

## 이방성/비균질 암반의 터널 계측 사례 분석

### Cases of Tunnel Monitoring of Anisotropic/Heterogeneous Rock Masses

김창용<sup>1)</sup>, Chang-Yong Kim, 홍성완<sup>2)</sup>, Sung-Wan Hong,  
김광엽<sup>3)</sup>, Kwang-Yeom Kim, 백승한<sup>4)</sup>, Seung-Han Baek

- 1) 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Eng. Research Dept., Korea Institute of Construction Technology
- 2) 한국건설기술연구원 지반연구부 연구위원, Senior Research Fellow, Geotechnical Eng. Research Dept., Korea Institute of Construction Technology
- 3) 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Eng. Research Dept., Korea Institute of Construction Technology
- 4) 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원, Senior Research Fellow, Geotechnical Eng. Research Dept., Korea Institute of Construction Technology

**SYNOPSIS :** The introduction of geodetic methods of absolute displacement monitoring in tunnels has improved the value of the measurements significantly. By using this method, structurally controlled behavior and influences of an anisotropic rock mass can be determined and the excavation and support adjusted accordingly. In this study cases of tunnel monitoring in anisotropic/heterogeneous rock masses are analyzed, and various anisotropic behavior of tunnel can be estimated. Because rock anisotropy and heterogeneity can have great influence on tunnel behavior, tunnel design considering rock anisotropy and heterogeneity is needed. Also under construction, feedback must be performed by using face mapping and monitoring to prevent over-deformation and tunnel collapse.

**Key words :** tunnel monitoring, anisotropy, heterogeneity, tunnel behavior

## 1. 서 론

터널은 일반구조물과는 달리 역학적인 계산이 매우 복잡하고 어려우며, 터널을 구성하는 재료인 원지반의 성질은 철이나 콘크리트에 비하여 거동이 복잡하고 편차가 크다. 또한, 터널의 지보나 라이닝에 작용하는 하중은 직접 확인하기가 어렵고, 원지반의 성질에 의하여 좌우된다. 터널 굴착 시 발생하는 불안정성은 주로 대상암반의 상태, 지하수 특성, 굴착방향 및 굴착형상 및 시공방법 등에 영향을 받는다. 이러한 불안정성은 터널의 붕괴와 같은 극한 상황을 야기할 수도 있으며, 지보량의 증대 및 보조공법 적용과 같은 추가적인 공사비 및 공기 증가를 발생시킨다. 따라서 경제적이고 안전한 터널 설계를 위해서는 실제현상을 가장 최적으로 모사할 수 있는 지질 및 지반공학적 모델을 개발하고 이를 바탕으로 터널 건설에 적절한 터널 굴착 및 지보/보강공법을 평가하여야 한다. 본 논문에서는 특히 이방성 암반에서 나타나는 문제점을 사례 분석을 통해 알아보고 과대변형 및 붕괴/붕락을 방지할 수 있도록 막장관찰 및 계측 자료를 feedback하여 적절한 지보/보강의 방법론을 알아보고자 하였다.

## 2. 터널 과대변형 특성

터널에서 붕괴/붕락 및 과대변형 등의 불안정성을 야기시키는 요인은 크게 암반의 특성과 시공의 영향으로 구분할 수 있으며, 구체적인 요인들은 표 1에 정리한 바와 같다.

표 1. 터널 불안정성 요인

요 인	내 용
암반 특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 굴착에 불리한 방향의 절리 및 절리군 조합</li> <li>- 잘게 파쇄된 암석이나 점토 등으로 구성된 연약대나 단층대</li> <li>- 자립시간의 감소를 야기하는 영역 내에 팽창성 점토의 존재</li> <li>- 수분함유나 포화상태에 의한 암반 구성물의 슬레이킹이나 강도저하</li> </ul>
시공 영향	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 굴착에 의한 지반침하 및 인접구조물의 손상</li> <li>- 발파에 의한 동생물 및 구조물에 미치는 피해</li> <li>- 자립시간의 감소를 야기하는 영역 내에 팽창성 점토의 존재</li> <li>- 수분함유나 포화상태에 의한 암반 구성물의 슬레이킹이나 강도저하</li> </ul>

### 2.1 과지압의 영향

지하 터널 주위 암반의 파괴는 초기응력 수준과 암반특성 및 터널의 형상 및 크기에 좌우된다. 소수의 절리가 존재하는 과상 암반의 경우 취성의 스폴링(spalling)이나 슬래빙(slabbing) 현상을 보여주며, 절리가 심하게 발달한 절리암반의 경우에는 더욱 연성인 파괴형태로 발전되는 것을 보여준다. 후자의 경우, 암반내에 많은 불연속면들이 교차하고 있기 때문에 각 개별블럭들은 미끄러짐이나 회전이 상당히 자유스럽다. 점토 충전물이나 단층 마찰면이 존재하면 암반은 더욱 약해지고, 파괴형태도 연성 혹은 소성적 특징을 보인다. 중간적인 경우는 지질구조적 원인에 의한 파괴와 무결암의 파괴가 결합되어 일련의 복잡한 파괴 메커니즘을 나타낸다. 얇은 층상, 습곡 또는 엽리성 암반과 같이 강도 이방성이 뚜렷한 상황에서는 좌굴(buckling)과 같은 취성 변형이 발생할 수 있다.

### 2.2 과상 취성암반의 스폴링 현상

터널 시공에서 직면하게 되는 문제들 중의 하나는 천장부와 측벽부에서 발생하는 슬래빙(slabbing) 현상 혹은 스폴링(spalling) 현상이다. 이것은 배식판 형태의 암석 슬랩이 소리를 내며 벽면으로부터 스스로 분리되는 포핑(popping) 혹은 암석 슬랩이 점진적으로 천장과 바닥으로부터 떨어져 나오는 스폴링 형태를 취할 수 있다. 극단적인 경우, 스폴링은 록버스트(rock burst)로 분류될 정도로 매우 심각할 수 있다. 이러한 모든 경우, 터널 주변 암석은 과상이고 취성인 특징을 보인다. 여기서 과상이라는 용어는 절리와 같은 불연속면이 거의 없거나, 불연속면 간격이 터널의 규모와 비슷한 경우를 의미한다.

### 2.3 절리암반에서의 붕괴 및 파괴

절리가 심하게 발달한 암반내 시공되는 터널에서는 표면붕괴(중력에 기인) 혹은 압착현상(응력에 기인)에 의해 파괴가 발생할 수 있는 경우가 있다. 이러한 유형의 현상은 주변 암반에 작용하고 있는 응력 수준이 낮고 중력에 의한 표면붕괴(ravelling)의 한 형태로 초기 파괴가 발생하는 경우와 압착이나 반팽창을 발생시킬 정도로 주변 암반에 작용하고 있는 응력수준이 높은 경우가 있다. 이러한 경우 터널의 경계면에서 미끄러지거나 낙반될 수 있는 잠재적인 썩기 또는 블록들을 확인하는 것이 중요하다.

## 2.4 연약지반에서의 과대변형

굴착에 의한 터널 주변의 변형이나 응력의 재분배는 지반조건이 불량하거나, 대심도에서의 굴착, 상대적으로 큰 터널의 직경 등에 기인하는 경우가 많다. 굴착 후 터널 단면의 축소는 이러한 변형을 잘 나타내는 요인이며, 굴착 안정성의 가장 중요한 요소이다. 또한 2%이상의 터널 내공변형률이 발생할 경우 특수한 지보설계가 필요로 하게 되며, 보다 큰 변형률이 발생할 경우 터널의 단면을 축소시켜 추가 굴착 등으로 인한 공기 지연과 공사비의 엄청난 증가를 야기하게 된다. 따라서 터널 시공 중 관찰되는 다양한 형태의 과대변형을 사전에 예측하기 위해서는 이를 적절히 파악할 수 있는 계측기법이 필요하며, 아울러 시공 중 막장관찰 등을 통하여 이러한 과대변형 특성을 예측하고 적절한 지보/보강 대책을 수립해야 터널의 붕괴를 예방할 수 있다.

## 3. 이방성 암반에서의 터널 계측 및 분석

천매암 지역 또는 층리나 벽면이 발달한 지역에서는 암반의 이방성 특성을 영향으로 인한 터널 거동을 계측하여야 한다. 그러나 재래식의 상대변위계측(Relative displacement monitoring)방법은 이방성 암반에서의 터널 거동을 계측하기가 용이하지 않다. 최근 계측 기술의 발전과 함께 절대변위계측(Absolute displacement monitoring)기법이 개발되어 유럽을 중심으로 활발히 적용되고 있으며, 90년대 중반 국내에 도입되었으나 실질적으로 절대계측이 이루어지는 경우가 많지 않다.

### 3.1 변위경향 및 영향선

터널의 천단 침하량을 같은 시간에 각기 다른 측정지점에서 측정한 변위를 하나의 선으로 연결한 것을 영향선(Deflection line)이라 정의하고, 영향선의 시작점에서 같은 거리만큼 떨어진 값들을 연결한 선을 경향선(Trend line)이라고 정의할 수 있다(그림 1). 영향선으로부터 얻어진 경향선을 토대로 외삽법에 의해 막장후방의 특정지점에서의 변위 예측도 가능하다. 하지만 외삽법에 의한 변위추정으로 막장전방의 암반의 특성에 대해서는 많은 것을 얻기가 힘들며, 서로 다른 지점에서 측정된 변위 그래프를 한 그래프 상에서 비교하기 위해서는 초기 계측값(Zero reading)이전에 발생한 선행변위에 대한 결정이 중요하다.

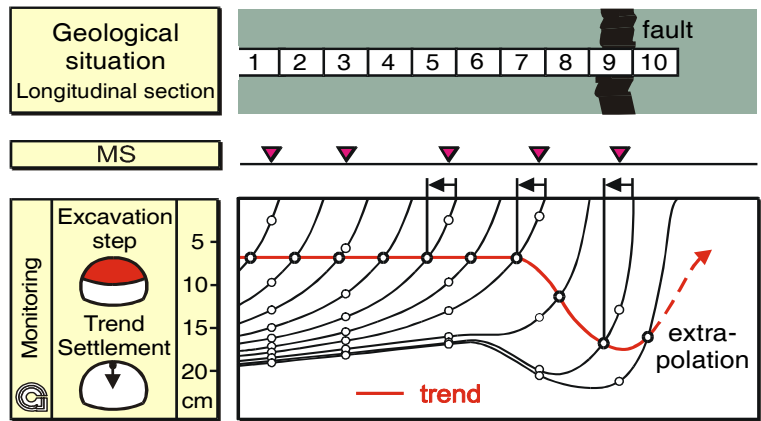


그림 1. 전형적인 연약대 통과구간에서의 영향선 및 경향선

### 3.2 터널 단면 변위 벡터

터널 단면에서의 변위 벡터는 벡터 방향성과 시간에 따른 침하, 수평변위성분 변화추이와 굴착지역 외곽에서의 연약대나 파쇄대 감지를 가능케 한다. 또한 단면상에서의 변위 벡터 방향은 터널에 근접해 있는 암반구조와 변형거동에 대한 부가적인 정보를 제공해 주고 있다. 일반적으로 단면상에서의 변위 벡터 방향성은 터널과 평행하게 있는 지질구조들의 영향을 반영하게 된다. 이러한 단면 변위 벡터는 편리나 절리, 파쇄대 등 암반 구조물의 영향을 터널 거동에 반영하고 있고, 록볼트의 간격, 방향성 등을 포함하는 지보설계에 매우 중요하게 활용될 수 있음을 알 수 있다(그림 2).

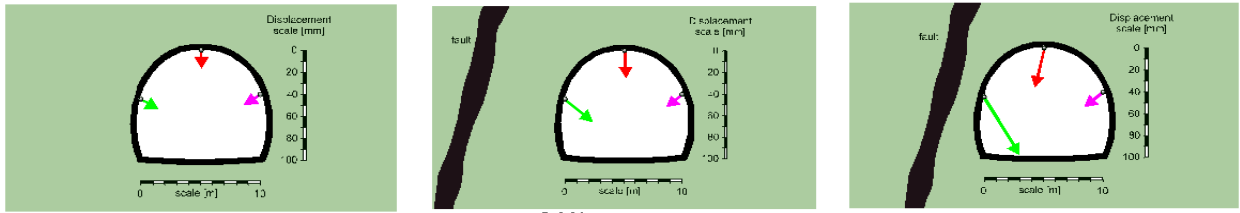


그림 2. 파쇄대에 의한 터널 단면 내공변위 경향

### 3.3 변위 벡터

천단변위, 수평내공변위 및 터널진행방향의 3방향 변위 벡터의 비는 막장전방의 암반의 상태를 나타내는 좋은 지표가 될 수 있다. 이러한 3방향 변위 벡터 비는 특히 토피고가 높고 지반의 상태가 연약한 곳에서 유용하게 이용될 수 있다. 보다 연약하거나 보다 강성이 큰 암반으로의 굴착이 진행되는 경우 이러한 변위 벡터는 암반의 강성의 변화에 앞서서 뚜렷한 경향성을 보여주게 된다. 이러한 변위 벡터의 그래프는 터널주변의 연약대를 초기에 감지할 수 있을 뿐 아니라 록볼트 등의 지보 설계에도 유용하게 이용될 수 있다(그림 3).

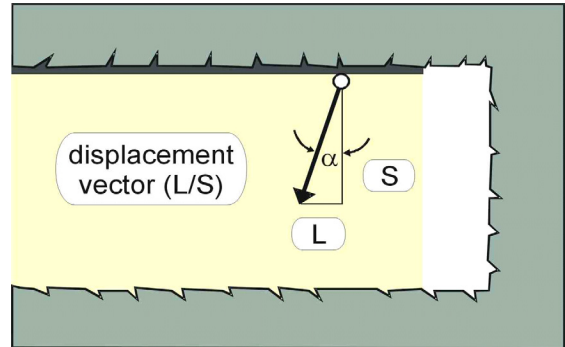


그림 3. 변위벡터방향성(L/S) 개념도

## 4. 터널 계속 사례 분석

### 4.1 오스트리아 INNTAL 터널 사례

INNTAL 터널은 1990년대 초 오스트리아 Innsbruck 인근에 건설된 복선 철도터널로서, 터널 굴착 전에 단층지역이 관찰될 경우 터널 변위에 얼마나 영향을 미치기 시작하는 지를 분명히 보여주는 사례이다. 터널은 상·하 분할굴착이 적용되었고 지보는 강지보재와 슛크리트 및 록볼트로 이루어졌다. 대상 구간의 토피는 약 300 m 정도였고, 일축압축강도가 엽리방향과 하중재하 방향과의 방향성에 따라서 약 23 MPa에서 53 MPa 정도를 보인 석영함유 천매암(Quartz Phyllite) 암반 터널이다.

그림 4는 분석 구간의 개략적인 지질도로서, 암반상태가 매우 좋은 지역(STA. 2630)에서 주 단층대로 진입하는 100 m구간에 대한 지질조건을 보여주고 있다. 이 지역에서 엽리의 방향성은 터널굴착 방향과 약 30°정도 기울어져 있으며, 주절리들은 검정 솔리드 라인이고, 단층은 점선으로 표현되었다.

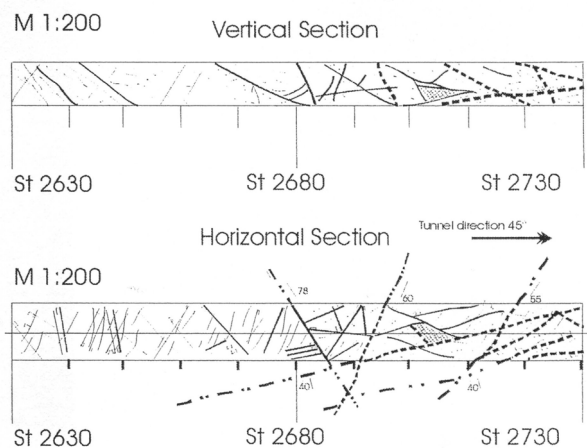


그림 4. 분석 구간에 대한 개략 지질도

STA. 2645에서의 계측결과는 그림 5(a)에 나타난 바와 같으며, 여기서 나타난 내공변위 계측결과 분석은 오스트리아 TU-Graz에서 개발한 GeoFit이라는 분석 프로그램을 사용하였다. 이 영역의 절리 밀

도는 비교적 조밀하였지만 계측된 변위에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로, 이러한 거동은 양호한 암반 조건에서 전형적인 결과를 보여주는 것으로 천정부에서는 약 77 mm 정도 그리고 양 측벽에서는 약 26 mm 정도로 대칭형으로 나타났다.

그림 5(b)에 나타난 단층/파쇄대에 진입하는 STA. 2680은 대규모 단층/파쇄대가 터널 굴진방향 오른 쪽에 위치하고 있어서 계측결과에 직접적으로 영향을 받고 있다. 이러한 단층/파쇄대의 영향으로 변위가 증가하며, 특히 단층대에 먼저 진입하게 되는 오른쪽 측벽 3번 계측점에서의 변위증가치가 매우 크게 나타났다. 또한 전방 단층/파쇄대의 영향을 직접적으로 반영하는 터널 진행방향(Longitudinal section)의 변위벡터(그림 5(b)의 오른쪽) 방향(L/S)이 매우 크게 발생함을 알 수 있다. 즉, 단층/파쇄대 진입 전에 그 영향을 직접적으로 변위 벡터 방향을 통해 사전에 예측할 수 있다.

그림 5(c)는 단층/파쇄대에 위치하는 STA. 2705지점의 변위 양상으로, 이 지점은 단층대가 굴착중심 부에 위치하고 있고, clayey cataclasite 영역이 그림 4에서 빗금 친 부분과 같이 단층대 사이에 존재하고 있다. STA. 2705 구간은 단층대에 의한 암반특성의 약화 때문에 변위가 많이 발생했던 전 구간과 비교해 볼 때 더 많은 변위가 발생하고 있음을 알 수 있으며, 변위벡터 방향은 상대적으로 단층/파쇄대 진입전의 STA. 2680 구간보다 작음을 알 수 있다.

따라서 INNTAL 터널의 경우는 지질구조에 의한 이방성의 영향을 시공 중 굴착 Scheduling과 지보 계획에 신속히 반영될 수 있어야 함을 보여주는 좋은 사례라고 할 수 있다.

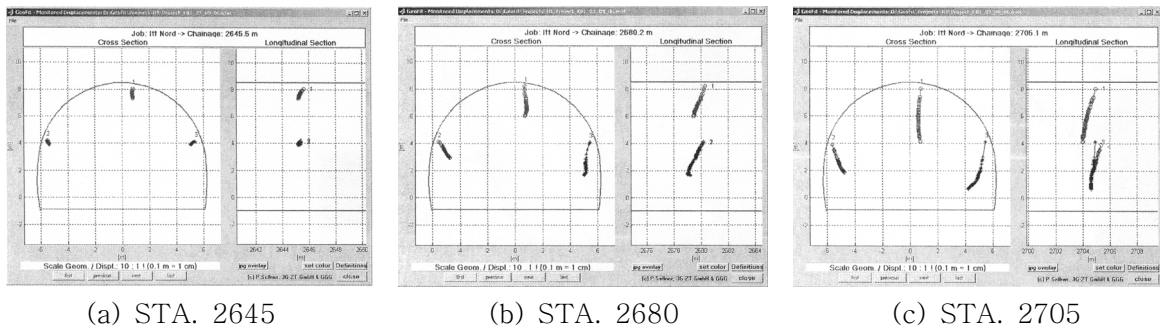


그림 5. 분석 대상 구간에서 계측된 터널 단면 내공변위

## 4.2 오스트리아 STRENGEN 터널 사례

STRENGEN 터널은 INNTAL 터널과 같이 천매암 암반조건이 매우 유사한 2차선 도로터널로서, 엽리의 경사가 약 60°~80°정도로 터널 축과 약 30°정도로 기울어진 상태로 엽리가 발달되어 있다. 이 지역의 토피고는 약 600 m 정도이고, 일축압축강도(하중재하방향과 약 15°정도의 엽리)는 약 15 MPa에서 35 MPa까지 분포하였다. 시공 중 변위가 급격히 증가하는 곳에서는 숏크리트와 지반사이의 갭(Gap) 발생을 억제하기 위해서 이방성 연성지보재(LSC: Lining Stress Controller)를 사용하였다.

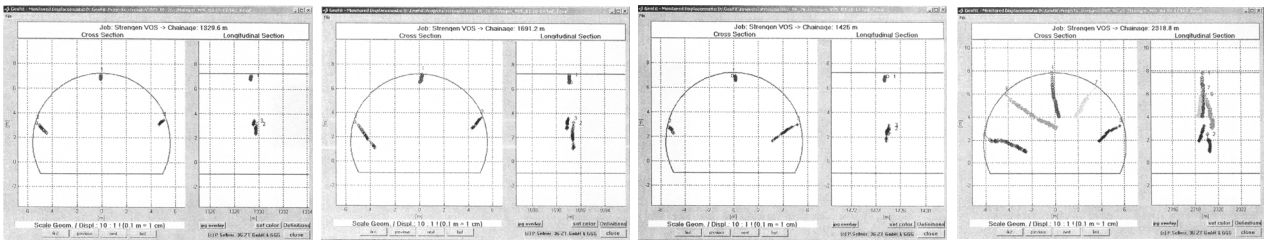
그림 6(a)는 암반의 이방성 영향을 비교적 적게 받는 구간의 내공변위 경향으로, 여러 절리들과 소규모 단층들이 터널 막장에서 관찰되었지만 이 지역에서 터널의 전체적인 시스템거동에 중요한 영향을 미치지 않았다. 터널 내공 변위량은 천정부에서는 약 30 mm 정도를 보였고, 왼쪽 측벽에서는 약 75 mm 정도를 보였다.

그림 6(b)는 그림 6(a)와 유사한 암반특성이지만 천단부에서부터 좌측벽 하단부까지 약 45°정도로 경사진 10 cm 이상의 단층 gouge 물질이 존재하여 좌측벽에서 내공 변위 수치가 급격히 높아지는 거동을 보였으며, 최대 변위량이 약 200 mm 이상이 되는 결과를 나타내었다. 천단과 우측벽에서의 변위는 각각 약 50 mm와 80 mm 정도를 보여서 단층의 이방성에 의한 영향으로 좌우측의 비대칭적인 변위거동 양상을 볼 수 있다.

또한 그림 6(c)는 두 개의 약 20 cm gouge 물질이 포함된 단층대가 평행하게 존재하는 지역으로, 두 개의 단층대 사이의 gouge 물질이 포함된 연약대 방향성의 영향으로 우측부의 변위가 상대적으로 매우

크게 발달된 형상이다. 따라서 내공 변위도 천단부에서 약 30 mm와 우측벽부에서 약 190 mm 정도를 보였다.

마지막으로 그림 6(d)는 약 30 cm의 gouge를 포함하는 평행한 단층대가 터널 천단 상부로부터 좌측 벽 하단부 방향으로 약 30°~40°정도 경사져 있고 터널진행 축과 평행하게 위치해 있으며, 굴착 진행방향 오른쪽으로 소규모의 전단대(Shear zone)가 존재하고 있는 경우이다. 따라서 터널 내공변위가 우측 전단대가 발달된 지역에서 약 200 mm 이상 그리고 단층대인 좌측부에서는 최대 약 400 mm이상의 내공변위가 발생하는 등 대규모 변위가 발생되어 슛크리트 파괴를 막기 위해서 슛크리트 라이닝과 지반사이의 겹을 채울 수 있는 연성지보재인 LSC가 도입되었다.



(a) 단층대의 영향 없음 (b) 단일 단층의 영향 (c) 단층대의 영향 (d) 주요 전단대의 영향

그림 6. STRENGEN 터널의 내공 변위 거동

### 4.3 국내 터널 사례

최근 국내에서도 터널 굴착에 의해 과대변형 및 붕괴/붕락이 발생한 사례가 종종 보고되고 있다. 그 대표적 사례로는 동해 고속도로 확장공사 OO공구 산성우~임곡간의 동해 OO터널(김대영 등, 2004), 목포~광양간 고속국도 OO터널(정재근 등, 2004) 그리고 울산~포항간 도로 OO터널 등을 들 수 있으며, 그 내용 및 보강을 실시한 대처방안을 표 2에 간단히 정리하였다. 이러한 과대변형 및 붕괴/붕락 사례 분석은 향후 시공될 터널의 거동 예측에 도움이 될 것으로 사료된다.

표 2. 국내 과대변형 및 붕괴/붕락 사례 및 대처방안

사 례	내용	
동해고속도로 OO공구 산성우~임곡간 동해 OO터널	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 층리 및 벽계면 발달</li> <li>• 파쇄대 존재</li> <li>▶ STA. 3k+ 385.31~3k+ 390.11 : 좌측벽 변위 30~50 cm</li> <li>▶ STA. 3k+ 471.1 : 좌측벽 변위 25 cm 정도 발생</li> <li>▶ 일부 구간 과대변형으로 인한 붕락 발생</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과대변형 발생 즉시 축벽부 압성토 실시</li> <li>• 강관다단그라우팅 보강 실시</li> <li>• 강지보 채설치 및 슛크리트 타설</li> </ul>	
목포~광양간 고속국도 OO터널	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변성퇴적암류, 함탄층, 소규모 단층 파쇄대 존재</li> <li>• 목포방향 STA. 1k+ 042 : 낙반 발생후 붕괴 진행</li> <li>▶ TSP탐사 및 선진수평시추조사 실시 : 주절리의 방향성(썰기형성) 및 파쇄대의 영향 규명</li> <li>• 붕락지점은 경암과 풍화암의 경계</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 경량기포콘크리트로 여굴 채움 주입 실시</li> <li>• 강관다단그라우팅 보강 실시, 보강범위 확대</li> <li>• 지보패턴 TYPE-IV로 변경</li> </ul>	

## 4.4 고찰

본 논문에서 제시한 사례는 이방성(층리, 엽리, 편리, 등) 암반이 조건에 따라 매우 다양한 변위 거동의 가능성을 보여주고 있다. 따라서 이러한 이방성 암반에서 터널을 굴착할 경우 다음의 사항을 고려하여 체계적으로 분석하고, NATM의 기본 개념에 따라 분석 결과를 바탕으로 터널 거동을 사전 예측하고 대처할 수 있도록 해야 한다.

표 3. 암반거동의 핵심인자 및 영향인자

<p>핵심인자 (key parameter)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 엽리구조와 관련된 이방성 강도 및 변형특성</li> <li>• 엽리 방향 연장성(폴딩, Foliation Orientation Persistence)</li> <li>• 단층과 절리 특성</li> <li>• 광물학적 특성(phylosilicates와 Clay 광물의 함유량 및 분포)</li> </ul>
<p>영향인자 (influencing factor)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터널 굴착 방향과 엽리구조의 상대적인 방향성</li> <li>• 단층 방향성 및 공간 특성</li> <li>• 응력 수준</li> <li>• 지하수 조건</li> <li>• 터널 굴착 규모 및 형태</li> </ul>

## 5. 결론

본 논문에서 언급한 사례 등과 같은 이방성/비균질 암반에서는 매우 다양한 변형거동을 보일 수 있으며, 이는 암반 내에 존재하는 지질학적인 요소의 공간적인 특성에 의해서 크게 좌우된다. 일반적으로 여굴 및 과대변형 그리고 붕괴/붕락 등의 암반 거동형태(Rock behavior type)는 파괴형태나 예상되는 변위량 및 변형을 등으로 세분화될 수 있으며, 이러한 관점에서 설계단계에서 터널 변위거동을 사전에 평가하고 시공 중에 터널 변위거동을 비교/분석하여 최적의 지보를 결정하고 사전에 터널 붕괴/붕락을 막아서 안전하고 경제적인 터널 건설을 이를 필요가 있다.

또한 경제적이고 안전한 터널을 위해서는 현장 조건 및 특성이 반영된 설계가 이루어져야 하고 시공 과정에서 NATM의 기본 개념에 입각하여 계측을 통한 feedback이 지속적으로 실시하여 지보 및 보강공법을 최적화하여야 한다. 이를 위하여 절대변위 계측이 필수적이며, 국내의 다양한 암반조건에서의 터널 거동 사례를 지속적으로 수집/분석할 필요가 있다고 판단된다.

## 사사

본 연구는 건설교통기술혁신사업중 산학연공동연구개발사업 및 과학기술국제화사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 김대영, 이홍성, 이영남, 2004, 옥천대에서의 터널보조보강공법의 설계와 시공, 대한토목학회 제4회 터널시공기술 향상 대토론회 논문집, pp. 213~226.
2. 김창용, 홍성완, 김광염, 백승환, 2004, 터널 내공 변위 거동 분석에 관한 연구, 한국터널공학회 학술 논문집, 터널기술, Vol. 6, No. 3, pp. 183~197.
3. 김창용, 홍성완, 배규진, 김광염, 서용석, Schubert, W., 2003, 비균질 암반에서의 터널 변위 거동 분석, 한국암반공학회 춘계학술발표회.



4. 정재근, 김오경, 이선복, 김장용, 이상돈, 2004, 고속도로 NATM 터널 붕락 복구 사례 연구, 대한토목학회 제4회 터널시공기술 향상 대토론회 논문집, pp. 151~159.
5. Button, E.A., Schubert, W. and Moritz B., 2003, The Application of Ductile Support Methods in Alpine Tunnels. ISRM 2003-Technology Roadmap for Rock Mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, 1, pp. 163~166.
6. Kim, C.Y., 2003, Investigation of fault zones on displacements, Project report at the Institute for Rock Mechanics and Tunnelling, Graz University of Technology, Austria.
7. Fejzo I., 2002, Untersuchung der GeoFit-Parameterverlaefue am Beispiel Inntaltunnel, Diplomarbeit, TU-Graz.
8. Grossauer, K., Schubert, W. and Kim, C.Y., 2003, Tunnelling in heterogeneous ground-stresses and displacements. Proceedings of the 10th ISRM Congress, South Africa.
9. Habimana, J., Labiouse, V. and Descoeudres, F., 2002, Geomechanical characterization of cataclastic rocks; experience from the Cleuson-Dixence project, Int. J. Rock Mechanics & Mining Science. 39. pp. 677~693.
10. Riedmueller, G. and Schubert, W., 1999, Critical comments on quantitative rock mass classifications, Felsbau 17(3), pp. 164-167.
11. Schubert, W., 1996, Dealing with Squeezing Conditions in Alpine Tunnels. Rock Mechanics and Rock Engineering, 29(3), pp. 145~153.
12. Schubert W. and Budil A., 1996, The Importance of Longitudinal Deformation in Tunnel Excavation, 8th International Congress on Rock Mechanics, Tokyo 1995, Vol 3, Balkema.
13. Schubert, W., Goricki, A., Button, E.A., Riedmueller, G., Poesler, P., Steindorfer, A. and Vanek, R., 2001, Excavation and support determination for the design and construction of tunnels, Proc. Eurorock A Challenge for Society, P. Saerckae and P. Eloranta (eds), Rotterdam: A.A. Balkema. pp. 383~388.
14. Schubert W, Steindorfer A. and Button E.A., 2002, Displacement Monitoring in Tunnels - an Overview, Felsbau 20, No. 2, pp. 7~15.
15. Sellner, P.J., 2000, Prediction of Displacement in Tunnelling, Doctoral Thesis, TU-Graz.
16. Steindorfer, A., 1998, Short Term Prediction of Rock Mass Behavior in Tunnelling by Advanced Analysis of Displacement Monitoring Data, Doctoral Thesis, TU-Graz.
17. Tonon F. and Amadei B., 2002, Effect of Elastic Anisotropy on Tunnel Wall Displacements Behind a Tunnel Face, Rock Mech. Rock Eng., Vol. 35, No. 3, pp. 141~160.
18. Oesterreichische Gesellschaft Fuer Geomechanik, 2001, Richtlinie fuer Geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischen Vortrieb.