

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ตอกในดินกรุงเทพฯ



นายสนิท พิพิธสมบัติ

005121

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่ง ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2523

Pile Driving Formula for Bangkok Clay

Mr. Snit Pipitsombat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1980

หัวข้อวิทยานิพนธ์

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าตั้งรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ตอกในดินกรุงเทพฯ

ชื่อนิสิต

นายสนธิ พิพิธสมบัติ

ภาควิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....*วิเชียร เต็งอำนวย*.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุญนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....*วิเชียร เต็งอำนวย*.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุญนาค)

.....*วิเชียร เต็งอำนวย*.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย)

.....*สุรพล จิวาดี*.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาดี)

.....*สุรฉัตร สัมพันธ์*.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวขอวิทยานิพนธ์
ชื่อนิสิต

อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาควิชา

ปีการศึกษา

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าดึงรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ตอกในดินกรุงเทพฯ

นายสนธิ พิพิธสมบัติ

รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย

วิศวกรรมโยธา

2522



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นการวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็ม (Pile driving formula) ที่เหมาะสมและสามารถใช้ได้กับเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงที่ตอกภายในบริเวณกรุงเทพฯ ในการวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็มนี้ ได้รวบรวมข้อมูลผลการทดสอบเสาเข็มที่ทำการทดสอบจนถึงน้ำหนักพิบัติจำนวน 53 ต้น ประกอบด้วย เสาเข็มหน้าตัดรูป DH 24 ต้น รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส 17 ต้น และรูป 12 ต้น ซึ่งมีขนาดและความยาวแตกต่างกันคือ

1. หน้าตัดรูป DH มีขนาดตั้งแต่ $.25 \times .25$ ไปจนถึงขนาด $.40 \times .40$ และมีความยาว 16 - 26 เมตร
2. หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดตั้งแต่ $.18 \times .18$ ไปจนถึงขนาด $.525 \times .525$ และมีความยาว 21 - 30 เมตร
3. หน้าตัดรูป I มีขนาดตั้งแต่ $.26 \times .26$ ไปจนถึงขนาด $.40 \times .40$ และมีความยาว 21 - 23 เมตร

และจากการพิจารณาน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มจากกราฟที่เขียนระหว่าง น้ำหนัก กับ ระยะทรุดตัวของเสาเข็ม เราพอจะกล่าวได้ว่า ระดับปลายของเสาเข็มส่วนใหญ่ อยู่ใน stiff clay

ก่อนการวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็ม ได้ทดลองแทนค่าต่าง ๆ ลงในสูตรการตอกเสาเข็มที่ใช้อยู่ทั่วไป 12 สูตร แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้ โดยวิธีเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่ได้จากสูตรทั้ง 12 สูตร กับน้ำหนักพิบัติที่ได้จากการทดสอบในสนาม และจากการใช้วิธีการทางสถิติ โดยใช้หลักการของเส้นถดถอยแบบธรรมดา เพื่อหาสูตรการตอกเสาเข็มที่ให้ค่าใกล้เคียงที่สุด ปรากฏว่า สำหรับเสาเข็มหน้าตัดรูป DH และสี่เหลี่ยมจัตุรัส สูตรที่ให้ค่าใกล้เคียงที่สุดได้แก่ สูตรของ Gate และ Janbu ตามลำดับ

ในการวิเคราะห์สูตรการตกเสาเข็มใหม่ที่เหมาะสม ให้นำสูตรการตกเสาเข็มที่ไคก้าไกด์
เคียงที่สุด 4 สูตรแรกมาวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมที่สุดออกมา ปรากฏว่า สำหรับเสาเข็มหน้าตัดรูป
DH และ I สูตรที่เหมาะสมที่สุดไคก้าไกด์ สูตรที่ปรับปรุงมาจากสูตรของ Gate และสำหรับเสาเข็มหน้าตัด
รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส สูตรที่เหมาะสมที่สุดไคก้าไกด์ สูตรที่ปรับปรุงมาจากสูตรของ Jambu เมื่อทดลองแทน
ค่าต่าง ๆ ลงในสูตรทั้ง 2 ที่ปรับปรุงใหม่นี้ ปรากฏว่า ความผิดพลาดส่วนใหญ่อยู่ในช่วงน้อยกว่า 20 %
ของน้ำหนักพิชิตไคก้าไกด์จากการทดสอบในสนาม

Thesis Title Pile Driving Formula for Bangkok Clay
Name Mr. Snit Pipitsombat
Thesis Advisor Associate Professor Vichien Tengamuay
Department Civil Engineering
Academic Year 1979

ABSTRACT

This thesis study is the analyses of Pile driving formula which can be used for prestressed concrete piles driven in Bangkok area. In these analyses, the results of 53 pile load tests which were tested to failure in field were collected, these include 24 DH, 17 square and 12 I pile load tests. The pile size and length are varied as follows:

- (i) DH size from .25 x .25 to .40 x .40, length from 16 - 26 meters
- (ii) Square size from .18 x .18 to .525 x .525, length from 21 - 30 meters
- (iii) I size from .26 x .26 to .40 x .40, length from 21 - 23 meters

And most of the pile tips are in stiff clay.

Before the analyses of the pile driving formula, 12 formulas which commonly used were substituted to find the most accurate formula. By plotting the failure load from 12 formulas against the tested failure load and the application of statistical method by using Simple Linear Regression, it was shown that for DH and Square piles the most accurate formulas are Gate and Janbu respectively.

In the analyses of pile driving formula the first four formulas which give the best result were used to find the most accurate equation. The results shown that the modified Gate and modified Janbu are the most accurate formulas for DH and Square piles respectively. Most of the results from these modified Pile driving formulas give the deviation of 20 % base on the tested result.



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวยการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ความรู้ และคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนได้กรุณาตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุประคิษฐ์ บุนนาค ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาตรวจแก้ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ อันทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด บริษัท เยนเนอรัล เอ็นยีเนียริง จำกัด บริษัท นครหลวงวัสดุภัณฑ์ จำกัด บริษัท ไทยเอ็นยีเนียริง คอนซอลแตนท์ จำกัด บริษัท Soil Testing Siam จำกัด และบริษัทผลิตเสาเข็มอื่น ๆ ที่ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่งในการให้ข้อมูล และคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ พี่และเพื่อน ทุกคนที่ได้ให้ความร่วมมือ และคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลงด้วยดี

สนธิ พิพิธสมบัติ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ	
กิตติกรรมประกาศ	ข	
รายการตารางประกอบ	ฅ	
รายการรูปประกอบ	ฉ	
สัญลักษณ์	ค	
บทที่ 1	บทนำ	
1.1	ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2	วัตถุประสงค์	1
1.3	ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4	แหล่งที่มาของข้อมูล	2
บทที่ 2	ทฤษฎีบท	
2.1	การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม	3
2.2	วิธีการทดสอบหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม	6
2.3	การหาแรงพิบัติของเสาเข็มเดี่ยวที่รับแรงกดในแนวตั้ง	9
2.4	การหาน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย จากผลการทดสอบเสาเข็ม	16
2.5	สูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula)	17
2.6	Factor ต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความต้านทานการทรุดตัวของเสาเข็ม	27
2.7	หลักสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็ม	28



บทที่ 3	การวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็ม	
	3.1 รายละเอียดต่าง ๆ ของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	30
	3.2 สูตรการตอกเสาเข็มที่นำมาทดลองแทนค่า	38
	3.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักพิคของเสาเข็มที่ได้จากสูตร การตอกเสาเข็มกับที่ได้จากการทดสอบในสนาม	41
	3.4 การวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับดินกรุงเทพฯ	48
บทที่ 4	ผลที่ได้และวิจารณ์	61
บทที่ 5	สรุป และ ข้อเสนอแนะ	67
	เอกสารอ้างอิง	70
	ภาคผนวก ก.	72
	ภาคผนวก ข.	139
	ประวัติ	144

รายการตารางประกอบ

	หน้า
ตารางที่ 2.1	7
แสดงค่า Limitting Rate สำหรับการทดสอบเสาเข็ม แบบ Maintained Load Test	
2.2	27
แสดงค่าน้ำหนักค่าสุดของลูกตุ้มที่แนะนำโดย Humes	
3.1	33
แสดงรายละเอียดค่าง ๆ ของเสาเข็มหน้าคักรูป DH	
3.2	35
แสดงรายละเอียดค่าง ๆ ของเสาเข็มหน้าคักรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส	
3.3	37
แสดงรายละเอียดค่าง ๆ ของเสาเข็มหน้าคักรูป I	
3.4	38
สูตรการตอกเสาเข็ม (Pile Driving Formula) ที่ใช้ในการ วิเคราะห์	
3.5	42
แสดงค่าคงที่ K_1 และ K_2 ที่ใช้ในการหาค่าน้ำหนักพิบัติของเสาเข็ม จากสมการที่ 1 หัวข้อ 3.3.1	
3.6	45
แสดงค่า β และ R^2 จากสูตรการตอกเสาเข็มค่าง ๆ	
3.7	46
สูตรการตอกเสาเข็มเรียงตามค่า R^2 จากมากไปหาน้อยตามลำดับ	
3.8	49
แสดงค่า β และ R^2 ที่ได้จากสูตรการตอกเสาเข็มที่สมมุติขึ้นใหม่ ของเสาเข็มหน้าคักรูป DH	
3.9	51
แสดงค่า Error ของน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มหน้าคักรูป DH ที่ได้ จากสมการที่ 3.5 และ 3.6 หัวข้อ 3.4.1	
3.10	54
แสดงค่า β และ R^2 ที่ได้จากสูตรการตอกเสาเข็มที่สมมุติขึ้นใหม่ ของเสาเข็มหน้าคักรูป สี่เหลี่ยมจัตุรัส	
3.11	57
แสดงค่า Error ของน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มหน้าคักรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่ได้จากสมการที่ 3.8 และ 3.9 หัวข้อ 3.4.2	
3.12	59
แสดงค่า Error ของน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มหน้าคักรูป I ที่ได้จาก การแทนค่าลงในสูตรการตอกเสาเข็มที่ใช้สำหรับเสาเข็มหน้าคักรูป DH	

		หน้า
ตารางที่ 5.1	แสดงรายละเอียดต่างๆ ของเสาเข็มที่นำมาวิเคราะห์	67
1 - 4	แสดงน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรการตอกเสาเข็มสำหรับ เสาเข็มหน้าตักรูป DH	71 - 78
5 - 8	แสดงน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรการตอกเสาเข็มสำหรับ เสาเข็มหน้าตักรูป สี่เหลี่ยมจัตุรัส	79 - 86

รายการรูปประกอบ

หน้า

รูปที่ 2.1	การทำ Pile Load Test โดยใช้น้ำหนักกดหัวเสาเข็มใหม่ผ่านกระเบที่ บรรทุกน้ำหนักโดยตรง	5
2.2	การทำ Pile Load Test โดยใช้ Hydraulic Jack กันกับกระเบ ที่บรรทุกน้ำหนักไว้ข้างบน	5
2.3	การทำ Pile Load Test โดยใช้ Hydraulic Jack กันกับ Anchor Piles	5
2.4	การหาแรงพิบัติของเสาเข็มโดยวิธีของ Housel, W.S. (1956)	10
2.5	การหาแรงพิบัติของเสาเข็มโดยถือจากความชัน (Slope) ของกราฟ	12
2.6	การหาแรงพิบัติของเสาเข็มที่ทดสอบควยวิธี Quick Load Test	12
2.7	การหาแรงพิบัติของเสาเข็มโดยวิธีของ Fellinius, B.H. (1975) De Beer, E.E.	13
2.8	การหาแรงพิบัติของ Friction Pile โดยวิธีของ Whitaker, T	14
2.9	การหาแรงพิบัติของ End Bearing Pile โดยวิธีของ Whitaker, T	14
2.10	การหาแรงพิบัติของเสาเข็มโดยวิธีของ Mazurkiewicz, B.K.	15
2.11	แสดงการเคลื่อนที่ของเสาเข็มขณะที่ทำการตอก	19
3.1	แสดงรูปร่างหน้าตัดของเสาเข็มที่นำมาวิเคราะห์หาสูตร	31
3.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง t/S กับ $\frac{R_t}{\sqrt{e_n W r h}}$ ของเสาเข็ม หน้าตัดรูป DH	50
3.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R_t กับ $\frac{W r h}{K u S + \frac{1}{2} \sqrt{2 a b}}$ ของเสาเข็ม หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส	55
3.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่คำนวณได้ (R_c) จากสูตรการตอกเสาเข็ม $R_c = \sqrt{W r h} (44.6 \log t/S + 8.22)$ กับน้ำหนักพิบัติที่ไดจากการทดสอบในสนาม (R_c) ของเสาเข็มหน้าตัดรูป I	60

รูปที่	1 - 5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่คำนวณได้ (R_c) กับที่ได้จากการทดสอบในสนาม (R_t) ของเสาเข็มหน้าตัดรูป DH	89 - 93
	6 - 9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่คำนวณได้ (R_c) กับที่ได้จากการทดสอบในสนาม (R_t) ของเสาเข็มหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส	94 - 97
	10	Load-Settlement Curve ของเสาเข็มที่นำมาวิเคราะห์น้ำหนักพิบัติของเสาเข็ม DH จากสูตรการตอกเสาเข็ม	98 - 138 140
	11 - 13	$R_c = \sqrt{Wrh} (44.6 \log t/s + 8.22)$ การหาน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส	141 - 143

สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม
B	=	ความกว้างของหน้าตัดเสาเข็ม
a	=	$eWrh$ ($e = 0.80$)
b	=	$\frac{L}{AE_L}$
C ₁	=	Elastic Compression ของที่รองรับเสาเข็ม
C ₂	=	Elastic Compression ของเสาเข็ม
C ₃	=	Elastic Compression ของดิน
Cd	=	$0.75 + 0.15 Wp/Wr$
D	=	ระดับของปลายเสาเข็มจากผิวดิน
Ef	=	พลังงานของลูกตุ้ม และเสาเข็มในช่วงสุดท้ายของการคั่นตัว
Eh	=	ประสิทธิภาพของเครื่องตอกเสาเข็ม
Ei	=	พลังงานของลูกตุ้มก่อนกระทบหัวเสาเข็ม
El	=	พลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากการ
E _L	=	พิกัดยืด (Modulus of Elasticity) ของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม
En	=	พลังงานจากเครื่องตอกเสาเข็ม
Et	=	พิกัดยืด (Modulus of Elasticity) ของที่รองรับเสาเข็ม
ε	=	ความเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก
h	=	ระยะยกของลูกตุ้ม
I	=	Impuls ที่ทำให้เกิด Compression
K	=	$\frac{WrhL}{A}$
K ₁ , K ₂	=	ค่าคงที่สำหรับปรับค่าที่ได้จากสูตรการตอกเสาเข็ม
Ku	=	$Cd \left[1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda}{Cd}} \right]$
λ	=	$\frac{WrhL}{AE_L S^2}$



L	=	ความยาวของเสาเข็ม
L_2	=	ความหนาของที่รองหัวเสาเข็ม
m_p	=	มวลของเสาเข็ม = W_p/g
m_r	=	มวลของลูกตุ้ม = W_r/g
M_r	=	Momentum ของลูกตุ้ม = $m_r V$
M_p	=	Momentum ของเสาเข็ม = $m_p V$
n	=	สัมประสิทธิ์ของการคืนตัว (Coefficient of Restitution)
R_c	=	น้ำหนักพิบติของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรการตกเสาเข็ม
R_t	=	น้ำหนักพิบติของเสาเข็มที่ไ้จากการทดสอบในสนาม
R_u	=	น้ำหนักพิบติของเสาเข็มที่ปรับค่าจากสูตรการตกเสาเข็มแล้ว
S	=	ระยะทรุดตัวของเสาเข็ม
t	=	ความกว้าง หรือ คาบแคบที่สุดของเสาเข็ม
V_{ce}	=	ความเร็วของลูกตุ้มและเสาเข็มในช่วงสุดท้ายของการเกิด Compression
V_i	=	ความเร็วของลูกตุ้มในขณะที่กระทบกับเสาเข็ม
V_p	=	ความเร็วของเสาเข็มในช่วงสุดท้ายของการคืนตัว
V_r	=	ความเร็วของลูกตุ้มในช่วงสุดท้ายของการคืนตัว
W_p	=	น้ำหนักของเสาเข็ม
W_r	=	น้ำหนักของลูกตุ้ม
X_i	=	ตัวแปรผันของน้ำหนักพิบติของเสาเข็มที่ไ้จากสูตรการตกเสาเข็ม
Y_i	=	ตัวแปรผันของน้ำหนักพิบติของเสาเข็มที่ไ้จากการทดสอบในสนาม
β	=	สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ X