บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือที่ศึกษา

ข้อมูลทั่วไปที่ผู้จัดทำศึกษา คือ อุปกรณ์ Inclinometer ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลในโครงการที่ศึกษามีดังนี้

Instrumentation Type	Instrument Quantity	
	Contract	Proposed
Inclinometer	18 sets	13 Nos. of 30 m depth 5 Nos. of 25 m depth

จะเห็นได้ว่ารายละเอียดข้างต้นนั้นมีอุปกรณ์ Inclinometer ทั้งหมด 18 ตัว และสามารถสรุปข้อมูลที่แสดงถึงขอบเขตของการตรวจวัด ดังนี้

รูป PLAN OF AIRSIDE ROAD TUNNEL

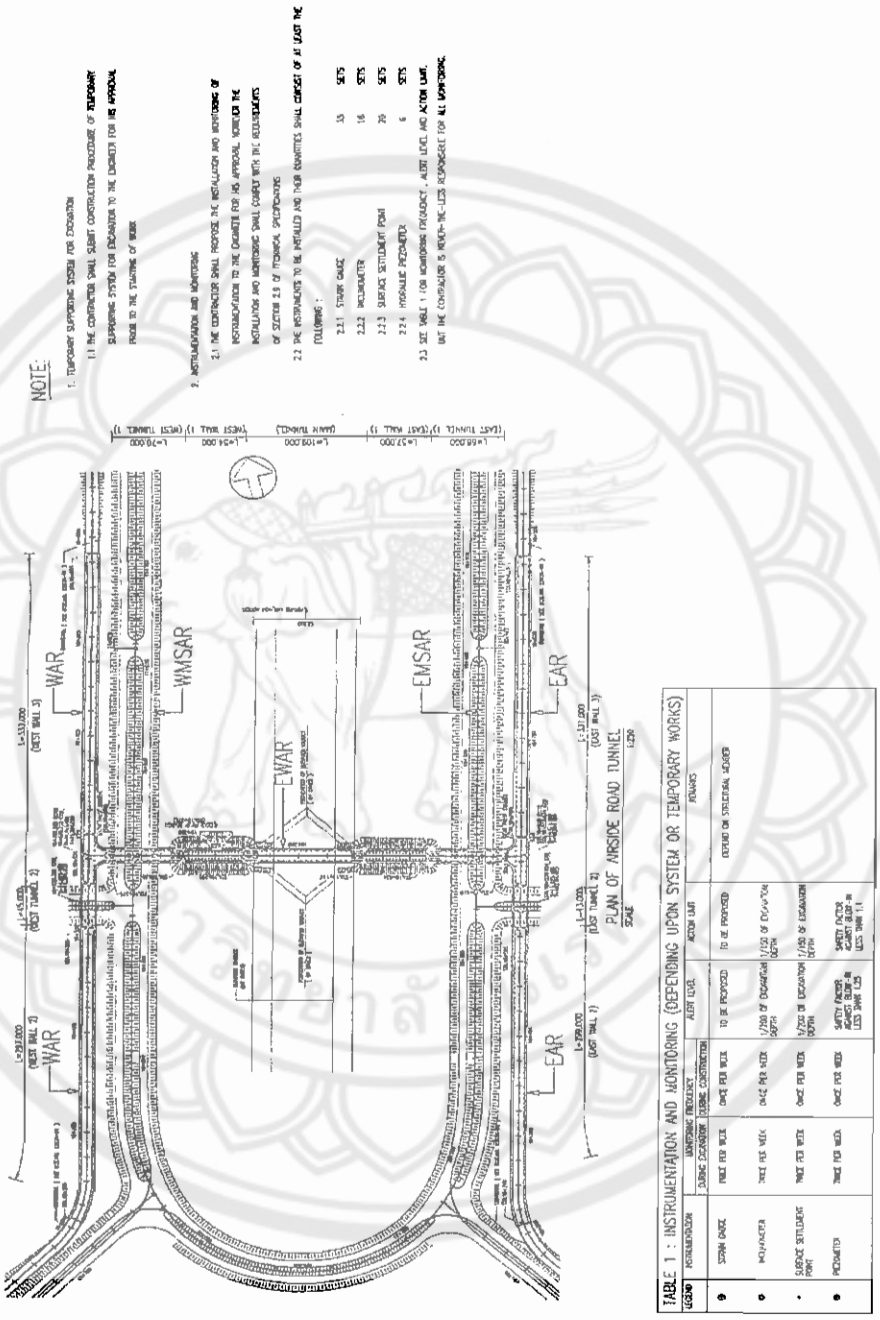


TABLE 1 : INSTRUMENTATION AND MONITORING (DEPENDING UPON SYSTEM OR TEMPORARY WORKS)

LEGEND	INSTRUMENTATION	MONITORING FREQUENCY		ALERT LEVEL	ACTION LIMIT	REMARKS
		DURING EXCAVATION	DURING CONSTRUCTION			
⊕	STRAIN GAUGE	ONCE PER WEEK	ONCE PER WEEK	TO BE PROPOSED	TO BE PROPOSED	DEPEND ON STRUCTURAL LOADED
●	INCLINOMETER	ONCE PER WEEK	ONCE PER WEEK	1/250 OF EXCAVATION DEPTH	1/150 OF EXCAVATION DEPTH	
▪	SURFACE SETTLEMENT POINT	ONCE PER WEEK	ONCE PER WEEK	1/250 OF EXCAVATION DEPTH	1/150 OF EXCAVATION DEPTH	
●	PIEZOMETER	ONCE PER WEEK	ONCE PER WEEK	SAFETY FACTOR AGAINST HEAVE IN LESS THAN 1.25	SAFETY FACTOR AGAINST HEAVE IN LESS THAN 1.1	

Installation location	Installation date	Direction	จำนวน (ชุด)	อ่านค่าครั้งแรก	อ่านค่าครั้งสุดท้าย	หมายเหตุ
Section A	11/3/2004	South	1	14/3/2004	12/11/2004	
	11/3/2004	North	1	13/3/2004	12/11/2004	
Section B	3/4/2004	South	1	24/4/2004	17/8/2004	
	4/4/2004	North	1	30/4/2004	13/8/2004	
Section C	19/3/2004	South	1	25/3/2004	5/10/2004	
	19/3/2004	North	1	25/3/2004	17/8/2004	มีการปรับแก้ข้อมูล
Section D	1/4/2004	South	1	5/4/2004	1/9/2004	
	2/4/2004	North	1	5/4/2004	1/9/2004	
Section E	11/5/2004	East	1	14/5/2004	12/11/2004	
Section F	13/10/2004	East	1	15/10/2004	23/11/2004	
Section G	27/5/2004	East	1	31/5/2004	24/2/2005	
	27/5/2004	West	1	31/5/2004	27/12/2004	
Section H	17/11/2004	West	1	22/11/2004	2/3/2005	
Section I	12/7/2004	East	1	15/7/2004	12/11/2004	
Section J	6/1/2005	East	1	10/1/2005	4/2/2005	
Section K	7/1/2005	East	1	8/1/2005	2/3/2005	
	5/1/2005	West	1	10/1/2005	25/3/2005	
Section L	7/1/2005	West	1	10/1/2005	25/3/2005	

4.2 เครื่องมือ Inclinometer

4.2.1 วัตถุประสงค์และหลักการทำงานของอุปกรณ์ Inclinometer

วัตถุประสงค์เพื่อวัดการเคลื่อนตัวของดินที่กระทำต่อ Sheet Pile ในระดับความลึกต่างๆ ขณะทำการก่อสร้าง

การอ่านค่าข้อมูลของการเคลื่อนตัว ได้มาจากเครื่องอ่าน Data Logger เชื่อมต่อกับ Inclinometer Torpedo, โดยที่จะมีการตรวจวัดจากก้นท่อถึงปลายท่อ ระบบเครื่องบันทึกการอ่าน (Logger Readout) สามารถเก็บบันทึกข้อมูลต่างๆไว้ในเครื่องเพื่อนำมาใช้ภายหลังได้และ สามารถแสดงค่าตัวเลขต่างๆที่หน้าสนามดังนี้ Check Sum เพื่อป้องกันข้อมูลที่เก็บจาก Error ต่างๆ Mean Deviation, Cumulative Deviation และ ลักษณะกราฟการเคลื่อนตัวด้านข้างตามความลึกเพื่อตรวจสอบเบื้องต้นที่หน้าสนามได้

เมื่อหย่อนหัวอ่านลงในท่อหัวอ่านจะทำการอ่านค่าที่ทุกๆ 50 cm โดยการอ่านค่านั้นจะอ่านจากส่วนปลายของหัวอ่านTorpedo ซึ่งเมื่อดินมีการเคลื่อนตัว ท่อนำทางของหัวอ่านจะเกิดการโค้งตามแรงดันของดิน ซึ่งค่าที่อ่านได้จะนำมาเปรียบเทียบกับแนวตรงของท่อที่ยังไม่มีการโค้งจากการเคลื่อนตัวของดิน และค่าที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์ เพื่อใช้กับการรับแรงดันดินของ Sheet Pile ที่จะส่งผลในอนาคต

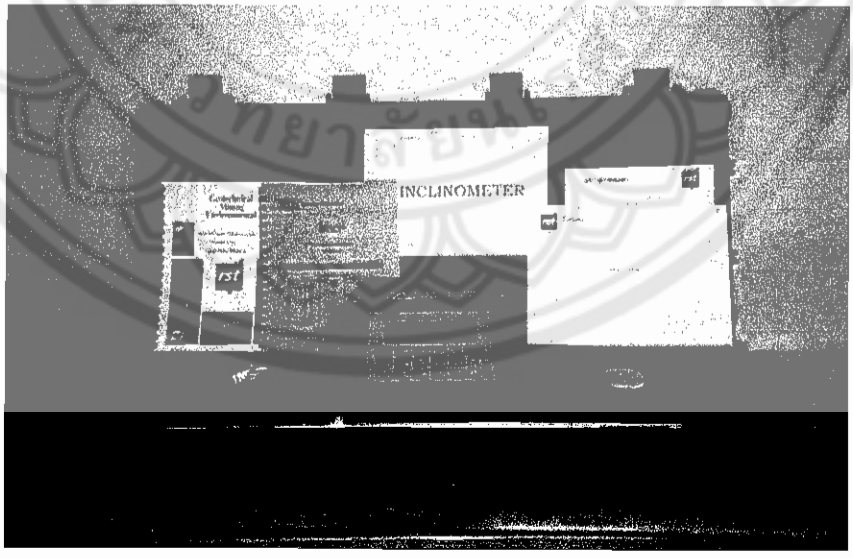
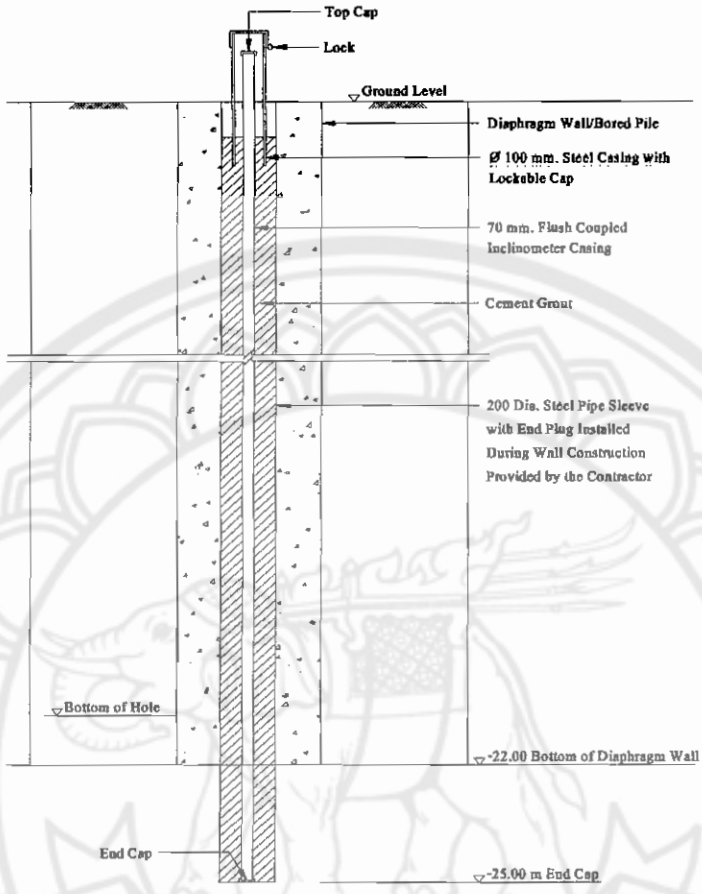
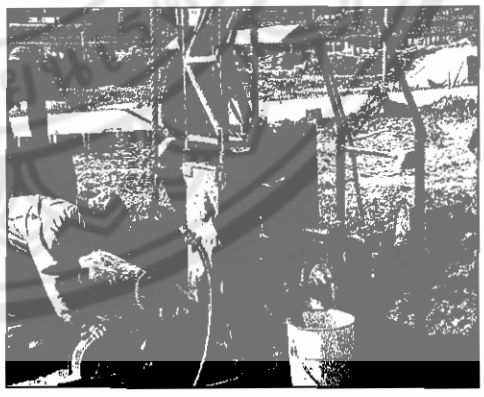


Figure . RST Inclinometer Readout Unit

4.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์ Inclinometer

- **สำรวจสถานที่เพื่อหาตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์**
- **ทำการเจาะหลุมโดยเครื่องเจาะ โดยมีท่อเหล็กฝังลงไปในช่วงแรกเพื่อป้องกันการพังทลายของ ดินเหนียวอ่อน ร่วมกับการใช้ Bentonite ช่วยเคลือบปรับหลุมอย่างสม่ำเสมอและจะ** เจาะลงไปจนถึงระดับความลึกที่กำหนดไว้
- หลังจากที่เจาะหลุมเสร็จ,เตรียมงาน Grout ด้วย Cement:ผสม Bentonite กับน้ำอย่างเหมาะสม เผื่อที่จะทำการปั๊มลงรอบท่อ อัตราส่วน Cement:Bentonite ควรจะเป็น 1:3 และ 1:4 สำหรับชั้นดินเหนียวแข็งและดินเหนียวอ่อน ตามลำดับ. อัตราส่วนที่ใช้เป็นไปตามมาตรฐานของดินในกรุงเทพฯ.
- ติดตั้งท่อท่อนแรกโดยที่มีฝาปิดป้องกันการ ไหลเข้าของดินที่ก้นท่อ(End Cap)
- เชื่อมต่อท่อโดยการใช้หมุดเหล็ก หรือ หมุดย้ำ
- ทำการเชื่อมต่อเหมือนกันทุกท่อน
- จากนั้นใส่ท่อลงไปในหลุมเจาะและทำการเชื่อมต่อจนถึงระดับความลึกที่กำหนด
- ทำการปิดปากท่อเพื่อป้องกันฝุ่นละอองตกไปในท่อ
- ติดตั้งระบบป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับท่อ
- เติมทรายรอบๆ บริเวณโดยรอบท่อให้สูงกว่าระดับพื้นดินเพื่อป้องกันการโยกของท่อ ซึ่งมีผลต่อการอ่านค่าตลอดโครงการ





รูปแสดงการติดตั้งท่อ (Inclinometer Access Tube)

รูปแสดงการติดตั้งท่อ (Inclinometer Access Tube)

4.2.3 กิจกรรมการก่อสร้าง

Construction Activity

Day	Construction Activity
19-27/3/04	Installation Section C Installation Section G
1-30/4/04	Installation Section D Excavation Section D Installed Strut Level 1,2 Installation Section B Excavation Section B Installed Strut Level 1 Excavation Section C Installed Strut Level 2 ,3 3rd strut Preloaded(50t) Excavation Section G
2-27/5/04	Installation Section A Excavation Section B Installed Strut Level 2 ,3

	Base Slab Completed Section C
1-30/6/04	Installed Strut Level 4 Section B Excavation Section B Removed Strut Level 4,3 Base Slab Completed Removed Strut Level 3 Section C Wall Completed ; Top 4.5 m. Depth Excavation Section D Installed Strut Layer 3 Excavation Section G Installed Strut Layer 1,2
1-28/7/04	Wall Completed ; Top-6.4 m. Section B Removed Strut Level 2 Removed Strut Level 2 ,1 Section C Excavation Section D Removed Strut Level 3 Removed Strut Layer 2 Section G Base Slab Completed Installation Section I Excavation Section I Installed Strut Level 1
3-30/8/04	Removed Strut Level 1 Section B Sheet Pile Removed Wall Completed Section C Removed Sheet Pile and End of Monitoring Excavation Section A Installed Strut Layer 1,2

	Removed Strut Level 2 Section D
	Base Slab Completed
	Excavation Section A
	Installed Strut Layer 3
	Removed Strut Level 3
	Inclinometer was damaged and
2-27/9/04	Terminated Section D
	Base Slab Completed Section A
	Removed Strut Level 2
	Excavation Section E
	Base Slab Completed
	Installation Section F
	Excavation Section F
	Installed Strut Level 1
3-21/10/04	Removed Strut Layer 1 Section G
3-29/11/04	Removed Strut Level 1 Section A
	Roof Slab Completed
	Inclinometer casing was damaged and Monitoring Terminated
	Removed Sheet Pile Section E
	Monitoring Terminated Section E
	Base Slab Completed Section F
	Removed Strut Level 1
	Inclinometer Casing Damaged and
	Monitoring Terminated
	Installation Section H
	Excavation Section H

	Adjust Sheet Pile Level
	Removed Sheet Pile Section I
	Monitoring Terminated Section 1
	Installed Strut Layer 1,2 Section H
2-21/12/04	Excavation Section H
	Installation Section J
	Excavation Section J
	Installed Strut Layer 1,2
	Preload Strut Layer 1
	Lean conerete slab
	Installation Section K
	Excavation Section K
	Pile Cut Off
	Base Slab Completed
	Installation Section L
	Excavation Section L
	Base Slab Completed
6-31/01/05	Removed Strut Layer 2
	Base Slab Completed Section H
	Removed Strut Layer 2
	Removed Sheet Pile Section G
	Monitoring Terminated Section G
	Base Slab Completed Section J
	Removed Strut Layer 2
7-24/02/05	Removed Strut Layer 1 Section L
9-25/03/05	Removed Strut Layer 1 Section J
	Inclinometer casing damaged

	Removed Strut Layer 1 Section H
	Pile installation,inclinometer casing damaged
	Removed Strut Layer 1 Section J
	Inclinometer casing damaged
	Wall Completed Section L
	Sheet pile removed
	Monitoring Terminated

กิจกรรมการก่อสร้าง

วิธีการและขั้นตอนการขุด ได้ทำการแบ่งเป็นหมวดหมู่ตามลักษณะหรือลำดับขั้นตอนการดำเนินโครงการแต่ละ Section ที่มีความคล้ายคลึงกัน ดังนี้

- Section A,B,C,D,G โดยที่ระยะความลึก 6.0-6.5 เมตร แรกได้ดีขั้นตอนในการขุดและติดตั้ง strut ที่คล้ายกันดั้งนี้ เมื่อทำการขุดดินที่ได้ระดับความลึก 1.0-1.5 เมตร มีการติดตั้ง strutครั้งที่ 1 จากนั้นเมื่อได้ระดับความลึกที่ 3.5-4.0 เมตร มีการติดตั้ง strut ครั้งที่ 2 และที่ระดับความลึกที่ 6.0-6.5 เมตร มีการติดตั้ง strut ตัวที่ 3 จนถึงระดับความลึกที่ 8.0 -8.5 เมตร ได้มีการเทพื้นคอนกรีต จากนั้นมีการติดตั้ง strut ตัวที่ที่ 3,2,1 ตามลำดับ ออก และสิ้นสุดการตรวจวัดเนื่องจากเกิดความเสียหายของอุปกรณ์ตรวจวัด

-Section C,J มีการ Preload Strut เนื่องจาก Sheet Pile มีการเคลื่อนตัวเกินระยะความปลอดภัยที่กำหนด จึงมีการถ่ายแรงโดย Hydraulic jack ลง strut เพื่อค้ำยัน Sheet Pile ซึ่ง Section C และ J ทำการ Preload ที่ระดับความลึก 3.0 เมตร และ 1.0 เมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากกราฟ จะเห็นได้ว่า section C และ J มีการเคลื่อนตัวของดินที่อยู่ในเกณฑ์ก่อนข้างมาก

-Section E มีการขุดลึกที่ระดับ 3.0 เมตร ไม่มีการติดตั้ง strut แต่อย่างใด แต่มีการรื้อ Sheet Pile ออก

-Section F,I มีการขุดที่ระดับประมาณ 3.5-4.0 เมตร โดยที่ระดับ 1.5 เมตรแรกมีการติดตั้ง strut ตัวที่ 1 จากนั้นทำการขุดถึงระดับ 3.2 เมตร และ 4.3 เมตร ตามลำดับแล้วจึงเทพื้นคอนกรีตและรื้อ strut ตัวที่ 1 ออก

-Section H มีการปรับ Sheet pile ให้เรียบสม่ำเสมอก่อน จึงทำการขุดโดยที่ระดับ 1 เมตรแรกติดตั้ง strut ตัวที่ 1 จากนั้นที่ระดับ 4.0 เมตร ติดตั้ง strut ตัวที่ 2 และที่ 6.5 เมตร เทแผ่นพื้นคอนกรีต และรื้อ strut ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ออก

-Section K,L มีการขุดที่ระดับคอนข้างลึกลงมาคือ อยู่ที่ระดับ 6.0-6.5 เมตร จากนั้นทำการเทพื้นคอนกรีต และรื้อ strut ตัวที่ 1 และ 2 ออก

ระดับการขุดแต่ละ Section

- Section A,C มีระดับการขุดอยู่ที่ 8.5 เมตร

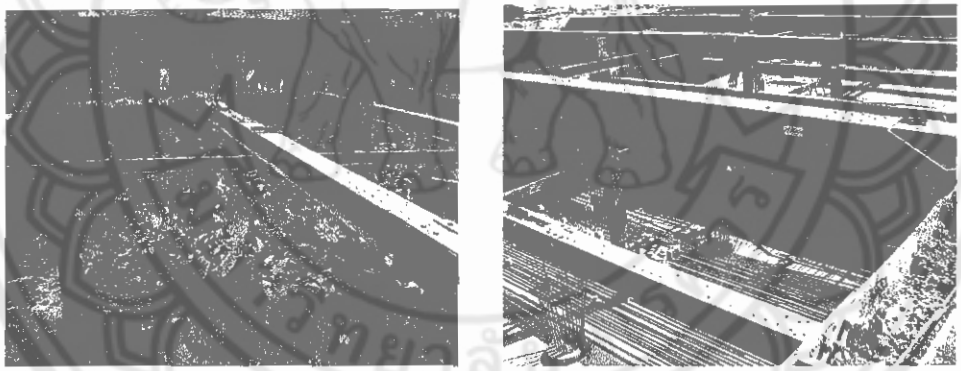
-Section B มีระดับการขุดอยู่ที่ 10.5 เมตร

-Section D มีระดับการขุดที่ 7.5 เมตร

-Section G,H,J,K,L มีระดับการขุดที่ 6.0-6.5 เมตร

-Section E,F,I มีระดับการขุดที่ 3.0, 3.2 และ เมตร ตามลำดับ

ระยะเวลาในการก่อสร้างอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบ ต่อกราฟที่แสดงการเคลื่อนตัวของดิน เนื่องจากระยะเวลาที่ยาวนานอาจมีโอกาสในการเคลื่อนตัวของดินมากกว่า



รูปแสดงกิจกรรมการก่อสร้าง

4.2.4 วิธีการก่อสร้างโดยใช้ Sheet Pile

เทคนิคการก่อสร้างโดยใช้ Sheet Pile เพื่อรับผนังของการขุดและพื้นคอนกรีต (Slabs) เป็นประโยชน์ตลอดโครงการก่อสร้าง โดยทั่วไปลำดับการก่อสร้างมีดังรายการข้างล่าง ดังต่อไปนี้

1. ติดตั้งระบบค้ำยันชั่วคราวโดย Sheet Pile
2. ทำการเจาะเสาเข็มลงไปในพื้นที่การก่อสร้าง
3. เริ่มทำการขุดดิน(Excavation)

4. เมื่อทำการขุดถึงระดับ 1.00-1.50 m ติดตั้งค้ำยัน(Sturt) ตัวที่ 1
5. ทำการขุดต่อจนถึงระดับที่ 3.00-3.50 m ติดตั้งค้ำยัน(Sturt) ตัวที่ 2
6. ขุดอีกจนถึงระดับที่ 6.00-6.50 m ติดตั้งค้ำยัน(Sturt) ตัวที่ 3 ตามลำดับ แล้วแต่ความลึกแต่ละ Section
7. ที่ระดับความลึกสุดท้ายทำการเทพื้นคอนกรีต (Base Slabs)
8. เททรายบดอัดลงตรงผนัง
9. รื้อ (Sturt) ตัวที่ 3 ,2,1 ออกตามลำดับ
10. รื้อ Sheet Pile ออกเป็นอันเสร็จขั้นตอน

4.2.5 ลักษณะการแสดงผลการตรวจวัดของเครื่องมือ Inclinometer