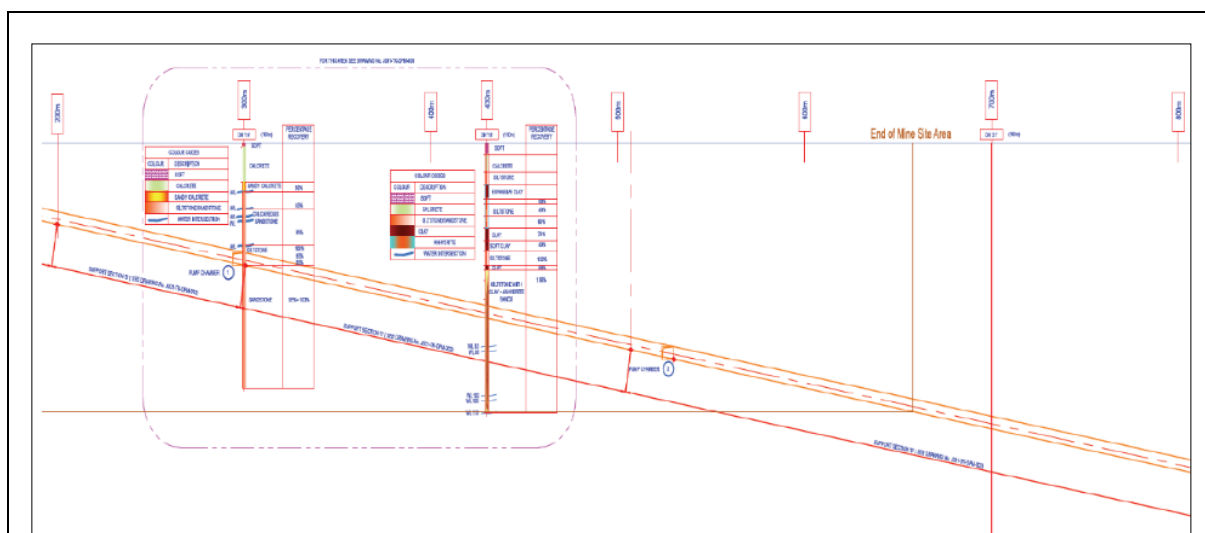


3.7 การทรุดตัวของพื้นดิน

มาตรการกำหนดให้มีการตรวจวัดการทรุดตัวของพื้นดินในระยะเตรียมการทำเหมือง โดยติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดทั้งบนผิวดินและใต้ดิน เพื่อตรวจสอบและควบคุมคุณภาพงานก่อสร้างบนผิวดินและใต้ดินให้เป็นไปตามแผนและแบบที่กำหนดไว้ โดยมีความถี่ในการตรวจวัดเดือนละครั้ง และเมื่อเข้าสู่ระยะดำเนินการทำเหมืองจึงจะเพิ่มจุดตรวจในชุมชนโดยรอบพื้นที่ประทานบัตรตามข้อกำหนดในตารางมาตรการฯ เป็นลำดับต่อไป

ปัจจุบันบริษัทฯ อยู่ในระยะดำเนินการทำเหมือง โดยได้ดำเนินการก่อสร้างอุโมงค์แนวลาดและอุโมงค์แนวตั้ง (รูปที่ 3.7-1) ซึ่งในส่วนของการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและติดตามตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับผิวดิน ค่าความเอียงตัวพื้นดินและแรงดันน้ำใต้ดิน บริษัทฯ ได้ดำเนินการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดต่างๆ ตามเงื่อนไขมาตรการฯ ซึ่งเป็นไปตามหลักวิศวกรรมธรณี ประกอบด้วยวิธีการและเครื่องมือดังต่อไปนี้



ที่มา : รายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการเหมืองแร่โพแทชของ บริษัทไทยคาลิ จำกัด, 2557

รูปที่ 3.7-1

ภาพตัดขวางของแบบอุโมงค์แนวลาดส่วนกลาง

3.7.1 หมดหลักฐานอ้างอิงและหมดตรวจสอบตามแนวอุโมงค์แนวลาด สำหรับตรวจสอบการทรุดตัวของระดับผิวดิน

เพื่อให้การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าระดับผิวดินตามแนวบริเวณพื้นที่การก่อสร้างและชุดเจาะอุโมงค์แนวลาดเป็นไปอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ บริษัทฯ จึงได้ดำเนินการก่อสร้างหมดหลักฐานอ้างอิง (Benchmark Point) จำนวน 2 จุด (รูปที่ 3.7-2) ไลน์นอกเขตพื้นที่ก่อสร้างบนผิวดินและพื้นที่การชุดเจาะอุโมงค์แนวลาด ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความมั่นคงแข็งแรง ไม่มีการทรุดตัวโดยได้ดำเนินการก่อสร้างหมดตรวจสอบบริเวณแนวการชุดเจาะอุโมงค์แนวลาดอีกจำนวน 9 จุด สำหรับใช้ตรวจสอบค่าระดับผิวดินโดยการยึดโยงเปรียบเทียบกับหมดหลักฐานอ้างอิง (รูปที่ 3.7-3)



รูปที่ 3.7-2

การก่อสร้างหมุดหลักฐานอ้างอิง (Benchmark Point) และหมุดตรวจสอบบริเวณ
แนวการก่อสร้างชุดเจาะอุโมงค์แนวลาด



รูปที่ 3.7-3

จุดติดตั้งหมุดหลักฐานอ้างอิง (Benchmark Point) และหมุดตรวจสอบตามแนว
อุโมงค์



วิธีการตรวจวัดดำเนินการโดยใช้กล้องรังวัดแบบใช้แสงเลเซอร์ (Total Station) ทำการวัดหา
ระดับความสูงของหมุดตรวจสอบแต่ละหมุด เทียบอิงจากระดับความสูงของหมุดหลักฐานอ้างอิง BM01 โดยใช้
การคำนวณดังนี้

$$\text{ความสูงของหมุด} = \text{Vertical Distance} = \tan(\infty) \times \text{horizontal distance} \quad (1)$$

เมื่อ ∞ = มุมตั้ง (Vertical angle)

$$\text{ระดับความสูงของหมุดเทียบกับหมุดหลักฐานอ้างอิง} = 0 - \text{ความสูงของหมุด} \quad (2)$$

การเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงของแต่ละหมุดตรวจสอบที่ได้จากการตรวจวัดแต่ละครั้ง
สามารถนำมาประมวลผลและวิเคราะห์หาแนวโน้มการทรุดตัวของระดับผิวดินที่เป็นผลจากการพัฒนาอุโมงค์
ได้ โดยได้ดำเนินการตรวจสอบเป็นประจำทุกสัปดาห์ในระยะเริ่มต้น จากนั้นจึงค่อยลดความถี่ในการตรวจวัด
ลงเหลือเดือนละ 1 ครั้งเมื่อสภาพทางธรณีชั้นหินมีความเสถียรและความสมดุลมากขึ้น

3.7.1.1 ผลการตรวจวัดหมุดตรวจสอบ

ผลการตรวจวัดระดับความสูงของหมุดตรวจสอบ 9 หมุด เปรียบเทียบจากหมุด
หลักฐานอ้างอิง BM01 ได้ดำเนินการตั้งแต่วันที่ 12 มกราคม 2564 จนถึงวันที่ 7 มิถุนายน 2564 โดยการ
ดำเนินการตรวจวัดเดือนละ 1 ครั้งเป็นอย่างน้อย แสดงผลการตรวจวัดในช่วงเวลาดังกล่าวดัง ตารางที่ 3.7-1

ตารางที่ 3.7-1 ผลการตรวจวัดระดับความสูงของหมุดตรวจสอบ เทียบอิงจากหมุดหลักฐานอ้างอิง BM01

สำหรับใช้ประเมินแนวโน้มการทรุดตัวของระดับผิวดินช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2564 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2564

ที่มา : บริษัท ไทยคาลิ จำกัด, 2564

ผลการตรวจวัดระดับความสูงของหมุดตรวจสอบ									
Data	หมุด1	หมุด2	หมุด3	หมุด4	หมุด5	หมุด6	หมุด7	หมุด8	หมุด9
12-ม.ค.-64	-5.5148	-4.2074	2.9146	1.7909	0.5591	0.2922	0.4678	1.0591	0.8675
9 ก.พ. 64	-5.5148	-4.2074	2.9158	1.7991	0.5584	0.2916	0.4681	1.0589	0.8677
11-มี.ค.-64	-5.5148	-4.2074	2.9191	1.8051	0.5599	0.2954	0.4684	1.0588	0.8678
2-เม.ย.-64	-5.5148	-4.2074	2.9166	1.8012	0.5594	0.2911	0.4675	1.0593	0.8677
5-พ.ค.-64	-5.5148	-4.2074	2.9167	1.7985	0.5601	0.2923	0.4682	1.0589	0.8678
7-มิ.ย.-64	-5.5148	-4.2074	2.9172	1.8002	0.5598	0.2931	0.4679	1.0591	0.8679
สถิติ	หมุด1	หมุด2	หมุด3	หมุด4	หมุด5	หมุด6	หมุด7	หมุด8	หมุด9
ค่าเฉลี่ย	-5.5148	-4.2074	2.9167	1.7992	0.5595	0.2926	0.4680	1.0590	0.8677
ค่าเบี่ยงเบน	0.0000	0.0000	0.0015	0.0047	0.0006	0.0015	0.0003	0.0002	0.0001
มากที่สุด	-5.5148	-4.2074	2.9191	1.8051	0.5601	0.2954	0.4684	1.0593	0.8679
น้อยสุด	-5.5148	-4.2074	2.9146	1.7909	0.5584	0.2911	0.4675	1.0588	0.8675



3.7.1.2 การประมวลผลการตรวจวัดหุดตรวจสอบ

ในการประมวลผลเพื่อประเมินหาแนวโน้มการทรุดตัวของผิวดินจากผลการตรวจวัดหุดตรวจสอบต่างๆ ได้ทำตามขั้นตอน ดังนี้

- 1) จัดทำตารางบันทึกข้อมูลผลการตรวจวัดและทำการบันทึกเพิ่มทุกครั้งที่ทำ การตรวจวัด
- 2) ตรวจสอบคุณภาพของการวัดว่าระบุหุดที่วัดได้ถูกต้องค่าต่างๆที่วัดได้จากอุปกรณ์มีความถูกต้อง การคำนวณความสูงจากหุดอ้างอิงมาตรฐาน BM01 มีความถูกต้อง
- 3) ตรวจสอบความเรียบร้อยและปัญหาของการวัดหุดตรวจสอบต่างๆ ในการตรวจวัดแต่ละครั้ง
- 4) ศึกษาสถิติพื้นฐานของข้อมูลผลการตรวจวัดของหุดตรวจสอบแต่ละหุด
- 5) คำนวณหาค่าความต่างจากการวัดครั้งก่อนหน้าและความต่างสะสมของความสูงของแต่ละหุด โดยมีวิธีการคำนวณคือ

$$\text{ความต่างของการวัดความสูงจากครั้งก่อนหน้า} = \text{ค่าที่วัดได้ปัจจุบัน} - \text{ค่าที่วัดได้ครั้งก่อน} \quad (1)$$

$$\text{ความต่างสะสมของความสูงของแต่ละหุด} = \text{ผลรวมความต่างที่ได้จากสมการที่ 1} \quad (2)$$

- 6) ประเมินแนวโน้มการทรุดตัวของผิวดิน จากผลการคำนวณจากข้อ 5)

สถิติข้อมูลผลการวัดหุดตรวจสอบ

ตารางที่ 3.7-2 ตารางการคำนวณค่าความต่างสะสมของความสูงแต่ละหุดจากสมการข้างต้น

Cumulative Surface Subsidence Measurement: THAKALI POTASH MINE DAN KHUN THOT									
Data	$\Delta P1 (\mu m)$	$\Delta P2 (\mu m)$	$\Delta P3 (\mu m)$	$\Delta P4 (\mu m)$	$\Delta P5 (\mu m)$	$\Delta P6 (\mu m)$	$\Delta P7 (\mu m)$	$\Delta P8 (\mu m)$	$\Delta P9 (\mu m)$
12-ม.ค.-64	-4.6	17.5	22.4	33.2	-3.4	0.1	15.1	17.3	7.3
9-ก.พ.-64	-4.6	17.5	21.6	34.1	-3.6	-1.5	14.2	17.2	7.6
11-มี.ค.-64	-4.6	17.5	21.3	33.9	-5.1	-1.6	15.3	17.2	7.5
2-เม.ย.-64	-4.6	17.5	24.1	35.4	-3.1	0.2	15.9	17.1	7.4
5-พ.ค.-64	-4.6	17.5	23.2	36.0	-1.4	-2.1	12.9	16.9	7.1
7-มิ.ย.-64	-4.6	17.5	22.6	35.7	-2.6	-2.2	13.8	17.0	7.5

ที่มา : บริษัท ไทยคาลิ จำกัด, 2564

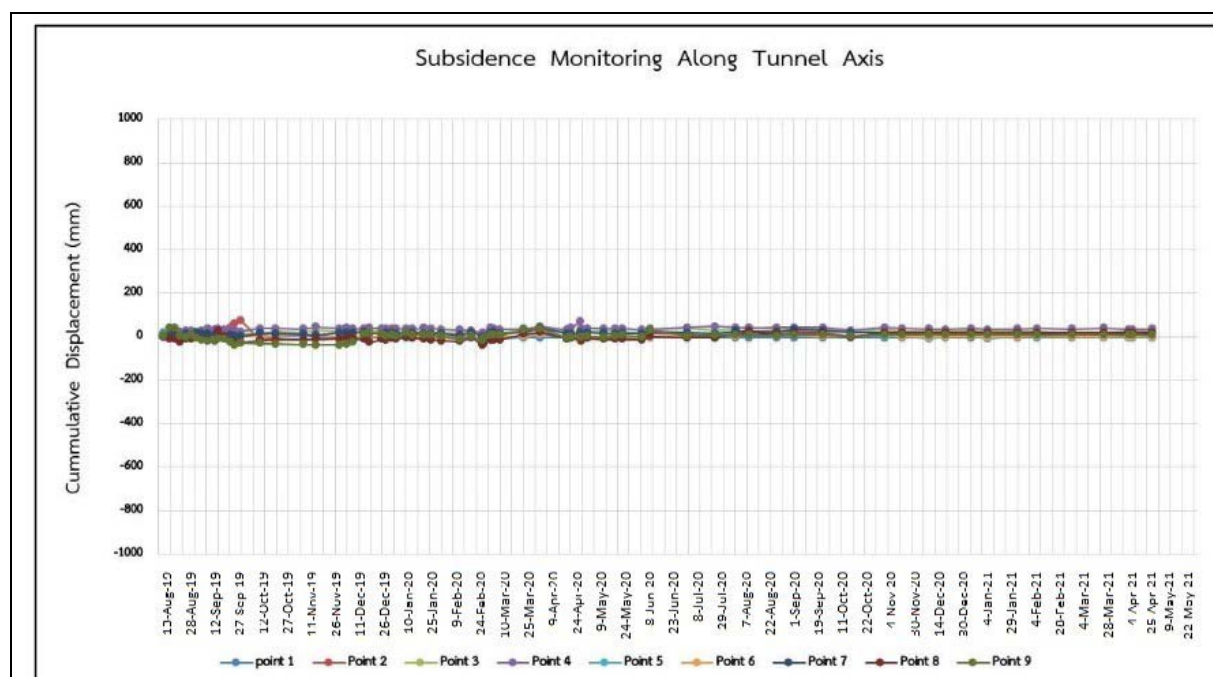


ตารางที่ 3.7-3 สถิติผลการตรวจวัดระดับความสูง (เมตร) ของหมุดตรวจสอบ เทียบอิงจากหมุดหลักฐานอ้างอิง BM01 สำหรับใช้ประเมินแนวโน้มการทรุดตัวของระดับผิวดินช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2564

สถิติ	หมุด1	หมุด2	หมุด3	หมุด4	หมุด5	หมุด6	หมุด7	หมุด8	หมุด9
ค่าเฉลี่ย	-4.6	17.5	22.5	34.7	-3.1	-0.6	14.5	17.1	7.4
เบี่ยงเบน	0.0000	0.0000	1.0300	1.1339	5.0000	1.3577	1.1039	1.4720	1.7889
มากที่สุด	-4.6	17.5	22.5	34.7	5.0	1.4	14.5	17.1	7.4
น้อยสุด	-4.6	17.5	21.3	33.2	-3.6	-2.2	12.9	16.9	7.1

ที่มา : บริษัท ไทยคาลิ จำกัด, 2564

ค่าความต่างสะสมและค่าสถิติพื้นฐานของผลการตรวจวัดระดับความสูงของหมุดตรวจสอบทั้ง 9 หมุด แสดงในตารางที่ 3.7-2 และ ตารางที่ 3.7-3 แสดงค่าเฉลี่ย, ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าน้อยที่สุด และค่ามากที่สุดของผลการตรวจวัดตามหมุดต่างๆ มีสถิติค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.0000 – 0.3869 เมตร บ่งชี้ถึงลักษณะการแปรปรวนขึ้นลงสลับกัน เสมือนเป็นค่าความเบี่ยงเบนปกติของการวัดที่สัมพันธ์กับค่าแปรปรวนมาตรฐานของเครื่องมือและอาจรวมถึงค่าแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานของผู้ตรวจวัดด้วย อย่างไรก็ตามค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเล็กน้อยนี้สามารถพบได้เป็นปกติของผิวดินธรรมชาติโดยทั่วไป และไม่บ่งชี้ถึงแนวโน้มการทรุดตัวในบริเวณดังกล่าว



รูปที่ 3.7-4

กราฟรวมแสดงค่าความต่างของผลการตรวจวัดความสูงของหมุดตรวจสอบ ทั้ง 9 หมุด แสดงการเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันกระจายเฉลี่ยเป็นแนวราบไม่บ่งชี้แนวโน้มการทรุดตัวของผิวดิน



3.7.1.3 สรุปผลการตรวจวัดการทรุดตัวของระดับผิวดินในพื้นที่โครงการ

พิจารณาจากผลการตรวจวัดตามรายละเอียดในหัวข้อ 3.7.1.1 แล้ว สรุปได้ว่าจากการตรวจวัดและเก็บข้อมูลด้วยวิธีการตรวจวัดการทรุดตัวของระดับผิวดิน (Subsidence) โดยใช้กล้องรังวัดแบบใช้แสงเลเซอร์ (Total Station) ทำการวัดหาระดับความสูงของหมุดตรวจสอบแต่ละหมุด เทียบอิงจากระดับความสูงของหมุดหลักฐานอ้างอิง BM01 เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์แล้วสามารถบ่งชี้ได้ว่าลักษณะการแปรปรวนขึ้นลงสลับกันดังกล่าวนี้ เสมือนเป็นค่าความเบี่ยงเบนปกติของการวัดที่สัมพันธ์กับค่าแปรปรวนมาตรฐานของเครื่องมือและอาจรวมถึงค่าแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานของผู้ตรวจวัดด้วย อย่างไรก็ตามค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเล็กน้อยนี้สามารถพบได้เป็นปกติของผิวดินธรรมชาติโดยทั่วไป จึงแสดงให้เห็นได้ว่าไม่มีแนวโน้มการทรุดตัวในบริเวณดังกล่าว

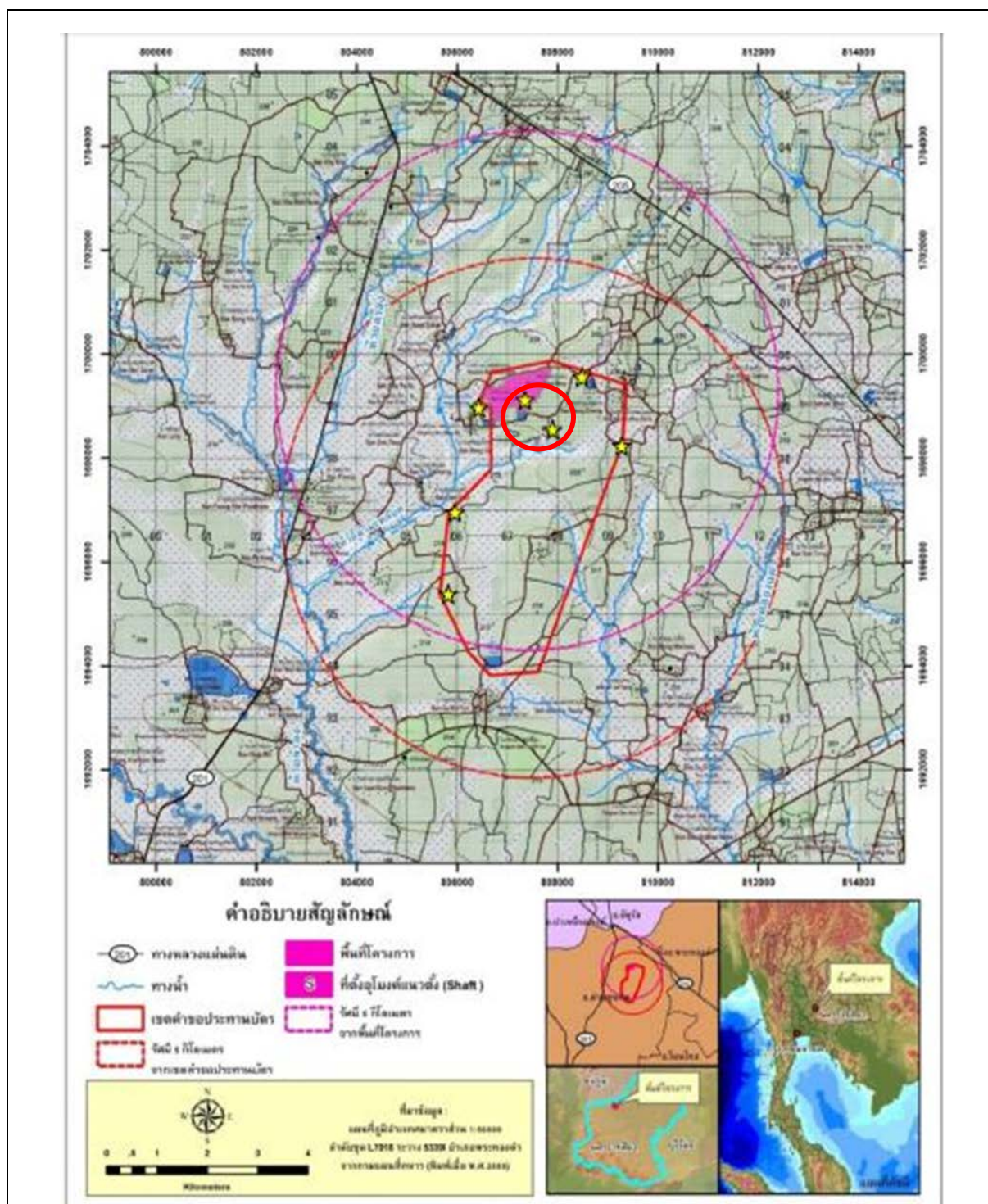
3.7.2 การวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของมวลดินในพื้นที่โครงการ โดยใช้มาตรวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบ (Inclinometer)

มาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) ผ่านการเห็นชอบจากคณะกรรมการผู้ชำนาญการพิจารณาวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (คชก.) กำหนดให้บริษัทฯ ดำเนินการติดตั้งมาตรวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบ (Inclinometer) โดยการติดตั้งหลุมเจาะแนวตั้ง (Vertical Hole) และติดตั้งมาตรวัดเพื่อทำการตรวจสอบนั้น ในระยะเตรียมการทำเหมืองใต้ดิน บริษัทฯ ได้เริ่มทำการเจาะหลุมและติดตั้งมาตรวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบ 2 จุด จำนวน 3 หลุม จากที่กำหนดไว้ 7 จุด เพื่อให้การติดตามตรวจสอบและควบคุมคุณภาพงานก่อสร้างบนผิวดินและใต้ดินเป็นไปตามแผนและแบบที่กำหนดไว้ (รูปที่ 3.7-5) โดยในบริเวณอุโมงค์แนวลาด (Decline) ติดตั้งจำนวน 1 หลุม อยู่ห่างจากแนวกลางอุโมงค์ 43 เมตรไปทางทิศตะวันออก ซึ่งอยู่ทางทิศใต้ของพื้นที่โครงการหรือที่ระยะ 543-549 เมตรของความยาวแนวอุโมงค์ และอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 40 เมตรจากผิวดิน (รูปที่ 3.7-6) จากการสำรวจทางธรณีวิทยาบริเวณดังกล่าวพบว่าบริเวณนี้ ถูกปกคลุมด้วยดินทรายแป้งร่วนสีน้ำตาลแดง หนาประมาณ 3-6 เมตร ปกคลุมอยู่บนชุดหิน ภูเขาหิน ซึ่งประกอบด้วย ชั้นหินทรายเนื้อละเอียด ถึงเนื้อหยาบสีน้ำตาลแดง ชั้นหินทรายแป้งสีน้ำตาลแดงเข้ม และหินโคลนสีน้ำตาลแดงเข้ม เกิดเป็นชั้นแทรกสลับกัน (รูปที่ 3.7-7)

ในบริเวณก่อสร้างอุโมงค์แนวตั้ง (Shaft) บริษัทฯ ได้ดำเนินการติดตั้งมาตรวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบ (Inclinometer) จำนวน 2 หลุม โดยอยู่ทางด้านตะวันออก ระยะ 17 เมตร 1 หลุม และทางด้านตะวันตก ระยะ 31 เมตร อีก 1 หลุม (รูปที่ 3.7-8) ทั้งนี้จากการสำรวจทางธรณีวิทยาบริเวณดังกล่าวพบว่ามีดินทรายแป้งร่วนสีน้ำตาลแดงหนาประมาณ 3 เมตร ปิดทับบนชั้นตะกอนทางน้ำเก่า (Alluvium) ที่ประกอบด้วยชั้นดินเหนียวปนทราย ชั้นทรายปนทรายแป้ง วางตัวอยู่บนชุดหินมหาสารคาม ซึ่งประกอบด้วยชั้นหินโคลน มีลักษณะกึ่งแข็ง (Sandy clay, Silty sand and Clay, Stiff) ชั้นหินแอนไฮไดรต์ (Anhydrite) และชั้นหินเกลือ (Rock salt) (รูปที่ 3.7-9) นอกจากนี้พื้นที่ดังกล่าวยังมีการถมบดอัดด้วยดิน



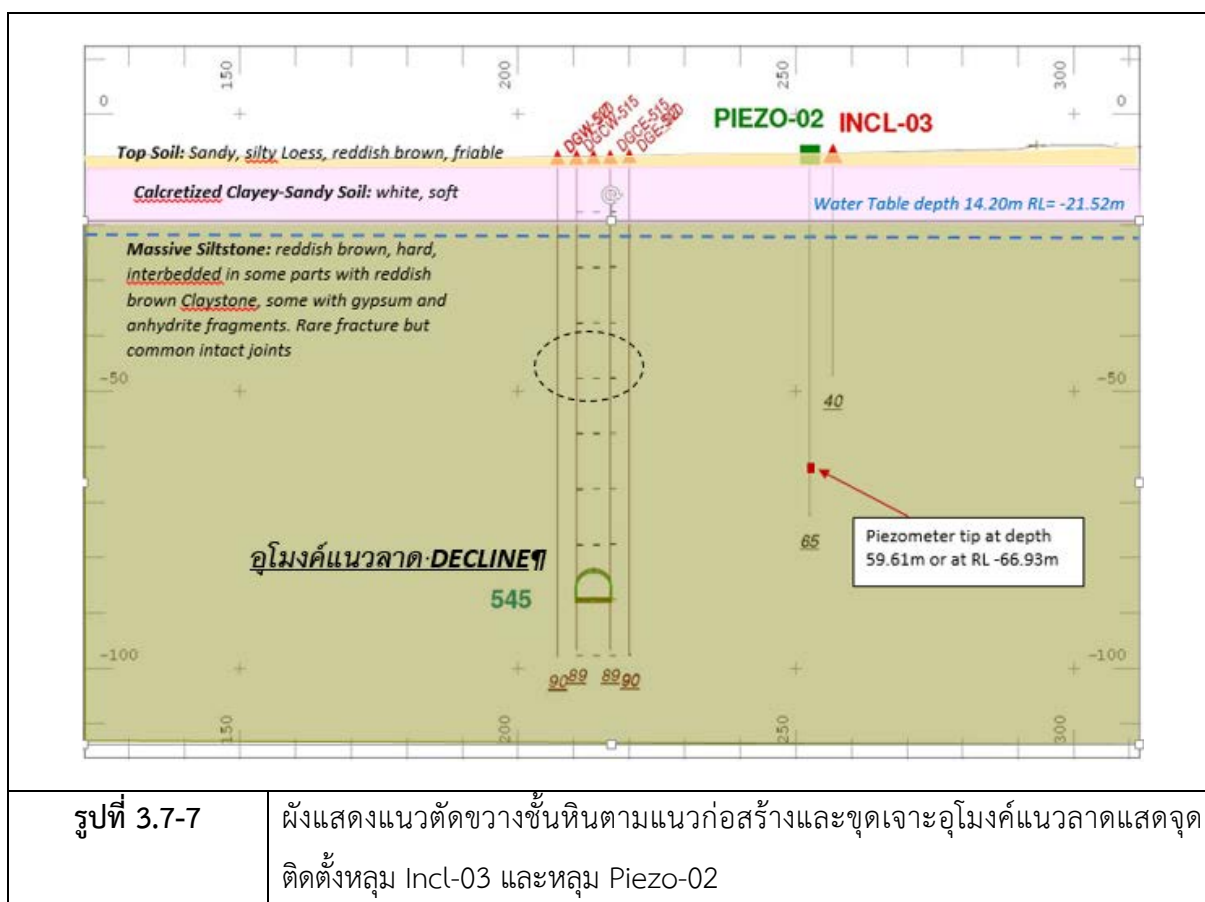
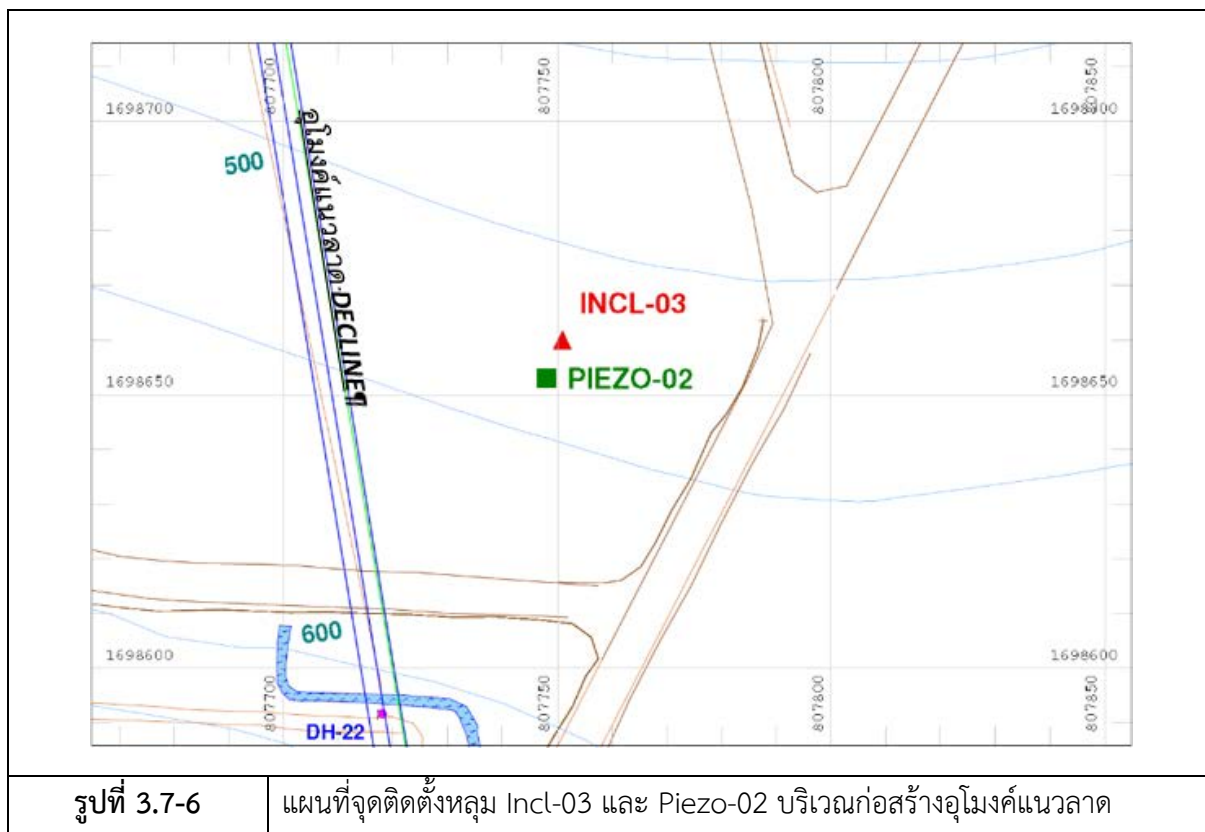
ลูกรังขาว (Concertized Soil) หนาประมาณ 2.70 เมตร เพื่อเป็นฐานรากของโครงสร้างของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับอุโมงค์แนวดิ่ง

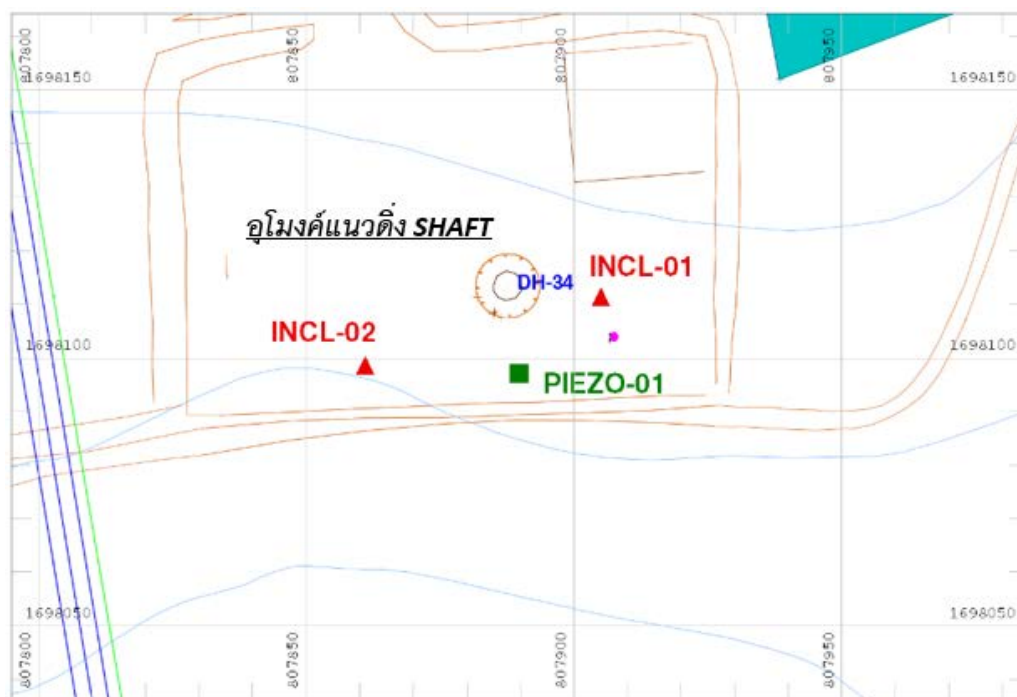


ที่มา : รายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการเหมืองแร่โพแทชของ บริษัทไทยคาลิ จำกัด, 2557

รูปที่ 3.7-5

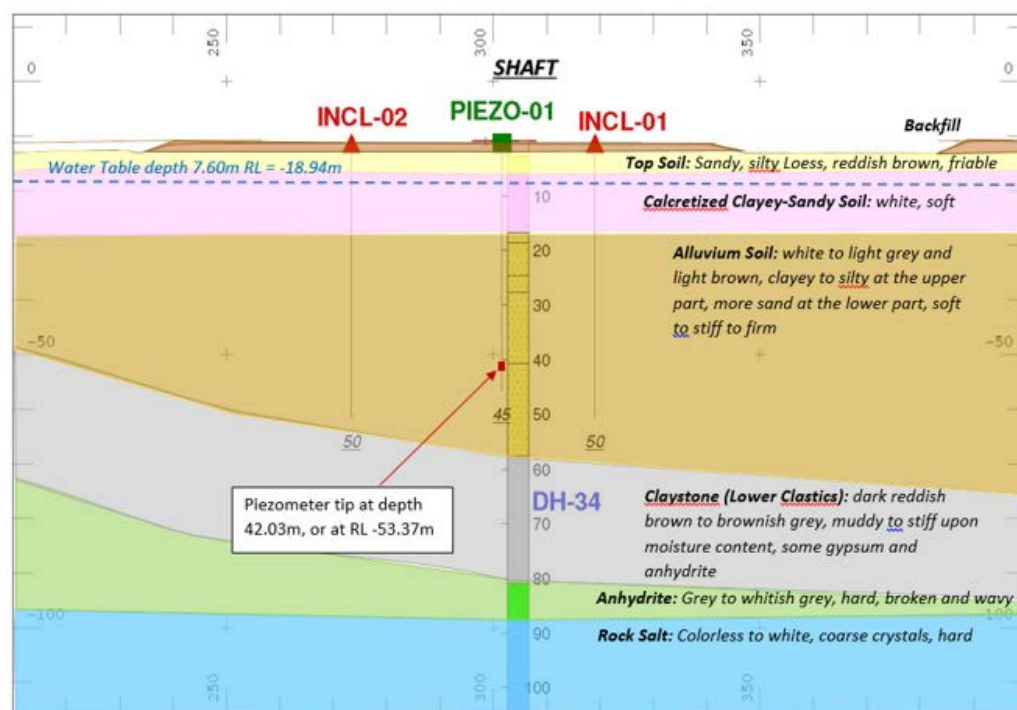
แผนที่แสดงตำแหน่งของจุดติดตั้งมาตรวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบ จำนวน 7 จุด ตามแผนที่ที่กำหนดไว้





รูปที่ 3.7-8

แผนที่จุดติดตั้งหลุม Incl-01, Incl-02 และ Piezo-03 บริเวณก่อสร้างอุโมงค์แนวตั้ง



รูปที่ 3.7-9

ผังแสดงแนวตัดขวางชั้นหินตามแนวก่อสร้างและขุดเจาะอุโมงค์แนวตั้ง และจุดติดตั้งหลุม Incl-01, Incl-02 และ Piezo-03



รูปที่ 3.7-10 การขุดเจาะและติดตั้งท่อรางในแนวตั้งสำหรับวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบ



รูปที่ 3.7-11 หลุมตรวจวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบบริเวณพื้นที่ก่อสร้างอุโมงค์แนวลาดและอุโมงค์แนวตั้ง



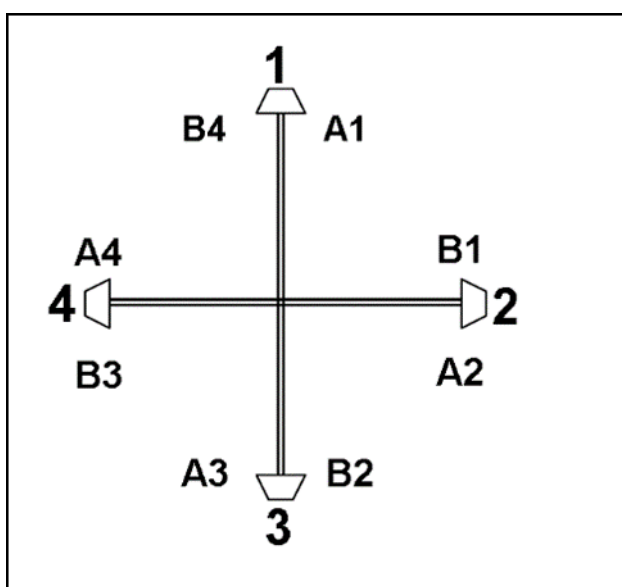
ในการกำหนดทิศทางของรางและลำดับการวัดรางของทั้ง 3 หลุม ผลออกมาเป็นรูปแบบเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับแผนการทำเหมืองในระยะยาวด้วยนั้น จึงกำหนดทิศทางการตรวจวัดตามรูป
รูปที่ 3.7-12

รางวัด A1 อยู่ด้านทิศเหนือ ทำให้ B1 อยู่ด้านทิศตะวันออก

รางวัด A2 อยู่ด้านทิศตะวันออก ทำให้ B2 อยู่ด้านทิศใต้

รางวัด A3 อยู่ด้านทิศใต้ ทำให้ B3 อยู่ด้านทิศตะวันตก

รางวัด A4 อยู่ด้านทิศตะวันตก ทำให้ B4 อยู่ด้านทิศเหนือ



รูปที่ 3.7-12

ผังแสดงการจัดวางชื่อรางในการวัดโดยใช้มาตรวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบ (Inclinometer) ซึ่งในการตรวจวัดได้ทำการวัดตามรางที่ 1 (A1) และรางที่ 3 (A3)

บริษัทฯ ได้ใช้มาตรวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบ (Inclinometer) ของ SISGEO รุ่น S200D (รูปที่ 3.7-13) ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์วัดความเอียงสองแกนตั้งฉากกัน แกน A เป็นแกนหลักตามความยาว และแกน B จะวัดขวางตั้งฉากกับความยาวมีความละเอียด 0.0013 องศา หรือ 0.02 มิลลิเมตร/เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า ± 0.005 เปอร์เซ็นต์ สามารถวัดมุมเอียงได้ถึง ± 30 องศา กลไกในการวัดจะเป็นแบบ Force Balance Servo Accelerometer



รูปที่ 3.7-13

อุปกรณ์มาตรวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบ (Inclinometer) และท่อรางที่ใช้ติดตั้งในหลุมเจาะ (Inclinometer Access Tube)

บริษัทฯ ได้เริ่มทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลเพื่อหาแนวโน้มการเคลื่อนตัวในแนวราบ ตั้งแต่วันที่ 31 พฤษภาคม 2560 เป็นต้นมา โดยทำการอ่านค่าจากกันหลุมขึ้นมา ทุก 1 เมตรที่หลุม Incl-03 จนถึงปากหลุมโดยทำการวัดซ้ำทุกๆเดือน ทั้งนี้การวัดครั้งแรกของหลุมนั้นจะใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับเทียบหาค่าความเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนตัวของมวลดินในครั้งต่อมา ซึ่งจะใช้คำนวณเพื่อหาการเคลื่อนตัวของมวลดินและมวลหินที่ความลึกต่างๆ ได้

3.7.2.1 ผลการวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของมวลดินในพื้นที่โครงการ

หลังจากทำการตรวจวัดหาการเคลื่อนตัวแต่ละครั้งได้ทำการถ่ายโอนข้อมูลที่บันทึกไว้ของทุกหลุมลงในคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลและวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวของมวลดินที่ระดับความลึกต่างๆ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดโดยดูจากค่า Checksum ซึ่งเป็นผลรวมของการวัดจากรางที่อยู่ตรงกันข้ามในท่อราง ซึ่งเมื่อรวมแล้วจะทำการหารด้วย 2 ผลที่ได้ต้องใกล้ค่า 0 มากที่สุดและไม่ควรมากกว่า 10 ถ้ามีค่ามากกว่า 10 ทำการปรับแก้ค่าโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการวัดที่อยู่ข้างเคียง ซึ่งพบว่าผลการวัดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำและน้อยกว่า 10
- 2) ตรวจสอบอาการตรึง ท่อรางหลุดตรงข้อต่อ ท่อรางตีบตัน หรือท่อรางบิดเกลียว ซึ่งถ้าพบ ให้ทำการแก้ไขโดยใช้เครื่องวัดการบิดเกลียว ถ้าพบว่ามีมากเกินไป ให้ยกเลิกใช้ข้อมูลผลการวัดดังกล่าวแล้วทำการวัดซ้ำใหม่ทันที เนื่องจากค่าที่วัดได้อาจแปรปรวนมากและไม่สื่อถึงการเคลื่อนตัวของมวลดินจน



อาจทำให้การแปลความผลการวัดผิดไปจากความเป็นจริง ซึ่งการตรวจวัดนี้ไม่ตรวจพบความผิดปกติของข้อมูลที่สามารถเกิดจากอาการดังกล่าว

- 3) นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบแล้วมาทำการวิเคราะห์หาการเคลื่อนที่โดยแสดงเป็นค่าสถิติของผลการวัดและแสดงโดยใช้ภาพตัดขวางประเภทต่างๆ ในมุมมอง 4 แบบ คือ ภาพตัดขวางในทิศเหนือ-ใต้ ภาพตัดขวางในทิศตะวันออก-ตะวันตก ภาพตัดขวางที่วางฉากกับทิศทางจริงของแนวหลุมเจาะ และผังที่มองจากด้านบนเพื่อแสดงทิศทางของแนวหลุมเจาะ ภาพที่ใช้ดังนี้
 - a. ภาพตัดขวางแสดงแนวหลุมเจาะจริง โดยเป็นค่าเบี่ยงเบนของแนวหลุมเจาะจากแนวตั้งสัมบูรณ์ จะใช้เฉพาะข้อมูลการวัดครั้งแรกของแต่ละหลุม
 - b. ภาพตัดขวางแสดงการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ทุกความลึกที่วัดมา โดยเป็นผลต่างของการวัดครั้งถัด ๆ มา จากการวัดครั้งแรก ที่ความลึกของการวัดเดียวกัน
 - c. ภาพตัดขวางแสดงการเคลื่อนตัวสะสม โดยทำการบวกสะสมผลการเคลื่อนที่ที่ละช่วงจากปากหลุมไปยังก้นหลุม (Skulich, 2008)
 - d. ผังแสดงทิศทางการเคลื่อนตัวในแนวราบ ซึ่งจะแสดงอยู่ทางด้านขวามือของภาพ
 - e. กราฟแสดงอัตราการเคลื่อนตัวในแนวราบของแต่ละหลุม

ผลการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบของมวลดิน Incl-03 ที่ได้แสดงไว้ในลักษณะภาพตัดขวางและผังกราฟตามความลึกของหลุมเจาะเพื่อให้เห็นผลได้อย่างชัดเจนตาม ตารางที่ 3.7-4 ทั้งนี้ในช่วงเวลาเวลาที่ผ่านมาทางโครงการได้ดำเนินการเกรตคอนกรีตเป็นจำนวนมากในชั้นหินบริเวณโดยรอบอุโมงค์แนวตั้ง (Shaft) เพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงและลดการซึมผ่านของน้ำบาดาล ทำให้มีคอนกรีตบางส่วนทะลักเข้าไปทำลายมาตรวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินหลุม Incl-01 และ Incl-02 จึงไม่สามารถวัดค่าได้ โดยโครงการอยู่ในระหว่างพิจารณาติดตั้งมาตรวัดใหม่เพื่อทดแทนหลุมที่ชำรุดหรืออาจติดตั้งที่บริเวณอื่นเพิ่มเติมตามความเหมาะสมต่อไป

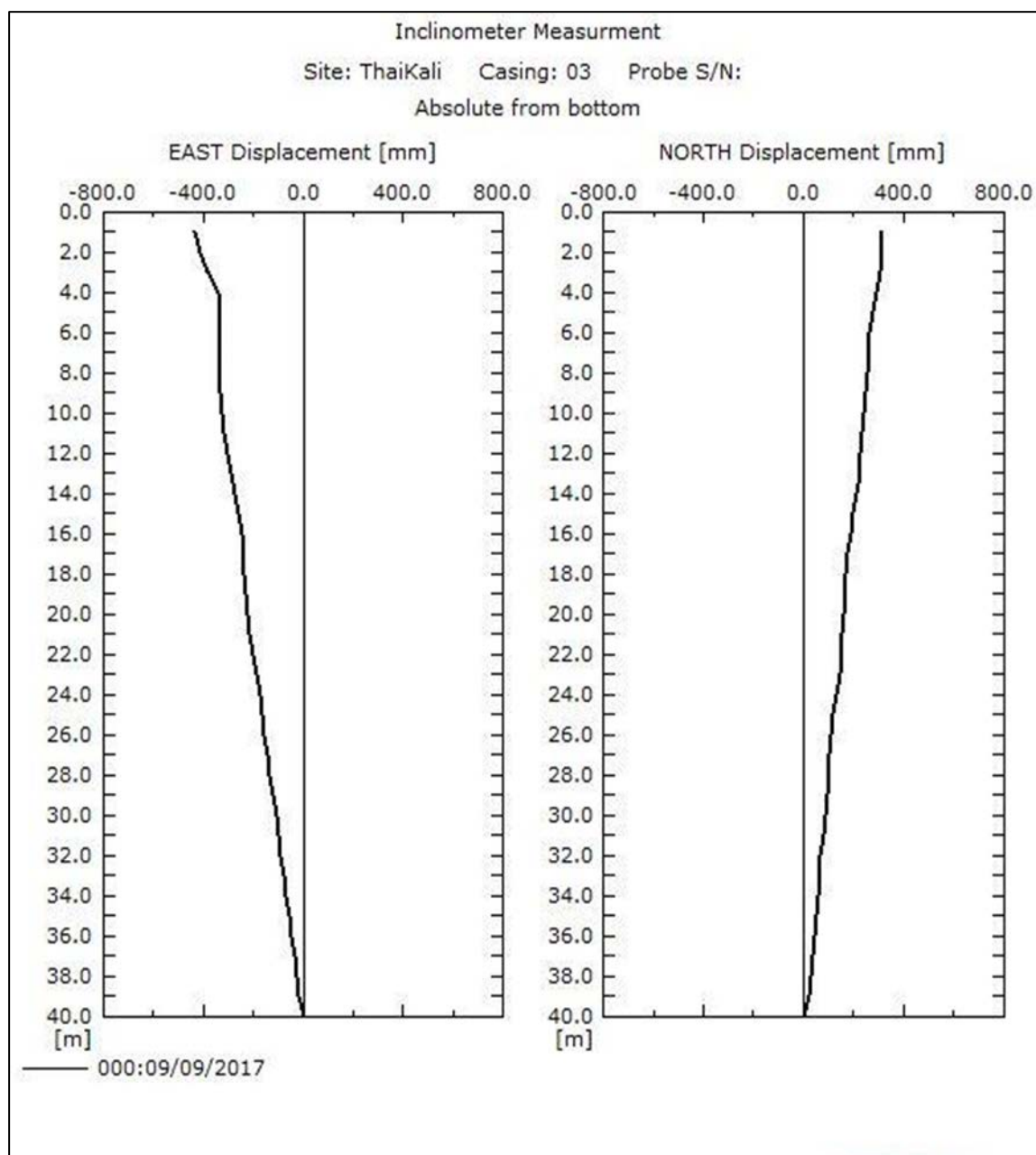


ตารางที่ 3.7-4 ค่าสถิติผลการสอบเทียบระหว่างรางตรงข้ามของผลการวัด (Checksum) ซึ่งค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 10 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ แสดงว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยจากเครื่องมือ ท่อราง และการวัด

ที่มา : บริษัท ไทยคาลิ จำกัด, 2563

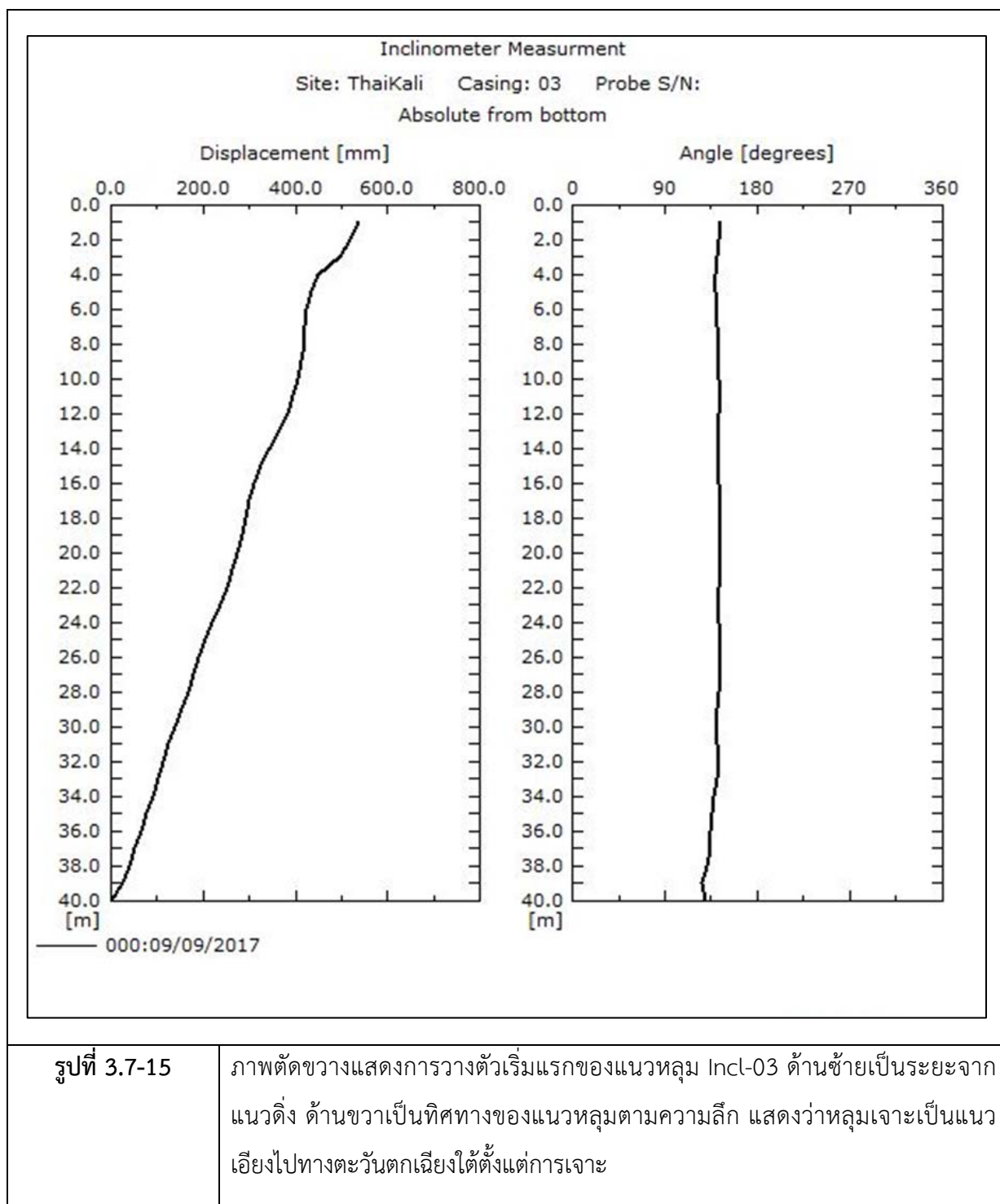
หมวดตรวจสอบ	การวัดครั้งที่ /วันที่	สถิติผลการสอบเทียบ (A1+A3)/2				สถิติผลการสอบเทียบ (B1+B3)/2			
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
Incl-03	56. 11/01/2021	4.7	2.3	8.9	4.2	7.3	1.0	8.9	0.2
	57. 16/02/2021	5.4	2.4	8.7	1.7	7.0	1.0	9.7	0.0
	58. 06/03/2021	5.0	2.2	8.3	1.2	1.4	1.0	4.0	3.0
	59. 18/04/2021	3.5	2.1	6.6	0.1	6.7	1.2	8.5	0.2
	60. 12/05/2021	3.2	2.4	6.1	0.7	4.6	1.2	7.8	2.3
	61. 03/06/2021	3.9	3.4	6.9	1.8	5.6	1.3	8.5	2.4

จากตารางสถิติของผลการตรวจวัดหลุมต่างๆ ในแต่ละครั้งจะเห็นว่ามีการเคลื่อนที่น้อยมากและน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร และเมื่อเทียบดูในการวัดแต่ละครั้งจะเห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นลักษณะของการแกว่งของข้อมูลที่อาจเป็นผลมาจากความคลาดเคลื่อนปกติของการวัด และไม่บ่งชี้ถึงการเคลื่อนตัวของมวลดินแต่อย่างใด และจากภาพตัดขวางที่แสดงผลการตรวจวัดของทุกๆ ค่าที่ตรวจวัดมาของทุกหลุมไม่พบจุดหักเหผิดปกติที่แสดงถึงความผิดปกติของการเคลื่อนที่อาจมีจุดแหลมเล็กๆ ของเส้นกราฟบ้างแต่มีค่าน้อยไม่เกิน 5 มิลลิเมตรและ เช่นที่ระดับความลึก 3 เมตร ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเป็นผลมาจากล้อเลื่อนของหัวมาตรวัดไปสุดุดตรงข้อต่อของท่อราง จึงไม่มีลักษณะที่บ่งชี้ถึงการเคลื่อนตัวของมวลดินแต่อย่างใด



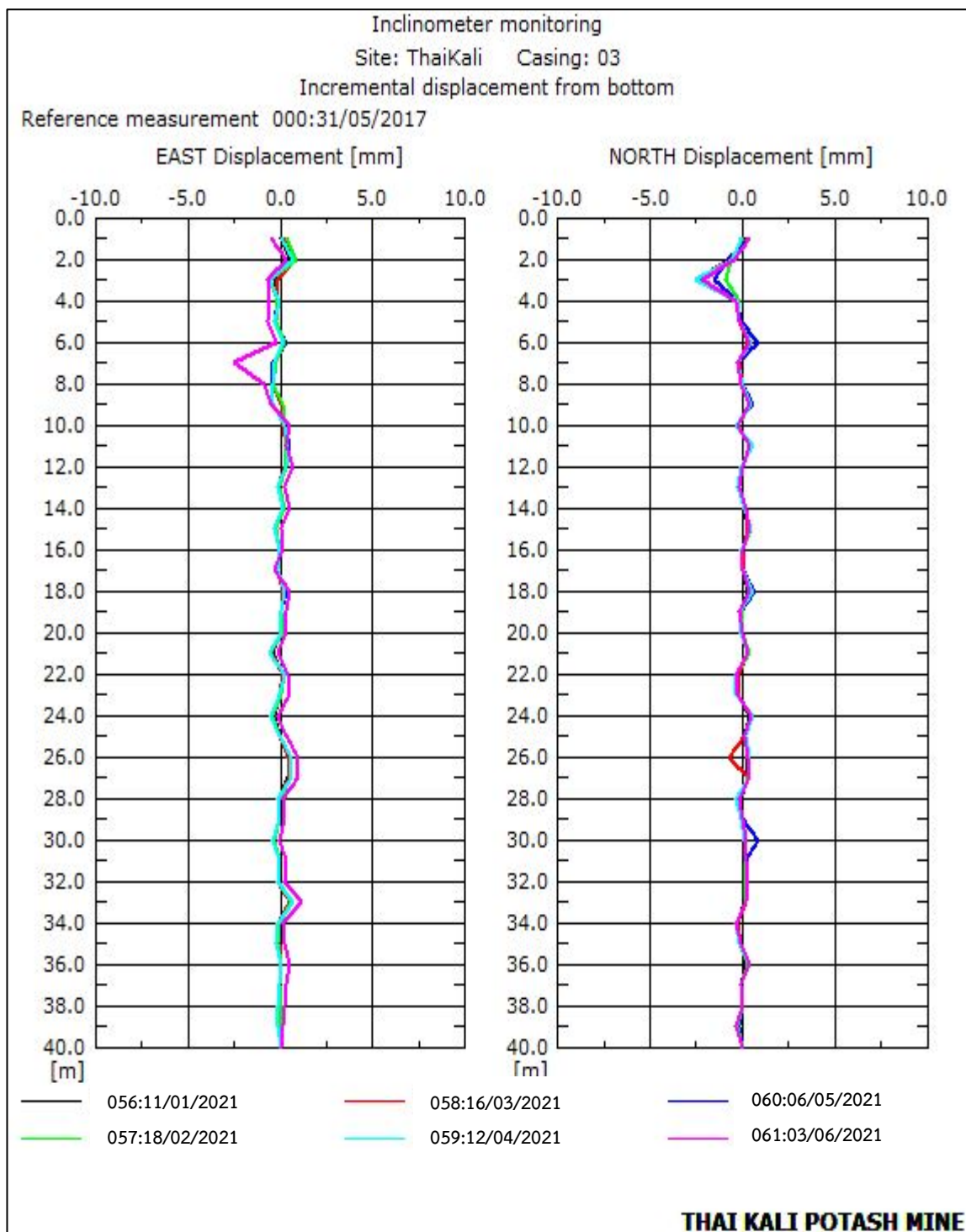
รูปที่ 3.7-14

ภาพตัดขวางแสดงการวางตัวเริ่มแรกของแนวหลุม Incl-03 ตามแนวแกนวัด B (ซ้าย) และ A (ขวา) หลุมเจาะจะวางตัวในแนวไปทางทิศใต้และทิศตะวันตก การเคลื่อนตัวของวัดเทียบจากแนวนี



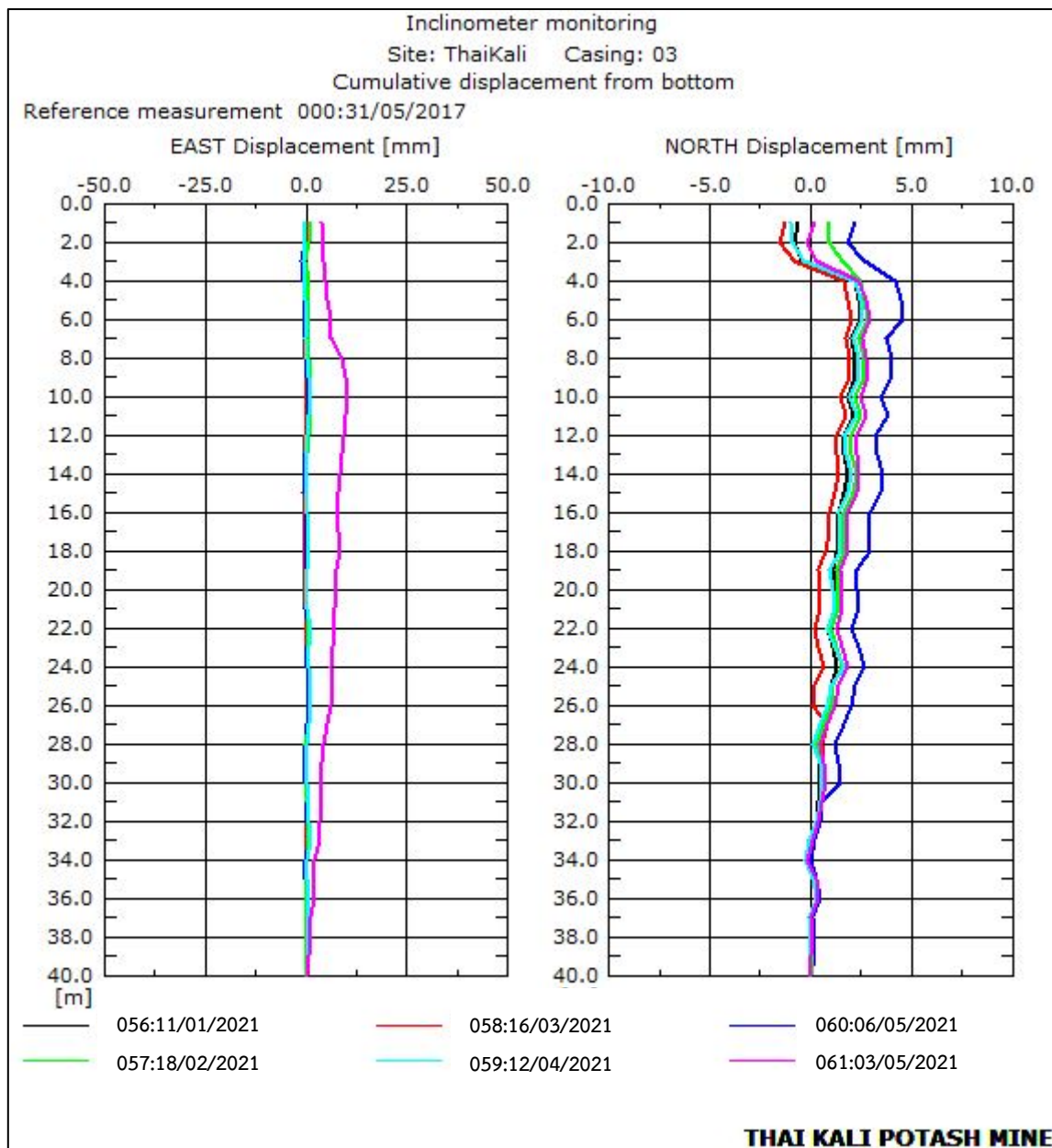
รูปที่ 3.7-15

ภาพตัดขวางแสดงการวางตัวเริ่มแรกของแนวหลุม Incl-03 ด้านซ้ายเป็นระยะจากแนวตั้ง ด้านขวาเป็นทิศทางของแนวหลุมตามความลึก แสดงว่าหลุมจะเป็นแนวเอียงไปทางตะวันตกเฉียงใต้ตั้งแต่การเจาะ



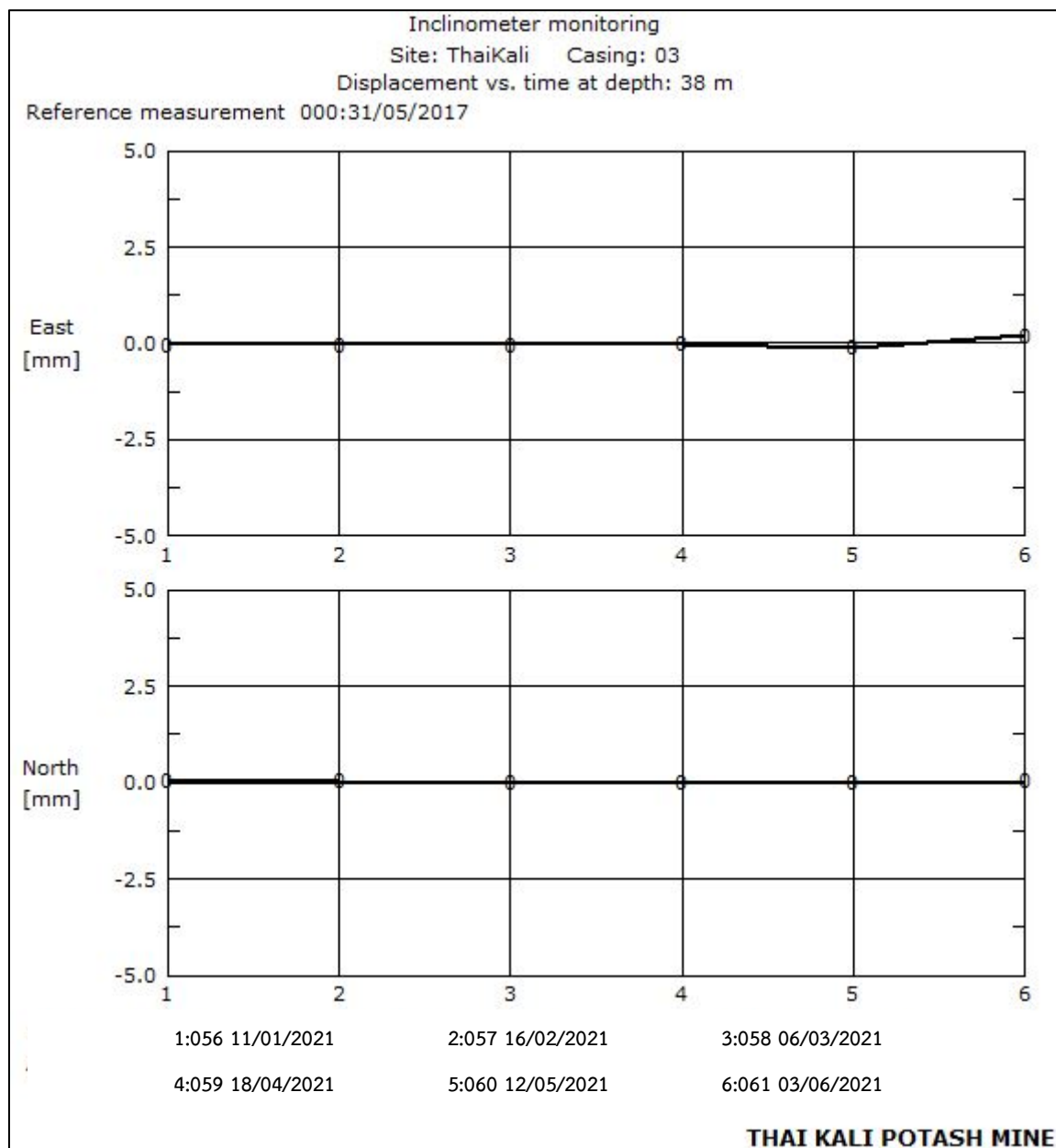
รูปที่ 3.7-16

ภาพตัดขวางแสดงผลการวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบตามความลึกต่างๆ ของหลุม Incl-03 ตามแนวแกรวัด B (ซ้าย) และ A (ขวา) แสดงถึงการเคลื่อนตัวน้อยมาก ส่วนใหญ่ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.7-17

ภาพตัดขวางแสดงผลการวัดการเคลื่อนตัวของเสาเข็มในแนวราบที่ความลึกต่าง ๆ ของหลุม Incl-03 ตามแนวแกนวัด B (ซ้าย) และ A (ขวา) โดยเริ่มบวกระยะจากปากหลุม แสดงถึงการเคลื่อนตัวของเสาเข็มเล็กน้อย และจากลักษณะของข้อมูลมีการแกว่งกลับไปมาอาจบ่งชี้ได้ว่าเป็นการแปรปรวนปกติของการวัด ซึ่งโดยปกติแล้วเครื่องมือวัดมีความคลาดเคลื่อน ± 0.005 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ผลวิเคราะห์การตรวจวัดนี้ไม่บ่งชี้ถึงการเคลื่อนตัวของมวลดิน



รูปที่ 3.7-18

กราฟแสดงอัตราการเคลื่อนในแนวราบต่อครั้งที่วัด ของหลุม Incl-03 ตามแนวแกนวัด B (บน) และ A (ล่าง) แสดงถึงมีอัตราการเคลื่อนตัวน้อยมาก ส่วนใหญ่ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ต่อครั้งที่วัด

3.7.2.2 สรุปผลการวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของมวลดินในพื้นที่โครงการ

พิจารณาจากผลการตรวจวัดตามรายละเอียดในหัวข้อ 3.7.2.1 แล้ว สรุปได้ว่าจากการตรวจวัดและเก็บข้อมูลด้วยมาตรวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบ (Inclinometer) Incl-03 เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์แล้วยังไม่พบแนวโน้มการเคลื่อนตัวของมวลดินในพื้นที่โครงการ ทั้งนี้วิเคราะห์ได้จากค่าความแปรปรวนของข้อมูลการตรวจวัดที่มีลักษณะการแกว่งขึ้นลงน้อยมากถึงคงที่ ซึ่งถือว่ายังอยู่ในช่วงความแปรปรวนปกติโดยเกิดจากความคลาดเคลื่อนทั่วไปของเครื่องมือวัด

3.7.3 การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความดันของน้ำใต้ดิน

การเปลี่ยนแปลงความดันของน้ำใต้ดินมีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับการทรุดตัวของผิวดินและการเคลื่อนตัวของมวลดิน การตรวจวัดหาการเปลี่ยนแปลงความดันของน้ำใต้ดินจะสามารถใช้บ่งชี้แนวโน้มการทรุดตัวของผิวดินในพื้นที่โครงการได้ บริษัทฯได้ดำเนินการติดตั้งหลุมเจาะสังเกตการณ์สำหรับตรวจวัดความดันน้ำจำนวน 2 หลุม แผนที่ตั้งแสดงตำแหน่งใน รูปที่ 3.7-6 และรูปที่ 3.7-8

ในทางอุทกวิทยาของน้ำใต้ดินชั้นหินอุทกอนี้เป็นชั้นหินอุ้มน้ำที่สำคัญชั้นหนึ่งของที่ราบสูงโคราช โดยน้ำใต้ดินจะแทรกซึมและไหลผ่านตามรอยแตกและรอยแยกของหิน โดยเฉพาะรอยแตกของหินที่เกิดตามแนวรอยสัมผัสระหว่างชั้นหินต่างๆ หลุมเจาะน้ำใต้ดินหนึ่งๆ มักจะเจาะพบรอยแตกที่มีน้ำใต้ดินที่ระดับความลึกต่างๆ ตามการกระจายตัวของรอยแตก ส่วนใหญ่จะมีความลึกอยู่ระหว่าง 20 – 250 เมตร โดยพื้นที่บริเวณชุดเจาะเหมืองอุโมงค์ในปัจจุบันพบชั้นน้ำใต้ดิน 2 ประเภท คือ ชั้นน้ำใต้ดินแบบชั้นน้ำเปิด (Unconfined Aquifer) และชั้นน้ำใต้ดินแบบชั้นน้ำปิด (Confined Aquifer) ชั้นน้ำใต้ดินแบบชั้นน้ำเปิดจะพบในระดับความลึกค่อนข้างตื้นที่ 3 – 10 เมตร และกระจายค่อนข้างจำกัดเฉพาะที่ จะเป็นชั้นที่เกิดจากน้ำฝนบางส่วนซึมผ่านชั้นดินลงไปมักจะมีการเปลี่ยนแปลงเร็วตามฤดูกาล ส่วนชั้นน้ำใต้ดินแบบชั้นน้ำปิดจะพบที่ระดับค่อนข้างลึกที่ 16 – 85 เมตร เป็นชั้นอุ้มน้ำที่เกิดจากการสะสมเป็นระยะเวลายาวนานของน้ำฝนหรือน้ำจากแหล่งอื่นที่ซึมผ่านลงไปตลอดเวลา ชั้นน้ำใต้ดินนี้จะอาศัยช่องว่างที่เกิดจากรอยแตกและรอยแยกของชั้นหินที่มีอยู่ ซึ่งจะเกิดกระจายตัวต่อเนื่องกันเป็นบริเวณกว้าง มีความถี่ และความหนาแน่นมากบ้างน้อยบ้างเป็นแห่งๆ ไป

3.7.3.1 การตรวจวัดความดันน้ำ โดยใช้หัววัดความดันน้ำใต้ดิน (Piezometer)

บริษัทฯ ได้ทำการติดตั้งหลุมตรวจวัดความดันน้ำจำนวน 2 หลุม จากแผนที่วางไว้ทั้งหมด 7 หลุม โดยหลุม Piezo-01 ได้ติดตั้งในบริเวณอุโมงค์แนวตั้ง และหลุม Piezo-02 ติดตั้งบริเวณอุโมงค์แนวลาด ตามรูปที่ 3.7-19



ในการติดตั้งหลุมตรวจวัดความดันน้ำใต้ดินบริเวณอุโมงค์แนวตั้ง Piezo-01 ได้พิจารณาติดตั้งหัววัดความดันน้ำ (Piezometer) ไว้ในชั้นตะกอนทางน้ำเก่าทรายปนทรายแบ่งที่ความลึกประมาณ 42 เมตร ซึ่งชั้นหินโคลนที่เป็นหินที่บ้น้ำจะอยู่ที่ความลึกตั้งแต่ 58 เมตรลงไป ส่วนการติดตั้งหลุมตรวจวัดความดันน้ำใต้ดินบริเวณอุโมงค์แนวลาด Piezo-02 ได้พิจารณาติดตั้งหัววัดความดันน้ำไว้ในชั้นหินทรายแบ่งเนื้อแข็งในระดับความลึกที่พบรอยแยกรอยแตกมีการไหลของน้ำใต้ดินที่ความลึก 65 เมตร

ในการติดตั้งมาตรวัดความดันน้ำนั้นได้ใช้หัววัดความดัน Casagrande single-tube filter Model P101 ขนาด 60 มิลลิเมตร ต่อเข้ากับท่อพีวีซีที่บ้น้ำหย่อนลงไปหลุมเจาะจนถึงความลึกที่ต้องการ และเทกลับด้วยทรายละเอียดปนทรายปานกลางให้คลุมหัววัดไว้จนมีความหนา 30 เมตร เพื่อให้สามารถซึมผ่านไปถึงหัววัดได้ แล้วสร้างชั้นที่บ้น้ำโดยปิดทับด้วยเบนโทไนต์ (Bentonite) แบบเม็ดหนา 5 เมตร และเทปิดทับด้วยปูนซีเมนต์ผสมเบนโทไนต์ (Bentonite) ดังรายละเอียดใน รูปที่ 3.7-20 ถึง รูปที่ 3.7-21 โดยใช้เครื่องวัดระดับน้ำ (Water Depth Meter) ยี่ห้อ Solinst Model 107 (รูปที่ 3.7-22) ดำเนินการวัดหาความดันของน้ำใต้ดิน



Piezometer Installation Report for Piezometer-01

Site: Shaft

Date of Installation: 18-20 May 2017

Coordinate: 807890.69 mE, 1698097.08 mN, -11.34 mRL (local)

Offset from Shaft Center: 17.05 m to the south **Boring Depth:** 45m

Piezometer Type: Casagrande single-tube filter Model P101 60mm / 40 μ , Length 275mm / OD 61.5mm, Polyethylene

Depth of Piezometer: 41.83m

Set In: Silty Sand

Riser Pipe: PVC Blind Tube diag.1.5" G **Boring Diameter:** 4 1/2 inches

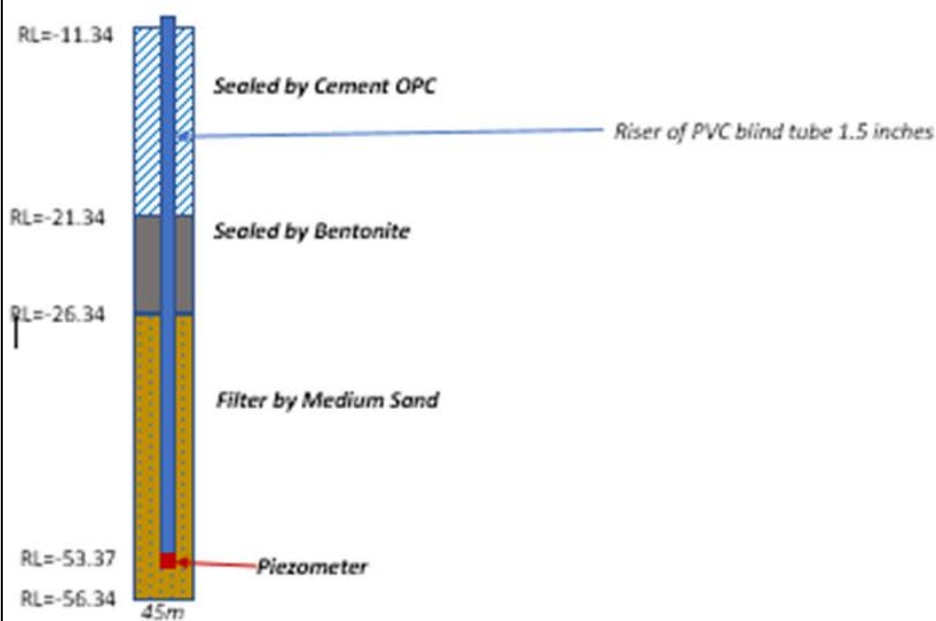
Ground Elevation: -11.34m

Top of PVC Riser Elevation: -10.94m

Elevation of Piezometer tip: -53.37m

Filter: Fine-medium sand **From Elevation:** -26.34m **To Elevation:** -56.34m

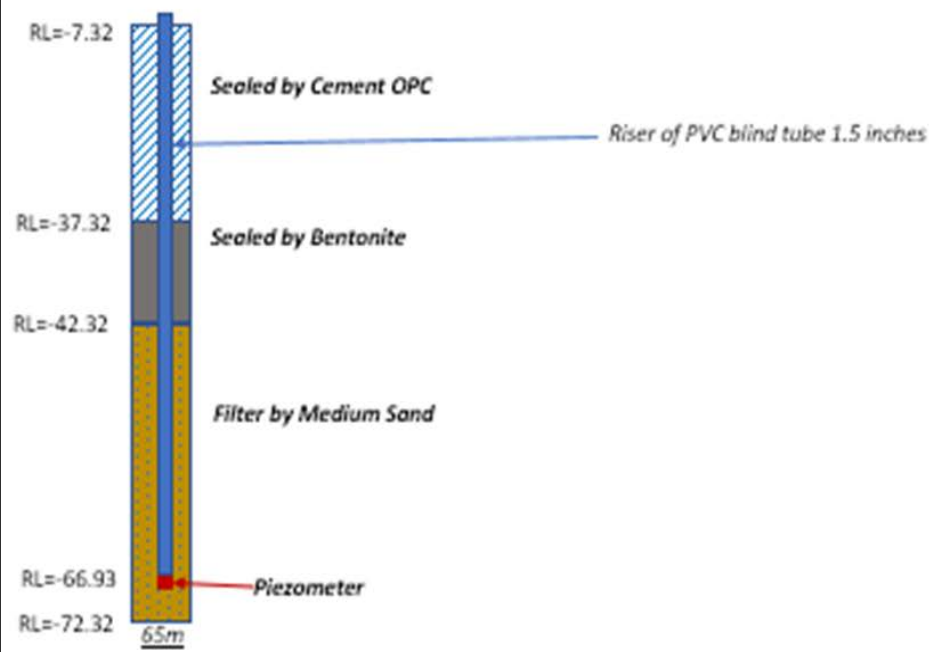
Seal: Bentonite and Cement **From Elevation:** -11.34m **To Elevation:** -26.34m



รูปที่ 3.7-20

แสดงรายละเอียดของการติดตั้งหลุมตรวจวัดความดันน้ำใต้ดิน Piezo-01 บริเวณ
อุโมงค์แนวตั้ง



<p style="text-align: center;"><u>Piezometer Installation Report for Piezometer-02</u></p> <p>Site: Decline near chainage 549 Date of Installation: 02-05 June 2017</p> <p>Coordinate: 807748.00 mE, 1698653.00 mN, -7.32 mRL (local)</p> <p>Offset from Decline Center Line: 39.41 m to the east Boring Depth: 65m</p> <p>Piezometer Type: Casagrande single-tube filter Model P101 60mm / 40μ, Length 275mm / OD 61.5mm, Polyethylene</p> <p>Depth of Piezometer: 59.41 m Set In: Massive Siltstone</p> <p>Riser Pipe: PVC Blind Tube diag.1.5" G Boring Diameter: 4 1/2 inches</p> <p>Ground Elevation: -7.32m Top of PVC Riser Elevation: -6.19m</p> <p>Elevation of Piezometer tip: -66.93m</p> <p>Filter: Fine-medium sand From Elevation: -42.32m To Elevation: -72.32m</p> <p>Seal: Bentonite and Cement From Elevation: -7.32m To Elevation: -42.32m</p> 	
รูปที่ 3.7-21	แสดงรายละเอียดของการติดตั้งหลุมตรวจวัดความดันน้ำใต้ดิน Piezo-02 บริเวณอุโมงค์แนวลาด

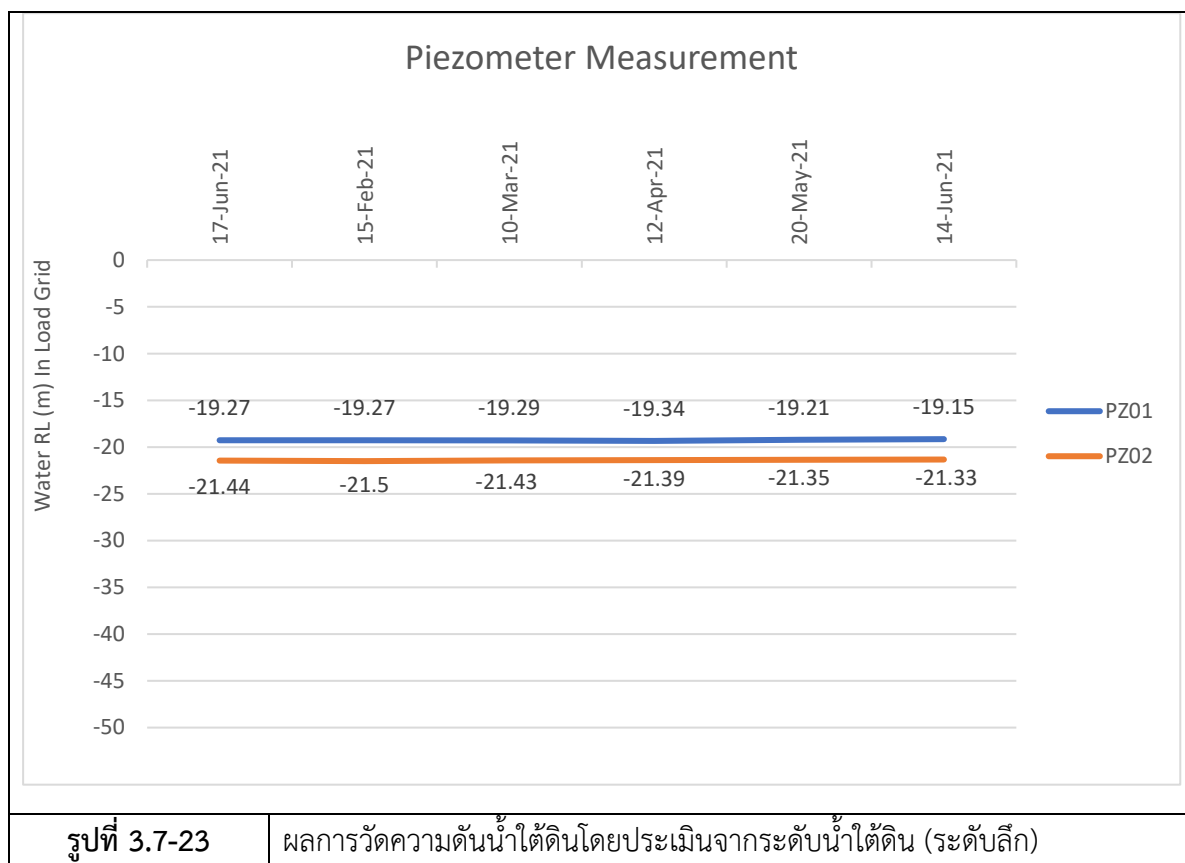
	
<p>รูปที่ 3.7-22</p>	<p>เครื่องวัดระดับความลึกของชั้นน้ำที่ใช้ในการวัดระดับความดันน้ำในหลุมตรวจวัดความดันน้ำใต้ดิน</p>

3.7.3.2 ผลการตรวจวัดความดันน้ำใต้ดิน โดยใช้หัววัดความดันน้ำใต้ดิน (Piezometer)

บริษัทฯ ได้ดำเนินการตรวจวัดความดันน้ำใต้ดินตามเงื่อนไขมาตรการฯ เป็นประจำทุกเดือนและค่าระดับน้ำใต้ดินที่ตรวจวัดได้ต้องอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าระดับผิวดินบริเวณปากอุโมงค์แนวลาด (Reference Point : +0) เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลทั้งโครงการได้ ซึ่งผลการตรวจวัดระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง ธันวาคม พบว่าระดับและความดันน้ำค่อนข้างคงที่ที่ระดับ 19 เมตร และ 25 เมตร ตามรูปที่ 3.7-23

ระดับความดันของหลุม Piezo-01 เพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งเป็นผลมาจากการตรวจวัดอยู่ในช่วงฤดูฝนที่มีฝนตกเป็นประจำ และชั้นตะกอนทางน้ำเก่าที่ประกอบด้วยทรายปนทรายแป้งมีคุณสมบัติที่ทำให้น้ำฝนจากดินชั้นบนซึมผ่านเข้าไปได้ง่าย

ระดับความดันของหลุม Piezo-02 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และการวัดครั้งหลังๆ ความดันของน้ำใต้ดินไม่เปลี่ยนแปลง



หมายเหตุ : ค่าระดับน้ำใต้ดินที่ระบุในกราฟอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าระดับผิวดินบริเวณปากอุโมงค์แนวลาด (Referent Point)

3.7.3.3 สรุปผลการตรวจวัดความดันน้ำ โดยใช้หัววัดความดันน้ำใต้ดิน (Piezometer)

ผลการตรวจวัดความดันของน้ำใต้ดินโดยการติดตั้งหัววัดความดันน้ำใต้ดิน (Piezometer) จำนวน 2 หลุม มีค่าความดันน้ำใต้ดินค่อนข้างคงที่ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งน่าจะเป็นอิทธิพลจากการที่มีปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล