

## 국도 44호선 인제-양양간 수해복구공사 깎기 비탈면 설계 및 시공사례 A case study on slope restoration work in In-je to Yang-yang national roadway No.44

유재성<sup>1)</sup>, Jai-Sung Yoo, 정삼용<sup>2)</sup>, Sam-Yong Cheong, 박헌영<sup>3)</sup>, Hun-Young Park

<sup>1)</sup> (주)고려컨설턴트 대표이사, CEO, Korea Consultant Co., Ltd

<sup>2)</sup> (주)이산 부사장, 토질부, Vice-President, Geotech. Eng'g Dept., Isan Corp.

<sup>3)</sup> (주)KG엔지니어링 부사장, 지반공학부, Vice-President, Geotech. Eng'g Dept., KG Eng'g & Consultants Co., LTD

**SYNOPSIS** : Numerous landslides had occurred in Kangwondo in July 2006 and several restoration works had been done. A-day-accumulative rainfalls from July 12 to July 13 and July 15 to July 16 were 176mm and 202mm respectively. Disaster sites at which slope failures were studied to main causes of slope failures by investigating characteristics of rainfall, geological formation, topography and ground surface exploration around the boundary of landslides. In this study, a series of slope restoration work process is presented for reference which about the landsliding area in Han-Gye-Ryeong to O-Saek in Kwangwon-do where one of the most severe damaged area in 2006. The slope restoration work process includes site investigation, analysis on affected factor, restoration or reinforcing method design, construction procedure and recent status of that area. Also several considering points are suggested while design and construction for the reference at the other restoration works.

**Keywords** : Landslide, Slope failure, Slope Restoration

### 1. 서론

2006년 7월 강원도 지역에 발생한 태풍(에위니아 :7/11~12, 빌리스 : 7/14~20, 개미 : 7/26~29)과 집중강우로 인하여 산사태가 다수 발생하였으며, 많은 재산상의 피해뿐 아니라 인명 사고가 발생하였다. 특히 본 과업구간을 포함한 일부지역의 경우 집중강우(시간강우량 50~70mm, 일강우량 150~200mm)로 인하여 그 피해규모가 상당하였다.

본 논문에서는 전체 피해복구구간중 강원도 한계령정상에서 양양군 서면 00리 까지의 도로 깎기비탈면을 중심으로 집중강우로 인한 비탈면의 붕괴 양상, 피해 원인 추정 및 보강에 대한 사례를 중심으로 조사, 설계부터 시공까지의 과정을 소개 하도록 한다.

### 2. 과업의 개요

수해피해로 인한 교통불편 해소와 안전사고 방지 등을 위하여 공사기간을 최소화 할 수 있는 Fast Track방식(설계와 시공 병행)을 도입하였으며 설악산국립공원에 위치하는 지리적, 환경적 특성 등을 고려하여 관련 부서와의 긴밀한 협의 등을 거쳐 과업을 수행하였다.

표 1. 과업추진과정

기 간	개 요	비 고
2006. 7 ~ 2006. 9	1차 집중호우로 인한 전면통제 및 응급복구, 임시개통	
2006. 10 ~ 2006. 11	2차 집중호우로 인한 전면통제 및 응급복구, 임시개통	
2006. 10	실시설계 착수	
2007. 1	복구공사 착공	

### 3. 현 황

#### 3.1 강우 현황

2006년 7월에 내린 강원지역의 강우현황은 다음과 같이 일주일동안 년평균 강수량의 거의 50%가 내렸음을 알 수 있으며 최대 202mm/day, 2일 연속강우 332.5mm의 강우가 발생된 것으로 나타났다

표 2. 피해지역 일대 강우현황

구분 (관측소명)	1시간 최대(mm)		1일 최대(mm)		누적강우(mm)	
	강수량	발생일	강수량	발생일	강수량	발생일
평창군 대화면(대화 관측소)	76	7.15	261	7.16	593	7.14~7.20
횡성군 청일면(춘당 관측소)	60	7.15	286	7.15	636	7.14~7.20
인제군 남면(인제 관측소)	48	7.15	202	7.15	440	7.14~7.20

#### 3.2 지형 및 지질현황

본 역의 지형은 한반도의 중앙부로서 지형학적으로 장년기 지형에 해당하고 동쪽방향은 동해에 연하고 조사구간은 태백산맥이 위치해 험준한 지형을 이루며 영동·영서의 분수령을 이루고 설악산 대청봉(1,708m), 점봉산(1,424m), 응복산(1,359m)등이 위치하고 있으며, 동측은 표고200m 이하의 비교적 낮은 표고의 산들이 위치하고 있다.

지질현황은 중생대 대보 조산 운동시기에 한반도 옥천습곡대 전역에 걸쳐 광범위하게 관입한 한반도의 대표적인 화강암체로 구성되어 있다. 본 과업구간의 시점부는 화강암이 분포하고 있으며 종점부에만 반상변정질 편마암 및 호상편마암이 분포하고 중성암맥이 부분적으로 관입하였다.

수계로는 계곡을 따라 형성된 실천이 수지상으로 형성되어 있으며 이러한 실천이 오색천에 유입되어 남대천으로 이어지고 있다.

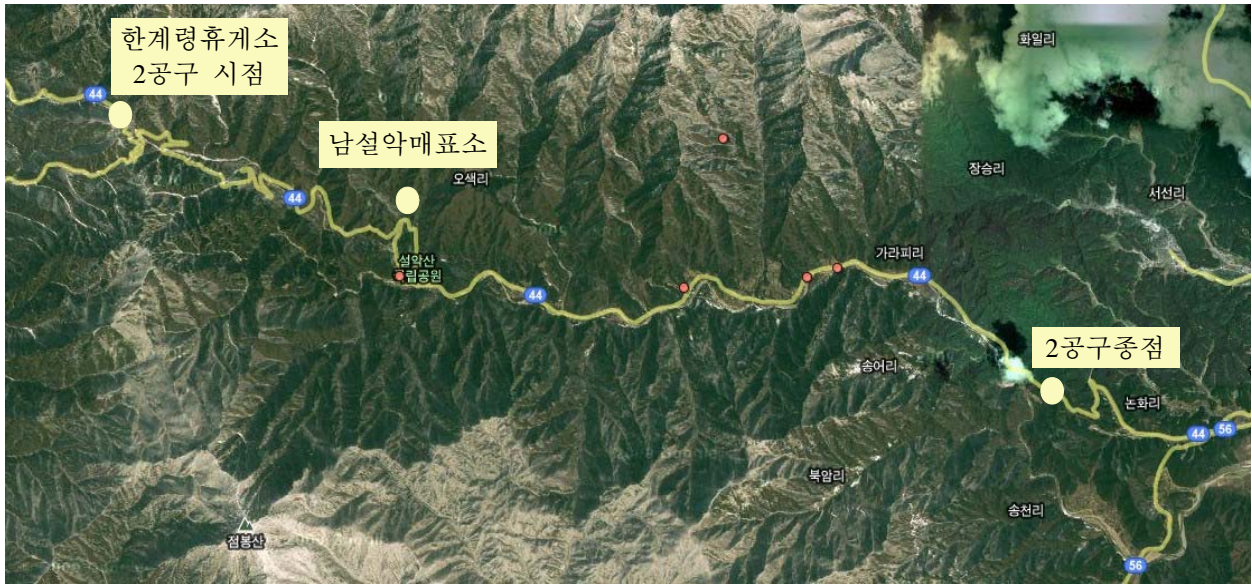


그림 1. 과업구간 위성사진 검토

### 3.3 비탈면현황

연장 17km 구간에 이르는 총 117개소의 깎기비탈면에 대하여 지표지질조사를 수행 하였으며 그중 93 개소에 대하여 비탈면 보강공법 및 보호공법 적용을 검토하였다. 비탈면 연장은 최소 10m에서 최대 155m까지, 높이는 최소 10m이하에서 최대 반무한대까지 다양하게 분포하고 있다.

표 3. 비탈면 현황조사

구 분	총조사	보강검토	비 고
개 소	117 개소	93 개소	국부적 소규모파괴(소형암 탈락 등)비탈면, 노선에서 벗어나는 비탈면 및 현장판단 및 사전안전정검토 등에 의하여 보강대책이 불필요한 비탈면은 제외

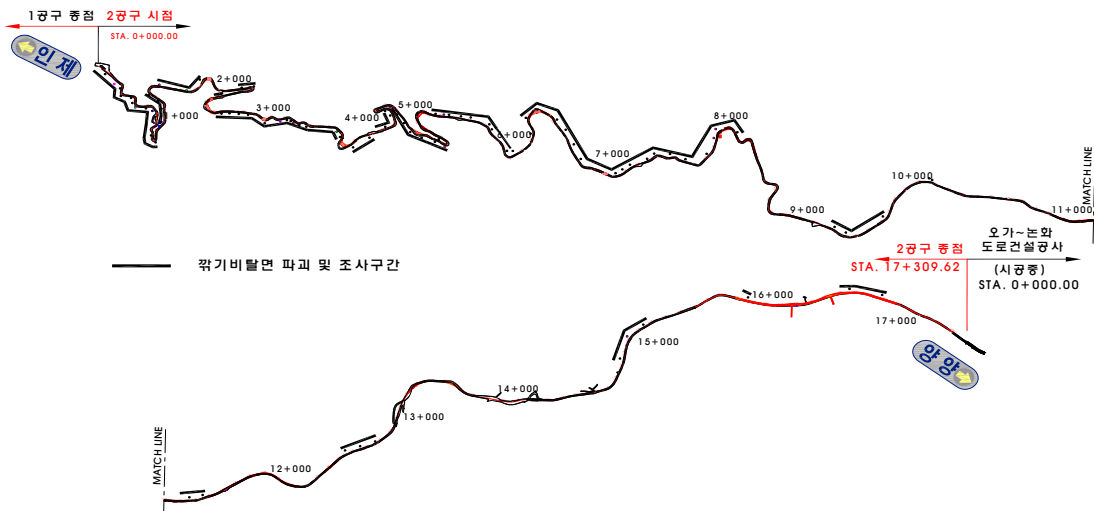


그림 2. 비탈면 현황


## 4. 비탈면 조사 및 검토

### 4.1 파괴유형 구분

꺾기비탈면에서 발생하는 파괴형태는 지반종류, 지층조건과 외부적인 유발원인에 따라 매우 다양하며, 지반종류 및 지층조건에 따른 전형적인 파괴형태는 원호파괴, 평면파괴, 유동파괴(Flow Failure) 등이 있다. 토사와 암반의 중간상태 지반조건에서는 두가지 지반조건에서 발생하는 파괴형태가 모두 발생하기도 하고 복합적으로 발생할 수도 있다.

본 과업구간내의 비탈면 조사결과를 토대로 보강대책 수립을 위해 비탈면 파괴유형을 다음과 같이 구분하였다.

표 4. 비탈면 파괴유형


구분	파괴현황	개요
낙석 (Rock Fall) 및 암비탈면파괴		풍화 및 동결융해 작용에 의해 절리틈새가 벌어지고 이 틈사이로 식생이 이루어지며 강우 시 절리틈새에 수압 등이 작용하여 표면에 붙어 있는 암괴가 붕락하는 유형
표층유실 (Surface -Sliding)		붕괴되기 이전의 표면부는 식생이 되어 있으나, 초기의 단단한 토층이 동결융해 작용에 의해 일정한 깊이만큼 느슨한 지반조건을 형성하게 되어 강우 시 느슨한 지반과 단단한 지반의 경계면을 따라 빗물이 흐르고 이로 인한 지반의 전단강도 상실로 인해 붕괴가 발생하는 유형
원호파괴 (Circular -Sliding)		굴착초기에는 자연비탈면 또는 꺾기비탈면이 비교적 단단한 토층으로 노출되나 장기적으로 동결 융해 작용 및 풍화로 인해 풍화심도가 깊어지게 되어 초기에 안정성이 확보된 구간에서 강우로 인한 자중의 증가 및 전단강도의 상실로 인해 붕괴가 발생하는 유형
토석류발생 (Debris Flow)		토석류는 물의 범람과 산사태가 결합해서 발생하는 복합적인 자연재해로 특히 장마철과 태풍이 상륙하는 시기에 주기적으로 큰 피해를 일으키고 있으며 이러한 피해는 대부분 집중호우 시 물의 흐름으로 인한 유속의 증가, 토사 등 표층의 유실 그리고 대규모 암반의 이동 현상 등에 의해 발생

## 4.2 기존 시공 보강 및 보호공법 사례조사


본 과업구간내 보강공법 및 보호공법이 시공되어 있었던 비탈면의 경우 상대적으로 피해가 미미하였던 점을 고려하여 복구공사 설계시 관련 공법을 참조하였다.

### 4.2.1 비탈면 보강 및 보호공법

표 5. 기존 비탈면 보강 및 보호공법 적용구간

구분	현황	개요
계단식 및 기대식 식용벽		<ul style="list-style-type: none"> <li>· ‘기대식식용벽(계단식식용벽) + Rock Anchor’로 보강을 실시하였으며 인접한 비탈면은 표면유실 및 소규모 파괴가 발생하였으나 보강구간은 피해 없음</li> </ul>
Rock Anchor (Rock Bolt)		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Rock Anchor(C.T.C=3mx3m)보강구간은 파괴가 발생하지 않았으나 인접하여 있는 미보강구간은 파괴발생 및 파괴정후가 관찰됨</li> </ul>
낙석방지망		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 일반 낙석방지망 구간은 비탈면 파괴 및 낙석에 의하여 낙석방지망이 손실 또는 파괴되었으나 정착형 낙석방지망 설치구간의 경우 파손 미미</li> <li>· 비탈면 자체의 파괴가 발생하지 않았으므로 낙석방지망도 파손이 없는 것으로 판단됨</li> </ul>
격자블럭		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 비탈면 표면유실에 의하여 기존 콘크리트 격자블럭이 유실되었음</li> <li>· 별도의 보강공법이 병용되어 있지 않음</li> </ul>
돌붙임		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 표면에 비교적 대규모의 돌붙임이 시공되어 있었으나 비탈면 파괴에 의하여 유실 되었으며 이는 비탈면보강효과는 없기 때문인 것으로 판단됨</li> </ul>

### 4.2.2 비탈면 유지관리

구분	현황	개요
계측관리		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 비탈면 실시간 유지관리 시스템 (특허-00대학교 지반보강기술연구소)</li> <li>· 비탈면내 자동 계측(태양광 전기 사용)</li> </ul>

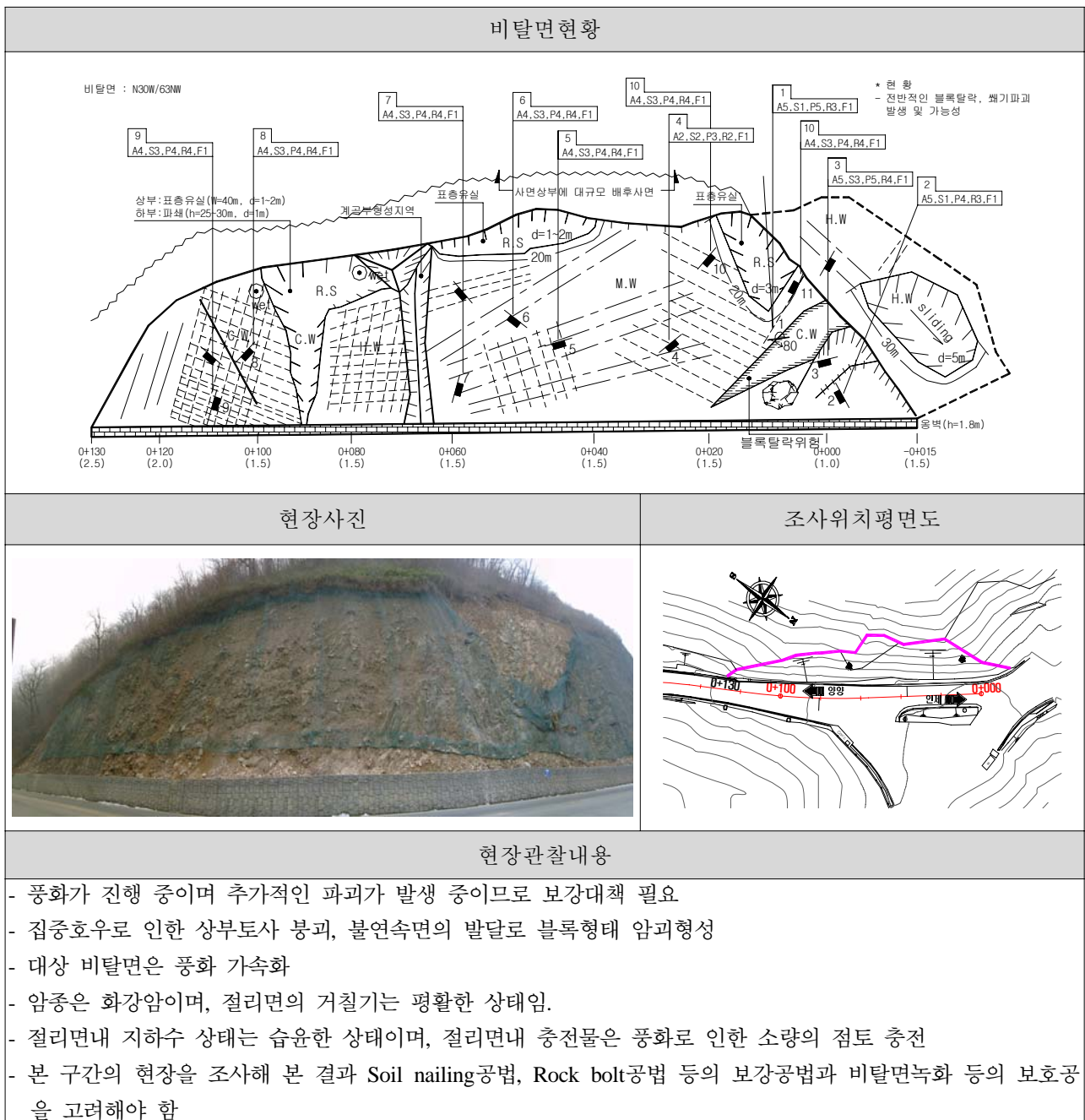
### 4.3 조사방법

비탈면 붕괴구간에 대하여 현장 지표지질조사를 수행하였으며, 육안관찰에 의해 해당 비탈면 안정성에 대한 예비평가를 수행하였다.

#### 4.3.1 지표지질조사

지표지질조사는 과업구간의 깎기 구간에 분포하는 기반암의 종류 및 분포, 물리적 특성과 암반 절리군의 방향 및 특성 등을 상세히 조사하여 설계에 반영하고자 하였으며, 기존 문헌과 자료를 검토하고 현장의 지형적 특징을 분석하여 이를 기초로 현장에서 관찰되는 암반의 특징을 기록하고 단층, 선구조, 불연속면의 특징을 다음과 같이 상세히 조사 기록하였다.

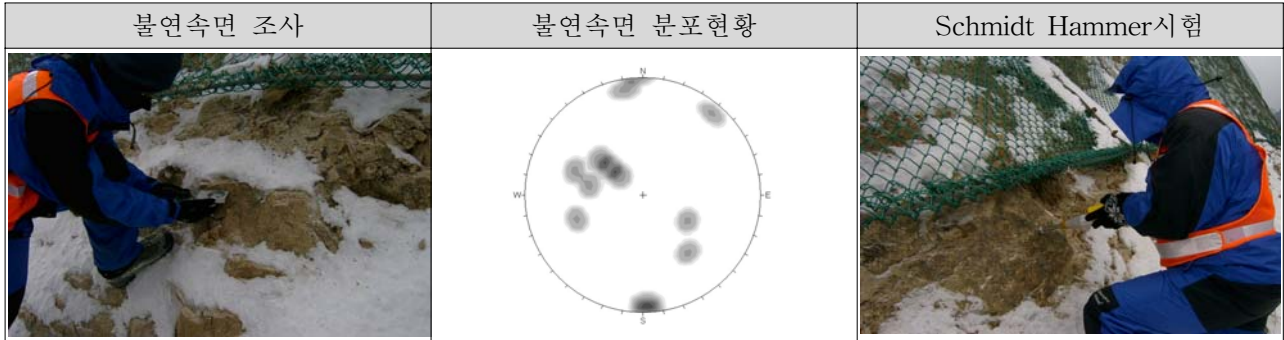
표 6. 비탈면 지표지질조사 사례(STA. 0+000 ~ 0+130)



### 4.3.2 불연속면 조사 및 Schmidt Hammer시험

지표지질조사시 상기조사와 더불어 암반비탈면일 경우 해당 비탈면에 대하여 주향, 경사 및 절리 특성 등에 대하여 불연속면 조사를 수행하였으며 Schmidt Hammer시험을 통한 일축압축강도를 측정으로 해당 기반암의 제반자료로 이용하였다.

표 7. 불연속면 조사 및 Schmidt Hammer시험



## 4.4 안정성 평가

### 4.4.1 예비평가

비탈면 붕괴구간에 대하여 비탈면 안정해석 시행전에 현장 육안관찰에 의해 비탈면 안정성에 대한 예비 평가를 시행하였다. 본 예비평가에서는 국립방재연구소 비탈면 평가표를 이용하여 수행하였으며, 토사 및 암반비탈면으로 구분하였다.

표 8. 비탈면 평가기준 내용

구분	평가항목								
토사	비탈면 경사	강우강도 (mm/일)	표면 보호공	침투수	배수상태	흙의분류	연경도	-	-
암반						풍화상태	절리방향	절리간격	Seam층

### 4.4.2 본평가

예비평가결과 불안정한 것으로 판단되는 비탈면에 대하여 본 안정성 평가를 다음과 같은 절차에 의해 수행하였다.

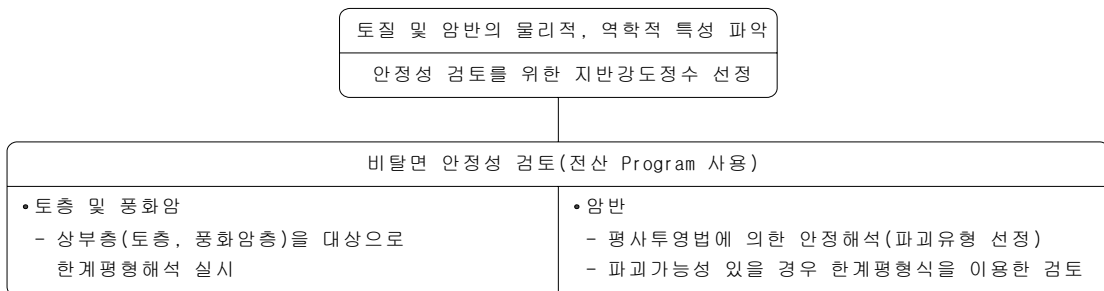


그림 3. 비탈면 안정성평가 절차

## 5. 비탈면 피해유형별 보강대책




현장 지표지질조사 자료, 비탈면안정성 예비평가 및 안정성 검토 결과를 토대로 대책 방안이 필요한 구간과 존치하여도 무방한 비탈면을 분류한 후 각각의 붕괴 특성을 고려한 보강 대책을 다음과 같은 기본원칙하에 수립하였다.

- 국립공원에 해당하는 비탈면의 추가깎기 및 기존 수목 피해 최소화로 원 지형 유지하도록 계획
- 현 노선은 왕복 2차선으로 재해발생시 통행 불편 및 인명 재산피해가 발생하므로 파괴발생 비탈면 내 보강 영역을 적정하게 확대
- 비탈면안정해석 결과 및 현장지표지질조사, 비탈면조사결과표 등을 이용한 합리적인 보강공법 및 규모, 제원 산정
- 대부분의 파괴가 집중호우시 발생한 점을 고려하여 배수대책 수립
- 현지 자생식물을 이용한 보호공법 선정

### 5.1 비탈면 보강공법

비탈면 보강대책공법 적용 검토시 기존노선의 선형변경의 어려움, 국립공원관리지역 등의 지역적 특수성 등을 고려하여 현장 지표지질조사 결과 및 각종 문헌, 시공사례 등을 참조하여 다음과 같은 공법을 검토하였다.

표 9. 비탈면 보강공법







구 분	적용 구간	적용 사유
Soil Nailing (15개소)		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지반의 자체강도가 낮거나 이미 이완되어 전단 강도 증가가 필요한 토사비탈면</li> <li>· 단층대와 절리 및 균열이 심하게 발달한 파쇄대 및 점착력이 거의 없는 사질토, 풍화가 심하게 발달한 지반</li> <li>· 켜기형, 가압형 등 지층특성에 따라 선별 적용</li> </ul>
Rock Anchor (25개소)		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 암반의 상태는 양호하나 비탈면의 절리가 발달하여 지반변위가 상대적으로 클 것으로 판단되는 비교적 대규모의 불연속면이 분포하는 암반비탈면</li> <li>· 구간내 동종 공법으로 보강되어 있는 기존 비탈면의 경우 파괴가 발생하지 않음</li> </ul>
Rock Bolt (23개소)		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 균열 및 절리가 심한 부분 또는 소규모 낙석위험이 있는 대상구간의 부분적 보강</li> <li>· 예상활동면의 심도가 깊지 않거나 낙반이 예상되는 암반 비탈면</li> </ul>



## 5.2 비탈면 보호공법

본 과업구간은 설악산 국립공원내에 위치하고 있어, 비탈면 상태를 유지하며 비탈면의 복구를 시행할 수 있는 보호공법 적용이 필요하므로 비탈면의 형상, 지층 종류, 지반현황, 식생형태 등을 감안하여 다음과 같은 보호공법을 선정하였다.

표 10. 비탈면 보호공법

구 분	보강예정구간	적용구간 및 사유
계단식, 기대기식옹벽 (13개소)		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자중에 의한 중력식 옹벽 개념으로 활동방지를 위한 보조 보강공법과 더불어 상대적으로 규모가 큰 경우 '계단식 옹벽(무근)', 규모가 작으며 노선과 인접하여 공간 확보가 어려운 경우 '기대기식 옹벽(암비탈면과 일체화 합벽식 옹벽 개념(철근))' 적용 - 전면부 보호경관조치 적용</li> </ul>
섬유대거푸집 격자블럭 (15개소)		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 콘크리트 기둥으로 표면 침식 방지하며 지형 특성에 대한 적용 우수</li> <li>· 섬유대거푸집으로 식생전에도 표토 유실방지, 식생후 자연경관과의 조화</li> <li>· 비교적 경사가 급한 파괴발생 구간 표면 보호 및 녹화용</li> </ul>
수평배수공 (76개소)		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국립공원 특성상 지표수를 배제 할 수 있는 '산마루 측구' 등의 시공이 불가능한 상태로서 비탈면에 유입된 지표수 또는 지하수를 배제하기 위하여 적용</li> <li>· 침수성의 극대화 및 반영구적 측면에서 S형 다발관 적용</li> </ul>
돌붙임 (36개소)		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 파괴가 발생한 토사비탈면 구간으로 외력이 작은 경우</li> <li>· 현장암을 사용하여 경제적이며 비탈면 추가 침식, 사태 방지 효과</li> <li>· 파괴발생보다는 표토 유실에 가까운 구간내 표면보호 효과 기대</li> </ul>
비탈면녹화공 (22개소)		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 공사비 저렴하며 자유로운 종자선택 가능</li> <li>· 깎기가 이루어지는 비탈면 및 기존 비탈면 표면 보호 목적</li> <li>· 구간별 특성을 고려한 비탈면 녹화공법 선정</li> </ul>
링네트토석류 방호책 (3개소) 및 낙석방지망 (39개소)		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 계곡부 대규모 토석류 발생 가능지점에 링네트 토석류 방호책 설치</li> <li>· 비탈면에서의 낙석에 의한 도로 파손방지 및 인명, 차량 보호 목적으로 낙석방지망 설치</li> <li>· 기존 설치구간 및 추가 설치 필요구간</li> </ul>

## 6. 시 공

비탈면공법 설계를 토대로 시공이 이루어졌으며 시공시 다음과 같은 제약이 발생하였다.

- 도로통행을 방해하지 않는 범위내에서의 시공
- 산마루 측구설치 제한 등 국립공원특성에 맞는 환경훼손 제약
- 일반적인 보강공법인 Top-Down방식이 아닌 기존 비탈면 보강을 위한 크레인 등의 작업공간 확보

비탈면 보강대책으로 선정된 공법중 일부 공법의 시공현황은 다음과 같다.

### 6.1 비탈면 보강공

표 11. Soil Nailing 시공사례

시공중(천공)	시공중(Nail 조립)
	
시공후	공사개요
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Top-Down방식이 아닌 기존 붕괴비탈면을 보강하는 형식으로 대형크레인을 사용하여 Nailng설치작업 수행</li> <li>• 일부구간에 가설방호벽 설치 및 시공중 차량진행 유도원 배치</li> <li>• 비탈면 지층 특성을 검토하여 구간별로 적용성 및 보강능력이 우수한 Soil Nailing보강공법 선정</li> <li>• 원칙적으로 수평배수공을 설치하여 비탈면내유수의 배수유도</li> </ul>

### 6.2 비탈면 보호공

지역적 특성상 기대기식옹벽, 계단식옹벽 등의 콘크리트 구조물 설치를 최소화하도록 하였으며 부득이하게 설치하여야 하는 경우 콘크리트 구조물 노출면의 경관 보호용으로 전면부에 '통나무 붙임'을 적용하였다.

표 12. 계단식옹벽


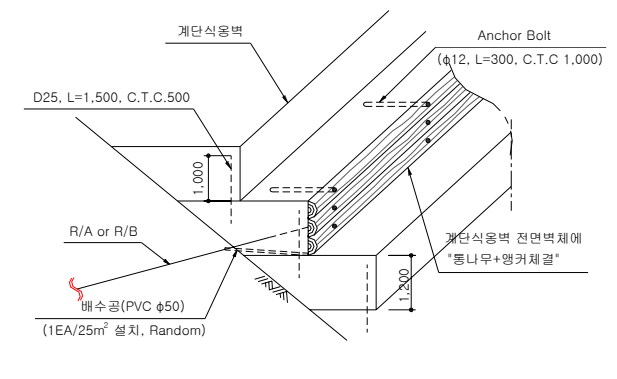
시공사진	개념도
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비탈면 안정을 위하여 Rock Anchor시공</li> <li>• 비탈면 풍화진행 억제 및 추가표면유실을 방지하기 위하여 계단식옹벽 설치</li> <li>• 표면 통나무붙임 형상은 구간별로 다양하게 적용</li> </ul>	

표 13. 두꺼운 식생기반재 취부공

시공전	시공중
	
시공 후(1년후)	공사개요
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사질토 및 현장발생토와 연속장섬유를 제트수와 함께 분사, 혼합시켜 지오향이버 기초공, 연속장섬유 보강토공, 녹화공 등 3개의 공종이 복합</li> <li>• 토사 및 암반비탈면의 안정화와 생태복원을 동시에 달성하는 공법으로 유실된 비탈면에 적용성 우수함</li> <li>• 비탈면 원지형 복원 및 조기녹화 가능</li> <li>• 구간별로 비탈면 파괴정도를 고려한 녹화공법 선정</li> </ul>

표 14. 링네트 토석류 방호책

시공전	시공후
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 계곡부 대규모 토석류가 발생하는 경우 낙석운동에너지를 흡수하는 유연성의 원리를 이용한 공법</li> <li>· 일정크기 이상의 토석류를 막고 유수는 통과시키는 개념</li> </ul>	

## 7. 결론 및 제언

2006년 강원산간 지역에 발생한 집중호우에 의한 피해의 특징은 급변한 기상현황과 해당지역의 지형, 지질학적 특성 및 국립공원지역으로서의 인공적인 보강공법 적용 제한 등으로 인하여 그 피해가 막대하였다.

본 발표에서는 강원도 한계령에서 양양군 서면 논화리(연장 17.309km)까지의 인제~양양 수해복구공사(2구간)중, 깎기비탈면 조사에서 보강까지의 설계 및 시공사례를 소개 하였으며 이에 대한 결과를 정리 하면 다음과 같다.

- 1) 본 구간은 국립공원인 설악산에 위치하고 있어 일반적인 비탈면 보강설계와 달리 보강공법의 선정 시 많은 어려움이 있었으며, 특히 피해가 발생한 지역의 깎기 비탈면 추가절취, 콘크리트보강공법의 적용, 산마루측구 등 배수시설 설치에 제약이 있었을 뿐 아니라 녹색종자의 선택 등에 국립공원, 거주민 및 환경단체 등과의 협의과정이 필요하였다.
- 2) 본 도로는 군사용 도로로 설치/운영되고 있다가 건설교통부로 이관된 도로이므로 도로상태가 설계/시공기준과 많은 차이가 있었으며 비탈면유실 방지에 중요한 역할을 하는 산마루 측구, 중앙도수로, 소단 및 소단내 수로가 거의 없어 산비탈 노면수가 비탈면으로 유입되는 경우가 대부분 이었다.
- 3) 붕괴발생 구간을 유형별로 분류하고 해당 구간에 적합한 비탈면 보호 및 보강 공법을 적용하여 안정성을 증대시키는 공법을 적용하였다.
- 4) 공사중 전면 교통차단이 불가하였으므로 시공시 작업자, 통행차량에 대한 안전확보가 필수적이었으며, 이를 고려한 공정계획을 수립하였다.

본 사례는 국내에서 Fast Track 방식의 대규모 복구공사 사례가 될 수 있을 것으로 판단되며, 본 논문은 국토해양부 원주지방국토관리청의 자료를 인용한 것임을 밝혀둔다.

## 참고문헌

1. 송평현외 3인(2004, 11.) “강우와 지하수위 영향에 대한 사면안정해석 적용 문제점 고찰(1)” (사)한국토질 및 기초기술사회 가을학술발표회, pp 471 ~ 480
2. 원주지방국토관리청(2006), 강원도 인제 양양지역 도로 피해 현황 조사 및 대책방안
3. 신동오외 5인(2006)“2006년 강원산간지역의 집중호우로 인한 비탈면붕괴 사례 연구”
4. 최승일 외 4인(2007), 토석류 방호시스템 설계를 위한 현장조사방법에 대한 연구, 한국지반공학회, 사면안정학술발표회