



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธีพลศาสตร์กับวิธีการคำนวณทางสถิตยศาสตร์ กรณีศึกษา อาคารศูนย์การค้าจตุจักรมอลล์

โดย นายไพศาล เสือแก้ว

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาโยธา

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงศ์)

21 พฤษภาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันชัย อินทพิชัย)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤษ)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชัยรัตน์ ชีระวัฒนสุข)

การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยวิธีพลศาสตร์กับวิธีการคำนวณ
ทางสถิตยศาสตร์ กรณีศึกษาอาคารศูนย์การค้าจุฬารัตน์

นายไพศาล เสือแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาโยธา ภาควิชาครุศาสตร์โยธา
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายไพศาล เสือแก้ว
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธีพลศาสตร์กับ
วิธีการคำนวณทางสถิตยศาสตร์ กรณีศึกษาอาคารศูนย์การค้าจุฬารัตน์
สาขาวิชา : โยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันชัย อินทพิชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพุกภัย
ปีการศึกษา : 2549

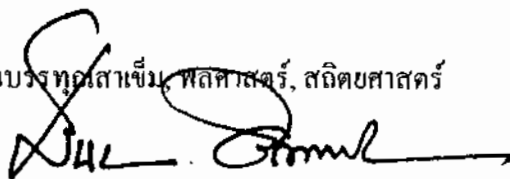
บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอก ด้วยวิธีทดสอบการรับน้ำหนักเสาเข็มแบบพลศาสตร์ (Dynamic Pile Load Test) กับการคำนวณจากสูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) และเปรียบเทียบการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทางพลศาสตร์ กับวิธีการคำนวณจากข้อมูลการเจาะสำรวจดินโดยนำข้อมูลเสาเข็มตอกชนิด Spun Pile ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.40-0.80 เมตร ยาว 18.00-36.00 เมตร จำนวน 37 ต้น เสาเข็มรูปตัวไอขนาด 0.30×0.30 และ 0.40×0.40 เมตร ยาว 18.00-27.00 เมตร จำนวน 16 ต้น และเสาเข็มสี่เหลี่ยมตันขนาด 0.30×0.30 และ 0.40×0.40 เมตร ยาว 18.00-27.00 เมตร จำนวน 15 ต้น

ผลการวิจัยพบว่า เสาเข็มรูปกลมกลวง (Spun Pile) จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบพลศาสตร์ มีค่าเท่ากับ 318.91 ตัน และการคำนวณการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยวิธี Janbu's Formula Danish's Formula และ Modified Gate's Formula โดยมีค่าเท่ากับ 310.53 ตัน 244.53 ตัน และ 208.37 ตันตามลำดับ และพบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสูตรของ Janbu ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธีพลศาสตร์โดยมีแนวโน้มให้ค่าต่ำกว่าร้อยละ 2.63 ส่วนเสาเข็มรูปตัวไอและเสาเข็มสี่เหลี่ยมตันขนาด 0.40×0.40 เมตร พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสูตรของ Modified Gate ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธีพลศาสตร์โดยมีแนวโน้มให้ค่าสูงกว่าร้อยละ 12.95 และ ร้อยละ 27.26 ตามลำดับ สำหรับการเปรียบเทียบการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทางพลศาสตร์ กับวิธีการคำนวณจากข้อมูลการเจาะสำรวจดินผลปรากฏว่าการคำนวณจากข้อมูลการเจาะสำรวจดินให้ค่าต่ำกว่าร้อยละ 7.5

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 175 หน้า)

คำสำคัญ : น้ำหนักบรรทุกเสาเข็ม, พลศาสตร์, สถิตยศาสตร์



อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr.Paisan Suakaew
Thesis Title : A Comparison of Pile Capacity between Dynamic and Static Pile Load Test :
A Case Study of Jatujak Mall Building
Major Field : Civil Technology
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisors : Assistant Professor Dr.Sunchai Inthapichai
Associate Professor Dr.Panich Voottipruex
Academic Year : 2006

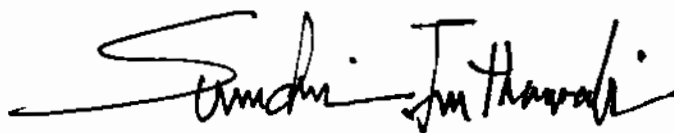
Abstract

The objective of this study is to compare between load capacity by using dynamic pile load test, Pile driving formula and calculated capacity from soil boring log data. The data obtained from spun piles with diameter and length ranged from 0.40-0.80 m. and 18.00-36.00 m., respectively. Sixteen of 0.30 x 0.30 m. I-section piles with the length ranged from 18.00-27.00 m. as well as fifteen of 0.30 x 0.30 m. and 0.40 x 0.40 m. square section piles with the length ranged from 18.00-27.00 m. were also studied.

From the spun pile results, it can be seen that the load capacity from dynamic pile load test was 318.91 tones and load capacity from Janbu's formula, Danish's formula and Modified Gate's formula were 310.53, 244.53 and 208.37 tones, respectively. By using Janbu's formula, the load capacity was 2.63% higher than load capacity from dynamic pile load test. For I-section piles and 0.40 x 0.40 m. square section, it was found that the load capacity from Modified Gate's formula were higher than load capacity from dynamic pile load test about 12.95% and 27.26%, respectively. Furthermore, the load capacity that calculated from soil boring log data was 7.5% lower than load capacity from dynamic pile load test.

(Total 175 pages)

Keywords : Pile Capacity, Dynamic Load Test, Static Load Test



Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันชัย อินทพิชัย และรองศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด อันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณมาใน ณ ที่นี้

ท้ายนี้ผู้ทำวิจัยขอระลึกถึงพระคุณบิดามารดา ครู อาจารย์ที่อบรมสั่งสอนวิชาความรู้อันมีค่า ให้แก่ผู้วิจัย ตลอดจนครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยช่วยด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด จึงใคร่ขอขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงมาใน ณ ที่นี้ด้วย

ไพศาล เสือแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากการเก็บข้อมูล	5
2.2 การวิเคราะห์ในชั้นดินต่างประเทศ	7
2.3 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม	9
2.4 การหาน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม โดยใช้ข้อมูลจากผลทดสอบ การรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม (Pile Load Test Data)	60
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	63
3.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์	63
3.2 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้	64
3.3 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	65
3.4 การวิเคราะห์ผลโดยใช้วิธีการทางสถิติ	65
บทที่ 4 ผลการวิจัย	67
4.1 ผลการเปรียบเทียบการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มตอกโดยวิธี ใช้สูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) กับข้อมูลวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Pile Load Test)	67
4.2 ผลการหาการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มตอก โดยวิธีของ Chin (1970) จากข้อมูลการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) ของเสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.	81

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	97
5.1 สรุปผล	97
5.2 ข้อเสนอแนะ	98
บรรณานุกรม	99
ภาคผนวก ก	103
ผลการคำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม โดยวิธีใช้สูตร Static Pile Formula	104
ภาคผนวก ข	115
การคำนวณจากสูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula)	116
ภาคผนวก ค	141
ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มในสนาม โดยวิธีใช้สูตร Dynamic Pile Load Test	142
ภาคผนวก ง	157
ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มในสนาม โดยวิธีใช้สูตร Static Pile Load Test	158
ภาคผนวก จ	165
ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มในสนาม โดยวิธีใช้สูตร Static Pile Load Test	166
ประวัติผู้วิจัย	175

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ค่าตัวประกอบการชดเชยสำหรับเสาเข็มคอกชนิดต่างๆ ในดิน Cohesive	14
2-2	ค่า N_c ที่สำหรับ $\phi = 0$ จากงานวิจัยที่ผ่านมา	18
2-3	ความสัมพันธ์ของค่ามุมเสียดทาน 8 ระหว่างเสาเข็มคอกทรายตามชนิดของเสาเข็ม	21
2-4	ค่า S_u , S_y สำหรับเสาเข็มชนิดต่างๆ	24
2-5	ค่า Bearing Capacity Factors สำหรับสมการของ Terzaghi (1943)	25
2-6	Hammer coefficient (ch).	34
2-7	ค่า Case Damping Factor J_c	49
2-8	การจำแนกความเสียหาย (Damage Classification)	60
4-1	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีคำนวณ โดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test (Q_u) ชนิดเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.45-0.80 m.	68
4-2	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Q_u) วิธีคำนวณ โดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ชนิดเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.45 m.	70
4-3	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Q_u) วิธีการคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ชนิดเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.50 m.	71
4-4	ตารางเปรียบเทียบ Ultimate Load (Q_u) วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับ วิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ชนิดเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m.	72
4-5	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Q_u) วิธีการคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ชนิดเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.45 m.	75
4-6	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Q_u) วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มตัวไอ ขนาด Dia 0.30 m.	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-7	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Qu) วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Load Pile Load Test (DLT) เสาเข็มตัวไอขนาด Dia 0.35 m.	77
4-8	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Qu) วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ชนิดเสาเข็มตัวไอขนาด Dia 0.40 m.	78
4-9	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Qu) วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Load Pile Load Test (DLT) ชนิดเสาเข็ม เสาเข็มตอกรูปสี่เหลี่ยมขนาด Dia 0.30 × 0.30 m.	79
4-10	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Qu) วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ (DLT) ชนิดเสาเข็มเสาเข็มตอกรูปสี่เหลี่ยมขนาด Dia 0.40 × 0.40 m.	80
4-11	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.	81
4-12	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.	82
4-13	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.	83
4-14	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.	84
4-15	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-16	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.	86
4-17	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.	87
4-18	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.	88
4-19	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.	89
4-20	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.	90
4-21	เปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักปลาย Ultimate Load (Qu) ทั้ง 5 วิธี ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m. โครงการ : สะพานทางหลวง 34 ตอนบงนา-สุวรรณภูมิ	91
4-22	เปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักปลาย Ultimate Load (Qu) ทั้ง 4 วิธี ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m. โครงการ : MAHASAWAT TREATMENT	92
4-23	เปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักปลาย Ultimate Load (Qu) ทั้ง 4 วิธี ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m. โครงการ : อาคาร JJ.MALL (จตุจักร)	93
ก-1	การคำนวณน้ำหนักบรรทุกปลายของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static Pile Formula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia. 0.60 m.	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก-2	การคำนวณหาหน้าหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static Pile Fumula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia. 0.60 m.	105
ก-3	การคำนวณหาหน้าหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static Pile Fumula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia. 0.60 m.	106
ก-4	การคำนวณหาหน้าหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static Pile Fumula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia. 0.60 m.	107
ก-5	การคำนวณหาหน้าหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static Pile Fumula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia. 0.60 m.	108
ก-6	การคำนวณหาหน้าหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static Pile Fumula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia. 0.60 m.	109
ก-7	การคำนวณหาหน้าหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static Pile Fumula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia. 0.60 m.	110
ก-8	การคำนวณหาหน้าหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static Pile Fumula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia. 0.60 m.	111
ก-9	การคำนวณหาหน้าหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static Pile Fumula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia. 0.60 m.	112
ก-10	การคำนวณหาหน้าหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static Pile Fumula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia. 0.60 m.	113

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 การรับน้ำหนักของเสาเข็ม	10
2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับ S_u สำหรับเสาเข็มตอก	14
2-3 ค่าตัวประกอบการยึดเกาะสัมพันธ์กับค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ จากการทดสอบ Unconfined Compression, Tomlinson (1970)	16
2-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการยึดเกาะกับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ	17
2-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการยึดเกาะของเสาเข็มตอกในดินกรุงเทพฯ แรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ได้จากการทดลอง Unconfined Compression	17
2-6 ค่าตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงต้านทานของดินเหนียวภายใต้หลักการ $\phi = 0$ Skempton (1951)	18
2-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $K_s \tan \phi'_s$ และ ϕ	21
2-8 ระบายการพังทลายที่สมมุติขึ้นของฐานรากแบบลึก	23
2-9 กราฟแสดงค่า Bearing Capacity Factor (N_c, N_q, N_γ) ของ Terzaghi (1943)	24
2-10 ระบายการพังทลายที่นำมาคำนวณหาแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม	26
2-11 ขนาดน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มที่ปลายฝังอยู่ในชั้นทราย	27
2-12 พลังงานต่างๆ จากขบวนการตอกเสาเข็ม	29
2-13 ข้อสมมุติสำหรับ Load Deformation ในองค์ประกอบต่างๆ	30
2-14 การเคลื่อนตัวของเสาเข็ม	32
2-15 Comparison of the Driving Records of Diesel and Drop Hammers Comparison of the Driving Records of Diesel and Drop Hammers Comparison of the Driving Records of Diesel and Drop Hammers Comparison of the Driving Records of Diesel and Drop Hammers Three Comparison $x_1/x_2, x_3/x_4$ and x_5/x_6	35
2-16 การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มทางสถิติศาสตร์	40
2-17 Derivation of Proportionality and Wave Speed GOBLE (1990)	44
2-18 Derivation of One-Dimensional Wave Equation	45
2-19 แรงและความเร็วอนุภาคในเสาเข็มขณะตอก (กรณี $Z_b = Z_p$)	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-20	แรงและความเร็วของอนุภาคกับเวลาที่วัดได้ในหัวเสาเข็ม 47
2-21	ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยวิธีทางพลศาสตร์ (สมมุติฐานตาม Case Method) กับวิธีทางสถิตยศาสตร์ 50
2-22	วิธีการใช้ Pile Driving Analyzer 52
2-23	Flow Chart สำหรับการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธี CAPWAPC 54
2-24	การวิเคราะห์ด้วยวิธี CAPWAPC 55
2-25	ผลจากการใช้ CAPWAPC (A) การวัดแรงและความเร็วบนเสาเข็ม (B) การกระจายตัวของแรงต้านทานทางสถิตยศาสตร์และแรงของเสาเข็ม (C) การวัด และ คำนวณแรงบนเสาเข็ม (D) การวัดและคำนวณความเร็วบนเสาเข็ม 57
2-26	การรับน้ำหนักทางสถิตยศาสตร์และค่าการทรุดตัวที่ทำการวิเคราะห์ด้วย CAPWAPC 58
2-27	เปรียบเทียบระหว่างผลจาก Actual Static load Test และผลที่ได้จาก CAPWAPC 58
2-28	ลักษณะตามทฤษฎีของสัญญาณสะท้อนกลับที่หัวเสาเข็มเมื่อเสาเข็มมีรอยขาด ความเสียหายในตัวเสาเข็ม 59
2-29	ลักษณะที่วัดได้ในสนาม ของสัญญาณสะท้อนกลับที่หัวเสาเข็มเมื่อเสาเข็ม มีรอยคอดหรือรอยขาด 61
2-30	การหาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยด้วยวิธีการของ Chin (1970) 62
3-1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 64
4-1	เปรียบเทียบค่า Q_u วิธี Pile Driving Formula กับวิธี Dynamic Pile Load Test 70
4-2	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีการทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ของเสาเข็มชนิด Spun Pile ขนาด Dia 0.50 m. 71
4-3	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Q_u) วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Drivig แบบ Dynamic Test ชนิดเสาเข็ม Spun Pile Section ขนาด Dia 0.60 74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-4	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีการทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ของเสาเข็มชนิด Spun Pile ขนาด Dia 0.80 m.	75
4-5	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับ วิธีการทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มตัวไอ ขนาด Dia 0.30 m.	76
4-6	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับ วิธีการทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มตัวไอขนาด Dia 0.35 m.	77
4-7	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีการทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ของเสาเข็มชนิดตัวไอขนาด Dia 0.40 M.	78
4-8	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีการทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมขนาด Dia0.30 × 0.30 m.	79
4-9	เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีการทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมขนาด Dia0.40 × 0.40 m.	80
4-10	การหาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย โครงการ Maha Sawat Treatment No.K1	81
4-11	การหาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย โครงการ Maha Sawat Treatment No.K5	82
4-12	การหาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย โครงการ Maha Sawat Treatment No.K6	83
4-13	การหาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย โครงการ Maha Sawat Treatment No.K10	84
4-14	การหาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย โครงการ อาคารเรียน ม.จันทรเกษม No. 29	85
4-15	การหาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยโครงการ Building Package 2 No.TP1-3	86
4-16	การหาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย ปรับปรุงทางหลวง 34 ตอนบางนา - ท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ(ส่วนที่ 2) No.11	87
4-17	การหาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย ปรับปรุงทางหลวง 34 ตอนบางนา - ท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ(ส่วนที่ 2) No.8	88

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-18 การหาคำน้หนักบรรทุกทุกประลัย ปรับปรุงทางหลวง 34 ตอนบางนา - ท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ(ส่วนที่ 2) No.9	89
4-19 การหาคำน้หนักบรรทุกทุกประลัย ปรับปรุงทางหลวง 34 ตอนบางนา - ท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ(ส่วนที่ 2) No.14	90
4-20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักประลัย (Qu) ทั้ง 6 วิธี ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m. โครงการ : สะพานทางหลวง 34 ตอนบางนา - สุวรรณภูมิ	94
4-21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักประลัย (Qu) ทั้ง 5 วิธี ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m. โครงการ MAHASAWAT TREATMENT	95
4-22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักประลัย (Qu) ทั้ง 5 วิธี ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m. โครงการ อาคาร JJ.MALL	96

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอัตราการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และราคาที่ดินในบริเวณย่านธุรกิจที่สำคัญๆ มีราคาแพงจึงทำให้อาคารประกอบธุรกิจ หรืออาคารสรรพสินค้าบางแห่งเป็นอาคารที่มีขนาดใหญ่ จึงทำให้น้ำหนักของตัวอาคารที่ถ่ายลงสู่ฐานรากของอาคารจึงมีค่ามาก ฐานรากของอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่เหล่านี้จึงเป็นฐานรากที่วางอยู่บนเสาเข็ม ดังนั้นในการออกแบบฐานราก จะต้องมีการออกแบบให้เสาเข็มสามารถรับน้ำหนักจากโครงสร้างอาคารขนาดใหญ่นี้ได้โดยปลอดภัย และค่าการทรุดตัวของฐานรากอาคารขนาดใหญ่จะต้องอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ด้วย

เนื่องจากการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ ใช้ระบบฐานรากแบบเสาเข็มและทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ด้วยวิธีทดสอบน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มแบบสถิตยศาสตร์ (Static Pile Load Test) ซึ่งค่อนข้างจะใช้เวลามาก และเสียค่าใช้จ่ายสูง ปัจจุบันมีการหาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มและควบคุมการตอกเสาเข็มด้วยวิธีทดสอบพลศาสตร์ (Dynamic Pile Load Test) ซึ่งผลการทดสอบให้ข้อมูลที่เพียงพอเกี่ยวกับเสาเข็ม เช่น กำลังรับน้ำหนักและสามารถวัดความสมบูรณ์ของเสาเข็มได้ ซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายและมีความสะดวกรวดเร็ว แต่เนื่องจากพบว่าโครงการส่วนใหญ่ในขณะนี้มีการทดสอบ ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มทำโดยใช้วิธีพลศาสตร์เพียงอย่างเดียว เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าเสาเข็มที่ทดสอบ มีโอกาสที่จะรับน้ำหนักได้ตามที่กำหนดไว้หรือไม่ จึงควรทำการศึกษาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้น

การศึกษาเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอกด้วย วิธีพลศาสตร์กับวิธีคำนวณทางสถิตยศาสตร์ โดยอาศัยคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินและเปรียบเทียบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอก (Pile Driving Formula) ซึ่งผลจากการศึกษางานวิจัยนี้จะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการพิจารณาออกแบบฐานรากแบบเสาเข็มตอกต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอกด้วย วิธีพลศาสตร์กับวิธีการคำนวณทางสถิตยศาสตร์ โดยอาศัยคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มตอก จากการคำนวณด้วยวิธีพลศาสตร์กับการคำนวณสูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาวิเคราะห์และเปรียบเทียบ โดยวิธีพลศาสตร์กับวิธีสถิตยศาสตร์ โดยอาศัยคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน ของโครงการก่อสร้างอาคารในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยมีขอบเขตในการวิจัย ดังต่อไปนี้

1.3.1 ประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มตอกสูงสุด โดยวิธีพลศาสตร์ โดยการวัดค่าแรง และความเร็วจากสัญญาณสะท้อนคลื่นความถี่ขณะที่มีการกระแทกของลูกตุ้มเหล็กลงบนหัวเสาเข็ม (ข้อมูลจากการทดสอบเสาเข็มจำนวน 68 ต้น)

1.3.2 ประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มตอกโดย วิธีวิเคราะห์จากการคำนวณโดยใช้สูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula จำนวน 68 ต้น) ซึ่งจะใช้สูตรของ Janbu, Danish และสูตรของ Modified Gate Formula

1.3.3 ประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มตอก โดยวิธีวิเคราะห์จากการคำนวณโดยใช้สูตรจากการทราบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน (จำนวน 11 ต้น)

1.3.4 ประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มตอก โดยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static Pile Load Test) โดยจะใช้ข้อมูลจากการทดสอบเสาเข็มจำนวน 10 จุด

1.3.5 หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลที่ได้ จากการคำนวณโดยสูตรการตอกเสาเข็ม และจากผลการทดสอบ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 บันทึกข้อมูลการเจาะสำรวจดิน ซึ่งจะได้อัตราของคุณสมบัติทางค้ำานวิศวกรรมของดิน ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน ลักษณะของชั้นดิน หน่วยแรงประสิทธิผลและดัชนีพลาสติก

1.4.2 บันทึกข้อมูลการตอกเสาเข็ม ได้แก่วิธี การตอก ชนิดของเสาเข็ม น้ำหนักของลูกตุ้ม ค่า Blow Count ค่าระดับหัวเสาเข็มและ ค่าระดับปลายเสาเข็ม

1.4.3 บันทึกข้อมูลการทดสอบเสาเข็มโดยวิธี Dynamic Pile Load Test ได้แก่ ตำแหน่งเสาเข็มที่ทดสอบ ขนาดและความยาวของเสาเข็ม แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม แรงต้านที่ปลายและแรงต้านรวม

1.4.4 บันทึกข้อมูลการทดสอบเสาเข็มโดยวิธีวิธีสถิตยศาสตร์ (Static Pile Load Test) ได้แก่ ตำแหน่งและขนาดของเสาเข็ม น้ำหนักสูงสุดที่ทดสอบ ค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม

1.4.5 คำนวณผลการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มคอก โดยวิธีใช้สูตรการตอกเสาเข็ม ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการตอกเสาเข็มในสนาม โดยการใช้สูตร Janbu Formula, Danish's Formula และ สูตร ของ Modified Gate Formula

1.4.6 คำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มคอกสูงสุด โดยจากการ ทราบข้อมูลการเจาะสำรวจดิน

1.4.7 นำผลที่จาก 3 วิธีมาวิเคราะห์เปรียบเทียบดังนี้

1.4.7.1 Dynamic pile Load Test กับ Pile Driving Formula

1.4.7.2 Dynamic Pile Load Test กับ Static Pile Formula

1.4.7.3 Dynamic Pile Load Test กับ Static Pile Load Test

1.4.8 เปรียบเทียบวิเคราะห์ผลโดยใช้วิธีการทางสถิติหาค่าต่างๆ ได้แก่ หาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ โดยนำเสนอในรูปของกราฟ

1.4.9 สรุปผลที่ได้จากการคำนวณ

1.4.10 วิเคราะห์ผลและข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มคอก โดยวิธีพลศาสตร์กับ วิธีการคำนวณทางสถิตศาสตร์ โดยอาศัยคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน

1.5.2 ทราบความแตกต่างระหว่างการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก ของ เสาเข็มคอก โดยวิธีพลศาสตร์กับ ผลการวิเคราะห์การคำนวณโดยวิธีสูตรการตอกเสาเข็มและ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเจาะสำรวจดิน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคำลึงรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธีพลศาสตร์กับวิธีการคำนวณทางสถิตยศาสตร์ประกอบไปด้วย การวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ในชั้นดินต่างประเทศ การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์วิธีพลศาสตร์

2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากการเก็บข้อมูล

สูตรพลศาสตร์ (Dynamic Formula) และการวิเคราะห์จากการใช้ข้อมูลหรือแบบ Empirical สำหรับเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ นั้น ได้มีผู้ทำการศึกษาไว้หลายท่านดังนี้

วิชาญ และคนอื่นๆ (2521) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ต่างๆ ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกในสนาม Pile Load Test กับค่าที่คำนวณได้จากสูตรพลศาสตร์ Dynamic Pile Formula โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี Regression Analysis และสร้างแบบจำลองขึ้นมาสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ ส่วนสูตรทางพลศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้ Engineering News, Hiley, Janbu และ Pacific Coast Formula สำหรับสูตร Engineering News และ Hiley Formula ได้กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ (C) มีค่าตั้งแต่ 0.5 ถึง 1.10 และปรากฏว่าค่าสัมประสิทธิ์ (C) เท่ากับ 0.90 และ 1.10 สำหรับสูตร Engineering News และ Hiley Formula ตามลำดับ จะมีความเหมาะสมที่สุด เพราะให้ค่าที่คำนวณจากสูตรกับค่าการทดลองใกล้เคียงกัน ส่วนในสูตรอื่นๆ อีก 2 สูตร ได้แก่ Janbu และ Pacific Coast Formula นั้น เมื่อทำการพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) แล้ว จะมีค่ามากกว่า 0.80 ขึ้นไป ซึ่งนับว่ามีความเหมาะสมพอสมควร

สนิท (2523) วิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็ม (Driving Pile Formula) ที่เหมาะสมและให้ค่าใกล้เคียง โดยนำข้อมูลการทดสอบเสาเข็มจำนวน 53 ต้น มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Regression Analysis และทำการแบ่งเสาเข็มออกตามลักษณะหน้าตัดของเสาเข็ม ชนิด และขนาดของเสาเข็มเป็นต้น สูตรที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีทั้งสิ้น 12 สูตร คือ Gate, Hiley, Engineering News, So, Pacific Coast Uniform Building Code, Modified Engineering News, Dutch, Redtebacher, Rankine, Eytelwein, Janbu และ Navy Mackay พบว่าหน้าตัดรูป DH สูตรที่เหมาะสมคือ Gate, Hiley และ Engineering News Formula ตามลำดับ ส่วนหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส สูตรที่เหมาะสมคือ Janbu, Hiley และ So ตามลำดับ ส่วนหน้าตัดตัวไอน์นั้น ข้อมูลมีน้อยจึงลองแทนค่าลงในหน้าตัด DH ส่วนเสาเข็มสี่เหลี่ยมจัตุรัส พบว่าสูตรที่ทำการปรับปรุงมาจากสูตรของ Janbu จะมีความเหมาะสมกว่าสูตรอื่น

สูตรสถิตยศาสตร์ (Static Formula) ในชั้นดินกรุงเทพฯ นั้น ไม่มีผู้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการรับน้ำหนักบรรทุก (Bearing Capacity Factor) จากหลายวิธีมาหาค่าการรับน้ำหนักบรรทุกที่ปลายเสาเข็ม (End Bearing) และรวมกับสูตรของแรงเสียดทานผิว (Skin Friction) ของเสาเข็มจากหลายวิธีเช่นกัน เพื่อกำหนดเป็นสูตรทางสถิตยศาสตร์ (Static Formula) ที่เหมาะสม ส่วนใหญ่จะใช้เฉพาะสูตรใดสูตรหนึ่งเท่านั้น โดยจะมีเพียงการศึกษาพฤติกรรมในการรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนของเสาเข็ม และพฤติกรรมการส่งถ่ายน้ำหนักของเสาเข็มไว้ดังนี้

สุวรรณ (2531) ศึกษาพฤติกรรมการส่งถ่ายน้ำหนักของเสาเข็มเจาะโดยใช้วิธี Distribution Function Approach และ Elastic Solid Approach ทำการคาดคะเนความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวของเสาเข็มเจาะ ซึ่งเสนอตามหลักการของ Bullen (1958), Chin (1970) และ Mazurkiewicz (1972) โดยนำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการทดสอบในสนาม ปรากฏว่า วิธีของ Bullen คาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะอยู่ในช่วง 0.6-1.1 เท่าที่ได้จากการทดสอบและมีการกระจายซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่าการทดสอบ ยังไม่ดีพอที่จะนำมาใช้สำหรับวิธีของ Chin มีลักษณะการกระจายที่แน่นอนพอโดยจะสูงกว่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะ 20 เปอร์เซ็นต์ และวิธีของ Mazurkiewicz เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอยู่ในช่วงประมาณ 0.6 เท่าของ Punching Failure Load จะมีการกระจายซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่าการทดสอบและอยู่ในเขตที่ยอมรับได้

ประจิต (1968) ได้ทดสอบและวิเคราะห์ผลของการทดสอบหาพฤติกรรมของเสาเข็มเจาะขนาดเล็กในชั้นดินกรุงเทพฯ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความเสียดทานของตัวเข็มและแรงต้านที่ปลายเสาเข็มขนาดเล็กในชั้นดินอ่อนกรุงเทพฯ โดยใช้วิธีของ Van Weele ในการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงในสนาม อาศัย Load Cell เพื่อตรวจสอบค่าแรงที่ปลายเข็ม

Lee (1979) ได้ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมในการรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนของเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ ซึ่งทำการขุดเจาะโดยกรรมวิธีแห้ง (Dry Process) และจากผลการวิเคราะห์พบว่า แรงต้านที่ปลายของเสาเข็มซึ่งอยู่ชั้นดินแข็งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 เมตร จะมีค่าประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ปลายเสาเข็มสามารถรองรับได้ และแรงต้านที่ปลายเสาเข็มซึ่งอยู่ในชั้นทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 เมตร จะมีค่าประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสาเข็มสามารถรองรับได้ ส่วนค่าที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 20 นอกจากนี้เขายังได้พบว่า ค่า Bearing Capacity Factor (N_q) ที่เหมาะสมในการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะโดยกรรมวิธีแห้ง คือค่าเฉลี่ยของ Holmberg (1970)

2.2 การวิเคราะห์ในชั้นดินต่างประเทศ

สูตรพลศาสตร์ในชั้นดินต่างประเทศ เช่น ยุโรปและสหรัฐอเมริกา มีผู้ทำการศึกษาไว้หลายท่านด้วยกันดังนี้

Sorensen and Hansen (1957) ศึกษาถึงการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (Pile Load Test) จากวัสดุต่าง ได้แก่ เสาเข็มคอนกรีต เหล็ก และไม้ จำนวน 78 ต้น โดยปลายของเสาเข็มอยู่ในชั้นทราย และบางส่วนอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง Pile Load Test โดยเปรียบเทียบในรูปของอัตราส่วน ระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มและค่าที่ได้จากสูตรการคอกเสาเข็มโดยกำหนดให้อยู่ในรูปของ μ แล้วนำมาเขียนกราฟร่วมกับจำนวนเปอร์เซ็นต์ของการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก ที่มีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนดังกล่าวข้างต้น ซึ่งจะให้ความน่าจะเป็น (Probability) และผลที่ได้อยู่ในเชิงของ Gaussiana Distribution หรือ Normal Distribution เมื่อพิจารณาสูตรการคอกเสาเข็มทีละสูตร พบว่าสูตร Danish Formula, Hiley Formula, Janbu Formula และทฤษฎีที่ได้จากสมการคลื่น (Wave Equation) มีความแตกต่างกันเล็กน้อยมากแต่ Eytelwein Formula เป็นสูตรที่ไม่แน่นอนมากที่สุด

Agerschou (1962) ศึกษาถึงสูตรการคอกเสาเข็มโดยพิจารณาสูตร Engineering News Formula เข้ามาอีกสูตรหนึ่ง ทั้งนี้จะใช้บทสรุปของ Sorensen และ Hansen เป็นหลักและได้แสดงให้เห็นว่าสูตร Engineering News Formula เป็นสูตรที่ไม่แน่นอน (Unreliable) ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) สูงที่สุดและเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ (Allowable Load) และสูตรนี้มัน จะมีค่า Safety Factor อยู่ระหว่าง 1.1 ถึง 30

Flaate (1964) ศึกษาสูตรที่ใช้ในการคอกเสาเข็มของสูตร เช่น Janbu Formula, Hiley Formula และสูตร Engineering News Formula จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (Pile Load Test) จากเสาเข็มจำนวน 116 ต้น ซึ่งเป็นทั้งเสาเข็มไม้ คอนกรีต และเหล็ก โดยเสาเข็มเหล่านี้อยู่ในดินทราย Engineering News Formula ส่วนความสัมพันธ์ของสูตร Janbu Formula เป็นสูตรที่เหมาะสมในการใช้กับเสาเข็มไม้

Michigan Department of State Highway (1966) ได้ศึกษาเสาเข็มจำนวน 88 ต้น พบว่า สูตร Engineering News Formula ให้ค่าน้ำหนักบรรทุกทุบประลัย (Ultimate Load) จะอยู่ในช่วง 2-6 เท่าของการทดสอบจริงแต่สูตร Hiley Formula จะอยู่ในช่วง 7-30 เท่า ซึ่งสาเหตุที่ทำให้สูตร Hiley Formula มีค่าผิดไปมากนั้น เนื่องจากทดสอบในชั้นดินเหนียวโดยมีผู้สังเกตว่าสูตร Engineering News Formula จะใช้ได้ดีในกรณีที่มีแรงเสียดทานด้านข้างมากกว่าแรงด้านที่ปลายเสาเข็ม

Olsen and Flate (1967) ศึกษาเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือสำหรับสูตรต่างๆ ที่ใช้ในการคอกเสาเข็ม จากเสาเข็มไม้ คอนกรีต และเหล็ก โดยคอกลงในทราย พบว่า Janbu Formula เป็นสูตร

ทำให้ค่าถูกต้องที่สุดสำหรับเสาเข็มที่ทำจากไม้และเหล็ก แต่สำหรับเสาเข็มคอนกรีตไม่มีสูตรใดที่ให้ค่าแน่นอน และสูตรที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) สูง ได้แก่ สูตรของ Danish, Janbu และ Gate Formula ส่วนสูตร Engineering New Formula นั้นพบว่าให้ผลไม่น่าพอใจ สูตรสถิตยศาสตร์ (Static Formula) มีผู้ทำการวิเคราะห์ไว้หลายท่านโดยจะเน้นไปในด้านค่าสัมประสิทธิ์ของการรับน้ำหนักบรรทุก (Bearing Capacity Factor) โดยส่วนใหญ่จะได้มาจากเสาเข็มตอก เพื่อใช้สำหรับการคำนวณด้วยสูตรทางสถิตยศาสตร์ดังต่อไปนี้

Meyerhof (1951) เสนอสมการที่ใช้ในการคำนวณคุณสมบัติในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มขึ้นใหม่ด้วยการสมมติลักษณะการเคลื่อนที่ของดินที่บริเวณปลายเข็มซึ่งแตกต่างไปจากของ Terzaghi (1943) และมีผลให้แฟกเตอร์ของคุณสมบัติในการรับน้ำหนัก (Bearing Capacity Factor, N_c) เมื่อขึ้นอยู่กับความต้านทานที่ผิวที่บริเวณปลายเสาเข็ม

Skempton (1951) พบว่า ค่า N_c เสาเข็มกลมมีค่าอยู่ระหว่าง 6.14 ถึง 9 สำหรับความยาวของเสาเข็มที่ยาวมากกว่าหรือเท่ากับ 4 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม และจากผลที่ได้ทำการทดลองกับเสาเข็มใน London clay ได้พบว่าค่า N_c ที่เท่ากับ 9 นั้น เป็นค่าที่ถูกต้องเพียงพอในการคำนวณค่าการรับน้ำหนักที่ปลายเสาเข็ม (End Bearing) ของเสาเข็ม ทั้งเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ

Broms (1966) พบว่า ความต้านทานของดินเหนียวที่ปลายเสาเข็มโดยปกติแล้วจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ของความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ดังนั้นความแปรผันของดินเหนียวที่ปลายเสาเข็มนี้ จะไม่มีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกมากนัก

Whitaker and Cooke (1966) ได้ศึกษาเสาเข็มในชั้นดินแข็ง (Stiff Clay) และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการรับน้ำหนักบรรทุก (Bearing Capacity Factor) N_c มีค่าเท่ากับ 9 มีความเหมาะสม

Tomlinson (1970) ศึกษาเสาเข็มที่ลงตอกในชั้นดินเหนียวพบว่า ชั้นดินต่างๆ ที่อยู่บนดินเหนียวจะมีผลของ Adhesion Factor (α) ด้วย และได้ให้เหตุผลในกรณีที่ว่า α สำหรับดินเหนียวแข็งจะมีค่าน้อยกว่าหนึ่งว่า เนื่องมาจากการตอกเสาเข็มในชั้นดินเหนียวจะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นบางส่วนระหว่างผิวสัมผัสของเสาเข็มและดิน ทั้งนี้เป็นเพราะการสั่นสะเทือนจากการตอกเสาเข็ม และดินเกิดการเคลื่อนตัวขึ้นหรือออกจากเข็มและดิน เกิดการเคลื่อนตัวขึ้นหรือออกจากเข็มขณะที่เสาเข็มจมลง สำหรับในดินเหนียวอ่อนสามารถที่จะเคลื่อนตัวกลับได้อย่างรวดเร็วเพราะมี Plasticity สูง จึงทำให้ดินสัมผัสได้อย่างสมบูรณ์ตลอดความยาวของเสาเข็ม ฉะนั้นค่า Adhesion Factor จึงมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง

2.3 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

เป็นที่ทราบและยอมรับกันและยอมรับกันโดยทั่วไปแล้วว่า น้ำหนักของเสาเข็ม คือ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างผ่านชั้นดินอ่อน ซึ่งมีวิสัยสามารถรับแรงธรได้้น้อย แต่มีการยุบตัวสูงได้ไปยังชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป ซึ่งมีวิสัยสามารถรับแรงธรได้ดีกว่าและมีการยุบตัวน้อยกว่าทั้งนี้โดยอาศัยความคาดแน่น หรือความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นที่ผิวประสิทธิผลของเสาเข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบเสาเข็มส่วนหนึ่ง น้ำหนักบรรทุกอีกส่วนหนึ่งที่เหลือจะรับโดยแรงธรของดินที่อยู่บริเวณส่วนปลาย และได้ปลายเสาเข็มเมื่อเสาเข็มอยู่ในชั้นได้ดินเหนียวน้ำหนักบรรทุกส่วนใหญ่จะรับไว้ โดยความคาดระหว่างพื้นที่ผิวประสิทธิผลของเสาเข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบเสาเข็ม เราจะเรียกเสาเข็มที่แสดงพฤติกรรมในการรับน้ำหนักบรรทุกแบบนี้ว่า เสาเข็มเสียดทาน (Friction Piles) ทางตรงข้ามในชั้นดินทรายน้ำหนักบรรทุกส่วนใหญ่จะรับไว้โดยแรงธรของดินบริเวณปลาย และได้ปลายเสาเข็ม เราจะเรียกเสาเข็มที่แสดงพฤติกรรมในการรับน้ำหนักบรรทุกแบบนี้ว่า เสาเข็มคาล (End Bearing Piles) การหาค่ารับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มคอกสามารถทำได้หลายวิธีคือ

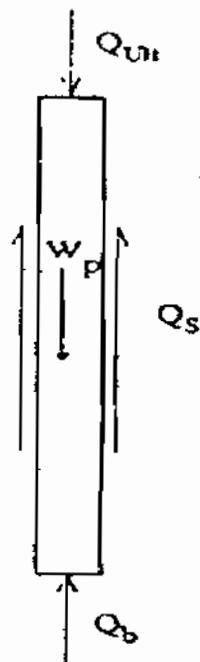
2.3.1 การคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มคอก โดยวิธีสถิตยศาสตร์

การคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มคอก โดยวิธีสถิตยศาสตร์นี้เป็นการคำนวณหาลำกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม จากคุณสมบัติของดินบริเวณที่คอกเสาเข็ม โดยเท่ากับผลรวมของแรงต้านอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานระหว่างผิวของเสาเข็มกับดินโดยรอบ (Friction) และแรงต้านทานที่ปลายเข็ม (End Bearing) ลบด้วยน้ำหนักของเสาเข็ม ดังแสดงในภาพที่ 2-1 จากหลักการพื้นฐาน ของ Static Soil Mechanics พอลจะกล่าวได้ว่า

$$Q_{ULT} = Q_s + Q_b - W_p \quad (2-1)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} Q_{ULT} &= \text{กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม} \\ Q_s &= \text{แรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม} \\ Q_b &= \text{แรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม} \\ W_p &= \text{น้ำหนักของเสาเข็ม} \end{aligned}$$



ภาพที่ 2-1 การรับน้ำหนักของเสาเข็ม

การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์นี้มีสมมุติฐานว่า แรงเสียดทานที่ผิวและแรงเสียดทานที่ปลายเสาเข็มมีค่าสูงสุด พร้อมกันที่การทรุดตัวเดียวกันของเสาเข็ม รูปแบบทั่วไปของสมการที่ใช้หาลำถ่วงน้ำหนักการรบกวนของเสาเข็ม ดังนี้

การหาแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม

$$Q_s = A_s \cdot f_s \quad (2-2)$$

$$f_s = C_u + Q_n \sigma_n \tan \phi_a$$

โดยที่

f_s = หน่วยแรงเฉือนระหว่างเสาเข็มและดินที่เกิดจากแรงเสียดทาน
(Pile – Soil Shear Strength)

C_u = แรงยึดเกาะ (Adhesion)

σ_n = ความเค้นในแนวราบตั้งฉากกับผิวเสาเข็ม (Normal Stress between Pile and Soil)

$$= K_s \sigma_{vo}$$

K_s = สัมประสิทธิ์ความกดดันด้านข้างของเสาเข็ม

(Coefficient of Lateral Earth Pressure)

σ_{vo} = ความเค้นในแนวตั้งของดิน (Vertical Stress)

ϕ_a = มุมเสียดทานระหว่างดินและเสาเข็ม

K_s = พื้นที่ผิวประสิทธิภาพของเสาเข็ม ซึ่งจะพิจารณาตามแนวการพังทลายของดิน มากกว่าพิจารณาตามพื้นที่ผิวจริงของเสาเข็ม

จะเขียนได้ว่า

$$Q_s = A_s (C_a + K_s \sigma_{vo} \tan \phi_a) \quad (2-3)$$

การหาแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม

$$Q_b = A_b q_e \quad (2-4)$$

สำหรับฐานรากต่อเนื่อง (Strip หรือ Long Continuous Footing)

$$q_e = (CN_c + \sigma_{vo} N_q + 0.5\gamma B N_\gamma) \quad (2-5)$$

สำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Footing)

$$q_e = (1.3 CN_c + \sigma_{vo} N_q + 0.4\gamma B N_\gamma) \quad (2-6)$$

สำหรับฐานรากกลม (Circular Footing) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง = B

$$q_e = (1.3 CN_c + \sigma_{vo} N_q + 0.3\gamma B N_\gamma) \quad (2-7)$$

สำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Footing)

$$q_e = CN_c \left(1 + 0.3 \frac{B}{L}\right) + \sigma_{vo} N_q + 0.5\gamma \left(1 - 0.2 \frac{B}{L}\right) \quad (2-8)$$

โดยที่

q_e = หน่วยแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม

C = หน่วยแรงเหนียวของดิน (Cohesion)

σ_{vo} = หน่วยน้ำหนักของดิน

B = ความกว้างหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของปลายเสาเข็ม

L = ความยาวของฐานราก

N_c, N_q, N_γ = ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงต้านทานของดิน

(Bearing Capacity Factor) เมื่อ $\phi = 0$

N_q จะมีค่าเท่ากับ 1 และ N_γ จะมีค่าเท่ากับ 0

A_b = พื้นที่หน้าตัดของปลายเสาเข็ม

สำหรับฐานรากกลมจะเขียนได้ว่า

$$Q_b = A_b (1.3 C N_c + \sigma_{vo} N_q + 0.3 \gamma B N_\gamma) \quad (2-9)$$

ฉะนั้นกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มดังสมการ 2-1 สำหรับฐานรากกลมจะเขียนใหม่ในรูปแบบทั่วไปได้ว่า

$$Q_{ULT} = A_s (C_a + K_s \sigma_{vo} \tan \phi_a) + A_b (1.3 C N_c + \sigma_{vo} N_q + 0.3 \gamma B N_\gamma - w_p) \quad (2-10)$$

การหาค่า Q_{ULT} นั้น ทำได้ 2 รูปแบบ คือ ใช้การวิเคราะห์แบบ Total Stress และ Effective Stress ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและระยะเวลาในการรับน้ำหนักของเสาเข็มนั้น

2.3.1.1 การวิเคราะห์แบบ Total Stress

การวิเคราะห์แบบ Total Stress นี้จะใช้กับดิน Cohesive ที่มีประวัติการรับน้ำหนักในอดีตเป็น Normally Consolidated และ Over Consolidated ซึ่งเสาเข็มที่อยู่ในดินสภาพทั้งสองนี้จะมีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกได้น้อยที่สุดเมื่อถูกรับน้ำหนักกระทำใหม่ ๆ ต่อมาเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นกำลังรับน้ำหนักบรรทุกก็จะเพิ่มขึ้น ฉะนั้นปัญหาวิกฤติของการรับน้ำหนักจึงอยู่ในช่วงระยะสั้น

การวิเคราะห์แบบ Total Stress ที่ใช้กันอยู่ขณะนี้ใช้หลักการ $\phi = 0$ ซึ่งหมายความว่า Cohesion, C จะมีค่าเท่ากับกำลังเฉือนของดินแบบอันเดรน (S_u) ซึ่งได้มาจากการทดสอบ Unconfined Compression หรือ Unconsolidated Undrained Triaxial Compression ฉะนั้นเมื่อพิจารณาสมการที่ 2-10 ในส่วนของแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม จะได้ว่า

เมื่อ $\phi = 0$

$$\begin{aligned} Q_s &= A_s C_a \\ &= \alpha S_u A_s, \quad C_s = \alpha S_u \end{aligned} \quad (2-11)$$

โดยที่ α = ค่าตัวประกอบการยึดเกาะ (Adhesion Factor)

S_u = ค่ากำลังเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินซึ่งได้จากการทดลอง

แบบ Unconfined Compression หรือ Unconsolidated
Undrained Triaxial Compression

และในส่วนของแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม

$$C = S_u, Q_b = A_b (S_u N_c + \sigma_{vo}) \quad (2-12)$$

ฉะนั้นในกรณีวิเคราะห์แบบ Total Stress นี้

$$Q_{ULT} = \alpha S_u A_r + A_b (S_u N_c + \sigma_{vo}) \quad (2-13)$$

ค่าตัวประกอบการยึดเกาะ (α) เป็นค่าที่ประเมินได้ยากขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินและคุณสมบัติของเสาเข็มองค์ประกอบ ดังนี้

คุณสมบัติของดิน

1. ค่ากำลังเฉือนของดิน
2. วิธีการตรวจวัดค่ากำลังเฉือนของดิน
3. Plasticity Index : Bjerrum (1973), Flaot and Selnes (1977)
4. ลักษณะเรียงชั้นของชั้นดิน : Tomlinson (1970)

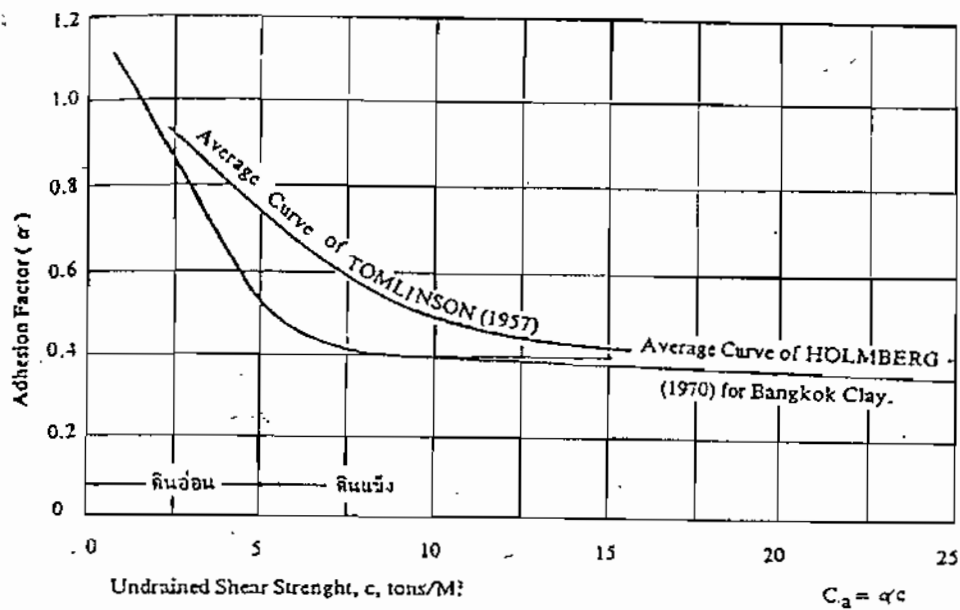
คุณสมบัติของเสาเข็ม

1. วัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม
2. รูปร่างของเสาเข็ม : Fellenius (1995)
3. ชนิดของเสาเข็ม
4. วิธีการตอกเสาเข็ม
5. ระยะเวลาหลังจากการตอกเสาเข็ม

Tomlinson (1970) เสนอค่า α ของดิน Cohesive สัมพันธ์กับค่า S_u ที่ ได้จากการทดสอบโดย Unconfined Compression สำหรับใช้คำนวณแรงเสียดทานของเสาเข็ม ดังภาพที่ 2-2

Broms (1996) ได้แนะนำค่า α ดังตารางที่ 2-1

Holmberg (1970) ได้ศึกษาค่า α ของเสาเข็มตอกในชั้นดินกรุงเทพฯและในเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยสัมพันธ์กับค่ากำลังแบบ Undrained ที่ ได้จากการทดสอบ Field Vane Shear Test สรุปดังภาพที่ 2-2



ที่มา : Tomlinson (1957) และ Holmberg (1970)

ภาพที่ 2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับ S_u สำหรับเสาเข็มตอก

ตารางที่ 2-1 ค่าตัวประกอบการยึดเกาะสำหรับเสาเข็มตอกชนิดต่างๆ ในดิน Cohesive

(a) $C_u \leq 1000 \text{ lb / ft}^2$	Adhesion C_a
Steel piles	0.5 C_u
Concrete piles	0.8 C_u
Wood piles	1.0 C_u
(b) $C_u \geq 1000 \text{ lb / ft}^2$	
Steel piles	200 lb / ft ²
Concrete piles	600 lb / ft ²
Wood piles	1000 lb / ft ²

ที่มา : Broms (1966)

Tomlinson (1970) ได้ศึกษาการตอกเสาเข็มจำนวน 93 ต้น ในดินชนิดแข็งถึงแข็งที่สุด (Stiff to Hard) สรุปได้ว่าลักษณะการเรียงชั้นดินมีผลต่อค่าประกอบการยึดเกาะ จึงได้แบ่งค่าประกอบการยึดเกาะออกเป็น 3 กรณี ดังภาพที่ 2-3

กรณีที่ 1 เสาเข็มที่ตอกลงไปในชั้นดินที่มีชั้นทราย หรือกรวดวางตัวบนชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งที่สุด

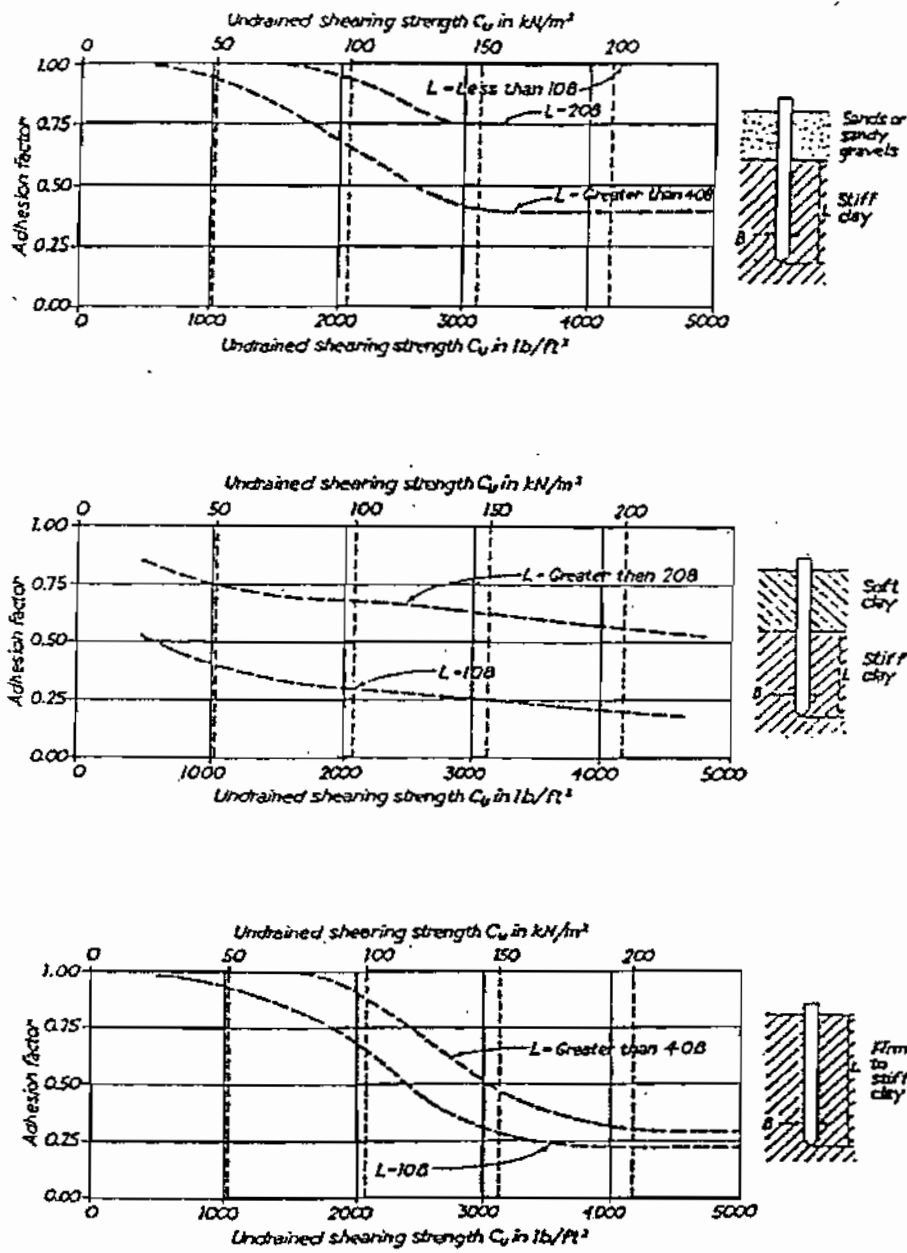
กรณีที่ 2 เสาค้ำที่ตกลงไปในชั้นดิน ที่มีชั้นดินเหนียวอ่อนวางตัวบนชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งที่สุด

กรณีที่ 3 เสาค้ำที่ตกลงไปในชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งที่สุดตลอดชั้น ไม่มีดินลักษณะอื่นแทรกเลย

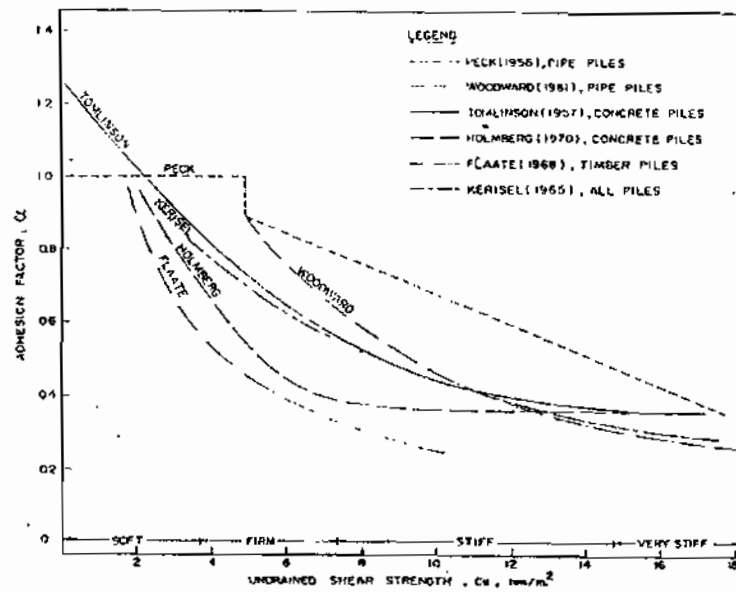
McClelland (1974) ได้รวบรวมค่าตัวประกอบการยึดเกาะของเสาค้ำคอก ซึ่งได้จากการศึกษาของตน ดังภาพที่ 2-4

วีรนนท์ (2526) ได้ทำการวิจัยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการยึดเกาะของดินเหนียวแข็งกับค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน ที่ได้จากการทดลอง Unconfined Compression จากเสาค้ำคอกทำด้วยคอนกรีตอัดแรงจำนวน 32 ต้น ในดินกรุงเทพฯ ดังภาพที่ 2-6 ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยของแรงเฉือนแบบอันเดรนมีค่า 10.0-17.0 ตันต่อตารางเมตร ค่าตัวประกอบการยึดเกาะที่หาได้ใกล้เคียงกับค่าที่เสนอโดย Peck (1958) ซึ่งได้จากการศึกษาเสาค้ำชนิด Pipe และแนวโน้มของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการยึดเกาะกับค่าเฉลี่ยแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ที่หาได้ให้ค่ามากกว่าที่ Holmberg (1970) และ Tomlinson (1957) แต่ให้ค่าน้อยกว่า Tomlinson (1970) เมื่อค่าอัตราการฝังตัวมากกว่า 20 แต่เมื่อค่าอัตราการฝังตัวอยู่ระหว่าง 8 ถึง 20 ค่าที่ได้กลับมากกว่า ในกรณีที่ 2 ซึ่งมีชั้นดินเหนียวอ่อนวางตัวบนชั้นดินเหนียวแข็ง ซึ่งตรงกับลักษณะและสภาพของชั้นดินกรุงเทพฯ อย่างไรก็ดีตามค่าตัวประกอบการยึดเกาะที่หาได้ยังคงอยู่ในช่วงที่เสนอโดย Tomlinson (1970)

จากที่กล่าวมาและการศึกษาของบุคคลอื่นอีก เช่น Wood และคณะ (1961), Coyle and Reese (1966), Vesic (1967), Morgan and Poulos (1968) จะเห็นว่าค่าที่เสนอก่อนข้างแตกต่างกันมาก แต่เป็นที่ยอมรับกันว่าในกรณีของดินเหนียวอ่อน ซึ่งเมื่อมีค่า S_u น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.4 ตันต่อตารางเมตรแล้ว ค่าตัวประกอบการยึดเกาะจะมีค่าเท่ากับ 1 และเมื่อดินมีค่ากำลังเฉือนมากขึ้น ค่าตัวประกอบการยึดเกาะจะมีค่าลดลง

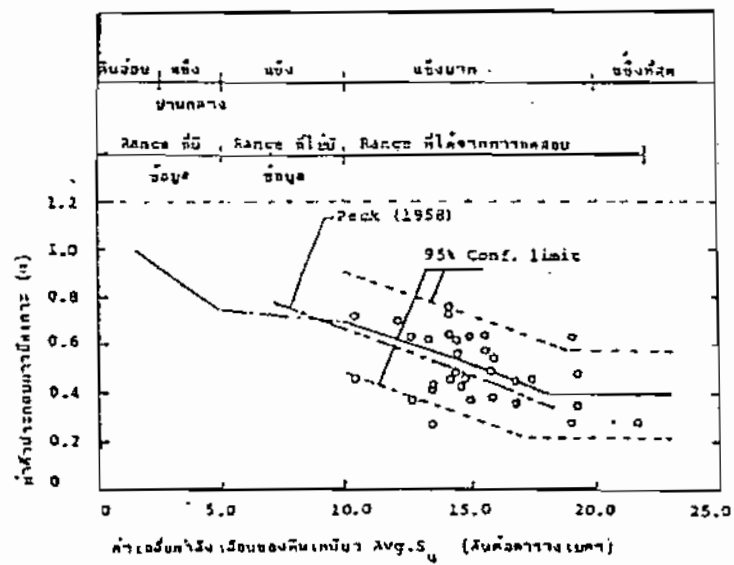


ภาพที่ 2-3 ค่าตัวประกอบการยึดเกาะสัมพันธ์กับค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ
จากการทดสอบ Unconfined Compression, Tomlinson (1970)



ที่มา : McClelland (1974)

ภาพที่ 2-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการยึดเกาะกับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ



ที่มา : วีรนนท์ (2526)

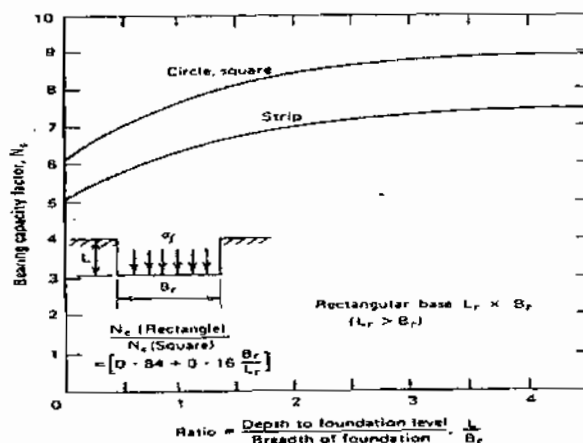
ภาพที่ 2-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการยึดเกาะของเสาเข็มตอกในดินกรุงเทพฯ กับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ได้จากการทดสอบ Unconfined Compression

ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงต้านทานของดิน (N_c) ค่า N_c ที่ใช้ในการออกแบบอยู่เสมอ และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป คือค่าที่เสนอโดย Skempton (1951) ดังภาพที่ 2-6 และมีผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้พยายามประเมินค่าของ N_c สำหรับ $\phi = 0$ ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ค่า N_c ที่สำหรับ $\phi = 0$ จากงานวิจัยที่ผ่านมา

ผู้ศึกษา	ค่า N_c	หมายเหตุ
Skempton (1951)	$6.14 \leq N_c \leq 9$	Length to Width Ratio (D/B) ≤ 4
Skempton (1959)	9	ยืนยันด้วยผลการทดสอบของ London clay
Sowers et al (1961)	$5 < N_c < 8$	จากการทดสอบแบบจำลอง
Mohan & Jain (1961)	$5.7 < N_c < 8.2$	สำหรับ Expansive Clays
Ladanyi (1963)	$7.4 < N_c < 9.3$	สำหรับ Insensitive Clays
Bishop et al (1945)	$N_c = 1 + \frac{4}{3} \left[1 + \ln \frac{E}{3c_u} \right]$	สำหรับเสาเข็มกลม
Tomlinson (1980)	9	Length to Width Ratio in Bearing Stratum ≥ 5
Bowles (1980)	5.74	

ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนิยมใช้ค่า N_c เท่ากับ 9 สำหรับเสาเข็มตอก



ภาพที่ 2-6 ค่าตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงต้านทานของดินเหนียวภายใต้หลักการ

$\phi = 0$ Skempton (1951)

2.3.1.2 การวิเคราะห์แบบ Effective Stress

การวิเคราะห์แบบ Effective Stress นิยมใช้กับดิน Cohesive ที่มีประวัติการรับน้ำหนักในอดีตเป็น Heavily Over Consolidated และดิน Cohesionless ซึ่งดินเหล่านี้เมื่อมีน้ำหนักมากกระทำ จะทำให้ความดันน้ำโพรงเพิ่ม (Δu) มีค่าเป็นลบ ดังนั้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นกำลังรับน้ำหนัก บรรทุกก็จะลดลงปัญหาวิกฤตของการรับน้ำหนักจึงอยู่ที่ช่วงระยะเวลานาน

แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มเมื่อวิเคราะห์แบบ Effective Stress จะได้

$$Q_s = A_s K_s \sigma'_{vo} \tan \phi'_a \quad (2-14)$$

โดยที่ σ'_{vo} = ความเค้นในแนวตั้งของดินในรูป Effective

ϕ'_a = มุมเสียดทานระหว่างดินและเสาเข็มในรูป Effective
และแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม

$$C = 0, \quad Q_p = A_b \sigma'_{vo} N_q \quad (2-15)$$

เทอม $0.5 \gamma B N_\gamma$ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ $\sigma'_{vo} N_q$ จึงไม่ได้นำมาพิจารณาด้วยฉะนั้น ในการวิเคราะห์แบบ Effective Stress

$$Q_{ULT} = A_s K_s \sigma'_{vo} \tan \phi'_a + A_b \sigma'_{vo} N_q \quad (2-16)$$

ก) สัมประสิทธิ์ความกดดันด้านข้างของเสาเข็ม(K_s)

McClelland et al (1969) และ Vesic (1970) ได้กล่าวว่าองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อค่า K_s มีหลายประการ ดังต่อไปนี้

1. รูปร่างลักษณะของเสาเข็ม
2. ปริมาณดินที่ถูกแทนที่ด้วยเสาเข็ม
3. วิธีการก่อสร้างเสาเข็ม
4. ลักษณะแรงที่กระทำต่อเสาเข็ม
5. ค่าสัมประสิทธิ์ความกดดันด้านข้างภาวะปกติของดิน K_0 ก่อนตอกเสาเข็ม
6. ความหนาแน่นของดินก่อนตอกเสาเข็ม

Meyerhof (1951) ได้แนะนำค่า K_s สำหรับใช้ในการออกแบบ โดยมีค่าเท่ากับ 0.5 สำหรับทรายหลวม และมีค่าเท่ากับ 1.0 สำหรับทรายแน่นซึ่งไม่คำนึงถึงชนิดของเสาเข็ม และจากการทดลองในภายหลังปรากฏว่าค่าดังกล่าวต่ำเกินไปสำหรับเสาเข็มคอนกรีต

Broms (1966) ได้แนะนำค่า K_s ทั้งนี้โดยได้พิจารณาถึงปริมาณของดินที่ถูกแทนที่ และชนิดของเสาเข็ม

Vesic (1967) ได้ศึกษาจากการทดลองเสาเข็มท่อเหล็ก (Steel Tube Piles) โดยหาความสัมพันธ์ของค่า $K_s \tan \phi'_s$ กับความหนาแน่นสัมพัทธ์ของดิน (D_r) แต่ก็สามารถแปลงให้มาอยู่ในรูปของน้ำหนักเสียทดแทนภายใน ϕ'_s ได้ โดยใช้วิธีการที่แนะนำ โดย Meyerhof (1956)

$$\begin{aligned}\phi'_s &= 28 + 15D_r \\ D_r &= \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100\%\end{aligned}\quad (2-17)$$

D_r = Relative Density (ความหนาแน่นสัมพัทธ์)

$e_{\max}$ = อัตราส่วนช่องว่างมากที่สุด

$e_{\min}$ = อัตราส่วนช่องว่างน้อยที่สุด

ดินจะอยู่ในสภาพที่แน่นที่สุดเมื่อ $D_r = 1$ หรือ 100% ($e = e_{\min}$)

ดินจะอยู่ในสภาพหลวมที่สุด เมื่อ $D_r = 0$ ($e = e_{\max}$)

ฉะนั้นจึงได้ความสัมพันธ์ระหว่าง $K_s \tan \phi'_s$ และ ϕ ดังภาพที่ 2-7 เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีการพิจารณาถึงชนิดและวัสดุของเสาเข็ม ฉะนั้นค่า $K_s \tan \phi'_s$ นี้จึงนำมาใช้กับเสาเข็มคอนกรีตด้วย

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{3}{4} \phi_1 + 10 \\ \phi_1 &= \text{มุมเสียดทานภายในของดินก่อนการคอกเสาเข็ม}\end{aligned}\quad (2-18)$$

Meyerhof (1976) ได้แนะนำค่า $K_s \tan \phi'_s$ จากการศึกษาข้อมูลต่างๆ และใช้ค่า $\phi'_s = \frac{3}{4} \phi'$

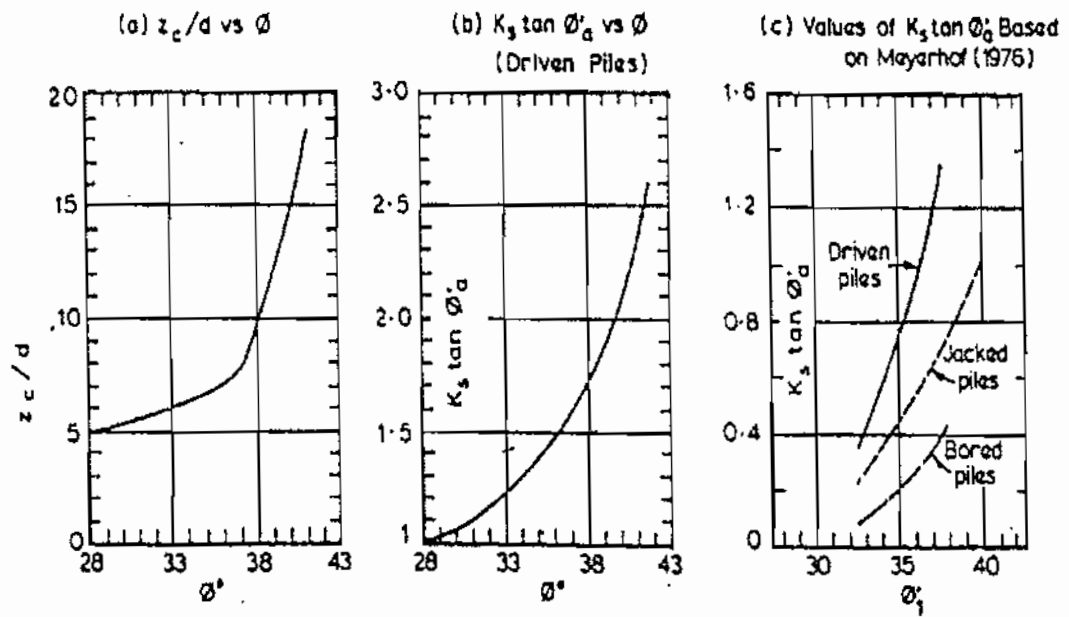
Poulosn and Davis (1980) ได้กล่าวถึงค่า K_s ที่เสนอโดย Broms (1966) ว่าเป็นค่าที่ค่อนข้าง Conservative โดยเฉพาะในกรณีเสาเข็มที่มีปลายสอบ (Tapered Piles) และเป็นค่าที่ใช้ง่าย

ตารางที่ 2-3 ความสัมพันธ์ของค่ามุมเสียดทาน 8 ระหว่างเสาเข็มคอกทรายตามชนิดของเสาเข็ม
โดย Broms (1966) อ้างถึงในวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2521)

วัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม	δ (องศา)	K_s	
		ดินทรายหลวม (Low relative density)	ดินทรายแน่น (High relative density)
Section 1.01 เหล็ก	20	0.5	1.0
Section 1.02 คอนกรีต	$3/4 \Phi$	1.0	2.0
ไม้	$2/3 \Phi$	1.5	3.0

ค่า Φ คือ ค่ามุมเสียดทานภายในประสิทธิผล หน่วยเป็นต้นต่อตารางเมตร

ที่มา : Vesic (1967)



ภาพที่ 2-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $K_s \tan \phi'_a$ และ ϕ

ข) ความเค้นในแนวตั้งของดิน (σ'_{vo})

ค่าความเค้นในแนวตั้งของดินที่ใช้ในสมการ (2-16) นี้ Nordlund (1963) และ Broms (1966) ตั้งสมมุติฐานว่าเท่ากับความเค้นเนื่องจากน้ำหนักดินเอง

Kerisal (1961) และ Vesic (1967) ได้พบว่าหน่วยแรงเสียดทาน และหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นกับความลึกเสมอไป โดยเฉพาะเมื่ออัตราส่วนการฝังตัว (Penetration Depth/Width Ratios) เกิน 10-20 คือในช่วงความลึกหนึ่งหน่วยแรงทั้งสองจะเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นหน่วยแรงทั้งสองจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งลักษณะเช่นนี้ก็ได้พบโดย Bcp Comm. (1971), Hanna and Tan (1973) จากลักษณะดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าบริเวณใกล้ๆ ฝวเสาเข็มนั้นค่าความเค้นที่เกิดขึ้นไม่จำเป็นต้องเท่ากับความเค้นซึ่งเกิดจากน้ำหนักดินเองเสมอไป

ค) มุมเสียดทานระหว่างดินและเสาเข็ม (ϕ'_s)

มุมเสียดทานระหว่างดินและเสาเข็มมักกำหนดให้ เป็นความสัมพันธ์กับค่ามุมเสียดทานภายในของดิน ϕ'

Potyondy (1961) ได้แนะนำค่า ϕ'_s ว่ามีค่าระหว่าง $0.64\phi'$ สำหรับเสาเข็มเหล็กผิวเรียบ ถึง $0.9\phi'$ สำหรับเสาเข็มคอนกรีตผิวหยาบ ในกรณีที่เป็นดินทรายอัดตัว

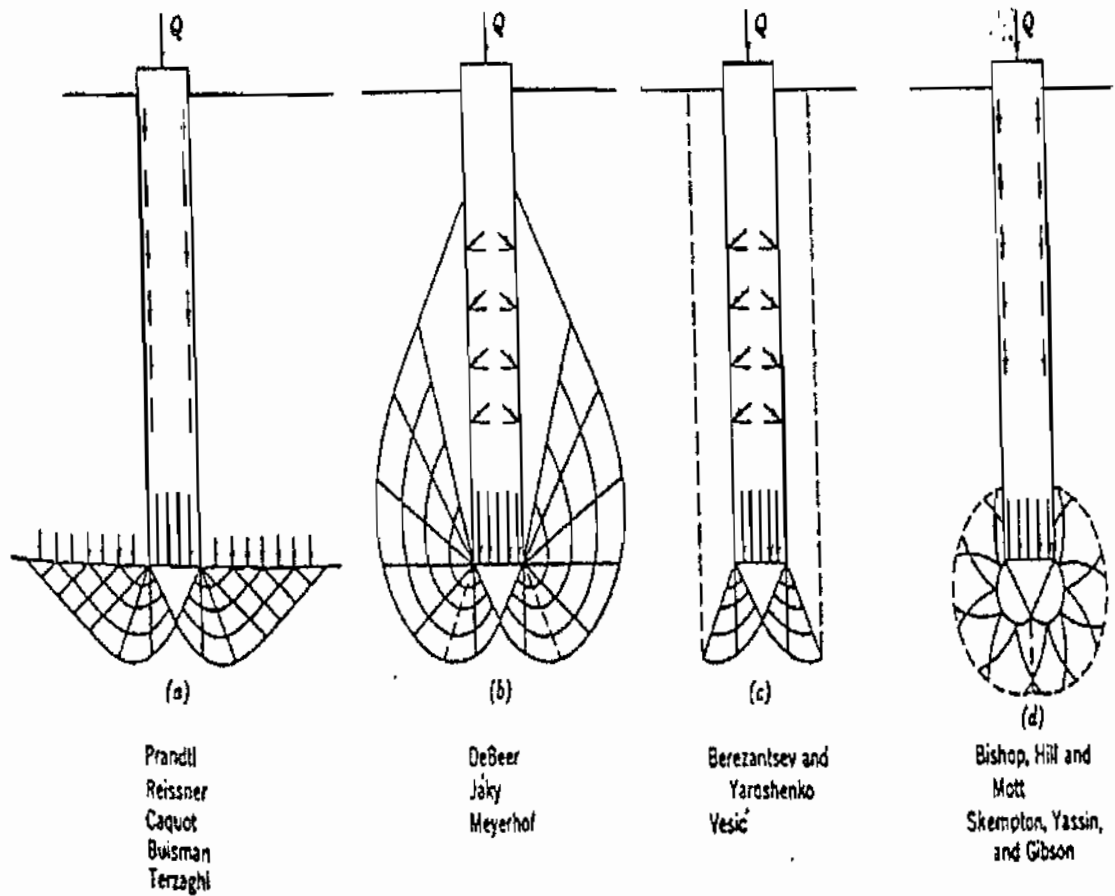
ต่อมา Potyondy ได้ทำการศึกษาค่า ϕ'_s ของเสาเข็มชนิดต่างๆ สำหรับเสาเข็มคอนกรีตผิวเรียบจะได้ค่าน้อยกว่ามุมเสียดทานภายในของดิน 4-5 องศา ส่วนเสาเข็มไม้ค่านั้นค่าจะเปลี่ยนไปแล้วแต่ทิศทางของเสี้ยนไม้มีทิศทางตามแรงเฉื่อยที่กระทำค่า ϕ'_s ที่จะได้ค่าน้อยกว่ามุมเสียดทานภายในของดินประมาณ 4-10 องศา

ง) ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงต้านทาน N_q

มีนักวิจัยหลายท่านที่ศึกษาค่าตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงต้านทาน N_q ซึ่งค่าที่ได้แตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับการตั้งสมมุติฐาน ของการเกิดการพังทลายในมวลดินของแต่ละท่าน ดังรายละเอียดในภาพที่ 2-8

Berczantsev, et al. (1961) พบว่า ค่า N_q มีได้ขึ้นอยู่กัค่ามุมเสียดทานภายในดินเท่านั้น ยังขึ้นอยู่กัอัตราส่วนการฝังตัวของเสาเข็มด้วย ทั้งยังได้เสนอค่า N_q ซึ่งได้รับการยืนยันจากการศึกษาของ Nordlund (1963) และ Vesic (1964) ว่าให้ค่าใกล้เคียงกัสภาวะการพังทลายของเสาเข็มตรงกัการปฏิบัติงานจริงและ Broms (1966) ได้แนะนำให้ใช้ค่า N_q ดังกล่าวในการออกแบบ

Terzaghi and Peck (1967) ได้แนะนำค่า N_q สำหรับฐานรากตื้น ($D < B$) แต่สามารถนำมาใช้ในการหาแรงต้านที่ปลายเสาเข็มได้เช่นกันแม้ว่าค่ากัที่จะ Conservative ไปบ้าง



ที่มา : Vesic(1967)

ภาพที่ 2-8 ระบายการพังทลายที่สมมุติขึ้นของฐานรากแบบลึก

การหาค่า Ultimate Base Resistance (Q_b) ของเสาเข็ม นอกจากสมการทั่วๆ ไปดังกล่าวแล้ว ยังมีสมการต่างๆ อีกหลายสมการเพื่อหา (Q_b) โดยใช้ค่าParameter แตกต่างกันไป เช่น

Terzaghi (1943) ได้เสนอวิธีการหาค่า (Q_b) ดังนี้

$$Q_b = A_b (C N_c S_c + q N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma) \quad (2-19)$$

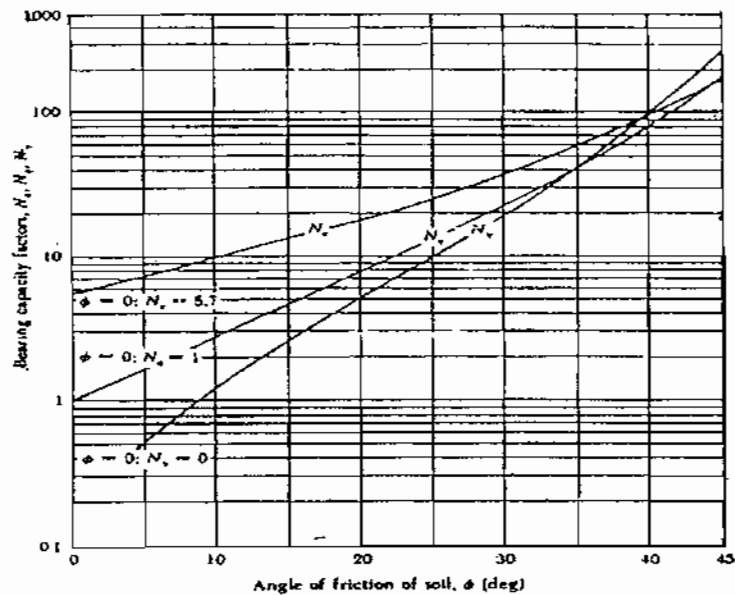
ตารางที่ 2-4 ค่า S_c , S_γ สำหรับเสาเข็มชนิดต่างๆ

	strip	round	square
S_c	1.0	1.3	1.3
S_γ	1.0	0.6	0.8

- A_b = พื้นที่หน้าตัดของปลายเสาเข็ม ..
 C = ค่า Cohesion ของดินได้ฐานราก
 σ'_{vo} = ค่า Effective Overburden Pressure
 γ = หน่วยน้ำหนักของดินได้ฐานราก
 ϕ = ค่า Angle of Friction ของดินได้ฐานราก
 B = ความกว้างของฐานราก

N_c , N_q , N_γ = ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงต้านทานของดิน (Bearing Capacity Factor)

ซึ่งเป็นค่าที่แปรเปลี่ยนตามค่า ϕ ดังแสดงในภาพที่ 2-9 และตารางที่ 2-4



ภาพที่ 2-9 กราฟแสดงค่า Bearing Capacity Factor (N_c , N_q , N_γ) ของ Terzaghi (1943)

ตารางที่ 2-5 ค่า Bearing Capacity Factors สำหรับสมการของ Terzaghi (1943)

ϕ , deg	N_c	N_q	N_γ
0	5.7	1.0	0.0
5	7.3	1.6	0.5
10	9.6	2.7	1.2
15	12.9	4.4	2.5
20	17.7	7.4	5.0
25	25.1	12.7	9.7
30	37.2	22.5	19.7
34	52.6	36.5	36.0
35	57.8	41.4	42.4
40	95.7	81.3	100.4
45	172.3	173.3	297.5
48	258.3	287.9	780.1
50	347.5	415.1	1153.2

ที่มา : Terzaghi(1943)

Meyerhof (1956, 1976) ได้เสนอวิธีการหาค่า (Q_b) ดังนี้

วิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากผลการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT N-Value)

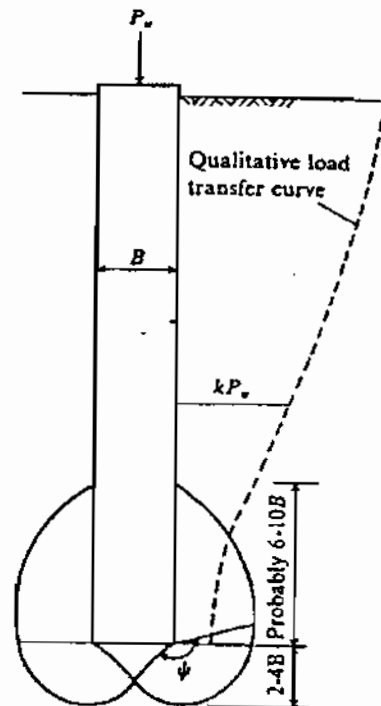
$$Q_b = A_b (40N) \frac{L_b}{B} \leq A_b (400N) \text{ KN} \quad (2-20)$$

A_b = พื้นที่หน้าตัดของปลายเสาเข็ม

N = ค่าเฉลี่ยของ SPT ที่ระยะ 6-10 B เหนือ ปลายเสาเข็มและ 2-4 B
ต่ำจากปลายเสาเข็ม ดังแสดงในภาพที่ 2-10 และค่า N ต้องใช้ค่า
ที่ปรับแก้โดยกำหนดให้ $N = N_{ss}$ สำหรับค่ากรุงเทพฯ

B = ความกว้างหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม

$\frac{L_b}{B}$ = ค่าเฉลี่ยระยะฝังลึกของเสาเข็ม ในชั้นดินแข็งความกว้างของเสาเข็ม



ภาพที่ 2-10 ระบายการพังทลายที่นำมาคำนวณหาแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม

Peak, Hansen and Thornburn (1974) วิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากผลทดสอบ SPT N-Value โดยใช้ค่าความสัมพันธ์ของ ϕ'_{la} กับค่า N ที่แนะนำโดย Kishida (1967)

$$\phi'_{la} = \sqrt{20N} + 15^\circ \quad (2-21)$$

N = จำนวนครั้งของการตอก SPT จากสนาม

สำหรับดิน Cohesionless Soil ที่มีค่าความผิดพลาดจากค่า Overburden Pressure

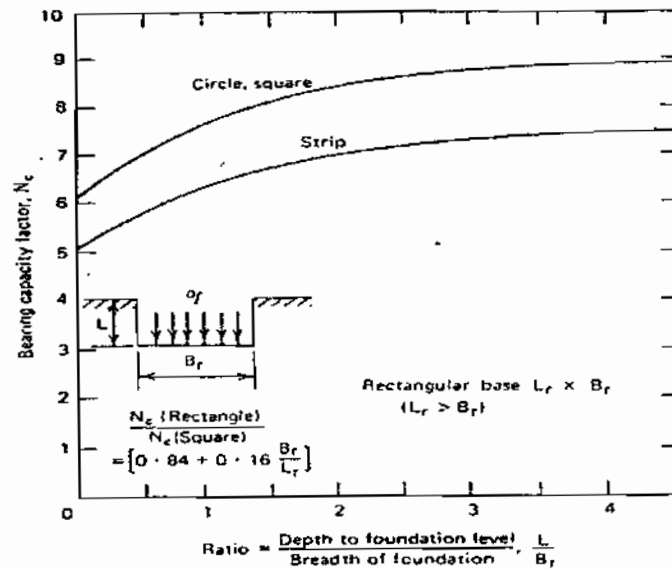
$$N' = C_n N \quad (2-22)$$

N' = จำนวนครั้งของการตอก SPT ที่ปรับแก้

$$C_n = 0.77 \log \frac{195}{\sigma'_{vo}} \quad (2-23)$$

σ'_{vo} = Effective Overburden Pressure

ค่าความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย ที่ปลายเสาเข็มหาได้จากการแทนค่ามุม ϕ ที่แกน x และหาค่าแรงดันที่ปลายเสาเข็มจากแกน ดังภาพแสดงในภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 ขนาดน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มที่ปลายฝังอยู่ในชั้นทราย

Tomlinson (1980) ได้เสนอสมการในการหาค่า Q_b เมื่อปลายเสาเข็มอยู่ในชั้น Cohesive Soil

$$Q_b = N_c C_b A_b \quad (2-24)$$

N_c = Bearing Capacity Factor, $\cong 9$

C_b = Undisturbed undrained Cohesion ที่ปลายเสาเข็ม

A_b = พื้นที่หน้าตัดที่ปลายเสาเข็ม

เมื่อปลายเสาเข็มอยู่ในชั้น Cohesionless Soil

$$Q_b = N_q \sigma'_{vo} A_b \quad (2-25)$$

N_q = Bearing Capacity Factor

σ'_{vo} = Effective Overburden Pressure ที่ปลายเสาเข็ม

A_b = พื้นที่หน้าตัดที่ปลายเสาเข็ม

2.3.2 การคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอกโดยวิธีพลศาสตร์

สูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) เป็นสูตรที่ใช้สำหรับหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยอาศัยข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในระหว่างที่มีการตอกเสาเข็ม เช่น น้ำหนักของลูกตุ้มตอก น้ำหนักของเสาเข็ม ระยะยกของลูกตุ้ม ชนิด ขนาด และความยาวของเสาเข็ม แทนค่าในสูตร โดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลทางวิศวกรรมของชั้นดินที่ลึกลงไป ดังนั้น การหาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มในวิธีนี้ จึงสามารถทำได้สะดวกกว่าวิธีอื่นๆ สูตรการตอกเสาเข็มมีประมาณ 400 สูตร แต่เท่าที่ค้นพบในขณะนี้ไม่ต่ำกว่า 32 สูตร ซึ่งส่วนใหญ่มีสมมุติฐานเหมือนกันคือ Ultimate Bearing Capacity ของเสาเข็มจะเท่ากับ Dynamic Force ที่ใช้ตอกเสาเข็มนั้น โดย Dynamic Force นี้กระทำต่อทุกส่วนของเสาเข็มพร้อมกัน

ฉะนั้นจากสมมุติฐานดังกล่าว และการใช้หลักการคงตัวของพลังงานและโมเมนตัมจะวิเคราะห์ที่มาของสูตรพลศาสตร์ ได้ดังนี้

2.3.2.1 ที่มาของสูตรพลศาสตร์

สูตรการตอกเสาเข็มที่ใช้คำนวณเพื่อคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Ultimate Bearing Load) ของเสาเข็มมีอยู่ด้วยกันหลายสูตร สูตรเหล่านี้ส่วนใหญ่อาศัยหลักการเคลื่อนตัวของมวล (ใช้วิชาพลศาสตร์) โดยพยายามรวมส่วนประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น กำลังงานของเครื่องตอก น้ำหนักลูกตุ้ม ความสูงของลูกตุ้มที่ร่อนหัวเสา ชนิดและขนาดของเสาเข็มและสภาพของดินเข้าด้วยกัน ให้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ และใช้ผลการทดลองที่เชื่อถือได้จำนวนมากมาเปรียบเทียบและปรับปรุงสมการนั้นให้เข้ากับสภาพที่เป็นจริงมากที่สุด หลักการใหญ่ที่ใช้เป็นรากฐานของสมการของสมการทางคณิตศาสตร์เหล่านั้นคือ

1. สมมุติให้แรงต้านของเสาเข็มต่อการตอกมีค่าเท่ากับความสามารถในการรับน้ำหนัก (Static load) ของเสาเข็มนั้น
2. จากหลัก ทางด้านพลัง ดังต่อไปนี้

$$E_n = E_{n_1} - E_{n_2} - E_{n_3} \quad (2-26)$$

E_n = พลังงานที่ทำให้เสาเข็มเคลื่อนที่

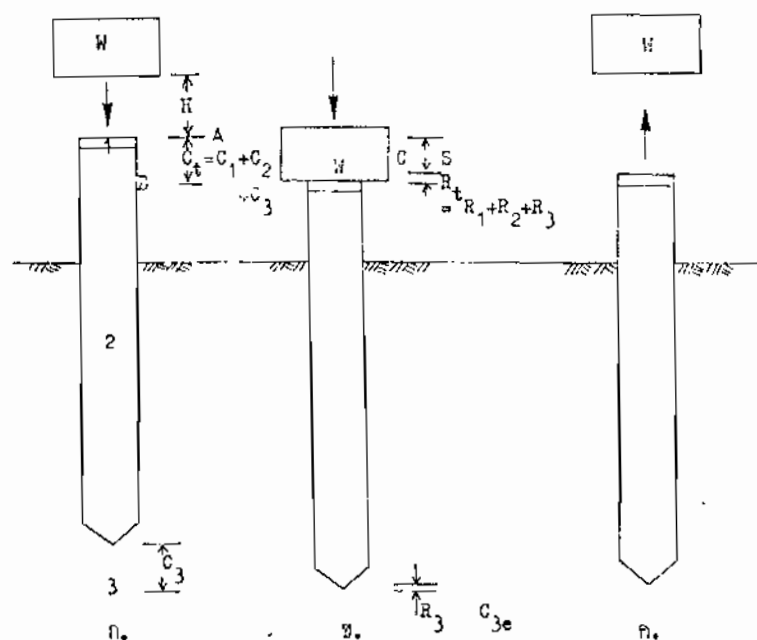
E_{n_1} = พลังงานของลูกตุ้มขณะกระทบหัวเสาเข็ม

E_{n_2} = พลังงานที่สูญเสียให้กับความเฉื่อยของลูกตุ้มและเสาเข็มขณะกระทบ

E_{n_3} = พลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจาก Elastic Deformation
ของที่ร่อนหัวเสาเข็มและดิน

พลังงานต่างๆ ในสมการนี้ สามารถหาได้จากขบวนการตอกเสาเข็ม ซึ่งมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง 4 อย่าง คือ กำลังงานของเครื่องตอก เครื่องตอก ที่รองหัวเสาเข็มและหรือเสาส่ง (1) ตัวเสาเข็ม (2) และดินที่เสาเข็มฝังอยู่ (3) ดังแสดงในภาพที่ 2-12 ก

เริ่มตั้งแต่กำลังจะปล่อยลูกตุ้ม (ภาพที่ 2-12 ก.) ลูกตุ้มกระทบเสาเข็มและดินเสาเข็มเคลื่อนที่ไปมากที่สุด (ภาพที่ 2-12 ข.) และเมื่อขุดลูกตุ้มออก (ภาพที่ 2-12 ค.) จะเห็นได้ว่าก่อนที่ลูกตุ้มจะกระทบหัวเสาเข็ม ปลายของเสาเข็มอยู่ในระดับ (A) เมื่อกระทบหัวเสาเข็มและดินเสาเข็มเคลื่อนที่ไปมากที่สุด ไปอยู่ที่ระดับ (B) ระยะทางที่ลูกตุ้มเคลื่อนที่ตั้งแต่เริ่มกระทบ หัวเสาเข็มจนกระทั่งหยุดเคลื่อนที่ S ซึ่งเท่ากับผลรวมของการยุบตัวของ C_1, C_2, C_3 เมื่อ



แสดงหัว เข็มที่ระดับ A
ก่อนลูกตุ้มกระทบ

แสดงหัว เข็มเคลื่อน
ร่นมากที่สุดเมื่อลูก
ตุ้มกระทบ

แสดงหัว เข็มคืนตัวมาที่ระดับ
C เมื่อขุดลูกตุ้มออก

หมายเหตุ (1) = ส่วนที่รองหัวเข็ม

(2) = ตัวเข็ม

(3) = ดิน

S = การทรุดตัว

R = การกินตัว

ภาพที่ 2-12 พลังงานต่างๆ จากขบวนการตอกเสาเข็ม

C_1	=	Elastic deformation	ของที่รองหัวเสาเข็ม
C_2	=	Elastic deformation	ของเสาเข็ม
C_3	=	Elastic + plastic deformation	ของดิน
	=	$C_{3e} + C_{3p}$	
	=	$C_{3e} + S$; ($C_{3p} = C_t = R_t = S$)	

เมื่อยกตุ้มออกจะเกิดการคืนตัว (Rebound) เป็นระยะเท่ากับ R_t ซึ่งเป็นผลรวมของการคืนตัวในช่วง elastic ของทั้งสามองค์ประกอบ คือที่รองหัวเสาเข็ม (R_1) เสาเข็ม (R_2) และดิน (R_3) โดยที่

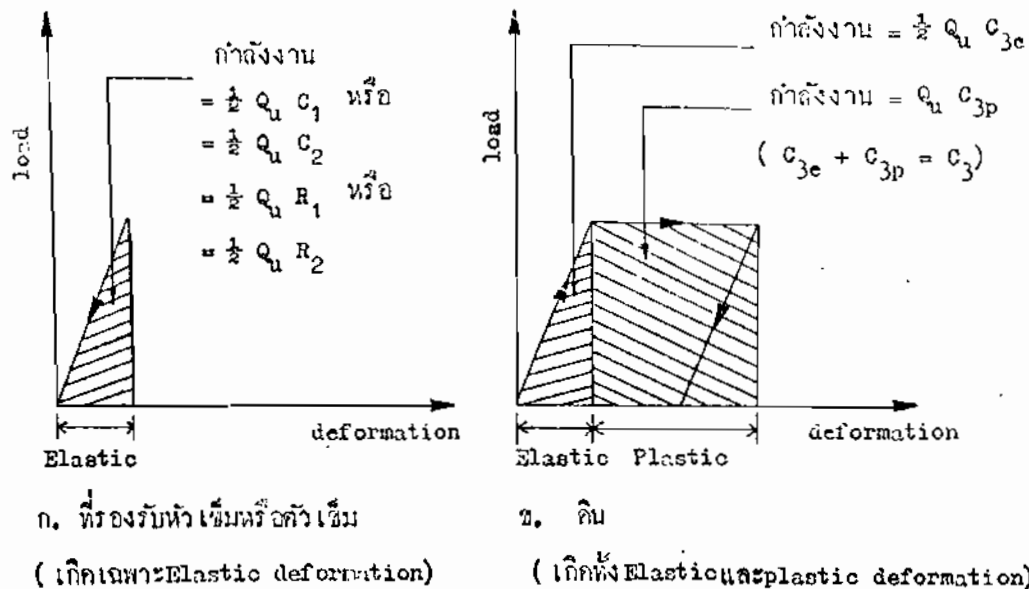
$$R_1 = C_1$$

$$R_2 = C_2$$

$$R_3 = C_3$$

$$C_3 = C_{3e}$$

กำลังงานที่เกิดขึ้นและสูญเสียไปในสมการที่ 2-26 สามารถเขียนโดยพิจารณาจากภาพที่ 2-13 ได้ดังนี้



ภาพที่ 2-13 ข้อสมมุติสำหรับ Load Deformation ในองค์ประกอบต่างๆ

ฉะนั้นพลังงานที่ทำให้เข้มนเคลื่อนที่ = พลังงานที่เกิดจากแรงต้านการเคลื่อนที่ของเสาเข็ม

$$E_n = Q_u \cdot S$$

$$E_{n_1} = ehWH$$

$$E_{n_2} = \frac{ehWH(1 - r^2)}{w + wP}$$

Article II.

$$E_{n_3} = \frac{Q_u}{2} (C_1 + C_2 + C_{3e})$$

แทนค่าในสมการที่ 2-26 ได้

$$Q_u \cdot S = ehWh - \frac{ehWH(1 - r^2)}{w + wP} - \frac{Q_u}{2} (C_1 + C_2 + C_{3e}) \quad (2-27)$$

หรือ

$$P = \frac{ehWH}{S + \frac{1}{2}(C_1 + C_2 + C_{3e})} - \frac{ehWH(1 - r^2)}{S + \frac{1}{2}(C_1 + C_2 + C_{3e})(W + WP)} \quad (2-28)$$

เมื่อ

eh = ประสิทธิภาพของเครื่องตอก

W = น้ำหนักของลูกตุ้ม

WP = น้ำหนักของเสาเข็ม

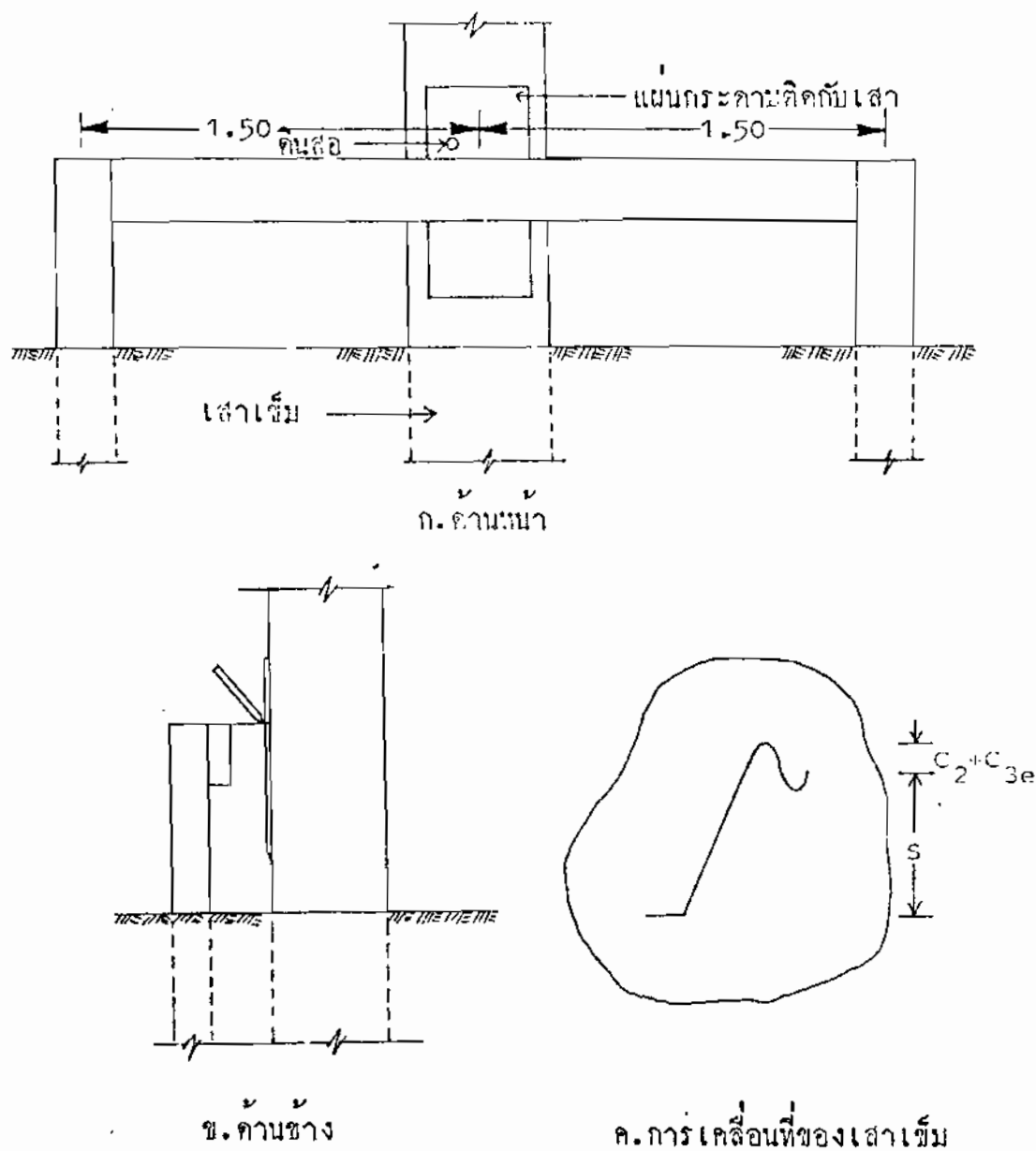
H = ความสูงของลูกตุ้มจากหัวเสา

r = สัมประสิทธิ์ของการคืนตัว (Coefficient of Restitution)

Qu = แรงต้านสูงสุดของเสาเข็มที่เกิดเคลื่อนที่เป็นระยะ S

เนื่องจากการตอก ค่า S, C₁, C₂, C₃ ดูจากภาพที่ 2-12

การหาค่า S ในสนามโดยปกติแล้ว จะวัดโดยใช้แผ่นกระดาษติดกับหัวเสาเข็มแล้วใช้ดินสอ ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้จากซ้ายไปขวาตามขอบคาน ดังแสดง



ภาพที่ 2-14 การเคลื่อนตัวของเสาเข็ม

ในภาพที่ 2-14ก. และ 2-14ข. การเคลื่อนตัวของเสาเข็มถูกบันทึก ดังแสดงในภาพที่ 2-14ค. เนื่องจากไม่สามารถติดแผ่นกระดาดไว้ที่บริเวณรองหัวเข็ม ส่วนคานตัวที่วัดได้จึงเป็นเฉพาะของเสาเข็ม (C_2) และของดิน (C_{3e}), S คือส่วนที่เหลือภายหลังจากการคืนตัวแล้ว

ส่วนการหาค่า C_1 และ C_2 สามารถหาได้จากการคำนวณโดยอาศัย Elastic Modulus ของวัสดุที่ใช้ดังนี้

$$C_1 = \frac{WP \cdot t}{AE_1} ; C_2 = \frac{WP \cdot L}{AE_2} \quad (2-29)$$

เมื่อ	t	=	ความหนาของที่รองหัวเข็ม
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของหัวเสาเข็ม
	L	=	ความยาวของเสาเข็ม
	E_1, E_2	=	พิกัดยืด (Modulus of Elasticity) ของที่รองหัวเสาเข็ม และของเข็มตามลำดับ

สูตรการตอกเสาเข็มในปัจจุบันส่วนใหญ่ยึดหลักการดังกล่าวมาข้างต้น แต่ดัดแปลงออกไปตามความเหมาะสมของสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามมีบางสูตรที่ผู้คิดค้นได้ตั้งขึ้นจากประสบการณ์และผลการทดลองจำนวนมาก โดยไม่ต้องอาศัยหลักการทางด้านพลังงานดังกล่าว

2.3.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านทานของพลศาสตร์และสถิติศาสตร์

ปัจจัยที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของพลศาสตร์และสถิติศาสตร์ ได้แก่

1. พลังงานในการตอก (Driving Energy)
2. น้ำหนักของค้อน (Weight of Hammer)
3. ระยะตกของค้อน (Drop of Hammer)
4. ความยาวของเสาเข็ม (Length of Pile)
5. น้ำหนักของเสา (Weight of Pile)
6. หน้าตัดของเสา (Section of Pile)
7. พิกัดความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำเสา (Modulus of Elasticity of Material)
8. คุณสมบัติความยืดหยุ่นของหยุ่นของดิน (Elastic Properties of Soil)
9. คุณสมบัติความยืดหยุ่นของหัวครอบ (Elastic Properties of Pile Driving Cap)
10. ความถี่ในการตอกเข็ม (Frequency of Driving)

โดยทั่วไปจะสมมุติว่าสูตรการตอกเข็มสำหรับลูกค้อนตอกจะใช้กับ Single Acting Steam และ Compressed Air Hammers น้ำหนักของลูกค้อนและระยะยกแทนค่าลงในสูตรเป็นค่า W และ H ตามลำดับ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเนื่องจากลูกสูบและแรงดันที่ดันกลับภายในสูบจะทำให้เกิดการ

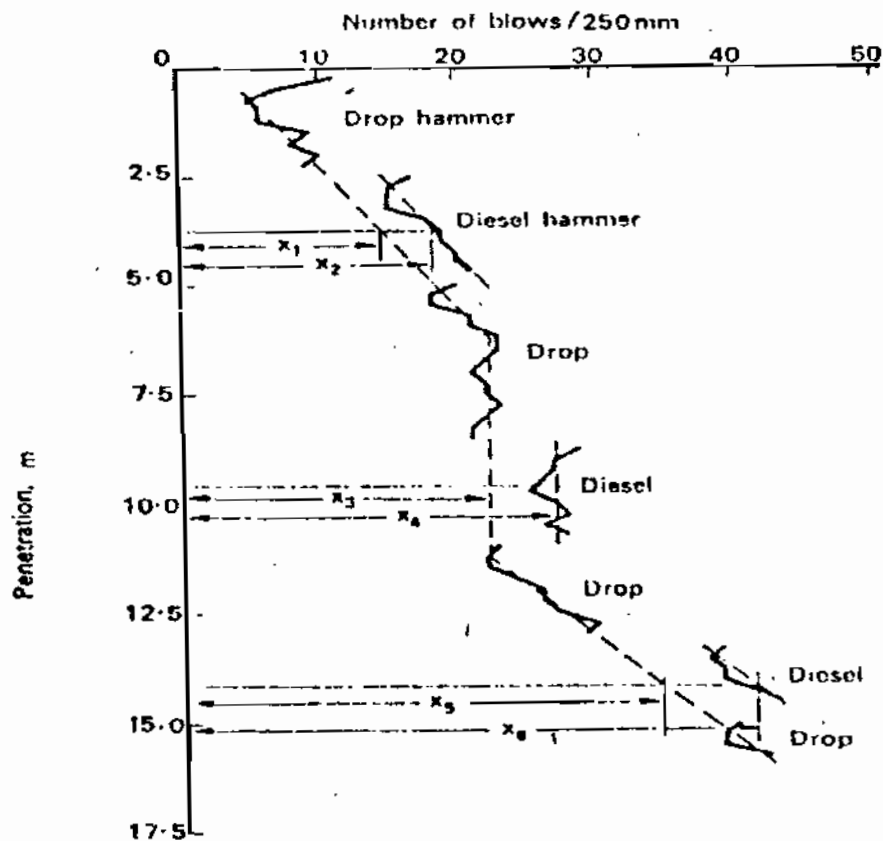
สูญเสียพลังงานขึ้น ดังนั้นเราจึงต้องสมมุติ ch เพื่อไปคูณค่า WH จะได้พลังงานที่ใช้จริงเป็น $ehWH$ จากประสบการณ์แสดงให้เห็นว่าในกรณีที่ใช้ Double-Acting Hammer ซึ่งมีการตอกเร็ว นั้น ค่า Penetration (ระยะจม) ต่อการตอกจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งการตอกต่อนาที ดังนั้นค่าพลังที่ใช้แทนในสูตรการตอกเสาเข็มจะไม่ใช้ค่า $ehWH$ แต่จะขึ้นอยู่กับความเร็วของการตอกหรือชุดของการตอกต่อหน่วยเวลาซึ่งเรียกเป็น Manufacturer's Rated Energy per Blow ซึ่งตรงกับการตีของ ลูกตุ้มตอกเป็นชุดจะใช้แทนค่า $ehWH$ ในสูตรการตอกเสาเข็ม แต่ถ้าในกรณีนี้เป็นไปอย่างที่ไม่ถูกต้องนักอาจทำได้โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างการตอกด้วย Diesel Hammer และ Drop Hammer โดยการตอกเข็มแต่เพียงบางส่วนโดยลูกตุ้มชนิดหนึ่ง จากนั้นจึงเปลี่ยนการตอกโดยใช้ลูกตุ้มชนิดอื่น และสังเกตรูปกราฟที่ลากระหว่าง “จำนวนครั้งของการตอกต่อระยะจมลงหนึ่งหน่วย” กับค่าการจมตัวของเสาเข็ม (Pile Penetration) ตามภาพที่ 2-15 ค่าหน่วยการจมตัว (Unit Distance) สำหรับ Blow Count แต่ละครั้งเป็น 250 mm. และจากกราฟค่าอัตราส่วนจำนวนครั้งการตอกต่อ 250 มิลลิเมตร โดย Drop Hammer กับค่าจำนวนครั้งการตอกต่อ 250 มิลลิเมตร โดย Diesel Hammer ไปเป็น Blow Count ที่เทียบเท่ากับการตอกด้วย Drop Hammer จากนั้นจึงนำ blow count ที่คำนวณเนื่องจาก drop hammer ไปแทนค่าในสูตรการตอกเสาเข็ม

ค่า eh (สัมประสิทธิ์ของ Hammer) แสดงในตารางที่ 2-6 จึงได้มาจาก B.S.P. Pocket Book

ตารางที่ 2-6 Hammer coefficient (ch).

Hammer	ch
Drop hammer operated by A trigger release	1.0
Drop hammer operated by Releasing the winch clutch And overhauling the rope	0.8
Single acting steam or Compressed air hammer	0.9

ที่มา : Whitaker.T(1970)



ที่มา : Whitaker.T, 1970

ภาพที่ 2-15 Comparison of the driving records of diesel and drop hammers on the same pile.

Three different beds are encountered, giving three comparison x_1/x_2 , x_3/x_4 and x_5/x_6 .

จากการพิจารณาในกรณีต่างๆ เราจะได้กฎทั่วไปสำหรับสังเกตเวลาที่ใช้สูตรการตอกเสาเข็ม ดังนี้

1. ควรหลีกเลี่ยงการใช้สูตรการตอกเสาเข็มในกรณีที่ปลายเข็มจมในดินเหนียว นอกจากเข็มที่ปลายจมในชั้นทรายหรือกรวด
2. เลือกใช้สูตรที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณสำหรับลักษณะเข็มโดยเฉพาะอย่าง
3. เลือกใช้สูตรที่ง่ายไม่ซับซ้อนเพื่อให้ได้ผลตามข้อ 2 เพราะการใช้สูตรที่ซับซ้อนอาจให้ผลที่ไม่น่าเชื่อถือได้

4. หาผลจากการทดสอบเสาเข็มและหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ถูกต้อง เพื่อใช้ในสูตร โดยค่าสัมประสิทธิ์จะขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของดิน ขนาดของเข็ม เครื่องมือที่ใช้ในการตอกและการทำงานของเครื่องมือ การเปลี่ยนแปลงใดๆ ดังกล่าวเพียงอย่างเดียวจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์เปลี่ยนแปลง

5. เลือกใช้ค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่น่าเชื่อถือ เนื่องจากข้อผิดพลาดในการคำนวณที่เกิดขึ้นในการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่ได้ทำการทดสอบเสาเข็มเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ถูกต้อง

2.3.2.3 สูตรการตอกเสาเข็ม

ก) Janbu's Formula

$$Q = \frac{1}{KU} \cdot \frac{WH}{S} \quad (2-30)$$

$$\text{เมื่อ } KU = cd \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda e}{cd}} \right)$$

$$Cd = 0.75 + 0.15 \frac{WP}{W}$$

$$\lambda e = \frac{WHL}{AES^2}$$

ข้อสมมุติ

1. มีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดและอื่นๆ ของลูกตุ้มพลังงานกระทบที่แท้จริงเป็น $ehWH$ เมื่อ eh เป็นค่าคงที่น้อยกว่าหนึ่ง
2. การสูญเสียพลังงานให้กับการกดใช้ในช่วงอีลาสติกของเสาเข็ม
3. การสูญเสียพลังงานให้กับการกระทบ

ข) Danish Formula

$$Q = \frac{ehWH}{S + \left\{ \frac{ehWHL}{2AE} \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (2-31)$$

ข้อสมมุติ

1. มีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดของลูกตุ้มพลังงานกระทบเท่ากับ $ehWH$
2. พลังงานที่ได้รับจากลูกตุ้มที่ใช้ในการอัดเสาเข็ม จะทำให้เกิดการกดในช่วงอิลาสติก โดยค่าการกดในช่วงอิลาสติกจะมีค่าเป็น $(ehWHL/AE)$

ดังนั้น

$$ehWH = QS + \frac{Q}{2} (2ehWHL/AE)^{\frac{1}{2}} \quad (2-32)$$

สูตรนี้เรียกว่า Danish Formula คิดโดย Sorensen และ Hansen

Modified Gate's Formula

$$Q = \left[9 \frac{(ehWH)^{\frac{1}{2}}}{2.54} \log \frac{25.4}{S} \right] - 27 \quad (2-33)$$

2.3.3 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มจากผลการทดสอบเสาเข็ม (Pile load Test)

การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (Pile load Test) เป็นการทดสอบเสาเข็ม โดยทั้งขนาดเสาเข็มและสภาพของดิน กล้ายคลึงกับที่นำไปใช้งานจริง วิธีนี้ให้ผลที่มีความเชื่อถือมากกว่าวิธีใช้สูตรสถิตยศาสตร์ (Static Formula) และสูตรพลศาสตร์ (Dynamic Formula) สำหรับงานที่เป็นโครงการใหญ่ จะมีการสำรวจดิน เพื่อนำข้อมูลมาหาขนาดและความยาวเสาเข็มโดยสูตรสถิตยศาสตร์ หลังจากได้ใช้เครื่องมือตอกเสาเข็มที่เหมาะสมแล้ว จะมีการบันทึกข้อมูลจากการตอกเสาเข็ม ซึ่งจะใช้ประเมินหาสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยใช้สูตรพลศาสตร์ หรือใช้เป็นเครื่องกำหนดในการให้หยุดตอกแล้วแต่กรณี ท้ายสุดจะมีการทดสอบเสาเข็มโดยให้น้ำหนักบรรทุกตามที่ได้ประเมินไว้ เพื่อให้มั่นใจว่าหลักการที่ใช้ในการคำนวณนั้นเชื่อถือได้ หรืออาจใช้เป็นข้อตัดสินเมื่อวิธีอื่นๆ ให้ข้อมูลที่แตกต่างกันมาก สำหรับเสาเข็มเจาะนั้นจะใช้วิธีการประเมินโดยใช้สูตรสถิตยศาสตร์ แล้วมีการตรวจสอบโดยทำการทดสอบสภาพการรับน้ำหนักในสนามเสมอ ปัจจุบันการทดสอบน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มมี 2 วิธี คือ

การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มสถิตศาสตร์ (Static Load Test)

เป็นการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มตามสภาพที่ใช้งาน หรือตามความประสงค์อื่น เช่นหาความแข็งแรงของดิน เสาเข็มที่ทดสอบส่วนมากจะใช้ขนาดและวิธีการตอกเดียวกันกับที่ใช้งานจริง โดยจะทำการวัดการทรุดตัวของเสาเข็มตามน้ำหนักบรรทุกที่ประเมินไว้และบางครั้งอาจทำการทดสอบด้วย น้ำหนักบรรทุกถึงการพังทลายของดิน แต่ส่วนใหญ่จะทดสอบถึงน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ใช้ในการออกแบบและวัดการทรุดตัวของเสาเข็ม ซึ่งหากไม่เกินขีดจำกัดแสดงว่าเสาเข็มรับน้ำหนักดังกล่าวได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่มีอยู่และเสาเข็มที่ทดสอบนั้นจะนำไปใช้งานต่อหรือทิ้งไป (Working Pile, Test Pile) วิธีการทดสอบนั้นมีอยู่หลายวิธีซึ่งเป็นไปตามการพัฒนาการของเทคโนโลยีในการก่อสร้างเสาเข็ม หากการทดสอบในดินเหนียวแล้วจะทำให้การทรุดตัวที่มีใช้เกิดขึ้นจริงเพราะต้องทิ้งไว้เป็นเวลานานสำหรับ Consolidation วัตถุประสงค์ในการทดสอบกำลังน้ำหนักของเสาเข็มมี 2 ประการด้วยกัน คือ

1. Proof Load Test เพื่อตรวจสอบว่าเสาเข็มสามารถรับน้ำหนักได้ตามที่กำหนดไว้หรือไม่ การทดสอบ มักจะทำในกรณีที่มีประสบการณ์การออกแบบในบริเวณที่ตอกเสาเข็มและทำการทดสอบนี้มาแล้ว และสามารถกำหนดขนาด ความยาวและระดับปลายเสาเข็มที่ตอกนี้ได้ก่อน การทดสอบแบบนี้มักจะทำการทดสอบน้ำหนักจนถึงประมาณ 1.5 – 2 เท่าของน้ำหนักที่ออกแบบให้เสาเข็มรับ เนื่องจากไม่สามารถทำการทดสอบเสาเข็มทุกต้นได้ อาจมีบางต้นที่รับน้ำหนักที่ออกแบบแล้วมีการทรุดตัวมากเกินไปจนเกินขีดที่กำหนดไว้

2. Ultimate Load Test เพื่อหาน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่สามารถรับได้จริง และดูพฤติกรรมของเสาเข็มขณะที่รับน้ำหนักต่างๆ กันในบริเวณที่ก่อสร้าง เพื่อใช้ผลและข้อมูลเหล่านี้ในการออกแบบครั้งต่อไป การทดสอบแบบนี้จะทำในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบเสาเข็มในบริเวณที่ตอกเสาเข็มนี้มาก่อน

เสาเข็มที่นำมาทดสอบทั้ง 2 วิธีนี้ จะต้องเป็นเสาเข็มที่ ชนิด ขนาด ความยาว และใช้เครื่องมือในการตอกเสาเข็มเหมือนกันกับเสาเข็มที่จะใช้ในการก่อสร้างจริง และการทดสอบเสาเข็มจะต้องทดสอบในบริเวณที่ก่อสร้างหรือใกล้เคียง ที่มีผลจากการเจาะสำรวจดินแล้วว่ามีชั้นดินเหมือนกับบริเวณที่ก่อสร้าง

การทดสอบเสาเข็มโดยทั่วไป มักจะทำการทดสอบเสาเข็มแบบแรก คือ กำหนดน้ำหนักที่ให้เสาเข็มรับก่อน แล้วจึงทำการทดสอบว่า เสาเข็มสามารถรับน้ำหนักนั้นได้จริงหรือไม่ โดยเพิ่มน้ำหนักขึ้นเป็น 2 ถึง 3 เท่าของน้ำหนักที่กำหนดให้เสาเข็มรับ แล้วดูค่าการทรุดตัวของเสาเข็มว่าอยู่ในข้อกำหนดหรือไม่ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ประหยัดในการออกแบบเพราะเสาเข็มอาจรับน้ำหนักปลอดภัยได้มากกว่าที่กำหนดไว้ก็ได้

1. การเลือกสถานที่ที่จะใช้ในการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

สถานที่ที่จะทำการทดสอบเสาเข็มควรอยู่ใกล้เคียงกับบริเวณที่ก่อสร้าง หรือถ้ากำหนดให้ทดสอบเข็มหลายต้นในบริเวณเดียวกัน ควรเลือกเสาเข็มที่สามารถเป็นตัวแทนของเสาเข็มทั้งหมดได้ โดยกำหนดตามจุดต่างๆ ที่เห็นว่าสำคัญ เช่น จุดที่เสาเข็มต้องรับน้ำหนักมากที่สุด หรือจุดที่ไม่แน่ใจว่าเสาเข็มสามารถรับน้ำหนักที่สามารถรับน้ำหนักที่เรากำหนดไว้ได้ ถ้าในบริเวณที่ก่อสร้างมีข้อมูลเกี่ยวกับการเจาะสำรวจดินอยู่ด้วย ควรเลือกทดสอบเสาเข็มให้ใกล้เคียงกับจุดที่ทราบข้อมูลเกี่ยวกับสภาพดินนี้ เพื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจดิน ซึ่งทำให้การออกแบบเสาเข็มมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

การเลือกจุดที่ทดสอบเสาเข็มนี้ อาจเลือกเสาเข็มที่ใช้งานจริงในฐานรากได้ เพราะเสาเข็มที่ทำการทดสอบจนถึงน้ำหนักพิบัติแล้ว (โดยที่โครงสร้างของเสาเข็มยังไม่มี การเสียหาย) ถ้าทิ้งไว้สักระยะหนึ่งให้กำลังของดินกลับคืนมา จะสามารถรับน้ำหนักได้อีกเหมือนกับเสาเข็มต้นอื่นๆ

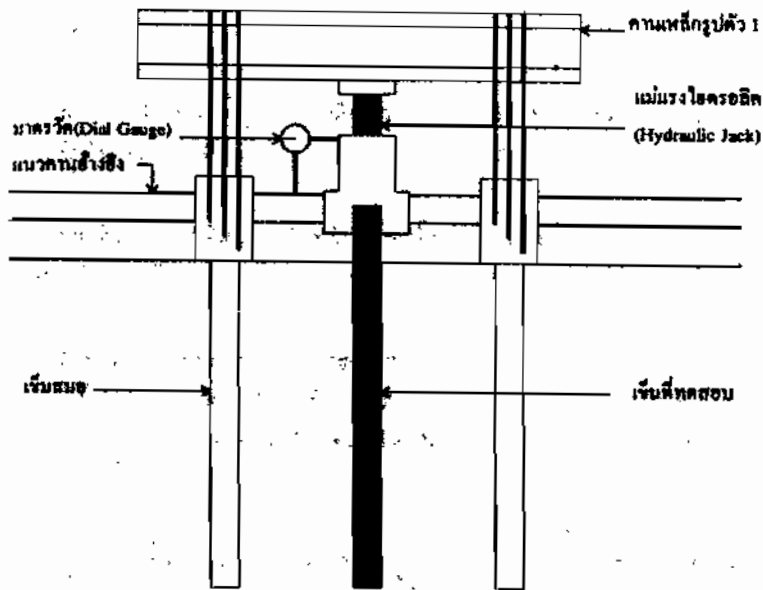
2. วิธีการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

ด้วยเหตุที่การทดสอบเสาเข็มต้องกระทำในภาคสนาม โดยใช้เวลานานทั้งในการติดตั้งเครื่องมือและดำเนินการทดสอบ วิธีการทดสอบต่างๆ จึงได้มีการปรับปรุงเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการใช้งาน โดยใช้เวลาทดสอบพอสมควร วิธีการทดสอบที่พบว่า ใช้กันอยู่ทั่วไปมีดังนี้ (ASTM D 1143 – 81)

1. วิธีทดสอบแบบ Slow Maintain Load Test (Slow ML test) เป็นวิธีการทดสอบที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในการค้นหาความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่กดลงบนเสาเข็ม และการทรุดตัวที่เกิดขึ้น ถ้าดัชนีขั้นตอนและข้อสังเกตในการทดสอบมีดังนี้

1.1 ระยะระหว่าง Anchor Pile และ Test Pile ไม่ควรน้อยกว่า 1.5 ถึง 2.0 เมตร หรือ 3 ถึง 5 เท่าของขนาดเสาเข็ม

1.2 ตัดหัวเสาเข็มและหล่อด้วยวัสดุที่แข็งแรงให้ได้ระดับในแนวราบ วางแผ่นเหล็กบนหัวเสาเข็มแล้วติดตั้งเครื่องมือวัดการทรุดตัวของเสาเข็ม



ภาพที่ 2-16 การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกเสาะเพิ่มทางสถิตศาสตร์

1.3 เพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็นช่วงๆ ละ 1/5 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ยอมให้ใช้หรือที่ออกแบบไว้ น้ำหนักทดสอบสูงสุดเท่ากับสองเท่าของน้ำหนักปลอดภัย (25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200% ของ Design หรือ Working Load

1.4 จะเพิ่มน้ำหนักแต่ละครั้งต่อเนื่องอัตราการทรุดตัวน้อยกว่า 0.01 นิ้วต่อชั่วโมง แต่ต้องไม่มากกว่า 2 ชั่วโมง (ประมาณไว้ว่าเวลา 2 ชั่วโมงเพียงพอสำหรับ Consolidation Settlement)

1.5 ให้บันทึกปริมาณการทรุดตัว หลังจากเพิ่มน้ำหนักแล้วทันทีและเมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 2, 5, 10, 15, 30, 60 นาทีและทุกๆ 2 ชั่วโมง

1.6 เมื่อเพิ่มน้ำหนักถึงน้ำหนักทดสอบสูงสุด (2 เท่าของน้ำหนักปลอดภัย) ให้ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือมากกว่าเมื่อจำเป็นเนื่องจากมีอัตราการทรุดตัวสูง (หากทรุดตัวน้อยกว่า 0.01 นิ้วต่อชั่วโมงก็อาจทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง) โดยให้บันทึกการทรุดตัวไว้ตลอดทุก 2 ชั่วโมง (การทดสอบอีกวิธีหนึ่งนั้น ให้ทิ้งเวลาสำหรับทุกครั้งเมื่อเพิ่มน้ำหนักไว้ไม่น้อยกว่า 30 นาที ซึ่งนิยมใช้ 1 ชั่วโมง) และควรบันทึกการทรุดตัวไว้ไม่น้อยกว่า 3 ครั้งในแต่ละช่วง)

1.7 ให้ทำการลดน้ำหนักลงเป็น 75, 50, 25, 10 และ 0% ของน้ำหนักทดสอบสูงสุด พร้อมกับบันทึกการทรุดตัวครั้งสุดท้าย โดยให้ทิ้งเวลาแต่ละครั้งไม่น้อยกว่า 30 นาที (นิยมใช้ 1 ชั่วโมง) และเมื่อถอนน้ำหนักออกหมดแล้วให้ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (มาตรฐานการทดสอบบางแห่งนั้นใช้น้ำหนักทดสอบสูงสุดเป็น 2.5 ถึง 3.0 เท่าของน้ำหนักปลอดภัยหรือทำการเพิ่มน้ำหนักจนกระทั่งการทรุดตัวถึง 10% ของขนาดเสาเข็ม)

2. วิธีทดสอบแบบ Constant Rate of Penetration Test (CRP Test) นิยมเรียกกันว่า CRP Test ดำเนินการและพัฒนาขึ้นโดย Whitaker (1957, 1963, 1970) โดยทำการทดสอบทั้งแบบจำลองของเสาเข็มและเสาเข็มจริง เป็นการทดสอบเพื่อหาน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มและทดสอบได้เร็วกว่าวิธีแรกมาก เหมาะสมสำหรับดินเหนียวแต่ก็ใช้ได้ทั่วไปลำดับขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

2.1 เสาเข็มจะถูกกดลงด้วยอัตราการจมที่สม่ำเสมอระหว่าง 0.5 ถึง 3.5 มิลลิเมตรต่อนาทีโดยทั่วไปใช้ 0.25 ถึง 1.25 (ควรใช้ 1) มิลลิเมตรต่อนาทีสำหรับ Friction Pile และ 0.75 ถึง 2.5 (ควรใช้ 2 มิลลิเมตรต่อนาทีสำหรับ End-Bearing Pile)

2.2 บันทึกน้ำหนักและการทรุดตัว 1 ถึง 2 นาที หรือเหมาะสมจนกว่าเสาเข็มพิบัติ หลังจากนั้นให้บันทึกทุก 5 นาทีจนสิ้นสุดการทดสอบ โดยเสาเข็มต้องลงในดินไม่น้อยกว่า 10 และ 25 เปอร์เซ็นต์ของขนาดเสาเข็ม Friction และ End-Bearing Pile ตามลำดับ (หรือประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์โดยทั่วไป)

2.3 น้ำหนักบรรทุกประลัยหาได้จากค่าสูงสุด หรือจุดที่เริ่มมีอัตราการจมคงที่ของการพลีต ระหว่างน้ำหนักที่กดเสาเข็มและระยะการจมลงของเสาเข็ม ในกรณีที่ไม่สามารถหาได้นั้น Whitaker (1970) แนะนำให้หาน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เสาเข็มจมลง 10% ของขนาดเสาเข็ม

2.4 ควรใช้แม่แรงที่มีระยะชักเพียงพอต่อการลอยขึ้นของที่ยึดแรงปฏิกิริยา (75 และ 25 มิลลิเมตรสำหรับการจัดหาน้ำหนัก) และระยะการจมของเสาเข็ม (25 และ 10 เปอร์เซ็นต์ของขนาดเสาเข็ม สำหรับ End-Bearing และ Friction Pile ตามลำดับ) ซึ่งประมาณได้เท่ากับ 25% ของขนาดเสาเข็ม แม่แรงควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 200 ตัน

3. วิธีทดสอบแบบ Cyclic Load Test เป็นการทดสอบเพื่อแยกหาแรงต้านทานส่วนปลายและแรงเสียดทานรอบเสาเข็ม โดยมีผู้ศึกษาเช่น Van Weele (1957), Broms (1972) ซึ่งต่อมา ASTM ได้บรรจุเป็นการทดสอบมาตรฐานในปี 1981 ข้อ 5.2 ขั้นตอนการทดสอบโดยสรุปมีดังนี้

3.1 เพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็น 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลอดภัยที่ยอมให้ใช้หรือน้ำหนักที่ออกแบบไว้ โดยน้ำหนักแรกสุดให้ทำตามวิธีการเดียวกันกับข้อ ก) ที่น้ำหนักบรรทุก 50, 100 และ 150 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักออกแบบให้ทิ้งน้ำหนักไว้ 1 ชั่วโมง แล้วถอนน้ำหนักส่วนที่เพิ่มนั้นออกกลับไปน้ำหนักเดิมก่อนหน้านั้น ทิ้งไว้ 20 นาที เพิ่มน้ำหนักอีก 50 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักออกแบบทิ้งไว้ 20 นาที เพิ่มน้ำหนักอื่นต่อไป (25% น้ำหนักออกแบบ) และทำการทดสอบตามข้อ ก)

3.2 การทดสอบลักษณะเดียวกันแต่แตกต่างกัน ในรายละเอียดกับวิธีของ ASTM ดังกล่าวข้างต้นนั้น ได้มีผู้พยายามศึกษาและวิเคราะห์ผลที่ได้ออกมาเช่นเพิ่มน้ำหนักแต่ละครั้ง

เท่ากับ 20% ของน้ำหนักปลอดภัย เมื่ออัตราการทรุดตัวน้อยกว่า 0.05 มิลลิเมตรต่อ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง ให้ลดน้ำหนักไปที่เดิมและเพิ่มน้ำหนักกลับคืนโดยทำซ้ำ 3 ครั้ง ทั้งเวลาสำหรับใส่น้ำหนักระหว่าง 10 ถึง 15 นาที (บางแห่งควบคุมด้วยอัตรา 0.05 มิลลิเมตรต่อ 10 นาที) หลังจากนั้นให้เพิ่มน้ำหนักให้สูงขึ้นและทำการทดสอบถึงน้ำหนักสูงสุดประมาณ 3 เท่าของน้ำหนักปลอดภัย หรือขีดกำหนดของการทรุดตัว

4. วิธีทดสอบแบบ Quick Load Test วิธีทดสอบแบบนี้ใช้ทดสอบเสาเข็มเมื่อต้องการทราบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดที่เสาเข็มสามารถรับได้ เพราะเป็นวิธีที่สามารถทราบผลได้รวดเร็วในการทดสอบทั่วไปอาจทำการทดสอบเสาเข็มแบบใดแบบหนึ่งใน 3 แบบ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นถึง 2-2.5 เท่าของน้ำหนักที่กำหนดให้เสาเข็มรับเสร็จแล้วอาจทดสอบแบบ Quick Load Test จนเสาเข็มพังทลาย เพื่อดูว่ามี Factor of Safety เท่าไร และสามารถนำผลไปเปรียบเทียบกับวิธีออกแบบเสาเข็มแบบ Static Load ได้

วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Quick Load Test นี้ คล้ายกับวิธีทดสอบแบบ CRP Test โดย Texas Highway Department ได้ดัดแปลงมาจากวิธีทดสอบแบบ CRT Test วิธีทดสอบแบบนี้ เริ่มจากการเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นทีละ 5 ตัน หรือ 10 ตัน แล้วบันทึกระยะทรุดตัวของเสาเข็ม แรงทดสอบเสาเข็ม และข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นทันทีก่อนและหลังเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็ม แรงทดสอบเสาเข็มที่เพิ่มขึ้นแต่ละครั้งจะถูกลดไว้นาน 2.5 นาที แล้วจึงเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นใหม่

2.3.3.2 การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มวิธีพลศาสตร์

การหาน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธีพลศาสตร์ ได้เริ่มเข้ามาในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2532 เนื่องจากเป็นวิธีที่รวดเร็วและราคาไม่แพง ทำให้วิธีนี้ได้รับความนิยมและได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายๆ ประเทศทั่วโลก แต่ทั้งนี้วิธีนี้ก็ต้องการผู้เชี่ยวชาญและมีความรู้ดีในการทดสอบ ฉะนั้นผู้ที่ปฏิบัติงานจะต้องถึงเห็นถึงตัวแปรต่างๆ ในการทดสอบ เพื่อให้การทดสอบมีความถูกต้อง ในขณะที่ปฏิบัติงานสามารถที่จะประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกได้ทันที โดยวิธี Case Method ซึ่งวิธีนี้ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ตัวหนึ่ง คือ J_c (Damping Factor) ที่เหมาะสม

ยุคแรกๆ ของการวัด Dynamic Strain ขณะกำลังตอกเสาเข็มเริ่มเมื่อปี ค.ศ. 1930 ที่ประเทศอังกฤษ โดยการใช้ Piezoelectric Force Transducer ซึ่งผลที่ได้ถูกบันทึกไว้ใน Oscilloscope ต่อมาได้มีโครงการทดลองและทดสอบ ซึ่งจัดโดย Michigan State Highway Commission ขึ้นในปี ค.ศ. 1961 ทั้งแรง (Force) และความเร่ง (Acceleration) ถูกวัดโดยการใช้ Force Transducer และ Strain Gage Accelerometer ขนาดใหญ่ จุดประสงค์ของโครงการนี้เพื่อหาสมรรถภาพของค้อน (Hammer Performance) ข้อมูลถูกบันทึกไว้ใน Oscillograph ชนิดความเร็วสูง

เทคนิคที่ใช้มากกันในปัจจุบัน สำหรับการวัดและการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Dynamic ได้พัฒนาโดย Professor G.G.Goble ที่ Case Western Reserve University รัฐโอไฮโอ ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเรียกว่า เป็นวิธีของ Case Method โครงการได้เริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1965 จุดประสงค์เพื่อจะหา Pile Bearing Capacity จาก Hammer Blow เนื่องจากการตอกเข็ม โดยได้รับการสนับสนุนจาก Ohio Department of Transportation และ Federal Highway Administration นอกจากนั้นยังได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุนจาก State Highway Department รัฐต่างๆ ตลอดจนผู้รับเหมาและผู้ประกอบการอื่นๆ

ทฤษฎีคลื่นเบื้องต้น (Basic Wave Mechanical) เมื่อถูกค้อนกระทบหัวเสาเข็มจะทำให้เกิดคลื่นการอัดตัว (Elastic Compression Wave) และส่งผ่านเสาเข็มด้วยความเร็วที่คงที่ความเร็วคลื่นขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็มและสามารถคำนวณได้จาก Hook's and Newton's Laws

$$C^2 = E/\rho \quad (2-34)$$

โดยที่ C = ความเร็วคลื่น (Elastic Wave Speed)
 E = โมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus) ของเสาเข็ม
 ρ = ความหนาแน่นของมวล (Mass Density) ของเสาเข็ม

พิจารณาจากภาพที่ 2-17 ความยืดหยุ่นได้ “ความเร็วคลื่น” เป็นความเร็วที่เป็นคลื่นอัด (Compression Wave) หรือคลื่นดึง (Tensile Wave) เคลื่อนที่ตลอดเสาเข็มและจะทำให้เกิดความแตกต่างของส่วน “ความเร็วเฉพาะ” ที่เป็นความเร็วที่ขณะเสาเข็มเคลื่อนที่และคลื่นวิ่งผ่าน

โดยการพิจารณาว่าเสาเข็มมีความสม่ำเสมอ (Uniform Pile) และคลื่นเดินทางในทิศทางเดียว การแสดงการหาค่าแรงสามารถพิสูจน์ได้ดังนี้ (ภาพที่ 2-17)

$$F = \frac{EA}{C} V \quad (2-35)$$

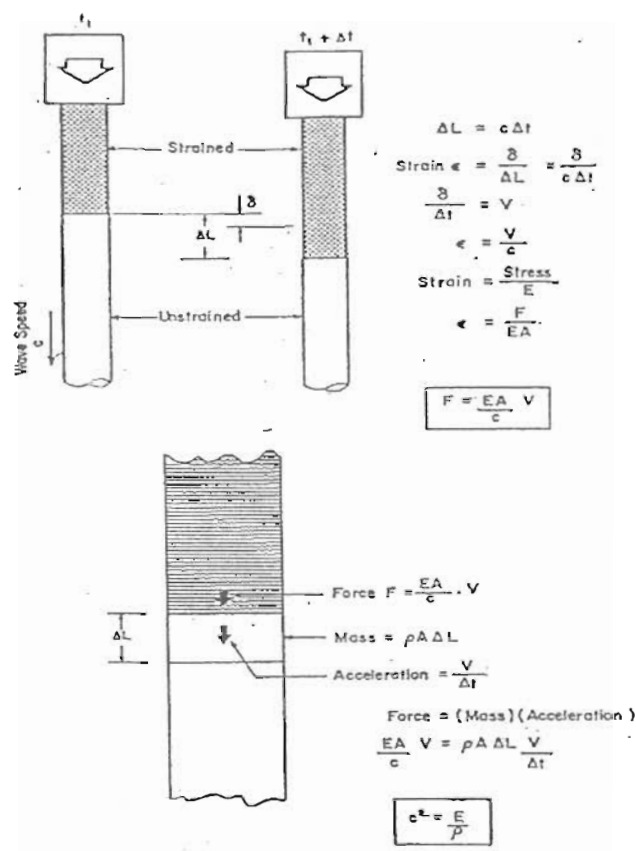
โดยที่ F = แรงในเสาเข็ม (Force in the Pile)
 V = ความเร็วของอนุภาค (Particle Velocity)
 A = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม (Cross Section Area of the Pile)

สัดส่วนของแรงกับความเร็วยังเรียกว่า Impedance เป็นส่วนที่ต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ถ้า Impedance สามารถหาได้จากสมการที่ (2-36)

$$Z = EA/C = \rho_{CA} = MC/L \quad (2-36)$$

โดยที่ M = มวลของเสาเข็ม (Mass of the Pile)

L = ความยาวเสาเข็ม (Pile Length)

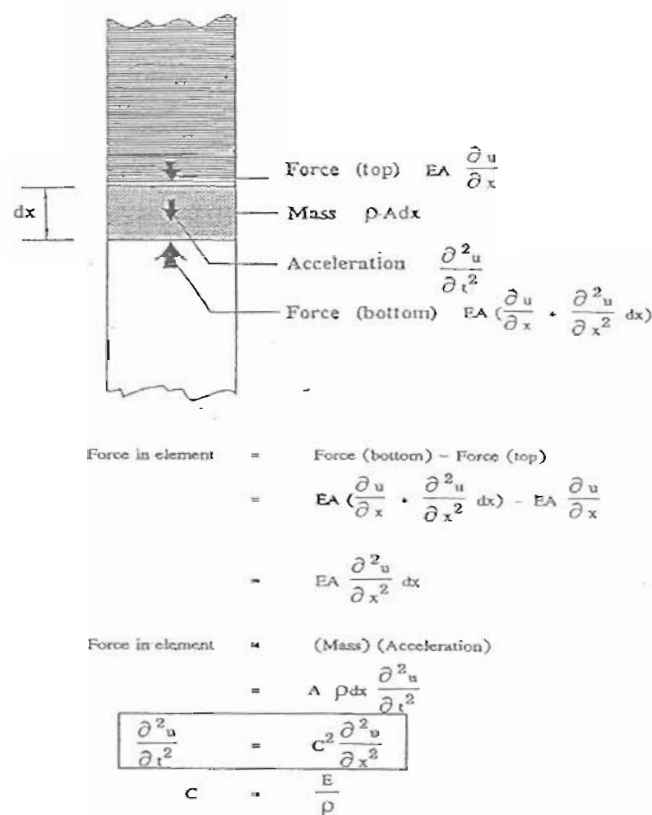


ภาพที่ 2-17 Derivation of Proportionality and Wave Speed GOBLE (1990)

รูปแบบทั่วไปของสมการคลื่น สามารถพิสูจน์ได้ดังแสดงในภาพที่ 2-18 จะได้

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (2-37)$$

โดยที่ u = การเคลื่อนที่ของอนุภาคในแท่งโลหะ
 x = ตำแหน่งในแนวยาว
 t = เวลา



ภาพที่ 2-18 Derivation of One-Dimensional Wave Equation

คลื่นความเค้น (Stress Wave) ในระหว่างการตอก สมมติให้ความเร็วค้อนก่อนกระทบ V_0 (ดังภาพที่ 2-19) ขณะตอกเสาเข็มผลการตอกจะทำให้เกิดคลื่นความเค้นวิ่งขึ้นในค้อนส่วนหนึ่งและวิ่งลงในเสาเข็มอีกส่วนหนึ่ง สมมุติความเร็วทางอนุภาคในค้อนมีทิศทางขึ้น ตามความเค้นอัดมีค่า V_h และให้ความเร็วอนุภาคในเสาเข็มทิศลงมีค่า V_p จากสมดุลของแรง

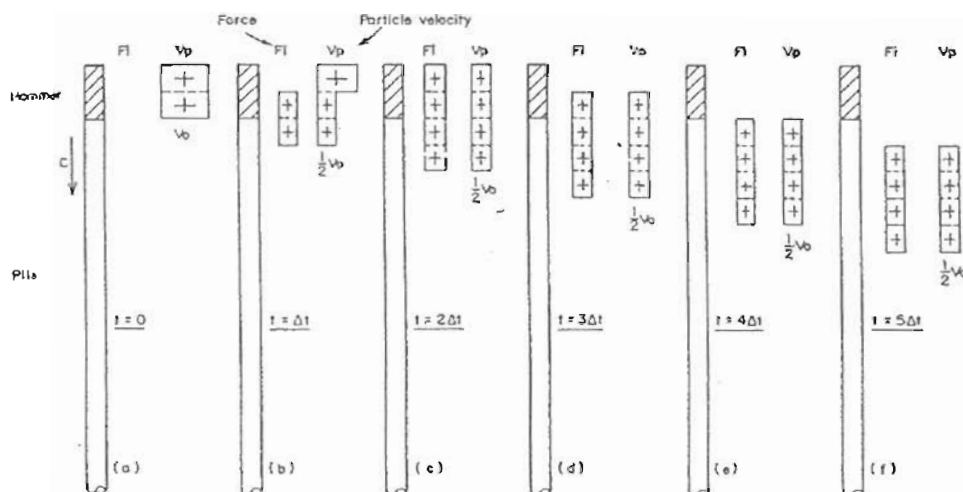
$$Z_p V_h = Z_p V_p \quad (2-38)$$

โดยที่ Z_h และ Z_p คือค่า Impedance ของค้ำและเสาเข็มตามลำดับ โดยที่หน้าสัมผัสความเร็วอนุภาคของค้ำและเสาเข็มต้องเท่ากัน

$$V_o - V_h = V_p \quad (2-39)$$

จากสมการที่ (2-38) และ (2-39) จะได้

$$V_p = V_o Z_h / (Z_h + Z_p) \quad (2-40)$$



ภาพที่ 2-19 แรงและความเร็วอนุภาคในเสาเข็มขณะตก (กรณี $Z_h = Z_p$)

แรงในเสาเข็มขณะที่เกิดการคลจะมีค่าขึ้นกับค่าความเร็วกระทบของค้ำ V_o

$$F_i = V_o Z_h Z_p / (Z_h + Z_p) \quad (2-41)$$

ในกรณีที่ $Z_h = Z_p$ ค่า $F_i = 0.5 V_o Z_p$ และ $V_p = 1/2 V_o$ ดังภาพที่ 2-19 ช่วงเวลาการคล t_o จะมีค่าเท่ากับ $2 Lh/c$ ซึ่งเป็นเวลาดังแต่คลื่นความเค้นอัดในค้ำวิ่งสะท้อนกลับเป็นคลื่นความเค้นดึงลงตามแนวแกนค้ำผ่านไปยังเสาเข็มด้วยความเร็ว c เมื่อช่วงเวลาการคลหมดไป ค้ำตกจะมีความเร็วเป็นศูนย์ถ่ายเทคลื่นความเค้นให้เสาเข็มหมดคลื่น

ก) วิธี Case Method

โดยปกติการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม สามารถหาได้ถ้าทราบแรง F (Pile Top Force) และความเร่ง ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถวัดได้ในสนาม ดังนั้นสามารถหาค่าความเร็ว (V) โดยการ Integrate จากความเร่งค่าของ F , V , a จะเป็นฟังก์ชันกับเวลาโดยใช้ทฤษฎีของ Wave Propagation และอยู่ในสมมุติฐานดังต่อไปนี้

1. เสาเข็มเป็น Uniform Elastic Pile
2. คุณสมบัติของดินเป็น Ideal Plastic Soil

ค่าแรงต้านทานการตอกของดินทั้งหมด Rausche (1970) สามารถคำนวณได้จาก Rigid Body Equation

$$R = F(t) - ma(t) \quad (2-42)$$

โดย $F(t)$ และ $a(t)$ เป็นแรงและความเร่งที่ Pile Top ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา

$$R = \frac{1}{2} [F(t_1) + F(t_2)] + \frac{mC}{2L} [V(t_1) - V(t_2)] \quad (2-43)$$

$$R = \frac{[F(t_1) + F(t_2)] + Z_p V(t_1) - Z_p V(t_2)}{2} \quad (2-44)$$

โดยที่ $t_2 = t_1 + \frac{2L}{C}$

t_1 = เวลาที่เกิดความเร็วมากที่สุดที่หัวเสาเข็ม

Z_p = Impedance ของเสาเข็ม

แรงต้านทั้งหมด R จะมีค่าเท่ากับแรงต้านทางสถิตย์ R_s กับแรงต้านทางไดนามิกส์ R_d ดังสมการ

$$R = R_s + R_d \quad (2-45)$$

แรงต้านทางพลศาสตร์ R_d สมมุติให้มีค่าเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเสาเข็ม

$$R_d = J_c Z_p v_{ice} \quad (2-46)$$

เมื่อ J_c = Dimensionless Case Damping Factor ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของดิน

$$v_{ice} = 2 V_{top} - R/Z_p \text{ เมื่อเสาเข็มถูกสมมุติเป็นวัตถุเกร็ง}$$

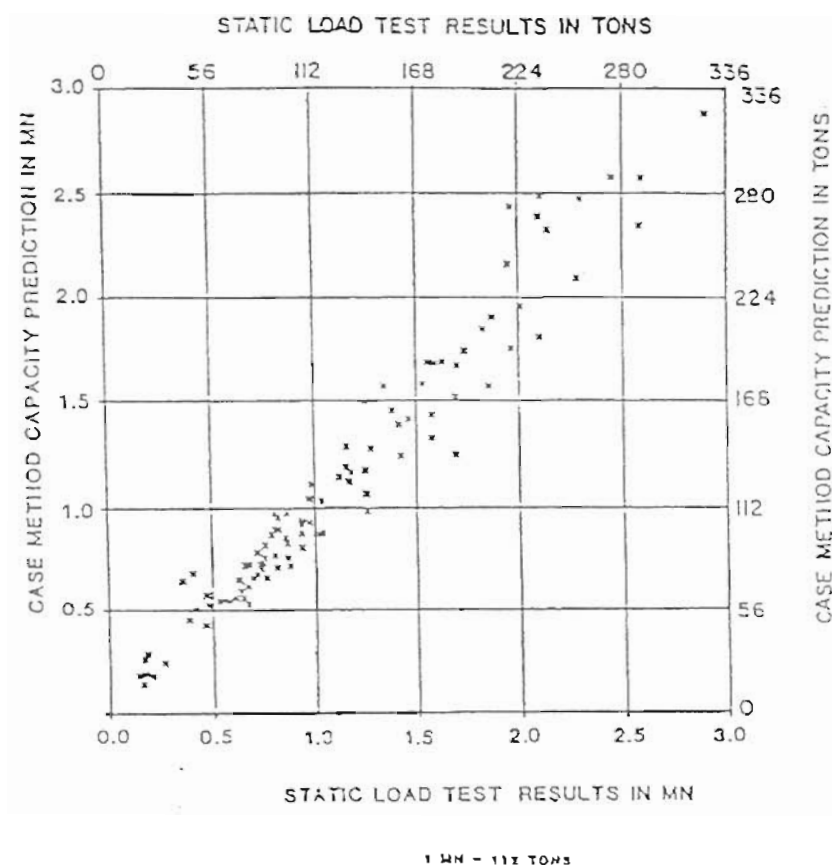
จากสมการที่ (2-44) และ (2-45) ค่าแรงต้านทานสถิตศาสตร์ เท่ากับ

$$\begin{aligned} R_s &= R - R_d \\ &= R - J_c (2Z_p V_{top} - R) \end{aligned} \quad (2-47)$$

จะเห็นว่าการคำนวณตาม Case Method ดังกล่าวข้างต้นมาจากสมมติฐานหลายอย่างที่สำคัญ คือเสาเข็มเป็นวัตถุเกร็งและค่าแรงต้านทานของดิน ทางพลศาสตร์ถูกสมมุติให้อยู่ที่ปลายเข็ม การคำนวณด้วยวิธีนี้จึงควรทำขณะที่เสาเข็มมีปลายเข็มอยู่บนชั้นดินแน่น ค่า J_c ที่ควรใช้แสดงในตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 ค่า Case Damping Factor J_c

ดินบริเวณปลายเสาเข็ม	Damping Factor J_c
ทรายสะอาด (Clean Sand)	0.10-0.15
ทรายปนทรายแป้ง (Silty Sand)	0.15-0.25
ทรายแป้ง (Silty)	0.25-0.40
ดินเหนียวปนทรายแป้ง (Silty Clays)	0.40-0.07
ดินเหนียว (Clays)	0.70-1.00



ภาพที่ 2-21 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยวิธีทางพลศาสตร์ (สมมุติฐานตาม Case Method) กับวิธีทางสถิตยศาสตร์

ข) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบโดยวิธี Case Method เครื่องมือต่างๆ ซึ่งใช้วิเคราะห์โดยวิธี Case Method เพื่อหาน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้ใช้ได้กับระบบการตอกเสาเข็มในสนามเพื่อให้เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว เครื่องมือและอุปกรณ์ที่สำคัญอื่น ได้แก่

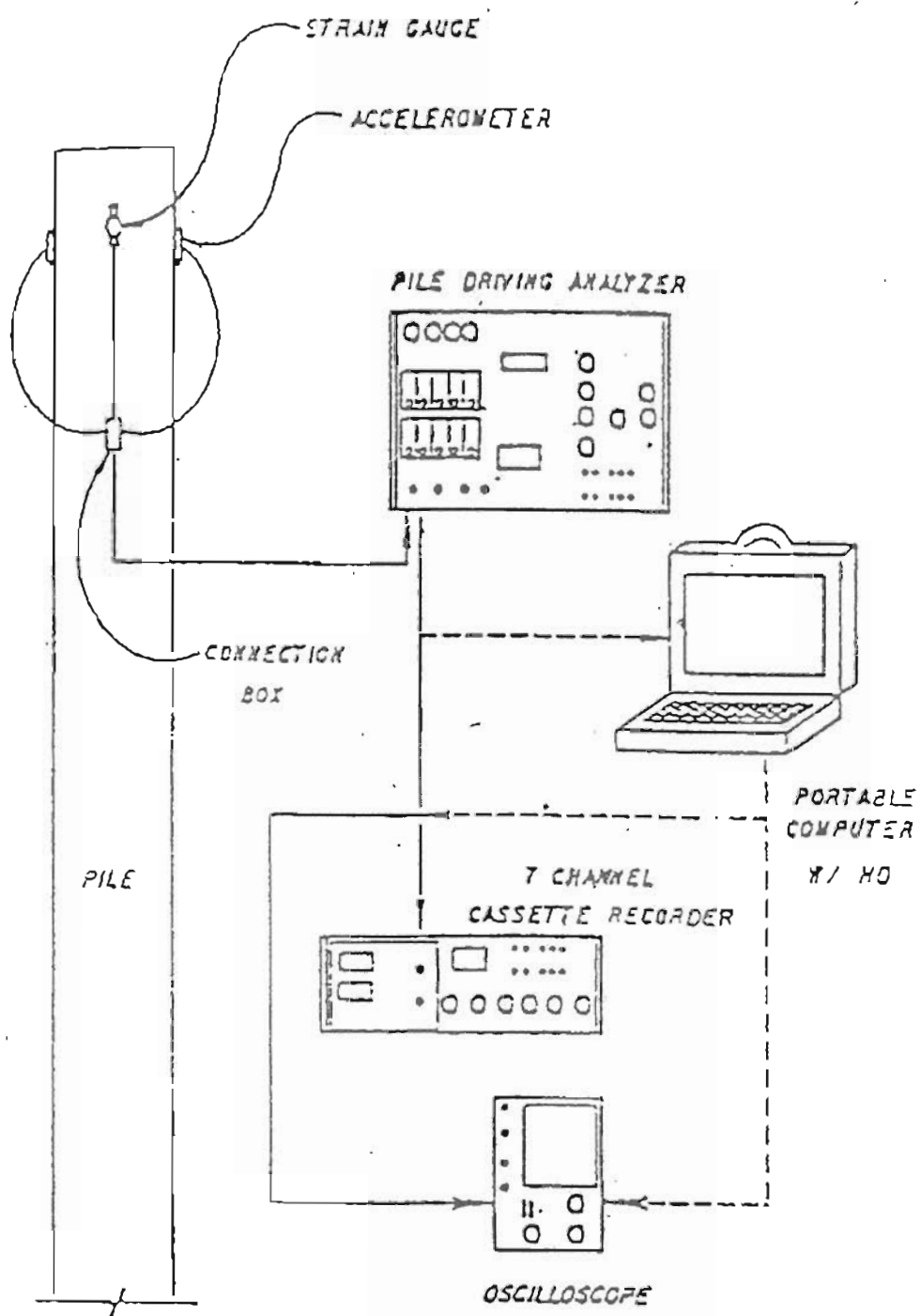
1. Strain Transducer ทำจากโครงอลูมิเนียมที่สามารถใช้ได้หลายครั้ง ประกอบด้วย Resistance Foil Gage จำนวน 4 ตัว ที่เชื่อมติดกัน

2. Accelerometers เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเร่งที่เกิดขึ้นในเสาเข็ม ซึ่งตัวนี้จะประกอบไปด้วย Quarry Crystal และทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับแรงดันของมวลเมื่อเคลื่อนที่ไปจะทำให้เกิดกระแสเป็นส่วนตรงกับความเร่ง โดย Strain Transducer และ Accelerometers จะติดตั้งใกล้ส่วนบนของเสาเข็ม วัดจากปลายเสาเข็มประมาณ 1.5 ถึง 2 เท่าของขนาดเสาเข็ม

3. Oscilloscope เป็นเครื่องมือที่ช่วยเห็นคุณภาพของสัญญาณโดยสามารถเห็นได้จาก x-y Oscilloscope และคำเตือนให้ทราบกรณีเข็มหัก

4. Pile Driving Analyzer (PDA) เป็นเครื่องมือดิจิทัลคอมพิวเตอร์ ออกแบบโดยเทคโนโลยี อันทันสมัยเพื่อสามารถใช้กับงานสนามได้ในทุกสภาพ หลักการของเครื่องคือจะวิเคราะห์ Hammer-Cushion Pile และดิน จากการวัดแรง (Force) และความเร็ว (Velocity) เป็นช่วงเวลาระหว่างการตอก แต่ละครั้ง โดยใช้วิธี Case Method โดยวิธีการนี้ PDA จะเปลี่ยนตัวปรับแต่ง กรอง และขยายสัญญาณ ที่วัดได้ ก่อนอื่นคลื่นสัญญาณอนาล็อก (Analog) จะถูกตรวจสอบค่า High Strain ค่า Line Noise คลื่นสัญญาณและตรวจสอบอัตราส่วนของค่าที่ ป้อนไปในเครื่อง PDA และเครื่อง PDA จะเปลี่ยน สัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล (Digital) จากการป้อนแรงและความเร็วของ ในแต่ละสัญญาณ ด้วยความถี่ 10,000 Hz. สามารถทำพร้อมกันได้ 4 ช่วง การคำนวณของเครื่องทำได้โดยใช้แผงของ Motorola 68000 Microprocessor ขนาด 16 บิต ผลของการทดสอบจะถูกเลือกให้พิมพ์ออกมา บางส่วน หรือจะพิมพ์ออกมาทั้งหมดก็ได้โดยผ่านทางเครื่องพิมพ์ขนาดเล็กที่ติดอยู่บนส่วนของ เครื่อง PAD นี้

นอกจากเครื่องมือและอุปกรณ์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ Instrumentation Tape Recorder และคอมพิวเตอร์แบบกระเป๋าหิ้ว (Laptop Computer) จะใช้สำหรับเก็บข้อมูล ซึ่งข้อมูลสามารถบันทึกลงทางอนาล็อก โดยใช้ Instrumentation Cassette Tape Record และบันทึก ลงทางดิจิทัล โดยการใช้คอมพิวเตอร์แบบกระเป๋าคำศัพท์ 2-22 แสดงวิธีการติดตั้งเครื่อง PDA ในสนามนอกเหนือจาก PDA อุปกรณ์อื่นประกอบด้วย Strain Transducer 2 ตัว และ Accelerometer 2 ตัว ที่ยึดแน่นด้วย สลักเกลียวใกล้ส่วนบนของเสา Oscilloscope จะช่วยให้เห็นคุณภาพของ สัญญาณและเตือนให้ทราบกรณีที่เข็มหัก



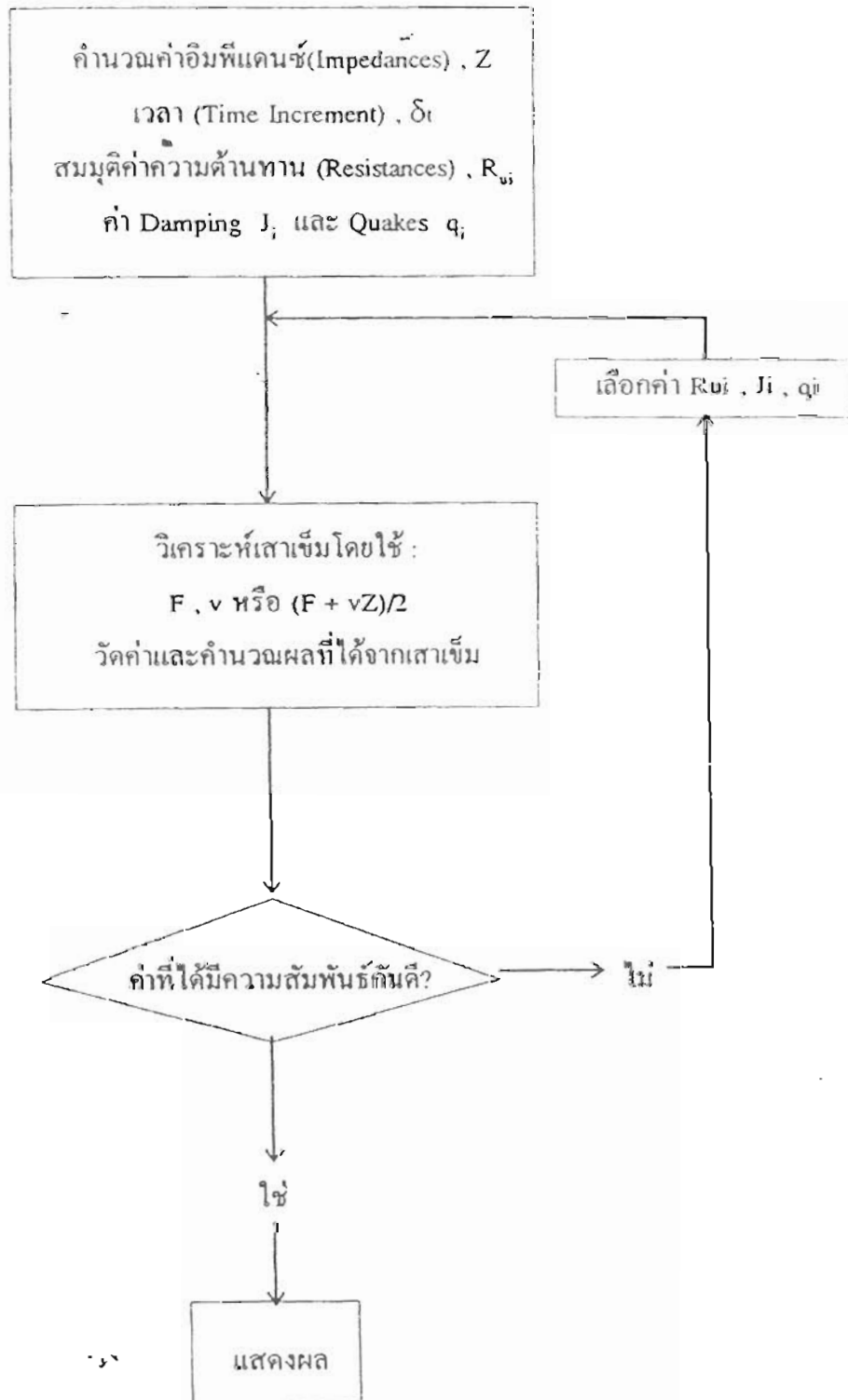
ภาพที่ 2-22 วิธีการใช้ Pile Driving Analyzer

ก) วิธีของ CAPWAPC (Case Pile Wave Analysis Program Continuous Version) เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่รวมเอาข้อมูลทางพลศาสตร์ (Dynamic) ที่วัดได้ในสนาม โดยการใช้สมการคลื่น ในการทำนายหรือประเมินค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทางสถิตยศาสตร์ และลักษณะของการกระจายตัวของแรงต้านทาน (Resistance Distribution) ด้วยวิธีของ CAPWAPC ทำให้สามารถจะเช็คหลักการของ Case Method ได้เพราะน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (Ultimate Load) ที่ได้จาก CAPWAPC สามารถเอาไปแทน Static Failure Load ที่ใช้คำนวณค่า J_c หรือ Case Method Constant ได้ ซึ่งปกติใช้การทดสอบการรับน้ำหนักของบรรทุกเสาเข็มทางพลศาสตร์ (Dynamic Load Test) ช่วยเสริมหรือแทนการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มทางสถิตยศาสตร์ (Statistic Load Test) นอกจากนั้น ผลที่ได้ยังบอกให้ทราบถึง การกระจายตัวของแรงต้านทานทางสถิตยศาสตร์ (Static Resistance) ของดิน ค่า Quake และค่า Damping Factor เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมการคลื่น ดังนั้นการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มทางพลศาสตร์ (Dynamic Load Test) โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีของ CAPWAPC สามารถที่จะยืนยันค่าต่างๆ ที่จะใส่เข้าไปสมการคลื่นก่อนการตอกเสาเข็มจริง

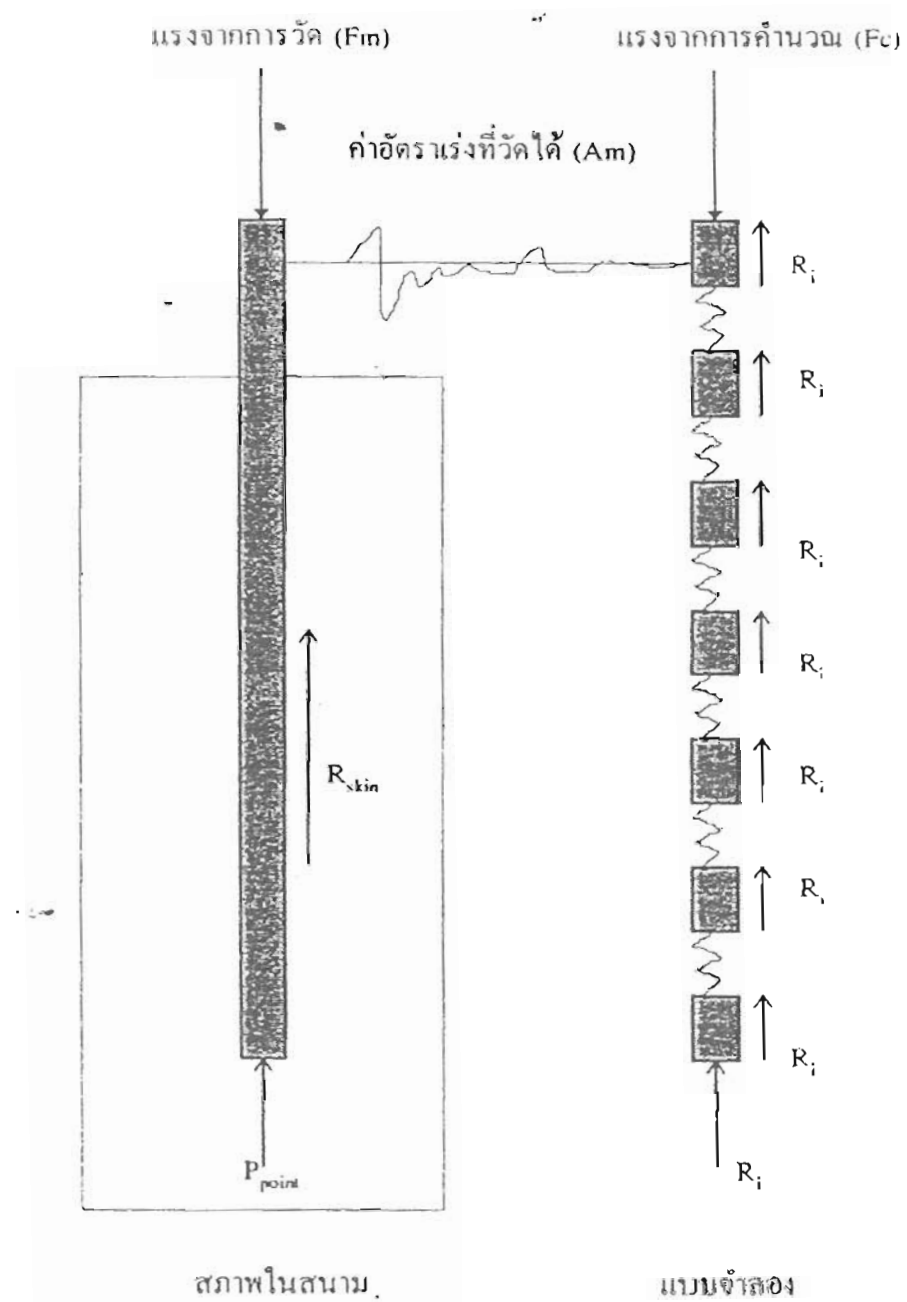
แบบจำลองของเสาเข็ม (Pile Model) สำหรับ CAPWAPC รุ่นแรกๆ ใช้หลักการของ Spring Mass เป็นส่วนๆ และค่าจำกัดความและข้อมูลเหมือนกับแบบจำลองของเสาเข็ม (Pile Model) ของสมการคลื่น ใน ปัจจุบัน แบบจำลองของเสาเข็ม (Pile Model) ของ CAPWAPC ปรับปรุงให้เป็น Continuous Wave Transmission Model ค่าของแรงปฏิกิริยาของดิน (Soil Reaction Force) ให้คิดเป็นค่า Passive และให้สมมุติว่าประกอบไปด้วยส่วนสถิตยศาสตร์และส่วนพลศาสตร์ โดยทั้งสองส่วนเกิดขึ้นข้างๆ และที่ปลายเสาเข็ม โดยวิธีนี้แบบจำลองของดิน (Soil Model) ณ จุดใดบนเสาเข็มจะไม่รู้ค่าอยู่ 3 อย่าง คือ Elasticity, Plasticity และ Viscosity ซึ่งจะคล้ายกับ Wave Equation Model

การวิเคราะห์เริ่มจากสมมติค่าต่างๆ Soil Constant ที่คล้ายกับสมการคลื่น เพื่อใส่เข้าไปใน Computer Model ในการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์จะสมมติ Hammer Model โดยการใช้ความเร็วที่วัดได้บนส่วนของหัวเสาเข็มจากนั้น CAPWAPC จะคำนวณหาแรงที่ใกล้เคียงกับความเร็วที่ได้ โดยแรงที่เกิดขึ้นจากการวัดในสนามและแรงที่คำนวณได้ จะเป็นฟังก์ชัน (Function) กับเวลา หากว่าแรงที่คำนวณได้กับที่วัดไม่ตรงกันจะต้องเปลี่ยนแบบจำลองของดิน (Soil Model) และเริ่มวิเคราะห์ใหม่ อีกเป็นดังนี้ซ้ำแล้วซ้ำเล่า จนกระทั่งระหว่าง แรงที่วัดได้กับแรงที่คำนวณใกล้เคียงกัน ซึ่งขบวนการวิเคราะห์สามารถแสดงดังภาพที่ 2-23 และภาพที่ 2-24 คือการทำให้ความเร็วที่วัดได้กับความเร็วที่คำนวณได้ให้ใกล้เคียง

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้ CAPWAPC ประกอบด้วยการเปรียบเทียบระหว่างแรงและความเร็วที่วัดได้กับแรง และความเร็วที่คำนวณได้ ค่า Static Soil Resistance Distribution และค่าแรงในเสา



ภาพที่ 2-23 Flow Chart สำหรับการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธี CAPWAPC



1. วัดค่า F_m, A_m
2. คำนวณ $F_{c \approx} F_c (A_m R_i)$
3. เปรียบเทียบ F_m และ F_c
4. เลือกค่า R_i
5. กลับไปข้อ 2

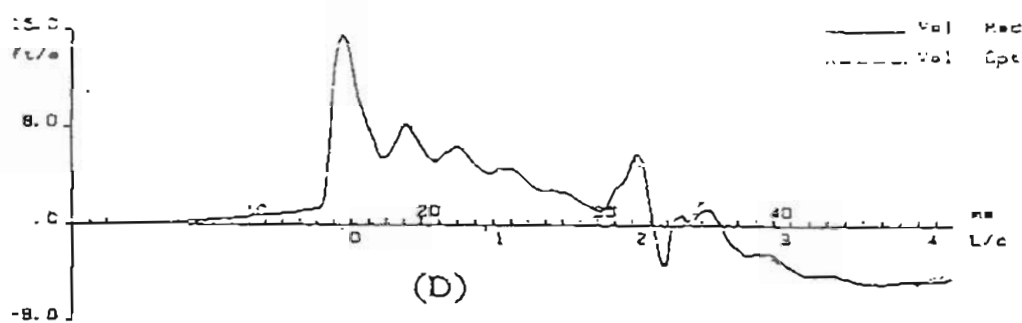
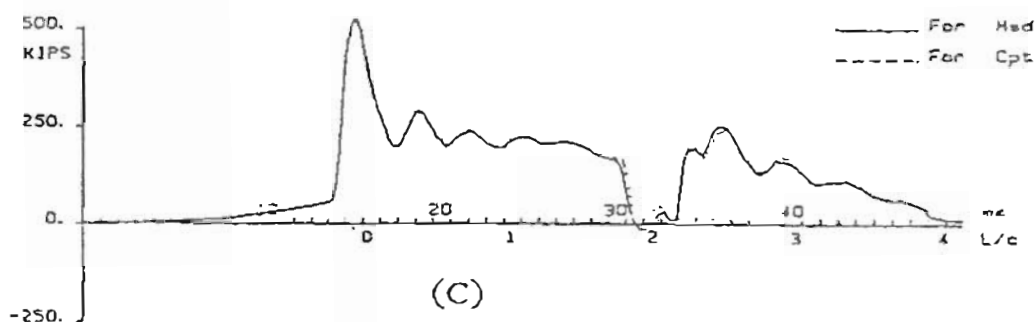
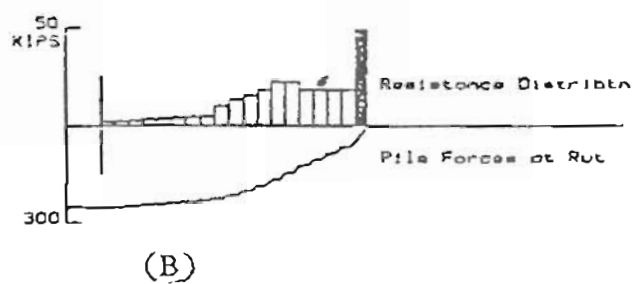
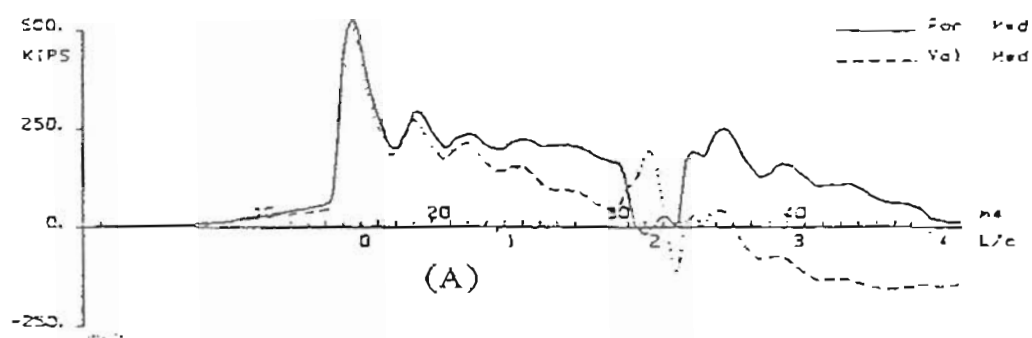
ภาพที่ 2-24 การวิเคราะห์ด้วยวิธี CAPWAPC

หลังจากที่ทำการวิเคราะห์โดยใช้ CAPWAPC แล้ว ทั้งเสาเข็มและแบบจำลองของดิน (Soil Model) จะทำการวิเคราะห์ทางสถิติศาสตร์ ที่เรียกว่า Simulated Load ในการวิเคราะห์นี้เสาเข็มจะถูกกดโดยน้ำหนักที่แบ่งเป็นส่วนๆ จากนั้นค่าแรงและค่าการเคลื่อนตัว (Displacement) ที่ส่วนบนของเสาเข็ม และข้างเสาจะถูกคำนวณออกมา จากนั้นจะพิมพ์ Load-Settlement Graph ออกมาดังได้แสดงไว้ในภาพที่ 2-26 เพื่อให้มีการเปรียบเทียบและให้ความเชื่อมั่นได้เปรียบเทียบระหว่าง Actual Load Test และผลที่ได้จาก CAPWAPC ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 2-27

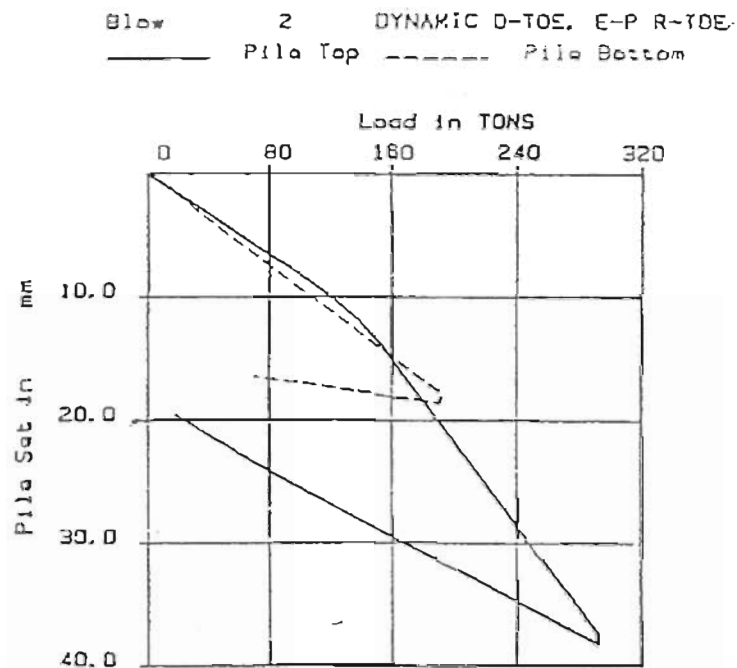
ปัจจุบัน Dynamic Load Test ได้เป็นที่ยอมรับกันทั่วโลกอยู่ในมาตรฐาน ASTM D4945 มาตรฐาน AASHTO มาตรฐาน British Standard และอยู่ในมาตรฐานอีกหลายๆ ประเทศ เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการศึกษาความแตกต่างระหว่าง Static Load Test และสรุปได้ว่ามีความแตกต่างกันอยู่ประมาณ 10% (Tungsanga, Krai New – Tech 1989) ถ้า (ก) สามารถทำให้แรงต้านทานสถิตยศาสตร์ของเสาเข็มนี้เคลื่อนที่ลงไม่ว่าวิธีไหน (ข) ขณะทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลง ความแข็งแรงของดิน เนื่องจากการตั้งค่านี้น้อยมาก

เนื่องจาก Dynamic load Test โดยการใช้ PDA และ CAPWAPC นี้มีความคล่องตัวสูงวิศวกรสามารถนำเทคนิคอันนี้ไปใช้ในโครงการต่างๆ ได้ซึ่งประโยชน์ของ Dynamic Load Test มีดังต่อไปนี้

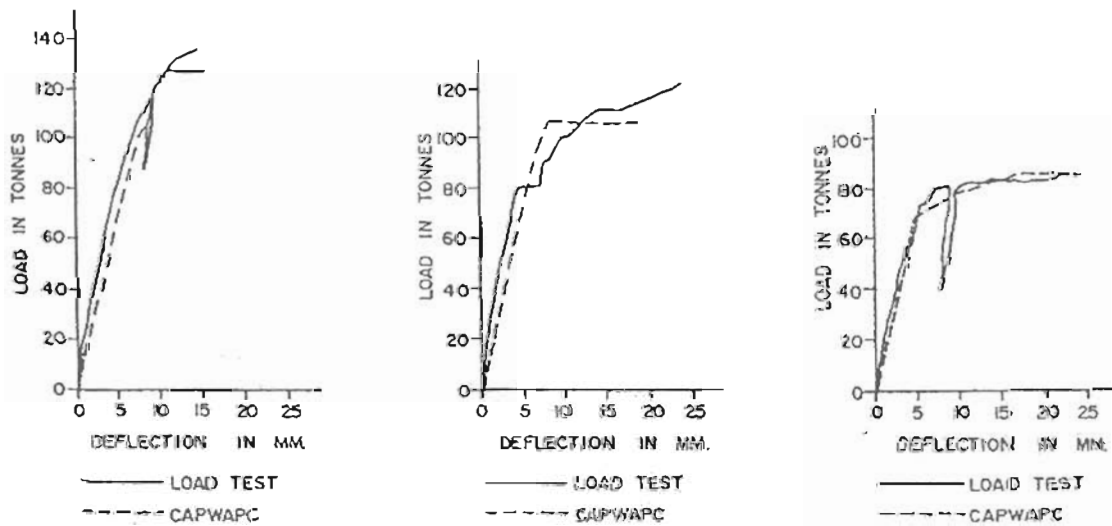
วิศวกรสามารถได้ข้อมูลต่างๆ มากขึ้น เพื่อช่วยในการออกแบบและในขณะควบคุมการก่อสร้างข้อมูลที่ได้นำมาพิจารณากับ น้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบ และ สัดส่วนความปลอดภัย ทำให้ลดค่าก่อสร้างฐานรากได้ ถ้าเกิดปัญหาอันเนื่องมาจากเสาเข็ม สามารถแก้ไขได้ในช่วงแรกๆ ของโครงการทำให้ควบคุมค่าใช้จ่ายส่วนนี้ได้



ภาพที่ 2-25 ผลจากการใช้ CAPWAPC (A) การวัดแรงและความเร็วบนเสาเข็ม
 (B) การกระจายตัวของแรงต้านทานทางสถิติศาสตร์และแรงของเสาเข็ม
 (C) การวัด และ คำนวณแรงบนเสาเข็ม
 (D) การวัดและคำนวณความเร็วบนเสาเข็ม



ภาพที่ 2-26 การรับน้ำหนักทางสถิตยศาสตร์และค่าการทรุดตัว
 ที่ทำการวิเคราะห์ด้วย CAPWAPC

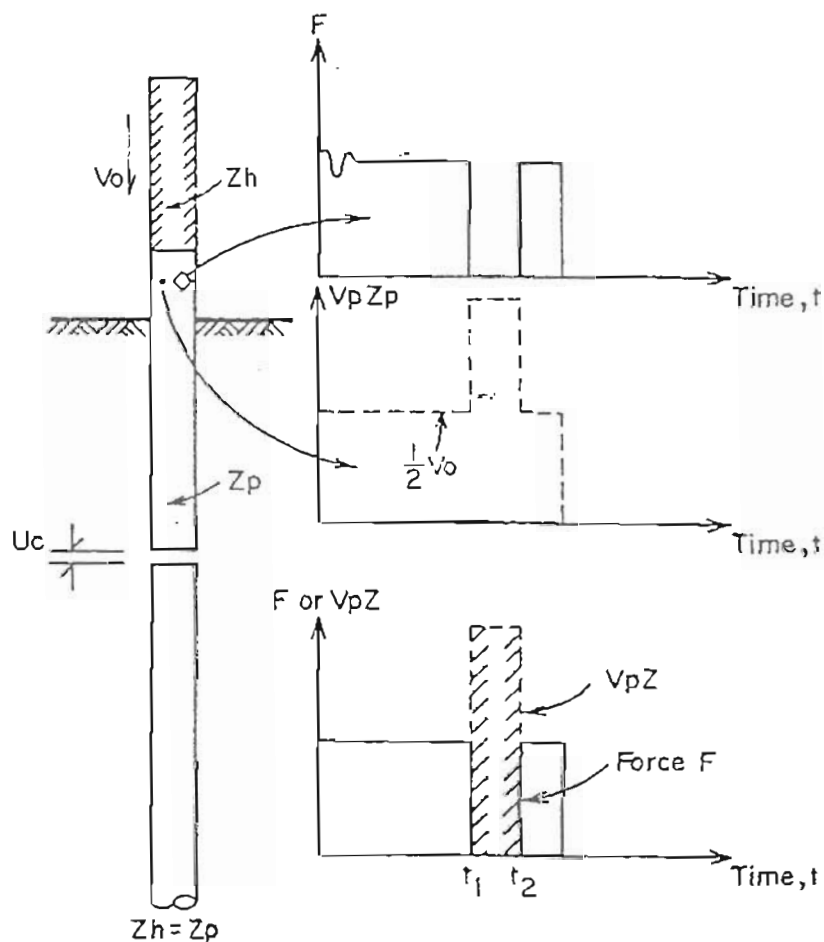


ภาพที่ 2-27 เปรียบเทียบระหว่างผลจาก Actual Static load Test
 และผลที่ได้จาก CAPWAPC (GRAVARE, 1980)

กรณีที่มีรอยขาดของเสาเข็ม การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลค่าแรงและความเร็วที่ได้จากสัญญาณในเสาเข็มที่มีรอยต่อหรือรอยขาด เมื่อคลื่นกระทบรอยขาดจะสะท้อนกลับในรูปของแรงดึง มีผลให้ความเร็วของสัญญาณสะท้อนเพิ่มขึ้นและสัญญาณแรงเปลี่ยนจากแรงอัดเป็นแรงดึงช่วงหนึ่งดังภาพที่ 2-28 ความกว้างของรอยขาดสามารถคำนวณได้จาก Broms & Choo (1987)

$$U_c = \frac{2}{Z_p} \int_1^2 F_1 dt \quad (2-47)$$

โดยที่ค่า t_1 และ t_2 เป็นช่วงเวลา



ภาพที่ 2-28 ลักษณะตามทฤษฎีของสัญญาณสะท้อนกลับที่หัวเสาเข็ม
เมื่อเสาเข็มมีรอยขาดความเสียหายในตัวเสาเข็ม

เมื่อขนาดของเสาเข็มในดินมีค่าไม่สม่ำเสมอ จะเกิดการสะท้อนกลับของคลื่นเนื่องจากค่า Impedance ที่เปลี่ยนไป ดังภาพที่ 2-29 ความรุนแรงของความเสียหายในหัวเสาเข็มอาจวัดด้วยค่า BETA โดย

$$\text{BETA} = \frac{\text{พื้นที่หน้าตัดทดลองของเสาเข็ม}}{\text{พื้นที่หน้าตัดที่เสาเข็มควรเป็น}}$$

$$\text{BETA} = \frac{Z_z}{Z_i} = \frac{1-a}{1+a} \quad (2-48)$$

$$\text{โดยที่ } a = \left[\frac{V(t^*) - F(t^*) - R}{2F(t_1) - R} \right]$$

เมื่อ $F(t_1)$ ค่าแรงคลขณะที่ยึดกระทบหัวเสาเข็ม R เป็นแรงต้านทานทั้งหมดคั้งสมการที่ (2-48) และ t^* เป็นเวลาที่คลื่นพบรอยคอดในเสาเข็ม Rausche และคณะ (1988) ตารางที่ 2-8 แสดงการตีความเกี่ยวกับความเสียหายในหัวเสาเข็มกับค่า BETA

ตารางที่ 2-8 การจำแนกความเสียหาย (Damage Classification)

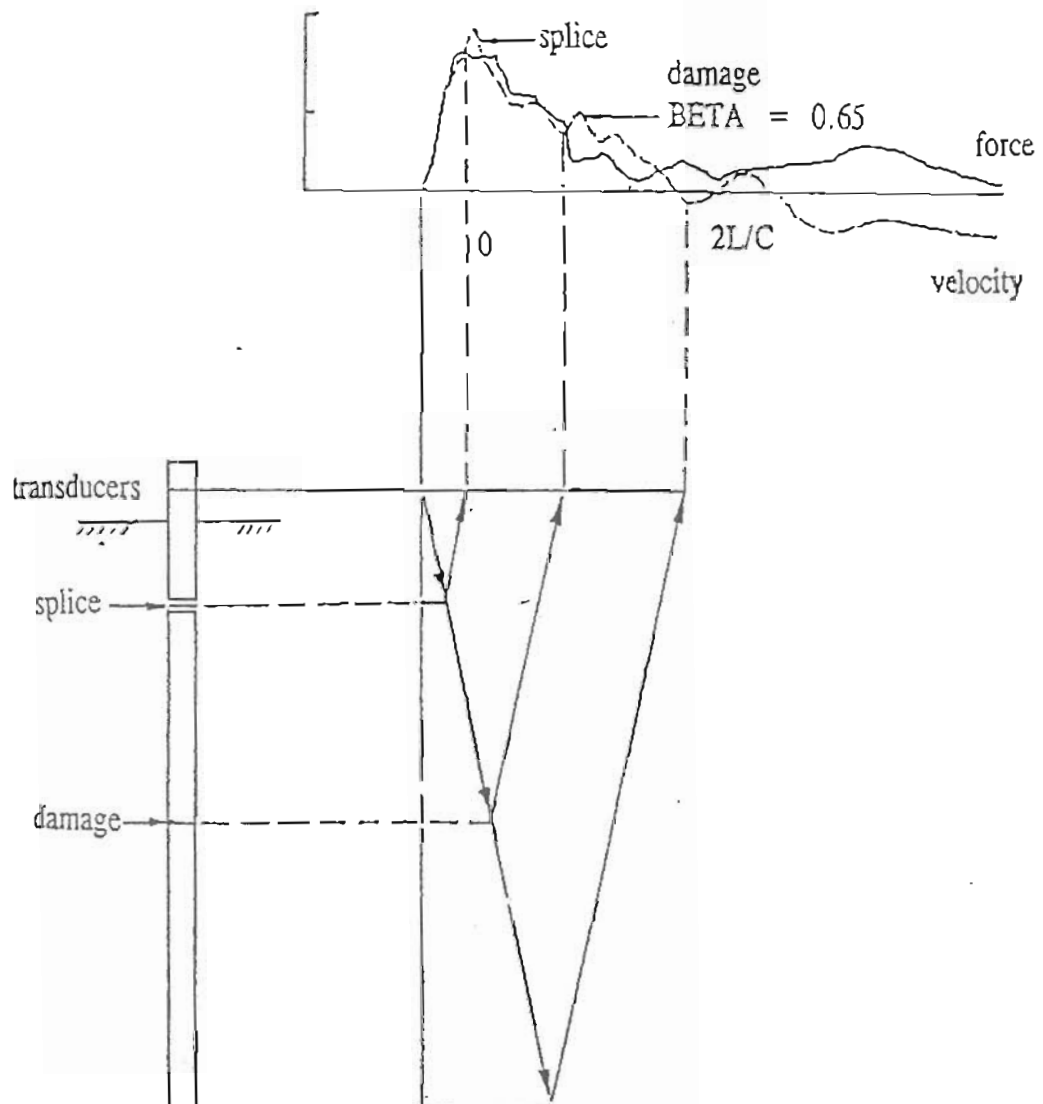
BETA	สมการเข็ม
1.0	สม่ำเสมอ
0.80-1.00	มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
0.60-0.80	เสียหาย
< 0.06	หัก

2.4 การหาน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มโดยใช้ข้อมูลจากผลทดสอบ

การรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (Pile Load Test Data)

การทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก ของเสาเข็มจนเสาเข็มเกิดการพิบัติ จะใช้เวลาและเสียค่าใช้จ่ายมาก โดยปกติแล้วการทดสอบจะทดสอบที่น้ำหนักบรรทุกประมาณสองเท่าของน้ำหนักที่ได้ออกแบบไว้เท่านั้น ข้อมูลการทดสอบนี้เมื่อนำมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับการทรุดตัวแล้ว จะนำมาใช้คาดคะเนความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มได้ ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้วหลายวิธี วิธีการที่นับได้ว่า สะดวก รวดเร็วและให้ผลเป็นที่น่าพอใจ คือวิธีการที่เสนอโดย Chin (1970) ได้เสนอวิธีการหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย

(Ultimate Load) ซึ่งได้ทำการศึกษาลักษณะของการเสียรูปจากแรงเฉือน (Shear Deformation) จาก การทดสอบแรงเฉือน (Shear Box) และการทดสอบแรงอัดสามแกน

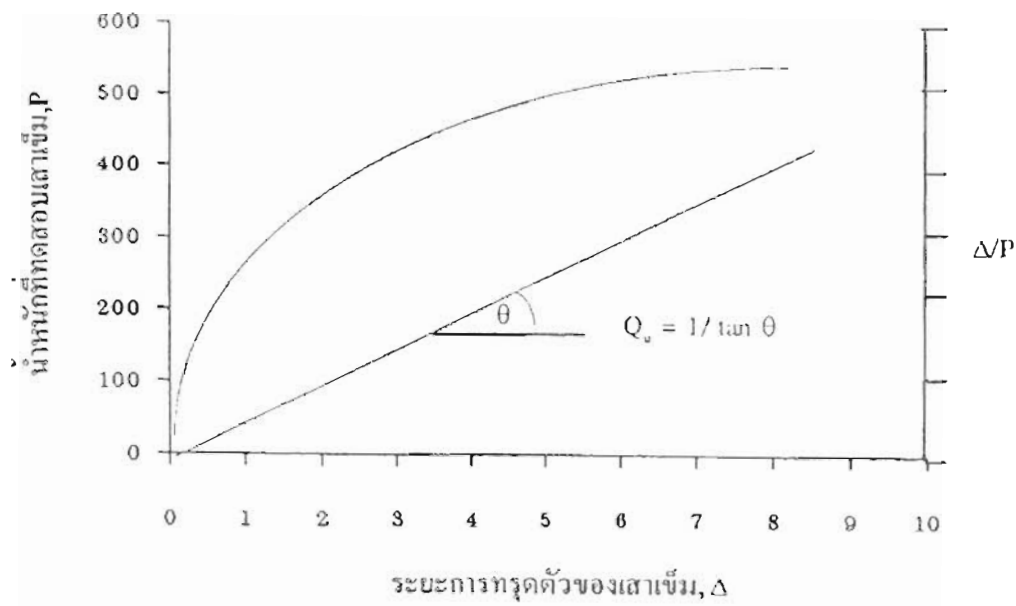


ภาพที่ 2-29 ลักษณะที่วัดได้ในสนาม ของสัญญาณสะท้อนกลับที่หัวเสาเข็ม เมื่อเสาเข็มมีรอยคอดหรือรอยขาด

(Triaxial Compression Test) ตลอดจนการสร้างแบบจำลอง การทดสอบเสาเข็มทั้งในสนาม และในห้องทดลองแล้ว พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่ทดสอบและค่า การทรุดตัวของเสาเข็มมีความสัมพันธ์แบบไฮเพอร์โบลิก (Hyperbolic) แต่สามารถจะเขียนให้อยู่ในรูปของ สมการเส้นตรงได้ ดังนี้

$$\Delta/p = M\Delta + C \quad (2-49)$$

โดย	Δ	คือ	ค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม
	p	คือ	ค่าน้ำหนักบรรทุกที่ทำการทดสอบ
	M	คือ	ความชันของกราฟ
	C	คือ	ค่าคงที่



ภาพที่ 2-30 การหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยด้วยวิธีการของ Chin (1970)

เมื่อเขียนกราฟโดยให้ค่าการทรุดตัว (Δ) อยู่ในแกน x และให้น้ำหนักบรรทุกที่ทำการทดสอบ (p) อยู่ในแกน y กราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม (Ultimate Load) จะหาได้จากค่าส่วนกลับของความชัน ($1/m$) ของเส้นกราฟ ดังภาพที่ 2-30

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยวิธีพลศาสตร์กับการคำนวณทางสถิตศาสตร์ ประกอบไปด้วย การกำหนดวิธีการและขั้นตอนในการวิเคราะห์ สํารวจเก็บข้อมูลรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ แหล่งข้อมูล การทำนายค่ารับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย วิธีการคำนวณผลโดยใช้สูตรการตอกเสาเข็ม การวิเคราะห์ผลโดยใช้สูตรการทางสถิติ มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์

3.1.1 บันทึกข้อมูลการเจาะสำรวจดิน ซึ่งจะได้อข้อมูลของคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินได้แก่ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน ลักษณะของชั้นดิน หน่วยแรงประสิทธิผลและดัชนีพลาสติก

3.1.2 บันทึกข้อมูลการตอกเสาเข็ม ได้แก่วิธี การตอก ชนิดของเสาเข็ม น้ำหนักของลูกตุ้มค่า Blow Count ค่าระดับหัวเสาเข็มและ ค่าระดับปลายเสาเข็ม

3.1.3 บันทึกข้อมูลการทดสอบเสาเข็มโดยวิธีพลศาสตร์ ได้แก่ ตำแหน่งเสาเข็มที่ทดสอบ ขนาดและความยาวของเสาเข็ม แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม แรงต้านที่ปลายและแรงต้านรวม

3.1.4 บันทึกข้อมูลการทดสอบเสาเข็มโดยวิธีวิธีสถิตยศาสตร์ (Static Pile Load Test) ได้แก่ ตำแหน่งและขนาดของเสาเข็ม น้ำหนักสูงสุดที่ทดสอบ ค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม

3.1.5 คำนวณผลการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอกโดย วิธีใช้สูตรการตอกเสาเข็มซึ่งข้อมูลที่ได้จากการตอกเสาเข็มในสนาม โดยการใช้สูตร Danish's Formula, Modified Gate Formula และสูตร ของ Janbu Formula

3.1.6 คำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอกสูงสุด โดยจากการทราบข้อมูลการเจาะสำรวจดิน

3.1.7 นำผลที่จาก 3 วิธีมาวิเคราะห์เปรียบเทียบดังนี้

3.1.7.1 Dynamic Pile Load Test กับ Pile Driving Formula

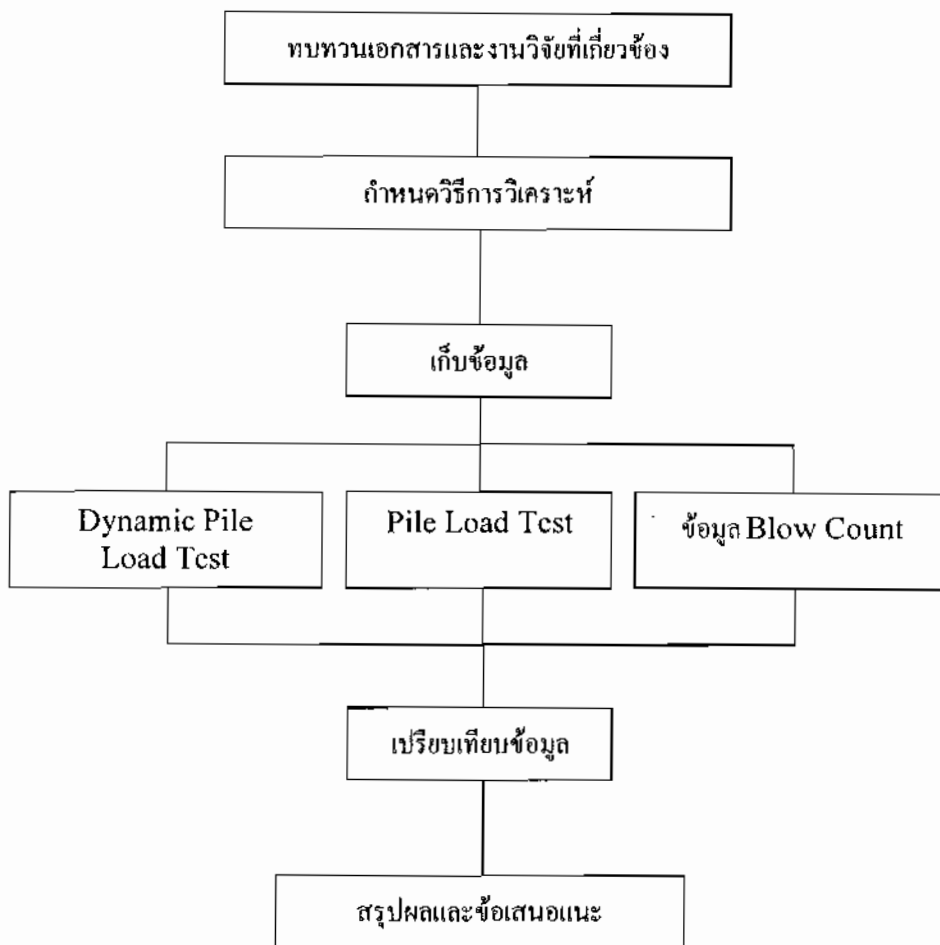
3.1.7.2 Dynamic Pile Load Test กับ Static Pile Formula

3.1.7.3 Dynamic Pile Load Test กับ Static Pile Load Test

3.1.8 เปรียบเทียบวิเคราะห์ผลโดยใช้วิธีการทางสถิติหาค่าต่างๆ ได้แก่ หาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ โดยนำเสนอในรูปของกราฟ

3.1.9 สรุปผลที่ได้จากการคำนวณ

3.1.10 วิจารณ์ผลและข้อเสนอแนะ



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้

ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ได้จากสถานที่ต่างๆ ที่ทำการตอกเสาเข็มและทดสอบเสาเข็ม อาทิ น้ำหนักลูกตุ้ม, ระยะยกลูกตุ้ม, พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม, ความยาวของเสาเข็ม, สถานที่ที่ทำการตอกเสาเข็ม, และการนับจำนวนครั้งของการตอกในระยะจม 1 ฟุตสุดท้าย (Blow Count) ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค และ ภาคผนวก ง

ในการรวบรวมข้อมูล ข้อมูลที่ได้ประกอบด้วย ชนิด รูปร่างหน้าตัด ความยาว และระดับความลึกของปลายเสาเข็ม ดังนี้

1. เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปกลมกลวง (Spun Pile Section) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.45-0.80 เมตร และมีความยาวตั้งแต่ 18.5 - 31.00 เมตร

2. เสาเข็มหน้าตัดรูปตัว I มีขนาดตั้งแต่ 0.30 x 0.30 เมตร ถึงขนาด 0.40 x 0.40 เมตร และมีความยาวตั้งแต่ 8.00-27.00 เมตร

3. เสาเข็มหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม มีขนาดตั้งแต่ 0.30 x 0.30 เมตร ถึงขนาด 0.40 x 0.40 เมตร และมีความยาวตั้งแต่ 8.00-27.00 เมตร

3.3 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.3.1 บริษัท เอส ที เอส สตูม้นท์ จำกัด (STS)

3.3.2 บริษัท ยูไนเค็คคอนสตรัคชั่น แมติเรียล จำกัด (Unico)

3.3.3 บริษัท เจนเนอรัลเอนจิเนียริง จำกัด (GEL)

3.3.4 บริษัท เค เค ที เอ็นจิเนียริง จำกัด (KKT)

3.4 การวิเคราะห์ผลโดยใช้วิธีการทางสถิติ

3.4.1 การหาความสัมพันธ์ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ ของการตัดสินใจ

วิธีการทางสถิติที่นำมาใช้หาความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มที่ได้จากสูตรการคอก เสาเข็ม และการทดสอบในสนาม ใช้หลักการของเส้นการถดถอยแบบธรรมดา (Simple Linear Regression) โดยสมมุติให้น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มที่ได้จากทั้ง 2 วิธี แทนด้วยสมการ

$$Y = \beta X \quad (3-1)$$

โดยให้ X_i = ตัวแปรผันของน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่ได้จากสูตร

Y_i = ตัวแปรผันของน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนาม

β = สัมประสิทธิ์อิสระ X ซึ่งหาได้จากสมการ 3-1

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (3-2)$$

คุณภาพของค่าสัมประสิทธิ์ ของการตัดสินใจ หากาก (Coefficient of Determination (R^2)) โดยที่ (R^2) นี้ ควรมีค่าเกิน 0.8 ขึ้นไป และมีค่าสูงสุด = 1.0 ค่า R^2 นี้ หาได้จากสมการ 3.3

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i y_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 \quad i = \sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (3-3)$$

3.4.2 การหาค่ามัธยฐานเลขคณิต (Arithmetic Mean)

ถ้าสูตรที่ได้มีความแม่นยำสูง ค่ามัธยฐานเลขคณิตของผลหารระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยจากการทดสอบ และค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยจะต้องเข้าใกล้ 1 มากที่สุด โดยค่าตัวกลางเลขคณิต (X) หาได้จากสมการ 3-4

$$\bar{X} = \frac{1}{n} = \sum_{i=1}^n x_i \quad (3-4)$$

โดยที่ X_i = ตัวแปรผันของผลหารระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัย
จากการทดสอบ และค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยจากสูตร
N = จำนวนตัวแปรผันทั้งหมด

3.4.3 การหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

เป็นค่ารากที่ 2 ที่เป็นบวกของความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง (Sample Variance) ใช้วัดการกระจายของข้อมูล สำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด แสดงว่าข้อมูลน่าเชื่อถือ ซึ่งค่า S.D. สามารถหาได้จากสมการ

$$S^2 = \frac{n \sum x_i^2 - (\sum \bar{X})^2}{n(n-1)} \quad (3-5)$$

เมื่อ S^2 = ความแปรปรวนของข้อมูล
 X_i = ตัวแปรผันของผลหารระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยจากการทดสอบ
และน้ำหนักบรรทุกประลัยที่คำนวณได้จากสูตร
N = จำนวนตัวแปรผันทั้งหมด

$$\text{จะได้} \quad \text{S.D.} = \sqrt{S^2} \quad (3-6)$$

เมื่อ S.D. คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาวิเคราะห์และเปรียบเทียบ โดยวิธีพลศาสตร์กับวิธีสถิตยศาสตร์ โดยอาศัยคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน และเปรียบเทียบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มคอกจากการคำนวณด้วยวิธีพลศาสตร์กับการคำนวณสูตรการคอกเสาเข็ม เมื่อดำเนินการวิเคราะห์คำนวณข้อมูลตามขั้นตอนในการวิเคราะห์แล้วนั้น ซึ่งได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 ผลการเปรียบเทียบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มคอกโดยวิธีใช้สูตรการคอก

เสาเข็ม (Pile Driving Formula) กับข้อมูลวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Pile Load Test)

สามารถแบ่งตามชนิดของเสาเข็มได้ดังนี้

4.1.1 เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปกลมกลวง (Spun Pile Section) โดยแบ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออกเป็นขนาดต่างๆ ดังนี้

- 4.1.1.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 เมตร จำนวน 6 ต้น
- 4.1.1.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เมตร จำนวน 3 ต้น
- 4.1.1.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร จำนวน 25 ต้น
- 4.1.1.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 เมตร จำนวน 3 ต้น

4.1.2 เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหน้าตัดรูปตัว I โดยแบ่งขนาดของหน้าตัดออกเป็นขนาดต่างๆ ดังนี้

- 4.1.2.1 ขนาดหน้าตัด 0.30 x 0.30 เมตร จำนวน 4 ต้น
- 4.1.2.2 ขนาดหน้าตัด 0.35 x 0.35 เมตร จำนวน 6 ต้น
- 4.1.2.3 ขนาดหน้าตัด 0.40 x 0.40 เมตร จำนวน 6 ต้น

4.1.3 เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม โดยแบ่งขนาดของหน้าตัดออกเป็นขนาดต่างๆ ดังนี้

- 4.1.3.1 ขนาดหน้าตัด 0.30 x 0.30 เมตร จำนวน 6 ต้น
- 4.1.3.2 ขนาดหน้าตัด 0.40 x 0.40 เมตร จำนวน 9 ต้น

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิถีคำนวณ โดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ

Dynamic Pile Load Test (Qu) ชนิดเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.45-0.80 m.

ลำดับ	No.	โครงการ	กำลังรับน้ำหนักคำนวณ โดย ใช้สูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) (Tons)			(DLT) (Tons)	หมายเหตุ
			MODIFIED GATE	JANBU	DANISH		
1	124	Building Package2 Suvarnabhumi	184	194	182	194	*Dia 0.45 m.
2	127	Building Package2 Suvarnabhumi	200	251	203	180	*Dia 0.45 m.
3	181	Building Package2 Suvarnabhumi	196	242	194	194	*Dia 0.45 m.
4	222	Building Package2 Suvarnabhumi	193	240	191	182	*Dia 0.45 m.
5	224	Building Package2 Suvarnabhumi	187	240	186	180	*Dia 0.45 m.
6	225	Building Package2 Suvarnabhumi	189	243	189	178	*Dia 0.45 m.
7	11	อาคาร 8 ชั้น ทองหล่อ 15	183	257	184	231	*Dia 0.50 m.
8	62	อาคาร โรงเรียนนานาชาติ สุขุมวิท 15	207	294	230	195	*Dia 0.50 m.
9	111	อาคาร โรงเรียนนานาชาติ สุขุมวิท 15	260	404	331	240	*Dia 0.50 m.
10	U8	งานทางหลวง#34ดอนบองมา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิส่วนที่ 2	219	317	259	343	*Dia 0.60 m.
11	U9	งานทางหลวง#34ดอนบองมา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิส่วนที่ 2	223	317	264	319	*Dia 0.60 m.
12	U10	งานทางหลวง#34ดอนบองมา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิส่วนที่ 2	232	341	289	367	*Dia 0.60 m.
13	U11	งานทางหลวง#34ดอนบองมา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิส่วนที่ 2	215	296	244	315	*Dia 0.60 m.
14	U14	งานทางหลวง#34ดอนบองมา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิส่วนที่ 2	219	322	263	315	*Dia 0.60 m.
15	133	หอพักนักศึกษา 4 ชั้น มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี (บางขุนเทียน)	263	410	328	432	*Dia 0.60 m.

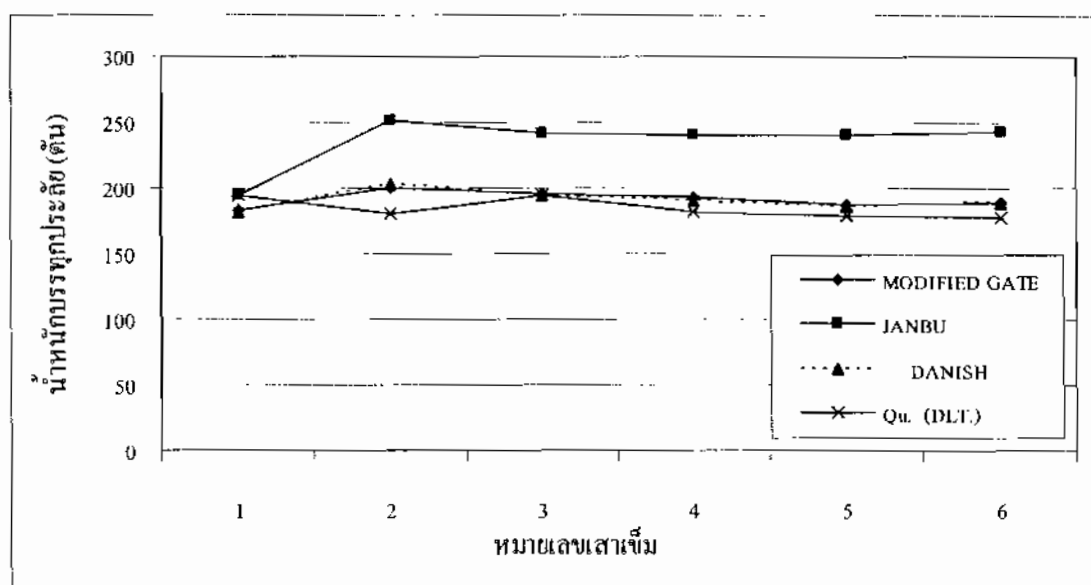
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

ลำดับ	No.	โครงการ	กำลังรับน้ำหนักคำนวณโดยใช้สูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) (Tons)				(DLT)	หมายเหตุ
			MODIFIED GATE	JANBU	DANISH	(Tons)		
16	2A	ทางด่วนรามอินทราตัดกับ อ.ประดิษฐ์มนูธรรม	319	483	415	360		*Dia 0.60 m.
17	86	อาคารธนุรักษ์	191	256	193	260		*Dia 0.60 m.
18	25	อาคารธนุรักษ์	195	267	204	317		*Dia 0.60 m.
19	186	E.T.A.(โรงงานสมุทรปราการ)	227	316	290	185		*Dia 0.60 m.
20	31	อาคาร 8 ชั้น ข. ทองหล่อ 15	203	300	219	235		*Dia 0.60 m.
21	82	อาคาร JJ.MALL	203	302	230	230		*Dia 0.60 m.
22	101	อาคาร JJ.MALL	212	321	251	289		*Dia 0.60 m.
23	264	อาคาร JJ.MALL	216	331	260	365		*Dia 0.60 m.
24	274	อาคาร JJ.MALL	196	293	217	351		*Dia 0.60 m.
25	434	อาคาร JJ.MALL	204	310	234	366		*Dia 0.60 m.
26	628	อาคาร JJ.MALL	216	331	261	333		*Dia 0.60 m.
27	699	อาคาร JJ.MALL	223	338	273	332		*Dia 0.60 m.
28	781	อาคาร JJ.MALL	216	330	260	364		*Dia 0.60 m.
29	99	Maha Sawat Treatment	296	611	498	438		*Dia 0.80 m.
30	6	Maha Sawat Treatment	306	477	377	419		*Dia 0.80 m.
31	81	เซ็นทรัลเวิลด์	342	646	518	425		*Dia 0.80 m.

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Q_u) วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula

กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ชนิดเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.45 m.

ลำดับ	No	โครงการ	กำลังรับน้ำหนักคำนวณโดยใช้สูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) (Tons)			Qu.	หมายเหตุ
			MODIFIED GATE	JANBU	DANISH	(DLT.)	
						(Tons)	
1	99	Maha Sawat Treatmane	296	611	498	438	*Dia 0.80
2	6	Southern Outer Banagkok	306	477	377	419	*Dia 0.80
3	81	เขื่อนทวีรัตนธิเบศร์	342	646	518	425	*Dia 0.80
ค่าเฉลี่ย			314.43	577.88	464.39	427.17	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			24.16	88.73	76.51	9.44	

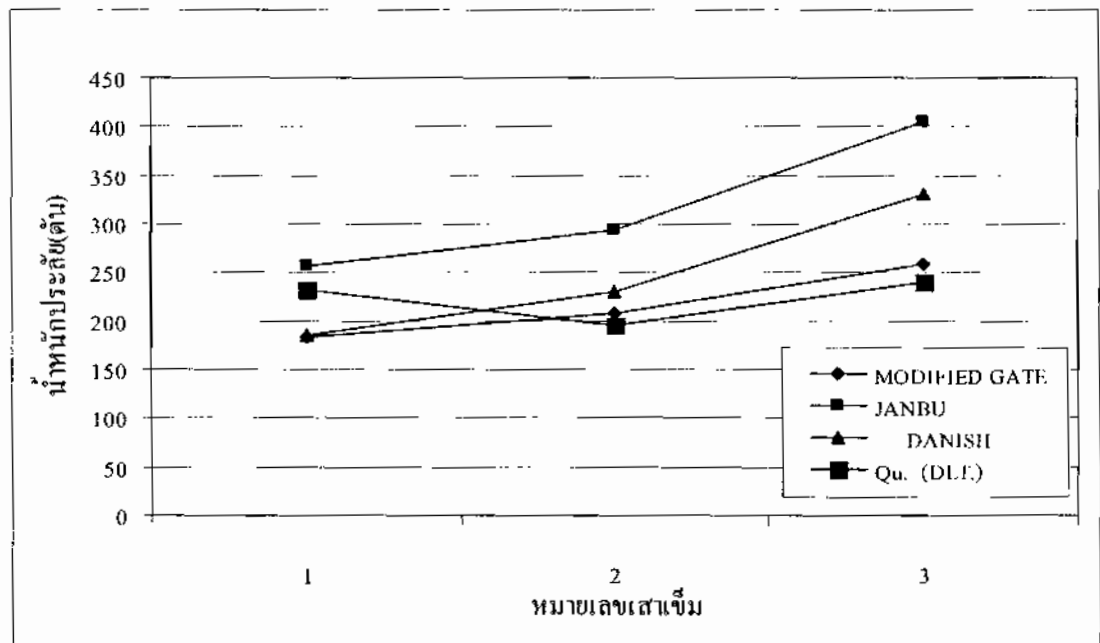


ภาพที่ 4-1 เปรียบเทียบค่า Q_u วิธี Pile Driving Formula กับวิธี Dynamic Pile Load Test

ผลการเปรียบเทียบระหว่าง Pile Driving Formula สูตรของ Danish, Modified Gate และสูตร Janbu กับ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มชนิด Spun pile ความยาว 23.00 เมตร คำนวณน้ำหนักประลัยที่ใช้ออกแบบ 175 ตันและค่าน้ำหนัก Dynamic Pile Load Test เฉลี่ย 184.42 ตัน เมื่อพิจารณารูปในภาพที่ 4-2 ทั้ง 3 สูตรแล้วพบว่าสูตรของ Danish ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธี Dynamic Pile Load Test มากกว่าสูตรของ Modified Gate และ Janbu ตามลำดับ

ตารางที่ 4-3 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Q_u) วิธีการคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ชนิดเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.50 m.

ลำดับ	No	โครงการ	กำลังรับน้ำหนักคำนวณโดยสูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) (Tons)			Q_u (DLT.)	หมายเหตุ
			MODIFIED GATE	JANBU	DANISH	(Tons)	
1	11	อาคาร ช.ทองหล่อ 15	183	257	184	231	*Dia 0.50
2	62	ร.ร.นานาชาติ สุขุมวิท	207	294	230	195	*Dia 0.50
3	111	ร.ร.นานาชาติ สุขุมวิท	260	404	331	240	*Dia 0.50
ค่าเฉลี่ย			216.52	318.36	248.61	222.23	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			39.31	76.38	75.00	23.93	



ภาพที่ 4-2 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีการคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีการทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ของเสาเข็มชนิด Spun Pile ขนาด Dia 0.50 m.

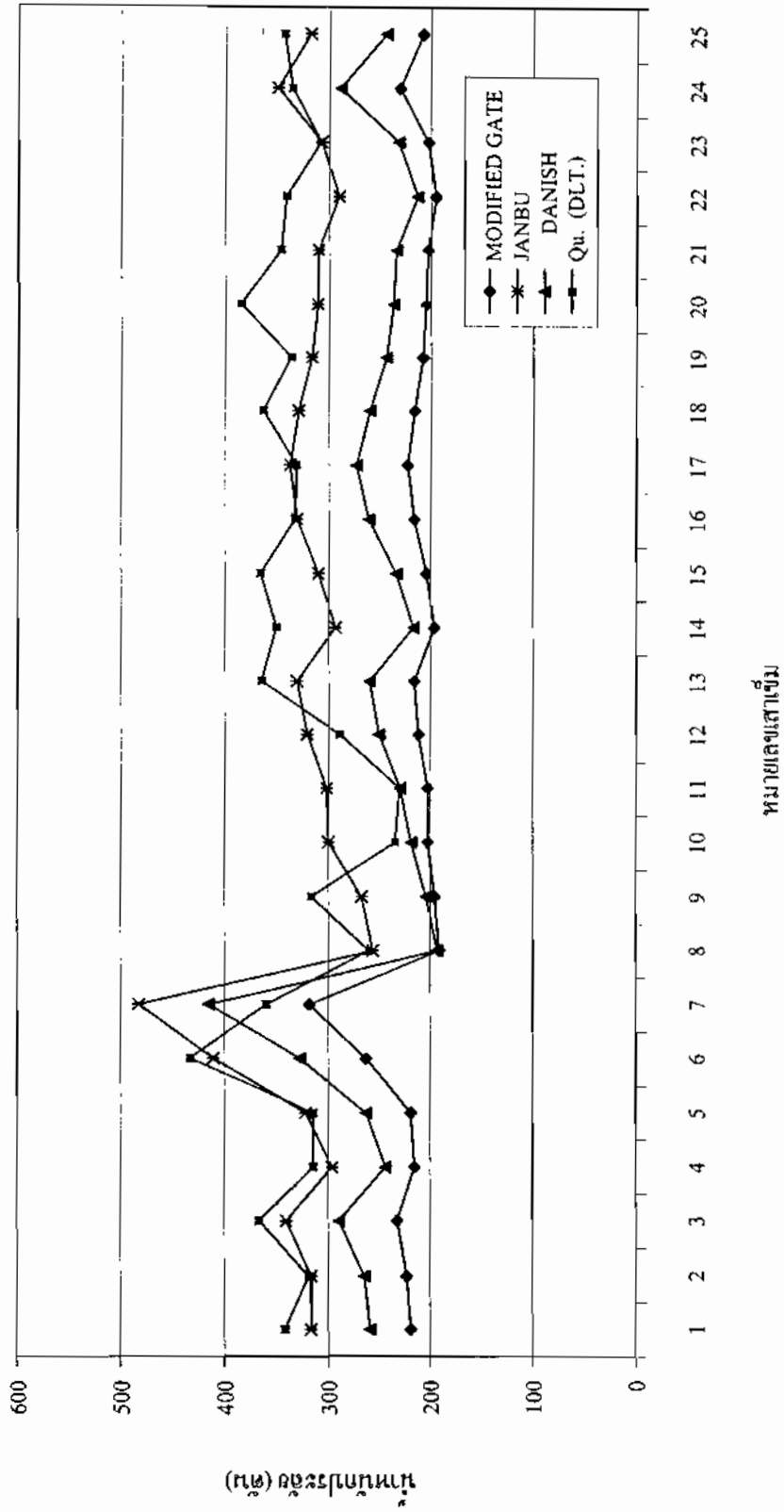
ผลการเปรียบเทียบระหว่าง Pile Driving Formula สูตรของ Danish, Modified Gate และสูตร Janbu กับ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มชนิด Spun pile ความยาว 26.00 เมตร คำนวณน้ำหนักประลัยที่ใช้ออกแบบ 200 ตันและค่าน้ำหนัก Dynamic Pile Load Test เฉลี่ย 222 ตันเมื่อพิจารณากราฟในภาพที่ 4-3 ทั้ง 3 สูตรแล้วพบว่าสูตรของ Modified Gate ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธี Dynamic Pile Load Test มากที่สุดรองลงมา Danish, Janbu ตามลำดับ

ตารางที่ 4-4 ตารางเปรียบเทียบ Ultimate Load (Qu) วิธีคำนวณ โดยสูตร Pile Driving Formula กับ วิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ชนิดเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m.

ลำดับ	No.	โครงการ	กำลังรับน้ำหนักคำนวณ โดย ใช้สูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) (Tons)			Qu. (DLT.) (Tons)	หมายเหตุ
			MODIFIED GATE	JANBU	DANISH		
1	U8	งานก่อสร้างปรับปรุงทางหลวง#34 คอนบางนา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ส่วนที่ 2	219	317	259	343	*Dia 0.60 m.
2	U9	งานก่อสร้างปรับปรุงทางหลวง#34 คอนบางนา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ส่วนที่ 2	223	317	264	319	*Dia 0.60 m.
3	U10	งานก่อสร้างปรับปรุงทางหลวง#34 คอนบางนา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ส่วนที่ 2	232	341	289	367	*Dia 0.60 m.
4	U11	งานก่อสร้างปรับปรุงทางหลวง#34 คอนบางนา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ส่วนที่ 2	215	296	244	315	*Dia 0.60 m.
5	U14	งานก่อสร้างปรับปรุงทางหลวง#34 คอนบางนา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ส่วนที่ 2	219	322	263	315	*Dia 0.60 m.
6	133	หอพักนักศึกษา 4 ชั้น KMUTT บางขุนเทียน	263	410	328	432	*Dia 0.60 m.
7	2A	ทางด่วนรามอินทราตัดกับ อ.ประดิษฐ์บุญธรรม	319	483	415	360	*Dia 0.60 m.
8	86	ธนุรักษ์	191	256	193	260	*Dia 0.60 m.
9	25	ธนุรักษ์	195	267	204	317	*Dia 0.60 m.
10	31	ช.ทองหล่อ 15	203	300	219	235	*Dia 0.60 m.
11	82	อาคาร JJ.MALL	203	302	230	230	*Dia 0.60 m.
12	101	อาคาร JJ.MALL	212	321	251	289	*Dia 0.60 m.
13	264	อาคาร JJ.MALL	216	331	260	365	*Dia 0.60 m.
14	274	อาคาร JJ.MALL	196	293	217	351	*Dia 0.60 m.

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

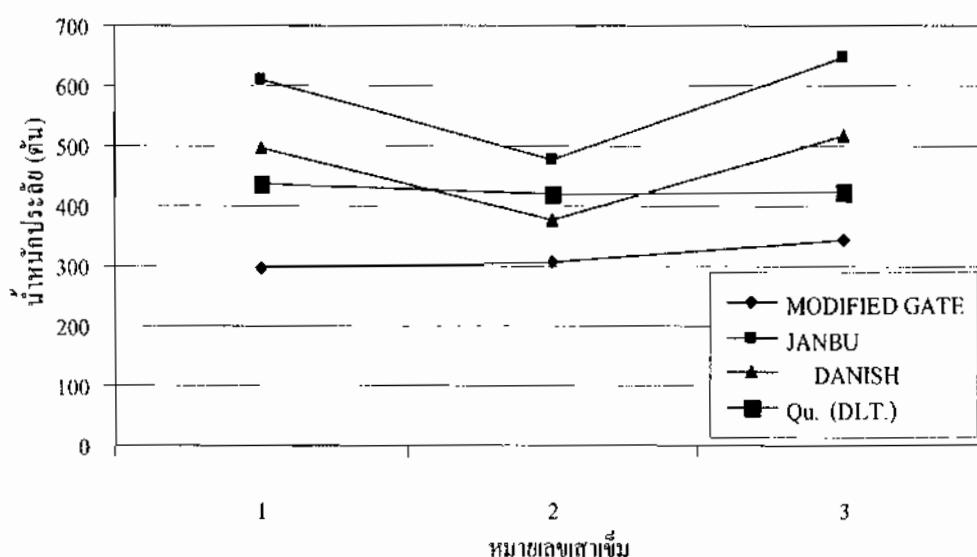
ลำดับ	No.	โครงการ	กำลังรับน้ำหนักคำนวณ โดย ใช้สูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) (Ton.s)			Qu. (DLT.) (Tons)	หมายเหตุ
			MODIFIED GATE	JANBU	DANISH		
15	434	อาคาร JJ.MALL	204	310	234	366	*Dia 0.60 m.
16	628	อาคาร JJ.MALL	216	331	261	333	*Dia 0.60 m.
17	699	อาคาร JJ.MALL	223	338	273	332	*Dia 0.60 m.
18	781	อาคาร JJ.MALL	216	330	260	364	*Dia 0.60 m.
19	889	อาคาร JJ.MALL	208	317	244	337	*Dia 0.60 m.
20	905	อาคาร JJ.MALL	205	311	237	385	*Dia 0.60 m.
21	1075	อาคาร JJ.MALL	203	310	234	347	*Dia 0.60 m.
22	1188	อาคาร JJ.MALL	195	290	213	342	*Dia 0.60 m.
23	1256	อาคาร JJ.MALL	203	307	232	308	*Dia 0.60 m.
24	1350	อาคาร JJ.MALL	231	350	289	336	*Dia 0.60 m.
25	1444	อาคาร JJ.MALL	208	318	244	344	*Dia 0.60 m.
ค่าเฉลี่ย			208.37	310.53	244.53	318.91	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			26.06	44.14	44.50	44.53	



ภาพที่ 4-3 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Qu) วิธีคำนวณ โดยสูตร Pile Driving แบบ Dynamic Test ชนิดเสาเข็ม Spun Pile Section ขนาด Dia 0.60

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Qu) วิธีการคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ชนิดเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.45 m.

ลำดับ	No	โครงการ	กำลังรับน้ำหนักคำนวณโดยสูตรการคอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) (Ton.)			Qu. (DLT.)	หมายเหตุ
			MODIFIED GATE	JANBU	DANISH	(Ton.)	
1	99	Maha Sawat Treatmane	296	611	498	438	*Dia 0.80
2	6	Southern Outer Banagkok	306	477	377	419	*Dia 0.80
3	81	เขื่อนลัดรรัตนธิเบศร์	342	646	518	425	*Dia 0.80
ค่าเฉลี่ย			314.43	577.88	464.39	427.17	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			24.16	88.73	76.51	9.44	

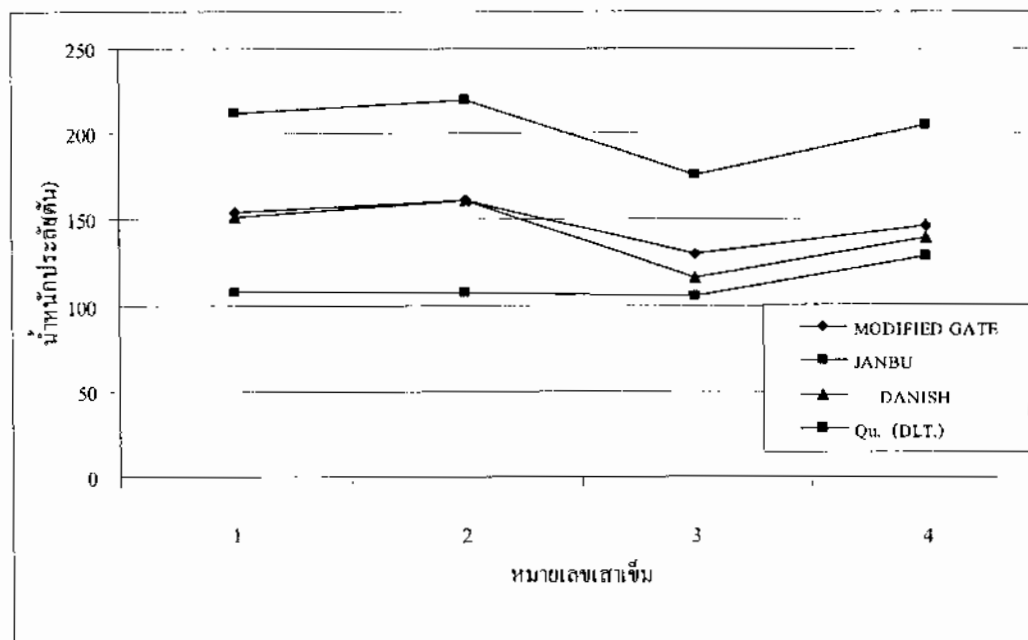


ภาพที่ 4-4 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีการคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีการทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ของเสาเข็มชนิด Spun Pile ขนาด Dia 0.80 m.

ผลการเปรียบเทียบระหว่าง Pile Driving Formula สูตรของ Danish, Modified Gate และสูตร Janbu กับ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มชนิด Spun Pile ความยาว 26.00 เมตร คำนวณน้ำหนักประลัยที่ใช้ออกแบบ 425 ตันและค่าน้ำหนัก Dynamic Pile Load Test เฉลี่ย 427 ตันเมื่อพิจารณากราฟในภาพที่ 4-4 ทั้ง 3 สูตรแล้วพบว่าสูตรของ Danish ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธี Dynamic Pile Load Test มากที่สุดรองลงมา Modified Gate, Janbu ตามลำดับ

ตารางที่ 4-6 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Q_u) วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มตัวไอ ขนาด Dia 0.30 m.

ลำดับ	No.	โครงการ	กำลังรับน้ำหนักคำนวณโดยใช้สูตรการตอกเสาเข็ม			(DLT)	หมายเหตุ
			GATE	JANBU	DANISH	(Tons)	
1	10	โรงพิมพ์ธนบัตร แห่งที่ 2 อ.ปิ่นเกล้า	154	212	151	107	*Dia0.30
2	1534	โรงพิมพ์ธนบัตร แห่งที่ 2 อ.ปิ่นเกล้า	161	219	161	108	*Dia0.30
3	156	โรงพิมพ์ธนบัตร แห่งที่ 2 อ.ปิ่นเกล้า	130	176	116	105	*Dia0.30
4	2216	โรงพิมพ์ธนบัตร แห่งที่ 2 อ.ปิ่นเกล้า	147	205	140	129	*Dia0.30
ค่าเฉลี่ย			147.98	203.02	142.08	112.23	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			13.40	19.10	19.30	11.44	

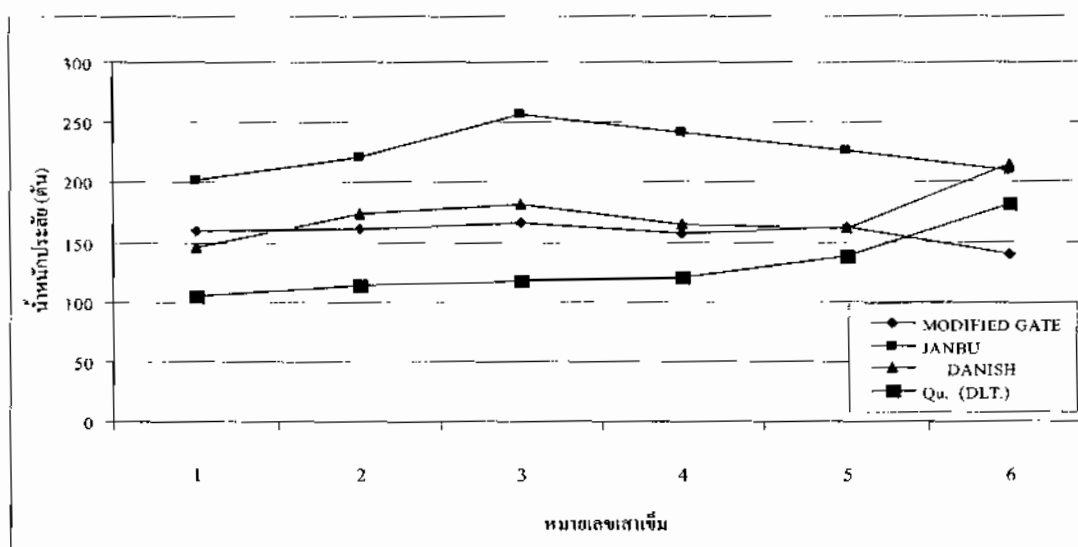


ภาพที่ 4-5 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มตัวไอ ขนาด Dia 0.30 m.

ผลการเปรียบเทียบระหว่าง Pile Driving Formula สูตรของ Danish , Modified Gate และสูตร Janbu กับ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มชนิดตัวไอ ความยาว 19.00 เมตร คำนวณน้ำหนักประลัยที่ใช้ออกแบบ 100 ตัน และค่าน้ำหนัก Dynamic Pile Load Test เฉลี่ย 112.23 ตัน เมื่อพิจารณากราฟในภาพที่ 4-5 ทั้ง 3 สูตรแล้ว พบว่าสูตรของ Danish ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธี Dynamic Pile Load Test มากที่สุด รองลงมา Modified Gate, Janbu ตามลำดับ

ตารางที่ 4-7 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Qu) วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Load Pile Load Test (DLT) เสาเข็มตัวโอ ขนาด Dia 0.35 m.

ลำดับ	No.	โครงการ	กำลังรับน้ำหนักคำนวณโดยสูตรการดองเสาเข็ม			(D.L.T)	หมายเหตุ
			GATE	JANBU	DANISH	(Tons)	
1	13	โรงพิมพ์ธนบัตร แห่งที่ 2 อ.ปิ่นเกล้า-นครชัยศรี	160	201	146	105	*Dia0.35 m.
2	5	อาคารปฏิบัติการ ม.ธรรมศาสตร์	160	221	174	113	*Dia0.35 m.
3	1566	โรงพิมพ์ธนบัตร แห่งที่ 2 อ.ปิ่นเกล้า-นครชัยศรี	165	256	181	117	*Dia0.35 m.
4	16	โรงพิมพ์ธนบัตร แห่งที่ 2 อ.ปิ่นเกล้า-นครชัยศรี	157	242	165	120	*Dia0.35 m.
5	7	ธราพารค์ อ.เมืองระนอง	162	226	161	138	*Dia0.35 m.
6	144	โรงงาน DHA 2	139	210	215	182	*Dia0.35 m.
ค่าเฉลี่ย			157.18	226.03	173.55	129.12	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			9.15	20.34	23.57	28.00	



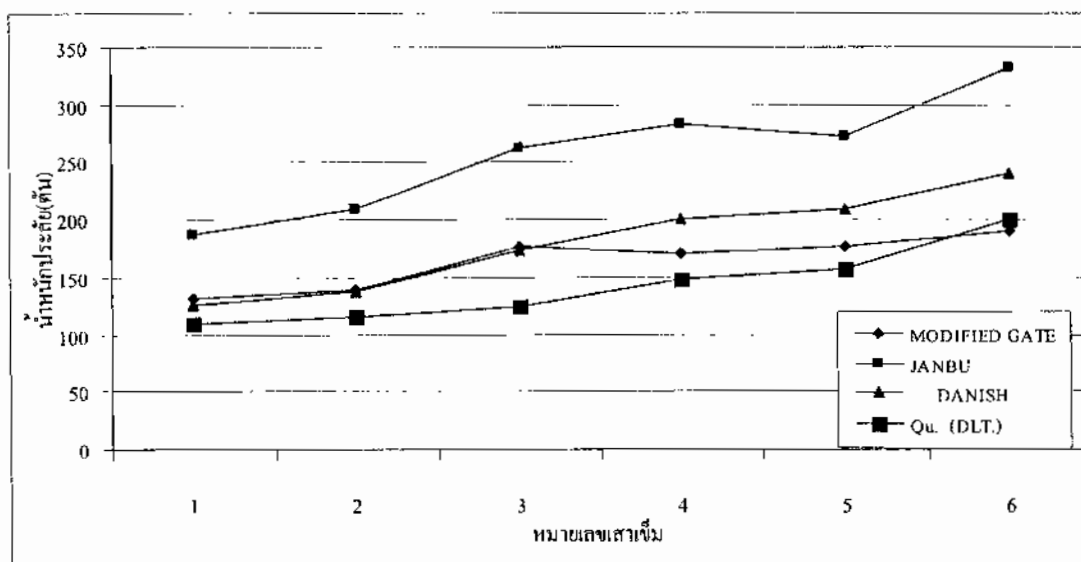
ภาพที่ 4-6 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มตัวโอขนาด Dia 0.35 m.

ผลการเปรียบเทียบระหว่าง Pile Driving Formula สูตรของ Danish, Modified Gate และสูตร Janbu กับ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มชนิดตัวโอ ความยาว 20.00 เมตรค่าน้ำหนักประลัยที่ใช้ ออกแบบ 125 ตัน และค่าน้ำหนัก Dynamic Pile Load Test เฉลี่ย 129.12 ตันเมื่อพิจารณารูปในภาพที่ 4-6 ทั้ง 3 สูตรแล้ว พบว่าสูตรของ Modified Gate ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธี Dynamic Pile Load Test มากกว่าสูตรของ Danish, Janbu ตามลำดับ

ตารางที่ 4-8 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Qu) วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula

กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ชนิดเสาเข็มตัวโอ ขนาด Dia 0.40 m.

ลำดับ	No.	โครงการ	กำลังรับน้ำหนักคำนวณโดยสูตร การตอกเสาเข็ม (Tons)			Qu.	หมายเหตุ
			GATE	JANBU	DANISH	(DLT)	
						(Tons)	
1	155	หอประชุมโรงเรียนอัสสัมชัญ หนองรี	132	187	125	109	*Dia 0.40
2	156	โรงพิมพ์ธนบัตร แห่งที่ 2 อ.ปิ่นเกล้า	139	209	138	116	*Dia 0.40
3	99	Ocean Newline Headquarters	177	263	173	125	*Dia 0.40
4	789	โรงพิมพ์ธนบัตร แห่งที่ 2 อ.ปิ่นเกล้า	170	283	200	148	*Dia 0.40
5	33	ชาวพาร์ค อ.แจ้งวัฒนะ	176	273	209	158	*Dia 0.40
6	156	โรงพิมพ์ธนบัตร แห่งที่ 2 อ.ปิ่นเกล้า	190	333	240	201	*Dia 0.40
ค่าเฉลี่ย			164.14	257.79	181.01	142.87	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			23.00	52.77	43.71	33.85	



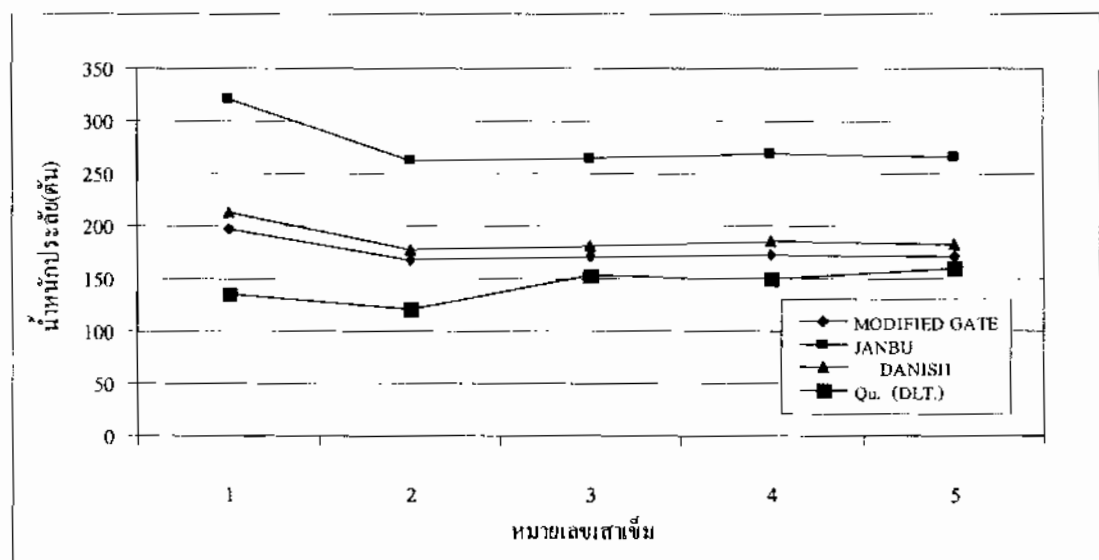
ภาพที่ 4-7 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีการทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test ของเสาเข็มชนิดตัวโอขนาด Dia 0.40 M.

ผลการเปรียบเทียบระหว่าง Pile Driving Formula สูตรของ Danish, Modified Gate และสูตร Janbu กับ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มชนิดตัวโอ ความยาว 21.00 เมตร คำนวณน้ำหนักประลัยที่ใช้ ออกแบบ 150 ตันและน้ำหนัก Dynamic Pile Load Test เฉลี่ย 142.87 ตันเมื่อพิจารณากราฟใน ภาพที่ 4-7 ทั้ง 3 สูตรแล้วพบว่าสูตรของ Modified Gate ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธี Dynamic Pile Load Test มากที่สุดรองลงมา Danish, Janbu ตามลำดับ

ตารางที่ 4-9 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Q_u) วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ Dynamic Load Pile Load Test (DLT)

ชนิดเสาเข็ม เสาเข็มตอรูปสี่เหลี่ยมขนาด Dia 0.30 × 0.30 m.

ลำดับ	No.	โครงการ	กำลังรับน้ำหนักคำนวณโดยสูตรการตอกเสาเข็ม (Tons)			(DLT)	หมายเหตุ
			GATE	JANBU	DANISH	(Tons)	
1	1135	La Royale Beach	197	321	212	136	*Dia0.30 m.
2	1136	La Royale Beach	168	262	177	121	*Dia0.30 m.
3	1137	La Royale Beach	170	265	180	153	*Dia0.30 m.
4	1138	La Royale Beach	172	270	185	151	*Dia0.30 m.
5	1139	La Royale Beach	171	266	182	160	*Dia0.30 m.
ค่าเฉลี่ย			147.40	238.08	158.37	117.86	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			14.09	22.11	14.12	21.09	

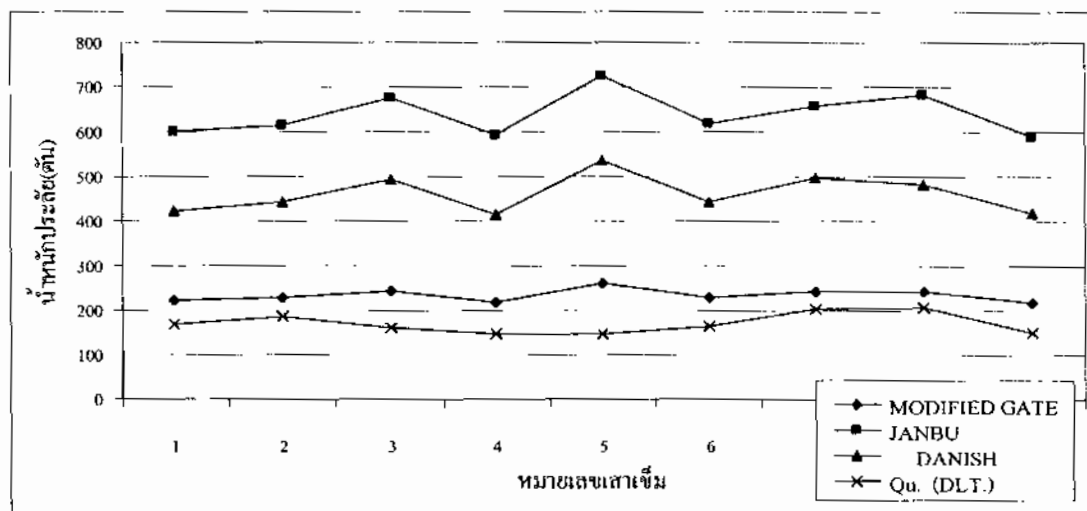


ภาพที่ 4-8 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีการทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมขนาด Dia 0.30 × 0.30 m.

ผลการเปรียบเทียบระหว่าง Pile Driving Formula สูตรของ Danish, Modified Gate และสูตร Janbu กับ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมขนาด Dia 0.30 × 0.30 m. ยาว 15.00 เมตร คำนำน้หนักประลัยที่ใช้ออกแบบ 90 ตันและคำนำน้หนัก Dynamic Pile Load Test เฉลี่ย 117.86 ตัน เมื่อพิจารณารูปในภาพที่ 4-8 ทั้ง 3 สูตรแล้วพบว่าสูตรของ Modified Gate ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธี Dynamic Pile Load Test มากกว่าสูตรของ Danish, Janbu ตามลำดับ

ตารางที่ 4-10 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load (Q_u) วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีทดสอบแบบ (DLT) ชนิดเสาเข็มเสาเข็มคอกรูปสี่เหลี่ยมขนาด Dia 0.40 × 0.40 m.

ลำดับ	No.	โครงการ	กำลังรับน้ำหนักคำนวณโดยสูตรการคอกเสาเข็ม (Tons)			(DLT)	หมายเหตุ
			GATE	JANBU	DANISH	(Tons)	
1	117	Home work พัทยา จ.ชลบุรี	222	599	422	169	*Dia 0.40
2	129	Home work พัทยา จ.ชลบุรี	227	616	442	185	*Dia 0.40
3	186	Home work พัทยา จ.ชลบุรี	244	675	493	161	*Dia 0.40
4	225	Home work พัทยา จ.ชลบุรี	219	593	415	145	*Dia 0.40
5	256	Home work พัทยา จ.ชลบุรี	260	724	537	146	*Dia 0.40
6	289	Home work พัทยา จ.ชลบุรี	227	617	443	164	*Dia 0.40
7	510	Home work พัทยา จ.ชลบุรี	242	657	496	205	*Dia 0.40
8	545	Home work พัทยา จ.ชลบุรี	244	682	483	207	*Dia 0.40
9	558	Home work พัทยา จ.ชลบุรี	218	589	419	149	*Dia 0.40
ค่าเฉลี่ย			233.74	639.15	461.02	170.11	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			14.54	47.11	42.72	23.92	



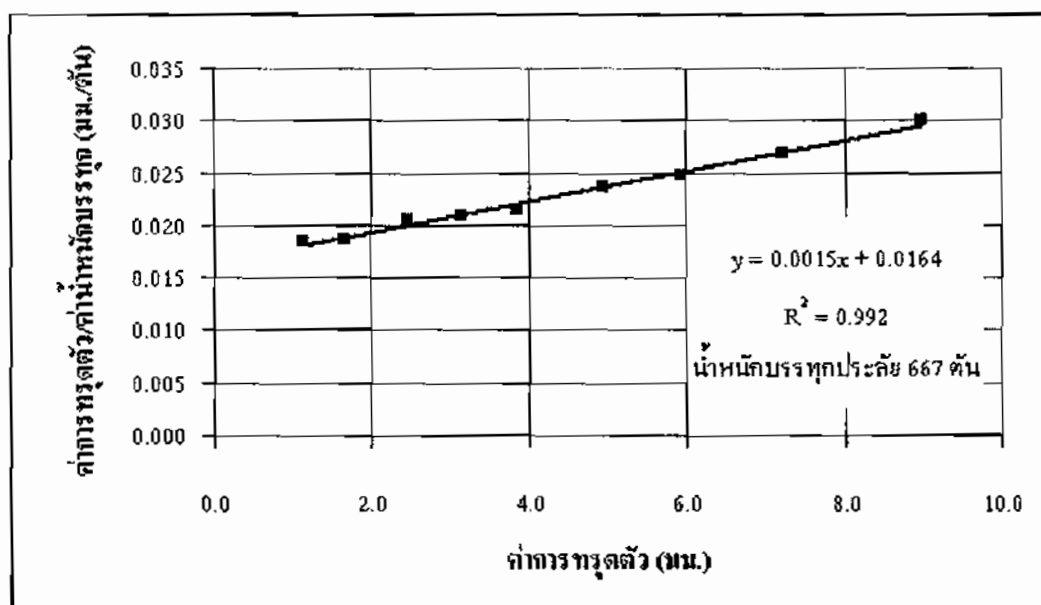
ภาพที่ 4-9 เปรียบเทียบค่า Ultimate Load วิธีคำนวณโดยสูตร Pile Driving Formula กับวิธีการทดสอบแบบ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมขนาด Dia 0.40 × 0.40 m.

ผลการเปรียบเทียบระหว่าง Pile Driving Formula สูตรของ Danish, Modified Gate และสูตร Janbu กับ Dynamic Pile Load Test เสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมขนาด Dia 0.40 × 0.40 m. ยาว 9.00 เมตร คำนำน้หนักประลัยที่ใช้ออกแบบ 100 ตันและคำนำน้หนัก Dynamic Pile Load Test เฉลี่ย 170 ตัน เมื่อพิจารณารูปในภาพที่ 4-9 ทั้ง 3 สูตรแล้วพบว่าสูตรของ Modified Gate ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธี Dynamic Pile Load Test มากกว่าสูตรของ Danish, Janbu ตามลำดับ

4.2 ผลการหาการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มตอก โดยวิธีของ Chin (1970) จากข้อมูล การทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) ของเสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.

ตารางที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการ การทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.

ลำดับที่	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	ค่าการทรุดตัว (มม.)	ค่าการทรุดตัว/น้ำหนักบรรทุก (มม./ตัน)	หมายเหตุ
1	60	1.110	0.0185	
2	90	1.670	0.0186	
3	120	2.460	0.0205	
4	150	3.130	0.0209	
5	180	3.860	0.0214	
6	210	4.960	0.0236	
7	240	5.940	0.0248	
8	270	7.230	0.0268	
10	300	8.990	0.0300	

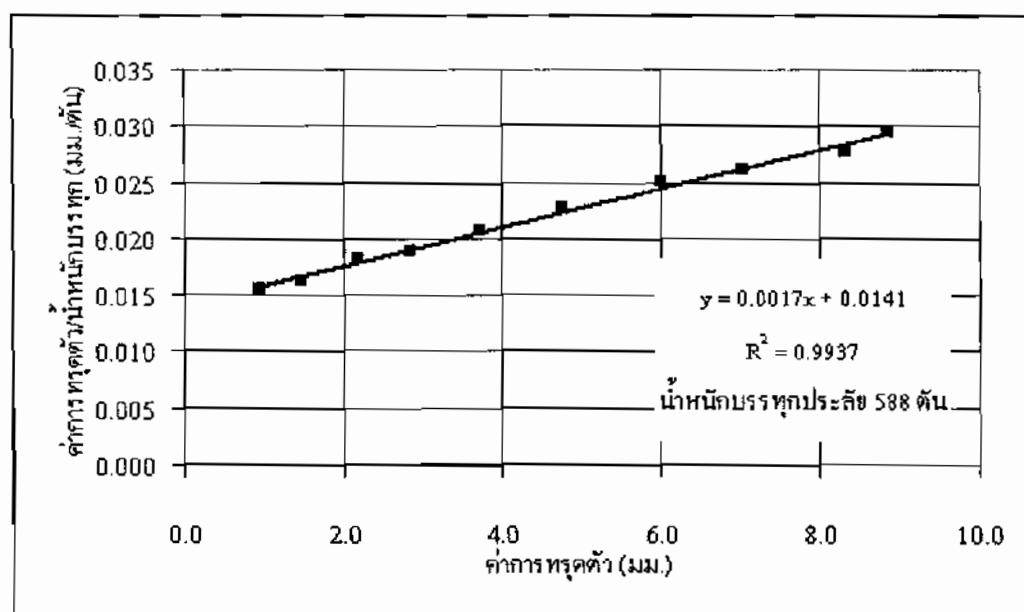


ภาพที่ 4-10 การหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย โครงการ Maha Sawat Treatment No.K1

จากภาพที่ 4-10 สามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ ด้วยวิธี Chin (1970) ได้ 667 ตัน ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ (120 ตัน) ประมาณ 5.55 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ

ตารางที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการ
การทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.

ลำดับที่	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	ค่าการทรุดตัว (มม.)	ค่าการทรุดตัว/ค่าน้ำหนักบรรทุก (มม./ตัน)	หมายเหตุ
1	60	0.930	0.0155	
2	90	1.460	0.0162	
3	120	2.180	0.0182	
4	150	2.840	0.0189	
5	180	3.720	0.0207	
6	210	4.780	0.0228	
7	240	6.020	0.0251	
8	270	7.040	0.0261	
9	300	8.340	0.0278	
10	300	8.860	0.0295	

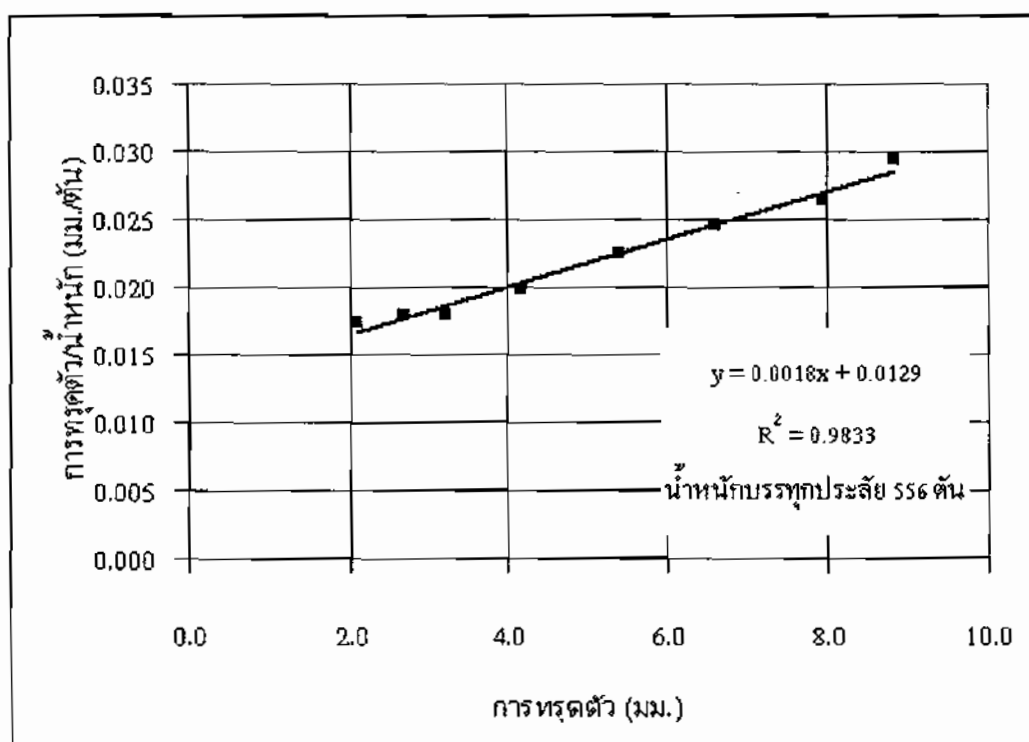


ภาพที่ 4-11 การหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย โครงการ Maha Sawat Treatment No.K5

จากภาพที่ 4-11 สามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ด้วยวิธี Chin (1970) ได้ 588 ตัน ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ (120 ตัน) ประมาณ 5 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ

ตารางที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.

ลำดับที่	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	ค่าการทรุดตัว (มม.)	ค่าการทรุดตัว/ค่าน้ำหนักบรรทุก (มม./ตัน)	หมายเหตุ
3	120	2.080	0.0173	
4	150	2.690	0.0179	
5	180	3.220	0.0179	
6	210	4.170	0.0199	
7	240	5.410	0.0225	
8	270	6.620	0.0245	
9	300	7.930	0.0264	
10	300	8.810	0.0294	

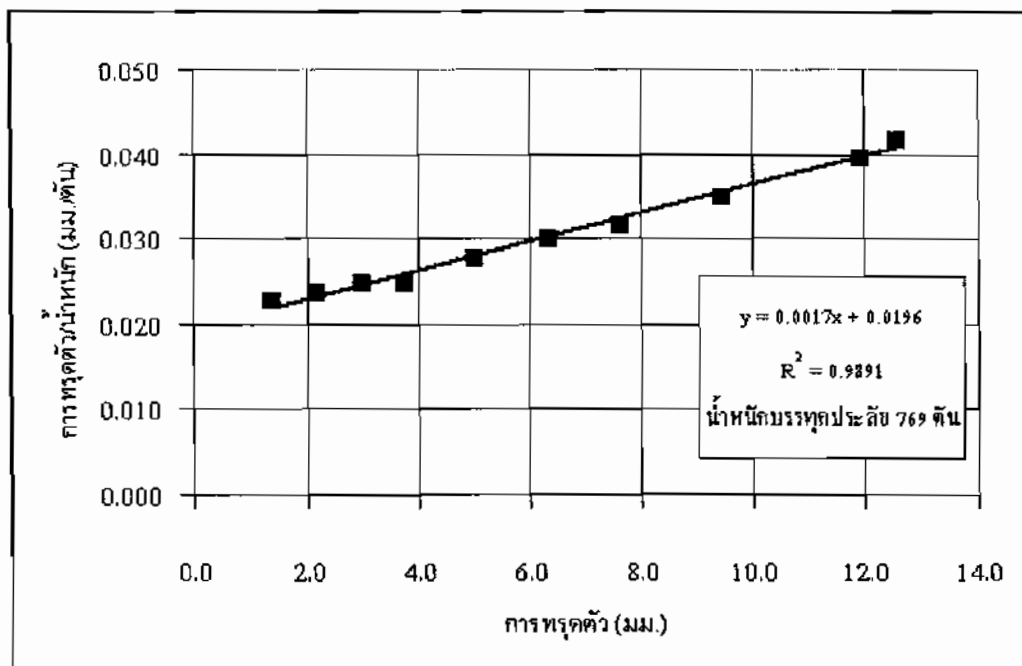


ภาพที่ 4-12 การหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย โครงการ Maha Sawat Treatment No.K6

จากภาพที่ 4-12 สามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ด้วยวิธี Chin (1970) ได้ 556 ตัน ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ (120 ตัน) ประมาณ 4.6 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ

ตารางที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการ
การทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.

ลำดับที่	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	ค่าการทรุดตัว (มม.)	ค่าการทรุดตัว/ค่าน้ำหนักบรรทุก (มม./ตัน)	หมายเหตุ
1	60	1.370	0.0228	
2	90	2.140	0.0238	
3	120	2.990	0.0249	
4	150	3.720	0.0248	
5	180	4.980	0.0277	
6	210	6.330	0.0301	
7	240	7.620	0.0318	
8	270	9.450	0.0350	
9	300	11.910	0.0397	
10	300	12.560	0.0419	

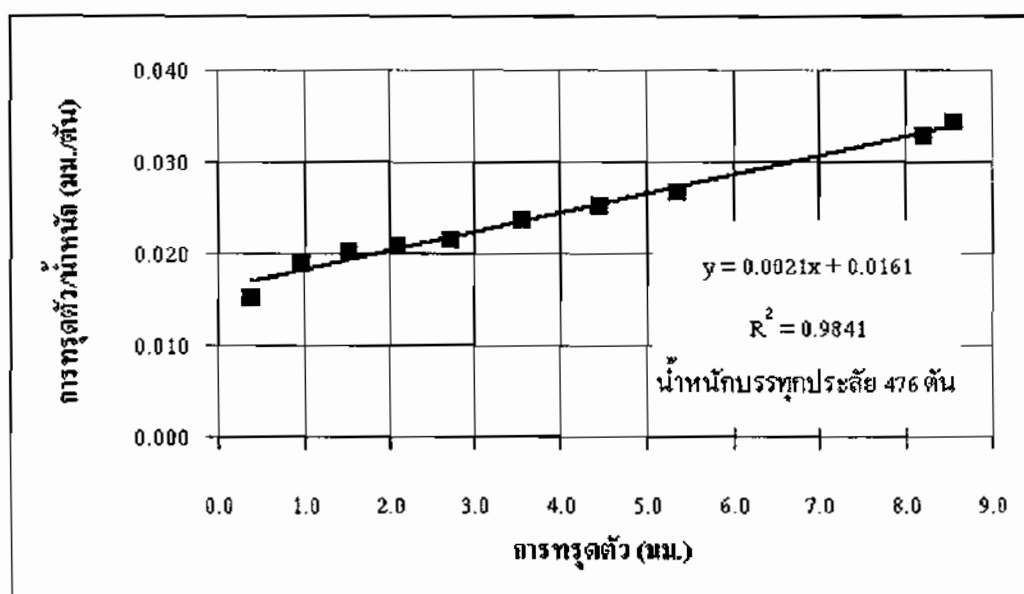


ภาพที่ 4-13 การหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย โครงการ Maha Sawat Treatment No.K10

จากภาพที่ 4-13 สามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ด้วยวิธี Chin (1970) ได้ 769 ตัน ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ (120 ตัน) ประมาณ 6.4 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ

ตารางที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการ
การทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.

ลำดับที่	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	ค่าการทรุดตัว (มม.)	ค่าการทรุดตัว/ค่าน้ำหนักบรรทุก (มม./ตัน)	หมายเหตุ
1	25	0.380	0.0152	
2	50	0.950	0.0190	
3	75	1.510	0.0201	
4	100	2.080	0.0208	
5	125	2.700	0.0216	
6	150	3.560	0.0237	
7	175	4.430	0.0253	
8	200	5.350	0.0268	
9	250	8.200	0.0328	
10	250	8.560	0.0342	

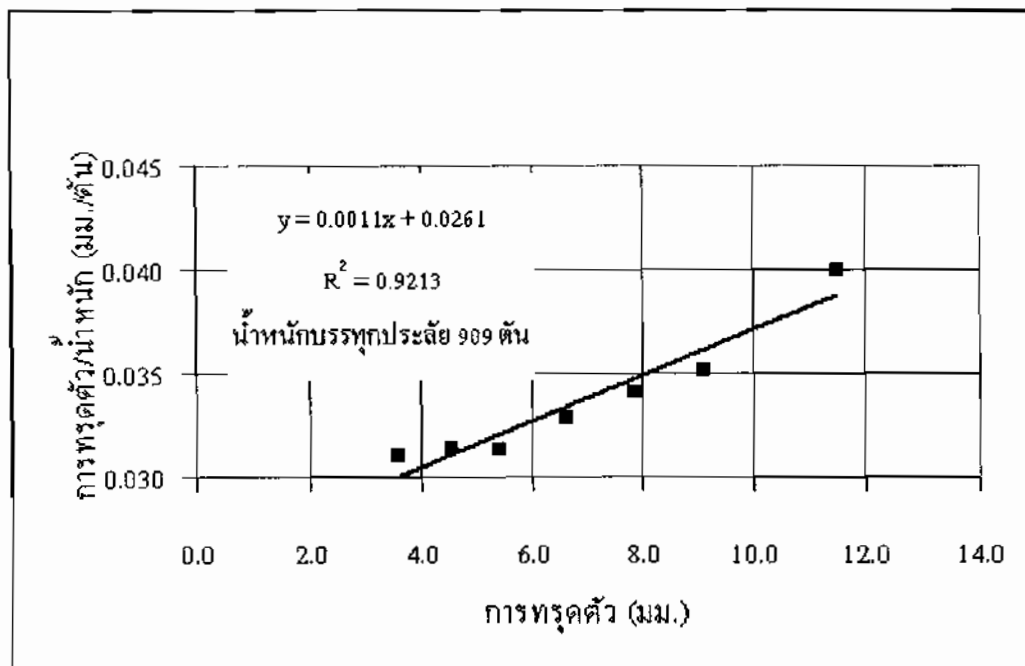


ภาพที่ 4-14 การหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย โครงการ อาคารเรียน ม.จันทรเกษม No. 29

จากภาพที่ 4-14 สามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ด้วยวิธี Chin (1970) ได้ 476 ตัน ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ (100 ตัน) ประมาณ 4.76 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ

ตารางที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการ
การทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.

ลำดับที่	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	ค่าการทรุดตัว (มม.)	ค่าการทรุดตัว/ค่าน้ำหนักบรรทุก (มม./ตัน)	หมายเหตุ
1	115.00	3.570	0.0310	
2	143.75	4.520	0.0314	
3	172.50	5.400	0.0313	
4	201.25	6.610	0.0328	
5	230.00	7.850	0.0341	
6	258.75	9.100	0.0352	
7	287.50	11.490	0.0400	

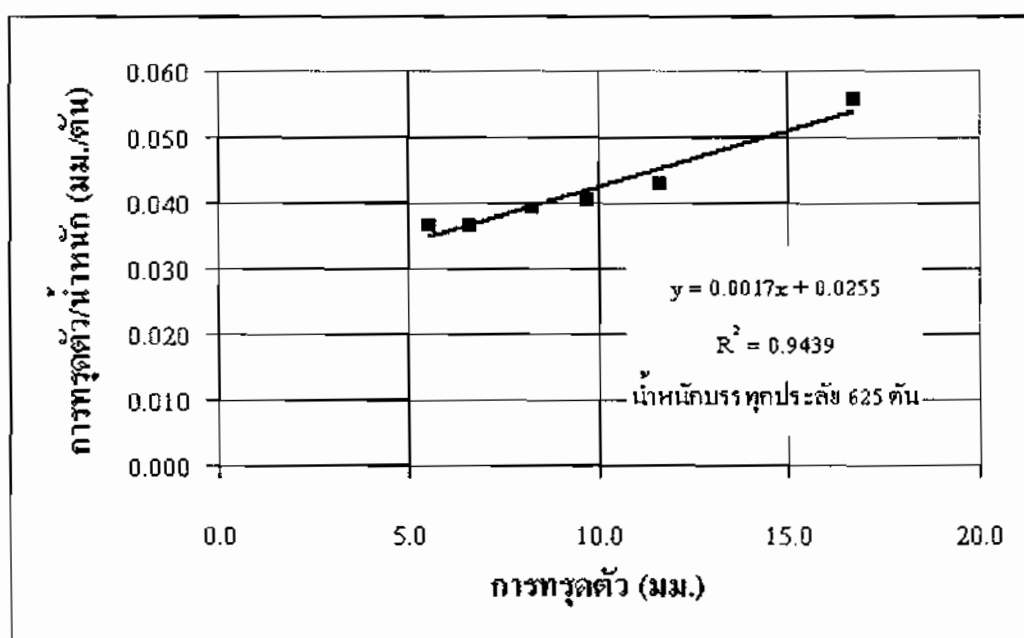


ภาพที่ 4-15 การหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยโครงการ Building Package 2 No.TP1-3

จากภาพที่ 4-15 สามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ด้วยวิธี Chin (1970) ได้ 909 ตัน ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ (115 ตัน) ประมาณ 7.9 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ

ตารางที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการ
การทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.

ลำดับที่	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	ค่าการทรุดตัว (มม.)	ค่าการทรุดตัว/ค่าน้ำหนักบรรทุก (มม./ตัน)	หมายเหตุ
1	150	5.520	0.0368	
2	180	6.610	0.0367	
3	210	8.300	0.0395	
4	240	9.730	0.0405	
5	270	11.610	0.0430	
6	300	16.690	0.0556	

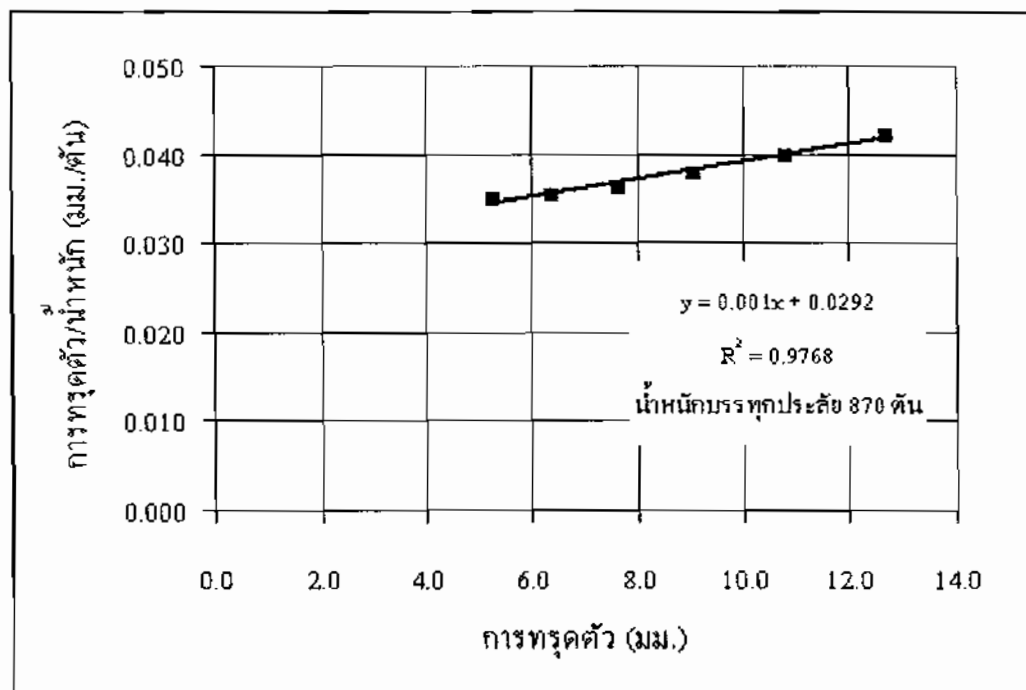


ภาพที่ 4-16 การหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย ปรับปรุงทางหลวง 34
ตอนบางนา - ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ(ส่วนที่ 2) No.11

จากภาพที่ 4-16 สามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ด้วยวิธี Chin (1970) ได้ 625 ตัน ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ (120 ตัน) ประมาณ 5.2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ

ตารางที่ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการ
การทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.

ลำดับที่	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	ค่าการทรุดตัว (มม.)	ค่าการทรุดตัว/ค่าน้ำหนักบรรทุก (มม./ตัน)	หมายเหตุ
1	150	5.250	0.0350	
2	180	6.390	0.0355	
3	210	7.630	0.0363	
4	240	9.070	0.0378	
5	270	10.780	0.0399	
6	300	12.670	0.0422	

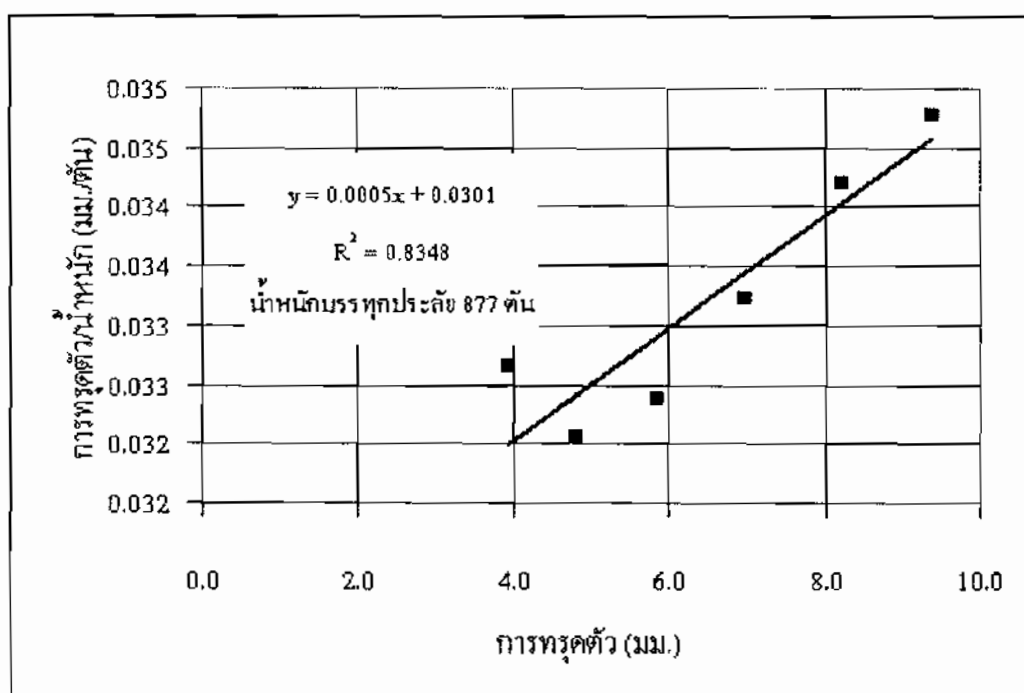


ภาพที่ 4-17 การหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย ปรับปรุงทางหลวง 34
ตอนบางนา - ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ(ส่วนที่ 2) No.8

จากภาพที่ 4-17 สามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ด้วยวิธี Chin (1970) ได้ 870 ตัน ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ (120 ตัน) ประมาณ 7.25 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ

ตารางที่ 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการ
การทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.

ลำดับที่	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	ค่าการทรุดตัว (มม.)	ค่าการทรุดตัว/ค่าน้ำหนักบรรทุก (มม./ตัน)	หมายเหตุ
1	120	3.920	0.0327	
2	150	4.810	0.0321	
3	180	5.830	0.0324	
4	210	6.980	0.0332	
5	240	8.210	0.0342	
6	270	9.390	0.0348	

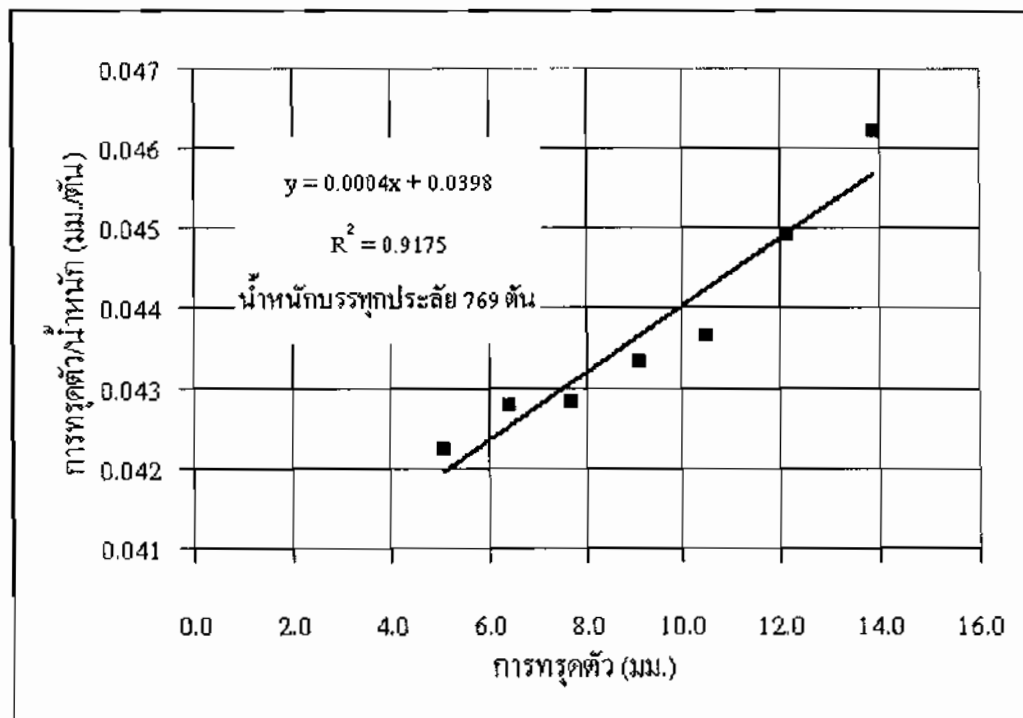


ภาพที่ 4-18 การหาค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย ปรับปรุงทางหลวง 34
ตอนบางนา - ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ(ส่วนที่ 2) No.9

จากภาพที่ 4-18 สามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยของการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ด้วยวิธี
Chin (1970) ได้ 877 ตัน ซึ่งมีความค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ (120 ตัน) ประมาณ
7.3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ

ตารางที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีการ
การทดสอบทางสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) เสาเข็ม Spun Pile Dia 0.60 m.

ลำดับที่	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	ค่าการทรุดตัว (มม.)	ค่าการทรุดตัว/ค่าน้ำหนักบรรทุก (มม./ตัน)	หมายเหตุ
1	120	5.070	0.0423	
2	150	6.420	0.0428	
3	180	7.710	0.0428	
4	210	9.100	0.0433	
5	240	10.480	0.0437	
6	270	12.130	0.0449	
7	300	13.870	0.0462	



ภาพที่ 4-19 การหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย ปรับปรุงทางหลวง 34
ตอนบางนา - ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ(ส่วนที่ 2) No.14

จากภาพที่ 4-19 สามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของการทดสอบทางสถิตยศาสตร์ด้วยวิธี Chin (1970) ได้ 769 ตัน ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ (120 ตัน) ประมาณ 6.40 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ใช้ออกแบบ

ตารางที่ 4-21 เปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักประลัย Ultimate Load (Qu) ทั้ง 5 วิธี ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m.

โครงการ : สะพานทางหลวง 34 ตอนบางนา-สุวรรณภูมิ

ลำดับที่	โครงการ	ความยาว เสาเข็ม (ม.)	น้ำหนักที่ใช้ ออกแบบ (ตัน)	คำนวณจาก ข้อมูลเจาะดิน (ตัน)	Dynamic Load Test (ตัน)	Blow Count (ตัน)			Chin -1970 (ตัน)
						GATE	JANBU	DANISH	
1	สะพานทางหลวง 34 ตอนบางนา-สุวรรณภูมิ (No.U8)	26.80	300	305	343	219	317	259	870
2	สะพานทางหลวง 34 ตอนบางนา-สุวรรณภูมิ (No.U9)	27.75	300	316	319	223	317	264	877
3	สะพานทางหลวง 34 ตอนบางนา-สุวรรณภูมิ (No.U11)	26.00	300	301	367	232	318	256	625
4	สะพานทางหลวง 34 ตอนบางนา-สุวรรณภูมิ (No.U14)	29.75	300	323	315	215	341	263	769
	ค่าเฉลี่ย	27.58	300	311	336	222	323	261	785
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.00	10.08	24.08	7.27	11.84	3.70	117.68

ตารางที่ 4-22 เปรียบเทียบค่าดึงรับน้ำหนักประลัย Ultimate Load (Qu) ทั้ง 4 วิธี ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m.

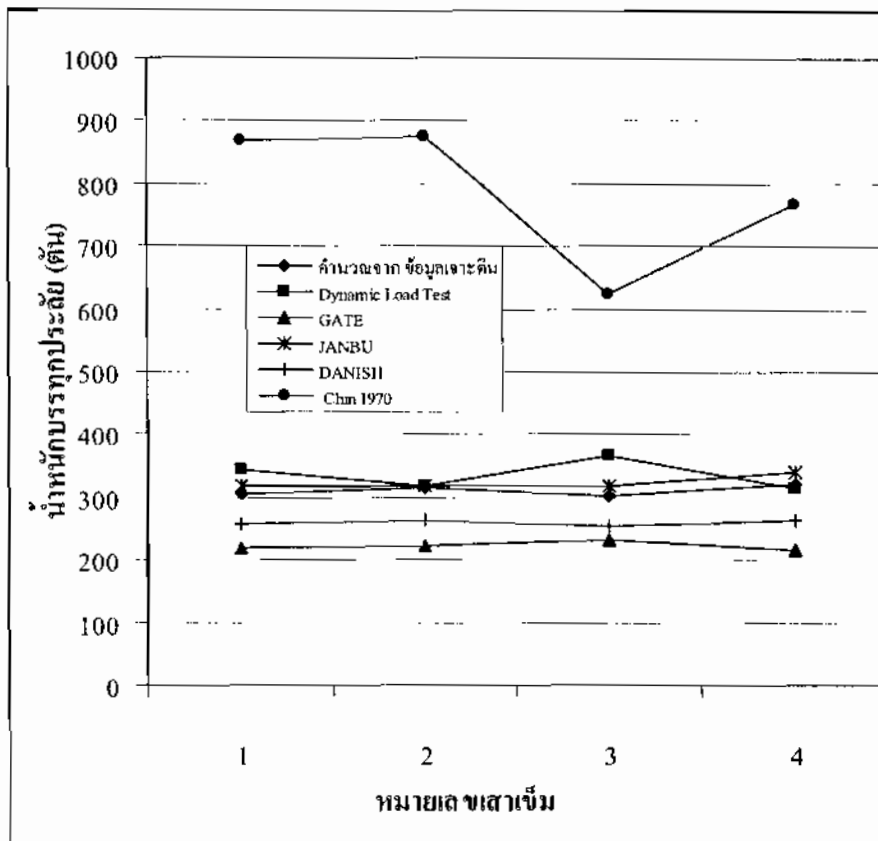
โครงการ : MAHASAWAT TREATMENT

ลำดับที่	โครงการ	ความยาว เสาเข็ม (ม.)	น้ำหนักที่ใช้ ออกแบบ (ตัน)	คำนวณจาก ข้อมูลเจาะดิน (ตัน)	Blow Count (ตัน)			Chin -1970 (ตัน)
					GATE (ตัน)	JANBU (ตัน)	DANISH (ตัน)	
1	MAHASAWAT TREATMENT (No.K1)	19.40	300	299	257	456	357	667
2	MAHASAWAT TREATMENT (No.K5)	22.00	300	293	262	474	355	588
3	MAHASAWAT TREATMENT (No.K6)	18.70	300	285	263	477	381	556
4	MAHASAWAT TREATMENT (No.K10)	18.00	300	281	255	484	368	769
	ค่าเฉลี่ย	19.53	300	290	259	473	365	645
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.00	8.06	3.86	11.93	11.95	94.92

ตารางที่ 4-23 เปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักประลัย Ultimate Load (Qu) ทั้ง 4 วิธี ของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m.

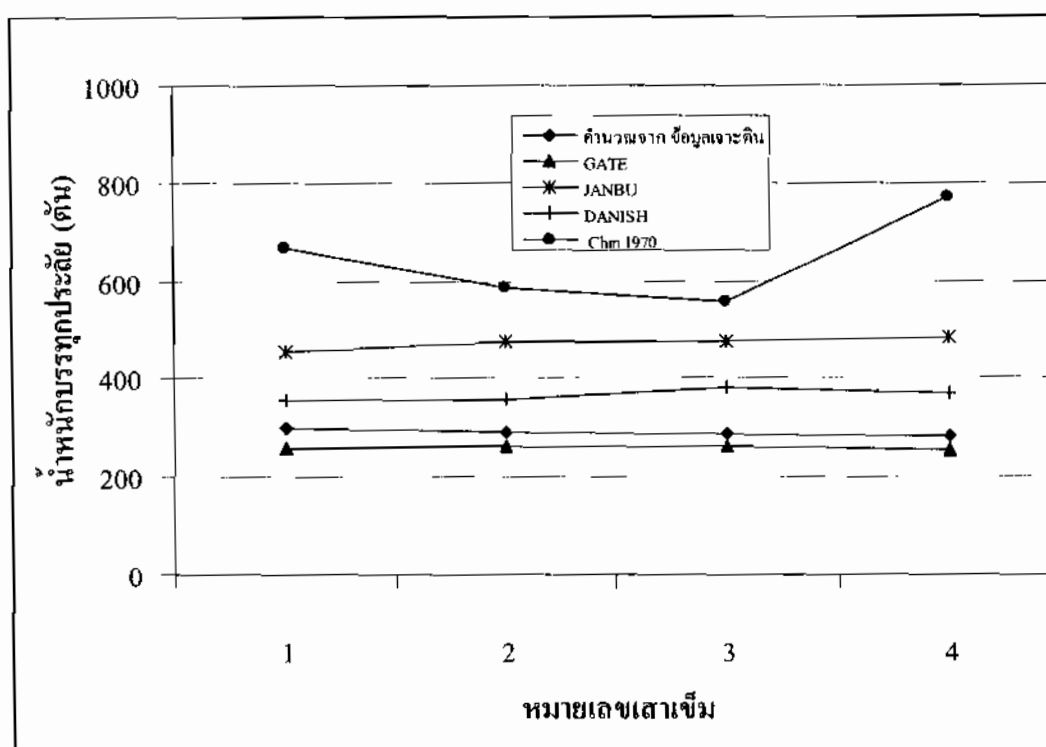
โครงการ : อาคาร JJ.MALL (จุดจักร)

ลำดับที่	โครงการ	ความยาว เสาเข็ม (ม.)	น้ำหนักที่ใช้ ออกแบบ (ตัน)	คำนวณจาก ข้อมูลเจาะดิน (ตัน)	Dynamic Load Test (ตัน)	Blow Count (ตัน)		
						GATE (ตัน)	JANBU (ตัน)	DANISH (ตัน)
1	JJ.MALL (BH-1)	25.00	250	329	364	216	330	260
2	JJ.MALL (BH-2)	25.28	250	332	361	216	331	260
3	JJ.MALL (BH-3)	25.70	250	344	366	204	310	234
	ค่าเฉลี่ย	25.33	250.00	335.05	363.67	212.00	323.67	251.33
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.00	7.91	2.52	6.93	11.85	15.01



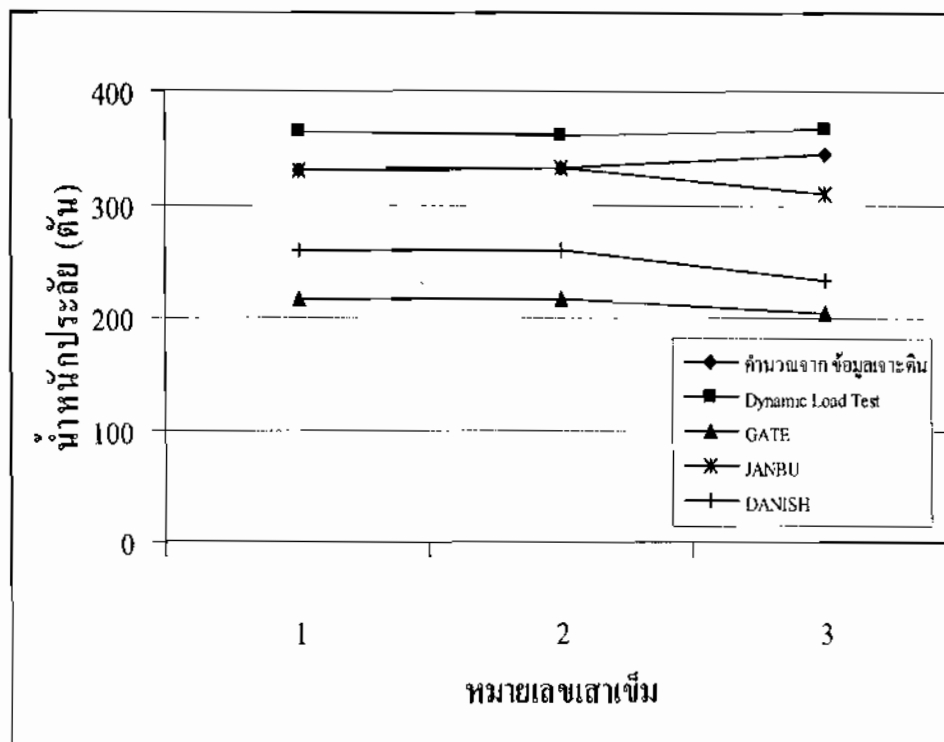
ภาพที่ 4-20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลาย (Q_u) ทั้ง 6 วิธีของเสาเข็ม
Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m. โครงการ : สะพานทางหลวง 34
ตอนบางนา - สุวรรณภูมิ

ผลการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลาย (Q_u) โดยวิธี Pile Driving Formula ใช้สูตรของ Danish, Modified Gate, Janbu วิธี Dynamic Pile Load Test วิธีคำนวณจากข้อมูลการเจาะสำรวจดิน วิธี Chin (1970) ของเสาเข็มชนิด Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m. ความยาวเฉลี่ย 23.00 เมตร คำนวณน้ำหนักบรรทุกที่ได้ออกแบบ 300 ตันเมื่อพิจารณารูปภาพที่ 4-20 พบว่าวิธีของ Janbu ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธี Dynamic Pile Load Test มากที่สุด รองลงมาวิธีคำนวณจากข้อมูลการเจาะสำรวจดิน วิธีของ Danish วิธีของ Modified Gate และวิธีของ Chin (1970) ตามลำดับ



ภาพที่ 4-21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักประลัย (Q_u) ทั้ง 5 วิธีของเสาเข็ม
Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m. โครงการ MAHASAWAT TREATMENT

ผลการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย (Q_u) โดยวิธี Pile Driving Formula ใช้สูตรของ Danish, Modified Gate, Janbu วิธีคำนวณจากข้อมูลการเจาะสำรวจดินและวิธี Chin (1970) ของเสาเข็มชนิด Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m. ความยาวเฉลี่ย 19.53 เมตร คำนวณน้ำหนักประลัยที่ใช้ ออกแบบ 300 ตันเมื่อพิจารณากราฟภาพที่ 4-21 พบว่าวิธีของ Modified Gate ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณจากข้อมูลการเจาะสำรวจดิน มากที่สุดรองลงมาวิธีของ Danish วิธีของ Janbu และวิธีของ Chin (1970) ตามลำดับ



ภาพที่ 4-22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักปลาย (Qu) ทั้ง 5 วิธีของเสาเข็ม Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m. โครงการ อาคาร JJ.MALL

ผลการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลาย (Qu) โดยวิธี Pile Driving Formula ใช้สูตรของ Danish, Modified Gate, Janbu วิธี Dynamic Pile Load Test วิธีคำนวณจากข้อมูลการเจาะของเสาเข็มชนิด Spun Pile ขนาด Dia 0.60 m. ความยาวเฉลี่ย 25.33 เมตร คำนวณน้ำหนักปลายที่ใช้ออกแบบ 250 ตัน เมื่อพิจารณากราฟภาพที่ 4-22 พบว่าวิธีของ Janbu ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธี Dynamic Pile Load Test มากที่สุด รองลงมาวิธีคำนวณจากข้อมูลการเจาะสำรวจดิน วิธีของ Danish และวิธีของ Modified Gate ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอก ด้วยวิธีทดสอบการรับน้ำหนักเสาเข็มแบบพลศาสตร์ (Dynamic Pile Load Test) และการคำนวณจากสูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) โดยนำข้อมูลเสาเข็มตอกชนิด Spun Pile ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.40-0.80 เมตร ยาว 18.00 – 36.00 เมตร จำนวน 37 ต้น เสาเข็มรูปตัวไอขนาด 0.30×0.30 และ 0.40×0.40 เมตร ยาว 18.00 – 27.00 เมตร จำนวน 16 ต้น และเสาเข็มสี่เหลี่ยมคางหมูขนาด 0.30×0.30 และขนาด 0.40×0.40 เมตร ยาว 18.00 – 27.00 เมตร จำนวน 15 ต้น โดยมีการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบพลศาสตร์ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

จากการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างการทดสอบ การรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มทางพลศาสตร์ กับวิธีใช้สูตรการตอกเสาเข็ม สำหรับเสาเข็มรูปกลมกลวง (Spun Pile) พบว่าการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบพลศาสตร์ มีค่าเท่ากับ 318.91 ตัน (SD = 44.53) และการคำนวณการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธี Janbu's Formula Danish's Formula และสูตรของ Modified Gate's Formula โดยมีค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเท่ากับ 310.53 ตัน (SD = 44.14) 244.53 ตัน (SD = 44.50) และ 208.37 ตัน (SD = 26.06) ตามลำดับ และพบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสูตรของ Janbu's ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธีพลศาสตร์ โดยมีแนวโน้มให้ค่าต่ำกว่าร้อยละ 2.63

ส่วนเสาเข็มรูปตัวไอ ขนาด 0.40×0.40 เมตร พบว่าการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบพลศาสตร์ มีค่าเท่ากับ 142.87 ตัน (SD = 44.53) และการคำนวณการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธี Modified Gate's Formula Danish's Formula และ Janbu's Formula โดยมีค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเท่ากับ 164.14 ตัน (SD = 23) 181.01 ตัน (SD = 43.71) และ 257.79 ตัน (SD = 52.77) ตามลำดับ และพบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสูตรของ Modified Gate ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธีพลศาสตร์ โดยมีแนวโน้มให้ค่าสูงกว่าร้อยละ 12.95

สำหรับเสาเข็มสี่เหลี่ยมคางหมู ขนาด 0.40×0.40 เมตร พบว่าการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบพลศาสตร์ มีค่าเท่ากับ 170.11 ตัน (SD = 23.92) และการคำนวณการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธี Modified Gate's Formula Danish's

Formula และ Janbu's Formula โดยมีค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเท่ากับ 233.74 ตัน ($SD = 14.54$) 461.02 ตัน ($SD = 42.72$) และ 639.15 ตัน ($SD = 47.11$) ตามลำดับ และพบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสูตรของ Modified Gate ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยวิธีพลศาสตร์โดยมีแนวโน้มให้ค่าสูงกว่าร้อยละ 27.26

สำหรับการเปรียบเทียบระหว่าง การทดสอบการรับ น้ำหนักบรรทุกทางพลศาสตร์กับวิธีการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดินผลปรากฏว่าจากการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลการเจาะสำรวจดินให้ค่าต่ำกว่าร้อยละ 7.65 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทุกๆ วิธีจะให้ค่าใกล้เคียงกันแตกต่างกันไม่มากนักแต่วิธีการของ Chin (1970) จะให้ค่าที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการสังเกตข้อมูลน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้จากวิธีของ Chin (1970) มีข้อมูลบางโครงการที่มีความกระเจามากก็อาจจะไม่นำข้อมูลของเสาเข็มนั้น มาใช้วิเคราะห์เนื่องจากอาจมีข้อผิดพลาดในการในระหว่างการทำทดสอบเสาเข็มในสนาม และจากการคำนวณโดยวิธีของ Chin (1970) พบว่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S) ที่เหมาะสมเท่ากับ 5

ดังนั้นจากผลความสัมพันธ์ของทฤษฎีต่างๆ กับผลการทดสอบเสาเข็มทางสถิตยศาสตร์และพลศาสตร์ดังกล่าวนี้ จะสามารถนำไปใช้สำหรับการพิจารณาเลือกสูตรที่มีความเหมาะสมกับเสาเข็มแต่ละหน้าตัด โดยที่สูตรของ Janbu สามารถใช้ได้ในเสาเข็มประเภท Spun Pile ส่วนสูตรของ Modified Gate ใช้ได้ทั้งเสาเข็มหน้าตัดรูปตัวไอและสี่เหลี่ยมตัน

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- ก่อโชค จันทวรารากร. รายงานการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มโครงการการก่อสร้างสนามกีฬา
ประจำจังหวัดเชียงราย. กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2526.
- บุญเทพ นานกรังสรรค์. *Foundation Engineering and Tunnelling*. พิมพ์ครั้งที่ 6.
กรุงเทพมหานคร : บริษัทรุ่งแสงการพิมพ์, 2542.
- ปฐม เฉลยวาเรศ. การทรุดตัวของฐานรากเสาเข็มในชั้นดินเหนียว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
- มณเฑียร กังสศิริเทียม. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร :
บริษัท อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่งจำกัด (มหาชน), 2539.
- มานะ อภิพัฒน์มนตรี. วิศวกรรมปฐพีและฐานราก. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร :
บริษัท ดวงกมลสมัย จำกัด, 2541.
- วรกร ไม้เรียง. เอกสารประกอบการสอน วิชา CE 531 วิศวกรรมฐานราก. กรุงเทพมหานคร :
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2526.
- วรกร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติไกร และ ประทีป ดวงเดือน. *ปฐพีกลศาสตร์ทฤษฎีและปฏิบัติการ*.
กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2526.
- วิชาญ ภูพัฒน์. น้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็ม. รายงานฉบับที่ วว. 30. กรุงเทพมหานคร : กองวิเคราะห์
และวิจัย กรมทางหลวง, 2521.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม.
กรุงเทพมหานคร : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2521.
- วีรพันธ์ ปิณฑกรณ. การคาดคะเนการรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยสมมติฐานการแผ่กระจายแรงในดิน.
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรม
โยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

สนิท พิพิชสมบัติ. สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาถ้ำรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ตอกในดิน.

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.

สุวรรณ เชื้อชาญศิลป์. การส่งถ่ายน้ำหนักสถิตย์และการคาดคะเนความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

ภาษาอังกฤษ

Berezantzev, V. G., V. Khristoforov and V. Golubkov. "Load Bearing Capacity and Deformation of Piled Foundation." **Proc. 5th Int. Conf. S.M. & F.E.** 2 (1961) : 11-15.

Bishop, A. W., et al. "Stability of Flexible Structure (Piles and Pile Groups)." **Proc. 5th Eur. Conf. Soil Mech. Fndn. Eng., Madrid.** 2 (1972) : 239-269.

_____. "The Theory of Indentation and Hardness Test." **Proceedings of Physics Society.** 57 (1945) : 147-159.

Bowles, J. E. **Foundation and Design.** New York : McGraw-Hill Book Co., 1968.

Broms, E. W. "Method of calculating the ultimate bearing capacity of piles : A summary." **Sols-soils.** 5(18-19) : 21-32.

Chin, F. K. "Estimation of the Ultimate Load of Piles from Test Not Carried to Failure." **Proc. 2d. S.E. Asian Conf. Soil Engg.** (1970) : 81-92

Coyle and L. C. Reese. "Load Transfer of Axially Loaded Piles in Clay." **JSMFD, ASCE.** 92 (March 1966) : 1-26.

Fellenius, B. H. "Test loading of piles and new proof testing." **Geotechnical Engineering Div., ASCE 101 (GT9).** (1975) : 855-870.

Flaate, K. S. "An Investigation of the Validity of Three Pile Driving Formulae in Cohesionless Material." **Pub.** 56, (1964).

Holmberg, S. "Load Test in the Bangkok Region of Piles Embedded in Clay." **SEASSE.** 1 (1970) : 61-68.

Kerisel, J. "Deep foundation in sand, variation of ultimate bearing capacity with soil density, depth, diameter and speed of penetration." **Proc. 5th I.C.S.M.F.E.** 2 (1961) : 73-84.

Kishida, H. "Ultimate bearing capacity of piles driven into loose sand." **Soil and Fndus.** 7(3), (1967) : 20-29.

- Ladanyi, B. **Evaluation of pressuremeter test in granular Soil.** 2nd Panamerican. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Sao Paulo, Brazil, Vol. 1 1963 : 3-20.
- Lambe, T. W. and R. V. Whitman. **Soil Mechanics.** New York : John Wiley and Sons Inc., 1969.
- Lec, K. K. **Carring Capacity of Driven and Bored Pile in Bangkok Subsoils.** M.Eng. Thesis, AIT Bangkok, 1979.
- Mazurkiewicz, B. K. Test Loading of Piles According to Polish Regulations. Primary Report No. 35. Commission of Pile Research, Royal Swedish Academy of Engineering Sciences, Stockholm, Sweden : 1972.
- McClelland, B. "Design of deep penetration piles for ocean structures." **Int. Geot. Eng. Div., ASCE 100 (GT7).** (1974) : 705-747.
- McClelland, B., J. A. Focht and W. J. Emrich. "Problems in design and installation of offshore piles." **J.S.M.F.D., ASCE 95 (SM6).** (1969) : 1419-1514.
- Meyerhof, G. G. "Bearing capacity and settlement of pile foundations." **Int. Geot. Eng. Div., ASCE 102 (GT3).** (1976) : 195-228.
- _____. "Penetration test and bearing capacity of cohesionless soils." **J.S.M.F.D., ASCE 82 (SM1).** (1956) : 1-19.
- _____. "The ultimate bearing capacity of foundation." **Geotechnique.** 2(4), (1951) : 301-332.
- Mohan, D. and G. S. Jain. "Bearing Capacity of Piles in Expansive Clays." **5th ICSMFE.** 2 (1961).
- Morgan, J. R. and H. G. Poulos. **Settlement and Stability of Deep Foundation in Soil Mechanics-Selected Topics.** Edited By I. K. Lee. Sydney, Australia : Butterworths, 1968.
- Navfac DM-7. **Soil Mechanics, Foundation and Earth Structure.** Design Manual, Department of the Navy, Washhng, D.C., 1971.
- Olsen, R. E. and K. S. Flaate. "Pile-driving formulas for friction piles in sands." **J.S.M.F.D., ASCE 93 (SM6).** (1967) : 279-296.
- Peck, R. B., W. E. Hansen and T. H. Thornburn. **Foundation Engineering.** 2nd ed. New York : John Wiley and Sons, Inc., 1974.
- _____. **Pile Foundation Analysis and Design.** Singapore : John Wiley and Sons, Inc., 1980.
- Poulos , H. G. and E.H. Davis. **Pile Foundation Analysis and Design.** New York : John Willey and Sons, 1980.

- Skempton, A. W. "Cast-In Situ Bored Piles in London Clay." **Geot.** 9 (1959).
- _____. "The bearing capacity of clays." **Proc. Buldg.** 1 (1951) : 180-189.
- Sorensen, T. and B. Hansen. "Pile Driving Formulae, An Investigation Base on Dimensional Considerations and a Statistical Analysis." **Proc. 4th Int. Conf. S.M. & F.E.** 2 (1957) : 61-65.
- Sowers, G. F., et al. "The Bearing Capacity of Friction Pile Groups in a Homogeneous Clay From model Studies." **5th ICSMFE.** 2 (1961) : 155-159.
- Terzaghi, K. **Soil Mechanics in Engineering Practice.** 2nd ed. New York : John Wiley and Sons, Inc., 1967.
- _____. **Theoretical Soil Mechanics.** New York : Wiley, 1943.
- Tomlinson, M. J. "The adhesion of piles driven in clay soils." **Proc. 4th Conf. S.M. & F.E.** 2 (1957) : 66-71.
- _____. **Pile Design and Construction Practice.** London : Viewpoint Publications, 1980.
- _____. **Some Effects of Pile Driving on Skin Friction.** Conf. on Beh. of Piles, Inst. Civ. Engrs., London, 1970 : 59-66.
- Van Weele, A. F. "A method of Separating the Bearing Capacity of a Test Pile into Skin Friction and Point Resistance." **Proc. 4th Int. Conf. S.M. & F.E.** 2 (1957) : 76.
- Vesic, A. S. "Test on Instrumented Piles Ogeechee River Site." **J. Soil Mech. Found. Div. ASCE.** 96 (SM2). (1970) : 561-584.
- _____. **Investigations of bearing capacity of pile in sand.** Proceedings of North American Conference on Deep Foundations, Mexico City, Vol. 1, 1964 : 197-224.
- _____. **Ultimate Load and Settlements of Deep Foundations in Sand, Proceedings of Symposium on Bearing Capacity and Settlement of Foundation.** N.C. : Duke University, Durham, 1967.
- Whitaker, T. "Experiments with Model Piles in Group." **Geot.** 7 (1957) : 147-167.
- _____. **The Design of Piled Foundations.** London : Pergamon Press, 1970.
- Whitaker, T. and R. W. Cooke. "An Investigation of the Shaft and Base Resistances of Large Bored Piles in London Clay." **Proc. Symp. On Large Bored Pile.** (1966) : 7-49.
- Woodward, R. and J. Boitano. "Pile Loading Test in Stiff Clays." **Proc. 5th Int. Conf. S.M. & F.E.** 2 (1961) : 177.

ภาคผนวก ก

ผลการคำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกประดัยของเสาเข็ม โดยวิธีใช้สูตร Static Pile Formula

ตารางที่ ก-1 การคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static
 Pile Formula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile
 ขนาด Dia. 0.60 m.

PROJECT : โครงการ อาคารเรียนจันทรมกษ (BH-1)

LOCATION : No.29

PILE SIZE, BORED PILE	=	0.60	m.
PILE TIP	=	27.00	m.
PILE PERIMETER, P	=	1.88	m.
PILE TIP AREA, A_p	=	0.157	m ²
PILE WEIGHT, W_p	=	10.17	tons
ULTIMATE PILE SHAFT FRICTION, Q_f	=	$P \cdot \sum(q_f)$	
ULTIMATE PILE TIP BEARING, Q_e	=	$A_p \cdot q_e$	tons
ULTIMATE PILE LOAD, Q_u	=	$Q_f + Q_e - W_p$	tons
ALLOWABLE PILE LOAD, Q_a	=	$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons
OBTAINED Q_f, Q_e FROM จำนวนจาก Boring log			
FACTOR OF SAFETY, F.S.	=	2.5	
BORED PILE 0.6*0.6 m. Wet			

DETAIL OF CALCULATION	Unit	Value
PILE TIP	(m.)	27.00
$\sum(q_f)$	t/m.	150
q_e	t/m ²	21.2
$Q_f = P \cdot \sum(q_f)$	tons.	282
$Q_e = A_p \cdot q_e$	tons.	21.20
$W_p = 2.4 \cdot A_p \cdot L$	tons.	10.17
$Q_u = Q_f + Q_e - W_p$	tons.	293.03
$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons.	111.11
RECOMMENDED, Q_a	tons.	111.11

ตารางที่ ก-2 การคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static
 Pile Formula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile
 ขนาด Dia. 0.60 m.

PROJECT : โครงการ MAHA SAWAT TREATMENT (BH-1)

LOCATION : No. K1

PILE SIZE, BORED PILE	=	0.60	m.
PILE TIP	=	19.40	m.
PILE PERIMETER, P	=	1.88	m.
PILE TIP AREA, A_p	=	0.157	m ²
PILE WEIGHT, W_p	=	7.31	tons
ULTIMATE PILE SHAFT FRICTION, Q_f	=	$P \cdot \sum(q_f)$	
ULTIMATE PILE TIP BEARING, Q_e	=	$A_p \cdot q_e$	tons
ULTIMATE PILE LOAD, Q_u	=	$Q_f + Q_e - W_p$	tons
ALLOWABLE PILE LOAD, Q_a	=	$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons
OBTAINED Q_f, Q_e FROM	คำนวณจาก Boring log		
FACTOR OF SAFETY, F.S.	=	2.5	
BORED PILE 0.6*0.6 m. Wet			

DETAIL OF CALCULATION	Unit	Value
PILE TIP	(m.)	19.40
SUM (q_f)	t/m.	112
q_e	t/m ²	614.0
$Q_f = P \cdot \sum(q_f)$	tons.	210.56
$Q_e = A_p \cdot q_e$	tons.	96.40
$W_p = 2.4 \cdot A_p \cdot L$	tons.	7.31
$Q_u = Q_f + Q_e - W_p$	tons.	299.65
$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons.	115.47
RECOMMENDED, Q_a	tons.	115.47

ตารางที่ ก-3 การคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static
Pile Formula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile
ขนาด Dia. 0.60 m.

PROJECT : โครงการก่อสร้างศูนย์การค้า JJ.MALL BH - 1

LOCATION : ถนนกำแพงเพชร 2 , แขวงลาดยาว, เขตจตุจักร, กรุงเทพมหานคร

PILE SIZE, BORED PILE	=	0.60	m.
PILE TIP	=	25.50	m.
PILE PERIMETER, P	=	1.88	m.
PILE TIP AREA, A_p	=	0.157	m ²
PILE WEIGHT, W_p	=	8.48	tons
ULTIMATE PILE SHAFT FRICTION, Q_f	=	$P \cdot \sum(q_f)$	
ULTIMATE PILE TIP BEARING, Q_e	=	$A_p \cdot q_e$	tons
ULTIMATE PILE LOAD, Q_u	=	$Q_f + Q_e - W_p$	tons
ALLOWABLE PILE LOAD, Q_a	=	$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons
OBTAINED Q_f, Q_e FROM คำนวณจาก Boring log			
FACTOR OF SAFETY, F.S.	=	2.5	
BORED PILE 0.6*0.6 m. Wet			

DETAIL OF CALCULATION	Unit	Value
PILE TIP	(m.)	25.50
$\sum(q_f)$	t/m.	87.00
q_e	t/m ²	1116
$Q_f = P \cdot \sum(q_f)$	tons.	163.56
$Q_e = A_p \cdot q_e$	tons.	175.21
$W_p = 2.4 \cdot A_p \cdot L$	tons.	9.61
$Q_u = Q_f + Q_e - W_p$	tons.	329.16
$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons.	125.90
RECOMMENDED, Q_a	tons.	125.90

ตารางที่ ก-4 การคำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static
 Pile Formula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile
 ขนาด Dia. 0.60 m.

PROJECT : โครงการก่อสร้างศูนย์การค้า JJ.MALL BH - 3

LOCATION : ถนนกำแพงเพชร 2 , แขวงลาดยาว, เขตจตุจักร, กรุงเทพมหานคร

PILE SIZE, BORED PILE	=	0.60	m.
PILE TIP	=	25.50	m.
PILE PERIMETER, P	=	1.88	m.
PILE TIP AREA, A_p	=	0.157	m ²
PILE WEIGHT, W_p	=	8.48	tons
ULTIMATE PILE SHAFT FRICTION, Q_f	=	$P \cdot \sum(q_f)$	
ULTIMATE PILE TIP BEARING, Q_e	=	$A_p \cdot q_e$	tons
ULTIMATE PILE LOAD, Q_u	=	$Q_f + Q_e - W_p$	tons
ALLOWABLE PILE LOAD, Q_a	=	$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons
OBTAINED Q_f, Q_e FROM คำนวณจาก Boring log			
FACTOR OF SAFETY, F.S.	=	2.5	
BORED PILE 0.6*0.6 m. Wet			

DETAIL OF CALCULATION	Unit	Value
PILE TIP	(m.)	25.50
SUM (q_f)	t/m.	88.70
q_e	t/m ²	1190
$Q_f = P \cdot \sum(q_f)$	tons.	166.756
$Q_e = A_p \cdot q_e$	tons.	186.83
$W_p = 2.4 \cdot A_p \cdot L$	tons.	9.61
$Q_u = Q_f + Q_e - W_p$	tons.	343.98
$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons.	131.83
RECOMMENDED, Q_a	tons.	131.83

108
ตารางที่ ก-5 การคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static
 Pile Fumula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile
 ขนาด Dia. 0.60 m.

PROJECT : โครงการ MAHA SAWAT TREATMENT (BH-6)
LOCATION : No. K5

PILE SIZE, BORED PILE	=	0.60	m.
PILE TIP	=	22.00	m.
PILE PERIMETER, P	=	1.88	m.
PILE TIP AREA, A _p	=	0.157	m ²
PLIE WEIGHT, W _p	=	7.31	tons
ULTIMATE PILE SHAFT FRICTION, Q _f	=	P*SUM(q _f)	
ULTIMATE PILE TIP BEARING, Q _e	=	A _p *q _e	tons
ULTIMATE PILE LOAD, Q _u	=	Q _f + Q _e -W _p	tons
ALLOWABLE PILE LOAD, Q _a	=	((Q _f +Q _e)/2.5)-W _p	tons
OBTAINED Q _f Q _e FROM คำนวณจาก Boring log			
FACTOR OF SAFTY, F.S.		2.5	
BORED PILE 0.6*0.6 m. Wet			

DETAIL OF CALCULATION	Unit	Value
PILE TIP	(m.)	19.40
SUM (q _f)	t/m.	112
q _e	t/m^2	592.0
Q _f =P*SUM(q _f)	tons.	207
Q _e =A _p *q _e	tons.	92.94
W _p =2.4*A _p *L	tons.	7.31
Q _u =Q _e + Q _e -W _p	tons.	292.63
((Q _f +Q _e)/2.5)-W	tons.	112.67
RECOMMENNDDED, Q _a	tons.	112.67

ตารางที่ ก-6 การคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static
 Pile Fumula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile
 ขนาด Dia. 0.60 m.

PROJECT : โครงการ ETA. (BH-1)

LOCATION : No. K222

PILE SIZE, BORED PILE	=	0.60	m.
PILE TIP	=	31.00	m.
PILE PERIMETER, P	=	1.88	m.
PILE TIP AREA, A_p	=	0.157	m ²
PILE WEIGHT, W_p	=	11.68	tons
ULTIMATE PILE SHAFT FRICTION, Q_f	=	$P \cdot \sum(q_f)$	
ULTIMATE PILE TIP BEARING, Q_e	=	$A_p \cdot q_e$	tons
ULTIMATE PILE LOAD, Q_u	=	$Q_f + Q_e - W_p$	tons
ALLOWABLE PILE LOAD, Q_a	=	$((Q_f + Q_e) / 2.5) - W_p$	tons
OBTAINED Q_f, Q_e FROM คำนวณจาก Boring log			
FACTOR OF SAFTY, F.S.	=	2.5	
BORED PILE 0.6*0.6 m. Wet			

DETAIL OF CALCULATION	Unit	Value
PILE TIP	(m.)	31.00
SUM (q_f)	t/m.	177
q_e	t/m ²	368.0
$Q_f = P \cdot \sum(q_f)$	tons.	332.76
$Q_e = A_p \cdot q_e$	tons.	57.78
$W_p = 2.4 \cdot A_p \cdot L$	tons.	11.68
$Q_u = Q_f + Q_e - W_p$	tons.	378.86
$((Q_f + Q_e) / 2.5) - W_p$	tons.	144.53
RECOMMENDEED, Q_a	tons.	144.53

ตารางที่ ก-7 การคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static
 Pile Fumula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile
 ขนาด Dia. 0.60 m.

PROJECT : โครงการก่อสร้างสะพานทางหลวง 34 ตอนบางนา-สุวรรณภูมิ (No.U8) BH - 2

LOCATION : ถ. บางนา-สุวรรณภูมิ

PILE SIZE, BORED PILE	=	0.60	m.
PILE TIP	=	26.80	m.
PILE PERIMETER, P	=	1.88	m.
PILE TIP AREA, A_p	=	0.157	m ²
PILE WEIGHT, W_p	=	8.48	tons
ULTIMATE PILE SHAFT FRICTION, Q_f	=	$P \cdot \sum(q_f)$	
ULTIMATE PILE TIP BEARING, Q_e	=	$A_p \cdot q_e$	tons
ULTIMATE PILE LOAD, Q_u	=	$Q_f + Q_e - W_p$	tons
ALLOWABLE PILE LOAD, Q_a	=	$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons
OBTAINED Q_f, Q_e FROM คำนวณจาก Boring log			
FACTOR OF SAFTY, F.S.	=	2.5	
BORED PILE 0.6*0.6 m. Wet			

DETAIL OF CALCULATION	Unit	Value
PILE TIP	(m.)	26.80
SUM (q_f)	t/m.	119.50
q_e	t/m ²	577
$Q_f = P \cdot \sum(q_f)$	tons.	224.66
$Q_e = A_p \cdot q_e$	tons.	90.59
$W_p = 2.4 \cdot A_p \cdot L$	tons.	10.10
$Q_u = Q_f + Q_e - W_p$	tons.	305.15
$((Q_f + Q_e)/2.5) - W$	tons.	116.00
RECOMMENND, Q_a	tons.	116.00

ตารางที่ ก-8 การคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static
 Pile Formula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile
 ขนาด Dia. 0.60 m.

PROJECT : โครงการก่อสร้างสะพานทางหลวง 34 ตอนบางนา-สุวรรณภูมิ (No.U8) BH - 8

LOCATION : ถ. บางนา-สุวรรณภูมิ

PILE SIZE, BORED PILE	=	0.60	m.
PILE TIP	=	26.80	m.
PILE PERIMETER, P	=	1.88	m.
PILE TIP AREA, A_p	=	0.157	m ²
PILE WEIGHT, W_p	=	8.48	tons
ULTIMATE PILE SHAFT FRICTION, Q_f	=	$P \cdot \sum(q_f)$	
ULTIMATE PILE TIP BEARING, Q_e	=	$A_p \cdot q_e$	tons
ULTIMATE PILE LOAD, Q_u	=	$Q_f + Q_e - W_p$	tons
ALLOWABLE PILE LOAD, Q_a	=	$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons
OBTAINED Q_f, Q_e FROM คำนวณจาก Boring log			
FACTOR OF SAFETY, F.S.	=	2.5	
BORED PILE 0.6*0.6 m. Wet			

DETAIL OF CALCULATION	Unit	Value
PILE TIP	(m.)	29.75
$\sum(q_f)$	t/m.	137.00
q_e	t/m ²	488
$Q_f = P \cdot \sum(q_f)$	tons.	257.56
$Q_e = A_p \cdot q_e$	tons.	76.62
$W_p = 2.4 \cdot A_p \cdot L$	tons.	11.21
$Q_u = Q_f + Q_e - W_p$	tons.	322.97
$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons.	122.46
RECOMMENDED, Q_a	tons.	122.46

ตารางที่ ก-9 การคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static
 Pile Formula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile
 ขนาด Dia. 0.60 m.

PROJECT : โครงการก่อสร้างสะพานทางหลวง 34 ตอนบางนา-สุวรรณภูมิ (No.U8) BH - 3

LOCATION : ถ. บางนา-สุวรรณภูมิ

PILE SIZE, BORED PILE	=	0.60	m.
PILE TIP	=	27.75	m.
PILE PERIMETER, P	=	1.88	m.
PILE TIP AREA, A_p	=	0.157	m ²
PILE WEIGHT, W_p	=	8.48	tons
ULTIMATE PILE SHAFT FRICTION, Q_f	=	$P \cdot \sum(q_f)$	
ULTIMATE PILE TIP BEARING, Q_e	=	$A_p \cdot q_e$	tons
ULTIMATE PILE LOAD, Q_u	=	$Q_f + Q_e - W_p$	tons
ALLOWABLE PILE LOAD, Q_a	=	$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons
OBTAINED Q_f, Q_e FROM คำนวณจาก Boring log			
FACTOR OF SAFETY, F.S.	=	2.5	
BORED PILE 0.6*0.6 m. Wet			

DETAIL OF CALCULATION	Unit	Value
PILE TIP	(m.)	27.75
SUM (q_f)	t/m.	124.10
q_e	t/m ²	594.5
$Q_f = P \cdot \sum(q_f)$	tons.	233.31
$Q_e = A_p \cdot q_e$	tons.	93.34
$W_p = 2.4 \cdot A_p \cdot L$	tons.	10.46
$Q_u = Q_f + Q_e - W_p$	tons.	316.19
$((Q_f + Q_e)/2.5) - W$	tons.	120.20
RECOMMENDEED, Q_a	tons.	120.20

ตารางที่ ก-10 การคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธี ใช้สูตร Static
 Pile Formula โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ของเสาเข็ม Spun Pile
 ขนาด Dia. 0.60 m.

PROJECT : โครงการก่อสร้างสะพานทางหลวง 34 ตอนบางนา-สุวรรณภูมิ (No.U8) BH - 5

LOCATION : ถ. บางนา-สุวรรณภูมิ

PILE SIZE, BORED PILE	=	0.60	m.
PILE TIP	=	26.80	m.
PILE PERIMETER, P	=	1.88	m.
PILE TIP AREA, A_p	=	0.157	m ²
PILE WEIGHT, W_p	=	8.48	tons
ULTIMATE PILE SHAFT FRICTION, Q_f	=	$P \cdot \sum(q_f)$	
ULTIMATE PILE TIP BEARING, Q_e	=	$A_p \cdot q_e$	tons
ULTIMATE PILE LOAD, Q_U	=	$Q_f + Q_e - W_p$	tons
ALLOWABLE PILE LOAD, Q_a	=	$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons
OBTAINED Q_f, Q_e FROM คำนวณจาก Boring log			
FACTOR OF SAFETY, F.S.	=	2.5	
BORED PILE 0.6*0.6 m. Wet			

DETAIL OF CALCULATION	Unit	Value
PILE TIP	(m.)	26.00
SUM (q_f)	t/m.	116.20
q_e	t/m ²	589.5
$Q_f = P \cdot \sum(q_f)$	tons.	218.456
$Q_e = A_p \cdot q_e$	tons.	92.55
$W_p = 2.4 \cdot A_p \cdot L$	tons.	9.80
$Q_U = Q_f + Q_e - W_p$	tons.	301.21
$((Q_f + Q_e)/2.5) - W_p$	tons.	114.61
RECOMMENDEED, Q_a	tons.	114.61

ภาคผนวก ข

การคำนวณจากสูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula)

MR. Paisan Suakaew**BLOW COUNT CALCULATION****MODIFIED GATE FORMULA**

PROJECT : อาคาร JJ.MALL

For Spun Pile section = 0.60 (1571) 25.15 m. 2/w
 Safe load = 100 Tons

Pilling No. : 1350

Given;

A = Section Area of Piles = 0.1571 m.²

h = Height of Hammer drop = 0.60 m.

L = Length of Pile driven in soil = 25.15 m.

N = No. of blow count in 0.30 m. = 110 Blows.

W = Weight of Hammer = 7.00 Tons.

s = 0.30 / N = 0.0027 m/Blow

t = Narrow of Section Pile = 0.60 m.

Rc = (SQRT Wh) (44 .6(log (t / s)) +8.22) = 230.95 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 336.20 Tons > 230.9 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 92.38 Tons < 100 Tons no ok

So Use Last 10 blows = 2.7 cm.

So use blow count = 110 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION

JANBU FORMULA

PROJECT : อาคาร JJ.MALL

For Spun Pile section = 0.60 (1571) 25.15 m. 2/w
 Safe load = 100 Tons

Piling No. : 1350

Given;

A = Section Area of Piles = 0.1571 m^2
 h = Height of Hammer drop = 0.60 m.
 L = Length of Pile driven in soil = 25.15 m.
 N = No. of blow count in 0.30 m. = 110 Blows.
 W = Weight of Hammer = 7.00 Tons.
 w = Weight of pile = 0.000 Tons.
 e = 0.80

C = $0.75 + [0.15 (w / W)]$ = 0.7500

s = $0.30 / N$ = 0.003 m/Blow

E = Elastic modulus of pile = $3,376,000 \text{ T/m}^2$

R = $Wh / AE (s)^2$ = 26.776

K = $C (1 + \text{SQRT} (1 + R/C))$ = 5.294

a = eWh = 3.360

b = L / AE = 0.000047

Rc = $2.14 Wh / Ks + 0.5 \text{ SQRT} (2ab)$ = 384.71 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 336.20 < 384.7 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 153.89 Tons > 100 Tons ok

So Use Last 10 blows = 2.7 cm.

or use blow count = 110 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION					
DANISH FORMULA					
PROJECT :	อาคาร JJ.MALL				
Piling No. :	1350				
For	Spun Pile section	=	0.60 (1571)	25.15 m.	2/w
	Safe load	=	100	Tons	
Given;					
A	= Section Area of Piles	=	0.1571 m ² .		
h	= Height of Hammer drop	=	0.60 m.		
L	= Length of Pile driven in soil	=	25.15 m.		
N	= No. of blow count in 0.30 m.	=	110 Blows.		
W	= Weight of Hammer	=	7.00 Tons.		
w	= Weight of pile	=	0.000 Tons.		
E	= Elastic Modulus				
E	= 15120 SQRT(fc'); fc' = 350	=	3,376,000 T/m ²		
C		=	0.80		
s	= 0.30 / N	=	0.0027 m/Blow		
a	= Wh	=	4.200		
Rc	= Ca / (s + SQRT (CaL / 2AE))	=	288.34 Tons		
กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC		=	336.20 Tons	> 288.3 Tons	
For S.F.	= 2.50	Safe Load	= 115.34 Tons	> 100 Tons	ok
So Use Last 10 blows		=	2.7 cm.		
or use blow count		=	110 Blows/foot		

MR. Paisan Suakaew**BLOW COUNT CALCULATION****MODIFIED GATE FORMULA**PROJECT : **หอพัก นศ. 4 ชั้น KMUTT บางขุนเทียน**

For Spun Pile section = 0.60 (1571) 26.58 m.
 Safe load = 120 Tons

Pilling No. : 133

Given;

A = Section Area of Piles = 0.1571 m.²

h = Height of Hammer drop = 0.80 m.

L = Length of Pile driven in soil = 26.58 m.

N = No. of blow count in 0.30 m. = 70 Blows.

W = Weight of Hammer = 8.00 Tons.

s = 0.30 / N = 0.0043 m/Blow

t = Narrow of Section Pile = 0.60 m.

Rc = (SQRT Wh)(44 .6(log (t / s)) +8.22) = 262.94 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 432.40 Tons > 262.9 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 105.18 Tons < 120 Tons

So Use Last 10 blows = 4.3 cm. no ok

So use blow count = 70 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION

JANBU FORMULA

PROJECT : หอพัก นศ. 4 ชั้น KMUTT บางขุนเทียน

For Spun Pile section = 0.60 ((1571) 26.58 m. 2/w
 Safe load = 120 Tons

Pilling No. : 133

Given;

A = Section Area of Piles = 0.1571 m.²
 h = Height of Hammer drop = 0.80 m.
 L = Length of Pile driven in soil = 26.58 m.
 N = No. of blow count in 0.30 m. = 70 Blows.
 W = Weight of Hammer = 8.00 Tons.
 w = Weight of pile = 0.000 Tons.

e = 0.80

C = 0.75 + [0.15 (w / W)] = 0.7500

s = 0.30 / N = 0.004 m/Blow

E = Elastic modulus of pile = 3,376,000 T/m²R = Whl / AE (s)² = 17.463

K = C(1 + SQRT (1 + R/C)) = 4.446

a = eWh = 5.120

b = L / AE = 0.000050

Re = 2.14 Wh / Ks + 0.5 SQRT (2ab) = 450.81 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 432.40 Tons < 450.8 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 180.33 Tons > 120 Tons ok

So Use Last 10 blows = 4.3 cm.

or use blow count = 70 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION					
DANISH FORMULA					
PROJECT :	หอพัก นศ. 4 ชั้น KMUTT บางขุนเทียน				
Piling No. :	133				
For	Spun Pile section	=	0.60 (1571)	26.58 m.	2/w
	Safe load	=	120	Tons	
Given;					
A	= Section Area of Piles	=	0.1571 m ² .		
h	= Height of Hammer drop	=	0.80 m.		
L	= Length of Pile driven in soil	=	26.58 m.		
N	= No. of blow count in 0.30 m.	=	70 Blows.		
W	= Weight of Hammer	=	8.00 Tons.		
w	= Weight of pile	=	0.000 Tons.		
E	= Elastic Modulus				
E	= 15120 SQRT(fc'); fc' = 350	=	3,376,000 T/m ²		
C		=	0.80		
s	= 0.30 / N	=	0.0043 m/Blow		
a	= Wh	=	6.400		
Rc	= Ca / (s + SQRT (CaL / 2AE))	=	327.94 Tons		
กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC		=	432.40 Tons	> 327.9	Tons
For S.F.	= 2.50	Safe Load =	131.18 Tons	> 120	Tons ok
So Use Last 10 blows		=	4.3 cm.		
or use blow count		=	70 Blows/foot		

MR. Paisan Suakaew**BLOW COUNT CALCULATION****MODIFIED GATE FORMULA**PROJECT : **คลองหล่อ 15**

For Spun Pile section = 0.60 (1571) 26.02 m. 2/w
 Safe load = 100 Tons

Piling No. 31

Given;

A = Section Area of Piles = 0.1571 m.²

h = Height of Hammer drop = 0.70 m.

L = Length of Pile driven in soil = 26.02 m.

N = No. of blow count in 0.30 m. = 37 Blows.

W = Weight of Hammer = 7.00 Tons.

s = 0.30 / N = 0.0081 m/Blow

t = Diameter of Section Pile = 0.60 m.

Rc = (SQRT Wh)(44 .6(log (t / s)) +8.22) = 202.74 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 234.60 Tons > 202.7 Tons

For S.F = 2.5 Safe Load = 81.10 Tons < 100 Tons no ok

So Use Last 10 blows = 8.1 cm.

So use blow count = 37 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION

JANBU FORMULA

PROJECT : ทอหงษ์ 15

For Spun Pile section = 0.60 ((1571) 26.02 m. 2/w
 Safe load = 100 Tons

Pilling No. : 31

Given;

A = Section Area of Piles = 0.1571 m.²
 h = Height of Hammer drop = 0.70 m.
 L = Length of Pile driven in soil = 26.02 m.
 N = No. of blow count in 0.30 m. = 37 Blows.
 W = Weight of Hammer = 7.00 Tons.
 w = Weight of pile = 0.000 Tons.
 c = 0.80
 C = 0.75 + [0.15 (w / W)] = 0.7500

s = 0.30 / N = 0.008 m/Blow
 E = Elastic modulus of pile = 3,376,000 T/m²
 R = Whl / AE (s)² = 3.657

K = C (1 + SQRT (1 + R/C)) = 2.568

a = cWh = 3.920

b = L / AE = 0.000049

Rc = 2.14 Wh / Ks + 0.5 SQRT (2ab) = 342.37 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 234.60 Tons < 342.4 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 136.95 Tons > 100 Tons ok

So Use Last 10 blows = 8.1 cm.

or use blow count = 37 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION					
DANISH FORMULA					
PROJECT :	ทองหล่อ 15				
Piling No. :	31				
For	Spun Pile section	=	0.60 (1571)	26.02 m.	2/w
	Safe load	=	100	Tons	
Given;					
A	= Section Area of Piles	=	0.1571 m ² .		
h	= Height of Hammer drop	=	0.70 m.		
L	= Length of Pile driven in soil	=	26.02 m.		
N	= No. of blow count in 0.30 m.	=	37 Blows.		
W	= Weight of Hammer	=	7.00 Tons.		
w	= Weight of pile	=	0.000 Tons.		
E	= Elastic Modulus				
E	= 15120 SQRT(fc'); fc' = 350	=	3,376,000 T/m ²		
C		=	0.80		
s	= 0.30 / N	=	0.0081 m/Blow		
a	= Wh	=	4.900		
Rc	= Ca / (s + SQRT (CaL / 2AE))	=	218.82 Tons		
กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC		=	234.60 Tons	> 218.8	Tons
For S.F.	= 2.50	Safe Load	= 87.53 Tons	< 100	Tons no
So Use Last 10 blows		=	8.1 cm.		
or use blow count		=	37 Blows/foot		

MR. Paisan Suakaew**BLOW COUNT CALCULATION****MODIFIED GATE FORMULA****PROJECT : เขื่อนห้วยลัดดาภิเษ**

For Spun Pile section = 0.80 (2564) 25.35 m.
 Safe load = 170 Tons

Pilling No. : 81**Given;**A = Section Area of Piles = 0.2564 m.²

h = Height of Hammer drop = 0.80 m.

L = Length of Pile driven in soil = 25.35 m.

N = No. of blow count in 0.30 m. = 65 Blows.

W = Weight of Hammer = 12.50 Tons.

s = 0.30 / N = 0.0046 m/Blow

t = Narrow of Section Pile = 0.80 m.

Rc = (SQRT Wh)(44 .6(log (t / s)) +8.22) = 341.76 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 437.50 Tons > 341.8 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 136.70 Tons < 170 Tons

So Use Last 10 blows = 4.6 cm. no ok

So use blow count = 65 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION				
JANBU FORMULA				
PROJECT :		เขื่อนหริภคร์รัตนานิเบศร์		
For	Spun Pile section	=	0.80 (2564)	25.35 m. 2/w
	Safe load	=	170	Tons
Pilling No. :		81		
Given;				
A	= Section Area of Piles	=	0.2564 m. ²	
h	= Height of Hammer drop	=	0.80 m.	
L	= Lenght of Pile driven in soil	=	25.35 m.	
N	= No. of blow count in 0.30 m.	=	65 Blows.	
W	= Weight of Hammer	=	12.50 Tons.	
w	= Weight of pile	=	0.000 Tons.	
	e	=	0.90	
C	= 0.75 + [0.15 (w / W)]	=	0.7500	
s	= 0.30 / N	=	0.005 m/Blow	
E	= Elastic modulus of pile	=	3,376,000 T/m ²	
R	= Whl / AE (s) ²	=	13.748	
K	= C(1 + SQRT (1 + R/C))	=	4.048	
a	= eWh	=	9.000	
b	= L / AE	=	0.000029	
Re	= 2.14 Wh / Ks + 0.5 SQRT (2ab)	=	709.53 Tons	
กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC		=	437.50 Tons	< 709.5 Tons
For S.F.	= 2.5	Safe Load	= 283.81 Tons	> 170 Tons ok
So Use Last 10 blows		=	4.6 cm.	
or use blow count		=	65 Blows/foot	

BLOW COUNT CALCULATION					
DANISH FORMULA					
PROJECT :	เขื่อนลำนานาธิเบศร์				
Piling No. :	81				
For	Spun Pile section	=	0.80 (2564)	25.35 m.	2/w
	Safe load	=	170	Tons	
Given;					
A	= Section Area of Piles	=	0.2564 m ² .		
h	= Height of Hammer drop	=	0.80 m.		
L	= Length of Pile driven in soil	=	25.35 m.		
N	= No. of blow count in 0.30 m.	=	65 Blows.		
W	= Weight of Hammer	=	12.50 Tons.		
w	= Weight of pile	=	0.000 Tons.		
E	= Elastic Modulus				
E	= 15120 SQRT(fc'); fc' = 350	=	3,376,000 T/m ²		
C		=	0.80		
s	= 0.30 / N	=	0.0046 m/Blow		
a	= Wh	=	10.000		
Rc	= Ca / (s + SQRT (CaL / 2AE))	=	518.18 Tons		
กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC		=	437.50 Tons	< 518.2	Tons
For S.F.	= 2.50	Safe Load	= 207.27 Tons	> 170	Tons ok
So Use Last 10 blows		=	4.6 cm.		
or use blow count		=	65 Blows/foot		

MR. Paisan Suakaew

BLOW COUNT CALCULATION

MODIFIED GATE FORMULA

PROJECT : ธาราพาร์ค ถ.แจ้งวัฒนะ

For	1 - section	=	0.40 (1235)	22.82 m.	2/w
	Safe load	=	70 Tons		

Piling No. : 33

Given;

$$A = \text{Section Area of Piles} = 0.1235 \text{ m}^2$$

h = Height of Hammer drop = 0.60 m.

$$L = \text{Length of Pile driven in soil} = 22.82 \text{ m.}$$

N = No. of blow count in 0.30 m. = 73 Blows.

W = Weight of Hammer = 5.50 Tons.

$$s = 0.30 / N = 0.0041 \text{ m/Blow}$$
$$t = \text{Narrow of Section Pile} = 0.40 \text{ m.}$$
$$R_c = (\text{SQRT } W_h)(44.6(\log(t/s)) + 8.22) = 176.02 \text{ Tons}$$

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 157.90 Tons < 176.0 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 70.41 Tons > 70 Tons ok

So Use Last 10 blows = 4.1 cm.

So use blow count = 73 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION

JANBU FORMULA

PROJECT : ธาราพาร์ค ถ.แจ้งวัฒนะ

For I - section = 0.40 (1235) 22.82 m. 2/w
 Safe load = 70 Tons

Pilling No. : 33

Given;

A = Section Area of Piles = 0.1235 m.²
 h = Height of Hammer drop = 0.60 m.
 L = Length of Pile driven in soil = 22.82 m.
 N = No. of blow count in 0.30 m. = 73 Blows.
 W = Weight of Hammer = 5.50 Tons.
 w = Weight of pile = 0.000 Tons.
 c = 0.80

C = 0.75 + [0.15 (w / W)] = 0.7500

s = 0.30 / N = 0.004 m/Blow

E = Elastic modulus of pile = 3,376,000 T/m²

R = Whl / AE (s)² = 10.692

K = C (1 + SQRT (1 + R/C)) = 3.679

a = eWh = 2.640

b = L / AE = 0.000055

Re = 2.14 Wh / Ks + 0.5 SQRT (2ab) = 298.98 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 157.90 Tons < 299.0 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 119.59 Tons > 70 Tons ok

So Use Last 10 blows = 4.1 cm.

or use blow count = 73 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION					
DANISH FORMULA					
PROJECT :	ธาราทาร์ค ด.แจ้งวัฒนะ				
Piling No. :	33				
For	I - section	=	0.40 (1235)	22.82 m.	2/w
	Safe load	=	70	Tons	
Given;					
A	= Section Area of Piles	=	0.1235 m ² .		
h	= Height of Hammer drop	=	0.60 m.		
L	= Length of Pile driven in soil	=	22.82 m.		
N	= No. of blow count in 0.30 m.	=	73 Blows.		
W	= Weight of Hammer	=	5.50 Tons.		
w	= Weight of pile	=	0.000 Tons.		
E	= Elastic Modulus				
E	= 15120 SQRT(fc'); fc' = 350	=	3,376,000 T/m ²		
C		=	0.80		
s	= 0.30 / N	=	0.0041 m/Blow		
a	= Wh	=	3.300		
Rc	= Ca / (s + SQRT (CaL / 2AE))	=	209.38 Tons		
กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC		=	157.90 Tons	< 209.4	Tons
For S.F.	= 2.50	Safe Load	= 83.75 Tons	> 70	Tons ok
So Use Last 10 blows		=	4.1 cm.		
or use blow count		=	73 Blows/foot		

MR. Paisan Suakaew**BLOW COUNT CALCULATION****MODIFIED GATE FORMULA**

PROJECT : อาคารปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ธรรมศาสตร์

For I - section = 0.35 (880) 22.33 m. 2/w

Safe load = 45 Tons

Pilling No. : 5

Given;

A = Section Area of Piles = 0.0880 m.²

h = Height of Hammer drop = 0.50 m.

L = Length of Pile driven in soil = 22.33 m.

N = No. of blow count in 0.30 m. = 100 Blows.

W = Weight of Hammer = 5.10 Tons.

s = 0.30 / N = 0.0030 m/Blow

t = Narrow of Section Pile = 0.35 m.

Rc = (SQRT Wh)(44 .6(log (t / s)) +8.22) = 160.34 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 113.00 Tons < 160.3 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 64.13 Tons > 45 Tons ok

So Use Last 10 blows = 3.0 cm.

So use blow count = 100 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION

JANBU FORMULA

PROJECT : อาคารปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ธรรมศาสตร์

For I - section = 0.35 ((880) 22.33 m. 2/w

Safe load = 45 Tons

Piling No. : 5

Given;

A = Section Area of Piles = 0.0880 m.²

h = Height of Hammer drop = 0.50 m.

L = Length of Pile driven in soil = 22.33 m.

N = No. of blow count in 0.30 m. = 100 Blows.

W = Weight of Hammer = 5.10 Tons.

w = Weight of pile = 0.000 Tons.

c = 0.80

C = $0.75 + [0.15 (w / W)]$ = 0.7500s = $0.30 / N$ = 0.003 m/BlowE = Elastic modulus of pile = 3,376,000 T/m²R = $Whl / AE (s)^2$ = 21 296K = $C(1 + \text{SQRT}(1 + R/C))$ = 4.816

a = cWh = 2.040

b = L / AE = 0.000075

Re = $2.14 Wh / Ks + 0.5 \text{ SQRT}(2ab)$ = 235.17 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 113.00 Tons < 235.2 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 94.07 Tons > 45 Tons ok

So Use Last 10 blows = 3.0 cm.

or use blow count = 100 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION					
DANISH FORMULA					
PROJECT :	อาคารปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ธรรมศาสตร์				
Piling No. :	5				
For	I - section	=	0.35 (880)	22.33 m.	2/w
	Safe load	=	45	Tons	
Given;					
A	= Section Area of Piles	=	0.0880 m ² .		
h	= Height of Hammer drop	=	0.50 m.		
L	= Length of Pile driven in soil	=	22.33 m.		
N	= No. of blow count in 0.30 m.	=	100 Blows.		
W	= Weight of Hammer	=	5.10 Tons.		
w	= Weight of pile	=	0.000 Tons.		
E	= Elastic Modulus				
E	= 15120 SQRT(fc'); fc' = 350	=	3,376,000 T/m ²		
C		=	0.80		
s	= 0.30 / N	=	0.0030 m/Blow		
a	= Wh	=	2.550		
Rc	= Ca / (s + SQRT (CaL / 2AE))	=	173.53 Tons		
กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC		=	113.00 Tons	< 173.5	Tons
For S.F.	= 2.50	Safe Load	= 69.41 Tons	> 45	Tons ok
So Use Last 10 blows		=	3.0 cm.		
or use blow count		=	100 Blows/foot		

MR. Paisan Suakaew**BLOW COUNT CALCULATION****MODIFIED GATE FORMULA**PROJECT : **โรงพิมพ์ธนบัตร แห่งที่ 2 ถ.ปิ่นเกล้า-นครชัยศรี จ.นครปฐม**

For I - section = 0.40 (1235) 19.30 m. 2/w
 Safe load = 60 Tons

Pilling No. : 156

Given;

A = Section Area of Piles = 0.1235 m.^2

h = Height of Hammer drop = 0.65 m.

L = Length of Pile driven in soil = 19.30 m.

N = No. of blow count in 0.30 m. = 54 Blows.

W = Weight of Hammer = 6.70 Tons.

s = $0.30 / N$ = 0.0056 m/Blow

t = Narrow of Section Pile = 0.40 m.

 $R_c = (\text{SQRT } Wh)(44.6(\log(t/s)) + 8.22)$ = 190.02 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 200.60 Tons > 190.0 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 76.01 Tons > 60 Tons ok

So Use Last 10 blows = 5.6 cm.

So use blow count = 54 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION

JANBU FORMULA

PROJECT : โรงพิมพ์ธนบัตร แห่งที่ 2 ต.ปิ่นเกล้า-นครชัยศรี จ.นครปฐม

For I - section = 0.40 ((1235) 19.30 m. 2/w
 Safe load = 60 Tons

Pilling No. : 156

Given;

A = Section Area of Piles = 0.1235 m.²
 h = Height of Hammer drop = 0.65 m.
 L = Length of Pile driven in soil = 19.30 m.
 N = No. of blow count in 0.30 m. = 54 Blows.
 W = Weight of Hammer = 6.70 Tons.
 w = Weight of pile = 0.000 Tons.
 c = 0.80

C = $0.75 + [0.15 (w / W)]$ = 0.7500

s = $0.30 / N$ = 0.006 m/Blow

E = Elastic modulus of pile = 3,376,000 T/m²

R = $Whl / AE (s)^2$ = 6.532

K = $C (1 + SQRT (1 + R/C))$ = 3.087

a = eWh = 3.484

b = L / AE = 0.000046

Re = $2.14 Wh / Ks + 0.5 SQRT (2ab)$ = 356.67 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 200.60 Tons < 356.7 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 142.67 Tons > 60 Tons ok

So Use Last 10 blows = 5.6 cm.

or use blow count = 54 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION					
DANISH FORMULA					
PROJECT :	โรงพิมพ์ธนบัตร แห่งที่ 2 ถ.ปิ่นเกล้า-นครชัยศรี จ.นครปฐม				
Piling No. :	3001				
For	I - section	=	0.40 (1235)	19.30 m.	2/w
	Safe load	=	60	Tons	
Given;					
A	= Section Area of Piles	=	0.1235 m ² .		
h	= Height of Hammer drop	=	0.65 m.		
L	= Length of Pile driven in soil	=	19.30 m.		
N	= No. of blow count in 0.30 m.	=	54 Blows.		
W	= Weight of Hammer	=	6.70 Tons.		
w	= Weight of pile	=	0.000 Tons.		
E	= Elastic Modulus				
E	= 15120 SQRT(fc'); fc' = 350	=	3,376,000 T/m ²		
C		=	0.80		
s	= 0.30 / N	=	0.0056 m/Blow		
a	= Wh	=	4.355		
Rc	= Ca / (s + SQRT (CaL / 2AE))	=	239.69 Tons		
กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC		=	200.60 Tons	< 239.7	Tons
For S.F.	= 2.50	Safe Load =	95.88 Tons	> 60	Tons ok
So Use Last 10 blows		=	5.6 cm.		
or use blow count		=	54 Blows/foot		

MR. Paisan Suakaew**BLOW COUNT CALCULATION****MODIFIED GATE FORMULA**

PROJECT : Home work พัทยา จ.ชลบุรี

For Square section = 0.40 (1600) 9.00 m. 2/w
 Safe load = 40 Tons

Piling No. : 558

Given;

A = Section Area of Piles = 0.1600 m.²

h = Height of Hammer drop = 0.80 m.

L = Length of Pile driven in soil = 9.00 m.

N = No. of blow count in 0.30 m. = 91 Blows.

W = Weight of Hammer = 5.80 Tons.

s = 0.30 / N = 0.0033 m/Blow

t = Narrow of Section Pile = 0.40 m.

Rc = (SQRT Wh)(44 .6(log (t / s)) +8.22) = 217.92 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 148.80 Tons < 217.9 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 87.17 Tons > 40 Tons ok

So Use Last 10 blows = 3.3 cm.

So use blow count = 91 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION

JANBU FORMULA

PROJECT : Home work พัทยา จ.ชลบุรี

For Square section = 0.40 ((1600) 9.00 m. 2/w
 Safe load = 40 Tons

Pilling No. : 558

Given;

A = Section Area of Piles = 0.1600 m.²
 h = Height of Hammer drop = 0.80 m.
 L = Length of Pile driven in soil = 9.00 m.
 N = No. of blow count in 0.30 m. = 91 Blows.
 W = Weight of Hammer = 5.80 Tons.
 w = Weight of pile = 0.000 Tons.
 e = 0.80

C = 0.75 + [0.15 (w / W)] = 0.7500

s = 0.30 / N = 0.003 m/Blow

E = Elastic modulus of pile = 3,376,000 T/m²

R = Whl / AE (s)² = 7.113

K = C(1 + SQRT (1 + R/C)) = 3.178

a = eWh = 3.712

b = L / AE = 0.000017

Rc = 2.14 Wh / Ks + 0.5 SQRT (2ab) = 619.07 Tons

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 148.80 Tons < 619.1 Tons

For S.F. = 2.5 Safe Load = 247.63 Tons > 40 Tons ok

So Use Last 10 blows = 3.3 cm.

or use blow count = 91 Blows/foot

BLOW COUNT CALCULATION

DANISH FORMULA

PROJECT : Home work พัทยา จ.ชลบุรี

Piling No. : 558

For Square section = 0.40 (1600) 9.00 m. 2/w

Safe load = 40 Tons

Given;

A = Section Area of Piles = 0.1600 m^2 .

h = Height of Hammer drop = 0.80 m.

L = Length of Pile driven in soil = 9.00 m.

N = No. of blow count in 0.30 m. = 91 Blows.

W = Weight of Hammer = 5.80 Tons.

w = Weight of pile = 0.000 Tons.

E = Elastic Modulus

 $E = 15120 \text{ SQRT}(f_c')$; $f_c' = 350 = 3,376,000 \text{ T/m}^2$

C = 0.80

s = $0.30 / N = 0.0033 \text{ m/Blow}$

a = Wh = 4.640

 $R_c = Ca / (s + \text{SQRT}(CaL / 2AE)) = 419.07 \text{ Tons}$

กำลังการรับน้ำหนัก จาก CAPWAPC = 148.80 Tons < 419.1 Tons

For S.F. = 2.50 Safe Load = 167.63 Tons > 40 Tons ok

So Use Last 10 blows = 3.3 cm.

or use blow count = 91 Blows/foot

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในสนาม โดยวิธีใช้สูตร

Dynamic Pile Load Test

เอส ที เอส งานหมายเลข QA/DL/D/1972/05

วันที่ 21 มกราคม 2548

รายงานผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม
โดยวิธีพลศาสตร์ (DYNAMIC LOAD TEST, DLT)

โครงการ อาคารศูนย์การค้า

เจ. เจ. มอลล์ จตุจักร

ถ.กำแพงเพชร 2 เขตจตุจักร กรุงเทพฯ

บทนำ

การทดสอบเสาเข็ม โดยวิธีพลศาสตร์ (DYNAMIC LOAD TEST) เป็นการทดสอบเพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยการวัดค่าแรง และความเร็วจากสัญญาณสะท้อนคลื่นความเค้นขณะที่มีการกระทบของลูกตุ้มเหล็ก แล้วประเมินกำลังรับน้ำหนัก ด้วยวิธี Case Method และโดยโปรแกรม CAsE Pile Wave Analysis Program - Continuous model (CAPWAPC)

การทดสอบเสาเข็มด้วยวิธีดังกล่าวนี้ ได้ทำการทดสอบเสาเข็มกลมกลวงแรงเหวี่ยงศ.ก จำนวนทั้งหมด 15 ต้น ขนาด 600 มม. ยาว 25.00เมตร ซึ่งทำการติดตั้งโดยการเจาะนำและทำการวางเสาเข็มลงไป (Auger Press Pile) ณ. โครงการ อาคารศูนย์การค้า เจ. เจ. มอลล์ จตุจักร ถ.กำแพงเพชร 2 เขตจตุจักร กรุงเทพฯ

วิธีการทดสอบ

ทำการทดสอบโดยใช้ไฮดรอลิก (Hydraulic) ยกตุ้มเหล็กหนัก 7.0 ตัน ระยะยก 0.9 – 1.2 เมตร ปลดยกกระทันหันอย่างอิสระลงบนหัวเสาเข็ม ซึ่งรองด้วยไม้ภายในหัวตอก

รายละเอียดในการทดสอบ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลการทดสอบ

หมายเลข เสาเข็ม ทดสอบ	วันที่ ทดสอบ	ระยะเวลา ที่ดินคืนตัว (วัน)	น้ำหนัก ตุ้มทดสอบ (ตัน)	ระยะยก (เมตร)	ระยะทรุดตัว (มิลลิเมตร)
#82	13 ม.ค. 48	73	7.0	0.9 1.2 ★	2.0 3.0
#101	13 ม.ค. 48	63	7.0	0.9 1.2 ★	2.0 2.0
#264	13 ม.ค. 48	32	7.0	0.9 1.2 ★	2.0 3.0
#274	13 ม.ค. 48	66	7.0	0.9 1.2 ★	2.0 3.0
#434	13 ม.ค. 48	28	7.0	0.9 1.2 ★	2.0 3.0
#628	13 ม.ค. 48	64	7.0	0.9 1.2 ★	2.0 3.0
#699	13 ม.ค. 48	44	7.0	0.9 1.2 ★	2.0 3.0

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลการทดสอบ (ต่อ)

หมายเลข เสาเข็ม ทดสอบ	วันที่ ทดสอบ	ระยะเวลา ที่ดินคินตัว (วัน)	น้ำหนัก ตุ้มทดสอบ (ตัน)	ระยะยก (เมตร)	ระยะทรุดตัว (มิลลิเมตร)
#781	13 ม.ค. 48	30	7.0	0.9 1.2 ★	2.0 3.0
#889	14 ม.ค. 48	53	7.0	0.9 1.2 ★	2.0 3.0
#905	13 ม.ค. 48	65	7.0	0.9 1.2 ★	1.0 2.0
#1075	14 ม.ค. 48	52	7.0	0.9 1.2 ★	2.0 3.0
#1188	14 ม.ค. 48	63	7.0	0.9 1.2 ★	2.0 3.0
#1256	14 ม.ค. 48	27	7.0	0.9 1.2 ★	3.0 4.0
#1350	14 ม.ค. 48	38	7.0	0.9 1.2 ★	2.0 3.0
#1444	14 ม.ค. 48	56	7.0	0.9 1.2 ★	2.0 3.0

หมายเหตุ: ★ เป็นข้อมูลที่น่าไปใช้ในการวิเคราะห์ CAPWAP

2. กำลังรับน้ำหนัก (PILE CAPACITY)

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยโปรแกรม CAPWAPC สามารถประเมินกำลังรับน้ำหนักแบบสถิตยศาสตร์ (Static Resistance) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

หมายเลข เสาเข็ม ทดสอบ	แรง เสียดทานผิว (Skin Friction) (ตัน)	แรงต้านทาน ที่ปลาย (Toe Resistance) (ตัน)	แรงต้านทาน รวม (Activated Capacity) (ตัน)
#82	155.5	74.9	230.4
#101	208.5	80.7	289.1
#264	278.6	86.8	365.4
#274	265.6	86.1	351.7
#434	276.4	89.5	365.9
#628	247.9	84.7	332.6
#699	244.6	87.2	331.8
#781	273.1	90.6	363.7
#889	246.3	84.4	330.6
#905	289.0	96.4	385.4
#1075	260.9	85.9	346.9
#1188	255.6	86.6	342.3

ตารางที่ 5 แสดงกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (ต่อ)

หมายเลข เสาเข็ม ทดสอบ	แรง เสียดทานผิว (Skin Friction) (ตัน)	แรงต้านทาน ที่ปลาย (Toe Resistance) (ตัน)	แรงต้านทาน รวม (Activated Capacity) (ตัน)
#1256	228.9	79.0	308.0
#1350	251.1	85.1	336.2
#1444	258.7	85.6	344.3



บริษัท ยูนิคอนสตรัคชันแมทีเรียล จำกัด
UNITED CONSTRUCTION MATERIAL CO., LTD.

181 ถนนจันทร์ ซอยถนนพริ้ง กรุงเทพมหานคร 10120

โทร. 0-2213-2544-7, 0-2213-2514-7

181 Linchee Road, Bangkok 10120, Thailand.

Fax: (66 2) 2872031

Project : อาคารศูนย์การค้า J.J. มอลล์
Location : สวนจตุจักร
Contract to : บริษัท เจริญมอลล์ จำกัด
Type of pile : 60 x 65.00 m,
Ground Elevation :m.
Piling NO. : 1350

Date : 7/11/47
PD. 308 SA NO. 5
Hammer HXD Ram Wt. 7.0 ton
Follow cap long 6.0 m.
Height of Drop 60 cm
Final Drive 4.0 m.

Pile Product Date

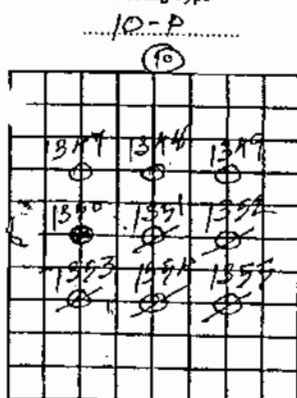
Section	Date pro.	Length	Pile No.
Lower	29/11/47	12.50	1209
Upper	30/11/47	12.50	1239

Pile Driving Date

Section Start Finish
Lower 14.25 14.37
Welding 14.45 15.12
Upper 15.14 15.49
Final Drive 15.25 15.50
13/12/47

Pile Top Ele. -0.15 m.
Pile Tip Ele. -25.15 m.
Pile cut off Ele.m.
Last 10 blows 1 2.0 cm
2 20 cm
3 20 cm

Footing Type



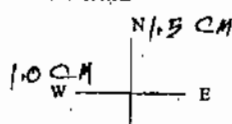
Pile LoadTon

Piling Depth	Height Drop	Blow Count
19.00		
19.25		
19.50		
19.75		
20.00		
20.25		
20.50		
20.75		
21.00		
21.25		
21.50		
21.75		
22.00	40	
22.25	7	14
22.50	7	14

Piling Depth	Height Drop	Blow Count
22.75	7	18
23.00	7	12
23.25	7	19
23.50	7	28
23.75	7	28
24.00	7	24
24.25	60	29
24.50	7	31
24.75	7	42
25.00	7	110
25.25		
25.50		
25.75		
26.00		
26.25		

Piling Depth	Height Drop	Blow Count
26.50		
26.75		
27.00		
27.25		
27.50		
27.75		
28.00		
28.25		
28.50		
28.75		
29.00		
29.25		
29.50		
29.75		
30.00		

Deviation



Remark.....

เอส ที เอส งานหมายเลข QA/DL/D/2128.4/05

วันที่ 23 กันยายน 2548

รายงานผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม
โดยวิธีพลศาสตร์ (DYNAMIC LOAD TEST, DLT)

โครงการ งานก่อสร้างปรับปรุงทางหลวง หมายเลข 34 ตอนบางนา - ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ส่วนที่ 2) จังหวัดสมุทรปราการ

บทนำ

การทดสอบเสาเข็ม โดยวิธีพลศาสตร์ (DYNAMIC LOAD TEST) เป็นการทดสอบเพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยการวัดค่าแรง และความเร็วจากสัญญาณสะท้อนคลื่นความเค้นขณะที่มีการกระทบของลูกตุ้มเหล็ก แล้วประเมินกำลังรับน้ำหนัก ด้วยวิธี Case Method และ โดยโปรแกรม CAsE Pile Wave Analysis Program - Continuous model (CAPWAPC)

การทดสอบเสาเข็มด้วยวิธีดังกล่าวนี้ ได้ทำการทดสอบเสาเข็มกลมกลวงแรงเหวี่ยงค.ก. ขนาด 600 มม ยาว 26.00 เมตร จำนวน 1 ต้น และ ขนาด 600 มม.ยาว 32.00 เมตร จำนวน 1 ต้น ณ. โครงการงานก่อสร้างปรับปรุงทางหลวงหมายเลข 34 ตอนบางนา - ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ส่วนที่ 2) จังหวัดสมุทรปราการ

ข้อมูลเสาเข็มทดสอบ

เสาเข็มที่ทดสอบเป็นเสาเข็มกลมกลวงแรงเหวี่ยง ศ.ก. ขนาด 600 มม.ยาว 26.00 เมตร จำนวน 1 ต้น และ ขนาด 600 มม.ยาว 32.00 เมตร จำนวน 1 ต้น มีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ออกแบบไว้เท่ากับ 300 ตัน คิดเป็น 2.5 เท่า ของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานปลอดภัย 120 ตัน

รายละเอียดของเสาเข็มทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลเสาเข็มทดสอบ

หมายเลข เสาเข็ม ทดสอบ	ตำแหน่ง เสาเข็ม ทดสอบ	ขนาด เสาเข็ม (มม.)	วันที่ เจาะ เสาเข็ม	ระดับ เสาเข็ม ϕ (เมตร)		น้ำหนักบรรทุก ออกแบบใช้งาน (ตัน)	
				หัว (Top)	ปลาย (Tip)	ปลอดภัย (Safety)	สูงสุด (Max.)
#8	U11-PC14	0.60 x 26.00	22 ส.ค. 48	± 0.00	-26.00	120	300
#4	U14-PB11	0.60 x 32.00	4 ก.ย. 48	+2.25	-29.75	120	300

หมายเหตุ : ϕ อ้างอิงจากระดับดินเดิม GL ± 0.00 เมตร MSL

วิธีการทดสอบ

ทำการทดสอบโดยใช้ไฮดรอลิกกดคัมหนัก 7.0 ตัน ระยะยก 0.8 – 1.2 เมตร ปลดยก กระแทกอย่างอิสระลงบนหัวเสาเข็ม ซึ่งรองด้วยไม้ภายในหัวดอก

รายละเอียดในการทดสอบ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลการทดสอบ

หมายเลข เสาเข็ม ทดสอบ	ตำแหน่ง เสาเข็ม ทดสอบ	วันที่ ทดสอบ	ระยะเวลา ที่ดินคืบตัว (วัน)	น้ำหนัก คัมทดสอบ (ตัน)	ระยะยก (เมตร)	ระยะทรุดตัว (มิลลิเมตร)
#8	U11-PC14	6 ก.ย. 48	15	7.0	0.8 1.2 ★	1.0 2.0
#4	U14-PB11	17 ก.ย. 48	13	7.0	1.0 1.2 ★	4.0 4.0

หมายเหตุ ★ เป็นข้อมูลที่น่าสนใจในการวิเคราะห์ CAPWAP

ผลการทดสอบ

1. แรงเค้นอัดในขณะทำการทดสอบ

ค่าความเค้นอัดสูงสุด Maximum Compressive Stress ที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดขณะทดสอบ

หมายเลข เสาเข็มทดสอบ	ตำแหน่ง เสาเข็ม ทดสอบ	ค่าความเค้น (กก./ตร.ซม.)		พลังงานสูงสุด (ตัน-เมตร)
		อัดสูงสุด	ดึงสูงสุด	
#8	U11-PC14	210.0	21.9	3.26
#4	U14-PB11	195.8	31.2	4.03

2. กำลังรับน้ำหนัก (PILE CAPACITY)

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยโปรแกรม CAPWAPC สามารถประเมินกำลังรับน้ำหนักแบบสถิตยศาสตร์ (Static Resistance) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

หมายเลข เสาเข็ม ทดสอบ	ตำแหน่ง เสาเข็ม ทดสอบ	แรง เสียดทานผิว (Skin Friction) (ตัน)	แรงต้านทาน ที่ปลาย (Toe Resistance) (ตัน)	แรงต้านทาน รวม (Activated Capacity) (ตัน)
#8	U11-PC14	240.6	74.1	314.7
#4	U14-PB11	265.7	58.8	324.6

3. ความสมบูรณ์ของเสาเข็ม (Pile Integrity)

สภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มทดสอบสามารถประเมินได้ในขณะทดสอบ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงสภาพความสมบูรณ์

หมายเลข เสาเข็มทดสอบ	ตำแหน่ง เสาเข็ม ทดสอบ	วันที่ทดสอบ	สภาพความสมบูรณ์
#8	U11-PC14	6 ก.ย. 48	เสาเข็มสมบูรณ์
#4	U14-PB11	17 ก.ย. 48	ตรวจพบคลื่นสัญญาณสะท้อนกลับ ที่บริเวณหรือใกล้เคียงรอยต่อเชื่อม ค่า $\beta = 80.0\%$

3 กำลังรับน้ำหนัก (PILE CAPACITY)

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยโปรแกรม CAPWAPC สามารถประเมินกำลังรับน้ำหนักแบบ สถิตยศาสตร์ (Static Resistance) ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

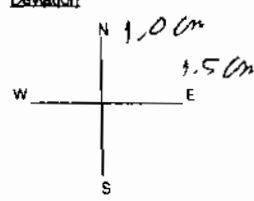
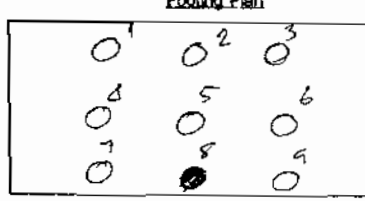
หมายเลข เสาเข็ม ทดสอบ	ตำแหน่ง เสาเข็ม ทดสอบ	ระยะเวลา ที่ดินคืบตัว (วัน)	แรง เสียดทานผิว (Skin Friction) (ตัน)	แรงต้านทาน ที่ปลาย (Toe Resistance) (ตัน)	แรงต้านทาน รวม (Activated Capacity) (ตัน)
#5	L8-PC12	33	263.2	79.3	342.5
#8	U9-PC14	Initial	131.0	66.1	197.2
		15	247.8	71.2	319.1
#8	U10-PC12	Initial	144.6	79.2	223.9
		35	283.1	84.1	367.2

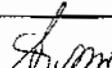
โครงการ: (ระบุโครงการหรืองาน) 34		COMPANY NAME		Date of drive: 1-7-08	
ชนิดของงาน: (ระบุชนิดงาน) (ระบุชนิด)		SCP., PCL.		Pile No. STA.	
KM. (S+900 - KM. 28+400) 12.510 KM.				5 U Q PC 12	
Segment	Pile ID No.	Length (m)	Date of Casting	size	Remarks
Lower	3-0003	15.00	21-6-08	Ø 0.60	
Upper	3-0008	13.00	21-6-08	Ø 0.60	
Equipment Information			Operation time		
Hammer, Model: BSP 3-579 Hammer Wt. 7. Ton			Time started Time finished		
Pile driver: NISSHA Model PD-162 No. 4			Lower Pile 15.25 15.08		
Cushion:			Welding 15.21 16.06		
Material: Condition: Thickness: mm.			Upper Pile 16.07		
Hammer Efficiency: 96.1					
Depth penetrated (m)		Drop Height	No. of Blows	Depth penetrated (m)	
From	To	(m)		From	To
16.00	16.25			22.00	22.25
16.25	16.50			22.25	22.50
16.50	16.75			22.50	22.75
16.75	17.00			22.75	23.00
17.00	17.25	60	6	23.00	23.25
17.25	17.50			23.25	23.50
17.50	17.75		5	23.50	23.75
17.75	18.00		5	23.75	24.00
18.00	18.25		6	24.00	24.25
18.25	18.50		6	24.25	24.50
18.50	18.75		7	24.50	24.75
18.75	19.00		8	24.75	25.00
19.00	19.25		8	25.00	25.25
19.25	19.50		9	25.25	25.50
19.50	19.75		9	25.50	25.75
19.75	20.00		9	25.75	26.00
20.00	20.25		9	26.00	26.25
20.25	20.50		9	26.25	26.50
20.50	20.75		10	26.50	26.75
20.75	21.00		11	26.75	27.00
21.00	21.25		11	27.00	27.25
21.25	21.50		12	27.25	27.50
21.50	21.75		12	27.50	27.75
21.75	22.00	60	12	27.75	28.00
Final Set			Remark		
1. Ground Elev: 22.00 m			31.00 m W 0.00		
2. Top of pile Elev: 22.00 m					
3. Total Pile Length: 26.00 m					
4. Actual Pile Tip Elev: -26.90 m					
5. Cut Off Pile Elev: 0.60 m					
6. Drop Height (at set): 0.60 m					
7. Final Set Last 10 Blows					
1. 1.4 cm					
2. 1.4 cm					
3. 1.1 cm					
			Deviation		
			N 1.5 cm		
			W 1.0 cm		
			8		
			Footing Plan		

โครงการ : ก่อสร้างปรับปรุงทางหลวงหมายเลข 34 ตอนบางนา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ส่วนที่ 2) บริษัท อิตาเลียนไทยคิโวลีปม จำกัด (มหาชน)			 United Construction Material Co., Ltd. 161 Luchae Road Bangkok Thailand Tel. 0-2213-2514-7 Fax. 0-22672331		Date : .. - .. - .. Pile No. : 8 Footing No. : U11-PC 14	
Segment	Size	Length (m)	Pile ID No.	Date of Casting	Remarks	
Lower	Ø600	12.00	657	9-8-18		
Upper	Ø600	12.00	555	29-7-18		

Equipment Information			Operation time		
Pile Driver : CRANIER	Model : 308 SA	No. 4	Lower Pile	Time Started	Time finished
Hammer Model : NH-70	Hyd Hammer Wt : 7.0	Ton	Welding	10.15	10.50
Cushion : Plywood	Condition : ..	Thickness : 12.5 mm	Upper Pile	10.50	11.35
Hammer Efficiency : 80 %					

Depth penetrated (m)			Drop height (cm)			No. of Blows			Depth penetrated (m)			Drop height (cm)			No. of Blows		
From	To		From	To		From	To		From	To		From	To		From	To	
5.00	5.25		13.00	13.25		21.00	21.25		29.00	29.25							
5.25	5.50		13.25	13.50		21.25	21.50		29.25	29.50							
5.50	5.75		13.50	13.75		21.50	21.75		29.50	29.75							
5.75	6.00		13.75	14.00		21.75	22.00		29.75	30.00							
6.00	6.25		14.00	14.25		22.00	22.25		30.00	30.25							
6.25	6.50		14.25	14.50		22.25	22.50		30.25	30.50							
6.50	6.75		14.50	14.75		22.50	22.75		30.50	30.75							
6.75	7.00		14.75	15.00		22.75	23.00		30.75	31.00							
7.00	7.25		15.00	15.25		23.00	23.25		31.00	31.25							
7.25	7.50		15.25	15.50		23.25	23.50		31.25	31.50							
7.50	7.75		15.50	15.75		23.50	23.75		31.50	31.75							
7.75	8.00		15.75	16.00		23.75	24.00		31.75	32.00							
8.00	8.25		16.00	16.25		24.00	24.25		32.00	32.25							
8.25	8.50		16.25	16.50		24.25	24.50		32.25	32.50							
8.50	8.75		16.50	16.75		24.50	24.75		32.50	32.75							
8.75	9.00		16.75	17.00		24.75	25.00		32.75	33.00							
9.00	9.25		17.00	17.25		25.00	25.25		33.00	33.25							
9.25	9.50		17.25	17.50		25.25	25.50		33.25	33.50							
9.50	9.75		17.50	17.75		25.50	25.75		33.50	33.75							
9.75	10.00		17.75	18.00		25.75	26.00		33.75	34.00							
10.00	10.25		18.00	18.25		26.00	26.25		34.00	34.25							
10.25	10.50		18.25	18.50		26.25	26.50		34.25	34.50							
10.50	10.75		18.50	18.75		26.50	26.75		34.50	34.75							
10.75	11.00		18.75	19.00		26.75	27.00		34.75	35.00							
11.00	11.25		19.00	19.25		27.00	27.25		35.00	35.25							
11.25	11.50		19.25	19.50		27.25	27.50		35.25	35.50							
11.50	11.75		19.50	19.75		27.50	27.75		35.50	35.75							
11.75	12.00		19.75	20.00		27.75	28.00		35.75	36.00							
12.00	12.25		20.00	20.25	16	16	28.00	28.25		36.00	36.25						
12.25	12.50		20.25	20.50	4	17	28.25	28.50		36.25	36.50						
12.50	12.75		20.50	20.75	6	12	28.50	28.75		36.50	36.75						
12.75	13.00		20.75	21.00	4	12	28.75	29.00		36.75	37.00						

1. Ground Elev : m Pile Top Elev : +0.00 m 2. Total Pile Length : 26.00 m 3. Pile Tip Elev : -26.00 m Pile Cut off Elev : -0.300 m 4. Drop (at set) : 0.60 m Final Set Last 10 Blows : 1. 2.2 cm 2. 2.2 cm 3. 2.2 cm		Deviation : 		Footing Plan : 	
Remark :					


 Recorder

Inspector

Engineer

โครงการ : ก่อสร้างปรับปรุงทางหลวงหมายเลข 34 ตอน บางนา ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ส่วนที่ 2) บริษัท อิตาเลียนไทยคอสโตรอนิค จำกัด (มหาชน)				 United Constructor Material Co., Ltd. 181 Lechae Road Bangkok Thailand Tel. 0-2213-2514-7 Fax. 0-22572031		Date : 4 / 09 / 18	
				Pile No.		Footing No.	
				2		U-12 P811	
Segment	Size	Length (m)	Pile ID No.	Date of Casting		Remarks	
Lower	φ. 600	16.00	75	2018 / 18			
Upper	φ. 600	16.00	76	2018 / 18			
Equipment Information				Operation time			
Pile Driver : CDW1500PONE Model : 008 80 No. 5				Time Started			
Hammer Model : B S P Hyd Hammer Wt : 7.0 Ton				Time finished			
Cushion : Ply Wood Condition : Thickness : 80 mm				Lower Pile 12.15 11.30			
Hammer Efficiency :				Welding 11.40 15.25			
				Upper Pile 15.57 16.30			
Depth penetrated (m)		Drop height (cm)	No. of Blows	Depth penetrated (m)		Drop height (cm)	No. of Blows
From	To			From	To		
5.00	5.25			21.00	21.25		
5.25	5.50			21.25	21.50		
5.50	5.75			21.50	21.75		
5.75	6.00			21.75	22.00		
6.00	6.25			22.00	22.25		
6.25	6.50			22.25	22.50		
6.50	6.75			22.50	22.75		
6.75	7.00			22.75	23.00		
7.00	7.25			23.00	23.25		
7.25	7.50			23.25	23.50		
7.50	7.75			23.50	23.75		
7.75	8.00			23.75	24.00	50	14
8.00	8.25			24.00	24.25	11	19
8.25	8.50			24.25	24.50		19
8.50	8.75			24.50	24.75		20
8.75	9.00			24.75	25.00		20
9.00	9.25			25.00	25.25		21
9.25	9.50			25.25	25.50		25
9.50	9.75			25.50	25.75		24
9.75	10.00			25.75	26.00		24
10.00	10.25			26.00	26.25		24
10.25	10.50			26.25	26.50		32
10.50	10.75			26.50	26.75		32
10.75	11.00			26.75	27.00		32
11.00	11.25			27.00	27.25		32
11.25	11.50			27.25	27.50		32
11.50	11.75			27.50	27.75		36
11.75	12.00			27.75	28.00		36
12.00	12.25			28.00	28.25		36
12.25	12.50			28.25	28.50		37
12.50	12.75			28.50	28.75		40
12.75	13.00			28.75	29.00		40
Final Set				Footling Plan			
1. Ground Elev : + 0.40 m				Deviation			
2. Pile Top Elev : + 2.25 m				1.00m			
3. Total Pile Length : 32.60 m				W E			
4. Pile Tip Elev : - 29.45 m				S			
5. Pile Cut off Elev : 0.60 m				Remark			
6. Drop (at set) : 0.60 m							
7. Final Set Last 10 Blows							
1 2.2 cm							
2 1.9 cm							
3 1.9 cm							
Recorder				Inspector			
				Engineer			

โครงการปรับปรุงทางหลวงหมายเลข 34 ถนน บพท.ท่าเรือท่าทราย - บ้านนาโพธิ์ (ส่วนที่ 2) กม. 15+990 - กม. 28+400 ระยะทาง 12.510 กม.				COMPANY NAME SCP.,PCL.		Date of drive : 26-2-05	
				File No.		STA.	
				4		U 9 PC 1A	
Segment	Pile ID No.	Length (m)		Date of Casting		size	
Lower	3-0A17	15.00		16-7-05		φ 6.60	
Upper	3-0370	13.00		16-7-05		φ 6.60	
Equipment Information				Operation time			
Hammer, Model : BSP 3-579 Hammer Wt. ... 7.0 Ton				Time started			
Pile driver : NISSHA Model PD-100 NC 2				Time finished			
Cushion :				Lower Pile			
Material :				Welding			
Condition :				Upper Pile			
Thickness :							
Hammer Efficiency : 90%							
Depth penetrated (m)		Drop Height		No. of Blows		Depth penetrated (m)	
From	To	(m)		From	To	(m)	
16.00	16.25			22.00	22.25	60	15
16.25	16.50			22.25	22.50		12
16.50	16.75			22.50	22.75		12
16.75	17.00			22.75	23.00		16
17.00	17.25	60	5	23.00	23.25		19
17.25	17.50		5	23.25	23.50		21
17.50	17.75		4	23.50	23.75		20
17.75	18.00		5	23.75	24.00		20
18.00	18.25		6	24.00	24.25		20
18.25	18.50		6	24.25	24.50		21
18.50	18.75		6	24.50	24.75		21
18.75	19.00		7	24.75	25.00		21
19.00	19.25		8	25.00	25.25		24
19.25	19.50		8	25.25	25.50		25
19.50	19.75		9	25.50	25.75		26
19.75	20.00		9	25.75	26.00		39
20.00	20.25		10	26.00	26.25		50
20.25	20.50		11	26.25	26.50		53
20.50	20.75		12	26.50	26.75		54
20.75	21.00		13	26.75	27.00		49
21.00	21.25		12	27.00	27.25		60
21.25	21.50		13	27.25	27.50		78
21.50	21.75		13	27.50	27.75		90
21.75	22.00		1A	27.75	28.00		
Final Set				Remark			
1. Ground Elev : 18.00 m				Deviation			
2. Top of pile Elev : +0.15 m				N			
3. Total Pile Length : 24.25 m				W 100m E			
4. Actual Pile Tip Elev : -24.25 m				S			
5. Cut Off Pile Elev :				1			
6. Drop Height (at set) : 0.60 m				4			
7. Final Set Last 10 Blows				7			
1 1.7 cm				10			
2 1.6 cm				13			
3 1.6 cm				Footings Plan			

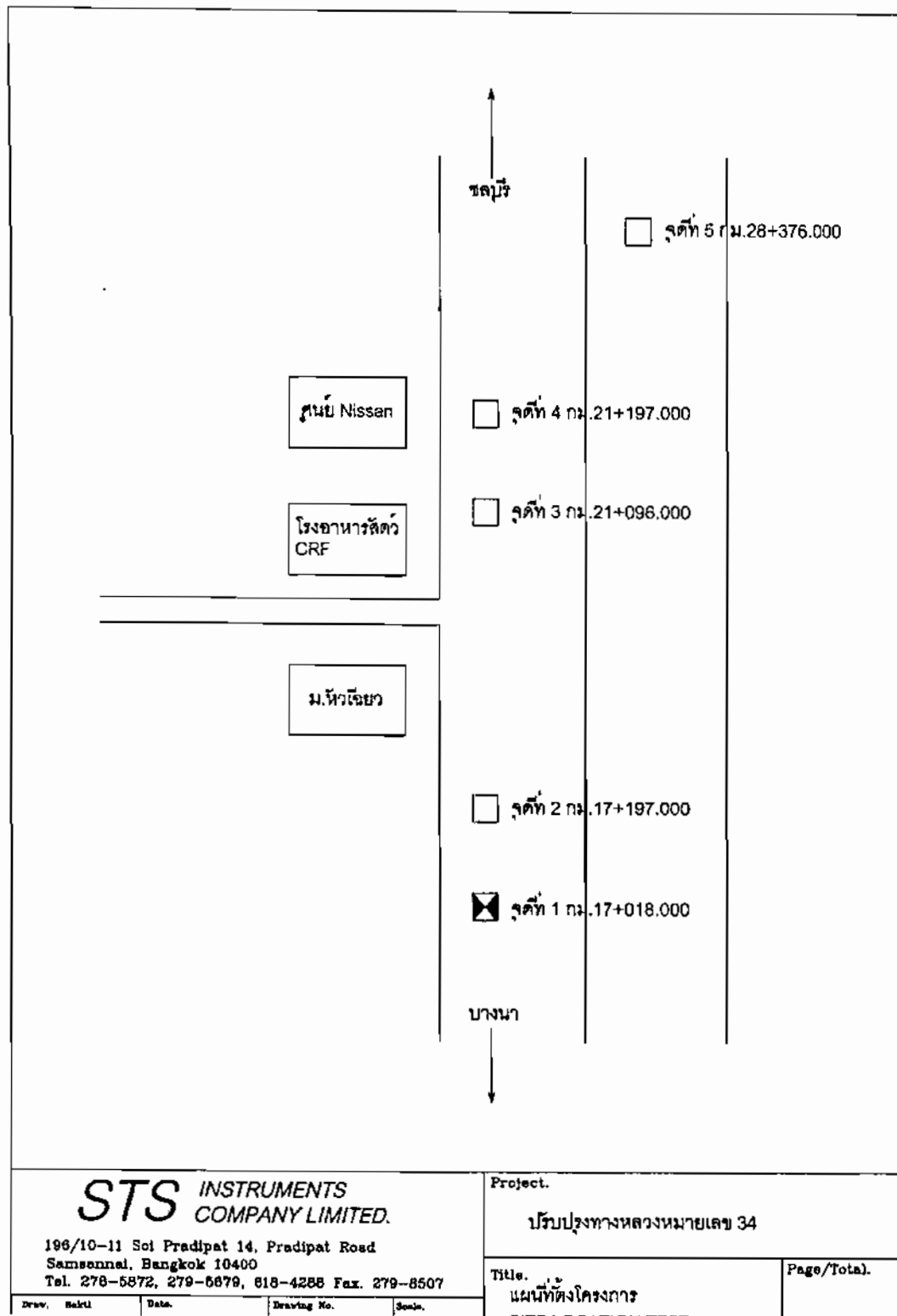
Recorder

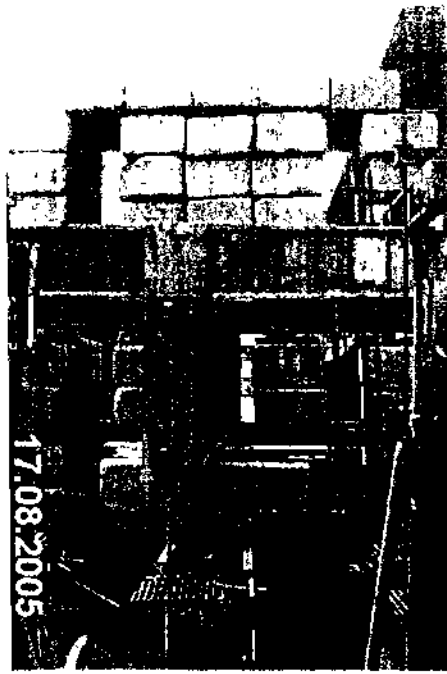
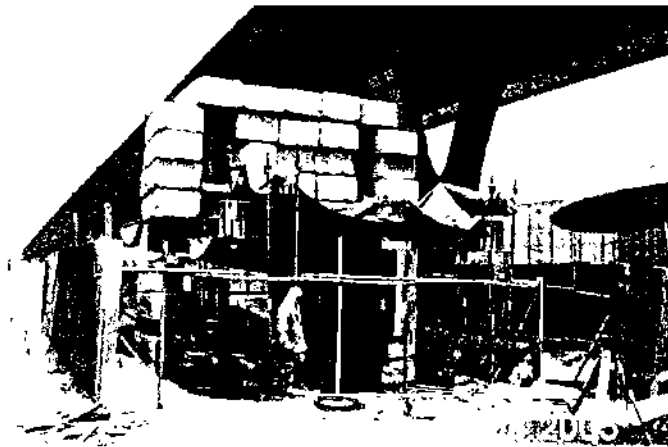
Inspector

Engineer

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในสนามโดยวิธีใช้สูตร
Static Pile Load Test





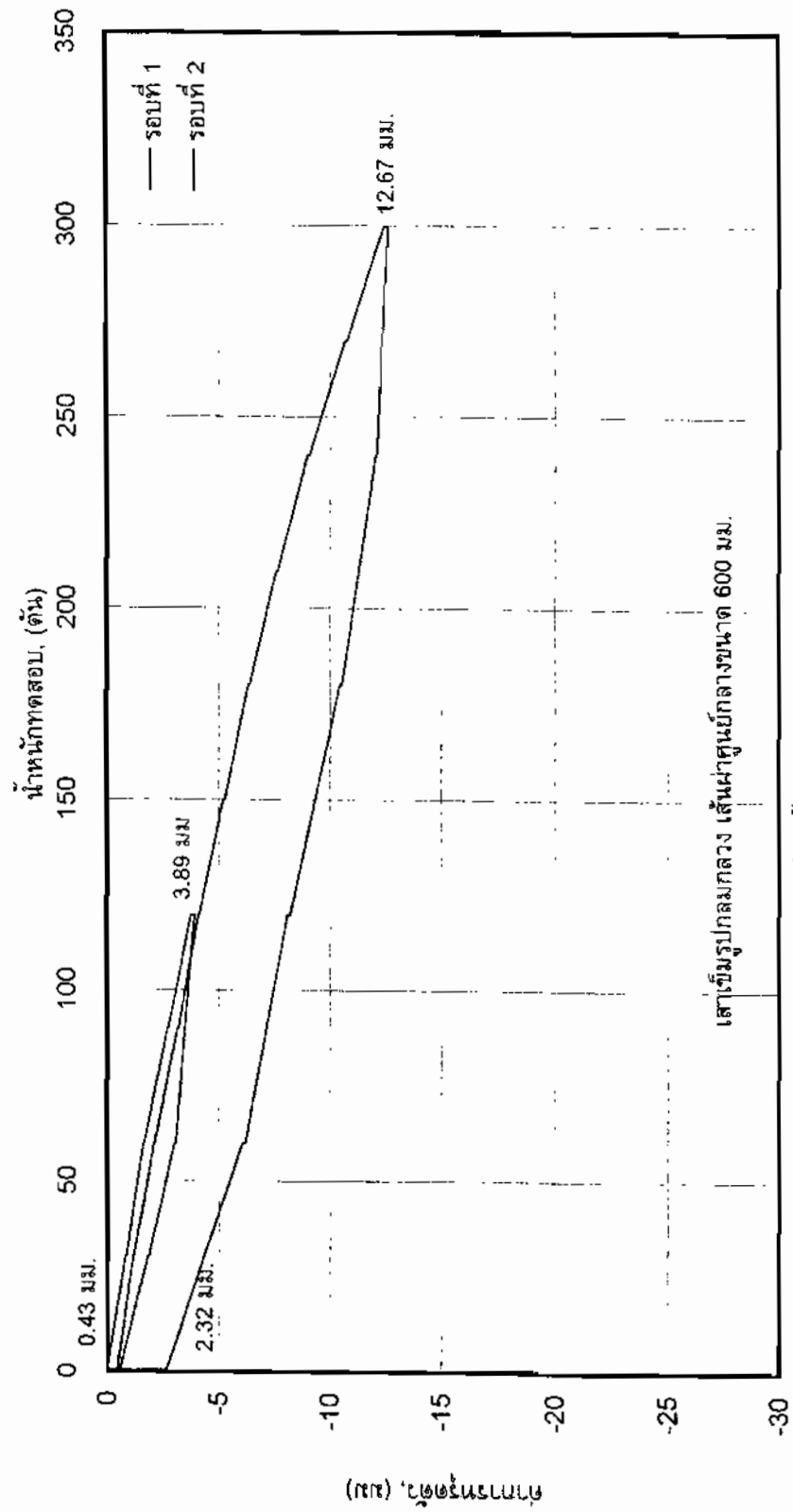
STS INSTRUMENTS
COMPANY LIMITED
 196/10-11 Soi Pradipat 14, Pradipat Rd.
 Samsennai, Phayathai, Bangkok 10400
 Tel : 0 2778 5877, 0 2778 5879

โครงการ ปรับปรุงทางหลวงสาย 34 ตอนบางนา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ
 Project (U-TURN NO.8 : STA.17+018.000)

วันที่ / Date
 31/08/05

โครงการ ปรับปรุงทางหลวงสาย 34 ตอนบางนา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ส่วนที่ 2)

U -Turn No.8 STA.17+018.00

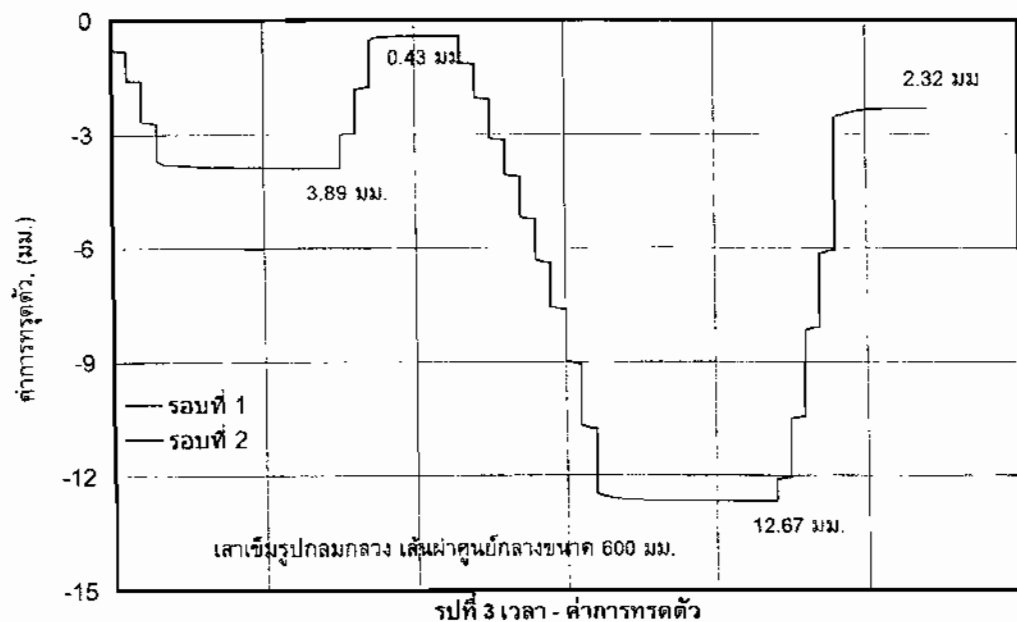
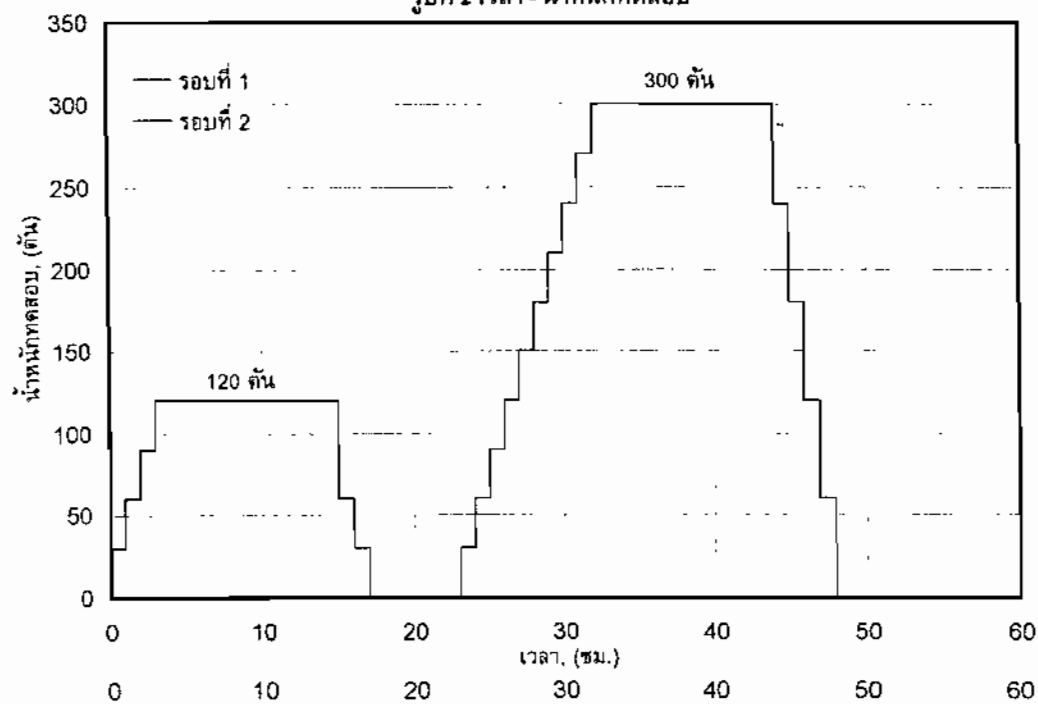


รูปที่ 1 น้ำหนักรถสอบ - ค่าการทรุดตัว

โครงการ ปรับปรุงทางหลวงสาย 34 ตอนบางนา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ส่วนที่ 2)

U -Turn No.8 STA.17+018.00

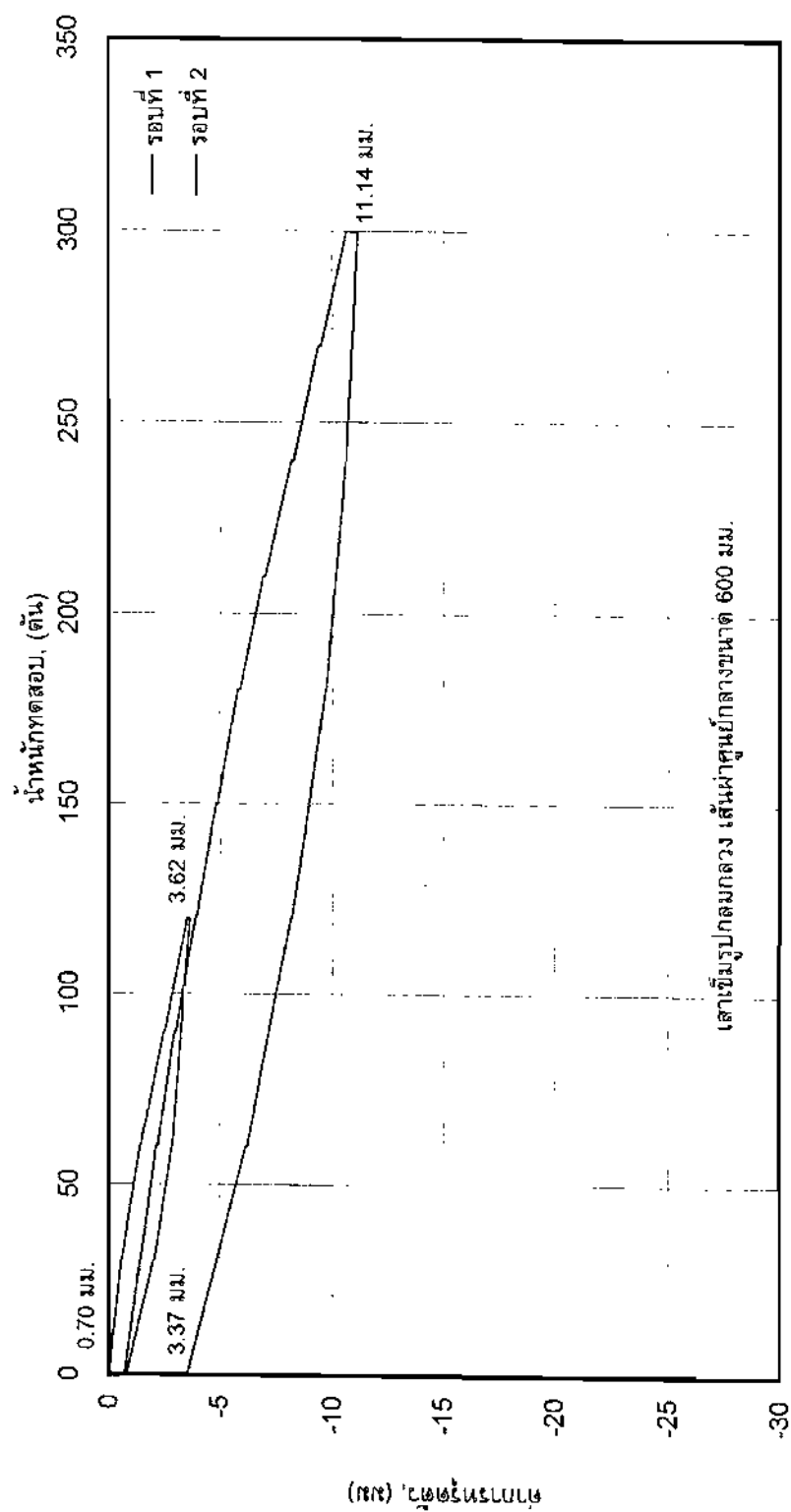
รูปที่ 2 เวลา - น้ำหนักทดสอบ



รูปที่ 3 เวลา - ค่าการทรุดตัว

โครงการ ปรับปรุงทางหลวงสาย 34 ตอนบนนา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ส่วนที่ 2)

U -Turn No.U-9 STA.17+197.00

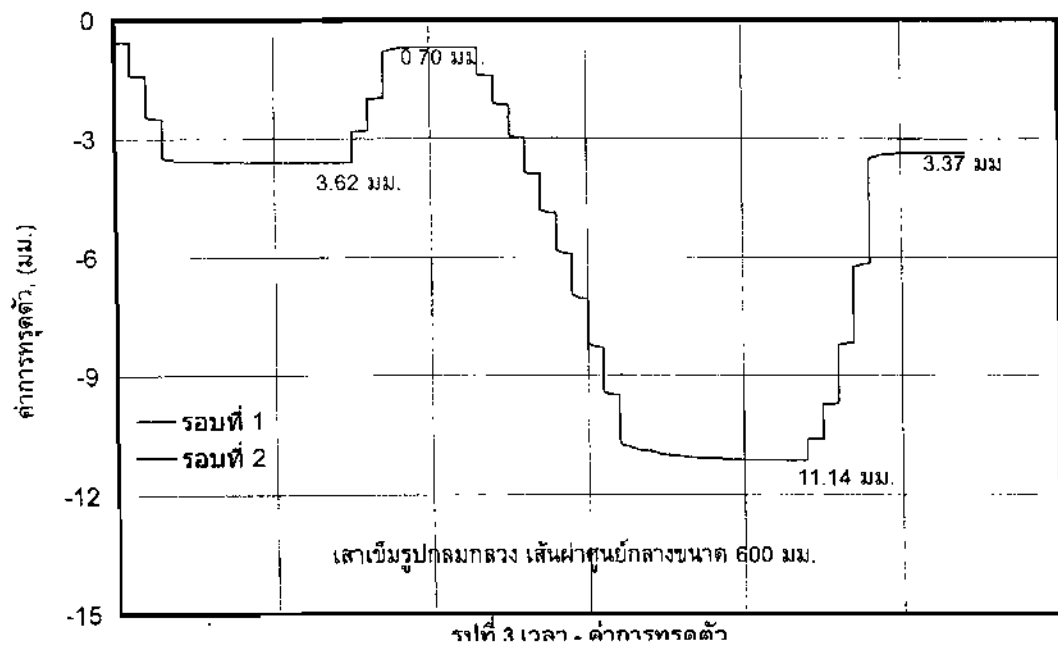
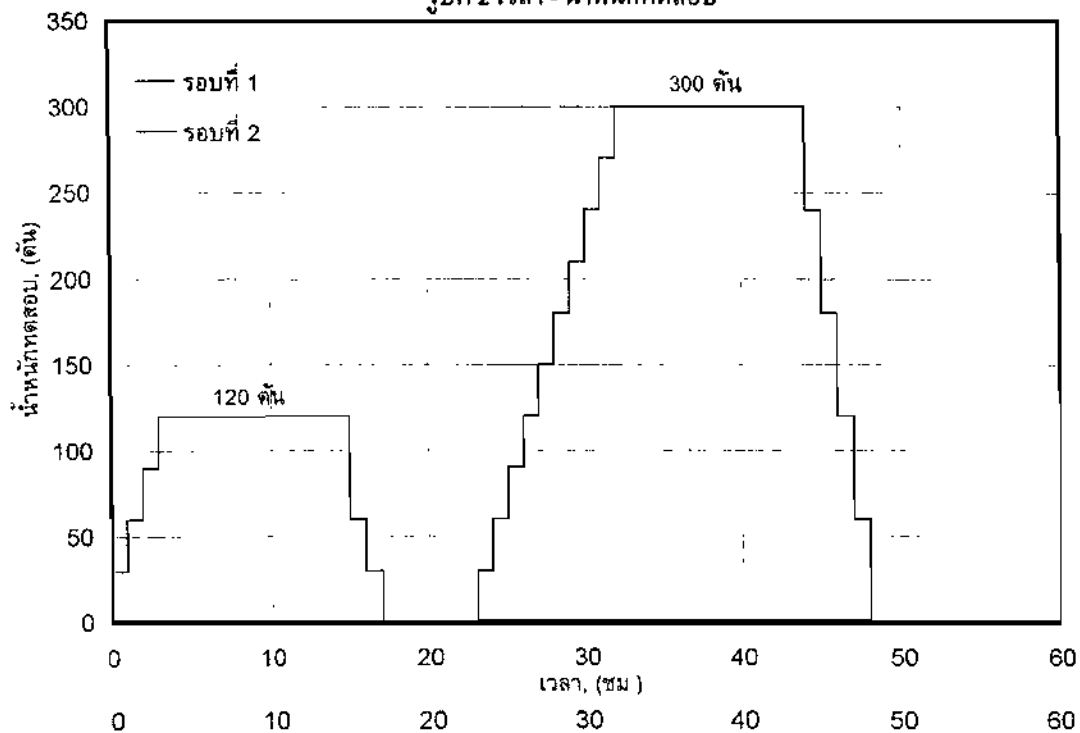


รูปที่ 1 น้ำหนักทดสอบ - ค่าการทวัด

โครงการ ปรับปรุงทางหลวงสาย 34 ตอนบางนา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ส่วนที่ 2)

U-Turn No.U-9 STA.17+197.00

รูปที่ 2 เวลา - น้ำหนักทดสอบ



รูปที่ 3 เวลา - ค่าการทรุดตัว

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการเจาะสำรวจดิน



N.D.T. Technology Co., Ltd.

3. ผลการทดสอบและคุณสมบัติทางปฐพีวิศวกรรม

3.1 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างดินที่ได้จากหลุมเจาะสำรวจได้นำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมพื้นฐาน และจำแนกดินตาม Unified Soil Classification เพื่อเป็นการสะดวกในการวิเคราะห์จึงได้ทำการบ่งชี้ดินออกเป็นชั้นๆ โดยพิจารณาชนิดของชั้นดินตามกำลังรับแรงเฉือน ความหนาแน่นเปียก ปริมาณน้ำตามธรรมชาติ ดังแสดงไว้ใน Boring Log จากผลการเจาะสำรวจชั้นดินในสนาม ประกอบด้วยผลการทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาคุณสมบัติทางปฐพีวิศวกรรมบริเวณหลุมเจาะ จำแนกได้ดังนี้

3.2 ข้อมูลทางปฐพีวิศวกรรมของดิน

หลุมเจาะที่ 1

ชั้น Top Soil

ชั้นดิน A เป็นชั้นดินที่อยู่ใต้ชั้น Top Soil ถึงระดับความลึก 13.00 เมตรของหลุมเจาะ ชั้นดินนี้เป็น Clay, trace of shellbits มีสี gray ความหนาแน่นอยู่ในช่วง Very soft to soft

ชั้นดิน B เป็นชั้นดินบางๆ ที่อยู่ใต้ชั้น A ถึงระดับความลึก 16.00 เมตรของหลุมเจาะ ชั้นดินนี้เป็น Silty clayey sand มีสี gray ความหนาแน่นอยู่ในช่วง Medium dense

ชั้นดิน C เป็นชั้นดินที่อยู่ใต้ชั้น B ถึงระดับความลึกที่ 26.50 เมตรของหลุมเจาะ ชั้นดินนี้เป็น Silty clay มีสี brown, grayish brown ความหนาแน่นอยู่ในช่วง Medium stiff to hard

ชั้นดิน D เป็นชั้นดินที่อยู่ใต้ชั้น C ถึงระดับความลึกก้นหลุมเจาะที่ 30.45 เมตรของหลุมเจาะ ชั้นดินนี้เป็น Silty sand มีสี grayish brown ความหนาแน่นอยู่ในช่วง Very dense

ลักษณะชั้นดินแสดงในตาราง Boring Log

Tel. 02 - 4480952, 8850721 -2 Mobile . 01-6331977 Fax 02 - 4480952, 8850722

E-mail sarawul5224@hotmail.com



N.D.T. Technology Co., Ltd.

หลุมเจาะที่ 2

ชั้น Top Soil

ชั้นดิน A เป็นชั้นดินที่อยู่ใต้ชั้น Top Soil ถึงระดับความลึก 13.00 เมตรของหลุมเจาะ ชั้นดินนี้เป็น Clay, Silty clay มีสี gray ความหนาแน่นอยู่ในช่วง Very soft to soft

ชั้นดิน B เป็นชั้นดินบาง ๆ ที่อยู่ใต้ชั้น A ถึงระดับความลึก 16.00 เมตรของหลุมเจาะ ชั้นดินนี้เป็น Silty clayey sand มีสี gray ความหนาแน่นอยู่ในช่วง Medium dense

ชั้นดิน C เป็นชั้นดินที่อยู่ใต้ชั้น B ถึงระดับความลึกที่ 26.50 เมตรของหลุมเจาะ ชั้นดินนี้เป็น Silty clay มีสี grayish brown ความหนาแน่นอยู่ในช่วง Medium stiff to hard
(at 22.0 ~ 23.50 m is very stiff grayish brown silty clay)

ชั้นดิน D เป็นชั้นดินที่อยู่ใต้ชั้น C ถึงระดับความลึกก้นหลุมเจาะที่ 30.45 เมตรของหลุมเจาะ ชั้นดินนี้เป็น Silty sand มีสี brownish gray ความหนาแน่นอยู่ในช่วง Very dense

หลุมเจาะที่ 3

ชั้น Top Soil

ชั้นดิน A เป็นชั้นดินที่อยู่ใต้ชั้น Top Soil ถึงระดับความลึก 13.00 เมตรของหลุมเจาะ ชั้นดินนี้เป็น Clay, trace of shellbits มีสี gray ความหนาแน่นอยู่ในช่วง Very soft to soft

ชั้นดิน B เป็นชั้นดินบาง ๆ ที่อยู่ใต้ชั้น A ถึงระดับความลึก 16.00 เมตรของหลุมเจาะ ชั้นดินนี้เป็น Silty clayey sand มีสี gray ความหนาแน่นอยู่ในช่วง Medium dense

ชั้นดิน C เป็นชั้นดินที่อยู่ใต้ชั้น B ถึงระดับความลึกที่ 26.50 เมตรของหลุมเจาะ ชั้นดินนี้เป็น Silty clay มีสี grayish brown ความหนาแน่นอยู่ในช่วง Medium stiff to hard

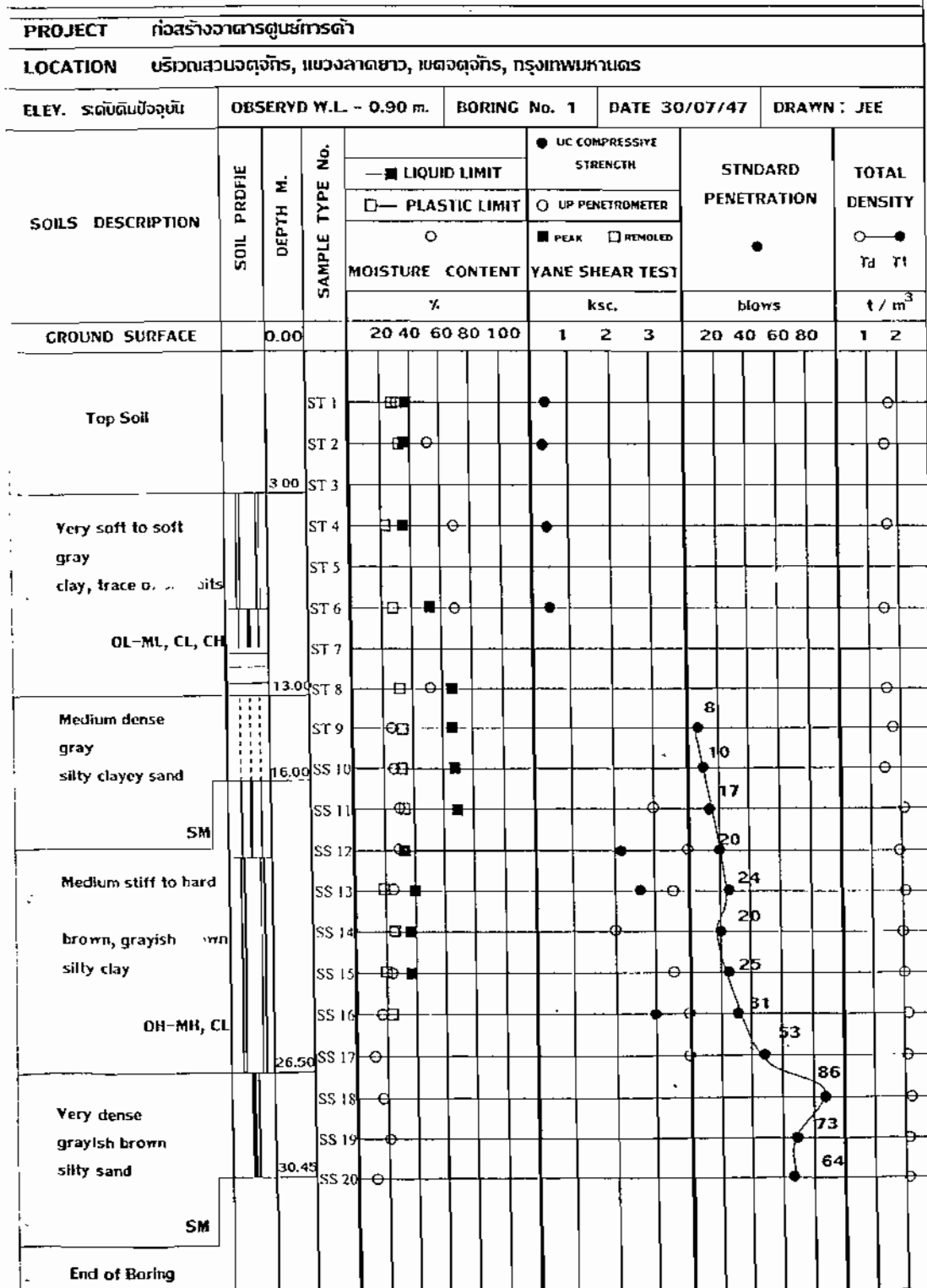
ชั้นดิน D เป็นชั้นดินที่อยู่ใต้ชั้น C ถึงระดับความลึกก้นหลุมเจาะที่ 30.45 เมตรของหลุมเจาะ ชั้นดินนี้เป็น Silty sand มีสี brown ความหนาแน่นอยู่ในช่วง Very dense

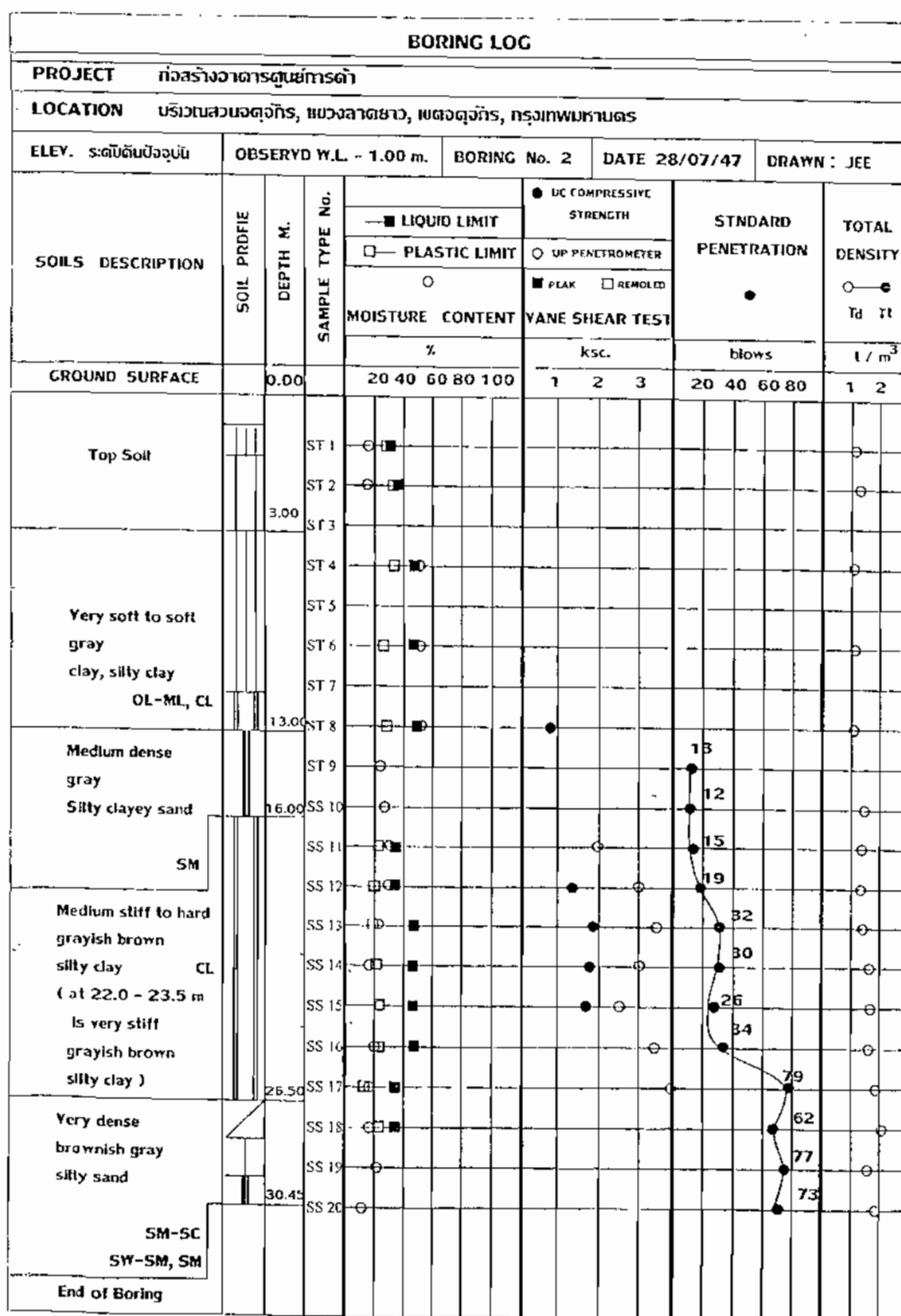
ลักษณะชั้นดินแสดงในตาราง Boring Log

Tel. 02 - 4480952, 8850721 ~2 Mobile : 01-6331977 Fax. 02 - 4480952, 8850722

E-mail: sarawu5224@hotmail.com

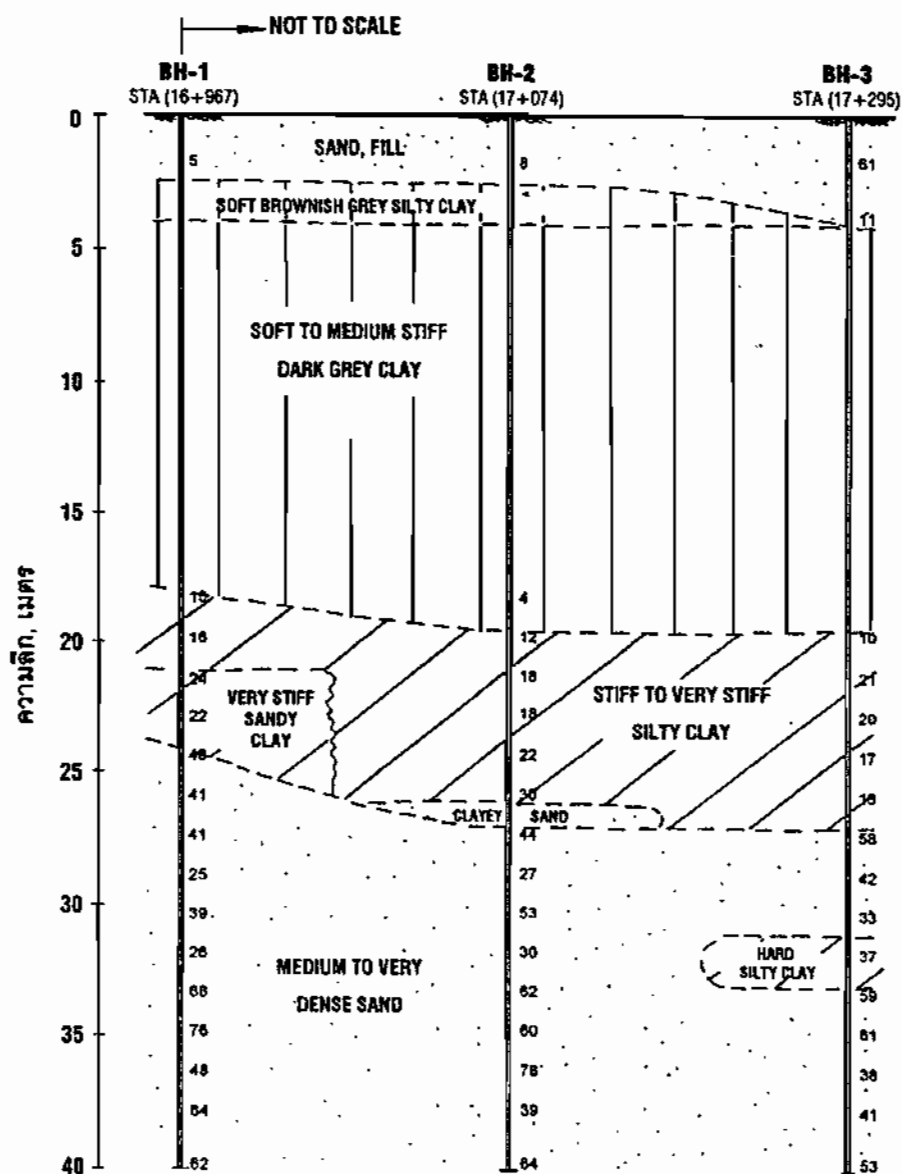
BORING LOG





BORING LOG

PROJECT		ก่อสร้างอาคารศูนย์การค้า									
LOCATION		บริเวณสวนพฤกษาร, แขวงลาดยาว, เขตจตุจักร, กรุงเทพมหานคร									
ELEV. ระดับดินปัจจุบัน	OBSERVED W.L. - 0.80 m.	BORING No. 3	DATE 29/07/47								
DRAWN : JEE											
SOILS DESCRIPTION	SOIL PROFILE	DEPTH M.	SAMPLE TYPE No.	—■ LIQUID LIMIT		● UC COMPRESSIVE STRENGTH		STANDARD PENETRATION	TOTAL DENSITY		
				□— PLASTIC LIMIT		○ UP PENETROMETER					
				○		■ PEAK □ REMOVED					
				MOISTURE CONTENT		VANE SHEAR TEST					
		%		ksc.		blows		t / m ³			
GROUND SURFACE		0.00		20 40 60 80 100		1 2 3		20 40 60 80		1 2	
Top Soil		ST 1	○ ■								
		ST 2	□ ■								
		ST 3									
Very soft to soft gray clay, trace of shallbits OL-ML, CL		ST 4	□ ■								
		ST 5									
		ST 6	□ ■								
		ST 7									
		ST 8	■								
Medium dense gray silty clayey sand SM		ST 9	○								
		SS 10	○								
		SS 11	□ ■								
Medium dense to hard grayish brown silty clay CL, CH		SS 12	□ ■								
		SS 13	□ ■								
		SS 14	□ ■								
		SS 15	□ ■								
		SS 16	□ ■								
Very dense brown silty sand SM		SS 17	□ ■								
		SS 18									
		SS 19	○								
		SS 20	○								
End of Boring		30.45									



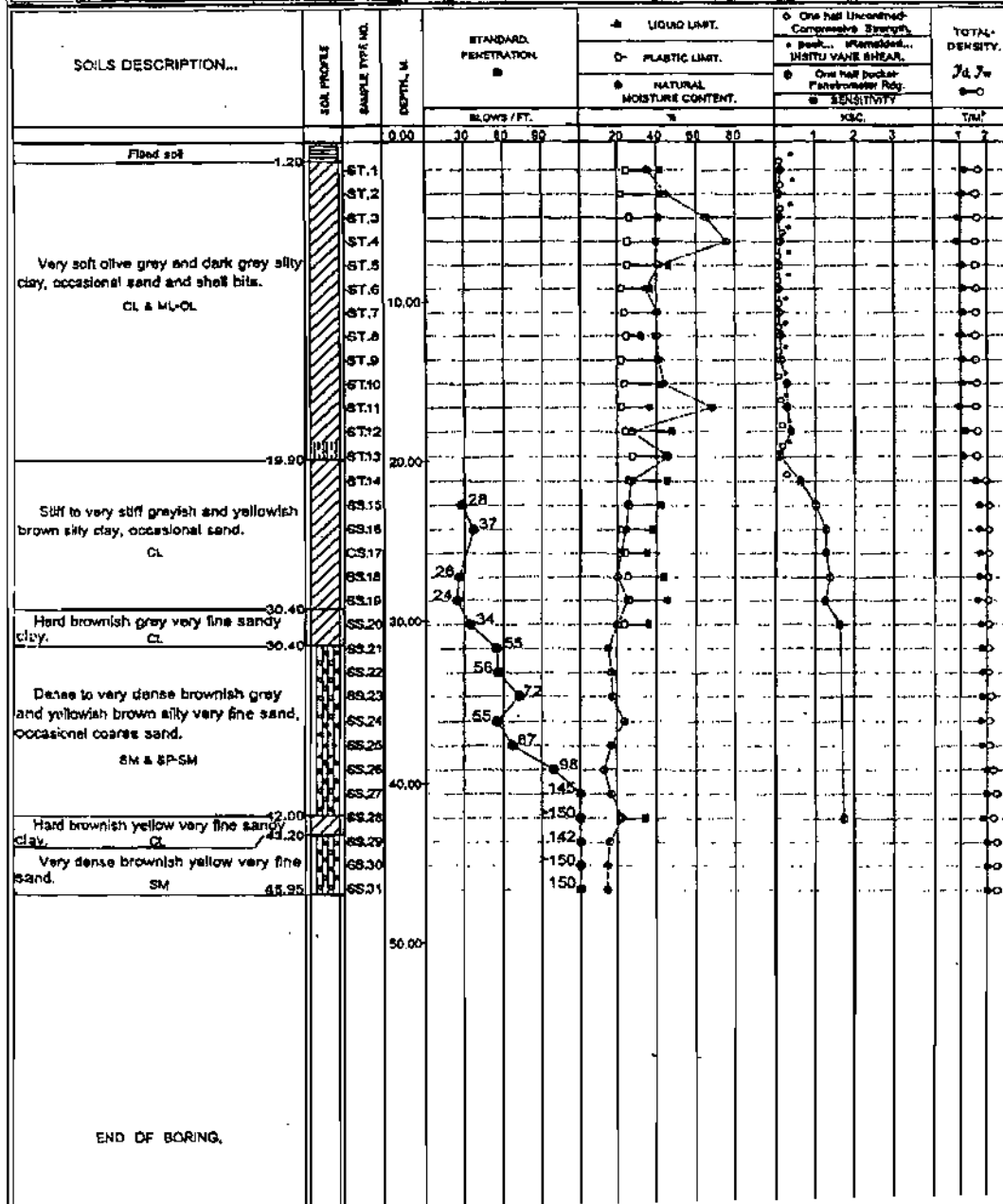
หมายเหตุ : ตัวเลขข้างหลุมเจาะแสดงค่า SPT N VALUE มีหน่วยเป็นครั้ง/ฟุต

รูปตัดชั้นดินของหลุม BH-1, 2 และ 3 ตามลำดับ

BORING LOG							
PROJECT	Expansion of Bang Khan Water Treatment Facilities and related works		BORING NO.	BH-6		GROUND WATER LEVEL (m.)	-0.66
			BORING DEPTH (m.)	33.38		STARTED DATE	24-Sep-98
LOCATION	Mahamevat Treatment Plant (Phase II)		GROUND ELEV. (m.)	-		FINISHED DATE	25-Sep-98
SOIL DESCRIPTION	DEPTH (m.)	SAMPLE & RECOVERY	GRAPHIC LOG	SPT (BLOWS/FT.)	PL Wn LL (X)	Δ UC FVT m PP (t/m ²)	+UNIT WEIGHT (t/m ³)
				20 40 80	25 50 75	2.5 5 7.5	1.5 2
CH SOFT TO MEDIUM STIFF CLAY, grayish brown, high plasticity.	1	HA					
	2	ST-1					
	3	WO					
4.00	4	ST-2					
	5	WO					
CL VERY SOFT TO SOFT SILTY CLAY, gray, medium plasticity, trace peat to shell.	6	ST-3					
	7	WO					
	8	ST-4					
	9	WO					
	10	ST-5					
	11	WO					
	12	ST-6					
13.00	13	WO					
CL VERY STIFF SILTY CLAY, grayish brown, medium plasticity.	14	ST-7					
	15	WO					
16.00	16	ST-8					
SU MEDIUM DENSE SILTY FINE SAND, light brown to brown.	17	WO					
17.50	18	ST-9					
	19	WO					
SP- DENSE TO VERY DENSE POORLY GRADED SILTY SAND, brown to brownish gray.	20	ST-10					
33.38	21	WO					
	22	ST-11					
	23	WO					
	24	ST-12					
	25	WO					
	26	ST-13					
	27	WO					
	28	ST-14					
	29	WO					
	30	ST-15					
	31	WO					
	32	ST-16					
	33	WO					
	34	ST-17					
33.38	35	WO					
End of boring							
	36						
	37						
	38						
	39						

W.A.C. BORING LOG

DATE	MORNING	EVENING	PROJECT.	FIG.	③
28/01/04	WL. = 1.40	WL. = 0.00	FACTORY	BORING NO.	1
29/01/04	WL. = 1.41	WL. = 0.00	LOCATION.	SURFACE ELV.	+0.04 M.
30/01/04	WL. = 1.40	WL. = 0.00	Amphoe Bang Plee	DATE START	28/01/04
31/01/04	WL. = 1.40	WL. = 0.00	Samut Prakan	DATE FINISH	31/01/04



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายไพศาล เสือแก้ว
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยวิธีพลศาสตร์กับ
 วิธีการคำนวณทางสถิตยศาสตร์ กรณีศึกษา อาคารศูนย์การค้าตุ๊กตัจกรมอลล์
 สาขาวิชา : โยธา

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดวันที่ 3 เมษายน 2520 หมู่บ้านร่วมสุข ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอเมือง
 จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ประวัติการศึกษา ปี พ.ศ. 2541 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชา
 ช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิค จังหวัดสุราษฎร์ธานี และ ปี พ.ศ. 2545 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (อ.บ.) สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ประวัติการทำงาน ปี พ.ศ. 2545 ถึง ปี พ.ศ. 2548 วิศวกร บริษัทสุภาลัย จำกัด (มหาชน)
 ปี พ.ศ. 2548 ถึง ปี พ.ศ. 2549 วิศวกรโครงการ บริษัท เจ เจ มอลล์ และ ปี พ.ศ. 2549 วิศวกร
 บริษัท 3 คอนแทรค จำกัด ถึง ปัจจุบัน