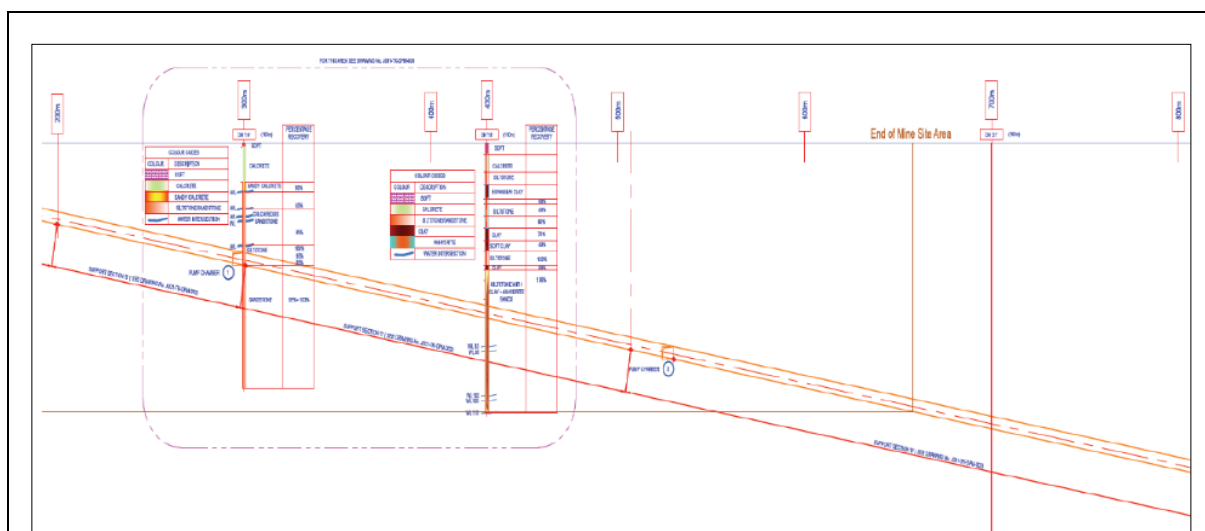


### 3.7 การรุดตัวของพื้นดิน

มาตรการกำหนดให้มีการตรวจวัดการรุดตัวของพื้นดินในระยะเตรียมการทำเหมือง โดยติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดทั้งบนผิวดินและใต้ดิน เพื่อตรวจสอบและควบคุมคุณภาพงานก่อสร้างบนผิวดินและใต้ดินให้เป็นไปตามแผนและแบบที่กำหนดไว้ โดยมีความถี่ในการตรวจวัดเดือนละครั้ง และเมื่อเข้าสู่ระยะดำเนินการทำเหมืองจึงจะเพิ่มจุดตรวจในชุมชนโดยรอบพื้นที่ประทานบัตรตามข้อกำหนดในตารางมาตรการฯ เป็นลำดับต่อไป

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



ที่มา : รายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการเหมืองแร่โพแทชของ บริษัทไทยคาลิ จำกัด, 2557

รูปที่ 3.7-1

ภาพตัดขวางของแบบอุโมงค์แนวลาดส่วนกลาง

#### 3.7.1 หมดหลักฐานอ้างอิงและหมดตรวจสอบตามแนวอุโมงค์แนวลาด สำหรับตรวจสอบการรุดตัวของระดับผิวดิน

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



รูปที่ 3.7-2 การก่อสร้างหมุดหลักฐานอ้างอิง (Benchmark Point) และหมุดตรวจสอบบริเวณแนว  
การก่อสร้างขุดเจาะอุโมงค์แนวลาด



รูปที่ 3.7-3 จุดติดตั้งหมุดหลักฐานอ้างอิง (Benchmark Point) และหมุดตรวจสอบตามแนวอุโมงค์

วิธีการตรวจวัดดำเนินการโดยใช้กล้องรังวัดแบบใช้แสงเลเซอร์ (Total Station) ทำการวัดหา  
ระดับความสูงของหมุดตรวจสอบแต่ละหมุด เทียบอิงจากระดับความสูงของหมุดหลักฐานอ้างอิง BM01 โดยใช้  
การคำนวณดังนี้

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



เมื่อ  $\infty$  = มุมตั้ง (Vertical angle)

$$\text{ระดับความสูงของมุมเทียบกับมุมหลักฐานอ้างอิง} = 0 - \text{ความสูงของมุม} \quad (2)$$

การเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงของแต่ละมุมตรวจสอบที่ได้จากการตรวจวัดแต่ละครั้งสามารถนำมาประมวลผลและวิเคราะห์หาแนวโน้มการทรุดตัวของระดับผิวดินที่เป็นผลจากการพัฒนาอุโมงค์ได้ โดยได้ดำเนินการตรวจสอบเป็นประจำทุกสัปดาห์ในระยะเริ่มต้น จากนั้นจึงค่อยลดความถี่ในการตรวจวัดลงเหลือเดือนละ 1 ครั้งเมื่อสภาพทางธรณีชั้นหินมีความเสถียรและความสมดุลมากขึ้น

### 3.7.1.1 ผลการตรวจวัดมุมตรวจสอบ

ผลการตรวจวัดระดับความสูงของมุมตรวจสอบ 9 มุม เปรียบเทียบจากมุมหลักฐานอ้างอิง BM01 ได้ดำเนินการตั้งแต่วันที่ 10 มกราคม 2565 จนถึงวันที่ 17 มิถุนายน 2565 โดยดำเนินการตรวจวัดเดือนละ 1 ครั้งเป็นอย่างน้อย แสดงผลการตรวจวัดในช่วงเวลาดังกล่าวดัง ตารางที่ 3.7-1

ตารางที่ 3.7-1 ผลการตรวจวัดระดับความสูงของมุมตรวจสอบ เทียบอิงจากมุมหลักฐานอ้างอิง BM01 สำหรับใช้ประเมินแนวโน้มการทรุดตัวของระดับผิวดินช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2565 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2565

ผลการตรวจวัดระดับความสูงของมุมตรวจสอบ									
Data	มุม1	มุม2	มุม3	มุม4	มุม5	มุม6	มุม7	มุม8	มุม9
14-ก.ค.-64	-5.5148	-4.2074	2.9177	1.7998	0.5594	0.2922	0.4678	1.0589	0.8678
8-ส.ค.-64	-5.5148	-4.2074	2.9171	1.8001	0.5591	0.2921	0.4680	1.0588	0.8677
9-ก.ย.-64	-5.5148	-4.2074	2.9172	1.7995	0.5602	0.2930	0.4681	1.0592	0.8676
4-ต.ค.-64	-5.5148	-4.2074	2.9168	1.8005	0.5599	0.2926	0.4677	1.0591	0.8677
6-พ.ย.-64	-5.5148	-4.2074	2.9167	1.8011	0.5600	0.2921	0.4677	1.0589	0.8679
12-ธ.ค.-64	-5.5148	-4.2074	2.9175	1.7999	0.5597	0.2930	0.4678	1.0588	0.8678
10-ม.ค.-65	-5.5148	-4.2074	2.9175	1.7998	0.5597	0.2928	0.4675	1.0587	0.8678
14-ก.พ.-65	-5.5148	-4.2074	2.9174	1.7998	0.5597	0.2927	0.4674	1.0586	0.8678
14-มี.ค.-65	-5.5148	-4.2074	2.9172	1.7996	0.5595	0.2927	0.4674	1.0585	0.8677
18-เม.ย.-65	-5.5148	-4.2074	2.9172	1.7996	0.5594	0.2927	0.4672	1.0585	0.8677
9-พ.ค.-65	-5.5148	-4.2074	2.9171	1.7995	0.5594	0.2926	0.4670	1.0583	0.8676
17-มิ.ย.-65	-5.5148	-4.2074	2.9171	1.7995	0.5592	0.2926	0.4670	1.0583	0.8676
สถิติ	มุม1	มุม2	มุม3	มุม4	มุม5	มุม6	มุม7	มุม8	มุม9
ค่าเฉลี่ย	-5.5148	-4.2074	2.9172	1.7999	0.5596	0.2926	0.4676	1.0587	0.8677
ค่าเบี่ยงเบน	0.0000	0.0000	0.0003	0.0005	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0001
มากที่สุด	-5.5148	-4.2074	2.9177	1.8011	0.5602	0.2930	0.4681	1.0592	0.8679
น้อยสุด	-5.5148	-4.2074	2.9171	1.7995	0.5592	0.2921	0.4670	1.0583	0.8676

ที่มา : บริษัท ไทยคาลิ จำกัด, 2565



### 3.7.1.2 การประมวลผลการตรวจวัดหัตถตรวจสอบ

ในการประมวลผลเพื่อประเมินหาแนวโน้มการทรุดตัวของผิวดินจากผลการตรวจวัดหัตถตรวจสอบต่างๆ ได้ทำตามขั้นตอน ดังนี้

- 1) จัดทำตารางบันทึกข้อมูลผลการตรวจวัดและทำการบันทึกเพิ่มทุกครั้งที่ทำหัตถตรวจสอบ
- 2) ตรวจสอบคุณภาพของการวัดว่าระบุหตุที่วัดได้ถูกต้องค่าต่างๆที่วัดได้จากอุปกรณ์มีความถูกต้อง การคำนวณความสูงจากหตุอ้างอิงมาตรฐาน BM01 มีความถูกต้อง
- 3) ตรวจสอบความเรียบร้อยและปัญหาของการวัดหตุตรวจสอบต่างๆ ในการตรวจวัดแต่ละครั้ง
- 4) ศึกษาสถิติพื้นฐานของข้อมูลผลการตรวจวัดของหตุตรวจสอบแต่ละหตุ
- 5) คำนวนหาค่าความต่างจากการวัดครั้งก่อนหน้าและความต่างสะสมของความสูงของแต่ละหตุ โดยมีวิธีการคำนวณคือ

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

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

- 6) ประเมินแนวโน้มการทรุดตัวของผิวดิน จากผลการคำนวณจากข้อ 5)

#### สถิติข้อมูลผลการวัดหตุตรวจสอบ

ตารางที่ 3.7-2 ตารางการคำนวณค่าความต่างสะสมของความสูงแต่ละหตุจากสมการข้างต้น

Data	ΔP1 (mm)	ΔP2 (mm)	ΔP3 (mm)	ΔP4 (mm)	ΔP5 (mm)	ΔP6 (mm)	ΔP7 (mm)	ΔP8 (mm)	ΔP9 (mm)
14-ก.ค.-64	-4.6	17.5	22.4	35.6	-3.5	0.2	14.1	17.2	7.2
8-ส.ค.-64	-4.6	17.5	23.1	34.9	-2.8	0.1	15.2	17.1	7.5
9-ก.ย.-64	-4.6	17.5	22.8	34.9	-2.9	-0.2	14.8	16.8	7.3
4-ต.ค.-64	-4.6	17.5	23.4	35.1	-3.1	-2.0	15.2	17.3	7.4
6-พ.ย.-64	-4.6	17.5	22.6	35.3	-3.5	-1.8	14.8	17.2	7.6
12-ธ.ค.-64	-4.6	17.5	22.1	34.8	-4.4	0.1	14.9	17.1	7.5
10-ม.ค.-65	-4.6	17.5	22.1	35.2	-3.3	0.2	14.2	17.0	7.0
14-ก.พ.-65	-4.6	17.5	22.9	34.9	-2.9	0.1	14.8	16.9	7.2
14-มี.ค.-65	-4.6	17.5	22.8	34.8	-2.7	-0.1	14.3	17.1	7.3
18-เม.ย.-65	-4.6	17.5	22.6	35.0	-3.0	-1.9	14.9	17.0	7.2
9-พ.ค.-65	-4.6	17.5	22.4	35.1	-3.2	-1.7	14.7	16.9	7.1
17-มิ.ย.-65	-4.6	17.5	22.3	34.9	-4.1	0.1	14.6	17.0	7.2

ที่มา : บริษัท ไทยคาลิ จำกัด, 2565

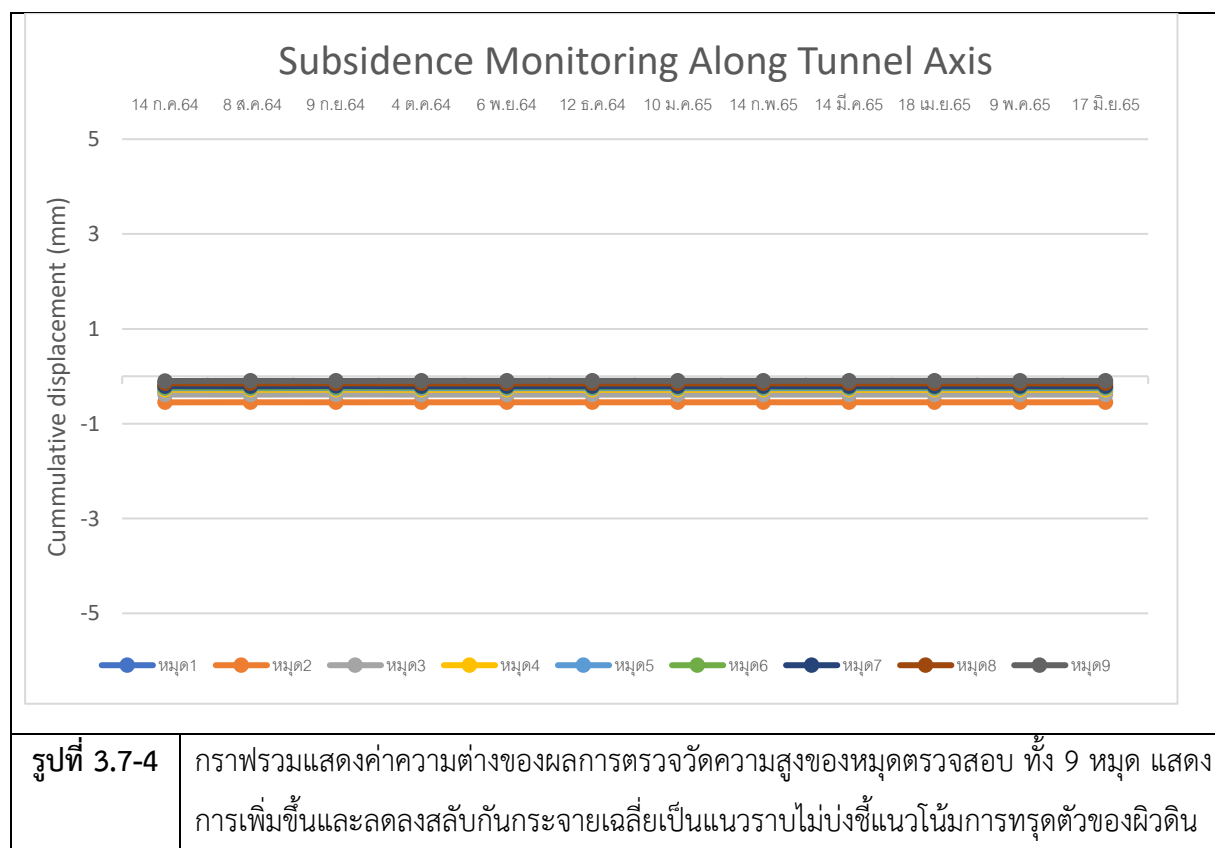


ตารางที่ 3.7-3 สถิติผลการตรวจวัดระดับความสูง (เมตร) ของหมุดตรวจสอบ เทียบอิงจากหมุดหลักฐานอ้างอิง BM01 สำหรับใช้ประเมินแนวโน้มการทรุดตัวของระดับผิวดินช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2565

สถิติ	หมุด1	หมุด2	หมุด3	หมุด4	หมุด5	หมุด6	หมุด7	หมุด8	หมุด9
ค่าเฉลี่ย	-4.6	17.5	22.6	35.0	-3.3	-0.6	14.7	17.1	7.3
เบี่ยงเบน	0.0000	0.0000	0.3957	0.2359	0.5219	0.9507	0.3554	0.1528	0.1782
มากที่สุด	-4.6	17.5	23.1	35.6	-2.7	0.2	15.2	17.3	7.6
น้อยสุด	-4.6	17.5	22.1	34.8	-4.4	-2.0	14.1	16.8	7.0

ที่มา : บริษัท ไทยคาลิ จำกัด, 2565

ค่าความต่างสะสมและค่าสถิติพื้นฐานของผลการตรวจวัดระดับความสูงของหมุดตรวจสอบทั้ง 9 หมุด แสดงในตารางที่ 3.7-2 และ ตารางที่ 3.7-3 แสดงค่าเฉลี่ย, ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าน้อยที่สุด และค่ามากที่สุดของผลการตรวจวัดตามหมุดต่างๆ มีสถิติค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.0000 – 0.9507 เมตร บ่งชี้ถึงลักษณะการแปรปรวนขึ้นลงสลับกัน เสมือนเป็นค่าความเบี่ยงเบนปกติของการวัดที่สัมพันธ์กับค่าแปรปรวนมาตรฐานของเครื่องมือและอาจรวมถึงค่าแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานของผู้ตรวจวัดด้วย อย่างไรก็ตามค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเล็กน้อยนี้สามารถพบได้เป็นปกติของผิวดินธรรมชาติโดยทั่วไป และไม่บ่งชี้ถึงแนวโน้มการทรุดตัวในบริเวณดังกล่าว



### 3.7.1.3 สรุปผลการตรวจวัดการทรุดตัวของระดับผิวดินในพื้นที่โครงการ

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

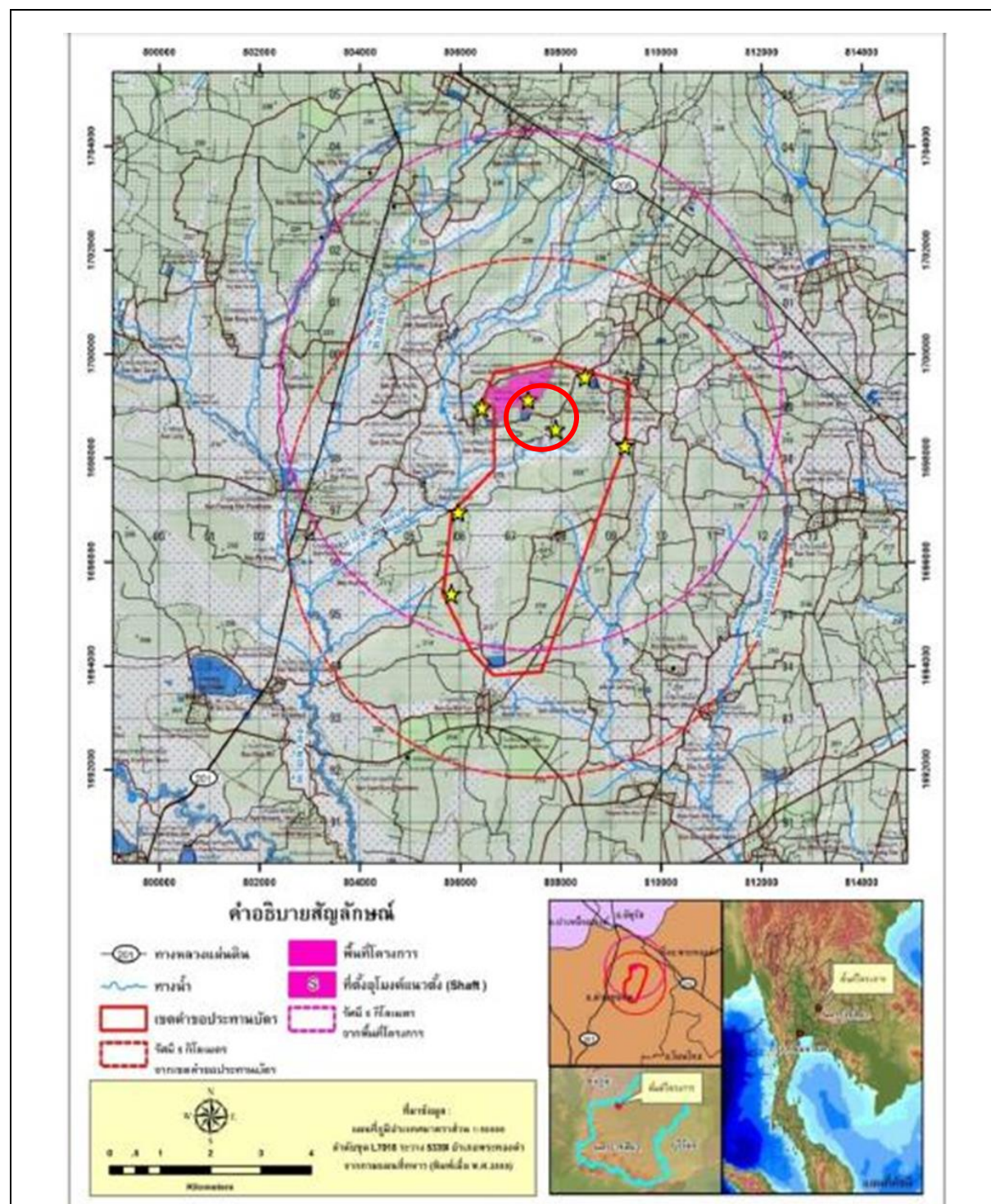
### 3.7.2 การวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของมวลดินในพื้นที่โครงการ โดยใช้มาตรวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบ (Inclinometer)

มาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ผ่านการเห็นชอบจากคณะกรรมการผู้ชำนาญการพิจารณาวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (คชก.) กำหนดให้บริษัทฯ ดำเนินการติดตั้งมาตรวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบ (Inclinometer) โดยการติดตั้งหลุมเจาะแนวตั้ง (Vertical Hole) และติดตั้งมาตรวัดเพื่อทำการตรวจสอบนั้น ในระยะเตรียมการทำเหมืองได้ดิน 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 ภูทอก 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



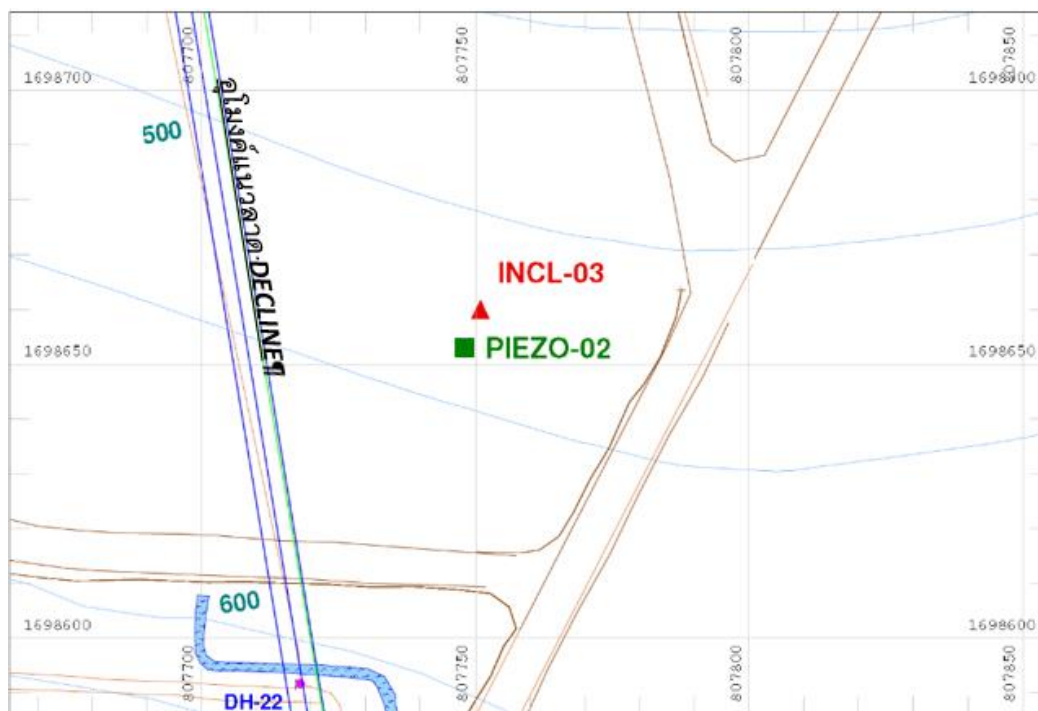
ลูกรังขาว (Concertized Soil) หนาประมาณ 2.70 เมตร เพื่อเป็นฐานรากของโครงสร้างของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับอุโมงค์แนวดิ่ง



ที่มา : รายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการเหมืองแร่โพแทชของ บริษัทไทยคาลิ จำกัด, 2557

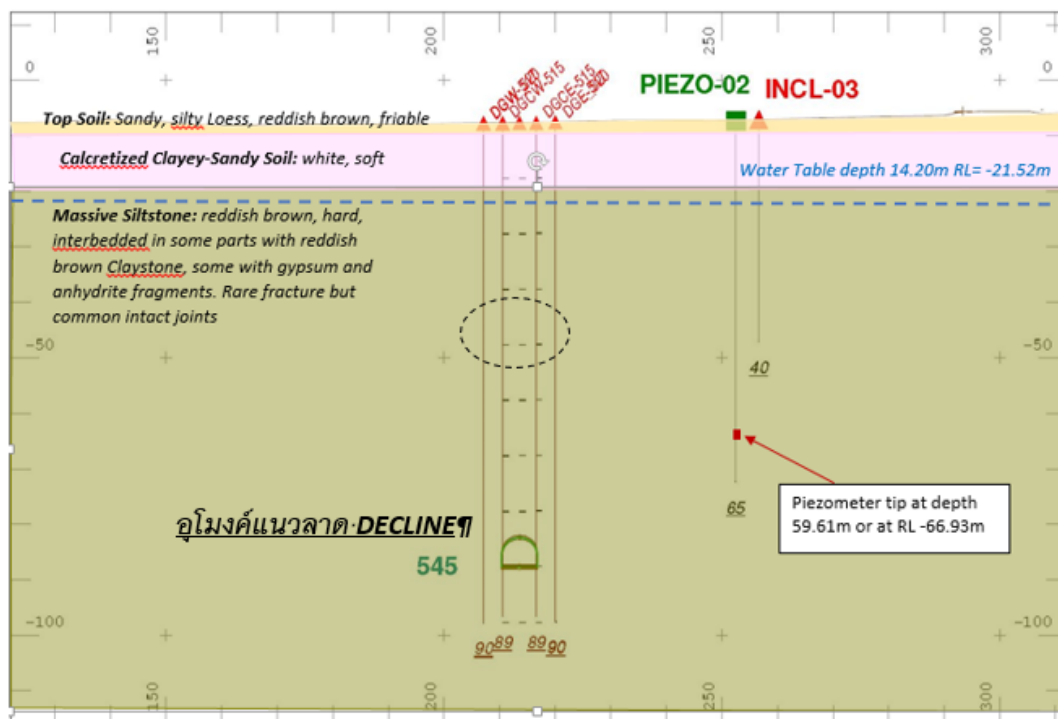
รูปที่ 3.7-5

แผนที่แสดงตำแหน่งของจุดติดตั้งมาตรวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบจำนวน 7 จุด ตามแผนที่กำหนดไว้



รูปที่ 3.7-6

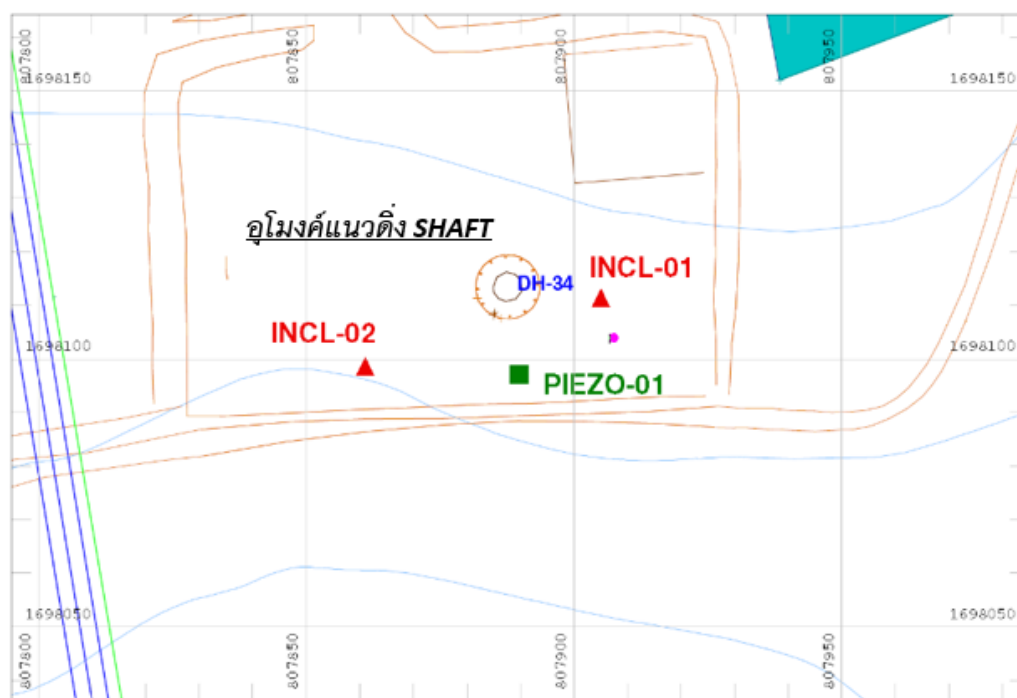
แผนที่จุดติดตั้งหลุม Incl-03 และ Piezo-02 บริเวณก่อสร้างอุโมงค์แนวลาด



รูปที่ 3.7-7

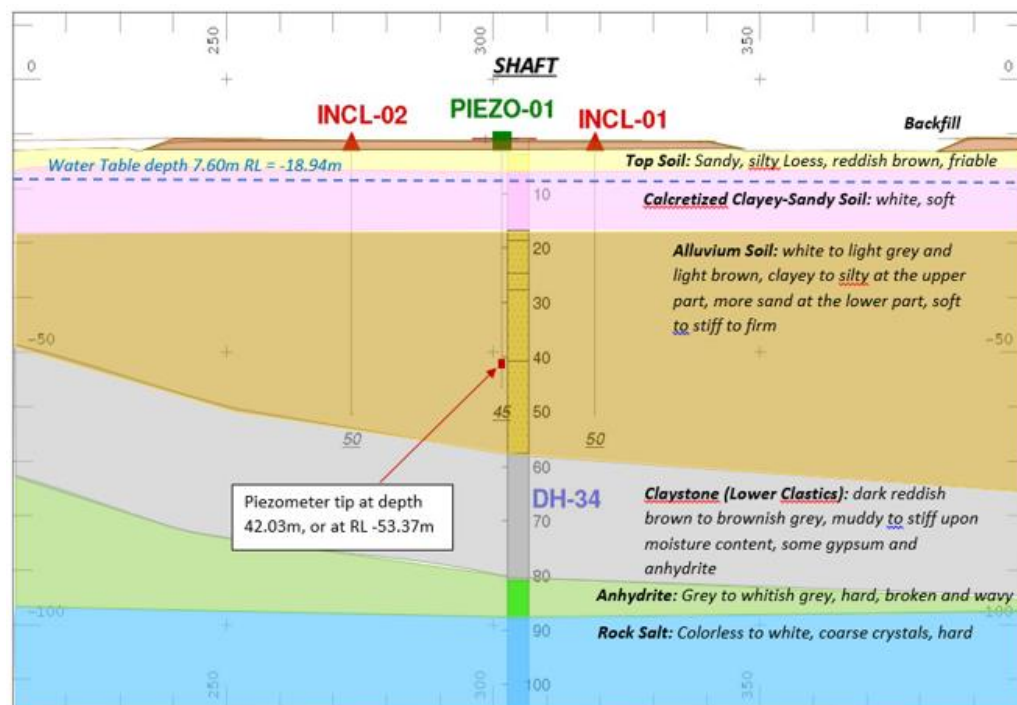
ผังแสดงแนวตัดขวางชั้นหินตามแนวก่อสร้างและขุดเจาะอุโมงค์แนวลาดแสดงจุดติดตั้งหลุม Incl-03 และหลุม Piezo-02





รูปที่ 3.7-8

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



รูปที่ 3.7-9

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



รูปที่ 3.7-10 การขุดเจาะและติดตั้งท่อรางในแนวตั้งสำหรับวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบ



รูปที่ 3.7-11 หลุมตรวจวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในแนวราบบริเวณพื้นที่ก่อสร้างอุโมงค์แนวลาดและอุโมงค์แนวตั้ง

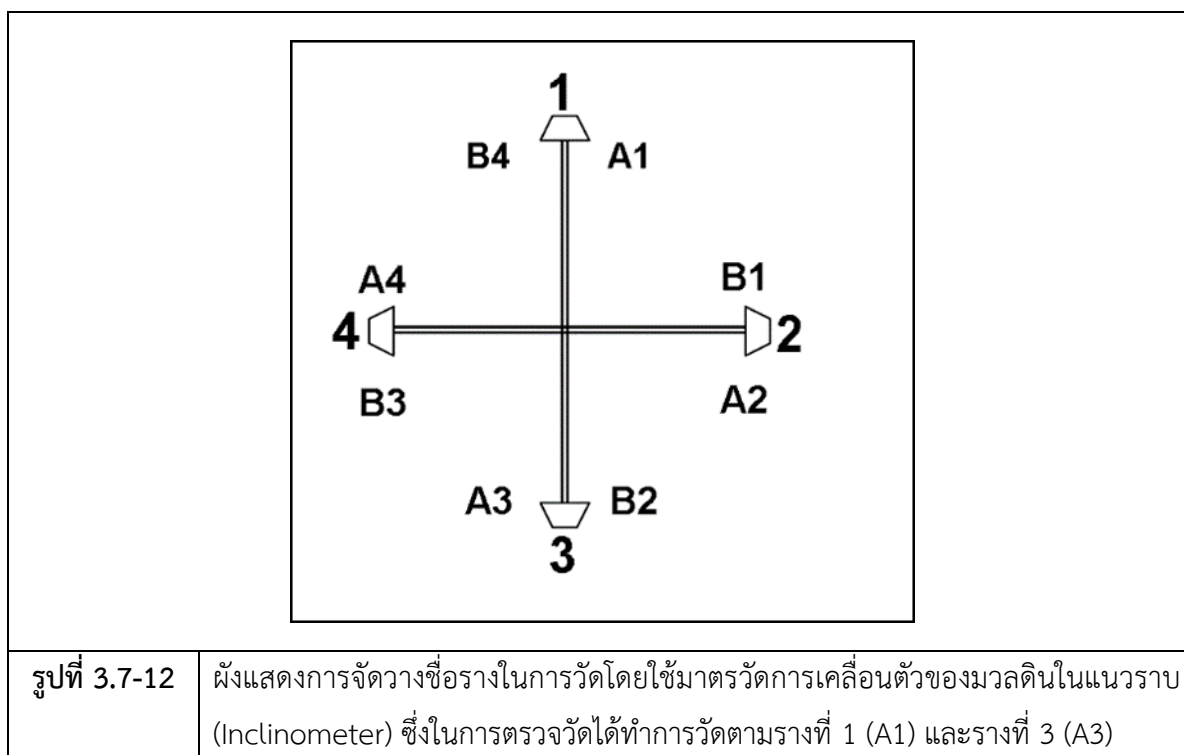
ในการกำหนดทิศทางของรางและลำดับการวัดรางของทั้ง 3 หลุม ผลออกมาเป็นรูปแบบเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับแผนการทำเหมืองในระยะยาวด้วยนั้น จึงกำหนดทิศทางการตรวจวัดตามรูป  
รูปที่ 3.7-12

รางวัด A1 อยู่ด้านทิศเหนือ ทำให้ B1 อยู่ด้านทิศตะวันออก

รางวัด A2 อยู่ด้านทิศตะวันออก ทำให้ B2 อยู่ด้านทิศใต้

รางวัด A3 อยู่ด้านทิศใต้ ทำให้ B3 อยู่ด้านทิศตะวันตก

รางวัด A4 อยู่ด้านทิศตะวันตก ทำให้ B4 อยู่ด้านทิศเหนือ



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  $\pm 0.005$  เปอร์เซ็นต์ สามารถวัดมุมเอียงได้ถึง  $\pm 30$  องศา กลไกในการวัดจะเป็นแบบ Force Balance Servo Accelerometer

โดยได้เริ่มทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลเพื่อหาแนวโน้มการเคลื่อนตัวในแนวราบ ตั้งแต่วันที่ 31 พฤษภาคม 2560 เป็นต้นมา โดยทำการอ่านค่าจากกันหลุมขึ้นมา ทุก 1 เมตรที่หลุม Incl-03 จนถึงปากหลุม โดยทำการวัดซ้ำทุกๆเดือน ทั้งนี้การวัดครั้งแรกของหลุมนั้นจะใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับเทียบหาค่าความเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนตัวของมวลดินในครั้งต่อๆมา ซึ่งจะใช้คำนวณเพื่อหาการเคลื่อนตัวของมวลดินและมวลหินที่ความลึกต่างๆ ได้



รูปที่ 3.7-13

อุปกรณ์มาตรวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบ (Inclinometer) และท่อรางที่ใช้ติดตั้งในหลุมเจาะ (Inclinometer Access Tube)

### 3.7.2.1 ผลการวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของมวลดินในพื้นที่โครงการ

หลังจากทำการตรวจวัดหาการเคลื่อนตัวแต่ละครั้งได้ทำการถ่ายโอนข้อมูลที่บันทึกไว้ของทุกหลุมลงในคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลและวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวของมวลดินที่ระดับความลึกต่างๆ โดยมีขั้นตอนสังเขป ดังนี้

- 1) ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดโดยดูจากค่า Checksum ซึ่งเป็นผลรวมของการวัดจากรางที่อยู่ตรงกันข้ามในท่อราง ซึ่งเมื่อรวมแล้วจะทำการหารด้วย 2 ผลที่ได้ต้องใกล้ค่า 0 มากที่สุดและไม่ควรมากกว่า 10 ถ้ามีค่ามากกว่า 10 ทำการปรับแก้ค่าโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการวัดที่อยู่ข้างเคียง ซึ่งพบว่าผลการวัดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำและน้อยกว่า 10
- 2) ตรวจสอบอาการตรึงราง ท่อรางหลุดตรงข้อต่อ ท่อรางตีบตัน หรือท่อรางบิดเกลียว ซึ่งถ้าพบ ให้ทำการแก้ไขโดยใช้เครื่องวัดการบิดเกลียว ถ้าพบว่ามีมากเกินไป ให้ยกเลิกใช้ข้อมูลผลการวัดดังกล่าวแล้วทำการวัดซ้ำใหม่ทันที เนื่องจากค่าที่วัดได้อาจแปรปรวนมากและไม่สื่อถึงการเคลื่อนตัวของมวลดินจนอาจทำให้การแปรความผลการวัดผิดไปจากความเป็นจริง ซึ่งการตรวจวัดนี้ไม่ตรวจพบความผิดปกติของข้อมูลที่สามารถเกิดจากอาการดังกล่าว
- 3) นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบแล้วมาทำการวิเคราะห์หาการเคลื่อนที่โดยแสดงเป็นค่าสถิติของผลการวัดและแสดงโดยใช้ภาพตัดขวางประเภทต่างๆ ในมุมมอง 4 แบบ คือ ภาพตัดขวางในทิศเหนือ-ใต้ ภาพตัดขวางในทิศตะวันออก-ตะวันตก ภาพตัดขวางที่วางฉากกับทิศทางจริงของแนวหลุมเจาะ และผังที่มองจากด้านบนเพื่อแสดงทิศทางของแนวหลุมเจาะ ภาพที่ใช้ดังนี้



- ภาพตัดขวางแสดงแนวหลุมเจาะจริง โดยเป็นค่าเบี่ยงเบนของแนวหลุมเจาะจากแนวตั้ง  
สมบูรณ์ จะใช้เฉพาะข้อมูลการวัดครั้งแรกของแต่ละหลุม
- ภาพตัดขวางแสดงการเคลื่อนตัวในแนวราบที่ทุกความลึกที่วัดมา โดยเป็นผลต่างของการวัด  
ครั้งถัด ๆ มา จากการวัดครั้งแรก ที่ความลึกของการวัดเดียวกัน
- ภาพตัดขวางแสดงการเคลื่อนตัวสะสม โดยทำการบวกสะสมผลการเคลื่อนที่ทีละช่วงจาก  
ปากหลุมไปยังก้นหลุม (Skulich, 2008)

ผลการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบของมวลดิน Incl-03 ที่ได้แสดงตาม ตารางที่ 3.7-4  
ทั้งนี้ในช่วงเวลาเวลาที่ผ่านมาทางโครงการได้ดำเนินการเกรทคอนกรีตเป็นจำนวนมากในชั้นหินบริเวณ  
โดยรอบอุโมงค์แนวตั้ง (Shaft) เพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงและลดความสามารถในการซึมผ่านของน้ำบาดาล  
ทำให้มีคอนกรีตบางส่วนทะลักเข้าไปทำลายมาตรวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินหลุม Incl-01 และ Incl-02 จึง  
ไม่สามารถวัดค่าได้ โดยโครงการอยู่ในระหว่างการศึกษาติดตั้งมาตรวัดใหม่เพื่อทดแทนหลุมที่ชำรุดหรืออาจ  
ติดตั้งที่บริเวณอื่นเพิ่มเติมตามความเหมาะสมต่อไป

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

หมวด ตรวจสอบ	การวัดครั้งที่ /วันที่	สถิติผลการสอบเทียบ (A1+A3)/2				สถิติผลการสอบเทียบ (B1+B3)/2			
		ค่าเฉลี่ย	ค่า เบี่ยงเบน	ค่าสูงสุด	ค่า ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่า เบี่ยงเบน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
Incl-03	62. 14/07/2021	4.4	2.4	8.8	1.7	7.4	1.0	8.1	0.4
	63. 08/08/2021	4.5	2.4	8.7	2.1	7.5	1.1	7.9	4.0
	64. 09/09/2021	4.8	2.4	8.9	1.8	7.5	1.2	8.2	2.3
	65. 04/10/2021	5.1	2.3	8.9	1.9	7.6	1.2	8.2	3.1
	66. 06/11/2021	4.8	2.3	8.8	1.9	7.5	1.0	8.0	3.2
	67. 12/12/2021	4.7	2.4	8.6	2.0	7.5	1.0	7.8	2.9
	68. 10/01/2022	4.3	2.4	8.7	1.8	7.6	1.0	8.0	0.2
	69. 14/02/2022	4.4	2.3	8.6	2.0	7.6	1.1	7.9	4.1
	70. 14/03/2022	4.7	2.3	8.8	1.9	7.7	1.0	8.3	2.2
	71. 18/04/2022	5.0	2.2	8.8	1.7	7.5	1.1	8.4	3.0
	72. 09/05/2022	4.9	2.3	8.7	1.8	7.6	1.2	8.1	3.1
	73. 17/06/2022	4.9	2.3	8.6	1.9	7.6	1.1	7.7	2.8

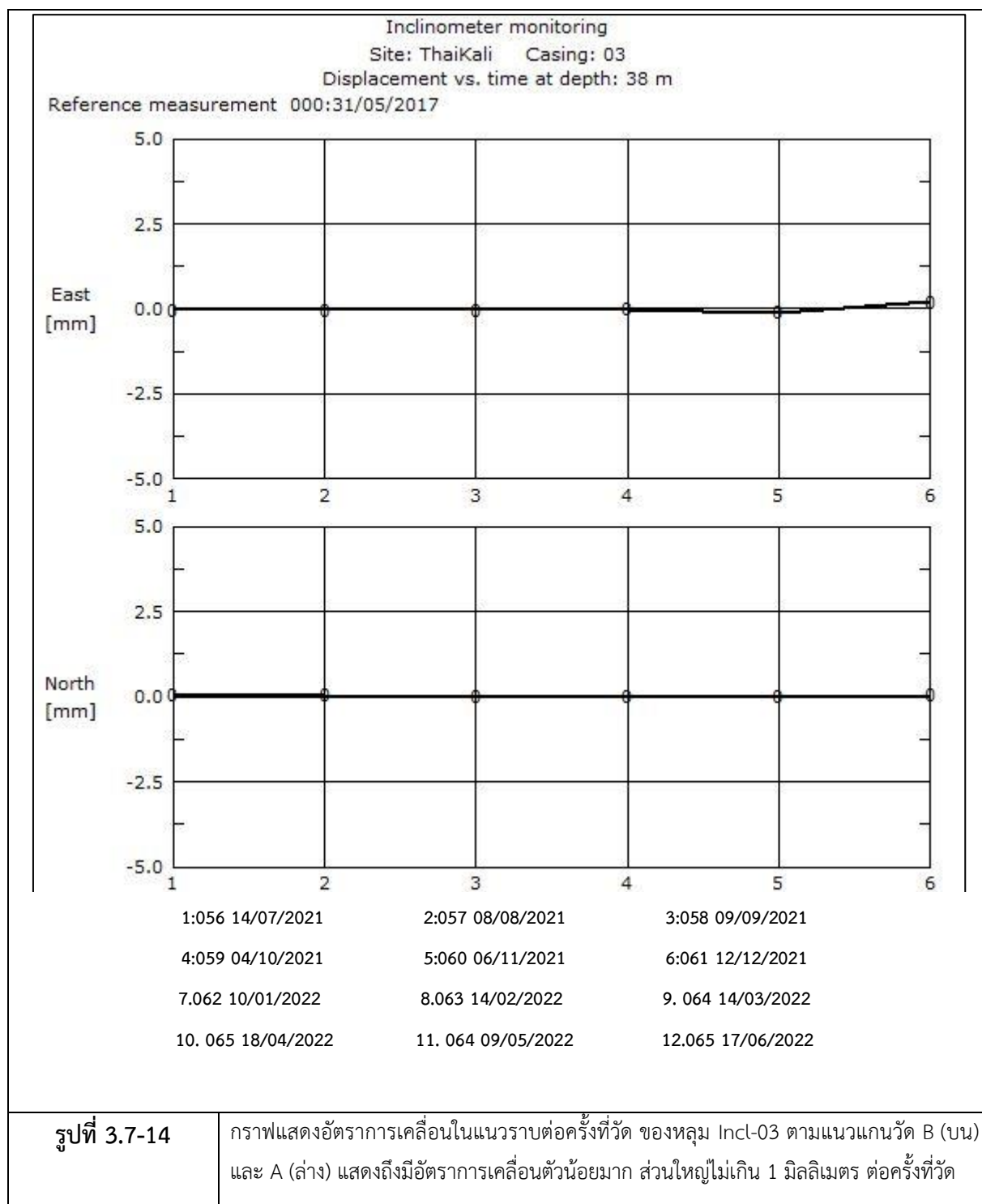
ที่มา : บริษัท ไทยคาลิ จำกัด, 2565

จากตารางสถิติของผลการตรวจวัดหลุมต่างๆ ในแต่ละครั้งจะเห็นว่ามีค่าการเคลื่อนที่น้อย  
มากและน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร และเมื่อเทียบดูในการวัดแต่ละครั้งจะเห็นว่ามีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเป็น  
ลักษณะของการแกว่งของข้อมูลที่อาจเป็นผลมาจากความคลาดเคลื่อนปกติของการวัด และไม่บ่งชี้ถึง  
การเคลื่อนตัวของมวลดินแต่อย่างใด และจากภาพตัดขวางที่แสดงผลการตรวจวัดของทุกๆ ค่าที่





ตรวจวัดมาของทุกหลุมไม่พบจุดหักเหผิดแนวที่แสดงถึงความผิดปกติของการเคลื่อนที่อาจมีจุดแหลมเล็กๆ ของเส้นกราฟบ้างแต่มีค่าน้อยไม่เกิน 5 มิลลิเมตรและ เซนที่ระดับความลึก 3 เมตร ซึ่งลักษณะเช่นนี้น่าจะเป็นผลมาจากล้อเลื่อนของหัวมาตรวัดไปสติดุดตรงข้อต่อของท่อราง จึงไม่มีลักษณะที่บ่งชี้ถึงการเคลื่อนตัวของมวลดินแต่อย่างใด



### 3.7.2.2 สรุปผลการวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของมวลดินในพื้นที่โครงการ

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

### 3.7.3 การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความดันของน้ำใต้ดิน

การเปลี่ยนแปลงความดันของน้ำใต้ดินมีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับการทรุดตัวของผิวดินและการเคลื่อนตัวของมวลดิน การตรวจวัดหาการเปลี่ยนแปลงความดันของน้ำใต้ดินจะสามารถใช้บ่งชี้แนวโน้มการทรุดตัวของผิวดินในพื้นที่โครงการได้ บริษัทฯ ได้ดำเนินการติดตั้งหลุมเจาะสังเกตการณ์สำหรับตรวจวัดความดันน้ำจำนวน 2 หลุม แผนที่แสดงตำแหน่งใน รูปที่ 3.7-6 และรูปที่ 3.7-8

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

#### 3.7.3.1 การตรวจวัดความดันน้ำ โดยใช้หัววัดความดันน้ำใต้ดิน (Piezometer)

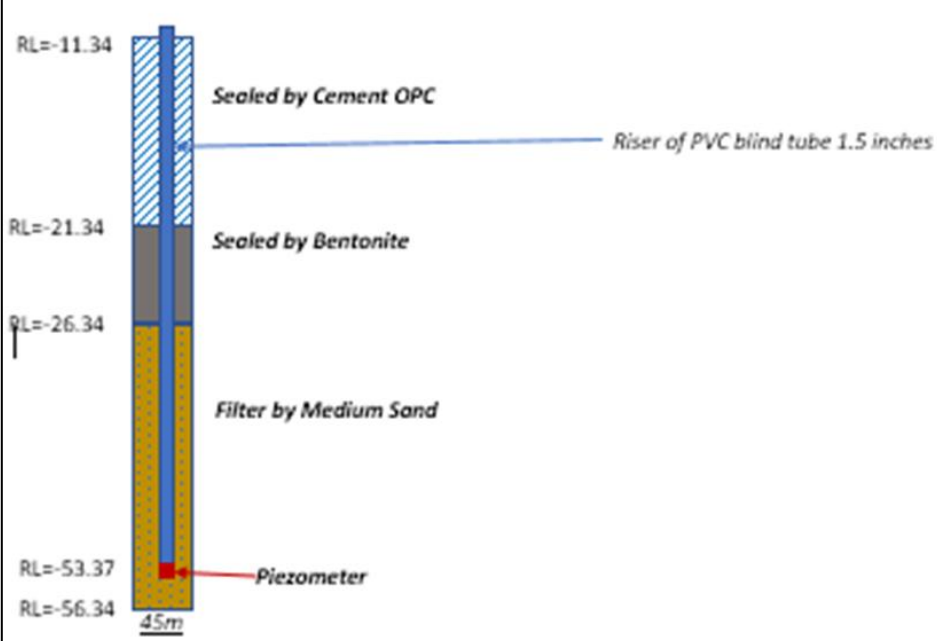
บริษัทฯ ได้ทำการติดตั้งหลุมตรวจวัดความดันน้ำจำนวน 2 หลุม จากแผนที่วางไว้ทั้งหมด 7 หลุม โดยหลุม Piezo-01 ได้ติดตั้งในบริเวณอุโมงค์แนวตั้ง และหลุม Piezo-02 ติดตั้งบริเวณอุโมงค์แนวลาด ตามรูปที่ 3.7-19



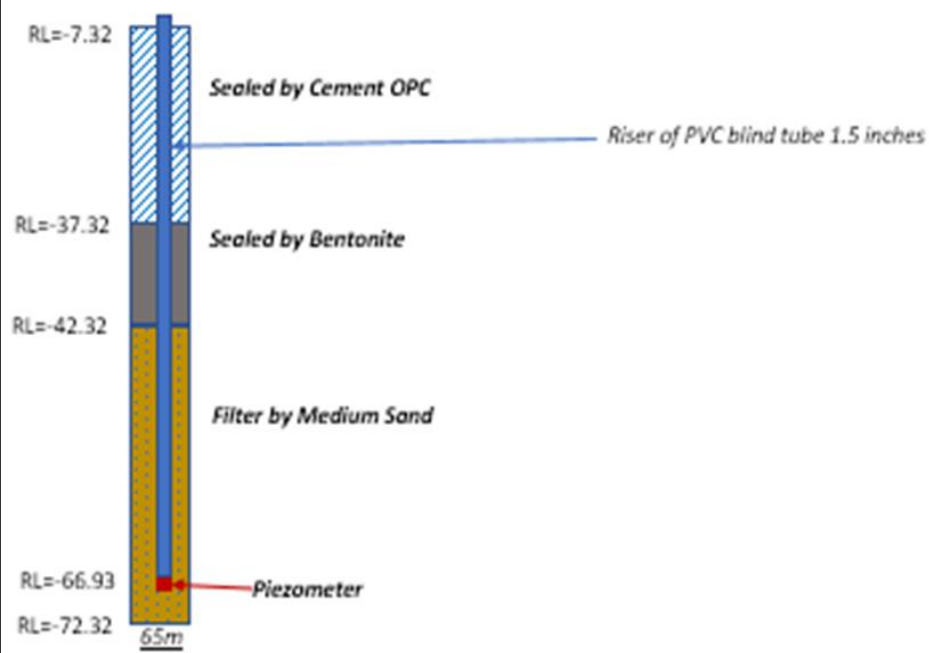
ในการติดตั้งหลุมตรวจวัดความดันน้ำใต้ดินบริเวณอุโมงค์แนวตั้ง Piezo-01 ได้พิจารณาติดตั้งหัววัดความดันน้ำ (Piezometer) ไว้ในชั้นตะกอนทางน้ำเก่าทรายปนทรายแบ่งที่ความลึกประมาณ 42 เมตร ซึ่งชั้นหินโคลนที่เป็นหินที่บ้น้ำจะอยู่ที่ความลึกตั้งแต่ 58 เมตรลงไป ส่วนการติดตั้งหลุมตรวจวัดความดันน้ำใต้ดินบริเวณอุโมงค์แนวลาด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

ในการติดตั้งมาตรวัดความดันน้ำนั้นได้ใช้หัววัดความดัน Casagrande single-tube filter Model P101 ขนาด 60 มิลลิเมตร ต่อเข้ากับท่อพีวีซีที่บ้น้ำหย่อนลงไปในหลุมเจาะจนถึงความลึกที่ต้องการ และเทกลับด้วยทรายละเอียดปนหยาบปานกลางให้คลุมหัววัดไว้จนมีความหนา 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



<p style="text-align: center;"><b><u>Piezometer Installation Report for Piezometer-01</u></b></p> <p><b>Site:</b> Shaft <b>Date of Installation:</b> 18-20 May 2017</p> <p><b>Coordinate:</b> 807890.69 mE, 1698097.08 mN, -11.34 mRL (local)</p> <p><b>Offset from Shaft Center:</b> 17.05 m to the south <b>Boring Depth:</b> 45m</p> <p><b>Piezometer Type:</b> Casagrande single-tube filter Model P101 60mm / 40μ, Length 275mm / OD 61.5mm, Polyethylene</p> <p><b>Depth of Piezometer:</b> 41.83m <b>Set In:</b> Silty Sand</p> <p><b>Riser Pipe:</b> PVC Blind Tube diag.1.5" G <b>Boring Diameter:</b> 4 1/2 inches</p> <p><b>Ground Elevation:</b> -11.34m <b>Top of PVC Riser Elevation:</b> -10.94m</p> <p><b>Elevation of Piezometer tip:</b> -53.37m</p> <p><b>Filter:</b> Fine-medium sand <b>From Elevation:</b> -26.34m <b>To Elevation:</b> -56.34m</p> <p><b>Seal:</b> Bentonite and Cement <b>From Elevation:</b> -11.34m <b>To Elevation:</b> -26.34m</p> 	
รูปที่ 3.7-16	แสดงรายละเอียดของการติดตั้งหลุมตรวจวัดความดันน้ำใต้ดิน Piezo-01 บริเวณอุโมงค์แนวตั้ง



<p style="text-align: center;"><b><u>Piezometer Installation Report for Piezometer-02</u></b></p> <p><b>Site:</b> Decline near chainage 549      <b>Date of Installation:</b> 02-05 June 2017</p> <p><b>Coordinate:</b> 807748.00 mE, 1698653.00 mN, -7.32 mRL (local)</p> <p><b>Offset from Decline Center Line:</b> 39.41 m to the east    <b>Boring Depth:</b> 65m</p> <p><b>Piezometer Type:</b> Casagrande single-tube filter Model P101 60mm / 40μ, Length 275mm / OD 61.5mm, Polyethylene</p> <p><b>Depth of Piezometer:</b> 59.41 m      <b>Set In:</b> Massive Siltstone</p> <p><b>Riser Pipe:</b> PVC Blind Tube diag.1.5" G    <b>Boring Diameter:</b> 4 1/2 inches</p> <p><b>Ground Elevation:</b> -7.32m      <b>Top of PVC Riser Elevation:</b> -6.19m</p> <p><b>Elevation of Piezometer tip:</b> -66.93m</p> <p><b>Filter:</b> Fine-medium sand    <b>From Elevation:</b> -42.32m    <b>To Elevation:</b> -72.32m</p> <p><b>Seal:</b> Bentonite and Cement    <b>From Elevation:</b> -7.32m    <b>To Elevation:</b> -42.32m</p> 	
รูปที่ 3.7-17	แสดงรายละเอียดของการติดตั้งหลุมตรวจวัดความดันน้ำใต้ดิน Piezo-02 บริเวณอุโมงค์แนวลาด



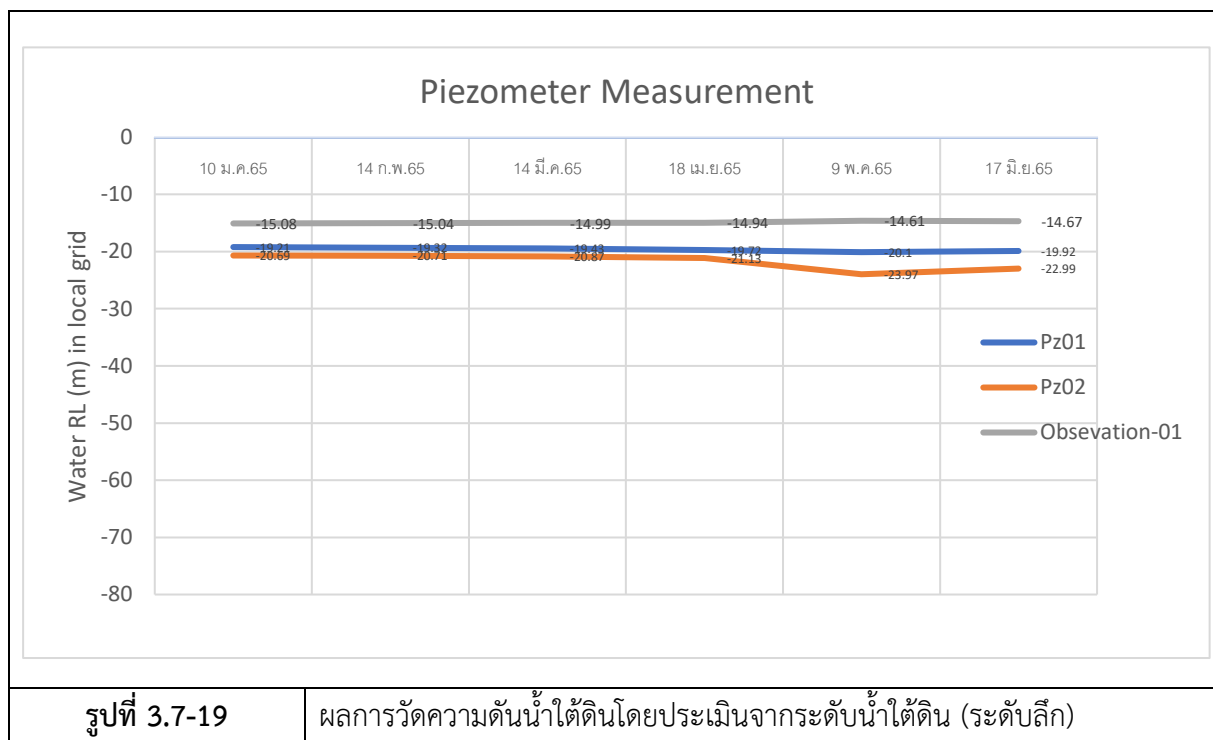
	
<p>รูปที่ 3.7-18</p>	<p>เครื่องวัดระดับความลึกของชั้นน้ำที่ใช้ในการวัดระดับความดันน้ำในหลุมตรวจวัดความดันน้ำใต้ดิน</p>

### 3.7.3.2 ผลการตรวจวัดความดันน้ำใต้ดิน โดยใช้หัววัดความดันน้ำใต้ดิน (Piezometer)

บริษัทฯ ได้ดำเนินการตรวจวัดความดันน้ำใต้ดินตามเงื่อนไขมาตรการฯ เป็นประจำทุกเดือนและค่าระดับน้ำใต้ดินที่ตรวจวัดได้ต้องอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าระดับผิวดินบริเวณปากอุโมงค์แนวลาด (Reference Point : +0) เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลทั้งโครงการได้ ซึ่งผลการตรวจวัดระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง ธันวาคม พบว่าระดับและความดันน้ำค่อนข้างคงที่ที่ระดับ 19 เมตร และ 23 เมตร ตามรูปที่ 3.7-23 ซึ่งระดับความดันของหลุม Piezo-01 และ Piezo-02 มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามฤดูกาล

### 3.7.3.3 สรุปผลการตรวจวัดความดันน้ำ โดยใช้หัววัดความดันน้ำใต้ดิน (Piezometer)

ผลการตรวจวัดความดันของน้ำใต้ดินโดยการติดตั้งหัววัดความดันน้ำใต้ดิน (Piezometer) จำนวน 2 หลุม มีค่าความดันน้ำใต้ดินเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 3.7-19

ผลการวัดความดันน้ำใต้ดินโดยประเมินจากระดับน้ำใต้ดิน (ระดับลึก)

หมายเหตุ : ค่าระดับน้ำใต้ดินที่ระบุในกราฟอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าระดับผิวดินบริเวณปากอุโมงค์แนวลาด (Referent Point)