

유압 천공데이터를 이용한 터널 굴진면 전방 지질상태 예측

김광염¹ · 김창용¹ · 김광식¹ · 임성빈¹ · 서경원²

¹한국건설기술연구원 지반연구실, ²대우건설 기술연구소

Prediction of Geological Condition Ahead of Tunnel Face Using Hydraulic Drilling Data

Kwang-Yeom Kim¹, Chang-Yong Kim¹, Kwang-Sik Kim¹, Sung-Bin Yim¹,
and Kyoung-Won Seo²

¹Geotechnical Engineering & Tunnelling Research Div., Korea Institute of Construction Technology(KICT)

²Daewoo E&C, Civil Engineering Research Team

터널 및 지하구조물 시공 중 굴착 대상 지반에 대한 정확한 정보 획득은 작업의 효율성과 안전성을 위해 매우 중요하다. 본 연구에서는 굴착 중 굴진 대상 암반의 지질 구조를 신속하고 정확하게 감지하기 위하여 천공탐사 기법을 이용하였다. 유압 착암기 천공 시 발생하는 천공속도, 회전압, 피드압 등의 기계량을 측정하여 분석하였으며, 이를 통해 암석과 지질 구조적 특성에 의해 변화되는 암반 특성을 평가 하였다. 터널 시공현장에서 굴착 중 획득된 천공데이터 분석에 의해 평가된 암반 정보는 굴착 전 수행된 선진수평시추 및 TSP 탐사 결과와 비교하여 신뢰성을 검토하였으며, 그 결과 천공 데이터의 변화가 암반 특성 및 불연속면 예측을 위해 효율적으로 활용될 수 있음을 확인하였다.

주요어 : 천공 탐사, 천공 파라미터, 선진수평시추조사, 터널내 탄성과 탐사(TSP)

During construction of a tunnel and underground structure, it is very important to acquire accurate information of the rock mass will be excavated. In this study, the drill monitoring method was applied for rapid prediction of geological condition ahead of the tunnel face. Mechanical data(speed, torque and feed pressure) from drilling process using a hydraulic drilling machine were analyzed to assess rock mass characteristics. Rock mass information acquired during excavation from drilling monitoring were compared with results from horizontal boring and tunnel seismic profiling(TSP). As the result, the drilling monitoring method is useful to assess rock mass condition such as geological structures and physical properties ahead of the tunnel face.

Key words : Drill monitoring, Drilling parameter, Horizontal boring investigation, Tunnel Seismic Profiling(TSP) investigation

서 론

터널 시공시 발생하는 지반붕괴는 대부분 터널 굴진면 부근에서 발생되고 있으며, 붕괴의 가장 큰 요인은 용수나 단층파쇄대 등의 지질구조와 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Seidenfub, 2006; 日本トンネル技術協會, 1990). 따라서 터널 시공 중 발생하는 붕괴사고를 사전에 방지하기 위해서는 굴진면 전방의 지질상태를 정확하게 예측

하는 것이 매우 중요하다. 터널 굴진면 전방의 지질예측이 필요한 경우 이용되는 대표적인 탐사기법은 선진수평시추, 터널 내 탄성과 탐사(TSP; Tunnel Seismic Profiling) 등이 있다. 그러나 선진수평시추 조사를 위해서는 공사를 일시 중단하여야 하며, 추가적인 비용이 소모된다. 또한 TSP 탐사는 경제적인 안전시공을 위한 충분한 고정밀도의 정보를 제공하지 못한다.

터널 굴진면 전방 탐사를 위해 최근 암반 굴착용 점보

*Corresponding author: kimky@kict.re.kr

발달한 층상단층에 의해 불규칙하게 반복 노출되며, 주향이동단층에 의해 단절된다. 또한 과거 채탄으로 인한 채굴적이 부분적으로 존재하며, 석회암, 사암, 셰일, 함탄층 등이 교호하며 복잡한 지질양상을 보인다. 대상지역에 발달한 단층들은 지하수의 유동통로 역할을 하며, 탄질물과 단층점토 등을 협재하여 전단강도가 현저히 저하되며 주변의 파쇄부를 수반한다.

굴진면 전방 탐사

예정된 솔안터널 노선 중 지반의 변화가 심해 발파 시 붕괴위험이 예상되거나 단층의 영향으로 지반이 교란되어 균열 및 파쇄가 심할 것으로 평가되는 3개 구간을 대상으로 굴착 이전에 각각 수평시추조사와 TSP 탐사가 수행되었으며(Fig. 1), 이와는 별도로 굴착 중 천공 탐사를 실시하였다.

선진수평시추조사

선진수평시추조사는 기반암의 상태 및 특성을 파악하여 터널 굴착에 필요한 제반 정보를 제공하기 위해 터널 붕괴위험이 예상되는 두 구간(STA.104K214.6~STA.104K259.6, STA.104K480~104K540)을 대상으로 각각 연장 45 m, 60 m에 대해 수행되었다.

각 구간별 선진수평시추조사 결과는 Table 1 및 Table 2 와 같이 요약된다. 조사대상 구간의 암석은 퇴적암류인

역암, 사암, 셰일 등으로 확인되며, 탄층과 탄질셰일이 협재한다. 상기 암석들은 상호 연관성을 가지며 호층으로 산출되고, 암반상태는 보통암이 우세하고 연암 및 풍화암도 함께 산출된다. 전반적으로 코어회수율(TCR)은 매우 불량한 상태에서 매우 양호한 상태까지 다양하게 분포하며, 암질지수(RQD)는 매우 불량한 상태가 주를 이룬다.

TSP 탐사

TSP 탐사는 단층의 영향으로 지반이 교란되어 균열 및 파쇄가 예상되는 구간의 주요 불연속면의 위치 및 파쇄대 분포 정보 등을 굴착 이전 미리 확인하여 대처하기 위해 STA. 103K300~STA.103K500의 연장 200m 구간에 대해 수행되었다.

탐사 결과는 Fig. 2의 터널 굴진면 전방 불연속면의 3차원 분포도와 단면도의 형태로 정리된다. 3구간의 파쇄대가 인지되며, 이 중 STA.103K325~STA.103K340과 STA.103K450~STA.103K460 구간에 발달한 파쇄대는 터널 노선과 교차할 것으로 예상되어 시공 시 대책이 요구된다. 그리고 STA.103K370~STA.103K405 구간은 긴 연장성을 가지는 다수의 불연속면이 발달하고, 지층의 변화 혹은 풍화대와 같은 급격한 암질변화가 예상된다.

천공 탐사

천공탐사는 굴착 이전 선진수평시추와 TSP 탐사가 수행된 3개구간을 대상으로 굴착 중 실시하였다. 공용중인

Table 1. Results of horizontal boring investigation from STA.104K214.6~STA.104K259.6.

| Length (m) | Thickness (m) | Rock type | Color | Weathering | Rock classification | Description |
|------------|---------------|-----------------------|------------------|--------------------|---------------------|---|
| 0.0~18.8 | 18.8 | Sandstone | Dark gray | Moderately | Medium hard rock | TCR : Poor - 26%(2.0~3.5m) TCR : Excellent - 90~100% RQD : Very poor~Poor - 0~32% |
| 18.8~20.0 | 1.2 | Sandstone & coal seam | Dark gray ~Dark | Moderately | Soft rock | TCR : Fair - 70% RQD : Very poor - 9% |
| 20.0~27.7 | 7.7 | Sandstone | Dark gray ~Taupe | Moderately ~Highly | Medium hard rock | TCR : Poor - 26%(2.0~3.5m) TCR : Excellent - 90~100% RQD : Very poor~Poor - 0~32% |
| 27.7~31.0 | 3.3 | Sandstone & coal seam | Dark brown ~Dark | Moderately ~Highly | Soft rock | TCR : Poor - 46% RQD : Very poor - 0% |
| 31.0~34.5 | 3.5 | Sandstone | Dark gray ~Taupe | Moderately | Medium hard rock | TCR : Fair - 57% RQD : Very poor - 5% |
| 34.5~35.5 | 1.0 | Coal seam | Dark | Highly | weathered rock | TCR : Very poor - 12% RQD : Very poor - 0% |
| 35.5~45.0 | 9.5 | Sandstone | Dark gray ~Taupe | Moderately ~Highly | Medium hard rock | TCR : Fair~Excellent - 62~100% RQD : Very poor~Fair - 6~68% |
| Total | 45.0 | | | | | |

Table 2. Results of horizontal boring investigation from STA.104K480~104K540.

| Length (m) | Thickness (m) | Rock type | Color | Weathering | Rock classification | Description |
|------------|---------------|--------------------------------|------------------|--------------------|---------------------|--|
| 0.0~8.5 | 8.5 | Coal seam | Dark | Completely | weathered rock | TCR : Very poor - 8% RQD : Very poor - 0% |
| 8.5~10.5 | 2.0 | Conglomerate | Dark gray | Moderately | Medium hard rock | TCR : Fair- 52% RQD : Very poor - 0% |
| 10.5~12.0 | 1.5 | Carbonaceous shale | Dark gray ~Taupe | Moderately | Soft rock | TCR : Poor - 27% RQD : Very poor(0%) |
| 12.0~23.9 | 11.9 | Sandstone | Dark gray ~Taupe | Slightly | Medium hard rock | TCR : Good~Excellent - 70~100% RQD : Very poor-Poor - 4~45% |
| 23.9~24.4 | 0.5 | Coal seam | Dark | Completely | weathered rock | TCR : Poor - 48% RQD : Very poor - 0% |
| 24.4~32.0 | 7.6 | Sandstone | Dark gray | Slightly | Medium hard rock | TCR : Poor~Excellent - 43~100% RQD : Very poor-Poor - 0~27% |
| 32.0~40.5 | 8.5 | Carbonaceous shale | Dark | Highly | Soft rock | TCR : Very poor-Good - 20~82% RQD : Very poor - 0~17% |
| 40.5~45.7 | 5.2 | Sandstone | Dark gray ~Taup | Slightly | Medium hard rock | TCR : Fair~Excellent - 59~94% RQD : Very poor-Poor - 4~27% |
| 45.7~47.0 | 1.3 | Coal seam & carbonaceous shale | Dark ~Dark gray | Completely | weathered rock | TCR : Poor - 48% RQD : Very poor - 0% |
| 47.0~53.0 | 6.0 | Carbonaceous & coal seam | Taupe ~Dark | Moderately ~Highly | Soft rock | TCR : Very poor - 15~16% RQD : Very poor - 0% |
| 53.0~60.0 | 7.0 | Sandstone | Taupe | Slightly | Medium hard rock | TCR : Excellent - 90~94% RQD : Fair - 46~52% |
| Total | 60.0 | | | | | |

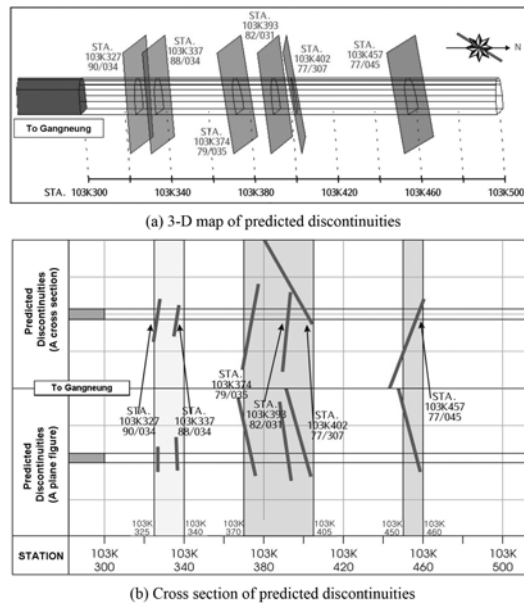


Fig. 2. Results of TSP investigation.

천공장비에 측정장치를 부착하여 천공속도(IAS), 회전압(TQ), 피드압(TP) 등을 측정하였다. Fig. 3은 선진수평시추시행구간에서 측정된 천공 파라미터들의 변화량을 나타낸

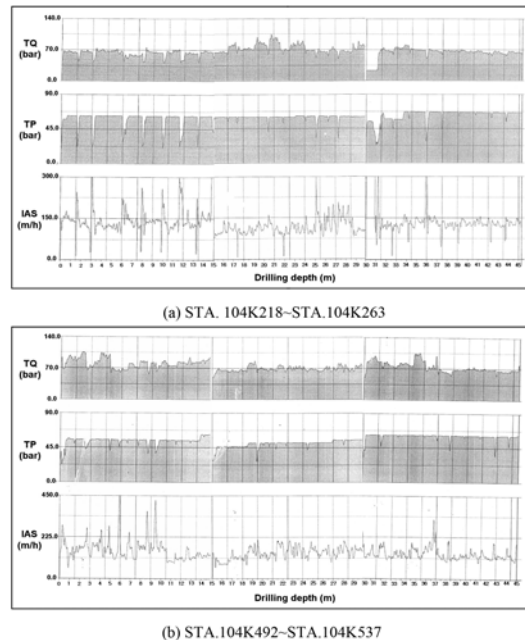


Fig. 3. Variation of drilling parameters with drilling depth.

것으로, 횡축은 천공심도이며 종축은 회전압, 피드압 및 천공속도이다. 천공탐사 결과를 살펴보면, 피드압은

45~90 bar 사이에 분포하며, 상대적으로 일정한 값의 변화를 보인다. 회전압은 약 70~90 bar 사이의 값이 주를 이루며 국부적인 회전압의 상승 경향을 보인다. 마지막으로 천공속도는 120~170 m/h 정도이며, 값의 변화 기복이 심한 편이다.

천공 탐사 적용성 평가

대상 구간에서 측정된 천공 데이터는 두 가지 목적을 위해 선진수평시추 및 TSP 탐사 결과와 비교·분석을 실시하였다. 먼저 굴진면 전방의 암반 특성을 정확히 평가할 수 있는 선진수평시추 결과와 천공 데이터 사이의 관계 분석을 통해 각 파라미터의 암반 상태에 따른 변화특성을 평가한다. 그리고 TSP 탐사와 천공 탐사에 의해 예측된 불연속면 구간의 일치 여부를 확인하여, 천공 데이터 분석에 의한 굴진면 전방 지질상태 예측 가능성을 검토한다.

지반상태에 따른 천공데이터 변화 특성 분석

천공 탐사와 선진수평시추 결과의 비교를 위해 천공 속도(IAS), 회전압(TQ), 피드압(TP) 등의 천공 데이터와 암질지수(RQD), 코어회수율(TCR)과 연경의 정도로 구분된 암반분류 등의 지반정보를 선정하여 검토하였다. 천공 탐사 구간에 대한 각 천공 데이터 변화량과 암질지수(RQD) 및 암반분류 결과를 Fig. 4에 함께 나타내었으며, 한 사이클이 15 m인 천공 데이터를 심도에 따라 총 45 m로 연결하여 나타내었다.

Fig. 4(a)에서 STA.104K218~STA.104K263 구간 분석 결과, 코어회수율이 100%인 0~14 m 구간에서의 회전압은 전체 구간에서 거의 일정하다. 그리고 회전압과 피드압이 동시에 감소하고 천공속도는 증가하는 구간이 많다. 피드압도 마찬가지로 회전압이 감소하고 천공속도가 증가할 때 감소하는 경향을 보이며, 바꿔 말하면 천공속도는 회전압과 피드압이 감소하는 구간에서 증가하며 특히 변동이 심하다. RQD와 천공 데이터 변화량과의 관계를 살펴보면, RQD가 32인 6~8 m 구간에서는 천공속도가 감소하는 경향을 보이며, RQD가 8인 10~12.5 m 구간에서는 천공속도가 증가한다. 다시 말하면, 회전압과 피드압이 감소하고 천공속도가 증가하는 구간은 RQD가 감소하는 파쇄대에 해당된다. 특히 천공속도의 급격한 증가는 절리의 간격이 촘촘하거나 간극이 큰 구간임을 지시한다.

코어회수율이 0~12%인 14~37.5 m 구간은 낮은 코어회수율에 비례하여 RQD도 0~10 이하의 값을 가진다. 상당한 풍화가 진행된 본 구간은 다양한 파쇄구간을 포

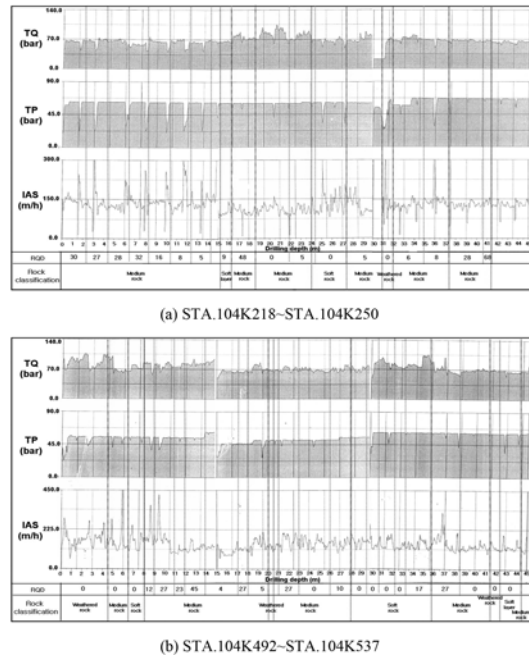


Fig. 4. Comparison of results between horizontal boring and drilling monitoring.

함한다. 이 중 15~30 m 구간을 살펴보면, 회전압은 18.5~24 m에서 큰 값을 보이며 피드압은 거의 일정한 값을 유지한다. 그리고 천공속도는 암반이 연약한 상태일수록 증가하는 양상이다. 특히 회전압은 RQD가 작은 곳에서 증가하며 천공속도는 암반 상태가 연약할수록 증가한다. 30~32 m 구간에서는 회전압과 피드압이 감소하고 천공속도가 크게 증가하는데, 이는 폭 1m 크기로 협재된 심하게 파쇄된 연약한 탄층 때문인 것으로 판단된다.

37.5~45 m 구간은 코어회수율이 100%이며, 회전압, 피드압, 천공속도가 일정하게 유지된다. 이는 타 구간에 비해 암반의 연경이 높고 균질하기 때문이다.

Fig. 4(b)에서 STA.104K492~104K537 구간 분석 결과는 다음과 같다. 코어회수율이 70~100%인 0~15 m 구간의 경우, 회전압은 RQD가 증가하는 곳에서 커지며 작아지는 곳에서는 감소한다. 피드압은 거의 일정하며, 천공속도는 전반적으로 RQD와 반비례 관계를 가지며 변동 폭이 심하다. 변동이 심한 이유는 낮은 RQD를 감안하면, 아마도 균열 및 파쇄대의 발달로 인한 것으로 판단된다. 12~13 m의 풍화암 산출 구간에서는 피드압이 일정하게 유지되며 회전압과 천공속도는 감소한다.

코어회수율이 20~85%인 15~30 m 구간의 경우, 회전압은 RQD 값이 10, 17, 27인 곳에서 증가하고 0인 곳

에선 일정한 값을 보인다. 피드압은 보통압에서 연암으로 바뀌는 구간에서 약간의 상승을 보이고 일정한 상태를 유지하다가, 다시 보통압이 나타나는 구간에서 증가하는 경향을 보인다. 이는 연암구간에 비해 보통압 구간이 상대적으로 암의 연경이 단단해지고 파쇄가 덜 진행되었기 때문이다. 연암 구간의 지반이 더 약하고 파쇄가 심하기 때문에 회전압과 피드압이 거의 일정하더라도 천공효율이 좋게 됨으로써 천공속도는 더 높게 나타난다.

30~45 m 구간은 코어회수율이 15~94%로 변화의 폭이 크다. 본 구간은 굴진 방향으로 보통암, 풍화암, 연암, 보통암의 순서로 산출된다. 각각의 평균 코어회수율은 59, 48, 15, 90%이며, RQD는 4, 0, 0, 49의 순이다. 30~32.5 m 구간은 보통암이 산출됨에도 불구하고 파쇄상태가 심한 형태이다. 34.5~38 m 구간의 연암층 구간은 피드압은 일정하며, 회전압이 증가 후 감소하는 부분에서 천공속도는 가장 큰 값을 보인다. 이 현상은 연암층의 파쇄가 심하고 연약하기 때문에 비트에 과부하가 걸려 회전압이 증가하다가, 암반 자체가 연약하기 때문에 회전압이 감소하더라도 천공속도는 증가하는 것으로 설명할 수 있다.

천공탐사와 선진수평시추 결과 비교에 의한 천공 데이터와 지반 조건과의 관계를 정리하여 Table 3으로 요약하였다. 피드압은 RQD 및 연경도와 높은 상관관계를 보이지는 않지만, 공의 거침을 방지하기 위한 피드압의 급격한 저하는 파쇄대 인지의 중요한 근거가 될 수 있다. 피드압은 천공이 시작될 때 자동제어시스템에 의해 적정 수준으로 설정되기 때문에 천공이 진행되는 동안 비교적 일정한 크기를 유지한다. 회전압은 RQD와 연경도에 민감하게 반응하며, 천공속도는 RQD 및 암의 연경과 반비례 관계를 보인다.

천공데이터를 이용한 전방 불연속면 예측

TSP 탐사가 수행된 구간과 중복되는 STA.103K370~STA.103K404 구간에서 천공 탐사를 실시하였으며, 이 중 암반 상태가 매우 불량한 것으로 확인된 STA.103K370~STA.103K382 및 STA.103K392~STA.103K404 구간에서

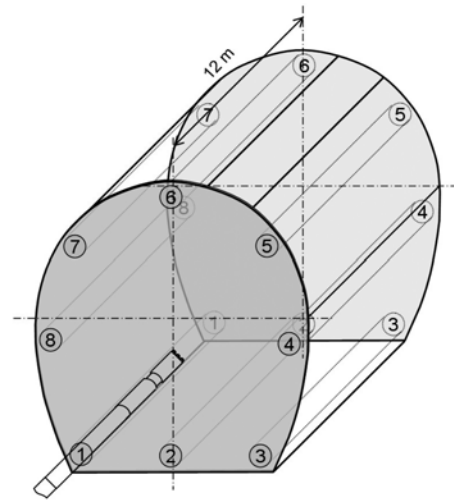


Fig. 5. A cross section of drilling points.

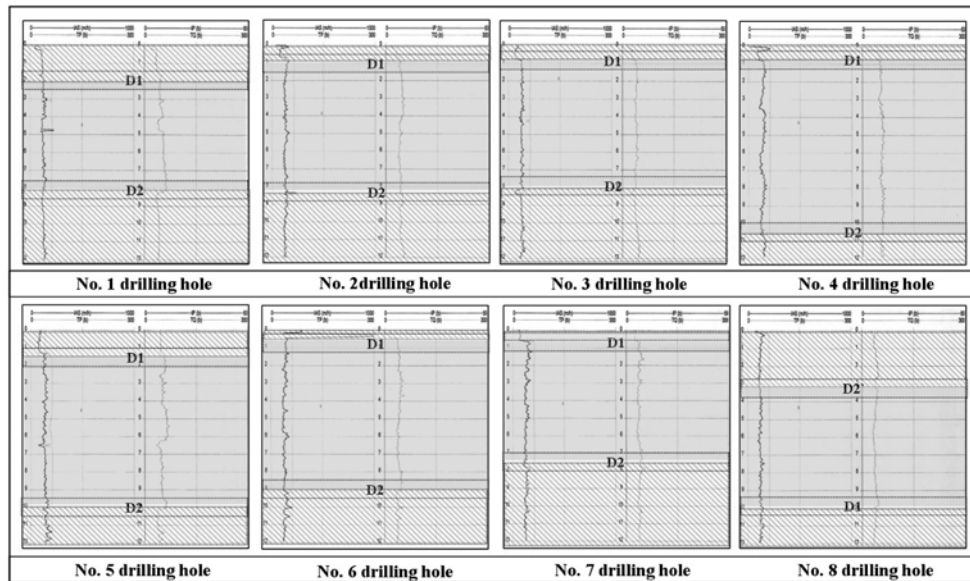
는 조사의 정밀도를 높이기 위해 Fig. 5와 같이 굴진면의 외각부에 8개의 공을 12 m 천공하여 데이터를 측정하였다. 천공 탐사 결과는 TSP 탐사에 의해 터널 노선과 불연속면의 교차가 예상되는 STA.103K374, STA.103K392, STA.103K402 m 지점의 결과와 비교·분석 하였다.

Fig. 6은 대상구간의 천공탐사 결과를 정리한 것으로 종축은 천공심도, 횡축은 천공속도, 피드압, 회전압을 나타내었다. 천공 데이터의 변화량 분석을 통해 암의 연경, RQD 등이 급격히 변하는 지점과 연약대 및 파쇄대 구간 등을 불연속 구간으로 평가하였다. 또한 로드 교체로 인한 이상 변화 구간은 제외하였으며, 재밍(jamming) 현상이 발생한 구간만 불연속면으로 간주하였다.

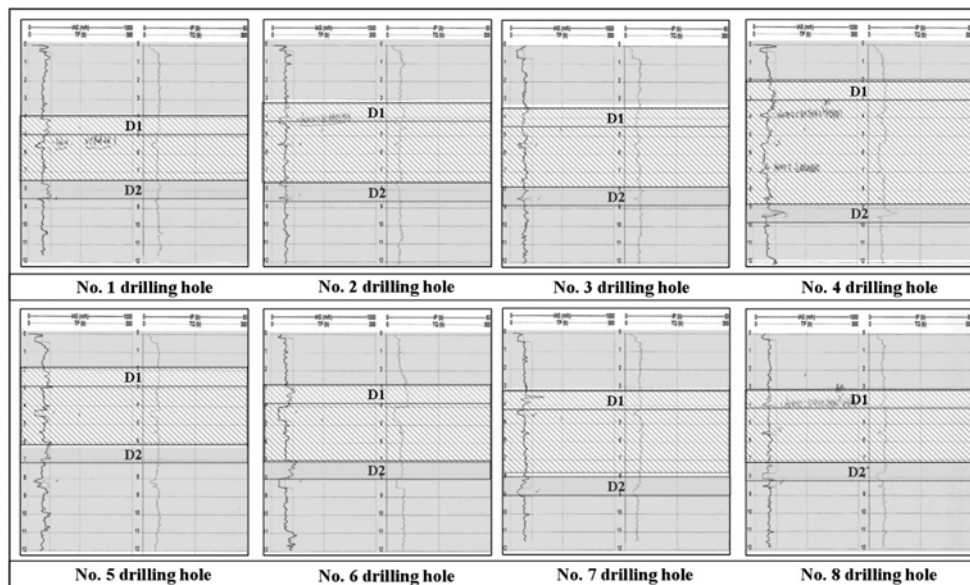
천공 데이터 분석에 의하면, STA.103K370~STA.103K382 구간에서는 Fig. 6(a)의 빗금친 부분에 해당하는 1조의 불연속 구간이 인지되며, STA.103K392~STA.103K404 구간에서는 2조의 불연속 구간이 분포한다(Fig. 6(b)). 천공 탐사에 의해 예측된 불연속 구간과 TSP 탐사 결과 예측된 불연속면을 함께 나타내면 Fig. 7과 같다. STA.103K370~STA.103K382구간에서는 Fig7(a)와 같이 TSP 탐사에 의해

Table 3. Relationship between drilling parameters and ground conditions.

| Drilling parameters | Ground conditions Jamming & rod replacement | Hardness of Rock | | RQD | | Joint & fracture zone | Soft ground |
|---------------------|--|------------------|------------------------|-----------------------|-----------|------------------------|-----------------------|
| | | Soft | Hard | Increase | Decrease | | |
| TP (bar) | Decreased | Constant | Constant | Constant | Constant | Decreased | Constant |
| TQ (bar) | Decreased | Decreased | Increased | Decreased | Increased | Decreased or Increased | Constant or Decreased |
| IAS (m/h) | Decreased | Increased | Decreased or Increased | Constant or Decreased | Increased | Increased | Increased |



(a) STA.103K392~STA.103K404



(b) STA.103K370~STA.103K382

Fig. 6. Results of drilling monitoring.

035/79 방향의 규모가 큰 불연속면의 존재가 예측되었으며, 천공 탐사 결과에 의하면 3~8m 규모의 단일 파쇄 및 연약대 구간이 확인되었다. 실제로 해당 구간의 수평시추조사에 의하면 탄층세일 및 탄층이 1~3m 협재되어 있으며, 굴착 중 굴진면 관찰에 의하면 불연속면의 방향, 위치, 규모는 천공탐사 및 TSP 탐사 결과와 일치한

다. STA.103K392~STA.103K404 구간에서는 Fig. 7(b)와 같이 TSP 탐사에 의해 STA.103K393과 STA.103K402 지점에서 각각 031/82, 307/77 방향의 불연속면이 예측되었으며, 천공탐사에 의해 동일 지점에서 불연속 구간이 인지되었다. 예측된 두 불연속면은 굴착 중 굴진면 관찰에 의해 확인되었다.

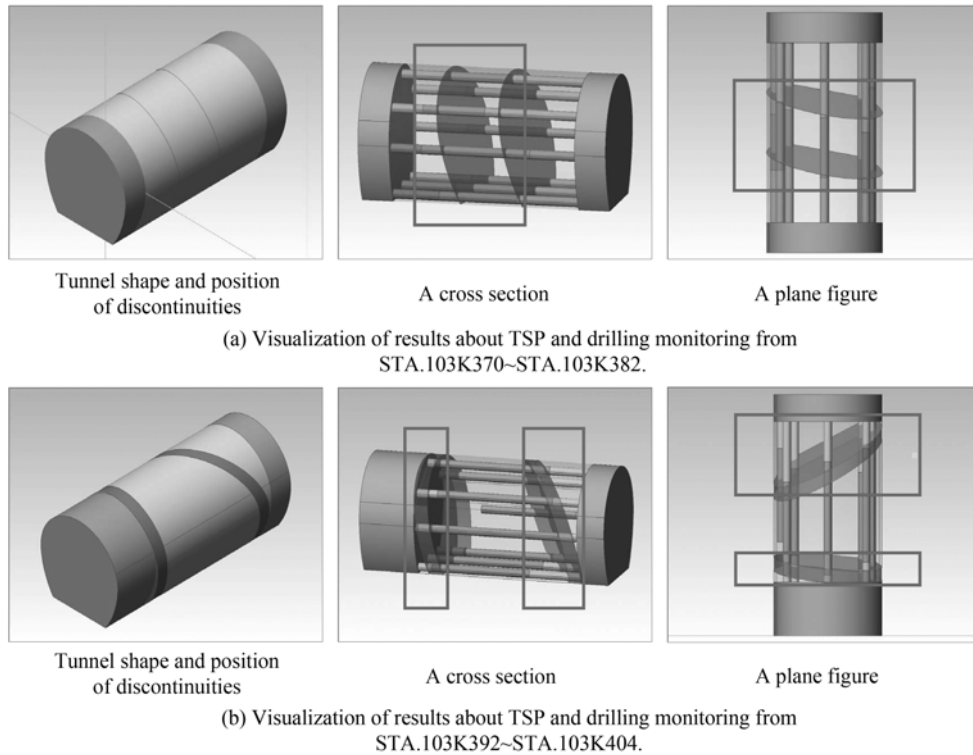


Fig. 7. Comparison of results between TSP investigation and drilling monitoring.

천공탐사와 TSP 탐사에 의한 불연속면 예측 결과를 비교해보면, 일반적으로 알려진 바와 같이 TSP 탐사는 불연속면 또는 불연속 구간의 개략적인 방향과 위치의 예측이 가능하며, 천공탐사는 상대적으로 정확한 불연속 구간의 분포 범위에 대한 정보를 제공해 주지만 기대와는 달리 정확한 방향 정보의 예측은 어려웠다.

결과 분석 및 토의

천공 탐사와 선진수평시추 및 TSP 탐사의 비교·검토 결과, 천공 데이터는 터널을 구성하는 지반의 특성을 정량화 할 수 있는 지표가 될 수 있으며, 따라서 천공 탐사를 통해 굴착 전 전방 지반 상태의 예측이 가능한 것으로 평가되었다.

천공 데이터 중 회전압과 천공속도가 암의 연경과 파쇄대 분포 등과 높은 상관을 나타내었다. 특히 파쇄대 구간에서는 공의 거침을 방지하기 위해 피드압이 크게 저하되는 결과가 나타났다. 탐사 범위 내에 높은 파쇄 상태 구간이 분포하기 때문에 공의 거침이 매우 심하게 나타나고, 전반적으로 암석의 점토화가 진행되어 있지 않으므로 파쇄대에서 회전압이 큰 쪽으로 상승하기 보다는 작은

쪽으로 상승하는 경향을 보이는 것으로 판단된다. 따라서 파쇄대의 상태 및 특성에 따라 피드압의 저하와 회전압의 상승이 동시에 발생하기도 하고 회전압만 상승하는 경우도 있을 수 있다. 천공속도의 경우 구간마다 변화가 매우 심하며, 이는 탐사구간의 낮은 RQD와 파쇄의 발달로 인한 좁은 절리간격이 반영된 결과일 것이다.

상기 분석 결과에 의하면 단일 천공 파라미터의 단순한 분석만으로는 지반의 특성을 정확히 예측하여 적절하게 평가하는 것은 어렵다. 예를 들면 재밍(jamming) 현상 및 로드 교체시는 회전압, 피드압, 천공속도의 감소 구간이 발생하는데, 이러한 현상은 분석에서 제거해야 한다. 피드압과 회전압이 감소하고 천공속도가 증가하는 구간은 절리의 발달이나 파쇄대일 가능성이 크며, 암반의 연경 정도가 연약할수록 회전압이 커지고 RQD가 작을수록 회전압은 커진다. RQD와 회전압 관계를 자세히 살펴보면, 피드압이 일정할 때 회전압과 천공속도가 증가하는 구간에서는 RQD가 작아지고, 회전압이 증가하고 천공속도가 일정한 구간에서는 RQD가 커진다. 따라서 천공 데이터 분석은 각 천공 파라미터 변화량의 연계분석을 통해 다각도로 수행되어야 한다.

지금까지의 천공 탐사에 의한 굴진면 전방 예측은 대부분 하나의 탐사공을 대상으로 수행되었다. 하지만 본 연구에서는 동일 평면 내의 복수의 탐사공 계측을 수행하였으며, 그 결과 굴진면 전방 불연속 구간의 정확한 위치와 범위를 확인하였다. 기대와는 달리 불연속 구간의 정확한 분포 및 방향 정보의 획득은 실패하였지만, 향후 측정 장비의 성능 개선과 불연속면 방향성, 충전물질 존재 여부, 대상 암반의 RMR 등 복합적 요인에 의한 천공 데이터 변화 특성 분석 연구가 진행된다면 불연속면의 방향 정보 뿐만 아니라 역학적 특성 예측도 가능할 것이다.

본 연구에서 천공 파라미터들의 변화량 분석을 통해 굴진면 전방의 지반 상태를 파악할 수 있다는 가능성을 검토하였다. 하지만 본 연구에서 제시된 천공 데이터와 암반 특성간의 상관관계는 대상 구간의 한정된 정보만을 활용했기 때문에 모든 지역에 대해 일반화할 수는 없으며, 다양한 암종 및 지질조건 하에서의 추가 연구와 검증이 필요하다. 향후 지속적인 연구가 수행되고 다양한 정보가 데이터베이스화 된다면 현재 시간적, 경제적 추가 비용과 많은 노력을 필요로 하는 굴진면 전방 탐사 기법의 대안으로 시공 공정의 간섭을 최소화하고 신속히 전방 지반정보를 획득할 수 있는 천공 탐사가 활용될 수 있을 것이다. 이를 위해서는 신뢰성 높은 측정 장비의 개발, 다양한 분석 기법 연구, 현장 규모의 천공 파라미터 관련 연구, 제도 개선 등의 과제가 남아 있다.

결 론

본 연구에서는 천공 탐사와 수평시추조사에 의해 평가된 전방 지반상태의 연계 분석을 통해 천공 데이터의 변화량과 지반 특성과의 관계를 검토하였다. 그리고 천공 데이터 분석과 TSP 탐사 결과의 비교를 통해 천공 탐사에 의한 전방 불연속면 예측 가능성을 평가하였으며, 연구 결과는 다음과 같이 요약된다.

1. 회전압과 천공속도는 RQD 및 연경정도와 높은 상관관계를 보이며, 피드압의 급격한 저하는 파쇄대를 인지할 수 있는 중요한 근거가 된다. 천공 데이터를 이용한 굴착면 전방 지반 평가를 위해서는 각 천공 파라미터 변화량의 연계분석을 통한 다각도의 평가가 필요하다.
2. 복수의 탐사공 측정을 통해 전방 불연속면의 정확한 위치, 규모, 지반 상태 등을 예측할 수 있으며, 향후 추가 연구를 통해 방향성 평가도 가능 할 것으로 기대된다.
3. 천공 탐사를 통한 굴착 중 전방 지반상태 예측 기술은 기존의 고비용, 저효율 방법들의 대안이 될 수 있으며,

운용 중인 천공장비에 간단한 측정장비의 부착만으로 데이터 획득이 가능하여 터널 공정에 간섭을 최소화하고 측정 및 분석이 용이하여 신속한 지반정보 획득이 가능한 실용적인 방법이다.

4. 본 연구 결과에서 제시된 천공 데이터 변화 특성과 암반 상태의 관계는 대상지역의 국한된 정보만을 활용한 것이기 때문에 일반화할 수 없으며, 향후 다양한 암종 및 지질조건 하에서의 데이터 획득 및 검증이 필요하다.

사 사

본 연구는 건설교통부의 2007년 건설핵심기술연구개발사업인 “IT 및 신소재를 활용한 급속 안정화 터널시공기술개발(과제번호:C105A1020001-05A0502-00240)” 연구사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

김낙영, 김성환, 정형식, 2001, 도로터널에서 지보패턴별 굴착지수 상관관계 고찰, 한국터널공학회 터널기술논문집, 3(14), 17-24.

김광엽, 김창용, 장수호, 서경원, 이승도, 2007, 천공데이터를 활용한 터널 막장 전방 암반특성 평가, 대한화약발과공학회지, 25(1), 67-77.

김광엽, 김창용, 김광식, 윤효관, 2008, 암석시험편 천공시험을 이용한 천공파라미터 연구, 대산토목학회 정기학술대회 논문집, 4294-4297.

김광엽, 김창용, 김광식, 2008, 균질암반에서의 유압식 천공데이터 평가, 터널과 지하공간, 한국암반공학회, 18(6), 480-490.

대우건설, 1999, 영동선 동백산-도계산 철도이설공사 T/K 지반조사보고서.

Mituisumitomo corporation, 2005, Tunnel Rock Mass Evaluation That Uses Drill-Logging System, Proceedings of the 60th Symposium, Japan Society of Civil Engineers, 9-10.

Peck, J. and Vynne, J. E., 1993, Current Status and Future Trends of Monitoring Technology for Drills, Proceedings Int. Mining Geology Con., Kalgoorlie, Australia, 311-325.

Pfister, P., 1985, Recording Drilling Parameters in Ground Engineering, Geodrilling, 8-14.

Schunnesson, H., 1996, RQD Predictions based on Drill Performance Parameters, Tunnelling and Underground Space Technology, 11(3), 345-351.

Seidenfub, T., 2006, Collapses in Tunnelling, Master Thesis, Stuttgart, Germany.

Kahraman, S., Balci, C., Yazici, S. and Bilgi, N., 2000, Prediction of the Penetration Rate of Rotary Blast Hole Drills using a New Drillability Index, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 37, pp. 729-743.

- Thuro. K., 1997, Drillability Prediction-Geological Influences in Hard Rock Drill and Blast Tunnelling, Geol Rundsch, 86, 426-438.
- Thuro. K., 2003, Hard Rock Tunnel Boring, Cutting, Drilling and Blasting : Rock Parameters for Excavatability, ISRM - Technology Roadmap for Rock Mechanics, 1227-1234.
- Toda corporation, 2005, Prediction of Geological Condition forward of Tunnel Face with Drilling Data, Proceedings of the 60th Symposium, Japan Society of Civil Engineers, 13-14.
- 日本トンネル技術協會, 1990, 山岳トンネルの施工法に関する調査研究報告書.

2009년 12월 7일 원고접수, 2009년 12월 18일 게재승인

김광엽

한국건설기술연구원 지반연구실
411-712, 경기도 고양시 일산서구 시민대로 1190
Tel: 031-910-0224
Fax: 031-910-0211
E-mail: kykim@kict.re.kr

김창용

한국건설기술연구원 지반연구실
411-712, 경기도 고양시 일산서구 시민대로 1190
Tel: 031-910-0224

Fax: 031-910-0211
E-mail: cykim@kict.re.kr

김광식

한국건설기술연구원 지반연구실
411-712, 경기도 고양시 일산서구 시민대로 1190
Tel: 031-910-0775
Fax: 031-910-0211
E-mail: kwangks@kict.re.kr

임성빈

한국건설기술연구원 지반연구실
411-712, 경기도 고양시 일산서구 시민대로 1190
Tel: 031-910-0775
Fax: 031-910-0211
E-mail: sbyim@kict.re.kr

서경원

대우건설 기술연구소
440-800, 경기도 수원시 장안구 송죽동 60번지
Tel: 031-250-1154
Fax: 031-250-1131
E-mail: skw@dwconst.co.kr