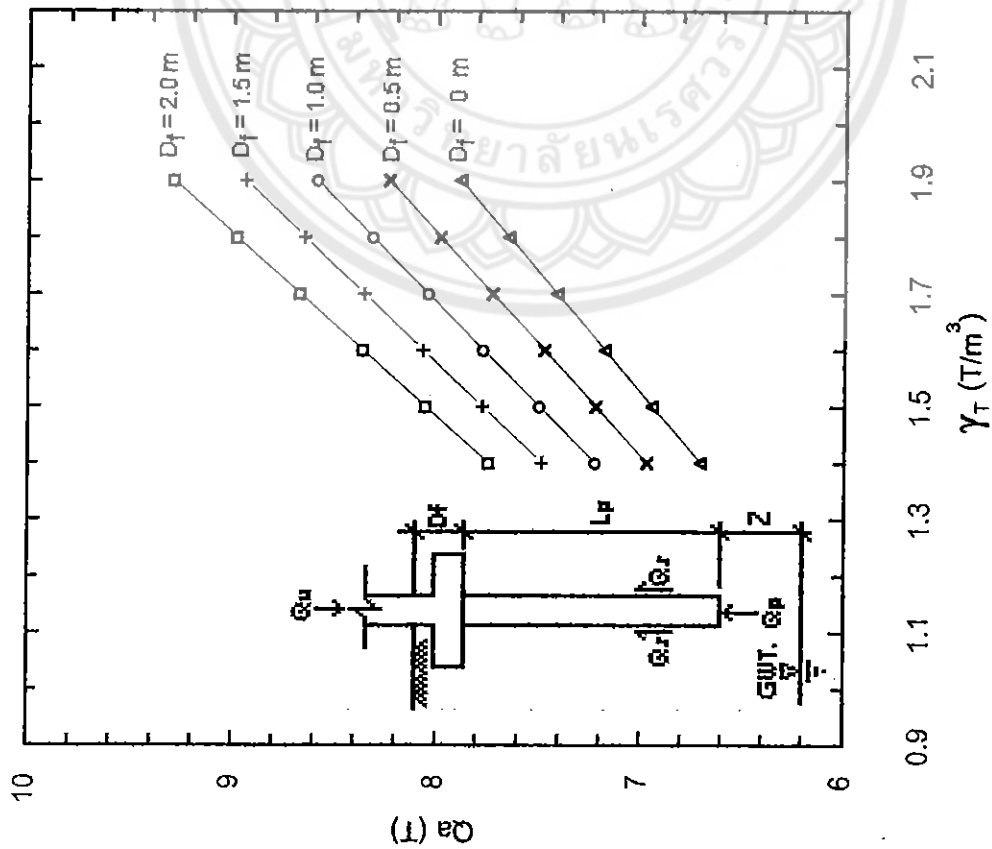
4.2.1.1 ผลกระทบของระยะ D_r ของฐานราก

ผลการวิเคราะห์ (รูปที่ 4.13.1) แสดงให้เห็นว่า เมื่อ $\gamma_T = 1.7 \text{ T/m}^3$ หากระยะ D_r เปลี่ยนจาก 0 เป็น 2 m, Q_a เปลี่ยนจาก 7.4 T เป็น 8.7 T นั่นคือ Q_a มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เท่ากับ $(8.7-7.4) \text{ T}/(2-0) \text{ m} = 0.6 \text{ T/m}$

เมื่อวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a หาก γ_T เปลี่ยนแปลงในช่วง $1.4-1.9 \text{ T/m}^3$ พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a ยังมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือ ค่า γ_T ไม่มีผลต่อ ลักษณะผลกระทบจากระยะ D_r ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

4.2.1.2 ความแปรปรวนของผลกระทบจากระยะ D_r ของฐานราก

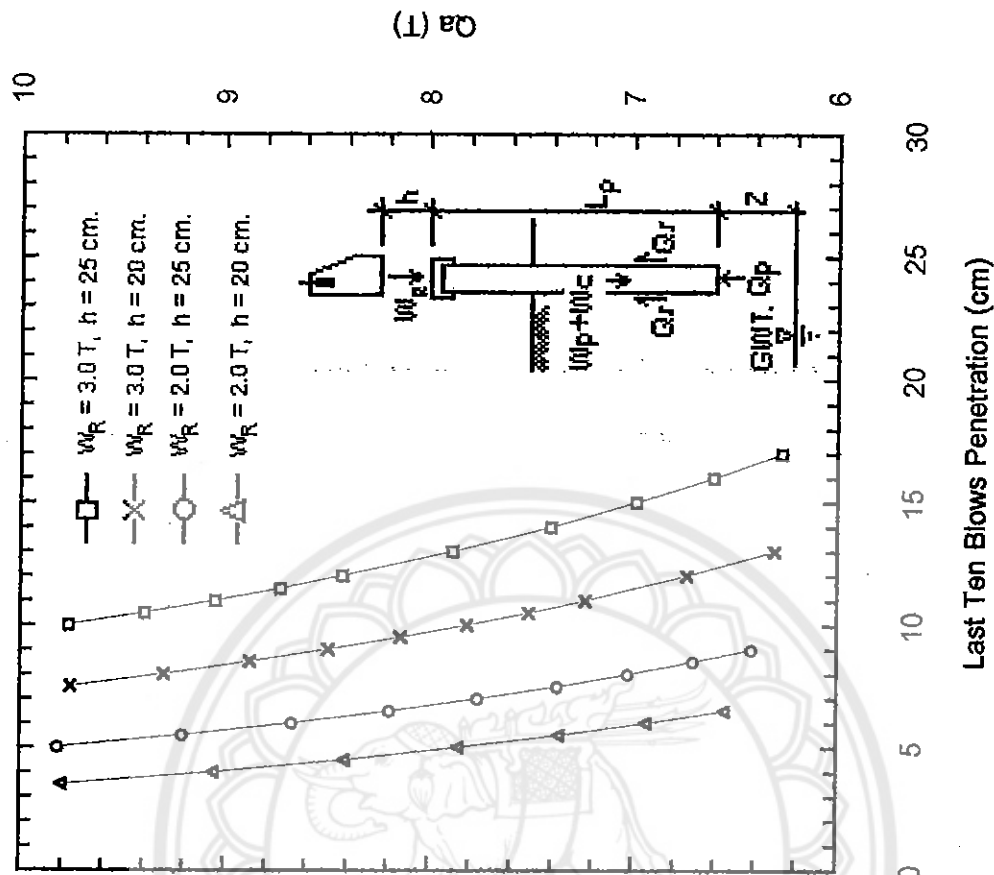
เพื่อตรวจสอบความแปรปรวนของผลกระทบจากระยะ D_r ของฐานราก ต่อ Q_a การวิเคราะห์ค่า Q_a ได้ถูกกระทำเพิ่มเติม โดยมีการเปลี่ยนแปลงคือ ก. เปลี่ยนชนิดดินจากดินทรายเป็นดินเหนียว และ ข. ระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งเปลี่ยนจากระดับใต้เสาเข็มเป็นระดับผิวดิน จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.14.1 ถึง 4.18.1



รูปที่ 4.13.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and D_f .

When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m ; $C = 0$ T/m²,

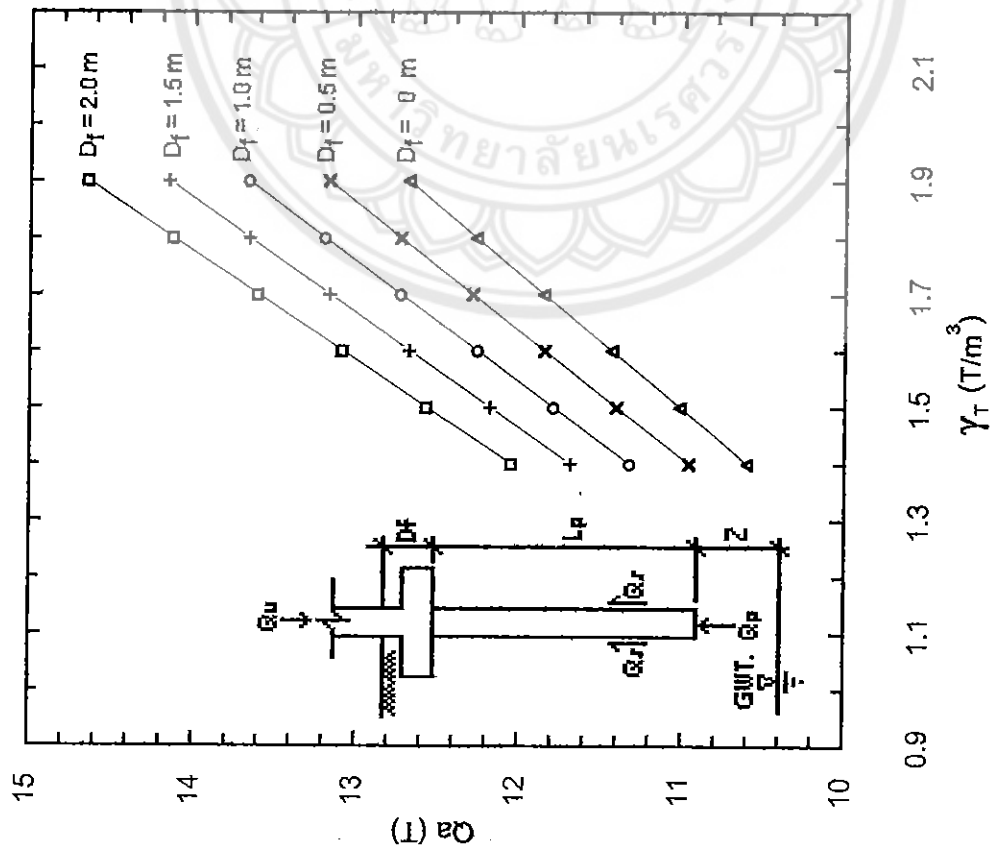
$\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$



รูปที่ 4.13.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p =$

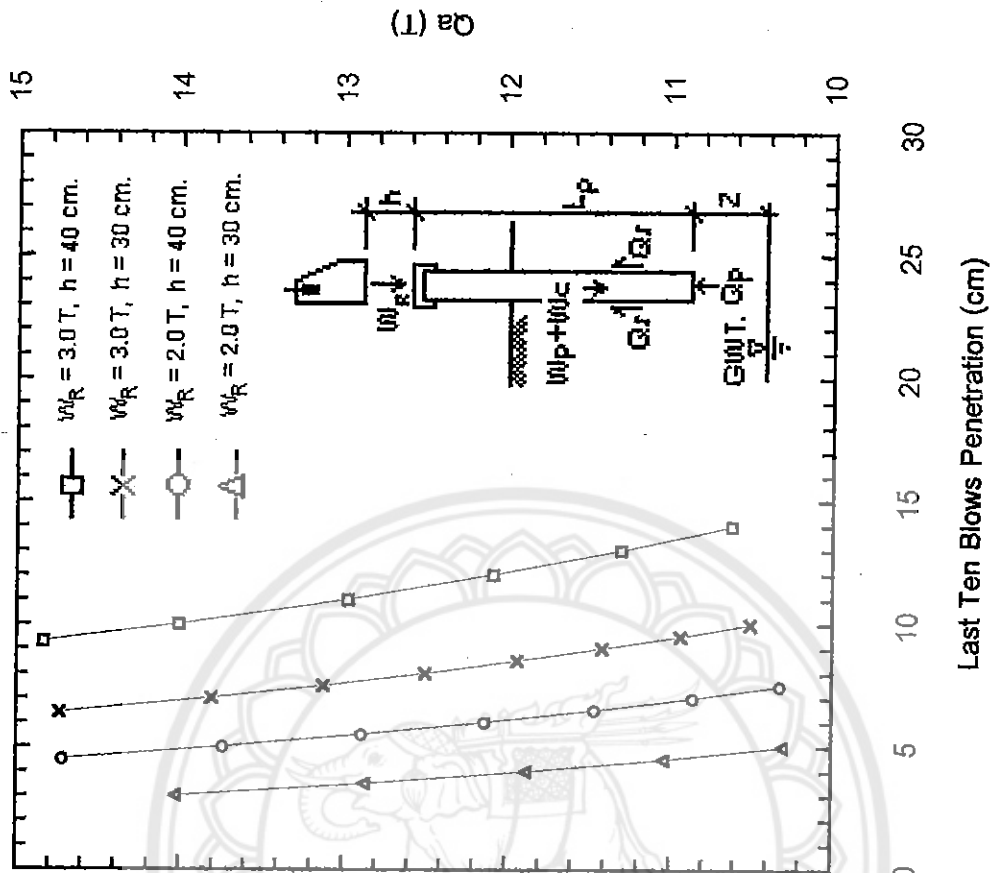
8 m ; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$



รูปที่ 4.14.1 Pile Allowable Load ($FS = 2.5$) with varying γ_T and D_f .

When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m; $C = 0$ T/m^2 ,

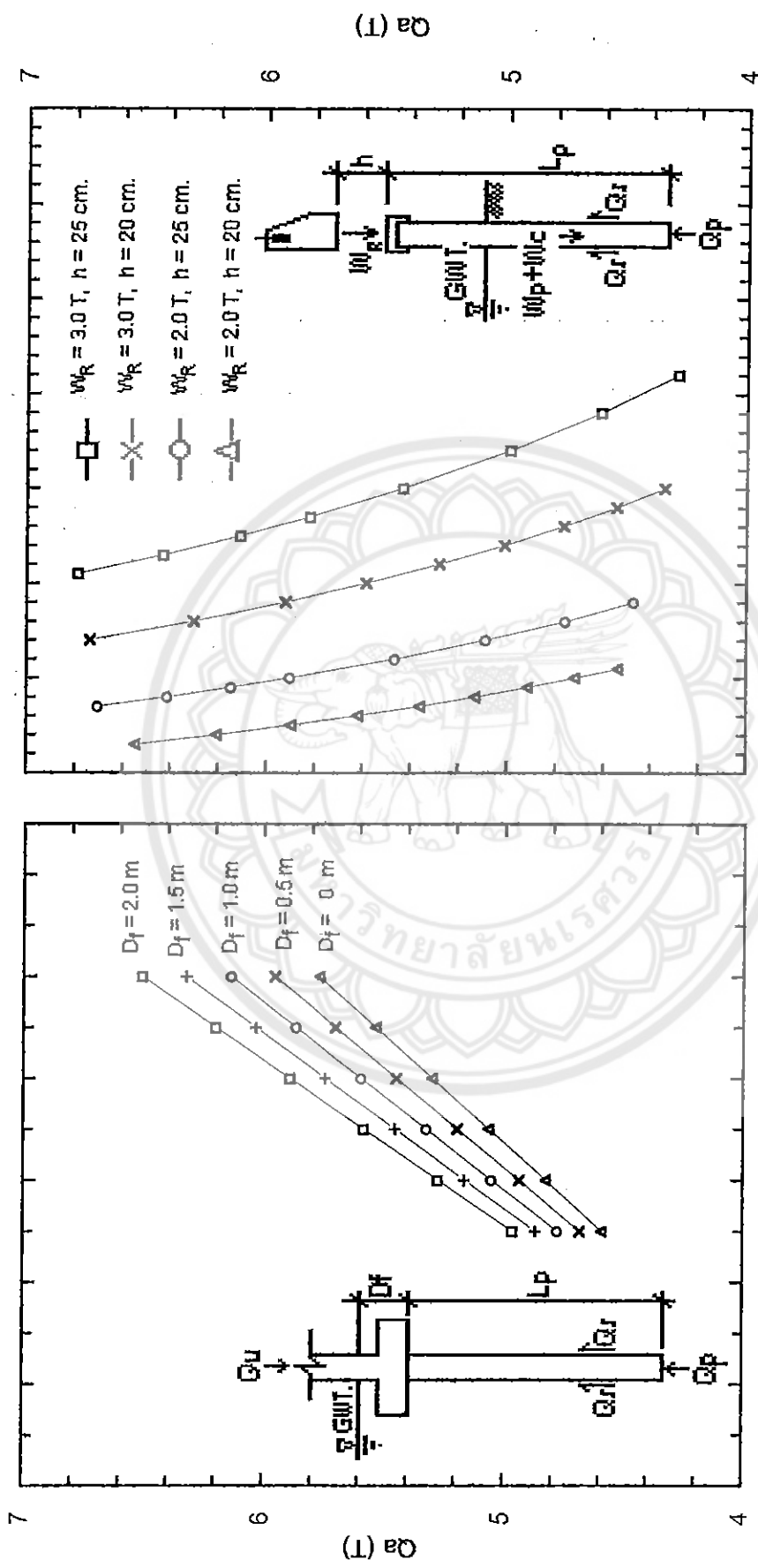
$\phi = 30^\circ$ and $D_{GW.T.} > L_p + D_f$



รูปที่ 4.14.2 Pile Allowable Load ($FS = 4$) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p =$

10 m; $C = 0$ T/m^2 , $\phi = 30^\circ$ and $D_{GW.T.} > L_p + D_f$

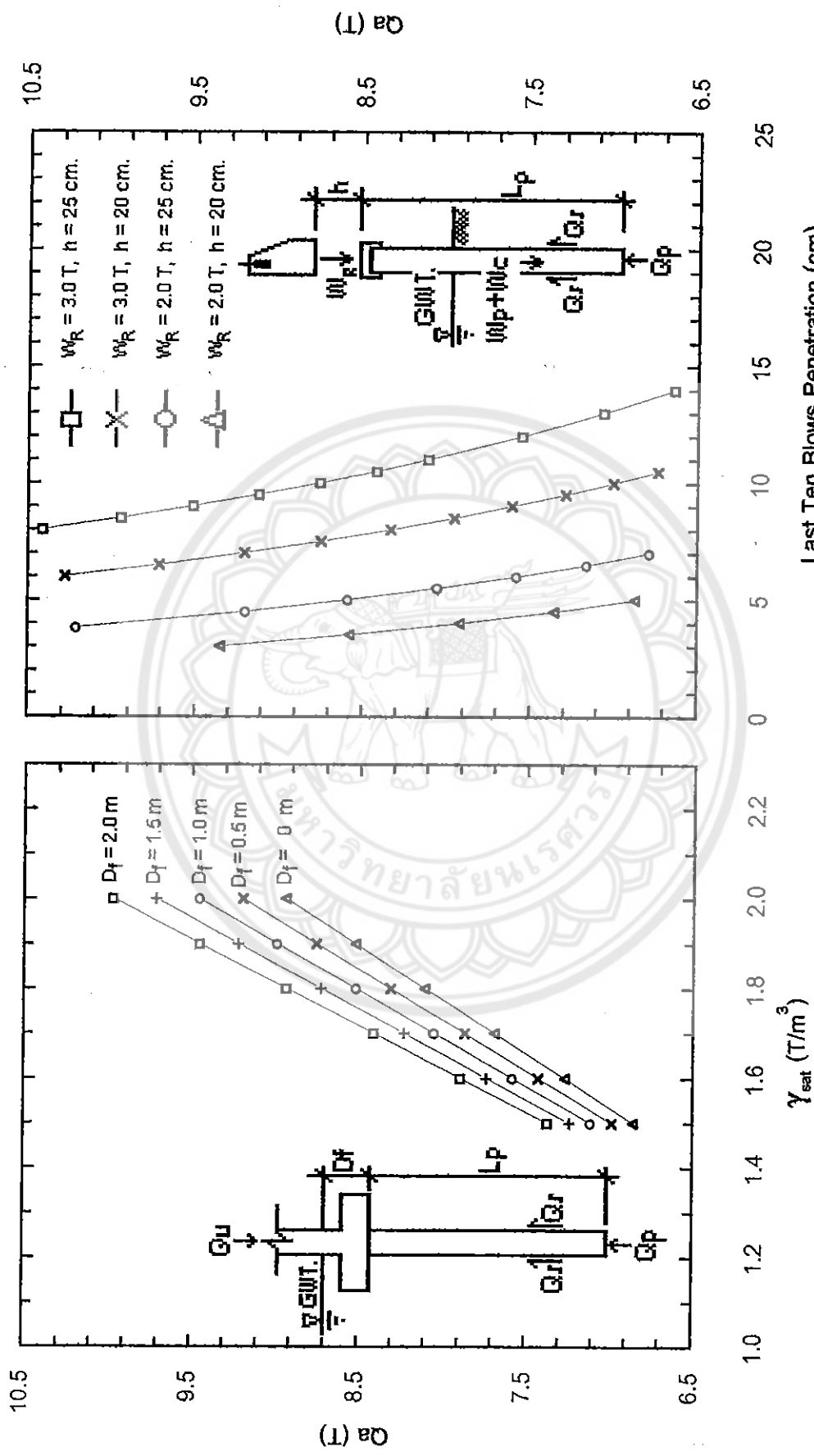


รูปที่ 4.15.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and D_f .

When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m ; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$

รูปที่ 4.15.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m ; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$



รูปที่ 4.16.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and D_f .

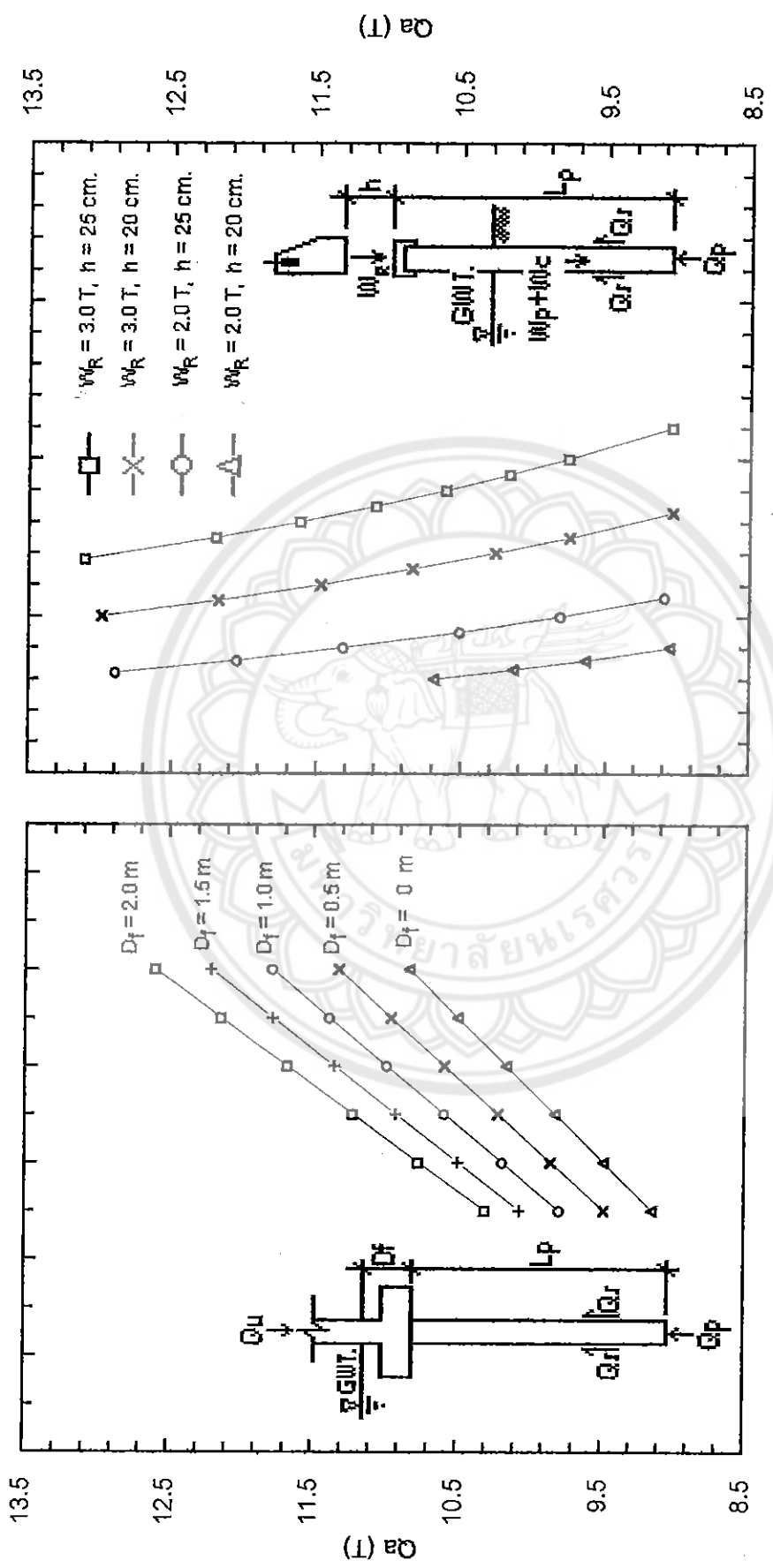
When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m; $C = 0$

T/m^2 , $\phi = 30^\circ$ and $D_{gwr} = 0$

รูปที่ 4.16.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$

m; $C = 0$ T/m^2 , $\phi = 30^\circ$ and $D_{gwr} = 0$

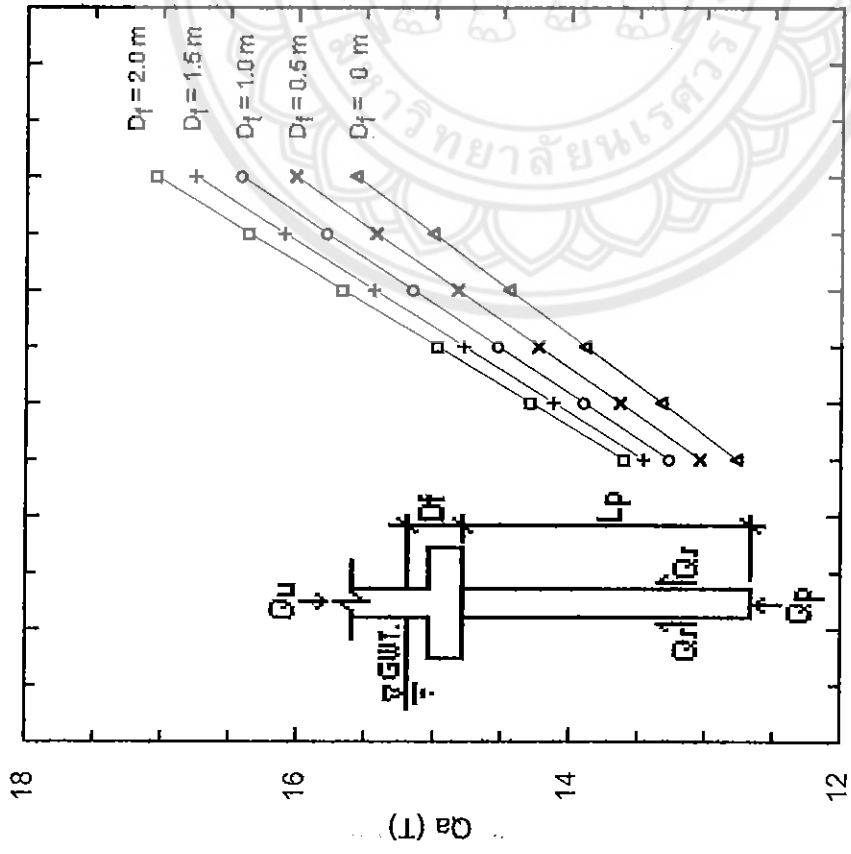


รูปที่ 4.17.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and D_f .

รูปที่ 4.17.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

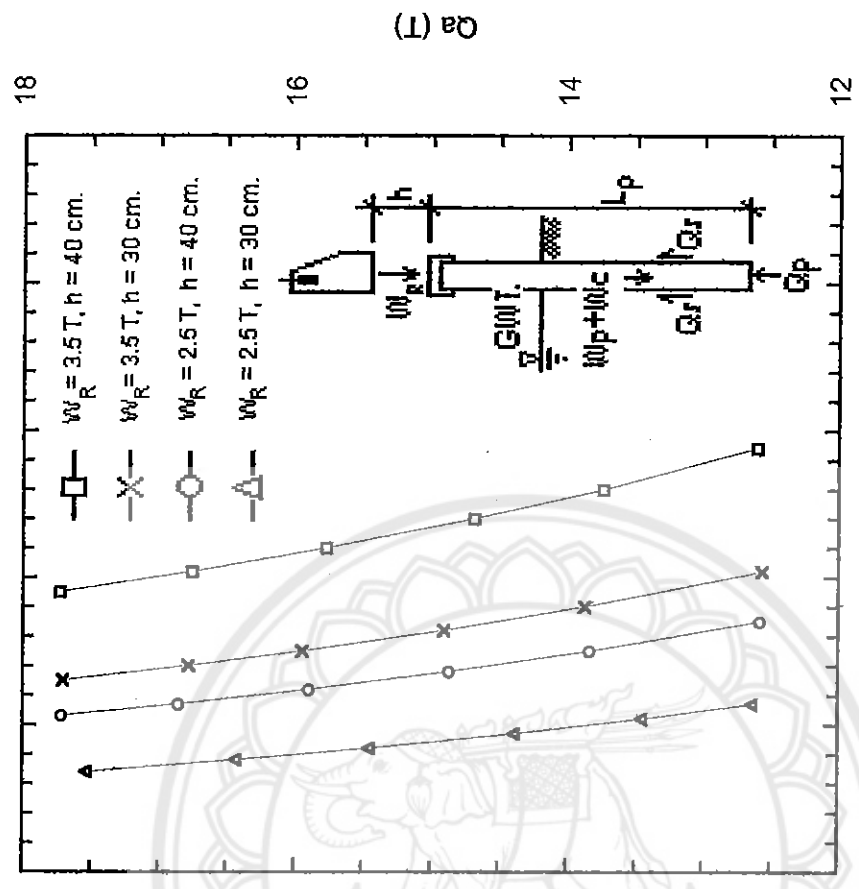
When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m; $C_u = 4$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$.

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m; $C_u = 4$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$.



รูปที่ 4.18.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and D_t .

When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m ; $C_u = 4$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$



รูปที่ 4.18.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 26$ cm, $L_p = 10$ m ; $C_u = 4$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$

ก. ชนิดดิน

ผลการพิจารณารูปที่ 4.13.1 ถึง 4.18.1 พบว่า แม้ว่าชนิดดินจะเปลี่ยนจากดินทรายเป็นดินเหนียว (เปรียบเทียบรูปที่ 4.15.1 กับรูปที่ 4.17.1 หรือรูปที่ 4.16.1 กับรูปที่ 4.18.1) ผลกระทบของระยะ D_r ของฐานรากต่อ Q_a ยังเป็นไปในลักษณะเดิม คือ

- ค่า Q_a มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับระยะ D_r
- ค่า γ_T ไม่มีผลต่อ ลักษณะผลกระทบจากระยะ D_r ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

ข. ระดับน้ำใต้ดิน

นอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงชนิดดินแล้ว การวิเคราะห์หาค่า Q_a ได้ถูกจัดทำเพิ่มเติม โดยการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินจากระดับใต้เสาเข็มเป็นที่ระดับผิวดิน ดังผลสรุปในรูปที่ 4.14.1 ถึง 4.18.1 ซึ่งให้ให้เห็นว่า แม้ระดับน้ำใต้ดินจะเปลี่ยนจากระดับใต้เสาเข็มเป็นระดับผิวดิน (เปรียบเทียบรูปที่ 4.13.1 กับรูปที่ 4.15.1 หรือรูปที่ 4.14.1 กับรูปที่ 4.16.1) ผลกระทบของระยะ D_r ของฐานรากต่อ Q_a ยังคงเหมือนเดิม กล่าวคือ

- ค่า Q_a ยังคงมีความสัมพันธ์แบบผันตรงกับระยะ D_r
- ค่า γ_{sat} ไม่มีผลต่อ ลักษณะผลกระทบจากระยะ D_r ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

ผลวิเคราะห์ที่พบตรงกับที่คาดหวังไว้ กล่าวคือ ระดับ D_{GWT} จะมีผลกระทบทำให้ค่า Effective Vertical Stress ลดลง และมีผลให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) ลดลง แต่ระดับ D_{GWT} ไม่มีผลต่อลักษณะผลกระทบจากระยะ D_r ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

ค. หน้าตัดและความยาวเสาเข็ม

เพื่อตรวจสอบความแปรปรวนของผลกระทบจากระยะ D_r ของฐานรากต่อ Q_a ที่ได้ อธิบายข้างต้น การศึกษาได้มีการจัดทำเพิ่มเติม โดยการเปลี่ยนแปลงหน้าตัด และความยาวของเสาเข็ม ซึ่งสรุปผลได้ดังรูปที่ 4.14.1 ถึง 4.18.1 พบว่า แม้ขนาดของเสาเข็มจะเปลี่ยนจาก $22 \times 22 \text{ cm}^2$ เป็น $26 \times 26 \text{ cm}^2$ และความยาวเสาเข็มเปลี่ยนจาก 8 m เป็น 10 m ตามลำดับ ผลกระทบของระยะ D_r ของฐานรากต่อ Q_a ยังเป็นไปในลักษณะเดิม คือ

- ค่า Q_a มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับระยะ D_r
- ค่า γ_r ไม่มีผลต่อ ลักษณะผลกระทบจากระยะ D_r ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a ต่อการเปลี่ยนแปลงของ ระยะ D_r ของฐานราก (ที่ $\gamma_r = 1.7 \text{ T/m}^3$) ดังแสดงในตารางที่ 4.8 ถึง 4.10 ทำให้สรุปได้ว่า ระยะ D_r ของฐานราก ส่งผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a รุนแรงขึ้น เมื่อหน้าตัดเสาเข็มมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความยาวมากขึ้น

จากผลวิเคราะห์ตรงกับข้อสันนิษฐานเบื้องต้นที่คาดไว้ คือหน้าตัดและความยาวเสาเข็ม ควรจะแปรผันตรงกับค่า Q_a เนื่องจาก $Q_a = [A_p(C_u N_c^* + q' N_q^*) + (\sum p L f_{av})] / FS$ ซึ่งหน้าตัดและความยาวเสาเข็ม มีผลต่อ A_p , q' และ f_{av} ดังนั้นเมื่อหน้าตัดและความยาวเสาเข็มมากขึ้น จะทำให้ A_p , q' และ f_{av} มากขึ้น และเมื่อระยะ D_r ลึกขึ้น ยิ่งส่งผลให้ Q_a สูงขึ้น เพราะระยะ D_r ส่งผลต่อค่า q'

4.2.2 ความยาวของเสาเข็ม (L_p)

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความยาวของเสาเข็ม (L_p) ดังแสดงในรูปที่ 4.19.1 คือ ค่า Q_a มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความยาวของเสาเข็ม (L_p) ($Q_a \propto L_p$) กล่าวคือ Q_a จะมีค่ามากขึ้น เมื่อความยาวของเสาเข็ม (L_p) ยาวขึ้น ซึ่งตรงกับที่คาดไว้ นั่นคือความยาวเสาเข็มจะแปรผันตรงกับ Q_a เพราะ $Q_a = [A_p(c N_c^* + q' N_q^*) + (\sum p L f_{av})] / FS$ ซึ่งความยาวเสาเข็ม ส่งผลต่อ q' และ f_{av} ดังนั้นเมื่อความยาวเสาเข็มมากขึ้น จะทำให้ q' และ f_{av} มากขึ้น จึงส่งผลให้ค่า Q_a สูงขึ้น

4.2.2.1 ผลกระทบของความยาวของเสาเข็ม (L_p)

รูปที่ 4.19.1 บ่งบอกให้เห็นว่า ความยาวของเสาเข็ม (L_p) ส่งผลกระทบต่อ Q_a ดังเช่นในกรณีที่ $\gamma_r = 1.7 \text{ T/m}^3$ ซึ่งพบว่า เมื่อความยาวของเสาเข็ม (L_p) เปลี่ยนจาก 8 เป็น 16 m: Q_a ที่ได้จะเปลี่ยนจาก 8 T เป็น 13.7 T นั่นคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a เท่ากับ $(3.7-8.0) \text{ T} / (6-8) \text{ m} = 0.6 \text{ T/m}$

ตารางที่ 4.8 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และการเปลี่ยนแปลงระยะ D_r ของฐานราก กรณีดินทราย เมื่อ $\gamma_r = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้ปลายเสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_r$)

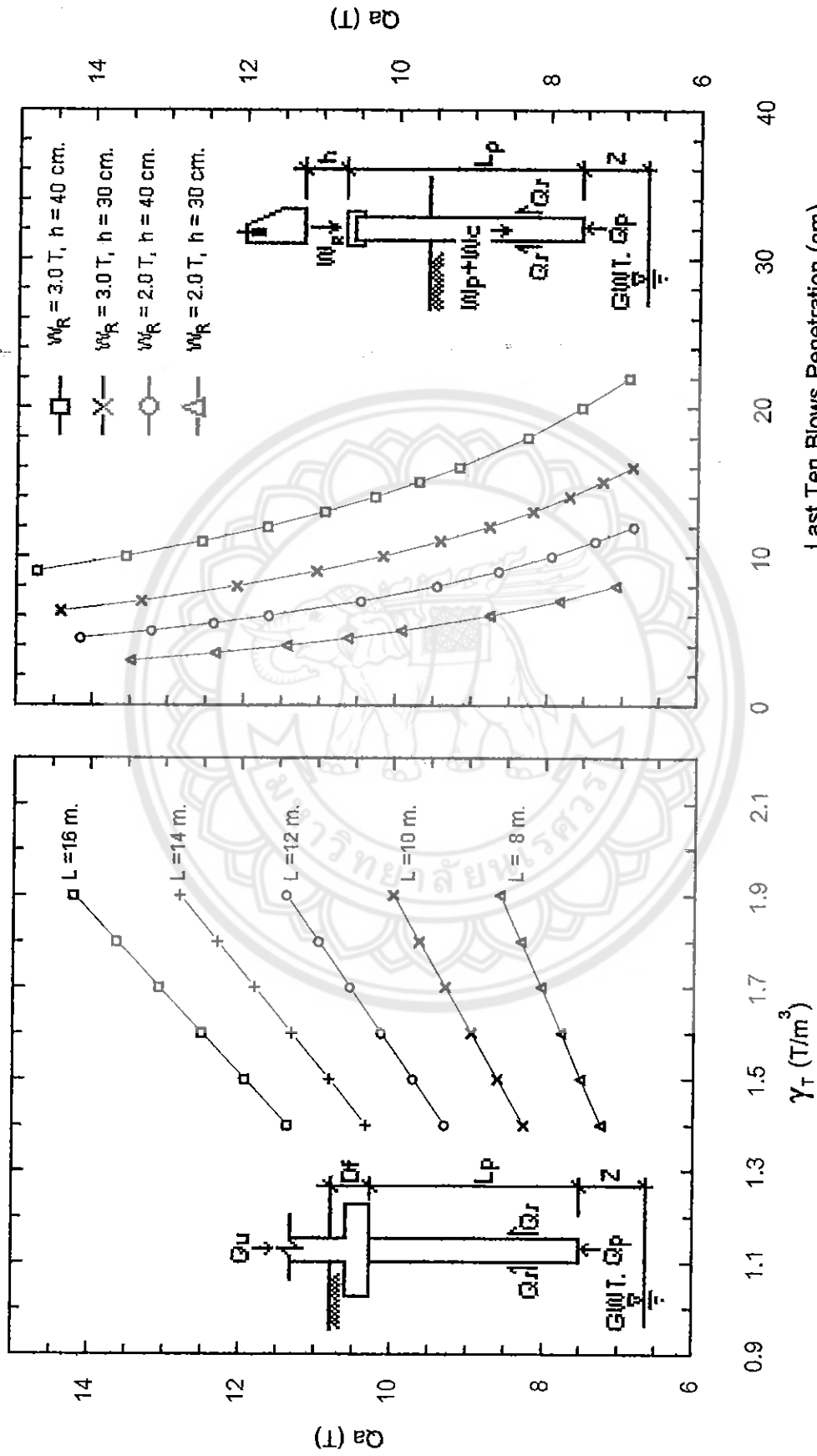
Size (cm ²); L_p (m)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a (T/m)
□ 22*22; 8	0.6
□ 26*26; 10	0.85

ตารางที่ 4.9 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และการเปลี่ยนแปลงระยะ D_r ของฐานราก กรณีดินทราย เมื่อ $\gamma_{sat} = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)

Size (cm ²); L_p (m)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a (T/m)
□ 22*22; 8	0.25
□ 26*26; 10	0.35

ตารางที่ 4.10 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดและความยาวเสาเข็ม และการเปลี่ยนแปลงระยะ D_r ของฐานราก กรณีดินเหนียว เมื่อ $\gamma_{sat} = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)

Size (cm ²); L_p (m)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a (T/m)
□ 22*22; 8	0.6
□ 26*26; 10	0.7



รูปที่ 4.19.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and L_p .

รูปที่ 4.19.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

When pile is square, $D = 22$ cm, $D_i = 1$ m; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_i$

เมื่อวิเคราะห์หัตถการเปลี่ยนแปลงของ Q_a ในช่วง γ_T ที่เปลี่ยนแปลงจาก 1.7 T/m^3 เป็นค่าในช่วง $1.4\text{-}1.9 \text{ T/m}^3$ พบว่าหัตถการเปลี่ยนแปลงของ Q_a ยังอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ ค่า γ_T ไม่ส่งผลกระทบต่อ ลักษณะผลกระทบจากความยาวของเสาเข็ม (L_p) ที่มีต่อหัตถการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

4.2.2.2 ความแปรปรวนของผลกระทบจากความยาวของเสาเข็ม (L_p)

เพื่อตรวจความแปรปรวนที่เกิดจากผลกระทบของความยาวของเสาเข็ม (L_p) ต่อ Q_a ดังได้อธิบายข้างต้น จึงได้ศึกษาเพิ่มเติม โดยทำการเปลี่ยนแปลง คือ ก. ชนิดดิน และ ข. ระดับน้ำใต้ดิน โดยชนิดดินเปลี่ยนจากดินทรายเป็นดินเหนียว และระดับน้ำใต้ดินเปลี่ยนจากระดับใต้เสาเข็มเป็นระดับผิวดิน เหมือนดังกรณีระยะ D_r ของฐานรากในหัวข้อ 4.2.1 ซึ่งสรุปผลไว้ในรูปที่ 4.20.1 ถึง 4.24.1

ก. ชนิดดิน

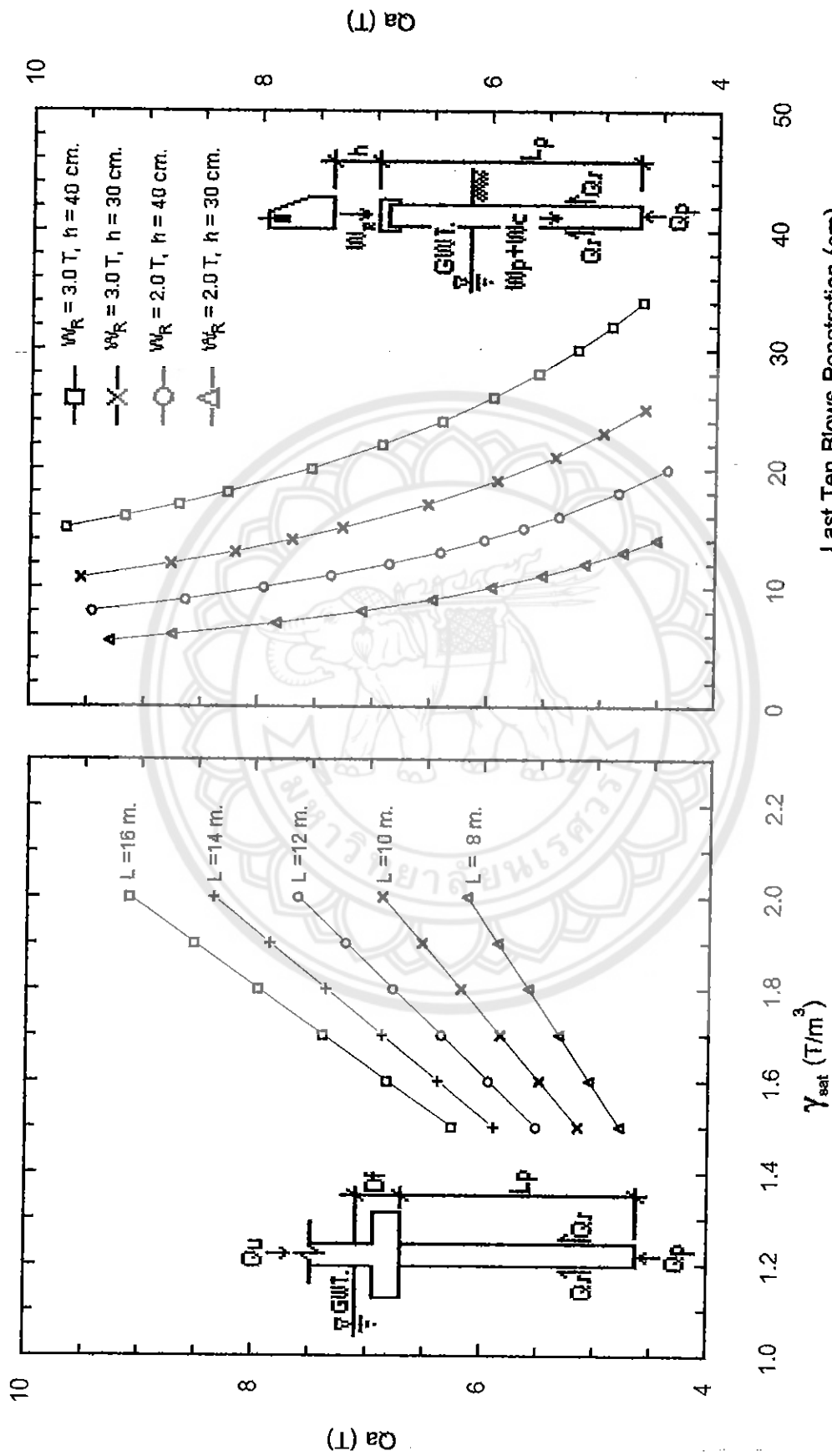
ในรูปที่ 4.19.1 ถึง 4.24.1 พบว่า ผลกระทบของความยาวของเสาเข็ม (L_p) ต่อ Q_a ยังเป็นเหมือนเดิม ถึงแม้ว่าชนิดดินจะเปลี่ยนจากดินทรายเป็นดินเหนียว (เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.21.1 กับรูปที่ 4.23.1 หรือรูปที่ 4.22.1 กับรูปที่ 4.24.1) กล่าวคือ

- ค่า Q_a แปรผันตรงกับความยาวของเสาเข็ม (L_p)
- ค่า γ_T ไม่ส่งผลกระทบต่อ ลักษณะผลกระทบจากความยาวของเสาเข็ม (L_p) ต่อหัตถการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

ข. ระดับน้ำใต้ดิน

การวิเคราะห์หาค่า Q_a ได้ถูกเพิ่มเติม โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินจากระดับใต้เสาเข็มเป็นที่ระดับผิวดิน เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.19.1 กับรูปที่ 4.21.1 หรือรูปที่ 4.20.1 กับรูปที่ 4.22.1 พบว่า ผลกระทบของความยาวของเสาเข็ม (L_p) ต่อ Q_a ยังคงเป็นไปในลักษณะเดิม แม้ว่า ระดับน้ำใต้ดินเปลี่ยนจากระดับใต้เสาเข็มเป็นระดับผิวดิน นั่นคือ

- ค่า Q_a ยังคงแปรผันตรงกับความยาวของเสาเข็ม (L_p)

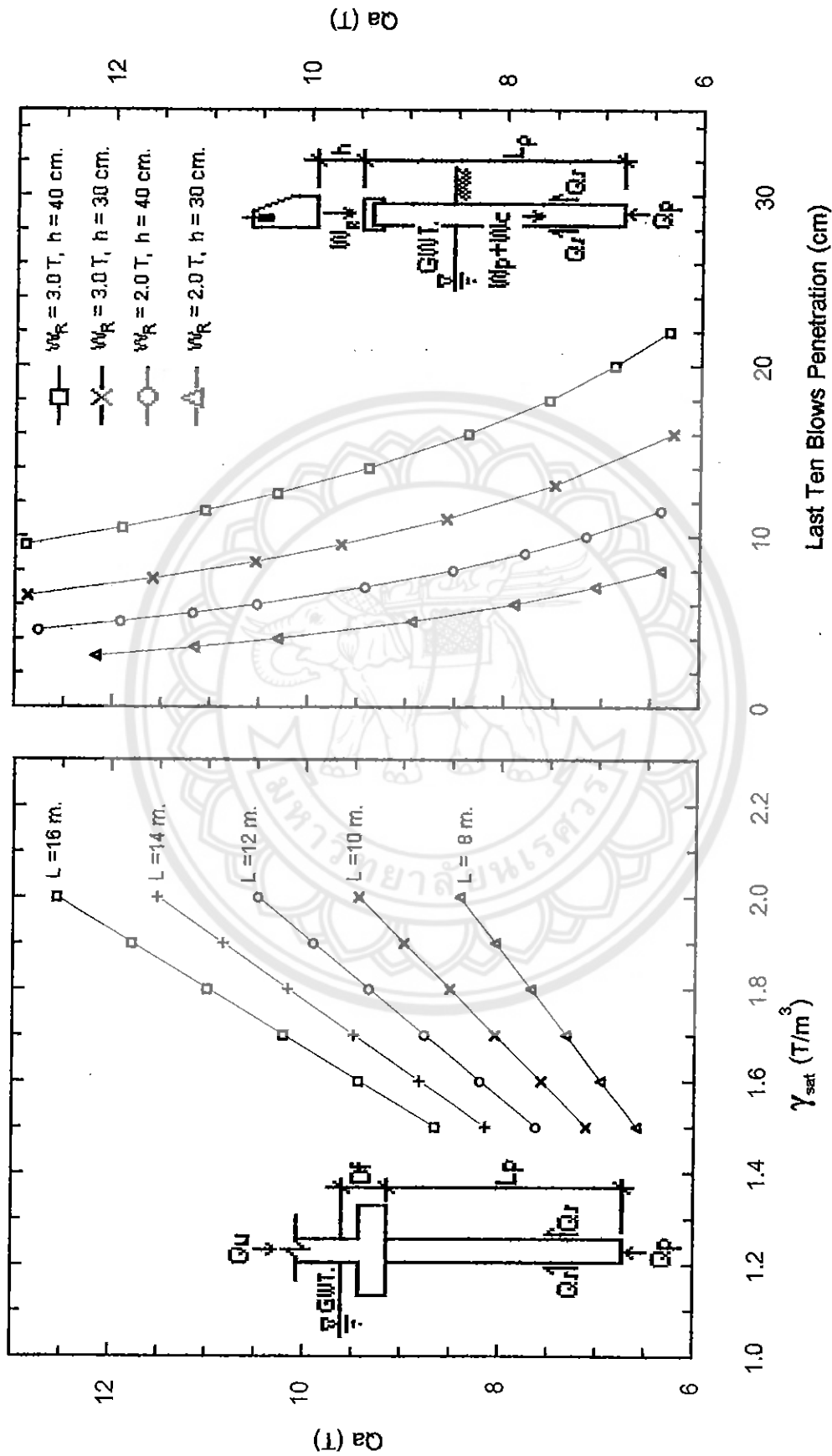


รูปที่ 4.21.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{set} and L_p .

รูปที่ 4.21.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

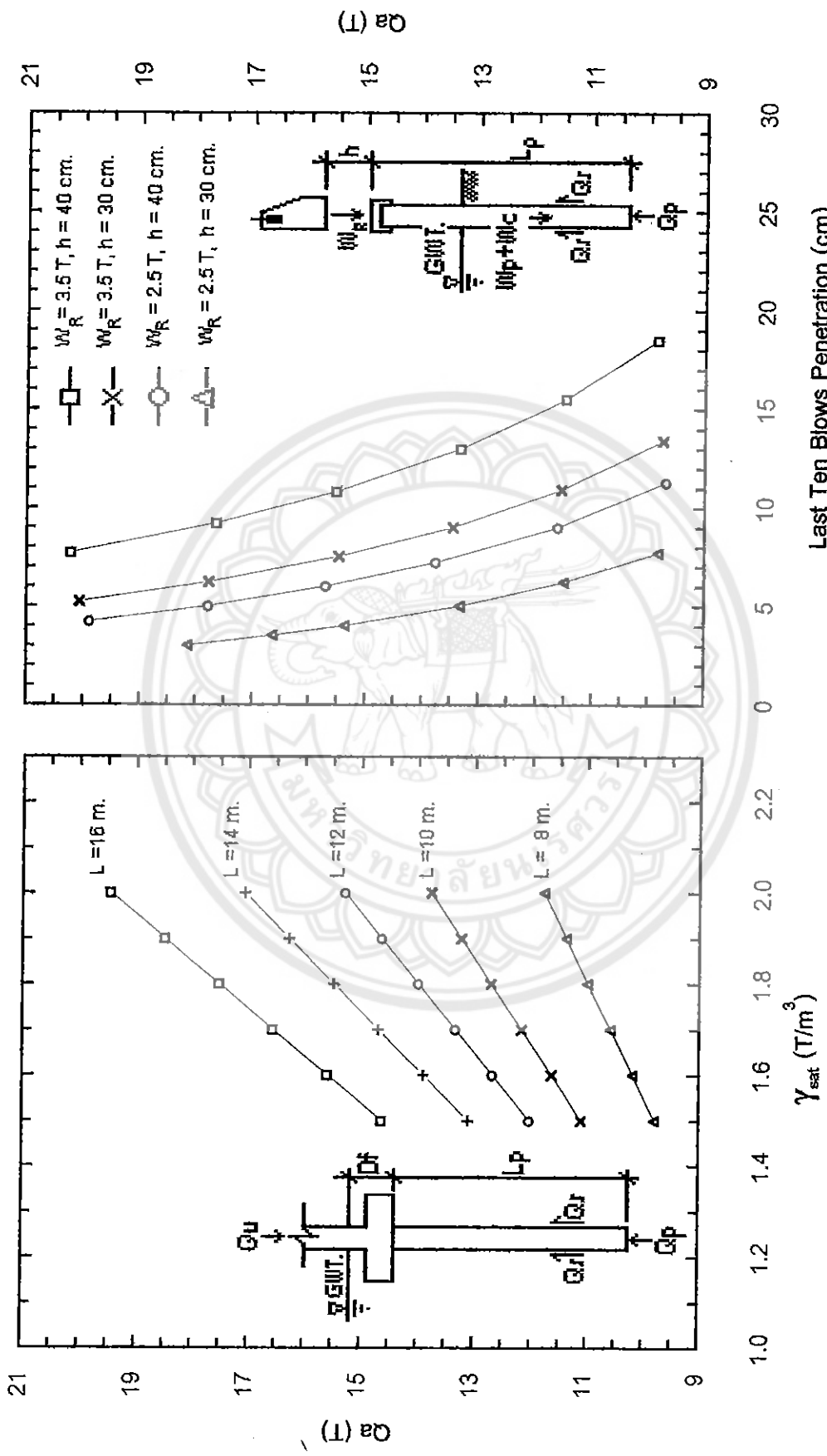
When pile is square, $D = 22$ cm, $D_f = 1$ m; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $D_f = 1$ m; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$



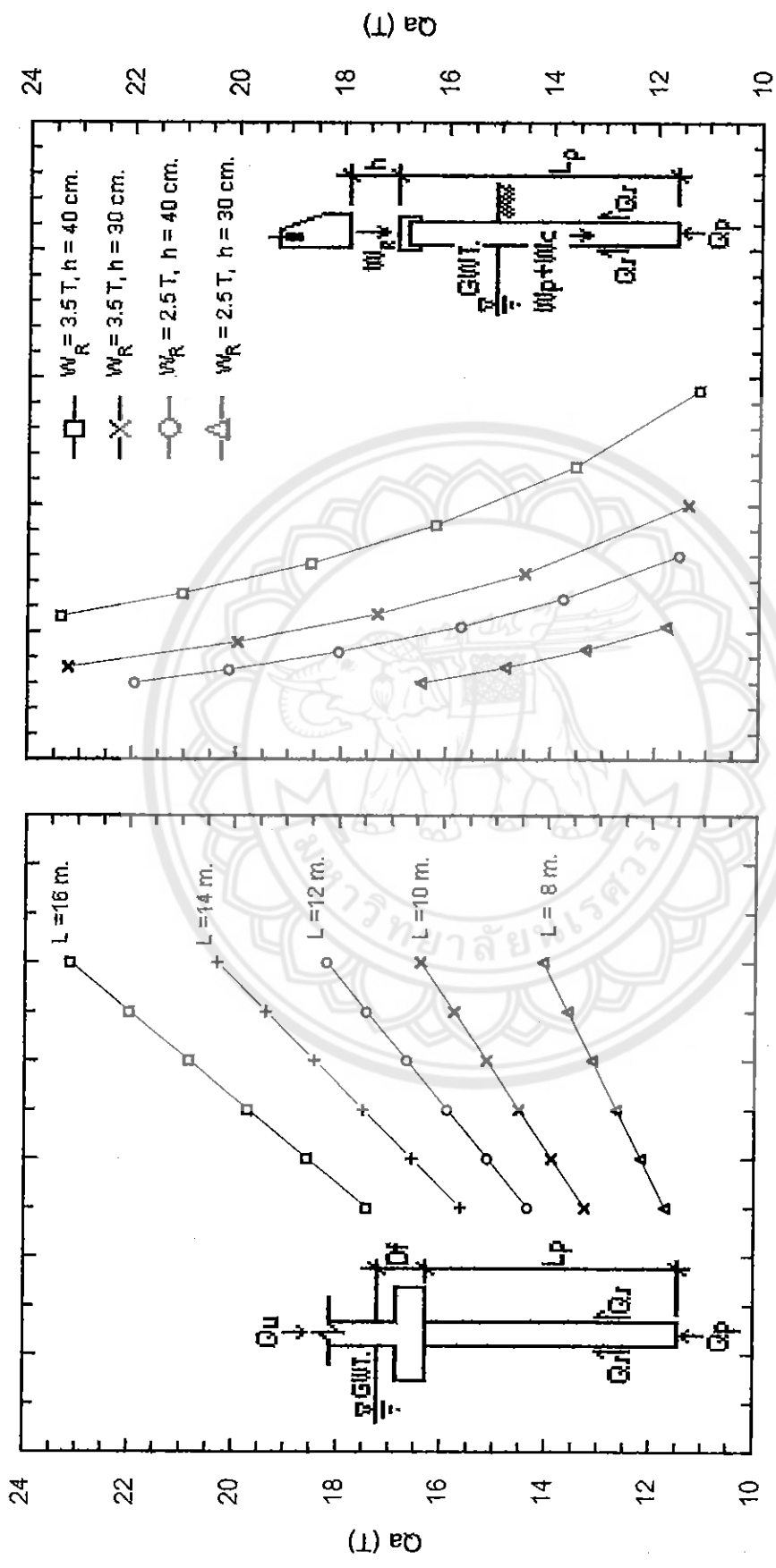
รูปที่ 4.22.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{set} and L_p . When pile is square, $D = 26$ cm, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$

รูปที่ 4.22.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 26$ cm, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$



รูปที่ 4.23.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and L_p . When pile is square, $D = 22$ cm, $D_f = 1$ m; $C_u = 4$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{swr} = 0$

รูปที่ 4.23.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $D_f = 1$ m; $C_u = 4$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{swr} = 0$



รูปที่ 4.24.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and L_p . When pile is square, $D = 26$ cm, $D_f = 1$ m; $C_u = 4$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$

รูปที่ 4.24.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_p and h . When pile is square, $D = 26$ cm, $D_f = 1$ m; $C_u = 4$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$

- ค่า γ_T ไม่ส่งผลต่อ ลักษณะผลกระทบจากความยาวของเสาเข็ม (L_p) ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

ผลวิเคราะห์ที่ได้ตรงกับข้อสันนิษฐานที่คาดไว้ คือ ระดับ D_{GWT} ที่ลดระดับลงส่งผลให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) ลดลง เนื่องจากค่า Effective Vertical Stress ลดลง แต่ระดับ D_{GWT} ไม่กระทบต่อลักษณะผลกระทบจากความยาวของเสาเข็ม (L_p) ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

ค. หน้าตัดเสาเข็ม

เพื่อตรวจสอบความแปรปรวนจากความยาวของเสาเข็ม (L_p) ต่อ Q_a ที่ได้อธิบายข้างต้น การศึกษาดังกล่าวได้ถูกเพิ่มเติม โดยเปลี่ยนแปลงหน้าตัดของเสาเข็ม ซึ่งสรุปผลได้ดังรูปที่ 4.20.1 ถึง 4.24.1 พบว่า แม้ว่าขนาดของเสาเข็มจะเปลี่ยนจาก $22 \times 22 \text{ cm}^2$ เป็น $26 \times 26 \text{ cm}^2$ ผลกระทบของความยาวของเสาเข็ม (L_p) ต่อ Q_a ยังคงเป็นไปในลักษณะเช่นเดิม คือ

- ค่า Q_a มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความยาวของเสาเข็ม (L_p)
- ค่า γ_T ไม่มีผลต่อ ลักษณะผลกระทบจากความยาวของเสาเข็ม (L_p) ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a ต่อการเปลี่ยนแปลงของ ความยาวของเสาเข็ม (L_p) ของเสาเข็ม (ที่ $\gamma_T = 1.7 \text{ T/m}^3$) (ตารางที่ 4.11 ถึง 4.13) สรุปได้ว่า ความยาวของเสาเข็ม (L_p) ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a มากขึ้น เมื่อหน้าตัดเสาเข็มมีขนาดใหญ่ขึ้น

4.2.3 ขนาดเสาเข็ม (พื้นที่หน้าตัดและเส้นรอบรูป)

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของเสาเข็ม (รูปที่ 4.25.1) คือ ค่า Q_a มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัด และเส้นรอบรูป ($Q_a \propto A_p, p$) กล่าวคือ Q_a จะมีค่ามากขึ้นเมื่อ ขนาดของเสาเข็มมีขนาดใหญ่ขึ้น จากผลวิเคราะห์ตรงกับที่คาดไว้ เนื่องจาก $Q_a = [A_p(C_u N_c + q' N_q^*) + (\sum p L_{av})]$

ตารางที่ 4.11 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดของเสาเข็ม และการเปลี่ยนแปลงความยาวเสาเข็ม (L_p) กรณีดินทราย เมื่อ $\gamma_r = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้ปลายเสาเข็ม ($D_{GWT} > L_p + D_f$)

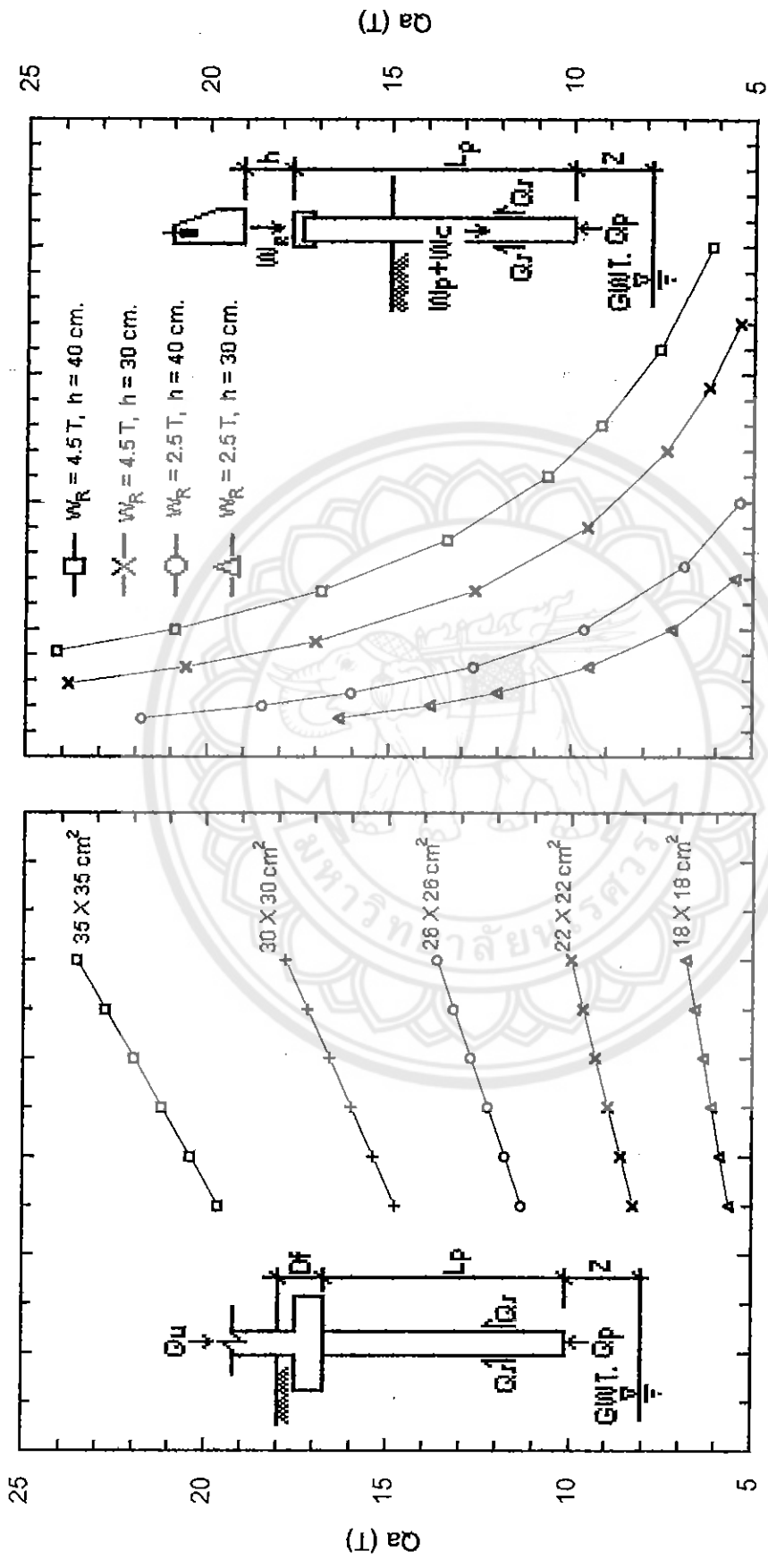
Size (cm ²)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a (T/m)
□ 22*22	0.6
□ 26*26	0.8

ตารางที่ 4.12 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดของเสาเข็ม และการเปลี่ยนแปลงความยาวเสาเข็ม (L_p) กรณีดินทราย เมื่อ $\gamma_{sat} = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)

Size (cm ²)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a (T/m)
□ 22*22	0.3
□ 26*26	0.4

ตารางที่ 4.13 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ขนาดของเสาเข็ม และการเปลี่ยนแปลงความยาวเสาเข็ม (L_p) กรณีดินเหนียว เมื่อ $\gamma_{sat} = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{GWT} = 0$)

Size (cm ²)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a (T/m)
□ 22*22	0.75
□ 26*26	0.9



รูปที่ 4.25.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and Size.
 When pile is square, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{gwT} > L_p + D_f$

รูปที่ 4.25.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows Penetration, W_R and h . When pile is square, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{gwT} > L_p + D_f$

]FS เมื่อพิจารณาจากสูตรดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ถ้าเสาเข็มมีขนาดใหญ่ขึ้น ค่า A_p และ p จะมากขึ้น ทำให้ Q_a สูงขึ้น

4.2.3.1 ผลกระทบของพื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.25.1 เห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของขนาดของเสาเข็ม ส่งผลกระทบต่อ Q_a อย่างเช่น กรณี $\gamma_T = 1.7 \text{ T/m}^3$ พบว่า หากขนาดของเสาเข็ม เปลี่ยนจาก $18 \times 18 \text{ cm}^2$ เป็น $35 \times 35 \text{ cm}^2$ พื้นที่หน้าตัด เปลี่ยนจาก 324 cm^2 เป็น 1225 cm^2 จะได้ค่า Q_a เปลี่ยนจาก 6.4 T เป็น 22 T นั่นคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a เท่ากับ $(22-6.4) \text{ T} / (1225-324) \text{ cm}^2 = 0.017 \text{ T/cm}^2$ หรือ เท่ากับ 1.7 T เมื่อพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น 100 cm^2

เมื่อวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a ในช่วง $\gamma_T = 1.4-1.9 \text{ T/m}^3$ จะเห็นได้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a ยังมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ ค่า γ_T ไม่มีผลต่อลักษณะผลกระทบจากพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

4.2.3.2 ผลกระทบของเส้นรอบรูปเสาเข็ม

เช่นเดียวกัน ในรูปที่ 4.25.1 ยังพบว่า เมื่อ $\gamma_T = 1.7 \text{ T/m}^3$ ถ้าขนาดของเสาเข็มเปลี่ยนจาก $18 \times 18 \text{ cm}^2$ เป็น $35 \times 35 \text{ cm}^2$ จะทำให้เส้นรอบรูปเปลี่ยนจาก 72 cm เป็น 140 cm : Q_a ที่ได้จะเปลี่ยนจาก 6.4 T เป็น 22 T นั่นคือ Q_a มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เท่ากับ $(22.0-6.4) \text{ T} / (140-72) \text{ cm} = 0.22 \text{ T/cm}$ หรือ เท่ากับ 2.2 T เมื่อเส้นรอบรูปเพิ่มขึ้น 10 cm

และเมื่อเปลี่ยนการวิเคราะห์เป็นช่วง $\gamma_T = 1.4-1.9 \text{ T/m}^3$ พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a ยังมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ค่า γ_T ไม่ส่งผลต่อลักษณะผลกระทบจากเส้นรอบรูปของเสาเข็มที่มีต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

4.2.3.3 ความแปรปรวนของผลกระทบจากขนาดของเสาเข็ม

ในการทำงานเดียวกันกับกรณี ระยะ D_r ของฐานราก และความยาวของเสาเข็ม (L_p) จึงได้มีการตรวจสอบว่า ผลกระทบจากขนาดของเสาเข็ม ต่อ Q_a มีความแปรปรวนอย่างไร โดยศึกษาเพิ่มเติมด้วยการเปลี่ยนแปลง ก. ชนิดดิน จากดินทรายเป็นดินเหนียว และ ข. ระดับน้ำใต้ดิน จากระดับใต้เสาเข็มเป็นระดับผิวดิน ซึ่งสรุปได้ดังรูปที่ 4.25.1 ถึง 4.30.1

ก. ชนิดดิน

เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.27.1 กับรูปที่ 4.29.1 หรือรูปที่ 4.28.1 กับรูปที่ 4.30.1 พบว่า ผลกระทบของความยาวของเสาเข็ม (L_p) ต่อ Q_a ยังเป็นไปแบบเดิม ถึงแม้ว่าชนิดดินจะเปลี่ยนจากดินทรายเป็นดินเหนียว นั่นคือ

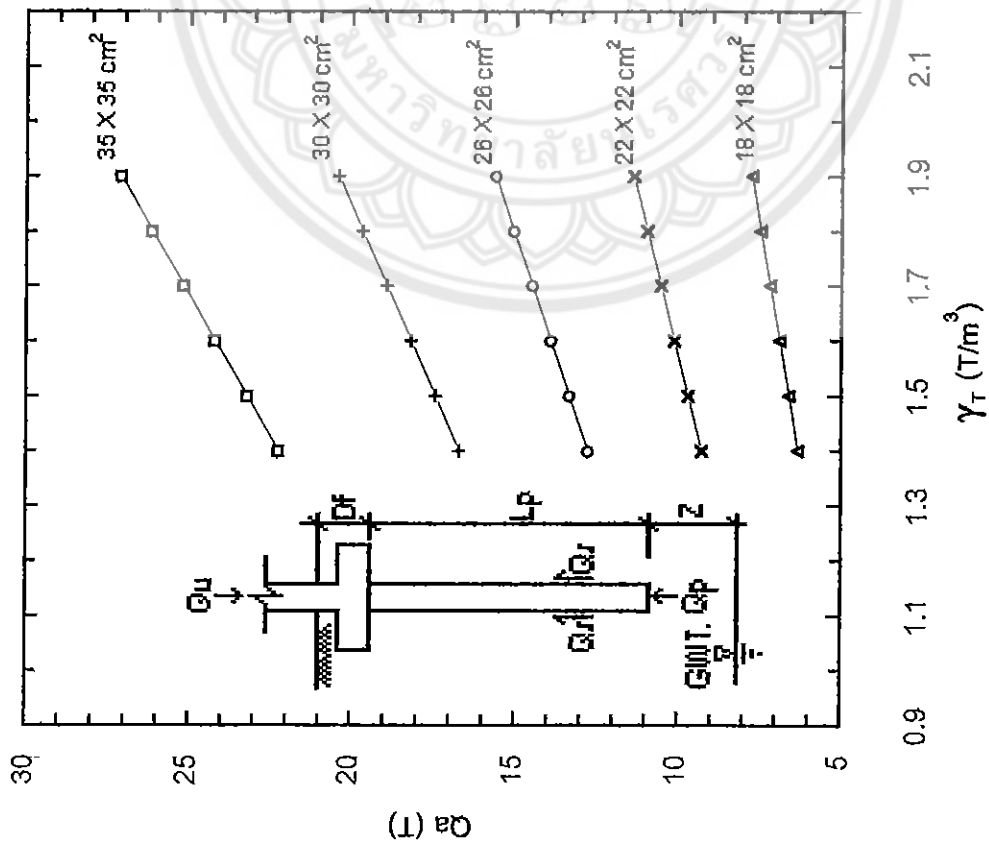
- ค่า Q_a มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปของเสาเข็ม
- ค่า γ_T ไม่มีผลต่อ ลักษณะผลกระทบจากพื้นที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

ข. ระดับน้ำใต้ดิน

ในการทำงานเดียวกัน หากเปรียบเทียบรูปที่ 4.25.1 กับรูปที่ 4.27.1 หรือรูปที่ 4.26.1 กับรูปที่ 4.28.1 จะพบว่า แม้ระดับน้ำใต้ดินจะเปลี่ยนจากระดับใต้เสาเข็มเป็นระดับผิวดินก็ตาม แต่ผลกระทบจากขนาดของเสาเข็มที่มีต่อ Q_a ยังคงเป็นไปในลักษณะเดิม นั่นคือ

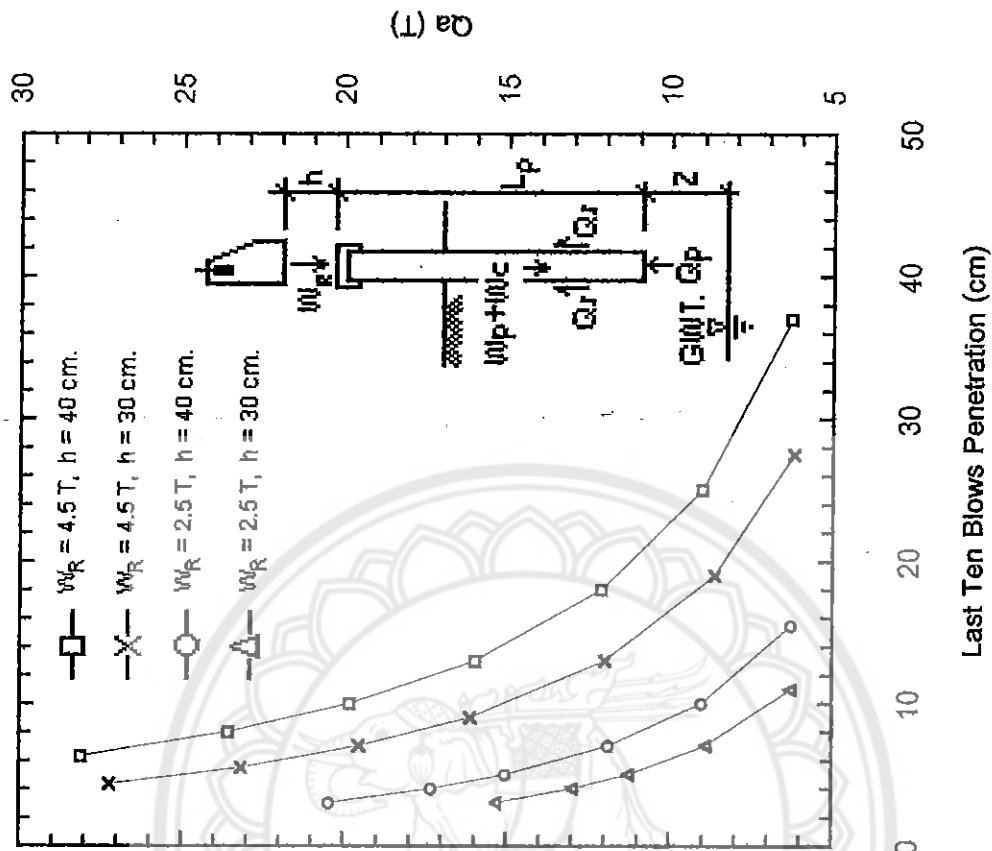
- ค่า Q_a ยังคงแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปของเสาเข็ม
- ค่า γ_T ไม่มีผลต่อ ลักษณะผลกระทบจากพื้นที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

ผลวิเคราะห์ที่ได้ตรงกับที่คาดไว้ คือ ระดับ D_{GWT} ไม่มีผลต่อลักษณะผลกระทบของขนาดของเสาเข็มต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a เพราะระดับ D_{GWT} ที่ลดลงมีผลกระทบทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) ลดลงเท่านั้น เนื่องจากระดับ D_{GWT} ที่ลดลง ทำให้ค่า Effective Vertical Stress ลดลง



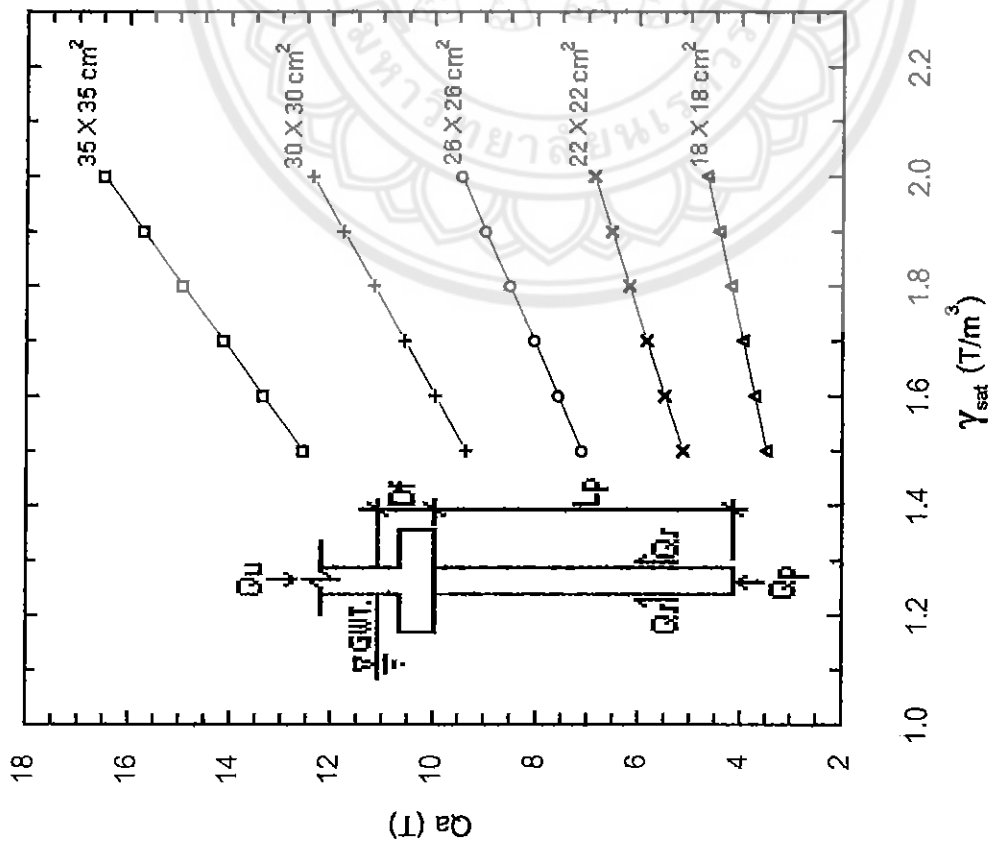
รูปที่ 4.26.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and Size.

When pile is square, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$



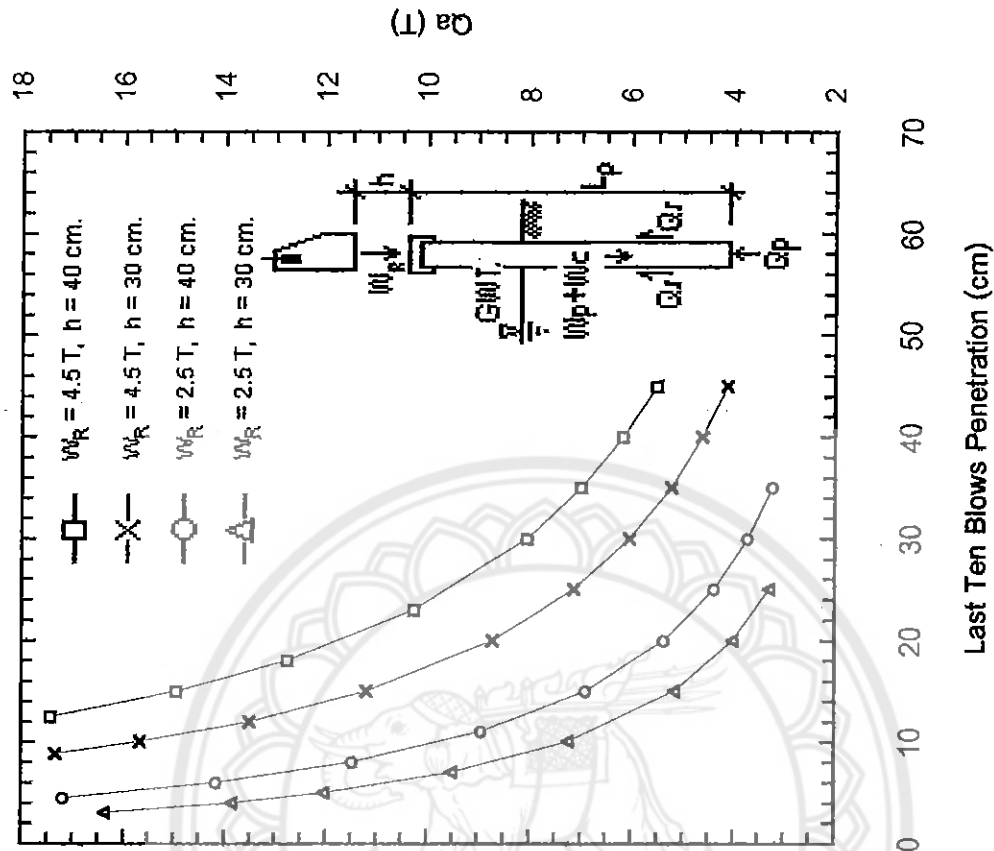
รูปที่ 4.26.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$



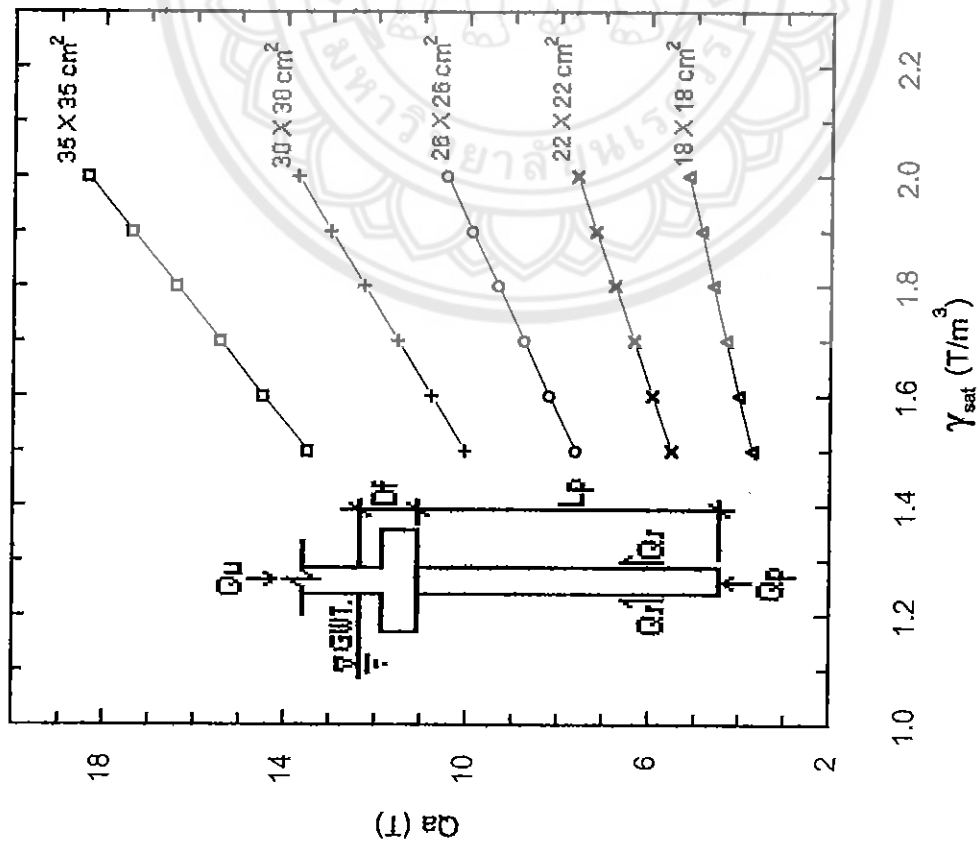
รูปที่ 4.27.1 Pile Allowable Load ($FS = 2.5$) with varying γ_{sat} and Size.

When pile is square, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$



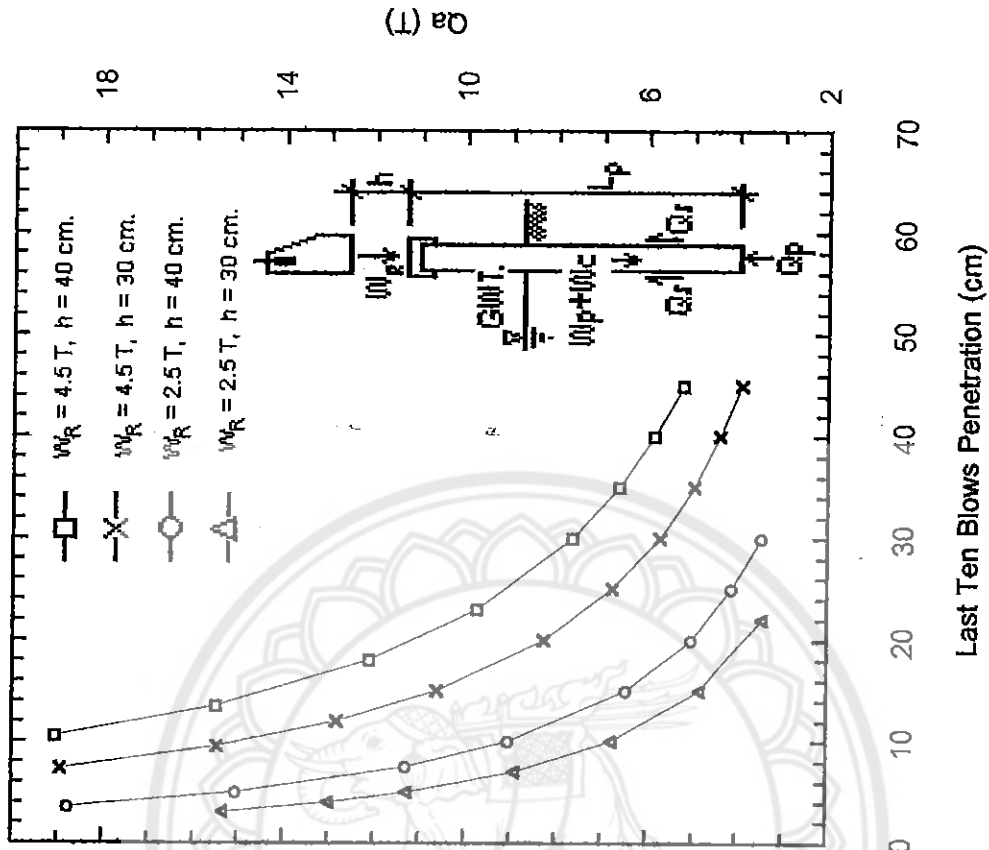
รูปที่ 4.27.2 Pile Allowable Load ($FS = 4$) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$



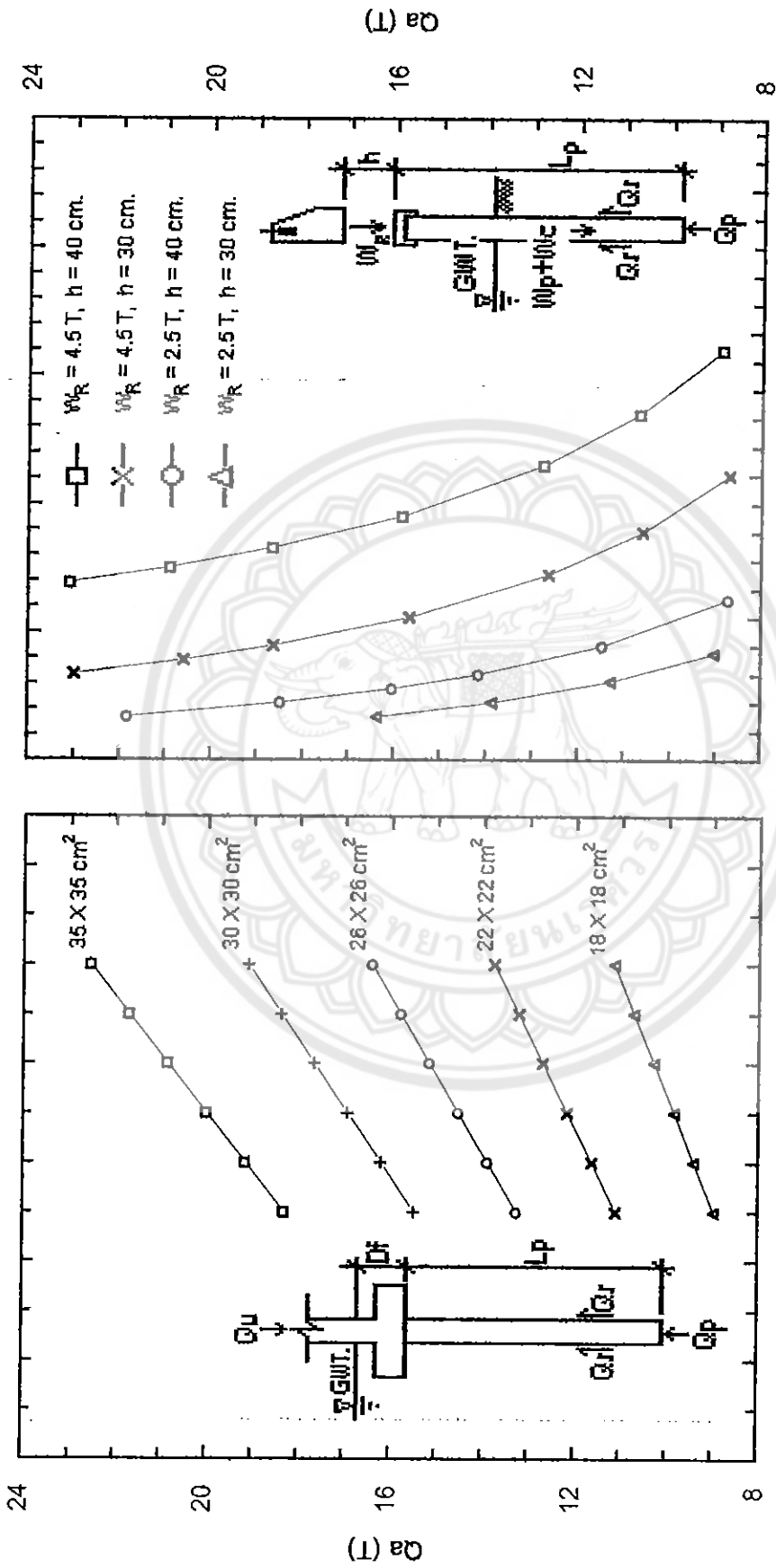
รูปที่ 4.28.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and Size.

When pile is square, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$



รูปที่ 4.28.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWT} = 0$

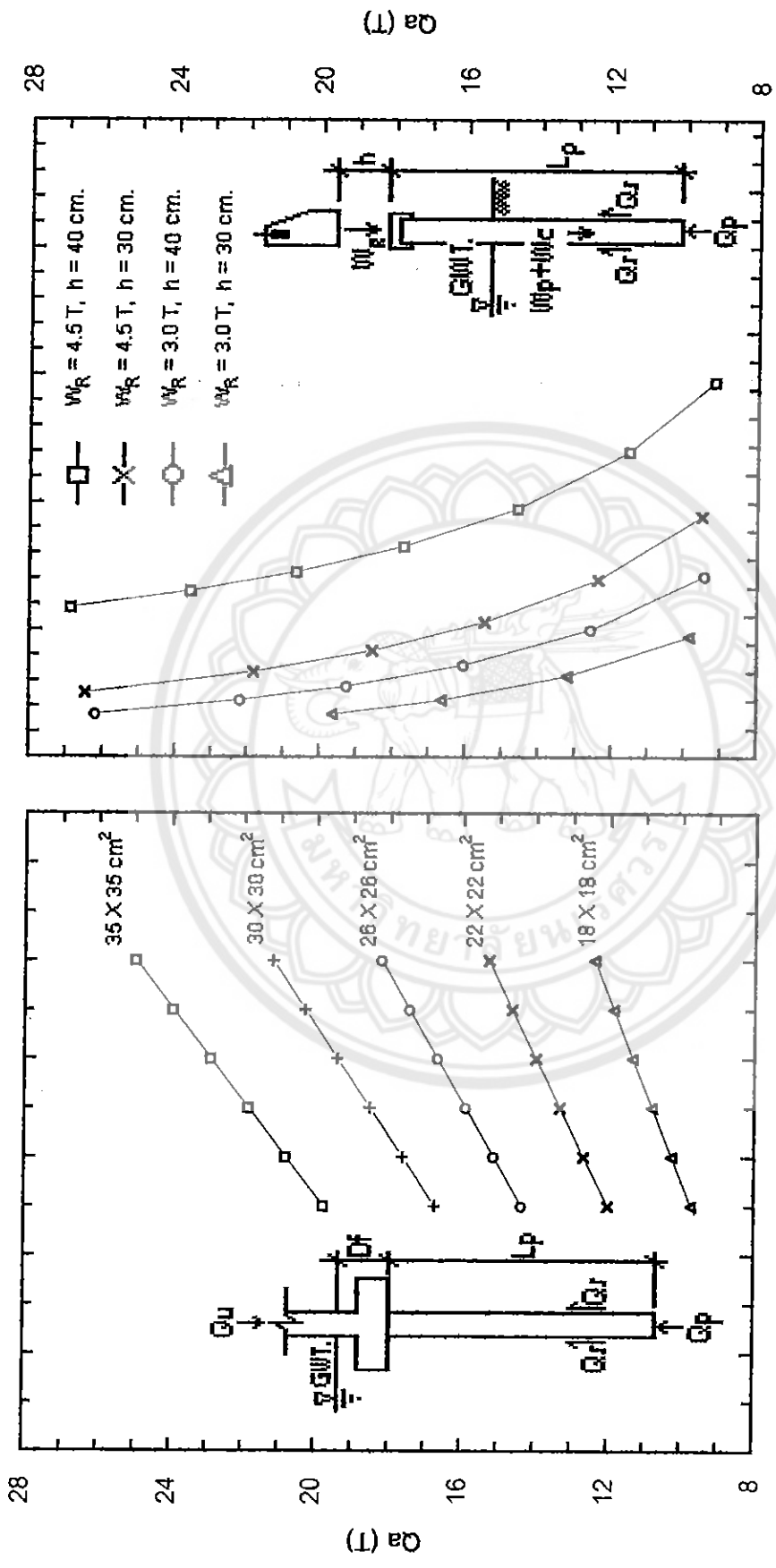


รูปที่ 4.29.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and Size.

When pile is square, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C_u = 4$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWIT} = 0$

รูปที่ 4.29.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C_u = 0$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWIT} = 0$



รูปที่ 4.30.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_{sat} and Size.

When pile is square, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C_u = 4$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$

รูปที่ 4.30.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m ; $C_u = 4$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$

ค. ความยาวของเสาเข็ม (L_p)

เพื่อตรวจสอบความแปรปรวนที่เกิดจากผลกระทบของขนาดเสาเข็มต่อ Q_a จึงได้มีการจัดทำเพิ่มเติม โดยการเปลี่ยนแปลงความยาวของเสาเข็ม (รูปที่ 4.26.1 ถึง 4.30.1) พบว่า แม้ว่าความยาวของเสาเข็มจะเปลี่ยนจาก 10 m เป็น 12 m แต่ผลกระทบของขนาดของเสาเข็มต่อ Q_a ยังเป็นไปในลักษณะเดิม คือ

- ค่า Q_a ยังมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปของเสาเข็ม
- ค่า γ_T ไม่มีผลต่อ ลักษณะผลกระทบจากพื้นที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a ต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดเสาเข็ม (ที่ $\gamma_T = 1.7 \text{ T/m}^3$) ดังแสดงในตารางที่ 4.14 ถึง 4.16 สามารถสรุปได้ว่า ขนาดของเสาเข็ม ส่งผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q_a รุนแรงขึ้น เมื่อเสาเข็มมีความยาวมากขึ้น

4.2.4 รูปร่างหน้าตัดของเสาเข็ม

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) ได้รับผลกระทบจากคุณสมบัติของเสาเข็ม ในกรณีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัดของเสาเข็ม กล่าวคือ รูปร่างหน้าตัดของเสาเข็มจะส่งผลกระทบในรูปของ ค่าพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม และเส้นรอบรูปของเสาเข็ม ซึ่งถ้าหน้าตัดเสาเข็มชนิดใด มีผลทำให้ ค่าพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม และเส้นรอบรูปของเสาเข็มมีค่าสูง ก็จะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (Q_a) มีค่าสูงขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.31.1 (กรณีดินทราย) และรูปที่ 4.32.1 (กรณีดินเหนียว) จะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดเสาเข็มเท่ากัน รูปร่างหน้าตัดของเสาเข็มแบบหน้าตัดรูปตัว I, หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม และหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมกลวง จะมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) เท่ากัน เนื่องจากการคิดพื้นที่หน้าตัด และเส้นรอบรูปของเสาเข็มมีค่าเท่ากัน ส่วนเสาเข็มหน้าตัดรูปวงกลมกลวง จะมีค่า Q_a น้อยกว่าหน้าตัด 3 ชนิดข้างต้น เพราะมีพื้นที่หน้าตัด และเส้นรอบรูปของเสาเข็มน้อยกว่า

ตารางที่ 4.14 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ความยาวเสาเข็ม (L_p) และการเปลี่ยนแปลงขนาดของเสาเข็ม กรณีดินทราย เมื่อ $\gamma_r = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้ปลายเสาเข็ม ($D_{\text{GWT}} > L_p + D_f$)

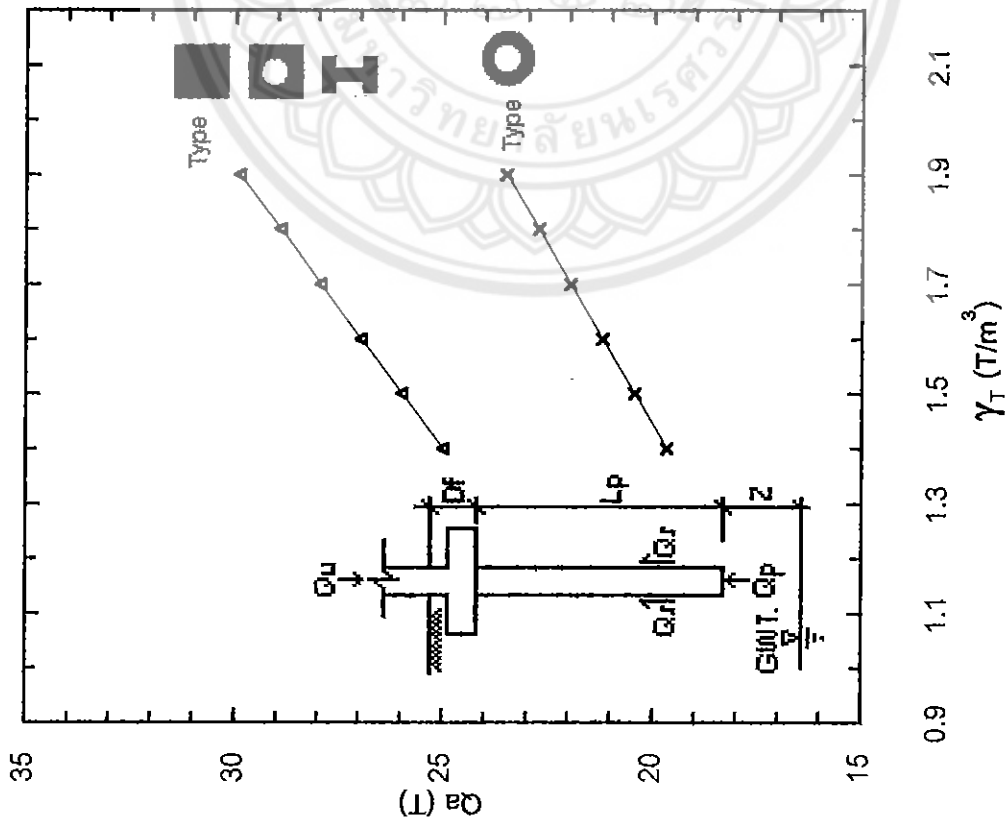
L_p (m)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a	
	[T/(100 cm ²)]	[T/(10 cm)]
□ 10	1.7	2.2
□ 12	1.9	2.5

ตารางที่ 4.15 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ความยาวเสาเข็ม (L_p) และการเปลี่ยนแปลงขนาดของเสาเข็ม กรณีดินทราย เมื่อ $\gamma_{\text{sat}} = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{\text{GWT}} = 0$)

L_p (m)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a	
	[T/(100 cm ²)]	[T/(10 cm)]
□ 10	1.1	1.5
□ 12	1.2	1.6

ตารางที่ 4.16 อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a สัมพันธ์กับ ความยาวเสาเข็ม (L_p) และการเปลี่ยนแปลงขนาดของเสาเข็ม กรณีดินเหนียว เมื่อ $\gamma_{\text{sat}} = 1.7 \text{ T/m}^3$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่บนผิวดิน ($D_{\text{GWT}} = 0$)

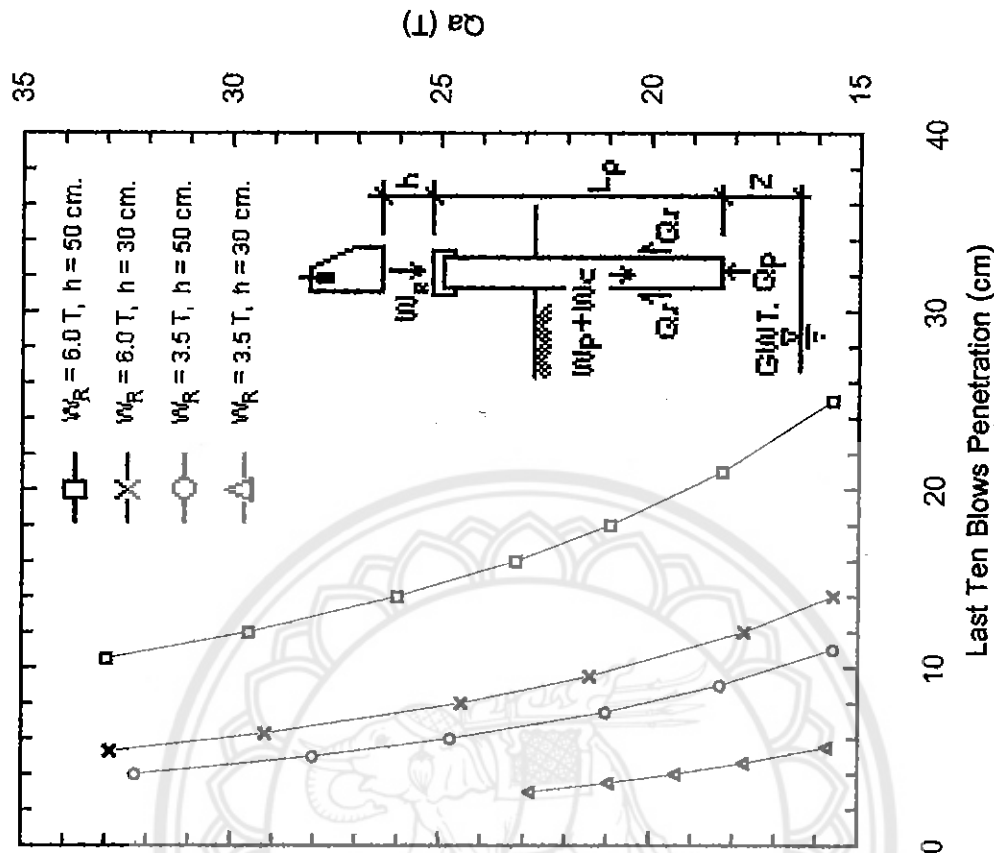
L_p (m)	อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a	
	[T/(100 cm ²)]	[T/(10 cm)]
□ 10	1.1	1.5
□ 12	1.2	1.6



รูปที่ 4.31.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and Type.

When pile is $D = 40$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m²,

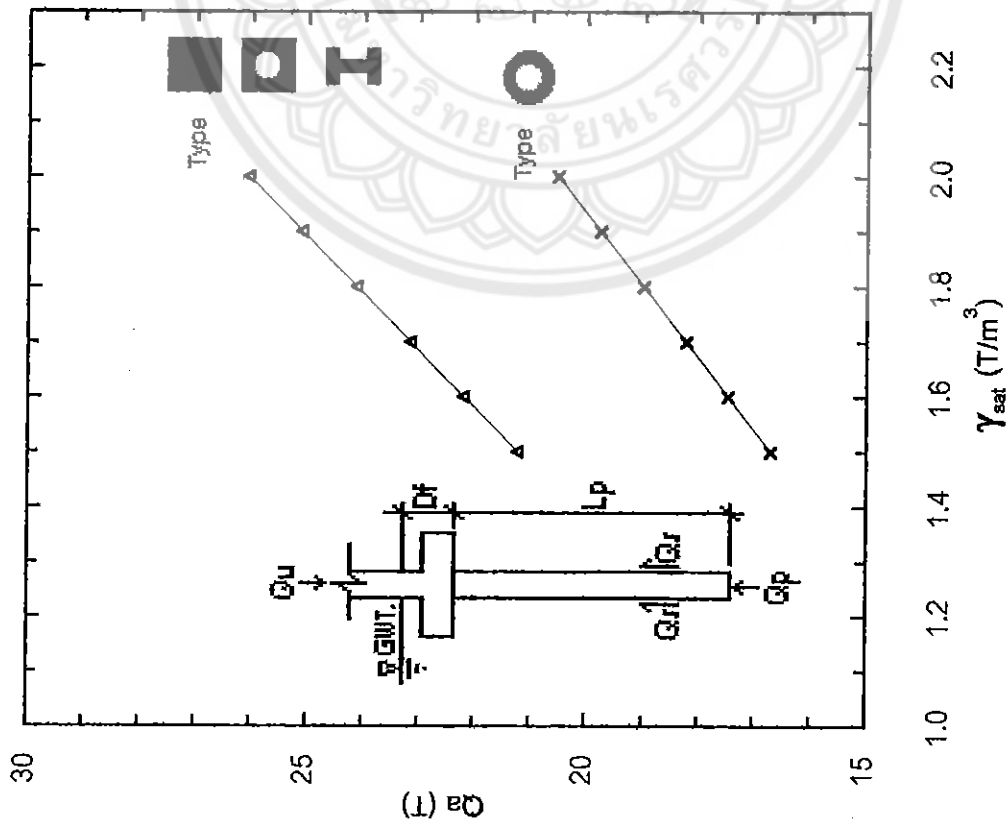
$\phi = 30^\circ$ and $D_{GWL} > L_p + D_f$



รูปที่ 4.31.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

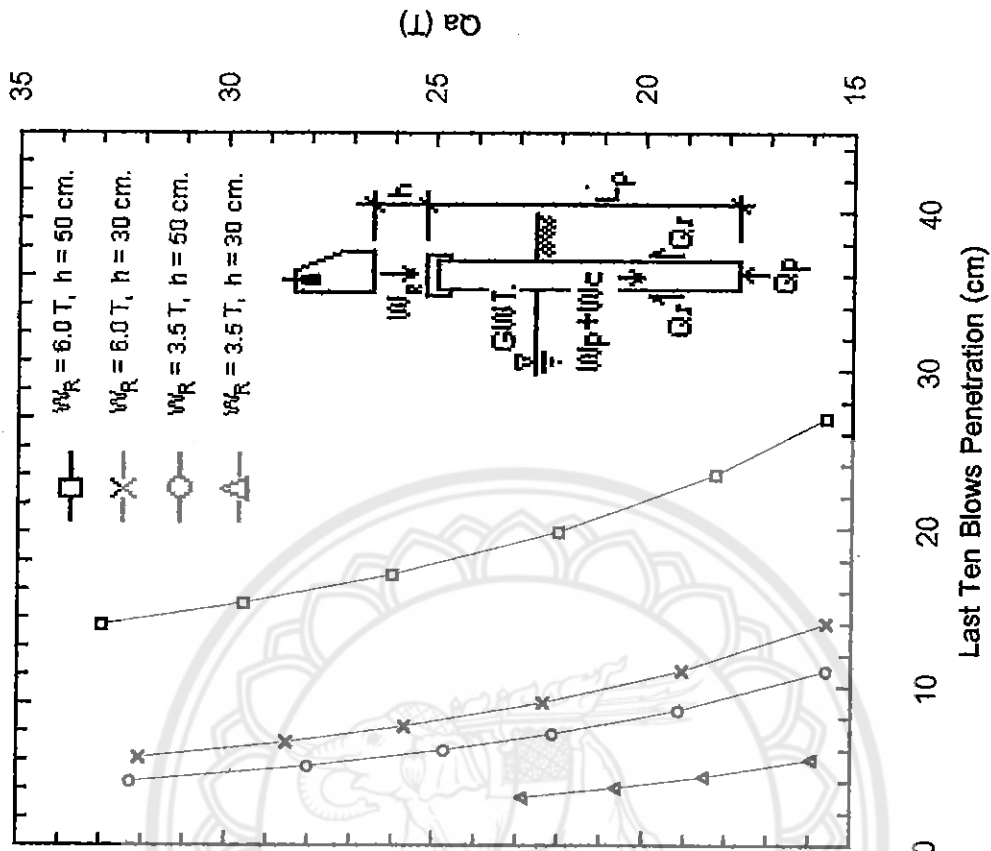
Penetration, W_R and h . When pile is $D = 40$ cm, $L_p = 10$ m, D_f

$= 1$ m ; $C = 0$ T/m², $\phi = 30^\circ$ and $D_{GWL} > L_p + D_f$



รูปที่ 4.32.1 Pile Allowable Load ($FS = 2.5$) with varying γ_{sat} and

Type. When pile is $D = 40$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m; $C_u = 4$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$



รูปที่ 4.32.2 Pile Allowable Load ($FS = 4$) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is $D = 40$ cm, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m; $C_u = 4$ T/m², $\phi = 0^\circ$ and $D_{GWT} = 0$

4.3 ผลกระทบของน้ำหนักและระยะยกตุ้มตอกเสาเข็ม

เพื่อช่วยตรวจสอบว่า ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในขณะก่อสร้างว่าสามารถรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) ตามที่ได้ออกแบบไว้โดยวิธี Static Formula หรือไม่ ในการศึกษาได้นำ Q_a ที่ได้จากวิธี Static Formula มาคำนวณหาค่า Last Ten Blows Penetration (10s) ภายใต้น้ำหนักและระยะยกตุ้มตอกที่แตกต่างกัน ทั้งนี้การพิจารณาเลือกน้ำหนักและระยะยกตุ้มตอก จะพิจารณาจากความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a), ขนาดหน้าตัด และความยาวของเสาเข็ม

4.3.1 ผลกระทบของน้ำหนักของตุ้มตอก (W_R)

ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบที่ 4.1.2 ถึง 4.32.2 แสดงว่า เมื่อชนิดของดิน, คุณสมบัติของเสาเข็ม และระยะยกตุ้มตอกเท่ากัน ถ้าน้ำหนักของตุ้มตอกมีค่ามาก ค่า 10s จะมีค่าสูงขึ้น เพราะทำให้ค่า Rate Energy มีค่าสูง ($10s \propto W_R$)

เมื่อกำหนดน้ำหนักของตุ้มตอกเท่ากัน ค่า Q_a ที่ได้จะมีค่าน้อยลง หากค่า 10s มีค่าสูงขึ้น ดังนั้น ในการเลือกใช้น้ำหนักของตุ้มตอกในงานตรวจสอบความสามารถของเสาเข็ม Precast Concrete Pile ที่ต้องการค่า Q_a สูง ควรเลือกใช้น้ำหนักของตุ้มตอกที่มีค่ามาก

ผลวิเคราะห์ตรงกับข้อสันนิษฐานเบื้องต้นที่คาดไว้ คือ น้ำหนักของตุ้มตอกจะแปรผันตรงกับค่า Q_a เนื่องจาก Q_a สามารถหาได้จาก สูตร $Q_a = Q_u/FS = \{[(E W_R h / S+C)] * [(W_R + n^2 W_p)/W_R + W_p]\}/FS$ ซึ่งน้ำหนักของตุ้มตอกมีผลโดยตรงต่อ Q_a ตามสูตร ดังนั้นเมื่อน้ำหนักของตุ้มตอกมากขึ้น จะทำให้ Q_a สูงขึ้น

4.3.2 ผลกระทบของระยะยกตุ้มตอก (h)

ในการทำงานเดียวกัน เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1.2 ถึง 4.32.2 หากชนิดของดิน, คุณสมบัติของเสาเข็ม และน้ำหนักของตุ้มตอกเท่ากัน ถ้าวระยะยกตุ้มตอกมีค่ามาก ทำให้มี Rate Energy สูง ค่า 10s จึงมีค่าสูงขึ้น

อย่างไรก็ตามเพื่อต้องการป้องกันการเสียหายจากการตอกเสาเข็ม การเลือกใช้น้ำหนัก และระยะยกตุ้มตอกควรมีค่า Rate Energy ไม่เกิน 4.1 T-m และค่า Driving Stress ของเสาเข็ม จะต้องไม่เกิน $0.6 f'c$ หรือในกรณีเสาเข็ม Precast Concrete Pile ควรมีการหยุดตอกเสาเข็ม โดยประมาณที่ 30 cm/ 72-96 ครั้ง หรือ 3-4 cm/ 10 ครั้ง ซึ่งการศึกษาในโครงการนี้ ได้กำหนดให้ ค่า 10s มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 cm ซึ่งเป็นค่าที่ปลอดภัย สำหรับการป้องกันการเสียหายจากการตอกเสาเข็ม และทำให้สามารถนำผลการศึกษาไปใช้ประกอบการตรวจสอบในการทำงานจริงในสนามได้



บทที่ 5 การนำไปใช้งาน

จากผลการวิเคราะห์ ดังได้อธิบายในบทที่ 4 สามารถนำมาประยุกต์เพื่อนำไปใช้งาน ได้
ดังนี้

5.1 การนำไปใช้ในงานสำรวจข้อมูลดิน

โดยทั่วไป การหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (Q_a) ของฐานราก โดยวิธี Static Formula จะใช้ Factor of safety; FS เท่ากับ 2.5-4 สาเหตุที่มีการกำหนด FS ให้อยู่ในช่วงกว้างนั้น เนื่องจาก ความไม่น่าเชื่อถือของข้อมูลดิน ซึ่งถ้าหากข้อมูลดินมีความน่าเชื่อถือก็อาจใช้ FS เท่ากับ 2.5 หรือน้อยกว่าได้ ถ้ามีความเชื่อมั่นในข้อมูลดินสูง แต่ถ้าข้อมูลดินมีความแปรปรวนมากก็อาจใช้ FS สูงขึ้นเป็น 3 หรือ 4 เป็นต้น

ผลและการวิเคราะห์ในบทที่ 4 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานสำรวจข้อมูลดิน ดังนี้

- ค่า ϕ และ C ของดิน เป็นค่าที่มีผลกระทบอย่างสูงต่อ Q_a ในขณะที่ค่า γ_r มีผลกระทบค่อนข้างน้อย นั่นคือ ถ้าทำการสำรวจและทดสอบค่า ϕ และ C ผิดพลาด การวิเคราะห์ Q_a เพื่อออกแบบฐานรากก็จะผิดพลาดไปด้วย ดังแสดงในตัวอย่างที่ 5.1

- ผลกระทบของค่า ϕ และ C ต่อ Q_a ยิ่งรุนแรงขึ้น เมื่อน้ำตัดและความยาวเสาเข็ม มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นในโครงการที่ใช้เสาเข็ม Precast Concrete Pile ที่มีน้ำตัดใหญ่ขึ้น หรือมีความยาวของเสาเข็ม (L_p) มาก ความถูกต้องของค่า ϕ และ C ที่ได้จากการสำรวจและทดสอบ ยิ่งมีความสำคัญมากขึ้น เพราะ

1. หากทดสอบค่า ϕ และ C ได้น้อยกว่าค่าที่เป็นจริงในสนาม ค่า Q_a ที่ได้จะมีค่าลดลงไปในอัตราสูงมาก (ตัวอย่างที่ 5.2) ทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายในการใช้เสาเข็ม โดยสูญเปล่าเป็นอย่างมาก

ตัวอย่างที่ 5.1

ในงานก่อสร้างอาคารหอพัก 3 ชั้น บริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร ได้ทำการเจาะสำรวจชั้นดิน ธรณีฐานรากเสาเข็ม พบว่า ชั้นดินมีคุณสมบัติ ดังนี้

$$C = 0, \phi = 35^\circ, \gamma_T = 2.1 \text{ T/m}^3$$

1. หากวิเคราะห์ค่า ϕ ผิดจาก 35° เป็น 38° คำนำน้หนักบรรทุกประลัยของฐานราก (Q_u) ที่ได้ จะแตกต่างกันเท่าใด (FS = 2.5)

2. จากข้อ 1. หากวิเคราะห์ค่า γ_T ผิดจาก 2.1 T/m^3 เป็น 1.7 T/m^3 คำนำน้หนักบรรทุกประลัยของฐานราก (Q_u) ที่ได้ จะแตกต่างกันเท่าใด (FS = 2.5)

เมื่องานก่อสร้างใช้ฐานรากเสาเข็ม Precast Concrete Pile หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ขนาด $18 \times 18 \text{ cm}^2$ ยาว 6 m โดยระดับความลึกของฐานราก (D_p) เท่ากับ 1 m

Solution

ฐานรากใช้เสาเข็ม Precast Concrete Pile หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ขนาด $18 \times 18 \text{ cm}^2$ ยาว 6 m โดยระดับความลึกของฐานราก (D_p) เท่ากับ 1 m เพราะฉะนั้นใช้ รูปที่ 4.1.1 เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบกรณีดังกล่าว

จากรูปที่ 4.1.1 เมื่อดินมีคุณสมบัติ $C = 0, \phi = 35^\circ, \gamma_T = 2.1 \text{ T/m}^3$ จะได้ $Q_a = 8.5 \text{ T}$ ให้ FS = 2.5 $\therefore Q_u = 21.25 \text{ T}$

1. หากวิเคราะห์ค่า ϕ ผิดจาก 35° เป็น 38° จะได้ $Q_a = 14 \text{ T}$ ให้ FS = 2.5 $\therefore Q_u = 35 \text{ T}$ จะเห็นได้ว่า ค่า Q_u ต่างกันถึง 13.75 T

2. หากวิเคราะห์ ค่า γ_T ผิดจาก 2.1 T/m^3 เป็น 1.6 T/m^3 จะได้ $Q_a = 8 \text{ T}$ ให้ F.S. = 2.5 $\therefore Q_u = 20 \text{ T}$ จะเห็นได้ว่า Q_u มีค่าต่างกันเพียง 1.25 T

ตัวอย่างที่ 5.2

จากข้อมูลในตัวอย่างที่ 5.1 ถ้าในงานก่อสร้างอาคารหอพัก ดังกล่าว มีฐานรากหลุมหนึ่งที่มีน้ำหนักกระทำลงฐานราก (Q_d) เท่ากับ 14 T เมื่อฐานรากดังกล่าวใช้เสาเข็ม Precast Concrete Pile หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ขนาด $18 \times 18 \text{ cm}^2$ ยาว 6 m โดยระดับความลึกของฐานราก (D_p) เท่ากับ 1 m

1. ถ้าวิศวกรออกแบบ ใช้ค่าคุณสมบัติดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ จะต้องใช้เสาเข็มกี่ต้น
2. ถ้าวิศวกรออกแบบ วิเคราะห์ค่าคุณสมบัติดินผิด โดยวิเคราะห์ค่า ϕ ผิดจาก 35° เป็น 32° จะต้องใช้เสาเข็มกี่ต้น

Solution

1. จากรูปที่ 4.1.1 เมื่อดินมีคุณสมบัติ $C = 0$, $\phi = 35^\circ$, $\gamma_r = 2.1 \text{ T/m}^3$ จะได้ $Q_a = 8.5 \text{ T}$ ต่อ เสาเข็ม 1 ต้น

แต่ฐานรากต้องรับค่า Q_d เท่ากับ 14 T เพราะฉะนั้นต้องใช้เสาเข็ม 2 ต้น ต่อ 1 ฐานราก

2. จากรูปที่ 4.1.1 เมื่อดินมีคุณสมบัติ $C = 0$, $\phi = 32^\circ$, $\gamma_r = 2.1 \text{ T/m}^3$ จะได้ $Q_a = 4 \text{ T}$ ต่อ เสาเข็ม 1 ต้น

ฐานรากต้องรับค่า Q_d เท่ากับ 14 T จึงต้องใช้เสาเข็ม 4 ต้น ต่อ 1 ฐานราก

เมื่อเปรียบเทียบกับข้อ 1. จะเห็นได้ว่า ถ้าวิเคราะห์ค่า ϕ ผิดจาก 35° เป็น 32° ต้องใช้เสาเข็มเพิ่มอีก 2 ต้น ซึ่งถือว่าเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น

2. หากทดสอบ C, ϕ ได้มากกว่าค่าที่เป็นจริงในสนาม ค่า Q_a ที่วิเคราะห์ได้ก็จะมีค่าสูงเกินความจริงอย่างมาก (ตัวอย่างที่ 5.3) ซึ่งเรื่องที่ต้องตระหนักและระวังเป็นอย่างมาก คือ ค่า Q_a ที่ได้ และนำไปใช้จากกรณีเช่นนี้ อาจจะไม่มีความปลอดภัยหลงเหลืออยู่เลย ($FS = 1$)

ซึ่งสรุปได้ว่าหากสำรวจและทดสอบ ค่า ϕ ผิด ความแตกต่างของ Q_a จะมีสูงกว่าเมื่อเทียบกับการทดสอบได้ค่า γ_T ผิดพลาด ซึ่งในกรณีค่า C ของดินก็เหมือนกัน ดังนั้น การสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลดินควรพิถีพิถันในการวิเคราะห์ค่า ϕ และ C ให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

5.2 การนำไปใช้ในงานออกแบบฐานราก

ผลการศึกษาที่สรุปไว้ในรูปที่ 4.1.1 ถึง 4.32.1 (บทที่ 4) สามารถนำไปใช้ในการออกแบบฐานรากเสาเข็ม Precast Concrete Pile ตามขั้นตอนและตัวอย่าง ที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.1 และตัวอย่างที่ 5.4 ตามลำดับ

5.3 การนำรูปไปใช้ในการตรวจสอบการตอกเสาเข็มในสนาม

ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.1.2 ถึง 4.32.2 (บทที่ 4) สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบการตอกเสาเข็มในสนาม โดยมีขั้นตอนและตัวอย่าง ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.1 และตัวอย่างที่ 5.4 ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 5.3

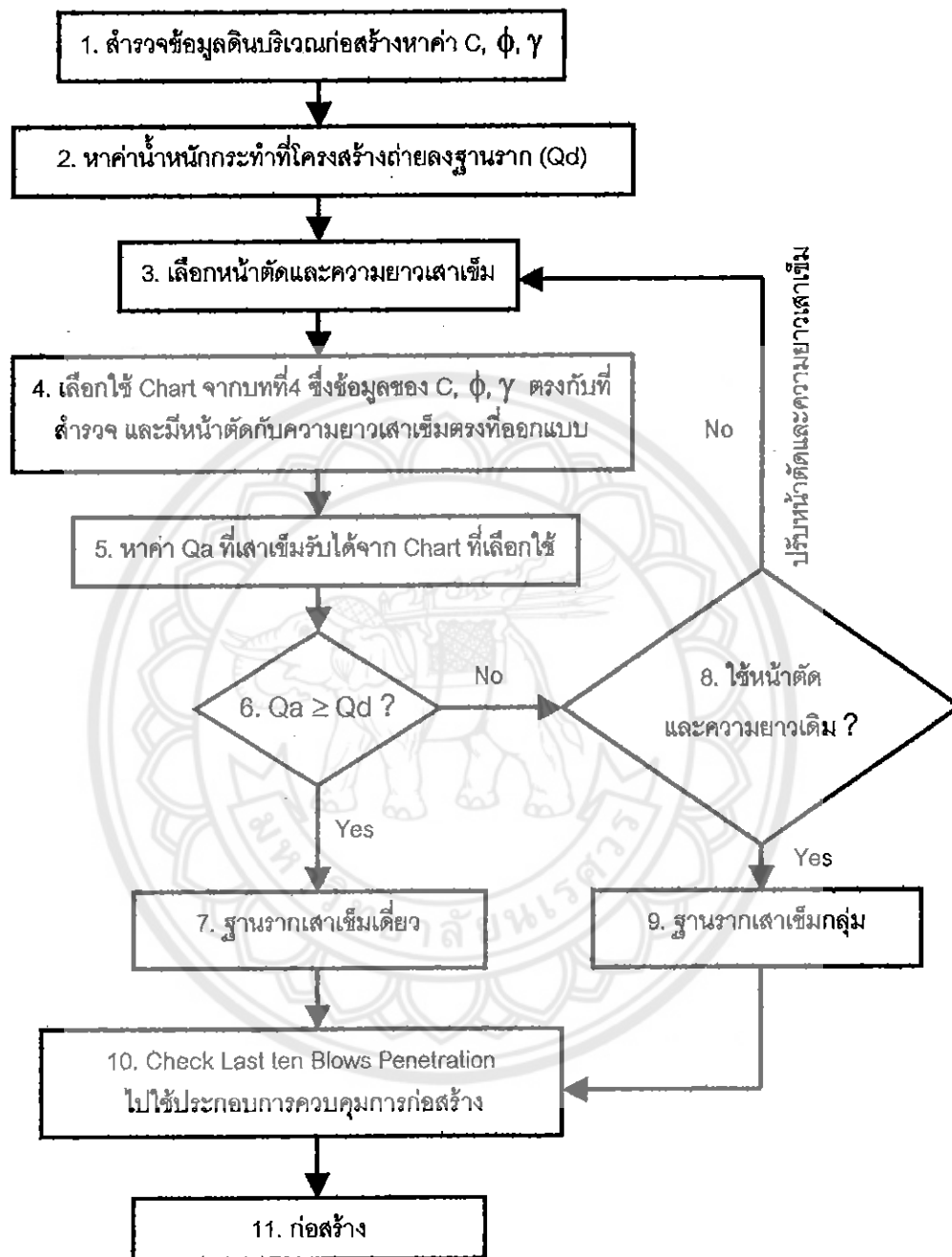
จากข้อมูลในตัวอย่างที่ 5.2 ถ้าวิศวกร วิเคราะห์ค่า ϕ ผิดจาก 35° เป็น 38° ฐานรากหลุมดังกล่าวต้องใช้เสาเข็มกี่ต้น

solution

จากรูปที่ 4.1.1 เมื่อดินมีคุณสมบัติ $C = 0$, $\phi = 38^\circ$, $\gamma_T = 2.1 \text{ T/m}^3$ จะได้ $Q_a = 14 \text{ T}$ ต่อ เสาเข็ม 1 ต้น

ฐานรากต้องรับค่า Q_d เท่ากับ 14 T จึงต้องใช้เสาเข็ม 1 ต้น ต่อ 1 ฐานราก ซึ่งถ้าออกแบบฐานรากโดยใช้ข้อมูลดินที่มีคุณสมบัติ คือ $C = 0$, $\phi = 35^\circ$, $\gamma_T = 2.1 \text{ T/m}^3$ จะต้องใช้เสาเข็ม 2 ต้น ต่อ 1 ฐานราก

จะเห็นได้ว่า ถ้าวิเคราะห์ค่า ϕ ผิดจาก 35° เป็น 38° ฐานรากที่ออกแบบจะไม่สามารถรับน้ำหนักได้จริง



รูปที่ 5.1 แสดงขั้นตอนการใช้ผลการศึกษาในการออกแบบและตรวจสอบการ

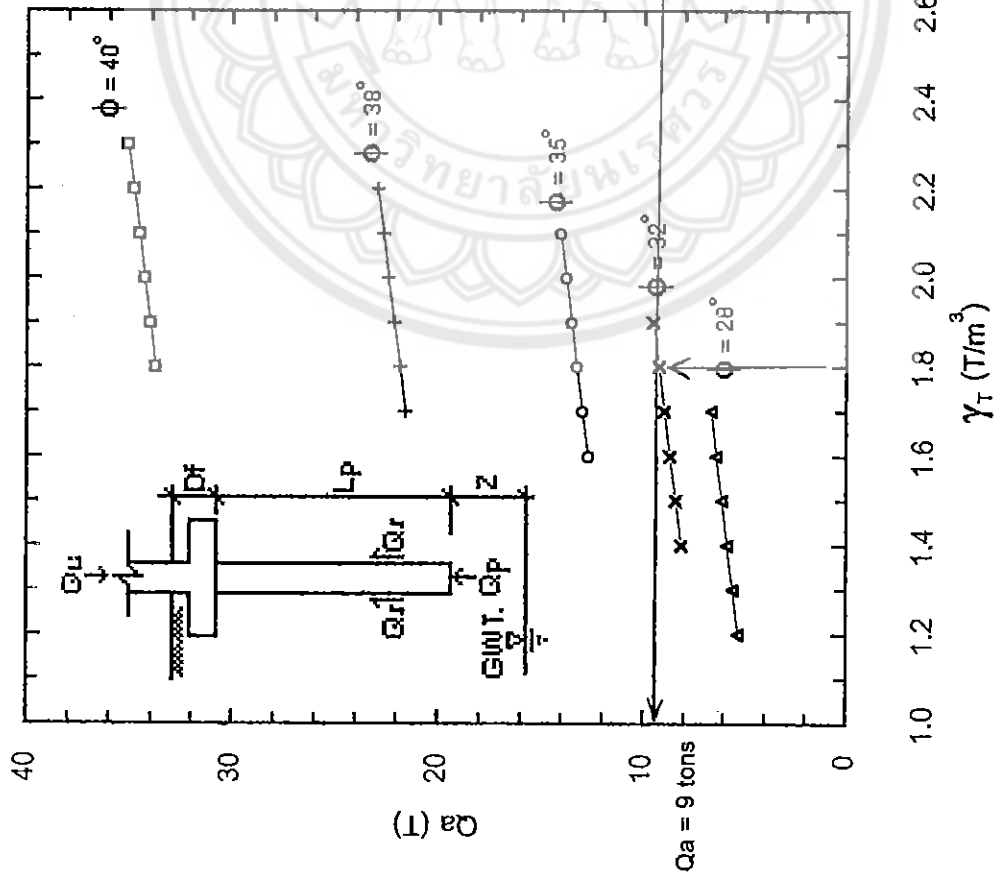
ทำงานของฐานรากเสาเข็ม

ตัวอย่างที่ 5.4

ฐานรากของอาคารพาณิชย์แห่งหนึ่งต้องรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ (Q_d) เท่ากับ 18 ตัน สภาพดินที่ทำการเจาะสำรวจได้ค่า ดังนี้ $\phi = 32^\circ$, $\gamma_r = 1.6 \text{ T/m}^3$, $C = 0 \text{ T/m}^2$ และระดับน้ำใต้ดินอยู่ในระดับลึกมาก จงออกแบบฐานรากดังกล่าว โดยใช้ chart ในบทที่ 4

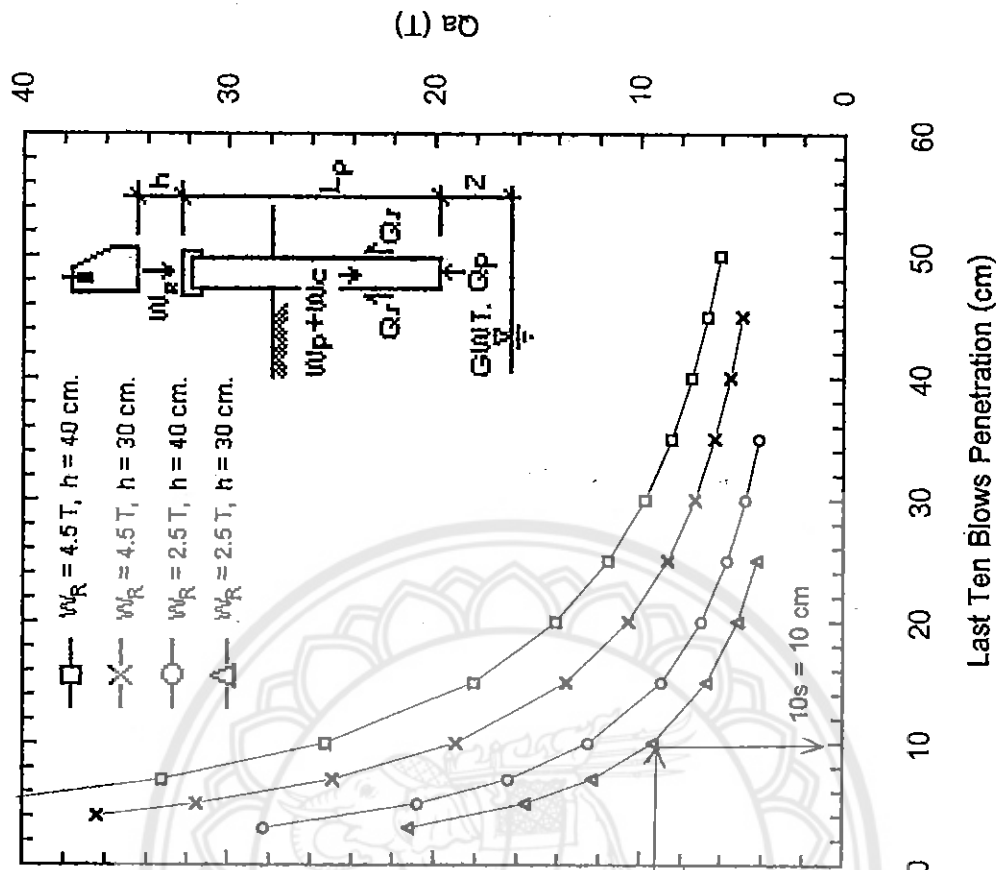
ขั้นตอนการออกแบบฐานราก

1. สำรวจข้อมูลดินบริเวณก่อสร้าง ได้ค่า $\phi = 32^\circ$, $\gamma_r = 1.6 \text{ T/m}^3$, $C = 0 \text{ T/m}^2$ และเนื่องจากระดับน้ำใต้ดินอยู่ในระดับลึกมาก เพราะฉะนั้นกำหนดให้ $D_{GWT} > L_p + D_f$
2. ค่า Q_d ที่กระทำลงฐานราก เท่ากับ 18 ตัน
3. เลือกใช้เสาเข็มขนาด $22 \times 22 \text{ cm}^2$ ยาว 8 m
4. Chart ที่ตรงกับข้อมูลดิน และเสาเข็มที่เลือกใช้ คือ รูปที่ 4.2.1
5. จากรูปที่ 4.2.1 ได้ค่า Q_a เท่ากับ 9 ตัน
6. เปรียบเทียบ ค่า Q_a ที่ได้น้อยกว่า Q_d
7. ใช้ฐานรากแบบเสาเข็มเดี่ยวไม่ได้
8. พิจารณาเลือกใช้เสาเข็มหน้าตัดและความยาวเดิม
9. เลือกใช้ ฐานรากเสาเข็มกลุ่ม 2 ต้น ซึ่งรับน้ำหนักได้ เท่ากับ 18 ตัน
10. ตรวจสอบค่า Last Ten Blows Penetration จากรูปที่ 4.2.2 ได้เท่ากับ 10 cm
11. ทำการก่อสร้างฐานรากตามทีออกแบบ



รูปที่ 4.2.1 Pile Allowable Load (FS = 2.5) with varying γ_T and ϕ .

When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m² and $D_{GWT} > L_p + D_f$



รูปที่ 4.2.2 Pile Allowable Load (FS = 4) with varying Last Ten Blows

Penetration, W_R and h . When pile is square, $D = 22$ cm, $L_p = 8$ m, $D_f = 1$ m ; $C = 0$ T/m² and $D_{GWT} > L_p + D_f$

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาวิเคราะห์ในบทที่ 4 และการนำไปใช้งานในบทที่ 5 แสดงว่า ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็ม Precast Concrete Pile ได้รับผลกระทบจากตัวแปรในกลุ่มคุณสมบัติของดิน, คุณสมบัติของเสาเข็ม และคุณสมบัติของเครื่องมือตอกเสาเข็ม ดังนี้

6.1 ผลกระทบจากคุณสมบัติของดิน

การศึกษา พบว่า ถ้าดินมีความแข็งแรงสูง กล่าวคือ ค่า C , ϕ , γ มีค่าสูง จะได้ค่า Q_a มีค่ามาก โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า ϕ และ C จะส่งผลกระทบต่อ Q_a เป็นอย่างสูง และจะรุนแรงขึ้นเมื่อเสาเข็มมีขนาดหน้าตัดใหญ่ขึ้น หรือความยาว (L_p) มากขึ้น

ดังนั้น การสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลดินควรให้ความสำคัญกับคุณภาพหรือความน่าเชื่อถือของค่า ϕ และ C เป็นอย่างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงการที่ใช้เสาเข็ม ที่มีขนาดใหญ่ หรือมีความยาวเสาเข็มมากขึ้น เพราะผลกระทบของค่า ϕ และ C มีความรุนแรงขึ้นในกรณีดังกล่าว

6.2 ผลกระทบจากระดับน้ำใต้ดิน

ระดับน้ำใต้ดิน (D_{GWT}) มีผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Q_a) คือ ถ้าน้ำใต้ดินมีระดับสูง จะทำให้ Q_a มีค่าต่ำ เพราะถ้าระดับน้ำใต้ดินสูง ทำให้ Effective Vertical Stress ในดินลดลง และจากการศึกษา พบว่า แม้ระดับน้ำใต้ดินจะส่งผลทำให้ Q_a เปลี่ยนแปลง แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ Q_a มีค่าคงเดิม โดย D_{GWT} ไม่ส่งผลกระทบ

6.3 ผลกระทบจากการวางระดับความลึกของฐานราก (D_f)

ผลการศึกษาพบว่า ถ้าระดับความลึกของฐานรากจากผิวดิน (D_f) มีค่ามาก จะทำให้ได้ค่า Q_a สูง ทั้งนี้ D_f มีผลกระทบน้อยกว่า ผลกระทบจากคุณสมบัติอื่นๆ ดังนั้น ถ้าต้องการได้ค่า Q_a ของฐานรากเสาเข็มมากขึ้น ควรพิจารณาเปรียบเทียบอย่างรอบคอบว่า “การที่จะต้องขุดดินให้ลึกเพื่อก่อสร้างฐานราก (มีระดับ D_f มาก) กับการเพิ่มตัวแปรอื่น อย่างไหนจะประหยัดกว่า ? และทำงานได้ง่ายกว่า ?”

เหตุผลที่เสนอให้พิจารณาเช่นนี้คือ ค่าอัตราการผลิตเปลี่ยนแปลงของ Q_a ที่เป็นผลมาจากระดับความลึกของฐานรากมีน้อยมากเมื่อเทียบกับตัวแปรอื่นที่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น เราอาจเลือกเปลี่ยนหน้าตัดเสาเข็มให้มีขนาดใหญ่ขึ้น หรือเพิ่มความยาวเสาเข็มมากขึ้น หรือเพิ่มจำนวนต้นของเสาเข็ม เป็นต้น เพื่อให้ฐานรากเสาเข็มสามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่มากขึ้นได้

6.4 ผลกระทบจากขนาดและความยาวของเสาเข็ม

ผลการศึกษาพบว่า ถ้าเสาเข็มมีขนาดใหญ่ กล่าวคือ ความยาวเสาเข็ม หรือหน้าตัดเสาเข็ม มีค่ามาก จะทำให้ค่า Q_a มีค่าสูง ส่วนรูปร่างหน้าตัดเสาเข็มนั้น จะส่งผลกระทบในรูปของ ค่าพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มและเส้นรอบรูปของเสาเข็ม ซึ่งถ้ารูปร่างหน้าตัดเสาเข็มชนิดใด มีผลทำให้ค่าพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม และเส้นรอบรูปของเสาเข็มมีค่าสูง ก็จะทำให้ความสามารถในการรับค่า Q_a มีค่าสูงขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตาม ประเด็นที่ต้องตระหนักจากผลที่พบในการศึกษา คือ เมื่อหน้าตัดเสาเข็มมีขนาดใหญ่ หรือความยาวเสาเข็มมีค่ามาก ความแปรปรวนของ ϕ และ C จะมีผลกระทบสูงมากต่อค่า Q_a ที่ได้ (ดังอธิบายในตอนที่ 5.1) นั่นคือ การใช้ค่า ϕ และ C ต้องมีความรอบคอบเป็นอย่างมาก

6.5 ผลกระทบจากน้ำหนักและระยะยกตุ้มตอกเสาเข็ม

การวิเคราะห์ผลการศึกษาพบว่า ถ้าเลือกใช้ น้ำหนักของตุ้มตอก และระยะยกตุ้มตอก ที่มีค่าสูง จะทำให้ค่า Last Ten Blows Penetration (10s) มีค่าสูง ดังนั้น สำหรับงานก่อสร้างที่ต้องการ ค่า Qa สูง เพื่อตรวจสอบความสามารถ ควรเลือกใช้ น้ำหนักของตุ้มตอก และระยะยกตุ้มตอกที่มีค่ามาก

6.6 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณ และเวลาที่ใช้ในการจัดทำโครงการ ขอบเขตการศึกษาจึงถูกกำหนดให้ครอบคลุมเฉพาะ ผลกระทบต่อการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม Precast Concrete Pile แบบเสาเข็มเดี่ยว โดยไม่ได้ทำการศึกษาครอบคลุมในเรื่อง Group Pile Efficiency และเรื่อง Pile Settlement

ดังนั้น ทางผู้จัดทำจึงเสนอให้มีการศึกษาเพิ่มเติม ดังนี้

6.6.1 Group Pile Efficiency

เพื่อให้สามารถนำผลการศึกษาไปใช้ได้ครอบคลุมกรณีที่เป็นเสาเข็มกลุ่ม และประสงค์จะจัดระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของเสาเข็มแต่ละต้นน้อยกว่า 3-4 D

6.6.2 Pile Settlement

เพื่อให้สามารถมั่นใจได้ว่า นอกจากเสาเข็มรับน้ำหนักได้แล้ว Settlement ที่เกิดขึ้นต้องอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

บรรณานุกรม

Braja M. Das. Principle of Foundation Engineering. 3rd ed. Boston : PWS Kont Publishing Company, 1990.

Joseph E. Bowles. Foundation Analysis and Design. 4th ed. Peoria : Illinois, 1998.

การสัมมนาทางวิชาการ เรื่องงานฐานราก และงานก่อสร้างใต้ดิน. กรุงเทพฯ : คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2534.

ชันทัด แดงประไพ. การควบคุมงานอาคารสูง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : บริษัท ประชาชน จำกัด, 2539.

บุญเทพ นานะรังสรรค์. Foundation Engineering and Tunnelling. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : Library-Nine Publishing, 2539.

พนม ภัยหน่าย และ สิริศักดิ์ ปโยธรศิริ. เครื่องจักรกลในงานก่อสร้าง. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2542.

เยนเนอรัล เอนจิเนียริง จำกัด (มหาชน). คู่มือวิศวกรโยธา. ปทุมธานี วรรณิ ศุขสาตร. วิศวกรรมฐานราก. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไทร์เพช, 2540.



ตารางที่ ก.1 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ ϕ , γ_T ; W_P , h

Pile Properties				Soil Properties					Installation Properties	
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _r (m)	D _{GWT} (m)	C (π/m^2)	Type of Soil	ϕ ($^\circ$)	γ_T (π/m^3)	WR (π)	h (cm)
□	18*18	6	1	> L _p +D _r	0	Very Loose Sand	28	1.2 - 1.7	2.0	20, 30
									4.0	20, 30
						Loose Sand	32	1.4 - 1.9	2.0	20, 30
									4.0	20, 30
						Medium Sand	35	1.6 - 2.1	2.0	20, 30
									4.0	20, 30
						Dense Sand	38	1.7 - 2.2	2.0	20, 30
									4.0	20, 30
						Very Dense Sand	40	1.8 - 2.3	2.0	20, 30
									4.0	20, 30

ตารางที่ ก.1.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 18 \times 18 \text{ cm}^2$, $L_p = 6 \text{ m}$, $D_r = 1 \text{ m}$; $D_{GW} > L_p + D_r$

$$C = 0 \text{ T/m}^2, \gamma_T, \phi; \text{ และ } W_R = 2.0, 4.0 \text{ T}, h = 20, 30 \text{ cm}$$

ก.1.1.1 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Static Formula (FS = 2.5)

$\gamma_T^2 \backslash \phi^1$	28	32	35	38	40
1.2	3.1	-	-	-	-
1.3	3.2	-	-	-	-
1.4	3.3	4.9	-	-	-
1.5	3.5	5.0	-	-	-
1.6	3.6	5.1	7.8	-	-
1.7	3.7	5.3	8.0	13.7	-
1.8	-	5.4	8.1	13.9	21.9
1.9	-	5.6	8.2	14.0	22.0
2.0	-	-	8.4	14.1	22.1
2.1	-	-	8.5	14.3	22.3
2.2	-	-	-	14.4	22.4
2.3	-	-	-	-	22.6

ก.1.1.2 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5 \backslash W_R^3$	2.0		4.0		
	h^4	20	30	20	30
3		11.9	17.9	26.7	40.1
5		8.8	13.2	19.7	29.5
7		6.9	10.4	15.5	23.3
10		5.3	7.9	11.8	17.7
15		3.8	5.7	8.4	12.7
20		2.9	4.4	6.6	9.9
25		2.4	3.6	5.4	8.1
30		2.0	3.1	4.6	6.8
35		1.8	2.6	3.9	5.9
40		1.6	2.3	3.5	5.2
45		1.4	2.1	3.1	4.7
50		1.3	1.9	2.8	4.2

Note 1) ¹ Unit is in degree ($^{\circ}$); ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.2 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ ϕ , γ_T , W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _t (m)	D _{gwt} (m)	C (T/m ²)	Type of Soil	ϕ (°)	γ_T (T/m ³)	WR (T)	h (cm)
□	22*22	8	1	> L _p +D _t	0	Very Loose Sand	28	1.2 - 1.7	2.5	30.40
									4.5	30.40
						Loose Sand	32	1.4 - 1.9	2.5	30.40
									4.5	30.40
						Medium Sand	35	1.6 - 2.1	2.5	30.40
									4.5	30.40
						Dense Sand	38	1.7 - 2.2	2.5	30.40
									4.5	30.40
						Very Dense Sand	40	1.8 - 2.3	2.5	30.40
									4.5	30.40

ตารางที่ ก.2.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $22 \times 22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}$, $D_f = 1 \text{ m}$; $D_{\text{GWT}} > L_p + D_f$,
 $C = 0 \text{ T/m}^2$, γ_T, ϕ ; และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}$, $h = 30, 40 \text{ cm}$

ก.2.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

$\gamma_T^2 \backslash \phi^1$	28	32	35	38	40
1.2	5.3	-	-	-	-
1.3	5.6	-	-	-	-
1.4	5.9	8.2	-	-	-
1.5	6.1	8.4	-	-	-
1.6	6.4	8.7	12.7	-	-
1.7	6.7	9.0	13.0	21.6	-
1.8	-	9.3	13.2	21.8	33.8
1.9	-	9.5	13.5	22.1	34.1
2.0	-	-	13.8	22.4	34.3
2.1	-	-	14.1	22.7	34.6
2.2	-	-	-	22.9	34.9
2.3	-	-	-	-	35.1

ก.2.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5 \backslash W_R^3 \backslash h^4$	2.5		4.5	
	30	40	30	40
3	21.2	28.3	42.9	57.2
5	15.6	20.8	31.5	42.1
7	12.3	16.4	24.9	33.2
10	9.4	12.5	19.0	25.3
15	6.7	8.9	13.6	18.1
20	5.2	7.0	10.6	14.1
25	4.3	5.7	8.6	11.5
30	3.6	4.8	7.3	9.7
35	3.1	4.2	6.3	8.4
40	2.8	3.7	5.6	7.5
45	2.5	3.3	5.0	6.7
50	2.2	3.0	4.5	6.0

Note 1) ¹ Unit is in degree ($^\circ$); ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ป.3 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ ϕ , γ_r ; W_R , h

Pile Properties				Soil Properties					Installation Properties	
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _r (m)	D _{gwr} (m)	C (T/m ²)	Type of Soil	ϕ (°)	γ_r (T/m ³)	WR (T)	h (cm)
□	26*26	10	1	> L _p +D _r	0	Very Loose Sand	28	1.2 - 1.7	2.5	30, 50
									4.5	30, 50
						Loose Sand	32	1.4 - 1.9	2.5	30, 50
									4.5	30, 50
						Medium Sand	35	1.6 - 2.1	2.5	30, 50
									4.5	30, 50
						Dense Sand	38	1.7 - 2.2	2.5	30, 50
									4.5	30, 50
						Very Dense Sand	40	1.8 - 2.3	2.5	30, 50
									4.5	30, 50

ตารางที่ ก.3.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26 \times 26 \text{ cm}^2$, $L_p = 10 \text{ m}$, $D_f = 1 \text{ m}$; $D_{GWT} > L_p + D_f$

$C = 0 \text{ T/m}^2$, γ_T , ϕ ; และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}$, $h = 30, 50 \text{ cm}$

ก.3.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

$\gamma_T^2 \backslash \phi^1$	28	32	35	38	40
1.2	8.5	-	-	-	-
1.3	8.9	-	-	-	-
1.4	9.4	12.6	-	-	-
1.5	9.8	13.1	-	-	-
1.6	10.3	13.6	19.1	-	-
1.7	10.8	14.0	19.6	31.6	-
1.8	-	14.5	20.1	32.1	48.8
1.9	-	15.0	20.6	32.6	49.2
2.0	-	-	21.0	33.0	49.7
2.1	-	-	21.5	33.5	50.1
2.2	-	-	-	34.0	50.6
2.3	-	-	-	-	51.1

ก.3.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5 \backslash W_R^3 \backslash h^4$	2.5		4.5	
	30	50	30	50
3	18.8	31.3	39.4	65.7
5	13.8	23.0	29.0	48.3
7	10.9	18.2	22.9	38.2
10	8.3	13.8	17.4	29.0
15	5.9	9.9	12.5	20.8
20	4.6	7.7	9.7	16.2
25	3.8	6.3	7.9	13.2
30	3.2	5.3	6.7	11.2
35	2.8	4.6	5.8	9.7
40	2.4	4.1	5.1	8.6
45	2.2	3.7	4.6	7.7
50	2.0	3.3	4.2	6.9

Note 1) ¹ Unit is in degree ($^\circ$); ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.4 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ ϕ , γ_T , W_R , h

Pile Properties				Soil Properties					Installation Properties	
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _f (m)	D _{GWR} (m)	C (T/m ³)	Type of Soil	ϕ (°)	γ_T (T/m ³)	W _R (T)	h (cm)
□	30*30	12	1	> L _p +D _f	0	Very Loose Sand	28	1.2 - 1.7	3.0	30, 50
									6.0	30, 50
						Loose Sand	32	1.4 - 1.9	3.0	30, 50
									6.0	30, 50
						Medium Sand	35	1.6 - 2.1	3.0	30, 50
									6.0	30, 50
						Dense Sand	38	1.7 - 2.2	3.0	30, 50
									6.0	30, 50
						Very Dense Sand	40	1.8 - 2.3	3.0	30, 50
									6.0	30, 50

ตารางที่ ก.4.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 30 \times 30 \text{ cm}^2$, $L_p = 12 \text{ m}$, $D_f = 1 \text{ m}$; $D_{GWT} > L_p + D_f$

$C = 0 \text{ T/m}^2$, γ_T, ϕ ; และ $W_R = 3.0, 6.0 \text{ T}$, $h = 30, 50 \text{ cm}$

ก.4.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

$\gamma_T^2 \backslash \phi^1$	28	32	35	38	40
1.2	12.6	-	-	-	-
1.3	13.4	-	-	-	-
1.4	14.1	18.5	-	-	-
1.5	14.8	19.2	-	-	-
1.6	15.6	20.0	27.4	-	-
1.7	16.3	20.7	28.1	44.1	-
1.8	-	21.5	28.9	44.8	67.0
1.9	-	22.2	29.6	45.6	67.7
2.0	-	-	30.4	46.3	68.4
2.1	-	-	31.1	47.0	69.2
2.2	-	-	-	47.8	69.9
2.3	-	-	-	-	70.6

ก.4.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5 \backslash W_R^3 \backslash h^4$	3.0		6.0	
	30	50	30	50
3	21.0	35.0	51.1	85.2
5	15.4	25.7	37.6	62.6
7	12.2	20.3	29.7	49.5
10	9.3	15.5	22.6	37.7
15	6.6	11.1	16.2	26.9
20	5.2	8.6	12.6	20.9
25	4.2	7.0	10.3	17.1
30	3.6	6.0	8.7	14.5
35	3.1	5.2	7.5	12.6
40	2.7	4.6	6.7	11.1
45	2.4	4.1	6.0	9.9
50	2.2	3.7	5.4	9.0

Note 1) ¹ Unit is in degree ($^\circ$); ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.5.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 35 \times 35 \text{ cm}^2$, $L_p = 14 \text{ m}$, $D_f = 1 \text{ m}$; $D_{GWT} > L_p + D_f$,
 $C = 0 \text{ T/m}^2$, γ_T , ϕ ; และ $W_R = 3.5, 6.0 \text{ T}$, $h = 50, 75 \text{ cm}$

ก.5.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

$\gamma_T^2 \backslash \phi^1$	28	32	35	38	40
1.2	19.0	-	-	-	-
1.3	20.2	-	-	-	-
1.4	21.3	27.3	-	-	-
1.5	22.4	28.5	-	-	-
1.6	23.6	29.6	39.7	-	-
1.7	24.7	30.8	40.9	62.6	-
1.8	-	32.0	42.1	63.8	93.9
1.9	-	33.1	43.2	64.9	95.0
2.0	-	-	44.4	66.1	96.1
2.1	-	-	45.6	67.2	97.3
2.2	-	-	-	68.4	98.4
2.3	-	-	-	-	99.6

ก.5.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5 \backslash h^4$	W_R^3 3.5		6.0	
	50	75	50	75
3	37.3	55.9	76.2	114.2
5	27.4	41.1	56.0	83.9
7	21.6	32.5	44.2	66.3
10	16.5	24.7	33.6	50.5
15	11.8	17.7	24.1	36.1
20	9.2	13.7	18.7	28.1
25	7.5	11.2	15.3	23.0
30	6.3	9.5	13.0	19.5
35	5.5	8.2	11.2	16.9
40	4.9	7.3	9.9	14.9
45	4.3	6.5	8.9	13.3
50	3.9	5.9	8.0	12.0

Note 1) ¹ Unit is in degree ($^{\circ}$); ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.6.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22 \times 22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}$, $D_r = 1 \text{ m}$; $D_{GWT} = 0$
 $C = 0 \text{ T/m}^2$, γ_{sat} , ϕ ; และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}$, $h = 30, 40 \text{ cm}$

ก.6.1.1 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 / ϕ^1	28	32	35	38	40
1.4	3.2	-	-	-	-
1.5	3.4	5.7	-	-	-
1.6	3.7	6.0	9.9	-	-
1.7	4.0	6.2	10.2	18.9	-
1.8	4.2	6.5	10.5	19.1	31.1
1.9	4.5	6.8	10.8	19.4	31.4
2.0	-	7.1	11.0	19.7	31.6
2.1	-	-	11.3	19.9	31.9
2.2	-	-	-	20.2	32.2
2.3	-	-	-	-	32.5

ก.6.1.2 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ / W_R^3 / h^4	2.5		4.5	
	30	40	30	40
3	21.2	28.3	42.9	57.2
5	15.6	20.8	31.5	42.1
7	12.3	16.4	24.9	33.2
10	9.4	12.5	19.0	25.3
15	6.7	8.9	13.6	18.1
20	5.2	7.0	10.6	14.1
25	4.3	5.7	8.6	11.5
30	3.6	4.8	7.3	9.7
35	3.1	4.2	6.3	8.4
40	2.8	3.7	5.6	7.5
45	2.5	3.3	5.0	6.7
50	2.2	3.0	4.5	6.0

Note 1) ¹ Unit is in degree ($^\circ$); ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.7 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ ϕ , γ_T ; W_{Ri} , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _r (m)	D _{gwr} (m)	C (T/m ²)	Type of Soil	ϕ (°)	γ_{sat} (T/m ³)	WR (T)	h (cm)
□	26*26	10	1	0	0	Very Loose Sand	28	1.4 - 1.9	2.5	30, 50
									4.5	30, 50
						Loose Sand	32	1.5 - 2.0	2.5	30, 50
									4.5	30, 50
						Medium Sand	35	1.6 - 2.1	2.5	30, 50
									4.5	30, 50
						Dense Sand	38	1.7 - 2.2	2.5	30, 50
									4.5	30, 50
						Very Dense Sand	40	1.8 - 2.3	2.5	30, 50
									4.5	30, 50

ตารางที่ ก.7.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26 \times 26 \text{ cm}^2$, $L_p = 10 \text{ m}$, $D_r = 1 \text{ m}$; $D_{GW} = 0$,
 $C = 0 \text{ T/m}^2$, $\gamma_{\text{sat}} \phi$; และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}$, $h = 30, 50 \text{ cm}$

ก.7.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

$\gamma_{\text{sat}}^2 \backslash \phi^1$	28	32	35	38	40
1.4	4.8	-	-	-	-
1.5	5.2	8.4	-	-	-
1.6	5.7	8.9	14.4	-	-
1.7	6.2	9.3	14.9	27.0	-
1.8	6.6	9.8	15.4	27.4	44.1
1.9	7.1	10.3	15.8	27.9	44.6
2.0	-	10.7	16.3	28.4	45.1
2.1	-	-	16.8	28.8	45.5
2.2	-	-	-	29.3	46.0
2.3	-	-	-	-	46.5

ก.7.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5 \backslash W_R^3 \backslash h^4$	2.5		4.5	
	30	50	30	50
3	18.8	31.3	39.4	65.7
5	13.8	23.0	29.0	48.3
7	10.9	18.2	22.9	38.2
10	8.3	13.8	17.4	29.0
15	5.9	9.9	12.5	20.8
20	4.6	7.7	9.7	16.2
25	3.8	6.3	7.9	13.2
30	3.2	5.3	6.7	11.2
35	2.8	4.6	5.8	9.7
40	2.4	4.1	5.1	8.6
45	2.2	3.7	4.6	7.7
50	2.0	3.3	4.2	6.9

Note 1) ¹ Unit is in degree ($^\circ$); ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.8 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ C_u , γ_{sat} , W_R , h

Pile Properties				Soil Properties					Installation Properties		
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _f (m)	D _{GMR} (m)	ϕ (°)	Type of Soil	C _u (T/m ²)	γ_{sat} (T/m ³)	WR (T)	h (cm)	
□	18*18	6	1	0	0	Very Soft Clay	1	1.4 - 1.9	2.0	20, 30	
									4.0	20, 30	
							4	1.5 - 2.0	2.0	20, 30	
									4.0	20, 30	
							8	1.6 - 2.1	2.0	20, 30	
									4.0	20, 30	
						12			1.7 - 2.2	2.0	20, 30
										4.0	20, 30
						16	1.8 - 2.3	2.0	20, 30		
								4.0	20, 30		

ตารางที่ ก.8.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 18 \times 18 \text{ cm}^2$, $L_p = 6 \text{ m}$, $D_f = 1 \text{ m}$; $D_{GWT} = 0$,

$$\phi = 0^\circ, C_u, \gamma_{\text{sat}}; \text{ และ } W_R = 2.0, 4.0 \text{ T, } h = 20, 30 \text{ cm}$$

ก.8.1.1 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 / C_u^1	1	4	8	12	16
1.4	2.2	-	-	-	-
1.5	2.4	6.4	-	-	-
1.6	2.6	6.6	11.9	-	-
1.7	2.8	6.8	12.1	17.4	-
1.8	3.0	7.0	12.3	17.6	22.9
1.9	3.2	7.2	12.5	17.8	23.1
2.0	-	7.4	12.7	18.0	23.3
2.1	-	-	12.9	18.2	23.5
2.2	-	-	-	18.5	23.8
2.3	-	-	-	-	24.0

ก.8.1.2 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ / W_R^3 / h^4	2.0		4.0	
	20	30	20	30
3	11.9	17.9	26.7	40.1
5	8.8	13.2	19.7	29.5
7	6.9	10.4	15.5	23.3
10	5.3	7.9	11.8	17.7
15	3.8	5.7	8.4	12.7
20	2.9	4.4	6.6	9.9
25	2.4	3.6	5.4	8.1
30	2.0	3.1	4.6	6.8
35	1.8	2.6	3.9	5.9
40	1.6	2.3	3.5	5.2
45	1.4	2.1	3.1	4.7
50	1.3	1.9	2.8	4.2

Note 1) ¹ Unit is in T/m^2 ; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

- 2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.9 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ C_u , γ_{sat} , W_{Rt} , h

Pile Properties					Soil Properties					Installation Properties			
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _f (m)	D _{SWR} (m)	ϕ (°)	Type of Soil	C _u (T/m ²)	γ_{sat} (T/m ³)	WR (T)	h (cm)			
□	22*22	8	1	0	0	Very Soft Clay	1	1.4 - 1.9	2.5	30.40			
										30.40			
									Medium Clay	4	1.5 - 2.0	2.5	30.40
													30.40
						Stiff Clay	8	1.6 - 2.1	2.5	30.40			
										30.40			
						Stiff Clay	12	1.7 - 2.2	2.5	30.40			
										30.40			
						Very Stiff Clay	16	1.8 - 2.3	2.5	30.40			
										30.40			

ตารางที่ ก.9.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $22 \times 22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}$, $D_r = 1 \text{ m}$; $D_{GWT} = 0$

$\phi = 0^\circ$, C_u , γ_{sat} ; และ $W_R = 2.5, 4.5 \text{ T}$, $h = 30, 40 \text{ cm}$

ก.9.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 \ / C_u^1	1	4	8	12	16
1.4	3.5	-	-	-	-
1.5	3.9	9.8	-	-	-
1.6	4.3	10.2	18.0	-	-
1.7	4.7	10.6	18.4	26.2	-
1.8	5.1	11.0	18.8	26.6	34.4
1.9	5.5	11.4	19.2	27.0	34.8
2.0	-	11.8	19.6	27.4	35.2
2.1	-	-	20.0	27.8	35.6
2.2	-	-	-	28.2	36.0
2.3	-	-	-	-	36.4

ก.9.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ / W_R^3 \ / h^4	2.5		4.5	
	30	40	30	40
3	21.2	28.3	42.9	57.2
5	15.6	20.8	31.5	42.1
7	12.3	16.4	24.9	33.2
10	9.4	12.5	19.0	25.3
15	6.7	8.9	13.6	18.1
20	5.2	7.0	10.6	14.1
25	4.3	5.7	8.6	11.5
30	3.6	4.8	7.3	9.7
35	3.1	4.2	6.3	8.4
40	2.8	3.7	5.6	7.5
45	2.5	3.3	5.0	6.7
50	2.2	3.0	4.5	6.0

Note 1) ¹ Unit is in T/m^2 ; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.10 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ C_u , γ_{sat} , W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties							
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _f (m)	D _{gwt} (m)	ϕ (°)	Type of Soil	C _u (T/m ²)	γ_{sat} (T/m ³)	WR (T)	h (cm)					
□	26*26	10	1	0	0	Very Soft Clay	1	1.4 - 1.9	2.5	30, 50					
											Medium Clay	4	1.5 - 2.0	2.5	30, 50
											Stiff Clay	12	1.7 - 2.2	2.5	30, 50

ตารางที่ ก.10.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26 \times 26 \text{ cm}^2$, $L_p = 10 \text{ m}$, $D_r = 1 \text{ m}$; $D_{GWT} = 0$,

$$\phi = 0^\circ, C_u, \gamma_{\text{sat}}; \text{ และ } W_R = 2.5, 5.0 \text{ T, } h = 30, 50 \text{ cm}$$

ก.10.1.1 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 \ C_u^1	1	4	8	12	16
1.4	5.0	-	-	-	-
1.5	5.7	13.3	-	-	-
1.6	6.3	13.9	24.0	-	-
1.7	6.9	14.5	24.7	34.8	-
1.8	7.6	15.2	25.3	35.4	45.5
1.9	8.2	15.8	25.9	36.0	46.2
2.0	-	16.4	26.5	36.7	46.8
2.1	-	-	27.2	37.3	47.4
2.2	-	-	-	37.9	48.1
2.3	-	-	-	-	48.7

ก.10.1.2 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ W_R^3 \ h^4	2.5		5.0	
	30	50	30	50
3	18.8	31.3	44.8	74.7
5	13.8	23.0	32.9	54.9
7	10.9	18.2	26.0	43.4
10	8.3	13.8	19.8	33.0
15	5.9	9.9	14.2	23.6
20	4.6	7.7	11.0	18.4
25	3.8	6.3	9.0	15.0
30	3.2	5.3	7.6	12.7
35	2.8	4.8	6.6	11.0
40	2.4	4.1	5.8	9.7
45	2.2	3.7	5.2	8.7
50	2.0	3.3	4.7	7.9

Note 1) ¹ Unit is in T/m²; ² Unit is in T/m³; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.11 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาเลือกประเภทของ C_u , γ_{sat} , W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _f (m)	D _{dwr} (m)	ϕ (°)	Type of Soil	C _u (T/m ²)	γ_{sat} (T/m ³)	WR (T)	h (cm)
□	30*30	12	1	0	0	Very Soft Clay	1	1.4 - 1.9	3.0	30, 50
									6.0	30, 50
						Medium Clay	4	1.5 - 2.0	3.0	30, 50
									6.0	30, 50
						Stiff Clay	8	1.6 - 2.1	3.0	30, 50
									6.0	30, 50
						Stiff Clay	12	1.7 - 2.2	3.0	30, 50
									6.0	30, 50
						Very Stiff Clay	16	1.8 - 2.3	3.0	30, 50
									6.0	30, 50

ตารางที่ ก.11.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $30 \times 30 \text{ cm}^2$, $L_p = 12 \text{ m}$, $D_f = 1 \text{ m}$; $D_{\text{GWT}} = 0$,

$$\phi = 0^\circ, C_u, \gamma_{\text{sat}}; \text{ และ } W_R = 3.0, 6.0 \text{ T, } h = 30, 50 \text{ cm}$$

ก.11.1.1 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Static Formula (FS = 2.5)

$\gamma_{\text{sat}}^2 \backslash C_u^1$	1	4	8	12	16
1.4	6.6	-	-	-	-
1.5	7.5	16.7	-	-	-
1.6	8.4	17.6	29.9	-	-
1.7	9.3	18.5	30.8	43.1	-
1.8	10.2	19.4	31.7	44.0	56.3
1.9	11.1	20.3	32.6	44.9	57.1
2.0	-	21.2	33.5	45.8	58.0
2.1	-	-	34.4	46.7	58.9
2.2	-	-	-	47.5	59.8
2.3	-	-	-	-	60.7

ก.11.1.2 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5 \backslash W_R^3$	h^4	3.0		6.0	
		30	50	30	50
3		21.0	35.0	51.1	85.2
5		15.4	25.7	37.6	62.6
7		12.2	20.3	29.7	49.5
10		9.3	15.5	22.6	37.7
15		6.6	11.1	16.2	26.9
20		5.2	8.6	12.6	20.9
25		4.2	7.0	10.3	17.1
30		3.6	6.0	8.7	14.5
35		3.1	5.2	7.5	12.6
40		2.7	4.6	6.7	11.1
45		2.4	4.1	6.0	9.9
50		2.2	3.7	5.4	9.0

Note 1) ¹ Unit is in T/m^2 ; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.12 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาสถิติของ C_u , γ_{sat} , W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _r (m)	D _{gwt} (m)	φ (°)	Type of Soil	C _u (T/m ²)	γ _{sat} (T/m ³)	WR (T)	h (cm)
□	35*35	14	1	0	0	Very Soft Clay	1	1.4 - 1.9	3.0	50, 75
									6.0	50, 75
									3.0	50, 75
						Medium Clay	4	1.5 - 2.0	3.0	50, 75
									6.0	50, 75
									3.0	50, 75
						Stiff Clay	8	1.6 - 2.1	3.0	50, 75
									6.0	50, 75
									3.0	50, 75
						Stiff Clay	12	1.7 - 2.2	3.0	50, 75
									6.0	50, 75
									3.0	50, 75
Very Stiff Clay	16	1.8 - 2.3	3.0	50, 75						
			6.0	50, 75						
			3.0	50, 75						

ตารางที่ ก.12.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 35 \times 35 \text{ cm}^2$, $L_p = 14 \text{ m}$, $D_f = 1 \text{ m}$; $D_{GWT} = 0$,

$\phi = 0^\circ$, C_u , γ_{sat} ; และ $W_R = 3.0, 6.0 \text{ T}$, $h = 50, 75 \text{ cm}$

ก.12.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 \ C_u^1	1	4	8	12	16
1.4	8.8	-	-	-	-
1.5	10.1	21.5	-	-	-
1.6	11.4	22.8	38.0	-	-
1.7	12.6	24.0	39.2	54.4	-
1.8	13.9	25.3	40.5	55.7	70.9
1.9	15.1	26.5	41.7	57.0	72.2
2.0	-	27.8	43.0	58.2	73.4
2.1	-	-	44.3	59.5	74.7
2.2	-	-	-	60.7	75.9
2.3	-	-	-	-	77.2

ก.12.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ WR^3 \ h^4	3.0		6.0	
	50	76	50	75
3	30.2	45.3	76.2	114.2
5	22.2	33.3	56.0	83.9
7	17.5	26.3	44.2	66.3
10	13.3	20.0	33.6	50.5
15	9.5	14.3	24.1	36.1
20	7.4	11.1	18.7	28.1
25	6.1	9.1	15.3	23.0
30	5.1	7.7	13.0	19.5
35	4.5	6.7	11.2	16.9
40	3.9	5.9	9.9	14.9
45	3.5	5.3	8.9	13.3
50	3.2	4.8	8.0	12.0

Note 1) ¹ Unit is in T/m^2 ; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.13 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ D_f , γ_T ; W_R ; h

Pile Properties			Soil Properties				Installation Properties			
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _f (m)	D _{dwr} (m)	Type of Soil	C (T/m ²)	ϕ (°)	γ_T (T/m ³)	W _R (T)	h (cm)
□	22*22	8	0	> L _p +D _f	Loose Sand	0	30	1.4 - 1.9	2.0	20, 25
			0.5						3.0	20, 25
			1.0						2.0	20, 25
			1.5						3.0	20, 25
			2.0						2.0	20, 25
			2.0						3.0	20, 25
			2.0						2.0	20, 25
			2.0						3.0	20, 25
			2.0						2.0	20, 25
			2.0						3.0	20, 25

ตารางที่ ก.13.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22 \times 22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}$, D_r ; $D_{GWT} > L_p + D_r$
 $C = 0 \text{ T/m}^2$, $\phi = 30^\circ$, γ_T ; และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}$, $h = 20, 25 \text{ cm}$.

ก.13.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_T^2 \ / \ D_r^1	0	0.5	1.0	1.5	2.0
1.4	6.7	7.0	7.2	7.5	7.7
1.5	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1
1.6	7.2	7.5	7.8	8.1	8.4
1.7	7.4	7.7	8.0	8.4	8.7
1.8	7.6	8.0	8.3	8.6	9.0
1.9	7.9	8.2	8.6	8.9	9.3

ก.13.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ / \ W_R^3 \ / \ h^4	2.0		3.0	
	20	25	20	25
3	10.7	13.4	17.7	22.1
4	9.1	11.3	15.0	18.7
5	7.9	9.8	13.0	16.2
6	6.9	8.7	11.5	14.3
7	6.2	7.8	10.3	12.8
8	5.6	7.0	9.3	11.6
9	5.1	6.4	8.5	10.6
10	4.7	5.9	7.8	9.8
12	4.1	5.1	6.7	8.4
14	3.6	4.5	5.9	7.4
16	3.2	4.0	5.3	6.6
18	2.9	3.6	4.8	6.0

Note 1) ¹ Unit is in m; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.14 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ D_p , γ_T ; W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _f (m)	D _{gwr} (m)	Type of Soil	C (T/m ²)	φ (°)	γ _T (T/m ³)	WR (T)	h (cm)
□	26*26	10	0	> L _p +D _f	Loose Sand	0	30	1.4 - 1.9	2.0	30.40
			0.5						3.0	30.40
			1.0						2.0	30.40
			1.0						3.0	30.40
			1.5						2.0	30.40
			1.5						3.0	30.40
			2.0						2.0	30.40
			2.0						3.0	30.40
			2.0						2.0	30.40
			2.0						3.0	30.40

ตารางที่ ก.14.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26 \times 26 \text{ cm}^2$, $L_p = 10 \text{ m}$, D_f ; $D_{GWT} > L_p + D_f$,

$C = 0 \text{ T/m}^2$, $\phi = 30^\circ$, γ_T ; และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}$, $h = 30, 40 \text{ cm}$.

ก.14.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_T^2 \ D_f^1	0	0.5	1.0	1.5	2.0
1.4	10.6	11.0	11.3	11.7	12.0
1.5	11.0	11.4	11.8	12.2	12.6
1.6	11.4	11.8	12.3	12.7	13.1
1.7	11.8	12.3	12.7	13.2	13.6
1.8	12.3	12.7	13.2	13.7	14.1
1.9	12.7	13.2	13.7	14.2	14.6

ก.14.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ W_R^3 \ h^4	2.0		3.0	
	30	40	30	40
3	14.0	18.7	23.8	31.7
4	11.9	15.8	20.1	26.9
5	10.3	13.7	17.5	23.3
6	9.1	12.1	15.4	20.6
7	8.1	10.9	13.8	18.4
8	7.4	9.8	12.5	16.7
9	6.7	9.0	11.4	15.2
10	6.2	8.3	10.5	14.0
11	5.7	7.7	9.7	13.0
12	5.3	7.1	9.1	12.1
13	5.0	6.7	8.5	11.3
14	4.7	6.3	8.0	10.6

Note 1) ¹ Unit is in m; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.15 แสดงขอบเขตติดตั้งแบริ่งที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ D_r , γ_{sat} ; W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _r (m)	D _{swr} (m)	Type of Soil	C (T/m ²)	φ (°)	γ _{sat} (T/m ³)	WR (T)	h (cm)
□	22*22	8	0	0	Loose Sand	0	30	1.5 - 2.0	2.0	20, 25
			0.5	3.0					20, 25	
			1.0	2.0					20, 25	
			1.5	3.0					20, 25	
			2.0	2.0					20, 25	
				3.0					20, 25	
				2.0					20, 25	
				3.0					20, 25	
				2.0					20, 25	
				3.0					20, 25	

ตารางที่ ก.15.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22 \times 22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}$, D_f ; $D_{GWT} = 0$,
 $C = 0 \text{ T/m}^2$, $\phi = 30^\circ$, γ_{sat} ; และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}$, $h = 20, 25 \text{ cm}$.

ก.15.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

$\gamma_{sat}^2 \backslash D_f^1$	0	0.5	1.0	1.5	2.0
1.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0
1.6	4.8	4.9	5.0	5.2	5.3
1.7	5.1	5.2	5.3	5.5	5.6
1.8	5.3	5.4	5.6	5.7	5.9
1.9	5.5	5.7	5.9	6.0	6.2
2.0	5.8	6.0	6.1	6.3	6.5

ก.15.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5 \backslash W_R^3$	h^4	2.0		3.0	
		20	25	20	25
3		10.7	13.4	17.7	22.1
4		9.1	11.3	15.0	18.7
6		6.9	8.7	11.5	14.3
8		5.6	7.0	9.3	11.6
10		4.7	5.9	7.8	9.8
12		4.1	5.1	6.7	8.4
14		3.6	4.5	5.9	7.4
16		3.2	4.0	5.3	6.6
18		2.9	3.6	4.8	6.0
20		2.6	3.3	4.3	5.4
22		2.4	3.0	4.0	5.0
24		2.2	2.8	3.7	4.6

Note 1) ¹ Unit is in m; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.16 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบบของ D_t , γ_{sat} ; W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _t (m)	D _{gwr} (m)	Type of Soil	C (T/m ²)	ϕ (°)	γ_{sat} (T/m ³)	WR (T)	h (cm)
□	26*26	10	0	0	Loose Sand	0	30	1.5 - 2.0	2.0	20, 30
			0.5						3.0	20, 30
			1.0						2.0	20, 30
			1.5						3.0	20, 30
			2.0						2.0	20, 30
			2.0						3.0	20, 30
			2.0						2.0	20, 30
			2.0						3.0	20, 30
			2.0						2.0	20, 30
			2.0						3.0	20, 30

ตารางที่ ก.16.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $26 \times 26 \text{ cm}^2$, $L_p = 10 \text{ m}$, D_f ; $D_{GWT} = 0$,
 $C = 0 \text{ T/m}^2$, $\phi = 30^\circ$, γ_{sat} ; และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}$, $h = 20, 30 \text{ cm}$.

ก.16.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 \ D_f^1	0	0.5	1.0	1.5	2.0
1.5	6.9	7.0	7.1	7.2	7.4
1.6	7.3	7.4	7.6	7.7	7.9
1.7	7.7	7.9	8.0	8.2	8.4
1.8	8.1	8.3	8.5	8.7	8.9
1.9	8.5	8.8	9.0	9.2	9.4
2.0	8.9	9.2	9.5	9.7	10.0

ก.16.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ WR^3 \ h^4	2.0		3.0	
	20	30	20	30
3	9.3	11.7	15.9	19.8
4	7.9	9.9	13.4	16.8
6	6.1	7.6	10.3	12.9
8	4.9	6.1	8.3	10.4
10	4.1	5.2	7.0	8.8
12	3.6	4.5	6.0	7.5
14	3.1	3.9	5.3	6.6
16	2.8	3.5	4.7	5.9
18	2.5	3.2	4.3	5.3
20	2.3	2.9	3.9	4.9
22	2.1	2.6	3.6	4.5
24	2.0	2.4	3.3	4.1

Note 1) ¹ Unit is in m; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.17 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ D_p , γ_{sat} ; W_{R1} h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	Size (cm ²)	L _p (m)	D _f (m)	D _{gwr} (m)	Type of Soil	C _u (T/m ²)	ϕ (°)	γ_{sat} (T/m ³)	WR (T)	h (cm)
□	22*22	8	0	0	Medium Clay	4	0	1.5 - 2.0	2.0	20, 25
			0.5	0					3.0	20, 25
									1.0	0
			1.5	0						
									2.0	0
			3.0	20, 25						

ตารางที่ ก.17.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $22 \times 22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}$, D_f ; $D_{GWT} = 0$,

$C_u = 4 \text{ T/m}^2$, $\phi = 0^\circ$, γ_{sat} ; และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}$, $h = 20, 25 \text{ cm}$.

ก.17.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 / D_f^1	0	0.5	1.0	1.5	2.0
1.5	9.1	9.5	9.8	10.1	10.3
1.6	9.5	9.9	10.2	10.5	10.8
1.7	9.8	10.2	10.6	10.9	11.2
1.8	10.2	10.6	11.0	11.4	11.7
1.9	10.5	11.0	11.4	11.8	12.1
2.0	10.8	11.3	11.8	12.2	12.6

ก.17.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ / WR^3 / h^4	2.0		3.0	
	20	25	20	25
3	10.7	13.4	17.7	22.1
4	9.1	11.3	15.0	18.7
6	6.9	8.7	11.5	14.3
8	5.6	7.0	9.3	11.6
10	4.7	5.9	7.8	9.8
11	4.4	5.5	7.2	9.0
12	4.1	5.1	6.7	8.4
13	3.8	4.8	6.3	7.9
14	3.6	4.5	5.9	7.4
15	3.4	4.2	5.6	7.0
16	3.2	4.0	5.3	6.6
17	3.0	3.8	5.0	6.3

Note 1) ¹ Unit is in m; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.18 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ D_p , γ_{sat} ; W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	Size (cm ²)	L_p (m)	D_f (m)	D_{gwr} (m)	Type of Soil	C_u (T/m ²)	ϕ (°)	γ_{sat} (T/m ³)	W_R (T)	h (cm)
□	26*26	10	0	0	Medium Clay	4	0	1.5 - 2.0	2.5	30, 40
									3.5	30, 40
			0.5						2.5	30, 40
									3.5	30, 40
			1.0						2.5	30, 40
									3.5	30, 40
									2.5	30, 40
									3.5	30, 40
									2.5	30, 40
									3.5	30, 40

ตารางที่ ก.18.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26 \times 26 \text{ cm}^2$, $L_p = 10 \text{ m}$, D_f ; $D_{GWT} = 0$,
 $C_u = 4 \text{ T/m}^2$, $\phi = 0^\circ$, γ_{sat} ; และ $W_R = 2.5, 3.5 \text{ T}$, $h = 30, 40 \text{ cm}$.

ก.18.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 \ D _f ¹	0	0.5	1.0	1.5	2.0
1.5	12.8	13.0	13.3	13.5	13.6
1.6	13.3	13.6	13.9	14.1	14.3
1.7	13.9	14.2	14.5	14.8	15.0
1.8	14.5	14.8	15.2	15.4	15.7
1.9	15.0	15.4	15.8	16.1	16.4
2.0	15.6	16.0	16.4	16.8	17.0

ก.18.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^6$ \ W_R^3 \ h^4	2.5		3.5	
	30	40	30	40
3	18.8	25.1	28.9	38.5
4	15.9	21.2	24.5	32.6
6	12.2	16.3	18.7	25.0
8	9.9	13.2	15.2	20.3
10	8.3	11.1	12.8	17.0
11	7.7	10.3	11.8	15.8
12	7.2	9.6	11.0	14.7
13	6.7	8.9	10.3	13.7
14	6.3	8.4	9.7	12.9
15	5.9	7.9	9.1	12.2
16	5.6	7.5	8.6	11.5
17	5.3	7.1	8.2	10.9

Note 1) ¹ Unit is in m; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.19 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ L_p , γ_T ; W_R , h

Pile Properties				Soil Properties					Installation Properties	
Type	D_f (m)	Size (cm ²)	L_p (m)	D_{GWT} (m)	Type of Soil	C (T/m ²)	ϕ (°)	γ_T (T/m ³)	W_R (T)	h (cm)
□	1	22*22	8	$> L_p + D_f$	Loose Sand	0	30	1.4 - 1.9	2.0	30, 40
									3.0	30, 40
			10					1.4 - 1.9	2.0	30, 40
									3.0	30, 40
			12					1.4 - 1.9	2.0	30, 40
									3.0	30, 40
			14					1.4 - 1.9	2.0	30, 40
									3.0	30, 40
			16					1.4 - 1.9	2.0	30, 40
									3.0	30, 40

ตารางที่ ก.19.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22 \times 22 \text{ cm}^2$, $D_f = 1 \text{ m}$, L_p ; $D_{GWT} > L_p + D_f$,
 $C = 0 \text{ T/m}^2$, $\phi = 30^\circ$, γ_T ; และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}$, $h = 30, 40 \text{ cm}$

ก.19.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_T^2 / L_p^1	8	10	12	14	16
1.4	7.2	8.3	9.3	10.3	11.4
1.5	7.5	8.6	9.7	10.8	11.9
1.6	7.8	9.0	10.1	11.3	12.5
1.7	8.0	9.3	10.6	11.8	13.1
1.8	8.3	9.6	11.0	12.3	13.6
1.9	8.6	10.0	11.4	12.8	14.2

ก.19.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ / W_R^3 / h^4	2.0		3.0	
	30	40	30	40
3	13.5	18.0	23.0	30.7
4	11.4	15.2	16.9	26.0
6	8.8	11.7	13.4	19.9
8	7.1	9.5	10.2	16.1
10	6.0	7.9	7.3	13.6
12	5.1	6.9	5.7	11.7
14	4.5	6.0	4.6	10.3
18	3.6	4.9	3.9	8.3
22	3.0	4.1	3.4	6.9
26	2.6	3.5	3.0	6.0
30	2.3	3.1	2.7	5.2
34	2.0	2.7	2.4	4.7

Note 1) ¹ Unit is in m; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.20.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26 \times 26 \text{ cm}^2$, $D_f = 1 \text{ m}$, $L_p ; D_{GWT} > L_p + D_f$,
 $C = 0 \text{ T/m}^2$, $\phi = 30^\circ$, γ_T ; และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}$, $h = 30, 40 \text{ cm}$

ก.20.1.1 Pile Allowable Load , $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_T^2 \ L_p^1	8	10	12	14	16
1.4	9.9	11.3	12.8	14.2	15.7
1.5	10.2	11.8	13.3	14.9	16.4
1.6	10.6	12.3	13.9	15.6	17.2
1.7	11.0	12.7	14.5	16.2	18.0
1.8	11.3	13.2	15.1	16.9	18.8
1.9	11.7	13.7	15.6	17.6	19.6

ก.20.1.2 Pile Allowable Load , $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ W_R^3 \ h^4	2.5		3.5	
	30	40	30	40
3	16.5	22.0	25.7	34.3
4	13.9	18.6	21.8	29.1
6	10.7	14.2	16.7	22.3
8	8.7	11.5	13.5	18.0
10	7.3	9.7	11.4	15.2
12	6.3	8.4	9.8	13.1
14	5.5	7.4	8.6	11.5
18	4.4	5.9	6.9	9.3
22	3.7	5.0	5.8	7.7
26	3.2	4.3	5.0	6.7
30	2.8	3.7	4.4	5.8
34	2.5	3.3	3.9	5.2

Note 1) ¹ Unit is in m ; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T ; ⁴ Unit is in cm ; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.21 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ L_p , γ_{sat} ; W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	D_r (m)	Size (cm ²)	L_p (m)	D_{DWT} (m)	Type of Soil	C (τ/m^2)	ϕ ($^\circ$)	γ_{sat} (τ/m^3)	WR (τ)	h (cm)
□	1	22*22	8	0	Loose Sand	0	30	1.5 - 2.0	2.0	30, 40
			10						4.0	30, 40
			12						2.0	30, 40
			14						4.0	30, 40
			16						2.0	30, 40
			16						4.0	30, 40
			16						2.0	30, 40
			16						4.0	30, 40
			16						2.0	30, 40
			16						4.0	30, 40

ตารางที่ ก.21.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $22 \times 22 \text{ cm}^2$, $D_r = 1 \text{ m}$, L_p ; $D_{GWR} = 0$,

$C = 0 \text{ T/m}^2$, $\phi = 30^\circ$, γ_{sat} ; และ $W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}$, $h = 30, 40 \text{ cm}$

ก.21.1.1 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 \ / L_p^1	8	10	12	14	16
1.5	4.8	5.1	5.5	5.9	6.3
1.6	5.0	5.5	5.9	6.4	6.8
1.7	5.3	5.8	6.4	6.9	7.4
1.8	5.6	6.2	6.8	7.4	8.0
1.9	5.9	6.5	7.2	7.9	8.5
2.0	6.1	6.9	7.6	8.4	9.1

ก.21.1.2 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ / h^4	2.0		3.0	
	30	40	30	40
3	13.5	18.0	23.0	30.7
4	11.4	15.2	16.9	26.0
6	8.8	11.7	13.4	19.9
8	7.1	9.5	10.2	16.1
10	6.0	7.9	7.3	13.6
12	5.1	6.9	5.7	11.7
14	4.5	6.0	4.6	10.3
18	3.6	4.9	3.9	8.3
22	3.0	4.1	3.4	6.9
26	2.6	3.5	3.0	6.0
30	2.3	3.1	2.7	5.2
34	2.0	2.7	2.4	4.7

Note 1) ¹ Unit is in m; ² Unit is in T/m³; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.22 แสดงขอบเขตตัดแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ L_p , γ_{sat} , γ_{sat} : W_R , h

Pile Properties				Soil Properties					Installation Properties	
Type	D_f (m)	Size (cm ²)	L_p (m)	D_{swr} (m)	Type of Soil	C (π/m^2)	ϕ ($^\circ$)	γ_{sat} (π/m^3)	WR (T)	h (cm)
□	1	26*26	8	0	Loose Sand	0	30	1.5 - 2.0	2.0	30, 40
			10	3.0					30, 40	
			12	2.0					30, 40	
			12	3.0					30, 40	
			14	2.0					30, 40	
			14	3.0					30, 40	
			16	2.0					30, 40	
			16	3.0					30, 40	

ตารางที่ ก.22.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 26 \times 26 \text{ cm}^2$, $D_f = 1 \text{ m}$, L_p ; $D_{GWT} = 0$,

$$C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_{\text{sat}}; \text{ และ } W_R = 2.0, 3.0 \text{ T}, h = 30, 40 \text{ cm}$$

ก.22.1.1 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 \diagdown L_p^1	8	10	12	14	16
1.5	6.6	7.1	7.6	8.1	8.7
1.6	7.0	7.6	8.2	8.8	9.4
1.7	7.3	8.0	8.8	9.5	10.2
1.8	7.7	8.5	9.3	10.2	11.0
1.9	8.1	9.0	9.9	10.8	11.8
2.0	8.4	9.5	10.5	11.5	12.6

ก.22.1.2 Pile Allowable Load, Q_a (T); From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \diagdown h^4	W_R^3 2.0		3.0	
	30	40	30	40
3	12.2	16.2	21.0	28.0
4	10.3	13.7	15.4	23.7
6	7.9	10.5	12.2	18.2
8	6.4	8.5	9.3	14.7
10	5.4	7.2	6.6	12.4
12	4.6	6.2	5.2	10.7
14	4.1	5.4	4.2	9.4
18	3.3	4.4	3.6	7.6
22	2.7	3.7	3.1	6.3
26	2.4	3.1	2.7	5.4
30	2.1	2.8	2.4	4.8
34	1.8	2.5	2.2	4.2

Note 1) ¹ Unit is in m; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

- 2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.23 แสดงสมบัติของดินแบบที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ $L_p, \gamma_{sat}, W_R, h$

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	D_f (m)	Size (cm ²)	L_p (m)	D_{swr} (m)	Type of Soil	C_u (T/m ²)	ϕ (°)	γ_{sat} (T/m ³)	W_R (T)	h (cm)
□	1	22*22	8	0	Medium Clay	4	0	1.5 - 2.0	2.5	30, 40
			10						3.5	30, 40
			12						2.5	30, 40
			14						3.5	30, 40
			16						2.5	30, 40
			16						3.5	30, 40
			16						2.5	30, 40
			16						3.5	30, 40
			16						2.5	30, 40
			16						3.5	30, 40

ตารางที่ ก.23.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $\square 22 \times 22 \text{ cm}^2$, $D_f = 1 \text{ m}$, L_p ; $D_{\text{GWT}} = 0$,
 $C_u = 4 \text{ T/m}^2$, $\phi = 0^\circ$, γ_{sat} ; และ $W_R = 2.5, 3.5 \text{ T}$, $h = 30, 40 \text{ cm}$

ก.23.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 / L_p^1	8	10	12	14	16
1.5	9.8	11.1	12.0	13.1	14.6
1.6	10.2	11.6	12.7	13.9	15.6
1.7	10.6	12.2	13.3	14.7	16.6
1.8	11.0	12.7	14.0	15.5	17.5
1.9	11.4	13.2	14.6	16.3	18.5
2.0	11.8	13.8	15.3	17.1	19.5

ก.23.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ / W_R^3 / h^4	2.5		3.5	
	30	40	30	40
3	18.1	24.2	28.0	37.4
4	15.4	20.5	20.6	31.7
6	11.8	15.7	16.3	24.2
8	9.5	12.7	12.4	19.6
10	8.0	10.7	8.9	16.5
12	6.9	9.2	6.9	14.2
14	6.1	8.1	5.6	12.5
18	4.9	6.5	4.8	10.1
22	4.1	5.5	4.1	8.4
26	3.5	4.7	3.7	7.3
30	3.1	4.1	3.3	6.4
34	2.8	3.7	3.0	5.7

Note 1) ¹ Unit is in m; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.24 แสดงข้อมูลชุดตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ L_p , γ_{sat} ; W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	D_r (m)	Size (cm ²)	L_p (m)	D_{gw} (m)	Type of Soil	C_u (π/m^2)	ϕ ($^\circ$)	γ_{sat} (π/m^3)	W_R (π)	h (cm)
□	1	26*26	8	0	Medium Clay	4	0	1.5 - 2.0	2.5	30, 40
			10							30, 40
			12							30, 40
			14							30, 40
										30, 40
			16							30, 40
										30, 40

ตารางที่ ก.24.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข $26 \times 26 \text{ cm}^2$, $D_f = 1 \text{ m}$, L_p ; $D_{GWT} = 0$,
 $C_u = 4 \text{ T/m}^2$, $\phi = 0^\circ$, γ_{sat} ; และ $W_R = 2.5, 3.5 \text{ T}$, $h = 30, 40 \text{ cm}$

ก.24.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

$\gamma_{\text{sat}}^2 \backslash L_p^1$	8	10	12	14	16
1.5	11.7	13.3	14.4	15.6	17.4
1.6	12.2	13.9	15.1	16.6	18.6
1.7	12.7	14.5	15.9	17.5	19.7
1.8	13.1	15.2	16.7	18.4	20.9
1.9	13.6	15.8	17.5	19.4	22.0
2.0	14.1	16.4	18.2	20.3	23.1

ก.24.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5 \backslash W_R^3 \backslash h^4$	2.5		3.5	
	30	40	30	40
3	16.5	22.0	25.7	34.3
4	13.9	18.6	18.9	29.1
6	10.7	14.2	14.9	22.3
8	8.7	11.5	11.4	18.0
10	7.3	9.7	8.1	15.2
12	6.3	8.4	6.3	13.1
14	5.5	7.4	5.2	11.5
18	4.4	5.9	4.4	9.3
22	3.7	5.0	3.8	7.7
26	3.2	4.3	3.4	6.7
30	2.8	3.7	3.0	5.8
34	2.5	3.3	2.7	5.2

Note 1) ¹ Unit is in m; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.25 แสดงขอบเขตดินแบบที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาขนาดกระบอก Size, γ_T ; W_P , h

Pile Properties			Soil Properties					Installation Properties		
Type	D_f (m)	L_p (m)	Size (cm ²)	D_{gw} (m)	Type of Soil	C (τ/m^2)	ϕ ($^\circ$)	γ_T (τ/m^3)	WR (τ)	h (cm)
□	1	10	18*18	$> L_p + D_f$	Loose Sand	0	30	1.4 - 1.9	2.5	30, 40
			22*22						4.5	30, 40
			26*26						2.5	30, 40
									4.5	30, 40
									2.5	30, 40
									4.5	30, 40
			30*30						2.5	30, 40
									4.5	30, 40
			35*35						2.5	30, 40
									4.5	30, 40

ตารางที่ ก.25.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข \square section, $L_p = 10$ m, $D_r = 1$ m, Size ;

$$D_{GWT} > L_p + D_r, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_T; \text{ และ } W_R = 2.5, 4.5 \text{ T, } h = 30, 40 \text{ cm}$$

ก.25.1.1 Pile Allowable Load , Q_a (T) ; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_T^2 \ Size ¹	18*18	22*22	26*26	30*30	35*35
1.4	5.6	8.3	11.3	14.8	19.6
1.5	5.9	8.8	11.8	15.4	20.4
1.6	6.1	9.0	12.3	16.0	21.2
1.7	6.4	9.3	12.7	16.6	22.0
1.8	6.6	9.6	13.2	17.2	22.8
1.9	6.8	10.0	13.7	17.8	23.6

ก.25.1.2 Pile Allowable Load , Q_a (T) ; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ WR^3	h^4	2.5		4.5	
		30	40	30	40
3		16.4	21.8	35.5	47.3
5		12.0	16.0	26.1	34.7
7		9.5	12.7	20.6	27.5
10		7.2	9.6	15.7	20.9
15		5.2	6.9	11.2	14.9
20		4.0	5.4	8.7	11.6
25		3.3	4.4	7.1	9.5
30		2.8	3.7	6.0	8.1
35		2.4	3.2	5.2	7.0
40		2.1	2.8	4.6	6.2
45		1.9	2.5	4.1	5.5
50		1.7	2.3	3.7	5.0

Note 1) ¹ Unit is in cm² ; ² Unit is in T/m³ ; ³ Unit is in T ; ⁴ Unit is in cm ; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.26 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Size, γ_T ; W_R , h

Pile Properties			Soil Properties					Installation Properties		
Type	D_r (m)	L_p (m)	Size (cm ²)	D_{GWT} (m)	Type of Soil	C (T/m ²)	ϕ (°)	γ_T (T/m ³)	W_R (T)	h (cm)
□	1	12	18*18	$> L_p + D_r$	Loose Sand	0	30	1.4 - 1.9	2.5	30, 40
									4.5	30, 40
			22*22						2.5	30, 40
									4.5	30, 40
			26*26						2.5	30, 40
									4.5	30, 40
			30*30						2.5	30, 40
									4.5	30, 40
			35*35						2.5	30, 40
									4.5	30, 40

ตารางที่ ก.26.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข \square section, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m, Size :

$$D_{GWT} > L_p + D_f, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_T; \text{ และ } W_R = 2.5, 4.5 \text{ T, } h = 30, 40 \text{ cm}$$

ก.26.1.1 Pile Allowable Load , Q_a (T) ; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_1 ² \ Size ¹	18*18	22*22	26*26	30*30	35*35
1.4	6.3	9.3	12.8	16.7	22.3
1.5	6.6	9.7	13.3	17.5	23.2
1.6	6.9	10.1	13.9	18.2	24.2
1.7	7.2	10.6	14.5	18.9	25.2
1.8	7.5	11.0	15.1	19.7	26.1
1.9	7.8	11.4	15.6	20.4	27.1

ก.26.1.2 Pile Allowable Load , Q_a (T) ; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s$ ⁵ \ W_R ³ \ h ⁴	2.5		4.5	
	30	40	30	40
3	15.3	20.5	33.6	44.8
5	11.3	15.0	24.7	33.0
7	8.9	11.9	19.5	26.0
10	6.8	9.0	14.9	19.8
15	4.8	6.5	10.6	14.2
20	3.8	5.0	8.3	11.0
25	3.1	4.1	6.8	9.0
30	2.6	3.5	5.7	7.6
35	2.3	3.0	5.0	6.6
40	2.0	2.7	4.4	5.8
45	1.8	2.4	3.9	5.2
50	1.6	2.2	3.5	4.7

Note 1) ¹ Unit is in cm^2 ; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.27 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาเลือกขนาดของ γ_{sat} ; W_R , h

Pile Properties			Soil Properties					Installation Properties		
Type	D_t (m)	L_p (m)	Size (cm ²)	D_{gwr} (m)	Type of Soil	C (T/m ²)	ϕ (°)	γ_{sat} (T/m ³)	W_R (T)	h (cm)
□	1	10	18*18	0	Loose Sand	0	30	1.5 - 2.0	2.5	30, 40
			22*22						4.5	30, 40
			26*26						2.5	30, 40
			30*30						4.5	30, 40
			35*35						2.5	30, 40
									4.5	30, 40
									2.5	30, 40
									4.5	30, 40
									2.5	30, 40
									4.5	30, 40

ตารางที่ ก.27.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข section, $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m, Size ;

$$D_{GWT} = 0, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_{sat}; \text{ และ } W_R = 2.5, 4.5 \text{ T, } h = 30, 40 \text{ cm}$$

ก.27.1.1 Pile Allowable Load , Q_a (T) ; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 \ Size ¹	18*18	22*22	26*26	30*30	35*35
1.5	3.5	5.1	7.1	9.4	12.6
1.6	3.7	5.5	7.6	10.0	13.4
1.7	4.0	5.8	8.0	10.6	14.1
1.8	4.2	6.2	8.5	11.2	14.9
1.9	4.4	6.5	9.0	11.8	15.7
2.0	4.7	6.9	9.5	12.4	16.5

ก.27.1.2 Pile Allowable Load , Q_a (T) ; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ W_R^3 \ h^4	2.5		4.5	
	30	40	30	40
3	16.4	21.8	35.5	47.3
5	12.0	16.0	26.1	34.7
7	9.5	12.7	20.6	27.5
10	7.2	9.6	15.7	20.9
15	5.2	6.9	11.2	14.9
20	4.0	5.4	8.7	11.6
25	3.3	4.4	7.1	9.5
30	2.8	3.7	6.0	8.1
35	2.4	3.2	5.2	7.0
40	2.1	2.8	4.6	6.2
45	1.9	2.5	4.1	5.5
50	1.7	2.3	3.7	5.0

Note 1) ¹ Unit is in cm^2 ; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.28 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Size, γ_{sat} ; W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	D_r (m)	L_p (m)	Size (cm ²)	D_{GWR} (m)	Type of Soil	C (T/m ²)	ϕ (°)	γ_{sat} (T/m ³)	W_R (T)	h (cm)
□	1	12	18*18	0	Loose Sand	0	30	1.5 - 2.0	2.5	30, 40
									4.5	30, 40
			22*22					1.5 - 2.0	2.5	30, 40
									4.5	30, 40
			26*26					1.5 - 2.0	2.5	30, 40
									4.5	30, 40
			30*30					1.5 - 2.0	2.5	30, 40
									4.5	30, 40
			35*35					1.5 - 2.0	2.5	30, 40
									4.5	30, 40

ตารางที่ ก.28.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข \square section, $L_p = 12$ m, $D_r = 1$ m, Size ;

$$D_{GWT} = 0, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_{sat}; \text{ และ } W_R = 2.5, 4.5 \text{ T, } h = 30, 40 \text{ cm}$$

ก.28.1.1 Pile Allowable Load , Q_a (T) ; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 \ Size ¹	18*18	22*22	26*26	30*30	35*35
1.5	3.7	5.5	7.6	10.1	13.5
1.6	4.0	5.9	8.2	10.8	14.5
1.7	4.3	6.4	8.8	11.5	15.5
1.8	4.6	6.8	9.3	12.3	16.4
1.9	4.9	7.2	9.9	13.0	17.4
2.0	5.2	7.6	10.5	13.8	18.4

ก.28.1.2 Pile Allowable Load , Q_a (T) ; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ W_R^3 \ h^4	2.5		4.5	
	30	40	30	40
3	15.3	20.5	33.6	44.8
5	11.3	15.0	24.7	33.0
7	8.9	11.9	19.5	26.0
10	6.8	9.0	14.9	19.8
15	4.8	6.5	10.6	14.2
20	3.8	5.0	8.3	11.0
25	3.1	4.1	6.8	9.0
30	2.6	3.5	5.7	7.6
35	2.3	3.0	5.0	6.6
40	2.0	2.7	4.4	5.8
45	1.8	2.4	3.9	5.2
50	1.6	2.2	3.5	4.7

Note 1) ¹ Unit is in cm^2 ; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T ; ⁴ Unit is in cm ; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.29 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาขนาดกระทง Size, γ_{sat} , W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	D_r (m)	L_p (m)	Size (cm ²)	D_{dwr} (m)	Type of Soil	C_u (T/m ²)	ϕ (°)	γ_{sat} (T/m ³)	W_R (T)	h (cm)
□	1	10	18*18	0	Medium Clay	4	0	1.5 - 2.0	2.5	30, 40
			22*22						4.5	30, 40
			26*26						2.5	30, 40
			30*30						4.5	30, 40
			35*35						2.5	30, 40
									4.5	30, 40

ตารางที่ ก.29.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข section, $L_p = 10$ m, $D_r = 1$ m, Size :

$$D_{GWT} = 0, C_u = 4 \text{ T/m}^2, \phi = 0^\circ, \gamma_{sat}; \text{ และ } W_R = 2.5, 4.5 \text{ T, } h = 30, 40 \text{ cm}$$

ก.29.1.1 Pile Allowable Load, Q_a (T) ; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 \ Size ¹	18*18	22*22	26*26	30*30	35*35
1.5	9.0	11.1	13.3	15.5	18.3
1.6	9.4	11.6	13.9	16.2	19.2
1.7	9.9	12.2	14.5	16.9	20.0
1.8	10.3	12.7	15.2	17.7	20.9
1.9	10.7	13.2	15.8	18.4	21.7
2.0	11.2	13.8	16.4	19.1	22.6

ก.29.1.2 Pile Allowable Load, Q_a (T) ; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ W_R^3 \ h^4	2.5		4.5	
	30	40	30	40
3	16.4	21.8	35.5	47.3
5	12.0	16.0	26.1	34.7
7	9.5	12.7	20.6	27.5
10	7.2	9.6	15.7	20.9
15	5.2	6.9	11.2	14.9
20	4.0	5.4	8.7	11.6
25	3.3	4.4	7.1	9.5
30	2.8	3.7	6.0	8.1
35	2.4	3.2	5.2	7.0
40	2.1	2.8	4.6	6.2
45	1.9	2.5	4.1	5.5
50	1.7	2.3	3.7	5.0

Note 1) ¹ Unit is in cm^2 ; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.30 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Size, γ_{sat} ; W_R ; h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Type	D_r (m)	L_p (m)	Size (cm ²)	D_{swr} (m)	Type of Soil	C_u (T/m ²)	ϕ (°)	γ_{sat} (T/m ³)	W_R (T)	h (cm)
□	1	12	18*18	0	Medium Clay	4	0	1.5 - 2.0	3.0	30, 40
			22*22					1.5 - 2.0	4.5	30, 40
			26*26					1.5 - 2.0	3.0	30, 40
			30*30					1.5 - 2.0	4.5	30, 40
			35*35					1.5 - 2.0	3.0	30, 40
								1.5 - 2.0	4.5	30, 40
								1.5 - 2.0	3.0	30, 40
								1.5 - 2.0	4.5	30, 40

ตารางที่ ก.30.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข section, $L_p = 12$ m, $D_f = 1$ m, Size ;

$$D_{GWT} = 0, C_u = 4 \text{ T/m}^2, \phi = 0^\circ, \gamma_{sat}; \text{ และ } W_R = 3.0, 4.5 \text{ T, } h = 30, 40 \text{ cm}$$

ก.30.1.1 Pile Allowable Load, Q_a (T) ; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^2 \ Size ¹	18*18	22*22	26*26	30*30	35*35
1.5	9.7	12.0	14.4	16.7	19.8
1.6	10.3	12.7	15.1	17.6	20.8
1.7	10.8	13.3	15.9	18.5	21.9
1.8	11.3	14.0	16.7	19.4	22.9
1.9	11.9	14.6	17.5	20.3	23.9
2.0	12.4	15.3	18.2	21.2	25.0





ก.30.1.2 Pile Allowable Load, Q_a (T) ; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ W_R^3 \ h^4	3.0		4.5	
	30	40	30	40
3	19.6	26.2	33.6	44.8
5	14.4	19.2	24.7	33.0
7	11.4	15.2	19.5	26.0
10	8.7	11.6	14.9	19.8
15	6.2	8.3	10.6	14.2
20	4.8	6.4	8.3	11.0
25	4.0	5.3	6.8	9.0
30	3.3	4.5	5.7	7.6
35	2.9	3.9	5.0	6.6
40	2.6	3.4	4.4	5.8
45	2.3	3.1	3.9	5.2
50	2.1	2.8	3.5	4.7

Note 1) ¹ Unit is in cm^2 ; ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย





ตารางที่ ก.31 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Type, γ_T ; W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Size (cm ²)	Length (m)	D _f (m)	Type	D _{swt} (m)	Type of Soil	C (T/m ²)	ϕ (°)	γ (T/m ³)	WR (T)	h (cm)
40*40	10	1		> L _p +D _f	Loose Sand	0	30	1.4 - 1.9	3.5	30, 50
									6.0	30, 50
									3.5	30, 50
									6.0	30, 50
								1.4 - 1.9	3.5	30, 50
								1.4 - 1.9	6.0	30, 50

ตารางที่ ก.31.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข Size $40 \times 40 \text{ cm}^2$, $L_p = 10 \text{ m}$, $D_f = 1 \text{ m}$, Type ;

$$D_{GWT} > L_p + D_f, C = 0 \text{ T/m}^2, \phi = 30^\circ, \gamma_T; \text{ และ } W_R = 3.5, 6.0 \text{ T}, h = 30, 50 \text{ cm}$$

ก.31.1.1 Pile Allowable Load , Q_a (T) ; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_T^1 / Type				
1.4	19.7	25.0	25.0	25.0
1.5	20.4	26.0	26.0	26.0
1.6	21.2	27.0	27.0	27.0
1.7	22.0	27.9	27.9	27.9
1.8	22.7	28.9	28.9	28.9
1.9	23.5	29.9	29.9	29.9





ก.31.1.2 Pile Allowable Load , Q_a (T) ; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ / h^4	3.5		6.0	
	30	50	30	50
3	22.9	38.1	46.6	77.6
5	16.8	28.0	34.2	57.0
7	13.3	22.1	27.0	45.1
10	10.1	16.8	20.6	34.3
15	7.2	12.0	14.7	24.5
20	5.6	9.4	11.4	19.1
25	4.6	7.7	9.4	15.6
30	3.9	6.5	7.9	13.2
35	3.4	5.6	6.9	11.5
40	3.0	5.0	6.1	10.1
45	2.7	4.4	5.4	9.0
50	2.4	4.0	4.9	8.2

Note 1) ¹ Unit is in T/m^3 ; ² Unit is in T; ³ Unit is in cm; ⁴ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

ตารางที่ ก.32 แสดงขอบเขตตัวแปรที่ใช้คำนวณค่า Pile Allowable Load and Last Ten Blows Penetration เพื่อพิจารณาเลือกประเภทของ Type, γ_{sat} ; W_R , h

Pile Properties				Soil Properties				Installation Properties		
Size (cm ²)	Length (m)	D _f (m)	Type	D _{swf} (m)	Type of Soil	C _u (T/m ²)	ϕ (°)	γ_{sat} (T/m ³)	WR (T)	h (cm)
40*40	10	1		0	Medium Clay	4	0	1.5 - 2.0	3.5	30, 50
									6.0	30, 50
									3.5	30, 50
									6.0	30, 50
								1.5 - 2.0	3.5	30, 50
								1.5 - 2.0	6.0	30, 50
								1.5 - 2.0	3.5	30, 50
								1.5 - 2.0	6.0	30, 50

ตารางที่ ก.32.1 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข Size $40 \times 40 \text{ cm}^2$, $L_p = 10 \text{ m}$, $D_1 = 1 \text{ m}$, Type ;

$$D_{GWT} = 0, C_u = 4 \text{ T/m}^2, \phi = 0^\circ, \gamma_{\text{sat}}; \text{ และ } W_R = 3.5, 6.0 \text{ T}, h = 30, 50 \text{ cm}$$

ก.32.1.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

γ_{sat}^1 / Type	○	◻	■	I
1.5	16.7	21.2	21.2	21.2
1.6	17.5	22.2	22.2	22.2
1.7	18.2	23.2	23.2	23.2
1.8	19.0	24.1	24.1	24.1
1.9	19.8	25.1	25.1	25.1
2.0	20.5	26.1	26.1	26.1

ก.32.1.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ / h^4	W_R^3		6.0	
	3.5	3.5	30	50
3	22.9	38.1	46.6	77.6
5	16.8	28.0	34.2	57.0
7	13.3	22.1	27.0	45.1
10	10.1	16.8	20.6	34.3
15	7.2	12.0	14.7	24.5
20	5.6	9.4	11.4	19.1
25	4.6	7.7	9.4	15.6
30	3.9	6.5	7.9	13.2
35	3.4	5.6	6.9	11.5
40	3.0	5.0	6.1	10.1
45	2.7	4.4	5.4	9.0
50	2.4	4.0	4.9	8.2

Note 1) ¹ Unit is in T/m^3 ; ² Unit is in T; ³ Unit is in cm; ⁴ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย

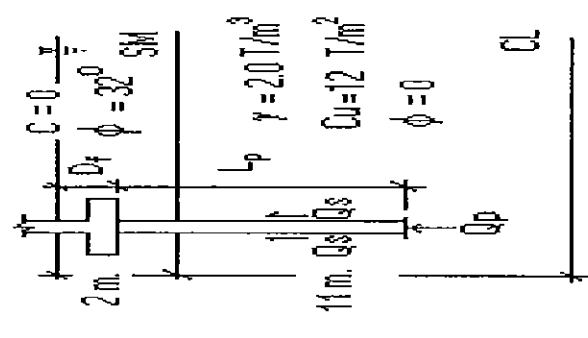


ภาคผนวก ข.

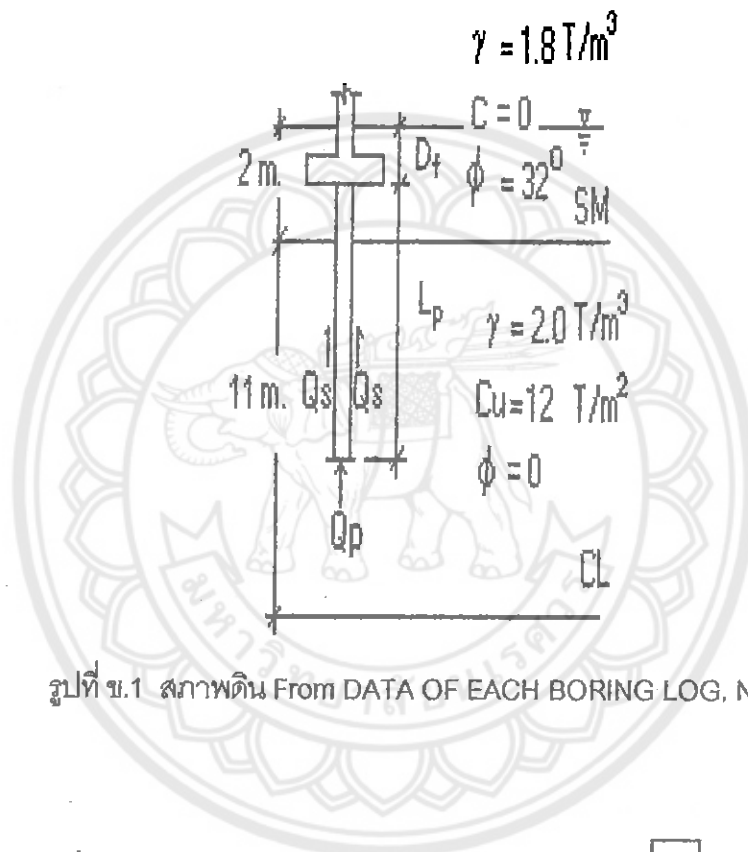
แสดงการคำนวณการรับน้ำนักบรทุกของเสาเข็ม
(สภาพดินที่สำรวจบริเวณมหาลัยนคร)

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลดินที่สำรวจบริเวณมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ (DATA OF EACH BORING LOG. NO. BH-2)

SUMMARY DATA OF EACH BORING LOG. NO. BH-2											FIGURE
DATA FROM. มหาวิทยาลัยนครสวรรค์										USCS GROUP (Average) (Average) (Average)	
DEPTH		LL	PL	γ_{sat}	SPT-N	ϕ	USCS GROUP	C_u	γ_{sat}		$D_{GWT} = 0$
FROM	TO	%	%	T/m ³	N	degree	(Average)	T/m ²	T/m ³		
0.00	2.00	-	-	1.80	15.00	32.00	SM	-	1.80		
2.00	2.50	30.00	16.00	2.10	21.00	-					
2.50	3.50	50.00	22.00	2.00	17.00	-					
3.50	5.50	31.00	16.00	2.20	21.00	-					
5.50	7.00	35.00	20.00	2.00	22.00	-					
7.00	8.50	39.00	22.00	2.00	16.00	-					
8.50	10.00	50.00	27.00	1.90	19.00	-					
10.00	11.50	36.00	26.00	2.10	26.00	-					
11.50	13.00	50.00	27.00	2.10	22.00	-					



ตัวอย่างการคำนวณ การรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย ของเสาเข็ม (Q_a)
 ในกรณีสภาพดินที่สำรวจบริเวณมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ
 (DATA OF EACH BORING LOG. NO. BH-2)



รูปที่ ข.1 สภาพดิน From DATA OF EACH BORING LOG. NO. BH-2

ข้อมูลจากตารางที่ ข.1 : จงคำนวณหา Pile Allowable Load ของ \square 22 * 22 cm², $L_p = 10$ m, $D_f = 1$ m (Use FS = 2.5)

solution Find Q_p In Sand Layer (0 – 2 m)

$$Q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q'$$

$$\text{From } \phi = 32 \text{ deg, } N_q' = 70$$

$$q' = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) \cdot (L_p + D_f) = (1.8 \text{ T/m}^3 - 1.0 \text{ T/m}^3) \cdot (2 \text{ m}) = 1.6 \text{ T/m}^2$$

$$(C = 0): Q_p = (484 \text{ cm}^2) \cdot (1.6 \text{ T/m}^2) \cdot (70) / 10000 = 5.42 \text{ T.}$$

$$Q_{\text{limit}} = A_p \cdot (50 N_q' \tan \phi) = (484 \text{ cm}^2) \cdot (50 \cdot 70 \cdot \tan 32^\circ) / (10000 \cdot 9.81) = 10.79 \text{ T}$$

$$\therefore Q_p = \underline{5.42 \text{ T.}}$$

Find Q_p in Clay Layer (2 – 11 m)

From $\phi = 0$, $N_c^* = 9$

$$Q_u = A_p^*(C N_c^* + q' N_q^*)$$

$$(\phi = 0) \quad Q_p = (484 \text{ cm}^2) * (12 \text{ T/m}^2) * (9) / 10000 = 5.23 \text{ T.}$$

$$\therefore Q_p(\text{total}) = 5.42 + 5.23 = \underline{10.65 \text{ T.}}$$

Find Q_s in Sand Layer (0 – 2 m)

$$K = 1.8(1 - \sin \phi) = 1.8(1 - \sin 32^\circ) = 0.85$$

$$\delta = 0.65\phi = 0.65(32) = 20.8^\circ$$

$$L' = 15D = 15(0.22 \text{ m}) = 3.3 \text{ m.}$$

$$\sigma'v = \gamma^* L' = 0.8 \text{ T/m}^3 * 3.3 \text{ m} = 2.64 \text{ T/m}^2$$

$$f_{av} = K^*(\sigma'v/2)^* \tan \delta = (0.85)(2.64 \text{ T/m}^2 / 2) (\tan 20.8) = 0.43 \text{ T/m}^2$$

$$Q_s = pL' f_{av} = (0.88 \text{ m})(3.3 \text{ m})(0.43 \text{ T/m}^2) = \underline{1.23 \text{ T.}}$$

Find Q_s in Clay Layer (2 – 11 m) Use λ method

$$L = L_p + D_f = 10 + 1 = 9 \text{ m.} \quad \therefore \lambda = 0.26$$

$$\sigma'v = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) * L/2 = 1.0 \text{ T/m}^3 * 8 \text{ m}/2 = 4 \text{ T/m}^2$$

$$f_{av} = \lambda^*(\sigma'v + 2C_u) = (0.26)(4 \text{ T/m}^2 + 2 * 12 \text{ T/m}^2) = 7.28 \text{ T/m}^2$$

$$Q_s = pL f_{av} = (0.88 \text{ m})(8 \text{ m})(7.28 \text{ T/m}^2) = \underline{51.25 \text{ T.}}$$

$$\therefore Q_s(\text{total}) = 1.23 + 51.25 = \underline{52.48 \text{ T.}}$$

$$Q_u = Q_p + Q_s = 10.65 \text{ T.} + 52.48 \text{ T.} = \underline{63.13 \text{ T.}}$$

$$\text{Use FS} = 2.5; Q_a = 63.13 \text{ T.} / 2.5 = \underline{25.25 \text{ T.}}$$

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ Pile Foundation ภายใต้เงื่อนไข Section, $D_f = 1 \text{ m}$; Soil Properties
 in Sand Layer $C = 0 \text{ T/m}^2$, $\phi = 32^\circ$, $\gamma_{\text{sat}} = 1.8 \text{ T/m}^3$; in Clay Layer $C_u = 12 \text{ T/m}^2$
 $\phi = 0^\circ$, $\gamma_{\text{sat}} = 1.8 \text{ T/m}^3$ และ $W_R = 3.0, 6.0 \text{ T}$, $h = 30, 50 \text{ cm}$

ข.2.1 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Static Formula (FS = 2.5)

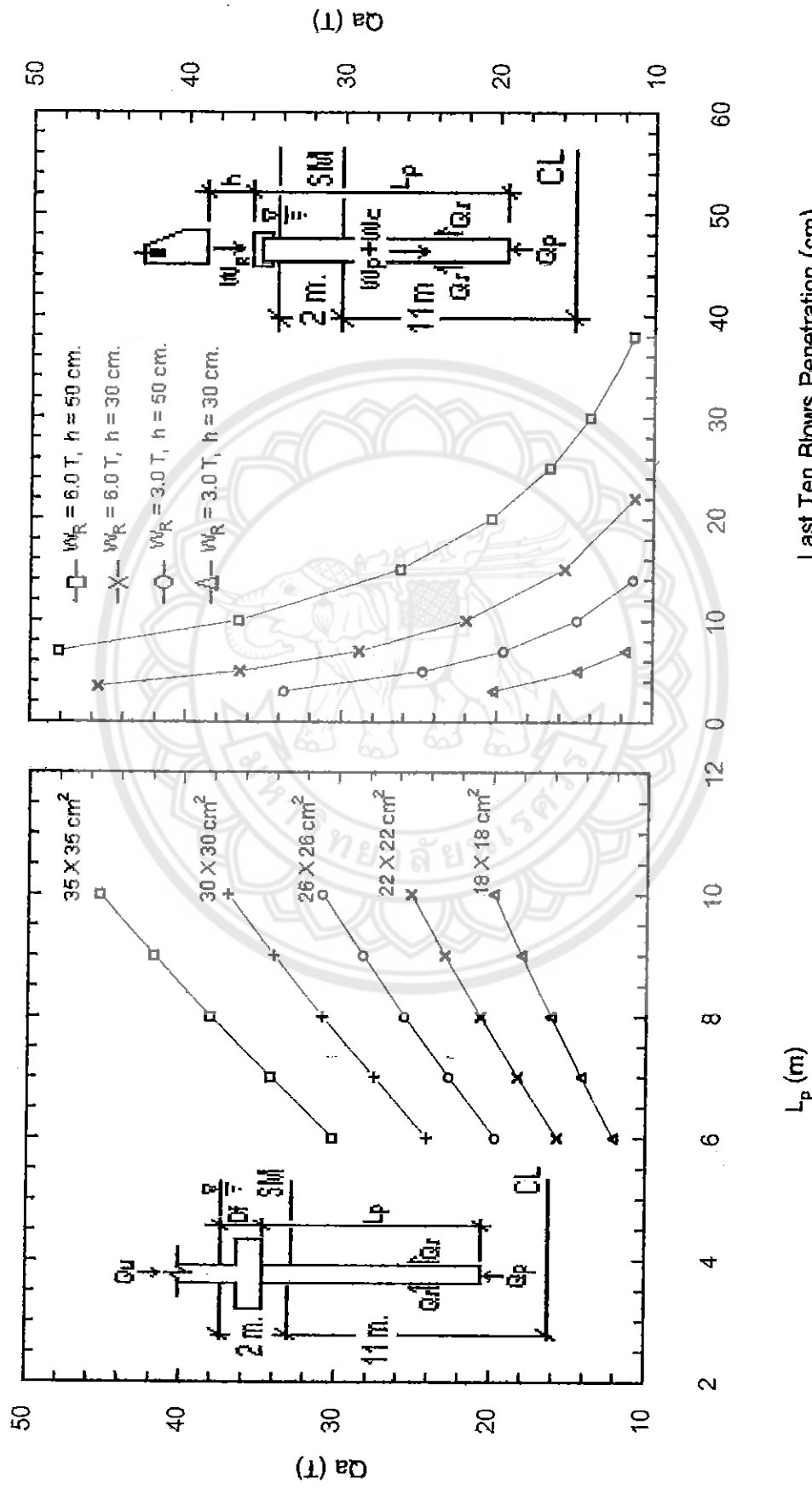
L_p^2 \ Size ¹	18*18	22*22	26*26	30*30	35*35
6	12.1	15.7	19.7	24.1	30.2
7	14.2	18.3	22.7	27.6	34.3
8	16.2	20.7	25.6	30.9	38.2
9	18.1	23.0	28.4	34.1	41.9
10	19.9	25.3	31.0	37.1	45.4

ข.2.2 Pile Allowable Load, $Q_a \text{ (T)}$; From Dynamic Formula (FS = 4)

$10s^5$ \ WR^3 \ h^4	3.0		6.0	
	30	50	30	50
3	20.2	33.7	49.7	82.9
5	14.9	24.8	36.5	60.9
7	11.7	19.6	28.9	48.1
10	8.9	14.9	22.0	36.6
15	6.4	10.6	15.7	26.2
20	5.0	8.3	12.2	20.4
25	4.1	6.8	10.0	16.7
30	3.4	5.7	8.5	14.1
35	3.0	5.0	7.3	12.2
40	2.6	4.4	6.5	10.8
45	2.4	3.9	5.8	9.7
50	2.1	3.6	5.2	8.7

Note 1) ¹ Unit is in degree ($^\circ$); ² Unit is in T/m^3 ; ³ Unit is in T; ⁴ Unit is in cm; ⁵ Unit is in cm

2) ค่า Q_a ที่แสดงในตาราง เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ดินรับได้ ซึ่งอาจมากกว่ากำลังของเสาเข็ม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณากำลังของเสาเข็มด้วย



รูปที่ ๓.๑

รูปที่ ๓.๒

Last Ten Blows Penetration (cm)

L_p (m)

ตารางที่ ๓.3 แสดงตารางคำนวณค่า Ca ในกรณีข้อมูลขาดหายไป

D (cm)	Ap (cm ²)	Lp (cm)	p	Dr (m)	Layer sand (m)	φ (°)	γ _{sat} (T/m ³)	γ _w (T/m ³)	C	Nq	q'	Qp1 (T)	Qp2 (T)	Qp (T)	Layer clay (m)	φ (°)	γ _{sat} (T/m ³)	γ _w (T/m ³)	Cu	Ne'	q'	Qp (T)	Qp clay (T)	Qp total (T)	K	δ (°)	L ₁₋₂ (m)	σ' _v (T/m ²)	σ' _v (T/m ²)	f _{cl} (T/m ²)	Qs sand (T)	λ	σ' _v (T/m ²)	f _{cl} (T/m ²)	Qs clay (T)	Qs total (T)	Qs	Qa (T)
18.00	324.00	6.00	72.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	3.83	7.22	3.83	4.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	7.28	3.50	7.13	0.85	20.80	2.70	2.16	0.95	0.67	0.30	2.00	7.80	22.48	23.14	30.27	12.11		
18.00	324.00	7.00	72.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	3.83	7.22	3.83	5.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	7.28	3.50	7.13	0.85	20.80	2.70	2.16	0.95	0.67	0.29	2.50	7.89	27.67	28.34	35.47	14.19		
18.00	324.00	8.00	72.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	3.83	7.22	3.83	6.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	7.28	3.50	7.13	0.85	20.80	2.70	2.16	0.95	0.67	0.28	3.00	7.59	32.66	33.33	40.46	16.18		
18.00	324.00	9.00	72.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	3.83	7.22	3.83	7.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	7.28	3.50	7.13	0.85	20.80	2.70	2.16	0.95	0.67	0.27	3.50	7.43	37.42	38.10	45.22	18.05		
18.00	324.00	10.00	72.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	3.83	7.22	3.83	8.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	7.28	3.50	7.13	0.85	20.80	2.70	2.16	0.95	0.67	0.26	4.00	7.28	41.93	42.61	49.74	19.85		
22.00	484.00	6.00	88.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	5.42	10.79	5.42	4.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	10.84	5.23	10.85	0.85	20.80	3.30	2.64	0.42	1.23	0.30	2.00	7.80	27.46	28.88	39.34	15.73		
22.00	484.00	7.00	88.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	5.42	10.79	5.42	5.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	10.84	5.23	10.85	0.85	20.80	3.30	2.64	0.42	1.23	0.29	2.50	7.89	33.81	35.05	45.69	16.26		
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	5.42	10.79	5.42	6.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	10.84	5.23	10.85	0.85	20.80	3.30	2.64	0.42	1.23	0.28	3.00	7.56	38.92	41.15	51.80	20.72		
22.00	484.00	9.00	88.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	5.42	10.79	5.42	7.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	10.84	5.23	10.85	0.85	20.80	3.30	2.64	0.42	1.23	0.27	3.50	7.43	45.74	46.97	57.62	23.05		
22.00	484.00	10.00	88.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	5.42	10.79	5.42	8.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	10.84	5.23	10.85	0.85	20.80	3.30	2.64	0.42	1.22	0.26	4.00	7.28	51.25	52.48	63.13	25.82		
26.00	676.00	6.00	104.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	7.57	15.07	7.57	4.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	15.14	7.30	14.87	0.85	20.80	3.90	3.12	0.50	2.03	0.30	2.00	7.80	32.45	34.48	46.95	18.74		
26.00	676.00	7.00	104.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	7.57	15.07	7.57	5.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	15.14	7.30	14.87	0.85	20.80	3.90	3.12	0.50	2.03	0.29	2.50	7.89	39.96	42.00	56.87	22.75		
26.00	676.00	8.00	104.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	7.57	15.07	7.57	6.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	15.14	7.30	14.87	0.85	20.80	3.90	3.12	0.50	2.03	0.28	3.00	7.66	47.17	49.21	64.08	25.63		
26.00	676.00	9.00	104.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	7.57	15.07	7.57	7.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	15.14	7.30	14.87	0.85	20.80	3.90	3.12	0.50	2.03	0.27	3.50	7.43	54.05	56.08	70.96	28.98		
26.00	676.00	10.00	104.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	7.57	15.07	7.57	8.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	15.14	7.30	14.87	0.85	20.80	3.90	3.12	0.50	2.03	0.26	4.00	7.28	60.57	62.80	77.48	30.65		
30.00	900.00	6.00	120.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	10.08	20.06	10.08	4.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	20.16	9.72	19.80	0.85	20.80	4.50	3.60	0.68	3.12	0.30	2.00	7.80	37.44	40.56	60.96	24.15		
30.00	900.00	7.00	120.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	10.08	20.06	10.08	5.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	20.16	9.72	19.80	0.85	20.80	4.50	3.60	0.68	3.12	0.29	2.50	7.89	46.11	49.23	69.00	27.61		
30.00	900.00	8.00	120.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	10.08	20.06	10.08	6.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	20.16	9.72	19.80	0.85	20.80	4.50	3.60	0.68	3.12	0.28	3.00	7.56	54.43	57.58	77.38	30.84		
30.00	900.00	9.00	120.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	10.08	20.06	10.08	7.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	20.16	9.72	19.80	0.85	20.80	4.50	3.60	0.68	3.12	0.27	3.50	7.43	62.37	65.49	85.29	34.12		
30.00	900.00	10.00	120.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	10.08	20.06	10.08	8.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	20.16	9.72	19.80	0.85	20.80	4.50	3.60	0.68	3.12	0.26	4.00	7.28	69.89	73.01	92.81	37.12		
35.00	1225.00	6.00	140.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	13.72	27.30	13.72	4.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	27.44	13.23	26.95	0.85	20.80	5.25	4.20	0.87	4.86	0.30	2.00	7.80	43.68	46.84	75.59	30.24		
35.00	1225.00	7.00	140.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	13.72	27.30	13.72	5.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	27.44	13.23	26.95	0.85	20.80	5.25	4.20	0.87	4.86	0.29	2.50	7.89	53.80	56.71	85.71	34.28		
35.00	1225.00	8.00	140.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	13.72	27.30	13.72	6.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	27.44	13.23	26.95	0.85	20.80	5.25	4.20	0.87	4.86	0.28	3.00	7.56	65.50	68.47	95.42	38.17		
35.00	1225.00	9.00	140.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	13.72	27.30	13.72	7.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	27.44	13.23	26.95	0.85	20.80	5.25	4.20	0.87	4.86	0.27	3.50	7.43	72.77	77.73	104.68	41.87		
35.00	1225.00	10.00	140.00	1.00	2.00	32.00	1.80	1.00	0.80	70.00	120.00	13.72	27.30	13.72	8.00	0.00	2.00	1.00	12.00	0.00	27.44	13.23	26.95	0.85	20.80	5.25	4.20	0.87	4.86	0.26	4.00	7.28	81.54	86.60	113.45	45.38		

ตารางที่ ข.4 แสดงตารางการคำนวณหาค่า Last Ten Blows Penetration ในกรณีข้อมูลจกตารางที่ ข.1

s*	10s (cm)	s (cm)	C (cm)	n	E	W _R (T)	h (cm)	L _p (m)	γ _p (T/m)	W _p (T)	Q _u (T)	Q _a (T)
	3.00	0.30	0.25	0.45	0.85	3.00	30.00	10.00	0.29	3.24	80.91	20.23
	5.00	0.50	0.25	0.45	0.85	3.00	30.00	10.00	0.29	3.24	59.45	14.86
	7.00	0.70	0.25	0.45	0.85	3.00	30.00	10.00	0.29	3.24	46.98	11.75
	10.00	1.00	0.25	0.45	0.85	3.00	30.00	10.00	0.29	3.24	35.74	8.94
	15.00	1.50	0.25	0.45	0.85	3.00	30.00	10.00	0.29	3.24	25.55	6.39
	20.00	2.00	0.25	0.45	0.85	3.00	30.00	10.00	0.29	3.24	19.89	4.97
	25.00	2.50	0.25	0.45	0.85	3.00	30.00	10.00	0.29	3.24	16.28	4.07
	30.00	3.00	0.25	0.45	0.85	3.00	30.00	10.00	0.29	3.24	13.77	3.44
	35.00	3.50	0.25	0.45	0.85	3.00	30.00	10.00	0.29	3.24	11.94	2.98
	40.00	4.00	0.25	0.45	0.85	3.00	30.00	10.00	0.29	3.24	10.54	2.63
	45.00	4.50	0.25	0.45	0.85	3.00	30.00	10.00	0.29	3.24	9.43	2.36
	50.00	5.00	0.25	0.45	0.85	3.00	30.00	10.00	0.29	3.24	8.53	2.13
	3.00	0.30	0.25	0.45	0.85	3.00	50.00	10.00	0.29	3.24	134.84	33.71
	5.00	0.50	0.25	0.45	0.85	3.00	50.00	10.00	0.29	3.24	99.08	24.77
	7.00	0.70	0.25	0.45	0.85	3.00	50.00	10.00	0.29	3.24	78.31	19.68
	10.00	1.00	0.25	0.45	0.85	3.00	50.00	10.00	0.29	3.24	59.57	14.89
	15.00	1.50	0.25	0.45	0.85	3.00	50.00	10.00	0.29	3.24	42.59	10.85
	20.00	2.00	0.25	0.45	0.85	3.00	50.00	10.00	0.29	3.24	33.14	8.29
	25.00	2.50	0.25	0.45	0.85	3.00	50.00	10.00	0.29	3.24	27.13	6.78
	30.00	3.00	0.25	0.45	0.85	3.00	50.00	10.00	0.29	3.24	22.96	5.74
	35.00	3.50	0.25	0.45	0.85	3.00	50.00	10.00	0.29	3.24	19.90	4.97
	40.00	4.00	0.25	0.45	0.85	3.00	50.00	10.00	0.29	3.24	17.55	4.39
	45.00	4.50	0.25	0.45	0.85	3.00	50.00	10.00	0.29	3.24	15.71	3.93
	50.00	5.00	0.25	0.45	0.85	3.00	50.00	10.00	0.29	3.24	14.22	3.55
	3.00	0.30	0.25	0.45	0.85	6.00	30.00	10.00	0.29	3.24	198.94	49.74
	5.00	0.50	0.25	0.45	0.85	6.00	30.00	10.00	0.29	3.24	145.17	36.54
	7.00	0.70	0.25	0.45	0.85	6.00	30.00	10.00	0.29	3.24	115.53	28.88
	10.00	1.00	0.25	0.45	0.85	6.00	30.00	10.00	0.29	3.24	87.89	21.97
	15.00	1.50	0.25	0.45	0.85	6.00	30.00	10.00	0.29	3.24	62.84	15.71
	20.00	2.00	0.25	0.45	0.85	6.00	30.00	10.00	0.29	3.24	48.90	12.22
	25.00	2.50	0.25	0.45	0.85	6.00	30.00	10.00	0.29	3.24	40.02	10.00
	30.00	3.00	0.25	0.45	0.85	6.00	30.00	10.00	0.29	3.24	33.87	8.47
	35.00	3.50	0.25	0.45	0.85	6.00	30.00	10.00	0.29	3.24	29.36	7.34
	40.00	4.00	0.25	0.45	0.85	6.00	30.00	10.00	0.29	3.24	25.91	6.48
	45.00	4.50	0.25	0.45	0.85	6.00	30.00	10.00	0.29	3.24	23.18	5.80
	50.00	5.00	0.25	0.45	0.85	6.00	30.00	10.00	0.29	3.24	20.96	5.24
	3.00	0.30	0.25	0.45	0.85	6.00	50.00	10.00	0.29	3.24	331.57	82.89
	5.00	0.50	0.25	0.45	0.85	6.00	50.00	10.00	0.29	3.24	243.62	60.91
	7.00	0.70	0.25	0.45	0.85	6.00	50.00	10.00	0.29	3.24	192.55	48.14
	10.00	1.00	0.25	0.45	0.85	6.00	50.00	10.00	0.29	3.24	145.48	35.62
	15.00	1.50	0.25	0.45	0.85	6.00	50.00	10.00	0.29	3.24	104.73	26.18
	20.00	2.00	0.25	0.45	0.85	6.00	50.00	10.00	0.29	3.24	81.50	20.37
	25.00	2.50	0.25	0.45	0.85	6.00	50.00	10.00	0.29	3.24	66.70	16.67
	30.00	3.00	0.25	0.45	0.85	6.00	50.00	10.00	0.29	3.24	55.45	14.11
	35.00	3.50	0.25	0.45	0.85	6.00	50.00	10.00	0.29	3.24	48.93	12.23
	40.00	4.00	0.25	0.45	0.85	6.00	50.00	10.00	0.29	3.24	43.18	10.80
	45.00	4.50	0.25	0.45	0.85	6.00	50.00	10.00	0.29	3.24	38.64	9.66
	50.00	5.00	0.25	0.45	0.85	6.00	50.00	10.00	0.29	3.24	34.96	8.74



ตรวจสอบความถูกต้องของสูตรและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณ

ตัวอย่างที่ ค.1 (กรณีข้อมูลจากตารางที่ ก.2) : จงคำนวณหา Pile Ultimate Load ของเสาเข็ม Precast Concrete Pile หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ขนาด $22 \times 22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}$, $D_f = 1 \text{ m}$, $C = 0$, $\phi = 32 \text{ deg}$, $\gamma_T = 1.6 \text{ T/m}^3$ and $D_{GWT} > L_p + D_f$

solution From $\phi = 32 \text{ deg}$, $Nq^* = 70$

$$Q_u = A_p \cdot (CNc^* + q'Nq^*)$$

$$q' = \gamma \cdot (L_p + D_f) = (1.6 \text{ T/m}^3) \cdot (8 \text{ m} + 1 \text{ m}) = 14.4 \text{ T/m}^2$$

(C = 0):

$$Q_p = (484 \text{ cm}^2) \cdot (14.4 \text{ T/m}^2) \cdot (70) / 10000 = 48.79 \text{ T}$$

$$Q_{limit} = A_p \cdot (50Nq^* \tan \phi) = (484 \text{ cm}^2) \cdot (50 \cdot 70 \cdot \tan 32^\circ) / (10000 \cdot 9.81) = 10.79 \text{ T}$$

\therefore

$$Q_p = 10.79 \text{ T}$$

Find Q_s

$$K = 1.8(1 - \sin \phi) = 1.8(1 - \sin 32^\circ) = 0.85$$

$$\delta = 0.65\phi = 0.65(32) = 20.8^\circ$$

$$L' = 15D = 15(0.22 \text{ m}) = 3.3 \text{ m}$$

$$L - L' = 8 + 1 - 3.3 = 5.7 \text{ m}$$

$$\sigma'_v = \gamma \cdot L' = 1.6 \text{ T/m}^3 \cdot 3.3 \text{ m} = 5.28 \text{ T/m}^2$$

$$f_{av} = K \cdot (\sigma'_v / 2) \cdot \tan \delta = (0.85)(5.28 \text{ T/m}^2 / 2) \cdot (\tan 20.8) = 0.85 \text{ T/m}^2$$

$$f_{zL'} = K \sigma'_v \cdot \tan \delta = (0.85)(5.28 \text{ T/m}^2) \cdot (\tan 20.8) = 1.70 \text{ T/m}^2$$

$$Q_s = pL' f_{av} + p(L - L') f_{zL'} = (0.88 \text{ m})(3.3 \text{ m})(0.8 \text{ T/m}^2) + (0.88 \text{ m})(5.7 \text{ m})(1.70 \text{ T/m}^2) = 10.98 \text{ T}$$

$$Q_u = Q_p + Q_s = 10.79 \text{ T} + 10.89 \text{ T} = 21.77 \text{ T}$$

Use FS = 2.5 ; $Q_a = 21.77 \text{ T} / 2.5 = 8.71 \text{ T}$

\therefore จะเห็นได้ว่าค่าที่คำนวณได้เท่ากับค่าที่คำนวณได้จากการเขียนสูตรและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณ

ตารางที่ ๑.1 แสดงตารางการคำนวณหาค่า Qa ในกรณีข้อมูลจากตารางที่ ก.2

D (cm)	Ap (cm ²)	Lp (m)	P (cm)	Df (m)	φ (°)	γ (T/m ³)	C (Fill)	Nq ^c (Fill)	Nc ^c (Fill)	q' (T/m ²)	Qp1 (T)	Qp2 (T)	Qp (Fillnet)	K	δ (°)	L=15D (m)	σ _{v,15D} (T/m ²)	f _{cm} (T/m ²)	L-L (m)	f _{cz} (T/m ²)	Qs1 (T)	Qs2 (T)	Qs(sand) (T)	Qu (T)	Qa (T)
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	28.00	1.20	0.00	40.00	80.00	11.70	20.91	5.25	5.25	0.96	18.20	3.30	3.96	0.82	5.70	1.24	1.81	6.24	8.04	13.29	5.31
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	28.00	1.30	0.00	40.00	80.00	10.80	22.85	5.25	5.25	0.96	18.20	3.30	4.29	0.67	5.70	1.35	1.96	6.76	8.71	13.96	5.68
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	28.00	1.40	0.00	40.00	80.00	12.60	24.99	5.25	5.25	0.96	18.20	3.30	4.82	0.73	5.70	1.45	2.11	7.28	9.36	14.63	5.85
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	28.00	1.50	0.00	40.00	80.00	13.50	26.14	5.25	5.25	0.96	18.20	3.30	5.25	0.79	5.70	1.55	2.26	7.80	10.05	15.30	6.12
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	28.00	1.60	0.00	40.00	80.00	14.40	27.88	5.25	5.25	0.96	18.20	3.30	5.28	0.83	5.70	1.65	2.41	8.31	10.72	15.97	6.39
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	28.00	1.70	0.00	40.00	80.00	15.30	29.62	5.25	5.25	0.96	18.20	3.30	5.61	0.88	5.70	1.76	2.56	8.83	11.39	16.64	6.66
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	32.00	1.40	0.00	70.00	120.00	12.60	42.68	10.79	10.79	0.85	20.90	3.30	4.82	0.74	5.70	1.48	2.16	7.45	9.60	20.39	8.15
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	32.00	1.50	0.00	70.00	120.00	13.50	45.74	10.79	10.79	0.85	20.90	3.30	4.95	0.80	5.70	1.59	2.31	7.96	10.29	21.06	8.43
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	32.00	1.60	0.00	70.00	120.00	14.40	48.79	10.79	10.79	0.85	20.90	3.30	5.28	0.85	5.70	1.70	2.46	8.51	10.98	21.76	8.71
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	32.00	1.70	0.00	70.00	120.00	15.30	51.84	10.79	10.79	0.85	20.90	3.30	5.61	0.90	5.70	1.80	2.62	9.04	11.66	22.45	8.98
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	32.00	1.80	0.00	70.00	120.00	16.20	54.89	10.79	10.79	0.85	20.90	3.30	5.94	0.95	5.70	1.91	2.77	9.59	12.35	23.14	9.25
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	32.00	1.90	0.00	70.00	120.00	17.10	57.93	10.79	10.79	0.85	20.90	3.30	6.27	1.01	5.70	2.02	2.93	10.11	13.03	23.82	9.53
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	35.00	1.60	0.00	120.00	180.00	14.40	63.64	20.72	20.72	0.77	22.75	3.30	5.28	0.85	5.70	1.70	2.47	8.62	10.99	31.71	12.69
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	35.00	1.70	0.00	120.00	180.00	15.30	68.86	20.72	20.72	0.77	22.75	3.30	5.61	0.90	5.70	1.81	2.62	9.06	11.68	32.40	12.96
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	35.00	1.80	0.00	120.00	180.00	16.20	74.09	20.72	20.72	0.77	22.75	3.30	5.94	0.96	5.70	1.91	2.78	9.59	12.37	33.09	13.24
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	35.00	1.90	0.00	120.00	180.00	17.10	79.32	20.72	20.72	0.77	22.75	3.30	6.27	1.01	5.70	2.02	2.93	10.12	13.05	33.78	13.51
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	35.00	2.00	0.00	120.00	180.00	18.00	84.54	20.72	20.72	0.77	22.75	3.30	6.60	1.06	5.70	2.12	3.08	10.66	13.74	34.46	13.79
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	35.00	2.10	0.00	120.00	180.00	18.90	89.77	20.72	20.72	0.77	22.75	3.30	6.93	1.12	5.70	2.23	3.24	11.19	14.43	35.15	14.06
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	38.00	1.70	0.00	220.00	260.00	15.30	162.91	42.39	42.39	0.69	24.70	3.30	5.61	0.89	5.70	1.79	2.59	8.95	11.55	53.94	21.57
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	38.00	1.80	0.00	220.00	260.00	16.20	172.50	42.39	42.39	0.69	24.70	3.30	5.94	0.95	5.70	1.89	2.74	9.48	12.23	54.62	21.85
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	38.00	1.90	0.00	220.00	260.00	17.10	182.08	42.39	42.39	0.69	24.70	3.30	6.27	1.00	5.70	2.00	2.90	10.01	12.90	55.30	22.12
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	38.00	2.00	0.00	220.00	260.00	18.00	191.66	42.39	42.39	0.69	24.70	3.30	6.60	1.05	5.70	2.10	3.05	10.53	13.58	55.97	22.39
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	38.00	2.10	0.00	220.00	260.00	18.90	201.25	42.39	42.39	0.69	24.70	3.30	6.93	1.10	5.70	2.21	3.20	11.06	14.26	56.65	22.66
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	38.00	2.20	0.00	220.00	260.00	19.80	210.83	42.39	42.39	0.69	24.70	3.30	7.26	1.16	5.70	2.31	3.35	11.59	14.94	57.33	22.93
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	40.00	1.80	0.00	350.00	380.00	16.20	274.43	72.43	72.43	0.64	26.00	3.30	5.94	0.93	5.70	1.86	2.70	9.34	12.05	64.48	33.79
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	40.00	1.90	0.00	350.00	380.00	17.10	289.67	72.43	72.43	0.64	26.00	3.30	6.27	0.98	5.70	1.97	2.86	9.86	12.72	65.15	34.06
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	40.00	2.00	0.00	350.00	380.00	18.00	304.92	72.43	72.43	0.64	26.00	3.30	6.60	1.03	5.70	2.07	3.01	10.36	13.39	65.82	34.33
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	40.00	2.10	0.00	350.00	380.00	18.90	320.17	72.43	72.43	0.64	26.00	3.30	6.93	1.09	5.70	2.17	3.16	10.90	14.06	66.49	34.59
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	40.00	2.20	0.00	350.00	380.00	19.80	335.41	72.43	72.43	0.64	26.00	3.30	7.26	1.14	5.70	2.28	3.31	11.42	14.73	67.16	34.86
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	40.00	2.30	0.00	350.00	380.00	20.70	350.66	72.43	72.43	0.64	26.00	3.30	7.59	1.19	5.70	2.39	3.46	11.94	15.40	67.83	35.13

ตัวอย่างที่ ค.2 (กรณีข้อมูลจากตารางที่ ก.6) : จงคำนวณหา Pile Ultimate Load ของเสาเข็ม Precast Concrete Pile หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ขนาด $22 \times 22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}$, $D_f = 1 \text{ m}$, $C = 0$, $\phi = 32 \text{ deg}$. $\gamma_{\text{sat}} = 1.6 \text{ T/m}^3$ and $D_{\text{GWT}} = 0$

solution From $\phi = 32 \text{ deg}$, $Nq^* = 70$

$$Q_{uL} = A_p(CN_c + q^*Nq^*)$$

$$q^* = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)(L_p + D_f) = (1.6 - 1 \text{ T/m}^3)(8 \text{ m} + 1 \text{ m}) = 5.4 \text{ T/m}^2$$

$$(C = 0): Q_p = (484 \text{ cm}^2)(5.4 \text{ T/m}^2)(70)/10000 = 18.30 \text{ T.}$$

$$Q_{\text{limit}} = A_p(50Nq^* \tan \phi) = (484 \text{ cm}^2)(50 \cdot 70 \cdot \tan 32^\circ)/(10000 \cdot 9.81) = 10.79 \text{ T}$$

$$\therefore Q_p = \underline{10.79 \text{ T.}}$$

Find Q_s $K = 1.8(1 - \sin \phi) = 1.8(1 - \sin 32^\circ) = 0.85$

$$\delta = 0.65\phi = 0.65(32) = 20.8^\circ$$

$$L' = 15D = 15(0.22 \text{ m}) = 3.3 \text{ m.}$$

$$L - L' = 8 + 1 - 3.3 = 5.7 \text{ m.}$$

$$\sigma'_v = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)L' = 0.6 \text{ T/m}^3 \cdot 3.3 \text{ m} = 1.98 \text{ T/m}^2$$

$$f_{\text{av}} = K(\sigma'_v/2) \tan \delta = (0.85)(1.98 \text{ T/m}^2/2) \tan 20.8 = 0.32 \text{ T/m}^2$$

$$f_{z>L'} = K\sigma'_v \tan \delta = (0.85)(1.98 \text{ T/m}^2) \tan 20.8 = 0.64 \text{ T/m}^2$$

$$Q_s = pL'f_{\text{av}} + p(L-L')f_{z>L'} = (0.88 \text{ m})(3.3 \text{ m})(0.32 \text{ T/m}^2) + (0.88 \text{ m})(5.7 \text{ m})(0.64 \text{ T/m}^2) = \underline{4.12 \text{ T.}}$$

$$Q_u = Q_p + Q_s = 10.79 \text{ T.} + 4.12 \text{ T.} = \underline{14.91 \text{ T.}}$$

$$\text{Use FS} = 2.5; Q_a = 14.91 \text{ T.} / 2.5 = \underline{5.96 \text{ T.}}$$

∴ จะเห็นได้ว่าค่าที่คำนวณได้เท่ากับค่าที่คำนวณได้จากการเขียนสูตรและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณ

ตารางที่ ก.2 แสดงตารางคำนวณหาค่า Qa ในกรณีข้อมูลจากตารางที่ ก.6

D (cm)	Ap (cm ²)	Lp (m)	P (cm)	Df (m)	φ (°)	γ _{sat} (T/m ³)	γ _w (T/m ³)	γ (T/m ³)	C (T/m ²)	Nq*	Nc*	q' (T/m ²)	Op1 (T)	Op2 (T)	Op (Final) (T)	K	δ (°)	L=15D (m)	σ' (T/m ²)	f _{cr} (T/m ²)	L-L' (m)	f _{cz} (T/m ²)	Os1 (T)	Os2 (T)	Os(sandf) (T)	Qu (T)	Qa (T)	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	28.00	1.40	1.00	0.40	0.00	40.00	80.00	3.60	6.97	5.25	5.25	5.25	0.95	18.20	3.30	1.32	0.21	5.70	0.41	0.60	2.08	2.68	7.93	3.17
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	28.00	1.50	1.00	0.50	0.00	40.00	80.00	4.50	8.71	5.25	5.25	5.25	0.95	18.20	3.30	1.65	0.26	5.70	0.52	0.75	2.60	3.35	8.60	3.44
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	28.00	1.60	1.00	0.60	0.00	40.00	80.00	5.40	10.45	5.25	5.25	5.25	0.95	18.20	3.30	1.98	0.31	5.70	0.62	0.90	3.12	4.02	9.27	3.71
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	28.00	1.70	1.00	0.70	0.00	40.00	80.00	6.30	12.20	5.25	5.25	5.25	0.95	18.20	3.30	2.31	0.36	5.70	0.73	1.05	3.64	4.69	9.94	3.97
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	28.00	1.80	1.00	0.80	0.00	40.00	80.00	7.20	13.94	5.25	5.25	5.25	0.95	18.20	3.30	2.64	0.41	5.70	0.83	1.20	4.16	5.36	10.61	4.24
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	32.00	1.50	1.00	0.50	0.00	70.00	120.00	4.50	15.25	10.79	10.79	10.79	0.85	20.80	3.30	2.97	0.47	5.70	0.93	1.35	4.68	6.03	11.28	4.51
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	32.00	1.60	1.00	0.60	0.00	70.00	120.00	5.40	18.30	10.79	10.79	10.79	0.85	20.80	3.30	1.89	0.53	5.70	0.83	0.77	2.66	3.43	14.22	5.69
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	32.00	1.70	1.00	0.70	0.00	70.00	120.00	6.30	21.34	10.79	10.79	10.79	0.85	20.80	3.30	2.31	0.57	5.70	0.74	0.92	3.19	4.12	14.90	5.96
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	32.00	1.80	1.00	0.80	0.00	70.00	120.00	7.20	24.39	10.79	10.79	10.79	0.85	20.80	3.30	2.64	0.62	5.70	0.74	1.08	3.72	4.80	15.59	6.24
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	32.00	1.90	1.00	0.90	0.00	70.00	120.00	8.10	27.44	10.79	10.79	10.79	0.85	20.80	3.30	2.97	0.68	5.70	0.85	1.23	4.26	5.49	16.28	6.51
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	32.00	2.00	1.00	1.00	0.00	70.00	120.00	9.00	30.49	10.79	10.79	10.79	0.85	20.80	3.30	3.30	0.74	5.70	0.95	1.39	4.79	6.17	16.96	6.78
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	35.00	1.60	1.00	0.60	0.00	120.00	180.00	5.40	31.35	20.72	20.72	20.72	0.77	22.75	3.30	1.98	0.53	5.70	0.64	0.93	2.20	4.12	24.84	9.94
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	35.00	1.70	1.00	0.70	0.00	120.00	180.00	6.30	36.59	20.72	20.72	20.72	0.77	22.75	3.30	2.31	0.57	5.70	0.74	1.08	3.73	4.81	25.53	10.21
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	35.00	1.80	1.00	0.80	0.00	120.00	180.00	7.20	41.82	20.72	20.72	20.72	0.77	22.75	3.30	2.64	0.62	5.70	0.85	1.23	4.26	5.50	26.22	10.49
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	35.00	1.90	1.00	0.90	0.00	120.00	180.00	8.10	47.04	20.72	20.72	20.72	0.77	22.75	3.30	2.97	0.68	5.70	0.95	1.39	4.80	6.18	26.91	10.76
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	35.00	2.00	1.00	1.00	0.00	120.00	180.00	9.00	52.27	20.72	20.72	20.72	0.77	22.75	3.30	3.30	0.74	5.70	1.06	1.54	5.33	6.87	27.59	11.04
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	38.00	1.70	1.00	0.70	0.00	220.00	260.00	6.30	57.08	20.72	20.72	20.72	0.77	22.75	3.30	3.63	0.68	5.70	1.17	1.70	5.86	7.56	28.28	11.31
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	38.00	1.80	1.00	0.80	0.00	220.00	260.00	7.20	66.87	20.72	20.72	20.72	0.69	24.70	3.30	2.31	0.37	5.70	0.74	1.07	3.69	4.75	47.14	16.66
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	38.00	1.90	1.00	0.90	0.00	220.00	260.00	8.10	85.25	20.72	20.72	20.72	0.69	24.70	3.30	2.64	0.42	5.70	0.84	1.22	4.21	5.43	47.82	19.13
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	38.00	2.00	1.00	1.00	0.00	220.00	260.00	9.00	95.03	20.72	20.72	20.72	0.68	24.70	3.30	2.97	0.47	5.70	0.95	1.37	4.74	6.11	48.50	19.40
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	38.00	2.10	1.00	1.10	0.00	220.00	260.00	9.90	105.42	20.72	20.72	20.72	0.68	24.70	3.30	3.30	0.53	5.70	1.05	1.52	5.27	6.79	49.18	19.67
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	40.00	1.80	1.00	0.80	0.00	350.00	380.00	7.20	121.97	20.72	20.72	20.72	0.69	24.70	3.30	3.63	0.58	5.70	1.16	1.68	5.79	7.47	49.86	19.94
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	40.00	1.90	1.00	0.90	0.00	350.00	380.00	8.10	137.21	20.72	20.72	20.72	0.64	26.00	3.30	2.64	0.41	5.70	0.83	1.20	4.15	5.96	77.78	31.11
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	40.00	2.00	1.00	1.00	0.00	350.00	380.00	9.00	152.46	20.72	20.72	20.72	0.64	26.00	3.30	2.97	0.47	5.70	0.93	1.35	4.67	6.02	78.45	31.38
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	40.00	2.10	1.00	1.10	0.00	350.00	380.00	9.90	167.71	20.72	20.72	20.72	0.64	26.00	3.30	3.30	0.52	5.70	1.03	1.50	5.19	6.89	79.12	31.65
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	40.00	2.20	1.00	1.20	0.00	350.00	380.00	10.80	182.95	20.72	20.72	20.72	0.64	26.00	3.30	3.63	0.57	5.70	1.14	1.65	5.71	7.36	79.79	31.92
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	40.00	2.30	1.00	1.30	0.00	350.00	380.00	11.70	198.20	20.72	20.72	20.72	0.64	26.00	3.30	3.96	0.62	5.70	1.24	1.80	6.23	8.03	80.46	32.18
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	40.00	2.30	1.00	1.30	0.00	350.00	380.00	11.70	198.20	20.72	20.72	20.72	0.64	26.00	3.30	4.29	0.67	5.70	1.35	1.95	6.75	8.70	81.13	32.45

ตัวอย่างที่ ค.3 (กรณีข้อมูลจากตารางที่ ก.9) : จงคำนวณหา Pile Ultimate Load ของเสาเข็ม Precast Concrete Pile หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ขนาด $22 * 22 \text{ cm}^2$, $L_p = 8 \text{ m}$; $D_f = 1 \text{ m}$, $C_u = 4 \text{ T/m}^2$, $\phi = 0$. $\gamma_{\text{sat}} = 1.6 \text{ T/m}^3$ and $D_{\text{GWT}} = 0$

solution From $\phi = 0$, $N_c^* = 9$

$$Q_u = A_p^*(C N_c^* + q^* N_q^*)$$

$$(\phi = 0) \quad Q_p = (484 \text{ cm}^2) * (4 \text{ T/m}^2) * (9) / 10000 = 1.74 \text{ T.}$$

$$\therefore Q_p = \underline{1.74 \text{ T.}}$$

Find Q_s Use λ method

$$L = L_p + D_f = 8 + 1 = 9 \text{ m.} \quad \therefore \lambda = 0.28$$

$$\sigma'_v = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) * L / 2 = 0.6 \text{ T/m}^3 * 9 \text{ m} / 2 = 2.70 \text{ T/m}^2$$

$$f_{av} = \lambda * (\sigma'_v + 2C_u) = (0.28)(2.70 \text{ T/m}^2 + 2 * 4 \text{ T/m}^2) = 3 \text{ T/m}^2$$

$$Q_s = p L f_{av} = (0.88 \text{ m})(9 \text{ m})(3 \text{ T/m}^2) = \underline{23.76 \text{ T.}}$$

$$Q_u = Q_p + Q_s = 1.74 \text{ T.} + 23.76 \text{ T.} = \underline{25.5 \text{ T.}}$$

$$\text{Use FS} = 2.5 ; Q_a = 25.5 \text{ T.} / 2.5 = \underline{10.20 \text{ T.}}$$

\therefore จะเห็นได้ว่าค่าที่คำนวณได้เท่ากับค่าที่คำนวณได้จากการเขียนสูตรและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณ

ตารางที่ ค.3 แสดงตารางการคำนวณหาค่า Qa ในกรณีที่มีผลจากตารางที่ ก.9

D (cm)	Ap (cm ²)	Lp (m)	p (cm)	Df (m)	φ (°)	γ _{sat} (T/m ³)	γ _w (T/m ³)	γ (T/m ³)	Cu (T/m ²)	Nq*	Nc*	q' (T/m ²)	Qp (T)	λ	σ _v (T/m ²)	f _{av} (T/m ²)	Qs(clay) (T)	Qu (T)	Qa (T)	
Fill	#VALUE!	Fill	#VALUE!	Fill	Fill	Fill	Fill	#VALUE!	Fill	Fill	Fill	#VALUE!	#VALUE!	Fill	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.40	1.00	0.40	1.00	0.00	9.00	3.60	0.44	0.20	1.80	1.06	8.43	8.88	3.54	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.50	1.00	0.50	1.00	0.00	9.00	4.50	0.44	0.28	2.25	1.19	9.42	9.86	3.94	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.60	1.00	0.60	1.00	0.00	9.00	5.40	0.44	0.28	2.70	1.32	10.42	10.86	4.34	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.70	1.00	0.70	1.00	0.00	9.00	6.30	0.44	0.28	3.15	1.44	11.42	11.86	4.74	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.80	1.00	0.80	1.00	0.00	9.00	7.20	0.44	0.28	3.60	1.57	12.42	12.85	5.14	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.90	1.00	0.90	1.00	0.00	9.00	8.10	0.44	0.28	4.05	1.69	13.42	13.85	5.54	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.50	1.00	0.50	4.00	0.00	9.00	4.50	1.74	0.28	2.25	2.87	22.73	24.47	9.79	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.60	1.00	0.60	4.00	0.00	9.00	5.40	1.74	0.28	2.70	3.00	23.73	25.47	10.19	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.70	1.00	0.70	4.00	0.00	9.00	6.30	1.74	0.28	3.15	3.12	24.73	26.47	10.59	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.80	1.00	0.80	4.00	0.00	9.00	7.20	1.74	0.28	3.60	3.25	25.72	27.47	10.99	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.90	1.00	0.90	4.00	0.00	9.00	8.10	1.74	0.28	4.05	3.37	26.72	28.46	11.39	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	2.00	1.00	1.00	4.00	0.00	9.00	9.00	1.74	0.28	4.50	3.50	27.72	29.46	11.78	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.60	1.00	0.60	8.00	0.00	9.00	5.40	3.48	0.28	2.70	5.24	41.47	44.95	17.98	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.70	1.00	0.70	8.00	0.00	9.00	6.30	3.48	0.28	3.15	5.36	42.47	45.95	18.38	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.80	1.00	0.80	8.00	0.00	9.00	7.20	3.48	0.28	3.60	5.49	43.46	46.95	18.78	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.90	1.00	0.90	8.00	0.00	9.00	8.10	3.48	0.28	4.05	5.61	44.46	47.95	19.18	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	2.00	1.00	1.00	8.00	0.00	9.00	9.00	3.48	0.28	4.50	5.74	45.46	48.95	19.58	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	2.10	1.00	1.10	8.00	0.00	9.00	9.90	3.48	0.28	4.95	5.87	46.46	49.94	19.98	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.70	1.00	0.70	12.00	0.00	9.00	6.30	5.23	0.28	3.15	7.50	60.21	65.44	26.17	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.80	1.00	0.80	12.00	0.00	9.00	7.20	5.23	0.28	3.60	7.73	61.21	66.43	26.57	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.90	1.00	0.90	12.00	0.00	9.00	8.10	5.23	0.28	4.05	7.85	62.20	67.43	26.97	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	2.00	1.00	1.00	12.00	0.00	9.00	9.00	5.23	0.28	4.50	7.98	63.20	68.43	27.37	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	2.10	1.00	1.10	12.00	0.00	9.00	9.90	5.23	0.28	4.95	8.11	64.20	69.43	27.77	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	2.20	1.00	1.20	12.00	0.00	9.00	10.80	5.23	0.28	5.40	8.23	65.20	70.42	28.17	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.90	1.00	0.90	16.00	0.00	9.00	7.20	6.97	0.28	3.60	9.97	78.95	85.92	34.37	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	1.90	1.00	0.90	16.00	0.00	9.00	8.10	6.97	0.28	4.05	10.09	79.94	86.91	34.77	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	2.00	1.00	1.00	16.00	0.00	9.00	9.00	6.97	0.28	4.50	10.22	80.94	87.91	35.16	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	2.10	1.00	1.10	16.00	0.00	9.00	9.90	6.97	0.28	4.95	10.35	81.94	88.91	35.56	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	2.20	1.00	1.20	16.00	0.00	9.00	10.80	6.97	0.28	5.40	10.47	82.94	89.91	35.96	
22.00	484.00	8.00	88.00	1.00	0.00	2.30	1.00	1.30	16.00	0.00	9.00	11.70	6.97	0.28	5.85	10.60	83.94	90.91	36.36	

ตรวจสอบ Last Ten Blows Penetration

ตัวอย่างที่ ค.4 (กรณีข้อมูลจากตารางที่ ก.2)

จากสูตร Modified ENR Formula (สมการที่ 8.101 หน้า 542)

$$Q_u = \frac{E W_R h + W_R + n^2 W_p}{s + C + W_R + W_p}$$

เมื่อใช้ตัวอย่างจากข้อมูลจากตารางที่ ก.2 ตัวแปร คือ

$$W_R = 2.5 \text{ T.} \quad h = 30 \text{ cm.}$$

$$\text{Required } 10s = 5 \text{ cm.}$$

$$\text{Find } Q_a \text{ (FS, = 4)}$$

$$\text{Use } C = 0.254 \text{ cm.}$$

$$n = 0.45$$

$$E = 0.85$$

$$\text{Find } W_p = (\gamma_p \cdot L_p) + W_{CA}$$

$$\text{When } \gamma_p = 0.116 \text{ T/m}$$

$$W_{CA} = 0.3 \text{ T}$$

$$\therefore W_p = (0.116 \text{ T/m} \cdot 8 \text{ m}) + 0.3 \text{ T} = 1.228 \text{ T}$$

$$Q_u = \left[\frac{0.85 \cdot (2.5 \text{ T}) \cdot (30 \text{ cm})}{(0.5 + 0.254 \text{ cm})} \right] \left[\frac{(2.5 \text{ T}) + (0.45^2)(1.228 \text{ T})}{(2.5 \text{ T} + 1.228 \text{ T})} \right]$$

$$= 62.34 \text{ T.}$$

$$Q_a = 62.34 / 4 = 15.58 \text{ T.}$$

Check : ผลการตรวจสอบปรากฏว่าได้ผลตรงกับที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงสรุปได้ว่าเชื่อถือได้และถูกต้อง

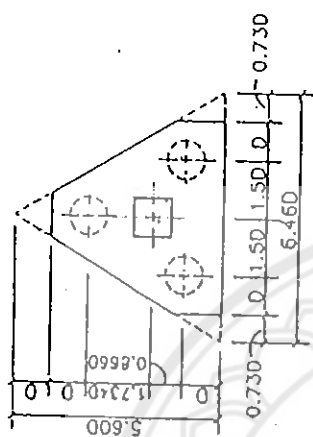
ตารางที่ ค.4 แสดงตารางการคำนวณหาค่า Last Ten Blows Penetration ในกรณีข้อมูลจากตารางที่ ก.2

10s (cm)	s (cm)	C (cm)	n	E	WR (T)	h (cm)	Lp (m)	γp (T/m)	Wp (T)	Qu (T)	Qa (T)
3.00	0.30	0.25	0.45	0.85	2.50	30.00	8.00	0.12	1.23	84.84	21.21
5.00	0.50	0.25	0.45	0.85	2.50	30.00	8.00	0.12	1.23	62.34	15.58
7.00	0.70	0.25	0.45	0.85	2.50	30.00	8.00	0.12	1.23	49.27	12.32
10.00	1.00	0.25	0.45	0.85	2.50	30.00	8.00	0.12	1.23	37.48	9.37
15.00	1.50	0.25	0.45	0.85	2.50	30.00	8.00	0.12	1.23	26.80	6.70
20.00	2.00	0.25	0.45	0.85	2.50	30.00	8.00	0.12	1.23	20.65	5.21
25.00	2.50	0.25	0.45	0.85	2.50	30.00	8.00	0.12	1.23	17.07	4.27
30.00	3.00	0.25	0.45	0.85	2.60	30.00	8.00	0.12	1.23	14.44	3.61
35.00	3.50	0.25	0.45	0.85	2.50	30.00	8.00	0.12	1.23	12.52	3.13
40.00	4.00	0.25	0.45	0.85	2.50	30.00	8.00	0.12	1.23	11.05	2.76
45.00	4.50	0.25	0.45	0.85	2.50	30.00	8.00	0.12	1.23	9.69	2.47
50.00	5.00	0.25	0.45	0.85	2.50	30.00	8.00	0.12	1.23	8.95	2.24
3.00	0.30	0.25	0.45	0.85	2.50	40.00	8.00	0.12	1.23	113.12	28.28
5.00	0.50	0.25	0.45	0.85	2.50	40.00	8.00	0.12	1.23	83.12	20.78
7.00	0.70	0.25	0.45	0.85	2.50	40.00	8.00	0.12	1.23	65.69	16.42
10.00	1.00	0.25	0.45	0.85	2.50	40.00	8.00	0.12	1.23	49.98	12.49
15.00	1.50	0.25	0.45	0.85	2.50	40.00	8.00	0.12	1.23	35.73	8.93
20.00	2.00	0.25	0.45	0.85	2.50	40.00	8.00	0.12	1.23	27.80	6.95
25.00	2.50	0.25	0.45	0.85	2.50	40.00	8.00	0.12	1.23	22.76	5.69
30.00	3.00	0.25	0.45	0.85	2.50	40.00	8.00	0.12	1.23	19.26	4.81
35.00	3.50	0.25	0.45	0.85	2.50	40.00	8.00	0.12	1.23	16.69	4.17
40.00	4.00	0.25	0.45	0.85	2.50	40.00	8.00	0.12	1.23	14.73	3.68
45.00	4.50	0.25	0.45	0.85	2.50	40.00	8.00	0.12	1.23	13.18	3.30
50.00	5.00	0.25	0.45	0.85	2.50	40.00	8.00	0.12	1.23	11.93	2.95
4.00	0.40	0.25	0.45	0.85	4.50	30.00	8.00	0.12	1.23	145.46	36.37
5.00	0.50	0.25	0.45	0.85	4.50	30.00	8.00	0.12	1.23	126.17	31.54
7.00	0.70	0.25	0.45	0.85	4.50	30.00	8.00	0.12	1.23	99.72	24.93
10.00	1.00	0.25	0.45	0.85	4.50	30.00	8.00	0.12	1.23	75.86	18.97
15.00	1.50	0.25	0.45	0.85	4.50	30.00	8.00	0.12	1.23	54.24	13.55
20.00	2.00	0.25	0.45	0.85	4.50	30.00	8.00	0.12	1.23	42.21	10.65
25.00	2.50	0.25	0.45	0.85	4.50	30.00	8.00	0.12	1.23	34.54	8.64
30.00	3.00	0.25	0.45	0.85	4.50	30.00	8.00	0.12	1.23	29.24	7.31
35.00	3.50	0.25	0.45	0.85	4.50	30.00	8.00	0.12	1.23	25.34	6.34
40.00	4.00	0.25	0.45	0.85	4.50	30.00	8.00	0.12	1.23	22.36	5.59
45.00	4.50	0.25	0.45	0.85	4.50	30.00	8.00	0.12	1.23	20.01	5.00
50.00	5.00	0.25	0.45	0.85	4.50	30.00	8.00	0.12	1.23	18.11	4.53
3.00	0.30	0.25	0.45	0.85	4.50	40.00	8.00	0.12	1.23	228.96	57.24
5.00	0.50	0.25	0.45	0.85	4.50	40.00	8.00	0.12	1.23	168.22	42.06
7.00	0.70	0.25	0.45	0.85	4.50	40.00	8.00	0.12	1.23	132.96	33.24
10.00	1.00	0.25	0.45	0.85	4.50	40.00	8.00	0.12	1.23	101.15	25.29
15.00	1.50	0.25	0.45	0.85	4.50	40.00	8.00	0.12	1.23	72.32	18.06
20.00	2.00	0.25	0.45	0.85	4.50	40.00	8.00	0.12	1.23	56.27	14.07
25.00	2.50	0.25	0.45	0.85	4.50	40.00	8.00	0.12	1.23	46.06	11.51
30.00	3.00	0.25	0.45	0.85	4.50	40.00	8.00	0.12	1.23	38.98	9.75
35.00	3.50	0.25	0.45	0.85	4.50	40.00	8.00	0.12	1.23	33.79	8.45
40.00	4.00	0.25	0.45	0.85	4.50	40.00	8.00	0.12	1.23	29.82	7.45
45.00	4.50	0.25	0.45	0.85	4.50	40.00	8.00	0.12	1.23	26.68	6.67
50.00	5.00	0.25	0.45	0.85	4.50	40.00	8.00	0.12	1.23	24.14	6.04

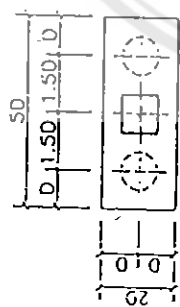


ภาคผนวก ง.

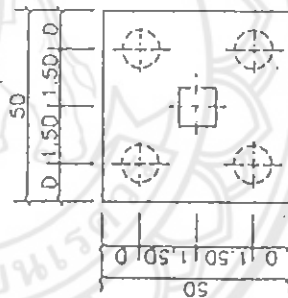
รูปแสดงระยะจัดเรียงของเสาเข็มกลุ่ม และ
ตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กฐานราก



เสาเข็ม 3 ตัน

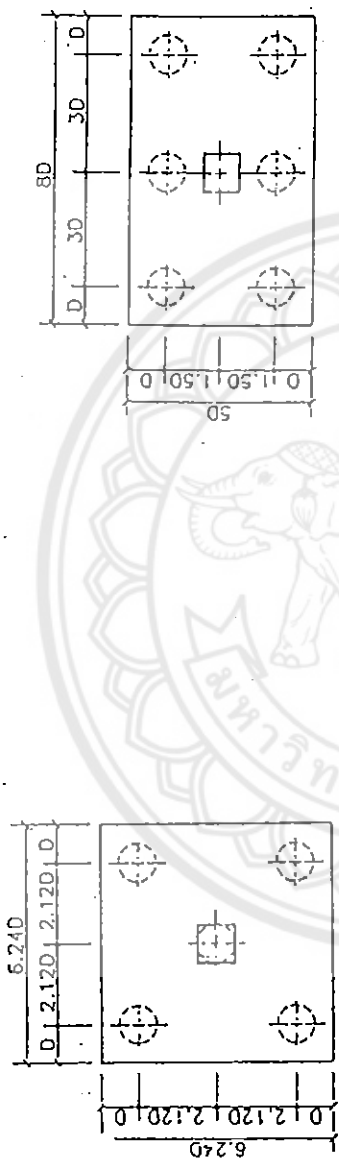


เสาเข็ม 2 ตัน

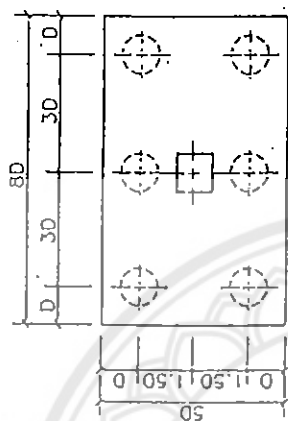


เสาเข็ม 4 ตัน

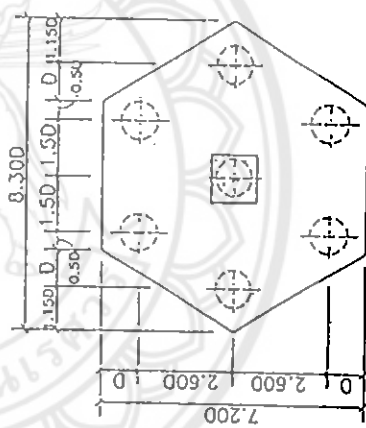
รูปที่ ง.1 แสดงระยะจัดเรียงของเสาเข็มกลุ่มที่ทำให้ประสิทธิภาพเท่ากับ 1



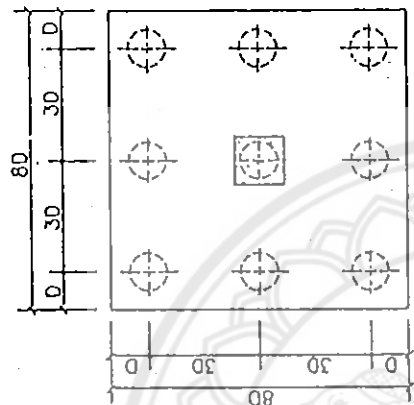
เสาเข็ม 5 ต้น



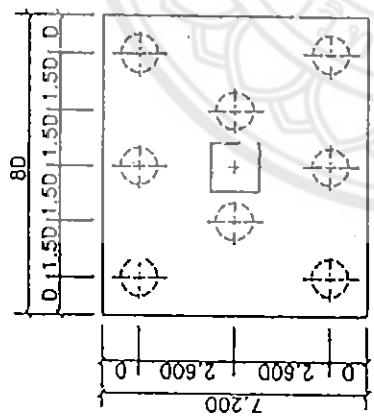
เสาเข็ม 6 ต้น



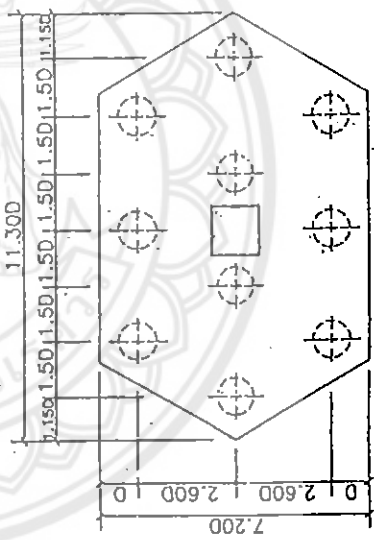
เสาเข็ม 7 ต้น



เสาเข็ม 9 ต้น

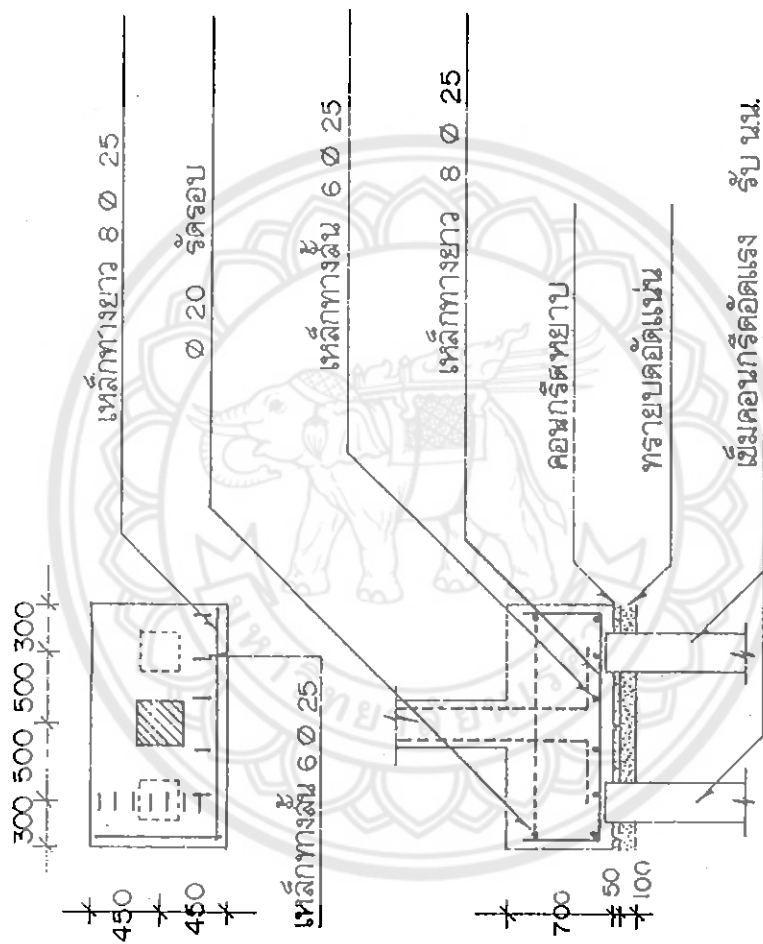


เสาเข็ม 8 ต้น

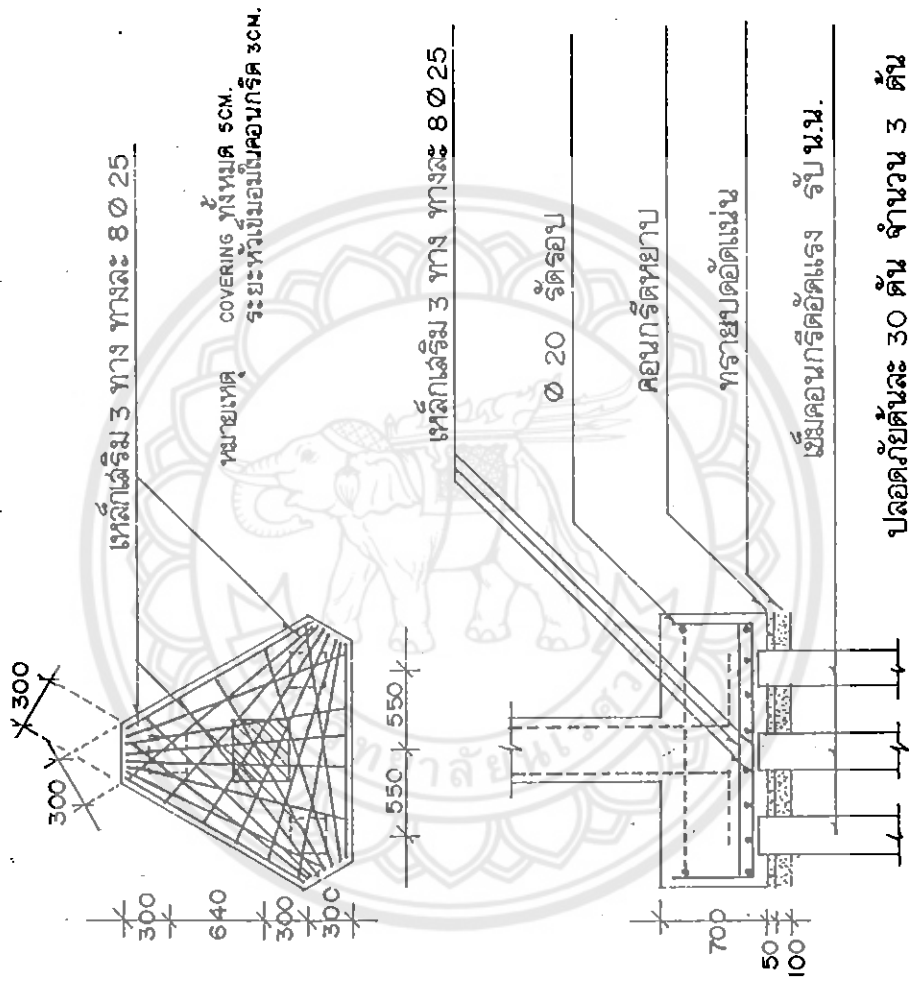


เสาเข็ม 10 ต้น

รูปที่ ง.1 (ต่อ) แสดงระยะจัดเรียงของเสาเข็มกลุ่มที่ ให้ประสิทธิภาพเท่ากับ 1

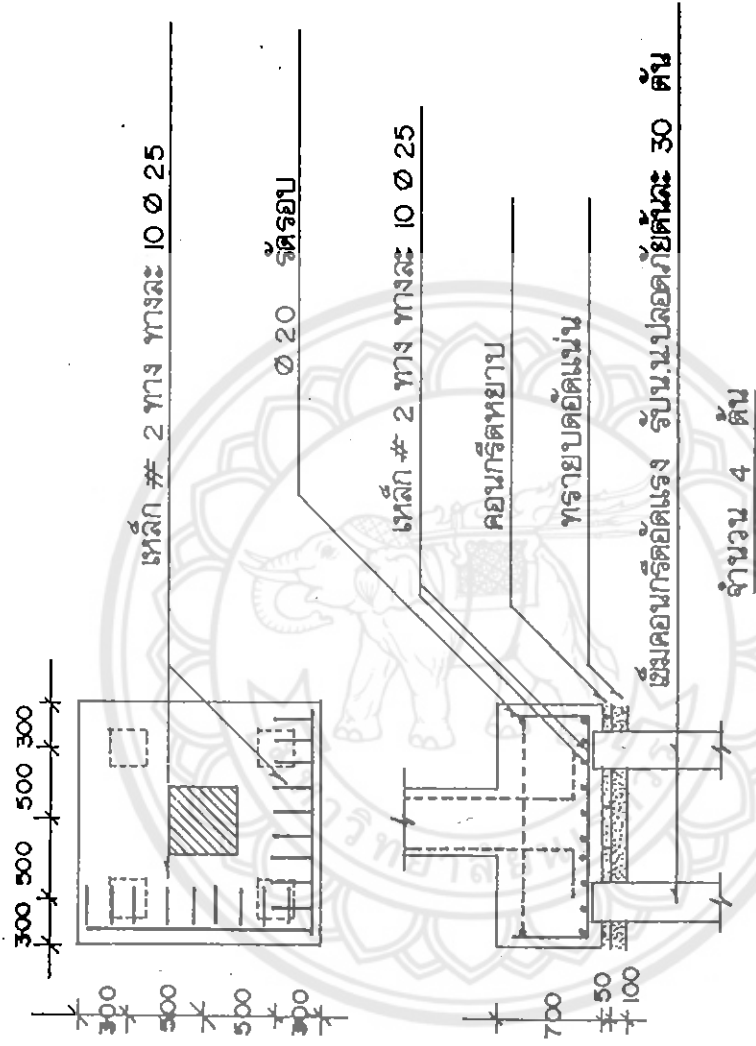


รูปที่ ง.2 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 2 ต้น

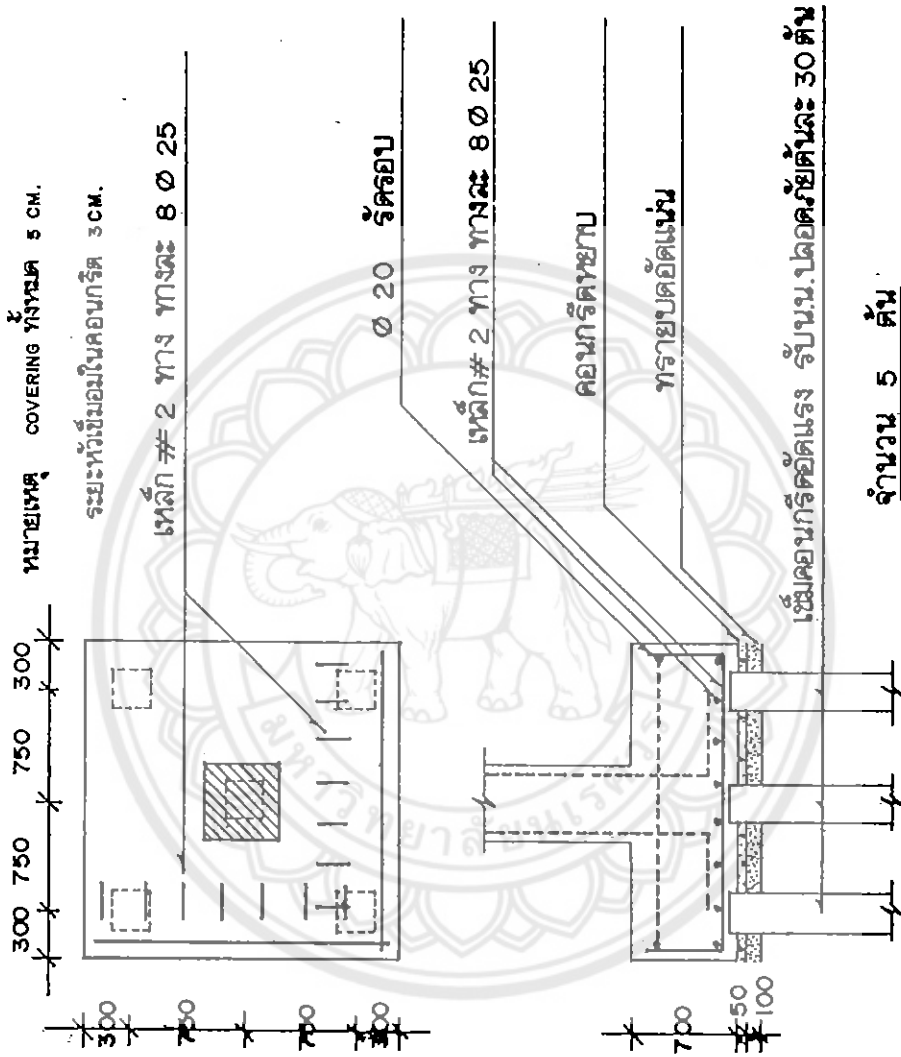


ปลอกกัณฑ์ 30 ซม. จำนวน 3 ชั้น

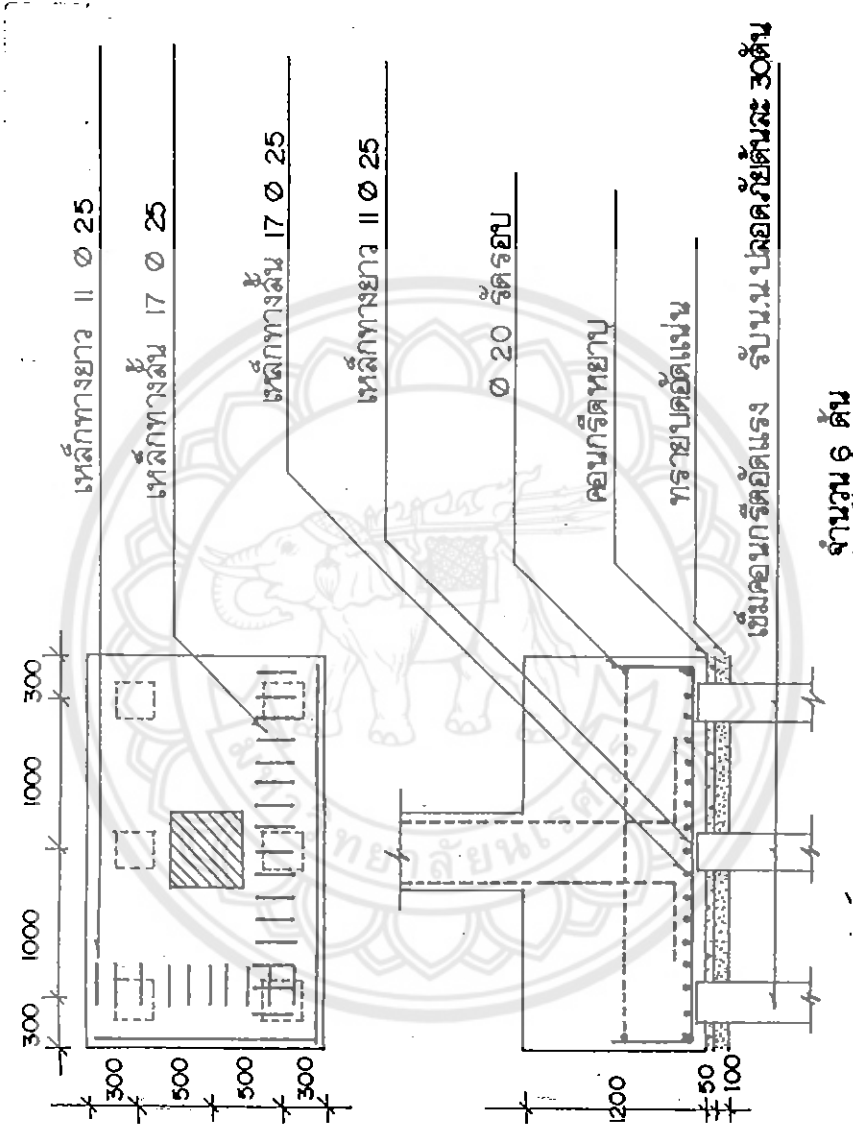
รูปที่ ง.3 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 3 ชั้น



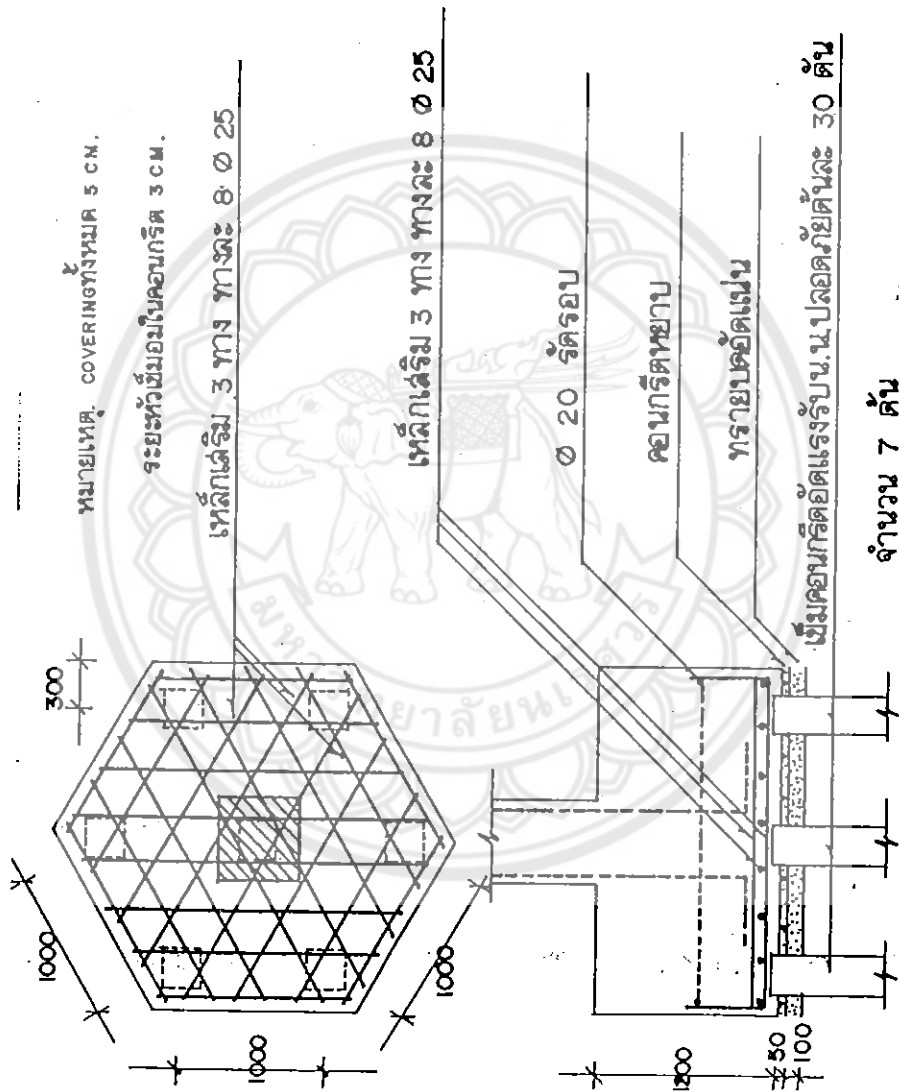
รูปที่ ๖.4 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 4 ต้น



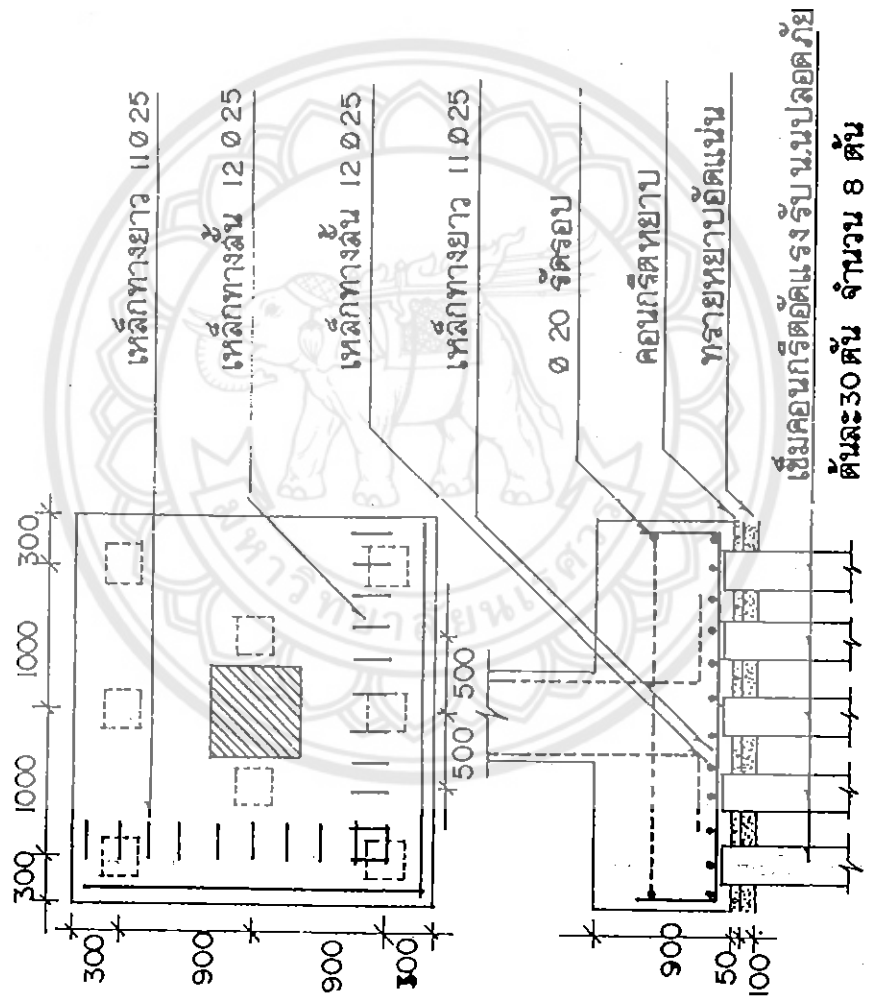
รูปที่ ง.5 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 5 ต้น



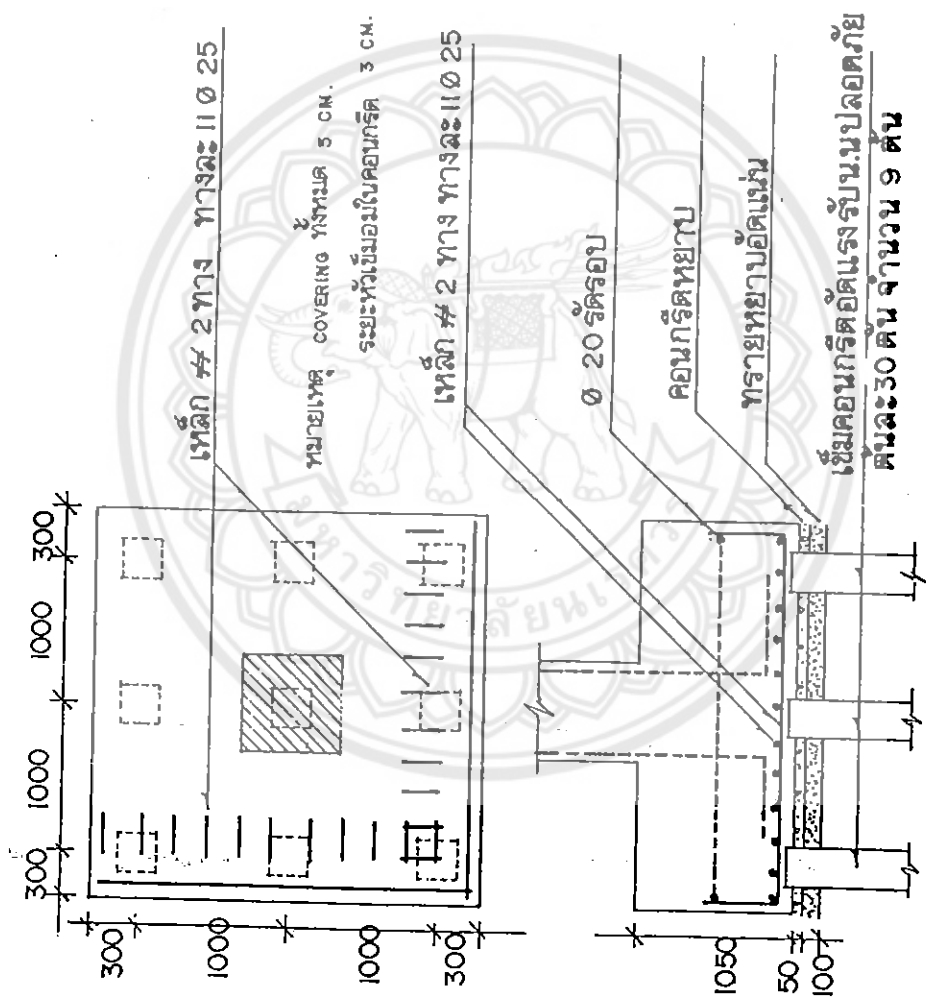
รูปที่ ง.๑ แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม ๑ ๑๑



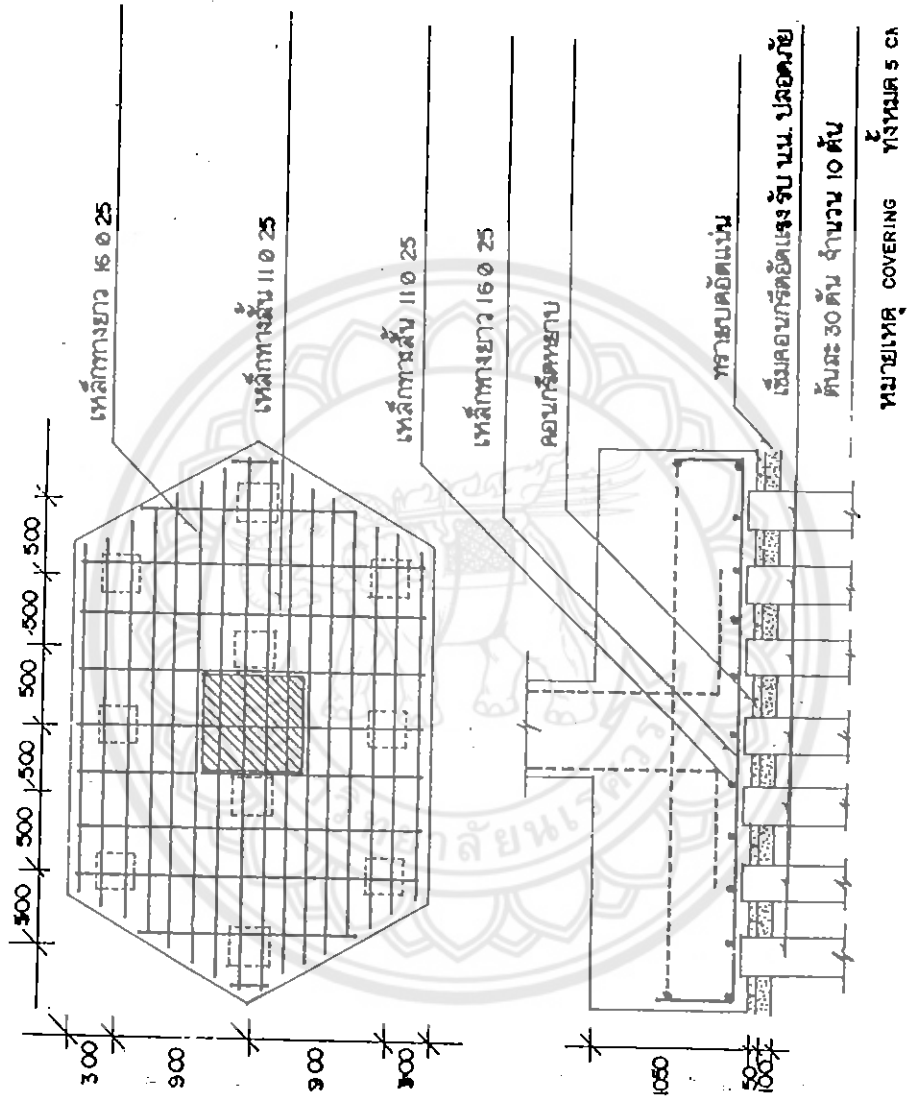
รูปที่ ง.7 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 7 ตัน



รูปที่ ง.8 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 8 ต้น



รูปที่ ง.9 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานจากเสาเข็ม 9 ต้น



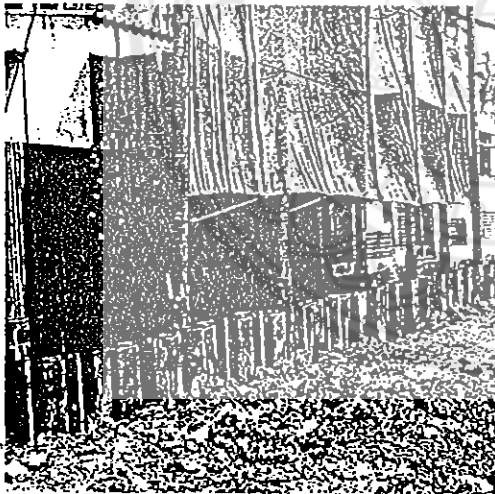
รูปที่ ง.10 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กของฐานรากเสาเข็ม 10 ต้น



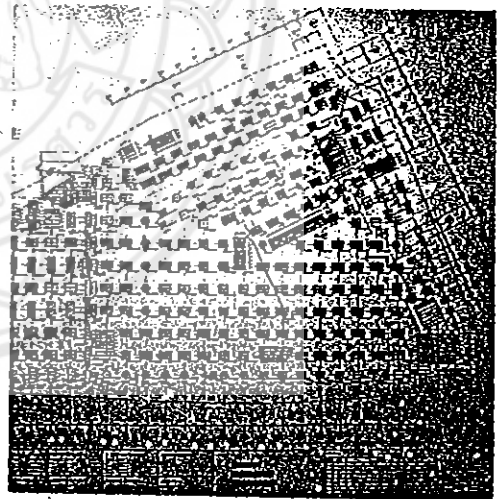
รูปแสดงขั้นตอนและรายละเอียดการทำงานฐานรากเสาเข็ม

รูปแสดงขั้นตอนและรายละเอียดการทำงานฐานรากเสาเข็ม

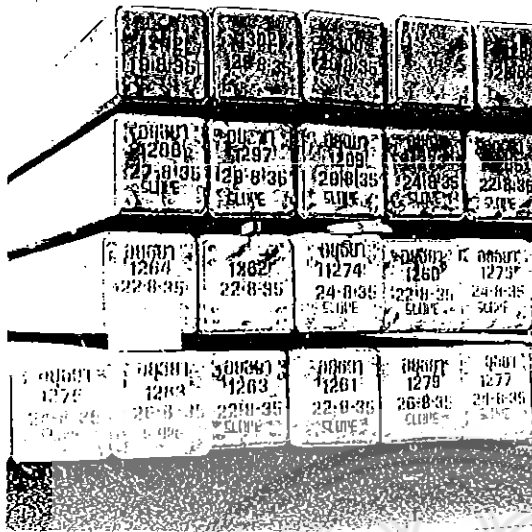
เพื่อให้เห็นขั้นตอนและรายละเอียดของการทำงานอย่างชัดเจน โดยเน้นข้อมูลความรู้ในการควบคุมและตรวจสอบการทำงานให้มีความถูกต้อง แข็งแรง ปลอดภัย ได้มาตรฐานคุณภาพงานที่ดี จึงได้จัดทำภาคผนวกเป็นรูปประกอบคำบรรยาย และเกร็ดความรู้ที่ควรทราบในการทำงานเพิ่มเติมไว้ เพื่อให้เห็นข้อปลุกย่อยในแง่มุมต่างๆที่ไม่ควรมองข้าม



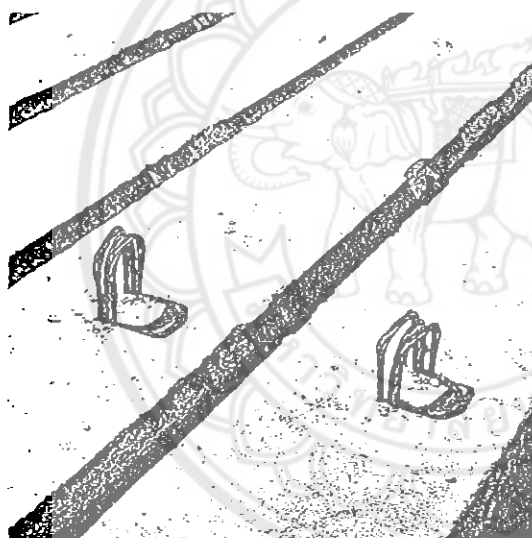
การตอกเข็มพืดเป็นแนว จะช่วยป้องกันการเคลื่อนตัวของดินไปยังพื้นที่ข้างเคียงได้



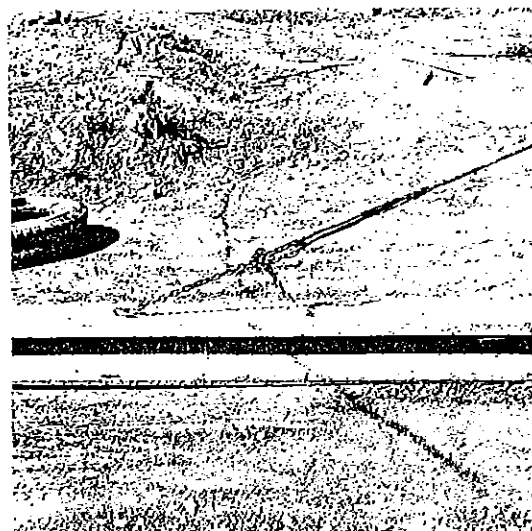
ควรวางแผนลำดับการตอกและทางเดินของปั้นจั่นให้ดี เพื่อให้การทำงานสะดวกขึ้น



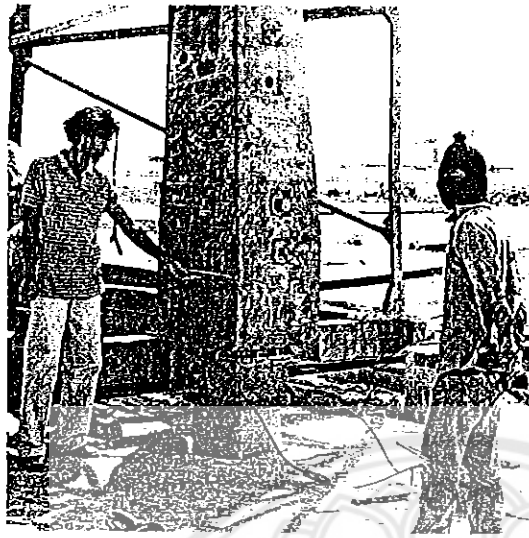
เสาเข็มควรมีวันที่ผลิตเพื่อรับอายุได้ ขนาด ชนิดและความยาว ต้องตรงตามที่กำหนด อยู่ในสภาพดี ไม่ชำรุด มีรอยร้าวได้ไม่เกิน มาตรฐานที่ยอมให้ การกองต้องมีไม้รองรับ ตรงจุดที่ออกแบบไว้ พื้นที่ที่กองเสาเข็มควร ปรับให้เรียบ



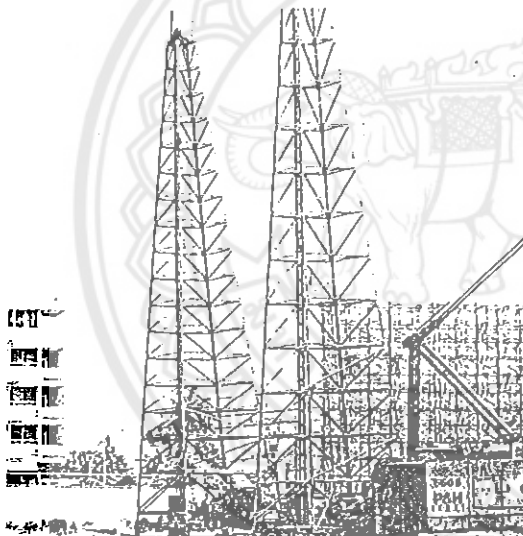
นูนหัวต้องออกแบบไว้ตรงจุดที่เสาเข็มสามารถ รับแรงเฉือน จากน้ำหนักตัวเองในขณะที่มี การชักลากหรือยกเสาเข็ม ตรวจสอบให้แน่ใจ ว่าไม่ชำรุด และทำให้เสาเข็มหลุดจากขอ เกี่ยวในขณะที่ยก เพราะจะเป็นอันตรายต่อ คนงานได้



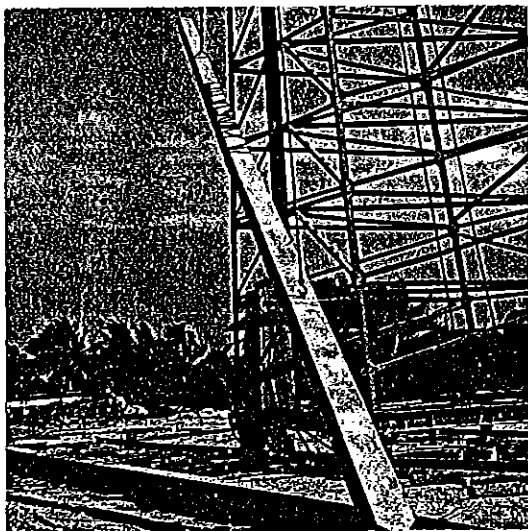
การชักลากเสาเข็ม จะต้องยกที่นูนหัวเสาเข็ม เท่านั้นและจะต้องยกทุกจุดที่มีนูนหัว มิฉะนั้น แล้วอาจทำให้แตกหัก หรือมีรอยร้าวจนใช้ งานไม่ได้ ถ้าชักลากให้เลื่อนไปตามรางที่ เตรียมไว้ หรือใช้รถเครนยกจะรวดเร็วยิ่งขึ้น



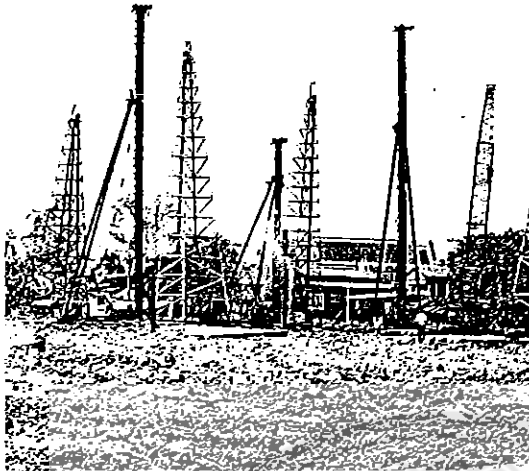
น้ำหนักลูกตุ้ม เลือกให้เหมาะสมกับขนาดเสาเข็ม การตรวจสอบน้ำหนักลูกตุ้มอาจทำได้โดยการชั่ง หรือการคำนวณปริมาตรของลูกตุ้ม ลูกตุ้มที่นำมาใช้ตอกเสาเข็มต้องได้จาก ผิวเรียบ ไม่ชำรุดสึกกร่อน และอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์



บันจัน ควรมีความสูงพอกับความสูงเสาเข็ม มีเสถียรภาพดี ที่จะยกน้ำหนักลูกตุ้มที่นำมาใช้งาน และต้องอยู่ในสภาพดี ไม่ชำรุดคดงอ ถ้ามีอุปกรณ์ปรับระดับในตัว และมีล้อที่ขาทั้งสี่ จะช่วยให้ทำงานและเดินบันจันได้รวดเร็ว



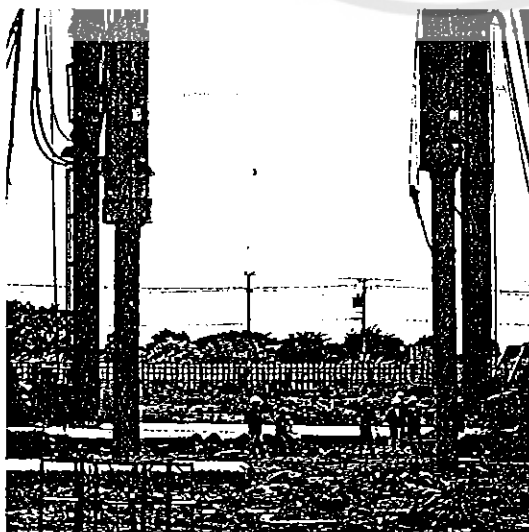
การยกเสาเข็มขึ้นตอก กระทำด้วยความระมัดระวัง จุดยกต้องตรงตามที่กำหนด ไม่ควรอยู่ใต้บริเวณที่กำลังยกเสาเข็มขึ้น ลวดสลิงต้องอยู่ในสภาพดี และเปลี่ยนตามอายุการใช้งาน เน้นสภาพการทำงานให้มีความปลอดภัย



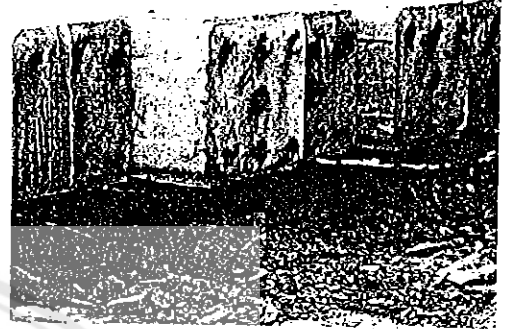
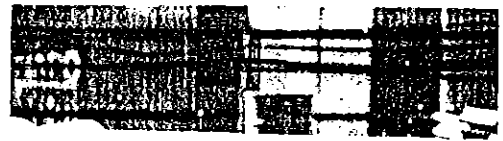
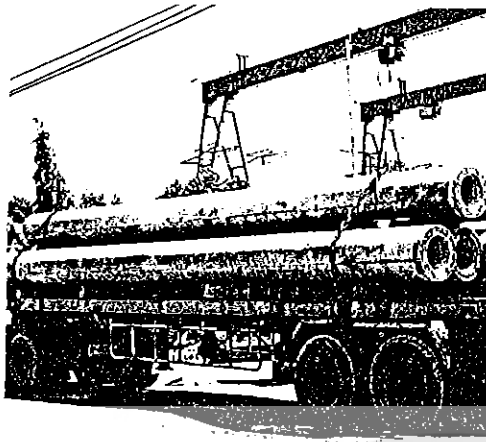
โครงการขนาดใหญ่ที่เร่งรัดงานตอกเสาเข็ม จะใช้ปั้นจั่นหลายตัวพร้อมกัน ซึ่งจะต้องจัด ลำดับการตอก และทางเดินปั้นจั่นให้ดี โดย คำนึงถึงทิศทางการเคลื่อนตัวของดิน ที่อาจ จะทำให้เกิดความเสียหาย ต่ออาคารข้าง เคียงได้



เสาเข็มขนาดใหญ่ที่มีจำนวนมาก เมื่อตอก ลงไปในดิน อาจจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัว ของดินในปริมาณสูง ควรพิจารณาลำดับ ของการตอก และการเดินปั้นจั่นอย่างรอบ คอบ เช่นไม่ตอกเรียงแถวเข้าหาแนวรั้วหรือ บ้านพักขนาดเล็ก

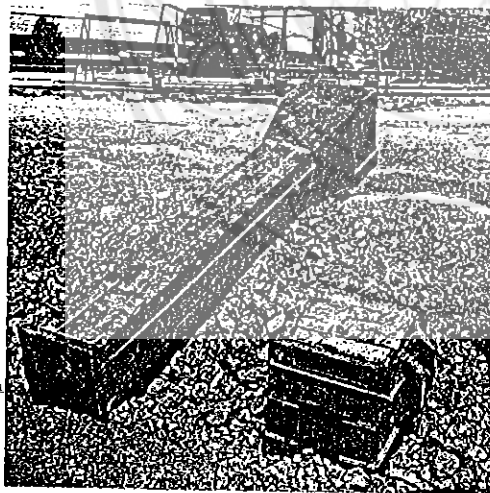


กรณีที่เป็นเสาเข็มกลุ่มแล้วใช้ปั้นจั่น 2 ตัว ตอกจากแถวริมนอกเข้าข้างในกลุ่ม จะทำให้ ดินอัดแน่นอยู่ตรงกลาง และตอกไม่ลง ความ สามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มจะน้อย กว่าที่ออกแบบ เนื่องจากการอัดตัวของดิน อยู่ในสภาพที่ไม่คงที่



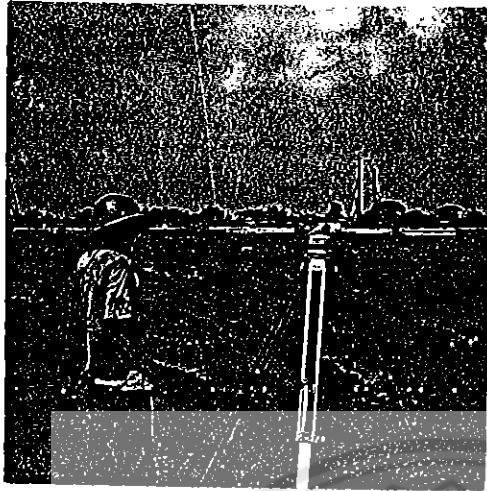
เสาเข็มจะไม่ชำรุดเสียหาย ถ้ามีการลำเลียง
อย่างถูกวิธี

หน้าตัดเสาเข็มต้องไม่เอียง ตัดลวดให้เรียบ
ร้อย ให้เรียบเสมอตลอดหน้าตัด



หมวกและเสาส่ง ควรมีสภาพดี พร้อมทั้งจะใช้
งาน และยาวพอเหมาะที่จะใช้งาน

ควรหุ้มฉนวนไฟฟ้าแรงสูง เมื่อบันจันเข้าใกล้
หรือมีทำงานบริเวณนั้น

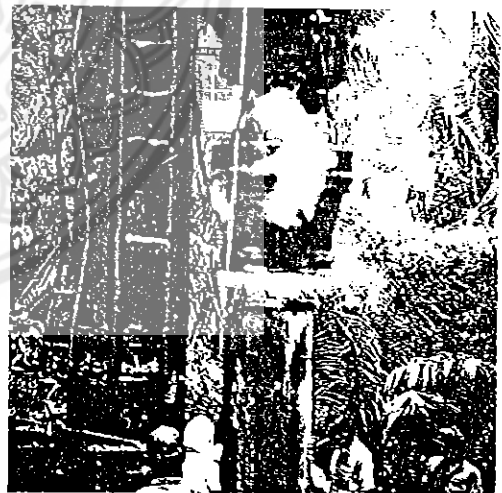


กรมโยธาธิการและผังเมือง
กองช่างโยธา

ลำดับ	ชื่อ	ตำแหน่ง	วัน	เวลา	สถานที่	ชนิด	ขนาด	จำนวน	ราคา	รวม	หมายเหตุ
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											
41											
42											
43											
44											
45											
46											
47											
48											
49											
50											
51											
52											
53											
54											
55											
56											
57											
58											
59											
60											
61											
62											
63											
64											
65											
66											
67											
68											
69											
70											
71											
72											
73											
74											
75											
76											
77											
78											
79											
80											
81											
82											
83											
84											
85											
86											
87											
88											
89											
90											
91											
92											
93											
94											
95											
96											
97											
98											
99											
100											

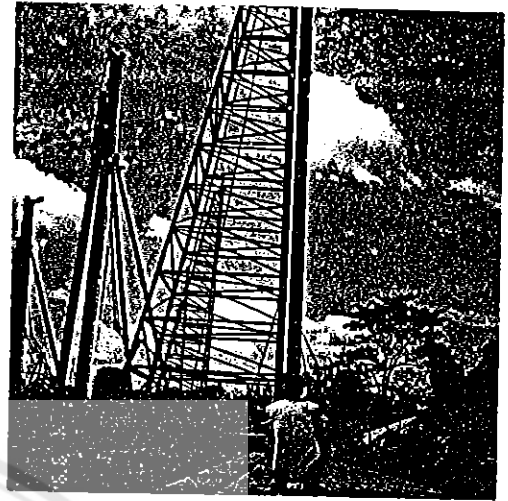
กล้องแนว กล้องระดับใช้หาตำแหน่งตอกเสาเข็ม เพื่อให้เกิดการเยื้องศูนย์น้อยที่สุด

ควรบันทึกข้อมูลการตอกเสาเข็ม อย่างถูกต้องและละเอียด



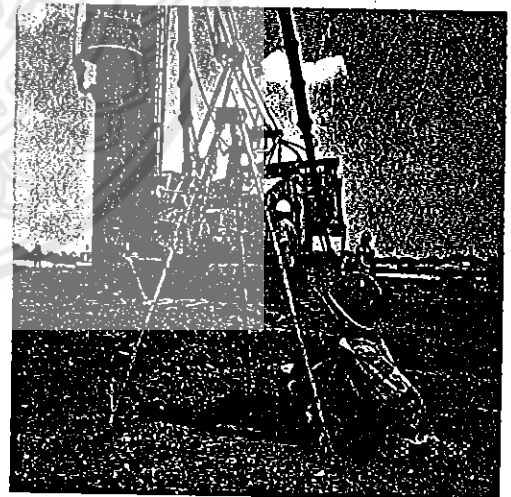
ดีเซลแฮมเมอร์ ใช้ตอกเสาเข็มได้เร็วกว่าใช้ปั้นจั่น

ดีเซลแฮมเมอร์ มักจะมีเสียงดัง และมีควันมาก เวลาจะนำมาใช้ต้องพิจารณาให้ดี



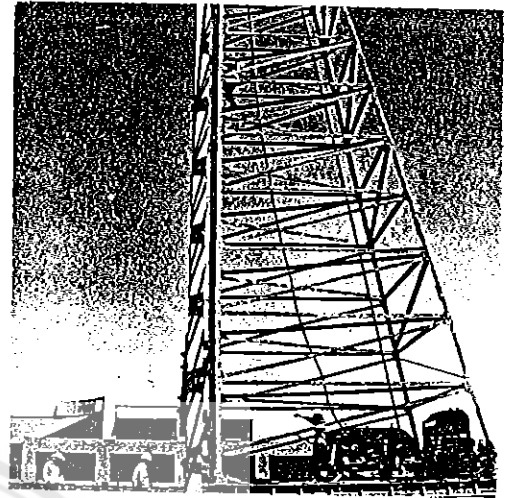
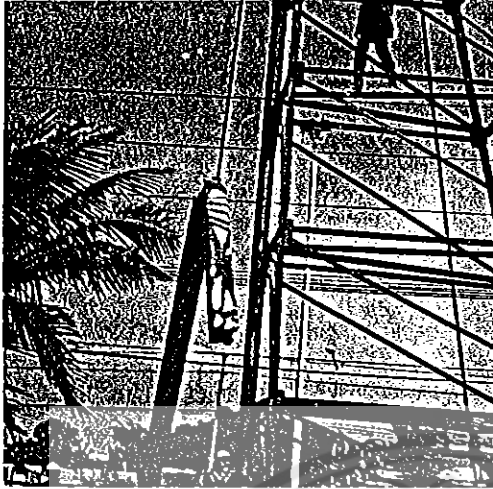
หมุดเสาเข็มที่ทำไว้แล้ว ควรตรวจสอบอีก
ครั้งก่อนตอกเพื่อป้องกันการเยื้องศูนย์

ขณะตอกเสาเข็ม ต้องตรวจสอบระดับ ใน
แนวตั้งทั้งสองด้าน



เสาเข็มต่อควรมีหน้าตัดแบบสนิท จึงจะมี
ความแข็งแรง

เสาเข็มที่ใช้ตอกต้องได้แนวตั้ง จึงจะรับกำลัง
ได้ดี



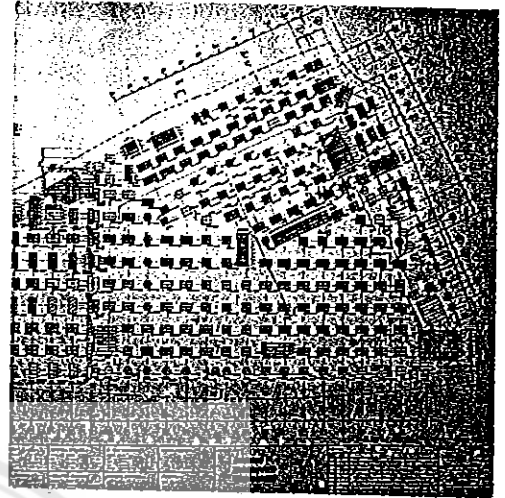
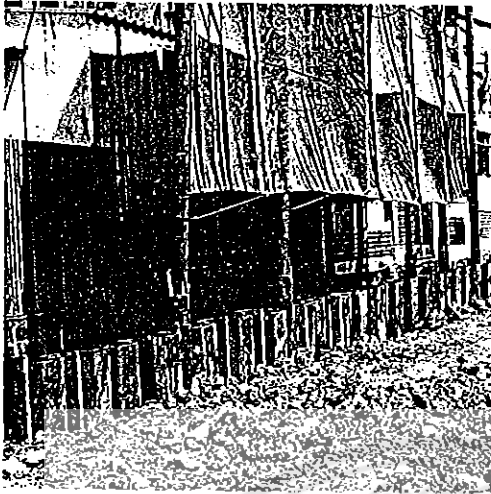
การยกเสาเข็มไม่ถูกวิธี มักจะทำให้เสาเข็มเสียหายหรือหักจนใช้งานไม่ได้

ชิ้นส่วนของบันจันและจุดยึด ต้องมีครบตามจำนวนที่ออกแบบไว้



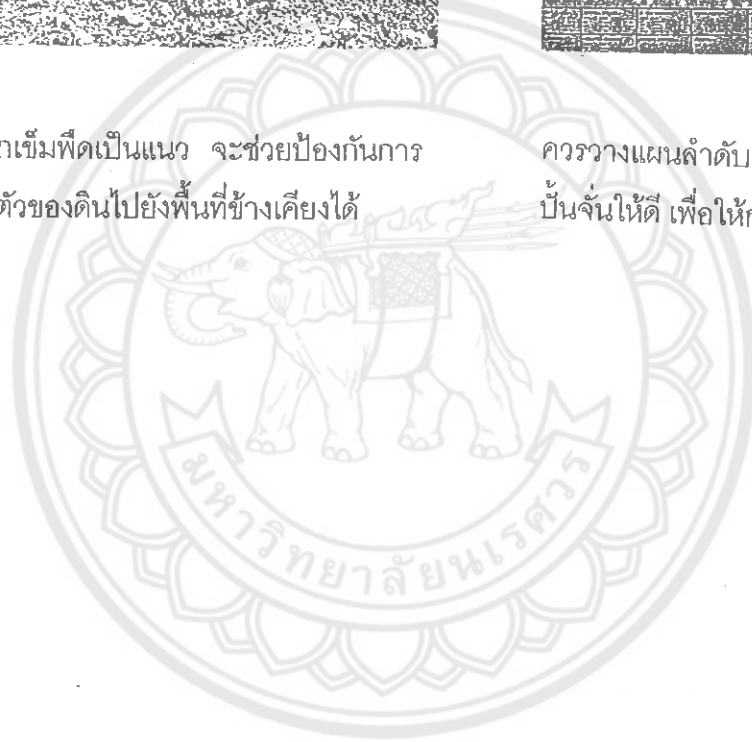
ควรกลบหรือปิดรูเสาเข็ม ทั้งขนาดเล็กและใหญ่ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุต่างๆ

ควรใช้เครื่องมือตัดหัวเสาเข็ม เพื่อป้องกันการเสียหายจากการแตกร้าว



การตอกเข็มปิดเป็นแนว จะช่วยป้องกันการ
เคลื่อนตัวของดินไปยังพื้นที่ข้างเคียงได้

ควรวางแผนลำดับการตอกและทางเดินของ
ปั้นจั่นให้ดี เพื่อให้การทำงานสะดวกขึ้น



ประวัติผู้จัดทำ

ผู้จัดทำ นายกฤษณ์ ช่อนงาม
 วัน/เดือน/ปี เกิด 7 ธันวาคม 2521
 สัญชาติ/เชื้อชาติ ไทย/ไทย
 ที่อยู่ปัจจุบัน 13/3 ถ.อินใจมี ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์
 ประวัติการศึกษา
 พ.ศ. 2533 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรประถมศึกษาจากโรงเรียนเทศบาลท่าอิฐ
 อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์
 พ.ศ. 2539 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรมัธยมศึกษา จากโรงเรียนอุตรดิตถ์ อ.เมือง
 อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์
 พ.ศ. 2543 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
 จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผู้จัดทำ นายอภากร มั่นกันนาน
 วัน/เดือน/ปี เกิด 5 มิถุนายน 2520
 สัญชาติ/เชื้อชาติ ไทย/ไทย
 ที่อยู่ปัจจุบัน 45/2 หมู่ 5 ต.บ้านแก่ง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์
 ประวัติการศึกษา
 พ.ศ. 2533 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรประถมศึกษา จากโรงเรียนชุมชนบ้านแก่ง (ไกรสร
 พงษ์สงเคราะห์) อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์
 พ.ศ. 2539 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรมัธยมศึกษา จากโรงเรียนตรอนตรีสินธุ์
 อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์
 พ.ศ. 2543 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
 จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร