



การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Seismic Test  
FILE INTEGRITY TESTING BY SEISMIC TEST



โดย

นางสาวชนพร อุ๋นอ่อน  
นายชาติ เจริญถากนพรัตน์  
นางสาวประภากร อัครศิลาสุกุล

วัน เดือน ปี: ก.ค. ๒๕๔๐  
เลขทะเบียน..... 037201  
เลขเรียกหนังสือ..... T ๑๘๑๙4 ๘ 15๖ ก

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ปีการศึกษา 2538** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

037201

**PILE INTEGRITY TESTING BY SEISMIC TEST**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE  
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
1995

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Seismic Test  
PILE INTEGRITY TESTING BY SEISMIC TEST

นักศึกษา นางสาวธนพร อุ่นอ่อน รหัสประจำตัว 35104079  
นายช่าตรี เจริญลาภนพรัตน์ รหัสประจำตัว 35104115  
นางสาวประภากร อิศวติลาวสุกุล รหัสประจำตัว 35104247

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศักดิ์ชัย สกานูพงษ์  
อาจารย์จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง

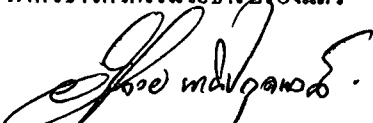
ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2538

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ สุรัตน์ หวังเจริญ	
อาจารย์ เกษม อมันตกุล	
อาจารย์ ศักดิ์ชัย สกานูพงษ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา รับรองแล้ว

  
(นายอำนาจ พานิชกุลหงส์)  
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ.

หัวข้อโครงการพิเศษ	การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Seismic Test PILE INTEGRITY TESTING BY SEISMIC TEST		
นักศึกษา	นางสาวชนพร	อุ๋นอ่อน	รหัสประจำตัว 35104079
	นายชาติรี	เจริญลาภนพรัตน์	รหัสประจำตัว 35104115
	นางสาวประภากร	อัครศิวาสฤกษ	รหัสประจำตัว 35104247
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ศักดิ์ชัย สกานูพงษ์ อาจารย์จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง		
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ปีการศึกษา	2538		

### บทคัดย่อ

เนื่องจากในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา โดยมีการพัฒนาการก่อสร้างทั้งขนาดและความสูงของอาคาร ทำให้ได้มีการพิจารณาถึงการนำฐานรากบนเสาเข็มมาใช้มากยิ่งขึ้นในบริเวณที่มีชั้นดินอ่อน คุณภาพของฐานรากจึงเป็นองค์ประกอบสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดต่อความปลอดภัย และความมั่นคงทั้งหมดภายหลังจากทำการก่อสร้างเสร็จสิ้นแล้ว ดังนั้นสิ่งเหล่านี้จึงเป็นเหตุผลหนึ่งว่า ทำไมหลาย ๆ ประเทศจึงได้นำเครื่องจากสถาบัน TNO (Inst, TNO for Building Materials and Building Structures; Delh, The Netherlands) มาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของฐานรากบนเสาเข็ม ซึ่งสามารถทำการตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดและน่าเชื่อถือ โดยเรียกวิธีการดังกล่าว Seismic Test อันเป็นวิธีให้รายละเอียดเกี่ยวกับความยาวของเสาเข็ม การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด, รอยแตกร้าว และลักษณะความไม่ต่อเนื่องอื่น ๆ

### Abstract

In the past decade year, the development construction in both size and height of building make the use of pile foundation in a soft clay. After finishing the building, a good quality of foundation is the most importance factor for security and durability of the structure. Therefore, severel countries have had an equipment from TNO (Inst, TNO for Building Materials and Building Structures; Delft, the Netherlands) to use for inspecting a good quality of pile foundation and this equipment is economic, reliable and can inspect rapidly. This method is called "Seismic Test" which describes the length of piles, deformation of cross section, cracks and other discontinuity characteristic.

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา, มารดา ซึ่งเป็นผู้ให้กำเนิดและสอนสั่งคั่งเสมือนอาจารย์คนแรกของลูก ๆ ทุกคน

ขอขอบคุณอาจารย์จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ ตลอดจนได้กรุณาตรวจและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ศักดิ์ชัย สกานูพงศ์และอาจารย์เกษม อมันตกุล คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ อันทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคุณฉัตรมนต์ กัปนานนท์ วิศวกรอาวุโส บริษัท เอส ที เอส เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด ที่ได้ให้ความกรุณาให้ความสะดวก และให้คำแนะนำเพิ่มเติมทั้งภาคทฤษฎี และปฏิบัติ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณสรารัฐ ลินบำรุง หัวหน้าฝ่ายตรวจสอบ , คุณอมรรัตน์ วัฒนธรรม และพนักงานฝ่ายทดสอบ Seismic Test ทุกคนของ บริษัท เอส ที เอส เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด ที่ตลอดเวลาอันมีค่าเปรียบเสมือนอาจารย์ที่คอยสอนลูกศิษย์ตั้งแต่ทฤษฎีเบื้องต้น การปฏิบัติงานในสนาม จนกระทั่งการวิเคราะห์ผลการทดสอบ การจัดหาและเตรียมเอกสาร ตลอดจนการตอบข้อสงสัยต่าง ๆ ตลอดจนถึงการให้คำแนะนำเพิ่มเติมด้วยความเอาใจใส่ดูแลเป็นอย่างยิ่ง ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งการทำวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณธุรการภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่กรุณาให้ความสะดวกในการจัดทำจดหมายเพื่อติดต่อบริษัทต่าง ๆ ตลอดจนเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่กรุณาให้กำลังใจและช่วยเหลือ ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวธนพร อุ๋นอ่อน

นายชาติรี เจริญลาภานพรัตน์

นางสาวประภากร อัครติลาวาสกุล

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ใบรับรองวิทยานิพนธ์	ก
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
รายการตารางประกอบ	ง
รายการรูปประกอบ	จ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของเรื่องที่จะศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	1
1.4 วิธีการดำเนินโครงการพิเศษ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการตรวจสอบคุณภาพของเสาเข็ม	4
2.1 การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม	4
2.2 การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ( Pile Integrity Test )	9
บทที่ 3 การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม โดยวิธี Seismic Test	14
3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นเสียง	14
3.2 ทฤษฎีเบื้องต้นที่ใช้ในการทดสอบ	17
บทที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ วิธีทดสอบ และการใช้ Software	19
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม	19
4.2 เครื่องมือทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ( The Pile Integrity Tester )	19
4.3 การเริ่มต้น ( Getting Started )	23
4.4 Main Menu	27
4.5 ข้อจำกัดของเครื่องมือ	32
4.6 การเตรียมหัวเสาเข็มก่อนทำการตรวจสอบ	33
4.7 วิธีการทดสอบ	33
บทที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	42
บทที่ 6 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลข้อมูล	45
6.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม โดยวิธี Seismic Test	45
6.2 วิธีการประยุกต์ค่า Integrity factor ( $\beta$ ) เพื่อวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเสาเข็ม	57
6.3 คุณสมบัติของผู้ทำการวิเคราะห์	59
6.4 คำแนะนำในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ	59
6.5 ข้อมูลที่ใช้ประกอบในการอธิบายผล	59

6.6 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การทดสอบ	60
บทที่ 7 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	148
7.1 ข้อดีของการทดสอบโดยวิธีคั่งกล่าว	148
7.2 สาเหตุของการสะท้อนกลับของคลื่นในเสาเข็ม	148
7.3 ข้อจำกัดการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม	149
7.4 สาเหตุที่ทำให้การวิเคราะห์ผลการทดสอบแตกต่างจากสภาพความเป็นจริง	152
7.5 เทคนิคการใช้เครื่องมืออย่างมีประสิทธิภาพ	159
7.6 ข้อเสนอแนะ	160
หนังสืออ้างอิง	163
ภาคผนวก	164



## รายการตารางประกอบ

ตารางที่

หน้า

1, 6.1, ๗-1 แสดงค่า Beta ( Integrity Factor ) โดย Rausche and Goble (1986 )

2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 พังการติดตั้งเครื่องมือทดสอบ Pile load test	5
2.2 แผนแสดงวิธีการใช้ Pile driving analyzer	8
2.3 แสดงตำแหน่งของการติดตั้งท่อและทิศทางเดินของคลื่น	9
2.4 แสดงการติดตั้งเครื่องมือโดยทั่วไป	10
2.5 แสดงการทดสอบ Sonic test ในลักษณะต่าง ๆ	11
2.6 ลักษณะของสัญญาณคลื่นที่ปรากฏบนจอภาพ	11
2.7 แสดงลักษณะของเนื้อคอนกรีตที่ไม่ดีจากการทำ Core test	12
2.8 แสดงลักษณะขั้นตอนการทำงาน Seismic test	13
3.1 แสดงลักษณะคลื่นเสียงในอากาศ	14
3.2 แสดงลักษณะการสะท้อนของคลื่นเสียงที่กำแพง	15
3.3 แสดงลักษณะการสะท้อนของคลื่นเสียงที่ผิวต่อระหว่างน้ำและอากาศ	16
3.4 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง	17
3.5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่วัดได้ในรูปของเวลากับความลึกที่เกิดการสะท้อนกลับของคลื่น	18
4.1 Power - on screen	24
4.2 Set - clock screen	25
4.3 Character data entry ( alphabetic )	25
4.4 Character data entry ( other )	26
4.5 Numeric data entry screen	27
4.6 Main menu screen	27
4.7 Change title screen	28
4.8 LIST screen	29
4.9 Change baud rate screen	32
4.10 แสดงหน้าจอเมื่อกด CA PIT>PLINK	35
4.11 แสดงหน้าจอเมื่อกด CA PIT>PT	35
4.12 แสดงข้อมูลดิบที่ถ่ายจากเครื่อง PIT	36
4.13 แสดงหน้าจอที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล	37
4.14 แสดงหน้าจอที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์หาระยะจากหัวเสาเข็มถึงจุดบัพพร้อมที่ละเอียด	38
4.15 แสดงหน้าจอที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์หาระยะจากหัวเสาเข็มถึงจุดบัพพร้อมเมื่อระยะจุดบัพพร้อมไกลขึ้น	39
4.16 แสดงหน้าจอที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์ความบัพพร้อมของเสาเข็ม	40
6-ก แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดบริเวณใกล้หัวเข็ม	46
6-ข แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดบริเวณช่วงกลางเข็ม	47
6-ค แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการลดพื้นที่หน้าตัดบริเวณหัวเข็ม	48

รูปที่	หน้า
6-ง แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการลดพื้นที่หน้าตัดบริเวณช่วงกลางเข็ม	49
6-จ แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการลดและเพิ่มพื้นที่หน้าตัดบริเวณหัวเข็ม	50
6-ฉ แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการเพิ่มและลดพื้นที่หน้าตัดบริเวณหัวเข็ม	51
6-ช แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดบริเวณหัวเข็มถึงกลางเข็ม	52
6-ฌ แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดบริเวณกลางเข็มถึงปลายเข็ม	53
6-ฉ แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการลดพื้นที่หน้าตัดบริเวณปลายเข็ม	54
6-ญ แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการเพิ่มและลดพื้นที่หน้าตัดบริเวณปลายเข็ม	55
6-ฎ แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการลดลงของพื้นที่หน้าตัดทีละเล็กทีละน้อย	56
6-ฐ แสดงวิธีการหา Integrity factor	58
6.1 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	62
6.2 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	63
6.3 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	64
6.4 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	65
6.5 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	66
6.6 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	67
6.7 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	68
6.8 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	69
6.9 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	70
6.10 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	71
6.11 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	72
6.12 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	73
6.13 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึก	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของกรมโยธาธิการและผังเมือง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>รูปที่</b>	<b>หน้า</b>
6.14 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 4.00 เมตร และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	76
6.15 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 5.56 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	77
6.16 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 2.50 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	78
6.17 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 2.92 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	79
6.18 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 2.50 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	80
6.19 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 3.10 เมตร และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	81
6.20 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 2.21 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	82
6.21 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 3.86 เมตร และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	83
6.22 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 5.50 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	85
6.23 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 4.50 เมตร สามารถสังเกตได้ว่าคลื่นสัญญาณสะท้อนก่อนถึงปลายเข็ม แสดงว่าเกิดข้อบกพร่องที่ปลายความลึกประมาณ 10.00 เมตร	86
6.24 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 6.50 เมตร	88
6.25 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 11.00 เมตร และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	89
6.26 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 9.00 เมตร และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	91
6.27 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	93
6.28 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	94
6.29 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	95
6.30 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	96

รูปที่	หน้า
6.31 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	97
6.32 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	98
6.33 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	99
6.34 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	100
6.35 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	102
6.36 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	103
6.37 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	104
6.38 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องบริเวณหัวเสาเข็ม	106
6.39 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องบริเวณหัวเสาเข็ม	107
6.40 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องบริเวณหัวเสาเข็ม	108
6.41 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 4.30 เมตร	109
6.42 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 6.00 เมตร และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	110
6.43 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 3.50 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	111
6.44 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 4.00 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	112
6.45 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 4.00 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	113
6.46 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 6.30 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	114
6.47 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 11.50 เมตร และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	116
6.48 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 9.50 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	117
6.49 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 8.00 เมตร และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
6.50 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 8.00 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	119
6.51 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	120
6.52 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	122
6.53 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	123
6.54 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	124
6.55 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	125
6.56 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	126
6.57 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	127
6.58 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	128
6.59 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	130
6.60 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	131
6.61 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้	132
6.62 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีหัวเสาเข็มที่ไม่ดี	134
6.63 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีหัวเสาเข็มที่ไม่ดี	135
6.64 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีหัวเสาเข็มที่ไม่ดี	136
6.65 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีหัวเสาเข็มที่ไม่ดี	137
6.66 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีหัวเสาเข็มที่ไม่ดี	138
6.67 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 8.00 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งที่ปลายเสาเข็มได้	140
6.68 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 4.00 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งที่ปลายเสาเข็มได้	141
6.69 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 6.20 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งที่ปลายเสาเข็มได้	142

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
6.70 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 7.20 เมตร และไม่สามารถบอกตำแหน่งที่ปลายเสาเข็มได้	143
6.71 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องเล็กน้อยที่ระดับความลึกประมาณ 3.60 เมตร	144
6.72 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็ม 2 ท่อนต่อ ( 7.5 , 10.5 ) ที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งปลายเสาเข็มได้	146
6.73 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็ม 2 ท่อนต่อ ( 9 , 9 ) สภาพรอยต่อไม่ดี	147
7.1 แสดงลักษณะที่สามารถทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มได้	150
7.2 แสดงลักษณะที่ไม่สามารถทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มได้	151
7.3 แสดงความเร่งที่วัดได้บนหัวเข็มซึ่งเกิดจุดบกพร่องช่วงกลางเข็ม โดยมีความยาวของจุดบกพร่องเท่ากับ $1/6$ pulse width	153
7.4 แสดงความเร็วที่วัดได้บนหัวเสาเข็มซึ่งเกิดจุดบกพร่องแบบ necking โดยมีความยาวของจุดบกพร่องเท่ากับ $1/3$ pulse width	154
7.5 แสดงจุดบกพร่องของเสาเข็มแบบ necking ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณใกล้หัวเข็ม โดยมีความยาวของจุดบกพร่องเท่ากับ $1/6$ pulse width	155
7.6 แสดงความเร็วที่วัดได้บนหัวเสาเข็ม โดยจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นจะมีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดบริเวณหัวเสาเข็ม	156
7.7 แสดงความเร็วที่วัดได้บนหัวเสาเข็ม โดยจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นจะมีการลดลงของพื้นที่หน้าตัดบริเวณปลายเข็ม	157
7.8 แสดงความเร็วที่วัดได้บนหัวเสาเข็ม โดยจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นจะมีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดมากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวเสาเข็ม	158
7.9 แสดง Profile ของเสาเข็มที่ได้จากโปรแกรม P.I.T. WAP	161
ผ-1 แสดงลักษณะการติด Accelerometer บนหัวเสาเข็ม	165
ผ-2 แสดงลักษณะการใช้ค้อนเคาะหัวเสาเข็ม	165
ผ-3 แสดงลักษณะการใช้เครื่องมือ P.I.T. กับเสาเข็มเจาะ	166
ผ-4 แสดงลักษณะการใช้เครื่องมือ P.I.T. กับเสาเข็มตอก	166
ผ-5 แสดงลักษณะหัวเสาเข็ม ที่คุณภาพคอนกรีตบริเวณหัวเสาเข็มไม่ดี	167
ผ-6 แสดงลักษณะหัวเสาเข็มไม่ดี เนื่องจากรอยแตกร้าว	167
ผ-7 แสดงลักษณะหัวเสาเข็มที่ไม่ดี	168
ผ-8 แสดงลักษณะความบกพร่องช่วงกลางของเสาเข็มแบบ hair crack	168
ผ-9 แสดงลักษณะความบกพร่องช่วงกลางของเสาเข็มเมื่อเกิดรอย crack	169
ผ-10 แสดงลักษณะเสาเข็มหัก	169
ผ-11 แสดงลักษณะเสาเข็มเกิดความบกพร่องขนาดใหญ่	170
ผ-12 แสดงลักษณะการต่อเชื่อมของเสาเข็มที่ดีและคลื่นสัญญาณสามารถผ่านได้	170
ผ-13 แสดงลักษณะเสาเข็มตัว I ขนาด 0.12 x 0.12 x 6.00 เมตร	171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ-14 แสดงลักษณะความบกพร่องของเสาเข็มตัว I ขนาด 0.12X0.12X6.00 เมตร  
ที่ไม่สามารถวัดความบกพร่องได้ แต่พบสัญญาณที่ปลายเสาเข็ม



## สัญลักษณ์และคำย่อ

L	=	ความยาวเสาเข็ม ( m. )
A	=	พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม
C	=	ความเร็วคลื่น
E	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของเสาเข็ม
p	=	ความหนาแน่นของเสาเข็ม
Z	=	Impedance ของเสาเข็ม
T	=	เวลาทั้งหมดที่คลื่นเกิดการสะท้อนกลับมายังเครื่องรับสัญญาณ
V	=	ความเร็วเฉพาะ ในเสาเข็มที่คลื่นใช้เคลื่อนที่ในแนวเสาเข็ม
Fi	=	คลื่นที่เคลื่อนที่ลงไป ในเสาเข็ม
Fu	=	คลื่นที่เกิดการสะท้อนกลับเมื่อพบจุดบกพร่อง
Fd	=	บางส่วนของคลื่นที่ยังสามารถเคลื่อนที่ลงไปยังปลายเสาเข็มได้อีก ถ้าเสาเข็มนั้นมีความต่อเนื่องและอยู่ในสภาวะสมดุล
Vi	=	ความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนที่ลงไป ในเสาเข็ม
Vu	=	ความเร็วของคลื่นที่เกิดการสะท้อนกลับเมื่อพบจุดบกพร่อง
Vd	=	ความเร็วของคลื่นที่สามารถเคลื่อนที่ลงไปยังปลายเสาเข็ม ได้อีก ถ้าเสาเข็มนั้นมีความต่อเนื่องและอยู่ในสภาวะสมดุล
$\beta$	=	Integrity factor
$\infty$	=	- Fu / Fi
	=	อัตราส่วนระหว่างคลื่นที่เกิดการสะท้อนกลับเมื่อพบจุดบกพร่องกับคลื่นที่เคลื่อนที่ลงไป ในเสาเข็ม

# บทที่ 1

## บทนำ

ในระยะเวลา 20-30 ปีที่ผ่านมา การก่อสร้างได้มีการพัฒนาให้ก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น ทั้งขนาดและความสูงของสิ่งก่อสร้าง รวมถึงวิธีการในการก่อสร้างทั้งในประเทศ และต่างประเทศด้วยเหตุนี้การรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากจึงมีความสำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่ง เมื่อพูดถึงในแง่ของความปลอดภัย และความมั่นคงของอาคาร ดังนั้นจึงมีการพัฒนาการนำฐานรากบนเสาเข็ม

( Pile Foundation ) มาใช้ในการรับน้ำหนักบรรทุกกันอย่างแพร่หลาย

ในการก่อสร้างฐานรากบนเสาเข็ม ( Pile Foundation ) สำหรับงานก่อสร้างโดยทั่วไปนั้น เสาเข็มที่ใช้จะต้องสามารถรับน้ำหนักที่ถ่ายลงมาจากโครงสร้างได้อย่างปลอดภัย ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นวิธีการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ( Pile Integrity Test ) โดยวิธี Seismic Test ที่ประเทศเนเธอร์แลนด์ และนำมาทดสอบในไทยเป็นครั้งแรกที่ Tai Ping Tower โดยสถาบัน TNO ( INST. TNO for Building Materials and Building Structures ) เมื่อ ค.ศ. 1980 ต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีการทดสอบมากยิ่งขึ้นตามลำดับจนใช้กันอย่างแพร่หลาย และประเทศไทยได้นำเทคโนโลยีการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มดังกล่าวเมื่อประมาณ 5-6 ปี ที่ผ่านมาเอง

เนื่องจากการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Seismic Test นี้สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดสอบ จึงสามารถนำการทดสอบกับเสาเข็มทุกต้นในแต่ละโครงการได้ เพื่อหาเสาเข็มที่ผิดปกติแล้วทำการซ่อมแซมหรือแก้ไขต่อไป

### 1.1 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

เนื่องจากการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Seismic Test นี้ได้เข้ามาสู่ประเทศไทยเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมา และยังไม่แพร่หลายแก่บุคคลทั่วไปมากนัก รวมทั้งยังไม่มีหน่วยงานใดมากำหนดมาตรฐานในการทดสอบเหมือนกับวิธีการอื่น ดังนั้นการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธีนี้จึงขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ จึงทำให้ความรู้ต่าง ๆ ในเรื่องนี้จำกัดเฉพาะในวงแคบ ๆ เท่านั้น

การทดสอบโดยวิธี Seismic Test นี้เป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว เสียค่าใช้จ่ายน้อยในการทำการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบด้วยวิธีอื่น และข้อมูลที่ได้ยังสามารถบอกให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพของเสาเข็มและความเสียหายของเสาเข็มที่อาจจะเกิดขึ้นได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของเรื่องที่จะศึกษา

1. เพื่อศึกษาถึงวิธีการทดสอบ และการวิเคราะห์ผลการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Seismic Test ได้อย่างถูกต้อง
2. เพื่อสามารถนำเครื่องมือ Pile Integrity Tester ไปใช้งานได้อย่างแพร่หลาย

### 1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. ศึกษาเฉพาะความสมบูรณ์ของเสาเข็มเท่านั้น ไม่ครอบคลุมถึงการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

2. การศึกษาการใช้เครื่องมือ P.I.T. นี้จะครอบคลุมเนื้อหาในส่วนของ PATH VEL เท่านั้น

3. ทำการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ทั้งเสาเข็มตอก และเสาเข็มเจาะ

4. ความสมบูรณ์ของเสาเข็มจะครอบคลุมเฉพาะ

- รอยแตก ( รอยแยก ) รอยขาด ในเสาเข็มตอก
- การลดขนาดของพื้นที่หน้าตัด ในเสาเข็มเจาะ

5. ใช้โปรแกรม PLINK & P.I.T. PC เพื่อวิเคราะห์ความบกพร่องของเสาเข็มที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งหาความบกพร่องของเสาเข็มออกมาในรูปของค่า Beta ( Integrity Factor ) ซึ่งแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงค่า Beta ( Integrity Factor )

Beta	Pile Condition
1.0	Uniform
0.80 - 1.00	Slight Change
0.60 - 0.80	Damage
Below 0.60	Broken

1.4 วิธีการดำเนินโครงการพิเศษ

1. ศึกษาข้อมูลการใช้งานจากเอกสารประกอบการใช้เครื่องมือ P.I.T.

2. เก็บรวบรวมข้อมูลในส่วนที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งสอบถามจากบริษัทที่มีความชำนาญในการทดสอบเสาเข็มแบบ Seismic Test

- การใช้เครื่องมือ P.I.T. ในการทำการทดสอบอย่างถูกวิธี
- การใช้โปรแกรม PLINK และ P.I.T. PC ในการตีความผลข้อมูลที่ได้จากสนามทดสอบ
- ศึกษาแนวทางในการตีความความบกพร่องของเสาเข็มจากข้อมูลที่ได้รับรวบรวมไว้

3. ทำการทดสอบในสถานที่จริงกับทางบริษัท เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนการทำงานและวิธีการใช้เครื่องมือที่ถูกต้อง

4. ทำการทดสอบเสาเข็มบนดินที่เกิดข้อบกพร่องในลักษณะต่าง ๆ

5. ทำการทดสอบเสาเข็มในดินตามสถานที่ต่าง ๆ

6. นำข้อมูลที่ได้จาก 3 , 4 และ 5 มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม PLINK , P.I.T. PC ในการทำ

- การแสดงลักษณะความบกพร่องของเสาเข็มที่เกิดขึ้นว่าคอดหรือบวม
- การแสดงความเสียหายของหน้าตัดในรูปค่า BETA
- การแสดงตำแหน่งที่เกิดความบกพร่องจากหัวเสาเข็ม

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา

1. ทำให้ผู้ศึกษามีความรู้ความเข้าใจวิธีการ และการวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Seismic Test เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานให้ถูกต้อง เหมาะสม ตามสมมติฐานต่างๆ
2. เป็นแนวทางและคู่มือให้วิศวกรและผู้สนใจใช้ประกอบในการทดสอบ เพื่อให้การทดสอบนี้แพร่หลายมากยิ่งขึ้น
3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา ประยุกต์และการพัฒนาการทดสอบ เพื่อให้การทดสอบมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ทฤษฎีการตรวจสอบคุณภาพของเสาเข็ม

ไม่ว่าจะเป็นเสาเข็มตอกหรือเสาเข็มเจาะ เมื่อทำการตอกหรือเจาะเสร็จแล้ว จะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของเสาเข็มว่าเสาเข็มแต่ละต้นสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัยตามที่ผู้ออกแบบได้คำนวณไว้หรือไม่ ซึ่งหากเสาเข็มไม่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ ก็อาจทำการซ่อมแซมหรือเพิ่มจำนวนเสาเข็มในฐานรากแต่ละฐานขึ้นมาใหม่ อันอาจทำให้เกิดความสิ้นเปลืองทั้งแรงงานและเวลา รวมทั้งค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก ดังนั้นสิ่งที่ดีที่สุดคือในขณะที่ทำการตอกหรือเจาะเสาเข็มนั้น ผู้ควบคุมต้องพยายามควบคุมการตอกหรือเจาะให้ถูกต้องสมบูรณ์มากที่สุด

ในการควบคุมคุณภาพเสาเข็มสามารถกระทำได้ใน 2 ลักษณะ คือ

1. การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ( Bearing capacity testing )
2. การทดสอบเพื่อหาความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ( Integrity testing )

### 2.1 การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยทั่วไป จะเลือกทำการทดสอบเฉพาะต้นที่สงสัยว่า อาจเกิดการวิบัติประมาณ 1 - 2 ต้นเท่านั้น เนื่องจากวิธีการดังกล่าวต้องเสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ซึ่งการทดสอบโดยทั่วไปสามารถทำการทดสอบได้ 2 วิธี

#### 2.1.1 การทดสอบการบรรทุกน้ำหนักของเสาเข็มโดยวิธี Pile load test

วิธีการนี้ เป็นวิธีการทดสอบที่มีสภาพการรับน้ำหนักใกล้เคียงกับสภาพการรับน้ำหนักจริง ๆ ของเสาเข็มมากที่สุด ใช้อุปกรณ์น้อย สะดวกในการทำงาน และผลการทดสอบเป็นที่น่าเชื่อถือและได้เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป โดยในการทดสอบมีจุดประสงค์อยู่ 2 ประการ คือ

- ก. เพื่อหาน้ำหนักบรรทุกประลัยที่เสาเข็มสามารถรับได้
- ข. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวและน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

วิธีการในการทดสอบที่เป็นที่นิยมอยู่หลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปตาม ASTM D1143-81 ดังนี้

1. Maintained load test ( ML )
2. Constant rate of penetration test
3. Method of equilibrium

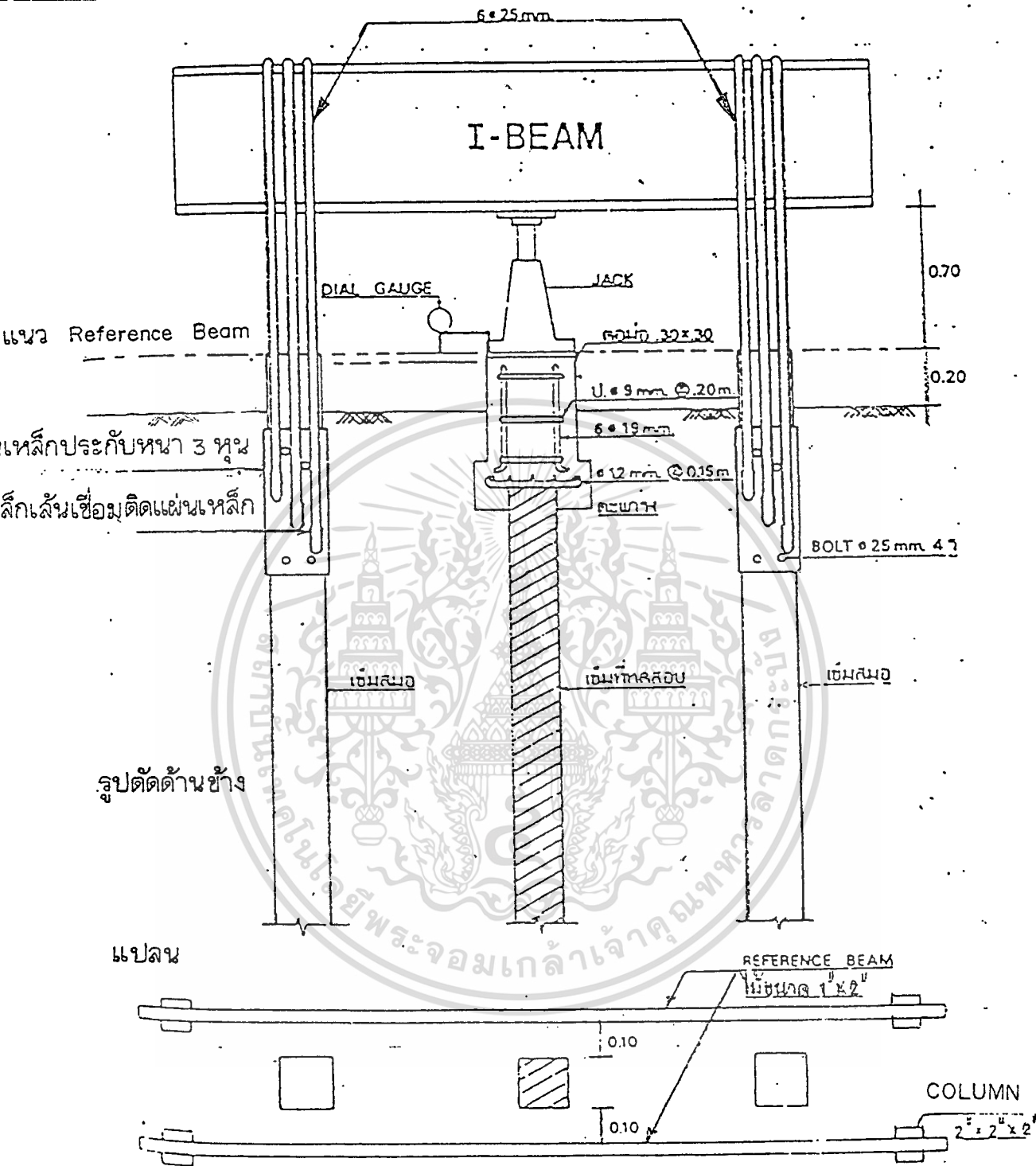
ซึ่งแต่ละวิธีมีลักษณะและวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

#### 1. Maintained load test ( ML )

การทดสอบชนิดนี้ น้ำหนักทดสอบทั้งหมด ให้โดยการเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงน้ำหนักพิบัติที่เสาเข็มแต่ละขนาดจะรับได้ หรือจนกระทั่งถึงน้ำหนักที่เพียงพอตาม building code แต่ละครั้งของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะต้องคงอยู่จนกระทั่งอัตราการทรุดตัวเป็นศูนย์โดยถือว่าอัตราการทรุดตัวเป็นศูนย์เท่ากับอัตราการทรุดตัวค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า " Limiting rate " ดังนั้นน้ำหนักทดสอบของเสาเข็มจะถูกเพิ่มขึ้นเมื่อหัวเสาเข็มทรุดตัวถึง

เอกสาร Limiting rate ที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ผังการติดตั้งเครื่องมือทดสอบ Pile Load Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maintained load test ที่ใช้ทดสอบกันมีอยู่ 2 ชนิด คือ Slow และ Quick maintained load test

### 1.1 Slow maintained test

ASTM M 1143 กล่าวถึง Slow maintained test ไว้ว่าเสาเข็มจะได้รับน้ำหนัก ซึ่งเพิ่มขึ้นจนถึง 200% ของน้ำหนักที่คาดว่าจะใช้ ออกแบบให้เสาเข็มรับ โดยแบ่งการให้น้ำหนักออกเป็น 8 ส่วนเท่า ๆ กัน โดยกำหนดให้ Limiting rate เท่ากับ 0.01 นิ้ว/ชม. ( 0.04 มม. / 10 นาที ) หรือ 2 ชั่วโมง แล้วแต่ว่าอย่างไรจะเกิดก่อนกัน ขึ้นน้ำหนักจนครบ

200 % หรือจนอัตราการทรุดตัวเกิน Limit rate การลดน้ำหนักแบ่งการลดน้ำหนักออกเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน และใช้ Limit rate เดียวกันกับการขึ้นน้ำหนัก แต่ก่อนจะลดน้ำหนักต้องคงน้ำหนักไว้จนถึง 24 ชั่วโมง การทดสอบนี้ใช้เวลาประมาณ 70 ชั่วโมงหรือมากกว่า

บันทึกระยะทรุดตัวของหัวเสาเข็มก่อนและหลัง เพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มทุกครั้งและตลอดช่วงเวลาที่ยังคงแรงทดสอบเสาเข็มไว้ทุกระยะ

### 1.2 Quick maintained load test

Fellenius B.H. ( 1975 ) ได้ทำการศึกษารับน้ำหนักของเสาเข็มโดยเพิ่มน้ำหนักบรรทุกถึงร้อยละ 300 ของน้ำหนักที่คาดว่าจะใช้ ออกแบบให้เสาเข็มรับกำลัง โดยแบ่งเป็น 20 ส่วนเท่า ๆ กัน ส่วนละร้อยละ 15 ของน้ำหนักที่จะทดสอบแต่ละครั้งของการเพิ่มน้ำหนักจะคงน้ำหนักไว้เป็นเวลา 15 นาที โดยอ่านค่าระยะทรุดตัวของเสาเข็มทุก ๆ 3 นาที และเวลาที่ใช้ทั้งหมดของการทดสอบกินเวลา 3 ถึง 5 ชั่วโมง

Fuller F.M. และ Hoy H.E. ( 1970 ) แห่ง Texas Highway Department ได้คิดวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Quick maintained load test ขึ้นและเริ่มนำไปใช้ทดสอบเสาเข็มในเดือนเมษายน ค.ศ. 1965 วิธีทดสอบเสาเข็มประกอบด้วยการเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มทีละ 5 ตัน บันทึกระยะทรุดตัวของเสาเข็มแรงทดสอบเสาเข็มและข้อมูลอื่น ๆ ทันที ก่อนและหลังเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็ม แรงทดสอบเสาเข็มที่เพิ่มขึ้นแต่ละครั้งจะคงไว้ 2.5 นาที แล้วจึงเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นใหม่

เมื่อทดสอบเสาเข็มจนพิบัติ ขณะที่แรงทดสอบเสาเข็มถูกคงไว้ด้วยการโยกแม่แรงไฮดรอลิก บันทึกข้อมูลเหล่านี้จากนั้น 2.5 นาที และ 5 นาที แล้วลดแรงทดสอบเสาเข็มทั้งหมด และหลังจากนั้นทุก ๆ 2.5 นาที ตลอดช่วงเวลา 5 นาที

## 2. Constant rate of penetration test

นิยมเรียกกันว่า CRP test คำนิยามและการพัฒนาขึ้นโดย WHAKER ( 1957, 1963, 1970 ) โดยทำการทดสอบทั้งแบบจำลองของเสาเข็มและเสาเข็มจริง เป็นการทดสอบเพื่อหาน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มและทดสอบได้เร็วกว่าวิธีแรกมาก เหมาะสำหรับดินเหนียวแต่ก็ใช้ได้ทั่วไป

- เสาเข็มจะถูกกดลงด้วยอัตราการจมที่สม่ำเสมอระหว่าง 0.5 ถึง 3.5 มิลลิเมตรต่อนาที โดยทั่วไปใช้ 0.25 ถึง 1.25 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับ friction pile และ 0.75 ถึง 2.5 มิลลิเมตร ต่อนาที สำหรับ end - bearing pile

- บันทึกน้ำหนักและการทรุดตัวทุก 1 ถึง 2 นาที หรือที่เหมาะสมจนกว่าเสาเข็มพิบัติหลังจากนั้นให้บันทึกทุก 5 นาที จนถึงสิ้นสุดการทดสอบ โดยเสาเข็มต้องจมลงในดินไม่น้อยกว่า 10 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ของขนาดเสาเข็มสำหรับ friction และ end-bearing pile ตามลำดับ ( หรือประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไป )

- น้ำหนักบรรทุกทุกประลัยหาได้จากค่าสูงสุด หรือจุดที่เริ่มมีอัตราการจมนกที่ของการหล่อระหว่างน้ำหนักที่กดเสาเข็มและระยะการจมนกของเสาเข็ม ในกรณีที่ไม่สามารถหาได้นั้น WHITAKER ( 1970 ) แนะนำให้หาน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เสาเข็มจมนก 10 เปอร์เซ็นต์ของขนาดเสาเข็ม

- ควรใช้แม่แรงที่มีระยะชักเพียงพอ ต่อการลอยขึ้นของที่ยึดแรงปฏิกิริยาและระยะการจมนกของเสาเข็ม ซึ่งประมาณได้เท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ของขนาดเสาเข็ม แม่แรงควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 200 ตัน

### 3. Method of equilibrium

เป็นการทดสอบที่เร็วและใช้เวลาในการทดสอบประมาณหนึ่งในสามของการทดสอบกรณีแรกสุด ( วิธี a ) MOHAN et al ( 1967 ) เป็นผู้เริ่มใช้ในการทดสอบแต่ปัจจุบันนี้ยังไม่ได้รูปไว้ในมาตรฐาน ASTM

- เพิ่มน้ำหนักแต่ละช่วงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลอดภัยหรือประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกประลัย โดยใช้เวลาในการเพิ่มน้ำหนักแต่ละครั้งประมาณ 3 ถึง 5 นาที เมื่อถึงน้ำหนักที่ต้องการแล้วให้กดด้วยน้ำหนักคงที่เป็นเวลา 5 นาที ( 10 ถึง 15 นาที สำหรับน้ำหนักสูง ) ปลดปล่อยให้น้ำหนักตกลงเอาตามระยะการจมนกของเสาเข็ม จนกระทั่งถึงสภาวะสมดุล ( ในเวลาไม่นานนัก ) หลังจากนั้นให้เพิ่มน้ำหนักอื่น ๆ ต่อไปจนถึงน้ำหนักทดสอบสูงสุด

#### 2.1.2 การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยวิธีทางพลศาสตร์ ( Dynamic load test )

การทดสอบโดยวิธี Dynamic load test นี้ เหมาะสำหรับการตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่มีปัญหา และไม่สามารถจะทดสอบแบบธรรมดาได้ เช่น เสาเข็มที่ร้าวหรือสงสัยว่าจะหัก หรือเสาเข็มที่แข็งเกินกว่ากำหนด หรือเสาเข็มที่มีประวัติการคดหรือการทำไม่ดี หรือต้องการทดสอบมากด้วยจำนวนเงินและเวลาที่จำกัด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ไม่ควรใช้การทดสอบด้วยวิธีนี้แทนการทดสอบแบบ Static ธรรมดาเสียทั้งหมด

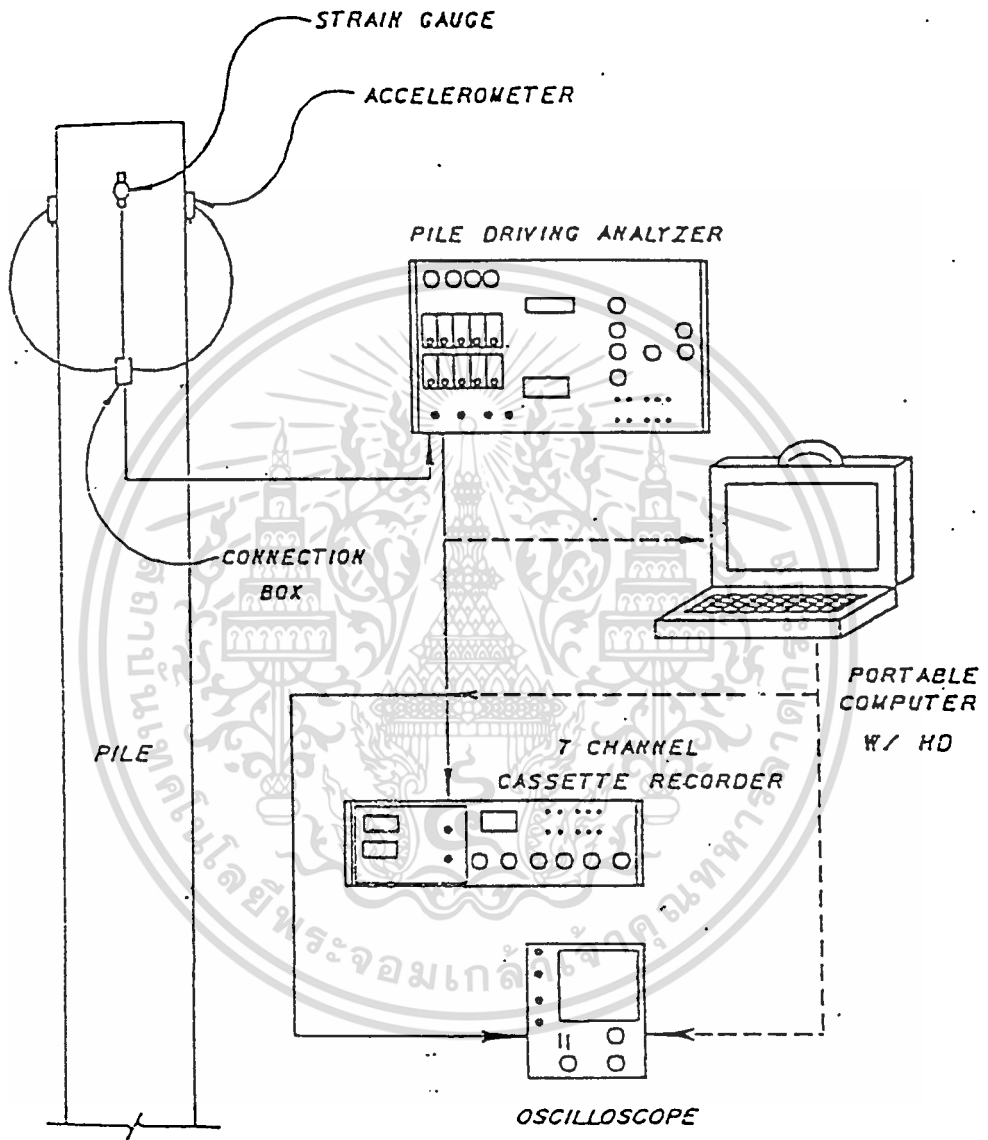
หลักการง่าย ๆ ก็คือ การใช้ปั้นจั่นยกตุ้มน้ำหนัก แล้วปล่อยตุ้มให้กระแทกหัวเสาเข็ม พลังงานจากการกระแทกจะทำให้เกิดคลื่นความสั่นสะเทือน ซึ่งเมื่อสะท้อนเข้าเครื่อง Oscilloscope ก็จะแปลงเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเร็วกับเวลา

การทดสอบวิธีนี้ให้สำหรับหาข้อมูลเกี่ยวกับความเครียด หรือแรง และอัตราเร่ง , ความเร็วหรือการขยับตัวของเสาเข็มภายใต้แรงกระแทก ข้อมูลที่ได้จะใช้สำหรับประมาณค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก ความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ตลอดจนหน่วยแรงที่เกิดในเสาเข็ม และคุณลักษณะทางไดนามิกส์ของดินได้

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับให้แรงกระแทกอาจใช้ตุ้มคดธรรมดาที่มีน้ำหนักเพียงพอ ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้วัดประกอบด้วย Transducers ซึ่งสามารถวัดความเครียดและอัตราเร่งเทียบกับเวลา ณ ตำแหน่งต่าง ๆ การติดตั้ง Transducers ต้องยึดให้แน่น อาจใช้วิธียึดด้วยสลักเกลียว วิธีเชื่อมหรือใช้กาว อย่างไรก็ตาม ควรคิดห่างจากหัวเสาเข็มอย่างน้อย 1 1/2 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม ความเครียดที่วัดได้จะถูกเปลี่ยนเป็นแรงโดยใช้พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มและค่า Dynamic modulus of Elasticity ณ ตำแหน่งที่วัด

เมื่อกระแทกตุ้มบนหัวเสาเข็ม สัญญาณจะถูกส่งจาก Transducers ไปยังอุปกรณ์ที่จะบันทึก, คำนวณ และแสดงข้อมูลเพื่อใช้ในการหาแรงและอัตราเร็วเทียบกับเวลา บางครั้งอาจต้องการหาอัตราเร่งและการเคลื่อนตัวของหัวเสาเข็ม อุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่ Oscilloscope หรือ Oscillograph และเครื่องบันทึกความทรงจำ

- การทดสอบเสาเข็มด้วยวิธี High - Strain dynamic testing นี้ แม้จะต้องกระทำโดยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะ แต่ผู้ควบคุมงานก็ควรศึกษารายละเอียดถึงวิธีการก่อนที่จะทำการทดสอบ นอกจากนั้นจะต้องดูแลมิให้เกิดอุบัติเหตุจากการใช้ปั้นจั่นยกตุ้มกระแทกหัวเสาเข็มขึ้นได้



รูปที่ 2.2 ฟังแสดงวิธีการใช้ Pile Driving analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงวิธีการติดตั้งเครื่อง PDA ในสนาม นอกเหนือจาก PDA แล้วอุปกรณ์อื่นประกอบด้วย Strain transducer 2 ตัว และ Accelerometer 2 ตัว ที่ยึดแน่นด้วย bolt อยู่ใกล้ส่วนบนของเสา Oscilloscope จะช่วยให้เราเห็นคุณภาพของสัญญาณ และเตือนให้ทราบกรณีที่เข็มหัก ส่วน Instrumentation type recorder และ laptop computer จะใช้สำหรับเก็บข้อมูล

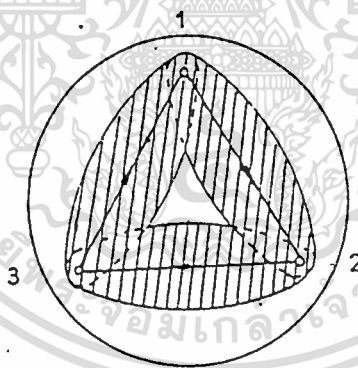
## 2.2 การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ( Pile Integrity Test )

โดยปกติก่อนลงมือทำฐานราก จะมีการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม เพื่อตรวจสอบว่าเสาเข็มคั้นนั้นมีเนื้อคอนกรีตสม่ำเสมอหรือไม่เพียงใด มีรอยแตกร้าว, รอยคอด ที่ส่วนหนึ่งส่วนใดของเสาเข็มหรือไม่ การตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มมีอยู่หลายวิธี เช่น

### 2.2.1 Sonic Coring Test

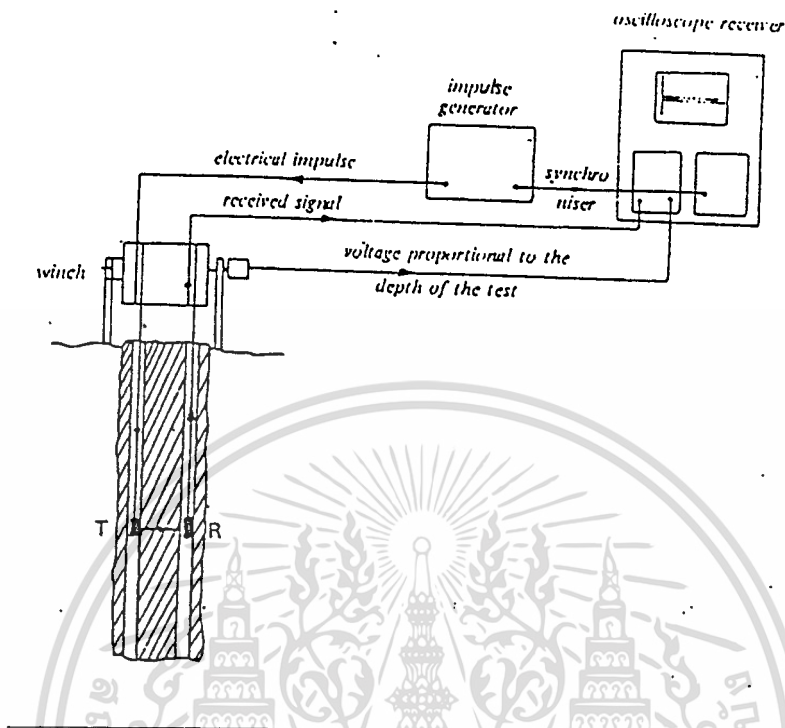
การทำ Sonic test สามารถทำได้โดยการฝังท่อเหล็กหรือท่อพีวีซี ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 40 - 50 มิลลิเมตร ไว้ในเสาเข็มก่อนที่จะทำการเทคอนกรีต โดยปกติแล้วจะนิยมใช้ท่อเหล็ก เพราะตีท่อสามารถยึดกับคอนกรีตได้ดี ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับเหล็กเสริม หรือในบางครั้งก็ยังสามารถใช้แทนเหล็กเสริมได้

โดยปกติแล้วมักติดตั้งท่อไว้อย่างน้อย 3 ท่อ เพื่อให้การทดสอบสามารถครอบคลุมได้ตลอดทั้งหน้าตัดของเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงตำแหน่งของการติดตั้งท่อและทิศทางเดินของคลื่น

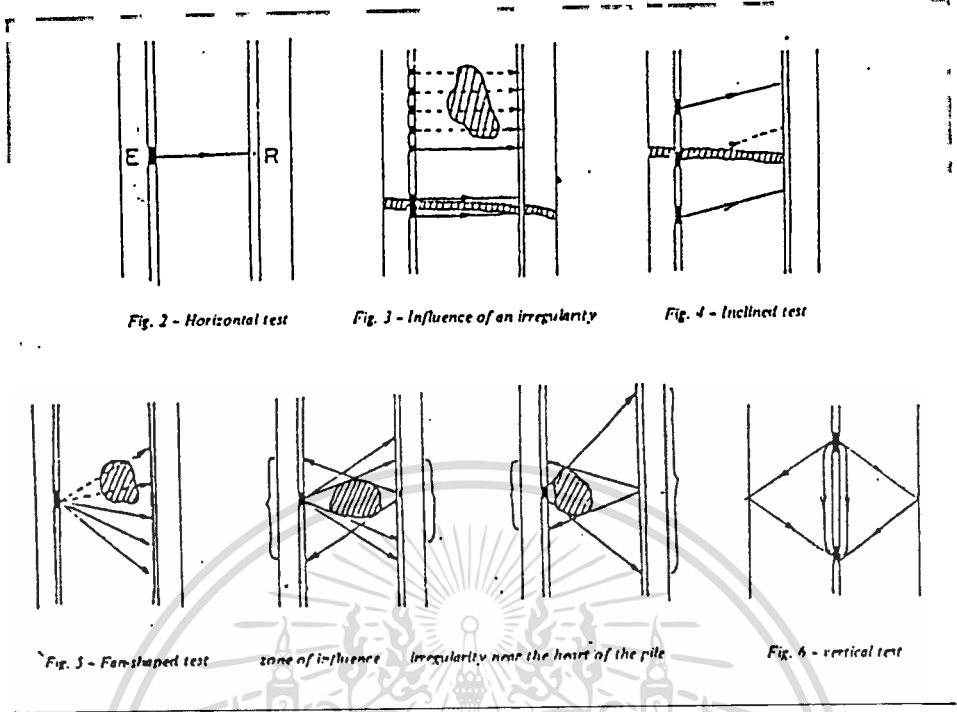
วิธีการติดตั้งเครื่องมือโดยทั่วไป สามารถทำการติดตั้งเครื่องมือเพื่อทำการทดสอบได้ดังรูปที่ 2.4



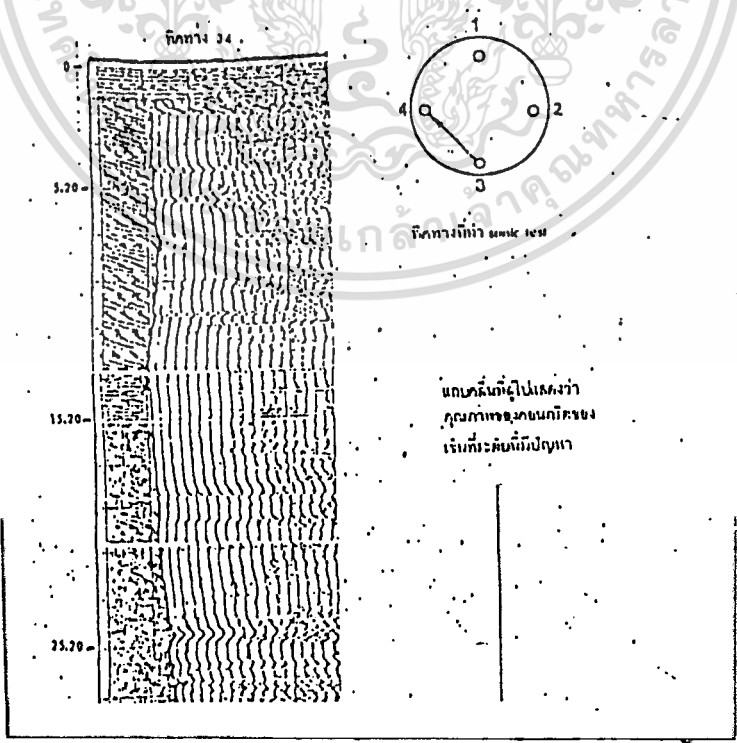
รูปที่ 2.4 แสดงการติดตั้งเครื่องมือโดยทั่วไป

วิธีการทดสอบสามารถกระทำได้ โดยการหย่อนหัวส่งสัญญาณ ( Transmit transducer )

และหัวรับสัญญาณ ( Receive transducer ) ลงไปตามท่อเหล็กที่เตรียมไว้จนถึงปลายท่อ จากนั้นจึงค่อย ๆ ยกหัวสัญญาณและหัวส่งสัญญาณขึ้นในลักษณะต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.5 เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ในกรณีต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยให้สัญญาณเคลื่อนส่งผ่านเนื้อคอนกรีตระหว่างท่อเหล็กที่เตรียมไว้ โดยสัญญาณเคลื่อนจะปรากฏที่ Oscilloscope reciever และถูกถ่ายออกมาเป็นแผ่นฟิล์ม ดังรูปที่ 2.6 เพื่อนำไปวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความบกพร่องของคอนกรีตต่อไป



รูปที่ 2.5 แสดงการทดสอบ Sonic test ในลักษณะต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.6 ลักษณะของสัญญาณคลื่นที่ปรากฏบนจอภาพ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 Core Test

เป็นวิธีการทดสอบโดยให้เครื่องมือเจาะ เจาะเอาแก่นคอนกรีตออกจากเสาเข็มโดยตรง จากแก่นคอนกรีตที่ได้นี้จะทำให้เห็นสภาพที่แท้จริงของคอนกรีตที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยตลอด และยังสามารถนำแก่นคอนกรีตนี้ไปทดสอบหาค่ากำลังอัดได้อีกด้วย

ในการตั้งแท่นเจาะเพื่อเจาะแก่นคอนกรีตนั้น จะต้องระวังให้แท่นเจาะได้ตั้งตลอดเวลา มิฉะนั้นปลายของรูเจาะอาจไม่ทะลุปลายเสาเข็ม แต่ไปทะลุออกข้าง ๆ ทำให้ไม่สามารถวินิจฉัยความยาวที่แท้จริงของเสาเข็มที่แท้จริงได้

แต่อย่างไรก็ตาม การทำการทดสอบด้วยวิธีนี้ จะกระทำเฉพาะในกรณีที่เสาเข็มวิกฤติจริง ๆ เท่านั้น เนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูงมาก



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของเนื้อคอนกรีตที่ไม่ดีจากการทำ Core Test

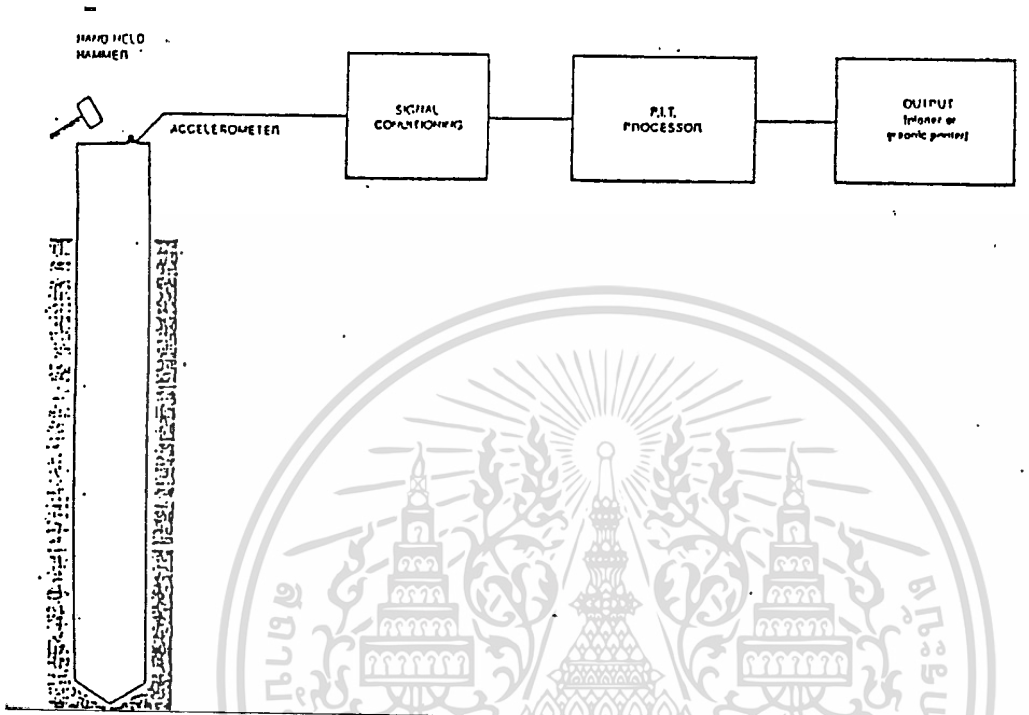
### 2.2.3 Seismic Test

เป็นวิธีการที่นิยมที่สุด เพราะใช้เวลาในการปฏิบัติงานน้อย ประมาณ 5 นาทีต่อต้นเท่านั้น รวมทั้งค่าใช้จ่ายไม่มากนัก การทดสอบจะกระทำได้โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงที่ผ่านจากหัวเสาเข็มลงสู่ปลายเสาเข็ม แล้วสะท้อนขึ้นมาเข้าสู่จอภาพ ปรากฏเป็นเส้นคลื่นเสียง หากเสาเข็มต้นใดมีรอยแตกร้าว หรือมีคอคอดตรงช่องใด หรืออาจมีทรายเข้ามาปะปนอยู่ในเนื้อคอนกรีต ลักษณะคลื่นที่ปรากฏจะไม่สม่ำเสมอ การอ่านสัญญาณของคลื่นเสียงนี้ ต้องอาศัยผู้ชำนาญโดยเฉพาะ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำ Seismic test นี้ ประกอบไปด้วย ข้อนเกาะที่ต่อสัญญาณเข้ากับเครื่องมือที่เรียกว่า Oscilloscope with transform unit สัญญาณของคลื่นจะถูกส่งผ่านมาจากหัว Transducer ที่แนบกับหัวเสาเข็ม การเก็บบันทึกลักษณะคลื่นกระทำได้โดยการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วสามารถเก็บบันทึกไว้ในแผ่นดิสก์ได้

การปฏิบัติการทดสอบ จะต้องทำการสกัดหัวเสาเข็มจนถึงส่วนที่เป็นเนื้อคอนกรีตที่เสียหายก่อน ปรับผิวให้เรียบ กดหัว Transducer ให้แนบกับหัวเสาเข็มแล้วใช้วัสดุที่มีความเหนียว เช่น ดินน้ำมัน หรือวาสลีน

ชิดกับหัวเสาเข็ม จากนั้นจึงใช้ค้อนเคาะลงบนหัวเสาเข็มสัญญาณของคลื่น (Low strain) จะปรากฏลงบนจอภาพ จนกระทั่งสัญญาณสะท้อนขึ้นมายังหัวเสาเข็มหมด การทดสอบนี้ควรกระทำอย่างน้อย 2 - 3 จุด ต่อเสาเข็มทดสอบ 1 ต้น ลักษณะแผนภูมิการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะขั้นตอนการทำงาน Seismic Test

### บทที่ 3

## การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Seismic Test

### 3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นเสียง

เสียงมีคุณสมบัติของคลื่นคือ การแทรกสอดและการเลี้ยวเบน นอกจากคุณสมบัติของคลื่นแล้ว เสียงก็มีคุณสมบัติของอนุภาคด้วย เช่น การสะท้อน การหักเห และจากที่กล่าวมาแล้วว่าเสียงเป็นคลื่นกล ดังนั้นเสียงจึงเป็นการถ่ายทอดหรือเปลี่ยนแปลงพลังงานแบบคลื่นตามยาวซึ่งต้องมีตัวกลางที่เป็นสสาร เช่น อากาศ คอนกรีต โลหะ เป็นต้น

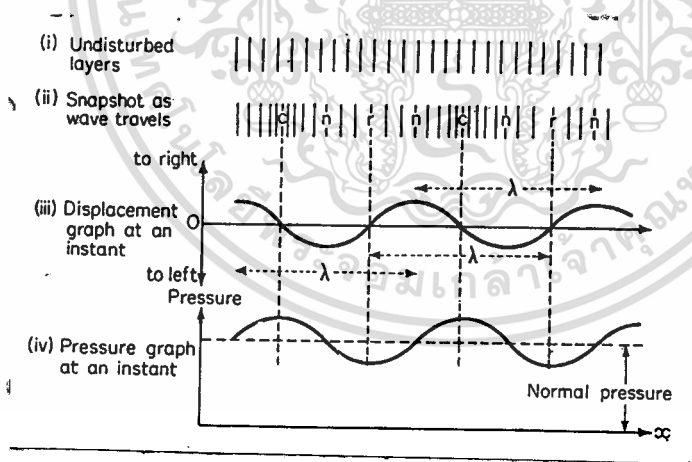
#### ลักษณะของคลื่นเสียง

1. การเกิดคลื่นเสียง เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุใด ๆ แล้วถ่ายทอดพลังงานของการสั่นในรูปของคลื่นตามยาวให้แก่อนุภาคของตัวกลางโดยอนุภาคตัวกลางโดยอนุภาคตัวกลางมีการสั่นในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง

คลื่นตามยาวคลื่นหนึ่งประกอบด้วย ส่วนอัดและส่วนขยาย

ส่วนอัด ( Compression ) คือส่วนที่อนุภาคเคลื่อนที่ไปในทางเดียวกับคลื่นและมีความดันมากกว่าปกติเล็กน้อย

ส่วนขยาย ( Rarefaction ) คือส่วนที่อนุภาคเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามกับคลื่นและมีความดันน้อยกว่าปกติเล็กน้อย



รูป 3.1 แสดงลักษณะคลื่นเสียงในอากาศ

2. ความถี่ของคลื่นเสียง ( Frequency ) คือจำนวนคลื่นที่วิ่งผ่านจุดคงที่จุดหนึ่งใน 1 วินาที มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุในตัวกลางต่าง ๆ ดังนั้นความถี่ของคลื่นเสียงก็คือความถี่ของการสั่นของตัวกลางและเท่ากับความถี่ของการสั่นของวัตถุที่เป็นต้นกำเนิดเสียงนั้นด้วย

3. อัตราเร็วคลื่นเสียง ( Velocity ) คือ ระยะทางที่เสียงเดินทางได้ใน 1 วินาที มีหน่วยเป็น เมตร / วินาที

อัตราเร็วของเสียงจะขึ้นอยู่กับสภาพของตัวกลางที่มันผ่านไป เช่น ความหนาแน่น ความยืดหยุ่น ความชื้น เป็นต้น แต่โดยทั่วไปแล้ว เสียงจะเดินทางได้เร็วในตัวกลางที่เป็นของแข็ง , ของเหลว , ก๊าซ ตามลำดับ

4. ความยาวคลื่นเสียง ( Wave Length ) คือ ระยะทางระหว่างจุดสองจุด ซึ่งอยู่ในเฟส (Phase) เดียวกันบนลูกคลื่นที่อยู่ติดกัน มีหน่วยเป็นเมตร

5. คาบของการสั่น ( Period ) คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการสั่นครบ 1 รอบ

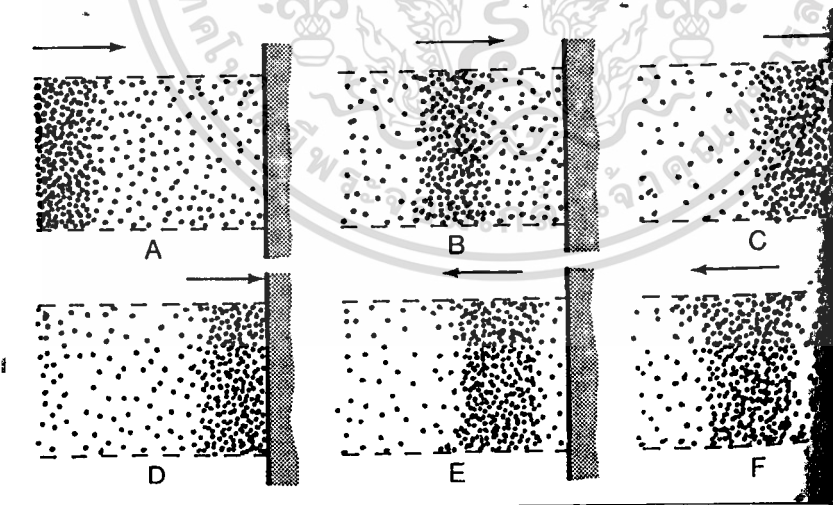
### คุณสมบัติของคลื่นเสียง

**การสะท้อน ( Reflection )** เมื่อคลื่นเสียงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่มีความหนาแน่นต่างกัน เช่น จากอากาศไปกำแพง เสียงจะเกิดการสะท้อนเช่นเดียวกับการสะท้อนของคลื่นโดยทั่วไป กล่าวคือ

1. รังสีตกกระทบ, เส้นปกติและรังสีสะท้อนอยู่บนระนาบเดียวกัน
2. มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

### ลักษณะการสะท้อนของคลื่นเสียง

สมมติให้ส่วนอึดของคลื่นเดินทางจากตัวกลางที่หนาแน่นน้อยกว่าไปยังตัวกลางที่หนาแน่นมากกว่า เช่น จากอากาศไปกำแพง ดังแสดงในรูป บริเวณต่าง ๆ นอกจากส่วนอึดจะมีความดันปกติ แต่ในบริเวณส่วนอึดนี้ จะมีความดันสูงกว่าปกติเล็กน้อยและอนุภาคในบริเวณนี้จะมีโมเมนตัมในทิศทางจากซ้ายไปขวา ทำให้ส่วนอึดมีทิศทางเดียวกัน เมื่อส่วนอึดนี้เดินทางถึงกำแพง อนุภาคของอากาศจะไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไป ทำให้เกิดส่วนอึดที่บริเวณกำแพงดังรูป C และ D

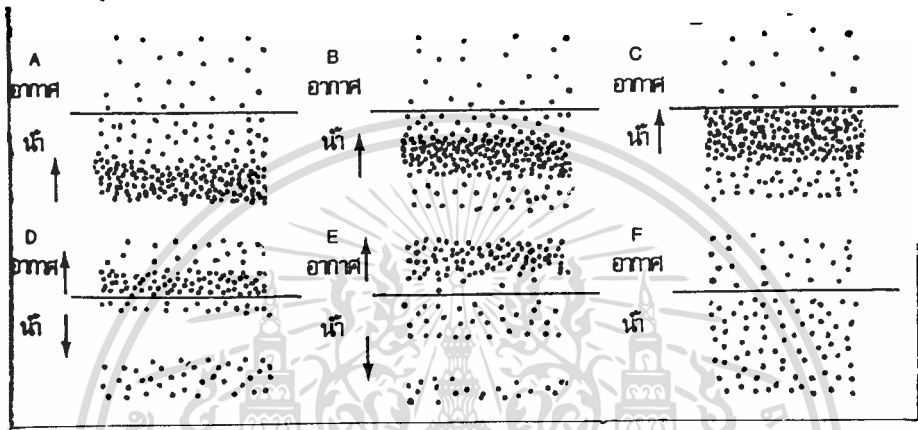


รูป 3.2 แสดงลักษณะการสะท้อนของคลื่นเสียงที่กำแพง

ต่อมาอนุภาคกระทบกับกำแพงทำให้เกิดโมเมนตัมในทิศทางตรงข้าม ดังนั้นอนุภาคจะเคลื่อนที่กลับในทิศทางจากขวาไปซ้ายในรูปของส่วนอึดดังรูป E และ F

ในทางตรงกันข้าม ถ้าคลื่นเสียงเดินทางจากตัวกลางที่หนาแน่นมากไปยังตัวกลางที่หนาแน่นน้อยกว่าจะเกิดสะท้อนของเสียงเพียงบางส่วนเท่านั้น โดยที่คลื่นสะท้อนจะมีการกลับเฟส 180 องศา

จากรูป แสดงถึงการเดินทางของเสียงจากน้ำไปยังอากาศของส่วนอัด เมื่อส่วนอัดนี้เดินทางถึงผิวน้ำอนุภาคของน้ำบริเวณผิวน้ำจะมีโมเมนต์ในทิศทางจากล่างขึ้นบนดังรูป เนื่องจากอากาศมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำจึงถ่ายทอดโมเมนต์ให้แก่อากาศได้มาก



รูป 3.3 แสดงลักษณะการสะท้อนของคลื่นเสียงที่ผิวต่อระหว่างน้ำและอากาศ

ดังนั้นเมื่ออนุภาคของน้ำบริเวณผิวได้ถ่ายทอดโมเมนต์แล้วจะทำให้ความดันบริเวณนี้น้อยกว่าปกติและเกิดเป็น ส่วนขยายโดยมีทิศทางจากอากาศมาขังน้ำดังรูป E และ F ตามลำดับ นั่นคือคลื่นสะท้อนมีการเปลี่ยนเฟส 180 องศา

กล่าวโดยสรุป เมื่อเสียงเดินทางจากตัวกลางที่หนาแน่นน้อยไปยังตัวกลางที่หนาแน่นมาก เสียงจะเกิดการสะท้อนโดยที่คลื่นสะท้อนมีเฟสเหมือนเดิม แต่ถ้าคลื่นเสียงเดินทางจากตัวกลางที่หนาแน่นมากไปยังตัวกลางที่หนาแน่นน้อย เสียงบางส่วนจะสะท้อนโดยคลื่นสะท้อนมีเฟสต่างกัน 180 องศา และส่วนที่เหลือจะถูกส่งผ่านไปยังตัวกลางใหม่

#### การหักเห

เสียงจะเกิดการหักเหขึ้นเมื่อ เดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่มีความหนาแน่นต่างกัน การหักเหและการสะท้อนของเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่มักเกิดขึ้นพร้อมกัน ในสภาวะที่ต่างกันปริมาณของเสียงที่สะท้อนและปริมาณเสียงที่หักเหจะแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น เมื่อเสียงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยไปสู่ตัวกลางที่หนาแน่นมาก ปริมาณเสียงสะท้อนจะมีมากกว่าปริมาณเสียงที่หักเห เมื่อเสียงเดินทางจากตัวกลางที่หนาแน่นมากไปสู่ตัวกลางที่หนาแน่นน้อยกว่าปริมาณเสียงสะท้อนจะน้อยกว่าปริมาณเสียงที่หักเห

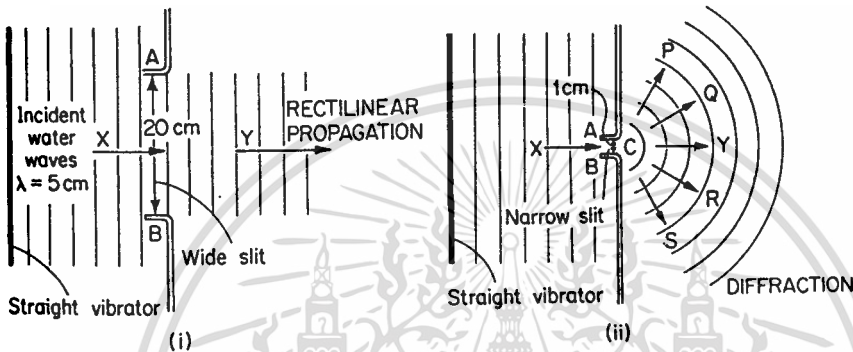
ปรากฏการณ์ในธรรมชาติที่เกี่ยวกับการหักเห ได้แก่ การเกิดฟ้าแลบโดยเราไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้องตาม

## การเลี้ยวเบน

การเลี้ยวเบนหมายถึง การเปลี่ยนแปลงทางเดินของเสียงเมื่อผ่านช่องแคบหรือขอบวัตถุ

ในชีวิตประจำวันนั้นเราจะพบเห็นการเลี้ยวเบนของเสียงอยู่เสมอ เช่น เราสามารถได้ยินเสียงตะโกนจากมุมตึกอีกด้านหนึ่งได้ หรือรถยนต์เมื่อวิ่งใกล้สี่แยกก็จะบีบแตรเพื่อให้คนขับรถบนทางแยกได้ยินเสียง

จากการศึกษาเราพบว่า การเลี้ยวเบนของคลื่นผ่านช่องแคบขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น กล่าวคือ คลื่นเกิดการเลี้ยวเบนได้มากเมื่อขนาดของช่องแคบใกล้เคียงกับขนาดของความยาวคลื่น



รูป 3.4 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง

## การแทรกสอด

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไป คลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงเหล่านี้มีทิศทางเดียวกัน จึงเกิดแทรกสอดของเสียงแบบเสริมกันและหักล้างกัน ในกรณีที่เป็นเสียงเสริมกัน ตำแหน่งที่มีการเสริมกันเป็นตำแหน่งเสียงดัง ส่วนตำแหน่งที่สอดแทรกแล้วหักล้างกันเป็นตำแหน่งเสียงค่อย

คลื่นเสียงที่ใช้ในการทดสอบแบบ Seismic Test จะมีความถี่โดยประมาณ 0,5 ถึง 10 Mhz ( ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้ในการทำการทดสอบแบบไม่ทำลาย ) วัสดุที่สามารถนำคลื่นเสียงได้จะสามารถนำมาทดสอบหาตำแหน่งของเสาเข็มได้

แอมพลิจูด ( amplitude ) เป็นระยะกึ่งกลางของความสูงเส้นโค้งคลื่น

เวลาเกิดคลื่น ( time period ) ( T ) เวลาการเกิดคลื่นจากส่วนโค้งบนสุดไปยังอีกส่วนโค้งบนสุดถัดไป

## 3.2 ทฤษฎีเบื้องต้นที่ใช้ในการทดสอบ

การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยใช้ Seismic Test เป็นการประยุกต์การเคลื่อนที่ของคลื่นใน 1 ทิศทาง ในเสาเข็มที่มีความยาวมากเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม

เมื่อทำการเคาะที่หัวเสาเข็ม จะทำให้เกิดคลื่นความเค้น ( Stress wave ) เดินทางผ่านเสาเข็มด้วยความเร็วคลื่น ( Wave speed ; C ) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ( Elastic modulus ; E ) และความหนาแน่น ( Mass density ; ρ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $E = c^2 \rho$   
 คำนึง  $c = \sqrt{E/\rho}$

หลักการพื้นฐานในการวิเคราะห์การสะท้อนกลับของคลื่นที่ส่งไปในเสาเข็มมาจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน ( Impedance ; Z )

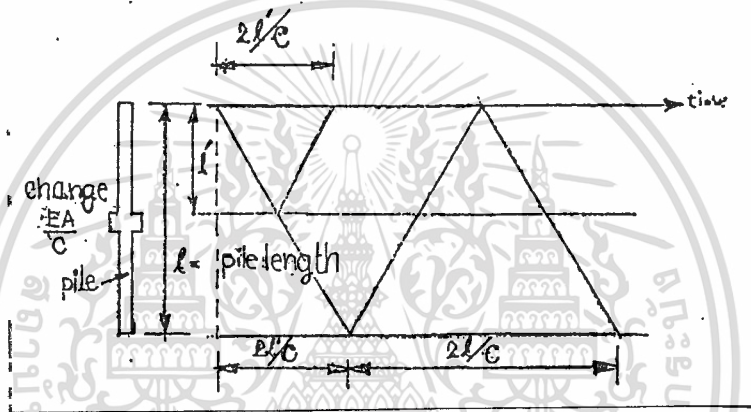
ค่าความต้านทาน ( Impedance ) สามารถหาได้จากสมการ

$$Z = A \sqrt{E\rho}$$

หรือ  $Z = EA/C$

โดยที่ A = พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม ( Cross section area )

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด จะทำให้คลื่นเกิดการสะท้อนกลับ ดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 3.5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่วัดได้ในรูปของเวลากับความลึกที่เกิดการสะท้อนกลับของคลื่น

จากรูปที่ 3.5 จะอธิบายเกี่ยวกับผลของคลื่นสะท้อนกลับ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม เมื่อคลื่นเดินทางจากจุดเกิดการต้นสะท้อนที่หัวเสาเข็มลงไปถึงจุดที่มีการเพิ่มขึ้นของขนาดพื้นที่หน้าตัด จะทำให้คลื่นเดินทางขึ้นกลับไปยังหัวเสาเข็ม และวัดเวลาได้เท่ากับ

“สองเท่าของระยะทางจากจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัด หาค่าด้วยความเร็วของคลื่นสัญญาณ”

แสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$T = 2L/C$$

T = เวลาทั้งหมดที่คลื่นเกิดการสะท้อนกลับมายังเครื่องรับสัญญาณ

L = ความยาวของเสาเข็ม ณ ตำแหน่งที่เกิดการสะท้อนกลับของคลื่น

C = ความเร็วคลื่นในเสาเข็ม

สำหรับในประเทศไทยค่าความเร็วคลื่นในคอนกรีตที่นิยมใช้มีค่าระหว่าง 3500 - 4500 m/s ขึ้นกับค่า

Strength ของคอนกรีตในเสาเข็ม โดย

เข็มเจาะ ใช้ความเร็วคลื่นประมาณ 3500 - 4000 m/s

เข็มตอก ใช้ความเร็วคลื่นประมาณ 4000 - 4500 m/s



อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ วิธีทดสอบ และการใช้ Software

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มนี้ ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วน คือ อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในสนามและอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบเพื่อการวิเคราะห์ผลการทดสอบในสนาม ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. ค้อน ( Hammer )

หน้าที่ ทำให้เกิดคลื่น Low energy ขึ้นที่หัวเสาเข็ม โดยใช้ค้อนเคาะที่หัวเสาเข็มที่ทำการทดสอบเบา ๆ คลื่นที่เกิดขึ้นจะตรงไปยังปลายเสาเข็ม

2. ดินน้ำมัน, กาว, วาสลิน ( เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง )

หน้าที่ เป็นตัวยึกระหว่างอุปกรณ์การทดสอบกับหัวเสาเข็ม

3. Transducer geophone

หน้าที่ เป็นตัวรับข้อมูลหรือตัวรับสัญญาณคลื่นจากเสาเข็ม

4. Accelerometer

หน้าที่ วัดความเร็วคลื่นที่เกิดขึ้นในเสาเข็ม

5. Collector

หน้าที่ เป็นตัวเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทั้งหมดในสนาม ในรูปของกราฟบนจอภาพ

6. ตัวถ่ายข้อมูล

หน้าที่ ถ่ายข้อมูลได้จากการทดสอบในสนามจาก Collector เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเสาเข็ม

7. Computer

หน้าที่ วิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ว่าเสาเข็มต้นที่ทำการทดสอบนั้นมีความสมบูรณ์หรือไม่

8. แบตเตอรี่และตัวชาร์จแบตเตอรี่

4.2 เครื่องมือทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ( The Pile Integrity Tester )

ขณะนี้ ได้มีเครื่องมือที่ก้าวหน้าที่สุดในการจัดระบบการจัดการเก็บข้อมูลเพื่อพิจารณาความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยใช้วิธีการเคาะที่ผิวหน้าของเสาเข็ม รูปแบบของเครื่องมือนี้จะมีขนาดเล็ก ใช้กันอย่างแพร่หลายและอีกทั้งยังเป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่มีเสียงน้อย ใช้การปฏิบัติการแบบ 16 บิต analog-digital โดยจะขยายสัญญาณมากกว่า 65,000 ระดับสัญญาณ ทั้งยังมีการป้องกันความถูกต้องเที่ยงตรงของผลสะท้อนสัญญาณจากเข็มยาวที่อ่อนมาก ๆ

การเก็บข้อมูลของ P.I.T. มักตีความข้อมูลทั้งหลายโดยให้ออกมาสอดคล้องกัน ความสอดคล้องกันจะขึ้นอยู่กับทฤษฎีของคลื่นและผู้ใช้ควรจะประมาณการโดยให้สอดคล้องกับหลักทฤษฎี ในกรรมวิธีต่าง ๆ ผลของความถูกต้องจะดีมากเท่ากับกับความเข้าใจในหลักการของผู้ที่แก้ปัญหา ความรู้ที่มากยิ่งขึ้นเป็นสิ่งจำเป็นมาก ดังนั้นประสิทธิภาพในการตีความที่ถูกต้องแม่นยำจะขึ้นอยู่กับ บุคคลที่ทำการทดสอบ การตีความ และการรายงานผล

037201

ดัชนีของหนังสือประกอบการใช้เครื่องมือนี้จะจัดหาข้อมูลในเชิงทฤษฎี , แบบฝึกหัด , และวิธีการทดสอบผิวหน้าที่จำกัดของเสาเข็มที่ใช้ทดสอบ

#### 4.2.1 การเตรียมการ ( Preparation )

การต่อเครื่องจะเป็นไปอย่างง่าย ๆ อย่างไรก็ตามก็คิด จะกล่าววิธีการโดยย่อ ๆ ดังนี้คือ เครื่องมือ accelerometer จะใช้วัดอัตราความเร่ง โดยจะเป็นตัวรวมความเร็วในแต่ละจุด การต่อเครื่องมือจะต่อปลั๊ก A ในอีกข้างหนึ่งของเครื่องมือ ถ้าใช้ก้อนในการวัดแรงจะต้องต่อปลั๊ก F ในอีกข้างที่เหลือของเครื่องมือ

ทั้งเครื่องมือ accelerometer และก้อนที่ใช้จะต้องกระทำบนผิวหน้าที่สะอาดและแข็งมาก ดังนั้น ส่วนยอดของเสาเข็มจะต้องเตรียมไว้อย่างดีในการที่จะปฏิบัติงาน เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานนี้ คอนกรีตที่ใช้จะต้องถูกเตรียมให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ผิวหน้าของเสาเข็มที่เรียบเพื่อที่จะใช้ทำงานกับเครื่อง accelerometer และขีปนาระแหก

เครื่องมือ accelerometer จะให้สัญญาณความเร่งเฉพาะตัว ดังนั้นจะต้องยึดติดเครื่องมือ accelerometer กับส่วนยอดของเสาเข็มเพื่อที่จะวัดขนาดความถี่ของการเคลื่อนไหวในขณะที่ทำการกระแทกที่ผิวหน้าและมีสัญญาณสะท้อนกลับ เพื่อที่จะให้ได้ผลที่ดีที่สุด เครื่องมือ accelerometer จะต้องติดที่ส่วนยอดของเสาเข็ม ทั้ง accelerometer และสายของมันควรจะมาเมื่อเทียบกับเสาเข็ม ผิวหน้าควรจะปราศจากฝุ่นและเศษผงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะของเครื่องมือ accelerometer กับผิวหน้าของเสาเข็ม วัสดุเชื่อมประสานจะใช้สารจำพวก Petro Wax , pliable wax ที่จัดหาไว้สำหรับเฉพาะเครื่องมือ วัสดุเชื่อมประสานอื่น ๆ เช่น petroleum jelly , plastic clay หรือ bowl sealer wax ก็สามารถใช้ได้เช่นเดียวกัน การใช้ชั้นบาง ๆ ของวัสดุเชื่อมประสานในการติดเครื่องมือ accelerometer เข้ากับส่วนยอดของเสาเข็มจะให้ผลที่ดี ส่วนการใช้วัสดุเชื่อมประสานที่หนาเกินไป ตัววัสดุประสานจะทำหน้าที่คล้ายสปริง เมื่อปฏิบัติงานผลที่ได้จะผิดความเป็นจริงไป

#### 4.2.2 การใช้ก้อน ( Hammer Technique )

คลื่นที่ได้จากการกระแทกก้อนจะให้สัญญาณสะท้อนที่ชัดเจนจากการเปลี่ยนแปลงของ impedance ถ้าสัญญาณชัดเจนและอยู่ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ดังนั้น ส่วนล่างของก้อนควรมีผิวหน้าที่แข็งมาก อย่างไรก็ตามถ้าสัญญาณมีขนาดใหญ่มากเกินไป หรือถี่เกินไปการวิเคราะห์จะทำได้ยาก การใช้ก้อนกระแทกโดย PDI ควรจะพิจารณาให้เหมาะสมกับเสาเข็มแต่ละต้น โดยทั่ว ๆ ไป ก้อนที่ใหญ่กว่าจะให้สัญญาณที่ยาวกว่าและถี่น้อยกว่า ส่วนก้อนที่เล็กกว่าจะสัญญาณการกระแทกที่มีความถี่มากกว่า ดังนั้นจึงควรที่จะใช้ก้อนที่มีขนาดเล็กกว่า หรือในอีกลักษณะหนึ่ง ในเข็มที่มีขนาดยาวกว่าจะมีแรงเสียดทานที่มากกว่า ดังนั้นในบางครั้งสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่ามีความจำเป็นเพื่อจะได้สัญญาณที่จะส่ง ไปถึงด้านล่างของเสาเข็มได้เป็นอย่างดี

การใช้ก้อนกระแทกมีความจำเป็นในการใช้งานเครื่องมือ Pile integrity testing การกระแทกที่ได้สัญญาณที่สามารถวิเคราะห์ได้ดีมีความสำคัญ ถ้าเสาเข็มถูกกระแทกแรงเกินไปจะเกิดการสั่น การสั่นนี้จะทำให้สัญญาณที่ตอบสนองถูกดูดซับ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยง การกระแทกที่นุ่มนวลกว่าจะให้สัญญาณที่เรียบเหมาะสำหรับการนำไปตีความ ถ้าสัญญาณมีขนาดความถี่ต่ำหรือเสาเข็มมีขนาดใหญ่มาก ควรจะเพิ่มขนาดของ amplification ของเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อที่จะได้สัญญาณที่ชัดเจน ส่วนประกอบในการทำงานข้างต้นมีความจำเป็นในการที่จะได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้ เพื่อเป็นประโยชน์แก่การตีความที่ถูกต้องสมบูรณ์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 การตีความ ( Interpretation )

แม้ว่าเราจะตีความจากกราฟของความเร่งได้อย่างถูกต้อง การรวมความเร็วโดยทั่วไปจะถูกบันทึกโดยจะมองข้ามรายละเอียดเล็กน้อยไป การบันทึกข้อมูลจากเสาเข็มที่ใช้ทดสอบจะได้จากการกระแทกค้อนโดยการเหวี่ยงข้อมูลจากการตอบสนองไว้ที่ตำแหน่งศูนย์จนกระทั่งผลสะท้อนจากด้านล่างเกิดขึ้น ทั้งค่าของแรงและความเร็วจะเป็นค่าบวกที่จุดเริ่มต้นของการบันทึก แรงจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อค้อนที่กระแทกลงไปถูกสะท้อนกลับจากส่วนยอดของเสาเข็ม ในการปฏิบัติจะมีค่าของแรงเสียดทานเข้ามาเกี่ยวข้องกับอยู่เสมอ โดยจะทำการดูซ้ำหลังจากงาน และทำให้ความเร็วติดค่าลบหลังจากการกระแทกครั้งเริ่มต้น

ผลการสะท้อนอื่น ๆ จะดูซ้ำเฉพาะการบันทึกค่าของความเร็วเท่านั้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงในค่า impedance ของเสาเข็ม ,  $E \times A / C$

- โดยที่ E = elastic modulus
- A = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม
- c = ค่าความเร็วของคลื่น

ผลของการสะท้อนขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มและชนิดของวัสดุ ค่าขอบเขตของการลดของ impedance เป็นผลของการสะท้อนที่มีค่าเป็นบวก ค่าขอบเขตของการเพิ่มของ impedance เป็นผลของการสะท้อนที่มีค่าเป็นลบ ผลของการสะท้อนมักจะถูกตีความออกมาโดยพิจารณาในลักษณะของความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงที่ยอมรับหรือค่าของการทดสอบถึงผลของความบกพร่องของเสาเข็มที่ได้

ผลสรุปของรูปร่างของเสาเข็มที่เปลี่ยนแปลงและความต้านทานของดินได้ถูกแสดงผลของมันได้ดังรูปที่ 1 และ 2 ความต้านทานระดับ R ( Low, Mid , or Hi ) มีผลต่อขนาดของการตอบสนองที่ได้ ขนาดของการเปลี่ยนแปลงของผลการสะท้อนกลับ รูปแบบที่สมบูรณ์ซึ่งแสดงถึงผลของการสะท้อนได้อยู่ในส่วนต่อไป ข้อมูลที่มาก ๆ จะช่วยในการวิเคราะห์ผลได้ถูกต้อง

เสียงที่เกิดขึ้นโดยอิสระจะง่ายต่อการเฉลี่ยค่าในการเก็บรวบรวมข้อมูล ผลของการบกพร่องเล็กน้อยที่เกิดในระยะทางสั้น ๆ บนผิวหน้าที่ใช้สัญญาณที่มีความถี่สูงทดสอบอาจจะทำให้เกิดการบิดเบือนจากความเป็นจริงได้

แรงเสียดทานของดินและคอนกรีตที่มีคุณภาพต่ำจะเป็นอุปสรรคต่อการทดสอบโดยใช้วิธี integrity testing นี้โดยเริ่มตั้งแต่การกระจายคลื่นผ่านเสาเข็ม การเพิ่มขนาดของคลื่นจะช่วยแก้ปัญหานี้ได้โดยจะเพิ่มสัญญาณที่เกิดในบริเวณเสาเข็มส่วนด้านล่างให้ได้สัญญาณที่ชัดเจน แต่ในบริเวณส่วนยอดของเสาเข็มที่เราทำการทดสอบจะเกิดการสั้นของสัญญาณ ดังนั้นการขยายขนาดของสัญญาณจะต้องเป็นไปอย่างระมัดระวัง ถ้าสัญญาณเกิดการสั้น เราควรที่จะทำการลดขนาดของสัญญาณลงเพื่อการทดสอบที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เพื่อป้องกันขนาดของหน้าตัดแต่ละหน้าตัดที่เปลี่ยนแปลงไปหรือส่วนปลายด้านล่างของเสาเข็ม ความเร็วของคลื่นจะถูกสมมติขึ้น การสะท้อนที่ปลายของเสาเข็มจะไม่ค่อยชัดเจนโดยสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ผลของการสะท้อนที่ปลายเสาเข็ม ถ้าเราตั้งคูลให้ดี เราควรที่จะปรับขนาดของความเร็วของคลื่นถ้าเรารู้ความยาวของเสาเข็ม ขนาดความยาวของเสาเข็มเป็นสิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปเสมอ โดยเฉพาะเสาเข็มเจาะ ถ้าเราเข็มมีขนาดของความบกพร่องที่มีขนาดใหญ่ หรือเกิดการแตกแยกแบบสองซีก เนื่องมาจากเกิดช่องว่างระหว่างหน้าตัด คลื่นจะไม่สามารถผ่านส่วนนี้ไปได้ ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็นค่าที่ได้จากส่วนบนที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านและสะท้อนกลับเท่านั้น

ถ้าผลของการสะท้อนที่ปลายของเสาเข็มไม่ปรากฏขึ้น การทดสอบจะสำเร็จเพียงบางส่วนเท่านั้น เพราะความบกพร่องที่เกิดขึ้นจะเป็นเพียงความบกพร่องที่เกิดในส่วนบนของเสาเข็มในส่วนที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านไปไม่ตรวจเห็นใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านเท่านั้น ผลของความบกพร่องที่ส่วนลึกลงไปจะไม่พิจารณาเนื่องจากว่าความบกพร่องที่ทำให้คลื่นไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้อีกเป็นความบกพร่องที่ยิ่งใหญ่ที่ไม่อาจจะยอมรับได้แล้ว เพราะผลของการทดสอบที่เราต้องการเป็นการทดสอบถึงสมรรถภาพการใช้งานได้ของเสาเข็ม ถ้ามีข้อบกพร่องที่ไม่อาจจะยอมรับได้เพียงจุดเดียว เสาเข็มต้นนั้นก็ไม่าจะจะใช้ได้อีกต่อไป เพื่อที่จะช่วยในการแสดงผลของความบกพร่องที่เกิดบริเวณส่วนยอดของเสาเข็มที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ เราควรจะทดสอบเสาเข็มโดยทดสอบโดยรอบเส้นผ่านศูนย์กลางและบริเวณศูนย์กลางของเสาเข็ม

การทดสอบเสาเข็มหลายครั้งหรือหลายต้นเป็นการดี เนื่องจากค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยของการทดสอบในแต่ละครั้งโดยการทดสอบจะเปรียบเทียบกับค่าของเสาเข็มตัวอย่าง ในการประมาณค่าเราจะทำการประมาณค่าโดยเปรียบเทียบกับเสาเข็มตัวอย่างในแต่ละจุด จำนวนการทดสอบจะขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างของสิ่งก่อสร้าง สำหรับฐานรากเราควรที่จะทดสอบเสาเข็มที่เป็นตัวรับน้ำหนักจากเสาทุกต้น ตัวเก็บรวบรวมของการทดสอบแบบ P.I.T. จะสามารถเก็บตัวเลขได้เป็นปริมาณมาก ๆ ได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการทดสอบจะมีราคาต่ำถึงแม้จะทดสอบหลาย ๆ ต้นก็ตาม

การทดสอบขณะที่มีการติดตั้งเป็นสิ่งที่จะต้องกระทำ ถ้าโครงการเป็นเสาเข็มแบบขุดเจาะหรือเป็นแบบ auger piles จะต้องรอเวลาที่คอนกรีตแข็งตัวโดยใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์หรือไม่ก็ประมาณ 5 วัน สำหรับเสาเข็มที่เป็นแบบคอกสามารถที่จะทดสอบได้ทันที

ในโครงการขนาดใหญ่ ควรทดสอบเสาเข็ม 1 ครั้งต่อสัปดาห์ เพื่อเป็นการป้องกันการบดพร่องที่จะเกิดขึ้นตั้งแต่ต้น ๆ การเก็บรวบรวมสามารถทำได้ในราคาถูกในขณะที่ทำการติดตั้งเครื่องมือในสถานที่ก่อสร้าง การทำงานพวกพื้น ตอม่อ และเสาสามารถทำได้อย่างต่อเนื่องตามตาราง เพราะการรอให้เสาเข็มทุกต้นติดตั้งเสร็จจะทำให้เกิดปัญหาของค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมที่สูงขึ้นและเวลาเสร็จล่าช้าลงไป

ถ้าผลของการสะท้อนที่เกิดขึ้นที่ปลายด้านล่างของเสาเข็มเกิดขึ้นชัดเจน คำถามต่อไปนี้จะตอบได้คือ

1. สัญญาณที่เกิดขึ้นที่ปลายเสาเข็มสามารถสังเกตได้ใช่หรือไม่ ?

มีตัวบ่งชี้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่จะสามารถบ่งบอกถึงความบกพร่องของเสาเข็มขณะที่รับน้ำหนัก ดังนั้นจึงควรจะระมัดระวังตั้งแต่เริ่มต้น อย่างไรก็ตาม สัญญาณที่เกิดขึ้นบริเวณปลายด้านล่างของเสาเข็มจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นโดยจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงมีขนาดใหญ่ขึ้นที่ส่วนกลางแสดงว่าเกิดความบกพร่องของเสาเข็มเกิดขึ้น โดยผลของการเปลี่ยนแปลงของคลื่นจะเกิดคล้าย ๆ กัน คือเราจะสังเกตได้โดยคลื่นถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นมากกว่า 2 ครั้ง แสดงว่าเกิดความบกพร่องแก่เสาเข็มเพราะคลื่นจะมีการเปลี่ยน 2 ครั้ง คือครั้งแรกจะเกิดบริเวณส่วนยอดของเสาเข็ม ครั้งที่สองจะเกิดบริเวณส่วนล่างของเสาเข็ม แต่ถ้าเกิดมีมากกว่าสองครั้งแสดงว่าเกิดความบกพร่องขึ้นที่ตำแหน่งใด ตำแหน่งหนึ่งของเสาเข็ม โดยการทดสอบนี้จะบอกได้เพียงว่าความบกพร่องหลัก ๆ ที่เกิดขึ้นที่จะทำให้โครงสร้างเกิดการพังทลายลงเมื่อรับแรงเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนใด เป็นการป้องกันไว้ก่อนเท่านั้น

2. สัญญาณที่เกิดขึ้นสำหรับเสาเข็มแต่ละต้นจะเกิดเหมือนกันหรือไม่ ?

ตัวที่จะทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นกับเสาเข็มแต่ละต้นต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นดิน โดยเปรียบเทียบระหว่างชั้นดินที่อ่อนกับชั้นดินที่แข็งจะมีผลต่อขนาดรูปร่างของเสาเข็มโดยจะทำให้เสาเข็มมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอสำหรับเข็มเจาะ ซึ่งมีผลทำให้ขนาดของเสาเข็มมีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง สำหรับขนาดที่ใหญ่ขึ้นของเสาเข็มจะมีผลต่อลักษณะของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงแต่จะไม่มีผลต่อคุณภาพของเสาเข็ม

### 3. การเกิดการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณส่วนยอดของเสาเข็มเราจะรู้ได้อย่างไร ?

ถ้าการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนยอดของเสาเข็ม มันจะถูกซ่อนอยู่ในความเร็วที่เพิ่มขึ้นเริ่มต้นของการให้สัญญาณ ปัญหาจะบังชี้ได้โดยสังเกตจากความกว้างของสัญญาณที่ผิดปกติ ผลสะท้อนในเบื้องต้นจะซ้อนทับสัญญาณการตีในครั้งแรก ๆ การแก้ปัญหาเราสามารถทำได้โดยการใช้ค้อนขนาดเล็ก หรือมีวิธีการที่คิดว่าเป็นการวัดขนาดของแรงที่เพิ่มขึ้นและเปรียบเทียบกับความเร็ว วิธีการหลังจะเป็นวิธีการที่คิดว่าเป็นวิธีแรก

### 4. การบันทึกการขุดเจาะ , การวัดปริมาณงาน , หรือการสังเกตการทำงานจะเป็นตัวบ่งชี้ปัญหาต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นได้หรือไม่ ?

การบันทึกต่าง ๆ เหล่านี้จะสามารถช่วยในการประมวลค่าของผลความบกพร่องที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี

การเก็บรวบรวมข้อมูลจะถูกเก็บข้อมูลในตัวเก็บรวบรวมข้อมูลของเครื่อง P.I.T. ในการแสดงผลการรายงานเราจะทำได้โดยต่อเครื่องมือ plotter แบบอนุกรมเข้ากับตัวเก็บรวบรวมข้อมูล โดยอาจจะใช้เครื่องมือที่ได้เข้าเข้ากับเครื่องมาตั้งแต่เริ่มต้นได้เลย

#### 4.3 การเริ่มต้น ( Getting Started )

เพื่อเรียนรู้การทำงานของเครื่องมือ P.I.T. ในการเก็บรวบรวมข้อมูลของมัน ในความเป็นจริงในการทำงานเราจะทำการทดสอบเสาเข็มที่อยู่ในสถานที่ก่อสร้างจริง แต่เพื่อทำความเข้าใจกับเครื่องมือ P.I.T. เราสามารถที่จะใช้วัสดุตัวอย่างได้เช่นพวกท่อนไม้หรือท่อ section หรืออาจจะใช้ทดสอบกับโต๊ะที่มีความแข็งแรง โดยทำการเคาะค้อนเบา ๆ ลงที่ผิวหน้าของโต๊ะ

หลังจากเอาเครื่องมือออกจากกล่องเก็บ ทำการต่อตัว accelerometer เข้ากับจุด A ถ้าใช้วัดขนาดของแรงค้ำ จะต่อสายอีกสายหนึ่งเข้ากับจุด F ในอีกข้างหนึ่งของกล่อง

##### 4.3.1 Power

ชุดแบตเตอรี่ของเครื่องมือ P.I.T. เราจะรู้ถึงขีดความสามารถของมันได้จากหัวข้อของแบตเตอรี่ และเราควรที่จะทำการ Charge แบตเตอรี่ให้เต็มก่อนที่จะนำไปใช้งานในสนาม

สายต่อข้างหนึ่งต่ออยู่ที่ข้างหนึ่งของเครื่องมือ P.I.T. แล้วอีกส่วนหนึ่งต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานภายนอก ตัว charge แบตเตอรี่จะจัดให้ต่อได้โดยง่าย

ตัว Charge แบตเตอรี่ต้องการไฟฟ้ากระแสสลับ 100 - 120 โวลต์ สำหรับใช้งานภายในบ้าน ในสภาพแวดล้อมของการก่อสร้างจริง ๆ การต่อสายไฟซึ่งมีขนาดจำกัดทำให้การเคลื่อนที่มีขนาดจำกัดไปด้วยและเสี่ยงต่อกันที่อาจจะเกิดจากความผิดพลาดทางด้านไฟฟ้าด้วย ผลของความไม่สะดวกและการเสี่ยงต่อกันที่อาจจะเกิดจากไฟฟ้า ตัว charge แบตเตอรี่ควรใช้ภายในบ้านเท่านั้น ข้อมูลจากเสาเข็มควรเก็บโดยใช้แบตเตอรี่เท่านั้น

แบตเตอรี่ที่หมดประสิทธิภาพจะทำให้เกิดความเสียหายมากมาย ดังนั้นเครื่องมือที่ชนิดนี้ได้มีการออกแบบให้มีการใช้งานได้ 8 ชั่วโมงหลังจากการ charge แบตเตอรี่ไปแล้ว 14 ชั่วโมง ในการจะนำเครื่องมือไปใช้งานจะต้องทำการ charge แบตเตอรี่เสียก่อนหนึ่งวันก่อนวันเริ่มงาน

#### 4.3.2 Power-on

หลังจากเปิดเครื่องมือแล้วปรับความเข้มจนมีขนาดพอเหมาะเพื่อให้แสดงภาพได้อย่างชัดเจน ถ้าไม่มีอะไรปรากฏบนจอภาพ ควรที่จะปรับภาพอีกครั้งหรือไม่ก็ทำการตรวจสอบแบตเตอรี่

การแสดงผลภาพโดยใช้ liquid crystal นี้จะถูกปกคลุมโดย touch screen เป็นแผ่นบาง ๆ ที่โปร่งใสที่มีความไวต่อการสัมผัสโดยแบ่งเป็น 5 แถว และ 6 หลัก ทำให้เกิดช่องว่าง 30 ช่องที่จะไวต่อการสัมผัส ขณะที่เกิดคำสั่งแสดงบนจอภาพ กดคำสั่งที่สอดคล้องกับการทำงานได้ทันที ขณะที่เส้นแบ่งช่องของคำสั่งแต่ละคำสั่งจะไม่ตอบสนองต่อการสัมผัส ดังนั้นเราควรที่จะหลีกเลี่ยงการกดบริเวณเส้นแบ่งคำสั่ง ควรจะกดบริเวณกึ่งกลางช่องของคำสั่งเพื่อกันความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น

โดยปกติ เมื่อเปิดเครื่อง จะพบเครื่องหมาย PDI แสดงบนจอภาพ ดังแสดงดังรูปที่ 4.1





รูปที่ 4.1 Power-on screen

ระดับของ software ที่ใช้อยู่นี้เป็นระดับ 2 แสดงอยู่บนบนขวาของจอภาพ ในส่วนบนขวาเช่นเดียวกันเราจะสามารถเห็นระบบวัดที่ใช้โดยจะระบุเป็นระบบเมตริกหรือระบบอังกฤษ เราสามารถกดเลือกกระบบได้จากการกดที่ส่วนมุมนี้ ในส่วนมุมบนซ้ายจะเป็นการแสดงชื่อของผู้ใช้เครื่องเพื่อจะติดต่อกับเครื่องมือภายนอก เช่น plotter ชื่อของเจ้าของเครื่องนี้จะสามารถเปลี่ยนได้โดยกดที่ช่องบริเวณนี้โดยการใส่ตัวอักษรโดยกดเลือกได้ เมื่อกดที่ส่วนต่าง ๆ ของจอภาพที่แสดงตอนเริ่มต้นเมื่อเปิดเครื่องนี้จะเกิดภาพในส่วนของ Main Menu แสดงขึ้นมา

#### 4.3.3 การกำหนดเวลา (Setting the Clock)

เครื่องมือ P.I.T. นี้จะบรรจุการแสดงผลเป็นแบบตัวเลข ใช้สำหรับการบันทึกและการแสดงผลของเวลาและวันที่ปัจจุบัน เราจะเห็นได้ดังรูปที่ 4.2

1993 - YEAR +	JAN - MONTH +	1 - DAY +	
	00 - HOUR +	00 - MINUTE +	
RESTORE CURRENT 01 JAN 1993 - 00:00		ACCEPT CHANGE (ABOVE)	

รูปที่ 4.2 Set-clock screen

ในการเริ่มการทำงานเราจะต้องเซตเวลาก่อนการทำงานทุกครั้ง เราจะปรับตรงส่วนของเวลาได้โดยกดเครื่องหมายทางซ้าย (-) หรือเครื่องหมายทางขวา (+) ในส่วนที่สอดคล้องกับส่วนของเวลาที่ต้องการ เมื่อเราได้วันและเวลาที่ต้องการแล้ว กดที่ส่วน ACCEPT CHANGE ในบริเวณมุมล่างทางขวาของจอภาพ ถ้าเราไม่ต้องการเวลาที่เซตใหม่นี้ หลังจากการเปลี่ยนแปลงค่า ให้กดที่ส่วน RESTORE CURRENT ในส่วนมุมล่างซ้ายของจอภาพ เวลาที่ใช้อยู่เดิมจะไม่เปลี่ยนแปลง

#### 4.3.4 การใส่ข้อมูลที่เป็นตัวอักษร (Entering Character Data)

ชื่อของเจ้าของและรายละเอียดอื่น ๆ จะแสดงรายละเอียดโดยใช้ในส่วนนี้ ทำได้โดยการใส่ข้อมูลตัวอักษร เมื่อเกิดจอภาพ กดตัวอักษรได้ตามต้องการและปุ่มที่แสดงได้ตามรูปที่ 4.3

A	B	C	D	E	F
PHRASE #1, FOR EXAMPLE					
G	H	I	J	K	L
M	N	O	P	Q	R
S	T	U	U	W	X
Y	Z	SPACE	←	0-9 ESC	ENTER

รูปที่ 4.3 Character data entry (alphabetic)

ทำการสร้างข้อความได้โดยการกดปุ่มที่ปรากฏบนจอภาพ ข้อความจะถูกแสดงระหว่างแถวบนสุดและแถวที่สองของตัวอักษรที่แสดง เคอร์เซอร์ที่เราเห็นด้านขวาของข้อความ จะเป็นส่วนที่ตัวอักษรได้ถูกเพิ่มขึ้น โดยเคอร์เซอร์ที่เห็นจะถูกแสดงด้วยภาพที่บดบังหนึ่งของตัวอักษร ส่วนของ SPACE จะแสดงช่องว่างของคำ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อักษร ส่วนของ left arrow จะทำหน้าที่ถอยเคอร์เซอร์ไปข้างหลังและลบตัวอักษรข้างหน้านั้น การกด 0-9 ESC จะเกิดจอภาพดังแสดงดังรูปที่ 4.4

&	#	%	1	2	3
PHRASE #1, FOR EXAMPLE					
+	*	:	4	5	6
-	/	APOST ,	7	8	9
(	)	COMMA ,	.	0	ENTER
ESC	CLEAR	SPACE	←	A-Z	

รูปที่ 4.4 Character data entry ( other )

ภาพที่เกิดขึ้นนี้จะแสดงตัวเลข, เครื่องหมายลูกน้ำ, และตัวอักษรพิเศษอื่น ๆ ได้ถูกแสดง ถ้าต้องการเริ่มใหม่อีกครั้ง กดปุ่ม CLEAR เพื่อที่จะลบตัวอักษรทั้งหมดที่อยู่ในข้อความ เหลือไว้เพียงเคอร์เซอร์เพียงอย่างเดียว กดปุ่ม A-Z เพื่อเริ่มข้อความใหม่

เมื่อได้ข้อความดังต้องการแล้ว กดปุ่ม ENTER ในจอภาพที่แสดงหลังจากกดข้อความตัวสุดท้ายที่ทำให้เกิดข้อความที่พอใจ ส่วนปุ่ม ESC ( escape ) จะใช้สำหรับยกเลิกข้อความที่ไม่ต้องการ

#### 4.3.5 การใส่ข้อมูลตัวเลข ( Entering Numeric Data )

เครื่องมือ P.I.T. มักจะมีการใช้ตัวเลขเสมอ และจะใช้เลขที่เป็นจำนวนจริง ตัวอย่างของการลงตัวเลข ดังแสดงดังรูปที่ 4.5 ส่วนบนซ้ายของจอภาพแสดงค่าของตัวเลขเดิม หน่วยที่ใช้วัด และค่าที่ถูกใส่เข้าไปใหม่ จะถูกแสดงในส่วนของมุมล่างซ้ายของจอภาพ โดยกดที่ปุ่มที่แสดงตัวเลขที่สอดคล้องกับความต้องการ ส่วนของจุดทศนิยม ( Radix point ) จะกดใช้ตามภาพที่แสดง ส่วนเครื่องหมายลูกศรจะใช้ในการลบตัวอักษรที่อยู่ทางขวามือ ถ้าเครื่องหมายตัวเลขมีค่าติดลบจะกดที่เครื่องหมายลูกศรที่ชี้ไปทางซ้ายตามรูป เมื่อกดเครื่องหมายลบแล้ว จึงกดตัวเลขได้ตามต้องการ เมื่อได้ตัวเลขตามต้องการแล้วให้กดที่ปุ่ม ENTER แต่ถ้าตัวเลขที่กดไม่เป็นที่ต้องการ ต้องการที่จะยกเลิกตัวเลขดังกล่าว ให้กดที่ปุ่ม ESC จะทำการยกเลิกตัวเลขที่ใส่เข้าไปใหม่ แล้วจะใช้ค่าตัวเลขเดิมที่แสดงอยู่ที่ส่วนบนทางด้านซ้ายมือ

<b>Pile Length</b> <b>12.5</b> METERS  ENTER NEW VALUE <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">15.75</div>	1	2	3
	4	5	6
	7	8	9
	.	0	ENTER
	←	ESC	

รูปที่ 4.5 Numeric data entry screen

#### 4.4 Main Menu

ต่าง ๆ ที่สอดคล้องภาพของ Main Menu ดังแสดงดังรูปที่ 4.6 จะถูกแบ่งออกเป็นช่อง ในแต่ละช่อง จะแสดงคำสั่งคลื่งกับความต้องการ โดยจะมีตัวอักษรบรรยายคำสั่งทุกคำสั่ง

PROJECT NAME	LENGTH	A GAIN	A CAL
PILE DESIGNATION	W SPD	F GAIN	F CAL
DESCRIPTIVE COMMENT			
FURTHER INFORMATION			
ID	SEND	PLOT	H MASS P AREA
N BLOW	MODE	LO 8	NEXT
AUG	BLOCK	PILE	- PREVIOUS -
LIST	PATH	NEXT	ANALYZE
	HI 108	SELECT	- NEXT -
			COLLECT

รูปที่ 4.6 Main Menu screen

##### 4.4.1 หัวข้อเรื่อง (Titles)

ช่องนี้จะปรากฏที่ส่วนมุมบนด้านซ้ายมือของ Main Menu โดยเมื่อกดที่ Main Menu จะปรากฏภาพ ดังรูปที่ 4.7 โดยจะแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับโครงการและเสาเข็ม

PROJECT NAME	EDIT PROJ
PILE DESIGNATION	EDIT PILE
DESCRIPTIVE COMMENT	EDIT DESC
FURTHER INFORMATION	EDIT INFO
EDIT DATE AND TIME 01 JAN 1993 - 00:00	- ENTER

#### รูปที่ 4.7 Change Title screen

เพื่อแก้ไขรายละเอียดของส่วนนำเรื่อง กดที่ปุ่ม EDIT และใช้การเติมตัวอักษรดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.3.5 เวลาและวันที่ปัจจุบันจะแสดงในส่วนมุมด้านล่างซ้ายของจอภาพ เราสามารถเปลี่ยนเวลาและวันที่โดยกดที่บริเวณส่วนนี้ของจอภาพโดยรายละเอียดการแก้ไขเกี่ยวกับเวลาจะ ได้พูดไว้ในหัวข้อที่ 4.3.5

#### 4.4.2 ID

ID เป็นค่าของตัวเลขที่บ่งชี้ถึงที่บรรจุข้อมูลปัจจุบัน ถ้าเราต้องการข้อมูลใหม่ ค่าของ ID จะแสดงถึงที่บรรจุข้อมูลถัดไป ถ้าต้องการกระทำการกับข้อมูลที่เก็บไว้ในส่วนแรก ๆ ค่าของ ID จะบ่งชี้ถึงข้อมูลที่ถูกวิเคราะห์ ใน REPROC mode ในหัวข้อที่ 4.4.6 ตำแหน่งจะสามารถเปลี่ยนไปได้โดยการกดค่าของ ID เพื่อแสดงข้อมูลที่เข้าไปตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.3.5

#### 4.4.3 N BLOW

ค่าของ N BLOW จะมีค่าสูงสุดเท่าใดนั้นก็แล้วแต่ค่าที่เราได้ตั้งเอาไว้ตั้งแต่แรกการทำงาน เพื่อที่จะทำการเก็บกลุ่มของข้อมูล จะทำการเปลี่ยนค่าของมันได้โดยการกดที่ N BLOW โดยปกติจะมีค่า 3 หรือ 6 ครั้ง ค่าสูงสุดไม่เกิน 12 ครั้ง

#### 4.4.4 LIST

เมื่อข้อมูลถูกเก็บ จะมีประโยชน์มากในการที่เราจะมีรายการของมันว่ามี การเก็บรวบรวมเป็นลักษณะอย่างไร และจะปฏิบัติการเกี่ยวกับข้อมูลกับมันได้อย่างไรโดยตรง กดที่ LIST เพื่อแสดงจอภาพของ LIST ดังรูปที่ 4.8 จอภาพของ LIST จะแสดงถึงข้อมูลของเสาเข็มหลาย ๆ ต้น

GOTO	LO HI	
PgUp	LO HI	
PgDn	LO HI	
	LO HI	
ESC	LO HI	

รูปที่ 4.8 LIST screen

โดยจอภาพ LIST สำหรับ REPROC mode จะแสดงภาพของข้อมูลของเสาเข็มหลายต้น โดยจะแสดงข้อมูลที่เก็บไว้ใน ID แรก ๆ ส่วนสำหรับ AVG mode จะแสดงข้อมูลของเสาเข็มที่เก็บเป็นอันดับสุดท้ายในส่วนของ LO , HI ในแต่ละกลุ่มนี้จะถูกพิจารณาเมื่อมีการใช้ในส่วน of PROJ , PILE , or DAY ดังรายละเอียดในส่วน of หัวข้อ NEXT SELECT ค่า ID จะแสดงค่าควบคู่ไปกับรายละเอียดแต่ละหัวข้อของส่วนที่เราต้องการ หน้าต่อไปที่จะถูกแสดงขึ้นมาจะทำการแสดงได้โดยการกดที่ PgUp ( page - up ) ส่วนหน้าก่อน ๆ จะถูกแสดงโดยการกดที่ PgDn ( page - down ) เมื่อ ID ที่ 1 ถูกแสดงที่ส่วนบนสุดของจอภาพ ถึงแม้จะกด PgUp ไปก็จะมีผลต่อจอภาพแต่อย่างไร เช่นเดียวกันกับ ID สุดท้ายที่ถูกแสดง การกดที่ PgDn ก็จะไม่ผลเช่นเดียวกัน กดที่ GO TO เครื่องมือจะแสดงการเคาะครั้งแรกของกลุ่มข้อมูล เมื่อกด ESC จะกลับไป Main Menu

#### 4.4.5 แบตเตอรี่ ( Battery )

Main Menu ในส่วนของแบตเตอรี่นี้ ส่วนล่างของคำว่าแบตเตอรี่จะแสดงสภาพคุณภาพของแบตเตอรี่ เราควรที่จะทำการ Charge แบตเตอรี่ก่อนการนำไปใช้งานเมื่อเรารู้ว่าแบตเตอรี่มีเหลืออยู่น้อยเต็มที ถ้าแบตเตอรี่มีเหลืออยู่น้อยมาก เครื่องมือ P.I.T. จะทำการปิดตัวเองลงเพื่อรักษาหน่วยความจำเอาไว้จนกว่าจะมีกำลังจากแบตเตอรี่ขึ้นมาใหม่ คุณภาพของแบตเตอรี่จะแสดงได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

O.K. - แสดงว่าแบตเตอรี่มีพลังงานสะสมอยู่มากเกินกว่าครึ่งหนึ่งและสามารถใช้งานได้  
อีกหลายชั่วโมง

<HALF - แสดงว่าแบตเตอรี่มีพลังงานสะสมอยู่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของที่ทำการ Charge ไว้  
จะเกิดความจำกัดในการใช้งาน และจะต้องเตรียม Charge เพื่อในไม่ช้า

LOW - แสดงว่ามีพลังงานเหลืออยู่น้อยมาก ในเวลาอีกไม่มากนักตัวเครื่องมือ P.I.T.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
จะปิดตัวเองลงโดยอัตโนมัติเพื่อรักษาข้อมูลที่อยู่ในเครื่องเอาไว้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXTERN - เครื่องมือ P.I.T. จะมีการต่ออยู่กับแหล่งจ่ายพลังงานภายนอกอยู่โดยต่อกับ  
ตัว Charge แบตเตอรี่จะถูกต่อ คุณควรจะทำการส่งข้อมูลไปเก็บโดย  
คอมพิวเตอร์เพื่อทำการ Plot ต่อไป โปรดสังเกตการ Charge แบตเตอรี่  
นี้จะทำกันภายในบ้านหรือที่ทำงานเฉพาะเท่านั้น

#### 4.4.6 MODE

ตัวเลือกนี้เป็นตัวเลือกว่าจะทำการกับข้อมูลใหม่ที่หามาได้ ( AVG mode ) หรือจะนำข้อมูลเก่ามา  
ทำงานใหม่ ( REPROC mode ) โดยส่วนครึ่งของส่วนนี้จะแสดงสถานะว่าเป็น AVG หรือ REPROC จะ  
ทำการเลือก mode ที่ต้องการโดยการกดที่ส่วนนี้

#### 4.4.7 PATH

การเลือกค่าที่ตัวเลือกในส่วนนี้จะเป็นการแสดงว่าจะใช้ VEL ONLY ( ใช้ค่าของความเร็ว เท่านั้น โดย  
ปกติในการใช้งานทั่วไปจะเลือกใช้การวิเคราะห์เพียงค่าของความเร็วโดยศึกษาสัญญาณของอัตราความเร่งเท่านั้น  
) หรือจะใช้ VEL + FOR ( ซึ่งแสดงการใช้ค่าทั้งความเร็วและค่าของแรงในขณะที่ใช้ก้อนตะกั่ว ) หรือ ACC  
ONLY ( แสดงเพียงค่าข้อมูลของความเร่งเท่านั้น )

#### 4.4.8 LENGTH

ที่ LENGTH จะให้เรากำหนดค่าของความยาว L เป็นความยาวเต็มเสาเข็ม ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีค่า  
300 ในหน่วยของ เมตร หรือ ฟุต หลังจากการเปลี่ยนแปลงความยาว จะมีการถามถึงการขยายขนาดความยาว  
โดยการขยายขนาดจะกำหนดโดยขึ้นอยู่กับสัญญาณตอบสนองตอนเริ่มต้นโดยสอดคล้องกับความยาว

#### 4.4.9 W SPD

ที่ W SPD จะเปลี่ยนแปลงค่าของความเร็วคลื่น c ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุของเสาเข็มที่ใช้ ค่าของ  
คอนกรีตที่มีช่วงอยู่ระหว่าง 3000 ถึง 4500 m/s ( 10000 ถึง 15000 ft/s ) ด้วยค่าเริ่มต้นที่ 4000 m/s ( 13000 ft/s ) ค่าที่น้อยกว่า 100 หรือค่าที่มากกว่า 20000 จะเป็นค่าที่ไม่สมควรใช้ไว้

#### 4.4.10 BLOCK

ปุ่มหลาย ๆ ปุ่ม โดยเฉพาะ SEND คังรายละเอียดในหัวข้อ SEND และ PLOT คังรายละเอียดในหัว  
ข้อ PLOT โดยจะทำในรูปข้อมูลแบบ BLOCK โดยกลุ่มของ BLOCK จะใช้ในการปรับระบบข้อมูลหรือการ  
กระทำเกี่ยวกับข้อมูล การกระทำข้อมูลแบบ BLOCK นี้จะใช้กับ REPROC mode ตามรายละเอียดคังหัวข้อ  
MODE

##### - LO and HI

ที่ LO and HI จะแสดงค่าของ ID ค่าแรกและค่าสุดท้ายโดยสอดคล้องกับ BLOCK การหาข้อมูล  
block ถัดไปจะทำได้โดยการกดที่ NEXT คังหัวข้อ NEXT กดที่ LO and HI จะเป็นการปรับค่าที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### - NEXT

NEXT จะใช้ในการทำงานเกี่ยวกับข้อมูล BLOCK ถัดไป ค่าสูงและค่าต่ำจะเปลี่ยนแปลงการกำหนดขอบเขตของค่า BLOCK ข้อมูลใหม่ ครั้งด้านล่างของ NEXT key จะแสดงชนิดของการเก็บข้อมูลแบบ BLOCK : PILE , PROJ ( project ) , DAY , หรือ USER เมื่อ PILE ถูกแสดง กด NEXT เพื่อเลือกข้อมูล BLOCK ใหม่ที่บันทึกข้อมูลของเสาเข็มโดยลำดับ เมื่อ PROJ ถูกแสดง BLOCK ถัดไปจะแสดงถึงการบันทึกโครงการใหม่ถัดไป ( เสาเข็มหลาย ๆ ต้นจะถูกทดสอบโดยรวมอยู่ในโครงการ ) , DAY จะแสดงถึงเสาเข็มที่เก็บรวบรวมข้อมูลได้ในหนึ่งวัน , USER จะหมายความว่า เมื่อใช้ปุ่ม HI หรือ LO จะใช้ในการเปลี่ยนแปลงความจำกัดของ BLOCK แต่ละ BLOCK การเลือก BLOCK จะทำได้โดยใช้การเลื่อนโดยใช้มือ

#### - NEXT SELECT

การใช้ NEXT SELECT นี้ จะใช้เมื่อต้องเปลี่ยนข้อมูลเป็น BLOCK ถัดไปของการบันทึกเสาเข็มในหนึ่งวัน , โครงการ , หรือเสาเข็มแต่ละต้น กดที่ NEXT SELECT จะแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับค่าของ PROJ , PILE , และ DAY แสดงที่ครึ่งส่วนด้านล่างของปุ่ม NEXT

#### 4.4.11 SEND

เมื่อกดที่ SEND menu จะเป็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรมจากเครื่องมือ P.I.T. ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลหรือส่งไปทำกระบวนการต่าง ๆ ตามที่เราต้องการ การเก็บข้อมูลแบบถาวร เรา จะทำการเก็บข้อมูลโดยการเก็บลงแผ่นดิสก์ โดยผ่านกระบวนการทำโดย PDI หรือ GRL Software ก่อนทำการส่งเราจะต้องติดตั้งเครื่องมือ P.I.T.เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยการใช้การต่อแบบอนุกรม เพื่อที่จะรับข้อมูล เราจะใช้โปรแกรม PLINK โดยจะอธิบายละเอียดต่อไป การใช้ SEND นี้จะต้องกระทำกับข้อมูลแบบเป็น BLOCK ดังรายละเอียดตามหัวข้อ BLOCK

#### - BAUD

ที่ BAUD key นี้จะใช้กับทั้ง SEND และ PLOT functions ใช้เมื่อต้องการส่งข้อมูลแบบอนุกรมไปยังตัวต่อตัวอื่น เช่น คอมพิวเตอร์ , Plotter , serial printer อื่น ๆ โดยทั้งเครื่องมือ P.I.T. และอุปกรณ์ที่ต่อด้วยจะต้องมี BOUD ที่เหมือนกัน การกดที่ BOUDจะทำให้เกิดจอภาพคั่งรูป โดยจะทำการเลือก BOUD จากทางเลือก 6 ทางที่ได้กำหนดไว้ เมื่อเลือกค่าได้ตามต้องการแล้ว ให้กดที่ปุ่มทางขวามือด้านล่าง ค่าใหม่ที่เลือกไว้จะถูกนำไปใช้งานต่อไป แต่ถ้าต้องการใช้ค่าเดิม ให้กดที่ปุ่มทางซ้ายมือด้านล่าง เครื่องมือ P.I.T. จะเก็บค่าเดิมไว้ใช้ต่อไป โปรแกรม PLINK โดยทั่ว ๆ ไป จะใช้กับ BOUD ที่ 9600 baud ส่วนการต่อแบบอนุกรมกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์อื่น ๆ จะก็เปลี่ยนแปลงค่า BOUD นี้ไป การส่งข้อมูลของเครื่องมือจะเป็นแบบ 8 บิต

Change Baud Rate	
1200	9600
<b>2400</b>	19.2K
4800	38.4K
RETAIN OLD CHOICE 9600	ACCEPT NEW CHOICE (HIGHLIGHTED ABOVE)

รูปที่ 4.9 Change baud rate screen

#### 4.4.12 PLOT

ที่ PLOT นี้จะทำการกับข้อมูลที่เก็บรวบรวมโดยจะทำการรายงานออกมาลงบนแผ่นกระดาษที่เตรียมไว้ เมื่อกดที่ PLOT key นี้จะมีจอภาพแสดงออกมาคล้ายกับการกดที่ SEND key โดยการกด BOUD ให้ตรงกันระหว่างอุปกรณ์รับและอุปกรณ์ส่งข้อมูลตามหัวข้อของ BAUD โดยการจะแสดงข้อมูลออกมาอย่างไรนั้น เราสามารถที่จะตั้ง plotter จะได้ออกมาตามที่ต้องการ

การจะทำการแต่ละครั้งของการบันทึกข้อมูลนั้นเราสามารถเลือก BLOCK ข้อมูล โดยจะให้สอดคล้องโดยการกดที่ STATUS key ใน ANALYSIS

#### 4.4.13 A GAIN

จะใช้เมื่อต้องการขยายสัญญาณที่อ่อน ถ้าสัญญาณอ่อนมากหรือใช้กับเสาเข็มที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ ควรเพิ่มค่า A GAIN นี้ เพื่อช่วยให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ค่าที่ขอมรับจะอยู่ในระหว่าง 1 ถึง 50

#### 4.4.14 A CAL

จะใช้ในการปรับค่าของความเร่งหรือตัว accelerometer โดยทั่วไป จะมีศูนย์กลางอยู่ที่ 16 ถึง 20 g/volt ( ช่วงที่ขอมรับได้อยู่ในช่วง 5 ถึง 100 ) จะใช้ค่านี้เมื่อใช้การวัดเปรียบเทียบกับระหว่างความเร็วและขนาดของแรง สำหรับการวัดค่าของความเร่งเท่านั้น เราจะใช้ค่าที่ 20 g/volt

### 4.5 ข้อจำกัดของเครื่องมือ

การทดสอบความสมบูรณ์นี้ เป็นวิธีการอย่างง่าย ๆ ในการตรวจสอบจุดบกพร่องที่สำคัญของเสาเข็ม เช่น รอยแตกร้าว การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัด ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดจนความยาวของเสาเข็มโดยประมาณ ซึ่งเครื่องมือนี้มีข้อจำกัดที่ควรทราบไว้ ดังนี้

1. การทดสอบนี้มิได้ให้ข้อมูลใด ๆ เกี่ยวกับค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง กรุงเทพมหานคร  
 2. จุดบกพร่องขนาดใหญ่จะตรวจพบอย่างชัดเจน แต่ข้อบกพร่องเล็ก ๆ จะตรวจพบยาก เช่น การเปลี่ยนแปลงปลอมก้อนเล็ก ๆ หรือคอนกรีตไม่ห่อหุ้มเหล็กเสริม

ไม่ว่าอย่างไรก็ตาม การใช้งานเครื่องมือนี้จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความยาวโดยประมาณของเสาเข็มสามารถตรวจหาได้ นอกจากเสาเข็มมีความยาวมาก หรือมี Friction และ damping ของดินสูงเกินไป

4. เมื่อตรวจพบจุดบกพร่องขนาดใหญ่แล้ว ข้อมูลของเสาเข็มต่ำกว่าระดับนี้ลงไป ไม่สามารถตรวจสอบได้ เพราะคลื่นไม่สามารถเดินทางผ่านตำแหน่งดังกล่าวลงไปได้

5. ตะกอนตกค้างที่ปลายเสาเข็ม ไม่สามารถตรวจสอบได้

6. การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของดิน จะมีผลกระทบต่อรูปกราฟของการทดสอบเสาเข็ม กล่าวคือ ดินที่มีแรงเสียดทานผิวสูง จะมีผลต่อรูปกราฟเสาเข็มมากกว่าดินที่มีแรงเสียดทานต่ำ ดังนั้นแต่ละหน่วยงานควรทำการทดสอบเสาเข็มมากกว่า 1 ต้น เพื่อดูสภาพของดิน

#### 4.6 การเตรียมหัวเสาเข็มก่อนทำการตรวจสอบ

การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มเป็นเรื่องที่ไม่สลับซับซ้อนแต่อย่างไร เพียงแต่จัดเตรียมทางเข้า-ออก เสาเข็มที่ทดสอบให้สะดวก และเพื่อให้ผลการทดสอบออกมาอย่างดีที่สุด ควรทำความสะอาดหัวเสาเข็มหรือเจียรหัวเสาเข็มให้มีพื้นที่ค่อนข้างเรียบเป็นบริเวณเล็ก ๆ ซึ่งอยู่ในเนื้อคอนกรีตที่ติดของเสาเข็ม

#### 4.7 วิธีการทดสอบ

1. เลือกระบิเวณหัวเสาเข็มที่มีพื้นผิวค่อนข้างเรียบ แล้วทำความสะอาดให้เรียบร้อย
2. ทำการติดตั้งอุปกรณ์
3. เริ่มทำการทดสอบ โดยการใช้ก้อนเคาะที่หัวเสาเข็มในบริเวณที่ใกล้ ๆ กับที่ติดตั้งตัว Transducer geophone ไว้ โดยทำการเคาะอย่างน้อยต้นละ 2 ครั้ง
4. เก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในสนาม
5. ทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบในสนาม
6. สรุปผลการวิเคราะห์ความสมบูรณ์ ของเข็มแต่ละต้น

#### การใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์ความบกพร่องของเสาเข็ม

โปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ความบกพร่องของเสาเข็มแบ่งออกเป็น 2 โปรแกรม

1. PLINK เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการถ่ายข้อมูลจากเครื่อง P.I.T. ( Pile Integrity Tester ) เข้าสู่คอมพิวเตอร์ โดยจะส่งถ่ายข้อมูลทั้งหมดจากการเก็บข้อมูลออกมาทางเครื่องพิมพ์โดยไม่มีกรปรับแต่งรูปคลื่นให้ชัดเจนแต่อย่างไร

2. PIT PC เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลข้อมูล สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ความบกพร่องของเสาเข็มออกมาทางหน้าจอและปรับแต่งรูปคลื่นให้เห็นอย่างเด่นชัด โดยการขยายสัญญาณที่ระยะต่าง ๆ

#### ขั้นตอนการใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ความบกพร่องของเสาเข็ม

1. เข้าโปรแกรม PLINK โดยพิมพ์

C:\PIT>PLINK จะแสดงผลตามรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เข้าโปรแกรม PIT PC โดยพิมพ์

C:\PIT>PT จะแสดงผลตามรูปที่ 4.11

3. กด NF เพื่อรับข้อมูลใหม่เพื่อทำการวิเคราะห์ความบกพร่อง

4. ใส่ชื่อ FILE ที่จะทำการวิเคราะห์เช่น B: CIVIL1.A

5. กด ENTER จนกว่าจะแสดงผลตามรูปที่ 4.12

6. จากรูปที่ 4.12 กด ENTER หรือ SPACE BAR เพื่อเลือกข้อมูลที่จะทำการวิเคราะห์ กด Y เพื่อยอมรับข้อมูล และกด A เพื่อทำการวิเคราะห์ผลข้อมูล

7. กด A จะแสดงผลตามรูปที่ 4.13

7.1 การใส่ค่า Wave speed ทำโดยกด W แล้วใส่ค่าที่ต้องการ

7.2 T1 และ T2 คือ ค่าแสดงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ไปและกลับจะเท่ากับ  $2L/C$

7.3 การใส่ค่าความยาว Length ทำโดยกด L แล้วใส่ค่าที่ต้องการ

7.4 การใส่ค่า Magnitude ทำโดยกด M แล้วใส่ค่าที่ต้องการ

- ค่า Magnitude ใช้เพื่อขยายสัญญาณที่ปลายเข็มให้ชัดเจนโดยค่า Magnitude ที่ใส่จะต้องไม่มากจนทำให้ค่า Amplitude ในกราฟความเร็วลดลง

7.5 การใส่ค่า Smooth เพื่อทำให้สัญญาณ Smooth โดยกด S แล้วใส่ค่าที่ต้องการ

7.6 การเปลี่ยนแปลงค่า Xmag ทำโดยกด X แล้วใส่ค่าที่ต้องการ

- Xmag คือค่าอัตราส่วนของระยะทางที่จะเริ่มขยายสัญญาณต่อความยาวเข็ม

7.7 Beta คือค่าที่แสดงผลความบกพร่องของเสาเข็มเทียบกับหน้าตัดเต็มของเสาเข็ม

- การหาค่า BETA ทำโดยเลื่อนค่า T2 ไปที่ยอดของลูกคลื่นที่สะท้อนครั้งที่ 2 ที่เกิดเนื่องจากความบกพร่องและเลื่อน T1 ไปที่ฐานคลื่นสะท้อน ค่า BETA ที่แสดงจะบอกถึงความบกพร่องของเสาเข็มเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับหน้าตัดทั้งหมด

7.8 การกด ESC จะแสดงผล รูปที่ 4.12

7.9 กด E เมื่อต้องการออกไปสู่ Main Menu

7.10 กด Dump เพื่อพิมพ์หน้าจอ

7.11 กด R ( Response ) เพื่อปรากฏผลตามรูปที่ 4.14

- จะขยายการแสดงผลตำแหน่งของจุดบกพร่องโดยลูกคลื่นสะท้อนกลับในระยะเวลาที่เท่ากันโดยเลื่อน L1 ไปที่ยอดคลื่นตัวแรกและ L2 เลื่อนไปที่ยอดคลื่นตัวต่อไป ค่า  $L2 - L1$  จะแสดงค่าความยาวจากหัวเสาเข็มถึงจุดบกพร่อง

- เมื่อกด R อีกจะแสดงผลตามรูปที่ 4.15

- หาระยะที่เกิดจุดบกพร่องประกอบกับรูปที่ 4.14 เมื่อจุดบกพร่องอยู่ที่ระยะมากขึ้น

- กด ESC จะแสดงผลตามรูปที่ 4.13

7.12 กด G จะแสดงผลกราฟความเร็วและความเร่ง ตามรูปที่ 4.16

- กด T ใช้ปรับค่าความยาวของรูปกราฟ T ค่าน้อยกราฟจะยาวใช้กับเสาเข็มความยาวน้อย T มากใช้กับเสาเข็มความยาวมาก

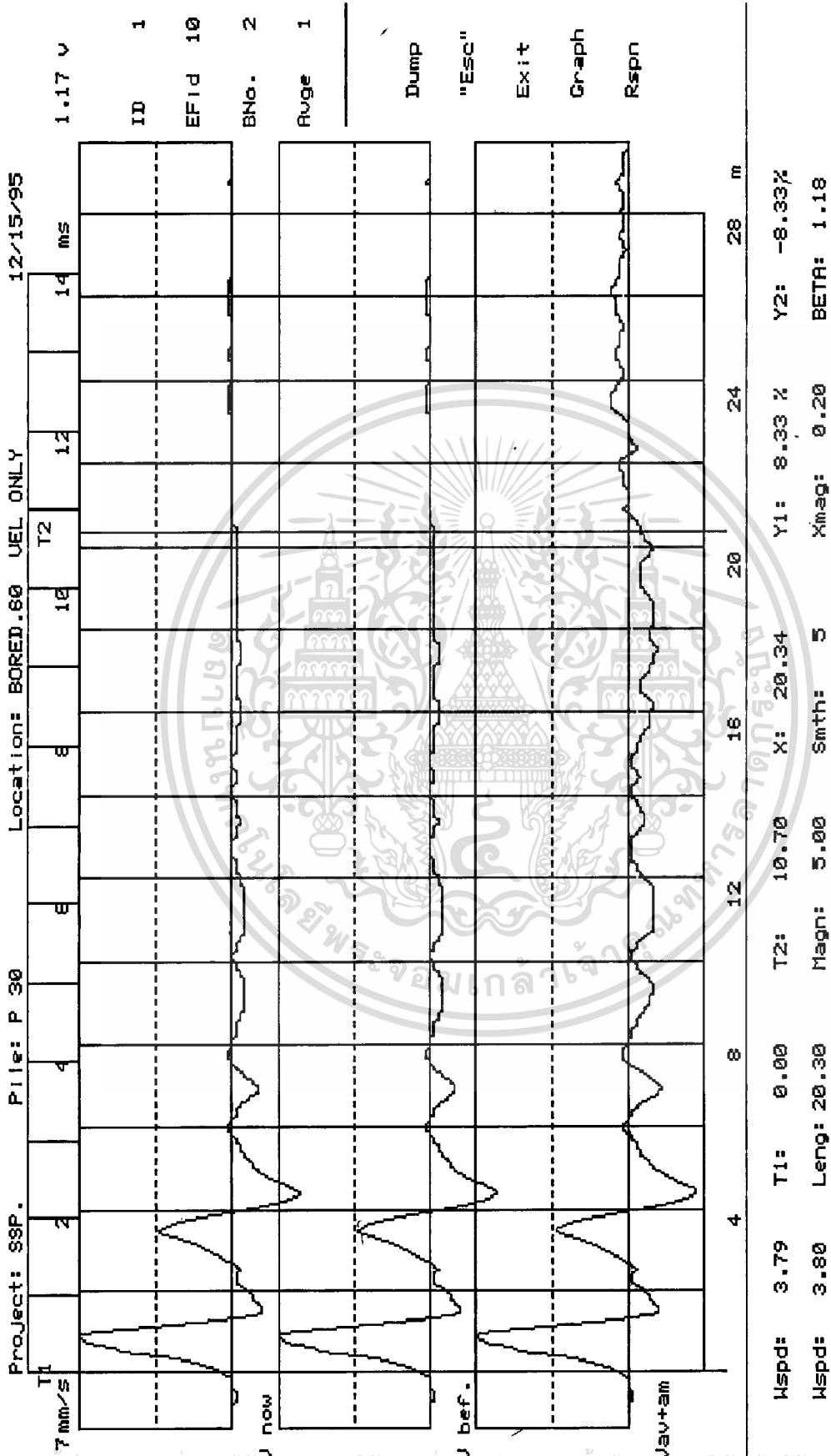
- กด P เพื่อพิมพ์ผลการวิเคราะห์





รูปที่ 4.12 แสดงข้อมูลดิบที่ถ่ายจากเครื่อง PIT

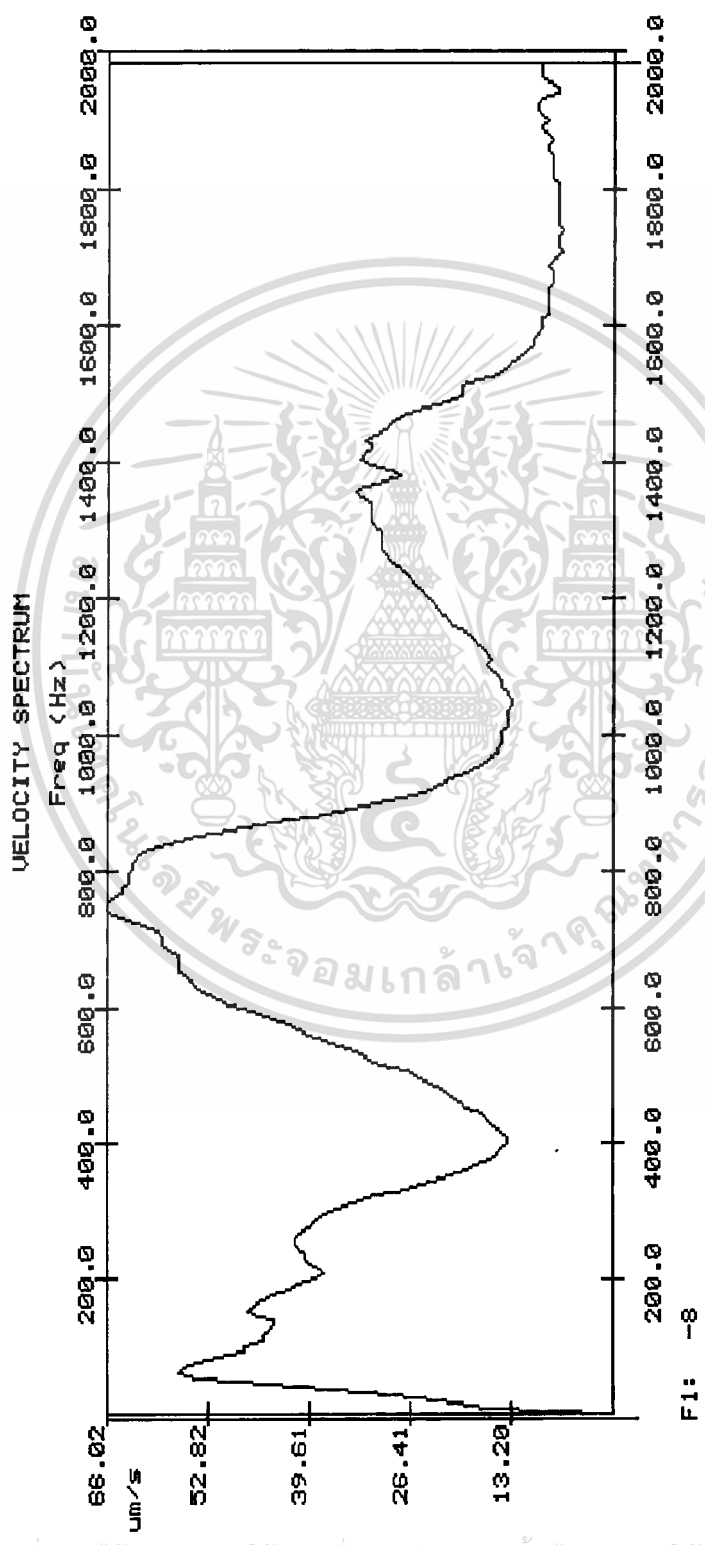
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงหน้าจอที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

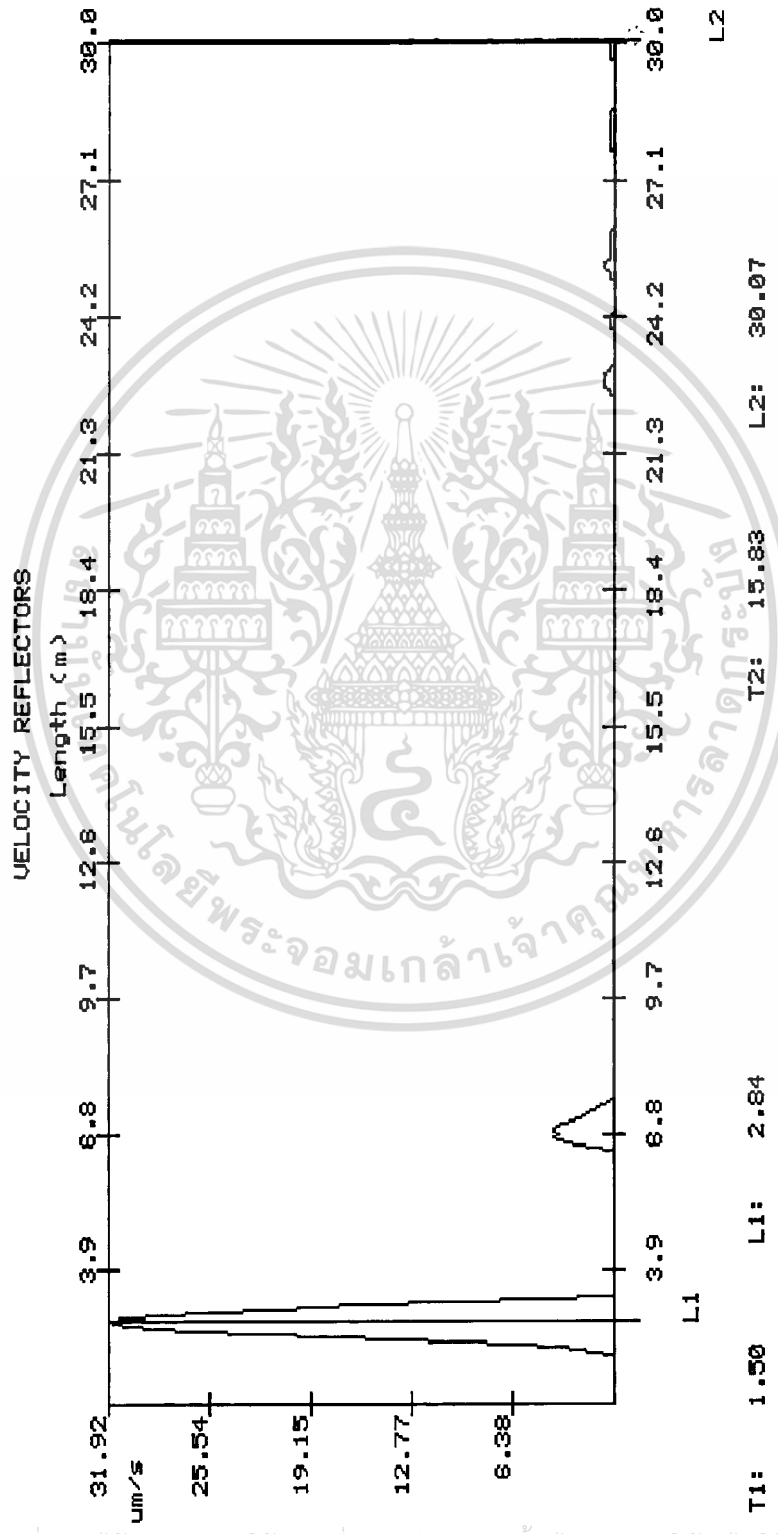
Project# SSP. Pile# P 30 Location# BORED.68 VEL ONLY 12/15/95  
 Maxfreq: 2000 F2-F1# 1993.42 Smth (FFT)# 1  
 Minfreq: 0 L2-L1# 0.95 Max= 66.02 um/s



รูปที่ 4.14 แสดงหน้าของที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์กระแสวนจากหัวเสาเข็มถึงจุด บกพร่องที่ละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project: SSP. Piles P 30 Location: BORED.60 VEL ONLY 12/15/95  
 MaxLen 30 Smth (FFT): 1  
 MinLen 1 Max= 31.92 um/s



รูปที่ ๕๖-15 แสดงหน้าจอที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์ระยะจากหัวเสา ซึ่งถึงจุดกึ่งพองเมื่อระยะจุดกึ่งพองใกล้ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STS ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

Project: SSP.

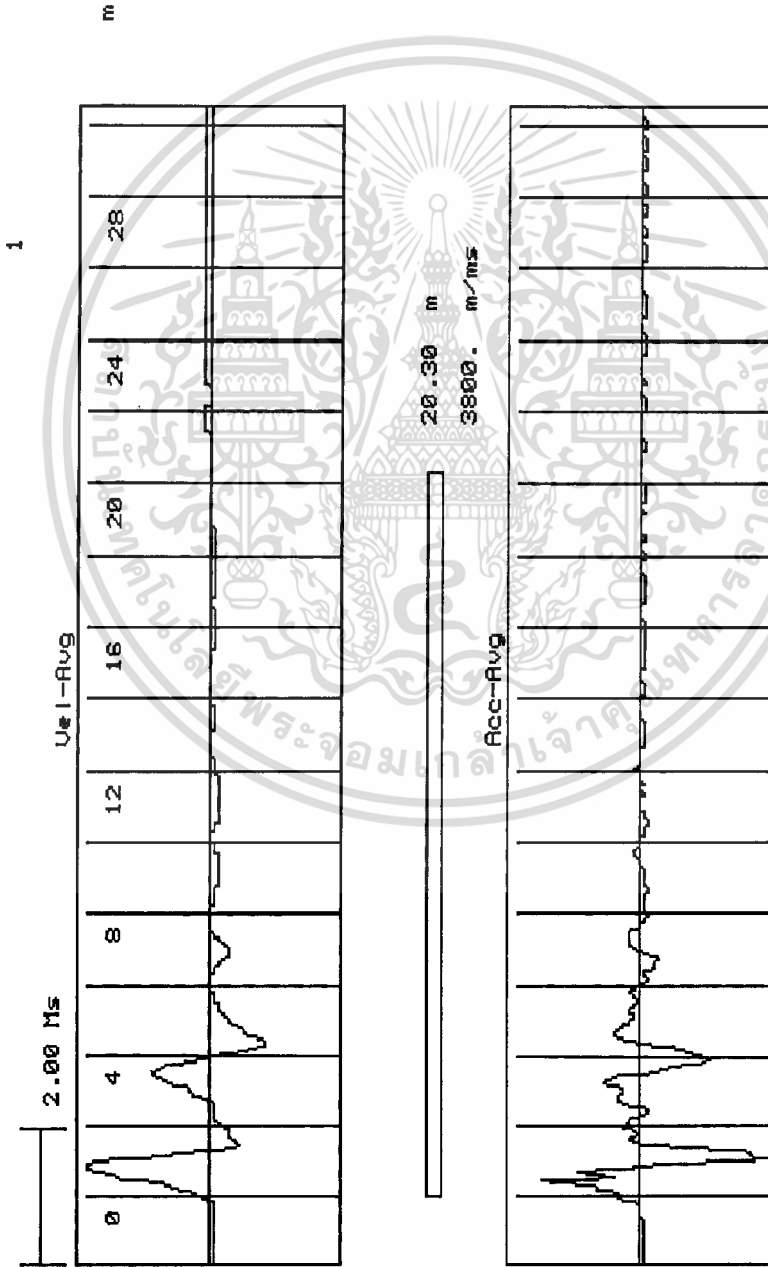
Pile: P 30

Loc: BORED.S0

VEL ONLY

Date: 12/15/95

Avgd 1 BIs



รูปที่ 4.16 แสดงขนาดที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์ความบกพร่องของเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบหาความสมบูรณ์ของเสาเข็มนั้น ควรทำการทดสอบเสาเข็มทุกต้นเพื่อตรวจสอบหาเสาเข็มต้นที่ไม่สมบูรณ์ ทั้งเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ ทั้งนี้เนื่องจากว่าค่าใช้จ่ายในการทดสอบเสาเข็มโดยวิธีนี้ในปัจจุบันไม่แพงมากนัก โดยทั่วไปจะใช้ค่าทดสอบโดยประมาณ 300 - 700 บาท ( ขึ้นอยู่กับจำนวนเสาเข็มที่ทำการทดสอบ ) ทั้งเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ



**บทที่ 5**  
**ขั้นตอนการดำเนินงาน**

1. ศึกษาข้อมูลการใช้งานจากเอกสารประกอบการใช้เครื่องมือ P.I.T.
2. เก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบพร้อมทั้งสอบถามจากบริษัทที่มีความชำนาญในการทดสอบแบบ Seismic Test ได้แก่

- การใช้เครื่องมือ P.I.T. ในการทดสอบอย่างถูกต้อง
- การใช้โปรแกรม PLINK และ P.I.T. PC ในการตีความผลข้อมูลจากการทดสอบ

3. ทำการทดสอบเสาเข็มบนดินที่เกิดความบกพร่องเปรียบเทียบกับเสาเข็มสมบูรณ์ในลักษณะเดียวกัน
- ดังนี้**

**เข็มฉาบิน หน้าตัดและความยาวของเสาเข็ม มีดังนี้**

- SP 0.30 x 16.00 m.
- SP 0.35 x 9.00 m.
- SP 0.40 x 15.00 m.
- SP 0.50 x 11.00 m.
- SP 0.50 x 12.00 m.
- SP 0.60 x 14.00 m.
- SP 0.60 x 16.00 m.
- SP 0.60 x 18.00 m.
- SP 0.80 x 18.00 m. ( 2 ท่อนต่อ )

**เข็ม I หน้าตัดและความยาวของเสาเข็ม มีดังนี้**

- I 0.12 x 6.00 m.
- I 0.20 x 8.00 m.
- I 0.22 x 9.00 m.
- I 0.26 x 12.00 m.
- I 0.30 x 9.00 m.
- I 0.30 x 18.00 m.
- I 0.35 x 10.50 m.
- I 0.35 x 14.00 m.
- I 0.40 x 9.00 m.
- I 0.40 x 10.50 m.

**เข็มอีเหลี่ยม หน้าตัดและความยาวเสาเข็ม มีดังนี้**

- SQ 0.22 x 18.00 m.
- SQ 0.35 x 12.00 m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำข้อมูลจากข้อ 3 ไปตีความผลโดยใช้โปรแกรม PLINK และ P.I.T. PC แล้ววิเคราะห์ผลความบกพร่องที่เกิดขึ้น แยกประเภทได้ดังนี้

1. เสาเข็มสมบูรณ์
2. เสาเข็มที่เกิดความเสียหายบริเวณหัวเข็ม
3. เสาเข็มที่เกิดความเสียหายบริเวณกลางเข็ม
4. เสาเข็มที่เกิดความเสียหายบริเวณปลายเข็ม
5. เสาเข็มต่อเชื่อม 2 ท่อนต่อ

5. ทดสอบเสาเข็มในดินตามสถานที่ก่อสร้างต่าง ๆ เพื่อเก็บรวบรวมลักษณะความบกพร่องของเสา

เข็ม

**เข็มเจาะ** หน้าตัดและความยาวเสาเข็ม มีดังนี้

- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 x 19.70 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 x 19.70 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 x 20.00 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 x 21.00 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 x 19.00 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 x 17.60 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 x 20.00 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 x 20.40 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 x 20.80 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 x 21.00 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 x 23.00 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 x 33.00 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 x 49.60 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 x 51.20 m.
- เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 x 48.00 m.

**เข็มตอก** หน้าตัดและความยาวเสาเข็ม มีดังนี้

- I 0.22 x 12.00 m.
- I 0.35 x 18.00 m.
- I 0.35 x 19.50 m.
- I 0.35 x 21.00 m.
- I 0.40 x 18.00 m.
- SQ 0.30 x 18.50 m.
- SQ 0.40 x 26.50 m.
- SP 0.35 x 20.00 m.
- SP 0.80 x 40.00 m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำข้อมูลจากข้อ 5 ไปตีความผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม PLINK และ P.I.T. PC แล้วทำการวิเคราะห์ ผลความบกพร่องที่เกิดขึ้นดังนี้

1. เข็มเจาะสภาพสมบูรณ์เห็นปลายเข็ม
2. เข็มเจาะสภาพสมบูรณ์ไม่เห็นปลายเข็ม
3. เข็มเจาะสภาพบกพร่องบริเวณหัวเข็ม
4. เข็มเจาะสภาพบกพร่องบริเวณกลางเข็ม
5. เข็มตอกสภาพสมบูรณ์เห็นปลายเข็ม
6. เข็มตอกสภาพสมบูรณ์ไม่เห็นปลายเข็ม
7. เข็มตอกสภาพหัวเข็มไม่ดี
8. เข็มตอกสภาพบกพร่องบริเวณหัวเข็ม
9. เข็มตอกสภาพรอยต่อเข็มดี และไม่ดี

7. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ



## บทที่ 6

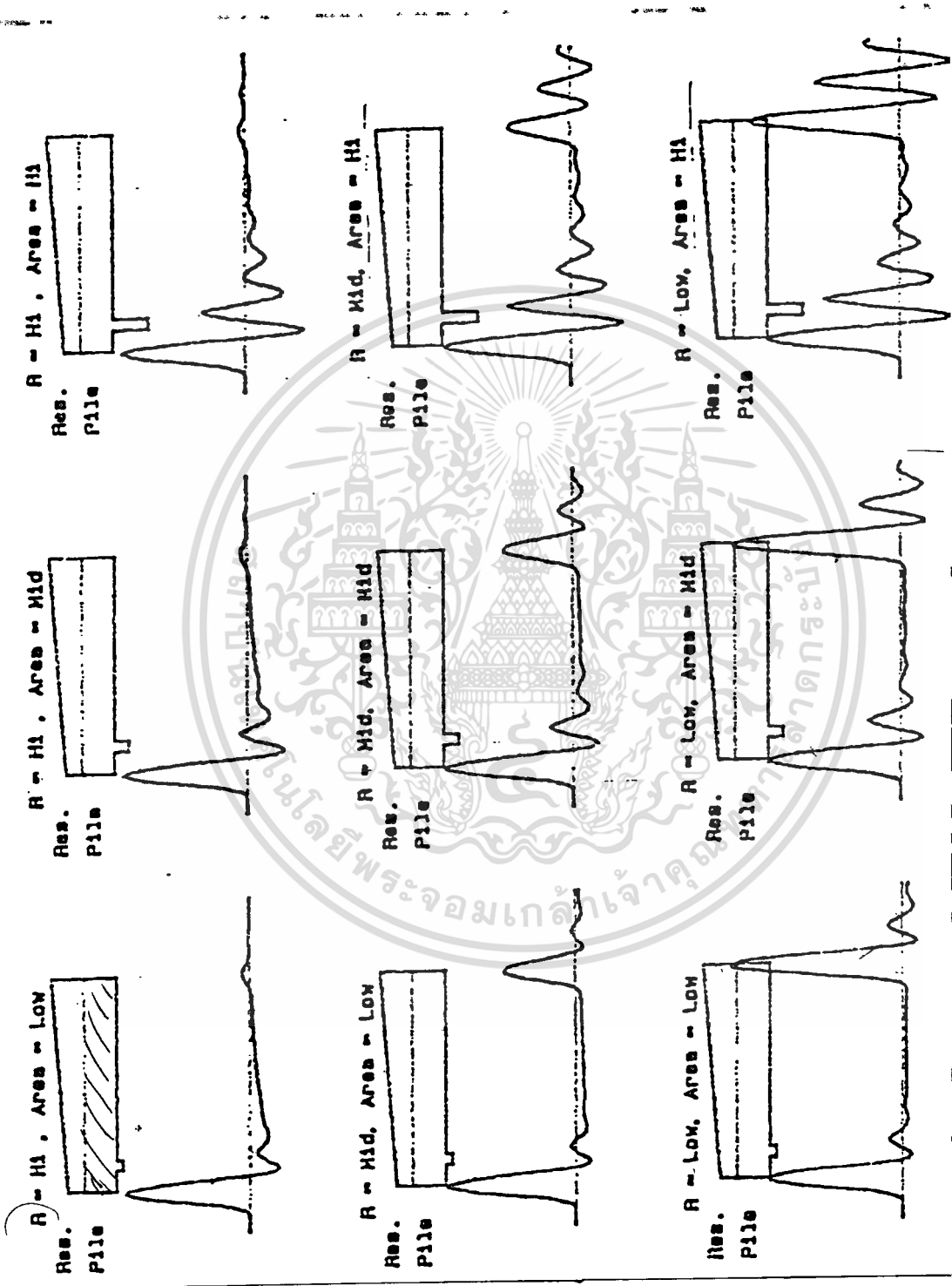
### ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลข้อมูล

#### 6.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Seismic Test

ในการพิจารณาเพื่อทำการวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Seismic Test โดยการพิจารณาจากการสะท้อนกลับของคลื่น ณ ตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานลักษณะการสะท้อนกลับของคลื่นที่ปรากฏให้เห็นนั้น จะมีลักษณะแตกต่างกันไป แล้วแต่ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงนั้นเกิดจากสาเหตุใด

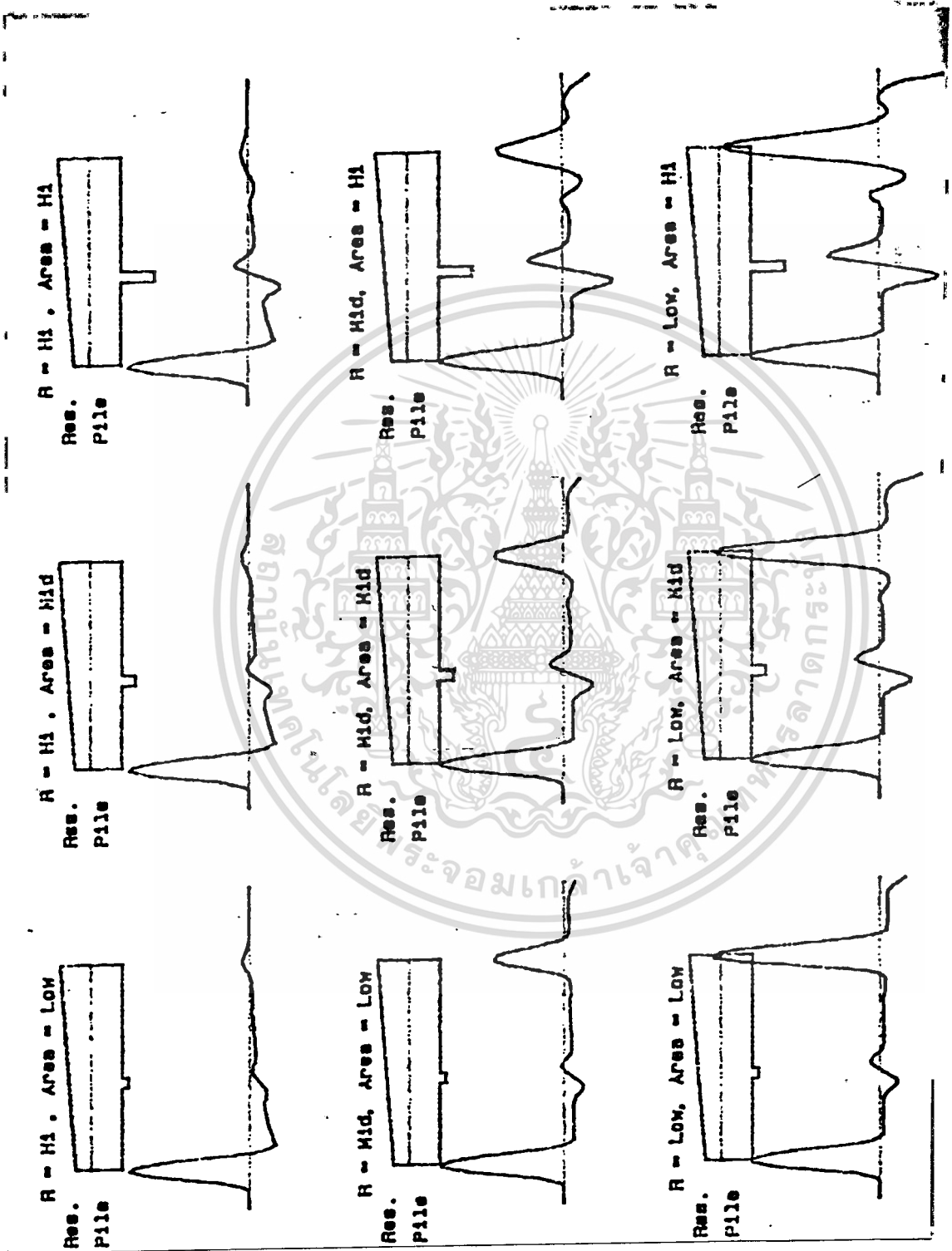
การวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยกราฟที่ปรากฏออกมาอยู่ในรูปกราฟคว่ำ ซึ่งมีลักษณะของกราฟที่ได้จากการสะท้อนกลับจากสาเหตุต่าง ๆ ดังรูปที่ 6-ก - 6-ฉ





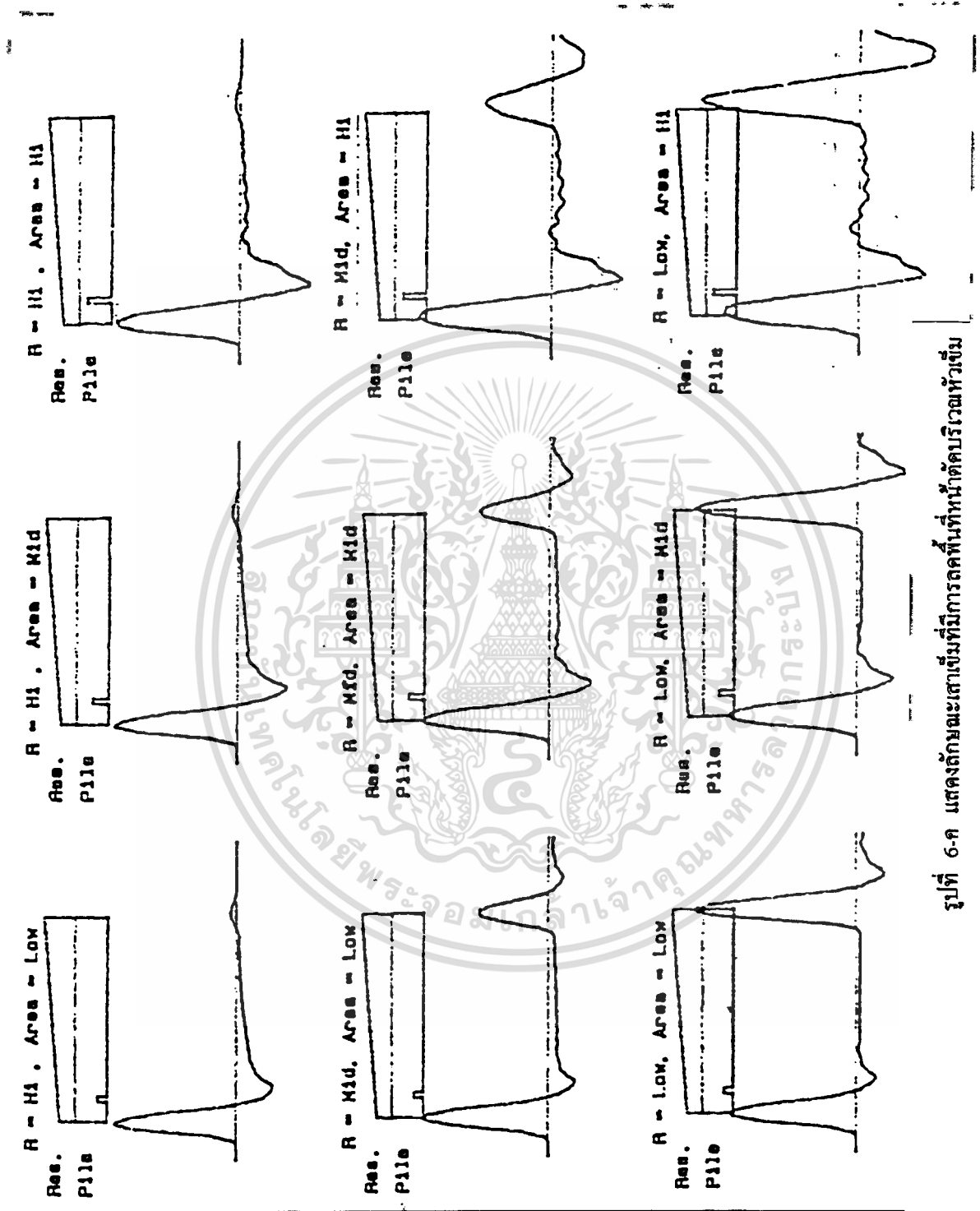
รูปที่ 6-ก แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดบริเวณ โกลีหัวเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



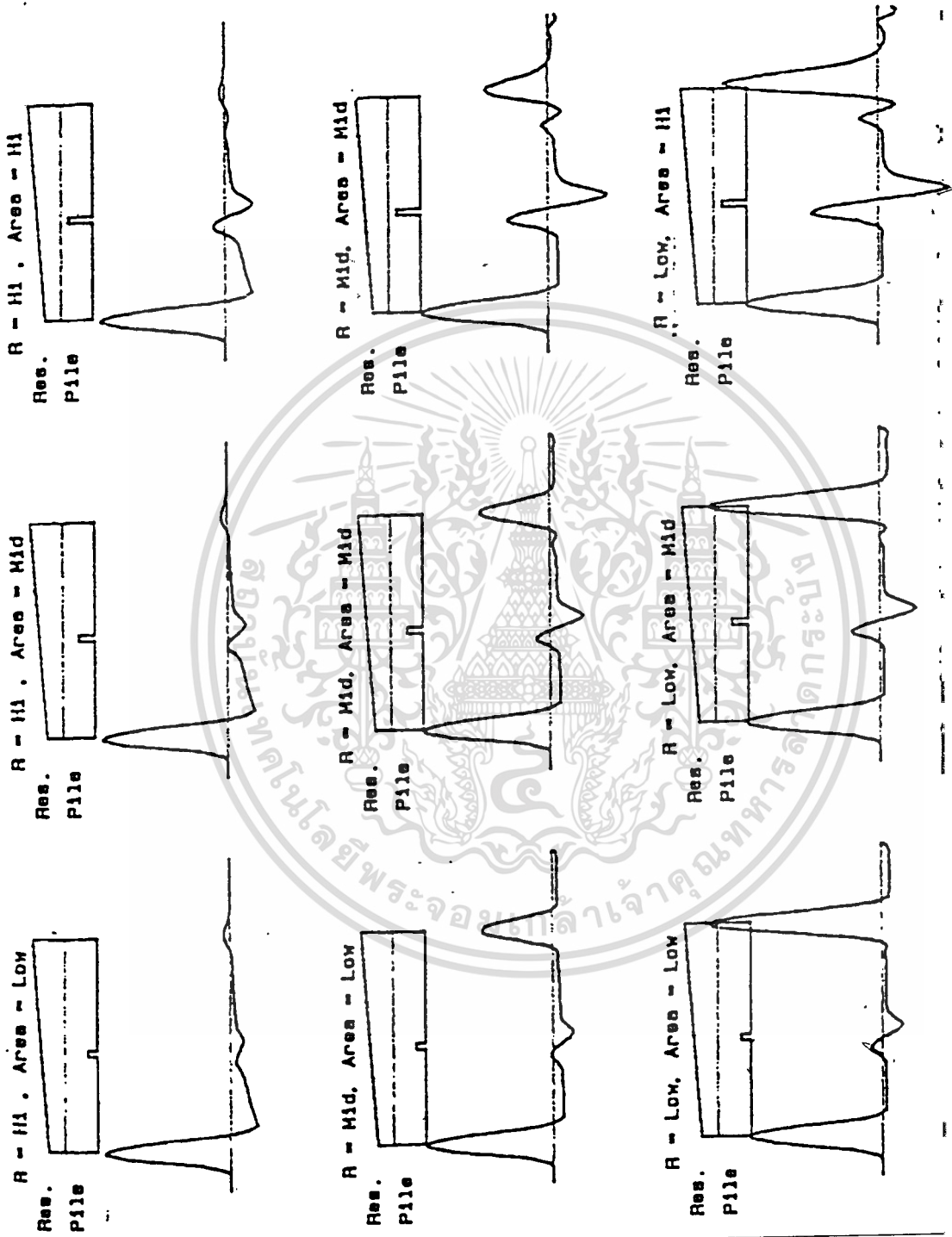
รูปที่ 6-4 แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดบริเวณช่วงกลางเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

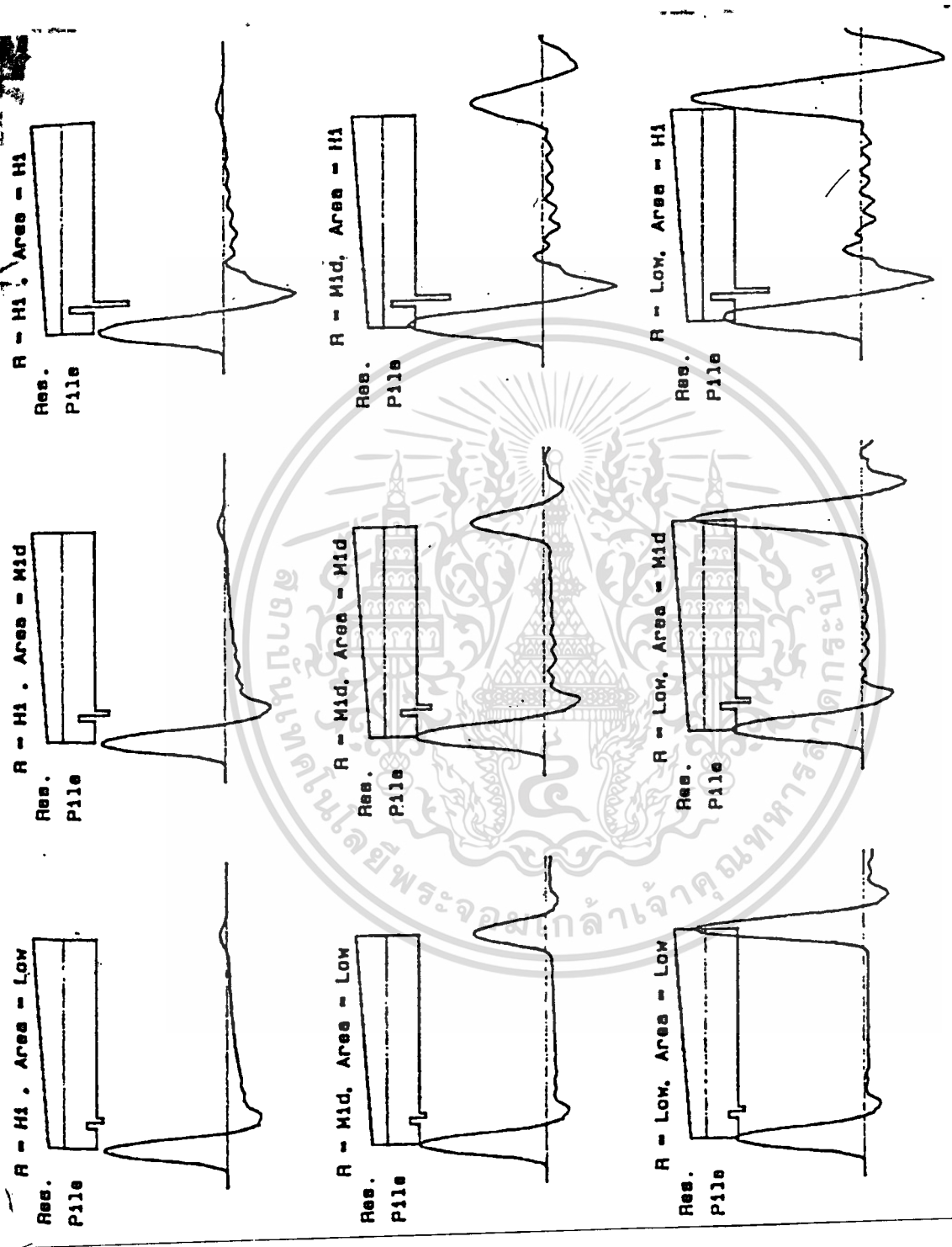


รูปที่ 6-ค แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการลดพื้นที่หน้าตัดบริเวณหัวเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

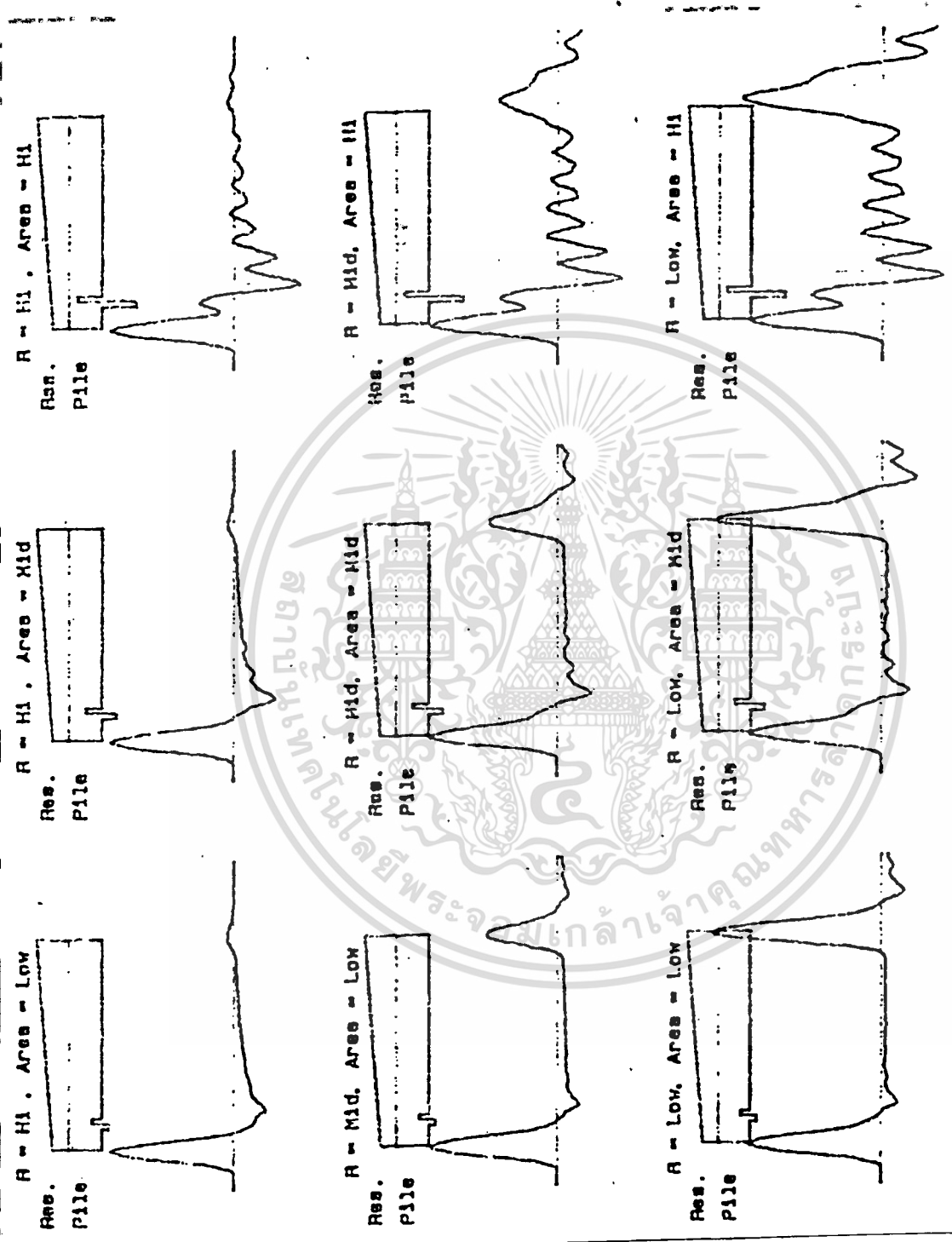


รูปที่ 6-4 แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการลดพื้นที่หน้าตัดบริเวณช่วงกลางเข็ม

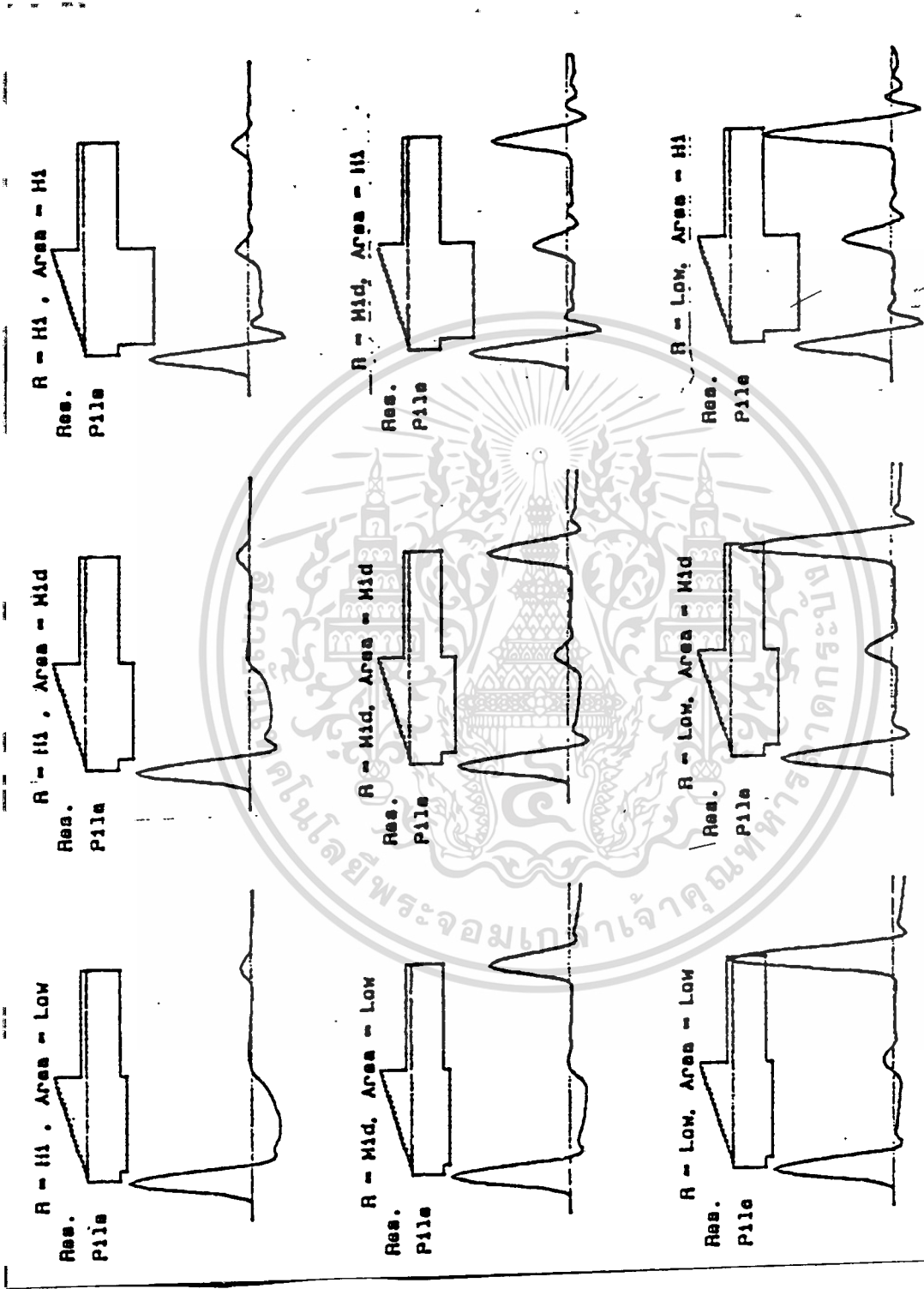


รูปที่ 6-9 แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการลดและเพิ่มพื้นที่หน้าตัดบริเวณหัวเข็ม

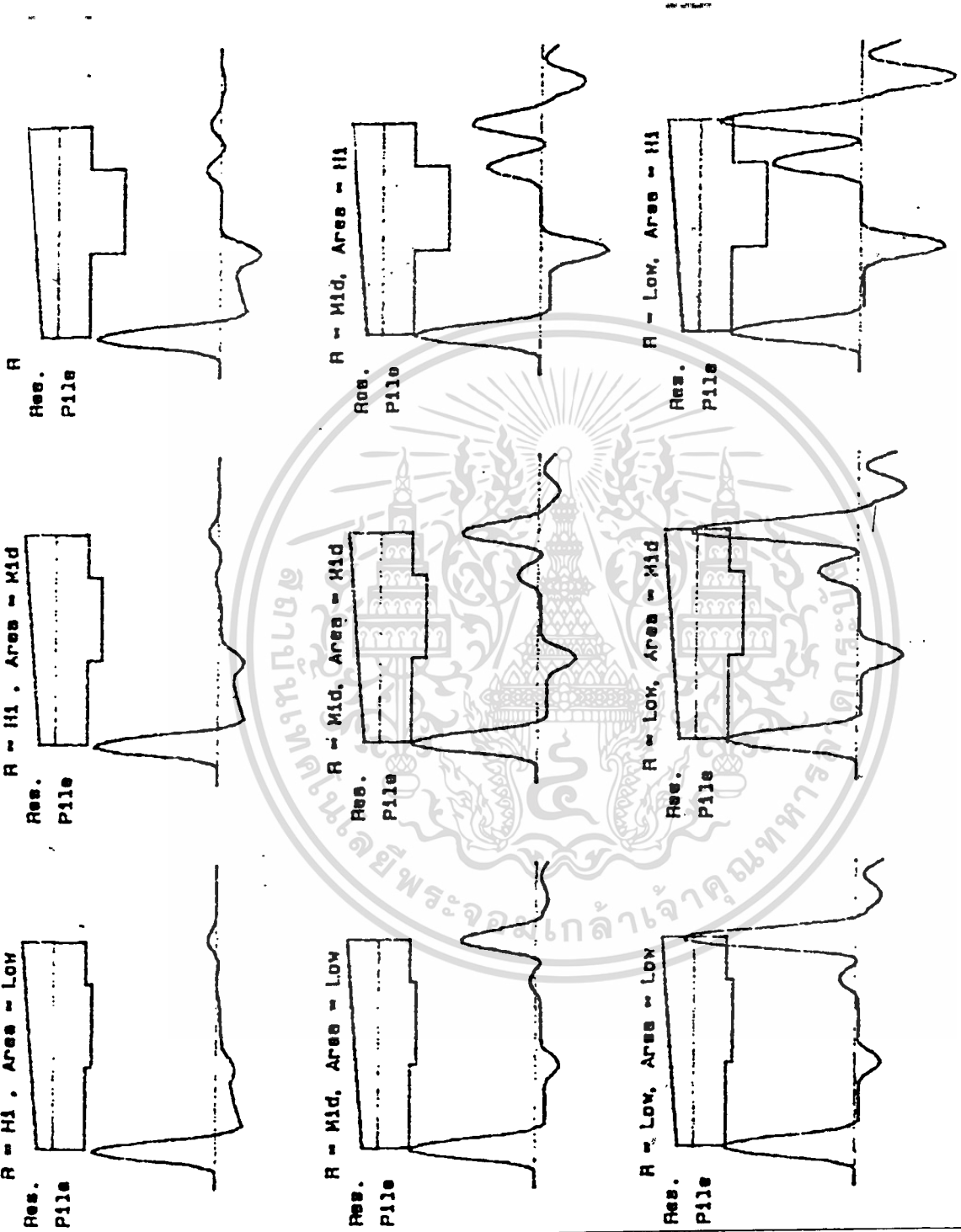
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-๑ แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการเพิ่มและลดพื้นที่หน้าตัดบริเวณหัวเข็ม

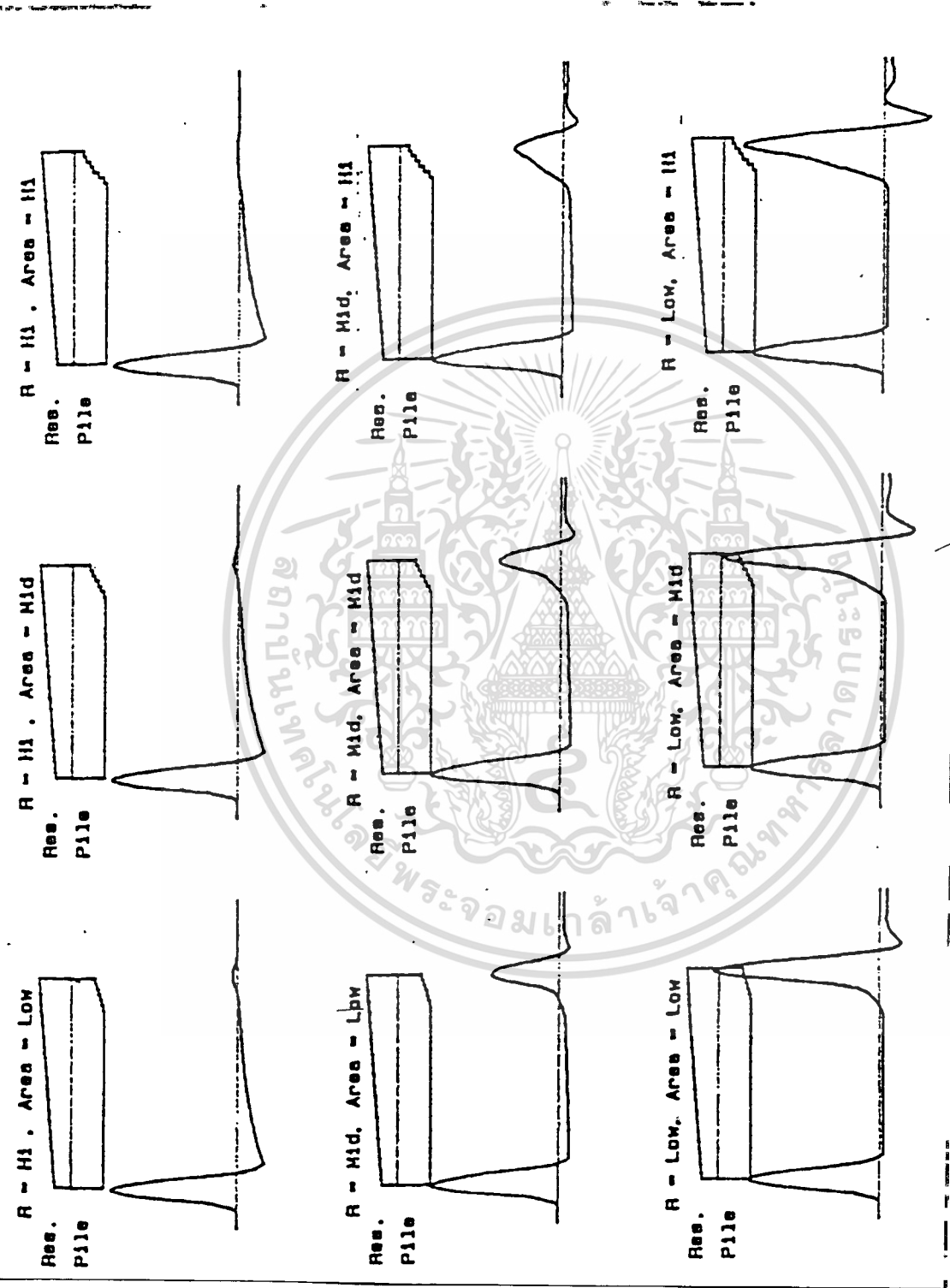


รูปที่ 6-8 แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดบริเวณหัวเข็มถึงกลางเข็ม



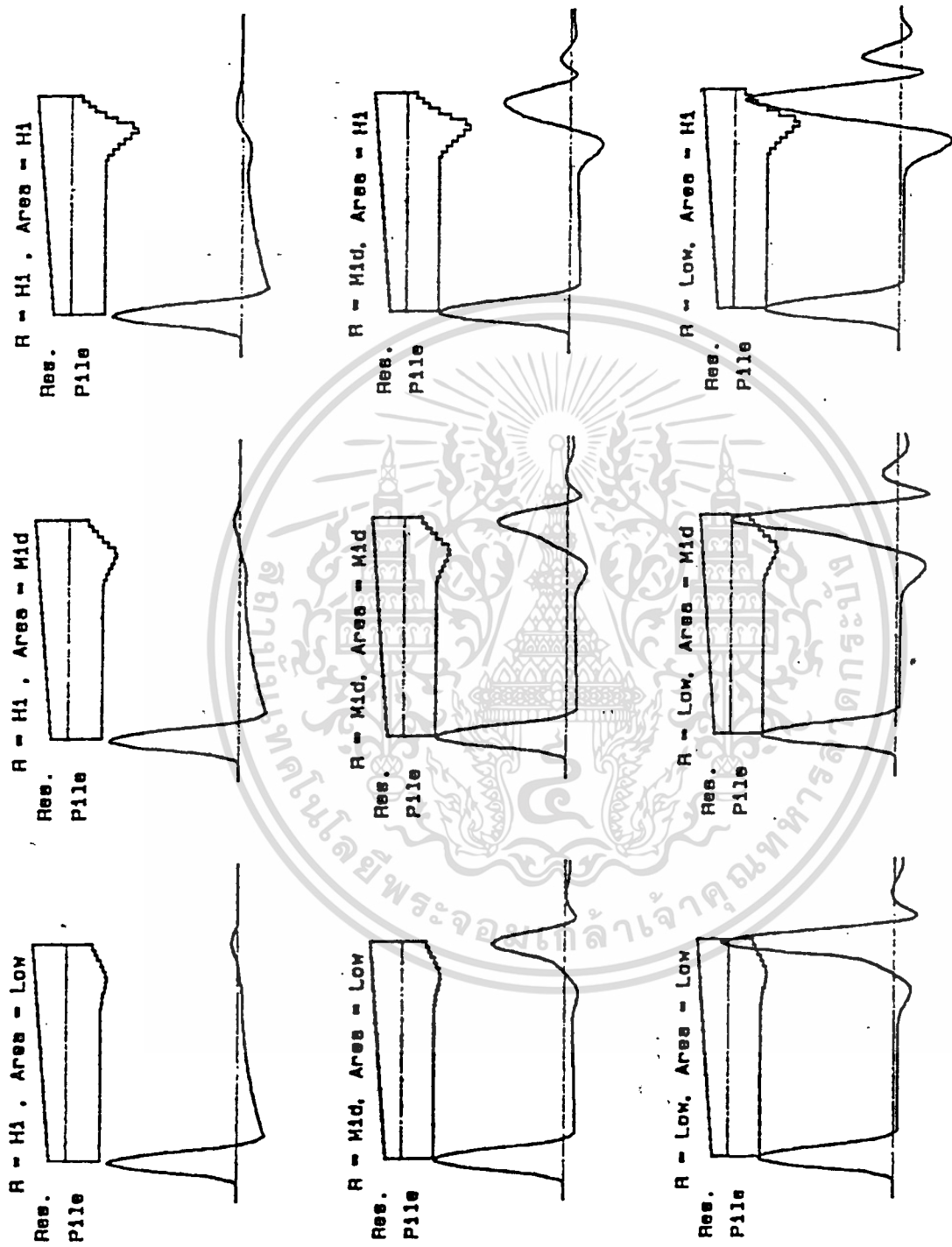
รูปที่ 6-๗ แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดบริเวณกลางเข็มถึงปลายเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



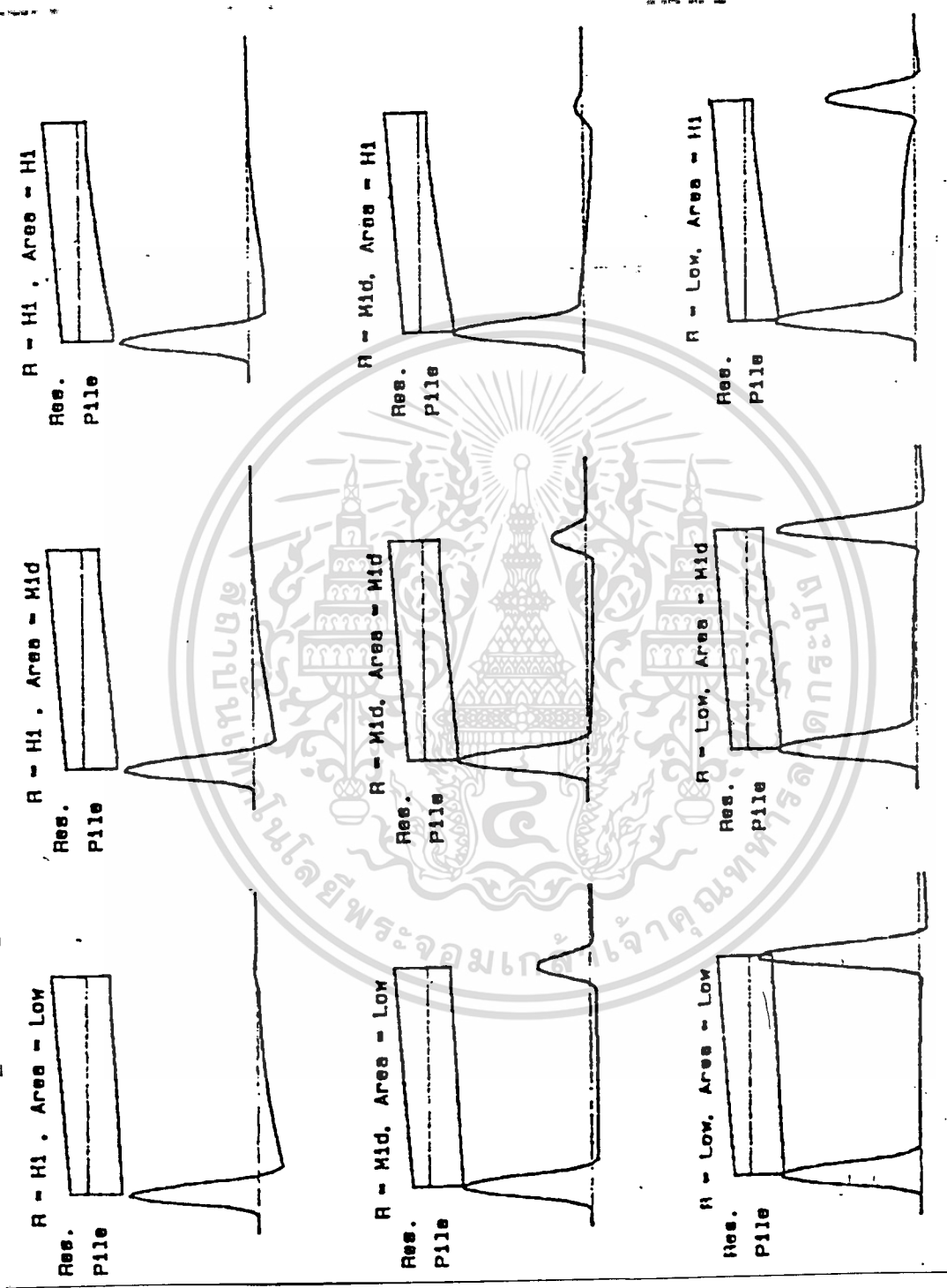
รูปที่ 6-๗ แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการลดพื้นที่หน้าตัดบริเวณปลายเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-๑๒ แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการเพิ่มแอมพลิจูดที่หน้าตัดบริเวณปลายเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-ฉ แสดงลักษณะเสาเข็มที่มีการลดลงของพื้นที่หน้าตัดที่ระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 วิธีการประยุกต์ค่า Integrity factor ( $\beta$ ) เพื่อวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเสาเข็ม

ในการวิเคราะห์ผลเพื่อหาขนาดของจุดบกพร่องนั้น สามารถประมาณการได้จากการเทียบกับค่าสะท้อนกลับเริ่มต้น โดยการประมาณขนาดของจุดบกพร่อง ซึ่งสามารถตัดสินใจได้จากค่า Integrity factor ( $\beta$ ) ซึ่งมีวิธีการหาได้ดังนี้

สมมติให้ค่าความต้านทานในเสาเข็ม ณ ตำแหน่งหนึ่งเปลี่ยนจาก  $Z_1$  เป็น  $Z_2$  ณ ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากหัวเสาเข็มเป็นระยะทาง  $x$

กำหนดให้  $F_i$  = คลื่นที่เคลื่อนที่ลงไปในเสาเข็ม ( Downward traveling wave )

$F_u$  = คลื่นที่เกิดจากการสะท้อนกลับเมื่อพบกับจุดบกพร่อง ( Upward traveling wave )

$F_d$  = บางส่วนของคลื่นที่ยังสามารถเคลื่อนที่ลงไปยังปลายเสาเข็มได้อีก ถ้าเสาเข็มนั้นมีความต่อเนื่องและอยู่ในสภาวะสมดุลย์ ( Part transmitted down )

Rausch and Goble ( 1979 ) ได้แสดงความสัมพันธ์ของคลื่นในสภาพเสาเข็มสมบูรณ์ โดยการพิจารณาจากรูป จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$F_d = F_i + F_u \quad 1$$

และจะ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของคลื่นเป็น

$$V_d = V_i + V_u \quad 2$$

โดยการใช้หลักการทางกลศาสตร์ของคลื่น ( Wave mechanics ) จะ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร็วคลื่นได้ดังนี้

$$F_d = z_1 V_d$$

$$F_i = z_2 V_i \quad 3$$

และ  $F_u = -z_1 V_u$

แทนค่าสมการที่ 3 ลงในสมการที่ 2 จะได้

$$F_d/z_2 = F_i/z_2 - F_u/z_1 \quad 4$$

กำหนดให้

$$\text{Integrity factor ; } \beta = z_2/z_1 \quad 5$$

แทนค่าสมการที่ 5 ลงในสมการที่ 4 จะได้

$$F_d = \beta ( F_i - F_u ) \quad 6$$

สมการที่ 1 = สมการที่ 6

$$F_i + F_u = \beta ( F_i - F_u )$$

$$\text{หรือ } F_u = -F_i (( 1 - \beta ) / ( 1 + \beta )) \quad 7$$

กำหนดให้

$$\infty = - F_u/F_i \quad 8$$

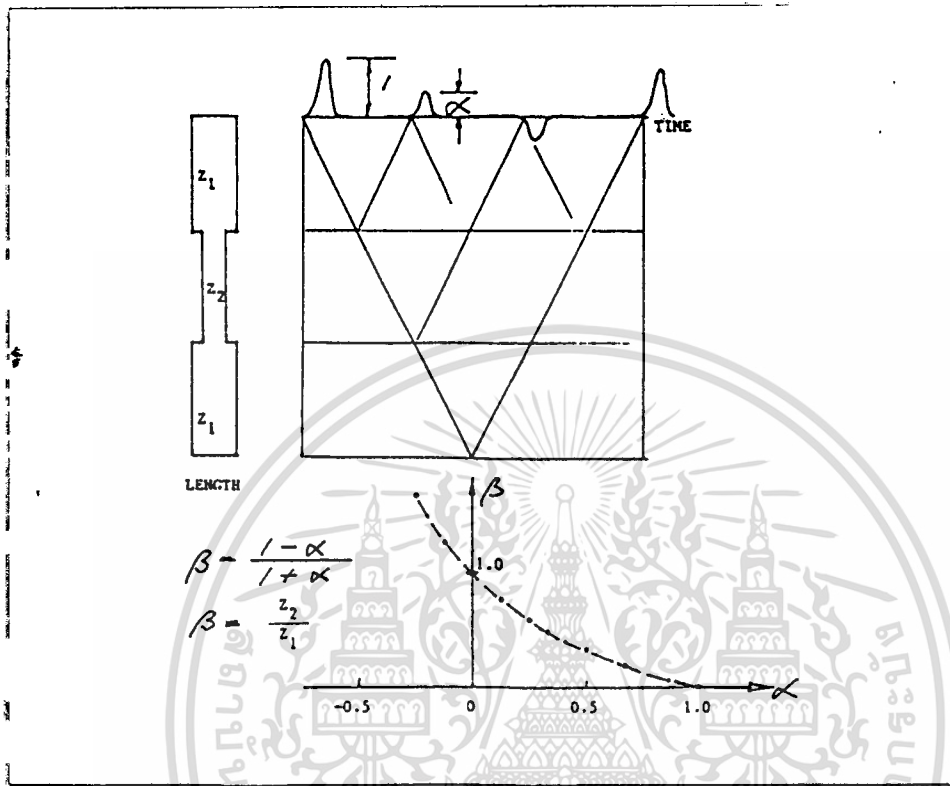
$$= (Y_2 - Y_1)/2$$

จากสมการที่ 7 และสมการที่ 8

จะ ได้ความสัมพันธ์

$$\beta = (( 1 - \infty ) / ( 1 + \infty )) \quad 9$$

โดยที่ค่า  $\beta$  คือความเสียหายที่เกิดขึ้นของเสาเข็ม โดยวัดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับกราฟของเสาเข็มนั้น ๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 6-9



รูปที่ 6-9 แสดงวิธีการหา Integrity factor

สำหรับเงื่อนไขของค่า Integrity factor ในการอธิบายลักษณะความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ได้ดังตารางที่

6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงเงื่อนไขของค่า Integrity factor โดย Rausch and Goble (1979)

Beta	Pile Condition
1.00	Uniform
0.80-1.00	Slight Change
0.60-0.80	Damage
Below 0.60	Broken

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3 คุณสมบัติของผู้ทำการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มนั้น ผู้ทำการวิเคราะห์ควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. เป็นผู้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะทางกลศาสตร์ของดิน ( Soil mechanics ) ในการออกแบบเสาเข็ม
2. เป็นผู้มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องเสาเข็มและผลกระทบของเสาที่มีผลต่อสิ่งก่อสร้างนั้น ๆ
3. ปฏิบัติตามคู่มือในการวิเคราะห์ผลของบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือ
4. เป็นผู้ที่มีประสบการณ์ โดยสังเกตจากการขุดเสาเข็มที่พบว่าเกิดความบกพร่อง
5. มีความรู้ความเข้าใจถึงสาเหตุที่ทำให้เสาเข็มเกิดความเสียหาย
6. ศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบในการวิเคราะห์ผล
7. เมื่อเกิดปัญหาขึ้น ให้นำความรู้และประสบการณ์ที่ได้จากการศึกษาของ TNO มาช่วยในการวิเคราะห์แก้ปัญหา

### 6.4 คำแนะนำในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

1. ทำการทดสอบเสาเข็มในแต่ละ site ให้ทั่วถึง
2. เลือกสัญญาณที่ชัดเจนที่สุดจากผลการทดสอบในสนามมาทำการวิเคราะห์
3. เปรียบเทียบลักษณะสัญญาณกับข้อมูลของดิน และพยายามอธิบายสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงนั้น
4. พยายามทดลองทำนายหาความยาวของเสาเข็ม

### 6.5 ข้อมูลที่ใช้ประกอบในการอธิบายผล

1. วิธีการติดตั้งเสาเข็ม การรู้ว่าเป็นเข็มอะไร , ประเภทไหน , ลักษณะการต่อ และ ความยาวเข็ม จะช่วยในการวิเคราะห์ผลได้จากการทดสอบ
2. ความยาวของเหล็กที่ใช้เสริมในเสาเข็มเพราะเหล็กเสริมจะช่วยป้องกันการคอดและลดการแตกร้าวของเสาเข็ม
3. ข้อมูลดินในบริเวณก่อสร้าง ( Soil Boring Log ) จะช่วยให้รู้ถึงการเปลี่ยนแปลงชั้นดิน ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน
4. ข้อมูลของการเจาะหลุม สำหรับเสาเข็มเจาะ ซึ่งทำให้รู้ว่าเกิดการพังหรือส่วนคอดของหลุมที่เจาะ
5. ลำดับชั้นการติดตั้งเสาเข็ม การรู้ลำดับชั้นจะช่วยให้สามารถทำนายผลของอิทธิพลของเสาเข็มรอบบริเวณที่มีต่อเสาเข็มที่เราสนใจ
6. ประสบการณ์ เกี่ยวกับชั้นดิน หรือลักษณะของดินในบริเวณที่ทำงาน
7. ข้อมูลจากเสาเข็มต้นข้างเคียง หรือบริเวณเดียวกัน
8. ผลจากการสำรวจเพิ่มเติม เช่น

- การขุดดูสภาพของเสาเข็ม
- การทำ Coring ตามความยาวเข็ม
- การใช้น้ำหนักกด เพื่อทดสอบว่าความไม่สมบูรณ์ของเสาเข็มเกิดจากรอยร้าว , คอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หรือคอนกรีตมีคุณภาพไม่ดี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ความชำนาญ, ความรู้ และประสบการณ์จากการเปิดหน้าดินเพื่อดูเสาเข็มต้นที่คิดว่าจะมีปัญหา
10. เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นซึ่งอาจจะมีผลเสียหายต่อเสาเข็ม เช่น การทำงานของอุปกรณ์หนัก
11. รายละเอียดการติดตั้งเสาเข็มแต่ละต้น เช่น ความยาว Casing ที่ใช้
12. ปริมาณคอนกรีตที่ไว้จริงกับปริมาณคอนกรีตจากการออกแบบแตกต่างกันอย่างไร จะทำให้สามารถทำนายลักษณะความบกพร่องของเสาเข็มได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น

#### 6.6 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การทดสอบ

ตัวอย่างการวิเคราะห์ในที่นี้ จะรวบรวมถึงลักษณะของการวิเคราะห์คลื่นสัญญาณที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มในหลาย ๆ ลักษณะ ดังแสดงในรูปต่อไปนี้

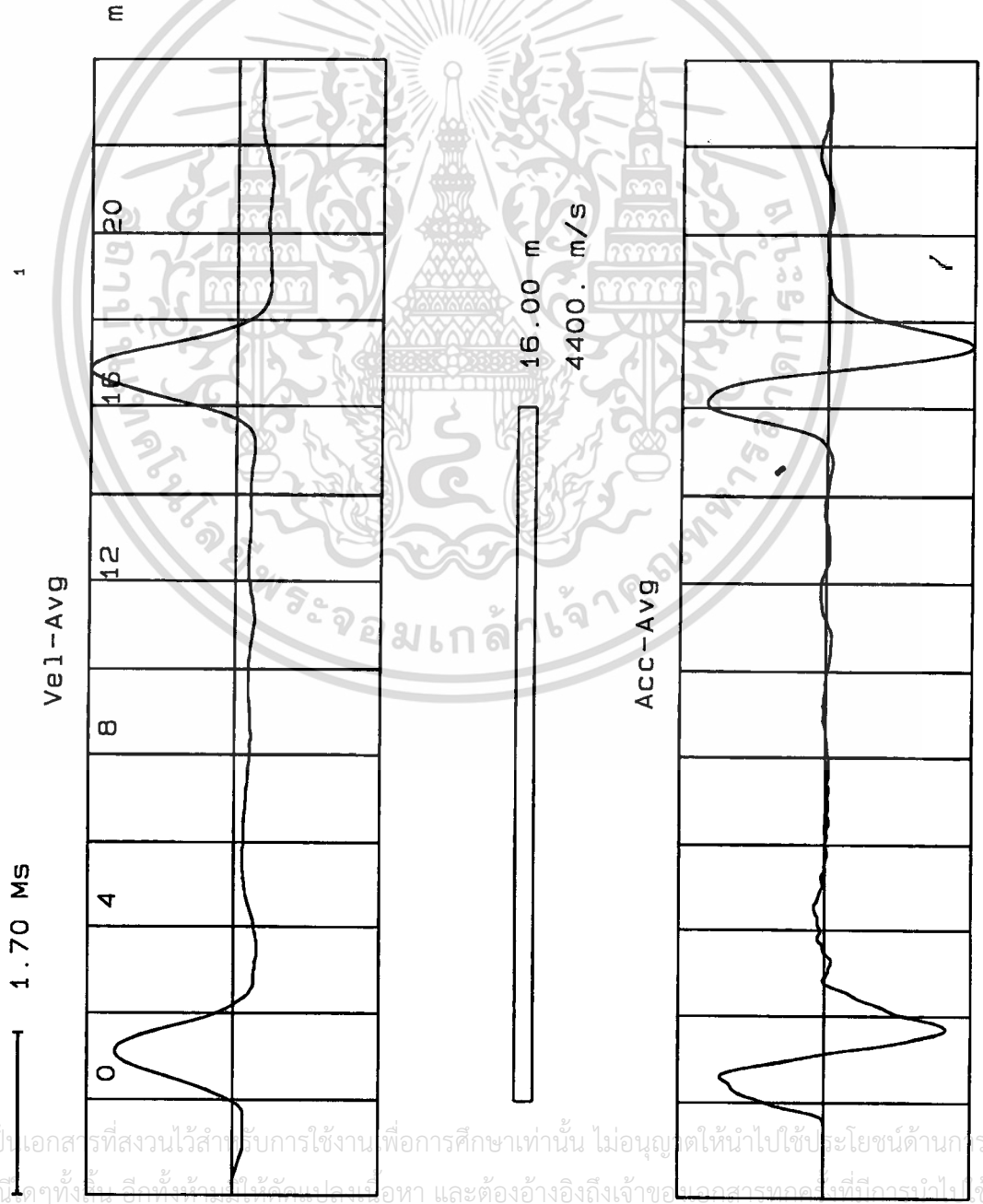




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: NIPPON Pile: P8  
Loc: SP300 Other: VEL ONLY  
Date: 02/14/96 BN 1 BLOW



รูปที่ 6.1 คลื่นสัญญาณแรงกระแทกของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

Project: NIPPON  
Loc: SP350

Pile: P19  
Other: VEL ONLY

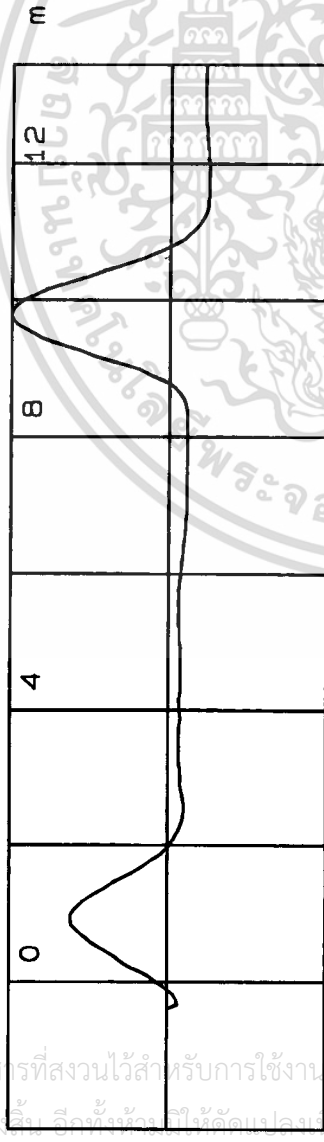
Date: 02/14/96

1 Blow

1.20 Ms

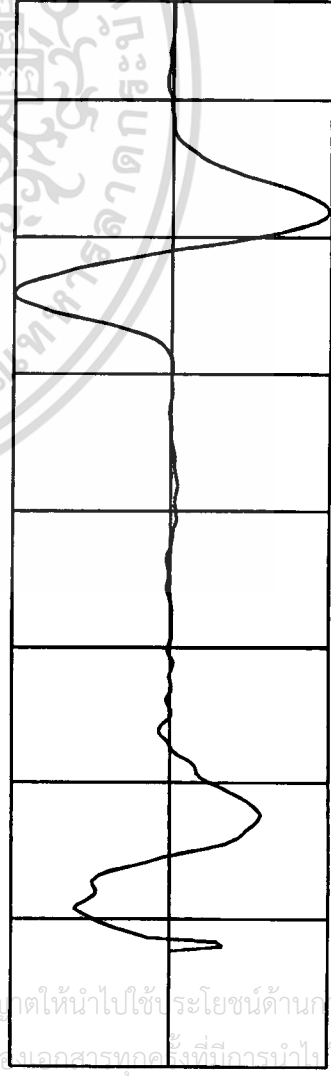
3

Vel-Avg



9.00 m  
4300. m/s

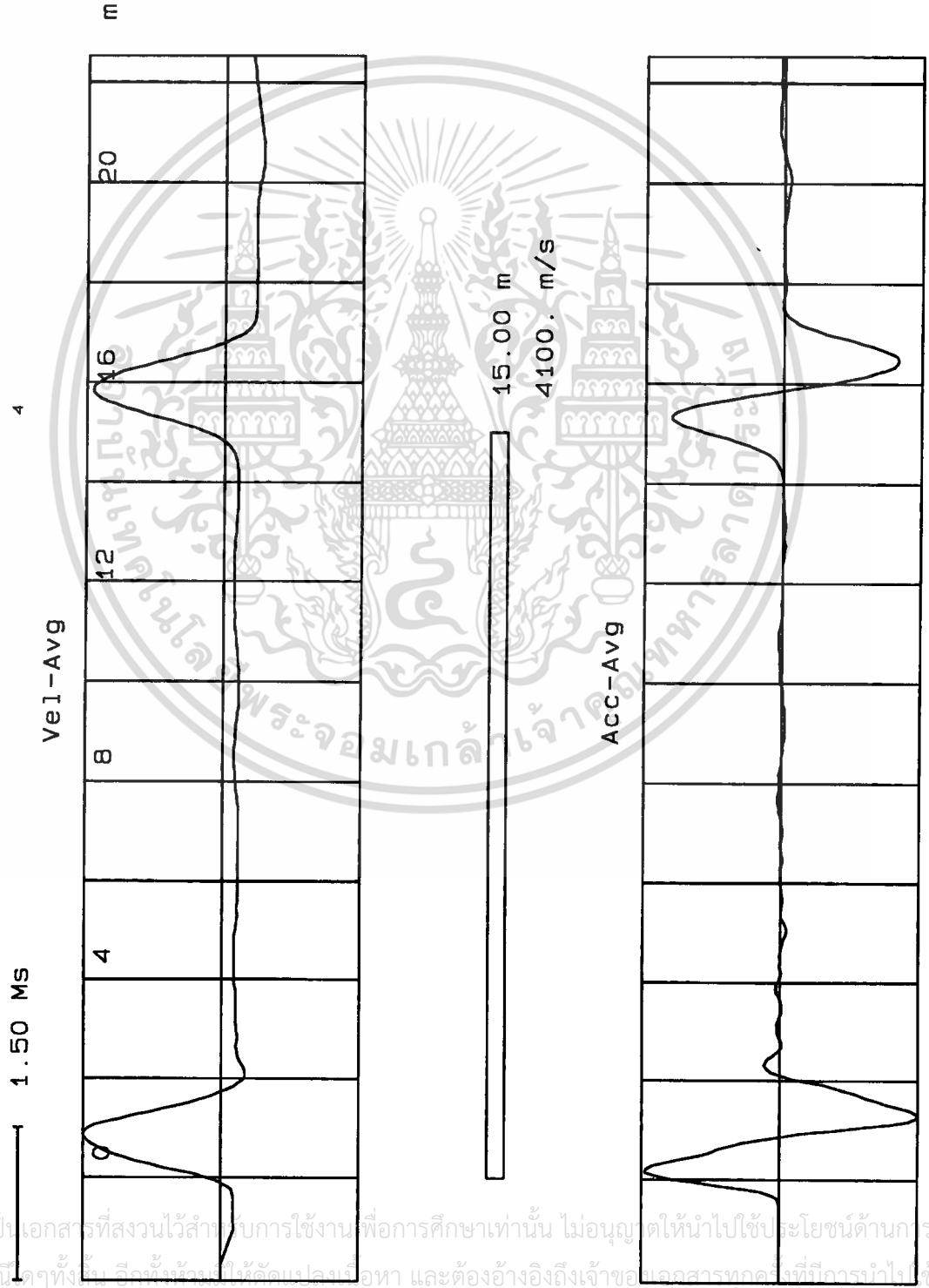
Acc-Avg



รูปที่ 6.2 คลื่นสัญญาณของเสา เข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

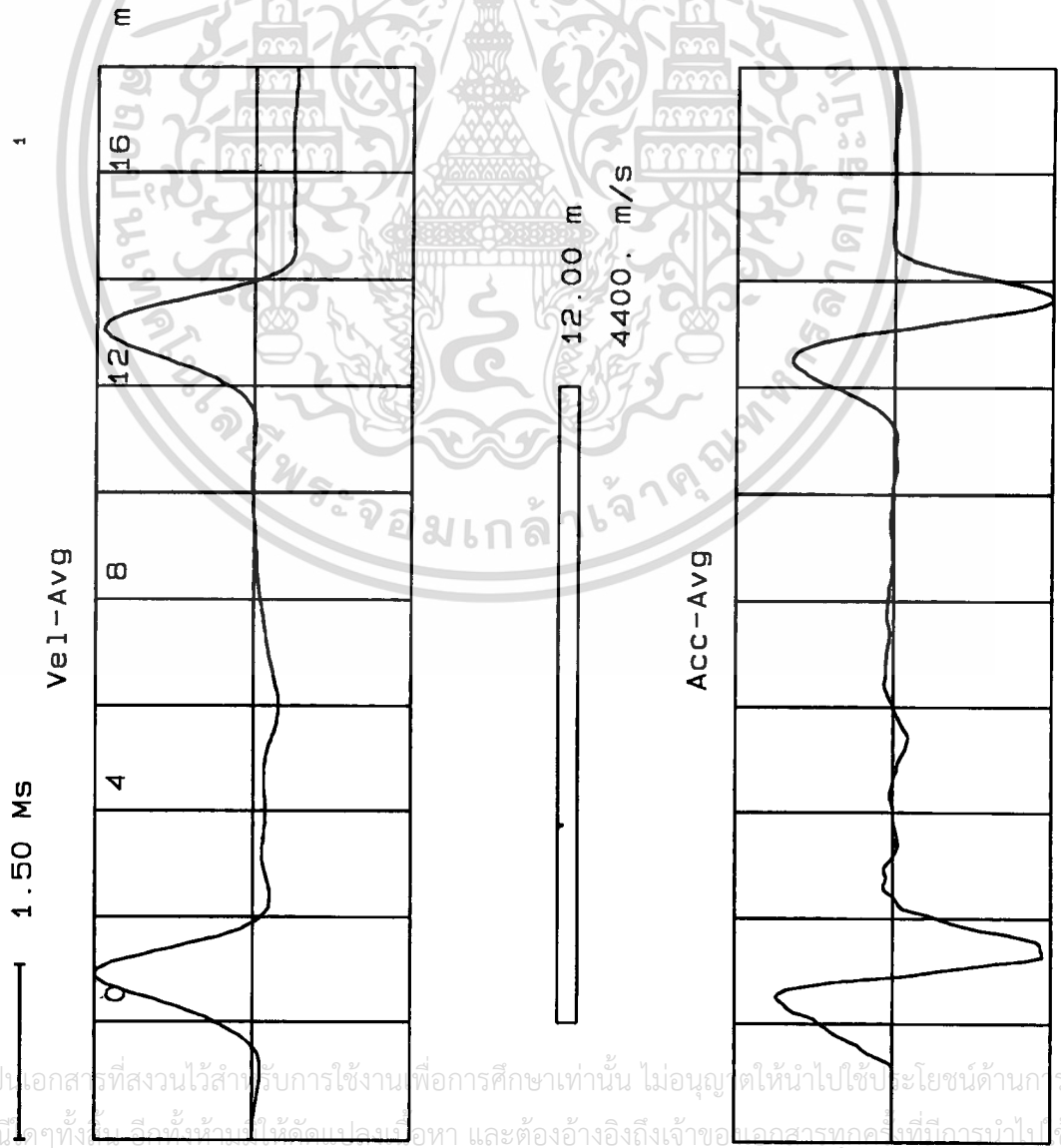
Project: NIPPON      Pile: P11  
Loc: SP400      Other: VEL ONLY  
Date: 02/14/96      BN      1 Blow



รูปที่ 6.3 คัดสัญญาณแสดงลักษณะของเสา ซึ่งมีมีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสา ซึ่งได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: NIPPON Pile: P10  
 Loc: SP500 Other: VEL ONLY  
 Date: 02/14/96 BN 1 Blow



รูปที่ 6.4 คณิตสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

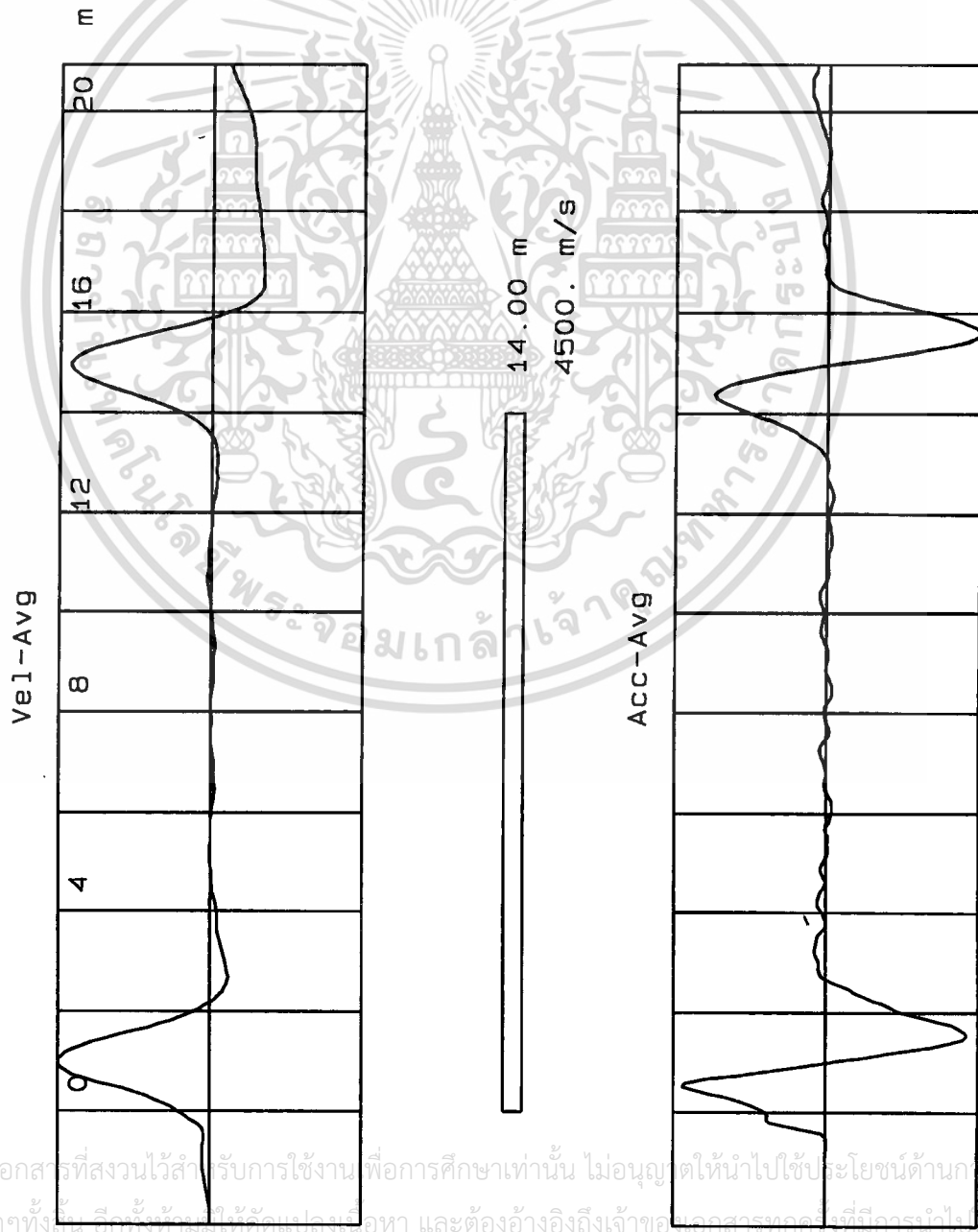
Project: NIPPON  
Loc: SP600

Pile: P14  
Other: VEL ONLY  
BN  
1 Blow

Date: 02/14/96

1.50 Ms

6

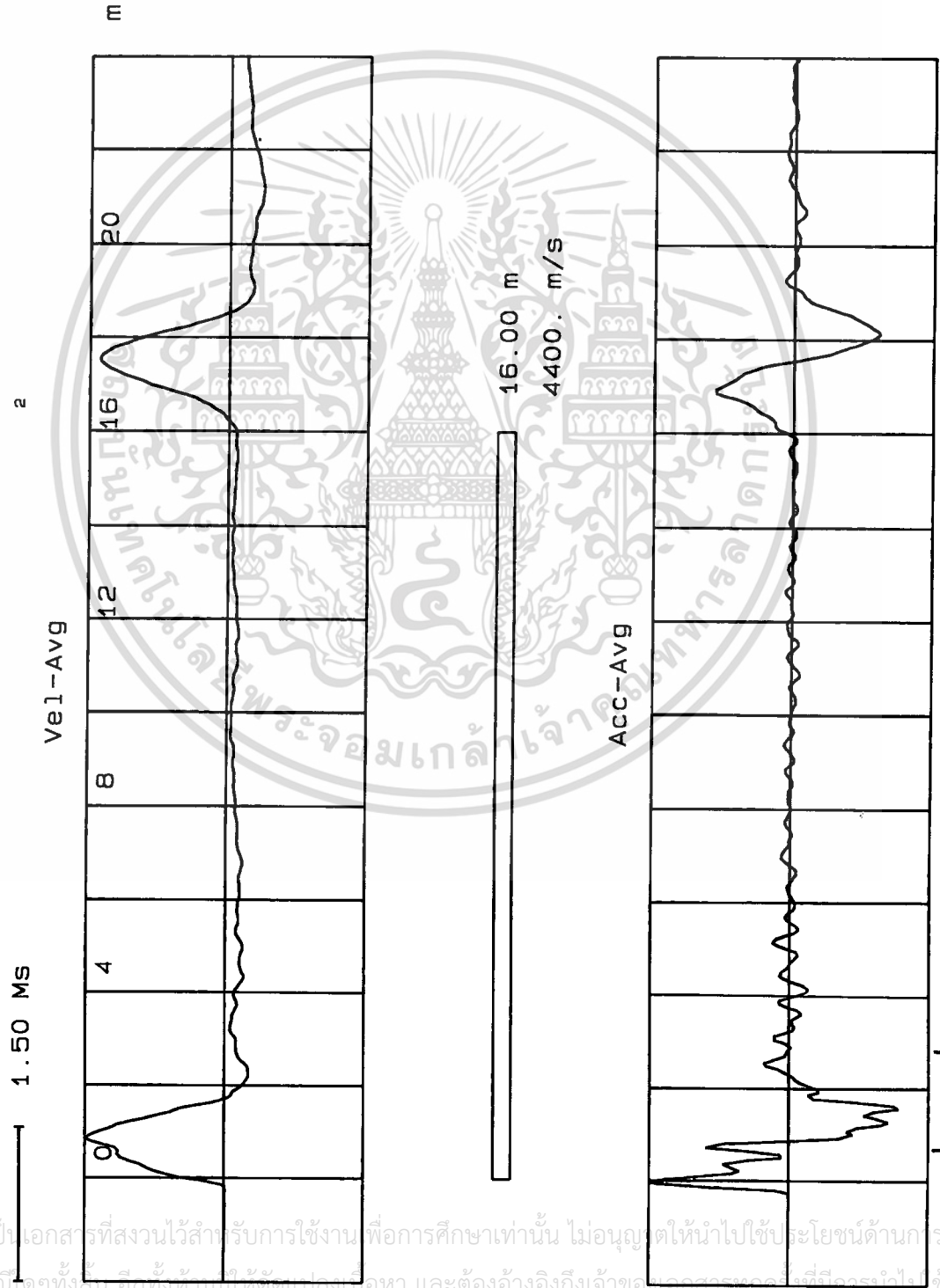


รูปที่ 6.5 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกค่าแรงของ  
ปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: NIPPON  
Loc: SP600  
Date: 02/14/96

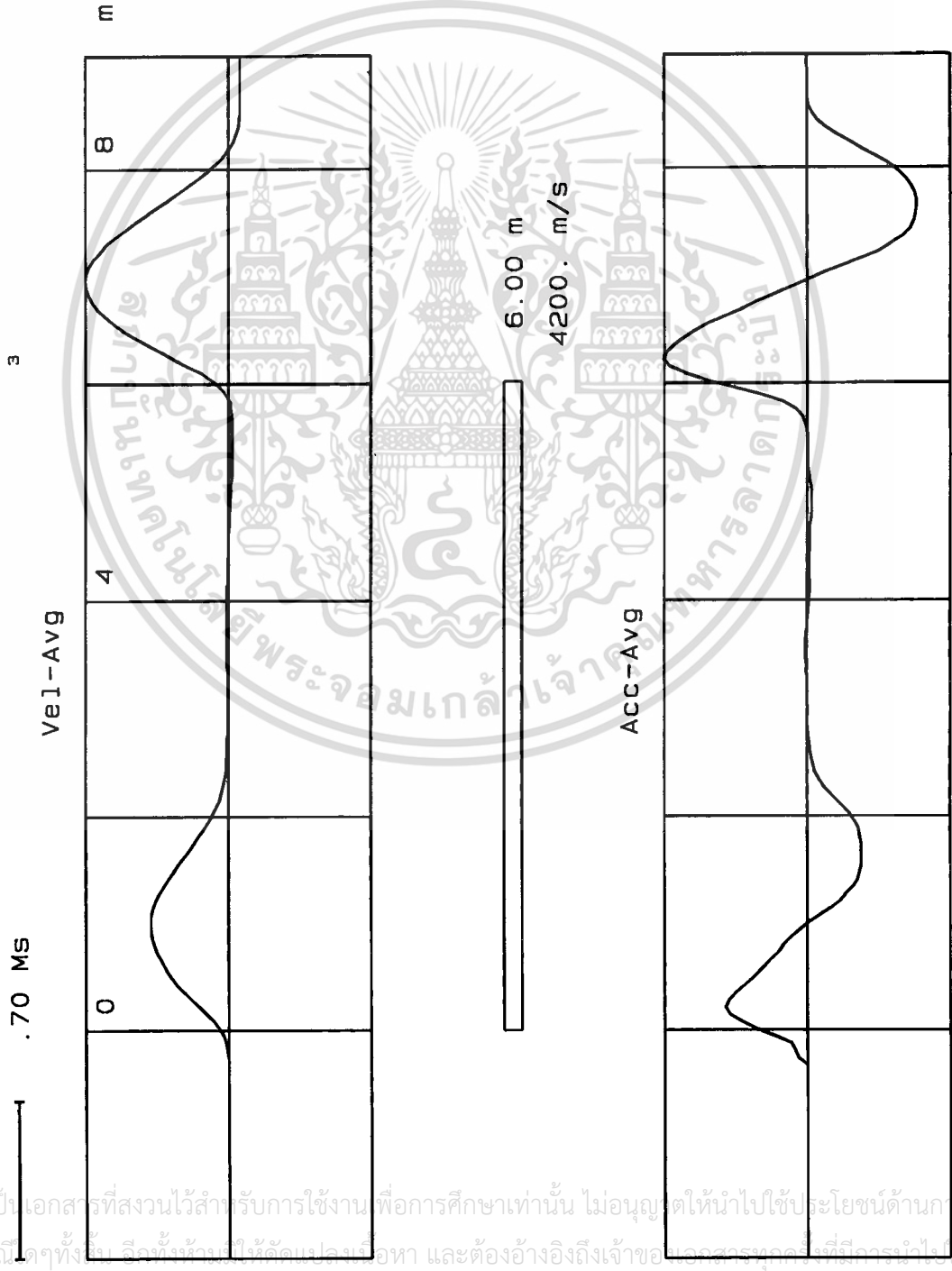
Pile: P2  
Other: VEL ONLY  
BN  
1 Blow



รูปที่ 6.6 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกค่าแรงของปลายเสาเข็มได้

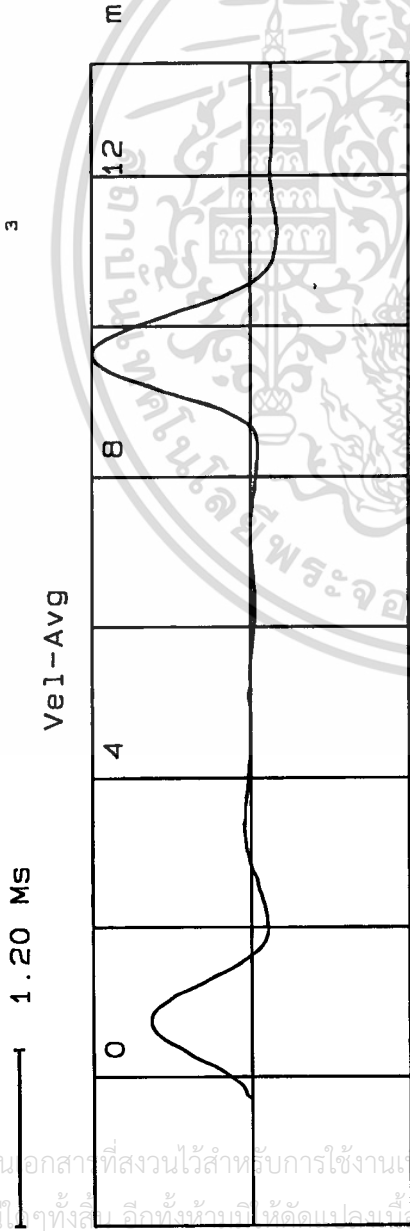
Project: CIVIL  
Loc: I12  
Date: 01/16/96

Pile: P27  
Other: VEL ONLY  
BN  
1 Blow

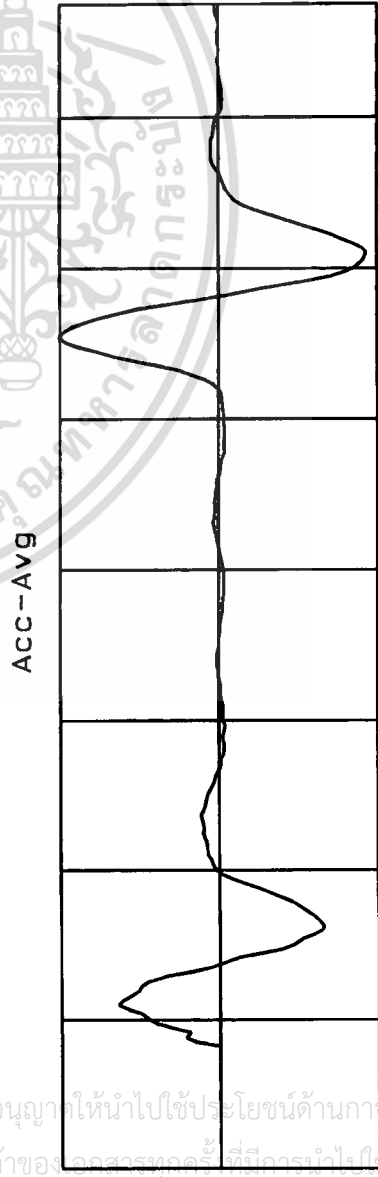


รูปที่ 6.7 ผลการตีความแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

Project: COUNTRY P4  
Loc: I22 Other: VEL ONLY  
Date: 02/09/96 BN 1 Blow



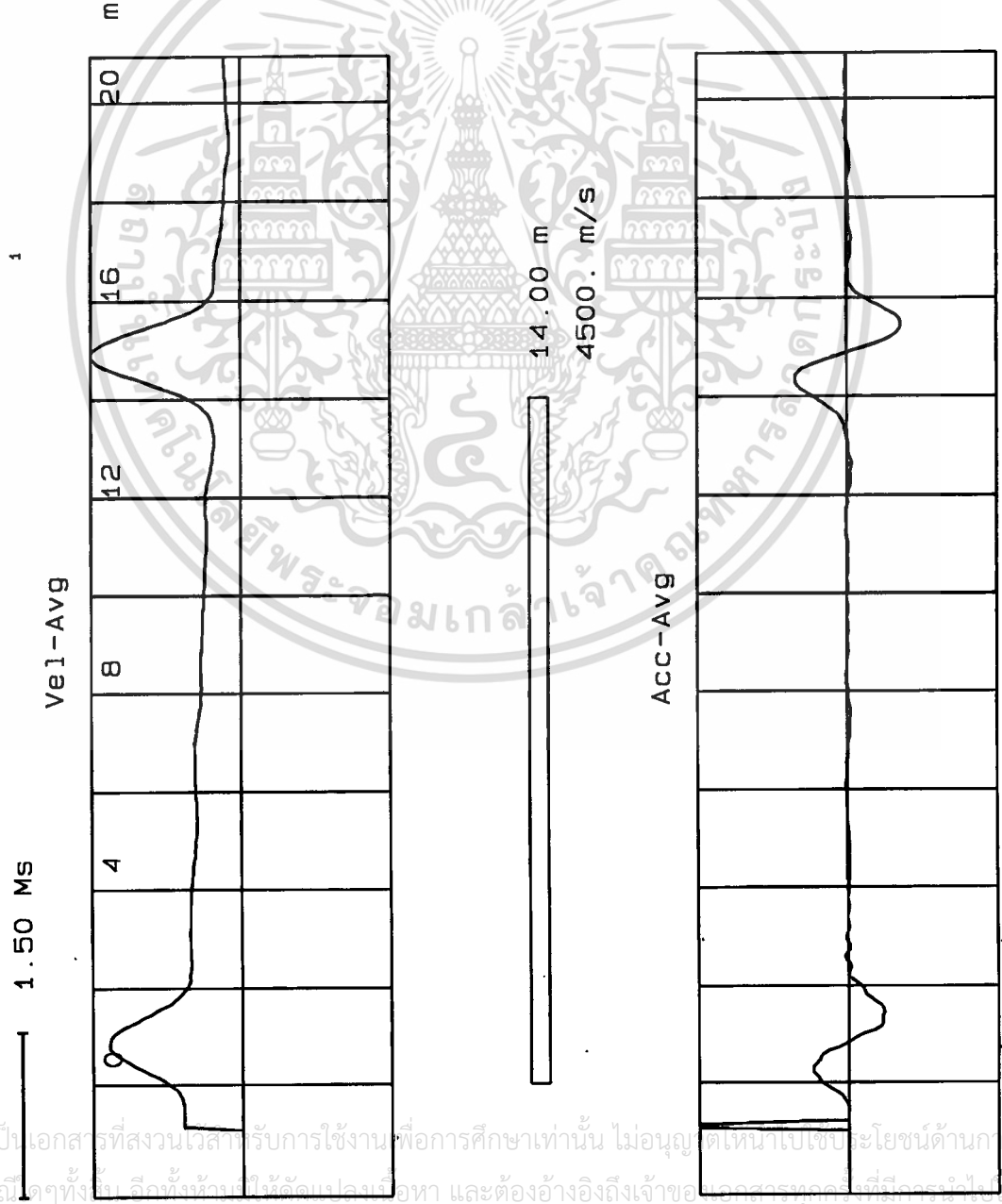
9.00 m  
3900. m/s



รูปที่ 6.8 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสา ซึ่งมีที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกค่าแห่ง

ของปลายเสาเข็มได้

Project: SP Pile: P5  
Loc: I35 Other: VEL ONLY  
Date: 02/02/96 BN 1 Blow



รูปที่ 6.9 คัดณสัญญาณแสดงลักษณะของเสา ชิมที่มีค่าความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสา ชิมได้

Project: ROMKAOW

Loc: I40

Date: 12/21/95

Pile: P5

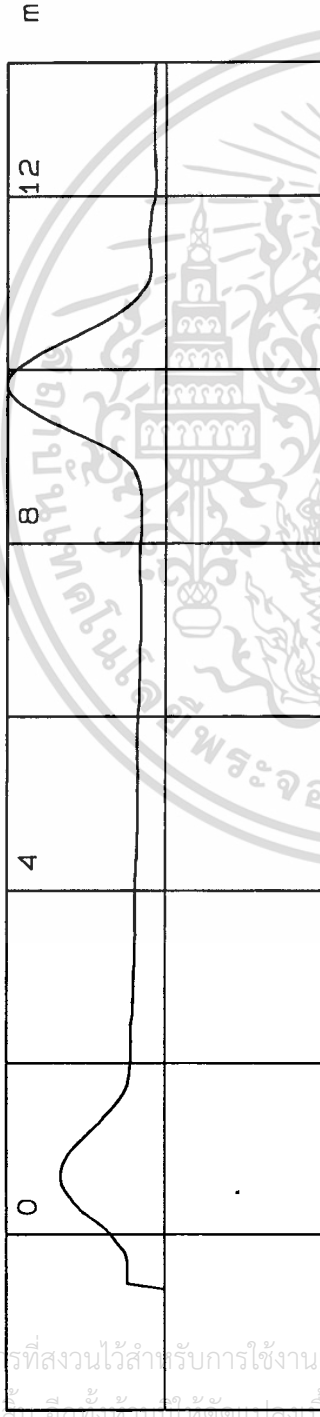
Other: VEL ONLY

BN 1 Blow

1.00 Ms

2

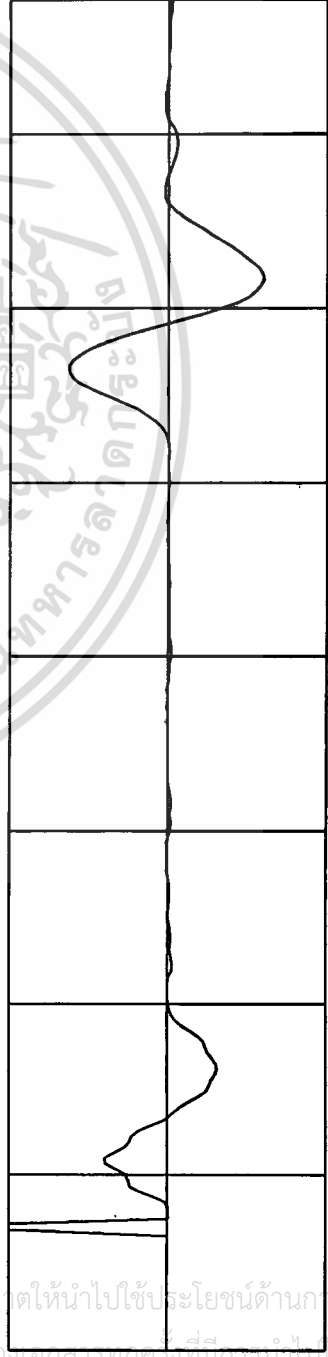
Vel-Avg



9.00 m

4050. m/s

Acc-Avg



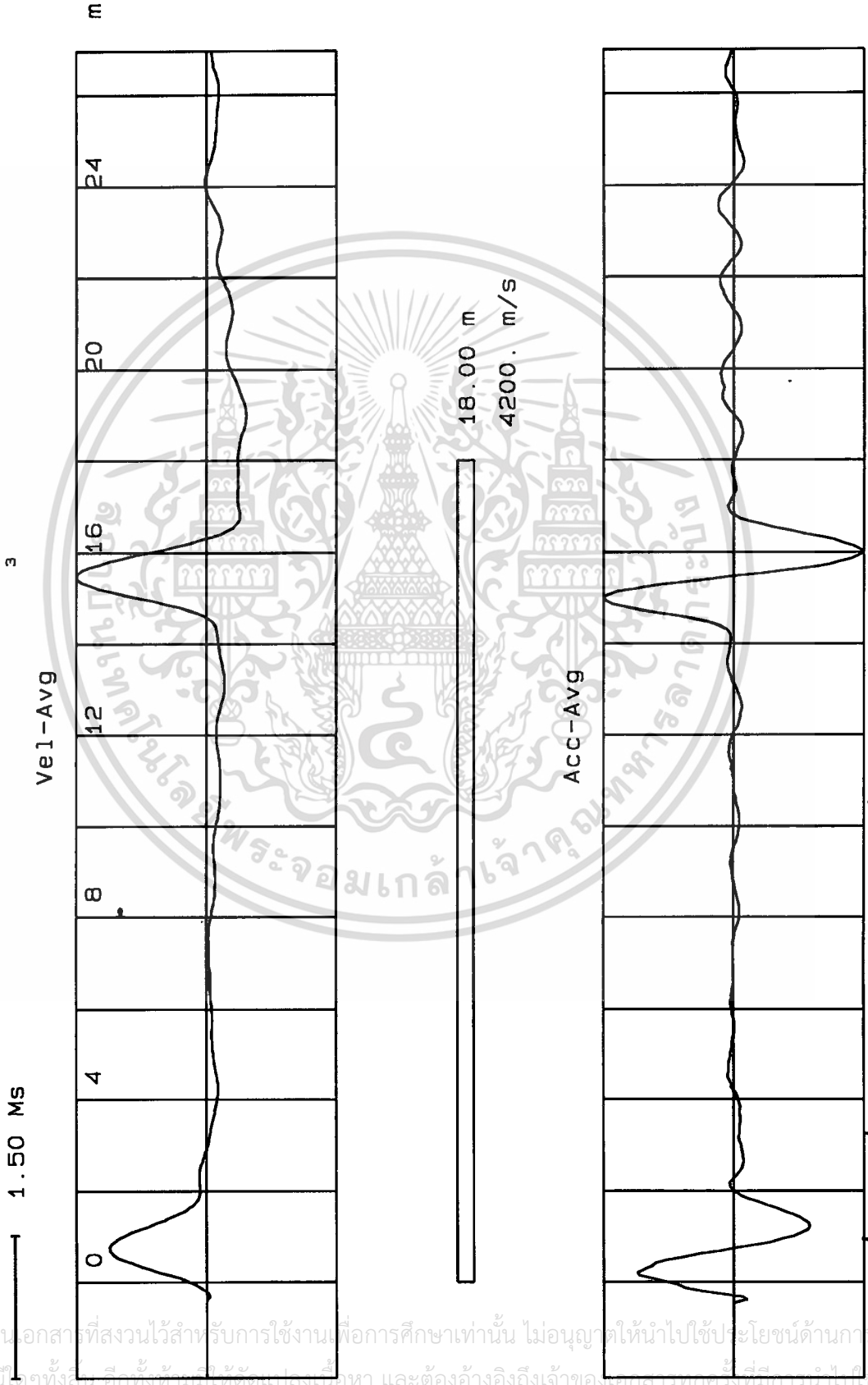
รูปที่ 6.10 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสา เข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลาย

เสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: SP  
Loc: SG22  
Date: 02/02/96

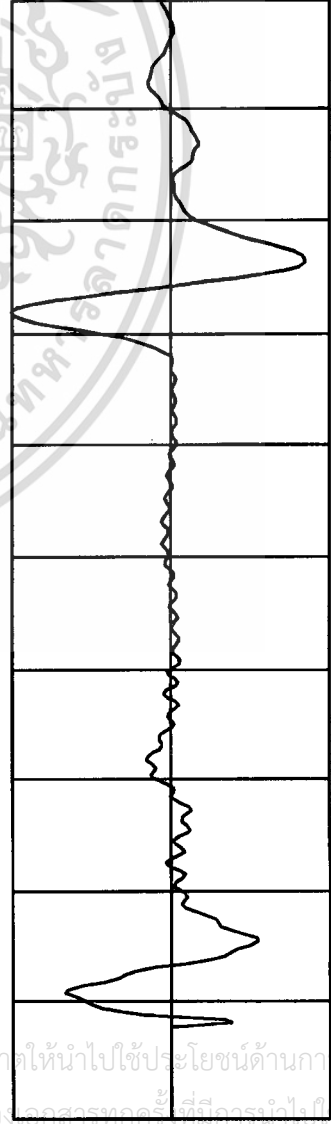
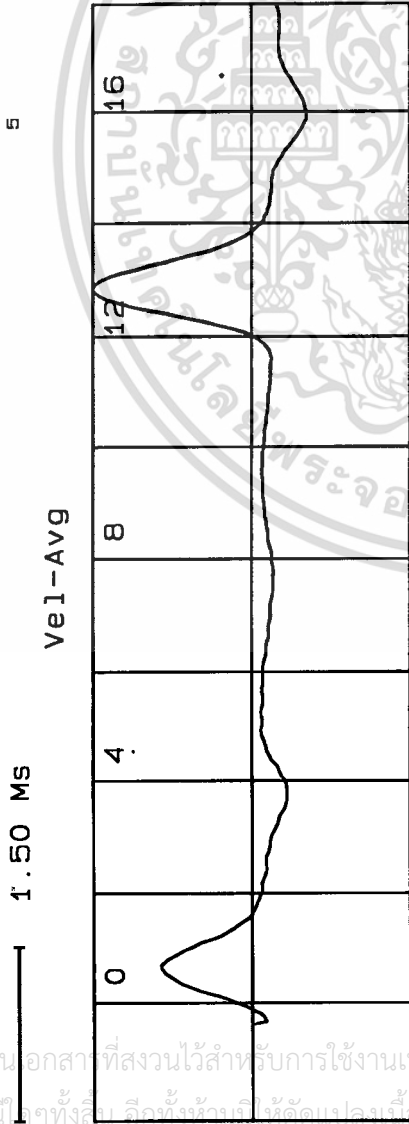
Pile: P1  
Other: VEL ONLY  
BN  
1 Blow



รูปที่ 6.11 คัดนสัญญาณแสดงลักษณะของเสา ซึ่งมีไม่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: SP -Pile: P3  
 Loc: SQ35 Other: VEL ONLY  
 Date: 02/02/96 BN 1 Blow



รูปที่ 6.12 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกค่าแอมพลิจูดของเสาเข็มได้



# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: ROMKAOW

Loc: I26

Date: 12/21/95

Pile: P2

Other: VEL ONLY

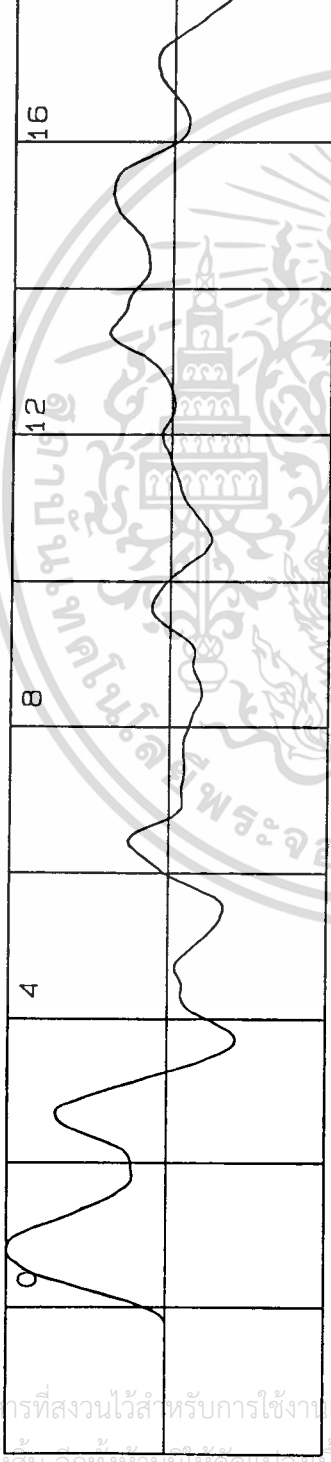
BN

1 Blow

1.20 Ms

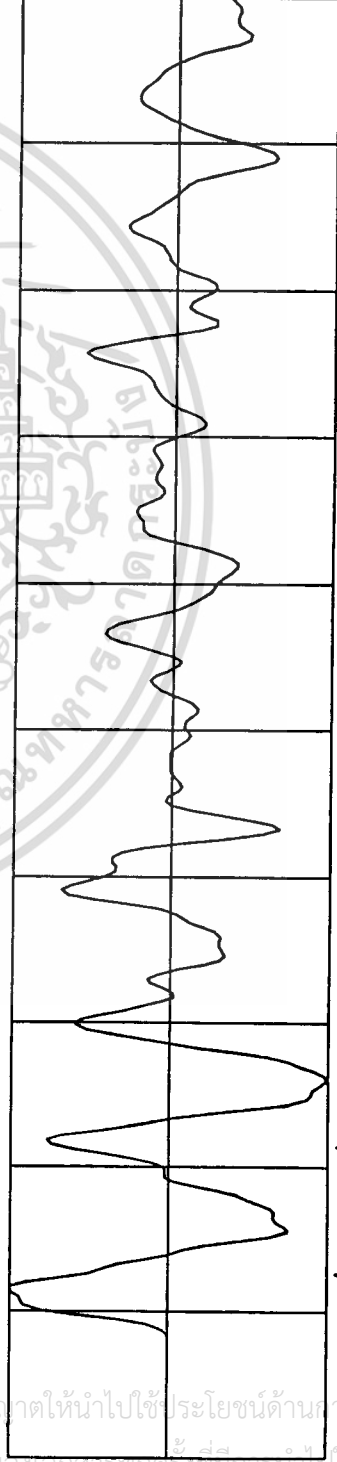
3

Vel-Avg



12.00 m  
4000 m/s

Acc-Avg



รูปที่ 6.13 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความยาวประมาณ 2.40 เมตร

และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

m ที่ความลึก 2.4 เมตร  $\alpha = 0.35$

$$\text{จากสมการ } \beta = (1 - \alpha) / (1 + \alpha)$$

$$= (1 - 0.35) / (1 + 0.35)$$

$$= 0.49$$

แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้มีความยาวพอ

ซึ่งอาจเกิดจากรอยร้าว ควรทำการ

ตรวจสอบเสาเข็มด้วยวิธีอื่น และทำ

การซ่อมแซมแก้ไขภายใต้การควบคุม

ของวิศวกร

Project: ROMKAOW

Pile: P3

Loc: I30

Other: VEL ONLY

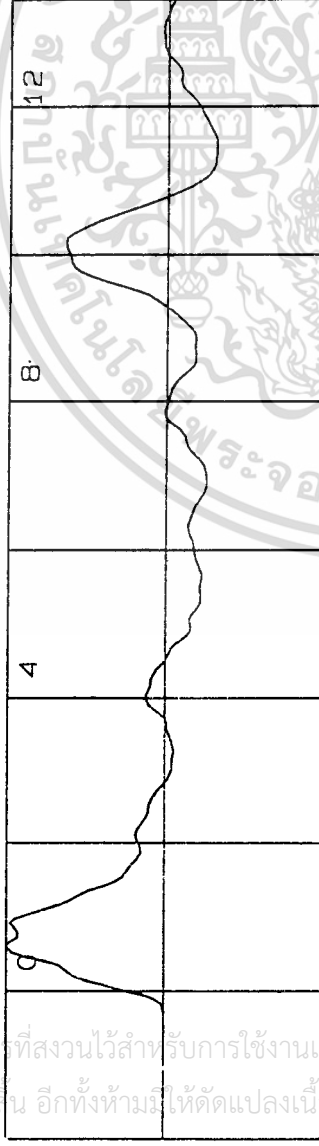
Date: 12/21/95

BN 1 Blow

1.20 Ms

5

Vel-Avg



๓ ที่ความลึก 4.0 เมตร  $\alpha = 0.06$

จากสมการ  $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$

$= (1-0.06)/(1+0.06)$

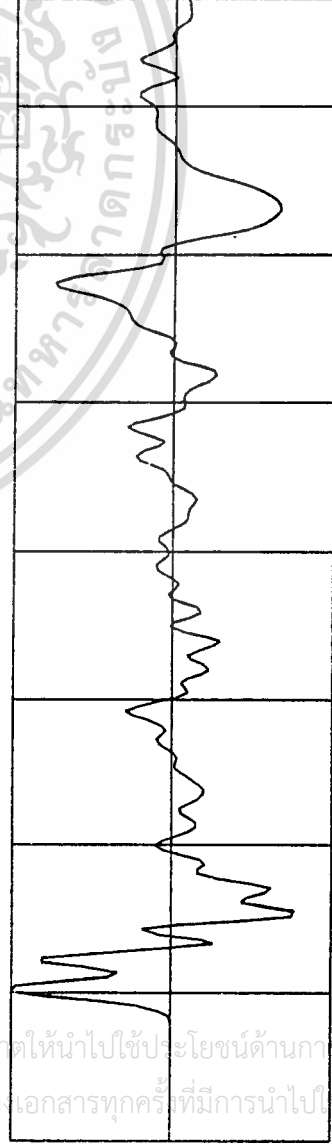
$= 0.89$

แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้สามารถนำไปใช้งานได้

9.00 m

4000 m/s

ACC-AVG



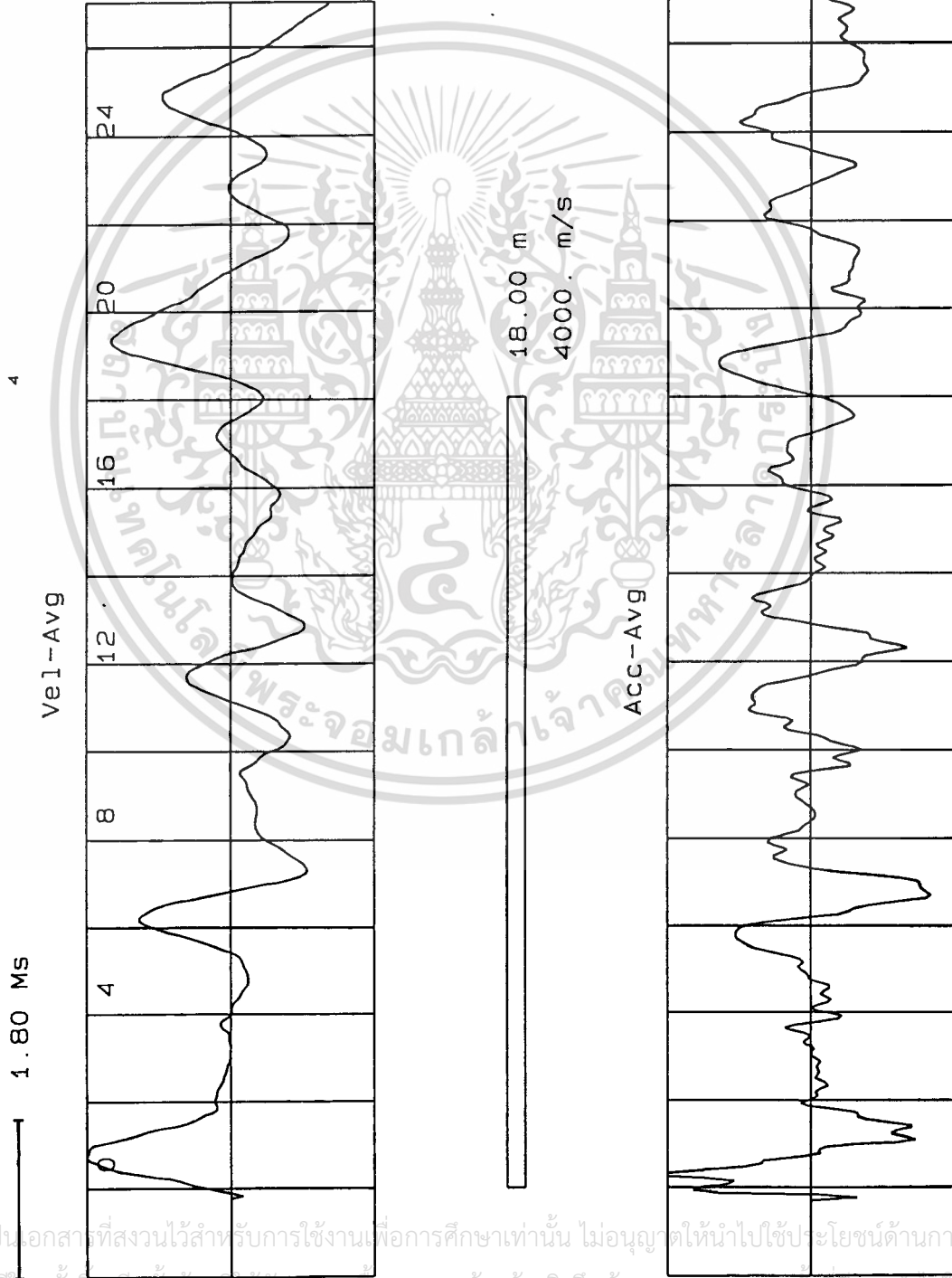
รูปที่ 6.14 คลื่นสัญญาณแรงดัดงอของเสาเข็มที่มีความยาวประมาณ 4.0 เมตร

และ สามารถบอกค่าแรงดัดงอเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: ROMKAOW  
 Loc: I30  
 Date: 12/21/95

Pile: P10  
 Other: VEL ONLY  
 BN 1 Blow



มีความลึก 5.56 เมตร  $\alpha = 0.32$   
 จากสมการ  $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$   
 $= (1-0.32)/(1+0.32)$   
 $= 0.52$

แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่ง  
 อาจเกิดการรบกวน หรือ คิวรทำการตรวจ  
 สอบเสาเข็มด้วยวิธีอื่น และทำการซ่อมแซม  
 แก้ไขภายใต้การควบคุมของวิศวกร

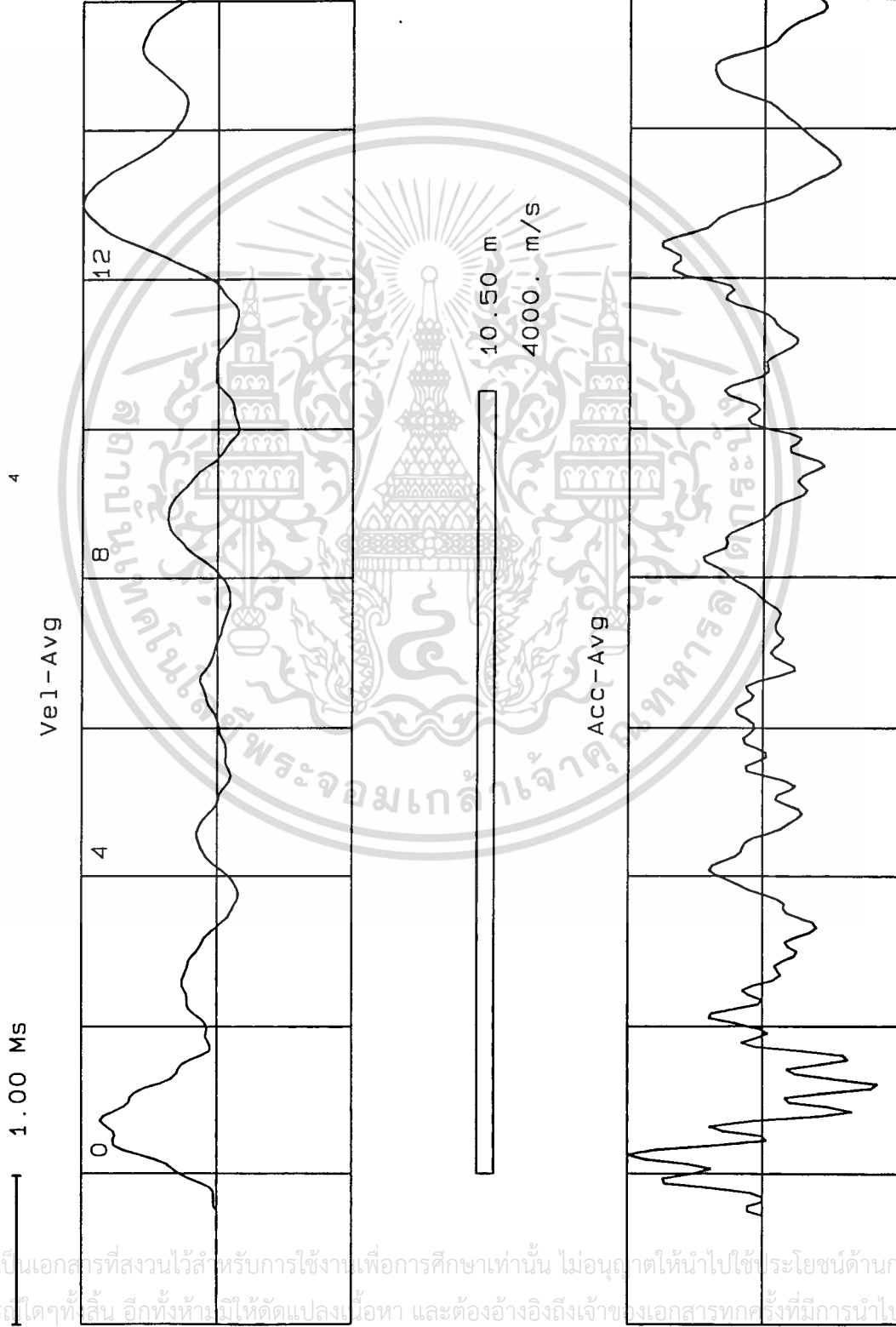
รูปที่ 6.15 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ที่มีความลึกประมาณ 5.56 เมตร

และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: ROMKAOW  
 Loc: I35  
 Date: 12/21/95

Pile: P9  
 Other: VEL ONLY  
 BN  
 1 Blow



๓ ที่ความลึก 2.5 เมตร  $\alpha = 0.16$   
 จากสมการ  $\beta = (1 - \alpha) / (1 + \alpha)$   
 $= (1 - 0.16) / (1 + 0.16)$   
 $= 0.72$

แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้มี**ความบกพร่อง**  
**ซึ่งอาจเกิดจากรอยร้าว** ควรทำการ  
**ตรวจสอบเสาเข็มด้วยวิธีอื่น** และทำ  
**การซ่อมแซมแก้ไข**ภายใต้การควบคุม  
**ของวิศวกร**

รูปที่ 6.16 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 2.5 เมตร  
 และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: ROMKAOW

Pile: P4

Loc: I40

Other: VEL ONLY

Date: 12/21/95

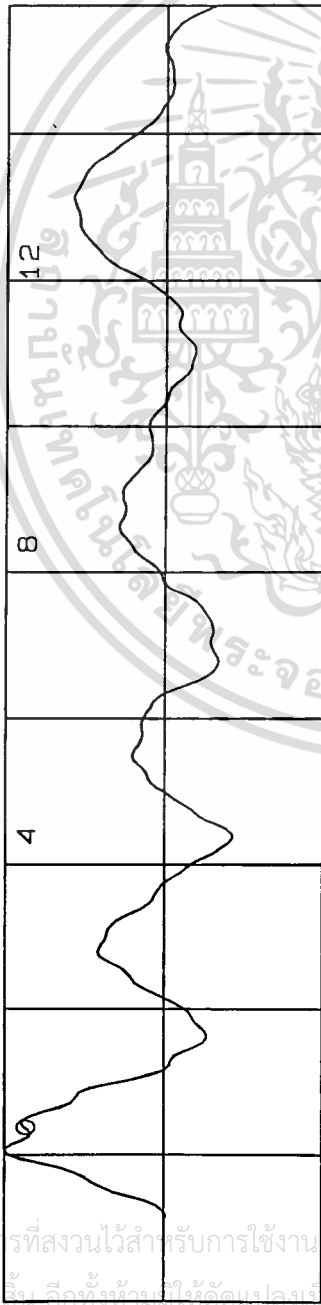
BN

1 Blow

1.20 Ms

a

Vel-Avg



m ที่ความลึก 2.92 เมตร  $\alpha = 0.20$

$$\text{จากสมการ } \beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$$

$$= (1-0.20)/(1+0.20)$$

$$= 0.67$$

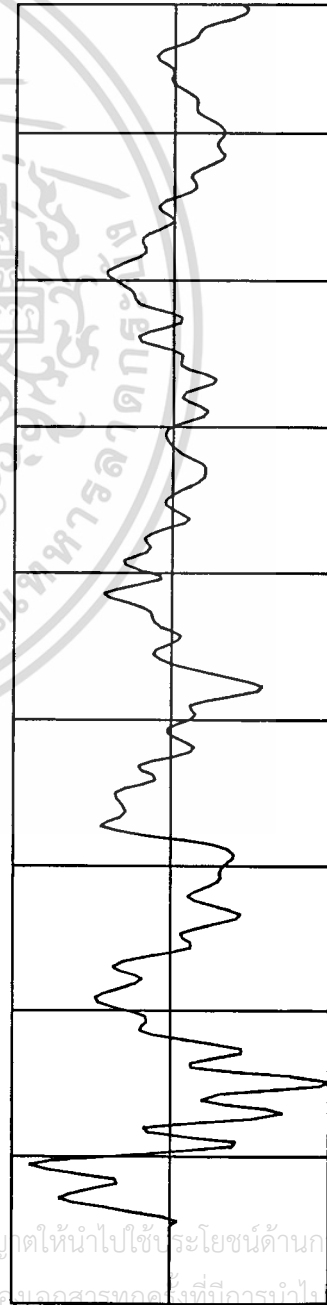
แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้มีความบกพร่อง ซึ่งอาจ

เกิดจากรอยร้าว การทำการตรวจจสอบเสา

เข็มด้วยวิธีอื่น และทำการซ่อมแซมแก้ไขภายใต้การควบคุม

ของวิศวกร

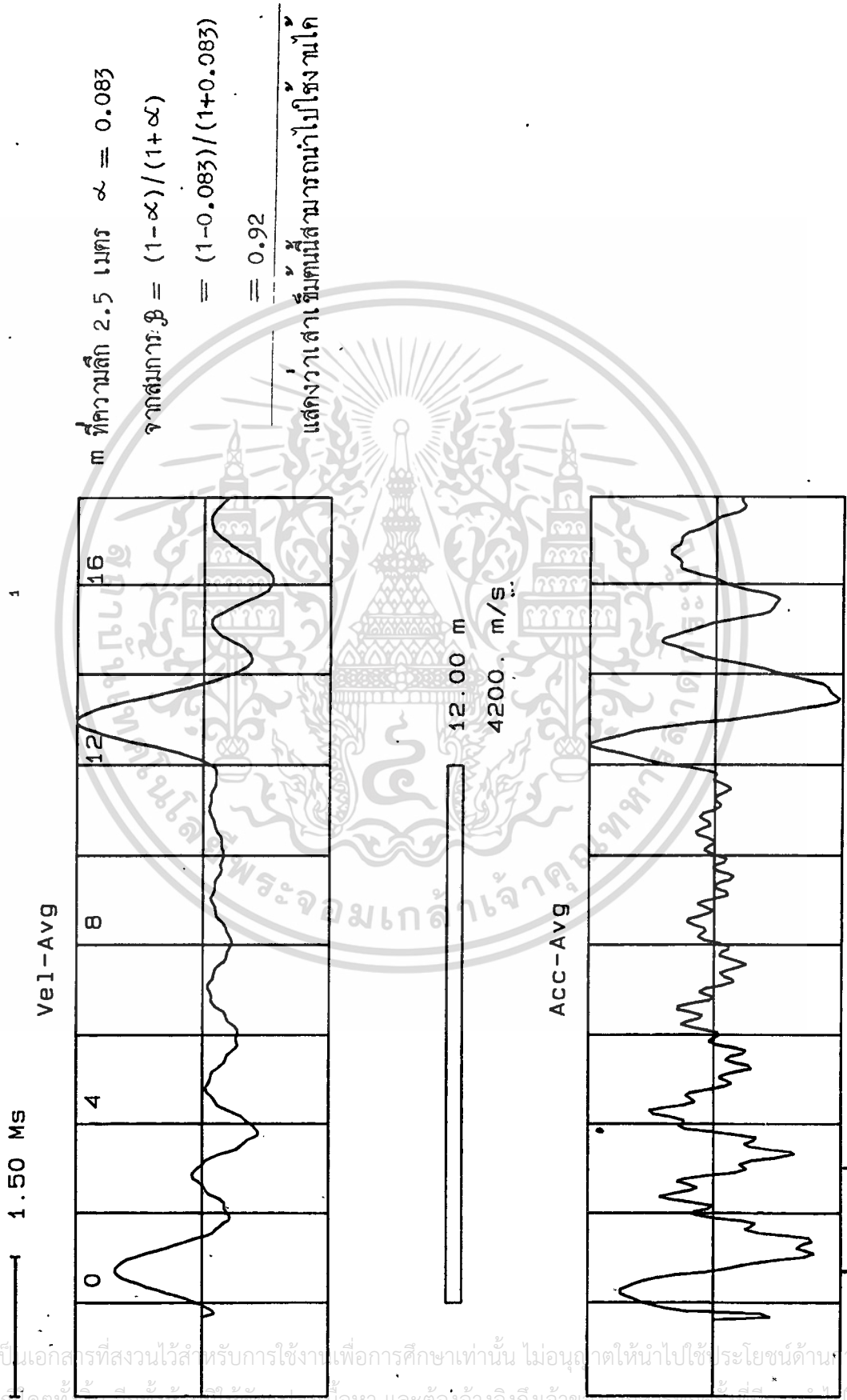
Acc-Avg



รูปที่ 6.17 คัดสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 2.92 เมตร

และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

Project: SP  
 Loc: SQ35  
 Date: 02/02/96  
 Other: BN  
 Pile: P2  
 Other: VEL ONLY  
 1 Blow



รูปที่ 6.18 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสา เข็มที่มีความบวมพร้อมที่ความลึกประมาณ 2.5 เมตร และสามารถบอกค่าแห่งของปลายเสา เข็มได้

Project: NIPPON  
 Loc: SP350

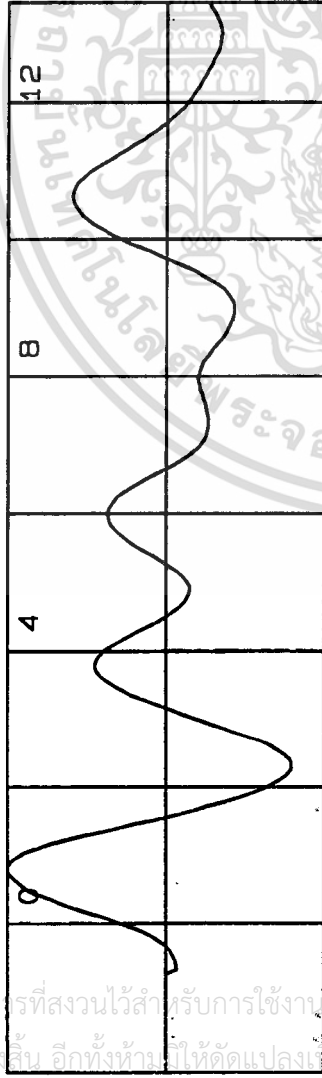
Pile: P17  
 Other: VEL ONLY

Date: 02/14/96

BN 1 Blow

1.20 Ms

Vel-Avg

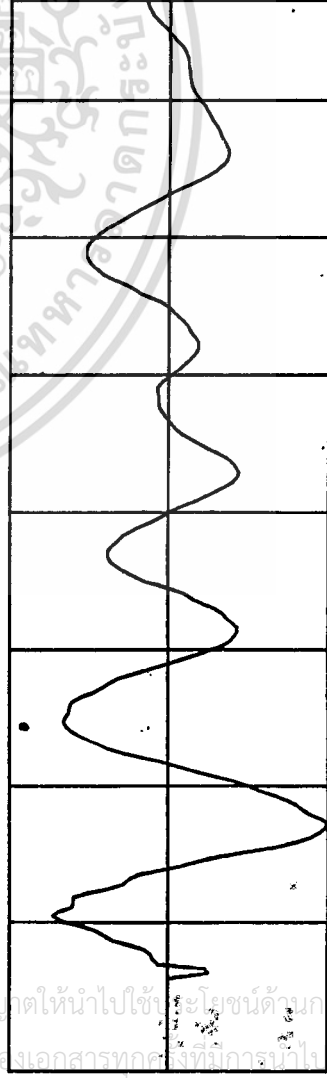


ความถี่ 3.10 เมตร  $\alpha = 0.166$   
 จากสมการ  $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$   
 $= (1-0.166)/(1+0.166)$   
 $= 0.85$

แสดงว่าเสาเข็มนี้สามารถนำไปใช้งานได้

9.00 m  
 4300. m/s

Acc-Avg



รูปที่ 6.19 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความยาวประมาณ 3.10 เมตร  
 และไม่สามารถบอกค่าแอมพลิจูดของเสาเข็มได้

Project: NIPPON  
 Loc: SP600

Pile: P13  
 Other: VEL ONLY

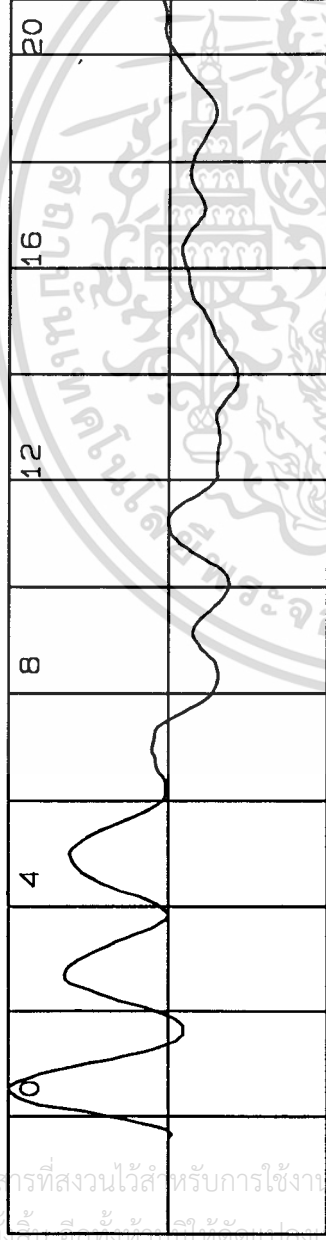
Date: 02/14/96

BN 1 Blow

1.50 Ms

4

Vel-Avg

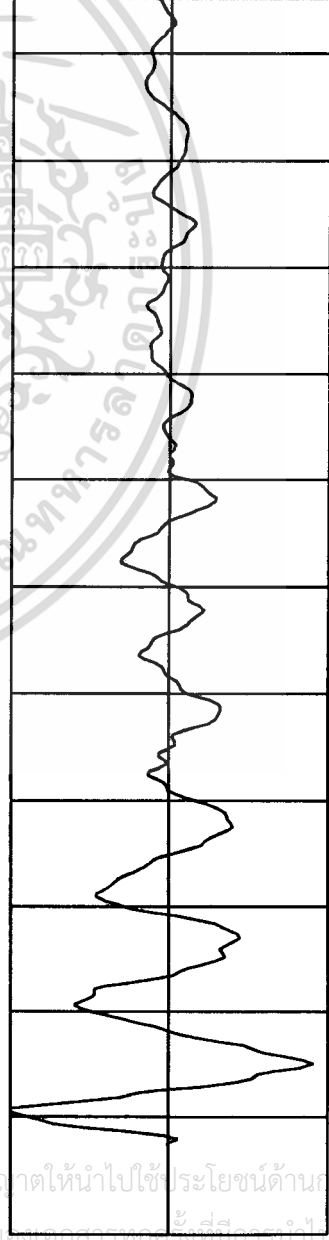


m ที่ความลึก 2.21 เมตร  $\alpha = 0.333$   
 จากสมการ  $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$   
 $= (1-0.333)/(1+0.333)$   
 $= 0.50$

แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้มีความบกพร่อง ซึ่งอาจเกิดจากรอยร้าว ควรทำการตรวจสอบเสาเข็มด้วยวิธีอื่น และทำการซ่อมแซมแก้ไขภายใต้การควบคุมของวิศวกร

14.00 m  
 4400. m/s

Acc-Avg



รูปที่ 6.20 คัดสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ความลึกประมาณ 2.21 เมตร

และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

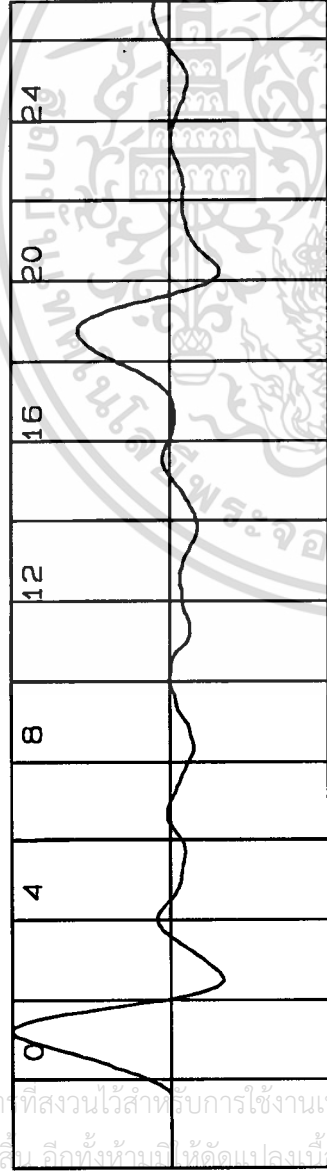
# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: NIPPON Pile: P5  
 Loc: SP600 Other: VEL ONLY  
 Date: 02/14/96 BN 1 Blow

2.00 Ms

3

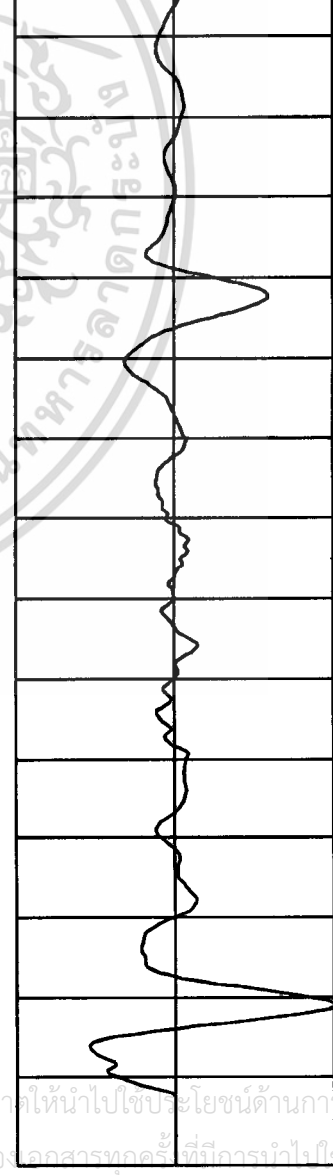
Vel-Avg



ที่ความลึก 0.86 เมตร  $\alpha = 0.083$   
 จากสมการ  $\beta = (1-\alpha) / (1+\alpha)$   
 $= (1-0.083) / (1+0.083)$   
 $= 0.92$

แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้สามารถนำไปใช้งานได้

Acc-Avg



รูปที่ 6.21 คัดินสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบดพร่องเล็กน้อยที่ระดับความลึกประมาณ 0.86 เมตร

และปรากฏปลายเสาเข็มที่มีความลึกประมาณ 18.00 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project: NIPPON  
 Loc: SP300

Pile: P6  
 Other: VEL ONLY

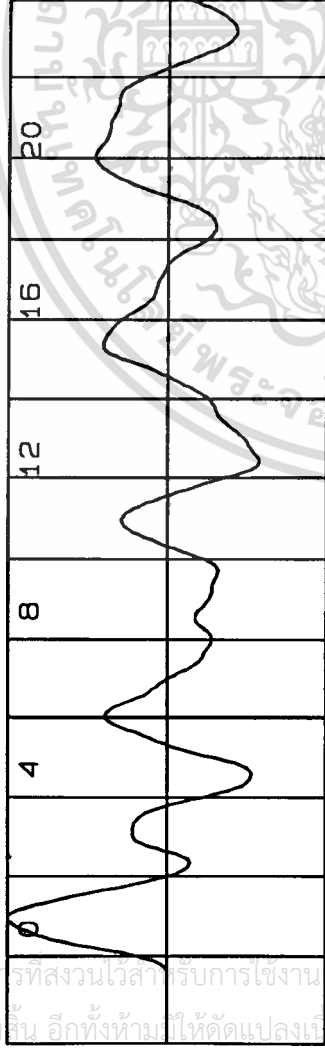
Date: 02/14/96

BN 1 BLOW

2.00 Ms

3

Vel-AVG



m ที่ความลึก 5.50 เมตร  $\alpha = 0.20$

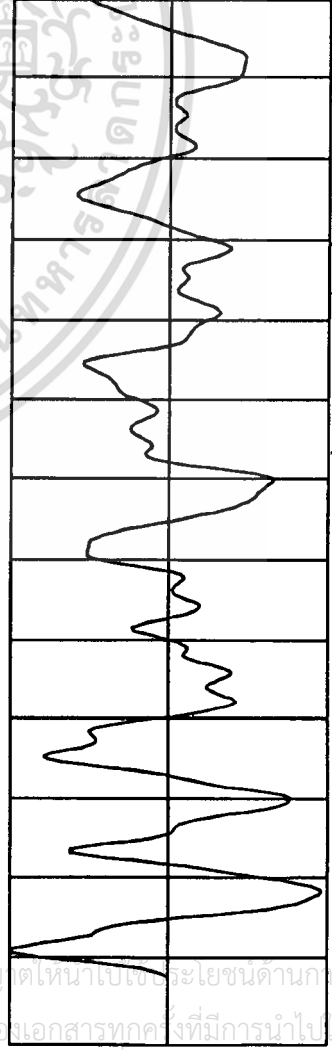
จากสมการ  $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$

$= (1-0.20)/(1+0.20)$

$= 0.67$

แสดงว่าเสาเข็มที่มีความยาว 5.50 เมตร จะเกิดจากการรวมของเสาเข็มความยาว 16.00 เมตร และเสาเข็มความยาว 16.00 เมตร ซึ่งจะทำให้เสาเข็มมีความยาวรวมเป็น 32.00 เมตร

ACC-AVG



รูปที่ 6.22 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความยาวประมาณ 5.50 เมตร

และไม่สามารถกำหนดค่าของเสาเข็มได้

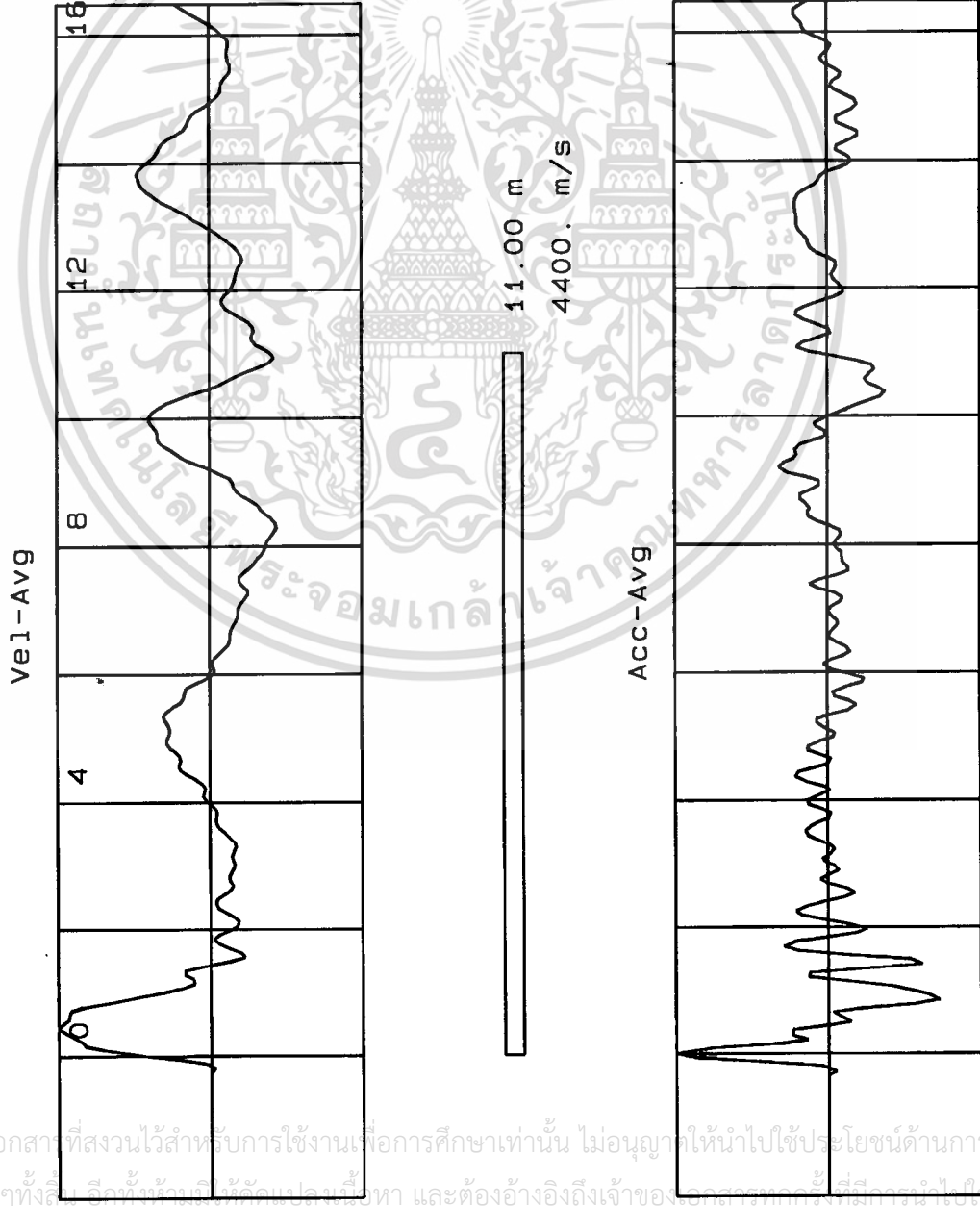
# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: NIPPON  
 Loc: SP500  
 Date: 02/14/96

Pile: P1  
 Other: VEL ONLY  
 BN  
 1 Blow

1.20 Ms

6



ที่ความลึก 4.50 เมตร  $\alpha = 0.25$   
 จากสมการ  $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$   
 $= (1-0.25)/(1+0.25)$   
 $= 0.78$

แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้มีความมั่นคงพอที่จะอาจเกิด  
 รอยร้าวเนื่องจากการทรุด การทำการตรวจสอบ  
 เสาเข็มโดยวิธีอื่น และทำการแก้ไขต่อไป ภายใต้อ  
 การควบคุมของวิศวกร

รูปที่ 6.23 กราฟแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความมั่นคงพอที่จะความลึกประมาณ 4.50 เมตร

สามารถสังเกตเห็นสัญญาณสะท้อนก่อนถึงปลายเข็ม แสดงว่าเกิดการกระทบร่องที่ปลายความลึกประมาณ 10.0 เมตร



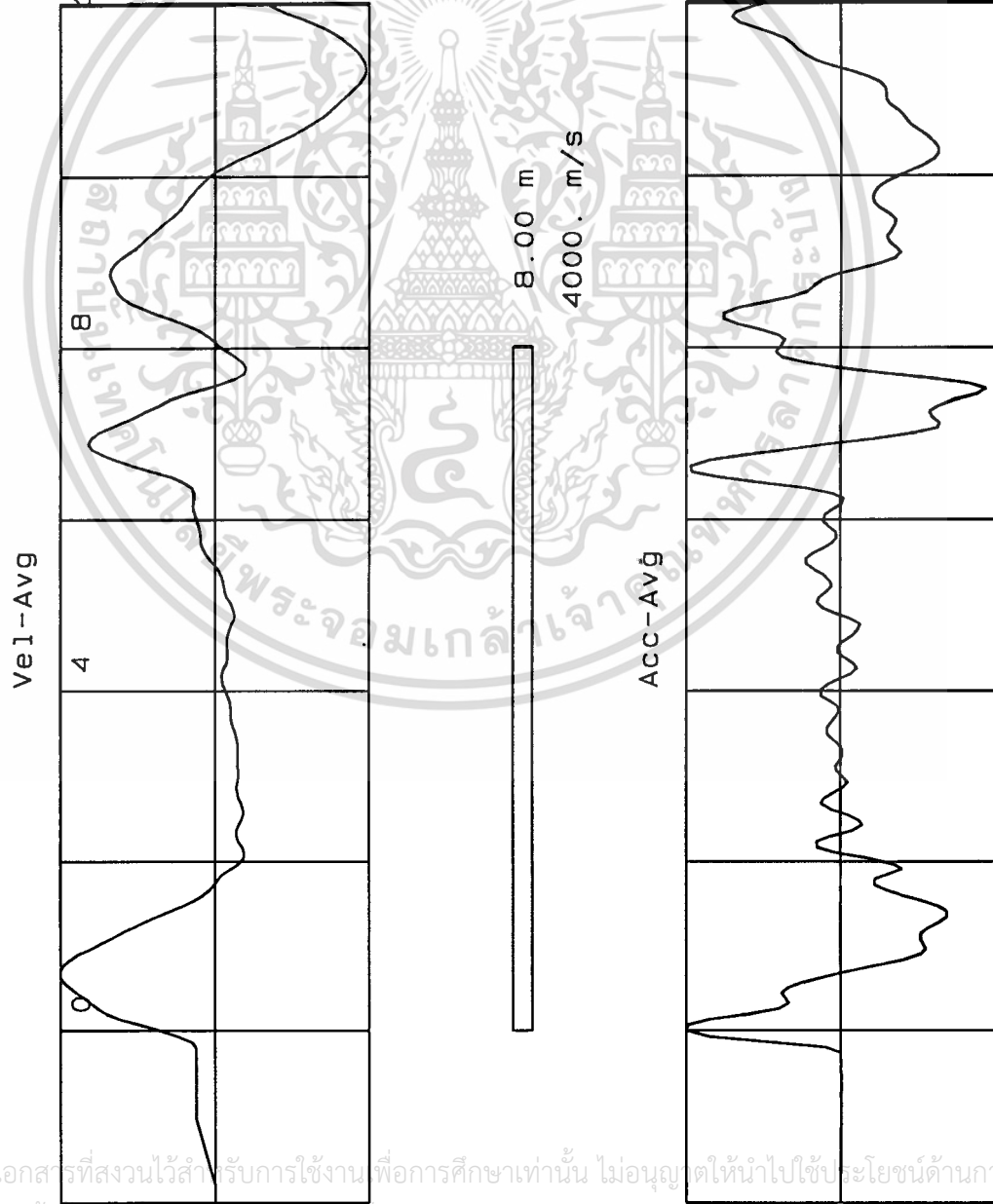
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Project: ROMKAO  
 Loc: I20  
 Date: 12/21/95

Pile: P8  
 Other: VEL ONLY  
 BN 1 Blow

1.00 Ms

2

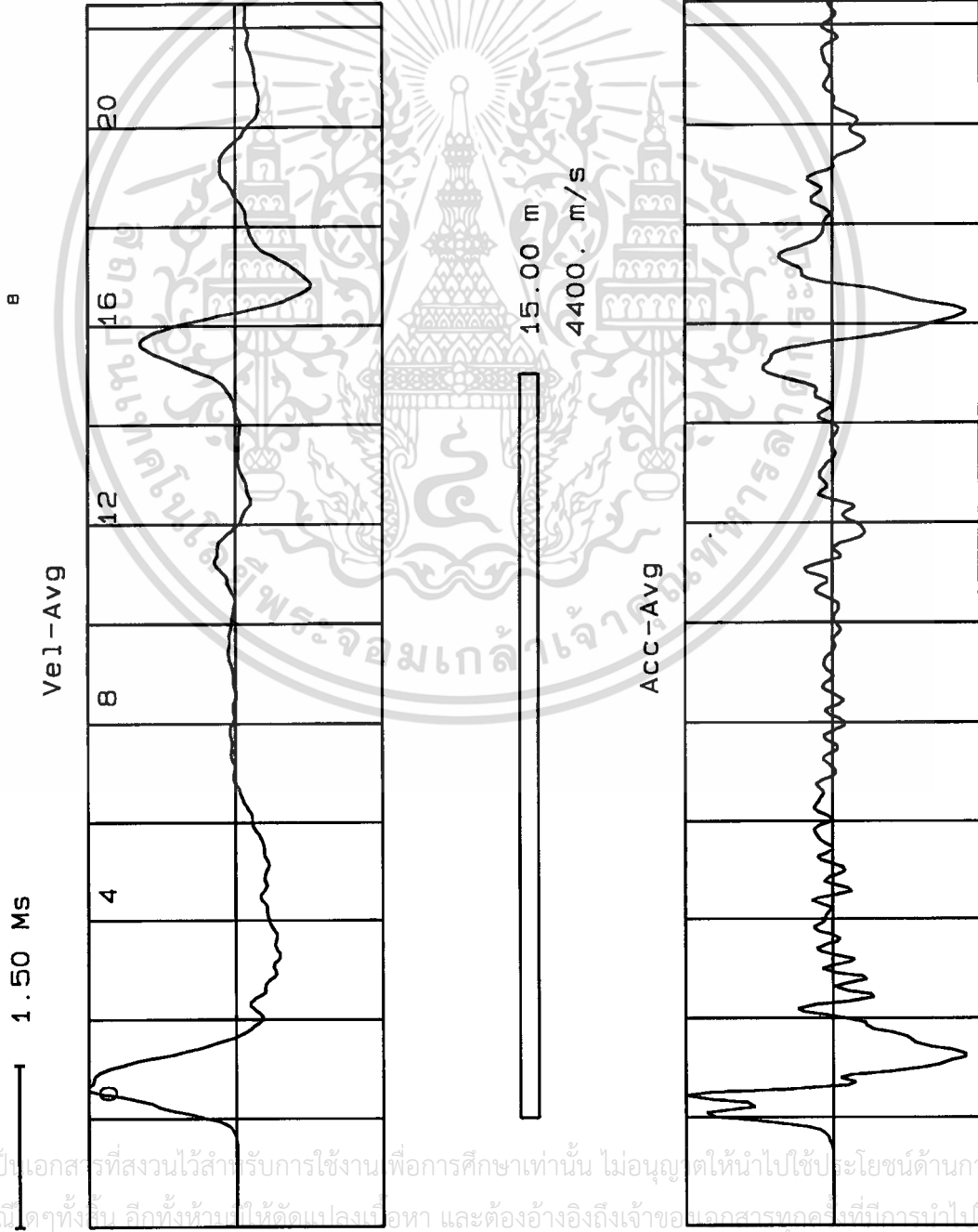


1.2 m ที่ความลึกประมาณ 6.50 เมตร  $\alpha = 0.41$   
 จากสมการ  $\beta = (1 - \alpha) / (1 + \alpha)$ ;  
 $= (1 - 0.41) / (1 + 0.41)$ ;  
 $= 0.42$

แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้มีความบกพร่อง ซึ่งอาจเกิด  
 จากรอยร้าว และทำการตรวจสอบเสาเข็มด้วยวิธีการ  
 อื่น และทำการซ่อมแซมแก้ไขภายใต้การควบคุมของ  
 วิศวกร

รูปที่ 6.24 คัดเส้นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 6.50 เมตร

Project: NIRPON - File: P3  
 Loc: SP400 Other: VEL ONLY  
 Date: 02/14/96 BN 1 Blow



ที่มีความลึก 11.00 เมตร  $\alpha = 0.11$   
 จากสมการ  $\beta = (1 - \alpha) / (1 + \alpha)$   
 $= (1 - 0.11) / (1 + 0.11)$   
 $= 0.81$

แสดงว่าเสาเข็มนี้สามารถนำไปใช้งานได้

รูปที่ 6.25 คลื่นสัญญาณแสดงสัญญาณเสาเข็มที่มีความบดพร้อมที่ระดับความลึกประมาณ 11.00 เมตร และสามารถบอกตำแหน่งที่ปลายเสาเข็มได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

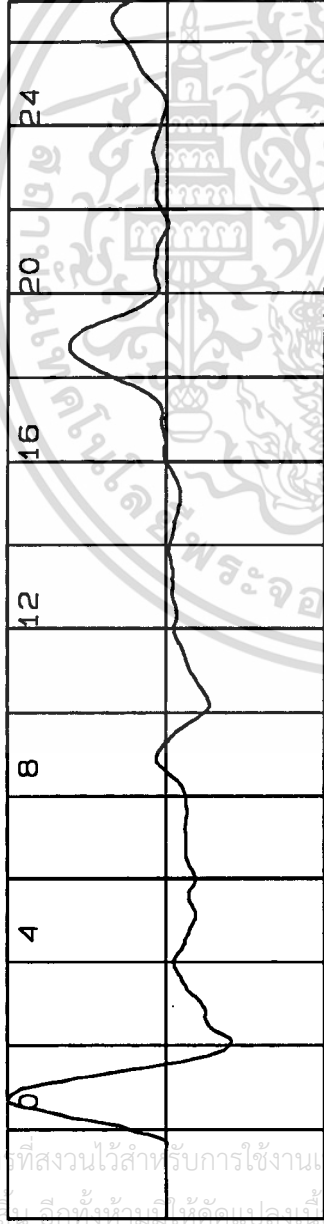
Project: NIPPON  
 Loc: SP800  
 Date: 02/14/96

Pile: P20  
 Other: VEL ONLY  
 BN

1 Blow

2.00 Ms

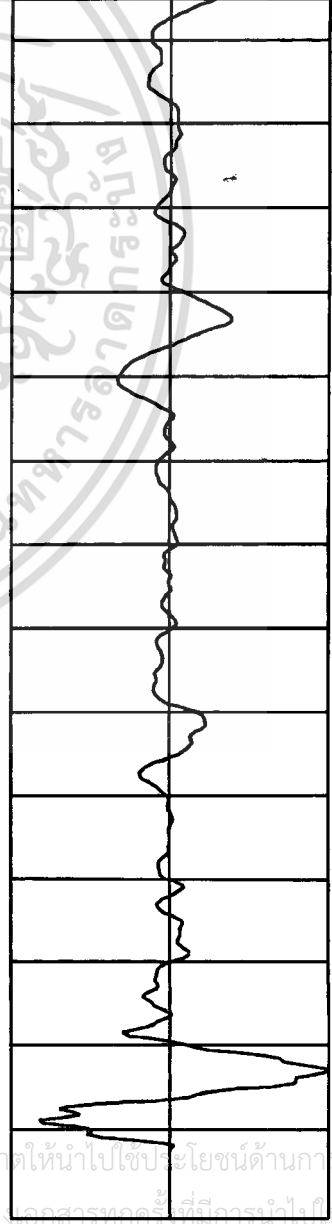
Vel-Avg



มีความลึก 9.00 เมตร  $\alpha = 0.04$   
 จากสมการ  $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$   
 $= (1-0.04)/(1+0.04)$   
 $= 0.92$

แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้สามารถนำไปใช้งานได้

Acc-Avg



รูปที่ 6.26 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 9.00 เมตร

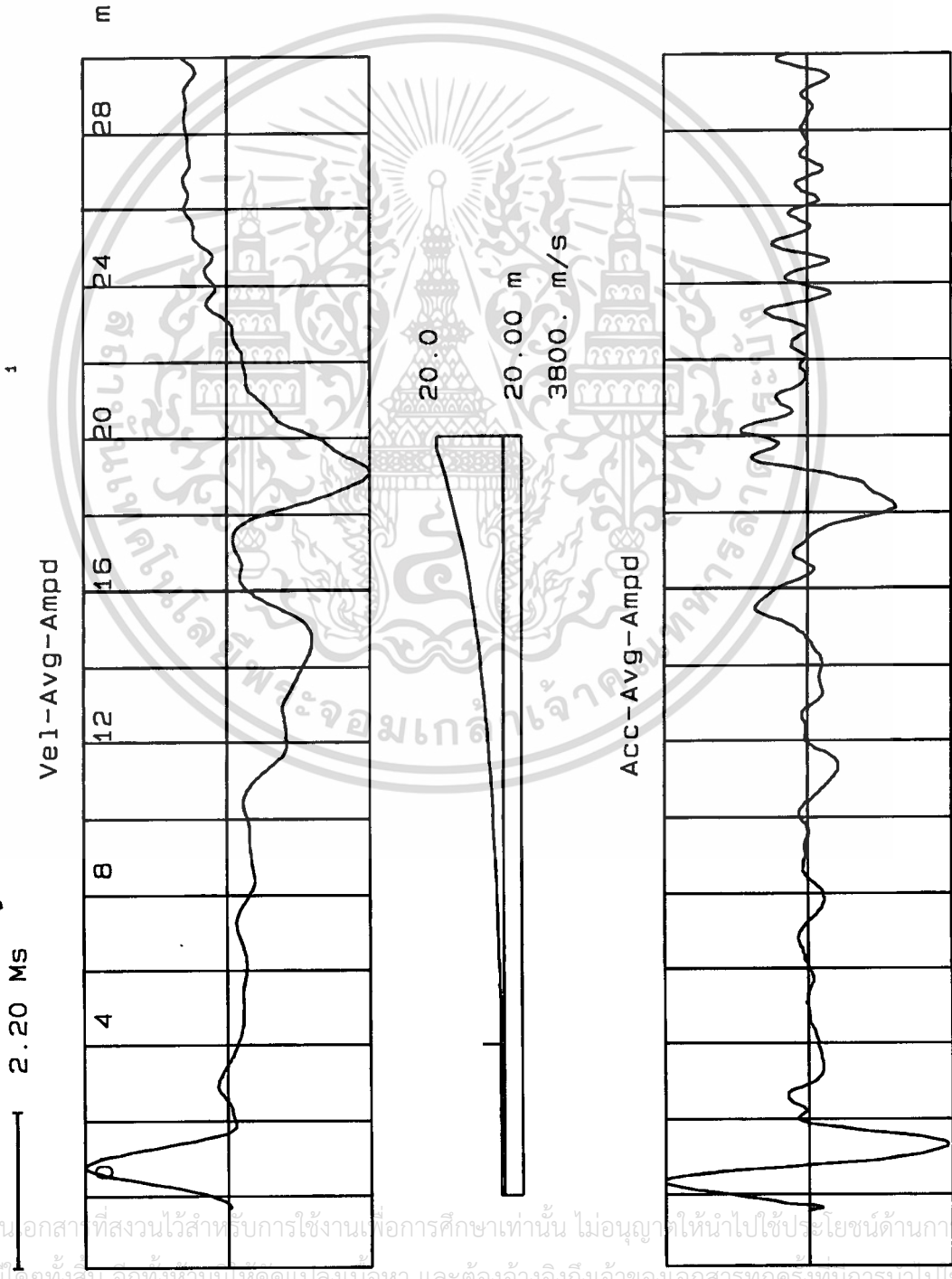
และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: SUKHUMVI Pile: P1  
Loc: BORED35 Other: VEL ONLY  
Date: 03/12/96 BN 1 Blow



รูปที่ 6.27. กราฟแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

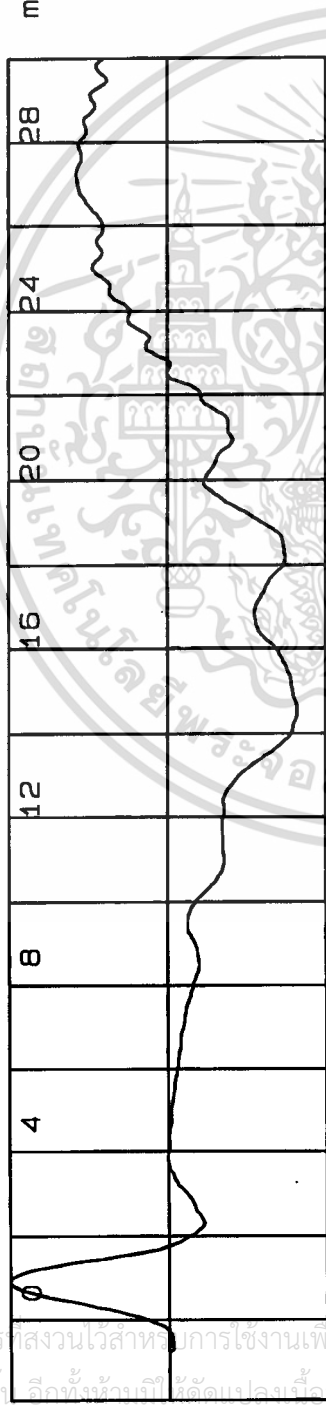
# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: SUKHUMVI  
Loc: BORED35  
Date: 03/12/96

Pile: P2  
Other: VEL ONLY  
BN  
1 Blow

2.20 Ms

Vel-Avg-Ampd

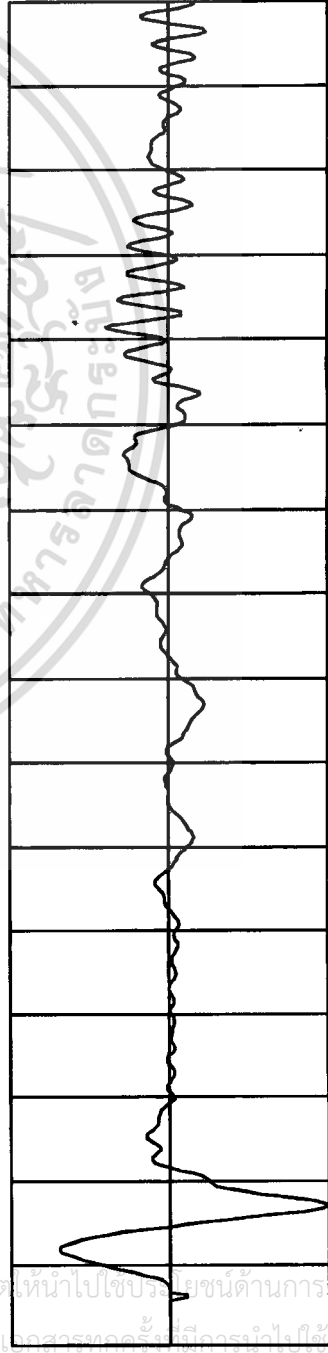


25.0

20.00 m

3800 m/s

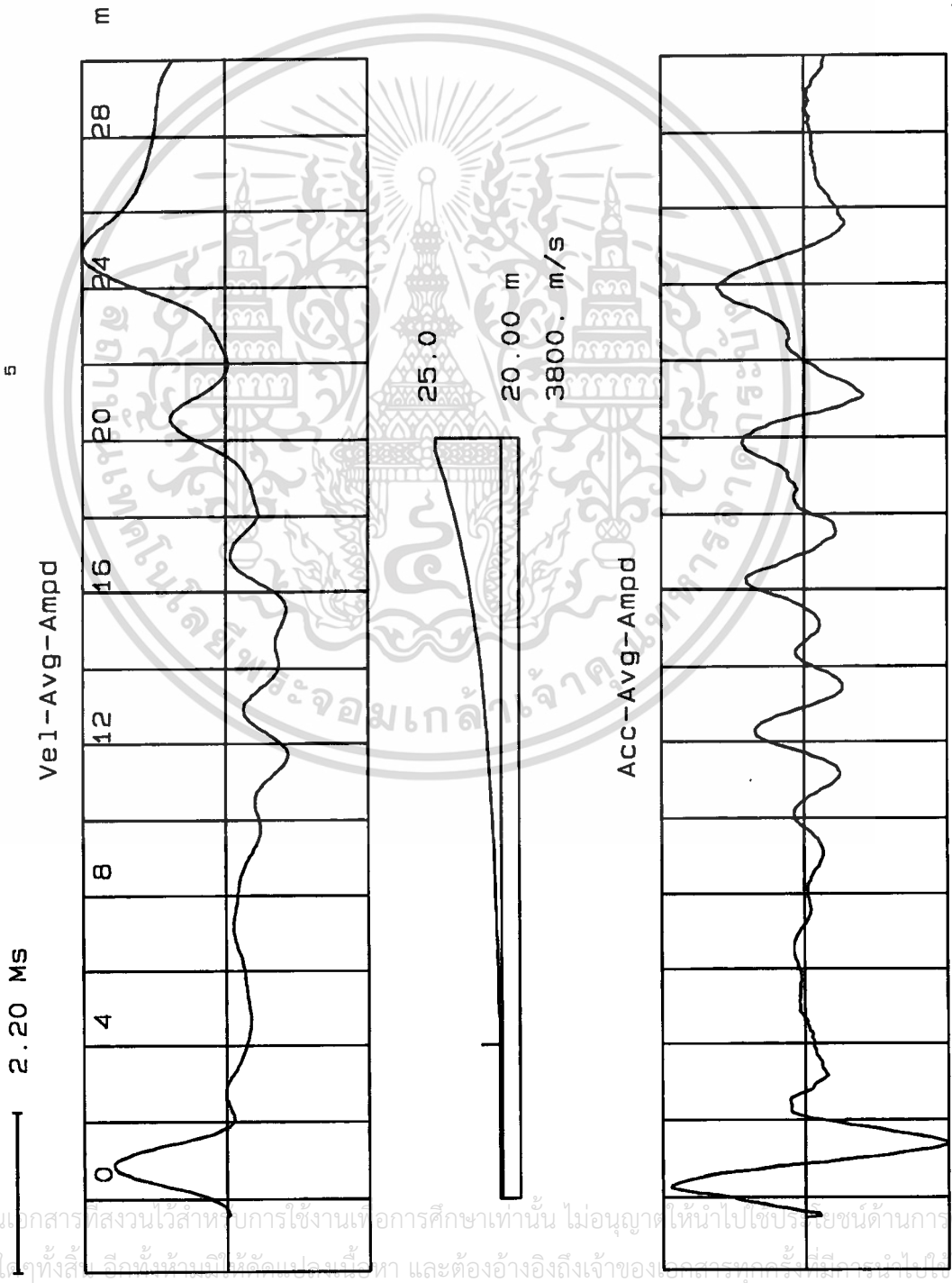
Acc-Avg-Ampd



รูปที่ 6.28 คลื่นสัญญาณแอสกัลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: SUKHUMVI Pile: P3  
 Loc: BORED35 Other: VEL ONLY  
 Date: 03/12/96 BN 1 Blow



รูปที่ 6.29 คัดณัตถุณวมแสดงตักขณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลดขยเสาเข็มได้

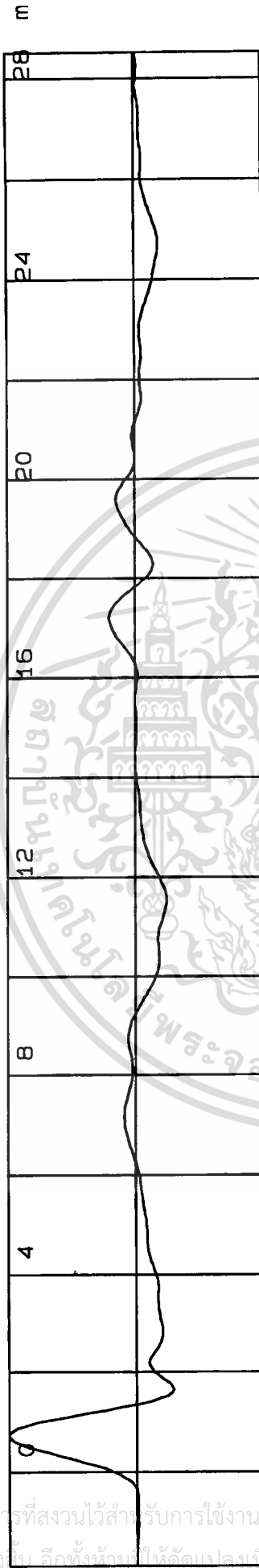
# SJS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: BANGPAKO  
Loc: BOBED.50  
Date: 12/15/95

Pile: P5  
Other: VEL ONLY  
BN 1 Blow

1.50 Ms

Vel-Avg-Ampd

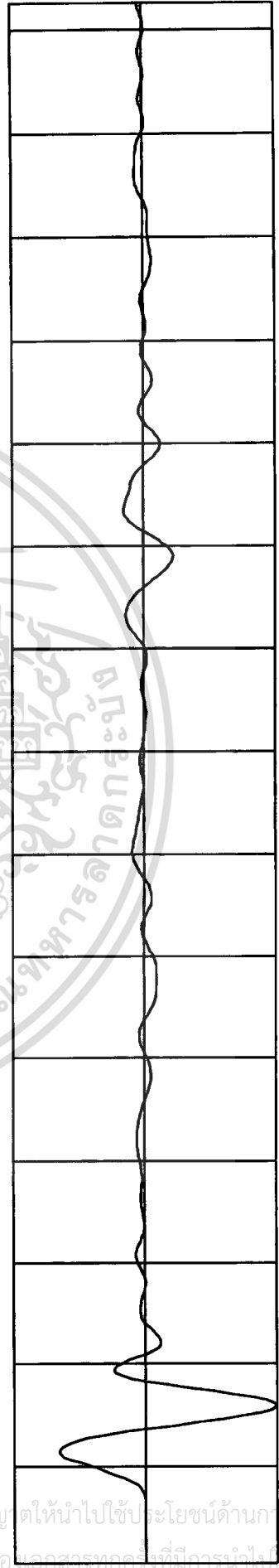


7.0

19.00 m

3800 . m/s

Acc-Avg-Ampd



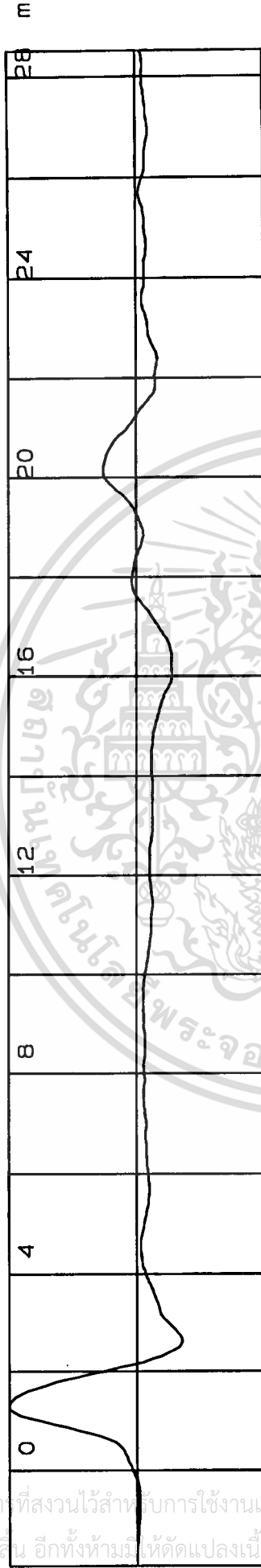
รูปที่ 6.30 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

Project: BANGPAKO  
 Loc: BOBED.50  
 Date: 12/15/95

Pile: P3  
 Other: VEL ONLY  
 BN 1 BLOW

1.50 Ms

Vel-Avg-Ampd

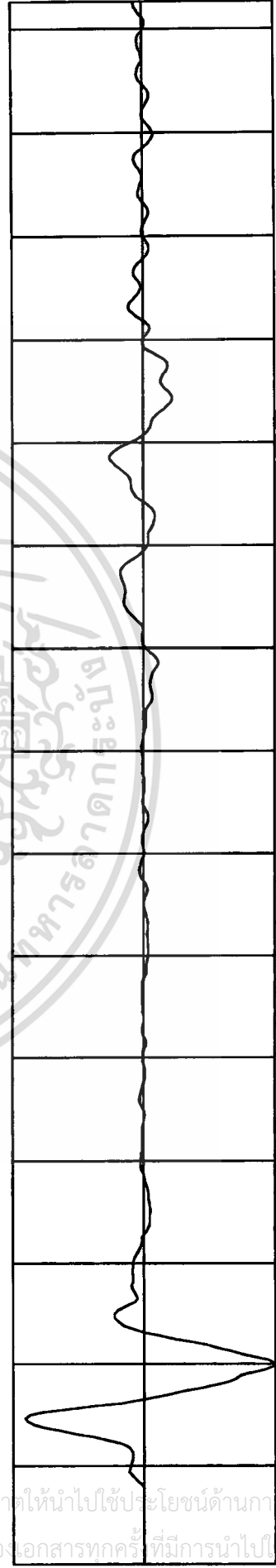


7.0

19.00 m

3800. m/s

Acc-Avg-Ampd



รูปที่ 6.31 คตินัญญาแสดงลักษณะเสา ซึ่งมีควมคมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

STS ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

Project: RUAMRUDI

Pile: P 3

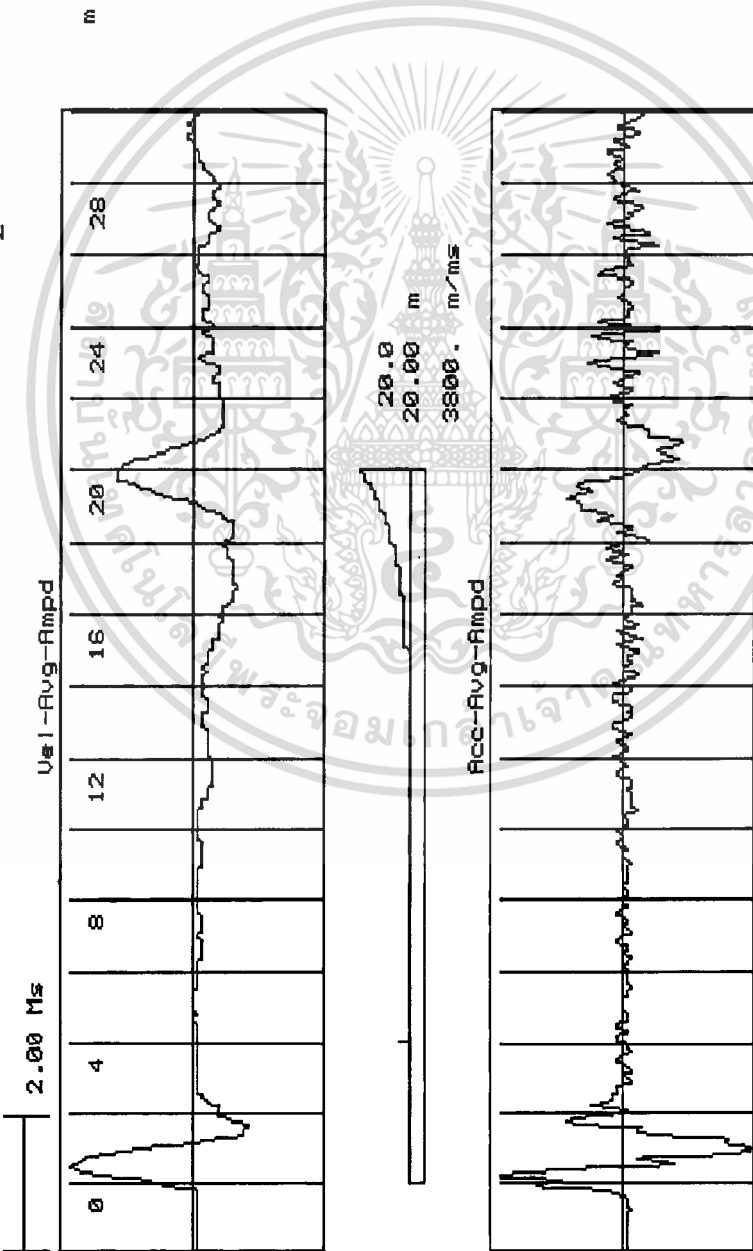
Loc: BORED.60

VEL ONLY

Date: 12/13/95

Avgd 1 Bls

2



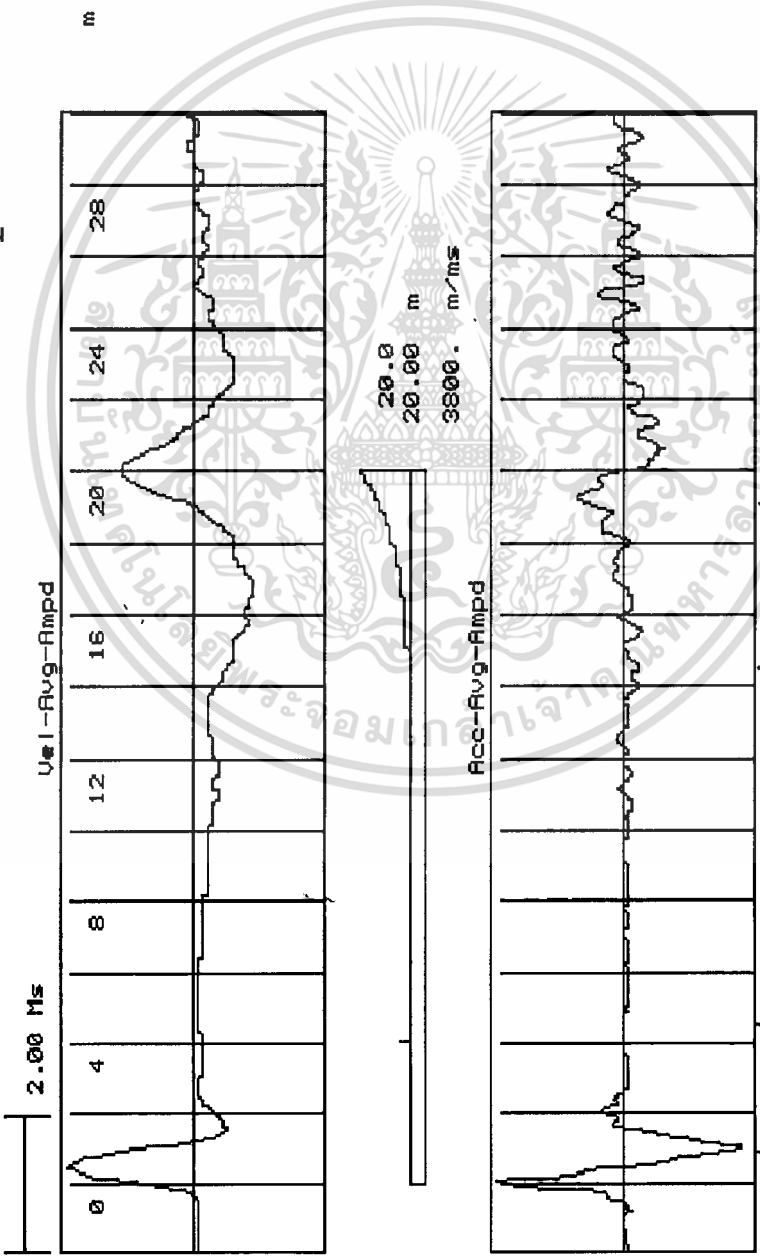
รูปที่ 6.32 คตินสัญญาณแสดงลักษณะเสา เข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกค่าแรงแทงของปลายเสาเข็มได้

SIS ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

Project: RUAMRUDI Pile: P 4 Loc: BORED.60

VEL ONLY Date: 12/13/95 Avgd 1 Bls

2



รูปที่ 6.33 กราฟสัญญาณแสดงลักษณะเสา เข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

STS ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

Project: RUMRUUDI

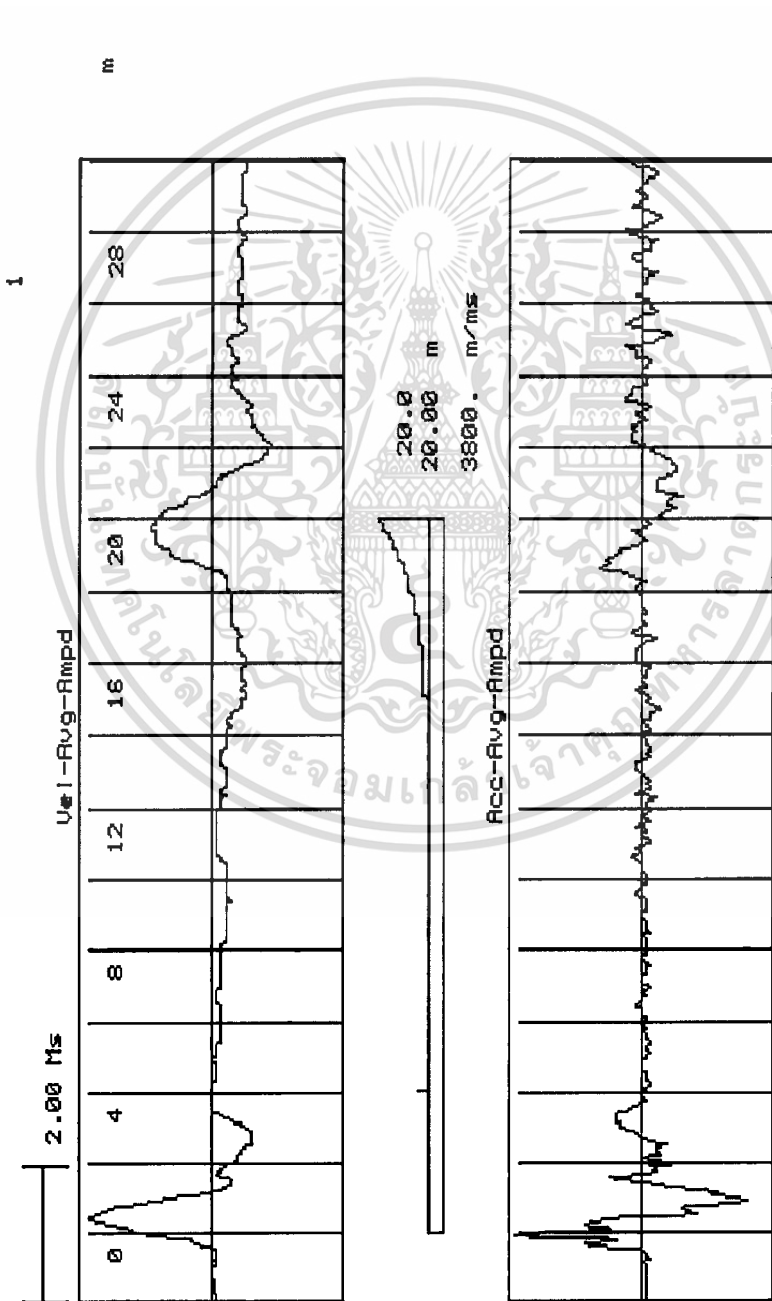
Pile: P 6

Loc: BORED.60

Date: 12/13/95

Avgd 1 Bls

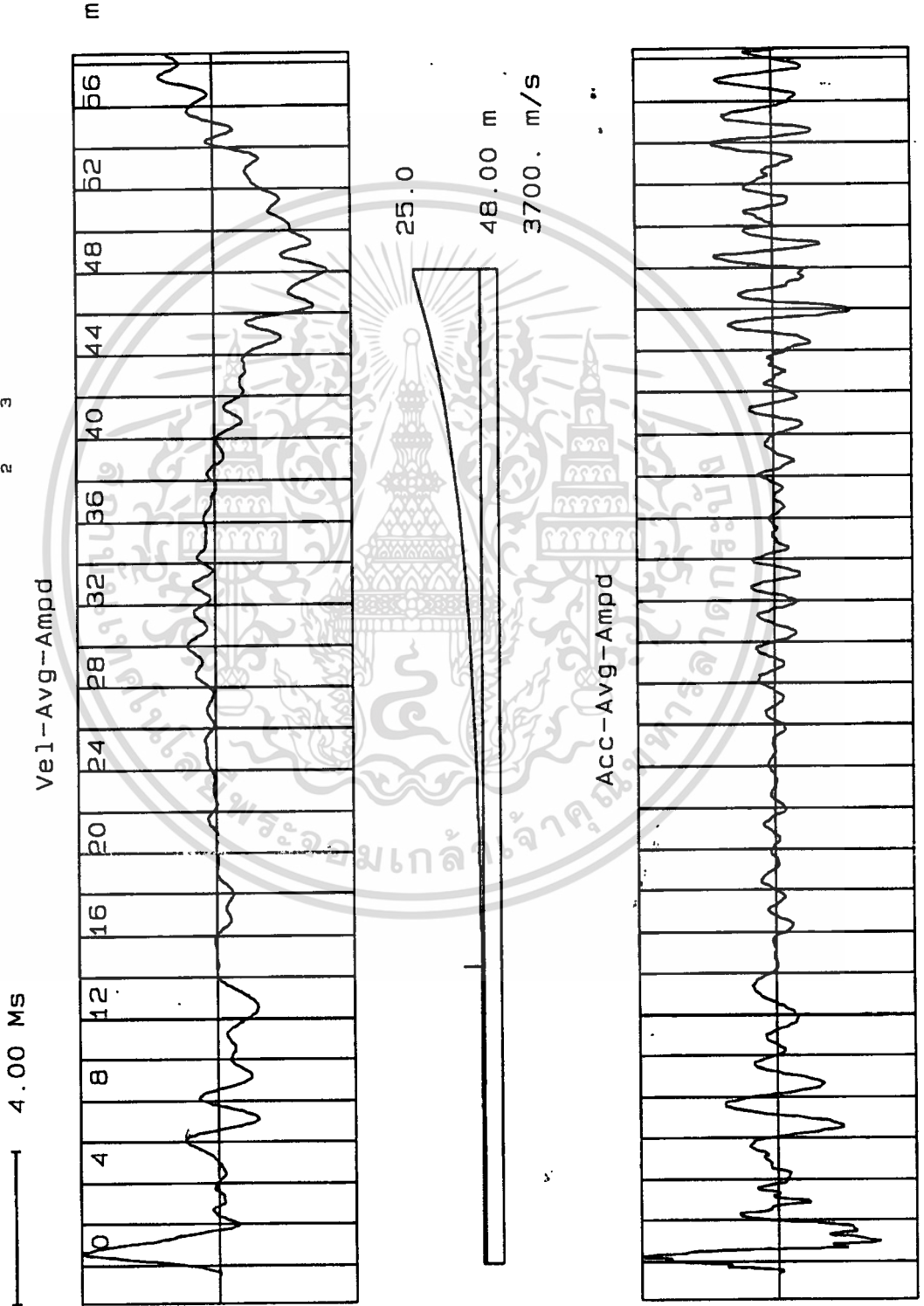
VEL ONLY



รูปที่ 6.34 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสา ซึ่งมีที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: TONSON Pile: P-4  
Loc: BORED1.2 Other: VEL ONLY  
Date: 02/01/96 BN 2 Blow



รูปที่ 6.35 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



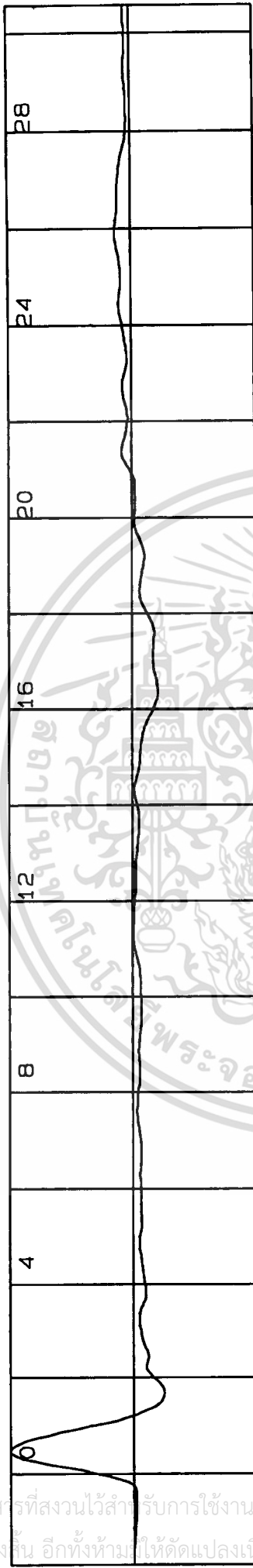
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: ETA  
Loc: BORED.60  
Date: 12/15/95  
Pile: P2  
Other: VEL ONLY  
BN  
1 Blow

1.50 Ms

Vel-Avg-Ampd



7.0

20.40 m

3800. m/s



Acc-Avg-Ampd



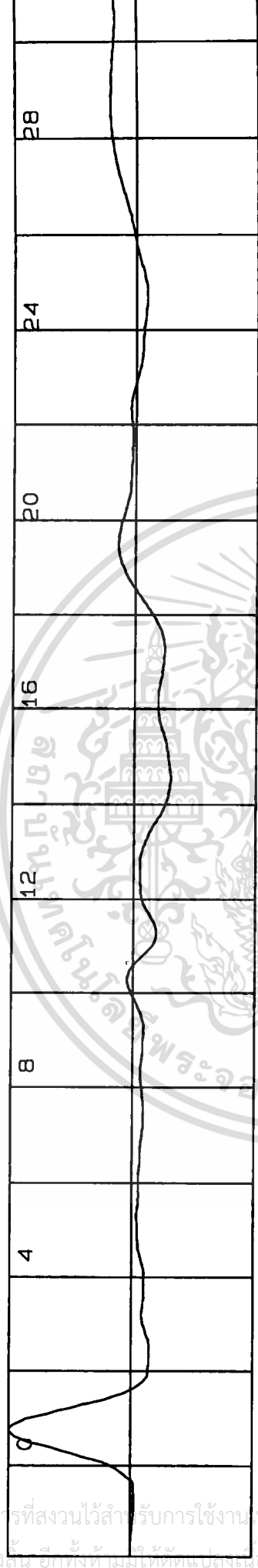
รูปที่ 6.36 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถสังเกตความถี่ของไม่พบสัญญาณที่ปลายเสาเข็ม

# -STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: ETA.  
Loc: BORED.60  
Date: 12/15/95  
Pile: P3  
Other: VEL ONLY  
BN  
1 Blow

1.50 Ms

Vel-Avg-Ampd



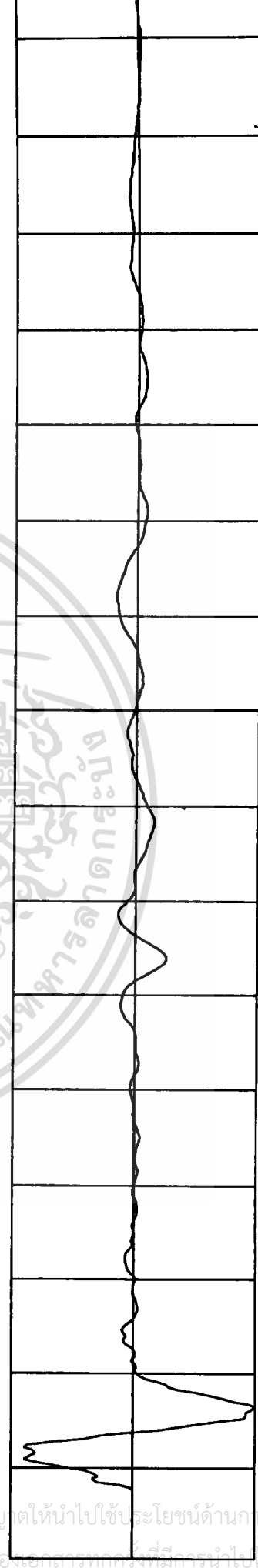
7.0

21.00 m

3800. m/s



Acc-Avg-Ampd



รูปที่ 6.37 คณิศณญาณแแตกงัดกัษณะเสา ซึ่งมีกัษติความสมมูรณ และสามารถบอกค่าแห่งของเสา ซึ่มไม่ได

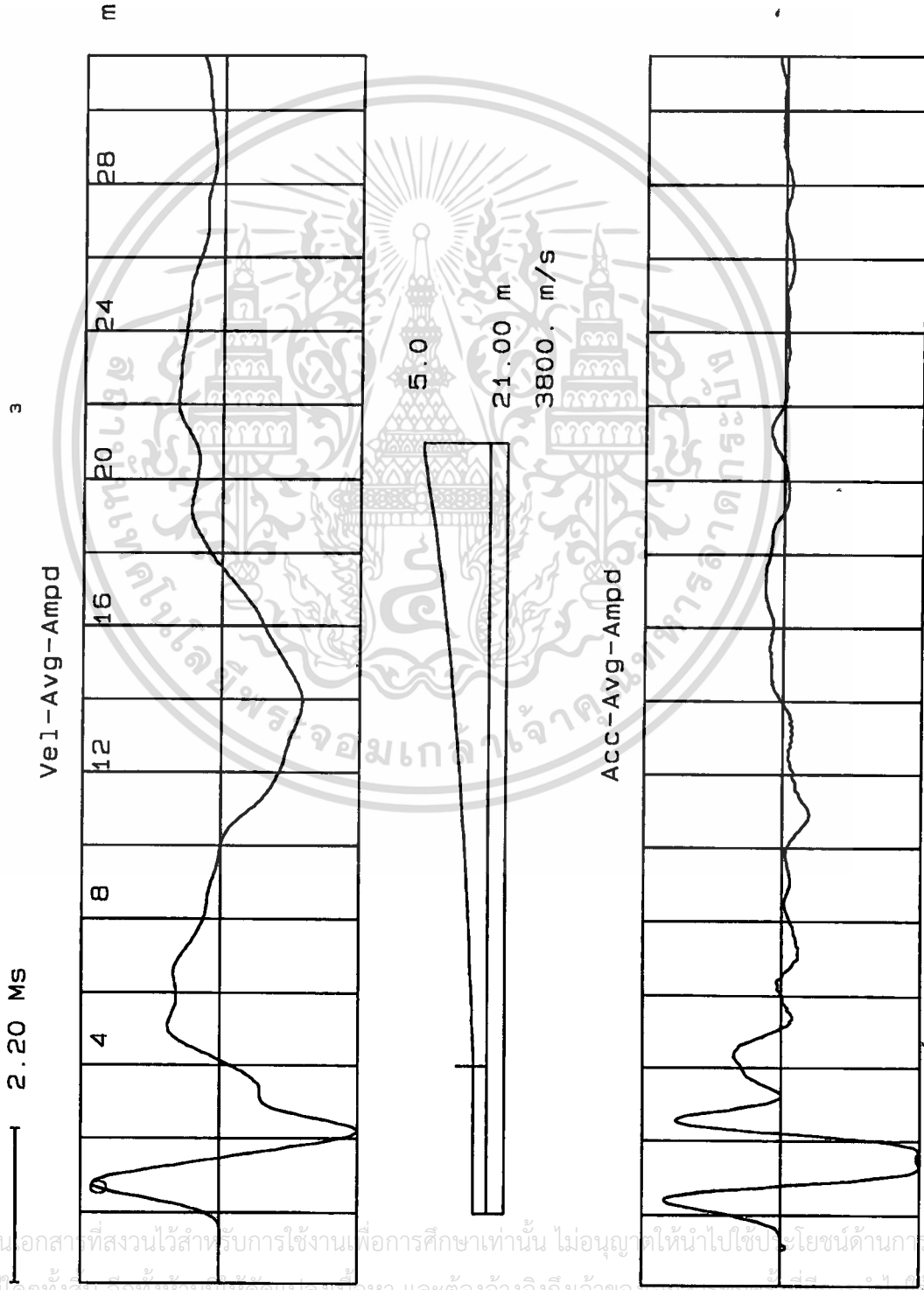


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Project: SUKHUMVI  
Loc: BORED35  
Date: 03/12/96

Pile: P10  
Other: VEL ONLY  
BN  
1 Blow



รูปที่ 6.39 คัดสัญญาณแสงกัมมะเสาะ ซึ่งมี ความยาวของบริเวณหัวเสาเข็ม

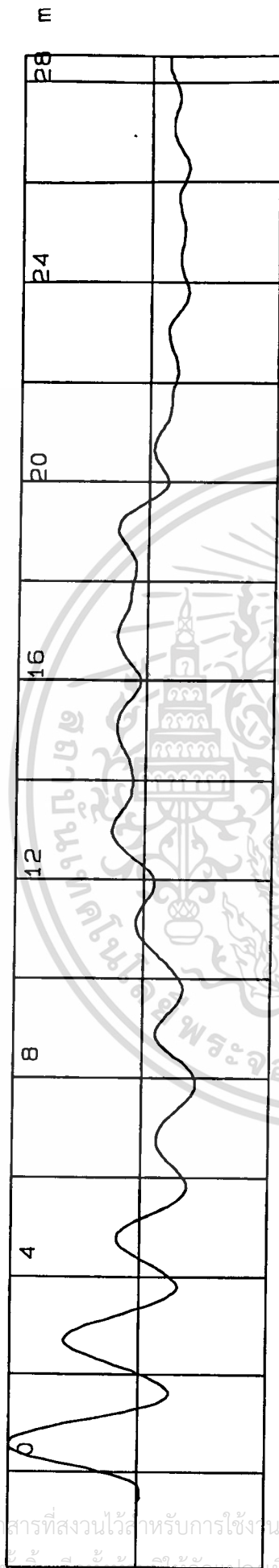
Project: BANGPAKO  
Loc: BOBED.50  
Date: 12/15/95

Pile: P1  
Other: VEL ONLY  
BN 1 Blow

1.50 MS

3

Vel-Avg-Ampd



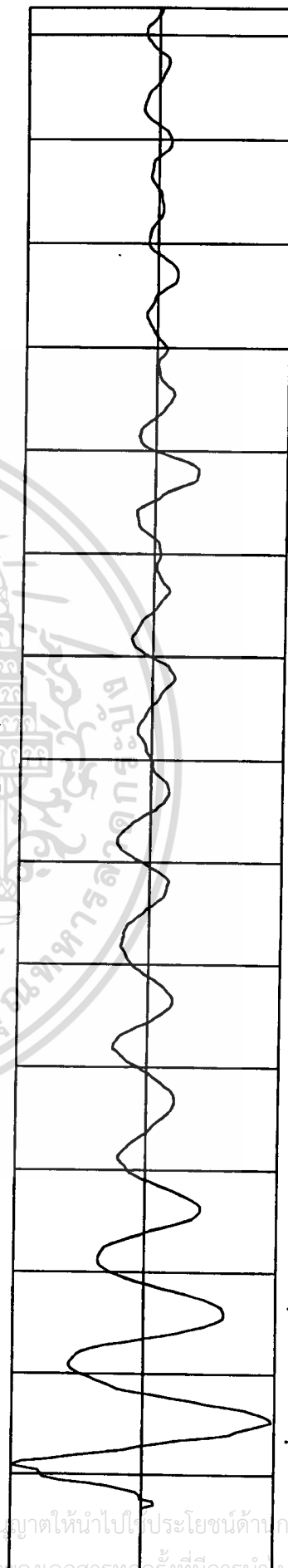
7.0

19.00 m

3800. m/s



ACC-AVG-Ampd

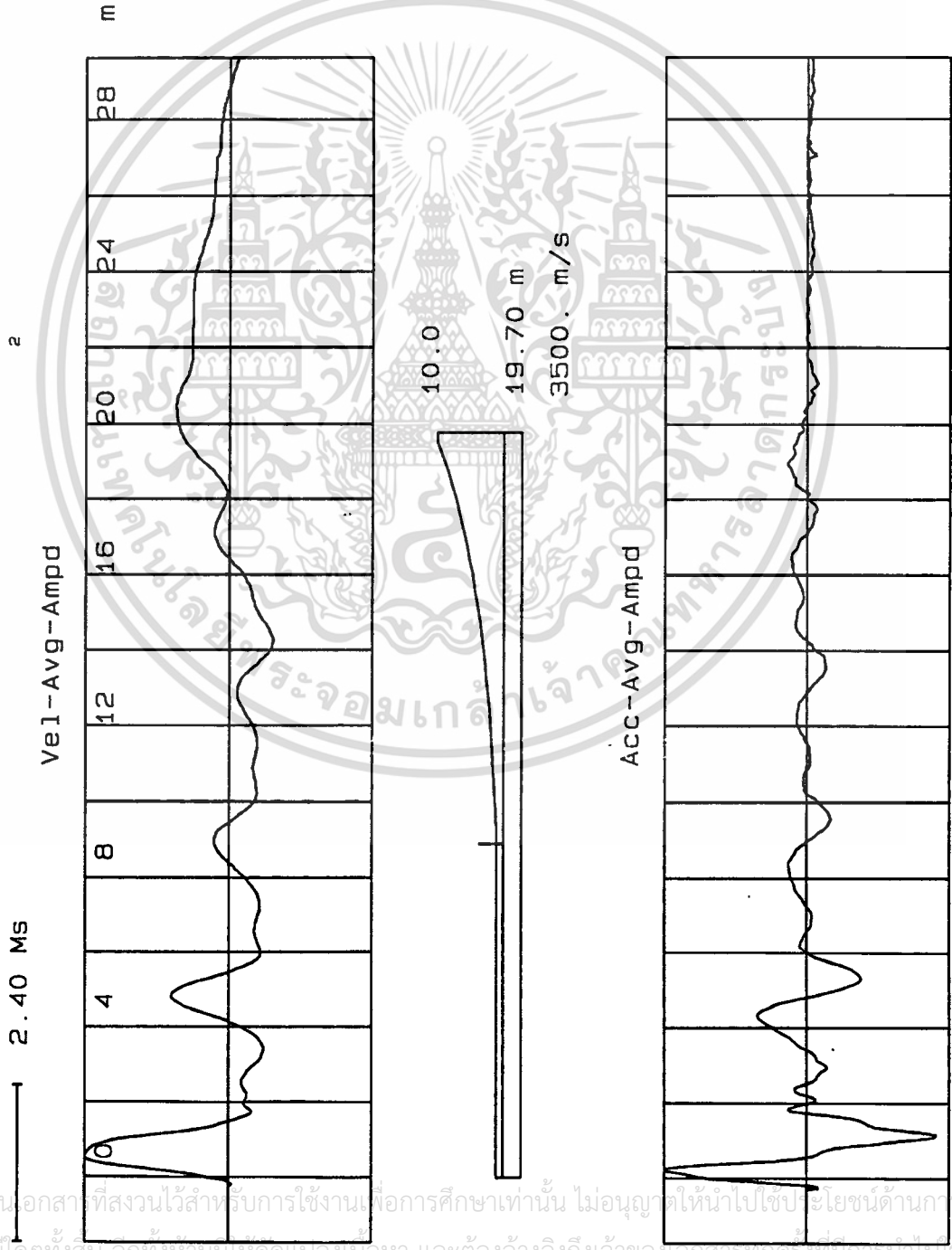


รูปที่ 6.40 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสา ซึ่งมีมีความบดพองบริเวณหัวเสาเข็ม

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: HOME/OFF  
 Loc: BORED.35  
 Date: 02/13/96

Pile: P 17  
 Other: VEL ONLY  
 BN 1 Blow



ที่ความลึก 4.3 เมตร  $\alpha = 0.24$   
 จากสมการ  $\beta = (1 \pm \alpha) / (1 + \alpha)$   
 $= (1 - 0.24) / (1 + 0.24)$   
 $= 0.62$

แสดงว่าเสาเข็มที่มีความยาวนี้มีความยาวเพียงพอ ซึ่งอาจเกิดจากรอยร้าว, รอยคอดก, โฟรง หรือสภาพคอนกรีตไม่ดี ควรทำการตรวจสอบเสาเข็มด้วยวิธีการอื่น และทำการซ่อมแซมแก้ไขภายใต้การควบคุมของวิศวกร

รูปที่ 6.41 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะของเสาเข็มที่มีความยาวที่ระบุไว้ที่ความลึกประมาณ 4.30

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: ETA. Pile: P1  
 Loc: BORED.60 Other: VEL ONLY  
 Date: 12/15/95 BN 1 Blow

1.50 Ms

6

Vel-Avg-Ampd



7.0  
 ที่ความลึก 6.00 เมตร  $\alpha = 0.10$

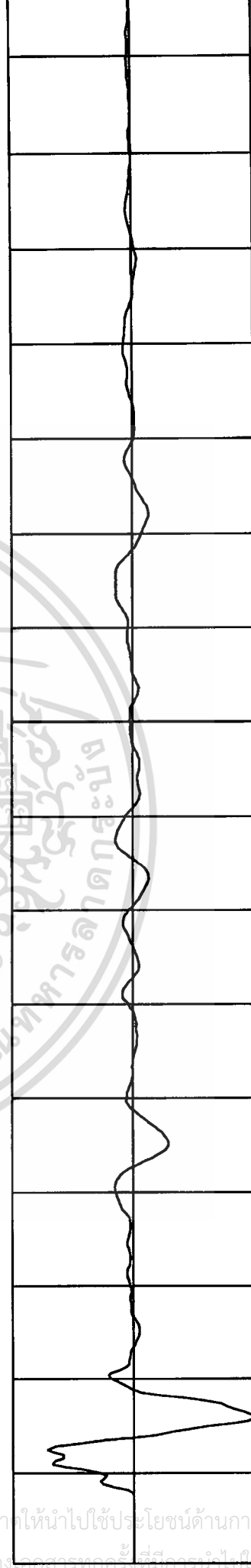
$$20.80 \text{ m จากสมการ } \gamma = (1 - \alpha) / (1 + \alpha)$$

$$3800. \text{ m/s}$$

$$= (1 - 0.10) / (1 + 0.10)$$

$$= 0.82$$

Acc-Avg-Ampd



รูปที่ 6.42 คัดสัญญาณแสดงลักษณะเสา ซึ่งมีที่มีความมภาพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 6.00 เมตร

และสามารถค่าแห่งของปลายเสา ซึ่งมีได้

STS ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

Project: PRESIDEN

Pile: 30B9

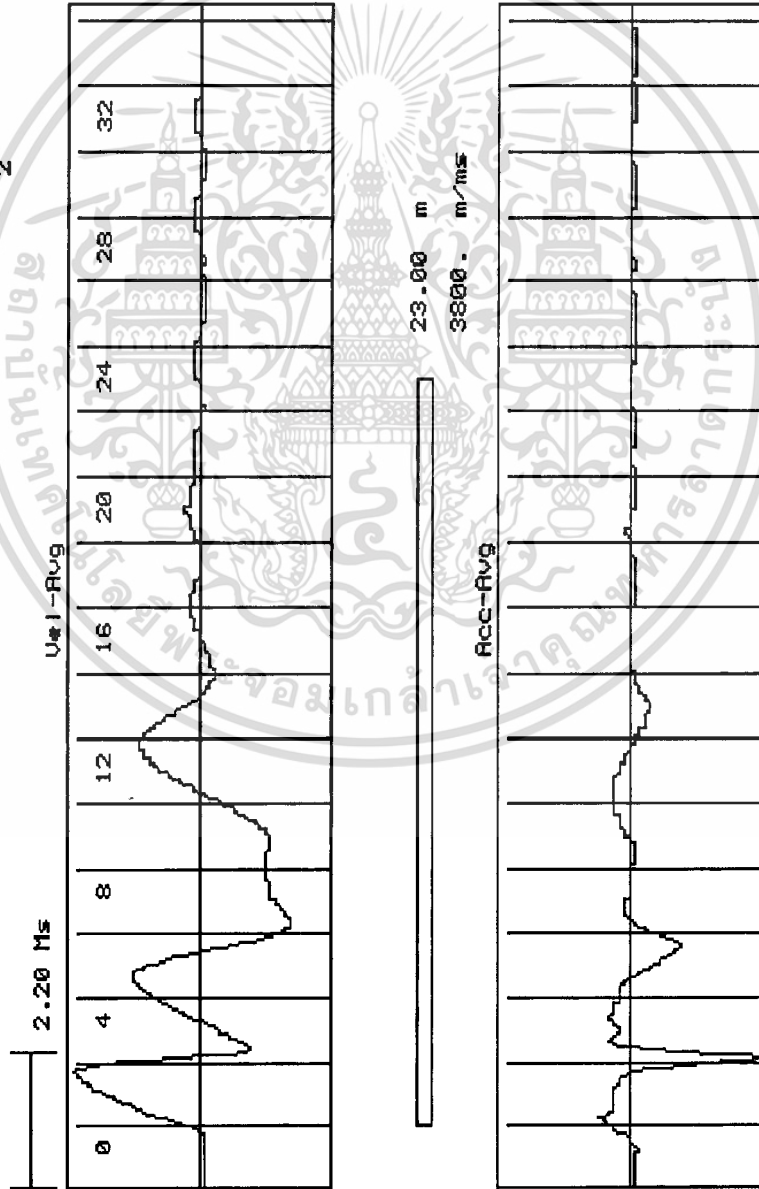
Loc: MICRO 0.60

VEL ONLY

Date: 12/07/95

Avgd 1 Bls

2



รูปที่ 6.43 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความมกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 3.50 เมตร

และไม่สามารถบอกค่าแทนธงของปลายเสาเข็มได้

ที่ความลึก 3.5 เมตร  $\alpha = 0.25$

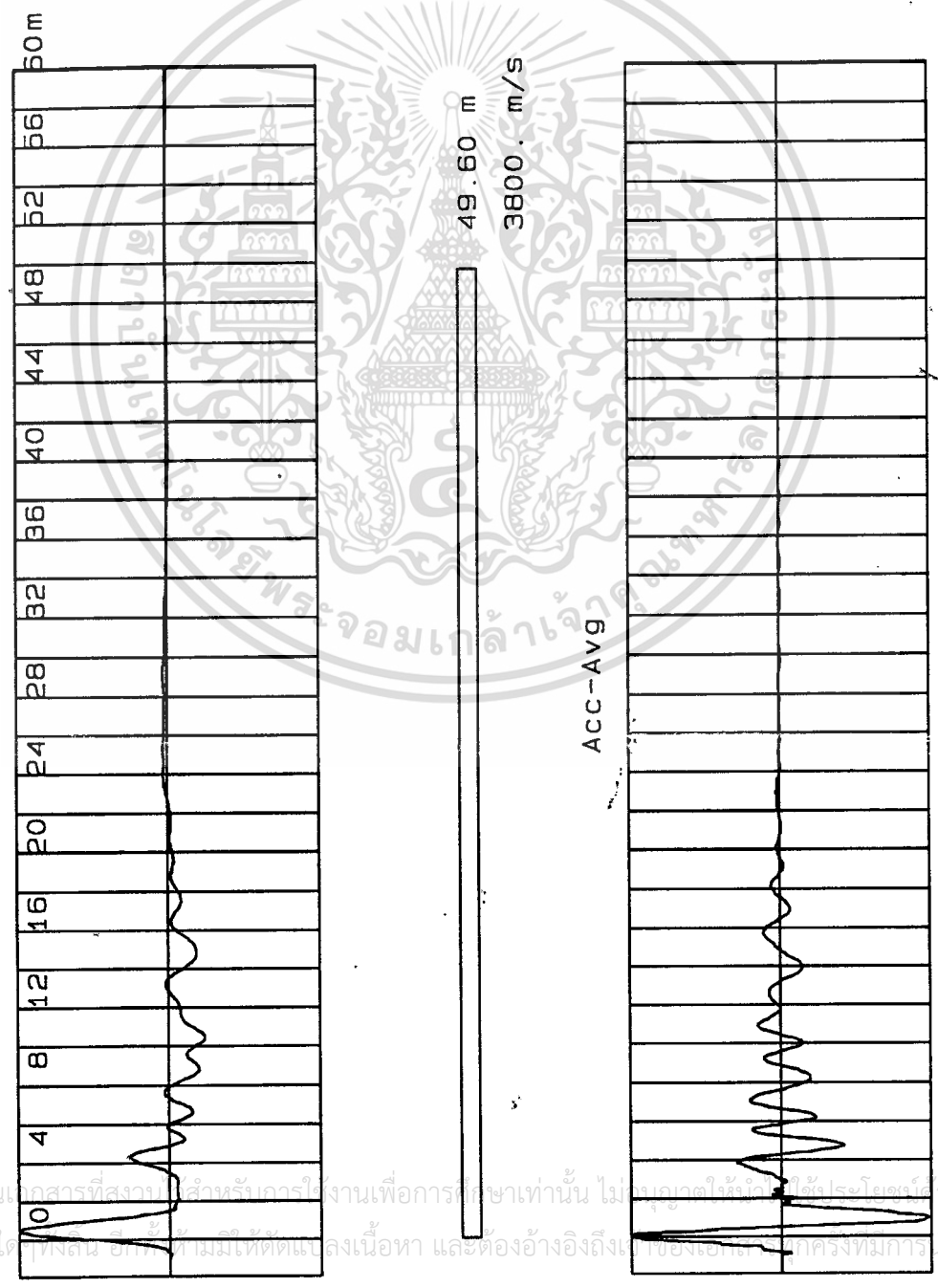
จากสมการ  $\beta = (1 - \alpha) / (1 + \alpha)$

$$= (1 - 0.25) / (1 + 0.25)$$

$$= 0.60$$

ผลคือว่าเสาเข็มต้นนี้มีความมกพร่อง ซึ่งอาจเกิดจากรอยร้าว, รอยคอด, โพรง หรือสภาพคอนกรีตไม่ดี ควรทำการตรวจสอบเสาเข็มด้วยวิธีการอื่น และทำการซ่อมแซมแก้ไขภายใต้การควบคุมของวิศวกร

Other: VEL ONLY 4 BLOW  
 BN  
 Date: 01/24/96  
 4.50 Ms



ที่ความลึก 4.00 เมตร  $\alpha = 0.125$   
 จากสมการ  $\beta = (1 - \alpha) / (1 + \alpha)$   
 $= (1 - 0.125) / (1 + 0.125)$   
 $= 0.78$

แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้มีความบกพร่อง ซึ่งอาจ  
 เกิดจากรอยร้าว, รอยคอด, โพรง หรือสภาพ  
 คอนกรีตไม่ดี ควรทำการตรวจสอบเสาเข็มด้วย  
 วิธีการอื่น และทำการซ่อมแซมแก้ไขภายใต้การ  
 ความคุมของวิศวกร

รูปที่ 6.44 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 4.00 เมตร  
 และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

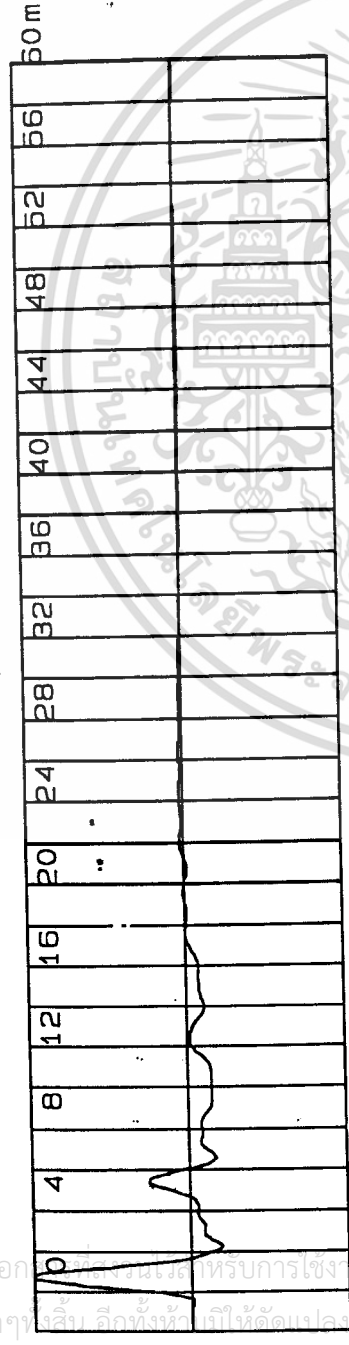
Project: TONSON  
 Loc: BORED:80  
 Date: 01/24/96

Pile: P.18  
 Other: VEL ONLY  
 BN 2 BLOW

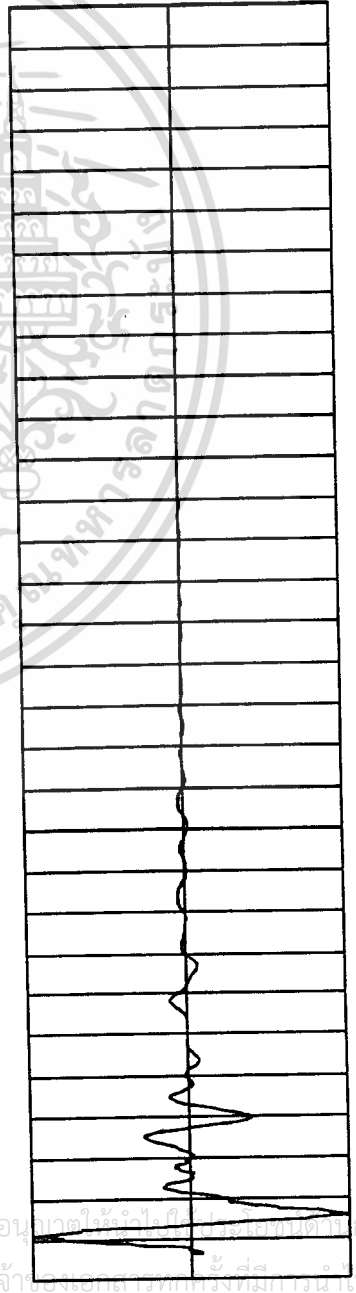
4.50 Ms

5 7

Vel-Avg



ACC-AVG



ที่ความลึก 4.00 เมตร  $\alpha = 0.13$   
 จากสมการ  $\beta = (1 - \alpha) / (1 + \alpha)$   
 $= (1 - 0.13) / (1 + 0.13)$   
 $= 0.77$

แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้มีความบกพร่อง ซึ่งอาจ  
 เกิดจากรอยร้าว, รอยคอด, โพรง หรือสภาพ  
 คอนกรีตไม่ดี ควรทำการตรวจสอบเสาเข็มด้วย  
 วิธีการอื่น และทำการซ่อมแซมแก้ไขภายใต้การควบคุม  
 ของวิศวกร

รูปที่ 6.45 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 4.00 เมตร  
 และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

STS ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

Project: PLADANG.

Pile: P 255

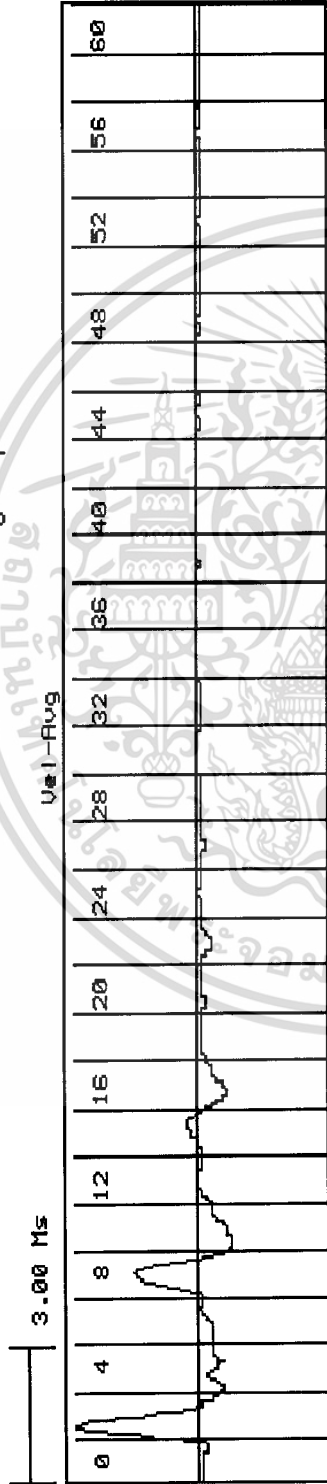
Loc: BORED1.0

VEL ONLY

Date: 11/11/95

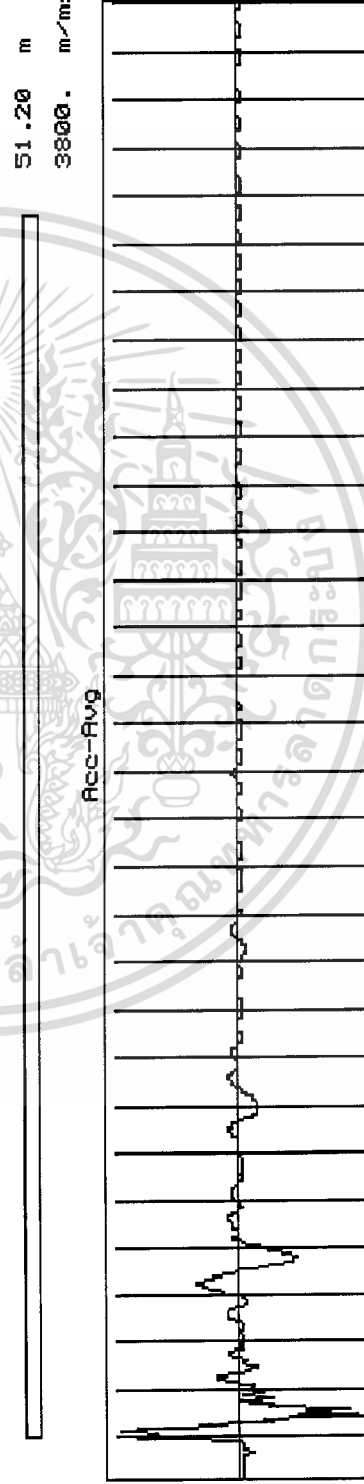
Avgd 2 Bls

6 7



ความลึก 6.30 เมตร  $\alpha = 0.25$   
 จากสมการ  $\beta = (1 - \alpha) / (1 + \alpha)$   
 $= (1 - 0.25) / (1 + 0.25)$   
 $= 0.60$

แสดงว่าเสาเข็มที่มีความยาว 6.30 เมตร ซึ่งอาจ  
 เกิดจากรอยร้าว, รอยคอด, โพรง  
 หรือสภาพคอนกรีตไม่ดี ควรทำการ  
 ตรวจสอบเสาเข็มด้วยวิธีการอื่น และ  
 ทำการซ่อมแซมแก้ไขภายใต้การควบคุม  
 ของวิศวกร



รูปที่ 6.46 กราฟสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความยาว 6.30 เมตร  
 และไม่สามารถบอกตำแหน่งของเสาเข็มได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: BLOCK 6  
 Loc: BORED.35  
 Date: 01/31/96

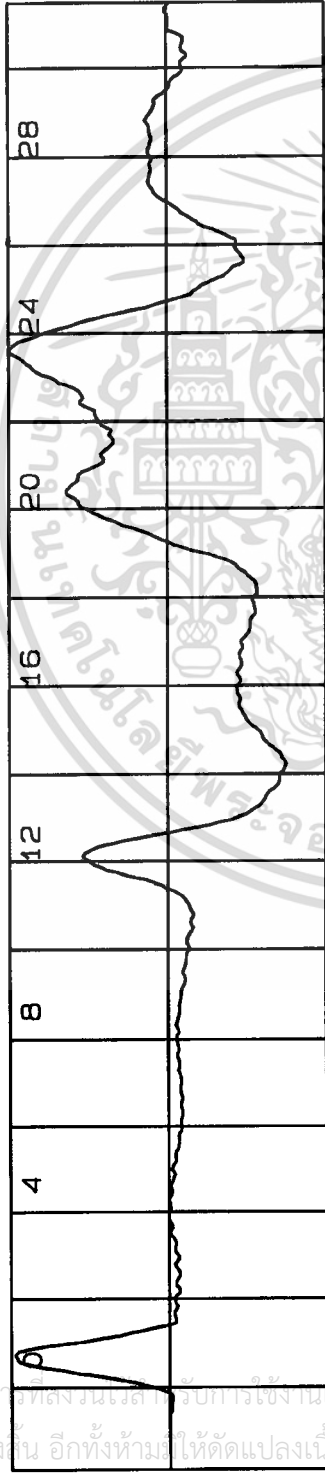
Pile:- P 28  
 Other: VEL ONLY  
 BN

2 Blow

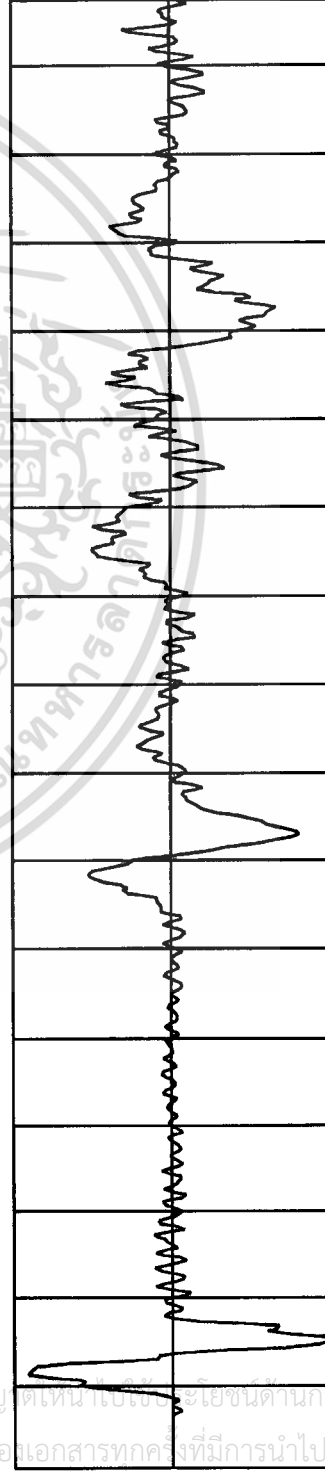
2.10 Ms

8 9

Vel-Avg-Ampd



Acc-Avg-Ampd



รูปที่ 6.47 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบวมทอซึ่งระดับความลึกประมาณ 11.5 เมตร

และสามารถบอกตำแหน่งของปลอกเสาเข็มได้

๓ ที่ความลึก 11.5 เมตร  $\alpha = 0.26$   
 จากสมการ  $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$   
 $= (1-0.26)/(1+0.26)$   
 $= 0.59$

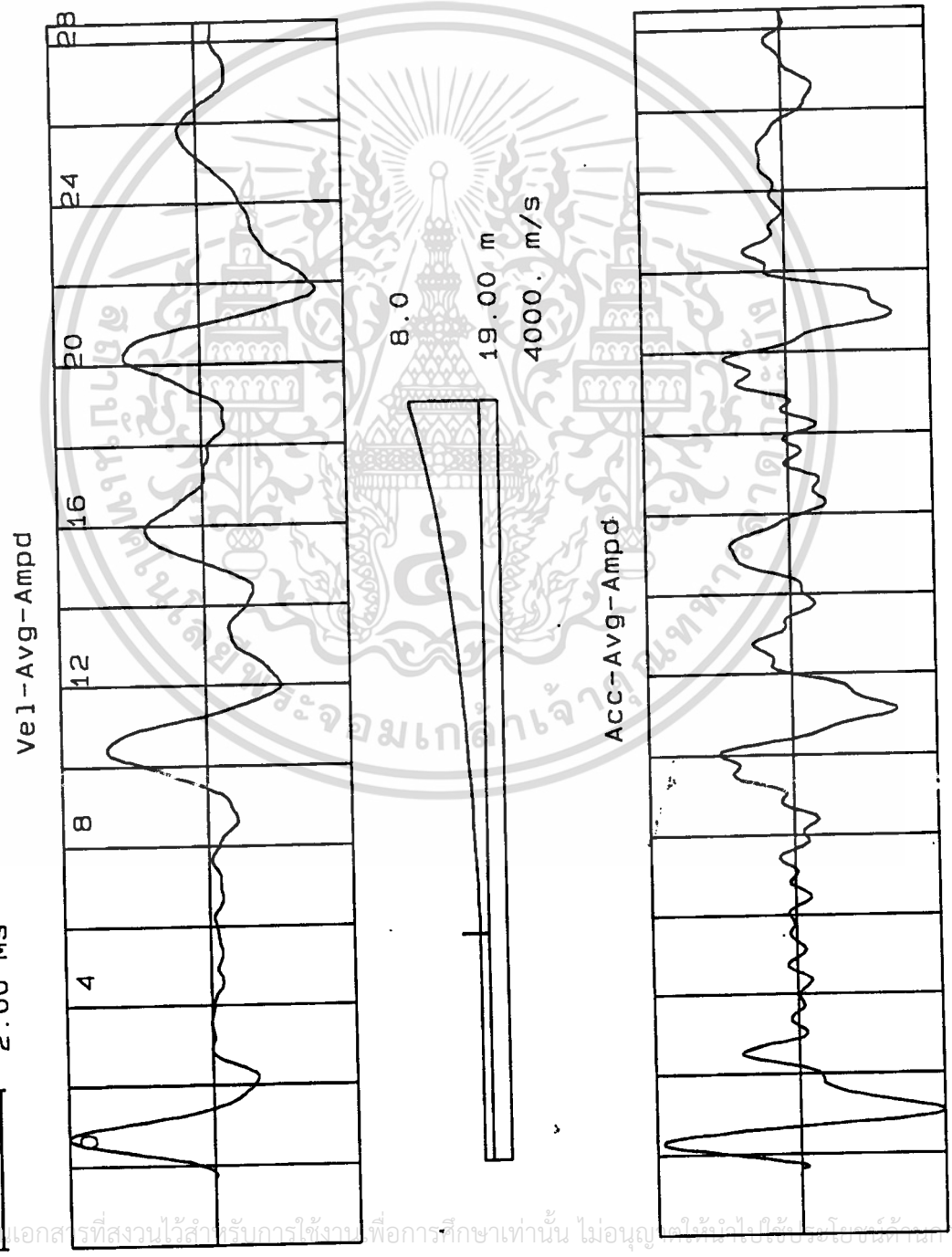
แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้มีความบวมทอ ซึ่งอาจ  
 เกิดจากรอยร้าว, รอยคอด, โพรง หรือ  
 สภาพคอนกรีตไม่ดี ควรทำการตรวจสอบ  
 เสาเข็มด้วยวิธีการอื่น และทำการซ่อมแซม  
 แก้ไขภายใต้การควบคุมของวิศวกร

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: 9STOREY.  
 Loc: BORED.50  
 Date: 02/08/96

Pile: P 146  
 Other: VEL ONLY  
 BN  
 1 Blow

2.00 MS



รูปที่ 6.48 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความยาวที่วัดได้ประมาณ 9.50 เมตร

และไม่สามารถบอกตำแหน่งปลายเสาเข็มได้

m ที่ความลึก 9.50 เมตร  $\alpha = 0.35$   
 จากสมการ  $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$   
 $= (1-0.35)/(1+0.35)$   
 $= 0.49$

แสดงว่าเสาเข็มที่มีความยาวที่วัดได้ซึ่งอาจเกิดจากรอยร้าว, รอยคอด, โฟรง หรือสภาพคอนกรีตไม่ดี ควรทำการตรวจสอบเสาเข็มด้วยวิธีการอื่น และทำการซ่อมแซมแก้ไขภายใต้การควบคุมของวิศวกร

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

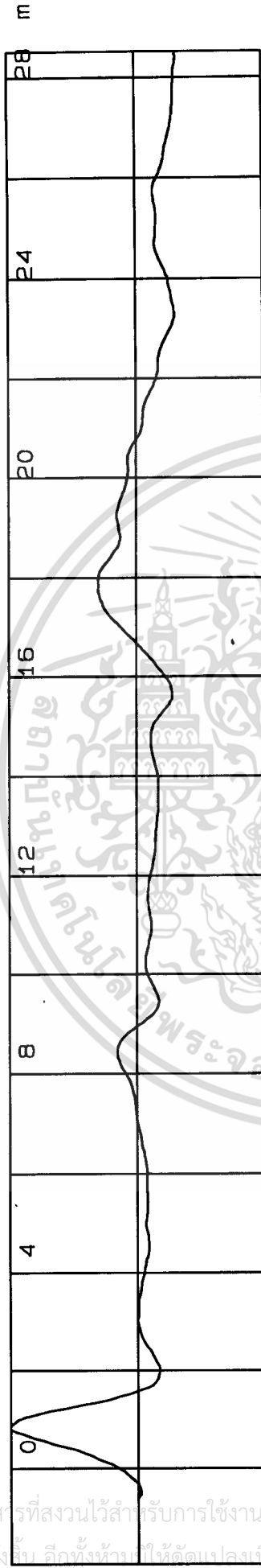
Project: BANGPAKO  
 Loc: BOBED.50  
 Date: 12/15/95

Pile: P2  
 Other: VEL ONLY  
 BN 1 Blow

1.50 Ms

1

Vel-Avg-Ampd



7.0 ที่ความลึก 8.00 เมตร  $\alpha = 0.08$

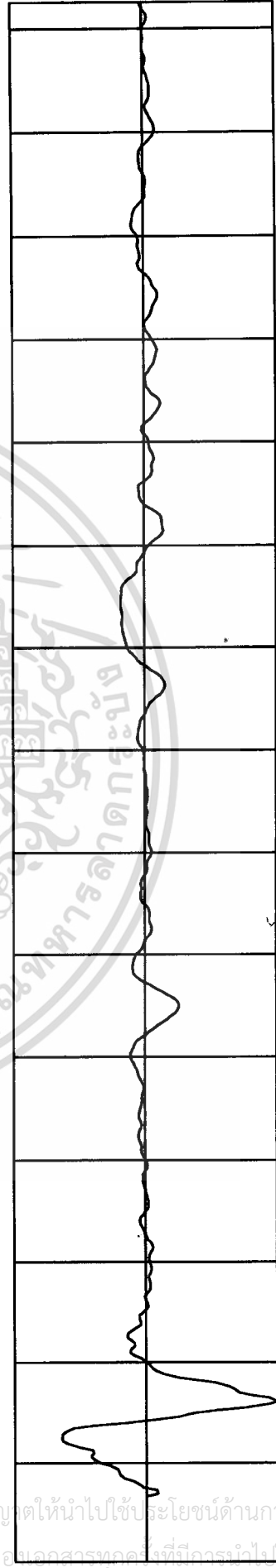
จากสมการ  $\beta = (1 - \alpha) / (1 + \alpha)$

19.00 m =  $(1 - 0.08) / (1 + 0.08)$

3800. m/s = 0.85

แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้สามารถนำไปใช้งานได้

Acc-Avg-Ampd



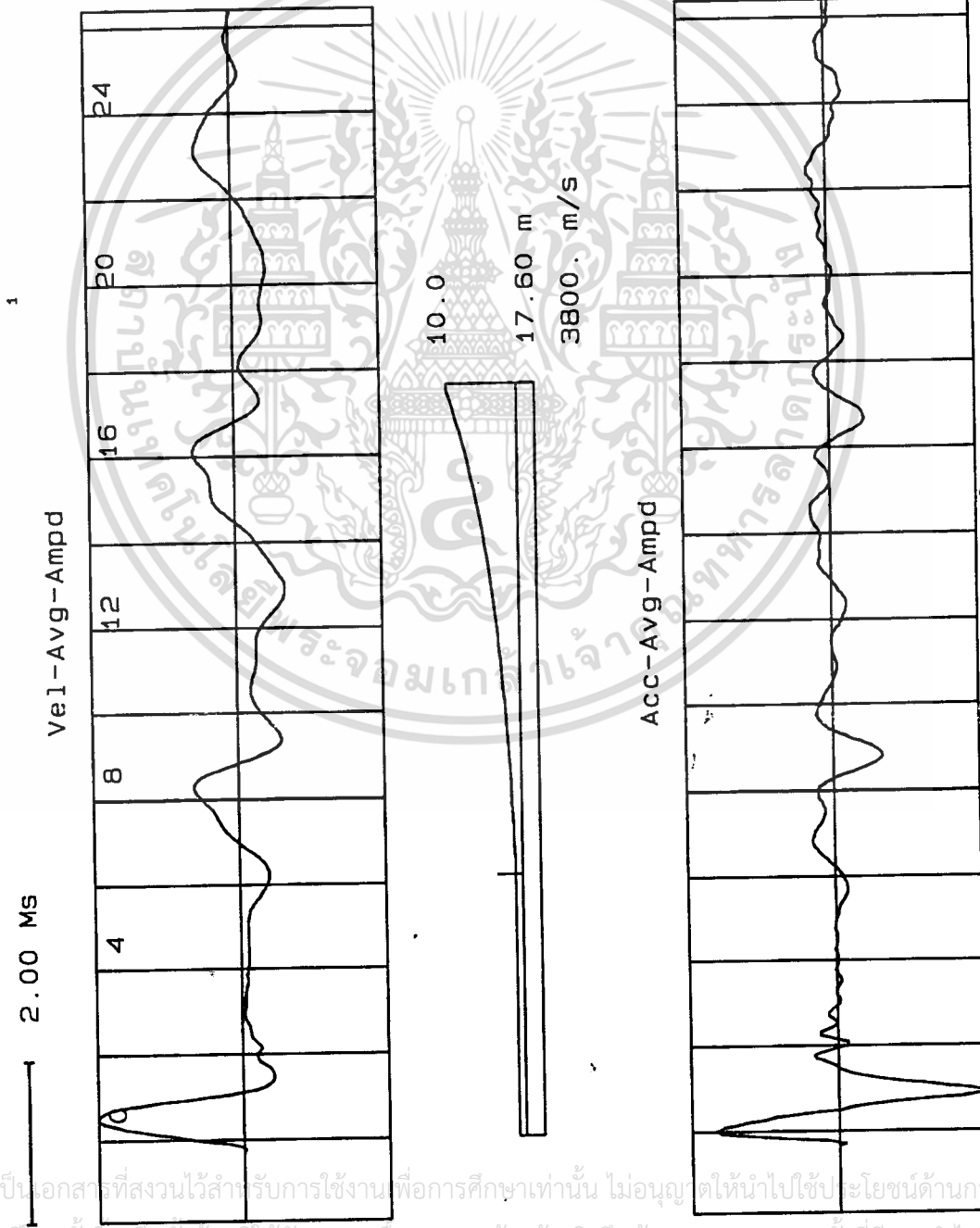
รูปที่ 6.49 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความยาวประมาณ 8.00 เมตร

และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: LERCHATO  
 Loc: BORED.60  
 Date: 01/31/96

Pile: P 78  
 Other: VEL ONLY  
 BN  
 1 Blow



รูปที่ 6.50 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความบดพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 8.00 เมตร  
 และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

m ที่ความลึก 8.00 เมตร  $\infty = 0.14$   
 จากสมการ  $\beta = (1-\infty)/(1+\infty)$   
 $= (1-0.14)/(1+0.14)$   
 $= 0.75$

แสดงว่าเสาเข็มต้นนี้มีความบดพร่อง ซึ่งอาจ  
 เกิดจากรอยร้าว, รอยคอด, โพรง หรือสภาพ  
 คอนกรีตไม่ดี ควรทำการตรวจสอบเสาเข็มด้วย  
 วิธีการอื่น และทำการซ่อมแซมแก้ไขความเสียหายโดย  
 การควบคุมของวิศวกร

STS ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

Project: BARN.

Pile: P 397

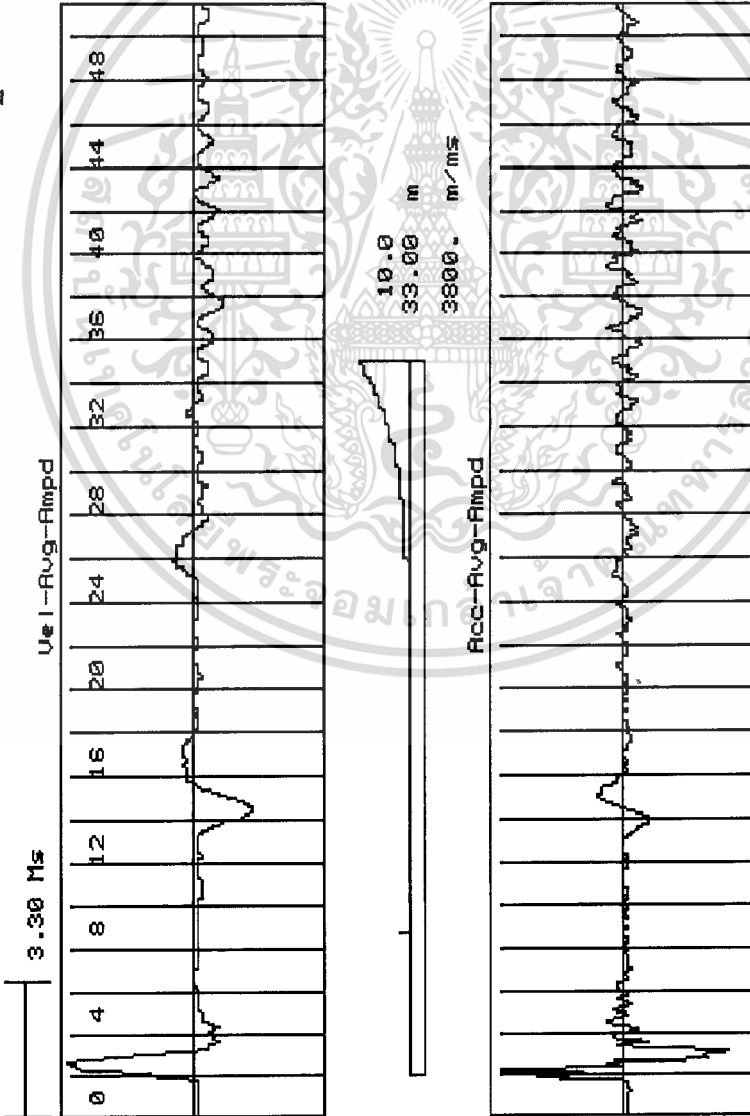
Loc: BORED.60

VEL ONLY

Date: 12/13/95

Avgd 1 Bls

2



๓ ที่ความลึก 11.65 เมตร  
 เสาเข็มต้นนี้อาจเกิดจากหน้าตัดที่เพิ่มขึ้น,  
 กำลังคอนกรีตที่สูงขึ้น หรือแรงเสียดทาน  
 ของดินที่มากขึ้น จัดว่าเป็นเข็มที่ใส่ได้

รูปที่ 6.51 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ แต่ไม่สามารถบอกตำแหน่งที่ปลายเสาเข็มได้

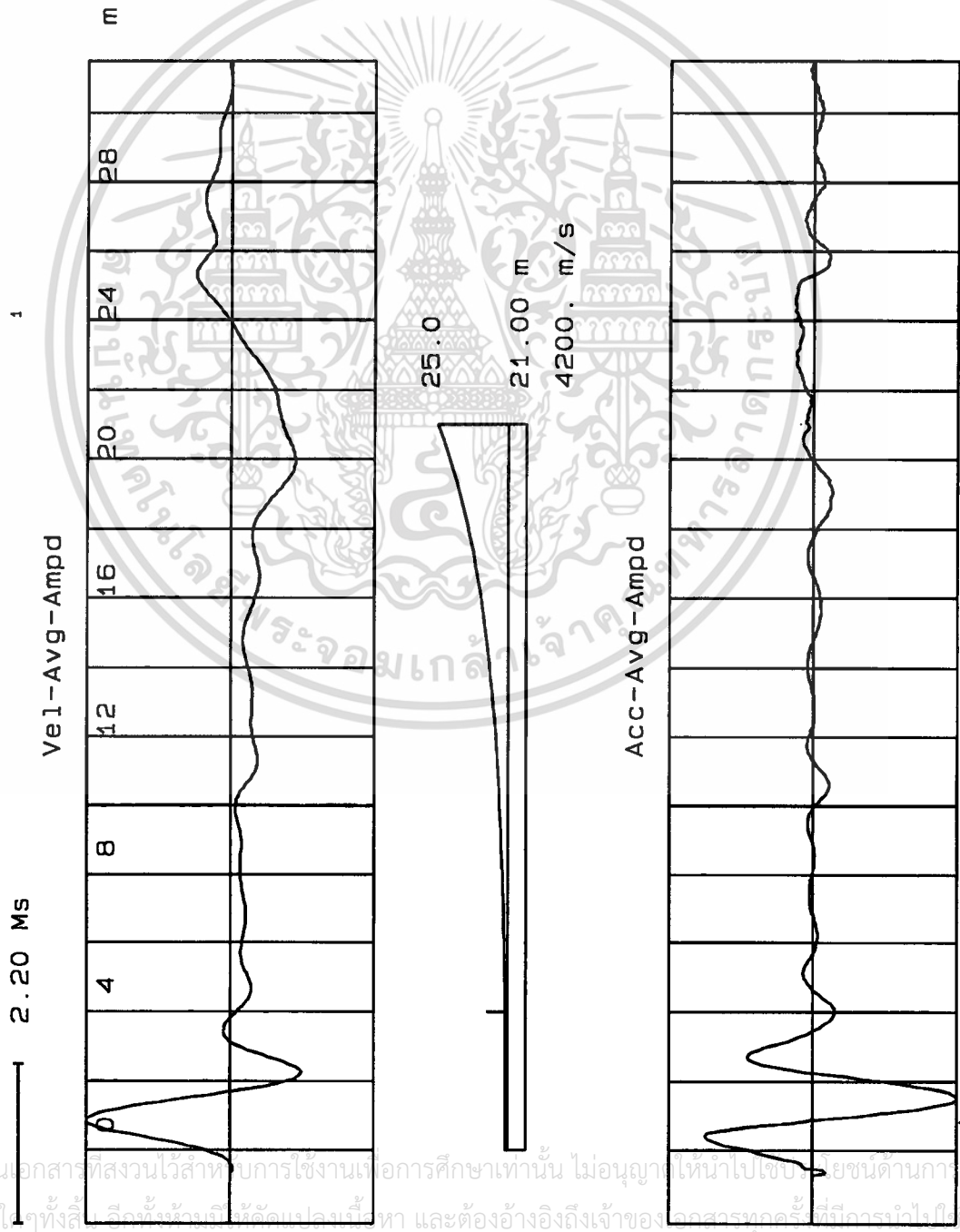


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: SUKHUMVI  
Loc: I35  
Date: 03/12/96

Pile: P5  
Other: VEL ONLY  
BN  
1 Blow

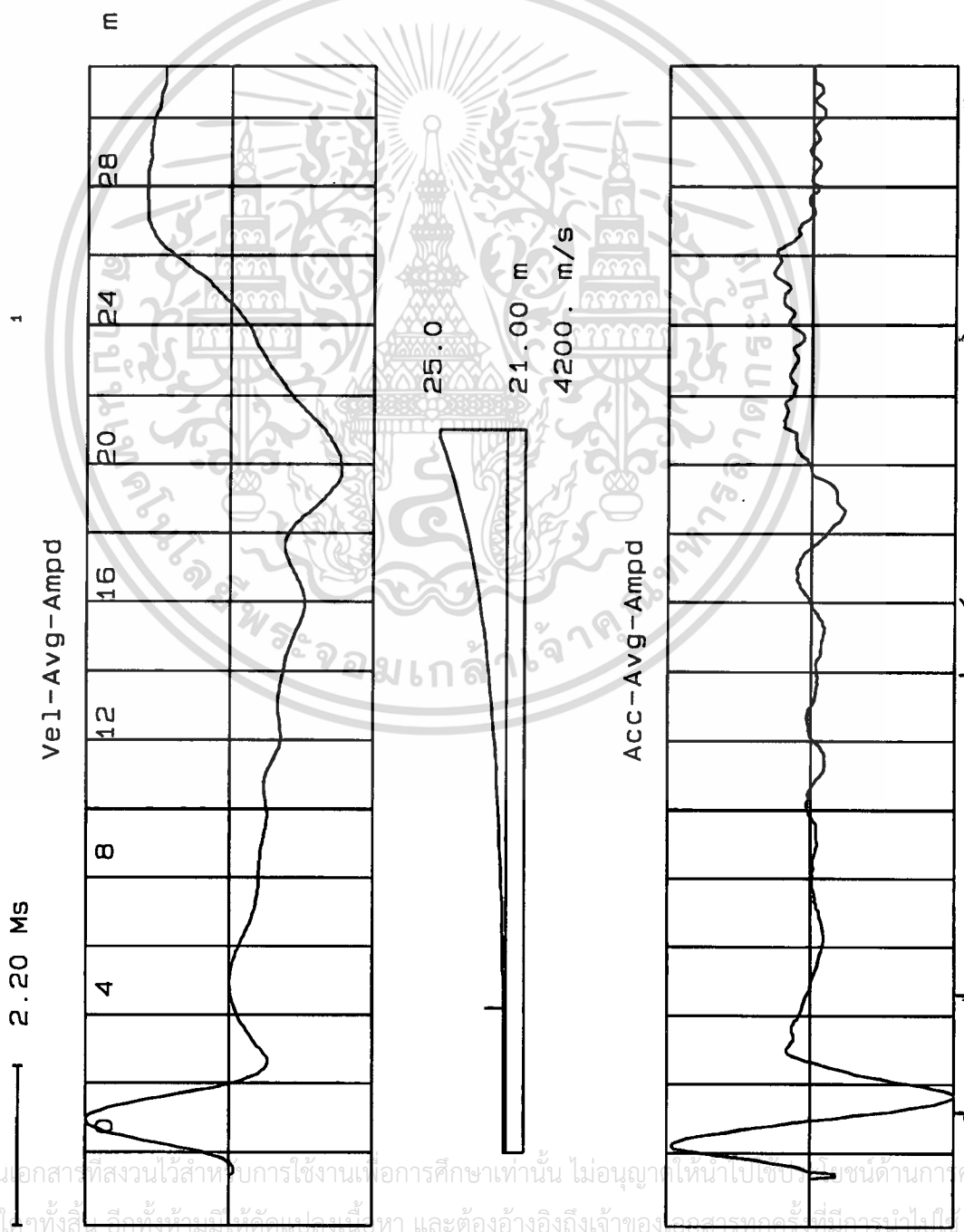


รูปที่ 6.52 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสา เข็มที่สมบูรณ์ และสามารถบอกค่าแอมป์ของปลายเสา เข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: SUKHUMVI  
 Loc: I35  
 Date: 03/12/96

Pile: P6  
 Other: VEL ONLY  
 BN  
 1 Blow



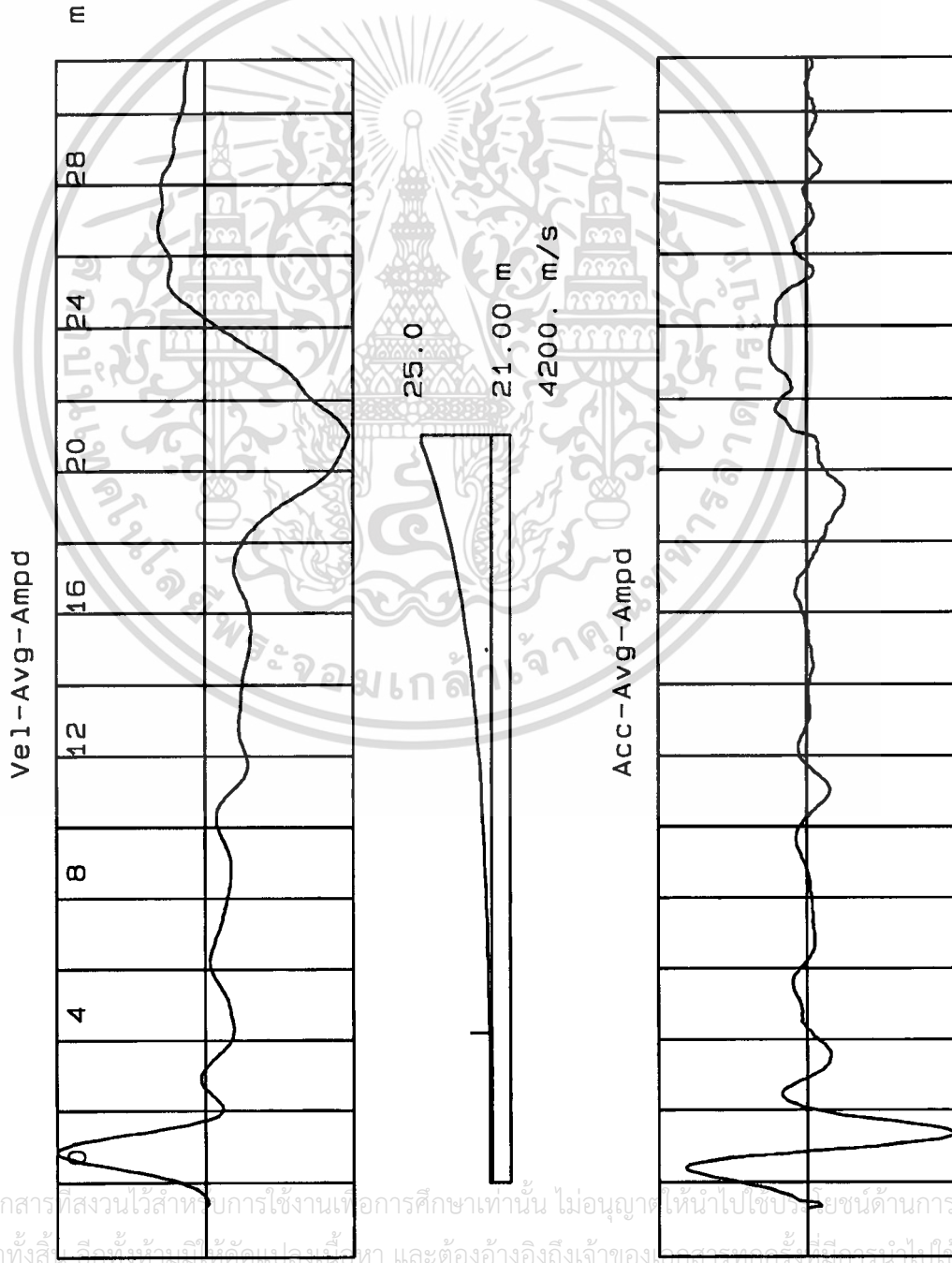
รูปที่ 6.53 คตินสัญญาณแสดงลักษณะเสา ซึ่งมีที่สมบูรณ์ และสามารถบอกค่าแรงของปลายเสาได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: SUKHUMVI  
Loc: I35  
Date: 03/12/96

Pile: P7  
Other: VEL ONLY  
BN 1 Blow

2.20 Ms



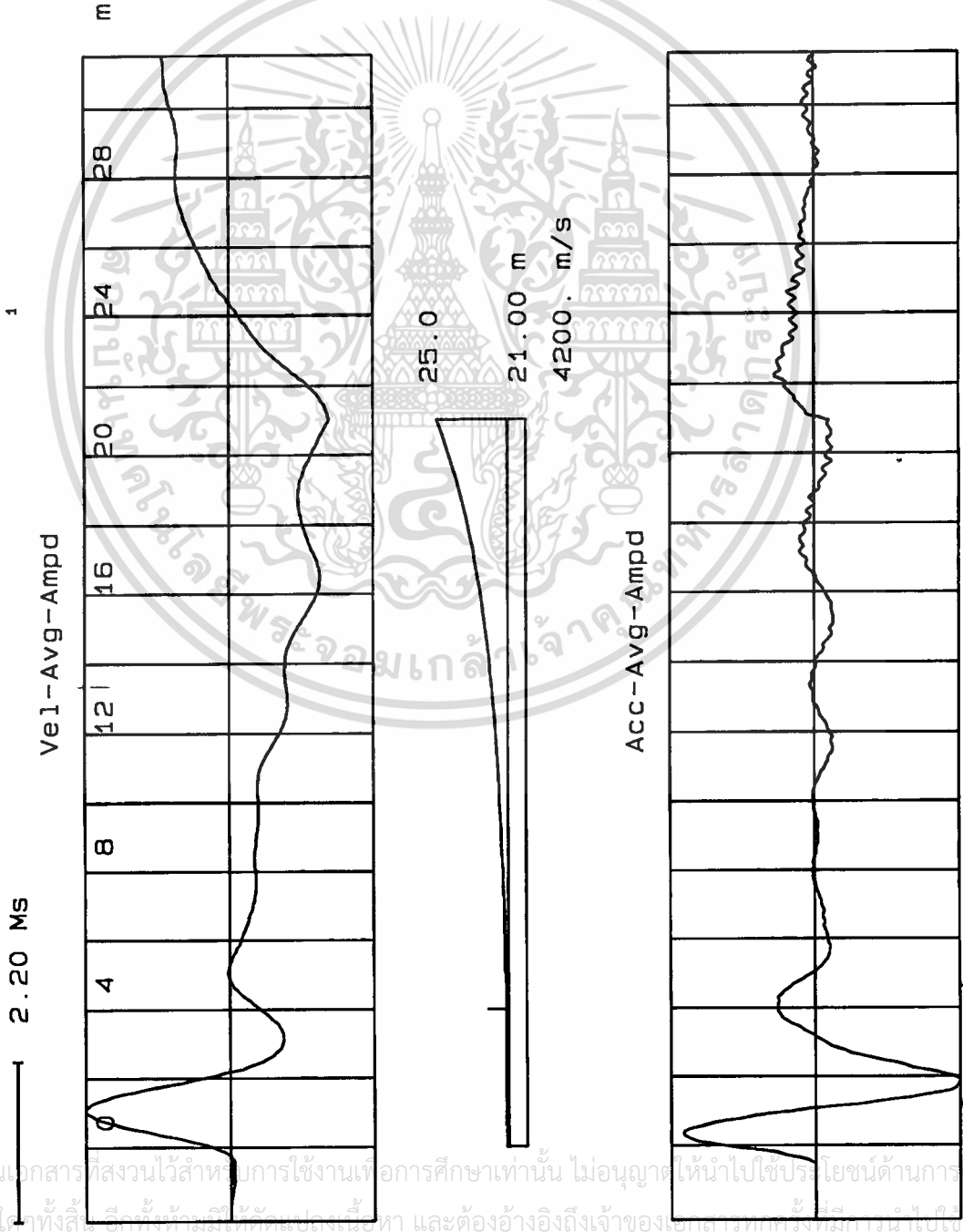
รูปที่ 6.54 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้



# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: SUKHUMVI  
Loc: I35  
Date: 03/12/96

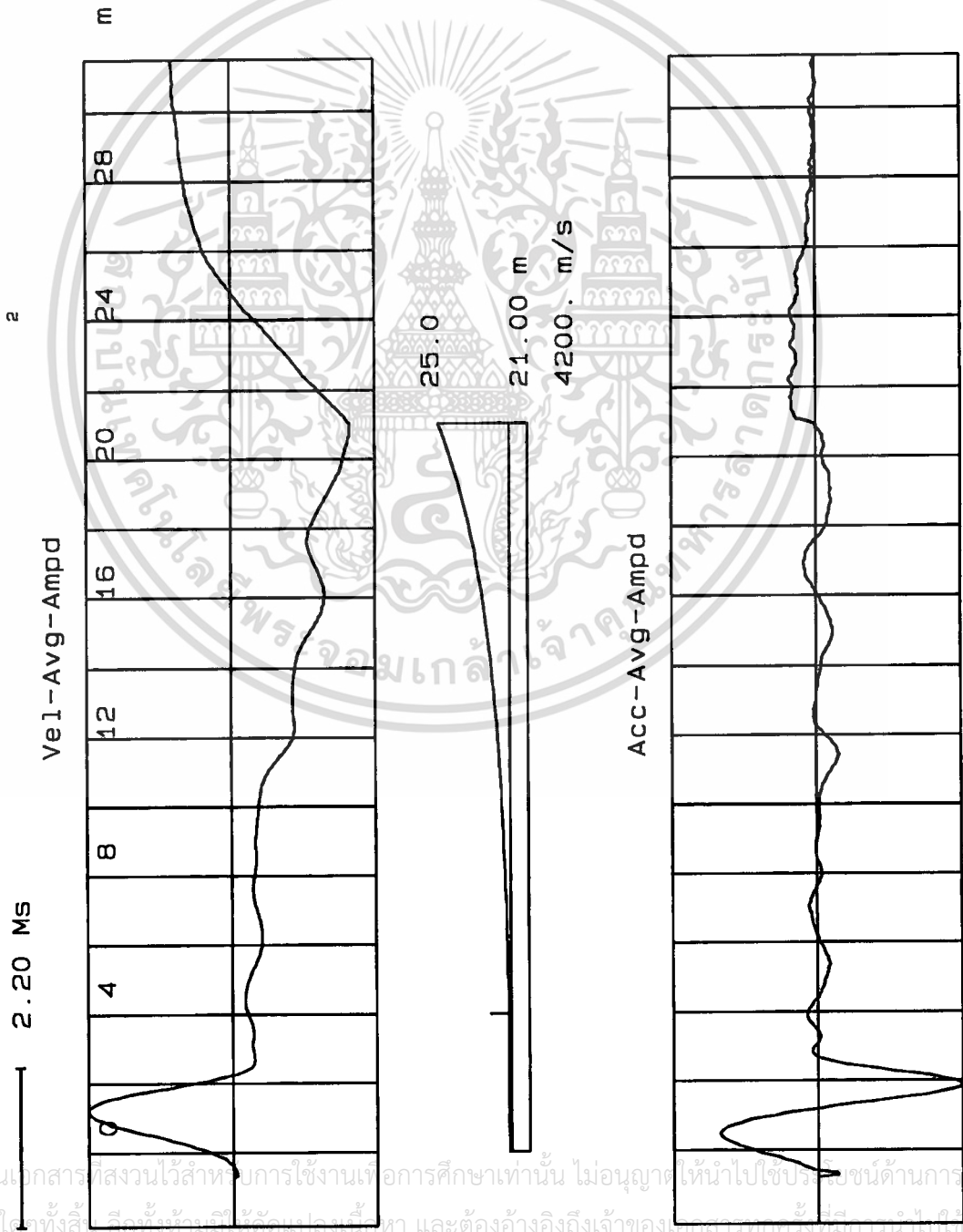
Pile: P12  
Other: VEL ONLY  
BN  
1 Blow



รูปที่ 6.56 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

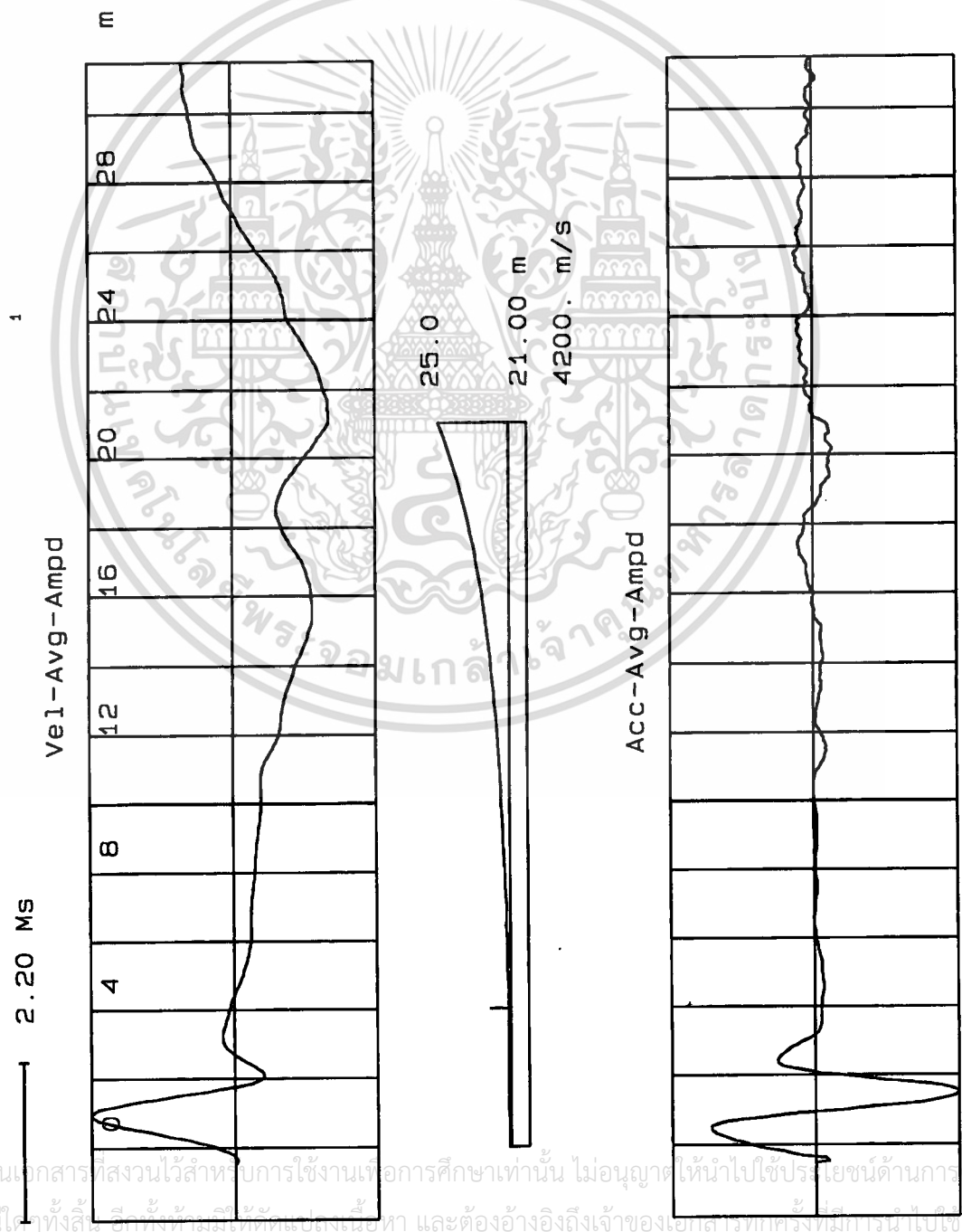
Project: SUKHUMVI Pile: P13  
 Loc: I35 Other: VEL ONLY  
 Date: 03/12/96 BN 1 Blow



รูปที่ 6.57 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: SUKHUMVI      Pile: P15  
 Loc: I35                    Other: VEL ONLY  
 Date: 03/12/96            BN                    1 Blow



รูปที่ 6.58 คัดณสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และสามารถบอกค่าแรงของปลายเสาเข็มได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

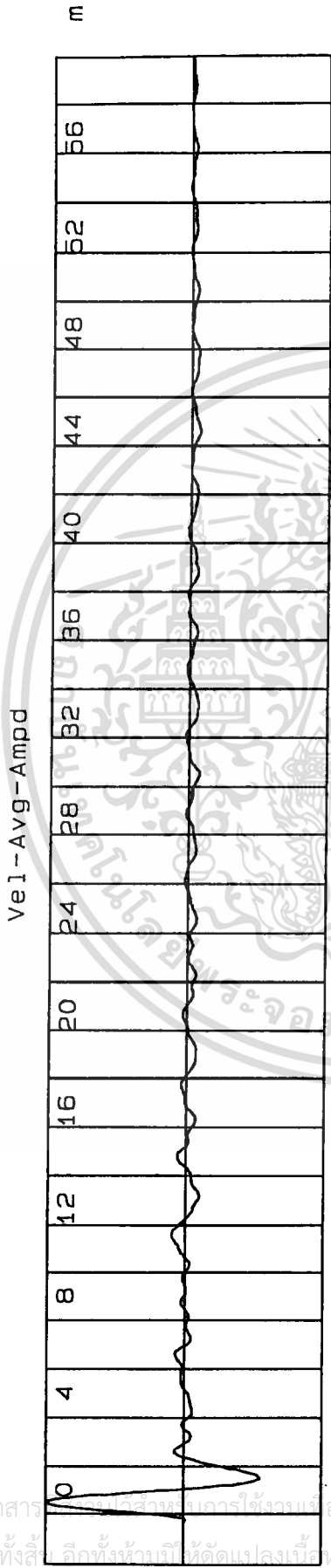
Project: BANGNA  
 Loc: SP80

Pile: P1  
 Other: VEL ONLY  
 BN 1 Blow

Date: 12/15/95

3.00 Ms

5



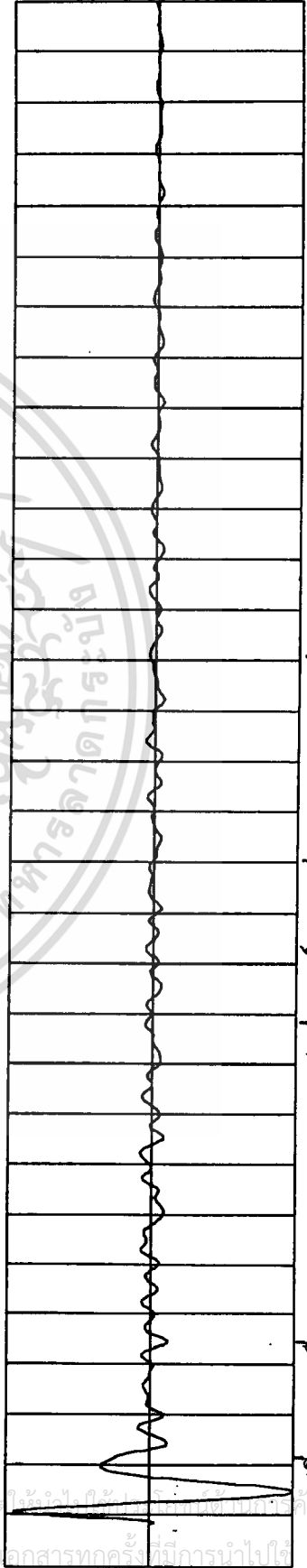
5.0

40.00 m

4200. m/s



ACC-AVG-Ampd



รูปที่ 6.59 คัดสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่สมบูรณ์ และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: BANGNA  
Loc: SP80

Pile: P2  
Other: VEL ONLY

Date: 12/15/95

BN  
1 Blow

3  
3.00 Ms



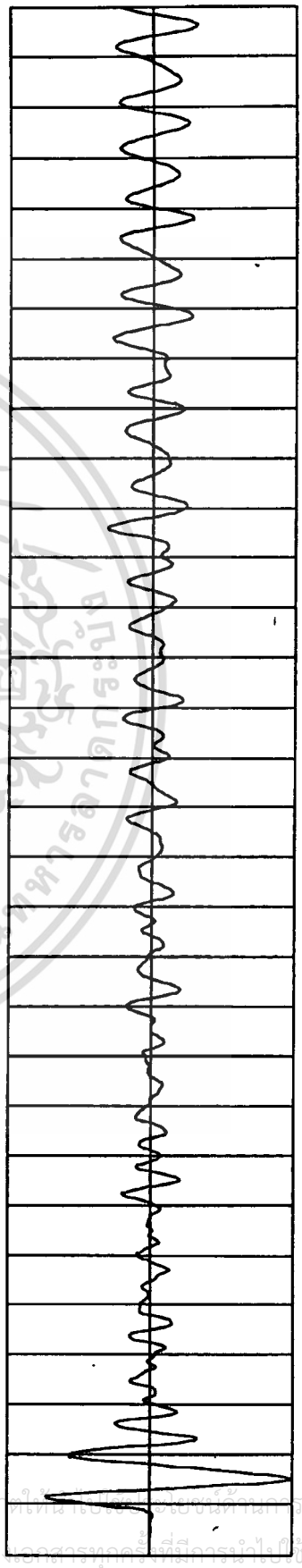
7.0



40.00 m

4200. m/s

Acc-Avg-Ampd



รูปที่ 6.60 คืบสัญญาณแรงกระแทกและแรงสั่นสะเทือนของเสาเข็มที่ตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: BANGNA  
Loc: SP80

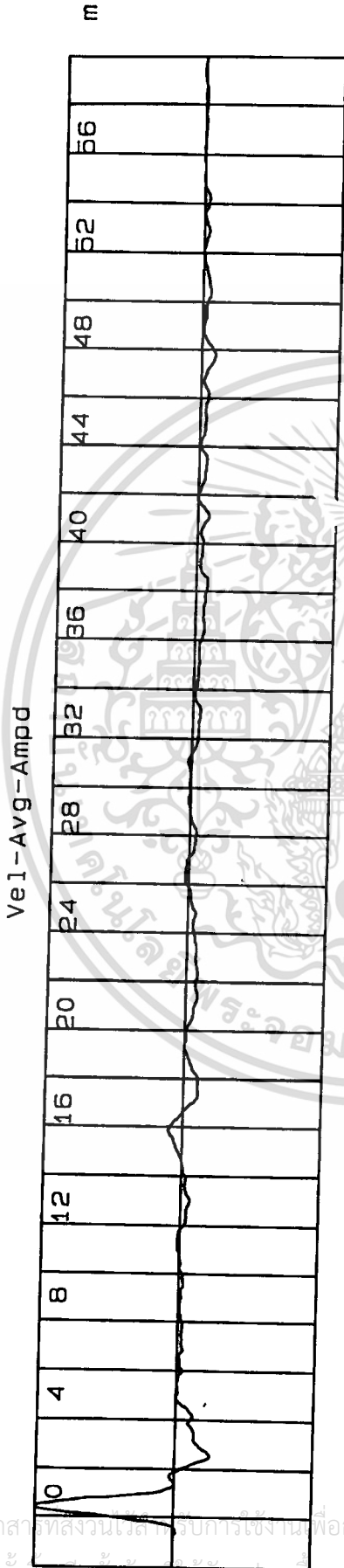
Pile: P3

Other: VEL ONLY

Date: 12/15/95

BN  
1 Blow

3  
3.00 Ms



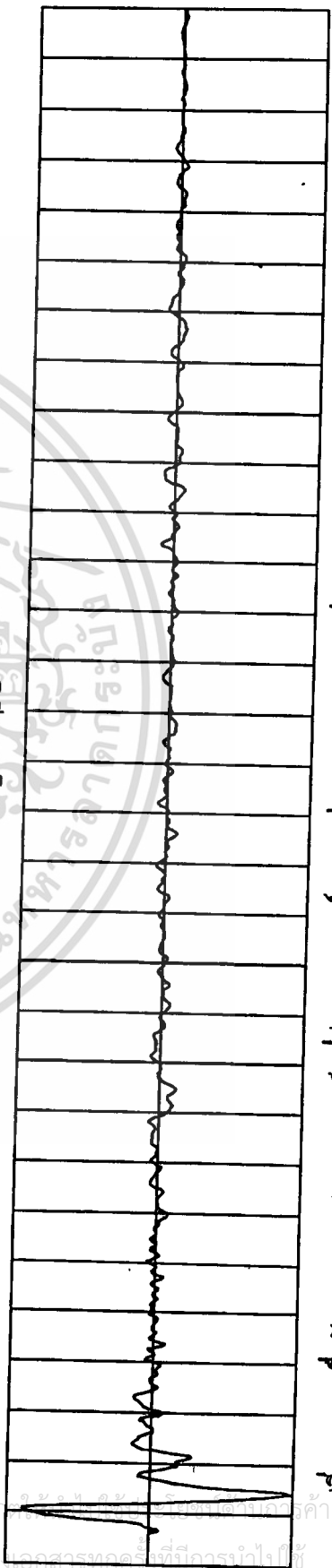
7.0

40.00 m

4200. m/s



ACC-AVG-Ampd

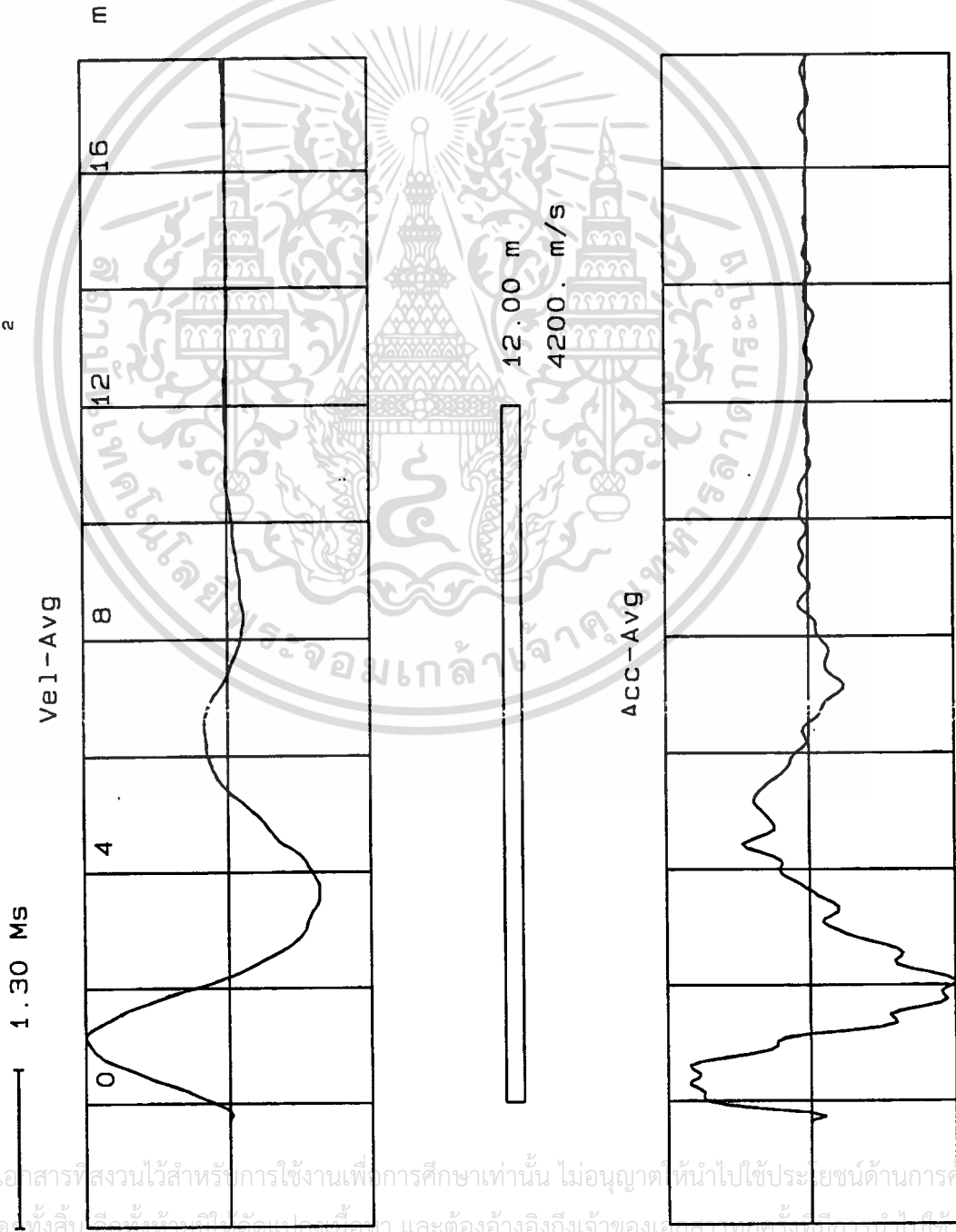


รูปที่ 6.61 คตินัดฐานแสดงลักษณะเสา ซึ่งมีมีความสมบูรณ์ และไม่สามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้



# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

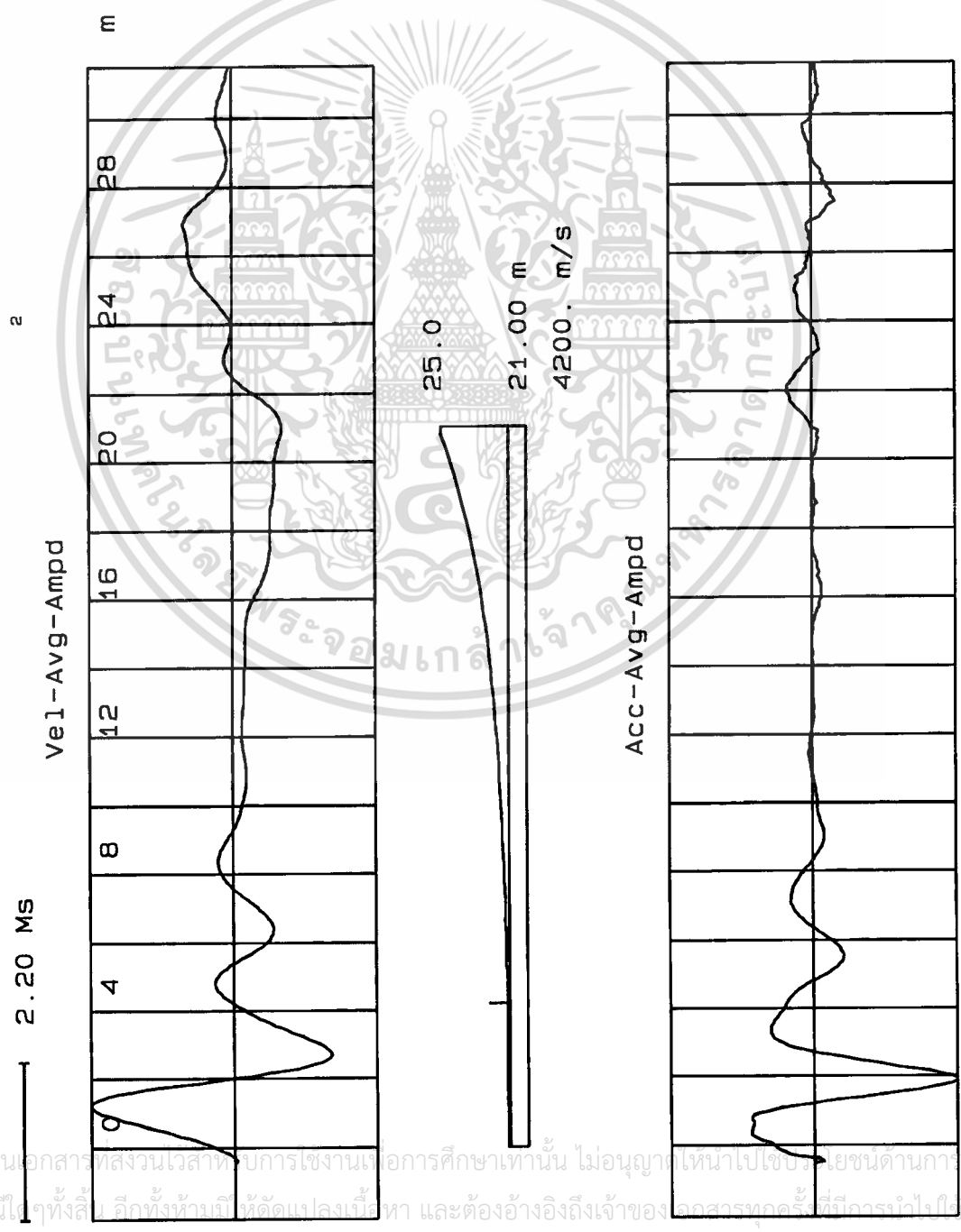
Project: PTT.  
Loc: I.22  
Date: 02/07/96  
Pile: B142  
Other: VEL ONLY  
BN  
1 Blow



รูปที่ 6.62 คลื่นสัญญาณแอสกติกและเสาเข็มที่มีหัวเสาเข็มที่ไม่ได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

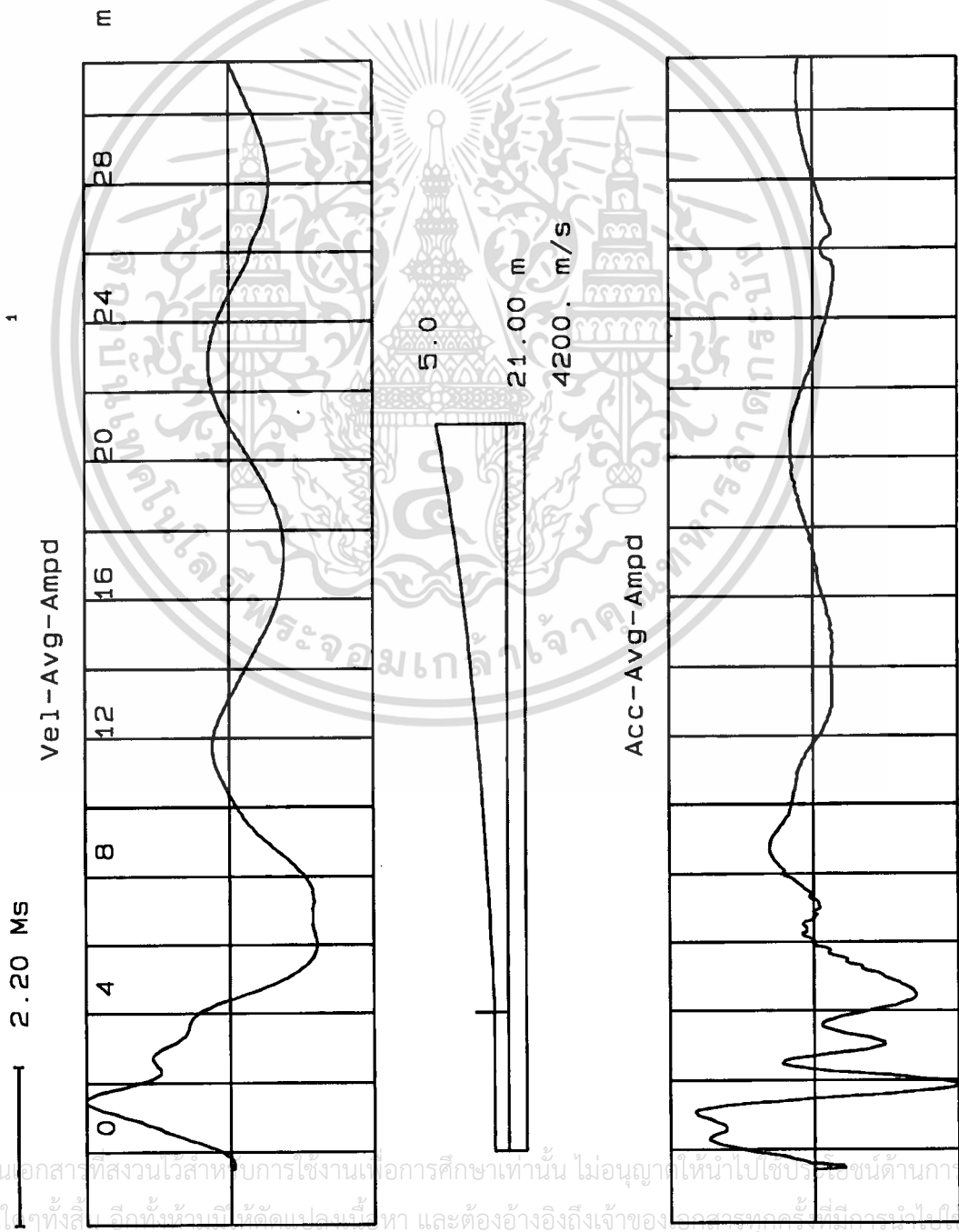
Project: SUKHUMVI      Pile: P4  
 Loc: I35                    Other: VEL ONLY  
 Date: 03/12/96            BN                    1 Blow



รูปที่ 6.63 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่หัวเสาเข็มที่ไม้ตี

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: SUKHUMVI      Pile: P16  
 Loc: I35                    Other: VEL ONLY  
 Date: 03/12/96            BN                    1 Blow

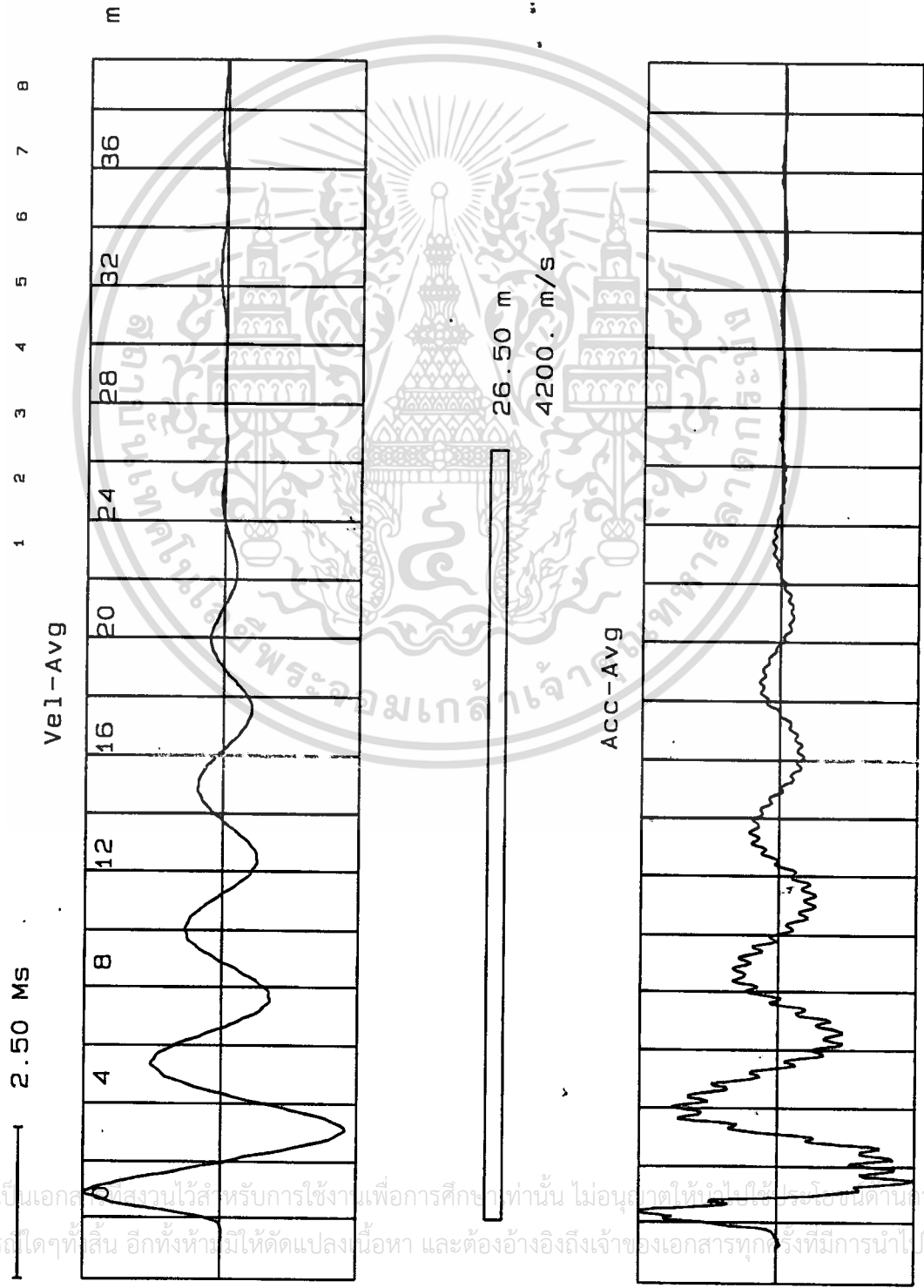


รูปที่ 6.64 คณิตสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่หัวเสาเข็มที่ไม่ได้

เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจาก STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: EGAT.  
Loc: SQ.40  
Date: 01/25/96

Pile: P 11  
Other: VEL ONLY  
BN 8 Blow



รูปที่ 6.65 คืบต้นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีหัวเสาเข็มที่ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ อื่นๆ หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

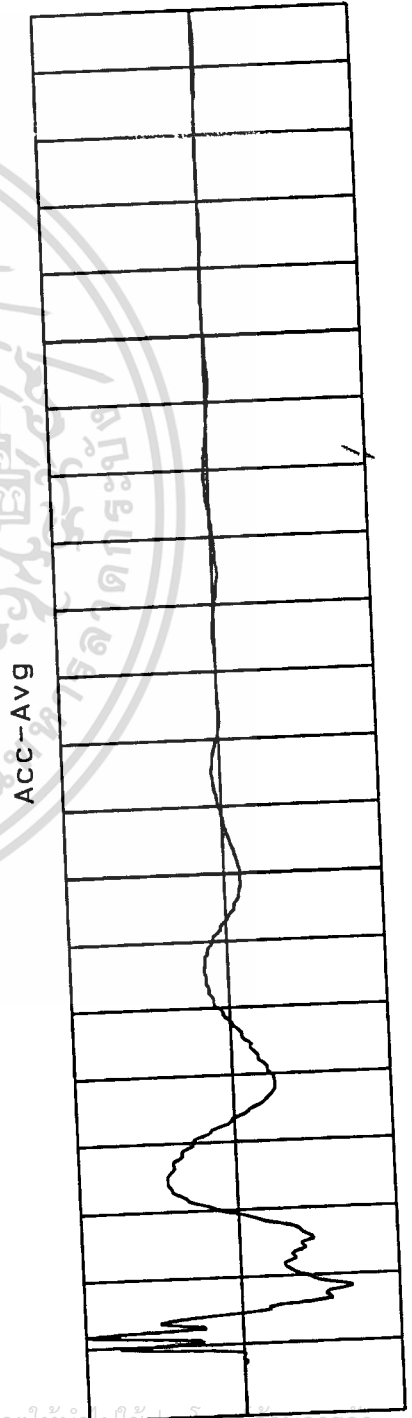
Consolidated Co., Ltd.

Pile: P 7  
Other: VEL ONLY 5 Blow  
BN

Project: EGAT.  
Loc: SG. 40  
Date: 01/25/96



26.50 m  
4200. m/s



รูปที่ 6.66 กราฟสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีหัวเสาเข็มที่ไม่ได้

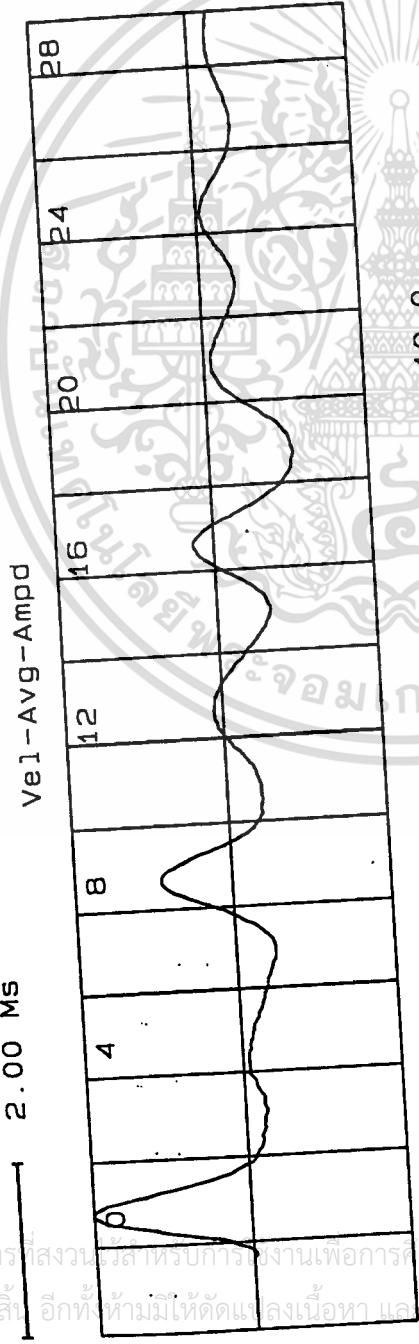
เอกสารที่ส่งไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ในใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



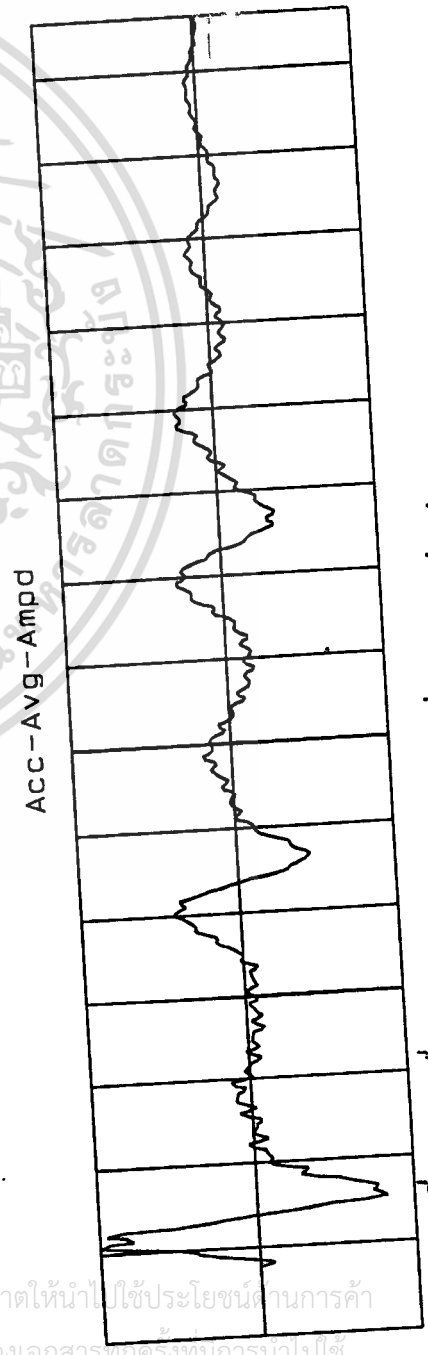
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project: THANOMMI  
 Loc: I.35  
 Date: 01/27/96  
 Pile: P 188  
 Other: VEL ONLY  
 BN  
 4 BLOW

2.00 Ms



10.0  
 19.50 m  
 4200 m/s



ความเร็ว 8.00 เมตร  $\alpha = 0.22$   
 จากสมการ  $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$   
 $= (1-0.22)/(1+0.22)$   
 $= 0.64$

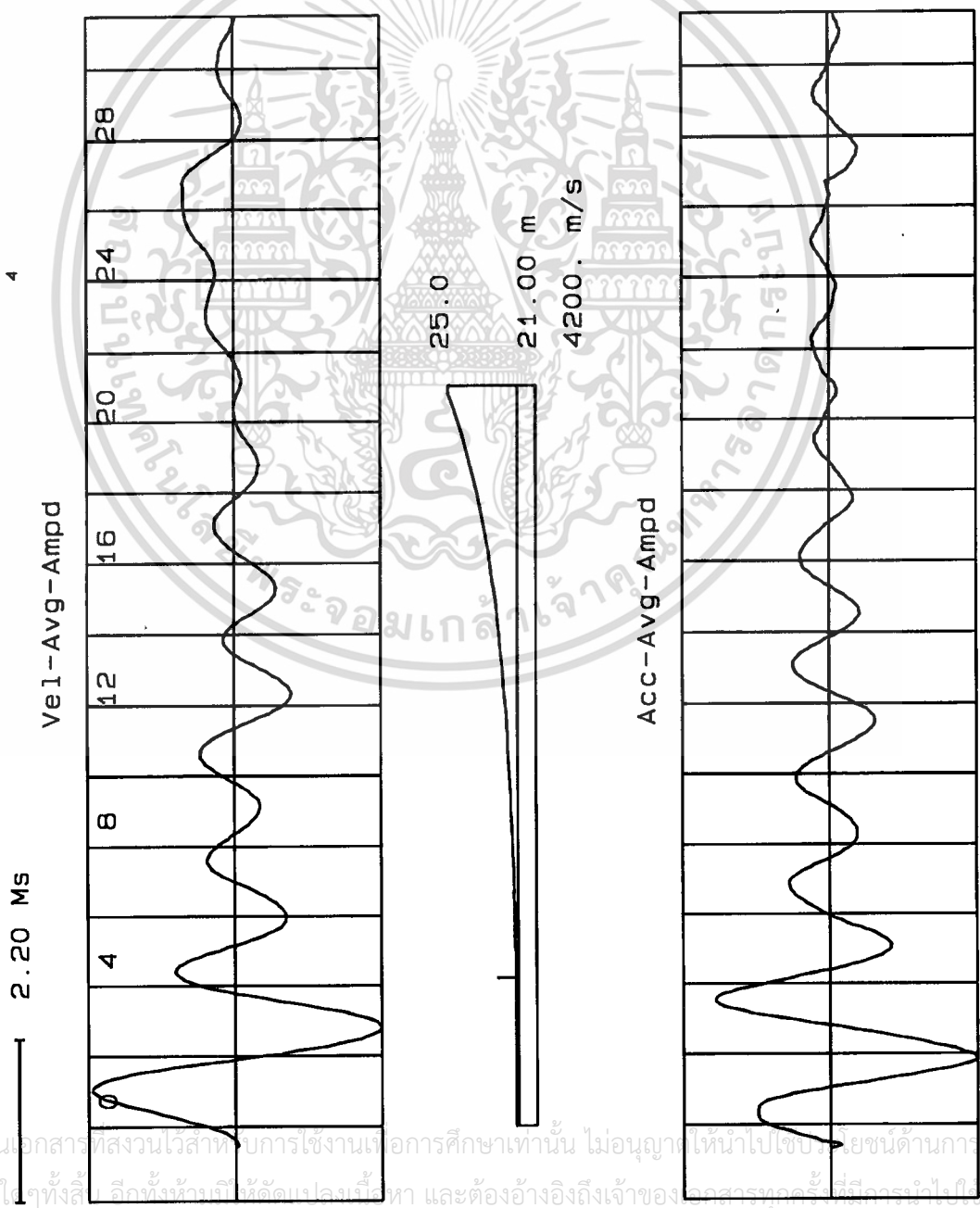
แสดงว่าเสาเข็มมีความบกพร่อง ซึ่งอาจเกิด  
 จากอรรถาธิบายเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ควรทำการ  
 ตรวจสอบเสาเข็มด้วยวิธีการอื่น และทำการซ่อมแซม  
 แก้ไขภายใต้การควบคุมของวิศวกร

รูปที่ 6.67 คลื่นสัญญาณแรงสั่นสะเทือนเสาเข็มที่มีความบกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 8.00 เมตร ไม่สามารถบอกตำแหน่งที่โดยละเอียดได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: SUKHUMVI  
 Loc: I35  
 Date: 03/12/96

Pile: P8  
 Other: VEL ONLY  
 BN  
 1 Blow



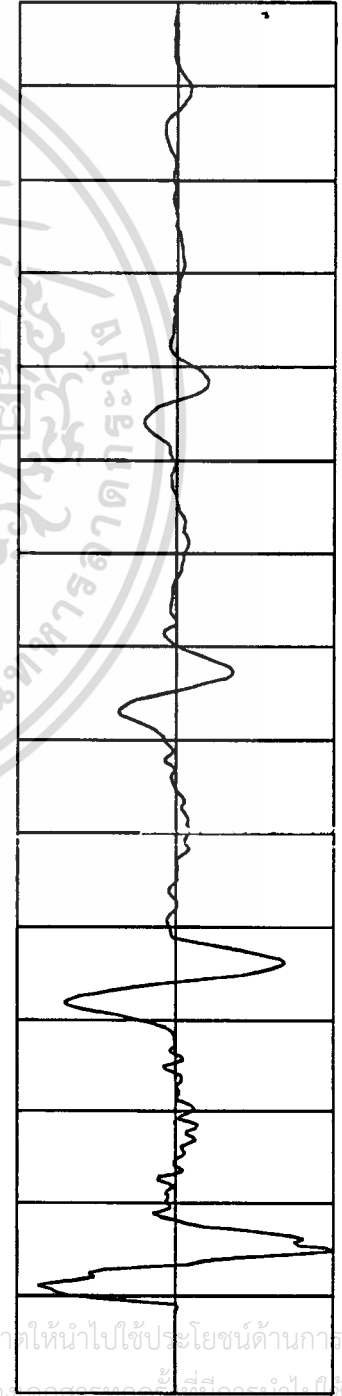
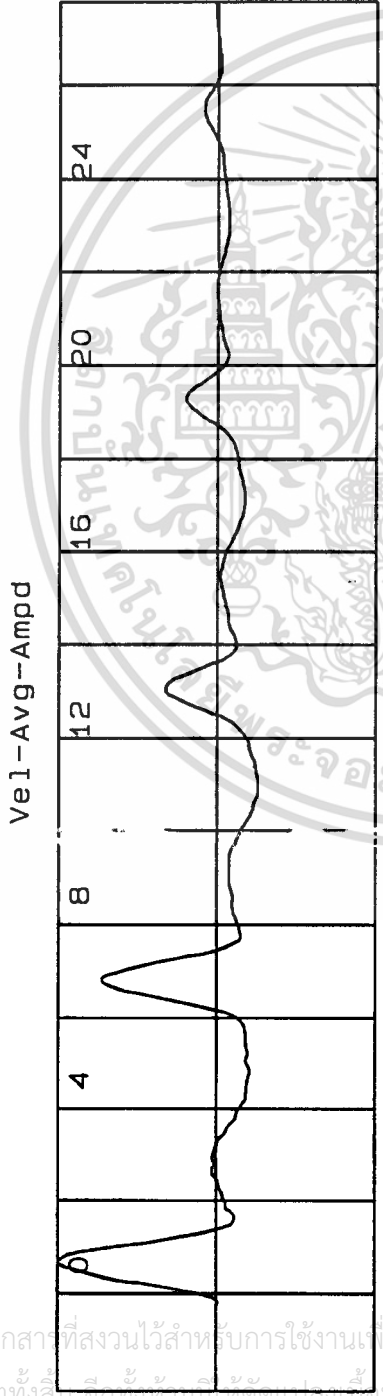
ที่ความลึก 4.00 เมตร  $\alpha = 0.20$   
 จากสมการ  $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$   
 $= (1-0.20)/(1+0.20)$   
 $= 0.67$

แสดงว่าเสาเข็มคั่นมีความมกพร่อง ซึ่งอาจ  
 เกิดจากรอยร้าวเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ควร  
 ทำการตรวจซ่อมเสาเข็มด้วยวิธีการอื่น และ  
 ทำการซ่อมแซมแก้ไขภายใต้การควบคุมของวิศวกร

รูปที่ 6.68 คัดสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความมกพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 4.00 เมตร ไม่สามารถบอกตำแหน่งที่ปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: NPK. Pile: P 15  
 Loc: SQ.30 Other: VEL ONLY  
 Date: 02/10/96 BN 3 Blow  
 1.80 Ms 1 2 3



m ที่ความลึก 6.20 เมตร  $\alpha = 0.36$   
 จากสมการ  $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$   
 $= (1-0.36)/(1+0.36)$   
 $= 0.47$

แสดงว่าเสาเข็มมีความสมบูรณ์ ซึ่งอาจ  
 เกิดจากรอยร้าวเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ควร  
 ทำการตรวจสอบเสาเข็มด้วยวิธีการอื่น และ  
 ทำการซ่อมแซมแก้ไขภายใต้การควบคุมของ  
 วิศวกร

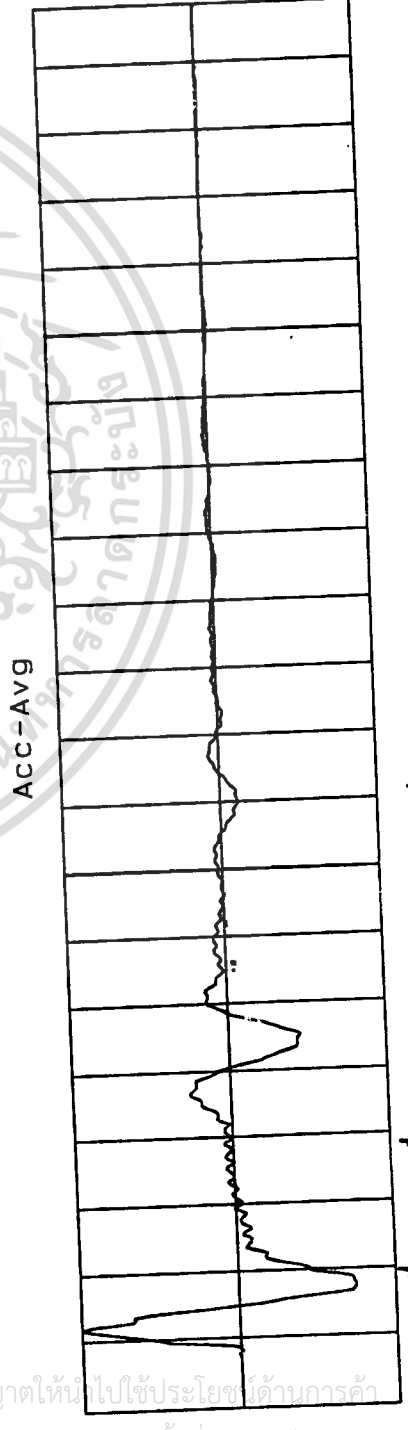
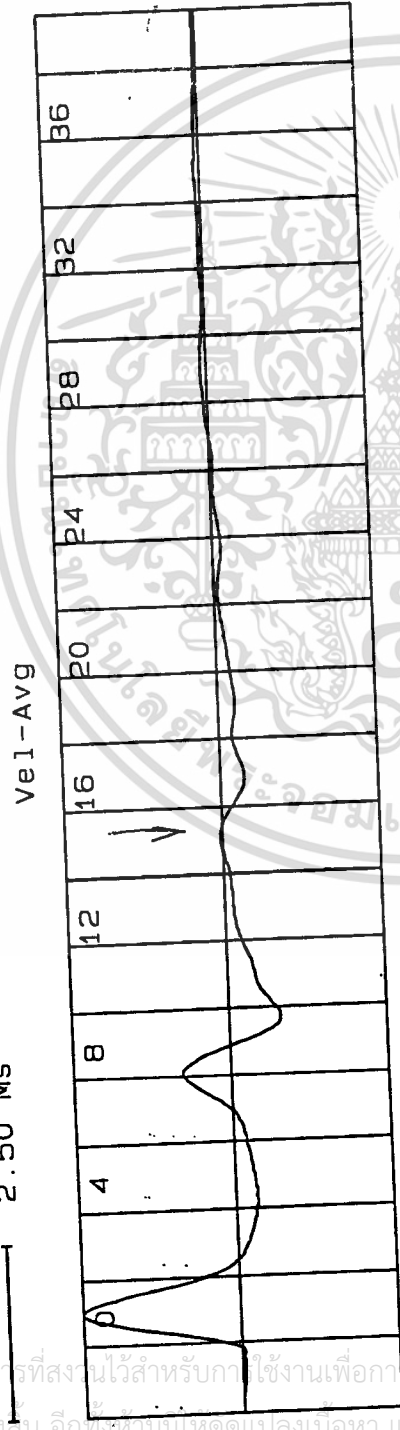
รูปที่ 6.69 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความสมบูรณ์ที่ระดับความลึกประมาณ 6.20 เมตร

ไม่สามารถบอกตำแหน่งที่ปลายเสาเข็มได้

Project: EGAT.  
 Loc: SQ.40  
 Date: 01/25/96

Pile: P 10  
 Other: VEL ONLY 5 Blow  
 BN

2.50 Ms



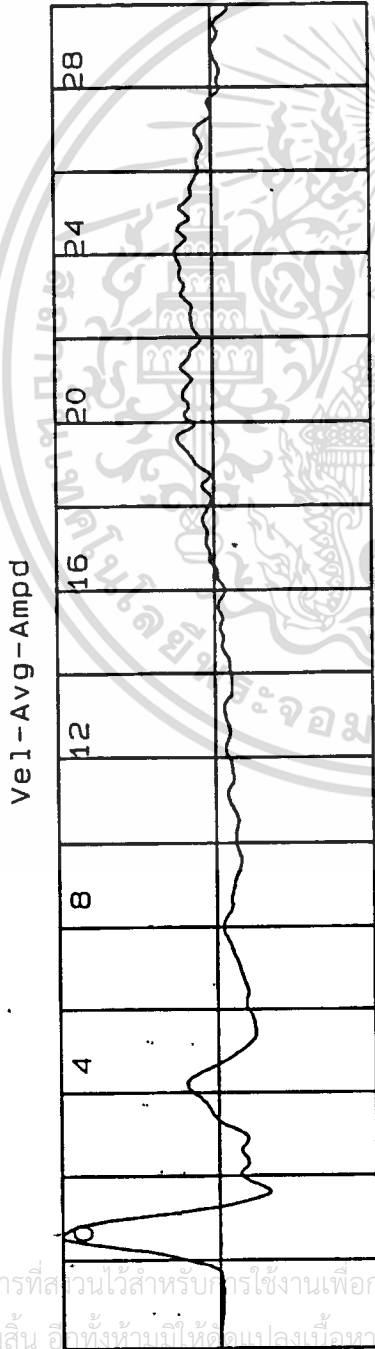
๓ ที่ความลึก 7.20 เมตร  $\alpha = 0.15$   
 จากสมการ  $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$   
 $(1-0.15)/(1+0.15)$   
 0.74

แสดงว่าเสาเข็มคนนี้มีควมบดพร่อง ซึ่งอาจ  
 เกิดจากรอยร้าวเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ ควร  
 ทำการตรวจสอบเสาเข็มด้วยวิธีการอื่น และ  
 ทำการซ่อมแซมแก้ไขภายใต้การควบคุมของ  
 วิศวกร

รูปที่ 6.70 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสา เข็มที่มีความบดพร่องที่ระดับความลึกประมาณ 7.20 เมตร ไม่สามารถบอกค่าแท่งที่ปลายเสาเข็มได้

Project: TPI. Pile: P 98  
 Loc: SP.35 Other: VEL ONLY  
 Date: 01/25/96 BN 4 Blow

2.00 MS

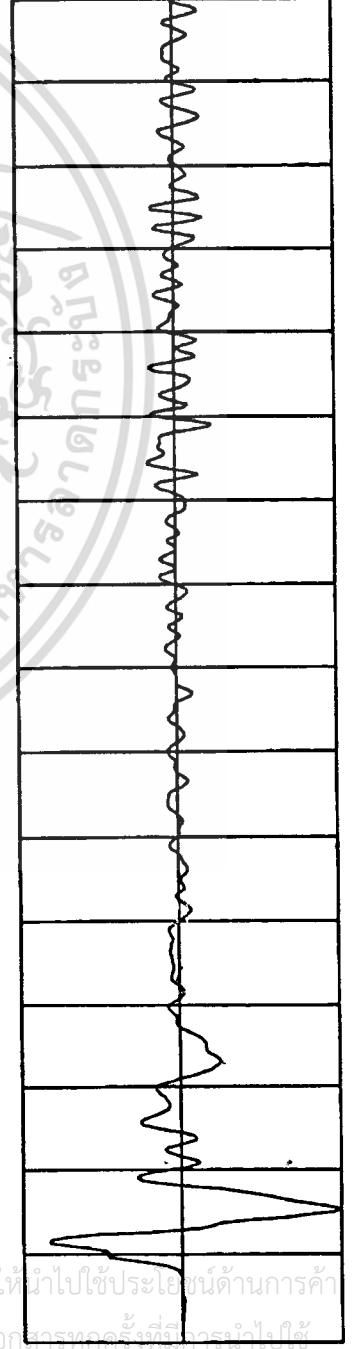


40.0

20.00 m

4200 m/s

ACC-Avg-Ampd



m ที่ความลึก 3.60 เมตร  $\alpha = 0.10$

$$\beta = (1-\infty)/(1+\infty)$$

$$= (1-0.1)/(1+0.1)$$

$\approx 0.82$

แสดงว่าเสาเข็มต้นสามารถนำไปใช้งานได้

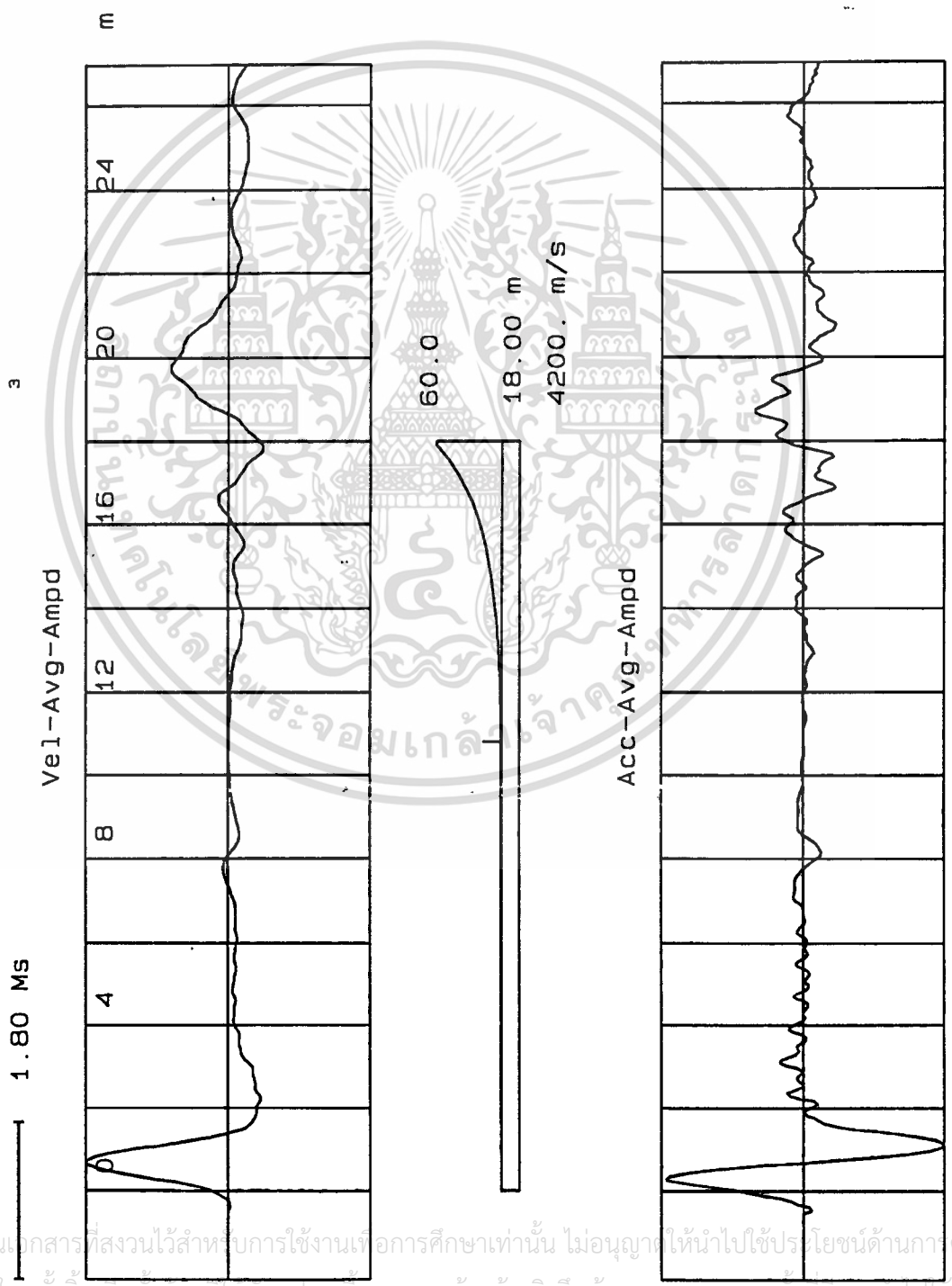
รูปที่ 6.71 คลื่นสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็มที่มีความยาวของเล็กน้อยที่ระดับความลึกประมาณ 3.60 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

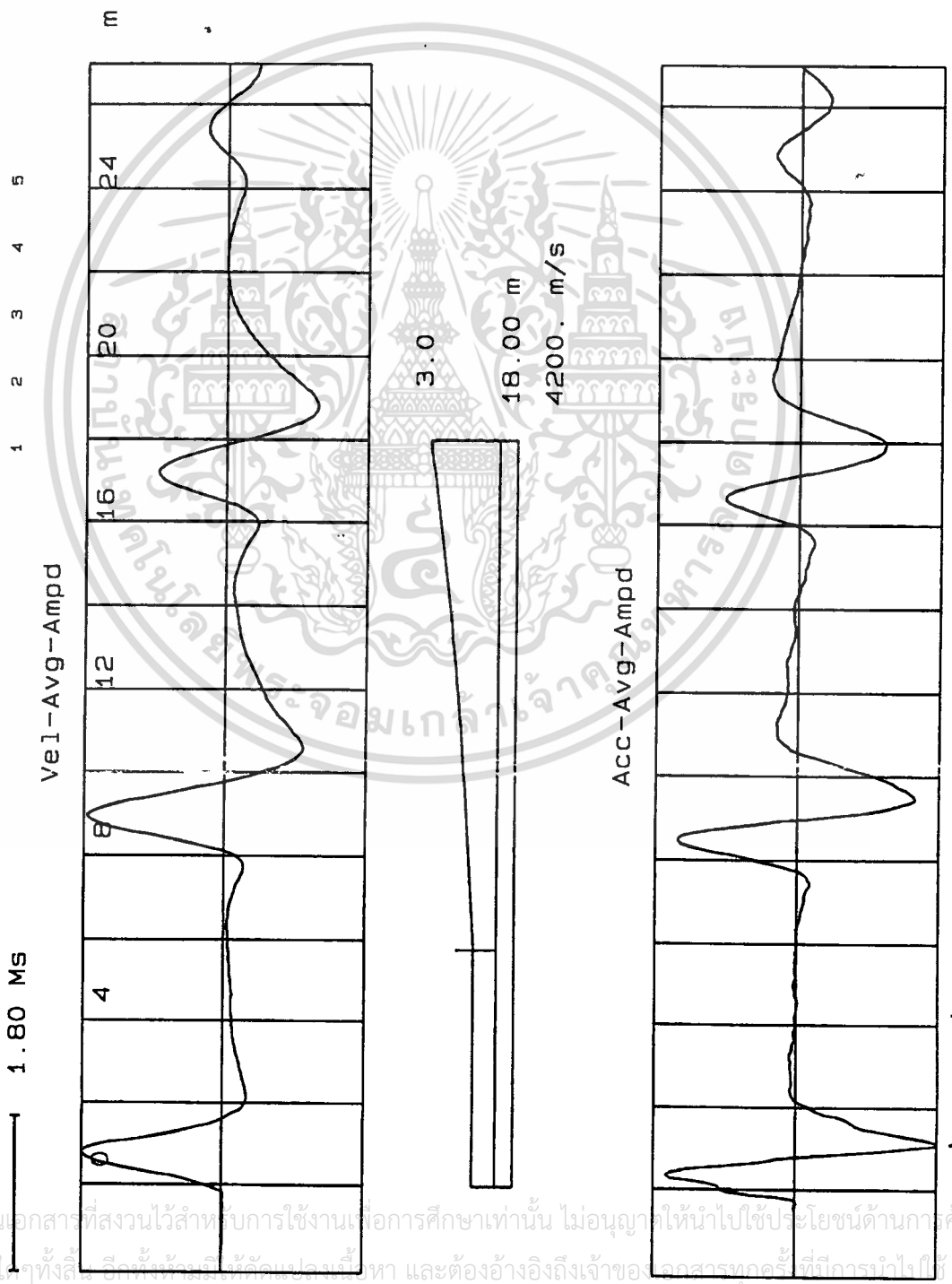
Project: VARINTHO Pile: P 46  
 Loc: I.35 Other: VEL ONLY  
 Date: 02/09/96 BN 1 Blow



รูปที่ 6.72 กราฟสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็ม 2 ท่อนต่อ (7.5 , 10.5) ที่มีความสมบูรณ์ และสามารถบอกตำแหน่งของปลายเสาเข็มได้

# STS Engineering Consultants Co., Ltd.

Project: BANK. Pile: P 2  
Loc: I.40 Other: BN  
Date: 02/05/96 5 Blow



รูปที่ 6.73 คัดสัญญาณแสดงลักษณะเสาเข็ม 2 ทอฆทอ (9 , 9) สภาพรอยต่อไม้

## บทที่ 7

### สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Sesimic Test พบว่าในขณะนี้กำลังเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในหลาย ๆ ประเทศ ประเทศไทย ก็เป็นประเทศหนึ่งที่ได้นำวิวัฒนาการสมัยใหม่แบบนี้มาใช้

#### 7.1 ข้อดีของการทดสอบโดยวิธีดังกล่าว มีข้อดีดังต่อไปนี้

1. สามารถตรวจสอบความบกพร่องได้อย่างรวดเร็ว ประมาณ 50-200 ต้น/วัน
2. ค่าใช้จ่ายในการทดสอบโดยเฉลี่ยประมาณต้นละ 600 บาท ซึ่งประหยัดกว่ามาก เมื่อเทียบกับการทดสอบด้วยวิธีอื่น
3. การทดสอบกระทำได้ง่าย และตรวจสอบได้อย่างทั่วถึง เนื่องจากสามารถเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ทดสอบได้อย่างสะดวก
4. ไม่จำเป็นต้องเตรียมอุปกรณ์พิเศษอื่น ๆ เพิ่มเติม เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแน่นนอนอยู่แล้ว
5. สามารถหาความยาวของเสาเข็มโดยประมาณได้
6. สำหรับเสาเข็มเจาะ สามารถทำการตรวจสอบเพื่อหาข้อบกพร่องได้อย่างสะดวกคือภายหลังจากทำการบ่มไปแล้ว 5 วัน

#### 7.2 สาเหตุของการสะท้อนกลับของคลื่นในเสาเข็ม

การสะท้อนกลับของคลื่นที่ได้จากการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานในเสาเข็ม ( Impedance ) และค่าความต้านทานของดิน ( Soil resistance )

- การเปลี่ยนแปลงความต้านทานในเสาเข็ม เกิดจาก

1. การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด เช่น
  - 1.1 การเพิ่มหรือลดขนาดพื้นที่หน้าตัด
  - 1.2 รอยแตกของเสาเข็ม
  - 1.3 รอยต่อระหว่างเสาเข็ม
  - 1.4 การเกิดโพรงหรือวัสดุอื่นแทรกในเสาเข็ม
  - 1.5 ปลายเสาเข็ม

2. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเสาเข็ม เช่น ค่า Young's modulus และความหนาแน่น ( Density ) ซึ่งอาจจะเกิดจากการใช้วัสดุคุณภาพไม่ดี ( Poor material ) หรือวัสดุคุณภาพไม่คงที่ ( Inhomogenities )

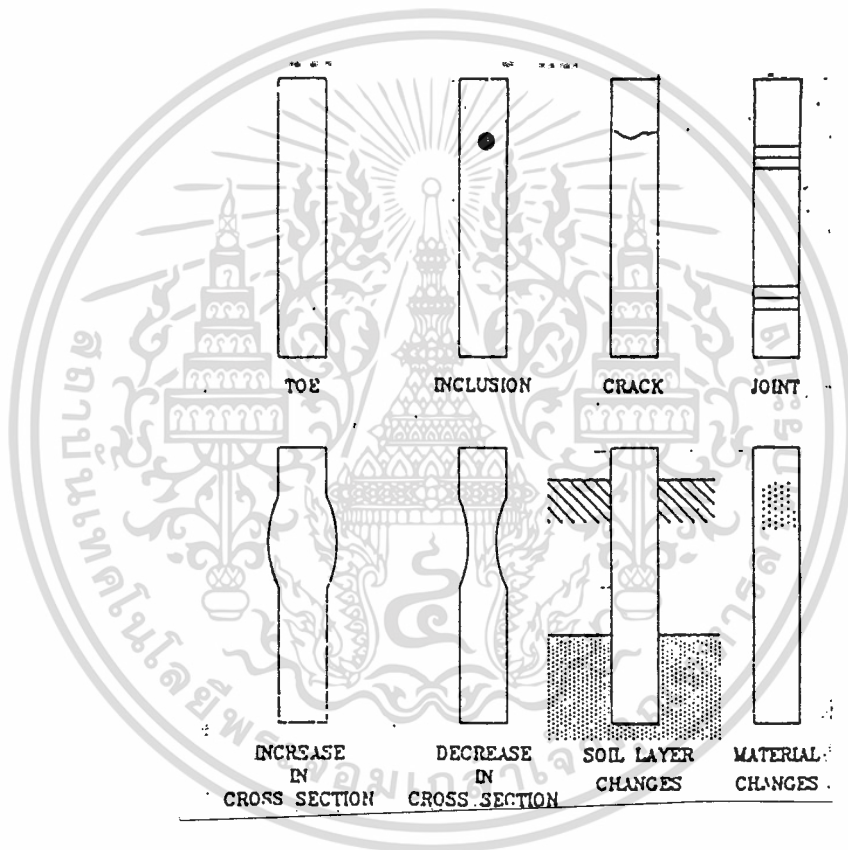
- การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของดิน ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่า Skin friction หรือการเปลี่ยนแปลงของชั้นดิน ( Soil layer changes )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.3 ข้อจำกัดการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม

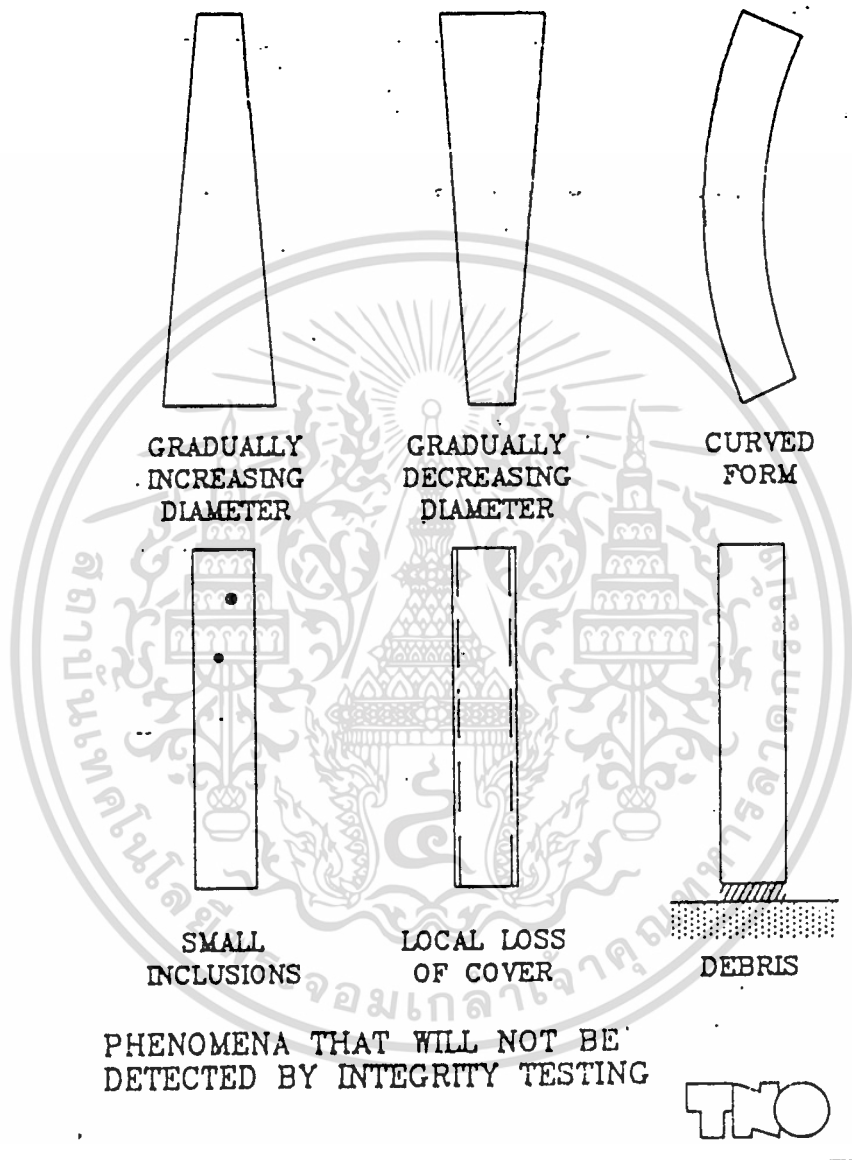
แม้ว่าเครื่องมือทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม จะสามารถตรวจสอบงานฐานรากเสาเข็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการทดสอบนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่เช่นกัน ซึ่งได้แก่

1. วิธีการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มนี้ จะไม่สามารถบอกให้ทราบถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ( Bearing capacity ) ได้
2. ไม่สามารถตรวจสอบความบกพร่องและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยได้
3. ไม่สามารถบอกความยาวของเสาเข็มโดยประมาณได้ ถ้าเสาเข็มที่ทำการทดสอบนั้นมีความยาวมาก หรือมีความต้านทานของดินมาก
4. ไม่สามารถบอกให้ทราบความผิดปกติที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งปลายเสาเข็มได้
5. การต่อเสาเข็มจะทำให้มีช่องว่างระหว่างรอยต่อ ซึ่งจะทำให้คลื่นไม่สามารถวิ่งผ่านช่องว่างนี้ได้ ดังนั้นความบกพร่องหลังรอยต่อจึงไม่สามารถตรวจพบได้
6. ในเข็มและเมื่อมีรอยบกพร่องขนาดใหญ่ คลื่นจะไม่สามารถวิ่งผ่านช่องว่างนี้ได้เช่นกัน
7. ไม่สามารถตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มในช่วง 0-1.5 เมตร จากหัวเข็มได้
8. หากเสาเข็มที่ตรวจสอบมีการลดขนาดลงแบบค่อย ๆ ลดลงทีละน้อย ก็จะไม่สามารถตรวจสอบได้เช่นกัน
9. หากเสาเข็มที่ตรวจสอบมีการลดขนาดลงแบบค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อย ก็จะไม่สามารถตรวจสอบได้เช่นกัน
10. ผู้วิเคราะห์ผลการทดสอบ จะต้องเป็นผู้ที่มีประสบการณ์สูง และความชำนาญเฉพาะด้าน
11. ในการวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเสาเข็ม เราจะไม่สามารถทำการวิเคราะห์สภาพของเสาเข็มได้ทุกกรณี สภาพของเสาเข็มที่สามารถวิเคราะห์ความสมบูรณ์โดยวิธี Seismic test และที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้สามารถแสดงดังในรูปที่ 7.1 และ 7.2



รูปที่ 7.1 แสดงลักษณะที่สามารถทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 แสดงลักษณะที่ไม่สามารถทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 7.4 สาเหตุที่ทำให้การวิเคราะห์ผลการทดสอบแตกต่างจากสภาพความเป็นจริง

จากการศึกษาพบว่าในบางครั้ง ผลสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบ มีความคลาดเคลื่อนไปนั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

1. การเตรียมสภาพของหัวเสาเข็มที่จะทำการทดสอบไม่ดี เช่น

- บริเวณหัวเสาเข็มมีสภาพเปียกชื้นหรือมีสารละลายเบนโทโนที่ตกค้างอยู่
- คอนกรีตหัวของเสาเข็มจะเป็นคอนกรีตคุณภาพต่ำ ( เช่น มีทรายผสมอยู่เป็นจำนวนมาก ) ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะขาดความต่อเนื่องไปจากส่วนอื่น ๆ

ด้วยเหตุดังกล่าวจะทำให้สัญญาณที่ได้จากการทดสอบ และนำมาวิเคราะห์ผลนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น

2. เกิดจากความประมาทและเข้าใจผิดของผู้ทำการทดสอบ เช่น

- รายงานหมายเลขของเสาเข็มที่ทำการทดสอบไม่ถูกต้อง
- รายงานสภาพของเสาเข็มที่แท้จริงไม่ชัดเจน เช่น

กรณีเสาเข็มค่อกัน ถ้าผู้ทำการทดสอบไม่รายงานให้ผู้วิเคราะห์ผลทราบ ถ้าหากตำแหน่งดังกล่าวมีสภาพรอยต่อไม่ดี คลื่นอาจสะท้อนกลับ ทำให้ผู้วิเคราะห์ผลการทดสอบ อาจสรุปว่าตำแหน่งนี้เป็นปลายเสาเข็ม หรือรอยคอดได้

กรณีที่เสาเข็มเจาะ และหน่วยงานก่อสร้างยังไม่ทำการตัดบริเวณหัวเสาเข็ม ซึ่งมีคุณภาพคอนกรีตไม่ดี ถ้าผู้ทำการทดสอบไม่รายงานสภาพหัวเสาเข็มให้ผู้วิเคราะห์ผลการทดสอบทราบ ผลการวิเคราะห์อาจสรุปว่าเสาเข็มเกิดรอยคอดหรือเกิดความไม่สมบูรณ์ขึ้นบริเวณที่คอนกรีตคุณภาพไม่ดี

3. กรณีที่เสาเข็มที่ทำการทดสอบมีพื้นที่หน้าตัดใหญ่มาก ผู้ทำการทดสอบทำการเคาะเพียง 2-3 จุด ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบความสมบูรณ์ครอบคลุมพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มทั้งหมดได้ เนื่องจากในการเคาะแต่ละครั้ง คลื่นสัญญาณจะสามารถตรวจสอบครอบคลุมเพียงรัศมีประมาณ 20 เซนติเมตร เท่านั้น ดังนั้น ถ้าหากเสาเข็มต้นที่ทดสอบไม่สมบูรณ์ แต่ผู้ทำการทดสอบทำการทดสอบได้ไม่ครอบคลุมตำแหน่งที่เกิดความไม่สมบูรณ์ จะทำให้ผู้วิเคราะห์ผลสรุปว่าเสาเข็มต้นดังกล่าวสมบูรณ์ได้

4. เมื่อทำการทดสอบเสาเข็มในหน่วยงานหนึ่ง ๆ เพียงไม่กี่ต้นและผู้วิเคราะห์ผลไม่ทราบถึงตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นดิน จะทำให้ผู้วิเคราะห์ผลอาจสรุปว่า ณ ตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นดินนั้น เสาเข็มเกิดการบวมขึ้นก็ได้

5. เมื่อเข็มมีความบดพร่องที่ลึกมาก ,ขนาดความกว้างน้อย และในที่มีความชื้นสูง ลักษณะคลื่นจะคล้ายกับเข็มที่มีความบดพร่องที่ลึกน้อย ,ขนาดความกว้างมากกว่า และในที่มีความชื้นต่ำ แสดงตามรูปที่ 7.3 และรูปที่ 7.4

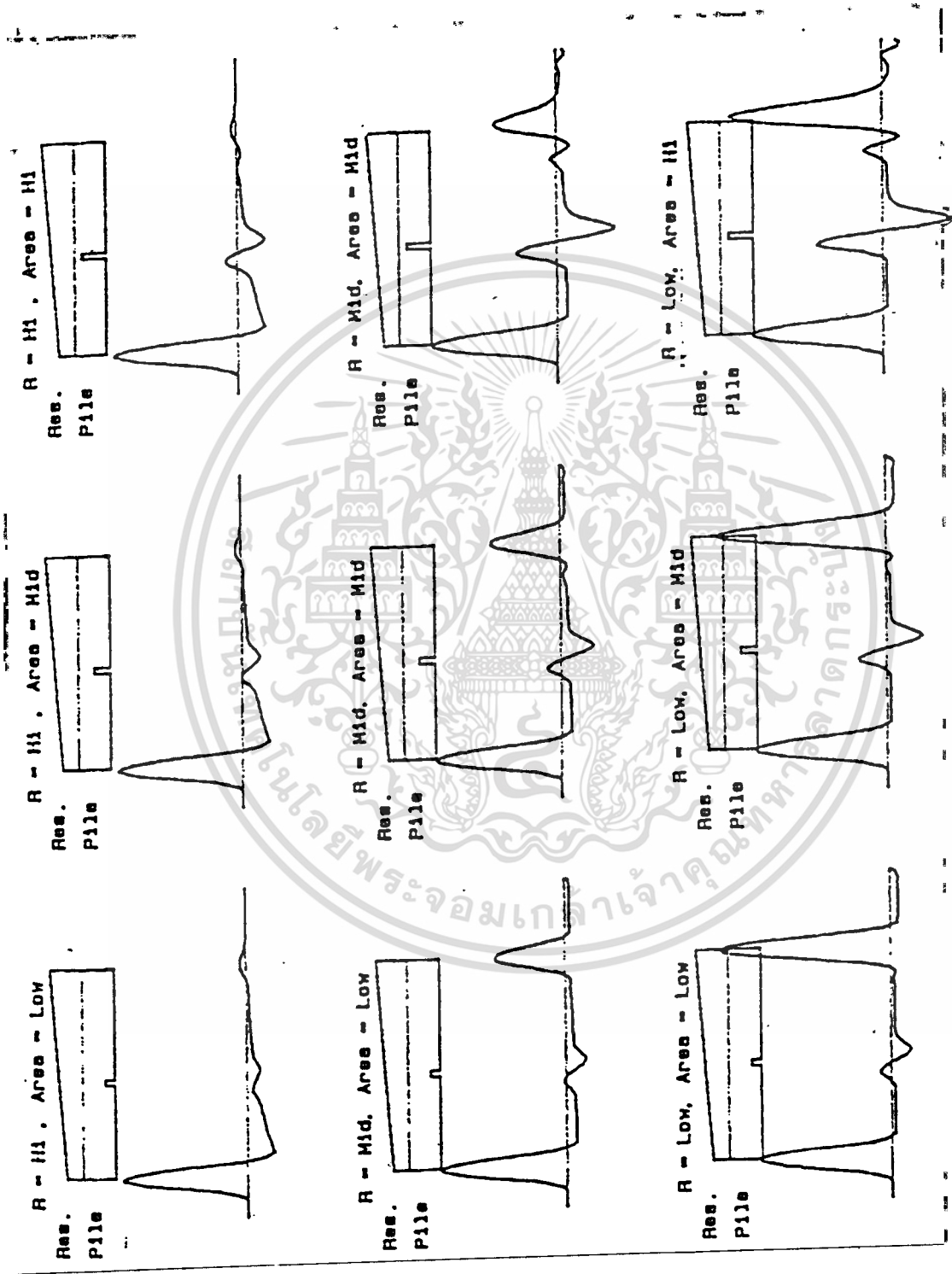
6. ตามรูปที่ 7.5 ความบดพร่องขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวเสาเข็ม ทำให้สัญญาณที่ได้คล้ายกับการเพิ่มของ Impedance ( การเพิ่มของขนาดหน้าตัด )

7. ตามรูปที่ 7.6 การเพิ่มของ Impedance บริเวณใกล้หัวเสาเข็มอาจจะทำให้ตีความคิดเป็นการเกิดความบดพร่อง

8. ตามรูปที่ 7.7 เป็นการขากที่จะพบความบดพร่องบริเวณปลายถ้าความต้านทานของดินสูง

ภายใต้วิธีการก่อสร้างที่ถูกต้อง อาจเกิดการเพิ่มของเส้นผ่านศูนย์กลางในดินที่มีแรงเสียดทานสูง เช่นทราย ในขณะที่ดินในชั้นต่อมาเป็นวัสดุที่มีแรงต้านทานต่ำเช่นดินเหนียว จะสามารถรักษารูปร่างเดิมของเสา

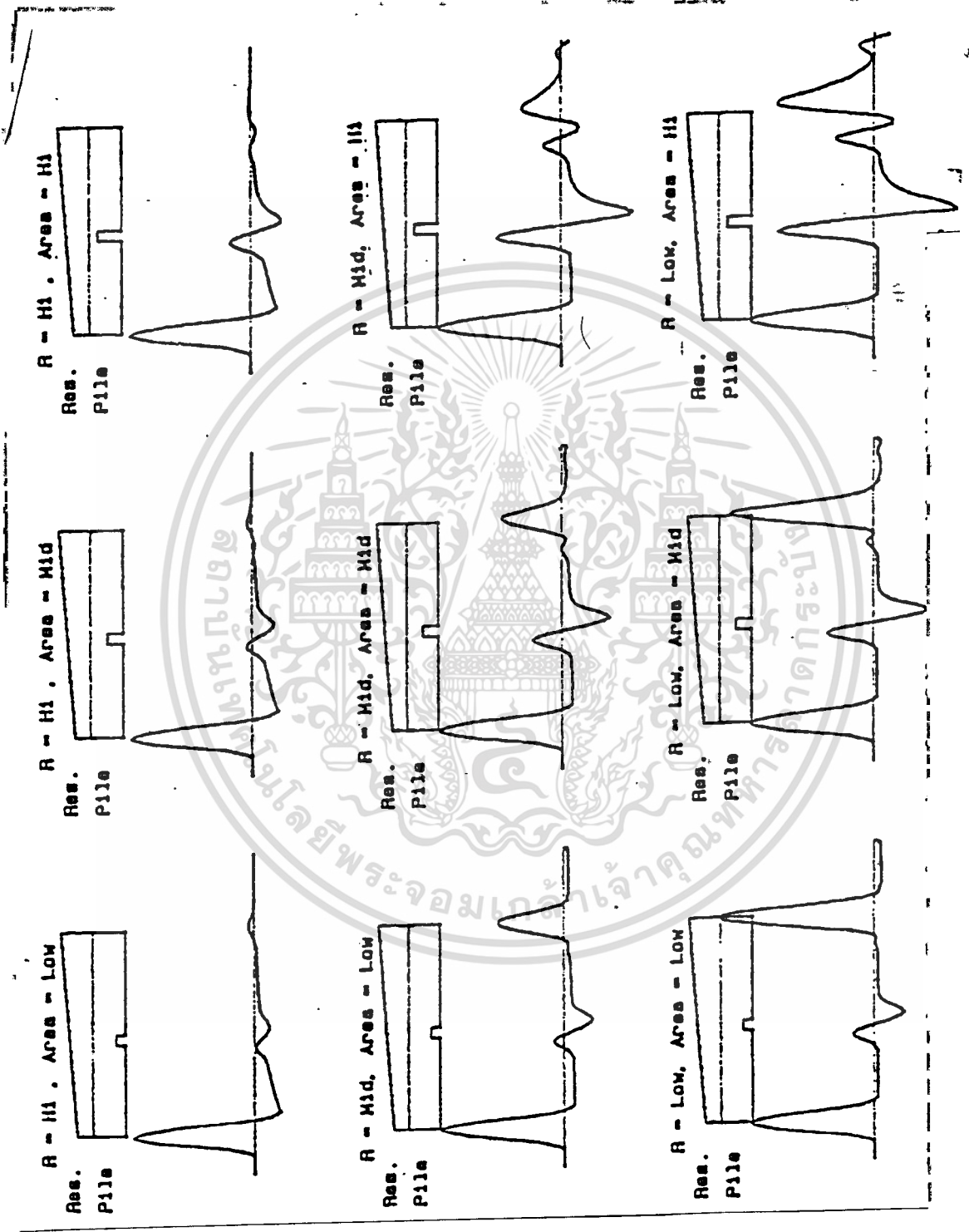
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.3 แสดงความเร็วที่วัดได้บนหัวเสาเข็มซึ่งเกิดจุดบกพร่องช่วงกลางเข็ม โดยมีความยาวของจุดบกพร่องเท่ากับ 1/6 pulse width

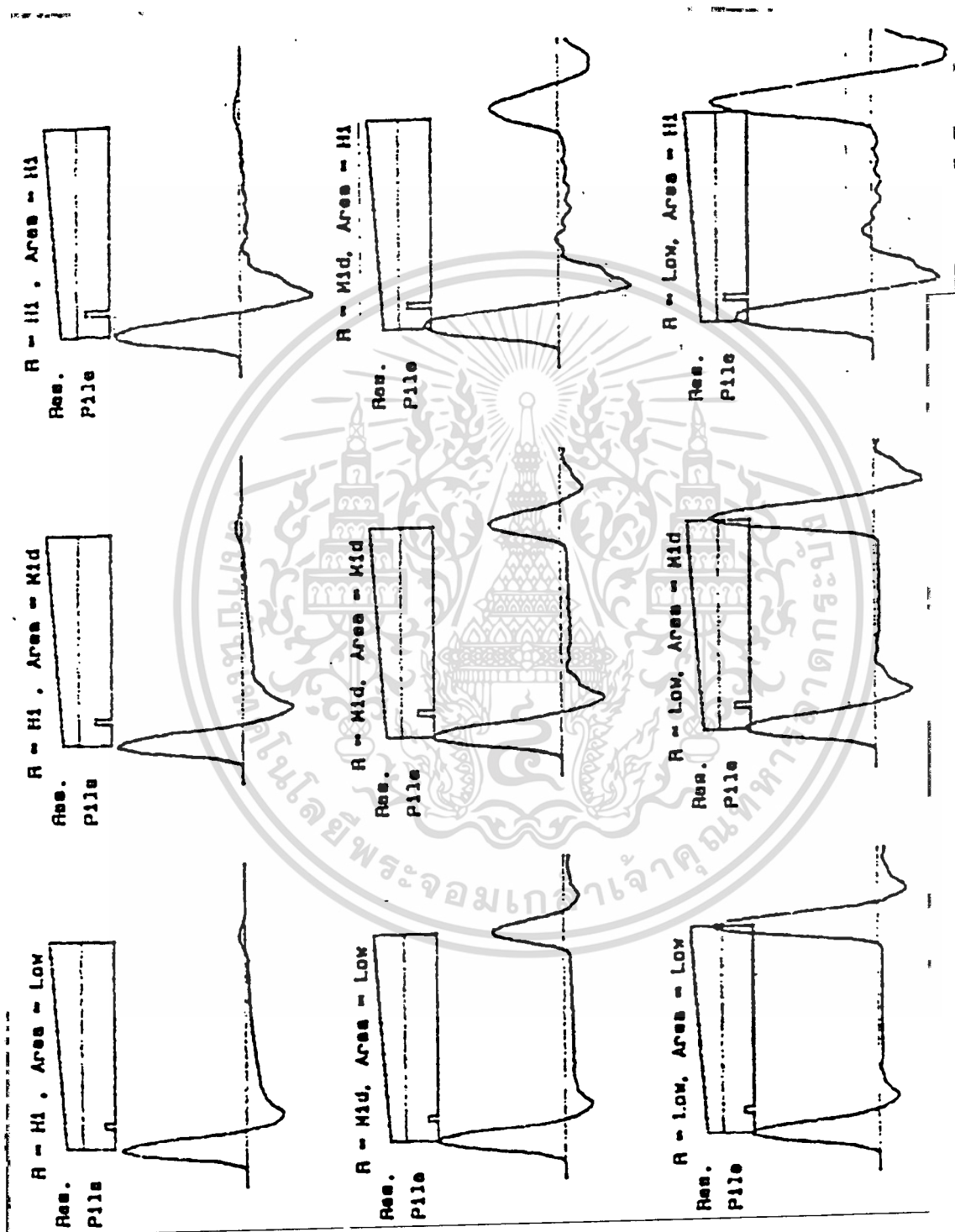
จากรูป : ความต้านทานดินและความลึกที่จุดบกพร่องจะเพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



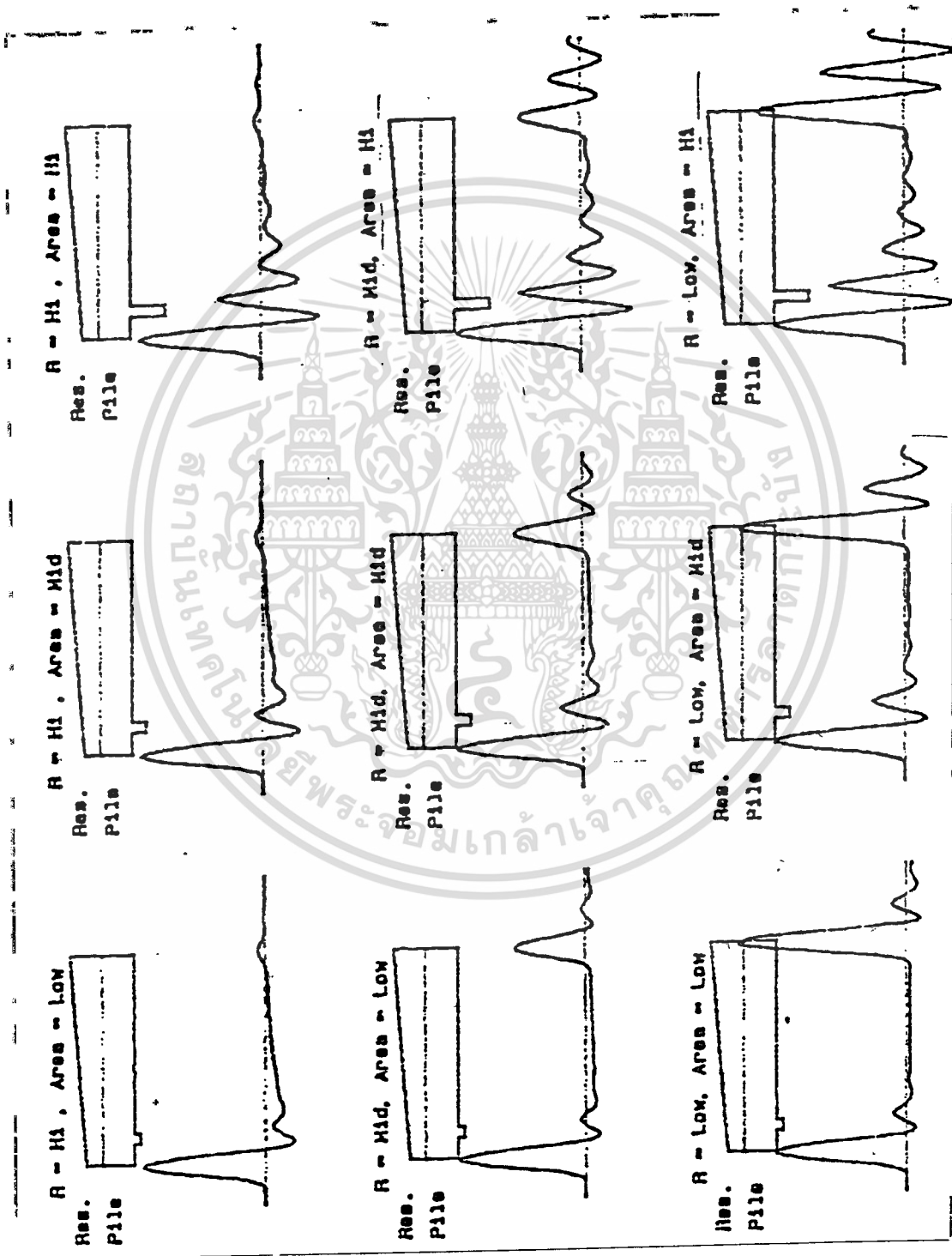
รูปที่ 7.4 แสดงความเร็วที่วัดได้บนหัวเสาเข็มซึ่งเกิดจตุคตบทุร่อบแบบ necking โดยมีความยาวของจตุคตบทุร่อบเท่ากับ 1/3 pulse width

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



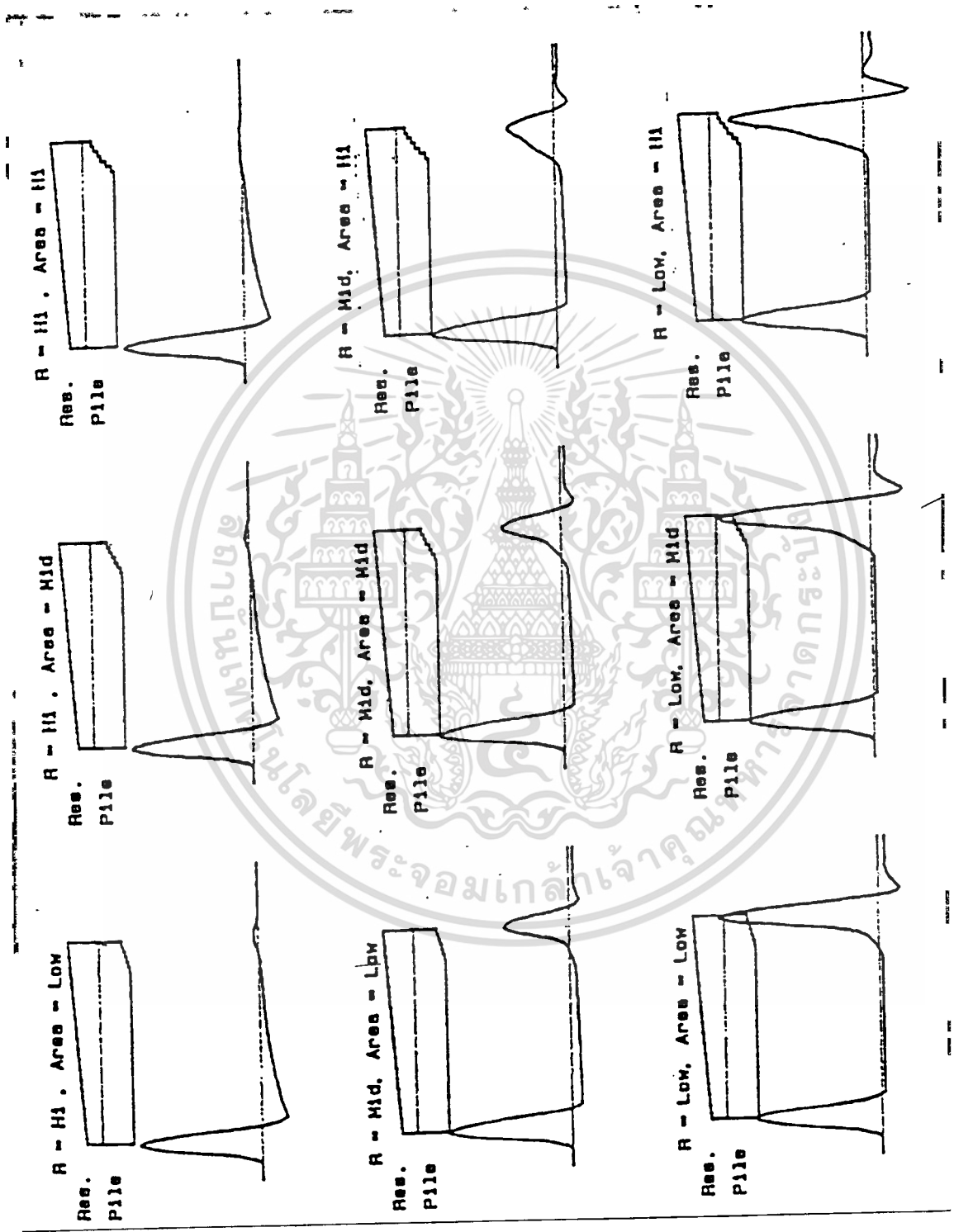
รูปที่ 7.5 แสดงชุดคัปพริงของเสาเข็มแบบ necking ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณใกล้หัวเข็ม โดยมีความยาวของชุดคัปพริงเท่ากับ  $1/6$  pulse width

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



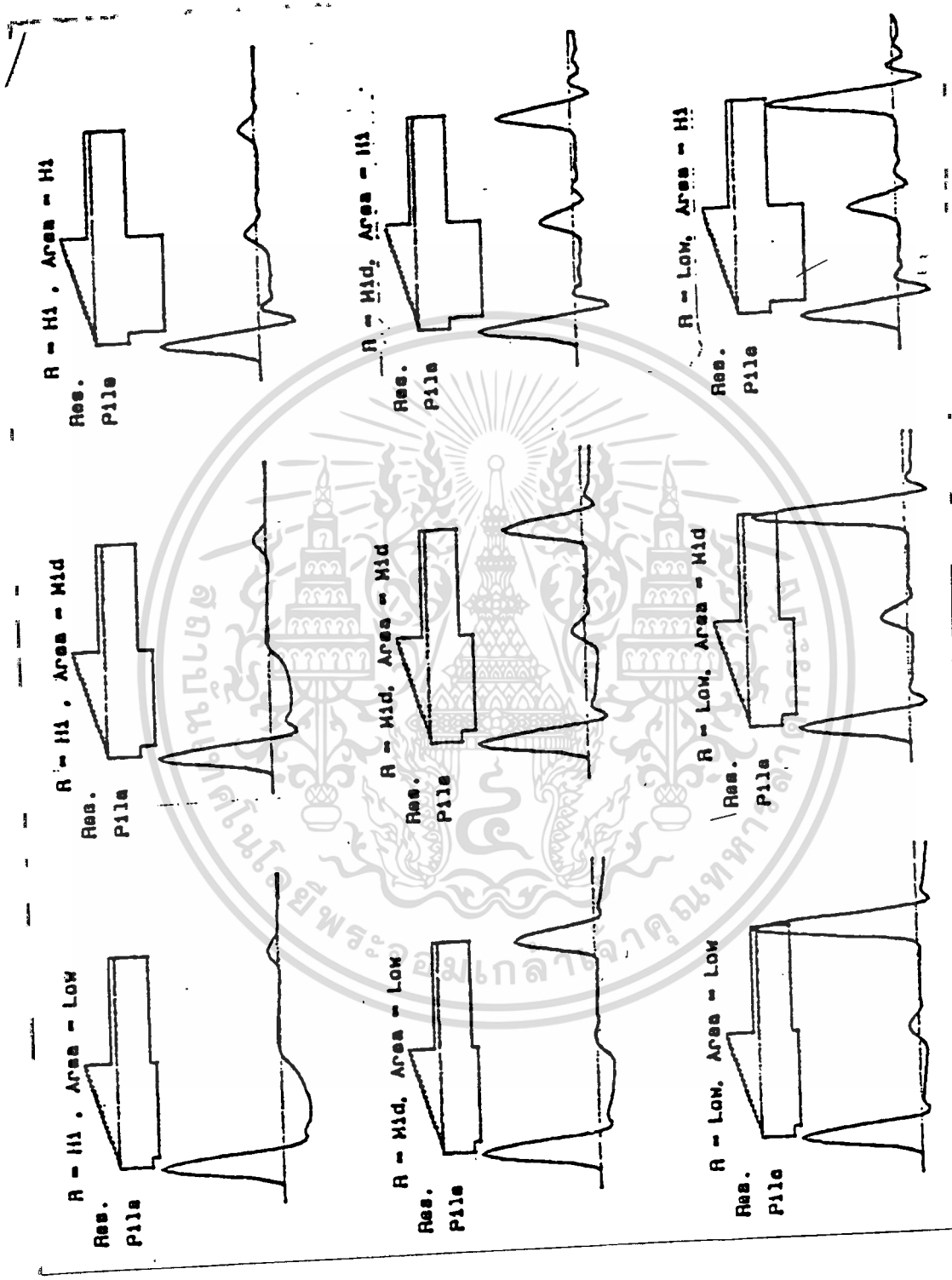
รูปที่ 7.6 แสดงความเร็วที่วัดได้บนหัวเสาเข็ม โดยจุดบัพพร้อมที่เกิดขึ้นจะมีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดบริเวณหัวเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.7 แสดงควาเร็วที่วัดได้บนหัวเสาเข็ม โดยจุดบัพพร้อมที่เก็ด้ขึ้นจะมมีการลดลงของพื้นที่หน้าตัดบริเวณปลายเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.8 แสดงความเร็วที่วัดได้บนหัวเสาเข็ม โดยจุดภาพพร้อมที่เกิดขึ้นจะมีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดมากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวเสาเข็ม ในขณะที่ friction มีค่าสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข็มไว้ได้ ผลที่ได้ออกมาอาจตีความเป็นเสาเข็มที่มีความบกพร่อง แต่ในความเป็นจริงแล้วเสาเข็มที่ได้เป็นเสาเข็มที่สมบูรณ์ ดังรูปที่ 7.8

### 7.5 เทคนิคการใช้เครื่องอย่างมีประสิทธิภาพ

1. การติดตั้ง Transducer ควรจะใช้ดินน้ำมัน หรือวัสดุที่ติดมากับเครื่องมือในการประสานกับหัวเสาเข็มให้แน่นและตั้งได้ฉาก

2. ระยะจากตัว Transducer กับค้อนที่ใช้เคาะควรอยู่ห่างกันประมาณ 15 - 30 เซนติเมตร มิฉะนั้นแล้วคลื่นที่ได้จะผิดพลาดจากความเป็นจริง

3. ในการตั้งค่า Wave Speed ควรจะตั้งค่าดังนี้

- เข็มตอก ใช้ค่า Wave Speed 4200 m/s
- เข็มเจาะ

เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 60 ซม. ใช้ค่า Wave Speed 3800 m/s

เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 60 ซม. ใช้ค่า Wave Speed 4000 m/s

4. เสาเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 60 ซม. ควรติดตั้ง Transducer ไว้ตรงกึ่งกลางแล้วเคาะโดยรอบเส้นรอบรูปของเสาเข็ม

เสาเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 60 ซม. ควรติดตั้ง Transducer อย่างน้อย 2 ตำแหน่ง แล้วทำการเคาะโดยรอบตัว Transducer นั้น

เสาเข็มสปันควรติดตั้ง Transducer อย่างน้อย 3 จุด รอบเสาเข็ม จำนวนการติดตั้งจะมากหรือน้อยจะพิจารณาจากขนาดหน้าตัดของเสาเข็ม

5. ก่อนที่จะทำการทดสอบควรทำการเตรียมผิวหน้าของหัวเสาเข็มให้เรียบร้อยเสียก่อน ถ้าคอนกรีตบริเวณหัวเสาเข็มมีคุณภาพไม่ดีจะต้องทำการสกัดจนถึงผิวหน้าคอนกรีตที่ดี เพราะจะทำให้สัญญาณที่ได้เกิดผิดพลาดได้

6. การปรับค่าของ A GAIN จะมีค่าไม่เกิน 15

สำหรับหน้าตัดเข็มที่มีขนาดใหญ่ควรปรับค่า A GAIN ให้มีค่ามากเพื่อลดแรงที่ใช้ในการตอก

## 7.6 ข้อเสนอแนะ

### 1. ปัญหาที่เกิดจากการทดลอง

- เมื่อทำการทดลองเสาเข็มสำเร็จรูปตัว I ขนาด  $0.12 \times 0.12 \times 6.00$  เมตร สภาพสมบูรณ์บนดิน ผลจะไม่แตกต่างจากเข็มขนาดเดียวที่มีความบดพร่อง 20 % ( ปีกทั้งสองข้างของตัว I ถูกตัดออกไป )

- การวัดพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มที่เกิดความบดพร่องทำได้ลำบากและจำนวนตัวอย่างไม่มากพอที่จะสรุปผลได้

2. ความยาวเข็มต่ำสุดและสูงสุดที่สามารถทดสอบได้ จากการทดลองพบว่า เสาเข็มความยาว 6 เมตร ไม่สามารถตรวจสอบความบดพร่องได้ แต่พบสัญญาณที่หัวเสาเข็มและปลายเสาเข็ม

3. โปรแกรม P.I.T. WAP เป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ความบดพร่องของเสาเข็ม โดยจะใช้ในการหารูปร่างของเสาเข็ม และเปอร์เซ็นต์หน้าตัดที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งขบวนการทำงานของโปรแกรมจะใช้ค่า Pile Impedance และ Soil resistance ในการคำนวณหา

ขบวนการเปลี่ยนค่า Pile Impedance และการวิเคราะห์ใหม่ จะนำไปสู่การจับคู่สัญญาณความเร็วที่หัวเข็มที่วัดได้และความเร็วที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม ขบวนการนี้จะกระทำต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งเกิดการจับคู่สัญญาณที่ดีที่สุด และจากสาเหตุนี้จะทำให้เกิดรูปร่างของเสาเข็มขึ้น ลักษณะรูปร่างของเสาเข็มจะแสดงออกมามีรูปที่ 7.9

โปรแกรม P.I.T. WAP นี้จะมีประโยชน์มาก เมื่อเสาเข็มเกิดความเสียหายมาก ( Beta มีค่าน้อย ) แต่เนื่องจาก ตัวโปรแกรมมีราคาสูง และทางภาควิชาไม่ได้ซื้อไว้ ดังนั้นการศึกษาในเรื่องนี้จึงกระทำได้ลำบาก

4. ในการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Seismic Test ในสนามนั้น ผู้ทำการทดสอบควรพิจารณาถึงสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.1 หมายเลขของเสาเข็มต้นที่ทำการทดสอบ ก่อนที่จะทำการทดสอบผู้ทดสอบควรทำการตรวจสอบกับวิศวกรผู้ควบคุมงานให้ถูกต้องเสียก่อน

4.2 ควรรายงานผลการทดสอบในสนามควบคู่ไปกับการรายงานสภาพของเสาเข็ม ให้ผู้ทำการวิเคราะห์ผลให้ให้มากที่สุด เช่น สภาพหัวเสาเข็ม, เบี่ยงขึ้น, แตกร้าว หรือคอนกรีตคุณภาพไม่ดี, เป็นเสาเข็มต่อกี่ท่อน เป็นต้น

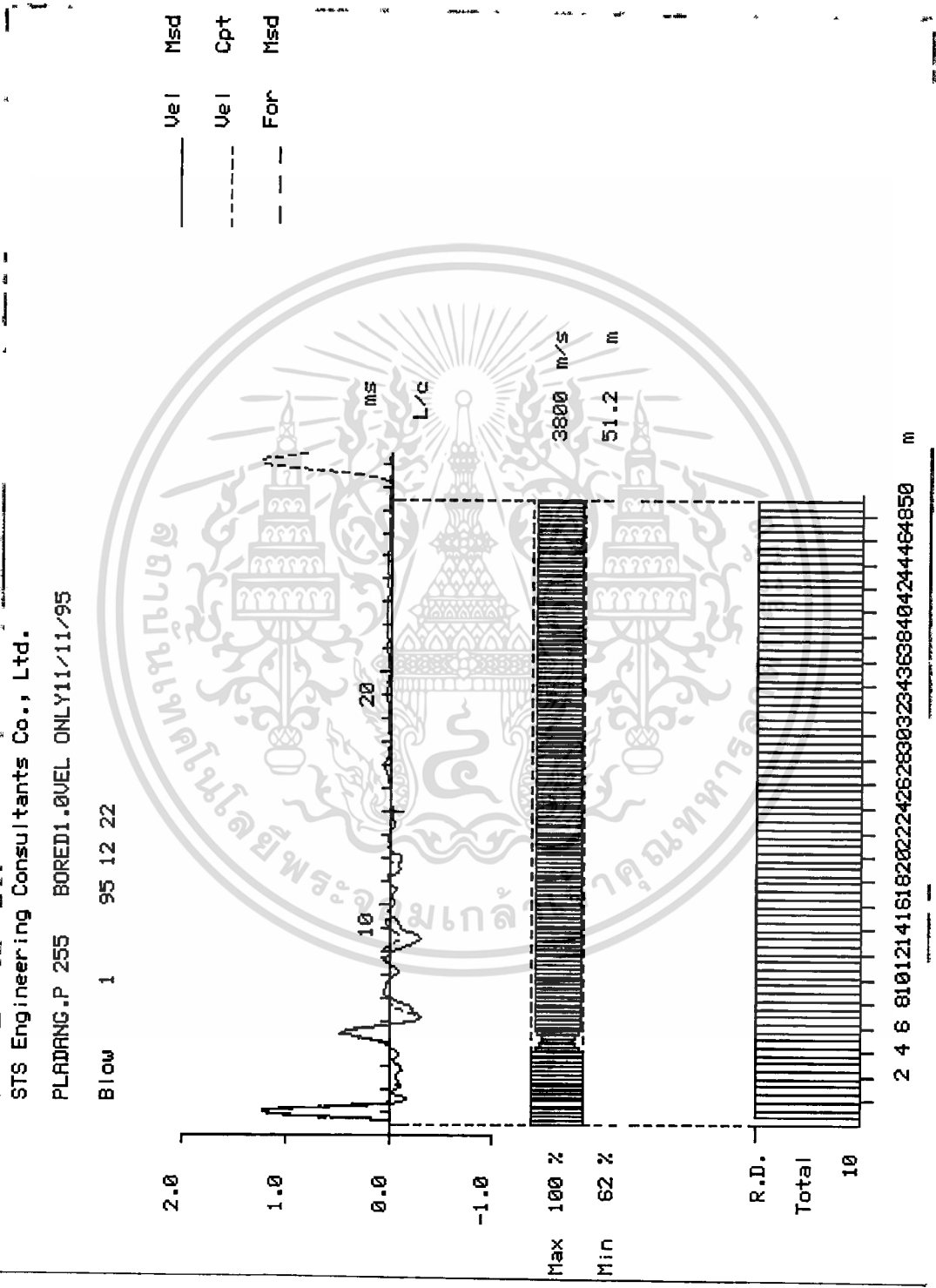
4.3 ในการทดสอบนั้น ผู้ทำการทดสอบควรพยายามทดสอบหลายๆ จุด โดยพยายามให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม

4.4 ในหน่วยงานเดียวกัน ควรทำการทดสอบเสาเข็มอย่างน้อย 10 % ของจำนวนเสาเข็มในหน่วยงานทั้งหมด เพื่อที่จะให้ผู้ทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ใช้ผลการทดสอบเสาเข็มแต่ละต้นเปรียบเทียบกัน ทำให้ทราบตำแหน่งที่ดินเกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นดินได้

4.5 ควรเลือกขนาดน้ำหนักของตัวค้อนให้เหมาะสมกับพื้นที่หน้าตัด และความยาวของเสาเข็ม เช่น กรณีค้อนขนาดหนัก 450 กรัม ( 1" ) กับเสาเข็มที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่า 60 ซม และยาวไม่เกิน 30 เมตร

ใช้ค้อนขนาดหนัก 900 กรัม ( 5" ) กับเสาเข็มที่มีพื้นที่หน้าตัดมากกว่า 60 ซม และยาวมากกว่า 30 ซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 4.6 ในกรณีที่ไม่สามารถสรุปถึงความสมบูรณ์ของเสาเข็ม หรือผู้ควบคุมงานไม่แน่ใจเกี่ยวกับความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ควรจะทำการทดสอบเสาเข็มต้นที่มีปัญหานั้นด้วยวิธีการอื่นๆ อีก



รูปที่ 7.9 แสดง Profile ของเสาเข็ม ที่ได้จากโปรแกรม P.I.T. WAP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งหนึ่ง เช่น Dynamic load test, Static load test หรือการ Core คอนกรีตมาทดสอบ ทั้งนี้เพราะการตรวจสอบ  
ด้วยวิธีนี้เป็นเพียงข้อสรุปเบื้องต้นเกี่ยวกับสภาพความสมบูรณ์เท่านั้น ไม่ได้เกี่ยวข้องกับความสามารถในการรับ  
น้ำหนักของเสาเข็ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. ชมรมวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , “ เสาเข็ม ” , 2524 .
2. ภาสกร ชันทองทิพย์, ศฤมภ์พงษ์ เจริญสุพงษ์, ชูชัย สุจิวรกุล, “ การประเมินกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มโดยวิธีทางพลศาสตร์ ”, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , 2535 .
3. Bowen Han , “ Integrity Testing of Bored Piles by Seismic Reflection Method ” , Third International Conference on the Application of Stress wave Theory to Pile , Ottawa ,1988.
4. Frans B.I. Barends, “ Application of Stress wave Theory to Piles ” , The 4 th International Conference of The Application of Stress wave Theory to Piles, Netherlands , 1992.
5. Goble Rausche Likins and Associates, Inc., “ Pile Integrity Testing ” , Ohio.
6. Joseph E. Bowles, “ Foundation Analysis and Design ” , 4 th Edition McGraw-Hill International Editions, 1988, New York.
7. Peter Middendrop and Peter Brederodo, “ a Field Monitoring Technique for the Integrity Testing of Foundation Piles ” , International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Zurich, 1983.
8. Rousche F., Likins G.E., and Hussein m., “ Pile Integrity by Low Strain Impacts ” , Third International Conference on the Application of Stress wave Theory on Piles, Ottawa, 1988.
9. Rousche F., and Goble, G.G., “ Determination of Pile Damage by Top Measurements ” , Behavior of Deep Foundation, ASTM Symposium, Boston Massachusetts, 1973.
10. Seapco Co., Ltd. “ การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มเจาะโดยวิธี Sonic Integrity Test ” , 1993.
11. S.T.S. Engineering Consultant Co., Ltd. “ การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ( Pile Integrity Testing ) ” .
12. Steven Butting and Lee Yew Leong, “ Low and High Strain Integrity Test ” , Third International Conference on the Application of Stress wave Theory to Pile, Ottawa, 1988.
13. Von Koten and Middledrop P., “ Equipment for Integrity Testing and Bearing Capacity of Pile ” , Proceeding of the International seminar on Application of Stress wave Theory on Pile ” , Stockholm, 1980.
14. Van Koten and Middledrop P., “ Interpretation of Result from Integrity Tests and Dynamic Load Test ” , Proceeding of the International Seminar on Application of Stress wave Theory on Pile, Stockholm, 1980.
15. Starke W.F. ( Bill ) and Matthew C. Janes, “ Accuracy and Reliability of Low Strain Integrity Testing ” , Third International Conference on the Application of Stress wave Theory to Pile, Ottawa, 1988.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. ชมรมวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , “เสาเข็ม” , 2524 .
2. ภาสกร ชันทองทิพย์, สฤกษ์พงษ์ เจริญสุพงษ์, ชูชัย สุจิรวรกุล, “ การประเมินกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มโดยวิธีทางพลศาสตร์ ”,วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , 2535 .
3. Bowen Han , “ Integrity Testing of Bored Piles by Seismic Reflection Method ” , Third International Conference on the Application of Stress wave Theory to Pile , Ottawa ,1988.
4. Frans B.I. Barends, “ Application of Stress wave Theory to Piles ” , The 4 th International Conference of The Application of Stress wave Theory to Piles, Netherlands , 1992.
5. Goble Rausche Likins and Associates, Inc., “ Pile Integrity Testing ” , Ohio.
6. Joseph E. Bowles, “ Foundation Analysis and Design ” , 4 th Edition McGraw-Hill International Editions, 1988, New York.
7. Peter Middendrop and Peter Brederodo, “ a Field Monitoring Technique for the Integrity Testing of Foundation Piles ” , International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Zurich, 1983.
8. Rousche F., Likins G.E., and Hussein m., “ Pile Integrity by Low Strain Impacts ” , Third International Conference on the Application of Stress wave Theory on Piles, Ottawa, 1988.
9. Rousche F., and Goble, G.G., “ Determination of Pile Damage by Top Measurements ” , Behavior of Deep Foundation, ASTM Symposium, Boston Massachusetts, 1973.
10. Seapco Co., Ltd. “ การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มเจาะโดยวิธี Sonic Integrity Test ” , 1993.
11. S.T.S. Engineering Consultant Co., Ltd. “ การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ( Pile Integrity Testing ) ” .
12. Steven Butting and Lee Yew Leong, “ Low and High Strain Integrity Test ” , Third International Conference on the Application of Stress wave Theory to Pile, Ottawa, 1988.
13. Von Koten and Middledrop P., “ Equipment for Integrity Testing and Bearing Capacity of Pile ” , Proceeding of the International seminar on Application of Stress wave Theory on Pile”, Stockholm, 1980.
14. Van Koten and Middledrop P., “ Interpretation of Result from Integrity Tests and Dynamic Load Test ” , Proceeding of the International Seminar on Application of Stress wave Theory on Pile, Stockholm, 1980.
15. Starke W.F. ( Bill ) and Mattew C. Janes, “ Accuracy and Reliability of Low Strain Integrity Testing ” , Third International Conference on the Application of Stress wave Theory to Pile, Ottawa, 1988.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

### คุณลักษณะเสาเข็มที่ต้องการ

#### 1. คุณสมบัติทั่วไป

- 1.1 เนื้อคอนกรีตต้องแน่นสม่ำเสมอและไม่มีรอยพรุนหรือรอยแตกซึ่งลึกถึงเนื้อเหล็กเสริม
- 1.2 เสาเข็มยอมให้มีรอยร้าวต่อเนื่องกันได้ไม่เกินครึ่งหนึ่ง ของเส้นรอบรูป และต้องทำมุมระหว่าง 80 - 90 องศา กับแนวแกนเสาเข็ม รอยร้าวที่เกิดขึ้นแต่ละรอยต้องห่างกันเกิด 500 มิลลิเมตร
- 1.3 เสาเข็มจะต้องแสดงตำแหน่งของจุดยกไว้ให้ชัดเจน ถ้าออกแบบให้ยกเป็นจุดให้ทำเป็นเครื่องหมาย หรือทำเป็นรูร้อยหรือที่จับยึดสำหรับยกไว้ ถ้าออกแบบให้ยกโดยวิธีอื่น ต้องแสดงวิธีการยกไว้ด้วย

#### 2. คุณลักษณะทางกล

- 2.1 เนื้อคอนกรีต ต้องมีค่าความต้านแรงอัด ไม่น้อยกว่า 50 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เมื่อทดสอบตามวิธีในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ( ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม ASTM C 39 )
- 2.2 คุณสมบัติในการรับแรงที่เกิดขึ้นจากการยกและการกระแทกเมื่อทดสอบตามวิธีในผนวก ก. รอยร้าวที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งใด ๆ จะต้องมีความกว้างไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร
- 2.3 คุณสมบัติของหัวต่อ เมื่อทดสอบตามวิธีในผนวก ข. ต้องไม่เกิดรอยร้าวในช่วงหัวคด กว้างเกิน 0.2 มิลลิเมตร

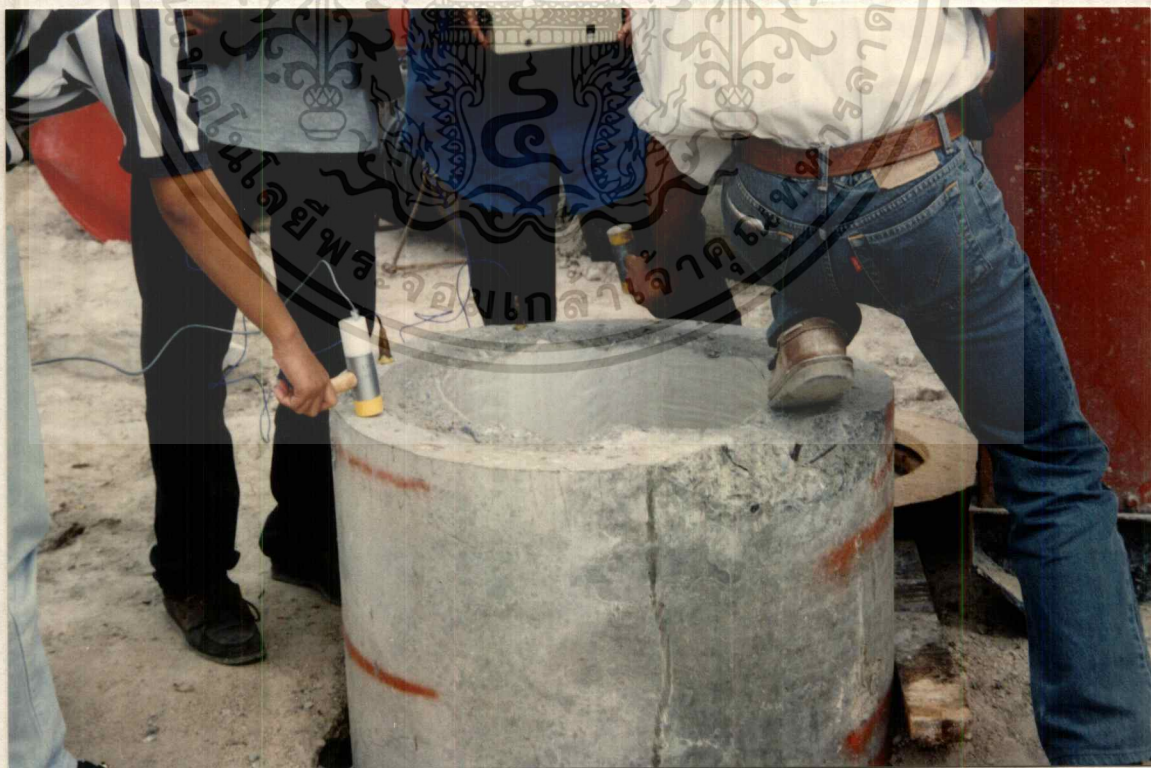
ผ-1 ตารางแสดงค่า Beta ( Pile Integrity Factor ) โดย Rausche and Goble (1986)

$B$	Severity of Damage
1.0	undamaged
0.8-1.0	slight damage
0.6-0.8	damage
Below 0.6	broken

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ พ-1 แสดงลักษณะการติดตั้ง Accelerometer บนหัวเสาเข็ม

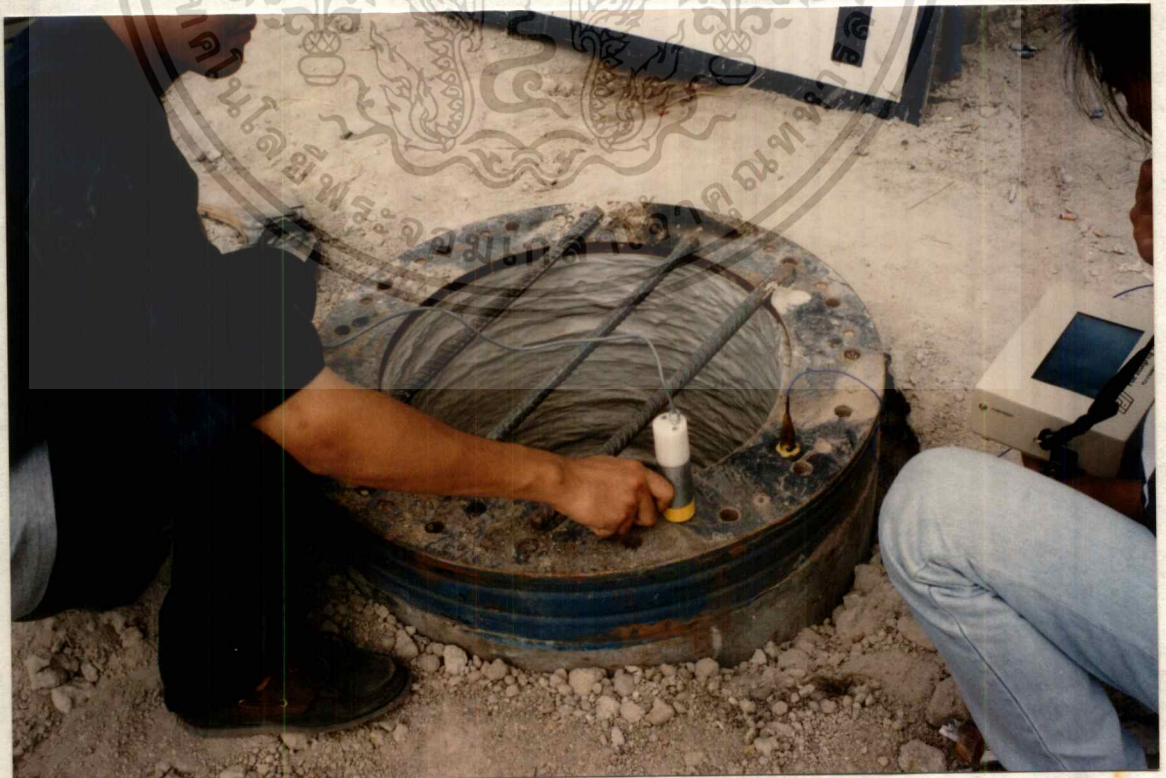


รูปที่ พ-2 แสดงลักษณะการใช้ค้อนเคาะหัวเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



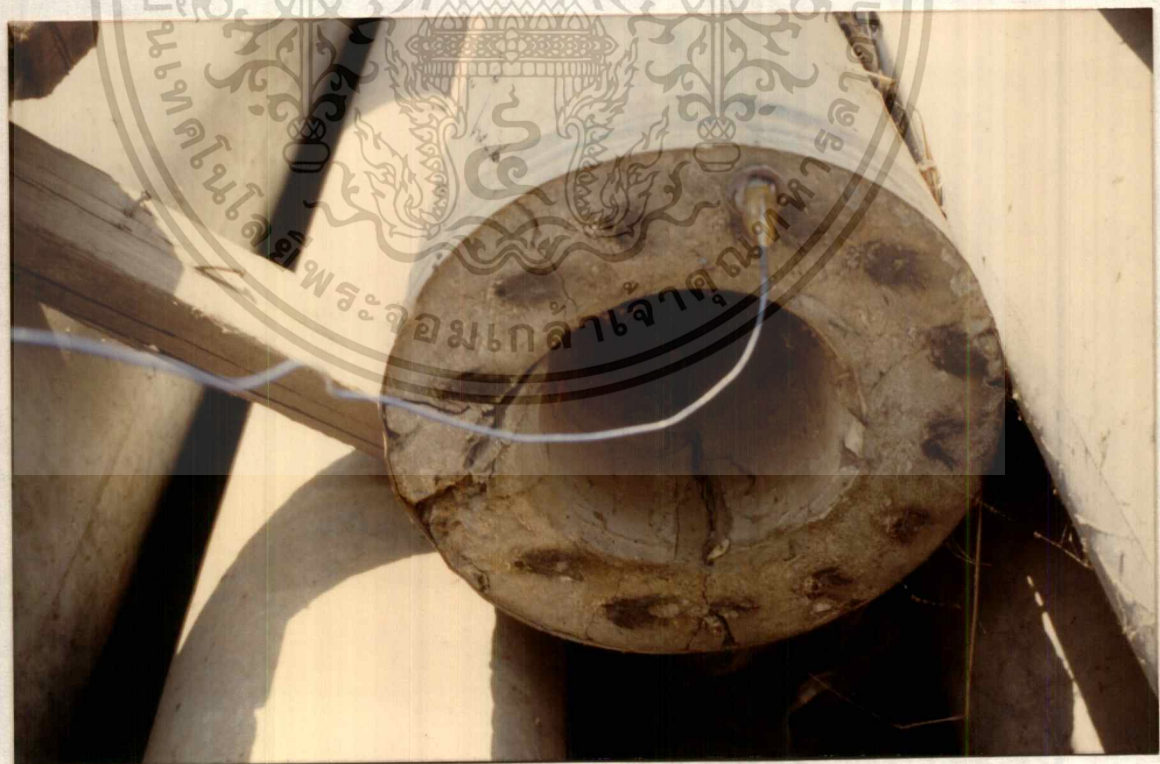
รูปที่ ๓-3 แสดงลักษณะการใช้เครื่องมือ P.I.T. กับเสาเข็มเจาะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ ๓-4 แสดงลักษณะการใช้เครื่องมือ P.I.T. กับเสาเข็มตอกกระโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ-5 แสดงลักษณะหัวเข็ม ที่คุณภาพคอนกรีตบริเวณหัวเสาเข็มไม่ดี

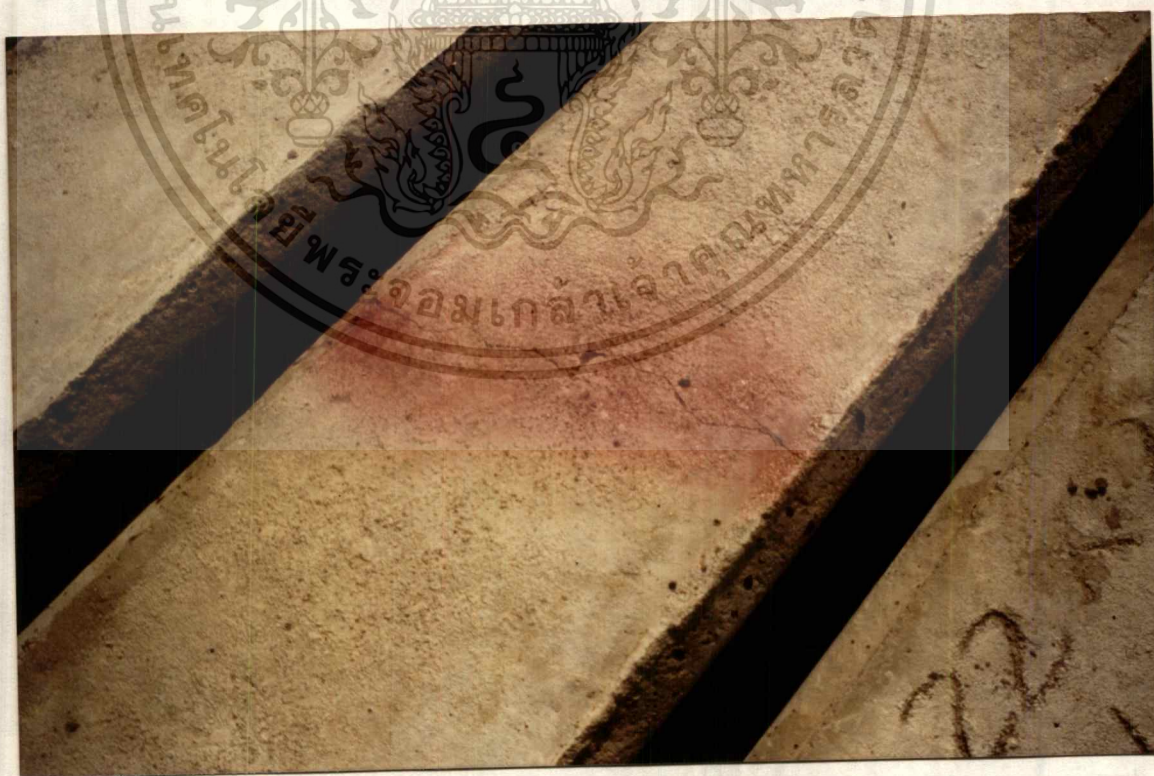


รูปที่ ผ-6 แสดงลักษณะหัวเสาเข็มไม่ดี เนื่องจากรอยแตกร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

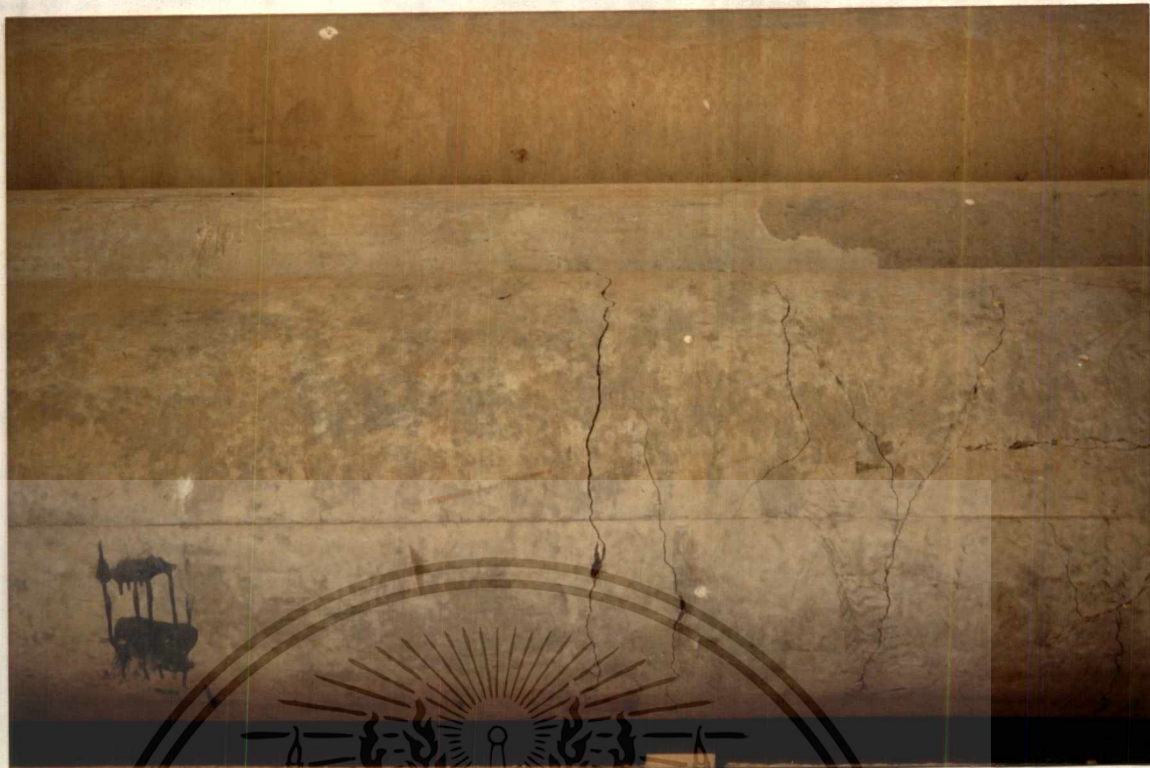


รูปที่ ผ-7 แสดงลักษณะหัวเสาเข็มที่ไม่ดี



รูปที่ ผ-8 แสดงลักษณะความบกพร่องช่วงกลางของเสาเข็มแบบ hair crack

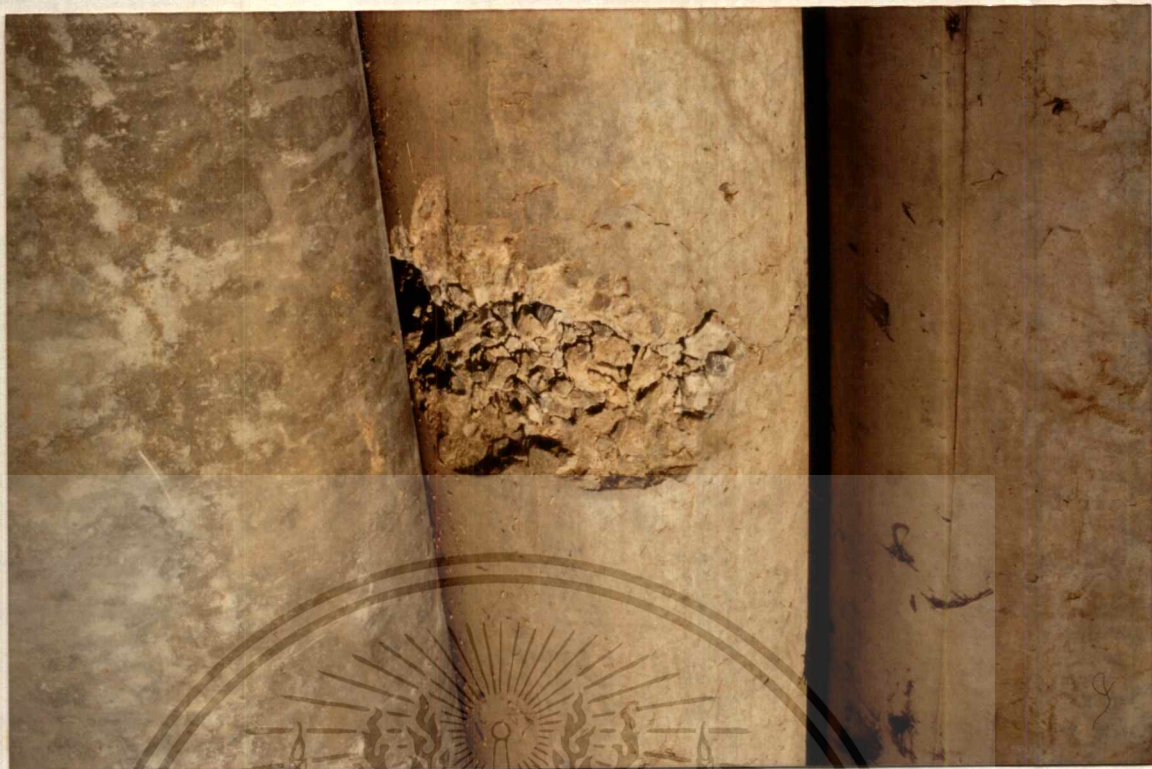
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑-๑ แสดงลักษณะความบกพร่องช่วงกลางของเสาเข็มเมื่อเกิดรอย crack



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ ๑-10 ที่แสดงลักษณะเสาเข็มหักให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

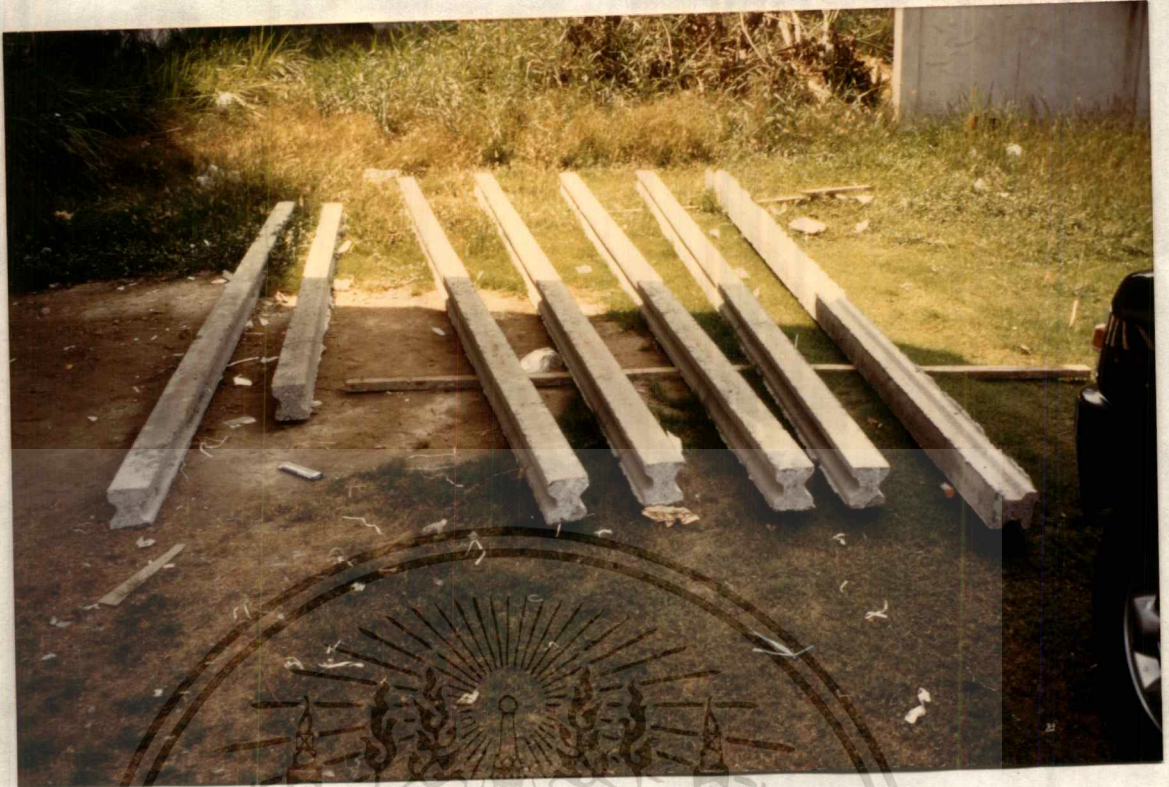


รูปที่ ผ-11 แสดงลักษณะเสาเข็มที่เกิดความบกร่องขนาดใหญ่



รูปที่ ผ-12 แสดงลักษณะการต่อเชื่อมของเสาเข็มที่ตีและคลื่นสามารถผ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ-13 แสดงลักษณะเสาเข็มตัว I ขนาด 0.12x 0.12x6.00 เมตร



รูปที่ ผ-14 แสดงลักษณะความบกพร่องของเสาเข็มตัว I ขนาด 0.12x0.12x6.00 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ที่ไม่สามารถวัดความบกพร่องได้ แต่พบสัญญาณที่ปลายเสาเข็ม  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้