

# ● ● ●

## 탄질 세일층 깎기 비탈면의 보강 설계 사례

문경선<sup>1)</sup>, 신영완<sup>2)</sup>, 김진홍<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> (주)하경엔지니어링 터널지반부 과장

<sup>2)</sup> (주)하경엔지니어링 터널지반부 이사, 토질 및 기초기술사, 공학박사

<sup>3)</sup> 흥익기술단 토질부 전문, 토질 및 기초기술사, 공학박사

### 1. 개요

최근 국가경제의 발전으로 교통량 및 물류비의 증가로 인하여, 도로, 철도 등 사회간접시설물의 지속적인 건설이 요구된다. 특히, 도로건설의 경우, 기존도로의 개량 및 신설도로의 건설은 이면도로의 접속에 의하여 국토의 균형적인 발전에 근간을 이루므로, 그 중요도가 매우 크다 하겠다.

그러나, 도로는 통행의 품질이 고려되어 직선화됨에 따라, 터널, 교량 등 구조물의 설치와 대규모 비탈면의 형성이 수반되어 진다. 비탈면의 경우, 과거로부터 오랜 기간 동안 안정화된 지반을 인위적인 경사로 굴착하여, 비탈면의 안정화를 도모하기 때문에 지형 및 지질의 특성에 많은 영향을 받는다.

특히, 본 00~00간 도로건설공사 현장과 같이 비탈면 굴착 중 하부에 공학적인 특성이 불량한 탄질 세일층이 폭넓게 분포된 경우, 비탈면의 장·단기적인 안정에 심각한 문제가 발생될 수 있을 것으로 예상됨에 따라, 현장조사 및 실내시험을 통하여 수집된 자료를 토대로 지형 및 지질특성이 반영된 비탈면의 안정화 대책수립을 위한 안정검토를 수행하였다. 또한, 대규모로 형성되는 비탈면과 보강시설물에 대한 미관을 고려하여, 자연친화적인 비탈면 및 보강시설물의 녹화대책을 제안하였다.

### 2. 지형 및 지질

본 현장은 수계가 발달되지 않은 깎기 비탈면구간이나, 상부에 묘지나 밭, 과수원 등이 형성되어 있어, 집수면적이 넓게 분포됨에 따라, 우기시, 과거로부터 붕괴가 발생된 사례가 있는 것으로 조사되었다.

비탈면 지반의 지질적인 특성은 변성퇴적암류가 대상

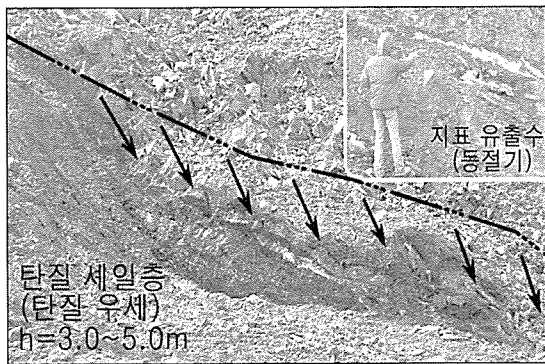
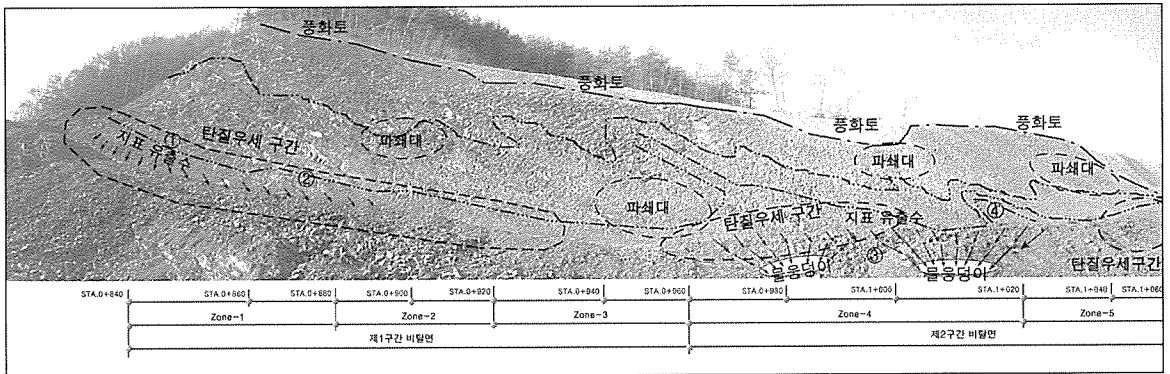
# 기술기사

으로 분포하는 옥천지향사대로서 층서 및 지질구조가 매우 복잡하다. 고생대 이후 심한 지각변동을 받아 습곡, 단층 등이 발달되어 있으며, 탄질이 함유된 셰일층과 점판암(슬레이트)이 근간을 이루고 있다.

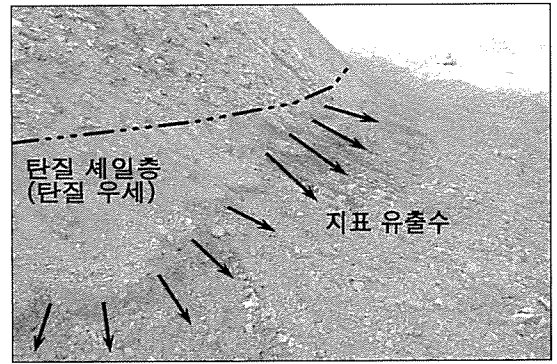
## 3. 비탈면 현황

본 현장의 비탈면은 굴착중 지속적인 풍화와 암반조건이 불량한 탄질 셰일층이 노출됨에 따라, 전반적인 비탈

표 1. 비탈면 현황



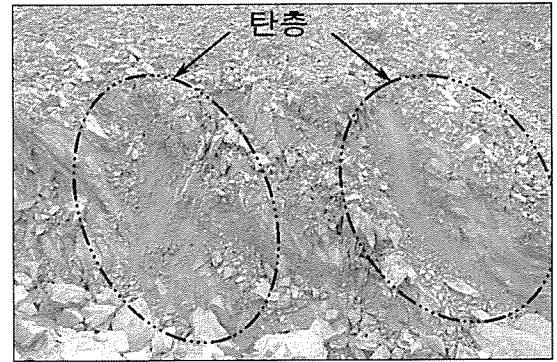
① 비탈면하부 탄질 셰일층 분포



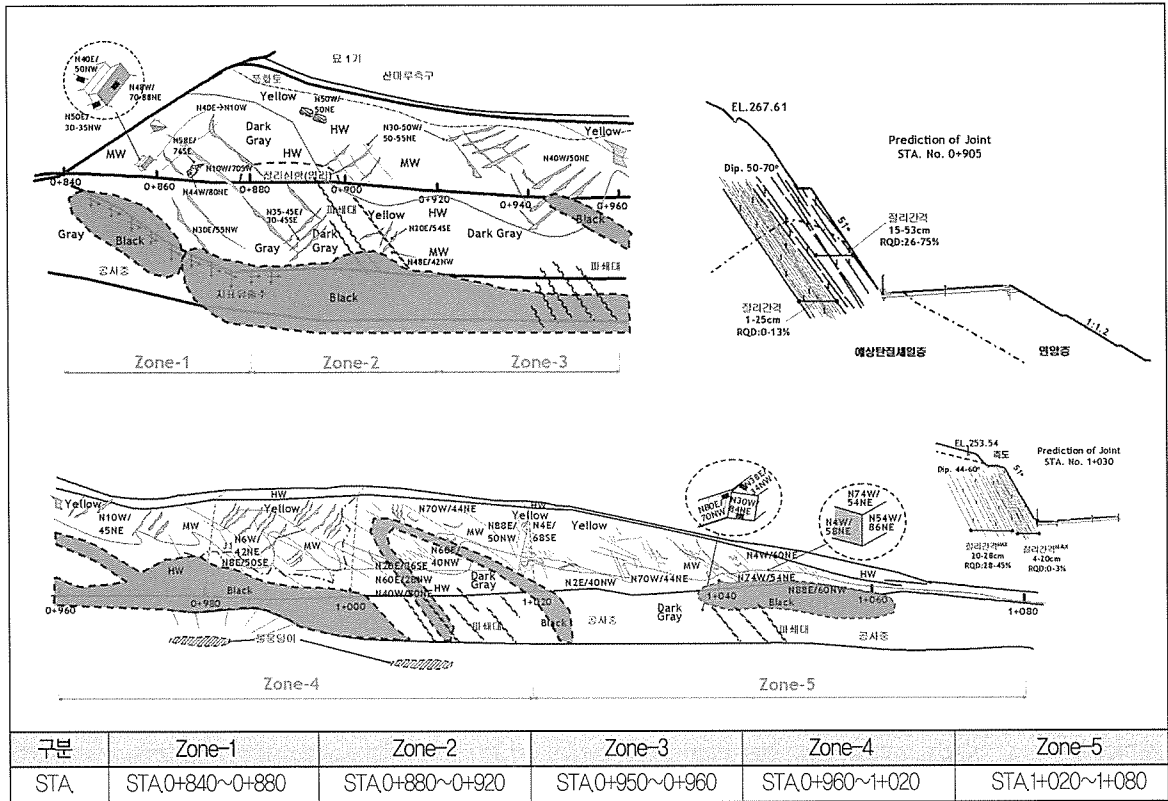
② 지표수 유출부



③ 물웅덩이 형성부



④ 셰일층내부 탄층



면 지표지질조사와 시추조사(7개소)를 수행하여, 비탈면의 풍화정도 및 탄질 셰일층의 분포상황을 파악하였다.

조사결과, 풍화작용에 의하여 비탈면 상부는 상당부분 토사화가 진행되었고 하부 암중경계부에는 변질·변색대가 존재하며, 비탈면 하부에는 연약한 탄질 셰일층이 폭 넓게 분포하고 있는 것으로 조사되었다.

수직 및 수평시추조사결과를 토대로 탄질 셰일층의 성상을 파악한 결과, 탄질 셰일층은 비탈면 배면에 대하여 하향경사를 나타내고 있었다. 또한, 비탈면의 탄질 셰일층에서는 다량의 유출수가 관찰되었으며, 비탈면 굴착에 의한 지반의 이완과 지속적인 풍화작용에 의하여 공학적 강도가 상당히 불량한 것으로 파악되었다.

#### 4. 비탈면안정성 검토

##### 4.1 비탈면의 파괴형태 검토

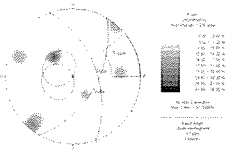
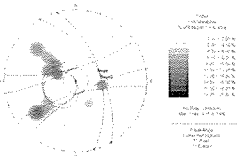
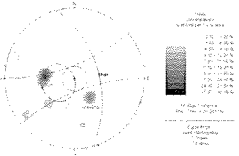
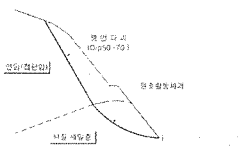
현장조사결과, 본 비탈면의 파괴형태는 비탈면 상부 기반암(점판암)의 절리특성과 하부의 탄질 셰일층의 공학적 특성에 의한 복합적인 형태가 예상됨에 따라, 평사투영해석법과 탄질 셰일층 비탈면의 파괴양상에 대한 사례를 토대로 예상되는 비탈면 파괴형태를 파악하여 안정검토에 적용하였다.

##### 4.2 예상파괴형태에 대한 안정성 검토

일반적으로 비탈면의 파괴형태와 그 규모를 예측하여, 안정성을 평가한다는 것은 상당히 어려운 일이나, 상기

# 기술 기사

표 2. 비탈면의 파괴형태 검토

구분	STA.0+840~0+890	STA.0+890~0+940	STA.0+940~1+040	예상 파괴형태(평면+원호활동)
질리특성에 의한 파괴형태				
	평면 및 국부적 전도	평면파괴	평면파괴	
탄질 세일층의 파괴형태	탄질 세일층의 촘촘한 엽리와 비탈면 굴착후, 풍화작용에 의한 낮은 침수붕괴 (slaking durability)에 의한 원호활동 파괴의 발생가능성이 큰 것으로 조사됨.			비탈면의 임반특성에 의하여 복합적인 활동 파괴가 예상됨.

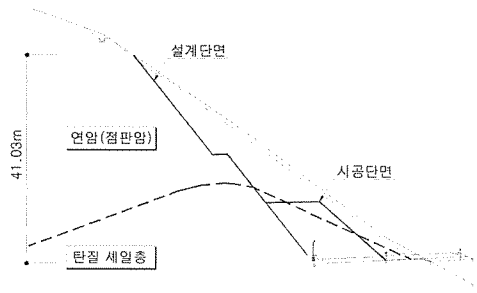
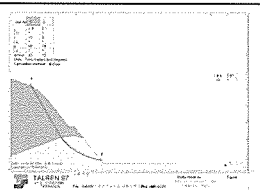
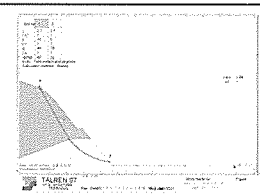
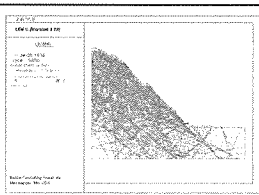
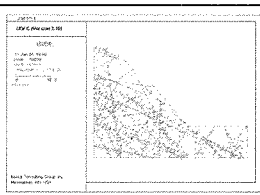
4.1에서와 같이 현장조사 및 동종지반의 비탈면 붕괴사례를 토대로 예상파괴형상을 결정한후, 비탈면 깎기고 (H=41.03m)가 높고 탄질 세일이 깊게 발달된 대표단면 (STA.0+860.00)을 선정하여, 한계평형 및 불연속체 해석을 수행하여 비탈면의 안정성을 검토하였다.

## 5. 비탈면 안정대책 검토

### 5.1 비탈면 안정대책 비교

비탈면의 안정화대책은 안전율 유지 및 안전율 증가공법으로 구분되며, 일반적으로 비탈면 붕괴가 예상 혹은

표 3. 예상파괴형태에 대한 안정성 검토

검토단면(STA.0+860.00)		비탈면 현황	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 깎기고 : 41.03m(연암: 26.00m, 탄질 세일층:15.03m)</li> <li>· 지층구성                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지각변동에 의한 영향으로 복잡한 지층분포를 나타내며, 비탈면 하부에 공학적인 강도가 불균한 탄질 세일층이 폭 넓게 분포</li> <li>- 탄질 세일층에서 다량의 지표 유출수가 관찰됨에따라, 침수붕괴 (slaking durability)의 위험성 내포</li> </ul> </li> </ul>	
한계평형 해석(TALREN 97)		불연속체 해석(UDEC ver3.10)	
건기시	우기시	변위분포도	속도분포도
			
1.41 < 1.5(N.G.)	1.06 < 1.2(N.G.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 변위발생경향으로 원호활동파괴의 가능성이 큼</li> <li>· 최대 23.8cm/sec이상의 속도성분으로 향후 변위진행 가능성이 클 것으로 판단됨</li> </ul>	

발생된 비탈면에 대하여 적극적인 비탈면 경사 완화 및 보강공법에 의한 안전을 증가공법을 적용한 후 식생 및 슛크리트공 등에 의한 안전을 유지공법을 적용한다.

따라서, 본 검토에서도 현장조건에 부합되는 대책공법을 비교하여 적절한 대책안을 결정하였다.

### 5.2 선정된 대책공법에 대한 안정성 검토

현장여건과 지반조건을 고려하여 선정된 비탈면 안정화 대책(Soil Nailig+계단식옹벽+암절개보호식생)에 대하여 안정성 검토를 수행한 결과, 비탈면의 허용안전율이

상 상회하는 것으로 나타나 보강공법에 의한 안정화 대책은 적절한 것으로 판단되었다.

### 6. 비탈면 녹화대책

일반적인 깎기 비탈면에는 지속적인 풍화에 의한 붕괴 및 붕락의 방지와 보행자 혹은 운전자의 시각적인 거부감을 감소시켜주기 위하여, 녹화대책을 수립한다. 특히, 본 대상비탈면과 같이 풍화에 의하여 공학적인 강도특성의 변화가 심한 탄질 셰일층에서는 장기적인 비탈면안전 확

표 4. 비탈면 안정대책 비교

비교안 구분	제 1안 (Soil Nailig+계단식옹벽+암절개보호식생공)	제 2안 (경사완화+계단식옹벽+암절개보호식생공)
공법개요	· Soil Nailig의 봉합작용에 의한 지반의 전단강도 증가로 비탈면의 안정도도	· 비탈면 깎기에 의한 활동력감소로 비탈면의 안정도도
개요도		
검토의견	· 대상 비탈면은 복합적인 파괴(평면+원호활동파괴)를 발생시키는 비탈면 상부의 절리군과 하부의 탄질 셰일층의 분포로, 비탈면 전반을 일체화시킬 수 있는 보강공법의 적용이 타당할 것으로 판단됨 · 또한, 지속적인 풍화와 지표유입수에 의하여 침수붕괴(slaking durability)의 위험성이 매우 큰 탄질 셰일층에 대해서는 국부적인 표면붕락과 풍화방지를 위한 계단식옹벽의 설치가 바람직함.	
적용	◎	

표 5. 선정된 대책공법에 대한 안정성 검토

보강제원	건기시	우기시	안전율
· Soil Nailing 13열 시공 · CTC : 1.9m×1.9m · 파괴유형 : 복합활동파괴 · 수평배수공에 의한 배수효과 및 계단식옹벽의 보강효과는 검토 항목에서 제외			· 건기시 : 1.58 > 1.5(O.K) · 우기시 : 1.21 > 1.2(O.K)

# 기술기사

표 6. 비탈면 녹화대책

계단식 옹벽의 녹화대책	상세 A	상세 B

보측면에서 그 중요도가 매우 높을 것으로 사료된다.

따라서, 본 검토에서도 비탈면 노출면에는 현장의 기후 조건에 적절한 암절개보호식생공을 제안하였으나, 10.0~20.0m의 높이로 설치되는 계단식옹벽에 대해서는 뚜렷한 녹화대책이 제시된 바 없어, 다음과 같이 식생이 가능한 공간적인 환경을 조성하여 친환경적인 계단식 옹벽의 녹화대책을 제시하였다.

## 7. 결론

본 대상 비탈면은 00~00간 도로건설공사 현장의 깎기 비탈면구간으로, 설계 경사에 준하여 비탈면을 절취 중 비탈면 하부에 탄질 세일층이 분포하는 것이 확인되어 안정성 검토를 수행하였다.

일정한 방향성을 나타내는 상부 연암부(점판암)의 절리

분포와 공학적인 특성이 매우 불량한 탄질 세일층의 특성을 반영한 안정성 검토를 수행하기 위하여, 현장지표지질 조사 및 시추조사를 실시하여 절리 및 탄질 세일층의 분포 상황 및 향후 거동에 따른 예상 파괴형태를 파악하였다.

검토 결과, 상부 암반의 절리특성과 탄질 세일층의 거동양상에 의하여, 복합적인 활동파괴의 가능성이 큰 것으로 파악됨에 따라(평면+원호활동파괴), 한계평형 및 불연속체 해석에 의한 검토를 통하여 안정성을 평가한 결과, 장·단기적으로 비탈면 붕괴의 가능성이 큰 것으로 검토되었다.

따라서, 적용 가능한 비탈면 안정화대책 중 현장여건 및 지반조건(탄질 세일층)을 고려하여, 비탈면의 장단기적인 안정성확보가 가능하도록 「Soil Nail+계단식옹벽+암절개보호식생공」을 제시하였다.