



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการทดสอบเพื่อความปลอดภัยของเสาเข็มตอกขนาด 18 , 24 , 25 และ 32 เมตร  
โดยวิธีรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบไดนามิกและเซซามิก

The Study of Safety in Blowing Driven Pile Size 18, 24, 25 and 32 Meter with The  
Dynamic and Seismic Bearing Pile Methods

นามผู้วิจัย นายจิรวัดน์ สติชัยวัฒน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

( รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอกพิพัฒน์ สอนวงษ์, วศ.ม. )

กรรมการ

( รองศาสตราจารย์เกียรติคุณ กวีญาณ, Ph.D. )

กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์มยุรี เทศผล, M.Eng. )

ประธานสาขาวิชา

( รองศาสตราจารย์พิรุทธิ์ เศรษฐกุล, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

สิงสิงห์ มตาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการทดสอบเพื่อความปลอดภัยของเสาเข็มตอกขนาด 18, 24, 25 และ 32 เมตร โดยวิธีรับ  
น้ำหนักบรรทุกแบบไดนามิกและเซซามิก

The Study of Safety in Blowing Driven Pile Size 18, 24, 25 and 32 Meter with The Dynamic and  
Seismic Bearing Pile Methods

โดย

นายจิรวัฒน์ สถิตย์วัฒน์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2553

จิรวัดน์ สถิตยวัฒน์ 2553: การศึกษาการทดสอบเพื่อความปลอดภัยของเสาเข็มตอกขนาด 18, 24, 25 และ 32 เมตรโดยวิธีรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบไดนามิกและเซซามิก ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา: รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอกพิพัฒน์ สอนวงษ์, วศ.ม. 179 หน้า

การวิจัยนี้ได้ศึกษาการทดสอบเพื่อความปลอดภัยของเสาเข็มตอกเสาเข็มขนาด 18 , 24 , 25 และ 32 เมตรโดยวิธีรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบไดนามิกและเซซามิก โดยศึกษาจากเสาเข็มที่ได้ทำการตอกเสร็จเรียบร้อยแล้ว เพื่อทดสอบหาความสมบูรณ์และน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปสี่เหลี่ยม โดยเลือกใช้พื้นที่ศึกษาในโครงการอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา อำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ขนาดเสาเข็ม  $0.30 \times 18.00$  เมตร , โครงการก่อสร้างอาคารเรียนรวมศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวีซอย 6 อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ขนาดเสาเข็ม  $0.35 \times 32.00$  เมตร , โครงการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยขนาดสูง 8 ชั้น ซอยอุดมสุข 51 ถนนสุขุมวิท กรุงเทพมหานคร ขนาดเสาเข็ม  $0.35 \times 25.00$  เมตร และโครงการสะพานข้ามคลองบางน้อย ถนนพุทธมณฑลสาย 1 ขนาดเสาเข็ม  $0.40 \times 24.00$  เมตร

การศึกษาการทดสอบครั้งนี้ใช้ของเสาเข็มตอกขนาด 18 , 24 , 25 และ 32 เมตรโดยวิธีรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบไดนามิกและเซซามิก แสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยสูงสุดของแต่ละวิธีการทดสอบโดยขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้าง และสามารถปฏิบัติงานอย่างปลอดภัย โดยเกิดความเสียหายน้อยที่สุดหรืออาจจะไม่มีการเกิดขึ้นในการก่อสร้างอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ

ผลจากการศึกษาในการตอกเสาเข็มโดยวิธีรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบไดนามิกและเซซามิก จากโครงการพื้นที่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล จะพบว่า การทดสอบวิธีรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบไดนามิกจะได้ผลการทดสอบทั้งกำลังรับน้ำหนักบรรทุกและสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มเหมาะสมสำหรับเสาเข็มที่ใช้วิธีการตอกเป็น อย่างดีจะทำการทดสอบเมื่อตอกเสาเข็มเสร็จ ภายใน 7 – 14 วัน แต่ในการทดสอบวิธีรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบเซซามิก พบว่าจะได้ผลการทดสอบเฉพาะสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มวิธีการทดสอบแบบนี้ไม่เหมาะสมกับเสาเข็มตอกเพราะเสาเข็มตอกสามารถเห็นสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มว่ามีรอยร้าว , การแตกหักของเสาเข็มก่อนที่จะทำการตอกและวิธีนี้จะไม่มีกำลังรับน้ำหนักบรรทุก จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการทดสอบการตอกเสาเข็มโดยวิธีการรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบไดนามิก มีความเหมาะสมกับเสาเข็มชนิดตอก มีประสิทธิภาพมากกว่าการทดสอบการตอกเสาเข็มโดยวิธีรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบเซซามิก ตรวจสอบทั้งสองวิธีพบว่าวิธีการทดสอบแบบไดนามิกมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการตอกมากกว่าและให้รายละเอียดในการทดสอบมากกว่า

---

ลายมือชื่อนิติ

---

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Jirawat Satidwat 2010: The Study of Safety in Blowing Driven Pile Size 18, 24, 25 and 32 Meter with The Dynamic and Seismic Bearing Pile Methods. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field : Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program.  
Thesis Advisor: Associate Professor FLT.LT Pipat Sornwong , M.Eng. 179 pages.

The study aims to test the safety of driven pile size 18, 24, 25 and 32 meter with the Dynamic and Seismic bearing pile methods via the finished driven pile blowing to test for the completeness and load of rectangular prestressed concrete. The locations used in the study are: Chancellor Office building project at Phranakhon si Ayutthaya Rajabhat University, Meung district, Phranakhon si Ayutthaya province, the driven pile size 0.30 x 18.00 meter: The lecture building project of merchant marine training center soi 6, Meung district, Samut Prakan province, the driven pile size 0.35 x 32.00 meter: The resident building eight floors project soi Udomsook 51 Sukumvit road, Bangkok, the driven pile size 0.35 x 25.00 meter: and The Bang noi canal bridge project, Bhuddhamonton 1, the driven pile size 0.40 x 24.00 meter.

The study of testing for 18, 14, 25 and 32 meter driven piles both in Dynamic and Seismic methods, it showed the process and standard of each testing method which depended on the bearing capacity and the safe practice with the lowest damage or none.

The result, after testing in the Bangkok and perimeter, the Dynamic method provided the test both in the bearing load and the completeness after finishing blowing 7-14 days which is suitable for blowing. While the Seismic method gained the test only in the completeness of the pile which is not suitable for the driven pile due to the blowing method would show the crack of the pile before blowing, moreover, the Seismic method would not provide the bearing load. The study can be concluded that the Dynamic method pile testing is suitable for the driven pile and has more competency than the Seismic method. The Dynamic method provides the competency, properness and detail more than Seismic method.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบพระคุณ รองศาสตราจารย์เรืออากาศเอก พิพัฒน์ สอนวงษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์เกียรติคุณ กวีญาณ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ มยุรี เทศผล กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ ที่ได้ให้คำปรึกษาในการค้นคว้า คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์และขอกราบขอบพระคุณ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัท เอ็น.ดี. ที เทคโนโลยี จำกัด ที่ให้คำแนะนำการทดสอบและผลการทดสอบ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ คุณงามความดีหรือประโยชน์ทั้งหลายของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณ บิดา มารดา คุณครูอาจารย์ และญาติมิตรทุกท่าน

จิรวัฒน์ สติชัยวัฒน์

กรกฎาคม 2553

## สารบัญ

|                                                              | หน้า |
|--------------------------------------------------------------|------|
| สารบัญ                                                       | (1)  |
| สารบัญตาราง                                                  | (2)  |
| สารบัญภาพ                                                    | (4)  |
| คำนำ                                                         | 1    |
| วัตถุประสงค์                                                 | 2    |
| การตรวจเอกสาร                                                | 4    |
| อุปกรณ์และวิธีการ                                            | 97   |
| อุปกรณ์                                                      | 97   |
| วิธีการ                                                      | 101  |
| ผลและวิจารณ์                                                 | 118  |
| ผล                                                           | 118  |
| วิจารณ์                                                      | 130  |
| สรุปและข้อเสนอแนะ                                            | 133  |
| สรุป                                                         | 133  |
| ข้อเสนอแนะ                                                   | 135  |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง                                         | 136  |
| ภาคผนวก                                                      | 137  |
| ภาคผนวก ก แผนที่โครงการ                                      | 138  |
| ภาคผนวก ข กราฟความเร็วและเวลาทดสอบโดยวิธี Seismic Test       | 142  |
| ภาคผนวก ค ผลลัพธ์จากโปรแกรม CAPWAP ของวิธี Dynamic Load Test | 148  |
| ภาคผนวก ง เอกสารอ้างอิงการทดสอบโดยวิธีไดนามิกและเซซามิก      | 171  |
| ภาคผนวก จ มาตรฐาน ASTM                                       | 176  |
| ประวัติการศึกษา และการทำงาน                                  | 179  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                                         | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 วิธีการวัดความสามารถการในทะเลได้ของคอนกรีต                                                                     | 6    |
| 2 ค่าคงที่ k                                                                                                     | 7    |
| 3 ข้อกำหนดให้ใช้คอนกรีตกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ ( $f_{cu}$ )                                                       | 7    |
| 4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อตัวอย่างน้อยกว่า 30 ค่า                                                                | 8    |
| 5 ส่วนเพื่อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต                                                                   | 9    |
| 6 ค่าความยวบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่าง ๆ                                                     | 10   |
| 7 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ                                                              | 10   |
| 8 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยวบและวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ                                                       | 11   |
| 9 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสถานะ<br>เปิดเผยรุนแรง                     | 13   |
| 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต                                          | 14   |
| 11 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต                                                          | 15   |
| 12 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ                                                                             | 16   |
| 13 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ                                                                                   | 20   |
| 14 ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่ายวบตามต้องการ                                                                          | 20   |
| 15 ปริมาณส่วนละเอียดเมื่อใช้หินขนาดใหญ่สุดแตกต่างกัน                                                             | 21   |
| 16 ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่ายวบตามต้องการเมื่อใส่น้ำยาประเภทลดน้ำ                                                  | 23   |
| 17 ขนาดของเข็มสี่เหลี่ยมตัน มีขนาดหน้าตัดดังนี้                                                                  | 37   |
| 18 แสดงสมบัติทางกลของลวดเหล็กลวดเหล็กประเภทไม่คลายแรงและคลายแรง (Stress<br>– Relieved and Nonstress – Relieved ) | 66   |
| 19 แสดงความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็ก                                                | 67   |
| 20 แสดงคุณสมบัติทางกลของลวดเหล็กตีเกลียว                                                                         | 68   |
| 21 แสดงความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็กตีเกลียว                                        | 69   |
| 22 แสดงจำนวนจุดที่วางบนหัวเสาเข็มกับพื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม                                                        | 80   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ |                                                                                                                                                       | หน้า |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 23       | แสดงค่าความสมบูรณ์ของเสาเข็ม                                                                                                                          | 81   |
| 24       | ค่า Damping Constant JC                                                                                                                               | 87   |
| 25       | แสดงข้อมูลเสาเข็มทดสอบโครงการก่อสร้างถนนพุทธมณฑลสาย 1 ช่วงถนนเพชรเกษมถึงสุดเขตกรุงเทพมหานคร สะพานข้ามคลอง - สะพานข้ามคลองบางน้อย                      | 109  |
| 26       | แสดงข้อมูลเสาเข็มทดสอบโครงการก่อสร้างอาคารเรียนรวม 6 ชั้น พร้อมครุภัณฑ์ในห้องเรียน ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวีซอย 6 ถนนสุขุมวิท อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ | 110  |
| 27       | แสดงข้อมูลเสาเข็มทดสอบโครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานอธิการบดี จำนวน 1 หลัง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา อำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา           | 111  |
| 28       | ระยะเวลาการทำวิจัย                                                                                                                                    | 117  |
| 29       | ผลการทดสอบสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มโครงการงานก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยขนาดสูง 8 ชั้น                                                                   | 118  |
| 30       | ผลการทดสอบสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มโครงการอาคารสำนักอธิการบดี จำนวน 1 หลัง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา                                           | 120  |
| 31       | แสดงกำลังรับน้ำหนักโครงการก่อสร้างถนนพุทธมณฑล                                                                                                         | 123  |
| 32       | แสดงกำลังรับน้ำหนักโครงการก่อสร้างอาคารเรียนรวม 6 ชั้น พร้อมครุภัณฑ์                                                                                  | 125  |
| 33       | แสดงการรับน้ำหนักโครงการอาคารสำนักงานอธิการบดี                                                                                                        | 128  |
| 34       | สรุปผลการทดสอบแบบเซซามิก                                                                                                                              | 130  |
| 35       | สรุปผลการทดสอบแบบไดนามิก                                                                                                                              | 131  |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |                                                                                  | หน้า |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1      | ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์                | 5    |
| 2      | แผนภาพการหาสัดส่วนคอนกรีต                                                        | 17   |
| 3      | อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่ากำลังอัดคอนกรีต                                      | 21   |
| 4      | การแปลงกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก                                     | 22   |
| 5      | กะเบาะไม้มาตรฐานใช้ในการตวงปริมาตร หิน ทราย                                      | 28   |
| 6      | สภาพความชื้นของมวลรวม                                                            | 29   |
| 7      | สภาพความชื้นของมวลรวมเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์                                        | 30   |
| 8      | แสดงการตอกเสาเข็ม                                                                | 35   |
| 9      | แสดงขณะที่ปั้นจั่นตอกเสาเข็ม                                                     | 35   |
| 10     | แสดงเสาเข็มที่ทำการตอกเสร็จแล้ว                                                  | 36   |
| 11     | แสดงการดึงลวดอัดแรงตีเกลียวขนาด นิ้ว                                             | 39   |
| 12     | แสดงการตรวจค่า Elomgation                                                        | 39   |
| 13     | หลังจากดึงลวดอัดแรงแล้ว                                                          | 40   |
| 14     | แสดงการผูกเหล็กปลอกเสาเข็ม                                                       | 40   |
| 15     | แสดงการเทคอนกรีตหล่อเสาเข็ม Batter Pile SQ 0.45 x 0.45 x 10.00 เมตร              | 41   |
| 16     | แสดงการเทคอนกรีตหล่อเสาเข็ม Batter Pile SQ 0.45 x 0.45 x 10.00 เมตร<br>เสร็จแล้ว | 41   |
| 17     | แสดงการขนส่งเสาเข็มเข้าในสถานที่ก่อสร้าง                                         | 42   |
| 18     | งานกองเสาเข็มสี่เหลี่ยมตัน Batter Pile                                           | 42   |
| 19     | การตรวจสอบความขึ้นเหลว(Slump) ของคอนกรีตที่ใช้หล่อเสาเข็ม                        | 43   |
| 20     | การตรวจสอบความขึ้นเหลว(Slump) ของคอนกรีตที่ใช้หล่อเสาเข็ม                        | 43   |
| 21     | การเก็บก้อนตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำไปทดสอบกำลังอัด                                 | 44   |
| 22     | ฐานรากที่ระดับลึกต่างกัน                                                         | 45   |
| 23     | การก่อสร้างฐานรากบนพื้นที่เอียงลาด                                               | 45   |
| 24     | แบบสำหรับบันทึกการตอกเสาเข็ม                                                     | 64   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                                                                              | หน้า |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 25     | การทดสอบเสาเข็มโดยวิธี Seismic Test                                                                                          | 73   |
| 26     | การเตรียมหัวเสาเข็มทดสอบ                                                                                                     | 73   |
| 27     | การเตรียมให้ไม่มีสิ่งกีดขวางบนหัวเสาเข็ม                                                                                     | 74   |
| 28     | การใช้ค้อนเคาะลงบนหัวเสาเข็มทดสอบ                                                                                            | 75   |
| 29     | การใช้ค้อนเคาะลงบนหัวเสาเข็มทดสอบ                                                                                            | 75   |
| 30     | Type 0 Signal                                                                                                                | 77   |
| 31     | Type 1 Signal                                                                                                                | 77   |
| 32     | Type 2 Signal                                                                                                                | 78   |
| 33     | หลักการทดสอบแบบ Dynamic Load Test                                                                                            | 89   |
| 34     | Typical Arrangement for High-Strain Dynamic Testing of a Deep Foundation                                                     | 91   |
| 35     | เครื่องมือทดสอบ P.I.T Collector ,ตัวรับสัญญาณความเร่ง (Accelerometer) และค้อนที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษ (Hand Held Hammer ) | 97   |
| 36     | Strain Gauges และ Accelerometer                                                                                              | 98   |
| 37     | เครื่อง PDA (Pile Driving Analyzer )                                                                                         | 99   |
| 38     | รถเครนที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม                                                                                                  | 99   |
| 39     | ค้อนน้ำหนักที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม                                                                                             | 100  |
| 40     | แสดงการวัดระยะหัวเสาเข็มโดยใช้เครื่องตัดไฟฟ้า                                                                                | 103  |
| 41     | เสาเข็มที่ทำการสกัดผิวแล้ว                                                                                                   | 104  |
| 42     | รูปแสดงพื้นที่เคลียร์พร้อมที่จะทดสอบ                                                                                         | 104  |
| 43     | การติดตั้งเครื่องมือทดสอบ                                                                                                    | 105  |
| 44     | แสดงการทดสอบการใช้ค้อนเคาะที่ผิวเสาเข็ม                                                                                      | 106  |
| 45     | ผลการทดสอบที่แสดงเป็นกราฟความเร็วและความเร่งของคลื่น                                                                         | 106  |
| 46     | การติดตั้ง Strain Gauges และ Accelerometer                                                                                   | 112  |
| 47     | เริ่มการยกค้อนน้ำหนัก                                                                                                        | 114  |
| 48     | เปิดเครื่อง PDA (Pile Driving Analyer)                                                                                       | 115  |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่            |                                                                                                                                  | หน้า |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 49                | ปล่อยตุ้มน้ำหนักลงมากระแทกที่หัวเสาเข็มและทำการยกและปล่อยตกตามระยะต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้                                          | 116  |
| 50                | กราฟความเร็วและเวลาการทดสอบ SEISMIC Test เสาเข็มที่ทดสอบโครงการงานก่อสร้างที่พักอาศัยขนาดสูง 8 ชั้น Escape Condominium           | 119  |
| 51                | กราฟความเร็วและเวลาการทดสอบ SEISMIC Test เสาเข็มที่ทดสอบโครงการอาคารสำนักอธิการบดี จำนวน 1 หลัง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา | 121  |
| 52                | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ                                                         | 124  |
| 53                | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ N0. 64 :Line 3 - A                                      | 126  |
| 54                | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ N0. 114 :Line 2/3 -C/D                                  | 126  |
| 55                | โค้งความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม                                                              | 128  |
| <br>              |                                                                                                                                  |      |
| <b>ภาพผนวกที่</b> |                                                                                                                                  |      |
| ก 1               | แสดงสถานที่ทดสอบโดยวิธี Seismic Test โครงการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยสูง 8 ชั้น                                                   | 140  |
| ก 2               | แสดงสถานที่ทดสอบโดยวิธี Seismic Test และ Dynamic Test โครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา     | 140  |
| ก 3               | แสดงสถานที่ทดสอบโดยวิธี Dynamic Test โครงการก่อสร้างอาคาร ค.ส.ถ. อาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวีซอย 6                      | 141  |
| ก 4               | แสดงสถานที่ทดสอบโดยวิธี Dynamic Test โครงการก่อสร้างสะพานข้ามคลองบางน้อย                                                         | 141  |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพผนวกที่                                                                                                                | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ข1 กราฟความเร็วและเวลาการทดสอบโดยวิธี Seismic Test โครงการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยขนาดสูง 8 ชั้น                          | 143  |
| ข2 กราฟความเร็วและเวลาการทดสอบโดยวิธี Seismic Test โครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา | 144  |
| ค1 CAPWAP FINAL RESULTS โครงการอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา                                    | 149  |
| ค2 EXTREMA TABLE โครงการอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา                                           | 150  |
| ค3 CAPWAP ANNOTATIONS โครงการอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา                                      | 151  |
| ค4 กราฟการวิเคราะห์การรับน้ำหนัก โครงการอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา                           | 152  |
| ค5 CAPWAP FINAL RESULTS โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวี No. 64                                       | 155  |
| ค6 EXTREMA TABLE โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวี No. 64                                              | 157  |
| ค7 CAPWAP ANNOTATIONS โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวี No. 64                                         | 158  |
| ค8 กราฟการวิเคราะห์การรับน้ำหนัก โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวี No. 64                              | 159  |
| ค9 CAPWAP FINAL RESULTS โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวี No. 114                                      | 163  |
| ค10 EXTREMA TABLE โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวี No. 114                                            | 165  |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพผนวกที่ |                                                                                                | หน้า |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ค11        | CAPWAP ANNOTATIONS โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึก<br>พาณิชย์นาวี No. 114            | 166  |
| ค12        | กราฟการวิเคราะห์การรับน้ำหนัก โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึก<br>พาณิชย์นาวี No. 114 | 167  |
| ง1         | เอกสารอ้างอิงโดยวิธีเซซามิก                                                                    | 172  |
| ง2         | เอกสารอ้างอิงโดยวิธีไดนามิก                                                                    | 174  |

**การศึกษาการทดสอบเพื่อความปลอดภัยของเสาเข็มตอกขนาด 18, 24, 25 และ 32 เมตร  
โดยวิธีรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบไดนามิกและเซซามิก**

**The Study of Safety in Blowing Driven Pile Size 18, 24, 25 and 32 Meter with The  
Dynamic and Seismic Bearing Pile Methods**

**คำนำ**

ในการก่อสร้างอาคารขนาดเล็ก และอาคารขนาดใหญ่รวมถึงสิ่งปลูกสร้างที่ใช้ฐานรากชนิดเสาเข็มตอก ส่วนชนิดของเสาเข็มที่นิยมใช้กันทั่วไป จะเป็นแบบเสาเข็มกลม , รูปตัว I และรูปสี่เหลี่ยม โดยมีข้อกำหนดภายหลังการตอกจะต้องมีการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มตอกและความสมบูรณ์ของเสาเข็มตอก เพื่อหาความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างอาคารได้หรือไม่ จะได้ดำเนินการในการก่อสร้างอาคาร และสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย และงานวิจัยนี้เป็นการพิสูจน์ว่าเสาเข็มที่นำมาเลือกใช้ในการก่อสร้างมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามมาตรฐาน จึงได้มีการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและความสมบูรณ์ของเสาเข็มตอก ในส่วนนี้นับว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญประการหนึ่งของการควบคุมคุณภาพในการก่อสร้าง

สำหรับการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ถ้าเสาเข็มไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ หรือเสาเข็มที่มีสภาพไม่สมบูรณ์ อาจทำให้เสาเข็มนั้นเกิดการทรุดตัวและนำไปสู่การพังทลายของโครงสร้างอาคาร หรือสิ่งปลูกสร้างนั้น ๆ จึงก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินจากอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นนี้ได้ ในการทดสอบนี้ยังให้ความสะดวกและความรวดเร็วในการทำงานมากยิ่งขึ้นด้วย

ดังนั้นในการศึกษาการทดสอบในการตรวจสอบเสาเข็มตอกเพื่อความปลอดภัยจึงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะทำการก่อสร้างอาคาร หรือสิ่งปลูกสร้างนั้น โดยมีการประเมินความเสี่ยงหรือความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในการก่อสร้างอาคารหรือสิ่งปลูกสร้าง ที่มีลักษณะและรูปแบบในการตอกเสาเข็มที่เป็นแบบเดียวกันจึงนำไปสู่การก่อสร้างที่มีความปลอดภัยตามมาตรฐาน

## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีการทดสอบเสาเข็มตอกโดยวิธีรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบไดนามิก และเซซามิก กับความสมบูรณ์ของเสาเข็มตอก เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในด้านความปลอดภัย
2. ศึกษาการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบไดนามิก และเซซามิก เพื่อหาความสมบูรณ์ของเสาเข็มตอก

## ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการรับน้ำหนักบรรทุกและความสมบูรณ์ของเสาเข็มตอก ที่ใช้กับสถานที่ก่อสร้างอาคารในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล ณ สถานที่ก่อสร้างโครงการอาคารสำนักงานอธิการบดี อาคารเรียนรวมศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวีชอย 6 อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ , โครงการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยขนาดสูง 8 ชั้น ซอยอุดมสุข 51 ถนนสุขุมวิท กรุงเทพมหานคร และโครงการสะพานข้ามคลองบางน้อย ถนนพุทธมณฑลสาย 1
2. ศึกษาตัวอย่างของเสาเข็มที่มีขนาดหน้าตัด 0.35 เมตร และความยาว 18 , 24 , 25 และ 32 เมตร
3. ศึกษาการวิเคราะห์หาค่าความถูกต้องที่ได้โดยอาศัยข้อมูลสถิติ
4. ศึกษาการทดสอบเสาเข็มตอกแบบไดนามิก เพื่อหาการรับน้ำหนักบรรทุกและสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มตอก และศึกษาการทดสอบเสาเข็มตอกแบบเซซามิก เพื่อหาสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มตอก

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการก่อสร้างอาคารที่มีความปลอดภัย โดยศึกษาจากการรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบไดนามิกและเซซามิก และความสมบูรณ์ของเสาเข็มตอก
2. สามารถหาวิธีการทดสอบที่เหมาะสมกับเสาเข็มชนิดอื่น ๆ ได้ เพื่อหาวิธีที่เกิดความเชื่อถือได้ และนำไปใช้งานได้จริงสำหรับงานก่อสร้างอาคาร และสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ

3. ผลการศึกษาที่ได้เราสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบาย และมาตรการในการป้องกันอุบัติเหตุจากการเกิดการทรุดตัวของเสาเข็มตอกในการก่อสร้าง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานโครงสร้างและงานฐานรากอื่นๆได้



## การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือทฤษฎีการทดสอบเสาเข็มโดยวิธีการรับน้ำหนักบรรทุก และวิธีการหาความสมบูรณ์ของเสาเข็ม รวมถึงทฤษฎีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและขั้นตอนการทำเสาเข็ม โดยมุ่งประโยชน์เพื่อหาวิธีการทดสอบที่ให้ค่าทดสอบที่มีความเชื่อถือได้มากที่สุดจะได้นำไปเป็นมาตรการในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม และในที่สุดก็ได้มีมาตรการความปลอดภัยในการก่อสร้างอาคาร และสิ่งปลูกสร้างที่ใช้เสาเข็มตอกสำหรับงานโครงสร้าง

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบเสาเข็ม

#### 1. ทฤษฎีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Mix design)

##### 1.1 ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

###### 1.1.1 หลักการในการออกแบบส่วนผสม

ก. เพื่อเลือกวัสดุผสมคอนกรีตที่เหมาะสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์การใช้งาน

ข. กำหนดหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดและการใช้งานที่ต้องการทั้งในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

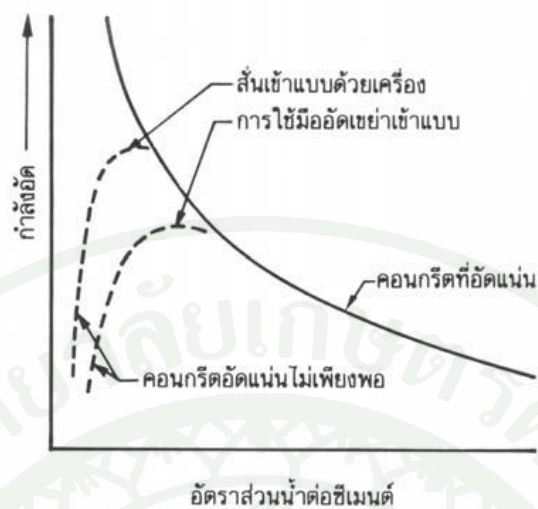
###### 1.1.2 กำลังรับแรงอัด

ค่ากำลังอัดของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (water- cement ratio) โดยกำลังอัดจะเป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ โดย

ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์มาก  $\Rightarrow$  กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะต่ำ

ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ  $\Rightarrow$  กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะสูง

ในการผสมคอนกรีตถ้าสามารถรักษาอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ให้คงที่แล้ว แม้ส่วนผสมอื่นจะเปลี่ยนแปลงไปบ้าง กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะไม่มีเปลี่ยนแปลงมากนัก



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) (2546)

### 1.1.3 ความสามารถในการเทได้

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำในส่วนผสม

ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น  $\Rightarrow$  ความสามารถเทได้ของคอนกรีตเพิ่มขึ้น  
การวัดความสามารถเทได้ควรกำหนดวิธีที่เหมาะสม ดังตารางที่ 1

## ตารางที่ 1 วิธีการวัดความสามารถการในเตาได้ของคอนกรีต

| ประเภทของคอนกรีต             | วิธีการวัดความสามารถเตาได้                                 |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1) คอนกรีตแข็งหรือกระด้างมาก | - วัดโดยหาค่าเวลา Vebe (Vebe Test)                         |
| 2) คอนกรีตทั่วๆไป            | - วัดค่ายุบตัว (Slump Test)                                |
| 3) คอนกรีตเหลวมาก            | - วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่กระจายออก (Flow Test) |

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

คอนกรีตสดควรมีความชื้นเหลวพอเหมาะที่จะเทเข้าแบบได้สะดวก ถ้าคอนกรีตเหลวเกินไปจะทำให้เกิดการแยกตัวขณะลำเลียงและเท และทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง ไม่ทนทาน และมีโอกาสแตกร้าวง่าย

### 1.1.4 ความทนทาน

คอนกรีตที่ใช้งานในสภาพปกติโดยทั่วไป จะมีความทนทานอยู่ในเกณฑ์ที่หน้าพอใจ แต่ถ้าคอนกรีตอยู่ในในสภาวะที่เกิดการกัดกร่อนรุนแรง เช่น โครงสร้างในน้ำทะเลความทนทานจะลดลง อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์มีผลต่อความทนทานของคอนกรีต ดังนั้นจึงมีการกำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมกับคอนกรีตที่สภาวะต่างๆ

## 1.2 วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

### 1.2.1 มาตรฐานการออกแบบคอนกรีต

ในการออกแบบจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดมากกว่ากำลังอัดของงานที่กำหนดไว้ ดังสมการ

$$f_{cr} = f'_{c} + k_s$$

$f_{cr}$  = กำลังอัดเฉลี่ยที่ผู้ผลิตคอนกรีตต้องการผลิต

$f'_{c}$  = กำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบ

$k_s$  = ส่วนเผื่อซึ่งประกอบด้วย

$k$  = ค่าคงที่ดังตารางที่ 2

$s$  = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัด จากก้อนตัวอย่าง 30 ค่า หรือมากกว่า

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ k

| ค่าร้อยละของกำลังที่ต่ำกว่า $f_c'$ | ค่า k |
|------------------------------------|-------|
| 20                                 | 0.842 |
| 10                                 | 1.282 |
| 5                                  | 1.645 |
| 2.5                                | 1.960 |
| 2                                  | 2.054 |
| 1                                  | 2.326 |
| 0                                  | 3.000 |

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

ตัวอย่างการออกแบบ ถ้าในข้อกำหนดให้ใช้คอนกรีตกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ ( $f_c'$ ) 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยคอนกรีตที่ผลิตทั่วไปมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผู้ผลิตต้องผลิตคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดดังนี้

ตารางที่ 3 ข้อกำหนดให้ใช้คอนกรีตกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ ( $f_c'$ )

| ค่าร้อยละของกำลังอัด<br>ของก้อนตัวอย่างที่ต่ำกว่า $f_c'$ | ส่วนเพื่อ ks<br>(กก./ตร.ซม.) | กำลังอัดเฉลี่ยที่ต้องการผลิต<br>(กก./ตร.ซม.) |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------|
| 20                                                       | $0.842 \times 40 = 34$       | $240 + 34 = 274$                             |
| 10                                                       | $1.282 \times 40 = 51$       | $240 + 51 = 291$                             |
| 5                                                        | $1.645 \times 40 = 66$       | $240 + 66 = 306$                             |
| 2.5                                                      | $1.960 \times 40 = 78$       | $240 + 78 = 318$                             |
| 2                                                        | $2.054 \times 40 = 82$       | $240 + 82 = 322$                             |
| 1                                                        | $2.326 \times 40 = 93$       | $240 + 93 = 333$                             |
| 0                                                        | $3.000 \times 40 = 120$      | $240 + 120 = 360$                            |

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

จากตาราง จะพบว่า ถ้ากำหนดให้ค่าร้อยละของกำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่ผลิตต่ำกว่า  $f_c'$  น้อยลงเรื่อย ๆ ผู้ผลิตต้องออกแบบให้มี “ส่วนเผื่อ” เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

ตามมาตรฐานทั่วไปที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมคอนกรีต ผู้ผลิตจะต้องออกแบบให้ออกาสที่ กำลังอัดเฉลี่ยต่ำกว่ากำลังอัดที่ออกแบบไม่เกิน 5% ในตัวอย่างนี้ผู้ผลิตต้องผลิตคอนกรีตที่มีกำลังอัดเฉลี่ย 306 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจำเป็นต้องหาจากแท่งตัวอย่าง อย่างน้อย 30 ก้อน จึงจะให้ความ เชื่อถือทางสถิติได้เพียงพอ แต่ถ้การทดสอบน้อยกว่า 30 ก้อน ก็อนุโลมได้โดยใช้ตัวคูณดัง ตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อตัวอย่างน้อยกว่า 30 ค่า

| จำนวนตัวอย่าง<br>น้อยกว่า 15 | ตัวคูณสำหรับค่าเบี่ยงเบนตามมาตรฐาน<br>ใช้ตารางที่ 5 |
|------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 15                           | 1.16                                                |
| 20                           | 1.08                                                |
| 25                           | 1.03                                                |
| 30 หรือ มากกว่า              | 1.00                                                |

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

ในกรณีที่ไม่มีผลการทดลองหรือผลการทดลองน้อยกว่า 15 ค่า กำลังอัดของคอนกรีตที่ จะต้องผลิตต้องสูงกว่ากำลังอัดที่กำหนดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ส่วนเนื้อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

| ค่ากำลังอัดที่กำหนด ( $f_c'$ ) | กำลังอัดที่ต้องเพิ่ม |
|--------------------------------|----------------------|
| น้อยกว่า 210                   | 70                   |
| 210-350                        | 85                   |
| 350 หรือมากกว่า                | 100                  |

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

### 1.2.2 การออกแบบตามมาตรฐานอเมริกา (ACI 211.3R-97)

ในการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา (Normal Weight Concrete) ตามมาตรฐานของอเมริกานี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบต้องทราบคุณสมบัติต่าง ๆ กล่าวคือ

#### ก. ปูนซีเมนต์

ความถ่วงจำเพาะ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 188 แต่สามารถใช้ค่า

### 3.15 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป

#### ข. มวลรวม

1) ขนาดคละ ควรมีส่วนคละตามมาตรฐาน ASTM C

2) ความถ่วงจำเพาะ

ทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 128

หิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 127

3) ความชื้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 70 และ ASTM C 566

4) ความละเอียดของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 125

5) หนัสน้ำหนักของมวลรวม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 29

ตารางที่ 6 ค่าความยวบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

| ประเภทงาน                                       | ค่าความยวบตัว (ซม.) |           |
|-------------------------------------------------|---------------------|-----------|
|                                                 | ค่าสูงสุด           | ค่าต่ำสุด |
| งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก               | 8.0                 | 2.0       |
| งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้น้ำ | 8.0                 | 2.0       |
| งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก            | 10.0                | 2.0       |
| งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก                         | 10.0                | 2.0       |
| งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก                     | 8.0                 | 2.0       |
| งานคอนกรีตขนาดใหญ่                              | 5.0                 | 2.0       |

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

ตารางที่ 7 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

| ขนาดความหนา<br>ของโครงสร้าง<br>(ซม.) | เสาขนาดโตสุดของวัสดุผสม        |         |                                  |        |
|--------------------------------------|--------------------------------|---------|----------------------------------|--------|
|                                      | คาน ผนัง และ<br>คสล.           |         | ผนังคอนกรีต<br>ไม่เสริมเหล็ก     |        |
|                                      | นิ้ว                           | มม.     | นิ้ว                             | มม.    |
| 5.0-15.0                             | $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$  | 12.5-20 | $\frac{3}{4}$                    | 20     |
| 15.0-30.0                            | $\frac{3}{4}$ -1 $\frac{1}{2}$ | 20-40   | 1 $\frac{1}{2}$                  | 40     |
| 30.0-75.0                            | 1 $\frac{1}{2}$ -3             | 40-75   | 3                                | 75     |
| มากกว่า 75.0                         | 1 $\frac{1}{2}$ -3             | 40-75   | 6                                | 150    |
| ขนาดความหนา<br>ของโครงสร้าง<br>(ซม.) | พื้นถนน คสล.<br>รับน้ำหนักมาก  |         | พื้นที่คอนกรีต<br>รับน้ำหนักน้อย |        |
|                                      | นิ้ว                           | มม.     | นิ้ว                             | มม.    |
|                                      | นิ้ว                           | มม.     | นิ้ว                             | มม.    |
| 5.0-15.0                             | $\frac{3}{4}$ -1               | 20-25   | $\frac{3}{4}$ -1 $\frac{1}{2}$   | 20-40  |
| 15.0-30.0                            | 1 $\frac{1}{2}$                | 40      | 1 $\frac{1}{2}$ -3               | 40-75  |
| 30.0-75.0                            | 1 $\frac{1}{2}$ -3             | 40-70   | 3                                | 75     |
| มากกว่า 75.0                         | 1 $\frac{1}{2}$ -3             | 40-75   | 3-6                              | 75-150 |

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

ตารางที่ 8 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยวบตัวและวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ

| ค่าความ<br>ยวบตัว<br>(ซม.) | ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม. <sup>3</sup><br>สำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ |            |          |          |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------|----------|----------|
|                            | 3/8"                                                                      | 1/2"       | 3/4"     | 3/4"     |
|                            | (10 มม.)                                                                  | (12.5 มม.) | (20 มม.) | (20 มม.) |
| 3-5                        | คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Non Air Entraining Concrete)         |            |          |          |
| 8-10                       | 205                                                                       | 200        | 185      | 180      |
| 15-18                      |                                                                           |            |          |          |
| ปริมาณ                     | 225                                                                       | 215        | 200      | 195      |
| ฟองอากาศ                   |                                                                           |            |          |          |
| (%) โดยปริมาตร             | 240                                                                       | 230        | 210      | 205      |
|                            | 3                                                                         | 2.5        | 2        | 1.5      |
| 3-5                        | คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Air Entraining Concrete)                |            |          |          |
| 8-10                       | 180                                                                       | 175        | 165      | 160      |
| 15-18                      |                                                                           |            |          |          |
| ปริมาณ                     | 200                                                                       | 190        | 180      | 175      |
| ฟองอากาศ                   |                                                                           |            |          |          |
| (%) โดยปริมาตร             | 215                                                                       | 205        | 190      | 185      |
|                            | 8                                                                         | 7          | 6        | 5        |

ตารางที่ 8 (ต่อ)

| ค่าความ<br>ยุบตัว<br>(ซม.) | ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม. <sup>3</sup><br>สำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ |          |          |           |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------|----------|-----------|
|                            | 1 ½"                                                                      | 2"       | 3"       | 6"        |
|                            | (40 มม.)                                                                  | (50 มม.) | (75 มม.) | (150 มม.) |
| 3-5                        | คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Non Air Entraining Concrete)         |          |          |           |
| 8-10                       | 160                                                                       | 155      | 145      | 125       |
| 15-18                      |                                                                           |          |          |           |
| ปริมาณ                     | 175                                                                       | 170      | 160      | 140       |
| ฟองอากาศ                   |                                                                           |          |          | -         |
| (%) โดยปริมาตร             | 185                                                                       | 180      | 170      | 0.2       |
|                            | 1                                                                         | 0.5      | 0.3      |           |
| 3-5                        | คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Air Entraining Concrete)                |          |          |           |
| 8-10                       | 145                                                                       | 140      | 135      | 120       |
| 15-18                      |                                                                           |          |          |           |
| ปริมาณ                     | 160                                                                       | 155      | 150      | 135       |
| ฟองอากาศ                   |                                                                           |          |          | -         |
| (%) โดยปริมาตร             | 170                                                                       | 165      | 160      | 3         |
|                            | 4.5                                                                       | 4        | 3.5      |           |

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) (2546)

ตารางที่ 9 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะ  
เปิดเผยรุนแรง

| ชนิดของโครงสร้าง        | โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลา หรือ<br>มีการเขี่ยกแห้งและการละลายของ<br>น้ำสลับกันบ่อย ๆ (เฉพาะคอนกรีต<br>กระจายกักฟองอากาศเท่านั้น) | โครงสร้างในน้ำทะเล<br>หรือสัมผัสกับซัลเฟต |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| โครงสร้างบาง ๆ          | 0.45                                                                                                                            | 0.40*                                     |
| ที่มีเหล็กหุ้ม          | 0.50                                                                                                                            | 0.45*                                     |
| บางกว่า 3 ซม.           |                                                                                                                                 |                                           |
| โครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด |                                                                                                                                 |                                           |

หมายเหตุ ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต อาจเพิ่มค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นี้ได้อีก 0.05

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

| กำลังอัดประลัยของคอนกรีต<br>ที่ 28 วัน (กก./ตร.ซม.) | อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก |               |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------|
|                                                     | คอนกรีตไม่กระจาย                  | คอนกรีตกระจาย |
|                                                     | กักฟองอากาศ                       | กักฟองอากาศ   |
| 450                                                 | 0.38                              | -             |
| 400                                                 | 0.43                              | -             |
| 350                                                 | 0.48                              | 0.40          |
| 300                                                 | 0.55                              | 0.46          |
| 250                                                 | 0.62                              | 0.53          |
| 200                                                 | 0.70                              | 0.61          |
| 150                                                 | 0.80                              | 0.71          |

หมายเหตุ ค่าที่ใช้จากตารางนี้ ทำการทดลองจากแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน Ø 15 x 30 เซนติเมตร ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นแบบลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าในตารางประมาณ 20%

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

ตารางที่ 11 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

| ขนาดโตสุดของหิน | ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วย<br>ปริมาตรของคอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่าง<br>ๆ กัน |      |      |      |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|
|                 | 2.40                                                                                                                    | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 3/8" (10 มม.)   | 0.50                                                                                                                    | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 1/2" (12.5 มม.) | 0.59                                                                                                                    | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 3/4" (20 มม.)   | 0.66                                                                                                                    | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 1" (25 มม.)     | 0.71                                                                                                                    | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 1 1/2" (40 มม.) | 0.76                                                                                                                    | 0.74 | 0.72 | 0.70 |
| 2" (50 มม.)     | 0.78                                                                                                                    | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 3" (75 มม.)     | 0.81                                                                                                                    | 0.79 | 0.77 | 0.75 |
| 6" (150 มม.)    | 0.87                                                                                                                    | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

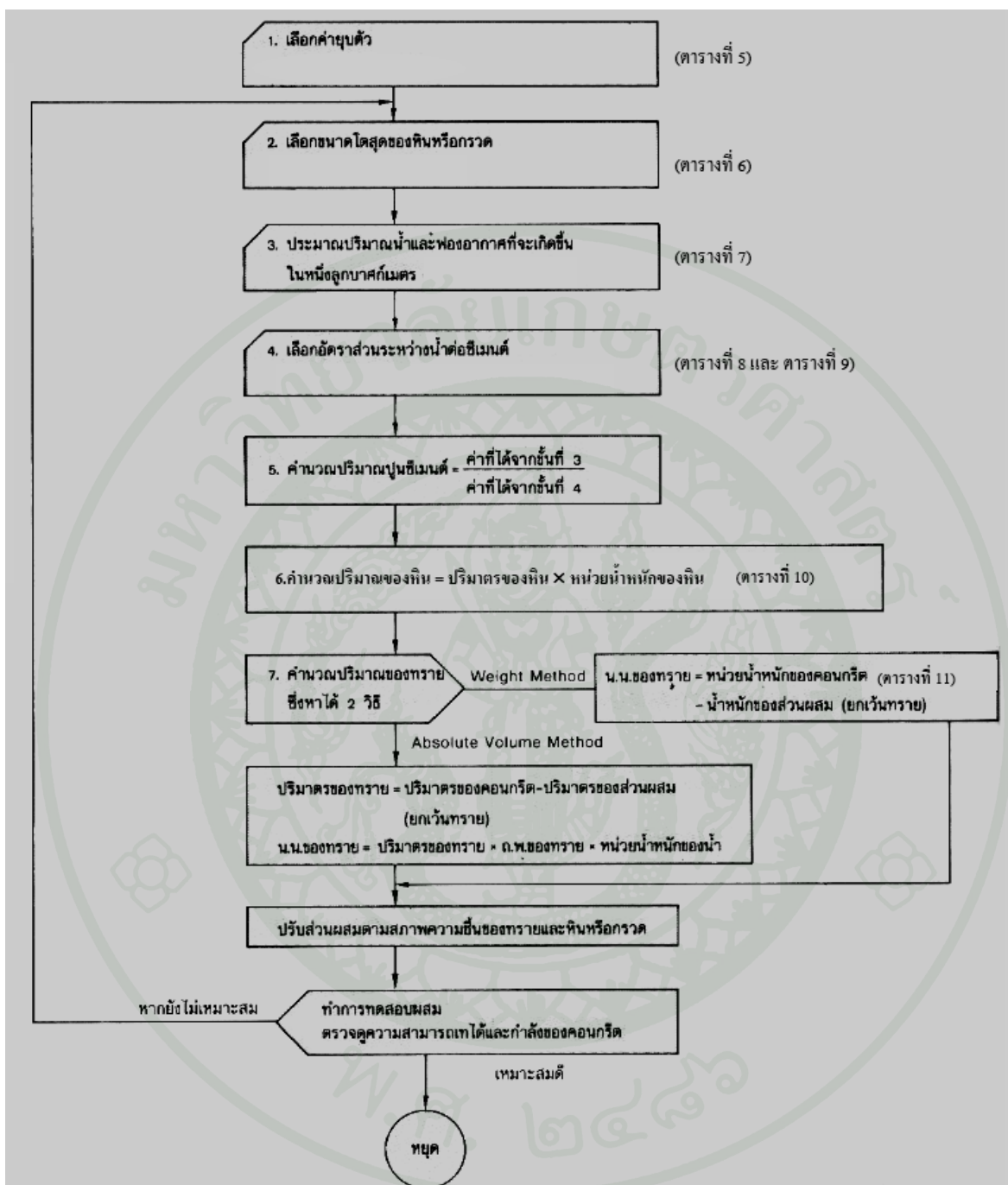
หมายเหตุ ค่าที่กำหนดให้ เป็นค่าสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆ ไป สำหรับงานคอนกรีตที่  
ทำได้ง่ายกว่า เช่น ถนน พื้น เป็นต้น อาจเพิ่มค่าเหล่านี้ขึ้นได้อีก 10 เปอร์เซ็นต์

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

ตารางที่ 12 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ

| ขนาดโตสุดของหิน | หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (กก./ตร.ชม.) |                        |
|-----------------|-------------------------------------|------------------------|
|                 | คอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจาย           | คอนกรีตที่ใช้สารกระจาย |
|                 | กักฟองอากาศ                         | กักฟองอากาศ            |
| 3/8" (10 มม.)   | 2285                                | 2190                   |
| 1/2" (12.5 มม.) | 2315                                | 2235                   |
| 3/4" (20 มม.)   | 2355                                | 2280                   |
| 1" (25 มม.)     | 2375                                | 2315                   |
| 1 1/2" (40 มม.) | 2420                                | 2355                   |
| 2" (50 มม.)     | 2445                                | 2375                   |
| 3" (75 มม.)     | 2465                                | 2400                   |
| 6" (150 มม.)    | 2505                                | 243                    |

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)



## ภาพที่ 2 แผนภาพการหาสัดส่วนคอนกรีต

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

เมื่อทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว จึงหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามขั้นตอนที่แสดงในแผนภาพรูปที่ 2

ตัวอย่างการหาสัดส่วนผสมตามมาตรฐานอเมริกา

จงหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับงานเทเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยต้องการกำลังอัดประลัยเฉลี่ย ( $f_c'$ ) ของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 250 โดยให้โอกาสที่ก่อนตัวอย่างก่อนต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ได้ไม่เกิน 5% ( $k = 1.645$ ) และค่า  $s = 30$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 3.15 มวลรวมหยาบขนาดโตสุด 20 มิลลิเมตร ( $3/4$  นิ้ว) มีความถ่วงจำเพาะ 2.70 ค่าการดูดซึมน้ำ 0.5% และมีหน่วยน้ำหนัก (แห้งและอัดแน่น) เป็น 1600 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร มวลรวมละเอียดมีความถ่วงจำเพาะ 2.60 ค่าการดูดซึมน้ำ 0.7% และมีโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.80

วิธีทำ ทำตามลำดับขั้นดังนี้

1. กำลังที่ต้องผลิต 
$$= f_c' + ks$$
$$= 250 + (1.645 \times 30) = 300$$
  2. จากข้อมูลในตารางที่ 5 และแนวทางปฏิบัติทั่ว ๆ ไป เห็นว่าควรใช้ค่าความยุบตัว 8-10 เซนติเมตร
  3. ข้อกำหนดให้ใช้ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มิลลิเมตร
  4. จากตารางที่ 7 เมื่อขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบเป็น 20 มิลลิเมตร ค่าความยุบตัว 8-10 เซนติเมตร ไม่ต้องใช้สารกักกระจายฟองอากาศจะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ = 200 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของคอนกรีต
  5. จากตารางที่ 9 สำหรับคอนกรีตที่ต้องการกำลัง 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่ต้องใช้ = 0.55
  6. ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ 
$$= \frac{200}{0.55} = 364 \text{ กิโลกรัม}$$
  7. หาปริมาณของวัสดุผสมหยาบ จากตารางที่ 8 เมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดของวัสดุผสมละเอียดเท่ากับ 2.80 และขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มิลลิเมตร จะได้ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น = 0.62 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของคอนกรีต
- หน่วยน้ำหนักของหิน = 1600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- ดังนั้นน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบที่ใช้  $= 0.62 \times 1600 = 992$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของคอนกรีต

## 8. หาปริมาณของวัสดุผสมละเอียด

ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม :

$$\text{ปริมาตรของน้ำ} = \frac{200}{1000} = 0.200 \quad \text{ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{ปริมาตรของซีเมนต์} = \frac{363}{3.15 \times 1000} = 0.116 \quad \text{ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ} = \frac{992}{2.70 \times 1000} = 0.367 \quad \text{ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{ปริมาตรของฟองอากาศ} = 0.02 \times 1.0 = 0.020 \quad \text{ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{ดังนั้น ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย} = 0.703 \quad \text{ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้} = 1 - 0.703 = 0.297 \quad \text{ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{น้ำหนักของทรายแห้ง} = 0.297 \times 2.60 \times 1000 = 772 \quad \text{กิโลกรัม}$$

ฉะนั้น คอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ต้องใช้

|                   |      |          |
|-------------------|------|----------|
| ซีเมนต์           | 364  | กิโลกรัม |
| น้ำ               | 200  | กิโลกรัม |
| วัสดุผสมหยาบ      | 992  | กิโลกรัม |
| วัสดุผสมละเอียด   | 772  | กิโลกรัม |
| รวมน้ำหนักทั้งหมด | 2328 | กิโลกรัม |

ตัวอย่างการหาสัดส่วนผสมตามมาตรฐานอเมริกา

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยนี้ เป็นวิธีการออกแบบที่  
นำมาตรฐานการออกแบบของประเทศอเมริกา และของประเทศอังกฤษมาประยุกต์ให้เข้ากับสภาพของ  
วัตถุดิบที่มีใช้ในประเทศไทย คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในประเทศไทยได้ถูกทดสอบและเก็บ  
รวบรวมค่าเฉลี่ยดังค่าในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ

| วัตถุดิบ   | ค่าความถ่วงจำเพาะ<br>(Sp. gr.) | ค่าการดูดซึม (%) |
|------------|--------------------------------|------------------|
| ปูนซีเมนต์ | 3.15                           | -                |
| หินย่อย    | 2.70                           | 0.50             |
| ทรายแม่น้ำ | 2.65                           | 0.70             |

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

ก. ปริมาณน้ำและค่ายุบตัว

ปริมาณน้ำที่ทำให้ได้ค่ายุบตัวมาตรฐานเมื่อใช้หินย่อยและทรายแม่น้ำที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง แสดงไว้ในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการ

| ค่ายุบตัว (ซม.) | ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต |                     |
|-----------------|------------------------------|---------------------|
|                 | หินย่อยขนาด 1"- # 4          | หินย่อยขนาด ¾"- # 4 |
| 7.5 ± 2.5       | 180                          | 190                 |
| 10.0 ± 2.5      | 190                          | 200                 |
| 12.5 ± 2.5      | 200                          | 210                 |

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

ง. ปริมาณส่วนละเอียด

จากการประยุกต์การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานต่าง ๆ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเมื่อใช้หินย่อย และทรายแม่น้ำเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในประเทศไทย ปริมาณส่วนละเอียดอันได้แก่ปริมาณปูนซีเมนต์ และปริมาณทรายที่เหมาะสมที่จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ ไม่แยกตัว และได้กำลังอัดตามต้องการ มีค่าดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ปริมาณส่วนละเอียดเมื่อใช้หินขนาดใหญ่สุดแตกต่างกัน

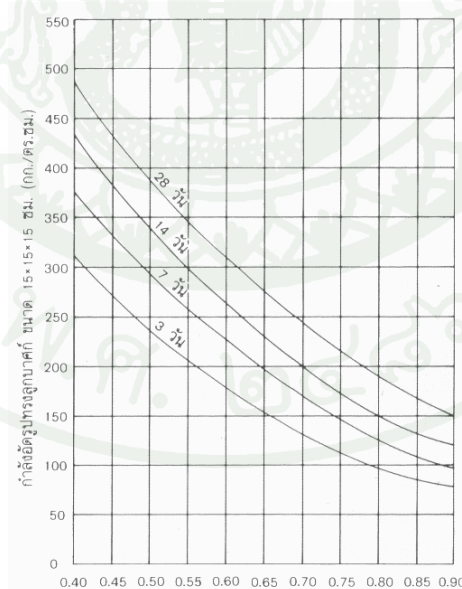
| ขนาดหิน  | ปริมาณปูนซีเมนต์ + ปริมาณทราย |
|----------|-------------------------------|
| 1" - # 4 | 38% โดยปริมาตร หรือ 380 ลิตร  |
| ¾" # 4   | 40% โดยปริมาตร หรือ 400 ลิตร  |

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

สำหรับงานพิเศษบางประเภท เช่น งานคอนกรีตเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ที่มีค่ายุบตัวมากกว่า 15 เซนติเมตรนั้น ในการออกแบบอาจจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณส่วนละเอียดขึ้นไปเป็น 42-45% โดยปริมาตรเพื่อป้องกันปัญหาการแยกตัวของคอนกรีต

จ. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่ากำลังอัด

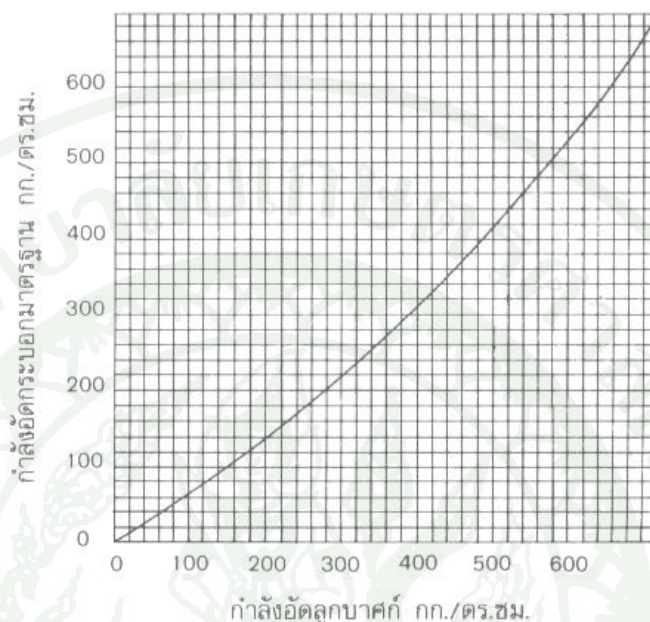
กำลังอัดของคอนกรีตเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ความสัมพันธ์ดังกล่าว สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ผลิตใช้ในประเทศไทย แสดงในกราฟภาพที่ 3



ภาพที่ 3 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่ากำลังอัดคอนกรีต

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

ถ้าต้องการใช้กำลังอัดรูปทรงกระบอกในการออกแบบมาตรฐาน วสท. ได้กำหนดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดทั้ง 2 รูปทรงไว้ ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การแปลงกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

ผลของน้ำยาต่อการออกแบบส่วนผสม

น้ำยาผสมคอนกรีตที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2

ประการคือ

- ลดน้ำในส่วนผสม
- ยืดเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำนี้ เมื่อผสมเข้าไปในส่วนผสมจะส่งผลให้ลดปริมาณน้ำได้ 5-10% ซึ่ง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 16 ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการเมื่อใส่น้ำยาประเภทลดน้ำ

| ค่ายุบตัว (ชม.) | ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต เมื่อใส่น้ำยาประเภทลดน้ำ |                      |
|-----------------|-------------------------------------------------------|----------------------|
|                 | หินย่อยขนาด 1" – # 4                                  | หินย่อยขนาด ¾" - # 4 |
| $7.5 \pm 2.5$   | 170                                                   | 180                  |
| $10.0 \pm 2.5$  | 180                                                   | 190                  |
| $12.5 \pm 2.5$  | 190                                                   | 200                  |

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

นอกจากนี้ในปัจจุบันยังนิยมใช้น้ำยาประเภทลดน้ำจำนวนมาก หรือน้ำยา Superplasticizer ซึ่งสามารถลดน้ำได้ 15-30% ดังนั้นปริมาณน้ำที่จะใช้เพื่อให้ได้ค่ายุบตัวมาตรฐานจะลดลงไปด้วย

จ. ขั้นตอนในการออกแบบ

ขั้นตอนในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต สามารถสรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ (1)

รวบรวมความต้องการของผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมา เช่น

- 1) กำลังอัด
- 2) ค่ายุบตัว
- 3) ขนาดใหญ่สุดของหินที่จะใช้
- 4) ใส่น้ำยาผสมคอนกรีตหรือไม่

ขั้นตอนที่ (2)

1) หาปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการ

2) หาค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดตามต้องการ จากกราฟ

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และค่ากำลังอัด

3) หาค่าน้ำหนักซีเมนต์ = ปริมาณน้ำต่อค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ขั้นตอนที่ (3)

$$\text{ปริมาตรซีเมนต์} = \frac{\text{น้ำหนักปูนซีเมนต์}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์}}$$

ขั้นตอนที่ (4)

ปริมาตรทราย = (380 หรือ 400) – ปริมาตรปูนซีเมนต์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ (5)

น้ำหนักทราย = ปริมาตรทราย x ความถ่วงจำเพาะของทราย

ขั้นตอนที่ (6)

ปริมาตรหิน = 1000 – ปริมาตรซีเมนต์ – ปริมาตรน้ำ\*\* - ปริมาตรทราย

ขั้นตอนที่ (7)

น้ำหนักหิน = ปริมาตรหิน x ความถ่วงจำเพาะของหิน

ขั้นตอนที่ (8)

หาปริมาณน้ำที่ใช้

\* คอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร มีปริมาตร 1000 ลิตร

\*\* ปริมาตรน้ำ = น้ำหนักน้ำ

ตัวอย่างการออกแบบคอนกรีต

ถ้าผู้ออกแบบต้องการใช้คอนกรีตที่กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 240 กิโลเมตรต่อตารางเซนติเมตร โดยต้องมีส่วนเผื่อ (margin) 60 กิโลเมตรต่อตารางเซนติเมตร โครงสร้างพื้นอาคาร โดยมีข้อกำหนดอื่น ๆ ดังนี้

ค่ายุบตัว  $7.5 \pm 2.5$  เซนติเมตร ใช้หินขนาด  $\frac{3}{4}$  นิ้ว - # 4 และใส่น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำและยืดเวลาการแข็งตัว

ข. การออกแบบจะทำดังนี้

ขั้นตอนที่ (1) รวบรวมความต้องการของลูกค้า

1. กำลังอัดที่ออกแบบ 240 กิโลเมตรต่อตารางเซนติเมตร และกำลังอัดที่ต้องผลิตคือ  $240 + 60 = 300$  กิโลเมตรต่อตารางเซนติเมตร
2. ค่ายุบตัว  $7.5 \pm 2.5$  เซนติเมตร
3. ขนาดหิน  $\frac{3}{4}$  นิ้ว - # 4
4. ใส่น้ำยาลดน้ำและยืดเวลาการแข็งตัว

ขั้นตอนที่ (2) ปริมาณน้ำที่ใช้และน้ำหนักซีเมนต์

1. หาปริมาณน้ำจากตารางที่ 11.19 ค่ายุบตัว  $7.5 \pm 2.5$  เซนติเมตร ใช้หิน  $\frac{3}{4}$  นิ้ว - # 4 ใส่น้ำยาผสมคอนกรีต ปริมาณน้ำที่จะใช้ 180 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร คอนกรีต

2. หาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ จากกราฟรูปที่ 11.9 ซึ่งได้ค่า

$$W/C = 0.61$$

3. น้ำหนักซีเมนต์  $180/0.61 = 295$  กิโลกรัม

ขั้นตอนที่ (3) หาปริมาณซีเมนต์

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณซีเมนต์} &= \text{น้ำหนักซีเมนต์/ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์} \\ &= 295/3.15 \\ &= 94 \text{ ลิตร}\end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ (4) หาปริมาณทราย

เนื่องจากที่ใช้ขนาด  $\frac{3}{4}$  นิ้ว - # 4 (ขนาดตะแกรง)

$$\text{ปริมาณซีเมนต์} + \text{ปริมาณทราย} = 40\% \text{ หรือ } 400 \text{ ลิตร}$$

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณทราย} &= 400 - 94 \text{ (ค่านี้ได้จากขั้นตอนที่ (3))} \\ &= 306 \text{ ลิตร}\end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ (5) หาน้ำหนักทราย

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักทราย} &= \text{ปริมาณทราย} \times \text{ความถ่วงจำเพาะของทราย} \\ &= 306 \times 2.65 \\ &= 811 \text{ กิโลกรัม}\end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ (6) หาปริมาณหิน

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณหิน} &= 1000 - \text{ปริมาณซีเมนต์} - \text{ปริมาณน้ำ} - \text{ปริมาณทราย} \\ &= 1000 - 94 - 180 - 306 \\ &= 420 \text{ ลิตร}\end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ (7) หาน้ำหนักของหิน

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักหิน} &= \text{ปริมาณหิน} \times \text{ความถ่วงจำเพาะของหิน} \\ &= 420 \times 2.70 \\ &= 1134 \text{ กิโลกรัม}\end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ (8) หาปริมาณน้ำยาที่ใช้ (สมมติว่าปริมาณน้ำยาที่ผู้ผลิตแนะนำคือ 250 ซีซีต่อ 100 กิโลกรัมของซีเมนต์)

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณน้ำยาที่ใช้} &= \text{น้ำหนักซีเมนต์} \times \text{ปริมาณที่ใช้} \\ &= 295 \times \frac{250}{100} \\ &= 737 \text{ ซีซี}\end{aligned}$$

ในการหาสัดส่วนผสมความละเอียดของส่วนผสมควรเป็นดังนี้

|                            |            |    |          |
|----------------------------|------------|----|----------|
| ซีเมนต์                    | ละเอียดถึง | 5  | กิโลกรัม |
| น้ำ                        | ละเอียดถึง | 5  | ลิตร     |
| หินและกรวด                 | ละเอียดถึง | 5  | กิโลกรัม |
| น้ำยาผสมคอนกรีต            | ละเอียดถึง | 50 | ซีซี     |
| (ยกเว้นน้ำยาเพิ่มฟองอากาศ) |            |    |          |

สรุป ส่วนผสมใน 1 ลูกบาศก์เมตรของคอนกรีตเป็นดังนี้

|                 |      |          |
|-----------------|------|----------|
| ซีเมนต์         | 295  | กิโลกรัม |
| น้ำ             | 180  | ลิตร     |
| ทราย            | 810  | กิโลกรัม |
| หิน             | 1135 | กิโลกรัม |
| น้ำยาผสมคอนกรีต | 750  | ซีซี     |

การออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตร เช่น 1:2:4

คือ ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน โดยปริมาตร ซึ่งสามารถแปลงเป็นส่วนผสมโดยน้ำหนักได้ดังนี้ กำหนดให้

|                           |        |                         |
|---------------------------|--------|-------------------------|
| หน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ | = 1400 | กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร |
| หน่วยน้ำหนักของทราย       | = 1450 | กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร |
| หน่วยน้ำหนักของหิน        | = 1500 | กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร |

ข. การคำนวณ

|                                 |   |             |   |       |              |
|---------------------------------|---|-------------|---|-------|--------------|
| ปูน 1 ถุง 50 กิโลกรัม มีปริมาตร | = | 50/1400     | = | 0.036 | ลูกบาศก์เมตร |
| ทราย 2 ส่วน มีปริมาตร           | = | 0.036x 2    | = | 0.072 | ลูกบาศก์เมตร |
| น้ำหนักทราย                     | = | 0.072x 1450 | = | 104   | กิโลกรัม     |

หิน 4 ส่วน มีปริมาตร =  $0.036 \times 4 = 0.144$  ลูกบาศก์เมตร

น้ำหนักหิน =  $0.144 \times 1500 = 223$  กิโลกรัม

ปริมาณน้ำสำหรับปูน 1 ถุง เพื่อให้ยุบตัว 10 ซม. = 30 ลิตร ( $f_c' = 260$  ksc.)

น้ำหนักส่วนผสมเมื่อใช้ปูน 1 ถุง =  $50 + 104 + 216 + 30$  กิโลกรัม

= 400 กิโลกรัม

หน่วยน้ำหนักคอนกรีต = 2400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ต้องใช้ปริมาณปูน =  $2400 / 400 = 6.0$  ถุง = 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

#### ฉ. สรุปส่วนผสมใน 1 ลูกบาศก์เมตร

ปูนซีเมนต์ = 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ทราย = 624 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

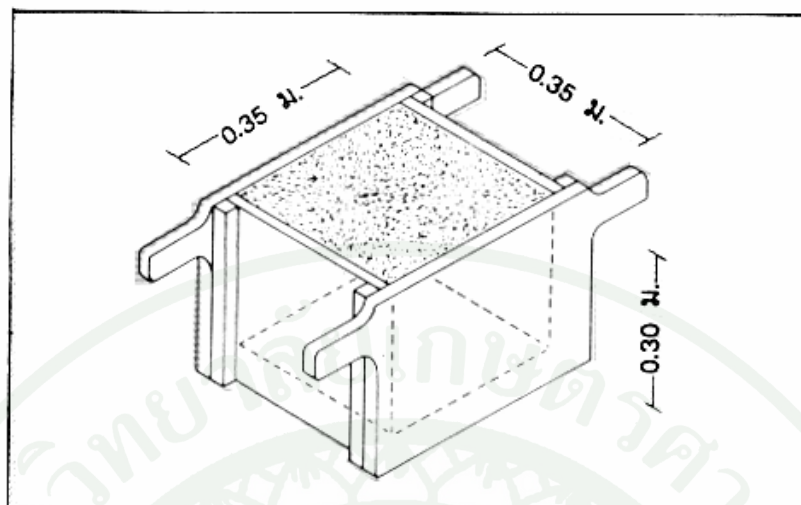
หิน = 1296 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

น้ำ = 180 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ค่ายุบตัวประมาณ 10 เซนติเมตร

#### ญ. ข้อเสนอแนะ

1) ถ้าผสมคอนกรีตโดยปริมาตร เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แน่นอนและสม่ำเสมอ ควรจัดทำกระบะไม้มาตรฐานสำหรับตวงส่วนผสม โดยกำหนดให้กระบะไม้ไม่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรซีเมนต์ 1 ถุง หรือ 50 กิโลกรัม ซึ่งกระบะไม้นี้จะมีขนาดกว้าง 0.35 เมตร ยาว 0.35 เมตร สูง 0.30 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กะบะไม้มาตรฐานใช้ในการตวงปริมาตร หิน ทราย

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

2) ในการกำหนดสัดส่วนผสมโดยปริมาตรนี้ไม่ได้กำหนดปริมาณน้ำ ซึ่งอาจมีการใช้น้ำในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

3) ในประเทศไทยมีปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป อยู่ 2 ประเภท คือ ปูนซีเมนต์ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 การกำหนดสัดส่วนผสมโดยวิธีนี้ควรจะต้องบ่งชี้ไปในแบบด้วยว่าจะใช้ปูนซีเมนต์ชนิดใด เพราะปูนซีเมนต์ทั้ง 2 นี้ ให้กำลังอัดที่แตกต่างกันมาก

### 1.3 การปรับส่วนผสมเมื่อหินทรายไม่อยู่ในสภาพที่ออกแบบ

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต น้ำหนักของหินทรายที่ได้นั้นคือ น้ำหนักของหินทรายที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง แต่สภาพหินทรายที่ใช้โดยทั่วไปไม่ได้อยู่ในสภาพที่ออกแบบ ทำให้ต้องมีการปรับส่วนผสมให้ถูกต้อง

ค่าการดูดซึมของหินย่อยและทรายแม่น้ำที่ใช้อยู่ทั่วไปในประเทศไทย

|      |           |      |
|------|-----------|------|
| หิน  | การดูดซึม | 0.5% |
| ทราย | การดูดซึม | 0.7% |

และสภาพหินทรายทั่ว ๆ ไปจะเป็นดังนี้

ทราย อยู่ในสภาพเปียกทั่ว ๆ ไป มีความชื้นทั้งหมดอยู่ระหว่าง 2-8%

หิน อยู่ในสภาพแห้งในอากาศ

### 1.3.1 ตัวอย่างการปรับส่วนผสมคอนกรีต

ถ้าสัดส่วนผสมคอนกรีตเป็นดังนี้

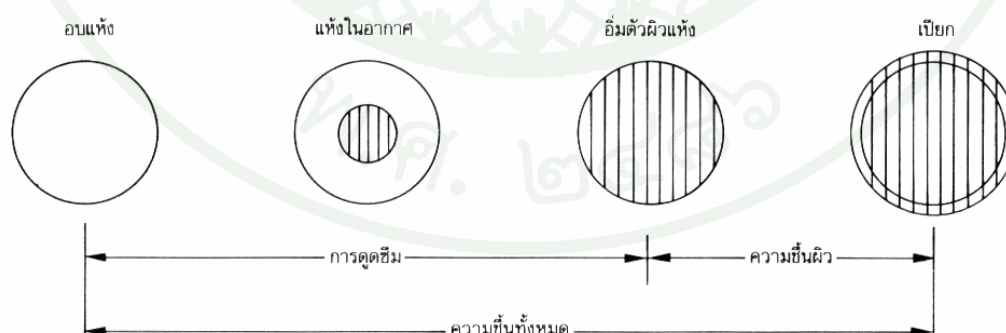
|            |                         |          |
|------------|-------------------------|----------|
| ปูนซีเมนต์ | 295                     | กิโลกรัม |
| น้ำ        | 180                     | ลิตร     |
| ทราย       | 810                     | กิโลกรัม |
| หิน        | 1135                    | กิโลกรัม |
| น้ำยา      | 750                     | ซีซี     |
| ค่ายุบตัว  | $7.5 \pm 2.5$ เซนติเมตร |          |

### 1.3.2 สภาพหินทราย

หินทรายโดยทั่วไปจะมีอยู่ 4 สภาพดังนี้

- 1) อบแห้ง (Oven Dry)
- 2) แห้งในอากาศ (Air Dry)
- 3) อิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)
- 4) เปียก (Wet)

ซึ่งแสดงดังภาพที่ 7



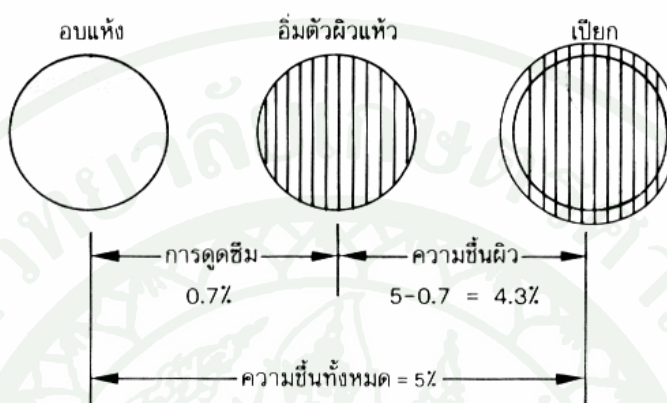
ภาพที่ 6 สภาพความชื้นของมวลรวม

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

กำหนดให้

ทรายมีความชื้น 5%                      การดูดซึม 0.7%

หินอยู่ในสภาพ อิ่มตัวผิวแห้ง      การดูดซึม 0.5%



ภาพที่ 7 สภาพความชื้นของมวลรวมเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

น้ำหนักน้ำหนักทราย 100 กิโลกรัม มีน้ำมากไป = 4.3 กิโลกรัม

น้ำหนักน้ำหนักทราย 810 กิโลกรัม มีน้ำมากไป =  $\frac{4.3 \times 810}{100} = 34.08$  กิโลกรัม

∴ จะต้องชั่งทรายเพิ่มขึ้นเป็น =  $810 + 34.8 = 844.8$  กิโลกรัม

เนื่องจากหินอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งจึงไม่ต้องปรับความชื้น

ดังนั้นจะต้องใส่น้ำในส่วนผสมทั้งสิ้น =  $180 - 34.8$  ลิตร

= 145.2 ลิตร

อัตราส่วนผสมที่ต้องชั่ง

ซีเมนต์ 295 กิโลกรัม

น้ำ 145 ลิตร

ทราย 845 กิโลกรัม

หิน 1135 กิโลกรัม

น้ำยา 750 ซีซี

(สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546)

## 2. ทฤษฎีฐานราก

ฐานรากคือส่วนโครงสร้างที่นั้งบนหัวเสาเข็ม ซึ่งทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก และทำหน้าที่รับน้ำหนักโครงสร้างของอาคารที่ถ่ายลงสู่เสาเข็ม หรือลงดิน ในกรณีที่ไม่ใช้เสาเข็มซึ่งมีทั้งฐานรากแบบชนิดลึก และชนิดตื้น สามารถแบ่งฐานรากเป็นประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. ฐานรากแผ่ เป็นฐานรากที่แผ่ไปกับพื้นไม่มีเข็มมารองรับ เหมาะแก่ดินที่มีความแข็งแรงอยู่แล้ว เช่นบริเวณดินกับเชิงเขา
2. ฐานรากแบบมีเข็ม ใช้ในบริเวณที่มีสภาพดินอ่อน เช่น กรุงเทพฯ ฐานรากชนิดนี้รับน้ำหนักจากเสาถ่ายลงเสาเข็มและดิน ตามลำดับ
3. ฐานรากแท่งตอม่อ เป็นฐานคอนกรีตหล่อลึกลงไปในดินหรือน้ำจนถึงระดับที่ต้องการฐานรากชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้กับบ้านพักบ้าน(กรมโยธาธิการ,2552)

## 3. ทฤษฎีเสาเข็ม

เสาเข็ม คือโครงสร้างของอาคารที่มีความสำคัญ เป็นส่วนรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคารจากฐานรากถ่ายน้ำหนักลงสู่ดิน เสาเข็มจะต้องสามารถรับน้ำหนักของอาคารได้ และสามารถให้อาคารคงอยู่ได้โดยไม่มีการทรุดตัวซึ่งการรับน้ำหนักนั้นจะเป็นแรงต้านจากปลายเสาเข็มกับชั้นดินหรือความฝืดที่ผิวด้านข้างของเสาเข็มกับชั้นดิน ในการตอกเสาเข็มนั้นอาจจะตอกลึกลงไปถึงชั้นทราย หรือชั้นหิน ส่วนวัสดุที่ทำเสาเข็มมีหลายชนิด เช่น ทำมาจากไม้ เหล็ก หรือคอนกรีต ในการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการรับน้ำหนักและสภาพของพื้นที่ตามคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินที่มีความแตกต่างกันในการรับน้ำหนักตามลักษณะของชั้นดินนั้น ๆ เช่นชั้นดินเหนียว ชั้นดินแข็ง ชั้นทราย ชั้นหินผุ ชั้นหินแข็ง เป็นต้น รวมถึงผลการตรวจวัดค่าคุณสมบัติของดิน ก็จะต้องมีการเจาะสำรวจชั้นดิน เพื่อกำหนดและเลือกประเภทเสาเข็มที่มีความแตกต่างกัน และความยาวของเสาเข็มให้มีความเหมาะสมกับงานก่อสร้างนั้น ๆ

### 3.1 เสาเข็มคอนกรีต

คือการนำคอนกรีตมาทำการหล่อเป็นเสา โดยมีเหล็กแรงสูงเป็นโครงสร้างภายใน และสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ดี และคอนกรีตมีความแข็งแรงไม่น้อยกว่า 300 กิโลกรัมต่อ

ตารางเซนติเมตร เสาเข็มที่ใช้กับอาคารและสิ่งปลูกสร้างทั่วไปในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะของการผลิต และการใช้งาน ได้แก่

### 3.1.1 เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง

เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงเป็นเสาเข็มที่ใช้กันแพร่หลายสำหรับอาคารพาณิชย์ และ บ้านพักอาศัยทั่วไป เป็นเสาเข็มที่ทำจาก ปูนซีเมนต์ชนิดแข็งตัวเร็ว และ โครงเหล็กภายในทำ จากหลอดเหล็กอัดแรงกำลังสูง กรรมวิธีที่ใช้ในการลงเสาเข็มจะเป็นการตอกกระแทก ลงไปในดิน โดยใช้ปั้นจั่นซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และประหยัดค่าใช้จ่าย เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง สามารถแบ่งแยกย่อย ออกไปอีก ตามรูปร่างลักษณะของตัวเสาเข็ม ที่ใช้กันแพร่หลาย ได้แก่

- ก. เสาเข็มรูปตัวไอ
- ข. เสาเข็มสี่เหลี่ยมตัน
- ค. เสาเข็มหกเหลี่ยมหรือแปดเหลี่ยมชนิดกลวง
- ง. เสาเข็มรูปตัวที

ชนิดของเสาเข็มที่ใช้สำหรับรับน้ำหนักของตัวบ้านโดยทั่วไปจะเป็นเสาเข็มรูปตัวไอ ส่วน ขนาด และความยาวนั้นขึ้นอยู่กับวิศวกรผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนด ส่วนเสาเข็มหกเหลี่ยมหรือแปด เหลี่ยมชนิดกลวงหรือเสาเข็มรูปตัวที นั้นมักจะใช้กับงาน โครงสร้างที่เล็กกว่าหรือต้องการรับ น้ำหนักน้อยกว่า เช่น งานฐานรากของรั้ว

### 3.1.2 เสาเข็มตอก

เป็นเข็มที่มีราคาค่อนข้างประหยัด เมื่อเทียบกับเข็มเจาะ สามารถทำงานได้ รวดเร็ว จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มานาน แต่ข้อเสียคือ ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนในเวลา ตอกมากกว่าเข็มทุกประเภท และเกิดแรงอัดของดินที่เข็มถูกตอกลงไป แทนที่หน้าตัดของเข็ม อาจจะเป็นรูปตัว I หรือสี่เหลี่ยมตัน โดยทั่วไปจะมีขนาดยาวประมาณ 8-9 เมตรต่อท่อน จึงต้องต่อ 2 ท่อน เพื่อให้ได้ระยะความลึก เสาเข็มชนิดนี้ อาจจะทำให้อาคารบ้านเรือน ที่ติดกันแตกร้าว อัน เนื่องมาจากแรงสั่นสะเทือน นอกจากนั้นการดำเนินการยังต้องใช้พื้นที่ เช่น การติดตั้งปั้นจั่น เข็มที่มี ความยาว ก่อให้เกิดความ ไม่สะดวก ในการเคลื่อนย้าย

### 3.1.3 ข้อสังเกตบางประการเกี่ยวกับเสาเข็มที่ใช้และกรรมวิธีในการตอก

ข้อสังเกตในที่นี้จะเน้นกล่าวถึงเฉพาะที่เกี่ยวกับเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง เนื่องจากเป็นเสาเข็มที่ใช้กันแพร่หลายสำหรับอาคารบ้านเรือนทั่วไป

ก. เสาเข็มที่ใช้ควรอยู่ในสภาพที่ดีไม่มีการแตกหักหรือชำรุดมาก่อน ถ้าเป็นไปได้ควร ได้รับการรับรองมาตรฐานจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) โดยมี เครื่องหมายรับรองมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ประทับอยู่ และมีการระบุถึงวัน / เดือน / ปี ที่ทำการผลิตว่าผลิตออกมาเมื่อใด ถ้าเป็นไปได้เสาเข็มที่ใช้ควรจะมีอายุการผลิต 4 สัปดาห์ขึ้นไป เพราะ เสาเข็มที่เพิ่งผลิตออกมาใหม่คอนกรีต ที่ใช้ทำเสาเข็มยังบ่มตัวไม่เข้าที่ ความแข็งแรงยังมีน้อยอาจเกิดการชำรุดหรือแตกหักระหว่างการตอกได้

ข. เสาเข็มที่มีขนาดยาวอาจใช้เสาเข็มขนาดสั้น 2 ท่อนมาเชื่อมต่อกันได้เพื่อสะดวกในการตอกหรือความสะดวกในการขนส่ง ทั้งนี้ เสาเข็มที่นำมาเชื่อมต่อกันจะต้องมีลักษณะ และขนาดของพื้นที่หน้าตัดเหมือนกัน กรรมวิธีในการตอกก็จะทำการตอกเสาท่อนแรกลงไปในดินจนเกือบมิดก่อนแล้วใช้ปั้นจั่นดึงเสาท่อนที่สองขึ้นมาจรดกับเสาท่อนแรกในแนวตรง แล้วทำการ เชื่อมเหล็กที่ขอบเสาตรงรอยต่อให้ติดกัน การเชื่อมจะต้องเชื่อมอย่างประณีตโดยรอบให้เสาทั้ง 2 ท่อนต่อกันอย่างสนิทและเป็นแนวเส้นตรง จากนั้นจึงใช้ปั้นจั่นตอกลงไปต่อ

ค. การตอกเสาเข็มให้ลึกถึงระดับ การจะดูการตอกเสาเข็มในแต่ละจุดเสร็จสิ้นเรียบ ร้อยได้ผล ตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่นั้น มิใช่ดูแต่เพียงว่าเสาเข็มตอกจมมิดลงไป ในดินเท่านั้น แต่จะต้องดู จำนวนครั้งในการตอกด้วย ( Blow Count ) ว่าเสาเข็มแต่ละต้นใช้ จำนวน ครั้งในการตอกเท่าใดจนเสาเข็มจมมิดดิน ถ้าจำนวนครั้งในการตอกน้อยเกินไป คือสามารถตอกลงไปได้ง่าย แสดงว่าความแน่นของดิน ที่จุดนั้นที่จะใช้ในการรับน้ำหนักยังไม่เพียงพอ อาจจะต้องมีการต่อเสาเข็มและตอกเพิ่มลงไปอีกจนกว่าจำนวนครั้งในการตอกจะ เป็นไปตามที่กำหนด ในทางตรงกันข้าม ถ้าจำนวนครั้งในการตอกมากเพียงพอแล้วแม้ว่าเสาเข็มที่ตอกนั้น จะยังจมไม่ มิดก็อาจแสดงว่าความแน่นของดินที่จุดนั้นที่จะใช้ในการรับน้ำหนักเพียงพอแล้ว ไม่จำเป็นจะตอกต่อลงไปอีก เพราะการฝืนตอกต่อไปอาจทำให้เสาเข็มแตกหักหรือชำรุดได้ ส่วนจำนวนครั้งในการตอกเสาเข็ม แต่ละต้นควรจะเป็นเท่าใดนั้นวิศวกรจะเป็นผู้กำหนด ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดของพื้นที่หน้าตัด และความยาวของเสาเข็มนั้น ๆ

### 3.1.4 คำนวณ สูตรตอกเสาเข็ม(Blow Count)

เสาเข็ม ขนาด  $\phi$  0.60 เมตร

ใช้ลูกตุ้มหนัก 7 ตัน

ใช้ระยะยก 0.60 เมตร

ซึ่งใช้สูตรควบคุมการตอกเสาเข็ม จาก Danish's formula ดังนี้

$$S = \frac{eWh}{R} - \sqrt{\frac{eWhL}{2Ae}}$$

โดยที่

W = น้ำหนักของลูกตุ้ม = 7 ตัน

h = ระยะยกของลูกตุ้ม = 0.60 เมตร

A = หน้าตัดของเสาเข็ม = 0.1571 ตารางเมตร

L = ความยาวของเสาเข็ม = 21 เมตร

E =  $2.1 \times 10^6$  ตัน/ตร.ม.

e = hammer efficiency = 0.9

ตามแบบกำหนดให้เสาเข็มรับน้ำหนักปลอดภัย = 90 ตันต่อตัน

F.S. = ค่าความปลอดภัย = 2.5

R = น้ำหนักวิกฤติของเสาเข็ม =  $90 \times 2.5 = 225$  ตันต่อตัน

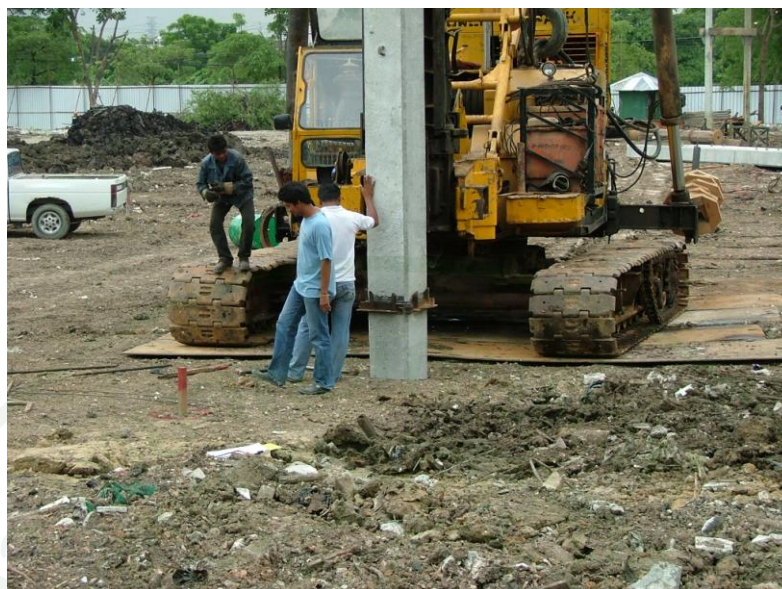
แทนค่าในสูตรแล้วจะได้ว่า

S = ระยะทรุดตัวเฉลี่ย = 0.00583 เมตรต่อครั้ง

สรุป ระยะทรุดตัว 10 ครั้งสุดท้าย = 5.83 เซนติเมตร

จำนวน Blow/ft = 51 ครั้ง

เมื่อยกลูกตุ้ม 7 ตัน ที่ระยะสูง = 60 เซนติเมตรต่อครั้ง



ภาพที่ 8 แสดงการตอกเสาเข็ม

ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (2550)



ภาพที่ 9 แสดงขณะที่ปั้นจั่นตอกเสาเข็ม

ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (2550)



ภาพที่ 10 แสดงเสาเข็มที่ทำการตอกเสร็จแล้ว

ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ (2550)

### 3.1.5 วัสดุที่ใช้ทำเสาเข็มมีดังนี้

ก. ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing)

ข. วัสดุผสม (Aggregates) คือจำพวกทราย (Sand) หิน (Rock)

ค. น้ำสะอาด เพื่อเป็นตัวทำปฏิกิริยากับการผสมซีเมนต์

ง. สารผสมเพิ่ม (Admixtures) เพื่อแก้โอกาสในการเร่งการก่อตัวและเพิ่มความแข็งแรง

จ. เหล็กแรงสูง

### 3.1.6 คุณสมบัติของวัสดุเสาเข็มสี่เหลี่ยม

ก. คอนกรีต

ใช้คอนกรีตที่มีกำลังประลัยไม่ต่ำกว่า 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อทดสอบด้วยก้อนคอนกรีต ตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว x 12 นิ้ว หรือไม่ต่ำกว่า 450 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อทดสอบด้วยลูกบาศก์คอนกรีต ตัวอย่างขนาด 15 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร เมื่ออายุ 28 วัน

ส่วนผสมของคอนกรีตใช้ผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดเกิดแรงสูงเร็ว หรือชนิดธรรมดา (High early strength portland cement type III or type I) และมีส่วนผสมไม่น้อยกว่า 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คอนกรีตกำลังอัดแรง จะถ่ายอัดเข้าไปในเนื้อคอนกรีต เมื่อคอนกรีตมีกำลังไม่น้อยกว่า 280 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

#### ข. ลวดเหล็กอัดแรงกำลังสูง

สำหรับ PC Wire ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.0 มิลลิเมตร 5.0 มิลลิเมตร มี Tensile Strength ไม่น้อยกว่า 17,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.0 มิลลิเมตร มี Tensile Strength ไม่น้อยกว่า 17,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ขนาด PC Strength ให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว 250 K. มี Breaking Strength ไม่น้อยกว่า 9070 กิโลกรัม ลวดเหล็กกำลังสูง ถูกดึงด้วยแรงไม่มากกว่า 75% ของกำลังประลัยสูงสุด เพื่อใช้เป็นกำลังอัดแรงในขั้นแรก

ค. เหล็กถูกตั้ง ใช้เหล็ก Structural Grade และมีกำลังของจุดยึดหยุ่น ไม่ต่ำกว่า 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

#### ตารางที่ 17 ขนาดของเข็มสี่เหลี่ยมตัน มีขนาดหน้าตัดดังนี้

| ตารางแสดงขนาดเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง |                   |                                        |                    |                        |                               |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------------|
| Type                              | Weight<br>(kg/m.) | Cross<br>Section<br>(cm <sup>2</sup> ) | Perimeter<br>(cm.) | Safe<br>Load<br>(Ton.) | Remarks                       |
| .24 x .24 x 21.0 ม.               | 138               | 576                                    | 96                 | 35-40                  | มีทั้งชนิดท่อนเดี่ยวและต่อกัน |
| .26 x .26 x 21.0 ม.               | 162               | 676                                    | 104                | 40-45                  | มีทั้งชนิดท่อนเดี่ยวและต่อกัน |
| .30 x .30 x 21.0 ม.               | 216               | 900                                    | 120                | 45-50                  | มีทั้งชนิดท่อนเดี่ยวและต่อกัน |
| .35 x .35 x 21.0 ม.               | 294               | 1225                                   | 140                | 50-55                  | มีทั้งชนิดท่อนเดี่ยวและต่อกัน |
| .40 x .40 x 21.0 ม.               | 384               | 1600                                   | 160                | 55-60                  | มีทั้งชนิดท่อนเดี่ยวและต่อกัน |

หมายเหตุ น้ำหนักปลอดภัยที่กำหนดไว้ข้างต้นอาจเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน และระดับหัวเข็ม ที่ส่งลงจากพื้นดินเดิม และความยาวสามารถเปลี่ยนแปลงได้

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2546)

### 3.1.7 ส่วนประกอบของเสาเข็ม

ก. หัวเสาเข็ม (Head) หมายถึงส่วนบนสุดของเสาเข็มเป็น ส่วนที่รับแรงกระแทกจากอุปกรณ์การตอกเสาเข็ม

ข. ตัวเสาเข็ม (Foot) หมายถึงส่วนลำตัวของเสาเข็มมีพื้นที่มากที่สุด และทำหน้าที่รับแรงเสียดระหว่างผิวเสาเข็มกับชั้นดิน

ค. ปลายเสาเข็ม (Tip) หมายถึงส่วนปลายล่างสุดของเสาเข็ม ทำหน้าที่เจาะทะลุชั้นดิน

ง. ปลายเสาเข็ม (Butt) หมายถึงส่วนหัวของเสาเข็มที่ถูกตัดออกหลังจากการตอกเสาเข็มเสร็จแล้ว

จ. แผ่นเหล็กหัวเสาเข็ม (Driving Head) หมายถึงแผ่นเหล็กที่ปิดทับบนหัวเสาเข็มเพื่อรองรับน้ำหนักที่ตกกระทบจากลูกตุ้มเหล็ก และป้องกันเสาเข็มเกิดการเสียหายขณะทำการตอก โดยทั่วไปแผ่นเหล็กจะถูกเชื่อมยึดด้วยเหล็กเสมอ (Dowel) ซึ่งจะฝังอยู่ในคอนกรีต

ฉ. ตำแหน่งตัดหัวเสาเข็ม (Pile Cut Off) หมายถึงระดับที่จะทำการตัดหัวเสาเข็มออก โดยส่วนมากตำแหน่งหัวเสาเข็มจะเป็นตำแหน่งได้ฐานของฐานรากจะนิยมให้หัวเสาเข็มโผล่เข้ามาในฐานคอนกรีตของโครงสร้างประมาณ 5 เซนติเมตร

ช. ปลายล่างเสาเข็ม (Pile Shoe) หมายถึงวัสดุที่ห่อหุ้มส่วนปลายของเสาเข็มที่นิยมจะเป็นโลหะ ได้แก่ เหล็กหล่อ เป็นต้น เพื่อให้สามารถเจาะทะลุถึงชั้นทรายแน่น รวมทั้งชั้นดินดาน(กรมโยธาธิการ,2552)

### 3.1.8 ขั้นตอนและวิธีการหล่อเสาเข็ม

งานหล่อเสาเข็ม Batter Pile SQ 0.45 x 0.45 x 10.00 เมตร



ภาพที่ 11 แสดงการติดตั้งลวดอัดแรงตีเกลียวขนาด  $\frac{3}{8}$  นิ้ว

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2533)



ภาพที่ 12 แสดงการตรวจค่า Elomgation

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2533)



ภาพที่ 13 หลังจากตึงสายอัดแรงแล้ว

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2533)



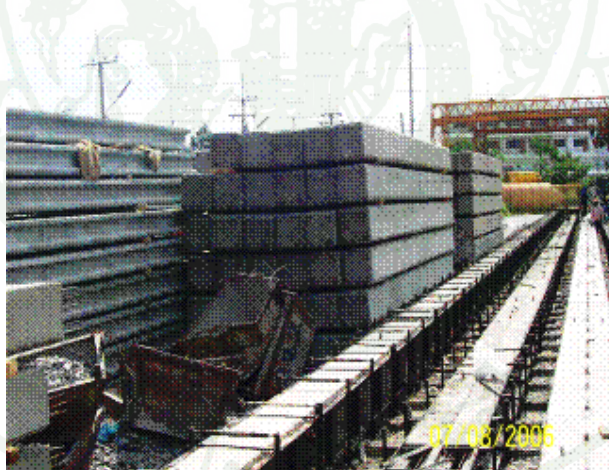
ภาพที่ 14 แสดงการผูกเหล็กปลอกเสาเข็ม

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2533)



ภาพที่ 15 แสดงการเทคอนกรีตหล่อเสาเข็ม Batter Pile SQ 0.45 x 0.45 x 10.00 เมตร

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) (2533)



ภาพที่ 16 แสดงการเทคอนกรีตหล่อเสาเข็ม Batter Pile SQ 0.45 x 0.45 x 10.00 เมตร เสร็จแล้ว

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2533)



ภาพที่ 17 แสดงการขนส่งเสาเข็มเข้าไปในสถานที่ก่อสร้าง

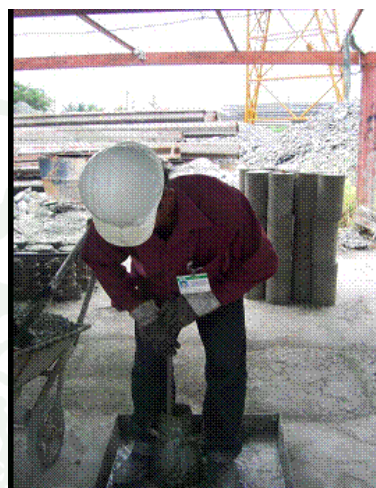
ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2533)



ภาพที่ 18 งานกองเสาเข็มสี่เหลี่ยมตัน Batter Pile

ที่มา : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2533)

### 1.1.2 การตรวจสอบคุณภาพและการทดสอบคอนกรีต



ภาพที่ 19 การตรวจสอบความขึ้นเหลว(Slump) ของคอนกรีตที่ใช้หล่อเสาเข็ม

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2533)



ภาพที่ 20 การตรวจสอบความขึ้นเหลว(Slump) ของคอนกรีตที่ใช้หล่อเสาเข็ม

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2533)



ภาพที่ 21 การเก็บก้อนตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำไปทดสอบกำลังอัด

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)(2533)

#### 4. มาตรฐานงานฐานราก

ขอขยาย มาตรฐานงานนี้ครอบคลุมถึงงานฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป (นอกจากรายการประกอบแบบเฉพาะที่ระบุเป็นอย่างอื่น) ดังต่อไปนี้ อาคารทั่วไป สะพาน และที่ขังน้ำ

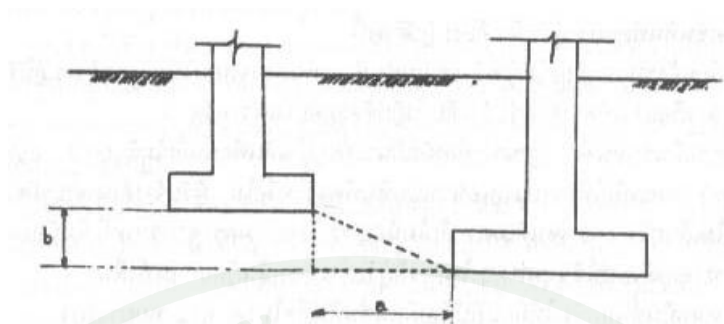
##### 4.1 ข้อกำหนดในการก่อสร้าง (Construction Requirements)

###### 4.1.1 ฐานรากแผ่ที่ไม่ต้องใช้เสาเข็ม

ก. ฐานรากต้องวางอยู่บนดินเดิมเสมอ นอกจากรายการประกอบแบบเฉพาะที่ระบุเป็นอย่างอื่น ความลึกของฐานรากขนาดและรายละเอียดการเสริมเหล็กต้องเป็นไปตามแบบรายละเอียดที่ได้กำหนดให้

ข. การก่อสร้างฐานรากที่มีระดับลึกต่างกัน ต้องทำ การก่อสร้างฐานรากที่มีระดับลึกมากที่สุดก่อนเสมอไป ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันฐานรากที่มีระดับตื้นกว่าพัง ขณะทำ ฐานรากตัวที่อยู่ลึกกว่า

ค. ฐานรากที่มีระดับลึกต่างกันั้น ต้องมีระดับลึกต่างกันไม่เกินข้อกำหนดข้างล่าง หากแบบรายละเอียดกำหนดระดับต่างกันของฐานรากเกินข้อกำหนดแล้ว ต้องสอบถามวิศวกรผู้ออกแบบของผู้อำจาง เพื่อวินิจฉัยความถูกต้องอีกครั้งหนึ่งเสียก่อน จึงจะดำเนินการต่อไปได้



ภาพที่ 22 ฐานรากที่ระดับลึกต่างกัน

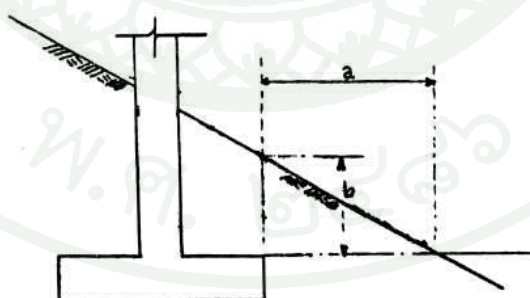
ที่มา : กรมโยธิการ (2533)

ข้อกำหนด

สำหรับฐานรากวางบนดิน (Soil)  $b$  ไม่มากกว่า  $a/2$

สำหรับฐานรากวางบนหิน (Rock)  $b$  ไม่มากกว่า  $a$

ง. ในการก่อสร้างฐานรากบนพื้นที่เอียงลาดนั้น ฐานรากตัวริมที่ติดกับพื้นที่เอียงลาดนั้น ต้องมีระยะจากขอบนอกสุดส่วนบนของฐานถึงพื้นที่เอียงลาดนั้น (Edge Distance) เป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุ ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันการสึกกร่อนของผิวดินอันจะเป็นอันตรายแก่ฐานรากภายหลัง



ภาพที่ 23 การก่อสร้างฐานรากบนพื้นที่เอียงลาด

ที่มา : กรมโยธิการ (2533)

### ข้อกำหนด

สำหรับฐานรากวางบนดิน (Soil) a ไม่น้อยกว่า 1 เมตร

สำหรับฐานรากวางบนหิน (Rock) a ไม่น้อยกว่า 0.75 เมตร

สำหรับรากฐานวางบนดิน และหิน b ไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร

หากแบบและรายการละเอียดได้กำหนดระยะของขอบฐานรากดังกล่าวไว้เป็นอื่นแล้วให้ถือปฏิบัติตามแบบและรายการละเอียดที่ได้กำหนดไว้ แต่ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าที่ได้กำหนดไว้ข้างบน

จ. ในกรณีเมื่อขุดดินเพื่อทำ ฐานรากลึกไม่ได้ระดับตามแบบหรือรายการละเอียด เนื่องจากขุดถึงชั้นลูกรังหรือชั้นหินพิศแล้ว ผู้รับจ้างต้องปฏิบัติดังนี้

1) รีบแจ้งรายละเอียดให้ผู้ว่าจ้างทราบทันที เพื่อตรวจสอบวินิจฉัยว่าต้องปฏิบัติอย่างไร ค่า วินิจฉัยดังกล่าวถือเป็นเด็คขาด ผู้รับจ้างต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด

2) หากเป็นชั้นหินพิศ ฐานรากต้องฝังเป็นระดับอยู่ในหินพิศนั้นลึกไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร (วัดตรงที่ตื้นสุด) และเพื่อให้ทราบแน่นอนว่าเป็นหินพิศจริงหรือไม่ ผู้รับจ้างต้องเจาะรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 2.50 เซนติเมตร ลึกไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร ฐานรากหนึ่งไม่น้อยกว่า 2 รู เพื่อพิจารณาประกอบด้วยค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในการนี้ผู้รับจ้างต้องเป็นผู้ออกเองทั้งสิ้น

3) หากเป็นชั้นลูกรังให้ถือปฏิบัติเหมือนชั้นหินพิศในข้อ 2. ทุกประการ

ในกรณีเมื่อทำ การเจาะชั้นหินพิศหรือชั้นลูกรังแล้ว ปรากฏว่ามีความหนาไม่เพียงพอตามข้อ 2. ผู้รับจ้างต้องทำการทดสอบหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของพื้นที่นั้น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ว่าจ้าง

ฉ. ในกรณีที่ทำ การขุดดินจนถึงระดับกันฐานรากตามทีแบบ หรือรายการละเอียดได้กำหนดไว้ให้แล้วปรากฏว่าดินได้ฐานรากนั้นเป็นดินถมหรือมีคุณภาพไม่ดีพอ ผู้รับจ้างต้องขุดดินให้ลึกลงไปอีกจนถึงชั้นดินแข็ง และเพื่อเป็นการทราบแน่นอนว่าพื้นดินชั้นดังกล่าว จะมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกได้ตามที่แบบหรือรายการละเอียดกำหนดหรือไม่ผู้รับจ้างต้องทำการทดสอบหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของพื้นดินทุกประการ

ช. การทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของพื้นดิน ให้เป็นไปตาม ผนวก ก. มยธ. 105 : มาตรฐานการ

## 4.2 ทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของพื้นดิน

### 4.2.1 ฐานรากที่ต้องใช้เสาเข็ม

ก. ความลึกของฐานราก ขนาดและรายละเอียดการเสริมเหล็ก ต้องเป็นไปตามแบบรายละเอียดที่ได้กำหนดให้

ข. การดำเนินการก่อสร้างฐานรากให้ปฏิบัติตามข้อ 4.1.1 (ข., ค. และ ง.) ทุกประการ

ค. เสาเข็มที่ใช้ต้องมีคุณภาพและคุณสมบัติเป็นไปตาม มยธ. 106 : มาตรฐานงานเสาเข็มข้อ 4.1.1 และข้อ 4.1.2 ทุกประการ

ง. การยกการตอก ให้เป็นไปตาม ข้อ 4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตอกเสาเข็มคอนกรีตและวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีต ของ มยธ. 106 : มาตรฐานงานเสาเข็ม ทุกประการ และการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มให้เป็นไปตาม ผนวก ก. มยธ. 106 : มาตรฐานการทดสอบการรับน้ำหนักเสาเข็ม

จ. เสาเข็มไม้ จะเป็นเสาเข็มสั้นหรือยาวก็ตาม หัวเสาเข็มต้องจมอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินตลอดเวลา ดังนั้น หากปรากฏว่าเมื่อขุดดินถึงระดับก้นฐานรากได้ตามแบบ และรายละเอียดที่กำหนดแล้วยังไม่ถึงระดับน้ำใต้ดิน ผู้รับจ้างต้องตอกลงไปอีกหรือตัด เพื่อให้หัวเสาเข็มอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินตลอดเวลา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวินัยของผู้ว่าจ้าง

ฉ. ฐานรากที่ใช้เสาเข็มยาว การตอกเสาเข็มต้องตอกด้วยความระมัดระวังมิให้เกิดความเสียหายแก่อาคารข้างเคียงความเสียหายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบและชดเชยค่าเสียหายนั้น ๆ แต่ผู้เดียว การตอกเสาเข็มต้องตอกให้เป็นระเบียบ โดยตอกเสาเข็มเป็นแนว ๆ หรือเสร็จเป็นฐาน ๆ ไป ห้ามตอกสลับไปสลับมา

ช. ในกรณีที่เสาเข็มจมลงเร็วผิดปกติในขณะที่ตอกสำหรับอาคารเดียวกัน ผู้รับจ้างต้องรายงานให้ผู้ว่าจ้างทราบทันที เพื่อจะได้พิจารณาว่าควรแก้ไขอย่างไร คำวินิจฉัยดังกล่าวถือเป็นเด็ดขาด

ซ. หากมีความจำเป็นต้องถมดินหรือทรายภายในบริเวณที่ได้ตอกเสาเข็มไว้แล้ว การถมต้องถมด้วยความระมัดระวังมิให้เสาเข็มชำ รุด เอน เอียง หรือหนีศูนย์กลาง และเพื่อมิให้เกิดปัญหาดังกล่าว ผู้รับจ้างต้องถมดินหรือทรายรอบเสาเข็มแต่ละต้นให้สูงกว่าระดับอื่น ๆ เสียก่อน จากนั้นจึงถมบริเวณอื่น ๆ ต่อไป ห้ามถมไปทางด้านเดียว ความเสียหายต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบทั้งสิ้น

### 4.3 การขุดดินเพื่อทำฐานราก

4.3.1 การขุดบ่อทำ ฐานราก ผู้รับจ้างต้องขุดให้ได้ขนาด และระดับตามแบบและรายการรายละเอียดพร้อมทั้งป้องกันมิให้ดินพังทะลายหรือเกิดความเสียหายใด ๆ ซึ่งอาจจะทำได้ด้วยการกันคอกหรือขุดดิน ลดเป็นชั้นๆ ลงไป ดินที่ขุดต้องนำไปกองไว้ให้เรียบร้อยตามคำแนะนำของผู้ควบคุมงานของผู้ว่าจ้าง หากมีความเสียหายใด ๆ เกิดขึ้นเนื่องจากการขุดดินนี้ ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบทั้งสิ้น

4.3.2 ผู้รับจ้างต้องสูบน้ำก้นบ่อออกให้หมดก่อน ที่จะเทคอนกรีตฐานราก และตลอดเวลาดำเนินการเทคอนกรีตฐานราก

4.3.3 เมื่อทำฐานรากเสร็จตามแบบรายการรายละเอียดแล้ว ก่อนที่จะทำ การกลบบ่อดิน ผู้รับจ้างต้องแจ้งให้ผู้ควบคุมงานของผู้ว่าจ้างทราบ เพื่อตรวจดูความเรียบร้อยของฐานรากนั้น แล้วจึงจะทำการกลบดินได้

4.3.4 การกลบดินต้องถมดินเป็นชั้น ๆ ชั้นหนึ่ง ๆ หนาไม่เกิน 30 เซนติเมตร โดยกระทุ้งให้แน่นทุก ๆ ชั้น

### 4.4 มาตรฐานการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นดิน

ขอบข่าย การทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นดิน (Bearing Capacity of) ใช้เฉพาะงาน ฐานรากของโครงสร้าง อาทิ อาคารทั่วไป สะพานและที่ขังน้ำ

#### 4.4.1 ทั่วไป

ก. การดำเนินการทดสอบให้ทำ ณ สถานที่ก่อสร้างฐานรากจริง เฉพาะฐานรากที่มีปัญหาในการก่อสร้าง หรือ ณ ตำแหน่งที่ผู้ว่าจ้างกำหนด

ข. ให้ดำเนินการทดสอบด้วยแผ่นเหล็กต่างขนาดอย่างน้อย 2 จุด โดยตำแหน่งทดสอบห่างกันไม่น้อยกว่า 5 เท่าของขนาดแผ่นเหล็กทดสอบอันใหญ่ที่สุด

ค. ระดับชั้นดินที่จะทดสอบต้องเป็นระดับเดียวกันกับระดับฐานรากที่จะทำการก่อสร้าง

ง. ให้ดำเนินการตอกหยั่งเพื่อตรวจสอบสภาพชั้นดินใต้ฐานราก อย่างน้อย 4 จุด ในบริเวณทดสอบลึกลงไปไม่น้อยกว่าสองเท่าของขนาดฐานรากที่ใหญ่ที่สุด

จ. การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องได้รับการตรวจและเห็นชอบจากผู้ควบคุมการทดสอบของผู้ว่าจ้างก่อน จึงจะเริ่มการทดสอบได้

จ. ค่าใช้จ่ายในการทดสอบทั้งหมด ผู้รับจ้างต้องเป็นผู้ออกเองทั้งสิ้น

#### 4.4.2 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

ก. หลุมทดสอบต้องขุดลงไปให้มีความกว้างไม่น้อยกว่า 4 เท่าของขนาดแผ่นเหล็กทดสอบ อย่าปล่อยให้หลุมทดสอบไว้โดยไม่มีสิ่งใดป้องกันความชื้นที่จะเสียไป และให้รับดำเนินการทดสอบ

ข. แผ่นเหล็กทดสอบ (Steel Bearing Plate) ต้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 30 เซนติเมตร หรือ 45 เซนติเมตร หรือ 60 เซนติเมตร และหนาไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร หรือแผ่นเหล็กกลมที่มีความหนาและเนื้อที่เท่ากัน

ค. ชุดเพิ่มน้ำหนัก (Hydraulic Jack with Pressure Gauge) ต้องมีกำลังอัดไม่ต่ำกว่า 15 เมตริกตัน มีมาตรวัดแรงกด (Pressure Gauge) วัดแรงกดที่เกิดขึ้น โดยยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักที่เพิ่มในแต่ละช่วง พร้อมทั้งมีใบรับรองแสดงผลทดสอบ (Calibra and Tested Report) มาแสดงก่อนใช้ชุดเพิ่มน้ำหนักดังกล่าว ใบรับรอง ต้องมีอายุไม่เกิน 3 เดือนจากสถาบันที่ผู้ว่าจ้างเห็นชอบ

ง. แคร่บรรทุกน้ำหนัก (Loading Platform) ต้องแข็งแรงและมีน้ำหนักบรรทุกมากพอที่จะให้แรงกดได้ตลอดการทดสอบ ที่รองรับต้องห่างจากตำแหน่งทดสอบไม่น้อยกว่า 2.50 เมตร

จ. ให้ใช้มาตรวัดการทรุดตัว (Dial Gauge) อย่างน้อย 2 ตัว ติดตั้งไว้ในทิศทางตรงกันข้าม เพื่อวัดการทรุดตัวของแผ่นเหล็กทดสอบ และมาตรวัดทุกตัวที่ใช้ต้องมีระบบและความละเอียดในไม่น้อยกว่า 0.25 มิลลิเมตร

ฉ. ให้ติดตั้งคานรับมาตรวัด (Reference Beam) แยกอิสระโดยให้ยึดกับเหล็กหรือคอนกรีตที่ตอกไว้ห่างจากแผ่นเหล็กทดสอบไม่น้อยกว่า 2.50 เมตร

#### 4.4.3 วิธีการทดสอบ

ก. น้ำหนักสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบจะเป็น 2 เท่า ของน้ำหนักปลอดภัยที่ใช้ในการออกแบบ

ข. เพิ่มน้ำหนักทดสอบขั้นตอนและประมาณ 1 ใน 10 ของน้ำหนักสูงสุดที่กำหนดไว้

ค. ก่อนเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้นตอนต้องรักษาน้ำหนักไว้ไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง และอัตราการทรุดตัวต้องไม่มากกว่า 0.02 มิลลิเมตร ต่อนาที จึงจะเพิ่มน้ำหนักขึ้นต่อไปได้ เมื่อเพิ่ม

น้ำหนักระดับสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ และไม่แสดงลักษณะว่าถึงจุดประลัย (Ultimate) ให้รักษาน้ำหนักไว้ 1 ชั่วโมง ก่อนจะเริ่มลดน้ำหนัก

ง. ให้ลดน้ำหนักลงขั้นตอนละ ร้อยละ 25 ของน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบใช้เวลาขั้นตอนละ 1 ชั่วโมง หรือจนกว่าการกินตัวหมดไป

จ. บันทึกการทรุดตัวทุกครั้ง ก่อนและหลังการเปลี่ยนน้ำหนักและทุก ๆ 1, 2, 5, 10, 20, 40 และ 60 นาที

ฉ. ในกรณีที่รักษาน้ำหนักทดสอบไว้จนครบ 1 ชั่วโมงแล้ว แต่อัตราการทรุดตัวยังสูงกว่า 0.02 มิลลิเมตรต่อนาที ให้คงน้ำหนักทดสอบนั้นไว้อีก 1 ชั่วโมง หากอัตราการทรุดตัวยังสูงกว่า 0.02 มิลลิเมตรต่อนาทีอีก ให้ยกเลิกการทดสอบนั้น และให้ถือเป็นน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเพื่อใช้ในการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นดินต่อไป แต่หากอัตราการทรุดตัวในชั่วโมงที่ 2 ต่ำกว่า 0.02 มิลลิเมตรต่อนาที และการทรุดตัวทั้งหมด (Total Settlement) ไม่มากกว่า 25 มิลลิเมตร ก็ให้ดำเนินการทดสอบขึ้นน้ำหนักบรรทุกต่อไป จนถึงน้ำหนักทดสอบสูงสุด ตามข้อ ค., ง. และ จ.

#### 4.4.4 เกณฑ์การตัดสินใจ

ก. ในระหว่างเวลาทดสอบ ถ้าปรากฏว่าการทรุดตัวรวมกันเกินกว่า 25 มิลลิเมตร หรืออัตราการทรุดตัวเร็วเกิน 0.02 มิลลิเมตรต่อนาที หรือไม่สิ้นสุดลงภายใน 2 ชั่วโมงแล้ว ผู้ว่าจ้างมีสิทธิ์ที่จะสั่งเลิกการทดสอบครั้งนี้ และให้เริ่มทำการทดสอบใหม่ ตามที่ผู้ว่าจ้างจะกำหนด หรือตัดสินใจว่าน้ำหนักที่ใช้ทดสอบถึงขณะนั้นเป็นน้ำหนักสูงสุดให้นำไปใช้ในการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นดินได้

ข. ถ้าดำเนินการทดสอบตามขั้นตอนต่าง ๆ แล้ว การทรุดตัวทั้งหมดไม่เกิน 25 มิลลิเมตร และไม่แสดงลักษณะว่าถึงจุดประลัย ก็ให้ถือว่าผลการทดสอบนี้พอกับความต้องการแล้ว (กรมโยธาธิการ, 2552)

### 5. มาตรฐานงานเสาเข็ม

ขอขยาย มาตรฐานนี้ใช้บังคับสำหรับงานเสาเข็มคอนกรีต (ยกเว้นเสาเข็มคอนกรีตหล่อในที่ Cast In – Situ pile) และเสาเข็มไม้ทุกประเภทที่ใช้ในงานก่อสร้างดังต่อไปนี้ อาคารทั่วไป สะพานและที่-ขังน้ำ นอกจากรายการประกอบแบบเฉพาะงานที่ระบุเป็นอย่างอื่น ก็ให้ถือเฉพาะ

ส่วนที่แตกต่างดังระบุไว้ในรายการประกอบแบบเฉพาะงานนั้นเป็นหลัก ส่วนข้อความอื่นใดไม่มีระบุไว้ในรายการประกอบแบบเฉพาะงาน ให้ถือปฏิบัติตามมาตรฐานฉบับนี้

## 5.1 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุก่อสร้างและการทดสอบ (Specification and Test For Materials)

### 5.1.1 เสาเข็มไม้

ก. ไม้ที่นำมาใช้เป็นเสาเข็ม ต้องเป็นไม้เบญจพรรณหรือไม้สนที่ได้มาจากต้นที่แข็งแรง และยังคงอยู่ขณะที่นำมาใช้ต้องไม่ผุหรือมีราขึ้น ไม้ที่ผุง่าย เช่น ไม้ยางพารา ไม้ยูคาลิปตัส เป็นต้น ห้ามนำมาใช้

ข. เสาเข็มต้องทาบหรือตากเปลือกออก อย่างน้อยร้อยละ 80 ตามไม้ต่าง ๆ ต้องตัดให้เรียบเสมอกว้างของคันท่อนเสาเข็มปลายเสาเข็มต้องใช้เลื่อยตัดเรียบได้จากกับลำ คันท่อน เสาเข็มต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคันท่อนไม้ไม่เกินกว่า 1 ใน 3 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มตรงตำแหน่งที่มีคันท่อน แต่ต้องไม่เกิน 10 เซนติเมตร

ค. เสาเข็มต้องตรงมากที่สุด เสาเข็มที่คดจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อจึงเชือกจากแนวศูนย์กลางปลายทั้งสองข้างของเสาเข็มแล้วเชือกไม่ถ่วงออกจากลำคันท่อน

ง. ขนาดโตของเสาเข็มตามที่ระบุไว้ในแบบรายละเอียดนั้น ถือเป็นขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มที่วัดตรงจุดกลางความยาวของเสาเข็ม โดยใช้เทปพันรอบให้ถึงความยาวที่ได้ถือเป็นเส้นรอบวงซึ่งเท่ากับ 3.14 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย

### 5.1.2 เสาเข็มคอนกรีต

ก. คุณสมบัติทั่วไปของเสาเข็มคอนกรีต

1) วัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการหล่อเสาเข็ม ส่วนผสมของคอนกรีตตลอดจนการปฏิบัติต้องเป็นไปตาม

มขร. 101 : มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก

มขร. 102 : มาตรฐานงานคอนกรีตอัดแรง

มขร. 103 : มาตรฐานงานเหล็กเสริมคอนกรีต

2) ค่าแรงอัดประลัยของคอนกรีตต้องเป็นไปตามที่รายการกำหนด แต่ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ได้กำหนดไว้ใน มอก. เสาเข็มคอนกรีตประเภทนั้น ๆ

3) เสาเข็มที่นำ มาใช้ต้องมีความยาว เนื้อที่หน้าตัดที่กดบนดิน (Projected Area ) และรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามที่ระบุในแบบหรือในรายการประกอบแบบเฉพาะงาน

4) รูปร่างภายนอกของเสาเข็มต้องเหมือนกันตลอดความยาวของเสาเข็ม ยกเว้นส่วนหัวเสาเข็มที่รับตุ้มตอกเสาเข็ม สำหรับส่วนปลายเสาเข็มในระยะซึ่งยาวไม่เกิน 1.5 เท่าของความกว้างของเสาเข็มยอมให้สอบปลายได้

5) เสาเข็มจะนำ มาตอกใช้งานได้ต่อเมื่ออายุของคอนกรีตของเสาเข็มนั้น เป็นดังนี้

- 28 วัน สำหรับเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือเสริมเหล็กอัดแรงที่หล่อด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 หรือประเภท 5

- 7 วัน สำหรับเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือเสริมเหล็กอัดแรงที่หล่อด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 3

- ในกรณีที่ต้องการนำเสาเข็มคอนกรีตในข้อ ก. มาใช้ก่อนกำหนดเวลากำลังคอนกรีตของเสาเข็มต้องมีค่าไม่น้อยกว่า ค่ากำลังของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ทั้งนี้ต้องส่งผลการทดสอบกำลังของคอนกรีตมาให้วิศวกรของผู้ว่าจ้างเห็นชอบก่อน

ในกรณีที่ใช้สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อเร่งกำลังของคอนกรีต ต้องได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรของผู้ว่าจ้างก่อน เพื่อกำหนดอายุของเสาเข็มที่จะนำ มาตอกใช้งาน

6) เสาเข็มต้องมีลำต้นตรง ระยะความงอที่ส่วนใด ๆ ของเสาเข็มนี้ ถ้าวัดระหว่างเส้นตรงที่ต่อปลายทั้งสองของส่วนงอกกับผิวกับผิวด้านใด ๆ ก็ตาม ต้องไม่เกินความยาวส่วนที่งอหารด้วย 360

7) หากเป็นเสาเข็มกลวงหรือเว้าข้าง รูกกลวงหรือส่วนเว้าข้างต้องไม่ทำให้น้ำตัดเสาเข็มเสียศูนย์

8) เสาเข็มต้องแข็งแรงทนทานต่อการตอกของตุ้มตอกเสาเข็ม และการกระทบกระแทกระหว่างการขนส่งได้ และต้องมีรูปร่างหน้าตัดภายนอกเป็น สี่เหลี่ยม ห้าเหลี่ยม หกเหลี่ยม หรือมากกว่า หรือกลม หรือ I หรือที่คล้ายตัว I ซึ่งมีความหนาของส่วนที่บางที่สุด ไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร

ข. คุณสมบัติเฉพาะเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก

1) ต้องคุณสมบัติทั่วไป เป็นไปตามข้อ ก.

2) แรงดัด (Bending Moment) ที่เกิดจากการยกเสาเข็มต้องไม่ก่อให้เกิดแรงดึง (Tensile Stress) ในเหล็กเสริมเกิน 1,200 กิโลกรัม แรงต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้เหล็กเส้นกลมหรือเกินกว่า 1,500 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตรเมื่อใช้เหล็กข้ออ้อย (Compressive Stress)

ในคอนกรีตไม่เกินร้อยละ 37.5 ของแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน

ค. คุณสมบัติเฉพาะเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรง

1) ต้องมีคุณสมบัติทั่วไปเป็นตามข้อ ก.

2) เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรง แรงอัด (Bending Moment) ซึ่งเกิดจากการยกเสาเข็มต้องไม่ก่อให้เกิดแรงดึง (Tensile Stress) ในคอนกรีตมากกว่า 1.59 คูณด้วยรากที่สองของแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน

3) ผู้รับจ้างต้องแสดงค่า  $F$  (Effective Prestressing Force) ในเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงไว้ด้วย ถ้าให้น้ำหนักบรรทุกที่เสาเข็มแต่ละต้นต้องรับเมื่อใช้งาน  $= P$  ตามระบุในแบบค่าของ  $P + F$  ต้องไม่เกินร้อยละ 40 ของ PU เมื่อ PU มีค่าเท่ากับร้อยละ 85 ของกำลังอัดของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน คูณกับพื้นที่หน้าตัดเนื้อคอนกรีตในส่วนที่เล็กที่สุดของเสาเข็ม 3

## 5.2 ข้อกำหนดในการก่อสร้าง (Construction Requirements)

### 5.2.1 เสาเข็มไม้

ก. เสาเข็มต้องดองให้จมอยู่ในระดับน้ำได้ดินถาวรทุกต้น

ข. เสาเข็มเมื่อนำ ไปใช้น้ำทะเลต้องอาบน้ำยารักษาเนื้อไม้ (Creosote Oil) ประมาณ 22 ปอนด์ ต่อเนื้อไม้หนึ่งลูกบาศก์ฟุต ทั้งนี้เพื่อป้องกันแมลงเจาะไช

### 5.2.2 เสาเข็มคอนกรีต

ก. เสาเข็ม (ยกเว้นเสาเข็มรูปตัว I หรือที่คล้ายตัว I) อนุญาตให้ต่อได้ แต่รวมแล้วต้องไม่เกิน 2 ท่อน โดยวิธีเชื่อมด้วยไฟฟ้า และทั้งสองท่อนเมื่อต่อกันแล้วต้องเป็นเส้นตรงเดียวกัน โดยที่ข้อต่อของเสาเข็มทั้งสองท่อนต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

1) ต้องเป็นเหล็กเหนียว

2) ข้อต่อต้องมีลักษณะเป็นหมวกครอบปลายหัวเสาเข็มในส่วนที่จะต่อกันนั้น หรือมีลักษณะคล้ายคลึงกัน และสามารถกันมิให้คอนกรีตเนื้อเสาเข็มที่รองรับข้อต่อนั้นแตกในขณะรับแรงกระแทกจากการตอกเสาเข็มข้อต่อนี้ให้หล่อยึดติดกับตัวเสาเข็ม และต้องมีเนื้อที่หน้าตัดไม่น้อยกว่าเนื้อที่หน้าตัดของเสาเข็มที่จุดนั้น แต่จะโตเกินขนาดภายนอกของเสาเข็มมิได้

3) ต้องมีเหล็กยึดข้อต่อดังกล่าวให้ติดแน่นกับท่อนคอนกรีตเสาเข็มจนสามารถรับแรงดัด (Bending Moment) ได้ดีไม่น้อยกว่าส่วนอื่นของเสาเข็ม

4) ความหนาของแผ่นเหล็กข้อต่อของแต่ละแผ่น เฉพาะส่วนที่วางประกบกันต้องไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร

5) พื้นที่ผิวของข้อต่อส่วนที่ประกบกันต้องใส กลิ้ง หรือ ผาน ให้เรียบทั้งสองชั้นเพื่อให้ประกบกันแนบสนิท

6) ในส่วนที่ชิดกับข้อต่อ ต้องได้รับการป้องกันการแตกด้วยการเสริมเหล็กปลอกเป็นพิเศษ

7) ผู้รับจ้างต้องนำ ตัวอย่างเหล็กข้อต่อมาให้ผู้ว่าจ้างตรวจสอบ และรับรองเป็นลายลักษณ์อักษรเสียก่อนจึงนำไปใช้ได้

ข. ผู้รับจ้างต้องส่งรายการคำนวณทางวิศวกรรมของเสาเข็มมาให้ผู้ว่าจ้างตรวจสอบ และรับรองเป็นลายลักษณ์อักษรก่อนจึงนำไปใช้ได้

ค. เสาเข็มที่ผ่านการรับรองให้ใช้ได้แล้ว หากปรากฏภายหลังว่ามีคุณสมบัติด้อยลงไปกว่าที่กำหนดในรายการมาตรฐานนี้ ผู้รับจ้างต้องจัดการแก้ไข หากแก้ไขไม่ได้เป็นหน้าที่ของผู้รับจ้างต้องเปลี่ยนเสาเข็มให้มีคุณสมบัติถูกต้องตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้หากมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นให้เป็นภาระของผู้รับจ้าง

ง. ในการตอกเสาเข็มถ้าขณะหนึ่งขณะใดปรากฏว่า จำนวนเสาเข็มที่ตอกมีการแตกหักเสียหายถึงจำนวนร้อยละ 10 ของจำนวนเสาเข็มที่ตอกไปได้ในขณะนั้นแล้วให้ตอกเข็มต่อไปอีก 10 ต้น หากปรากฏว่าใน 10 ต้นนั้น มีเข็มหักเพิ่มขึ้นอีกให้ถือว่าเข็มนั้นขาดคุณสมบัติตามมาตรฐานนี้และให้ถือปฏิบัติตาม ข้อ ข. ทั้งนี้ให้ยกเว้นกรณีที่มีเสาเข็มเหลือจะต้องตอกอีกไม่เกิน 10 ต้น ในงานนั้นให้คงใช้เสาเข็มนั้นต่อไป

จ. ในกรณีที่มีการแก้ไขเปลี่ยนแปลงตลอดจนการพิจารณาคุณสมบัติของเสาเข็มคอนกรีต ให้ขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ว่าจ้าง และเมื่อผู้ว่าจ้างเห็นชอบแล้วจึงอนุญาตให้ใช้ได้

### 5.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตอกเสาเข็มคอนกรีตและวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีต

ก. ปั่นจันทน์มาใช้ในการตอกเสาเข็มต้องมีความมั่นคงแข็งแรง และมีความกว้างของฐานปั่นจันทน์พอที่จะมีการทรงตัวได้ดีเมื่อยกเสาเข็มขึ้นตั้ง ขึ้นส่วนที่ประกบกันขึ้นเป็นตัวปั่นจันทน์ต้องไม่คดงอหรือแตกร้าว ตะเกียบคู่หน้าของปั่นจันทน์ต้องเป็นเส้นตรงและไม่หลวมคลอน

ข. เครื่องยนต์ที่ใช้บนปั่นจันทน์ต้องมีสภาพสมบูรณ์สามารถให้กำลังได้โดยสม่ำเสมอ ห้ามล้อครัทช์และที่ห้ามการคลายตัวของเชือกมัดต้องอยู่ในสภาพที่ใช้การได้โดย

ปลอดภัย เชือกมัดต้องมีขนาดพอเหมาะกับขนาดของน้ำหนักเสาเข็มและค้ำที่ยก และไม่ลึกลงจนส่อให้เห็นว่าจะเกิดอันตรายได้โดยง่าย

ค. พื้นที่ที่รองรับปั้นจั่นต้องเสริมให้แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักปั้นจั่น และอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ โดยขณะตอกปั้นจั่นต้องไม่โยกคลอนหรือทรุดตัวลงจนทำให้เสียแรงดึงของตะเกียบบังคับเสาเข็มหรือเกิดแรงเบียดเสาเข็ม

ง. ถ้าใช้หมวกเหล็กครอบหัวเสาเข็มในการตอกเสาเข็มหมวกต้องมีขนาดพอเหมาะกับหัวเสาเข็ม คือไม่ได้โตกว่าหัวเสาเข็มเกิน 1 เซนติเมตร และภายในหมวกให้ใช้ไม้เนื้ออ่อนรองหัวเสาเข็มได้หนาไม่เกิน 3 เซนติเมตร และเมื่อไม่รองในหมวกแต่อยู่จนทำให้ประสิทธิภาพของการตอกลดลง ต้องเปลี่ยนไม้รองใหม่ หมวกเหล็กจะต้องมีที่บังคับกับตะเกียบด้วย

จ. ค้ำที่ใช้ตอกเสาเข็มต้องมีน้ำหนักไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของน้ำหนักเสาเข็ม แต่ต้องหนักไม่น้อยกว่า 3 เมตริกตัน

ฉ. ก่อนตอกเสาเข็มต้องปักหมุดแสดงตำแหน่งของเสาเข็มที่จะตอกแต่ละต้นให้ชัดเจน และต้องมีเครื่องบังคับเสาเข็มที่แข็งแรงพอ เพื่อว่าเมื่อยกเสาเข็มขึ้นตั้งในที่บังคับเสาเข็มปลายเสาเข็มต้องอยู่ตรงศูนย์เสาเข็มที่ทำ เครื่องหมายไว้โดยเครื่องบังคับเสาเข็มต้องไม่เคลื่อนที่หรือหักพังไปจนกว่าปลายเสาเข็มจะจมลงไปในดินแล้วไม่น้อยกว่า 6 เมตร

ช. การตอกเสาเข็มต้องพยายามจัดให้แรงกระทบของค้ำที่มีต่อหัวเสาเข็ม ถ้ายกกำลังไปตามแนวเส้นแกนของเสาเข็มหากอุปกรณ์ในการตอกเสาเข็มหลวมคลอนก่อให้เกิดแรงกระทบเสาเข็มเบนออกนอกแนวเส้นแกนจนเสาเข็มสลับคลอนไปในทางราบแล้วต้องหยุดการตอกเสาเข็มทันที จนกว่าจะมีการแก้ไขสาเหตุที่ทำให้เสาเข็มสลับเสียก่อนหากแก้ไขไม่ได้ต้องเปลี่ยนปั้นจั่นทั้งชุด

ซ. เมื่อเสาเข็มจมสมควรระดับดินแล้วแต่ยังไม่ได้ระดับ ให้ใช้เสาส่งวางบนหัวเสาเข็มได้ โดยที่เสาส่งต้องยาวไม่เกินกว่าระยะที่หัวเสาเข็มจมดินบวกด้วย 60 เซนติเมตร ในการใช้เสาส่งปลายเสาส่วนที่วางอยู่บนหัวเสาเข็มต้องมีที่บังคับไม่ให้เคลื่อนหลุดออกนอกแนวหัวเสาเข็ม ในขณะที่ตอกให้ใช้วัสดุรองหัวเสาเข็มด้วยไม้เนื้ออ่อนหนาไม่เกิน 3 เซนติเมตร ที่บังคับเสาส่งต้องมั่นคงจนไม่โยกคลอนในขณะที่ตอก และในกรณีใช้หมวกครอบหัวเสาส่งต้องไม่มีวัสดุรองทั้งภายในและภายนอกหมวกครอบ สำหรับคุณสมบัติของเสาส่งอยู่ในดุลพินิจของวิศวกรของผู้ว่าจ้าง

ณ. การตอกเสาเข็มต้องตอกด้วยความระมัดระวัง รวมทั้งต้องจัดทำ วิธีป้องกันมิให้เกิดอันตรายใด ๆ ต่อบุคคลอื่น หรือทรัพย์สินของอาคารข้างเคียง ความเสียหายต่าง ๆ ที่

เกิดขึ้นอันมีสาเหตุเนื่องมาจากการตอกเสาเข็มแล้ว ผู้รับจ้างต้องเป็นผู้ชี้แจงความเสียหายดังกล่าว  
นั้นแต่ผู้เดียว

ญ. ขณะตอกเสาเข็มถ้าปรากฏว่าเสาเข็มหักหรือเกิดรอยแตกร้าวด้วยเหตุ  
ประการใด ๆ ซึ่งสามารถมองเห็นได้ ให้สกัดส่วนที่แตกร้าวหรือหักออกแล้วหล่อคอนกรีตใหม่ เมื่อ  
คอนกรีตได้กำลังตามที่รายการกำหนดแล้วจึงจะทำการตอกต่อไปได้ หรืออนุญาตให้ถอนเสาเข็ม  
ต้นที่ชำรุดขึ้นแล้วใช้เสาเข็มต้นใหม่ที่ติดตกลงแทนที่ได้ ในกรณีที่ไม่สามารถปฏิบัติได้ทั้งสอง  
ประการ ให้ผู้รับจ้างรายงานให้ผู้ว่าจ้างทราบเพื่อพิจารณาสั่งการต่อไป

ฎ. เสาเข็มคอนกรีตที่หัก ห้ามนำ มาใช้ เสาเข็มที่มีรอยร้าวต่อเนื่องกันไม่เกิน  
ครึ่งของเส้นรอบรูปและทำ มุมระหว่าง 80 ถึง 90 องศากับแนวแกนสะเทิน รอยร้าวแต่ละรอยห่าง  
กันเกิน 1 เมตร และกว้างไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร แล้วอมให้ใช้ได้แต่ทั้งนี้ต้องได้รับความเห็นชอบ  
จากผู้ว่าจ้างก่อน

ฏ. ผู้รับจ้างต้องทำรายงานผลการตอกเสาเข็มแต่ละต้นพร้อมทั้งแบบแปลน  
แสดงตำแหน่งเสาเข็มต้นที่ทำการตอกโดยให้ปฏิบัติเป็นไปตาม ผนวก ข. มยธ. 106 : การบันทึก  
รายงานการตอกเสาเข็ม ส่งให้ผู้ควบคุมงานของผู้ว่าจ้าง เพื่อพิจารณาว่าเสาเข็มต้นนั้น ๆ จะสามารถ  
รับน้ำหนักบรรทุกได้ตามที่กำหนดหรือไม่

ฐ. ในกรณีเมื่อตอกเสาเข็มไปจนสุดความยาวของเสาเข็มตามที่ได้ระบุไว้ใน  
แบบรายละเอียดแต่เสาเข็มนั้นไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกโดยปลอดภัยตามที่ได้กำหนดแล้ว ผู้รับ  
จ้างต้องแก้ไขตามความเห็นชอบของผู้ว่าจ้างโดยค่าใช้จ่ายในการนี้เป็นของผู้รับจ้างทั้งสิ้น

ฑ. ถ้าปรากฏว่าเสาเข็มตอกจมลงไม่ถึงระดับที่ระบุไว้ในแบบ หรือรายการ  
รายละเอียด จะเนื่องจากชั้นดินแข็งหรือเหตุอื่นใด ๆ ก็ตาม ผู้รับจ้างต้องรีบแจ้งผู้ว่าจ้างทราบทันที  
ข้อวินิจฉัยของผู้ว่าจ้างถือเป็นเด็ดขาด ผู้รับจ้างต้องปฏิบัติตามโดยปราศจากเงื่อนไขใด ๆ

ฒ. ในกรณีที่ต้องการตอกเสาเข็มด้วยเครื่องตอกชนิดดีเซลแฮมเมอร์ (Diesel  
Hammer) ต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ว่าจ้างเสียก่อน

### 5.3 การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม

5.3.1 การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ต้องเป็นไปตามภาคผนวก ก. มยธ. 106 :  
มาตรฐานการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม

5.3.2 การบันทึกรายงานการตอกเสาเข็ม ต้องเป็นไปตามภาคผนวก ข. มยธ. 106 : การ  
บันทึกรายงานการตอกเสาเข็ม

#### 5.4 มาตรฐานการทดสอบการรับน้ำหนักเสาเข็ม

ขอขยาย มาตรฐานนี้ใช้บังคับสำหรับการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักเสาเข็มในแนวดิ่งด้วยแรงกด (Static Compressive Load) ตามแกนของเสาเข็ม เมื่อรายการก่อสร้างไม่ได้ระบุรายละเอียดวิธีการทดสอบการรับน้ำหนักไว้แล้ว ให้ดำเนินการทดสอบตามข้อ 5.4.4 ของ ผนวก ก. มยธ. 106 : มาตรฐานการทดสอบการรับน้ำหนักเสาเข็ม

##### 5.4.1 ข้อกำหนดของเสาเข็มต้นที่จะทดสอบ

ก. ลักษณะขนาดและความยาวของเสาเข็มต้องเหมือนกับเสาเข็มที่ใช้ตอกจริงทุกอย่าง เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ตอกต้องเหมือนกับที่ใช้จริงด้วย

ข. ถ้าตำแหน่งของเสาเข็มต้นที่จะทดสอบอยู่นอกฝั่ง การตอกควรอยู่ใกล้กับตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจดิน ซึ่งทราบคุณสมบัติของดินแล้วหรือต้องเป็นตำแหน่งที่คาดว่าชั้นดินตรงจุดนั้นจะเลวที่สุด

ค. ถ้าจะทำการทดสอบเสาเข็มต้นที่ตอกไปแล้วในฝั่งต้องทดสอบต้นที่

- 1) อยู่ในบริเวณที่คาดว่ามิชั้นดินเลวที่สุด หรือ
- 2) เสาเข็มหนีสุนัขมากที่สุด หรือ
- 3) มีค่า Blow Count ต่ำหรือน่าสงสัย

ง. เสาเข็มต้นทดสอบที่ตอกใน Clay หรือ Silt ต้องรออย่างน้อย 7 วัน จึงจะเริ่มการทดสอบน้ำหนัก แต่ถ้าตอกในทรายให้รออย่างน้อย 3 วัน

จ. บันทึกการตอกเสาเข็มตาม ภาคผนวก ข. มยธ. 106 : การบันทึกรายงานการตอกเสาเข็ม พร้อมทั้งค่าทรุดตัว และคืนตัวสำหรับการตอก 10 ครั้งสุดท้าย กราฟแสดงการทรุดตัว และคืนตัวของเสาเข็ม ถ้าใช้เสาเข็มสมอก็ให้บันทึกค่าการทรุดตัวสำหรับการตอก 10 ครั้งสุดท้ายของการตอกเสาเข็มสมอทั้งหมดด้วย

##### 5.4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการเพิ่มน้ำหนัก

ก. ชุดเพิ่มน้ำหนัก (Hydraulic Jack with Pressure Gauge) ต้องมีใบรับรองแสดงผลทดสอบการเพิ่มหรือการลดน้ำหนัก (Calibrated and Tested Report) มาแสดงก่อนใช้ เครื่องมือชุดนี้ในการปฏิบัติงานใบรับรองต้องมีอายุไม่เกิน 3 เดือน และจากสถาบันที่ผู้ว่าจ้างเห็นชอบ ต้องสามารถควบคุมการเพิ่มน้ำหนักเมื่อทำ การทดสอบได้ โดยยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนักที่กระทำ ต่อเสาเข็มเมื่อใช้แม่แรงน้ำมัน (Hydraulic Jack) มากกว่าหนึ่งตัว

ต้องเพิ่มน้ำหนักจาก ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pump) ตัวเดียวกัน และใช้ท่อจ่ายร่วม (Common manifold) และมาตรวัดความดันอันเดียวให้ใช้ระบบอัตโนมัติ (Automatic Regulator) ในการควบคุมน้ำหนักให้คงที่เมื่อมีการทรุดตัวเกิดขึ้น

ข. การเพิ่มน้ำหนัก โดยใช้แม่แรงน้ำมันตัวเดียวหรือหลายตัวดันโครงสร้างเหล็กที่ติดตายไว้กับเสาเข็มสมอ จำนวนเสาเข็มสมอต้องมากพอที่จะไม่ถอนเมื่อรับแรงดึงตลอดการทดสอบและต้องมีระยะช่องห่าง (Clear Distance) จากเสาเข็มทดสอบไม่น้อยกว่า 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดของเสาเข็มสมอแต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 เมตร การยึกระหว่างโครงสร้างเหล็กกับเสาเข็มสมอต้องแข็งแรงไม่มีการเคลื่อนที่ใด ๆ เกิดขึ้นและต้องติดตั้งแม่แรงน้ำมันให้ได้กึ่งกลางที่สุดเพื่อถ่วงน้ำหนักไปยังเสาสมอได้เท่ากันทุกจุด

ค. การเพิ่มน้ำหนักโดยใช้แม่แรงน้ำมันตัวเดียวหรือหลายตัวดันโครงสร้างเหล็กที่บรรทุกน้ำหนักนั้น น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดบนโครงเหล็กต้องมากกว่าน้ำหนักที่จะใช้ในการทดสอบไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 จุดที่รองรับน้ำหนักต้องมีระยะช่องห่างจากเสาเข็มทดสอบไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร

ง. การเพิ่มน้ำหนักของแม่แรงน้ำมันต้องกระทำได้อย่างสม่ำเสมอ

#### 5.4.3 การวัดการทรุดตัวของเสาเข็ม

ก. ทั่วไป

1) มาตรวัดการทรุดตัว (Disl Gauge) ที่ใช้ในการทดสอบต้องมีระบบ และความละเอียดในการวัดค่า(Division) เหมือนกันหมดเพื่อป้องกันความผิดพลาด และเพื่อความสะดวกในการอ่านค่า ต้องสามารถวัดค่าการทรุดตัวได้ไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร และอ่านได้ละเอียดถึง 0.25 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว

2) คานที่ใช้รับมาตรวัดต้องเป็นคานเหล็กและติดตั้งแยกอิสระโดยให้ยึดกับเสาเหล็กหรือเสาคอนกรีตที่ตอกลึกลงในดินไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร โดยมีระยะช่องห่างจากเสาเข็มทดสอบไม่น้อยกว่า 2.50 เมตร และต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะไม่เกิดการโก่งตัว และขยับไปทางด้านข้างได้ปลายด้านหนึ่งของคานต้องขยับได้เมื่อมีการยึดหดตัวได้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

3) ต้องมีการป้องกันการกระแทกกระแทกเครื่องมือทั้งหมดที่ติดตั้งไว้ รวมทั้งมีการป้องกันแสงแดด และฝนที่มากกระทบต่ออุปกรณ์และเครื่องมือที่ติดตั้งไว้

4) จุดที่รับขามาตรวัดการทรุดตัวทุกจุดต้องมีผิวหน้าเรียบ อาทิ แผ่นกระจก

5) หัวเสาเข็มทดสอบหรือคอนกรีตที่หล่อหุ้มเสาเข็มทดสอบต้องมีผิวหน้าเรียบได้ฉากกับแนวดิ่ง

ข. การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือในการวัดการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ

1) ติดตั้งมาตรวัดการทรุดตัวอย่างน้อย 2 ตัว ไว้บนคานรับมาตรวัดโดยอยู่คนละด้านของหัวเสาเข็มทดสอบหรือแท่นหัวเข็ม (Pile Cap) มาตรวัดเหล่านี้ต้องให้ห่างจากจุดศูนย์กลางของหัวเสาเข็มทดสอบเท่ากันทั้งสองด้านและอยู่ตรงกันข้ามในแนวเดียวกันด้วย ต้องปรับให้ขาของมาตรวัดทุกตัวขนานกับทิศทางของน้ำหนักที่กระทำต่อหัวเสาเข็ม

2) จึงเชือกเอ็นให้ตึง (โดยถ่วงด้วยน้ำหนัก) ไว้ข้างหัวเสาเข็มทดสอบด้านละเส้นอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับแนวดิ่งและให้ผ่านไม้บรรทัดเหล็ก (Scale) ที่แนบไว้บนกระจกเงาซึ่งติดตั้งไว้กับหัวเสาเข็มทดสอบ

3) ติดตั้งเครื่องมือหรืออุปกรณ์เพื่อวัดการเคลื่อนที่ของเสาเข็มสมอบทุกจุดตลอดเวลาที่ทำ การทดสอบ ถ้าเสาเข็มสมอบยับตัวให้เลิกการทดสอบพร้อมทั้งบันทึกการคืนตัวลงที่ไว้ด้วยแล้วให้ทำ การทดสอบใหม่ตามคำแนะนำของผู้ว่าจ้าง

#### 5.4.4 การทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Loading)

ก. น้ำหนักที่กระทำ ลงบนหน้าตัดของเสาเข็มทดสอบต้องตั้งฉากและอยู่ในแนวดิ่ง

ข. น้ำหนักทดสอบสูงสุดเป็น 2 เท่า ของน้ำหนักที่ออกแบบเสาเข็มแต่ละต้น (Design Load )

ค. เพิ่มน้ำหนักทดสอบเป็นขั้นตอนดังนี้ ร้อยละ 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 และ 200 ของน้ำหนักที่ออกแบบ

ง. ในแต่ละขั้นตอนให้รักษาน้ำหนักไว้จนครบ 1 ชั่วโมง อ่านและบันทึกค่าการทรุดตัวที่ 1, 5, 10, 15, 20, 30, 40 และ 60 นาที ตรวจสอบอัตราการทรุดตัวของเสาเข็ม ซึ่งต้องไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จึงจะเพิ่มน้ำหนักขั้นตอนต่อไป ในกรณีที่รักษาน้ำหนักไว้ครบ 1 ชั่วโมงแล้ว อัตราการทรุดตัวของเสาเข็มยังสูงกว่า 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ให้รักษาน้ำหนักนั้นไว้ อีก 1 ชั่วโมง อ่านและบันทึกค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทุก ๆ 20 นาที เมื่อครบชั่วโมงที่ 2 แล้วอัตราการทรุดตัวของเสาเข็มไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ก็ให้เพิ่มน้ำหนักขั้นตอนต่อไปได้ หากอัตราการทรุดตัวของเสาเข็มยังสูงกว่า 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ให้ถือว่าทดสอบนั้นล้มเหลวหรือถึงจุดวิบัติแล้ว

จ. เมื่อเพิ่มน้ำหนักถึง 2 เท่าของน้ำหนักที่ออกแบบแล้ว และเสาเข็มทดสอบไม่ถึงจุดวิบัติให้คงน้ำหนักไว้ 24 ชั่วโมงอ่านและบันทึกค่าการทรุดตัวตามช่วงเวลาที่กำหนด หากอัตราการทรุดตัวไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ให้ดำเนินการตามข้อ 4.6 แต่ถ้าอัตราการทรุดตัวยังสูงกว่า 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ก็ให้รักษาน้ำหนักนั้นไว้อีก 24 ชั่วโมง อ่านและบันทึกค่าการทรุดตัวตามช่วงเวลาที่กำหนดต่อไปอีก ถ้าอัตราการทรุดตัวไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงให้ดำเนินการตามข้อ

ฉ. หากอัตราการทรุดตัวในช่วง 24 ชั่วโมงหลัง ยังสูงกว่า 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ให้ถือว่าทดสอบนั้นล้มเหลว หรือถึงจุดวิบัติแล้วการอ่านและบันทึกค่าการทรุดตัวช่วง 24 ชั่วโมงแรก และ 24 ชั่วโมงหลัง ดังนี้

ทุก ๆ 20 นาที สำหรับช่วงเวลา 2 ชั่วโมงแรก

ทุก ๆ 1 ชั่วโมง สำหรับช่วงเวลา 10 ชั่วโมงต่อมา

ทุก ๆ 2 ชั่วโมง สำหรับช่วงเวลาที่เหลือ

ช. ทำการลดน้ำหนักทุก ๆ ชั่วโมงให้เหลือเป็นขั้นตอนดังนี้ ร้อยละ 150, 100, 50 และ 0 บันทึกการคืบตัวทุก ๆ 10 นาทีและเมื่อลดน้ำหนักหมดแล้ว ให้อ่านต่อไปทุก ๆ ชั่วโมงจนครบ 24 ชั่วโมง หรือการคืบตัวคงที่

ซ. ต้องอ่านค่าจากมาตรวัดการทรุดตัวทุกตัวและทุกครั้งก่อนและหลังที่มีการเปลี่ยนน้ำหนัก

#### 5.4.5 การทดสอบถึงจุดวิบัติ (Loading to Failure )

ก. ชุดทดสอบต้องมีสมรรถนะใช้งานได้อย่างน้อย 3 เท่า ของค่าน้ำหนักที่ออกแบบ

ข. ก่อนดำเนินการทดสอบถึงจุดวิบัติ ให้ทำ การทดสอบตามข้อ 4 ก่อน

ค. การทดสอบถึงจุดวิบัติให้เพิ่มน้ำหนักเป็นขั้นตอน ดังนี้

1) เพิ่มน้ำหนักร้อยละ 50 ของน้ำหนักที่ออกแบบ และรักษาน้ำหนักไว้ 20 นาที

2) เพิ่มน้ำหนักอีกร้อยละ 10 ของน้ำหนักที่ออกแบบทุก ๆ 20 นาที จนกว่าจะเกิดการวิบัติของเสาเข็มทดสอบ หรือชุดทดสอบ

ง. ดำเนินการบันทึกผลการทดสอบตามข้อ 4.7 และต้องอ่านค่าการทรุดตัวที่ 1, 5, 10, 15 และ 20 นาที

#### 5.4.6 การทดสอบเป็นวงจร (Cyclic Loading )

ก. วงจรที่หนึ่งให้เพิ่มน้ำหนักเป็นขั้นตอนดังนี้ ร้อยละ 25 และ 50 ของน้ำหนักที่ออกแบบไว้แต่ละขั้นตอนการเพิ่มน้ำหนักให้ดำเนินการตามข้อ 4.4 และเมื่อครบ 2 ชั่วโมงแล้ว จึงลดน้ำหนักลงทุก ๆ ชั่วโมง เป็นขั้นตอนดังนี้ ร้อยละ 50 และ 0

ข. วงจรที่สอง ให้เพิ่มน้ำหนักเป็นขั้นตอนดังนี้ ร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 ของน้ำหนักที่ออกแบบไว้แต่ละขั้นตอนการเพิ่มน้ำหนักให้ดำเนินการตามข้อ ง. ในข้อ 5.4.4 และเมื่อรักษาน้ำหนักไว้ครบ 24 ชั่วโมงแล้ว ให้ทำการลดน้ำหนักทุก ๆ ชั่วโมงเป็นขั้นตอนดังนี้ ร้อยละ 50, 25 และ 0

ค. วงจรที่สามให้เพิ่มน้ำหนักเป็นขั้นตอนดังนี้ ร้อยละ 25, 50, 75, 100, 125, 175 และ 200 ของน้ำหนักที่ออกแบบไว้แต่ละขั้นตอนของการเพิ่มน้ำหนักให้ดำเนินการตาม ข้อ ง. ในข้อ 5.4.4 และเมื่อรักษาน้ำหนักไว้ครบ 24 ชั่วโมงแล้วให้ทำการลดน้ำหนักทุก ๆ ชั่วโมงเป็นขั้นตอนดังนี้ ร้อยละ 150, 100, 50 และ 0

ง. การเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้นตอนให้รักษาน้ำหนักไว้จนครบ 2 ชั่วโมง หรือในชั่วโมงแรก อัตราการทรุดตัวไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง แล้วแต่กรณีใดจะเกิดขึ้นก่อนจึงจะเพิ่มน้ำหนักขั้นตอนต่อไป

จ. บันทึกค่าการทรุดตัวทุกครั้งก่อนหรือหลังการเปลี่ยนน้ำหนักให้อ่านค่าที่ 1, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60 นาที และ ทุก ๆ 20 นาที

ฉ. เมื่อเพิ่มน้ำหนักตามข้อ ข. หรือ ค. จนถึงร้อยละ 100 หรือ 200 แล้ว เสาเข็มไม่ถึงจุดวิกฤติในขณะรักษาน้ำหนักไว้ให้บันทึกค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม

|                 |                                |
|-----------------|--------------------------------|
| ทุก ๆ 20 นาที   | สำหรับช่วงเวลา 2 ชั่วโมงแรก    |
| ทุก ๆ 1 ชั่วโมง | สำหรับช่วงเวลา 10 ชั่วโมงต่อมา |
| ทุก ๆ 2 ชั่วโมง | สำหรับช่วงเวลาที่เหลือ         |

#### 5.4.7 การรายงาน

ผลการทดสอบต้องมาให้ผู้ว่าจ้างภายใน 7 วัน หลังจากทดสอบน้ำหนักแล้วเสร็จ ซึ่งประกอบด้วย

ก. บันทึกการดักเสาเข็มทดสอบและเสาเข็มสมอ (ถ้าใช้) ตามภาคผนวก ข. มยธ. 106 : การบันทึกการรายงานการดักเสาเข็ม

ข. ใบรับรองแสดงผลการทดสอบการเพิ่มหรือลดน้ำหนักของชุดเพิ่มน้ำหนัก

ค. บันทึกแสดงค่าการทรุดตัวและการคืนตัว

### ง. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

- 1) การทรุดตัวและเวลา
- 2) น้ำหนักและเวลา
- 3) น้ำหนักและการทรุดตัว
- 4) การกินตัวและเวลา
- 5) น้ำหนักและการกินตัว

#### 5.4.8 เกณฑ์การตัดสิน

ก. ในระหว่างการทดสอบถ้าปรากฏว่าการทรุดตัวต่าง ๆ เกิดขึ้นเร็วหรือเกินกว่าที่กำหนด หรือไม่สิ้นสุดลงภายในเวลาที่กำหนดไว้ ให้ถือว่าทดสอบล้มเหลวหรือถึงจุดวิบัติแล้ว

ข. เมื่อดำเนินการทดสอบแล้ว ปรากฏว่าค่าการทรุดตัวสุทธิทั้งหมด (Total net Settle –Ment ) หน่วยเป็นมิลลิเมตร ไม่เกินกว่า 0.25 คูณด้วย น้ำหนักที่ออกแบบ หน่วยเป็นเมตริกตันแต่ทั้งนี้ต้องไม่เกินกว่า 25 มิลลิเมตรและกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับการทรุดตัวไม่แสดงถึงจุดวิบัติก็ให้ถือว่าผลการทดสอบนี้พอกับความต้องการแล้ว

#### 5.5 การบันทึกรายงานการตอกเสาเข็ม

##### 5.5.1 สำหรับการตอกเสาเข็มที่จมถึงระดับได้โดยไม่ต้องใช้เสาส่ง ให้ปฏิบัติดังนี้

ก. ให้ขีดเครื่องหมายทุกระยะ 30 เซนติเมตร ในช่วง 3 เมตรสุดท้ายของโคนเสาเข็ม

ข. เมื่อยกเสาเข็มตั้งเข้าที่เรียบร้อยแล้ว ให้บันทึกระยะที่เสาเข็มจมลงไปในดินด้วยน้ำหนักของตัวเอง

ค. ให้บันทึกระยะที่เสาเข็มจมลงไปในดินเมื่อวางค้ำน้ำหนักลงบนเสาเข็ม

ง. เมื่อตอกเสาเข็มจมเหลือระยะ 3 เมตรสุดท้าย ก่อนที่จะถึงระดับที่กำหนด ให้เริ่มบันทึกจำนวนครั้งที่ตอกต่อการจมตัวของเสาเข็มทุกระยะ 3 เซนติเมตร โดยให้ระยะยกค้ำน้ำหนักเป็นไปตามที่วิศวกรของผู้ว่าจ้างกำหนดให้

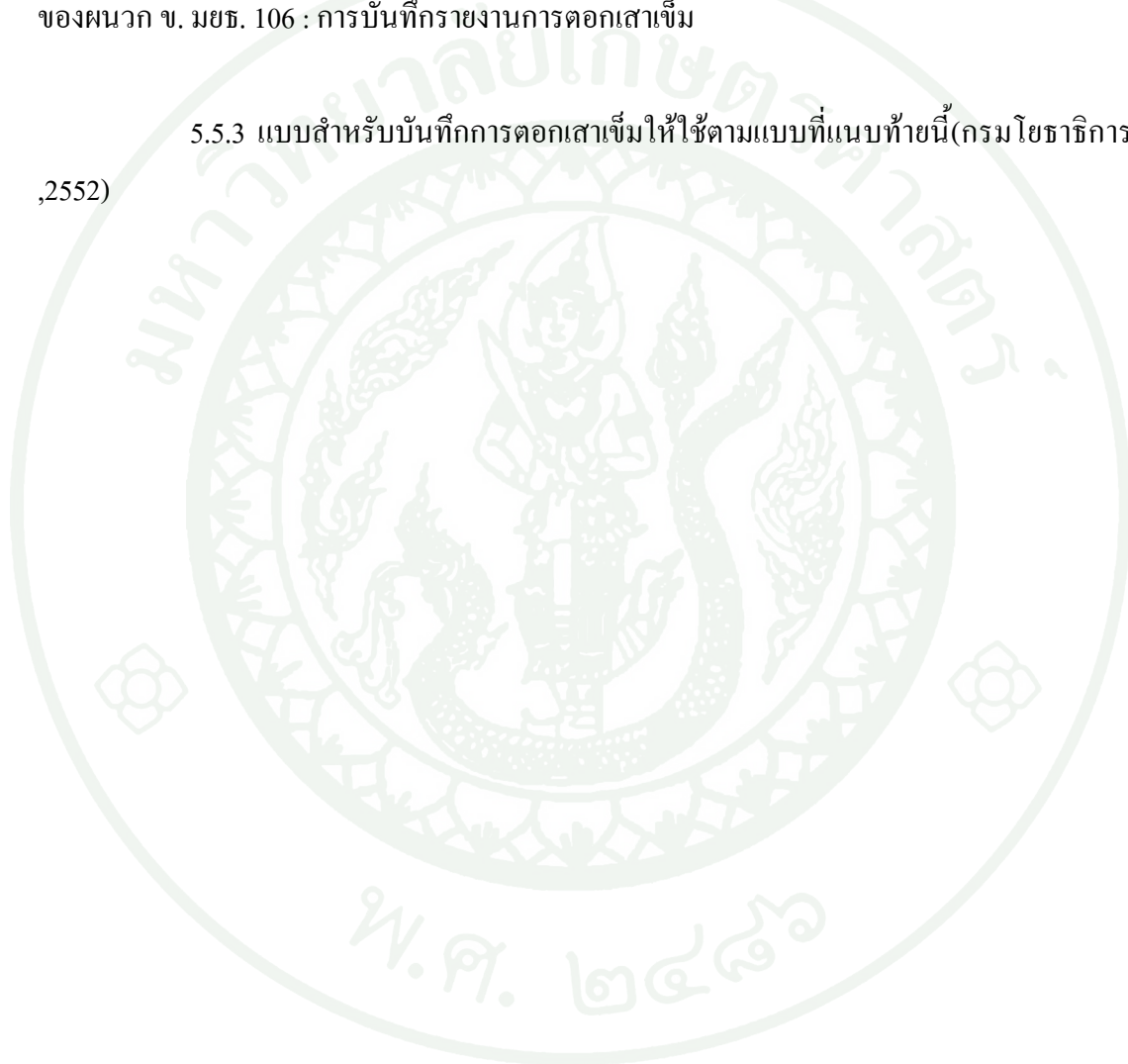
##### 5.5.2 สำหรับการตอกเสาเข็มที่จมถึงระดับโดยต้องใช้เสาส่ง ให้ปฏิบัติ ดังนี้

ก. ให้ขีดเครื่องหมายทุกระยะ 30 เซนติเมตร ในช่วง 1.5 เมตรสุดท้ายของโคนเสาเข็ม หรือสุดแท่นแต่ละระยะที่ต้องใช้เสาส่ง

ข. ให้ขีดเครื่องหมายทุกระยะ 30 เซนติเมตร ที่ส่วนล่างของตะเกียบปั้นจั่น เป็นระยะเท่ากับระยะที่ต้องส่งเสาเข็มลงไปในชั้นดินจนถึงระดับที่กำหนด

ค. ในบันทึกการจมตัวของเสาเข็มเช่นเดียวกับที่ปฏิบัติในข้อ 1.2, 1.3 และ 1.4 ของผนวก ข. มยธ. 106 : การบันทึกรายงานการตอกเสาเข็ม

5.5.3 แบบสำหรับบันทึกการตอกเสาเข็มให้ใช้ตามแบบที่แนบท้ายนี้(กรมโยธาธิการ ,2552)



|                                        |               |                                                                                                                                      |            |                        |            |
|----------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------|------------|
| <b>บันทึกการตอกเสาเข็ม</b>             |               |                                                                                                                                      |            | วันที่ _____           |            |
| โครงการ _____                          |               |                                                                                                                                      |            | แผนที่ _____           |            |
| สถานที่ก่อสร้าง _____ จังหวัด _____    |               | จำนวน _____                                                                                                                          |            | แผ่น _____             |            |
| เจ้าของโครงการ _____ เจ้าของแบบ _____  |               | เพิ่มหมายเลข _____                                                                                                                   |            |                        |            |
| ผู้รับจ้าง _____ ผู้ควบคุมการตอก _____ |               |                                                                                                                                      |            |                        |            |
| เสาเข็ม _____                          | รูป _____     | จำนวนเสาเข็มทั้งสิ้น _____                                                                                                           | ดิน _____  | บันจันทน์หมายเลข _____ |            |
| ขนาด _____                             | ความยาว _____ | กำหนดให้ตอกถึงระดับ _____                                                                                                            | เมตร _____ | ความสูง _____          | เมตร _____ |
| พื้นที่หน้าตัด _____ ตารางเซนติเมตร    |               | <input type="checkbox"/> เหล็ก<br><input type="checkbox"/> ไม้                                                                       |            | ลูกตุ้มหนัก _____      | ตัน _____  |
| ผลิตภัณฑ์ของ _____                     |               | <input type="radio"/> เจาะนำ <input checked="" type="radio"/> ชุมลึก _____ เมตร<br><input type="radio"/> หมอนรองหัวเข็มหนา _____ ชุม |            | ยกสูง _____            | ชม. _____  |
| วันที่หล่อ _____                       |               |                                                                                                                                      |            |                        |            |

| การตอกลำดับที่                |                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | หมายเหตุ |
|-------------------------------|----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----------|
| ตำแหน่งฐานราก                 |                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
| ดินที่                        |                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
| เวลาที่ตอก                    | เริ่ม<br>เสร็จ             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
| ระยะเสา<br>เข็มจม             | ด้วยตัวเอง<br>เมื่อวางตุ้ม |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
| จำนวนครั้งที่ตอกนับต่อ 30 ชม. | 3.00                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | 2.70                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | 2.40                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | 2.10                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | 1.80                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | 1.50                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | 1.20                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | 0.90                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | 0.60                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | 0.30                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | 0.00                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | -0.30                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | -0.60                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | -0.90                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | -1.20                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | -1.50                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | -1.80                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | -2.10                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | -2.40                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | -2.70                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | ตอกนับ 10 ครั้งสุดท้าย     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | เสาเข็มจม ช.ม.             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | รวมความยาว                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
|                               | ต้องตัด                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
| ศูนย์เสาเข็ม                  |                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |
| เมื่อตอกเสร็จ                 |                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |          |

ภาพที่ 24 แบบสำหรับบันทึกการตอกเสาเข็ม

ที่มา: กรมโยธาธิการ (2533)

## 6. มาตรฐานงานคอนกรีตอัดแรง

ขอบข่าย มาตรฐานนี้ครอบคลุมถึงงานโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างทุกประเภทที่เป็นคอนกรีตอัดแรง

### 6.1 ข้อกำหนดสำหรับวัสดุก่อสร้างและการทดสอบ (Specifications and Tests For Materials)

#### 6.1.1 คอนกรีต

ก. ให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ประเภท 3 หรือ ประเภท 5 ที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 : มาตรฐานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และค่าของแรงอัดประลัย (Ultimate Compressive Strength ) ของแท่งทรงกระบอกคอนกรีตมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15x30 เซนติเมตร ถ้าไม่ได้ระบุไว้ในแบบรายละเอียดแล้ว เมื่อมีอายุครบ 28 วัน ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ข. ปูนซีเมนต์ ทราย หิน และน้ำ ที่นำ มาใช้ผสมคอนกรีตนั้น จะต้องมีความสมบัติเป็นไปตาม มยช. 101 : มาตรฐานงานคอนกรีต และคอนกรีตเสริมเหล็ก ของกรมโยธาธิการ

ค. ลวดเหล็ก (Prestressing Wire)

ง. ลวดเหล็กที่ใช้ต้องมีสมบัติทางกลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 95 : มาตรฐานลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง ดังมีรายละเอียดตามตารางต่อไป

**ตารางที่ 18** สมบัติทางกลของลวดเหล็กลวดเหล็กประเภทไม่คลายแรงและคลายแรง (Stress – Relieved and Nonstress – Relieved )

| ชื่อขนาด | เส้นผ่านศูนย์กลาง<br>กลาง<br>(มิลลิเมตร) | ความเค้นดึงสูงสุด |            | ความเค้นพิสูจน์ |            | การทดสอบ    | ความล้า     |            |
|----------|------------------------------------------|-------------------|------------|-----------------|------------|-------------|-------------|------------|
|          |                                          | กิโลกรัมแรงต่อ    |            | ที่ 0.2% offset |            | การดัดกลับ  | คิดเป็น     |            |
|          |                                          | ตารางมิลลิเมตร    |            | กิโลกรัมแรงต่อ  |            |             | ร้อยละ      |            |
|          |                                          | ตารางมิลลิเมตร    |            | ตารางมิลลิเมตร  |            |             |             |            |
|          |                                          | ไม่น้อยกว่า       | ไม่มากกว่า | ไม่น้อยกว่า     | ไม่มากกว่า | จำนวนครั้ง  | รัศมีหัวตัด | ไม่มากกว่า |
|          |                                          |                   |            |                 |            | ไม่น้อยกว่า | มิลลิเมตร   |            |
| PC 4     | 4.00                                     | 175               | 200        | 130             | 150        | 3           | 12.5        | 12.5       |
| PC 4A    |                                          | 175               | 200        | 150             | 170        |             |             |            |
| PC 5     | 5.00                                     | 175               | 200        | 130             | 150        | 3           | 15          | 15         |
| PC 5A    |                                          | 175               | 200        | 150             | 170        |             |             |            |
| PC 7     | 7.00                                     | 160               | 185        | 120             | 140        | 3           | 20          | 20         |
| PC 7A    |                                          | 160               | 185        | 135             | 160        |             |             |            |
| PC 9A    | 9.00                                     | 140               | 170        | 125             | 150        | 3           | 25          | 25         |

หมายเหตุ ค่าความล้าที่กำหนดในตารางนี้ไว้สำหรับทดสอบนาน 10 ชั่วโมงเท่านั้น ส่วนค่าที่ใช้ในการออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐานของการออกแบบสากล

ที่มา: กรมโยธาธิการ (2545)

จ. ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็กที่ยอมให้ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 95 : มาตรฐานลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรงดังมีรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 19 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็ก

| ชื่อขนาด    | เส้นผ่าน<br>ศูนย์กลาง<br>(มิลลิเมตร) | ความคลาดเคลื่อน<br>ที่ยอมรับได้<br>(มิลลิเมตร) | พื้นที่หน้าตัดระบุ<br>(ตารางมิลลิเมตร) | น้ำหนักระบุ<br>(กิโลกรัมต่อ<br>กิโลเมตร) |
|-------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| PC 4, PC 4A | 4.00                                 | $\pm 0.050$                                    | 12.75                                  | 98.7                                     |
| PC 5, PC 5A | 5.00                                 | $\pm 0.050$                                    | 19.64                                  | 154.0                                    |
| PC 7, PC 7A | 7.00                                 | $\pm 0.050$                                    | 38.48                                  | 302.0                                    |
| PC 9A       | 9.00                                 | $\pm 0.050$                                    | 63.62                                  | 499.0                                    |

ที่มา: กรมโยธาธิการ (2545)

6.1.2 ลวดเหล็กตีเกลียวชนิด 7 เส้น (Uncoated Seven – Wire Stress – Relieved Strand )

ก. ลวดเหล็กตีเกลียวที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติทางกลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 420 : มาตรฐานลวดเหล็กตีเกลียวชนิด 7 เส้น สำหรับงานคอนกรีตอัดแรง ดังมีรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 20 คุณสมบัติทางกลของลวดเหล็กตีเกลียว

| ชื่อขนาด | ความต้านแรงดึงที่จุดยึด |                    | แรงดึงสูงสุด  | ความยืด     | ความล้า    |
|----------|-------------------------|--------------------|---------------|-------------|------------|
|          | แรงดึงเริ่มต้น          | ความต้านแรงดึง     | (กิโลกรัมแรง) | ร้อยละ      | ร้อยละ     |
|          | (กิโลกรัมแรง)           | ที่จุดยึด ร้อยละ 1 | ไม่น้อยกว่า   | ไม่น้อยกว่า | ไม่มากกว่า |
|          |                         | (กิโลกรัมแรง)      |               |             |            |
|          |                         | ไม่น้อยกว่า        |               |             |            |
| SPC 6A   | 410                     | 3,470              | 4,080         | 3.5         | 3.0        |
| SPC 7A   | 660                     | 5,580              | 6,580         | 3.5         | 3.0        |
| SPC 9A   | 910                     | 7,710              | 9,070         | 3.5         | 3.0        |
| SPC 11A  | 1,220                   | 10,430             | 12,240        | 3.5         | 3.0        |
| SPC 12A  | 1,630                   | 13,880             | 16,320        | 3.5         | 3.0        |
| SPC 15A  | 2,450                   | 20,820             | 24,490        | 3.5         | 3.0        |
| SPC 9B   | 1,040                   | 8,870              | 10,430        | 3.5         | 3.0        |
| SPC 11B  | 1,410                   | 11,950             | 14,060        | 3.5         | 3.0        |
| SPC 12B  | 1,880                   | 15,910             | 18,730        | 3.5         | 3.0        |
| SPC15B   | 2,660                   | 22,580             | 26,580        | 3.5         | 3.0        |

ที่มา: กรมโยธาธิการ (2545)

ข. ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็กตีเกลียวที่ขอมให้  
ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 420 : มาตรฐานลวดเหล็กตีเกลียวชนิด 7  
เส้น สำหรับงานคอนกรีตอัดแรงดังมีรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 21 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็กตีเกลียว

| ชั้นคุณภาพ | ชื่อขนาด | เส้นผ่าน<br>ศูนย์กลาง<br>มิลลิเมตร | ค่าความแตกต่าง<br>ไม่น้อยกว่า<br>(มิลลิเมตร) | พื้นที่<br>ภาคตัดขวาง<br>ตารางมิลลิเมตร | น้ำหนัก<br>กิโลกรัมต่อ<br>เมตร |
|------------|----------|------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| 1725       | SPC 6A   | $6.35 \pm 0.40$                    | 0.03                                         | 23.22                                   | 182                            |
|            | SPC 7A   | $7.94 \pm 0.40$                    | 0.04                                         | 37.42                                   | 294                            |
|            | SPC 9A   | $9.53 \pm 0.40$                    | 0.05                                         | 51.61                                   | 405                            |
|            | SPC 11A  | $11.11 \pm 0.40$                   | 0.07                                         | 69.68                                   | 548                            |
|            | SPC 12A  | $12.70 \pm 0.40$                   | 0.08                                         | 92.90                                   | 730                            |
| 1860       | SPC 15A  | $15.24 \pm 0.40$                   | 0.10                                         | 139.35                                  | 1,094                          |
|            | SPC 9B   | $9.53 + 0.65$<br>- 0.15            | 0.05                                         | 54.84                                   | 432                            |
|            | SPC 11B  | $11.11 + 0.65$<br>- 0.15           | 0.07                                         | 74.19                                   | 582                            |
|            | SPC 12B  | $12.70 + 0.65$<br>- 0.15           | 0.08                                         | 98.71                                   | 775                            |
|            | SPC 15B  | $15.24 + 0.65$<br>- 0.15           | 0.10                                         | 140.00                                  | 1,102                          |

ที่มา: กรมโยธาธิการ (2545)

### 6.1.3 การดัดลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียวชนิด 7 เส้น

ถ้าไม่ได้กำหนดไว้ในแบบรายละเอียดเป็นอย่างอื่นแล้ว ลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียวจะทำการดัดหรือตัดก็ได้ต่อเมื่อค่าแรงอัดของแท่งทรงกระบอกคอนกรีตมาตรฐานเส้นผ่านศูนย์กลาง 15x30 เซนติเมตร ของคอนกรีตโครงสร้างนั้นมีค่าไม่น้อยกว่า ค่าที่กำหนด ดังนี้

- งานอาคาร ร้อยละ 80 ของแรงอัดประลัยที่กำหนดให้
- งานสะพาน ร้อยละ 85 ของแรงอัดประลัยที่กำหนดให้
- งานเสาเข็ม ร้อยละ 70 ของแรงอัดประลัยที่กำหนดให้

แต่ทั้งนี้การดัดลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียว จะต้องทำให้เกิดค่าแรงอัดในคอนกรีตไม่เกินร้อยละ 60 ของค่าแรงอัดประลัยของคอนกรีตในขณะดัดลวด

### 6.1.4 ทำร้อยละลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียว ทำร้อยละลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียว

ก. ท่อร้อยต้องไม่รั่วและไม่ทำปฏิกิริยากับคอนกรีต

ข. เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อต้องโตกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็ก หรือกลุ่มลวดเหล็กอย่างน้อย 6 มิลลิเมตรหรือมีพื้นที่หน้าตัดภายในอย่างน้อย 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดของลวดเหล็ก หรือกลุ่มลวดเหล็กนั้น

#### 6.1.5 การอัดซีเมนต์เหลว

ก. ซีเมนต์เหลวที่ใช้ในการอัดฉีดเข้าไปในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงนั้น ส่วนผสมของน้ำตอปูนซีเมนต์ (W/C Ratio) จะต้องเหมือนกับส่วนผสมของคอนกรีตอัดแรง และมีส่วนผสมของอลูมิเนียมฟลายแอช หรือวัสดุอื่นที่ใช้ในการนี้โดยเฉพาะ ซึ่งจะต้องได้รับความเห็นชอบเสียก่อน

ข. การฉีดซีเมนต์เหลวจะต้องทำ ด้วยเครื่องอัดใช้แรงดันประมาณ 6 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร และจะเลิกอัดฉีดซีเมนต์เหลวได้ก็ต่อเมื่อที่ปลายอีกข้างหนึ่งมีซีเมนต์เหลวพุ่งไหลออกมาเต็มท่อและพุ่งไหลสม่ำเสมอแล้วจึงอุด ท่อได้

6.1.6 การตัดลวดภายหลังการอัดซีเมนต์เหลวการตัดลวดให้ตัดได้เมื่อซีเมนต์เหลวแข็งตัวแล้วไม่น้อยกว่า 3 วัน โดยการตัดทำ ได้ดังนี้

ก. ใช้เครื่องตัดชนิดความเร็วสูง (High – Speed Abrasive Cutting Wheel) หรือเลื่อยตัด (Friction) หรือวิธีอื่นใด ที่ได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรของผู้ว่าจ้างแล้ว

ข. ใช้เครื่องตัดโลหะชนิดใส่แก๊ส Acetylene – Oxygen ตัด โดยเพิ่มปริมาณของออกซิเจนเข้าไปขณะที่โลหะเริ่มหลอมละลายแต่ควรระวังไม่ให้เปลวไฟ หรือประกายไฟ กระเด็นไปถูกสมอยึด (Anchorage ) หรือเส้นลวดเหล็ก(Tendons)

หมายเหตุ ในระบบดึงเหล็กภายหลัง (Post Tension) วิธีการตัดทั้งวิธีที่ 1 และ 2 จะต้องมียะห่างไม่น้อยกว่า 1 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเหล็ก จากสมอยึด และอุณหภูมิภายในเส้นลวดเหล็กที่ใกล้กับสมอยึดต้องไม่เกิน 200 องศาเซนเซียส เมื่อตัดเรียบร้อยแล้วให้พอกหุ้มรอยตัดด้วยปูนทรายอัตราส่วน 1:1

## 6.2 ข้อกำหนดในการก่อสร้าง (Construction Requirements)

### 6.2.1 คอนกรีต

ก. ในกรณีที่ผู้รับจ้างต้องการจะใช้สารผสม (Admixture) เช่นสารที่ช่วยให้คอนกรีตแข็งตัวช้าในระยะแรกเพื่อช่วยในการปฏิบัติงาน จะต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ว่าจ้างก่อน

ข. กรรมวิธีในการผลิตคอนกรีต เช่น การเท การบำรุงรักษา การติดตั้งไม้แบบ การควบคุมคุณภาพ การยอมรับการวัดผลของค่า ดังคอนกรีตและอื่น ๆ ให้ถือปฏิบัติเช่นเดียวกับ มยช. 101 : มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก

### 6.2.2 ลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียว

ก. ลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียวที่ใช้จะต้องมีรายงานการทดสอบเกี่ยวกับความล้า(RELAXATION) จากโรงงานผลิตส่งมายังผู้ว่าจ้างด้วย

ข. ลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียวที่ส่งมาต้องเป็นม้วน และเป็นของใหม่ไม่เคยใช้งานมาก่อน

ค. เหล็กเสริมอื่น ๆ ที่มีใช้ลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียว ซึ่งนำ มาใช้ในงานคอนกรีตอัดแรงนี้ จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานงานเหล็กเสริมคอนกรีต ของกรมโยธาธิการ มยช. 103 : มาตรฐานงานเหล็กเสริมคอนกรีต

#### ง. การเก็บตัวอย่าง

1) จะต้องเก็บลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียวตัวอย่างต่อหน้าผู้ควบคุมงานของผู้ว่าจ้าง

2) การเก็บลวดตัวอย่างให้เก็บจากทุกวันที่ดันทันและปลายม้วนอย่างน้อยแห่งละ 2

ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างต้องยาวไม่น้อยกว่า 100 เซนติเมตร เพื่อทำการทดสอบสมบัติทางกลตาม มอก. 95 : มาตรฐานลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง และมอก. 420 : มาตรฐานลวดเหล็กตีเกลียวชนิด 7 เส้น สำหรับงานคอนกรีตอัดแรง

### 6.2.3 การดึงลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียว ชนิด 7 เส้น

ก. การดึงลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียว ในกรณีที่เป็นแบบดึงเหล็กภายหลัง (Post - Tension) ถ้าความยาวของลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียวยาวเกิน 20 เมตร ให้ดึงทั้งสองปลายและให้ดึงพร้อมๆ กันในกรณีที่ต้องการดึงเหล็กปลายเดียว ยาวเกินกว่า 20 เมตร ต้องได้รับ

ความเห็นชอบจาก วิศวกรของผู้ว่าจ้างก่อน ถ้าเป็นแบบดึงเหล็กก่อน(Pre - Tension) ให้ดึงเหล็กปลายเดียวได้

ข. ส่วนยึดของลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียวที่ดึง จะต้องได้ความยาวตามที่ได้ระบุไว้ในแบบรายละเอียดในระหว่างการดึงลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียวนั้น ให้ตรวจสอบความยาวของลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียวที่ดึงยึดออกมากับเครื่องวัดแรงอัด (Pressure Gauge) ของเครื่องมือที่ใช้สำหรับดึงลวดเหล็กและลวดเหล็กตีเกลียวนั้นด้วย

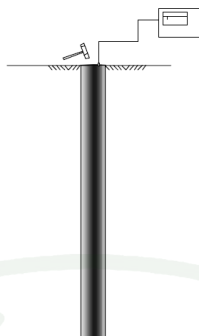
ค. การหดตัวเมื่อ Cone ถูกอัดเข้าที่แล้วลวดจะต้องไม่ลื่นไปตาม Cone มากกว่า 4.5 มิลลิเมตร ต่อ Cone หากมากกว่านี้ให้อยู่ในการวินิจฉัยของวิศวกรของผู้ว่าจ้าง(กรมโยธาธิการ ,2552)

## 7. การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธีเชซามิก

ในงานก่อสร้างต่าง ๆ งานเสาเข็มนับว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการก่อสร้างอาคารเพื่อให้ได้เสาเข็มที่มีความมั่นคงแข็งแรงในการรับน้ำหนัก วิธีการที่จะทำการทดสอบเพื่อหาความสมบูรณ์ของเสาเข็ม (Integrity Test) โดยสะดวกรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายที่นอกเหนือจากการทำ Load Test มี 3 วิธีคือ

1. วิธี Coring Test เป็นวิธีการทดสอบโดยการเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตในเสาเข็ม ทำให้สามารถรู้สภาพของคอนกรีตตลอดความยาวของเสาเข็ม เช่น การแตกร้าว (Crack) รูพรุน และกำลังของคอนกรีต แต่ไม่สามารถตรวจสอบการลดและเพิ่มขนาดของเสาเข็ม
2. วิธี Sonic Test เป็นวิธีการที่ยุ่ยยากและมีค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูง เนื่องจากจะต้องทำการฝังท่อไว้ในเสาเข็มขณะทำการก่อสร้าง
3. วิธี Seismic Test ซึ่งการทดสอบโดยวิธีนี้เป็นวิธีการที่ง่ายสะดวก รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับการทดสอบเสาเข็มจำนวนมาก วิธีนี้จึงเป็นทางเลือกอันดับแรกและได้รับความนิยมมากที่สุด

การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธีเชซามิก การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธีเชซามิกคือการตรวจสอบโดยการวิเคราะห์คลื่นสะท้อนกลับขึ้นสู่หัวเสาเข็มดังแสดงในภาพที่ 25 ซึ่งเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย



ภาพที่ 25 การทดสอบเสาเข็มโดยวิธีเชซามิก

ที่มา: วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ (2548)

#### 7.1 การเตรียมเสาเข็ม

หลังจากที่คอนกรีตต้องมีคุณภาพดีเพียงพอและมีอายุไม่น้อยกว่า 5 วันโดยประมาณ จะต้องทำเตรียมเสาเข็มทดสอบเพื่อให้ได้ สัญญาณทดสอบที่มีคุณภาพดี ก่อนที่จะทำการทดสอบ โดยจะต้องทำให้หัวเสาเข็มทดสอบต้องสะอาดและแห้ง ปราศจากตะกอนดินและฝุ่นผงจากการ สกัดหัวเสาเข็ม พื้นผิวควรเรียบเพียงพอที่จะติดตั้งหัววัดสัญญาณให้แนบสนิท และไม่มีสิ่งกีดขวาง บนหัวเสาเข็มซึ่งเป็นอุปสรรคในการทดสอบ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 26 และ ภาพที่ 27



ภาพที่ 26 การเตรียมหัวเสาเข็มทดสอบ

ที่มา: วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ (2548)



ภาพที่ 27 การเตรียมให้ไม่มีสิ่งกีดขวางบนหัวเสาเข็ม

ที่มา: วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ (2548)

## 7.2 อุปกรณ์การทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย

1. ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งแพคเกจแปลงสัญญาณ
2. สายส่งสัญญาณ
3. ชุดวางกระจายสัญญาณและชุดตรวจจับสัญญาณ
4. ขากรองรับชุดตรวจจับสัญญาณ
5. ค้อนพลาสติก

## 7.3 ขั้นตอนการทดสอบ

ติดตั้งหัววัดสัญญาณ (Accelerometer) บนหัวเสาเข็ม ซึ่งเตรียมพื้นผิวให้เรียบและแห้ง โดยจะใช้วัสดุที่สามารถยึดให้หัววัดสัญญาณติดกับหัวเสาเข็มได้ เช่น ดินน้ำมัน จากนั้นหัวเสาเข็มจะถูกเคาะโดยใช้ค้อนพลาสติกเคาะที่บนหัวเสาเข็มในแนวขนานกับแนวตามยาวของเสาเข็ม เคาะรอบๆ หัววัดสัญญาณจำนวน 2-3 ครั้ง ดังภาพที่ 28 แรงกระแทกที่เกิดขึ้นจะทำให้คลื่นความเค้น (Stress Wave) วิ่งผ่านลงไปบนเสาเข็ม หากเกิดความไม่ต่อเนื่องขึ้นในหน้าตัดของเสาเข็ม เช่น เกิดรอยแตก รอยคอด หรือคอนกรีตไม่มีคุณภาพ คลื่นสัญญาณดังกล่าวจะเกิดการสะท้อนกลับ

สัญญาณที่ได้จะผ่านไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 29 โดยจะทำการแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของความเร็วกับเวลาเมื่อประมวลผลเสร็จจะบันทึกเก็บภาพลง Harddisk และจะทำการพิมพ์ออกมาโดยเครื่องพิมพ์ เพื่อนำผลมาวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 28 การใช้ค้อนเคาะลงบนหัวเสาเข็มทดสอบ

ที่มา: วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ (2548)



ภาพที่ 29 การใช้ค้อนเคาะลงบนหัวเสาเข็มทดสอบ

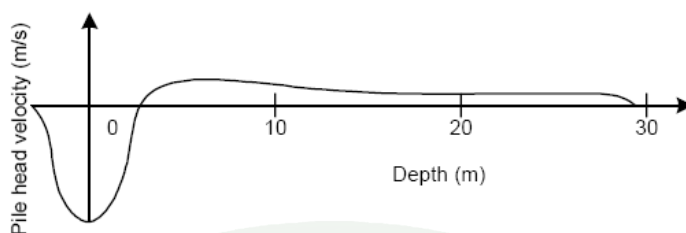
ที่มา: วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ (2548)

#### 7.4 หลักการทำงานและการแปลผล

การทดสอบกระทำโดยใช้ก้อนขนาดเล็กเกาะคอนกรีตที่ห้วเสาเข็ม และจับคลื่นสะท้อนกลับโดยหัววัดสัญญาณที่ห้วเสาเข็มแรงจากก้อนขนาดเล็กที่เกาะจะก่อให้เกิดคลื่นความเค้นเคลื่อนลงสู่ปลายด้านล่างและสะท้อนกลับขึ้นสู่ห้วเสาเข็มทั้งหมดหรือแต่เพียงบางส่วนซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ว่าเกิดมีการเปลี่ยนแปลงที่ปลายเสาเข็มหรือจากตำแหน่งใดๆ ในตัวเสาเข็มหรือไม่ หรือจากสภาพของตัวเสาเข็มเอง การที่คลื่นความเค้นเคลื่อนที่ผ่านไปตามวัสดุตัวเสาเข็มด้วยอัตราความเร็ว  $c$  ใช้เวลาเท่ากับ  $t$  (คิดจากเวลาที่เริ่มเกาะถึงเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับถึงห้วเสาเข็ม) ทำให้สามารถหาระยะทางที่คลื่นความเค้นเดินทางได้จากสมการ  $t = \frac{2L}{c}$  หรือ  $L = \frac{ct}{2}$  โดย  $L$  คือระยะทางจากห้วเสาเข็มถึงระดับที่คลื่นสะท้อนกลับ ถ้าประเมินค่า  $c$  ได้ใกล้เคียงและบันทึกเวลา  $t$  ไว้ได้ถูกต้องก็จะคำนวณหาความยาวของเสาเข็มหรือระดับที่คลื่นสะท้อนกลับได้ ซึ่งสามารถนำไปเทียบกับข้อมูลที่ก่อสร้างไว้ หากการเปรียบเทียบได้ความยาวตรงกันจะทำให้หาระดับที่คลื่นสะท้อนกลับที่จุดใดๆ ได้ถูกต้องด้วย แต่หากการเปรียบเทียบขัดแย้งกันมากจะต้องทำการตรวจสอบหาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อแตกต่างนี้ โดยอาจจะเป็นผลกระทบจากสภาพของเสาเข็มเจาะหรือสภาพชั้นดิน

7.5 รูปแบบของคลื่นสัญญาณทดสอบ Turner ได้แบ่งคลื่นสัญญาณสะท้อนกลับไว้ 3 ชนิดคือ

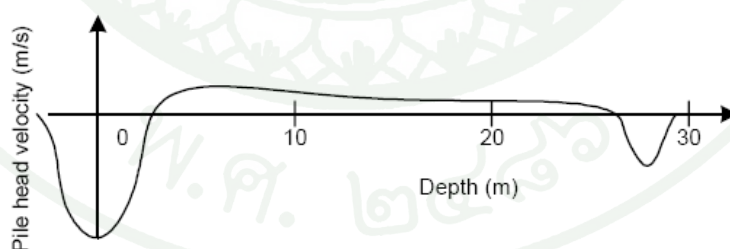
7.5.1 ชนิด 0 คลื่นสัญญาณ (Type 0 signal) เป็นคลื่นสัญญาณที่ไม่สามารถตรวจจับคลื่นที่สะท้อนกลับมาจากปลายเสาเข็มได้เนื่องจากคลื่นสัญญาณถูกซึมซับ (Damping Effect) โดยชั้นดินรอบๆเสาเข็มจนเจือจางมาก ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นได้จากอุปกรณ์ตรวจจับ ดังนั้นคลื่นสัญญาณที่ตรวจจับได้นี้จะบอกเป็นนัยว่าในระดับความลึกประสิทธิภาพที่คลื่นสามารถผ่านลงไปได้นั้นไม่ปรากฏว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเสาเข็มมากพอที่จะสามารถตรวจจับได้จากการทดสอบ แสดงว่าเสาเข็มไม่มีปัญหา และคลื่นสัญญาณชนิดนี้ตามภาพที่ 30



ภาพที่ 30 Type 0 Signal

ที่มา: วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ (2548)

7.5.2 ชนิด 1 คลื่นสัญญาณ (Type 1 signal) แสดงคลื่นสัญญาณสะท้อนกลับให้เห็นอย่างชัดเจนหนึ่งตำแหน่ง แสดงว่าเสาเข็มต้นที่ทดสอบนี้ ค่าอิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนอยู่หนึ่งตำแหน่งซึ่งอาจเป็นที่ตำแหน่งปลายเสาเข็ม หรือที่ระดับความลึกอื่นในตัวเสาเข็มแล้วแต่กรณี โดยไม่ปรากฏว่ามีคลื่นสะท้อน GTE - 82 อื่นๆ ให้เห็นในสัญญาณทดสอบ สัญญาณ Type 1 signal ตามภาพที่ 31 นี้คล้ายกับสัญญาณปกติแสดงว่าเสาเข็มไม่มีปัญหา ในกรณีที่อิมพีแดนซ์เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือคอนกรีตตัวเสาเข็มขาดความต่อเนื่องคลื่นสัญญาณจะเกิดการสะท้อนกลับซ้ำที่ตำแหน่งเดิม โดยจะแสดงให้เห็นจากคลื่นสัญญาณจะเกิดการสะท้อนซ้ำๆ เกิดขึ้นเป็นระยะทางเท่าๆกัน แสดงว่าเสาเข็มเกิดปัญหา

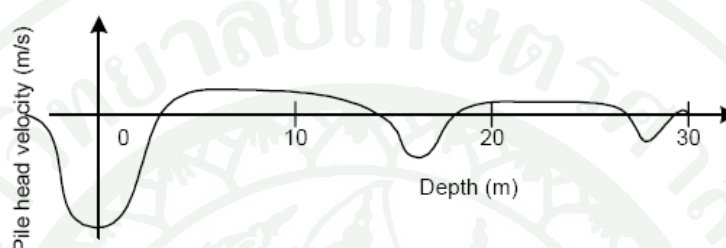


ภาพที่ 31 Type 1 Signal

ที่มา: วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ (2548)

7.5.3 ชนิด 2 คลื่นสัญญาณ (Type 2 signal) เป็นสัญญาณที่ประกอบด้วยคลื่นสะท้อนกลับที่สำคัญมากกว่าหนึ่งตำแหน่งและมีการทับซ้อนกันของคลื่นที่สะท้อนกลับมาจากตำแหน่งที่

ต่างกันในตัวเสาเข็มจนทำให้การแปลความหมายคลื่นสัญญาณเป็นไปด้วยความยุ่งยากมากกว่า Type 0 signal และ Type 1 signal การแปลคลื่นสัญญาณแบบนี้จะยุ่งยากคือการที่สามารถเห็นคลื่นสัญญาณที่สะท้อนกลับจากตำแหน่งปลายเสาเข็มตามความยาวที่คาดหมายไว้ได้อย่างชัดเจน และยังมีคลื่นสะท้อนกลับจากตำแหน่งอื่นในเสาเข็มที่อิมพีแดนซ์เกิดมีการเปลี่ยนแปลงมาให้เห็นด้วยตามภาพที่ 32



ภาพที่ 32 Type 2 Signal

ที่มา: วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ (2548)

#### 7.6 แนวทางปฏิบัติในการรับรองเสาเข็ม

เสาเข็มสามารถทดสอบหาสภาพความสมบูรณ์ได้จากการสะท้อนกลับของคลื่นสัญญาณ เสาเข็มที่มีสภาพสมบูรณ์จะไม่มี การสะท้อนกลับของคลื่นสัญญาณใดๆ นอกจากที่ระดับความลึกของปลายเสาเข็มเท่านั้น เสาเข็มที่มีสภาพไม่สมบูรณ์จะมีการสะท้อนกลับของคลื่นสัญญาณที่ตำแหน่งบกพร่องของเสาเข็มนอกจากที่ระดับความลึกของปลายเสาเข็ม ซึ่งการสะท้อนของคลื่นสัญญาณนั้นมาจากสาเหตุดังนี้

1. เสาเข็มมีการแตกร้าว
2. เสาเข็มมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด
3. คอนกรีตของเสาเข็มจะมีความหนาแน่นหรือกำลังของคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ
4. หัวเสาเข็มจะมีสภาพไม่สมบูรณ์

อย่างไรก็ตามวิศวกรผู้ควบคุมโครงการต้องพิจารณาการเจาะเสาเข็มทดสอบ สภาพการเอียงตัวของหัวเสาเข็มทดสอบตำแหน่งการแบกรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตามรายการออกแบบ

และตัวแปรอื่นที่สำคัญในงานก่อสร้างตามดุลยพินิจและความรับผิดชอบของวิศวกรผู้ควบคุมโครงการเพื่อความมั่นคงและปลอดภัยของโครงสร้างต่อไป

ถึงแม้ว่าเครื่องมือทดสอบนี้จะมีความสามารถอย่างมากในปัจจุบันสำหรับการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม แต่ยังมีข้อจำกัดดังนี้

1. การทดสอบนี้ไม่สามารถบอกค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มที่ทดสอบและการเอียงตัวของเสาเข็มที่ทดสอบได้ หากต้องการทราบค่ารับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มควรทำการทดสอบ Pile Load Test หรือ Dynamic Load Test
  2. จุดบกพร่องขนาดใหญ่จะตรวจพบได้อย่างชัดเจน แต่ข้อบกพร่องเล็กๆจะตรวจพบยาก เช่น สิ่งแปลกปลอมก้อนเล็กๆหรือคอนกรีตไม่ห่อหุ้มเหล็กเสริม
  3. เมื่อตรวจพบจุดบกพร่องขนาดใหญ่แล้ว จะไม่สามารถตรวจสอบข้อมูลในระดับที่ลึกลงไปได้
  4. ไม่สามารถตรวจสอบหาตะกอนตกค้างที่ปลายเสาเข็มได้
  5. ไม่สามารถตรวจสอบเสาเข็มที่มีการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดลดลงหรือเพิ่มขึ้นที่เล็กน้อย ( $<5\%$ )
  6. หากความยาวของเสาเข็มมากกว่า 30 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม ( $>30D$ ) หรือมี Frictional damping สูงเกินไปสัญญาณสะท้อนปลายเสาเข็มอาจไม่ชัดเจน
  7. ไม่เหมาะสมกับการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มหลายท่อน (Segment Pile) ยกเว้นเสาเข็มหน้าตัดกลม (Spun Pile)
  8. การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของดินจะมีผลต่อรูปกราฟของการทดสอบเสาเข็มยาว เช่น ค่าแรงเสียดทาน (Skin Friction) จะทำให้สัญญาณเปลี่ยนแปลงไป โดยดินที่มีแรงเสียดทานสูงจะมีผลต่อรูปกราฟมากกว่าดินที่มีแรงเสียดทานต่ำ
- คุณสมบัติของเสาเข็มจะเป็น (Linear , One – Dimensional Wave Equation ) อัตราส่วนต่อความยาวของหน้าตัดจะต้องมาก

ตารางที่ 22 จำนวนจุดที่วางบนหัวเสาเข็มกับพื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม

| ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (เมตร ) | จำนวนของตำแหน่งที่ทดสอบ<br>(จุด) |
|------------------------------|----------------------------------|
| 0.50 หรือน้อยกว่า            | 2 – 3                            |
| 0.60                         | 3 – 4                            |
| 0.80 – 1.20                  | 3 - 4                            |
| 1.50 ขึ้นไป                  | 4 - 6                            |

ที่มา: วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ (2548)

ในกรณีที่ค่าความเร็วของคลื่น (Wave Speed , C ) เราจะได้ความสัมพันธ์ของค่าสมบูรณ์  
และค่าอิมพีแดนซ์ , Z ดังต่อไปนี้

$$\beta = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha}$$

$\alpha$  = ค่าระยะที่คลื่นความเร็วกับเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

หรือ

$$\beta = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1}$$

เมื่อ

$\beta$  = ค่าความสมบูรณ์ (Integrity Factor )

$Z_1$  = ค่าอิมพีแดนซ์ (จุดที่ทำการทดสอบ )

$Z_2$  = ค่าอิมพีแดนซ์ ณ จุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

$A_1$  = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มอ้างอิง (จุดที่ทำการทดสอบ)

$A_2$  = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม ณ จุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

$E_1$  = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอ้างอิง (จุดที่ทำการทดสอบ )

$E_2$  = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ณ จุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

จากสมการ  $\beta = \frac{1-\alpha}{1+\alpha}$  สามารถหาขนาดความเสียหายที่ตรวจสอบพบได้ โดยการเปรียบเทียบขนาดของ Peak สัญญาณที่สะท้อนกลับ ณ ตำแหน่งที่พบข้อบกพร่องเมื่อเทียบกับขนาดของ Peak แรกโดยการประเมินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์วัดการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ สำหรับตำแหน่งของข้อบกพร่องของเสาเข็มที่ทดสอบสามารถระบุได้จากกราฟความเร็วกับเวลา

การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มสามารถตรวจสอบได้เพียงคุณสมบัติทางกายภาพของเสาเข็ม โดยไม่เกี่ยวกับความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้ของเสาเข็มหรือการได้แนวในพิกัดที่ยอมรับได้ของเสาเข็มนั้น

### ตารางที่ 23 ค่าความสมบูรณ์ของเสาเข็ม

| Integrity Factor              | ระดับความสมบูรณ์     |
|-------------------------------|----------------------|
| $\beta$ มากกว่า 90%           | มีสภาพสมบูรณ์        |
| $\beta$ อยู่ระหว่าง 80 - 90 % | มีข้อบกพร่องเล็กน้อย |
| $\beta$ อยู่ระหว่าง 60 - 80 % | มีข้อบกพร่อง         |
| $\beta$ น้อยกว่า 60%          | มีความเสียหายมาก     |

ที่มา: วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ (2548)

วิธีเขามิกเป็นวิธีการตรวจทางอ้อม ซึ่งได้รับความนิยมเนื่องจากความรวดเร็วและราคาประหยัด แต่การวิเคราะห์ต้องอาศัยวิศวกรผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ทั้งเรื่องเสาเข็มและสภาพดินที่อาจมีอิทธิพลต่อคลื่นสัญญาณสะท้อนกลับ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากเสาเข็มเองหรือสภาพชั้นดินรอบเสาเข็ม หากการวิเคราะห์กระทำอย่างง่าย โดยผู้ที่มีความรู้หรือประสบการณ์ที่จำกัดแล้ว การแปลสัญญาณอาจผิดพลาดได้ เนื่องจากเสาเข็มจะมีราคาตั้งแต่หลายหมื่นถึงหลายแสนบาท ผู้เกี่ยวข้องจึงควรพิจารณาอย่างรอบคอบในการว่าจ้างผู้ตรวจสอบโดยไม่ควรพิจารณาเฉพาะราคาเท่านั้น ในหลายประเทศมีการป้องกันโดยกำหนดมาตรฐานการทดสอบไว้ เช่น ออสเตรเลียมี AS 2159-1995 Section 8.อเมริกามี ASTM D 5882 จีนมี JGJ/T93-95 ฝรั่งเศสมี NORME Francaise NFP94-160-2 สหราชอาณาจักรมี ICE Specification for Piling, เยอรมันมี German Society for Geotechniques E.V. Dynamic Pile Integrity Tests Draft เป็นต้น

วิธีเชซามิกนี้สามารถทราบผลได้ทันที และไม่ต้องทำการอุดหรือซ่อมรูเจาะอย่าง Coring Test แต่หากปรากฏว่าเสาเข็มต้นใดมีปัญหา เช่น เกิดรอยร้าวก็ให้หยุดรอไว้ก่อน เพื่อทำการพิสูจน์ด้วยวิธี Coring Test, Load Test เป็นต้น

## 7.7 สรุปและวิเคราะห์

วิธีเชซามิกนี้เป็นวิธีการทดสอบความสมบูรณ์อย่างง่าย ๆ วิธีการนี้สามารถทราบผลได้ทันทีในการตรวจสอบเสาเข็มเช่น รอยแตกร้าว การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัด ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดจนความยาวของเสาเข็ม เฉพาะจุดทดสอบเท่านั้น ผลการทดสอบนี้ไม่สามารถหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม กำลังของคอนกรีตและการเอียงตัวของเสาเข็ม และไม่ต้องทำการอุดหรือซ่อมรูเจาะอย่าง Coring Test

วิธีเชซามิก ต้องวิเคราะห์ร่วมกับรายงานการซ่อมแซมเสาเข็มเช่น การทำปรับปรุงเพิ่มเติมนอกเหนือจากรูปแบบเดิมเพราะจะทำให้กราฟไม่ปกติและอาจจะทำให้การตีความคลาดเคลื่อนจากสภาพความเป็นจริงได้ การพิจารณาความเหมาะสมในการเลือกใช้การทดสอบโดยวิธีเชซามิก นี้ควรศึกษาเทียบกับข้อจำกัดของเครื่องมือทดสอบ (สราวุธ และ กมล, 2548)

## 8. การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มโดยวิธีไดนามิก

การทดสอบโดยวิธีไดนามิก สามารถที่จะทดสอบได้กับเสาเข็มคอนกรีต (เข็มเจาะและเข็มตอก) เสาเข็มเหล็ก และเสาเข็มไม้ เป็นการทดสอบเพื่อหาการรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มและทราบถึงประสิทธิภาพของป็นจันในการตอกเสาเข็ม ตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มที่ทดสอบว่ามี ความเสียหายหรือข้อบกพร่องหรือไม่ รวมทั้งสามารถที่จะกำหนดมาตรฐานสำหรับการตอกเสาเข็มได้สำหรับพื้นที่โครงสร้าง ๆ (Driving Criterial )

ในปัจจุบันการทดสอบโดยวิธีไดนามิก ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการทดสอบหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม ลักษณะการทดสอบจะใช้ค้อนน้ำหนักปล่อยกระแทกที่หัวเสาเข็มให้เสาเข็มเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กัคุณสมบัติของเสาเข็ม โดยคลื่นความเค้นดังกล่าวจะสะท้อนกลับเมื่อแรงต้านทานจากแรงเสียดทาน, แรงต้านที่ปลายเข็ม, คุณสมบัติของเสาเข็มและพื้นที่หน้าตัดเกิดการเปลี่ยนแปลง คลื่นความเค้นที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบจะถูกบันทึกโดย Strain

transducers และ Accelerometers ที่ถูกติดตั้งบริเวณหัวเสาเข็ม สัญญาณจากการทดสอบจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของแรงและความเร็ว เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาค่าลึรับน้ำหนักทางสถิตยศาสตร์ (แรงเสียดทานและแรงต้านทานปลายเข็ม) ด้วยโปรแกรม CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)

การทดสอบโดยวิธีไดนามิก เป็นที่ยอมรับทั่วไปและมีมาตรฐานรองรับ ได้แก่ ASTM D 4945 – 00 การทดสอบดังกล่าวมีข้อดีหลายประการ ดังเช่น

1. สามารถทำการทดสอบได้ภายในระยะเวลาสั้นๆ เสาเข็มหลายต้นสามารถทำการทดสอบได้ในวันเดียว
2. ต้องการพื้นที่รอบๆ เสาเข็มไม่มากนักในการเตรียมการทดสอบ
3. ผลการทดสอบให้ข้อมูลที่เพียงพอเกี่ยวกับเสาเข็มในเรื่องของค่าลึรับน้ำหนักและความสมบูรณ์ของเสาเข็ม
4. เป็นการทดสอบที่ประหยัดค่าใช้จ่าย

#### 8.1 ขอบเขต

การทดสอบโดยวิธีไดนามิก เป็นการทดสอบที่มีจุดประสงค์ที่ต้องการประเมินถึงความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของการทรุดตัว ( Load –Settlement Curve ) ,การกระจายหน่วยแรงเสียดทานผิว (Skin Friction Resistance Distribution) ,แรงต้านที่ปลายเข็ม (Top resistance) , ความสมบูรณ์ของเสาเข็ม (Pile Integrity)

สำหรับเสาเข็มตอกสามารถทำได้ใน 2 ลักษณะคือ Initial Driving Monitoring และ Restrike test

1. Initial Driving Monitoring เป็นการทดสอบขณะที่ทำการตอกเสาเข็ม หน่วยแรงเค้นสูงสุด(แรงอัดและแรงอัด) , Blow Count สภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธี Case Method สามารถตรวจสอบและบันทึกได้ในแต่ละครั้งของการตอกเข็ม การทดสอบแบบนี้จะทำให้ทราบข้อมูลต่างๆ ได้อย่างชัดเจน รวมถึงป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเสาเข็มในระหว่างการตอก ทำให้สามารถควบคุมงานตอกเสาเข็มให้ได้ตามข้อกำหนด

2. Restrike test เป็นการทดสอบที่ได้หลังการตอกเสาเข็มไปแล้วระยะเวลาหนึ่ง เพื่อทำนายถึงกำลังน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มช่วงเวลาที่ใช้งาน โดยปกติกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจะเพิ่มขึ้นตาม Soil set-up หรือระยะเวลาหลังการตอกเข็ม ระยะเวลาดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณสมบัติของดิน

## 8.2 การเตรียมการก่อนการทดสอบ

ในการทดสอบโดยวิธีไดนามิกกับเสาเข็มตอก หัวเข็มจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงกระแทกได้ ถ้าหัวเสาเข็มมีความบกพร่องเล็กน้อยอยู่ก่อนแล้ว การทดสอบโดยปล่อยค้อนน้ำหนักกระแทกหัวเสาเข็ม อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายกับหัวเสาเข็มได้ จึงต้องมีการตรวจสอบสภาพหัวเสาเข็มก่อน บางกรณีสำหรับเสาเข็มตอกขนาดใหญ่ อาจจะใช้ค้อนน้ำหนักขนาดใหญ่ การป้องกันมิให้เสาเข็มเกิดความเสียหายในระหว่างการทดสอบ อาจทำได้โดยจัดเตรียม Pile Cap ที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษ สามารถที่จะต้านทานความเค้นสูงได้ ผิวบนของหัวเข็มหรือ Pile Cap ควรจะเรียบและได้ระดับอยู่ในแนวราบ เพื่อให้หน่วยแรงที่เกิดจากการกระแทกของค้อนน้ำหนักกระจายอย่างสม่ำเสมอ

## 8.3 วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

8.3.1 วัสดุและเครื่องมือเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 4945 – 89 และ AASHTO T298 – 93

8.3.2 เครื่องมือทดสอบเสาเข็มประกอบด้วย เครื่องมือวิเคราะห์ PDA (Pile Driving Analyzer) รุ่น GCPC หรือ PAK ตัว Transducers (Strain Gauges และ Accelerometers) และสายสัญญาณซึ่งใช้ต่อเชื่อมระหว่างเครื่องมือวิเคราะห์ PDA และ ตัว Transducers

8.3.3 ปืนจั่นและลูกค้อนน้ำหนัก สามารถใช้ปืนจั่นและลูกค้อนน้ำหนักที่ใช้ในการตอกเสาเข็มได้ กรณีที่ไม่มีปืนจั่นสามารถประยุกต์ใช้รถเครนและลูกค้อนได้

8.3.4 ที่เป็นเสาเข็มเจาะต้องมีการปรับแต่งหัวเสาเข็มให้เรียบ หรือทำการ Pile Cap

เพื่อให้หัวเสาเข็มมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงกระแทกที่เกิดจากการปล่อยตุ้ม โดยใช้ซีเมนต์เกรทท์กำลังสูงชนิดไม่มีผงโลหะในการหล่อทับหัวเสาเข็มที่ทำการ Pile Cap แล้ว

#### 8.4 วิธีการทดสอบ

8.4.1 การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 4945 – 89 และ AASHTO T 298 – 93

##### 8.4.2 ทำการ Pile Cap

8.4.3 ทำการติดตั้ง Strain และ Accelerometer อย่างละ 2 ชุด จะถูกติดตั้งตำแหน่งบริเวณหัวเสาเข็มบนด้านตรงข้ามซึ่งกันและกัน ตำแหน่งที่ติดตั้งจะต่ำกว่าหัวเข็มประมาณ 1.5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม บางครั้งขั้นตอนการติดตั้งอาจมีความจำเป็นต้องขุดดินบริเวณรอบเสาเข็ม ซึ่งจุดดังกล่าวควรจะสะอาดและปราศจากน้ำท่วมขัง

8.4.4 ทำการติดตั้งตุ้มน้ำหนักและระยะยก ตุ้มน้ำหนักควรมีน้ำหนักอย่างน้อย 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักออกแบบบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม หรือมากกว่านั้น ตุ้มน้ำหนักที่นิยมใช้ในการทดสอบ จะมีขนาด 4, 8 และ 20 ตัน ตามความเหมาะสมของขนาดเสาเข็มและกำลังรับน้ำหนัก

ระยะยกเพื่อปล่อยตุ้ม จะถูกกำหนดตามประสบการณ์ของวิศวกรผู้ชำนาญการในงานทดสอบหรืออาจจะคำนวณได้โดยใช้โปรแกรม GRLWEAP ( Wave Equation Analysis Program) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่จะใช้ในการพิจารณาจะประกอบไปด้วย

- หน่วยแรงเค้นสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นในเสาเข็ม
- น้ำหนักตุ้ม
- ประสิทธิภาพของระบบปล่อยตุ้มน้ำหนัก
- น้ำหนักออกแบบของเสาเข็ม

ก่อนการทดสอบ ควรจะมีการทดสอบปล่อยตุ้มกระแทกหัวเข็มด้วยระยะยกสั้นๆ เพื่อตรวจสอบสัญญาณและให้ไม้รองหัวเสาเข็ม (wooden cushion) เข้าที่ แผ่นไม้ดังกล่าวติดตั้งไว้

บนหัวเข็มเพื่อช่วยให้หน่วยแรงเค้นที่เกิดจากการกระแทกค้ำน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอลงบนหัวเสาเข็ม และป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับหัวเข็ม

8.4.5 การขยักค้ำค้ำกระแทกลงบนหัวเสาเข็มนั้นอาจจะขยักจำนวน 2-4 ครั้ง โดยในระยขยักต่างกัน เพื่อเป็นการ Apply พลังงาน ซึ่งในระยขยักต่าง ๆ ตัว Transducers ที่ติดตั้งด้านข้างของเสาเข็มจะทำการรับสัญญาณแล้วส่งต่อไปยังเครื่องวิเคราะห์ PDA (Pile Driving Analyzer) เพื่อเก็บสัญญาณและปรากฏต่างๆ ที่ต้องการ เช่นค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุก ค่าการขยักตัว ค่า Stress ที่เกิดขึ้น ค่าความสมบรณ์ของเสาเข็ม ฯลฯ บนจอเครื่องวิเคราะห์ PDA โดยปล่อยค้ำด้วยระยขยักที่เหมาะสมให้เสาเข็มเกิดการขยักตัวถาวรประมาณ 3 มิลลิเมตร ค่าการขยักตัวถาวรที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งในการปล่อยค้ำค้ำกระแทกสามารถวัดได้โดยใช้กล้อง Theodolite

## 8.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

กำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (Pile Capacity)

จากผลการทดสอบสามารถวิเคราะห์หาลำกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มได้ 2 วิธี ดังนี้

- Case – Method วิธีการนี้เป็นวิธีการง่ายๆ และทำได้รวดเร็วในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ อาศัยหลักการเคลื่อนที่ของคลื่น 1 มิติ ทันทีหลังการทดสอบ Pile Driving Analyzer (PDA) จะคำนวณค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วย Case – Method สำหรับค่า damping ( $J_c$ ) ที่กำหนดให้ ตามสมการข้างล่างนี้

$$R_s = (1 - J_c) [F_{m,1} + ZU_{m,1}] / 2 + (1 + J_c) [F_{m,2} + ZU_{m,2}] / 2$$

$J_c$  คือค่า Case Damping แปรผันกับขนาดอนุภาคของเม็ดดิน สัญลักษณ์ 1 และ 2 จะหมายถึงที่เวลา  $t_1$  และ  $t_2 = t_1 + 2L/c$  ตามลำดับ  $t_1$  สามารถพิจารณาให้เป็นจุดแรกที่สัญญาณมีค่าความเร็วสูงสุด

ตารางที่ 24 ค่า Damping Constant JC

| ชนิดของดิน  | ค่า Damping Constant (JC) |
|-------------|---------------------------|
| Clean Sands | 0.10-0.15                 |
| Silty Sands | 0.15-0.25                 |
| Silts       | 0.25-0.4                  |
| Silts Clays | 0.40-0.70                 |
| Clays       | 0.70-1.00                 |

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CAPWAP เป็นขั้นตอนในการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม จากผลการทดสอบโดยวิธีไดนามิก ที่ถูกต้องและแม่นยำกว่าวิธีอื่น จากสัญญาณของแรงและความเร็ว สามารถคำนวณคลื่นความเค้นหรือแรงที่วิ่งลงวิ่งขึ้นได้ดังนี้

$$F_{um,j} = \frac{F_{m,j-F} - ZU_{m,j}}{2}$$

$$F_{dm,j} = \frac{F_{m,j-F} - ZU_{m,j}}{2}$$

ที่เวลา  $j$  กำหนดให้ แรง ; ความเร็วและแรงที่เคลื่อนที่ลง เท่ากับ  $F_{m,j}$  ,  $U_{m,j}$  และ  $F_{dm,j}$  ตามลำดับ (m คือ ตัวแปรที่ได้จากการวัดในสนาม ) จาก pile – soil model ประกอบกับการสมมติค่าตัวแปรต่างๆ เช่นแรงต้านทานของดิน (แรงเสียดทานผิวและแรงต้านทานปลายเข็ม ) , Quake , soil Damping และอื่นๆ สามารถที่จะคำนวณค่าความเร็ว  $U_{c,j}$  , แรง  $F_{c,j}$  และแรงในทิศทางเคลื่อนที่ขึ้น ( $F_{um,j}$ ) ณ เวลา  $j$  ได้ค่าที่คำนวณได้ดังกล่าวจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่วัดได้ในสนาม ตัวแปรต่างๆ ที่สมบัติขึ้นจะถูกปรับเปลี่ยนจนกระทั่งผลลัพธ์จากการคำนวณสอดคล้องกับผลที่วัดได้ในสนาม เมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์ก็จะทราบถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ดังเช่น

- แรงเสียดทานผิว
- แรงต้านทานที่ปลายเข็ม

- ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัว
- หน่วยแรงเกินที่เกิดขึ้นระหว่างการตอกเข็ม

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CAPWAP ก็จะสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วย Case – Method

#### 8.6 ความสมบูรณ์ของเสาเข็ม (Pile integrity)

สำหรับเสาเข็มที่มีหน้าตัดและคุณสมบัติสม่ำเสมอตลอดความยาว คลื่นความเค้นดึงที่เคลื่อนที่ขึ้นเนื่องจากการสะท้อนที่ปลายเข็ม ควรจะแสดงสัญญาณอย่างชัดเจนที่เวลาเท่ากับ  $2L/C$  หลังจากการกระทบของค้อนน้ำหนัก หากพบว่าคลื่นความเค้นดึงสะท้อนก่อนเวลา  $2L/C$  แสดงถึงการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า impedance (ค่าคงที่เปลี่ยนแปลงเมื่อพื้นที่และคุณสมบัติของวัตถุเปลี่ยนไป) ในกรณีที่พิจารณาว่าคุณสมบัติของวัตถุคงที่ การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัด ( $\beta = Z_2 / Z_1$ ) สามารถหาได้จากสมการ

$$\beta = \frac{F_{dm,1} - R_x + F_{um,4}}{F_{dm,1} - F_{um,4}}$$

ณ เวลา  $t_4$  คือเวลาที่คลื่นความเค้นดึงแสดงสะท้อนกลับก่อนเวลา  $2L/C$  และ  $R_x$  คือผลรวมของแรงต้านทานเหนือระยะ  $X = Ct_{4/2}$  ที่มีขนาดหน้าตัดเปลี่ยนแปลงเมื่อ  $C$  คือความเร็วคลื่นในวัตถุ

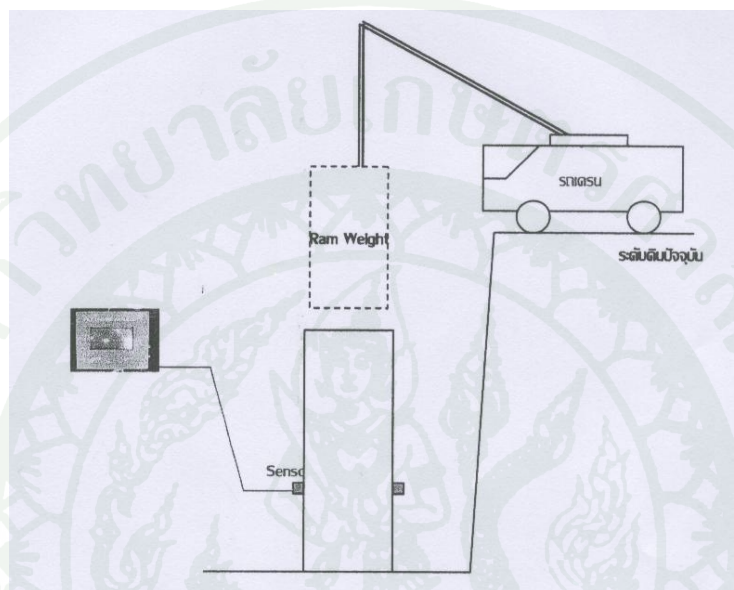
ในการวิเคราะห์ด้วย CAPWAP สามารถที่จะวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัดหรือความไม่ต่อเนื่องได้ เช่น ในเสาเข็มตอกที่บางครั้งเสาเข็มมีความบกพร่อง เนื่องจากการตอกเสาเข็มด้วยระยะยกที่สูงเกินไป

#### 8.7 ผลการทดสอบ

จากการทดสอบจะให้ข้อมูลและผลการทดสอบของเสาเข็มดังนี้

- ข้อมูลเสาเข็ม
- ข้อมูลการทดสอบ
- กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มการกระจายหน่วยแรงเสียดทานผิว
- แรงต้านทานที่ปลายเข็ม

- ความสมบูรณ์ของเสาเข็ม
- ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัว
- บทสรุป (บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด ,2552)



ภาพที่ 33 หลักการทดสอบวิธีไดนามิก

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

#### 9. หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธีไดนามิก

ในการทดสอบวิธีนี้ วิศวกรผู้ออกแบบได้กำหนดให้ทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มทดสอบ โดยทดสอบตามมาตรฐาน Modified ASTM D 4945 -96 โดยมีรายละเอียดดังนี้

มาตรฐาน ASTM D4945 ความสำคัญและการใช้

จากการวัดกำลังหรือความเค้น และการเร่ง ความเร็ว หรือการเอาตัวแปลงสัญญาณออก วิธีการทดสอบนี้ได้กำลังและความเร็วที่ดึงมาเป็นเสาเข็มในระหว่างเหตุการณ์ axial impact event วิศวกรอาจจะวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาด้วยการใช้หลักการและการตัดสินใจทางวิศวกรรมเพื่อประเมิน

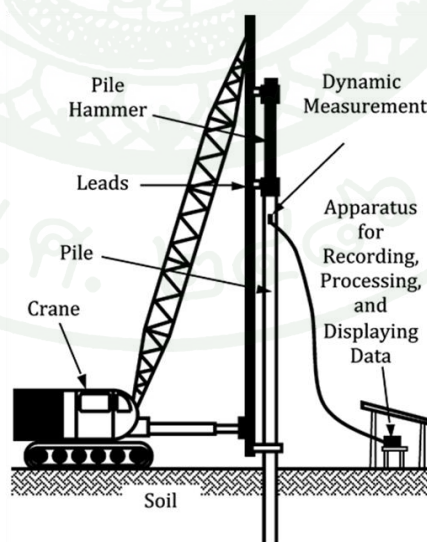
หาความสมบูรณ์ของเสาเข็ม การทำงานของระบบแรงกระแทกและแรงอัดสูงสุดและแรงดึงที่เกิดขึ้นในเสาเข็ม

ถ้าการเคลื่อนที่แนวแกน (axial movement) เกิดขึ้นในระหว่าง impact event และจากการประเมินการตอบสนองดินพลวัตรที่เป็นผลตามมาจากแนวแกนและด้านล่างของเสา วิศวกรอาจจะวิเคราะห์ผลของการทดสอบไดนามิกความเค้นสูงเพื่อประเมินความสามารถ axial static compression สูงสุด ปัจจัยที่อาจมีผลต่อความสามารถ axial static ที่ประเมินจากการทดสอบไดนามิก แต่ไม่ได้จำกัดอยู่แค่การกระบวนกรติดตั้งเสาเข็มเวลาที่ผ่านตั้งแต่การติดตั้งแรกเริ่ม คุณสมบัติและไคเมนชันของวัสดุทำเสาเข็มชนิด, ความหนาแน่น, ความแข็งแรง, การแบ่งเป็นชั้น และความอึดตัวของดินหรือหินหรือทั้งคู่ที่อยู่ข้างเคียงและอยู่ข้างใต้เสาเข็มคุณภาพหรือชนิดของข้อมูลการทดสอบไดนามิกการทรูหนาราก วิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจและประสบการณ์ทางวิศวกรรม ถ้าวิศวกรไม่มีประสบการณ์ก่อนหน้านี้ที่เพียงพอกับปัจจัยเหล่านี้และด้วยการวิเคราะห์ของข้อมูลการทดสอบไดนามิกแล้วการทดสอบการรองรับเชิงสถิตที่ดำเนินการตามวิธีการทดสอบ D 1143 ควรจะใช้เพื่อตรวจสอบการประเมินการรองรับเชิงสถิตและการกระจายไปตามความยาวของเสาเข็ม วิธีการทดสอบ D 1143 เป็นวิธีการวัดการรองรับเชิงสถิตตรงและน่าเชื่อถือได้มากกว่า

การวิเคราะห์การทดสอบไดนามิกจะอยู่ภายใต้การทำนายการรองรับแรงอัดเชิงสถิต axial static ถ้าการเคลื่อนที่ของเสาเข็มระหว่าง impact event นั้นน้อยเกินไป วิศวกรควรจะหาขนาดของขนาดและรูปร่างของเสาเข็มและคุณสมบัติของดินหรือหินที่อยู่ใต้หรือใกล้เสาเข็มที่มีผลต่อจำนวนของการเคลื่อนไหวที่จำเป็นต่อการเคลื่อนที่เต็มของการรองรับเชิงสถิต การเจาะสุทธิดาวที่เล็กน้อยประมาณ 2 มิลลิเมตร ต่อผลกระทบอาจจะบ่งชี้ว่าการเคลื่อนที่ที่เพียงพอได้เกิดขึ้นในระหว่าง impact event จนถึงการเคลื่อนย้ายเต็มความสามารถ อย่างไรก็ตามการถอน driven pile อาจจะจำเป็นต้องมีการเคลื่อนย้ายที่มากกว่าเพื่อหลีกเลี่ยงความสามารถในการรองรับเชิงสถิตที่อยู่ใต้การทำนาย และเสาเข็มหล่อในที่ (cast-in-place pile) มักจะจำเป็นต้องมีการเจาะสุทธิดาวระสมที่มากกว่าสำหรับชุดการทดสอบต่อการย้ายเต็มความสามารถ การรองรับเชิงสถิตอาจจะลดลงหรือเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปหลังจากวางเสาเข็ม การทดสอบเชิงไดนามิกและสถิตแสดงถึงความสามารถที่เวลาในการทดสอบถัดไป สหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถ axial static compression และการประเมินทดสอบไดนามิกโดยทั่วไปแล้วเพิ่มขึ้นเมื่อใช้การทดสอบการตอกซ้ำไดนามิกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของดินกับเวลา

แม้ว่าการตีความการวิเคราะห์การทดสอบไดนามิกอาจจะให้การประเมินความเค้นของเสา (ยกขึ้น) ผู้ใช้มาตรฐานนี้นั้นถูกเตือนให้ตีความตามอนุรักษนิยม ความต้านทานในแนวข้างประเมินจากการวิเคราะห์ของตำแหน่งการวัดไดนามิกเดียว และเพื่อหลีกเลี่ยงการประเมินการรองรับความเค้นร่วมกันกับเสาเข็มที่ฝังลงไปน้อยกว่า 10 เมตร (ตัวแปลงส่วนเพิ่มที่ฝังลงไปใกล้ pile toe อาจจะช่วยเพิ่มการประเมินการรองรับความเค้น) ถ้าวิศวกรไม่มีประสบการณ์ที่ผ่านมาเพียงพอในพื้นที่เฉพาะและชนิดของเสาพร้อมกับการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบไดนามิกสำหรับการรองรับความเค้น แล้วการทดสอบการรองรับเชิงสถิตที่ดำเนินการตามวิธีการทดสอบ D3689 ควรจะถูกใช้เพื่อพิสูจน์การประเมินการรองรับความเค้น วิธีการทดสอบ D3689 นั้นเป็นการวัดการรองรับความเค้นเชิงสถิตทางตรงที่มีความน่าเชื่อถือมากกว่า

คุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบนี้ขึ้นอยู่กับศักยภาพของการทำงานส่วนบุคคลที่ใช้งานและความเหมาะสมของเครื่องมือและสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ หน่วยงานที่ทำตามเกณฑ์ข้อปฏิบัติ D3740 นั้นโดยทั่วไปก็สามารถที่จะตรวจสอบ/หีบสุม/ทดสอบได้อย่างมีความสามารถตามวัตถุประสงค์ได้ ผู้ใช้วิธีการทดสอบนี้ควรระวังว่าการทำตามเกณฑ์ข้อปฏิบัติ D3740 นั้นโดยตัวมันเองก็ไม่ได้รับรองความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ ซึ่งผลที่น่าเชื่อถือได้นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเกณฑ์ข้อปฏิบัติ D3740 นั้นให้วิธีการในการประเมินปัจจัยเหล่านั้นบางส่วน



ภาพที่ 34 Typical Arrangement for High-Strain Dynamic Testing of a Deep Foundation

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

## 9.1 ขอบเขต

9.1.1 วิธีการทดสอบไดนามิกนี้ครอบคลุมกระบวนการสำหรับการมาประยุกต์เข้ากับแรง axial impact force กับ pile driving hammer หรือ large drop weight ที่จะทำให้เกิดความเค้นสูงที่ด้านบนของหน่วยฐานรากลึกที่เอียงหรือในแนวตั้งและสำหรับการวัดแรงและความเร็วตอบสนองของฐานรานั้น การทดสอบไดนามิกความเค้นสูงนี้นำมาใช้การงานฐานรากลึกใดๆก็ได้และก็รวมถึงเสาเข็มในที่นี้ที่มีการทำงานคล้ายกับเสาเข็มตอกหรือเสาเข็มหล่อในที่ (cast in place) โดยไม่ต้องคำนึงถึงวิธีการตอกแต่เป็นไปตามที่วิธีการทดสอบนี้ต้องมี

9.1.2 มาตรฐานนี้เป็นข้อกำหนดขั้นต่ำสุดสำหรับการทดสอบเชิงไดนามิกสำหรับฐานรากลึก แพลนงาน, สเปกงานหรือการควบคุมตรวจสอบงาน (หรือทั้งหมดรวมกัน) ที่จัดเตรียมโดยวิศวกรที่มีคุณสมบัตินั้นอาจจะเป็นข้อกำหนดเพิ่มเติมที่ควรมีรวมถึงกระบวนการที่จำเป็นต้องมีเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ของโปรแกรมการทดสอบเฉพาะ วิศวกรที่รับผิดชอบในการออกแบบวางฐานรากซึ่งในที่นี้หมายถึง “วิศวกร” จะรับรองความเปลี่ยนแปลง, การชี้แจงหรือการเพิ่มเติมข้อกำหนดของมาตรฐานนี้

9.1.3 การดำเนินการและการประเมินที่เหมาะสมของการทดสอบไดนามิกความเค้นสูงจำเป็นต้องใช้ประสบการณ์และความรู้พิเศษ วิศวกรที่มีคุณสมบัติควรที่จะควบคุมดูแลการหาข้อมูลภาคสนามและการแปลความหมายของผลการทดสอบเพื่อที่จะสามารถทำนายการทำงานจริงและความลึกที่เพียงพอที่ใช้ในการก่อสร้างฐานราก วิศวกรที่มีคุณสมบัติจะรับรองเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทำ impact force, การตอกส่วนเสริม (driving appurtenance) การโยกการทดสอบ (test riggings), เครื่องจักรกว้าน, โครงรองรับ, เทมเพลตและกระบวนการทดสอบ

9.1.4 เนื้อหาของอ้างอิงมาตรฐานและเชิงอรรถที่เป็นคำอธิบายเสริม (ไม่รวมตารางและรูปภาพ) จะไม่นับว่าอยู่ในข้อกำหนดที่ควรมี คำว่า “จะ” ที่ใช้ในที่นี้คือการควบคุมตามคำสั่ง และคำว่า “ควรจะ” จะหมายถึงคำแนะนำหรือการควบคุมในเชิงปรึกษา ประโยคบังคับนั้นหมายถึงการควบคุมตามคำสั่ง

9.1.5 ค่าที่กล่าวในหน่วย SI นั้นนับเป็นมาตรฐาน ไม่มีหน่วยการวัดอื่นใดกล่าวถึงในที่นี้อีกแล้ว

9.1.6 ค่าสังเกตและคำนวณทั้งหมดจะเป็นแนวทางสำหรับตัวเลขนี้สำคัญและเป็นค่าทั่วไปสำหรับใช้ในข้อปฏิบัติ D6026

9.1.7 วิธีที่ใช้เพื่อระบุถึงข้อมูลที่เก็บ, คำนวณหรือบันทึกในมาตรฐานนี้นั้นไม่ได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับความแม่นยำของข้อมูลที่สามารถเอามาประยุกต์ในการออกแบบหรือการใช้อื่นๆหรือทั้งสองอย่าง วิธีที่จะนำผลที่ได้จากการใช้มาตรฐานนี้ไปประยุกต์ใช้นั้นอยู่นอกเหนือขอบเขต

9.1.8 มาตรฐานนี้ไม่ได้มีความหมายที่จะกล่าวถึงความกังวลในเรื่องความปลอดภัย (ถ้ามี) ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ มันเป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้มาตรฐานนี้ในการตั้งข้อปฏิบัติด้านคุณภาพและความปลอดภัยที่เหมาะสมและหาข้อจำกัดกฎระเบียบและการประยุกต์ใช้งาน

## 9.1 เอกสารอ้างอิงมาตรฐาน ASTM

วิธีการทดสอบ C 469: สำหรับ Static Modulus ของไฟฟ้าและอัตราส่วนพัชของสของคอนกรีตในแรงอัด

วิธีการทดสอบ D 1143/D1143M: สำหรับฐานรากลึกที่อยู่ใต้ Static Axial Compressive Load

วิธีการทดสอบ D 198: สำหรับการทดสอบเชิงสถิตของท่อนขงขนาดที่เป็น โครงสร้าง

วิธีการทดสอบ D 3689: สำหรับฐานรากลึกที่อยู่ใต้ Static Axial Tensile Load

ข้อปฏิบัติ D 3740: เป็นข้อจำกัดขั้นต่ำของหน่วยงานที่เข้าร่วมอยู่ในการทดสอบและหรือการตรวจสอบดินและหินที่ใช้ในการออกแบบและก่อสร้างทางวิศวกรรม

ข้อปฏิบัติ D6026: สำหรับการใส่ตัวเลขนี้สำคัญในข้อมูล Geotechnical

D 653: คำศัพท์เฉพาะทางที่เกี่ยวกับดิน, หิน และของเหลวที่อยู่ภายใน (บริษัท เอ็น.ดี. ที. เทคโนโลยี จำกัด ,2552)

## 10 หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบความสมบูรณ์ของคอนกรีต ด้วยวิธีเซซามิก

ในการทดสอบวิธีนี้ วิศวกรผู้ออกแบบได้กำหนดให้ทำการทดสอบความสภาพความสมบูรณ์ต่อเนื่องของเนื้อคอนกรีตของเสาเข็มทดสอบ โดยทดสอบตามมาตรฐาน Modified ASTM D 5882 -96 โดยมีรายละเอียดดังนี้

มาตรฐาน ASTM D5882ความสำคัญและการใช้

การทดสอบความสมบูรณ์ Low strain impact ซึ่งทดสอบข้อมูลความเร่งหรือความเร็วและกำลัง (เลือกเอา) ขององค์ประกอบโครงสร้างทรงกระบอก (นั่นคือ โครงสร้างของเสาเสาเข็มคอนกรีตตอก เสาเข็มคอนกรีตหล่อในที่, เสาเข็มคอนกรีตท่อเหล็กฝังใน, เสาท่อนซุง) วิธีนี้ทำงานได้ดีที่สุดในส่วนที่เป็นคอนกรีตแข็ง (Solid concrete) และมีการใช้ที่จำกัดในท่อเหล็กที่กลวง, เสาเข็ม H-pile หรือเสาเข็มเหล็กแผ่น ข้อมูลเหล่านี้ช่วยในการประเมินความสมบูรณ์ของเสาและไคเมนชั้นทางกายภาพของเสา (ซึ่งก็คือพื้นที่ภาคตัดขวาง, ความยาว) ความต่อเนื่องและความสม่ำเสมอของวัสดุทำเสาแม้ว่าการประเมินค่านั้นจะเป็นการประมาณและไม่ชัดเจน วิธีการทดสอบนี้ไม่ได้ให้ข้อมูลในเรื่องความสามารถในการรองรับเสาเข็ม

### วิธีการทดสอบ

1. วิธี Pulse echo method (PEM) วัดการเคลื่อนที่ของหัวเสาเป็นฟังก์ชันเวลา (สัมพันธ์กับเวลา) แล้วบันทึกเวลานี้มาประเมินถึงความสมบูรณ์ของเสา
2. วิธี Transient Response Method (TRM) วัดแรงและการเคลื่อนที่ของหัวเสา (วัดด้วยเครื่องตอก) ว่าเป็นความสัมพันธ์กับเวลา ข้อมูลที่เอามาประเมินนี้มักจะเป็นความถี่

### 10.1 ขอบเขต

10.1.1 วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมกระบวนการในการหาความสมบูรณ์ของเสาเอียงหรือเสาแนวตั้งโดยการวัดและวิเคราะห์ความเร็ว (ที่จำเป็น) และแรง (ตัวเลือก) ตอบสนองของเสาที่เกิดจาก (หมอนที่ใช้มัดตอกหรืออุปกรณ์อื่นๆที่คล้ายกัน) อุปกรณ์สร้างแรงกระทบที่เอามาตอกหัวเสาทั้งในแนวแกนและแนวตั้งฉาก วิธีการทดสอบนี้สามารถเอามาใช้กับส่วนประกอบทางโครงสร้างที่ยาวที่ทำงานในลักษณะที่คล้ายกับฐานรากลึกใดๆ (อย่างเช่นเสาเข็มตอก เสา auger

หรือ drill shaft) โดยไม่ต้องคำนึงถึงวิธีการติดตั้งใดๆ หากว่ามันสามารถที่จะรับการทดสอบ low strain impact ได้

10.1.2 มาตรฐานนี้เป็นข้อกำหนดขั้นต่ำสุดสำหรับการทดสอบ low strain impact สำหรับเสาเข็ม แพลนงาน, สเปกงานหรือการควบคุมตรวจสอบงาน ที่จัดเตรียมโดยวิศวกรที่มีคุณสมบัติและได้รับการรับรองโดยหน่วยงานที่ต้องการทดสอบ นั้นอาจจะเป็นข้อคุณสมบัติส่วนเพิ่มที่ควรมี เพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ของโปรแกรมการทดสอบเฉพาะ

10.1.3 เนื้อหาอ้างอิงมาตรฐานและเชิงอรรถที่เป็นคำอธิบายเสริม (ไม่รวมตารางและรูปภาพ) จะไม่นับว่าอยู่ในข้อกำหนดที่ต้องมี

10.1.4 ค่าที่กล่าวในหน่วย SI นั้นนับเป็นมาตรฐาน ไม่มีหน่วยการวัดอื่นใดกล่าวถึงในที่นี้อีกแล้ว

10.1.5 คำสังเกตและจำนวนทั้งหมดจะเป็นแนวทางสำหรับตัวเลขนี้สำคัญและเป็นค่าทั่วไปสำหรับใช้ในข้อปฏิบัติ D6026

10.1.6 วิธีที่ใช้เพื่อระบุถึงข้อมูลที่เก็บ, จำนวนหรือบันทึกในมาตรฐานนี้นั้นไม่ได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับความแม่นยำของข้อมูลที่สามารถเอามาประยุกต์ในการออกแบบหรือการใช้อื่นๆหรือทั้งสองอย่าง วิธีที่จะนำผลที่ได้จากการใช้มาตรฐานนี้ไปประยุกต์ใช้นั้นอยู่นอกเหนือขอบเขต

มาตรฐานนี้อาจจะรวมถึงวัสดุ, การดำเนินการและอุปกรณ์ที่อันตรายมาตรฐานนี้ไม่ได้มีความหมายที่จะกล่าวถึงความกังวลในเรื่องความปลอดภัย (ถ้ามี) ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ มันเป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้มาตรฐานนี้ในการตั้งข้อปฏิบัติด้านสุขภาพและความปลอดภัยที่เหมาะสมและหาข้อกำหนดกฎระเบียบและการประยุกต์ใช้งาน

คุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบนี้ขึ้นอยู่กับศักยภาพของการทำงานส่วนบุคคลที่ใช้งานและความเหมาะสมของเครื่องมือและสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆที่ใช้งานหน่วยงานที่ทำตามเกณฑ์ข้อปฏิบัติ D3740 นั้นโดยทั่วไปก็สามารถที่จะตรวจสอบ/หีบสุม/ทดสอบได้อย่างมี

ความสามารถตามวัตถุประสงค์ได้ ผู้ใช้วิธีการทดสอบนี้ควรระวังว่าการทำตามเกณฑ์ข้อปฏิบัติ D3740 นั้น โดยตัวมันเองก็ไม่ได้รับรองความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ ซึ่งผลที่น่าเชื่อถือได้นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเกณฑ์ข้อปฏิบัติ D3740

## 10.2 เอกสารอ้างอิงมาตรฐาน ASTM

ข้อปฏิบัติ D 3740: เป็นข้อจำกัดขั้นต่ำของหน่วยงานที่เข้าร่วมอยู่ในการทดสอบ/และ/หรือ การตรวจสอบดินและหินที่ใช้ในการออกแบบและก่อสร้างทางวิศวกรรม

ข้อปฏิบัติ D6026: สำหรับการใช้ตัวเลขนัยสำคัญในข้อมูล Geotechnical

D 653: คำศัพท์เฉพาะทางที่เกี่ยวกับดิน, หิน และของเหลวที่อยู่ภายใน  
(บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด, 2552)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม SEISMIC TEST

1. เครื่องมือทดสอบ P.I.T Collector เป็นตัวบันทึกสัญญาณที่ได้จากการทดสอบ
2. ตัวรับสัญญาณความเร่ง (Accelerometer) เป็นหัววัดสัญญาณที่มีความไวสูง ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงสัญญาณจาก Analog Data ไปเป็น Digital Data
3. ค้อนที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษ (Hand Held Hammer ) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวให้พลังงานความเค้นผ่านลงไปในตัวเสาเข็มแล้วนำสัญญาณสะท้อนมาวิเคราะห์แปลผล



ภาพที่ 35 เครื่องมือทดสอบ P.I.T Collector ,ตัวรับสัญญาณความเร่ง (Accelerometer) และค้อนที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษ (Hand Held Hammer )

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

## 2. การทดสอบกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบ Dynamic Load Test

1. เครื่อง PDA (Pile Driving Analyzer )
2. Transducers (Strain Gauges และ Accelerometer ) และสายสัญญาณและต่อเชื่อมต่อระหว่างเครื่อง PDA (Pile Driving Analyzer ) และตัว Transducers
3. รถเครน หรือปั้นจั่นที่ใช้ในการตอกเข็มได้
4. คຸ່ມນຳນຳນຳและบันไดเหล็กที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม



ภาพที่ 36 Strain Gauges และ Accelerometer

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)



(a)

(b)

ภาพที่ 37 เครื่อง PDA (Pile Driving Analyzer )

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)



ภาพที่ 38 รถเครนที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)



ภาพที่ 39 ดัมน้ำหนักที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

## วิธีการ

### 1. การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มแบบเซซามิก

#### 1.1 การหาข้อมูล

ศึกษาค้นคว้าวิธีการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วย วิธีแบบเซซามิก ได้ดำเนินการติดต่อสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม กับบริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด ซึ่งดำเนินการทดสอบโครงการงานก่อสร้างที่พักอาศัยขนาดสูง 8 ชั้น Escape Condominium ซอยอุดมสุข 51 ถนนสุขุมวิท กรุงเทพมหานคร และโครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานอธิการบดี จำนวน 1 หลัง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา อำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในครั้งนี้ และนอกจากนี้แล้วทางบริษัทได้ให้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลการทดสอบจากหนังสือและแหล่งข้อมูลอื่นหลายแหล่งด้วยกันในการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ โดยข้อมูลหลัก ๆ ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด ซึ่งเป็นหัวข้ออธิบายหลักการทดสอบ รวมทั้งทฤษฎีและวิธีการวิเคราะห์ผล

#### 1.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

##### 1.2.1 การติดต่อประสานงาน

การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มวิธีแบบเซซามิก ได้ดำเนินการติดต่อกับ บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด ให้ซึ่งทางบริษัทก็ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาการทดสอบในครั้งนี้เป็นอย่างดี รวมถึงข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มวิธีแบบเซซามิก ในการทดสอบโครงการงานก่อสร้างที่พักอาศัยขนาดสูง 8 ชั้น Escape Condominium ซึ่งเป็นการทดสอบเสาเข็มสี่เหลี่ยมจำนวน 1 ต้น เป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปสี่เหลี่ยมขนาด  $0.35 \times 25.00$  เมตร และโครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ซึ่งเป็นการทดสอบเสาเข็มสี่เหลี่ยมทั้งหมดจำนวน 24 ต้น เป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปสี่เหลี่ยมขนาด  $0.30 \times 18.00$  เมตร จำนวน 24 ต้น

### 1.2.2 โครงการและตำแหน่งที่ทดสอบ

การศึกษาการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม วิธีแบบเซซามิก ได้ดำเนินการศึกษาการทดสอบจริงจากโครงการงานก่อสร้างที่พักอาศัยขนาดสูง 8 ชั้น Escape Condominium ซอยอุดมสุข 51 ถนนสุขุมวิท กรุงเทพมหานคร ซึ่งทำการทดสอบเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม 2552 และโครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานอธิการบดี จำนวน 1 หลัง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา อำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยาซึ่งทำการทดสอบเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2552

### 1.2.3 เสาเข็มที่ทำการทดสอบ

เสาเข็มที่ทำการทดสอบมีทั้งสิ้น 25 ต้น ซึ่งเป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปสี่เหลี่ยมขนาด  $0.30 \times 18.00$  เมตร จำนวน 24 ต้น และ  $0.35 \times 25.00$  เมตร จำนวน 1 ต้น โดยกำหนดให้ความเร็วคลื่นที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 3,800 เมตรต่อวินาที สำหรับเสาเข็มทุกต้นซึ่งค่าโดยทั่วไปจะเป็นตัวแทนคอนกรีต อย่างไรก็ตามความเร็วที่แท้จริงอาจจะมากกว่า หรือน้อยกว่าประมาณ 10% ของค่าที่กำหนดไว้ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยหลายๆ ประการ

### 1.2.4 วิธีการทดสอบ

#### ก. การเตรียมพื้นที่ในการทดสอบ

- 1) ทำการขุดหลุมฐานรากโดยจะต้องเคลียร์พื้นที่รอบเสาเข็มให้เรียบรื้อย
- 2) หาระดับของหัวเสาเข็ม เมื่อทำการขุดดินรอบๆ เสาเข็มเป็นหลุมฐานรากเรียบรื้อยแล้วจะต้องทำการหาระดับหัวเสาเข็มโดยหาระดับน้ำ แล้วดึงเส้นเชือกวัดระยะจากแนวเส้นเชือกมาที่ระดับหัวเสาเข็ม
- 3) หัวเสาเข็มเมื่อหาระดับวัดระยะหัวเสาเข็มใช้เครื่องตัดไฟฟ้าตัดโดยรอบของตัวเสาเข็ม



ภาพที่ 40 แสดงการวัดระยะหัวเสาเข็มโดยใช้เครื่องตัดไฟฟ้า

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

- 4) จากนั้นใช้เหล็ก วางที่หัวเสาเข็มโดยเหล็กสกัดจะต้องติดด้ามให้ยาวเพื่อสะดวกในการทำงานและเพื่อความปลอดภัยของผู้จับเหล็กสกัด
- 5) ใช้ค้อนตอกเหล็กสกัดลงที่ หัวเสาเข็มเพื่อให้คอนกรีตที่มีคุณภาพไม่ดี ออก เพราะคอนกรีตในระดับนี้มีน้ำโคลนผสมอยู่มาก
- 6) ทำการสกัดหัวเสาเข็มให้ได้ระดับ
- 7) ทำการแต่งระดับหัวเสาเข็มให้มีระดับเสมอกันโดยใช้ค้อนกับเหล็กสกัดที่ไม่ได้ต่อด้ามตอกลงไปที่หัวเสาเข็มให้ได้ระดับ



ภาพที่ 41 เสาเข็มที่ทำการสกัดผิวแล้ว

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

8) ทำการสกัดผิวหัวเสาเข็มจนถึงเนื้อคอนกรีตที่ดี

9) เสาเข็มที่พร้อมสำหรับ ทำการทดสอบซึ่งจะต้องสกัดคอนกรีต ส่วนที่ไม่ดีออกให้หมดและจะต้องใช้แปรงปัดเศษวัสดุออกให้หมด



ภาพที่ 42 รูปแสดงพื้นที่เคลียร์พร้อมที่จะทดสอบ

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

### จ. ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) ผู้ทดสอบจะต้องใช้แปรงปัดที่ผิวหัวเสาเข็มที่จะทำการทดสอบก่อนการทดสอบทุกครั้งเพื่อให้เศษวัสดุส่วนที่ไม่ต้องการออกให้หมด
- 2) ผู้ทดสอบจะทำการ ติดตั้ง Accelerometer ที่ผิวหัวของเสาเข็มการเก็บสัญญาณ(Accelerometer) จะติดตัวรับสัญญาณให้กระจายทั่วเสาเข็ม



ภาพที่ 43 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบ

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

- 3) ติดตั้งสายส่งสัญญาณเข้ากับเครื่อง PIT Collector
- 4) เมื่อทำการติดตั้งตัว Transducer สายส่งสัญญาณเข้ากับเครื่อง PIT Collector เรียบร้อยแล้วจากนั้นผู้ทดสอบจะใช้ค้อนเคาะไปที่ผิวหัวของเสาเข็มโดยใช้ค้อนเป็นตัวส่งถ่ายพลังงานในการเคาะแต่ละตำแหน่งนั้นจะเคาะประมาณ 3-4 ครั้งต่อตำแหน่ง



ภาพที่ 44 แสดงการทดสอบการใช้ก้อนเคาะที่ผิวเสาเข็ม

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

5) จากนั้นทำการย้าย ตัวรับสัญญาณซึ่งติดกับสายส่งสัญญาณมาติดที่ตำแหน่งใหม่ ซึ่งเสาเข็มหน้าตัดขนาด 0.6 เมตรจำนวนของตำแหน่งทดสอบประมาณ 3-4 จุด

6) ผลการทดสอบที่ได้จะเป็นกราฟความเร็วและความเร่งของคลื่นที่เดินทางผ่านเสาเข็มต่อความล้มพันธ์ของเวลา ซึ่งคลื่นเหล่านี้จะสะท้อนกลับต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเสาเข็ม



ภาพที่ 45 ผลการทดสอบที่แสดงเป็นกราฟความเร็วและความเร่งของคลื่น

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

7) จากนั้นก็ทำการทดสอบให้ครบจำนวนของเสาเข็มที่มีอยู่ในโครงการให้ครบทุกต้นก็เป็นอันว่าเสร็จการทดสอบงานในสนาม

### 1.2.5 การประมวล

ในการทดสอบสัญญาณคลื่นความสั่นสะเทือนกับเวลาจะบันทึกไว้ด้วย PIT Collector แสดงผลเป็นกราฟซึ่งจะนำตัวอย่างผลการทดสอบของเสาเข็ม

### 1.2.6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบการหาค่าความสมบูรณ์ของเสาเข็ม จะได้กราฟคลื่นสัญญาณความเร็วกับเวลาของเสาเข็มซึ่งสามารถคำนวณหาค่า  $\beta$  เท่ากับ 0.01 เมื่อนำค่า  $\beta$  ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับความสมบูรณ์ของเสาเข็มในตารางที่ 23 หน้า 75 จะสรุปได้ว่าเสาเข็มมีความสมบูรณ์

## 2. การทดสอบกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มวิธีแบบไดนามิก

### 2.1 การหาข้อมูล

ศึกษาค้นคว้าวิธีการทดสอบกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มวิธีแบบไดนามิก นั้น ได้ดำเนินการติดต่อสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบ บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด ซึ่งดำเนินการทดสอบโครงการก่อสร้างถนนพุทธมณฑลสาย 1 ช่วงถนนเพชรเกษมถึงสุขเขตกรุงเทพมหานคร สะพานข้ามคลอง - สะพานข้ามคลองบางน้อย โครงการก่อสร้างอาคารเรียนรวม 6 ชั้น พร้อมครุภัณฑ์ในห้องเรียน ศูนย์ฝึกพาณิชยน์วิชอย 6 ถนนสุขุมวิท อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ และโครงการก่อสร้างอาคารสำนักอธิการบดี จำนวน 1 หลัง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา อำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่ง บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด ให้เป็นผู้ทดสอบในครั้งนี้ และนอกจากนี้แล้วยังได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลการทดสอบจากหนังสือและแหล่งข้อมูลอื่นหลายแหล่งด้วยกันในการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ โดยข้อมูลหลัก ๆ ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด ซึ่งเป็นหัวข้ออธิบายหลักการทดสอบ รวมทั้งทฤษฎีและวิธีการวิเคราะห์ผล

## 2.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

### 2.2.1 การติดต่อประสานงาน

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มวิธีแบบไดนามิก ได้ดำเนินการติดต่อกับ บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด ซึ่งทางบริษัทก็ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาการทดสอบในครั้งนี้เป็นอย่างดีซึ่งทางบริษัทก็ได้อนุเคราะห์ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มวิธีแบบไดนามิก ในการทดสอบโครงการก่อสร้างถนนพุทธมณฑลสาย 1 ช่วงถนนเพชรเกษมถึงสุดเขตกรุงเทพมหานคร สะพานข้ามคลอง - สะพานข้ามคลองบางน้อย เป็นการทดสอบเสาเข็มจำนวน 4 ต้น เป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปสี่เหลี่ยมขนาด  $0.40 \times 24.00$  เมตร โครงการก่อสร้างอาคารเรียนรวม 6 ชั้น พร้อมครุภัณฑ์ในห้องเรียน ศูนย์ฝึกพาณิชยน์วิซัย 6 ถนนสุขุมวิท อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ เป็นการทดสอบเสาเข็มจำนวน 2 ต้น เป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปสี่เหลี่ยมขนาด  $0.35 \times 32.00$  เมตร และโครงการก่อสร้างอาคารสำนักอธิการบดี จำนวน 1 หลัง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา อำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นการทดสอบเสาเข็มจำนวน 1 ต้น เป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปสี่เหลี่ยมขนาด  $0.30 \times 18.00$  เมตร ทั้งหมดจำนวน 7 ต้น 3 โครงการ

### 2.2.2 โครงการและตำแหน่งที่ทดสอบ

การศึกษาการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มวิธีแบบไดนามิก ซึ่งได้ดำเนินการศึกษาการทดสอบจริงจากโครงการก่อสร้างถนนพุทธมณฑลสาย 1 ช่วงถนนเพชรเกษมถึงสุดเขตกรุงเทพมหานคร สะพานข้ามคลอง - สะพานข้ามคลองบางน้อย ซึ่งทำการทดสอบเมื่อวันที่ 15 ตุลาคม 2552 โครงการก่อสร้างอาคารเรียนรวม 6 ชั้น พร้อมครุภัณฑ์ในห้องเรียน ศูนย์ฝึกพาณิชยน์วิซัย 6 ถนนสุขุมวิท อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งทำการทดสอบเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2552 และโครงการก่อสร้างอาคารสำนักอธิการบดี จำนวน 1 หลัง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา อำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งทำการทดสอบเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2552 เสาเข็มที่ทำการทดสอบจำนวน 7 ต้น ใน 3 โครงการ ซึ่งวิธีแบบไดนามิกเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าหน่วยแรงในเสาเข็มเพื่อหาค่าหน่วยแรงในเสาเข็มระหว่างการตอก (Driving Stresses ) ค่าความสมบูรณ์ของเสาเข็ม (Pile integrity) ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ตอกเสาเข็ม (Hammer Performance) และค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (Pile,s Mobilized Capacity ) รวมทั้งค่าทรุดตัว (Settlement ) โดยใช้ Pile Driving Analyzer TM (PDA) ซึ่งจะทำการคำนวณค่าต่าง ๆ โดยใช้วิธีที่เรียกว่า Case Method ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 4945 และ AASHTO T 298

### 2.2.3 เสาเข็มที่ทำการทดสอบ

เสาเข็มที่ทำการทดสอบมีทั้งหมด 7 ต้น ได้แก่เสาเข็มตอกสี่เหลี่ยมตันขนาด  $0.40 \times 24.00$  เมตร , Sq  $0.35 \times 32.00$  เมตร และ  $0.30 \times 18.00$  เมตร กำหนดให้มีการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Maximum Load Capacity ) 75.0 ตันต่อต้น คิดเป็นน้ำหนักบรรทุกออกแบบปลอดภัย ( Safety Design Load ) 30.0 ตันต่อต้น โดยมีค่าสัดส่วนความปลอดภัย 2.5 เท่า (Safety Factor ) รายละเอียดของเสาเข็มทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 25

**ตารางที่ 25** ข้อมูลเสาเข็มทดสอบโครงการก่อสร้างถนนพุทธมณฑลสาย 1 ช่วงถนนเพชรเกษมถึง  
สุดเขตกรุงเทพมหานคร สะพานข้ามคลอง - สะพานข้ามคลองบางน้อย

| หมายเลขเสาเข็ม<br>ทดสอบ          | วันที่ทดสอบ  | ชนิดเสาเข็มทดสอบ<br>(Type of Pile ) | ขนาดเสาเข็ม<br>(Pile Size)     | ขนาดพื้นที่หน้าตัด<br>ตร.ชม.<br>(Area) |
|----------------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|
| Testpile -1<br>No.5<br>Pier 5/RT | 15 / 10 / 52 | Square Pile                         | $0.40 \times 24.00 -$<br>21.00 | 1600.0<br>เส้นรอบรูป 1.60              |

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

**ตารางที่ 26** ข้อมูลเสาเข็มทดสอบโครงการก่อสร้างอาคารเรียนรวม 6 ชั้น พร้อมครุภัณฑ์ใน  
ห้องเรียน ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวีชอย 6 ถนนสุขุมวิท อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

| หมายเลขเสาเข็ม<br>ทดสอบ               | วันที่ทดสอบ | ชนิดเสาเข็มทดสอบ<br>(Type of Pile ) | ขนาดเสาเข็ม<br>(Pile Size)     | ขนาดพื้นที่หน้าตัด<br>ต.ร.ชม.<br>(Area) |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
| Testpile<br>No.64<br>Line 3 - A       | 26 / 6 / 52 | Square Pile                         | $0.35 \times 32.00$<br>– 32.00 | 1225.0                                  |
| Testpile<br>No. 114<br>Line 2/3 – C/D | 26 / 6 / 52 | Square Pile                         | $0.35 \times 32.00$<br>– 32.00 | 1225.0                                  |

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

ตารางที่ 27 ข้อมูลเสาเข็มทดสอบโครงการก่อสร้างอาคารสำนักอธิการบดี จำนวน 1 หลัง  
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา อำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

| หมายเลขเสาเข็ม<br>ทดสอบ         | วันที่ทดสอบ  | ชนิดเสาเข็มทดสอบ<br>(Type of Pile ) | ขนาดเสาเข็ม<br>(Pile Size) | ขนาดพื้นที่หน้าตัด<br>ต.ร.ชม.<br>(Area) |
|---------------------------------|--------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| Testpile<br>No.12<br>Line 5 - A | 12 / 11 / 52 | Square Pile                         | 0.30 × 18.00<br>– 16.20    | 900.0                                   |

หมายเหตุ จุดศูนย์กลางอ้างอิงระดับดินเดิม GL – 0.900 เมตร

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

#### 2.2.4 วิธีการทดสอบ

##### ก. ขั้นตอนการเตรียมเสาเข็ม

- 1) ขุดหลุมฐานรากโดยให้ได้ขนาดตามแบบที่กำหนดและปรับแต่งบริเวณ  
ก้นหลุมให้ได้ระดับและผนัง เคลียร์พื้นที่รอบเสาเข็มให้เรียบรื้อยกก่อนเพื่อที่สามารถทำงานได้  
สะดวก
- 2) ตัดเสาเข็มในระดับที่คอนกรีตมีคุณภาพไม่ดีออกเพราะคอนกรีตใน  
ระดับนี้จะมีน้ำโคลนผสมอยู่มากทำให้คุณภาพคอนกรีตต่ำ
- 3) สกัดคอนกรีตที่เสียออกโดยใช้เหล็กสกัดดกกลงไปที่หัวเสาเข็มให้  
คอนกรีตแตกกระจายออกจากกัน
- 4) จากนั้นก็แต่งผิวเสาเข็มให้เรียบ
- 5) ทำการ Pile cap หัวเสาเข็มเพื่อให้หัวเสาเข็มมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะ  
รับแรงกระทำที่เกิดจากค้ำน้ำหนัก
- 6) ปูนซีเมนต์ที่ใช้จะใช้ปูนซีเมนต์เกรดที่กำลึงสูงชนิดไม่มีผงโลหะ เป็น  
ปูนซีเมนต์ผสมพิเศษไม่หดตัว เหมือนคอนกรีต หรือปูนฉาบธรรมดาให้กำลึงเหมาะกับงาน ดังนี้  
ฐานรองรับเครื่องจักร ใช้หล่อยึดน็อต อุดรอยต่อระหว่างพื้นผนังคอนกรีต ใช้ซ่อมเสา ฯลฯ

7) เคลียร์พื้นที่ในบริเวณงานก่อสร้างโดยเฉพาะบริเวณที่ทดสอบ บริเวณที่จะจอดรถและเลือกตำแหน่งที่จอดรถให้เหมาะสม และดูว่ามีอะไรที่อาจจะเป็นปัญหาในการทำงานบ้าง เช่นสายไฟฟ้า รื้อ เป็นดุ้น ควรดำเนินงานแก้ไขก่อนที่จะทำการทดสอบ

8) จัดเตรียมพื้นที่ในการทำงานให้พร้อม

ข. ขั้นตอนการทดสอบ

1) วัดระยะเพื่อที่จะระบุในการติดตั้ง Strain Gauges และ Accelerometer ที่หัวเสาเข็มในการวัดระยะ ถึง รูที่จะเจาะเพื่อติดตั้ง Accelerometer เป็นระยะ 1.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม

2) เจาะรูเพื่อติดตั้ง Strain Gauges Accelerometer ตามระยะที่ได้วัดไว้ โดยจะต้องเจาะทั้งสองด้านของเสาเข็ม ซึ่งจะเห็นว่ารูที่เจาะมีทั้งหมด 3 รู โดยจะมีรูเจาะที่ตรงกันอยู่ 2 รูซึ่งสองรูนี้จะใช้ติด Strain Gauges และอีกรูจะติด Accelerometer โดย Accelerometer จะอยู่ต่ำกว่า Strain Gauges 0.5 นิ้ว และระยะห่างของ Strain Gauges และ Accelerometer  $2.5 \pm 0.5$  นิ้ว

3) ติดตั้งทุกเพื่อใช้ในการขันน็อตยึดติด Strain Gauges และ Accelerometer เข้ากับเสาเข็ม



ภาพที่ 46 การติดตั้ง Strain Gauges และ Accelerometer

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (ปี 2552)

- 4) นำแผ่นไม้และกระสอบมาวางบนหัวเสาเข็มเพื่อป้องกันหัวเสาเข็มแตก
- 5) ติดตั้ง Strain Gauges และ Accelerometer เข้ากับเสาเข็ม ทั้ง 2 ด้าน
- 6) ต่อสายสัญญาณซึ่งใช้ต่อเชื่อมระหว่างเครื่อง PDA เข้ากับสายของ

Strain Gauges และ Accelerometer

เตรียมไว้

ชำยและขวา

งาน

การขยับใหม่ให้ตรง

- 7) ตรวจสอบความเรียบร้อยของสลิงและนำรถเครนมาจอดในตำแหน่งที่
- 8) จากนั้นก็ทำการทดสอบบูมของรถเครนว่าพ้นจากสิ่งกีดขวางหรือไม่ทั้ง
- 9) ยกค้อนน้ำหนักและสะพานเหล็กเข้ามาติดตั้งด้วยกัน
- 10) ค่อย ๆ ยกค้อนน้ำหนักและสะพานเหล็กที่ประกอบกันแล้ว มาวางหน้า
- 11) ค่อย ๆ ยกค้อนน้ำหนักและสะพานเหล็ก มาวางบนเสาเข็มที่ทดสอบ
- 12) ค่อย ๆ วางและคอยประคองให้ค้อนน้ำหนักตรงกลางเสาเข็มพอดี
- 13) คอยตรวจสอบว่าค้อนน้ำหนักตรงกลางเสาเข็มหรือไม่ ถ้าไม่ตรงต้องทำ
- 14) เมื่อวางค้อนน้ำหนักให้อยู่ตรงกลางบนเสาเข็มแล้ว
- 15) ก็ปล่อยสะพานเหล็กลง
- 16) ให้ปักกับดินให้แน่น
- 17) วัดระยะยกค้อนน้ำหนักเริ่มต้นการวัดจากด้านล่างของค้อนน้ำหนักขึ้นมา



ภาพที่ 47 เริ่มการยกตึมน้ำหนัก

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

18) จัดเส้นระยะความสูงและเขียนระยะที่วัด โดยระยะวัดเริ่มต้นจะวัดขึ้นมา 1 เมตร

19) และวัดต่อขึ้นมาอีกทีละ 0.50 เมตร จนถึงระยะที่วิศวกรผู้ควบคุมการทดสอบเป็นผู้กำหนด แต่ระยะที่ได้ว่ามานั้นไม่ใช่ระยะที่ตายตัวจะขึ้นอยู่กับวิศวกรที่ได้คำนวณเป็นผู้กำหนด

20) ต่อสายสัญญาณที่ได้ต่อเข้ากับสายของ Strain Gauges และ Accelerometer แล้วเข้าเครื่อง PDA (Pile Driving Analyer)

21) เปิดเครื่อง PDA (Pile Driving Analyer)



ภาพที่ 48 เปิดเครื่อง PDA (Pile Driving Analyer)

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

- ทดสอบ
- 22) เปิดโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อเก็บค่าผลการสั่นสะเทือนในการทดสอบ
  - 23) ยกค้อนน้ำหนักขึ้นมา
  - 24) ให้ได้เท่ากับระยะที่กำหนด โดยจะยกให้ระดับของด้านล่างของค้อนน้ำหนักเท่ากับระยะที่กำหนดไว้



ภาพที่ 49 ปล่อดัมน้ำหนักลงมากระแทกที่หัวเสาเข็มและทำการยกและปล่อยตกตามระยะต่าง ๆ ที่  
ได้กำหนดไว้

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

25) ปล่อดัมน้ำหนักลงมากระแทกที่หัวเสาเข็มและทำการยกและปล่อยตกตามระยะต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ก็จะทำให้เสาเข็มมีการเคลื่อนตัวจากแรงกระแทกของดัมน้ำหนักบนหัวเสาเข็มนั้น จะทำให้เกิดคลื่นความเค้นลงไปตลอดตัวของเสาเข็มและคลื่นความเค้นจะสะท้อนกลับ ขึ้นมาเนื่องจากแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม และแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็ม ซึ่งคลื่นความเค้นจะถูกบันทึกโดยตัว Strain Gauges และ Accelerometer และส่งสัญญาณเข้าเครื่อง PDA

26) ผลการประมวลก็จะขึ้นที่หน้าจอ PDA

### 2.2.5 การประมวล

ในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มตอกสี่เหลี่ยมคี่เหลี่ยมคี่เหลี่ยม คลื่นความเค้นจะถูกบันทึกไว้ด้วยตัว Strain Ganges และ Accelerometers และสัญญาณที่ได้ขณะทดสอบจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปหน่วยแรงและความเร็ว ด้วยเครื่อง PDA (Pile Driving Analyer )

### 3. ระยะเวลาการทำวิจัย

ระหว่างเดือน พฤษภาคม 2552 ถึง เมษายน 2553 รวมเวลา 14 เดือน

ตารางที่ 28 ระยะเวลาการทำวิจัย

| ขั้นตอนการทำงาน                                         | 2<br>พ.ค.<br>-<br>มิ.ย. | 4<br>ก.ค.<br>-<br>ส.ค. | 6<br>ก.ย.<br>-<br>ต.ค. | 10<br>พ.ย.<br>-<br>ธ.ค. | 11<br>ม.ค. | 12<br>ก.พ. | 13<br>มี.ค. | 14<br>เม.ย. |
|---------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 1. กำหนดปัญหา และเก็บข้อมูล<br>อ้างอิง                  | ■■■■                    |                        |                        |                         |            |            |             |             |
| 2. จัดเตรียมข้อมูลเอกสาร                                | ■■■■                    | ■■■■                   |                        |                         |            |            |             |             |
| 3. ติดต่อประสานงานกับโครงการ<br>ต่างๆ ที่จะปรึกษาข้อมูล | ■■■■                    |                        |                        | ■■■■                    |            |            |             |             |
| 4. ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม                               | ■■■■                    | ■■■■                   | ■■■■                   | ■■■■                    |            |            |             |             |
| 5. จัดรวบรวมข้อมูลและประมวลผล                           |                         |                        |                        | ■■■■                    | ■■■■       | ■■■■       | ■■■■        | ■■■■        |
| 6. สรุปผลการดำเนินการวิจัย                              |                         |                        |                        |                         | ■■■■       | ■■■■       | ■■■■        | ■■■■        |
| 7. ทำรูปแบบวิทยานิพนธ์                                  |                         |                        |                        |                         |            |            | ■■■■        | ■■■■        |

## ผลและวิจารณ์

### ผล

#### 1. ผลการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มวิธีแบบเซซามิก โครงการที่ 1

โครงการ : งานก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยขนาดสูง 8 ชั้น Escape Condominium

สถานที่ : ซอยอุดมสุข 51 ถนนสุขุมวิท จังหวัดกรุงเทพมหานคร

จำนวนเสาเข็มทดสอบ : 1 ต้น

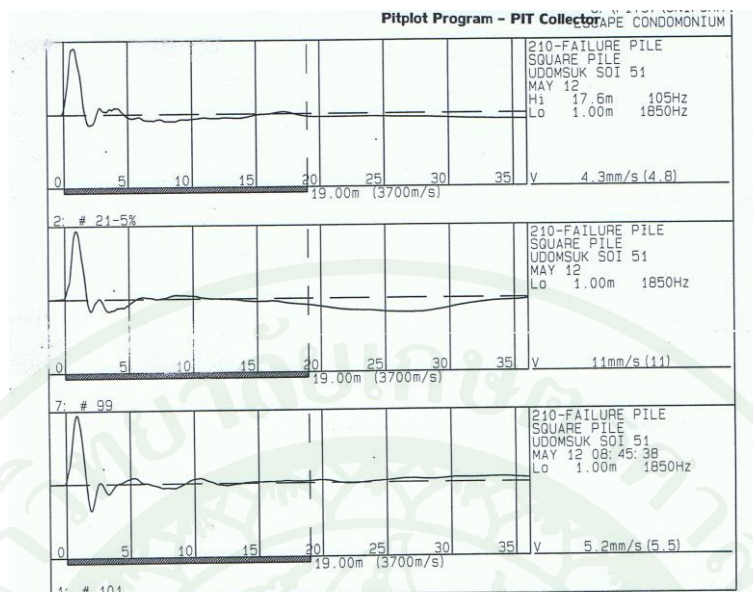
วันที่ทดสอบ : 12 / 05 / 52

ตารางที่ 29 ผลการทดสอบสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มโครงการ : งานก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยขนาดสูง 8 ชั้น Escape Condominium เสาเข็มสี่เหลี่ยมขนาด  $0.35 \times 25.00$  m.

| ลำดับที่ทดสอบ | สภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็ม                                                                             |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | สภาพแตกร้าวที่ระดับความลึกประมาณ 2.50 เมตร<br>นับจากระดับที่ทำการเคาะทดสอบ<br>ค่าสภาพความสมบูรณ์ 60 % |

หมายเหตุ ค่าสภาพความสมบูรณ์ที่ได้ 60% ที่มีพื้นที่หน้าตัด  $0.35$  ตารางเมตร ในพื้นที่หน้าตัดขนาดนี้ค่าสภาพความสมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับ 95% ค่าที่ได้ที่ 60% พบว่าเสาเข็มมีสภาพไม่สมบูรณ์เพราะเกิดการแตกร้าว

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)



ภาพที่ 50 กราฟความเร็วและเวลาการทดสอบวิธีแบบเซซามิก เสาเข็มที่ทดสอบโครงการงาน  
ก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยขนาดสูง 8 ชั้น Escape Condominium

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

## 2. ผลการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มวิธีแบบเซซามิก โครงการที่ 2

โครงการ : อาคารสำนักอธิการบดี จำนวน 1 หลัง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

สถานที่ : อำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

จำนวนเสาเข็มทดสอบ : 24 ต้น

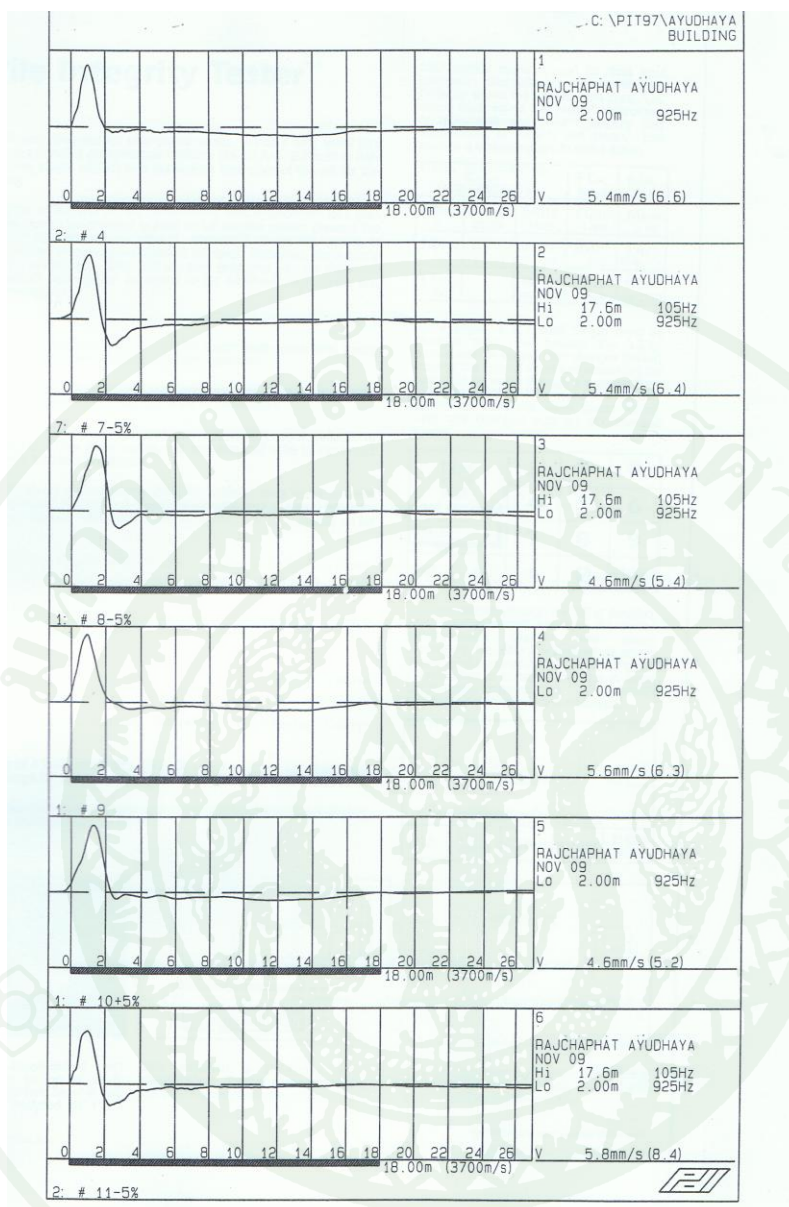
วันที่ทดสอบ : 16 / 11 / 52

**ตารางที่ 30** ผลการทดสอบสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มโครงการอาคารสำนักอธิการบดี  
จำนวน 1 หลัง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เสาเข็มสี่เหลี่ยมขนาด  $0.30 \times$   
18.00 เมตร

| ลำดับที่ทดสอบ                                        | สภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็ม      | หมายเลข |
|------------------------------------------------------|--------------------------------|---------|
| อาคารสำนักอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา |                                |         |
| 1.- 5                                                | สภาพสมบูรณ์ เท่ากับ 93 % - 96% | -       |
| 6. - 10                                              | สภาพสมบูรณ์ เท่ากับ 91% - 95%  | -       |
| 11. -15                                              | สภาพสมบูรณ์ เท่ากับ 93 % - 97% | -       |
| 16-20                                                | สภาพสมบูรณ์ เท่ากับ 94% - 96%  | -       |
| 20.-24                                               | สภาพสมบูรณ์ เท่ากับ 92% - 95 % | -       |

หมายเหตุ ค่าสภาพความสมบูรณ์ที่ได้ 90% - 100% ที่มีพื้นที่หน้าตัด  $0.30$  ตารางเมตร ใน  
พื้นที่หน้าตัดขนาดนี้ค่าสภาพความสมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับ 95% และ 5% จะเป็นค่าความ  
ผิดพลาดที่เกิดจากการหมั่น หรือการร้าว ค่าที่ได้ที่ 90% - 100% พบว่าเสาเข็มมีสภาพ  
สมบูรณ์

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)



ภาพที่ 51 กราฟความเร็วและเวลาการทดสอบ SEISMIC Test เสาเข็มที่ทดสอบโครงการอาคาร  
สำนักอธิการบดี จำนวน 1 หลัง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (ปี 2552)

### สรุปผลการทดสอบ

1. เสาเข็มทดสอบ คลื่นสัญญาณความเค้นมีการสะท้อนกลับทั้งหมดที่มีความลึกดังกล่าวข้างต้น การสะท้อนกลับสัญญาณความเค้นนั้นมีสาเหตุมาจาก
  1. ความไม่ต่อเนื่องของเนื้อคอนกรีต อันอาจเกิดจากรอยแตกร้าวในเนื้อคอนกรีต
  2. คุณสมบัติ (ความหนาแน่น / ความแข็งแรง ) ของตัวกลาง (เนื้อคอนกรีต ) เปลี่ยนแปลงไป
  3. รอยต่อเชื่อมของเสาเข็มทดสอบ
2. ในกรณีเสาเข็มที่ทำการทดสอบจำนวน 24 ต้น พบว่าเสาเข็มทดสอบมีสภาพสมบูรณ์ , ท่อนบน , สภาพรอยต่อเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ปกติ อย่างไรก็ตามวิศวกรผู้ควบคุมควรพิจารณารายงานการตอกเสาเข็มภาคสนาม , สภาพการเบี่ยงของตำแหน่งเสาเข็ม , การรับน้ำหนักบรรทุกตามรายการคำนวณออกแบบฐานรากเสาเข็ม ประกอบการพิจารณาพร้อมกับผลการทดสอบ เพื่อความมั่นคงและปลอดภัยของโครงสร้างต่อไป
3. ในกรณีเสาเข็มที่ทำการทดสอบ จำนวน 1 ต้น พบว่าเสาเข็มทดสอบมีสภาพแตกร้าว ต้องทำการแก้ไขตามดุลยพินิจของวิศวกรก่อนนำไปใช้งานต่อไป
4. การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบเชิงทางกายภาพ เฉพาะจุดทดสอบเท่านั้นผลการทดสอบมิได้มีส่วนสัมพันธ์กับกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม , สภาพความแข็งแรงของเนื้อคอนกรีตและสภาพการเอียงตัวของเสาเข็ม
5. การทดสอบนี้ใช้ค่าความเร็วคลื่นความเค้นสูงโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4,200 เมตร /วินาที เนื่องจากค่าความแข็งแรงของเนื้อคอนกรีตในแต่ละต้นมีค่าแตกต่างกัน (ค่าความเร็วคลื่นนี้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งสะท้อนกลับสะท้อนกลับของคลื่นสัญญาณที่แสดงถึงตำแหน่งปลายเสาเข็มทดสอบ หรือตำแหน่งบกพร่องของเสาเข็ม เป็นค่าโดยประมาณ ) , ควรทำการอ้างอิงจากรายงานการเจาะเสาเข็มภาคสนามประกอบการพิจารณาพร้อมกับผลการทดสอบ

### 3. ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มโดยวิธี ไรน์มิก โครงการที่ 3

โครงการ: ก่อสร้างถนนพุทธมณฑลสาย 1

สถานที่ : ช่วงถนนเพชรเกษมถึงสุดเขตกรุงเทพมหานคร สะพานข้ามคลอง- สะพานข้าม  
คลองบางน้อย

จำนวนเสาเข็มทดสอบ : 1 ต้น

วันที่ทดสอบ : 15 / 10 / 52

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ด้วยโปรแกรม CAPWAP สามารถประเมินกำลังรับ  
น้ำหนักบรรทุกได้ดังตารางต่อไปนี้

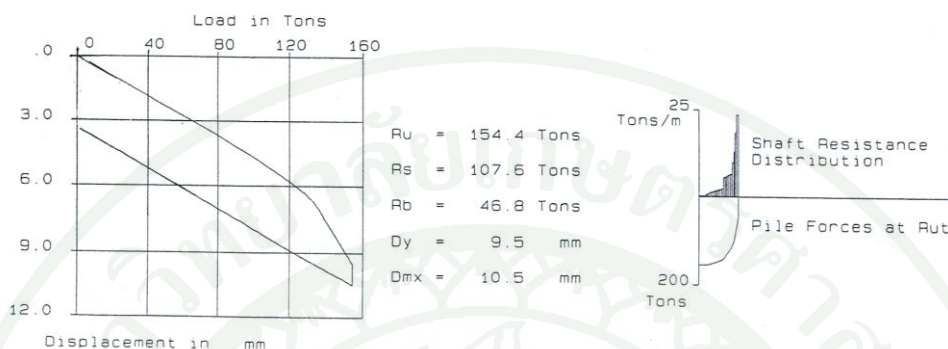
ตารางที่ 31 แสดงกำลังรับน้ำหนักโครงการ: ก่อสร้างถนนพุทธมณฑลสาย 1 เสาเข็มสี่เหลี่ยมขนาด  
 $0.40 \times 24.00$  เมตร

| หมายเลข<br>เสาเข็มทดสอบ        | แรงเสียดทานผิว<br>(Skin Friction )<br>Ton | แรงต้านที่ปลายเข็ม<br>(Top Bearing)<br>Ton | แรงต้านทานรวมสูงสุด<br>(Ultimate Capacity)<br>Ton |
|--------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Testpile -1 no. 5<br>Pier 5/RT | 107.6                                     | 46.8                                       | 154.4                                             |

หมายเหตุ สภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มอยู่ในเกณฑ์ปกติ

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

โค้งความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ  
(Load –Settlement Curve)



ภาพที่ 52 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

โค้งความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัว (Load – Settlement Curve) ของเสาเข็มทดสอบ สามารถสร้างขึ้นโดยการคำนวณค่าการทรุดตัวของเสาเข็มที่น้ำหนักทดสอบต่าง ๆ

ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม

จากการพิจารณาผลการวิเคราะห์ แรงต้านทานรวมและความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานกับการทรุดตัวสามารถสรุปได้ว่า เสาเข็มทดสอบสามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกสูงสุดขณะทำการทดสอบ

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบ พบว่าเสาเข็มที่ทำการทดสอบมีค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดขณะทำการทดสอบมีค่า (Ultimate Load Capacity) 154.4 ตัน / ต้น

ระหว่างการทำทดสอบเสาเข็มมีการเคลื่อนตัวเหมาะสม เมื่อมีแรงมากกระทำอย่างทันทีทันใด และมีค่าการทรุดตัวเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อมีแรงกระทำที่สูงขึ้นตามลำดับ การเคลื่อนตัวของเสาเข็มเป็นไปแบบที่ละน้อย อย่างไรก็ตามสามารถเมื่อนำผลการทดสอบภาคสนามมาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CAPWAPC สามารถสรุปได้ว่าเสาเข็มที่ทำการทดสอบตำแหน่งดังกล่าวข้างต้นนี้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบปลอดภัย (Safety Load )

50.0 ตัน / ตัน ด้วยสัดส่วนความปลอดภัยเท่ากับ (Safety Factor ) 3.0 เท่าได้ โดยจะถูกกำหนดในพระราชบัญญัติ ที่ 2.5 – 3 เท่า

#### 4. ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มโดยวิธี Dynamic Load Test โครงการที่ 4

โครงการ: ก่อสร้างอาคารเรียนรวม 6 ชั้น พร้อมครุภัณฑ์

สถานที่ : ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวีซอย 6 ถนนสุขุมวิท อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

จำนวนเสาเข็มทดสอบ : 2 ตัน

วันที่ทดสอบ : 26 / 06 / 52

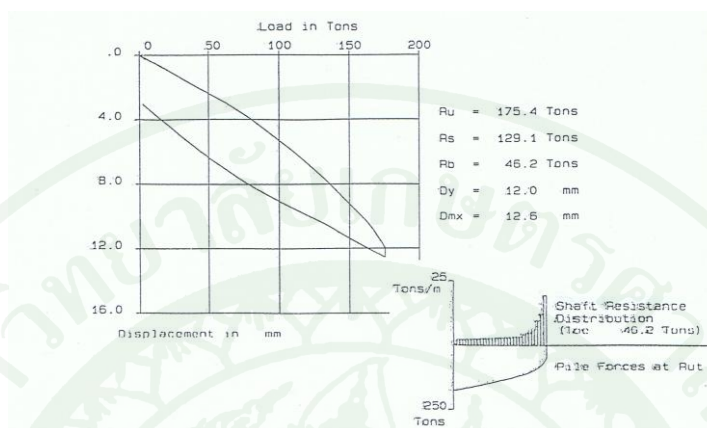
จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ด้วยโปรแกรม CAPWAP สามารถประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 32 แสดงกำลังรับน้ำหนักโครงการก่อสร้างอาคารเรียนรวม 6 ชั้น พร้อมครุภัณฑ์ เสาเข็มสี่เหลี่ยมขนาด  $0.32 \times 32.00$  เมตร

| หมายเลข<br>เสาเข็มทดสอบ              | แรงเสียดทานผิว<br>(Skin Friction )<br>Ton | แรงดันที่ปลายเข็ม<br>(Top Bearing)<br>Ton | แรงต้านทานรวมสูงสุด<br>(Ultimate Capacity)<br>Ton |
|--------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Testpile no. 64<br>Line 3 – A        | 129.1                                     | 46.2                                      | 175.4                                             |
| Testpile no. 114<br>Line 2/3 – C / D | 130.4                                     | 49.8                                      | 180.2                                             |

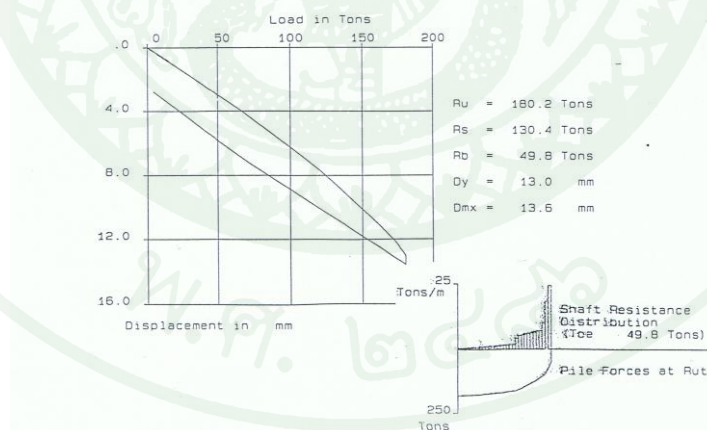
ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

โค้งความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ  
(Load –Settlement Curve)



ภาพที่ 53 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ  
N0. 64 :Line 3 – A

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)



ภาพที่ 54 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ  
N0. 114 :Line 2/3 -C/D

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

### สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบ พบว่าเสาเข็มที่ทำการทดสอบหมายเลข 64 และ 114 มีค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดขณะทำการทดสอบมีค่า (Ultimate Load Capacity) 175.4 และ 180.2 ตัน / ตัน

ระหว่างการทำทดสอบเสาเข็มมีการเคลื่อนตัวเหมาะสม เมื่อมีแรงมากกระทำอย่างทันทีทันใด และมีค่าการทรุดตัวเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อมีแรงมากกระทำที่สูงขึ้นตามลำดับ การเคลื่อนตัวของเสาเข็มเป็นไปแบบที่ละน้อย อย่างไรก็ตามสามารถเมื่อนำผลการทดสอบภาคสนามมาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CAPWAP สามารถสรุปได้ว่าเสาเข็มที่ทำการทดสอบตำแหน่งดังกล่าวข้างต้นนี้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบปลอดภัย (Safety Load) 70.0 ตัน / ตัน ด้วยสัดส่วนความปลอดภัยเท่ากับ (Safety Factor) 2.5 เท่าได้ โดยจะถูกกำหนดในพระราชบัญญัติ ที่ 2.5 – 3 เท่า พิจารณาสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มทดสอบ โดยวัดค่าการสั่นจาก Accelerometer sensor พบว่ามีการสั่นกลับของคลื่นสัญญาณที่รอยต่อเชื่อมของเสาเข็มทดสอบที่ระดับความลึก 16.00 เมตร และคลื่นสัญญาณไม่สามารถวิ่งผ่านรอยต่อเชื่อมของเสาเข็มลงไปได้

### 5. ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มโดยวิธี Dynamic Load Test ครั้งที่ 5

โครงการ: อาคารสำนักงานอธิการบดี

สถานที่ : มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา อำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

จำนวนเสาเข็มทดสอบ : 1 ตัน

วันที่ทดสอบ : 16 / 11 / 52

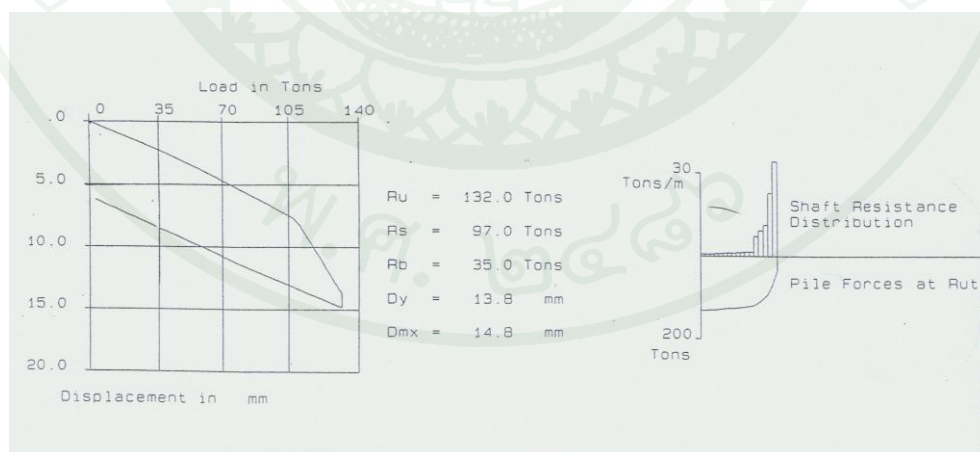
จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ด้วยโปรแกรม CAPWAP สามารถประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 33 แสดงการรับน้ำหนักโครงการอาคารสำนักงานอธิการบดี เสาเข็มสี่เหลี่ยมขนาด 0.30  
× 18.00 เมตร

| หมายเลข<br>เสาเข็มทดสอบ       | แรงเสียดทานผิว<br>(Skin Friction )<br>Ton | แรงต้านที่ปลายเข็ม<br>(Top Bearing)<br>Ton | แรงต้านทานรวม<br>สูงสุด<br>(Ultimate Capacity)<br>Ton |
|-------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Testpile no. 12<br>Line 5 – A | 97.0                                      | 35.0                                       | 132.0                                                 |

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

โค้งความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ  
(Load –Settlement Curve)



ภาพที่ 55 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม

ที่มา: บริษัท เอ็น.ดี.ที. เทคโนโลยี จำกัด (2552)

### สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบ พบว่าเสาเข็มที่ทำการทดสอบมีค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดขณะทำการทดสอบมีค่า (Ultimate Load Capacity) 132.0 ตัน / ต้น

ระหว่างการทำทดสอบเสาเข็มมีการเคลื่อนตัวเหมาะสม เมื่อมีแรงมากกระทำอย่างทันทีทันใด และมีค่าการทรุดตัวเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อมีแรงมากกระทำที่สูงขึ้นตามลำดับการเคลื่อนตัวของเสาเข็มเป็นไปแบบที่ละน้อย อย่างไรก็ตามสามารถเมื่อนำผลการทดสอบภาคสนามมาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CAPWAPC สามารถสรุปได้ว่าเสาเข็มที่ทำการทดสอบตำแหน่งดังกล่าวข้างต้นนี้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบปลอดภัย (Safety Load) 50.0 ตัน / ต้น ด้วยสัดส่วนความปลอดภัยเท่ากับ (Safety Factor) 2.5 เท่าได้โดยจะถูกกำหนดในพระราชบัญญัติ ที่ 2.5 – 3 เท่า

### วิจารณ์

การวิจัยการศึกษาการทดสอบเพื่อความปลอดภัยของเสาเข็มตอกขนาด 18 , 24 , 25 และ 32 เมตร โดยวิธีรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบไดนามิกและเซซามิก การเก็บข้อมูลเลือกพื้นที่ในการทดสอบ 4 โครงการและมีวิธีการทดสอบทั้งสองวิธี มีขนาดความยาวเข็มที่ 18 , 24 , 25 และ 32 เมตร เป็นรูปสี่เหลี่ยมที่ทำการตอกเสาเข็มเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยมีขอบข่ายในการทิ้งเสาเข็มให้สภาพดินคืนตัวระยะเวลาช้าสุด 7 วันและเร็วสุด 14 วัน แล้วแต่สภาพดินในแต่ละจังหวัดนั้นๆ ด้วย ทำให้การวิเคราะห์และประเมินความน่าเชื่อถือทั้งสองวิธีและการหาวิธีการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพดีที่สุด เพื่อจะช่วยลดความเสี่ยงในการทำงานและทำงานตามกำหนดเวลา

ผลการวิจัยพบว่าการศึกษาการทดสอบเพื่อความปลอดภัยของเสาเข็มตอกขนาด 18 , 24 , 25 และ 32 เมตร โดยวิธีรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบไดนามิกและเซซามิก มีผลการทดสอบพบว่าการทดสอบรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบเซซามิกที่ขนาดความยาว 18 เมตร และความยาว 25 เมตร

ตารางที่ 34 สรุปผลการทดสอบเสาเข็มแบบเซซามิก

|                          | มากกว่า                             | อยู่ระหว่าง                    | อยู่ระหว่าง            | น้อยกว่า                       |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| ระดับสภาพความสมบูรณ์     | 90% มีสภาพสมบูรณ์                   | 80 - 90 % มีข้อบกพร่องเล็กน้อย | 60 - 80 % มีข้อบกพร่อง | 60% มีความเสียหายมาก           |
| ขนาดความยาว 18 m. 24 ต้น | 90 % - 100 % (เสาเข็มมีสภาพสมบูรณ์) |                                |                        |                                |
| ขนาดความยาว 25 m. 1 ต้น  |                                     |                                |                        | 60 % (เสาเข็มมีสภาพไม่สมบูรณ์) |

ผลการทดสอบพบว่าการทดสอบรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบเซซามิกจะได้ผลการทดสอบที่มีค่าความสมบูรณ์ของสภาพเสาเข็ม ในการทดสอบชนิดนี้จะเหมาะสมอย่างมากในเขตพื้นที่กรุงเทพ

มากกว่าพื้นที่ปริมาตรและในพื้นที่ต่างจังหวัด เหตุผลมาจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ และการทดสอบแบบนี้ไม่สามารถบอกถึงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกได้ ในเสาเข็มชนิดตอกสามารถตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มได้ก่อนทำการตอก โดยความน่าเชื่อถือจะใช้มาตรฐาน ASTM D 5882 -96 เป็นเกณฑ์ในการทดสอบ

ตารางที่ 35 สรุปผลการทดสอบแบบไดนามิก

| การออกแบบความ<br>ปลอดภัย<br>(Safety Load) | ขนาดความยาวของเสาเข็ม         |                                 |                                           |
|-------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
|                                           | 18 m.<br>1 ตัน                | 24 m.<br>1 ตัน                  | 32 m.<br>2 ตัน                            |
| เสาเข็มที่ทำการทดสอบนั้น                  | ค่าทดสอบมีค่า                 | ค่าทดสอบมีค่า                   |                                           |
| สามารถรับน้ำหนักบรรทุก                    | 132.0 ตัน /ตัน                | 154.4 ตัน /ตัน                  |                                           |
| ออกแบบปลอดภัย (safety Load) 50 ตัน / ตัน  | สัดส่วนความ<br>ปลอดภัยเท่ากับ | สัดส่วนความ<br>ปลอดภัยเท่ากับ 3 |                                           |
| เสาเข็มที่ทำการทดสอบนั้น                  | 2.5 เท่า                      | เท่า                            | ทดสอบมีค่า 175.4                          |
| สามารถรับน้ำหนักบรรทุก                    |                               |                                 | และ 180.2 ตัน /ตัน                        |
| ออกแบบปลอดภัย (safety Load) 70 ตัน / ตัน  |                               |                                 | สัดส่วนความ<br>ปลอดภัยเท่ากับ<br>2.5 เท่า |

ผลการทดสอบจะพบว่าผลการทดสอบจะได้ทั้งค่าความสมบูรณ์ของสภาพเสาเข็มซึ่งเหมาะสมกับชนิดเสาเข็มตอกและในการทดสอบวิธีนี้ในเขตพื้นที่กรุงเทพ ฯ มีการใช้เสาเข็มชนิดตอกน้อยผลมาจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ ในเขตกรุงเทพมหานครมีความเหมาะสมสำหรับการเจาะเสาเข็มมากกว่าการตอกเสาเข็ม และการทดสอบวิธีนี้สามารถบอกถึงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกได้ เช่นเดียวกับแบบเชซามิกในการหาค่าความสมบูรณ์ของสภาพเสาเข็มสามารถตรวจสอบก่อนทำการตอกเสาเข็มว่ามีการแตกร้าวหรือแตกหักของเสาเข็มจากภายนอกได้ โดยความน่าเชื่อถือจะใช้มาตรฐาน ASTM D 4945 -96 เป็นเกณฑ์ในการทดสอบ

ผลสรุปผลการทดสอบทุกชนิดจะแนบพร้อมใบประกอบวิชาชีพทางวิศวกรรมโยธา  
 ประเภทวิศวกรโยธา ประกอบเอกสารรับรองผลการทดสอบทั้งวิธีการแบบไดนามิกและเซซา  
 มิก



## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

#### จากการศึกษาการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มวิธีแบบเซซามิก สิ่งที่ได้รับคือ

จากการศึกษาทำให้รู้วิธีการทดสอบและขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม โดยการทดสอบจะใช้คลื่นที่ใช้ในงานโดยเฉพาะเจาะไปที่หัวเสาเข็ม คลื่นความสั่นสะเทือนจากการเคาะจะส่งผ่านตลอดความยาวเสาเข็มไปจนถึงปลายเสาเข็ม คลื่นจะสะท้อนกลับมาสู่เครื่องรับ ที่ติดตั้งบนหัวเสาเข็มจากหัวเสาเข็มจากนั้นจะเครื่องขยาย (Amplifier) และส่งเข้าเครื่องซึ่งจะปรากฏออกมาทางจอภาพของคลื่นที่เกิดจากการเคาะ ถ้าคอนกรีตตัวเสาเข็มมีคุณภาพดีสม่ำเสมอ โดยตลอดคลื่นที่ปรากฏบนจอภาพก็จะมีความสม่ำเสมอ แต่ถ้าบางส่วนของเสาเข็มมีคุณภาพต่ำ เช่นกำลังต่ำ หรือมีรูพรุน คลื่นที่ปรากฏก็จะไม่สม่ำเสมอ หรือถ้ามีส่วนใดส่วนหนึ่งของเสาเข็มปล่อยออกไป ลักษณะของคลื่นก็จะปรากฏอีกแบบหนึ่ง ในเสาเข็มที่ลึกๆ หรือเสาเข็มร้าว คลื่นก็จะสะท้อนที่จุดนั้น และวิธีทดสอบโดยวิธีเซซามิกจะมีความเหมาะสมกับเสาเข็มชนิดเจาะมากกว่าเสาเข็มชนิดตอกเพราะเสาเข็มตอกสามารถมองเห็นสภาพความสมบูรณ์ก่อนทำการตอกอยู่แล้ว แต่ในกรณีชนิดเจาะจะไม่ทราบถึงเมื่อเทคอนกรีตไปแล้วจะเกิดการโพรงหรือความพรุนทำให้เนื้อคอนกรีตไม่แน่น ส่งผลไปยังกำลังรับน้ำหนักได้ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายประหยัดเวลา รวมไปถึงค่าใช้จ่ายซึ่งสามารถนำมาทดสอบกับเสาเข็มได้ทั้งโครงการ ไม่ว่าโครงการเล็กโครงการใหญ่ก็ตาม

#### จากการศึกษาวิธีการทดสอบกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มวิธีแบบไดนามิก สิ่งที่ได้รับ

จากการศึกษาทำให้รู้วิธีการทดสอบและขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ การทดสอบโดยวิธีนี้สามารถที่จะทดสอบได้กับเสาเข็มคอนกรีต ( เข็มเจาะและเข็มตอก) เสาเข็มเหล็ก และเสาเข็มไม้ เป็นการทดสอบเพื่อหาการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม ค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม ค่า Stress และ Tension Force ที่เกิดขึ้นในการทดสอบ และทราบถึงประสิทธิภาพของป็นจันที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม ตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มที่ทดสอบว่ามีความเสียหาย หรือข้อบกพร่องหรือไม่ วิธีการทดสอบก็ทำได้ง่าย โดยการตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ก่อนทำการตอกเสาเข็มว่ามีความเสียหายเช่น มีรอยร้าว , เกิดจากแตกหักบริเวณเสาเข็ม , บริเวณผิวของเสาเข็ม

ไม่มีเรียวร้อย ขรุขระ เป็นต้น ขั้นตอนติดตั้งอุปกรณ์ไม่ยุ่งยากและประหยัดเวลารวมถึงค่าใช้จ่าย ซึ่งวิธีนี้เหมาะสมกับโครงการที่มีพื้นที่การทดสอบที่จำกัด เพราะไม่ต้องใช้พื้นที่ในการทดสอบ มากก็สามารถทำการทดสอบได้

### สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ หรือเลือกวิธีในการทดสอบในการทำงาน

ในการทดสอบการหาความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธีแบบเซซามิก เหมาะสมกับการทำ การของงานเสาเข็มชนิดแบบเจาะและเขตพื้นที่กรุงเทพ รวมถึงพื้นที่ที่มีจำกัด ควรจะเลือกวิธีการ ทดสอบแบบนี้ แต่ในส่วนของเสาเข็มตอกที่จำเป็นต้องใช้วิธีทดสอบวิธีนี้เนื่องจากระหว่างการ ทำงานเกิดการแตกหัก หรือรอยร้าวขณะทำการตอก ในส่วนการทดสอบกำลังการรับน้ำหนัก บรรทุกของเสาเข็มวิธีแบบไดนามิก จะเหมาะสมสำหรับเสาเข็มชนิดตอกมากกว่า และในเขตพื้นที่ ที่เป็นที่โล่ง และไม่สามารถรบกวนผู้อื่น แต่ก็มีการใช้ในเสาเข็มเจาะอยู่เหมือนกันเพื่อกำลังรับ น้ำหนักในการเลือกใช้การทดสอบของแต่ละวิธีจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

1. ค่าใช้จ่าย
2. เวลาในการทดสอบ
3. การเตรียมสถานที่ในการทดสอบ
4. เวลาในการติดตั้ง
5. พื้นที่ในการทดสอบ
6. การประมวลผล
7. มาตรฐานในการทดสอบและการยอมรับ

### ข้อเสนอแนะ

1. ดำเนินการจัดเก็บข้อมูลในการทดสอบการตอกเสาเข็ม 2 วิธี เพื่อไปใช้หาการกำหนดมาตรฐานเพื่อป้องกันอุบัติเหตุและความปลอดภัยในการก่อสร้างอาคารและสิ่งปลูกสร้างอื่น
2. การรวบรวมข้อมูลอุปกรณ์ ประกอบเกี่ยวข้องกับในการทดสอบการตอกเสาเข็มโดยวิธีรับน้ำหนักแบบไดนามิกและเซซามิก ให้มีวิศวกรควบคุมการทดสอบในแต่ละครั้ง
3. อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ ควรมีมาตรฐานมารับใช้ให้การทดสอบการทำงานอยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยทั้งการปฏิบัติงานและอุปกรณ์ทุกอย่าง
4. ผู้ปฏิบัติงานและผู้ทดสอบควรมีการอบรมหรือมีการสอบใบอนุญาตจากหน่วยรัฐ
5. ต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบและกฎหมายว่าด้วยความปลอดภัยในการทดสอบการใช้งานของเสาเข็มที่ทำการตอกแล้วเสร็จ

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

STS Instrument Company Limited. 2551ก. รายงานผลการทดสอบความสมบูรณ์ โดยวิธี Seismic Test.

\_\_\_\_\_. 2551ข. รายงานผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Load Test).

\_\_\_\_\_. 2551ค. ทฤษฎีการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มต่อกด้วยวิธีทางพลศาสตร์ (Dynamic Load Test on Driven Pile).

สราวุธ และ กมล . 2548. กรณีศึกษาสำหรับการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม, น. 2-4. ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10, กรุงเทพฯ.

พิภพ สุนทรสมัย. คู่มือออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต โดยวิธี ACI Code. ครั้งที่ 1. สสท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

กรมโยธาธิการ. 2552ก. มาตรฐานงานเสาเข็ม. [www.cte.kmutt.ac.th](http://www.cte.kmutt.ac.th). แหล่งที่มา:

[http://www.cte.kmutt.ac.th:8080/WebSubject/CTE643/add\\_paper/Pile%20Standard.pdf](http://www.cte.kmutt.ac.th:8080/WebSubject/CTE643/add_paper/Pile%20Standard.pdf), 5 มีนาคม 2552.

\_\_\_\_\_. 2552ข. มาตรฐานฐานราก. [www.cte.kmutt.ac.th](http://www.cte.kmutt.ac.th). แหล่งที่มา:

[http://www.cte.kmutt.ac.th:8080/WebSubject/CTE643/add\\_paper/Footing%20Standard.pdf](http://www.cte.kmutt.ac.th:8080/WebSubject/CTE643/add_paper/Footing%20Standard.pdf), 10 มีนาคม 2552.

\_\_\_\_\_. 2552ค. มาตรฐานงานคอนกรีตอัดแรง. [www.ranongpoc.net](http://www.ranongpoc.net). แหล่งที่มา:

<http://www.ranongpoc.net/ranongdpt/C1/C18/data/102-2533>., 10 มีนาคม 2552.

จารุณี วิวัชรโกเศศ. 2552. เอกสารมาตรฐาน ASTM. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 46 : 23-25.

ชนันท์ และ เกรียงศักดิ์. 2533. การทำเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ สสท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี  
(ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

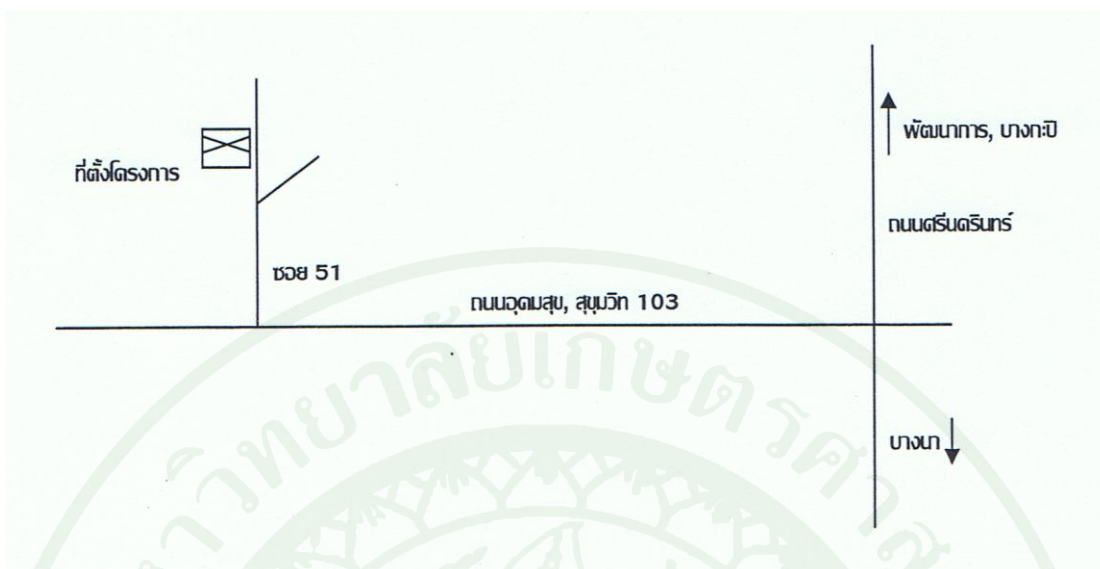




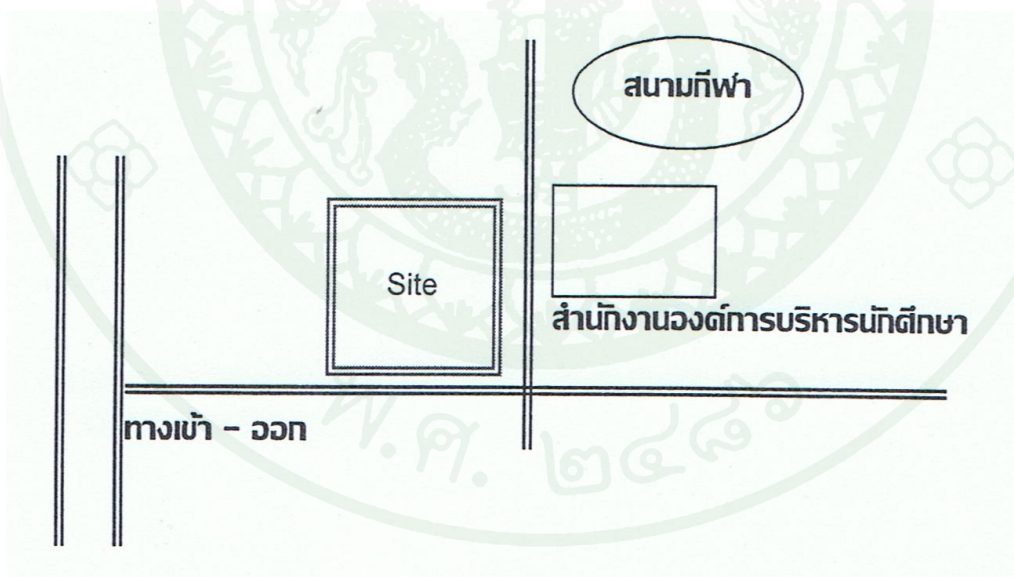
ภาคผนวก



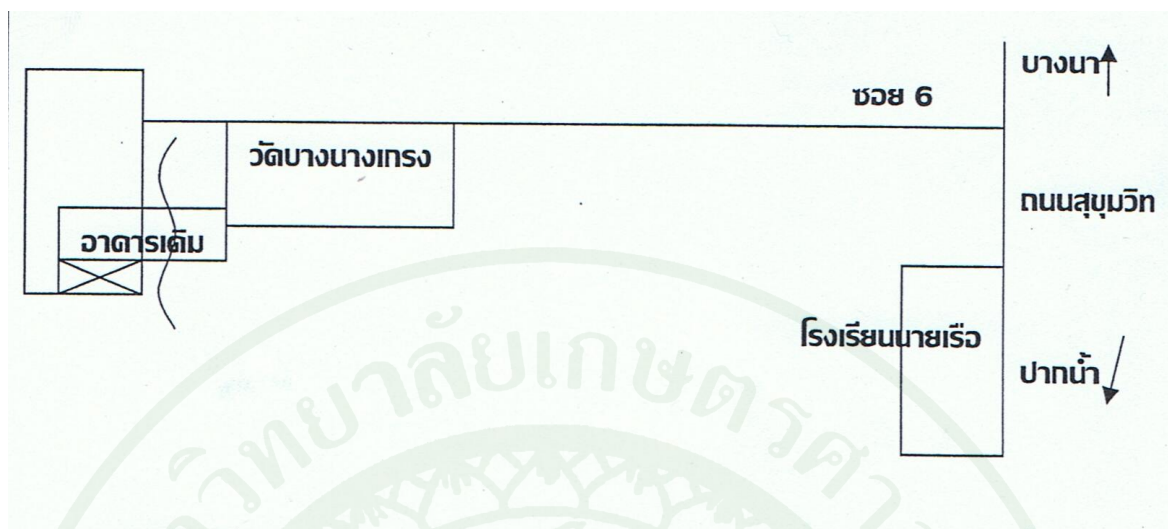
ภาคผนวก ก  
แผนที่โครงการ



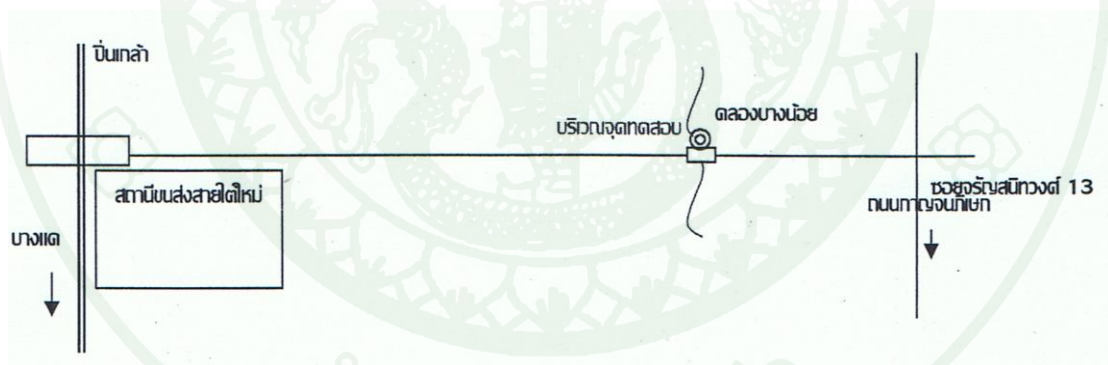
ภาพผนวกที่ ก1 แสดงสถานที่ทดสอบโดยวิธี Seismic Test โครงการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยสูง 8 ชั้น



ภาพผนวกที่ ก2 แสดงสถานที่ทดสอบโดยวิธี Seismic Test และ Dynamic Test โครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

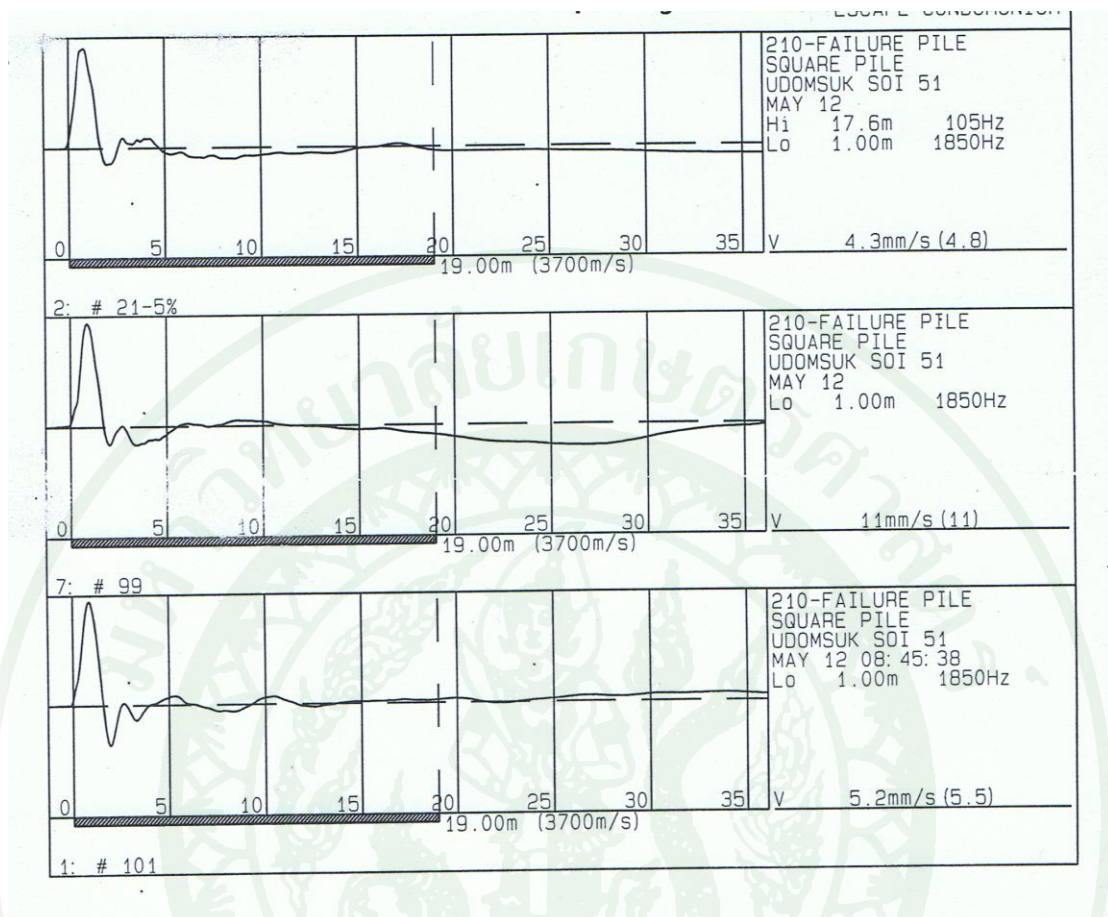


ภาพผนวกที่ ก3 แสดงสถานที่ทดสอบโดยวิธี Dynamic Test โครงการก่อสร้างอาคาร ค.ส.ด.  
อาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวีชอย 6

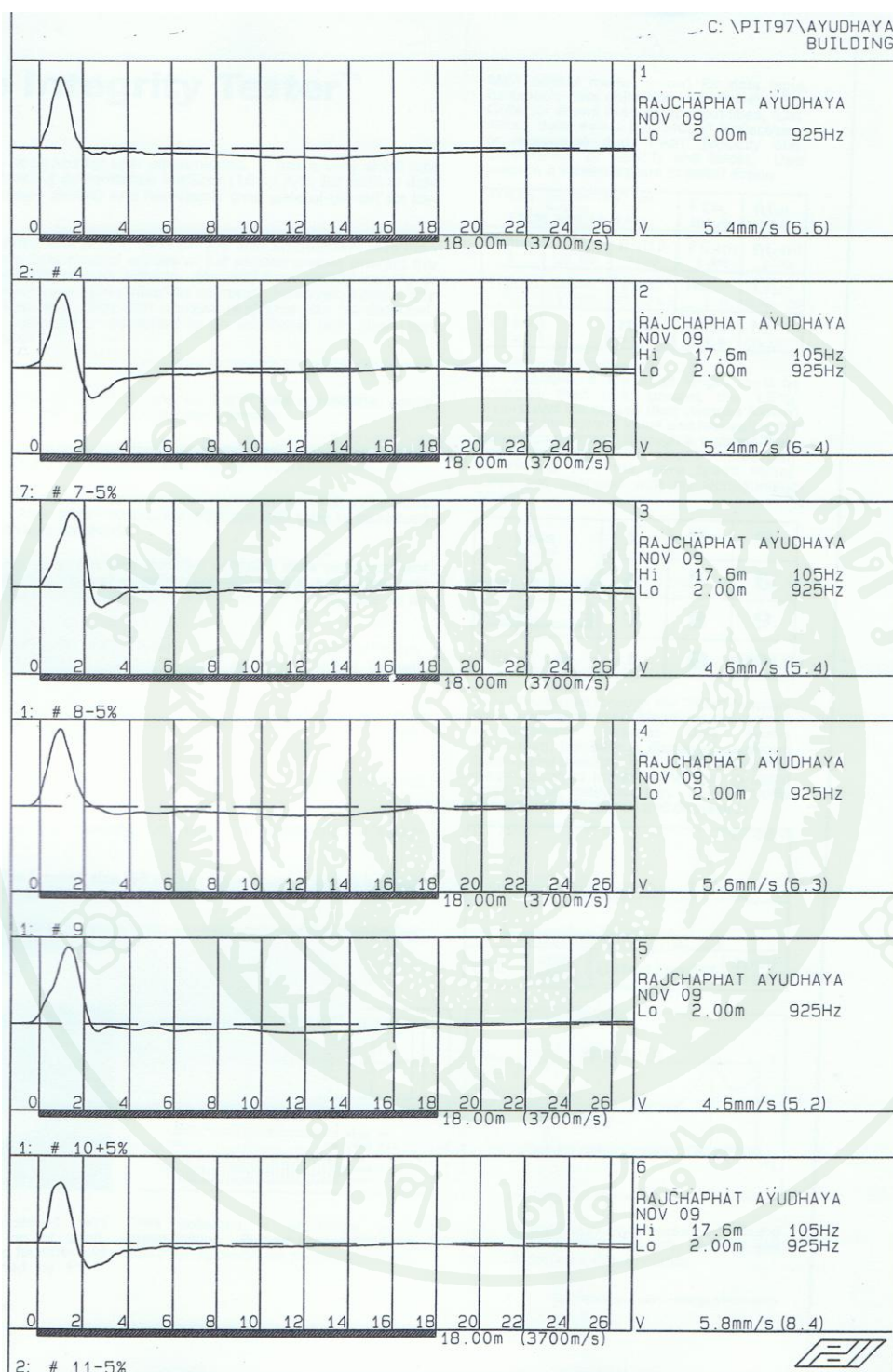


ภาพผนวกที่ ก4 แสดงสถานที่ทดสอบโดยวิธี Dynamic Test โครงการก่อสร้างสะพานข้ามคลอง  
บางน้อย

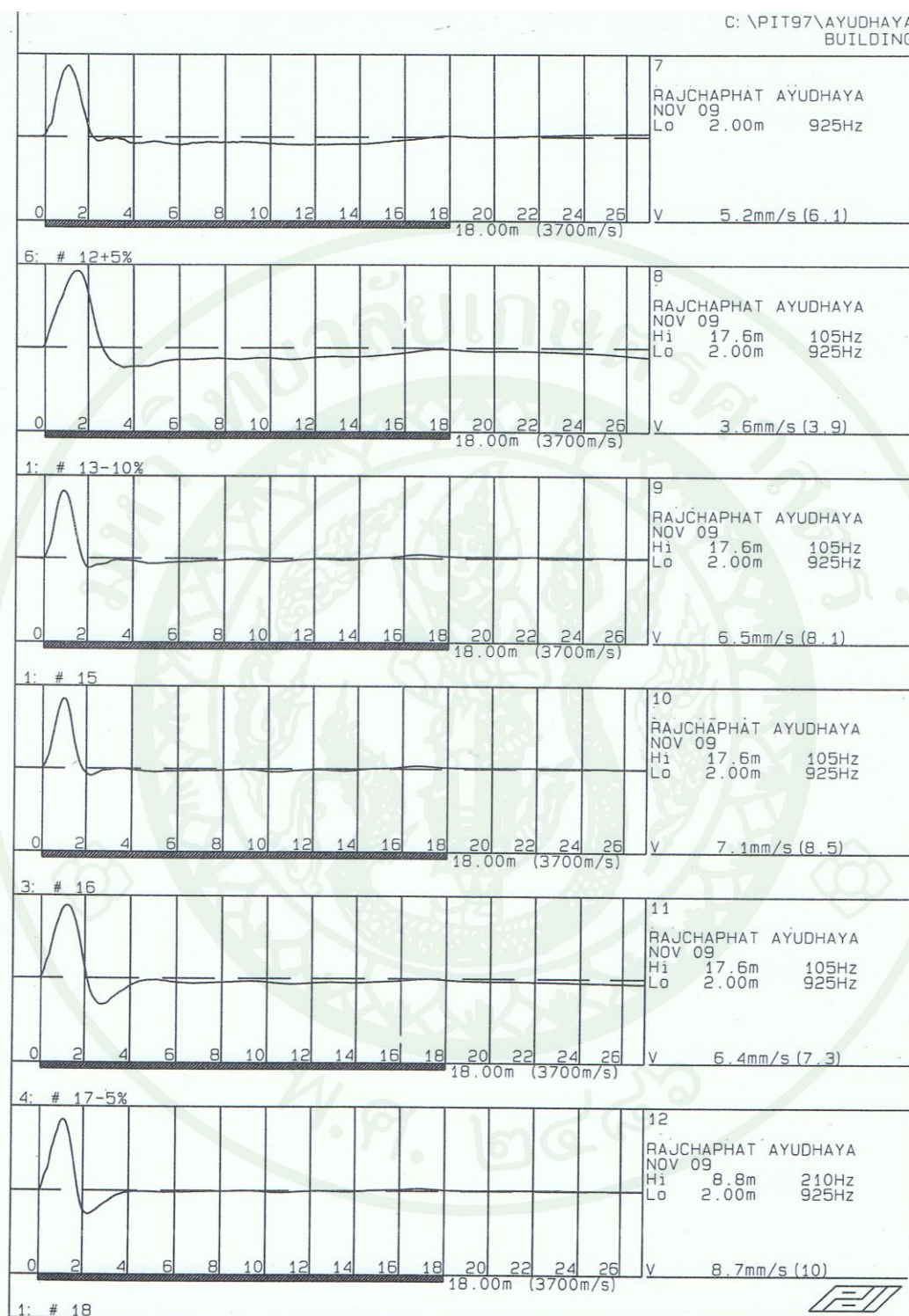




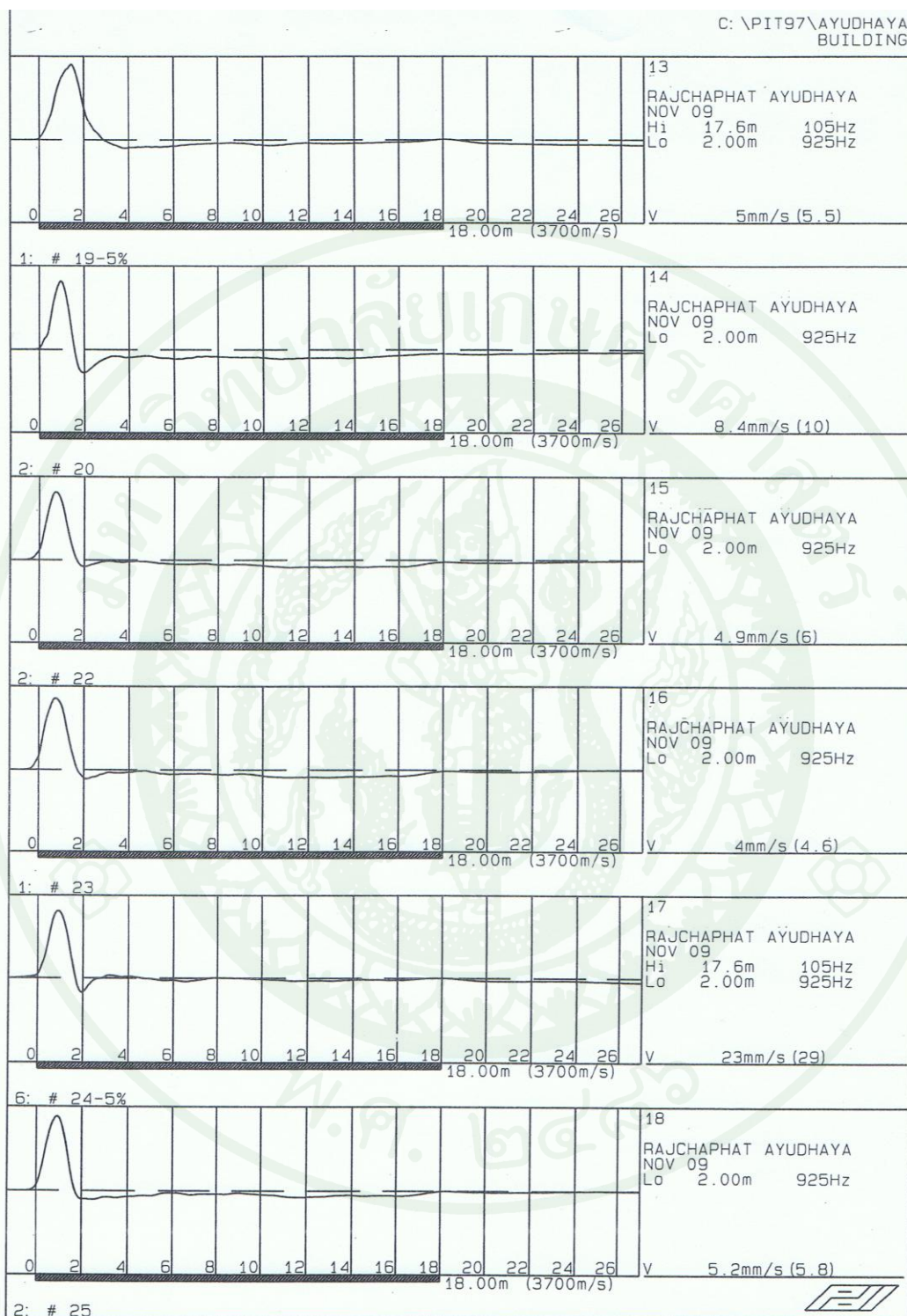
ภาพผนวกที่ ข1 กราฟความเร็วและเวลาการทดสอบโดยวิธี Seismic Test โครงการก่อสร้างอาคาร  
ที่พักอาศัยขนาดสูง 8 ชั้น



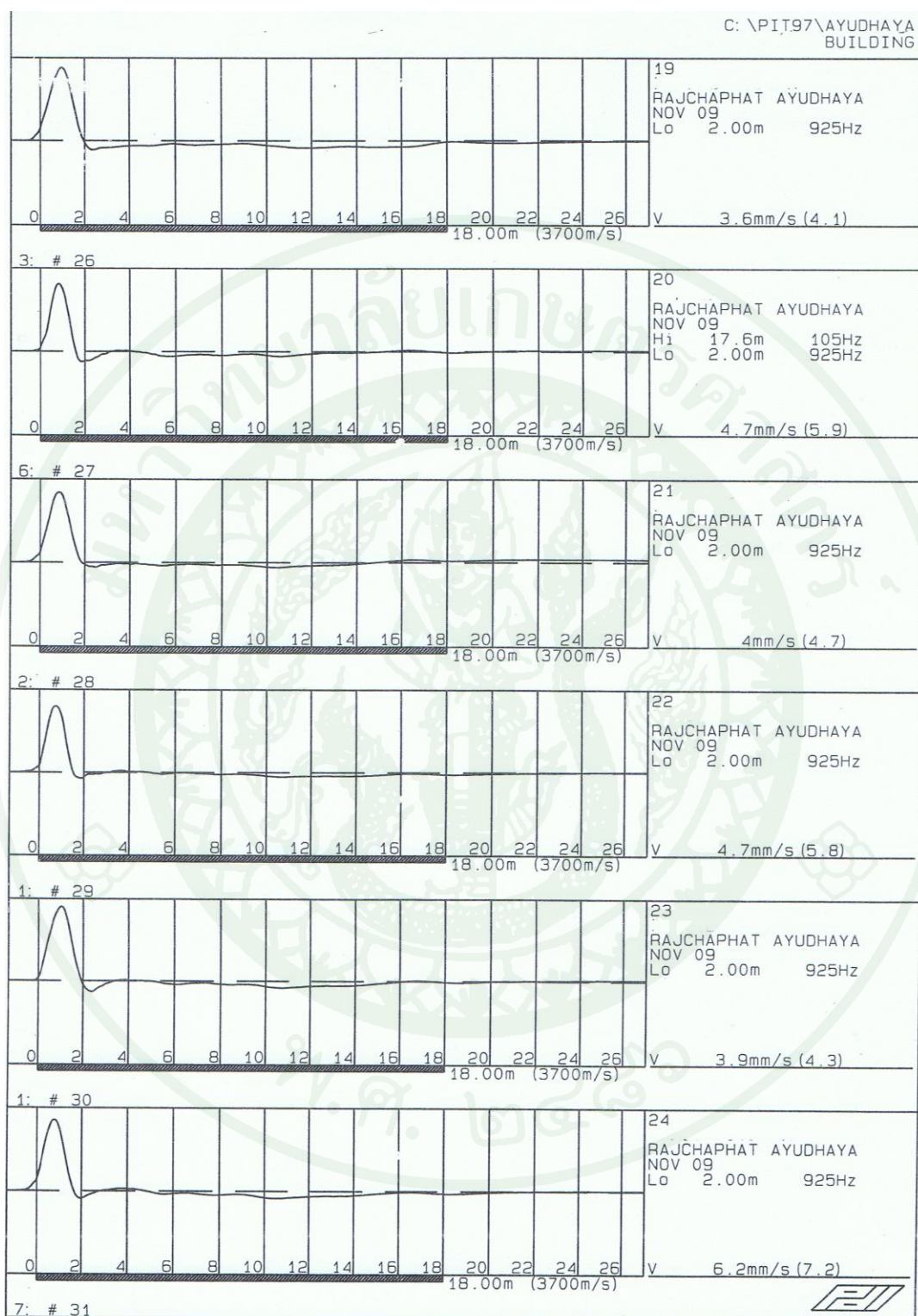
ภาพผนวกที่ ข2 กราฟความเร็วและเวลาการทดสอบโดยวิธี Seismic Test โครงการก่อสร้าง  
อาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา



ภาพผนวกที่ ข2 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ ข2 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ ข2 (ต่อ)



ภาคผนวก ค

ผลลัพธ์จากโปรแกรม CAPWAP ของวิธี Dynamic Load Test

N.D.T. Technology

NOV 17,09

ARTIKARNBADEE BUILDING, AYUDHAYA RAJCHA., Project: BUILDING

Pile: NO.12:LINE-15A Blow: 3

Collected: NOV 17,09 Operator: NDT TECHNOLOGY CAPWAP(R) Ver. 1996-2

## CAPWAP FINAL RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 132.0; along Shaft 97.0; at Toe 35.0 Tons

| Soil Sgmnt No.                   | Dist. Below Gages m | Depth Below Grade m | Ru Tons | Force in Pile at Ru Tons | Sum of Ru Tons | Unit w. Respect to Depth Tons/m | Resist. Area Tons/m2 | Smith Damping Factor s/m | Quake mm |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|---------|--------------------------|----------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------|----------|
|                                  |                     |                     |         | 132.0                    |                |                                 |                      |                          |          |
| 1                                | 1.0                 | .5                  | .6      | 131.4                    | .6             | .57                             | .41                  | .446                     | 2.500    |
| 2                                | 2.0                 | 1.5                 | .6      | 130.8                    | 1.2            | .65                             | .46                  | .446                     | 2.500    |
| 3                                | 3.0                 | 2.5                 | .7      | 130.1                    | 1.9            | .73                             | .52                  | .446                     | 2.500    |
| 4                                | 4.0                 | 3.5                 | .8      | 129.2                    | 2.8            | .81                             | .58                  | .446                     | 2.500    |
| 5                                | 5.0                 | 4.5                 | .9      | 128.4                    | 3.6            | .88                             | .63                  | .446                     | 2.500    |
| 6                                | 6.0                 | 5.5                 | 1.0     | 127.4                    | 4.6            | .96                             | .69                  | .446                     | 2.500    |
| 7                                | 7.0                 | 6.5                 | 1.0     | 126.4                    | 5.6            | 1.04                            | .74                  | .446                     | 2.500    |
| 8                                | 8.0                 | 7.5                 | 1.1     | 125.2                    | 6.8            | 1.12                            | .80                  | .446                     | 2.500    |
| 9                                | 9.0                 | 8.5                 | 1.2     | 124.1                    | 7.9            | 1.19                            | .85                  | .446                     | 2.500    |
| 10                               | 10.0                | 9.5                 | 1.3     | 122.8                    | 9.2            | 1.27                            | .91                  | .446                     | 2.500    |
| 11                               | 11.0                | 10.5                | 1.4     | 121.4                    | 10.6           | 1.35                            | .96                  | .446                     | 2.500    |
| 12                               | 12.0                | 11.5                | 1.4     | 120.0                    | 12.0           | 1.43                            | 1.02                 | .446                     | 2.500    |
| 13                               | 13.0                | 12.5                | 7.1     | 112.9                    | 19.1           | 7.14                            | 5.10                 | .446                     | 2.500    |
| 14                               | 14.0                | 13.5                | 9.3     | 103.6                    | 28.4           | 9.29                            | 6.63                 | .446                     | 2.500    |
| 15                               | 15.0                | 14.5                | 11.4    | 92.1                     | 39.9           | 11.43                           | 8.16                 | .446                     | 2.500    |
| 16                               | 16.0                | 15.5                | 22.9    | 69.3                     | 62.7           | 22.86                           | 16.33                | .446                     | 2.500    |
| 17                               | 17.0                | 16.5                | 34.3    | 35.0                     | 97.0           | 34.29                           | 24.49                | .446                     | 2.500    |
| Average Skin Values              |                     |                     | 5.7     |                          |                | 5.88                            | 4.08                 | .446                     | 2.500    |
| Toe                              |                     |                     | 35.0    |                          |                |                                 | 448.72               | .412                     | 7.000    |
| Soil Model Parameters/Extensions |                     |                     |         |                          |                | Skin                            | Toe                  |                          |          |
| Case Damping Factor              |                     |                     |         |                          |                | .600                            | .200                 |                          |          |

ภาพผนวกที่ 11 CAPWAP FINAL RESULTS โครงการอาคารสำนักงานอธิการบดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

N.D.T. Technology

NOV 17,09

ARTIKARNBADEE BUILDING, AYUDHAYA RAJCHA., Project: BUILDING

File: NO.12:LINE-15A Blow: 3

Collected: NOV 17,09 Operator: NDT TECHNOLOGY CAPWAP(R) Ver. 1996-2

EXTREMA TABLE

| Pile Sgmnt No. | Dist. Below Gages m | max. Force Tons | min. Force Tons | max. Comp. Stress Tons/cm2 | max. Tension Stress Tons/cm2 | max. Trnsfd. Energy Tons-m | max. Veloc. m/s | max. Displ. mm |
|----------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------|----------------|
| 1              | 1.0                 | 144.4           | -17.6           | .186                       | -.023                        | 1.67                       | 1.8             | 14.385         |
| 2              | 2.0                 | 144.1           | -18.5           | .186                       | -.024                        | 1.65                       | 1.8             | 14.050         |
| 3              | 3.0                 | 143.8           | -19.1           | .186                       | -.025                        | 1.62                       | 1.8             | 13.705         |
| 5              | 5.0                 | 142.8           | -20.3           | .184                       | -.026                        | 1.56                       | 1.8             | 12.984         |
| 7              | 7.0                 | 142.0           | -21.0           | .183                       | -.027                        | 1.49                       | 1.8             | 12.208         |
| 8              | 8.0                 | 141.9           | -21.2           | .183                       | -.027                        | 1.45                       | 1.7             | 11.799         |
| 10             | 10.0                | 146.0           | -21.5           | .188                       | -.028                        | 1.36                       | 1.7             | 10.938         |
| 12             | 12.0                | 147.4           | -22.1           | .190                       | -.029                        | 1.28                       | 1.6             | 10.046         |
| 13             | 13.0                | 148.7           | -22.3           | .192                       | -.029                        | 1.23                       | 1.5             | 9.593          |
| 15             | 15.0                | 135.6           | -10.9           | .175                       | -.014                        | .99                        | 1.5             | 8.757          |
| 16             | 16.0                | 120.7           | -5.1            | .156                       | -.007                        | .85                        | 1.5             | 8.393          |
| 17             | 17.0                | 90.5            | .0              | .117                       | .000                         | .28                        | 1.4             | 8.110          |
| Absolute       | 13.0                |                 |                 | .192                       |                              | (T=                        | 29.1 ms)        |                |
|                | 13.0                |                 |                 |                            | -.029                        | (T=                        | 53.8 ms)        |                |

CASE METHOD

|                    | J=0.0  | J=0.1                | J=0.2 | J=0.3  | J=0.4  | J=0.5 | J=0.6 | J=0.7 | J=0.8 | J=0.9 |
|--------------------|--------|----------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| RS1                | 173.   | 162.                 | 151.  | 140.   | 129.   | 118.  | 107.  | 96.   | 85.   | 73.   |
| RMX                | 177.   | 167.                 | 157.  | 147.   | 139.   | 131.  | 125.  | 120.  | 116.  | 113.  |
| RSU                | 0.     | 0.                   | 0.    | 0.     | 0.     | 0.    | 0.    | 0.    | 0.    | 0.    |
| RAU                | 90.    | RA2                  | 140.  |        |        |       |       |       |       |       |
| Current CAPWAP Ru= | 132.0; | Corresponding J(Rs)= | .37;  | J(Rx)= | .49    |       |       |       |       |       |
| VMX                | VFN    | VT1*Z                | FT1   | FMX    | DMX    | DFN   | EMX   | EFN   | RLT   | RE    |
| 1.89               | -.01   | 136.0                | 138.6 | 139.9  | 14.593 | 3.258 | 1.7   | 1.4   | 171.  | 222   |

PILE PROFILE AND PILE MODEL

| Depth m            | Area cm2    | E-Modulus Tons/cm2 | Spec. Weight Tons/ m3 | Circumf. m |
|--------------------|-------------|--------------------|-----------------------|------------|
| .00                | 900.00      | 335.0              | 2.450                 | 1.200      |
| 8.00               | 900.00      | 335.0              | 2.450                 | 1.200      |
| Toe Area           | .090 m2     |                    |                       |            |
| Top Segment Length | 1.00 meter, | Top Impedance      | 82.32 Tons/m/s        |            |
| Pile Damping       | 2.0 %,      | Time Incr          | .833 ms               |            |

ภาพผนวกที่ ๑2 EXTREMA TABLE โครงการอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏ  
พระนครศรีอยุธยา

N.D.T. Technology

NOV 17,09

ARTIKARNADEE BUILDING, AYUDHAYA RAJCHA., Project: BUILDING

File: NO.12:LINE-15A Blow: 3

Collected: NOV 17,09 Operator: NDT TECHNOLOGY CAPWAP(R) Ver. 1996-2

CAPWAP ANNOTATIONS

Notes for ARTIKARNADEE BUILDING, AYUDHAYA RAJCHA.

Records: 1/ 1 for PDA Temporary File: C:\CAPDATA

|       |       |       |        |      |      |      |      |      |     |
|-------|-------|-------|--------|------|------|------|------|------|-----|
| QSkN  | UNld  | CSkn  | LSkn   | JSkn | SSkn | REss | SKdp | MSkn | PII |
| 2.500 | 1.000 | 1.000 | -1.000 | .600 | .446 | .000 | .000 | .000 | .02 |
| QToe  | TGap  | CToe  | LToe   | JToe | SToe | OPTd | BTdp | MToe | PLu |
| 7.000 | .000  | 1.000 | .000   | .200 | .412 | .000 | .000 | .000 | .00 |

|      |      |         |      |        |         |       |        |
|------|------|---------|------|--------|---------|-------|--------|
| FOsc | VEsc | DIsc    | TIsc | FDsc   | DFsc    | RSsc  | FPsc   |
| 200. | 2.00 | 200.000 | 6.00 | 140.00 | 200.000 | 30.00 | 200.00 |
| STcw | RUCw | BLcw    |      |        |         |       |        |
| 8.00 | 200. | 1200.   |      |        |         |       |        |

|      |       |      |      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|-------|------|------|------|
| TVpk | ACas  | Tlad | T2ad | A12   | T3ad | T4ad | A34  |
| 22.8 | -.10  | 12.2 | 22.8 | .00   | 22.8 | 26.3 | 2.02 |
| VCal | VPcl  | FCal | FZcl | FPcl  | TBeg | TEnd |      |
| 1.00 | 1.000 | 1.00 | 72.1 | 1.000 | 12.2 | 58.1 |      |
| VASH | FASH  | VTsh | FTsh | VFil  | FFil |      |      |
| .0   | .0    | 0    | 0    | 0     | 0    |      |      |

|      |        |        |       |      |      |        |      |      |    |
|------|--------|--------|-------|------|------|--------|------|------|----|
| PEnt | M-BLct | C-BLct | CIrc  | BTar | MQno | Freq   | J-Rx | J-Rs | RS |
| 16.5 | 200.0  | 226.4  | 1.400 | .078 | 6.88 | 10000. | .49  | .37  |    |

|             |         |                    |                            |                             |
|-------------|---------|--------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Added Quake | Cut-Off | E-Modul Multiplier | Toe Quake and Damping Optn | Uplift Frictn Reduct. Factr |
| .00         | .00     | 1.00               | 0                          | .80                         |

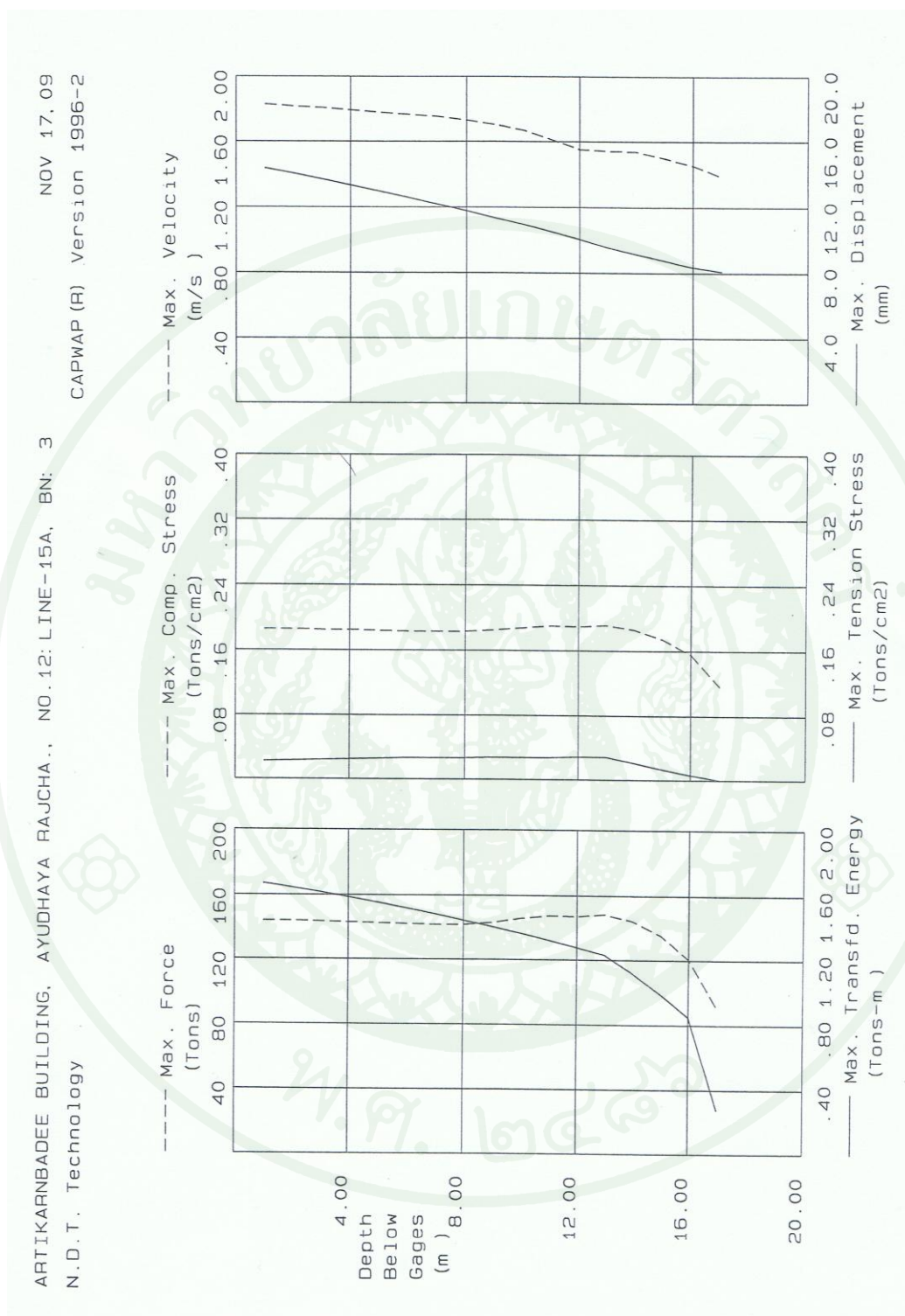
Added Impedance  
None

Added Damping  
None

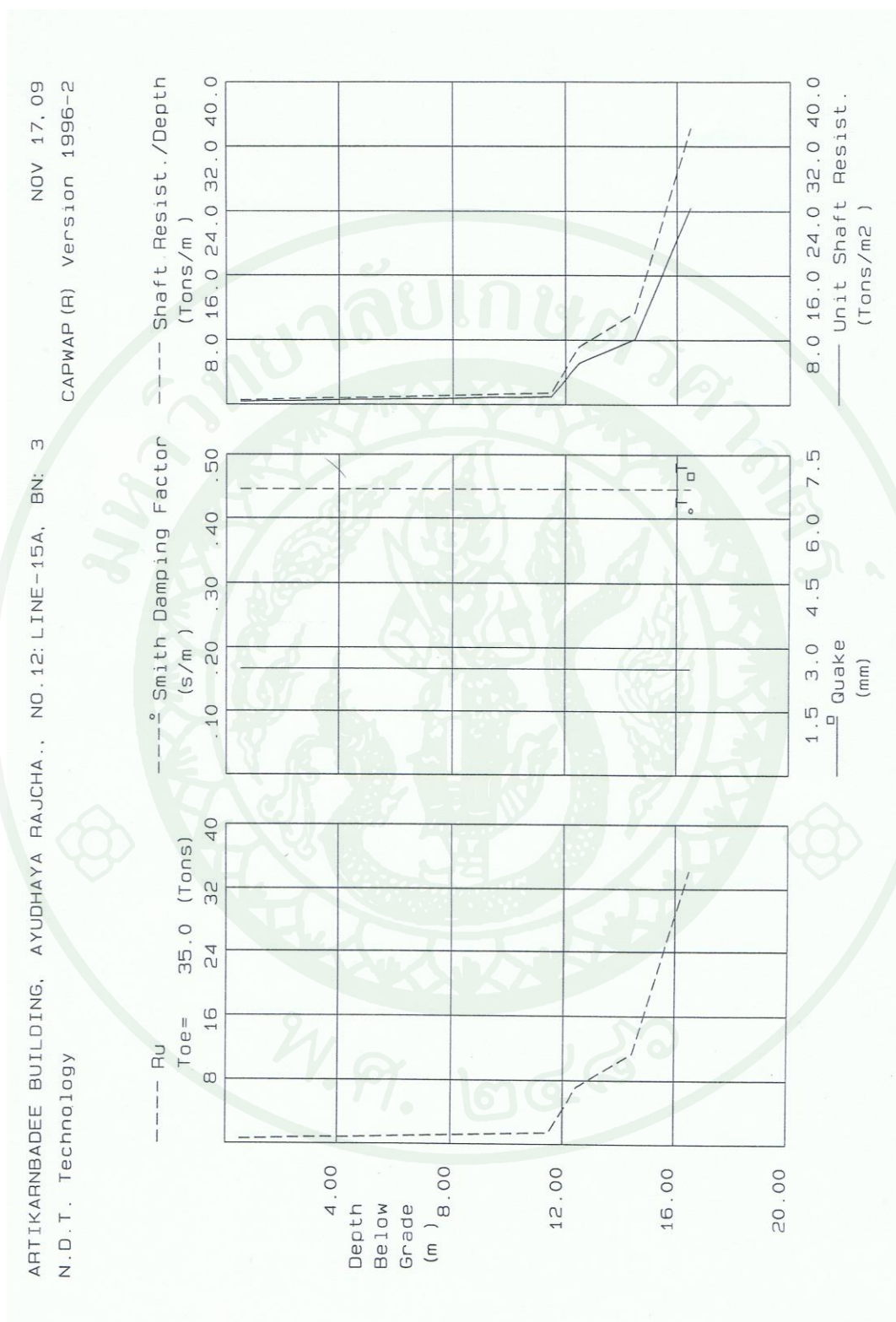
Damping Multipliers  
All ones

Capacity Reduction Factors  
All ones

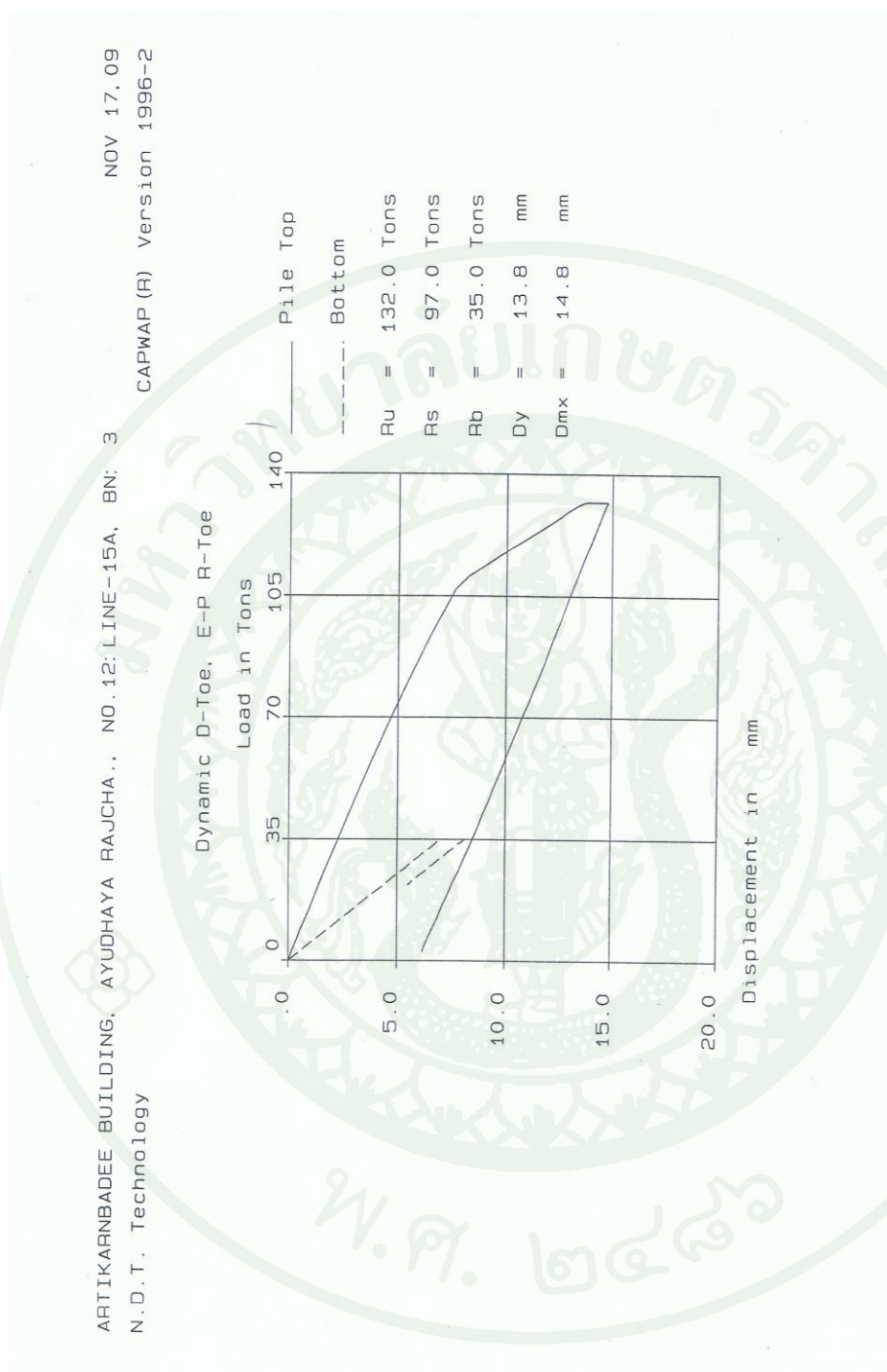
ภาพผนวกที่ ค3 CAPWAP ANNOTATIONS โครงการอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา



ภาพผนวกที่ ค4 กราฟการวิเคราะห์การรับน้ำหนัก โครงอาคารสำนักงานอธิการบดี  
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา



ภาพผนวกที่ ค4 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ ๓ (ต่อ)

N.D.T. Technology

JUNE 26

PANITNAVEE SCHOOL, SAMUTPRAKARN, Project: BUILDING

File: 64

Blow: 2

Data: SQ-350mmX350mmX32.00 m

Collected: JUNE 26

Operator: NDT TECHNOLOGY

CAPWAP(R) Ver. 1996-2

## CAPWAP FINAL RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 175.4; along Shaft 129.1; at Toe 46.2 Tons

| Soil Sgmt No. | Dist. Below Gages m | Depth Below Grade m | Ru Tons | Force in Pile at Ru Tons | Sum of Ru Tons | Unit Resist. Depth Tons/m | Resist. Area Tons/m2 | Smith Damping Factor s/m | Quake mm |
|---------------|---------------------|---------------------|---------|--------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|----------|
|               |                     |                     |         | 175.4                    |                |                           |                      |                          |          |
| 1             | 1.0                 | .8                  | .2      | 175.2                    | .2             | .16                       | .11                  | .621                     | 2.500    |
| 2             | 2.0                 | 1.8                 | 2.1     | 173.1                    | 2.3            | 2.06                      | 1.47                 | .621                     | 2.500    |
| 3             | 3.1                 | 2.9                 | 2.2     | 170.9                    | 4.4            | 2.11                      | 1.51                 | .621                     | 2.500    |
| 4             | 4.1                 | 3.9                 | 2.2     | 168.7                    | 6.6            | 2.17                      | 1.55                 | .621                     | 2.500    |
| 5             | 5.1                 | 4.9                 | 2.3     | 166.4                    | 8.9            | 2.23                      | 1.59                 | .621                     | 2.500    |
| 6             | 6.1                 | 5.9                 | 2.3     | 164.1                    | 11.3           | 2.29                      | 1.63                 | .621                     | 2.500    |
| 7             | 7.2                 | 7.0                 | 2.4     | 161.7                    | 13.7           | 2.35                      | 1.68                 | .621                     | 2.500    |
| 8             | 8.2                 | 8.0                 | 2.5     | 159.2                    | 16.1           | 2.40                      | 1.72                 | .621                     | 2.500    |
| 9             | 9.2                 | 9.0                 | 2.5     | 156.7                    | 18.6           | 2.46                      | 1.76                 | .621                     | 2.500    |
| 10            | 10.2                | 10.0                | 2.6     | 154.1                    | 21.2           | 2.52                      | 1.80                 | .621                     | 2.500    |
| 11            | 11.2                | 11.0                | 2.6     | 151.5                    | 23.9           | 2.58                      | 1.84                 | .621                     | 2.500    |
| 12            | 12.3                | 12.1                | 2.7     | 148.8                    | 26.6           | 2.64                      | 1.88                 | .621                     | 2.500    |
| 13            | 13.3                | 13.1                | 2.8     | 146.0                    | 29.3           | 2.70                      | 1.93                 | .621                     | 2.500    |
| 14            | 14.3                | 14.1                | 2.8     | 143.2                    | 32.1           | 2.75                      | 1.97                 | .621                     | 2.500    |
| 15            | 15.3                | 15.1                | 2.9     | 140.4                    | 35.0           | 2.81                      | 2.01                 | .621                     | 2.500    |
| 16            | 16.4                | 16.2                | 2.9     | 137.4                    | 37.9           | 2.87                      | 2.05                 | .621                     | 2.877    |
| 17            | 17.4                | 17.2                | 3.0     | 134.4                    | 40.9           | 2.93                      | 2.09                 | .621                     | 2.500    |
| 18            | 18.4                | 18.2                | 3.1     | 131.4                    | 44.0           | 2.99                      | 2.13                 | .621                     | 2.500    |
| 19            | 19.4                | 19.2                | 3.1     | 128.3                    | 47.1           | 3.05                      | 2.18                 | .621                     | 2.500    |
| 20            | 20.5                | 20.3                | 3.2     | 125.1                    | 50.3           | 3.10                      | 2.22                 | .621                     | 2.500    |
| 21            | 21.5                | 21.3                | 3.2     | 121.8                    | 53.5           | 3.16                      | 2.26                 | .621                     | 2.500    |
| 22            | 22.5                | 22.3                | 3.3     | 118.6                    | 56.8           | 3.22                      | 2.30                 | .621                     | 2.500    |
| 23            | 23.5                | 23.3                | 3.4     | 115.2                    | 60.2           | 3.28                      | 2.34                 | .621                     | 2.500    |
| 24            | 24.5                | 24.3                | 4.2     | 111.0                    | 64.4           | 4.11                      | 2.94                 | .621                     | 2.500    |
| 25            | 25.6                | 25.4                | 4.7     | 106.3                    | 69.1           | 4.60                      | 3.29                 | .621                     | 2.500    |
| 26            | 26.6                | 26.4                | 5.1     | 101.2                    | 74.2           | 5.02                      | 3.58                 | .621                     | 2.500    |
| 27            | 27.6                | 27.4                | 5.8     | 95.4                     | 80.0           | 5.67                      | 4.05                 | .621                     | 2.500    |

ภาพผนวกที่ ค5 CAPWAP FINAL RESULTS โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึก

พานิชย์นาวิ No. 64

N.D.T. Technology

JUNE 26

PANITNAVEE SCHOOL, SAMUTPRAKARN, Project: BUILDING

Pile: 64

Blow: 2

Data: SQ-350mmX350mmX32.00 m

Collected: JUNE 26

Operator: NDT TECHNOLOGY

CAPWAP(R) Ver. 1996-2

## CAPWAP FINAL RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 175.4; along Shaft 129.1; at Toe 46.2 Tons

| Soil Sgmnt No.      | Dist. Below Gages m | Depth Below Grade m | Ru Tons | Force in Pile at Ru Tons | Sum of Ru Tons | Unit Resist. w. Respect to Depth Tons/m | Resist. Area Tons/m2 | Smith Factor g/m | Quake mm |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------|--------------------------|----------------|-----------------------------------------|----------------------|------------------|----------|
| 28                  | 28.6                | 28.4                | 6.7     | 88.6                     | 86.7           | 6.58                                    | 4.70                 | .621             | 3.500    |
| 29                  | 29.7                | 29.5                | 10.1    | 78.5                     | 96.8           | 9.87                                    | 7.05                 | .621             | 2.500    |
| 30                  | 30.7                | 30.5                | 12.6    | 65.9                     | 109.4          | 12.33                                   | 8.81                 | .621             | 2.500    |
| 31                  | 31.7                | 31.5                | 19.7    | 46.2                     | 129.1          | 19.25                                   | 13.75                | .621             | 2.500    |
| Average Skin Values |                     |                     | 4.2     |                          |                | 4.10                                    | 2.91                 | .621             | 2.509    |
| Toe                 |                     |                     | 46.2    |                          |                |                                         | 375.25               | .223             | 3.000    |

## Soil Model Parameters/Extensions

Case Damping Factor

Unloading Level

(% of Ru)

Skin

Toe

.700

.090

50

ภาพผนวกที่ ค5 (ต่อ)

N.D.T. Technology

JUNE 26

PANITNAVEE SCHOOL, SAMUTPRAKARN, Project: BUILDING

File: 64

Blow: 2

Data: SQ-350mmX350mmX32.00 m

Collected: JUNE 26

Operator: NDT TECHNOLOGY

CAPWAP(R) Ver. 1996-2

## EXTREMA TABLE

| Pile Sgmnt No. | Dist. Below Gages m | max. Force Tons | min. Force Tons | max. Comp. Stress Tons/cm2 | max. Tension Stress Tons/cm2 | max. Trnsfd. Energy Tons-m | max. Veloc. m/s | max. Displ. mm |
|----------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------|----------------|
| 1              | 1.0                 | 153.6           | -7.6            | .125                       | -.006                        | .96                        | 1.1             | 7.752          |
| 3              | 3.1                 | 153.5           | -10.4           | .125                       | -.008                        | .93                        | 1.1             | 7.477          |
| 6              | 6.1                 | 148.2           | -13.6           | .121                       | -.011                        | .85                        | 1.1             | 7.063          |
| 9              | 9.2                 | 142.6           | -16.9           | .116                       | -.014                        | .78                        | 1.0             | 6.638          |
| 12             | 12.3                | 136.5           | -19.7           | .111                       | -.016                        | .70                        | 1.0             | 6.266          |
| 15             | 15.3                | 130.2           | -20.9           | .106                       | -.017                        | .63                        | .9              | 5.991          |
| 18             | 18.4                | 125.0           | -21.2           | .102                       | -.017                        | .56                        | .8              | 5.619          |
| 21             | 21.5                | 119.0           | -20.1           | .097                       | -.016                        | .49                        | .8              | 5.202          |
| 24             | 24.5                | 107.0           | -17.1           | .087                       | -.014                        | .42                        | .8              | 4.719          |
| 27             | 27.6                | 100.6           | -10.9           | .082                       | -.009                        | .33                        | .8              | 4.231          |
| 30             | 30.7                | 87.0            | -4.2            | .071                       | -.003                        | .23                        | .8              | 3.771          |
| 31             | 31.7                | 74.0            | -1.6            | .060                       | -.001                        | .12                        | .8              | 3.637          |
| Absolute       | 2.0                 |                 |                 | .127                       |                              | (T=                        | 24.3 ms)        |                |
|                | 17.4                |                 |                 |                            | -.017                        | (T=                        | 49.3 ms)        |                |

## CASE METHOD

|     | J=0.0 | J=0.1 | J=0.2 | J=0.3 | J=0.4 | J=0.5 | J=0.6 | J=0.7 | J=0.8 | J=0.9 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| RS1 | 279.  | 261.  | 242.  | 224.  | 205.  | 187.  | 168.  | 150.  | 131.  | 113   |
| RMX | 290.  | 262.  | 242.  | 224.  | 205.  | 187.  | 168.  | 162.  | 162.  | 162   |
| RSU | 0.    | 0.    | 0.    | 0.    | 0.    | 0.    | 0.    | 0.    | 0.    | 0     |
| RAU | 152.  | RA2   | 165.  |       |       |       |       |       |       |       |

Current CAPWAP Ru= 175.4; Corresponding J(Rs)= .16; J(Rx)= .16

| VMX  | VFN | VT1*Z | FT1   | FMX   | DMX   | DFN   | EMX | EFN | RLT  | RE  |
|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|------|-----|
| 1.24 | .05 | 142.4 | 141.6 | 141.6 | 8.420 | 2.961 | 1.0 | .8  | 144. | 129 |

## PILE PROFILE AND PILE MODEL

| Depth m            | Area cm2   | E-Modulus Tons/cm2 | Spec. Weight Tons/ m3 | Circumf. m |
|--------------------|------------|--------------------|-----------------------|------------|
| .00                | 1225.00    | 393.0              | 2.450                 | 1.400      |
| 31.70              | 1225.00    | 393.0              | 2.450                 | 1.400      |
| Toe Area           | .123 m2    |                    |                       |            |
| Top Segment Length | 1.02 meter | Top Impedance      | 121.36 Tons/m/s       |            |
| Pile Damping       | 2.0 %      | Time Incr          | .256 ms               |            |

ภาพผนวกที่ ๑๖ EXTREMA TABLE โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวี

No. 64

N.D.T. Technology

JUNE 26

PANITNAVEE SCHOOL, SAMUTPRAKARN, Project: BUILDING

File: 64

Blow: 2

Data: SQ-350mmX350mmX32.00 m

Collected: JUNE 26

Operator: NDT TECHNOLOGY

CAPWAP(R) Ver. 1996-2

CAPWAP ANNOTATIONS

Notes for PANITNAVEE SCHOOL, SAMUTPRAKARN

Records: 1/ 1 for PDA Temporary File: C:\CAPDATA

|       |      |       |        |      |      |      |      |      |     |
|-------|------|-------|--------|------|------|------|------|------|-----|
| QSkN  | UNld | CSkn  | LSkn   | JSkn | SSkn | REss | SKdp | MSkn | PIl |
| 2.500 | .500 | 1.000 | -1.000 | .700 | .618 | .000 | .000 | .000 | .02 |
| QToe  | TGap | CToe  | LToe   | JToe | SToe | OPTd | BTdp | MToe | PLu |
| 3.000 | .000 | 1.000 | .000   | .090 | .222 | .000 | .000 | .000 | .00 |

|      |      |        |      |        |         |       |        |
|------|------|--------|------|--------|---------|-------|--------|
| FOsc | VEsc | Disc   | Tisc | FDsc   | DFsc    | RSsc  | FPsc   |
| 200. | 2.00 | 80.000 | 6.00 | 200.00 | 160.000 | 25.00 | 250.00 |
| STcw | RUCw | BLcw   |      |        |         |       |        |
| 8.00 | 200. | 1200.  |      |        |         |       |        |

|      |       |      |       |       |      |      |      |
|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|
| TVpk | ACas  | Tlad | T2ad  | A12   | T3ad | T4ad | A34  |
| 23.8 | .02   | 15.1 | 22.5  | .00   | 22.5 | 27.9 | 1.17 |
| VCal | VPcl  | Fcal | FZcl  | FPcl  | TBeg | TEnd |      |
| 1.00 | 1.000 | 1.00 | 114.6 | 1.000 | 16.4 | 65.2 |      |
| VAsh | FAsh  | VTsh | FTsh  | VFil  | FFil |      |      |
| .0   | .0    | 0    | 0     | 0     | 0    |      |      |

|      |        |        |       |      |      |        |      |      |    |
|------|--------|--------|-------|------|------|--------|------|------|----|
| PEnt | M-BLct | C-BLct | CIrc  | BTar | MQno | Freq   | J-Rx | J-Rs | RS |
| 31.5 | 200.0  | 1001.5 | 1.400 | .123 | 1.24 | 10000. | .16  | .16  |    |

|             |         |                    |                            |                             |
|-------------|---------|--------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Added Quake | Cut-Off | E-Modul Multiplier | Toe Quake and Damping Optn | Uplift Frictn Reduct. Factr |
| .00         | .00     | 1.00               | 0                          | .80                         |

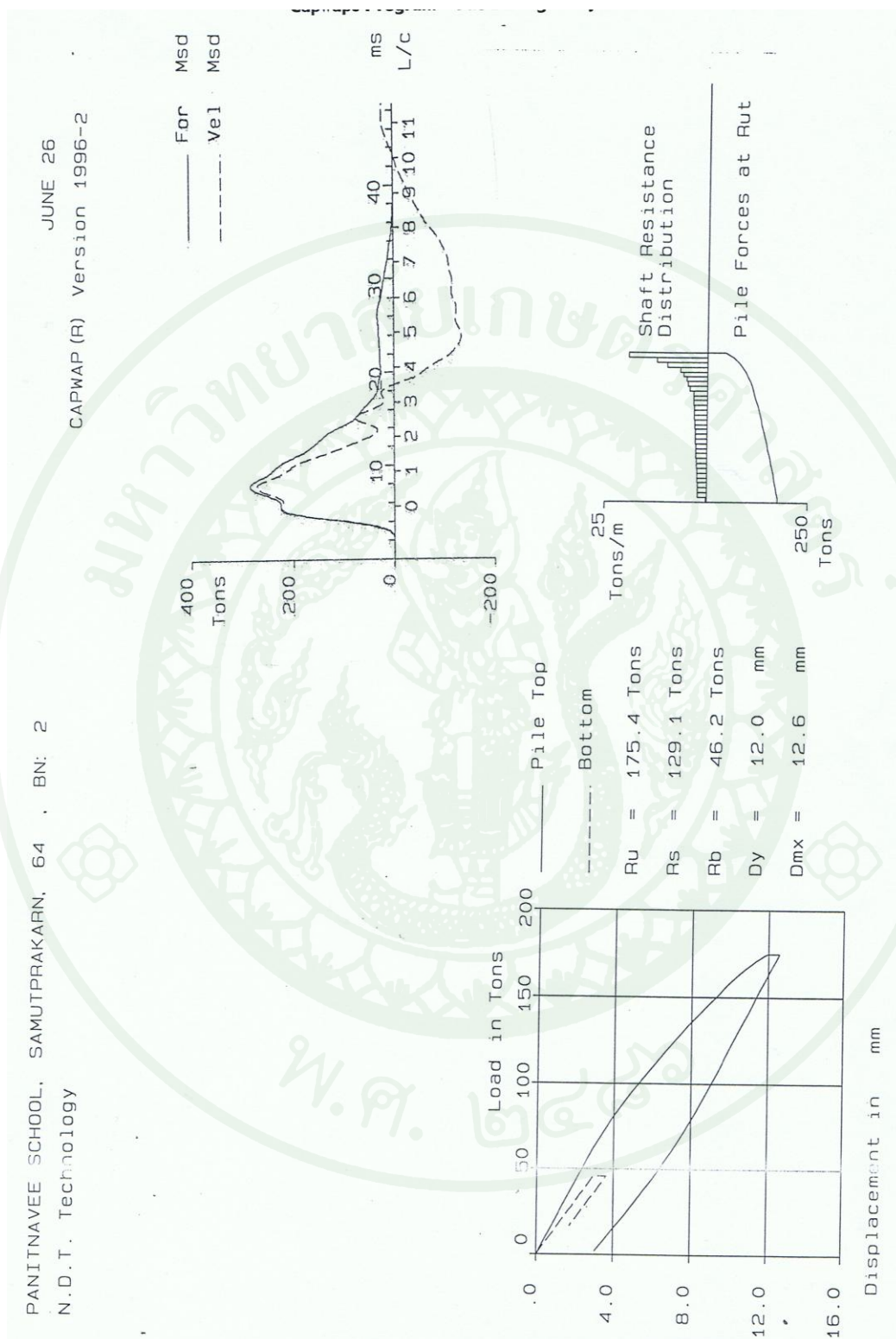
Added Impedance  
None

Added Damping  
None

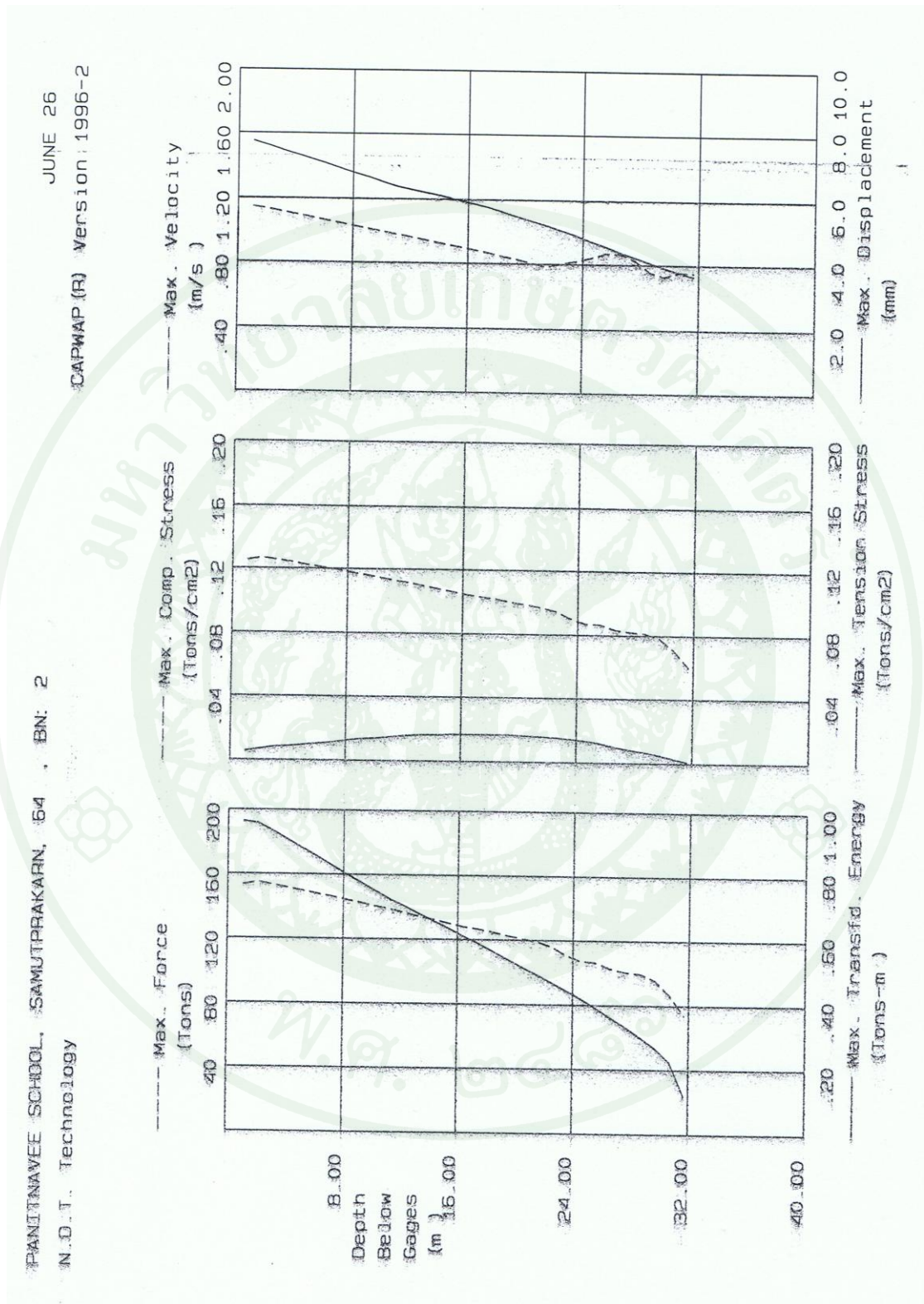
Damping Multipliers  
All ones

Capacity Reduction Factors  
All ones

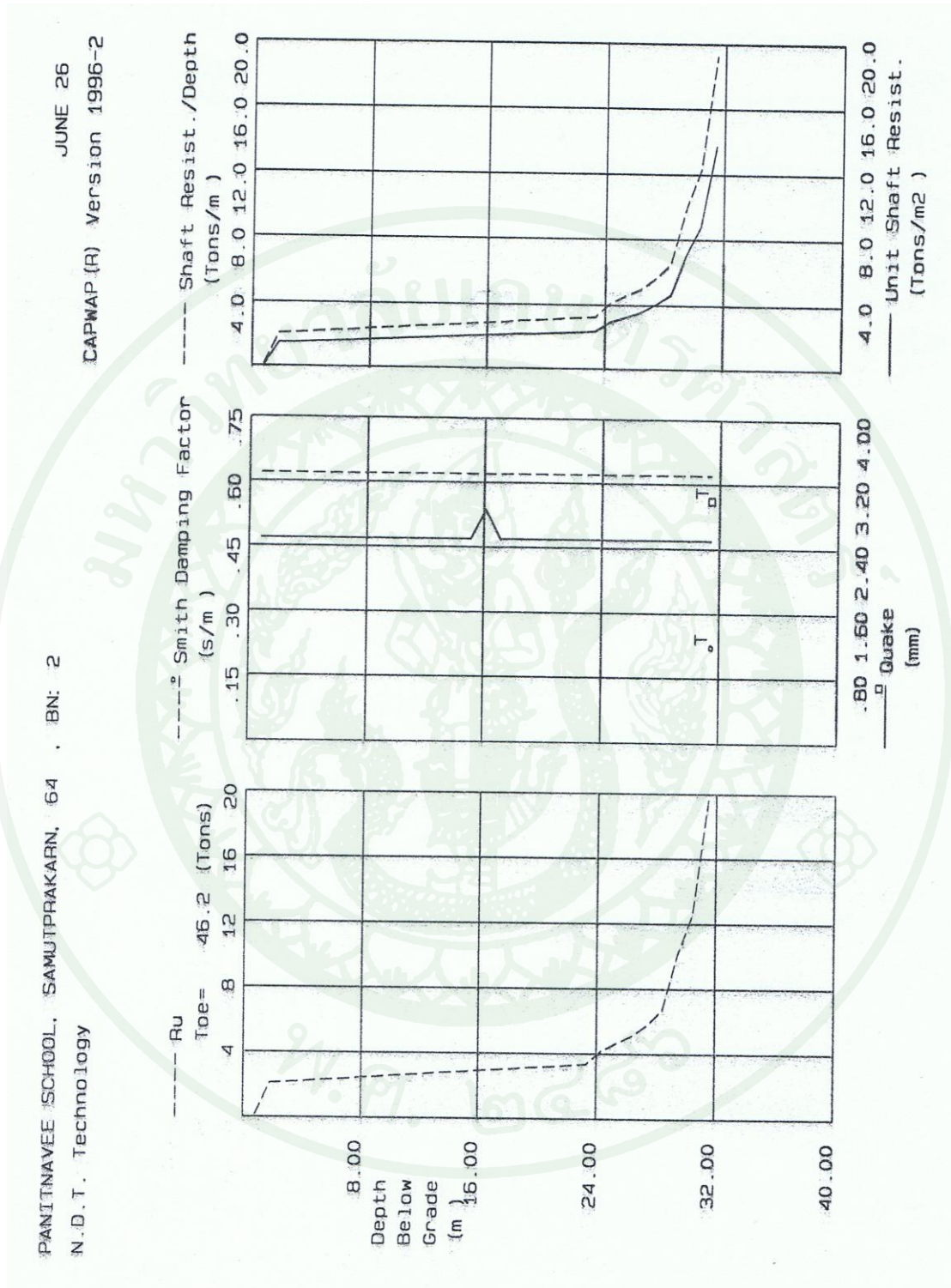
ภาพผนวกที่ ค7 CAPWAP ANNOTATIONS โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึก  
พาณิชย์นาวี No. 64



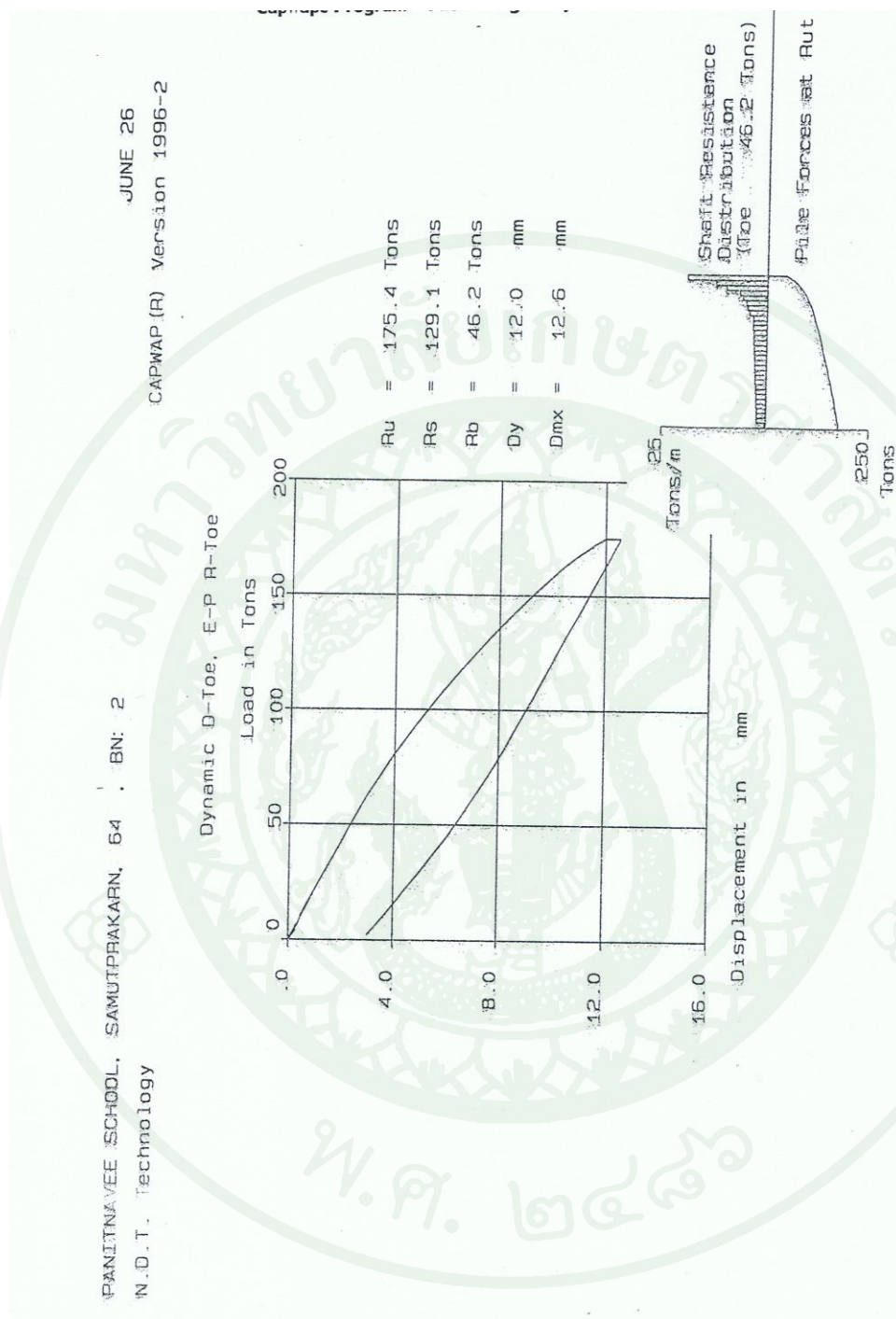
ภาพผนวกที่ ๑๘ กราฟการวิเคราะห์การรับน้ำหนัก โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึก  
พณิชยน์วิ No. 64



ภาพผนวกที่ ๘ (ต่อ)



ภาพผนวกที่ ค8 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ ๓๘ (ต่อ)

N.D.T. Technology

JUNE 26

PANITNAVEE SCHOOL, SAMUTPRAKARN, Project: BUILDING

File: 114 Blow: 2 Data: SQ-350mmX350mmX32.00 m

Collected: JUNE 26 Operator: NDT TECHNOLOGY CAPWAP(R) Ver. 1996-2

## CAPWAP FINAL RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 180.2; along Shaft 130.4; at Toe 49.8 Tons

| Soil Sgmt No. | Dist. Below Gages m | Depth Below Grade m | Ru Tons | Force in Pile at Ru Tons | Sum of Ru Tons | Unit Resist. w. Respect to Depth Tons/m | Resist. Area Tons/m2 | Smith Damping Factor s/m | Quake mm |
|---------------|---------------------|---------------------|---------|--------------------------|----------------|-----------------------------------------|----------------------|--------------------------|----------|
|               |                     |                     |         | 180.2                    |                |                                         |                      |                          |          |
| 1             | 1.0                 | .8                  | .2      | 180.0                    | .2             | .21                                     | .15                  | .703                     | 2.500    |
| 2             | 2.0                 | 1.8                 | .3      | 179.6                    | .5             | .30                                     | .21                  | .703                     | 2.500    |
| 3             | 3.1                 | 2.9                 | .4      | 179.3                    | .9             | .39                                     | .28                  | .703                     | 2.500    |
| 4             | 4.1                 | 3.9                 | .5      | 178.8                    | 1.4            | .48                                     | .34                  | .703                     | 2.500    |
| 5             | 5.1                 | 4.9                 | .6      | 178.2                    | 2.0            | .57                                     | .41                  | .703                     | 2.500    |
| 6             | 6.1                 | 5.9                 | .7      | 177.5                    | 2.7            | .66                                     | .47                  | .703                     | 2.500    |
| 7             | 7.2                 | 7.0                 | .8      | 176.7                    | 3.4            | .75                                     | .54                  | .703                     | 2.500    |
| 8             | 8.2                 | 8.0                 | .9      | 175.9                    | 4.3            | .84                                     | .60                  | .703                     | 2.500    |
| 9             | 9.2                 | 9.0                 | 1.0     | 174.9                    | 5.2            | .94                                     | .67                  | .703                     | 2.500    |
| 10            | 10.2                | 10.0                | 1.0     | 173.9                    | 6.3            | 1.03                                    | .73                  | .703                     | 2.500    |
| 11            | 11.2                | 11.0                | 1.1     | 172.7                    | 7.4            | 1.12                                    | .80                  | .703                     | 2.500    |
| 12            | 12.3                | 12.1                | 1.2     | 171.5                    | 8.7            | 1.21                                    | .86                  | .703                     | 2.500    |
| 13            | 13.3                | 13.1                | 1.3     | 170.2                    | 10.0           | 1.30                                    | .93                  | .703                     | 2.500    |
| 14            | 14.3                | 14.1                | 1.4     | 168.7                    | 11.4           | 1.39                                    | .99                  | .703                     | 2.500    |
| 15            | 15.3                | 15.1                | 1.5     | 167.2                    | 12.9           | 1.48                                    | 1.06                 | .703                     | 2.500    |
| 16            | 16.4                | 16.2                | 1.6     | 165.6                    | 14.6           | 1.57                                    | 1.12                 | .703                     | 2.877    |
| 17            | 17.4                | 17.2                | 1.7     | 163.9                    | 16.3           | 1.67                                    | 1.19                 | .703                     | 2.500    |
| 18            | 18.4                | 18.2                | 1.8     | 162.1                    | 18.1           | 1.76                                    | 1.25                 | .703                     | 2.500    |
| 19            | 19.4                | 19.2                | 1.9     | 160.2                    | 19.9           | 1.85                                    | 1.32                 | .703                     | 2.500    |
| 20            | 20.5                | 20.3                | 4.4     | 155.8                    | 24.4           | 4.33                                    | 3.09                 | .703                     | 2.500    |
| 21            | 21.5                | 21.3                | 5.5     | 150.3                    | 29.9           | 5.39                                    | 3.85                 | .703                     | 2.500    |
| 22            | 22.5                | 22.3                | 5.8     | 144.5                    | 35.7           | 5.65                                    | 4.03                 | .703                     | 2.500    |
| 23            | 23.5                | 23.3                | 6.0     | 138.5                    | 41.7           | 5.90                                    | 4.22                 | .703                     | 2.500    |
| 24            | 24.5                | 24.3                | 6.3     | 132.2                    | 48.0           | 6.16                                    | 4.40                 | .703                     | 2.500    |
| 25            | 25.6                | 25.4                | 6.6     | 125.6                    | 54.5           | 6.42                                    | 4.58                 | .703                     | 2.500    |
| 26            | 26.6                | 26.4                | 6.8     | 118.8                    | 61.4           | 6.67                                    | 4.77                 | .703                     | 2.500    |
| 27            | 27.6                | 27.4                | 7.1     | 111.7                    | 68.5           | 6.93                                    | 4.95                 | .703                     | 2.500    |

ภาพผนวกที่ ค9 CAPWAP FINAL RESULTS โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึก

พาณิชยน์วี No. 114

N.D.T. Technology

JUNE 26

PANITNAVEE SCHOOL, SAMUTPRAKARN, Project: BUILDING

Pile: 114 Blow: 2 Data: SQ-350mmX350mmX32.00 m

Collected: JUNE 26 Operator: NDT TECHNOLOGY CAPWAP (R) Ver. 1996-2

## CAPWAP FINAL RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 180.2; along Shaft 130.4; at Toe 49.8 Tons

| Soil Sgmnt No.      | Dist. Below Gages m | Depth Below Grade m | Ru Tons | Force in Pile at Ru Tons | Sum of Ru Tons | Unit Resist. w. Respect to Depth Tons/m | Resist. Area Tons/m <sup>2</sup> | Smith Factor g/m | Quake mm |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------|--------------------------|----------------|-----------------------------------------|----------------------------------|------------------|----------|
| 28                  | 28.6                | 28.4                | 7.3     | 104.4                    | 75.8           | 7.19                                    | 5.13                             | .703             | 2.500    |
| 29                  | 29.7                | 29.5                | 10.5    | 93.9                     | 86.3           | 10.27                                   | 7.33                             | .703             | 2.500    |
| 30                  | 30.7                | 30.5                | 18.9    | 75.0                     | 105.2          | 18.48                                   | 13.20                            | .703             | 2.500    |
| 31                  | 31.7                | 31.5                | 25.2    | 49.8                     | 130.4          | 24.64                                   | 17.60                            | .703             | 2.500    |
| Average Skin Values |                     |                     | 4.2     |                          |                | 4.14                                    | 2.94                             | .703             | 2.505    |
| Toe                 |                     |                     | 49.8    |                          |                |                                         | 404.62                           | .230             | 2.800    |

Soil Model Parameters/Extensions

Skin Toe

Case Damping Factor

.800 .100

ภาพผนวกที่ ค9 (ต่อ)

|                                                                |                     |                          |                      |                              |                              |                            |                 |                |       |       |
|----------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------|----------------|-------|-------|
| N.D.T. Technology                                              |                     |                          |                      | JUNE 26                      |                              |                            |                 |                |       |       |
| PANITNAVEE SCHOOL, SAMUTPRAKARN, Project: BUILDING             |                     |                          |                      |                              |                              |                            |                 |                |       |       |
| File: 114                                                      |                     | Blow: 2                  |                      | Data: SQ-350mmX350mmX32.00 m |                              |                            |                 |                |       |       |
| Collected: JUNE 26                                             |                     | Operator: NDT TECHNOLOGY |                      | CAPWAP(R) Ver. 1996-2        |                              |                            |                 |                |       |       |
| EXTREMA TABLE                                                  |                     |                          |                      |                              |                              |                            |                 |                |       |       |
| Pile Sgmnt No.                                                 | Dist. Below Gages m | max. Force Tons          | min. Force Tons      | max. Comp. Stress Tons/cm2   | max. Tension Stress Tons/cm2 | max. Trnsfd. Energy Tons-m | max. Veloc. m/s | max. Displ. mm |       |       |
| 1                                                              | 1.0                 | 147.9                    | -10.3                | .121                         | -.008                        | .99                        | 1.2             | 8.553          |       |       |
| 3                                                              | 3.1                 | 148.2                    | -13.0                | .121                         | -.011                        | .98                        | 1.2             | 8.355          |       |       |
| 6                                                              | 6.1                 | 148.1                    | -17.4                | .121                         | -.014                        | .95                        | 1.2             | 7.993          |       |       |
| 9                                                              | 9.2                 | 147.1                    | -22.1                | .120                         | -.018                        | .91                        | 1.1             | 7.557          |       |       |
| 12                                                             | 12.3                | 145.4                    | -25.8                | .119                         | -.021                        | .86                        | 1.1             | 7.080          |       |       |
| 15                                                             | 15.3                | 146.7                    | -27.7                | .120                         | -.023                        | .80                        | 1.0             | 6.640          |       |       |
| 18                                                             | 18.4                | 151.5                    | -28.2                | .124                         | -.023                        | .74                        | 1.0             | 6.069          |       |       |
| 21                                                             | 21.5                | 147.6                    | -24.6                | .121                         | -.020                        | .65                        | .9              | 5.413          |       |       |
| 24                                                             | 24.5                | 133.5                    | -13.3                | .109                         | -.011                        | .51                        | .8              | 4.734          |       |       |
| 27                                                             | 27.6                | 120.9                    | -5.0                 | .099                         | -.004                        | .37                        | .8              | 4.086          |       |       |
| 30                                                             | 30.7                | 104.7                    | -.9                  | .086                         | -.001                        | .25                        | .7              | 3.511          |       |       |
| 31                                                             | 31.7                | 84.4                     | -.9                  | .069                         | -.001                        | .12                        | .7              | 3.356          |       |       |
| Absolute                                                       | 19.4                |                          |                      | .124                         |                              | (T=                        | 30.2 ms)        |                |       |       |
|                                                                | 17.4                |                          |                      |                              | -.023                        | (T=                        | 49.1 ms)        |                |       |       |
| CASE METHOD                                                    |                     |                          |                      |                              |                              |                            |                 |                |       |       |
| RS1                                                            | J=0.0               | J=0.1                    | J=0.2                | J=0.3                        | J=0.4                        | J=0.5                      | J=0.6           | J=0.7          | J=0.8 | J=0.9 |
| RMX                                                            | 276.                | 257.                     | 238.                 | 219.                         | 201.                         | 182.                       | 163.            | 144.           | 125.  | 107.  |
| RSU                                                            | 285.                | 259.                     | 241.                 | 222.                         | 204.                         | 186.                       | 168.            | 158.           | 158.  | 158.  |
|                                                                | 0.                  | 0.                       | 0.                   | 0.                           | 0.                           | 0.                         | 0.              | 0.             | 0.    | 0.    |
| RAU                                                            | 158.                | RA2                      | 156.                 |                              |                              |                            |                 |                |       |       |
| Current CAPWAP Ru= 180.2; Corresponding J(Rs)= .11; J(Rx)= .11 |                     |                          |                      |                              |                              |                            |                 |                |       |       |
| VMX                                                            | VFN                 | VT1*Z                    | FT1                  | FMX                          | DMX                          | DFN                        | EMX             | EFN            | RLT   | RE    |
| 1.24                                                           | .05                 | 142.4                    | 141.6                | 141.6                        | 8.420                        | 2.961                      | 1.0             | .8             | 144.  | 129   |
| PILE PROFILE AND PILE MODEL                                    |                     |                          |                      |                              |                              |                            |                 |                |       |       |
| Depth m                                                        | Area cm2            | E-Modulus Tons/cm2       | Spec. Weight Tons/m3 | Circumf. m                   |                              |                            |                 |                |       |       |
| .00                                                            | 1225.00             | 393.0                    | 2.450                | 1.400                        |                              |                            |                 |                |       |       |
| 31.70                                                          | 1225.00             | 393.0                    | 2.450                | 1.400                        |                              |                            |                 |                |       |       |
| Toe Area .123 m2                                               |                     |                          |                      |                              |                              |                            |                 |                |       |       |
| Top Segment Length 1.02 meter, Top Impedance 121.36 Tons/m/s   |                     |                          |                      |                              |                              |                            |                 |                |       |       |
| Pile Damping 2.0 %, Time Incr .256 ms                          |                     |                          |                      |                              |                              |                            |                 |                |       |       |

ภาพผนวกที่ 10 EXTREMA TABLE โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ศึกษาพิเศษชาวนาวี

No. 114

N.D.T. Technology JUNE 26

PANITNAVEE SCHOOL, SAMUTPRAKARN, Project: BUILDING  
 File: 114 Blow: 2 Data: SQ-350mmX350mmX32.00 m  
 Collected: JUNE 26 Operator: NDT TECHNOLOGY CAPWAP(R) Ver. 1996-2

CAPWAP ANNOTATIONS

Notes for PANITNAVEE SCHOOL, SAMUTPRAKARN  
 Records: 1/ 1 for PDA Temporary File: C:\CAPDATA

|             |        |         |        |                    |                            |        |                |              |     |
|-------------|--------|---------|--------|--------------------|----------------------------|--------|----------------|--------------|-----|
| QSkN        | UNld   | CSkn    | LSkn   | JSkn               | SSkn                       | REss   | SKdp           | MSkn         | Pil |
| 2.500       | 1.000  | 1.000   | -1.000 | .800               | .700                       | .000   | .000           | .000         | .02 |
| QToe        | TGap   | CToe    | LToe   | JToe               | SToe                       | OPTd   | BTdp           | MToe         | PLu |
| 2.800       | .000   | 1.000   | .000   | .100               | .229                       | .000   | .000           | .000         | .00 |
| FOsc        | VEsc   | Disc    | TIsc   | FDsc               | DFsc                       | RSsc   | FPsc           |              |     |
| 200.        | 2.00   | 80.000  | 6.00   | 200.00             | 160.000                    | 25.00  | 250.00         |              |     |
| STcw        | RUcw   | BLcw    |        |                    |                            |        |                |              |     |
| 8.00        | 200.   | 1200.   |        |                    |                            |        |                |              |     |
| TVpk        | ACas   | Tlad    | T2ad   | A12                | T3ad                       | T4ad   | A34            |              |     |
| 23.8        | .02    | 15.1    | 22.5   | .00                | 22.5                       | 27.9   | 1.17           |              |     |
| VCal        | VPcl   | FCal    | FZcl   | FPcl               | TBeg                       | TEnd   |                |              |     |
| 1.00        | 1.000  | 1.00    | 114.6  | 1.000              | 16.4                       | 65.2   |                |              |     |
| VAsh        | FAsh   | VTsh    | FTsh   | VFil               | FFil                       |        |                |              |     |
| .0          | .0     | 0       | 0      | 0                  | 0                          |        |                |              |     |
| PEnt        | M-BLct | C-BLct  | Circ   | BTar               | MQno                       | Freq   | J-Rx           | J-Rs         | RS  |
| 31.5        | 200.0  | 1299.4  | 1.400  | .123               | 16.50                      | 10000. | .11            | .11          |     |
| Added Quake |        | Cut-Off |        | E-Modul Multiplier | Toe Quake and Damping Optn |        | Uplift Reduct. | Frictn Factr |     |
| .00         |        | .00     |        | 1.00               | 0                          |        |                | .80          |     |

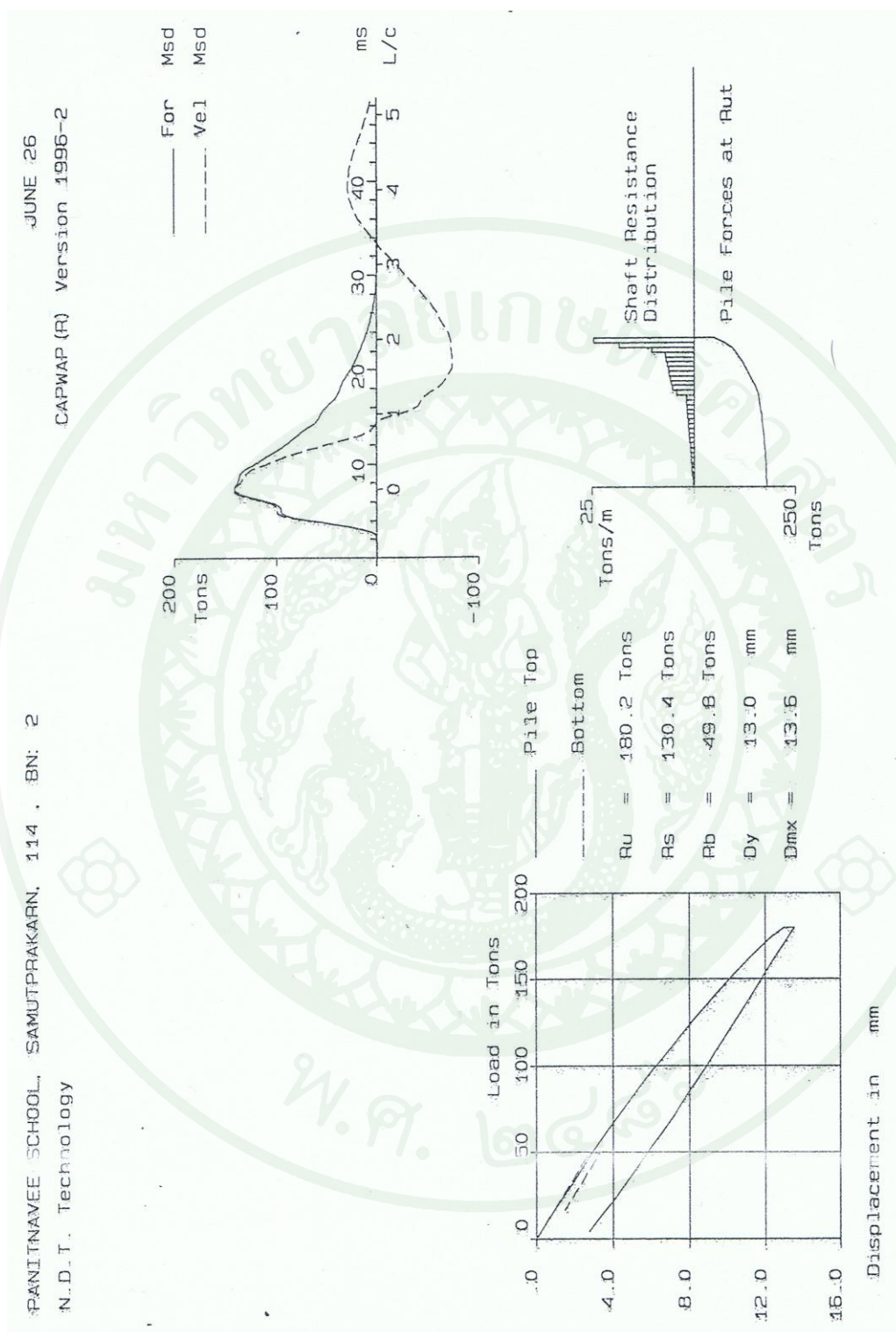
Added Impedance  
None

Added Damping  
None

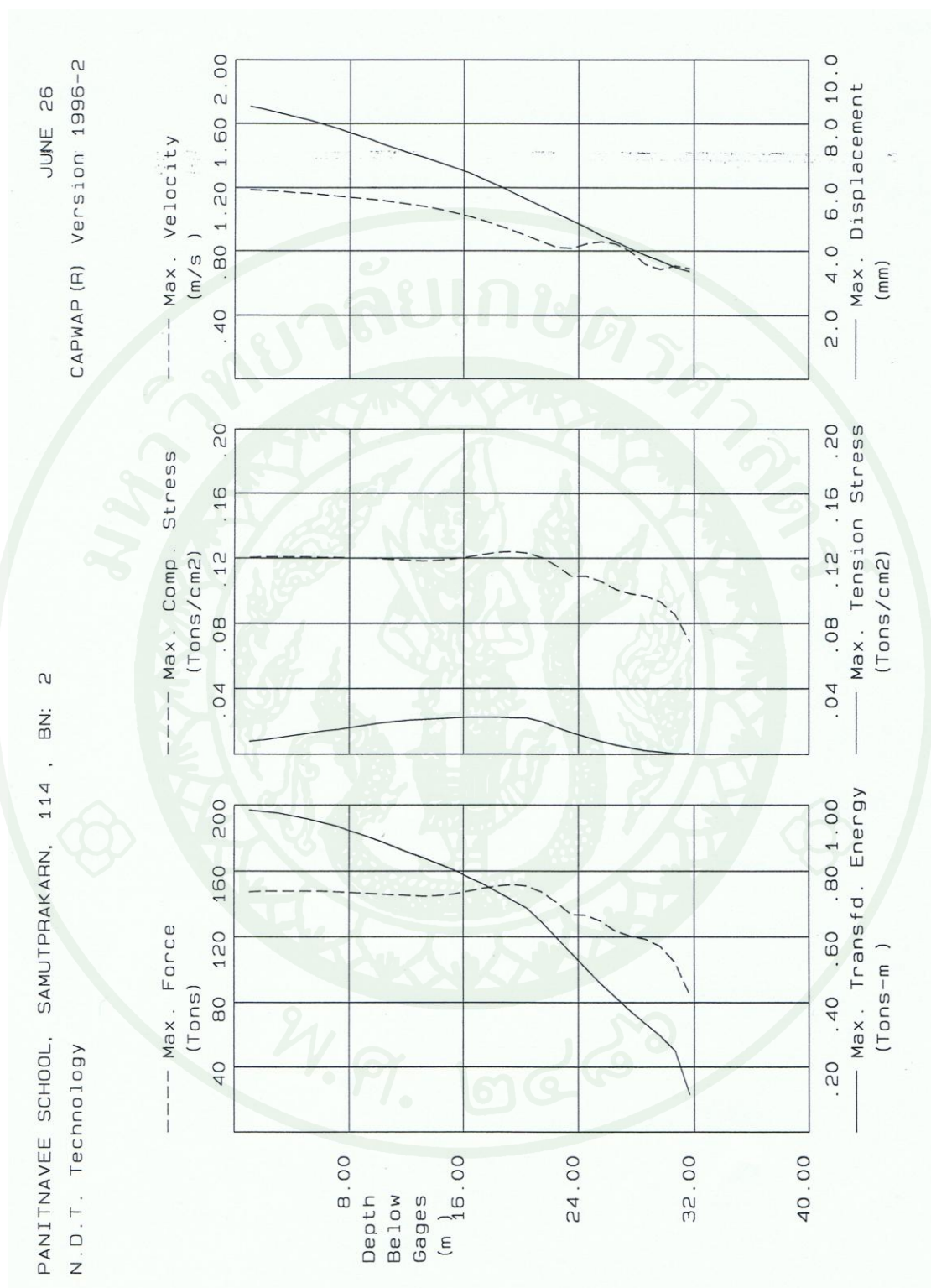
Damping Multipliers  
All ones

Capacity Reduction Factors  
All ones

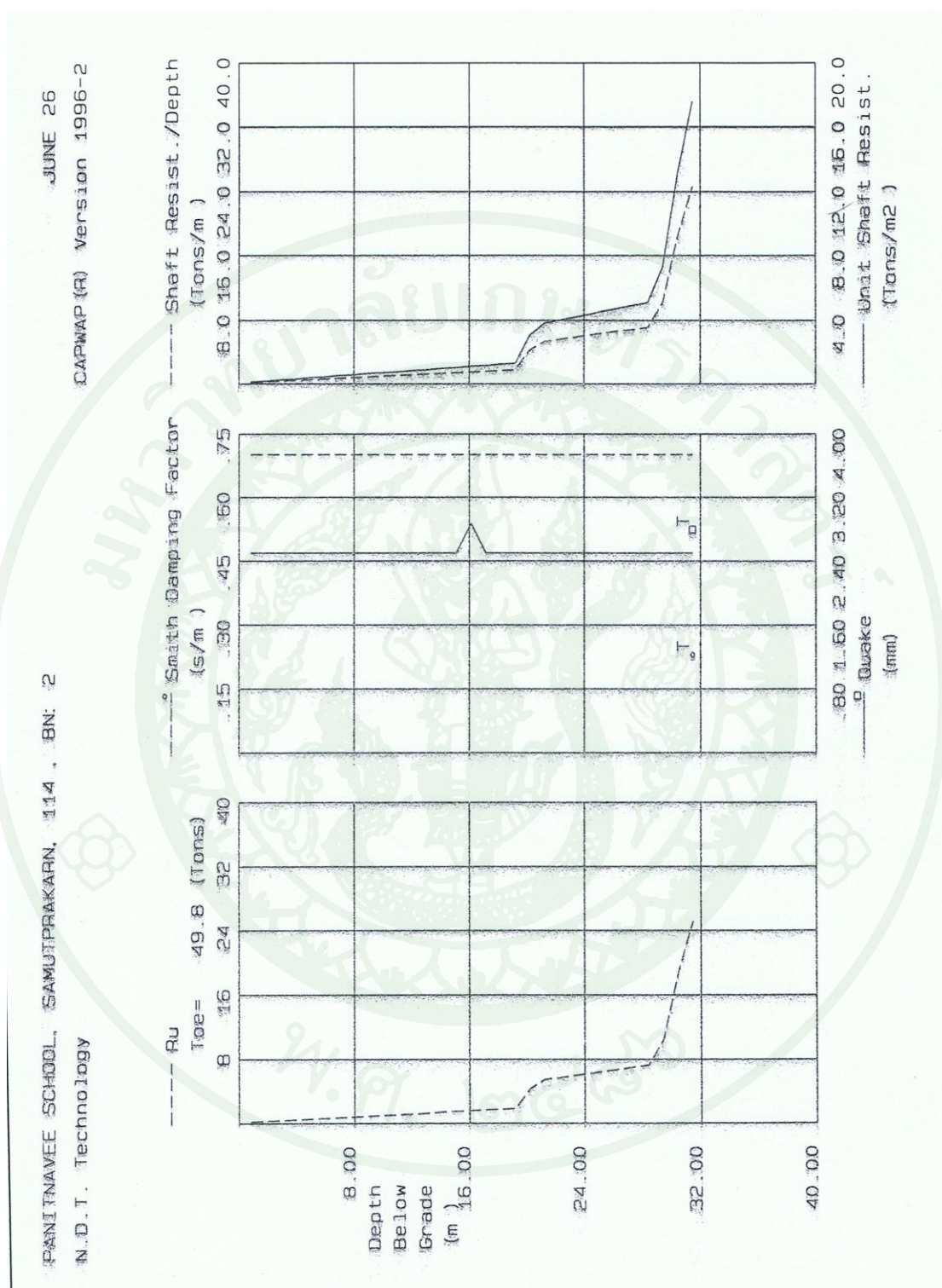
ภาพผนวกที่ ค11 CAPWAP ANNOTATIONS โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึก  
 พาณิชยน์วี No. 114



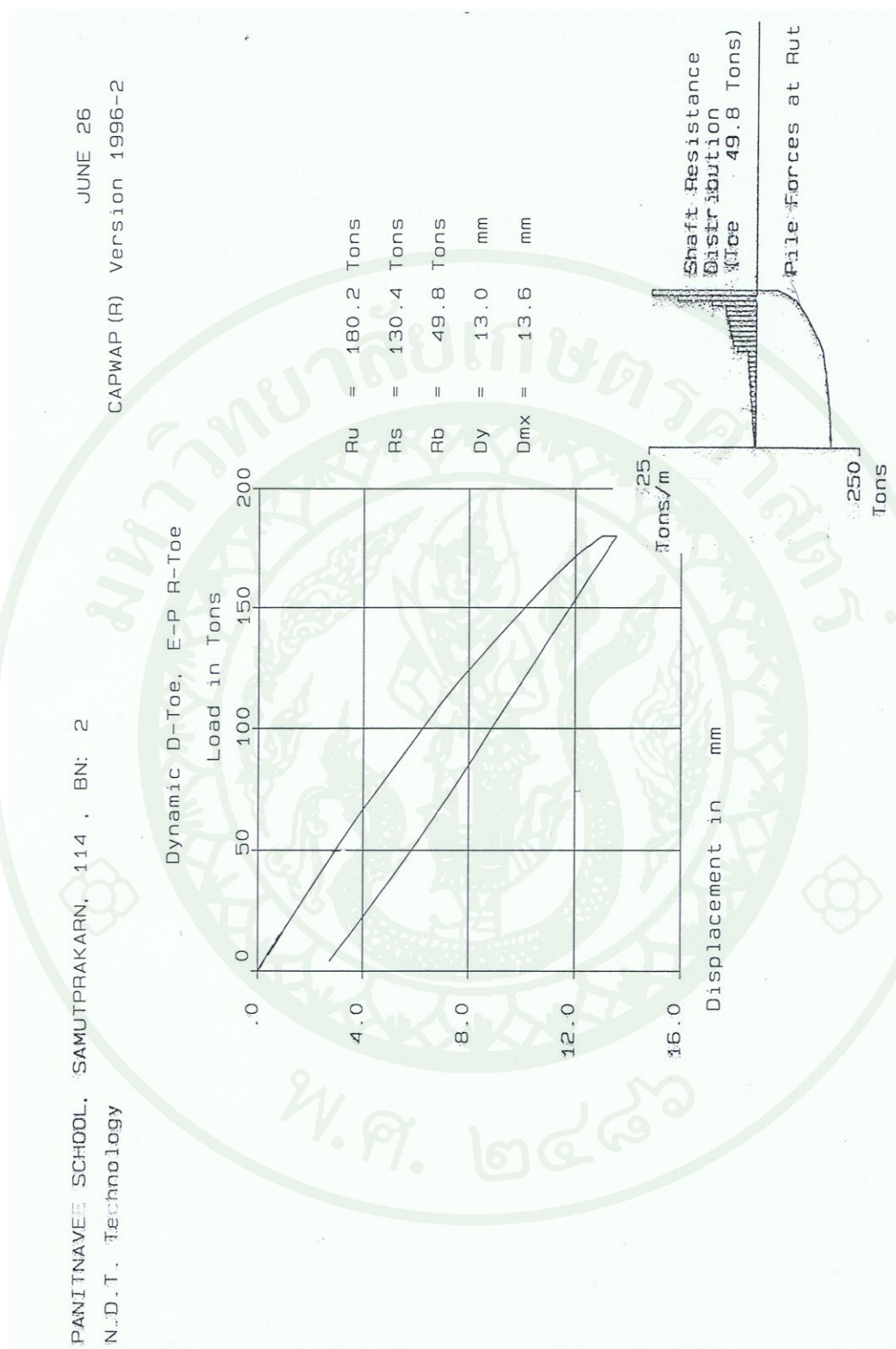
ภาพผนวกที่ ค12 กราฟการวิเคราะห์การรับน้ำหนัก โครงการก่อสร้างอาคารเรียน 6 ชั้น ศูนย์ฝึก  
พาณิชยน์วิ No. 114



ภาพผนวกที่ ค12 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ ค12 (ต่อ)

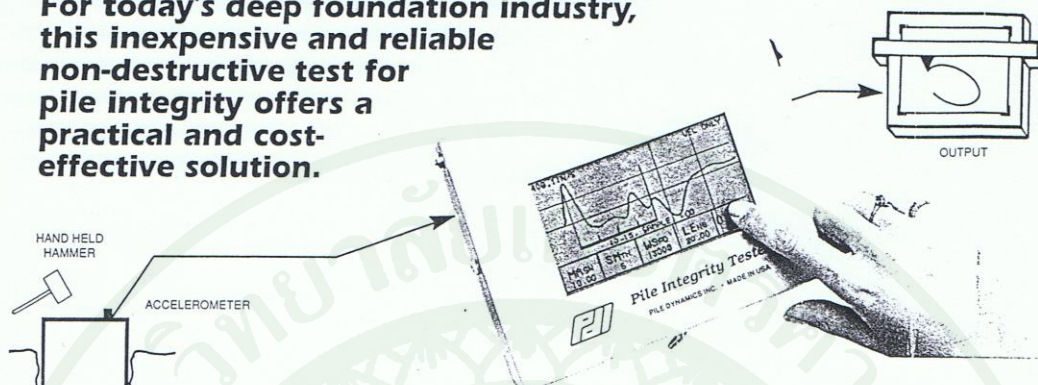


ภาพผนวกที่ ค12 (ต่อ)



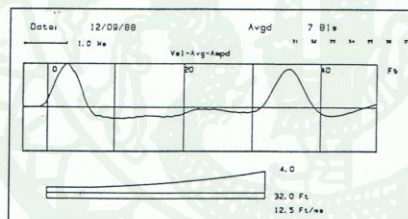
# Pile Integrity Tester™

**For today's deep foundation industry, this inexpensive and reliable non-destructive test for pile integrity offers a practical and cost-effective solution.**

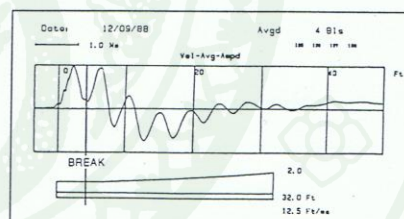


Low strain tests are performed with a small impact device (hammer), sensitive accelerometer, special purpose P.I.T. Collector, and an output device like a plotter or graphics printer. The accelerometer is easily attached to the pile top using a viscous material. "Low strain" compressive impact waves are then generated by tapping the pile top with the hammer. When the downward traveling compression wave encounters a change in cross section or in concrete quality, it generates an upward traveling tension wave which later is observed at the pile top.

The velocity records, along with subsequent reflections from either the pile toe or from pile discontinuities, are graphically displayed, output directly to a plotter, and/or transferred to a disk. The location of a defect can be estimated from the assumed wavespeed. The size of the defect can be estimated from the magnitude of the early reflection. These tests are quick and very inexpensively performed by a single operator, allowing application to large numbers of installed shafts in a single day.



Good Pile



Bad Pile

The output of the Pile Integrity Tester (P.I.T.) is a graph of signal versus pile length as shown above. Piles with flawless shafts will simply indicate a reflection from the pile toe as shown in the example of an augered pile on the above left; defective piles will show an early reflection from the damage location as in the example on the above right.



**Pile Dynamics, Inc.**  
4535 Renaissance Parkway  
Cleveland, Ohio 44128 U.S.A.  
Tel: (216) 831-6131  
Fax: (216) 831-0916  
E-mail: info@pile.com  
<http://www.pile.com>

Where deep foundations are required, loads must be carried safely by the pile or caisson shaft. During installation, driven piles may be damaged due to high stresses. Bored or augered shafts may suffer from separation of concrete, necking, inclusions, voids, etc. After installation, shafts may be damaged by construction equipment, or slope or retaining wall failures.

It is impractical to statically test each pile. However, integrity testing with low strain impact methods can quickly evaluate the shaft integrity of a large number of piles at a reasonable cost. Suspect piles can then be subjected to further tests and, if necessary, repaired or replaced.

Pitpit Program - Pile Dynamics Instituted 4535 Emery Industrial Parkway Cleveland, Ohio 44128 U.S.A.

ภาพผนวกที่ 1 เอกสารอ้างอิงโดยวิธีเซซามิก

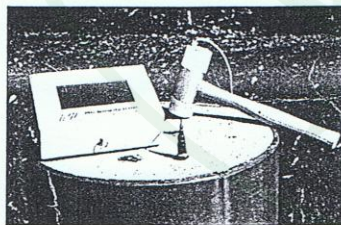
## Pile Integrity Tester™

The P.I.T. Collector was designed for user convenience. It has a very small size but a large screen, outstanding performance features (16 bit A/D, full built-in data interpretation including shape profile) and represents true state-of-the-art for low strain integrity testing.

As a rule of thumb, toe reflections should be observed with embedment less than 30 diameters. Gaps due to mechanical splices or full section cracks prevent the low energy wave from detecting deeper defects. Records from greatly varying or very gradual cross section changes are difficult to interpret. However, since many piles can be tested economically, piles with unusual response can be detected, evaluated, and repaired, replaced or subjected to an additional high strain test with the Pile Driving Analyzer.

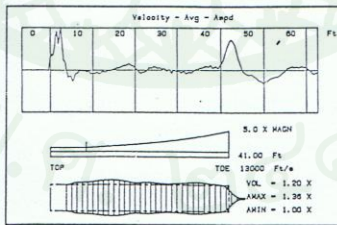
### Features

- Very compact and built with no moving parts for harsh field conditions, easily carried from shaft to shaft allowing true one-person operation
- Touchscreen with high resolution intelligent graphics and very user friendly menu environment simplifies data collection, even for new users
- Data collection with 16 bit digital resolution can detect very weak reflections reduced by soil effects. After amplification, the effective L/D ratio is increased compared to systems with less resolution
- Standard velocity analysis in length/time domain; contains data enhancement including averaging blows, filtering and magnification with time to assist interpretation. Capability to measure force with instrumented hammer is available as an option
- Calculated shaft profile estimates actual shape for easy result interpretations. Results output directly to HP-type plotters or laser/graphics printers through serial interface
- Data storage for up to 350 piles or drilled shafts in battery-backed memory allows full day testing without interruption. Data then can be permanently stored through built-in serial interface
- Data can optionally be transformed into frequency domain for mobility or signal matching analysis (PITWAP)
- Technical manuals and one year warranty. Delivered with accessories in "carry-on sized briefcase"
- Light weight (1.6 kg or 4 lbs.), small size (65 x 150 x 200 mm or 2.5 x 6 x 8 inches), wide temperature range (0° to 40°C)
- Main battery operates full day (12 hours) without interruption before recharging. Separate battery for memory lasts for months



Field operation is accomplished with accelerometer attached to top of shaft. Shaft is lightly hit by hand held hammer and results acquired and analyzed by P.I.T. Collector.

© Copyright 1996, Pile Dynamics, Inc.



Data collected is enhanced by time magnification. Further processing yields a plot of an approximate pile shape profile.

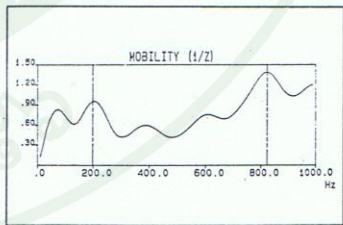
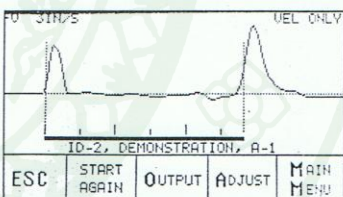
Main control menu (below) for data input, calibration, data collection and analysis. The Collector allows the user to input titles, "List" stored data, select the "Mode" (collect/save or reprocess) and "Path" (velocity only, acceleration, or velocity and force). User presses a screen square to select action.

|                      |          |          |         |
|----------------------|----------|----------|---------|
| TITLE: DEMONSTRATION |          | FCAL     | ACAL    |
| A-1                  |          | 200.0    | 20.0    |
| IDNO                 | LENG     | BAUD     | FGAIN   |
| 3                    | 28.00    | 9600     | 1.00    |
| NRBLW                | WSFO     | PATH     | HWST    |
| 3                    | 10000    | VEL ONLY | 2.0     |
| LIST                 | MODE     | AREA     | NEXT    |
| 0%                   | SAVE AVG | 100.0    | COLLECT |

For example, if the shaft length must be changed, then user presses the "LENG" square and the screen then changes (below) showing the current value and requesting the new input be made through a numeric "key-pad" (SI or English dimensions automatically determined from the wave speed value). Titles are changed with an alphanumeric screen.

|                 |   |   |       |
|-----------------|---|---|-------|
| LENG            | 1 | 2 | 3     |
| 29.00           |   |   |       |
| FEET            |   |   |       |
| ENTER NEW VALUE | 4 | 5 | 6     |
| 28.5            |   |   |       |
|                 | 7 | 8 | 9     |
| ESC             | ← | 0 | ENTER |

Data is collected through the "Next" function. After viewing several blows on the screen simultaneously (assists data quality evaluation), the data is displayed as shown (below) and user can then apply filtering and magnification to enhance the data to assist length/shape determination. Shape profile also can be determined and displayed.



Data can be optionally transformed into the frequency domain for mobility analysis and dynamic stiffness determination.

Specifications subject to change without notice

Capwac Program - Pile Driving Analyzer

# Pile Driving Analyzer®

For Improved Quality Assurance of Deep Foundations at a Lower Cost



## Measures Calculates and Checks:

- Hammer performance
- Pile integrity or damage
- Driving stresses
- Bearing capacity

- In routine use worldwide on over 3,000 projects each year for the evaluation of both driven pile and drilled shaft deep foundations
- Significantly faster than static tests at a fraction of the cost

- Improves quality control; tests many steel or concrete piles or drilled shafts in one day
- Immediate results for each hammer impact for driving stresses and hammer performance
- Detects extent and location of pile damage
- Built-in knowledge base aids in data interpretation

- Indicates capacity during driving; restrike tests indicate soil set-up or relaxation
- Traces potential problems to hammer, pile, or soil
- Early detection for timely correction of problems to speed construction and reduce costs
- Actual measurements document project to reduce risk and disputes, legal expenses and claims



**Pile Dynamics, Inc.**  
4535 Emery Industrial Parkway  
Cleveland, Ohio 44128 U.S.A.  
Tel: (216) 831-6131  
Fax: (216) 831-0916  
Email: info@pile.com

Dynamic pile testing is not expensive, but problem piles are. As a responsible engineer, contractor or owner representative, you cannot afford to merely assume that your expensive pile foundation is safe. Today's high foundation loads require modern construction control. The Pile Driving Analyzer (PDA) helps to quickly evaluate the integrity and bearing capacity of the entire pile installation. It improves quality assurance and confidence in the foundation while at the same time avoids excessive cost due to extra pile lengths or unnecessarily high safety factors.

Knowledge of actual driving stresses and hammer performance can be used to reduce the risk of pile damage. Piles no longer have to be overdriven with resulting higher foundation costs. Equally valuable for large or small projects on land or offshore, the PDA provides immediate on-site answers with fast, simple, accurate, and inexpensive solutions to your pile problems.

Pile Dynamics Inc. 4535 Emery Industrial Parkway Cleveland Ohio 44128 U.S.A.

ภาพผนวกที่ ๖2 เอกสารอ้างอิงโดยวิธีไดนามิก

## Capwarp Program - Pile Driving Analyzer

**Pile Driving Analyzer® — PAK**

Over the past 30 years, dynamic pile testing has grown from a research activity at Case Institute of Technology (under the direction of Dr. G.G. Goble) to a worldwide accepted and routinely applied method of inspection and quality assurance for deep foundations. The value of this method has been recognized by engineers, contractors, and government agencies in specifications (such as ASTM D4945) in numerous countries. While originally developed for driven piles, the method has also been successfully transferred to the testing of cast-in-place piles or drilled shafts. The Pile Driving Analyzer (PDA) testing system and CAPWAP® analysis software are now recognized as the industry standard for high strain dynamic testing.

The PAK is very compact and cost effective, and at a moment's notice is easily transported by airplane as hand carried luggage to remote sites. High quality sensors require minimal pile preparation and are quickly attached to any pile type; sensors are reusable. The PAK itself is operational in minutes, and is easy to learn and operate, providing answers after each blow to make crucial decisions during pile installation. Data collected is stored

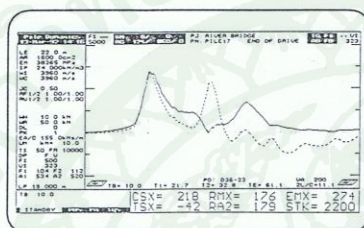
automatically and is later easily retrieved for further review. Calculated results for every blow are stored in a file; the system includes the capability to summarize these results for professional reporting.

Data can be further evaluated by the (optional) CAPWAP program which can be installed in the PAK. CAPWAP uses the measured force and velocity data with a pile model to (automatically) calculate the dynamic soil behavior and a simulated static load test curve.

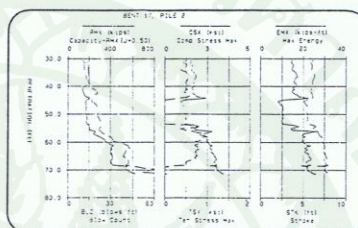
Pile Dynamics, Inc. (PDI) designs all its equipment to be rugged and endure harsh construction conditions. Reliability is proven by hundreds of PDI units in the field, and our strong commitment to quality products and support. The PAK is designed for the professional engineer or researcher and comes with a full one year warranty under normal use.

PDI's solid international reputation is the result of quality products, decades of dedicated engineering research, and commitment to technical support of its clients, including suggestions and advice on unusual applications and data interpretation. Training is available and continued education courses are offered on a regular basis at various locations around the world.

PAK data collection and analysis screen



Automatically plotted summary of data

**Results for each hammer blow**

- Bearing capacity from Case Method
- Skin friction and toe resistance
- Maximum compression stress, acceleration, velocity, and displacement
- Maximum tension stress in pile
- Computed estimate of stress at pile bottom
- Pile structural integrity; extent and location of damage
- Maximum energy transferred to pile
- Hammer cushion stiffness for air hammers/steel piles
- Blows per minute for hammer check
- Scaled display forces, velocities, energy, displacement, resistances, downward and upward waves with time markers for wave speed check
- Warnings and other "expert advice"
- Tests driven piles, drilled shafts and SPT soil samplers
- Results in either SI, metric, or English units

**User-friendly operation**

- Single component, PDA set-up and ready-to-use in minutes
- "Expert system" software for real time advice and warnings
- Self checking set-up procedure
- Automatic signal conditioning requires no electronic knowledge
- Automatic data storage
- Automatic data presentation software
- Automatic CAPWAP signal matching software (optional)

**Hardware**

- Robust briefcase style enclosure
- Size: 155 x 320 x 385 mm (6.1 x 12.6 x 15.2 inches)
- Weight: 8 kg (17.5 lbs.)
- Temp: 0° to 40° C, operating; -20° to 65° C, storage
- Power: 12V DC car battery, and/or 100 - 240V AC
- Complete with both softside luggage for airplane carry on and transit case for checked baggage shipments
- Full one year warranty

**Field Equipment**

- Four strain channels
- Two piezoresistive acceleration and two piezoelectric acceleration channels
- Four velocity integrators
- Automatic balancing of all signals
- Robust transducers quickly attached to pile; connected by single cable to PDA
- Underwater transducer systems available
- Analog input/output capability

**Digital specifications**

- PC compatible processor with DOS
- 8 Mb RAM
- 3.5" 1.4 Mb floppy
- 350 Mb hard disk
- High contrast VGA backlit LCD display for all lighting conditions
- Built-in VGA external monitor port
- Built-in membrane "keyboard"
- Built-in external keyboard port; external keyboard provided
- Serial and parallel ports
- Built-in 12 bit A/D converter, 8 channels at up to 20 KHz each

**Pile Dynamics, Inc.**

4535 Emery Industrial Parkway  
Cleveland, Ohio 44128 U.S.A.  
Tel: (216) 831-6131  
Fax: (216) 831-0916  
Email: info@pile.com

The original developers of dynamic pile testing equipment.  
© 1995, Pile Dynamics, Inc.  
ALL RIGHTS RESERVED

PDI has been internationally recognized for its contributions to dynamic pile testing methods. Pile Dynamics, Inc. also supplies other products for inspection of deep foundations:

- Pile Integrity Tester™ for pile integrity evaluation using a hand held hammer
- The Installation Recorder™ to automatically document installation of driven and CFA piles
- Saximeter™ for blow count logging and/or to determine depth of open end diesel hammers
- SPT Analyzer™ to evaluate energy transfer and dynamic soil properties from SPT samplers
- Angle Analyzer™ to continuously display alignment and increase pile driving productivity
- Hammer Performance Analyzer™ uses Doppler radar to measure hammer kinetic energy

Specifications subject to change without notice

Pile Dynamics Inc. 4535 Emery Industrial Parkway Cleveland Ohio 44128 U.S.A.

ภาพผนวกที่ 33 (ต่อ)



## ความเป็นมาของ ASTM

ASTM (American Society for Testing and Materials) นับได้ว่าเป็น สมาคมวิชาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่กำหนด และจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ และเป็นที่ยอมรับทั่วโลก สมาคม ASTM จัดตั้งขึ้นในสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1989 ทำหน้าที่ส่งเสริมสนับสนุน ทางด้านวิชาการ เพื่อเป็นการช่วยเหลืออุตสาหกรรม หน่วยงานของรัฐ และสาธารณชนทั่วไป โดยการพัฒนามาตรฐาน ที่เกี่ยวข้องกับ ลักษณะและการทำงาน ของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบการใช้งาน

ASTM ถือได้ว่าเป็นสมาคมที่ใหญ่ที่สุดในโลก ในด้านของระบบการพัฒนามาตรฐาน ที่ใช้ โดยความสมัครใจ มาตรฐาน ASTM จัดขึ้น โดยมติของกรรมการวิชาการ เฉพาะสาขาวิชาต่างๆ ถึง 132 คณะ และมีการจัดพิมพ์มาตรฐานมากกว่า 9,800 เรื่อง ในแต่ละปี โดยมีสมาชิกที่ทรงคุณวุฒิทางวิชาการถึง 35,000 คน ประกอบด้วย ตัวแทนกลุ่มผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้สนใจทั่วไป รวมทั้งองค์กรที่เกี่ยวข้องต่างๆ ทั้งภาครัฐ และภาคเอกชน ทำให้เชื่อได้ว่า มาตรฐาน ASTM นี้ ครอบคลุม วิชาการต่างๆ มากมาย และมีความละเอียด ลึกซึ้ง นอกจากนี้ มาตรฐาน ASTM ยังได้รับการพิจารณา ทบทวนปรับปรุง และแก้ไขเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลา ทำให้ทันสมัยอยู่เสมอ

## การจัดแบ่งมาตรฐาน ASTM

มาตรฐาน ASTM ที่ผ่านการรับรองของสมาคมฯ และประกาศใช้เป็นมาตรฐาน สามารถแบ่งตามเนื้อหา ออกได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1. Classification เป็นมาตรฐานของระบบการจัดการ และการจัดแบ่งวัสดุผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบ หรือการใช้งาน ออกเป็นกลุ่มๆ โดยอาศัยคุณลักษณะ ที่เหมือนกัน เช่น แหล่งกำเนิด ส่วนประกอบ คุณสมบัติหรือประโยชน์ใช้สอย
2. Specification เป็นข้อกำหนดที่ระบุแน่นอน ถึงคุณลักษณะและสมบัติต่างๆ ที่ต้องการของ วัสดุ ผลิตภัณฑ์ ระบบหรือการใช้งาน ข้อกำหนดเหล่านี้ มักจะแสดงค่าเป็นตัวเลข และมีข้อกำหนดไว้ พร้อมทั้งวิธีหาค่าเหล่านั้นด้วย
3. Terminology เป็นเอกสารมาตรฐาน ที่กำหนดคำนิยาม คุณลักษณะ คำอธิบายของศัพท์ต่างๆ เครื่องหมาย ตัวย่อ คำย่อที่ใช้ในมาตรฐานต่างๆ
4. Test method เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับกรรมวิธี ที่กำหนดให้ใช้ในการตรวจสอบ พิสูจน์วัด และปริมาณคุณภาพ คุณลักษณะ คุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างของวัสดุ

ระบบหรือ การใช้งาน ซึ่งมีผลการทดสอบ ที่สามารถนำไปใช้ ในการประเมินค่าตาม ข้อกำหนด

5. Guide เป็นคำแนะนำ หรือทางเลือก ให้ผู้ใช้เลือกใช้เทคนิคต่างๆ ที่มีอยู่ รวมทั้งสิ่ง ที่จะได้ จากการประเมิน และการมาตรฐานที่ใช้นั้นๆด้วย
6. Practice เป็นวิธีการปฏิบัติเฉพาะ สำหรับงานเฉพาะอย่าง ได้แก่ การเขียนรายงาน การสุ่ม ตัวอย่าง ความแม่นยำ ความละเอียด การเลือก การเตรียม การประยุกต์ การตรวจสอบ ข้อควรระวังในการใช้ การกำจัดทิ้ง การติดตั้ง การบำรุงรักษา ตลอดจนการใช้เครื่องมือทดสอบ

นอกจากนี้ ASTM มีการจัดแบ่งมาตรฐานออกเป็นกลุ่มๆ เฉพาะเรื่อง โดยใช้ตัวอักษร เป็นสัญลักษณ์แทนกลุ่มของเนื้อเรื่อง เรียงตามลำดับดังนี้

A : Ferrous Metals

B : Nonferrous Metals

C : Cementitious, Ceramic, Concrete, and Masonry Materials

D : Miscellaneous Materials

E : Miscellaneous Subjects

F : Materials for Specific Applications

G : Corrosion, Deterioration, and Degradation of Materials

เดิม ASTM ได้แบ่งประเภทมาตรฐาน ตามลักษณะการกำหนดมาตรฐาน ออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. Standards เป็นมาตรฐานที่จัดทำขึ้น ตามมติเอกฉันท์ของสมาชิก และผ่านการรับรองตาม ขั้นตอน และกฎของสมาคมฯ เรียบร้อยแล้ว
2. ES.(Emergency Standard) เป็นเอกสารที่จัดพิมพ์ตามความต้องการ เร่งด่วน แต่ยังไม่ผ่านการรับรองของสมาคมฯ เพียงแต่ผ่านการพิจารณา ของคณะกรรมการบริหาร
3. P. (Proposal) เป็นเอกสารมาตรฐานที่พิมพ์เพื่อเผยแพร่ แนะนำ ก่อนที่จะพิจารณาลงมติ ให้ใช้เป็นมาตรฐาน

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

|                                                        |                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ –นามสกุล                                          | นายจิรวุฒิ สติชัยวัฒน์                                                                                        |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด                                   | วันที่ 5 พฤศจิกายน 2517                                                                                       |
| สถานที่เกิด                                            | จังหวัดนครพนม                                                                                                 |
| ประวัติการศึกษา                                        | ระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต<br>สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล<br>วิทยาเขตนนทบุรี |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน                           | อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา                                                                              |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน                                   | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี<br>วิทยาเขตศาลายา                                                          |
| ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ<br>ทุนการศึกษาที่ได้รับ |                                                                                                               |