

# 붕괴비탈면 안정시공 사례 및 안정방안 고찰



박 흥 진

한국도로공사  
음성-제천사업단 단장



신 규 성

한국도로공사  
음성-제천사업단 공사팀장



김 중 환

한국도로공사  
음성-제천사업단 설계차장



장 혁 태

한국도로공사  
음성-제천사업단 설계과장



이 기 성

제일엔지니어링  
음성-제천사업단 감리실장  
(jhje9629@naver.com)

## 1. 서론

꺽기비탈면의 암반구간은 붕괴요인을 명확히 파악하기가 어려워 설계에서 시공까지 엄격한 시공관리가 필요하다. 붕괴요인을 간과한 시공은 비탈면활동이 발생하게 된다. 본 고에서 논의하는 꺽기비탈면의 경우도 과거 단층작용에 의해 형성된 단층대를 따라 세편화되어 암질이 불량하며, 굴착시 진동 및 지반이 완과 굴착면 노출 후 동절기 휴지기과 해빙기를 지나 는 장기간의 방치 등의 붕괴요인에 의한 암반의 결합력 약화로 인하여 수차례에 걸쳐 활동파괴가 발생하였다. 이와 같이 시공 중 비탈면에 붕괴요인(불안정요인)이 나타날 경우 정밀조사 및 안정검토가 필요하다. 이에 본 고에서 붕괴비탈면에 대한 안정시공 사례와 단계별 안정방안을 논하고자 한다.

## 2. 현황

### 2.1 공사 현황

고속국도 제40호선 충주-제천간 건설공사는 낙후된 충청내륙 북부지역의 교통여건을 개선하고, 영동고속도로에 집중되어 있는 교통량을 분산하는 동서축의 신설 노선으로써 2015년 6월말 개통을 목표로 공사추진에 박차를 가하고 있다. 검토구간은 충주-제천 23.9km 중 제2공구(L=5.82km)에 시공되는 구간으로 산악지역을 통과하며 행정구역으로는 충청북도 충주시 산척면에 위치하고, 교량 5개소(605m), 터널 3개소(3,112m), 꺽기부 7개 구간을 포함한 토공부(2,103m)가 계획·시공되었다(그림 1).

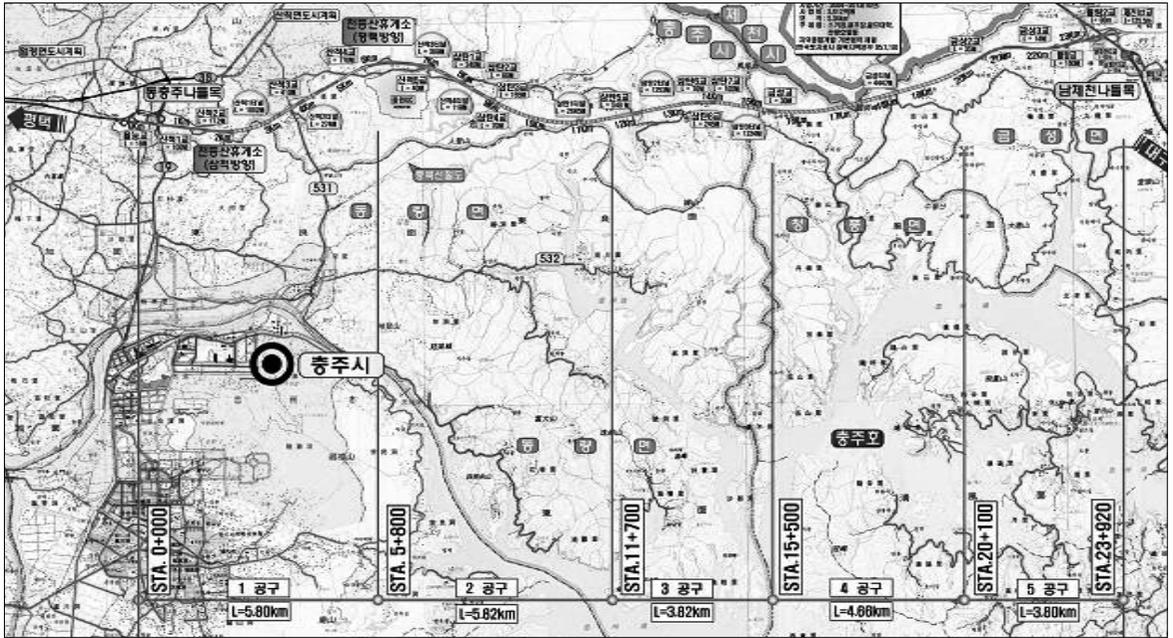


그림 1. 위치도

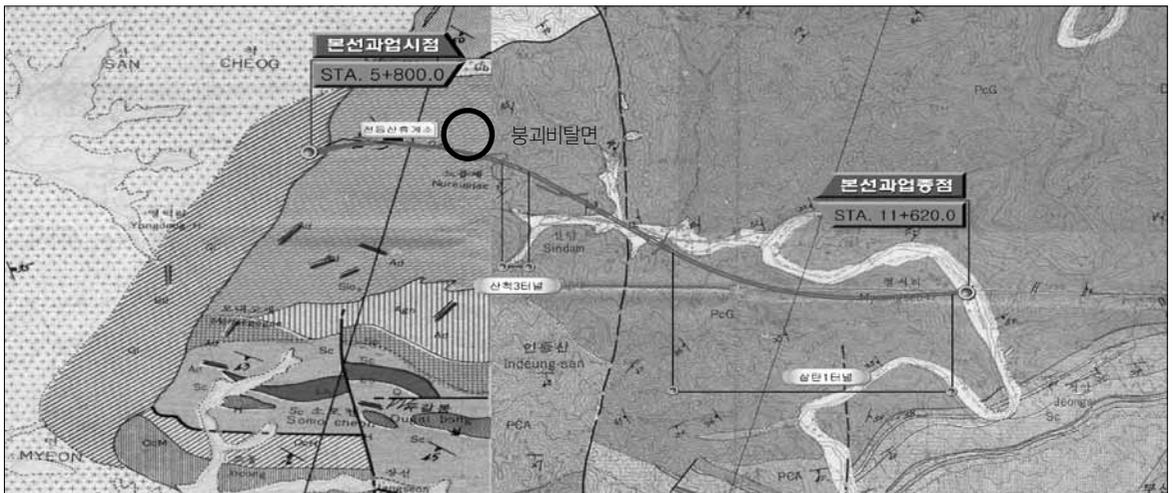


그림 2. 지질 계통도

## 2.2 지질 개요

지반조사결과와 지질계통도(그림 2)에 의하면 현장의 기반암은 선캄브리아기의 변성암류인 편마암류로

화강암질 편마암이 주기반암으로 구성되어 있으며 일부 구간에서 제4기 충적층이 피복하고 있다. 과업구간 주변에 남북방향 및 N25~35°E, N30~40°W 방향의 단층이 분포한다.

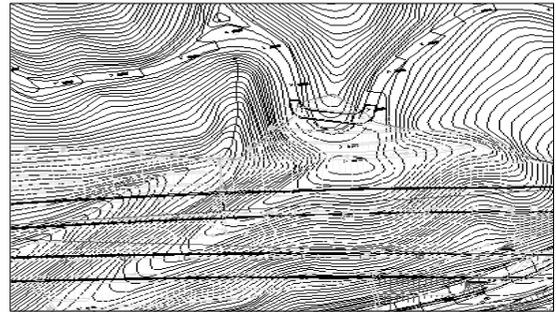


그림 3. 봉괴비탈면 개요

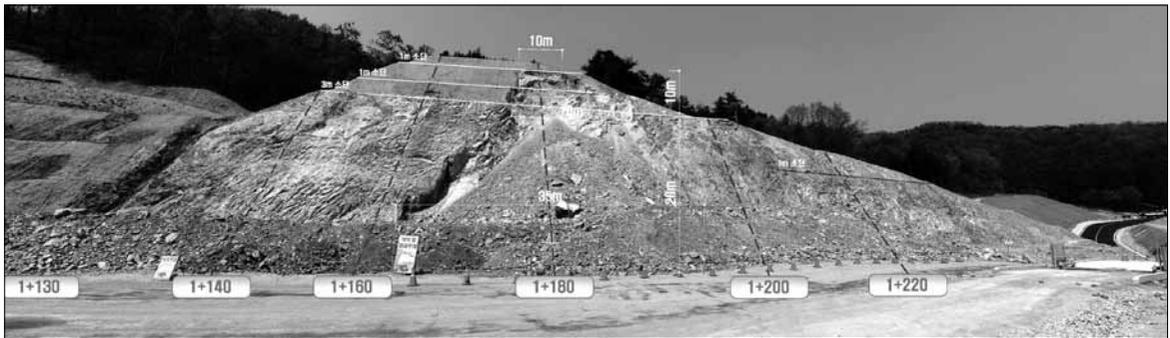


그림 4. 봉괴비탈면 현황사진

## 2.3 봉괴비탈면 현황

### 2.3.1 봉괴비탈면 개요

봉괴비탈면은 암종이 편마암류로 다수의 단층 및 단층파쇄대에 의한 절리면이 비탈면 방향에 불리하게 작용하여 봉괴가 발생되었다. 봉괴 규모는 폭40m x 높이35m이며, 파쇄대 및 단층점토층으로 구성되어 점진적으로 확산되는 봉괴(평면 & 썩기파괴)가 발생되었다. 비탈면 최상부에 약 3~4m안쪽까지 비탈면 전체를 가로지르는 인장균열이 발생되어 있고 다수의 단층 파쇄대, 파쇄절리, 20cm두께의 단층점토층, 고각의 수직절리, 인장균열들이 산재하고 있으며 봉괴비탈면 현황사진은 다음 그림 4와 같다.

### 2.3.2 봉괴비탈면 발생 경위

설계자료 및 현장조사 결과 암질이 매우 불량하고

절리 및 단층이 발달하여 해빙기 이후 급격한 풍화 진행과 암반의 결합력 약화로 인하여 봉괴 규모가 확산되는 양상으로 그림 5와 같이 진행되었다.

### 2.3.3 봉괴비탈면 조사

#### 1) 봉괴 전 조사

실시설계시 기본설계자료와 탄성파탐사로부터 지층을 선정하고 표준경사를 적용하는 비탈면을 설계하였다. 공사가 착공되어 시공 전 확인보링을 시행하였으며, 표1.시공전조사의 주상도와 같이 풍화암이 5.8~26m까지 나타나 지층이 상이함에도 불구하고 실시설계시 적용한 지층대로 시공하였고, 중간 암판정을 통해 발파암 지층을 확인하였으나 절리가 많은 발파암으로 판정하여 계속 시공을 진행하였다. 아래의 표2와 같이 토사와 풍화암의 지반고(GL)는 확인보링과 차이가 큼을 알 수 있다.

붕괴비탈면 안정시공 사례 및 안정방안 고찰

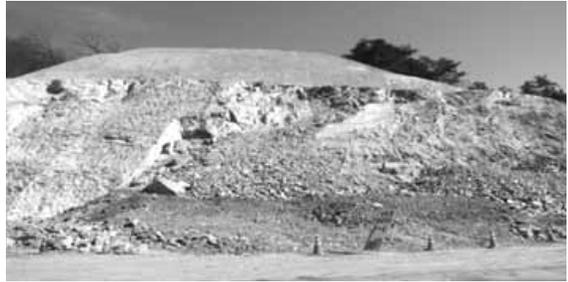
1차(2012년 10월)	2차(2013년 3월 17일)
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 썩기, 평면파괴 발생(주절리 비탈면방향)</li> <li>• 단층 점토층 및 파쇄대 나타남</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해빙에 따른 결합력 약화로 추가 붕괴</li> <li>• 풍화에 민감한 광물 차별풍화 진행</li> </ul>
3차(2013년 3월 29일)	최종(2013년 5월)
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 불량한 암질과 지하수 등 영향으로 암반 탈리</li> <li>• 파괴부 급속한 풍화 진행으로 세면화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상부 임도까지 인장균열 발생으로 붕괴면 확산</li> <li>• 깎기상단까지 썩기, 평면파괴 진행</li> </ul>

그림 5.

표 1. 시공전 조사(확인보링 SCB-7, 2009년 11월)

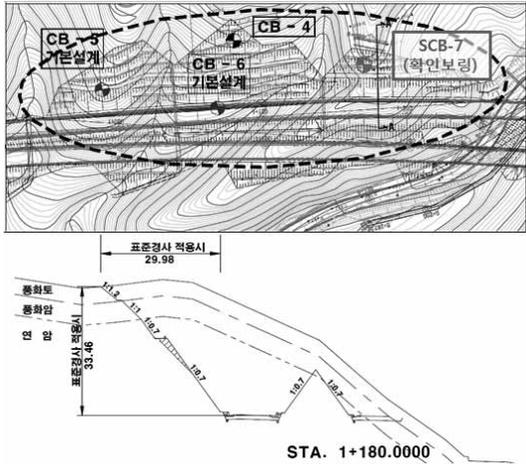
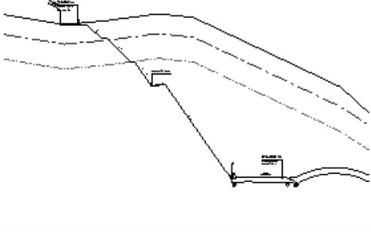
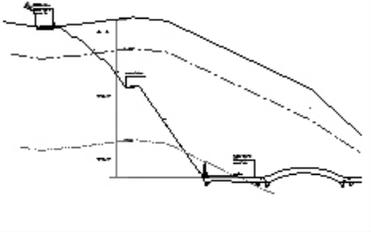
 <p>표준경사 적용시 29.96</p> <p>표준경사 적용시 33.46</p> <p>STA. 1+180.000</p>	<p>확인보링 추주상도</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table> <p>&gt; 풍화암(5.80~26.00m) - 하부기반암의 차별 풍화를 형성 - 기반암의 차별 풍화(풍화면)에 풍화된 암편 다량 협재 - 매층 발달 - 굴착시 모래질 상태로 분석 - 매우 조밀 - 회갈색</p>	구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									
구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10												
실시설계 횡단면	확인보링 결과																				

표 2. 본 과업구간 지반조사 비교 현황

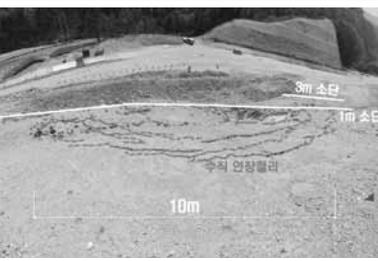
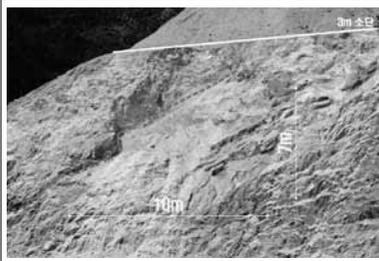
설 계(탄성파탐사, 2008년 7월)	시공전(확인보링, 2009년 11월)	시공중(중간암판정, 2012년 7월)
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토 사 : GL-3.8m</li> <li>• 풍화암 : GL-8.2m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토 사 : GL-5.8m</li> <li>• 풍화암 : GL-26.0m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토 사 : GL-3.3m</li> <li>• 풍화암 : GL-8.2m</li> </ul>

2) 붕괴 후 조사

현장 조사결과 주 기반암은 편마암이 화강암의 접촉 변성작용에 의해 형성된 것으로 판단되며 단층작용에 의해 단층대를 따라 압쇄암화된 암반으로 절리 및 단층 발달로 세편화되어 낙석이 발생되었다. 절리간격이 5~20cm 정도로 좁고 역경사로 발달한 고각의 수

직 인장절리로 인해 전도파괴가 발생하였으며 단층 및 단층파쇄대 등의 약선이 다수 존재하고 인접한 좁은 간격의 절리들과의 교차로 불안정하며, 노출된 지반의 풍화가 진행되어 장기적인 안정성이 우려되고 자체적인 안정성을 상실한 것으로 조사되었으며 붕괴 비탈면의 상세 현황은 다음 표 3과 같다.

표 3. 붕괴 비탈면 상세 현황

최상부 수직인장절리 발달	다수 단층파쇄대 & 절리교차	단층점토 충전 & 미끄러짐
		
비탈면방향 주절리, 고각절리	심한풍화(HW)-완전풍화(CW)	단층점토 암편(약1m³)
		

### 3. 붕괴비탈면 보강공법 검토

며 장기적인 안정성을 확보할 수 있는 시공방안이 필요하여 표 4와 같이 선정하였다.

#### 3.1 보강공법 검토

붕괴비탈면의 안정시공 방안으로 비탈면 상부의 임도 및 그 위쪽에 위치한 종묘를 고려해야하고 비탈면 붕괴로 인한 부석을 제거하고 임도를 존치할 수 있는

#### 3.2 안정성 검토

##### 3.2.1 깎기비탈면 설계기준(표 5)

##### 3.2.2 적용물성치(표 6)

표 4. 비탈면 보강공법 검토

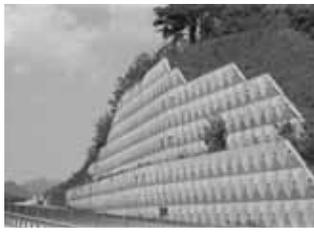
구 분	완경사지반	이완된 지반	급경사&지장물
적용공법	경사완화공법	앵커·볼트공법	옹벽형공법
개념			
	활동력 감소	저항력 증가	저항력 증가
장점	시공성 및 경제성 우수	안정성 우수	환경훼손 최소화
단점	환경훼손 과다	경제성 불량	이완된지반 적용곤란
선정(안)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 붕괴비탈면 상단(임도 상측부)에 위치한 지장물(종묘)로 인한 경사완화공법 적용 불가</li> <li>• 구성토질이 불량하고 장기적 안정성을 확보할 수 있는 앵커·볼트 공법 적용</li> </ul>		

표 5. 깎기비탈면 설계기준

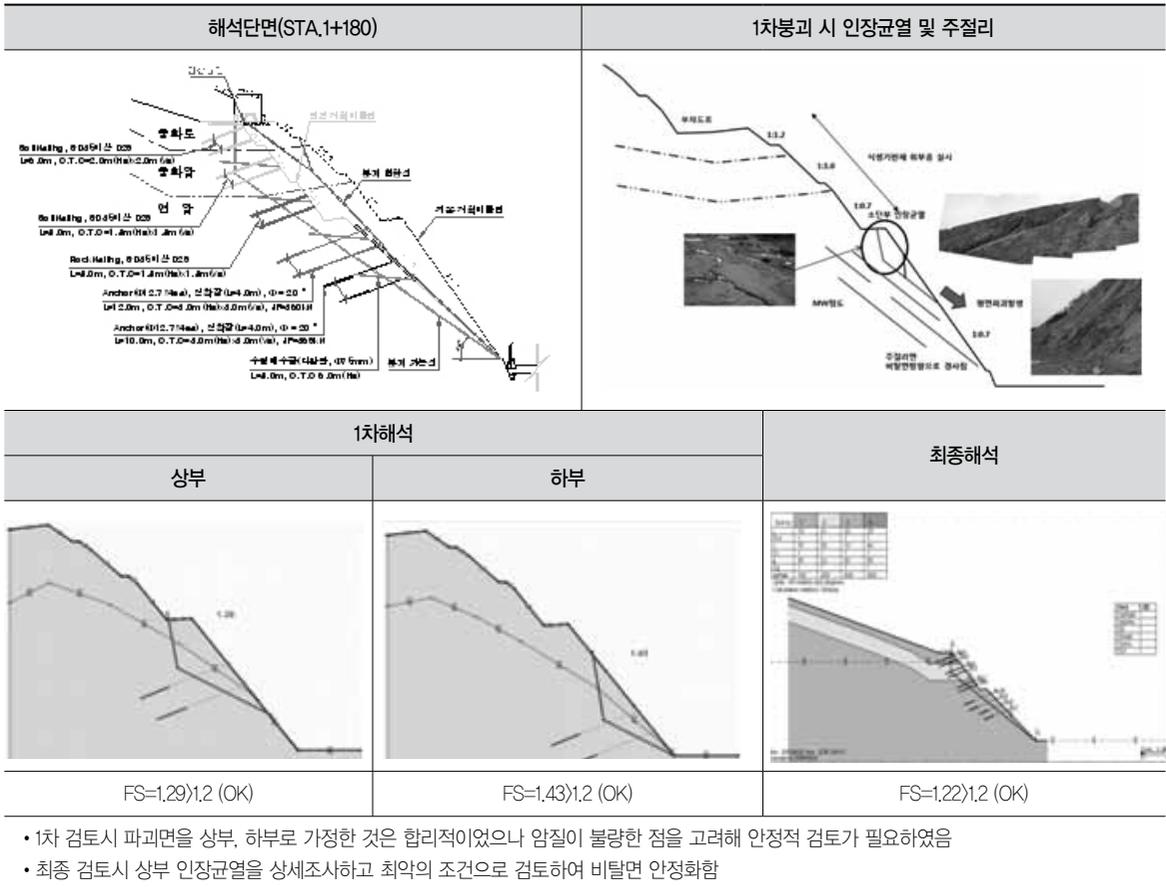
구 분	깎기높이	표준경사	소 단	해석 안전율
토사	5m 이상	1:1.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5m마다 1m</li> <li>• 20m마다 3m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건기시 <math>F_s</math> 1.5 (지하수위 미고려)</li> <li>• 우기시 <math>F_s</math> 1.2 (지하수위 지표면)</li> </ul>
	0-5m	1:1.2		
리핑암	-	1:1.0	20m마다 3m	
발파암	-	1:0.5-1.0		

표 6. 적용물성치

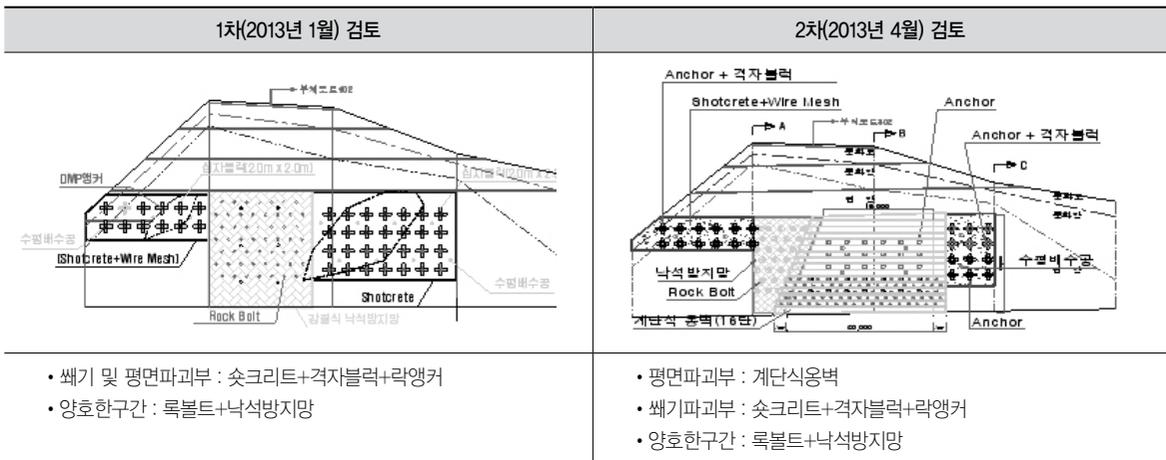
구 분	단위중량( $t/m^3$ )	내부마찰각(°)	점착력( $t/m^2$ )	비 고
토사	1.9	30	1.5	
리핑암(풍화암)	2.1	30	3.2	
발파암(연암)	2.3	33	30.0	
불연속면(파쇄연암)	2.3	30	1.0	역해석

\* 파쇄 및 풍화도가 발달되어 역해석으로 지반물성치 산정하여 적용

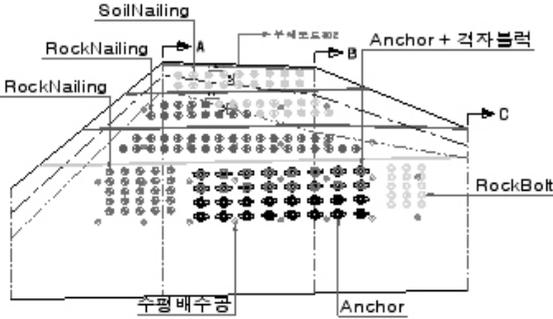
### 3.2.3 안정성 검토



### 3.2.4 비탈면 보강 검토현황



붕괴비탈면 안정시공 사례 및 안정방안 고찰

3차(2013년 6월) 검토	최종 상태 (2013년 9월)
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 평면파괴부 : 슛크리트+격자블럭+락앵커</li> <li>• 썩기파괴부 : 슛크리트+락네일</li> <li>• 양호한구간 : 토사리핑-쓰일네일, 암반-락네일</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 보강공법 시공 완료로 비탈면 안정화</li> <li>• 격자블럭 제외한 전 비탈면 식생기반재 취부</li> </ul>

4. 문제점 및 비탈면 안정성 확보방안

비탈면은 정밀조사를 하여도 지질 특성을 명확히 파악하기가 어렵고 암반내부의 불안정요인을 완벽히 제거할 수가 없으므로 설계에서 시공까지 각 단계에서

보다 엄격한 시공관리가 필요하다. 붕괴비탈면의 미흡한 점 등으로부터 다음과 같은 안정방안을 도출하였다.

4.1 미흡한 점과 문제점

구분	미흡한 점	문제점
실시설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설계노선 주변 또는 인근자료 수집 미흡</li> <li>• 비탈면 상단에 임도를 이용한 시추조사 미시행</li> <li>• 탄성파탐사로 지층 파악</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설계 시 조사 및 설계자료 시공사에 미인수인계로 검증 애로</li> </ul>
시공 전	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 확인보링 시행하고도 실시설계대로 시공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 확인 조사활동에 대한 인식 부족</li> </ul>
시공 중	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 차별풍화 및 파쇄대, 절리발달 등 불안정요소 간과하고 불안정해석 수행</li> <li>• 암판정 후 비탈면 안정검토 지연으로 붕괴</li> <li>• 1차붕괴 후 동절기로 보강 지연(추가붕괴)</li> <li>• 3월 공사 착공했으나 해빙기 결합력 약화로 보강 시기 놓쳐 붕괴 확산</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 차별풍화 및 파쇄대, 절리발달 등으로 활동파괴 발생</li> <li>• 검토주관 부서에 안정성검토 의뢰하고 있으나 전담자 부족으로 검토기간 과다</li> <li>• 안정검토 지연 및 보강지연으로 보강 시기 놓쳐 붕괴 확산</li> </ul>
시공 후	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유지관리 계획 미시행</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 계측비 미책정</li> </ul>

## 4.2 안정성 확보방안

구 분	안정성 확보방안	향후추진방안
실시설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 붕괴이력 등 특이사항 숙지하고 적극적인 조사 및 시험 시행</li> <li>• 사유지에 조사가 어려울 경우 확인보링 계획</li> <li>• 지표지질조사결과 불량한 암질의 경우 보다 안정적 공법 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실시설계 관련자로 시공사에 인계</li> <li>• 시추조사 미실시구간은 시공중 검토 및 조사 필히 시행</li> <li>• 실시설계시 경사완화공법 적극 반영</li> </ul>
시공 전	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 확인보링 적극활용, 필요 시 설계변경</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 확인 보링을 통한 보완설계 체계화</li> </ul>
시공 중	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 차별풍화 및 파쇄대, 절리발달 등 불안정요소 발견 시 정밀 조사 및 검토</li> <li>• 설계개념대로 시공, 지층선 변경 시 대책강구</li> <li>• 비탈면 보강은 적절한 시기와 시공 순서 엄수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건설공사중 안정성검토 체계 구축</li> <li>• 사업비 증액에 따른 검토 주관부서에 의뢰 기준을 마련하고 전담연구원 확보</li> </ul>
시공 후	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 붕괴 이력 등 인수 인계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 붕괴 비탈면 유지관리계획 실시</li> </ul>

## 4.3 확인조사를 활용한 안정성 확보 방안

### 4.3.1 확인보링 활용 흐름



### 4.3.2 안정성 검토

구 분		기 존	개 선	비 고
안정성 검 토	20m미만	확인조사 후 (문제발생시 추가)	확인조사 후, 깎기완료 후 등	
	20m이상		확인조사 후, 깎기 중, 깎기완료 후 등	

\* 제반조건이 실시설계와 동일할 경우 검토삭제, 현장 필요 시 안정성검토 가감하여 적용

비탈면(H=25m이상)은 설계자료 및 현장조사 결과를 바탕으로 물성치를 재산정하고 안정성 검토를 유동적으로 시행할 수 있도록 하며, 지질 및 지층조건이 실시설계와 동일할 경우에는 검토를 삭제하고, 상이할 경우 발주처와 협의 후 추가 검토하도록 한다.

## 5. 결론 및 제언

해당 붕괴 비탈면은 실시설계 시 비탈면 상부에 임도가 위치함에도 불구하고 시추조사를 시행치 않고 탄성파 탐사와 인근의 시추조사로부터 지층을 추정하여 설계가 이루어졌으며, 시공전 확인보링을 시행하고도 이를 활용하지 않은 채 공사를 추진하였다. 또한 단층대 및 절리 발달, 차별풍화 등 불안정요인이 내재된 현장에서 장기간 방치로 지반의 결합력약화에 따른 붕괴가 일어나 비탈면보강으로 안정화하였다. 해당 비탈면의 설계 및 시공의 전 과정에서 미흡한 점과 문제점을 분석하여 도출한 비탈면의 안정성 확보 방안은 다음과 같다.

- 1) 설계단계에서 붕괴이력 등 특이사항을 숙지하고 적극적인 조사 및 시험을 시행하여 지질특성을 명확히 파악한 후 안정성 검토 등 설계 시행

- 2) 시공 전 미시추 구간에 확인보링 및 필요시험을 시행하고 조사결과를 실시설계와 비교 검토하며 상이할 경우 정밀 조사 및 검토 후 조치
- 3) 시공 중 단층 파쇄대, 절리발달 구간 등 불량한 지반조건을 접하면 정밀조사 및 검토를 시행하고, 불안정 비탈면에 공법변경이 필요한 경우 불안정 요인 제거가 가능한 경사완화공법 우선 적용
- 4) 비탈면에 보강이 계획되었을 경우 부적절한 시공이 이루어지면 보강효과가 반감되어 진행성 파괴의 원인이 되므로 적절한 시기와 순서를 엄수하여 비탈면 보강 시행

## 참 고 문 헌

1. 고속국도 제40호선 충주~제천간 고속도로 건설공사(제2공구) 지반조사보고서 (2009)
2. 한국도로공사(2009), 도로 설계 요령
3. 국토해양부(2008), 비탈면 설계 기준
4. 국토해양부(2008), 국도건설공사 설계실무요령
5. 한국방재학회(2008), 시공중 비탈면 붕괴사례 분석