

คำตีความความต้านทานสำหรับการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอก

นายเฉลิมพล วิเศษทุม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

RESISTANCE FACTOR FOR BEARING CAPACITY ESTIMATION OF DRIVEN PILE

Mr. Chalernpol Visestoom

A Thesis in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ค่าตัวคุณความต้านทานสำหรับการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนัก  
บรรทุกของเสาเข็มตอก  
โดย นายเฉลิมพล วิเศษทุม  
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิวัฒน์ บุญญะฐิติ

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศวิญวงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิวัฒน์ บุญญะฐิติ)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สยาม ยิ้มศิริ)

เฉลิมพล วิเศษทุม : ค่าตัวคุณความต้านทานสำหรับการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนัก  
บรรทุกของเสาเข็มตอก ( RESISTANCE FACTOR FOR BEARING CAPACITY  
ESTIMATION OF DRIVEN PILE )

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.จิรวัตถ์ บุญญะฐิติ. 164 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าตัวคุณความต้านทานที่ใช้ออกแบบด้วยวิธีตัวคุณความ  
ต้านทานและน้ำหนักบรรทุกของการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ด้วยวิธีการ  
ประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์, การทดสอบค่ากำลังรับน้ำหนัก  
บรรทุกของเสาเข็มในสนามด้วยวิธีพลศาสตร์และวิธีการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของ  
เสาเข็มด้วยสูตรตอกเสาเข็ม 10 สูตร โดยใช้ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ประเมินโดย  
การทดสอบเสาเข็มในสนามด้วยวิธีสถิตยศาสตร์แล้วแปรผลหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดด้วย  
วิธีของ Mazurkiewicz เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบ การศึกษาดำเนินการโดยการรวบรวม  
ข้อมูลของเสาเข็มตอก จำนวน 45 ต้น ที่มีรายงานการเจาะสำรวจชั้นดิน, รายงานบันทึกการตอก  
เสาเข็ม, ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในสนามด้วยวิธีพลศาสตร์และรายงานผลการทดสอบ  
ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในสนามด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ทำการประเมินค่ากำลังด้วยวิธี  
ข้างต้น นำค่าที่ได้ไปเข้ากระบวนการทางสถิติ หาค่าความสัมพันธ์ต่าง ๆ ด้วยการสร้างสมการ  
เส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ), ค่าเอนเอียง, ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เพื่อนำ  
ค่าที่ได้จากกระบวนการทางสถิตินี้ ไปแทนค่าในสูตรหาค่าตัวคุณความต้านทาน ที่เสนอโดย  
AASHTO ผลการศึกษาที่ได้คือ วิธีการประเมินที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ สำหรับการ  
ออกแบบด้วยวิธี LRFD จะพิจารณาจากวิธีการประเมินที่มีความเที่ยงตรงมากที่สุด จากการ  
กระจายตัวของข้อมูลค่า ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนที่ต่ำที่สุด ซึ่งวิธีการประเมินที่ให้ค่าที่ต่ำสุด  
3 วิธี แยกตามชนิดดิน คือ ดินเหนียว วิธี Dutch, Modified ENR, Gate ค่าสัมประสิทธิ์ความ  
แปรปรวน เท่ากับ 0.09 , 0.15 และ 0.16 ทราบ วิธี Dutch, Gate, Modified ENR ค่าสัมประสิทธิ์  
ความแปรปรวน เท่ากับ 0.08 , 0.11 , 0.12 ดินทุกชนิด วิธี Dutch, Gate, Modified ENR ค่า  
สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เท่ากับ 0.10 , 0.16 , 0.17

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2555.....

# # 5270600621 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS : LRFD / RESISTANCE FACTOR / PILE DYNAMIC FORMULA / DYNAMIC PILE LOAD TEST / STATIC PILE LOAD TEST

CHALERMPOL VISESTOOM : RESISTANCE FACTOR FOR BEARING CAPACITY ESTIMATION OF DRIVEN PILE. ADVISOR : ASSOC.PROF.TIRAWAT BOONYATEE , Ph.D., 164 pp.

This study aims to determine the resistance factor for use to design with Load and Resistance Factor Design method of evaluate pile capacity by static analysis method , Dynamic Pile Load Test and Pile Dynamic Formula 10 formula compare with Static Pile Load Test and interpretation for the maximum load bearing capacity by Mazurkiewicz. A study conducted by collecting data of 45 pile driving and boring log report , pile driving record , value of ultimate pile capacity from Dynamic Pile Load Test and data of Static Pile Load Test . Find a relationship with the linear equation and coefficient of determination. ( $R^2$ ), the bias, standard deviation. To the values of the statistics of this process. To the values in the formula for the multiplier resistance offered by the AASHTO The study is. assessment methods that are appropriate to be applied. For LRFD design methods are based on estimation methods are the most honest. Of the distribution of the data is low. The lowest coefficient of variance. The evaluation method that provides the lowest third method by type of soil , clay is Dutch, Modified ENR, Gate coefficient of variance was 0.09, 0.15 and 0.16 , sand is Dutch , Gate , Modified ENR coefficient of variance of 0.08. , 0.11, 0.12 and all type is Dutch, Gate, Modified ENR coefficient of variance of 0.10, 0.16, 0.17.

Department :.....CIVIL ENGINEERING.....

Student's Signature.....

Field of Study:.....CIVIL ENGINEERING.....

Advisor's Signature.....

Academic Year.....2012.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรวัตถ์ บุญญะฐิติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งเสียสละเวลาคอยให้คำแนะนำและแนวทางในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล, รองศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ ลิขิตเลอสรวง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สยาม ยิ้มศิริ คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ที่ช่วยแนะนำ ตรวจสอบ แก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ผู้เขียนขอขอบคุณต่อ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชา ที่ให้ความร่วมมือ, ความช่วยเหลือ และกำลังใจที่ดีจนวิทยานิพนธ์แล้วเสร็จ

ผู้เขียนขอขอบคุณต่อกุลบุตรและกุลธิดาของผู้เขียน ที่เป็นแรงผลักดันทำให้ประสบความสำเร็จในการศึกษาครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนครูบาอาจารย์ทุก ๆ ท่าน ที่สั่งสอน อบรม ตักเตือนและให้ความรู้ในสาขาวิชา ผู้เขียนจะระลึกถึงจนกว่าชีวิตจะหาไม่

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 วัตถุประสงค์ในการนำเสามาใช้ในงานก่อสร้าง.....	5
2.2 วิธีการก่อสร้างงานเสามาใช้.....	5
2.3 ชนิดของเสามาใช้กับงานเสามาใช้.....	10
2.4 วิธีการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสามาใช้.....	13
2.5 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินรอบผิวเสามาใช้และค่ากำลังรับน้ำหนัก บรรทุกทุกของดินที่รองรับปลายเสามาใช้.....	21
2.6 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินรอบผิวเสามาใช้และดินที่รองรับ ปลายเสามาใช้หลังทำการก่อสร้างงานเสามาใช้.....	35
2.7 การออกแบบฐานรากลึกด้วยวิธีคำนวณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก.....	53
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	61
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	61
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	61
3.3 การดำเนินการวิจัย.....	65

บทที่	หน้า
4. ผลการวิจัย.....	70
4.1 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของการประเมินอย่างง่าย.....	76
4.2 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการประเมินวิธีต่างๆ ด้วยค่าเอนเอียงเฉลี่ย ( Bias, $\lambda_{Ra}$ ).....	84
4.3 การเปรียบเทียบความเหมาะสมกับการนำไปใช้ของการประเมินวิธีต่างๆ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ( $COV_R$ ).....	84
4.4 การปรับแก้ข้อมูลด้วยค่าเอนเอียง ( Correction Bias ).....	88
4.5 ค่าตัวคูณความต้านทาน ( Resistance Factor ; $\phi$ ).....	93
5. สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	99
รายการอ้างอิง.....	109
ภาคผนวก.....	112
ภาคผนวก ก. รายละเอียดเสาเข็มที่นำมาทำการวิจัย.....	113
ภาคผนวก ข. รายการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตย.....	114
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการเขียนกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุก และค่าการทรุดตัวของเสาเข็มเพื่อแปลผลหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุก สูงสุดของเสาเข็มด้วยวิธี Mazurkiewicz.....	151
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	164



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การเลือกใช้งานชนิดรูปหน้าตัดเสาเข็มและปลายเสาเข็มแบบต่าง ๆ ( ผนัฐมนต์และคณะ , 2550 ).....	14
ตารางที่ 2.2 เกณฑ์กำหนดค่าความต้านทานแรงอัดและแรงดึงในคอนกรีต( มอก.213-2552).....	16
ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินประสิทธิผล, $K$ แบ่งตามชนิดของเสาเข็ม (Das,2004).....	26
ตารางที่ 2.4 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตอกทดสอบทะลวงแบบมาตรฐาน ( Standard Penetration Test ; SPT,N ) กับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( Undrained Shear Strength ; $S_u$ ) , ( Terzaghi et al ,1996 ).....	28
ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่ของ Gates formula แบ่งตามหน่วย.....	31
ตารางที่ 2.6 ค่าแนะนำการใช้ให้น้ำหนักน้อยสุดของตุ้มน้ำหนัก ( ผนัฐมนต์และคณะ , 2550 ).....	34
ตารางที่ 2.7 ประสิทธิภาพของตุ้มตอก ( ผนัฐมนต์และคณะ , 2550).....	35
ตารางที่ 2.8 ค่าความเร็วคลื่นในตัวกลางเสาเข็มชนิดต่าง ๆ ( ผนัฐมนต์และคณะ , 2550 ).....	36
ตารางที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของค่าอิมพีแดนซ์ ที่มีผลกับสัญญาณคลื่นสะท้อนกลับ ( ผนัฐมนต์และคณะ , 2550 ).....	37
ตารางที่ 2.10 ค่าดัชนีความสมบูรณ์ ( Integrity Factor ) หรือ ค่าเบต้า ; $\beta$ ( F. Rabsche ,G.G. Goble ,1986 ).....	39
ตารางที่ 2.10 สรุปรูปขั้นตอนการเพิ่มน้ำหนักและข้อพิจารณาการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก ( ASTM D 3689 – 83 ).....	47
ตารางที่ 3.1 สรุปรูปสูตรตอกเสาเข็มที่ใช้ทำการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็ม.....	66
ตารางที่ 3.1 ( ต่อ ) สรุปรูปสูตรตอกเสาเข็มที่ใช้ทำการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่าน เสาเข็ม.....	67
ตารางที่ 4.1 แสดงรายการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยสูตรตอกเสาเข็ม.....	73
ตารางที่ 4.2 สรุปรูปผลค่าประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีต่าง ๆ.....	74
ตารางที่ 4.3 แสดงตัวอย่างการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของดินด้วยวิธีสถิติศาสตร์ ของ Pile No 28.....	75
ตารางที่ 4.4 สรุปรูปค่า R2 ของวิธีประเมินต่าง ๆ และดินชนิดต่าง ๆ.....	83
ตารางที่ 4.5 สรุปรูปค่าสมการเส้นตรง ของวิธีประเมินต่าง ๆ และดินชนิดต่าง ๆ.....	83
ตารางที่ 4.6 ค่าตัวแปรต่าง ๆ สำหรับวิเคราะห์หาค่าตัวคูณความต้านทานของดินเหนียว.....	93
ตารางที่ 4.7 ค่าตัวแปรต่าง ๆ สำหรับวิเคราะห์หาค่าตัวคูณความต้านทานของทราย.....	94
ตารางที่ 4.8 ค่าตัวแปรต่าง ๆ สำหรับวิเคราะห์หาค่าตัวคูณความต้านทานของดินทุกชนิด.....	94

ตารางที่ 4.9 ค่าตัวคุณความต้านทานของดินเหนียว ที่ $\beta_T = 2.0$ และ $\beta_T = 2.5$ .....	95
ตารางที่ 4.10 ค่าตัวคุณความต้านทานของทราย ที่ $\beta_T = 2.0$ และ $\beta_T = 2.5$ .....	95
ตารางที่ 4.11 ค่าตัวคุณความต้านทานของดินทุกชนิด ที่ $\beta_T = 2.0$ และ $\beta_T = 2.5$ .....	96
ตารางที่ 5.1 สรุปวิธีการประเมินที่ให้ผลการประเมินที่แม่นยำ.....	99
ตารางที่ 5.2 สรุปวิธีการประเมินที่มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้.....	100
ตารางที่ 5.3 สรุปค่าเอนเอียงของวิธีการประเมินต่าง ๆ จากน้อยไปหามาก ( ดินเหนียว ).....	100
ตารางที่ 5.4 สรุปค่าเอนเอียงของวิธีการประเมินต่าง ๆ จากน้อยไปหามาก ( ทราย ).....	101
ตารางที่ 5.5 สรุปค่าเอนเอียงของวิธีการประเมินต่าง ๆ จากน้อยไปหามาก ( ดินทุกชนิด ).....	101
ตารางที่ 5.6 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของวิธีการประเมินต่าง ๆ จากน้อยไปมาก ( ดินเหนียว ).....	102
ตารางที่ 5.7 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของวิธีการประเมินต่าง ๆ จากน้อยไปมาก ( ทราย ).....	103
ตารางที่ 5.8 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของวิธีการประเมินต่าง ๆ จากน้อยไปมาก ( ดินทุกชนิด ).....	103
ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบค่าระหว่างสมการเส้นตรงกับค่าเอนเอียง.....	104
ตารางที่ 5.10 ค่าตัวคุณความต้านทานที่ $\beta_T = 2.0$ และ $2.5$ จากน้อยไปมาก (ดินเหนียว).....	105
ตารางที่ 5.11 ค่าตัวคุณความต้านทานที่ $\beta_T = 2.0$ และ $2.5$ จากน้อยไปมาก (ทราย).....	105
ตารางที่ 5.12 ค่าตัวคุณความต้านทานที่ $\beta_T = 2.0$ และ $2.5$ จากน้อยไปมาก (ดินทุกชนิด).....	106
ตารางที่ 5.13 ค่าตัวคุณความต้านทานของการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกวิธีต่างๆ มาตรฐานอื่น ๆ.....	108

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	เสาเข็มรับน้ำหนักด้วยเสียดทาน(Friction Piles)และเสาเข็มรับน้ำหนักที่ปลาย (End – Bearing – Piles) ( www.vulcanhammer.com , 2007 : ออนไลน์ )	6
รูปที่ 2.2	การตอกเสาเข็มวิธี Drop hammer (บริษัท สามัคคีผลิตภัณฑ์คอนกรีต จำกัด , 2554 : ออนไลน์ )	8
รูปที่ 2.3	กลไกการทำงานของการตอกเสาเข็มวิธี Single Acting Steam Hammer และ Double Acting Steam Hammer( www.vulcanhammer.com , 2007 : ออนไลน์ )	9
รูปที่ 2.4	การตอกเสาเข็มวิธี Steam hammer (www.myconstructionphotos.smugmug.com,2004 : ออนไลน์ )	9
รูปที่ 2.5	กลไกการทำงานของการตอกเสาเข็มวิธี Diesel Hammer ( www.vulcanhammer.com , 2007 : ออนไลน์ )	10
รูปที่ 2.6	ลักษณะเสาเข็มไม้และการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง,ความยาว ( มาตรฐานงานเสาเข็ม มยธ.106-2533 )	11
รูปที่ 2.7	ลักษณะรูปหน้าตัดเสาเข็มคอนกรีตและเสาเข็มเหล็ก ( UFC 3 – 220 – 02 , 2004 )	12
รูปที่ 2.8	ลักษณะของปลายเสาเข็ม “ชู Shoes” หรือ Pile Point ที่ใช้กับเสาเข็มไม้ (UFC 3-220- 02,2004)	12
รูปที่ 2.9	ลักษณะของปลายเสาเข็ม “ ชู Shoes “ หรือ Pile Point ที่ใช้กับเสาเข็มเหล็ก และเสาเข็มคอนกรีต ( UFC 3 – 220 – 02 , 2004 )	13
รูปที่ 2.10	เส้นรอบรูปของเสาเข็มที่ใช้เพื่อการออกแบบเสาเข็มตอก(UFC 3-220-02,2004)	13
รูปที่ 2.11	รูปแบบภาคตัดขวางรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสตัน,รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสกลวง และรูปตัวไอ( มอก.396-2549 )	15
รูปที่ 2.12	การเคลื่อนตัวของชั้นดินรอบผิวเสาเข็มและที่ปลายเสาเข็ม ( วรากร , 2539 )	18
รูปที่ 2.13	ความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ของเสาเข็มกับการพัฒนาแรงต้านทานของดินจนถึง จุดสูงสุด ( Carroll ; 1987 )	19
รูปที่ 2.14	การพัฒนาแรงต้านทานของดิน ( Carroll ; 1987 )	19
รูปที่ 2.15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $S_U$ และ $\alpha$ (Tomlinson,1980)	24
รูปที่ 2.16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\phi$ กับค่า $N_q$ และ ค่า SPT - N ( Peak,R.B.,Hanson,W.E.and Thornburn,T.H.,1953 )	25

รูปที่ 2.17 เครื่องทดสอบการตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test ; SPT , N ) แบบ Donut hammer ( <a href="http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc38318/m1/18/med_res/">http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc38318/m1/18/med_res/</a> ).....	27
รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเสียดทานภายในของดิน ( Angle of Internal Friction; $\phi'$ ) กับค่าตอกทดสอบทะลวงแบบมาตรฐาน ( Standard Penetration Test ; SPT,N ), (Carter and Bentley , 1991 ).....	29
รูปที่ 2.19 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ Seismic Test ( Project The Idol Condominium ; 2012 ).....	36
รูปที่ 2.20 ลักษณะการสะท้อนกลับของสัญญาณทดสอบ ( ญัฐมนต์และคณะ , 2550 ).....	37
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างเส้นกราฟจากสัญญาณการทดสอบด้วยวิธี Seismic Test ( ญัฐมนต์และคณะ,2550 ).....	39
รูปที่ 2.22 ตำแหน่งการติดตั้งมาตรวัดสัญญาณของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง หน้าตัดสี่เหลี่ยมตัน , หน้าตัดรูปตัวไอและหน้าตัดกลมกลวง( มยผ.1252 – 51; 2551 ).....	41
รูปที่ 2.23 เครื่องบันทึกสัญญาณและประมวลผล ( Pile Driving Analyzer ; PDA ) และการติดตั้งมาตรวัดสัญญาณความเครียด ( Strain Transducer ) และมาตรวัดสัญญาณความเร่ง ( Accelerometer ) ( <a href="http://www.jlp.co.th/web;2012">http://www.jlp.co.th/web;2012</a> ).....	41
รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะสัญญาณของการทดสอบเสาเข็มที่สภาพต่างๆ ( ญัฐมนต์และคณะ,2550 ).....	42
รูปที่ 2.25 การทดสอบแบบให้ก้อนน้ำหนักกดทับบนหัวเข็ม , Kent ledge ( <a href="http://www.fhwa.dot.gov;2011">www.fhwa.dot.gov;2011</a> ).....	44
รูปที่ 2.26 การทดสอบแบบให้ก้อนน้ำหนักกดทับบนหัวเข็ม+แม่แรงไฮดรอลิค ( <a href="http://www.fhwa.dot.gov;2011">www.fhwa.dot.gov;2011</a> ).....	45
รูปที่ 2.27 การทดสอบแบบโดยใช้เข็มสมอยึด(anchorage pile)( <a href="http://www.fhwa.dot.gov;2011">www.fhwa.dot.gov;2011</a> ).....	45
รูปที่ 2.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มน้ำหนักกับเวลาของการทดสอบแบบ SMLT ,แบบ Cyclic Load Test และแบบ Quick Load Test (STS,2003).....	46
รูปที่ 2.29 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็มในชั้นดินต่าง ๆ ( Tomlinson,1994 ).....	48
รูปที่ 2.30 วิธีการหาน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติโดยวิธีกราฟฟิกของ Davisson ( 1972 ).....	50

รูปที่ 2.31 วิธีการหาน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีกราฟฟิกบนสเกล Double Log ของ De Beer (1967 ).....	51
รูปที่ 2.32 วิธีการหาน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีกราฟฟิกของ Decourt's Extrapolation Method ( 1999 ).....	51
รูปที่ 2.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวที่ได้ จากการทดสอบในสนามกับการคำนวณด้วยสมการ (2.40) ของDecourt's Extrapolation Method ( 1999 ).....	52
รูปที่ 2.34 การแปรผลโดยการวิธีทางกราฟฟิก ของ Mazurkiewicz,1972.....	53
รูปที่ 2.35 ความหมายของค่าตัวคูณความต้านทานและตัวคูณน้ำหนักบรรทุก ( FHWA HI-98-032,2001 ).....	54
รูปที่ 2.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเชื่อมั่น ; $\beta_T$ กับค่าความน่าจะเป็นของการวิบัติ ; $p_f$ ( Withiam ,et al.,1998 ).....	59
รูปที่ 3.1 ใบแสดงรายงานผลการเจาะสำรวจและวิเคราะห์คุณสมบัติของชั้นดิน(Boring Log).....	63
รูปที่ 3.2 ใบแสดงรายงานบันทึกการตอกเสาเข็ม ( Pile Driving Record ).....	64
รูปที่ 3.3 แผนผังแนวทางการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม.....	68
รูปที่ 3.4 แผนผังแนวทางการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มด้วยวิธีสถิติศาสตร์.....	68
รูปที่ 3.5 แสดงวิธีการแปรค่าหาน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธี Mazurkiewicz...	69
รูปที่ 3.6 แผนผังแนวทางการหาค่าตัวคูณความต้านทาน.....	69
รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนาม ด้วยวิธีพลศาสตร์.....	72
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างสมการเส้นตรงและค่า $R^2$ ของการประเมินด้วยวิธี Janbu (ดินเหนียว).....	76
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างสมการเส้นตรงและค่า $R^2$ ของการประเมินด้วยวิธี Janbu (ทราย).....	77
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างสมการเส้นตรงและค่า $R^2$ ของการประเมินด้วยวิธี Janbu (ดินทุกชนิด).....	77
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างสมการเส้นตรงและค่า $R^2$ ของการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ (ดินเหนียว).....	78
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างสมการเส้นตรงและค่า $R^2$ ของการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ (ทราย).....	79
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างสมการเส้นตรงและค่า $R^2$ ของการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ (ดินทุกชนิด).....	80
รูปที่ 4.8 ค่าสมการเส้นตรงของการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ (ดินเหนียว,ทรายและดินทุกชนิด).....	81

	หน้า
รูปที่ 4.9 ค่า $R^2$ ของการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ ( ดินเหนียว , ทรายและดินทุกชนิด )	82
รูปที่ 4.10 ค่าเอนเอียงเฉลี่ยของการประเมินด้วยวิธี Janbu (ดินเหนียว)	84
รูปที่ 4.11 ค่าเอนเอียงเฉลี่ยของการประเมินด้วยวิธี Janbu (ทราย)	85
รูปที่ 4.12 ค่าเอนเอียงเฉลี่ยของการประเมินด้วยวิธี Janbu (ดินทุกชนิด)	85
รูปที่ 4.13 ค่าเอนเอียงเฉลี่ยของการประเมินทุกวิธี ( ดินเหนียว , ทรายและดินทุกชนิด )	86
รูปที่ 4.14 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของการประเมินทุกวิธี ( ดินเหนียว , ทรายและดินทุกชนิด )	87
รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของข้อมูลก่อนปรับแก้ด้วย $\lambda_{Ra}$ ( ดินเหนียว )	88
รูปที่ 4.16 การกระจายตัวของข้อมูลหลังปรับแก้ด้วย $\lambda_{Ra}$ ( ดินเหนียว )	88
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนและหลังปรับแก้ (ดินเหนียว)	89
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนและหลังปรับแก้ (ทราย)	90
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนและหลังปรับแก้ (ดินทุกชนิด)	91
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนและหลังปรับแก้ ( ดินเหนียว , ทรายและดินทุกชนิด )	92
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าตัวคูณความต้านทานของดินชนิดต่างๆ ที่ $\beta_T = 2.0$	97
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าตัวคูณความต้านทานของดินชนิดต่างๆ ที่ $\beta_T = 2.5$	98

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของชั้นดินผ่านเสาเข็มด้วยการ ใช้สูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) นั้นมีมานานมากกว่า 160 ปี จนถึงปัจจุบัน ซึ่งสามารถทำการประเมินค่าได้อย่างรวดเร็ว แต่ส่วนใหญ่เมื่อนำไปใช้งานจริงมักจะเกิดความคลาดเคลื่อนหลายอย่าง เช่น การประมาณความยาวเสาเข็มคลาดเคลื่อน ทำให้เหลือความยาวที่ไม่ได้ใช้งานเป็นระยะๆ มากไม่ สามารถตอกเสาเข็มต่อไปได้หรือบางครั้งต้องทำการเสริมฐานรากครอบหัวเสาเข็ม (Pile Cap) เพื่อ ต่อหัวเสาเข็มให้ได้ระดับ เนื่องจากต้องส่งหัวเสาเข็มลงไปลึกมากเพื่อให้ได้จำนวนครั้งการตอกต่อ ความยาว 30 เซนติเมตร (Blow Count) ตามที่ได้ออกแบบไว้ เนื่องจากสูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) นั้นเป็นสูตรที่คิดค้นและสร้างขึ้นด้วยประสบการณ์ของผู้คิดสูตร เรียกว่า สูตรเชิงประสพการณ์ (Empirical Formula) ส่วนที่ใช้ในประเทศไทยนั้น เป็นสูตรที่คิดโดย นักวิชาการต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ถึงแม้จะมีนักวิชาการชาวไทยหลายท่าน ได้นำมาวิเคราะห์ วิจัย หาค่าตัวแปรที่เหมาะสมกับสภาพชั้นดินในเมืองไทย แต่ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น เนื่องจากการวิเคราะห์ วิจัย นั้น อาจจะยังไม่ครอบคลุมในทุก ๆ ตัวแปรที่มีอยู่ในสูตร นั้น ๆ และการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกดด้วยสูตรตอกเสาเข็มนี้ ถือได้ว่าเป็น วิธีการออกแบบฐานรากลึก (Deep Foundation) ชนิดหนึ่ง ในเมืองไทยวิศวกรผู้ออกแบบยัง ออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design ; WSD) หรือการออกแบบโดยวิธีอีลาสติก ซึ่งออกแบบภายใต้เงื่อนไขที่ว่า การรับน้ำหนักขององค์อาคาร ต้องมีหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในองค์อาคารไม่เกินกว่าค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress) ตามที่มาตรฐานต่าง ๆ กำหนด ซึ่งจะจำกัดหน่วยแรงที่เกิดขึ้นด้วยค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) และวิธี หน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress Design; ASD) เป็นการออกแบบให้องค์อาคารมีอัตราส่วน ความปลอดภัย (Factor of Safety ; FS) ด้วยการเพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานตามชนิดของน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ และลดค่าความสามารถต้านทานของแรงชนิดต่าง ๆ ลงด้วยเช่นกัน

จากทฤษฎีการออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ( Allowable Stress Design ; ASD ) American Association of State Highway and Transportation ; AASHTO ได้นำมาพัฒนาเพื่อ ใช้กับการออกแบบโครงสร้างสะพานโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design; LRFD) มาตั้งแต่นั้นปี ค.ศ.1992 โดยเฉพาะการออกแบบฐาน ราก ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง

การออกแบบโดยวิธี LRFD นี้ จะมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือกว่าวิธี ASD เนื่องจากค่าตัวคูณความต้านทาน ( Resistance Factor );  $\phi$  และค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุก ( Load Factor ) ;  $\gamma$  ที่ถูกเลือกนำมาใช้ในการคำนวณโดยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับความเสี่ยงต่อการวิบัติและความรุนแรงของการวิบัติ ค่าที่ได้มานั้นจะได้มาจากการเก็บรวบรวมและการประมวลข้อมูลทางสถิติ โดยอาศัยทฤษฎีความน่าเชื่อถือ ( Reliability ) ซึ่งจะมีค่าที่แตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น

สำหรับในประเทศไทยนั้น การออกแบบโดยวิธี LRFD นี้ ได้มีการนำมาใช้กับการออกแบบโครงสร้างเหล็กตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ฉบับที่ วสท.1020 – 51 ซึ่งได้อ้างอิงจาก LRFD Specification ของ AISC ฉบับปี 1993 แต่การออกแบบฐานรากด้วยวิธี LRFD ยังไม่มีมาตรฐานกำหนดเพื่อการออกแบบ

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการก่อสร้างงานเสาเข็มตอก ที่มีรายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดิน (Boring Log), รายงานบันทึกการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Record), ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของดินผ่านเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกชั้นดินผ่านเสาเข็มแบบวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Pile Load Test), รายงานการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกชั้นดินแบบสถิตศาสตร์ (Static Pile Load Test) มาทำการปรับค่าผ่านกระบวนการทางสถิติโดยใช้ทฤษฎีความน่าเชื่อถือ (Reliability) หาค่าความเบี่ยงเบน (Bias) และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation ; COV) นำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสูตรหาค่าตัวคูณความต้านทาน ( Resistance Factor ;  $\phi$  ) ซึ่งเสนอโดย AASHTO เพื่อใช้กับการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกด ที่คำนวณและประเมินด้วยวิธีคำนวณทางสถิตศาสตร์ ( Static Analysis Method ) , สูตรตอกเสาเข็ม ( Pile Dynamic Formula ) จำนวน 10 สูตร และผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มในสนามด้วยวิธีพลศาสตร์ ( Dynamic Pile Load Test ) โดยใช้ค่าผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธีสถิตศาสตร์ (Static Pile Load Test) แล้วแปรผลการทดสอบหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดด้วยวิธีกราฟฟิกของ Mazurkiwicz ที่เชื่อถือผลการประเมินได้มากที่สุดเป็นค่าเปรียบเทียบ



## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เปรียบเทียบการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกดด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ , การทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดในสนามด้วยวิธีพลศาสตร์และสูตรการตอกเสาเข็ม ( Pile Dynamic Formula ) สูตรต่างๆ ว่ามีผลประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของชั้นดินผ่านเสาเข็มใกล้เคียงหรือแตกต่างกับผลประเมินที่ได้จากการแปลผลด้วยวิธีกราฟฟิกของ Mazurkiwicz ของการทดสอบหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static Pile Load Test) อย่างไร

1.2.2 หาค่าตัวคูณความต้านทาน ( Resistance Factor ;  $\phi$  ) โดยสูตรซึ่งเสนอโดย AASHTO เพื่อใช้กับการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกด ที่ประเมินด้วยวิธีคำนวณทางสถิตยศาสตร์ (Static Analysis Method),สูตรตอกเสาเข็ม (Pile Dynamic Formula) จำนวน 10 สูตร และผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มในสนามด้วยวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Pile Load Test)

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 คำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกดด้วยการคำนวณโดยวิธีทางสถิตยศาสตร์ (Static Analysis Method)ของเสาเข็ม โดยใช้ข้อมูลคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดิน ที่มีอยู่ในรายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดิน (Boring Log) โดยแบ่งชนิดชั้นดินเป็นชั้นดินเหนียวและทราย

1.3.2 คำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกดโดยการคำนวณกลับด้วยสูตรตอกเสาเข็มทั้ง 10 สูตร จากค่าเฉลี่ยการทรุดตัวของเสาเข็มต่อการตอก 1 ครั้ง (Settlement per Blow ; S),ประสิทธิภาพเครื่องตอก,น้ำหนักตุ้มตอก,ขนาดเสาเข็ม,ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุทำเสาเข็ม ที่ระบุในรายงานการตอกเสาเข็ม ( Pile Driving Record )

1.3.3 ใช้ค่าการรับน้ำหนักบรรทุกของชั้นดินผ่านเสาเข็มเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกดที่ประเมินได้จากวิธีการคำนวณ ต่าง ๆ มาคำนวณตามกระบวนการทางสถิติ เพื่อหาค่าความเบี่ยงเบน (Bias),ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation ;  $\sigma_R$ ) และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

( Coefficient of Variation ; COV ) โดยเทียบกับค่าการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกดในสนามด้วยวิธีสถิตยศาสตร์แล้วแปลผลหาค่าด้วยวิธีกราฟฟิกของ Mazurkiwicz

1.3.4 คำนวณหาค่าตัวคูณความต้านทาน ( Resistance Factor ;  $\phi$  ) ของการประเมินหาค่าการรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกดด้วยวิธีต่าง ๆ ตามสูตรซึ่งเสนอโดย AASHTO

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นการพัฒนาวิธีการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของชั้นดินผ่านเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกดให้มีความแม่นยำและมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

1.4.2 เป็นการพัฒนาการออกแบบฐานรากโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ( Load and Resistance Factor Design ; LRFD ) โดยเฉพาะการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกด ด้วยสูตรตอกเสาเข็ม

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ ๆ ที่มีน้ำหนักตัวอาคารมาก ๆ จำเป็นที่จะต้องมียุทธวิธี เพื่อเป็นการรวมแรงกระทำต่าง ๆ จากตัวอาคาร แล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดิน ซึ่งในชั้นดินชั้น ๆ นั้นก็จะมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้น้อย การที่จะสร้างฐานรากในชั้นดินลึก ๆ เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกของอาคารได้ก็มีความสูงที่มาก การใช้ในการถ่ายน้ำหนักจากฐานรากสู่ชั้นดินที่ลึก ด้วยเสาเข็ม จึงเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างงานฐานรากซึ่งการรับน้ำหนักของเสาเข็มนั้น แบ่งได้เป็น

1.เสาเข็มสั้น สามารถรับน้ำหนักได้โดยอาศัยความเสียดทานของดินรอบๆเข็มเป็นหลักเพียงอย่างเดียว จึงทำให้สามารถรับน้ำหนักได้เต็มที่และอาจเกิดการทรุดตัวได้บ้างพอสมควร ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับอาคารที่มีน้ำหนักมาก ๆ

2.เสาเข็มยาว สามารถรับน้ำหนักได้โดยอาศัยความเสียดทานของดินรอบๆเสาเข็มร่วมกับกำลังแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม จึงทำให้สามารถรับน้ำหนักได้เต็มที่และไม่มีทรุดตัว (ไม่รวมผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว หากต้องการป้องกันแผ่นดินไหวต้องออกแบบต้านแรงแผ่นดินไหวด้วย ) ดังนั้นจึงเหมาะสมกับอาคารที่มีน้ำหนักมาก ๆ อย่างยิ่ง

#### 2.1 วัตถุประสงค์ในการนำเสาเข็มไปใช้ในงานก่อสร้าง

2.1.1 เพื่อถ่ายน้ำหนักผ่านน้ำหรือชั้นดินอ่อนไปยังชั้นดินแข็งที่เหมาะสม ได้แก่ เสาเข็มรับน้ำหนักที่ปลาย (End – Bearing – Piles)

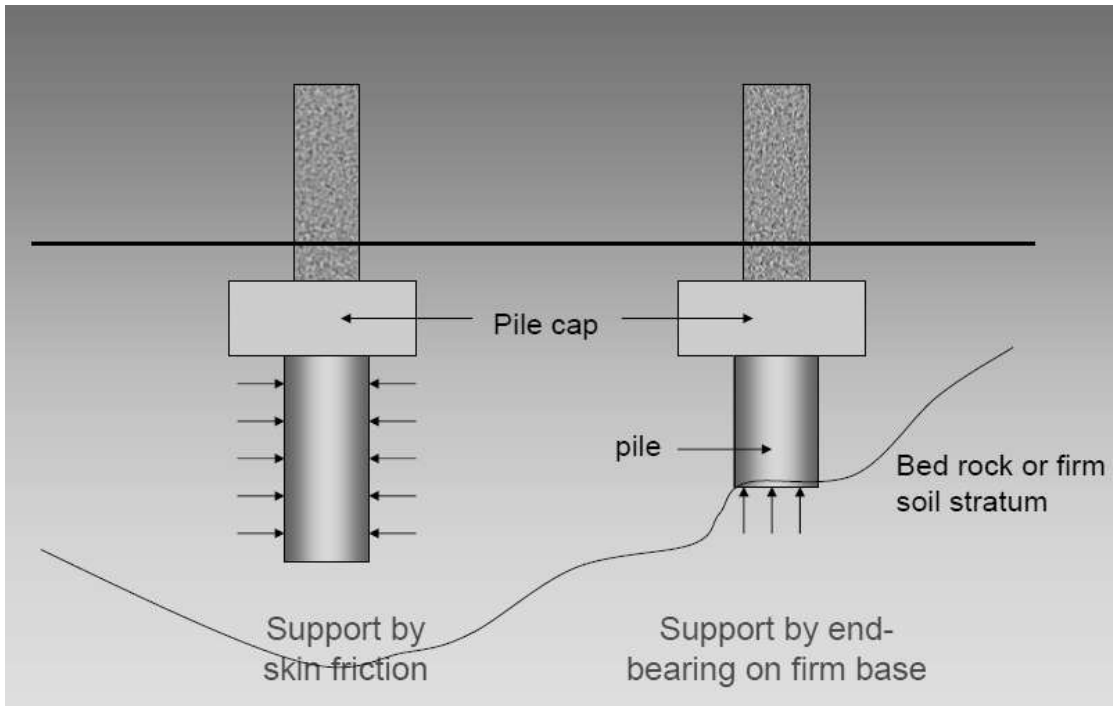
2.1.2 เพื่อถ่ายน้ำหนักลึกลงไปในชั้นดินอ่อนด้วย แรงเสียดทาน (Skin Friction) ตลอดความยาวของเสาเข็ม ได้แก่ เสาเข็มเสียดทาน (Friction Piles)

2.1.3 เพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของฐานราก

2.1.4 เพื่อเป็นการลดค่าการทรุดตัวของฐานราก

#### 2.2 วิธีการก่อสร้างงานเสาเข็ม

การก่อสร้างเสาเข็มนั้นมีด้วยกันหลากหลายวิธี การเลือกใช้วิธีการก่อสร้างนั้น ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมข้างเคียงสถานที่ก่อสร้าง เพราะแรงสั่นสะเทือนจากการก่อสร้างงานเสาเข็มจะมีผลกระทบต่ออาคารข้างเคียงเป็นอย่างมาก การแบ่งตามลักษณะวิธีการก่อสร้างจะสามารถแยกออกได้เป็นกลุ่มใหญ่ คือ เสาเข็มเจาะ (Bored Piles, Cast-in-place piles, Replacement or nondisplacement pile) เสาเข็มเจาะเสียบ (Pre-bored Pile) และเสาเข็มตอก (Driven Piles, Displacement Piles)



รูปที่ 2.1 เสาเข็มรับน้ำหนักด้วยเสียดทาน(Friction Piles)และเสาเข็มรับน้ำหนักที่ปลาย (End – Bearing – Piles) ( www.vulcanhammer.com , 2007 : ออนไลน์ )

### 2.2.1 เสาเข็มเจาะ

(Bored Piles, Cast-in-place piles, Replacement or non displacement pile)

การใช้เสาเข็มเจาะจะไม่ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนอันอาจเป็นอันตรายต่ออาคารข้างเคียง เพราะไม่มีการตอกกระแทกของปั้นจั่น อีกทั้งขนาดของเสาเข็มเจาะก็อาจทำให้มีขนาดใหญ่โดยมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางได้ถึง 200 เซนติเมตร เพราะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดของขนาดของปั้นจั่นและน้ำหนักของตัวเสาเข็ม อีกทั้งความลึกของเสาเข็มเจาะก็สามารถเจาะได้ลึกจนนั้น เสาเข็มเจาะจึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับอาคารสูงซึ่งต้องรับน้ำหนักมากและอาคารที่สร้างใกล้ชิดอาคารข้างเคียง เพื่อป้องกันมิให้เกิดการสั่นสะเทือนซึ่งจะเป็นอันตรายต่ออาคารข้างเคียง กรรมวิธีในการทำเสาเข็มเจาะค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนและจะต้องทำ ณ สถานที่ที่จะใช้งานจริงเลยโดยใช้เครื่องมือเจาะขุดดินลงไปให้ได้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางและความลึกของเสาเข็มตามที่กำหนด จากนั้นจึงจะใส่เหล็กเสริมและเทคอนกรีตลงไปเพื่อหล่อเป็นเสาเข็ม เสาเข็มเจาะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆตามขนาดของเสาเข็มและกรรมวิธีที่ใช้ได้แก่

- เสาเข็มเจาะขนาดเล็ก ( small diameter bored pile ) เป็นเสาเข็มเจาะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 35-60 เซนติเมตร (ส่วนใหญ่จะเป็น ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 35, 40, 50, 60 เซนติเมตร) มีความลึกอยู่ในช่วงประมาณ 18-23 เมตร กรรมวิธีที่ใช้ในการเจาะมักจะเป็นแบบแห้ง ( dry process ) ซึ่งเป็นการขุดเจาะโดยใช้เครื่องมือขุดเจาะลงไปตามธรรมดา

- เสาค้ำเข็มเจาะขนาดใหญ่ (large diameter bored pile ) เป็นเสาค้ำเข็มเจาะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 60 เซนติเมตรขึ้นไป (ส่วนใหญ่จะมี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80, 100, 120, 150 เซนติเมตร ) มีความลึกอยู่ในช่วงประมาณ 25-65 เมตร กรรมวิธีที่ในการเจาะมักจะเป็นระบบเปียก ( wet process ) ซึ่งแตกต่างจากระบบแห้ง คือจะต้องเพิ่มชั้นตอนในการฉีดสารเคมีเหลวซึ่งเรียกว่า Bentonite slurry หรือ โพลีเมอร์ ( Polymer ) ลงไปในหลุมที่ทำการขุดเจาะ โดยเฉพาะหลุมที่มีความลึกมาก ๆ ถึงชั้นทรายหรือหลุมที่มีน้ำใต้ดิน ทั้งนี้เพื่อสร้างแรงดันในหลุมที่เจาะและยึดประสานผิวดินในหลุมเพื่อป้องกันมิให้ผนังหลุมที่เจาะพังทลายลงมา

### 2.2.2 เสาค้ำเข็มเจาะเสียบ (Pre-bored Pile)

เป็นเสาค้ำเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปธรรมดาทั่วไปแต่แทนที่จะทำการตอกตั้งแต่เริ่มแรกกลับทำการเจาะรูนำเสียบก่อนจนเลยระดับความลึกของชั้นดินอ่อนเพื่อให้เมื่อตอกเสาค้ำเข็มแล้วแรงสั่นสะเทือนเกิดขึ้นน้อยจากผลการทดสอบการรับน้ำหนักหนักของเสาค้ำประเภทนี้ปรากฏว่าการใช้เข็มเจาะเสียบนี้ไม่ทำให้การรับน้ำหนักของเสาค้ำลดลงเลยประโยชน์ของการใช้เสาค้ำชนิดนี้ก็คือ

- ลดปริมาตรในการแทนที่ด้วยเสาค้ำ
- ลดค่าแรงขุดลงของเสาค้ำในชั้นดินอ่อน ( Negative Skin Friction ) เพราะก่อนการตอกได้ขุดเอาดินอ่อนในตำแหน่งที่จะตอกเสาค้ำออกไปก่อนแล้วโดยที่หลุมเจาะมีขนาดโตกว่าเสาค้ำประมาณ 5-10 ซม.
- ลดความสั่นสะเทือนในส่วนดินชั้นบนๆ เพราะหลุมเจาะมีขนาดใหญ่กว่าเสาค้ำ
- ลดการเคลื่อนตัวของดินชั้นบนๆ ซึ่งจะทำให้ตำแหน่งของเสาค้ำผิดไปจากที่ต้องการ
- ลดความเสียหายอันอาจเกิดต่ออาคารข้างเคียงได้มาก
- มีความมั่นใจในการตอกเสาค้ำคือมีความมั่นใจว่าเสาค้ำจะไม่เกิดการหักขึ้น

### 2.2.3 เสาค้ำตอก (Driven Piles , Displacement Piles)

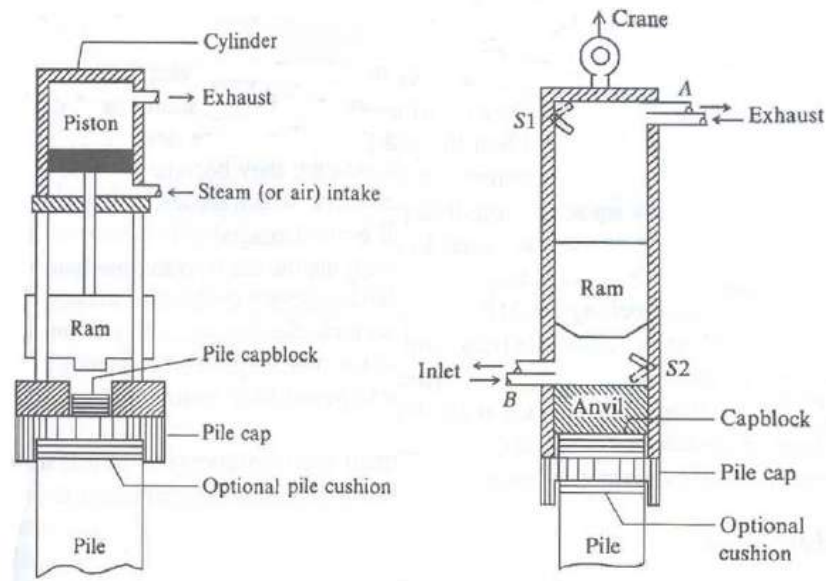
วิธีการก่อสร้างงานเสาค้ำด้วยวิธีนี้ จะเป็นวิธีการหลักในการดำเนินการวิจัยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ถึงแม้จะมีความคลาดเคลื่อนในการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่เป็นอย่างมาก ทำการก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วมีราคาค่าก่อสร้างที่ถูกมีเครื่องมือตอกด้วยกันหลายชนิด แต่ละชนิดให้ประสิทธิภาพในการตอกแตกต่างกันไป โดยมีหลายรูปแบบดังนี้

- ปล่องตอกอิสระ (Drop Hammer) เป็นวิธีที่เก่าแก่และยังคงใช้อยู่ในปัจจุบัน ประกอบด้วย ปั่นจันทวนใหญ่พร้อมลูกตุ้ม ซึ่งเลื่อนขึ้นลงโดยใช้สายลวดสลิงเป็นตัวยกลูกตุ้ม ให้สูงขึ้น และปล่อยตกลงมาบนหัวเสาเข็ม การทำงานไม่ซับซ้อน ควบคุมการทำงานง่าย ราคา ถูก ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ



รูปที่ 2.2 การตอกเสาเข็มวิธี Drop hammer  
(บริษัท สามัคคีผลิตภัณฑ์คอนกรีต จำกัด , 2554 : ออนไลน์ )

- Single Acting Steam Hammer เป็นเครื่องตอกเสาเข็มชนิดใช้แรงดันไอน้ำในการยก ลูกตุ้ม แล้วปล่อยตกอิสระในการตอกสามารถยกลูกตุ้มตอกได้ประมาณ 60 ครั้งต่อ นาที เหมาะสำหรับการตอกเสาเข็มขนาดใหญ่
- Double Acting Steam Hammer เป็นเครื่องตอกเสาเข็มชนิดใช้แรงดันไอน้ำในการยก ลูกตุ้มและเร่งให้ตก สามารถยกลูกตุ้มตอกได้มากถึงประมาณ 100 – 300 ครั้ง ต่อ นาที เหมาะสำหรับการตอกเสาเข็มพีต
- Diesel Hammer ใช้การอัดระเบิดของระบบเชื้อเพลิงดีเซลในการยกลูกตุ้มมีความสามารถในการยกลูกตุ้มตอกได้เร็วกว่าการใช้วิธีการตอกแบบปล่อยตกอิสระ (Drop Hammer) ประมาณ 3 เท่ามีประสิทธิภาพสูง เหมาะสำหรับการตอกในสภาพที่มี ้นดินที่เป็นดินเหนียวแข็งหรือชั้นทรายแน่น



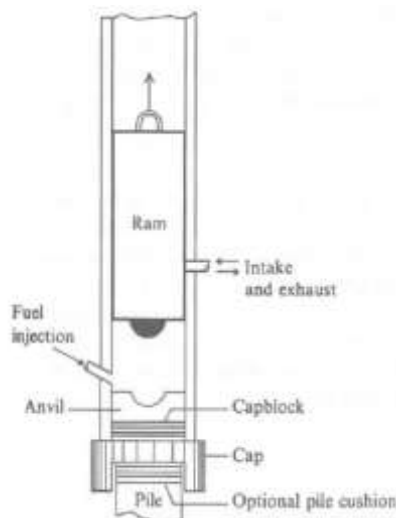
รูปที่ 2.3 กลไกการทำงานของการตอกเสาเข็มวิธี Single Acting Steam Hammer และ Double Acting Steam Hammer (www.vulcanhammer.com,2007 : ออนไลน์)



รูปที่ 2.4 การตอกเสาเข็มวิธี Steam hammer

(www.myconstructionphotos.smugmug.com,2004 : ออนไลน์ )

-Vibratory Hammerการทำงานระบบการตอกอาศัยการสั่นสะเทือนจากการเหวี่ยงของ ก้อนน้ำหนักสองอัน ซึ่งจะทำงานในสภาพที่ไม่เกิดการสมดุล ซึ่งการเหวี่ยงทำให้เกิดการ ยกของก้อนน้ำหนักขึ้นและตกกระทบต่อเสาเข็ม การตอกวิธีนี้ลดการสั่นสะเทือนหรือ เสียงที่เกิดจากการกระทบของลูกตุ้ม เพราะใช้น้ำหนักน้อยกว่าระบบอื่นมาก



รูปที่ 2.5 กลไกการทำงานของเครื่องตอกเสาเข็มวิธี Diesel Hammer  
( www.vulcanhammer.com , 2007 : ออนไลน์ )

2.3 ชนิดของเสาเข็มที่ใช้กับงานเสาเข็มตอก ถ้าจำแนกเสาเข็มตามวัสดุที่ใช้ทำและการใช้งานสามารถแบ่งออกได้เป็น

2.3.1 เสาเข็มไม้เสาเข็มไม้ตามปกติเป็นไม้เบญจพรรณตัดกิ่งและทาบเปลือกออกต้องมีลำต้นตรงไม่ผุหรือมีราขึ้นตามไม้ต่างๆจะต้องตัดให้เรียบเสมอดีของต้นเสาเข็มปลายและหัวเสาเข็มจะต้องเลื่อยตัดเรียบได้ฉากกับลำต้น ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกจากฐานรากอาคารน้อยกว่าเสาเข็มประเภทอื่น เหมาะสำหรับในการใช้ก่อสร้างอาคารขนาดเล็ก ระดับน้ำใต้ดินจะมีผลกระทบต่อเสาเข็มไม้มาก ดังนั้นระดับหัวเสาเข็มจะต้องต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อเสาเข็ม

2.3.2 เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ ตามปกติเรามักจะหล่อเสาเข็มในโรงงานก่อนเมื่อคอนกรีตได้อายุแล้วค่อยขนย้ายจากโรงงานไปยังสถานที่ก่อสร้างหรือในบางครั้งเราอาจหล่อเสาเข็มในบริเวณที่ก่อสร้างเลยก็ได้เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ

- เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก(Reinforcement Precast Concrete piles) รูปร่างจะเป็นแบบใดก็ได้แล้วแต่จะออกแบบแต่ส่วนใหญ่ควรให้จุดศูนย์กลางของหน้าตัดทับจุดศูนย์กลางของเสาเข็มเหล็กเสริมตามยาวต้องมีพอฟีเพียงที่จะรับโมเมนต์ตัดเนื่องจากการขนส่งและยกตอกต้องมีอย่างน้อย 4 เส้นเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ควรเล็กกว่า 9 มิลลิเมตร สำหรับเหล็กปลอกอาจเป็นปลอกแบบพันหรือแบบปลอกเดี่ยวก็ได้ต้องเสริมบริเวณปลายและโคนเสาให้มากเพราะทั้งที่โคนและที่ปลายเสาเข็มอาจเสียหายเนื่องจากแรงกระแทกได้ทำให้คอนกรีตแน่นอาจใช้เครื่องเขย่าคอนกรีตหรืออาจใช้แบบชนิดเหวี่ยง (Spun) ก็ได้

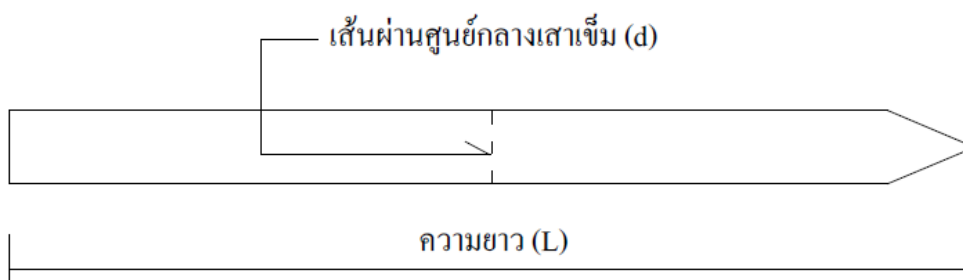


- เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง (Precast Prestressed Concrete piles) เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง รูปร่างและหน้าตัดเหมือนกับเสาเข็มคอนกรีตธรรมดาแต่ได้เปรียบกว่าที่สามารถทำได้อายาวกว่าและมีพื้นที่หน้าตัดเล็กกว่าสำหรับเหล็กเสริมตามยาวนั้นเป็นลวดเหล็กรับแรงดึงได้สูงตาม มอก.95-2542 หรือลวดเหล็กตาม ASTM 416-59 T หรือ JIS G 3536-1971

2.3.3 เสาเข็มเหล็ก (Steel Piles) เสาเข็มเหล็กถ้าทำด้วยท่อเหล็กมักจะเทคอนกรีตใส่ในท่อ หลังจากตอกได้ถึงระดับที่ต้องการแล้วแต่เสาเข็มเหล็กที่ใช้กันอย่างกว้างขวางมักจะเป็นรูปตัว H เพราะสามารถตอกลงดินได้ดีกว่าชนิดอื่น ๆ สามารถตอกทะลุชั้นหินบางได้และสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่ารูปอื่น ๆ ข้อเสียของเสาเข็มเหล็กนั้นเนื่องจากการกัดกร่อนเพียงอย่างเดียวแต่ถ้าตอกในชั้นดินที่ไม่ถูกรบกวนการกัดกร่อนจะน้อยมากการป้องกันการกัดกร่อนนั้นเรามักจะเผื่อความหนาของเหล็กไว้ 1/16 นิ้วจากรูปหน้าตัดที่คำนวณได้หรืออาจจะเลือกใช้โลหะชนิดพิเศษซึ่งเขาทำไว้สำหรับป้องกันการกัดกร่อนโดยเฉพาะก็ได้สำหรับเสาเข็มเหล็กที่ฝังอยู่ในชั้นดินที่ถูกรบกวนหรือชั้นดินถมบริเวณที่มีน้ำขุ่นน้ำล้นหรือบริเวณที่เรียกว่าเปียกๆ ใหนั้นเราต้องป้องกันบริเวณนี้เป็นกรณีพิเศษเช่นเทคอนกรีตหุ้มก่อนถมดินหรือทายางมะตอยก่อนถมดินเหล่านี้เป็นต้น

#### 2.3.4 หน้าตัดของเสาเข็มที่นิยมใช้กับงานเสาเข็มตอก

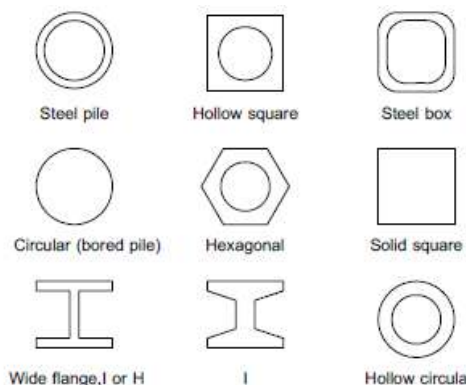
- เสาเข็มไม้ โดยทั่วไปจะเป็นไม้สนหรือไม้ยูคาลิปตัสการระบุหน้าตัดของเสาเข็มไม้ โดยทั่วไปจะระบุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยหน่วยวัดเป็น นิ้ว (Inch) และจะทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่กึ่งกลางลำต้นดังรูปที่ 2.6 แต่ความยาวจะระบุหน่วยเป็น เมตร
- เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กและเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง เสาเข็มทั้งสองประเภทนี้ จะมีหน้าตัดที่นิยมใช้งานเหมือนกัน แตกต่างกันที่ลักษณะการผลิตเท่านั้นรูปหน้าตัดต่างๆ ของเข็มคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 2.7
- เสาเข็มเหล็ก ส่วนใหญ่จะเป็นหน้าตัดตัว H เพราะสามารถตอกลงดินได้ดีกว่าชนิดอื่น ถ้าเป็นท่อเหล็กกลม จะเทคอนกรีตใส่ในท่อหลังจากตอกได้ระดับที่ต้องการแล้วรูปหน้าตัดของเสาเข็มเหล็กดังแสดงในรูปที่ 2.7



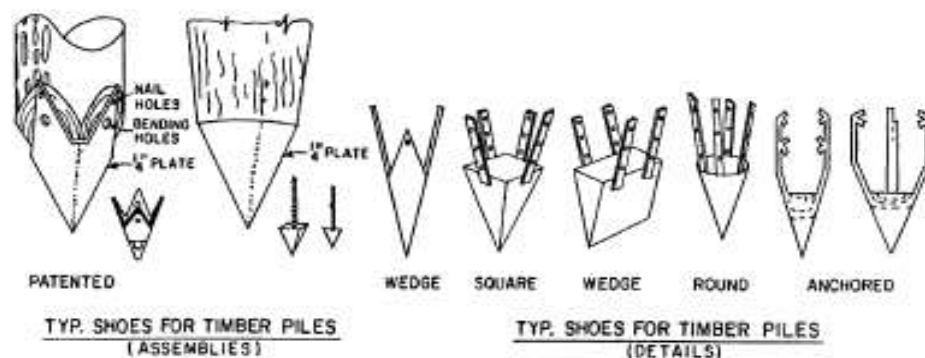
รูปที่ 2.6 ลักษณะเสาเข็มไม้และการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง, ความยาว  
( มาตรฐานงานเสาเข็ม มยธ.106-2533 )

### 2.3.5 ลักษณะปลายของเสาเข็มที่นิยมใช้กับงานเสาเข็มตอก

ปลายของเสาเข็มหรือที่เรียกกันว่า “ ชู ( Shoes )“ หรือ Pile Point นั้นจะมีประโยชน์ในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเจาะทะลุชั้นดินแข็งและลดความเสียหายของปลายเสาเข็ม ที่เกิดจากการกระทบกับชั้นหิน หรือก้อนหินที่มีก้อนขนาดใหญ่ ซึ่งลักษณะของ Shoes หรือ Pile Point ที่ใช้กับเสาเข็มชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และ รูปที่ 2.9



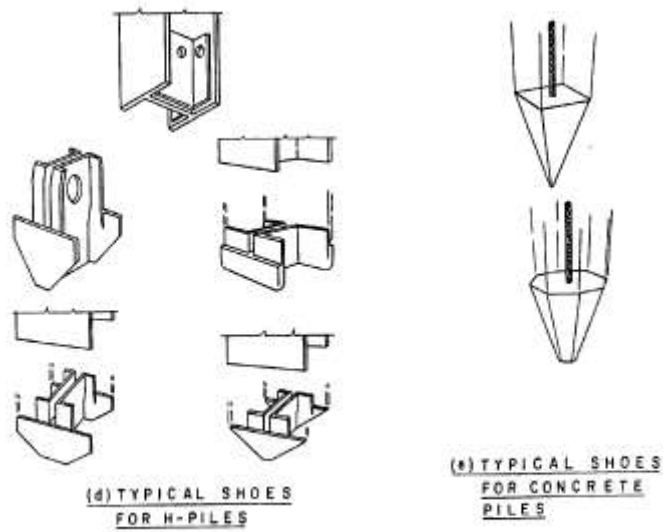
รูปที่ 2.7 ลักษณะรูปหน้าตัดเสาเข็มคอนกรีตและเสาเข็มเหล็ก (UFC 3-220-02 , 2004)



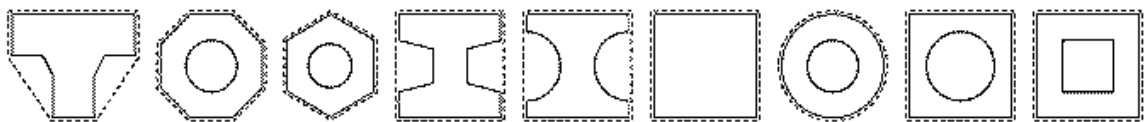
รูปที่ 2.8 ลักษณะของปลายเสาเข็ม “ชู Shoes” หรือ Pile Point ที่ใช้กับเสาเข็มไม้ (UFC 3-220-02,2004)

2.3.6 เส้นรอบรูปของเสาเข็มที่ใช้เพื่อการคำนวณประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

ในการคำนวณเพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกด โดยการคำนวณด้วยวิธีทางสถิตศาสตร์ ( Static Analysis Method ) นั้น ผิวสัมผัสผิวด้านนอกของเสาเข็มตลอดความยาวของเสาเข็มก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีผลต่อค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุก เส้นรอบรูปของเสาเข็มบางครั้งจะมีได้เป็นไปตามพื้นที่รูปตัดของเสาเข็ม แต่จะเป็นไปตามพื้นที่การแทนที่ดินในขณะทำการตอกเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 ลักษณะของปลายเสาเข็ม “ ชู Shoes “ หรือ Pile Point ที่ใช้กับ  
เสาเข็มเหล็กและเสาเข็มคอนกรีต ( UFC 3 – 220 – 02 , 2004 )



รูปที่ 2.10 เส้นรอบรูปของเสาเข็มที่ใช้เพื่อการออกแบบเสาเข็มตอก(UFC 3-220-2,2004)

2.3.7 การเลือกใช้เสาเข็มและปลายเสาเข็ม

การเลือกใช้ชนิดของหน้าตัดเสาเข็มและปลายเสาเข็มให้เหมาะสมกับสภาพชั้นดินนั้น เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ทำการคำนวณออกแบบ ธรรมนูญและคณะ ( 2550 ) ได้ทำการสรุปข้อแนะนำการเลือกใช้ใช้งาน โดยใช้เกณฑ์อ้างอิงจากค่าทดสอบการตอกทะลวงแบบมาตรฐาน ( Standard Penetration Test ; SPT , N ) ในการเลือกใช้ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

2.4 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม

การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มจะแยกการประเมินออกเป็น 2 ส่วนคือ

- การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของวัสดุเสาเข็ม
- การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของของดินรอบผิวเสาเข็มและดินที่รองรับปลายเสาเข็ม

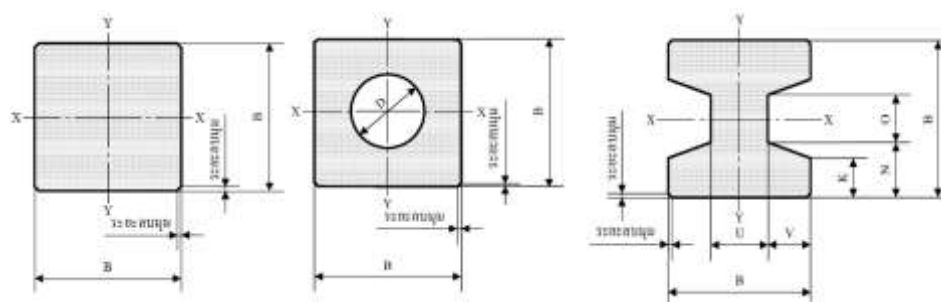
ตารางที่ 2.1 การเลือกใช้งานชนิดรูปหน้าตัดเสาเข็มและปลายเสาเข็มแบบต่าง ๆ  
( ฐานมั่นคงและคณะ , 2550 )

ค่า SPT N-Value สูงสุดที่ตอกผ่านได้ ( Blow / ft )	รูปหน้าตัด เสาเข็ม	ลักษณะปลายเสาเข็ม ( Shoes , Pile Point )	ลักษณะการใช้งาน
25 – 30 ( ไม่เกิน 3 ม.)	I	ปลายตัดตรง	เหมาะสำหรับตอกผ่านชั้นดิน อ่อนถึงชั้นดินแข็งปานกลาง ตอกฝังลงในชั้นดินแข็งหรือ ชั้นทรายแน่นได้ไม่ลึก
30 - 40	SQ		
35 - 45	Spun		
30 – 35	I	ปลายตัดรูป Taper สั้น	เหมาะสำหรับตอกผ่านชั้นดิน แข็งถึงแข็งมากหรือชั้นทราย ไม่แน่นมาก ตอกฝังชั้นทราย แน่นได้ไม่ลึกมาก
35 – 45 ( ไม่เกิน 3 ม.)	SQ		
35 – 45 ( ไม่เกิน 3 ม.)	SQ	ปลายตัดรูป Taper ยาว ( Point End )	สามารถตอกฝังในชั้นดินแข็ง มากหรือชั้นทรายแน่นได้ลึก พอสมควร
40 – 50	SQ	ปลายเหล็กหล่อ ( Cast Iron Shoes )	ใช้ตอกฝังลงในชั้นหินผุหรือ ชั้นทรายที่แน่นมากได้ลึก ประมาณ 2 – 3 เมตร
40 – 50	Spun	ปลายเหล็ก	ใช้ตอกทะลุชั้นดินแข็งมาก หรือชั้นทรายแน่น ที่มีความ หนาแน่นไม่มาก
มากกว่า 60	SQ	ปลายเหล็กรูปพรรณ	ใช้ตอกฝังในชั้นหินหรือใช้ ตอกทะลุผ่านชั้นดินแข็งมาก หรือชั้นทรายแน่นมากที่มี ความหนาพอสมควร

2.4.1 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของวัสดุเสาเข็ม เป็นการออกแบบวัสดุของเสาเข็มที่ให้อาสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามที่ต้องการ ตามมาตรฐานการออกแบบวัสดุเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.395 – 2524 เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ , มอก.396 – 2549 เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ และ มอก.399-2524 เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จขนาดสั้น ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้น ได้ทำการเรียบเรียงและอ้างอิงข้อมูลจากมาตรฐานต่าง ๆ เช่น AASHTO HB – 17 Standard Specification for Highway Bridges 17 th Edition , ACI 318 / 318R-02 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary , ACI 543R-00 Design , Manufacture and Installation of Concrete Pile เป็นต้น

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.396-2549 เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ ได้ระบุรายละเอียดข้อกำหนดการใช้ค่าคุณสมบัติต่างของวัสดุที่ใช้หล่อเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จไว้ดังนี้

- แบ่งภาคตัดขวาง เป็น 3 แบบ ได้แก่ แบบภาคตัดขวางรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสตัน , แบบภาคตัดขวางรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสกลวงและแบบภาคตัดขวางรูปตัวไอ ตามแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 รูปแบบภาคตัดขวางรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสตัน,รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสกลวง และรูปตัวไอ( มอก.396-2549 )

- กำหนดค่าความต้านทานแรงอัดและแรงดึงในคอนกรีต ณ สถานะต่าง ๆ ของคอนกรีตดังแสดงในตารางที่ 2.2 กรณีใช้คอนกรีตผสมเสร็จ ให้ใช้ตาม มอก.213-2552

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์กำหนดค่าความต้านทานแรงอัดและแรงดึงในคอนกรีต

( มอก.396-2549)

ความต้านทานแรงอัดและแรงดึงในคอนกรีต		เกณฑ์ที่กำหนด	
		Mpa	kg/cm <sup>2</sup> (ประมาณ)
$f'_c$	ไม่น้อยกว่า	35	350
$f'_{ci}$	ไม่น้อยกว่า	25	250
$f_{ci}$	ไม่มากกว่า	$0.60 f'_{ci}$	$0.60 f'_{ci}$
$f_{ti}$	ในการยกต้องไม่มากกว่า	$0.251 \sqrt{f'_{ci}}$	$0.795 \sqrt{f'_{ci}}$
$f_{ca}$	ก. ในสภาพใช้งานต้องไม่มากกว่า	$0.33 f'_c$	$0.33 f'_c$
	ข. ในสภาพแรงตัดต้องไม่มากกว่า	$0.45 f'_c$	$0.45 f'_c$
$f_{ta}$	ก. ในการขนส่งหรือการยกขึ้นตอกต้องไม่มากกว่า	$0.502 \sqrt{f'_c}$	$1.59 \sqrt{f'_c}$
	ข. ในการใช้งานต้องไม่มากกว่า	$0.372 \sqrt{f'_c}$	$1.19 \sqrt{f'_c}$

เมื่อ

-  $f'_c$  คือ ความต้านทานแรงอัดสูงสุดที่แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานสามารถรับได้  
( Specified Compressive Strength of Concrete )

-  $f'_{ci}$  คือ ความต้านทานแรงอัดใช้งานที่ยอมให้คอนกรีตรับได้มากที่สุด ในสภาพแรงัดขณะตัดหรือปล่อยเหล็กเสริมตามยาว ( Allowable Extreme Fiber Stress in Compression of Concrete at time of Initial Prestress )

-  $f_{ca}$  คือความต้านทานแรงอัดใช้งานที่ยอมให้คอนกรีตรับได้มากที่สุดตลอดเวลาที่รับน้ำหนักอยู่ โดยรวมความต้านทานแรงอัดของเหล็กเสริมตามยาวและน้ำหนักบรรทุกและความต้านทานแรงอัดใช้งานที่ยอมให้คอนกรีตรับได้มากที่สุด ในสภาพแรงัดตลอดเวลาที่รับน้ำหนักอยู่ซึ่งเกิดจากแรงยกและแรงกระแทก โดยรวมความต้านทานแรงอัดของเหล็กเสริมตามยาว ( Allowable Axial Stress in Compression of Concrete at Time of Design Loads or Allowable Extreme Fiber Stress in Compression of Concrete at time of Design Loads )

-  $f_{ti}$  คือความต้านทานแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีตที่จะรับได้มากที่สุด ในสภาพแรงัดขณะตัดหรือปล่อยเหล็กเสริมตามยาว ( Allowable Extreme Fiber Stress in Tension of Concrete at time Initial Prestress )

-  $f_{ta}$  คือความต้านแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีตที่จะรับได้มากที่สุดในสภาพแรงดัดขณะชนส่งยกขึ้นตอกและใช้งาน ( Allowable Extreme Fiber Stress in Tension of Concrete at DesignLoad)

- ระบุวิธีคำนวณปริมาณเหล็กเสริมตามยาวให้คำนวณตามข้อกำหนดของ ว.ส.ท.1009 , ACI 318 , BS 8110 : Part 1 , AASHTO HB – 17กรณีใช้ลวดเหล็กกล้าสำหรับคอนกรีตอัดแรงให้ใช้ตาม มอก.95-2540 กรณีใช้ลวดเหล็กกล้าที่เกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง ให้ใช้ตาม มอก.420 – 2540

- ระบุค่าความเค้นดึงเริ่มต้นสำหรับเหล็กเสริมตามยาวกรณีใช้ลวดเหล็กกล้าประเภทการผ่อนคลายธรรมดา ต้องมีความเค้นดึงเริ่มต้นไม่เกิน  $0.70 f_s$

- ระบุค่าความเค้นดึงเริ่มต้นสำหรับเหล็กเสริมตามยาว กรณีใช้ลวดเหล็กกล้าประเภทการผ่อนคลายต่ำ ต้องมีความเค้นดึงเริ่มต้นไม่เกิน  $0.74 f_s$

จากสูตรคำนวณหากำลังแบกทานสูงสุดของเสาเข็ม

$$\text{Ultimate Capacity of Pile ; } Q_u = (0.85 f_c' A_g) - (0.60 P_e) \quad (2.1)$$

เมื่อ -  $f_c'$  จากตารางที่ 2.2 ใช้ค่า 350 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร

-  $A_g$  คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของเสาเข็ม

-  $P_e$  คือ แรงดัดลวดประสิทธิผล หมายถึง ค่าการรับแรงดึงสุทธิในเส้นลวดรับแรงดึงหลังจากหักค่าการสูญเสียแรงดึง จาก ความฝืด, การหดตัวอีลาสติกของคอนกรีต, การเข้าที่ของสมอยด์, การหดตัวของคอนกรีต, การคืบของคอนกรีตและการคลายแรงดึงของลวดรับแรงดึงแล้ว โดยคิดจาก

$$P_e = [(0.74 f_{pu} A_{sp}) - \text{Total Loss}] \text{ No of Wire} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $f_{pu}$  คือ กำลังรับแรงดึงประลัยของเส้นลวด 1 เส้น

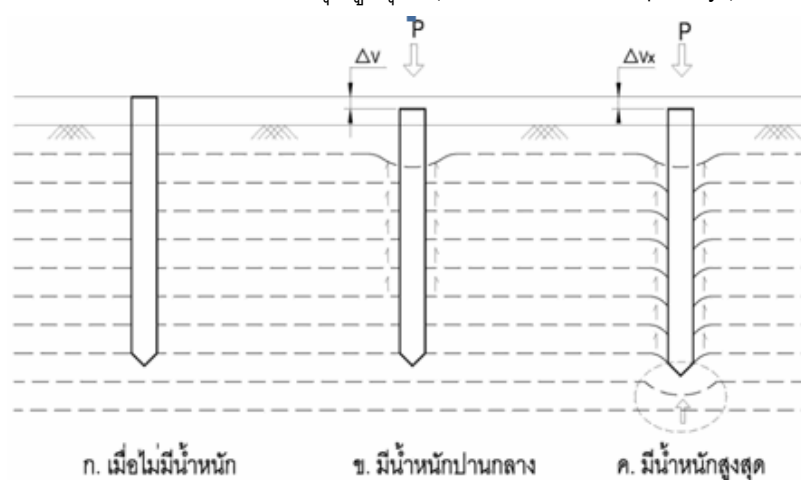
$A_{sp}$  คือ พื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด 1 เส้น

Total Loss คือ การสูญเสียแรงดึงของเส้นลวด 1 เส้น

No of Wire คือ จำนวนเส้นลวดรับแรงดึง

2.4.2 พฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักจากเสาเข็มลงบนชั้นดินฐานราก เมื่อทำการติดตั้งหรือก่อสร้างเสาเข็มลงในชั้นดิน ไม่ว่าจะด้วยวิธีการตอกหรือเจาะหรือวิธีการอื่น ๆ ถ้าไม่พิจารณากระทบกระเทือนของดินจากวิธีการติดตั้ง เสาเข็มและชั้นดินรอบ ๆ เสาเข็มจะยังไม่มีเคลื่อนที่ จะมีการเคลื่อนที่ก็ต่อเมื่อได้ทำการใส่น้ำหนักบรรทุกลงบนเสาเข็ม เสาเข็มจะเคลื่อนที่ตามลงตาม

ทิศทางของแรงกระทำหรือน้ำหนักบรรทุก ในขณะที่เดียวกันดินที่อยู่รอบ ๆ ผิวเสาเข็ม ก็จะพยายามต้านทานไว้ ทำให้มีการถ่ายแรงหรือน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อเสาเข็มลงสู่ชั้นดิน ชั้นดินจะมีการเคลื่อนที่ลงตามแรงเฉือนของผิวสัมผัสระหว่างผิวรอบเสาเข็มกับชั้นดินรอบเสาเข็ม การเคลื่อนที่ของชั้นดินจะเพิ่มมากขึ้นตามน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มมากขึ้น และจะเคลื่อนที่จนเมื่อถึงชั้นดินที่แข็งมาก ก็จะเกิดแรงต้านทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็มร่วมด้วย จนชั้นดินไม่สามารถต้านทานน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นได้ ก็จะเกิดการวิบัติของชั้นดินโดยรอบผิวเสาเข็มและที่ปลายเสาเข็ม ทำให้เสาเข็มมีการเคลื่อนที่ลงตามทิศทางของน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็ว ซึ่งน้ำหนักบรรทุกที่กระทำให้ชั้นดินเกิดการวิบัตินี้เรียกว่า “น้ำหนักบรรทุกสูงสุด” ( Ultimate Pile Capacity ) ตามรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเคลื่อนตัวของชั้นดินรอบผิวเสาเข็มและที่ปลายเสาเข็ม ( วรากร , 2539 )

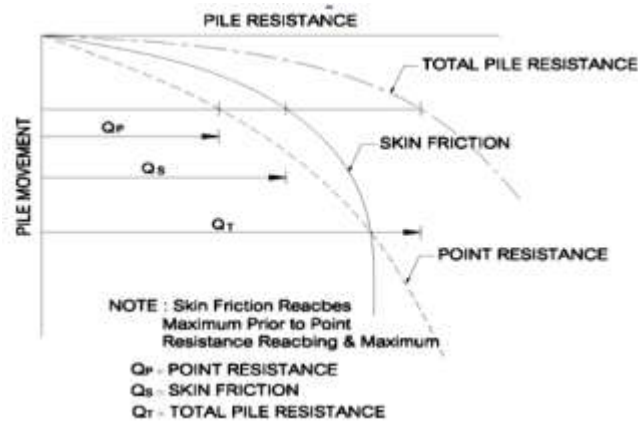
การพิจารณาแรงต้านทานสูงสุดของดินที่ปลายเสาเข็ม ( End Bearing ) สำหรับเสาเข็มตอกในขณะที่ทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกในสนามนั้นจะพิจารณาเมื่อเสาเข็มมีการเคลื่อนที่ลงตามน้ำหนักบรรทุกมากกว่า 10% ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม สำหรับเสาเข็มเจาะอาจจะมากถึง 30% ของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม เนื่องจากว่าเสาเข็มตอกนั้น ดินที่ปลายเสาเข็มจะถูกอัดแน่นในขณะที่ทำการตอก

Carroll (1987) สำหรับแรงต้านทานสูงสุดของดินรอบผิวสัมผัสของเสาเข็ม ( Skin Friction ) จะมีกำลังเต็มที่ต่อเมื่อเสาเข็มมีการเคลื่อนที่ลงตามน้ำหนักบรรทุกไปสักระยะ ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าการเคลื่อนที่ลงของเสาเข็มในกรณีแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม ( End Bearing ) การพัฒนากำลังรับแรงต้านทานสูงสุดของดินรอบผิวสัมผัสของเสาเข็ม ( Skin Friction ) จะพัฒนาถึงจุดสูงสุดก่อนการพัฒนาแรงต้านทานสูงสุดของดินที่ปลายเสาเข็ม ( End Bearing ) ดังแสดงในรูปที่ 2.13

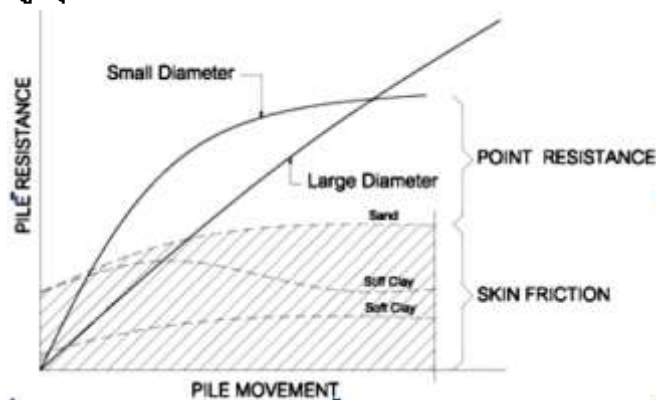
แรงต้านทานสูงสุดของดินรอบผิวสัมผัสของเสาเข็ม ( Skin Friction ) เมื่อพัฒนาถึงค่าสูงสุดแล้วจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ถึงแม้ว่าเสาเข็มจะยังมีการเคลื่อนที่ลงอยู่ก็ตาม แต่สำหรับในดินเหนียวชนิดแข็ง ( Stiff Clay ) ค่าแรงต้านทานสูงสุดของดินรอบผิวสัมผัสของเสาเข็ม ( Skin Friction ) ค่าแรง



ต้านทานอาจจะลดลง แต่สำหรับแรงต้านทานสูงสุดของดินที่ปลายเสาเข็ม (End Bearing) จะมีการพัฒนากำลังต่อไปเรื่อย ๆ จนดินเกิดการวิบัติ เมื่อเสาเข็มมีการเคลื่อนที่ลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์นี้ได้ตามรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ของเสาเข็มกับการพัฒนาแรงต้านทานของดินจนถึงจุดสูงสุด (Carroll ; 1987)



รูปที่ 2.14 การพัฒนาแรงต้านทานของดิน (Carroll ; 1987)

การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของของดินรอบผิวเสาเข็มและค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของของดินที่รองรับปลายเสาเข็มการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกยังสามารถแยกการประเมินออกได้เป็น 2 สถานะ คือ การประเมินก่อนทำการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกและการประเมินหลังทำการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกไปแล้ว

2.4.3 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของของดินรอบผิวเสาเข็มและค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของของดินที่รองรับปลายเสาเข็มก่อนทำการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกแยกเป็นการประเมินได้ 2 กรณี ดังนี้

**กรณีที่ 1 ประเมินโดยวิธีแบบสถิตศาสตร์ ( Static Analysis Method )** เป็นการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดิน โดยการนำคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินรอบเสาเข็มและปลายเสาเข็ม ที่ได้จากการเจาะสำรวจชั้นดิน แล้วนำไปวิเคราะห์ประเมินตามมาตรฐานการวิเคราะห์ออกแบบ

**กรณีที่ 2 ประเมินโดยวิธีแบบพลศาสตร์ ( Dynamic Formula )** เป็นการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดิน โดยอาศัยการประเมินจากองค์ประกอบ , ประสิทธิภาพของเครื่องมือก่อสร้างงานเสาเข็มตอกและประสบการณ์จากผู้คิดค้นสูตรการคำนวณหรือที่เรียกว่าสูตรเชิงประสพการณ์ ( Empirical Formula ) ซึ่งวิธีนี้จะมีคลาดเคลื่อนในการประเมินค่อนข้างมากแต่นิยมใช้กันมาก เพราะสะดวกรวดเร็ว

แต่อย่างไรก็ตาม ในการที่จะทำการประเมินโดยวิธีแบบพลศาสตร์ให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดนั้น ก็จะต้องอาศัยข้อมูลทางวิศวกรรมของชั้นดินที่ใช้เป็นข้อมูลหลักในการประเมินโดยวิธีแบบสถิตศาสตร์ เพราะการที่จะระบุความยาวของเสาเข็มที่จะใช้งานนั้น อย่างน้อยเบื้องต้นก็ต้องทราบก่อนว่า ปลายของเสาเข็มควรจะตั้งอยู่ที่ชั้นดินชั้นใด โดยส่วนใหญ่แล้วเสาเข็มายาวที่เป็นเสาเข็มรับน้ำหนักที่ปลาย ( End Bearing Pile ) นั้น จะให้ปลายของเสาเข็มตั้งอยู่ที่ชั้นดินแข็งหรือชั้นทรายแน่น

2.4.4 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของของดินรอบผิวเสาเข็มและดินที่รองรับปลายเสาเข็มหลังทำการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกเป็นการประเมินในสนามหลังทำการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกแล้วเสร็จ มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันว่า เสาเข็มและชั้นดินบริเวณ ที่ทำการก่อสร้างไปแล้วนั้น สามารถรับน้ำหนักบรรทุกตามที่ต้องการได้จริง โดยมีวิธีการทดสอบและประเมินแบบหลัก 3 วิธี ดังนี้

**วิธีที่ 1 วิธีการประเมินและตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธีการวัดคลื่น ( Seismic test )** เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D – 5882 , มยผ 1551 – 51 วิธีการประเมินวิธีนี้ มิได้เป็นวิธีการทดสอบและประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินรอบผิวเสาเข็มและดินที่รองรับปลายเสาเข็ม แต่เป็นการประเมินว่า คุณภาพเสาเข็มที่ได้ทำการก่อสร้างไปแล้วนั้น มิได้เกิดการแตกหักหรือเสียรูปทรงในระหว่างการก่อสร้าง สามารถถ่ายแรงกระทำที่ถ่ายจากฐานรากลงสู่ชั้นดินรอบเสาเข็มและปลายเสาเข็มได้ เป็นการทดสอบและประเมินที่มีราคาถูก สามารถทำการประเมินได้รวดเร็ว และทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มที่ทำการก่อสร้างไปแล้วได้ทุกต้นเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ทำการตรวจสอบมีขนาดเล็ก

**วิธีที่ 2** วิธีการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินรอบผิวเสาเข็มและดินที่รองรับปลายเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ ( Dynamic Pile Load Test ) เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D – 4945 , มยผ 1252 – 51 เป็นวิธีการทดสอบเพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของตัวเสาเข็ม,ดินรอบผิวเสาเข็มและดินที่รองรับปลายเสาเข็ม เป็นวิธีการทดสอบที่สามารถดำเนินการทดสอบได้รวดเร็ว มีค่าใช้จ่ายในการทดสอบมาสูงมากนัก แต่เนื่องจากการทดสอบวิธีนี้ใช้วิธีการประเมินกำลังด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะต้องใช้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านและประสบการณ์สูง เป็นผู้วิเคราะห์และประเมิน และยังมีผลจากการความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ จึงยังไม่นับเป็นการทดสอบที่ให้ผลการทดสอบที่เชื่อถือได้มากที่สุด

**วิธีที่ 3** วิธีการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินรอบผิวเสาเข็มและดินที่รองรับปลายเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ( Static Pile Load Test ) เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D – 1143 เป็นวิธีการทดสอบเพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของตัวเสาเข็ม,ดินรอบผิวเสาเข็มและดินที่รองรับปลายเสาเข็ม ที่ให้ผลการทดสอบที่เชื่อถือได้มากที่สุด เพราะเป็นการใช้น้ำหนักบรรทุกที่แท้จริงในการทดสอบ แต่เป็นวิธีการทดสอบที่ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทดสอบที่สูง มักจะใช้ทำการทดสอบกับโครงการขนาดใหญ่ ที่ต้องการผลการทดสอบที่ถูกต้อง เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในงานก่อสร้างเสาเข็ม

## 2.5 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินรอบผิวเสาเข็มและค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่รองรับปลายเสาเข็มก่อนทำการก่อสร้างงานเสาเข็มตอก

2.5.1 ประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินโดยวิธีแบบสถิตยศาสตร์(Static Analysis Method )เป็นการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากคุณสมบัติของชั้นดิน จึงจำเป็นที่จะต้องมีการเจาะสำรวจชั้นดินหาค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินก่อน เพื่อนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณออกแบบประเมิน กำหนดความยาว ของเสาเข็ม การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยวิธีนี้ แยกออกเป็น การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากแรงเสียดทานของดินรอบผิวเสาเข็มตลอดความยาวของเสาเข็ม (Skin Friction Pile )และการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่ปลายเสาเข็ม(End Bearing Pile)จากสูตรการคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ทั่วไป

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.3)$$

เมื่อ  $Q_u$  = ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินสูงสุด  
( Total ultimate load – carrying capacity )

$Q_p$  = ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่ปลายเสาเข็ม  
( Load – carrying capacity of the pile point )

$$Q_s = \text{ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกจากแรงเสียดทานของดินรอบผิวเสาเข็มตลอดความยาวเสาเข็ม(Skin Friction Pile)}$$

ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินที่ปลายเสาเข็ม( Load – carrying capacity of the pile point ) ;

$Q_p$  คำนวณได้จากสมการ

$$Q_p = q_p A_p \quad (2.4)$$

เมื่อ  $A_p =$  พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มที่ปลายเสาเข็ม

$q_p =$  กำลังแบกทานประลัยต่อพื้นที่ ที่ปลายเสาเข็ม

ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกจากแรงเสียดทานของดินรอบผิวเสาเข็มตลอดความยาวของเสาเข็ม (Skin Friction Pile) ;  $Q_s$  คำนวณได้จากสมการ

$$Q_s = \sum_{i=1}^n Q_{si} = \sum_{i=1}^n f_{si} A_{si} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $f_{si} =$  ค่าความเสียดทานต่อหน่วยที่ผิวเสาเข็มที่ชั้นดิน i

$A_{si} =$  พื้นที่รอบผิวเสาเข็มของชั้นดิน i

การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินผ่านเสาเข็มทั้งสองกรณีนั้น จะใช้วิธีการประเมินด้วยวิธีความเค้นสุทธิ (Total Stress ;  $\alpha$  - method) โดยแยกการคำนวณตามลักษณะชั้นดิน คือ เสาเข็มที่ทำการก่อสร้างในชั้นดินเหนียวและในชั้นดินทราย ซึ่งการจะพิจารณาว่าเสาเข็มต้นนั้นทำการก่อสร้างในชั้นดินชนิดใดนั้น จะพิจารณาจากรายงานการเจาะสำรวจชั้นดิน (Boring Log) ของเสาเข็มต้นนั้น ๆ ว่า ความหนารวมของชั้นดินชนิดใดมีมากกว่า 50 % ตลอดความยาวเสาเข็มต้นนั้น

2.5.2 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินผ่านเสาเข็มที่ตอกในชั้นดินเหนียวหรือดินที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive Soil , Clay) ด้วยวิธีความเค้นสุทธิ (Total Stress;  $\alpha$  - method)

- การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินที่ปลายเสาเข็ม( Load – carrying capacity of the pile point ) ;  $Q_p$  คำนวณได้จากสมการ

$$Q_p = q_p A_p \quad (2.6)$$

เมื่อ  $A_p =$  พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มที่ปลายเสาเข็ม

$q_p =$  กำลังแบกทานประลัยต่อพื้นที่ ที่ปลายเสาเข็ม

$$q_p = N_c S_U \quad (2.7)$$

เมื่อ  $S_U =$  กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ  
( Undrained Shear Strength )

$N_c$  = ค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน ( bearing capacity factors ) ซึ่งขึ้นอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มกับความยาวของเสาเข็มที่ฝังจมในดิน เสาเข็มซึ่งถือเป็นฐานรากลักษณะหนึ่ง มีผู้เชี่ยวชาญได้ทำการค้นคว้าวิจัยและเสนอค่าไว้มากมาย เช่น

Skempton (1951)	$N_c = 9$	ยืนยันด้วยผลการทดสอบของ London Clay
Sowers et al (1961)	$5 \leq N_c \leq 8$	จากการทดสอบแบบจำลอง
Mohan & Jain (1961)	$5.7 \leq N_c \leq 8.2$	ดินเหนียวขยายตัว (Expansive Clays)
Ladanyi (1963)	$7.4 \leq N_c \leq 9.3$	ดินเหนียวที่มีความไวตัวต่ำ (Insensitive Clays)
Meyerhof's ( 1976 )	$N_c = 9$	คิดว่าเสาเข็มเป็นเสมือนฐานรากลึก
Bowles (1986)	$N_c = 5.74$	เหมาะสมกับฐานรากตื้น
Tomlinson (1986)	$N_c = 9$	อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างที่ปลายเข็ม $\geq 5$

ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ ค่าของ Meyerhof's (1976);  $N_c = 9$  ซึ่งจะทำให้สมการ ( 2.7 ) เปลี่ยนเป็น

$$q_p = 9 S_U \quad (2.8)$$

-ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากแรงเสียดทานระหว่างดินและผิวเสาเข็มตลอดความยาวของเสาเข็ม ( Skin Friction Pile ) ;  $Q_s$  คำนวณได้จากสมการ

$$Q_s = \sum_{i=1}^n f_{Si} A_{Si} \quad (2.9)$$

เมื่อ  $A_{Si}$  = พื้นที่รอบผิวเสาเข็มของชั้นดิน  $i$

$f_{Si}$  = ค่าความเสียดทานต่อหน่วยที่ผิวเสาเข็มที่ชั้นดิน  $i$

$$f_{Si} = \alpha S_U \quad (2.10)$$

เมื่อ  $S_U$  = กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

( Undrained Shear Strength )

$\alpha$  = ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมแน่น ( Adhesion Factor )

สำหรับเสาเข็มตอกใช้ค่าจากกราฟความสัมพันธ์

ระหว่างค่า  $S_U$  และ  $\alpha$  ของ Tomlinson , 1980 ตามรูปที่ 2.15

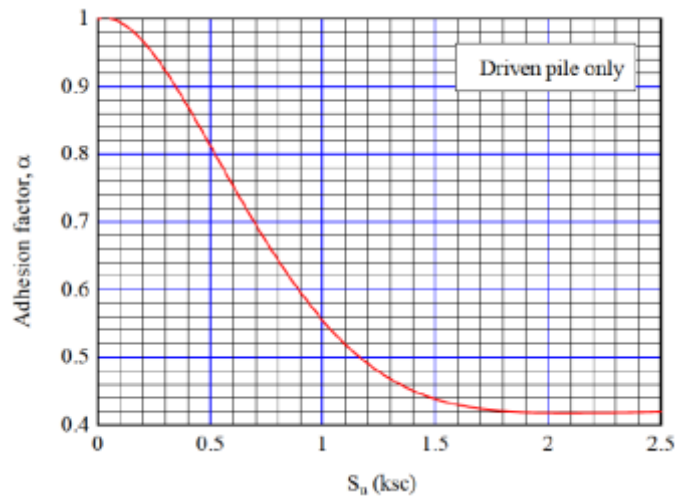
2.5.3 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มที่ตอกในชั้นทรายหรือดินที่ไม่มีคุณสมบัติเหนียว (Cohesionless Soil, Sand) ด้วยวิธีความเค้นสุทธิ (Total Stress ;  $\alpha$  - method )

- การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่ปลายเสาเข็ม ( Load – carrying capacity of the pile point ) ;  $Q_p$  คำนวณได้จากสมการ

$$Q_p = \sigma'_{vo} N_q A_p \tag{2.11}$$

เมื่อ  $\sigma'_{vo}$  = ค่าหน่วยแรงกดทับประสิทธิผลเนื่องจากน้ำหนักดินที่ปลายเสาเข็ม ( Effective Overburden Pressure )  
 $N_q$  = ค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับน้ำหนักแบกทานที่ปลายเสาเข็ม ( Bearing Capacity Coefficient ) ซึ่งสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\phi$  กับค่า  $N_q$  ของPeak, R.B., Hanson, W.E. and Thornburn, T.H., 1953 ตามรูปที่ 2.16

$A_p$  = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มที่ปลายเสาเข็ม



รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $S_u$  และ  $\alpha$  (Tomlinson, 1980)

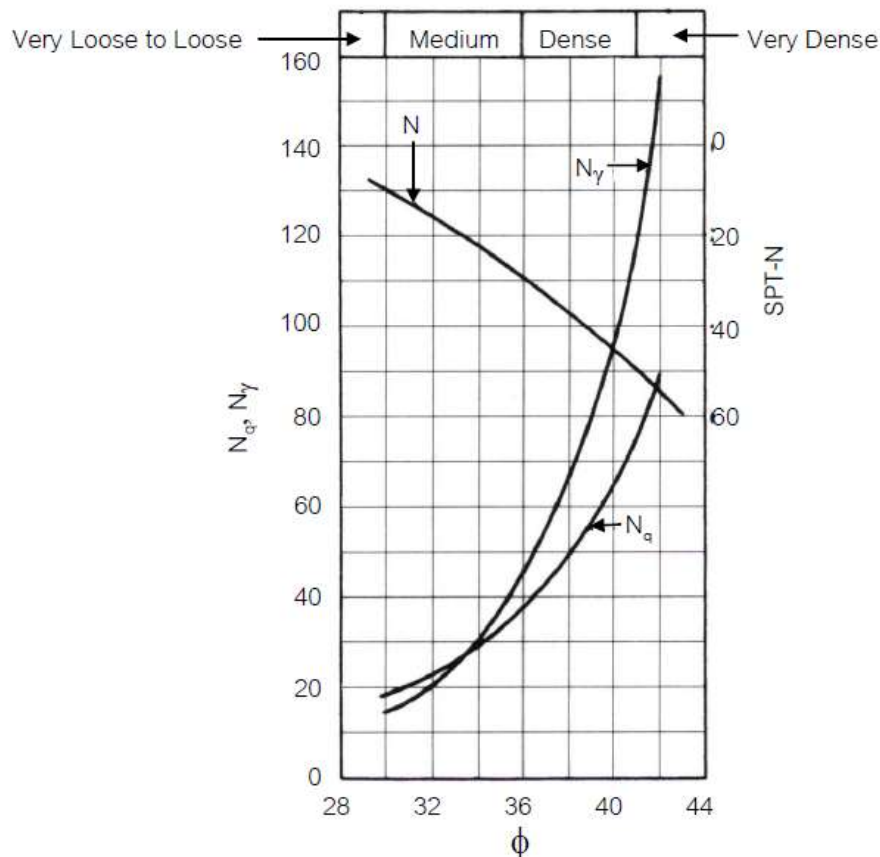
-ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากแรงเสียดทานระหว่างดินและผิวเสาเข็มตลอดความยาวของเสาเข็ม ( Skin Friction Pile ) ;  $Q_s$  คำนวณได้จากสมการ

$$Q_s = \sum_{i=1}^n f_{Si} A_{Si} \tag{2.12}$$

เมื่อ  $A_{Si}$  = พื้นที่รอบผิวเสาเข็มของชั้นดิน  $i$   
 $f_{Si}$  = ค่าความเสียดทานต่อหน่วยที่ผิวเสาเข็มที่ชั้นดิน  $i$   
 $f_{Si} = K \sigma'_{vo} \tan \delta$  ( 2.13 )

- เมื่อ  $K$  = ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินประสิทธิผล  
 ( Coefficient of Effective of Earth Pressure )
- $\sigma'_{vo}$  = ค่าหน่วยแรงกดทับประสิทธิผลเนื่องจากน้ำหนักดินที่  
 กิ่งกลางชั้นดินที่พิจารณา  
 ( Effective Overburden Pressure )
- $\delta$  = ค่ามุมเสียดทานระหว่างดินกับผิวเสาเข็ม  
 ( Soil – Pile Friction Angle )
- Das,2004แนะนำใช้ค่า  $0.5 \phi' - 0.8 \phi'$

Das , 2004 ขนาดของค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินประสิทธิผล,  $K$  จะขึ้นอยู่กับความลึก ซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์ความดันดินประสิทธิผลสภาวะ Passive ของ Rankine ;  $K_p$  ที่ตำแหน่งหัวเสาเข็ม และอาจจะมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง ;  $K_o$  ที่ตำแหน่งความลึกมากกว่า จึงแนะนำให้ใช้ ค่า  $K$  ในสมการ ( 2.29 ) ตามตารางที่ 2.3ดังนี้



รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\phi$  กับค่า  $N_q$  และ ค่า SPT - N  
 ( Peak,R.B.,Hanson,W.E.and Thornburn,T.H.,1953 )

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินประสิทธิผล ,  $K$  แบ่งตามชนิดของเสาเข็ม ( Das , 2004 )

ชนิดเสาเข็ม	$K$
เสาเข็มเจาะ	$\approx K_o = 1 - \sin \phi'$
เสาเข็มตอกที่มีการทุบตัวน้อย	$\approx K_o = 1 - \sin \phi'$ to $1.4 K_o = 1.4(1 - \sin \phi')$
เสาเข็มตอกที่มีการทุบตัวมาก	$\approx K_o = 1 - \sin \phi'$ to $1.8 K_o = 1.8(1 - \sin \phi')$

2.5.4 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินผ่านเสาเข็มที่ตอกในชั้นดินผสมระหว่างดินเหนียวกับทราย ( Clayey - Sand , Sandy - Clay ) ด้วยวิธีความเค้นสุทธิ (Total Stress;  $\alpha$  - method ) ใช้สูตรผสมกันระหว่างสูตรที่ใช้กับดินเหนียวและสูตรที่ใช้กับทราย

- การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินที่ปลายเสาเข็ม ( Load - carrying capacity of the pile point ) ;  $Q_p$  คำนวณได้จากสมการ

$$Q_p = ((9S_U) + (\sigma'_{vo} N_q)) A_p \quad (2.14)$$

- ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกจากแรงเสียดทานระหว่างดินและผิวเสาเข็มตลอดความยาวของเสาเข็ม ( Skin Friction Pile ) ;  $Q_s$  คำนวณได้จากสมการ

$$Q_s = ((\alpha S_U) + (K \sigma'_{vo} \tan \delta)) A_s \quad (2.15)$$

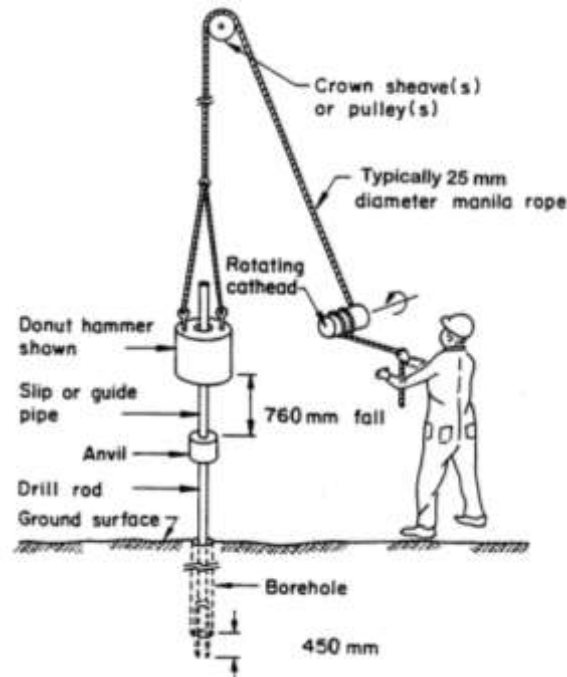
2.5.5 การนำค่าการทดสอบการตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test ; SPT , N ) ไปใช้กับการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินโดยวิธีสถิติศาสตร์

การทดสอบการตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test ; SPT , N ) เป็นวิธีทดสอบประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินในสนาม ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1586 นิยมใช้กันมาก เนื่องจากเป็นวิธีการที่รวดเร็ว สะดวกและประหยัด เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ทดสอบสามารถขนส่งเคลื่อนย้ายได้และใช้แรงงานเพียง 3-4 คนก็สามารถทำงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.17

การทดสอบ SPT กระทำโดยการปล่อยตุ้มน้ำหนัก ขนาด 140 ปอนด์ ( 63.5 กิโลกรัม ) จากความสูง 30 นิ้ว ( 76 เซนติเมตร ) ให้ตกกระทบกับก้านเจาะ จำนวนครั้งในการปล่อยตุ้มน้ำหนักให้ตกกระทบก้านเจาะแล้วทำให้หัวเจาะตอกมาตรฐานจมลง 12 นิ้ว ( 30 เซนติเมตร ) เรียกว่า Penetration resistance ; N - value แต่เนื่องจากการใช้เครื่องมือในการทดสอบสนามนั้น ควบคุมการทำงานด้วยแรงงานคนเป็นหลัก ทำให้ค่า N - value มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้จากภาคสนาม เช่น ความคลาดเคลื่อนจากการดึงเชือกเพื่อยกตุ้มน้ำหนักในระยะความสูงที่ไม่คงที่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดของเครื่องตอกแรง เป็นต้น การปรับแก้ค่าเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณต่าง ๆ นั้น มีนักวิจัยหลายท่าน ได้ทำการวิจัยเพื่อหาค่าปรับแก้ให้ใกล้เคียงความเป็น



จริงมากที่สุดและมีความผิดพลาดน้อยที่สุด ค่าความสัมพันธ์ของการทดสอบการตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test ; SPT , N ) ที่นำมาใช้กับค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน มีมากมายหลายกรณี



รูปที่ 2.17 เครื่องทดสอบการตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test; SPT, N) แบบ Donut hammer

( [http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc38318/m1/18/med\\_res/](http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc38318/m1/18/med_res/) )

Simons and Menzies (2000) กรณีชั้นดินบริเวณที่ทำการเจาะทดสอบ เป็นทรายละเอียดหรือทรายปนทรายแป้งและระดับที่ทำการเจาะทดสอบอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินค่า  $N$ -value ที่ได้จะคลาดเคลื่อนเนื่องจากแรงดันน้ำในโพรงดินที่เกิดขึ้นไม่สามารถระบายออกได้ทันความคลาดเคลื่อนจะเกิดมากเมื่อดินมีความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงดังนั้นหากได้ค่า  $N$  สูงกว่า 15 ควรปรับแก้โดยได้เสนอสมการเพื่อปรับแก้ดังนี้

$$N_{corrected} = 15 + [0.5(N_{measured} - 15)] \quad (2.16)$$

Terzaghi et al (1996) ได้ทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตอกทดสอบทะลวงแบบมาตรฐาน ( Standard Penetration Test ; SPT, N ) กับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( Undrained Shear Strength ;  $S_u$  ) โดยค่าความสัมพันธ์ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตอกทดสอบทะลวงแบบมาตรฐาน ( Standard Penetration Test ; SPT,N ) กับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( Undrained Shear Strength ;  $S_u$  ) , ( Terzaghi et al , 1996 )

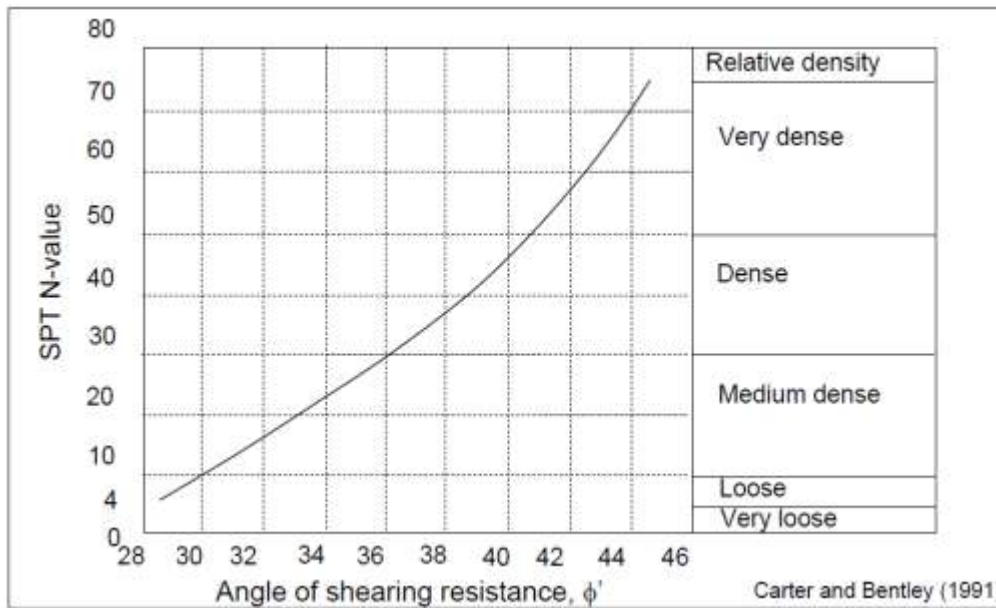
ชนิดของชั้นดิน	ค่า SPT - N	ค่า $S_u$ ( t / m <sup>2</sup> .)
อ่อนมาก ( Very Soft )	< 2	< 1.2
อ่อน ( Soft )	2 – 4	1.2 – 2.5
แข็งปานกลาง ( Medium )	4 – 8	2.5 – 5.0
แข็ง ( Stiff )	8 – 15	5.0 – 10.0
แข็งมาก ( Very Stiff )	15 – 30	10.0 – 20.0
แข็งที่สุด ( Hard )	> 30	> 20

Carter and Bentley ( 1991 ) ได้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเสียดทานภายในของดิน ( Angle of Internal Friction ;  $\phi'$  ) กับค่าการตอกทดสอบทะลวงแบบมาตรฐาน ( Standard Penetration Test ; SPT,N ) ดังแสดงในรูปที่ 2.18

2.5.6 ประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินโดยวิธีแบบพลศาสตร์ ( Dynamic Formula)

เป็นการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดิน โดยอาศัยการประเมินจากองค์ประกอบ , ประสิทธิภาพของเครื่องมือก่อสร้างงานเสาเข็มตอกและประสบการณ์จากผู้คิดค้นสูตรการคำนวณ หรือที่เรียกว่า สูตรเชิงประสบการณ์ ( Empirical Formula ) ซึ่งวิธีนี้จะมีคลาดเคลื่อนในการประเมินค่อนข้างมาก แต่นิยมใช้กันมาก เพราะสะดวกรวดเร็ว

แต่อย่างไรก็ตาม ในการที่จะทำการประเมินโดยวิธีแบบพลศาสตร์ให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดนั้น ก็จะต้องอาศัยข้อมูลทางวิศวกรรมของชั้นดินที่ใช้เป็นข้อมูลหลักในการประเมินโดยวิธีแบบสถิตยศาสตร์ เพราะการที่จะระบุความยาวของเสาเข็มที่จะใช้งานนั้น อย่างน้อยเบื้องต้นก็ต้องทราบก่อนว่า ปลายของเสาเข็มควรจะตั้งอยู่ที่ชั้นดินชั้นใด โดยส่วนใหญ่แล้วเสาเข็มยาวที่เป็นเสาเข็มรับน้ำหนักที่ปลาย ( End Bearing Pile ) นั้น จะให้ปลายของเสาเข็มตั้งอยู่ที่ชั้นดินแข็งหรือชั้นทรายแน่น



รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเสียดทานภายในของดิน (Angle of Internal Friction;  $\phi'$ ) กับค่าตอกทดสอบทะลวงแบบมาตรฐาน ( Standard Penetration Test ; SPT,N ), (Carter and Bentley , 1991 )

การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินโดยใช้สูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) เป็นสูตรที่ใช้ในการหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่รอบผิวเสาเข็มและปลายเสาเข็มโดยอาศัยเพียงข้อมูลเสาเข็มและการตอก เช่น น้ำหนักตุ้มตอก น้ำหนักเสาเข็ม ระยะแยกของตุ้ม ชนิด ขนาด และความยาวเสาเข็มในการแทนค่าลงในสูตร โดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลทางวิศวกรรมของชั้นดินที่ลึกลงไป จึงเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วในการคำนวณ สูตรการตอกเสาเข็มสร้างขึ้นโดยใช้หลักโมเมนตัมและการอนุรักษ์พลังงานซึ่งจะทำให้ได้สมการพื้นฐานที่สามารถปรับปรุงเป็นสูตรการตอกเสาเข็มอื่นๆได้โดยการตั้งสมมุติฐานเพิ่มเติม สมการพื้นฐานของการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยหลักการดังกล่าวแสดงได้ดังสมการ

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{\left(S + \frac{C}{2}\right)} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \quad (2.17)$$

เมื่อ  $Q_u$  = กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม(ตัน)

$W_r$  = น้ำหนักของลูกตุ้ม(ตัน)

$W_p$  = น้ำหนักของเสาเข็มซึ่งรวมน้ำหนักของหมวกครอบหัวเสาเข็ม(ตัน)

$h$  = ระยะแยกของตุ้มตอกเสาเข็ม (เมตร)

$S$  = ระยะที่เสาเข็มจมตัวต่อการตอกหนึ่งครั้ง(เมตร)

$n$  = สัมประสิทธิ์การคืนตัว(Coefficient of Restitution)

$e_h$  = ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตอกเสาเข็ม

$$e = \frac{(W_r + n^2 W_p)}{(W_r + W_p)} \quad (2.18)$$

$C$  = การยุบตัวโดย  $C = C_1 + C_2 + C_3$

$C_1$  = การยุบตัวของที่หมอนรองหัวเสาเข็ม

$C_2$  = การยุบตัวของเสาเข็ม

$C_3$  = การยุบตัวของดินด้านใต้และด้านข้างของเสาเข็ม

สูตรตอกเสาเข็ม สูตรต่างๆ นั้น ส่วนใหญ่จะพัฒนาและดัดแปลงจากสูตรในสมการ (2.17) โดยการกำหนดสมมติฐานเฉพาะขึ้นมาหรือเปลี่ยนค่าคงที่บางตัวให้เหมาะสมขึ้นโดยสูตรที่จะใช้ทำวิจัยในครั้งนี้ มีด้วยกันทั้งสิ้น 10 สูตรด้วยกันดังนี้

#### สูตรที่ 1 Danish formula

สมการเป็นดังนี้

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{S + C_1} \quad (2.19)$$

โดย  $C_1 = \sqrt{\frac{e_h W_r h L}{2 A E_L}}$  (เมตร) หรือหน่วยเป็นไปตาม  $S$  และ  $h$

$L$  = ความยาวเสาเข็ม(เมตร)  $A$  = พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(ตร.ม.)

$E_L$  = โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม(ตัน/ตารางเมตร)

$e_h$  = ประสิทธิภาพของตุ้มน้ำหนัก

ค่าพิกัดความปลอดภัย(Factor of Safety)อยู่ในช่วง 3.0 ถึง 6.0

#### สูตรที่ 2 Dutch Formula

สมการเป็นดังนี้

$$Q_U = a \left( \frac{W_r h}{S + 0.0254 C} \right) \frac{W_r}{W_r + W_p} \quad (2.20)$$

เมื่อ  $C = 0$  นิ้ว และ  $a = 1$  (สไนท, 2523)

$C = 1$  นิ้ว และ  $a = 10/12$  ( Bowles, 1996 )

### สูตรที่ 3 Engineering News Record Formula

สมการเป็นดังนี้

$$Q_U = \frac{W_r h}{(S + C)} \quad (2.21)$$

เมื่อ  $C = 2.54$  ซม. , 1 นิ้ว ( สำหรับ Drop Hammer )

ค่าพิภักต์ความปลอดภัย (Factor of Safety) ต้องไม่ต่ำกว่า 4.0 (วสท)

### สูตรที่ 4 Eytwein Formula

สมการเป็นดังนี้

$$Q_U = \frac{e_h W_r h}{S + \left( C \frac{W_p}{W_r} \right)} \quad (2.22)$$

เมื่อ  $C = 0.1$  นิ้วค่าพิภักต์ความปลอดภัย ( Factor of Safety ) ไม่ต่ำกว่า 6.0 ( Chellis, 1961 )

### สูตรที่ 5 Gates Formula

ในปีค.ศ.1997 WSDOT ได้ใช้สูตร Engineering News Record (ENR) ในการออกแบบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยได้มีการทำวิจัยซึ่งตีพิมพ์ในปีค.ศ.1988 แสดงให้เห็นว่า ENR มีความคลาดเคลื่อนอยู่มากจึงเริ่มทำการพัฒนาปรับปรุง Gates formula ขึ้นมาแสดงดังสมการ

$$Q_U = a \sqrt{e_h W_r h} (b - \log S) \quad (2.23)$$

โดย  $Q_U$  มีหน่วยเป็น kips หรือ kN และ  $W_r h =$  kips ft หรือ kN m

ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่ของ Gates formula แบ่งตามหน่วย

Unit	S	A	b
Fps	ln	27	1.0
SI	mm.	104.5	2.4

เมื่อ  $e_h = 0.75$  สำหรับการตอกเสาเข็มด้วยตุ้มตอกเสาเข็ม

$e_h = 0.85$  สำหรับอุปกรณ์ตอกเสาเข็มแบบอื่น

$P_u =$  กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม

$E_h =$  พลังงานการตอกที่ระบุโดยผู้ผลิต

$S =$  ระยะที่เสาเข็มจมต่อการตอกเสาเข็มหนึ่งครั้ง

ค่าพิภักต์ความปลอดภัย (Factor of Safety) ไม่ต่ำกว่า 3.0 (Bowles, 1996)

### สูตรที่ 6 Hiley's Formula

สมการเป็นดังนี้

$$Q_U = \frac{e_h W_r h (W_r + n^2 W_p)}{S + \frac{C}{2} (W_r + W_p)} \quad (2.24)$$

เมื่อ  $n = 0.25$  (เมื่อใช้หมอนรองแบบกระสอบ)

$n = 0.5$  (เมื่อใช้หมอนรองแบบไม้อัด)

$C = C_1 + C_2 + C_3$  (การแทนค่าในสมการโดยใช้หน่วยเดียวกันกับ  $S$  และ  $h$ )

$C_1$  = การยุบตัวของกระสอบรองหัวเสาเข็มหนา  $L_2$  เมตร

$C_2$  = การยุบตัวของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กยาว  $L$  เมตร

$C_3$  = การยุบตัวของดินใต้และรอบเสาเข็ม,  $A$  = พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(ตร.ม.)

ค่าแนะนำจาก วสท.

$e_h = 0.8$  เมื่อปล่อยตกโดยการคลายสายสลิง(friction winch)

$= 1.0$  เมื่อปล่อยตกอย่างอิสระ (triggerfall)

$C_1 = 1.8 Q_U \frac{L_2}{A}$  หน่วยเป็นเซนติเมตร กรณีใช้หมอนรองแบบกระสอบ

$= 1.25 Q_U \frac{L_2}{A}$  หน่วยเป็นเซนติเมตร กรณีใช้หมอนรองแบบไม้อัด

$C_2 = 0.72 Q_U \frac{L_2}{A}$  หน่วยเป็นเซนติเมตร

$C_3 = 3.6 Q_U \frac{L_2}{A}$  หน่วยเป็นเซนติเมตร

ค่าพิกัดความปลอดภัย (Factor of Safety) ไม่ต่ำกว่า 4.0

### สูตรที่ 7 Janbu's Formula

สูตรนี้ตั้งสมมุติฐานว่าการยุบตัวชั่วคราวมีค่าเป็นสัดส่วนกับค่าระยะจมตัว  $S$  โดยให้ค่า  $K_u$  เป็นตัวคูณเพิ่มค่า  $S$  ซึ่งจะทำได้ว่า

$$Q_U = \frac{W_r h}{K_U S} \quad (2.25)$$

$$\text{เมื่อ } K_U = C_d \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda}{C_d}} \right) \quad (2.26)$$

$$\lambda = \frac{W_r h L}{A E_L S^2} \quad (2.27)$$

$$C_d = 0.75 + \frac{0.15 W_p}{W_r} \quad (2.28)$$

และ  $L$  = ความยาวเสาเข็ม(เมตร)  $A$  = พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(ตารางเมตร)

$E_L$  = โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม(ตัน/ตารางเมตร)

โดยที่ ค่า  $K_U$ ,  $\lambda$  และ  $C_d$  เป็นค่าไม่มีหน่วย

$h$  มีหน่วยเป็นเมตร และ  $W_r$  มีหน่วยเป็นตัน

ค่าพิกัดความปลอดภัย(Factor of Safety)ไม่ต่ำกว่า 4.0 (วสท.)

### สูตรที่ 8 Modified Engineering News Record Formula

จาก Engineering News Record Formula สมการ ( 2.20 ) พิจารณาการสูญเสียของพลังงานเนื่องจากการตกกระทบด้วย

$$Q_U = \frac{a e_h W_r h}{S + 0.0254 C} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \quad (2.29)$$

เมื่อ  $a = 1.25$  หรือ  $a = 1.0$   $C$  มีหน่วยเป็นนิ้ว

ค่าพิกัดความปลอดภัย (Factor of Safety) ไม่ต่ำกว่า 6.0 ( วสท )

### สูตรที่ 9 Pacific Coast Uniform Building Codes Formula สมการเป็นดังนี้

$$Q_u = \frac{e_h W_r h \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p}}{S + \frac{Q_u L}{A E_L}} \quad (2.30)$$

เมื่อ  $n$  ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุเสาเข็ม ตั้มน้ำหนักและหมอนรองหัวเข็ม

$n = 0.5$  สำหรับเสาเข็มเหล็ก ( Bowles , 1996 )

$n = 0.32$  สำหรับเสาเข็มชนิดอื่น ๆ ( Bowles , 1996 )

$L$  = ความยาวเสาเข็ม ( เมตร ) ,  $A$  = พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม(ตารางเมตร)

$E_L$  = โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม ( ตัน / ตารางเมตร )

ค่าพิกัดความปลอดภัย( Factor of Safety )ไม่ต่ำกว่า 3.0 ( Bowles, 1996 )

### สูตรที่ 10 Redtenbacher Formula

สมการเป็นดังนี้

$$Q_u = e_h \frac{AE_L}{L} \left[ -S + \sqrt{S^2 + \frac{W_r^2 h}{(W_r + W_p)} \cdot \frac{2L}{AE_L}} \right] \quad (2.31)$$

เมื่อ  $L$  คือ ความยาวเสาเข็ม(เมตร)  $A$  คือ พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม (ตารางเมตร)

$E_L$  คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม (ตัน/ตารางเมตร)

การพิจารณาเลือกขนาดน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักตอกเสาเข็มน้ำหนักของลูกตุ้มตอกเสาเข็ม เป็นปัจจัยสำคัญในการก่อสร้างเสาเข็มด้วยระบบตอก การเลือกใช้น้ำหนักตุ้มตอกเบาเกินไปจะทำให้จำนวนครั้งการตอกต่อการทุดตัว 30 เซนติเมตร มีค่ามากเกินไปจนความเป็นจริง แต่เสาเข็มไม่จมเท่าที่ควรค่าน้ำหนักบรรทุกสูงเกินไปจริงในทางกลับกันการเลือกใช้ตุ้มตอกหนักเกินไป หรือการเลือกใช้ระยะยกตุ้มตอกให้ต่ำด้วยการใช้น้ำหนักตุ้มตอกมาก ๆ ก็จะทำให้การส่งผ่านพลังงานสู่ตัวเสาเข็มเหมือนกับการ มีค่า Tension Stress ต่ำ ทำให้เสาเข็มไม่เกิดความเสียหาย การเลือกใช้น้ำหนักตุ้มตอกให้เหมาะสมกับขนาดของเสาเข็มนั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ อาทิเช่น กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ต้องการ ขนาดและชนิดของเสาเข็ม ชนิดของชั้นดิน และประสิทธิภาพของเครื่องตอก ซึ่งขนาดตุ้มตอกและประสิทธิภาพของตุ้มตอก สามารถใช้ตามค่าแนะนำในตารางที่ 2.6 และ 2.7 ซึ่งณัฐมนต์และคณะ ได้ทำการสรุปแนะนำค่าที่ควรใช้ไว้เมื่อปี 2550 ดังนี้

ตารางที่ 2.6 ค่าแนะนำการใช้น้ำหนักน้อยสุดของตุ้มตอก (ณัฐมนต์และคณะ , 2550)

ความยาวเสาเข็ม ( เมตร )	น้ำหนักตุ้มตอกต่ำสุด	
	เสาเข็มรูป □	เสาเข็มรูปตัว I
ต่ำกว่า 15	$W_p$	$W_p$
มากกว่า 15	$2/3 W_p$	$3/4 W_p$

ระยะยกของลูกตุ้มตอกสำหรับ Drop Hammer ระยะของการยกลูกตุ้มตอกควรยกต่ำ ในขณะที่เริ่มตอกในระยะที่เสาเข็มจมง่ายทั้งนี้เพื่อป้องกันหัวเสาเข็มชำรุด , โดยทั่วไปแล้วจะยกลูกตุ้มตอกสูงประมาณ 3 ฟุต (90 ซม.) และไม่ควรมากเกิน (2.40 เมตร) 8 ฟุต



ตารางที่ 2.7 ประสิทธิภาพของตุ้มตอก (ณัฐมนต์และคณะ , 2550)

ชนิดของตุ้มตอก	ค่าประสิทธิภาพ ( % )	
	เฉพาะตุ้มตอก	ระบบตอกรวม
Drop Hammer	0.75 – 1.00	0.45 – 0.60
Single – Acting Hammer	0.75 – 0.85	0.65 – 0.80
Double – Acting Hammer	0.85	0.70 – 0.80
Diesel Hammer	0.85 – 1.00	0.30 – 0.85

## 2.6 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของของดินรอบผิวเสาเข็มและดินที่รองรับ ปลายเสาเข็มหลังทำการก่อสร้างงานเสาเข็มตอก

เป็นการประเมินในสนามหลังทำการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกแล้วเสร็จ มีวัตถุประสงค์เพื่อ  
ยืนยันว่า เสาเข็มและชั้นดินบริเวณ ที่ทำการก่อสร้างไปแล้วนั้น มีความสมบูรณ์และสามารถรับ  
น้ำหนักบรรทุกตามที่ต้องการได้จริง โดยมีวิธีการทดสอบและประเมินแบบหลัก 3 วิธี ดังนี้

2.6.1 วิธีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธีการวัดคลื่น (Seismic test) หรือ Low  
Strain Integrity Test การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D – 5882 , มยพ 1551 – 51 วิธีการ  
ประเมินวิธีนี้ มิได้เป็นวิธีการทดสอบและประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินรอบผิวเสาเข็มและ  
ดินที่รองรับปลายเสาเข็ม แต่เป็นการประเมินว่า คุณภาพเสาเข็มที่ได้ทำการก่อสร้างไปแล้วนั้น  
มิได้เกิดการแตกหักหรือเสียรูปทรงในระหว่างการก่อสร้าง สามารถถ่ายแรงกระทำที่ถ่ายจากฐาน  
รากลงสู่ชั้นดินรอบเสาเข็มและปลายเสาเข็มได้ เป็นการทดสอบและประเมินที่มีราคาถูก สามารถ  
ทำการประเมินได้รวดเร็ว และทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มที่ทำการก่อสร้างไปแล้ว  
ได้ทุกต้น เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ทำการตรวจสอบมีขนาดเล็ก

Seismic Test หรือ Low Strain Integrity Test เป็นการทดสอบด้วยวิธีการส่งสัญญาณ  
คลื่นความเค้น (Stress Wave) วิ่งผ่านวัสดุที่ทำเสาเข็มแล้วนำสัญญาณสะท้อนกลับมาวิเคราะห์ผล  
การส่งสัญญาณจะใช้วิธีการเคาะด้วยค้อนทดสอบ (Hand Held Hammer) ที่หัวเสาเข็ม ทำให้เกิด  
คลื่นความเค้นอัด (Compressive Wave) จากแรงกระทบของค้อนที่กระทำต่อหัวเสาเข็ม  
สัญญาณคลื่นความเค้นอัดจะเดินทางผ่านไปจนถึงปลายเสาเข็มที่ฝังลึกอยู่ในดิน ถ้าเป็นเสาเข็มที่มี  
สภาพสมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกร้าวหรือวัสดุเนื้อเสาเข็มเป็นเนื้อเดียวกันตลอดความยาวเสาเข็ม ไม่มี  
วัสดุอื่นเจือปนหรือมีความหนาแน่นเท่ากันโดยตลอดความยาวแล้ว สัญญาณคลื่นจะเกิดการ  
สะท้อนกลับและถูกบันทึกไว้ด้วยหัววัดสัญญาณคลื่นความเร่ง (accelerometer) ที่ติดตั้งอยู่ที่หัว

เสาเข็ม ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2.19 และแปลงสัญญาณคลื่นให้อยู่ในรูปความเร็วคลื่นเทียบกับเวลา (Time Domain) เพื่อแปรผลความสมบูรณ์ของเสาเข็มต่อไป ซึ่งค่าความเร็วคลื่นในตัวกลางเสาเข็มนั้นแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ค่าความเร็วคลื่นในตัวกลางเสาเข็มชนิดต่าง ๆ ( ผนังมณฑลและคณะ , 2550 )

ชนิดของเสาเข็ม	ค่าความเร็วคลื่น(เมตร/วินาที)
เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง	4,000 – 4,400
เสาเข็มเจาะหล่อในที่	3,600 – 4,000
เสาเข็มเหล็ก	5,000



รูปที่ 2.19 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ Seismic Test ( Project The Idol Condominium ; 2012 )

การแปรผลการทดสอบจะเป็นเพียงการวิเคราะห์สภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มเท่านั้น ไม่ได้ระบุถึงค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกใด ๆ ทั้งสิ้น สภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มสามารถแปรผลได้โดยตรงจากสัญญาณคลื่นสะท้อนกลับที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างความเร็วกับเวลาการเดินทางของสัญญาณคลื่น โดยอาศัยหลักการที่ว่าคุณสมบัติของหน้าตัดเสาเข็มทางพลศาสตร์ ( Dynamic Pile Stiffness ) หรือที่เรียกว่า อิมพีแดนซ์ ( Impedance ) ,  $Z$  ที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลทำให้คลื่นความเค้นเกิดการสะท้อนกลับในรูปแบบของคลื่นความเค้นอัด ( Compressive Wave ) หรือคลื่นความเค้นดึง ( Tension Wave ) สมการของค่าอิมพีแดนซ์ ,  $Z$  เป็นดังนี้

$$Z = \frac{EA}{C} \quad (2.32)$$

เมื่อ

$$E = \text{ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุทำเสาเข็ม}$$

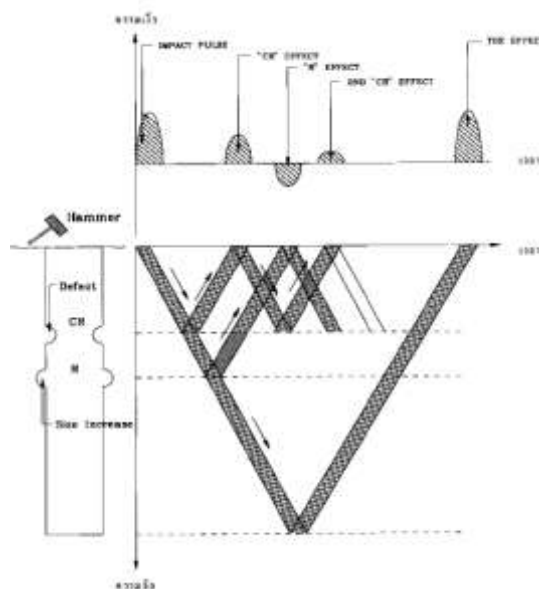
$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม}$$

$$C = \text{ค่าความเร็วคลื่น}$$

จากหลักการดังกล่าวใช้วิธีการแปรผลว่า เมื่อขนาดพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มลดลงหรือค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุทำเสาเข็มลดลง เมื่อเทียบกับคุณสมบัติของเสาเข็ม ตรงจุดที่ทำการเคาะด้วยค้อนเพื่อให้เกิดสัญญาณคลื่นความเค้นอัด สัญญาณคลื่นความเค้นอัดจะเกิดการสะท้อนกลับในรูปของสัญญาณคลื่นความเค้นดึง ( Tension Wave ) แสดงผลในรูปสัญญาณด้าน “บวก” ของกราฟระหว่างความเร็วคลื่นกับเวลาในทางกลับกันหากพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มเพิ่มขึ้นหรือค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุทำเสาเข็ม เพิ่มขึ้น สัญญาณคลื่นความเค้นอัดจะเกิดการสะท้อนกลับในรูปของสัญญาณคลื่นความเค้นอัด ( Compression Wave ) แสดงผลในรูปสัญญาณด้าน “ลบ” ของกราฟระหว่างความเร็วคลื่นกับเวลา ดังแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 2.9 และรูปที่ 2.20

ตารางที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของค่าอิมพีแดนซ์ ที่มีผลกับสัญญาณคลื่นสะท้อนกลับ  
( ญัฐมนต์และคณะ , 2550 )

พื้นที่หน้าตัด	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุทำเสาเข็ม ; E	ค่าอิมพีแดนซ์	สัญญาณสะท้อนกลับ	การแสดงผลในกราฟความเร็ว-เวลา
A		Z		
เพิ่มขึ้น	คงที่	เพิ่มขึ้น	คลื่นความเค้นอัด	ลบ
ลดลง	คงที่	ลดลง	คลื่นความเค้นดึง	บวก
คงที่	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	คลื่นความเค้นอัด	ลบ
คงที่	ลดลง	ลดลง	คลื่นความเค้นดึง	บวก



รูปที่ 2.20 ลักษณะการสะท้อนกลับของสัญญาณทดสอบ ( ญัฐมนต์และคณะ , 2550 )

การแปรผลการทดสอบส่วนที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การระบุระดับความเสียหายหรือระดับความบกพร่องและเกณฑ์การยอมรับที่ใช้งานได้ ระดับความเสียหายสามารถประเมินได้จากการเปรียบเทียบค่าอิมพีแดนท์ ณ ตำแหน่งที่พบข้อบกพร่องเทียบกับค่าของอิมพีแดนท์ ตรงจุดที่ทำการเคาะด้วยค้อนเพื่อให้เกิดสัญญาณสะท้อนกลับ ซึ่งสามารถคำนวณอย่างละเอียดโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่สามารถแปรผลออกมาในรูปของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของสัญญาณคลื่นกับเวลาการเดินทางของสัญญาณคลื่น ดังตัวอย่างกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบต่าง ๆ ที่บอกถึงลักษณะความบกพร่องของเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ 2.21

เกณฑ์การยอมรับความบกพร่อง ระดับความเสียหายของเสาเข็ม จะพิจารณาจาก ค่าดัชนีความสมบูรณ์ ( Integrity Factor ) หรือ ค่าเบต้า ;  $\beta$  ซึ่งมีค่าตามสมการ

$$\beta = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (2.33)$$

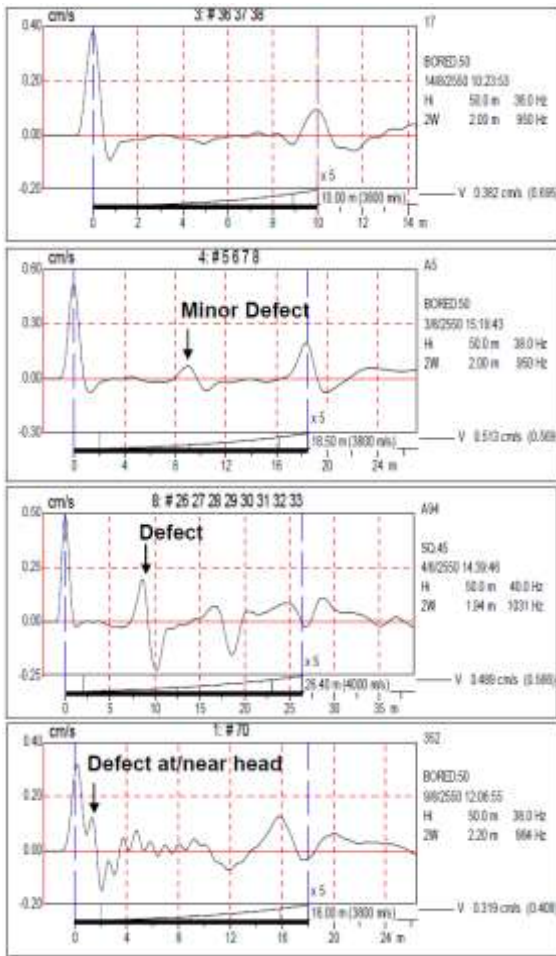
เมื่อ  $Z_2 =$  ค่าอิมพีแดนท์ ณ จุดที่พบการเปลี่ยนแปลง  
 $Z_1 =$  ค่าอิมพีแดนท์ ณ จุดที่ทำการเคาะด้วยค้อนเพื่อให้เกิดสัญญาณสะท้อนกลับ

F.Rahsche and G.G.Goble ( 1986 ) ได้แนะนำเกณฑ์ค่าดัชนีความสมบูรณ์ ( Integrity Factor ) หรือ ค่าเบต้า ;  $\beta$  ซึ่งระบุเกณฑ์ต่างไว้ดังตารางที่ 2.10

อย่างไรก็ตามการพิจารณาระดับความเสียหายควรพิจารณาร่วมกับ วิธีการ, ขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็ม การออกแบบฐานราก อาคารและน้ำหนักบรรทุก การเคลื่อนตัวของเสาเข็มหลังจากทำการก่อสร้างเสร็จสิ้น

การตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธีนี้ มีข้อจำกัดบางประการที่ทำให้ไม่สามารถแปรผลสภาพของเสาเข็มตามความเป็นจริงได้ ข้อจำกัดที่ทำให้ผลการวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนมีดังนี้

- มีการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดเพิ่มขึ้นหรือลดลงที่ละน้อย Seismic ไม่สามารถแปรผลได้
- ค่าแรงเสียดทานที่ผิวของดิน ( Skin Friction ) ของเสาเข็มที่มีความยาวมาก ๆ อาจทำให้สัญญาณคลื่นเปลี่ยนแปลงไป
- ความยาวเสาเข็มมากกว่า 30 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม สัญญาณอาจจะไม่สะท้อนกลับหรือสะท้อนกลับไม่ชัดเจน
- กรณีเสาเข็มมีการเชื่อมต่อกัน ทำให้สัญญาณคลื่นไม่สามารถเดินทางต่อเนื่องได้
- กรณีเสาเข็มตอกไม่ได้ถึง ไม่สามารถแปรผลได้
- กรณีเสาเข็มมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดเป็นอย่างมาก



เส้นกราฟที่แสดงว่าเสาเข็มมีความสมบูรณ์

เส้นกราฟที่แสดงว่าเสาเข็มมีความบกพร่องเล็กน้อย

เส้นกราฟที่แสดงว่าเสาเข็มมีความบกพร่อง

เส้นกราฟที่แสดงว่าเสาเข็มมีความบกพร่องใกล้หัวเสาเข็ม

รูปที่ 2.21 ตัวอย่างเส้นกราฟจากสัญญาณการทดสอบด้วยวิธี Seismic Test ( ณัฐมนต์และคณะ,2550 )

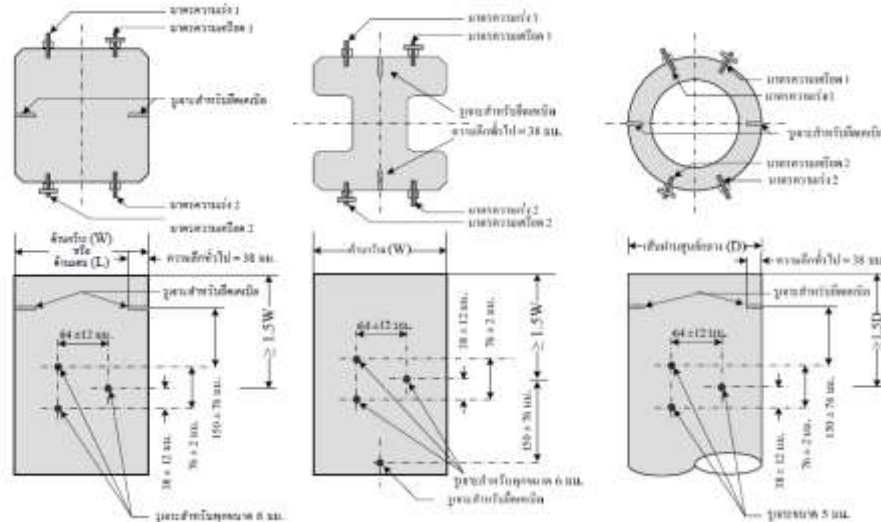
ตารางที่ 2.10 ค่าดัชนีความสมบูรณ์ ( Integrity Factor ) หรือ ค่าเบต้า ;  $\beta$  ( F. Rabsche ,G.G. Goble ,1986 )

ค่าเบต้า ; $\beta$	ระดับความเสียหายของเสาเข็ม
0.90 – 1.0	สมบูรณ์
0.80 – 0.90	เสียหายเล็กน้อย
0.60 – 0.80	เสียหาย
ต่ำกว่า 0.60	เสาเข็มหัก

2.6.2 วิธีการประเมินค่ากำลังน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ ( Dynamic Pile Load test ) หรือ High Strain Dynamic Load Test การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D – 4945 , มยผ 1252 – 51เป็นการทดสอบที่สามารถแปรผลได้ทั้งค่าสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มและค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็ม การทดสอบจะใช้ตุ้มน้ำหนักยกขึ้นแล้วปล่อยกระแทกหัวเสาเข็มให้เสาเข็มเกิดการหลุดตัว ทำให้เกิดคลื่นความเค้นอัดเคลื่อนที่ลงในเสาเข็ม ด้วยความเร็วคลื่นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุเสาเข็ม คลื่นความเค้นดังกล่าวจะสะท้อนกลับเมื่อแรงต้านทานจากแรงเสียดทาน , แรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม , คุณสมบัติของวัสดุเสาเข็ม และพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยสัญญาณคลื่นความเค้นจะถูกบันทึกโดยมาตรวัดสัญญาณความเครียด ( Strain Transducers ) และมาตรวัดความเร่ง ( Accelerometer ) ที่ถูกติดตั้งบริเวณหัวเสาเข็ม โดยทั่วไปแล้วจะติดมาตรความเครียด (Strain Transducers) และมาตรวัดความเร่ง( Accelerometer ) อย่างละสองตัว ในตำแหน่งที่เอียงกัน ( ในกรณีที่เสาเข็มมีด้านกว้างมากกว่า 1.20 ม.ต้องติดอย่างละ 4 ตัว ) แล้วยึดแน่นด้วยสลักเกลียวเพื่อป้องกันเลื่อนหลุดระหว่างการทดสอบ โดยตำแหน่งติดตั้งกับเสาเข็มหน้าตัดและชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.22 สัญญาณจากการทดสอบจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของความเร่งและความเร็ว เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มทางสถิติศาสตร์ ซึ่งจะสามารถแปรผลหาค่าได้ทั้งค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่ปลายเสาเข็ม , ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินด้วยแรงเสียดทานระหว่างดินและผิวเสาเข็มรอบผิวเสาเข็ม , ค่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการหลุดตัวของเสาเข็ม รวมถึงสามารถแปรผลวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเสาเข็มได้ในคราวเดียวกัน

เครื่องมือที่ใช้และขั้นตอนในการทดสอบก็ไม่ได้ยุ่งยากมากนัก ในกรณีที่ทำการก่อสร้างเสาเข็มตอกด้วยปั้นจั่นโครง สามารถใช้เป็นอุปกรณ์การทดสอบได้เลย เครื่องมือการทดสอบด้วยวิธีนี้จะประกอบไปด้วย ตุ้มน้ำหนักทดสอบ ( Strike Hammer ) เพื่อทำให้เกิดพลังงานคลื่น สัญญาณคลื่นเป็นลักษณะเดียวกันกับการทดสอบ Low Strain Integrity Test แต่จะมีความเร่งมากกว่า สัญญาณความเร่ง (Acceleration) และสัญญาณความเครียด จะถูกบันทึกด้วยอุปกรณ์บันทึกและประมวลผลสัญญาณทดสอบ ที่เรียกว่า Pile Driving Analyzer (PDA) อุปกรณ์การทดสอบต่าง ๆ นั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.23 ตุ้มน้ำหนักควรมีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 1.5 % ของน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้ออกแบบไว้ ก่อนทำการทดสอบและบันทึกข้อมูลการทดสอบ ในกรณีเป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง ควรจะมีการทดสอบปล่อยตุ้มน้ำหนักกระแทกหัวเสาเข็มด้วยระยะยกสั้น ๆ เพื่อตรวจสอบสัญญาณและให้ไม้รองหัวเสาเข็มหรือกระสอบรองหัวเสาเข็ม ( Cushion ) เข้าที่ วัสดุรองหัวเสาเข็มหดงอจะช่วยการกระจายหน่วยแรงเค้นที่เกิดจากการกระแทกตุ้มน้ำหนักลงบนหัวเสาเข็มให้สม่ำเสมอและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับหัวเสาเข็ม ส่วนกรณีที่เป็นเสาเข็มเจาะควรมีการหล่อ

คอนกรีตรัดหัวเข็ม ( Pile Cap ) ที่มีการออกแบบเป็นพิเศษสามารถต้านทานหน่วยแรงเค้นสูงที่เกิดจากการกระแทกตึมน้ำหนักลงบนหัวเสาเข็มได้ ผิวบนควรจะเรียบและได้ระดับอยู่ในแนวราบ เพื่อให้กระจายแรงได้สม่ำเสมอ



รูปที่ 2.22 ตำแหน่งการติดตั้งมาตรวัดสัญญาณของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง หน้าตัดสี่เหลี่ยมตัน, หน้าตัดรูปตัวไอและหน้าตัดกลมกลวง(มยผ.1252-51; 2551 )



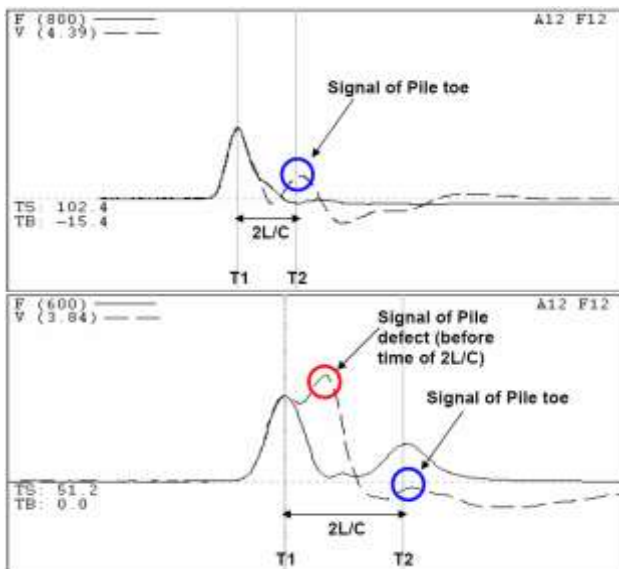
รูปที่ 2.23 เครื่องบันทึกสัญญาณและประมวลผล ( Pile Driving Analyzer ; PDA ) และการติดตั้งมาตรวัดสัญญาณความเครียด ( Strain Transducer ) และมาตรวัดสัญญาณความเร่ง ( Accelerometer ) ( <http://www.soilinvestigation.com.sg> )

การทดสอบนั้น ถ้าเป็นเสาเข็มเจาะกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะต้องสามารถรับกำลังได้ตามที่ออกแบบไว้เสียก่อน คืออย่างน้อยต้องมีอายุเสาเข็มหลังจากทำการเจาะเสร็จแล้วที่ 28 วัน ซึ่งจะทำให้การทดสอบด้วยวิธีนี้ของเสาเข็มเจาะจะทำได้เฉพาะการทดสอบแบบตอกซ้ำ (Re Strike) กรณีที่เป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงจะสามารถทำการทดสอบหลังจากทำการตอกเสร็จสิ้น (End of Driving ; EOD หรือ Initial Test ) และทำการทดสอบหลังจากตอกเสร็จไปแล้วสักระยะหนึ่ง

เพื่อที่จะได้ทราบค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่แท้จริงของดินเนื่องจากว่าชั้นดินที่มีการอัดตัวคายน้ำ และถูกรบกวนขณะทำการตอกเสาเข็มนั้นกลับคืนสู่สภาพปกติเสียก่อน โดยทั่วไปแล้วการคืนกำลังของดิน ( Soil Setup ) หรือการคลายตัวของดิน ( Relaxation ) ถ้าเป็นชั้นทรายอาจใช้เวลาเพียง 1 วัน ก็กลับคืนสภาพปกติ แต่ถ้าเป็นชั้นดินเหนียวอาจใช้เวลานานถึง 14 – 21 วัน ในการคลายตัว และคืนกำลังของดิน

การแปรผลและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนั้น จะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ

การแปรผลและการวิเคราะห์ข้อมูลหาความสมบูรณ์ของเสาเข็ม เสาเข็มที่มีหน้าตัดและคุณสมบัติของวัสดุทำเสาเข็ม สม่่าเสมอตลอดความยาว คลื่นความเค้นดึงที่เคลื่อนที่ขึ้นเนื่องจากการสะท้อนที่ปลายเข็ม ควรจะแสดงสัญญาณอย่างชัดเจนที่เวลาเท่ากับ  $\frac{2L}{C}$  หลังจากการกระแทกของตุ้มน้ำหนัก หากพบคลื่นความเค้นสะท้อนก่อนเวลา  $\frac{2L}{C}$  แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงค่า impedance หมายถึงมีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัดหรือคุณสมบัติของวัสดุที่ทำเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ 2.24



ลักษณะสัญญาณของเสาเข็ม  
ทดสอบที่มีสภาพสมบูรณ์

ลักษณะสัญญาณของเสาเข็ม  
ทดสอบที่มีสภาพไม่สมบูรณ์

รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะสัญญาณของการทดสอบเสาเข็มที่สภาพต่าง ๆ (ณัฐมนต์และคณะ, 2550)

การแปรผลและการวิเคราะห์ข้อมูลกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มและชั้นดิน สามารถวิเคราะห์ได้ 2 วิธี คือ

การวิเคราะห์โดยวิธี Case – Method เป็นวิธีการง่าย ๆ ทำได้รวดเร็ว การวิเคราะห์ผลการทดสอบอาศัยหลักการเคลื่อนที่ใน 1 มิติ ซึ่งเครื่องอุปกรณ์บันทึกและประมวลผลสัญญาณทดสอบ (Pile Driving Analyzer ; PDA) จะคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินและเสาเข็มด้วยสมการ ( 2.34 ) ถึง ( 2.36 )



$$R_s = T - D \quad (2.34)$$

$$T = \frac{1}{2} \left\{ F(t_1) + F\left(t_1 + 2\frac{L}{C}\right) + Z \left( v(t_1) + v\left(t_1 + 2\frac{L}{C}\right) \right) \right\} \quad (2.35)$$

$$D = J \left( 2v(t_1) - \frac{T}{Z} \right) \quad (2.36)$$

เมื่อ  $R_s$  = กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินและเสาเข็มเชิงสถิต

$F(t)$  = แรงหน้าตัดตามแนวแกนที่กระทำต่ออนุภาคเสาเข็มที่เวลา  $t$

ซึ่งวัดได้จากมาตรวัดแรงหรือจากการคำนวณทางอ้อมโดยใช้ สัญญาณจากมาตรความเครียดคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดและโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุทำเสาเข็ม

$L$  = ระยะทางที่วัดจากตำแหน่งที่ติดตั้งหัววัดสัญญาณถึงปลายเสาเข็ม

$C$  = ความเร็วคลื่นยืดหยุ่นที่เดินทางภายในเสาเข็ม

$v(t)$  = ความเร็วของอนุภาคเสาเข็มที่เวลา  $t$  ซึ่งวัดได้จากมาตรความเร็วหรือจากปริพันธ์ ( integration ) ของสัญญาณจากมาตรความเร่ง

$Z$  = อิมพีแดนซ์

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม CAPWAP เป็นวิธีการที่ถูกต้องและแม่นยำ แต่มีความยุ่งยากมาก เนื่องจากจะต้องใช้ผู้ที่มีความรู้เกี่ยวกับโปรแกรมในการแปลผลและวิเคราะห์สัญญาณของแรงและความเร็วข้อมูลซึ่งได้จากการทดสอบแบบพลศาสตร์

การแปลผลและวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว ค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่วัดได้ในสนาม ตัวแปรต่าง ๆ ที่สมมุติขึ้นจะถูกปรับเปลี่ยนจนกระทั่งผลลัพธ์จากการคำนวณสอดคล้องกับผลที่วัดได้ในสนาม เมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์ก็จะทราบถึงข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- แรงเสียดทานที่ผิวระหว่างผิวโดยรอบเสาเข็มกับชั้นดิน
- แรงต้านทานที่ของดินปลายเสาเข็ม
- ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัว
- หน่วยแรงเค้นในเสาเข็มที่เกิดขึ้นระหว่างการตอกเสาเข็ม
- สภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็ม

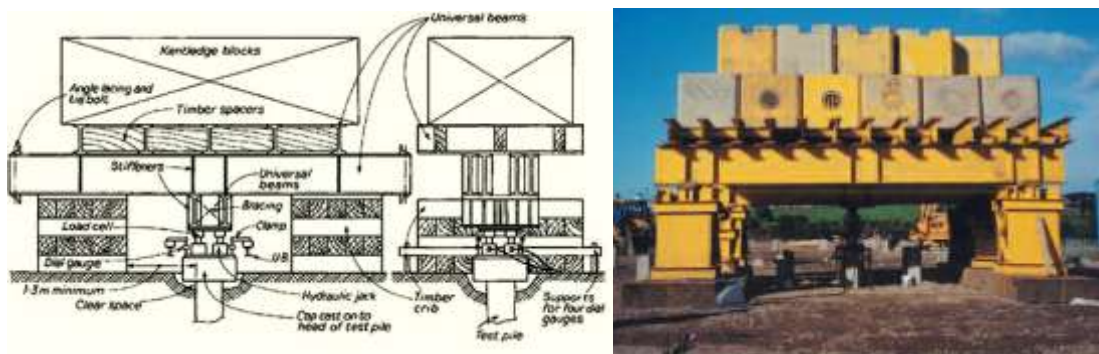
### 2.6.3 วิธีการประเมินกำลังน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์

( Static Pile Load test )

เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D – 1143 เป็นการประเมินและทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มที่มีความเชื่อถือได้มากที่สุด แต่ก็เป็นการประเมินและทดสอบที่ใช้งบประมาณและเวลาการทดสอบที่มากที่สุด ในกรณีที่เป็นโครงการที่มีงบประมาณการก่อสร้างจำกัดหรือเป็นโครงการที่ไม่ใหญ่มากนัก การประเมินและทดสอบด้วยวิธีนี้จึงไม่คุ้มกับการลงทุน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการประเมินและทดสอบด้วยวิธีนี้ยังมีความจำเป็นสำหรับวิศวกรธรณีเทคนิค เพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการประเมินเปรียบเทียบกับวิธีการประเมินและทดสอบวิธีอื่น ๆ การประเมินและทดสอบด้วยวิธีนี้นั้นมีหลายรูปแบบ

รูปแบบการใส่น้ำหนักทดสอบด้วยวิธีนี้ มีรูปแบบหลัก ๆ อยู่ด้วยกัน 3รูปแบบ ดังนี้

**รูปแบบการใส่น้ำหนักทดสอบแบบที่ 1** การให้น้ำหนักโดยใช้ก้อนน้ำหนักหลาย ๆ ก้อน หรือ Kentledge กดทับให้น้ำหนักที่หัวเข็มโดยตรง โดยมีอุปกรณ์ประกอบต่างดังแสดงในรูปที่ 2.25

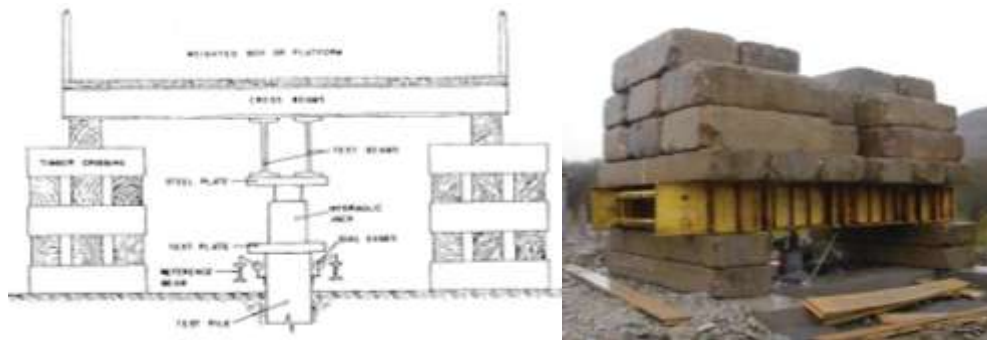


รูปที่ 2.25 การทดสอบแบบให้ก้อนน้ำหนักกดทับบนหัวเข็ม , Kent ledge

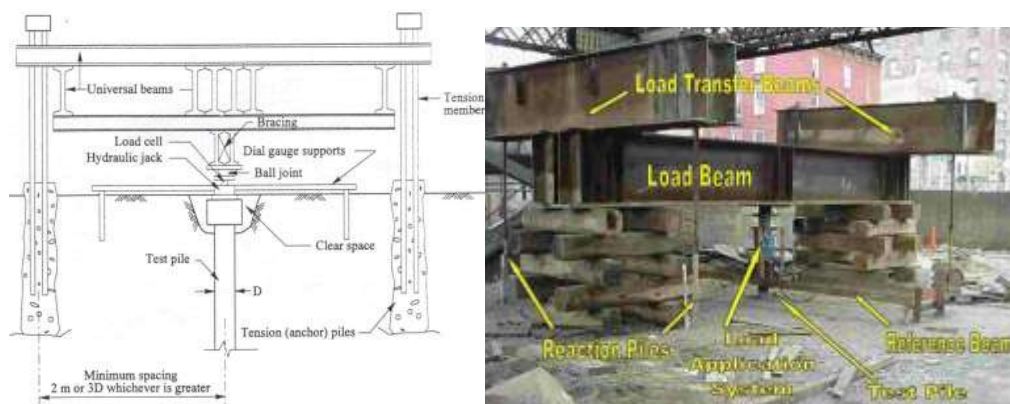
( [www.fhwa.dot.gov](http://www.fhwa.dot.gov),2011 )

**รูปแบบการใส่น้ำหนักทดสอบแบบที่ 2** การกองน้ำหนักผ่านแม่แรงไฮดรอลิค จะคล้ายกับระบบ Kent Ledge ต่างกันตรงที่จะใช้การถ่ายแรงด้วยแม่แรงไฮดรอลิคสู่หัวเสาเข็ม โดยใช้ก้อนน้ำหนักเป็นเสมือนค้ำยัน คอยยันแม่แรงไฮดรอลิคไว้ วิธีนี้จะต้องแน่ใจว่าแรงที่กดลงหัวเสาเข็มไม่เกินกำลังของแม่แรงไฮดรอลิค รูปแบบการติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 2.26

**รูปแบบการใส่น้ำหนักทดสอบแบบที่ 3** การใส่น้ำหนักโดยใช้เข็มสมอยึด (anchorage pile) ซึ่งเสาเข็มสมอนี้จะเป็นเข็มที่ถูกรอกแบบให้เป็นเสาเข็มรับแรงดึง (Tension Pile) เพื่อเป็นการรับน้ำหนักจากการออกแรงกดจากแม่แรงไฮดรอลิคที่กระทำต่อหัวเสาเข็ม แสดงการติดตั้งรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.26 การทดสอบแบบให้ก้อนน้ำหนักกดทับบนหัวเข็ม+แม่แรงไฮดรอลิก ( www.fhwa.dot.gov,2011 )



รูปที่ 2.27 การทดสอบแบบโดยใช้เข็มสมอยึด (anchorage pile) (www.fhwa.dot.gov,2011 )

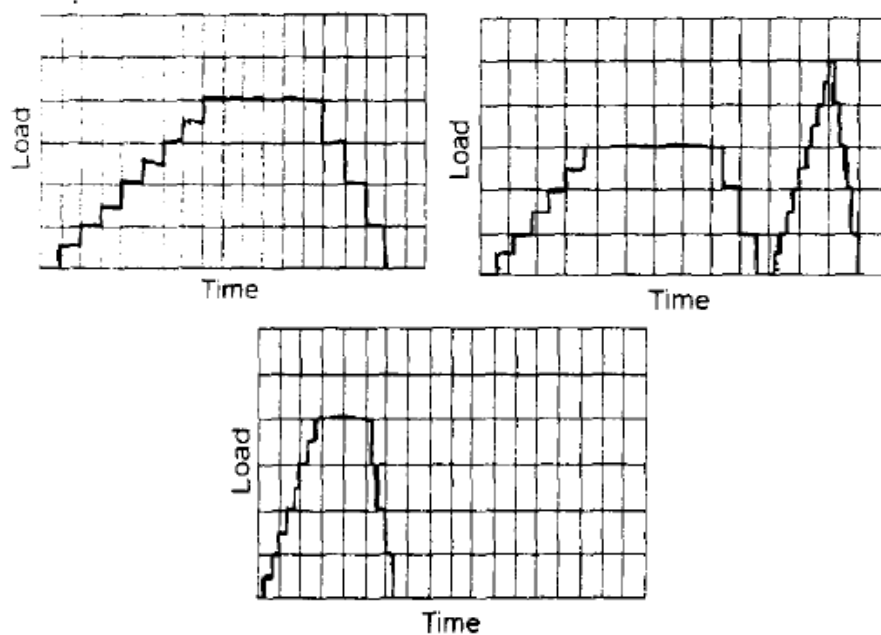
จากรูปแบบการให้น้ำหนักบรรทุกทดสอบทั้ง 3 รูปแบบข้างต้น พบว่า การให้น้ำหนักทดสอบในแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ผลการทดสอบจะมีค่าที่สูงกว่าค่าจริง เนื่องจากชั้นดินมีน้ำหนักกดทับเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของก้อนน้ำหนัก และการให้น้ำหนักทดสอบในแบบที่ 3 การที่เสาเข็มสมอถูกดึงขึ้น จะทับให้น้ำหนักกดทับของชั้นดินลดลง ดังนั้นผลการทดสอบที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าค่าจริง

การทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในสนามควรกระทำหลังจากเสร็จสิ้นการติดตั้งเสาเข็มเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 ถึง 90 วันหรืออย่างน้อย 3-30 วัน ตามมาตรฐาน ASTM D 3698-83 เพื่อให้ดินรอบข้างซึ่งถูกรบกวนขณะติดตั้งเสาเข็มสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำวิธีการทดสอบเสาเข็มตามมาตรฐาน ASTM D - 1143มีด้วยกันทั้งหมด7วิธี แต่วิธีหลักที่นิยมทดสอบนั้น มี 3 วิธี ดังนี้

**วิธีที่ 1 การทดสอบแบบมาตรฐาน STANDARD LOADING**หรือ Slow Maintained Load Test ; SMLT ทำการทดสอบโดยเพิ่มน้ำหนักทดสอบทีละ 25 % ของน้ำหนักออกแบบ ไปจนถึง 200 % ของน้ำหนักออกแบบ ใช้เวลาทดสอบ 48 – 72 ชั่วโมง หรืออาจจะมากกว่านั้น ลักษณะกราฟการเพิ่มน้ำหนักจะเป็นดังรูปที่ 2.28

**วิธีที่ 2 Cyclic Load Test** ทำการทดสอบเช่นเดียวกับวิธี STANDARD LOADING เพียงแต่ที่น้ำหนักบรรทุก 50,100,150 % ของน้ำหนักออกแบบ ให้ถอนน้ำหนักออกจนหมด แล้วเพิ่มน้ำหนักกลับเข้าไปใหม่เหมือนขั้นตอนของ STANDARD LOADING ดำเนินการกลับไปกลดมาจนน้ำหนักทดสอบถึง 200 % ของน้ำหนักออกแบบลักษณะกราฟการเพิ่มน้ำหนักจะเป็นดังรูปที่ 2.28

**วิธีที่ 3 Quick Load Test** เป็นการทดสอบที่ใช้เวลาสั้นทำการทดสอบโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเสาเข็มวิบัติโดยปกติจะใช้เวลาประมาณ 4 ถึง 6 ชั่วโมงลักษณะกราฟการเพิ่มน้ำหนักจะเป็นดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มน้ำหนักกับเวลาของการทดสอบแบบ

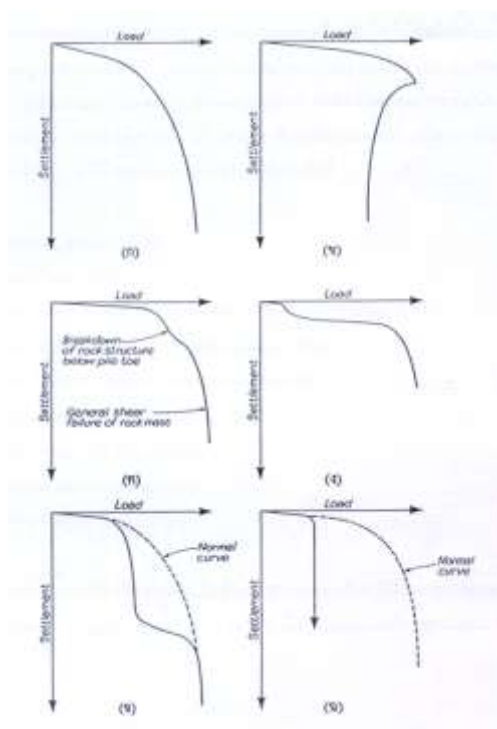
SMLT ,แบบ Cyclic Load Test และแบบ Quick Load Test (STS,2003)

ในระหว่างการทดสอบถ้าปรากฏว่าการทรุดตัวต่างๆเกิดขึ้นเร็วหรือเกินกว่าที่กำหนดหรือไม่สิ้นสุดลงภายในเวลาที่กำหนดไว้ให้ถือว่า การทดสอบล้มเหลวหรือถึงจุดวิบัติแล้วเมื่อดำเนินการทดสอบแล้วปรากฏว่าค่าการทรุดตัวสุทธิทั้งหมด (TOTAL NET SETTLEMENT) หน่วยเป็น มิลลิเมตรไม่เกินกว่า 0.25 คูณด้วยน้ำหนักที่ออกแบบหน่วยเป็นเมตริกตันแต่ทั้งนี้ต้องไม่เกินกว่า 25 มิลลิเมตรและกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับการทรุดตัวไม่แสดงถึงจุดวิบัติก็ให้ถือว่าผลการทดสอบนี้พอกับความต้องการแล้ว

ตารางที่ 2.11 ขั้นตอนการเพิ่มน้ำหนักและข้อพิจารณาการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (ASTM D3689– 3)

การใส่น้ำหนักบรรทุก	ข้อพิจารณา
<p>ก.วิธีการบรรทุกน้ำหนักตามมาตรฐานปกติ ( Standard Loading Procedure )</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.เข็มเดียว ให้น้ำหนักบรรทุกถึง 200 % ของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบ</li> <li>2. ให้บรรทุกน้ำหนักเพิ่มขึ้นช่วงละ 25 % ของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบ</li> <li>3.การถอนน้ำหนักบรรทุกออกให้ลดเป็นช่วง ช่วงละ 25 % ของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบ และทิ้งเวลาในระหว่างช่วง 1 ชม.</li> </ol>	<p>-คงน้ำหนักแต่ละช่วงจนอัตราการทรุดตัว ไม่มากกว่า 0.25 มม./ชม. แต่ไม่น้อยกว่า 2 ชม.</p> <p>-เมื่อถึงช่วงน้ำหนักสูงสุดแล้วหากยังไม่มี การพิบัติเสียก่อน ให้คงน้ำหนักไว้ 12 ชม. แล้วจึงถอนน้ำหนักได้ ถ้าการทรุดตัวใน ชม. สุดท้ายไม่มากกว่า 0.25 มม. หากมากกว่าให้ให้คงน้ำหนักไว้ 24 ชม.</p> <p>-หากเข็มพิบัติโดยการจมลงแล้วไม่สามารถเพิ่มน้ำหนักบรรทุกได้ ให้พยายามคงน้ำหนักไว้จนกระทั่งการทรุดตัวเกิน 15% ของขนาดเสาเข็ม</p>
<p>ข.วิธีการบรรทุกน้ำหนักเป็นวงรอบ ( Cyclic Loading )</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.ให้บรรทุกน้ำหนักแต่ละช่วงตามวิธีในข้อ ก.</li> <li>2.เฉพาะช่วง 50,100 และ 150 % ของน้ำหนักบรรทุกออกแบบของเสาเข็มเดียว ให้คงน้ำหนักไว้ 1 ชม. แล้วถอนน้ำหนักลงตามช่วงที่ขึ้นน้ำหนัก โดยให้ทิ้งเวลาในระหว่างช่วง 20 นาที</li> </ol>	<p>-การถอนน้ำหนักในช่วงบรรทุกสุดท้ายให้ ดำเนินการเช่นเดียวกับ วิธีในข้อ ก.</p>
<p>ค.วิธีการบรรทุกน้ำหนักโดยเร็ว(Quick Load Test)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.ให้บรรทุกน้ำหนักช่วงละ 10 ถึง 15 % ของน้ำหนักบรรทุกออกแบบ โดยเวลาในการขึ้นน้ำหนักของแต่ละช่วงประมาณ 2.5 นาที</li> <li>2.หากทำการทดสอบจนถึงจุดพิบัติ ขณะเมื่อเข็มจมลงโดยไม่สามารถเพิ่มน้ำหนักได้ ให้หยุดการเพิ่มน้ำหนักแล้วรอ 5 นาที จึงถอนน้ำหนักได้</li> </ol>	<p>-เวลาในการขึ้นน้ำหนักในแต่ละช่วงอาจเปลี่ยนแปลงได้โดยมีการตกลงเห็นชอบ ในระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้อง</p> <p>-การถอนน้ำหนักควรดำเนินการเป็นช่วง ๆ ไม่น้อยกว่า 4 ช่วงเท่า ๆ กัน โดยเว้นระยะเวลาระหว่างช่วงประมาณ 5 นาที เพื่อให้สามารถบันทึกกราฟ ความสัมพันธ์ของน้ำหนักและการคืบตัว ในช่วงการถอนน้ำหนักได้</p>

การทดสอบในสนามทุกวิธีนั้น ต่างมีวัตถุประสงค์ในการเก็บบันทึกข้อมูลในทิศทางเดียวกัน คือ เก็บข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันระหว่าง น้ำหนักบรรทุก , ค่าการทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม และเวลา ดินแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวที่แตกต่างกัน ซึ่ง Tomlinson ( 1971 ) ได้ทำการศึกษาทดลองและสร้างเส้นกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของดินแต่ละชนิดไว้ดังแสดงในรูปที่ 2.29 และข้อมูลทั้งสามประการนี้จะถูกนำไปแปรผลและวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักบรรทุกด้วยการแปรผลด้วยวิธีทางกราฟฟิก ที่คิดค้นโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี



- ก.) เสาเข็มรับแรงเสียดทานในชั้นดินเหนียวอ่อนหรือทรายหลวม
- ข.) เสาเข็มที่มีแรงเสียดทานในชั้นดินดาน
- ค.) เสาเข็มที่มีปลายเสาเข็มอยู่บนชั้นหินปูน
- ง.) เสาเข็มที่ถูกน้ำหนักบรรทุกดันให้ปลายเสาเข็มที่วางอยู่บนชั้นหินแข็งทะลุไปชั้นหินใหม่
- จ.) เสาเข็มที่มีช่องว่างเกิดขึ้นที่ผิวเสาเข็ม
- ฉ.) เสาเข็มที่มีกำลังคอนกรีตต่ำจะถูกเฉือนโดยน้ำหนักบรรทุกทดสอบ

รูปที่ 2.29 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็มในชั้นดินต่าง ๆ

( Tomlinson, 1994 )

#### 2.6.4 วิธีหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดจากการทดสอบ

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในสนามนั้น โดยส่วนใหญ่แล้วจะไม่ทำการทดสอบจนถึงน้ำหนักที่ทำให้เสาเข็มพิบัติหรือเสียหาย ( Ultimate Load Test ) แต่จะทำการทดสอบถึงแค่เพียง 2 หรือ 3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกที่ได้ออกแบบไว้ ( Proof Load Test ) การหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดจะต้องกระทำโดยการแปรผลจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม ( Load & Settlement ) ด้วยวิธีกราฟฟิก ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี ดังนี้

### วิธีของ Davisson ( 1972 )

ได้เสนอวิธีการเพื่อหาน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (Ultimate Load) ของเสาเข็มโดยพิจารณาให้เสาเข็มด้านปลายที่ฝังจมในชั้นดินนั้นเป็นชนิดรับแรงต้านที่ปลายปลายเสาด้านบนเป็นอิสระอิสระ (Free-Standing Column) นำคุณสมบัติของวัสดุทำเสาเข็ม, ขนาด, ความยาวและน้ำหนักบรรทุกมาคำนวณหา Elastic Shortening ของเสาเข็มลากเส้นที่คำนวณได้โดยเริ่มจากจุดกำเนิด (Origin) แล้วลากเส้น Offset ซึ่งมีระยะห่าง  $X$  ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดปลายเสาเข็มเส้น Offset นี้จะขนานกับเส้น Elastic Shortening ไปตัดเส้นโค้งของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวและน้ำหนักที่ทดสอบน้ำหนักที่จุดตัดจะเป็นน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (Ultimate Load) ของเสาเข็มวิธีการนี้ควรใช้กับการทดลองนี้ระยะการเพิ่มน้ำหนักกระทำแต่ละครั้งไม่เกิน 1 ชั่วโมงเส้น Elastic Shortening จะทำมุมกับแกนของน้ำหนักประมาณ 20 องศาการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติของวิธี Davisson ( 1972 ) สามารถแสดงเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- 1) เขียนกราฟการทรุดตัวของหัวเสาเข็มกับน้ำหนักบรรทุกดังแสดงในรูปที่ 2.30
- 2) คำนวณหาค่าการยุบตัว Elastic ของเสาเข็มจากสมการ

$$\Delta = \frac{QL}{AE} \quad (2.37)$$

โดยที่  $Q$  คือ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อเสาเข็ม

$L$  คือ ความยาวของเสาเข็ม

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม

และ  $E$  คือ modulus of elasticity ของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม

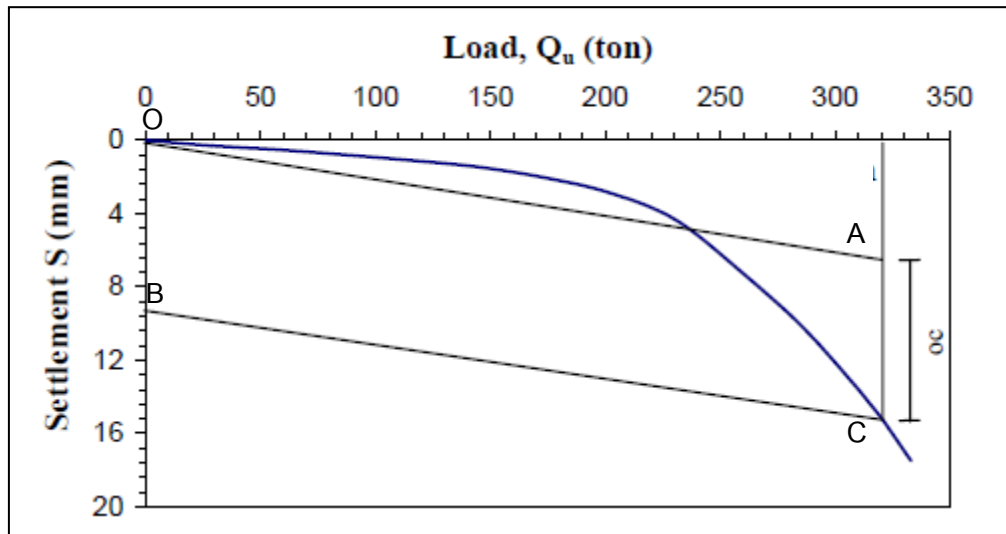
- 3) ลากเส้น OA จากค่าที่ได้จากสมการ ( 2.36 ) จากนั้นลากเส้น BC ขนานกับเส้น OA เป็นระยะห่าง OC โดยคำนวณระยะ OC จากสมการ ( 2.38 ) หรือ สมการ ( 2.39 )

$$OC = 3.81 + \frac{D}{120} \text{ สำหรับหน่วยเป็น มม.} \quad (2.38)$$

$$OC = 0.15 + \frac{D}{120} \text{ สำหรับหน่วยเป็น นิ้ว} \quad (2.39)$$

เมื่อ  $D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มหรือความกว้างของเสาเข็ม

- 4) น้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติคือจุดตัดกันของเส้น BC กับเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวหรือจุด C



รูปที่ 2.30 วิธีการหาน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีกราฟฟิกของ Davisson ( 1972 )

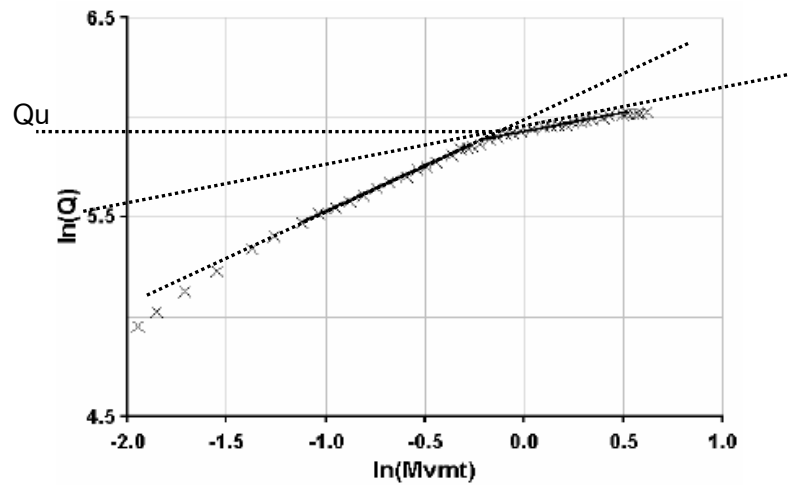
วิธี Davisson ( 1972 ) นี้วัตถุประสงค์ในครั้งแรกนั้นเพื่อใช้ในการแปลผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มตามวิธี Quick Method แต่ก็สามารถใช้แปลผลการทดสอบที่ได้กับการทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Method แต่ไม่เหมาะกับการแปลผลที่ได้จากการทดสอบแบบ Cyclic Load Test ข้อได้เปรียบของวิธีนี้คือเส้น BC สามารถลากได้ก่อนการทดสอบเสาเข็มดังนั้นจึงสามารถกำหนดเกณฑ์การทดสอบเสาเข็มสำหรับการทดสอบ Proof Test ได้

#### วิธีของ De Beer (1967)

สามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดจากจุดตัดของเส้นที่แสดงพฤติกรรม Elastic และ Plastic ของเสาเข็มทดสอบโดยการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อเสาเข็มและค่าการทรุดตัวในสเกล log - log เส้นกราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง 2 เส้นจุดตัดของเส้นตรงทั้งสองนี้คือค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติดังแสดงในรูปที่ 2.31 โดยวิธีการนี้สามารถหาค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มได้เกือบทุกต้นที่ทดสอบน้ำหนักจนเลยช่วง Elastic แต่หากเสาเข็มนั้นถูกทดสอบจนถึงจุดวิบัติจะทำให้การอ่านค่านั้นถูกต้องยิ่งขึ้นวิธีของ De Beer ในตอนแรกถูกเสนอขึ้นเพื่อการทดสอบแบบ Slow test สามารถแสดงเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- 1) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวบนกราฟลอกการิทึมสเกล
  - 2) กราฟจะมีรูปร่างเป็นเส้นตรง 2 เส้น
  - 3) น้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติคือค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดตัดของเส้นตรง 2 เส้นนี้
- วิธีนี้แนะนำไว้สำหรับเสาเข็มที่ทดสอบแบบ Standard Loading Procedure



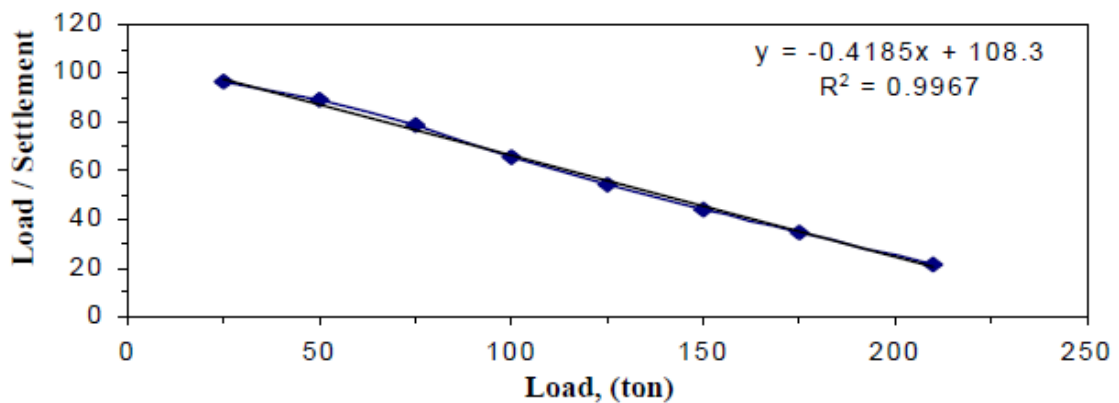


รูปที่ 2.31 วิธีการหาน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธี Double Log ของ De Beer (1967)

วิธีของ Decourt's Extrapolation Method ( 1999 )

วิธีการนี้ในขั้นแรกจะสร้างกราฟความสัมพันธ์ที่แกนหนึ่งจะเป็นค่าอัตราส่วนของค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อเสาเข็มกับค่าการทรุดตัวและอีกแกนหนึ่งจะเป็นค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ 2.32 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสองค่านี้ แล้วทำการสร้างเส้นตรงที่เป็นเส้นสมการถดถอย ( Linear Regression ) เส้นตรงสมการถดถอยนี้เมื่อยืดตรงออกไปตัดกับแกนเส้นที่เป็นค่าอัตราส่วนของค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อเสาเข็มกับค่าการทรุดตัว จะเป็นค่าคงที่  $C_2$  และค่า  $C_1$  สามารถหาได้สมการความลาดเอียงของเส้นตรงสมการถดถอยซึ่งค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติหาได้จากสมการ ( 2.40 )

$$Q_u = \frac{C_2}{C_1} \tag{ 2.40 }$$

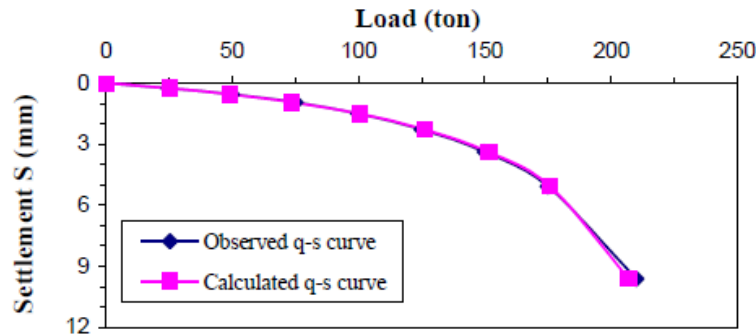


รูปที่ 2.32 วิธีการหาน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติโดยวิธีกราฟฟิกของ Decourt's Extrapolation Method ( 1999 )

ค่า  $C_1$  และ  $C_2$  ที่ได้จากรูปที่ 2.32 นั้น เมื่อนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อเสาเข็มกับค่าการทรุดตัว ด้วยสมการ ( 2.41 ) จะสามารถทำการเปรียบเทียบ

เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อเสาเข็มกับค่าการทรุดตัว ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ ( 2.42 ) กับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามดังแสดงในรูปที่ 2.33

$$Q = \frac{C_2 S}{[1 - (C_1 S)]} \quad (2.41)$$

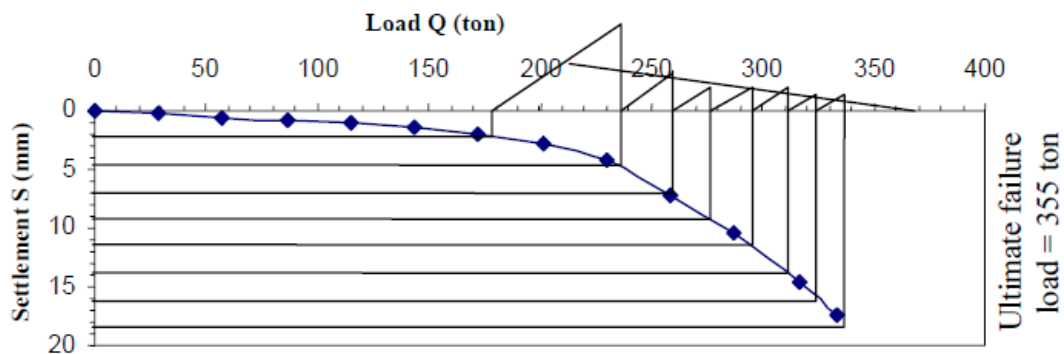


รูปที่ 2.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัว ที่ได้จากการทดสอบในสนามกับการคำนวณด้วยสมการ ( 2.42 ) ของ Decourt's Extrapolation Method ( 1999 )

#### วิธีของ Mazurkiewicz ( 1972 )

สมมติให้เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มกับค่าการทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม เป็นเส้นโค้งของสมการพาราโบลา การหาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของดิน หาได้จากวิธีการกราฟฟิกที่วาดเส้นลงบนกราฟ ในแกนของกราฟที่เป็นระนาบค่าการทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม ทำการแบ่งเป็นช่วง ๆ ที่มีระยะช่วงเท่ากัน ลากเส้นตั้งฉากกับแกนระนาบค่าการทรุดตัวขึ้นไปตัดกับเส้นกราฟความสัมพันธ์ของค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มกับค่าการทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม จากจุดตัดกับเส้นกราฟความสัมพันธ์นี้ ลากเส้นทำมุม  $90^\circ$  ไปตัดที่แกนของกราฟที่ระนาบค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่จุดตัดนี้ลากเส้นทำมุม  $45^\circ$  ขึ้นไปตัดกับเส้นค่าน้ำหนักบรรทุกเส้นถัดไป ทำจนครบทุกเส้น จะได้เส้นที่เอียงเข้าตัดกับเส้นน้ำหนักบรรทุกอีกครั้ง ที่จุดตัดนี้จะเป็นจุดที่ระนาบค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ต้องการดังแสดงในรูปที่ 2.34 วิธีนี้จะใช้ทำการแปรผลหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของดินในการวิจัยครั้งนี้

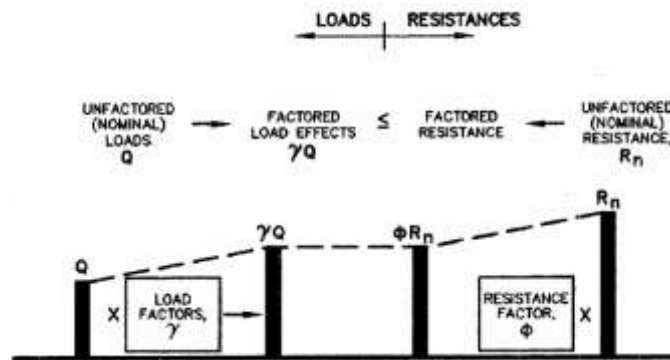
การแปรผลกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามนั้น นอกจากที่ได้กล่าวมาแล้ว ทั้ง 4 วิธีนั้น ยังมีอีกหลายวิธีที่จะนำมาใช้ในการแปรผล เช่น วิธีของ Terzaghi (1943) , วิธีของ Van der Veen(1953) ,วิธีของ Brich Hansen 80%Criterion (1963) และวิธีที่อาจารย์ธนาคนำวิธีของ Mazerkiewicz มาปรับปรุงและประยุกต์ใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในปี 1998 เป็นต้น



รูปที่ 2.34 การแปรผลโดยการวิธีทางกราฟฟิค ของ Mazurkiewicz,1972

## 2.7 การออกแบบฐานรากลึกด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ( Load and Resistance Factor Design ; LRFD )

การออกแบบด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ( Load and Resistance Factor Design ; LRFD ) เป็นวิธีการออกแบบฐานรากที่ The American Association of State Highway and Transportation Officials; AASHTO ได้ทำการพัฒนามาตั้งแต่ปี 1991 และเสนอเป็นมาตรฐานการออกแบบสำหรับโครงสร้างและชิ้นส่วนต่าง ๆ ของสะพานในทางหลวงของสหรัฐอเมริกา ในปี 1994 การออกแบบด้วยวิธี LRFD ได้พัฒนาให้มีความแม่นยำมากขึ้นจากการออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ( Allowable Stress Design ; ASD ) ได้มีการกำหนดสถานะจำกัด ( Limit State ) โดยแนวคิดจำกัดประสิทธิภาพการใช้งานของโครงสร้างหรือส่วนประกอบอื่น ๆ ที่มีสภาพไม่พร้อมใช้งานและไม่ปลอดภัย ด้วยการลดประสิทธิภาพการใช้งานในส่วนนั้น ๆ ลง สถานะจำกัดนี้ แบ่งออกได้เป็น สถานะจำกัดกำลัง ( Strength Limit State ) และสถานะการใช้งานได้ดี ( Serviceability Limit State ) การจำกัดความเหล่านี้นี้ทำโดยการลดค่าความต้านทานของวัสดุต่าง ๆ ด้วย ค่าตัวคูณความต้านทาน ( Resistance Factor ;  $\phi$  ) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเสี่ยงต่อการวิบัติและความรุนแรงของการวิบัติของอาคาร และเพิ่มน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ที่กระทำต่อองค์อาคารด้วย ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุก ( Load Factor ;  $\gamma$  ) ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับความไม่แน่นอนของน้ำหนักบรรทุกแต่ละชนิดและความแม่นยำในการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุก สามารถอธิบายความหมายนี้ได้ดังรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 ความหมายของค่าตัวคูณความต้านทานและตัวคูณน้ำหนักบรรทุก ( FHWA HI-98-032,2001 )

จากรูปที่ 2.35 เป็นไปตามสมการที่เสนอโดย AASHTO,2001เพื่อใช้ออกแบบด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ( LRFD ) ดังสมการต่อไปนี้

$$\phi R_n \geq \eta \sum \gamma_i Q_i \tag{ 2.42 }$$

เมื่อ

$\phi$  = ค่าตัวคูณแรงต้านทาน ( Resistance Factor )

$R_n$  = กำลังแรงต้านทานหรือกำลังรับน้ำหนักบรรทุก ซึ่งในที่นี้หมายถึงค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินสูงสุดที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีสถิติศาสตร์,การทดสอบในสนามด้วยวิธีพลศาสตร์และสูตรตอกเสาเข็ม

$\eta$  = ค่าปรับของน้ำหนักเกี่ยวกับความยืดหยุ่น ซึ่งใช้ค่า = 1 ( Barker et al.,1991)

$\gamma_i$  = ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุก ( Load Factor )

$Q_i$  = แรงกระทำประเภทต่าง ๆ

วิธี LRFD นี้ค่าตัวคูณความต้านทาน ( Resistance Factor ;  $\phi$  ) และค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุก ( Load Factor ;  $\gamma$  ) ได้มาจากการเก็บรวบรวมค่าทางสถิติเป็นจำนวนมาก ผ่านกระบวนการทางสถิติ โดยอาศัยทฤษฎีความน่าเชื่อถือ ( Reliability ) ในการวิเคราะห์ประมวลผล และจะให้ค่าที่เป็นเฉพาะท้องถิ่น จึงทำให้การออกแบบด้วยวิธีนี้มีความแม่นยำมากกว่าวิธี ASD ที่ผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ โดยอาศัยประสบการณ์ของผู้ออกแบบเอง

2.7.1 สภาวะจำกัด ( Limit State ) หมายถึง สภาพที่โครงสร้างหรือส่วนประกอบอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานและเห็นว่าไม่สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ออกแบบไว้หรืออยู่ในสภาพที่ไม่ปลอดภัย สามารถแยกออกได้ 2 สภาวะ ดังนี้

- สภาวะจำกัดกำลัง ( Strength Limit State ) หมายถึง สภาพการรับน้ำหนักสูงสุดที่โครงสร้างยังคงปลอดภัย การวิบัติของอาคารจะถูกจำกัดโดยขีดจำกัดของความต้านทานของโครงสร้างหรือสภาวะจำกัดของการวิบัติ ( Limit State of Rupture )

- สภาวะจำกัดการใช้งาน ( Serviceability Limit State ) หมายถึง สภาพจำกัดของผลกระทบที่มีต่อโครงสร้าง โดยที่โครงสร้าง ยังคงสามารถรักษารูปร่างภายนอก ความสะดวกสบายและสภาพการใช้งานตามปกติไว้ได้

2.7.2 ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุก ( Load Factor ;  $\gamma$  ) จะขึ้นอยู่กับความไม่แน่นอนของน้ำหนักบรรทุกแต่ละชนิดและความแม่นยำในการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุก ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุกสำหรับงานออกแบบฐานรากในประเทศไทยนั้น ยังไม่มีมาตรฐานอ้างอิง จะมีเพียงตามมาตรฐานของ วสท 1020 – 51 ซึ่งเป็น มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกและกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ( พ.ศ.2527 ) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ที่จะมีการระบุค่าตัวคูณเพื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุก โดยแยกเป็นประเภทน้ำหนักบรรทุกไว้ดังนี้

- ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน วสท.1020 – 51

$$1.4 D \quad ( 2.43 )$$

$$1.2 D + 1.6 L + 0.5 ( L_r \text{ หรือ } R ) \quad ( 2.44 )$$

$$1.2 D + 1.6 ( L_r \text{ หรือ } R ) + ( 0.5 L \text{ หรือ } 0.8 W ) \quad ( 2.45 )$$

$$1.2 D + 1.3 W + 0.5 L + 0.5 L ( L_r \text{ หรือ } R ) \quad ( 2.46 )$$

$$1.2 D \pm 1.0 E + 0.5 L \quad ( 2.47 )$$

$$0.9 D \pm ( 1.3 W \text{ หรือ } 1.0 E ) \quad ( 2.48 )$$

เมื่อ  $D =$  น้ำหนักบรรทุกคงที่เนื่องจากน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างและสิ่งก่อสร้าง

หรือองค์ประกอบถาวรบนโครงสร้าง

$L =$  น้ำหนักบรรทุกจรและน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้

$L_r =$  น้ำหนักบรรทุกจรจากหลังคา  $W =$  น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลม

$E =$  แรงแผ่นดินไหวกำหนดตามส่วนที่ 1 ของบทกำหนดด้านแรงแผ่นดินไหว

สำหรับอาคารโครงสร้างเหล็ก อ้างอิงตาม AISC

$R =$  น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากน้ำฝน

-ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน กฎกระทรวงฉบับที่ 6 ( พ.ศ.2527 ) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522ระบุว่า ในการคำนวณส่วนต่าง ๆ ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตามทฤษฎีกำลังประลัย ให้ใช้น้ำหนักบรรทุกประลัย ดังนี้

(1) ส่วนของอาคารที่ไม่คิดแรงลม ให้ใช้น้ำหนักบรรทุกประลัย ดังนี้

$$\text{นป.} = 1.7 \text{ นค.} + 2.0 \text{ นจ.} \quad (2.49)$$

(2) ส่วนของอาคารที่คิดแรงลม ให้ใช้น้ำหนักบรรทุกประลัย ดังนี้

$$\text{นป.} = 0.75 (1.7 \text{ นค.} + 2.0 \text{ นจ.} + 2.0 \text{ รล.}) \text{ หรือ } \text{นป.} = 0.9 \text{ นค.} + 1.3 \text{ รล.} \quad (2.50)$$

โดยให้ใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่มากกว่า แต่ทั้งนี้ต้องไม่ต่ำกว่าค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยใน(1) ด้วย

นป. = น้ำหนักบรรทุกประลัย      นค. = น้ำหนักบรรทุกคงที่ของอาคาร

นจ. = น้ำหนักบรรทุกจรรวมด้วยแรงกระแทก      รล. = แรงลม

### 2.7.3 ค่าตัวคูณแรงต้านทาน ( Resistance Factor ; $\phi$ )

จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\phi = \frac{\lambda_R \left( \frac{\gamma_D Q_D}{Q_L} + \gamma_L \right) \sqrt{\left[ \frac{(1 + COV_{Q_D}^2 + COV_{Q_L}^2)}{1 + COV_R^2} \right]}}{\left( \frac{\lambda_{Q_D} Q_D}{Q_L} + \lambda_{Q_L} \right) \exp \left\{ \beta_T \sqrt{\ln \left[ (1 + COV_R^2)(1 + COV_{Q_D}^2 + COV_{Q_L}^2) \right]} \right\}} \quad (2.51)$$

เมื่อ  $\phi$  = ค่าตัวคูณแรงต้านทาน ( Resistance Factor )

$\lambda_R$  = ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนหรือค่าเอนเอียงเฉลี่ยของแรงต้านทาน

$\gamma_D$  = ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุกคงที่ ใช้ 1.25 ( Nowak , 1999 )

$\gamma_L$  = ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุกจร ใช้ 1.75 ( Nowak , 1999 )

$\frac{Q_D}{Q_L}$  = ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักบรรทุกคงที่กับน้ำหนักบรรทุกจร เลือกใช้ 2.0

$COV_{Q_D}$  = ค่าสัมประสิทธิ์แปรปรวนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ ใช้ 0.1 ( Nowak , 1999 )

$COV_{Q_L}$  = ค่าสัมประสิทธิ์แปรปรวนของน้ำหนักบรรทุกจร ใช้ 0.2 ( Nowak , 1999 )

$COV_R$  = ค่าสัมประสิทธิ์แปรปรวนของแรงต้านทาน

( ค่าจากการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินด้วยสูตรตอกเสาเข็ม )

$\lambda_{Q_D}$  = ค่าเอนเอียงของน้ำหนักบรรทุกคงที่ ใช้ 1.05 ( Nowak , 1999 )

$\lambda_{Q_L}$  = ค่าเอนเอียงของน้ำหนักบรรทุกจร ใช้ 1.15 ( Nowak , 1999 )

$\beta_T$  = ค่าดัชนีความเชื่อมั่น

จากสมการ (2.53) ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในสมการนั้น น้ำหนักบรรทุกที่กระทำจะแยกเป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร ซึ่งไม่สามารถที่จะนำมาพิจารณาได้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์หากล้างรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่รับน้ำหนักกระทำจากเสาเข็ม จึงใช้

ค่าคงที่ระบุอยู่ใน LRFD Bridge Design Specifications ( AASHTO , 2000 ) ซึ่งแนะนำโดย Nowak , 1999 จะมีเพียงตัวแปรอีกเพียง 3 ตัวแปร คือ  $\lambda_R$  ค่าเอนเอียงเฉลี่ยของแรงต้านทาน ,  $COV_R$  ค่าสัมประสิทธิ์แปรปรวนของแรงต้านทานและ  $\beta_T$  ค่าดัชนีความเชื่อมั่น ซึ่งจะต้องทำการคำนวณวิเคราะห์หาค่าโดยวิธีทางสถิติ

#### 2.7.4 ค่าเอนเอียงเฉลี่ยของแรงต้านทาน ( Bias ; $\lambda_{Ra}$ )

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาว่าการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธีใดจะให้ค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static Pile Load Test) มากที่สุด ค่าเอนเอียงของเสาเข็มแต่ละต้น (Bias;  $\lambda_{Ri}$ ) มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มของแต่ละต้นที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ซึ่งวิเคราะห์ผลด้วยวิธีทางกราฟฟิก Mazurkiewicz กับค่าที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ ของเสาเข็มต้นนั้นและเมื่อทำการหาค่าเอนเอียงของเสาเข็มแต่ละต้น (Bias ;  $\lambda_{Ri}$ ) ทั้งหมดในแต่ละวิธีแล้ว จะนำค่าเอนเอียงของเสาเข็มแต่ละต้น (Bias;  $\lambda_{Ri}$ ) นั้นมาหาค่าเอนเอียงเฉลี่ย (Bias;  $\lambda_{Ra}$ ) ต่อไป สมการเพื่อการหาค่าเอนเอียงของเสาเข็มแต่ละต้น ( Bias ;  $\lambda_{Ri}$ ) และหาค่าเอนเอียงเฉลี่ย ( Bias ;  $\lambda_{Ra}$ ) ดังแสดงในสมการ (2.53),(2.54)

$$\lambda_{Ri} = \frac{R_m}{R_n} \quad (2.52)$$

$$\lambda_{Ra} = \frac{\sum \lambda_{Ri}}{N} \quad (2.53)$$

เมื่อ	$\lambda_{Ri}$	=	ค่าเอนเอียงของเสาเข็มแต่ละต้น
	$R_m$	=	ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มแต่ละต้นที่ได้ จากการทดสอบด้วยวิธีสถิตยศาสตร์และวิเคราะห์ผลด้วยวิธีทางกราฟฟิก
	$R_n$	=	ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธีประเมิน จากสูตรตอกเสาเข็ม
	$\lambda_{Ra}$	=	ค่าเอนเอียงเฉลี่ย
	$N$	=	จำนวนเสาเข็มที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด

#### 2.7.5 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ( Coefficient of Variation ; $COV_R$ )

การที่จะระบุว่าการประเมินน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธีใดที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกในสนามด้วยวิธีสถิตยศาสตร์นั้น การประเมินบางวิธีอาจจะมีค่าเอนเอียงสูง แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าวิธีนั้นไม่สามารถนำมาใช้งาน

ได้ การที่จะเลือกสูตรใดมาใช้เกณฑ์การพิจารณาควรดูจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ( Coefficient of Variation ;  $COV_R$  ) ของข้อมูล ซึ่งเป็นดัชนีที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูล วิธีการประเมินที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนมีค่าน้อย แสดงว่าวิธีนั้นมีความเชื่อถือผลการประเมินได้มาก สามารถคำนวณได้ตามสมการ ( 2.55 )

$$COV_R = \frac{\sigma_R}{\lambda_{Ra}} \quad (2.54)$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum(\lambda_{Ri} - \lambda_{Ra})^2}{N-1}} \quad (2.55)$$

เมื่อ  $COV_R$  = สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน  
 $\sigma_R$  = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( Standard Deviation )  
 $\lambda_{Ra}$  = ค่าเอนเอียงเฉลี่ย

#### 2.7.6 การปรับแก้ข้อมูลด้วยค่าเอนเอียง ( Bias Correction )

ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ในเบื้องต้นนั้น จะยังมีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่มาก การปรับแก้ข้อมูลให้มีการกระจายตัวน้อยลงหรือให้มีความเที่ยงตรงมากขึ้นนั้น จะปรับแก้โดยการใช้ค่าเอนเอียงเฉลี่ย ( $\lambda_{Ra}$ ) ที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อที่แล้วไปคูณกับผลการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ ที่ได้คำนวณประเมินไว้ก่อนหน้านี้แล้ว จะทำให้การกระจายตัวของข้อมูลลดลง มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนลดลงด้วยเช่นกัน

#### 2.7.7 ค่าดัชนีความเชื่อมั่น ( Reliability Index ; $\beta_T$ )

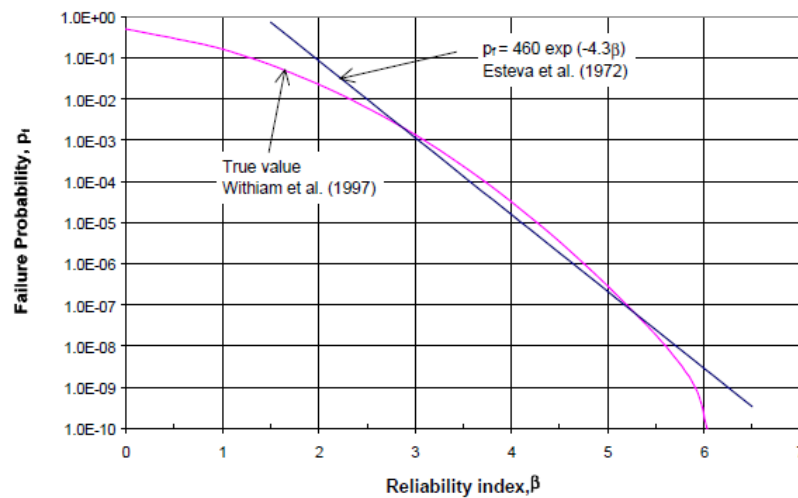
เป็นค่าที่แสดงถึงระดับความปลอดภัยขององค์อาคารในการออกแบบด้วยวิธี LRFD ซึ่งจะเปรียบเสมือนค่าอัตราส่วนความปลอดภัย ( Factor of Safety ; FS ) ของการออกแบบด้วยวิธี WSD การเลือกใช้ค่าดัชนีความเชื่อมั่นที่สูง หมายความว่า การจะเกิดวิบัติของอาคารมีค่าน้อย ค่าความน่าจะเป็นของการวิบัติ ( Failure Probability ;  $p_f$  ) มีค่าน้อย ซึ่ง Withiam, et al., 1998 ได้เสนอค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเชื่อมั่น ;  $\beta_T$  กับค่าความน่าจะเป็นของการวิบัติ ;  $p_f$  ไว้ดังแสดงในรูปที่ 2.36 ในการออกแบบโดยทั่วไปจะมีค่า  $\beta_T$  อยู่ระหว่าง 2 ถึง 6 ในการทำวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ค่าที่ 2.0 และ 2.5

#### 2.7.8 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( Coefficient of Determination: R Square: $R^2$ )

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ หรือ  $R^2$  คือค่าที่บ่งบอกระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปรภายใต้สมการใดสมการหนึ่ง ถ้าค่า R-square มีค่าเข้าใกล้หนึ่งแสดงว่าตัวแปรต้นกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันมากภายใต้สมการนั้น ซึ่งในที่นี้ตัวแปรต้นคือ ค่ากำลังรับน้ำหนัก



บรรทุกของดินที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มในสนามด้วยวิธีสถิติศาสตร์แล้วแปรผลด้วยวิธีของ Mazurkiewicz ส่วนตัวแปรตามคือค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่ได้จากการประเมินด้วยสูตรตอกเสาเข็ม ค่า  $R^2$  มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 และไม่มีหน่วยถ้า  $R^2$  มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า สมการที่ได้มีประสิทธิภาพสูง มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้มาก ถ้าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า สมการที่ได้มีประสิทธิภาพต่ำ ไม่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน



รูปที่ 2.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความเชื่อมั่น ;  $\beta_T$  กับค่าความน่าจะเป็นของการวิบัติ ;  $p_f$  ( Withiam ,et al.,1997 )

#### 2.7.9 ค่าตัวคูณความต้านทานสำหรับงานฐานรากตามมาตรฐานอื่น ๆ

ค่าตัวคูณความต้านทานสำหรับการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีต่าง ๆ ตามมาตรฐานทั่วโลกสำหรับงานฐานราก มีค่าแนะนำต่าง ๆ ดังนี้

The Australian Standard for Piling – Design and Installation( 1995 )ให้ใช้

- การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในสนามด้วยวิธีสถิติศาสตร์ ให้ใช้ค่าอยู่ในช่วง 0.7 – 0.9
- การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในสนามด้วยวิธีพลศาสตร์ ให้ใช้ค่าอยู่ในช่วง 0.50– 0.85
- การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิติศาสตร์ ให้ใช้ค่าอยู่ในช่วง 0.40 – 0.65 ขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรและชนิดของดิน
- การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ ให้ใช้ค่าอยู่ในช่วง 0.45– 0.65

### The AUSTRROADS Bridge Design Code ( 1992 ) ให้ใช้

- การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มในสนามด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ที่ทดสอบด้วยน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ให้ใช้ค่า 0.9
- การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มในสนามด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ที่ทดสอบด้วยน้ำหนักบรรทุกออกแบบ ให้ใช้ค่า 0.8

### The Ontario Bridge Code ( 1992 ) ให้ใช้

- การประเมินด้วยวิธีสถิตยศาสตร์และการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มในสนามด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ สำหรับเสาเข็มรับแรงกด ให้ใช้ค่า 0.3 - 0.6

### The Bridge Code ( 1992 ) ให้ใช้

- สำหรับเสาเข็มไม้ เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง และเสาเข็มเจาะ ให้ใช้ค่า 0.4
- สำหรับเสาเข็มเหล็ก ให้ใช้ค่า 0.5
- การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ ให้ใช้ค่าอยู่ในช่วง 0.4 – 0.5

### Eurocode 7 ( 1997 ) ให้ใช้

- เสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ ที่เป็นเสาเข็มเดี่ยว ให้ใช้ค่าในช่วง 0.67 – 0.91

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม Microsoft Office Word และ Microsoft Office Excel

3.1.2 เครื่องพิมพ์ ( Printer ) สีและขาวดำ

#### 3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ข้อมูลต่าง ๆ ได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ที่ประกอบกิจการด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคและผู้ผลิตและจำหน่ายเสาเข็ม ดังสรุปต่อไปนี้

- STS Group
- บริษัท สามัคคีผลิตภัณฑ์คอนกรีต จำกัด ( SAMCO )
- บริษัท ปทุมธานีคอนกรีต จำกัด ( PACO )

ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ ที่นำมาวิเคราะห์ในการวิจัย มีดังนี้

3.2.1 ข้อมูลรายงานผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มในสนามจำนวน 45 ต้น จากบริษัทผู้ทำการทดสอบเสาเข็ม ตามจังหวัดต่าง ๆ ในประเทศไทย ดังสรุปในตารางที่ ก-1 ในภาคผนวก ก. ซึ่งในเสาเข็มทุกต้นจะประกอบด้วยรายงานและรายละเอียดในรายงานดังนี้

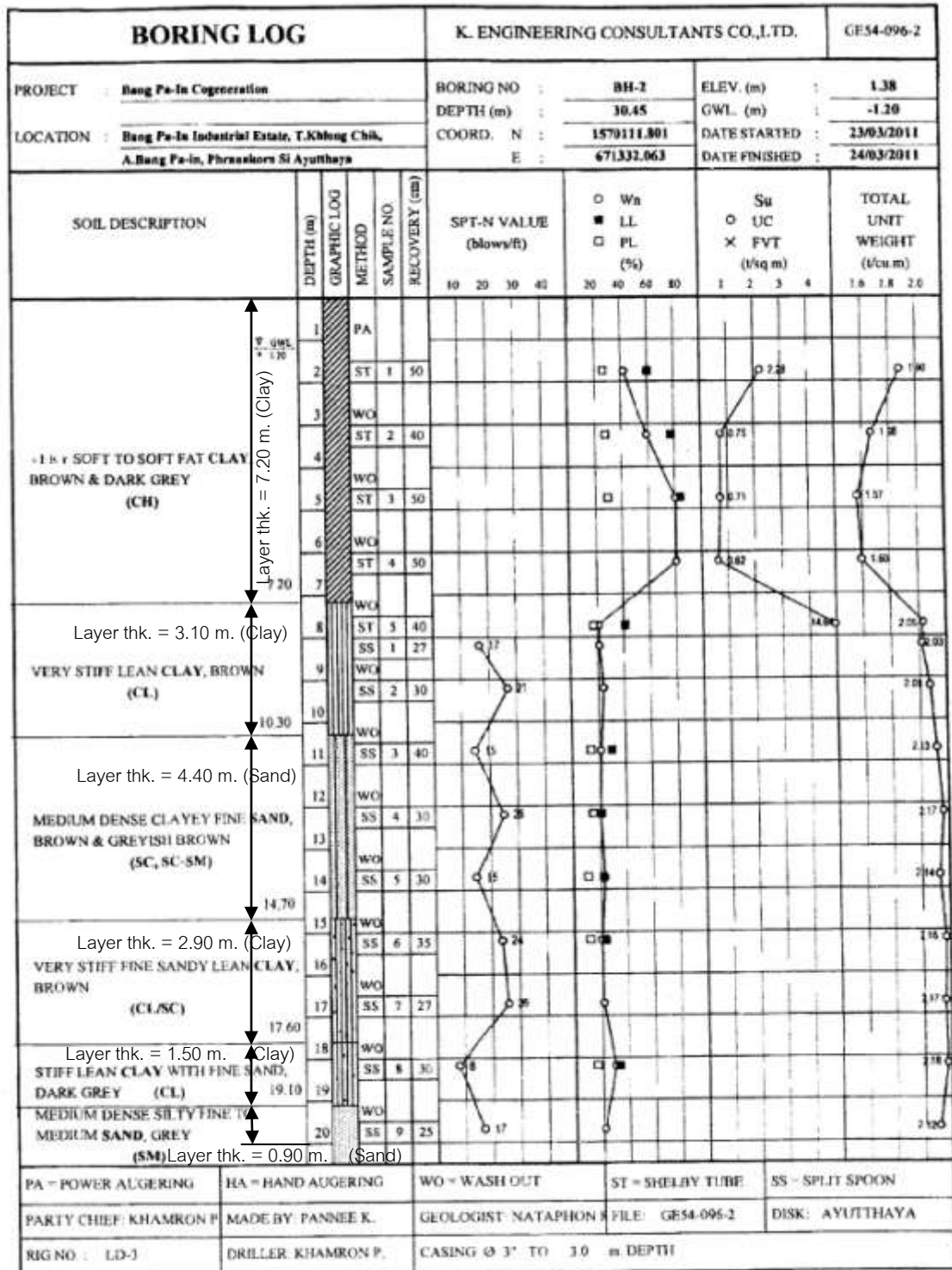
- รายงานผลการเจาะสำรวจและวิเคราะห์คุณสมบัติของชั้นดิน ( Boring Log ) ตัวอย่างตามแสดงในรูปที่ 3.1 ในบริเวณที่ทำการทดสอบเสาเข็มซึ่งในรายงานจะต้องแสดงรายละเอียดดังนี้

- ค่า  $N - SPT$
- ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( Undrained Shear Strength;  $S_u$  )  
กรณีดินเหนียว
- ค่ามุมเสียดทานของเม็ดดิน ( Friction Angle ;  $\phi$  ) กรณีดินทราย
- ค่าหน่วยน้ำหนักของดิน ( Unit Weight ;  $\gamma_t$  )

- ระเบียบบันทึกรายงานการตอกเสาเข็ม ( Pile Driving Record ) ของเสาเข็มต้นเดียวกับที่ทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุก ตัวอย่างตามแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งรายงานจะต้องแสดงรายละเอียดดังนี้

- รูปร่าง , ขนาดหน้าตัดและความยาวของเสาเข็ม
- น้ำหนักของตุ้มตอก

- จำนวนครั้งการตอกต่อ 30 เซนติเมตร ( Blow Count )
  - ค่าเฉลี่ยการทรุดตัวของการตอก 10 ครั้งสุดท้าย ( Last 10 Blow )
  - ระยะยกตุ้มตอก
  - ชนิดและความหนาของหมอนรองหัวเสาเข็ม
  - ประสิทธิภาพเครื่องตอก
  - โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุทำเสาเข็ม
- รายงานผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มในสนามด้วยวิธีพลวัต ( Dynamic Pile Load Test )
- รายงานผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มในสนามด้วยวิธีสถิตศาสตร์ ( Static Pile Load Test )



Pile Tip = - 20.00 m.  
 $\sum$  Clay Layer thk. = 14.7 m. = 73.5 %  
 $\sum$  Sand Layer thk. = 5.30 m. = 26.5 %  
 This Pile Construction on Clay Type

รูปที่ 3.1 ใบรายงานผลการเจาะสำรวจและคุณสมบัติของชั้นดิน(Boring Log) Pile No 25



**Pile Record**

Thai Piling Rig Co., Ltd.

Sheet: 1  
 No./Day: 3  
 Ground Elevation = + 0.00

Weight Of Hammer = 7.0 Tons  
 Blowcount Control = 60 Nos./Ft.  
 Height Of Drop = 0.70 M.  
 Last Ten Blows = 1.5 cm

PROJECT : Mega Bangae  
 Date : 01/01/58  
 Rig No. : 026 0

No.	Pile Size/Length	Number Of Pile	Time Start-Finish	Blow Count/Foot										Last Ten Blows (cm)	Top Elev. (m)	Tip Elev. (m)	Pile Deviate (cm)				Pile Length (m)			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				N	S	E	W				
1	10.00 x 22.00 m 14.00 x 24.00 m	1 1	08:45 01:06	7	6	5	4	3	2	1	0	10	9	8	7	6	5.0	+1.58	-36.78	3.0	-	-	-	28.22
2	20 x 22.00 m 14.00 x 24.00 m	10 10	13:39 13:55	5	4	3	2	1	0	10	9	8	7	6	5	4	1.5	+1.41	-16.04	3.0	-	-	-	27.94
3	10.00 x 22.00 m 14.00 x 24.00 m	1 1	14:31 16:50	6	5	4	3	2	1	0	10	9	8	7	6	5	2.5	+0.41	-27.56	2.0	-	-	-	28.05

*[Signature]*  
 Recorder

รูปที่ 3.2 ใบแสดงรายงานบันทึกการตอกเสาเข็ม ( Pile Driving Record )

### 3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 ดำเนินการวิจัยตามแผนผังที่ได้สรุปแนวทางไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

3.3.2 ประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธีทางสถิตยศาสตร์ ( Static Analysis Method ) จากข้อมูลทางวิศวกรรมของชั้นดินโดยไม่ปรับแก้ค่าใด ๆ ที่มีในรายงานการเจาะสำรวจชั้นดิน ( Boring Log ) ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีความเค้นสุทธิ ( Total Stress ;  $\alpha$  - Method ) ขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังแสดงในแผนผังการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3.4

3.3.3 ประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินผ่านเสาเข็ม ด้วยสูตรตอกเสาเข็มจำนวน 10 สูตร ดังสรุปในตารางสรุปสูตรตอกเสาเข็ม ตารางที่ 3.1 โดยการคำนวณกลับจากค่าเฉลี่ยการทรุดตัว ( S ) ของการตอก 10 ครั้งสุดท้าย ที่มีระบุในระเบียบบันทึกรายงานการตอกเสาเข็ม ( Pile Driving Record )

3.3.4 พล็อตกราฟความสัมพันธ์ของค่าการทรุดตัวของเสาเข็มกับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ (Load & Settlement) ที่ทดสอบเสาเข็มในสนามด้วยวิธีสถิตยศาสตร์เพื่อทำการแปรผลหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธี Mazurkiewicz , 1972 ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.5

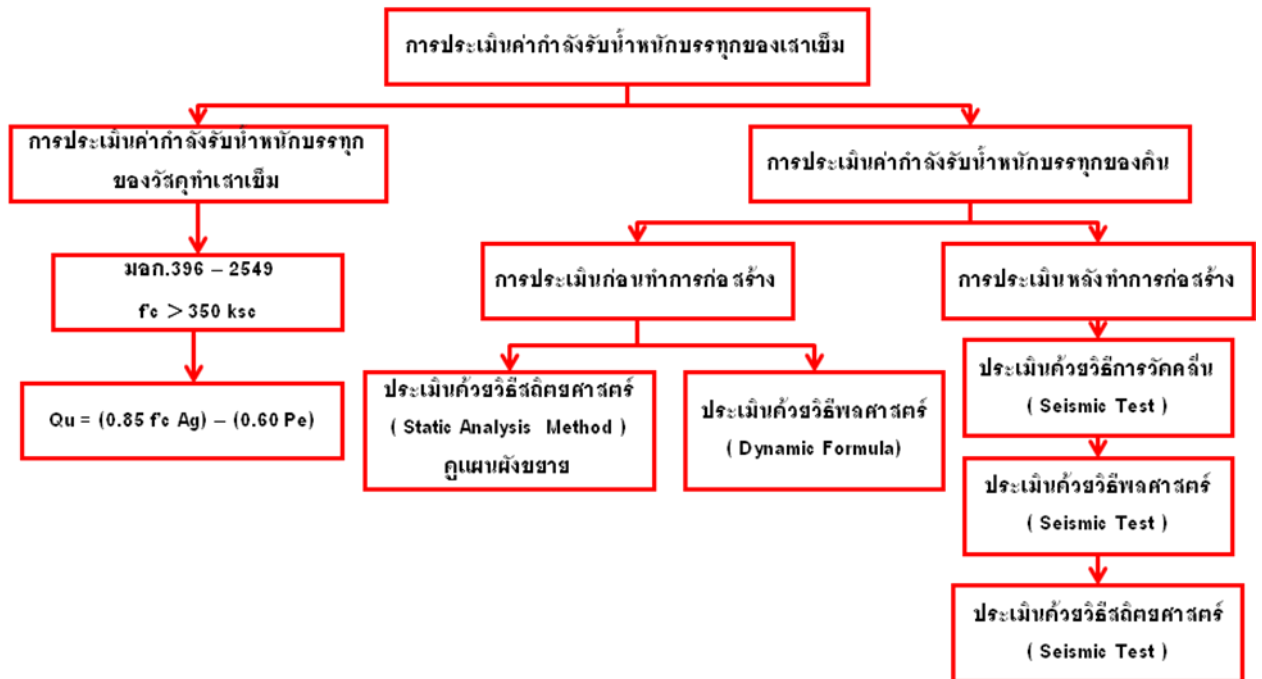
3.3.5 คำนวณหาค่าตัวคูณความต้านทาน ( Resistance Factor ;  $\phi$  ) ของวิธีการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินผ่านเสาเข็มทุกวิธี ตามกระบวนการทางสถิติ เพื่อที่จะแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ลงในสมการ ( 2.5 ) ดังแสดงแผนผังในรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.1 สรุปสูตรตอกเสาเข็มที่ใช้ทำการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม

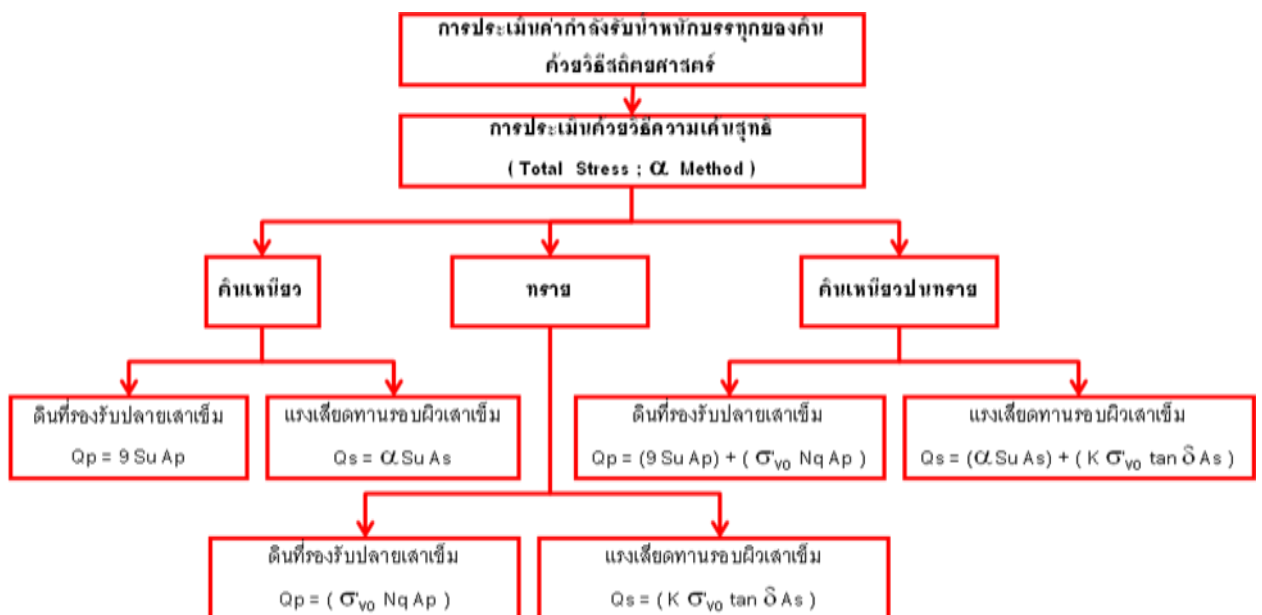
ชื่อสูตร	รูปแบบของสูตร	ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในสูตร	ค่าความปลอดภัยที่แนะนำ (FS)				
Danish	$Q_u = \frac{e_h W_r h}{S + C_1}$	$C_1 = \sqrt{\frac{e_h W_r h L}{2AE_L}}$	3-6				
Dutch	$Q_U = a \left( \frac{W_r h}{S + 0.0254 C} \right) \frac{W_r}{W_r + W_p}$	<table border="1"> <tr> <td><math>C = 0</math> นิ้ว</td> <td><math>a = 1</math> (สนิท, 2523)</td> </tr> <tr> <td><math>C = 1</math> นิ้ว</td> <td><math>a = 10/12</math> (Bowles, 1996)</td> </tr> </table>	$C = 0$ นิ้ว	$a = 1$ (สนิท, 2523)	$C = 1$ นิ้ว	$a = 10/12$ (Bowles, 1996)	N / A
$C = 0$ นิ้ว	$a = 1$ (สนิท, 2523)						
$C = 1$ นิ้ว	$a = 10/12$ (Bowles, 1996)						
Engineering News Record	$Q_U = \frac{W_r h}{(S + C)}$	$C = 2.54$ ซม., 1 นิ้ว drop hammer					
Eytewein	$Q_U = \frac{e_h W_r h}{S + \left( \frac{W_p}{W_r} \right)}$	$C = 0.1$ นิ้ว	6.0 (Chellis, 1961)				
GATE	$Q_U = a \sqrt{e_h W_r h} (b - \log S)$	S (mm.) a=104.5, b=2.4	3.0 (Bowles, 1996)				
Hiley	$Q_U = \frac{e_h W_r h (W_r + n^2 W_p)}{S + \frac{C}{2} (W_r + W_p)}$	$C = C_1 + C_2 + C_3$ $C_1 = 1.8 Q_U \frac{L_2}{A}$ , cm กระสอบ $= 1.25 Q_U \frac{L_2}{A}$ , cm ไม้อัด $C_2 = 0.72 Q_U \frac{L_2}{A}$ , cm $C_3 = 3.6 Q_U \frac{L_2}{A}$ , cm $e_h = 0.8$ friction winch $= 1.0$ triggerfall	4.0				
Janbu	$Q_U = \frac{W_r h}{K_U S}$ $C_d = 0.75 + \frac{0.15 W_p}{W_r}$	$K_U = C_d \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda}{C_d}} \right)$ $\lambda = \frac{W_r h L}{AE_L S^2}$	4.0 (วสท)				



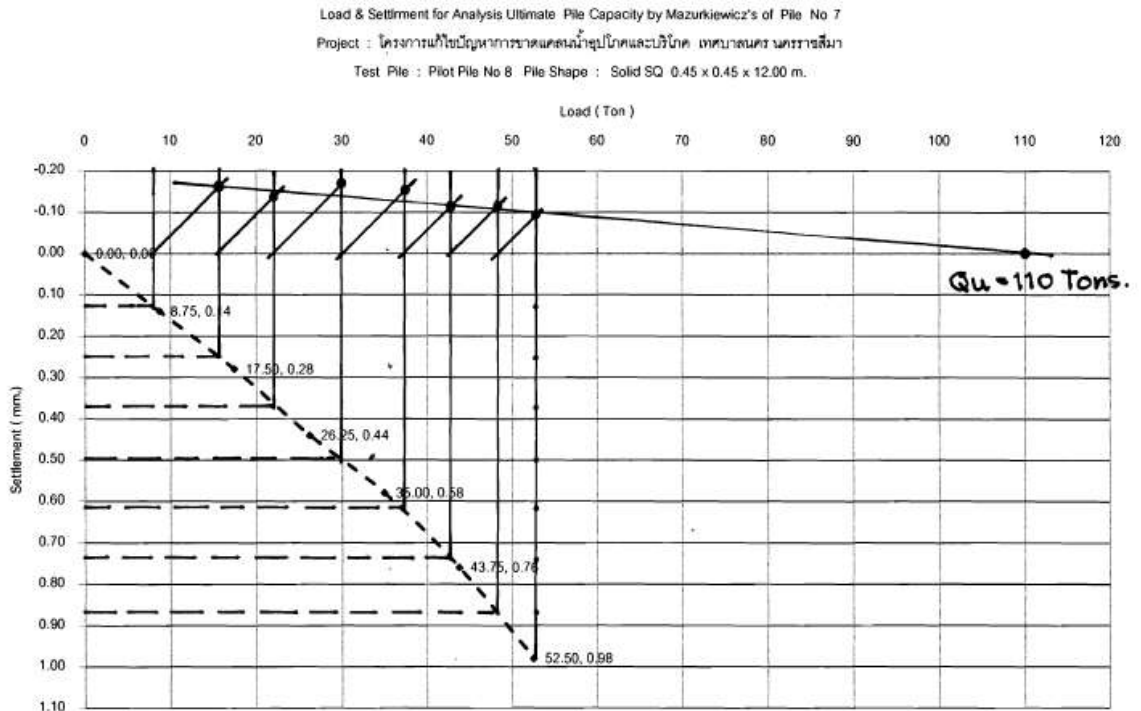
ตารางที่ 3.1 ( ต่อ )สรุปสูตรตอกเสาเข็มที่ใช้ทำการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินผ่านเสาเข็ม			
ชื่อสูตร	รูปแบบของสูตร	ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในสูตร	ค่าความปลอดภัยที่แนะนำ ( FS )
Modified Engineering New Record	$Q_u = \frac{a e_h W_r h}{S + 0.0254 C} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p}$	$a = 1.25$ หรือ $a = 1.0$ $C$ มีหน่วยเป็นนิ้ว	6 ( วสท )
Pacific Coast	$Q_u = \frac{e_h W_r h \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p}}{S + \frac{Q_u L}{A E_L}}$	$n = 0.5$ สำหรับเสาเข็มเหล็ก ( Bowles , 1996 ) $n = 0.32$ เสาเข็มชนิดอื่น ๆ Bowles , 1996	3.0 (Bowles,1996)
Redtenbacher	$Q_u = e_h \frac{A E_L}{L} \left[ -S + \sqrt{S^2 + \frac{W_r^2 h}{(W_r + W_p)} \cdot \frac{2L}{A E_L}} \right]$		N / A



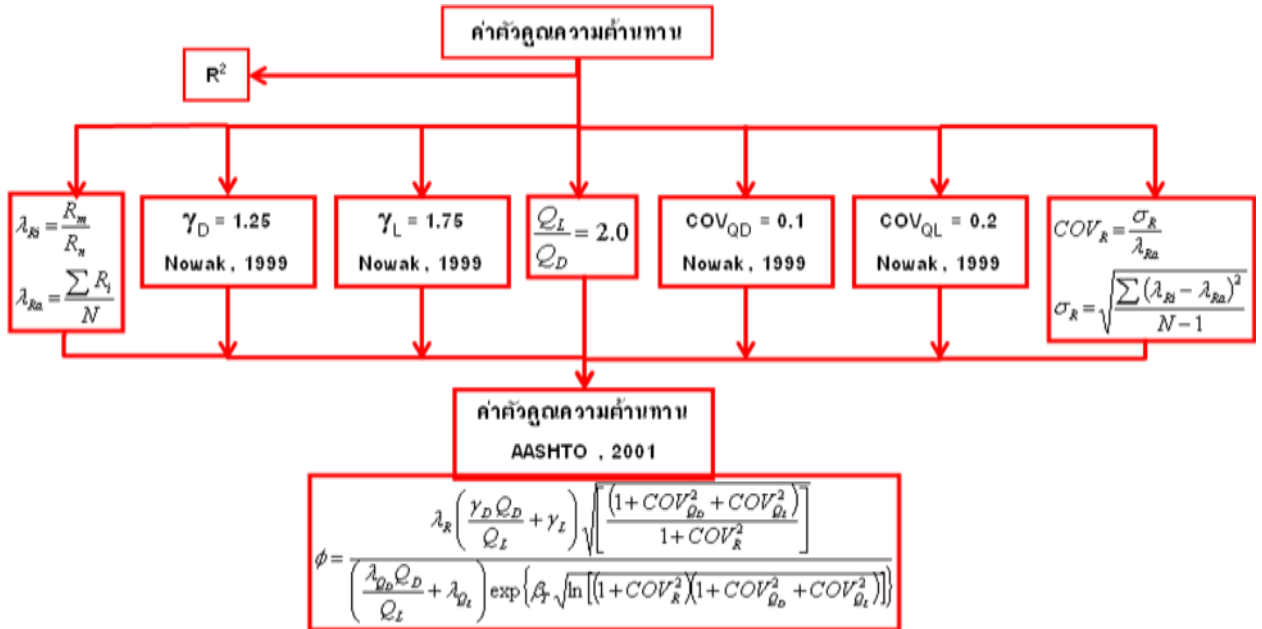
รูปที่ 3.3 แผนผังแนวทางการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม



รูปที่ 3.4 แผนผังแนวทางการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์



รูปที่ 3.5 แสดงวิธีการแปรค่าหาน้ำหนักบรรทุกทุกสูงสุดของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธี Mazurkiewicz



รูปที่ 3.6 แผนผังแนวทางการหาค่าตัวคูณความต้านทาน

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ , ค่ากำลังบรรทุกของเสาเข็มจากการทดสอบในสนามด้วยวิธีพลศาสตร์ ค่ากำลังบรรทุกของเสาเข็มจากการทดสอบในสนามด้วยวิธีสถิตยศาสตร์และแปรผลด้วยวิธีของ Mazurkiewicz และค่ากำลังบรรทุกของเสาเข็มด้วยสูตรตอกเสาเข็ม 10 สูตร เสาเข็มที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด 45 ต้น แยกเป็นเสาเข็มที่ทำการตอกในชั้นดินเหนียว จำนวน 33 ต้น และเสาเข็มที่ทำการตอกในชั้นดินทราย จำนวน 12 ต้น ซึ่งแสดงรายละเอียดค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่นำมาคำนวณด้วยสูตรตอกเสาเข็มตามตารางที่ 4.1 และค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ตามสรุปในตารางที่ 4.2

ค่ากำลังบรรทุกของเสาเข็มจากการทดสอบในสนามด้วยวิธีพลศาสตร์ จะเป็นค่าที่ได้จากการแปรผลด้วยเครื่อง PDA จากการทดสอบในสนาม ซึ่งมีระบุอยู่ในรายงานผลการทดสอบเสาเข็มทุกต้น มีได้ทำการวิเคราะห์ที่ใด ๆ ทั้งสิ้น ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.1

การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ จะใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength;  $S_u$ ) กรณีดินเหนียว , ค่ามุมเสียดทานของเม็ดดิน ( Friction Angle ;  $\phi$ ) กรณีดินทรายและค่าหน่วยน้ำหนักของดิน ( Unit Weight ;  $\gamma_t$ ) เป็นค่าตัวแปรหลักในการคำนวณด้วยวิธีความเค้นสุทธิ ( Total Stress ;  $\alpha$  - Method) ในกรณีที่รายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดิน ชาติตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งไป จะใช้ค่าความสัมพันธ์จากค่าการตอกทะลวงมาตรฐาน ( SPT – N ) กับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( Undrained Shear Strength;  $S_u$ ) กรณีดินเหนียว ตามตารางที่ 2.4 และ ค่าความสัมพันธ์จากค่าการตอกทะลวงมาตรฐาน ( SPT–N) กับค่ามุมเสียดทานของเม็ดดิน ( Friction Angle ;  $\phi$  ) กรณีดินทราย ตามรูปที่ 2.18 รายการคำนวณที่ได้ ตามตัวอย่างในตารางที่ 4.3 ซึ่งรายการคำนวณของเสาเข็มทุกต้นตามที่แนบในภาคผนวก ข.

ค่ากำลังบรรทุกของเสาเข็มจากการทดสอบในสนามด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ จะใช้ค่าความหูดตัวของเสาเข็มและน้ำหนักบรรทุก มาสร้างกราฟความสัมพันธ์และทำการแปรผลหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของดินด้วยวิธีของ Mazurkiewicz ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.5 และการแปรผลหาค่าด้วยวิธีของ Mazurkiewicz ของเสาเข็มทุกต้นตามที่แนบในภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์จะแยกออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์อย่างง่ายด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เพื่อหาความเหมาะสมของการนำไปใช้งานของสมการเส้นตรงนั้น ๆ จากนั้นหาความแม่นยำของการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ โดยค่าเอนเอียง , ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน , การปรับแก้ข้อมูลด้วยค่าเอนเอียงและหาค่าตัวคูณความต้านทาน ของการประเมินวิธีต่าง ๆ เป็นลำดับสุดท้าย

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนามด้วยวิธีพลศาสตร์

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงรายการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกด้วยสูตรดอกเสาเข็ม

( อยู่ใน File Excel )

ตารางที่ 4.2 สรุปค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากการประเมินวิธีต่าง ๆ

Pile No.	Mazurki ewicz's	Static Method	Dynamic Load Test	Danish	Dutch	ENR	Eytelwein	Gates	Hiley	Janbu	Modi ENR	Pacific coast	Redtenb acher	
1	*	86.00	116	82.00	66.55	18.69	42.50	113.88	54.53	44.86	78.44	21.77	46.12	55.06
2	*	96.00	126	89.90	89.38	14.83	38.59	142.93	61.71	51.65	96.36	18.29	53.55	67.38
3	*	115.00	130	109.60	103.03	21.68	56.04	178.87	69.27	61.25	113.15	26.62	63.16	78.20
4	*	277.00	153	286.00	226.69	61.62	167.96	564.00	126.10	118.29	233.54	77.39	127.49	164.02
5	*	90.00	133	157.90	251.14	47.30	112.53	307.30	90.23	151.00	301.88	56.07	178.17	197.23
6	*	73.00	140	268.40	289.35	50.44	126.16	376.52	99.97	161.01	337.16	61.06	192.94	223.83
7	*	110.00	175	244.60	307.24	47.94	129.69	401.33	106.16	158.57	342.94	59.96	190.02	226.83
8	*	420.00	242	313.80	207.50	44.95	173.12	285.71	105.89	117.12	213.66	65.54	108.11	117.98
9	*	449.00	282	323.50	215.11	49.52	178.75	315.80	108.64	123.06	224.56	69.99	115.24	128.89
10	*	160.00	147	182.20	175.73	40.19	88.72	320.90	85.94	95.97	202.53	46.48	119.17	148.20
11	*	135.00	125	175.20	169.13	39.77	87.69	299.54	83.83	94.31	196.88	45.94	116.24	143.03
12	*	190.00	133	190.20	286.42	43.65	126.71	375.41	106.61	139.76	309.97	56.23	167.89	202.09
13	*	205.00	217	177.20	273.97	43.18	125.20	354.30	103.53	136.80	299.78	55.56	162.69	193.07
14	*	430.00	361	360.30	343.39	45.27	166.93	490.51	119.55	148.20	289.35	86.59	175.06	208.43
15	*	320.00	393	293.20	374.52	69.38	194.65	826.91	134.47	172.26	329.58	117.54	210.01	267.39
16	*	375.00	479	385.20	399.20	73.79	196.24	923.21	137.68	184.18	353.87	122.37	228.24	293.54
17	*	412.50	280	357.20	381.98	101.21	301.20	694.69	148.28	193.71	409.27	131.32	219.76	264.19
18	*	483.75	354	418.10	466.04	87.23	312.99	679.06	159.35	218.26	472.95	123.41	242.90	286.88
19	*	534.70	468	498.10	543.10	65.24	312.99	510.83	159.35	241.05	516.83	107.10	251.91	272.70
20	*	268.00	102	274.60	154.07	60.01	157.31	300.99	97.13	99.22	174.01	73.48	97.12	114.97
21	*	400.00	163	380.20	353.72	66.64	287.70	508.35	150.10	181.39	339.52	103.34	168.35	194.03
22	*	338.00	130	350.90	267.41	61.71	217.46	475.06	132.02	144.29	268.58	86.55	138.34	166.86
23	*	384.00	275	381.00	339.36	94.89	261.89	964.19	144.88	154.37	299.50	159.33	191.49	244.12
24	*	295.00	397	293.20	354.26	45.76	168.95	512.97	123.11	149.78	296.73	87.63	178.86	215.33
25	*	190.00	241	150.20	225.09	53.39	140.95	342.00	99.70	125.92	257.05	65.86	143.98	167.50
26	*	365.00	289	373.60	337.93	87.31	253.42	750.83	150.77	159.84	347.47	112.47	186.89	236.57
27	**	188.00	215	194.30	315.00	65.59	125.69	683.01	101.62	165.18	310.37	96.34	228.84	290.58
28	**	207.00	243	266.60	374.98	68.78	132.45	1045.71	117.03	175.68	354.10	101.53	252.12	333.76
29	**	280.00	187	241.20	289.69	61.93	124.22	605.95	99.19	152.89	283.79	92.29	206.45	259.78
30	**	300.00	335	297.60	271.28	60.64	121.40	530.60	95.01	148.78	268.45	90.19	197.99	244.86
31	**	225.00	263	227.80	354.23	67.77	130.29	898.84	111.07	172.37	339.90	99.87	244.68	319.70
32	**	210.00	204	275.40	340.11	67.03	128.72	813.19	107.46	169.94	329.70	98.67	239.26	309.61
33	**	223.00	238	263.70	262.92	60.02	120.03	499.54	93.18	146.78	261.19	89.17	193.92	237.83
34	**	182.00	227	205.60	304.39	66.02	123.27	615.42	97.71	166.85	304.89	96.05	230.39	287.99
35	**	240.00	226	158.00	373.86	72.21	128.72	887.92	107.46	189.64	369.78	103.81	277.38	358.83
36	**	178.00	195	196.40	299.87	62.59	125.69	652.27	101.62	155.00	291.88	93.38	210.84	267.68
37	**	192.00	209	255.20	331.31	66.54	127.69	764.61	105.34	168.34	323.10	97.88	235.72	303.10
38	**	200.00	176	157.50	407.57	120.08	238.75	656.55	126.85	254.80	504.61	133.29	315.77	370.12
39	*	113.90	109	90.20	204.98	53.90	136.24	360.18	90.84	114.06	194.47	86.76	134.32	156.36
40	*	168.35	85	73.30	159.28	35.40	84.93	255.33	73.93	92.16	153.41	55.95	108.97	126.01
41	*	397.00	366	343.70	270.29	34.26	77.50	284.71	81.46	164.42	329.09	39.99	198.37	221.82
42	*	255.00	229	115.60	106.75	18.73	48.52	97.21	54.63	72.34	118.67	22.85	70.09	66.24
43	*	302.00	362	314.20	247.43	33.77	76.29	259.45	78.67	155.94	302.35	39.37	183.64	200.62
44	*	286.00	272	243.00	283.38	34.51	78.13	299.27	83.04	168.89	343.83	40.31	206.39	233.80
45	*	346.00	306	310.50	305.59	34.89	79.08	324.15	85.71	175.88	367.80	40.80	219.31	253.75

Remark \* Clay , \*\* Sand , AAAAA = Spun Pile Use Hydraulic Hammer  $e_p = 0.80$

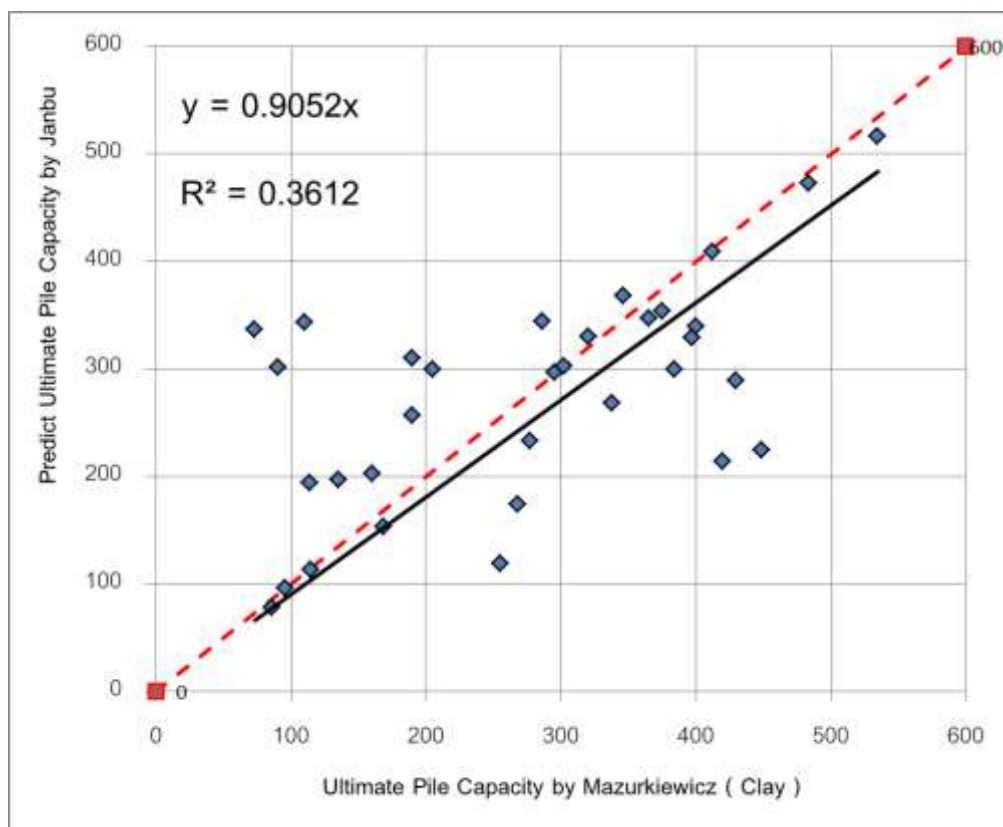


ตารางที่ 4.3 รายการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์  
ของ Pile No 38

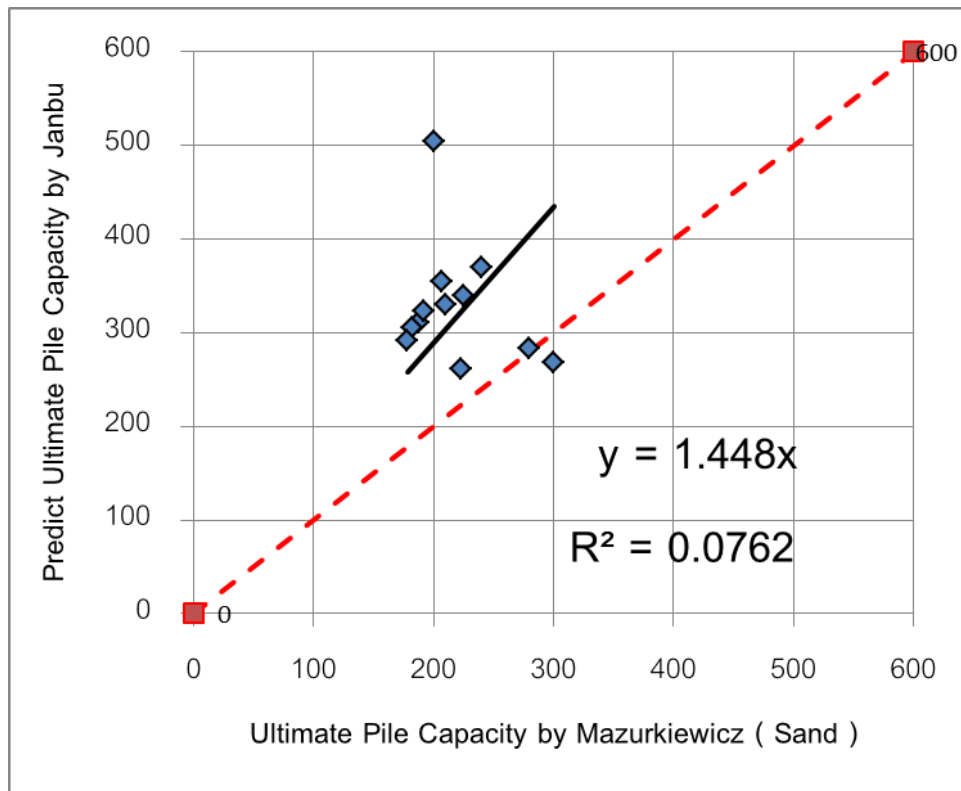
DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ - METHOD										
Project : <u>โครงการก่อสร้างโรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า บริษัท ไทยทราโพนิวแมทเจอร้ง จำกัด Test_Pile : No 190_Line H / 1</u>										
Location <b>ระยอง</b>					Calculated y :					
<b>PILE DATA</b> Pile No. 38										
Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile										
Pile Width or Dia. = 0.450 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.										
Pile Length = 9.90 m. Pile Perimeter = 1.80 Sq. m./m.										
Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -9.90 m. from G.L.										
<b>GEOTECHNICAL INFORMATION</b> 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH - 3										
Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.00	1.70			N/A		0.35	0.56	28
Stiff Clay	1.00	4.00	1.80		9	6.00	9	1.90	-	-
V. Stiff Clay	4.00	6.00	2.00		31	20.67	31	4.10	-	-
Den. C. Sand	6.00	7.50	2.00		34	N/A	34	5.85	1.1	37
Stiff Clay	7.50	8.50	2.00		8	5.33	8	7.10	-	-
V. Stiff Clay	8.50	9.90	2.00		30	20.00	30	8.30	-	-
<b>CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE</b>										
Soil Type	Depth		Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.00	1.00	0.08		0.35	0.14		0.14	0.14
Stiff Clay	1.00	4.00	3.00	4.57		1.90	24.66		24.66	24.79
V. Stiff Clay	4.00	6.00	2.00	8.68		4.10	31.25		31.25	56.04
Den. C. Sand	6.00	7.50	1.50	3.40		5.85	9.19		9.19	65.22
Stiff Clay	7.50	8.50	1.00	4.31		7.10	7.76		7.76	72.99
V. Stiff Clay	8.50	9.90	1.40	8.40	180.00	8.30	21.17	36.45	57.62	130.60
<b>Pile Resistance</b>										
	Safety Factor		Ultimate Pile Capacity				Allowable Pile Capacity			
			Q <sub>u</sub> , (tons)				Q <sub>a</sub> , (tons)			
Skin Friction Resistance	2.50		94				38			
End Bearing Resistance	2.50		36				15			
Total Resistance			131				52			

#### 4.1 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของการประเมินอย่างง่าย

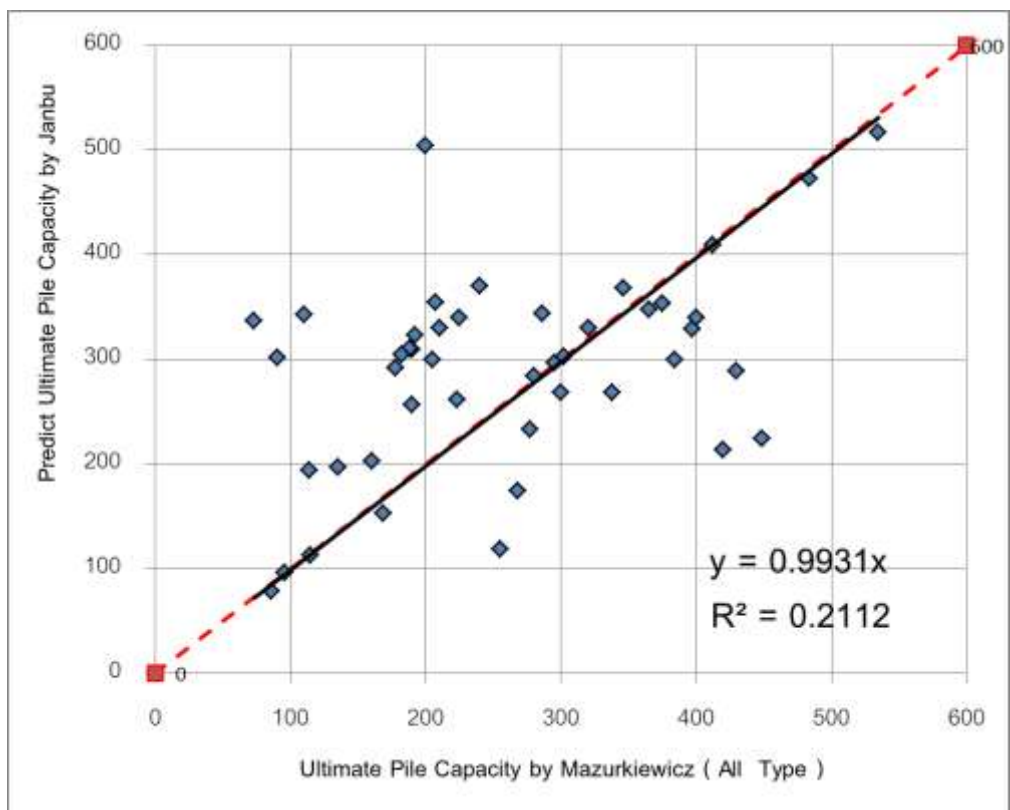
ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เพื่อหาความเหมาะสมของการนำไปใช้งานของสมการเส้นตรงนั้น ๆ โดยแยกชนิดเป็น ดินเหนียว ทรายและไม้แยกชนิดดินและหาค่าสมการเส้นตรงเพื่อหาค่าสัดส่วนการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธีต่าง ๆ เทียบกับการประเมินด้วยวิธีสถิติศาสตร์ ดังแสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบของวิธีการประเมินด้วยสูตรตอกเสาเข็มของ Janbu แยกเป็นชนิด ดินเหนียว ทรายและดินทุกชนิด ในรูปที่ 4.2 – 4.4 สรุปค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) และสมการเส้นตรงที่ได้ในรูปของกราฟแท่งดังในรูปที่ 4.5 – รูปที่ 4.9 และสรุปเป็นตัวเลขตามตารางที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างสมการเส้นตรงและค่า  $R^2$  ของการประเมินด้วยวิธี Janbu (ดินเหนียว)



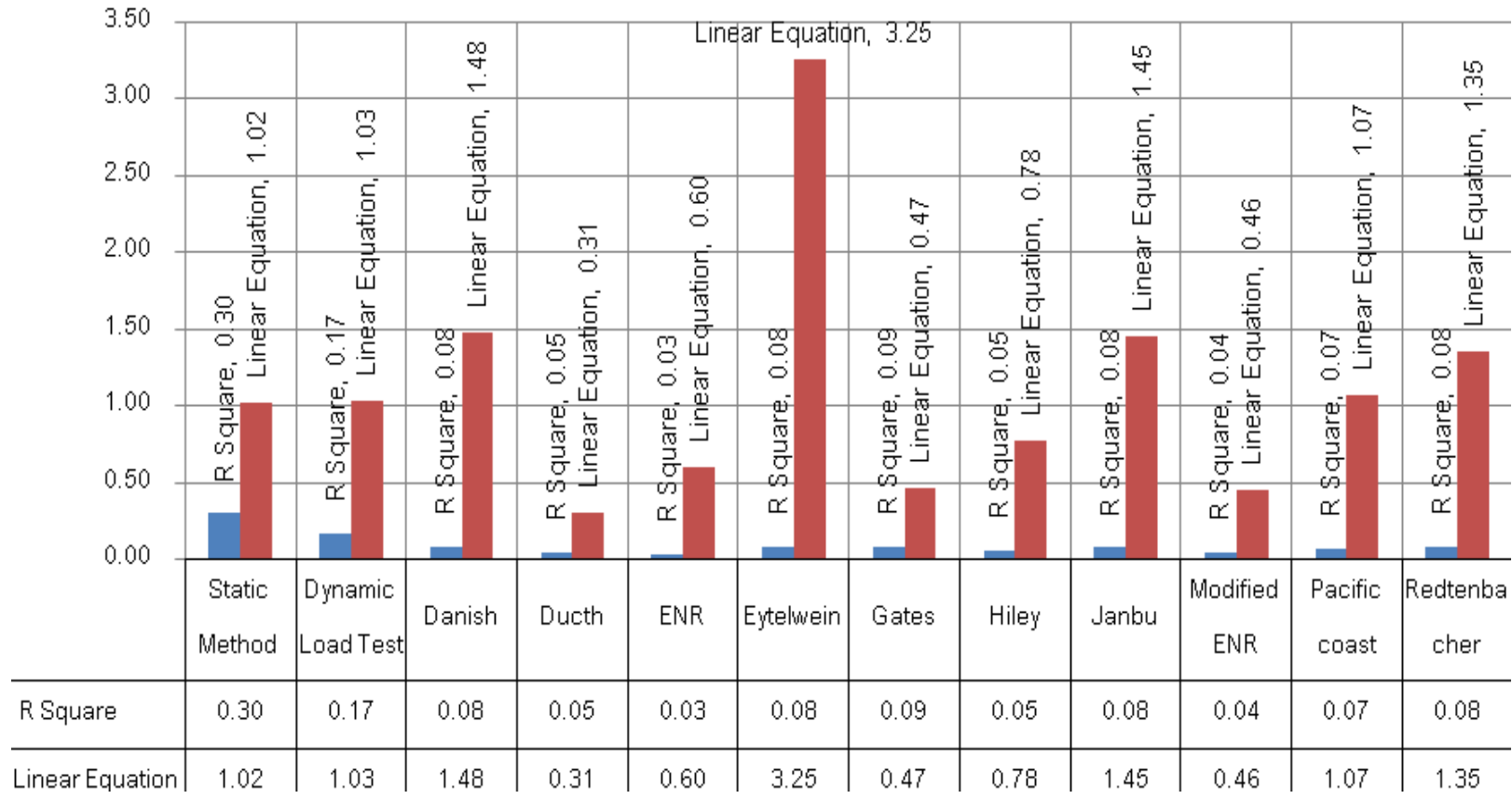
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างสมการเส้นตรงและค่า  $R^2$  ของการประเมินด้วยวิธี Janbu (ทราย)



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างสมการเส้นตรงและค่า  $R^2$  ของการประเมินด้วยวิธี Janbu ( ดินทุกชนิด )

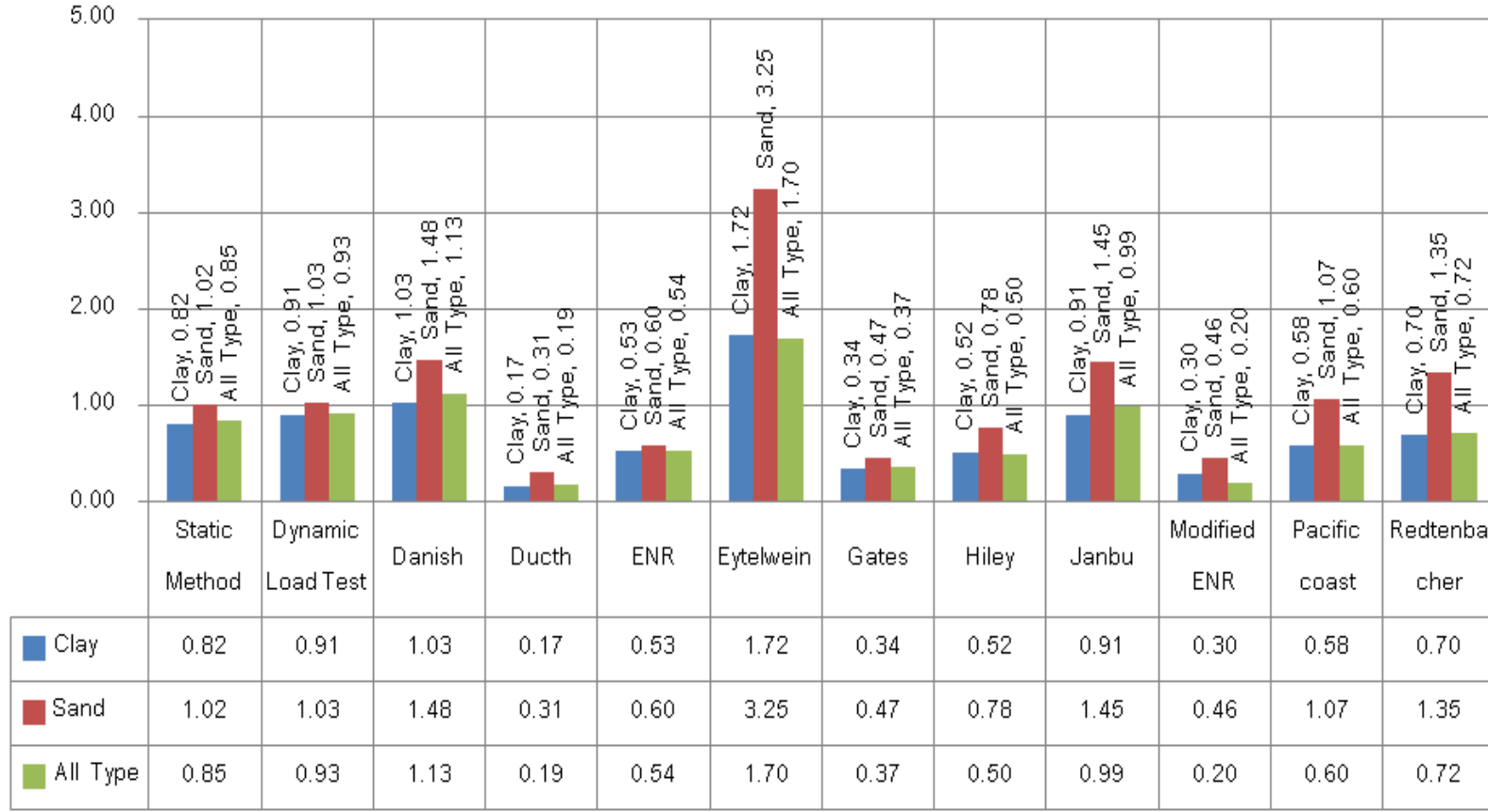


Value of R Square & Linear Equation ( Sand )

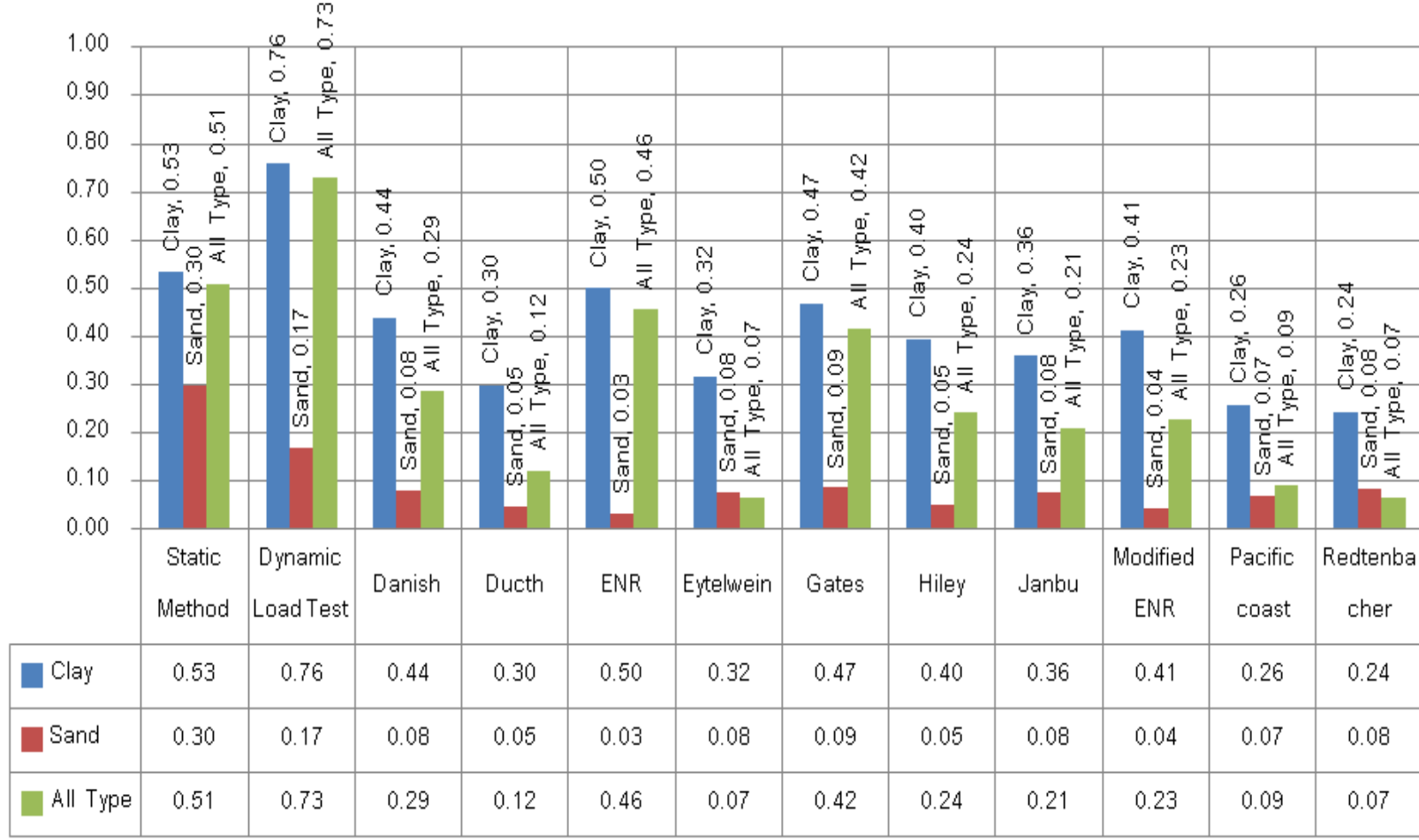




Linear Equation Value



R Square Value





ตารางที่ 4.4 สรุปค่า R2 ของวิธีประเมินต่าง ๆ และดินชนิดต่าง ๆ

R Square Value												
Soil Type	Static Method	Dynamic Load Test	Danish	Ducth	ENR	Eytelwein	Gates	Hiley	Janbu	Modified ENR	Pacific coast	Redten bacher
Clay	0.53	0.76	0.44	0.30	0.50	0.32	0.47	0.40	0.36	0.41	0.26	0.24
Sand	0.30	0.17	0.08	0.05	0.03	0.08	0.09	0.05	0.08	0.04	0.07	0.08
All Type	0.51	0.73	0.29	0.12	0.46	0.07	0.42	0.24	0.21	0.23	0.09	0.07

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าสมการเส้นตรง ของวิธีประเมินต่าง ๆ และดินชนิดต่าง ๆ

Linear Equation												
Soil Type	Static Method	Dynamic Load Test	Danish	Ducth	ENR	Eytelwein	Gates	Hiley	Janbu	Modified ENR	Pacific coast	Redten bacher
Clay	0.82	0.91	1.03	0.17	0.53	1.72	0.34	0.52	0.91	0.30	0.58	0.70
Sand	1.02	1.03	1.48	0.31	0.60	3.25	0.47	0.78	1.45	0.46	1.07	1.35
All Type	0.85	0.93	1.13	0.19	0.54	1.70	0.37	0.50	0.99	0.27	0.60	0.72

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าสัมประสิทธิ์ ( C ) ของค่า X ในสมการเส้นตรง (  $Y = CX$  )

การที่วิธีการประเมินใดให้ผลการประเมินที่แม่นยำ หมายถึงค่าสมการเส้นตรง Y จะต้องเท่ากับ X (  $Y = X$  ) ซึ่งค่า Y ในที่นี้ หมายถึงค่าที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ และค่า X หมายถึง ค่าที่ได้จากการประเมินด้วยวิธี Mazurkiwicz ซึ่งตัวเลขที่สรุปตามตารางที่ 4.5 เป็นตัวเลขค่าสัมประสิทธิ์ ( C ) ของค่า X ในสมการเส้นตรง (  $Y = CX$  )

วิธีการประเมินที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน หมายถึง วิธีการที่มีค่า  $R^2$  ใกล้เคียง 1 มากที่สุด ค่า  $R^2$  ของวิธีการประเมินแต่ละวิธีและแยกชนิดดิน ตามที่ได้สรุปในตารางที่ 4.4

## 4.2 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการประเมินวิธีต่าง ๆ

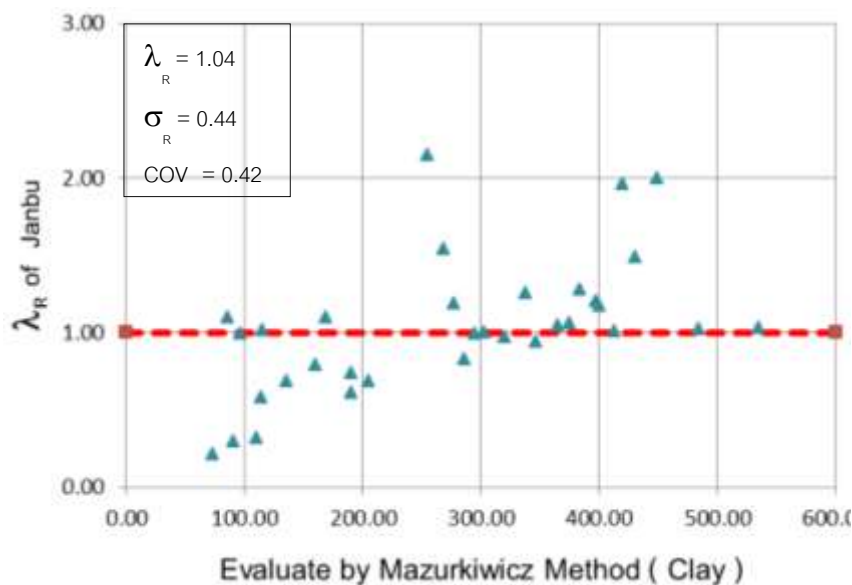
### ด้วยค่าเอนเอียงเฉลี่ย ( Bias, $\lambda_{Ra}$ )

วิธีการประเมินใด ให้ค่าเอนเอียงเฉลี่ยที่น้อยกว่า 1 หมายความว่า วิธีการนั้นให้ผลการประเมินที่สูงกว่าผลการประเมินด้วยวิธี Mazurkiwicz ในทางกลับกันวิธีการใดที่ให้ค่าเอนเอียงเฉลี่ยมากกว่า 1 หมายความว่าวิธีการนั้นให้ผลการประเมินต่ำกว่าผลการประเมินด้วยวิธี Mazurkiwicz ซึ่งจะเปรียบเทียบโดยค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย,  $\lambda_{Ra}$  เทียบกับค่าการประเมินด้วยวิธี Mazurkiwicz และวิธีการที่มีค่าเอนเอียงเฉลี่ยใกล้เคียง 1 มากที่สุด หมายถึงเป็นวิธีการที่มีความแม่นยำในการประเมินมากที่สุด ดังแสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนของการประเมินด้วยวิธี Janbu แยกชนิด ดินเหนียว ททรายและดินทุกชนิด ดังในรูปที่ 4.10 – 4.13 วิธีการเปรียบเทียบวิธีนี้ จะเหมือนเป็นส่วนกลับของการเปรียบเทียบด้วยสมการการเส้นตรง

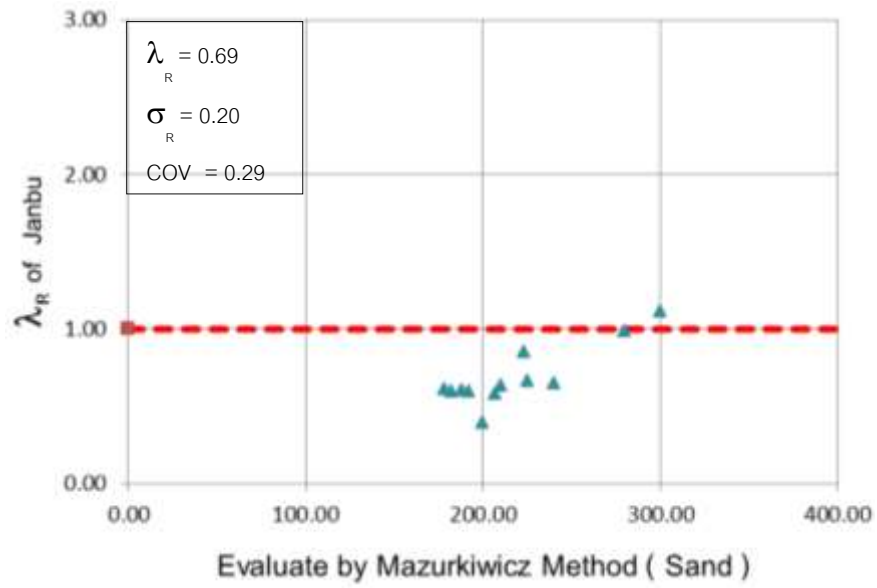
## 4.3 การเปรียบเทียบความเหมาะสมกับการนำไปใช้ของการประเมินวิธีต่าง ๆ

### ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ( $COV_R$ )

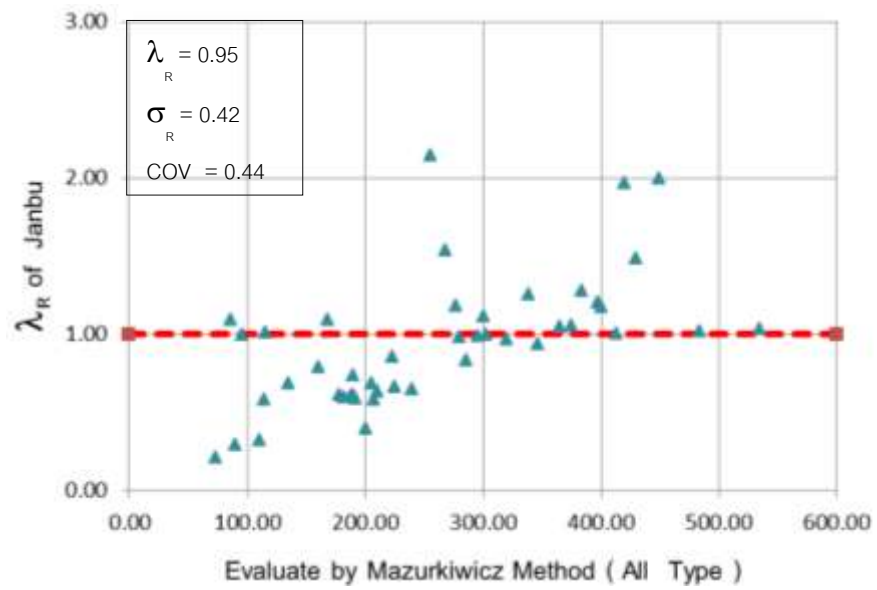
วิธีการที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนต่ำจะหมายถึง วิธีการที่มีการกระจายตัวของข้อมูลน้อย วิธีการประเมินที่มีความเที่ยงตรง เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนจะเหมือนเป็นส่วนกลับของการหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (  $R^2$  ) ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของวิธีการประเมินแต่ละวิธีและดินแต่ละชนิด ดังสรุปในรูปแบบของกราฟแท่ง ในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.10 ค่าเอนเอียงเฉลี่ยของการประเมินด้วยวิธี Janbu ( ดินเหนียว )

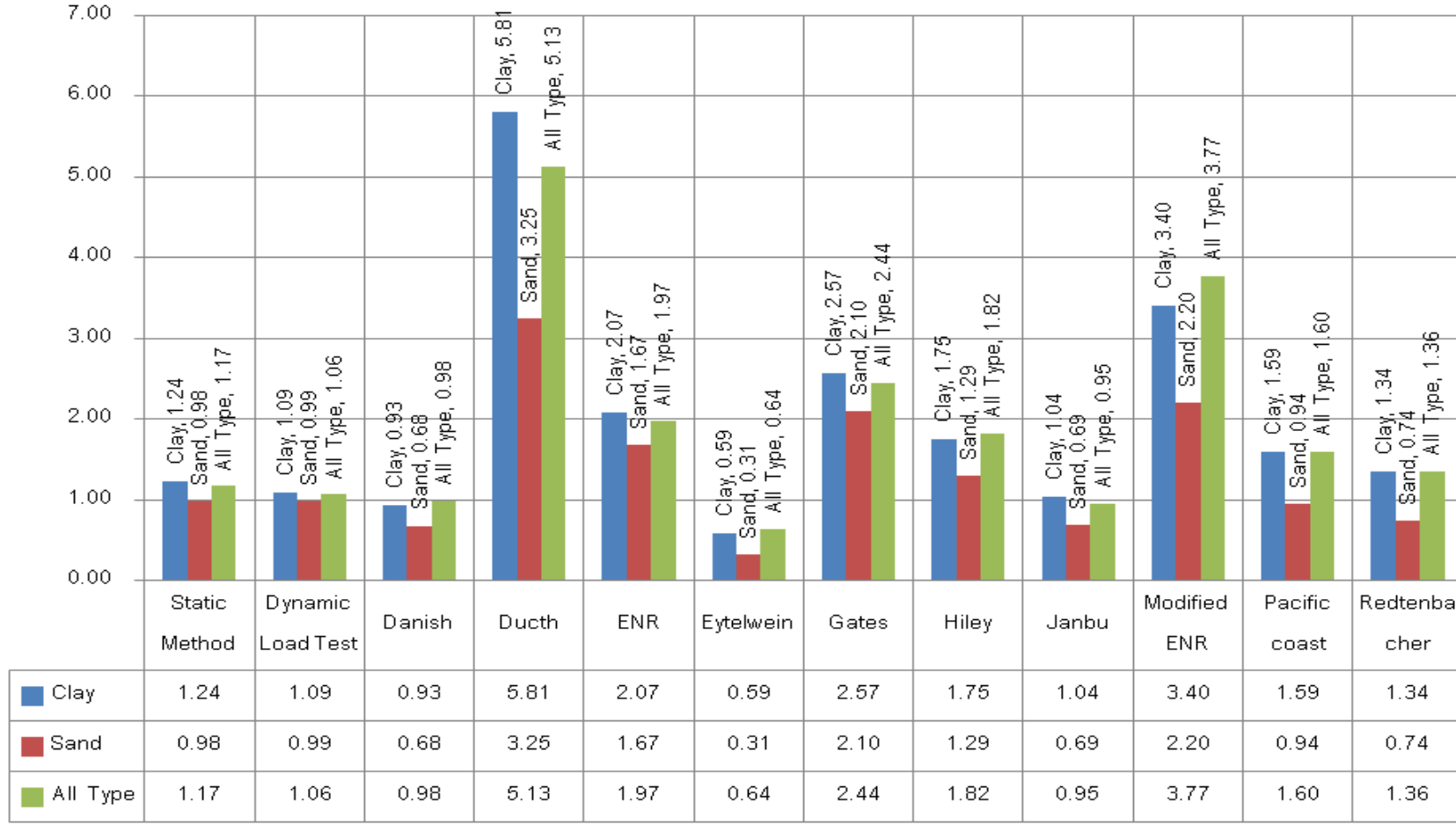


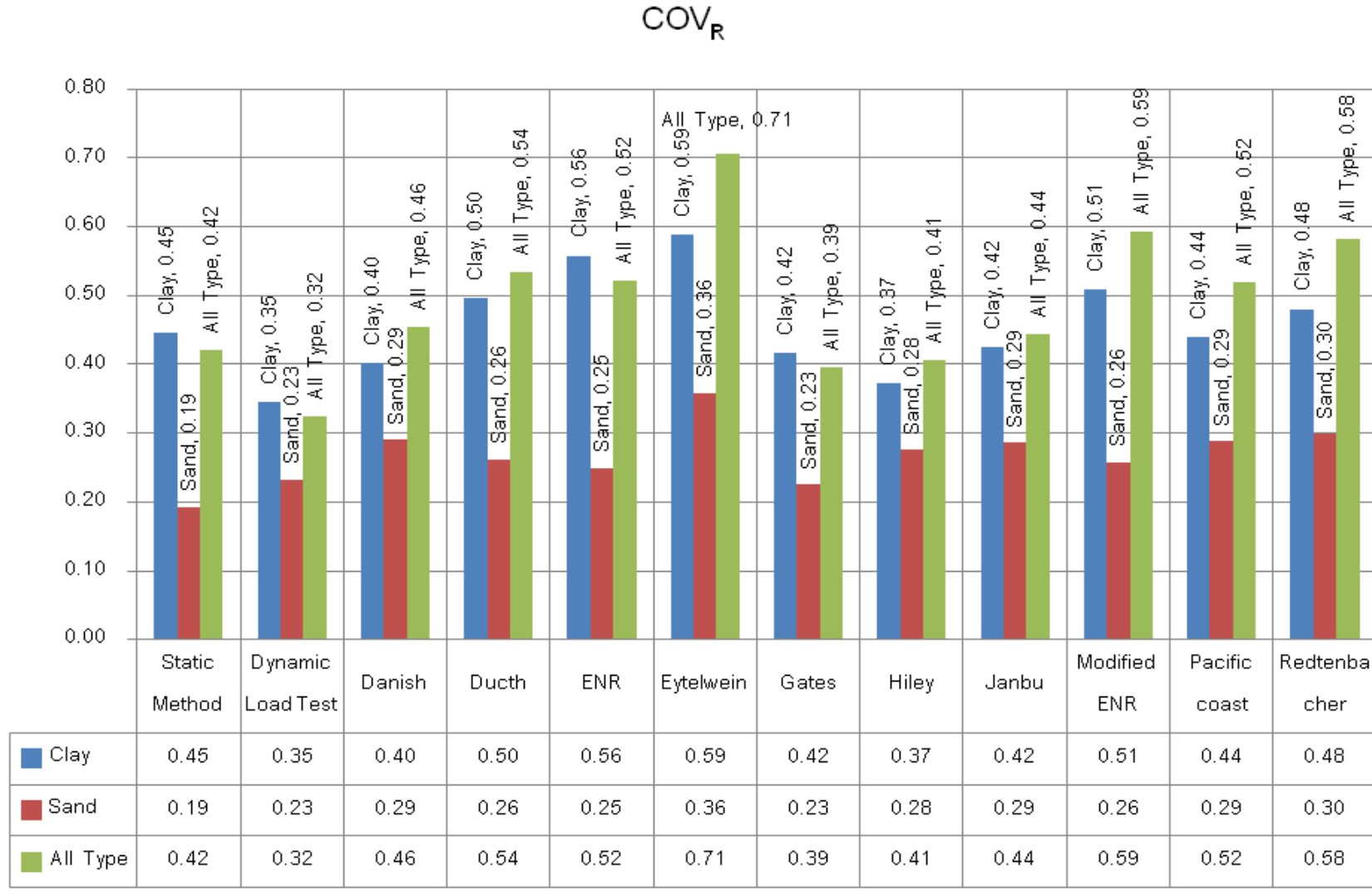
รูปที่ 4.11 ค่าเอนเอียงเฉลี่ยของการประเมินด้วยวิธี Janbu ( ทราย )



รูปที่ 4.12 ค่าเอนเอียงเฉลี่ยของการประเมินด้วยวิธี Janbu ( ดินทุกชนิด )

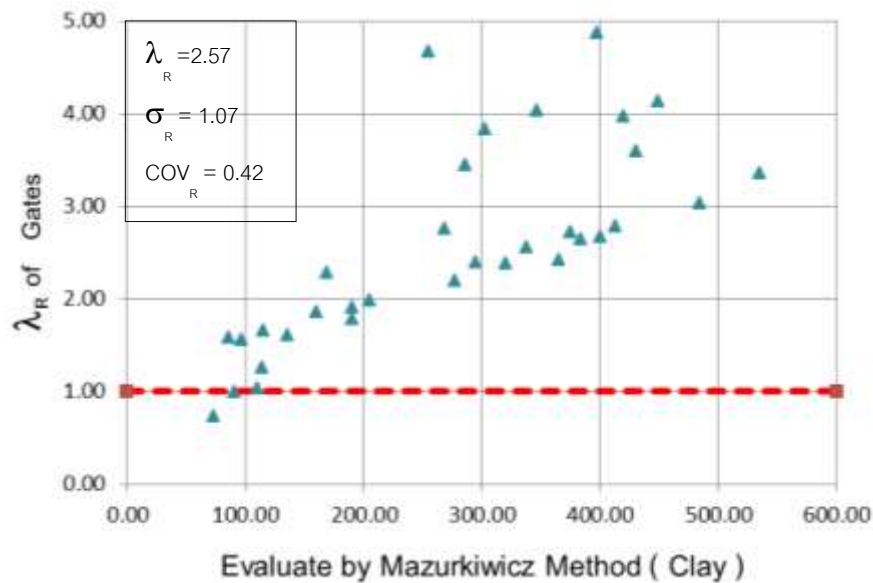
Mean Bias



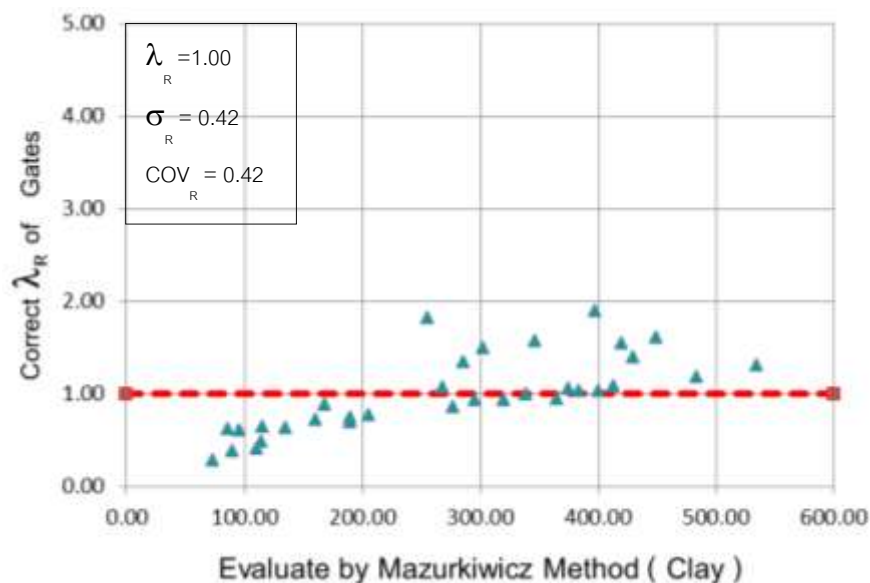


#### 4.4 การปรับแก้ข้อมูลด้วยค่าเอนเอียง ( Correction Bias )

หลังจากที่ได้ทำการปรับแก้ด้วยวิธีนี้แล้ว การกระจายตัวของข้อมูลจะลดน้อยลง ดังแสดง ตัวอย่างการกระจายตัวของข้อมูลการประเมินด้วยวิธีของ Gates ชนิดดินเหนียว ก่อนปรับแก้และ หลังปรับแก้ ในรูปที่ 4.14 – 4.15 สรุปค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบค่าก่อนและหลังปรับแก้ ของดินทุกชนิด และเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหลังปรับแก้ของดินทุกชนิดแสดงในรูปของ กราฟแท่ง ดังรูปที่ 4.17 – 4.20



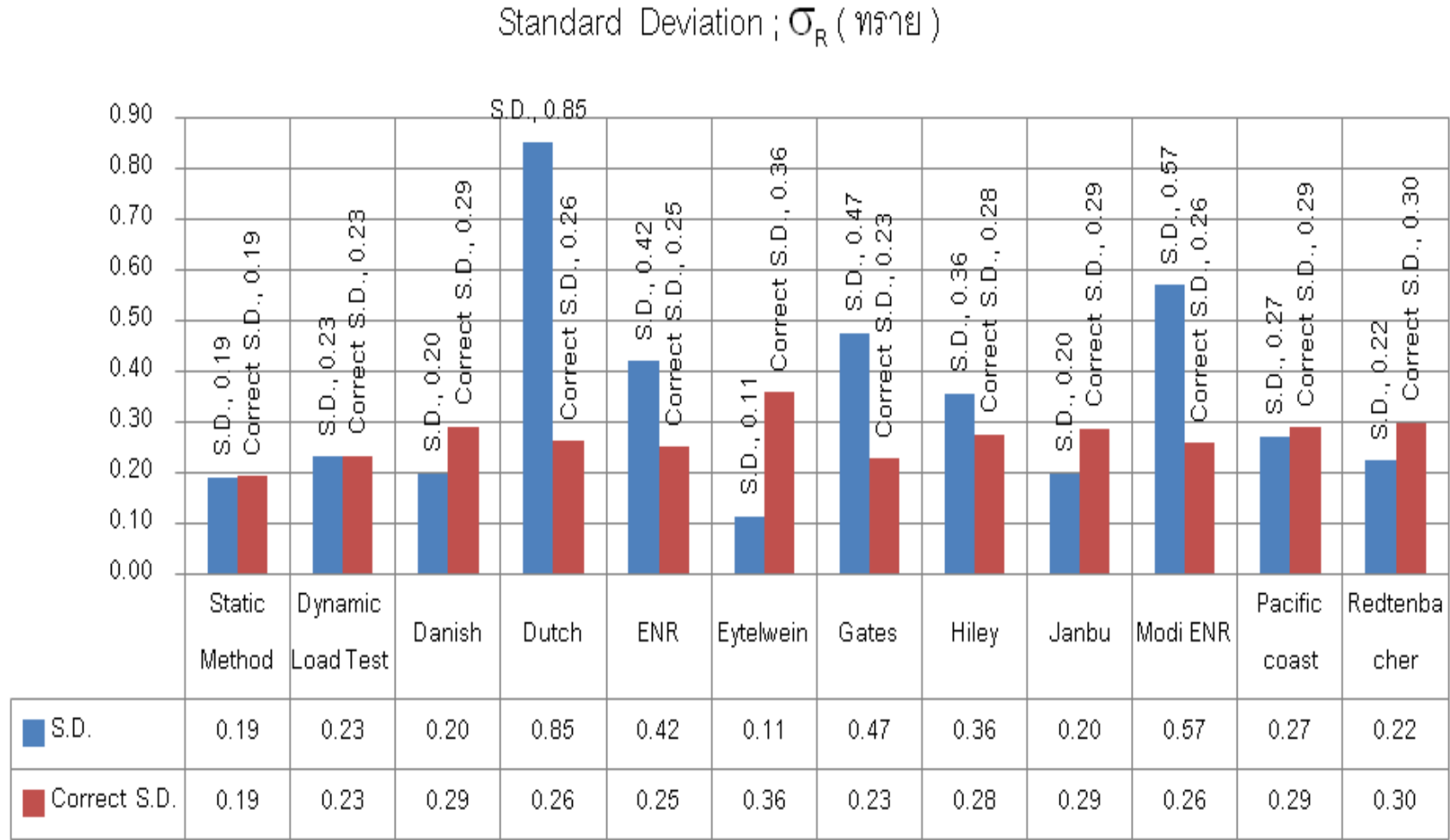
รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของข้อมูลก่อนปรับแก้ด้วย  $\lambda_{Ra}$  ( ดินเหนียว )



รูปที่ 4.16 การกระจายตัวของข้อมูลหลังปรับแก้ด้วย  $\lambda_{Ra}$  ( ดินเหนียว )



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนและหลังปรับแก้ (ตาม)

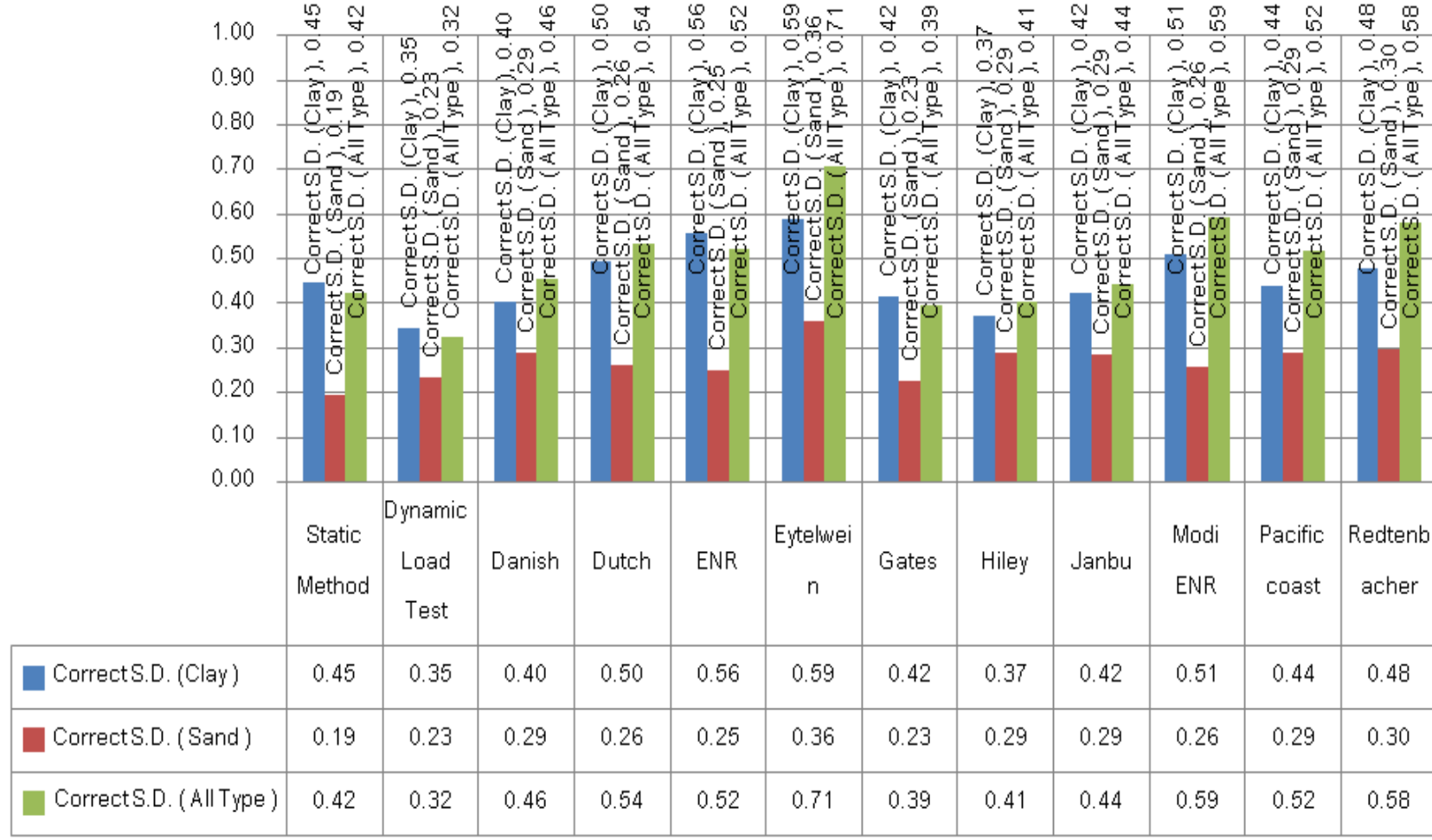






( ๒)รูปแบบที่วิเคราะห์ค่าแรง'ค่าสุทธิบาท )

มูลค่าสุทธิของค่าตอบแทนและค่าตอบแทนสุทธิโดยเฉลี่ยปี ๒๐๑๖-๒๐๑๗



#### 4.5 ค่าตัวคุณความต้านทาน ( Resistance Factor ; $\phi$ )

ค่าตัวคุณความต้านทาน จะทำการคำนวณตามสมการ ( 2.52 ) โดยค่าตัวแปรต่าง ๆ ในสูตรนั้น จะใช้ตามค่าแนะนำของ Nowak , 1999 จะมีเพียง 3 ตัวแปรที่จะใช้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ผ่านมา คือ ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย ;  $\lambda_R$  , ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ;  $COV_R$  , ค่าดัชนีความเชื่อมั่น ;  $\beta_T$  โดยค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยจะใช้ค่าที่ไม่ได้ปรับแก้ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนใช้ค่าที่ได้จากการปรับแก้แล้วและค่าดัชนีความเชื่อมั่น เลือกที่ระดับความเชื่อมั่น 2.0 และ 2.5 จากกราฟค่าดัชนีความเชื่อมั่น ;  $\beta_T$  กับค่าความน่าจะเป็นของการวิบัติ ;  $p_f$  ซึ่งที่  $\beta_T = 2.0$  จะมีค่า  $p_f \approx 0.018$  และที่  $\beta_T = 2.5$  จะมีค่า  $p_f \approx 0.0013$  ซึ่งรายละเอียดค่าตัวแปรของวิธีการประเมินแต่ละวิธีแยกชนิดดินเหนียว ทรายและดินทุกชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 – 4.8 และผลการวิเคราะห์หาค่าตัวคุณความต้านทานของวิธีการประเมินแต่ละวิธีแยกชนิดดินเหนียว ทรายและดินทุกชนิด ตามสรุปในตารางที่ 4.9 – 4.10 และแสดงการเปรียบเทียบค่าตัวคุณความต้านทานของวิธีการประเมินแต่ละวิธีแยกชนิดดินเหนียว ทรายและดินทุกชนิด ในรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.6 ค่าตัวแปรต่าง ๆ สำหรับวิเคราะห์หาค่าตัวคุณความต้านทานของดินเหนียว

Formula ( Clay )	$\lambda_R$	$\gamma_D$	$\gamma_L$	$\frac{Q_D}{Q_L}$	$COV_{QD}$	$COV_{QL}$	$COV_R$	$\lambda_{QD}$	$\lambda_{QL}$	$\beta_T$	$\phi$	$\beta_T$	$\phi$
Static Method	1.24	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.45	1.05	1.15	2.0	0.58	2.5	0.46
Dynamic Load Test	1.09	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.35	1.05	1.15	2.0	0.62	2.5	0.51
Danish	0.93	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.40	1.05	1.15	2.0	0.47	2.5	0.38
Ducth	5.81	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.50	1.05	1.15	2.0	2.48	2.5	1.91
ENR	2.07	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.56	1.05	1.15	2.0	0.78	2.5	0.59
Eytelwein	0.59	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.59	1.05	1.15	2.0	0.21	2.5	0.16
Gates	2.57	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.42	1.05	1.15	2.0	1.27	2.5	1.01
Hiley	1.75	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.37	1.05	1.15	2.0	0.94	2.5	0.76
Janbu	1.04	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.42	1.05	1.15	2.0	0.51	2.5	0.40
Modified ENR	3.40	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.51	1.05	1.15	2.0	1.41	2.5	1.09
Pacific coast	1.59	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.44	1.05	1.15	2.0	0.75	2.5	0.59
Redtenbacher	1.34	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.48	1.05	1.15	2.0	0.59	2.5	0.46

ตารางที่ 4.7 ค่าตัวแปรต่าง ๆ สำหรับวิเคราะห์หาค่าตัวคุณความต้านทานของทราย

Formula (Sand)	$\lambda_R$	$\gamma_D$	$\gamma_L$	$\frac{Q_D}{Q_L}$	$COV_{QD}$	$COV_{QL}$	$COV_R$	$\lambda_{QD}$	$\lambda_{QL}$	$\beta_T$	$\phi$	$\beta_T$	$\phi$
Static Method	0.98	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.19	1.05	1.15	2.0	0.72	2.5	0.62
Dynamic Load Test	0.99	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.23	1.05	1.15	2.0	0.68	2.5	0.58
Danish	0.68	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.29	1.05	1.15	2.0	0.42	2.5	0.35
Ducth	3.25	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.26	1.05	1.15	2.0	2.13	2.5	1.80
ENR	1.67	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.25	1.05	1.15	2.0	1.12	2.5	0.95
Eytelwein	0.31	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.36	1.05	1.15	2.0	0.17	2.5	0.14
Gates	2.10	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.23	1.05	1.15	2.0	1.47	2.5	1.25
Hiley	1.29	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.28	1.05	1.15	2.0	0.83	2.5	0.70
Janbu	0.69	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.29	1.05	1.15	2.0	0.44	2.5	0.36
Modified ENR	2.20	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.26	1.05	1.15	2.0	1.46	2.5	1.23
Pacific coast	0.94	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.29	1.05	1.15	2.0	0.59	2.5	0.49
Redtenbacher	0.74	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.30	1.05	1.15	2.0	0.46	2.5	0.38

ตารางที่ 4.8 ค่าตัวแปรต่าง ๆ สำหรับวิเคราะห์หาค่าตัวคุณความต้านทานของดินทุกชนิด

Formula (All Type)	$\lambda_R$	$\gamma_D$	$\gamma_L$	$\frac{Q_D}{Q_L}$	$COV_{QD}$	$COV_{QL}$	$COV_R$	$\lambda_{QD}$	$\lambda_{QL}$	$\beta_T$	$\phi$	$\beta_T$	$\phi$
Static Method	1.17	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.42	1.05	1.15	2.0	0.57	2.5	0.46
Dynamic Load Test	1.06	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.32	1.05	1.15	2.0	0.63	2.5	0.52
Danish	0.98	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.46	1.05	1.15	2.0	0.45	2.5	0.35
Ducth	5.13	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.54	1.05	1.15	2.0	2.02	2.5	1.54
ENR	1.97	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.52	1.05	1.15	2.0	0.80	2.5	0.61
Eytelwein	0.64	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.71	1.05	1.15	2.0	0.18	2.5	0.13
Gates	2.44	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.39	1.05	1.15	2.0	1.26	2.5	1.01
Hiley	1.82	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.41	1.05	1.15	2.0	0.92	2.5	0.74
Janbu	0.95	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.44	1.05	1.15	2.0	0.45	2.5	0.35
Modified ENR	3.77	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.59	1.05	1.15	2.0	1.33	2.5	0.99
Pacific coast	1.60	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.52	1.05	1.15	2.0	0.65	2.5	0.50
Redtenbacher	1.36	1.25	1.75	2	0.1	0.2	0.58	1.05	1.15	2.0	0.49	2.5	0.37

ตารางที่ 4.9 ค่าตัวคูณความต้านทานของดินเหนียวที่  $\beta_T = 2.0$  และ  $\beta_T = 2.5$

Formular ( Clay )	$\lambda_R$	COV <sub>R</sub>	$\beta_T = 2.0$	$\beta_T = 2.5$
			$\phi$	$\phi$
Static Method	1.24	0.45	0.58	0.46
Dynamic Load Test	1.09	0.35	0.62	0.51
Danish	0.93	0.40	0.47	0.38
Ducth	5.81	0.50	2.48	1.91
ENR	2.07	0.56	0.78	0.59
Eytelwein	0.59	0.59	0.21	0.16
Gates	2.57	0.42	1.27	1.01
Hiley	1.75	0.37	0.94	0.76
Janbu	1.04	0.42	0.51	0.40
Modified ENR	3.40	0.51	1.41	1.09
Pacific coast	1.59	0.44	0.75	0.59
Redtenbacher	1.34	0.48	0.59	0.46

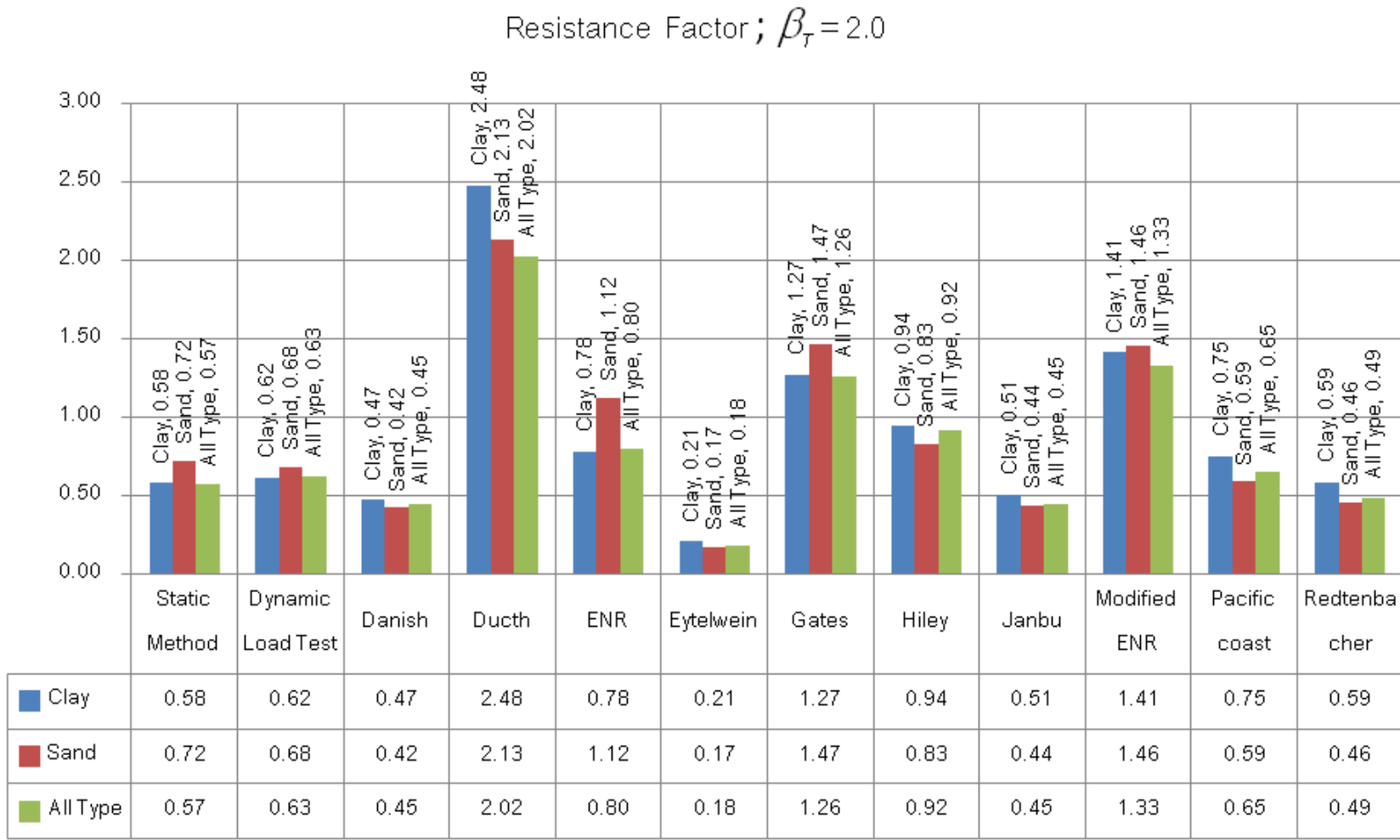
ตารางที่ 4.10 ค่าตัวคูณความต้านทานของทรายที่  $\beta_T = 2.0$  และ  $\beta_T = 2.5$

Formular ( Sand )	$\lambda_R$	COV <sub>R</sub>	$\beta_T = 2.0$	$\beta_T = 2.5$
			$\phi$	$\phi$
Static Method	0.98	0.19	0.72	0.62
Dynamic Load Test	0.99	0.23	0.68	0.58
Danish	0.68	0.29	0.42	0.35
Ducth	3.25	0.26	2.13	1.80
ENR	1.67	0.25	1.12	0.95
Eytelwein	0.31	0.36	0.17	0.14
Gates	2.10	0.23	1.47	1.25
Hiley	1.29	0.28	0.83	0.70
Janbu	0.69	0.29	0.44	0.36
Modified ENR	2.20	0.26	1.46	1.23
Pacific coast	0.94	0.29	0.59	0.49
Redtenbacher	0.74	0.30	0.46	0.38

ตารางที่ 4.11 ค่าตัวคูณความต้านทานของดินทุกชนิดที่  $\beta_T = 2.0$  และ  $\beta_T = 2.5$

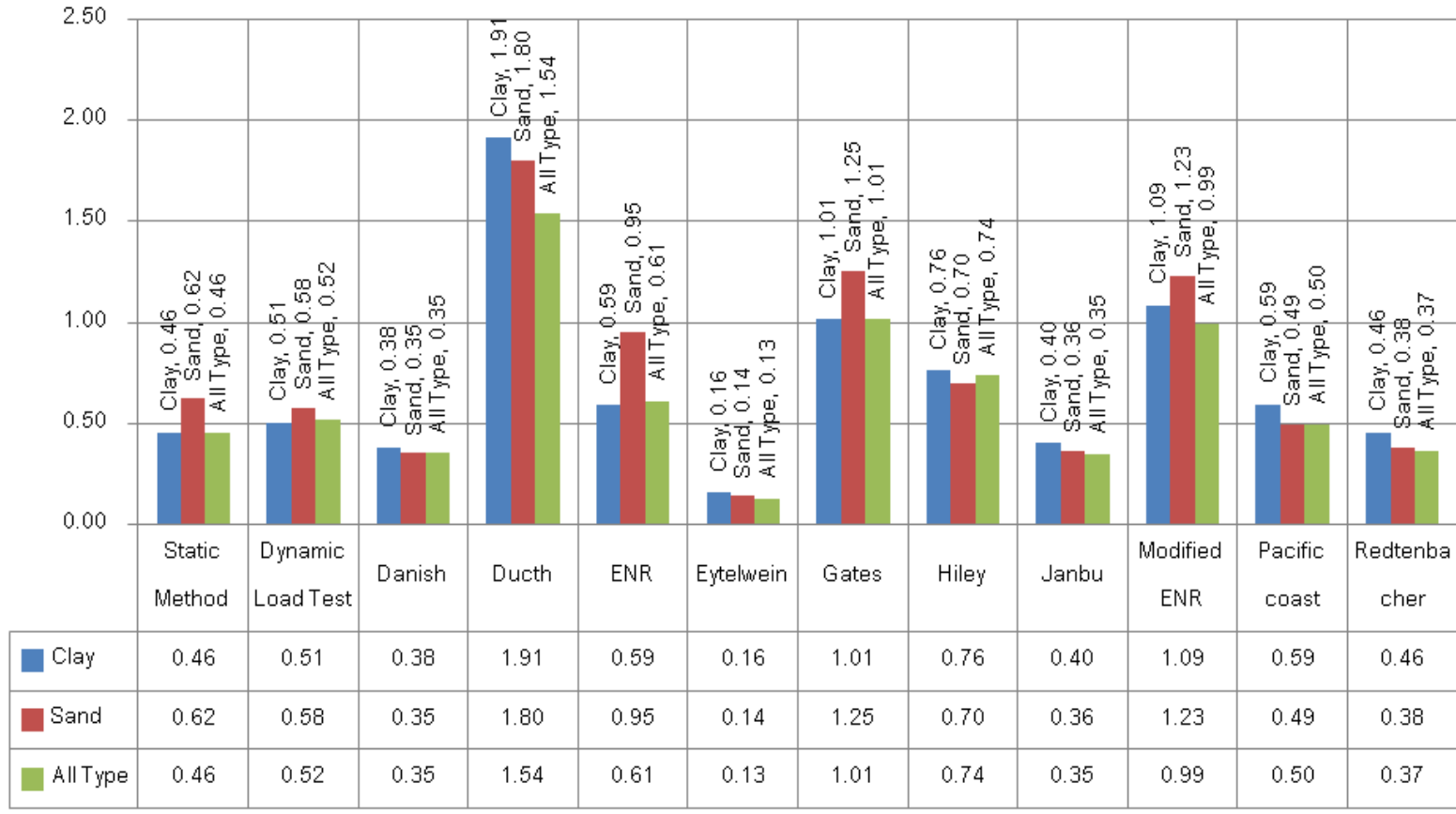
Formular ( All Type )	$\lambda_R$	COV <sub>R</sub>	$\beta_T = 2.0$	$\beta_T = 2.5$
			$\phi$	$\phi$
Static Method	1.17	0.42	0.57	0.46
Dynamic Load Test	1.06	0.32	0.63	0.52
Danish	0.98	0.46	0.45	0.35
Ducth	5.13	0.54	2.02	1.54
ENR	1.97	0.52	0.80	0.61
Eytelwein	0.64	0.71	0.18	0.13
Gates	2.44	0.39	1.26	1.01
Hiley	1.82	0.41	0.92	0.74
Janbu	0.95	0.44	0.45	0.35
Modified ENR	3.77	0.59	1.33	0.99
Pacific coast	1.60	0.52	0.65	0.50
Redtenbacher	1.36	0.58	0.49	0.37

รูปที่ 4-21 เปรียบเทียบค่าลดขนาดของดินชนิดต่างๆ ที่  $\beta_T = 2.0$



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าตัวคูณความปลอดภัยของดินชนิดต่างๆ ที่  $\beta_T = 2.5$

Resistance Factor ;  $\beta_T = 2.5$





## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อหาค่าตัวคูณต้านทาน ( Resistance Factor ;  $\phi$ ) เพื่อใช้กับการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มด้วยวิธีต่าง ๆ การหาวิจัยค่า  $\phi$  ค่าตัวแปรต่าง ๆ จะวิเคราะห์โดยการแยกประเภทชนิดชั้นดินออกเป็น 3 ชนิด ดินเหนียว ทรายและดินทุกชนิด

เริ่มจากการเปรียบเทียบอย่างง่าย ด้วยวิธีการพล็อตกราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินผ่านเสาเข็มที่ได้จากการแปรผลด้วยวิธี Mazurkiwicz (แกน X) กับค่าที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ (แกน Y) นั้น เพื่อดูการกระจายตัวของข้อมูล , ความสัมพันธ์ของการประเมินทั้ง 2 วิธีและสร้างสมการเส้นตรงเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของค่าในแกน X และแกน Y การที่วิธีการประเมินใดให้ผลการประเมินที่แม่นยำ หมายถึงค่าสมการเส้นตรง Y จะต้องเท่ากับหรือใกล้เคียง X ( $Y = X$ ) ซึ่งค่า Y ในที่นี้ หมายถึงค่าที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ และค่า X หมายถึง ค่าที่ได้จากการประเมินด้วยวิธี Mazurkiwicz

วิธีการประเมินที่ให้ค่า Y ใกล้เคียงค่า X มากที่สุด 3 วิธี จากตารางที่ 4.5 สรุปแยกตามชนิดของดิน ตามตารางที่ 5.1 ดังนี้

#### ตารางที่ 5.1 สรุปวิธีการประเมินที่ให้ผลการประเมินที่แม่นยำ

ชนิดดิน	ดินเหนียว		ทราย		ดินทุกชนิด	
	วิธีประเมิน	ค่าที่ได้	วิธีประเมิน	ค่าที่ได้	วิธีประเมิน	ค่าที่ได้
1	Danish	1.03 X	Static Method	1.02 X	Janbu	0.99 X
2	Janbu & Dynamic Load Test	0.91 X	Dynamic Load Test	1.03 X	Dynamic Load Test	0.93 X
3	Static Method	0.82 X	Pacific coast	1.07 X	Danish	1.13 X

วิธีการประเมินที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน หมายถึง วิธีการที่มีค่า  $R^2$  ใกล้เคียง 1 มากที่สุด จากตารางที่ 4.4 สรุปค่า  $R^2$  ของวิธีการประเมินที่มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ของแต่ละวิธีและแยกชนิดดิน 3 วิธี ตามตารางที่ 5.2 ดังนี้

### ตารางที่ 5.2 สรุปวิธีการประเมินที่มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้

ชนิดดิน	ดินเหนียว		ทราย		ดินทุกชนิด	
	วิธีประเมิน	ค่าที่ได้ ( $R^2$ )	วิธีประเมิน	ค่าที่ได้ ( $R^2$ )	วิธีประเมิน	ค่าที่ได้ ( $R^2$ )
1	Dynamic Load Test	0.76	Static Method	0.30	Dynamic Load Test	0.73
2	Static Method	0.53	Dynamic Load Test	0.17	Static Method	0.51
3	Gates	0.47	Gates	0.09	Gates	0.42

เมื่อทำการเปรียบเทียบตามกระบวนการทางสถิติขั้นสูง โดยการหาค่าเอนเอียง , ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน สามารถสรุปได้ดังนี้

วิธีการประเมินที่ให้ผลการประเมินแม่นยำหรือใกล้เคียงกับการประเมินด้วยวิธี Mazurkiewicz จะพิจารณาจากวิธีการประเมินที่ให้ค่าเอนเอียงเฉลี่ย ( $\lambda_R$ ) ใกล้เคียงกับ 1 มากที่สุด ซึ่งวิธีการประเมินที่ให้ค่าเอนเอียงเฉลี่ยมากกว่า 1 จะหมายความว่า วิธีการนั้นให้ผลการประเมินที่ต่ำกว่าผลการประเมินที่ได้จากการประเมินด้วยวิธี Mazurkiewicz ซึ่งสามารถสรุปวิธีการประเมินที่ให้ค่าเอนเอียงจากน้อยไปหามากแยกชนิดชั้นดิน ดังตารางที่ 5.3 – 5.5 ดังนี้

ตารางที่ 5.3 สรุปค่าเอนเอียงของวิธีการประเมินต่าง ๆ จากน้อยไปหามาก ( ดินเหนียว )

Formula ( Clay )	$\lambda_R$
Eytelwein	0.59
Danish	0.93
Janbu	1.04
Dynamic Load Test	1.09
Static Method	1.24
Redtenbacher	1.34
Pacific coast	1.59
Hiley	1.75
ENR	2.07
Gates	2.57
Modified ENR	3.40
Ducth	5.81

ตารางที่ 5.4 สรุปค่าเอนเอียงของวิธีการประเมินต่าง ๆ จากน้อยไปหามาก ( ททราย )

Formula ( Sand )	$\lambda_R$
Eytelwein	0.31
Danish	0.68
Janbu	0.69
Redtenbacher	0.74
Pacific coast	0.94
Static Method	0.98
Dynamic Load Test	0.99
Hiley	1.29
ENR	1.67
Gates	2.10
Modified ENR	2.20
Ducth	3.25

ตารางที่ 5.5 สรุปค่าเอนเอียงของวิธีการประเมินต่าง ๆ จากน้อยไปหามาก ( ดินทุกชนิด )

Formular ( All Type )	$\lambda_R$
Eytelwein	0.64
Janbu	0.95
Danish	0.98
Dynamic Load Test	1.06
Static Method	1.17
Redtenbacher	1.36
Pacific coast	1.60
Hiley	1.82
ENR	1.97
Gates	2.44
Modified ENR	3.77
Ducth	5.13

ส่วนวิธีการประเมินที่มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้นั้น จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ( $COV_R$ ) วิธีการประเมินใดให้ค่าต่ำสุด หมายความว่า เป็นวิธีการที่ให้ผลการประเมินที่เที่ยงตรงเนื่องจากการกระจายตัวของข้อมูลน้อย ซึ่งค่า  $COV_R$  เรียงจากน้อยไปมาก แยกตามชนิดชั้นดิน ดังตารางที่ 5.6 – 5.8 ดังนี้

ตารางที่ 5.6 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของวิธีการประเมินต่าง ๆ จากน้อยไปมาก ( ดินเหนียว )

Formular ( Clay )	$COV_R$
Dynamic Load Test	0.35
Hiley	0.37
Danish	0.40
Gates	0.42
Janbu	0.42
Pacific coast	0.44
Static Method	0.45
Redtenbacher	0.48
Ducth	0.50
Modified ENR	0.51
ENR	0.56
Eytelwein	0.59

ตารางที่ 5.7 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของวิธีการประเมินต่าง ๆ  
จากน้อยไปมาก (ทราย)

Formular ( Sand )	COV <sub>R</sub>
Static Method	0.19
Dynamic Load Test	0.23
Gates	0.23
ENR	0.25
Ducth	0.26
Modified ENR	0.26
Hiley	0.28
Danish	0.29
Janbu	0.29
Pacific coast	0.29
Redtenbacher	0.30
Eytelwein	0.36

ตารางที่ 5.8 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของวิธีการประเมินต่าง ๆ  
จากน้อยไปมาก (ดินทุกชนิด)

Formular ( All Type )	COV <sub>R</sub>
Dynamic Load Test	0.32
Gates	0.39
Hiley	0.41
Static Method	0.42
Janbu	0.44
Danish	0.46
ENR	0.52
Pacific coast	0.52
Ducth	0.54
Redtenbacher	0.58
Modified ENR	0.59
Eytelwein	0.71

ค่าต่าง ๆ ที่ทำการประเมินเปรียบเทียบด้วยวิธีสมการเส้นตรงและวิธีค่าเอนเอียงเฉพาะสูตรตอกเสาเข็ม เมื่อนำทั้ง 2 วิธีการมาเปรียบเทียบกัน ดังสรุปในตารางที่ 5.5 ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบค่าระหว่างสมการเส้นตรงกับค่าเอนเอียง

เปรียบเทียบค่าของการประเมินด้วยวิธีสมการเส้นตรงกับค่าเอนเอียง ( สูตรตอกเสาเข็ม )										
Soil Type	ค่าที่ได้จาก	ค่ามากที่สุด			ค่าต่ำสุด			ใกล้เคียงสุด		
		วิธีประเมิน	ค่าที่ได้	คิดเป็น % ของ Mazurkiewicz	วิธีประเมิน	ค่าที่ได้	คิดเป็น % ของ Mazurkiewicz	วิธีประเมิน	ค่าที่ได้	คิดเป็น % ของ Mazurkiewicz
Clay	Linear Equation	Eytelwein	$Y = 1.72 X$	197%	Dutch	$Y = 0.17 X$	17%	Danish	$Y = 1.03 X$	103%
	Bias	Eytelwein	0.59	169%	Dutch	5.81	17%	Janbu	1.04	96%
Sand	Linear Equation	Eytelwein	$Y = 3.25 X$	325%	Dutch	$Y = 0.31 X$	30%	Pacific coast	$Y = 1.07 X$	107%
	Bias	Eytelwein	0.31	323%	Dutch	3.25	31%	Pacific coast	0.94	106%
All Type	Linear Equation	Eytelwein	$Y = 1.97 X$	197%	Dutch	$Y = 0.19 X$	19%	Janbu	$Y = 0.99 X$	99%
	Bias	Eytelwein	0.52	192%	Dutch	5.13	19%	Janbu	0.95	105%

จากตารางที่ 5.9 เมื่อทำการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าวิธีการการประเมินที่ให้ผลการประเมินสูงทั้งนั้นสอดคล้องกันทั้งแบบการเปรียบเทียบด้วยสมการเส้นตรงและการเปรียบเทียบด้วยค่าเอนเอียงเฉลี่ย วิธีให้ค่าไปในทิศทางแนวกัน คือ วิธี Eytelwein ให้ค่าของการประเมินที่สูงกว่าค่าประเมินของ Mazurkiewicz ทั้ง 2 วิธีการเปรียบเทียบ และวิธี Dutch ให้ค่าที่ต่ำ จะมีเพียงค่าใกล้เคียงของดินเหนียวเท่านั้นที่มีวิธีประเมินแตกต่างกัน คือ วิธี Danish ให้ค่าสมการเส้นตรงใกล้เคียงแต่วิธี Janbu ให้ค่าเอนเอียงใกล้เคียง

ค่าตัวคูณความต้านทาน ( Resistance Factor ;  $\phi$  ) วิเคราะห์ตามสมการ ( 2.52 ) และเลือกใช้ค่าดัชนีความเชื่อมั่น ( Reliability Index ;  $\beta_r$  ) ที่ 2.0 และ 2.5 ค่าที่ได้เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ตามที่สรุปในตารางที่ 5.10 – ตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.10 ค่าตัวคูณความต้านทานที่  $\beta_T = 2.0$  และ 2.5 จากน้อยไปมาก (ดินเหนียว)

Formula ( Clay )	$\beta_T = 2.0$	$\beta_T = 2.5$
	$\phi$	$\phi$
Eytelwein	0.21	0.16
Danish	0.47	0.38
Janbu	0.51	0.40
Static Method	0.58	0.46
Redtenbacher	0.59	0.46
Dynamic Load Test	0.62	0.51
Pacific coast	0.75	0.59
ENR	0.78	0.59
Hiley	0.94	0.76
Gates	1.27	1.01
Modified ENR	1.41	1.09
Ducth	2.48	1.91

ตารางที่ 5.11 ค่าตัวคูณความต้านทานที่  $\beta_T = 2.0$  และ 2.5 จากน้อยไปมาก (ทราย)

Formula ( Sand )	$\beta_T = 2.0$	$\beta_T = 2.5$
	$\phi$	$\phi$
Eytelwein	0.17	0.14
Danish	0.42	0.35
Janbu	0.44	0.36
Redtenbacher	0.46	0.38
Pacific coast	0.59	0.49
Dynamic Load Test	0.68	0.58
Static Method	0.72	0.62
Hiley	0.83	0.70
ENR	1.12	0.95
Modified ENR	1.46	1.23
Gates	1.47	1.25
Ducth	2.13	1.80

ตารางที่ 5.12 ค่าตัวคูณความต้านทานที่  $\beta_T = 2.0$  และ 2.5 จากน้อยไปมาก (ดินทุกชนิด)

Formula ( All Type )	$\beta_T = 2.0$	$\beta_T = 2.5$
	$\phi$	$\phi$
Eytelwein	0.18	0.13
Danish	0.45	0.35
Janbu	0.45	0.35
Redtenbacher	0.49	0.37
Static Method	0.57	0.46
Dynamic Load Test	0.63	0.52
Pacific coast	0.65	0.50
ENR	0.80	0.61
Hiley	0.92	0.74
Gates	1.26	1.01
Modified ENR	1.33	0.99
Ducth	2.02	1.54

สำหรับ  $\beta_T = 2.0$  วิธีการประเมินที่ถูกลดกำลังต้านทาน ( $R_n$ ) มากที่สุดคือวิธีของ Eytelwein ในดินทุกชนิด ( ดินเหนียว,ทรายและดินทุกชนิด ) ซึ่งสอดคล้องกับการเปรียบเทียบกับสมการเส้นตรงและค่าเอนเอียงที่วิธีให้ผลการประเมินที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการประเมินวิธี Mazurkiewicz

ดินเหนียว มีค่า  $\phi = 0.21$  ซึ่งหมายความว่า ค่าที่ประเมินได้จะถูกลดค่าเหลือเพียง 21 % จากค่าที่ประเมินได้ด้วยวิธีนี้

ทราย มีค่า  $\phi = 0.17$  จึงถูกลดค่าใช้งานเหลือเพียง 17 % และ

ดินทุกชนิด มีค่า  $\phi = 0.17$  ถูกลดค่าใช้งานเหลือเพียง 17 %

ส่วนวิธีประเมินที่ต้องเพิ่มกำลังต้านทาน ( $R_n$ ) มากที่สุด

ดินเหนียว วิธี Modified ENR มีค่า  $\phi = 1.41$  ต้องเพิ่มค่าใช้งานถึง 141 % หรือ 1,41 เท่า

ทราย วิธี Dutch มีค่า  $\phi = 2.13$  ต้องเพิ่มค่าใช้งานถึง 213 % หรือ 2.13 เท่า

ดินทุกชนิด วิธี GATE และ Modified ENR มีค่า  $\phi = 1.26$  ต้องเพิ่มค่าใช้งานถึง 126 % หรือ 2.16 เท่า

สำหรับ  $\beta_T = 2.5$  วิธีการประเมินที่ถูกลดกำลังต้านทาน ( $R_n$ ) มากที่สุดคือ



วิธีของ Eytelwein ในดินทุกชนิด ( ดินเหนียว,ทรายและดินทุกชนิด ) ซึ่งสอดคล้องกับการเปรียบเทียบด้วยสมการเส้นตรงและค่าเอนเอียงที่วิธีให้ผลการประเมินที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการประเมินวิธี Mazurkiewicz

ดินเหนียว มีค่า  $\phi = 0.16$  ซึ่งหมายความว่า ค่าที่ประเมินได้จะถูกลดค่าเหลือเพียง 16 % จากค่าที่ประเมินได้ด้วยวิธีนี้

ทราย มีค่า  $\phi = 0.14$  จึงถูกลดค่าใช้งานเหลือเพียง 14 %

ดินทุกชนิด มีค่า  $\phi = 0.12$  ถูกลดค่าใช้งานเหลือเพียง 12 %

ส่วนวิธีประเมินที่ต้องเพิ่มกำลังต้าน ( $R_n$ ) มากที่สุด

ดินเหนียว คือวิธี Danish มีค่า  $\phi = 1.9$  ต้องเพิ่มค่าใช้งานถึง 191 % หรือ 1.91 เท่า

ทราย วิธี Dutch มีค่า  $\phi = 1.80$  ต้องเพิ่มค่าใช้งานถึง 180 % หรือ 1.8 เท่า

ดินทุกชนิด วิธี Dutch มีค่า  $\phi = 1.54$  ต้องเพิ่มค่าใช้งานถึง 154 % หรือ 1.54 เท่า

ส่วนวิธีการที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้นั้น จะพิจารณาวิธีการประเมินที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้อยที่สุด แบ่งตามชนิดดิน

ดินเหนียว

- วิธี Dynamic Load Test ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เท่ากับ 0.35

- วิธี Hiley ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เท่ากับ 0.37

- วิธี Danish ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เท่ากับ 0.40

ทราย

- วิธี Static Load Test ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เท่ากับ 0.19

- วิธี Gate และ Dynamic Load Test ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เท่ากับ 0.23

- วิธี ENR ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เท่ากับ 0.25

ดินทุกชนิด

- วิธี Dynamic Load Test ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เท่ากับ 0.32

- วิธี Hiley ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เท่ากับ 0.38

- วิธี Danish ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เท่ากับ 0.41

ซึ่งค่าตัวคูณความต้านทาน ( Resistance Factor ;  $\phi$  ) จะมีค่าอยู่ในช่วง 2.00 – 0.19 สำหรับดินทุกชนิด ( ดินเหนียว,ทรายและดินทุกชนิด ) และมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.85 – 0.65 ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานของสถาบันต่าง ๆ ที่อ้างอิง ซึ่งแสดงค่าที่แนะนำตามมาตรฐานต่าง ดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ค่าตัวคูณความต้านทานของการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกวิธีต่าง ๆ  
มาตรฐานอื่น ๆ

	ค่าตัวคูณแรงต้านทานตามมาตรฐานต่าง ๆ					จากการวิจัย
	The Australian Standard for Piling – Design and Installation ( 1995 )	The AUSTRROADS Bridge Design Code ( 1992 )	The Ontario Bridge Code ( 1992 )	The Bridge Code ( 1992 )	Eurocode 7 ( 1997 )	
วิธีการประเมิน	ค่าที่แนะนำให้ใช้	ค่าที่แนะนำให้ใช้	ค่าที่แนะนำให้ใช้	ค่าที่แนะนำให้ใช้	ค่าที่แนะนำให้ใช้	ค่าที่เหมาะสมนำไปใช้
Static Pile Load Test	0.7 – 0.9	0.8 - 0.9	0.3 - 0.6	0.4 - 0.5	-	-
Dynamic Pile Load Test	0.50– 0.85	-	-	0.4 – 0.5	-	0.45 - 0.60
Pile Dynamic Formula	0.45– 0.65	-	-	0.4 - 0.5	0.67 – 0.91	0.30 - 0.50
Static Analysis Method	0.40 – 0.65	-	-		-	0.40 - 0.50

อย่างไรก็ตามค่าตัวคูณความต้านทาน ( Resistance Factor ;  $\phi$  ) ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ เป็นค่าที่มีได้มีการปรับแก้ ค่าใด ๆ ที่ได้จากการทดสอบและเก็บรวบรวมในสนามเลย เพื่อให้มีความสอดคล้องกับสภาพหน้างานจริง สามารถนำไปใช้กับโครงการก่อสร้างที่มีต้นทุนต่ำได้ ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไป ควรจะต้องมีการปรับแก้ค่าต่าง ๆ เสียก่อน เช่น ค่าทดสอบการตอกทะลวงมาตรฐาน ( Standard Penetration Test ; SPT : N ) รวมถึงการปรับแก้ค่าต่าง ๆ ตามหลักทฤษฎีทางสถิติ เพื่อที่จะได้เป็นการพัฒนาการออกแบบด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกสำหรับฐานรากในประเทศไทยต่อไป

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

โยธาธิการและผังเมือง,กรม. มยผ.1106-52 มาตรฐานงานเสาเข็ม[ออนไลน์].2555 แหล่งที่มา :  
[eservice.dpt.go.th/eservice\\_5/standard/sd\\_work.html](http://eservice.dpt.go.th/eservice_5/standard/sd_work.html) [ 2012,Nov 15 ]

โยธาธิการและผังเมือง,กรม. มยผ.1252-51 มาตรฐานการรับน้ำหนักเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ Dynamic Load Test [ออนไลน์].2555แหล่งที่มา:

[eservice.dpt.go.th/eservice\\_5/standard/sd\\_work.html](http://eservice.dpt.go.th/eservice_5/standard/sd_work.html) [ 2012,Nov 15 ]

โยธาธิการและผังเมือง,กรม. มยผ.1551-51 มาตรฐานการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic Test[ออนไลน์].2555 แหล่งที่มา :

[eservice.dpt.go.th/eservice\\_5/standard/sd\\_work.html](http://eservice.dpt.go.th/eservice_5/standard/sd_work.html) [ 2012,Nov 15 ]

ทางหลวง,กรม. การควบคุมงานก่อสร้างและหลักการออกแบบเบื้องต้น : งานฐานรากสะพาน. กรุงเทพฯ : สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง . 2553.

กิตติศักดิ์ ทองมาก. การแปลค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม , ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.

จิรวัตร บุญญะสู. โครงการพัฒนาวิจัยเพื่อพัฒนาแนวทางการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในงานก่อสร้างของกรมทางหลวง , 2554.

ณัฐมนต์ กัมปนานนท์และธนบัตร เอื้อวรกุลชัย. การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ โดยวิธี Low strain integrity test (seismic test),High strain dynamic load test และ Cross hole sonic logging test : กรุงเทพฯ ฯ , 2548.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก. กรุงเทพฯ ฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2551.

ทักษิณ ชาตรี. พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2553.

วิชัย สุระเชิดเกียรติ. สถิติสำหรับวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์สกายบุ๊กส์ , 2543.

ณหทัย ราตรี. สถิติเบื้องต้นแนวคิดและทฤษฎี กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2554.

ธนาถล คงสมบุญรัตน์ การศึกษากำลังบรรทุกน้ำหนักของเสาเข็มจากข้อมูลการทดสอบเสาเข็มถึงจุดวิบัติ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2541.

บุญเทพ นานะรังสรรค์. Foundation Engineering and Tunnelling .กรุงเทพฯ : ดวงกลมสยามสแควร์ , 2539.

ประมวล หาดขุนทด. การออกแบบโครงสร้างเหล็กวิธี LRFD ( Basic Steel Design With LRFD ) , กรุงเทพมหานคร , 2542.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. น้ำหนักบรรทุกเสาเข็ม กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. 2551.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.395 – 2524 เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ , มอก. 396 – 2549 เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ และ มอก.399-2524 เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จขนาดสั้น [ ออนไลน์ ].2555

แหล่งที่มา <http://library.tisi.go.th/multim/TIS/TIS-95-2540m.pdf> [ 2012,Nov 15 ]

### **ภาษาอังกฤษ**

AASHTO. LRFD. Bridge Design Specification ; Washington. D.C. 2009.

ASTM Designation. Standard Method of Testing Pile Under Static Axial Compressive Load Vol.04.08 , 1986.

Braja M.Das. Principle of Foundation Engineering . United State : THOMSON BROOK / COLE , 2004.

FHWA. Development of Geotechnical Resistance Factor and Down drag Load Factor for LRFD Foundation Strength Limit State Design. , Reference Manual ., FHWA – NHI – 05 – 052 . Washington.D.C.,2005.

FHWA. Load and Resistance Factor Design ( LRFD ) for Highway Bridge Design Substructure ., Reference Manual and Participant Work Book., FHWA HI – 98 – 032 ., Washington.D.C. , 2001.

Tony M.Allen , Andrzej S.Nowak , Richard J.Bathurst. Calibration to Determine Load and Resistance Factor for Geotechnical and Structural Design. 2005.

Lymon C.Reese , William M. Isenhower , Shin – Tower Wang. Analysis and Design of Shallow and Deep Foundation. United State : John Wiky & Sons , 2006.

NCHRP. Load and Resistance Factor Design ( LRFD ) for Deep Foundation : Washington.D.C., 2004

Richard M.Barker , Jay A.Puckett. Design of Highway Bridges An LRFD Approach , Second Edition. John Wiky & Sons , 2007.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก – 1

ตารางที่ 4.1 แสดงรายการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยสูตรตอกเสาเข็ม

Pile No.	Project name	Province	Parameter										Hiley						Redtenbacher		Pacific coast						Dutch		Eytelwein		ENR		Modi ENR		Janbu				Gates		Danish	
			S (cm/Blow)	L (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Wr (Tons)	Wp (Tons)	h (cm.)	n	e <sub>n</sub>	E <sub>L</sub> (t/cm2)	L <sub>2</sub> (cm.)	$s = \frac{W_r + n \cdot W_p}{W_r + W_p}$	C <sub>1</sub> (Q <sub>u</sub> )	C <sub>2</sub> (Q <sub>u</sub> )	C <sub>3</sub> (Q <sub>u</sub> )	C (Q <sub>u</sub> )	A	B	C	Q <sub>u</sub> (Ton)	Q <sub>u</sub> (Ton)	n	e	A	B	C	Q <sub>u</sub> (Ton)	Q <sub>u</sub> (Ton)	Q <sub>u</sub> (Ton)	Q <sub>u</sub> (Ton)	Q <sub>u</sub> (Ton)	Q <sub>u</sub> (Ton)	C <sub>g</sub>	$\lambda$	K <sub>v</sub>	Q <sub>u</sub> (Ton)	e <sub>n</sub>	Q <sub>u</sub> (Ton)	C1	Q <sub>u</sub> (Ton)	
1 *	โครงการศูนย์วิจัยนิวเคลียร์แห่งใหม่ อ.องครักษ์	นครนายก	0.420	2,100	668	4.60	3.37	25	0.5	0.6	285	5.0	0.68	0.00009	0.02263	0.00539	0.02812	0.01406	0.42	-47.131	44.86	55.06	0.32	0.62	0.000110	0.00420	-0.43	46.12	18.69	113.88	42.50	21.77	0.86	7.19	3.49	78.44	0.75	54.53	0.62	66.55		
2 *	โครงการศูนย์วิจัยนิวเคลียร์แห่งใหม่ อ.องครักษ์	นครนายก	0.150	2,100	898	4.70	4.53	20	0.5	0.6	285	5.0	0.63	0.00007	0.01684	0.00401	0.02092	0.01046	0.15	-35.649	51.65	67.38	0.32	0.56	0.000082	0.00150	-0.32	53.55	14.83	142.93	38.59	18.29	0.89	34.28	6.50	96.36	0.75	61.71	0.48	89.38		
3 *	โครงการศูนย์วิจัยนิวเคลียร์แห่งใหม่ อ.องครักษ์	นครนายก	0.230	2,100	892	4.70	4.50	30	0.5	0.6	285	5.0	0.63	0.00007	0.01695	0.00404	0.02106	0.01053	0.23	-53.580	61.25	78.20	0.32	0.56	0.000083	0.00230	-0.47	63.16	21.68	178.87	56.04	26.62	0.89	22.02	5.42	113.15	0.75	69.27	0.59	103.03		
4 *	WAT NAKORN-IN BRIDGE CONSTRUCTION PROJECT	นนทบุรี	0.170	2,700	1225	7.50	7.94	55	0.5	0.6	321	5.0	0.61	0.00005	0.01587	0.00294	0.01886	0.00943	0.17	-152.054	118.29	164.02	0.32	0.54	0.000069	0.00170	-1.33	127.49	61.62	564.00	167.96	77.39	0.91	98.01	10.39	233.54	0.75	126.10	0.92	226.69		
5 *	โครงการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำอุปโภคและบริโภค เทศบาลนคร นครราชสีมา	นครราชสีมา	0.380	1,000	2025	6.00	4.86	50	0.5	0.6	392	20.0	0.66	0.00012	0.00356	0.00178	0.00546	0.00273	0.38	-119.586	151.00	197.23	0.32	0.60	0.000013	0.00380	-1.08	178.17	47.30	307.30	112.53	56.07	0.87	2.62	2.62	301.88	0.75	90.23	0.34	251.14		
6 *	โครงการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำอุปโภคและบริโภค เทศบาลนคร นครราชสีมา	นครราชสีมา	0.290	1,200	2025	6.50	5.83	50	0.5	0.6	392	10.0	0.65	0.00006	0.00427	0.00178	0.00611	0.00305	0.29	-125.836	161.01	223.83	0.32	0.58	0.000015	0.00290	-1.12	192.94	50.44	376.52	126.16	61.06	0.88	5.84	3.32	337.16	0.75	99.97	0.38	289.35		
7 *	โครงการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำอุปโภคและบริโภค เทศบาลนคร นครราชสีมา	นครราชสีมา	0.220	1,400	2025	6.50	6.80	50	0.5	0.6	392	5.0	0.62	0.00003	0.00498	0.00178	0.00679	0.00339	0.22	-120.204	158.57	226.83	0.32	0.54	0.000018	0.00220	-1.05	190.02	47.94	401.33	129.69	59.96	0.91	11.84	4.31	342.94	0.75	106.16	0.41	307.24		
8 *	โครงการเขื่อนห้วยหลวงท่า สาขาพระราม 2 Test Pile No 1	กรุงเทพมหานคร	0.530	3,000	2025	7.50	14.58	65	0.5	0.6	280	5.0	0.50	0.00003	0.01067	0.00178	0.01248	0.00624	0.53	-147.641	117.12	117.98	0.32	0.41	0.000053	0.00530	-1.19	108.11	44.95	285.71	173.12	65.54	1.04	9.18	4.30	213.66	0.75	105.89	0.88	207.50		
9 *	โครงการเขื่อนห้วยหลวงท่า สาขาพระราม 2 Test Pile No 2	กรุงเทพมหานคร	0.500	3,000	2025	8.30	14.58	60	0.5	0.6	280	5.0	0.52	0.00003	0.01067	0.00178	0.01248	0.00624	0.50	-155.995	123.06	128.89	0.32	0.43	0.000053	0.00500	-1.28	115.24	49.52	315.80	178.75	69.99	1.01	10.54	4.44	224.56	0.75	108.64	0.89	215.11		
10 *	HTY PROJECT Test Pile No TP 1 - 300	สงขลา	0.250	1,400	900	4.50	3.02	50	0.5	0.6	391	5.0	0.70	0.00007	0.01120	0.00400	0.01527	0.00763	0.25	-94.306	95.97	148.20	0.32	0.64	0.000040	0.00250	-0.86	119.17	40.19	320.90	88.72	46.48	0.85	14.32	4.44	202.53	0.75	85.94	0.52	175.73		
11 *	HTY PROJECT Test Pile No TP 2 - 300	สงขลา	0.280	1,400	900	4.50	3.02	50	0.5	0.6	391	5.0	0.70	0.00007	0.01120	0.00400	0.01527	0.00763	0.28	-94.306	94.31	143.03	0.32	0.64	0.000040	0.00280	-0.86	116.24	39.77	299.54	87.69	45.94	0.85	11.42	4.08	196.88	0.75	83.83	0.52	169.13		
12 *	HTY PROJECT Test Pile No TP 1 - 400	สงขลา	0.200	1,400	1600	4.50	5.38	70	0.5	0.6	391	5.0	0.59	0.00004	0.00630	0.00225	0.00859	0.00429	0.20	-111.838	139.76	202.09	0.32	0.51	0.000022	0.00200	-0.97	167.89	43.65	375.41	126.71	56.23	0.93	17.62	5.08	309.97	0.75	106.61	0.46	286.42		
13 *	HTY PROJECT Test Pile No TP 2 - 400	สงขลา	0.230	1,400	1600	4.50	5.38	70	0.5	0.6	391	5.0	0.59	0.00004	0.00630	0.00225	0.00859	0.00429	0.23	-111.838	136.80	193.07	0.32	0.51	0.000022	0.00230	-0.97	162.69	43.18	354.30	125.20	55.56	0.93	13.33	4.57	299.78	0.75	103.53	0.46	273.97		
14 *	โครงการปรับปรุงทางหลวงหมายเลข 34 U-Turn No 8 STA. 17+018.000	สมุทรปราการ	0.230	2,800	1866	7.00	12.54	60	0.5	0.8	450	5.0	0.52	0.00003	0.01080	0.00193	0.01277	0.00638	0.23	-174.279	148.20	208.43	0.32	0.42	0.000033	0.00230	-1.42	175.06	45.27	490.51	166.93	86.59	1.02	26.47	6.31	289.35	0.75	119.55	0.75	343.39		
15 *	MRT PURPLE LINE PROJECT Pilot Pile No.# P-1	นนทบุรี	0.180	3,000	1866	12.00	13.44	40	0.5	0.8	432	5.0	0.60	0.00003	0.01158	0.00193	0.01354	0.00677	0.18	-231.875	172.26	267.39	0.32	0.53	0.000037	0.00180	-2.02	210.01	69.38	826.91	194.65	117.54	0.92	55.13	8.09	329.58	0.75	134.47	0.85	374.52		
16 *	MRT PURPLE LINE PROJECT Pilot Pile No.# P-2	นนทบุรี	0.160	2,700	1866	12.00	12.09	40	0.5	0.8	432	5.0	0.62	0.00003	0.01042	0.00193	0.01238	0.00619	0.16	-239.452	184.18	293.54	0.32	0.55	0.000033	0.00160	-2.11	228.24	73.79	923.21	196.24	122.37	0.90	62.80	8.48	353.87	0.75	137.68	0.80	399.20		
17 *	โครงการสนามกีฬาในร่ม (ฟุตบอลนานาชาติ) Test Pile No.# P6	กรุงเทพมหานคร	0.370	2,600	2025	10.00	12.64	80	0.5	0.6	392	5.0	0.58	0.00003	0.00924	0.00178	0.01105	0.00553	0.37	-279.039	193.71	264.19	0.32	0.50	0.000033	0.00370	-2.39	219.76	101.21	694.69	301.20	131.32	0.94	19.14	5.28	409.27	0.75	148.28	0.89	381.98		
18 *	โครงการสนามกีฬาในร่ม (ฟุตบอลนานาชาติ) Test Pile No.# P7	กรุงเทพมหานคร	0.270	2,600	2756	10.00	17.20	80	0.5	0.6	392	5.0	0.53	0.00002	0.00679	0.00131	0.00812	0.00406	0.27	-252.358	218.26	286.88	0.32	0.43	0.000024	0.00270	-2.08	242.90	87.23	679.06	312.99	123.41	1.01	26.41	6.26	472.95	0.75	159.35	0.78	466.04		
19 *	โครงการสนามกีฬาในร่ม (ฟุตบอลนานาชาติ) Test Pile No.# P5	กรุงเทพมหานคร	0.270	2,600	4225	10.00	26.36	80	0.5	0.6	392	5.0	0.46	0.00001	0.00443	0.00085	0.00530	0.00265	0.27	-218.999	241.05	272.70	0.32	0.35	0.000016	0.00270	-1.68	251.91	65.24	510.83	312.99	107.10	1.15	17.23	5.73	516.83	0.75	159.35	0.61	543.10		
20 *	BANG-BO COMBINED CYCLE POWER PLANT PROJECT T-01	สมุทรปราการ	0.670	3,200	1225	9.30	9.41	50	0.5	0.6	280	5.0	0.62	0.00005	0.01881	0.00294	0.02180	0.01090	0.67	-173.771	99.22	114.97	0.32	0.55	0.000093	0.00670	-1.53	97.12	60.01	300.99	157.31	73.48	0.90	9.66	3.99	174.01	0.75	97.13	1.14	154.07		
21 *	BANG-BO COMBINED CYCLE POWER PLANT PROJECT T-02	สมุทรปราการ	0.300	3,200	2756	9.30	21.17	80	0.5	0.6	280	5.0	0.48	0.00002	0.00836	0.00131	0.00969	0.00484	0.30	-213.794	181.39	194.03	0.32	0.38	0.000041	0.00300	-1.68	168.35	66.64	508.35	287.70	103.34	1.09	34.28	7.30	339.52	0.75	150.10	0.96	353.72		
22 *	BANG-BO COMBINED CYCLE POWER PLANT PROJECT T-03	สมุทรปราการ	0.280	3,200	2025	9.30	15.55	60	0.5	0.6	280	5.0	0.53	0.00003	0.01138	0.00178	0.01319	0.00659	0.28	-177.665	144.29	166.86	0.32	0.44	0.000056	0.00280	-1.47	138.34	61.71	475.06	217.46	86.55	1.00	40.17	7.42	268.58	0.75	132.02	0.97	267.41		
23 *	BMCL ADMINISTRATION BUILDING PROJECT Pile No.3	กรุงเทพมหานคร	0.280	3,300	1159	8.40	9.18	80	0.5	0.8	450	20.0	0.61	0.00022	0.02050	0.00311	0.02382	0.01191	0.28	-327.063	154.37	244.12	0.32	0.53	0.000063	0.00280	-2.86	191.49	94.89	964.19	261.89	159.33	0.91	54.23	8.01	299.50	0.75	144.88	1.30	339.36		
24 *	โครงการควบคุมการกัดเซาะดินบริเวณหน้าเขื่อนทดน้ำเขื่อนลำนครหลวง ( Test Pile )	กรุงเทพมหานคร	0.200	2,800	1866	7.00	12.54	60	0.5	0.8	450	20.0	0.52	0.00013	0.01080	0.00193	0.01287	0.00643	0.20	-174.279	149.78	215.33	0.32	0.42	0.000033	0.00200	-1.42	178.86	45.76	512.97	168.95	87.63	1.02	35.01	7.08	296.73	0.75	123.11	0.75	354.26		
25 *	BANG PA-IN COGENERATION PROJECT GTG2 : Pile No.#B 39	อยุธยา	0.410	2,000	1600	7.60	7.68	50	0.5	0.6	392	20.0	0.62	0.00016	0.00900	0.00225	0.01141	0.00570	0.41	-142.052	125.92	167.50	0.32	0.55	0.000032	0.00410	-1.25	143.98	53.39	342.00	140.95	65.86	0.90	7.21	3.61	257.05	0.75	99.70	0.6			



ตารางที่ ข - 33 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 34

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 21

Location : ระวังอง Calculated by : Prepared :

PILE DATA Pile No. 34

Pile Type : P.C. Spun Pile Pile Shape : Hollow Circular Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.500 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.  
 Pile Length = 7.50 m. Pile Perimeter = 1.57 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -7.50 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su, t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.80		20	N/A	20	0.40	0.9	33
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.70		9	N/A	9	1.15	0.7	30
Stiff Clay	2.00	4.50	1.80		16	10.67	16	2.50	-	-
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.80		27	N/A	27	4.10	0.9	35
Den. C. Sand	6.00	7.50	2.00		40	N/A	40	5.45	1.1	39

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L, m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.00	0.17		0.40	0.26		0.26	0.26
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.00	0.33		1.15	0.52		0.52	0.78
Stiff Clay	2.00	4.50	2.50	5.59		2.50	21.94		21.94	22.73
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.50	1.84		4.10	4.33		4.33	27.06
Den. C. Sand	6.00	7.50	1.50	3.33	279.96	5.45	7.84	54.99	62.83	89.89

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	35	14
End Bearing Resistance	2.50	55	22
<b>Total Resistance</b>		<b>90</b>	<b>36</b>

ตารางที่ ข - 34 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 35

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 23

Location : ระวังอง Calculated by : Prepared :

**PILE DATA** Pile No. 35

Pile Type : P.C. Spun Pile Pile Shape : Hollow Circular Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.500 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.  
 Pile Length = 9.50 m. Pile Perimeter = 1.57 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -9.50 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION** G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su, t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.80		20	N/A	20	0.40	0.9	33
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.70		9	N/A	9	1.15	0.7	30
Stiff Clay	2.00	4.50	1.80		16	10.67	16	2.50	-	-
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.80		27	N/A	27	4.10	0.9	35
Den. C. Sand	6.00	7.50	2.00		35	N/A	35	5.45	1.1	37
V.D. C. Sand	7.50	9.50	2.00		56	N/A	56	7.20	1.2	42

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L, m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.00	0.17		0.40	0.26		0.26	0.26
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.00	0.33		1.15	0.52		0.52	0.78
Stiff Clay	2.00	4.50	2.50	5.59		2.50	21.94		21.94	22.73
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.50	1.84		4.10	4.33		4.33	27.06
Den. C. Sand	6.00	7.50	1.50	3.20		5.45	7.53		7.53	34.59
V.D. C. Sand	7.50	9.50	2.00	5.31	566.71	7.20	16.68	111.32	128.00	162.59

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	51	21
End Bearing Resistance	2.50	111	45
<b>Total Resistance</b>		<b>163</b>	<b>65</b>

DESIGN OF PILE CAPACITY BY  $\alpha$ -METHOD

Project : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 24

Location : ระวัง Calculated by : Prepared :

PILE DATA Pile No. 36

Pile Type : P.C. Spun Pile Pile Shape : Hollow Circular Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.500 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.  
 Pile Length = 11.63 m. Pile Perimeter = 1.57 Sq. m/m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -11.63 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight	Water Content	SPT N	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N'	Vert. Eff. Stress	Ks	Friction Angle
	From	to	(t/cu.m.)	(%)	(blows/ft)		(blows/ft)	(t/sq.m.)		(Degree)
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.80		20	N/A	20	0.40	0.9	33
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.70		9	N/A	9	1.15	0.7	30
Stiff Clay	2.00	4.50	1.80		16	10.67	16	2.50	-	-
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.80		27	N/A	27	4.10	0.9	35
Den. C. Sand	6.00	7.50	2.00		35	N/A	35	5.45	1.1	37
V.D. C. Sand	7.50	10.50	2.00		55	N/A	55	7.70	1.2	42
V. Stiff Clay	10.50	11.63	2.00		25	16.67	25	9.77	-	-

CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth	f <sub>s</sub>	q <sub>b</sub>	Vert. Eff. Stress	Q <sub>s</sub>	Q <sub>b</sub>	Q <sub>u</sub>	Cumulative Q <sub>u</sub>
	From	to	L , m.	(t/sq.m.)	(t/sq.m.)	(t/sq.m.)	(tons)	(tons)	(tons)	(tons)
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.00	0.17		0.40	0.26		0.26	0.26
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.00	0.33		1.15	0.52		0.52	0.78
Stiff Clay	2.00	4.50	2.50	5.59		2.50	21.94		21.94	22.73
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.50	1.84		4.10	4.33		4.33	27.06
Den. C. Sand	6.00	7.50	1.50	3.20		5.45	7.53		7.53	34.59
V.D. C. Sand	7.50	10.50	3.00	5.64		7.70	26.61		26.61	61.21
V. Stiff Clay	10.50	11.63	1.13	6.93	150.00	9.77	12.31	29.46	41.77	102.97

Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	74	29
End Bearing Resistance	2.50	29	12
Total Resistance		103	41

ตารางที่ ข - 36 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 37

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 25

Location : ระยอง

Calculated by :

Prepared :

**PILE DATA** Pile No. 37

Pile Type : P.C. Spun Pile

Pile Shape : Hollow Circular Pile

Pile Width or Dia. = 0.500 m.

Pile Section = 0.20 Sq. m.

Pile Length = 6.35 m.

Pile Perimeter = 1.57 Sq. m./m.

Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L.

Pile Tip Ele. = -6.35 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION**

G.L. = 0.00

G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su, t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.80		20	N/A	20	0.40	0.9	33
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.70		9	N/A	9	1.15	0.7	30
Stiff Clay	2.00	4.50	1.80		16	10.67	16	2.50	-	-
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.80		27	N/A	27	4.10	0.9	35
Den. C. Sand	6.00	6.35	2.00		35	N/A	35	4.88	1.1	37

**CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE**

Soil Type	Depth		Interval Depth L, m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.00	0.17		0.40	0.26		0.26	0.26
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.00	0.33		1.15	0.52		0.52	0.78
Stiff Clay	2.00	4.50	2.50	5.59		2.50	21.94		21.94	22.73
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.50	1.84		4.10	4.33		4.33	27.06
Den. C. Sand	6.00	6.35	0.35	2.86	210.96	4.88	1.57	41.44	43.01	70.07

**Pile Resistance**

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	29	11
End Bearing Resistance	2.50	41	17
<b>Total Resistance</b>		<b>70</b>	<b>28</b>

ตารางที่ ข - 37 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 38

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY a-METHOD

Project : โครงการก่อสร้างโรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า บริษัท ไทยทราไฟแมชชีน จำกัด Test Pile : No 190 Line H / 1

Location : ระยอง Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

**PILE DATA** Pile No. 38

Pile Type : P.C. Driven Pile

Pile Shape : Solid Square Pile

Pile Width or Dia. = 0.450 m.

Pile Section = 0.20 Sq. m.

Pile Length = 9.90 m.

Pile Perimeter = 1.80 Sq. m./m.

Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L.

Pile Tip Ele. = -9.90 m. from G.L.

#### **GEOTECHNICAL INFORMATION**

G.L. = 0.00

G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 3

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.00	1.70			N/A		0.35	0.56	28
Stiff Clay	1.00	4.00	1.80		9	6.00	9	1.90	-	-
V. Stiff Clay	4.00	6.00	2.00		31	20.67	31	4.10	-	-
Den. C. Sand	6.00	7.50	2.00		34	N/A	34	5.85	1.1	37
Stiff Clay	7.50	8.50	2.00		8	5.33	8	7.10	-	-
V. Stiff Clay	8.50	9.90	2.00		30	20.00	30	8.30	-	-

#### **CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE**

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.00	1.00	0.08		0.35	0.14		0.14	0.14
Stiff Clay	1.00	4.00	3.00	4.57		1.90	24.66		24.66	24.79
V. Stiff Clay	4.00	6.00	2.00	8.68		4.10	31.25		31.25	56.04
Den. C. Sand	6.00	7.50	1.50	3.40		5.85	9.19		9.19	65.22
Stiff Clay	7.50	8.50	1.00	4.31		7.10	7.76		7.76	72.99
V. Stiff Clay	8.50	9.90	1.40	8.40	180.00	8.30	21.17	36.45	57.62	130.60

#### **Pile Resistance**

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	94	38
End Bearing Resistance	2.50	36	15
<b>Total Resistance</b>		<b>131</b>	<b>52</b>

## ภาคผนวก ข.

ตารางที่ ข - 1 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 1

DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD											
Project :		โครงการศูนย์วิจัยนิวเคลียร์แห่งใหม่ อ.องครักษ์					Date :		Version :		
Location :		นครนายก					Calculated by :		Prepared :		
<b>PILE DATA</b> Pile No. 1											
Pile Type :		P.C. Driven Pile				Pile Shape :		Solid Square Pile			
Pile Width or Dia. =		0.260		m.		Pile Section =		0.07 Sq. m.			
Pile Length =		20.70		m.		Pile Perimeter =		1.04 Sq. m./m.			
Pile Top Ele. =		0.00		m. from G.L.		Pile Tip Ele. =		-20.70 m. from G.L.			
<b>GEOTECHNICAL INFORMATION</b>				G.L. = 0.00		G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 1					
Soil Type	Depth		Unit Weight	Water Content	SPT N	Undrained Shear Strength	Correction SPT, N'	Vert. Eff. Stress	Ks	Friction Angle	
	From	to	(t/cu.m.)	(%)	(blows/ft)	Su , t/sq.m.	(blows/ft)	(t/sq.m.)		(Degree)	
Soft Clay	0.00	7.00	1.60			1.20		2.10	-	-	
Soft Clay	7.00	9.00	1.60			3.75		4.80	-	-	
Stiff Clay	9.00	12.00	1.80			5.50		6.60	-	-	
V. Stiff Clay	12.00	16.00	1.85		22	14.67	22	9.50	-	-	
V. Stiff Clay	16.00	20.70	2.00		34	22.67	34	13.55	-	-	
<b>CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE</b>											
Soil Type	Depth		Interval Depth	f <sub>s</sub>	q <sub>b</sub>	Vert. Eff. Stress	Q <sub>s</sub>	Q <sub>b</sub>	Q <sub>u</sub>	Cumulative Q <sub>u</sub>	
	From	to	L , m.	(t/sq.m.)	(t/sq.m.)	(t/sq.m.)	(tons)	(tons)	(tons)	(tons)	
Soft Clay	0.00	7.00	7.00	1.16		2.10	8.48		8.48	8.48	
Soft Clay	7.00	9.00	2.00	3.31		4.80	6.88		6.88	15.36	
Stiff Clay	9.00	12.00	3.00	4.41		6.60	13.75		13.75	29.11	
V. Stiff Clay	12.00	16.00	4.00	6.40		9.50	26.62		26.62	55.74	
V. Stiff Clay	16.00	20.70	4.70	9.52	204.00	13.55	46.53	13.79	60.32	116.06	
<b>Pile Resistance</b>											
		Safety Factor	Ultimate Pile Capacity			Allowable Pile Capacity					
			Q <sub>u</sub> , (tons)			Q <sub>a</sub> , (tons)					
Skin Friction Resistance	2.50		102			41					
End Bearing Resistance	2.50		14			6					
Total Resistance			116			46					

ตารางที่ ข - 2 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 2

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : โครงการศูนย์วิจัยนิวเคลียร์แห่งใหม่ อ.องครักษ์ Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : นครนายก Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

**PILE DATA** Pile No. 2  
 Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.300 m. Pile Section = 0.09 Sq. m.  
 Pile Length = 19.50 m. Pile Perimeter = 1.20 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -19.50 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION** G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 1

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Soft Clay	0.00	7.00	1.60			1.20		2.10	-	-
Soft Clay	7.00	9.00	1.60			3.75		4.80	-	-
Stiff Clay	9.00	12.00	1.80			5.50		6.60	-	-
V. Stiff Clay	12.00	16.00	1.85		22	14.67	22	9.50	-	-
V. Stiff Clay	16.00	19.50	2.00		36	24.00	36	12.95	-	-

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Soft Clay	0.00	7.00	7.00	1.16		2.10	9.78		9.78	9.78
Soft Clay	7.00	9.00	2.00	3.31		4.80	7.94		7.94	17.73
Stiff Clay	9.00	12.00	3.00	4.41		6.60	15.86		15.86	33.59
V. Stiff Clay	12.00	16.00	4.00	6.40		9.50	30.72		30.72	64.31
V. Stiff Clay	16.00	19.50	3.50	10.08	216.00	12.95	42.34	19.44	61.78	126.09

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	107	43
End Bearing Resistance	2.50	19	8
<b>Total Resistance</b>		<b>126</b>	<b>50</b>

ตารางที่ ข - 3 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 3

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : โครงการศูนย์วิจัยนิวเคลียร์แห่งใหม่ อ. อัครักษ์ Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : นครนายก Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 3

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : I - Section  
 Pile Width or Dia. = 0.350 m. Pile Section = 0.12 Sq. m.  
 Pile Length = 17.80 m. Pile Perimeter = 1.40 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -17.80 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 1

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Soft Clay	0.00	7.00	1.60			1.20		2.10	-	-
Soft Clay	7.00	9.00	1.60			3.75		4.80	-	-
Stiff Clay	9.00	12.00	1.80			5.50		6.60	-	-
V. Stiff Clay	12.00	16.00	1.85		22	14.67	22	9.50	-	-
V. Stiff Clay	16.00	17.80	2.00		38	25.33	38	12.10	-	-

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	$f_s$ (t/sq.m.)	$q_b$ (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	$Q_s$ (tons)	$Q_b$ (tons)	$Q_u$ (tons)	Cumulative $Q_u$ (tons)
	From	to								
Soft Clay	0.00	7.00	7.00	1.16		2.10	11.41		11.41	11.41
Soft Clay	7.00	9.00	2.00	3.31		4.80	9.27		9.27	20.68
Stiff Clay	9.00	12.00	3.00	4.41		6.60	18.51		18.51	39.19
V. Stiff Clay	12.00	16.00	4.00	6.40		9.50	35.84		35.84	75.03
V. Stiff Clay	16.00	17.80	1.80	10.64	228.00	12.10	26.81	27.93	54.74	129.77

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity $Q_u$ , (tons)	Allowable Pile Capacity $Q_a$ , (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	102	41
End Bearing Resistance	2.50	28	11
<b>Total Resistance</b>		<b>130</b>	<b>52</b>



DESIGN OF PILE CAPACITY BY  $\alpha$ -METHOD

Project : WAT NAKORN-IN BRIDGE CONSTRUCTION PROJECT Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : นนทบุรี Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 4

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.350 m. Pile Section = 0.12 Sq. m.  
 Pile Length = 22.50 m. Pile Perimeter = 1.40 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -22.50 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- Main Bridge Axis2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.50	1.70			N/A		0.53	0.56	28
Soft Clay	1.50	12.00	1.60			1.25		4.20	-	-
Medium Clay	12.00	13.50	1.70		3	2.00	3	7.88	-	-
V. Stiff Clay	13.50	17.00	1.85		19	12.67	19	9.89	-	-
Stiff Clay	17.00	19.00	1.80		12	8.00	12	12.18	-	-
Med. C. Sand	19.00	19.80	1.80		14	N/A	13	13.30	0.9	31
V. Stiff Clay	19.80	22.00	2.00		20	13.33	20	14.72	-	-
Den. C. Sand	22.00	22.50	2.00		30	N/A	25	16.07	0.9	35

## CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.50	1.50	0.11		0.53	0.24		0.24	0.24
Soft Clay	1.50	12.00	10.50	1.21		4.20	17.81		17.81	18.05
Medium Clay	12.00	13.50	1.50	1.90		7.88	3.99		3.99	22.03
V. Stiff Clay	13.50	17.00	3.50	5.91		9.89	28.97		28.97	51.00
Stiff Clay	17.00	19.00	2.00	5.10		12.18	14.27		14.27	65.28
Med. C. Sand	19.00	19.80	0.80	5.15		13.30	5.77		5.77	71.05
V. Stiff Clay	19.80	22.00	2.20	6.07		14.72	18.69		18.69	89.74
Den. C. Sand	22.00	22.50	0.50	7.10	474.04	16.07	4.97	58.07	63.04	152.78

Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	95	38
End Bearing Resistance	2.50	58	23
Total Resistance		153	61

ตารางที่ ข - 5 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 5

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : โครงการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำอุปโภคและบริโภค เทศบาลนคร นครราชสีมา Pilot Pile No 6

Location : นครราชสีมา Calculated by : Prepared :

**PILE DATA** Pile No. 5

Pile Type : P.C. Driven Pile

Pile Shape : Solid Square Pile

Pile Width or Dia. = 0.450 m.

Pile Section = 0.20 Sq. m.

Pile Length = 8.40 m.

Pile Perimeter = 1.80 Sq. m./m.

Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L.

Pile Tip Ele. = -8.40 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION** G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- -

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N'	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Stiff Clay	0.00	5.00	1.80		12	8.00	12	2.00	-	-
V. Stiff Clay	5.00	7.00	1.85		17	11.33	17	4.85	-	-
Med. S. Sand	7.00	8.00	1.80		25	N/A	25	6.10	0.9	35
Den. S. Sand	8.00	8.40	2.00		35	N/A	35	6.70	1.1	37

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Stiff Clay	0.00	5.00	5.00	5.10		2.00	45.88		45.88	45.88
V. Stiff Clay	5.00	7.00	2.00	5.63		4.85	20.26		20.26	66.14
Med. S. Sand	7.00	8.00	1.00	2.69		6.10	4.84		4.84	70.98
Den. S. Sand	8.00	8.40	0.40	3.93	289.94	6.70	2.83	58.71	61.54	132.52

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	74	30
End Bearing Resistance	2.50	59	23
<b>Total Resistance</b>		<b>133</b>	<b>53</b>

ตารางที่ ข-6 แสดงตัวอย่างรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 6

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : โครงการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำอุปโภคและบริโภค เทศบาลนคร นครราชสีมา Pilot Pile No 9

Location : นครราชสีมา

Calculated by : \_\_\_\_\_

Prepared : \_\_\_\_\_

**PILE DATA** Pile No. 6

Pile Type : P.C. Driven Pile

Pile Shape : Solid Square Pile

Pile Width or Dia. = 0.450 m.

Pile Section = 0.20 Sq. m.

Pile Length = 9.00 m.

Pile Perimeter = 1.80 Sq. m./m.

Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L.

Pile Tip Ele. = -9.00 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION**

G.L. = 0.00

G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- -

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su, t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Stiff Clay	0.00	5.00	1.80		12	8.00	12	2.00	-	-
V. Stiff Clay	5.00	7.00	1.85		17	11.33	17	4.85	-	-
Med. S. Sand	7.00	8.00	1.80		25	N/A	25	6.10	0.9	35
Den. S. Sand	8.00	9.00	2.00		35	N/A	35	7.00	1.1	37

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L, m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Stiff Clay	0.00	5.00	5.00	5.10		2.00	45.88		45.88	45.88
V. Stiff Clay	5.00	7.00	2.00	5.63		4.85	20.26		20.26	66.14
Med. S. Sand	7.00	8.00	1.00	2.69		6.10	4.84		4.84	70.98
Den. S. Sand	8.00	9.00	1.00	4.10	302.92	7.00	7.39	61.34	68.73	139.71

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity		Allowable Pile Capacity	
		Q <sub>u</sub> , (tons)		Q <sub>a</sub> , (tons)	
Skin Friction Resistance	2.50	78		31	
End Bearing Resistance	2.50	61		25	
Total Resistance		140		56	

ตารางที่ ข - 7 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 7

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : โครงการแก้ไขปัญหามลพิษทางดินและน้ำจืดและบริเวณเทศบาลนคร นครราชสีมา Pilot Pile No 9

Location : นครราชสีมา Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

**PILE DATA** Pile No. 7

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.450 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.  
 Pile Length = 8.10 m. Pile Perimeter = 1.80 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -8.10 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION** G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- -

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Stiff Clay	0.00	5.00	1.80		12	8.00	12	2.00	-	-
V. Stiff Clay	5.00	7.00	1.85		17	11.33	17	4.85	-	-
Med. S. Sand	7.00	8.00	1.80		25	N/A	25	6.10	0.9	35
Den. S. Sand	8.00	8.10	2.00		35	N/A	35	6.55	1.1	37

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	$f_s$ (t/sq.m.)	$q_b$ (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	$Q_s$ (tons)	$Q_b$ (tons)	$Q_u$ (tons)	Cumulative $Q_u$ (tons)
	From	to								
Stiff Clay	0.00	5.00	5.00	5.10		2.00	45.88		45.88	45.88
V. Stiff Clay	5.00	7.00	2.00	5.63		4.85	20.26		20.26	66.14
Med. S. Sand	7.00	8.00	1.00	2.69		6.10	4.84		4.84	70.98
Den. S. Sand	8.00	8.10	0.10	3.84	283.45	6.55	0.69	57.40	58.09	129.07

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity $Q_u$ , (tons)	Allowable Pile Capacity $Q_a$ , (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	72	29
End Bearing Resistance	2.50	57	23
<b>Total Resistance</b>		<b>129</b>	<b>52</b>

ตารางที่ ข - 8 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 8

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : โครงการเขื่อนลพพลาซ่า สาขาพระราม 2 Test Pile No 1 Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : กรุงเทพมหานคร Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

**PILE DATA** Pile No. 8

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.450 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.  
 Pile Length = 23.90 m. Pile Perimeter = 1.80 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -23.90 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION** G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 7

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Soft Clay	0.00	5.00	1.60			0.60		1.50	-	-
Soft Clay	5.00	13.00	1.60			1.25		5.40	-	-
Medium Clay	13.00	16.00	1.80			3.00		9.00	-	-
Medium Clay	16.00	16.50	1.85			5.00		10.41	-	-
Stiff Clay	16.50	18.00	2.00			7.50		11.38	-	-
V. Stiff Clay	18.00	21.30	2.00		18	12.00	18	13.78	-	-
Den. C. Sand	21.30	22.00	2.00		18	N/A	15	15.78	0.9	32
V.D. S. Sand	22.00	23.90	2.00		35	N/A	29	17.08	0.9	36

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Soft Clay	0.00	5.00	5.00	0.59		1.50	5.33		5.33	5.33
Soft Clay	5.00	13.00	8.00	1.21		5.40	17.45		17.45	22.78
Medium Clay	13.00	16.00	3.00	2.77		9.00	14.94		14.94	37.71
Medium Clay	16.00	16.50	0.50	4.12		10.41	3.71		3.71	41.42
Stiff Clay	16.50	18.00	1.50	4.98		11.38	13.45		13.45	54.87
V. Stiff Clay	18.00	21.30	3.30	5.76		13.78	34.24		34.24	89.11
Den. C. Sand	21.30	22.00	0.70	6.31		15.78	7.95		7.95	97.06
V.D. S. Sand	22.00	23.90	1.90	7.78	583.35	17.08	26.59	118.13	144.72	241.78

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	124	49
End Bearing Resistance	2.50	118	47
<b>Total Resistance</b>		<b>242</b>	<b>97</b>

ตารางที่ ข - 9 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 9

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : โครงการเขื่อนลพลาซ่า สาขาพระราม 2 Test Pile No 2 Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : กรุงเทพมหานคร Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 9

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.450 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.  
 Pile Length = 26.22 m. Pile Perimeter = 1.80 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -26.22 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 7

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su, t/sq.m.	Correction SPT, N'	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Soft Clay	0.00	5.00	1.60			0.60		1.50	-	-
Soft Clay	5.00	13.00	1.60			1.25		5.40	-	-
Medium Clay	13.00	16.00	1.80			3.00		9.00	-	-
Medium Clay	16.00	16.50	1.85			5.00		10.41	-	-
Stiff Clay	16.50	18.00	2.00			7.50		11.38	-	-
V. Stiff Clay	18.00	21.30	2.00		18	12.00	18	13.78	-	-
Den. C. Sand	21.30	22.00	2.00		18	N/A	15	15.78	0.9	32
V.D. S. Sand	22.00	26.22	2.00		35	N/A	28	18.24	0.9	36

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L, m.	$f_s$ (t/sq.m.)	$q_b$ (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	$Q_s$ (tons)	$Q_b$ (tons)	$Q_u$ (tons)	Cumulative $Q_u$ (tons)
	From	to								
Soft Clay	0.00	5.00	5.00	0.59		1.50	5.33		5.33	5.33
Soft Clay	5.00	13.00	8.00	1.21		5.40	17.45		17.45	22.78
Medium Clay	13.00	16.00	3.00	2.77		9.00	14.94		14.94	37.71
Medium Clay	16.00	16.50	0.50	4.12		10.41	3.71		3.71	41.42
Stiff Clay	16.50	18.00	1.50	4.98		11.38	13.45		13.45	54.87
V. Stiff Clay	18.00	21.30	3.30	5.76		13.78	34.24		34.24	89.11
Den. C. Sand	21.30	22.00	0.70	6.31		15.78	7.95		7.95	97.06
V.D. S. Sand	22.00	26.22	4.22	8.24	601.82	18.24	62.62	121.87	184.49	281.55

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity $Q_u$ , (tons)	Allowable Pile Capacity $Q_a$ , (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	160	64
End Bearing Resistance	2.50	122	49
<b>Total Resistance</b>		<b>282</b>	<b>113</b>

ตารางที่ ข - 10 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 10

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : HTY PROJECT Test Pile No TP 1 - 300 Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : สงขลา Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 10

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.300 m. Pile Section = 0.09 Sq. m.  
 Pile Length = 12.60 m. Pile Perimeter = 1.20 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -12.60 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 1

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N'	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.00	1.70			N/A		0.35	0.56	28
V. Stiff Clay	1.00	3.00	1.85		25	16.67	25	1.55	-	-
Hard Clay	3.00	7.00	2.00		36	24.00	36	4.40	-	-
V. Stiff Clay	7.00	10.50	2.00		25	16.67	25	8.15	-	-
Hard Clay	10.50	12.60	2.00		42	28.00	42	10.95	-	-

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.00	1.00	0.08		0.35	0.09		0.09	0.09
V. Stiff Clay	1.00	3.00	2.00	6.93		1.55	16.63		16.63	16.72
Hard Clay	3.00	7.00	4.00	10.08		4.40	48.38		48.38	65.11
V. Stiff Clay	7.00	10.50	3.50	6.93		8.15	29.11		29.11	94.21
Hard Clay	10.50	12.60	2.10	11.76	252.00	10.95	29.64	22.68	52.32	146.53

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	124	50
End Bearing Resistance	2.50	23	9
<b>Total Resistance</b>		<b>147</b>	<b>59</b>

ตารางที่ ข - 11 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 11

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : HTY PROJECT Test Pile No TP 2 - 300 Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : สงขลา Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 11

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.300 m. Pile Section = 0.09 Sq. m.  
 Pile Length = 11.10 m. Pile Perimeter = 1.20 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -11.10 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 1

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N'	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.00	1.70			N/A		0.35	0.56	28
V. Stiff Clay	1.00	3.00	1.85		25	16.67	25	1.55	-	-
Hard Clay	3.00	7.00	2.00		36	24.00	36	4.40	-	-
V. Stiff Clay	7.00	10.50	2.00		25	16.67	25	8.15	-	-
Hard Clay	10.50	11.10	2.00		42	28.00	42	10.20	-	-

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.00	1.00	0.08		0.35	0.09		0.09	0.09
V. Stiff Clay	1.00	3.00	2.00	6.93		1.55	16.63		16.63	16.72
Hard Clay	3.00	7.00	4.00	10.08		4.40	48.38		48.38	65.11
V. Stiff Clay	7.00	10.50	3.50	6.93		8.15	29.11		29.11	94.21
Hard Clay	10.50	11.10	0.60	11.76	252.00	10.20	8.47	22.68	31.15	125.36

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	103	41
End Bearing Resistance	2.50	23	9
<b>Total Resistance</b>		<b>125</b>	<b>50</b>



ตารางที่ ข - 12 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 12

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : HTY PROJECT Test Pile No TP 1 - 400 Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : สงขลา Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 12

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.400 m. Pile Section = 0.16 Sq. m.  
 Pile Length = 9.00 m. Pile Perimeter = 1.60 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -9.00 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = 0.00 Bored Hole No. BH- 1

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.00	1.70			N/A		0.35	0.56	28
V. Stiff Clay	1.00	3.00	1.85		25	16.67	25	1.55	-	-
Hard Clay	3.00	7.00	2.00		36	24.00	36	4.40	-	-
V. Stiff Clay	7.00	9.00	2.00		25	16.67	25	7.40	-	-

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.00	1.00	0.08		0.35	0.12		0.12	0.12
V. Stiff Clay	1.00	3.00	2.00	6.93		1.55	22.18		22.18	22.30
Hard Clay	3.00	7.00	4.00	10.08		4.40	64.51		64.51	86.81
V. Stiff Clay	7.00	9.00	2.00	6.93	150.00	7.40	22.18	24.00	46.18	132.98

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	109	44
End Bearing Resistance	2.50	24	10
Total Resistance		133	53

ตารางที่ ข - 13 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 13

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : HTY PROJECT Test Pile No TP 2 - 400 Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : สงขลา Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 13

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.400 m. Pile Section = 0.16 Sq. m.  
 Pile Length = 13.10 m. Pile Perimeter = 1.60 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -13.10 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 1

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.00	1.70			N/A		0.35	0.56	28
V. Stiff Clay	1.00	3.00	1.85		25	16.67	25	1.55	-	-
Hard Clay	3.00	7.00	2.00		36	24.00	36	4.40	-	-
V. Stiff Clay	7.00	10.50	2.00		25	16.67	25	8.15	-	-
Hard Clay	10.50	13.10	2.00		43	28.67	43	11.20	-	-

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	$f_s$ (t/sq.m.)	$q_b$ (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	$Q_s$ (tons)	$Q_b$ (tons)	$Q_u$ (tons)	Cumulative $Q_u$ (tons)
	From	to								
Fill Material	0.00	1.00	1.00	0.08		0.35	0.12		0.12	0.12
V. Stiff Clay	1.00	3.00	2.00	6.93		1.55	22.18		22.18	22.30
Hard Clay	3.00	7.00	4.00	10.08		4.40	64.51		64.51	86.81
V. Stiff Clay	7.00	10.50	3.50	6.93		8.15	38.81		38.81	125.62
Hard Clay	10.50	13.10	2.60	12.04	258.00	11.20	50.09	41.28	91.37	216.98

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity $Q_u$ , (tons)	Allowable Pile Capacity $Q_a$ , (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	176	70
End Bearing Resistance	2.50	41	17
Total Resistance		217	87

ตารางที่ ข - 14 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 14

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : โครงการปรับปรุงทางหลวงหมายเลข 34 U-Turn No 8 STA.17+018 Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : สมุทรปราการ Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 14

Pile Type : P.C. Spun Pile Pile Shape : Hollow Circular Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.600 m. Pile Section = 0.28 Sq. m.  
 Pile Length = 26.80 m. Pile Perimeter = 1.89 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -26.80 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 1

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Fill Material	0.00	2.50	1.70			N/A		0.88	0.56	28
Soft Clay	2.50	15.00	1.60			1.00		5.50	-	-
Medium Clay	15.00	17.00	1.70			3.00		9.95	-	-
Stiff Clay	17.00	21.00	1.80		10	6.67	10	12.25	-	-
V. Stiff Clay	21.00	24.00	2.00		22	14.67	22	15.35	-	-
V.D. S. Sand	24.00	26.80	2.00		40	N/A	32	18.25	1.1	37

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	$f_s$ (t/sq.m.)	$q_b$ (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	$Q_s$ (tons)	$Q_b$ (tons)	$Q_u$ (tons)	Cumulative $Q_u$ (tons)
	From	to								
Fill Material	0.00	2.50	2.50	0.19		0.88	0.89		0.89	0.89
Soft Clay	2.50	15.00	12.50	0.98		5.50	23.01		23.01	23.89
Medium Clay	15.00	17.00	2.00	2.77		9.95	10.43		10.43	34.32
Stiff Clay	17.00	21.00	4.00	4.76		12.25	35.94		35.94	70.26
V. Stiff Clay	21.00	24.00	3.00	6.40		15.35	36.21		36.21	106.47
V.D. S. Sand	24.00	26.80	2.80	10.43	705.58	18.25	55.09	199.58	254.67	361.14

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity $Q_u$ , (tons)	Allowable Pile Capacity $Q_a$ , (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	162	65
End Bearing Resistance	2.50	200	80
Total Resistance		361	144

ตารางที่ ข - 15 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 15

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : MRT PURPLE LINE PROJECT Pilot Pile No # P-1 Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : นนทบุรี Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 15

Pile Type : P.C. Spun Pile Pile Shape : Hollow Circular Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.600 m. Pile Section = 0.28 Sq. m.  
 Pile Length = 25.25 m. Pile Perimeter = 1.89 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -25.25 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- C3-BH5

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N'	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Soft Clay	0.00	10.00	1.60			1.50		3.00	-	-
Medium Clay	10.00	13.00	1.70			4.00		7.05	-	-
Stiff Clay	13.00	15.00	1.80		14	9.33	14	8.90	-	-
Med. S. Sand	15.00	23.00	1.80		32	N/A	30	12.90	0.9	36
Den. S. Sand	23.00	25.25	2.00		40	N/A	33	17.23	1.1	37

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Soft Clay	0.00	10.00	10.00	1.44		3.00	27.23		27.23	27.23
Medium Clay	10.00	13.00	3.00	3.48		7.05	19.70		19.70	46.92
Stiff Clay	13.00	15.00	2.00	5.37		8.90	20.24		20.24	67.16
Med. S. Sand	15.00	23.00	8.00	5.91		12.90	89.18		89.18	156.34
Den. S. Sand	23.00	25.25	2.25	9.92	687.69	17.23	42.08	194.52	236.60	392.94

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	198	79
End Bearing Resistance	2.50	195	78
<b>Total Resistance</b>		<b>393</b>	<b>157</b>

ตารางที่ ข - 16 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 16

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : MRT PURPLE LINE PROJECT Pilot Pile No # P-2 Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : นนทบุรี Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

**PILE DATA** Pile No. 16  
 Pile Type : P.C. Spun Pile Pile Shape : Hollow Circular Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.600 m. Pile Section = 0.28 Sq. m.  
 Pile Length = 28.40 m. Pile Perimeter = 1.89 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -28.40 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION** G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- C3-BH9

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Soft Clay	0.00	11.50	1.60			1.50		3.45	-	-
V. Stiff Clay	11.50	14.50	1.80		34	22.67	34	8.10	-	-
Med. S. Sand	14.50	25.50	1.80		30	N/A	27	13.70	0.9	35
Den. S. Sand	25.50	28.40	2.00		40	N/A	31	19.55	1.1	36

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	$f_s$ (t/sq.m.)	$q_b$ (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	$Q_s$ (tons)	$Q_b$ (tons)	$Q_u$ (tons)	Cumulative $Q_u$ (tons)
	From	to								
Soft Clay	0.00	11.50	11.50	1.44		3.45	31.31		31.31	31.31
V. Stiff Clay	11.50	14.50	3.00	9.52		8.10	53.86		53.86	85.16
Med. S. Sand	14.50	25.50	11.00	6.15		13.70	127.48		127.48	212.65
Den. S. Sand	25.50	28.40	2.90	11.08	726.89	19.55	60.60	205.60	266.20	478.85

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity $Q_u$ , (tons)	Allowable Pile Capacity $Q_a$ , (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	273	109
End Bearing Resistance	2.50	206	82
<b>Total Resistance</b>		<b>479</b>	<b>192</b>

ตารางที่ ข - 17 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 17

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : โครงการสนามกีฬาใหม่ (ฟุตบอลนานาชาติ) Test Pile No # P6 Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : กรุงเทพมหานคร Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

**PILE DATA** Pile No. 17

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.450 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.  
 Pile Length = 25.70 m. Pile Perimeter = 1.80 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -25.70 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION** G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 1

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Weather Clay	0.00	1.50	1.70			2.00		0.53	-	-
Soft Clay	1.50	11.00	1.60			1.25		3.90	-	-
Medium Clay	11.00	13.50	1.70			5.00		7.63	-	-
Stiff Clay	13.50	18.00	1.80		13	8.67	13	10.30	-	-
V. Stiff Clay	18.00	22.50	2.00		18	12.00	18	14.35	-	-
Med. C. Sand	22.50	24.00	1.85		16	N/A	13	17.24	0.9	31
Med. S. Sand	24.00	25.70	1.85		30	N/A	24	18.60	0.9	34

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Weather Clay	0.00	1.50	1.50	1.90		0.53	5.12		5.12	5.12
Soft Clay	1.50	11.00	9.50	1.21		3.90	20.72		20.72	25.84
Medium Clay	11.00	13.50	2.50	4.12		7.63	18.53		18.53	44.37
Stiff Clay	13.50	18.00	4.50	5.24		10.30	42.43		42.43	86.81
V. Stiff Clay	18.00	22.50	4.50	5.76		14.35	46.69		46.69	133.50
Med. C. Sand	22.50	24.00	1.50	6.71		17.24	18.11		18.11	151.61
Med. S. Sand	24.00	25.70	1.70	8.10	510.02	18.60	24.80	103.28	128.08	279.69

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	176	71
End Bearing Resistance	2.50	103	41
Total Resistance		280	112

ตารางที่ ข - 18 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 18

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : โครงการสนามกีฬาในร่ม ( ฟุตซอลนานาชาติ ) Test Pile No # P7 Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : กรุงเทพมหานคร Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

**PILE DATA** Pile No. 18

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.525 m. Pile Section = 0.28 Sq. m.  
 Pile Length = 26.07 m. Pile Perimeter = 2.10 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -26.07 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION** G.L. = 0.00 G.W.L. = - #### Bored Hole No. BH- 1

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Weather Clay	0.00	1.50	1.70			2.00		0.53	-	-
Soft Clay	1.50	11.00	1.60			1.25		3.90	-	-
Medium Clay	11.00	13.50	1.70			5.00		7.63	-	-
Stiff Clay	13.50	18.00	1.80		13	8.67	13	10.30	-	-
V. Stiff Clay	18.00	22.50	2.00		18	12.00	18	14.35	-	-
Med. C. Sand	22.50	24.00	1.85		16	N/A	13	17.24	0.9	31
Med. S. Sand	24.00	26.07	1.85		30	N/A	24	18.75	0.9	34

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Weather Clay	0.00	1.50	1.50	1.90		0.53	5.98		5.98	5.98
Soft Clay	1.50	11.00	9.50	1.21		3.90	24.17		24.17	30.15
Medium Clay	11.00	13.50	2.50	4.12		7.63	21.62		21.62	51.77
Stiff Clay	13.50	18.00	4.50	5.24		10.30	49.51		49.51	101.27
V. Stiff Clay	18.00	22.50	4.50	5.76		14.35	54.48		54.48	155.75
Med. C. Sand	22.50	24.00	1.50	6.71		17.24	21.13		21.13	176.88
Med. S. Sand	24.00	26.07	2.07	8.17	512.10	18.75	35.50	141.15	176.65	353.53

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	212	85
End Bearing Resistance	2.50	141	56
<b>Total Resistance</b>		<b>354</b>	<b>141</b>

ตารางที่ ข - 19 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 19

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : โครงการสนามกีฬาในร่ม ( ฟุตซอลนานาชาติ ) Test Pile No # P5 Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : กรุงเทพมหานคร Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

**PILE DATA** Pile No. 19

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.650 m. Pile Section = 0.42 Sq. m.  
 Pile Length = 25.61 m. Pile Perimeter = 2.60 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -25.61 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION** G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 1

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Weather Clay	0.00	1.50	1.70			2.00		0.53	-	-
Soft Clay	1.50	11.00	1.60			1.25		3.90	-	-
Medium Clay	11.00	13.50	1.70			5.00		7.63	-	-
Stiff Clay	13.50	18.00	1.80		13	8.67	13	10.30	-	-
V. Stiff Clay	18.00	22.50	2.00		18	12.00	18	14.35	-	-
Med. C. Sand	22.50	24.00	1.85		16	N/A	13	17.24	0.9	31
Med. S. Sand	24.00	25.61	1.85		30	N/A	24	18.56	0.9	34

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Weather Clay	0.00	1.50	1.50	1.90		0.53	7.40		7.40	7.40
Soft Clay	1.50	11.00	9.50	1.21		3.90	29.93		29.93	37.33
Medium Clay	11.00	13.50	2.50	4.12		7.63	26.77		26.77	64.10
Stiff Clay	13.50	18.00	4.50	5.24		10.30	61.29		61.29	125.39
V. Stiff Clay	18.00	22.50	4.50	5.76		14.35	67.45		67.45	192.84
Med. C. Sand	22.50	24.00	1.50	6.71		17.24	26.16		26.16	219.00
Med. S. Sand	24.00	25.61	1.61	8.09	509.52	18.56	33.86	215.27	249.13	468.13

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	253	101
End Bearing Resistance	2.50	215	86
<b>Total Resistance</b>		<b>468</b>	<b>187</b>



ตารางที่ ข - 20 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 20

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : BANG-BO COMBINED CYCLE POWER PLANT PROJECT T-Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00

Location : สมุทรปราการ Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 20

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.350 m. Pile Section = 0.12 Sq. m.  
 Pile Length = 28.40 m. Pile Perimeter = 1.40 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -28.40 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Fill Material	0.00	0.70	1.70			N/A		0.25	0.56	28
Soft Clay	0.70	15.00	1.60			1.00		4.78	-	-
Medium Clay	15.00	23.50	1.70			2.00		12.05	-	-
Stiff Clay	23.50	26.50	1.80		14	9.33	14	16.22	-	-
V. Stiff Clay	26.50	28.00	2.00		25	16.67	25	18.17	-	-
V. Stiff Clay	28.00	28.40	2.00		26	17.33	26	19.12	-	-

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	$f_s$ (t/sq.m.)	$q_b$ (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	$Q_s$ (tons)	$Q_b$ (tons)	$Q_u$ (tons)	Cumulative $Q_u$ (tons)
	From	to								
Fill Material	0.00	0.70	0.70	0.05		0.25	0.05		0.05	0.05
Soft Clay	0.70	15.00	14.30	0.98		4.78	19.54		19.54	19.59
Medium Clay	15.00	23.50	8.50	1.90		12.05	22.59		22.59	42.18
Stiff Clay	23.50	26.50	3.00	5.37		16.22	22.54		22.54	64.71
V. Stiff Clay	26.50	28.00	1.50	6.93		18.17	14.55		14.55	79.27
V. Stiff Clay	28.00	28.40	0.40	7.28	156.00	19.12	4.08	19.11	23.19	102.45

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity $Q_u$ , (tons)	Allowable Pile Capacity $Q_a$ , (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	83	33
End Bearing Resistance	2.50	19	8
<b>Total Resistance</b>		<b>102</b>	<b>41</b>

ตารางที่ ข - 21 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 21

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : BANG-BO COMBINED CYCLE POWER PLANT PROJECT T-Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00

Location : สมุทรปราการ Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. T-02

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.525 m. Pile Section = 0.28 Sq. m.  
 Pile Length = 28.10 m. Pile Perimeter = 2.10 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -28.10 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Fill Material	0.00	0.70	1.70			N/A		0.25	0.56	28
Soft Clay	0.70	15.00	1.60			1.00		4.78	-	-
Medium Clay	15.00	23.50	1.70			2.00		12.05	-	-
Stiff Clay	23.50	26.50	1.80		14	9.33	14	16.22	-	-
V. Stiff Clay	26.50	28.00	2.00		25	16.67	25	18.17	-	-
V. Stiff Clay	28.00	28.10	2.00		26	17.33	26	18.97	-	-

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	$f_s$ (t/sq.m.)	$q_b$ (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	$Q_s$ (tons)	$Q_b$ (tons)	$Q_u$ (tons)	Cumulative $Q_u$ (tons)
	From	to								
Fill Material	0.00	0.70	0.70	0.05		0.25	0.08		0.08	0.08
Soft Clay	0.70	15.00	14.30	0.98		4.78	29.31		29.31	29.39
Medium Clay	15.00	23.50	8.50	1.90		12.05	33.88		33.88	63.27
Stiff Clay	23.50	26.50	3.00	5.37		16.22	33.80		33.80	97.07
V. Stiff Clay	26.50	28.00	1.50	6.93		18.17	21.83		21.83	118.90
V. Stiff Clay	28.00	28.10	0.10	7.28	156.00	18.97	1.53	43.00	44.53	163.43

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity $Q_u$ , (tons)	Allowable Pile Capacity $Q_a$ , (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	120	48
End Bearing Resistance	2.50	43	17
Total Resistance		163	65

ตารางที่ ข - 24 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 24

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : โครงการอาคารปฏิบัติการพื้นฐาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (นอกฝั่ง : Test Pile )

Location : กรุงเทพมหานคร

Calculated by : \_\_\_\_\_

Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 24

Pile Type : P.C. Spun Pile

Pile Shape : Hollow Circular Pile

Pile Width or Dia. = 0.600 m.

Pile Section = 0.28 Sq. m.

Pile Length = 26.80 m.

Pile Perimeter = 1.89 Sq. m./m.

Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L.

Pile Tip Ele. = -26.80 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION

G.L. = 0.00

G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 1

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Soft Clay	0.00	10.00	1.60			1.00		3.00	-	-
Soft Clay	10.00	15.50	1.60			1.50		7.65	-	-
Medium Clay	15.50	17.00	1.70			3.00		9.83	-	-
Stiff Clay	17.00	19.00	1.80		9	6.00	9	11.15	-	-
Stiff Clay	19.00	20.40	1.80		13	8.67	13	12.51	-	-
Med. S. Sand	20.40	24.00	1.80		30	N/A	26	14.51	0.9	35
V.D. S. Sand	24.00	26.80	2.00		45	N/A	37	17.35	1.1	38

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	$f_s$ (t/sq.m.)	$q_b$ (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	$Q_s$ (tons)	$Q_b$ (tons)	$Q_u$ (tons)	Cumulative $Q_u$ (tons)
	From	to								
Soft Clay	0.00	10.00	10.00	0.98		3.00	18.40		18.40	18.40
Soft Clay	10.00	15.50	5.50	1.44		7.65	14.97		14.97	33.38
Medium Clay	15.50	17.00	1.50	2.77		9.83	7.82		7.82	41.20
Stiff Clay	17.00	19.00	2.00	4.57		11.15	17.22		17.22	58.42
Stiff Clay	19.00	20.40	1.40	5.24		12.51	13.83		13.83	72.25
Med. S. Sand	20.40	24.00	3.60	6.47		14.51	43.96		43.96	116.21
V.D. S. Sand	24.00	26.80	2.80	10.33	801.46	17.35	54.53	226.70	281.23	397.44

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity $Q_u$ , (tons)	Allowable Pile Capacity $Q_a$ , (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	171	68
End Bearing Resistance	2.50	227	91
Total Resistance		397	159

ตารางที่ ข - 22 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 22

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY a-METHOD

Project : BANG-BO COMBINED CYCLE POWER PLANT PROJECT T-C Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : สมุทรปราการ Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 22

Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.450 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.  
 Pile Length = 27.80 m. Pile Perimeter = 1.80 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -27.80 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N'	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Fill Material	0.00	0.70	1.70			N/A		0.25	0.56	28
Soft Clay	0.70	15.00	1.60			1.00		4.78	-	-
Medium Clay	15.00	23.50	1.70			2.00		12.05	-	-
Stiff Clay	23.50	26.50	1.80		14	9.33	14	16.22	-	-
V. Stiff Clay	26.50	27.80	2.00		25	16.67	25	18.07	-	-

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Fill Material	0.00	0.70	0.70	0.05		0.25	0.07		0.07	0.07
Soft Clay	0.70	15.00	14.30	0.98		4.78	25.12		25.12	25.19
Medium Clay	15.00	23.50	8.50	1.90		12.05	29.04		29.04	54.23
Stiff Clay	23.50	26.50	3.00	5.37		16.22	28.97		28.97	83.20
V. Stiff Clay	26.50	27.80	1.30	6.93	150.00	18.07	16.22	30.38	46.59	129.79

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	99	40
End Bearing Resistance	2.50	30	12
Total Resistance		130	52

DESIGN OF PILE CAPACITY BY  $\alpha$ -METHOD

Project : BMCL ADMINISTRATION BUILDING PROJECT Pile No 3 Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : กรุงเทพมหานคร Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 23

Pile Type : P.C. Spun Pile Pile Shape : Hollow Circular Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.500 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.  
 Pile Length = 28.00 m. Pile Perimeter = 1.57 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -28.00 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 1

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Soft Clay	0.00	2.50	1.60			2.00		0.75	-	-
Soft Clay	2.50	12.50	1.60			1.50		4.50	-	-
Medium Clay	12.50	15.00	1.70			4.00		8.38	-	-
Stiff Clay	15.00	21.00	1.80		8	5.33	8	11.65	-	-
Med. C. Sand	21.00	23.50	1.80		14	N/A	12	15.05	0.9	31
Med. S. Sand	23.50	28.00	1.80		25	N/A	20	17.85	0.9	33
V.D. S. Sand	28.00	28.00	2.00		33	N/A	25	19.65	0.9	35

## CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Soft Clay	0.00	2.50	2.50	1.90		0.75	7.46		7.46	7.46
Soft Clay	2.50	12.50	10.00	1.44		4.50	22.69		22.69	30.14
Medium Clay	12.50	15.00	2.50	3.48		8.38	13.68		13.68	43.82
Stiff Clay	15.00	21.00	6.00	4.31		11.65	40.66		40.66	84.48
Med. C. Sand	21.00	23.50	2.50	5.79		15.05	22.74		22.74	107.22
Med. S. Sand	23.50	28.00	4.50	7.53		17.85	53.28		53.28	160.50
V.D. S. Sand	28.00	28.00	0.00	8.69	582.49	19.65	0.00	114.42	114.42	274.92

Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity		Allowable Pile Capacity	
		Qu, (tons)		Qa, (tons)	
Skin Friction Resistance	2.50	161		64	
End Bearing Resistance	2.50	114		46	
Total Resistance		275		110	

ตารางที่ ข - 24 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 24

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : โครงการอาคารปฏิบัติการพื้นฐาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (นอกฝั่ง : Test Pile )

Location : กรุงเทพมหานคร Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

PILE DATA Pile No. 24

Pile Type : P.C. Spun Pile Pile Shape : Hollow Circular Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.600 m. Pile Section = 0.28 Sq. m.  
 Pile Length = 26.80 m. Pile Perimeter = 1.89 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -26.80 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 1

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N'	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Soft Clay	0.00	10.00	1.60			1.00		3.00	-	-
Soft Clay	10.00	15.50	1.60			1.50		7.65	-	-
Medium Clay	15.50	17.00	1.70			3.00		9.83	-	-
Stiff Clay	17.00	19.00	1.80		9	6.00	9	11.15	-	-
Stiff Clay	19.00	20.40	1.80		13	8.67	13	12.51	-	-
Med. S. Sand	20.40	24.00	1.80		30	N/A	26	14.51	0.9	35
V.D. S. Sand	24.00	26.80	2.00		45	N/A	37	17.35	1.1	38

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	$f_s$ (t/sq.m.)	$q_b$ (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	$Q_s$ (tons)	$Q_b$ (tons)	$Q_u$ (tons)	Cumulative $Q_u$ (tons)
	From	to								
Soft Clay	0.00	10.00	10.00	0.98		3.00	18.40		18.40	18.40
Soft Clay	10.00	15.50	5.50	1.44		7.65	14.97		14.97	33.38
Medium Clay	15.50	17.00	1.50	2.77		9.83	7.82		7.82	41.20
Stiff Clay	17.00	19.00	2.00	4.57		11.15	17.22		17.22	58.42
Stiff Clay	19.00	20.40	1.40	5.24		12.51	13.83		13.83	72.25
Med. S. Sand	20.40	24.00	3.60	6.47		14.51	43.96		43.96	116.21
V.D. S. Sand	24.00	26.80	2.80	10.33	801.46	17.35	54.53	226.70	281.23	397.44

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity $Q_u$ , (tons)	Allowable Pile Capacity $Q_a$ , (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	171	68
End Bearing Resistance	2.50	227	91
Total Resistance		397	159

ตารางที่ ข - 25 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 26

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : **MEGA BANGNA PROJECT Pile No # 1 DD53** Date : \_\_\_\_\_ Version : 3.00  
 Location : **สมุทรปราการ** Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

**PILE DATA** Pile No. 26  
 Pile Type : P.C. Driven Pile Pile Shape : Solid Square Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.400 m. Pile Section = 0.16 Sq. m.  
 Pile Length = 27.16 m. Pile Perimeter = 1.60 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -27.16 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION** G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- -

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su, t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Soft Clay	0.00	11.00	1.60			1.50		3.30	-	-
Medium Clay	11.00	14.50	1.70			5.00		7.83	-	-
Stiff Clay	14.50	15.50	1.80			7.50		9.45	-	-
V. Stiff Clay	15.50	18.50	2.00		15	10.00	15	11.35	-	-
Den. C. Sand	18.50	20.50	2.00		25	N/A	22	13.85	0.9	34
Hard Clay	20.50	25.00	2.00		35	23.33	35	17.10	-	-
V. Stiff Clay	25.00	26.50	2.00		30	20.00	30	20.10	-	-
Den. S. Sand	26.50	27.16	2.00		30	N/A	22	21.18	0.9	34

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L, m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Soft Clay	0.00	11.00	11.00	1.44		3.30	25.41		25.41	25.41
Medium Clay	11.00	14.50	3.50	4.12		7.83	23.06		23.06	48.47
Stiff Clay	14.50	15.50	1.00	4.98		9.45	7.97		7.97	56.44
V. Stiff Clay	15.50	18.50	3.00	5.48		11.35	26.31		26.31	82.75
Den. C. Sand	18.50	20.50	2.00	5.97		13.85	19.09		19.09	101.85
Hard Clay	20.50	25.00	4.50	9.80		17.10	70.56		70.56	172.41
V. Stiff Clay	25.00	26.50	1.50	8.40		20.10	20.16		20.16	192.57
Den. S. Sand	26.50	27.16	0.66	9.11	541.97	21.18	9.62	86.72	96.34	288.90

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	202	81
End Bearing Resistance	2.50	87	35
Total Resistance		289	116

ตารางที่ ข - 26 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 27

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 1

Location : ระวังอง Calculated by : Prepared :

PILE DATA Pile No. 27

Pile Type : P.C. Spun Pile Pile Shape : Hollow Circular Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.500 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.  
 Pile Length = 10.90 m. Pile Perimeter = 1.57 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -10.90 m. from G.L.

GEOTECHNICAL INFORMATION G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.80		20	N/A	20	0.40	0.9	33
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.70		9	N/A	9	1.15	0.7	30
Stiff Clay	2.00	4.50	1.80		16	10.67	16	2.50	-	-
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.80		27	N/A	27	4.10	0.9	35
Den. C. Sand	6.00	7.50	2.00		35	N/A	35	5.45	1.1	37
V.D. C. Sand	7.50	9.50	2.00		56	N/A	56	7.20	1.2	42
V.D. C. Sand	9.50	10.90	2.00		50	N/A	50	8.90	1.1	41

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	$f_s$ (t/sq.m.)	$q_b$ (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	$Q_s$ (tons)	$Q_b$ (tons)	$Q_u$ (tons)	Cumulative $Q_u$ (tons)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.00	0.17		0.40	0.26		0.26	0.26
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.00	0.33		1.15	0.52		0.52	0.78
Stiff Clay	2.00	4.50	2.50	5.59		2.50	21.94		21.94	22.73
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.50	1.84		4.10	4.33		4.33	27.06
Den. C. Sand	6.00	7.50	1.50	3.20		5.45	7.53		7.53	34.59
V.D. C. Sand	7.50	9.50	2.00	5.31		7.20	16.68		16.68	51.28
V.D. C. Sand	9.50	10.90	1.40	5.81	606.35	8.90	12.78	119.10	131.88	183.16

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	64	26
End Bearing Resistance	2.50	119	48
Total Resistance		183	73



ตารางที่ ข - 27 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 28

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : **REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT** Pile No. **PLT - 4**

Location : **ระยอง** Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

**PILE DATA** Pile No. 28

Pile Type : P.C. Spun Pile Pile Shape : Hollow Circular Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.500 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.  
 Pile Length = 10.25 m. Pile Perimeter = 1.57 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -10.25 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION** G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su, t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.80		20	N/A	20	0.40	0.9	33
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.70		9	N/A	9	1.15	0.7	30
Stiff Clay	2.00	4.50	1.80		16	10.67	16	2.50	-	-
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.80		27	N/A	27	4.10	0.9	35
Den. C. Sand	6.00	7.50	2.00		35	N/A	35	5.45	1.1	37
V.D. C. Sand	7.50	9.50	2.00		56	N/A	56	7.20	1.2	42
V.D. C. Sand	9.50	10.25	2.00		50	N/A	50	8.58	1.1	41

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L, m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.00	0.17		0.40	0.26		0.26	0.26
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.00	0.33		1.15	0.52		0.52	0.78
Stiff Clay	2.00	4.50	2.50	5.59		2.50	21.94		21.94	22.73
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.50	1.84		4.10	4.33		4.33	27.06
Den. C. Sand	6.00	7.50	1.50	3.20		5.45	7.53		7.53	34.59
V.D. C. Sand	7.50	9.50	2.00	5.31		7.20	16.68		16.68	51.28
V.D. C. Sand	9.50	10.25	0.75	5.60	584.21	8.58	6.60	114.75	121.35	172.63

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	58	23
End Bearing Resistance	2.50	115	46
<b>Total Resistance</b>		<b>173</b>	<b>69</b>

ตารางที่ ข - 28 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 29

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : **REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT** Pile No. **PLT - 6**

Location : **ระยอง**

Calculated by :

Prepared :

**PILE DATA** Pile No. 29

Pile Type : P.C. Spun Pile

Pile Shape : Hollow Circular Pile

Pile Width or Dia. = 0.500 m.

Pile Section = 0.20 Sq. m.

Pile Length = 14.65 m.

Pile Perimeter = 1.57 Sq. m./m.

Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L.

Pile Tip Ele. = -14.65 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION**

G.L. = 0.00

G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su, t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.80		20	N/A	20	0.40	0.9	33
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.70		9	N/A	9	1.15	0.7	30
Stiff Clay	2.00	4.50	1.80		16	10.67	16	2.50	-	-
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.80		27	N/A	27	4.10	0.9	35
Den. C. Sand	6.00	7.50	2.00		35	N/A	35	5.45	1.1	37
V.D. C. Sand	7.50	10.50	2.00		55	N/A	55	7.70	1.2	42
V. Stiff Clay	10.50	13.50	2.00		25	16.67	25	10.70	-	-
Med. S. Sand	13.50	14.65	2.00		20	N/A	19	12.78	0.9	33

**CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE**

Soil Type	Depth		Interval Depth L, m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.00	0.17		0.40	0.26		0.26	0.26
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.00	0.33		1.15	0.52		0.52	0.78
Stiff Clay	2.00	4.50	2.50	5.59		2.50	21.94		21.94	22.73
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.50	1.84		4.10	4.33		4.33	27.06
Den. C. Sand	6.00	7.50	1.50	3.20		5.45	7.53		7.53	34.59
V.D. C. Sand	7.50	10.50	3.00	5.64		7.70	26.61		26.61	61.21
V. Stiff Clay	10.50	13.50	3.00	6.93		10.70	32.67		32.67	93.87
Med. S. Sand	13.50	14.65	1.15	5.30	263.60	12.78	9.58	51.78	61.36	155.24

**Pile Resistance**

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	103	41
End Bearing Resistance	2.50	52	21
<b>Total Resistance</b>		<b>155</b>	<b>62</b>

ตารางที่ ข - 29 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 30

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 8  
 Location : ระยอง Calculated by : \_\_\_\_\_ Prepared : \_\_\_\_\_

**PILE DATA** Pile No. 30  
 Pile Type : P.C. Spun Pile Pile Shape : Hollow Circular Pile  
 Pile Width or Dia. = 0.500 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.  
 Pile Length = 12.25 m. Pile Perimeter = 1.57 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -12.25 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION** G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su , t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.80		20	N/A	20	0.40	0.9	33
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.70		9	N/A	9	1.15	0.7	30
Stiff Clay	2.00	4.50	1.80		16	10.67	16	2.50	-	-
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.80		27	N/A	27	4.10	0.9	35
Den. C. Sand	6.00	7.50	2.00		35	N/A	35	5.45	1.1	37
V.D. C. Sand	7.50	10.50	2.00		55	N/A	55	7.70	1.2	42
V. Stiff Clay	10.50	12.25	2.00		25	16.67	25	10.08	-	-

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L , m.	$f_s$ (t/sq.m.)	$q_b$ (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	$Q_s$ (tons)	$Q_b$ (tons)	$Q_u$ (tons)	Cumulative $Q_u$ (tons)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.00	0.17		0.40	0.26		0.26	0.26
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.00	0.33		1.15	0.52		0.52	0.78
Stiff Clay	2.00	4.50	2.50	5.59		2.50	21.94		21.94	22.73
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.50	1.84		4.10	4.33		4.33	27.06
Den. C. Sand	6.00	7.50	1.50	3.20		5.45	7.53		7.53	34.59
V.D. C. Sand	7.50	10.50	3.00	5.64		7.70	26.61		26.61	61.21
V. Stiff Clay	10.50	12.25	1.75	6.93	150.00	10.08	19.06	29.46	48.52	109.73

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	80	32
End Bearing Resistance	2.50	29	12
<b>Total Resistance</b>		<b>110</b>	<b>44</b>

ตารางที่ ข - 30 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 31

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 9

Location : ระยอง

Calculated by :

Prepared :

**PILE DATA** Pile No. 31

Pile Type : P.C. Spun Pile

Pile Shape : Hollow Circular Pile

Pile Width or Dia. = 0.500 m.

Pile Section = 0.20 Sq. m.

Pile Length = 10.83 m.

Pile Perimeter = 1.57 Sq. m./m.

Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L.

Pile Tip Ele. = -10.83 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION**

G.L. = 0.00

G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su, t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.80		20	N/A	20	0.40	0.9	33
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.70		9	N/A	9	1.15	0.7	30
Stiff Clay	2.00	4.50	1.80		16	10.67	16	2.50	-	-
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.80		27	N/A	27	4.10	0.9	35
Den. C. Sand	6.00	7.50	2.00		35	N/A	35	5.45	1.1	37
V.D. C. Sand	7.50	9.50	2.00		56	N/A	56	7.20	1.2	42
V.D. C. Sand	9.50	10.83	2.00		50	N/A	50	8.87	1.1	41

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L, m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.00	0.17		0.40	0.26		0.26	0.26
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.00	0.33		1.15	0.52		0.52	0.78
Stiff Clay	2.00	4.50	2.50	5.59		2.50	21.94		21.94	22.73
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.50	1.84		4.10	4.33		4.33	27.06
Den. C. Sand	6.00	7.50	1.50	3.20		5.45	7.53		7.53	34.59
V.D. C. Sand	7.50	9.50	2.00	5.31		7.20	16.68		16.68	51.28
V.D. C. Sand	9.50	10.83	1.33	5.79	603.96	8.87	12.09	118.64	130.73	182.00

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	63	25
End Bearing Resistance	2.50	119	47
<b>Total Resistance</b>		<b>182</b>	<b>73</b>

ตารางที่ ข - 31 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 32

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 15

Location : ระยอง

Calculated by :

Prepared :

**PILE DATA** Pile No. 32

Pile Width or Dia. = 0.500 m. Pile Section = 0.20 Sq. m.  
 Pile Length = 9.75 m. Pile Perimeter = 1.57 Sq. m./m.  
 Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L. Pile Tip Ele. = -9.75 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION** G.L. = 0.00 G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su, t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.80		20	N/A	20	0.40	0.9	33
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.70		9	N/A	9	1.15	0.7	30
Stiff Clay	2.00	4.50	1.80		16	10.67	16	2.50	-	-
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.80		27	N/A	27	4.10	0.9	35
Den. C. Sand	6.00	7.50	2.00		35	N/A	35	5.45	1.1	37
V.D. C. Sand	7.50	9.50	2.00		56	N/A	56	7.20	1.2	42
V.D. C. Sand	9.50	9.75	2.00		50	N/A	50	8.33	1.1	41

#### CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE

Soil Type	Depth		Interval Depth L, m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.00	0.17		0.40	0.26		0.26	0.26
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.00	0.33		1.15	0.52		0.52	0.78
Stiff Clay	2.00	4.50	2.50	5.59		2.50	21.94		21.94	22.73
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.50	1.84		4.10	4.33		4.33	27.06
Den. C. Sand	6.00	7.50	1.50	3.20		5.45	7.53		7.53	34.59
V.D. C. Sand	7.50	9.50	2.00	5.31		7.20	16.68		16.68	51.28
V.D. C. Sand	9.50	9.75	0.25	5.43	567.17	8.33	2.13	111.41	113.54	164.82

#### Pile Resistance

	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	53	21
End Bearing Resistance	2.50	111	45
<b>Total Resistance</b>		<b>165</b>	<b>66</b>

ตารางที่ ข - 32 แสดงรายการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ ของ Pile No 33

### DESIGN OF PILE CAPACITY BY $\alpha$ -METHOD

Project : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 18

Location : ระยอง

Calculated by :

Prepared :

**PILE DATA** Pile No. 33

Pile Type : P.C. Spun Pile

Pile Shape : Hollow Circular Pile

Pile Width or Dia. = 0.500 m.

Pile Section = 0.20 Sq. m.

Pile Length = 13.15 m.

Pile Perimeter = 1.57 Sq. m./m.

Pile Top Ele. = 0.00 m. from G.L.

Pile Tip Ele. = -13.15 m. from G.L.

**GEOTECHNICAL INFORMATION**

G.L. = 0.00

G.W.L. = - 0.00 Bored Hole No. BH- 2

Soil Type	Depth		Unit Weight (t/cu.m.)	Water Content (%)	SPT N (blows/ft)	Undrained Shear Strength Su, t/sq.m.	Correction SPT, N' (blows/ft)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Ks	Friction Angle (Degree)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.80		20	N/A	20	0.40	0.9	33
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.70		9	N/A	9	1.15	0.7	30
Stiff Clay	2.00	4.50	1.80		16	10.67	16	2.50	-	-
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.80		27	N/A	27	4.10	0.9	35
Den. C. Sand	6.00	7.50	2.00		35	N/A	35	5.45	1.1	37
V.D. C. Sand	7.50	10.50	2.00		55	N/A	55	7.70	1.2	42
V. Stiff Clay	10.50	13.15	2.00		25	16.67	25	10.53	-	-

**CALCULATION SKIN FRICTION AND END BEARING RESISTANCE**

Soil Type	Depth		Interval Depth L, m.	f <sub>s</sub> (t/sq.m.)	q <sub>b</sub> (t/sq.m.)	Vert. Eff. Stress (t/sq.m.)	Q <sub>s</sub> (tons)	Q <sub>b</sub> (tons)	Q <sub>u</sub> (tons)	Cumulative Q <sub>u</sub> (tons)
	From	to								
Med. C. Sand	0.00	1.00	1.00	0.17		0.40	0.26		0.26	0.26
Loose C. Sand	1.00	2.00	1.00	0.33		1.15	0.52		0.52	0.78
Stiff Clay	2.00	4.50	2.50	5.59		2.50	21.94		21.94	22.73
Med. C. Sand	4.50	6.00	1.50	1.84		4.10	4.33		4.33	27.06
Den. C. Sand	6.00	7.50	1.50	3.20		5.45	7.53		7.53	34.59
V.D. C. Sand	7.50	10.50	3.00	5.64		7.70	26.61		26.61	61.21
V. Stiff Clay	10.50	13.15	2.65	6.93	150.00	10.53	28.86	29.46	58.32	119.53

**Pile Resistance**

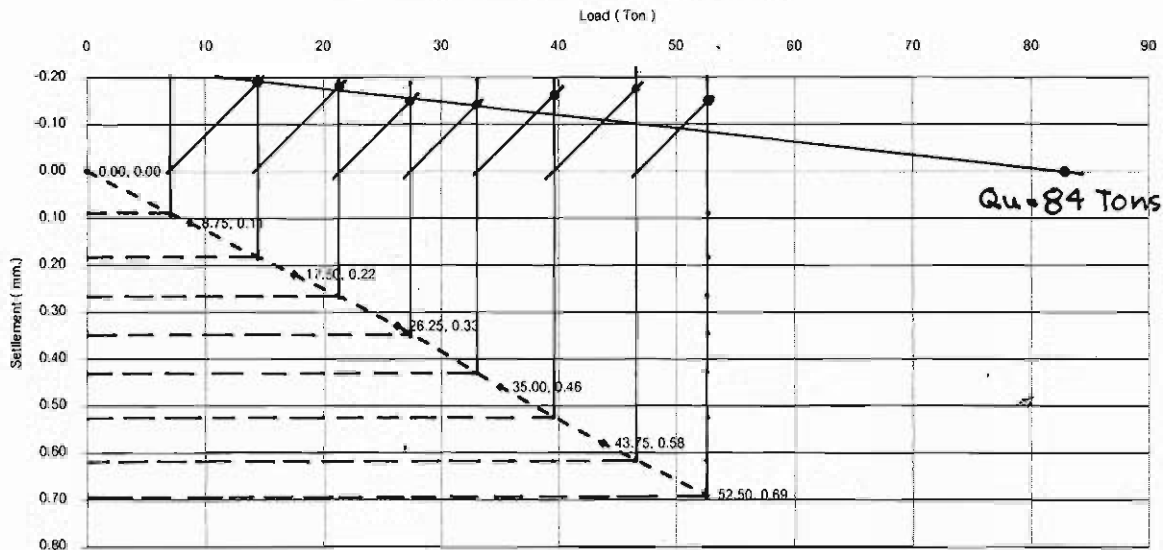
	Safety Factor	Ultimate Pile Capacity Qu, (tons)	Allowable Pile Capacity Qa, (tons)
Skin Friction Resistance	2.50	90	36
End Bearing Resistance	2.50	29	12
<b>Total Resistance</b>		<b>120</b>	<b>48</b>



Load & Settlement for Analysis Ultimate Pile Capacity by Mazurkiewicz's Method of Pile No 6

Project : โครงการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมภาคตะวันออกเฉียงเหนือและปริมณฑล เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา

Test Pile : Pilot Pile No 8 Pile Shape : Solid SQ 0.45 x 0.45 x 12.00 m.

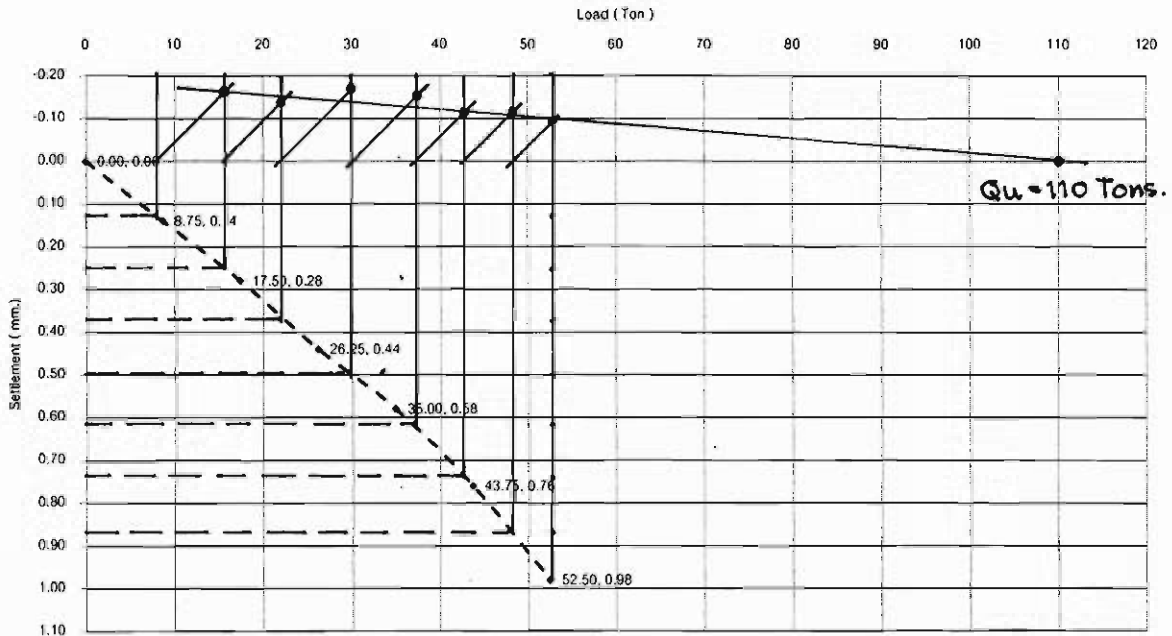


รูปที่ ค-3 การแปลผลขนาดกำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 3

Load & Settlement for Analysis Ultimate Pile Capacity by Mazurkiewicz's of Pile No 7

Project : โครงการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมภาคตะวันออกเฉียงเหนือและปริมณฑล เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา

Test Pile : Pilot Pile No 8 Pile Shape : Solid SQ 0.45 x 0.45 x 12.00 m.



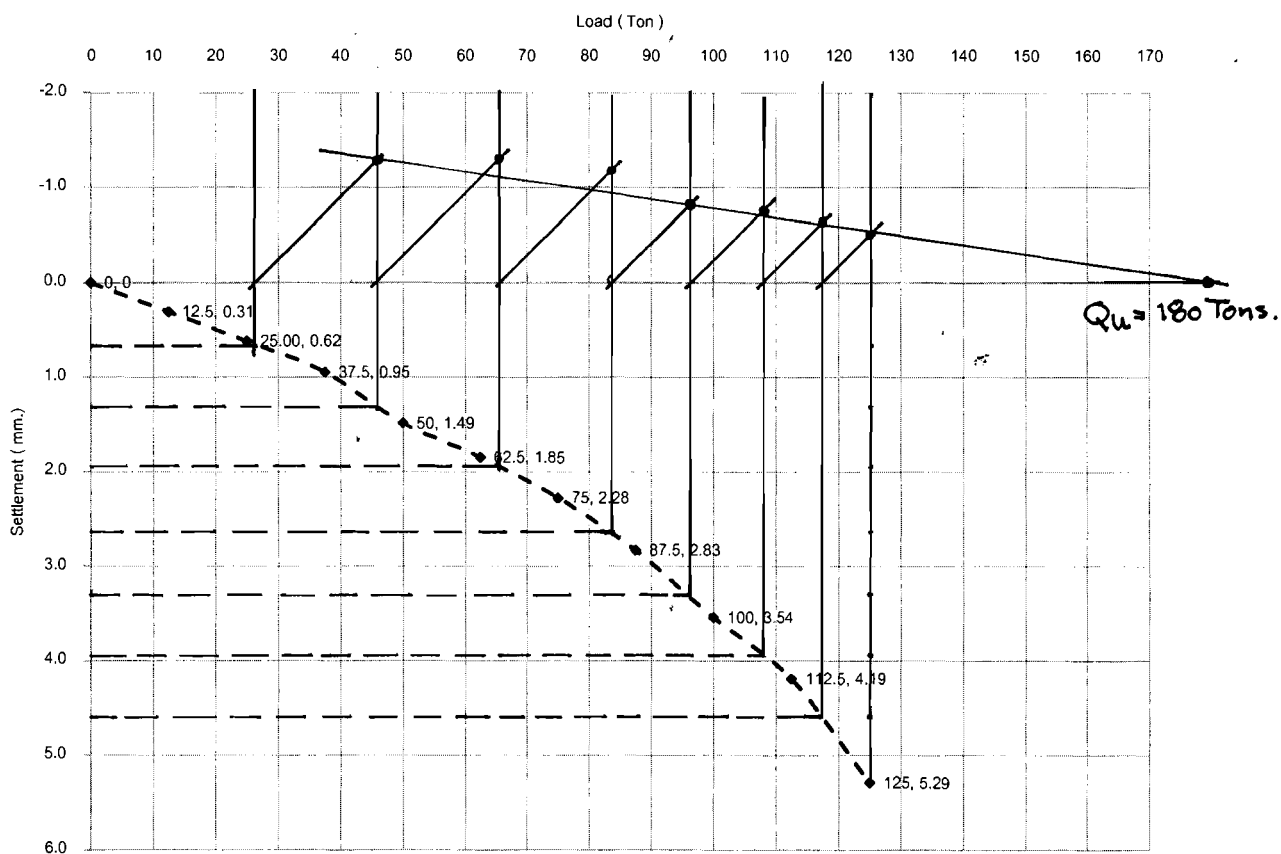
รูปที่ ค-4 การแปลผลขนาดกำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 7



Load & Settlement for Analysis Ultimate Pile Capacity by Mazurkiewicz's Method of Pile No 10

Project : HTY

Test Pile No : TP1 - 300 Pile Shape : Solid SQ 0.30 x 14.00 m.

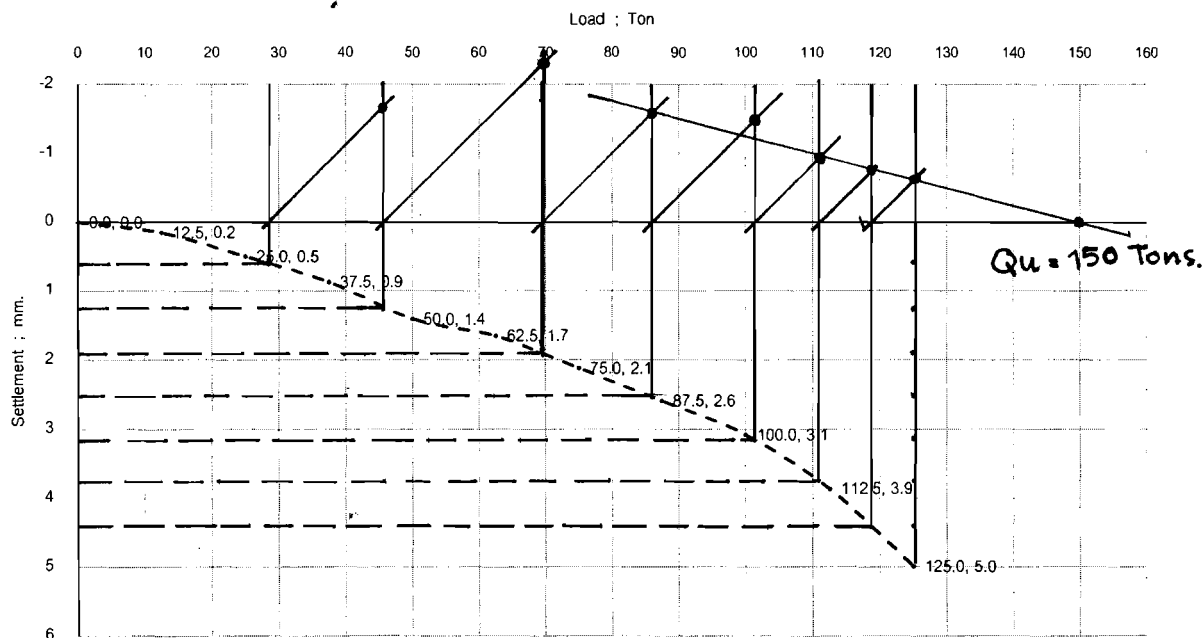


รูปที่ ค - 5 การแปลผลหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 10

Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S Method of Pile No 11

Project : HTY

Test Pile No : TP 2 - 300 Pile Shape : Solid SQ 0.30 x 14.00 m

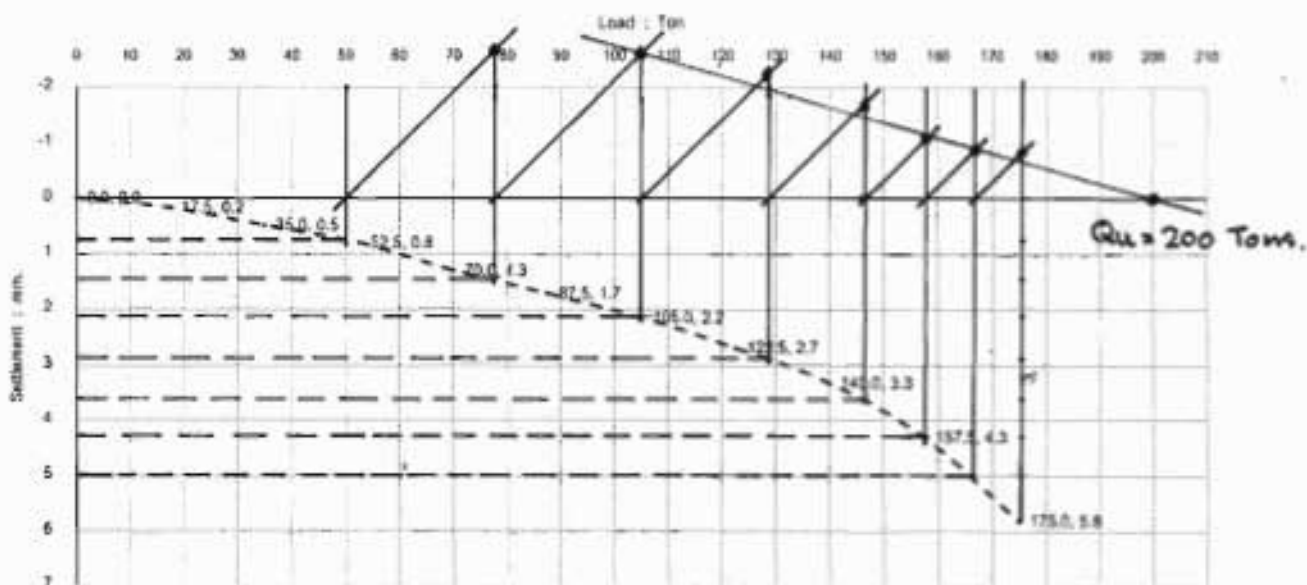


รูปที่ ค - 6 การแปลผลหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 11

Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S Method of Pile No 12

Project : HTY

Test Pile No : TP 1 - 400 Pile Shape : Solid SQ 40 x 40 x 14.00 m.

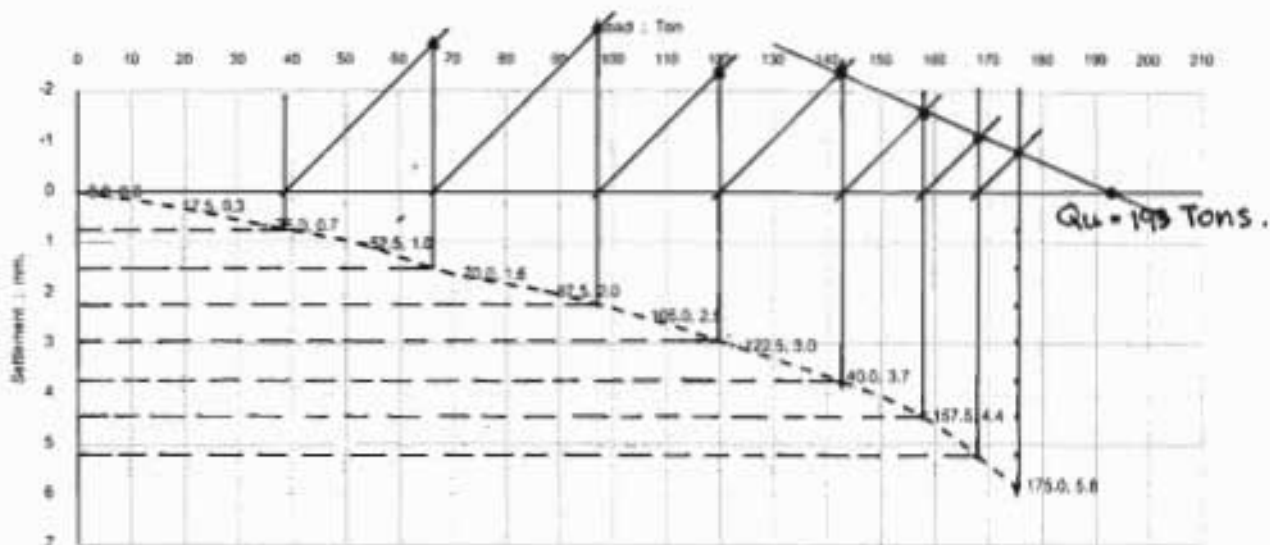


รูปที่ ก - 7 การวิเคราะห์ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 12

Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S Method of Pile No 13

Project : HTY

Test Pile No : TP 1 - 400 Pile Shape : Solid SQ 40 x 40 x 14.00 m.

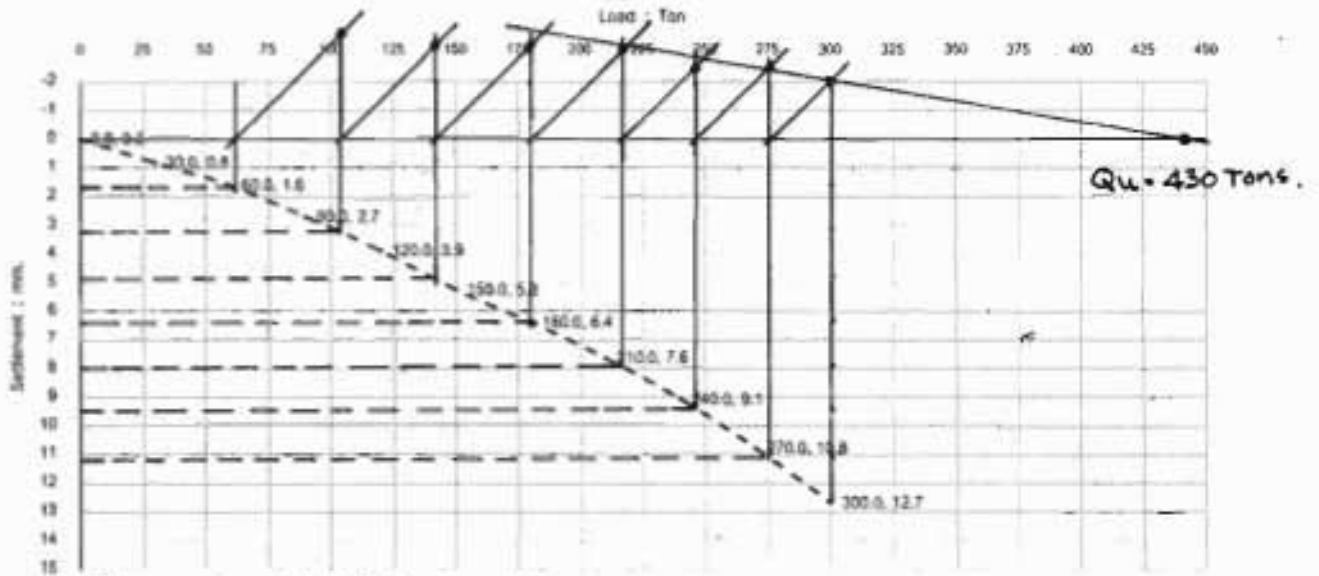


รูปที่ ก - 8 การวิเคราะห์ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 13

Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S Method of Pile No 14

Project : รถไฟฟ้าสายสีม่วง 34

Test Pile No : U-Turn No.8 Sta. 17 + 018.00 Pile Shape : Spun Pile Dia. 0.60 x 26.00 m.

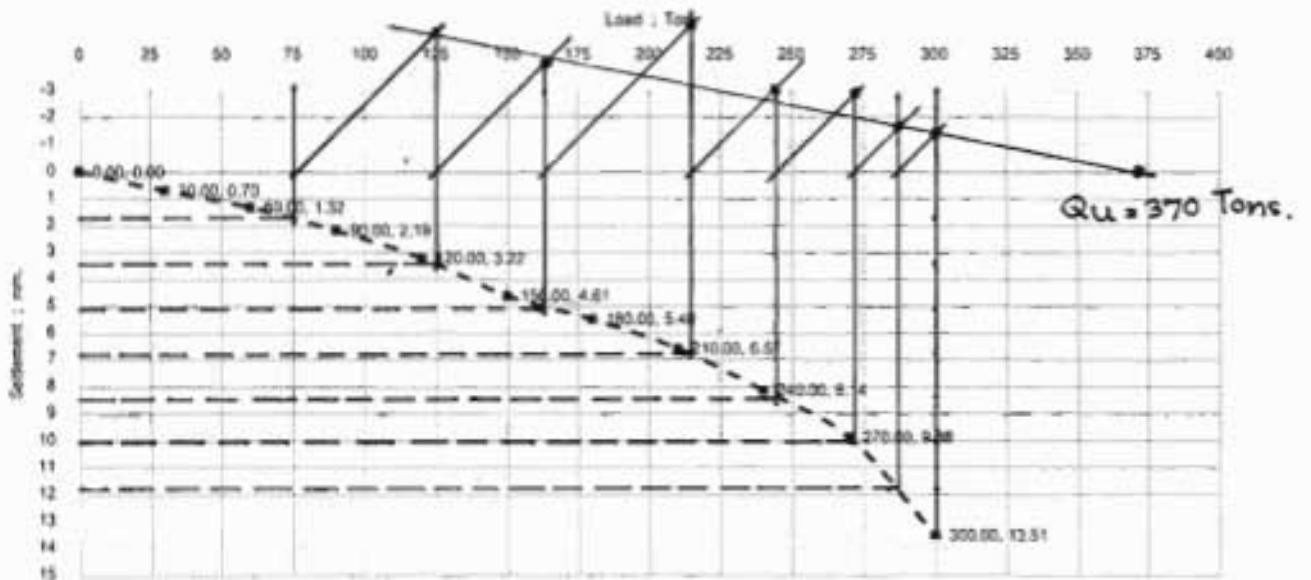


รูปที่ ๙ - 8 การแปลผลค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจุดต่อวิธี Mazurkiewicz of Pile No 14

Load & Settlement for Analysis Ultimate Pile Capacity by Mazurkiewicz's Method of Pile No 15

Project : MRT PURPLE LINE

Test Pile No : Pilot Pile No # P-1 Pile Shape : Spun Pile Dia. 0.60 x 30.0 m.

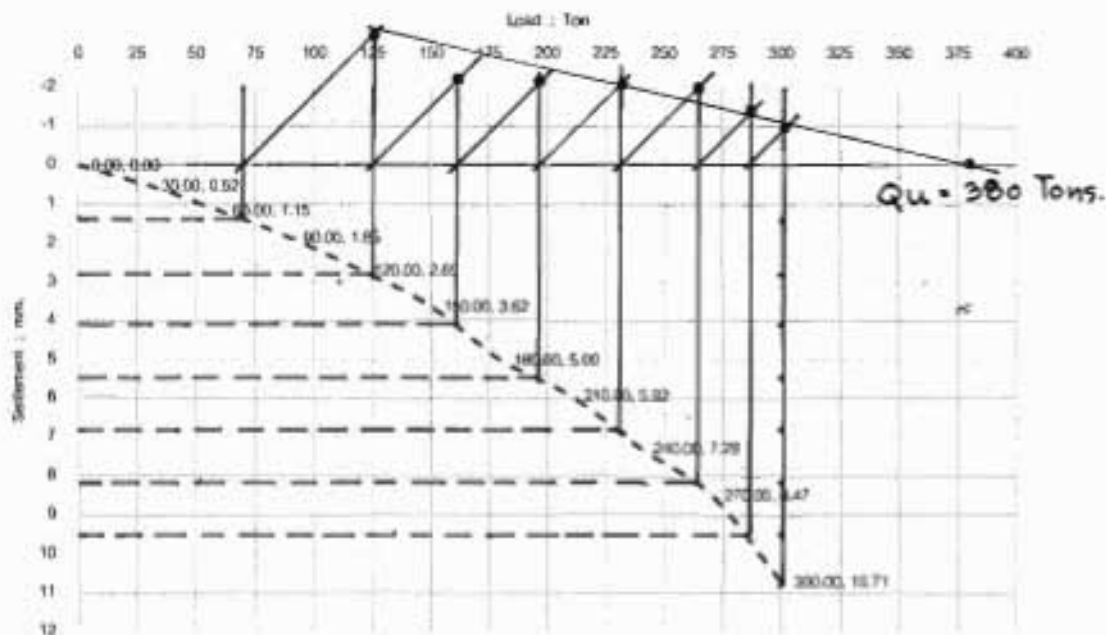


รูปที่ ๙ - 10 การแปลผลค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจุดต่อวิธี Mazurkiewicz of Pile No 15

Load & Settlement for Analysis Ultimate Pile Capacity by Matukiewicz's Method of Pile No 16

Project : MRT PURPLE LINE

Test Pile No : P16 Pile No P-2 Pile Shape : Spun Pile Dia.0.60 x 27.0m.

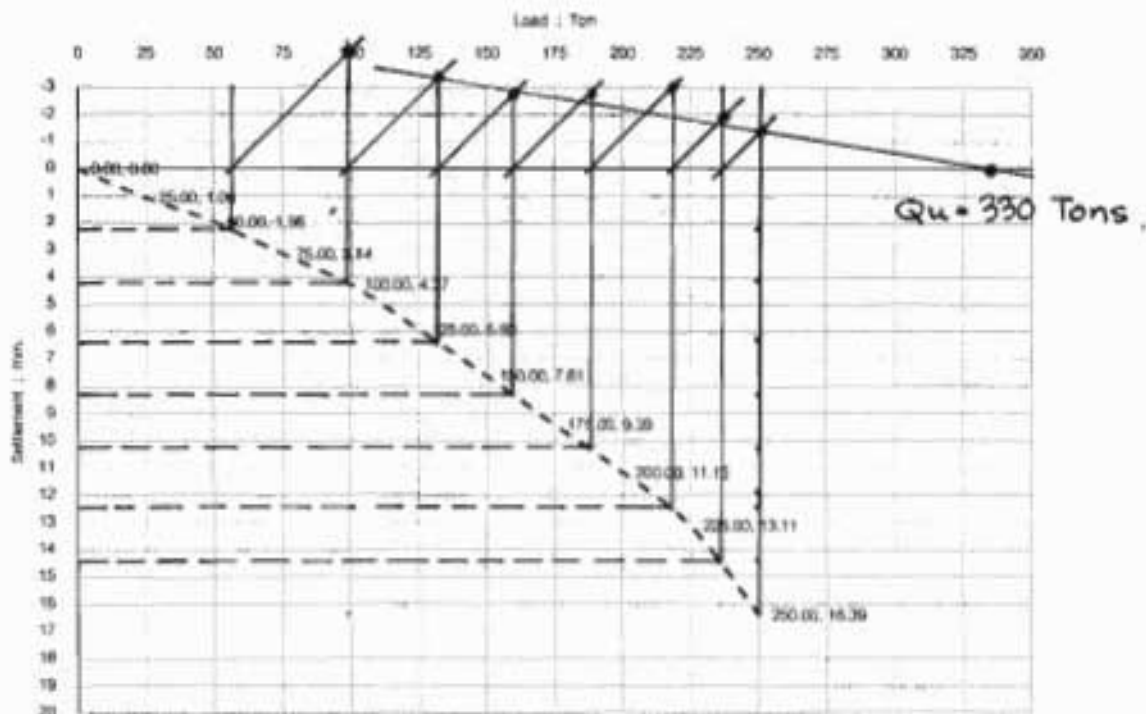


รูปที่ ๙ - 11 การวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกจุดสุดท้าย Matukiewicz of Pile No 16

Load & Settlement for Analysis Ultimate Pile Capacity by Matukiewicz's Method of Pile No 24

Project : โครงการขุดเจาะอุโมงค์และวางเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีม่วง

Test Pile : เมทริค Test Pile Pile Shape : Spun Pile Dia. 0.60 x 26.00 m.

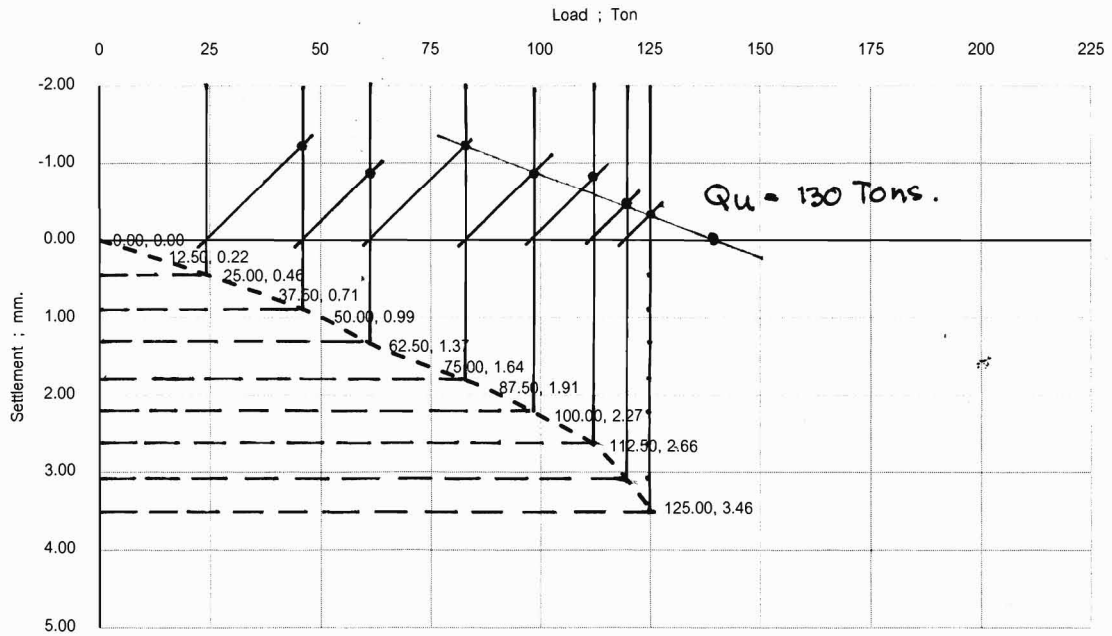


รูปที่ ๙ - 12 การวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกจุดสุดท้าย Matukiewicz of Pile No 24

Load & Settlement for Analysis Ultimate Pile Capacity by Mazurkiewicz's of Pile No 25

Project : BANG PA-IN COGENERATION

Test Pile : GTG 2 Pile No # B39 Pile Shape : Solid SQ Pile 0.40 x 0.40 x 20.00 m.

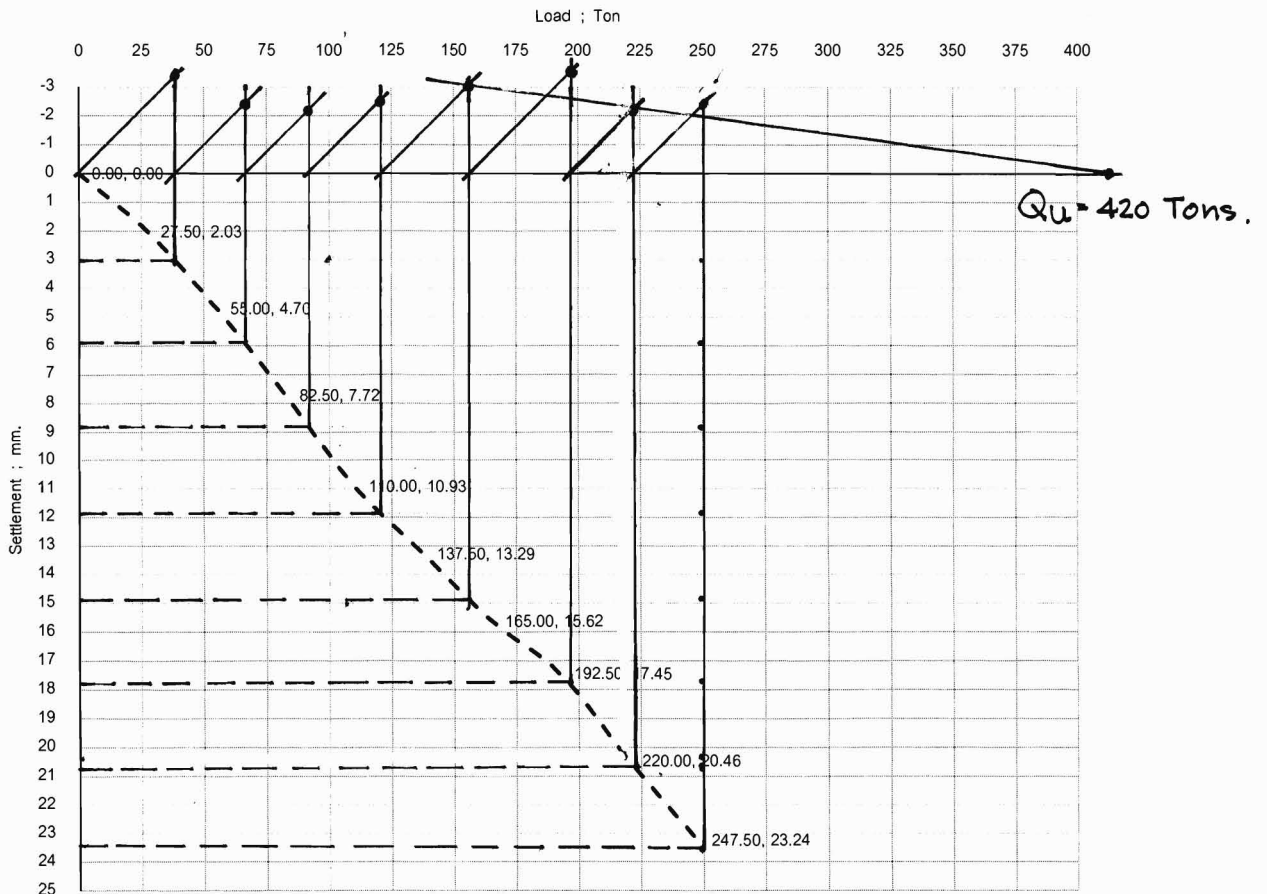


รูปที่ ค - 13 การแปลผลค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 25

Load & Settlement for Analysis Ultimate Pile Capacity by Mazurkiewicz's Method of Pile No 26

Project : MEGA BANGNA

Test Pile No.: Pile No # 1 DD 54 Pile Shape : SQ Pile 0.40 x 28.00 m

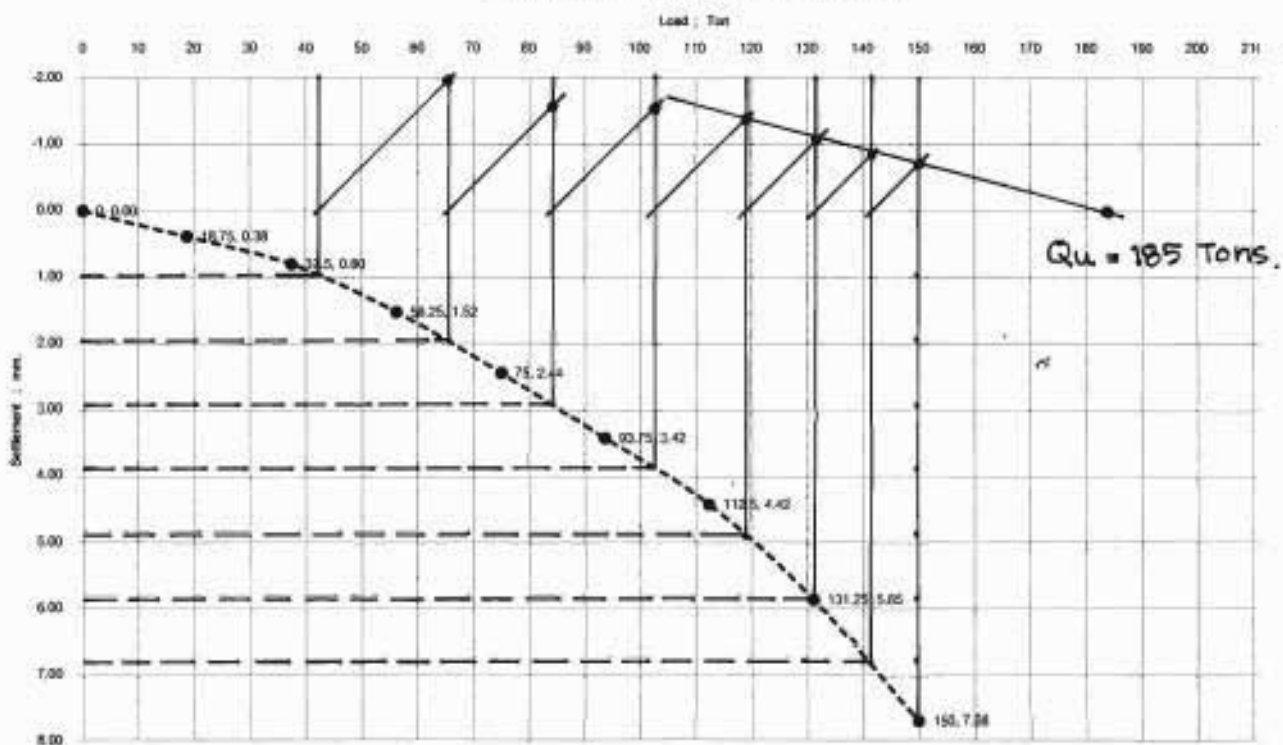


รูปที่ ค - 14 การแปลผลค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 25

Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S ( 1972 ) of Pile No 27

PROJECT : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX @ RAYONG

Test Pile No. PL1 - 1 Pile Shape : Spun Pile Dia. 0.50 x 12.0 m.

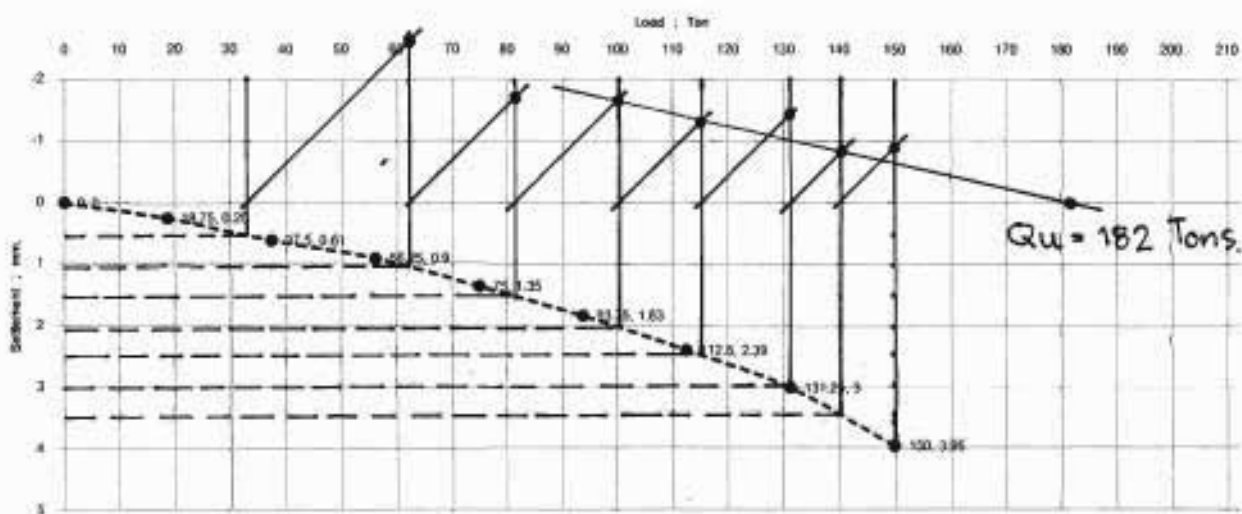


รูปที่ ๑ - 15 ภาพแสดงผลจากการคำนวณหาความจุของเสาเข็มด้วยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 27

Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S ( 1972 ) of Pile No 28

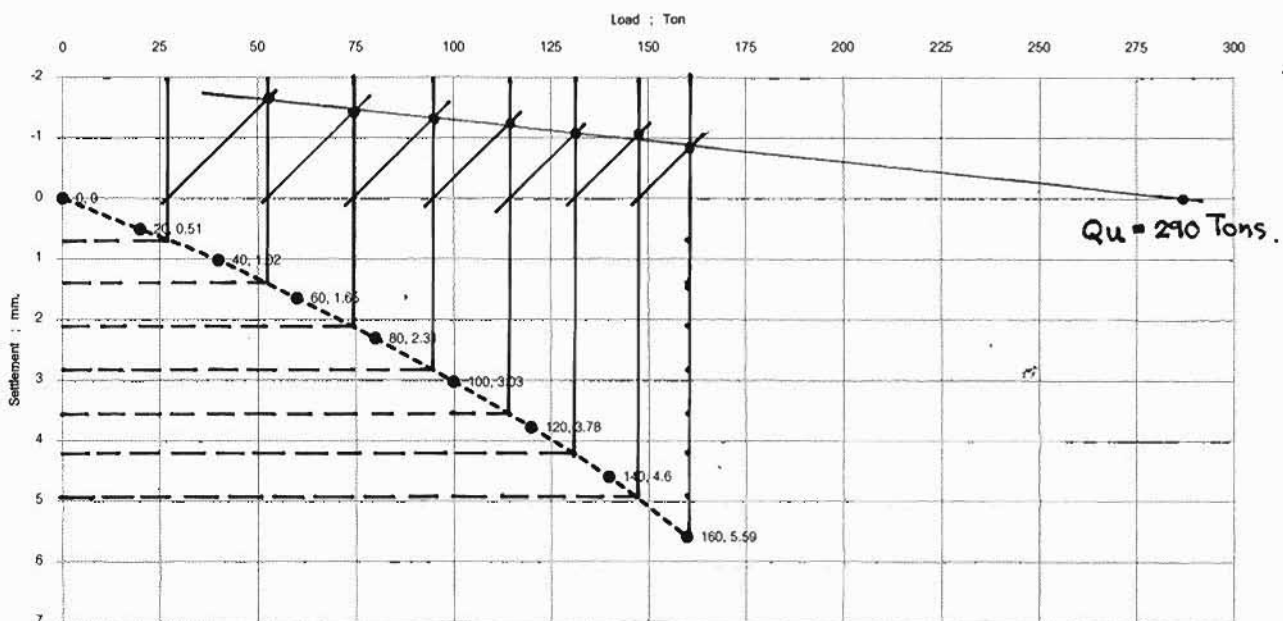
PROJECT : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX @ RAYONG

Test Pile No. PL1 - 4 Pile Shape : Spun Pile Dia. 0.50 x 12.0 m.



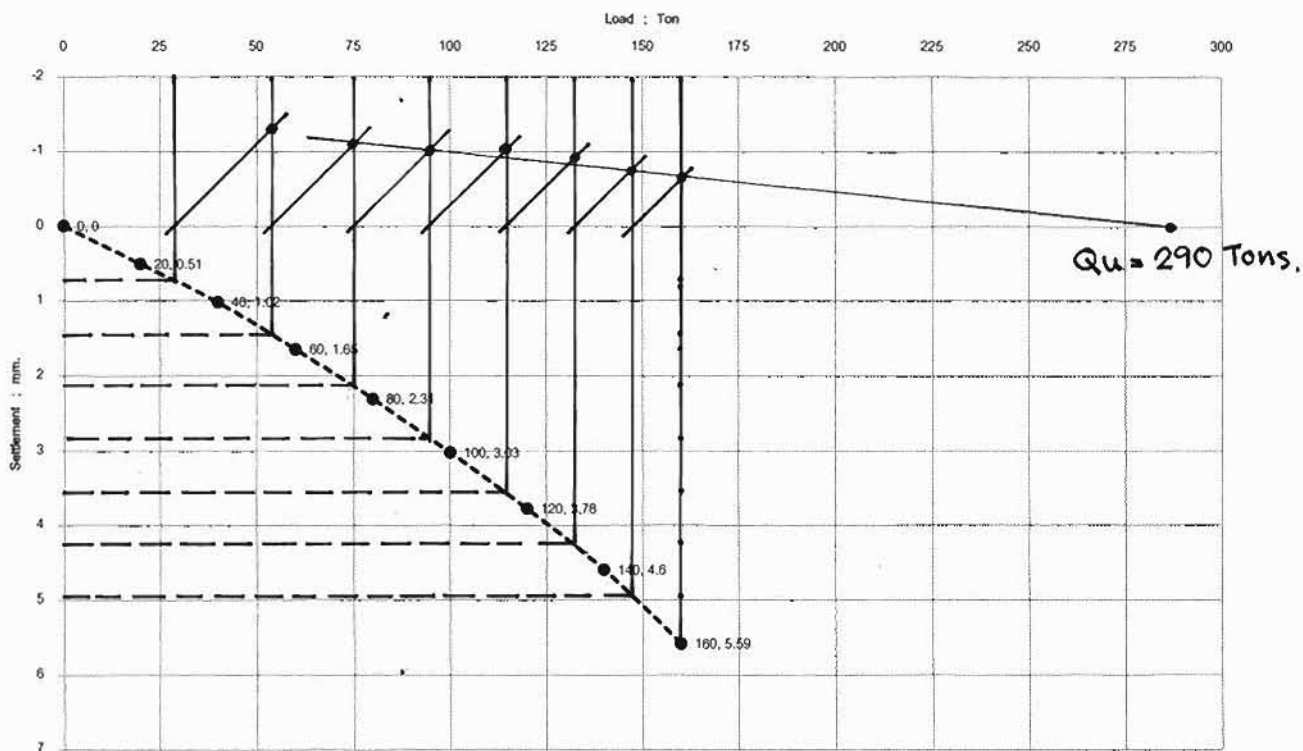
รูปที่ ๑ - 16 ภาพแสดงผลจากการคำนวณหาความจุของเสาเข็มด้วยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 28

Load & Settlement For Analysis Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S ( 1972 ) of Pile No 29  
 PROJECT : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II RAYONG  
 Test Pile No.: PLT - 6 Pile Shape : Spun Pile Dia.0.50 x 15.00 m.



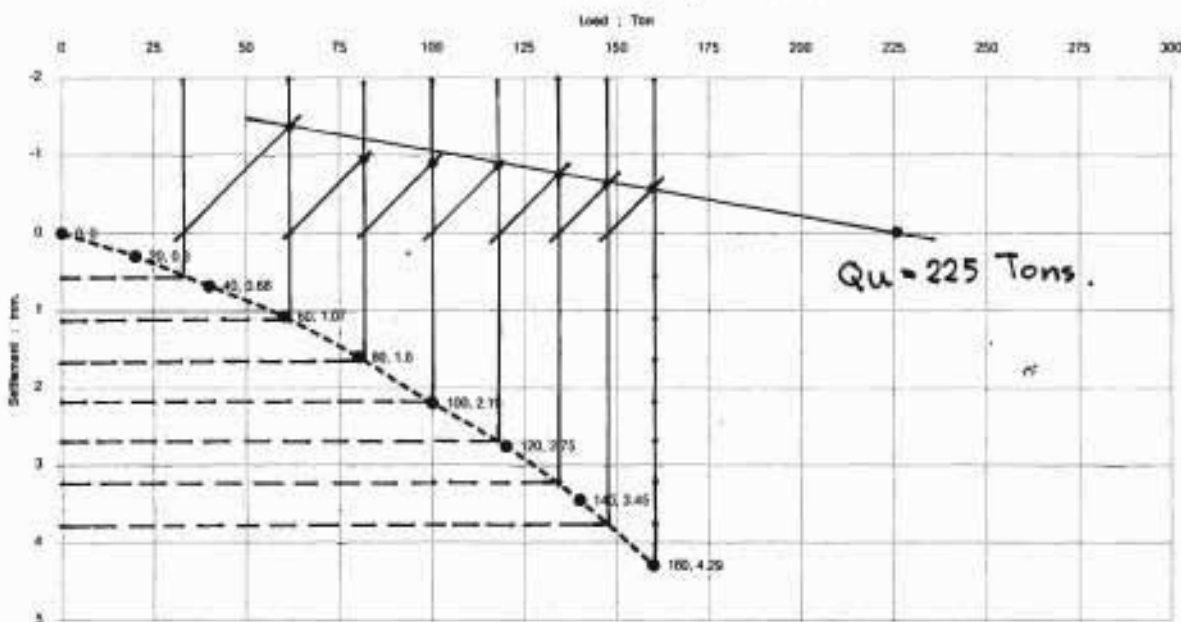
รูปที่ ค - 17 การแปลผลค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 29

Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S ( 1972 ) of Pile No 30  
 PROJECT : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II RAYONG  
 Test Pile No.: PLT - 8 Pile Shape : Spun Pile Dia.0.50 x 15.00 m.



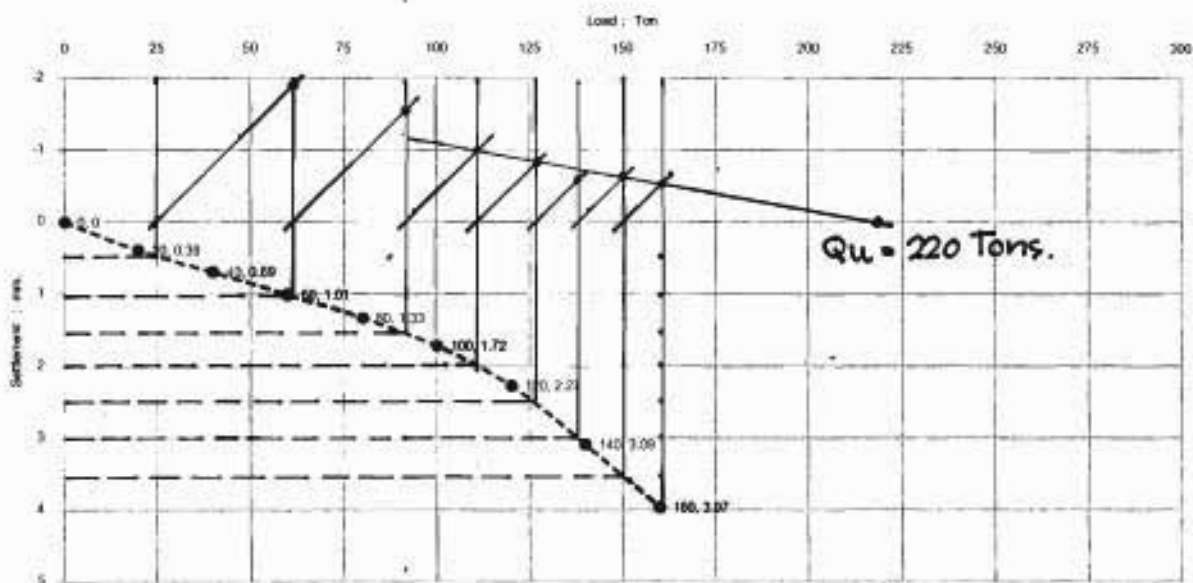
รูปที่ ค - 18 การแปลผลค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 30

Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S ( 1972 ) of Pile No. 31  
 PROJECT : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II RAYONG  
 Test Pile No. : PLT - 9 Pile Shape : Spun Pile Dia. 0.50 x 13.0 m.



รูปที่ ๙ - 19 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 31

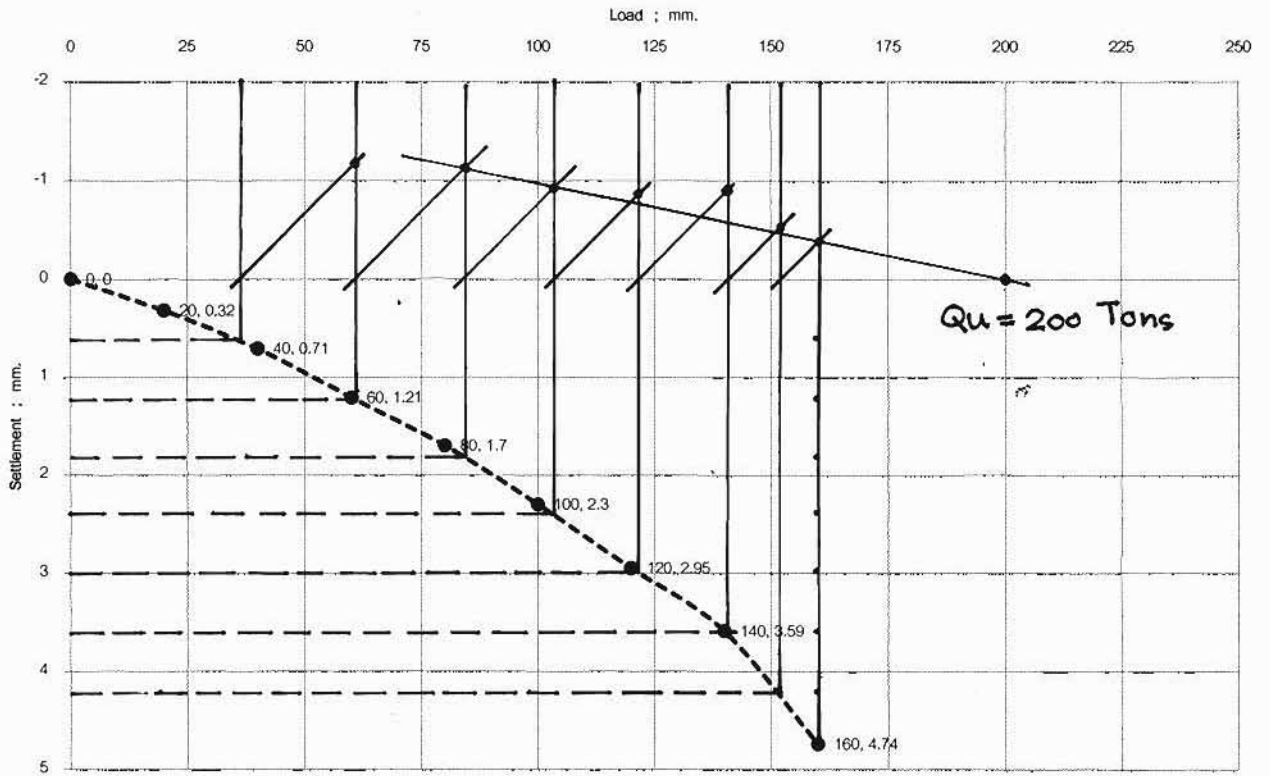
Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S ( 1972 ) Method of Pile No. 32  
 PROJECT : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II RAYONG  
 Test Pile No. : PLT - 15 Pile Shape : Spun Pile Dia. 0.50 x 13.0 m.



รูปที่ ๙ - 20 การประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 32

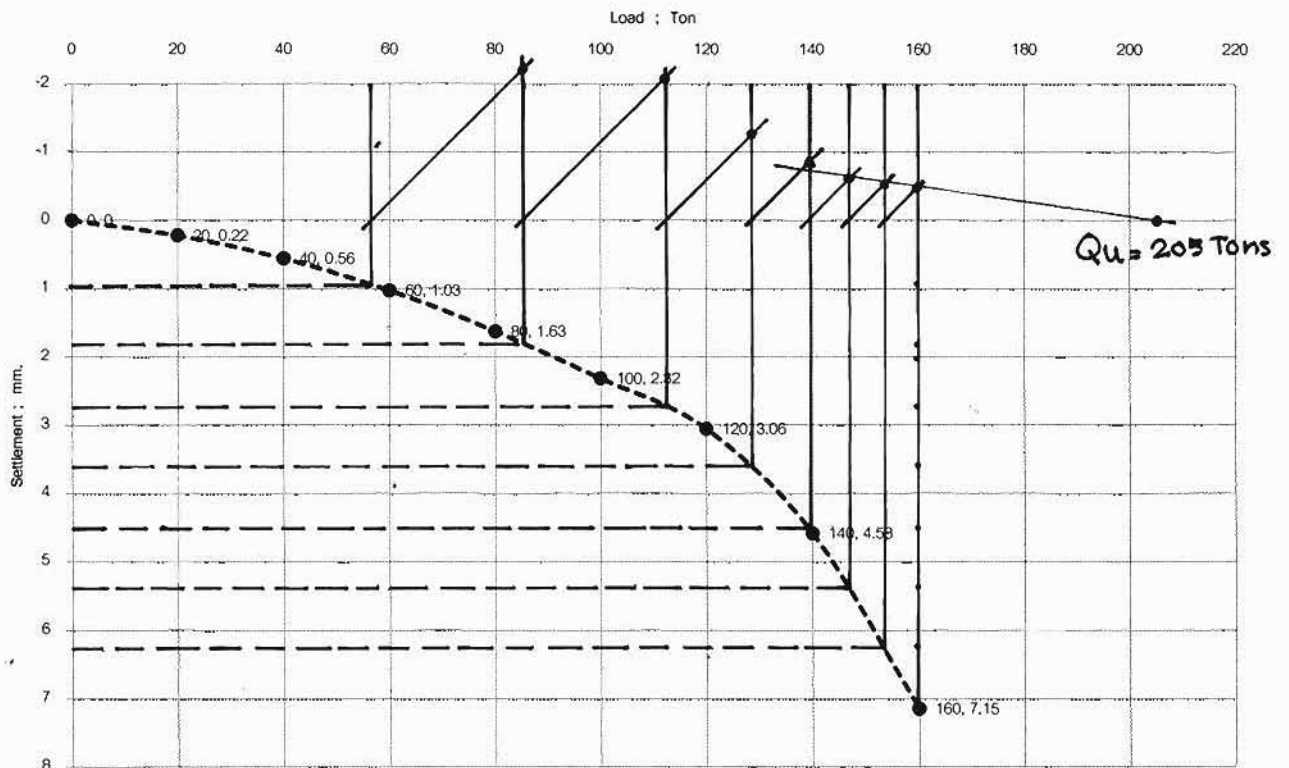


Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S ( 1972 ) Method Pile No 33  
 PROJECT : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II RAYONG  
 Test Pile No.: PLT - 18 Pile Shape : Spun Pile Dia.0.50 x 15.0 m.



รูปที่ ค - 21 การแปลผลหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 33

Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S ( 1972 ) Method of Pile No 34  
 PROJECT : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II RAYONG  
 Test Pile No.: PLT - 21 Pile Shape : Spun Pile Dia.0.50 x 12.0 m.

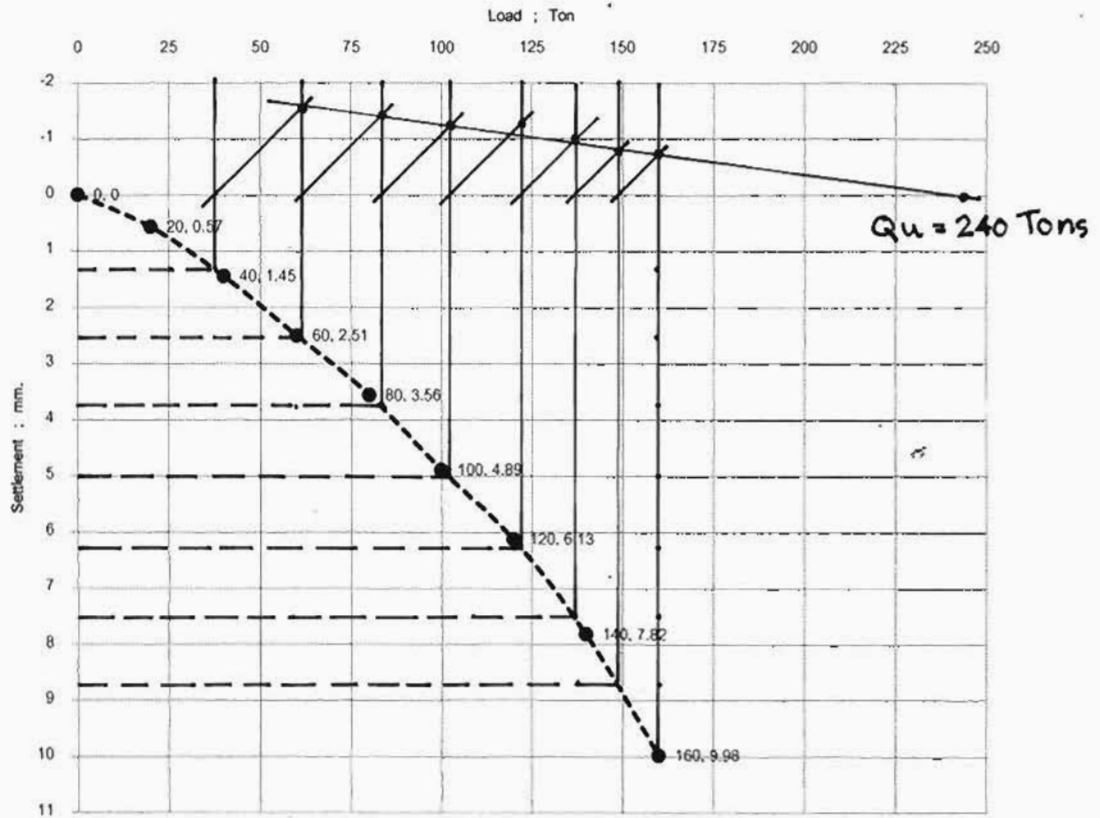


รูปที่ ค - 22 การแปลผลหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 34

Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S ( 1972 ) of Pile No 35

PROJECT : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II RAYONG

Test Pile No : PLT - 23 Pile Shape : Spun Pile Dia.0.50 x 10.00 m.

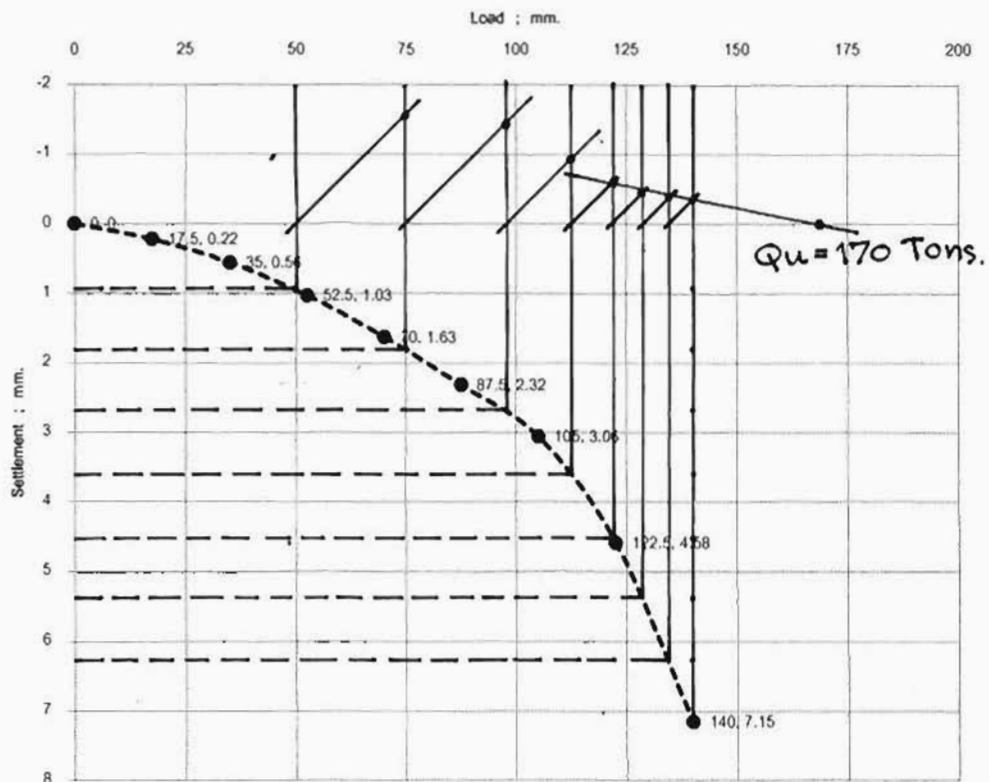


รูปที่ ค- 23 การแปลผลค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 35

Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S ( 1972 ) Method of Pile No 36

PROJECT : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II RAYONG

Test Pile No : PLT - 24 Pile Shape : Spun Pile Dia.0.50 x 15.00 m.

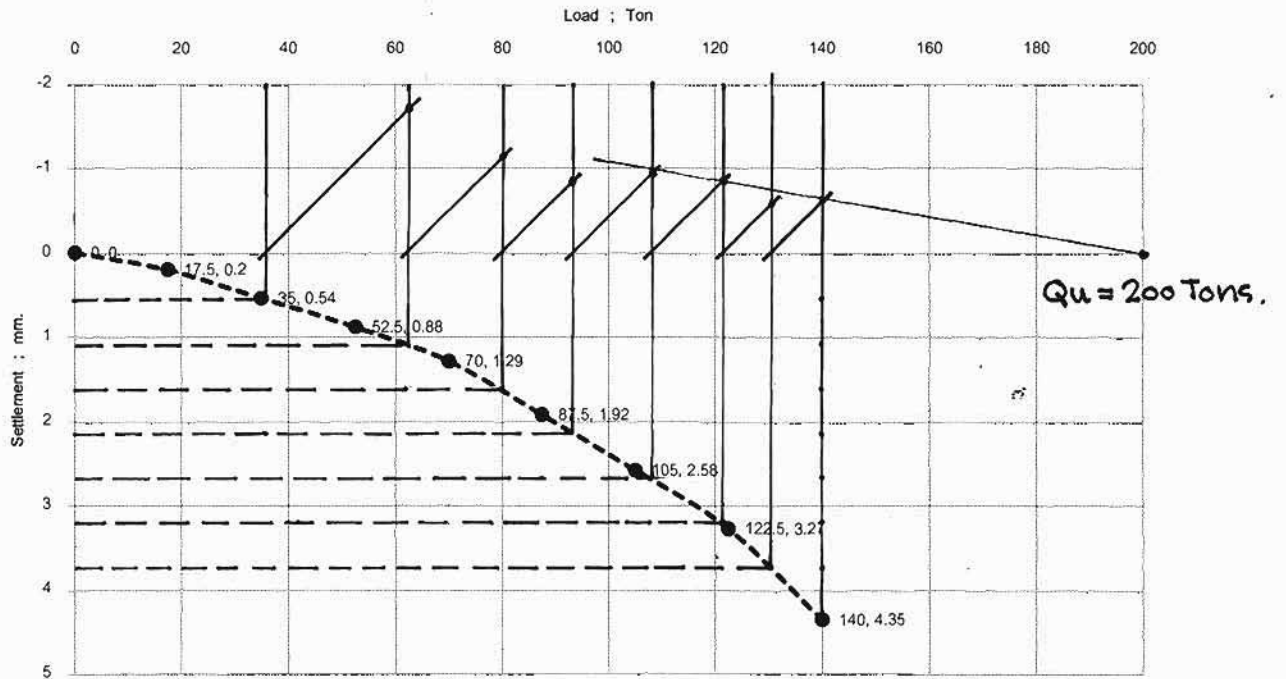


รูปที่ ค- 24 การแปลผลค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 36

Load & Settlement For Analysis Ultimate Pile Capacity by MAZURKIEWICZ'S ( 1972 ) Method of Pile No 37

Project : REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II RAYONG

Test Pile No. : PLT - 25 Pile Shape : Spun Pile Dia. 0.50 x 13.0 m.



รูปที่ ค - 25 การแปรผลหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธี Mazurkiewicz of Pile No 37

## ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก - 1 รายละเอียดเสาเข็มที่นำมาทำการศึกษาวิจัย

Pile No.	Project name	Province	Pile Type	Dimension	Area (cm <sup>2</sup> )	Length (m.)	Design F.S.	RAM Weight (Ton)	Hammer Type	Drop Height (cm.)	Pile Cushion Type	Pile Cushion Thickness (cm.)	Last 10 Blows (cm)	E <sub>L</sub> Modulus (t/cm <sup>2</sup> )
1 *	โครงการศูนย์วิจัยนิวเคลียร์แห่งใหม่ อ.องครักษ์	นครนายก	Solid SQ	26 x 26	668.00	21.00	2.0	4.6	Drop	25.0	N/A	5.00	4.20	285
2 *	โครงการศูนย์วิจัยนิวเคลียร์แห่งใหม่ อ.องครักษ์	นครนายก	Solid SQ	30 x 30	898.00	21.00	2.0	4.7	Drop	20.0	N/A	5.00	1.50	285
3 *	โครงการศูนย์วิจัยนิวเคลียร์แห่งใหม่ อ.องครักษ์	นครนายก	I - Section	35 x 35	892.00	21.00	2.0	4.7	Drop	30.0	N/A	5.00	2.30	285
4 *	WAT NAKORN-IN BRIDGE CONSTRUCTION PROJECT	นนทบุรี	Solid SQ	35 x 35	1,225.00	27.00	2.0	7.5	Drop	55.0	N/A	5.00	1.70	321
5 *	โครงการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศและบริเวณน้ำอุปโภคและบริโภค เทศบาลนคร นครราชสีมา Pilot Pile No 6	นครราชสีมา	Solid SQ	45 x 45	2,025.00	10.00	1.5	6.0	Drop	50.0	N/A	20.00	3.80	392
6 *	โครงการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศและบริเวณน้ำอุปโภคและบริโภค เทศบาลนคร นครราชสีมา Pilot Pile No 8	นครราชสีมา	Solid SQ	45 x 45	2,025.00	12.00	1.5	6.5	Drop	50.0	N/A	10.00	2.90	392
7 *	โครงการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศและบริเวณน้ำอุปโภคและบริโภค เทศบาลนคร นครราชสีมา Pilot Pile No 9	นครราชสีมา	Solid SQ	45 x 45	2,025.00	14.00		6.5	Drop	50.0	N/A	5.00	2.20	392
8 *	โครงการเขื่อนหริภคไชย สาขาพระราม 2 Test Pile No 1	กรุงเทพมหานคร	Solid SQ	45 x 45	2,025.00	30.00		7.5	Drop	65.0	N/A	5.00	5.30	280
9 *	โครงการเขื่อนหริภคไชย สาขาพระราม 2 Test Pile No 2	กรุงเทพมหานคร	Solid SQ	45 x 45	2,025.00	30.00	2.5	8.3	Drop	60.0	N/A	5.00	5.00	280
10 *	HTY PROJECT Test Pile No TP 1 - 300	สงขลา	Solid SQ	30 x 30	900.00	14.00	2.5	4.5	Drop	50.0	N/A	5.00	2.50	391
11 *	HTY PROJECT Test Pile No TP 2 - 300	สงขลา	Solid SQ	30 x 30	900.00	14.00	2.5	4.5	Drop	50.0	N/A	5.00	2.80	391
12 *	HTY PROJECT Test Pile No TP 1 - 400	สงขลา	Solid SQ	40 x 40	1,600.00	14.00	2.5	4.5	Drop	70.0	N/A	5.00	2.00	391
13 *	HTY PROJECT Test Pile No TP 2 - 400	สงขลา	Solid SQ	40 x 40	1,600.00	14.00	2.5	4.5	Drop	70.0	N/A	5.00	2.30	391
14 *	โครงการปรับปรุงทางหลวงหมายเลข 34 U-Turn No 8 STA.17+018.000	สมุทรปราการ	Spun	Dia 60	1,866.00	28.00	2.5	7.0	Drop	60.0	N/A	5.00	2.30	450
15 *	MRT PURPLE LINE PROJECT Pilot Pile No # P-1	นนทบุรี	Spun	Dia 60	1,866.00	30.00	3.0	12.0	Drop	40.0	N/A	5.00	1.80	432
16 *	MRT PURPLE LINE PROJECT Pilot Pile No # P-2	นนทบุรี	Spun	Dia 60	1,866.00	27.00	2.5	12.0	Drop	40.0	N/A	5.00	1.60	432
17 *	โครงการสนามกีฬาในร่ม (ฟุตบอลนานาชาติ) Test Pile No # P6	กรุงเทพมหานคร	Solid SQ	45 x 45	2,025.00	26.00	2.5	10.0	Drop	80.0	N/A	5.00	3.70	392
18 *	โครงการสนามกีฬาในร่ม (ฟุตบอลนานาชาติ) Test Pile No # P7	กรุงเทพมหานคร	Solid SQ	52.5 x 52.5	2,756.25	26.00	2.5	10.0	Drop	80.0	N/A	5.00	2.70	392
19 *	โครงการสนามกีฬาในร่ม (ฟุตบอลนานาชาติ) Test Pile No # P5	กรุงเทพมหานคร	Solid SQ	65 x 65	4,225.00	26.00	2.5	10.0	Drop	80.0	N/A	5.00	2.70	392
20 *	BANG-BO COMBINED CYCLE POWER PLANT PROJECT T-01	สมุทรปราการ	Solid SQ	35 x 35	1,225.00	32.00	2.5	9.3	Drop	50.0	N/A	5.00	6.70	280
21 *	BANG-BO COMBINED CYCLE POWER PLANT PROJECT T-02	สมุทรปราการ	Solid SQ	52.5 x 52.5	2,756.25	32.00		9.3	Drop	80.0	N/A	5.00	3.00	280
22 *	BANG-BO COMBINED CYCLE POWER PLANT PROJECT T-03	สมุทรปราการ	Solid SQ	45 x 45	2,025.00	32.00	2.5	9.3	Drop	60.0	N/A	5.00	2.80	280
23 *	BMCL ADMINISTRATION BUILDING PROJECT Pile No 3	กรุงเทพมหานคร	Spun	Dia 50	1,159.00	33.00	2.0	8.4	Drop	80.0	ไม้	20.00	2.80	450
24 *	โครงการอาคารปฏิบัติการพื้นฐาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (นอกฝั่ง : Test Pile)	กรุงเทพมหานคร	Spun	Dia 60	1,866.00	28.00	2.0	7.0	Drop	60.0	ไม้	20.00	2.00	450
25 *	BANG PA-IN COGENERATION PROJECT GTG2 : Pile No #B 39	อยุธยา	Solid SQ	40 x 40	1,600.00	20.00	2.0	7.6	Drop	50.0	ไม้	20.00	4.10	392
26 *	MEGA BANGNA PROJECT Pile No # 1 DD53	สมุทรปราการ	Solid SQ	40 x 40	1,600.00	28.00	2.0	9.0	Drop	70.0	ไม้	20.00	2.00	392
27 **	REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 1	ระยอง	Spun	Dia 50	1,159.00	13.00	2.0	8.0	Drop	40.0	N/A	5.00	2.60	470
28 **	REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 4	ระยอง	Spun	Dia 50	1,159.00	13.00	2.0	8.0	Drop	40.0	N/A	5.00	1.30	470
29 **	REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 6	ระยอง	Spun	Dia 50	1,159.00	15.00	2.0	8.0	Drop	40.0	N/A	5.00	2.90	470
30 **	REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 8	ระยอง	Spun	Dia 50	1,159.00	15.00	2.0	8.0	Drop	40.0	N/A	5.00	3.50	470
31 **	REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 9	ระยอง	Spun	Dia 50	1,159.00	13.00	2.0	8.0	Drop	40.0	N/A	5.00	1.70	470
32 **	REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 15	ระยอง	Spun	Dia 50	1,159.00	13.00	2.0	8.0	Drop	40.0	N/A	5.00	2.00	470
33 **	REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 18	ระยอง	Spun	Dia 50	1,159.00	15.00	2.0	8.0	Drop	40.0	N/A	5.00	3.80	470
34 **	REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 21	ระยอง	Spun	Dia 50	1,159.00	12.00	2.0	8.0	Drop	40.0	N/A	5.00	3.10	470
35 **	REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 23	ระยอง	Spun	Dia 50	1,159.00	10.00	2.0	8.0	Drop	40.0	N/A	5.00	2.00	470
36 **	REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 24	ระยอง	Spun	Dia 50	1,159.00	15.00	2.0	8.0	Drop	40.0	N/A	5.00	2.60	470
37 **	REFORMER AND AROMATIC COMPLEX II PROJECT Pile No. PLT - 25	ระยอง	Spun	Dia 50	1,159.00	13.00	2.0	8.0	Drop	40.0	N/A	5.00	2.20	470
38 *	โครงการก่อสร้างโรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า บริษัท ไทยทราฟิโคมพิวเตอร์จอร์จ จำกัด Test Pile : No 190 Line H / 1	ระยอง	Solid SQ	45 x 45	2025.0	10.0		9.4	Drop	70.0	N/A	5.00	4.70	392
39 *	PRODUCT QUALITY IMPROVEMENT PROJECT ( Test Pile No # PHC1)	กรุงเทพมหานคร	Spun	Dia 50	1159.0	27.0		8.0	Drop	50.0	N/A	5.00	6.50	449
40 *	PRODUCT QUALITY IMPROVEMENT PROJECT ( Test Pile No # PHC2)	กรุงเทพมหานคร	Spun	Dia 50	1159.0	24.0		8.0	Drop	30.0	N/A	5.00	5.40	449
41 *	โครงการศูนย์ผู้นำเครื่องเจริญโภคภัณฑ์ ต.น้ำแดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (เสาเข็มทดสอบหมายเลข 1)	นครราชสีมา	Solid SQ	52.5 x 52.5	2756.3	7.0		6.5	Drop	30.0	N/A	5.00	2.30	361
42 *	โครงการศูนย์ผู้นำเครื่องเจริญโภคภัณฑ์ ต.น้ำแดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (เสาเข็มทดสอบหมายเลข 5)	นครราชสีมา	Solid SQ	52.5 x 52.5	2756.3	7.0		4.7	Drop	30.0	N/A	5.00	6.20	361
43 *	โครงการศูนย์ผู้นำเครื่องเจริญโภคภัณฑ์ ต.น้ำแดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (เสาเข็มทดสอบหมายเลข 8)	นครราชสีมา	Solid SQ	52.5 x 52.5	2756.3	7.0		6.5	Drop	30.0	N/A	5.00	2.70	361
44 *	โครงการศูนย์ผู้นำเครื่องเจริญโภคภัณฑ์ ต.น้ำแดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (เสาเข็มทดสอบหมายเลข 24)	นครราชสีมา	Solid SQ	52.5 x 52.5	2756.3	7.0		6.5	Drop	30.0	N/A	5.00	2.10	361
45 *	โครงการศูนย์ผู้นำเครื่องเจริญโภคภัณฑ์ ต.น้ำแดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (เสาเข็มทดสอบหมายเลข 26)	นครราชสีมา	Solid SQ	52.5 x 52.5	2756.3	7.0		6.5	Drop	30.0	N/A	5.00	1.80	361

Remark \* Clay , \*\* Sand

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเฉลิมพล วิเศษทุม เกิดเมื่อวันที่ 8 พฤศจิกายน 2511 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสีกัน ( วัดมนานันท์อุบลรัตน์ ) สำเร็จการศึกษาระดับอาชีวศึกษาจากวิทยาลัยเทคนิคดุสิต สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2552

ปัจจุบันรับราชการตำแหน่งนายช่างชลประทาน ระดับชำนาญงาน สังกัด ฝ่ายตรวจสอบ และวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม ส่วนวิศวกรรมบริหาร สำนักชลประทานที่ 1 กรมชลประทาน