

การประเมินการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์  
ในชั้นดินกรุงเทพฯ และระยอง



นางสาว พิชยา ทวีเลิศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-102-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION OF DYNAMIC PILE LOAD TEST PERFORMANCE  
IN BANGKOK AND RAYONG SUBSOILS



Miss Peechaya Thaveelert

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

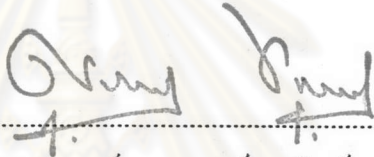
Academic Year 1996

ISBN 974-636-102-3

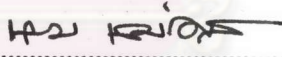
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ ในชั้นดินกรุงเทพฯ และจังหวัดระยอง
โดย	นางสาว พีชยา ทวีเลิศ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวฉัตรชัย

---

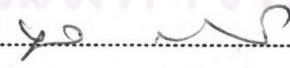
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

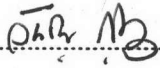
  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงค์)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวฉัตรชัย)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย เทพรักษ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



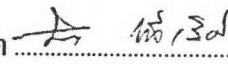

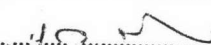
พิชยา ทวีเลิศ : การประเมินการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ ในชั้นดิน  
กรุงเทพฯ และระยอง ( EVALUATION OF DYNAMIC PILE LOAD TEST PERFORMANCE IN  
BANGKOK AND RAYONG SUBSOILS ) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ ,  
อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.สุรพล จิวาลักษณ์ , 235 หน้า. ISBN 974-636-102-3

การวิจัยนี้ มีจุดประสงค์เพื่อประเมินการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก ด้วยวิธีทดสอบแบบ  
พลศาสตร์(Dynamic pile load test) ในดินกรุงเทพฯ และจังหวัดระยอง โดยพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่าง  
ผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีทดสอบแบบพลศาสตร์ กับแบบสถิตศาสตร์ หาอัตราส่วน  
การเปลี่ยนแปลงค่าการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยวิธีทดสอบแบบพลศาสตร์ ที่ restrike test ต่อ initial test  
เทียบกับเวลา เปรียบเทียบผลการประเมินการรับน้ำหนักของเสาเข็มเมื่อทดสอบด้วยวิธีแบบพลศาสตร์ กับ  
ผลการวิเคราะห์การรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีกลศาสตร์ของดิน โดยแยกพิจารณาเป็นแรงเสียดทานที่ผิว  
แรงธรรที่ปลายเสาเข็ม และความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุด รวมทั้งได้พิจารณา parameters ที่มีผล  
ต่อการวิเคราะห์ผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย 1.) ผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีแบบ  
พลศาสตร์ 2.) ผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีแบบสถิตศาสตร์ (maintain load) 3.) ข้อมูล  
จากการเจาะสำรวจชั้นดิน

จากข้อมูลที่ค่อนข้างจำกัด ผลการวิจัยนี้สรุปได้ว่า การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธี  
แบบพลศาสตร์ เป็นวิธีประเมินผลการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ดีวิธีหนึ่ง โดยความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบ  
การรับน้ำหนักของเสาเข็มแบบพลศาสตร์ โดยใช้ (CAPWAPC Capacity, Y) กับวิธีทดสอบแบบสถิตศาสตร์  
(Mazurkiewicz's method , X) ในดินกรุงเทพฯ คือ  $Y = 0.963 X$  ;  $R^2 = 0.85$  และในดินจังหวัดระยอง  
 $Y = 1.172 X$  ;  $R^2 = 0.68$  ซึ่งให้ค่า  $R^2$  ดีกว่าการใช้ค่าน้ำหนักสูงสุดจาก Mazurkiewicz's method ทั้งคู่  
ส่วนอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ที่ restrike test ต่อ initial test กับเวลา นั้น พบว่า  
ขนาดเสาเข็มและชนิดของดินที่ปลายเสาเข็ม มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ซึ่ง  
ผลการวิจัยนี้พบว่าอาจเพิ่มหรือลดก็ได้ การเปรียบเทียบผลจากการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธี  
แบบพลศาสตร์กับการวิเคราะห์ผลด้วยวิธีกลศาสตร์ของดิน พบว่า ในดินกรุงเทพฯ เสาเข็มตอกในโครงการ  
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมวังน้อย ค่าแรงเสียดทานที่ผิว แรงธรรที่ปลายเสาเข็ม และค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุด  
จากวิธีทั้งสอง บางต้นมีค่าใกล้เคียงกัน บางต้นแตกต่างกัน ส่วนเสาเข็มแรงเหวี่ยงโครงการทางด่วนสาย  
รามอินทรา-อาจณรงค์ จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักต่าง ๆ จากทั้งสองวิธีมีความใกล้เคียงกันมาก สำหรับเสาเข็ม  
ในชั้นดินจังหวัดระยองค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดจากทั้งสองวิธีจะให้ค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่าแรงเสียดทานที่ผิว และ  
แรงธรรที่ปลายเสาเข็มค่อนข้างแตกต่างกัน สำหรับ parameters ที่มีผลต่อการวิเคราะห์ผลในการทดสอบ  
การรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ มากที่สุดค่าหนึ่งคือ total static resistance ส่วน dynamic  
parameters ตัวอื่นๆ มีช่วงที่ค่อนข้างกว้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

## C615197 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: DYNAMIC PILE LOAD TEST / PILE DRIVING ANALYSER / CAPWAPC (CASE PILE WAVE ANALYSIS PROGRAM CONTINUOUS - VERSION) / STATIC PILE LOAD TEST

PEECHAYA THAVEELERT : EVALUATION OF DYNAMIC PILE LOAD TEST PERFORMANCE IN BANGKOK AND RAYONG SUBSOILS. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SURACHAT SAMBHANDHARAKSA , Sc.D. , THESIS CO-ADVISOR : ASSIST. PROF. SURAPHOL CHIVALAK , Ph.D. 235 pp. ISBN 974-636-102-3

This research has the objective to evaluate the Dynamic pile load test for the driven pile in Bangkok and Rayong subsoils. The relationship between the result of pile bearing load from Dynamic pile load test method and Static pile load test method was considered , including of the differential ratio of pile load capacity from Dynamic pile load test when restrike test to initial test with time. The pile load capacities from Dynamic pile load test were compared with those evaluated from Soil mechanics method. In addition the parameters that influence in analysing pile load capacity in Dynamic pile load test were summarized.

Data for research is composed of : 1) the result of pile load capacity from Dynamic pile load test ; 2) the result of pile load capacity from Static pile load test (maintain load) ; and 3) data from soil boring.

Based on limiting data , the conclusion of research are : Dynamic pile load test is considered to be good method to evaluate pile load capacity. And the relationship between the result of pile bearing load from Dynamic pile load test by using CAPWAPC Capacity (Y) and Static pile load test by using Mazurkiewicz's method (X) in Bangkok subsoils is  $Y = 0.963 X ; R^2 = 0.85$  . For Rayong subsoils the relation is  $Y = 1.172 X ; R^2 = 0.68$  . These values of  $R^2$  are better when using ultimate load based on Mazurkiewicz's failure criterion for both dynamic and static analysis. When considering, the differential ratio of pile load capacity at restrike test to initial test with time , it was found that pile size and type of soil at pile tip have an effect to change the ratio of pile load capacity. This ratio may increase or decrease. When the skin friction and end bearing load results from Dynamic pile load test and from Soil mechanics method were compared for Bangkok and Rayong subsoils. At Wangnoi , the comparisons show the ultimate load from both of methods are in good agreement in some piles. And some piles yield rather poor results. About spun piles at Ramindra-Atnarong Expressway Project , the comparisons yield good results. And piles in Rayong give the value of ultimate bearing load form both methods are about the same but the skin friction and end bearing load have different values. Regarding to the important of parameters that influence in analysing of the Dynamic pile load test result is input of the total static resistance. Other dynamic parameters have a wide range leading to the difficulty in selection.

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่อนิติ..... A 12013d

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นที่สุด ที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอนวิชา ความรู้ต่างๆ ตลอดจนได้ทุ่มเทเวลาส่วนตัวติดตามให้คำปรึกษา แนะนำวิธีแก้ปัญหา ตลอดจน ตรวจสอบ แก้ไข วิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม และคณะกรรมการทุกท่าน ที่ได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จด้วยดี

ผู้เขียนระลึกถึงพระคุณของ บิดา มารดา ครู และอาจารย์ ที่ได้ให้ความสนับสนุน เป็นกำลังใจ และช่วยให้ผู้เขียนประสบความสำเร็จในการศึกษาจนถึงปัจจุบัน

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณณัฐมนต์ กัมปนานนท์ บริษัท เอสทีเอส เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล และอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการทำ วิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณไกร ตั้งสง่า บริษัท พีรามิด ดีเวลลอปเม้นท์ อินเตอร์เนชั่นแนล คอร์ปอเรชั่น จำกัด การทางพิเศษแห่งประเทศไทย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย คุณวิเชียร รุ่งรุจิรัตน์ คุณคณิต วิทย์พิบูลย์ คุณสมชาย ประยงค์พันธ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณเมธี หงษ์น้อย และคุณปฐม เฉลยวาเรศ ที่ได้ให้โอกาส ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณอภิญา จำวัง คุณสมเกียรติ ทรัพย์ทวีศิริกุล คุณสุชรา มะโนธรรม เพื่อนๆ และน้องทั้งสองคน ที่ได้ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกต่างๆ และขอขอบคุณทุกท่าน ที่มีส่วนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิชชา ทวีเลิศ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญเรื่อง.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ค
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัยโดยย่อ.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2. ทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา.....	6
2.1 พฤติกรรมที่เกิดจากการตอกเสาเข็ม.....	6
2.1.1 พฤติกรรมของดินเมื่อถูกกระทำโดยหน่วยแรงจากการตอกเสาเข็ม.....	6
2.1.2 พฤติกรรมของเสาเข็มเมื่อถูกหน่วยแรงกระทำเนื่องจากการตอก.....	7
2.2 การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม.....	9
2.2.1 การประเมินค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยวิธีปฐพีกลศาสตร์.....	9
2.2.1.1 วิธีประเมินค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม.....	10
2.2.1.2 ค่าคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม.....	14
2.2.2 การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยวิธีสถิตศาสตร์ (Static pile load test).....	25
2.2.2.1 วิธีทดสอบ.....	28
2.2.2.2 ความหมายของผลการทดสอบ.....	28

บทที่	หน้า
2.2.3 การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยวิธีพลศาสตร์ (Dynamic pile load test).....	30
2.2.3.1 ทฤษฎีคลื่น (Wave theory).....	30
a.) กลศาสตร์ของคลื่น (Wave mechanics).....	30
b.) คลื่นแรงต้าน (Resistance wave).....	34
2.2.3.2 การวิเคราะห์การตอกเสาเข็ม โดยใช้สมการคลื่น.....	36
2.2.3.3 วิธีการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยวิธีพลศาสตร์.....	46
a.) เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	46
b.) การวิเคราะห์คำตอบจาก PDA.....	50
2.2.3.4 Case method.....	54
2.2.3.5 CAPWAPC.....	57
a.) การวิเคราะห์ผล.....	59
b.) CAPWAPC variables.....	64
c.) วิธีใช้และผลการวิเคราะห์จาก CAPWAPC.....	66
2.2.4 แนวคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ด้วยวิธีทดสอบแบบพลศาสตร์ (Dynamic pile load test) โดย CAPWAPC กับทดสอบด้วยวิธีแบบสถิตศาสตร์ (Static pile load test).....	68
3. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย.....	75
3.1 ข้อมูลการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธีสถิตศาสตร์ (Static pile load test) และพลศาสตร์ (Dynamic pile load test).....	75
3.2 ข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil investigation).....	81
3.3 ข้อมูลทดสอบเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ (Dynamic pile load test) ที่เวลาขณะตอกเสาเข็มเสร็จ (initial test) กับหลังจากปล่อยเสาเข็มไว้ ช่วงเวลาหนึ่งแล้วจึงทดสอบ (restrike test).....	87
4. ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย.....	94
4.1 ขั้นตอนการวิจัย.....	94
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก โดยวิธีพลศาสตร์ กับสถิตศาสตร์.....	95
4.2.1 ความสัมพันธ์ในดินกรุงเทพ.....	96



4.2.2 ความสัมพันธ์ในดินจังหวัดระยอง.....	102
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยวิธีทดสอบแบบพลศาสตร์ กับเวลา.....	108
4.3.1 ความสัมพันธ์ในดินกรุงเทพ.....	109
4.3.2 ความสัมพันธ์ในดินจังหวัดระยอง.....	110
4.4 เปรียบเทียบการรับน้ำหนักของเสาเข็มเมื่อทดสอบด้วยวิธีแบบพลศาสตร์ กับจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีกลศาสตร์ของดิน.....	116
4.4.1 การวิเคราะห์ด้วยวิธีกลศาสตร์ของดินสำหรับดินกรุงเทพ.....	116
4.4.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธีกลศาสตร์ของดินสำหรับดินจังหวัดระยอง.....	117
4.4.3 ผลการวิเคราะห์.....	118
4.5 parameters ที่มีผลต่อการวิเคราะห์การประเมินผลการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ด้วยวิธีพลศาสตร์.....	125
5. สรุปผลการวิเคราะห์และขอเสนอแนะ.....	128
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....	128
5.2 ขอเสนอแนะและศึกษาเพิ่มเติม.....	133
เอกสารอ้างอิง.....	134
ภาคผนวก	
ก. แสดงตัวอย่างการแสดงผลจาก PDA ที่ initial driving แสดงที่มาของ Case method ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์และแสดงตัวอย่างการแสดงผลจากCAPWAPC....	137
ข. แสดง Load - settlement curve จากการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ด้วยวิธีแบบสถิตศาสตร์.....	150
ค. แสดงลักษณะชั้นดิน และข้อมูลดิน.....	170
ง. แสดงข้อมูลการตอกเสาเข็มที่ initial test และ restrrike test.....	230
ประวัติผู้เขียน.....	235

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติของดินโดยประมาณของชั้นดินกรุงเทพ (Tonyagate , 1978).....	12
2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $N$ กับ $q_u$ (Terzaghi และ Peck , 1948).....	16
2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $N$ กับ $\phi$ (Meyerhof (1956) และ Peck (1958)).....	17
2.4 แสดงค่า Quake , damping factor , % $R_u$ (Forehand และ Reese , 1964).....	40
2.5 แสดงค่า damping ที่ผิวเสาเข็ม และ damping laws (After To , 1986 และ Holeyman , 1986).....	43
2.6 แสดงค่า damping ที่ปลายเสาเข็ม และ damping laws (After To , 1986 และ Holeyman , 1986).....	44
2.7 แสดงค่า damping factor ตามแนวคิดของ Smith (1960) (After To , 1986).....	45
2.8 แสดงค่าความเร็วคลื่นในวัสดุต่างๆ.....	47
2.9 แสดงเกณฑ์ของค่าความเค้นอัด และความเค้นดึงสูงสุดที่ยอมให้ แนะนำโดย Federal Highway Administration (Vanikar , 1986).....	51
2.10 แสดงค่า Case damping factor จำแนกตามชนิดของดินที่ปลายเสาเข็ม (Rausche และ Goble , 1975).....	55
2.11 แสดงค่า damping factor ที่ปลาย และผิวเสาเข็ม สำหรับ CAPWAPC (Fernando , 1993).....	66
2.12 แสดงการกระจายแรงต้านทานในดิน สำหรับ CAPWAPC (Fernando , 1993).....	66
2.13 แสดงค่า CAPWAPC variables (CAPWAPC manual , 1993).....	67
2.14 แสดงค่าผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีทดสอบแบบพลศาสตร์ โดย CAPWAPC กับวิธีสถิตศาสตร์ (Fellinius , 1984).....	71
2.15 แสดงความสัมพันธ์ของผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ด้วยวิธีทดสอบแบบพลศาสตร์ และแบบสถิตศาสตร์ (Fernando , 1993).....	74
2.16 แสดงถึงการเปรียบเทียบ initial gradient จากผลทดสอบการรับน้ำหนัก ของเสาเข็มด้วยวิธีทดสอบแบบพลศาสตร์ และแบบสถิตศาสตร์ (Fernando , 1993).....	74

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มในดินกรุงเทพฯ.....	76
3.2 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มในดินจ.ระยอง.....	82
3.3 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งกรุงเทพฯ.....	88
3.4 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทรายกรุงเทพฯชั้นแรก.....	89
3.5 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้น Clayey sand จ.ระยอง.....	91
3.6 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้น Clayey sand (Completely decomposed granite) จ.ระยอง.....	92
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก โดยวิธีทดสอบแบบพลศาสตร์ กับสถิติศาสตร์ ในดินกรุงเทพฯ แบบไม่แยกโครงการ.....	96
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก โดยวิธีทดสอบแบบพลศาสตร์ กับสถิติศาสตร์ ในดินกรุงเทพฯ โครงการทางด่วน สายรามอินทรา - อางณรงค์ ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทรายกรุงเทพฯชั้นแรก.....	99
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก โดยวิธีทดสอบแบบพลศาสตร์ กับสถิติศาสตร์ ในดินจ.ระยอง แบบไม่แยกโครงการ .....	102
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก โดยวิธีทดสอบแบบพลศาสตร์ กับสถิติศาสตร์ ในดินจ.ระยอง โครงการโรงพยาบาลแห่งชาติ ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้น Clayey sand (Completely decomposed granite).....	105
4.5 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงการรับน้ำหนักของเสาเข็ม เมื่อทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์ กับเวลา ในดินกรุงเทพฯ.....	109
4.6 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงการรับน้ำหนักของเสาเข็ม เมื่อทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์ กับเวลา ในดินจ.ระยอง.....	113
4.7 แสดงอัตราส่วนการรับน้ำหนักของเสาเข็มจากการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ด้วยวิธีกลศาสตร์ของดิน ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งกรุงเทพฯ.....	119

ตารางที่	หน้า
4.8 แสดงอัตราส่วนการรับน้ำหนักของเสาเข็มจากการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ด้วยวิธีกลศาสตร์ของดิน ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทรายกรุงเทพชั้นแรก.....	120
4.9 แสดงอัตราส่วนการรับน้ำหนักของเสาเข็มจากการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ด้วยวิธีกลศาสตร์ของดิน ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้น Clayey sand จ.ระยอง.....	121
4.10 แสดงอัตราส่วนการรับน้ำหนักของเสาเข็มจากการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ด้วยวิธีกลศาสตร์ของดิน ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้น Clayey sand (Completely decomposed granite) จ.ระยอง.....	124
4.11 แสดงช่วงของ parameters.....	127



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่กึ่งกลางเสาเข็มคอนกรีต ปลายปล่อยอิสระ (Samson , Hirsch และ Lowery , 1963).....	8
2.2 แสดงลักษณะหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่กึ่งกลางเสาเข็มคอนกรีต ปลายยึดแน่น (Samson , Hirsch และ Lowery , 1963).....	8
2.3 ลักษณะสภาพชั้นดินกรุงเทพมหานคร.....	11
2.4 แสดงลักษณะการกระจายหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง ของดินทรายรอบเสาเข็ม.....	11
2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกวิกฤติ กับมุมเสียดทานภายใน (After Meyerhof , 1976).....	15
2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า N (SPT) กับ $\phi$ (Peck , Hansen และ Thornburn , 1974).....	15
2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_u$ กับ $\phi$ (Peck , Hansen และ Thornburn , 1974).....	18
2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า N (SPT) กับ มุมเสียดทานภายใน สำหรับดินทราย จังหวัดระยอง (นริศ , 1993).....	18
2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะของเสาเข็ม กับกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ สำหรับดินกรุงเทพ (NG , 1983).....	20
2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะของเสาเข็ม กับกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ สำหรับดินกรุงเทพ (NG (1983) , สุวรรณ (2531) , Pimpasugdi (1989) ).....	20
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันน้ำในโพรงกับความลึก ในชั้นดินกรุงเทพ (NG , 1983).....	21
2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง กับความลึกในชั้นดินกรุงเทพ (Kurdsuwan , 1984).....	21
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กับค่ามุมเสียดทานภายใน (Vesic (1967) , Meyerhof (1976) , Chiewcharnsilp (1988)).....	23

รูปที่	หน้า
2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกับแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม กับค่ามุลเสียทานภายใน (After Berezantzev et al. , 1961).....	23
2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงต้านที่ปลายเสาเข็มสูงสุด กับค่ามุลเสียทานภายใน (Meyerhof , 1976).....	26
2.16 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม กับค่ามุลเสียทานภายใน ในทราย (Vesic , 1977).....	26
2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม กับค่ามุลเสียทานภายใน ในชั้นทรายกรุงเทพ (Pimpasugdi , 1989).....	27
2.18 แสดงถึงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม ด้วยวิธีต่างๆ.....	31
2.19 แสดงการหาความสัมพันธ์ต่างๆ และความเร็วคลื่น .....	32
2.20 แสดงการพิจารณาสมการคลื่น 1 มิติ ในแท่งโลหะ.....	33
2.21 แสดงคลื่นต้านทานการตอกเสาเข็ม.....	35
2.22 แสดงแบบจำลองสมการคลื่นของ Smith (Goble และ Rausche , 1976).....	39
2.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง damping factor กับ มุลเสียทานภายในของทราย (Coyle และ Gibson , 1970).....	42
2.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า damping factor กับ Liquidity index ของดินเหนียว (Coyle และ Gibson , 1970).....	42
2.25 แสดงถึงการแสดงข้อมูลบนหน้าจอ PDA.....	48
2.26 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดสัญญาณโดย PDA.....	48
2.27 แสดงวิธีหาความเร็วคลื่น.....	49
2.28 a และ b แสดงแนวทางของคลื่นของแรง และความเร็ว เมื่อเกิดความเสียหาย ในเสาเข็มคอนกรีต.....	53
2.29 แสดงตัวอย่างการคำนวณการรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดย Case method.....	56
2.30 แสดงถึงความสัมพันธ์ของ quake กับ static resistance ใน CAPWAPC .....	58
2.31 แสดงแบบจำลองของ Smith และความต่อเนื่องของส่วนของเสาเข็ม.....	58
2.32 แสดงแบบจำลองใน CAPWAPC .....	60
2.33 แสดงแบบจำลองแรงต้านในดินและการแบ่งส่วนของเสาเข็ม .....	61
2.34 แสดงถึงการแบ่งช่วงเวลาในการวิเคราะห์ด้วย CAPWAPC.....	61

รูปที่	หน้า
2.35 แสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์ผลด้วย CAPWAP.....	69
2.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CAPWAP capacity กับ Static load test (Goble et al. , 1980) .....	69
2.37 แสดงการเปรียบเทียบโดยใช้ วิธีของ Davisson หาน้ำหนักสูงสุด ระหว่าง CAPWAP Static load test โดยพิจารณาจาก load - deformation curve (Fellenius , 1984).....	72
2.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CAPWAP capacity กับ Static load test ซึ่งใช้วิธีของ Davisson หาน้ำหนักสูงสุด (Hannigan และ Webster ,1987).....	73
3.1 แสดงตำแหน่งเสาเข็มทดสอบ และหลุมเจาะสำรวจดินที่ใช้ในการวิจัย โครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา.....	78
3.2 แสดงตำแหน่งเสาเข็มทดสอบ และหลุมเจาะสำรวจดินที่ใช้ในการวิจัย โครงการทางด่วนสายรามอินทรา - อจณรงค์ กรุงเทพมหานคร.....	79
3.3 แสดงตำแหน่งเสาเข็มทดสอบ และหลุมเจาะสำรวจดินที่ใช้ในการวิจัย โครงการโรงพยาบาลแห่งชาติ ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง.....	80
3.4 แสดงตำแหน่งเสาเข็มทดสอบ และหลุมเจาะสำรวจดินที่ใช้ในการวิจัย โครงการ Thai Caprolactum ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง.....	83
3.5 แสดงตำแหน่งเสาเข็มทดสอบ ที่ใช้ในการวิจัย โครงการ Thai Rayong Refinery vol.2/2 ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง.....	84
3.6 แสดงตำแหน่งเสาเข็มทดสอบ และหลุมเจาะสำรวจดินที่ใช้ในการวิจัย โครงการ Siam Styrene Monomer ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง.....	86
4.1 แสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ (Mazurkiewicz's method) และ สถิติศาสตร์ (Mazurkiewicz's method) ในชั้นดินกรุงเทพ.....	97
4.2 แสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ (CAPWAP Capacity) และ สถิติศาสตร์ (Mazurkiewicz's method) ในชั้นดินกรุงเทพ.....	98

4.3	แสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ (Mazurkiewicz's method) และ สถิติศาสตร์ (Mazurkiewicz's method) ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทรายกรุงเทพชั้นแรก โครงการก่อสร้างทางด่วนสายรามอินทรา-อาจณรงค์ กรุงเทพมหานคร.....	100
4.4	แสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ (CAPWAPC Capacity) และ สถิติศาสตร์ (Mazurkiewicz's method) ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทรายกรุงเทพชั้นแรก โครงการก่อสร้างทางด่วนสายรามอินทรา-อาจณรงค์ กรุงเทพมหานคร.....	101
4.5	แสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ (Mazurkiewicz's method) และ สถิติศาสตร์ (Mazurkiewicz's method) ในชั้นดินจังหวัดระยอง.....	103
4.6	แสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ (CAPWAPC Capacity) และ สถิติศาสตร์ (Mazurkiewicz's method) ในชั้นดินจังหวัดระยอง.....	104
4.7	แสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ (Mazurkiewicz's method) และ สถิติศาสตร์ (Mazurkiewicz's method) ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้น Clayey sand (Completely decomposed granite) โครงการก่อสร้างโรงพยาบาลแห่งชาติ ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง.....	106
4.8	แสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ (CAPWAPC Capacity) และ สถิติศาสตร์ (Mazurkiewicz's method) ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้น Clayey sand (Completely decomposed granite) โครงการก่อสร้างโรงพยาบาลแห่งชาติ ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง.....	107
4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงการรับน้ำหนักของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง SQ.0.40 ม. เมื่อทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์กับเวลา ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งกรุงเทพ โครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมวังน้อย อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา.....	111



- 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงการรับน้ำหนัก  
ของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง SQ.0.45 ม. เมื่อทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์  
กับเวลา ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งกรุงเทพ โครงการโรงไฟฟ้า  
พลังความร้อนร่วมวังน้อย อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา.....111
- 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงการรับน้ำหนัก  
ของเสาเข็มแรงเหวี่ยง SP.0.60 ม. เมื่อทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์ กับเวลา  
ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทรายกรุงเทพชั้นแรก โครงการทางด่วนสายรามอินทรา-  
อาจณรงค์ กรุงเทพมหานคร.....112
- 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงการรับน้ำหนัก  
ของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง SQ.0.45 ม. เมื่อทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์ กับเวลา  
ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้น Clayey sand โครงการ Siam Styrene Monomer  
ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง.....114
- 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงการรับน้ำหนัก  
ของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง SQ.0.35 ม. เมื่อทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์ กับเวลา  
ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้น Clayey sand (Completely decomposed granite)  
โครงการโรงปุ๋ยแห่งชาติ ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง.....115
- 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงการรับน้ำหนัก  
ของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง SQ.0.45 ม. เมื่อทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์ กับเวลา  
ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้น Clayey sand (Completely decomposed granite)  
โครงการโรงปุ๋ยแห่งชาติ ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง.....115

## รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

$A_p$	ความยาวของเส้นรอบรูปของเสาเข็ม
$L$	ความยาวของเสาเข็ม
$C_a$	หน่วยแรงยึดเกาะ ( adhesion )
$\sigma'_{vs}$	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งที่ผิวเสาเข็ม ( effective overburden pressure in soil at pile shaft )
$K_s$	สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินด้านข้าง ( coefficient of lateral earth pressure )
$\phi_u$	มุมเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็ม ( angle of friction between soil and pile )
$\phi$	มุมเสียดทานภายใน (internal friction)
$A_b$	พื้นที่หน้าตัดที่ปลายของเสาเข็ม
$c$	cohesion of soil
$\sigma'_{vb}$	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งที่ปลายเข็ม ( effective overburden pressure in soil at pile tip )
$\gamma$	หน่วยน้ำหนักของดินที่ปลายเข็ม
$d$	เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มที่ปลายเสาเข็ม
$N_c, N_q, N_\gamma$	สัมประสิทธิ์กลางของค่าหน่วยแรงรับแรงชาร
$N$	Standard Penetration Test
PDA	Pile Driving Analyser
$R_s$	แรงต้านทานทางสถิตศาสตร์ (Static resistance)
$R_d$	แรงต้านทานทางพลศาสตร์ (Dynamic resistance)
$R_u$	แรงต้านทานสูงสุดทางสถิตศาสตร์ (Ultimate static resistance)
$J$	damping factor
$q$	การเคลื่อนตัวของเสาเข็มขณะที่ดินเริ่มมีพฤติกรรมเป็นพลาสติก (quake)
$Z$	ความต้านทานเพื่อหน่วงเหนี่ยวการเปลี่ยนแปลงความเร็ว (impedance)
CAPWAPC	Case Pile Wave Analysis Program - Continuous version