

## 도심지 대심도 암반 굴착현장에서의 Face Mapping 적용사례 A Case Study on the Field Monitoring of the Deep Rock Excavation Site in Urban Area

김태섭<sup>1)</sup>, Tae-Seob, Kim, 김형민<sup>2)</sup>, Hyung-Min, Kim, 조충식<sup>3)</sup>, Choong-Sick, Jo, 강태승<sup>4)</sup>, Tae-Seong Kang

<sup>1)</sup> 삼성물산 건설부문 T.A팀 전문위원. Geotechnical Expert. T.A. Team, Samsung Corp.

<sup>2)</sup> (주) 지오이엔지 대표이사. CEO, GEOENG Corp.

<sup>3)</sup> (주) 지오이엔지 이사. The director, GEOENG Corp.

<sup>4)</sup> (주) 지오이엔지 과장. The head of a department, GEOENG Corp.

**SYNOPSIS** : In this case, powerfulness quorum of destruction side which we have expected are supposed general limit value for rock floor when retaining of earth on the section of rock floor in the urban area. For digging in the urban area, there are a lot of dislocations to be disadvantage for safety of digging ants. The displacement of the pondside didn't converged with the phase of the excavation. Also, the speed of displacement got higher than the percentages of risk in the construction. So, we put into operation Face mapping for checking special quality of dislocations which appear on the digging ants. This results were used to decide a destruction in the case of the final excavation by analyzing with other results. It was possible to know the unstable distribution of a fault line in Face Mapping and to get powerful lens of a surface of discontinuity by tests indoors and outdoors. The results were also used to make a solution. Therefore, It's a successful example using the Partial TopDown for stable digging. And it is important that Face Mapping have to be practiced for solving the uncertainty of ground organization when digging design in the urban city.

**Keywords** : Face Mapping, 도심지 대심도 굴착현황, 암반굴착면

### 1. 서론

도심지 대심도 굴착공사에서 일반적으로 주요구조물이 인접하므로 굴착안정성과 부지 경계면 확보를 충족하기 위해 풍화암을 포함한 암반구간에서는 흙막이 벽체를 일반적인 패턴으로 계획하고, 굴착시 계측과 함께 굴착면 관찰로 설계변경 유무를 결정하는 방식으로 설계한다. 터널의 경우 막장의 지질상태를 전문가의 관찰에 의해 지보패턴을 즉시 결정하여 터널굴착 안정성을 확보하고 시스템이 있지만, (도심지 대심도) 흙막이 공사의 경우 전문가 관찰 및 판단에 의한 적절한 조치가 적절한 시기에 되지 않는 문제점이 있어왔다. 그 대책으로 00지역의 흙막이 공사 중, 풍화암이 출현하는 구간부터 굴착단계별로 지질구조를 추적하는 Face Mapping을 실시하였다. 굴착단계에 따라 노출되는 불안정 지질구조(특히, 단층대)들의 Face Mapping 결과를 계측자료와 연계하여 굴착 안정성 해석에 활용하였고 최종 굴착심도에 도달하기 전에 추가 보강을 실시하는 등 설계변경으로 안전시공사례를 소개하고자 한다.

## 2. 현장 및 흠막이 개요

### 2.1 현장사진



그림 1. 흠막이 시공전 현장사진

### 2.2 흠막이개요

#### 2.2.1 공법

- 굴착공법 : H-PILE + 토류관으로 구성된 토류구조물을, EARTH ANCHOR 지지하면서 굴착함
- 위 치 : 서울시 마포구 공덕동
- 대지면적 : 약 42,713.30 m<sup>2</sup>
- 굴착깊이 : 2.0 ~ 20.0 m
- 사용자재 :
  - 엄지말뚝 : H-300×200×9×14 (C.T.C 1.800)
  - CENTER PILE : H-300×200×9×14
  - 띠 장 : H-300×300×10×15, 2H-300×200×9×14
  - EARTH ANCHOR : 12.7×4EA (C.T.C 1.800) (제거용, 일반용)
  - 토류관 : 생송재 1.750×80×150 (T=80MM)

## 2.2.2 단지전체단면도

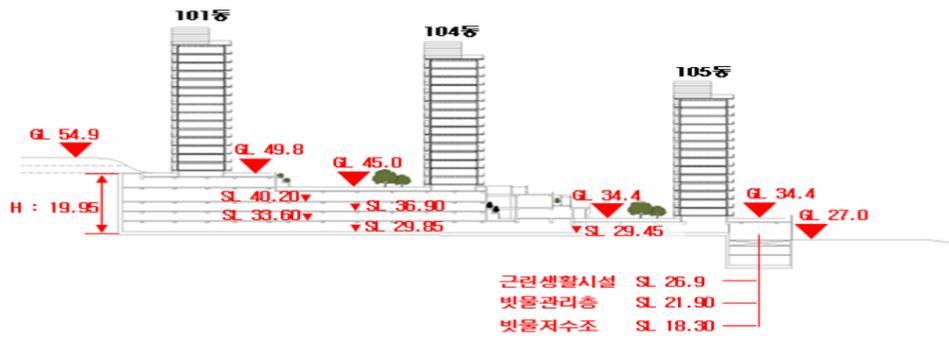


그림 2. 단면도

## 3. 지질조건

### 3.1 지형 및 지질

지질구성은 편마암으로 지형은 노년기 지형의 언덕부에 해당되며, 호층구조를 이루고 있음.

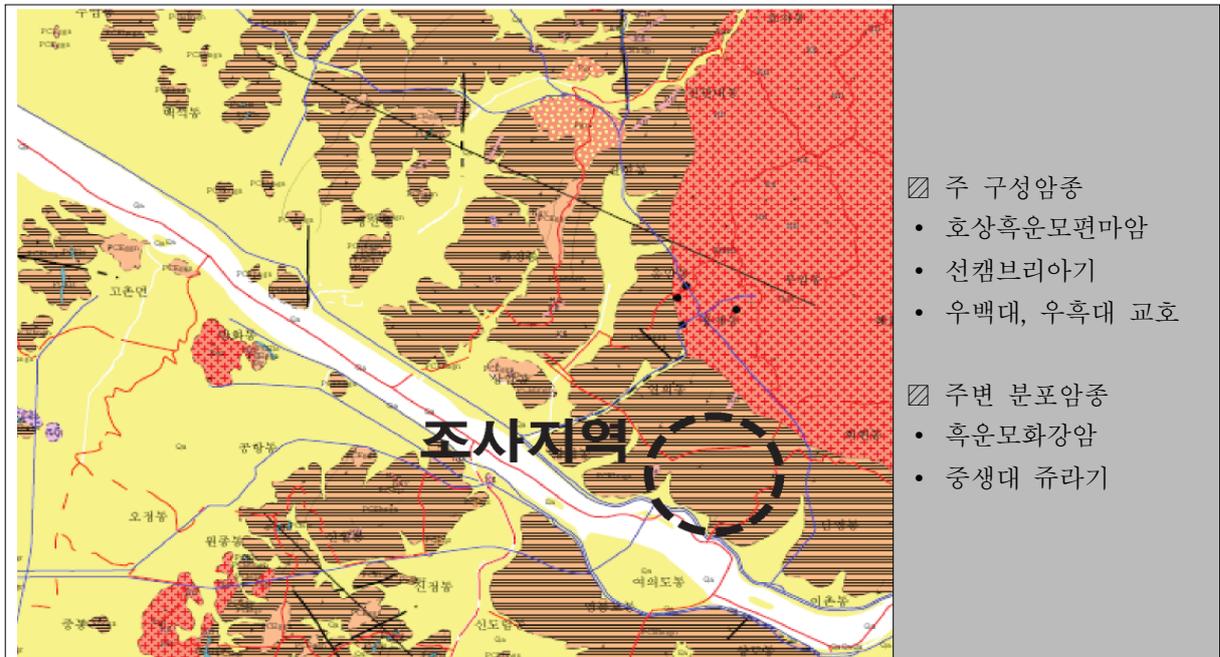


그림 3. 조사지역

### 3.2 지층개요

#### 개 요

- 시추조사 결과 층서 및 층후는 시추위치에 따라 다소 차이를 보임
- 층 서 : 매립토사, 풍화토 및 풍화암과 기반암의 순으로 구성
- 풍화암 : 함수비는 8.8~14.7%, 통일분류법에 의해 분류하면 SP, SP-SM으로 분류
- 암 반 : 현지표로부터 2.5~14.5m 하부에서 확인, T.C.R은 17~100%, R.Q.D는 0~91%

표 1. 현장투수계수와 시추공전단시험결과

| 지 층   | 현 장 투 수 계 수(cm/sec)                                 | 점착력C(t/m <sup>2</sup> ) | 내부마찰각φ(°)   |
|-------|---|-------------------------|-------------|
| 매립토사  | 2.81~3.26 × 10 <sup>-2</sup>                        |                         |             |
| 풍 화 토 | 1.20~1.39 × 10 <sup>-4</sup>                        | 0.23~0.28               | 21.31~25.64 |
| 풍 화 암 | 1.66 × 10 <sup>-4</sup> , 8.13 × 10 <sup>-5</sup>   | 0.3~0.35                | 30.54~34.22 |
| 암 반   | 3.390 × 10 <sup>-5</sup> , 9.259 × 10 <sup>-6</sup> |                         |             |

## 4. Face Mapping 수행

### 4.1 조사개요

표 2. 개요표

| 구 분     | 내 용  |   |
|---------|--|---|
| 행 정 구 역 | • 서울시 마포구 공덕동  |  |
| 굴착면 현황  | • 불안정 굴착면 : 검토단면 2단면   |   |
| 과 업 개 요 | • 본 굴착면의 지지공법으로는 앵커공법이 적용된 구간으로 설계당시 가정된 예상 파괴선 보다 불안정한 지질구조가 존재 |   |

### 4.2 조사방법

#### 4.2.1 조사항목

☑ 절리 방향성 (Orientation)

표 3. 기호표

| 구 분         | 기 호  |
|-------------|--|
| 주향/경사<br>기호 | ↘ : 경사와 주향을 가진 불연속면<br>▣ : 수직 불연속면   |
| 불연속면의<br>종류 | ↘ : 절리(Joint), ▼: 층리(Bedding), ↙: 엽리(Foliation)<br>————— : 연속적인 불연속면(확인 단층)<br>- - - - - : 연속성이 보이지 않는 불연속면(추정 단층) |

☑ 절리 간격성 (Spacing)

- 최소, 평균, 최대간격(Smin, Savg, Smax)는 각각의 절리군에 대해서 기록
- 다수의 절리간격 자료의 통계처리 방법 → 각각의 절리군에 대해 빈도를 Histogram에 표현

- 절리간격은 절리빈도(절리수/m)의 역수

☑ 절리 연속성 (Persistence)

- 연속성은 암반의 공학적 성질을 지배하는 중요한 요소, 노두의 크기 때문에 현장에서 조사시 어려움
- 암반비탈면 안정성 검토시 절리의 연속성 정도를 추정하는 것이 매우 중요

☑ 절리 거칠기 (Roughness)

- 불연속면의 거칠기는 불연속면에 나타나는 작은규모의 요철(Unevenness)과 큰 규모의 만곡(Waviness)으로 정의
- 요철과 만곡으로 절리면의 전단강도를 추저 (전형적인 JRC값을 보여주는 거칠기 Profile)
- 절리면의 충전물이 없는 경우에는 정확한 추정이 가능하며 Profile Gauge를 이용하여 측정

☑ 불연속면의 간극(Aperture)

- 간극은 하나의 불연속면에 대해 서로 인접한 암석간의 분리된 수직거리로 정의되며, 그 간극의 공간은 물이나 공기와 같은 것으로 충전되어 있음
- 간극의 영향은 투수시험에 의해 가장 잘 평가될 수 있음
- 불연속면에 대한 평균(가장 공통적인)간극은 반드시 기록
- 평균간극보다 더 큰 값을 갖는 불연속면에 대해서는 불연속면의 방향, 위치도 함께 기록
- Extremely Wide 또는 Cavernous인 경우 사진 첨부
- 절리강도 : 절리면 부근에 있는 암석의 일축압축강도로 정의
- 절리면이 거의 벌어지지 않고 절리사이에 충전물질이 없는 경우에 절리면의 압축강도는 전단강도에 중요한 영향을 미침

☑ 충전물질(Filling)

- 형태 : 폭(Width), 벽면거칠기(Wall Roughness), 현장스케치(Field Sketch)
- 충전물 종류 : 광물조직, 입자크기, 풍화등급
- 충전물 강도 : 전단강도, 과압밀비, 선행변위의 유무
- 충전된 절리의 공학적 성질은 충전물질의 종류에 따라 다양한 성질을 나타냄

☑ 용수(Seepage)

- 지질도에 지하수 흐름 패턴표시, 가능하면 강우량, 기온 기록
- 불투수층을 지하수위와 같이 지질도와 단면도에 표시
- 절리, 절리군, 암반에 대한 용수 등급을 표시

☑ 절리군의 수 (Number of Sets)

- 절리군의 수는 방향데이터의 일부로써 나타냄

#### 4.2.2 절리면전단시험

- 전단면이 암석 연약면과 일치하도록 시료방향을 선택
- 변위의 측정값들은 평균 전단 변위( $\Delta s$ )와 평균 수직 변위( $\Delta n$ )를 구하기 위해 평균화
- 각 시료에 대해 그래프를 작성 : 전단응력과 전단변위관계곡선, 수직변위와 전단변위 관계곡선
- 종합된 결과로부터 최대 및 잔류전단강도와 수직응력의 관계가 그래프로 표시되며, 이 그래프에서 점착력과 내부마찰각, 전단강성 및 팽창각 산정
- 절리면 거칠기를 3차원 영상으로 표현

## 5. Face Mapping 결과 및 활용

### 5.1 암반굴착면조사 성과

#### 5.1.1 지질구조 현황

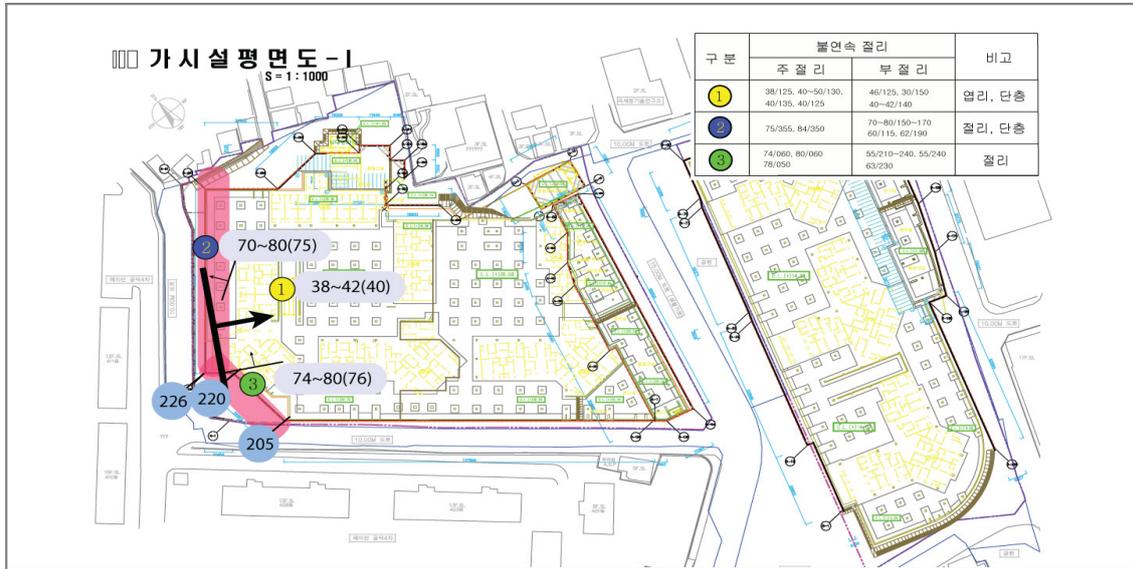


그림 4. 가시설평면도

#### ☒ 절리면 Mapping

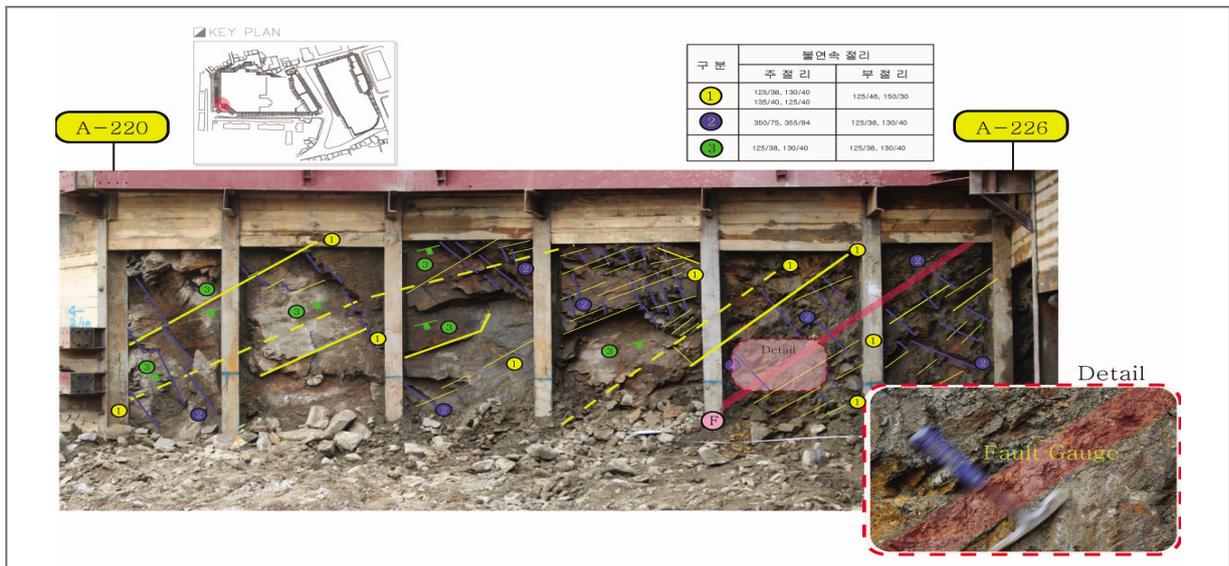


그림 5. 굴착면현황



☑ 평사투영해석(A-3구간 : 226~267)

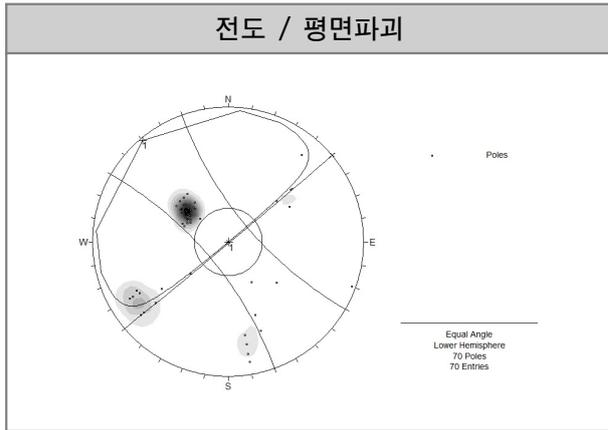


그림 9. 전도/평면파괴

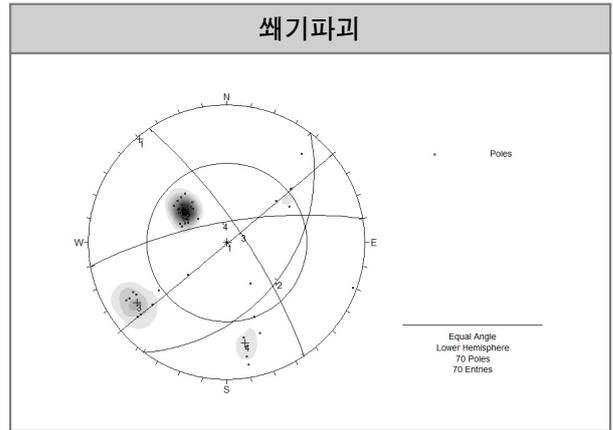


그림 10. 췌기파괴

|                        |  |
|------------------------|--|
| <b>평사투영법<br/>해석 결과</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 평면파괴 가능성 매우 큼, 전도파괴 가능성 있음.</li> <li>• 일부 절리군 조합에 의한 췌기파괴 가능성 미소함.</li> </ul> |
|------------------------|--|

5.1.3 파괴모델링 결과

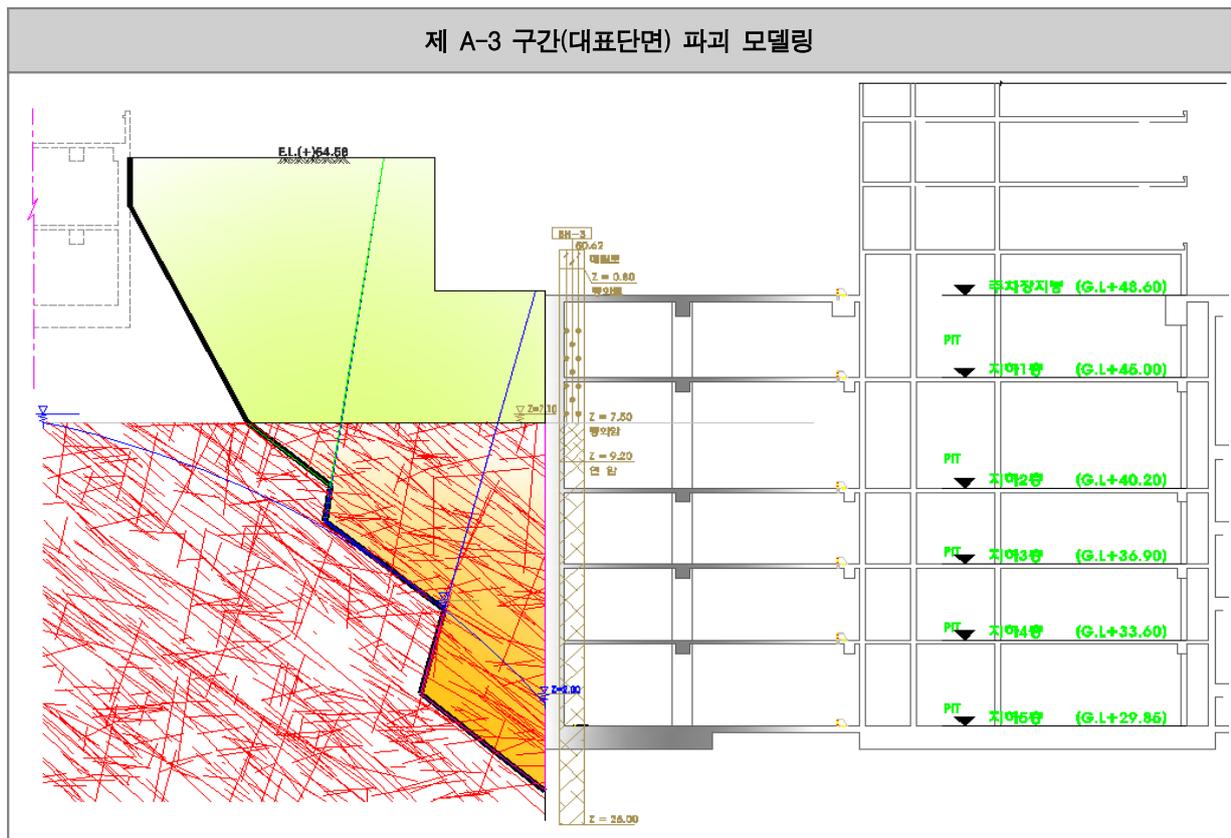


그림 11. 제 A-3구간(대표단면) 파괴 모델링

### 5.1.4 한계평형 해석결과

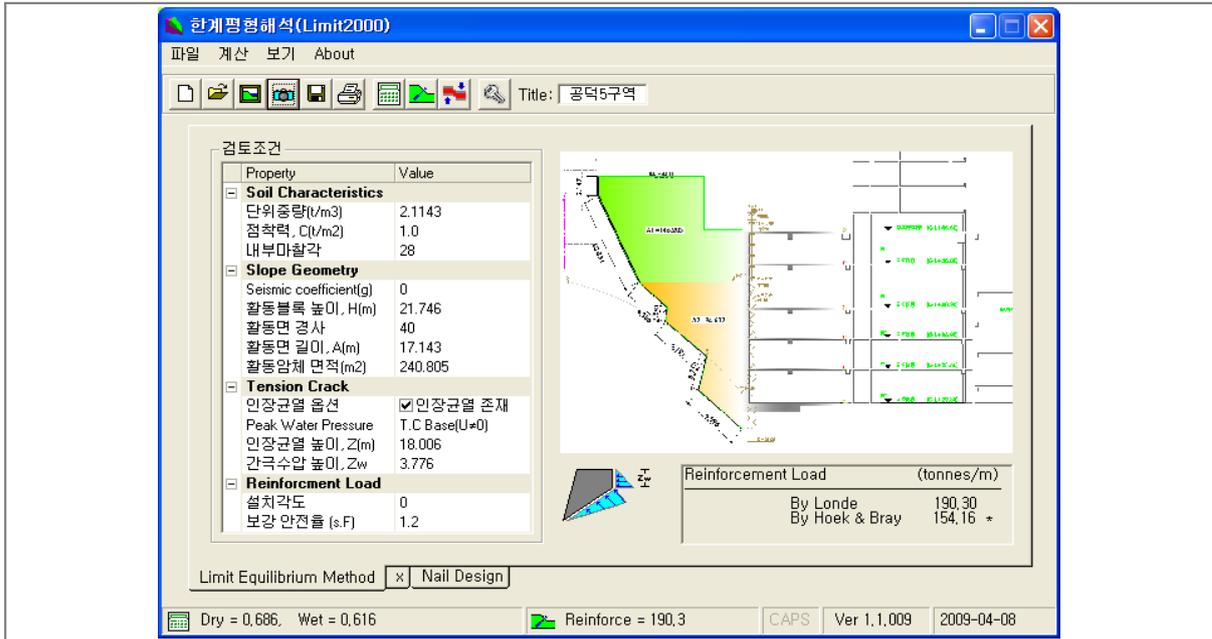


그림 12. 제 A-3 구간 (A-250) 한계평형 해석결과

**검 토 과**

- 검토 안전율은 건기시 : 0.686( $<1.5:N.G$ ), 우기시 : 0.616( $<1.2:N.G$ ) 으로 기준안전율을 만족하지 못하므로 A-3구간 안정해석 결과는 불안정한 것으로 검토됨.
- 평사투영법 해석결과 대부분이 층리에 의한 평면파괴가 대표파괴모델이므로 본 검토에서는 쉐기파괴 검토는 반영되지 않으며, 규칙성을 보이는 평면암괴 블록에 대한 적절한 보강대책이 필요할 것으로 판단됨.

## 6. 결론

- 이 사례는 도심지 암반구간에서의 흙막이 설계시 예상파괴면의 강도정수는 일반적인 암반(연·경암)의 범위값으로 추정해서 설계하였는데,
- 암반부 굴착시 흙막이 굴착면 안정성에 매우 불리한 불연속구조(단층대)들이 발견되고, 굴착진행 단계에 따라 배면지반의 변위가 수렴되지 않고 설계시의 위험 예상치보다 변위속도가 증가하여
- 암반 굴착면에서 나타나는 불연속구조들의 특성을 조사하는 정밀 Face Mapping을 실시하였다.
- 이 조사결과를 다른 기존 자료들과 종합분석하여 최종굴착면상태에서의 파괴모델링을 판단하는데 활용하였다.
- 정밀 Face Mapping에서 단층대의 불안정한 분포상태를 조기에 확인할 수 있었으며, 현장 및 실내시험에 의해 불연속면의 강도정수를 정확히 파악할 수 있었다.
- 이 조사결과를 기존 자료들과 종합 분석.검토하여 최종 굴착면 상태에서의 파괴모델링을 판단하고 안정성을 해석하고 그 대책을 수립하는데 활용되었다.

- 이에 따라, Partial TopDown공법으로 변경하여 안정하게 굴착을 완료한 사례이다.
- 도심지 대심도 암반구간에서의 굴착시공시, 현장굴착과 동시에 설계에서 상존하는 지반구성상태의 불확실성을 해소하기 위해 Face Mapping을 반드시 병행 실시하여 안정시공이 이루어지도록 해야겠다는 것을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. 사면공학실무(2008). 배규진외 12명 공저, 예문사
2. 지반기술자를 위한 지질 및 암반공학(2009). 한국지반공학회 암반 역학 기술위원회, 씨아이알
3. Rock Slope Engineering, 3rd Ed. , E.Hook & J.W. Bray 1981, The Institution of Mining and Metallurgy, London.