

การศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จาก STATIC FORMULA กับค่าที่ประเมินได้จากการทดสอบ STATIC PILE LOAD TEST



นายวริชัย	วรปรางกุล	38014439
นายสมเกียรติ	เจริญนพกิจ	38014522
นายเอก	ศิลา	38014658



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หัดดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF ULTIMATE PILE CAPACITY COMPARISON BETWEEN THE VALUES
CALCULATED BY STATIC FORMULA THEORY AND EXPECTED VALUES DERIVED FROM
STATIC PILE LOAD TEST



MR.WORAVEE	WORAPRANGKUL	38014439
MR.SOMKIAT	CHAREONNOPAKIT	38014522
MR.AEK	SILA	38014658

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองโครงการพิเศษ
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย
ของเสาเข็มที่คำนวณได้จากทฤษฎี Static Formula กับค่าที่ประเมิน
ได้จากการทดสอบ Static Pile Load Test
The Study of Ultimate Pile Capacity Comparison between the
Values Calculated by Static Formula Theory and Expected
Values Derived from Static Pile Load Test

นักศึกษา

นายวรวิทย์ วรปรากฏ 38014439
นายสมเกียรติ เจริญนพกิจ 38014522
นายเอก ศิลา 38014658

หลักสูตร
ภาควิชา

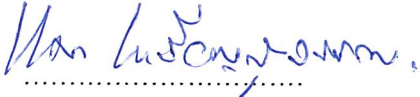
วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมกรรมการก่อสร้าง
วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.สุพจน์ ศรีนิล

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล	
2. อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤษ์	
3. อาจารย์สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.แดง เหริยญสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่เดือน พ.ศ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มที่คำนวณได้จากทฤษฎี Static Formula กับค่าที่ประเมินได้จากการทดสอบ Static Pile Load Test

The Study of Ultimate Pile Capacity Comparison between the Values Calculated by Static Formula Theory and Expected Values Derived from Static Pile Load Test

นักศึกษา นายวรวิทย์ วรปรางกุล 38014439

นายสมเกียรติ เจริญนพกิจ 38014522

นายเอก ศิลา 38014658

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สุพจน์ ศรีนิล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้ศึกษาเพื่อหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มระหว่างค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี Static Formula กับค่าที่ประเมินได้จากผลการทำ Static Load Test โดยทำการรวบรวมผลการทดสอบ Static Pile Load Test และข้อมูลการเจาะสำรวจดินจากบริษัทที่ปรึกษาและบริษัททดสอบต่าง ๆ จำนวน 41 ตัวอย่าง โดยนำข้อมูลที่ได้นำมาประยุกต์เข้ากับทฤษฎีของ Mazurkiewicz , Davisson และ Static Formula เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นต่อไป

Abstract

This project has investigated the deviation that derived from the comparison of the results of ultimate pile capacities which were calculated by static formula theory and expected values from static pile load test. By doing such a thing ,the results of static pile load test and boring log information were collected 41 examples from consultant and exploring company. Consequently, the above datas were applied into the Mazurkiewicz , Davisson and static formula theories for analyzing the possible deviation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี มิได้เกิดจากกลุ่มผู้เขียนเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้นยังมีบุคคล บริษัท ผู้ซึ่งมีส่วนทำให้โครงการพิเศษนี้บรรลุผลตามเป้าหมายที่ได้วางไว้ จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณบุคคล และบริษัทผู้มีส่วนทำให้โครงการนี้เป็นรูปเป็นร่างขึ้นมา ดังนี้

อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์วรการ ไ้ม่เรียง อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สำหรับคำแนะนำต่างๆ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน

บริษัท Inter Consult Co,Ltd. สำหรับข้อมูลและคำแนะนำต่างๆ

บริษัท Italian Thai Co,Ltd สำหรับข้อมูลและคำแนะนำต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำลังใจเสมอมา รวมไปถึงเพื่อนๆทุกคนมา
ณ ที่นี้

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
1.3 ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ	1
1.4 วิธีการที่ใช้ในการดำเนินงานโครงการพิเศษ	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การประเมินค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มโดย ทฤษฎี Static Formula และ การทำ Static Pile Load Test	3
2.1 กลไกการถ่ายแรงลงสู่ชั้นดินของเสาเข็ม	3
2.2 การประเมินสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยทฤษฎี Static Formula	4
2.2.1 การหาแรงต้านทานส่วนปลาย	5
2.2.2 การหาแรงเสียดทานด้านข้าง	9
2.2.3 การรับน้ำหนักของเสาเข็มจากการทำ Penetration Test	15
2.2.4 การหาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะ	18
2.3 การนำเสนอข้อมูลการคำนวณตามทฤษฎี Static Formula ในรูปของโปรแกรม Excel	31
2.4 การทำ Static Pile Load Test	36
2.4.1 ระบบที่ใช้ในการทดสอบ	36
2.4.2 อุปกรณ์สำหรับเสาเข็มสมอ	40
2.4.3 การทดสอบด้วยวิธี Static Pile Load Test ตามมาตรฐาน ASTM D1143	41
2.4.4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ Static Pile Load Test	44
2.4.5 วิธีการแปลผลจากการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย ในการออกแบบเสาเข็ม	46
2.4.6 การบันทึกผลที่ได้จากการทำ Static Pile Load Test	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5	วิธีการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดพืดจากการทดสอบ	57
2.5.1	พฤติกรรมที่แสดงลักษณะการพืดของเสาเข็ม	57
2.5.2	วิธีการแปลผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุก ประลัยของเสาเข็ม	60
บทที่ 3	ขั้นตอนการดำเนินงานและตัวอย่างการคำนวณหาความสามารถในการ รับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม	76
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	76
3.2	ตัวอย่างการประเมินหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก ประลัยของเสาเข็ม	77
3.2.1	ตัวอย่าง 1 - ตัวอย่างการประเมินหาความสามารถในการ รับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มโดยทฤษฎี Static Formula	77
3.2.2	ตัวอย่าง 2 - ตัวอย่างการประเมินหาความสามารถในการ รับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มโดยทฤษฎี Static Formula	81
3.2.3	ตัวอย่างการคำนวณหา กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของ การทดสอบ Static Load Test โดยวิธี Modified Mazurkiewicz	86
3.2.4	ตัวอย่างการคำนวณหา กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของ การทดสอบ Static Load Test โดยวิธี Davisson	89
บทที่ 4	ผลการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม	91
4.1	รายการแสดงการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนัก บรรทุกประลัยของเสาเข็มจำนวน 41 ต้นโดยทฤษฎี Static Formula	92
4.2	ผลการประเมินหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย ของเสาเข็มจำนวน 41 ต้นโดยทฤษฎี Mazurkiewicz และ Davisson	175
บทที่ 5	สรุปผลและวิเคราะห์	217
	ภาคผนวก ก ความรู้ทั่วไปของเสาเข็ม	254
	ภาคผนวก ข เสาเข็มกลุ่ม	289
	ภาคผนวก ค คุณสมบัติของดินชั้นต่างๆ	297
	บรรณานุกรม	298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ค่า K_g สำหรับเสาเข็มรับแรงดึงและเสาเข็มรับแรงอัด	10
2.2	ค่า K_g จำแนกตามชนิดของเสาเข็ม	11
2.3	ค่ามุมเสียดทาน δ ในเทอมของ ϕ จำแนกตามลักษณะของชั้นดิน	11
2.4	Adhesion Factor สำหรับเสาเข็มเจาะในดินเหนียว	24
2.5	ตัวอย่างตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยโดยทฤษฎี Static Formula	31
2.6	ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลการทดสอบ Static Pile Load Test	48
2.7	ตารางการให้คะแนนตามหัวข้อที่พิจารณาความเหมาะสม	73
2.8	ผลการประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้	75
3.1	ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มตัวอย่างที่ 1	79
3.2	ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มตัวอย่างที่ 2	83
3.3	ตารางแสดงผล Static Load Test ของตัวอย่างที่ 3	86
3.4	ตารางแสดงผล Static Load Test เพิ่มช่อง $\Delta L/\Delta S$ ของตัวอย่างที่ 3	88
5.1	ตารางสรุปค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่จุดประลัยทั้ง 3 วิธี	218
5.2	ค่า $\%X_m$ และ $\%X_d$ ตามกลุ่มต่างๆที่แบ่งไว้	222
5.3	ตารางแสดงการคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่จุดประลัยหลังการปรับค่า	224
ก.1	คุณสมบัติทั่วไปและการใช้เสาเข็ม	281
ก.2	ข้อกำหนดในการออกแบบเสาเข็ม Allowable design Stress in piles by Several codes	283
ก.3	การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะและเข็มตอกด้านอื่นๆ	284
ก.4	การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะและเข็มตอกด้านวิธี	285
ก.5	การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะและเข็มตอกด้านวิธี	286
ก.6	การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะและเข็มตอกด้านราคา	286
ก.7	การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะและเข็มตอกด้านตัวเสาเข็ม	287
ก.8	การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะและเข็มตอกด้านวิธีการขนส่ง	288

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่

หน้า

ก.9	การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะและเข็มตอกตื้นเครื่องจักร	288
ข.1	ระยะห่างในแต่ละชนิดของเสาเข็ม	294



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กลไกการถ่ายน้ำหนักโดยใช้แรงต้านทานรอบผิวเสาเข็มและแรงต้านทานที่ปลายผิว	3
2.2 การรับน้ำหนักของเสาเข็มและการกระจายของแรง	4
2.3 ระนาบการพังทลายที่สมมติขึ้นของฐานรากแบบลึก	5
2.4 Bearing Capacity Factors สำหรับ Deep circular foundation	6
2.5 Bearing Capacity Factor , N_q versus Angle of Internal Friction ϕ	7
2.6 Berezantsev's bearing capacity factor	8
2.7 Adhesion factor ของเสาเข็มตอกในดินเหนียวลักษณะต่างๆ	13
2.8 Adhesion factor (α) เทียบกับค่า Undrained Shear Strength	14
2.9 ค่า α_1 และ α_2 สำหรับเสาเข็มยาว	14
2.10 การคำนวณแรงต้านทานส่วนปลาย	16
2.11 ชนิดของเสาเข็มหล่อกับที่ในดินที่ใช้ทั่วไป	19
2.12 การก่อสร้างเสาเข็มเจาะให้เป็นรูปร่างต่างๆ	20
2.13 วิธีการเจาะและหล่อคอนกรีตในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ	21
2.14 ความสัมพันธ์ของ Adhesion factor กับความแข็งแรงของดิน	23
2.15 เทคนิควิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ	25
2.16 การประเมินหา q_{uat} ของเสาเข็มเจาะ	28
2.17 แผนการวิธีทำ Sonic sounding test และ Dynamic testing	29
2.18 การตีความผลจากการทำ Seismic testing ของเสาเข็ม	30
2.19 Unconfined Compressive Strength ; Q_u (KSC) Reduction of Friction Pile In Clays with Unconfined Compressive Strength	32
2.20 Correction of N-Values in Sand for influence of Overburden Pressure	33
2.21 Correction of Standard Penetration with Bearing Capacity Factors and Angle of Shearing Resistance	33
2.22 Relationship between ϕ, N_q and N-Values for Bored Pile	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.23 Adhesion factor for Clays	35
2.24 การให้น้ำหนักแบบวางบนเสาเข็มโดยตรง	36
2.25 ระบบการให้น้ำหนักด้วยแม่แรงโดยมีเหล็กบรรทุกน้ำหนักเป็นตัวยัน	37
2.26 ระบบ Load Test ในงานสนาม	37
2.27 ระบบเสาเข็มสมอแบบ 4 ต้น	38
2.28 ระบบเสาเข็มสมอแบบ 8 ต้น	38
2.29 ระบบเสาเข็มสมอในงานสนาม	39
2.30 Plan ของระบบเสาเข็มสมอ	40
2.31 กราฟแสดงผลทดสอบที่ได้จาก Standard Load test	44
2.32 ผลจากการทำ Slow Maintain Load Test	45
2.33 รูปแบบการพิบัติของเสาตามลักษณะความแข็งแรงของชั้นดิน	58
2.34 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวในรูปแบบสภาวะต่างๆ	59
2.35 รูปแบบวิธีการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากผลการทดสอบเสาเข็ม	61
2.36 รูปแบบของกราฟวิธี Davidson	62
2.37 รูปแบบของกราฟวิธี Chin	63
2.38 รูปแบบของกราฟวิธี De Beer	64
2.39 การเปรียบเทียบรูปแบบของกราฟวิธี Brinch Hansen 90% ทั้ง 2 แบบ	65
2.40 การเปรียบเทียบรูปแบบของกราฟวิธี Brinch Hansen 80% ทั้ง 2 แบบ	67
2.41 ตัวอย่างการอ่านค่า Q_{ult} ของเสาเข็มในฐานข้อมูล	68
2.42 การเปรียบเทียบรูปแบบของกราฟวิธี Mazurkiewicz ทั้ง 2 แบบ	69
2.43 รูปแบบของกราฟวิธี Modified Mazurkiewicz	70
2.44 รูปแบบของกราฟวิธี Butler และ Hoy	71
2.45 รูปแบบของกราฟวิธี Van der Veen	72
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	76
3.2 เสาเข็มตัวอย่างที่ 1	77
3.3 กราฟแสดงแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มระดับความลึกต่างๆ ของเสาเข็มตัวอย่างที่ 1	80
3.4 กราฟแสดงแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มระดับความลึกต่างๆ ของเสาเข็มตัวอย่างที่ 1	80
3.5 เสาเข็มตัวอย่างที่ 2	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6	กราฟแสดงแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มระดับความลึกต่างๆ ของเสาเข็มตัวอย่างที่ 2	84
3.7	กราฟแสดงแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มระดับความลึกต่างๆ ของเสาเข็มตัวอย่างที่ 2	84
3.8	Load Settlement Curve ของตัวอย่างที่ 3	87
3.9	Mazurkiewicz Curve ของตัวอย่างที่ 3	88
3.10	Davisson Curve ของตัวอย่างที่ 4	89
5.1	แสดง % ความแตกต่างระหว่างกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ จุดประลัยที่คำนวณได้จากทฤษฎี Static Formula กับค่าที่ประเมิน ได้จากทฤษฎี Mazurkiewicz	220
5.2	%DQm และ %DQm1 ของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล	226
5.3	%DQm และ %DQm1 ของต่างจังหวัด	227
5.4	%DQm และ %DQm1 ของเสาเข็มที่มีความยาวน้อยกว่า 30 เมตร	228
5.5	%DQm และ %DQm1 ของเสาเข็มที่มีความยาว 30-40 เมตร	229
5.6	%DQm และ %DQm1 ของเสาเข็มที่มีความยาว 40-49 เมตร	230
5.7	%DQm และ %DQm1 ของเสาเข็มที่มีความยาวเท่ากับหรือ มากกว่า 50 เมตร	231
5.8	%DQm และ %DQm1 ของเสาเข็มที่มี D = 0.71 เมตร	232
5.9	%DQm และ %DQm1 ของเสาเข็มที่มี D = 0.8 เมตร	233
5.10	%DQm และ %DQm1 ของเสาเข็มที่มี D = 0.9 เมตร	234
5.11	%DQm และ %DQm1 ของเสาเข็มที่มี D = 1.0 เมตร	235
5.12	%DQm และ %DQm1 ของเสาเข็มที่มี D = 1.1, 1.2 เมตร	236
5.13	%DQm และ %DQm1 ของเสาเข็มที่มี D = 1.5 เมตร	237
5.14	%DQd และ %DQd1 ของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล	238
5.15	%DQd และ %DQd1 ของต่างจังหวัด	239
5.16	%DQd และ %DQd1 ของเสาเข็มที่มีความยาวน้อยกว่า 30 เมตร	240
5.17	%DQd และ %DQd1 ของเสาเข็มที่มีความยาว 30-40 เมตร	241
5.18	%DQd และ %DQd1 ของเสาเข็มที่มีความยาว 40-49 เมตร	242
5.19	%DQd และ %DQd1 ของเสาเข็มที่มีความยาวเท่ากับหรือมากกว่า 50 เมตร	243
5.20	%DQd และ %DQd1 ของเสาเข็มที่มี D = 0.71 เมตร	244
5.21	%DQd และ %DQd1 ของเสาเข็มที่มี D = 0.8 เมตร	245
5.22	%DQd และ %DQd1 ของเสาเข็มที่มี D = 0.9 เมตร	246

รูปที่	หน้า
5.23 %DQd และ %DQd1 ของเสาเข็มที่มี D = 1.0 เมตร	247
5.24 %DQd และ %DQd1 ของเสาเข็มที่มี D = 1.1,1.2 เมตร	248
5.25 %DQd และ %DQd1 ของเสาเข็มที่มี D =1.5 เมตร	249
5.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า Qb กับ Qf แบ่งตามจังหวัด	251
5.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า Qb กับ Qf แบ่งตามความยาว	252
5.28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า Qb กับ Qf แบ่งตามขนาด	253
ก.1 ชนิดของฐานราก	254
ก.2 การเคลื่อนตัวของดินบริเวณเสาเข็ม	255
ก.3 รูปแบบจำลองของเข็มบนดินหลายชั้น	256
ก.4 การรับน้ำหนักในทิศทางต่างๆ ของเสาเข็ม	257
ก.5 การต่อเสาเข็มไม้	258
ก.6 เปอร์เซนต์เหล็กปลอกเมื่อเทียบกับปริมาณคอนกรีต	259
ก.7 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง	260
ก.8 Shell Type Pile	261
ก.9 ตัวอย่างการทำเสาเข็มแบบ Shell-Less Pile	262
ก.10 ขั้นตอนการทำPedestal Type	264
ก.11 ขั้นตอนการทำPedestal Type	265
ก.12 การเทคอนกรีตหุ้มเสาเข็มเหล็ก	266
ก.13 เส้นรอบรูปที่ใช้ในการคำนวณเสาเข็มเหล็ก	267
ข.1 การจัดรูปแบบของเสาเข็มกลุ่มโดยทั่วไป	289
ข.2 Stress ที่ซ้อนกันของเสาเข็มกลุ่ม	290
ข.3 ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มกลุ่มตามทฤษฎี	290
ข.4 ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่มจากสูตร Converse-Labarre	292
ข.5 ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่มจากสูตร Feld's Rule	292
ข.6 Pile Group Efficiency	293
ข.7 การเปรียบเทียบการกระจายแรง	295
ข.8 การประมาณหาแรงที่กระจายของชั้นใต้ดินของเสาเข็มกลุ่ม	296

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการคำนวณเพื่อออกแบบเสาเข็มส่วนใหญ่วิศวกรผู้ออกแบบจะยึดถือวิธี Static Formula และใช้ข้อมูลการเจาะสำรวจดินประกอบในการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม แต่ในปัจจุบันนี้มีวิธีการทดสอบในสนามเพื่อหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยหลายวิธี ซึ่งวิธีการทดสอบที่แม่นยำและน่าเชื่อถือมากที่สุดคือ การประเมินค่าความสามารถในการรับน้ำหนักจากผลการทำ Static Pile Load Test จึงได้มีความพยายามที่จะศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างผลจากการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม โดยทฤษฎี Static Formula กับค่าที่ได้จากการประเมินผลการทดสอบ Static Pile Load Test เพื่อหาความแตกต่างและความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ ปรับปรุงวิธีการคำนวณ โดยทฤษฎี Static Formula ให้มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1.2.1 เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มทางทฤษฎี Static Formula เปรียบเทียบกับการประเมินค่าการรับน้ำหนักจากผลการทดสอบ Static Pile Load Test

1.2.2 ทำการวิเคราะห์แนวโน้มของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเพื่อหาปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนดังกล่าว เพื่อนำมาปรับปรุงการคำนวณตามทฤษฎี Static Formula ให้มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นต่อไป

1.3 ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

1.3.1 ใช้ Static Formula ในการคำนวณหาความสามารถการรับน้ำหนักของเสาเข็มทางทฤษฎี

1.3.2 ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม Static Pile Load Test มาประยุกต์กับทฤษฎีของ Mazurkiewicz และ Davisson เพื่อนำมาหาค่ากำลังรับ

น้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ละเมิดลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1.3.3 ใช้ทฤษฎีทางสถิติเพื่อนำมาประเมินหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

1.4 วิธีการที่ใช้ในการดำเนินงานโครงการพิเศษ

รวบรวมข้อมูลการทดสอบ Static Pile Load Test และ ข้อมูลการเจาะสำรวจดิน ที่ได้จากบริษัทที่ปรึกษาและบริษัท Test ต่างๆ จำนวน 41 ตัวอย่าง แล้วนำมาประยุกต์เข้ากับทฤษฎีที่ได้ได้กล่าวไว้เบื้องต้นเพื่อนำมาประเมินและดูแนวโน้มความคลาดเคลื่อนต่อไป

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ค่ากำลังรับน้ำหนักเสาเข็ม ที่จุดประลัยที่ประเมินได้จากการทดสอบ Static Pile Load Test กับค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี Static Formula

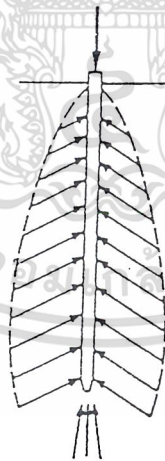
1.5.2 ผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นว่ามีสาเหตุมาจากอะไรเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงให้การคำนวณโดยทฤษฎี Static Formula มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

บทที่ 2

การประเมินค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยวิธี **Straic Formula** และการทำ **Static Load Test**

2.1 กลไกการถ่ายแรงลงสู่ชั้นดินของเสาเข็ม

กลไกการถ่ายแรงจากเสาเข็มไปสู่ชั้นดินต่างๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 แรงดันดินในแนวราบกระทำกับพื้นผิวรอบๆ เสาเข็ม ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาเสียดทานในแนวตั้งซึ่งจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความลึก และถ้าหากเสาเข็มเกิดการเคลื่อนตัว (Displacement) ถึงจุดหนึ่งแรงยึดเหนี่ยว (Adhesion) ของดินรอบๆ เสาเข็ม ก็จะช่วยเพิ่มแรงปฏิกิริยานี้ด้วย ผลรวมของแรงปฏิกิริยาเหล่านี้จะเรียกว่า แรงต้านทานที่ผิวเสาเข็ม (Skin Resistance or Mantle Friction) นอกจากนี้ยังมีแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งเกิดขึ้นที่ปลายของเสาเข็ม เรียกว่า แรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (Tip – Bearing Resistance) ซึ่งอัตราส่วนของแรงต้านทานที่ผิวเสาเข็มกับแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มจะแปรตามคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นดิน ขนาดและความลึกของเสาเข็ม รวมไปถึงวิธีการติดตั้งเสาเข็มด้วย ซึ่งวิธีการคำนวณโดย **Static Formula** ก็คือ การคำนวณหาแรงปฏิกิริยาเหล่านี้นั่นเอง



รูปที่ 2.1 กลไกถ่ายน้ำหนักโดยใช้แรงต้านทานรอบผิวเสาเข็มและแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

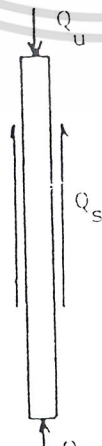
2.2 การประเมินสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยใช้ static formula

วิธีการนี้จำเป็นที่จะต้องทราบความหนาแน่นของดินและ shear strength parameters (γ และ c, ϕ) ซึ่งมีการวิเคราะห์โดยใช้ทั้ง total (undrained) และ effective parameters แต่จะใช้ effective parameters มากกว่า เพราะควบคุมทั้งความแข็งแรงของดินและการทรุดตัวเช่นเดียวกับในฐานรากแบบตื้น การทดสอบหาคคุณสมบัติของดินโดยการทำให้ triaxial test สำหรับเสาเข็มตอกนั้นให้ผลที่ละเอียดเกินไป และไม่คุ้มค่า เพราะขณะที่ตอกเสาเข็มลงในดิน ความชื้นและความแข็งแรงของดินจะเปลี่ยนไป ซึ่งเป็นสิ่งที่ประเมินออกมาเป็นตัวเลขได้ยาก แต่จะให้ผลดีสำหรับเสาเข็มเจาะหรือเสาเข็มตอกที่มีการเจาะหลุมไว้ก่อน การทดสอบในสนามเช่นการทำ cone penetration test หรือ standard penetration test เป็นที่นิยมกันมากในการประเมินสภาพการรับน้ำหนักเสาเข็ม

เมื่อมีน้ำหนักกดต่อเสาเข็ม (Q_u) จะมีแรงต้านทานส่วนปลาย (Q_b) และแรงเสียดทานด้านข้างรอบเสาเข็ม (Q_s) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ซึ่งมีการกระจายของแรงทั้ง 2 ที่แตกต่างกันจากหลักการพื้นฐานของ static soil mechanics พอจะกล่าวได้ว่า

$$Q_{ult} \cdot (Q_s + Q_b) = f_s A_s + q A_b \quad (2.1)$$

- Q_{ult} = ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย
 Q_s = แรงต้านทานรอบผิวเสาเข็ม
 Q_t = แรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม
 f_s = ความเค้นเฉื่อยรอบผิวเสาเข็ม
 A_s = พื้นที่ผิวเสาเข็มโดยรอบที่สัมผัสกับดิน
 q = ความเค้นที่ปลายเสาเข็ม
 A_b = พื้นที่ประสิทธิผลที่ปลายเสาเข็มที่สัมผัสกับดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.2 การรับน้ำหนักของเสาเข็มและการกระจายของแรง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แบบสงวนเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การหาแรงต้านทานส่วนปลาย (base resistance, Q_b)

สภาพการพังทลายหรือวิบัติด้านแรงเฉือนของเสาเข็มหรือฐานรากแบบลึกจะคล้ายคลึงกับของฐานรากแบบตื้น จะมีส่วนที่แตกต่างก็คือ ขนาดและขอบเขตของระนาบการพังทลาย (failure surface) ซึ่งได้มีผู้พยายามทำนายหรือสมมติขึ้นมาเพื่อประเมินหาแรงต้านทานส่วนปลาย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3

แม้ว่าสมมติฐานบางส่วนจะแตกต่างกัน แต่ก็ให้ผลออกมาเป็นสมการซึ่งมีรูปแบบคล้ายคลึงกัน นั่นคือ (LAMBE, 1969, 1979)

$$Q_b = A_b \cdot q_{ult}$$

$$Q_b = A_b [cN_c + \bar{\sigma}_v N_q + 0.5\gamma B N_\gamma]$$

$$\text{net } Q_b = A_b [cN_c + \bar{\sigma}_v (N_q - 1) + 0.5\gamma B N_\gamma] \quad (2.2)$$

net Q_b = net ultimate base capacity

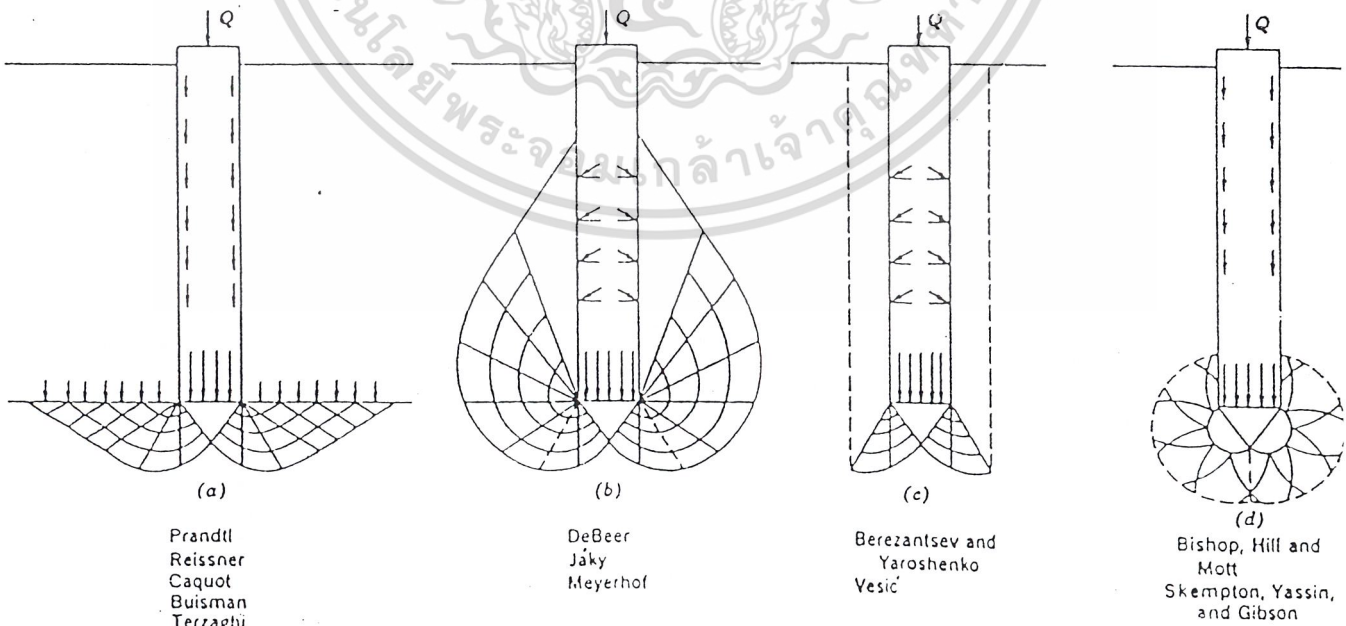
Q_b = พื้นที่หน้าตัดส่วนปลายของเสาเข็ม

N_c, N_q, N_γ = bearing capacity factor สำหรับ cohesion, surcharge และดินของฐานรากแบบลึกหรือเสาเข็ม

$\bar{\sigma}_v$ = effective vertical stress at pile tip

γ = ความหนาแน่นของดิน

B = ขนาดของเสาเข็ม (เส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้าง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.3 ระนาบการพังทลายที่สมมติขึ้นของฐานรากแบบลึก (VESIC, 1967)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

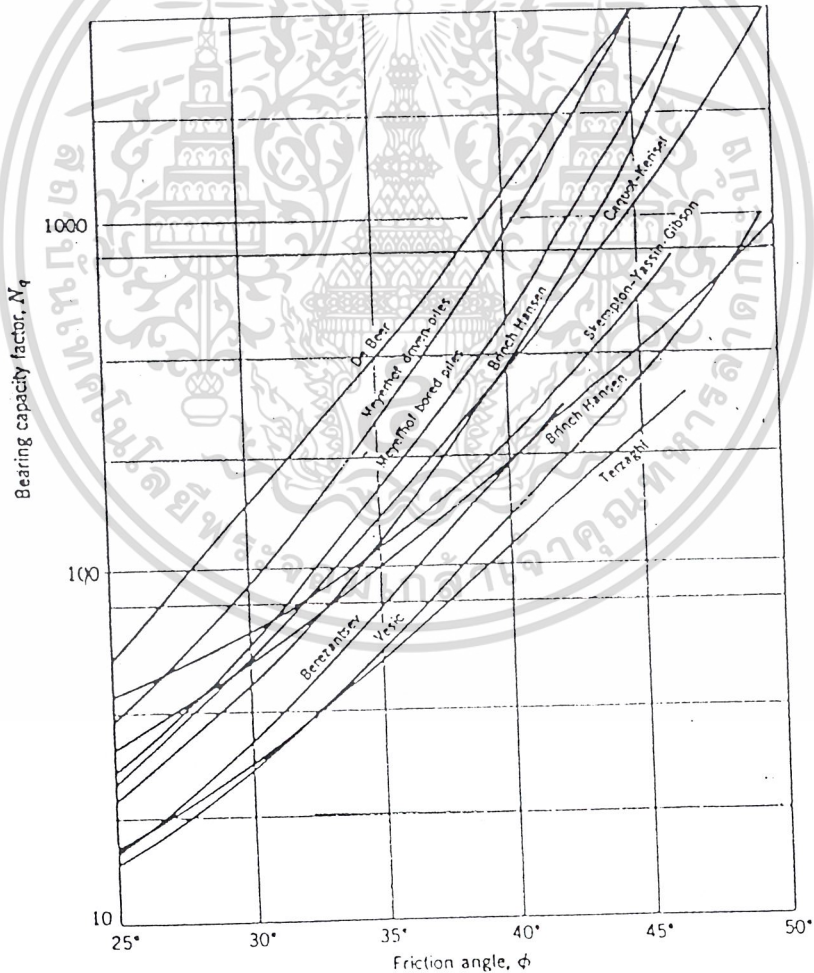
(ก) เมื่อส่วนปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทราย
สำหรับทรายนั้นสามารถกล่าวได้ว่า $c = c' = 0$ และ $\phi \approx \phi'$

$$\text{ดังนั้น } \text{net } Q_b = A_b [\bar{\sigma}_v (N_q - 1) + 0.5\gamma B N_\gamma]$$

ค่าของ N_γ จะมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับของ N_q และ soil parameters ต้องใช้ในรูปแบบของ effective เพราะเป็น long-term ultimate load capacity (drained condition) ดังนั้น

$$\text{net } Q_b = A_b [\bar{\sigma}_v (N_q - 1)]$$

$$\text{หรือ } \text{net } Q_b = A_b \cdot \bar{\sigma}_v \cdot N_q \quad (2.3)$$

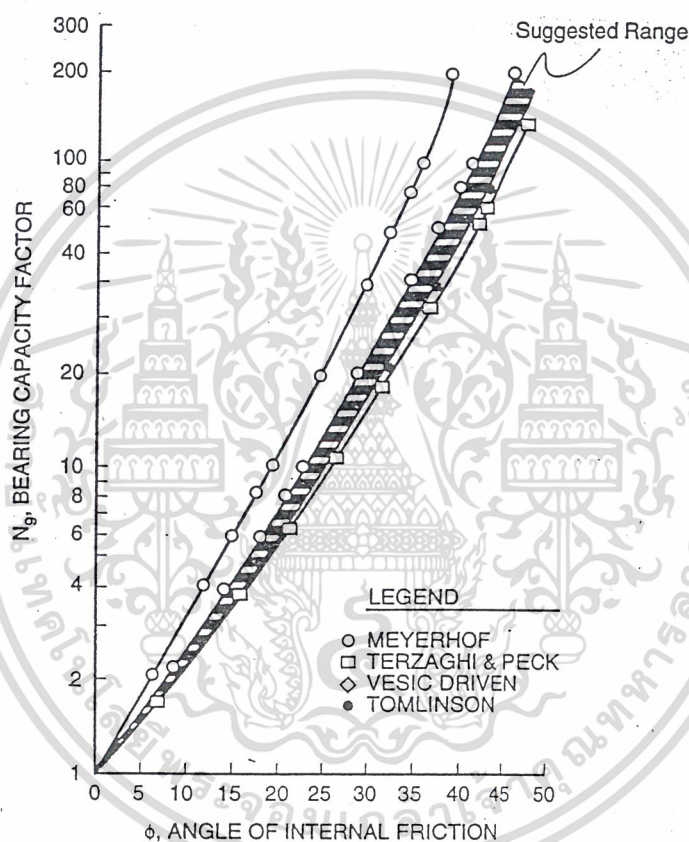


รูปที่ 2.4 Bearing capacity factors สำหรับ deep circular foundations

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (VESIC, 1967)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

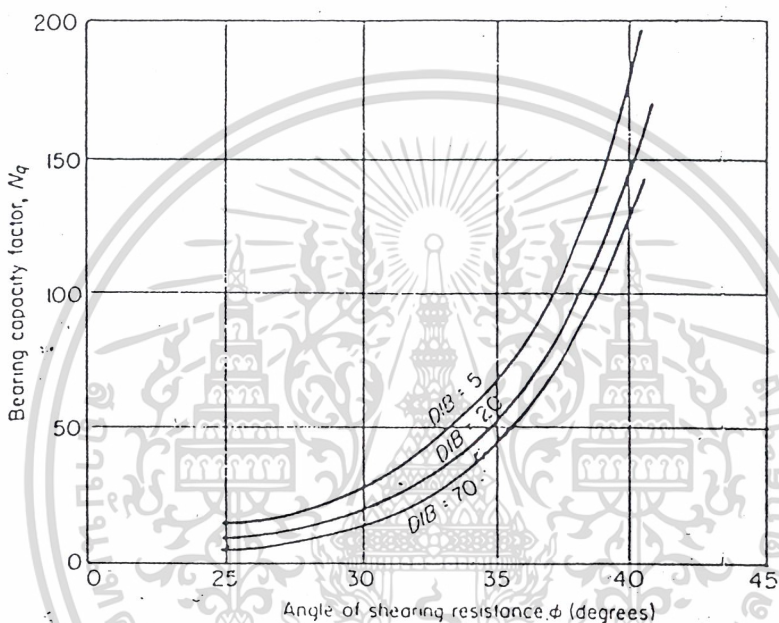
N_q ตามลักษณะของระนาบการพังทลายที่สมมติขึ้นมาจากผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้สรุปและแสดงไว้ในรูปที่ 5.5 ซึ่งจะเห็นได้ถึงความแตกต่างกันค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงนิยมใช้รูปที่ 2.4 หาค่าของ N_q ซึ่งเสนอและแนะนำโดย Berezantsev (TOMLINSON, 1986 : POULOS and DAVIS 1980) หรือหาได้จากรูปที่ 2.5 ซึ่งเสนอโดย Terzaghi และ Peck, 1967



รูปที่ 2.5 Bearing Capacity Factor, N_q versus angle of internal friction ϕ
(From Terzaghi and Peck, 1967)

ค่าของมุม ϕ ที่ใช้ในรูปที่ 2.6 นั้นได้มาโดยทำ triaxial tests หรือ penetration tests ส่วนผลจากการตอกเสาเข็มจะทำให้ทราบแน่ชัดโดยเฉพาะในชั้นทรายที่แน่นซึ่งจะทำให้ค่า ϕ สูงขึ้น แต่สำหรับชั้นทรายที่หลวมนั้นมีผลค่อนข้างน้อย การตอกเสาเข็มใน carbonate sand จะทำให้เม็ดทรายแตกออกเป็นซิลท์ และทำให้ค่า ϕ ลดลงได้ แม้ว่าจะมีผู้พยายามทำการปรับแก้ไข เช่น Kishida ซึ่งให้ค่าหลังการปรับเป็น $(\phi + 40)0.5$ แต่ก็มีผู้แนะนำให้ใช้ค่า ϕ คงเดิม (POULOS and DAVIS 1980 ; TOMLINSON, 1986) การนำไปใช้

ดังนั้นจึงสมควรที่จะใช้ค่า ϕ เท่าเดิมโดยไม่มี การปรับแก้ไข จากการทดสอบพบว่าแรงต้านทานส่วนปลาย (ประลัย) ไม่ควรมีค่าเกิน 1100 ตันต่อตารางเมตร และควรจะต้องเสาะเข็มให้จมลงใน bearing stratum ไม่น้อยกว่า 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ส่วนเสาเข็มที่ฝังจมในชั้นดินที่มีดินเหนียวอ่อนหรือซิลท์วางอยู่บนชั้นทรายแน่น (bearing stratum) ค่า D/B (ในรูปที่ 2.6) ให้คิดเฉพาะความยาวของเสาเข็มส่วนที่จมใน bearing stratum



รูปที่ 2.6 Berezantsev's bearing capacity factor (TOMLINSON, 1986)

D/B = depth (length) to width ratio ของเสาเข็ม

(ข) เมื่อส่วนปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียว

สำหรับดินเหนียวนั้นถือได้ว่า $\phi \approx 0$ ซึ่งจะให้ค่า N_c และ N_q หรือมีค่าน้อยกว่ามาก ดังนั้นสมการ 5.1 จึงเขียนได้ใหม่เป็น

$$\text{net } Q_b = A_b \cdot c \cdot N_c \quad (2.4)$$

ได้มีผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้พยายามประเมินค่า N_c สำหรับ $\phi = 0$

เช่น

SKEMPTON (1951) $6.14 \leq N_c \leq 9$ length to width ratio (D/B) ≥ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

SKEMPTON (1959) $N_c = 9$ ยืนยันด้วยผลการทดสอบของ London clay

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOWERS et al (1961)	$5 \leq N_c \leq 8$	จากการทดสอบแบบจำลอง
MOHAN & JAIN (1961)	$5.7 \leq N_c \leq 8.2$	สำหรับ expansive clays
LANDANY (1963)	$7.4 \leq N_c \leq 9.3$	สำหรับ insensitive clays
BISHOP et al (1945)	$N_c = 1 + \frac{4}{3} \left[1 + \ln \frac{E}{3C_u} \right]$	สำหรับเสาเข็มกลม
TOMLINSON (1986)	$N_c = 9.3$	length to width ratio in bearing stratum ≥ 5
BOLES (1986)	$N_c = 5.74$	

2.2.2 การหาแรงเสียดทานด้านข้าง (skin friction, Q_s)

แรงเสียดทานจะเกิดขึ้นโดยรอบผิวของเสาเข็มและดินเหนียว จะให้แรงต้านทานได้กว่าทรายเป็นส่วนใหญ่ การตอกเสาเข็มและมีผลต่อแรงเสียดทาน ซึ่งจะเป็นจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ เพราะรบกวนต่อโครงสร้างของดินโดยตรง จากความรู้พื้นฐานของกลศาสตร์ดินนั้นพบว่า

$$\text{shear strength of soil } s = c + \sigma \tan \phi$$

ดังนั้น pile – soil shear strength (unit skin friction) $s = c_a + \sigma_h \tan \delta$

c = soil cohesion $\approx c_u$

c_a = soil adhesion = αc

α = adhesion factor

σ = normal stress

σ_h = horizontal stress ของดินกระทำที่ผิวเสาเข็ม

ϕ = angle of internal friction

δ = angle of friction ระหว่างเสาเข็มกับดินหรือ angle of wall friction

(ก) แรงเสียดทานของเสาเข็มในทราย (Cohesion Soil)

แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลึกวิกฤต (Critical depth, d_c) ซึ่งความลึกวิกฤตนี้จะมีค่าเท่ากับ 10B ในทรายหลวม (loose sand) , 15B ในทรายทั่วๆ ไป (medium sand) ลึกกว่าความลึกวิกฤตนั้น ค่าแรงต้านทานรอบผิวเสาเข็มจะเริ่มเป็นค่าคงที่ (เท่ากับค่าแรงต้านทานรอบผิวเสาเข็มที่ความลึกวิกฤต)

สำหรับทรายแม้ว่าอาจจะมี cohesion เพียงเล็กน้อย แต่ในทางปฏิบัติก็ถือ

ว่าเป็น frictionless soil และน้ำสามารถซึมผ่านได้อย่างรวดเร็ว การวิบัติหรือพังทลายของดิน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงอยู่ในลักษณะของ drained condition และคุณสมบัติของดินต้องใช้ในเทอมของ effective stress เพราะ effective stress ควบคุมทั้งความแข็งแรงและการทรุดตัวของดิน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } f_s &= \bar{\sigma}_h \tan \delta \\ &= K_\delta \bar{\sigma}_h \tan \delta \end{aligned}$$

$$Q_s = \sum_0^L A_s \cdot f_s = \int_0^L A_s \cdot f_s$$

$$Q_s = \int_0^L P \cdot K_\delta \cdot \bar{\sigma}_v \tan \delta \cdot dl \quad (2.5)$$

P = เส้นรอบรูปของเสาเข็ม (สี่เหลี่ยมจัตุรัส = $4B$, วงกลม = πD)

L = ความยาวของเสาเข็มในส่วนที่พิจารณาหาแรงเสียดทาน

K_δ = coefficient of lateral pressure (ตารางที่ 2.1 หรือตารางที่ 2.2)

$\bar{\sigma}_v$ = แรงดันประสิทธิผลที่ความลึกใดๆ

= $r'd$ เมื่อ $d < d_c$

= $r'd_c$ เมื่อ $d \geq d_c$ โดยที่ r' คือ หน่วยน้ำหนักประสิทธิผลของดิน

δ = แรงดันประสิทธิผลที่ความลึกใดๆ

ตารางที่ 2.1 ค่า K_δ สำหรับเสาเข็มรับแรงดึงและเสาเข็มรับแรงอัด (ASCE,1993)

Soil type	K_c	K_t
Sand	1.00 To 2.00	0.50 to 0.70
Silt	1.00	0.50 to 0.70
Clay	1.00	0.70 to 1.00

หมายเหตุ ค่านี้ใช้ไม่ได้กับ prebored , jetted หรือการติดตั้งโดยใช้ vibratory hammer ซึ่งการเลือกใช้ค่า K นั้นขึ้นอยู่กับประสบการณ์ และควรมีการทำ Calculate back ค่า K , δ และ N_q จากการทำการ load test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่า K_δ จำแนกตามชนิดเสาเข็ม

TAVENAS (1971)	0.5	สำหรับเสาเข็มเหล็กรูป H
	0.7	สำหรับเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง
	1.25	สำหรับ taper timber piles
	0.6	สำหรับเสาเข็มรับแรงดึง
IRELAND (1957)	1.75-3.0	จากการทดสอบแรงดึงของเสาเข็ม
MEYERHOR (1951)	ทรายหลวม = 0.5, ทรายแน่น = 1.0	จากการวิเคราะห์ข้อมูลในสนาม
MANSUR and JAUFMAN (1958)	แรงกด = 0.3, แรงดึง = 0.6	จากการวิเคราะห์ข้อมูลในสนาม
MANSUR and HUNTER (1970)	1.4-1.9	สำหรับเสาเข็มเหล็กรูป H
	1.2-1.3	สำหรับ steel pipe piles
	1.45 -1.60	สำหรับเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงสี่เหลี่ยม
	1.25	จากการทดสอบเสาเข็มไม้ 1 ตัวอย่าง
	0.4-0.9	จากการทดสอบแรงดึงกับเสาเข็มทุกชนิด

อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ K และค่า δ ที่เหมาะสมนั้น อาจขึ้นอยู่กับ
 ประสบการณ์และสภาพงานซึ่งอาจเลือกใช้ค่าอื่นที่เหมาะสมกว่าในตารางที่ 2.3 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ
 ดุลยพินิจของผู้ออกแบบ

ตารางที่ 2.3 ค่ามุมเสียดทาน δ ในเทอมของ ϕ จำแนกตามชนิดของเสาเข็ม (ASCE)

Soil type	δ
Sand	0.67 ϕ to 0.83 ϕ
Silt	0.90 ϕ to 1.00 ϕ
Clay	0.80 ϕ to 1.00 ϕ

สิ่งที่น่าจะนำมาพิจารณาก็คือ เสาเข็มที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยจะแทนที่ปริมาตร
 ของดินน้อย และทำให้ค่า K_δ หรือ δ มีค่าน้อยไปด้วย อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าค่าของ
 K_δ กระจายอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.5 เป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) แรงเสียดทานของเสาเข็มในดินเหนียว

สำหรับดินเหนียวนี้มีอัตราการซึมของน้ำค่อนข้างช้ามาก การวิบัติหรือพังทลายของดินส่วนใหญ่จึงเกิดในลักษณะของ undrained conditions เพราะจะมีความดันของน้ำสะสมมากขึ้นอันเนื่องมาจากการตอกเสาเข็มอย่างต่อเนื่อง มุม ϕ ของดินเหนียวมีค่าน้อยมากและในการวิเคราะห์ส่วนใหญ่ประมาณให้เท่ากับศูนย์ได้ ($\phi = 0$ analysis) ดังนั้นแรงเสียดทานของเสาเข็มในดินเหนียวจึงประเมินได้จาก

$$Q_s = A_s \cdot f_s$$

$$= c_u \cdot P \cdot L$$

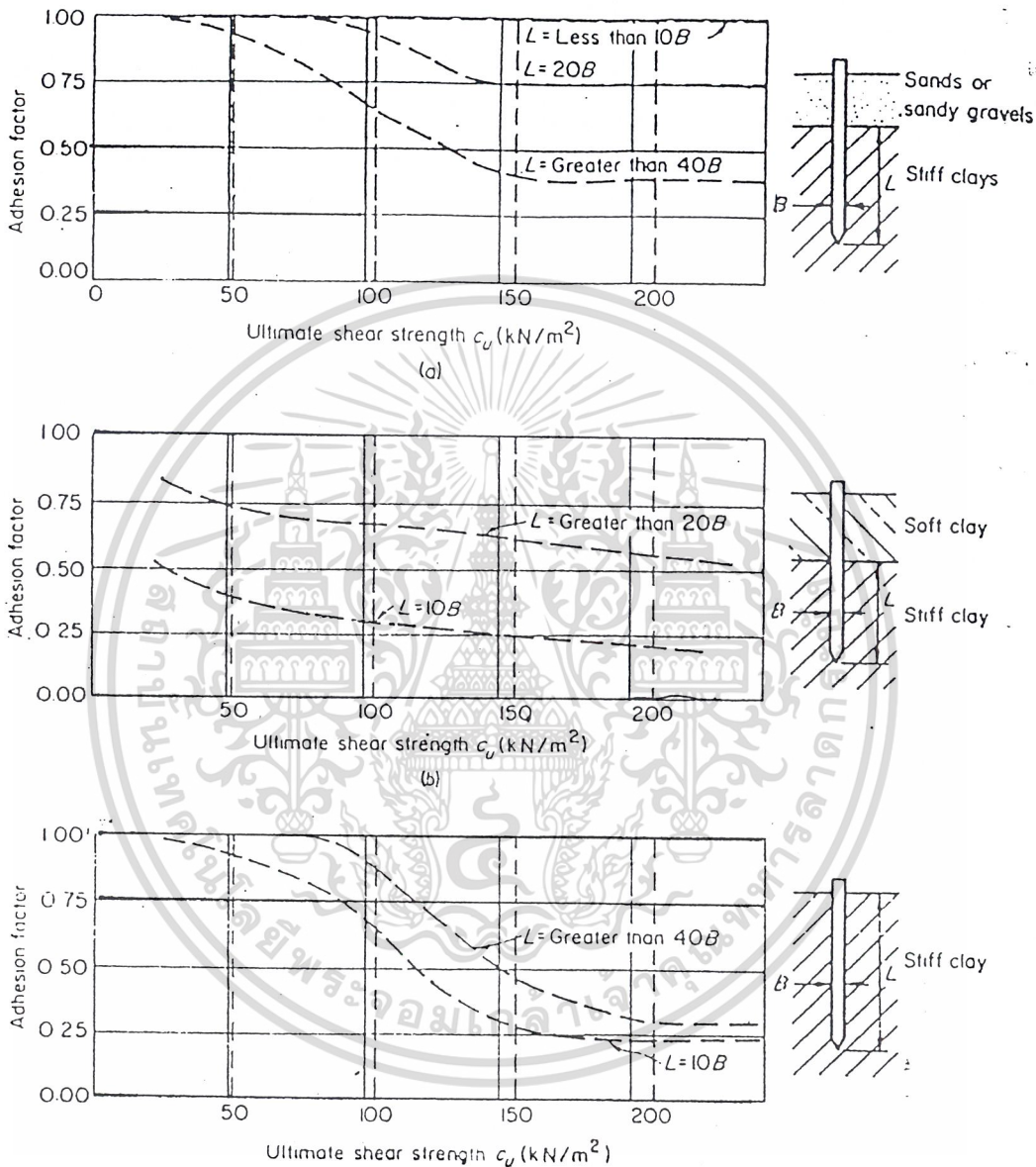
$$Q_s = \alpha \cdot c \cdot P \cdot L \quad (2.6)$$

f_s = unit skin friction (pile-soil shear strength)

A_s = พื้นที่โดยรอบผิวของเสาเข็ม = $P \cdot L$

c = cohesion = average undisturbed shear strength
= c_u undrained shear strength

α = adhesion factor (รูปที่ 2.7, 2.8 และ 2.9)

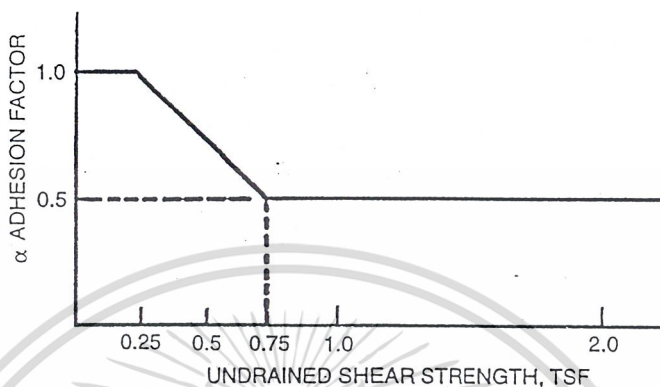


รูปที่ 2.7 Adhesion factor ของเสาเข็มตอกในดินเหนียวลักษณะต่างๆ

- a) ผ่านชั้นทรายหรือทรายนกรวด (ถมปรับพื้นที่)
- b) ผ่านชั้นดินเหนียวที่อ่อน (พื้นที่ในภาคกลาง)
- c) อยู่ในชั้นดินเหนียวที่แข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีของ Semple และ Rigden (1984) เป็นวิธีที่เหมาะสมกับเสาเข็มที่ยาวซึ่งจะให้ค่า adhesion factor ในรูป factor 2 ค่า คือ α_1 และ α_2 ซึ่งดูได้จากรูป



รูปที่ 2.8 ค่า α เทียบกับค่า Undrained Shear Strength (ASCE, 1993)



รูปที่ 2.9 ค่า α_1 และ α_2 สำหรับเสาเข็มยาว (Semple and Rigden, 1984)

ในกรณีที่ดินเหนียวในชั้นต่างๆ มีการกระจายของค่า undrained shear strength ตามความลึกให้ใช้ค่าเฉลี่ยดินเหนียวแต่ละชั้นสำหรับสมการที่ 5.5 ส่วนน้ำหนักปลอกภัยที่เสาเข็มสามารถรับน้ำหนักนั้นหาได้จาก

$$\text{น้ำหนักปลอกภัยที่รับได้} \quad Q_a = \frac{\text{net } Q_b}{F} + \frac{Q_s}{F}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกข้างบนไปได้นั้นปลอกภัยจะรับน้ำหนักเฉลี่ยของเสาเข็มที่ปลอกภัยซึ่งมีการนำไปใช้
F = ส่วนลดหรือสัดส่วนสำหรับความปลอดภัย ปกติใช้ 1.5 ถึง 3.0 หรือ

เท่ากับ 2.5 สำหรับ static formular

$$Q_a = \frac{1}{2.5}(\text{net } Q_b + Q_s)$$

หรือ
$$Q_a = \frac{\text{net } Q_b}{3.0} + \frac{Q_s}{1.5}$$

ข้อสังเกต :

- ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม (Q_{ult}) ที่รับแรงดึง (Compression) จะพิจารณาเฉพาะค่าความต้านทานรอบผิวเสาเข็ม (Q_s) เท่านั้น
- ในกรณีที่เสาเข็มเหล็ก ที่มีหน้าตัดรูป H (Steel H Pile) ค่า A_s จะถือเป็นพื้นที่ของรูป Block ส่วนค่า A_t จะเป็นพื้นที่ของรูป Block

(ค) ในกรณีที่เสาเข็มอยู่ในชั้นตะกอนทราย (silt)

แรงต้านทานรอบผิวเสาเข็มใน silt นั้นมีสาเหตุ 2 ประการ คือ ความเสียดทานตลอดความยาวเสาเข็ม และแรงยึดเหนี่ยวของดินรอบเสาเข็ม ในส่วนของแรงเสียดทานนั้น จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลึกวิกฤต (critical depth, d_c) ในส่วนที่ลึกกว่าความลึกวิกฤต แรงเสียดทานนี้จะมีค่าคงที่ สำหรับการออกแบบค่าความลึกวิกฤตจะมีค่า 10 B ในตะกอนทรายหลวม (loose silt), 15 B ในตะกอนทรายทั่วๆ ไป (medium silt) และ 20 B ในตะกอนทรายแน่น (Dense silt) เมื่อ B คือเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างของเสาเข็ม ในส่วนของแรงยึดเหนี่ยวจะกำหนดโดยค่า Undrained shear strength ของชั้นดิน ซึ่งผลรวมของความต้านทานรอบผิวเสาเข็มเฉลี่ย (average skin resistance, f_s) จะสามารถหาได้จากสมการ

$$f_s = K\sigma' \tan \sigma + \alpha c \quad (2.7)$$

2.2.3 การรับน้ำหนักของเสาเข็มจากการทำ penetration test

(ก) Static (Dutch) cone penetration test

การทำการทดสอบนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่เกิดขึ้นจริงเพียงแต่ขนาดของ cone ที่ใช้มีขนาดเล็กกว่าและไม่ได้มีการใช้เครื่องมือทำการตอกเหมือนเสาเข็มผลที่ได้จากการทดสอบจะเป็น cone resistance (q_c) และ tube หรือ skin friction (q_f) สภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มประเมินจาก (TOMLINSON, 1986)

$$\text{net } q_{ult} = q_c \quad (2.8)$$

$$f_s = \bar{q}_c / 200 \quad \text{สำหรับเสาเข็มตอก} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไขหรือเผยแพร่ข้อมูลหรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

$$= \bar{q}_c / 400 \quad (2.10)$$

ค่า q_c ที่ใช้ในสมการ (2.8) เป็นค่าเฉลี่ยของส่วนที่อยู่ลึกลงจากปลายเสาเข็ม D และสูงขึ้นไป $3D$ ตามหลักการของ Van der Veen (รูปที่ 2.10) ส่วนค่า \bar{q}_c ที่ใช้ในสมการที่ (2.9) และ (2.10) เป็นค่าเฉลี่ยตลอดความยาวในแต่ละชั้นดินของเสาเข็ม ตามหลักการของ Meyerhof ซึ่งจะต้องให้ผลออกมาไม่เกิน 10.7 และ 5.4 ตันต่อตารางเมตรตามลำดับ หน่วยที่ใช้ในสมการทั้งสามนี้เป็นหน่วยอันเดียวกันและให้ผลที่เชื่อถือได้กับเสาเข็มที่มีขนาดไม่เกิน 50 เซนติเมตร ส่วนลดสำหรับความปลอดภัยนิยมใช้เท่ากับ 2.5 VESIC (1964) แนะนำให้ตอกเสาเข็มจมลงในชั้นดินที่แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 5 เท่าและไม่เกิน 20 เท่าของขนาดของเสาเข็ม หรือถึงความลึกของชั้นดินที่ให้ค่า static cone resistance เท่ากับ 107 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 2.10 การคำนวณแรงต้านทานส่วนปลาย (Van der Veen's method)

(ข) Standard penetration test

ปกติในการเจาะดินนั้นนิยมทำ standard penetration test โดยเฉพาะดินที่มีทรายปนอยู่ ซึ่งจะได้ค่า N ออกมาเป็นตัวเลขที่แสดงถึงความแข็งแรงของดิน MEYERHOF (1956) ได้ให้ความสัมพันธ์ของ N value กับสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกในทรายที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (displacement piles in saturated sand ; POULOS and DAVIS, 1980)

$$\text{net } q_{\text{ult}} = 4N \quad \text{ตัน/ตร.ฟุต} = 40N \quad \text{ตัน/ตร.ม} \quad (2.11)$$

$$f_s = \bar{N}/50 \quad \text{ตัน/ตร.ฟุต} = \bar{N}/5 \quad \text{ตัน/ตร.ม} \quad (2.12)$$

สำหรับเสาเข็มเหล็ก เช่น H – piles

$$\text{net } q_{\text{ult}} = 4N \quad \text{ตัน/ตร.ฟุต} = 40N \quad \text{ตัน/ตร.ม} \quad (2.13)$$

$$f_s = \bar{N}/100 \quad \text{ตัน/ตร.ฟุต} = \bar{N}/10 \quad \text{ตัน/ตร.ม} \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า N ในสมการ (2.11) และ (2.13) ให้ใช้ค่าที่ส่วนปลายของเสาเข็ม ส่วน ในสมการ (2.12) และ (2.14) ให้ใช้ค่าเฉลี่ยตลอดความยาวของเสาเข็มที่พิจารณาแรงเสียดทานและผลที่ได้ออกมาต้องมีค่าไม่เกิน 1.0 และ 0.5 ตัน/ตร.ฟุต ตามลำดับ (10 ถึง 50 ตัน/ตร.ม)

BROMHAM and STYLES (1971) ได้ใช้สมการทั้ง 4 กับดินเหนียวที่แข็ง (stiff clay) และพบความสำเร็จว่าพอใช้ได้ ส่วนมาตรฐานของญี่ปุ่นนั้นประเมิน pile capacity นั้นได้จาก

$$\text{net } q_{ult} = 30N \quad \text{ตัน/ตร.ฟุต}$$

สำหรับในประเทศไทยนั้นได้มีผู้พยายามศึกษาและให้ความสัมพันธ์ของผลที่ได้จากการทำ static cone penetration test ก็กับการรับน้ำหนักของเสาเข็มซึ่งใช้กันในกรุงเทพมหานครและเขตใกล้เคียง แต่ผลยังไม่เป็นที่ยืนยันหากนำมาใช้กับดินแข็งใหม่ หากนำไปใช้แล้วควรมีการตรวจสอบที่แน่นอนก่อนและควรใช้ความระมัดระวัง อย่างไรก็ตาม ผู้เขียนเห็นว่าอาจจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าหรือนำไปใช้ในกรณีที่จำเป็นต่อไปบ้าง

$$\text{net } q_{ult} = \lambda q_c$$

$$f_s = \beta q_c$$

λ = ตัวเลขคงที่ สำหรับดินเหนียว = 0.3 และดินทราย = 0.5

β = ตัวเลขคงที่ สำหรับ soft, medium stiff, stiff clay = 1.0, 0.7, 0.5 ตามลำดับ และสำหรับทราย = 0.8

น้ำหนักของเสาเข็มก็มีส่วนทำให้เสาเข็มรับน้ำหนักได้น้อยลง แต่ดินจะรับน้ำหนักจริงก็เพียงแต่เป็นน้ำหนักส่วนเกินของปริมาตรเสาเข็มซึ่งแทนที่ในดิน เพราะความหนาแน่นของคอนกรีตกับของดินนั้นใกล้เคียงกันมาก (2.4 และ 2.0 ตัน/ลบ.ม) ดังนั้นน้ำหนักส่วนเกินนี้หากนำไปหักออกจากน้ำหนักปลอดภัยที่เสาเข็มรับได้นั้น จะเห็นว่ามีผลเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำหนักทั้งหมดที่รับได้ บางท่านก็ประเมินโดยน้ำหนักเสาเข็มทั้งหมดไปหักลบออกจากน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกันกับที่กล่าวมาก่อนแล้ว

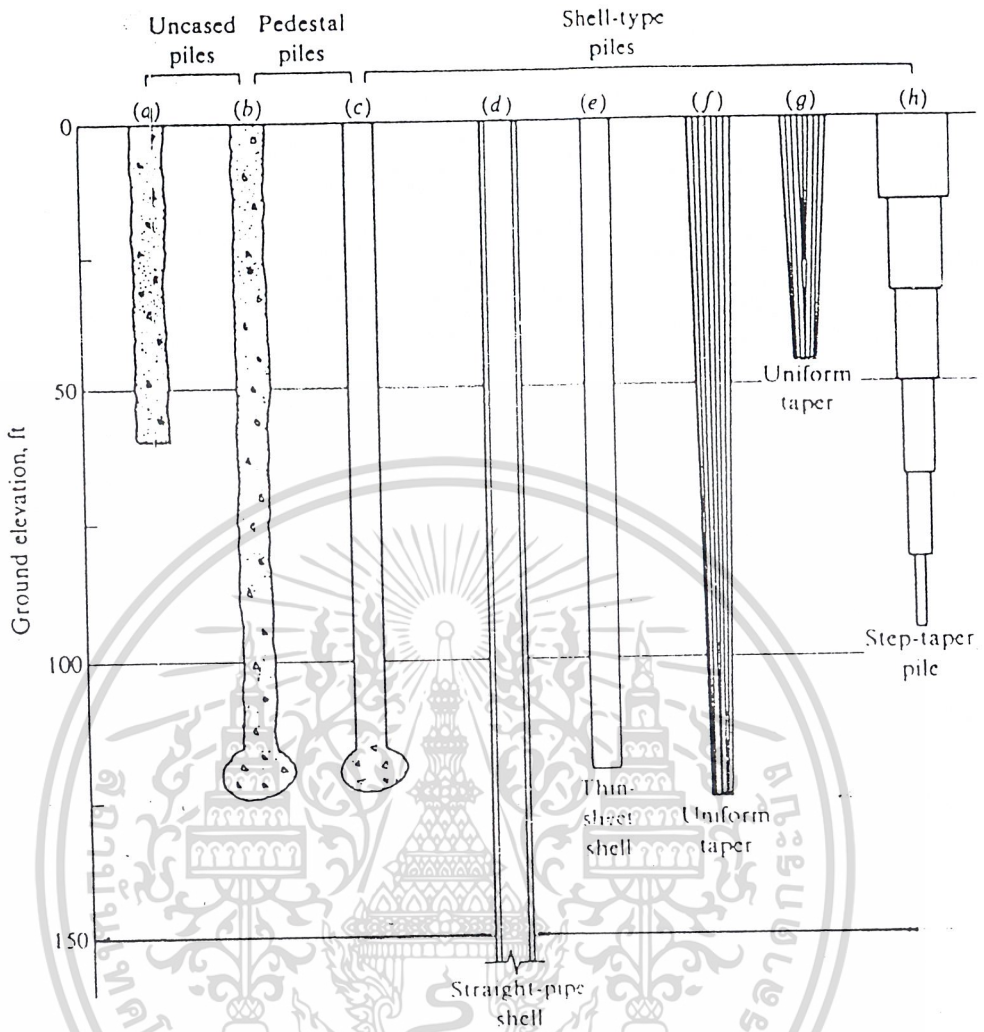
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะโดยใช้ static formula

เสาเข็มที่มีการเทคอนกรีตลงในรูเจาะลึกลงไปใ้ดินที่เตรียมไว้ก่อนนั้น (cast – in – place piles) แบ่งเป็นสองกลุ่มตามวิธีการก่อสร้าง นั่นคือชนิดที่มีการตอกท่อเหล็กที่ต้นส่วนปลายแล้วเทคอนกรีตลงกลางท่อ (driven and cast – in – place pile) และชนิดที่มีการเจาะดินให้เป็นหลุมโดยใช้ใบสว่านหรือ bucket หรืออื่นๆ ซึ่งเรียกกันว่า bored and cast – in – place หรือ bored pile (เสาเข็มเจาะ) กรณีแรกนั้นใช้กับเสาเข็มที่มีหน้าตัดขนาดเล็ก โดยขนาดของเสาเข็มขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการตอก ส่วนกรณีหลังจากนั้นเป็นเสาเข็มขนาดใหญ่ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.60 เมตรเป็นต้นไป ในกรณีที่เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ซึ่งใหญ่กว่า 75 เซนติเมตร หรือคนสามารถลงไปสังเกตในหลุมเจาะได้อาจจะเรียกชื่อเป็นอย่างอื่น นั่นคือ drilled, pier, drilled schaft หรือ caisson แต่ caisson มักจะเป็นรูปทรงเหลี่ยมเป็นส่วนใหญ่ (box type structure) ชนิดของเสาเข็มที่หล่อคอนกรีตในดินหรือเสาเข็มเจาะนั้นมีอยู่หลายชนิด ดังแสดงไว้เพียงบางส่วนในรูปที่ 2.11 และ 2.12 ซึ่งมีทั้งที่ใช้และไม่ใช้ท่อกันกัน (tube, casing)

ปัจจุบันนี้เสาเข็มเจาะเป็นที่นิยมใช้กันอย่างมาก เพราะได้มีการพัฒนาทั้งเครื่องมือและเทคนิคในการก่อสร้าง บางสถานที่นั้นจำเป็นต้องใช้เสาเข็มเจาะ เพราะไม่สามารถตอกเสาเข็มตอกผ่านชั้นทรายปนกรวดที่แน่นไปได้ หรือน้ำหนักบรรทุกลงสู่เสาเข็มมีมากเหนือเสาเข็มตอกอาจทำความเสียหายแก่สิ่งก่อสร้างที่อยู่ข้างเคียง วิศวกรหลายท่านไม่นิยมใช้เสาเข็มเจาะเพราะเกรงว่าดินจะปนเข้ากับหลุมพังลงขณะทำการเทคอนกรีต วิศวกรบางท่านไม่นิยมใช้เสาเข็มเจาะเพราะเกรงว่าดินจะปนเข้ากับหลุมพังขณะทำการเทคอนกรีต วิศวกรบางครั้งท่านอาจเกรงว่า bentonite จับตัวเป็นฟิล์มที่ผนังรูเจาะและทำให้ skin friction ลดลง ปัญหาต่างๆ นี้ได้รับการแก้ไขโดยการใช้เทคนิคที่ทันสมัย จนทำให้เสาเข็มเจาะมีบทบาทในการก่อสร้างอย่างมากในปัจจุบัน เพราะสามารถตรวจสอบดินในหลุมเจาะได้ตลอดเวลาและมีความมั่นใจเป็นอย่างมากที่ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินที่รับน้ำหนักได้ดีตามที่ต้องการเสาเข็มเจาะจึงเหมาะสมสำหรับอาคารสูงที่มีอยู่มากในเมืองใหญ่ การรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะนั้นส่วนใหญ่คล้ายคลึงกับเสาเข็มตอก แต่ผลจากการเจาะ (น้ำและหัวเจาะ) จะทำให้ดินทั้งด้านข้างและกันหลุมเจาะถูกรบกวน อันจะทำให้ความแข็งแรงลดลง บางครั้งอาจมีโคลนเลนค้างอยู่กันหลุมน้ำหนักบรรทุกจึงน้อยกว่าเสาเข็มตอกเมื่อมีขนาดและความยาวเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ชนิดของเสาเข็มหล่อกับที่ในดินที่ใช้ทั่วไป (BOWLES, 1988)

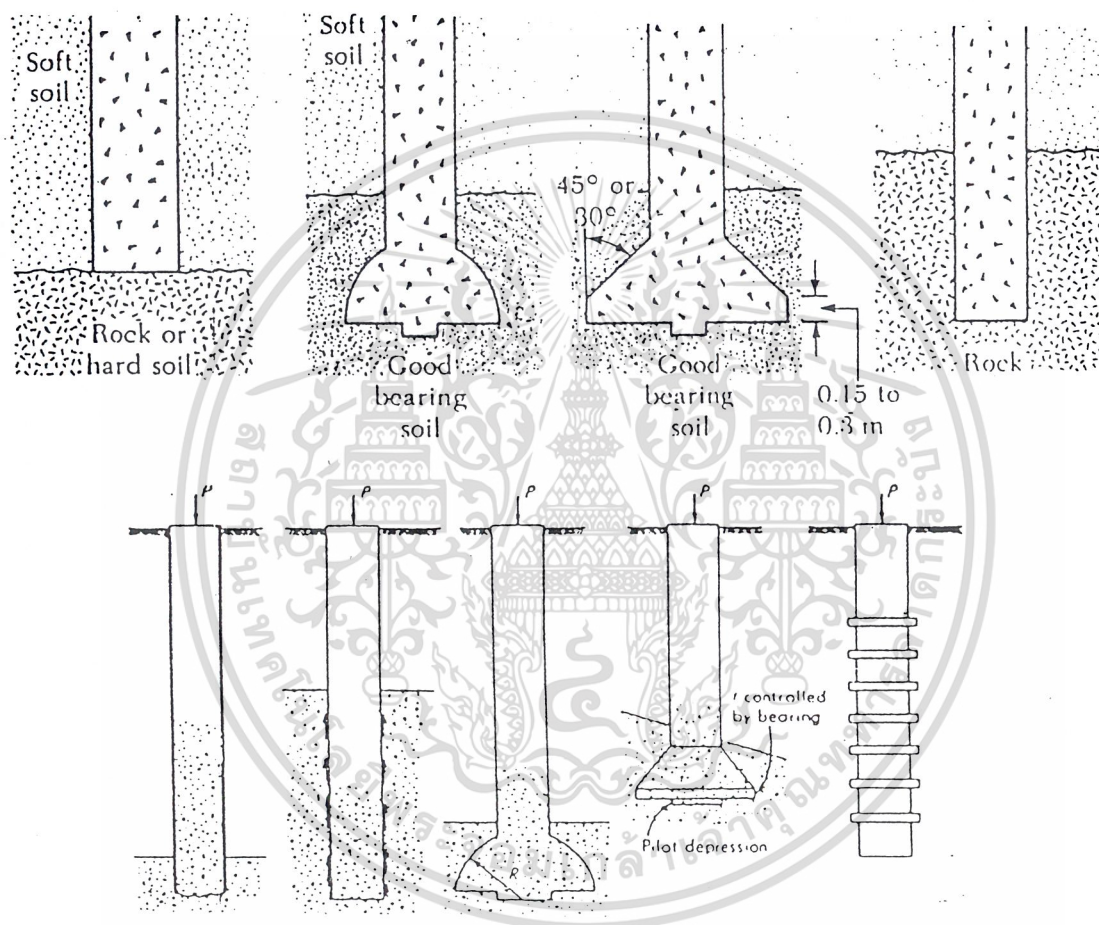
- a) Western uncased pile
- b) Franki uncased - pedestal pile
- c) Franki cased – pedestal pile
- d) Welded or seamless pile
- e) Welded cased pile
- f) Union or monotube pile
- g) Raymond standard pile
- h) Raymond step - taper pile

สภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะนั้น ขึ้นอยู่กับเทคนิควิธีการขุดเจาะวิธีการเทคอนกรีตรูปร่างส่วนปลายเสาเข็มเจาะ (เช่น belled shape ในรูปที่ 2.12) เวลาที่ใช้ในการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นถึงชั้นตอนสุดท้ายที่คอนกรีตแข็งตัว และการปรับปรุงคุณสมบัติของดินด้วย grouting ที่ส่วนปลายหรือรอบผิวเสาเข็ม ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานั้นจะกระทบต่อสภาพดินโดยรอบเสาเข็มเจาะ เป็นที่ทราบกันดีว่าปัญหาที่มักพบในการก่อสร้างเสาเข็มและเจาะนั้นมี

- การร่วนซุยของดินจากการขุดเจาะที่ส่วนปลายและรอบผิวเสาเข็ม
 - การพังทลายของผนังหลุมเจาะก่อนเทคอนกรีต
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีเหตุใดแต่สิ่งใด และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

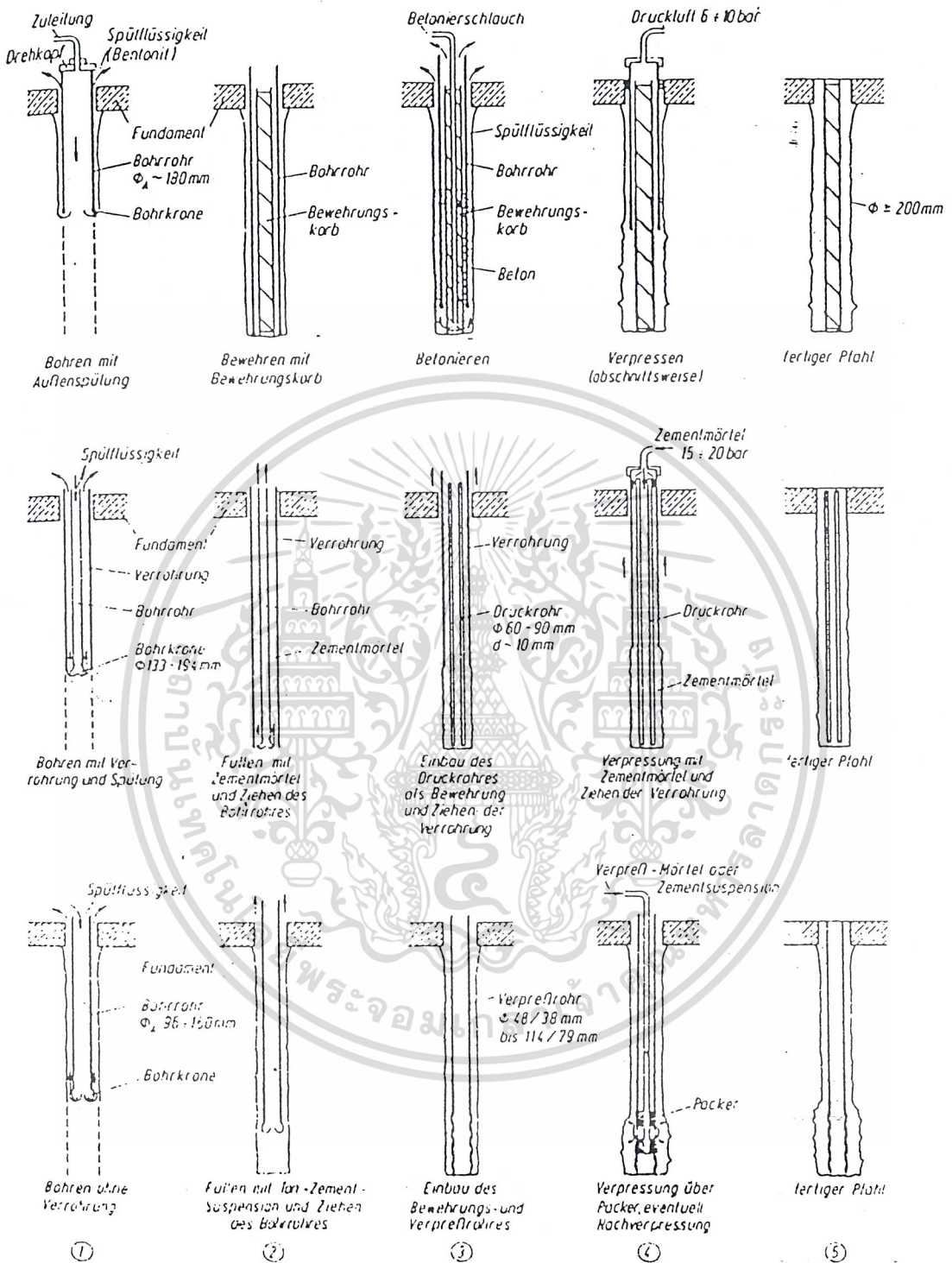
- การล้างหรือกำจัดดินโคลน หรือดินหลวมบริเวณกันหลุม
- สภาพการไหลของคอนกรีตให้เต็มรูเจาะ
- การไหลซึมของน้ำใต้ดินเข้าไปในคอนกรีตขณะที่ยังไม่แข็งตัว

เป็นที่ทราบกันดีว่าการก่อสร้างเสาเข็มเจาะนั้นมีอยู่ 2 วิธีใหญ่ คือ dry process ซึ่งเป็นการเจาะแบบแห้งโดยไม่มีน้ำในหลุมเจาะหรือไม่ใช้เทคนิคอื่นช่วยการเจาะ และ wet process อันเป็นการเจาะโดยใช้ bentonite slurry ป้องกันมิให้เกิดการพังทลายของดินที่ผนัง



รูปที่ 2.12 การก่อสร้างเสาเข็มเจาะให้เป็นรูปร่างต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 วิธีการเจาะและหล่อกอนกรีตในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ

รูเจาะ นอกจากนั้นยังมีการใช้ casing ป้องกันการพังทลายของดินระหว่างการเจาะอีกด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันวิศวกรรมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคำ
 รูปที่ 2.13 แสดงขั้นตอนการขุดเจาะและวิธีการเทคอนกรีตในรูเจาะให้แน่นที่เชิงกอนยูนขณะนี้
 ไม่มีการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเครื่องมือและเทคนิคที่ใช้ในการก่อสร้างเสาเข็มจะแตกต่างกันไปตามแต่ลักษณะของดินหรือข้อจำกัดอื่นๆ เช่น โกล์ชิตเซตที่ดิน และให้ผลกระทบต่อโครงสร้างของดินที่เปลี่ยนไปในปริมาณที่ไม่เท่ากัน

จะเห็นได้ว่าเสาเข็มเจาะที่ได้จากวิธีการก่อสร้างที่ต่างกันนั้นยอมให้สภาพการรับน้ำหนักที่ไม่เหมือนกัน อีกทั้งประสิทธิภาพและความชำนาญของผู้ก่อสร้างเสาเข็มเจาะมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพของเสาเข็มเจาะ ดังนั้นวิศวกรผู้ทำการก่อสร้างเสาเข็มเจาะจะเป็นผู้ที่ประเมินสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะได้ดีและน่าเชื่อถือกว่าผู้อื่น

สำหรับเทคนิคที่ใช้ล้างดินหลวมกันหลวมเจาะในปัจจุบันนั้นมีการอัดอากาศลงกันหลวมเจาะและสูบน้ำโคลนออก (air lift) การฉีดน้ำลงกันหลวม การสูบน้ำโคลนออกจากกันหลวมโดยตรงและอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีการควบคุมคุณสมบัติของ bentonite slurry ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ในทางปฏิบัติเช่น pH อยู่ระหว่าง 7.5 ถึง 11 density โดย Boroid mud balance ระหว่าง 1.05 ถึง 1.20 ตันต่อลบ.ม. (ปริมาณ bentonite ระหว่าง 2 ถึง 6% โดยน้ำหนัก) viscosity โดย March's funnel viscometer ของ API Standard ขนาด 947 ml. ระหว่าง 30 ถึง 100 วินาที (viscosity ของน้ำที่ 20°C ประมาณ 27 ถึง 299 นาที) และปริมาณทรายต้องปนอยู่ไม่เกิน 6% เหล่านี้เป็นต้น

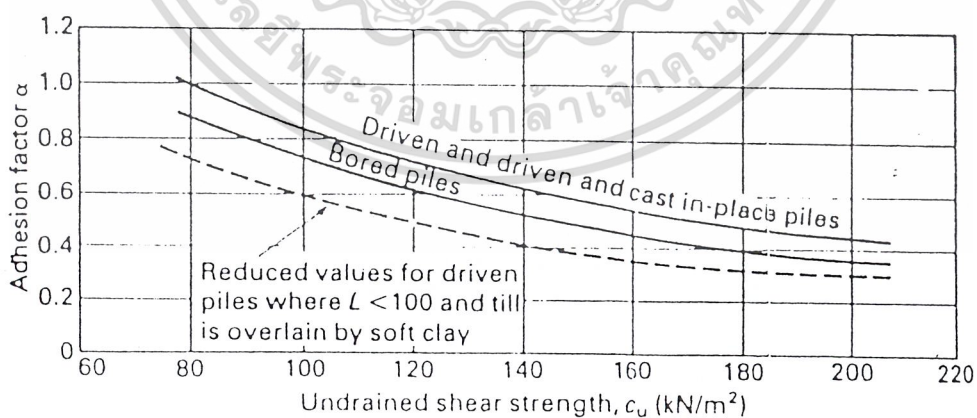
อย่างไรก็ตามมีผู้เชี่ยวชาญหรือมีประสบการณ์บางท่านได้ให้ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการประเมินสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะต่อไปนี้

- TOMLINSON (1986)
- สำหรับทรายให้ใช้ ϕ ในสภาวะที่ทรายอยู่หลวม (มีใช้ตัวอย่างคงสภาพ) หากเจาะดินโดยใช้ ROTARY DRILLING ควบคู่กับ bentonite slurry แล้วก็อาจใช้ค่า ϕ สูงขึ้นเท่ากับค่าที่ได้จากตัวอย่างดินคงสภาพ
 - สำหรับดินเหนียว $\phi = 9$ และใช้ค่า shear strength ต่ำสุด ในการคำนวณแรงต้านทานส่วนปลาย แรงเสียดทานให้ใช้ $\alpha = 0.45$ กับค่าเฉลี่ยของ shear strength ซึ่ง αc ต้องน้อยกว่า 10 ตันต่อตารางเมตร ส่วน heavily fissured clay ควรใช้ α ให้ต่ำถึง 0.3 สัดส่วนหรือส่วนลดสำหรับความปลอดภัยใช้เท่ากับ 2.5 ทั้งแรงต้านทานส่วนปลายและแรงเสียดทาน
 - ประเมินหา skin friction ของเสาเข็มเจาะใน boulder clay และ glacial tills จาก adhesion factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยอ้างอิงข้อมูลจาก Weltman and Healy (1978) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตีพิมพ์อย่างอื่นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- BOWLES (1980) - ใช้ $\alpha = 0.35$ ถึง 0.40 ซึ่ง αc ไม่มากกว่า 100 Kpa และ $N_c = 9$ ส่วนค่าอื่นๆ ให้ใช้เช่นเดียวกับของเสาเข็มตอก
- POULOS & DAVIS (1980) - สำหรับทรายใช้ค่า ϕ ที่ได้จากการทดสอบในการหาแรงเสียดทานส่วนแรงต้านทานส่วนปลายให้ลดลง 3 องศา
- สำหรับดินเหนียวนั้นไม่ได้ให้ความเห็นแต่ได้สรุปความคิดเห็นของผู้อื่นไว้ เช่น SKEMPTION (1959) , MEYERHOF and MURDOCK (1953) ใช้ αc ไม่เกิน 96 kPa และดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

เป็นที่ทราบกันดีว่า รูปร่างเทคนิคและวิธีการก่อสร้างเสาเข็ม มีผลกระทบโดยตรงต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงของดินรอบเสาเข็มและที่ส่วนปลาย โดยอาจใช้ flight auger, rotary drilling, bentonite slurry การอัดด้วยอากาศหรือการทำ injection รอบผิวเสาเข็มหรือส่วนปลายของเสาเข็มดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.15 ซึ่งการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะนั้นจะพิสูจน์หรือตรวจสอบได้จากการทดสอบในสนามเท่านั้น ประสบการณ์ความชำนาญของผู้รับเหมาก่อสร้างและเทคนิควิธีการจะเป็นสิ่งที่บ่งชี้สภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะได้ถูกต้องและน่าเชื่อถือกว่าสิ่งอื่นใด อย่างไรก็ตามพอที่จะใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์โดย FEM การทดสอบและประสบการณ์ที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.16 ประเมินหาสภาพของเสาเข็มจะได้



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ของ adhesion factor กับความแข็งแรงของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 Adhesion factor สำหรับเสาเข็มเจาะในดินเหนียว

Soil Type	Adhesion		Reference
	Factor	Value	
London clay	C_d/C_u	0.25-0.7 Average, 0.45	Gokder and Leonard (1954) Tomlinson (1957) Skempton (1959)
Sensitive clay	C_d/C_r	1	Golder (1957)
Highly expensive clay	C_d/C_u	0.5	Monan and Chhandra (1961)

อย่างไรก็ตาม หากความสามารถการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะไม่เป็นไปตามที่คาดคะเนไว้หรือมีความประสงค์ที่จะเพิ่มสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะให้เพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ สามารถทำได้โดยการฉีดซีเมนต์หรือสารเคมีลงไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของดิน อันเป็นที่รู้จักกันทั่วไป injection bored pile โดยที่สามารถ injection รอบผิวเสาเข็มเพื่อเพิ่ม skin friction เพิ่มขึ้น หรือทำ injection ที่ปลายเสาเข็มเพื่อเพิ่ม base resistance ซึ่งวิธีการนี้ได้มีการพิสูจน์ว่าใช้ได้ผลมาแล้วในการก่อสร้างหลายแห่งรวมทั้งประเทศไทย

หลังจากได้หล่อเสาเข็มเจาะจนได้ความแข็งแรงพอสมควรแล้ว อาจมีการทดสอบหาความสมบูรณ์หรือความต่อเนื่องของคอนกรีต โดย sounding test เพื่อให้ความมั่นใจว่าได้เสาเข็มเจาะที่มีคุณภาพดีและมีได้เกิดรูโพรงในคอนกรีต เพราะไม่สามารถตรวจสอบสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะโดย pile load test ทุกต้นหรือทุกกลุ่มได้ การทำ sounding test ดังกล่าวมีอยู่หลายวิธี เช่น

- Seismic testing วัดการสะท้อนกลับของ seismic stress wave โดยอาศัย geophone หรือ transducer ตรวจสอบการตอบสนองของเสาเข็ม
- Sonic testing อาศัยการสั่นสะเทือนด้วยความถี่ 5 ถึง 1000 Hz และใช้ geophone วัดการตอบสนอง resonance ซึ่งสามารถวิเคราะห์หา dynamic stiffness ของเสาเข็มและดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Continu- ous Flight Auger Piles (CFA)

CFA piles

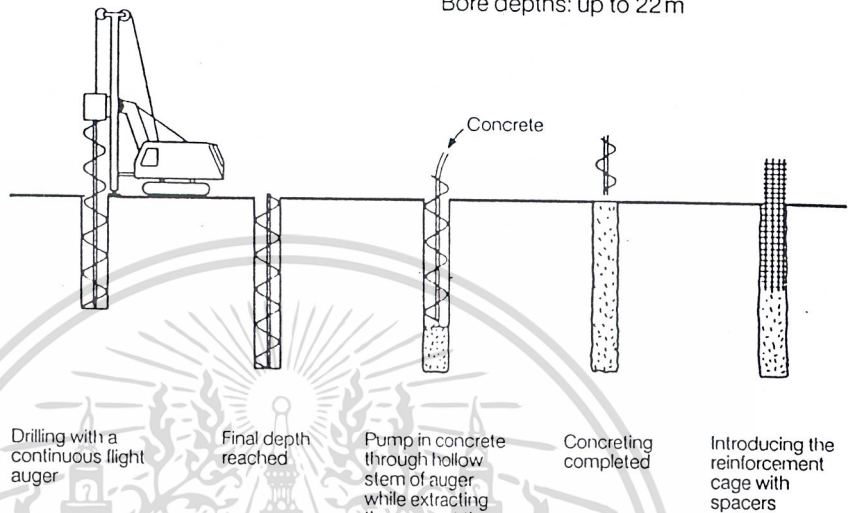
Main application:

- In loose to dense soils (not rock)

Special features:

- If necessary, the reinforcement cage is introduced after concreting
- Very high production

Usual bore diam.: 400–1000mm
Bore depths: up to 22m



FOW Piles

Front-of-wall piles

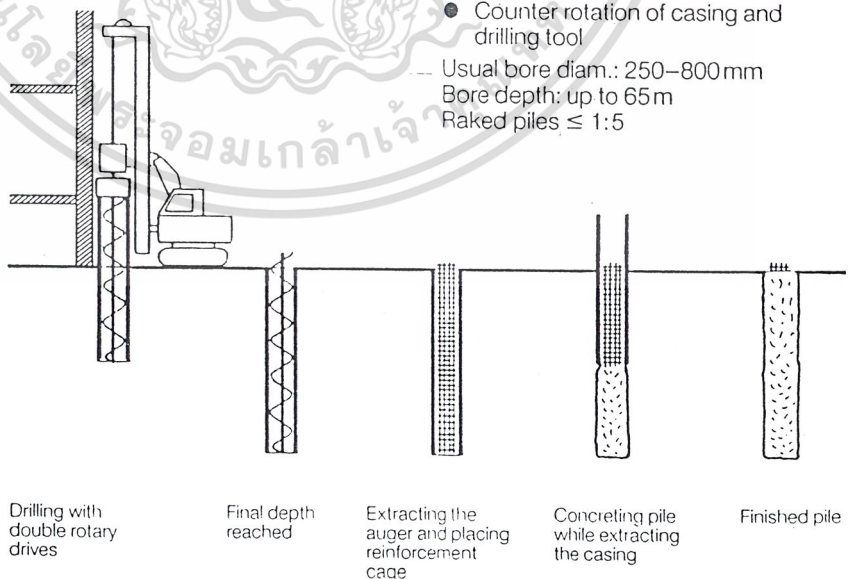
Main application:

- In loose to dense soils
- In inner urban areas

Special features:

- Producing pile walls with zero distance to existing building walls
- Double rotary drives
- Counter rotation of casing and drilling tool

Usual bore diam.: 250–800mm
Bore depth: up to 65m
Raked piles $\leq 1:5$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.15 เทคนิควิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ (Bauer Spezialtiefbau)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Slurry Process

Stabilize bore by slurry

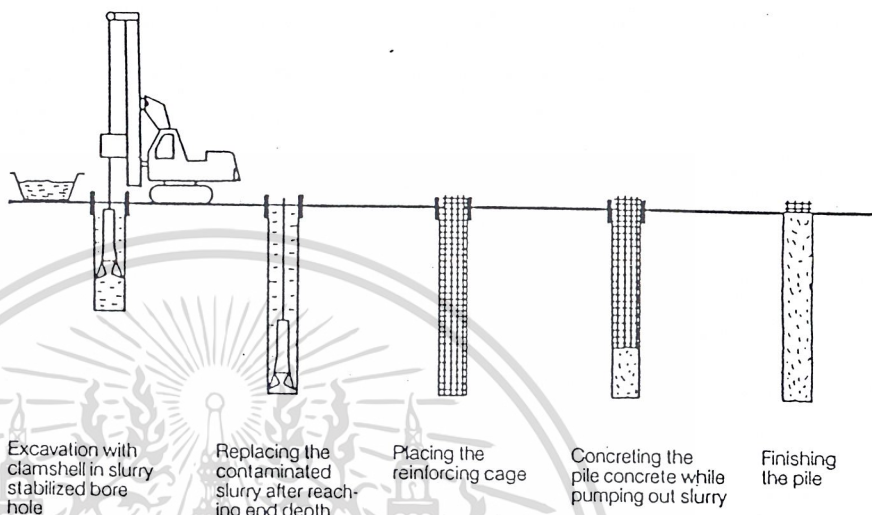
Main application:

- In all types of soil
- For large pile depths and pile diameters
- For large construction sites

Special features:

- Best match to design requirements possible, due to free choice of diameter

Bore depths: almost unlimited
Raked piles not possible



Injection Piles

Small diameter injection piles (mini – piles)

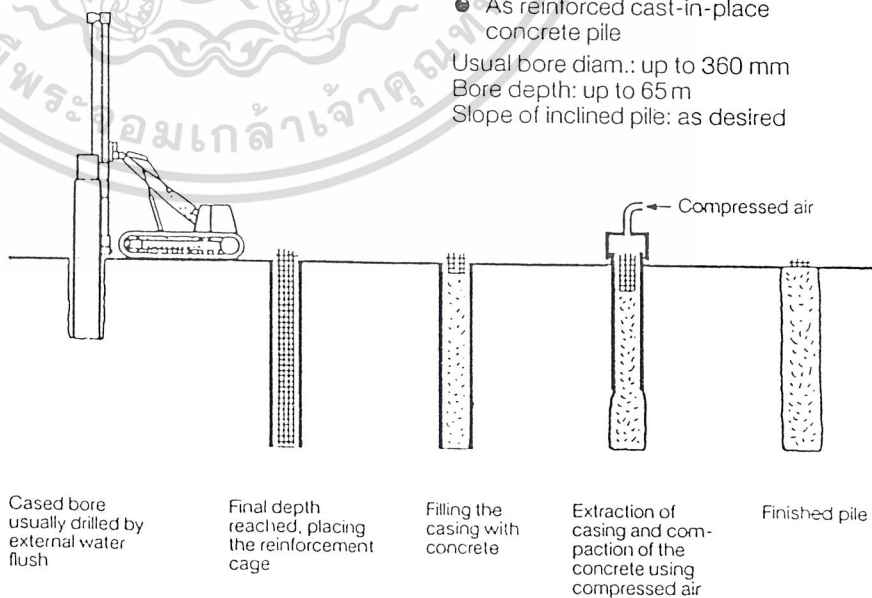
Main application:

- Can be installed in all soils
- Underpinning
- Reconstruction

Special features:

- Can be installed in limited working areas
- As steel core piles
- As reinforced cast-in-place concrete pile

Usual bore diam.: up to 360 mm
Bore depth: up to 65 m
Slope of inclined pile: as desired



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.15(ต่อ) เทคนิควิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ (Bauer Spezialtiefbau)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขและต้องอ้างอิงเงาของเอกสารที่นำมารีพิมพ์

Percus- sion Drilling

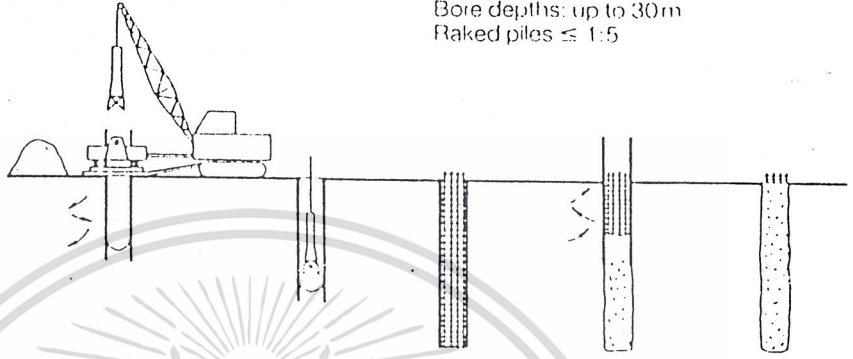
with cable cranes and crane attachment equipment

Main application:

- In soils that have to be cased
- limited working areas
- in soil strata above the ground water table

Special features:

- High adaptability to the widest variety of site conditions
 - High mobility
- Usual bore diam.: 570–2000 mm
Bore depths: up to 30 m
Raked piles \leq 1:5



Driving the casing by oscillating and push down at the same time

Simultaneous excavation of soil with clamshell

Placing the reinforcing cage

Concrete pouring the pile while pulling and oscillating the casing

Finishing the pile

Rotary Drilling

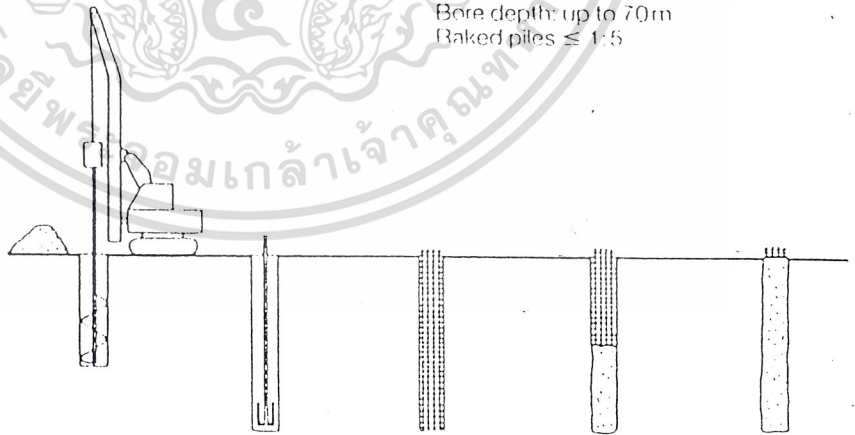
with rotary drilling equipment

Main application:

- In all types of soil
- Very high production

Special features:

- Drilling possible without vibrations
 - Can be done with or without casing
- Usual bore diam.: 400–2200 mm
Bore depth: up to 70 m
Baked piles \leq 1:5



Drilling by auger or bucket

Clearing up the pile base with bucket

Placing the reinforcing cage

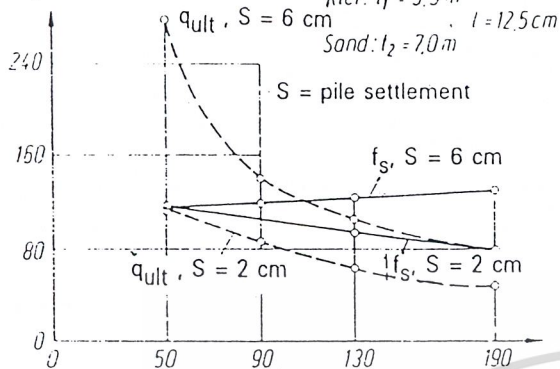
Concrete pouring the concrete pile with tremse tubes

Finishing the pile

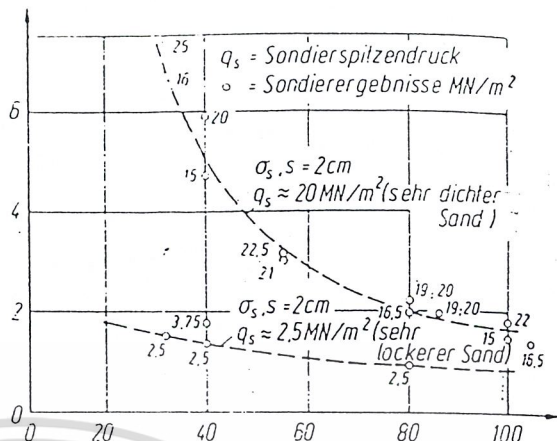
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในนามของกรมโยธาธิการและผังเมือง กรุงเทพมหานคร (Bauer Spezialtiefbau) มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้บริการแก่ผู้เกี่ยวข้องในด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

q_{ult} (MN/m²)

q_{ult}, f_s (kN/m²)

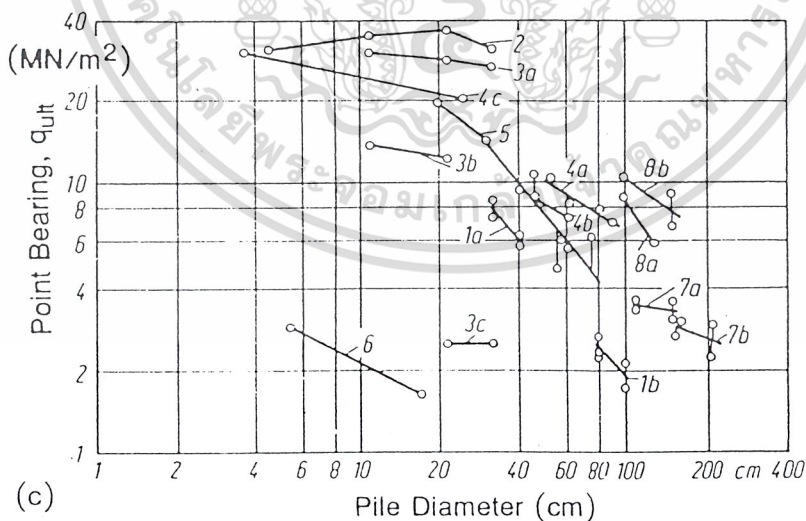


(a) Pile Diameter (cm)



(b) Pile Diameter (cm)

No.	Source	Pile Type	Settlement
1a	Muhs (1959)	Bohrplähle	2 cm
1b	Muhs (1959)	Bohrplähle mit Fußverbreiterung	2 cm
2	Kérisel (1961)	eingedrückte Plähle	s >>
3a, 3b, 3c	Kérisel et al. (1965)	eingedrückte Plähle	s >>
4a	de Beer et al. (1979)	Franki-Plähle	2...3 cm
4b	de Beer et al. (1979)	Franki-Plähle ohne Fußverbreit.	2...3 cm
4c	de Beer et al. (1979)	Sondierungen	s >>
5	Mansur/Facht (1953)	Rampl. aus Stahlbeton u. St.-rohre	≈ 5 mm
6	Vesic (1953)	eingegrabene Plähle	3.8 cm
7a	Franke/Garbrecht (1977)	Großbohrplähle ohne Fuß	10 cm
7b	Franke/Garbrecht (1977)	Großbohrplähle mit Fuß	10 cm
8a	Kérisel (1961)	Plähle vom Maracaibo - Typ.	7 cm
8b	Kérisel (1961)	wie 8a aber mit Spitzenerpress.	7 cm



(c)

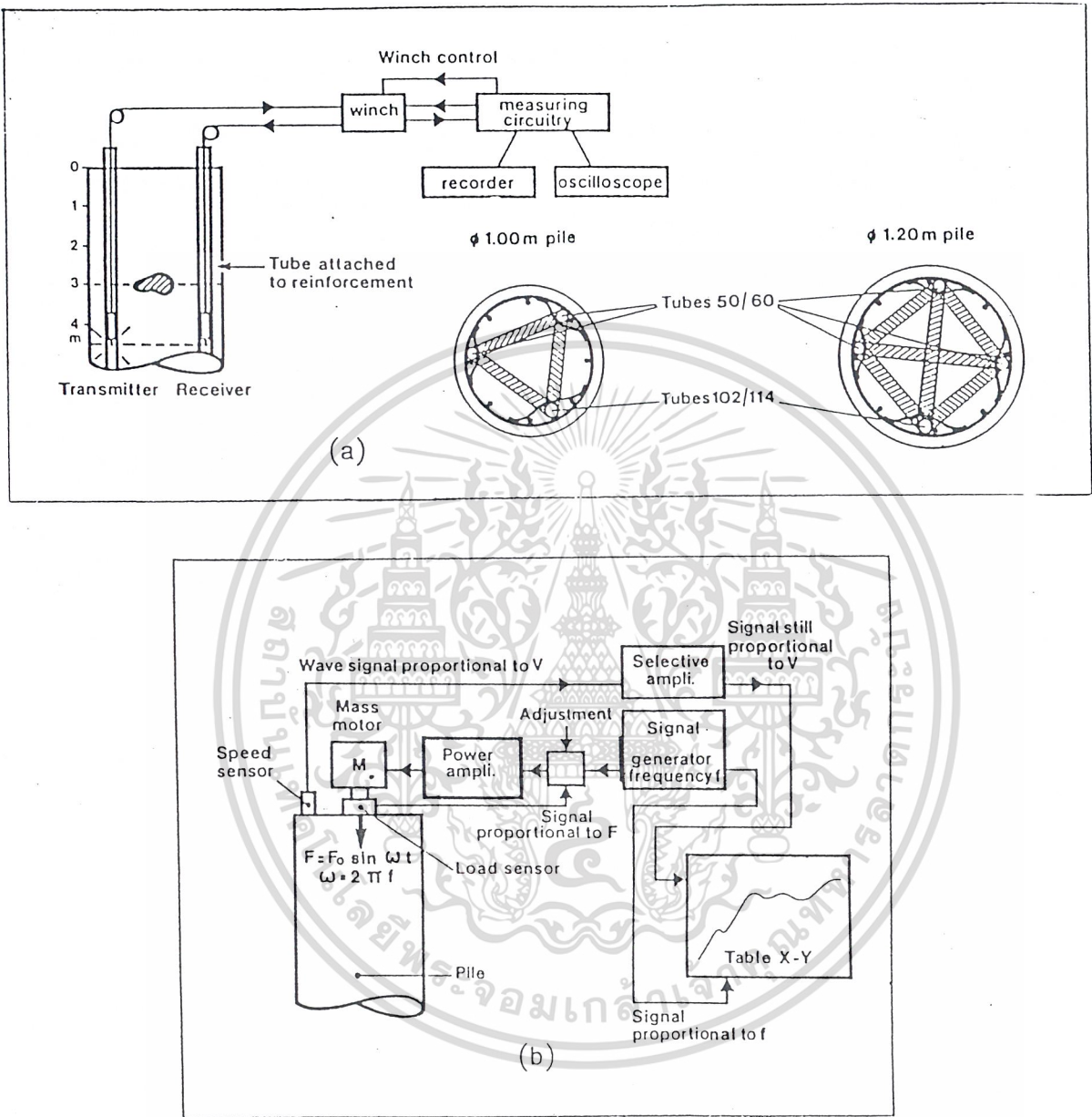
รูปที่ 2.16 การประเมินหา q_{uat} ของเสาเข็มเจาะ (Bauer Taschenbuch Teil II, Germany)

a) ใช้ FEM หา pile capacity ของเสาเข็มเจาะในทราย สำหรับการทดสอบ 2 และ 6 ซม.ทดสอบ

b) เสาเข็มเจาะในทราย สำหรับการทดสอบ 2 ซม. ที่ความดัน 2.5 และ 20 MN/m²

c) การหาค่า q_{uat} จากประสบการณ์

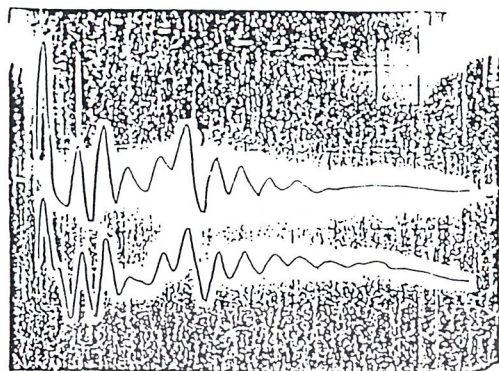
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของบริษัทวิศวกรรมแห่งประเทศไทย จำกัด ในปัจจุบันโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม กรุณาแจ้งชื่อและที่อยู่ของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



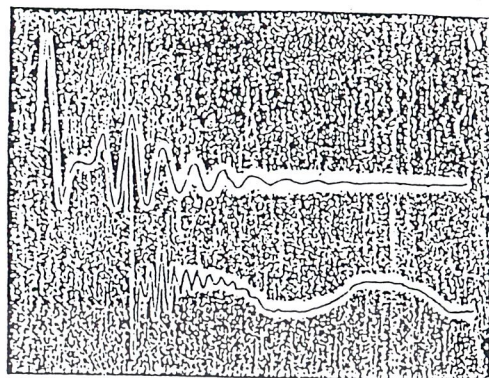
รูปที่ 2.17 แสดงแผนภาพวิธีการทำ sonic sounding testing และ dynamic testing

โดยมีการสั่นสะเทือนที่หัวเสา ส่วน seismic testing นั้นจะมีลักษณะการทดสอบ คล้ายคลึงกับ dynamic testing แต่ใช้เพียง shock เป็นตัวกำเนิดคลื่นลงสู่เสาเข็ม ตัวอย่าง ผลที่ได้จากการทดสอบดังกล่าว บางส่วนได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.18

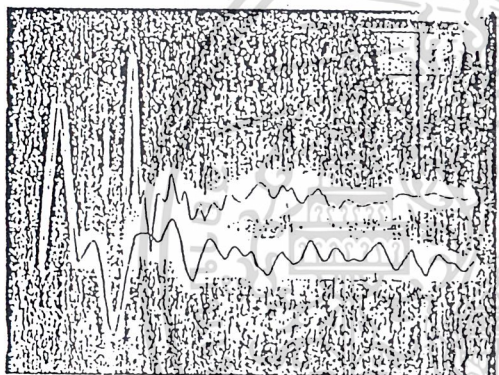
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



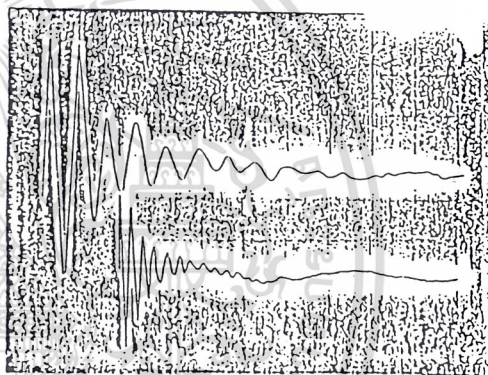
fracture at pile head



crack at 5.0 m depth



necking at 5.0 m depth



no discontinuity detected

รูปที่ 2.18 การตีความผลจากการทำ seismic testing ของเสาเข็ม

อนึ่ง ฟังก์ชันที่ระลึกไว้เสมอว่าปลายของเสาเข็มทั้งชนิดตอกและเจาะ ควรอยู่ในชั้นของดินที่แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักได้ดีโดยให้อยู่ลึกในดินชั้นนี้ไม่น้อยกว่า 5 เท่า ของขนาดของเสาเข็ม แต่ทางปฏิบัติอาจจะมีปัญหาในการตอกเสาเข็มในชั้นของทรายแน่นที่มีกรวดปน ทำให้ปลายของเสาเข็มไม่อยู่ในระดับความลึกที่ต้องการ จึงสมควรปรับค่าของส่วนลดสำหรับความปลอดภัยให้เหมาะสมกับสภาพที่เป็นเกิดขึ้นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การนำเสนอข้อมูลการคำนวณ Static Formula ในรูปของโปรแกรม Excel

ในการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกโดยวิธี Static Formula จะต้องมีการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ และ factor ต่างๆ หลายค่ามาใช้ในการคำนวณ ซึ่งเป็นการยุ่งยากในการทำความเข้าใจ จึงได้มีการจัดทำกรคำนวณในรูปแบบของตารางโดยใช้โปรแกรม Excel ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกในการทำความเข้าใจ รายการคำนวณ Static Formula ซึ่งรูปแบบของตารางการคำนวณจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

Soil Type	depth (m)	ΔJ (m)	S (μm^2)	N (b/ft)	α	N (b/ft)	ϕ	c (μm^2)	N	f_c (μm^2)	q_n (μm^2)	$f/\Delta J$ (μm)

$$Q_f = \text{TONS}$$

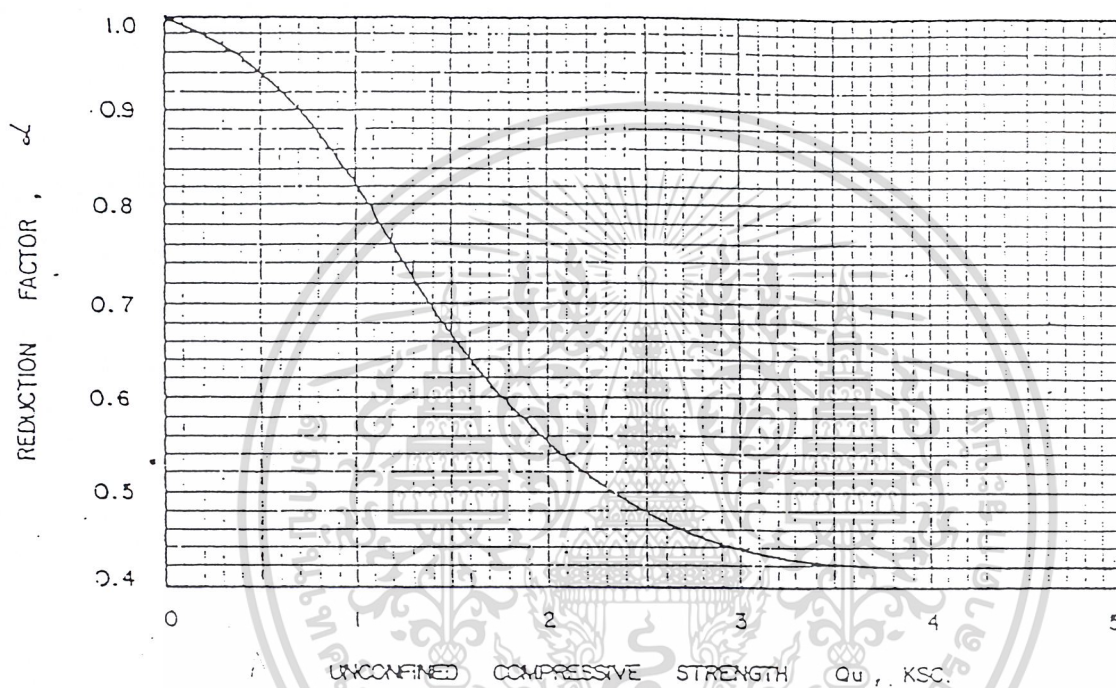
$$Q_b = \text{TONS}$$

$$Q_u = \text{TONS}$$

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มโดยทฤษฎี Static Formula

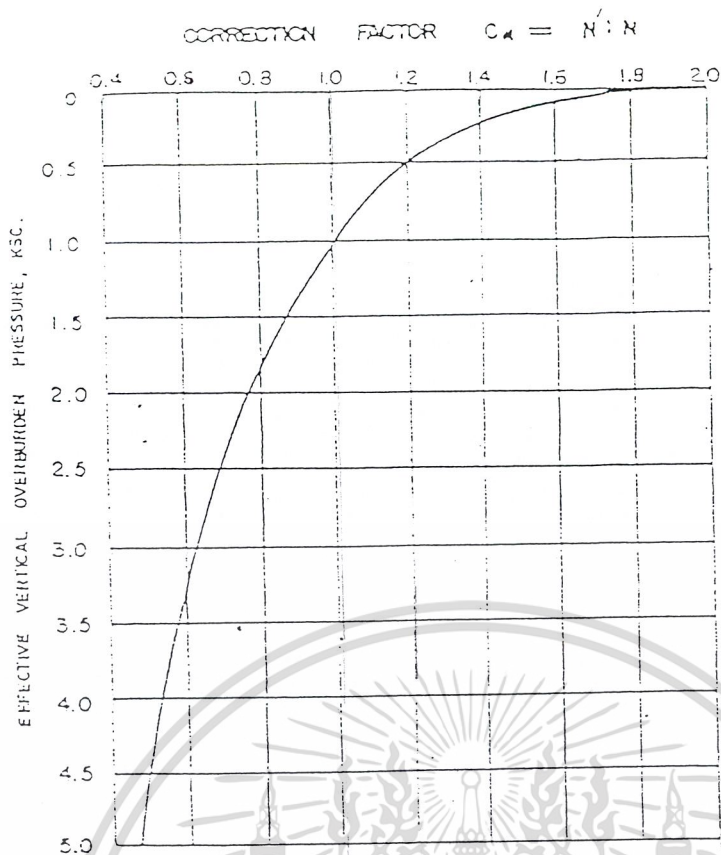
จะเห็นได้ว่าในการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก โดยวิธี Static Formula จะต้องมีการให้ค่า factor ต่างๆ ในการคำนวณหลายๆ ขั้นตอน จึงได้มีการรวบรวมตารางหรือกราฟความสัมพันธ์ที่ใช้ในการพิจารณาหาค่า factor ดังกล่าวไว้ทั้งหมด เพื่อความสะดวกในการคำนวณ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

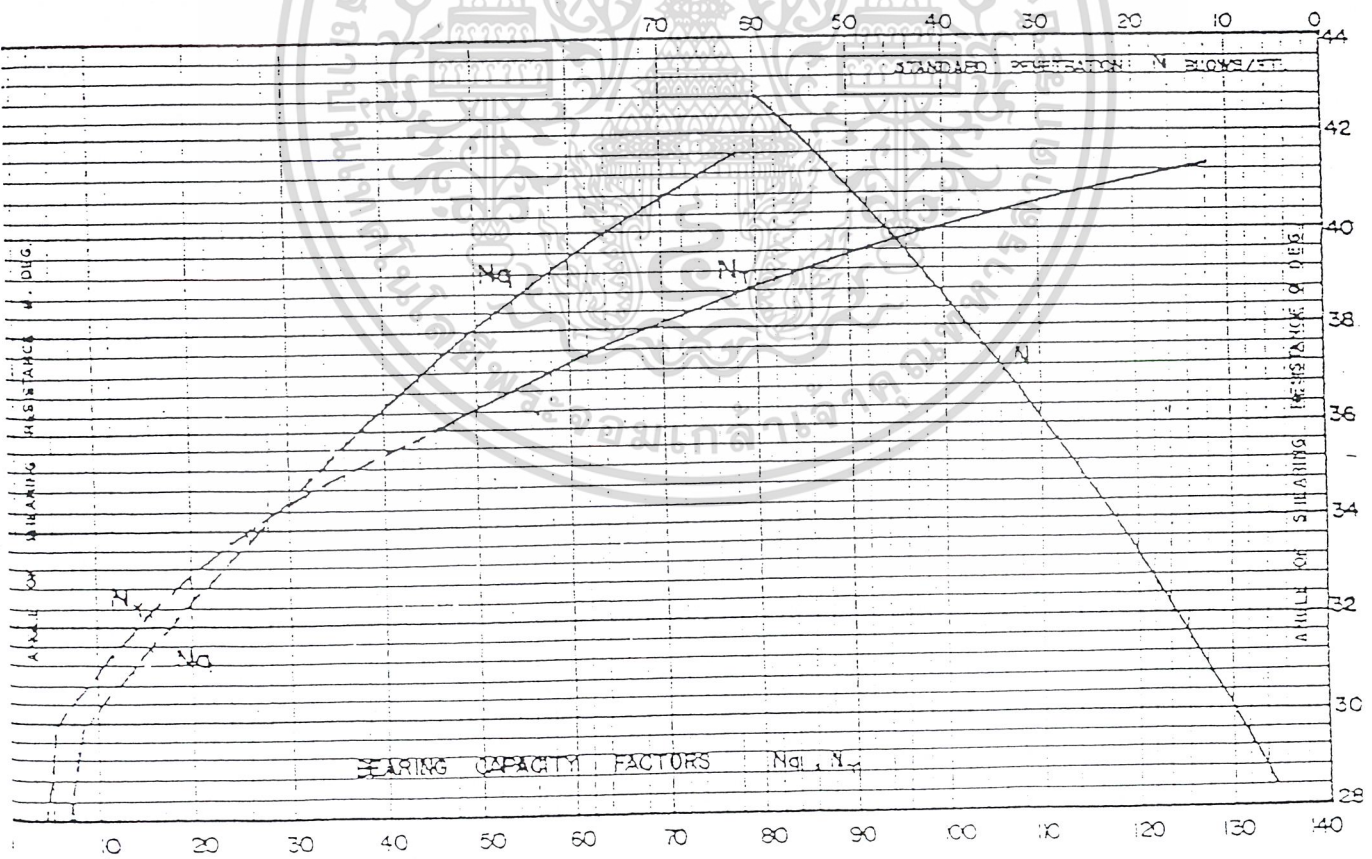


รูป 2.19 -Unconfined Compressive Strength ; Q_u (KSC) Reduction of Friction piles in Clays with Unconfined compressive Strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

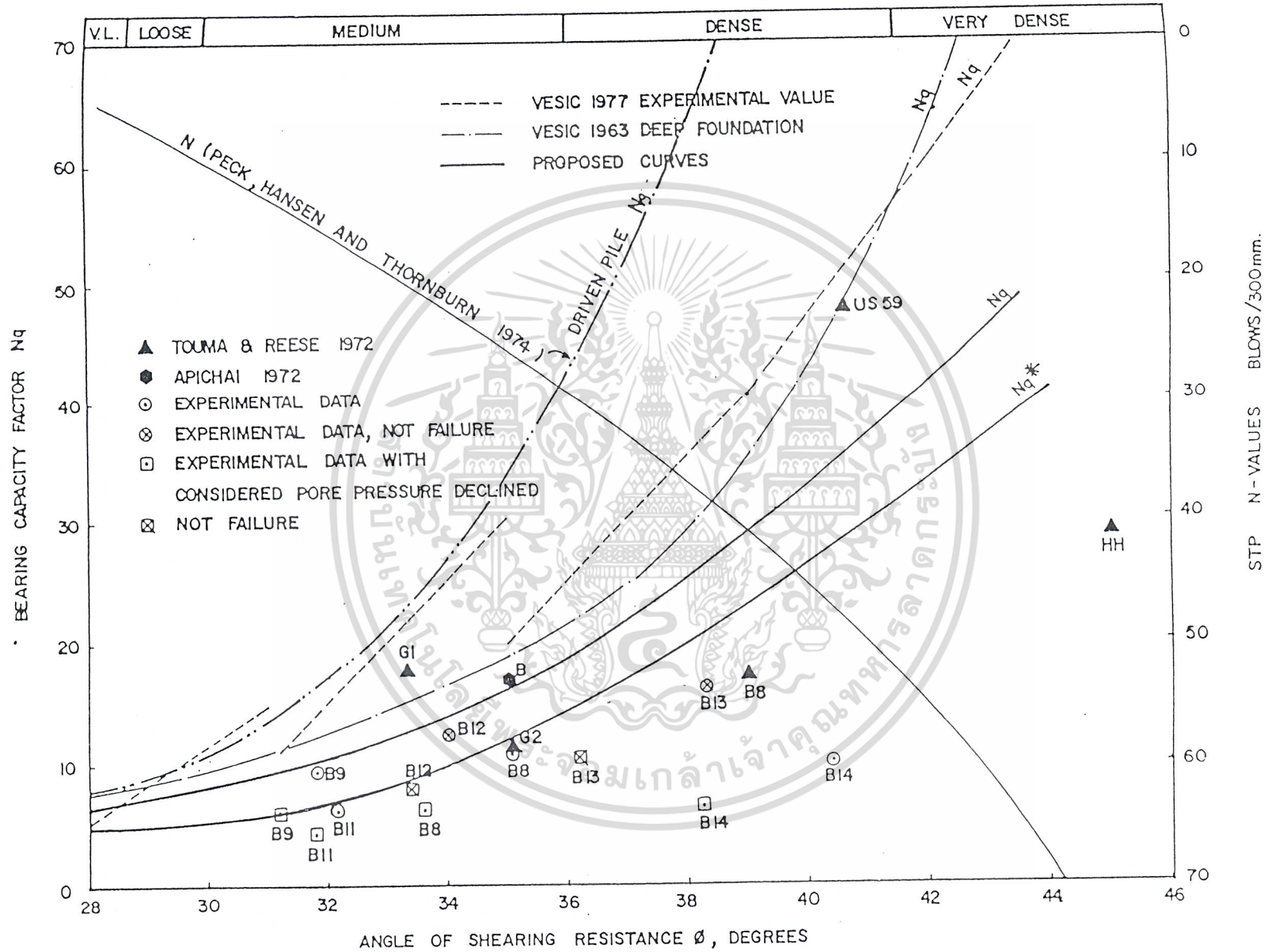


รูป 2.20 - Correction of N-Values in Sand for Influence of Overburden Pressure



รูป 2.21 - Correction of Standard Penetration with Bearing Capacity Factors and Angle of Shearing Resistance

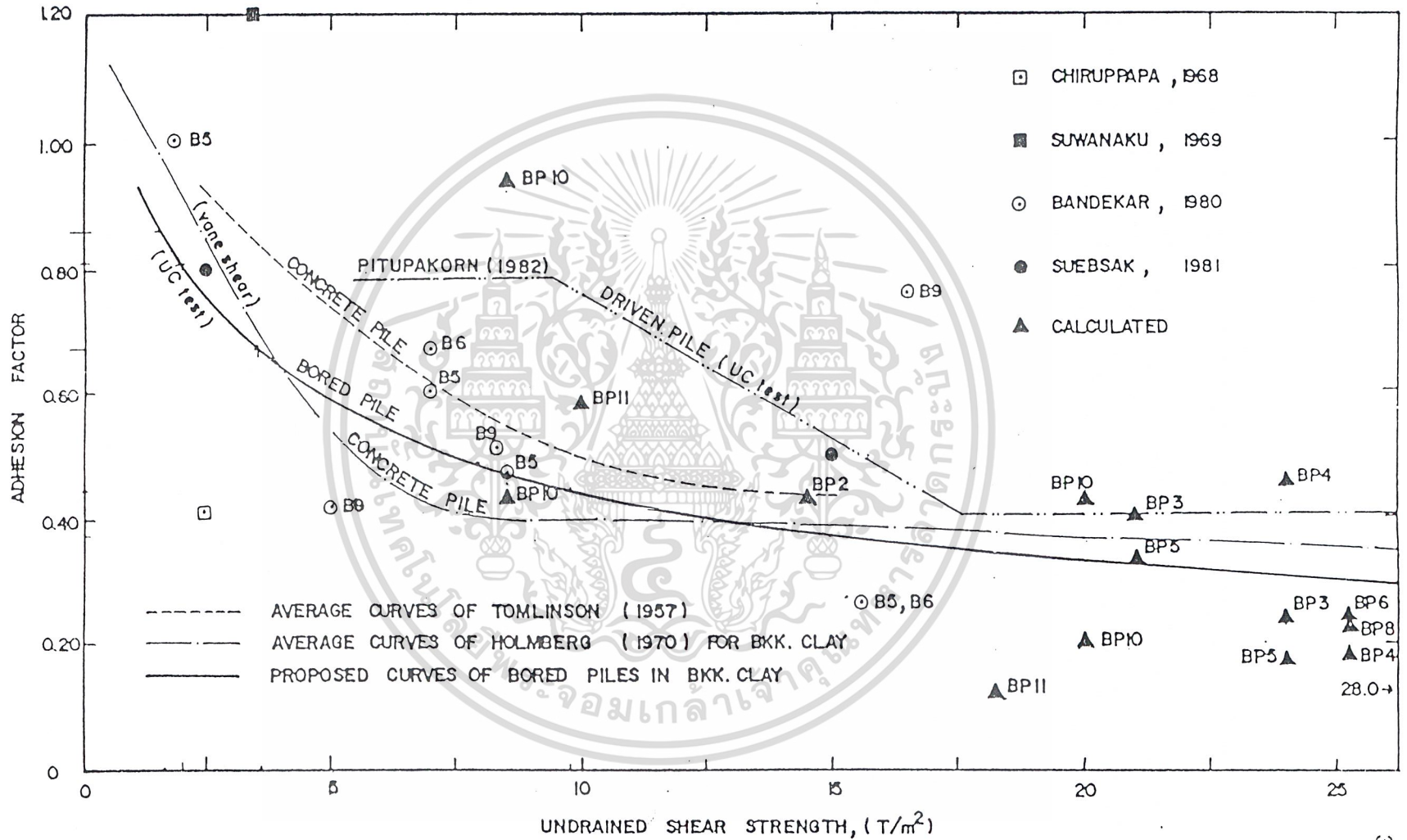
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.22 - Relationship between ϕ , N_q and N-Values for Bored Pile (NG, 1983)

(HOLMBERG, 1970 ; PITUPAKORN, 1982; NG, 1983)

Fig 2.23 - Adhesion Factor for Clays



2.4 การทำ Static Load Test

เป็นการทดสอบเสาเข็มด้วยน้ำหนัก มีจุดประสงค์ในการทดสอบดังนี้

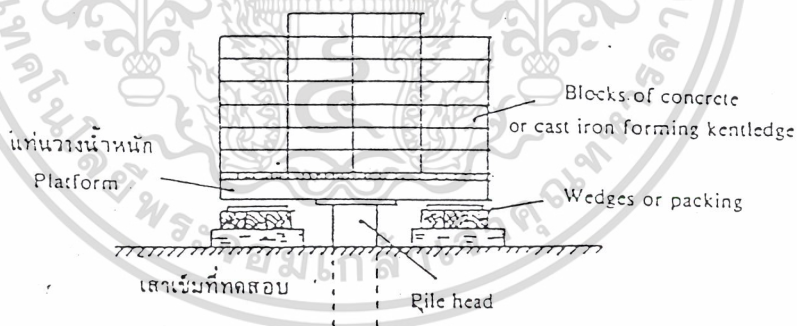
(ง) เพื่อพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการทรุดตัว (load-settlement relation) โดยเฉพาะในช่วงน้ำหนักใช้งานที่คาดไว้ ซึ่งความสัมพันธ์นี้จะช่วยหาค่าการทรุดตัวสำหรับออกแบบฐานราก

(จ) เพื่อพิจารณาหาค่าลึงรับน้ำหนักประลัย (Ultimate bearing capacity) ซึ่ง Q_u ที่ได้นี้เราจะนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับ Q_u จากการคำนวณ Static Formula

(ฉ) โดยทั่วไปการทดสอบมักจะทำกันเพื่อจุดประสงค์แรกแะมักจะไม่ต้องทดสอบถึง Q_u แต่อย่างไรก็ตามได้มีผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้ประมาณหาค่า Q_u ไว้แล้ว ซึ่งจะได้กล่าวในบทถัดไป

2.4.1 ระบบที่ใช้ในการทดสอบ

ก) Simple Load คือ ระบบที่ทำแท่นไวบนหัวเสาเข็ม (Platform) และให้น้ำหนักวางบนแท่นตามน้ำหนักที่กำหนดไว้ ดังรูป

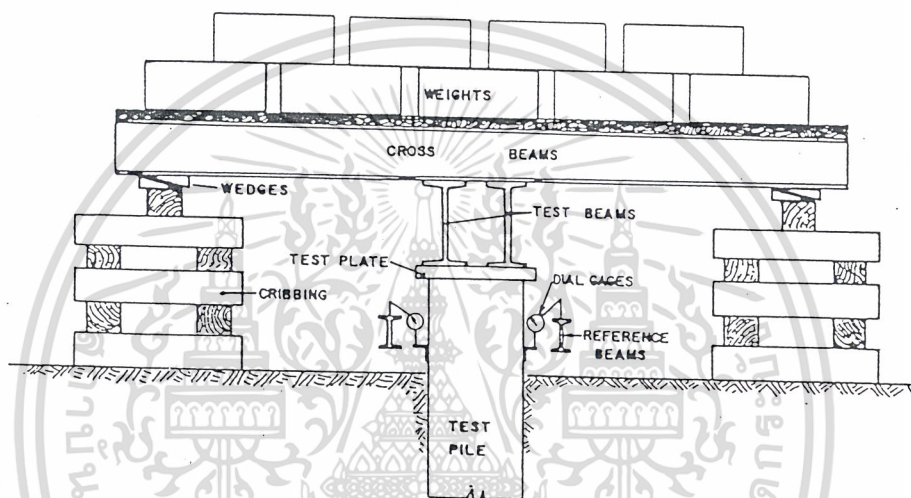


รูปที่ 2.24 การให้น้ำหนักแบบวางบนเสาเข็มโดยตรง

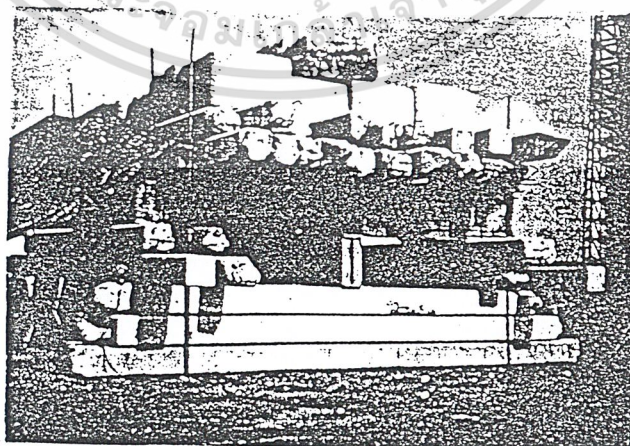
ข้อเสีย - น้ำหนักที่ใช้วางต้องทำด้วยความระมัดระวัง เพื่อให้ศูนย์กลางของน้ำหนักลงตรงกลางเสาเข็ม ในทางปฏิบัติทำได้ยาก เพราะเมื่อน้ำหนักกระทำลงมาจะทำให้เสาเข็มทรุดตัว เกิดการเอียงซึ่งทำให้น้ำหนักตกลงมาได้ ดังนั้นได้แท่นน้ำหนักจึงต้องมีหมอนรองไว้คอยรับน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้เพื่อการศึกษายกเว้นไปจะขอให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) Load test คือ ระบบให้น้ำหนักด้วยแม่แรงโดยมีโครงเหล็กบรรทุกน้ำหนักเป็นตัวยัน ลักษณะของโครงเหล็กนี้มีลักษณะเป็นสะพานพาดข้ามหัวเสาเข็ม ระบบนี้เสาเข็มจะรับแรงจากแม่แรง และใช้โครงเหล็กบรรทุกน้ำหนักเป็นตัวยันแรงปฏิกิริยาของแม่แรงที่เกิดขึ้น ดังนั้นจะต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าแม่แรงที่ใช้งานจะไม่ออกแรงดันเสาเข็มมากจนทำให้แรงปฏิกิริยามากกว่าน้ำหนักที่กดทับ ในส่วนตอนที่แม่แรงยังไม่ได้ทำงานนั้นจะไม่มีไม้หมอนคอยรองรับน้ำหนักที่กดทับไว้ก่อน



รูปที่ 2.25 รูปแสดงระบบการให้น้ำหนักด้วยแม่แรงโดยมีโครงเหล็กบรรทุกน้ำหนักเป็นตัวยัน



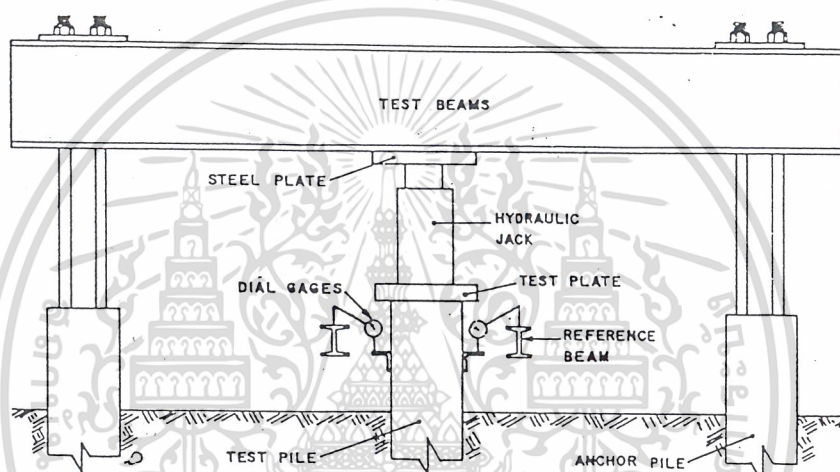
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 2.26 รูปแสดงระบบ Load Test ในงานสนามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี - ข้อดีของระบบนี้ คือ เป็นการให้แรงดันโดยตรงระหว่างแม่แรงและเสา
เข็ม

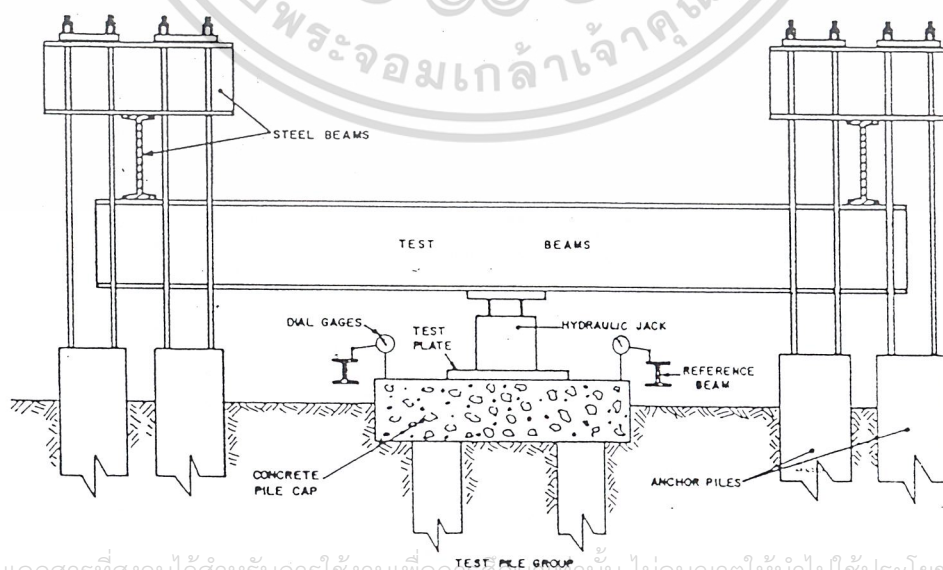
ข้อเสีย - ต้องใช้น้ำหนักบรรทุกและอุปกรณ์ทดสอบมีราคาแพง

ค) Anchor Pile คือ ระบบที่ใช้เข็มสมอยึดคานกดหัวแม่แรง

ระบบนี้ใช้แม่แรงเป็นตัวกดเสาเข็มเหมือนกับระบบที่ 2 เพียงแต่แทนที่จะใช้น้ำหนักบรรทุกเป็นตัวยันแรงปฏิกิริยาจากแม่แรง เราใช้เข็มสมอเป็นตัวยึด ซึ่งเป็นเข็มสมอที่ใช้อาจใช้ 4 หรือ 8 ต้นก็ได้ ดังรูป



รูปที่ 2.27 รูปแสดงระบบเสาเข็มสมอแบบ 4 ต้น



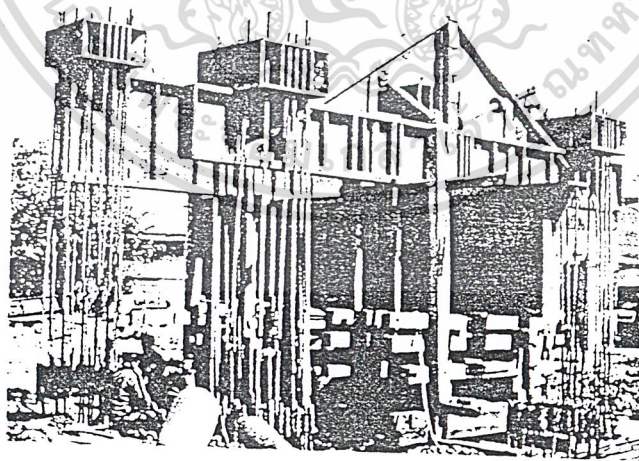
รูปที่ 2.28 รูปแสดงระบบเสาเข็มสมอแบบ 8 ต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.28 นี้มีลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้อดี - ใช้กับงานทดสอบเสาเข็มที่มีเสาเข็มรอบข้างจำนวนมาก ทำให้สามารถ
ใช้เสาเข็มรอบข้างเป็นเสาเข็มสมอได้
- ข้อเสีย - เสาเข็มสมอต้องรับแรงดึง จึงต้องอาศัยแรงฝืดของดินเหนียวเป็นตัว
ต้านทานแรงถอน ฉะนั้นจึงไม่เหมาะกับดินที่มีสภาพเป็นดินทราย

ข้อควรระวังของการใช้ระบบเสาเข็มสมอ

เนื่องจากระบบเสาเข็มสมอต้องใช้เข็มสมอรอบข้างเข็มที่ใช้ทดสอบซึ่งเข็มสมอเหล่านี้ต้องรับแรงดึงเพื่อต้านแรงอันเนื่องจากเข็มทดสอบดังนั้นจึงควรตรวจสอบเข็มสมอว่าพร้อมที่จะรับแรงดึงหรือไม่ นอกจากนั้นระยะห่างระหว่างเสาเข็มสมอกับเสาเข็มทดสอบก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องระวังและต้องตรวจสอบให้ไม่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.29 รูปแสดงระบบเสาเข็มสมอในงานสนาม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 อุปกรณ์สำหรับเสาเข็มสมอ

(ช) คานรับแรงปฏิกิริยา (Reaction Beam)

(ซ) Hydraulic Jack

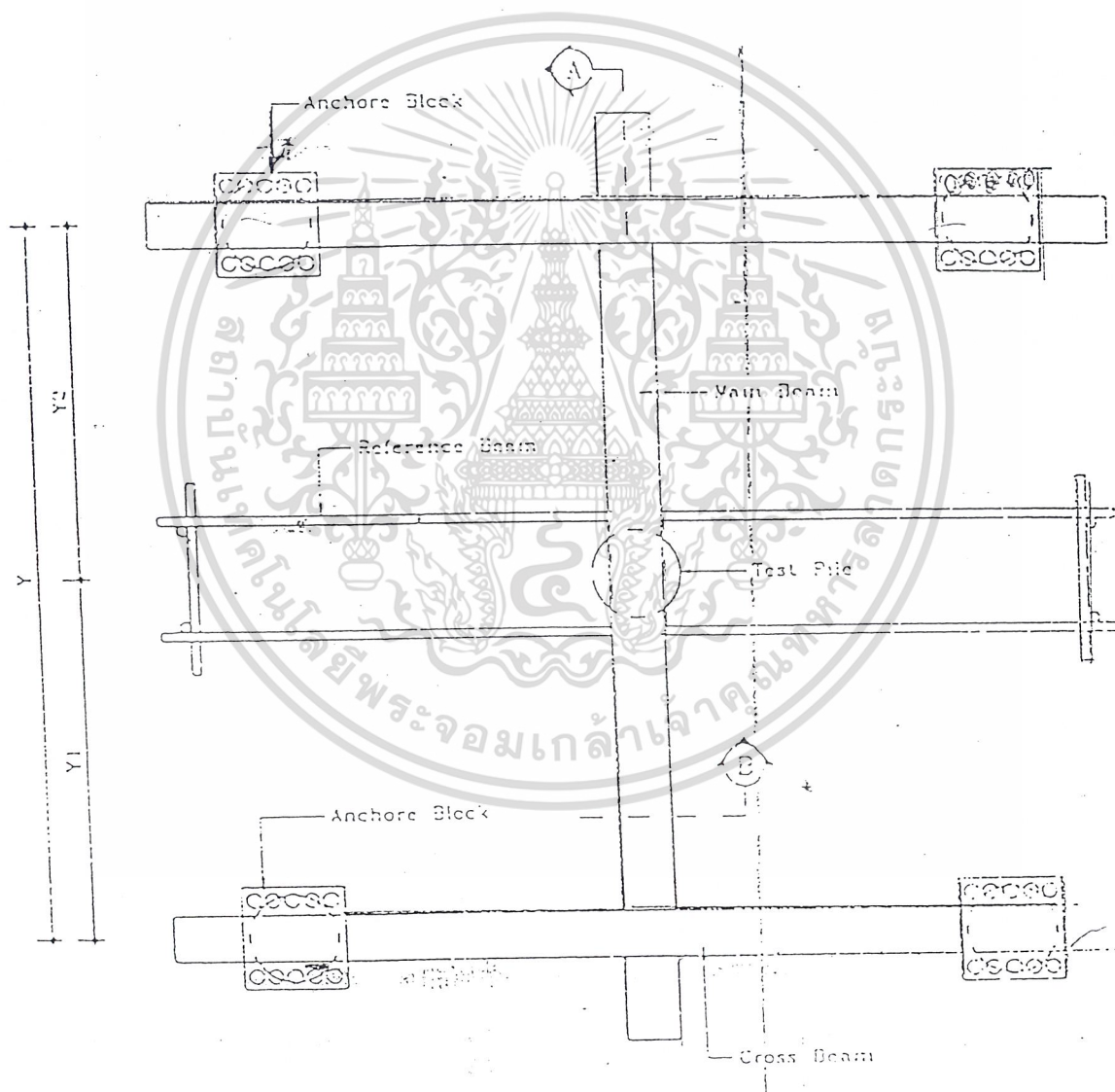
(ฅ) Bell bearing

(ญ) Dial bauges

(ฎ) คานอ้างอิง (Reference Beam)

(ฏ) กล้องระดับ

(จ) ลวดเปียโน (Piano Wire)



รูปที่ 2.30 รูปแสดง Plan ของระบบเสาเข็มสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การทดสอบด้วยวิธี Static load test ตามมาตรฐาน ASTM D1143 ที่ใช้ทั่วไปมีดังนี้

- ก) Slow maintain load test (Standard loading procedure)
- ข) Cyclic load test
- ค) Quick load test
- ง) Constant rate of penetration test (CRP test)
- จ) Constant time interval loading
- ฉ) Method of equilibrium

ก) Slow maintain load test (Standard loading procedure) เป็นวิธีทดสอบที่ค่อยๆ เพิ่มน้ำหนักทีละชั้น มีขั้นตอนการทำดังนี้

1.1 เลือก Test pile โดยเลือกต้นที่น่าจะ fail ที่สุด เช่นผล Blow count ผิดปกติหรือสภาพดินตามบริเวณนั้นจาก Boring log อ่อนแอ เป็นต้น

เลือก anchor pile ซึ่งระยะห่างไม่ควรน้อยกว่า 1.5 ถึง 2.0 เมตร หรือ 3-5 เท่าของขนาดเสาเข็ม

1.2 ตัดหัวเสาเข็มและหล่อด้วยวัสดุที่แข็งแรงให้ได้ระดับในแนวราบ วางแผ่นเหล็กบนหัวเสาเข็ม พร้อมติดตั้ง dial gauge

1.3 เพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็นช่วงๆ ละ 25% ของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย

(ท) เพิ่มจนน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 200% ของน้ำหนักปลอดภัยกรณี individual pile

(ฒ) เพิ่มจนน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 150% ของน้ำหนักปลอดภัยกรณี pile group

1.4 จะเพิ่มน้ำหนักแต่ละครั้งได้นั้น อัตราการทรุดตัวต้องน้อยกว่า 0.5 mm ต่อชั่วโมง แต่ต้องไม่ทิ้งไว้นานกว่า 12 ชั่วโมง

(เพราะถือว่า 2 ชั่วโมง เพียงพอกับ consolidation settlement แล้ว)

1.5 บันทึกปริมาณการทรุดตัวหลังจากเพิ่มน้ำหนักแล้วทันที และเมื่อเวลาผ่านไป 2, 5, 10, 15, 30, 60 นาที และทุกๆ 2 ชั่วโมง

1.6 เมื่อเพิ่มน้ำหนักจนถึงที่กำหนดไว้ในข้อ 1.3 ให้ทิ้งน้ำหนักไว้จนการทรุดตัวน้อยกว่า 0.25 mm ต่อชั่วโมงหรือทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง

1.7 Rebound Load ลดชั้นละ 25% คือ 75, 50, 25, 10, 0 ของน้ำหนักทดสอบสูงสุด พร้อมกับบันทึกการทรุดตัวครั้งสุดท้าย และเมื่อตอนน้ำหนักออกหมดแล้วให้ทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไว้ 24 ชั่วโมง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 กรณีหากเกิดการพิบัติระหว่างการทดสอบให้เพิ่มน้ำหนักต่อเสาเข็ม จนได้การทรุดตัวถึง 1.5% ของขนาดเสาเข็ม

ข) Cyclic Load test

เป็นการทดสอบเพื่อแยกหาแรงต้านทานส่วนปลายและแรงเสียดทานรอบเสาเข็ม โดยมีผู้ได้ศึกษาเช่น VAN WEELE(1957),BROMS(1972) ซึ่งต่อมา ASTM ได้บรรจุเป็นการทดสอบมาตรฐานในปี 1981 ข้อ 5.2

ขั้นตอนการทดสอบโดยสรุปมีดังนี้

- เพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็น 25,50,75,100,125,150,175,200 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลอดภัย ที่ ยอมให้ใช้หรือน้ำหนักที่ออกแบบไว้ โดยน้ำหนักแรกสุดได้ทำตามวิธีเดียวกับของ ข้อ (ก) ที่ น้ำหนักบรรทุก 50,100 และ 150 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักออกแบบ ให้ทิ้งน้ำหนักไว้ 1 ชั่วโมง แล้วถอนน้ำหนักส่วนที่เพิ่มนั้นออกกลับไปน้ำหนักเดิมก่อนหน้านั้น ทิ้งไว้ 20 นาทีเพิ่ม น้ำหนักอีก 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักออกแบบทิ้งไว้อีก20นาที เพิ่มน้ำหนักอื่นต่อไป(25%ของ น้ำหนักออกแบบ) และทำการทดสอบตามข้อ (ก)
- การทดสอบลักษณะเดียวกันแต่แตกต่างกันในรายละเอียดกับวิธีของ ASTM ดังกล่าวข้างต้นนั้นได้มีผู้พยายามศึกษาและวิเคราะห์ผลที่ได้ออกมา เช่นเพิ่มน้ำหนักแต่ละครั้งเท่ากับ 20% ของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย เมื่ออัตราการทรุดตัวน้อยกว่า 0.05 มิลลิเมตรต่อ 10 นาที หลังจากนั้นให้เพิ่มน้ำหนักให้สูงขึ้นและทำการทดสอบถึงน้ำหนักสูงสุดหรือประมาณ 3 เท่าของน้ำหนักปลอดภัยหรือถึงขีดกำหนดของการทรุดตัว

(ค) Quick load test

เป็นการทดสอบที่ต้องกำหนดน้ำหนักทดสอบน้ำหนักสูงสุดไว้ก่อนโดยใส่น้ำหนักบรรทุกต่อเสาเข็ม 10 ถึง15% ของน้ำหนักบรรทุกออกแบบ ทิ้งน้ำหนักไว้เป็นเวลา 2.5 นาที หรือหากระบุเป็นอย่างอื่นใส่น้ำหนักจนกระทั่งจำเป็นต้องประคอง jacking อย่างต่อเนื่องถึงน้ำหนักสูงสุด ทิ้งไว้ 5 นาทีแล้วถอนน้ำหนักบรรทุก ควรบันทึกข้อมูลทันทีทั้งก่อนและหลังถ่ายน้ำหนัก แต่เมื่อหยุดตัว jacking ที่น้ำหนักสูงสุดให้บรรทุกข้อมูลที่ 2.5 และ 5 นาที

(ง) Constant rate of penetration test (CRP Test)

พัฒนาขึ้นโดย WHITAKER โดยทำการทดสอบทั้งแบบจำลองเสาเข็มและเสาเข็มจริง เป็นการทดสอบเพื่อหาน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มและทดสอบได้เร็วกว่าวิธีอื่นมาก

มีขั้นตอนการทำดังนี้

- เสาเข็มจะถูกกดลงด้วยอัตราจมที่สม่ำเสมอระหว่าง 0.5 ถึง 3.5 มิลลิเมตรต่อนาที (ควรใช้ 1 สำหรับ cohesive soil และใช้ 2 สำหรับ granular soil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
- บันทึกน้ำหนักการทรุดตัว 1 ถึง 2 นาที หรือที่เหมาะสมจนกว่าเสาเข็มพิบัติหรือน้ำหนัก
ไม่ปรากฏเด่นๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่แบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบไม่มากขึ้น หลังจากนั้นให้บรรจุทุกทุก 5 นาที จนสิ้นสุดการทดสอบโดยเสาเข็มต้องจมในดินไม่น้อยกว่า 10 ถึง 25% ของขนาดเสาเข็ม

- น้ำหนักบรรทุกประลัยหาได้จากค่าสูงสุดหรือจุดที่เริ่มมีอัตราการจมนิ่งที่ของการพลีตระหว่างน้ำหนักที่กดลงบนเสาเข็มและระยะการจมนิ่งของเสาเข็มในกรณีที่ไม่สามารถหา WHITAKER ได้เสนอให้ใช้น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่จมนิ่ง 10% ของขนาดเสาเข็ม

(จ) Constant time interval loading

ขั้นตอนการทดสอบเป็นเช่นเดียวกับ standard loading ต่างกันตรงที่มีการแบ่งน้ำหนักบรรทุกแต่ละช่วงเป็น 20% ของน้ำหนักบรรทุกออกแบบ ทั้งเวลาไว้แต่ละช่วง 1 ชั่วโมงทั้งขั้นตอนการใส่และถอนน้ำหนักบรรทุกทดสอบ

(ฉ) Method of equilibrium

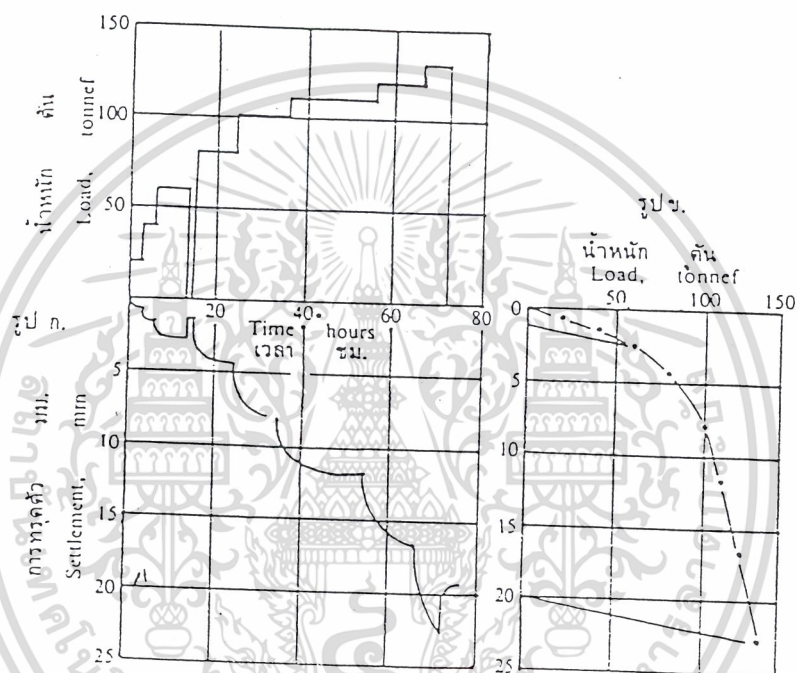
เป็นการทดสอบที่เร็วและใช้เวลาประมาณ 1 ใน 3 ของการทดสอบ standard loading MOHAN et al (1967) เป็นผู้ริเริ่มใช้ในการทดสอบเสาเข็มแต่ในปัจจุบันนี้ยังไม่ได้ระบุไว้ใน ASTM มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- เพิ่มน้ำหนักแต่ละช่วงประมาณ 20 % ของน้ำหนักปลอดภัยหรือประมาณ 10% ของน้ำหนักบรรทุกประลัยโดยใช้เวลาในการเพิ่มน้ำหนักแต่ละครั้งประมาณ 3-5 นาที เมื่อถึงน้ำหนักที่ต้องการแล้ว ให้กดด้วยน้ำหนักคงที่เป็นเวลา 5 นาที (10-15 นาที ถ้าน้ำหนักสูง) แล้วปล่อยให้ น้ำหนักลดลงเองตามระยะการจมนิ่งของเสาเข็มจนกระทั่งถึงสภาวะสมดุลย์ในเวลาไม่นานนัก หลังจากนั้นให้เพิ่มน้ำหนักอื่นๆต่อไปจนถึงน้ำหนักทดสอบสูงสุด

2.4.4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ Static Load Test

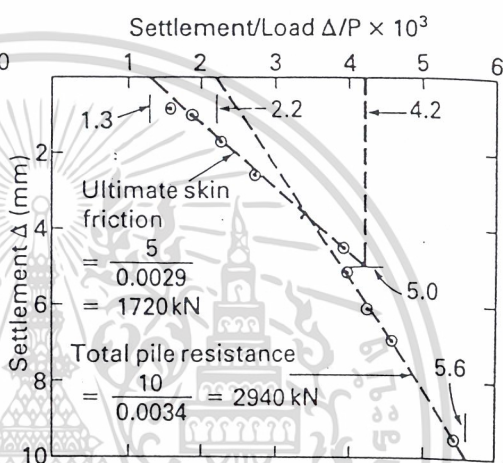
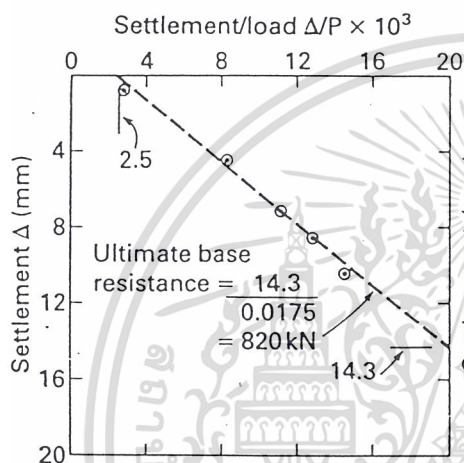
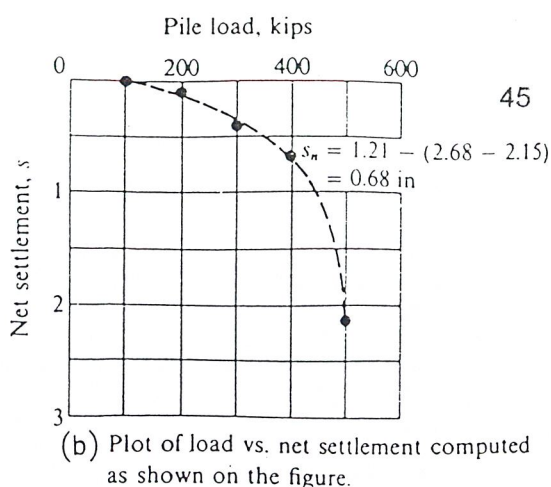
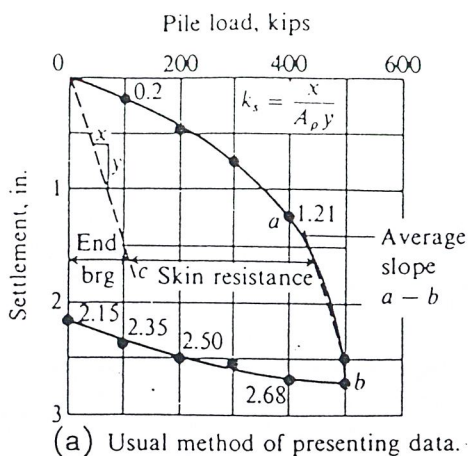
จากการทดสอบจะได้กราฟการทดสอบดังนี้

- กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับเวลา
- กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวกับเวลา
- กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการทรุดตัว



รูปที่ 2.31 กราฟแสดงผลทดสอบที่ได้จาก Standard Load Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 ผลจากการทำ slow maintain load test

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการทรุดตัว (a), กราฟ net settlement (b) อธิบายได้ดังนี้ ภายใต้ Load 400 kips ค่า

- (ก) total settlement = 1.21 นิ้ว
- (ข) elastic settlement = 2.68 - 2.15 นิ้ว = 0.53 นิ้ว
- (ค) net settlement = 1.21 - (2.68 - 2.15) = 0.63 นิ้ว
- (total settlement = elastic settlement + net settlement)

กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มประกอบด้วย end bearing , skin friction มีรายละเอียดดังนี้

(ก) ภายใต้น้ำหนักน้อย เสาเข็มจะมีกำลังรับน้ำหนักโดย skin friction เป็นหลัก

(ข) เมื่อเพิ่มน้ำหนักมากขึ้นจนถึงจุด a (sharp break) กำลังจะประกอบด้วย end bearing (แปรผันเป็นเส้นตรง, skin friction (ค่าคงที่)

(ค) เมื่อเพิ่มน้ำหนักมากกว่า a ค่า end bearing จะเพิ่มเป็นเส้นตรง

สำหรับ skin friction จะคงที่จนถึงจุด b ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 วิธีการแปลผลจากการทดสอบกำลังรับน้ำหนักในการออกแบบของเสาเข็ม ได้มีการแนะนำไว้หลายวิธีด้วยกันดังนี้

(ก) Bureau of bridges, state of ohio(w.h. rabe)

น้ำหนักที่ทำให้เกิด gross settlement เริ่มจะมากกว่า 0.03 นิ้วต่อตันของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไป หาดด้วย 2 และ 3 สำหรับ static และ vibratory load ตามลำดับ

(ข) Raymand concrete pile co.(r.l. nordlund)

น้ำหนักที่ทำให้เกิด gross settlement เริ่มจะมากกว่า 0.05 นิ้วต่อตันของน้ำหนักที่เพิ่มเข้าไปหรือ plastic settlement เริ่มจะมากกว่า 0.03 นิ้วต่อตันของน้ำหนักที่เพิ่มเข้าไปหาดด้วย 2 และ 3 สำหรับ static และ vibratory load

(ค) Boston building code

การทรุดตัวต้องไม่เกิน 0.5 นิ้วหลังจากใส่ น้ำหนัก 2 เท่าของน้ำหนักออกแบบและทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง permanent settlement ต้องไม่มากกว่า 0.22 นิ้ว

(ง) Building laws of the city of new york

net settlement ต้องไม่มากกว่า 0.01 นิ้วต่อตันของน้ำหนักทดสอบสูงสุด(2 เท่าของน้ำหนักปลอดภัย) หลังจากทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงที่น้ำหนักทดสอบสูงสุด

(จ) Louisiana department of highways

น้ำหนักปลอดภัยจะเป็น 50% ของน้ำหนักที่ทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง โดยให้ permanent settlement ไม่น้อยกว่า 0.25 นิ้ว

(ฉ) Indian standard code

2 ใน 3 ของน้ำหนักที่ทำให้เกิด total settlement 12 มิลลิเมตร หรือ net settlement 6 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 การบันทึกผลที่ได้จากการทำ Static Pile Load Test

ในการทำ Static Pile Load Test จะต้องมีการบันทึกค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทุกๆ ช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการทดสอบ โดยค่าการทรุดตัวของเสาเข็มนี้จะอ่านได้จาก Dial Gauge ที่ติดตั้งกับแผ่นเหล็กบนหัวเสาเข็ม จึงจำเป็นที่จะต้องมีการบันทึกข้อมูลอย่างละเอียดและชัดเจน ซึ่งข้อมูลที่ต้องทำการบันทึกประกอบไปด้วย

- ชนิดของเสาเข็ม
- ขนาดของเสาเข็ม
- น้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ
- เวลาที่ทดสอบเสาเข็ม
- ช่วงระยะเวลาการให้น้ำหนักเสาเข็ม
- ค่าที่อ่านได้จาก dial gauge
- ค่าการทรุดตัวเฉลี่ย
- อัตราการทรุดตัว
- ระดับของเสาเข็มที่ทำการทดสอบที่อ่านได้จากกล้อง survey
- ระดับเสาเข็มสมอที่อ่านได้จากกล้อง survey
- ระดับคานอ้างอิง

การบันทึกข้อมูลดังกล่าวข้างต้น สามารถแสดงดังตารางตัวอย่างต่อไปนี้

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างตารางแสดงการบันทึกผลการทดสอบ Static Pile Load Test

Vertical Pile Load Test Data Sheet																			
Project No:		97003		Project:		Laem Chabang International Terminal Berth 5					Client:		Italian Thai Development Ltd.						
Pile Type:		Steel Pile		Pile size:		711 mm.		Test Load:		620 Tons		Recorded by:		Bunphot					
										Pile Load Test No:		F18							
Date	Time	Elapsed time	Nominal Load (t)	Jack pr. (psi)	Load cell	Load (tonne)	Pile Head Movement		Average settlement (mm)	Sett. (inc)	Rate of sett.	Survey results				Remark			
							Gauge 1	Gauge 2				Pile F18	TP1 F19	TP2 E18	TP3 F17		Ref. beam		
20/2/97	12:52	0	77.5	650			45.25	45.10	0	0.00	0.00	6.50	12.00	14.9	10.00	3.00			
		5			43.60	43.76	1.50	1.50	18.00										
		10			43.57	43.80	1.49	0.03	0.18										
		15			43.54	43.86	1.48	0.03	0.12										
		20			43.57	43.93	1.43	0.00	0.00	6.40	12.00						14.8	10.00	3.00
		25			43.57	43.95	1.42	0.00	0.00										
	13:40	0	155	1250			42.27	42.88	2.60	1.19	0.00	6.20	12.00	14.8	10.00	3.00			
		5			42.18	42.90	2.64	0.04	0.42										
		10			41.96	42.86	2.77	0.13	0.78										
		15			41.67	42.70	2.99	0.22	0.90										
		20			41.25	42.30	3.40	0.41	1.23										
		25			41.10	42.23	3.51	0.11	0.26										
		30	41.08	42.35	3.46	0.05	0.10												
		45	41.13	42.73	3.25	0.21	0.28	6.20	12.00	14.8	10.00	3.00							
	14:30	0	232.50	1900			40.12	41.90	4.17	0.92	0.00	6.20	12.00	14.8	10.00	3.00			
		5			40.03	41.74	4.29	0.12	1.50										
		10			39.97	41.60	4.39	0.10	0.60										
		15			40.05	41.63	4.34	0.00	0.00										

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างตารางแสดงการบันทึกผลการทดสอบ Static Pile Load Test (ต่อ)

Vertical Pile Load Test Data Sheet																	
Project No:		97003 Project: Laem Chabang International Terminal Berth 5						Client:		Italian Thai Development Ltd.							
Pile Type:		Steel Pile		Pile size:		711 mm.		Test Load:		620 Tons		Recorded by:		Bunphot			
								Pile Load Test No:		F18							
Date	Time	Elapsed time	Nominal Load (t)	Jack pr. (psi)	Load cell	Load (tonne)	Pile Head Movement		Average settlement (mm)	Sett. (inc)	Rate of sett.	Survey results				Remark	
							Gauge 1	Gauge 2				Pile	TP1	TP2	TP3		Ref. beam
		20					40.06	41.60	4.35	0.03	0.09						
		25					40.10	41.56	4.35	0.04	0.10						
		30					40.22	41.55	4.29	0.01	0.02						
		45					40.15	41.45	4.38	0.08	0.11						
		60					40.20	41.35	4.40	0.02	0.02	6.20	12.00	14.8	10.00	3.00	
		75					40.16	41.23	4.48	0.08	0.06						
		90					40.28	41.23	4.42	0.00	0.00	6.20	12.00	14.8	10.00	3.00	
	16:03	0	310	2500			39.04	40.08	5.62	1.20	0.00	6.20	12.00	14.8	9.90	3.00	
		5					39.02	40.09	5.62	0.00	0.00						
		10					39.00	40.00	5.68	0.06	0.33						
		15					38.85	39.87	5.82	0.14	0.56						
		20					38.84	39.87	5.82	0.00	0.00						
		25					38.77	39.83	5.88	0.05	0.13	6.00	12.00	14.8	9.90	3.00	
		30					38.80	39.87	5.84	0.00	0.00						
		45					38.55	39.63	6.09	0.24	0.33						
		60					38.23	39.30	6.41	0.33	0.33						
		75					38.04	38.95	6.68	0.27	0.22	5.90	11.80	14.6	9.90	3.00	
		90					37.83	38.67	6.93	0.25	0.16						
		105					37.76	38.71	6.94	0.02	0.01						

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างตารางแสดงการบันทึกผลการทดสอบ Static Pile Load Test (ต่อ)

Vertical Pile Load Test Data Sheet																			
Project No:		97003		Project:				Laem Chabang International Terminal Berth 5				Client:		Italian Thai Development Ltd.					
Pile Type:		Steel Pile		Pile size:		711 mm.		Test Load:		620 Tons		Recorded by:		Bunphot					
										Pile Load Test No:		F18							
Date	Time	Elapsed time	Nominal Load (t)	Jack pr. (psi)	Load cell	Load (tonne)	Pile Head Movement		Average settlement (mm)	Sett. (inc)	Rate of sett.	Survey results					Remark		
							Gauge 1	Gauge 2				Pile	TP1	TP2	TP3	Ref. beam			
		120					37.66	38.56	7.07	0.13	0.06	5.90	11.80	14.6	9.90	3.00			
	18:05	0	387.5	3100			36.14	37.17	8.52	1.46	0.00	5.80	11.80	14.6	9.90	3.00			
		5					36.03	37.05	8.64	0.12	1.38								
		10					35.96	36.98	8.71	0.07	0.42								
		15					35.93	36.90	8.76	0.05	0.22								
		20					35.95	36.93	8.74	0.00	0.00								
		25					35.87	36.85	8.82	0.08	0.19								
		30					35.92	36.91	8.76	0.00	0.00	5.80	11.80	14.6	9.90	3.00			
		45					35.82	36.82	8.86	0.09	0.13								
		60					35.80	36.81	8.87	0.02	0.02	5.80	11.80	14.5	9.90	3.00			
	19:08	0	465	3800			33.33	34.55	11.24	2.37	0.00	5.50	11.80	14.5	9.80	3.00			
		5					33.21	34.43	11.36	0.12	1.44								
		10					32.97	34.19	11.60	0.24	1.44								
		15					32.70	33.97	11.84	0.24	0.98								
		20					32.61	33.88	11.93	0.09	0.27								
		25					32.47	33.73	12.08	0.15	0.35								
		30					32.42	33.69	12.12	0.04	0.09								
		45					32.30	33.56	12.25	0.13	0.17								

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างตารางแสดงการบันทึกผลการทดสอบ Static Pile Load Test (ต่อ)

Vertical Pile Load Test Data Sheet

Project No: 97003 Project: Laem Chabang International Terminal Berth 5 Client: Italian Thai Development Ltd.

Pile Type: Steel Pile Pile size: 711 mm. Test Load: 620 Tons Recorded by: Bunphot

Pile Load Test No: F18

Date	Time	Elapsed time	Nominal Load (t)	Jack pr. (psi)	Load cell	Load (tonne)	Pile Head Movement		Average settlement (mm)	Sett. (inc)	Rate of sett.	Survey results					Remark
							Gauge 1	Gauge 2				Pile	TP1	TP2	TP3	Ref. beam	
		60					32.21	33.48	12.33	0.09	0.09	5.30	11.80	14.5	9.80	3.00	
		75					32.16	33.45	12.37	0.04	0.03						
		90					32.12	33.33	12.45	0.08	0.05	5.30	11.80	14.5	9.80	3.00	
	20:42	0	542.5	4400			29.98	30.28	15.05	2.60	0.00	5.00	11.80	14.5	9.80	3.00	
		5					28.12	29.55	16.34	1.30	15.54						
		10					27.69	28.06	17.30	0.96	5.76						
		15					27.32	28.70	17.17	0.00	0.00						
		20					27.15	28.57	17.32	0.15	0.45						
		25					26.93	28.28	17.57	0.25	0.61						
		30					26.84	28.20	17.66	0.09	0.17						
		45					26.65	28.03	17.84	0.18	0.24						
		60					26.11	27.51	18.37	0.53	0.53	4.80	11.80	14.5	9.80	3.00	
		75					25.89	27.28	18.59	0.22	0.18						
		90					25.50	26.90	18.98	0.39	0.26						
		105					25.38	26.78	19.10	0.12	0.07						
		120					25.38	26.76	19.11	0.01	0.01	4.60	11.80	14.5	9.80	3.00	
	22:46	0	620	5000			18.50	20.03	25.91	6.81	0.00	3.80	11.60	14.4	9.80	3.00	
		5					16.81	18.41	27.57	1.66	19.86						

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างตารางแสดงการบันทึกผลการทดสอบ Static Pile Load Test (ต่อ)

Vertical Pile Load Test Data Sheet																			
Project No:		97003		Project:				Laem Chabang International Terminal Berth 5				Client:		Italian Thai Development Ltd.					
Pile Type:		Steel Pile		Pile size:		711 mm.		Test Load:		620 Tons		Recorded by:		Bunphot					
										Pile Load Test No:		F18							
Date	Time	Elapsed time	Nominal Load (t)	Jack pr. (psi)	Load cell	Load (tonne)	Pile Head Movement		Average settlement (mm)	Sett. (inc)	Rate of sett.	Survey results					Remark		
							Gauge 1	Gauge 2				Pile	TP1	TP2	TP3	Ref. beam			
		10					16.28	17.82	28.13	0.56	3.36								
		15					16.00	17.58	28.39	0.26	1.04								
		20					15.86	17.54	28.48	0.09	0.27	3.80	11.60	14.4	9.80	3.00			
		25					15.62	17.13	28.80	0.33	0.78								
		30					15.43	16.97	28.98	0.17	0.35								
		45					15.31	16.86	29.09	0.11	0.15								
		60					15.07	16.66	29.31	0.22	0.22	3.80	11.60	14.4	9.80	3.00			
		120					14.69	16.06	29.80	0.49	0.25								
		180					14.44	15.77	30.07	0.27	0.09	3.50	11.60	14.4	9.80	3.00			
		240					14.21	15.55	30.30	0.23	0.06	3.50	11.60	14.4	9.80	3.00			
		300					14.05	15.26	30.52	0.23	0.05	3.50	11.60	14.4	9.80	3.00			
		360					13.82	14.93	30.80	0.28	0.05	3.50	11.60	14.4	9.80	3.00			
		420					13.65	14.74	30.98	0.18	0.03	3.50	11.60	14.6	9.80	3.00			
		480					13.42	14.48	31.23	0.25	0.03	3.50	11.60	14.6	9.80	3.00			

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างตารางแสดงการบันทึกผลการทดสอบ Static Pile Load Test (ต่อ)

Vertical Pile Load Test Data Sheet

Project No: 97003 Project: Laem Chabang International Terminal Berth 5 Client: Italian Thai Development Ltd.

Pile Type: Steel Pile Pile size: 711 mm. Test Load: 620 Tons Recorded by: Bunphot

Pile Load Test No: F18

Date	Time	Elapsed time	Nominal Load (t)	Jack pr. (psi)	Load cell	Load (tonne)	Pile Head Movement		Average settlement (mm)	Sett. (inc)	Rate of sett.	Survey results				Remark
							Gauge 1	Gauge 2				Pile	TP1	TP2	TP3	
		540					14.23	15.96	30.08	0.00	0.00	3.50	11.60	14.6	9.80	3.00 R.F. beam
		600					15.15	15.72	29.74	0.00	0.00	3.50	11.60	14.6	9.80	3.00 moving up
		660					16.41	16.80	28.57	0.00	0.00	3.40	11.60	14.6	9.80	2.60
		720					16.60	18.75	27.50	0.00	0.00	3.40	11.70	14.4	9.80	2.50
					Set Dial Gauge		17.75	17.52								
21/2/97	10:53	0	542.5	4400			16.72	17.78	27.93			3.40	11.70	14.4	9.80	2.50
		5					16.97	18.12	27.63							
		10					16.84	18.18	27.67							
		15					16.95	18.40	27.50							
		20					16.82	18.40	27.57			3.40	11.70	14.4	9.80	2.50
		25					16.87	18.42	27.53							
		30					16.95	18.47	27.47							
		45					17.16	18.58	27.31							
		60					17.40	18.68	27.14			3.40	11.70	14.4	9.80	2.50

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างตารางแสดงการบันทึกผลการทดสอบ Static Pile Load Test (ต่อ)

Vertical Pile Load Test Data Sheet

Project No: 97003 Project: Laem Chabang International Terminal Berth 5 Client: Italian Thai Development Ltd.

Pile Type: Steel Pile Pile size: 711 mm. Test Load: 620 Tons Recorded by: Bunphot

Pile Load Test No: F18

Date	Time	Elapsed time	Nominal Load (t)	Jack pr. (psi)	Load cell	Load (tonne)	Pile Head Movement		Average settlement (mm)	Sett. (inc)	Rate of sett.	Survey results				Remark				
							Gauge 1	Gauge 2				Pile	TP1	TP2	TP3		Ref. beam			
14:00	0		310	2500			20.74	21.50	24.06			3.60	11.70	14.5	9.80	2.50				
	5	19.25					21.12	24.99												
	10	19.32					21.42	24.81												
	15	19.25					21.53	24.79												
	20	19.33					21.69	24.67												
	25	19.35					21.61	24.70												
	30	19.35					21.62	24.69	3.70								11.70	14.5	9.80	2.60
	45	19.31					21.32	24.86	3.70								11.80	14.5	9.90	2.50
	60	19.46					21.28	24.81												
15:00	0		232.5	1800			21.33	22.92	23.05			3.90	11.80	14.5	9.90	2.50				
	5	21.40					22.93	23.01												
	10	21.55					23.00	22.90												
	15	21.55					22.87	22.97												
	20	21.38					22.50	23.24	3.90								11.80	14.5	9.90	2.50
	25	21.29					22.39	23.34	3.90								11.80	14.5	9.90	2.50
	30	21.47					22.55	23.17												
	45	21.47					22.36	23.26												
	60	21.48					22.30	23.29												

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างตารางแสดงการบันทึกผลการทดสอบ Static Pile Load Test (ต่อ)

Vertical Pile Load Test Data Sheet

Project No: 97003 Project: Laem Chabang International Terminal Berth 5 Client: Italian Thai Development Ltd.

Pile Type: Steel Pile Pile size: 711 mm. Test Load: 620 Tons Recorded by: Bunphot

Pile Load Test No: F18

Date	Time	Elapsed time	Nominal Load (t)	Jack pr. (psi)	Load cell	Load (tonne)	Pile Head Movement		Average settlement (mm)	Sett. (inc)	Rate of sett.	Survey results				Remark		
							Gauge 1	Gauge 2				Pile	TP1	TP2	TP3		Ref. beam	
16:02	0	0	155	1250			22.78	23.45	22.06			4.10	11.80	14.5	9.90	2.50		
	5						22.85	23.46	22.02									
	10						22.75	23.15	22.23									
	15						22.72	23.12	22.26									
	20						22.70	23.10	22.28									
	25						22.71	23.15	22.25			4.00	11.80	14.5	9.90	2.50		
	30						22.86	23.41	22.04									
	45						22.43	23.79	22.07									
	60						22.08	22.23	23.02			4.00	11.80	14.5	9.90	2.50		
	17:00	0	0	77.5	625			24.90	24.75	20.35			4.30	11.80	14.5	9.90	2.50	
5							25.00	24.79	20.28									
10							25.07	24.84	20.22									
15							25.07	24.80	20.24									
20							25.07	24.82	20.23			4.30	11.80	14.5	9.90	2.50		
25							25.02	24.73	20.30									
30							25.00	24.74	20.31									
45							25.00	24.85	20.25			4.30	11.80	14.5	9.90	2.50		
60							25.00	24.60	20.38			4.30	11.80	14.5	9.90	2.50		

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างตารางแสดงการบันทึกผลการทดสอบ Static Pile Load Test (ต่อ)

Vertical Pile Load Test Data Sheet

Project No: 97003 Project: Laem Chabang International Terminal Berth 5 Client: Italian Thai Development Ltd.

Pile Type: Steel Pile Pile size: 711 mm. Test Load: 620 Tons Recorded by: Bunphot

Pile Load Test No: F18

Date	Time	Elapsed time	Nominal Load (t)	Jack pr. (psi)	Load cell	Load (tonne)	Pile Head Movement		Average settlement (mm)	Sett. (inc)	Rate of sett.	Survey results					Remark	
							Gauge 1	Gauge 2				Pile	TP1	TP2	TP3	Ref. beam		
	11:55	0	465	3800			17.21	18.38	27.38			3.40	11.70	14.4	9.80	2.50		
		5					17.78	18.93	26.82									
		10					17.90	18.98	26.74									
		15					18.17	19.14	26.52									
		20					18.40	19.30	26.33									
		25					18.15	19.00	26.60									
		30					18.18	18.95	26.61									
		45					17.98	18.75	26.81									
		60					18.10	18.70	26.78			3.40	11.70	14.4	9.80	2.50		
	13:00	0	387.5	3200			19.18	19.65	25.76			3.40	11.70	14.4	9.80	2.50		
		5					18.82	19.49	26.02									
		10					18.40	19.15	26.40									
		15					18.65	19.50	26.10									
		20					18.38	19.25	26.36									
		25					18.73	19.66	25.98									
		30					18.72	19.70	25.97			3.60	11.70	14.5	9.80	2.50		
		45					18.51	19.65	26.10									
		60					18.17	19.09	26.55			3.60	11.70	14.5	9.80	2.50		

2.5 วิธีการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติจากการทดสอบ

2.5.1 พฤติกรรมที่แสดงลักษณะการพิบัติของเสาเข็ม

สำหรับการพิจารณาหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ โดยปกติจะหมายถึง การพิบัติในดิน ซึ่งมีหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้ (Chun , 1992)

(ก) กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ถูกกำหนดโดย ลักษณะการปักลงหรือเคลื่อนที่ลงโดยเร็วของเสาเข็ม โดยทั่วไปแล้วเสาเข็มจะเป็นวัสดุที่แข็งแรงกว่าดิน เมื่อเราทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักจนถึงจุดพิบัติ คือจุดที่ค่าการทรุดตัวจะมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ภายใต้การเพิ่มน้ำหนักเพียงเล็กน้อย หรือไม่เพิ่มน้ำหนักเลย อย่างไรก็ตามข้อกำหนดนี้ก็ยังไม่เป็นที่ยอมรับมากนักเพราะลักษณะการปักลงไปของเสาเข็มนั้นต้องรอให้มีค่าการทรุดตัวที่มากจึงจะสามารถหาค่าน้ำหนักประลัยได้

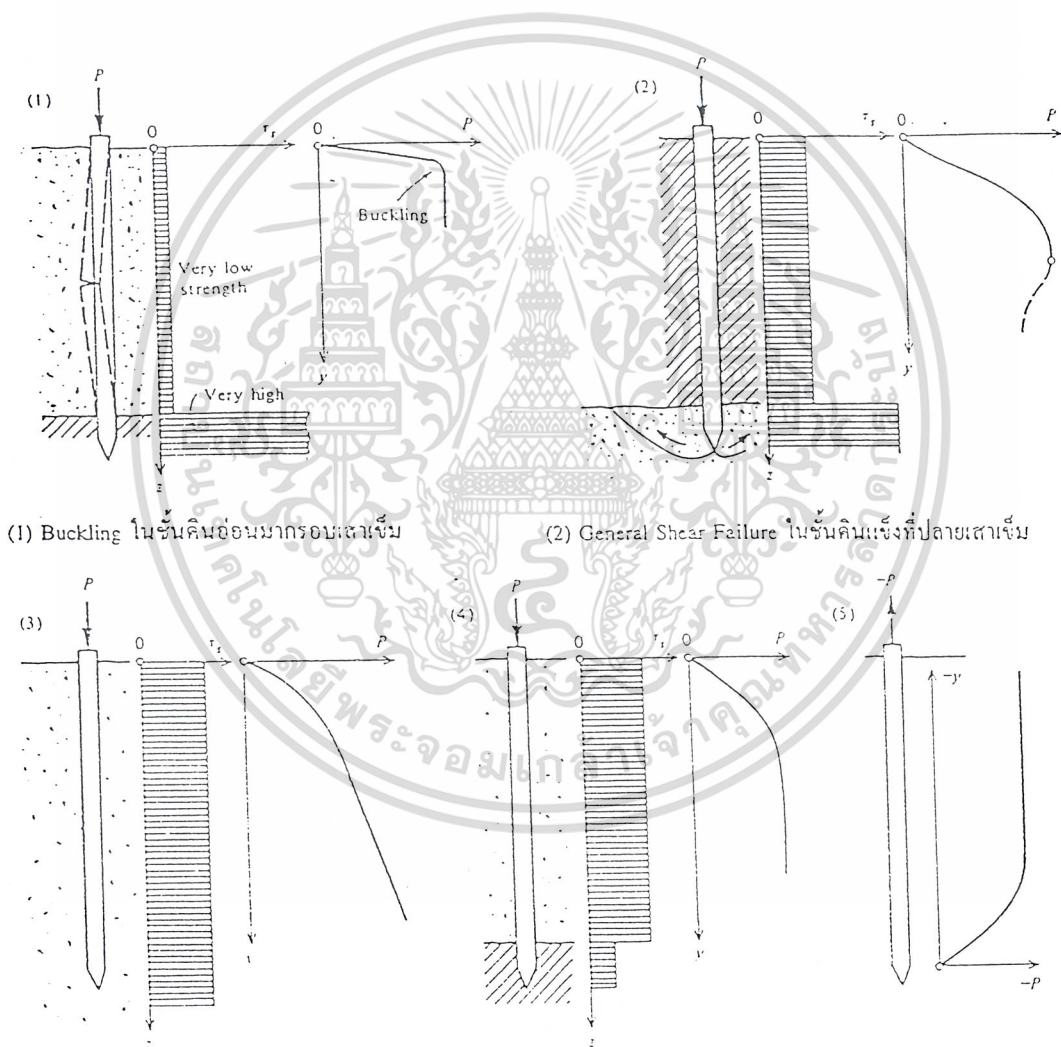
(ข) กำลังรับน้ำหนักประลัยที่ถูกกำหนดจากค่าการทรุดตัว โดยไม่คำนึงถึงกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม โดยกำหนดจากน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เสาเข็มทรุดตัวเท่ากับ 10% ของเส้นผ่านศูนย์กลาง สำหรับเสาเข็มตอก และเท่ากับ 25 % ของเส้นผ่านศูนย์กลาง สำหรับเสาเข็มเจาะ

(ค) กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ถูกกำหนดโดยการตัดกันของเส้นตรง 2 เส้น บนกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม บางครั้งค่าของกำลังประลัยถูกกำหนดที่จุดตัดกันของเส้นตรง 2 เส้น เป็นการตัดกันของเส้นตรงในส่วน Pseudo-elastic สองส่วนตัดกันบนกราฟความสัมพันธ์ การตีความข้อกำหนดนี้ขึ้นอยู่กับ การตัดสินใจของผู้นำไปใช้ และถ้าเปลี่ยนมาตราส่วนของกราฟ ค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยจะเปลี่ยนไปด้วย

(ง) กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย ที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์แทนเส้นกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็ม การที่จะเลือกใช้ข้อกำหนดของน้ำหนักที่เกิดการพิบัติจะต้องขึ้นกับความถูกต้องของสมการ และสามารถนำสมการนั้นไปใช้ได้ อย่างกว้างขวาง และไม่ขึ้นกับมาตราส่วนกราฟความสัมพันธ์ ต้องไม่คำนึงถึงความยาวของเสาเข็ม ถ้าใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ไม่เหมาะสมกับสภาพปัจจัยต่างๆของเสาเข็ม เช่นการถ่ายน้ำหนักของเสาเข็ม ชนิดของเสาเข็ม ประเภทของดินที่ปลายเข็มแล้ว การหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดก็就会有ความผิดพลาดสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

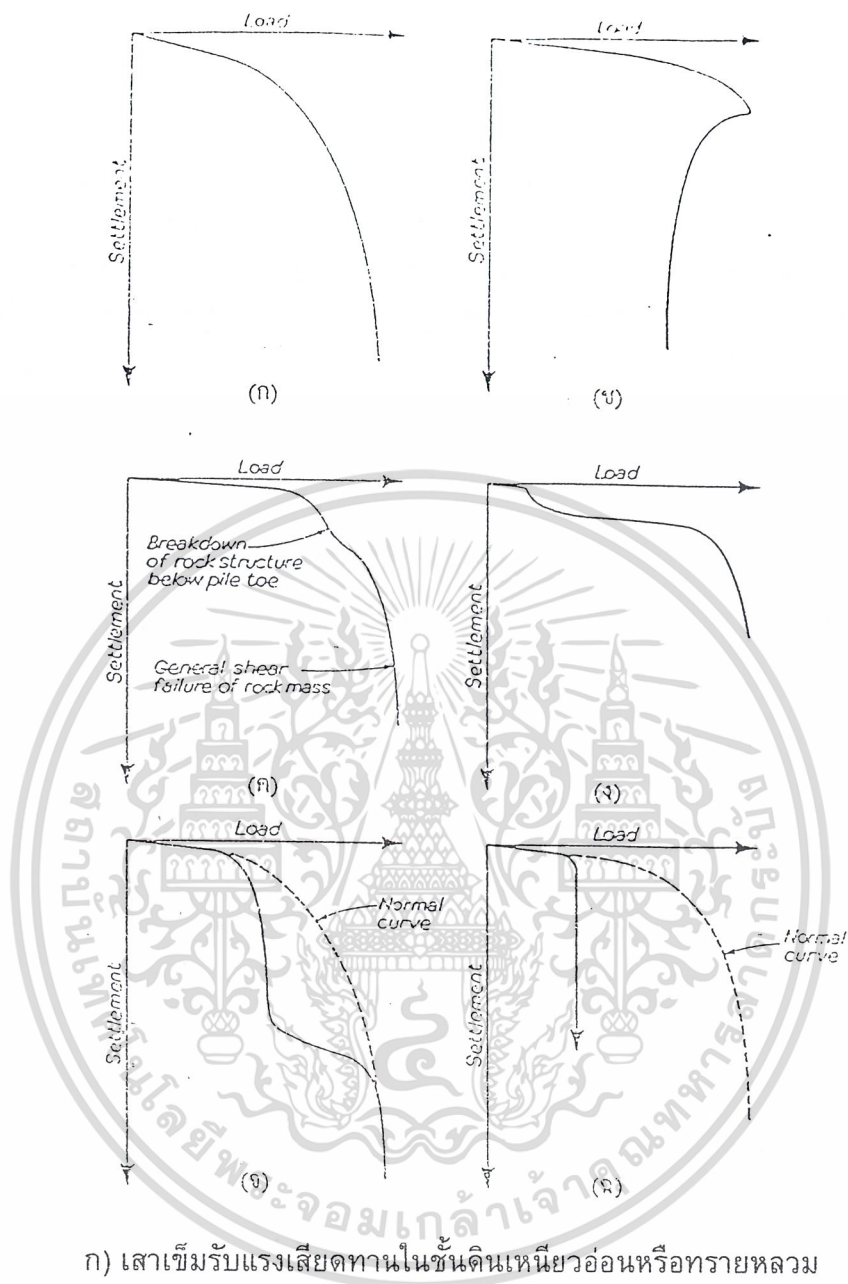
ได้มีผู้ศึกษา วิเคราะห์รวบรวมออกมาเป็นรูปแบบความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุก และค่าการทรุดตัวที่เป็นสาเหตุมาจากการบีบอัดที่ต่างกันของเสาเข็มในภาพที่ 2.28 และการศึกษาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวจากการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม สามารถแยกแยะเป็นรูปแบบทั่วไปของพฤติกรรมการรับน้ำหนักตามสภาพปัจจัยโดยรอบของเสาเข็ม ซึ่งมีรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.29 (Tomlison,1994)



(1) Buckling ในชั้นดินอ่อนนารอบเสาเข็ม (2) General Shear Failure ในชั้นดินแข็งที่ปลายเสาเข็ม

(3) การบีบคั้นของเสาเข็มในชั้นดินที่มีกำลังต้านทาน (4) เสาเข็มที่มีแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มเป็นหลัก (5) เสาเข็มรับแรงดึง
 สมบัติเสมอตลอดความยาวเสาเข็ม เนื่องจากวางปลายเสาเข็มในชั้นดินอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.33 รูปแบบการบีบคั้นของเสาเข็มตามลักษณะความแข็งแรงของชั้นดิน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- ก) เสาเข็มรับแรงเสียดทานในชั้นดินเหนียวอ่อนหรือทรายหลวม
 ข) เสาเข็มมีแรงเสียดทานในชั้นดินดาน
 ค) เสาเข็มที่มีปลายเสาเข็มบนชั้นหินปูน
 ง) เสาเข็มที่ถูกน้ำหนักบรรทุกดันให้ปลายเสาเข็มที่วางอยู่บนชั้นหิน
 แข็งทะลุไปสู่ชั้นหินใหม่
 จ) เสาเข็มที่มีช่องว่างเกิดขึ้นที่ผิวเสาเข็ม
 ฉ) เสาเข็มที่มีกำลังคอนกรีตต่ำจะถูกฉีกโดยน้ำหนักบรรทุกทดสอบ

รูปที่ 2.34 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวในรูปแบบสถานะต่างๆ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ที่มา : Tomlinson (1994)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

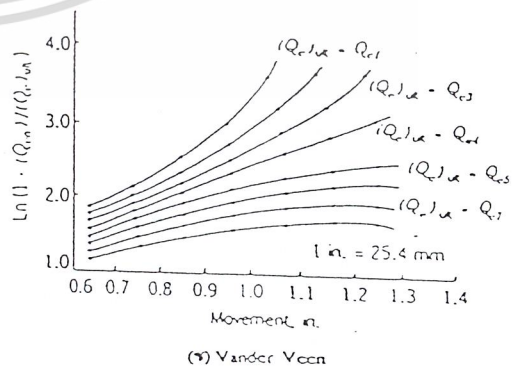
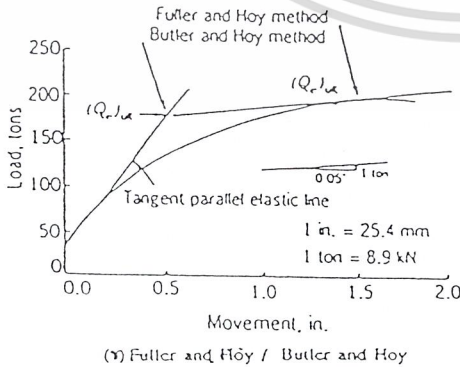
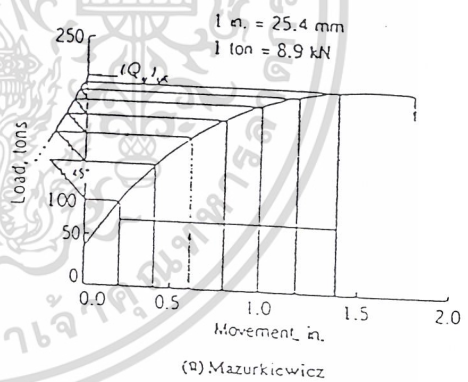
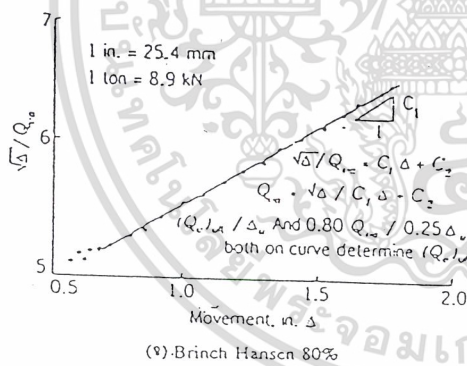
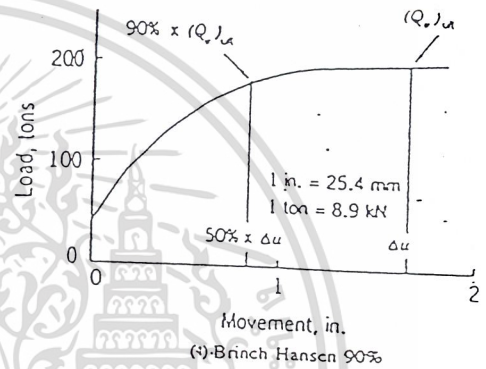
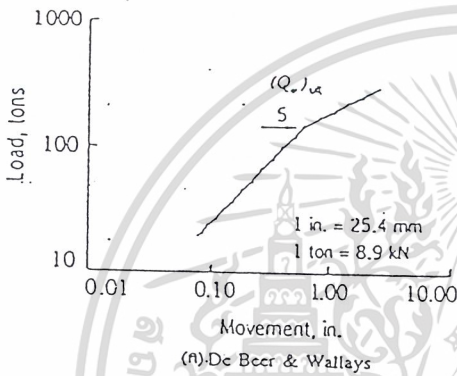
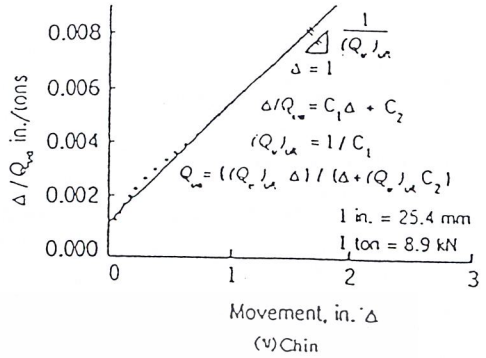
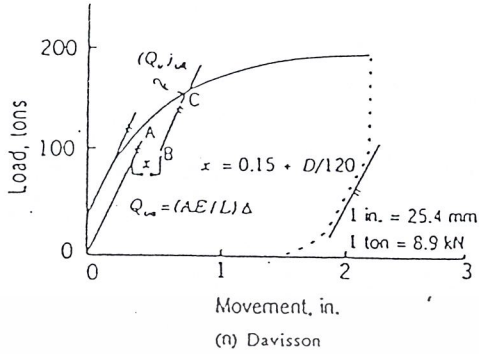
2.5.2 วิธีการแปลงผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม

การแปลงผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม เพื่อให้ได้ค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดที่มีผู้รวบรวมไว้หลายรูปแบบต่างๆ กัน ซึ่งวิธีต่างๆ ได้รวบรวมไว้ดังนี้ (Shmsher และ Hari, 1990)

- ก. วิธีของ Davisson (1972)
- ข. วิธีของ Chin (1970,1971)
- ค. วิธีของ De beer (1967) หรือ วิธีของ De Beer และ Wallays (1972)
- ง. วิธีของ Brinch Hansen 90 percent critetion (1963)
- จ. วิธีของ Brinch Hansen 80 percent critetion (1963)
- ฉ. วิธีของ Mazurkiewicz (1972)
- ช. วิธีของ Fuller และ Hoy (1970)
- ซ. วิธีของ Butler และ Hoy (1971)
- ณ. วิธีของ Van derVeen (1953)

โดยเนื้อหาในบทนี้จะทำการอธิบายถึงขั้นตอนในการหาน้ำหนักพิบัติทดสอบโดยวิธีต่างๆ ขึ้นต้น และจะทำการสรุปเป็นผลวิเคราะห์ในแต่ละวิธี*

จากการ



รูปที่ 2.35 รูปแบบวิธีการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากผลการทดสอบเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ที่มา: Shamsheer และ Hari (1989)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงแก่เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าหน้าหนักบรรทุกที่จุดพิบัติของ Davisson โดยลากเส้นขนานระยะ offset จากเส้น initial modulus ไปตัดกับเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน้าหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ สามารถทำตามขั้นตอนได้ดังนี้

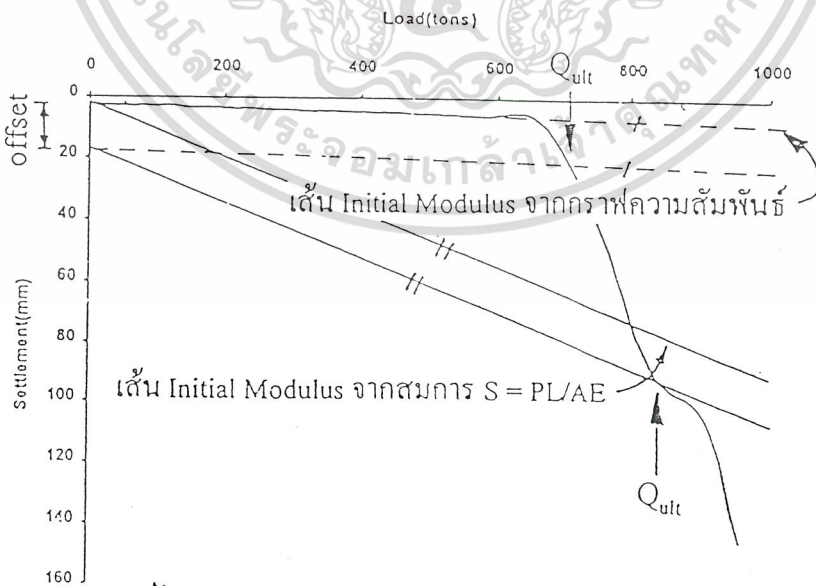
- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน้าหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัว ดังแสดงในภาพที่ 2.35ก

- กำหนดหาค่าการเคลื่อนตัวในช่วงอีลาสติกของเสาเข็มทดสอบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\Delta = Q_{va}L / AE$ โดยที่ Q_{va} คือ หน้าหนักบรรทุก, L คือ ความยาวของเสาเข็ม, A คือ พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม และ E คือ modulus of elasticity ของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม

- ลากเส้น OA ตามสมการ การเคลื่อนที่ในช่วงอีลาสติก (Δ) ที่ได้จากข้อ ข) ลงบนกราฟ จากนั้นลากเส้น BC ขนานกับเส้น OA เป็นระยะ x โดยให้ $x = 0.15 + D/120$ นิ้ว, (D = เส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม, นิ้ว)

- หน้าหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ คือ จุดตัดกันของเส้น BC กับเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน้าหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัว (จุด C ในภาพที่ 2.35ก)

วิธีนี้ได้แนะนำให้ใช้กับเสาเข็มตอก และใช้ได้กับวิธีทดสอบแบบ Quick Load Test ข้อได้เปรียบของวิธีนี้คือ เส้น BC สามารถลากได้ก่อนการทดสอบเสาเข็ม ดังนั้นจึงสามารถกำหนดเกณฑ์การทดสอบเสาเข็มสำหรับการทดสอบ Proof Test ได้



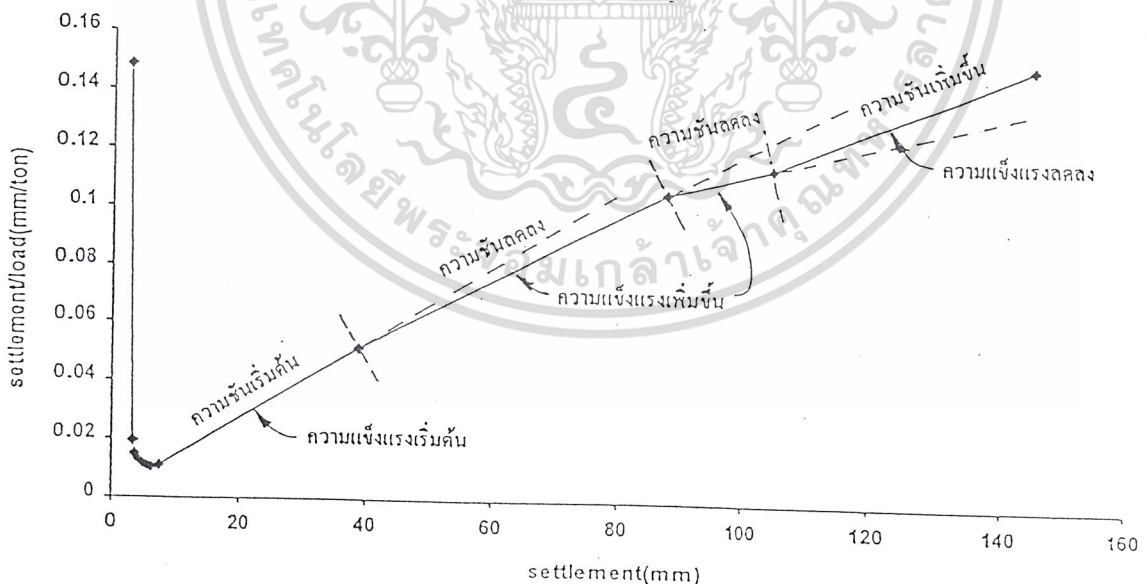
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยัง **รูปที่ 2.36** รูปแบบของกราฟวิธี Davisson ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) วิธี Chin

วิธีนี้จะได้ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด เท่ากับค่า asymptote ของกราฟความสัมพันธ์ที่ถูกแทนด้วยสมการไฮเปอร์โบลิก ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.35x ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Δ/Q_{va} กับ Δ โดยที่ Δ คือ การเคลื่อนที่ และ Q_{va} คือ น้ำหนักบรรทุกที่ทดสอบ ณ ค่าการทรุดตัวนั้น
- คำนวณน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ มีค่าเท่ากับ โดยที่ คือ ค่าความชันของกราฟ อธิบายได้ตามภาพที่ 2.35x ซึ่งถ้ากราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัว มีค่าความสัมพันธ์แบบ ไฮเปอร์โบลิกแล้ว วิธีนี้จะเป็วิธีที่เหมาะสม

วิธีการแปลผลนี้ถูกนำมาใช้กับการทดสอบแบบ Quick Load Test และ Standard Loading Procedure ซึ่งจะใช้เวลาเท่าๆ กันในแต่ละน้ำหนักทดสอบ โดยกราฟของ chin นี้จะเริ่มแสดงรูปแบบเป็นเส้นตรง เมื่อน้ำหนักทดสอบเกินกว่า Davisson's limit วิธีนี้จะได้ค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติที่ไม่น่าเชื่อถือนัก ถ้าไม่ทดสอบในช่วงเวลาเท่าๆ กันของการเพิ่มน้ำหนักในแต่ละช่วง



รูปที่ 2.37 รูปแบบของกราฟวิธี Chin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) วิธีของ De Beer

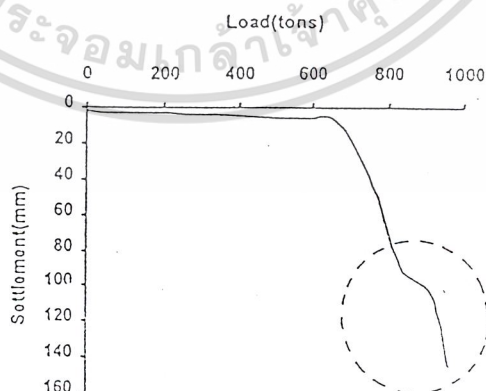
เป็นการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด จากจุดเปลี่ยนความชันของเส้นตรง บนความสัมพันธ์แบบลอการิทึมสเกลแสดงไว้ในภาพที่ 2.35ค ซึ่งได้อธิบายไว้ตามขั้นตอนดังนี้

- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัว บนกราฟลอการิทึมสเกล
- ซึ่งจะได้รูปกราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง 2 เส้น
- น้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติสามารถหาได้จากจุดตัดกันของเส้นตรง 2 เส้นนั้น

วิธีนี้แนะนำให้ใช้สำหรับเสาเข็มที่ทดสอบแบบ Standard Loading Procedure



ก) กราฟวิธี De Beer ที่เขียนบนสเกลธรรมดา



ข) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.38 รูปแบบของกราฟวิธี De Beer

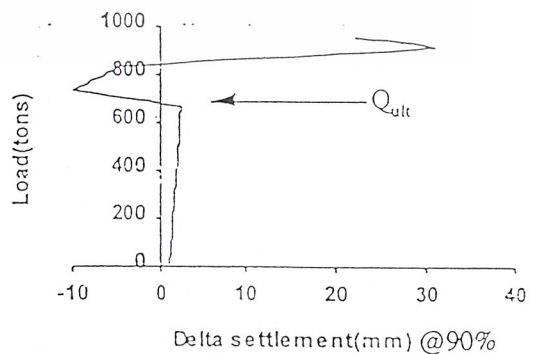
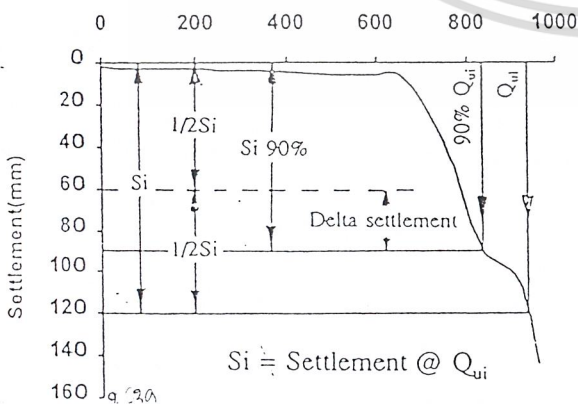
(ง) วิธีของ Brinch Hansen 90 percent criterion

วิธีนี้เป็นวิธีการลองผิดลองถูก เพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ ณ จุดที่ การทรุดตัวมีค่าเป็น 2 เท่า ของค่าการทรุดตัวที่ 90% ของน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ ดังแสดง ได้ดังภาพที่ 2.35 และสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของ เสาเข็มทดสอบ
- หาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ (Q_{vult}) โดยที่ค่าการทรุดตัวที่จุดพิบัติ (Δ) จะมีค่าเป็น 2 เท่าของค่าการทรุดตัวที่ 90% ของค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ (Q_{vult})

วิธีหาค่าวิธีนี้ถูกนำมาใช้กับการทดสอบแบบ Constant Rate of Penetration Test โดยไม่ขึ้นกับชนิดของดิน

วิธี Modified Brinch Hansen 90% วิธีเดิมของ Brinch Hansen 90% คือ น้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นเมื่อ ครึ่งหนึ่งของค่าการทรุดตัวที่น้ำหนักบรรทุกใดๆที่กำลังพิจารณาจะมี ค่าเท่ากับการทรุดตัวที่ 90% ของน้ำหนักบรรทุกนั้นดังแสดงในภาพที่ 2.39ก จากขั้นตอนดังกล่าวจะต้องทำการสุ่มหาค่าน้ำหนักทดสอบ Q_{ui} ใดๆ มาลองผิดลองถูกตามข้อกำหนดของวิธีการข้างต้น เพื่อให้ได้ค่า Q_{ui} ที่ทำให้เกิดค่าผลต่างของค่าการทรุดตัวที่ 90% ของน้ำหนักบรรทุก กับครึ่งหนึ่งของค่าการทรุดตัวที่น้ำหนักบรรทุกนั้น เท่ากับศูนย์ และในการหาค่าน้ำหนักแต่ละค่าก็ต้องใช้เวลามาก พบว่าเป็นไปได้ยากที่จะทำการหาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงปรับเปลี่ยนโดยทำการแสดงเป็นกราฟ Modified Brinch Hansen 90% ในภาพที่ 2.39ข ซึ่งใช้แกน X เป็นผลต่างของค่าการทรุดตัวที่ 90% ของน้ำหนักบรรทุกใดๆที่กำลังพิจารณากับครึ่งหนึ่งของค่าการทรุดตัวที่น้ำหนักบรรทุกนั้นๆ ซึ่งก็คือ ค่า Delta Settlement ในวิธีดั้งเดิมนั่นเอง และแกน Y เป็นน้ำหนักบรรทุกเช่นเดิม โดยยัง



ก) วิธี Brinch Hansen 90% ของเดิม

ข) วิธี Modified Brinch Hansen 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะด้วยวิธีใด การแปลหรือการนำเอกสารฉบับนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารจะถือว่าผิดกฎหมาย

รูปที่ 2.39 การเปรียบเทียบรูปแบบของกราฟวิธี Brinch Hansen 90% ทั้ง 2 แบบ

คงใช้หลักการเข้าหาศูนย์ และตัดแกน Y หรือถ้ากรณีที่ 2 ผลต่างของค่าการทรุดตัวในแกน X เข้าหาศูนย์ แต่ไม่ตัดแกน Y ให้เลือกค่าน้ำหนักที่ให้ค่าผลต่างมีค่าน้อยที่สุด ดังในตัวอย่างในภาพที่ 2.41 ซึ่งวิธีที่ปรับปรุงแล้วนี้จะทำให้ง่ายต่อการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ และสามารถศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็มได้ตลอดช่วงการทดสอบเสาเข็มได้ ดังในภาพที่ 2.39ข

(จ) วิธีของ Brinch Hansen 80 percent criterion

การแปลผลวิธีนี้พัฒนามาจากวิธี Brinch Hansen 90% ที่มีขั้นตอนยุ่งยากในการหาค่าน้ำหนักบรรทุก จึงได้พัฒนาให้วิธี Brinch Hansen 80% ใช้วิธีแก้สมการเส้นตรง โดยกำหนดว่าค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ คือจุดที่ค่าการทรุดตัวมีค่าเป็น 25% ของค่าการทรุดตัวที่ 90% ของน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ ดังแสดงได้ดังภาพที่ 2.35จ และแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ได้ดังนี้

- เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ $\frac{\sqrt{\Delta}}{Q_{va}}$ ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ
- หาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ (Q_v)_{ult} กับ Δ ซึ่ง Δ คือ ค่าการทรุดตัว และ Q_{va} คือ น้ำหนักบรรทุก ซึ่งจะได้สมการเส้นตรงคือ

$$\frac{\sqrt{\Delta}}{Q_{va}} = C_1 \Delta + C_2 \quad (5)$$

- ค่าของน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ (Q_v)_{ult} จะเป็นตำแหน่งที่น้ำหนักบรรทุกมีค่าเป็น 80% ของน้ำหนักบรรทุกที่จุดใดๆ ณ ตำแหน่งที่การทรุดตัวมีค่า 1 ใน 4 ของการทรุดตัวที่จุดนั้น สามารถหาได้โดยการกำหนดตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของกราฟความสัมพันธ์ดังนี้

แทนค่า Q_u , Δ_v ลงในสมการที่ (5) จะได้

$$Q_u = \frac{\sqrt{\Delta_u}}{C_1 \Delta_u + C_2} \quad (6)$$

แทนค่า $0.8Q_u$, $0.25\Delta_v$ ลงในสมการที่ (5) จะได้

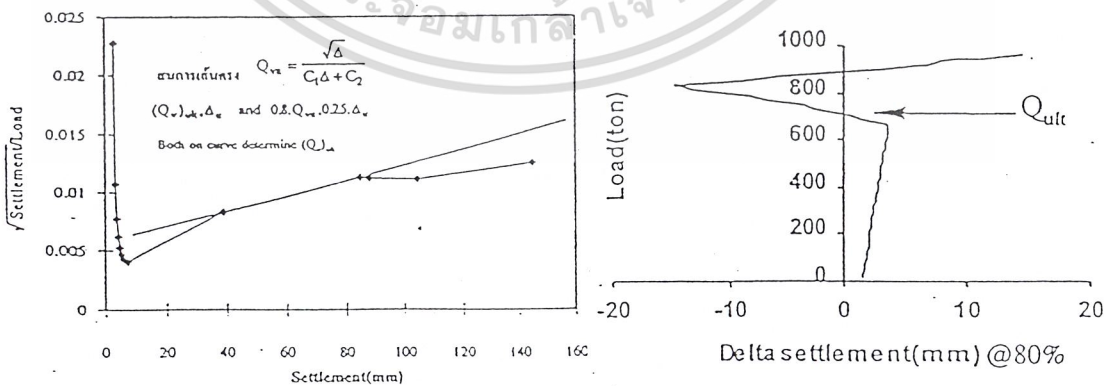
$$\frac{\sqrt{0.25\Delta_u}}{0.8Q_u} = \frac{\sqrt{0.25\Delta_u}}{0.25C_1 \Delta_u + C_2} \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของอาจารย์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นแก้สมการโดยให้ (5) เท่ากับ (6) เพื่อหาค่า Δ_u ที่ทำให้เกิดน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ตามข้อกำหนดของวิธีนี้

ตัวอย่างกราฟ Brinch Hansen 80% ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.35จ ซึ่งวิธีนี้นั้นรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัว ควรเป็น พาราโบลา เป็นวิธีที่ใช้ได้กับการทดสอบแบบ Quick Load Test และ Standard Loading Procedure โดยเป็นเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมสำหรับการพิบัติแบบการปักลง (Plunging Failure)

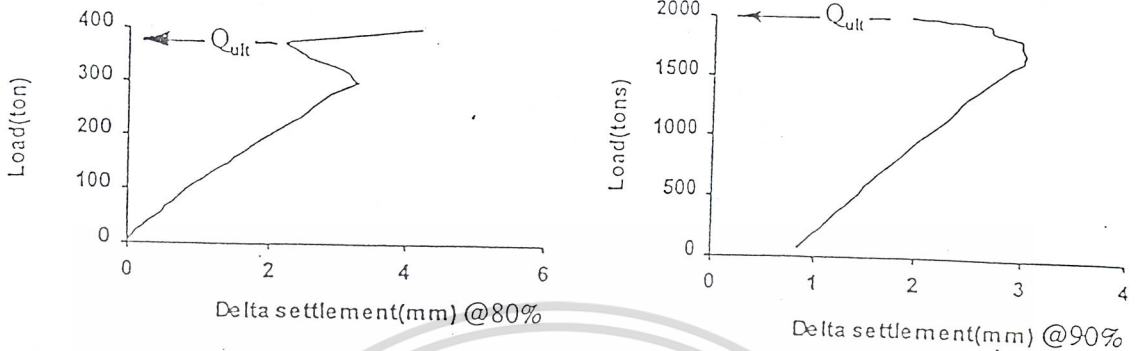
วิธี Modified Brinch Hansen 80% โดยหลักการและรายละเอียดในการหาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด เหมือนกับวิธี Modified Brinch Hansen 90% เกือบทุกอย่าง ยกเว้นเพียงข้อกำหนดของน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นเมื่อ 1 ใน 4 ของค่าการทรุดตัวที่น้ำหนักบรรทุกใดๆ ที่กำลังพิจารณาจะมีค่าเท่ากับการทรุดตัวที่ 80% ของน้ำหนักบรรทุกนั้น ซึ่งวิธีเดิมจะทำการลองผิดลองถูกของน้ำหนักบรรทุกในสมการเส้นตรง ที่แทนความสัมพันธ์ดังในรูปที่ 2.40ก เพื่อหาค่าการทรุดตัวที่จุดพิบัติโดยให้แกน X เป็นค่าการทรุดตัว และแกน Y เป็นรากที่ 2 ของค่าการทรุดตัวหารด้วยน้ำหนักบรรทุก $\left(\frac{\sqrt{\Delta}}{Q_v}\right)$ ผลของค่าน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากวิธีเดิมนี้มีความแปรปรวนสูง เนื่องจากการหาค่าความชันของเส้นตรงไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับประมาดของผู้แปลผล วิธีที่ปรับปรุงใหม่แล้วนี้สามารถแสดงผลการวิเคราะห์และหาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยการเขียนกราฟ Modified Brinch Hansen 80% โดยใช้หลักการเช่นเดียวกับวิธี Modified Brinch Hansen 90% ซึ่งวิธีที่ปรับปรุงนี้ ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็มได้เช่นเดียวกับวิธี Modified Brinch Hansen 90% ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.40ข



ก) วิธี Brinch Hansen 80% ของเดิม

ข) วิธี Modified Brinch Hansen 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 2.40 การเปรียบเทียบรูปแบบของกราฟวิธี Brinch Hansen 80% ทั้ง 2 แบบ



ก) วิธี Mod. Brinch Hansen 80%

ข) วิธี Mod. Brinch Hansen 90%

รูปที่ 2.41 ตัวอย่างการอ่านค่า Q_{ult} ของเสาเข็มในฐานข้อมูล

(จ) วิธีของ Mazurkiewicz

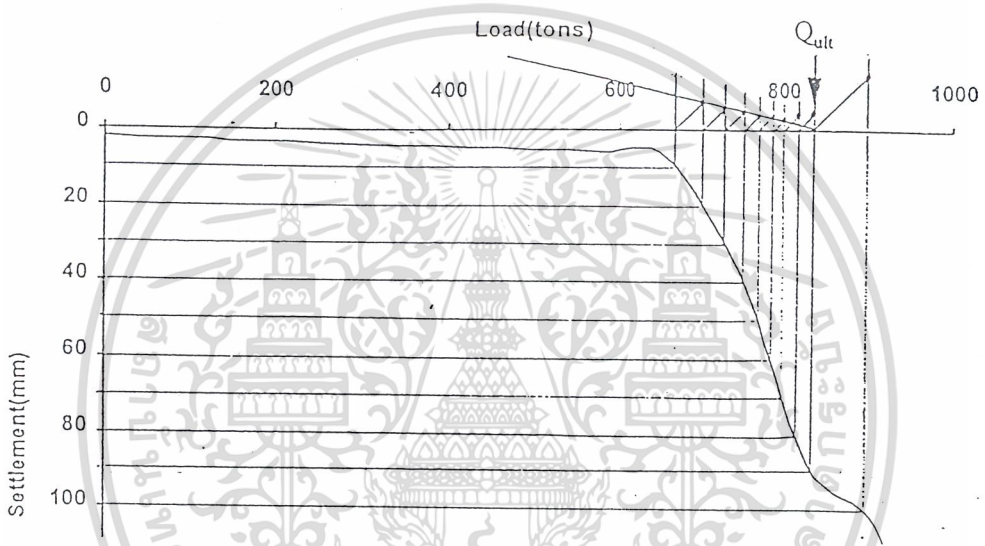
เป็นวิธีที่ใช้การลากเส้นหาจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความลาดชันของกราฟความสัมพันธ์ที่เกิดการทรุดตัวแบบการเคลื่อนที่ลงโดยเร็ว จะเป็นค่าที่เสาเข็มเกิดการพิบัติ แสดงรูปแบบไว้ในภาพที่ 2.35จ ตามขั้นตอนการแปลผลดังนี้

- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ
- ทำการแบ่งช่วงการทรุดตัวเท่าๆ กันบนแกน X และลากเส้นแนวตั้งขึ้นไปตัดบนส่วนโค้งของกราฟ จากนั้นให้ลากเส้นในแนวนอนจากจุดตัดนี้บนส่วนโค้ง ไปตัดกับแกนของน้ำหนักบรรทุก (Y)
- จากจุดตัดบนแกน Y ของแต่ละน้ำหนักทดสอบ ลากเส้น 45° ไปตัดกับเส้นน้ำหนักทดสอบถัดขึ้นไป ถ้าลากต่อจุดตัดนี้ไปตัดแกนน้ำหนัก (Y) จะมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ซึ่งจุดตัดแกน Y นี้คือ น้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ

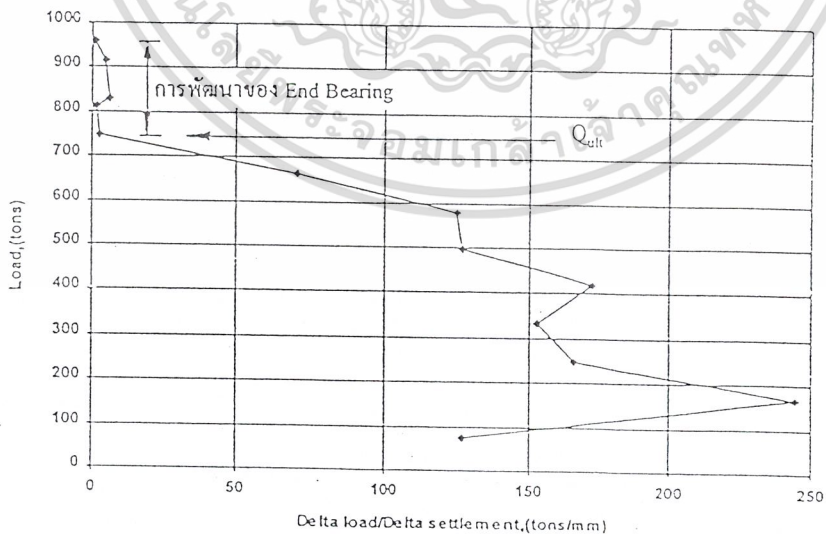
วิธีนี้จะเหมาะสมกับรูปแบบความสัมพันธ์ที่เป็นพาราโบลา ค่าน้ำหนักบรรทุกที่หาโดยวิธีนี้มีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์ 80% ซึ่งวิธีของ Mazurkiewicz นี้มีข้อสังเกตว่า จะต้องพยายามบังคับให้จุดตัดที่เกิดขึ้นนี้มีรูปแบบเป็นเส้นตรง

วิธี Modified Mazurkiewicz จากหลักการเดิมของวิธีนี้ใช้วิธีการลากเส้นไปบนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม ซึ่งพบว่ามีความยุ่งยากกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่เบี่ยงเบนค่าและต้องอ้างอิงเงาของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้

ยากในการเขียนเพื่ออ่านค่า และกราฟที่ใช้อ่านค่ามีความไม่ชัดเจนดังในภาพที่ 2.42ก ไม่สะดวกที่จะใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ จึงได้มีการปรับเปลี่ยนวิธีการใหม่แต่ยังคงหลักการเดิมคือ ให้แกน X คือผลต่างของน้ำหนักบรรทุกทดสอบในช่วงติดกัน ทหารด้วยผลต่างของค่าการทรุดตัวนั้น (Delta load/Delta settlement) และให้แกน Y คือ น้ำหนักบรรทุก ซึ่งทำให้การอ่านค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด คือค่าน้ำหนักบนแกน Y เมื่อค่าในแกน X มีแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์ทำได้สะดวกและรวดเร็วขึ้นด้วยการให้คอมพิวเตอร์ช่วยในการเขียนกราฟ Modified Mazurkiewicz ขึ้นมาใหม่ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.42

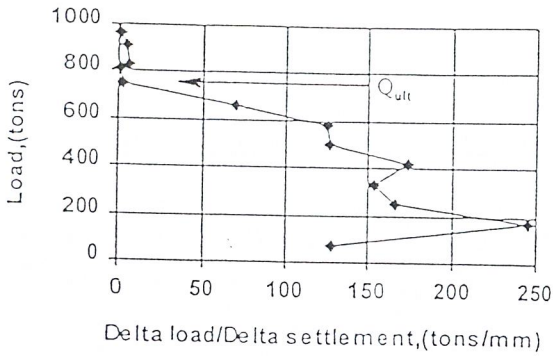


ก) วิธี Mazurkiewicz แบบเดิม

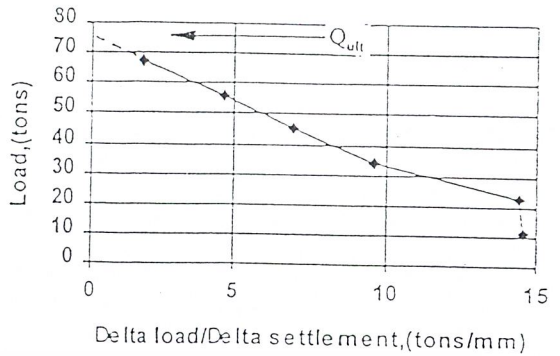


ข) วิธี Modified Mazurkiewicz

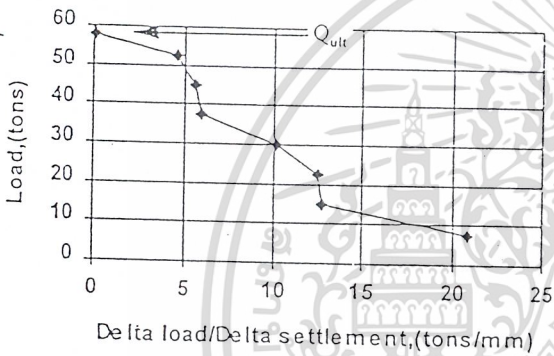
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.42 การเปรียบเทียบรูปแบบกราฟของวิธี Mazurkiewicz ทั้ง 2 แบบ



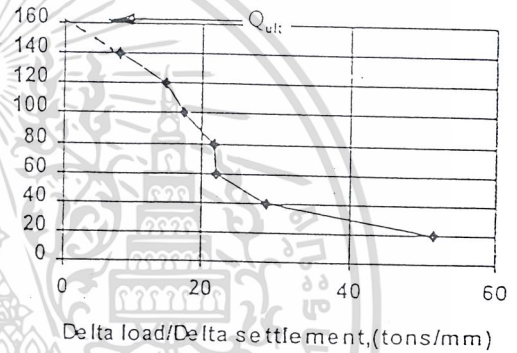
ก) เสาเข็มต้นที่ 1



ข) เสาเข็มต้นที่ 2



ก) เสาเข็มต้นที่ 1



ข) เสาเข็มต้นที่ 2

รูปที่ 2.43 รูปแบบของกราฟวิธี Modified Mazurkiewicz

(ข) วิธีของ Fuller และ Hoy

เป็นวิธีที่กำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ จะเป็นจุดที่ความลาดชันของเส้นความสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ 0.05 นิ้ว/ตัน แสดงขั้นตอนได้ดังนี้

- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวดังแสดงในภาพที่ 2.30ข
- ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Q_{ult}) คือ น้ำหนักบรรทุกที่มีความชันของส่วนโค้งของกราฟความสัมพันธ์ที่ 0.05 นิ้ว/ตัน

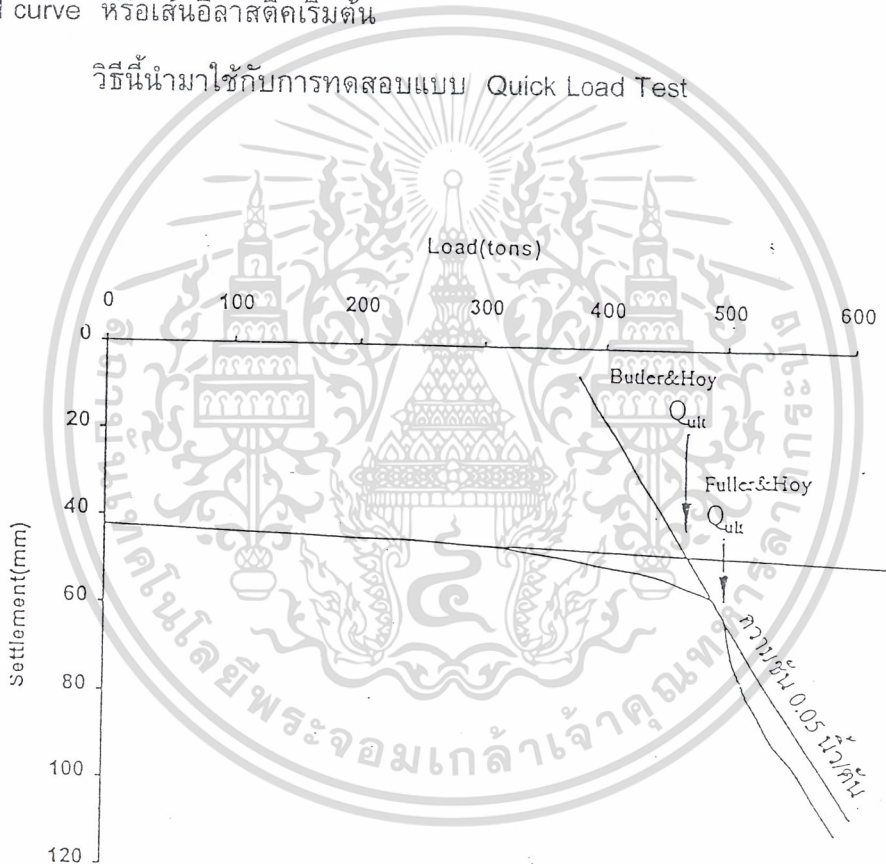
วิธีนี้มักใช้แปลผลกับการทดสอบ Quick Load Test ข้อเสียของวิธีนี้คือ ถ้าเป็นเสาเข็มยาวซึ่งมีค่าการเคลื่อนตัวแบบอีลาสติคมาก ทำให้ค่าความชันที่ 0.05 นิ้ว/ตัน จะต้องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการคำนวณจะเกิดได้ค่าน้ำหนักที่จุดพิบัติที่การทรุดตัวน้อยขึ้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุบังเอิญและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) วิธีของ Butler และ Hoy

กำหนดว่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ คือ จุดที่เส้นสัมผัสโค้งความสัมพันธ์ที่มีความลาดชัน 0.05 นิ้ว/ตัน ตัดกับเส้นอีลาสติคของความสัมพันธ์ แสดงไว้ในภาพที่ 2.35 ซึ่งจะมีขั้นตอนการแปรผล ดังนี้

- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัว
- น้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ คือ จุดตัดกันของส่วนของเส้นตรงที่มีความชัน 0.05 นิ้ว/ตัน กับเส้นซึ่งเป็นส่วนของเส้นตรงเริ่มต้นของส่วนโค้ง หรือเส้นขนาดกึ่งเส้น rebound curve หรือเส้นอีลาสติคเริ่มต้น

วิธีนี้นำมาใช้กับการทดสอบแบบ Quick Load Test



รูปที่ 2.44 รูปแบบของกราฟวิธี Butler และ Hoy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ณ) วิธีของ Van der Veen

เป็นวิธีที่ใช้การลองสมมติค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ บนกราฟความสัมพันธ์ใหม่ ถ้าค่าน้ำหนักที่สมมติทำให้กราฟมีรูปแบบเป็นเส้นตรง ก็จะได้ค่าที่สมมตินั้นเป็นน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

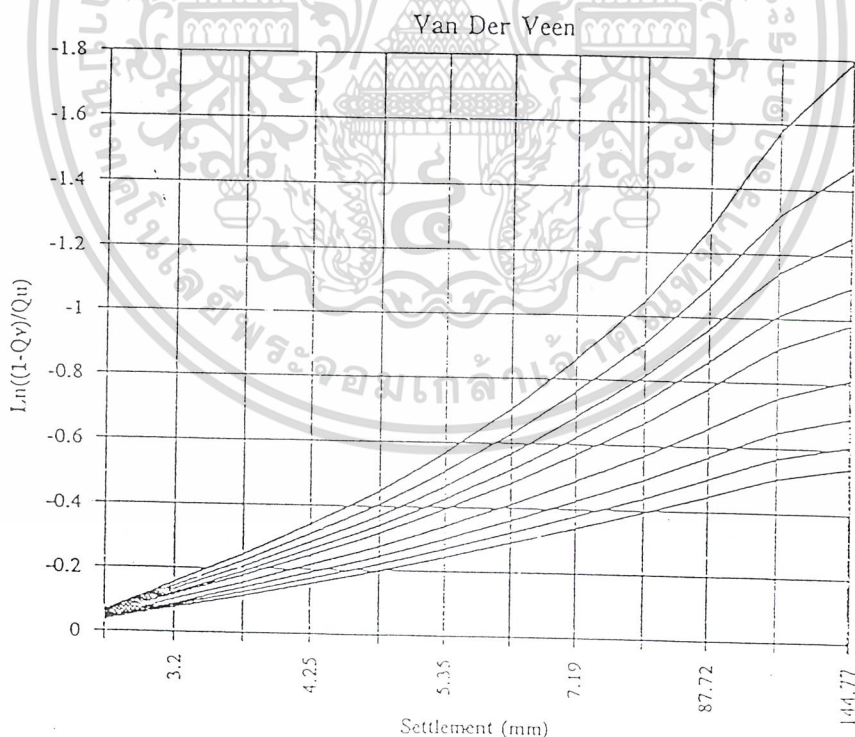
(ข) เลือกค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ ในที่นี้สมมติให้เท่ากับ $(Q_v)_{ult}$

(ค) เขียนกราฟ $\ln\left(\frac{1-Q_{va}}{(Q_v)_{ult}}\right)$ สัมพันธ์กับค่าการทรุดตัวนั้นๆ สำหรับค่าน้ำหนักบรรทุก (Q_v) ต่างๆ กัน

น้ำหนักบรรทุก (Q_v) ต่างๆ กัน

(ณ) เมื่อค่าที่สมมติ นำมาเขียนกราฟได้เป็นเส้นตรง ดังนั้นจะได้ค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติสมมตินั้นเป็นน้ำหนักที่จุดพิบัติที่หาได้จากวิธีนี้ ดังในรูปที่ 2.35

ข้อเสียของวิธีนี้คือ จะใช้เวลาในการแปลผลมากเพื่อที่จะลองสมมติค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติ



รูปที่ 2.45 รูปแบบของกราฟวิธี Van der Veen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 การให้คะแนนตามหัวข้อที่พิจารณาความเหมาะสม

ข้อพิจารณา	Mod. Mazurkiewicz	De Beer	Butler & Hoy	Fuller & Hoy	Modified Brinch Hansen 80%	Modified Brinch Hansen 90%	Chin	Davison	Van Der Veen
1. เปรียบเทียบจำนวนเสาเข็มที่สามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดได้จากเสาเข็มในฐานข้อมูล ๑๖ ต้น	93.50%	97.80%	39.80%	39.80%	86%	๘๘.20%	95.70%	58%	ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้
ระดับความสำคัญ B	10	10	4	4	8	8	10	5	2
2. ความสามารถในการศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ทดสอบ	ด้านพฤติกรรมจากค่า Delta Load บรรเทา settlement บนแกน X แต่ไม่สามารถอ่านค่าการทรุดตัวได้บนกราฟเดียวกัน	ด้านพฤติกรรมจากกราฟ De Beer ซึ่ง เป็นพฤติกรรมบนค่า ลอการริซึมโดยอาจไม่ชัดเจนนัก	สามารถอ่านพฤติกรรมจากกราฟน้ำหนัก จากกราฟน้ำหนักบรรทุกและกราฟทรุดตัวได้โดยตรง	สามารถอ่านพฤติกรรมจากกราฟน้ำหนักบรรทุก	สามารถอ่านพฤติกรรมในช่วงน้ำหนักทดสอบได้ว่ามีกำลังสูงขึ้นหรือมีกำลังคง และบอกได้ว่าเกิดพฤติกรรมช่วงอีลาสติกจนถึงน้ำหนักทดสอบที่เท่าไร แต่ไม่สามารถอ่านค่าการทรุดตัวได้บนกราฟ วิธี Brinch Hansen 90% อ่านพฤติกรรมได้ละเอียดกว่า	ทราบพฤติกรรมในช่วงท้ายของเสาเข็มเท่านั้นว่ามีกำลังเกินจนหรือลดลงไม่สมบูรณ์ทราบพฤติกรรมของเสาเข็มก่อนการถีบีบอัดมาก	ทราบพฤติกรรมในช่วงท้ายของเสาเข็มเท่านั้นว่ามีกำลังเกินจนหรือลดลงไม่สมบูรณ์ทราบพฤติกรรมของเสาเข็มก่อนการถีบีบอัดมาก	สามารถอ่านพฤติกรรมจากกราฟน้ำหนัก	ไม่สามารถทราบพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็ม
ระดับความสำคัญ A	9	9	10	10	9	9	7	10	6
3. การศึกษาทางด้านการแปรปรวนในการอ่านค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด	ต้องใช้ดุลยพินิจในการอ่านค่า Delta load หรือ settlement ที่ลดน้อยลงจนน่าจะเป็นพฤติกรรมการถีบีบอัด	ต้องใช้ดุลยพินิจในการกราฟที่เอกลักษณะ elastic และ plastic บนกราฟ De Beer	ต้องใช้ดุลยพินิจในการดูกราฟที่เอกลักษณะ elastic บนกราฟความสัมพันธ์	อ่านค่าให้ถ้อยบังชัดเจน จุดสัมผัสที่มีความสัมพันธ์ 0.05 นิ้ว/ตัน	อ่านค่าได้ชัดเจน ณ จุดตัดแกน Y หรือค่าที่น้อยที่สุดที่ชัดเจนหลังจากผ่านช่วง elastic ไปแล้ว	ต้องใช้ดุลยพินิจว่า ค่าความรับช่วงใดของกราฟที่เป็นพฤติกรรมการถีบีบอัดของเสาเข็ม	ต้องใช้ดุลยพินิจว่า ค่าความตัดกันของเส้นระยะ offset กับเส้นกราฟ	อ่านค่าได้ชัดเจนจากจุด	อ่านค่าได้จากกราฟที่พิจารณาว่าเส้นกราฟที่น้ำหนักบรรทุกที่จุดสัมผัสใดที่ทำให้กราฟเป็นเส้นตรง
ระดับความสำคัญ C	9	8	9	10	9	9	7	10	7
4. การพิจารณาถึงขั้นตอนในการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดกึ่งกลาง	สร้างกราฟ Modified Mazurkiewicz โดย 1. แกน X เท่ากับ Delta load บรรเทา settlement 2. แกน Y เท่ากับน้ำหนักบรรทุก 3. หาจุดคั่นบนแกน Y	สร้างกราฟ De Beer โดย 1. แกน X เป็นค่า ลอการริซึมของน้ำหนักบรรทุก 2. แกน Y เป็นค่า ลอการริซึมของกราฟทรุดตัว 3. หาจุดคั่นของเส้น elastic กับ plastic	ใช้กราฟน้ำหนักบรรทุกและกราฟทรุดตัว โดยค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่จุดคั่นของเส้นสัมผัสที่มีความสัมพันธ์ 0.05 นิ้ว/ตันกับเส้น elastic ของกราฟ	ใช้กราฟน้ำหนักบรรทุกและกราฟทรุดตัว โดยค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่จุดคั่นของเส้นสัมผัสที่มีความสัมพันธ์ 0.05 นิ้ว/ตันกับเส้น elastic ของกราฟ	สร้างกราฟ Brinch Hansen จากขั้นตอนดังนี้ 1. สร้างสมการเส้นตรงของน้ำหนักบรรทุกและกราฟทรุดตัวในแต่ละช่วงน้ำหนัก 2. แทนน้ำหนักบรรทุกที่จุดกึ่งกลางลงในสมการเพื่อหาผลต่างของค่า settlement/2settlement บนแกน X 3. ใช้แกน Y เป็นน้ำหนักบรรทุก 4. หาจุดคั่นแกน Y หรือค่าที่น้อยที่สุดที่ชัดเจนหลังจากผ่านช่วง elastic ไปแล้ว	สร้างกราฟ Chin 1. แกน X เป็นค่า การทรุดตัว บนกราฟน้ำหนักบรรทุก และกราฟทรุดตัว โดย 1. หาตำแหน่งของกราฟในช่วงกึ่งกลาง 2. ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเท่ากับ/ความรับ	สร้างกราฟ Davison บนกราฟน้ำหนักบรรทุก และกราฟทรุดตัว โดย 1. สร้างเส้น elastic กับ settlement เท่ากับ PL/AE 2. หาระยะ offset = 0.15 * D/120 3. น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่จุดคั่นของเส้น offset กับกราฟความสัมพันธ์	สร้างกราฟ Van Der Veen 1. สมมติค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 2. ใช้ค่าบนแกน Y เท่ากับ b(1-Q _u /Q _u) 3. แกน X = ค่าการทรุดตัว 4. ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่จุดคั่นที่นำไปกราฟเป็นเส้นตรง	
ระดับความสำคัญ A	8	8	9	10	7	7	8	8	8

ตารางที่ 2.7 การให้คะแนนตามหัวข้อที่พิจารณาความเหมาะสม (ต่อ)

ข้อพิจารณา	Mod. Mazurkiewicz	De Beer	Butler & Hoy	Fuller & Hoy	Modified		Chin	Davisson	Van Der Veen	
					Brinch Hansen 80%	Brinch Hansen 90%				
5. การพิจารณาถึงลักษณะของผิวกระจกหาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด	ต้องใช้ลักษณะของผิวกระจกหาค่าที่ต้องเข้าใจว่าค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด Delta load/delta sett Delta sett ก็คือค่า modulus ของเสาเข็ม	ใช้ลักษณะในการอ่านค่า น้อย	ใช้ลักษณะในการอ่านค่า ค่าน้อย	ไม่ต้องใช้ลักษณะในการอ่านค่าเลย	ต้องใช้ลักษณะในการอ่านค่า ค่านาก	ต้องใช้ลักษณะในการอ่านค่า ค่านาก	ต้องใช้ลักษณะในการอ่านค่า ค่านาก	ไม่ต้องใช้ลักษณะในการอ่านจุดคิดเลข	ไม่ต้องใช้ลักษณะในการอ่านจุดเน้นวงเลข	
ระดับความสำคัญ B	8	9	9	10	7	7	8	10	10	
6. ข้อจำกัดของการทดสอบ	ต้องทดสอบให้ถึงจุดที่บีบอัดที่สุด	ต้องทดสอบให้ถึงช่วง elastic	ไม่สามารถสรุปได้	ไม่สามารถสรุปได้	ควรทดสอบให้ถึงจุดที่บีบอัด	ควรทดสอบให้ถึงจุดที่บีบอัด	ควรทดสอบให้ถึงจุดที่บีบอัด	ต้องทดสอบให้ถึงช่วง elastic	ไม่สามารถสรุปได้	
ระดับความสำคัญ C	9	9	7	7	9	9	7	9	2	
7. การพิจารณาถึงผลของสัดส่วนความปลอดภัย	2.43	2.03	2.31	2.35	2.35	2.39	2.78	2.38	ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้	
ระดับความสำคัญ A	10	2	8	8	8	9	6	9	2	
8. การพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้ได้กับประเภทเสาเข็ม ความยาวและน้ำหนักทดสอบต่างๆ	ระดับ ดี กับเสาเข็มทุกชนิด ระดับ ดี กับทุกความยาว ระดับ ดีมาก กับทุกช่วงน้ำหนักทดสอบสูงสุด	ระดับ ดี กับเสาเข็มทุกชนิด ระดับ ดี กับทุกความยาว ระดับ ดี กับทุกช่วงน้ำหนักทดสอบสูงสุด	ระดับ ดีมาก กับเสาเข็มทุกชนิด ระดับ ดี กับทุกความยาว ระดับ ดีเยี่ยม กับทุกช่วงน้ำหนักทดสอบสูงสุด	ระดับ ดีมาก กับเสาเข็มทุกชนิด ระดับ ดี กับทุกความยาว ระดับ ดีเยี่ยม กับทุกช่วงน้ำหนักทดสอบสูงสุด	ระดับ ดี กับเสาเข็มทุกชนิด ระดับ ดีกับทุกความยาว ระดับ ดีมาก กับทุกช่วงน้ำหนักทดสอบสูงสุด	ระดับ ดี กับเสาเข็มทุกชนิด ระดับ ดีกับทุกความยาว ระดับ ดีมาก กับทุกช่วงน้ำหนักทดสอบสูงสุด	ระดับ ดี กับเสาเข็มทุกชนิด ระดับ ดีกับทุกความยาว ระดับ ดีกับทุกช่วงน้ำหนักทดสอบสูงสุด	ระดับ พอใช้ กับเสาเข็มทุกชนิด ระดับ พอใช้ กับทุกความยาว ระดับ พอใช้ กับทุกช่วงน้ำหนักทดสอบสูงสุด	ระดับ ดี กับเสาเข็มทุกชนิด ระดับ พอใช้ กับทุกความยาว ระดับ พอใช้ กับทุกช่วงน้ำหนักทดสอบสูงสุด	ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้
ระดับความสำคัญ B	8	7	10	10	6	5	4	5	2	
ผลการรวมคะแนนจากคะแนนเต็ม 250 คะแนน, ได้ดังนี้	222	188	209	218	191	192	173	208	114	

ตารางที่ 2.8 ผลการประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้

วิธีที่พิจารณา	ความเหมาะสม	ระดับคะแนน (คะแนนเต็ม 250)
Mod. Mazurkiewicz.	ดีเยี่ยม	222
Fuller & Hoy	ดีมาก	218
Butler & Hoy, Davisson	ดี	206-209
Mod. Brinch Hansen 90%, Mod. Brinch Hansen 80%	พอใช้ได้	191-192

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

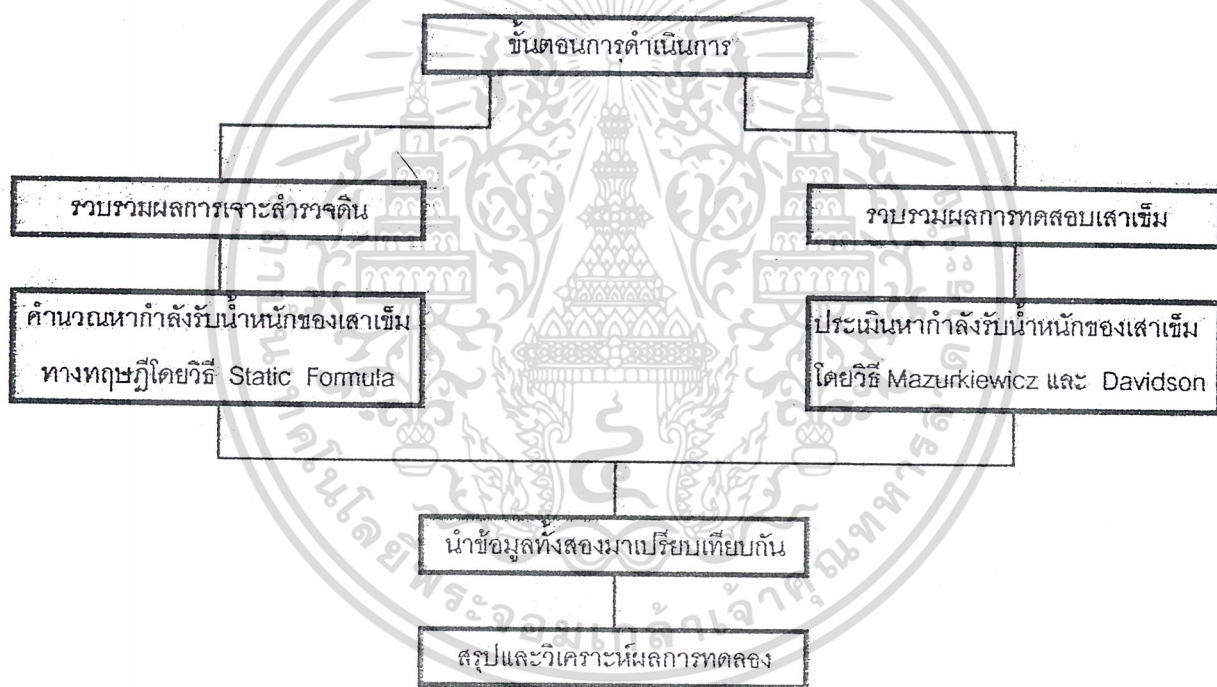
ขั้นตอนการดำเนินงานและตัวอย่างการคำนวณหา

ความสามารถในการรับ

น้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม

บทนี้จะเป็นบทที่แสดงขั้นตอนการดำเนินงานพร้อมทั้งตัวอย่างประกอบการแสดงผลหาค่ารับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยในบทถัดไป เนื้อหาในบทนี้จะประกอบไปด้วย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน มีรายละเอียดดังรูป



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

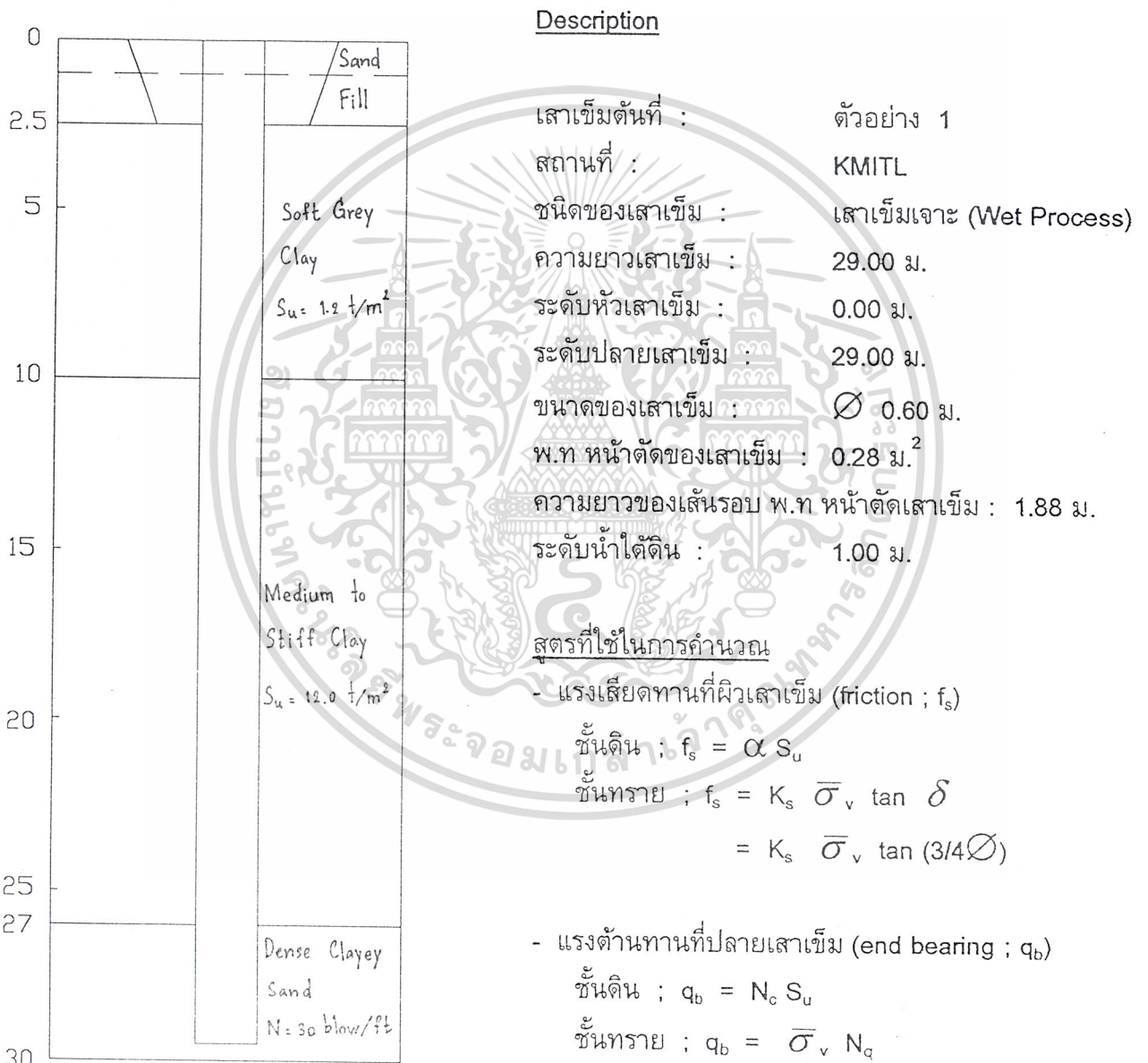
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ตัวอย่างการคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย

3.2.1 ตัวอย่างที่ 1-ตัวอย่างการคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยโดยวิธี

Static Formula

ตัวอย่างที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของชั้นดินที่เสาเข็มผ่านของตัวอย่างที่ 1
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น Sand Fill (0 – 2.5 ม.) : ถือว่าไม่มีแรงเสียดทาน
 ชั้น Soft Gray Clay (2.5 – 10.0 ม.) : $S_u = 12 \text{ t/m}^2$
 จากรูป 2.23 เราจะได้ค่า Adhesion factor
 $(\alpha)=0.9$

$$\therefore f_s = 0.90 \times 1.20 = \underline{1.08} \text{ t/m}^2$$

ชั้น Medium to Stiff Clay(10.0 – 27.0 ม.) : $S_u = 12.0 \text{ t/m}^2$
 จากรูป 2.23 เราจะได้ค่า Adhesion factor
 $(\alpha)=0.40$

$$\therefore f_s = 0.40 \times 12.0 = \underline{4.80} \text{ t/m}^2$$

ชั้น Dense Clayey Sand (27.0 – 29.0 ม.) : ใช้ค่า $K_s = 0.7$ (จากตารางที่ 2.2)
 ที่ระดับ 28.00 ม. ;

$$\bar{\sigma}_v = (2.0 \times 1.0) + (1.0 \times 1.5) + (0.6 \times 7.5) + (1.0 \times 17.0) + (1.0 \times 1.0) = 26 \text{ t/m}^2$$

จากรูป B เราจะได้ค่า Correction factor (C_N)
 $= 0.66$

$$\therefore N' = C_N \times N = 0.66 \times 30 = 19.2 \text{ blows/ft}$$

จากรูป D เราจะได้ค่า Angle of friction (ϕ)
 $= 33.58^\circ$

$$\therefore f_s = 0.7 \times 26 \times \tan (0.75 \times 33.58) = \underline{8.55} \text{ t/m}^2$$

พิจารณาแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม

ชั้น Dense Clayey Sand (27.0 – 29.0 ม.) : จากรูป 2.2 เราได้ค่า $N_q = 13.00$
 $\therefore q_b = (26 + (1 \times 1)) \times 13 = \underline{351.0} \text{ t/m}^2 \leq 500 \text{ t/m}^2 \text{ O.K}$

จากข้อมูลการคำนวณเราจะได้อาการแสดงผลดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตัวอย่างที่ 1

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	σ_v (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Sand Fill	0.0-2.5	2.50										
Soft Grey Clay	2.5-10.0	7.50	1.20		0.90					1.08		8.10
Medium to Stiff Clay	10.0-27.0	17.00	12.00		0.40					4.80		81.60
Dense Clayey Sand	27.0-29.0	2.00		30.00		19.80	33.58	26.00	13.00	8.55	351.00	17.10
												106.80

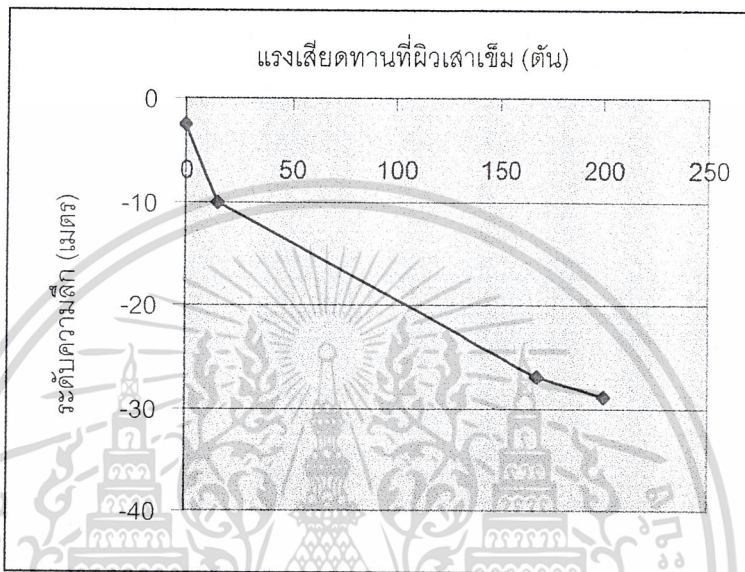
$$Q_f = 200.78 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 98.28 \text{ TONS}$$

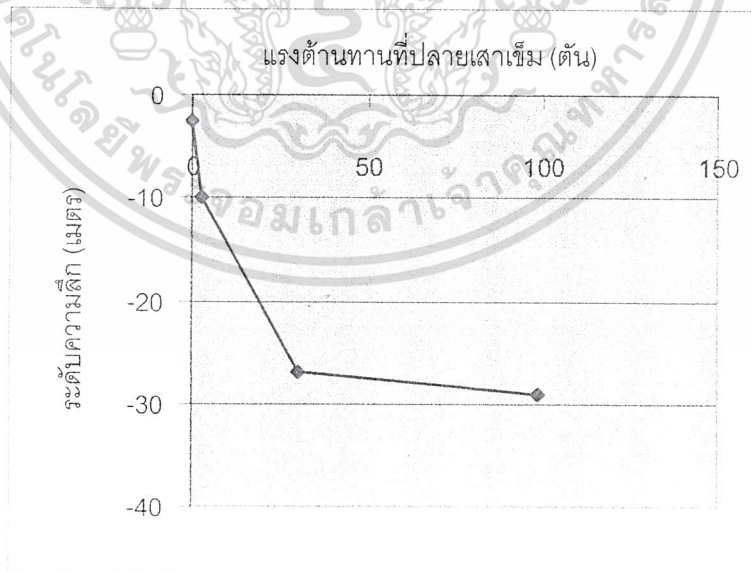
$$Q_u = 299.06 \text{ TONS}$$

เสาเข็มตัวอย่างที่ 1 มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 299.06 ตัน

จากผลการคำนวณที่ได้สามารถแสดงกราฟการพัฒนาของแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม (Shin Friction Resistance) ที่ระดับความลึกต่างๆ เพื่อให้เข้าใจกลไกการถ่ายแรงของเสาเข็ม ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงแรงเสียดทานที่ระดับความลึกต่างๆของเสาเข็มตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงแรงต้านทานที่ปลายเข็มที่ระดับความลึกต่างๆ

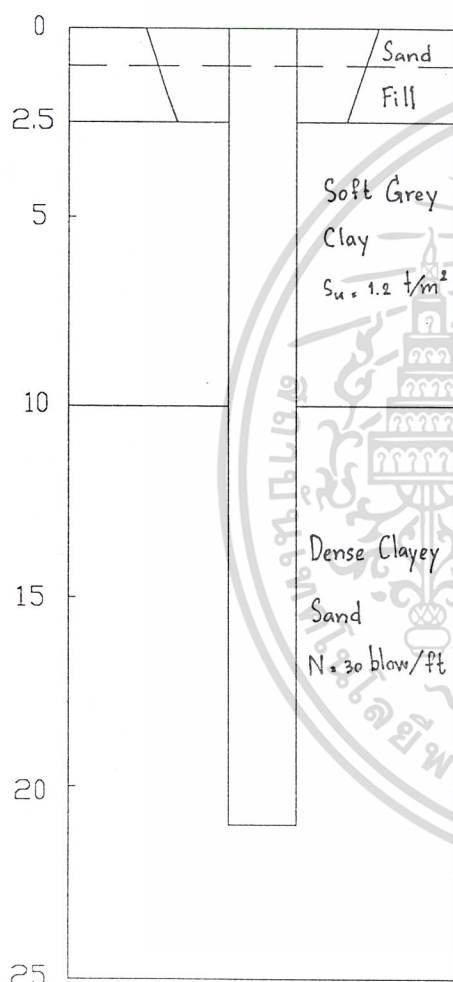
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ตัวอย่างที่ 2-ตัวอย่างการคำนวณหากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยโดยวิธี

Static Formula

ตัวอย่างที่ 2

Description



- เสาเข็มต้นที่ : ตัวอย่าง 2
 สถานที่ : KMITL
 ชนิดของเสาเข็ม : เสาเข็มตอก (Spun Pile)
 ความยาวเสาเข็ม : 22.00 ม.
 ระดับหัวเสาเข็ม : 0.00 ม.
 ระดับปลายเสาเข็ม : 22.00 ม.
 ขนาดของเสาเข็ม : \varnothing 0.60 ม. (thick=0.05m)
 พ.ท หน้าตัดภายในของเสาเข็ม : 0.20 ม.²
 ความยาวของเส้นรอบ พ.ท หน้าตัดเสาเข็ม : 1.88 ม.
 ระดับน้ำใต้ดิน : 1.00 ม.

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

- แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม (friction ; f_s)

$$\text{ชั้นดิน ; } f_s = \alpha S_u$$

$$\text{ชั้นทราย ; } f_s = K_s \bar{\sigma}_v \tan \delta$$

$$= K_s \bar{\sigma}_v \tan (3/4 \varnothing)$$

- แรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (end bearing ; q_b)

$$\text{ชั้นดิน ; } q_b = N_c S_u$$

$$\text{ชั้นทราย ; } q_b = \bar{\sigma}_v N_q$$

รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของชั้นดินที่เสาเข็มผ่านของตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม

ชั้น Sand Fill (0.0 – 2.5 ม.)

: ถือว่าไม่มีแรงเสียดทาน

ชั้น Soft Gray Clay (2.5 – 10.0 ม.)

: $S_u = 1.2 \text{ t/m}^2$

จากรูป 2.19 เราจะได้อค่า Adhesion factor

$$(\alpha) = 0.97$$

$$\therefore f_s = 0.97 \times 1.20 = \underline{1.16} \text{ t/m}^2$$

ชั้น Dense Clayey Sand (10.0 – 22.0 ม.)

: ใช้ค่า $K_s = 0.7$ (จากตารางที่ 2.2)

ที่ระดับ 16.00 ม. ;

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_v &= (2.0 \times 1.0) + (1.0 \times 1.5) + (0.6 \times 7.5) \\ &\quad + (1.0 \times 6) = 14 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

จากรูป 2.20 เราจะได้อค่า Correction factor (C_N)

$$= 0.9$$

$$\therefore N' = C_N \times N$$

$$= 0.9 \times 30 = 27.0 \text{ blows/ft}$$

จากรูป 2.21 เราจะได้อค่า Angle of friction (ϕ)

$$= 35.4^\circ$$

$$\therefore f_s = 0.7 \times 14 \times \tan(0.75 \times 35.4)$$

$$= \underline{4.89} \text{ t/m}^2$$

พิจารณาแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม

ชั้น Dense Clayey Sand (10.0 – 22.0 ม.)

: จากรูป 2.21 เราจะได้ค่า $N_q = 30.45$

$$\therefore q_b = (14 + (1 \times 6)) \times 30.45$$

$$= \underline{609} \text{ t/m}^2$$

จากข้อมูลการคำนวณเราจะได้อตารางการแสดงผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตัวอย่างที่ 2

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_{u1} (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	σ (t/m ²)	N_u	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Sand Fill	0.0-2.5	2.50										
Soft Grey Clay	2.5-10.0	7.50	1.20		0.97					1.16		8.70
Dense Clayey Sand	10.0-22.0	12.00		30.00		27.00	35.40	14.00	30.45	4.89	609.00	56.68
												65.38

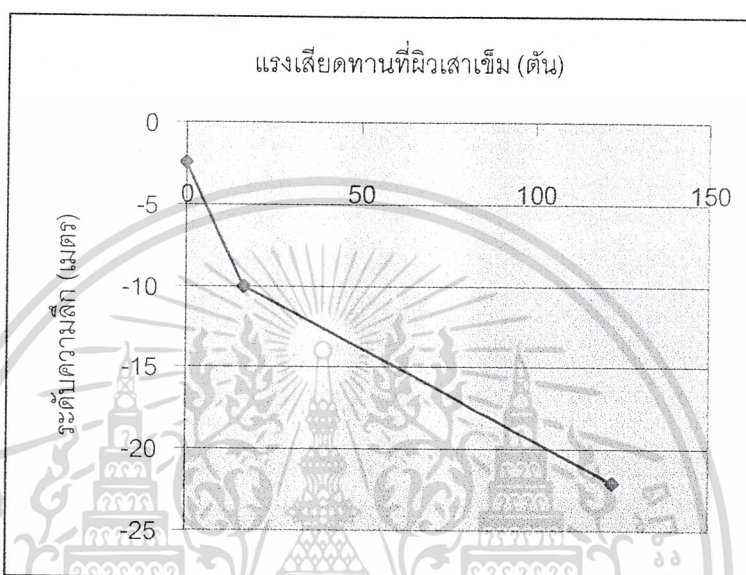
$$Q_f = 122.91 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 121.8 \text{ TONS}$$

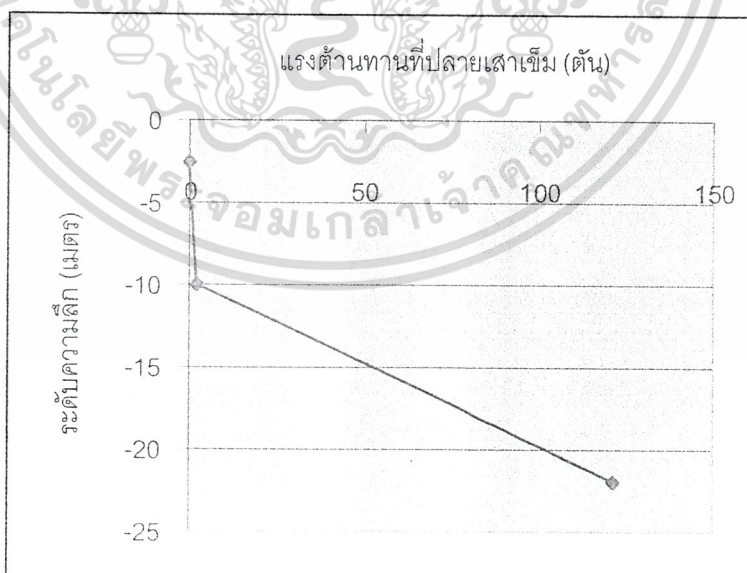
$$Q_u = 244.71 \text{ TONS}$$

เสาเข็มตัวอย่างที่ 2 มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 244.17 ตัน

จากผลการคำนวณที่ได้สามารถแสดงกราฟการพัฒนาของแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม (Shin Friction Resistance) ที่ระดับความลึกต่างๆ เพื่อให้เข้าใจกลไกการถ่ายแรงของเสาเข็ม ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงแรงเสียดทานที่ระดับความลึกต่างๆของเสาเข็มตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงแรงต้านทานที่ปลายเข็มที่ระดับความลึกต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่โครงการศึกษาและพัฒนาไปก่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ของเสาเข็มตัวอย่างที่ 2
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : - สมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ

1. ชั้นดินที่เป็น Crust หรือ Sand Fill จะถือว่าไม่ก่อให้เกิดแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม จึงไม่พิจารณาแรงเสียดทานในชั้นดินดังกล่าว และสมมติให้ระดับ Pile Top อยู่ที่ระดับผิวดิน
2. ใช้ค่า $N_c = 9$ ในการคำนวณโดยอ้างอิงจาก Skempton (1959) ซึ่งยืนยันด้วยผลการทดสอบของ London Clays
3. ใช้ค่า $K_s = 0.70$ (เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง) ในการคำนวณ เนื่องจากเสาเข็มส่วนใหญ่เป็นเสาเข็มเจาะโดยอ้างอิงจาก Tavenas (1971)
4. ใช้ค่า $\delta = 0.75\phi$ ในการคำนวณโดยอ้างอิงจาก ASCE
5. ค่า Adhesion Factor (α) สำหรับเสาเข็มตอก ที่ใช้ในการคำนวณอ่านจากกราฟในรูป 2.19 (อ้างอิงจาก Semple and Rigden ,1974)
6. ค่า Correction Factor ของ N-Value ที่ใช้ในการคำนวณอ่านจากกราฟในรูป 2.20 (อ้างอิงจาก ASCE)
7. ค่า Angle of Friction และ N_q ของเสาเข็มตอก ที่ใช้ในการคำนวณอ่านจากกราฟในรูป 2.21 (อ้างอิงจาก Terzaghi ,1970)
8. ค่า Angle of Friction และ N_q ของเสาเข็มเจาะ ที่ใช้ในการคำนวณอ่านจากกราฟในรูป 2.22 (อ้างอิงจาก NG , 1983)
9. ค่า Adhesion Factor (α) สำหรับเสาเข็มเจาะ ที่ใช้ในการคำนวณอ่านจากกราฟในรูป 2.23 (อ้างอิงจาก Holmberg ,1970)
10. การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มที่ใช้ในการศึกษาโครงการนี้ไม่พิจารณาผลกระทบเนื่องจาก Negative Skin Friction

สมมติฐานทั้ง 9 ข้อ จะใช้ในการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มที่ในการศึกษาโครงการนี้ทั้ง 41 ต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ตัวอย่างการคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของการทดสอบ STATIC LOAD TEST โดย วิธี Modified mazurkiewicz

ตัวอย่างที่ 3

กำหนดข้อมูลผลการทดสอบ Static Load Test ดังตาราง

Load (Tons)	Settlement (mm.)
0	0
100	3
200	4
300	6
400	7.5
500	25

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงผล Static Load Test ของตัวอย่างที่ 3

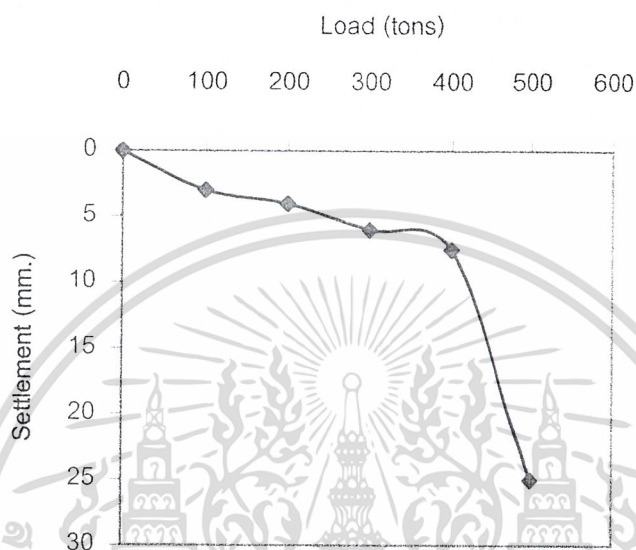
จงหา

1. Load – Settlement Curve
2. หาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย Q_u โดยวิธี Modified Mazurkiewicz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำ

1. Load -Settlement Curve



รูปที่ 3.8 Load settlement curve ของตัวอย่างที่ 3

2. หาโดยวิธี Modified Mazurkiewicz

มีขั้นตอนดังนี้

2.1 คำนวณเพิ่มช่อง $\frac{\Delta L}{\Delta S}$

2.2 นำช่อง $\frac{\Delta L}{\Delta S}$ กับ L มาพล็อตกราฟ

โดย $\frac{\Delta L}{\Delta S}$ คือ แกน x

L คือ แกน y

2.3 ค่ากำลังรับน้ำหนักประลัย (Q_u) คือ ค่าระยะตัดแกน Y

เมื่อ $\frac{\Delta L}{\Delta S} = 0$

โดย ΔL = การเปลี่ยนแปลงของ Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเขียนแบบเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

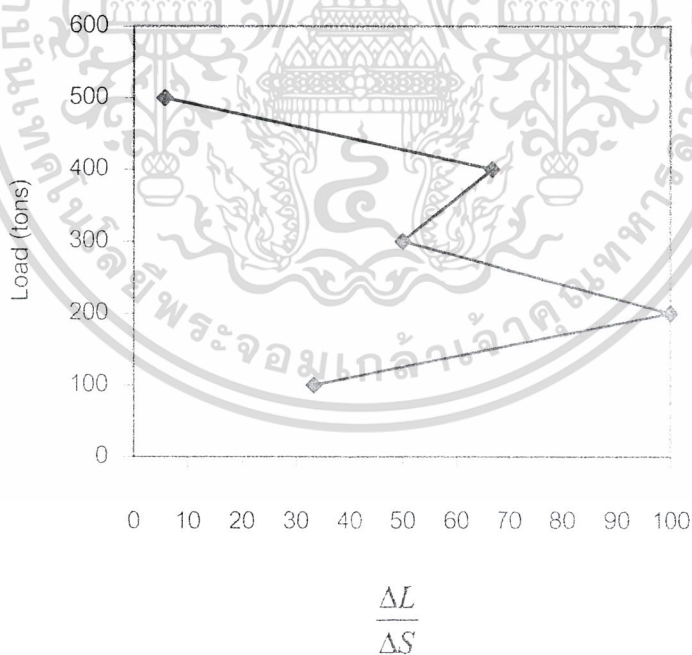
รายละเอียดการทำ

ชั้นที่ 2.1 คำนวณเพิ่มช่อง $\frac{\Delta L}{\Delta S}$

Load (Tons)	Settlement (mm.)	$\frac{\Delta L}{\Delta S}$
0	0	
100	3	33.33
200	4	100
300	6	50
400	7.5	66.66
500	25	5.71

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงผล Static Load Test เพิ่มช่อง $\frac{\Delta L}{\Delta S}$ ของตัวอย่างที่ 3

ชั้นที่ 2.2 นำค่ามาพล็อตกราฟ



รูปที่ 3.9 Mazurkiewicz Curve ของตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขั้นตอนการทำดังนี้

1. นำ $\frac{\Delta L}{\Delta S}$ และ Load มา plot กราฟ
2. ลากเส้นเชื่อมแต่ละจุด

ขั้นที่ 2.3 ต่อเส้นประไปตัดแกน Y และ interpolate ก็จะได้ค่า $Q_u = 512$ Tons

3.2.4 ตัวอย่างการคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของการทดสอบ STATIC LOAD TEST โดย วิธี Davidson (1972)

ตัวอย่างที่ 4

มีขั้นตอนการทำ ดังนี้

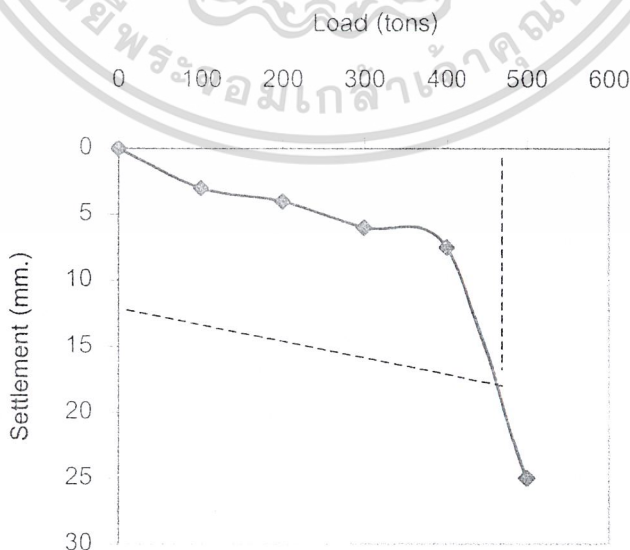
จากตัวอย่างที่ 3 จงหาค่ากำลังรับน้ำหนักประลัย (Q_u) โดยวิธี Davisson

1. วาด Load – Settlement curve
2. หาค่า Settlement เบื้องต้นจากสูตร แล้วลากเส้นขนานข้อมูลมา
3. จากนั้นลากเส้นขึ้นไปในแนวตั้งตัดแกน x (แกน Load) ก็จะเป็น

ตัดกราฟ

ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (Q_u)

จากตัวอย่างที่ 3 จะได้ Load – settlement curve มาแล้ว ดังรูป 3.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.10 Davisson Curve ของตัวอย่างที่ 4
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หาค่า Settlement เริ่มต้นในการลาก offset ดังรูป

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } S_o &= 0.15 + (D/120) \text{ (หน่วย } S_o, D \text{ เป็น in)} \\ &= 3.81 + 8.33 D \text{ (หน่วย } S_o \text{ เป็น mm., } D \text{ เป็น m.)} \end{aligned}$$

เมื่อ S_o คือ ค่า Settlement เริ่มต้นในการลาก offset

D คือ มิติของเสาเข็ม

$$\text{จากโจทย์ } D = 1.2 \text{ m.}$$

$$S_o = 3.81 + 8.33 (1.2) = 13.8 \text{ mm.}$$

- ลากเส้น offset จากจุดเริ่มไปตัดกราฟและลากขนานแนวตั้งไปตัดแกน x จะได้หาค่ากำลังรับน้ำหนักประลัย (Q_{ud}) ดังรูปที่ 3.5

$$\text{ข้อนี้ได้ } Q_{ud} = 485 \text{ tons.}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการคำนวณค่าความสามารถในการรับ
น้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม

หลังจากที่ได้ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม Static Load Test และข้อมูลการเจาะสำรวจดิน (Boring Log) จะสามารถนำมาคำนวณผลค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยได้ดังต่อไปนี้คือ

4.1 ผลการคำนวณค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม
จำนวน 41 ต้น โดยทฤษฎี Static Formula

4.2 ผลการประเมินค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม
จำนวน 41 ต้น โดยทฤษฎี Mazurkiewicz และ Davisson

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.1 รายการแสดงการคำนวณค่าความสามารถ
ในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม
จำนวน 41 ต้น โดยทฤษฎี STATIC FORMULA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณเชิงสถิตยศาสตร์ของ
เสาเข็มด้วยวิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	1
สถานที่	SUKHUMWIT55
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	42.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.20
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	1.13
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.77
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	42.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 1

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	σ_v (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	Q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Soft Clay	0.0-12.8	12.8	2.40		0.72					1.73		22.14
Medium Clay	12.8-17.0	4.2	7.50		0.50					3.75		15.75
Stiff Silty Clay	17.0-20.9	3.9	11.00		0.43					4.73		18.45
Clayey Sand	20.9-22.1	1.2		23.00		20.00	33.50	14.17		4.64		5.57
Silty Clay	22.1-29.1	7.0	21.30		0.32					6.82		47.74
Silty Sand	29.1-31.8	2.7		32.00		23.00	34.60	23.12		7.86		21.22
Clayey Sand	31.8-39.0	7.2		40.00		25.00	34.20	28.07		9.62		69.26
Silty Sand	39.0-41.0	2.0		30.00		18.00	32.90	32.67		9.84		19.68
Silty Clay	41.0-42.0	1.0	29.00		0.26					7.54	261.00	7.54
												227.35

$$Q_f = 857.11 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 294.93 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1152.04 \text{ TONS}$$

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 2

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Very Soft to Soft Clay	0.0-16.1	16.10	1.65		0.84					1.39		22.38
Stiff to very Stiff Clay	16.1-19.3	3.20	4.00		0.63					2.52		8.06
Very Stiff to Hard Clay	19.3-44.6	25.30	20.15		0.32					6.45		163.19
Very Dense Sand	44.6-46.0	1.40		48.00		21.12	33.72	49.92		16.51		23.11
Hard Clay	46.0-46.5	0.50	25.00		0.32					6.65	225.00	3.33
												220.07

$$Q_f = 829.66 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 245.25 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1074.9 \text{ TONS}$$

รายงานผลการดำเนินงานโครงการพัฒนาระบบ
 การจัดการเรียนการสอนรายวิชา
 การจัดการเรียนการสอนรายวิชา

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	3
สถานที่	MAE MOH
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	15.65
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	0.90
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	0.64
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	2.83
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	15.65
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 3

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill	0.0-1.6	1.60										
Stiff Yellowish to Reddish Brown Grey Moist Clay	1.6-3.9	2.30	12.50		-0.40					5.00		11.50
High Plastic Hard Brown Grey Moist Clay	3.9-15.6	11.70	15.15		0.36					5.45	136.35	63.81
												75.31

$$Q_f = 213.13 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 87.26 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 300.39 \text{ TONS}$$

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	4
สถานที่	MAE MOH
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	15.65
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	0.90
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	0.64
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	2.83
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	15.65
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 4

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	σ_v (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill	0.0-1.8	1.80	12.90		0.37					4.77		8.58
Brown Moist Hard High Plastic Clay	1.8-3.9	2.10	23.45		0.30					7.03		14.76
Medium Plastic White Moist Hard Silty Clay	3.9-6.4	2.50	47.35		0.27					12.78		31.95
High Plastic Clayey Silt	6.4-8.0	1.60	16.25		0.35					5.68		9.08
Grey Moist Hard Low Plastic Silty Clay	8.0-9.0	1.00	13.50		0.38					5.13		5.13
Brown Moist Hard High Plastic Silty Clay	9.0-15.5	6.50	17.80		0.34					6.05	160.20	39.34
												108.84

$$Q_f = 308.02 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 101.88 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 409.90 \text{ TONS}$$

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มคันที่	5
สถานที่	SUKHUMVIT 33
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	33.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม, (m)	0.80
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	0.50
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	2.51
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	33.00
ระดับนำได้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 5

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Soft Clay	0.0-15.0	15.00	3.10		0.68					2.11		31.65
Silty Stiff Clay	15.0-23.5	8.50	10.60		0.43					4.56		38.74
Medium Dense Clayey Fine Sand	23.5-25.0	1.50		22.00		16.00	32.20	20.25		6.35		9.53
Medium Dense to Dense Silty Fine Sand	25.0-33.0	8.00		27.00		19.00	33.10	25.00	11.70	8.09	286.65	64.76
												144.68

$$Q_f = 363.14 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 143.32 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 506.46 \text{ TONS}$$

กรมโยธาธิการและผังเมือง กรุงเทพมหานคร

สำนักงานโยธาธิการและผังเมือง กรุงเทพมหานคร

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มค้ำยัน	6
สถานที่	RATCHADAPISEK
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	36.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	0.80
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	0.50
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	2.51
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	36.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 6

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Sand Fill	0.0-0.8	0.80										
Crust	0.8-3.0	2.20	3.70		0.66					2.40		5.28
Soft Gray Clay	3.0-11.0	8.00	2.50		0.74					1.85		14.80
Medium Grey Clay	11.0-15.9	4.90	5.00		0.59					2.95		14.45
First Brown Stiff Clay	15.9-26.0	10.10	13.50		0.37					4.99		50.39
Dense to very Dense Silt Sand	26.0-36.0	10.00		46.00		33.00	38.30	23.11	26.70	8.83	500.00	88.31
												173.23

$$Q_f = 434.81 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 250.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 684.81 \text{ TONS}$$

ตารางแสดงรายละเอียดของวิธีการเจาะและการคำนวณ
 ตารางแสดงรายละเอียดของวิธีการเจาะและการคำนวณ
 ตารางแสดงรายละเอียดของวิธีการเจาะและการคำนวณ

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	7
สถานที่	RATCHADAPISEK
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	37.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	37.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 7

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill	0.0-1.7	1.70										
Soft Clay	1.7-14.2	12.50	1.80		0.79					1.42		17.75
Medium Clay	14.2-19.1	1.90	5.00		0.58					2.90		5.51
Very Stiff Silty Clay	16.1-22.2	6.10	14.00		0.38					5.32		32.45
Dense Clayey Fine to Coarse Sand	22.2-24.1	1.90		41.50		33.00	37.10	18.22		6.73		12.72
Silty Clay Hard	24.1-35.8	11.70	30.60		0.26					7.95		93.08
Very Dense Fine Sand	35.8-37.0	1.20		37.00		23.00	34.50	32.07	15.50	10.88	497.02	13.08
												174.59

$$Q_f = 548.21 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 392.64 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 940.85 \text{ TONS}$$

ตารางแสดงรายละเอียดประกอบงบค่าจ้างขุด
เสาเข็มโดยวิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	8
สถานที่	SUKHUMVIT 63
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	36.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	36.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 8

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Sand Fill	0.0-0.8	0.80										
Crust	0.8-3.0	2.20	3.70		0.66					2.40		5.28
Soft Gray Clay	3.0-11.0	8.00	2.50		0.74					1.85		14.80
Medium Grey Clay	11.0-15.9	4.90	5.00		0.59					2.95		14.45
First Brown Stiff Clay	15.9-26.0	10.10	13.50		0.37					4.99		50.39
Dense to very Dense Silty Sand	26.0-36.0	10.00		46.00		33.00	38.30	23.11	26.70	8.83	500.00	88.31
												173.23

$$Q_f = 434.81 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 395.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 829.81 \text{ TONS}$$

ความยาวของรายละเอียดประกอบการศึกษา
 กำหนดโดยวิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	9
สถานที่	RATCHADAPISEK
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	36.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	36.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 9

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill	0.0-1.1	1.10										
Soft Clay	1.1-14.5	13.40	1.90		0.78					1.48		19.83
Stiff Silty Clay	14.5-19.2	4.70	5.60		0.57					3.19		14.99
Clayey Fine Sand to Fine Sandy Clay	19.2-22.0	2.80	9.00		0.46					4.14		11.59
Very Stiff Silty Clay	22.0-25.3	3.30	13.00		0.28					3.64		12.01
Clayey Fine Sand to Fine Sandy Clay	25.3-28.1	2.80	17.30		0.35					6.05		16.94
Silty Fine to Medium Dense Sand	28.1-36.0	7.90		37.00		26.00	35.20	25.09	16.80	8.72	487.87	68.80
												144.16

$$Q_f = 452.66 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 385.42 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 838.08 \text{ TONS}$$

ตารางแสดงรายละเอียดสเปกประกอบกรคำนวณของ
เสาเข็มโดยใช้ STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	10
สถานที่	RATCHADAPISEK
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	47.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	47.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 10

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Sand Fill	0.0-0.8	0.80										
Crust	0.8-3.0	2.20	3.70		0.66					2.40		5.28
Soft Gray Clay	3.0-11.0	8.00	2.50		0.74					1.85		14.80
Medium Grey Clay	11.0-15.9	4.90	5.00		0.59					2.95		14.45
First Brown Stiff Clay	15.9-26.0	10.10	13.50		0.37					4.99		50.39
Dense to Very Dense Silty Sand	26.0-37.5	11.50		50.00		32.50	37.00	27.45		10.11		116.26
Normally Consolidate Stiff Clay	37.5-44.2	6.70	11.50		0.42					4.83		32.36
Second Stiff to Hard Clay	44.2-47.0	2.80	20.20		0.32					6.46	181.80	18.10
												251.64

$$Q_f = 790.15 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 143.62 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 933.77 \text{ TONS}$$

ตารางแสดงรายละเอียดของงานการก่อสร้างของ
 งานที่ 112711 - WAT SAI

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	11
สถานที่	WAT SAI
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	32.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	32.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 11

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	σ_v (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Soft to Medium Clay	0.0-11.8	11.80	0.80		0.98					0.78		9.25
Stiff Silty Clay	11.8-22.2	10.40	7.50		0.50					3.75		39.00
Fine to Medium Dense Sand	22.2-32.0	9.80		33.00		23.00	34.40	25.56	15.00	8.62	383.40	84.48
												132.73

$$Q_f = 416.77 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 302.88 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 719.65 \text{ TONS}$$

ภาคผนวกตารางรายละเอียดประกอบทางด้าน
 เป็นในวิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	12
สถานที่	WAT SAI
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	37.50
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.10
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	0.95
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.45
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	37.50
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	0.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 12

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Very Soft to Silty Clay	0.0-11.8	11.80	0.60		1.10					0.66		7.78
Stiff to Very Stiff Silty Clay	11.8-19.7	7.90	3.00		0.70					2.10		16.59
Fine to Medium Sand	19.7-36.0	16.30		56.00		41.00	34.30	22.70		7.65		124.79
Stiff Silty Clay	36.0-37.1	1.10	57.00		0.57					32.49		35.74
Fine to Medium Dense Sand	37.1-37.5	0.40		76.00		47.00	40.30	31.20	34.00	12.69	500.00	5.07
												189.97

$$Q_f = 656.48 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 475.17 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1131.65 \text{ TONS}$$

ตามภาพแสดงรายละเอียดประกอบการศึกษาความยาวของ
 เสาเข็มโดยใช้วิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	13
สถานที่	MAE MOH
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	15.56
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	0.90
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	0.64
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	2.83
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	15.56
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 13

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	σ_v (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill	0.0-1.8	1.80										
Brown Moist Hard High Plastic Clay	1.8-5.6	3.80	60.98		0.19					11.57		43.96
Red Moist Hard Medium Plastic Silty Clay	5.6-14.5	8.90	21.70		0.32					6.94		61.76
Dark Grey to Grey Moist Hard High Plastic Clay	14.5-15.6	1.10	18.80		0.34					6.39	169.20	7.03
												112.75

$$Q_f = 319.08 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 107.61 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 426.69 \text{ TONS}$$

รายงานผลตรวจสอบรายละเอียดประกอบผลการคำนวณของ
 งานเข็มโอบวิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	14
สถานที่	PRATHUMTHANI
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	44.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.50
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	1.77
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	4.71
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	44.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	SUBMERGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 14

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
River	0.0-11.9	11.90										
Silty Stiff Clay	11.9-18.2	6.30	1.35		0.88					1.19		7.50
Medium Dense Clayey Fine Sand	18.2-28.3	10.10		17.00		13.09	31.30	11.35		3.45		34.80
Medium Dense to Fine Sand	28.3-44.0	15.70		20.00		14.20	31.80	24.25	10.40	7.50	333.84	117.75
												160.05

$$Q_f = 735.83 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 590.90 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1326.73 \text{ TONS}$$

รายงานละเอียดประกอบผลการสำรวจและ
 เสนอวิธีโยธาวิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นตม	15
สถานที่	WIRELESS RD.
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	48.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	0.80
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	0.50
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	2.51
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	48.00
ระดับนำดิน (m)	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 15

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill	0.0-1.0	1.00										
Medium Stiff Silty Clay	1.0-1.8	0.80	2.30		0.77					1.77		1.48
Silty Soft Clay	1.8-10.3	8.50	3.00		0.67					2.01		17.09
Medium Stiff Clay	10.3-13.2	2.90	7.50		0.49					3.68		10.67
Stiff to Very Stiff Silty Clay	13.2-22.3	9.10	11.50		0.42					4.83		43.95
Medium to Dense Silty Fine Sand	22.3-27.0	4.70		23.00		18.17	33.00	18.52		5.97		28.09
Very Stiff Silty Clay	27.0-41.5	14.50	16.00		0.35					5.60		81.20
Very Dense Silty Fine Sand	41.5-48.0	6.50		62.00		33.48	37.00	38.62	21.50	14.22	500.00	92.45
												274.93

$$Q_f = 863.28 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 250.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1113.3 \text{ TONS}$$

ตารางพรรณานาฬิกาปลุกประกอบการคำนวณของ
 แบบใช้สูตรสถิตยศาสตร์ STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	16
สถานที่	SUKHUMVIT 26
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	55.50
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	0.80
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	0.50
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	2.51
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	55.50
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 16

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	σ_v (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill	0.0-1.3	1.30										
Silty Clay	1.3-3.2	1.90	2.20		0.81					1.78		3.38
Soft Clay	3.2-10.4	7.20	2.50		0.67					3.48		25.06
Medium Clay	10.4-13.0	2.60	3.40		0.63					2.14		5.56
Stiff to Very Stiff Silty Clay	13.0-19.6	6.60	8.50		0.43					3.65		24.09
Stiff to Very Stiff Sandy Clay	19.6-21.1	1.50	6.80		0.46					3.13		4.69
Very Stiff Silty Clay	21.1-34.5	13.40	16.00		0.36					5.76		77.18
Silty Hard Clay	34.5-55.5	21.00	38.00		0.21					7.98	342.00	167.58
												307.54

$$Q_f = 771.93 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 171.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 942.93 \text{ TONS}$$

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 17

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Medium Clay	0.0-2.5	2.50	3.00		0.72					2.16		5.40
Soft Clay	2.5-13.0	10.50	3.00		0.72					2.16		22.68
Stiff to Very Stiff Clay	13.0-19.2	6.20	3.00		0.72					2.16		13.39
Stiff Silty to Fine Sandy Clay	19.2-22.4	3.20	33.00		0.20					6.66		21.31
Very Dense Fine Sand	22.4-36.2	13.80		63.00		42.00	34.30	24.73		8.88		122.64
Very Stiff Clay	36.2-40.9	4.70	14.00		0.37					5.18		24.35
Very Stiff Silty to Fine Sandy Clay	40.9-44.6	3.70	11.00		0.43					4.73		17.50
Dense to Very Dense Fine Sand	44.6-48.0	3.40		65.00		32.00	36.80	41.73	17.50	15.27	500.00	51.92
												279.19

$$Q_f = 876.66 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 395.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1271.66 \text{ TONS}$$

แบบแปลนการคำนวณเชิงตรรกศาสตร์ของเสาเข็มตามวิธีคำนวณตามสูตรสถิตยศาสตร์
 แบบแปลนการคำนวณเชิงตรรกศาสตร์ของเสาเข็มตามวิธีคำนวณตามสูตรสถิตยศาสตร์
 แบบแปลนการคำนวณเชิงตรรกศาสตร์ของเสาเข็มตามวิธีคำนวณตามสูตรสถิตยศาสตร์

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	18
สถานที่	SUKHUMVIT RD.
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	53.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	53.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 18

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Silty Soft Clay	0.0-5.0	5.00	1.90		0.83					1.58		7.90
Soft Clay	5.0-13.2	8.20	2.40		0.74					1.78		14.59
Stiff Silty Clay	13.2-21.1	7.90	7.30		0.50					3.65		28.84
Medium Dense Clayey Fine Sand	21.1-22.4	1.30		19.00		15.00	31.60	16.68		5.06		6.58
Very Stiff Silty Clay	22.4-35.6	13.20	18.00		0.37					5.92		78.14
Medium to Stiff Silty Clay	35.6-40.0	4.40	14.00		0.38					5.32		23.41
Very Stiff to Hard Silty Clay	40.0-49.2	9.20	18.00		0.37					5.92		54.46
Silty Fine Sand to Very Dense Sand	49.2-53.0	3.80		58.00		27.00	35.50	46.03	17.00	16.07	500.00	61.10
												275.02

$$Q_f = 863.56 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 395.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1258.56 \text{ TONS}$$

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	19
สถานที่	SIROM RD.
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	46.50
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	46.50
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 19

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Soft Clay	0.0-12.6	12.60	2.10		0.79					1.66		20.92
Medium Stiff Clay	12.6-15.0	2.40	5.70		0.58					3.30		7.92
Very Stiff Silty Clay	15.0-23.4	8.40	16.00		0.37					5.92		49.73
Medium Dense Fine Clayey Sand	23.4-25.5	2.10		33.00		25.00	34.80	20.69		7.09		14.89
Very Dense Silty Fine Sand	25.5-32.3	6.80		68.00		48.00	40.40	25.14		10.28		69.92
Stiff Silty Clay	32.3-33.6	1.30		63.00		44.00	39.70	29.19		9.68		15.28
Very Dense Fine to Medium Sand	33.6-37.2	3.60		71.00		44.00	39.70	31.64		12.67		45.61
Very Stiff Silty Clay	37.2-43.3	6.10	18.00		0.32					5.76		35.41
Medium Dense Clayey Fine to Medium Sand	43.3-45.0	1.70		39.00		21.00	33.70	40.39		13.34		22.69
Very Dense Silty Fine Sand	45.0-46.5	1.50		42.00		21.00	33.70	41.99	36.00	13.87	500.00	20.82
												303.19

$$Q_f = 952.02 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 395.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1347.02 \text{ TONS}$$

ตารางเฉพาะทางวิศวกรรมประกอบผลการคำนวณของ
 ผนังเข็มวิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	20
สถานที่	SOI NA NA-NUA
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	49.00
เส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	49.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 20

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	σ_v (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Silty Clay	0-3.6	3.60	1.90		0.82					1.56		5.61
Soft Clay	3.6-11.8	8.20	1.60		0.86					1.37		11.28
Medium to Stiff Clay	11.8-13.0	1.20	4.00		0.63					2.52		3.02
Stiff Silty Clay	13.0-21.1	8.10	6.00		0.47					2.82		22.84
Stiff Fine Sandy Clay	21.1-22.1	1.00	14.00		0.37					5.18		5.18
Very Stiff to Hard Silty Clay	22.1-37.5	15.40	14.00		0.37					5.18		79.77
Medium to Dense Clayey Fine Sand	37.5-40.5	3.00		33.00		19.00	32.8	31.38		10.05		30.17
Silty Hard Clay	40.5-43.2	2.70	33.00		0.27					8.91		24.06
Fine Sandy Clay to Clayey Fine Sand	43.2-45.0	1.80		35.00		20.00	33.5	36.48		11.98		21.55
Silty Fine Dense Sand	45.0-49.0	4.00		49.00		24.00	34.5	39.38	14.50	13.37	500.00	53.48
												256.96

$$Q_f = 806.85 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 395.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1201.85 \text{ TONS}$$

แบบสำรวจรายละเอียดประกอบกราดำเนินการ
 แบบใช้วิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	21
สถานที่	SUKHUMVIT 23
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	55.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	55.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 21

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	σ_v (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Top Soil	0.0-2.5	2.50	4.00		0.63					2.52		6.30
Soft Grey Clay	2.5-13.9	11.40	1.80		0.82					1.47		16.75
Stiff to Very Stiff Silty Clay	13.9-19.2	5.30	12.50		0.39					4.87		25.81
Sandy Clay	19.2-21.2	2.00	20.00		0.30					6.00		12.00
Very Stiff to Hard Silty Clay	21.2-34.0	12.80	24.00		0.27					6.48		82.94
Sand	34.0-35.0	1.00		32.00		21.00	33.70	27.73		9.16		9.16
Stiff Dark Grey Silty Clay	35.0-39.0	4.00	14.00		0.37					5.18		20.72
Hard Silty Clay	39.0-40.0	1.00	24.00		0.27					6.48		6.48
Sandy Clay to Clayey Sand	40.0-41.3	1.30		50.00		27.00	35.70	38.23	19.00	13.50		17.55
Sand	41.3-55.0	13.70		50.00		24.00	34.60	45.73	15.00	15.57	500.00	213.42
												411.13

$$Q_f = 1290.00 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 395.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1685.00 \text{ TONS}$$

แบบฟอร์มแสดงรายละเอียดประกอบารคำนวณของ
 แบบใช้วิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	22
สถานที่	SATRON-TAI
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	48.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	48.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 22

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Crust	0.0-3.0	3.00	2.50		0.73					1.83		5.49
Soft gray Clay	3.0-10.8	7.80	3.00		0.68					2.04		15.91
Meduim Gray Clay	10.8-14.1	3.30	5.10		0.58					2.96		9.77
Very Stiff to Hard Brown Clay	14.1-25.7	11.60	12.50		0.42					5.25		60.90
First Dense Silty Sand	25.7-37.0	11.30		32.00		21.00	33.80	27.44		9.10		102.83
Stiff Clay	37.0-45.0	8.00	27.00		0.27					7.29		58.32
Second Dense Silty Sand	45.0-48.0	3.00		48.00		24.00	34.60	42.59	19.50	14.51	500.00	43.53
												296.75

$$Q_f = 931.80 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 395.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1326.80 \text{ TONS}$$

แบบสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของ
โครงการก่อสร้างอาคารพาณิชย์
บริเวณถนนสุขุมวิท กรุงเทพมหานคร

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	23
สถานที่	SUKHUMVIT 21
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	53.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	53.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	5.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 23

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Top Soil	0.0-2.2	2.20										
Soft to Medium Clay	2.2-16.3	14.10	4.00		0.64					2.56		30.10
Stiff Silty Clay	16.3-19.7	3.40	7.50		0.44					3.30		11.22
Sandy Clay	19.7-21.2	1.50	12.00		0.41					4.92		7.38
Very Stiff Silty Clay	21.2-28.9	7.70	17.30		0.35					6.05		46.58
Clayey Sand	28.9-30.0	1.10		41.00		26.00	35.30	29.10		10.15		11.16
Hard Silty Clay	30.0-50.0	20.00	25.00		0.30					7.50		150.00
Very Dense Clay	50.0-53.0	3.00	35.00		0.21					7.35	315.00	22.05
												278.49

$$Q_f = 874.46 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 248.85 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1123.31 \text{ TONS}$$

PILE DESCRIPTION

เสาเข็มต้นที่	24
สถานที่	SUKHUMVIT 16
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	53.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	53.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 24

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	σ_v (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Sand Fill	0.0-1.6	1.60										
Crust	1.6-3.7	2.10	2.50		0.74					1.85		3.88
Soft Grey Clay	3.7-13.9	10.20	2.60		0.73					1.89		19.28
Medium Grey Clay	13.9-16.2	2.30	4.80		0.60					2.88		6.60
Stiff to Very Stiff Grey Clay	16.2-20.0	3.80	6.60		0.52					3.43		13.03
Stiff Silty Clay or Clayey Sand	20.0-23.8	3.80		21.00		17.00	32.50	16.59				5.26
Very Stiff Brown Silty Clay	23.8-31.0	7.10	13.00		0.40					5.20		36.92
Very Stiff Clay	31.0-36.4	5.40	14.00		0.38					5.32		28.73
Sandy Clay or Clayey Sand	36.4-40.0	3.60		23.00		14.00	31.60	32.79				10.08
Hard Brown Silty Clay	40.0-49.0	9.00	32.00		0.25					8.00		72.00
Dense Clayey Sand	49.0-50.0	1.00		51.00		24.00	34.60	44.09		15.02		15.02
Dense Second Silty Sand	50.0-53.0	3.00		58.00		25.00	34.80	46.09	15.50	15.08	500.00	45.05
												255.85

$$Q_f = 803.37 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 395.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1198.37 \text{ TONS}$$

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มกั้นที่	25
สถานที่	SUKHUMVIT 19
ชนิดของเสาเข็ม	bores
ความยาว (m)	56.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม (m ²)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม (m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม (m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม (m)	56.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 25

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Top Soil	0.0-1.5	1.50										
Soft Clay	1.5-11.5	10.00	1.70		0.85					1.41		14.10
Medium Clay	11.5-13.4	1.90	4.90		0.57					2.79		5.30
Stiff Silty Clay	13.4-20.7	7.30	11.00		0.42					4.62		33.73
Clayey Sand	20.7-22.0	1.30		18.00		15.00	31.70	17.88		5.51		7.16
Very Stiff Silty Clay	22.0-24.5	2.50	22.00		0.29					6.38		15.95
Sand with Clay Pocket	24.5-29.4	4.90		38.00		27.00	36.00	23.48		8.37		41.01
Very Stiff Silty Clay	29.4-40.0	10.60	17.00		0.35					5.95		63.07
Clayey Sand	40.0-46.2	6.20		42.00		22.00	34.00	39.63		13.23		82.03
Sandy Clay	46.2-47.6	1.40	16.00		0.36					5.76		8.06
Hard Silty Clay	47.6-53.2	5.60	29.00		0.25					1.40		7.84
Sand	53.2-56.0	2.80		61.00		27.00	36.00	48.03	19.00	17.13	500.00	47.96
												326.21

$$Q_f = 1024.30 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 395.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1419.30 \text{ TONS}$$

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	26
สถานที่	PHAHOLYOTHIN
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	49.22
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	49.22
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 26

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Stiff Silty Clay	0.0-2.5	2.50	5.20		0.87					2.96		7.40
Soft Clay	2.5-16.2	13.70	2.10		0.82					1.72		23.56
Stiff to Very Stiff Silty Clay	16.2-21.0	4.80	10.00		0.44					4.40		21.12
Fine Stiff Sandy Clay	21.0-22.2	1.20	11.00		0.42					4.62		5.54
Very Stiff to Hard Silty Clay	22.2-28.4	6.20	15.00		0.37					5.55		34.41
Fine Dense Clayey Sand	28.4-30.0	1.60		23.00		16.00	32.20	24.78		7.83		12.53
Fine to Medium Dense Sand	30.0-43.0	13.00		41.00		25.00	34.20	32.27		11.06		143.78
Fine Hard sandy Clay	43.0-45.5	2.50	23.00		0.30					6.90		17.25
Fine Dense Clayey Sand	45.5-46.6	1.10		42.00		21.00	33.70	41.82		13.82		15.20
Fine Very Dense Silty Sand	46.6-49.2	2.60		51.00		20.00	33.60	43.67	13.00	14.38	500.00	37.40
												318.19

$$Q_f = 999.17 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 395.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1394.17 \text{ TONS}$$

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	27
สถานที่	SUKHUMVIT 26
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	55.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	55.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 27

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Medium Stiff Silty Clay	0.0-2.3	2.30	1.20		0.92					11.04		25.39
Soft Clay	2.3-14.6	12.30	1.85		0.81					1.49		18.43
Medium to Stiff Clay	14.6-16.2	1.60	4.20		0.63					2.65		4.24
Stiff to Very Stiff Silty Clay	16.2-19.6	3.40	6.80		0.52					3.54		1.04
Fine Very Stiff Sandy Clay	19.6-20.5	0.90	15.33		0.35					5.37		4.83
Very Stiff to Hard Silty Clay	20.5-37.5	17.00	16.00		0.34					5.44		92.48
Hard Silty Clay	37.5-45.0	7.50	27.00		0.30					8.10		60.75
Very Stiff Silty Clay	45.0-46.3	1.30	20.00		0.33					6.60		8.58
Hard Silty Clay	46.3-47.7	1.40	27.00		0.30					8.10		11.34
Fine to Medium Very Dense Silty Sand	47.7-53.4	5.70		55.00		31.00	36.20	45.75		16.42		93.61
Hard Silty Clay	53.4-55.0	1.60	32.00		0.18					8.10	288.00	12.96
												333.65

$$Q_f = 1047.66 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 227.52 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1275.18 \text{ TONS}$$

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มค้ำยัน	28
สถานที่	BANGRAK
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	48.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	48.00
ระดับรื้อไต้ดิน (m)	1.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 28

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	σ_v (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fine Medium Sandy Clay	0.0-2.3	2.30	1.40		1.00					1.40		3.22
Soft to Medium Clay	2.3-13.0	10.70	0.90		0.92					0.83		8.85
Very Stiff Silty Clay	13.0-20.8	7.80	5.30		0.48					2.54		19.84
Very Stiff to Hard Silty Clay	20.8-23.2	2.40	22.00		0.30					6.60		15.84
Fine to Medium Dense Silty Sand	23.2-25.7	2.50		23.00		18.00	33.00	20.91		6.75		16.87
Fine Dense to Very Dense Silty Sand	25.7-33.0	7.30		47.00		32.00	36.80	25.81		10.12		73.87
Fine to Medium Silty Sand	33.0-37.0	4.00		26.00		16.00	32.00	31.45		9.80		43.28
Fine to Medium Very Dense Silty Sand	37.0-38.7	1.70		44.00		26.00	35.30	34.31		11.89		20.22
Hard Silty Clay	38.7-41.2	2.50	29.00		0.29					8.41		21.03
Fine Very Stiff Sandy Clay	41.2-42.2	1.00	34.00		0.20					6.80		6.80
Fine Very Dense Sandy Clay	42.2-44.0	1.80	63.00		0.18					11.34		20.41
Fine Very Dense Silty Sand	44.0-48.0	4.00		54.00		28.00	35.90	42.45	18.50	14.66	500.00	58.66
												308.89

$$Q_f = 969.91 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 395.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1364.91 \text{ TONS}$$

เอกสารประกอบคำอธิบายแบบแปลน
 แบบแปลนการขุดเจาะเสาเข็ม
 สำหรับโครงการปรับปรุงและขยายพื้นที่ใช้สอย

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	29
สถานที่	SILOM RD.
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	48.50
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.00
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	0.79
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.14
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	48.50
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 29

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill Sand	0.0-2.2	2.20										
Clay	2.2-13.0	10.80	1.70		0.82					1.39		15.01
Stiff Silty Clay	13.0-19.5	6.50	2.00		0.79					1.58		10.27
Fine Very Stiff Sandy Clay	19.5-21.5	2.00	3.80		0.62					2.35		4.70
Very Stif Silty Clay	21.5-28.4	6.90	4.10		0.60					2.46		16.97
Fine Dense to Very Dense Silty Sand	28.4-38.8	10.40		49.00		31.00	36.20	31.48		11.30		117.52
Hard Silty Clay	38.8-47.3	8.50	23.00		0.30					6.90		58.65
Fine Very Dense Silty Sand	47.3-48.5	1.20		62.00		30.00	36.00	45.78	41.50	16.32	500.00	19.58
												242.70

$$Q_f = 762.08 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 395.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1157.08 \text{ TONS}$$

ตารางแสดงรายละเอียดของเสาเข็มตามชนิดของ
 เสาเข็มโทบพีซี (PILE FORMULA)

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นตี่	30
สถานที่	SILOM RD.
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	46.50
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.20
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	1.13
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.77
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	46.50
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 30

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill Sand	0.0-2.3	2.30										
Soft Clay	2.3-10.8	8.50	2.60		0.73					1.89		16.13
Medium Stiff Clay	10.8-14.5	3.70	7.30		0.45					3.28		12.15
Very Stiff Silty Clay	14.5-23.3	8.80	19.00		0.33					6.27		55.18
Fine Dense Clayey Sand	23.3-25.8	2.50		36.00		27.00	35.70	20.66		7.29		18.24
Fine Dense Silty Sand	25.8-33.0	7.20		35.00		24.00	34.60	25.51		8.69		62.57
Fine to Medium Sandy Clay	33.0-33.8	0.80	16.00		0.37					5.92		4.74
Fine to Medium Sand	33.8-38.0	4.20		22.00		13.00	31.30	32.01		9.73		40.87
Very Stiff Silty Clay	38.0-39.2	1.20	9.00		0.45					4.05		4.86
Stiff Silty Clay	39.2-42.2	3.00	11.00		0.43					4.73		14.19
Very Stiff Silty Clay	42.2-43.7	1.50	43.00		0.12			39.06		50.16		7.74
Fine Very Dense Silty Sand	43.7-46.5	2.80		52.00		27.00	35.70	41.21	18.00	14.55	500.00	40.74
												277.41

$$Q_f = 1045.84 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 565.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1610.84 \text{ TONS}$$

แบบแปลนของแบบแปลนเดี่ยวตบประกอบอาคารสำนักงาน
 ใช้วิธีคำนวณโดยใช้วิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	31
สถานที่	CHAREON-NAKON
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	47.40
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.20
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	1.13
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.77
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	47.40
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 31

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill Sand	0.0-2.0	2.00										
Soft Clay	2.0-14.0	12.00	1.80		0.80					1.44		17.28
Sand	14.0-15.0	1.00		5.00		4.80	29.30	11.90		3.36		3.36
Stiff Silty Clay	15.0-21.0	6.00	7.00		0.50					3.50		21.00
Clayey Sand	21.0-22.4	1.40		16.00		12.00	30.90	19.10		5.72		8.00
Stiff to Very Stiff Silty Clay	22.4-30.0	7.60	10.00		0.42					4.20		31.92
First Sand	30.0-39.0	9.00		29.00		18.00	33.00	31.20		10.06		90.61
Very Stiff Silty Clay	39.0-41.8	2.80	11.00		0.43					4.73		13.24
Stiff Silty Clay	41.8-45.0	3.20	8.00		0.48					3.84		12.28
Clayey Sand	45.0-47.4	2.40		23.00		12.00	30.80	38.40	14.00	11.46	500.00	27.51
												225.20

$$Q_f = 849.00 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 565.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1414.00 \text{ TONS}$$

ตารางแสดงรายละเอียดประกอบารคำนวณของ
 งานเข็มไม้วิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	32
สถานที่	SILOM RD.
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	52.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.20
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	1.13
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.77
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	52.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 32

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fine to Coarse Sand	0.0-1.2	1.20										
Silty Clay	1.2-2.7	1.50	4.20		0.62					2.60		3.90
Soft to Medium Stiff Clay	2.7-11.8	9.10	1.80		0.82					1.47		13.37
Stiff to Very Stiff Silty Clay	11.8-19.5	7.70	14.00		0.38					5.32		40.96
Fine Coarse to Dense Clayey Sand	19.5-21.3	1.80		35.00		28.00	35.90	18.35		6.53		11.75
Hard Silty Clay	21.3-22.6	1.30	26.00		0.28					7.28		9.46
Fine to Dense Clayey Sand	22.6-24.0	1.40		42.00		31.00	36.20	21.25		7.63		10.68
Hard Silty Clay	24.0-25.0	1.00	37.00		0.22					8.14		8.14
Fine Dense to Very Dense Silty Sand	25.0-36.3	11.30		52.00		34.00	38.20	27.90		10.67		120.57
Fine to Medium Dense Sand	36.3-37.7	1.40		34.00		19.00	33.40	34.25		11.20		15.68
Hard Silty Clay	37.7-46.0	8.30	29.00		0.21					6.09		50.55
Fine to Medium Very Dense Sand	46.0-52.0	6.00		53.00		25.00	34.80	45.55	16.00	15.62	500.00	93.72
												378.78

$$Q_f = 1428.00 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 565.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1993.00 \text{ TONS}$$

ตารางแสดงรายละเอียดประกอบกรคำนวณของ
เสาเข็มโดยใช้วิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	33
สถานที่	SUKHUMVIT 1
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	53.50
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.20
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	1.13
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.77
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	53.50
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 33

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Top Soil	0.0-3.0	3.00	3.00		0.69					2.07		6.21
Soft Gray Clay	3.0-11.7	8.70	2.00		0.81					1.62		14.09
Medium to Stiff Gray Clay	11.7-16.5	4.80	5.00		0.78					3.90		18.72
Silty Clay	16.5-43.5	27.00	14.00		0.37					5.18		139.86
Sandy Clay	43.5-46.5	3.00	23.00		0.32					7.36		22.08
Silty Sand	46.5-53.5	7.00		44.00		21.00	33.70	45.28	14.00	14.96	500.00	104.76
												305.72

$$Q_f = 1152.56 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 565.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1717.56 \text{ TONS}$$

ตารางแสดงรายละเอียดประกอบกรคำนวณของ
 เพื่งใช้วิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
จำนวนเสาเข็ม	34
สถานที่	LEAM-CHABANG
ชนิดของเสาเข็ม	steel pile
ความยาว	14.300
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มภายใน (m)	0.673
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มนอก (m)	0.711
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม	0.356
เส้นรอบรูปเสาเข็ม	4.346
ระดับหัวเสาเข็ม	0.000
ระดับปลายเสาเข็ม	14.300
ระดับน้ำใต้ดิน	SUBMERGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 34

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Dark Grey Very Soft Fine Sandy Clay	0.0-1.2	1.20	1.10		0.99					1.09		1.30
Grey Very Loose to Medium Dense Clayey Sand	1.2-4.0	2.80		9.00		11.52	30.50	3.12		0.92		2.58
LI-Grey Dense to Very Dense Clayey Sand	4.0-7.0	3.00		58.00		64.92	43.60	6.66		2.99		8.97
LI-Grey Loose to Medium Dense Silt/Clayey Sand	7.0-13.0	6.00		19.00		17.86	32.70	12.15		3.88		23.28
Hard Grey Sandy Clay	13.0-14.8	1.80		70.00		57.40	42.40	16.91	80.00	7.34	1440.64	13.21
												49.34

$$Q_f = 110.24 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 518.63 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 628.87 \text{ TONS}$$

รายงานผลตรวจและเขียนประกอบตารางคำนวณของ
งานเข็มโดยใช้วิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	35
สถานที่	CHARUNSANITWONG
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	58.84
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.20
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m^2)	1.13
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	3.77
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	58.84
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 35

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill	0.0-2.8	2.80										
Soft Clay	2.8-13.0	10.20	1.80		0.81					1.46		14.89
Medium Stiff Clay	13.0-16.5	3.50	3.10		0.67					2.07		1.24
Very Stiff Silty Clay	16.5-19.3	2.80	10.00		0.43					4.90		12.04
Very Stiff Fine Sandy Clay	19.3-24.1	4.80	15.00		0.37					5.50		26.40
Silty Hard Clay	24.1-31.0	6.90	29.00		0.25					7.25		50.03
Silty Fine Sand	31.0-38.2	7.20		72.00		46.00	40.20	28.93		11.76		81.69
Silty Clay	38.2-56.6	18.40	20.50		0.31					6.36		117.02
Very Dense Fine to Medium Sand	56.6-58.8	2.24		87.00		38.00	38.20	52.05	25.00	19.98	500.00	44.76
												348.07

$$Q_f = 1312.22 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 565.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1877.22 \text{ TONS}$$

แบบฟอร์มการวัดและเลือกประกอบกรคำนวณของ
เสาเข็มโดยใช้วิธี STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	36
สถานที่	SUKHUMVIT 16
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว (m)	55.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.20
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม (m ²)	1.13
เส้นรอบรูปเสาเข็ม (m)	3.77
ระดับหัวเสาเข็ม (m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม (m)	55.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 36

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill	0.0-1.6	1.60										
Soft Clay	1.6-12.6	11.00	1.70		0.82					1.39		15.33
Medium Clay	12.6-15.0	2.40	3.80		0.63					2.39		5.73
Silty Stiff Clay	15.0-21.2	6.20	7.60		0.48					3.65		22.63
Clayey Fine Medium Dense Sand	21.2-22.8	1.60		24.00		20.00	33.60	15.28		5.03		8.05
Very Stiff Silty Clay	22.8-45.0	22.20	14.00		0.38					5.32		118.10
Very Dense Clayey to Silty Fine Sand	45.0-52.5	7.50		58.00		29.00	36.00	42.03		14.99		112.43
Silty Clay	52.5-53.5	1.00	35.00		0.23					8.05		8.05
Very Dense Clayey Fine Sand	53.5-55.0	1.50		62.00		29.76	36.10	47.53	15.50	17.01	500.00	25.52
												315.84

$$Q_f = 1190.72 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 565.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1755.72 \text{ TONS}$$

รายงานผลตรวจสอบและวิเคราะห์องค์ประกอบการคำนวณของ
 งานเข็มไม้สักใช้ STATIC FORMULA

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	37
สถานที่	YAOWAORAJ
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	50.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.50
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	1.77
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	4.71
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	50.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 37

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill	0.0-1.3	1.30										
Soft to Medium Clay	1.3-12.6	11.30	2.90		0.68					1.92		22.26
Stiff to Very Stiff Silty Clay	12.6-25.5	12.90	7.70		0.48					3.69		47.60
Silty Fine to Medium Dense to Very Dense Sand	25.5-39.0	13.50		46.00		30.00	36.00	30.21		10.98		148.23
Stiff Silty Clay	39.0-43.4	4.40	28.00		0.27					7.56		43.26
Very Dense Silty Fine to Medium Sand	43.4-50.0	6.60		57.00		28.00	35.90	44.41	18.50	15.87	500.00	104.47
												365.82

$$Q_f = 1723.01 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 885.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 2608.01 \text{ TONS}$$

คู่มือการแปลกองการด้านเหมือง
 STANDARD FORMULA

FILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	38
สถานที่	PRATUNAM
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	50.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.50
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	1.77
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	4.71
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	50.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 38

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Fill	0.0-2.3	2.30										
Soft Gray Clay	2.3-11.0	8.70	4.10		0.63					2.58		22.45
Medium Gray Clay	11.0-13.0	2.00	6.80		0.52					3.54		7.08
First Brown Stiff Clay	13.0-19.0	6.00	12.20		0.40					4.88		29.28
Medium Dense Clayey Sand	19.0-21.0	2.00		20.00		18.00	32.90	14.61		4.61		9.22
Very Stiff Silty Clay	21.0-26.4	5.40	27.00		0.27					7.29		39.36
Dense Clayey Sand	26.4-28.2	1.80		28.00		21.00	33.70	21.91		7.15		12.87
Possible Clayey Sand Layer Depth	28.2-30.4	2.20		56.00		39.00	38.60	23.91		9.15		20.13
Very Stiff to Hard Silty Clay	30.4-46.2	15.80	35.00		0.25					8.75		138.25
Second Dense Silty Sand	46.2-56.6	10.40		52.00		26.00	35.30	46.01	16.50	14.79	500.00	153.82
												432.46

$$Q_f = 2036.89 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 885.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 2921.89 \text{ TONS}$$

กรมโยธาธิการและผังเมือง
กรมโยธาธิการและผังเมือง
กรมโยธาธิการและผังเมือง

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มต้นที่	39
สถานที่	NONTRABURI
ชนิดของเสาเข็ม	bored
ความยาว(m)	44.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (m)	1.50
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(m ²)	1.77
เส้นรอบรูปเสาเข็ม(m)	4.71
ระดับหัวเสาเข็ม(m)	0.00
ระดับปลายเสาเข็ม(m)	44.00
ระดับน้ำใต้ดิน (m)	SUBMERGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 39

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
River	0.0-12.5	12.50										
Stiff Silty Clay	12.5-20.0	7.50	6.30		0.54					3.40		25.52
Medium Dense to Dense Fine to Medium Sand	20.0-30.0	10.00		28.00		22.00	37.20	10.25		3.89		38.90
Stiff Silty Clay	30.0-36.0	6.00	2.40		0.74					1.78		10.68
Hard Silty clay	36.0-38.5	2.50	20.00		0.32					6.40		16.00
Dense to Very Dense Silty Fine Sand	38.5-44.0	5.50		62.00		41.00	38.90	26.50	21.00	10.45	500.00	57.49
												148.59

$$Q_f = 699.85 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 885.00 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 1584.85 \text{ TONS}$$

กรมโยธาธิการและผังเมือง
กองโยธา
พื้นที่ปริมณฑล

PILE DESCRIPTION	
เสาเข็มสั้นที่	40
สถานที่	LEAM-CHABANG
ชนิดของเสาเข็ม	steel pile
ความยาว	17.500
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มภายใน (m)	0.673
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มภายนอก (m)	0.711
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม	0.356
เส้นรอบรูปเสาเข็ม	4.346
ระดับหัวเสาเข็ม	0.000
ระดับปลายเสาเข็ม	17.500
ระดับน้ำใต้ดิน	SUBMERGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ 40

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	Φ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Very Stiff Sandy Clay, Greenish Grey	0-1.1	1.10	41.00		0.41					16.81		18.49
Very Dense Clayey Sand, LI-Brown & Grey	1.1-4	2.90		62.00		81.80	44.00	3.11		1.41		4.09
Medium Dense to Dense Silty/Clayey Sand	4-11.5	7.50		21.00		21.42	31.70	9.45		2.91		21.82
LI-Grey & LI-Brown Very Dense Clayey Sand	11.5-17.5	6.00		70.00		57.40	42.40	17.11	57.50	7.42	1194.28	44.52
												88.92

$$Q_f = 198.67 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 425.09 \text{ TONS}$$

$$Q_u = 623.76 \text{ TONS}$$

รายงานผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ของงาน
ประจำปี ๒๕๖๒-๒๕๖๓

PILE DESCRIPTION	
ขนาดชั้นเก็บดี	41
สถานที่	LEAM-CHABANG
ชนิดเสาเข็ม	steel pile
ความยาว	17.500
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มภายใน (m)	0.673
เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มภายนอก (m)	0.711
พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม	0.356
เส้นรอบรูปเสาเข็ม	4.346
ระดับหัวเสาเข็ม	0.000
ระดับปลายเสาเข็ม	17.500
ระดับทำไค้ดิน	2.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มต้นที่ 41

Soil Type	depth (m)	ΔL (m)	S_u (t/m ²)	N (b/ft)	α	N' (b/ft)	ϕ	$\bar{\sigma}_v$ (t/m ²)	N_q	f_s (t/m ²)	q_b (t/m ²)	$f_s \Delta L$ (t/m)
Very Stiff Sandy Clay, Greenish Grey	0-1.1	1.10	41.00		0.41					16.81		18.49
Very Dense Clayey Sand, LI-Brown & Grey	1.1-4	2.90		62.00		81.80	44.00	3.11		1.41		4.09
Medium Dense to Dense Silty/Clayey Sand	4-11.5	7.50		21.00		21.42	31.70	9.45		2.91		21.82
LI-Grey & LI-Brown Very Dense Clayey Sand	11.5-17.5	6.00		70.00		57.40	42.40	17.11	57.50	7.42	1194.28	44.52
												88.92

$$Q_f = 198.67 \text{ TONS}$$

$$Q_b = 425.09 \text{ TONS}$$

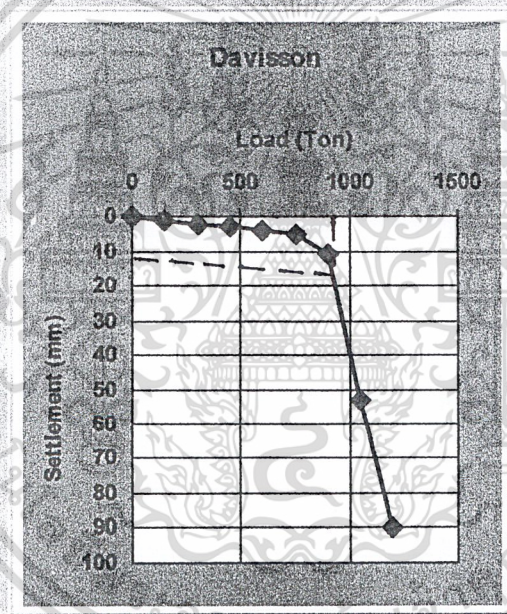
$$Q_u = 623.76 \text{ TONS}$$



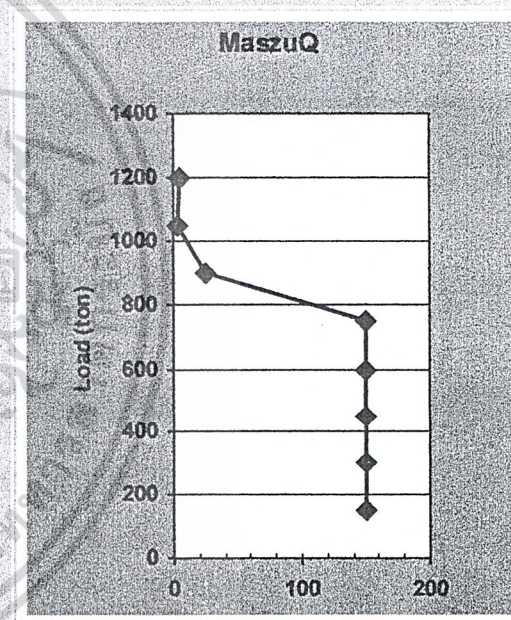
4.2 ผลการประเมินค่าการรับน้ำหนัก
บรรทุกประลัยของเสาเข็มจำนวน 41 ต้น
โดยทฤษฎี Mazurkiewicz และ Davisson

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pile_number:	1	
ID_province:	22	กรุงเทพ
Date:	13/3/99	
Project_name:	Building	
Location:	Sukhumwit55	
Type_of_pile:	bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	1.2	m.
Pile_length:	42	m.
Soil_type_at_tip:	CL	
Test_load:	1200	Ton
Design load:	600	Ton

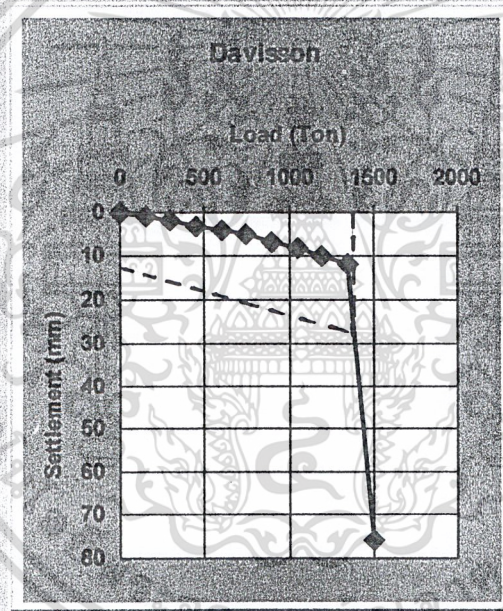


Qud: 927

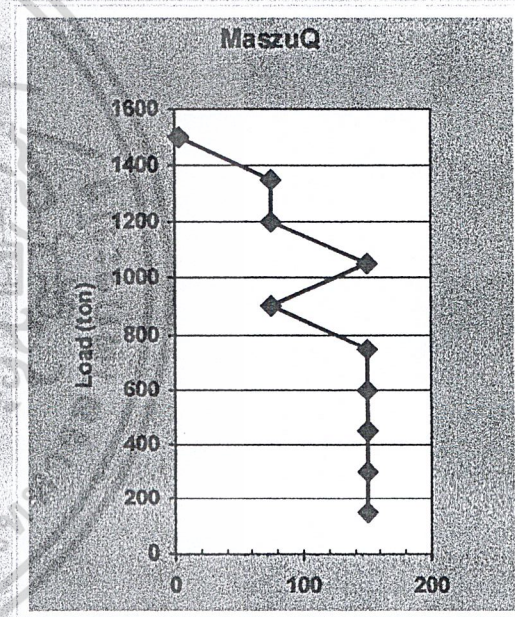


Qum: 1200

Pile number:	2	
ID_province:	22	กรุงเทพฯ
Date:	13/3/99	
Project name:	Building	
Location:	Sukhumvit 24	
Type_of_pile:	bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	1.2	m
Pile_length:	46.5	m
Soil_type_at_tip:	CL	
Test load:	1500	Ton
Design load:	600	Ton

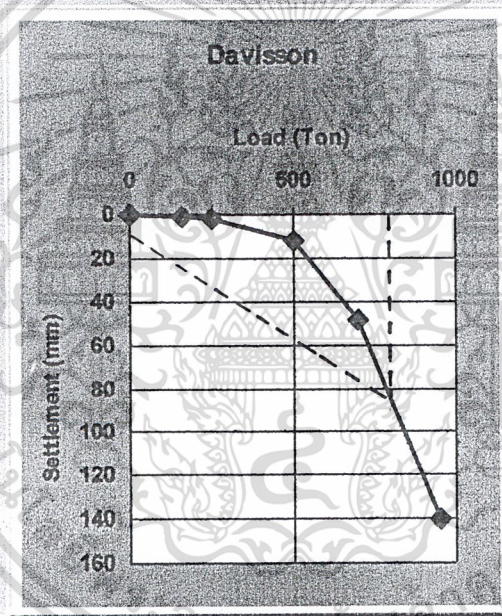


Q_{ult}: 1380

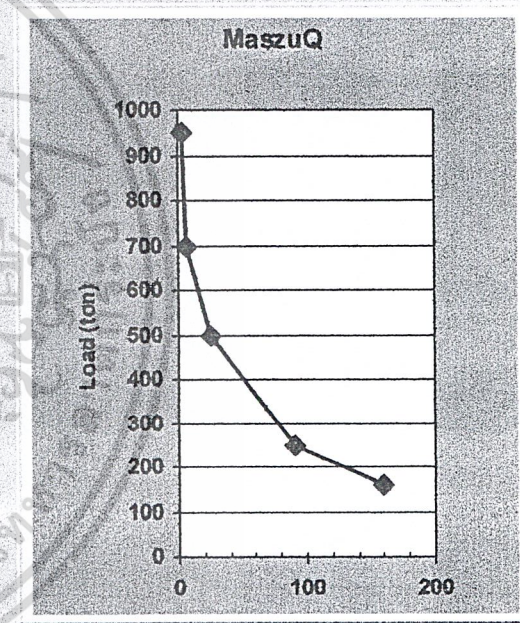


Q_{um}: 1500

Pile_number:	3	
ID_province:	50	ลำปาง
Date:	13/3/99	
Project_name:	MAE MOH POWER PLANT	
Location:	MAE MOH	
Type_of_pile:	Bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	9	m.
Pile_length:	15.65	m.
Soil_type_at_tip:	SC	
Test_load:	950	Ton
Design load:	380	Ton

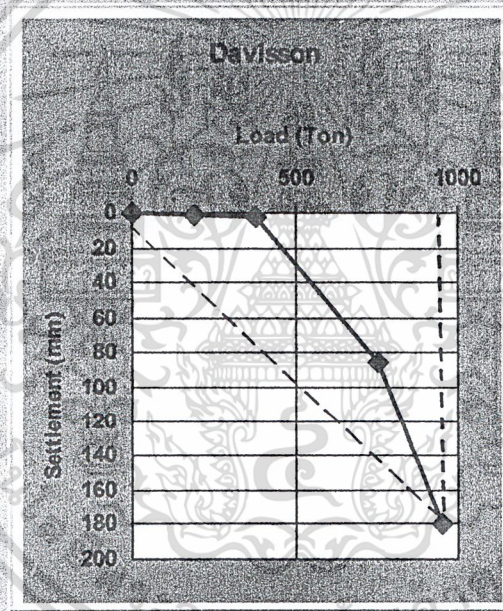


Q_{ud} 812

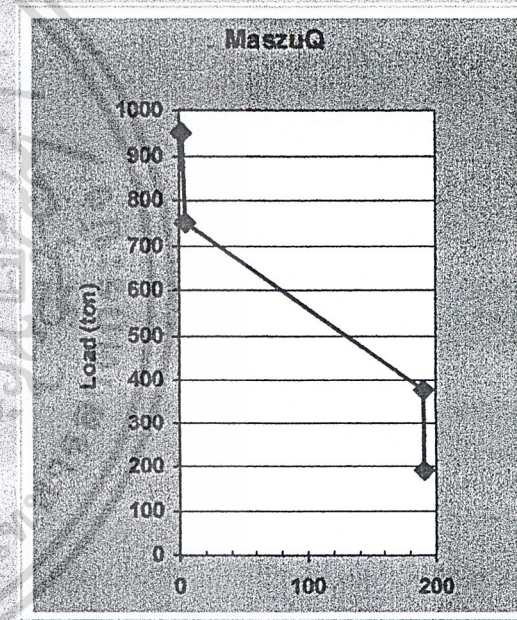


Q_{um} 950

Pile_number	4	
ID_province	50	ลำปาง
Date	13/3/99	
Project_name	MAE MOH POWER PLANT	
Location	MAE MOH	
Type_of_pile	Bored	
Shape_of_pile	circular	
Dimension	9	m.
Pile_length	15.5	m.
Soil_type_at_tip	SC	
Test_load	950	Ton
Design load	380	Ton

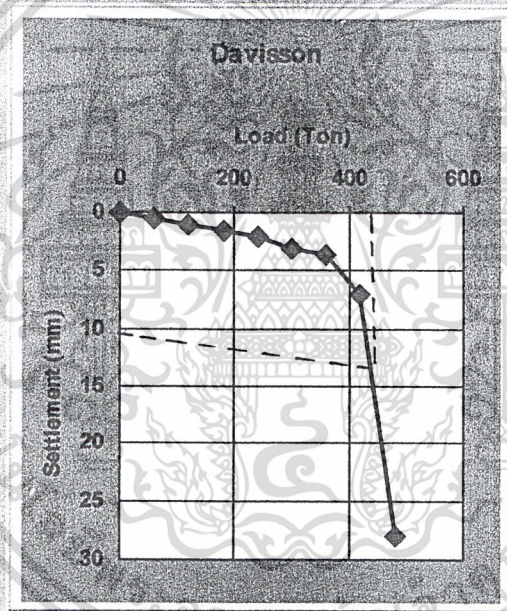


Q_{ud} 950

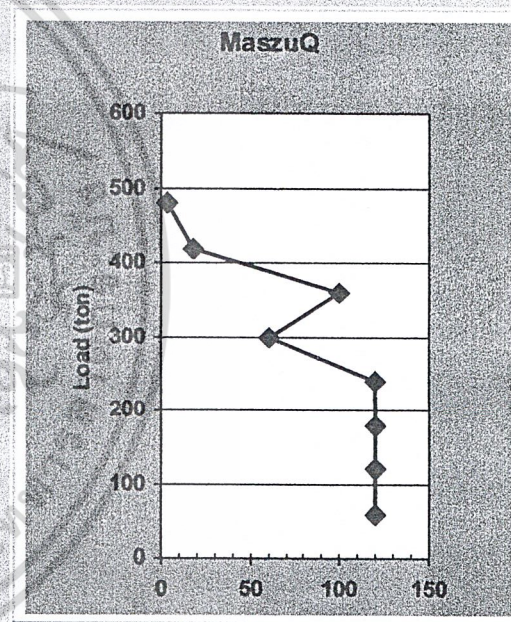


Q_{um} 950

File_number:	5
ID_province:	22 กรุงเทพฯ
Date:	13/3/99
Project_name:	Building
Location:	Sukhumwit 33
Type_of_pile:	bored
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	8 m.
Pile_length:	33 m.
Soil_type_at_tip:	SC
Test_load:	480 Ton
Design load:	250 Ton

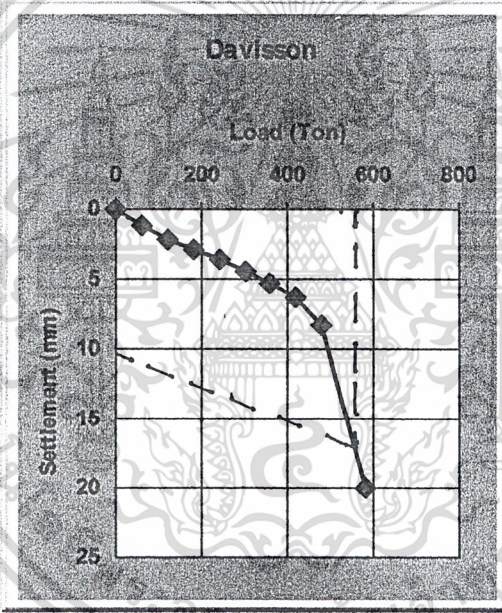


Q_{ud}: 445

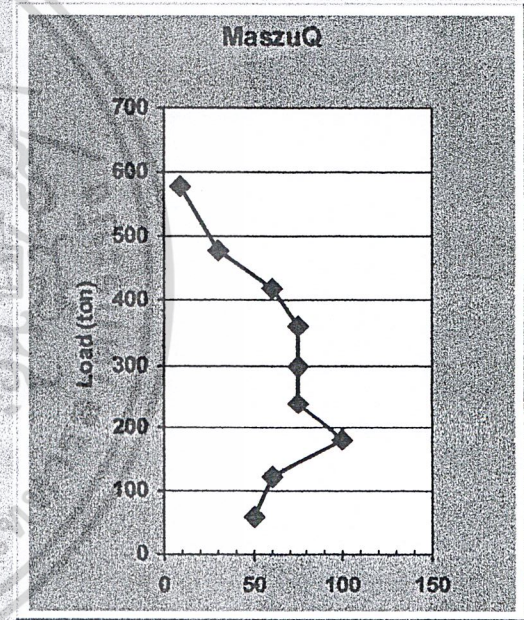


Q_{um}: 478

Pile_number:	6
ID_province:	22 กรุงเทพฯ
Date:	13/3/99
Project_name:	Building
Location:	Radchadapisek
Type_of_pile:	Bored
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	.8 m.
Pile_length:	36 m.
Soil_type_at_tip:	SC
Test_load:	480 Ton
Design load:	250 Ton

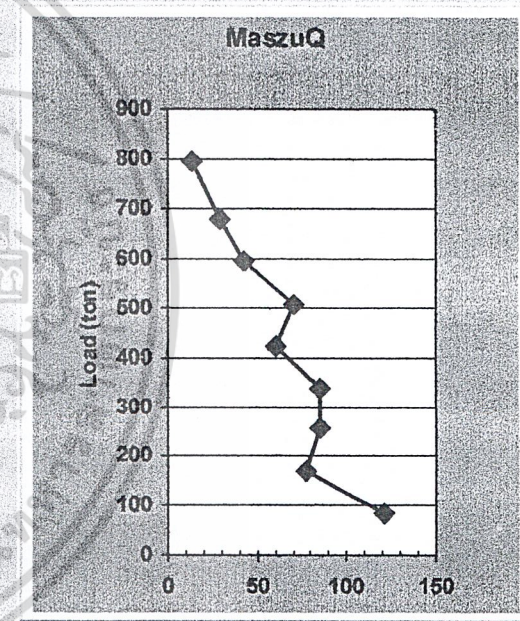
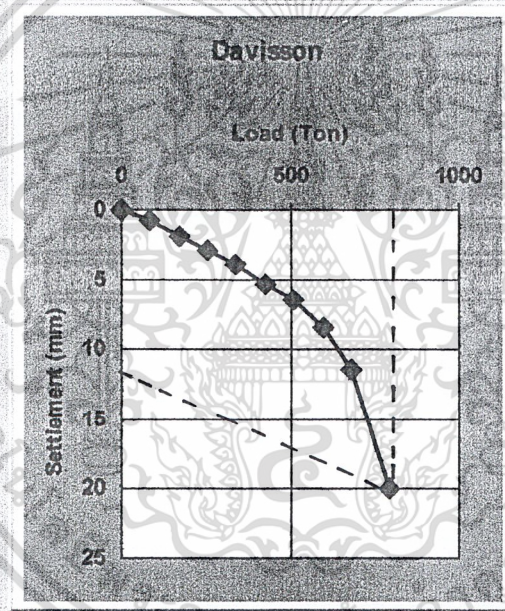


Q_{ult}: 565



Q_{um}: 600

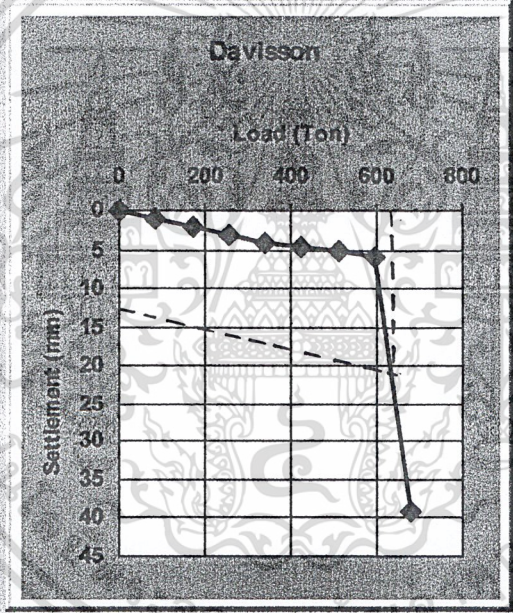
Pile_number:	7	
ID_province:	22	กรุงเทพ
Date:	13/3/99	
Project_name:	Building	
Location:	Radchadapisek	
Type_of_pile:	Bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	1	m.
Pile_length:	37	m.
Soil_type_at_tip:	SC	
Test load:	700	Ton
Design load:	350	Ton



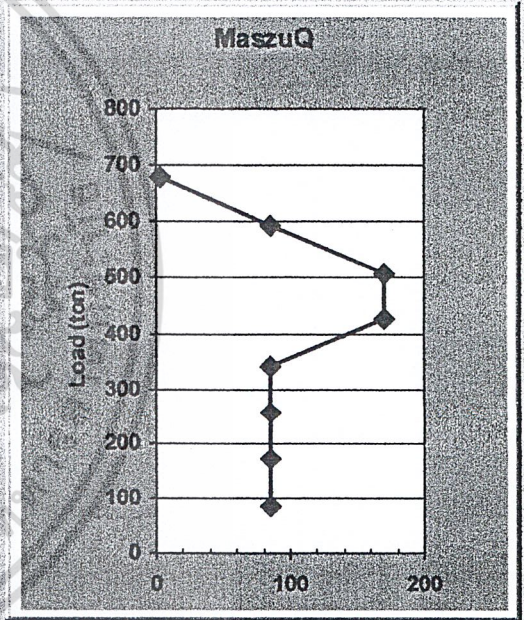
Qud: 796

Qum: 833

File_number	8	
ID_province	22	กรุงเทพ
Date	13/3/99	
Project_name	Building	
Location	Radchadapisek	
Type_of_pile	bored	
Shape_of_pile	circular	
Dimension	1	m.
Pile_length	36	m.
Soil_type_at_tip	SC	
Test_load	680	Ton
Design load	335	Ton

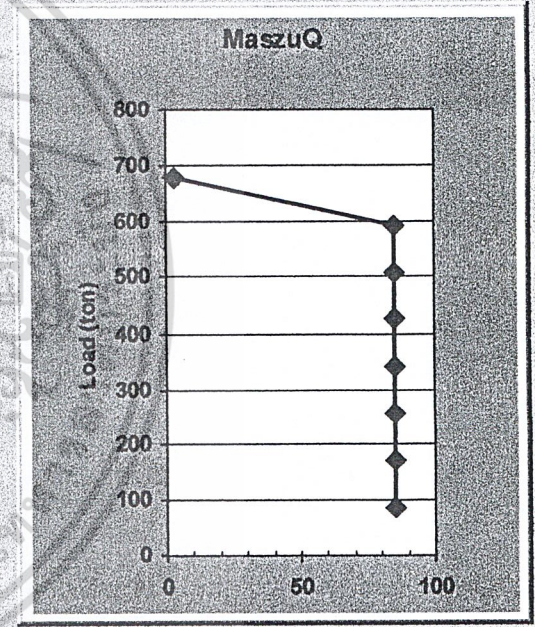
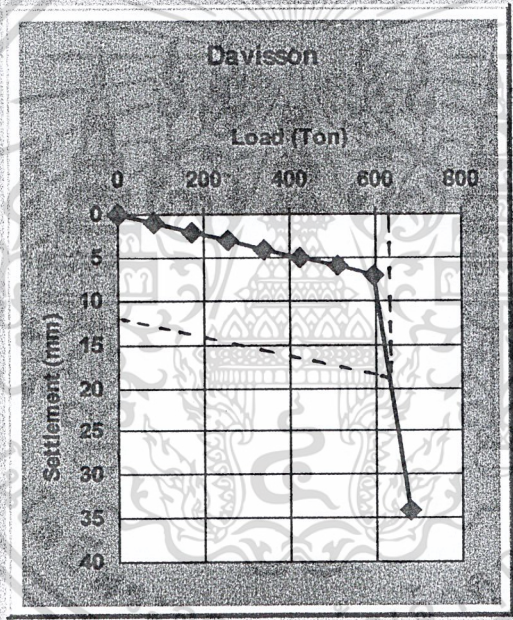


Q_{ud} 680



Q_{um} 688

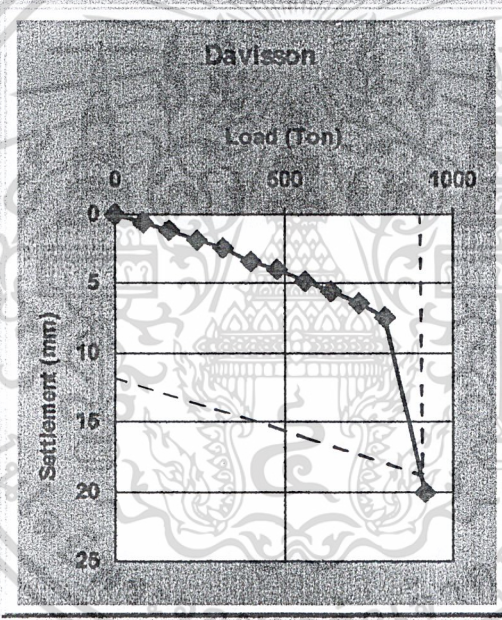
Pile_number:	9	
ID_province:	22	กรุงเทพ
Date:	13/3/99	
Project_name:	Building	
Location:	Sukhumwit 63	
Type_of_pile:	bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	1	m.
Pile_length:	36	m.
Soil_type_at_tip:	SC	
Test_load:	680	Ton
Design load:	350	Ton



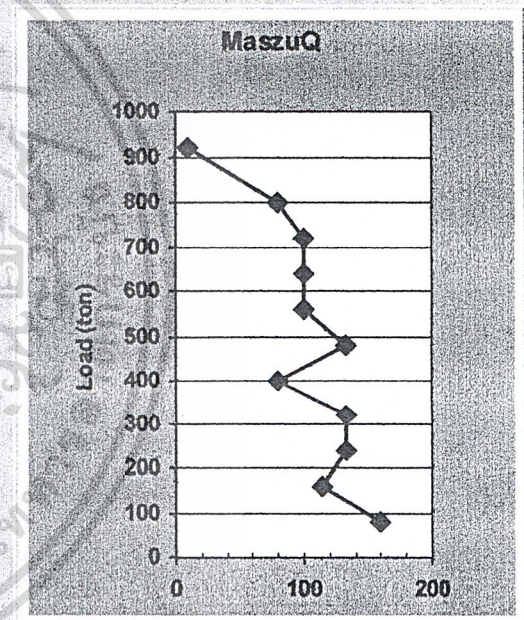
Qud 644

Qum 684

Pile_number:	10
ID_province:	22 กรุงเทพมหานคร
Date:	13/3/99
Project_name:	Building
Location:	Radchadapisek
Type_of_pile:	Bored
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	1 m.
Pile_length:	47 m.
Soil_type_at_tip:	SC
Test_load:	800 Ton
Design load:	400 Ton

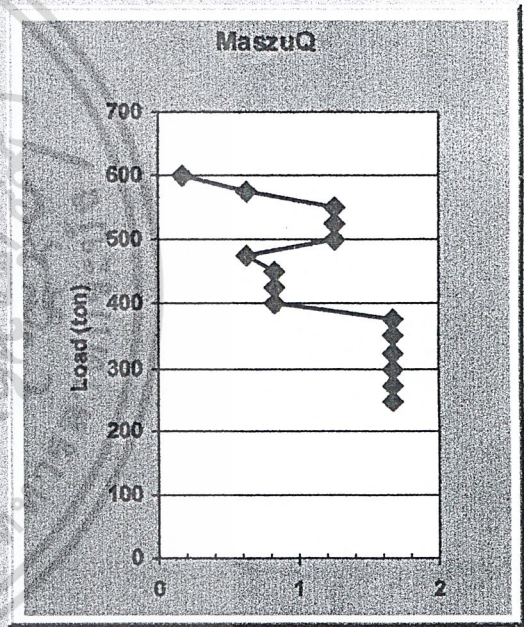
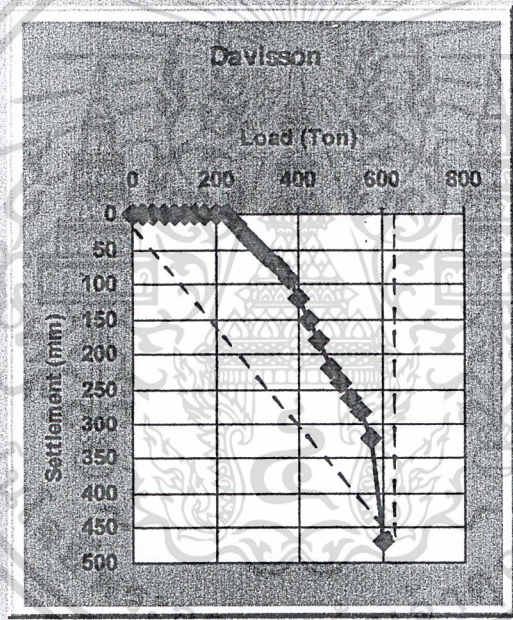


Qud 918



Qum 920

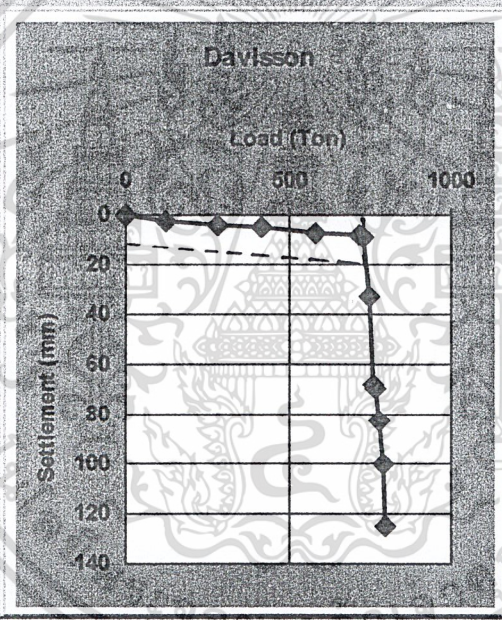
Pile_number	11	
ID_province	22	กรุงเทพ
Date	13/3/99	
Project_name	Bridge	
Location	Wat sai	
Type_of_pile	bored	
Shape_of_pile	circular	
Dimension	1	m
Pile_length	32	m
Soil_type_at_tip	SC	
Test_load	600	Ton
Design load		Ton



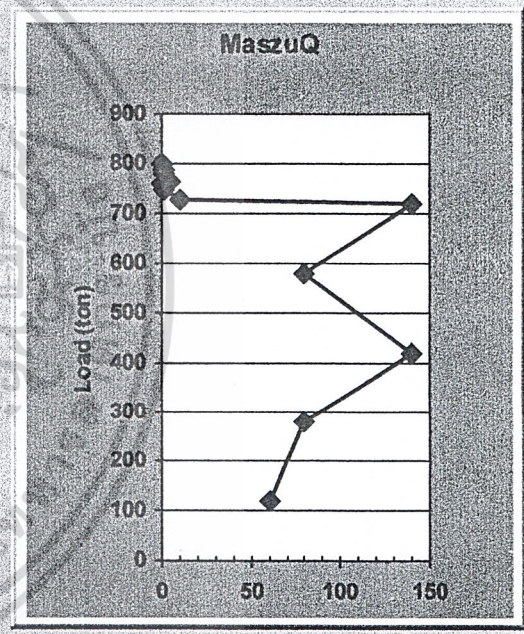
Q_{ult} 615

Q_{um} 610

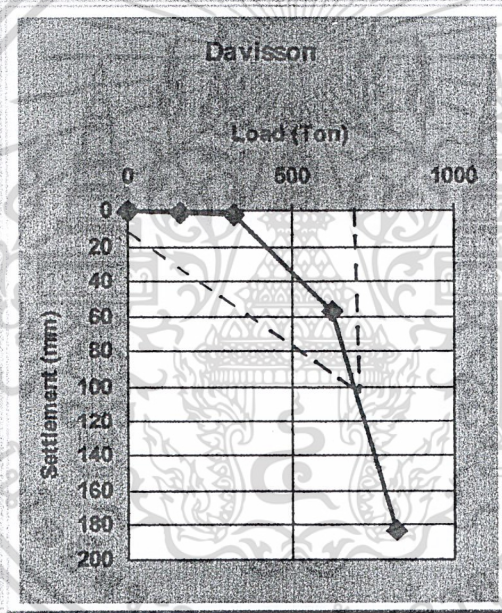
Pile_number:	12	
ID_province:	22	กรุงเทพฯ
Date:	13/3/99	
Project_name:	building	
Location:	Wat sai	
Type_of_pile:	bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	1.1	m.
Pile_length:	37.5	m.
Soil_type_at_tip:	SC	
Test load:	800	Ton
Design load:		Ton



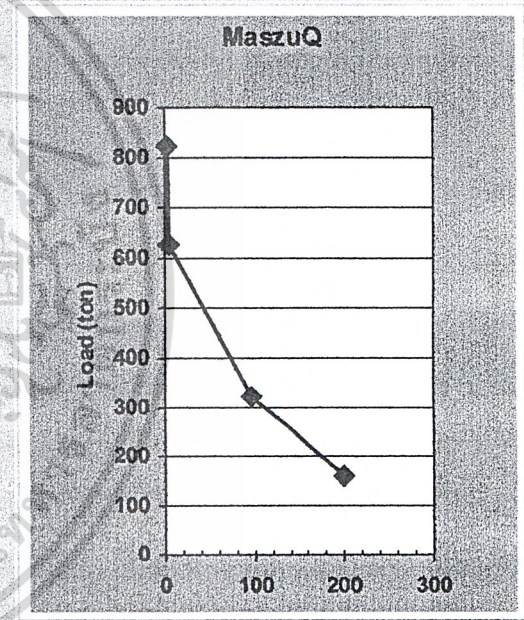
Qud: 735



Pile_number:	13	
ID_province:	50	ลำปาง
Date:	13/3/99	
Project_name:	MAE MOH POWER PLANT	
Location:	MAE MOH	
Type_of_pile:	bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	9	m.
Pile_length:	15.56	m.
Soil_type_at_tip:	SC	
Test_load:	825	Ton
Design_load:	330	Ton

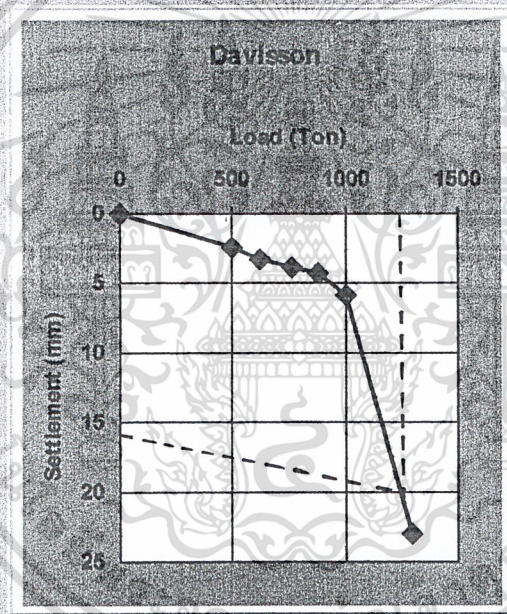


Quid: 700

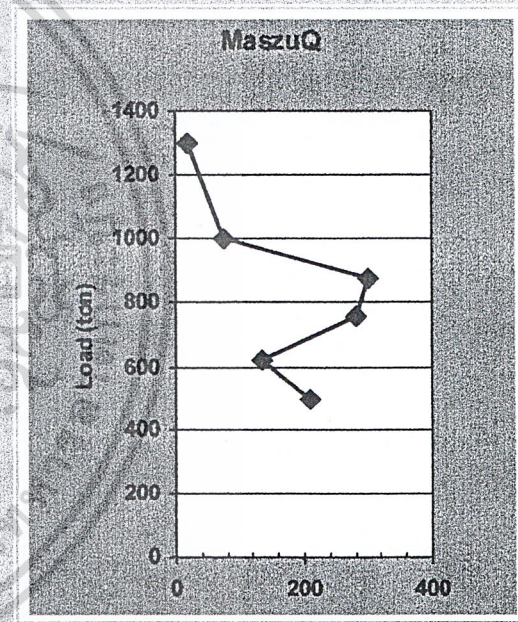


Qum: 825

Pile_number:	14	
ID_province:	28	ปทุมธานี
Date:	13/3/99	
Project_name:	Bridge	
Location:	Prathumthani	
Type_of_pile:	bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	1.5	m.
Pile_length:	44	m.
Soil_type_at_tip:	SC	
Test_load:	1000	Ton
Design load:	500	Ton

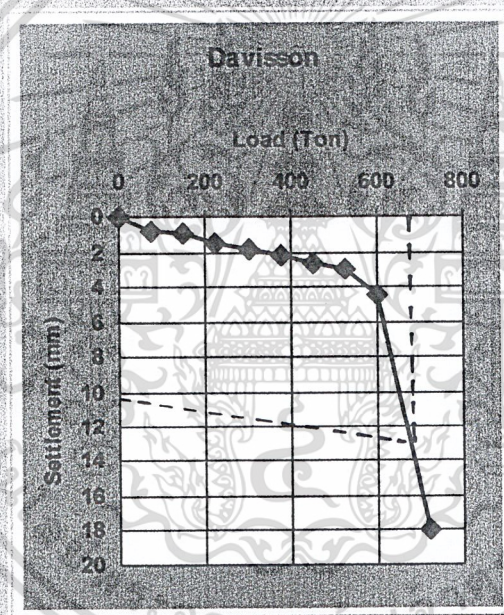


Qud 1272

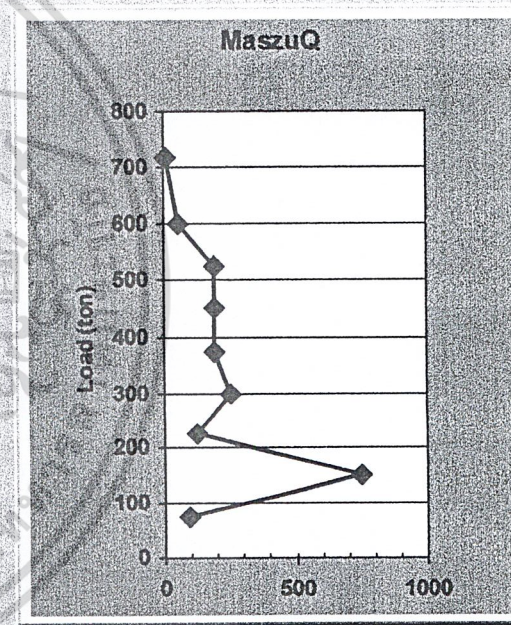


Qum 1305

Pile number	15	
ID province	22	กรุงเทพ
Date	13/3/99	
Project name	Building	
Location	Wireless Rd.	
Type of pile	bored	
Shape of pile	circular	
Dimension	8	m.
Pile length	48	m.
Soil type at tip	SC	
Test load	600	Ton
Design load	300	Ton

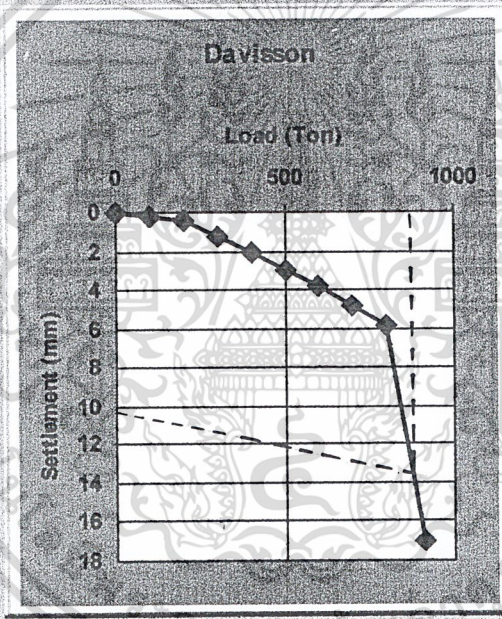


Qud 666

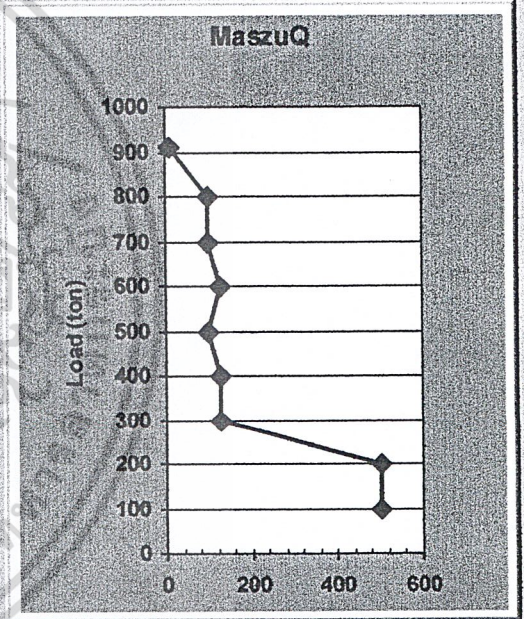


Qum 716

Pile_number: 16
 ID_province: 22 กรุงเทพมหานคร
 Date: 13/3/99
 Project_name: Building
 Location: Sukhumvit 26
 Type_of_pile: bored
 Shape_of_pile: circular
 Dimension: 8 m.
 Pile_length: 55.5 m.
 Soil_type_at_tip: SC
 Test load: 800 Ton
 Design load: 335 Ton

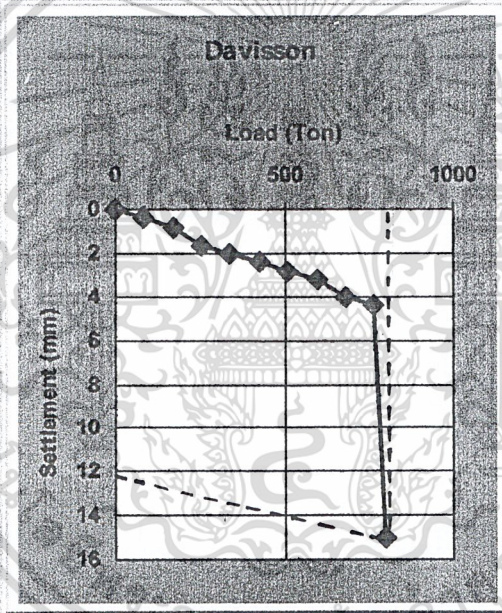


Q_{ud} 888

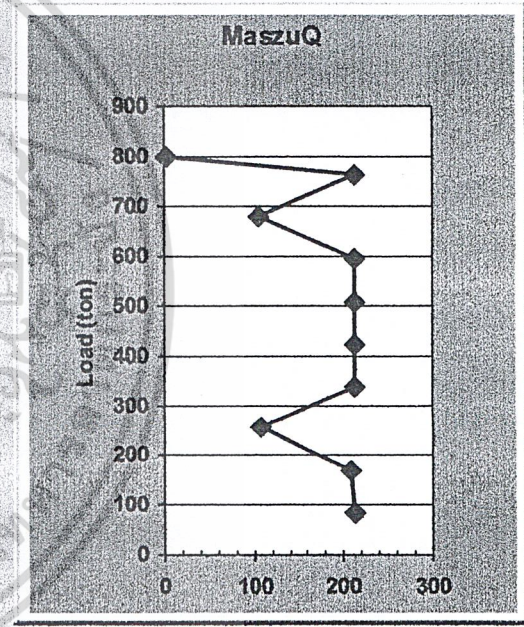


Q_{um} 910

Pile_number:	17
ID_province:	22 กรุงเทพฯ
Date:	13/3/99
Project_name:	Building
Location:	Surasak Rd.
Type_of_pile:	bored
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	1 m.
Pile_length:	48 m.
Soil_type_at_tp:	SC
Test_load:	765 Ton
Design load:	350 Ton

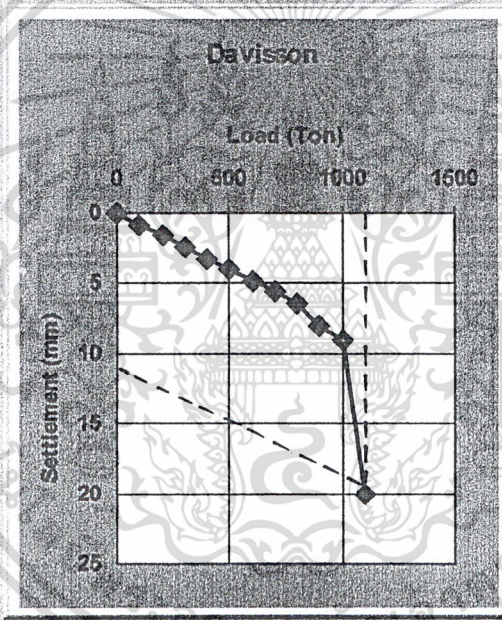


Q_{ud} 800

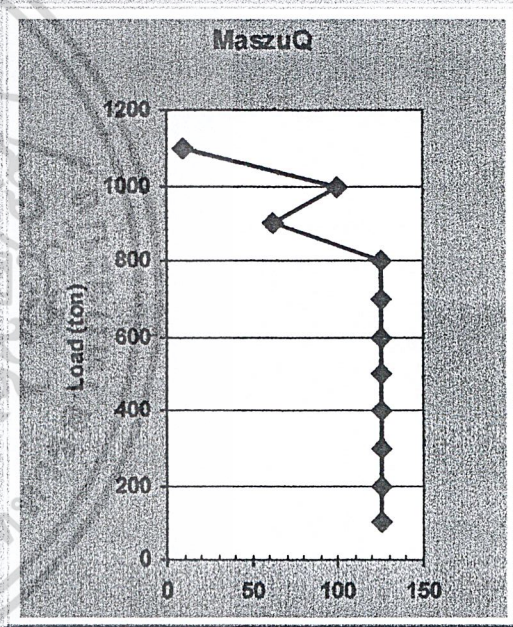


Q_{um} 800

Pile_number:	18
ID_province:	22 กรุงเทพมหานคร
Date:	13/3/99
Project_name:	Building
Location:	Sukhumvit Rd
Type_of_pile:	bored
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	1 m.
Pile_length:	53 m.
Soil_type_at_tip:	SC
Test_load:	1000 Ton
Design load:	400 Ton

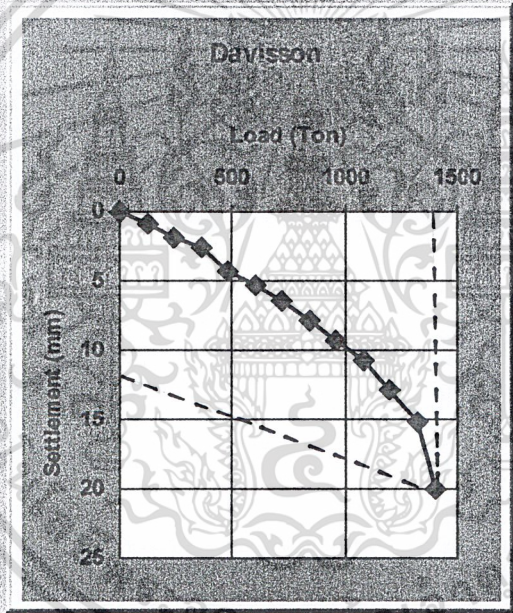


Grid 1083

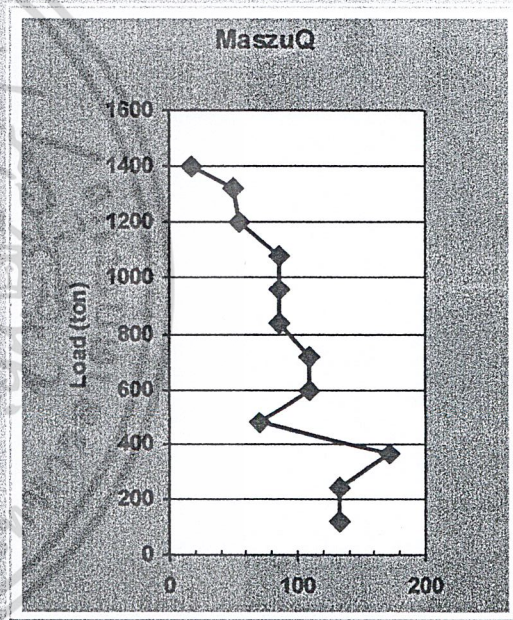


Qum 1111

Pile_number	19	
ID_province	22	กรุงเทพ
Date	13/3/99	
Project_name	Building	
Location	Silom Rd.	
Type_of_pile	bored	
Shape_of_pile	circular	
Dimension	1	m
Pile_length	46.5	m
Soil_type_at_top	SC	
Test_load	1320	Ton
Design load	480	Ton

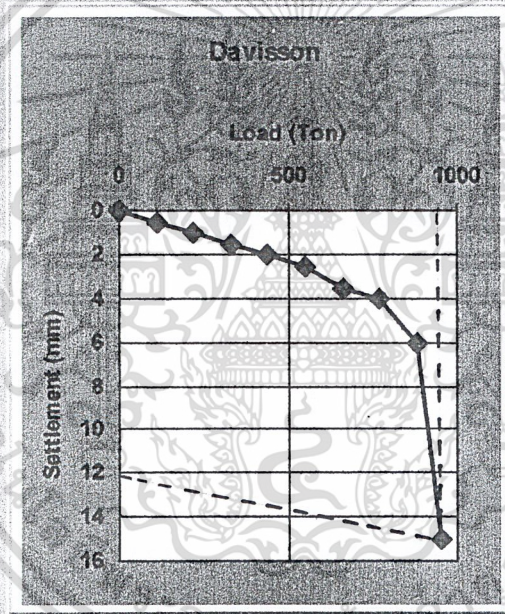


Q_{ud} 1400

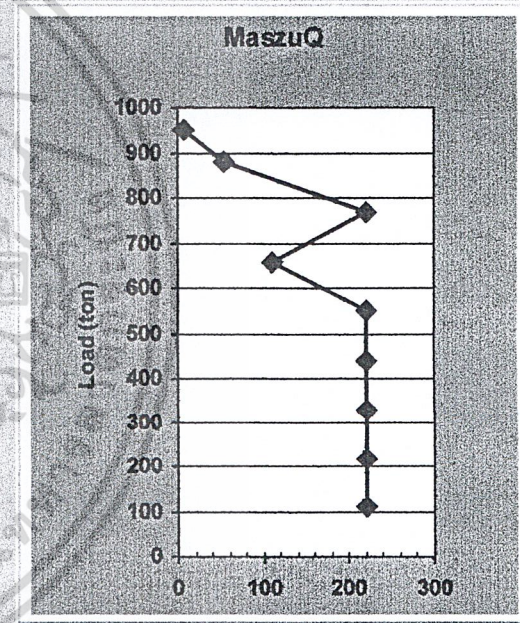


Q_{um} 1410

Pile_number:	20	
ID_province:	22	กรุงเทพ
Date:	13/3/99	
Project_name:	Building	
Location:	Soi Na-Na-Nua	
Type_of_pile:	bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	1	m.
Pile_length:	49	m.
Soil_type_at_tip:	SC	
Test_load:	880	Ton
Design load:	450	Ton

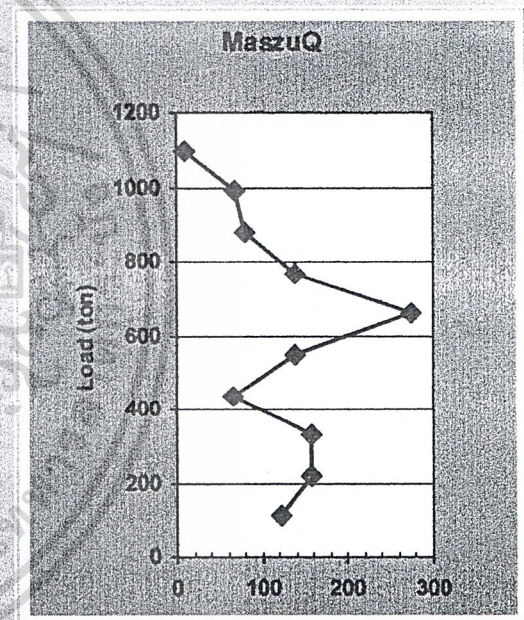
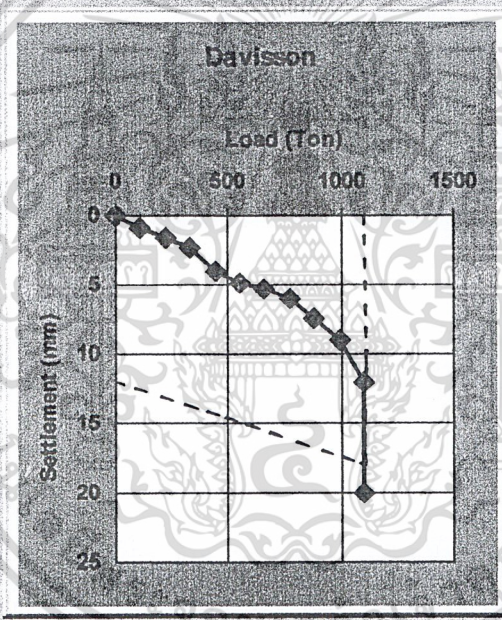


Q_u: 958



Q_{um}: 960

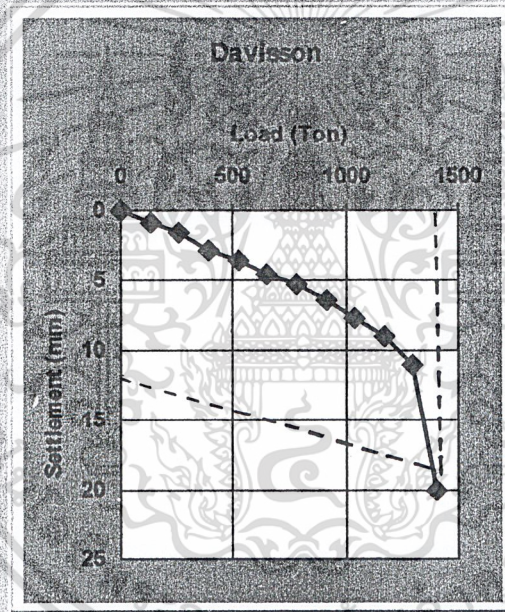
Pile_number: 21
ID_province: 22 กรุงเทพมหานคร
Date: 13/3/99
Project_name: Building
Location: Sukhumvit 23
Type_of_pile: bored
Shape_of_pile: circular
Dimension: 1 m
Pile_length: 55 m
Soil_type_at_tip: SC
Test_load: 1100 Ton
Design load: 450 Ton



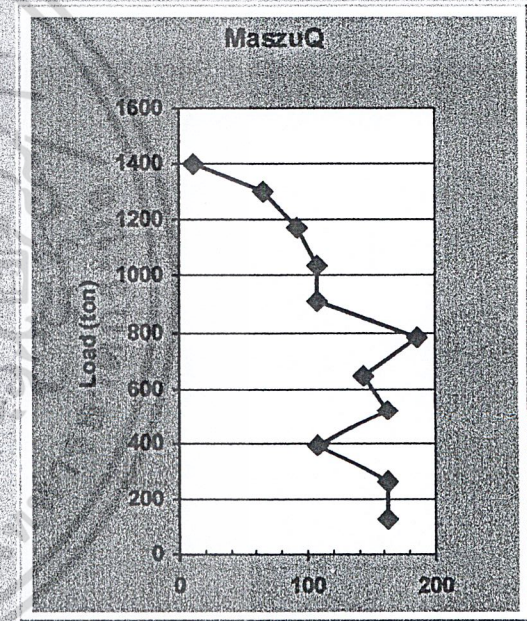
Qud: 1143

Qum: 1200

Pile_number:	22
ID_province:	22 กรุงเทพฯ
Date:	13/3/99
Project_name:	Building
Location:	Sathorn-tai
Type_of_pile:	bored
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	1 m
Pile_length:	48 m
Soil_type_at_tip:	SC
Test_load:	1300 Ton
Design load:	540 Ton

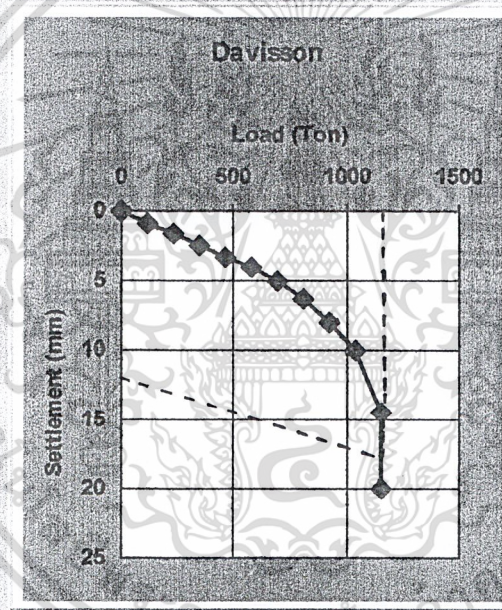


Q_{ult}: 1437

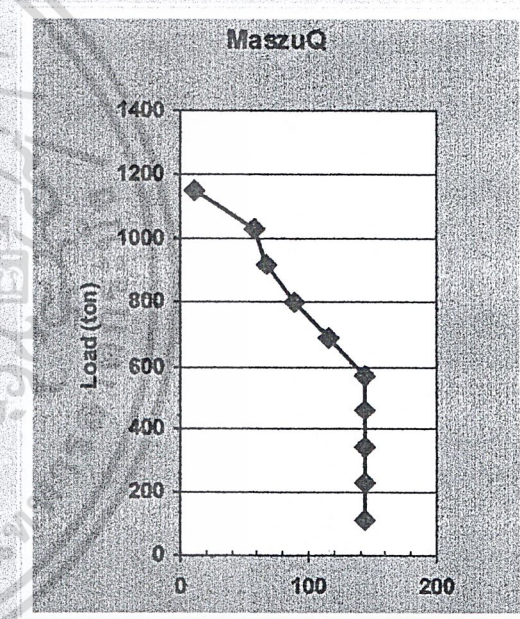


Q_{um}: 1400

Pile_number:	23	
ID_province:	22	กรุงเทพ
Date:	13/3/99	
Project_name:	Building	
Location:	Sukhumvit 21	
Type_of_pile:	bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	1	m.
Pile_length:	53	m.
Soil_type_at_tip:	SC	
Test_load:	1150	Ton
Design load:	460	Ton

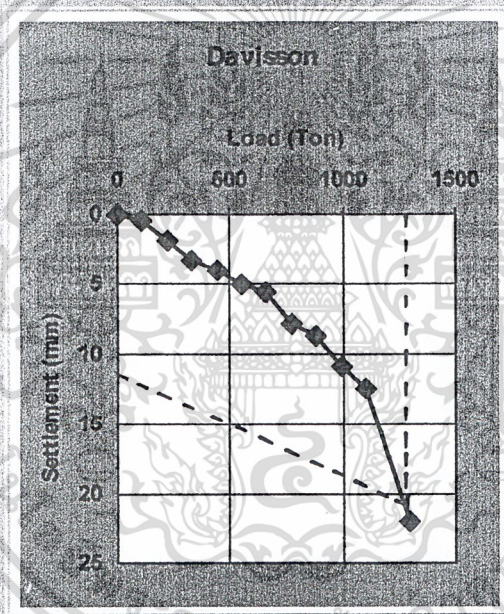


Q_{ud}: 1150

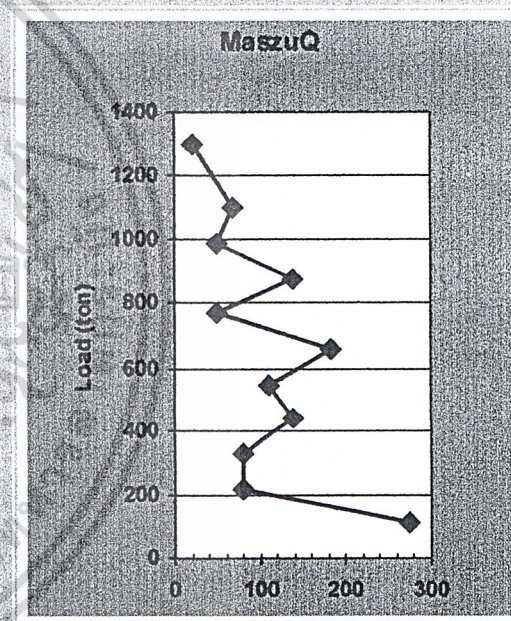


Q_{um}: 1320

Pile_number:	24
ID_province:	22 กรุงเทพมหานคร
Date:	13/3/99
Project_name:	Building
Location:	Sukhumvit 16
Type_of_pile:	bored
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	1 m.
Pile_length:	53 m.
Soil_type_at_tip:	SC
Test_load:	1100 Ton
Design load:	450 Ton

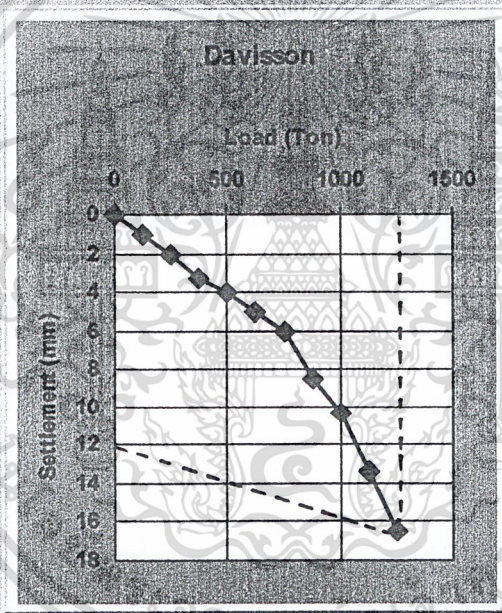


Q_{ud} 1210

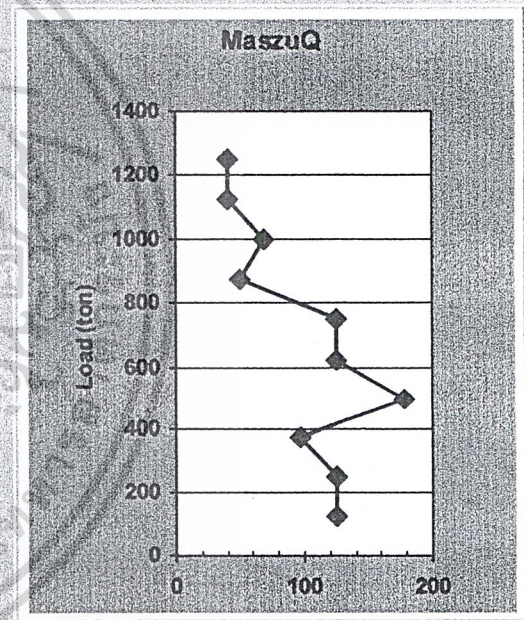


Q_{um} 1350

Pile_number:	25	
ID_province:	22	กรุงเทพฯ
Date:	13/3/99	
Project_name:	Building	
Location:	Sukhumvit 19	
Type_of_pile:	bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	1	m.
Pile_length:	56	m.
Soil_type_at_tip:	SC	
Test_load:	1250	Ton
Design_load:	500	Ton

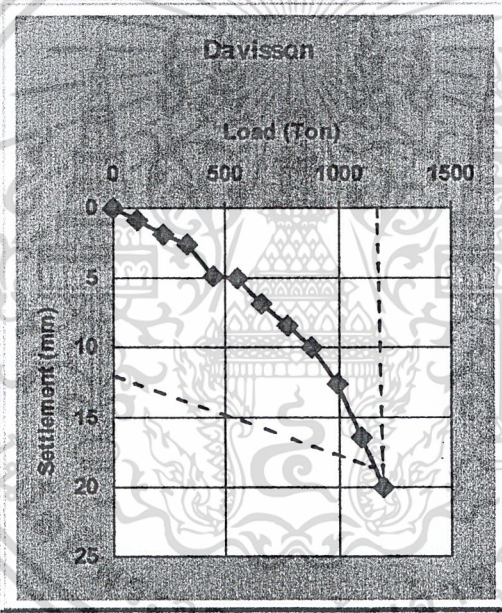


Q_{ud} 1264

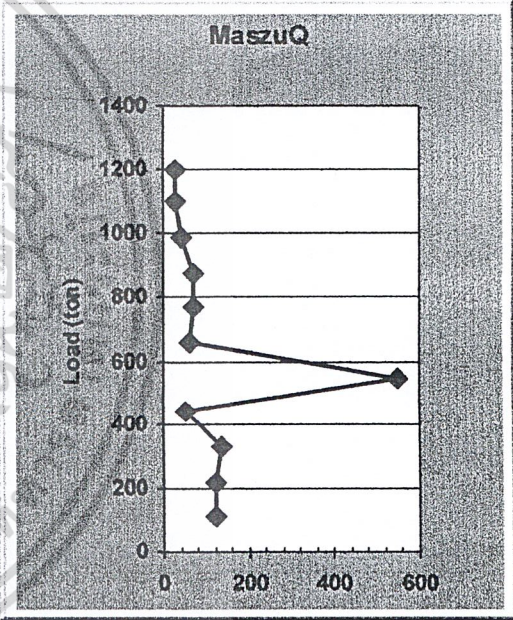


Q_{um} 1250

Pile_number:	26
ID_province:	22 กรุงเทพฯ
Date:	13/3/99
Project_name:	Building
Location:	Phaholyothin
Type_of_pile:	bored
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	1 m
Pile_length:	49.22 m
Soil_type_at_tip:	SC
Test_load:	1100 Ton
Design load:	450 Ton

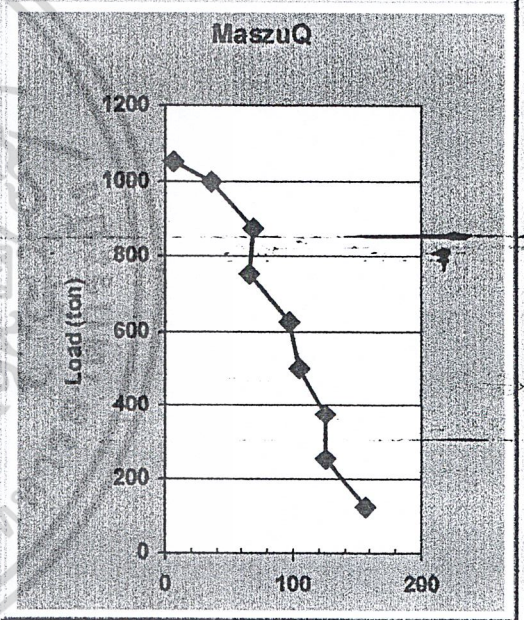
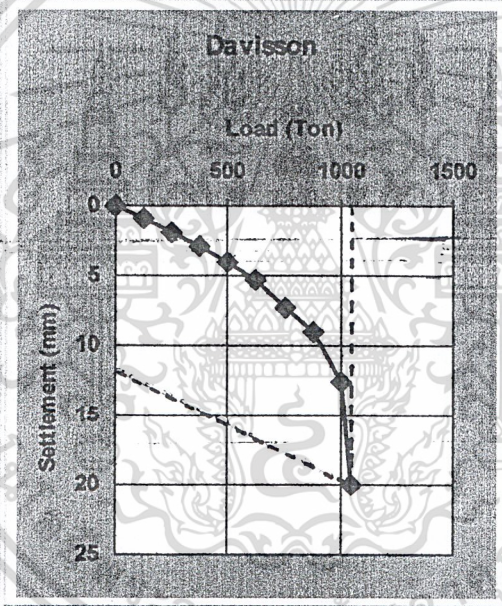


Q_{ud} 1200



Q_{um} 1210

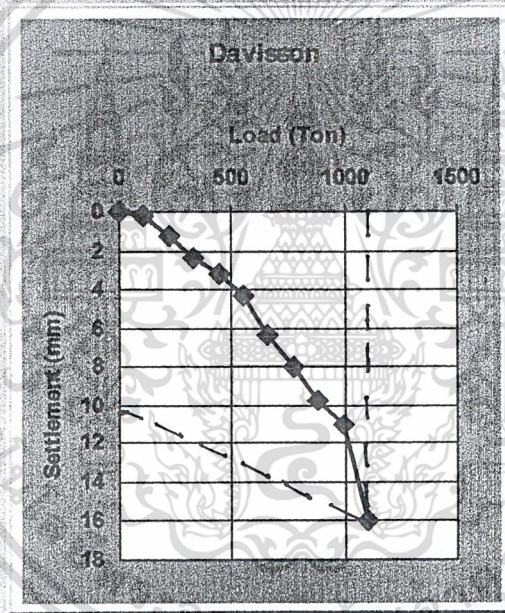
Pile_number:	27
ID_province:	22 กรุงเทพมหานคร
Date:	13/3/99
Project_name:	Building
Location:	Sukhumvit 26
Type_of_pile:	bored
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	1 m
Pile_length:	55 m
Soil_type_at_tip:	SC
Test load:	1000 Ton
Design load:	500 Ton



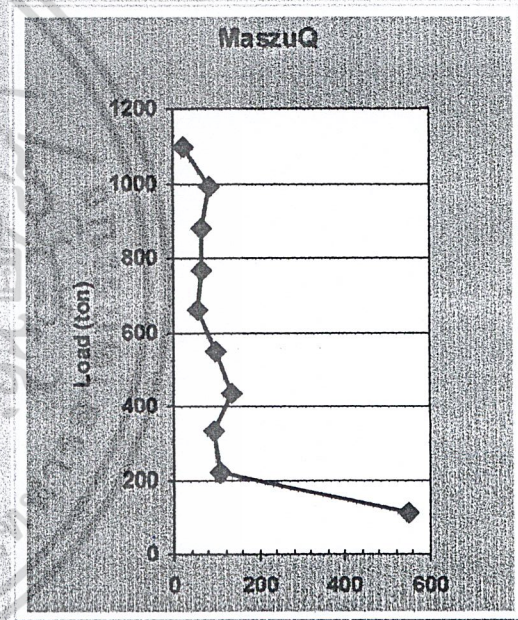
Qua: 1020

Qum: 1025

Pile_number	28	
ID_province	22	กรุงเทพ
Date	13/3/99	
Project_name	building	
Location	Bangrak	
Type_of_pile	bored	
Shape_of_pile	circular	
Dimension	1	m
Pile_length	48	m
Soil_type_at_tip	SC	
Test_load	1100	Ton
Design load	450	Ton

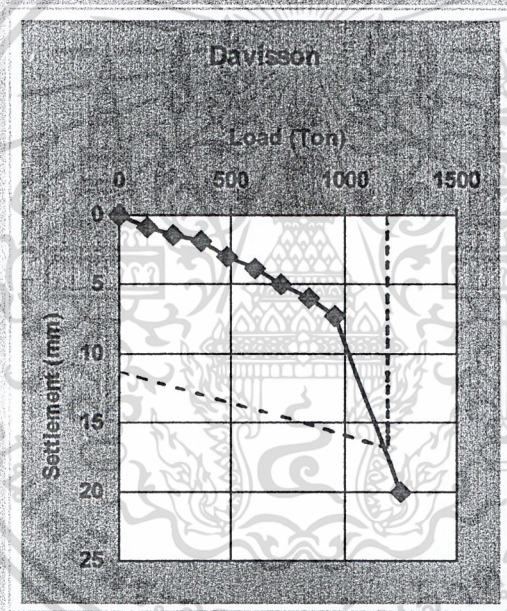


Q_{ud} 1045

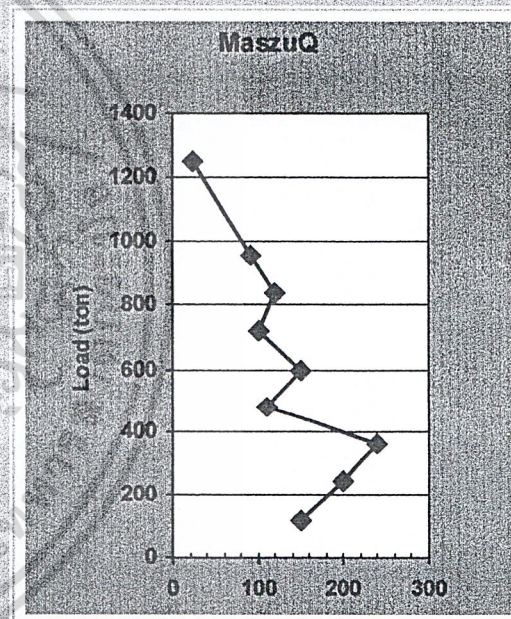


Q_{um} 1100

Pile_number	29	
ID_province	22	กรุงเทพ
Date	13/3/99	
Project_name	Building	
Location	Silom Rd	
Type_of_pile	bored	
Shape_of_pile	circular	
Dimension	1	m
Pile_Length	48.5	m
Soil_type_at_tip	SC	
Test_load	960	Ton
Design load	500	Ton

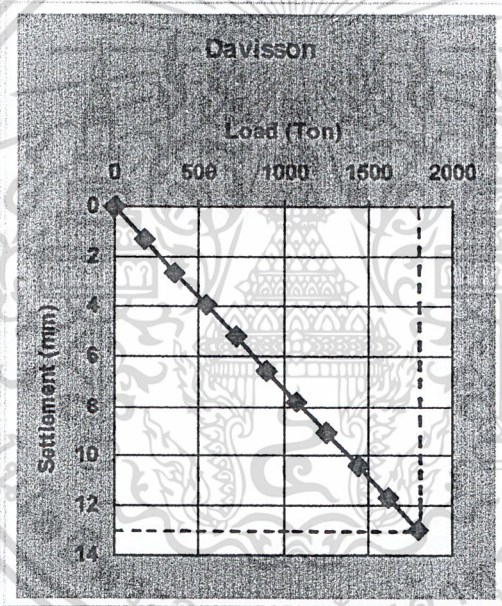


Q_{ud} 1206

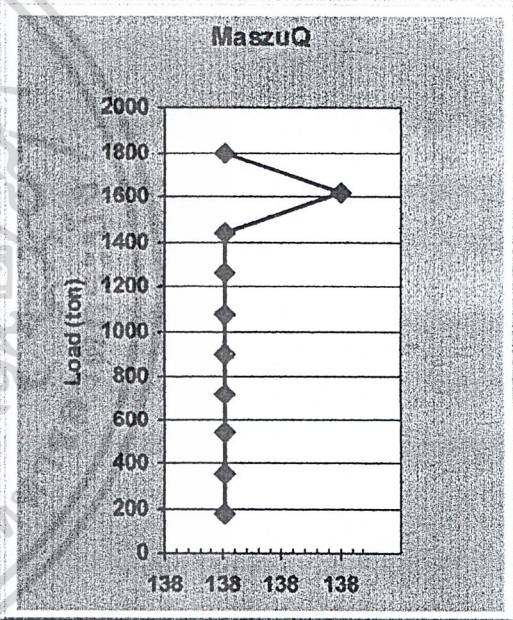


Q_{um} 1230

Pile_number: 30
ID_province: 22 กรุงเทพมหานคร
Date: 13/3/99
Project_name: Building
Location: Silom Rd
Type_of_pile: bored
Shape_of_pile: circular
Dimension: 1.2 m.
Pile_length: 46.5 m.
Soil_type_at_tip: SC
Test_load: 1800 Ton
Design load: 720 Ton

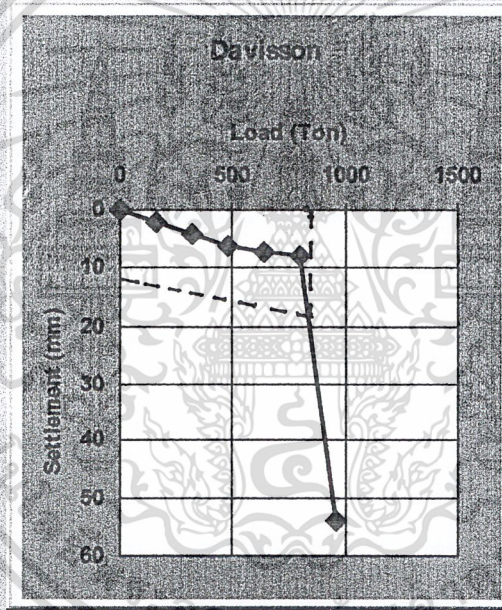


Q_{ud} 1923

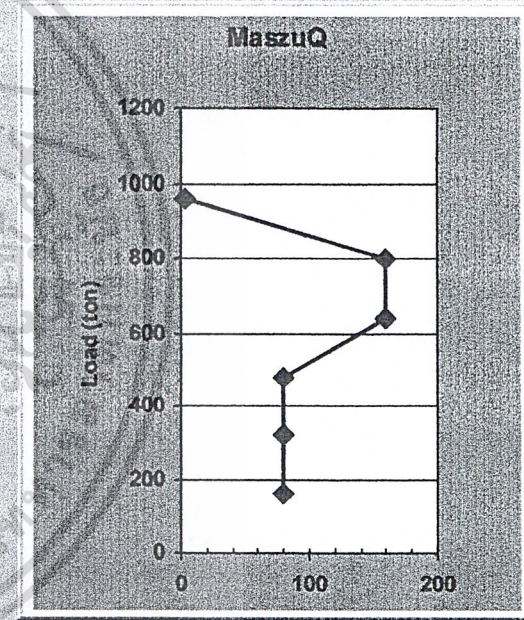


Q_{um} 1900

Pile_number:	31	
ID_province:	22	กรุงเทพ
Date:	13/3/99	
Project_name:	Building	
Location:	Chareon Nakon	
Type_of_pile:	bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	1.2	m.
Pile_length:	47.4	m.
Soil_type_at_tip:	SC	
Test load:	960	Ton
Design load:	650	Ton

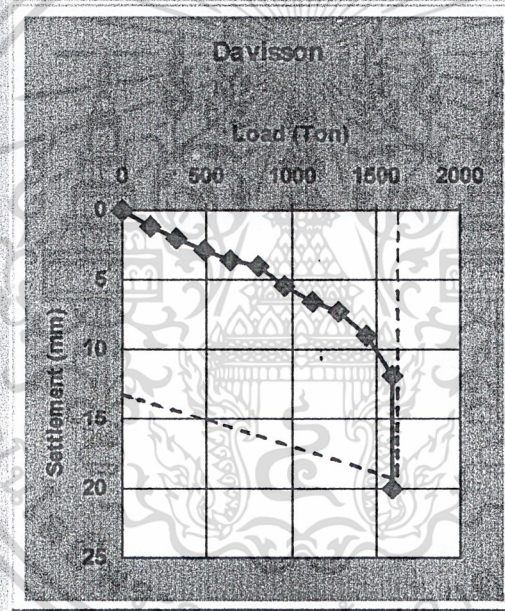


Q_{ud}: 871

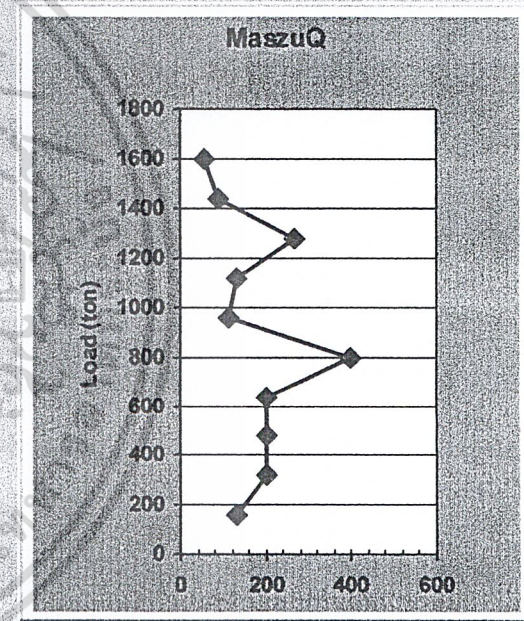


Q_{um}: 955

Pile_number:	32	
ID_province:	22	กรุงเทพ
Date:	13/3/99	
Project_name:	Building	
Location:	Silom Rd.	
Type_of_pile:	bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	1.2	m.
Pile_length:	52	m.
Soil_type_at_tip:	SC	
Test_load:	1440	Ton
Design_load:	720	Ton

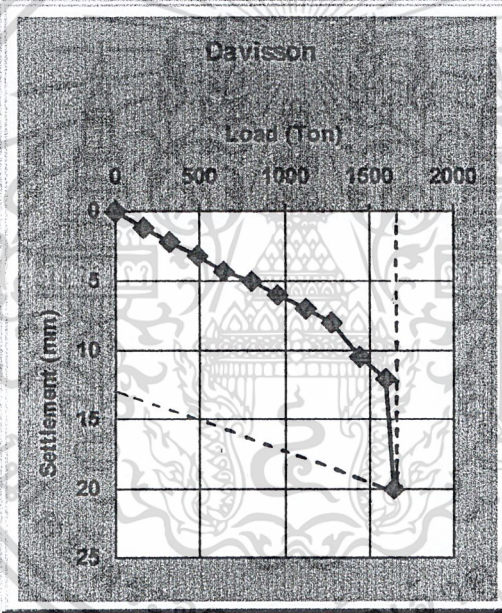


Q_{ud} 1615

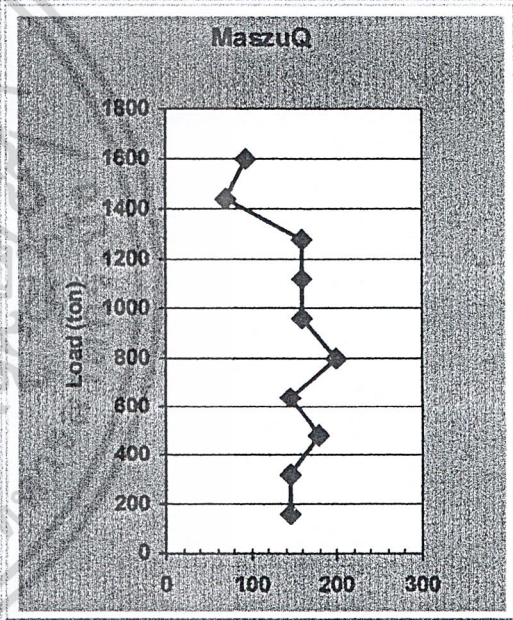


Q_{um} 1610

Pile_number:	33	
ID_province:	22	กรุงเทพฯ
Date:	13/3/99	
Project_name:	Building	
Location:	Sukhumvit 1	
Type_of_pile:	bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	1.2	m.
Pile_length:	53.5	m.
Soil_type_at_tip:	SC	
Test_load:	1600	Ton
Design load:	650	Ton

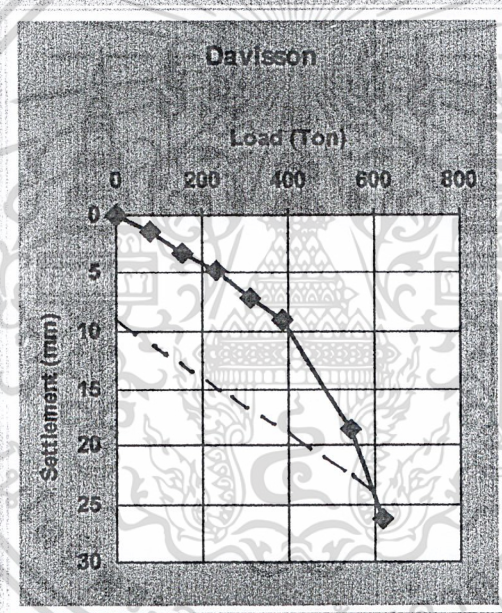


Qud 1646

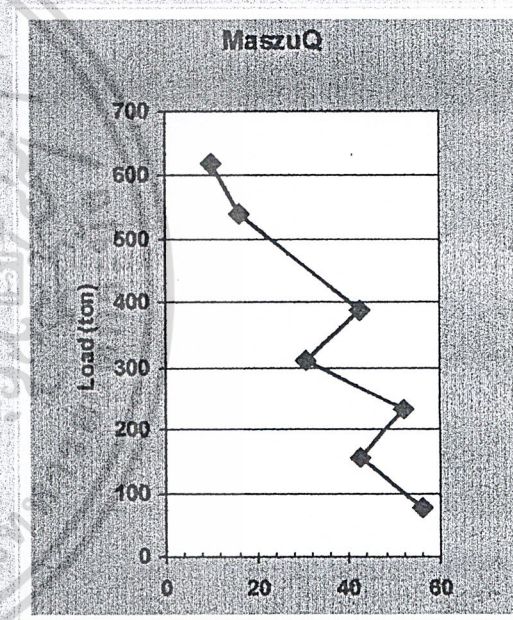


Qum 1590

Pile_number:	34
ID_province:	8 ชลบุรี
Date:	13/3/99
Project_name:	LEAM CHABANG FERRY
Location:	LEAM CHABANG F39
Type_of_pile:	steel pile
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	7112 m.
Pile_length:	14.3 m.
Soil_type_at_tip:	SC
Test_load:	250 Ton
Design load:	620 Ton

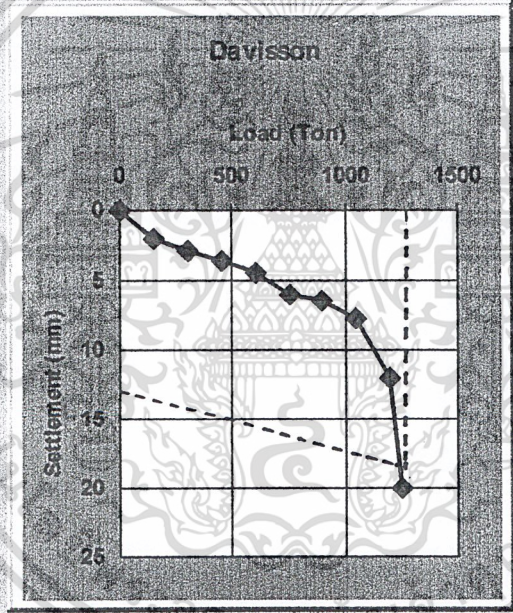


Q_{ud} 600

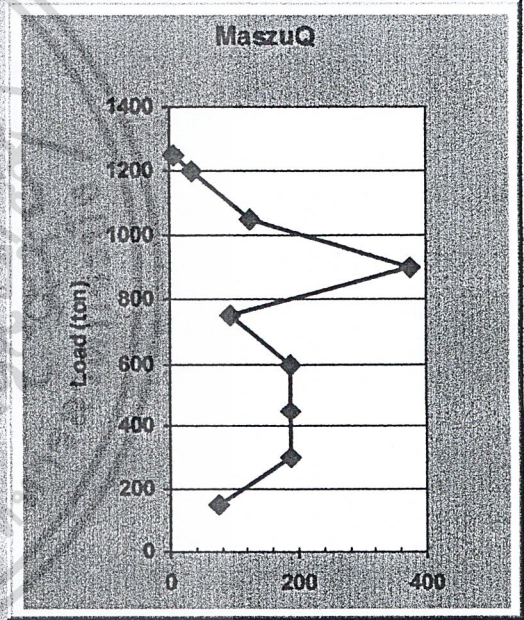


Q_{um} 700

Pile_number	35	
ID_province	22	กรุงเทพ
Date	13/3/99	
Project_name	Building	
Location	Charansanitwong	
Type_of_pile	bored	
Shape_of_pile	circular	
Dimension	1.2	m.
Pile_length	58.84	m.
Soil_type_at_tip	SC	
Test_load	1200	Ton
Design load	600	Ton

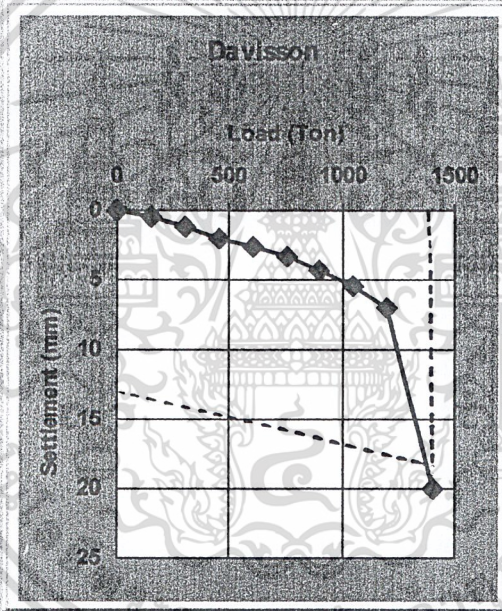


Q_{ult} 1225

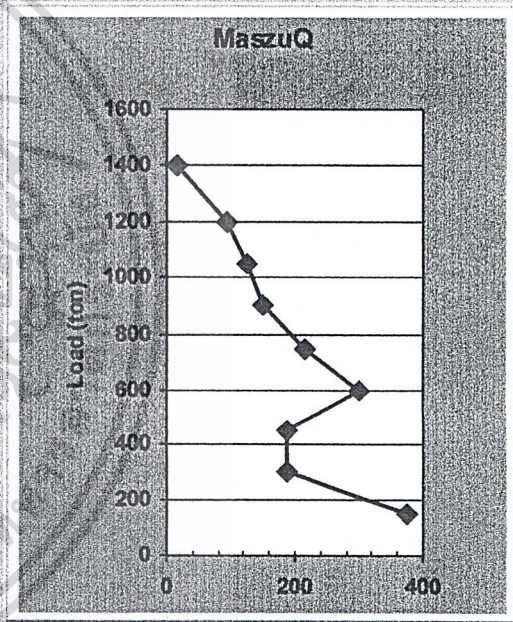


Q_{um} 1250

Pile_number:	36
ID_province:	22 กรุงเทพมหานคร
Date:	13/3/99
Project_name:	Buiding
Location:	Sukhumvit 16
Type_of_pile:	bored
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	1.2 m
Pile_length:	55 m
Soil_type_at_tip:	SC
Test_load:	1200 Ton
Design load:	600 Ton

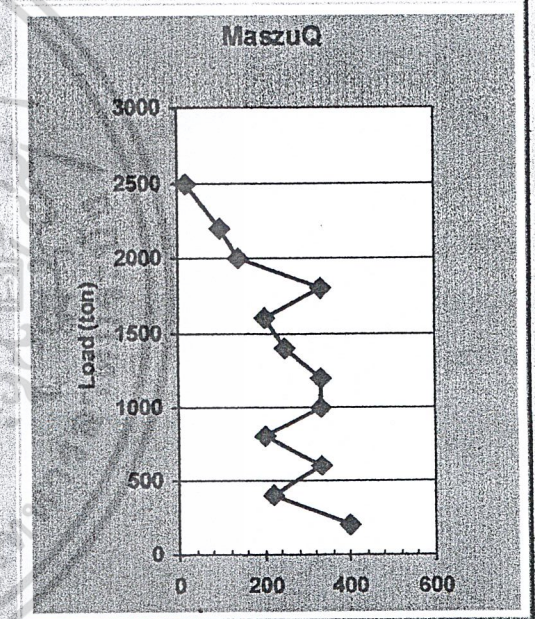
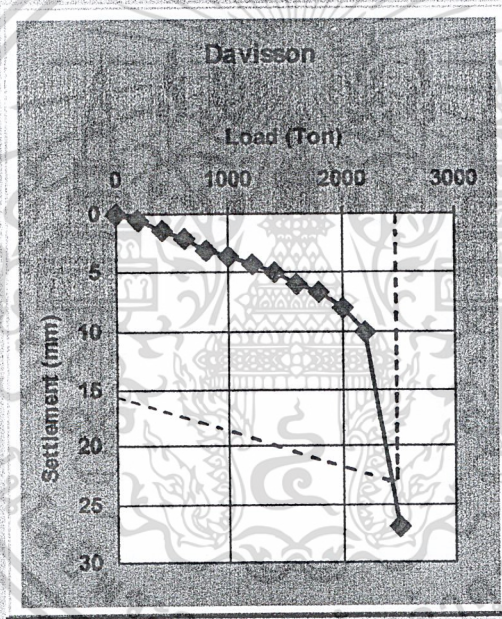


Q_u: 1375



Q_{um}: 1410

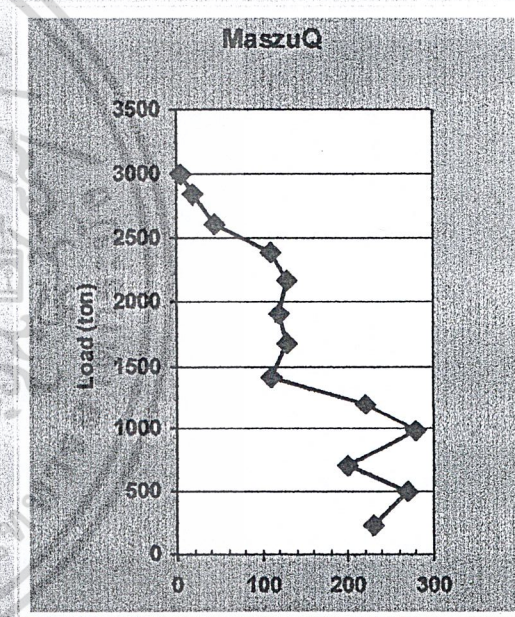
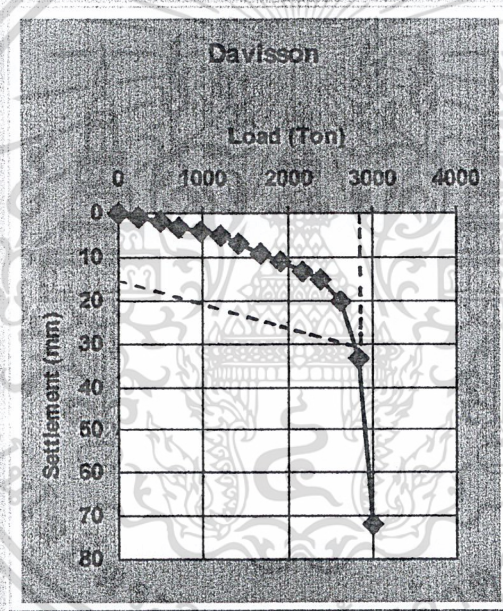
Pile_number:	37
ID_province:	22 กรุงเทพมหานคร
Date:	13/3/99
Project_name:	Building
Location:	Yaowaraj
Type_of_pile:	bored
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	1.5 m.
Pile_length:	50 m.
Soil_type_at_tip:	SC
Test load:	2200 Ton
Design load:	980 Ton



Q_{ud}: 2437

Q_{um}: 2525

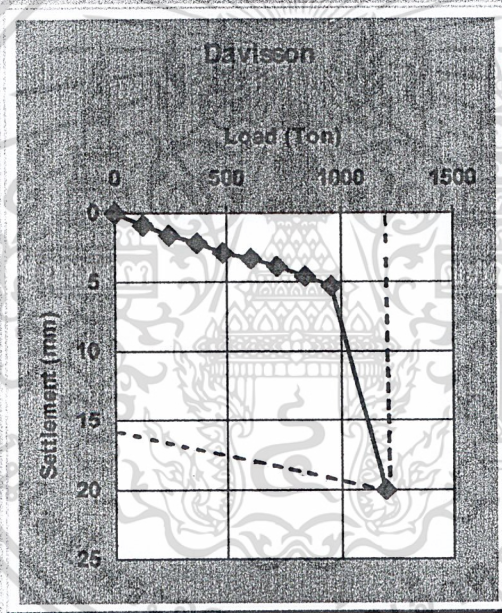
Pile_number:	38	
ID_province:	22	กรุงเทพ
Date:	13/3/99	
Project_name:	Building	
Location:	Pratunam	
Type_of_pile:	bored	
Shape_of_pile:	circular	
Dimension:	1.5	m.
Pile_length:	56.6	m.
Soil_type_at_tip:	SC	
Test_load:	900	Ton
Design load:	950	Ton



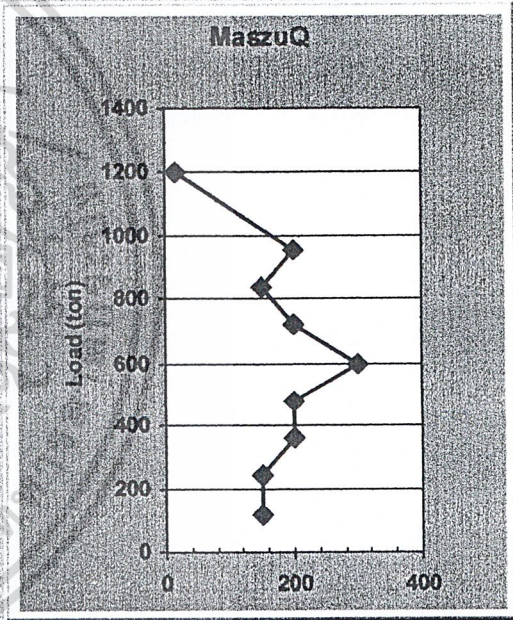
Q_{ud}: 0

Q_{um}: 3000

Pile number: 39
ID_province: 24 นนทบุรี
Date: 13/3/99
Project name: Building
Location: Nonthaburi
Type of pile: bored
Shape of pile: circular
Dimension: 1.5 m.
Pile length: 44 m.
Soil type at tip: SC
Test load: 960 Ton
Design load: 500 Ton

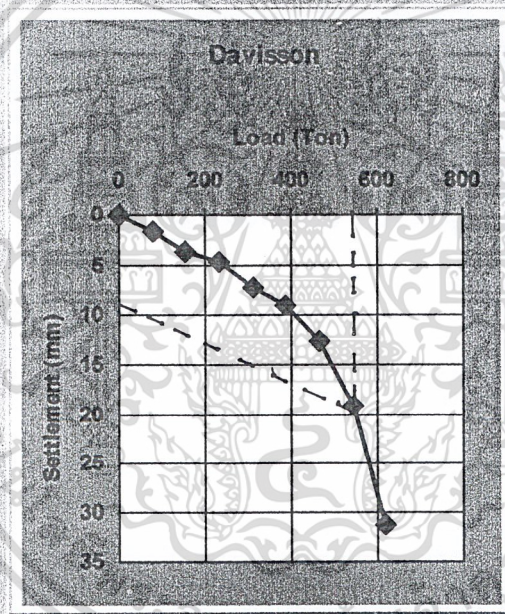


Qud: 1218

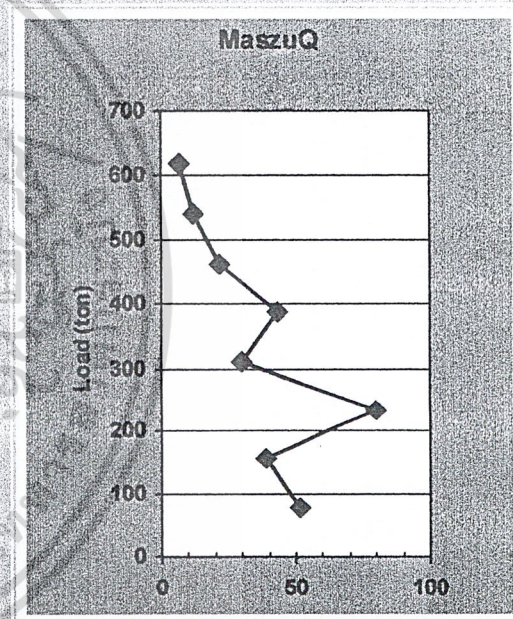


Qum: 1225

Pile_number:	40
ID_province:	8 ชลบุรี
Date:	13/3/99
Project_name:	LEAM CHABANG FERRY
Location:	LAEM-CHABANG F18
Type_of_pile:	steel pile
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	7112 m.
Pile_length:	17.5 m.
Soil_type_at_tip:	SC
Test load:	250 Ton
Design load:	620 Ton

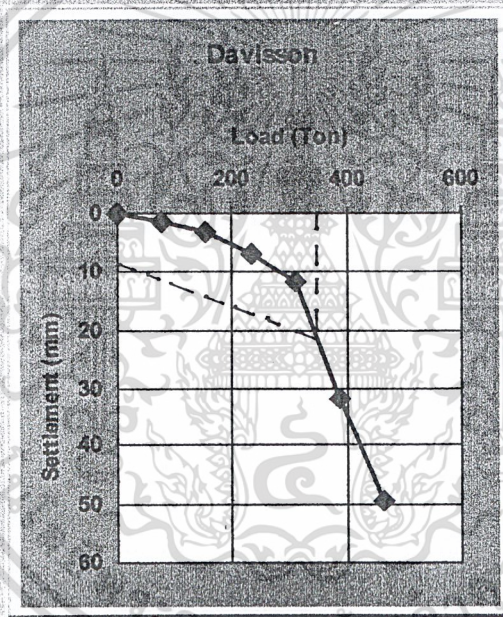


Q_{ult}: 670

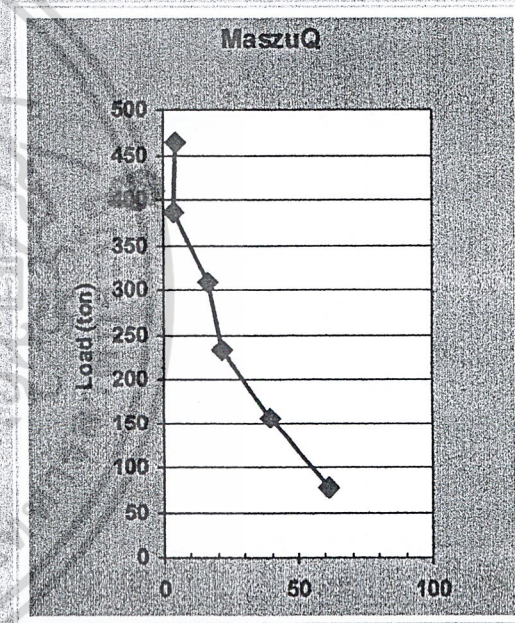


Q_{um}: 650

Pile_number:	41
ID_province:	8 ชลบุรี
Date:	13/3/99
Project_name:	LEAM CHABANG FERRY
Location:	LAEM-CHABANG F54
Type_of_pile:	steel pile
Shape_of_pile:	circular
Dimension:	.7112 m
Pile_length:	17.5 m
Soil_type_at_tip:	SC
Test_load:	250 Ton
Design load:	620 Ton



Q_{ult} 365



Q_{um} 400

บทที่ 5 สรุปผลและวิเคราะห์

หลังจากที่ได้ผลการคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากทฤษฎี Static Formula และการประเมินค่าการรับน้ำหนักของเสาเข็มจากผลการทดสอบ Static Load Test จากวิธี Daisson และ วิธี Mazurkiewicz ในบทที่ 4 เราจะได้ตารางสรุปผลค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่จุดประลัย ทั้ง 41 ต้น ดังตารางที่ 5.1 ในหน้าถัดไป โดยมีสัญลักษณ์ที่แสดงในตารางดังต่อไปนี้คือ

Q_{ud} = ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่จุดประลัย ที่ประเมินได้จากวิธี
Davisson

Q_{um} = ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่จุดประลัย ที่ประเมินได้จากวิธี
Mazurkiewicz

Q_{ust} = ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่จุดประลัย ที่ประเมินได้จาก
ทฤษฎี Static Formula

Q_b = Ultimate base (point) resistance

Q_f = Ultimate skin friction

จากข้อมูลในตารางที่ 5.1 เพื่อให้เห็นแนวโน้มของข้อมูลที่ดีขึ้น เราจะนำข้อมูลมาทำกราฟเปรียบเทียบ% ผลต่างระหว่าง กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่จุดประลัยที่ประเมินได้จาก ทฤษฎี Mazurkiewicz กับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ประเมินได้จาก ทฤษฎี Static Formula โดยให้เป็นตัวแปร %DQm ดังในกราฟที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

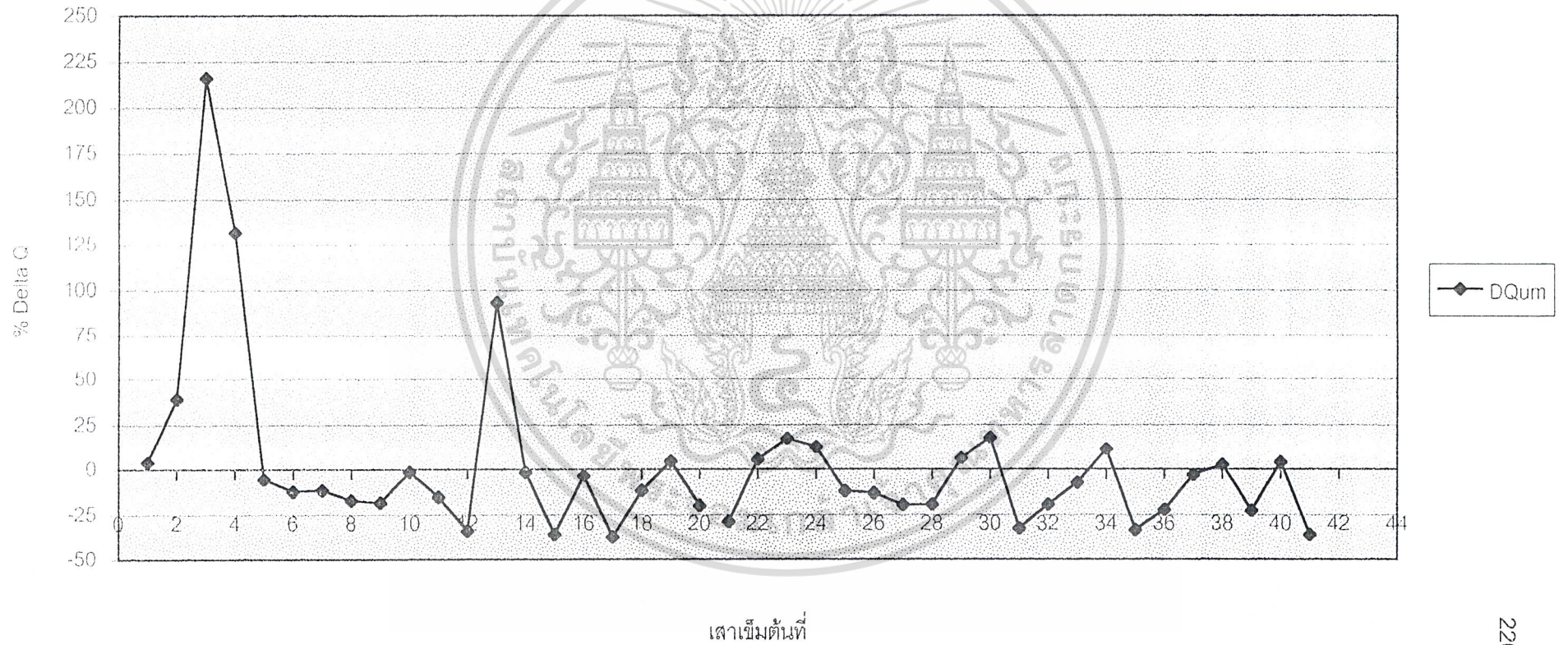
ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่จุดประลัยทั้ง 3 วิธี

No.	Project_name	Type	Pile_length	Dimension	Shape	Test_load	Design_load	Province	Location	Q _{ud}	Q _{um}	Q _{ust}
1	Building	bored	42.00	1.20	circular	1200.00	600.00	กรุงเทพ	Sukhumwit55	927.00	1200.00	1152.04
2	Building	bored	46.50	1.20	circular	1500.00	600.00	กรุงเทพ	Sukhumwit 24	1380.00	1500.00	1074.91
3	Mae Moh Power Plant	Bored	15.60	0.90	circular	950.00	380.00	ลำปาง	MAE MOH	812.00	950.00	300.39
4	Mae Moh Power Plant	Bored	15.60	0.90	circular	950.00	380.00	ลำปาง	MAE MOH	950.00	950.00	409.90
5	Building	bored	33.00	0.80	circular	480.00	250.00	กรุงเทพ	Sukhumwit 33	445.00	478.00	506.46
6	Building	bored	36.00	0.80	circular	480.00	250.00	กรุงเทพ	Radchadapisek	565.00	600.00	684.18
7	Building	bored	37.00	1.00	circular	700.00	350.00	กรุงเทพ	Radchadapisek	796.00	833.00	940.85
8	Building	bored	36.00	1.00	circular	680.00	335.00	กรุงเทพ	Radchadapisek	630.00	688.00	829.81
9	Building	bored	36.00	1.00	circular	680.00	350.00	กรุงเทพ	Sukhumwit 63	644.00	684.00	838.08
10	Building	bored	47.00	1.00	circular	800.00	400.00	กรุงเทพ	Radchadapisek	918.00	920.00	933.77
11	Bridge	bored	32.00	1.00	circular	600.00		กรุงเทพ	Wat sai	615.00	610.00	719.65
12	building	bored	37.50	1.10	circular	800.00		กรุงเทพ	Wat sai	735.00	750.00	1131.65
13	Mae Moh Power Plant	bored	15.60	0.90	circular	825.00	330.00	ลำปาง	MAE MOH	700.00	825.00	426.69
14	Bridge	bored	44.00	1.50	circular	1000.00	500.00	ปทุมธานี	Prathumthani	1272.00	1305.00	1326.73
15	Building	bored	48.00	0.80	circular	600.00	300.00	กรุงเทพ	Wireless Rd.	666.00	716.00	1113.28
16	Building	bored	55.50	0.80	circular	800.00	335.00	กรุงเทพ	Sukhumvit 26	888.00	910.00	942.93
17	Building	bored	48.00	1.00	circular	765.00	350.00	กรุงเทพ	Surasak Rd.	800.00	800.00	1271.66
18	Building	bored	53.00	1.00	circular	1000.00	400.00	กรุงเทพ	Sukhumvit Rd	1083.00	1111.00	1258.56
19	Building	bored	46.50	1.00	circular	1320.00	480.00	กรุงเทพ	Silom Rd.	1400.00	1410.00	1347.02
20	Building	bored	49.00	1.00	circular	880.00	450.00	กรุงเทพ	Soi Na-Na-Noi	958.00	960.00	1201.85

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่จุดประลัยทั้ง 3 วิธี (ต่อ)

No.	Project_name	pe_of_p	Pile_length	Dimension	Shape	Test_load	Design_load	Province	Location	Qud	Qum	Qust
21	Building	bored	55.00	1.00	circular	1100.00	450.00	กรุงเทพ	Sukhumvit 23	1143.00	1200.00	1685.00
22	Building	bored	48.00	1.00	circular	1300.00	540.00	กรุงเทพ	Sathorn-tai	1437.00	1400.00	1326.80
23	Building	bored	53.00	1.00	circular	1150.00	460.00	กรุงเทพ	Sukhumvit 21	1150.00	1320.00	1123.31
24	Building	bored	53.00	1.00	circular	1100.00	450.00	กรุงเทพ	Sukhumvit 16	1210.00	1350.00	1198.37
25	Building	bored	56.00	1.00	circular	1250.00	500.00	กรุงเทพ	Sukhumvit 19	1264.00	1250.00	1419.30
26	Building	bored	49.22	1.00	circular	1100.00	450.00	กรุงเทพ	Phaholyothin	1200.00	1210.00	1394.17
27	Building	bored	55.00	1.00	circular	1000.00	500.00	กรุงเทพ	Sukhumvit 26	1020.00	1025.00	1275.18
28	building	bored	48.00	1.00	circular	1100.00	450.00	กรุงเทพ	Bangrak	1045.00	1100.00	1364.91
29	Building	bored	48.50	1.00	circular	960.00	500.00	กรุงเทพ	Silom Rd	1206.00	1230.00	1157.08
30	Building	bored	46.50	1.20	circular	1800.00	720.00	กรุงเทพ	Silom Rd	1923.00	1900.00	1610.84
31	Building	bored	47.40	1.20	circular	960.00	650.00	กรุงเทพ	Chareon Nakon	871.00	955.00	1414.00
32	Building	bored	52.00	1.20	circular	1440.00	720.00	กรุงเทพ	Silom Rd.	1615.00	1610.00	1993.00
33	Building	bored	53.50	1.20	circular	1600.00	650.00	กรุงเทพ	Sukhumvit 1	1646.00	1590.00	1717.56
34	Leam Chabang Ferry	steel	14.30	0.71	circular	620.00	250.00	ชลบุรี	Leam-Chabang	600.00	700.00	628.87
35	Building	bored	58.84	1.20	circular	1200.00	600.00	กรุงเทพ	Charansanitwon	1225.00	1250.00	1877.22
36	Buiding	bored	55.00	1.20	circular	1200.00	600.00	กรุงเทพ	Sukhumvit 16	1375.00	1410.00	1814.49
37	Building	bored	50.00	1.50	circular	2200.00	980.00	กรุงเทพ	Yaowaraj	2437.00	2525.00	2608.01
38	Building	bored	56.60	1.50	circular	900.00	950.00	กรุงเทพ	Pratunam	2800.00	3000.00	2921.89
39	Building	bored	44.00	1.50	circular	960.00	500.00	นนทบุรี	Nonthaburi	1218.00	1225.00	1584.85
40	Leam Chabang Ferry	steel	17.50	0.71	circular	620.00	250.00	ชลบุรี	Laem-Chabang	570.00	650.00	623.76
41	Leam Chabang Ferry	steel	17.50	0.71	circular	620.00	250.00	ชลบุรี	Laem-Chabang	365.00	400.00	623.76

กราฟที่ 5.1 แสดง % ความแตกต่างระหว่างกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่จุดประลัยที่คำนวณได้จากทฤษฎี Static formula กับค่าที่ประเมินได้จาก ทฤษฎี MazurQ



โดยปกติในการคำนวณ Static Formula ซึ่งค่า Qust จะประกอบมาจาก Qf และ Qb โดยค่า Qf และ Qb มีสูตรในการคำนวณอยู่แล้ว แต่ปรากฏว่าเมื่อคำนวณโดยใช้สูตรเหล่านี้แล้วได้ผลตามตารางจะเห็นว่าค่าของ Qust ที่ได้มีค่าต่างจากค่าของ Qum ของ Qud แสดงว่าค่า Qust ที่ได้จากการคิดว่าสูตรที่ใช้ในการคำนวณ Static Formular ยังมีข้อผิดพลาดอยู่จำเป็นต้องมีการแก้ไขต่อไป

ซึ่งในบทนี้เราจะใช้วิธี back analysis คิดดูว่าถ้ากำหนดให้ค่าของ Qust เท่ากับ Qum และ Qud แล้วจะได้ค่า Qb ที่แท้จริงเท่าไร เมื่อกำหนดให้ค่า Qf คงที่

สาเหตุที่คิดว่าผลที่ทำให้ค่า Qust ไม่ตรงกับค่า Qm และ Qud น่าจะมีผลมาจากการคำนวณ Qb

โดยปกติเมื่อเราพิจารณาการคำนวณ Qb นั้นเราจะใช้ชั้นดินที่ปลายเสาเข็มวางตัวอยู่เป็นเกณฑ์หลักในการคำนวณซึ่งปกติแล้วมักเป็นชั้นทรายหรือชั้นดินที่แข็งแรงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการทรุดตัวมากเกินไป แต่เมื่อพิจารณาให้ดีแล้วจะเห็นว่าค่าที่เสาเข็มจะรับ bearing ได้ นั้นยังขึ้นอยู่กับดินด้านล่างชั้นถัดจากที่อยู่ใต้ปลายเสาเข็มลงไปอีก ถ้าดินด้านล่างเสาเข็มเป็นดินอ่อน ก็จะมีผลต่อความแข็งแรงและการทรุดตัวของเสาเข็มได้ ดังนั้นจะเห็นว่าค่าการคำนวณหาค่า Qb นั้นจะเกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย

กล่าวโดยสรุปคือบทนี้เราจึงทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ทำให้ค่า Qust คลาดเคลื่อนไปจาก Qum และ Qud โดยตั้งสมมติฐานว่าอาจจะมาจากความคลาดเคลื่อนของค่า Qb โดยหาค่า Qb ที่แท้จริงเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับ Qf (x%) โดยหาในกลุ่มต่างๆ พร้อมแสดงกราฟเปรียบเทียบ Qust, Qum, Qud และกราฟเปรียบเทียบ Qb, Qf ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

การหาเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบระหว่าง Qb ที่แท้จริงกับ Qf

จากสมการ $Qust = Qf + Qb$ สมการที่ 5.1

ถ้าคิดว่า Qf คงที่และ Qb เป็นสัดส่วนกับ Qf $Qb/Qf = x\%$ สมการที่ 5.2

จากสมการ 5.1 และ 5.2 จะได้ $Qust = Qf + x\%Qf$
 $= Qf(1+x\%)$

จะได้ ค่าเฉลี่ยของ Qust = (ค่าเฉลี่ยของ Qf)(1+x%)

ถ้าให้ $Qust = Qum$ จะได้ $Xm\%$ สมการที่ 5.3

ถ้าให้ $Qust = Qud$ จะได้ $Xd\%$ สมการที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดของสมมติฐานข้างต้น

จะเห็นว่าค่า X ในสมการนั้นไม่จำเป็นต้องเท่ากันทั้ง 41 ต้น ในการวิเคราะห์หาค่า X ในบทนี้ จึงได้พยายามแบ่งกลุ่มย่อยๆ ที่มีค่า X เดียวกันอยู่ในกลุ่มเดียวกันพร้อมกับคำนวณค่า X_m และ X_d จากสมการที่ 5.3 และสมการ 5.4 ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 5.2 % X_m และ % X_d ตามกลุ่มต่างๆ

ลำดับที่	กลุ่มที่แบ่ง	X_m	X_d
1	แบ่งตามจังหวัด		
1.1	ลำปาง	224%	193%
1.2	ชลบุรี	244%	202%
1.3	กรุงเทพและปริมลฑล	33.6%	25.9%
2	แบ่งตามความยาว		
2.1	ต่ำกว่า 30 เมตร	232%	196.5%
2.2	30-39 เมตร	40.0%	33.9%
2.3	40-49 เมตร	37.5%	25.7%
2.4	50-59 เมตร	29.0%	24.3%
3	แบ่งตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง		
3.1	0.8 เมตร	11.1%	5.30%
3.2	1.0 เมตร	28.6%	24.75%
3.3	1.1, 1.2 เมตร	30.5%	25.4%
3.4	1.5 เมตร	55.0%	48.7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ได้ ค่า x % จากการแบ่งประเภทของเสาเข็มชนิดต่างๆมาแล้ว ทีนี้จะทำการวิเคราะห์หาค่า x % ที่คำนวณได้นั้นจะมีผลทำให้เกิดอะไรขึ้นบ้างกับค่า Q_{ust} โดยนำค่า x % ที่ได้ให้นำมาหาค่า กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยตามทฤษฎีใหม่อีกครั้ง โดยใช้ตัวแปร Q_{ustm} และ Q_{ustd} โดยที่

$$Q_{ustm} = (1+X_m/100) Q_f \quad (5.5)$$

$$Q_{ustd} = (1+X_d/100) Q_f \quad (5.6)$$

หลังจากนั้นจะทำการหา ค่า% ความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยที่ได้จากทฤษฎี Static Formula (Q_{ust}) และค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยที่ได้จากผล Static Load Test (Q_m, Q_d) โดยให้เป็นตัวแปร $\%D_{Qm}$ และ $\%D_{Qd}$ ตามลำดับซึ่ง

$$\%D_{Qm} = \frac{(Q_m - Q_{ust})}{Q_{ust}} \times 100 \quad (5.7)$$

$$\%D_{Qd} = \frac{(Q_d - Q_{ust})}{Q_{ust}} \times 100 \quad (5.8)$$

ค่า % ความแตกต่างระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยปรับปรุงที่ได้จาก สมการ 5.5 และ 5.6 (Q_{ustm} และ Q_{ustd}) กับ ค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยที่ได้จากผล Static Load Test (Q_m, Q_d) โดยให้เป็นตัวแปร $\%D_{Qm1}$ และ $\%D_{Qd1}$ ตามลำดับ จะได้

$$\%D_{Qm1} = \frac{(Q_m - Q_{ustm})}{Q_{ustm}} \times 100 \quad (5.9)$$

$$\%D_{Qd1} = \frac{(Q_d - Q_{ustd})}{Q_{ustd}} \times 100 \quad (5.9)$$

ตัวอย่างรายละเอียดการคำนวณโดยใช้สมการข้างต้นได้จัดทำอยู่ในตารางที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงการคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่จุดประลัยหลังการปรับค่า

No.	Pile length	Dimension	Q _{ud}	Q _{um}	Q _{ust}	Q _f	กรุงเทพและปริมณฑล					
							Q _{ustm}	Q _{ustd}	%ΔQ _m	%ΔQ _{m1}	%ΔQ _d	%ΔQ _{d1}
1	42.00	1.20	927.00	1200.00	1152.04	857.11	1145.099	1079.101	4.16305	4.794436	-19.53404	-14.0952
2	46.50	1.20	1380.00	1500.00	1074.91	829.66	1108.426	1044.542	39.54657	35.32706	28.38284	32.11533
3	15.60	0.90	812.00	950.00	300.39	213.13						
4	15.60	0.90	950.00	950.00	409.90	308.02						
5	33.00	0.80	445.00	478.00	506.46	363.14	485.155	457.1933	-5.619397	-1.474795	-12.13521	-2.666982
6	36.00	0.80	565.00	600.00	684.18	434.81	580.9062	547.4258	-12.30378	3.286906	-17.41939	3.210337
7	37.00	1.00	796.00	833.00	940.85	548.21	732.4086	690.1964	-11.46304	13.73433	-15.39565	15.32949
8	36.00	1.00	630.00	688.00	829.81	434.81	580.9062	547.4258	-17.08945	18.43565	-24.07901	15.08409
9	36.00	1.00	644.00	684.00	838.08	452.66	604.7538	569.8989	-18.38488	13.10389	-23.15769	13.00249
10	47.00	1.00	918.00	920.00	933.77	790.15	1055.64	994.7989	-1.474667	-12.84911	-1.688853	-7.720038
11	32.00	1.00	615.00	610.00	719.65	416.77	556.8047	524.7134	-15.23657	9.553669	-14.54179	17.20683
12	37.50	1.10	735.00	750.00	1131.65	656.48	877.0573	826.5083	-33.72509	-14.48677	-35.05059	-11.07168
13	15.60	0.90	700.00	825.00	426.69	319.08						
14	44.00	1.50	1272.00	1305.00	1326.73	735.83	983.0689	926.41	-1.637862	32.74756	-4.12518	37.30422
15	48.00	0.80	666.00	716.00	1113.28	863.28	1153.342	1086.87	-35.68554	-37.91955	-40.17677	-38.7231
16	55.50	0.80	888.00	910.00	942.93	771.93	1031.298	971.8599	-3.492306	-11.76172	-5.825459	-8.628803
17	48.00	1.00	800.00	800.00	1271.66	876.66	1171.218	1103.715	-37.0901	-31.69502	-37.0901	-27.51752
18	53.00	1.00	1083.00	1111.00	1258.56	863.56	1153.716	1087.222	-11.72451	-3.702484	-13.94928	-0.388333
19	46.50	1.00	1400.00	1410.00	1347.02	952.02	1271.899	1198.593	4.675506	10.85788	3.933126	16.8036

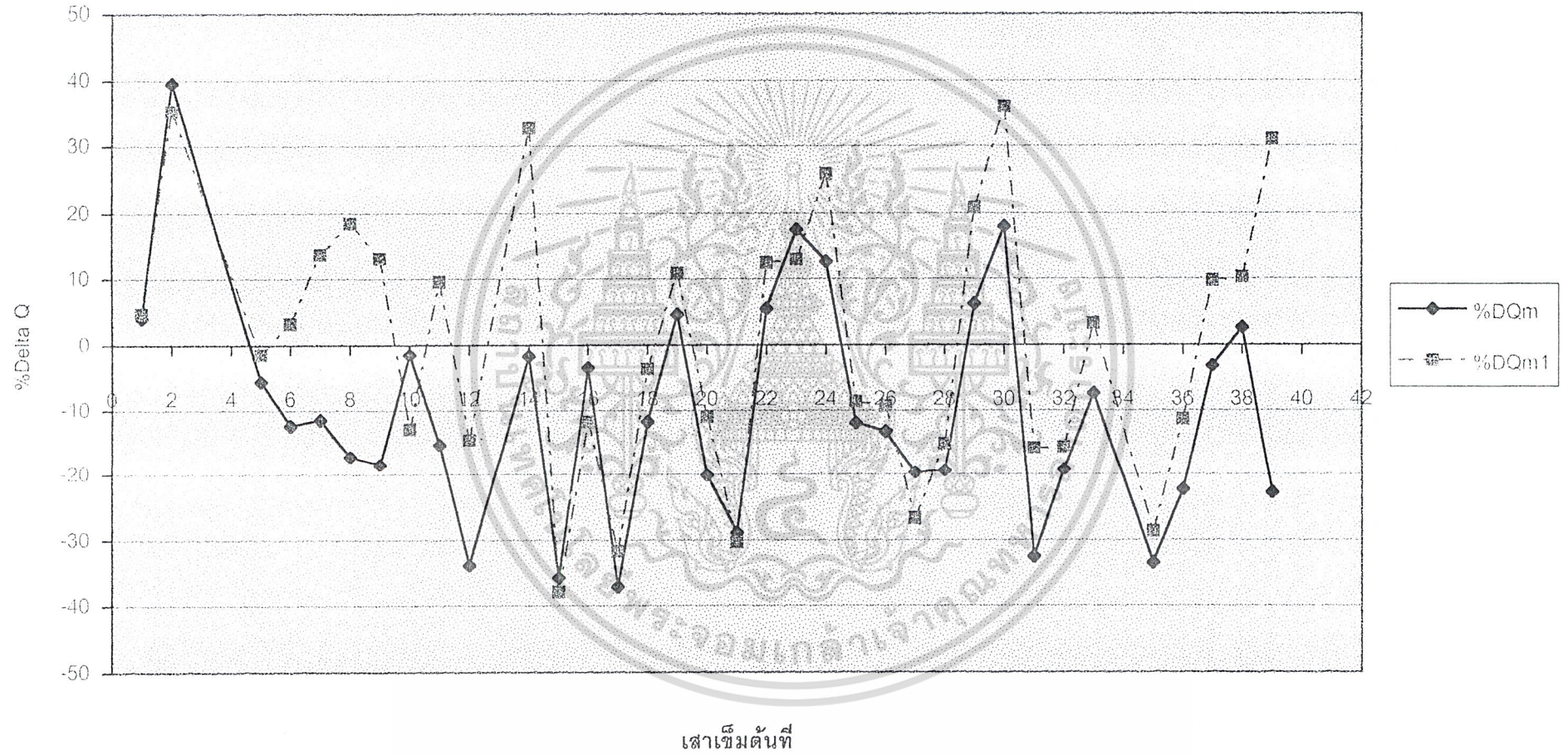
จากตารางที่ 5.3 เป็นเพียงตัวอย่างส่วนหนึ่งในการคำนวณ โดยเราจะนำค่า %DQm และ %DQm1 ที่คำนวณได้ทั้งหมดนั้นมา พล็อตกราฟ ตามหมายเลขของเสาเข็ม โดยแบ่งตามประเภทของเสาเข็มที่ได้จัดกลุ่มไว้ เพื่อที่จะดูแนวโน้มของค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยที่ปรับปรุงตาม X% ที่คำนวณได้ มีแนวโน้มเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับ น้ำหนักบรรทุกทุกประลัยที่คำนวณได้จาก ทฤษฎี Static Formula ก่อนการปรับปรุง โดยค่า %DQd และ %DQd1 จากตารางที่5.3 ก็ จะนำมาทำกราฟเปรียบเทียบเช่นเดียวกันกับค่า % DQm และ %DQm1 ข้างต้น

กราฟเปรียบเทียบที่กล่าวข้างต้นทั้งหมดแสดงอยู่ในหน้าถัดไป

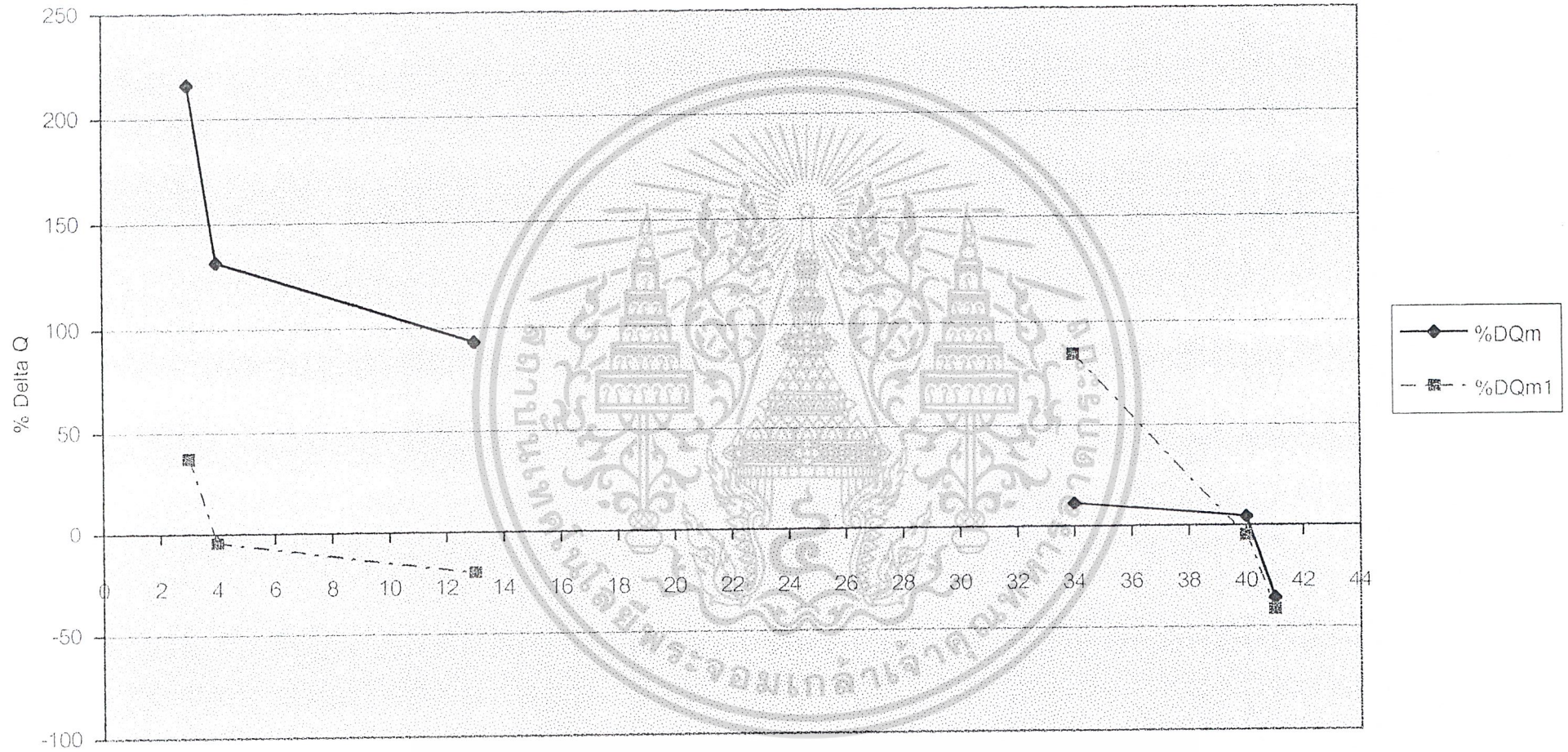


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.2 กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

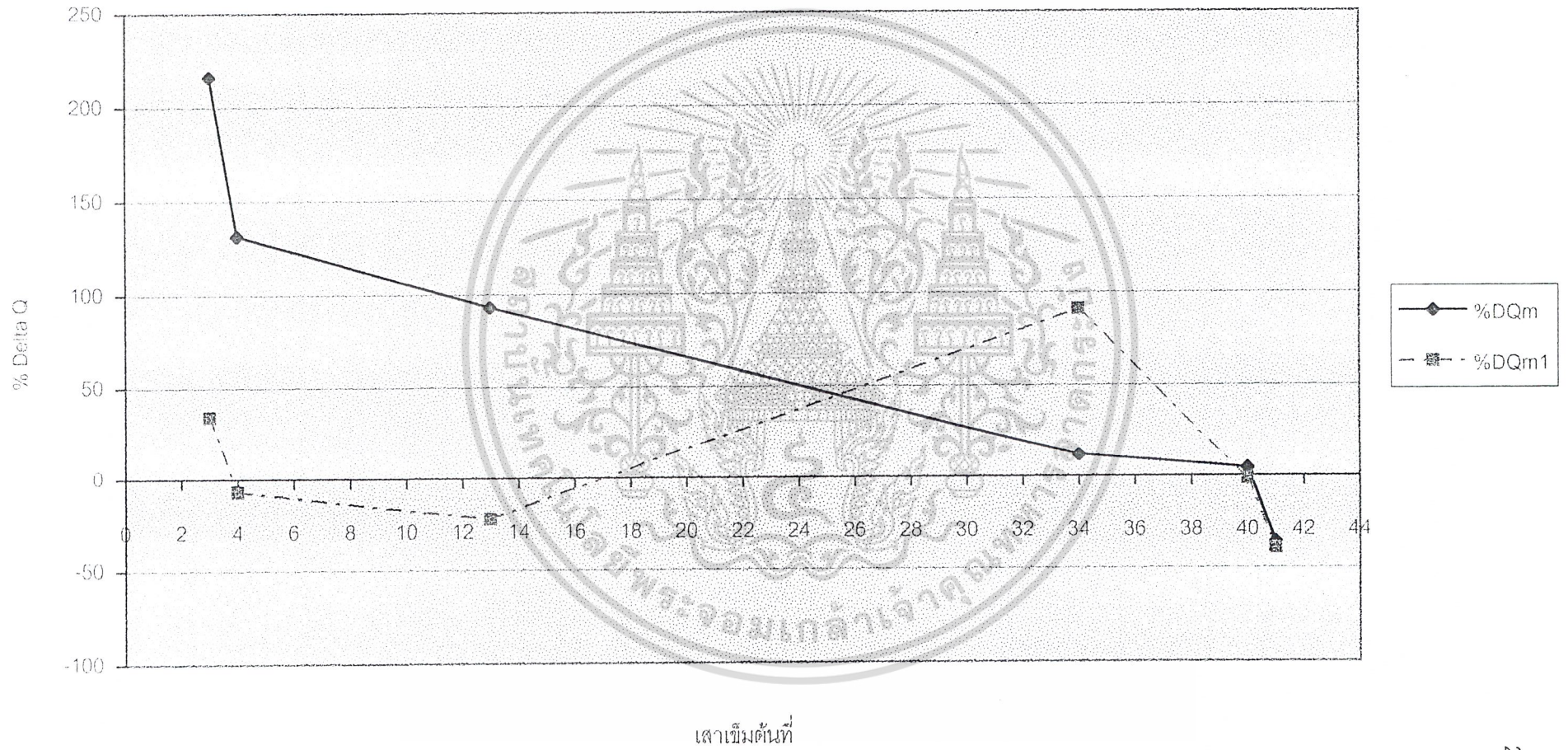


กราฟที่5.3 ต่างจังหวัด

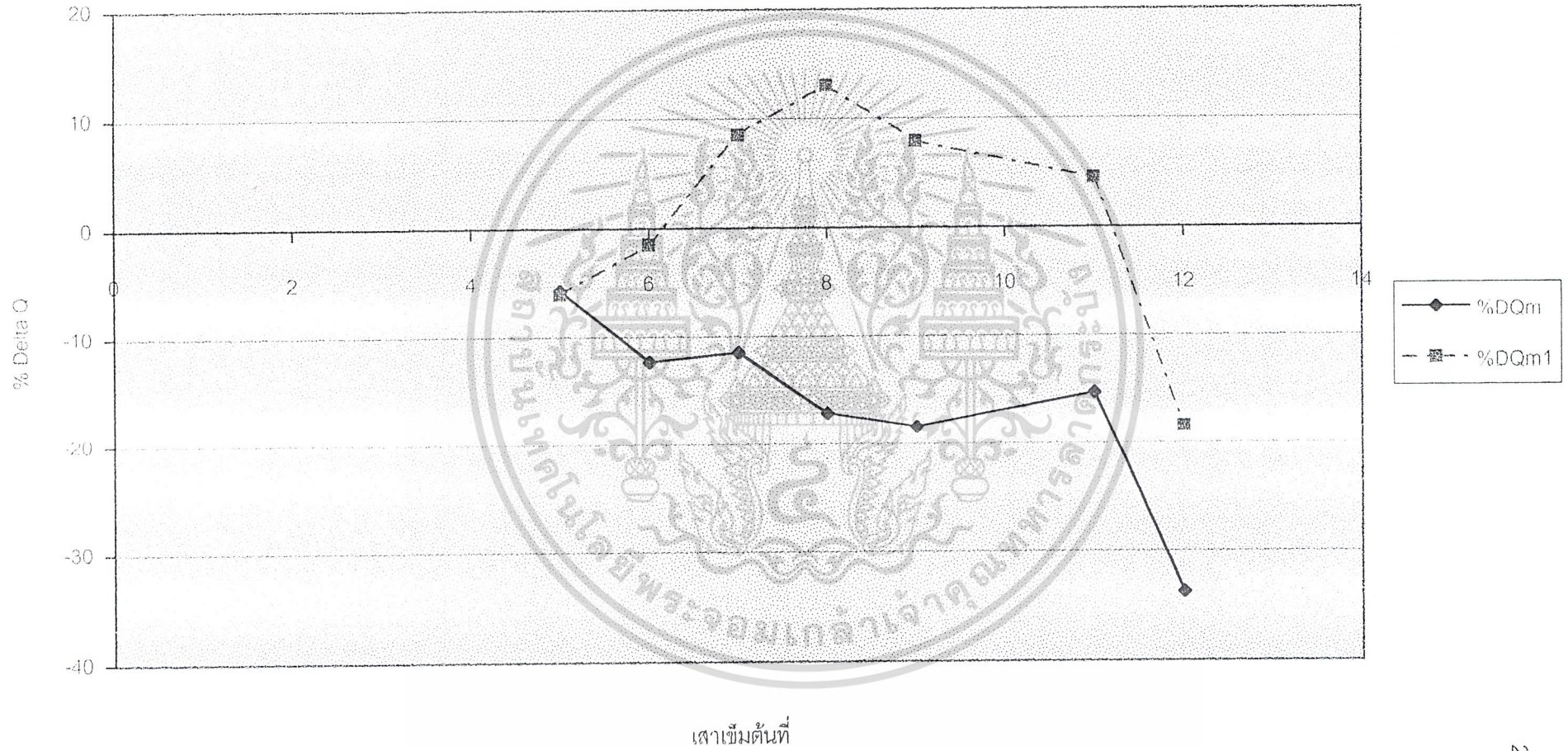


เสาเข็มต้นที่

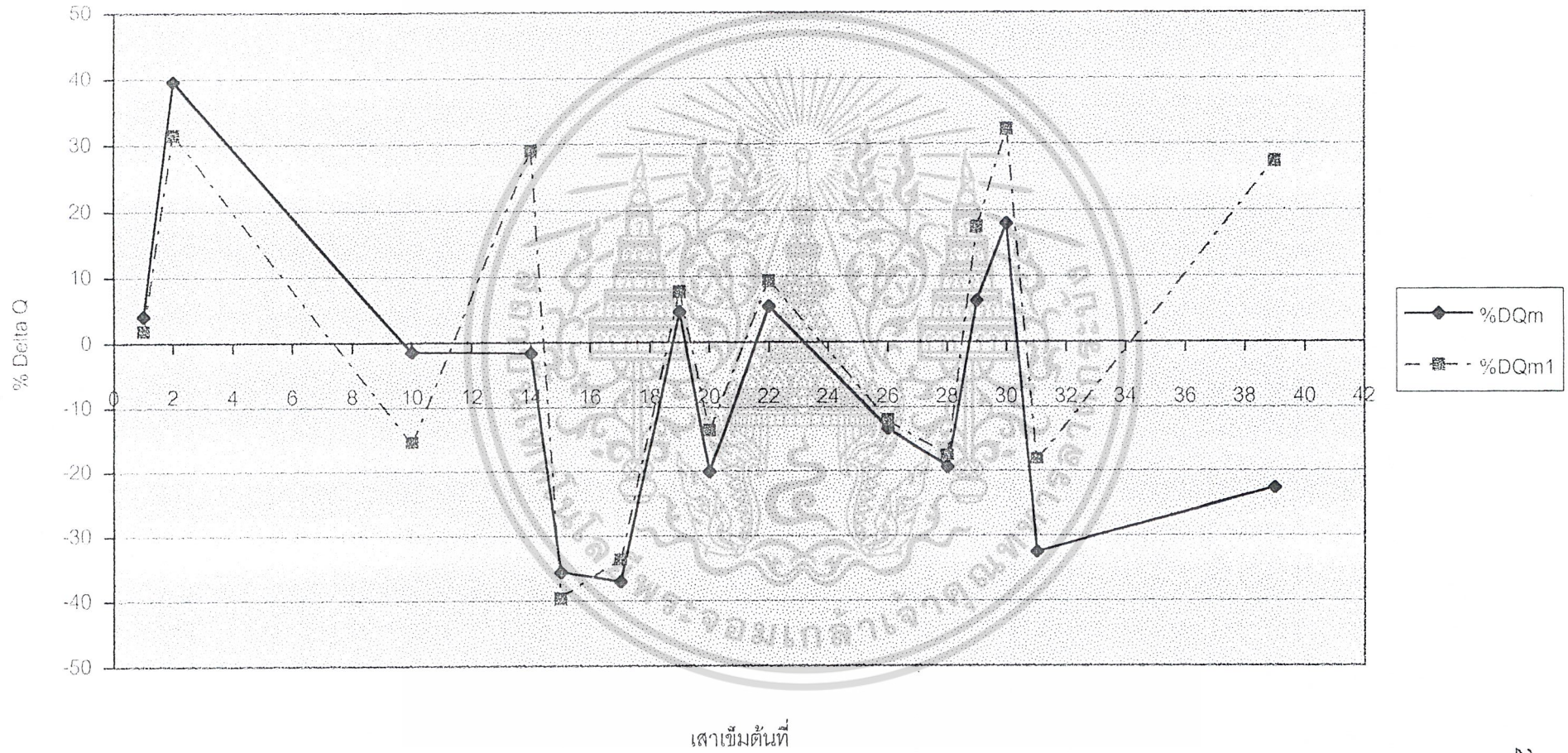
กราฟที่ 5.4 ความยาวน้อยกว่า 30 เมตร



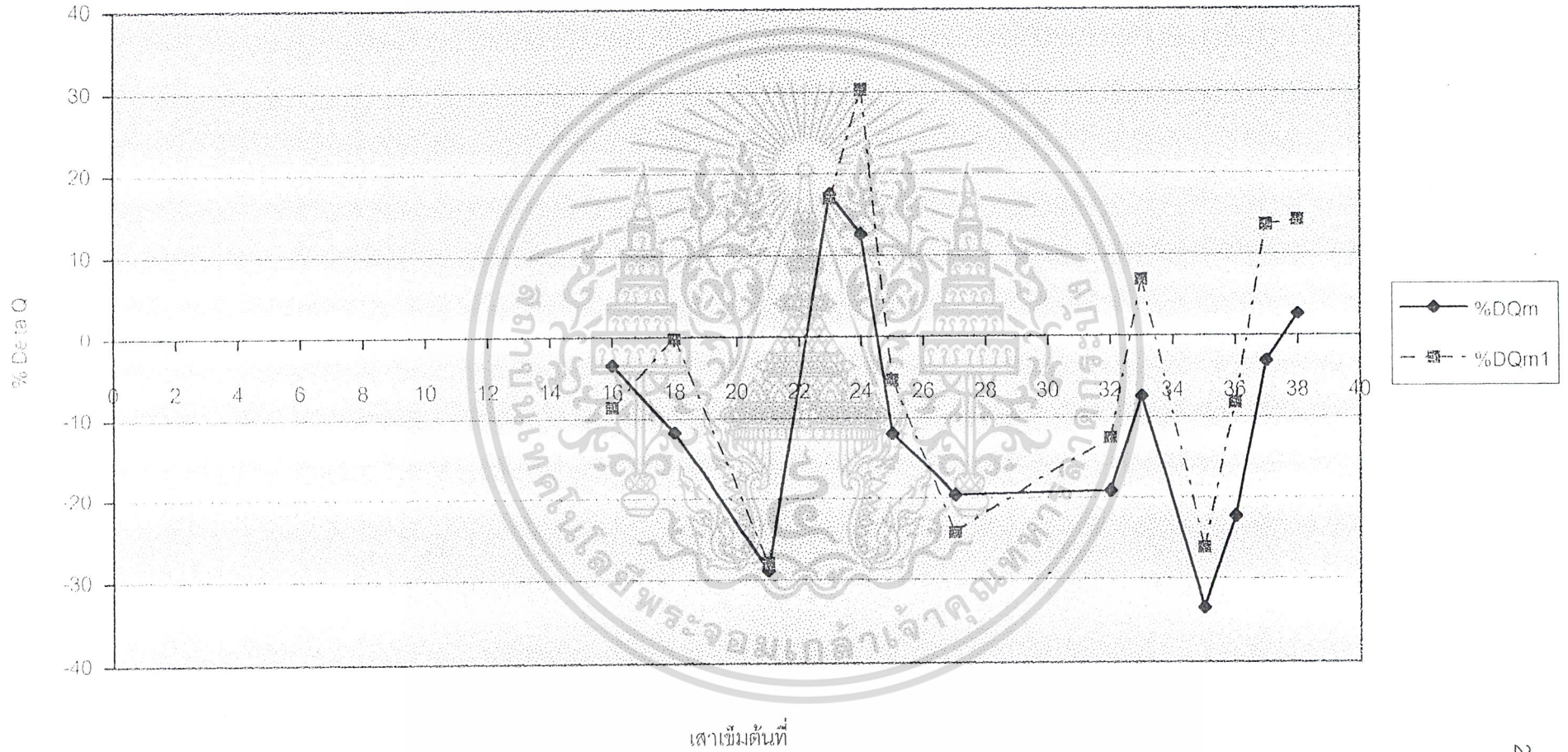
กราฟที่ 5.5 เสาเข็มยาว 30-40 เมตร



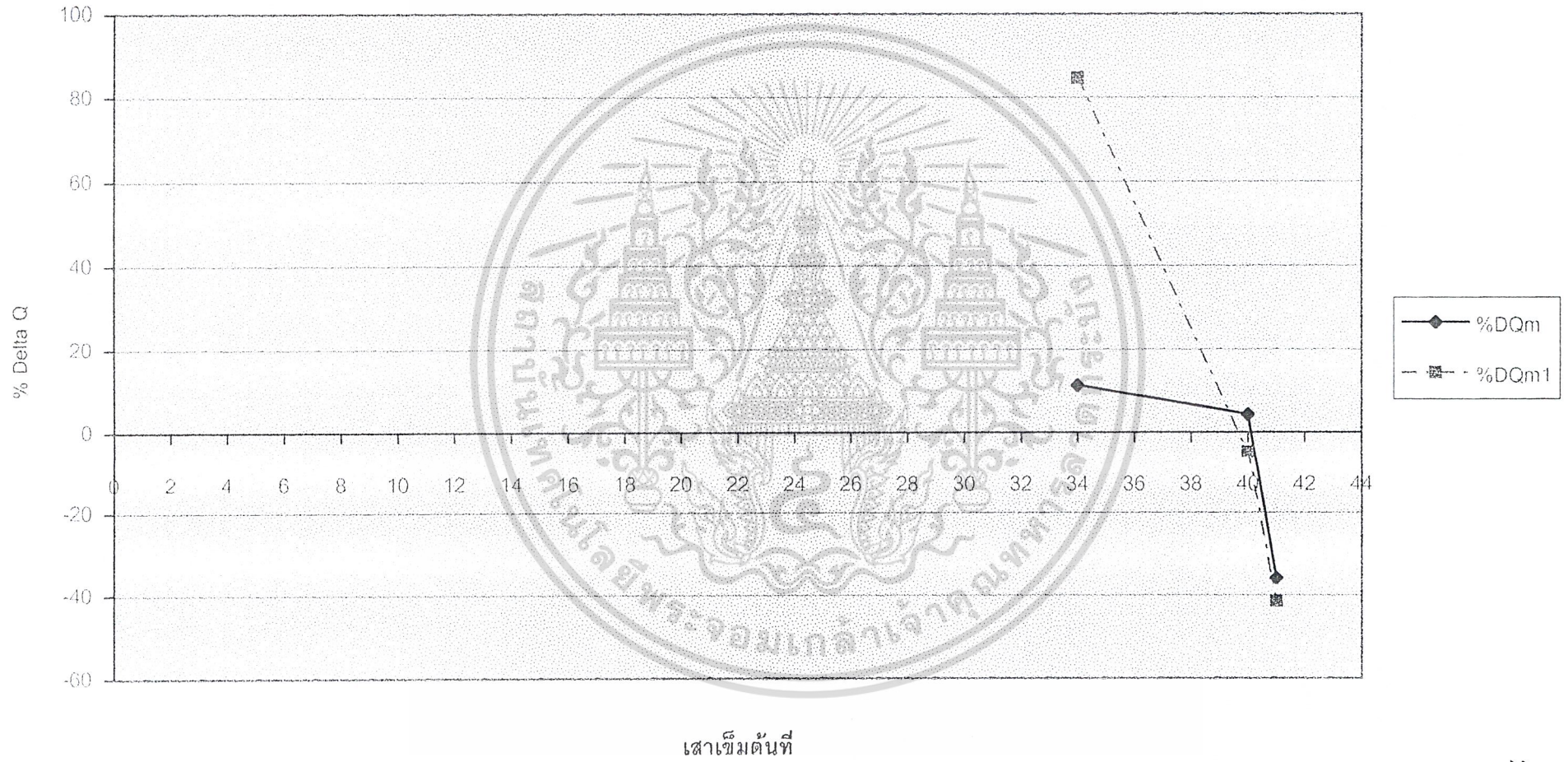
กราฟที่ 5.6 เสาเข็มยาว 40-49 เมตร



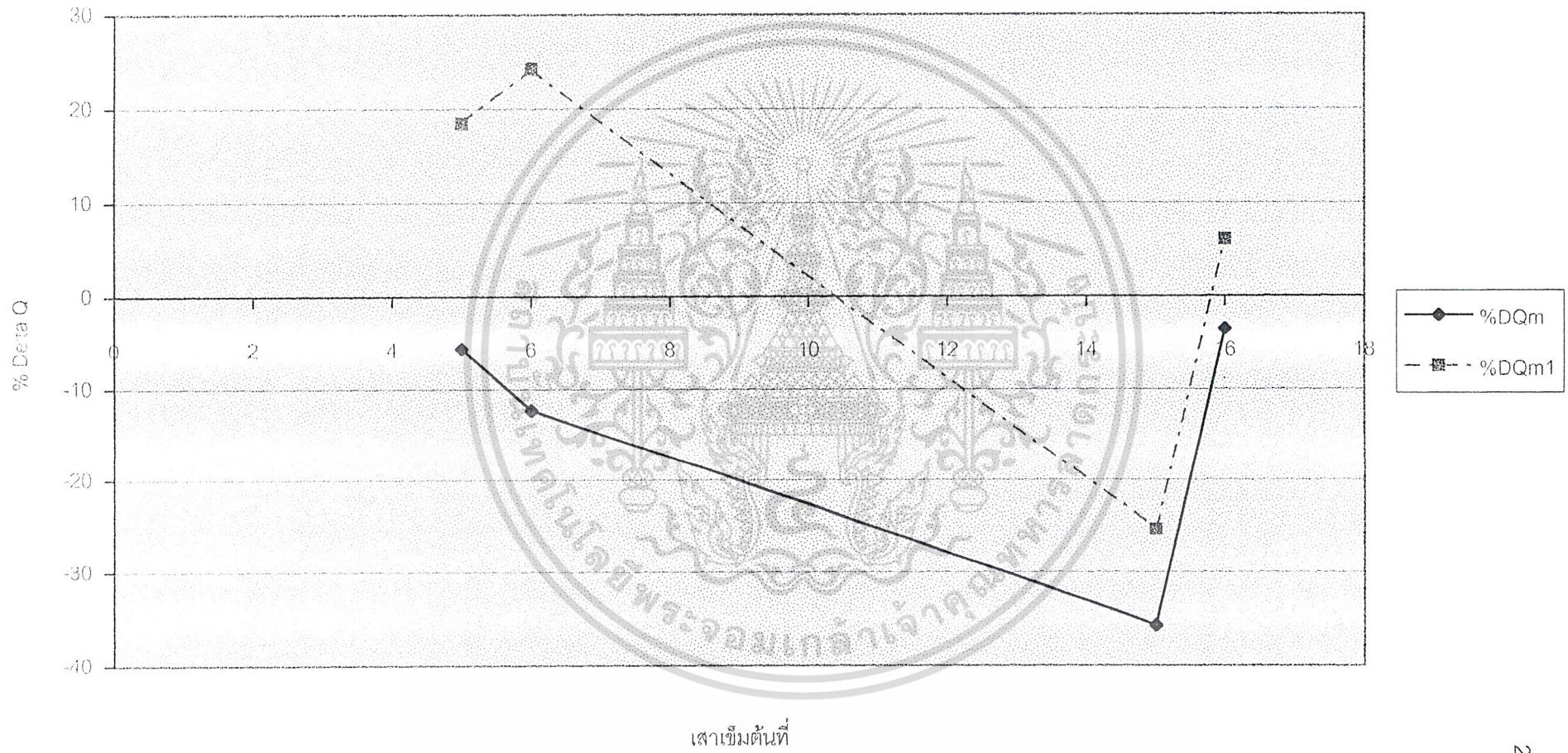
กราฟที่ 5.7 เสาเข็มยาวเท่ากับหรือมากกว่า 50 เมตร



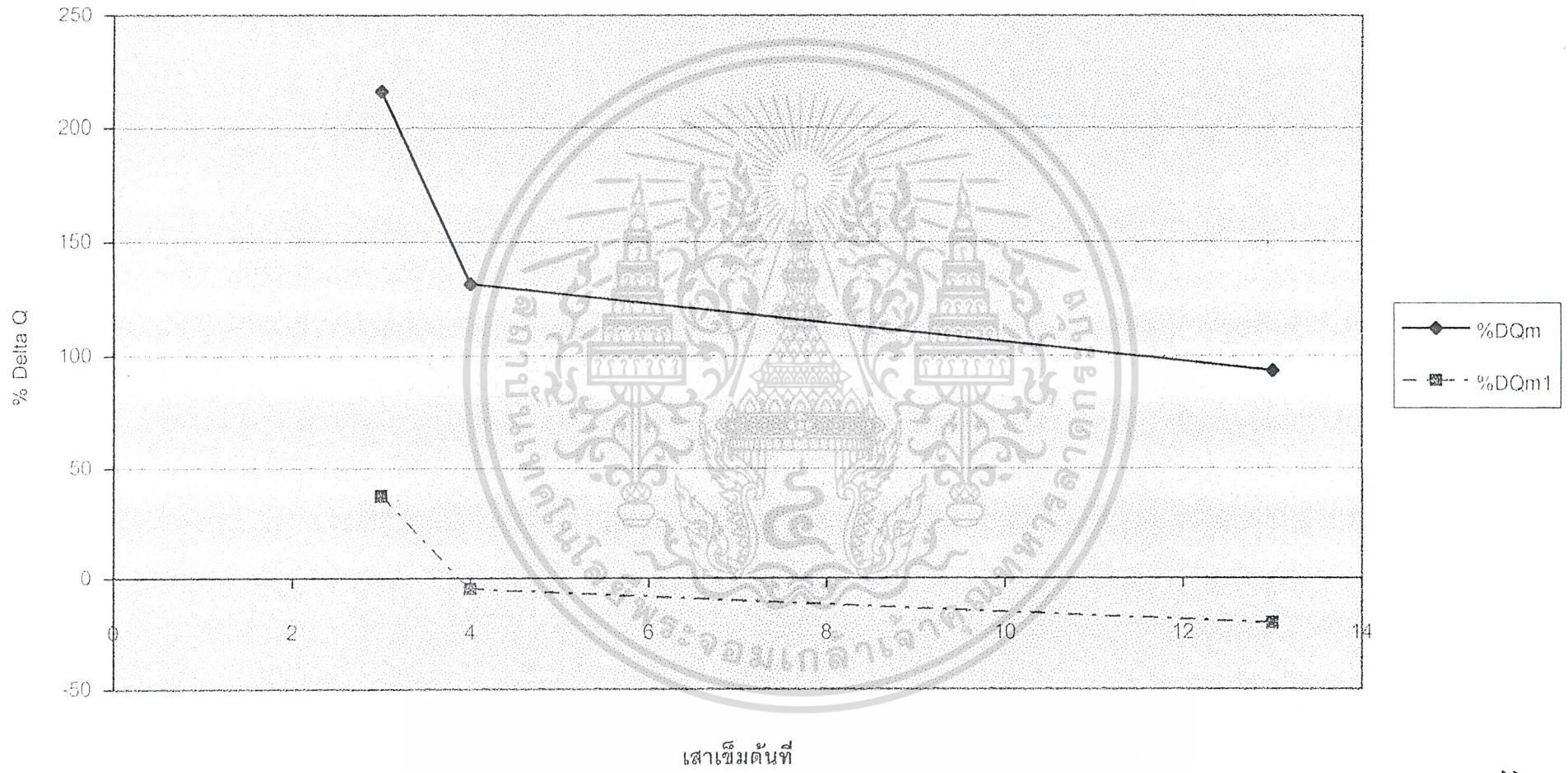
กราฟที่ 5.8 เสาเข็ม D = 0.71 เมตร



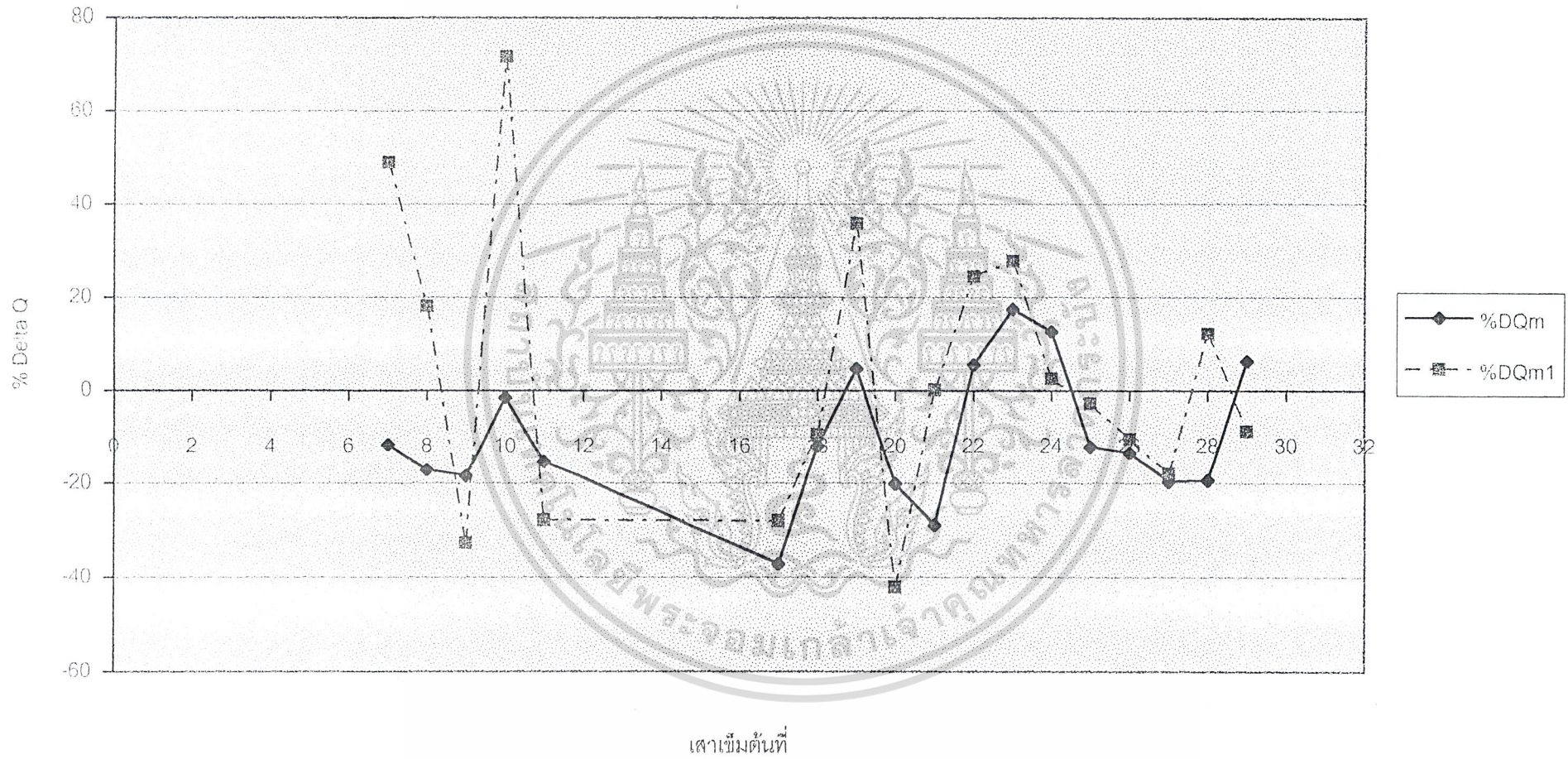
กราฟที่ 5.9 เสาเข็ม D = 0.8 เมตร



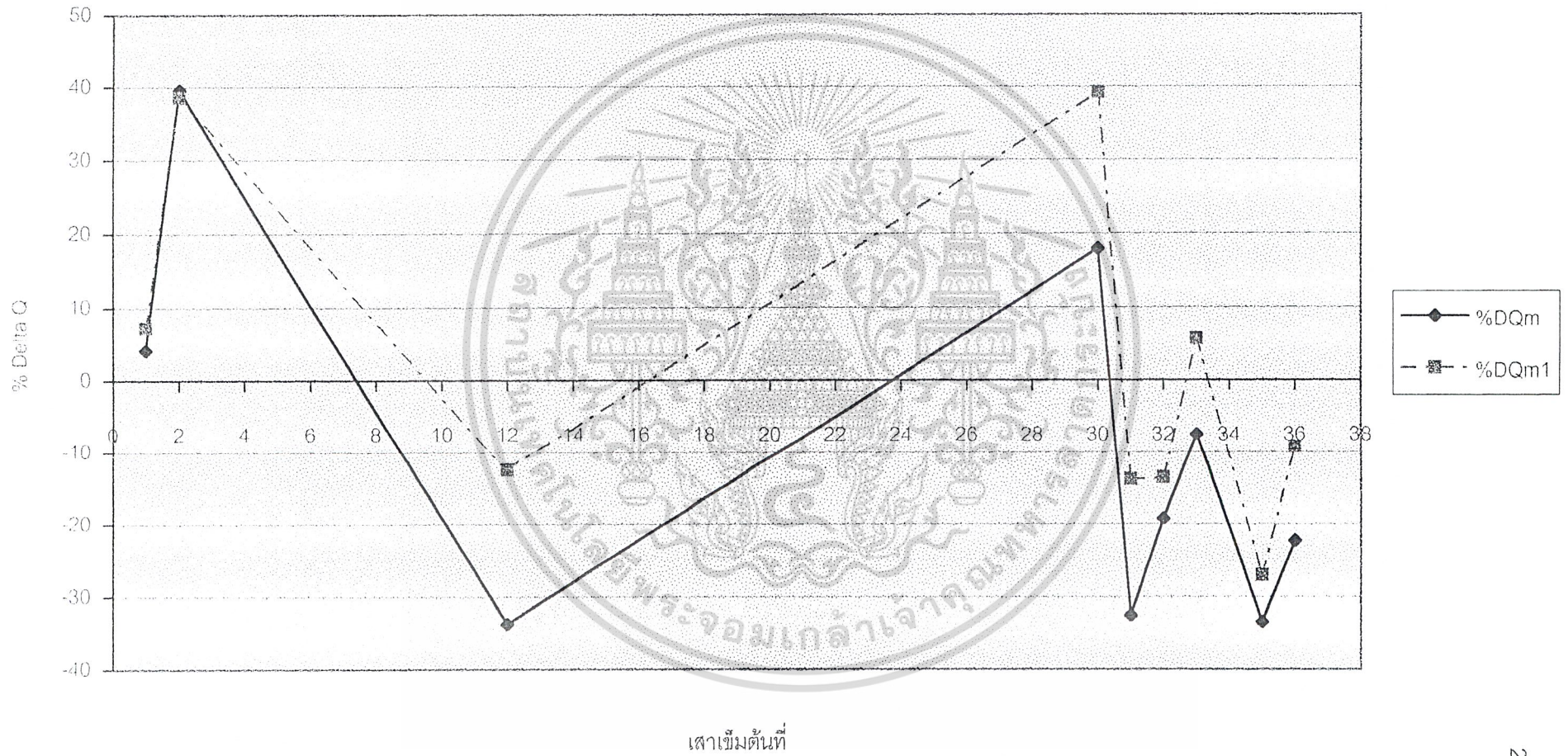
กราฟที่ 5.10 เส้าเข็ม D = 0.9 เมตร



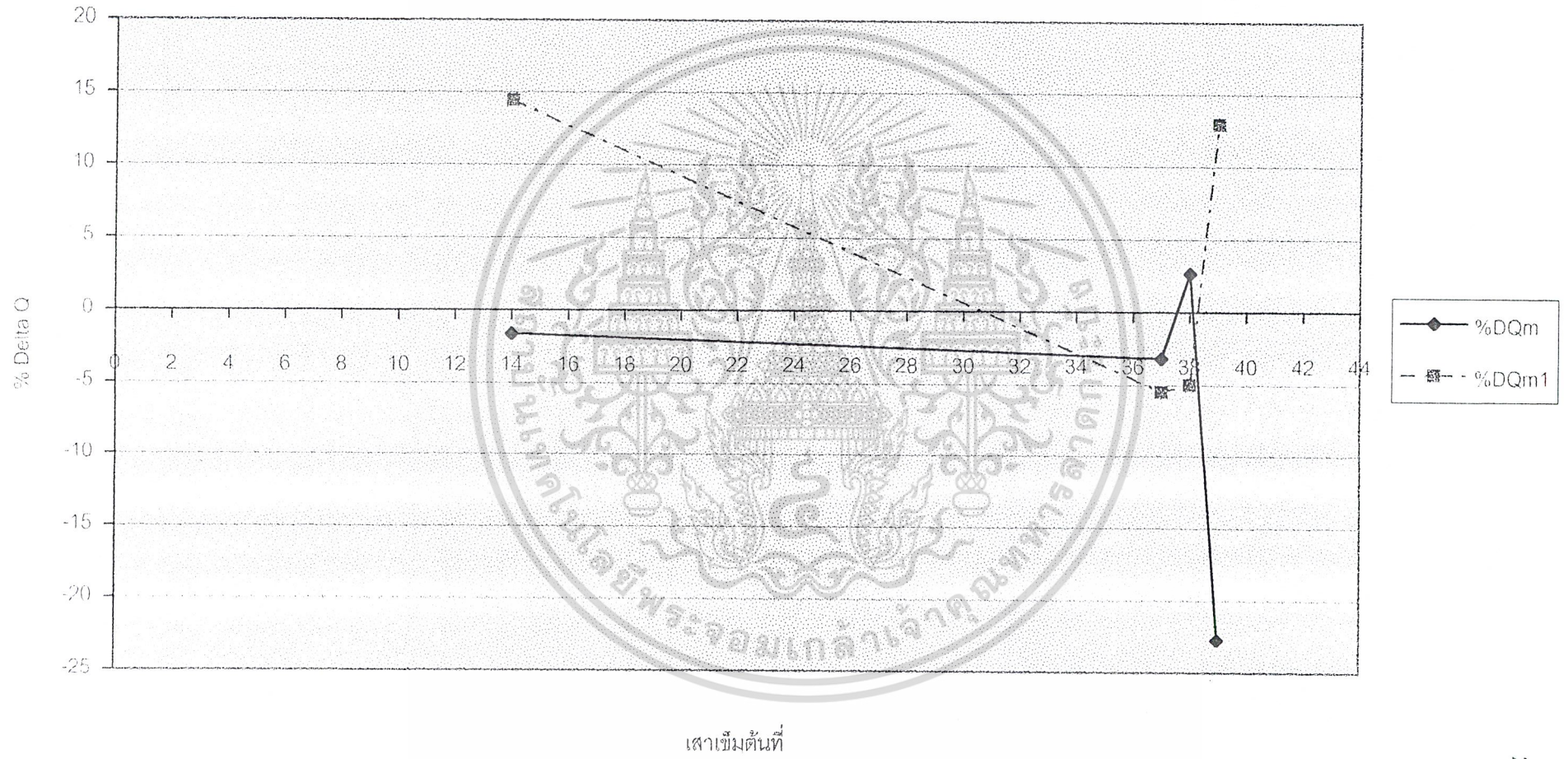
กราฟที่ 5.11 เสาเข็ม D= 1.0 เมตร



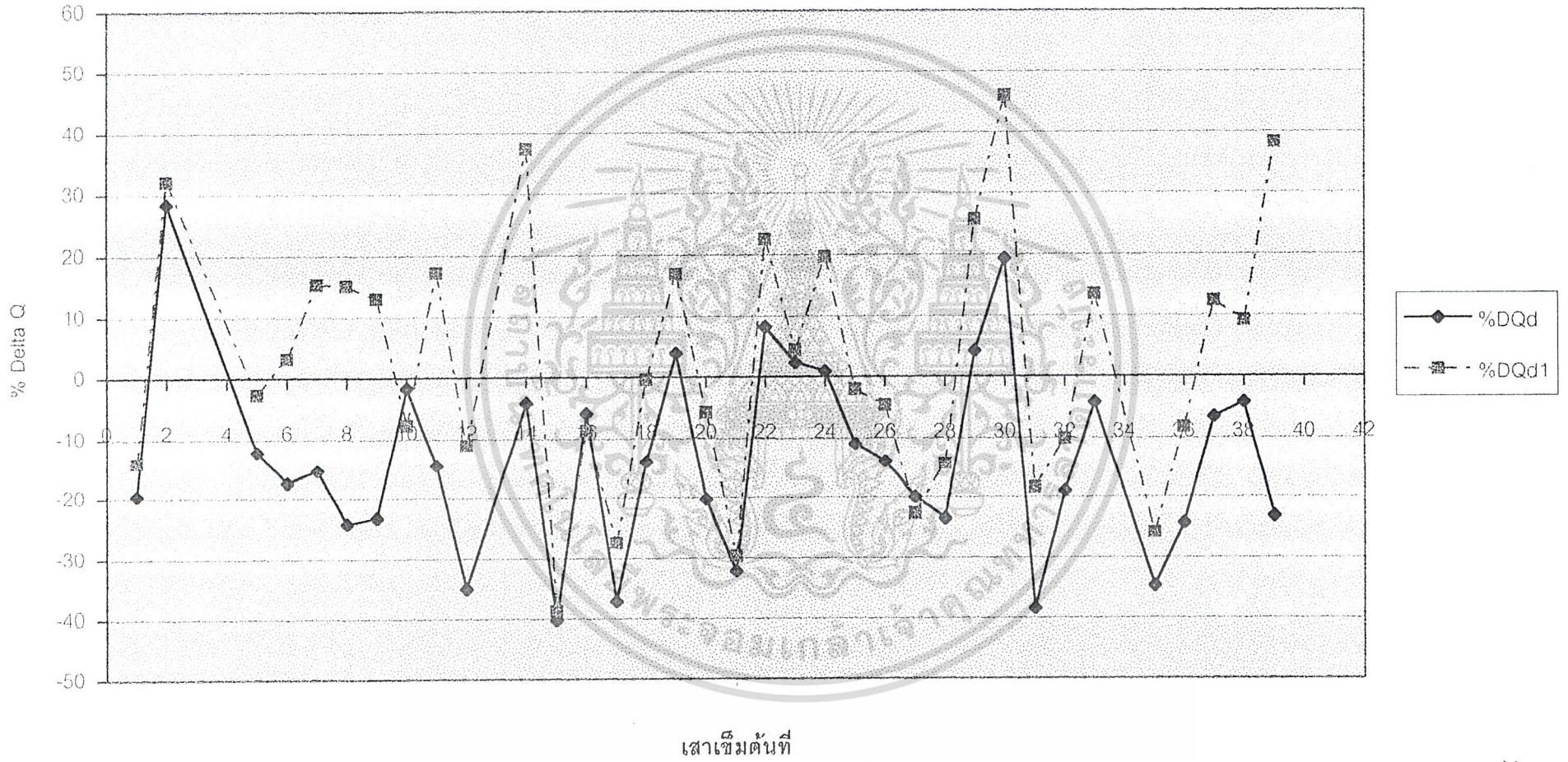
กราฟที่ 5.12 เสาเข็ม D = 1.1, 1.2 เมตร



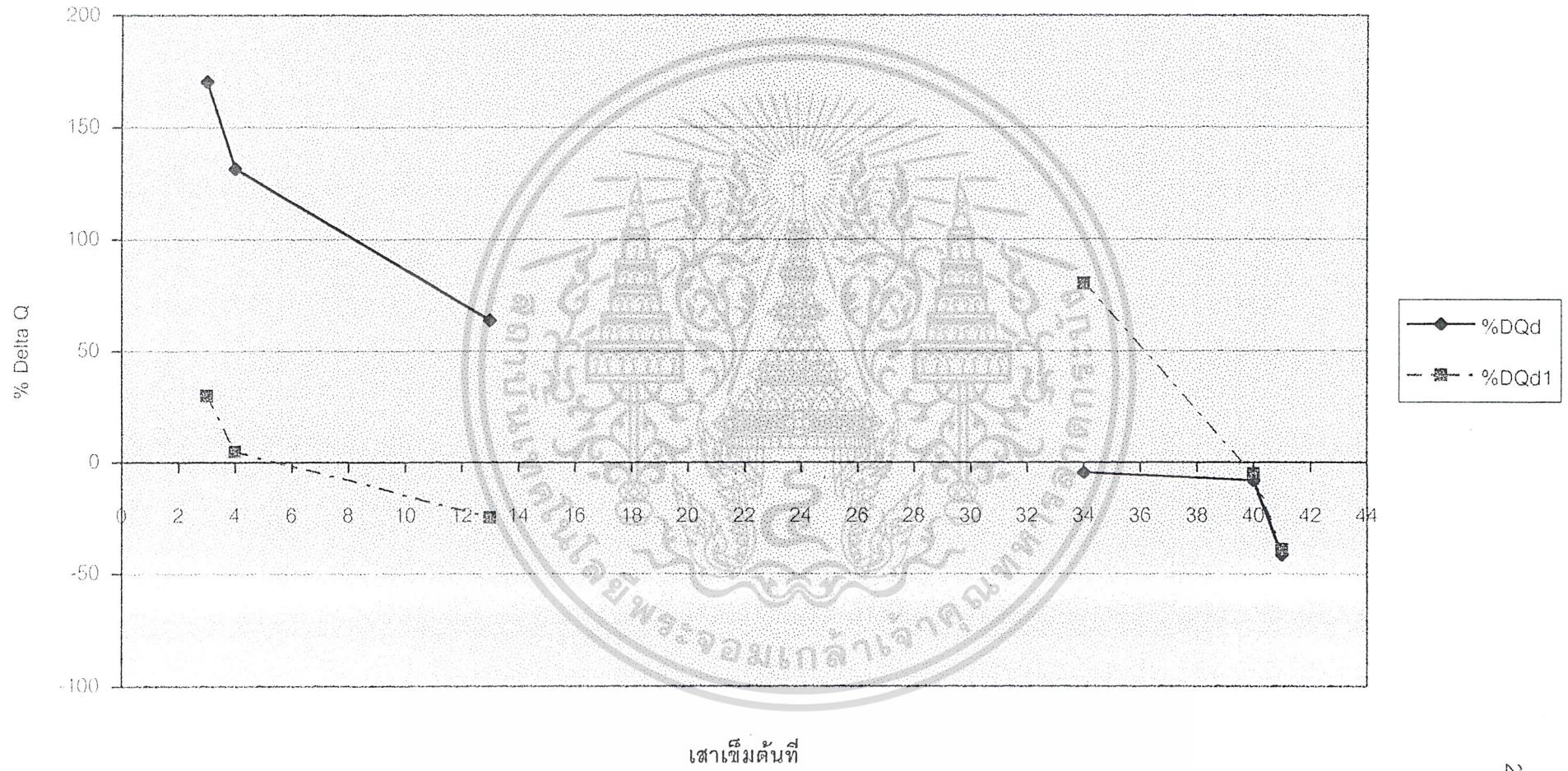
กราฟที่ 5.13 เสาเข็ม D = 1.5 เมตร



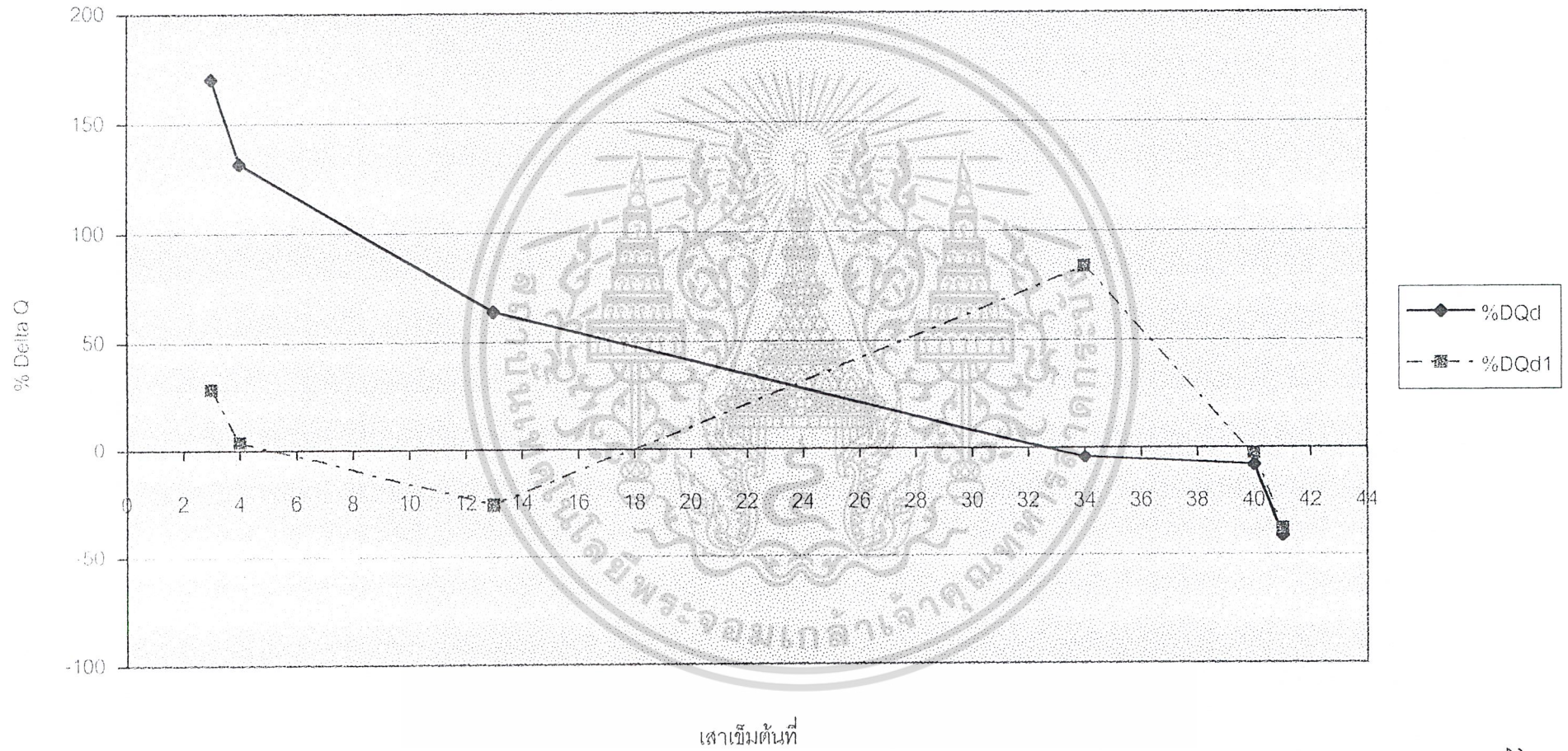
กราฟที่ 5.14 กรุงเทพมหานครและปริมณฑล



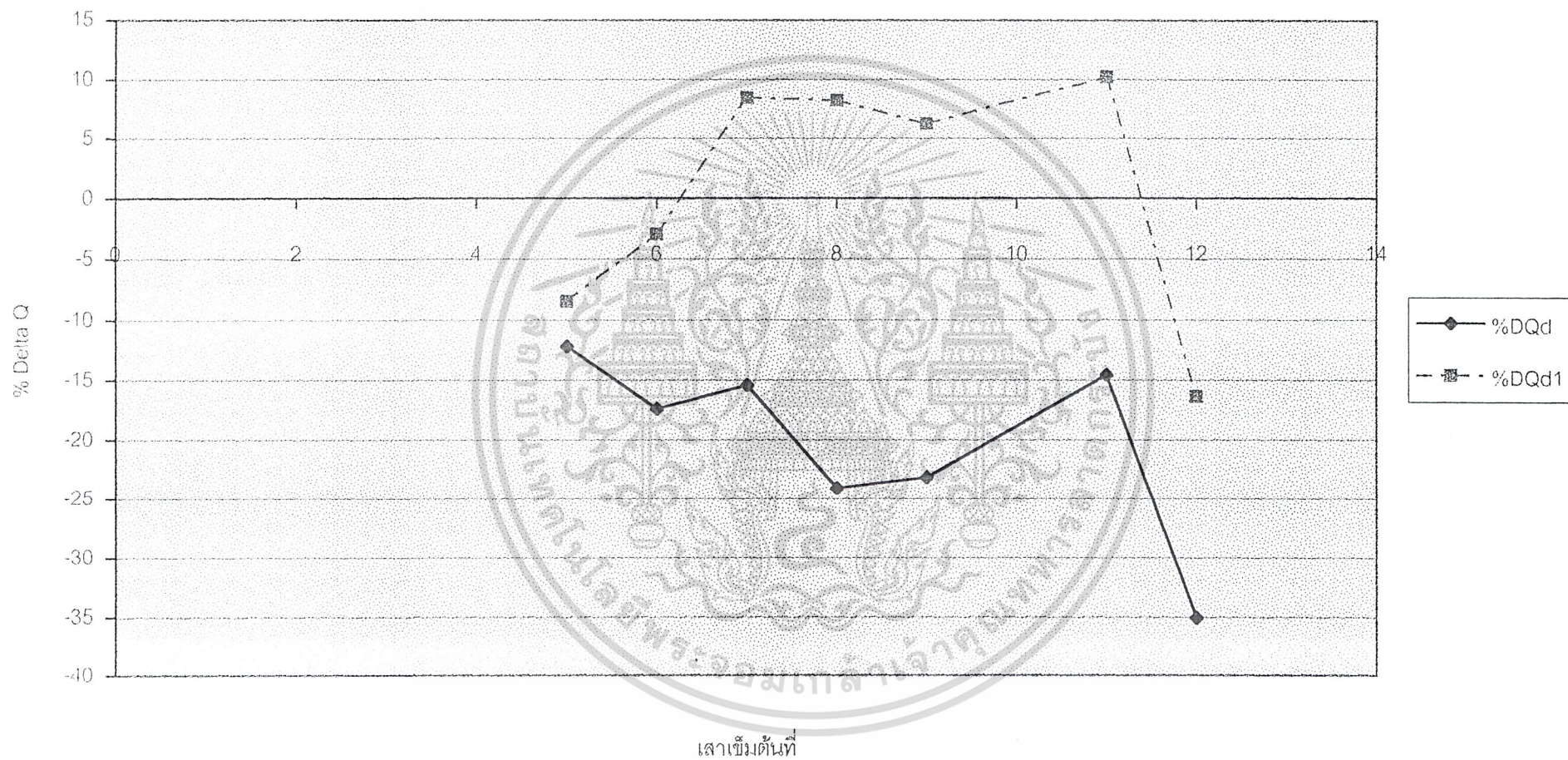
กราฟที่ 5.15 ต่างจังหวัด



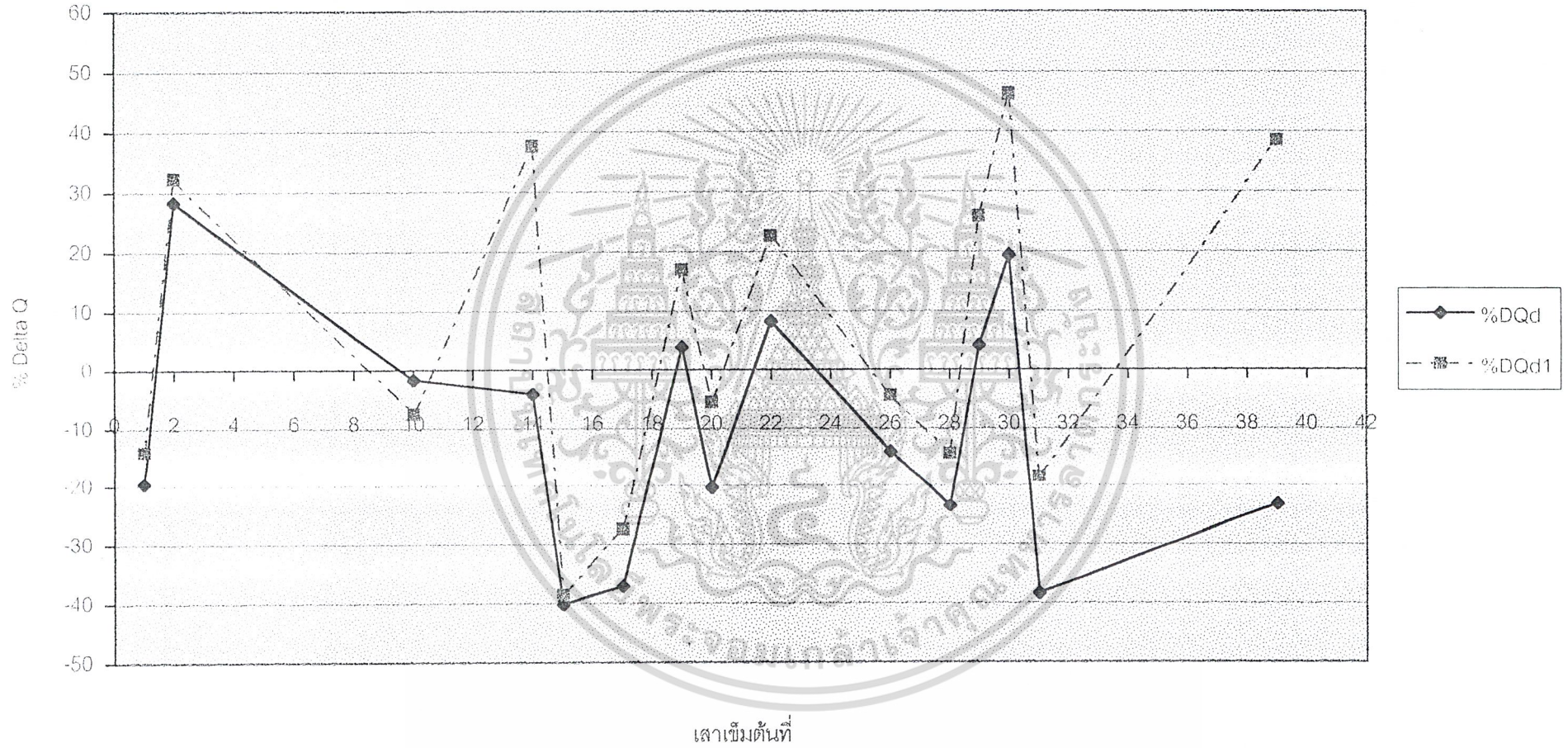
กราฟที่ 5.16 ความยาวน้อยกว่า 30 เมตร



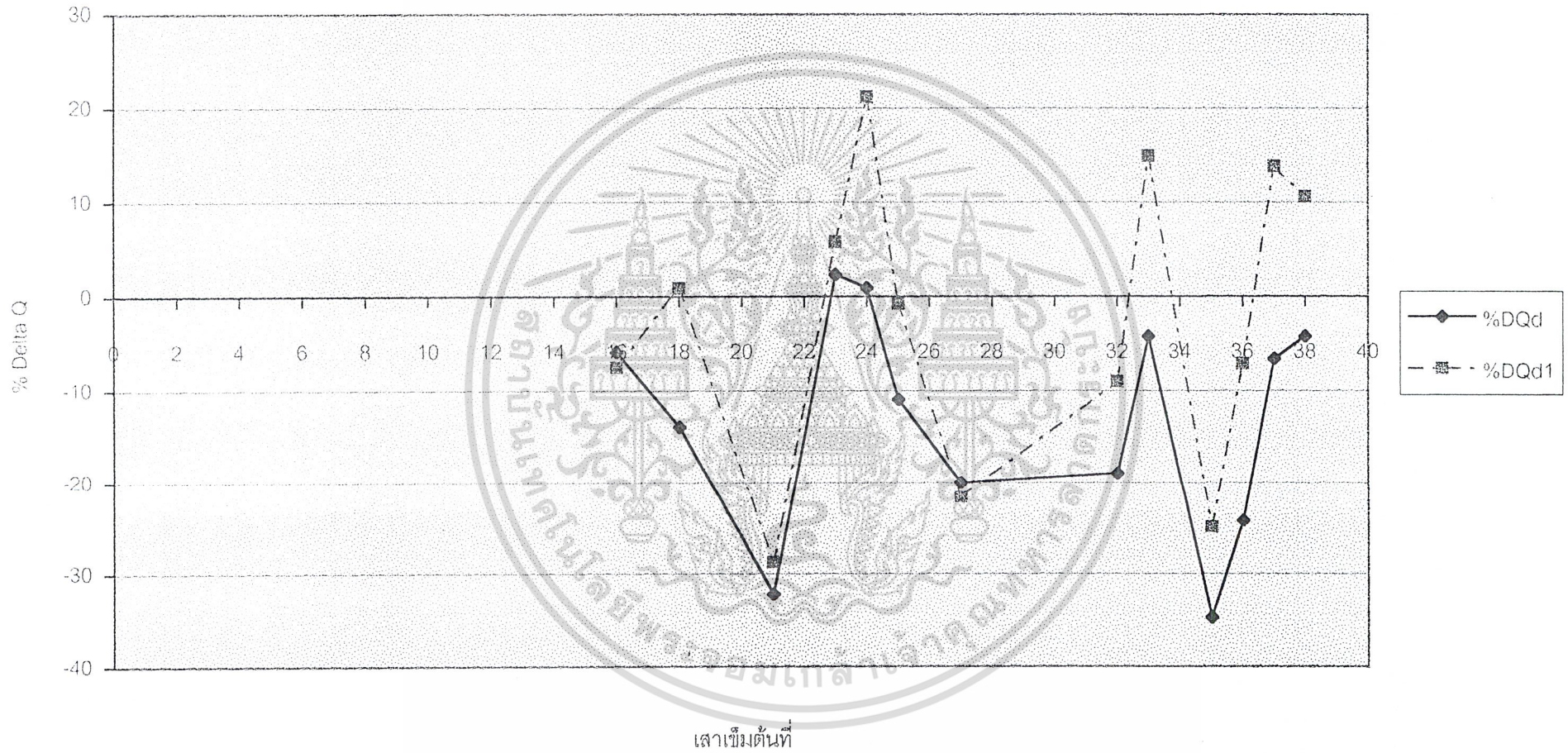
กราฟที่ 5.17 เสาเข็มยาว 30-40 เมตร



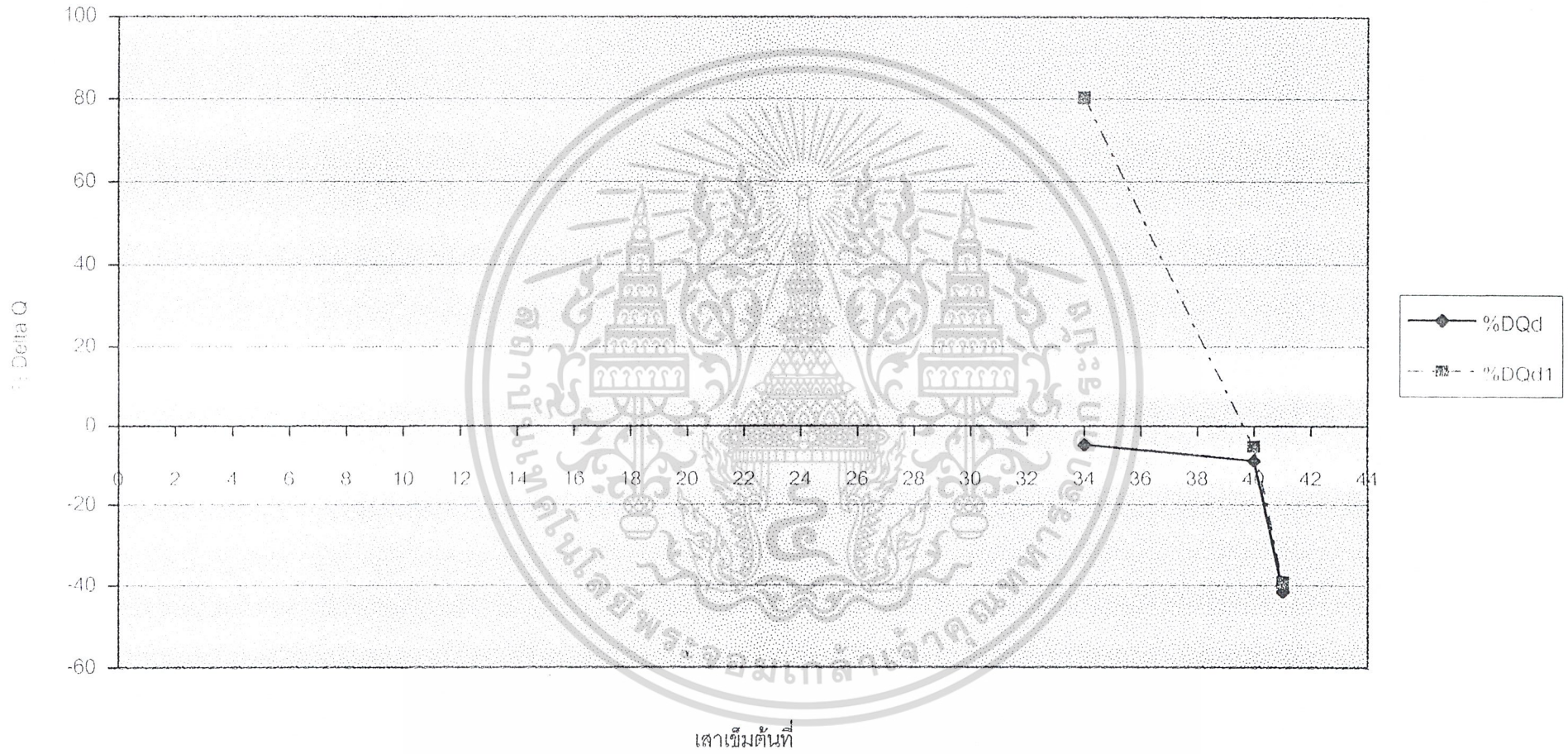
กราฟที่ 5.18 เสาเข็มยาว 40-49 เมตร



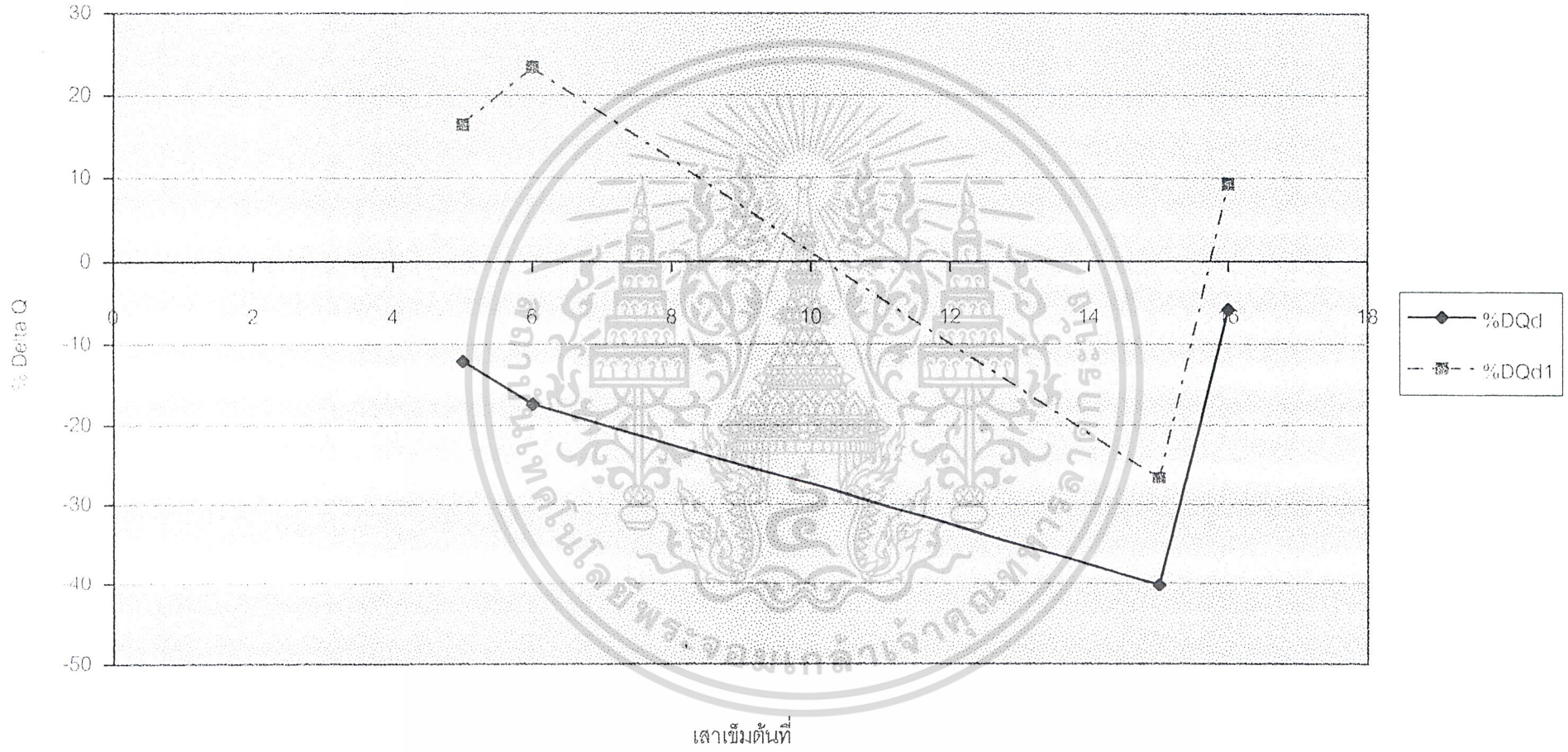
ภาพที่ 5.19 เสาเข็มยาวเท่ากับหรือมากกว่า 50 เมตร



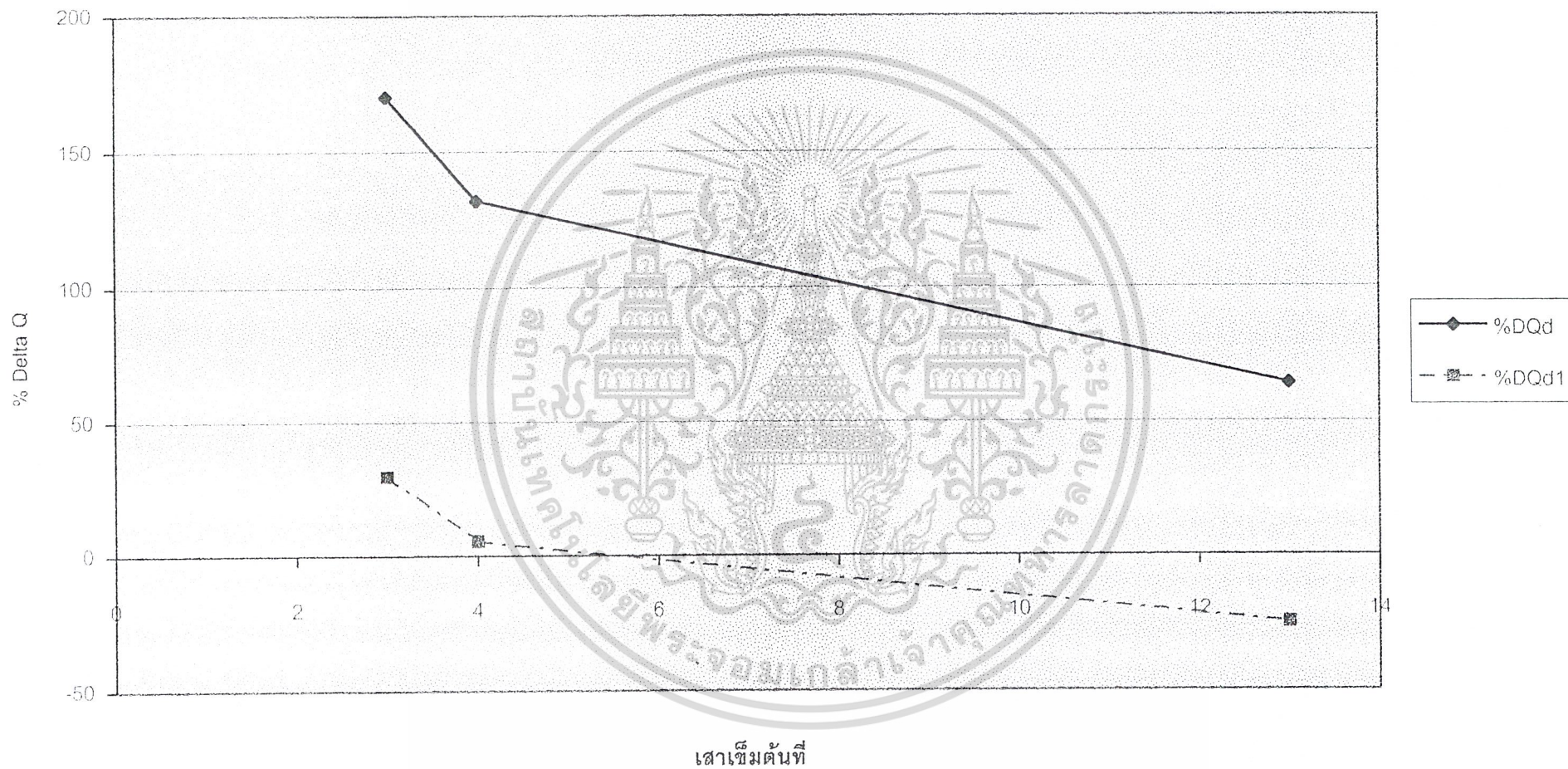
กราฟที่ 5.20 เสาค้ำ D = 0.71 เมตร



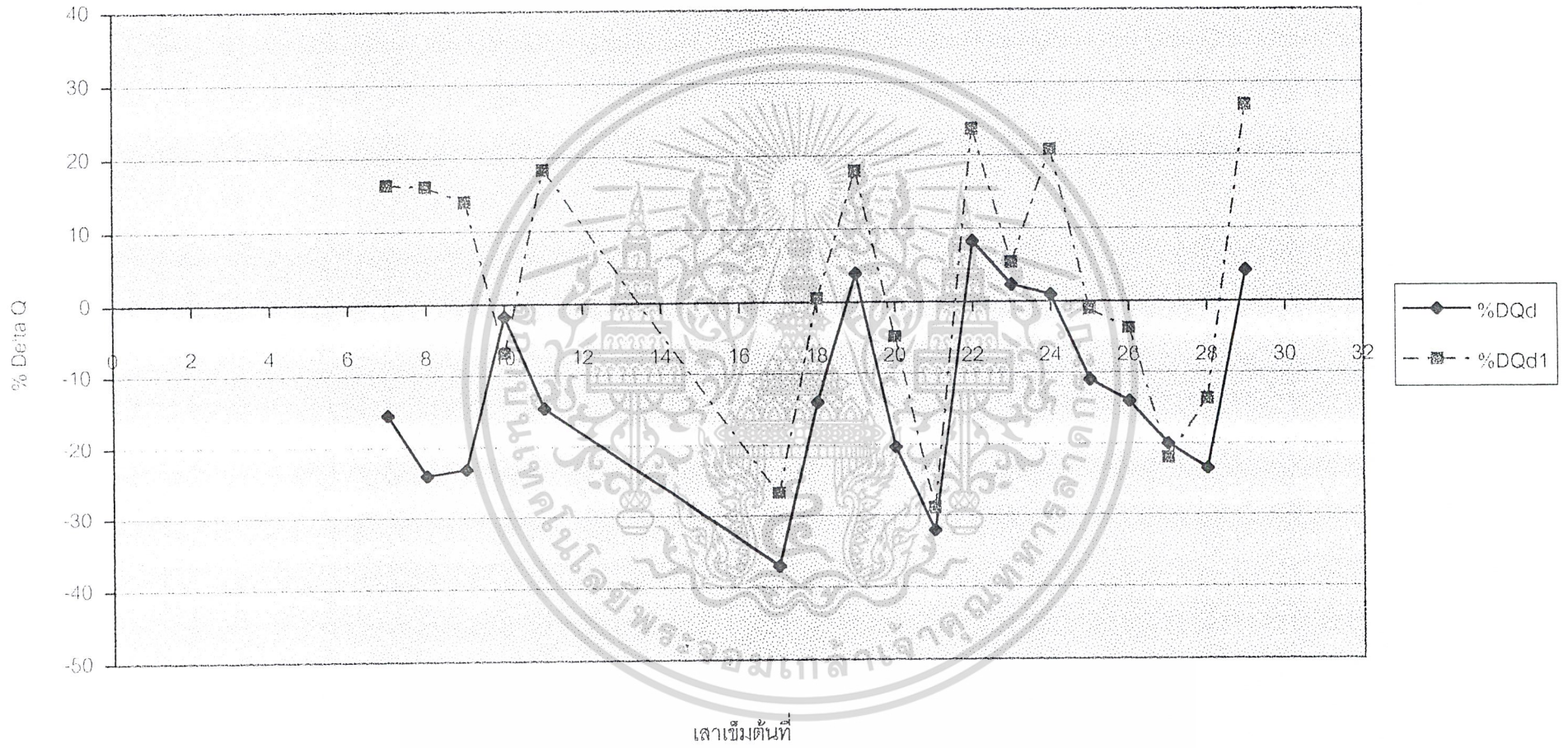
กราฟที่ 5.21 เสาเข็ม D = 0.8 เมตร



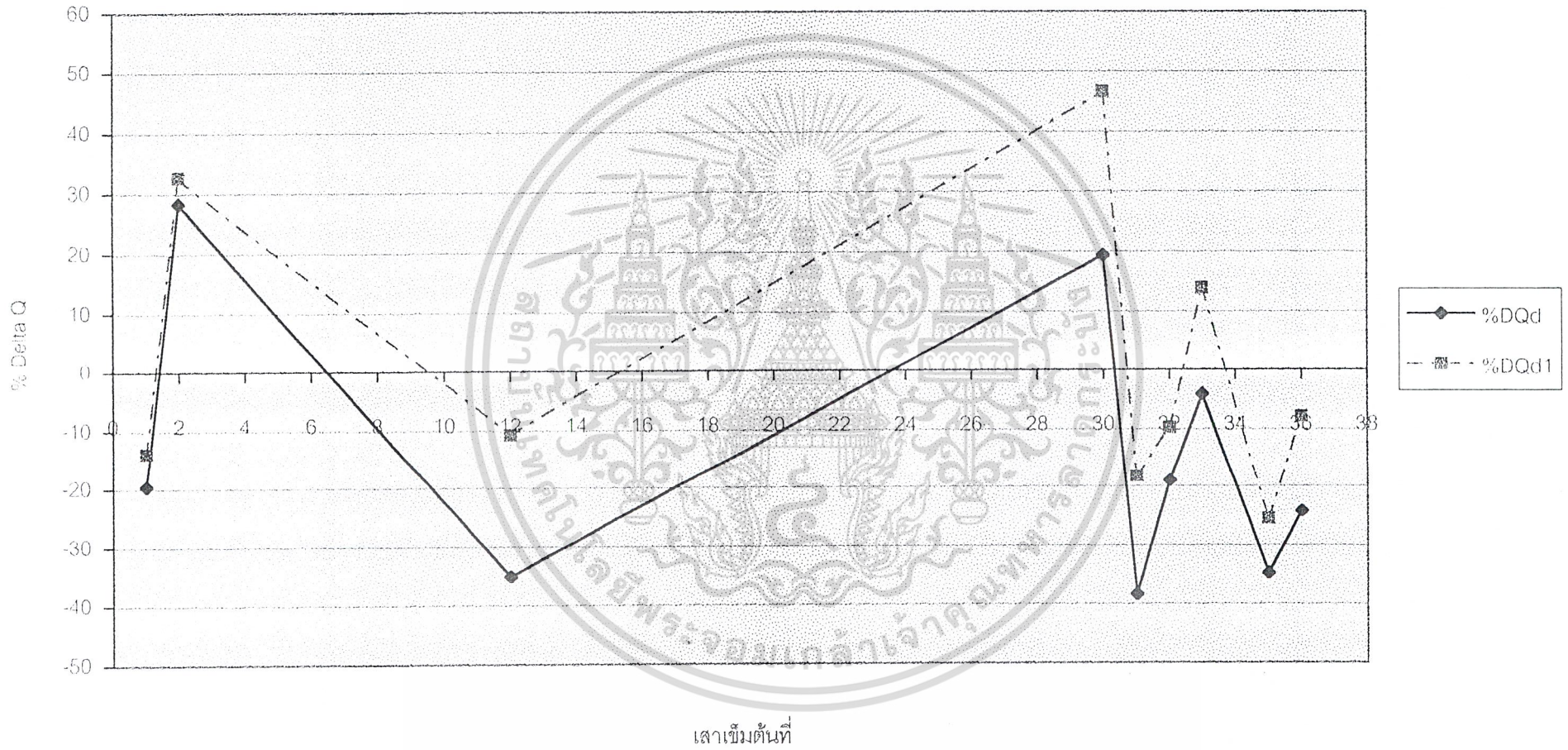
กราฟที่ 5.22 เสาเข็ม D = 0.9 เมตร



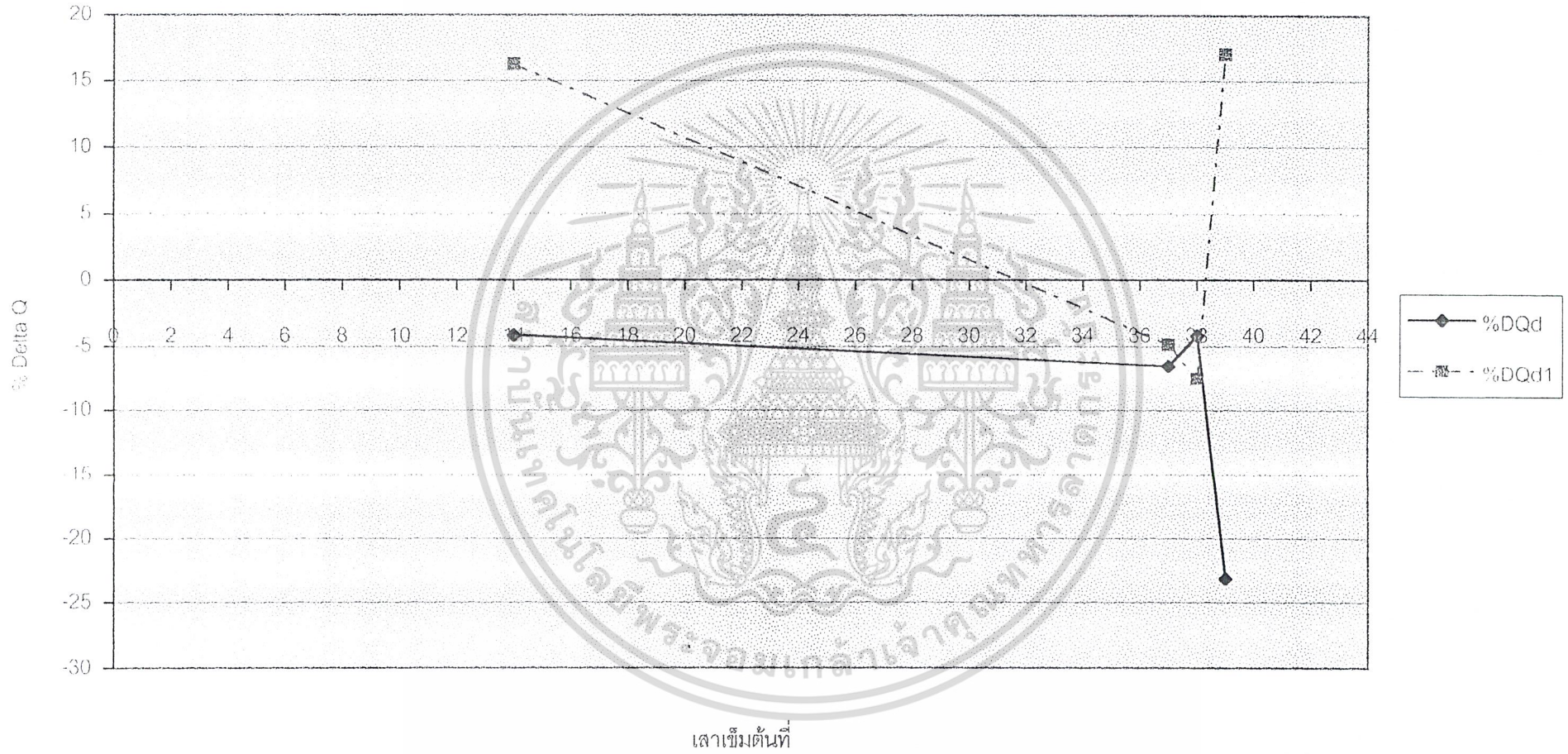
กราฟที่ 5.23 เสาเข็ม D = 1.0 เมตร



กราฟที่ 5.24 เสาเข็ม D = 1.1, 1.2 เมตร



กราฟที่ 5.25 เสาค้ำ D = 1.5 เมตร



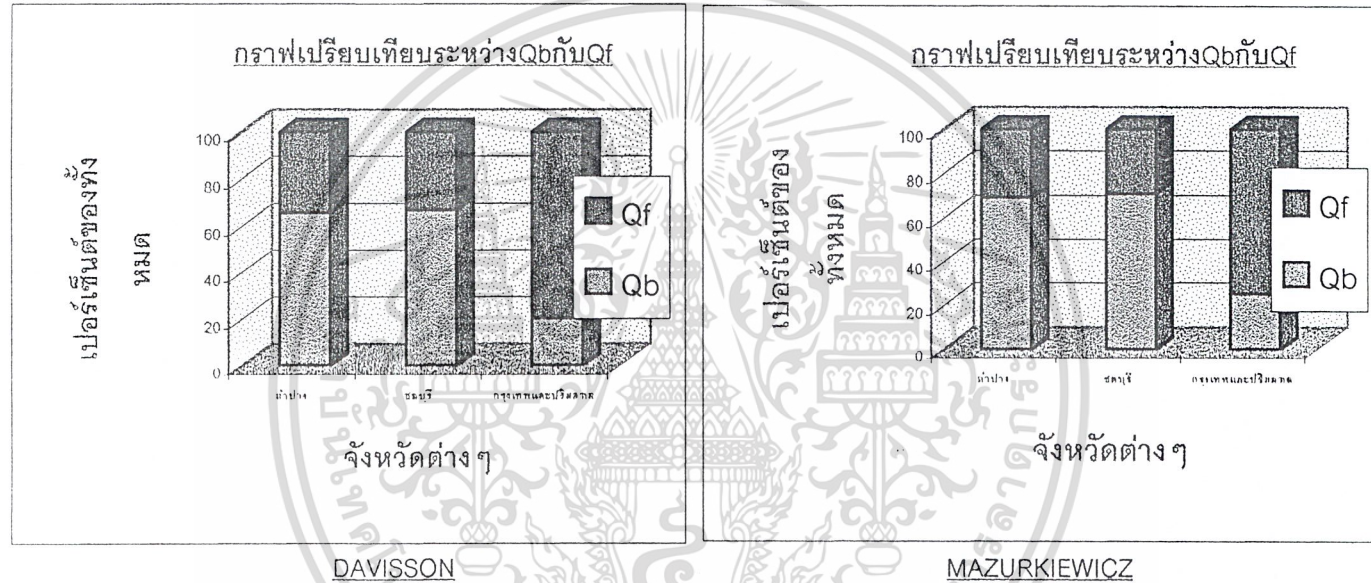
จากกราฟทั้งหมดข้างต้นเราพอจะสรุปและวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

จะเห็นว่ากราฟ DQm และ DQd ซึ่งเป็นกราฟ % ความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยที่ได้จากผล Static Load Test กับค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยที่ได้จากทฤษฎี Static Formula ก่อนการปรับปรุง Xm% และ Xd% ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงติดลบกล่าวคือ ค่ากำลังรับน้ำหนักที่รับได้จริง มีค่าน้อยกว่า ที่ได้จากทฤษฎี แต่หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุง โดยใช้ค่า Xm% และ Xd% จากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่ากราฟ %DQm1 และ กราฟ %DQd1 เกือบทั้งหมดมีค่าเป็นบวกมากขึ้น และส่วนใหญ่อยู่เหนือกราฟ % DQm และ % DQd ซึ่งหมายถึงค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มตามทฤษฎี มีค่าใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่ประเมินได้จากผลทดสอบมากขึ้น ซึ่งจะมีผลให้มีความปลอดภัยมากขึ้นและมีความเสี่ยงน้อยลง ดังเช่นกราฟในรูปที่ 5.2 เป็นต้น แต่จะเห็นว่า มีบางกราฟ เช่น กราฟในรูปที่ 5.4 ซึ่งเส้นกราฟ % DQm1 กลับอยู่ต่ำกว่า กราฟ % DQm ถ้าประเมินอย่างคร่าวๆแล้วอาจจะไม่ค่อยดี แต่ถ้าสังเกตให้ละเอียดมากขึ้นจะเห็นว่า กราฟ %DQm นั้น มีค่าที่สูงมาก โดยมีค่า% สูงสุดถึง 225 % หมายถึงมีค่ากำลังรับน้ำหนักที่จุดประลัยที่ได้จริงจากผลทดสอบ มากกว่า กำลังรับน้ำหนักที่ได้จากทฤษฎี ถึง 225 % ซึ่งเป็นค่าที่มากเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมากถึงแม้จะปลอดภัยก็จริงแต่ก็ไม่ประหยัด ที่นี้ลองมาดูกราฟ %DQm1 จากกราฟในรูปเดียวกันจะเห็นว่า เส้นกราฟจะใกล้เคียงกับเส้น 0 % มากกว่า กราฟ %DQm ถึงแม้จะมีบางจุดที่เป็นค่าลบแต่ก็มีค่าน้อยเพียง 20 % เท่านั้น ถ้าเทียบกับ 225 % ที่เกิดขึ้นในกราฟแรก

จากการวิเคราะห์ข้างต้นเราพอสรุปได้ว่า ค่า X% ที่ได้จากตารางที่ 5.2 นั้น จะมีผลทำให้การออกแบบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่จุดประลัยทางทฤษฎีมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม โดยพิจารณาจากกราฟข้างต้น แต่ค่า X% ที่คำนวณได้อาจจะถูกต้องตามข้อมูลที่ได้อมาในระดับหนึ่ง ถ้าหากมีการเก็บตัวอย่างในแต่ละกลุ่มข้างต้นยิ่งมากเท่าไรและมีการแบ่งกลุ่มที่ละเอียดยิ่งขึ้นก็จะมีผลทำให้ค่า X% ที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น อันจะเป็นผลให้การออกแบบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มทฤษฎีมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่เกิดจริงมากขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

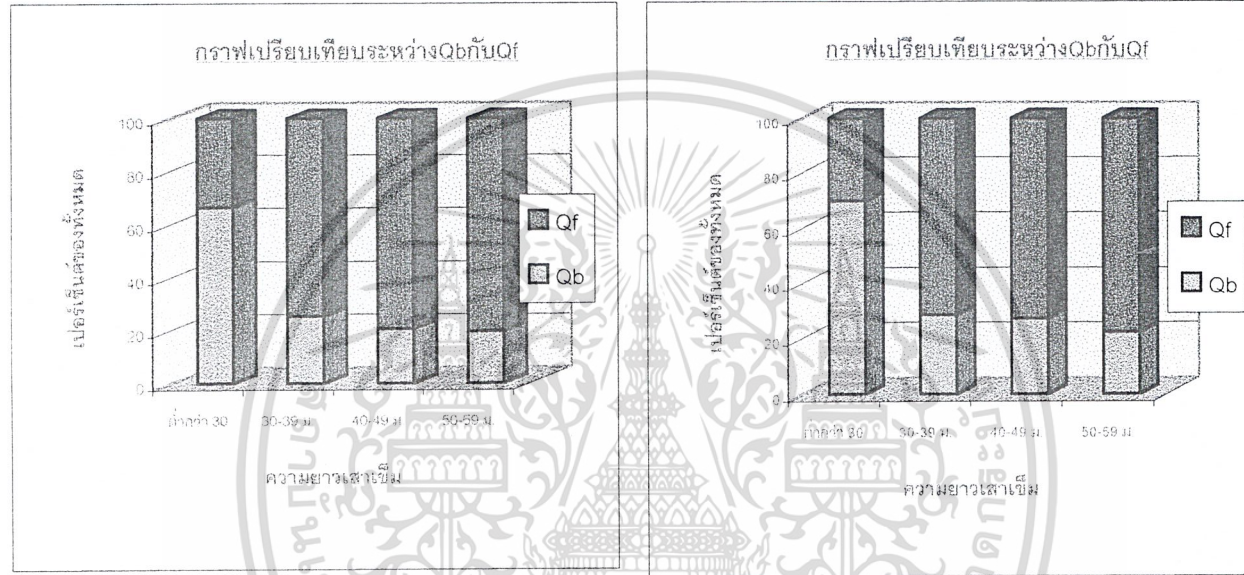
กราฟที่ 5.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า Q_b กับ ค่า Q_f
แบ่งตามจังหวัด



จากกราฟจะได้ว่าดินบริเวณต่างจังหวัดเช่น ลำปาง , ชลบุรี มีค่า Q_b สูงกว่าดินบริเวณกรุงเทพและปริมณฑล อาจทำให้เราวิเคราะห์ได้ว่าดินบริเวณต่างจังหวัดมีความแข็งแรงมากกว่าดินในกรุงเทพและปริมณฑล

กราฟที่ 5.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า Qb กับ ค่า Qf

แบ่งตามความยาว

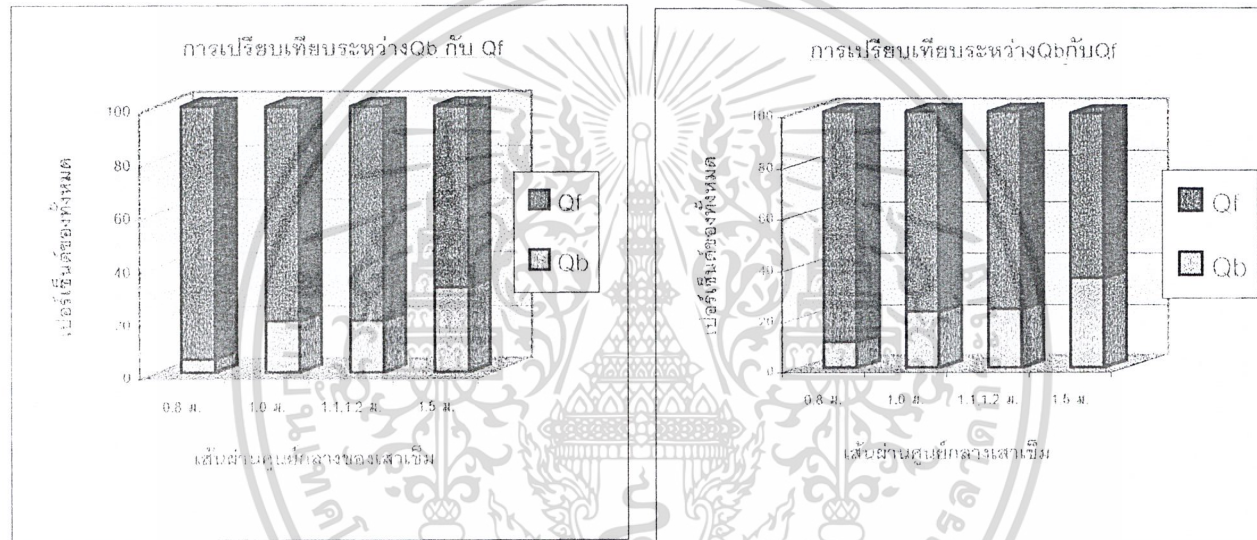


DAVISSON

MAZURKIEWICZ

จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ Qb จากความยาวเข็มที่เพิ่มขึ้นแล้วจะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ของ Qb ลดลงเมื่อความยาวเสาเข็มมากขึ้น ทั้งนี้ น่าจะมีผลมาจากการที่ความยาวเสาเข็มที่มากขึ้นทำให้ค่า Qf มากขึ้นส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ Qb น้อยลง อย่างไรก็ตามถ้าสังเกตกราฟให้ดีจะพบว่าที่ความยาว ตั้งแต่ 30 เมตรขึ้นไปค่า Qb ลดลงไม่มากนักอาจทำให้สันนิษฐานได้ว่าเริ่มจะเป็นชั้นดินแข็งที่ชั้นนี้จึงทำให้ค่า Qb พัฒนามากขึ้นตามความยาวไปด้วย

กราฟที่ 5.28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า Q_b กับ ค่า Q_f
แบ่งตามขนาด



DAVISSON

MAZURKIEWICZ

จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นค่า Q_b มีการพัฒนามากกว่าค่า Q_f
ดังสังเกตได้จากค่าเปอร์เซ็นต์ Q_b ที่เพิ่มขึ้น

ภาคผนวก ก ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเสาเข็ม

ฐานรากที่ใช้เสาเข็ม จุดประสงค์เหมือนกับฐานแผ่ คือฐานแผ่นั้นดินรับน้ำหนักจากฐานรากโดยตรง แต่สำหรับฐานรากที่ใช้เสาเข็มนั้น เสาเข็มรับน้ำหนักจากฐานรากก่อน แล้วจึงค่อยถ่ายให้กับดิน แต่การออกแบบฐานรากโดยใช้เสาเข็มนั้น ก็เพราะดินที่อยู่ตื้นๆ รับน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้น้อย เราจึงใช้เสาเข็มช่วยถ่ายน้ำหนักจากข้างบน ลงไปยังชั้นหินที่อยู่ลึก หรือเพื่อที่จะเพิ่มพื้นที่ของฐานรากให้มากขึ้นโดยใช้พื้นที่ผิวของเสาเข็มเป็นพื้นที่ฐานราก ถ้าฐานรากนั้นอยู่บริเวณที่มีชั้นดินอ่อน หรือบริเวณชั้นดินแข็งอยู่ลึกๆ



รูปที่ ก.1 ชนิดของฐานราก

พฤติกรรมของดินโดยรอบเสาเข็ม

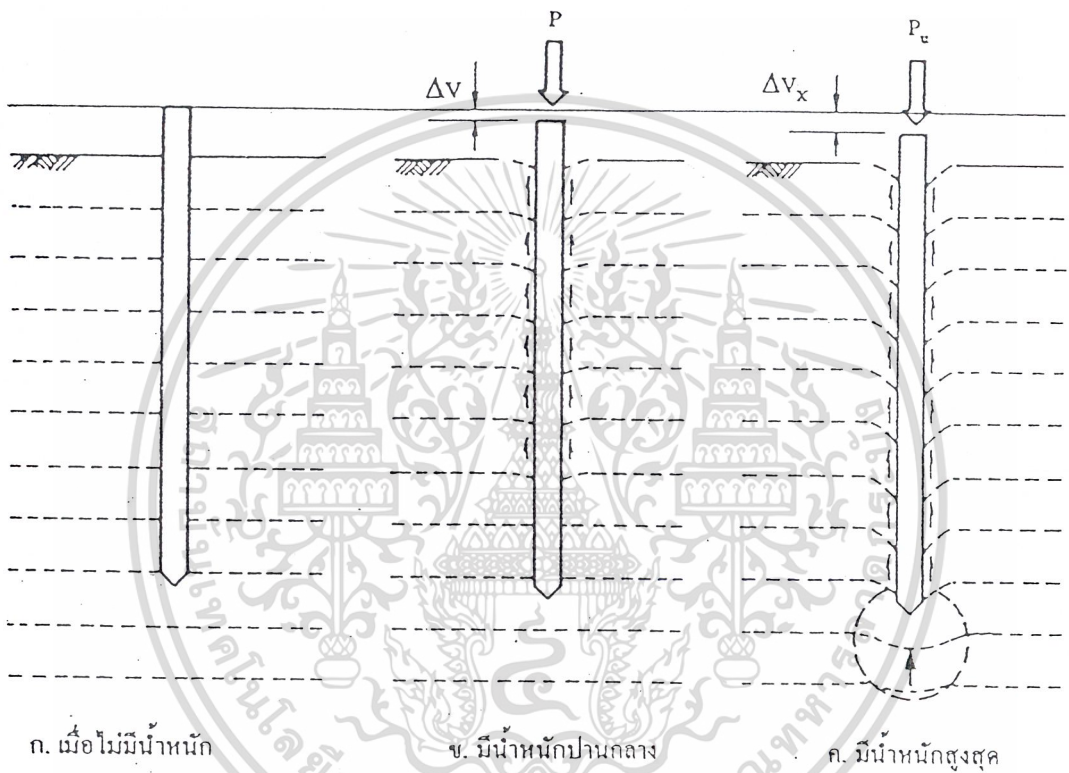
เสาเข็มเมื่อติดตั้งลงในชั้นดินด้วยวิธีใดๆ แล้วก็ตาม ถ้าไม่พิจารณาถึงการกระทบกระเทือนของชั้นดิน เนื่องจากการตอกหรือเจาะเพื่อติดตั้งเสาเข็มแล้วละก็ ชั้นดินและเสาเข็มก็จะมียังไม่มีการเคลื่อนที่ ดังในรูปที่ ก.2 ต่อเมื่อเริ่มบรรทุกน้ำหนักลงบนเสาเข็มก็จะเคลื่อนที่ลงตามทิศทางแรง ในขณะที่เดียวกันดินที่เกาะอยู่ข้างๆผิวเข็มก็พยายามต้านทานไว้ จึงมีการถ่ายแรงจากเข็มลงสู่ชั้นดิน ชั้นดินก็จะเคลื่อนที่ตามเสาเข็มลงไปด้วย การเคลื่อนที่ที่จะเกิดมากขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกสูงขึ้น และในช่วงหลังจะเกิดการต้านทานที่ปลายเข็มเข้าร่วมด้วย ในลักษณะเดียวกับฐานแผ่ที่มีพื้นที่เท่าปลายเข็ม ผลสุดท้ายเมื่อน้ำหนักบรรทุกมากขึ้น

ดินไม่สามารถจะต้านทานได้ก็จะเกิดเป็นแนวเคลื่อนพัง (shear plane) โดยรอบผิวเสาเข็ม และที่ปลายเสาเข็ม และมีการเคลื่อนที่ของเสาเข็ม

เมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมของดินโดยรอบเสาเข็มแล้วจะเห็นว่าเสาเข็มจะทำงานได้ดีก็ต่อเมื่อชั้นดินที่เสาเข็มลงไปสัมผัสต้องอึดถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเรียกว่า “น้ำหนักบรรทุกสูงสุด” (Ultimate Pile Capacity)

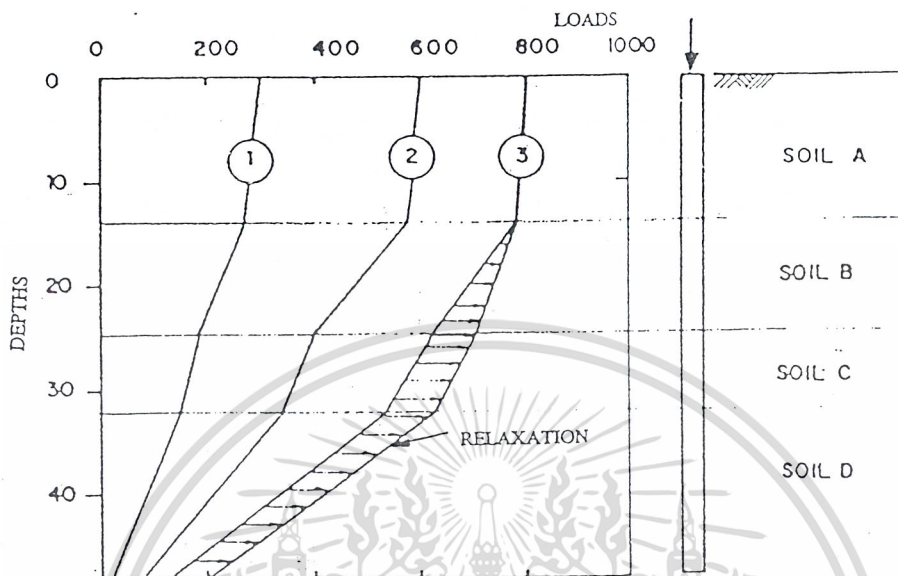
ในกรณีที่พื้นดินหลายชนิดตลอดความยาวเสาเข็ม จะมีการถ่ายน้ำหนักลงชั้นดินจากผิวเสาเข็ม (Friction Load Transfer) ได้ไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าการเคลื่อนตัวจะใกล้เคียงกันก็ตามดินที่แข็งแรงกว่าจะสามารถถ่ายน้ำหนักได้มากกว่าดินอ่อนในระดับการเคลื่อนตัวเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 การเคลื่อนตัวของดินบริเวณเสาเข็ม

ข้อสังเกตอีกอย่างจากรูปที่ ก.3 คือน้ำหนักที่ถ่ายลงชั้นดิน ส่วนใหญ่เป็นการถ่ายน้ำหนักที่ส่งผ่านทางผิวเข็ม (Friction Resistance) ราว 90% ของน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด ส่วนที่ปลายเสาเข็มมีน้ำหนักถ่ายลงชั้นดิน (Point Bearing) เพียง 10% เท่านั้น แต่จะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากการคลายตัวของแรงต้านที่ผิวเสาเข็มของดินส่วนบน

ดังนั้นในการวิเคราะห์แรงต้านของเสาเข็ม เราจึงมักจะแบ่งแรงต้านออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ปลายเสาเข็ม เสาเข็มที่มีแรงต้านส่วนใหญ่เกิดที่ผิวเสาเข็ม เรามักจะเรียกว่า “Friction pile” ส่วนที่ยังบนชั้นดินแข็งมากหรือชั้นหิน ซึ่งมีการถ่ายน้ำหนักที่ปลายเสาเข็ม เป็นส่วนใหญ่ก็จะเรียกว่า “End Bearing Pile”



รูปที่ ก.3 รูปแบบจำลองของเข็มบนดินหลายชั้น

เสาเข็มทั่ว ๆ ไปมักจะใช้ในจุดประสงค์ต่อไปนี้

ก. ถ่ายน้ำหนักจากฐานรากผ่านน้ำหรือชั้นดินอ่อน ไปยังชั้นดินที่มีความแข็งแรงกว่า เช่น ดินทราย ดินดาน หรือชั้นหิน เสาเข็มประเภทนี้เราเรียกว่า “เสาเข็มแบบรับน้ำหนักที่ปลาย” (End – bearing of Point – bearing Piles)

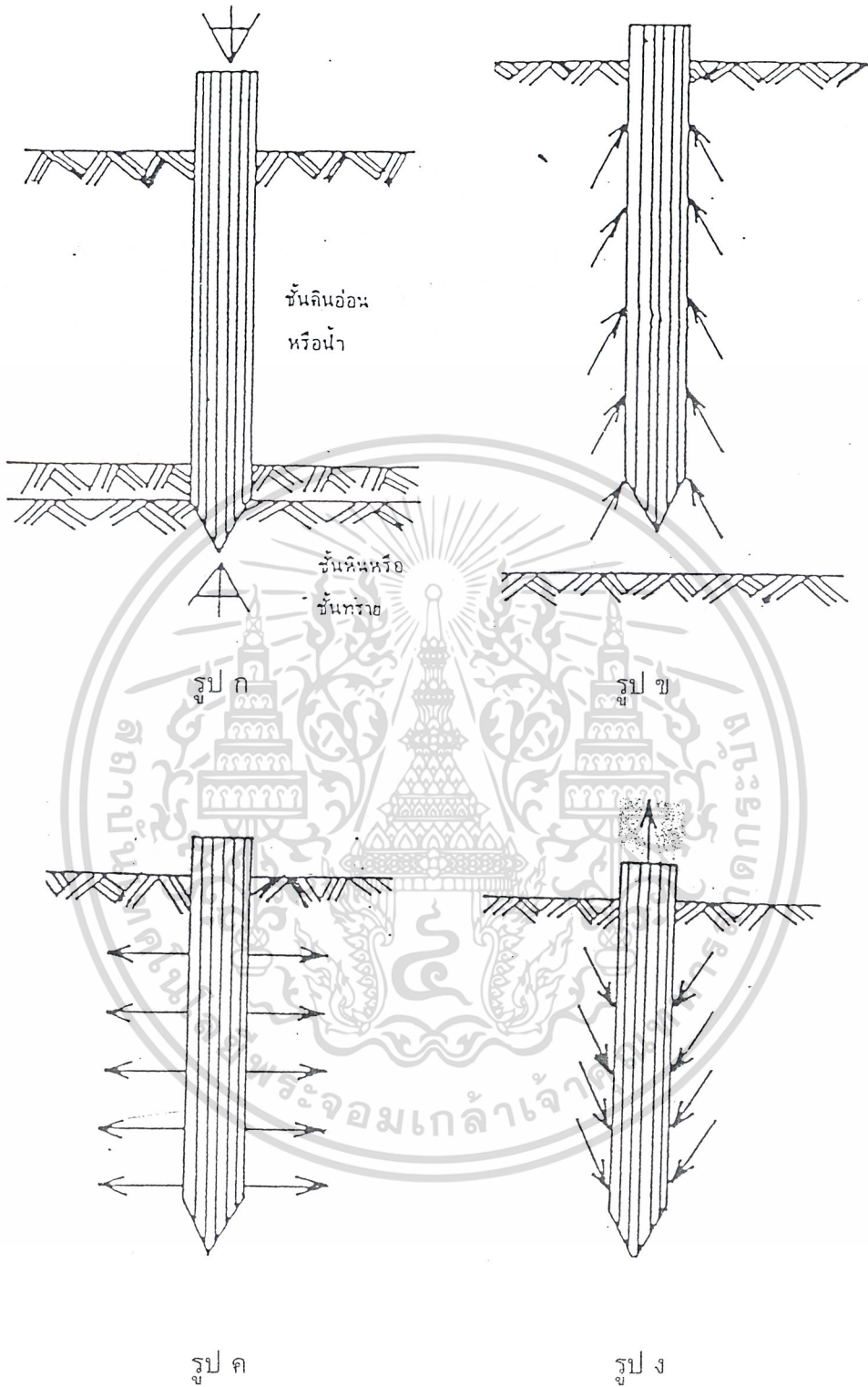
ข. ถ่ายน้ำหนักให้ดินอ่อนในรูปของความเสียดทานตลอดความยาวของเสาเข็ม ซึ่งเรียกว่า “เสาเข็มเสียดทาน” (Friction Pile)

ค. เพื่อทำให้ดินแน่น (Compaction Pile) ทำให้ดินบริเวณที่ตอกเสาเข็มรับน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ได้เพิ่มขึ้น

ง. เพื่อดึงไม่ให้โครงสร้างล้มหรือลอยตัว (Tension or Uplift Pile)

จ. เพื่อป้องกันแรงกระแทกเนื่องจากคลื่นเรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 แสดงการรับน้ำหนักในทิศทางต่างๆของเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

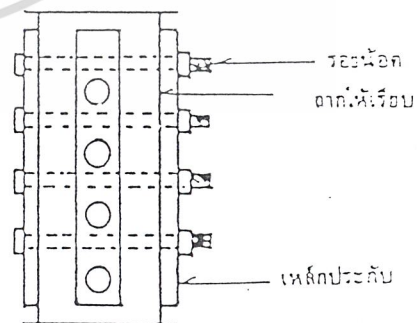
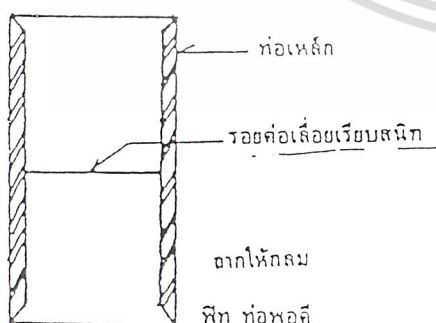
ชนิดของเสาเข็ม มีดังต่อไปนี้คือ

1. เสาเข็มไม้
2. เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ
3. เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง
4. เสาเข็มหล่อในที่
5. เสาเข็มเหล็ก
6. เสาเข็มระบบเจาะกด
7. เสาเข็มตอกด้วยปั้นจั่น
8. เสาเข็มเสียบ
9. เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่
10. เสาเข็มเจาะขนาดเล็ก
11. เสาเข็มเจาะฉีดขนาดเล็ก
12. เสาเข็มตอกในน้ำ

เสาเข็มไม้

เสาเข็มไม้ตามปกติเป็นไม้เบญจพรรณ ตัดกิ่ง และทาบเปลือกออก ตอนตอกเอาด้านปลายลง ต้องมีลำต้นตรง คือ ถ้าถึงเข็อกจากโคนไปหาปลาย แนวของเข็กลต้องไม่ออกจากแนวลำต้น และต้องให้อยู่ใต้ระดับน้ำทุกฤดูกาล

เสาเข็มไม้อาจต่อให้ยาวได้ ดังรูปข้างล่างนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่แบ่ส่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ

เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ ตามปกติเรามักจะหล่อเสาเข็มในโรงงานก่อน เมื่อคอนกรีตได้อายุแล้วค่อยขนย้ายจากโรงงาน ไปยังสถานที่ที่ก่อสร้าง หรือในบางครั้งเราอาจหล่อเสาเข็มในบริเวณที่ก่อสร้างเลยก็ได้

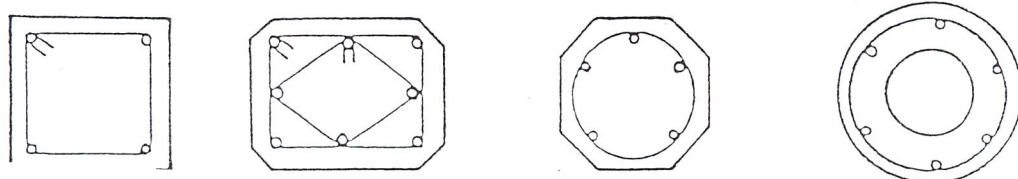
เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ

1. เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรง (Precast Prestressed Concrete Piles)
2. เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforcement Precast Concrete Piles)

เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก

รูปร่างจะเป็นแบบใดก็ได้แล้วแต่จะออกแบบ แต่ส่วนใหญ่ควรให้จุดศูนย์กลางของหน้าตัดทับจุดศูนย์กลางของเสาเข็ม เหล็กเสริมตามยาวต้องมีพอเพียงพอที่จะรับโมเมนต์ดัดเนื่องจากขนส่งและยกต่อ ต้องมีอย่างน้อย 4 เส้น เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ควรเล็กกว่า 9 มม.

จำนวน % เหล็กปลอก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคอนกรีตในช่วงนั้นๆ ไม่ควรน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในรูปข้างล่าง



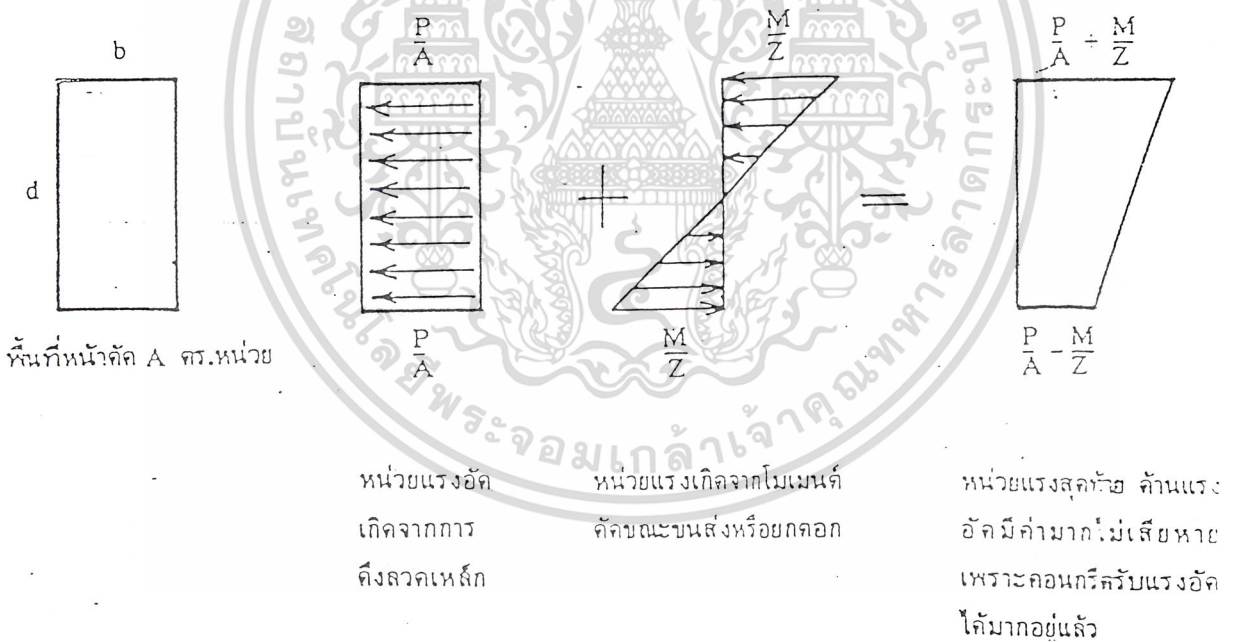
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ ก.6 แสดงเปอร์เซ็นต์เหล็กปลอกเมื่อเทียบกับปริมาณคอนกรีตใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง

เสาเข็มชนิดนี้มีรูปร่างและหน้าตัดเหมือนกับเสาเข็มคอนกรีตธรรมดา แต่ได้เปรียบตรงที่สามารถทำได้ยาวกว่า และมีพื้นที่หน้าตัดเล็กกว่า สำหรับเหล็กเสริมตามยาวนั้น เป็นลวดเหล็กรับแรงดึงสูงตาม มอก.95-2517 หรืออาจใช้ตาม ASTM 416-59T หรือ JIS G 3536-1971

เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงมีอยู่ 2 ชนิดด้วยกัน ชนิดดึงลวดเหล็กก่อนแล้วค่อยหล่อคอนกรีตกับชนิด หล่อคอนกรีตก่อนแล้วค่อยดึงลวดเหล็ก แต่ในบ้านเรานิยมทำแบบแรกมากกว่า

การอัดแรงเข้าไปในคอนกรีตก่อน โดยการดึงเหล็กให้ยืดตัวออก แล้วปล่อยให้หดเข้าในขณะที่เหล็กหดเข้านั้นมันจะอัดคอนกรีต ทำให้คอนกรีตรับแรงอยู่ก่อนใช้งาน การอัดแรงให้คอนกรีตนี้ทำให้คอนกรีตสามารถรับโมเมนต์ดัดได้มากขึ้น ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของเสาเข็มชนิดนี้



รูปที่ ก.7 แสดงหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง

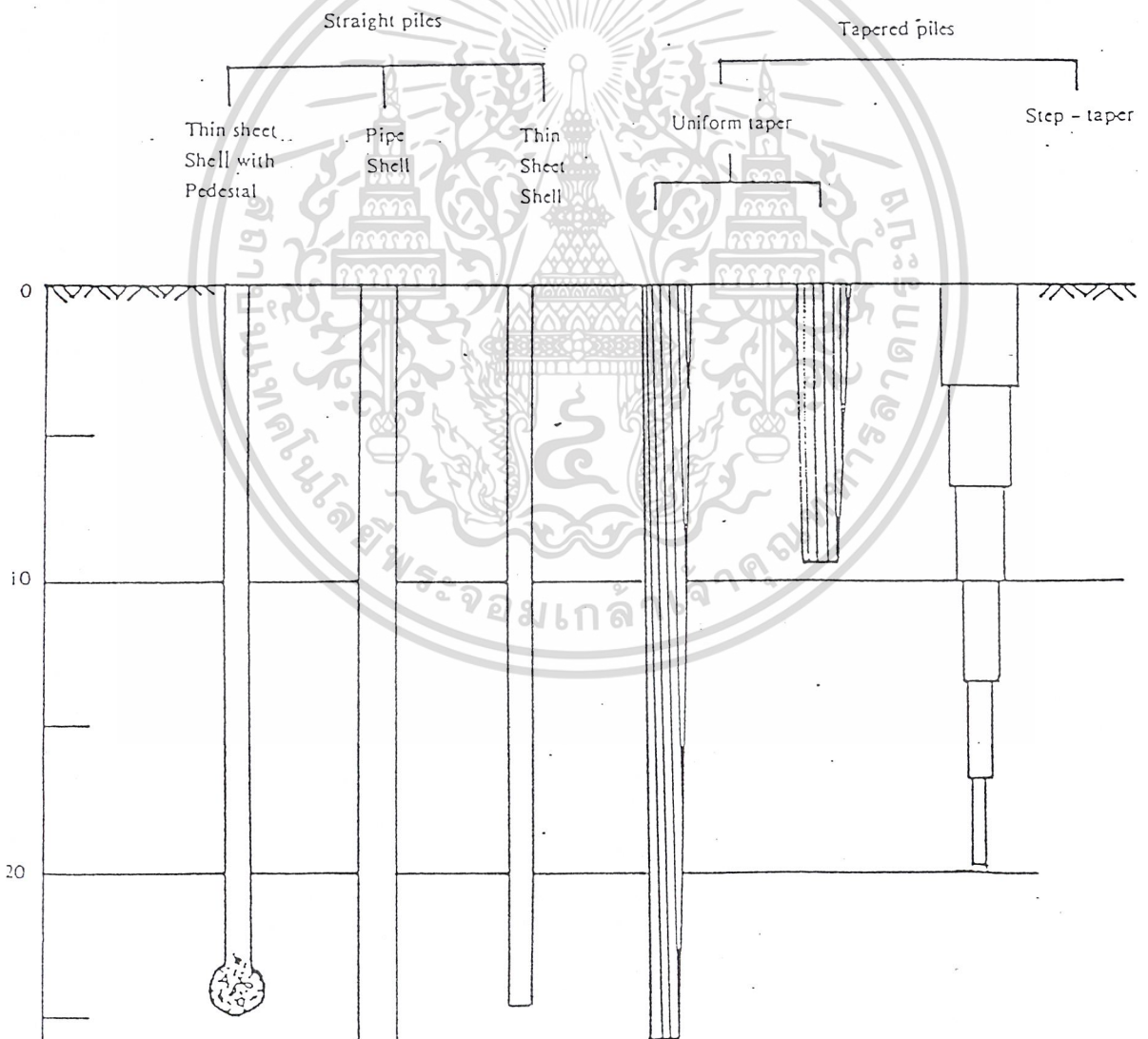
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาเข็มหล่อในที่ (Cast-in-place Concrete piles)

เสาเข็มหล่อในที่ ทำโดยเจาะรูลงไป在地จนได้ความลึกที่ต้องการ แล้วเทคอนกรีตจนเต็มรูที่เจาะอาจใช้ส่วนเจาะ ดอกแบบหรือปลอกเหล็กหรืออาจจะกดปลอกเหล็กลงไปขุดดินภายในปลอกเหล็กขึ้นแล้วจึงเทคอนกรีต

โดยปกติเสาเข็มหล่อในที่แบ่งตามลักษณะได้ 3 ชนิด คือ Shell type (Case type), Shell-less type (Uncased type) และ Pedestal (enlarged bulb)

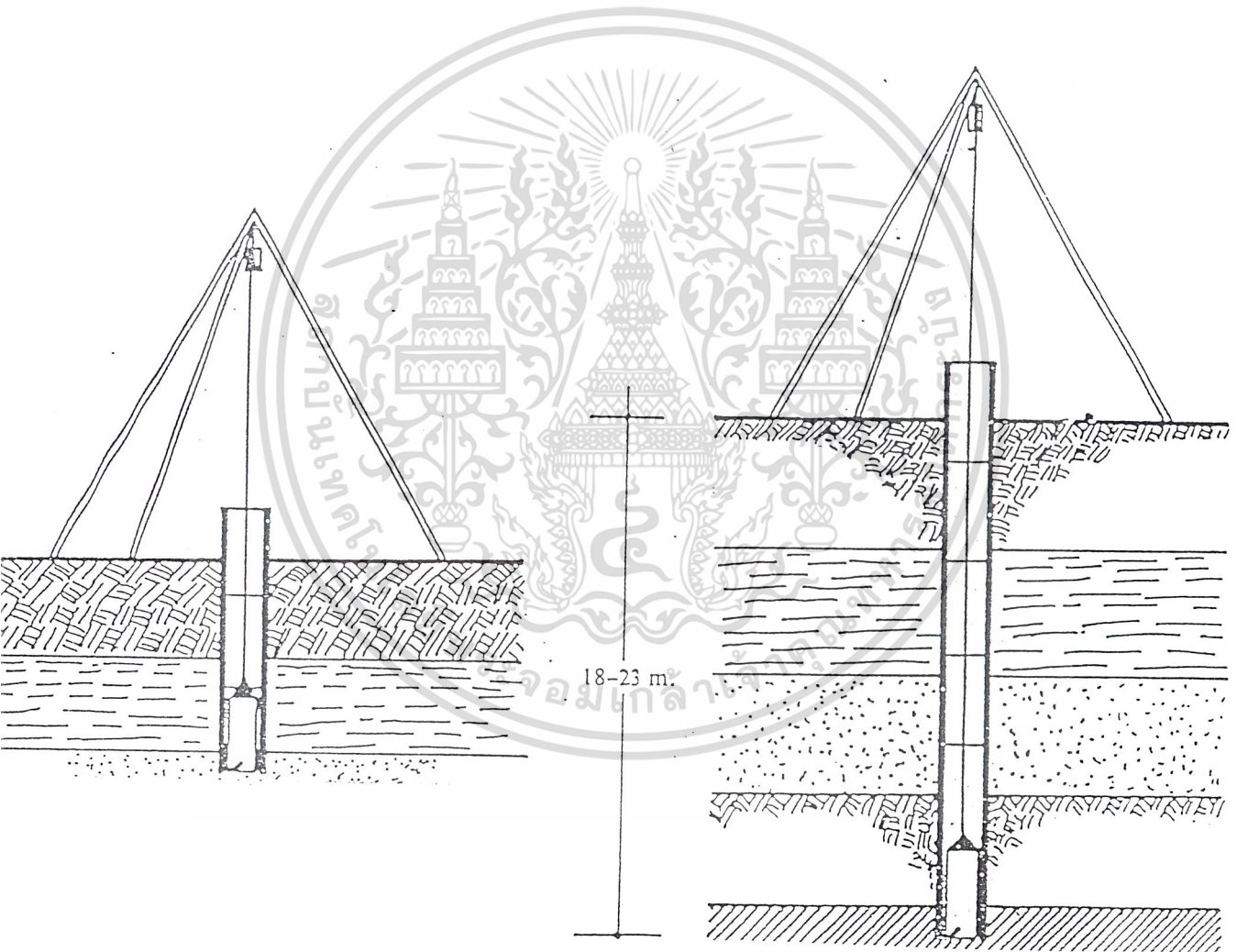
1. **Shell type** ทำโดยตอกปลอกเหล็กกลวงปิดปลายลงไป在地 เมื่อถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงเทคอนกรีตลงไป ในปลอกเหล็ก โดยทิ้งปลอกเหล็กลงในเสาเข็ม



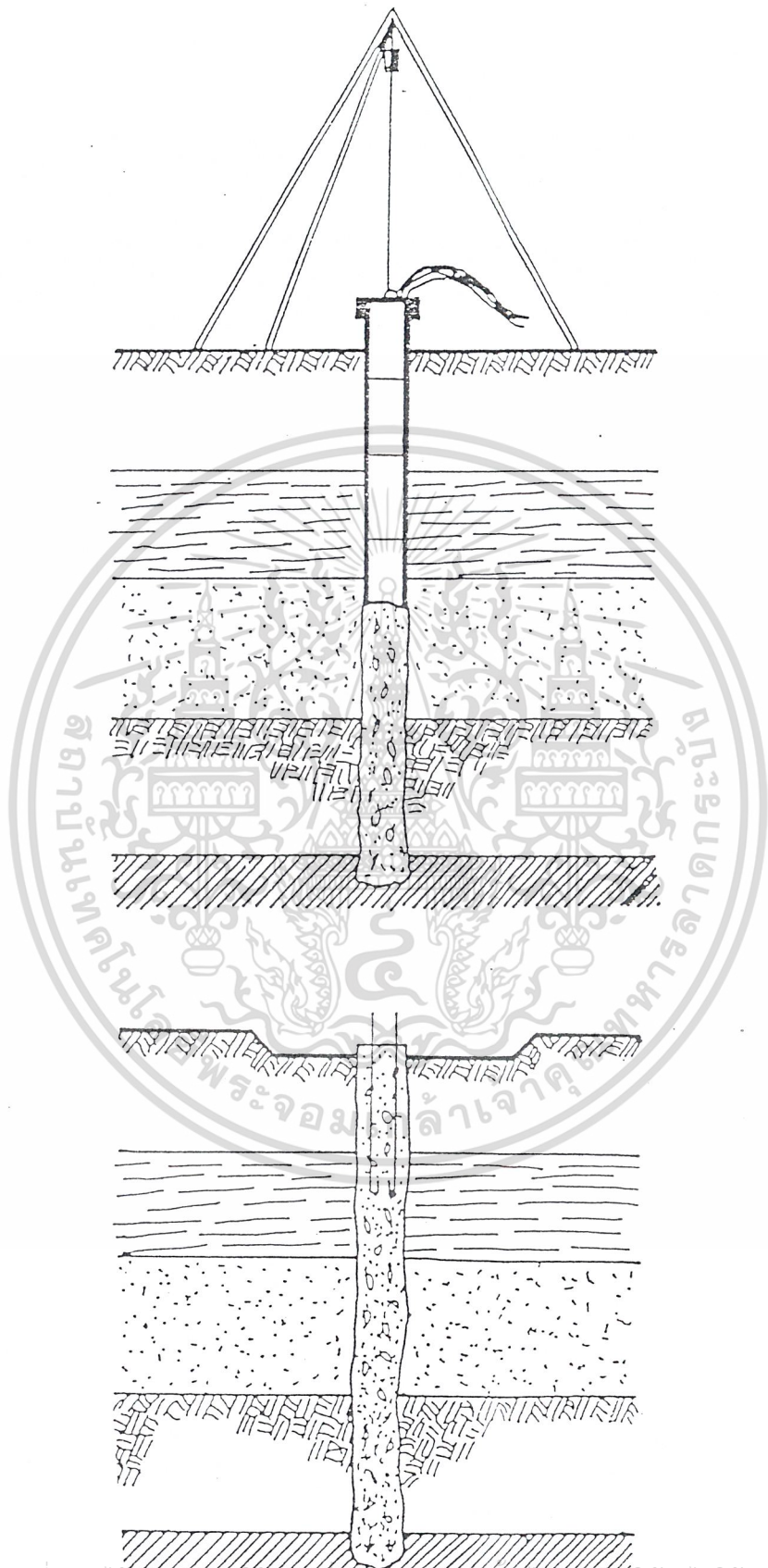
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ ก.8 shell type pile

2. **Shell-less type** ทำโดยตอกหรือกดปลอกเหล็กกลงไปในดิน ถ้าเป็นเหล็กปลอกชนิดตอก มักจะมีแกนกลางสำหรับตอก เมื่อตอกถึงระดับที่ต้องการ ดึงแกนกลางออกแล้วเทคอนกรีตลงไป กระแทกคอนกรีตให้แน่นแล้วค่อยๆ ดึงปลอกขึ้นก่อนที่คอนกรีตจะก่อตัว ถ้าเป็นปลอกเหล็กชนิดใช้กดลงไปมักจะเปิดปลาย เมื่อกดถึงระดับที่ต้องการจึงขุดดินออกแล้วจึงเทคอนกรีต และค่อยๆ ดึงปลอกเหล็กขึ้นเป็นระยะๆ ก่อนคอนกรีตก่อตัว

รูปตัวอย่างการทำเสาเข็มแบบ Shell-less type

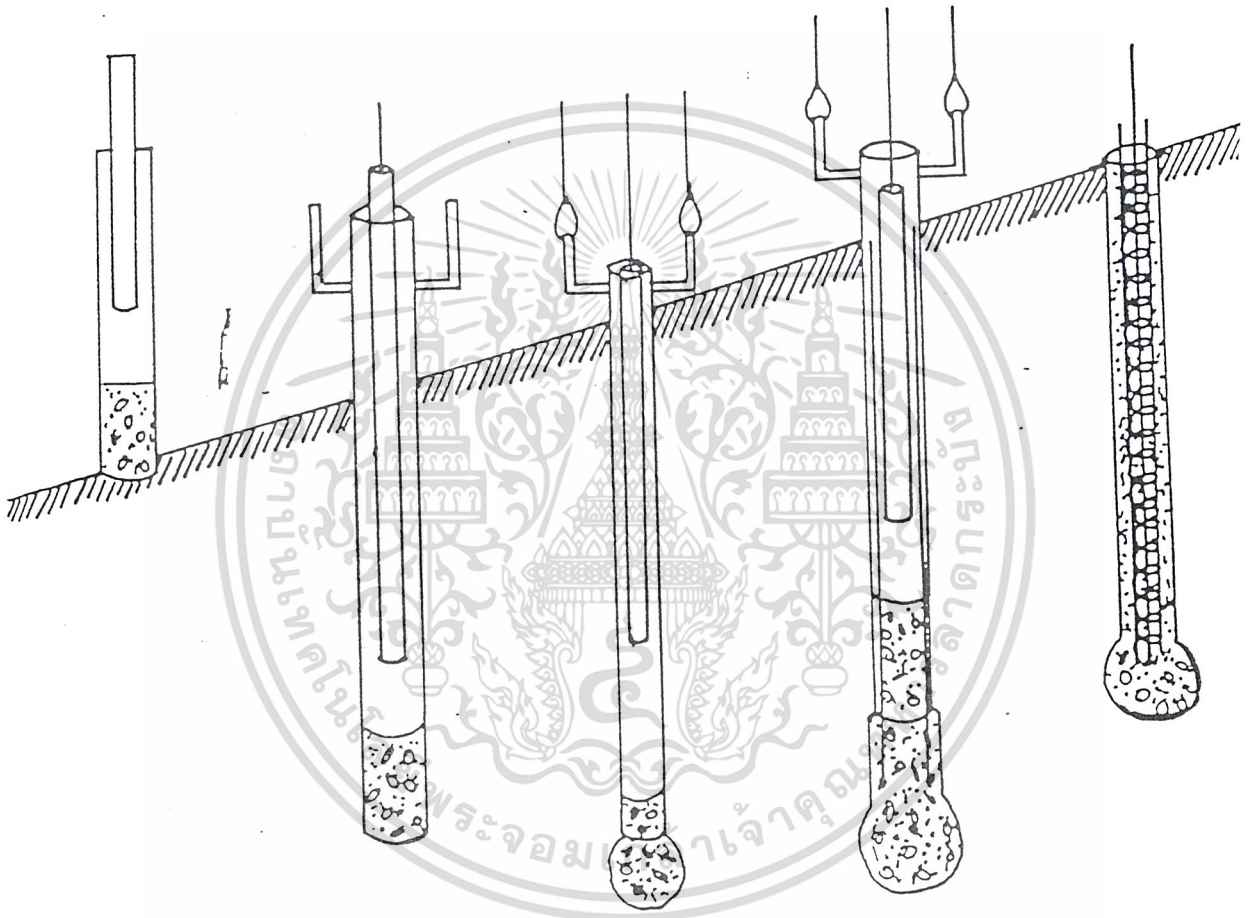


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ ก.9** ตัวอย่างการทำเสาเข็มแบบ shell-less type สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



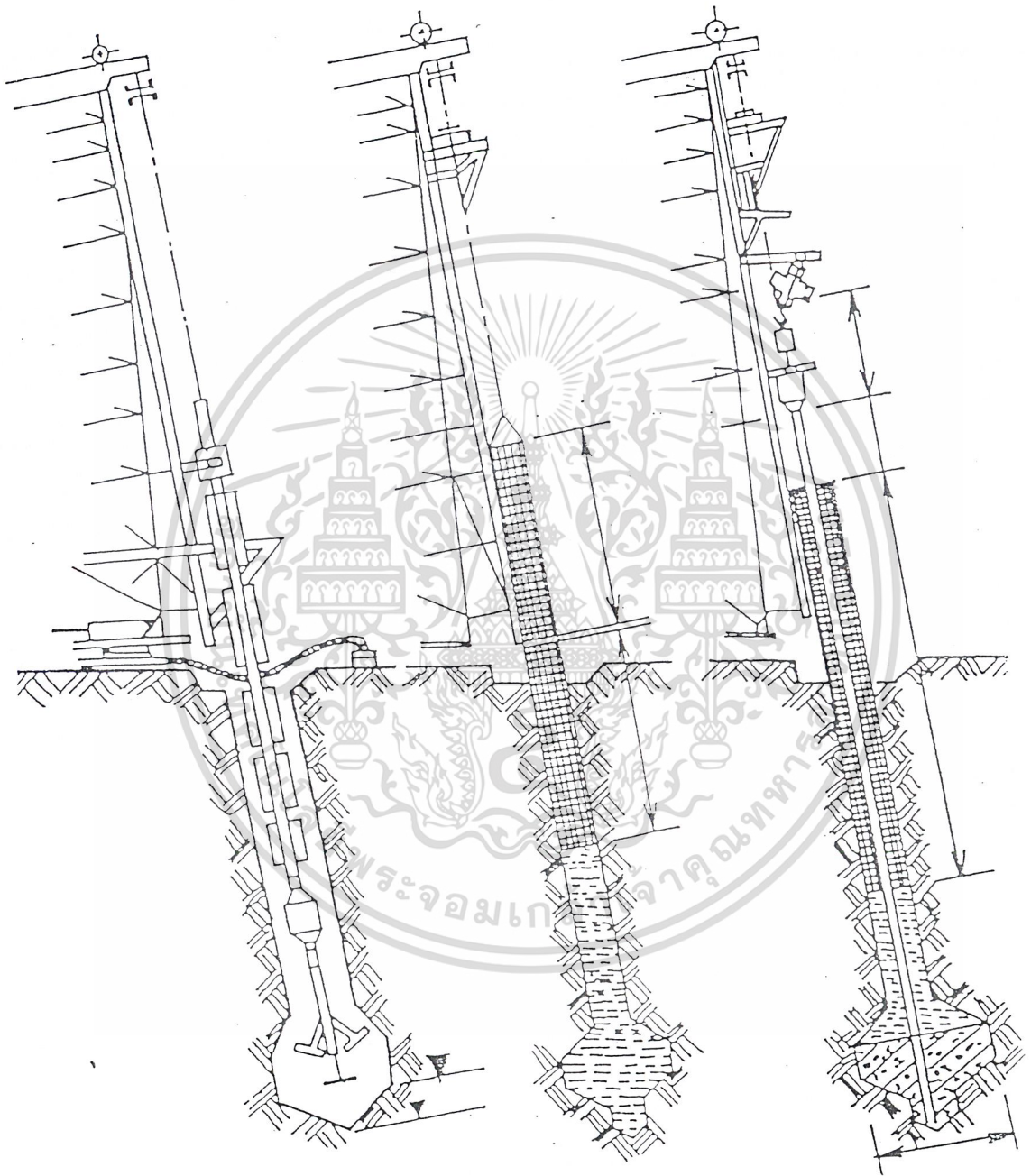
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกหนึ่งท่านมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปที่ ก.9 ตัวอย่างการทำเสาเข็มแบบ shell-less type (ต่อ)

3. **Pedestal type** เป็นเสาเข็มชนิดที่มีเชิงหรือกระเปาะอยู่ที่ปลายเสาเข็ม เชิงหรือกระเปาะอาจเป็นคอนกรีตหลังสำเร็จ รูปกรวยหรืออาจจะตอกคอนกรีตที่เพิ่มผสมใหม่ด้วยลูกตุ้มหนักๆ ให้ลูกตุ้มตันดินกระจายออกไปรอบๆ ปลายปลอกเหล็ก คอนกรีตก็จะแบ่งเป็นเชิงอยู่ใต้เสาเข็มในชั้นดินลึกๆ (Franki Piles)



รูปที่ ก.10 แสดงขั้นตอนการทำ Pedestal type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



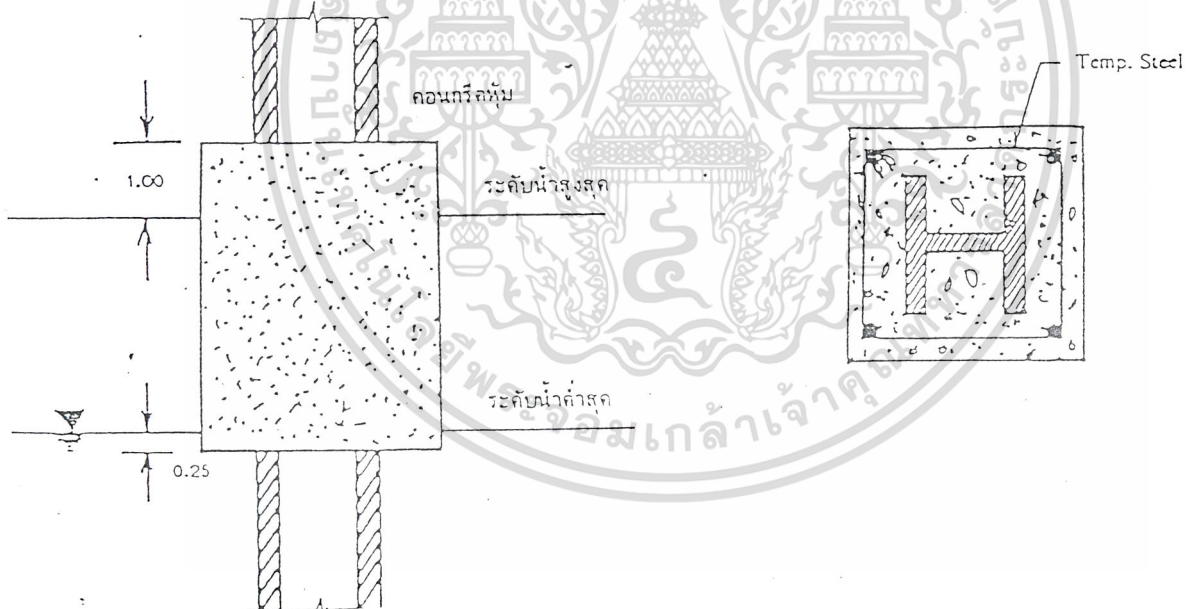
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ ก.11 ซึ่งแสดงขั้นตอนการทำ Pedestal type หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาเข็มเหล็ก (Steel Piles)

เสาเข็มเหล็ก ถ้าทำด้วยท่อเหล็ก มักจะเทคอนกรีตใส่ในท่อหลังจากตอกได้ถึงระดับที่ต้องการแล้วแต่เสาเข็มเหล็กที่ใช้กันอย่างกว้างขวางมักจะเป็นรูปตัว H เพราะสามารถตอกลงไปในดินได้ลึกกว่าชนิดอื่นๆ สามารถตอกทะลุชั้นหินบางได้ และสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่ารูปอื่นๆ

ข้อเสียของเสาเข็มเหล็กนั้นจะเห็นจากการกัดกร่อนเพียงอย่างเดียว แต่ถ้าตอกในชั้นดินที่ไม่ถูกรบกวนการกัดกร่อนจะน้อยมาก การป้องกันการกัดกร่อนนั้น เรามักเผื่อความหนาของเหล็กไว้ $1/16$ นิ้ว จากรูปหน้าตัดที่คำนวณได้หรืออาจจะเลือกใช้โลหะชนิดพิเศษ ซึ่งเขาทำไว้สำหรับป้องกันการกัดกร่อนโดยเฉพาะก็ได้

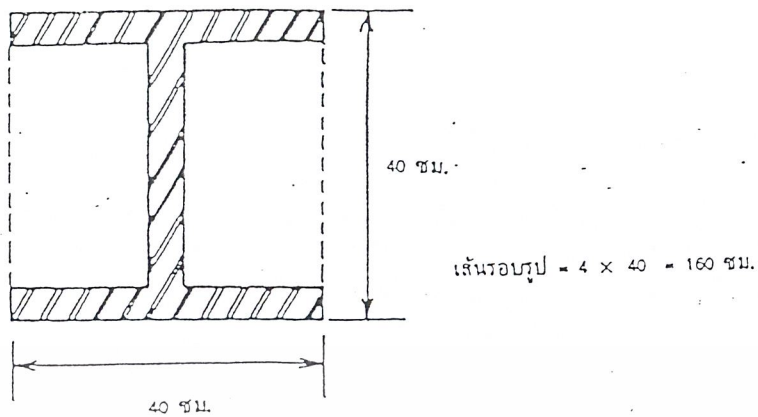
สำหรับเสาเข็มเหล็กที่ฝังอยู่ในชั้นดินที่ถูกรบกวนหรือชั้นดินถมบริเวณที่มีน้ำขัง น้ำลง หรือบริเวณที่เรียกว่า เปี้ยกๆ แห่งๆ นั้น เราต้องป้องกันบริเวณนี้เป็นกรณีพิเศษ เช่น เทคอนกรีตหุ้มก่อนถมดินหรือทาสีขี้เถ้า



รูปที่ ก.12 แสดงการเทคอนกรีตหุ้มเสาเข็มเหล็ก

สำหรับในการคำนวณการรับน้ำหนักของเสาเข็มกรณีเข็มเสียดทานนั้นให้คิดเส้นรอบรูปดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.13 เส้นรอบรูปที่ใช้ในการคำนวณเสาเข็มเหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาชี้มระบบเจาะกด (Auger Press)

พัฒนามาจาก ผลดี - ผลเสีย ระหว่างเข็มตอกกับเสาชี้มหล่อในที่ เข็มตอกมักมี ปัญหาเรื่องแรงสั่นสะเทือนต่ออาคารข้างเคียงหรือรบกวนพื้นที่ที่เกิดจากการแทนที่ด้วยเสาชี้มที่ตอก เข็มเจาะควบคุมคุณภาพและตรวจสอบคอนกรีตได้ยากไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

Partial auger press คือ เจาะดินกดและตอกในช่วงสุดท้าย (10φ)

Full auger press คือ เจาะและกดตลอดต้นโดยไม่ต้องตอก

อุปกรณ์

1. รถปั้นจั่น เป็นรถตีนตะขาบ
2. สว่านเจาะดิน
3. เครื่องตอก (Diesel hammer)
4. Shoe cutter เป็นอุปกรณ์ที่ใช้นำร่องในการกด หรือตอกเข็ม ใช้เฉพาะที่ ปลายเข็มต้นแรก
5. เสาชี้ม ต้องเป็นเสาชี้มกลวง อาจเป็นเสาชี้มหลักหรือคอนกรีต
6. รถแทรกเตอร์และรถตัก เพื่อขุดดินออกนอกบริเวณราบ

ขั้นตอนการทำงาน

1. สำรวจพื้นที่โดยทำการรังวัด ระดับและขอบเขตที่ดิน
2. ทำ grid line ตอกหมุด ทำแนว กำหนดตำแหน่งที่จะตอกเสาชี้ม
3. นำวัสดุอุปกรณ์ที่จะใช้งาน เข้าสู่สภาพที่ก่อสร้าง
4. ใส่ดอกสว่านเข้าไปในรูเสาชี้ม
5. ชักลากเสาชี้มของมอเตอร์กับปลายบนของดอกสว่าน
6. ต่อปลายล่างของมอเตอร์เข้ากับปลายบนของดอกสว่าน แล้วทำการตรวจสอบ ให้เสาชี้มและมอเตอร์อยู่ในแนวตั้ง โดยใช้ดิ่งและกล่องช่วยในการเล็ง
7. ทำการเจาะกด โดยหมุนดอกสว่านด้วยมอเตอร์สลับกับการกดเสาชี้มด้วยขา ไฮดรอลิก ดอกสว่านจะเจาะนำดินออกมาตามรูเข็มด้านบน
8. ชักลากเสาชี้มอีกต้น ซึ่งใส่ดอกสว่านไว้แล้วมาตั้ง ต่อบนเสาชี้มท่อนล่าง จากนั้นทำตามข้อ 6
9. ต่อเสาชี้มด้วยการเชื่อมด้วยไฟฟ้าตรงรอยต่อโดยรอบ

10. เจาะกดเสาชี้มจนปลายเสาชี้มต้นสุดท้ายอยู่สูงกว่าระดับดินประมาณ 5-10
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรมการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ของ ๘ เสาชี้ม
 ไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เปลี่ยนหัวเจาะเป็นหัวที่ใช้ในการตอก จากนั้นใส่กรวยปลายเสาเข็มแล้วทำการตอก
12. ในขณะที่ทำการตอกจะต้องบันทึก Blow Count จนกระทั่งได้ค่าความต้องการแล้วจึงหยุดตอก

เสาเข็มตอกด้วยปั้นจั่น

อุปกรณ์แบ่งออกเป็น 2 พวก

1. ปั้นจั่นและส่วนประกอบตัวปั้นจั่น ประกอบด้วย
 - 1.1 โครงปั้นจั่น
 - ตะเกียบ
 - เฟรมของโครงปั้นจั่น
 - 1.2 เครื่องคว้าน
 - 1.3 ลูกตุ้ม
2. อุปกรณ์ป้องกันความเสียหายของเสาเข็ม
 - 1.1 พั่ว
 - 1.2 หมวกเสาเข็มเหล็กหล่อ
 - 1.3 เสาส่ง
 - 1.4 Packing สิ่งบรรจุอัด เช่น กระจสบ ไม้ ฯลฯ
 - 1.5 Driving Cap หมวกเสาเข็มใช้ตอกเสาเข็มชนิดพิเศษ

ข้อปฏิบัติในการตอกเสาเข็ม

1. วัดระยะ 30 cm. ประมาณ 10 ช่วง ที่ปลายบน เพื่อพิบ Blow Count
2. ใช้สติผูกบริเวณจุดหึ่ง ลากเสาเข็มมาตั้งตรงหมด
3. ตั้งเสาเข็มให้ได้ตั้ง เทียบกับแนวตั้งเส้นเชือกที่ตั้งอยู่ด้านหน้าและด้านข้างเสาเข็ม
4. จะต้องมตรอบหัวเสาเข็มและหมอนรองรับหัวเสาเข็ม เพื่อป้องกันหัวเสาเข็มแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 5. การกระแทกของลูกตุ้มบนหัวเสาเข็ม จะต้องลงเต็มหน้าและตั้งฉากกับแกน
 ไม่ควรฉีกหัก ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ของเสาเข็ม

6. ต้องหยุดการตอกทันทีก่อนที่เสาเข็มเสียหาย เมื่อปรากฏ
 - เสาเข็มมีอาการสั่นและสะบัดไถลระดับผิวดิน
 - ลูกตุ้มเค็งขึ้นโดยเสาเข็มไม่ทรุดตัวเลย
 - หัวเสาเข็มแตก ทั้งที่ทำการตอกตามปกติ
7. ต้องหยุดการตอกทันทีเมื่อได้ Blow

Non – Pollution Pile (เสาเข็มเสียบ)

หลักการคือ การเจาะควนดินให้กระจายออก แล้วทำการฉีดน้ำปูน จากนั้นจึงนำเสาเข็มสำเร็จรูปเสียบลงไป

อุปกรณ์เหมือนระบบเจาะกด ต่างกันที่ใช้สว่านและมีปั้มน้ำปูนขึ้นตอนการทำ

สร้าง

1. เคลื่อนย้ายเครื่องมือ เสาเข็ม spun เครื่องจักรเข้ามาในพื้นที่ที่จะทำการก่อสร้าง
2. ทำการ mark ตำแหน่งเสาเข็ม
3. เคลื่อนรถปั้นจั่น (รถตีนตะขาบ) เข้าจุดที่กำหนด
4. ก่อนเริ่มหมุนสว่านต้องตรวจสอบตำแหน่งและแนวตั้งให้ได้เสียก่อน
5. เริ่มทำการเจาะให้ลึกถึงระดับที่ต้องการ ขณะเจาะมีการฉีดน้ำอัดลงไปด้วย

เพื่อให้การเจาะทำได้ง่ายขึ้น หลังจากเจาะถึงความลึกที่กำหนดแล้วให้ควนดินภายในหลุมและให้ยกแท่งเจาะขึ้นๆ ลงๆ ในรู โดยช่วงชักประมาณ 5-6 m. หลายๆ ครั้งเพื่อเป็นการอัดดินด้านข้างในหลุมเจาะ

6. ขึ้นตอนการอัดซีเมนต์เหลวเข้าไปในหลุม (ปอร์ตแลนด์ C + น้ำ) โดยปั้มซีเมนต์เหลวผ่านรูแท่งเจาะไปถึงปลายหลุม ซีเมนต์จะดันตัวขึ้นมาเรื่อยๆ แล้วดันน้ำโคลนในหลุมให้ท่อมออกจากปากหลุม ระดับซีเมนต์เหลวจะขึ้นมาสูง 1/3 ของความลึกหลุม

7. ตั้งแท่งเจาะพิเศษขึ้นจากหลุมโดยวิธีหมุนสวนทาง

8. ใช้รถปั้นจั่นยกเข็ม ซึ่งมี shoe cutter เชื้อติดกับปลายเข็มเพื่อให้ทะลวงดินนำมาเสียบเข้าไปในหลุม เพื่อความสูงปลายเข็มอยู่เหนือปากหลุมประมาณ 2 m. สำหรับเชื่อม

9. ใช้รถปั้นจั่นยกเข็มต้นบนมาให้วางตัวอยู่ในแนวตั้งเหนือเข็มด้านล่าง

10. ที่ปลายเข็มด้านล่างจะมีการครอบด้วยเข็มขัดรัดเสาเข็ม เพื่อช่วยปรับเสาเข็มทั้งสองด้านให้อยู่ในแนวเดียวกัน แล้วเชื่อมต่อเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้จัดทำให้เพื่อเผยแพร่โดยไม่มีการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นให้ไม่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ที่ปลายบนของเสาเข็มใช้เหล็กเขียวเชื่อมติดกับ plate เหล็กที่หัวเข็ม ในแนวรัศมีพุ่งออกจากศูนย์กลาง เพื่อให้สามารถขบเข้ากับร่องสำหรับสวมเข็มที่เครื่องหมุนเข็ม (Auger moter) หมุนกดให้เข็มลงไปในหลุม
12. เข็มที่ลงไปแทนที่ปริมาตรในหลุมทำให้ระดับ cementmilk ขึ้นมาถึงระดับ 2/3 ของความลึกหลุมขุด
13. ทดสอบเสาเข็มหลังจากตอกครบทุกต้นแล้ว โดยทำการสุ่มทดสอบด้วยวิธี Static Load Test

เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่

หมายถึง เสาเข็มเจาะ $\phi \geq 70$ cm. ความลึกของปลายเสาเข็ม ≥ 40 จากระดับผิวดินปลายเสาเข็มควรอยู่ในชั้นดินแข็ง รับน้ำหนักออกแบบ 300 ตัน/ต้น

สาเหตุที่ใช้เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่แทนเสาเข็มตอก

- ของดิน
1. ความเสียหายของอาคารข้างเคียง เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนและการเคลื่อนตัวของดิน
 2. ปัญหามลภาวะ
 3. ปัญหาการขนส่ง
 4. การตอกเข็มในที่ลึกทำได้ยาก

ข้อเสียของเสาเข็มเจาะ

1. ไม่สามารถตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตได้อย่างทั่วถึง
2. ราคาแพงกว่าเสาเข็มตอก

อุปกรณ์

1. รถขุดเจาะ
2. รถขุดดิน
3. ปลอกเหล็กชั่วคราว (Casing)
4. เครื่องกดตอนปลอกเหล็ก (Vibra Hammer)
5. หัวเจาะแบบสว่าน (Auger)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีศึกษาเพื่อเผยแพร่ในสื่อออนไลน์ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ระดับน้ำ
9. ชุดผสมและเก็บสารละลายเบนโทไนท์
10. เครื่องมือที่ใช้แยกทรายจากสารละลายเบนโทไนท์
11. เครื่องมือตรวจสอบคุณภาพสารละลายเบนโทไนท์
12. ท่อเทคอนกรีต (Trimic Pipe)
13. กล้อง Theodolite
14. เทปวัดระยะ
15. เครื่องสูบน้ำ
16. ลูกตั้ง
ฯลฯ

ขั้นตอนการทำงาน

1. กัดปลอกเหล็กในชั้นดินอ่อน (12 – 15 m.) เพื่อป้องกันรูเจาะเป็นคอคอด ป้องกันน้ำและการพังของรูเจาะ
2. เตะดิน โดยปกติจะใช้หัวเจาะแบบสว่าน เมื่อพบน้ำหรือดินมีลักษณะเหลว จะต้องเปลี่ยนหัวเจาะเป็นแบบตัวชุด ในขั้นตอนนี้จะต้องใส่สารละลายเบนโทไนท์ เพื่อป้องกันการพังทลายของดิน
3. ใส่เหล็กเสริมเสาเข็ม ลงไปในรูเจาะต่อกันจนได้ความยาวที่กำหนดไว้ ใช้เครื่องมือจับยึดเหล็กเสริมให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง
4. ลงท่อคอนกรีต ϕ 6" – 8"
5. เทคอนกรีต ก่อนเทคอนกรีตต้องใช้วัสดุไล่น้ำในรูเจาะออกไปจากท่อเท โดยใส่วัสดุ (โฟมเม็ด) ลงไปในปากกรวยของท่อเทคอนกรีตด้านบน แล้วจึงเทคอนกรีตผ่านกรวยรับคอนกรีตให้ไหลลงไปในท่อเท คอนกรีตจะดันโฟมเม็ดให้ขับน้ำออกไปจากท่อเท คอนกรีตที่เหลวจะเข้าไปแทนที่สารละลายเบนโทไนท์จากกันหลุมขึ้นมาจนเต็มรูเจาะ
6. ดึงปลอกเหล็กขึ้น หลังจากเทคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาเข็มเจาะขนาดเล็ก

หมายถึง เสาเข็มที่มีขนาด $\phi < 60$ cm.

อุปกรณ์

1. ขาหยั่งเหล็ก 3 ขา (Tripod) สูงตั้งแต่ 2 – 5 เมตร.
2. เครื่องคว้านลม เป็นเครื่องจักรกลหลักในการเจาะ ยก ดึง หรือถอนปลอกเหล็ก
3. เครื่องอัดลม ป้อนลมให้กับเครื่องคว้านลม
4. ปลอกเหล็ก
5. กระจ่า (Boring tackle) สำหรับตักดินในปลอกเหล็ก
6. ตุ่มน้ำหนัก สำหรับตอกปลอกเหล็ก

ขั้นตอนการทำ

1. จัดเครื่องมือเข้าศูนย์กลางเสาเข็มเจาะ แล้วให้กระจ่าเจาะนำเป็นรูลึก 1 m.
2. ตอกปลอกเหล็กถึงชั้นดินอ่อน (12-15 m.)
3. เจาะเอาดินออกโดยใช้กระจ่าชนิดมีลิ้นที่ปลาย อาศัยน้ำหนักตัวมันเอง ดำเนินไปถึงชั้นดินปนทราย ประมาณ 21-23 m.
4. หย่อนโครงเหล็กที่ผูกเตรียมไว้
5. เทคอนกรีตลงไปในหลุมเจาะ โดยเทผ่านกรวย ϕ 6" – 8" (Hopper) ยาวประมาณ 1 m.
6. 5 m. จากปากหลุม เริ่มถอนปลอกเหล็กออก ก่อนจะถอดจะต้องอัดลมเข้าไปในรูเจาะ ทำให้คอนกรีตยุบตัวแน่นขึ้น
7. ถอนปลอกเหล็กขึ้น คอนกรีตจะยุบตัวลงตามปริมาตรความหนาปลอกเหล็ก ควรเทคอนกรีตให้สูงกว่าระดับหัวเข็มตามแบบเผื่อไว้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาเข็มเจาะชนิดขนาดเล็ก

Micro Piles หมายถึง เสาเข็มเจาะชนิดขนาดเล็ก เป็นเสาเข็มเจาะขนาดเล็กแบบพิเศษ

คุณสมบัติ ของ Micro Piles มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าหรือเท่ากับ 300 มิลลิเมตร และโดยปกติจะมีขนาดระหว่าง 120 – 250 มิลลิเมตร แต่ความสามารถรับน้ำหนักของเสาเข็มชนิดนี้จะสูงมาก เสาเข็มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 มิลลิเมตร จะสามารถรับน้ำหนักได้ถึง 1 MN. หรือมากกว่า

เหตุผลสำคัญที่ทำให้เสาเข็มเจาะแบบนี้รับน้ำหนักได้สูงมาก เป็นเพราะวิธีการทำแบบพิเศษที่ฉีดอัดคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ให้แทรกเข้าไปในเนื้อดินได้ แต่ถึงแม้ว่าจะไม่ใช้วิธีการฉีดอัดนี้ กล่าวคือ เพียงแต่ใช้ความดันบรรยากาศเท่านั้น เสาเข็มแบบนี้ก็สามารถรับน้ำหนักได้ค่อนข้างสูง ซึ่งอาจเป็นเพราะใช้เวลาทำไม่มากและเนื้อดินโดยรอบรูเจาะจะมีการพักตัว (relaxation) ไม่มาก

เสาเข็มแบบนี้สามารถทำได้ทุกประเภทดินหรือหิน และสามารถทำให้เอียงในทิศทางใดก็ได้ บริเวณส่วนปลายเสาเข็มไม่มีการขยายตัวทำให้ถ่ายน้ำหนักบรรทุกออกไปสู่ดินโดยรอบ โดยอาศัยความฝืดรอบผิวเสาเข็มได้ เสาเข็มแบบนี้สามารถรับน้ำหนักได้ทั้ง 2 ทิศทางคือ ทั้งแรงอัดและแรงดึง แต่รับโมเมนต์ได้น้อย

การใช้งาน

การใช้งาน Micro Piles มักจะใช้ในงานซ่อมแซมอาคารที่ต้องเสริมความแข็งแรงให้กับฐานราก

วัตถุประสงค์ของการเสริมฐานรากของอาคาร มีดังนี้

1. เพื่อหยุดการทรุดตัวของอาคาร
2. เพื่อป้องกันการทรุดตัวของอาคาร
3. เพื่อเพิ่มการรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเดิม

การค้ำยัน (Shoring)

เป็นการทำการเสริมฐานชั่วคราว โดยมีวัตถุประสงค์คล้ายกับการเสริมฐานราก ซึ่งมีหน้าที่หลักดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีเห็นเหตุจำเป็นและต้องยื่นข้ออ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ป้องกันการทรุดตัวของโครงสร้างเนื่องจากการขุดดินประชิดกับโครงสร้าง
3. ป้องกันการทรุดตัวของโครงสร้างขณะทำการเสริมฐานราก

วัสดุและอุปกรณ์ในการทำ Micro Piles

1. หัวเจาะพื้นคอนกรีต
2. เครื่องเจาะ Micro Pile
3. เครื่องบังคับการเจาะ
4. ท่อ (casing)
5. หัวต่อ casing
6. หัวเจาะดิน , หิน
7. ก้านเจาะ
8. ประกับล๊อคท่อเหล็ก
9. เครื่องยิงน้ำเบนโทไนท์
10. สารละลายเบนโทไนท์
11. ถังรวมน้ำและเบนโทไนท์
12. เหล็กเสริม
13. หัวฉีดน้ำปูนในการทำ First Grout
14. เครื่องอัดน้ำปูน
15. ถังผสมปูนและถังกวนปูน
16. เครื่องเพิ่มแรงดันให้กับหัวฉีดน้ำปูน
17. หัว Packer

ขั้นตอนการติดตั้งเสาเข็มเจาะ Micro Pile

1. การเจาะพื้นคอนกรีต เป็นการเปิดปากหลุม ณ ตำแหน่งที่จะทำ Micro Pile โดยใช้หัวเจาะและเครื่องเจาะ

2. การพักล๊อคเหล็ก คือ การป้องกันการพังทลายของหลุมเจาะของชั้นดินเหนียวอ่อนที่มีการยึดเหนี่ยวของชั้นดินน้อยและเป็นตัวนำศูนย์ในการเจาะในชั้นดินแข็งที่อยู่ด้านล่างของ casing

3. การขุด จะใช้เครื่องเจาะดินดังแสดงในรูปที่ 2 เป็นการขุดแบบเปียก จะต้องมีการเติมสารละลายเบนโทไนท์ที่เป็นตัว stabilize ผันรุกรเจาะและก่อตัวเป็น Filter case ทำหน้าที่เคลือบผิวดินไม่ให้สารละลายซึมเข้าไปในดินได้อีก และสารละลายที่ใส่เข้าไปนี้จะทำหน้าที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ต่อต้านแรงดันที่เกิดขึ้นภายในรูเจาะไม่ให้รูเจาะพังทลาย ดินที่ได้จากการขุดจะขึ้นอยู่กับสารละลายเบนโทไนท์ โดยขุดลงไปลึกประมาณ 21 เมตร

4. การถอนก้านเจาะ เป็นการถอนก้านเจาะขึ้นหลังจากขุดดินลึกถึงระดับที่ต้องการ

5. การลง Micro Pile จะนำท่อ Micro Pile ที่เตรียมเรียบร้อยแล้วหย่อนลงไป

ในรูเจาะ

6. การทำ First Grout เป็นการหล่อคอนกรีตหุ้ม Micro Pile

7. การถอดปลอกเหล็ก (casing) หลังจากทำ First Grout เรียบร้อยแล้ว จะใช้เครื่องที่แสดงดังรูปที่ 2 ดึง casing ขึ้นอย่างช้าๆ และต้องดึงให้อยู่ในแนวตั้งตลอดเวลา เพราะถ้าไม่อยู่ในแนวตั้ง จะทำให้เสาเข็มที่ทำเอียงไปด้วย

8. การทำ Second Grout เป็นการทำกระเปาะให้กับ Micro Pile เพื่อเพิ่มพื้นที่รับแรงให้มากขึ้น จะทำหลังจากการทำ First Grout เสร็จสิ้นแล้วอย่างน้อย 12 ชั่วโมง โดยการนำหัว Packer หย่อนลงไปในท่อ Micro Pile จนถึงตำแหน่งแรกที่จะทำการ Second Grout แล้วจึงทำการอัดน้ำปูนจนกระทั่งได้ตามปริมาณที่ได้ทำการออกแบบไว้ หลังจากนั้นเลื่อน Packer ขึ้นมาให้ตรงกับตำแหน่งที่ 2 ที่จะทำการ Second Grout จากนั้นทำการอัดน้ำปูนเหมือนตำแหน่งแรก และทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนครบทุกตำแหน่งตามที่ได้ออกแบบไว้ แล้วทำการรอกน้ำปูนลงไปให้เต็มท่อ Micro Pile

9. การเชื่อมต่อ Micro Pile กับโครงสร้างเดิมของอาคาร เป็นการเชื่อมต่อเพื่อให้การถ่ายแรงเป็นไปโดยถูกต้อง และข้อมูฐานรากเดิมให้สามารถรับแรงได้

เสาเข็มที่ใช้ในการตอกเสาเข็มในน้ำ

1. เข็มเหล็ก

เป็นเข็มที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าเข็มคอนกรีต แต่จะมีปัญหาในเรื่องการเกิดสนิม แต่มีวิธีการแก้ไขโดยการพ่นสีกันสนิม (จะได้กล่าวในขั้นตอนการพ่นสี) และในขณะที่ตอกต้องใช้เข็มชั่วคราวที่เป็นลูกยางเพื่อกันสีที่พ่นลอกออกมา ข้อดีของเข็มเหล็กอีกประการคือ เมื่อทำการตอกแล้วเข็มเกิดการคลาดเคลื่อนจะใช้เข็มที่ตอกข้างเคียงดึงเข็มที่ตอกเคลื่อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เข็มคอนกรีต

จะใช้เข็มประเภทเข็มเหลี่ยม และเข็ม spun pile ซึ่งถ้าเป็นการตอกในน้ำเค็มจะต้องใช้ซีเมนต์ Type 5

ขั้นตอนการตอกเข็มในน้ำ

1. เริ่มจากการสำรวจดิน ดิน Boring Log เพื่อดูสภาพดิน ดูความแข็งของกระแสน้ำว่ามีทิศทางไหลอย่างไร เข็มหรืออาคารจะมีผลต่อแรงดันน้ำ แรงกระแทกของคลื่นหรือของเรือต่างๆ หรือไม่

2. จากนั้นวิศวกรก็จะนำข้อมูลต่างๆ มาทำการคำนวณออกแบบเสาเข็มว่าควรจะใช้เสาเข็มขนาดเท่าไร ต้องตอกลงไปลึกมากน้อยเพียงใด เพราะว่าส่วนใหญ่แล้วการตอกเข็มในน้ำนี้จะต้องให้หัวเข็มโผล่ขึ้นมาเหนือผิวน้ำ เพื่อความสะดวกในการทำงาน จากนั้นก็คำนวณว่าการ check blow count ของเข็มจะใช้ last ten blow เท่าไร ซึ่งจะต้องทำการคำนวณไว้ก่อน เพราะว่าจะต้องพยายาม design เข็มให้มีความยาวที่ตอกลงไปแล้วจะต้องไม่จมน้ำ

3. วิศวกรจะต้องวางแผนต่อไปว่า ใช้อุปกรณ์ใดบ้างในการตอกเข็มในน้ำ ถ้าเป็นคลองเล็กๆ หรืออยู่ริมฝั่งมากก็อาจใช้ปั้นจั่นนั่งบนนั่งร้าน หรือเรือโป๊ะที่นำปั้นจั่นไปประกอบ แต่ถ้าเป็นการตอกในบริเวณน้ำที่มีความลึก มีคลื่นแรงหรือในน้ำทะเลก็ต้องใช้เรือปั้นจั่นที่สร้างมาเพื่องานตอกเข็มในน้ำโดยเฉพาะ อีกทั้งยังต้องมีการทำ Piling Plan ด้วย โดยการตัดกระดาษเป็นรูปเรือโป๊ะ แล้วลองดูหาว่าเรือโป๊ะสามารถเข้าถึงเข็มทุกต้นหรือไม่ ต่อจากนั้นจะทำการตรวจดูว่าควรตอกเข็มต้นไหนก่อน เพื่อไม่ให้เข็มต้นที่ตอกไปแล้วก็ตขวางการตอกเข็มต้นถัดไป

4. เมื่อมีการเตรียมงานแล้ว ก็มาถึงขั้นตอนการเสาเข็มเริ่มจากการลำเลียงเสาเข็ม และการกองเสาเข็ม หากเป็นการตอกบริเวณฝั่งก็สามารถขนส่งทางบกได้ และกองเข็มในบริเวณริมฝั่ง ในตำแหน่งที่สามารถชักลากได้สะดวก เหมือนกับการตอกเสาเข็มบนบกทั่วไป และหากสถานที่ก่อสร้างอยู่ห่างจากโรงงานผลิตเข็มมาก ไม่คุ้มค่าขนส่งก็อาจทำการหล่อเข็มในบริเวณก่อสร้างเลย

ในกรณีการตอกเข็มในน้ำลึก การขนส่งและการลำเลียงเข็มจากทางบก โดยการชักลากผ่านทางนั่งร้านทำลำบาก ก็อาจใช้วิธีลำเลียงลงแพหรือโป๊ะที่สามารถบรรทุกเข็มจำนวนหลายๆ ต้นได้ และลำเลียงไปส่งยังจุดตอก และหากสภาพดินเอื้ออำนวยให้ก็สามารถปักเข็มลงในตำแหน่งใกล้เคียงกับจุดตอกไว้ได้เลยแล้วถอนขึ้นมาใช้เมื่อต้องการจะตอก แต่ถ้าเรามีเรือเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งมาไว้สำหรับภารโรงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โป๊ะลำเลียงอยู่แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องปักเข็มรอไว้ก็ได้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การหาตำแหน่งของเสาเข็มในน้ำ ก็จะเหมือนกับการตอกเข็มทำการสำรวจวงหมุดของเข็มบนดิน โดยเริ่มจากการทำวงรอบ วางตำแหน่งของ BM ทำ Reference โดยฝากไว้ที่ตำแหน่งต่างๆ ถ้าเป็นริมชายฝั่งก็พยายามที่จะวาง Base Line ของเข็มให้ขนาดกับแนวการตอกเข็ม เพราะการปักหมุด (peg) ในน้ำทำไม่ได้ หรือจะทำได้ยาก สำหรับการทำการตอกบนหนึ่งร้าน ก็อาจจะสามารถวางหมุดของเสาเข็มไว้บนหนึ่งร้านโดยตรง แต่ถ้าเป็นการตอกด้วยเรือโป๊ะบริเวณชายฝั่งและน้ำไม่ลึกมากนัก ก็สามารถที่จะทำหนึ่งร้านเป็นสะพานสำหรับเล็งแนวออกไปในน้ำได้ ซึ่งบางครั้งอาจจะต้องทำสะพานเล็งแนวสองด้าน โดยทำเป็นหนึ่งร้านที่แข็งแรงแล้วปักแนวหมุดของเข็มในแนวร้านเป็นแนวเล็ง ส่วนด้านฝั่งก็จะวางแนว Base Line ให้ตั้งฉากกับแนวแรก จุดที่เล็งกับแนวตัดกันเป็นตำแหน่งของเข็มในน้ำ (จะกล่าวอย่างละเอียดในขั้นตอนการทำ Survey)

สำหรับการให้ตำแหน่งเข็มในทะเล จะต้องมีการทำ Plate Form ไว้ตั้งกล้อง ซึ่งจะต้องมีการทำวงรอบในทะเลก่อนโดย วาง plate form ซึ่งจะต้องสามารถตั้งอยู่ได้ โดยจะมีขาหยั่งลงไปบนพื้นดิน เมื่อทำการวงรอบเสร็จแล้วก็ใช้หมุดต่างๆ บน Plate form เป็น Reference ในการหาตำแหน่งเข็มโดยจะต้องทำการเล็งสกัด 2 จุด

6. จากนั้นก็จะเริ่มทำการตอกเข็ม โดยใช้เรือโป๊ะหรือปั้นจั่น บันจันจะทำการยกเข็มขึ้นไป โดยคนงาน survey จะบอกให้เรือโป๊ะเคลื่อนตัวเข้าหาตำแหน่งของเข็ม โดยใช้ตัว winch กว้านสมอที่วางไว้รอบๆ ตัว เรือโป๊ะจะเคลื่อนตัวจนได้ตำแหน่งของเข็ม คน survey จะสั่งให้คนขับเรือโป๊ะตั้งแนวเล็งให้ตรง แล้วสั่งให้คนขับเรือโป๊ะปักเข็มตรงตำแหน่ง ทำการกดเข็มโดยใช้ Hammer กดลงไปด้วยน้ำหนักของตุ้มเองก่อน ต่อเมื่อกดไม่ลงแล้วจึงทำการตอกในครั้งแรกเข็มอาจจะเอียงหรือผิดตำแหน่งลงไป ส่วนใหญ่แล้วถ้าเป็นการตอกเสาเข็มในน้ำ เข็มจะมีความยาวมาก เพราะจะต้องพยายามตอกเข็มให้หัวเสาเข็มโผล่อยู่เหนือระดับน้ำ

สำหรับการตรวจสอบตั้งของเข็มจะใช้กล้อง Theodolite ดูที่ขอบเสาขณะทำการตอก โดยเล็งทั้งสองด้านจะต้องมองเห็นตลอด ก็แสดงว่าเข็มได้ตำแหน่งและได้ตั้งแล้ว

ในบางครั้งการตอกเข็มในน้ำ จำเป็นต้องตอกเข็มเอียงเพื่อรับแรงที่กระทำจากด้านข้าง เช่น การทำผูกเรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่ ซึ่งจะเกิดแรงดึงและแรงอัดในทุกทิศทาง เข็มเอียงจะรับน้ำหนักได้ดีกว่า การเอียงเข็มจะต้องใช้ปั้นจั่นในการเอียงตัว จากนั้นจะต้องทำไม้ฉากวัดความเอียง ซึ่งไม้นั้นจะติดระดับน้ำไว้ด้วยเพื่อเป็นตัวเช็คความเอียงได้ตามความเอียงที่กำหนดไว้หรือไม่ สำหรับการดูตำแหน่งเข็มจะใช้ pile cut off เป็นตัวเช็คที่ตั้งที่ผิวเหมือนการตอกเข็มแนวตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

1. ปัญหา ตอกแล้วไม่ได้ Blow Count ในความลึกที่กำหนด อาจเกิดจากเสาเข็มเกิดการ Crack หรือการทำ Boring log ผิดพลาดทำให้การ Design ผิดพลาด
การแก้ไข ถ้าเกิดจากการ Crack ต้องถานหรือตอกเข็มต้นใหม่ในจุดที่รับแรงได้อย่างปลอดภัย ถ้าเกิดจากการทำ Boring log ผิดพลาด ต้องต่อเสาเข็มจนกว่าจะได้ Blow Count ที่จะกำหนด ยกตัวอย่างเช่น ที่ Site งานทำเรื่อน้ำลึกแหลมฉบัง มีการทำ Boring log และ Design เสาเข็มที่ความลึก 15 เมตร แต่เมื่อทำงานจริงๆ ที่ความลึก 15 เมตร ยังไม่ได้ Blow Count จึงทำการตอกทดลอง พบว่าต้องต่อเข็มให้ได้ความลึก 32 เมตร จึงจะได้ Blow Count ตามต้องการ
2. ปัญหา การตอกเสาเข็มคลาดเคลื่อน
การแก้ไข ถ้าอยู่ในระยะที่ยอมให้ และสามารถรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย สามารถอนุญาตให้ใช้ได้ แต่ถ้ามีการผิดพลาดเพิ่มขึ้น ควรทำการแก้ไขโดยตอกเสาเข็มแซมซึ่งต้องตอกให้สามารถรับกำลังรวมได้อย่างปลอดภัย ในกรณีที่เป็นเสาเข็มเหล็ก ๓ ทำการประกอบเสาเข็มด้วยแผ่นเหล็กแล้วทำการดึงให้ได้แนวที่ต้องการ
3. ปัญหา การขึ้นลงของระดับน้ำ
การแก้ไข การขึ้นลงของระดับน้ำ ถ้าระดับน้ำลดลงต่ำมาก จะทำให้เรือโป๊ะไม่สามารถปฏิบัติงานได้ ดังนั้นการทำงานต้องศึกษาตารางน้ำ จะทำให้สามารถคาดหมายเวลาที่ปฏิบัติงานในแต่ละวันได้ แต่ปัญหานี้โดยทั่วไปไม่ค่อยพบ เนื่องจากการตอกเข็มในน้ำจะเป็นการทำท่าเรือเสียส่วนใหญ่ ดังนั้นก่อนจะทำงานจะมีการขุดให้ได้ความลึกที่สามารถให้เรือเทียบทำได้
4. ปัญหา คลื่นแรง
การแก้ไข ต้องรอให้คลื่นลมอยู่ในระดับที่สามารถจะทำงานได้ แต่ในต่างประเทศเรือที่ทำการตอกเสาเข็มในน้ำมีการพัฒนาและสามารถแก้ปัญหาได้ โดยเรือจะทำการปัก Spud ลงไปถึงก้นทะเลและออกแรงดันจนโป๊ะอยู่ในระดับเหนือผิวน้ำทะเล ดังนั้นคลื่นจะไม่มีอิทธิพลต่อการทำงาน
5. ปัญหา การจราจรและการขนส่ง
การแก้ไข การขนส่งนิยมทำ 2 ทาง คือ ทางบก และทางน้ำ ทางน้ำไม่ค่อยเป็นปัญหามาก แต่ทางบกนี้ต้อง Design เสาเข็มให้สามารถทำการขนส่งได้อย่างสะดวกและปลอดภัย ส่วนในด้านการลำเลียงเสาเข็ม จะมีระยะยกถ้าเป็นเสาเข็ม Spun จะมีระยะยกปลอดภัยที่ L/5 จากปลายเสาเข็ม ถ้าทำการขนถ่ายโดยการยกผิวดูด จะทำให้เกิดการ Crack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปัญหา ไม่สามารถเข้าถึงหมุดที่จะทำการตอกได้

การแก้ไข ต้องพิจารณาเป็นกรณี ถ้าสามารถทำการตอ่หน้าร้านได้ก็ให้ทำการตอ่หน้าร้าน แล้วตอกแต่อย่างไรก็ดี ปัญหานี้จะไม่เกิดขึ้นถ้ามีขั้นตอนการทำงานที่ดี และรัดกุม โดยการทำแผนการตอก (Piling Plan) จะต้องมีการวางแผนว่าจะตอกต้นในก่อนเพื่อกันไม่ให้เกิดการเซไปตอกเข็มไม่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทั่วไป และการใช้เสาเข็ม

ชนิดของเสาเข็ม	รับน้ำหนักปลอดภัยสูงสุด ตัน/ต้น	ข้อดี	ข้อเสีย	การใช้งาน
ไม้	25	(ญ) ราคาถูก (ฉ) ตอกง่าย เพราะไม้ รับแรงกระแทกได้ดี	(ฅ) รับน้ำหนักได้น้อย (ณ) ต้องอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ ดินทุกฤดูกาล (ด) ไม่คงทนอายุใช้งานไม่ ควรเกิน 25 ปี - ตอกผ่านทะลุชั้นดินแข็ง หรือชั้น หินบางๆ ไม่ได้ - ต้องเสริมเหล็ก เพื่อป้องกันการ เสียหายเนื่องจากการขนส่งและ การตอก - เปลืองที่เก็บ - ต้องใช้เวลาในการบ่อก่อนใช้งาน - ต้องใช้เครื่องมือหนัก ในการส่ง และตอก - ถ้าจำเป็นต้องตัด ทำได้ลำบาก และเสียค่าใช้จ่ายสูง	- ใช้รับโครงสร้างที่มีน้ำหนักบรรทุก ไม่มากนัก - ใช้รับฐานรากอาคารชั่วคราว - ใช้รับแรงกระแทกจากเรือ ตอนเรือ เทียบท่า - ใช้เป็นขาหยั่งของสะพาน - ใช้รับฐานรากของอาคาร และ สะพาน - ใช้เป็นกำแพงกันดิน
คอนกรีตหล่อสำเร็จ	80 ต้น ยกเว้นคอนกรีตอัดแรง	(ฎ) รับน้ำหนักได้มาก (ฉ) คงทน (ช) สามารถเลือกใช้ปูน ซีเมนต์เพื่อป้องกันผลเสียหาย เนื่องจากน้ำทะเลหรือดินที่มี SO_3 ผสมอยู่สูงๆได้		

ชนิดของเสาเข็ม	รับน้ำหนักปลอดภัยสูงสุด ตัน/ต้น	ข้อดี	ข้อเสีย	การใช้งาน
คอนกรีตหล่อในที่	60-300 ต้น ขึ้นอยู่กับสภาพดิน และขนาดของเสาเข็ม	(ด) รับน้ำหนักได้มาก (ถ) คงทน (ท) เลือกความยาวได้ ตามต้องการ (ธ) การเสียหายเนื่อง จากชนส่งและการตอกไม่มี (น) ไม่ทำความเสียหาย ให้แก่อาคารข้างเคียง เนื่อง จากการตอก	- คอนกรีตที่ใช้ต้องแห้งกว่าปกติ (อัตราส่วนน้ำต้ำซีเมนต์ต่ำ) - ขึ้นอยู่กับคุณภาพของงาน - ตรวจสอบได้ยาก	- ใช้กับฐานรากของอาคารและ สะพานได้ทุกขนาดของน้ำหนัก บรรทุก
เหล็ก	120 ต้น	(บ) รับน้ำหนักได้มาก (ป) สามารถตอกทะลุชั้น ดินแข็งหรือชั้นหินบางๆ ได้ (ผ) ตัดหรือต่อได้ง่าย (ฝ) ชนส่งสะดวก	- แพง - เสียหายจากกรรกัตรอน เนื่อง ด้วยการแยกตัวด้วยประจุไฟฟ้าถ้า ตอกในบริเวณที่ดินมีค่า PH สูง หรือต่ำกว่า 7	- ใช้รับฐานรากอาคารที่รับน้ำหนัก มาก ๆ
เข็มประกอบ		(พ) คงทน (ฟ) ราคาไม่แพงนัก	- รับน้ำหนักได้น้อยข้อต่อระหว่าง สองส่วนต้องระวังเป็นพิเศษอาจ เสียหายขณะตอกหรือขณะตอก เข็มข้างเคียง	- รับน้ำหนักอาคารทุกชนิด โดย เฉพาะอย่างยิ่งกับฐานรากที่บาง ส่วนจมอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินอีก บางส่วนอยู่เหนือระดับน้ำ

ตารางที่ ก.2 ข้อกำหนดในการออกแบบเสาเข็ม Allowable design Stress in piles by Several codes

Codes ชนิดของเสาเข็ม	National bldg. code, 1967	Uniform bldg. Code, 1964	Chicage bldg. code, 1967	American std. bldb. Code, 1952	AASIO Specifications 1965
ไม้	600 – 800 psi ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้	60% ของความเค้นอัดสูง สุด แต่ต้องไม่มากกว่า 1,000 psi	900 – 1200 psi ขึ้นอยู่กับ ชนิดของไม้		
คอนกรีต	0.225 f _c ทุกชนิดของเสาเข็ม f _c ไม่น้อยกว่า 3000 psi	0.225 f _c สำหรับเสาเข็ม ทุกชนิดยกเว้น Pipe piles; 0.25 f _c สำหรับ Pipe piles ชนิดเท คอนกรีตภายใน	0.4 f _c สำหรับเสาเข็ม หล่อในที่หรือ Pipe piles; 0.25 f _c สำหรับเสาเข็ม ปลอกเกลียว ; 0.213 f _c สำหรับเสาเข็มปลอก เดี่ยว	0.225 f _c	0.33 f _c สำหรับเสาเข็ม คอนกรีตเสริมเหล็ก 0.4 f _c สำหรับ Pipe piles
เหล็ก	9000 psi สำหรับเสาเข็มรูปตัว H และท่อเหล็ก	12000 psi สำหรับเสาเข็มรูปตัว H และท่อเหล็ก	12000 psi สำหรับเสาเข็มรูปตัว H และท่อเหล็ก	9000 psi สำหรับเสาเข็มรูปตัว H และท่อเหล็ก Opsi ถ้าท่อ เหล็กบางกว่า 0.10 นิ้ว	9000 psi สำหรับเสาเข็มรูปตัว H และท่อเหล็ก

ตารางที่ ก.3 การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะ , เข็มตอกด้าน
อื่นๆ

ข้อเปรียบเทียบ	เสาเข็มเจาะตอก	เสาเข็มเจาะ	เสาเข็มเสียบ
1. ความประหยัด	ประหยัดเนื้อคอนกรีตกว่า เนื่องจากใช้คอนกรีตกำลัง สูงมาก รุกวางทำให้ ประหยัดเนื้อที่คอนกรีต	ใช้คอนกรีตปริมาณมาก เพราะต้องใช้คอนกรีตทั้ง ต้น	เหมือนเสาเข็ม เจาะตอก
2. ปัญหาด้านสังคม	มักมีปัญหาเกี่ยวกับอยู่ข้าง เคียง เนื่องจากการตอก เสาเข็มช่วงสุดท้าย	ปัญหาเสียงเจาะและการ กระจายของน้ำสารละลาย เบนโทไนท์	ประสบปัญหาน้อย เพราะสามารถ ทำงานโดยไม่เกิด การสั่นสะเทือนต่อ บริเวณข้างเคียง
3. พื้นที่การทำงาน	พื้นที่การทำงานกว้าง เพราะต้องใช้เครื่องจักร เข้าทำงานได้สะดวกและ ใช้เครื่องจักรหลายตัวที่ ต่างชนิดกัน	พื้นที่การทำงานต้องกว้าง มากพอที่จะให้เครื่องจักร เข้าไปทำงานได้ และมีพื้นที่ สำหรับผูกเหล็ก ฝังเก็บ	ไม่ต้องอาศัยพื้นที่ การทำงานมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะ , เข็มตอกด้านวิธี

ข้อเปรียบเทียบ	เสาเข็มเจาะตอก	เสาเข็มเจาะ	เสาเข็มเสียบ
วิธีการทำ	<p>Auger Press & Drop Hammer</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. หาดำแหน่งเสาเข็ม 2. ยกเสาเข็มที่สอดสว่านไว้ทำการปักเสาเข็มายังตำแหน่งที่กำหนด 3. ส่งเสาเข็มถึงระดับที่กำหนด 4. ดึงสว่านเจาะดินออก 5. นำเสาเข็มท่อนต่อไปมาต่อ โดยการเชื่อม 6. ตอกส่งเสาเข็มด้วย Drop hammer จะถึงระดับที่กำหนด <p>Auger Press</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. หาดำแหน่งเสาเข็ม 2. ยกเสาเข็มที่สอดสว่านไว้ทำการปักเสาเข็ม 3. ส่งเสาเข็มถึงระดับที่กำหนด 4. นำเสาเข็มท่อนต่อไปมาต่อ โดยการเชื่อม 5. เจาะดินและกดเสาเข็มจนเหลือ 10 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม 6. ดึงสว่านเจาะดินออก 7. ตอกเสาเข็มจนถึงระดับที่ต้องการ ด้วย Drop Hammer <p>Auger Press</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. หาดำแหน่งเสาเข็ม 2. ยกเสาเข็มที่สอดสว่านไว้ทำการเสายังตำแหน่งที่กำหนด 3. ส่งเสาเข็มถึงระดับ 4. ต่อเสาเข็มท่อนต่อไปโดยการเชื่อม 5. เจาะดินและกดเสาเข็มจนถึงระดับดินเหนียวแข็ง 6. ดึงสว่านออก 7. ทำการอัดดินให้แน่นด้วยพอน 8. เขตอนกรีตที่ปลายเสาเข็ม 	<ol style="list-style-type: none"> 1. หาดำแหน่งเสาเข็ม 2. ทำการเจาะดิน 3. ทำความสะอาดกันหลุม 4. ทำการวางโครงเหล็ก 5. ทำการเทคอนกรีต 	<p>Special Excuvation Method</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. หาดำแหน่งเสาเข็ม 2. ขุดดินโยใช้สว่านเจาะดินถึงระดับที่ต้องการ 3. ถอนสว่านเจาะดินขึ้น 4. ในระหว่างที่ถอนสว่านขึ้นทำ 5. ใช้เสากลมแรงเหวี่ยงเสียบลงไป 6. ส่งเสาเข็มจนถึงระดับที่กำหนด <p>Cement Milk Method</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. หาดำแหน่งเสาเข็ม 2. ขุดดินโยใช้สว่านเจาะดิน ถัดดินแข็งตื้นน้ำ 3. ขุดดินถึงระดับที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกทั้งหมดมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะ , เข็มตอก ด้านวิธี

ข้อเปรียบเทียบ	เสาเข็มเจาะตอก	เสาเข็มเจาะ	เสาเข็มเสียบ
ขนาดที่นิยมใช้ ขนาดที่สามารถทำและ กำลังใช้	ศก. 600 x 30 m. ศก. 500 - 2000 mm. ลึกลง 21 - 55 mm.	ศก. 800 x 30 m. ศก. 250 - 1200 mm. ลึกลง 21 - 45 mm.	ศก. 500 x 30 m. ศก. 250 - 1200 mm. ลึกลง 21 - 45 mm.
ข้อจำกัด	ไม่มีข้อจำกัด คือถ้า สามารถทำการเจาะได้ก็ สามารถทำเสาเข็มได้ ตาม ต้องการ	ความลึกยังจำกัดอยู่ที่ระดับ 45 m. แต่ก็ยังไม่นิยม เพราะไม่แน่ใจในรอยเชื่อม ของเสาเข็มตาม พรบ. ยัง จำกัดอยู่ที่ ขนาด ศก. 600 mm. เท่านั้น	ความลึกจำกัดอยู่ระดับ 30 m. เท่านั้น

ตารางที่ ก.6 การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะ , เข็มตอกด้านราคา

ข้อเปรียบเทียบ	เสาเข็มเจาะตอก		เสาเข็มเจาะ		เสาเข็มเสียบ
	ศก. 600 x 30 m. x 30 m	ศก. 800	ศก. 600 x 30 m. x 30 m	ศก. 800	
1.ราคา / 1 เมตร	2100 บ./ม.	2100บ./ม.	2000 บ./ม.	3000บ./ม.	2100บ./ม.
2.ราคา / 1ตัน โหลต	16-21 บ.	12.5-18 บ.	16-20 บ.	15-18.5 บ.	14-17.5 บ.
3. ขนาดและน้ำ หนัก	100-300 ตัน/ตัน	140-200 ตัน/ตัน	100-125 ตัน/ตัน	160-200 ตัน/ตัน	120-150 ตัน/ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ข้อมูล

ตารางที่ ก.7 การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะ , เข็มตอก ในด้านตัวเสาเข็ม

ข้อเปรียบเทียบ	เสาเข็มเจาะตอก	เสาเข็มเจาะ	เสาเข็มเสียบ
1. คุณภาพเสาเข็ม	คุณภาพสม่ำเสมอและแน่นนอน	คุณภาพไม่สม่ำเสมอ ควบคุมคุณภาพได้ยาก เนื่องจากอุปสรรคของสภาพดิน สภาพการทำงาน ดินฟ้าอากาศ ฯลฯ	คุณภาพสม่ำเสมอและแน่นนอน เพราะสามารถควบคุมคุณภาพได้
2. การตรวจสอบ	สามารถตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่า	ไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่า ต้องใช้เครื่องมือราคาแพง เช่น Ultrasonic ตรวจสอบและหากเสาเข็มต้นใดคุณภาพไม่ได้มาตรฐานการแก้ไขเป็นเรื่องยุ่งยาก	สามารถตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่า
3. ปัญหาตรงรอยต่อ	เท่าทำทำการก่อสร้างไม่พบปัญหาเรื่องนี้	การเชื่อมโครงสร้างเหล็กไม่มีปัญหา	เกิดปัญหาน้อยมาก
4. การตอกเสาเข็ม	ปัญหาส่วนนี้มึ่มาก โดยเฉพาะบางครั้งเกิดปัญหาการสั่นสะเทือน ทำให้อาคารข้างเคียงร้าว เกิดเสียงรบกวน	ไม่มีปัญหา	ไม่เกิดปัญหาเสียงรบกวน
5. ระดับปลาย	ปลายเข็มมักอยู่ใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้	ระดับปลายเข็มตรงกับที่ออกแบบไว้ แต่ที่ไม่ตรงเพราะเจาะไม่ลง	ระดับปลายเสาเข็มตรงกับที่ออกแบบไว้
6. เข็มหนีศูนย์	ปลายเข็มมักอยู่ใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้	ปลายเข็มมักอยู่ใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้	ปลายเข็มมักอยู่ใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้
7. การเคลื่อนตัวของดิน	มีปัญหาการเคลื่อนตัวของดินบ้าง บริเวณดินร่วน	สามารถทำการเจาะดินได้	ไม่เกิดปัญหาการเคลื่อนตัวของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวารุ้ชงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะ , เข็มตอก ในด้านการขนส่ง

ข้อเปรียบเทียบ	เสาเข็มเจาะตอก	เสาเข็มเจาะ	เสาเข็มเสียบ
การขนย้ายวัสดุ	ปัญหาเกี่ยวกับการขนย้ายมีมาก เช่น 1. หากพื้นที่ทางเข้าแคบ ต้องใช้เสาเข็มสั้น เสียเวลา และค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 2. ปัญหาในการยกเสาเข็ม	ไม่ค่อยมีปัญหา ถ้ามีก็คือการส่งคอนกรีตไม่ทันตามแบบที่กำหนดไว้ ทำให้ไม่ได้กำลัง ต้องมีการตรวจสอบคอนกรีตก่อนการเท	ปัญหาเหมือนเสาเข็มเจาะตอก

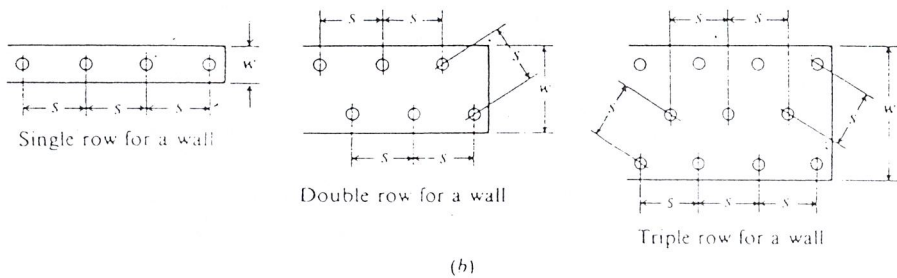
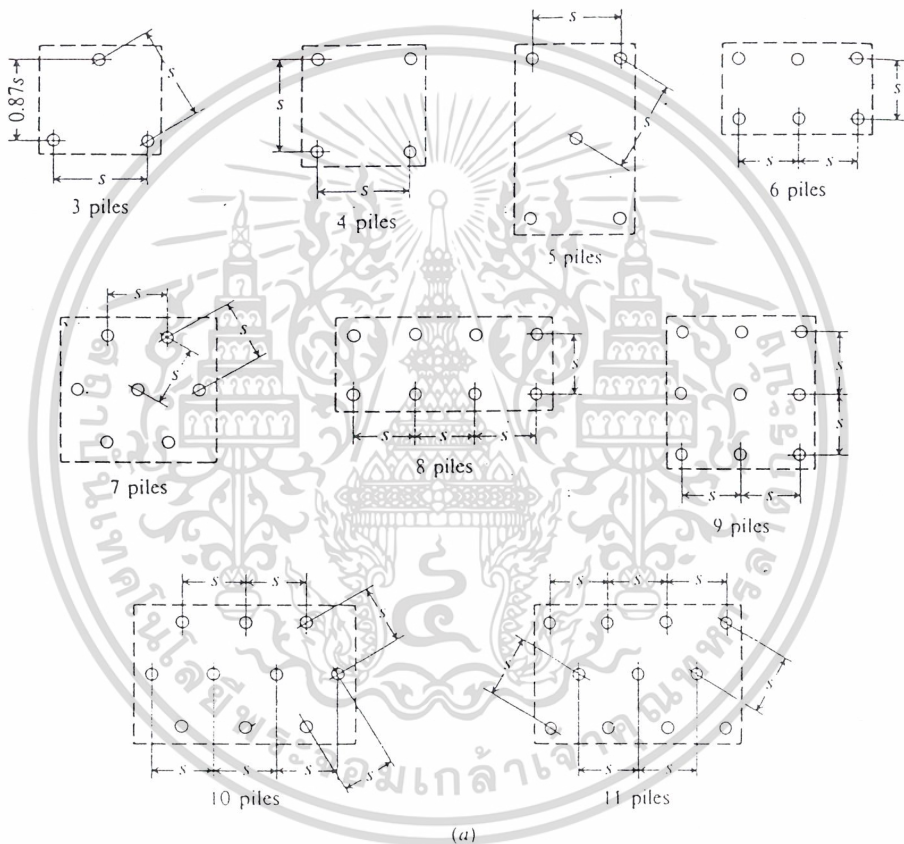
ตารางที่ ก.9 การเปรียบเทียบระบบเสาเข็มเสียบ , เข็มเจาะ , เข็มตอก ในด้านเครื่องจักร

ข้อเปรียบเทียบ	เสาเข็มเจาะตอก	เสาเข็มเจาะ	เสาเข็มเสียบ
เครื่องจักรที่ใช้	จะใช้เครนแบคโฮตเครื่องตอกส่วนใช้เจาะดินที่สามารถสอดเข้าไปในรูกลวงของเสาเข็มได้ และที่สำคัญที่ปลายหัวเจาะจะมีรูเปิดสำหรับทำการฉีดน้ำเวลาที่เจาะดินที่แข็ง	เครื่องจักรเหมือนกับระบบเครื่องเจาะตอก ต่างกันที่มีถึงเก็บดินเวลาทำการเจาะดินที่อ่อนและไวบอร์แฮมเมอร์	เครื่องจักรเหมือนระบบเจาะตอก ต่างที่ใช้สว่านเจาะและมีปั๊มน้ำปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พื้นฐานทั่วไป

ปกติแล้วเรามักจะไม่ใช่เสาเข็มต้นเดียวในการรับแรงมักจะใช้เสาเข็มไม่ต่ำกว่า 3 ต้น เพื่อเพิ่มเสถียรภาพที่ดี บางครั้งอาจเพื่อเพิ่มสมรรถภาพในแนวราบ การจัดตำแหน่งของเสาเข็มกลุ่มมีผลต่อการรับแรงมากจำนวนและลักษณะการจัดเรียงแสดงดังรูป

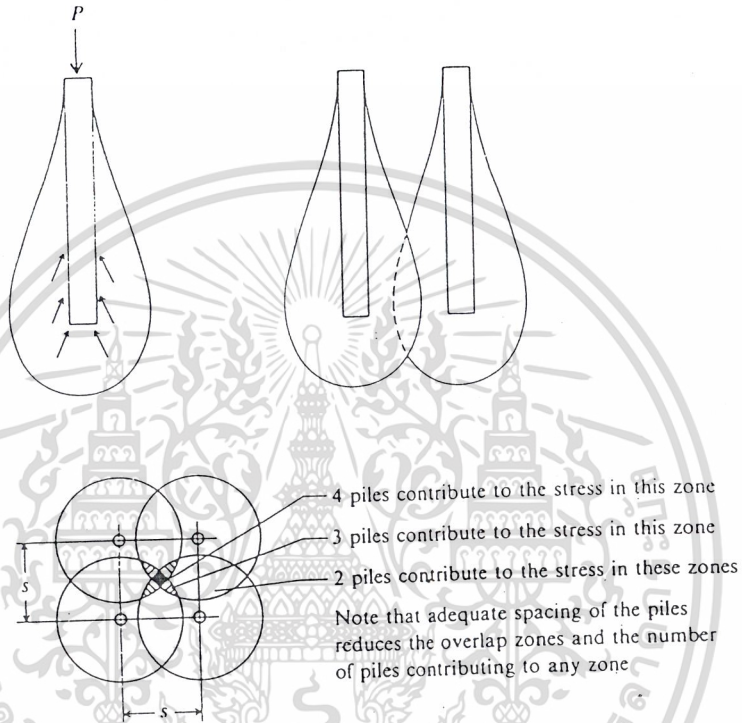


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ข.1 การจัดรูปแบบของเสาเข็มกลุ่มโดยทั่วไป
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังสงวนลิขสิทธิ์ไว้ด้วย
(a) single pile (b) foundation pile

2.ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่ม

เมื่อใช้เสาเข็มหลายต้น อยู่ใกล้กัน ดินที่อยู่โดยรอบเสาเข็มจะรับแรงเสียดทานได้ไม่เต็มที่ ทำให้ผลการรับน้ำหนักของเสาเข็มกลุ่มลดลง ในทางปฏิบัติจึงมีการลดค่า ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่ม (efficiency of group , E_g)

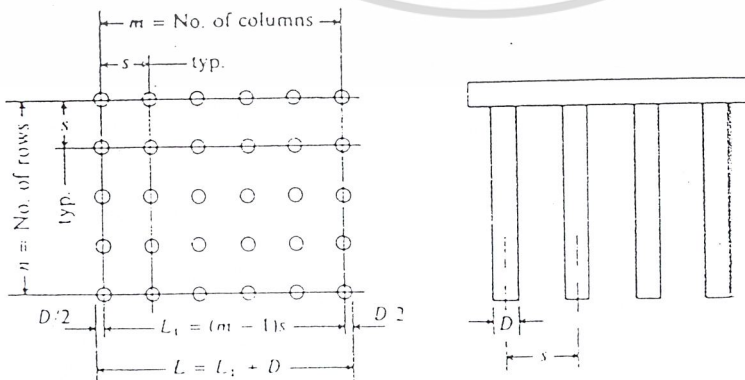
เมื่อ
$$E_g = \frac{\text{แรงเสียดทานตามเส้นรอบรูปของเสาเข็มกลุ่ม}}{\text{ผลรวมของแรงตามเส้นรอบรูปหรือผิวเสาเข็มเดี่ยว}}$$



รูปที่ ข.2 แสดง stress ที่ซ้อนกันของเสาเข็มกลุ่ม

มีวิธีการหา E_g หลายวิธีดังนี้

2.1 ตามทฤษฎี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ **รูปที่ ข.3** ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มกลุ่มตามทฤษฎีทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{แรงเสียดทานตามเส้นรอบรูปของเสาเข็มกลุ่ม} &= c_a[(m - 1)S + D + (n - 1)S + D]2 \\ &= c_a[2(m+n-2)S + 4D] \end{aligned}$$

$$\text{ผลรวมของแรงเสียดทานรอบผิวเสาเข็มเดี่ยว} = c_a[mn\pi D]$$

$$E_g = \frac{2(m + n - 2)S + 4D}{mn\pi D}$$

$$\text{หาก } E_g = 100\%, S = \frac{1.57Dmn - 2D}{m + n - 2}$$

สมการนี้ค่อนข้างจะให้ค่าของ E_g สูงและมีโอกาสที่จะให้ค่าที่สูงกว่า 100% ส่วนลดของแรงดังกล่าวนี้พบว่าขึ้นอยู่กับลักษณะและขนาดของเสาเข็มกลุ่ม ขนาด ระยะห่างและความยาวของเสาเข็มเดี่ยว สภาพของชั้นดิน ทั้งนี้จะไม่มีส่วนลดสำหรับแรงต้านทานส่วนปลาย ได้มีผู้รู้หลายท่านได้ทำการวิเคราะห์หาสมการไว้เป็นจำนวนมากและให้ผลที่แตกต่างกันออกไป แต่ที่พบว่าได้มีการใช้กันมากในการประเมินหาส่วนลดของเสาเข็มกลุ่มมีดังต่อไปนี้

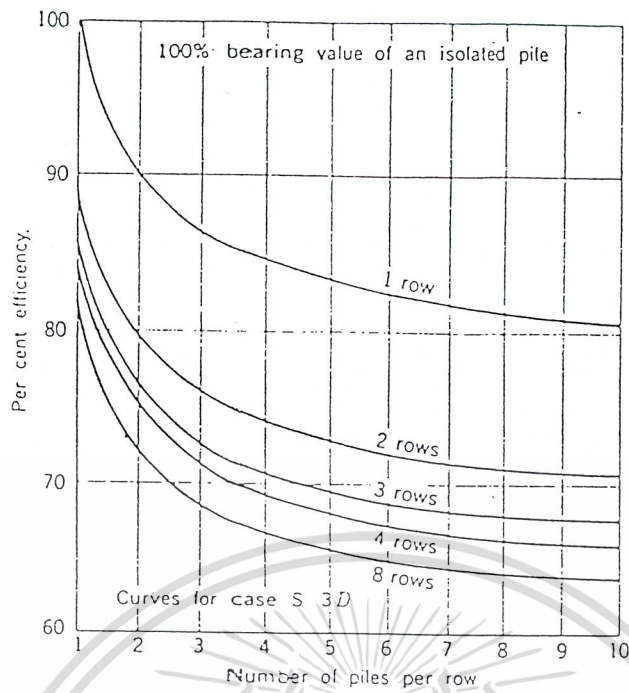
2.2 The Converse – Labarre formula

เป็นสมการที่นิยมใช้กันมากและบรรจุอยู่ในมาตรฐานเกี่ยวกับการก่อสร้างหลายแห่ง เช่น AASHO , Uniform Building Code of the International Building Officials Conference

$$E_g = 1 - \phi \left[\frac{(n - 1)m + (m - 1)n}{90mn} \right] \dots\dots\dots (ข.1)$$

$\phi = \tan^{-1} (D/S)$ มีหน่วยเป็นองศา

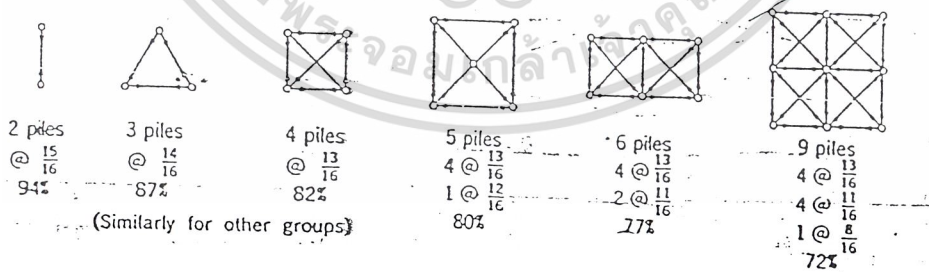
สำหรับคำอธิบายอักษรย่อตัวอื่นนั้นดูได้จากรูปที่ ข.3 ส่วนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการ ข.1 ในกรณี $S = 3D$ ได้แสดงไว้ในรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่มจากสูตรของ Converse - Labarre

2.3 Feld's rule

อาศัยหลักการที่ให้ลดเสาเข็มที่อยู่ข้างเคียงทุกต้นด้วย 1/16 โดยประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่มจะเป็นค่าเฉลี่ยทั้งหมดของเสาเข็มหลังจากการหักลดแล้ว ทั้งนี้เสาเข็มจะต้องมีระยะห่างไม่น้อยกว่าขั้นต่ำที่กำหนดและมีความยาวเท่ากันทุกต้น รูปที่ ข.5 เป็นตัวอย่างของการใช้กฎเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้นนี้



รูปที่ ข.5 ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่มจาก Feld's rule

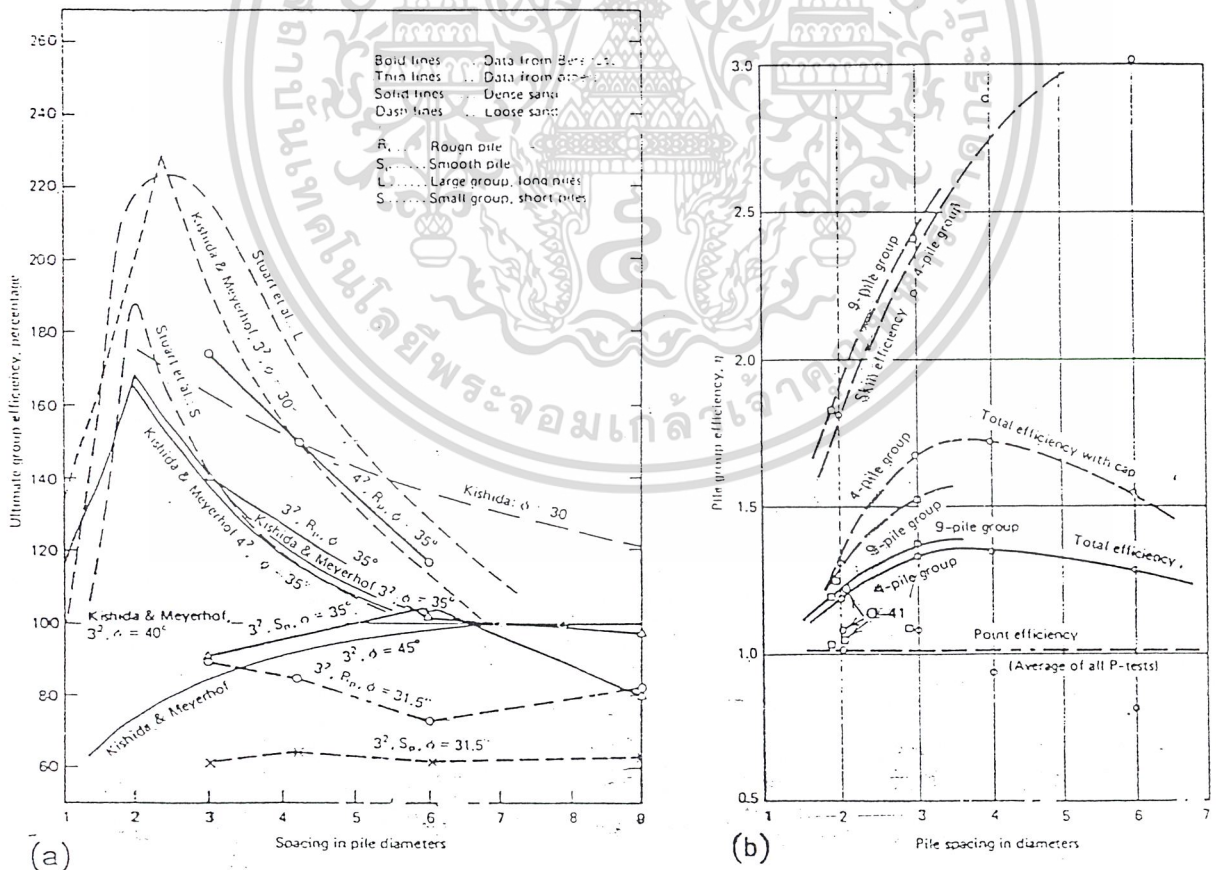
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสูตรสำเร็จคล้ายกับข้อ (a) แต่ให้ค่าที่ต่ำกว่า

$$E_g = \left[\frac{1 - 11S(m+n-2)}{7(S^2 - 1)(m+n-1)} \right] + \frac{0.3}{m+n} \dots\dots\dots (ข.2)$$

สมมุติว่าน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มเดี่ยวเป็น 60 ตัน โดยประกอบด้วยแรงเสียดทาน 24 ตัน และแรงต้านทานส่วนปลาย 36 ตัน ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเป็น 3 เท่าของขนาดเสาเข็มและมีเสาเข็มทั้งหมดจำนวน 4 ตัน จากข้อมูลข้างต้นเมื่อใช้ Converse – Labarre formula จะได้ $E_g = 79.5\%$ และน้ำหนักปลอดภัยที่เสาเข็มกลุ่มนี้รับได้ = $4(0.795 \times 24 + 36) = 108$ ตัน

อย่างไรก็ตาม ได้มีการวิเคราะห์หา group efficiency ของเสาเข็มที่อยู่ในทรายและพบว่า ทรายที่อยู่ระหว่างเสาเข็มจะมีพฤติกรรมร่วมกับเสาเข็มเป็น group interaction ทำให้ end – bearing ของเสาเข็มกลุ่มรับน้ำหนักได้ดีขึ้น เช่นเดียวกับกับผลกระทบจากการใช้ pile cap ยึดหัวเสาเข็ม อันเป็นเหตุให้ group efficiency ของเสาเข็มในภาพรวมดีขึ้นและมีค่าสูงกว่า 100% ดังแสดงไว้ในรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.6 Pile group efficiency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (a) แบบจำลองในทราย (LO, 1967) (b) พิจารณารวมทั้ง pile cap (Vesic, 1969)

3. ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ ของเสาเข็มกลุ่ม

3.1 ระยะห่างของเสาเข็ม โดยทั่วไปเท่ากับ 3D (3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม) รายละเอียดแสดงตามตาราง

ตารางที่ ข.1 ระยะห่างในแต่ละชนิดของเสาเข็ม

ลักษณะเสาเข็ม	ระยะห่างขั้นต่ำ	BOCA (1989), NBC (1976) CHICAGO (1987)
Point – bearing piles in hard stratum	2 – 2.5D หรือ 2.5 ฟุต	2 D
Point – bearing piles on hard bedrock	2D หรือ 2 ฟุต	
Friction piles	3 – 5D หรือ 3.5 ฟุต	1 D

3.2 ลักษณะของชั้นดิน

3.3 ความยาวของเสาเข็ม

3.4 ลักษณะการจัดกลุ่มของเข็ม

4. การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม

จากที่ได้กล่าวมาแล้วจะพบว่า การหาปริมาณการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวที่ให้ผลน่าเชื่อถือนั้นๆ ได้มาจากการทดสอบด้วยของจริงในสนาม เพราะการคำนวณหาทางทฤษฎีค่อนข้างจะซับซ้อนและยังให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจนัก การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวนั้นเกิดจากสาเหตุส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของ

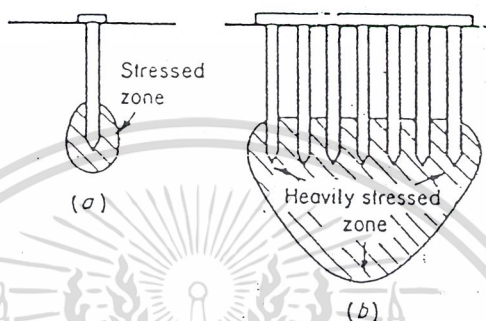
- elastic compression ของเสาเข็ม
- elastic และ plastic deformation ของดินรอบเสาเข็ม
- elastic และ plastic deformation ของดินส่วนปลายเสาเข็มและลึกลงไป
- การเคลื่อนที่หรือลื่นไถลของเสาเข็มสัมพันธ์กับดินโดยรอบ
- creep ของเสาเข็มเมื่อมีน้ำหนักคงที่มากกระทำ

ทฤษฎีที่ใช้ประเมินหาการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวได้พัฒนามาถึงปัจจุบันนี้แบ่งวิธีการออกเป็น 3 กลุ่มคือ

- Load – transfer methods ซึ่งใช้ความสัมพันธ์ของแรงต้านทานของเสาเข็มและการเคลื่อนที่ของจุดต่างๆ ตลอดความยาวเสาเข็ม (ประมาณปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
1966
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Methods based on theory of elasticity อาศัยทฤษฎีทางอีลาสติคและสมการของ MINDLIN (1936) หาปริมาณ displacement เมื่อมีแรงกระทำที่ผิวดิน (หลังปี 1936)
- Numerical methods ใช้วิธีการของ finite element วิเคราะห์ non – linear stress – strain curve ของดิน (หลังปี 1971)



รูปที่ ข.7 การเปรียบเทียบการกระจายของแรง
(a) เสาเข็มเดี่ยว (b) เสาเข็มกลุ่ม

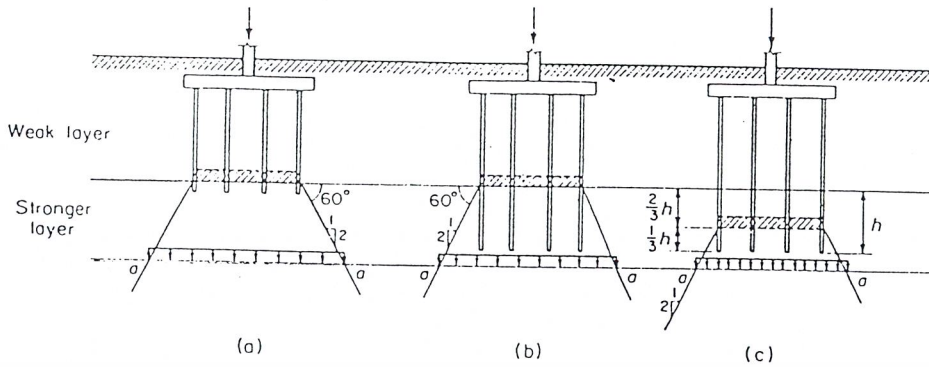
ได้มีการทดสอบเสาเข็มเพื่อพิสูจน์ผลของการวิเคราะห์ทั้งสามวิธี แต่ก็ยังหาข้อสรุปที่ดีไม่ได้ในทางปฏิบัตินั้นมิได้ใช้เสาเข็มเพียงต้นเดียวให้รับน้ำหนักจากอาคาร แต่จะใช้เป็นลักษณะของเสาเข็มกลุ่ม เพื่อลดปัญหาเกี่ยวกับแรงกระทำเบื้องต้นและเสถียรภาพของฐานรากบนเสาเข็ม stressed zone ของดินใต้เสาเข็มกลุ่มจะมีขนาดใหญ่กว่าและมีขอบเขตกว้างกว่าของเสาเข็มเดี่ยวมากเช่นดังในรูปที่ ข.6 ดังนั้นจึงได้เน้นหนักถึงหลักการที่จะทำการพิจารณาวิธีการประเมินหาการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม วิธีการที่ง่ายและใช้กันมานานแล้วได้แก่

- SKEMPION (1953) : อัตราการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มต่อเสาเข็มเดี่ยว = $\frac{(4B + 9)^2}{(B + 12)^2}$

B = ความกว้างของเสาเข็มกลุ่มมีหน่วยเป็นฟุต

- BJERRUM et al (1957) : ได้ศึกษาเปรียบเทียบกรณีแรกกับการสมมุติให้มี flexible footing ที่ระดับหนึ่งใต้เสาเข็มกลุ่มโดยมีการกระจายของแรงดังแสดงไว้ในรูปที่ ข.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.8 การประมาณหาแรงที่กระจายของชั้นใต้ดินของเสาเข็มกลุ่ม

(a) point – bearing piles (end – bearing piles)

(b) , (c) friction piles แต่วิธี (c) ให้ผลที่น่าเชื่อถือมากกว่า

สำหรับวิธีการอื่นซึ่งใช้ทฤษฎีอธิบายโดยละเอียดนั้นหาอ่านได้จากหนังสือเกี่ยวกับการใช้เสาเข็ม เช่น BOWLES (1988), POULOS and DAVIS (1980) เป็นต้น โดยหลักการนั้นควรพยายามให้ปลายของเสาเข็มวางไว้ในชั้นดินที่ก่อให้เกิดปัญหาการทรุดตัวให้น้อยที่สุด ดังนั้นการประมาณอย่างหยาบดังที่กล่าวมาแล้วจะใช้ได้ดีในทางปฏิบัติ แต่ควรระลึกไว้เสมอว่าการกระจายของแรงของเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่มจะมีผลต่อการทรุดตัวของดินใต้เสาเข็มในปริมาณที่แตกต่างกันมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการจัดวางตำแหน่งเสาเข็มกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
คุณสมบัติของดินชั้นต่างๆ

Consistency	Wn	γ_t (t/m^3)	S_u (t/m^2)	N-Value
Very Soft Clay	90-100%	1.40-1.45	0.50-1.00	0.00-2.00
Soft Clay	65-80%	1.60	1.50-2.50	2.00-4.00
Medium Clay	45-55%	1.70	3.00-4.00	4.00-8.00
Stiff Clay	20-30%	1.90-2.00	มากกว่า 13	8.00-15.00
Very Stiff				15.00-30.00
Hard				มากกว่า 30

หมายเหตุ

$$2/3N = S_u$$

N	Dr	ϕ (angle of friction)
0.00-5.00	0.00-5.00	26.00-30.00
5.00-10.00	5.00-30.00	28.00-35.00
10.00-30.00	35.00-42.00	35.00-42.00
10.00-30.00	38.00-46.00	38.00-46.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

วรการ ไม้เรียง , วิศวกรรมฐานราก , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา , คณะวิศวกรรมศาสตร์ ,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วรการ ไม้เรียง , จิรพัฒน์ โชติกไกร และ ประทีป ดวงเดือน “ ปรุพีกลศาสตร์ทฤษฎี
และปฏิบัติการ “ , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา , คณะวิศวกรรมศาสตร์ ,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2526)

หน้านักบรรทุกเสาะเข็ม(2521) ข้อมูล ว.ส.ท.E.I.T. Data 1001-21 กรุงเทพมหานคร
บุญเทพ นานะรังสรรค์ , Foundation Engineering and Tunnelling .

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา , คณะวิศวกรรมศาสตร์ , มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

TERZAGHI,K. (1943) ; Theoretical Soil Mechanics , John Wiley & Sons,Inc.,New York

TOMLINSON,M.J.(1975) ; Foundation Design and Construction,3rd,4th and 5th ed ..

Pitman Publishing Ltd .. London

WHITAKER , T .(1970) ; The Design of Piled Foundation , Pergamon Press , London

MEYERHOF , G.G. (1950) ; The Ultimate Bearing Capacity of Foundations ,

Geotechnique , Vol.2 , pp.301-332

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้