

# 수직구 굴착시 스마트 터널기반 지하수위 현장계측과 수치해석 비교 연구

이동혁<sup>1\*</sup> · 정상호<sup>2</sup>

<sup>1</sup>정회원, 상지대학교 소방공학과 외래교수

<sup>2</sup>정회원, 금호건설 부장

## Comparison of measured values and numerical analysis values for estimating smart tunnel based groundwater levels around vertical shaft excavation

Donghyuk Lee<sup>1\*</sup> · Sangho Jung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lecturer, Dept. of Fire Engineering, Sanji University

<sup>2</sup>General Manager, Civil Estimation Dept., KUMHO Engineering & Construction Co., Ltd.

\*Corresponding Author : Donghyuk Lee, idonghyuk@hanmail.net

### Abstract

Recently the ground settlement has been increasing in urban area according to development. And, this may attribute a groundwater level drawdown. This study presents an analysis of groundwater level drawdown for circular vertical shaft excavation of 「○○○○ double track railway build transfer operate project」. And, in-situ monitoring data and numerical analysis were compared. So, if we examine the groundwater level drawdown in design, ground conditions should be applied so that the site situation can be reflected. And, groundwater level should be considered a seasonal measurement in order to apply the appropriate groundwater level. It was confirmed a similar predicted value to groundwater level drawdown of in-situ monitoring data.

**Keywords:** Settlement, Vertical shaft excavation, Numerical analysis, In-situ monitoring data, Groundwater level drawdown

### 초 록

최근 도심지에 개발이 이루어지면서 지반침하가 증가하고 있으며, 그에 대한 원인 중 하나는 지하수위의 변화이다. 본 연구에서는 굴착깊이가 깊은 수직구 굴착공사의 한 예로 「○○○○ 복선전철 민간투자사업」의 작업구를 대상으로 지하수위 저하량에 대한 현장계측 결과와 수치해석 결과를 비교 분석하였다. 이를 통하여 지하수위 저하에 대한 검토를 실시할 경우, 현장조건들이 충분히 반영될 수 있도록 지반조건을 분석하여 적용

### OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and  
Underground Space Association  
26(2)153-167(2024)  
<https://doi.org/10.9711/KTAJ.2024.26.2.153>

eISSN: 2287-4747

pISSN: 2233-8292

Received February 14, 2024

Revised March 15, 2024

Accepted March 26, 2024



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2024, Korean Tunnelling and Underground Space Association

하여야 하며, 지하수위는 측정시기를 확인하여 적절한 수위를 적용하여야 시공 시 지하수위의 저하량과 유사한 예측 값을 도출해 낼 수 있음을 확인하였다.

**주요어:** 지반침하, 수직구, 수치해석, 계측, 지하수위 저하

## 1. 서론

이동시간 단축으로 인한 삶의 질 개선 등의 목적으로 도로, 철도 등의 교통기반시설 지하화 및 대중교통수단의 고속화가 이루어지고 있으며, 이로 인하여 수도권광역급행철도 및 신안산선복선전철 등 주요 도심지를 통과하는 대심도 터널 프로젝트가 증가하고 있다.

하지만, 지하굴착시 이에 따른 싱크홀 등의 지반침하가 다수 발생하여 지하공간 개발시의 안전에 대한 문제가 대두되고 있으며, 이를 예방하기 위하여 지하안전관리에 관한 특별법을 제정(2018. 01. 01 시행)하여 굴착시 주변지반이나 시설물의 안전에 미치는 영향을 평가하고 지하안전확보 방안을 마련하며, 지하수위 저하량을 확인하도록 하고 있다. 그 결과를 통하여 지하수위계 누적지하수위 관리기준을 설정하도록 하는 등 특히 지하수 관리도 강화하고 있다. 이에 본 연구에서는 굴착 깊이가 깊은 수직구 굴착공사 시 안정성 확보를 위한 지하수위와 지반조건에 따른 침투해석을 수행하였으며, 이에 따라 지하수위 저하량의 경향을 파악하고 현장계측 결과와 비교·분석을 실시하였다.

## 2. 관련 연구 동향

지하수의 유동은 굴착 안정성과 밀접한 관련이 있어 굴착 시 면밀한 시공, 계측관리를 요한다. 이에 터널 및 흙막이 굴착에 대한 지하수위 연구는 Yoo (2003), Yoo and Kim (2007), Chung et al. (2007), Moon et al. (2017), Jo et al. (2020) 등이 수행하였다. Yoo (2003)는 3차원 연계해석을 통하여 지하수가 터널굴착에 미치는 영향을 고찰하였으며, 지하수가 터널굴착에 미치는 영향은 연계해석을 통해서만 가능하며, 전응력해석을 수행할 경우 지하수의 영향을 과소평가할 수 있음을 확인하였다. Yoo and Kim (2007)은 지하수 유동시 응력-간극수압 상호작용이 고려된 유한요소해석 모델을 이용하여 다양한 시공조건에 대한 매개변수 연구를 수행하였으며, 터널굴착 시에는 지하수 저하로 인한 지표침하 발생문제를 고려하는 것이 바람직하며, 지하수위가 높은 경우 장기간에 걸쳐 침하가 발생하므로 이에 대한 유지관리가 중요함을 확인하였다. Chung et al. (2007)은 현장투수시험을 통한 수리전도도 최소, 최대, 평균값을 적용하여 지하수 유동 모델링 툴인 MODFLOW를 활용하여 지하수 유동 모델링을 하였으며, 신선한 암반에서 터널 굴착을 진행하는 경우 수위 저하 및 회복은 암반대수층의 수리전도도가 중요한 요인임을 확인하였다. Moon et al. (2017)은 유한요소해석 프로그램인 MIDAS GTS NX를 활용하여 지하수위 깊이와 저하에 따른 투수계수 감소 영향을 분석하였다. 해당 연구에서는 터널심도가 얕을수록 수위 강하율이 크고 유입량이 많으며, 대심도 터널일 경우 심도별 투수계수 감소영향을 고려한 유입량 산정이 필요하고 유입

량이 일정시간 경과 후 감소함을 확인하였다. Jo et al. (2020)은 계측분석을 통하여 지하수 유출과 지반굴착과의 상관성을 분석하였다. 이 연구에서는 굴착심도가 지하수위 위치보다 깊어지면서 지하수위 저하량이 발생하였고 그에 따라 인접건물의 변위가 증가하여 지하수위 저하 및 토사유실에 의한 영향을 받았음을 확인하였다.

위와 같이 국내외 연구는 현장분석 및 시험을 통한 지하수 유동 연구들이 주를 이루고 있으며, 본 연구에서는 수치해석 시 다양한 Case를 적용하여 실제 현장계측값과 비교분석함으로써 설계 시에 현장상황을 반영할 수 있도록 하고자 하였으며, 안전 및 계측관리 등 시공측면에서 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

### 3. 현장개요 및 해석조건

#### 3.1 현장개요 및 계측검토

본 과업은 서울과 수도권 철도망 구축을 위한 사업인 「○○○○ 복선전철 민간투자사업」이며(Nextrain Co., Ltd., 2020), 본 연구에서는 과업 구간 중 ○○공구에 위치하는 작업구를 대상으로 하였다. 연구대상 구조물의 수직구 직경은  $\Phi 13.0$  m, 굴착심도는 가시설 구간 22.00 m, 터널구간 43.91 m이며, 총 굴착심도 65.91 m로 대심도 굴착에 해당된다. 벽체공법은 C.I.P공법을 적용하고, 차수공법은 실리카계열 차수그라우팅( $\Phi 800$ )으로 풍화암

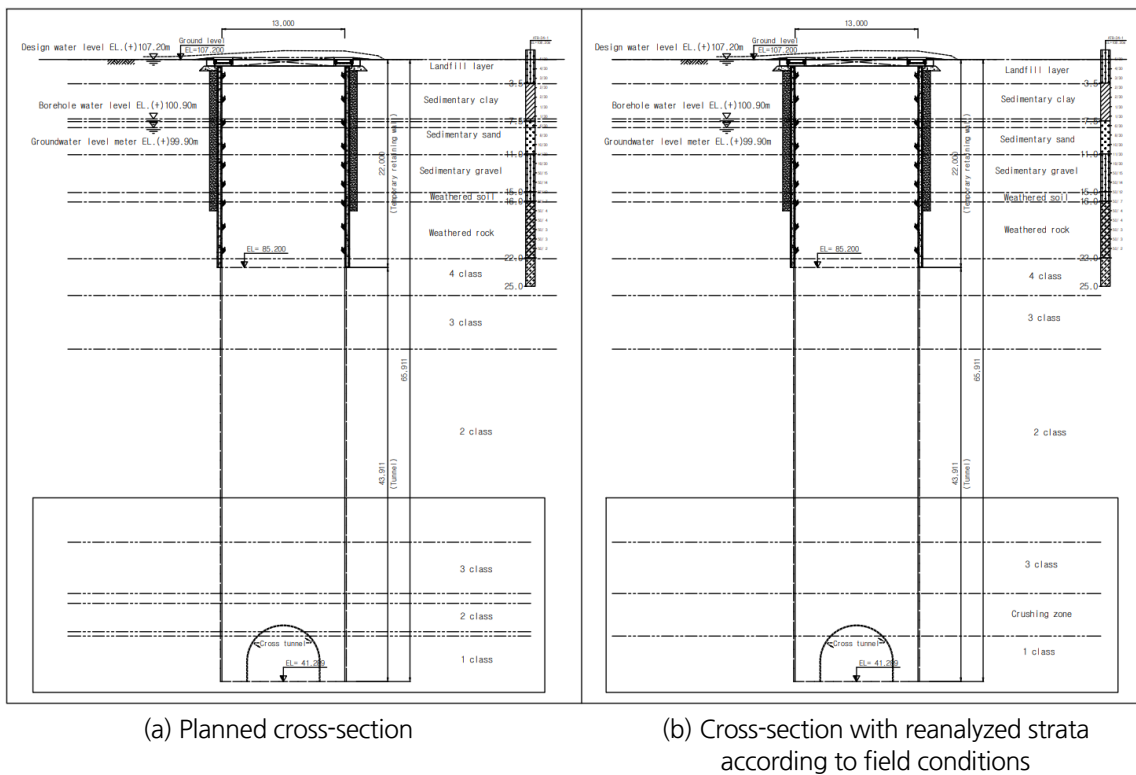


Fig. 1. Overview of the work zone structure

하부 1 m까지 근입하는 계획이다. 해당 구조물 설계시의 지반조건은 Fig. 1로 매립층, 퇴적점토, 퇴적모래, 퇴적 자갈, 풍화토, 풍화암, 연암, 경암으로 구성되어 있다. 그 중 기반암은 편암이며, 지표면으로부터 하부 21.0~30.0 m까지는 TCR 87~100%, RQD 21~78%로 일부구간에서 파쇄대가 출현하고 이후 심도부터는 지반상태가 매우 양호한 경암구간으로 구성되어 있었다. 이에 Fig. 1(a)와 같이 지반조건을 적용하여 검토를 하였으며, 현장상황에 따라 재분석한 지반조건은 Fig. 1(b)와 같이 지표면 하부 56.0 m 이후 차별풍화 및 절리발달에 의한 부분파쇄대가 4.0 m 내외 두께로 출현하는 지반으로 구성하였다. 또한 시추조사 지하수위는 G.L.(-) 6.30 m (EL.(+) 100.90 m) 였으나, 강우강도 해석 및 국가·보조관측망의 상승고를 고려하여 설계 지하수위는 G.L.(-) 0.00 m (EL.(+) 107.20 m)로 설정하였고, 지하수위계의 초기치는 수직구 배면으로부터 5~7 m 이격된 지하수위계의 측정값에 따라 G.L.(-) 7.21 m (EL.(+) 99.99 m)로 설정하였다.

### 3.2 해석조건

본 연구에서는 실제 설계에서 많이 사용하는 유한해석 프로그램인 MIDAS GTS NX를 활용하여 침투해석을 수행하였다. 침투해석 수행 시 현장의 소요공기를 반영한 부정류해석으로 적용하였으며, 지반물성은 현장시험을 통해 도출한 투수계수를 적용하였다. 또한 차수그라우팅의 투수계수는 KCS 21 30 00 가설 흙막이 공사(MOLIT, 2022)에 따라  $k \leq 1.0 \times 10^{-5}$  cm/sec를 확보하도록 되어 있으므로 설계에서 안전측으로 사용하는  $1.0 \times 10^{-5}$  cm/sec를 적용하여 Table 1로 나타냈다.

그리고, 경계조건은 각 Case별 수위를 전수두로 입력하고, 굴착 벽면 및 바닥부에 경계재조사를 설정하였다. 경계재조사 설정 시 해석 상 간극수압의 0 이상으로 적용되는 구간에 압력수두 0으로 적용된다. 따라서 이를 적용함으로써 벽체와 바닥부의 압력수두는 0이 되도록 하였다.

Table 1. Hydraulic conductivity in numerical analysis (cm/sec)

| Classification | Ground properties    |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      | Water-sealing grouting |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
|                | Land-fill layer      | Sedimentary clay     | Sedimentary sand     | Sedimentary gravel   | Weathered soil       | Weathered rock       | Class 4 rock         | Class 3 rock         | Class 2 rock         | Class 1 rock         | Fault zone           |                        |
| Permeability   | $5.0 \times 10^{-4}$ | $4.5 \times 10^{-7}$ | $8.0 \times 10^{-4}$ | $3.6 \times 10^{-4}$ | $3.0 \times 10^{-4}$ | $1.5 \times 10^{-5}$ | $5.0 \times 10^{-5}$ | $8.0 \times 10^{-6}$ | $2.0 \times 10^{-6}$ | $8.0 \times 10^{-7}$ | $1.5 \times 10^{-5}$ | $1.0 \times 10^{-5}$   |

## 4. 계측 및 수치해석 결과

### 4.1 계측결과

작업구 구조물은 지하수위계 2개소를 설치하여 시공 중 지하수위 변화를 관찰하고 있다. 당초 설치한 지하수 위계는 가시설 구간인 22.00 m까지 설치하여 관리하였으며, 지하수위 저하가 G.L.(-) 22.00 m 초과하기 전에

설치된 지하수위계 위치만큼 이격하여 새로운 지하수위계를 Fig. 2와 같이 설치하여 계측을 지속하였다.

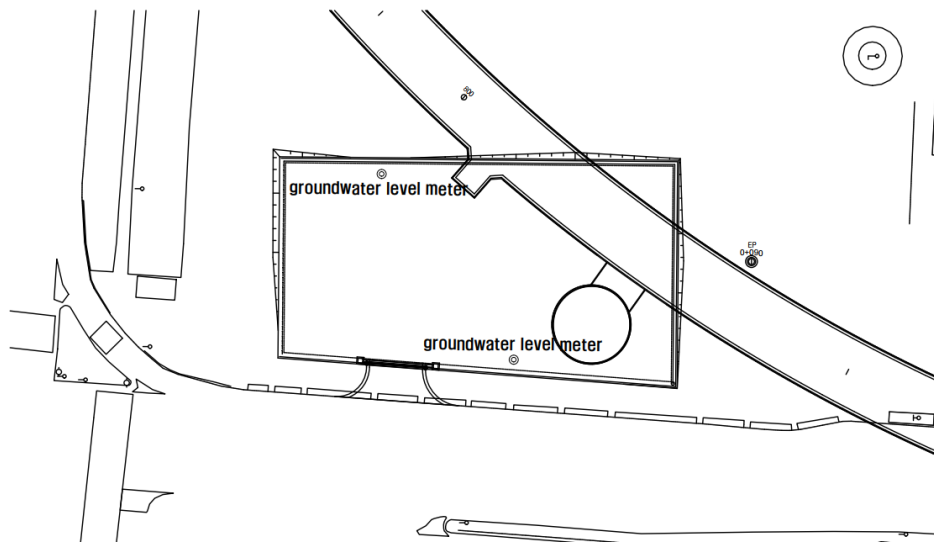


Fig. 2. Location of groundwater level meter

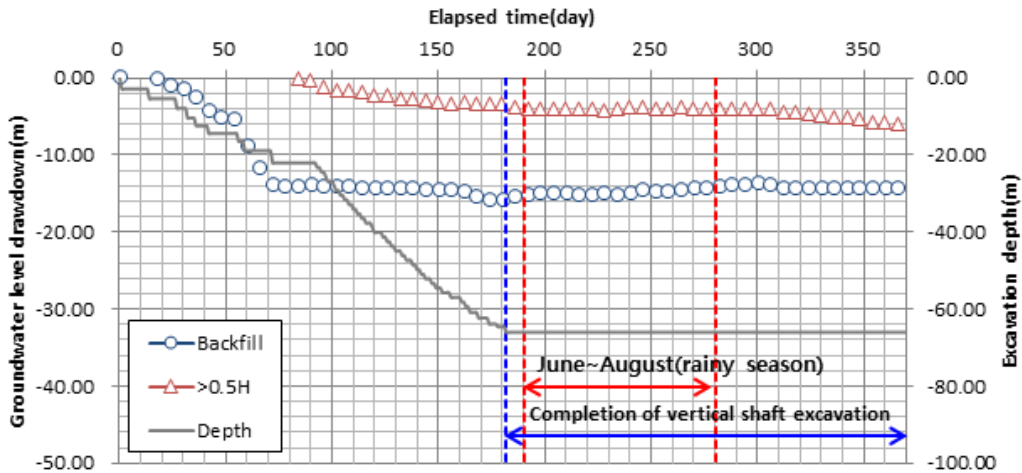
그 결과, 배면에 위치한 지하수위계는 최대 16.20 m까지 저하를 하였고, 0.5 H 이상에 위치한 지하수위계는 최대 6.04 m까지 저하하였으며 Table 2로 나타났다. 이와 같이 굴착에 따라 지하수위는 저하하였으며, 우기철 및 굴착종료 후 6개월 동안 지하수위가 수렴 혹은 회복하는 경향을 Fig. 3과 같이 나타내었다.

Table 2. Measurement results of groundwater levels

| Number of day | Excavation depth | Back     |            | More than 0.5 H |            | Number of day | Excavation depth | Back     |            | More than 0.5 H |        |
|---------------|------------------|----------|------------|-----------------|------------|---------------|------------------|----------|------------|-----------------|--------|
|               |                  | EL.(+) m | Accumulate | EL.(+) m        | Accumulate |               |                  | EL.(+) m | Accumulate |                 |        |
| 0             | 0.00             | 99.99    | 0.00       | -               | -          | 78            | -22.00           | 85.81    | -14.18     | -               | -      |
| 6             | -2.90            | 100.04   | 0.05       | -               | -          | 84            | -22.00           | 85.67    | -14.32     | 94.15           | -0.19  |
| 12            | -2.90            | 100.04   | 0.05       | -               | -          | 90            | -22.00           | 85.87    | -14.12     | 94.102          | -0.238 |
| 18            | -5.40            | 99.68    | -0.32      | -               | -          | 96            | -24.40           | 85.76    | -14.23     | 93.09           | -1.25  |
| 24            | -5.40            | 98.78    | -1.21      | -               | -          | 102           | -29.20           | 85.74    | -14.25     | 92.824          | -1.516 |
| 30            | -7.90            | 98.43    | -1.56      | -               | -          | 108           | -32.80           | 85.67    | -14.32     | 92.676          | -1.664 |
| 36            | -12.40           | 97.24    | -2.75      | -               | -          | 114           | -36.40           | 85.48    | -14.52     | 92.439          | -1.901 |
| 42            | -14.40           | 95.44    | -4.55      | -               | -          | 120           | -40.00           | 85.58    | -14.41     | 91.995          | -2.345 |
| 48            | -14.40           | 94.77    | -5.22      | -               | -          | 126           | -42.40           | 85.40    | -14.59     | 91.995          | -2.345 |
| 54            | -14.40           | 94.47    | -5.52      | -               | -          | 132           | -44.80           | 85.47    | -14.52     | 91.658          | -2.682 |
| 60            | -18.90           | 90.90    | -9.10      | -               | -          | 138           | -48.40           | 85.60    | -14.39     | 91.728          | -2.612 |

**Table 2.** Measurement results of groundwater levels (continued)

| Number of day | Excavation depth | Back     |            | More than 0.5 H |            | Number of day | Excavation depth | Back     |            | More than 0.5 H |            |
|---------------|------------------|----------|------------|-----------------|------------|---------------|------------------|----------|------------|-----------------|------------|
|               |                  | EL.(+) m | Accumulate | EL.(+) m        | Accumulate |               |                  | EL.(+) m | Accumulate | EL.(+) m        | Accumulate |
| 66            | -18.90           | 88.06    | -11.93     | -               | -          | 144           | -52.00           | 85.36    | -14.63     | 91.312          | -3.028     |
| 72            | -22.00           | 85.83    | -14.16     | -               | -          | 150           | -54.40           | 85.33    | -14.66     | 91.238          | -3.102     |
| 156           | -56.80           | 85.217   | -14.77     | 91.069          | -3.271     | 264           | -65.90           | 85.365   | -14.63     | 90.488          | -3.852     |
| 162           | -58.00           | 84.992   | -15.00     | 91.089          | -3.251     | 270           | -65.90           | 85.457   | -14.53     | 90.409          | -3.931     |
| 168           | -60.70           | 84.412   | -15.58     | 90.97           | -3.37      | 276           | -65.90           | 85.569   | -14.42     | 90.369          | -3.971     |
| 174           | -63.70           | 83.994   | -16.00     | 90.95           | -3.39      | 282           | -65.90           | 85.727   | -14.26     | 90.339          | -4.001     |
| 179           | -64.40           | 83.792   | -16.20     | 91.352          | -2.988     | 288           | -65.90           | 85.86    | -14.13     | 90.339          | -4.001     |
| 186           | -65.90           | 84.391   | -15.60     | 90.488          | -3.852     | 294           | -65.90           | 85.839   | -14.15     | 90.369          | -3.971     |
| 192           | -65.90           | 84.648   | -15.34     | 90.349          | -3.991     | 300           | -65.90           | 86.083   | -13.91     | 90.3            | -4.04      |
| 198           | -65.90           | 84.838   | -15.15     | 90.379          | -3.961     | 306           | -65.90           | 85.915   | -14.08     | 90.26           | -4.08      |
| 204           | -65.90           | 84.792   | -15.20     | 90.349          | -3.991     | 312           | -65.90           | 85.544   | -14.45     | 89.981          | -4.359     |
| 210           | -65.90           | 84.889   | -15.10     | 90.349          | -3.991     | 318           | -65.90           | 85.508   | -14.48     | 89.872          | -4.468     |
| 216           | -65.90           | 84.725   | -15.27     | 90.369          | -3.971     | 324           | -65.90           | 85.539   | -14.45     | 89.752          | -4.588     |
| 222           | -65.90           | 84.643   | -15.35     | 90.27           | -4.07      | 330           | -65.90           | 85.529   | -14.46     | 89.364          | -4.976     |
| 228           | -65.90           | 84.905   | -15.09     | 90.15           | -4.19      | 336           | -65.90           | 85.549   | -14.44     | 89.204          | -5.136     |
| 234           | -65.90           | 84.643   | -15.35     | 90.24           | -4.1       | 342           | -65.90           | 85.513   | -14.48     | 89.164          | -5.176     |
| 240           | -65.90           | 84.946   | -15.04     | 90.647          | -3.693     | 348           | -65.90           | 85.518   | -14.47     | 89.084          | -5.256     |
| 246           | -65.90           | 85.197   | -14.79     | 90.488          | -3.852     | 354           | -65.90           | 85.524   | -14.47     | 88.615          | -5.725     |
| 252           | -65.90           | 85.161   | -14.83     | 90.369          | -3.971     | 360           | -65.90           | 85.544   | -14.45     | 88.655          | -5.685     |
| 258           | -65.90           | 84.992   | -15.00     | 90.409          | -3.931     | 366           | -65.90           | 85.529   | -14.46     | 88.304          | -6.036     |



**Fig. 3.** Workspace structure field metrology results

## 4.2 계획 단면 상의 조건으로 수치해석 결과

계획단면 상의 지층조건에 지하수위를 시추공 수위, 설계수위, 계측수위로 나누어 적용하여 해석을 진행하였다.

### 4.2.1 시추공 지하수위 적용(Case 1-1)

계획단면 상에 시추공 지하수위(G.L.(-) 6.30 m)를 적용하여 침투해석을 Fig. 4와 같이 실시하였으며, 배면의 수위저하량은 최대 13.65 m, 0.5 H 이상 이격된 곳의 수위저하량은 최대 5.63 m로 나타났다(Fig. 5).

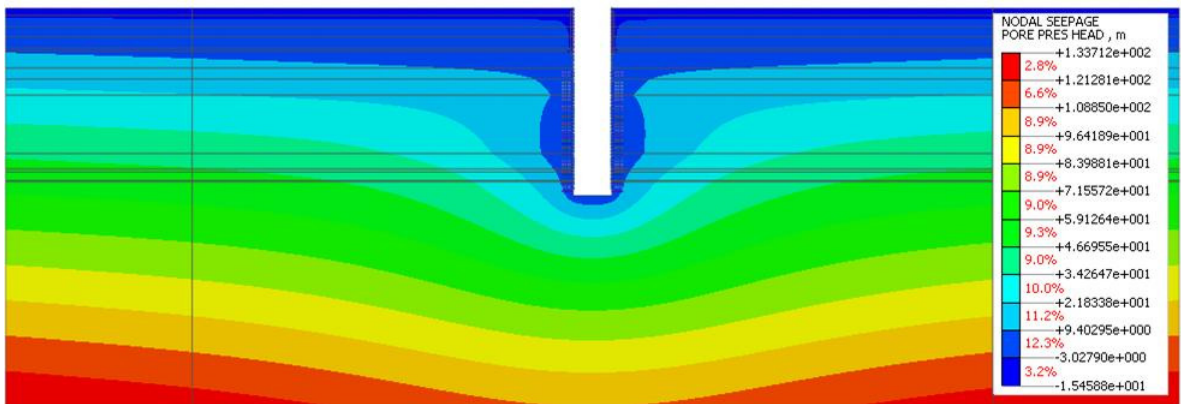


Fig. 4. Case 1-1 pressure head distribution plot

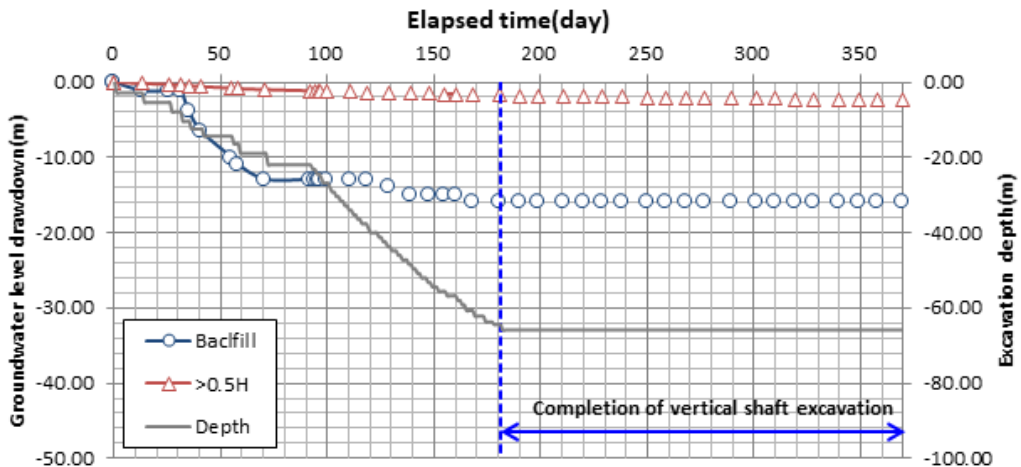


Fig. 5. Case 1-1 Result Graph

### 4.2.2 설계 지하수위 적용(Case 1-2)

계획단면 상에 설계 지하수위(G.L.(-) 0.00 m)를 적용하여 침투해석을 Fig. 6과 같이 실시하였으며, 배면의 수위저하량은 최대 16.00 m, 0.5 H 이상 이격된 곳의 수위저하량은 최대 2.41 m로 나타났다. 또한 매립층부터 수위저하가 발생하나 매립층 하부의 퇴적점토층의 영향으로 퇴적점토층에 부분포화대가 발생하면서 저하량이 배면측은 수위저하가 크고 0.5 H이격된 곳은 수위저하가 적게 나타났다(Fig. 7).

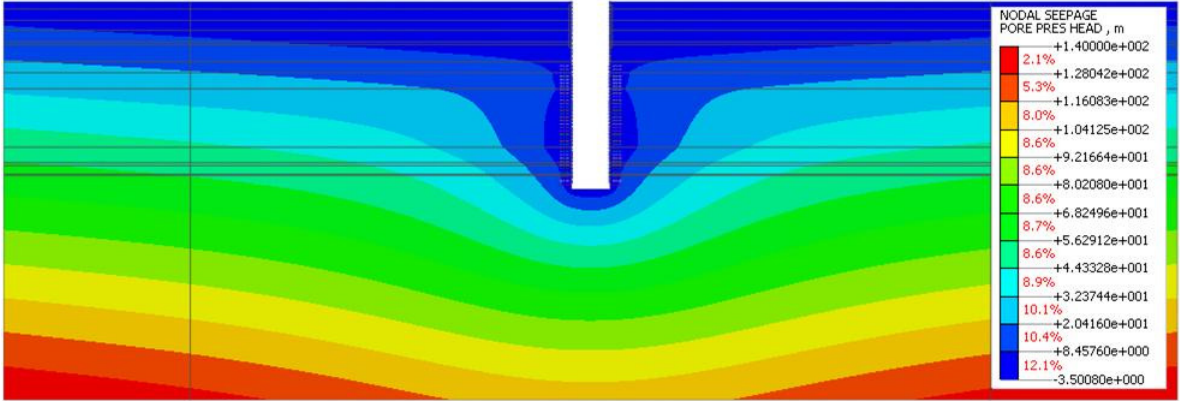


Fig. 6. Case 1-2 pressure head distribution plot

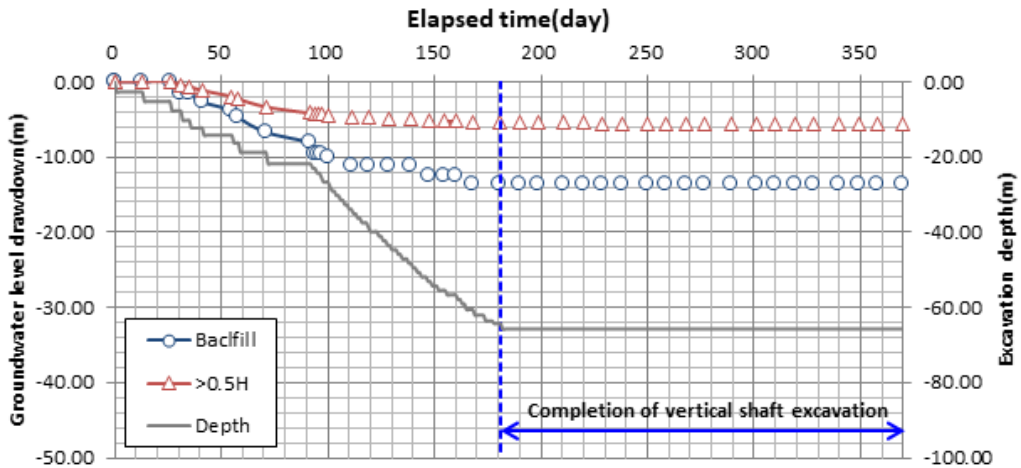


Fig. 7. Case 1-2 result graph

### 4.2.3 설계 지하수위 적용(Case 1-3)

계획단면 상에 계측 지하수위(G.L.(-) 7.21 m)를 적용하여 침투해석을 Fig. 8과 같이 실시하였으며, 배면의 수위저하량은 최대 12.86 m, 0.5 H 이상 이격된 곳의 수위저하량은 최대 5.09 m로 나타났다(Fig. 9).



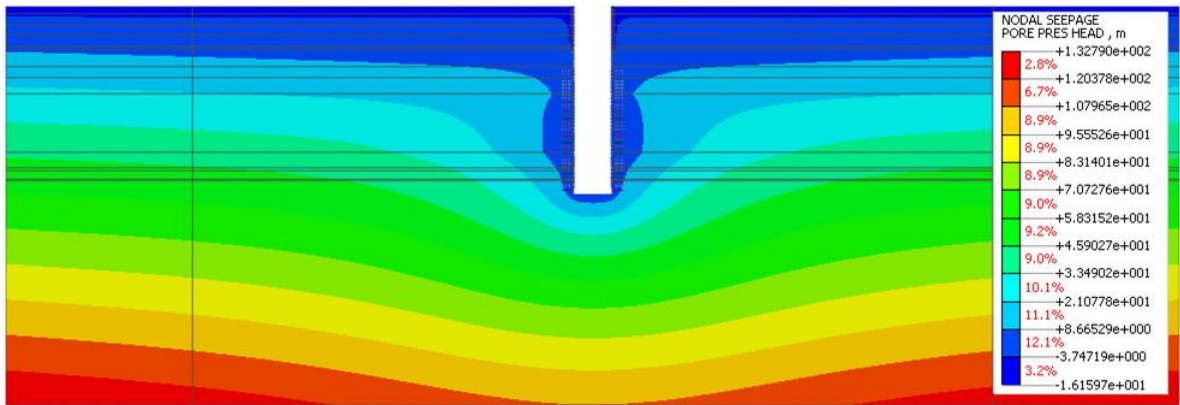


Fig. 8. Case 1-3 pressure head distribution plot

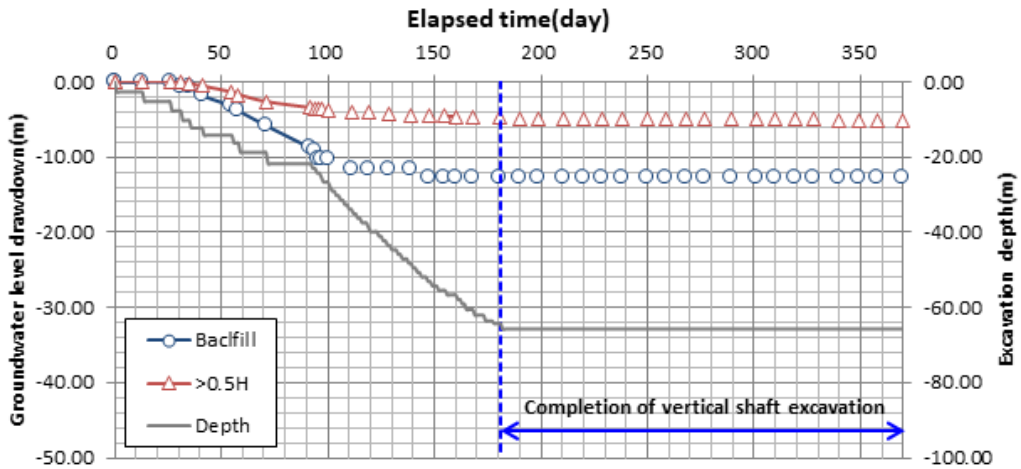


Fig. 9. Case 1-3 result graph

### 4.3 지층 재분석을 통한 지반조건으로 수치해석 결과

지층을 현장상황에 따라 재분석하여 암반의 RQD, TCR, 파쇄여부를 확인 후 해당 조건을 반영한 지층조건에 지하수위를 시추공 수위, 설계수위, 계측수위로 나누어 적용하여 해석을 진행하였다.

#### 4.3.1 시추공 지하수위 적용(Case 2-1)

지층을 현장상황에 따라 재분석한 단면상에 시추공 지하수위(G.L.(-) 6.30 m)를 적용하여 침투해석을 Fig. 10 과 같이 실시하였으며, 배면의 수위저하량은 최대 16.84 m, 0.5 H 이상 이격된 곳의 수위저하량은 최대 6.44 m로 나타났다(Fig. 11).

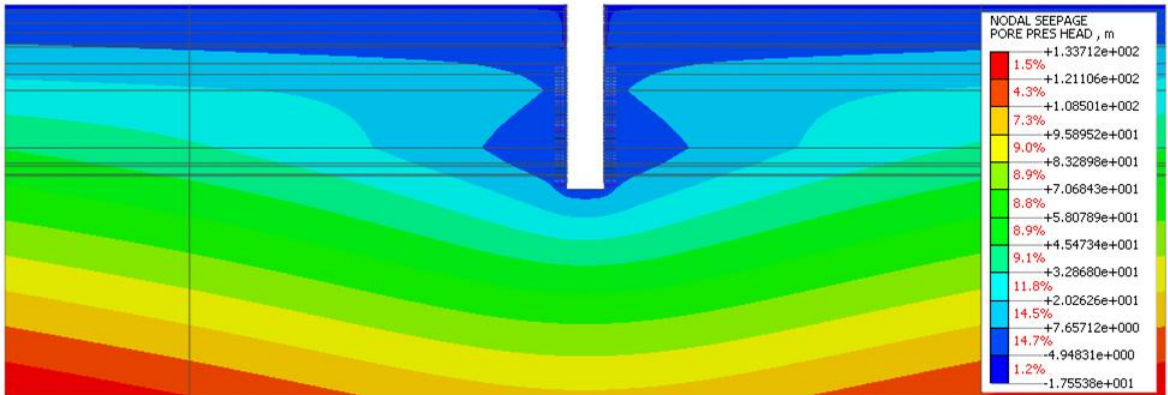


Fig. 10. Case 2-1 pressure head distribution plot

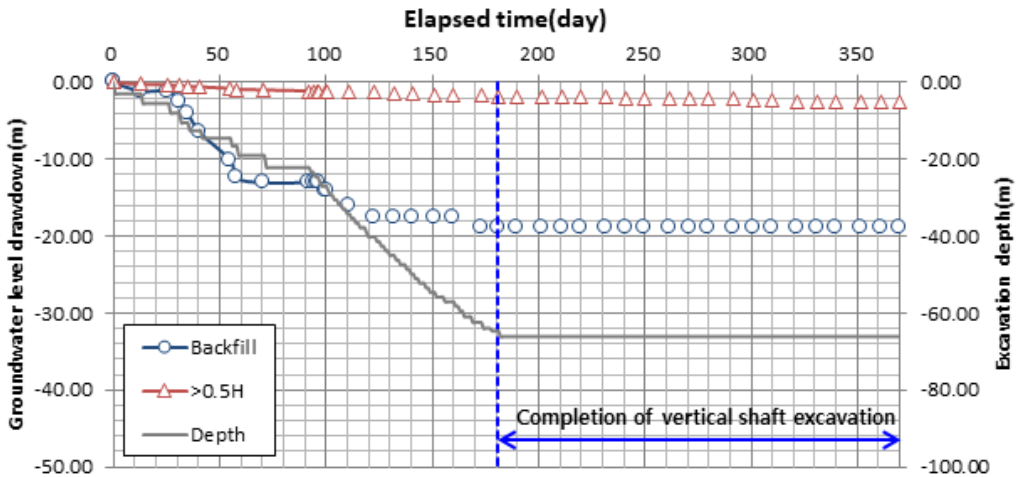


Fig. 11. Case 2-1 result graph

#### 4.3.2 설계 지하수위 적용(Case 2-2)

지층을 현장상황에 따라 재분석한 단면상에 설계 지하수위(G.L.(-) 0.00 m)를 적용하여 침투해석을 Fig. 12와 같이 실시하였으며, 배면의 수위저하량은 최대 18.78 m, 0.5 H 이상 이격된 곳의 수위저하량은 최대 2.45 m로 나타났다. 또한 매립층부터 수위저하가 발생하나 매립층 하부의 퇴적점토층의 영향으로 퇴적점토층에 부분포화대가 발생하면서 저하량이 배면측은 수위저하가 크고 0.5 H이격된 곳은 수위저하가 적게 나타났다(Fig. 13).

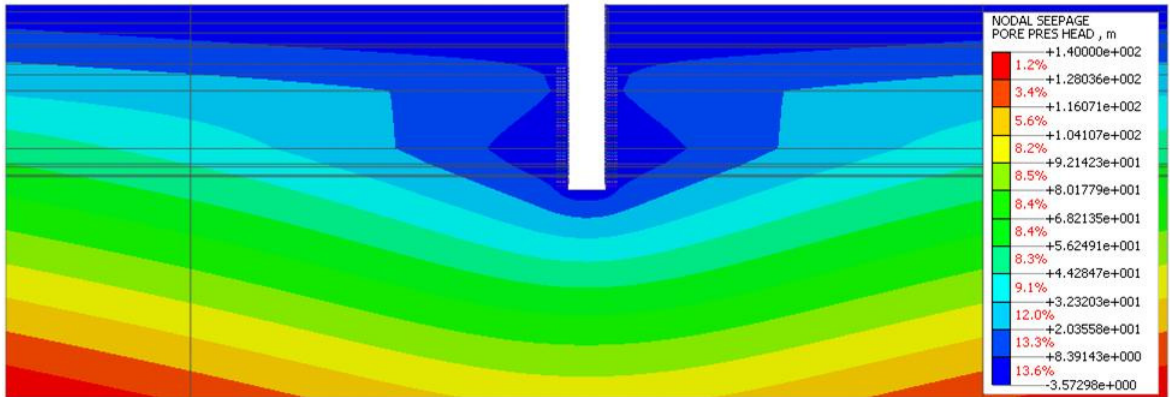


Fig. 12. Case 2-2 pressure head distribution plot

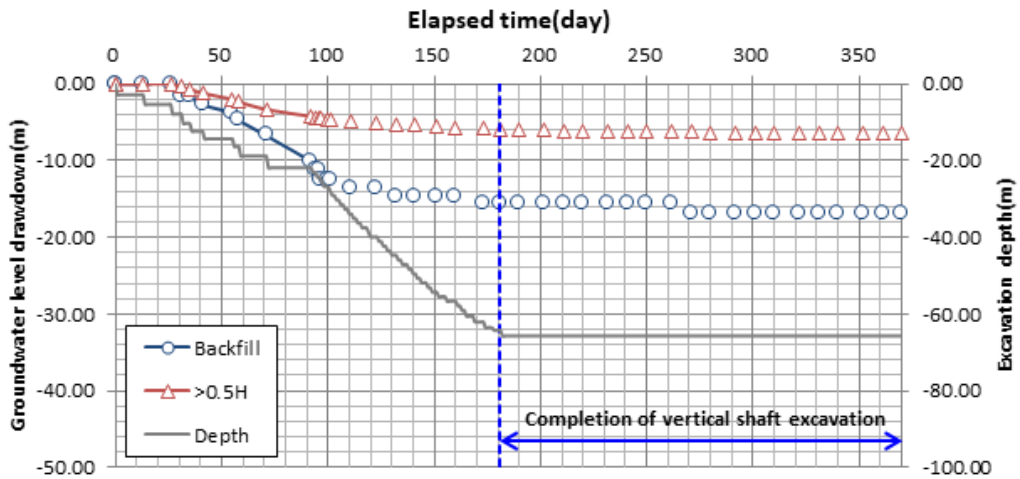


Fig. 13. Case 2-2 result graph

#### 4.3.3 설계 지하수위 적용(Case 2-3)

지층을 현장상황에 따라 재분석한 단면상에 계측 지하수위(G.L.(-) 7.21 m)를 적용하여 침투해석을 Fig. 14와 같이 실시하였으며, 배면의 수위저하량은 최대 16.01 m, 0.5 H 이상 이격된 곳의 수위저하량은 최대 6.10 m로 나타났다(Fig. 15).

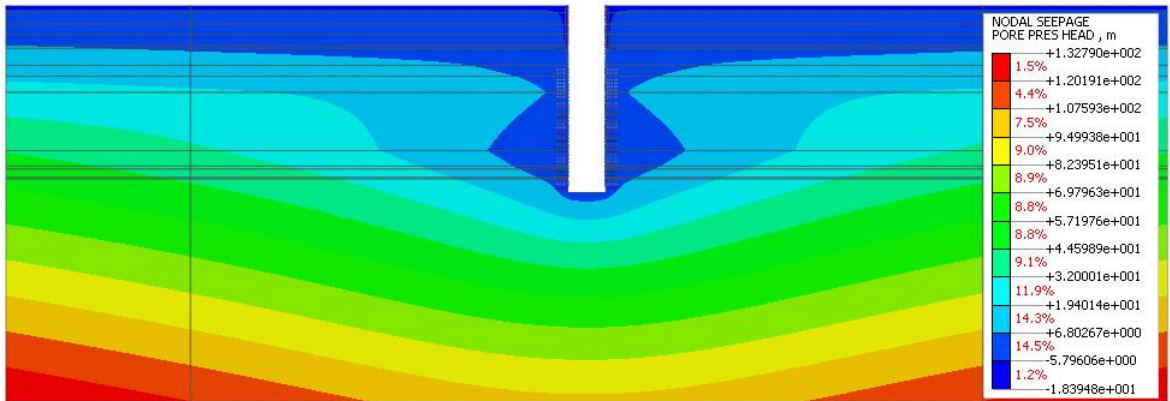


Fig. 14. Case 2-3 pressure head distribution plot

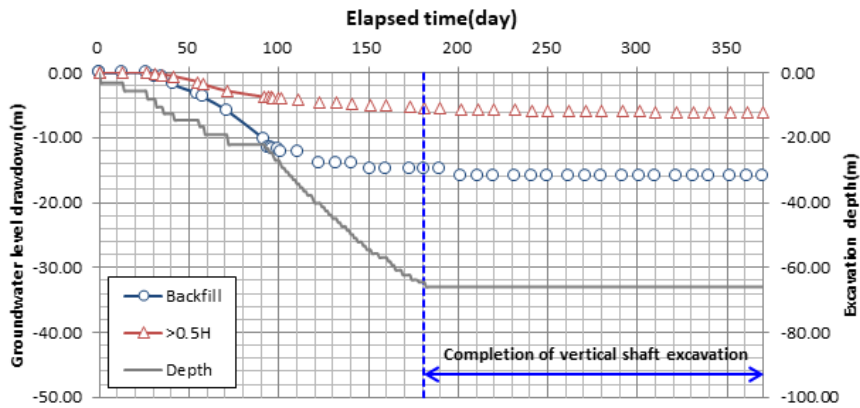


Fig. 15. Case 2-3 result graph

#### 4.4 현장계측과 수치해석 결과 비교

굴착진행 시 지하수위 변화양상 및 결과를 현장계측과 수치해석 결과로 구분하여 나타내면 다음 Table 3과 같다.

Table 3. Field measurement vs. Numerical analysis groundwater level drawdown

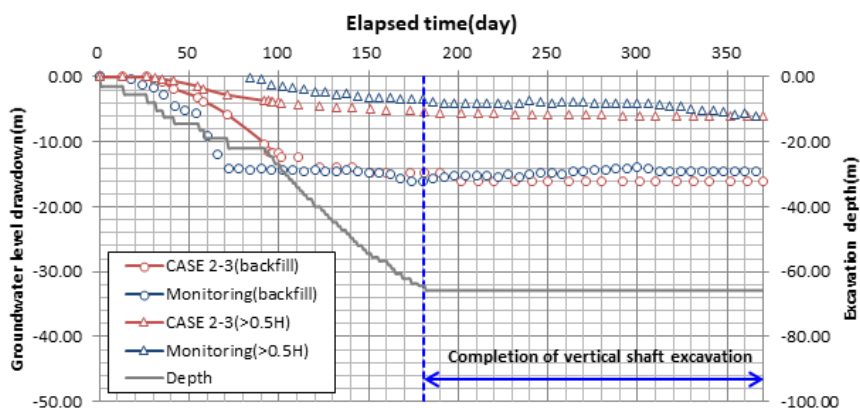
| Classification                      | Field measurement | Numerical analysis |          |          |          |          |          |
|-------------------------------------|-------------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                     |                   | Case 1-1           | Case 1-2 | Case 1-3 | Case 2-1 | Case 2-2 | Case 2-3 |
| Back                                | 16.20 m           | 13.65 m            | 16.00 m  | 12.86 m  | 16.84 m  | 18.78 m  | 16.01 m  |
| More than 0.5 H separation distance | 6.04 m            | 5.63 m             | 2.41 m   | 5.09 m   | 6.44 m   | 2.46 m   | 6.10 m   |

**Table 3.** Field measurement vs. Numerical analysis groundwater level drawdown (continued)

| Classification                            | Field measurement                   | Numerical analysis |          |          |          |          |          |
|---|-------------------------------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|   |                                     | Case 1-1           | Case 1-2 | Case 1-3 | Case 2-1 | Case 2-2 | Case 2-3 |
| Error rate compared to field measurements | Back                                | -15.74%            | -1.23%   | -20.62%  | 3.95%    | 15.93%   | -1.17%   |
|   | More than 0.5 H separation distance | -6.79%             | -60.10%  | -15.73%  | 6.62%    | -59.44%  | 0.99%    |

현장계측과 수치해석 최대 지하수위 저하량 비교검토 결과, 최대 지하수위 저하량은 현장계측과 Case 2-3이 유사하게 나타났다.

그에 따라 경향을 확인하고자 현장계측과 Case 2-3의 결과를 그래프로 나타내면 Fig. 16과 같다.



**Fig. 16.** Field measurements and changes in ground level of Case 2-3

수위 변화양상을 확인한 결과, 초반 굴착단계에서는 유사하게 나타나다 굴착심도 10.00~30.00 m에서는 계측 값이 수치해석 값보다 빠르게 지하수위가 변화되는 것으로 나타났다. 그 이후 30.00~65.91 m까지는 유사한 경향이 나타났다. 이는 퇴적자갈층부터 풍화암층으로 현장시험을 통해 산정한 투수계수의 값의 오류로 수치해석 상 제대로 반영하지 못하였거나 당시의 외부적인 사항을 수치해석에 반영하지 못한 부분으로 인하여 상대적으로 차이가 크게 발생한 것으로 사료된다. 그러나 이후 굴착심도 30.00~65.91 m까지는 계측결과와 수치해석결과가 유사한 경향을 나타내었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 수직구 굴착 시 지하수위 변화양상을 현장계측 및 수치해석 결과로부터 구한 후 비교분석하여 프로그램의 적용성을 확인하였다. 해당 부분을 확인하고자 「○○○○ 복선전철 민간투자사업」의 구조물인 작업

구를 대표단면으로 선정하여 흙막이 벽체 배면에 설치된 지하수위계를 통하여 계측자료를 수집하고, 수치해석 프로그램(MIDAS GTS NX)를 이용하여 Case 해석을 실시하였다. 수치해석은 설계 시 계획한 지반조건과 현장 상황에 따라 재분석한 지층조건을 시추공 수위, 설계수위, 계측수위 적용 시 지하수위 변화양상을 분석하였다.

1. 동일한 지층에서 초기 지하수위 조건에 따라 저하량이 상이하게 나타났으며, Case 1-1, Case 2-1은 지하수위 하부에 점토층이 존재하여, 퇴적점토층에 부분포화대가 생김에 따라 배면측은 수위저하가 크고 0.5 H이격된 곳은 수위저하가 적게 나타났다. 이에 퇴적점토층이 존재하는 경우, 저하량 산정 시 유의하여야 할 것으로 판단된다.
2. 동일한 지하수위에서 지반조건에 따라 저하량이 상이하게 나타났으며, 지층을 면밀히 분석한 조건이 현장계측 결과와 유사한 경향을 보였다.
3. 현장 계측자료 분석과 현장여건을 반영한 수치해석 자료를 비교한 결과, 지하수위 저하량 계측결과와 수치해석 결과의 경향은 일부 구간에서 차이가 나지만 최종굴착단계에서의 수위저하량은 유사한 것으로 나타났다.
4. 이에 지하수위 저하 검토를 실시할 경우, 설계 시에도 현장상황이 충분히 반영될 수 있도록 지반조건을 분석하여 적용하여야 하며, 지하수위는 지하수위 측정시기를 확인하여 적절한 수위를 적용하여야 시공 시 지하수위 저하량과 유사한 예측 값을 도출해 낼 수 있음을 확인하였다. 그러나 본 연구는 한 현장의 사례를 분석하여 검토하였으므로 다양한 현장조건을 고려하여 추가 연구가 필요할 것이다.
5. 수치해석에 의한 지하수위 예측이 현장계측의 지하수위계 측정결과와 유사하게 도출되기 위해서는 현장조사와 시험이 정밀하게 선행되어야 하며, 굴착 시 지층상태가 설계에서 검토된 조건과 상이할 경우 시공계획 및 현장여건 등을 반영하여 지하수위 흐름에 따른 지반거동을 재분석하고 지하수위 저하량과 그에 따른 유출량, 타 계측값을 연계분석함으로써 지반침하 등의 사고를 미연에 방지하여야 할 것으로 사료된다. 특히 다각적인 지층 조건이 반영되어야 현장여건과 가장 유사한 결과를 얻을 수 있으므로 단층파쇄대 등 취약구간은 정확한 지반조건을 반영하는 것이 매우 중요하며, 보강 및 시공 중 지하수위 저하량의 주기적인 조사 및 비교분석이 필요할 것으로 사료된다.

## 저자 기여도

이동혁은 데이터 분석, 원고작성을 하였고, 정상호는 연구 개념 및 설계, 원고 검토·수정·보완을 하였다.

## References

1. Chung, S.Y., Kim, B.W., Kang, D.H., Shim, B.O., Cheong, S.W. (2007), "Analyses of hydrology and groundwater level fluctuation in granite aquifer with tunnel excavation", The Journal of Engineering Geology, Vol. 17, No. 4, pp. 643-653.

2. Jo, H.T., Choi, J.H., Jung, J.H. (2020), “Example of ground subsidence due to groundwater drawdown during underground excavation in urban areas”, Proceedings of the KSCE 2020 Convention, Jeju, pp. 1377-1378.
3. MOLIT (2022), Korean construction specification for temporary earth retaining works KCS 21 30 00: 2022, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, pp. 8.
4. Moon, J.S., Zheng, A.Q., Jang, S. (2017), “Assessment of groundwater inflow rate into a tunnel considering groundwater level drawdown and permeability reduction with depth”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 19, No. 2, pp. 109-120.
5. Nextrain Co., Ltd. (2020), ○○○○ Report on the implementation of private investment projects for double-line railways, No. 3, pp. 1-204.
6. Yoo, C.S. (2003), “3D coupled analysis on tunneling under groundwater”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 5, No. 2, pp. 175-187.
7. Yoo, C.S., Kim, S.B. (2007), “A study on ground surface settlement due to groundwater drawdown during tunnelling”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 9, No. 4, pp. 361-375.