

7.6 비탈면 안정해석 및 검토

7.6.1 개요

가. 깎기구간

본 지역에서의 깎기비탈면 안정해석은 깎기구간 중 깎기 높이가 가장 높은 지역을 기준으로 비탈면 현황을 고려하여 대표단면 선정 후 토사지반 및 암반층에 대해 실시하였고, 지표지질조사 결과 및 시추조사 결과를 종합 분석하여 토사 및 암반층에 널리 적용하고 있는 한계평형해석 및 평사투영법을 이용하여 종합적으로 검토가 이루어졌다. 깎기비탈면 해석을 실시함에 있어 경제적이고 안전한 비탈면경사의 선정을 위하여 다음과 같이 적용하여 검토하였다.

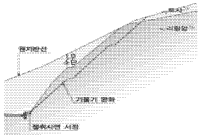
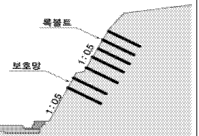
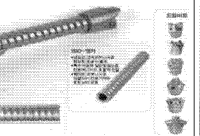
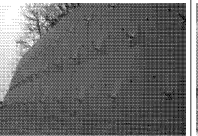
- 비탈면 안정해석시 일반적으로 기준 안전율을 건기시 1.5 이상, 우기시 1.2 이상으로 적용하였다.
- 구간 내 시추조사 결과에 의한 지층 층후의 종합적용 및 지표지질 조사시 현장 확인된 암반 노출면 등을 종합하여 지층경계선을 설정하였다.
- 결과를 근거로 암반파쇄 상태에 의한 깎기 경사는 암석별 깎기 적정경사를 기준으로 암반비탈면 경사를 결정하였다.
- 수집된 지표지질조사 결과를 이용하여 평사투영법으로 불연속면의 주향 및 경사방향을 구간별 투영으로 파괴양상을 예측하였다.
- 암반비탈면 경사에 따라 상부층의 토사비탈면 안정성 검토는 Talren 97 Program을 이용하여 원호활동 파괴로 검토함을 원칙으로 하였다. $RQD = 0 \sim 10\%$ 의 암석은 연암이라 하더라도 암반이 큰 COBBLE 상태에서 거동하는 것으로 사료되므로 풍화암과 같은 특성으로 고려될 수 있다. 이와 같은 경우 암반은 절리면을 따라 파괴하기 보다는 원호활동 파괴의 경향을 보이므로 풍화암과 토사층을 포함하여 검토하였다.

나. 쌓기구간

본 쌓기구간은 산지지형 말단부의 편측쌓기와 곡간형태의 충적층 지역에 대한 쌓기로서 전담토로 형성된 구간을 경유하고 있으며 원지반의 지층분포 상황, 특성파악 및 연약지반 출현 여부를 확인하기 위하여 Hand Auger Boring을 실시하였다. 쌓기 비탈면의 파괴형태는 원호활동 파괴로 해석하였으며, 강도정수는 쌓기지역의 지반강도정수 선정에 의거 지층별로 적용하였다. 쌓기 비탈면 해석을 실시함에 있어 차량하중의 고려와 우기시를 고려하여 지표면에 지하수위가 형성된 것으로 가정하여 해석하였다.

7.6.2 비탈면 보강공법

본 과업에서 비탈면 보강공법은 지형 및 지반조건, 토공계획을 고려한 경제성 측면과 환경성 측면 등 다양한 조건에 부합하는 최적의 공법을 선정하여 적용하였다.

구 분	일반토사 및 풍화암 구간		암반 구간	봉적층 구간	무한 비탈면 발생 구간 프리카스트케널 보강제 공법	
	기술기 완화 공법	중력식 Soil Nailing	Rock Bolt	자천공 Soil Nailing	토사구간	암반구간
공 법 개 요	표준기술기 적용시 비탈면 안정 확보가 곤란하여 기술기를 완화 하므로써 비탈면에 발생하는 전단응력을 감소시켜 안정성을 확보하는 공법	보강재를 프리스트레싱 없이 원지반에 삽입하여 지반에 일체화시켜 활동토압에 저항하여 사면의 안정성을 확보하고 변위를 억제하는 Top Down 방식의 절토면 보강 공법	층리나 질리가 있는 암반에서 고강도 강재를 보강재로하여 시추공내에 삽입하고 그라우팅함으로써 사면을 안정시키는 공법으로 이원암반과 모암의 일체화를 목적으로 혹은 불연속면을 경계로 하는 여러층을 일체화하기 위한 목적으로 사용한다.	공법의 원리는 Soil Nailing과 동일, 나사식 증공관으로 된 Nail체와 드릴 비트를 일체화 하여 천공과 동시에 Nail을 삽입하고 그라우팅 하는 공법	원지반에 보강제(영구앵커)를 설치한 후 전면판인 PC Panel에 Pre-stress를 가하여 전단저항력을 증가시키는 주동보강공법으로, Top Down 및 Bottom-Up이 모두 가능한 공법	보강제(강관, 어스볼트)를 활용하여 원지반 및 전면 PC panel 뒤채움부 공간의 강도를 증대시켜 보강제와 PC패널이 지반과의 완전한 밀착을 이루어 중력을 설치하는 공법
개요도						
장·단점	• 비탈면 안정 기술기를 유지하여 절취하므로 공사비 저감 • 특별한 장비가 필요 없음 • 시공이 빠름 • 장기비탈면 표층붕괴 발생 가능 • 자연훼손 과다발생 • 비탈면 식재 과다발생 • 상세 안정해석 필요	• NAIL 1개가 부담하는 안전도가 낮으므로 국부적인 품질 문제가 전체 안정에 미치는 영향이 적다 • 시공이 간단하며 재료의 구입이 용이 • 특허 등의 제한 사항이 없어 시공 시 선택의 폭이 넓고 실행 측면에서 유리 • 지반변형에 따른 보강철근의 인장력이 발생하는 수동적인 공법임 • 급속 보강제는 부식성 지반에서 부식에 대한 방지대책이 필요.	• 추가 토지확보가 불필요 • 얇은 지표보강이 간단하고 보강효과 양호 • 1분당 시공단가 매우 저렴 • 정착부에 견고한 암반이 분포할 경우에만 적용가능 • 연암, 사질토에 시공 곤란 • 급경사 높은 위치의 시공은 발판의 확보, 기계 반출입 경비가 비교적 고가	• 시공중 천공 홀의 붕괴가 우려되는 지반에 별도의 케이싱 없이 천공이 가능 • 천공과 동시 NAIL 삽입 • 나사식 증공관을 이용한 등시 그라우팅 • 자재비(NAIL)가 다소 높음 • 증공관 외부의 그라우팅 두께가 얇아 시멘트밀크 주입에 의한 개량효과 확인 등 시공 품질 확인 곤란	• Top Down 및 Bottom-Up이 모두 가능한 공법 • 원지반의 절취를 최소화함으로써 환경친화적임 • 소단부의 식재가 가능함 • 적극적 보강으로 보강효과 우수 • 급 곡선부 시공은 어려움 • Panel이 커서 문양 필요	• 단계별 Top Down 시공으로 지반이완 최소화 • Earth Bolt에 의한 절리면 통합효과와 Grouting 충전으로 암반층 전단강도 증대 • 공장제작 PC Panel 및 조절로 미관 양호 • 수동적 보강으로 대규모 비탈면 붕괴가 예상되는 구간에는 지보효과 위함
적용 구 간	• 용지보상등의 민원발생우려가 적고 과다 절토부 발생에 따른 환경훼손문제가 발생하지 않는 경우 적용	• 비탈면 보강공법 중 가장 보편적인 공법으로 안정 미확보구간에 우선적으로 적용	• 절토사면 표면의 알은 위치에 견고한 암반이 존재할 경우 적용가능	• 큰 입자의 전석과 자갈로 구성되어 천공 시 케이싱 설치가 힘들고 내릴 시공을 위한 공벽유지가 어려움바 자천공 네일닝공법 적용	• 토사비탈면 급경사구간 적용	• 일반 비탈면 급경사구간 적용
적용	○	○	○			○

STA.0+160~0+420, 이설도로_2

제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.6.3 암반파쇄에 따른 비탈면 경사 현황

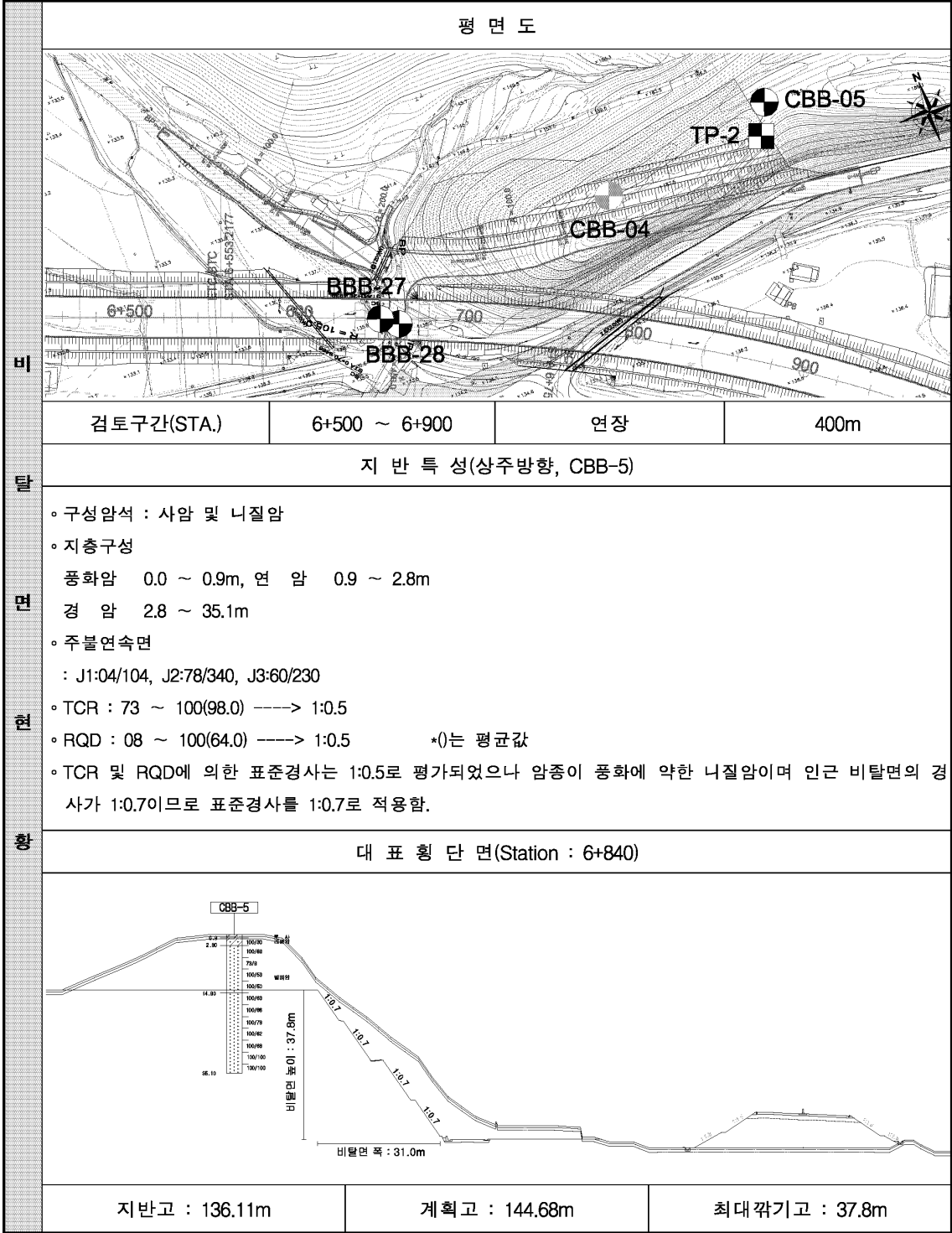
시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 깎기 경사 평가 및 검토를 암석별 깎기 적정경사 기준으로 실시하면 다음 표와 같다.

[암반 파쇄 상태에 따른 깎기비탈면 경사 검토]

구분 구간	검토구간 (STA.)		시 번 호	암반 특성에 따른 비탈면 경사					적 경 사
				암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 경사	RQD에 의한 경사	
깎기 3구간	6+500 ~6+900	상주방향	CBB-5	사암 및 니질암	73~100	8~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5

상주~영천 고속도로 민간투자사업 6공구 실시설계

(3) 깎기 3구간(상주방향 우측-국도 919 이설구간)



비탈면 안정성 검토	쐄기구간 안정성 검토			
	토 사 비 탈 면			
	건 기 시		우 기 시	
	-		-	
	토사층 0.5m로 검토생략			
	암 반 비 탈 면			
	평면 및 전도파괴 분석도		쐄기파괴 분석도	
	평 사 투 영 해 석			
	구 분	평면	전도	쐄기
	1:0.5	안 정	불안정	안 정
	1:0.7	안 정	불안정	안 정
	1:1.0	안 정	불안정	안 정
한 계 평 형 해 석				
구 분	평면파괴		쐄기파괴	
	건기	우기	건기	우기
1:0.5	-	-	-	-
1:0.7	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-
평가	◦ 전도파괴가 예상되므로, 전도파괴에 대한 보강공법을 강구하여 시공시 안정성을 도모해야 함. ◦ 암반층 표준경사(1:0.7) 적용시 암반층 평사투영 해석결과 평면파괴 및 쐄기파괴 가능성이 적으므로 보강공법을 적용하지 않고 표준경사를 적용.			

STA.8+850~9+230, 상주

7.6.3 암반파쇄에 따른 비탈면 경사 현황

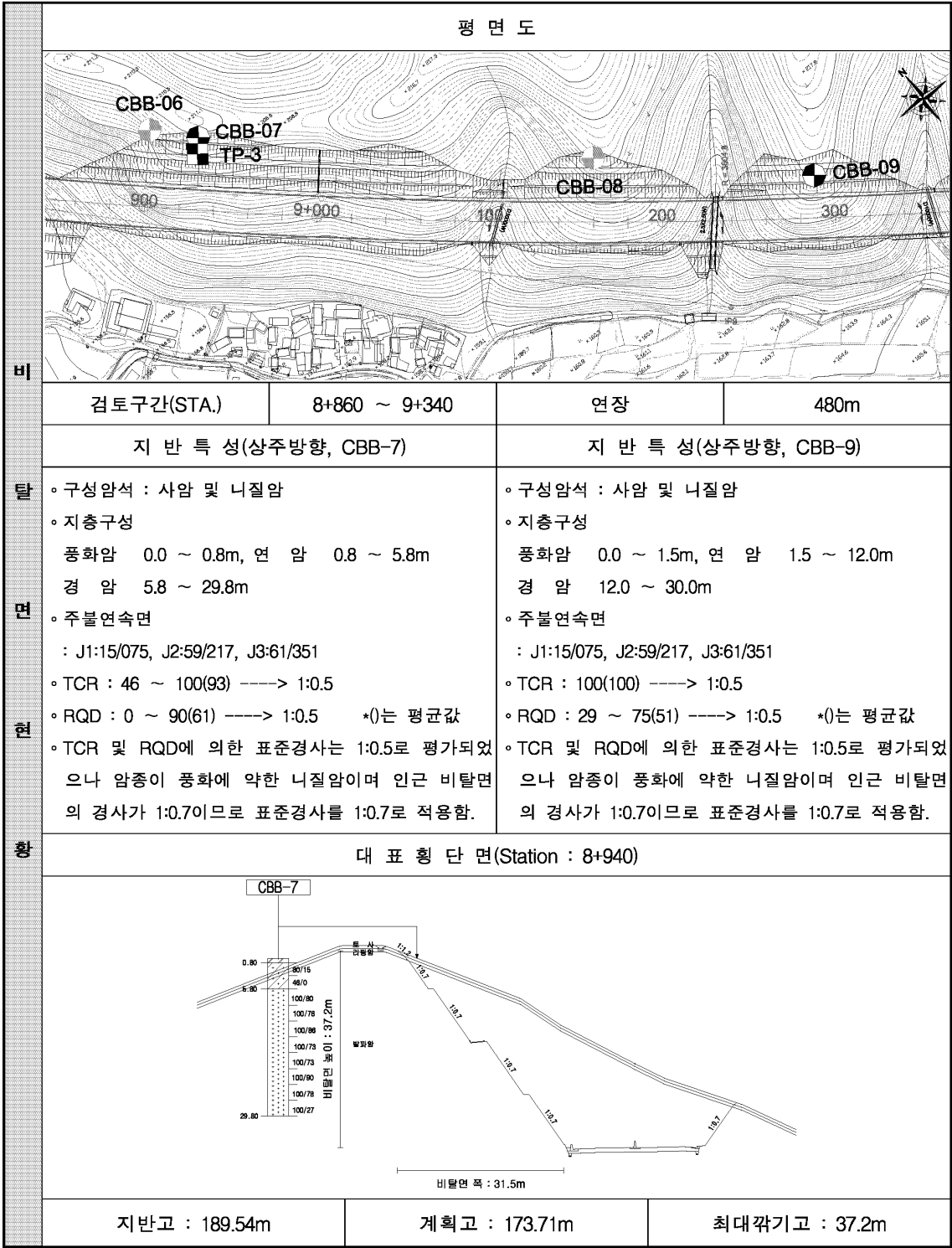
시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 깎기 경사 평가 및 검토를 암석별 깎기 적정경사 기준으로 실시하면 다음 표와 같다.

[암반 파쇄 상태에 따른 깎기비탈면 경사 검토]

구분 구간	검토구간 (STA.)		시 추 번 호	암반 특성에 따른 비탈면 경사					적 용 경 사
				암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 경사	RQD에 의한 경사	
깎기 4구간	8+860 ~9+340	상주방향	CBB-7	사암 및 니질암	46~100	0~90	1:0.5	1:0.5	1:0.5
			CBB-9	사암 및 니질암	100	29~75	1:0.5	1:0.5	1:0.5

상주~영천 고속도로 민간투자사업 6공구 실시설계

[4] 깎기 4구간(상주방향 우측)



비탈면안정성검토	쐈기구간 안정성 검토			
	토 사 비 탈 면			
	건 기 시		우 기 시	
	-		-	
	토사층 0.5m로 검토생략			
	암 반 비 탈 면			
	평면 및 전도파괴 분석도		쐈기파괴 분석도	
	평 사 투 영 해 석			
	구 분	평면	전도	쐈기
	1:0.5	불안정	안 정	불안정
	1:0.7	안 정	안 정	안 정
	1:1.0	안 정	안 정	안 정
한 계 평 형 해 석				
구 분	평면파괴		쐈기파괴	
	건기	우기	건기	우기
1:0.5	0.97	0.76	-	-
1:0.7	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-
평가	◦ 암반비탈면 표준경사(1:0.7) 적용시 암반층 평사투영 해석결과 평면파괴 및 쐈기파괴 가능성이 적으므로 보강공법을 적용하지 않고 표준경사를 적용.			

STA.9+820~10+580, 상주

7.6.3 암반파쇄에 따른 비탈면 경사 현황

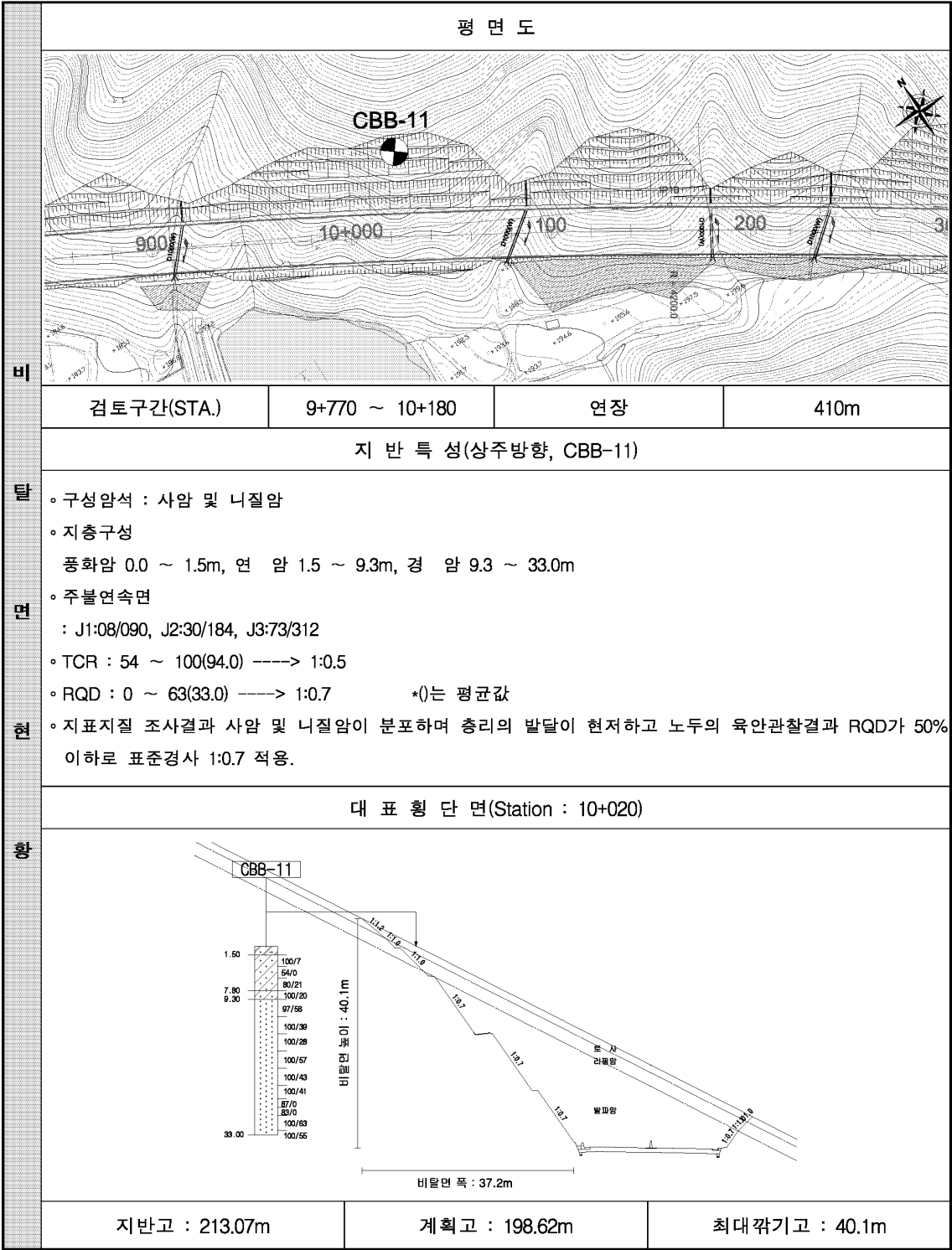
시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 깎기 경사 평가 및 검토를 암석별 깎기 적정경사 기준으로 실시하면 다음 표와 같다.

[암반 파쇄 상태에 따른 깎기비탈면 경사 검토]

구분 구간	검토구간 (STA.)		시 추 번 호	암반 특성에 따른 비탈면 경사					적 용 경 사
				암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 경사	RQD에 의한 경사	
깎기 6구간	9+770 ~10+180	상주방향	CBB-11	사암 및 니질암	54~100	0~63	1:0.5	1:0.7	1:0.7
깎기 7구간	10+180 ~10+380	상주방향	CBB-12	사암 및 니질암	87~100	10~69	1:0.5	1:0.7	1:0.7
깎기 8구간	10+380 ~10+580	상주방향	CBB-13	니질암	58~100	0~76	1:0.5	1:1.0	1:1.0

상주~영천 고속도로 민간투자사업 6공구 실시설계

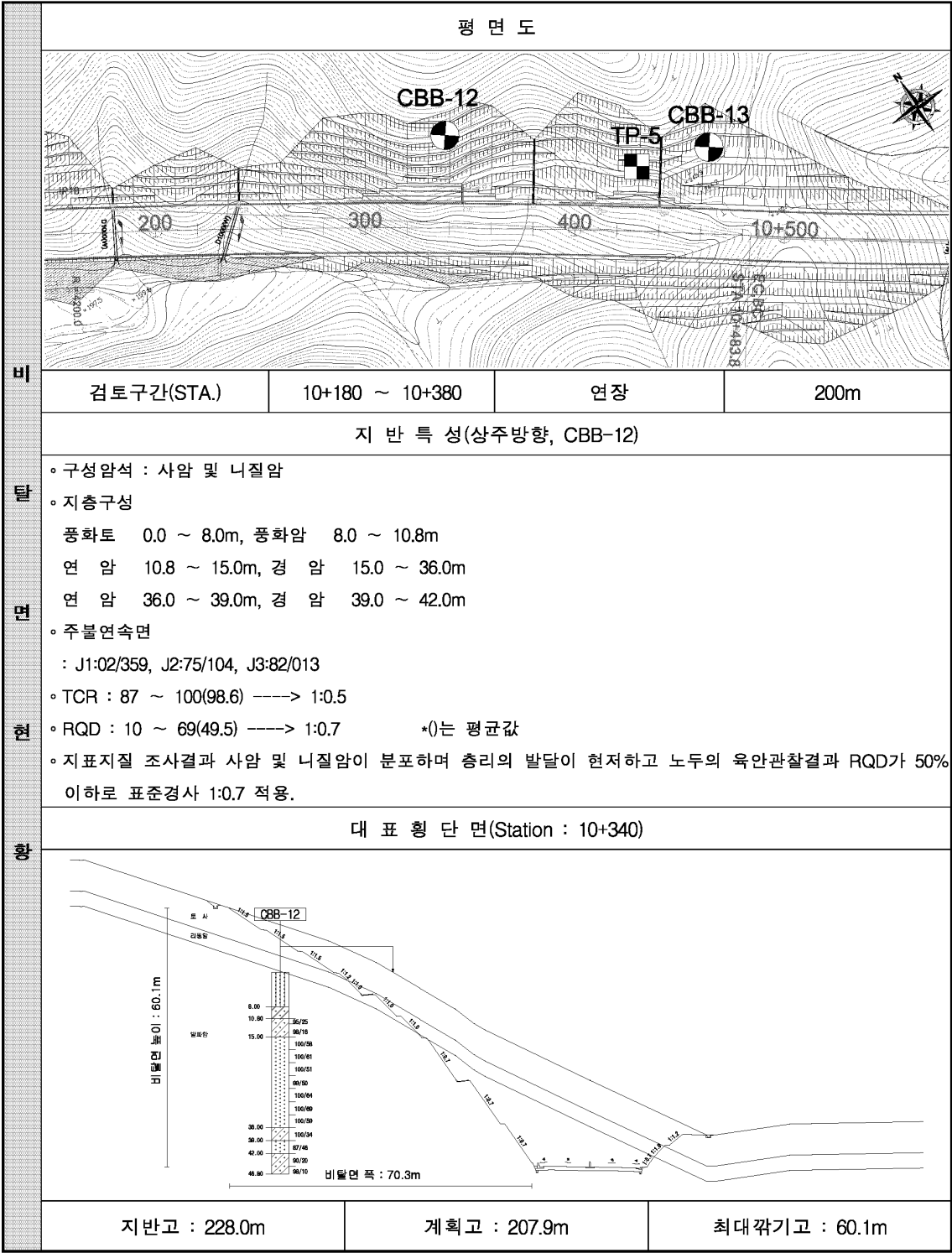
[6] 깎기 6구간(상주방향 우측)



비탈면안정성검토	쐂기구간 안정성 검토			
	토 사 비 탈 면			
	건 기 시		우 기 시	
	Fs = 2.400 > 1.5 ∴ OK		Fs = 1.743 > 1.2 ∴ OK	
	암 반 비 탈 면			
	평면 및 전도파괴 분석도		쐂기파괴 분석도	
	평 사 투 영 해 석			
	구 분	평면	전도	쐂기
	1:0.5	안 정	안 정	안 정
	1:0.7	안 정	안 정	안 정
	1:1.0	안 정	안 정	안 정
한 계 평 형 해 석				
구 분	평면파괴		쐂기파괴	
	건기	우기	건기	우기
1:0.5	-	-	-	--
1:0.7	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-
평가	◦ 암반비탈면 표준경사(1:0.7) 적용시 암반층 평사투영 해석결과 평면파괴 및 쐂기파괴 가능성이 적으므로 보강공법을 적용하지 않고 표준경사를 적용.			

상주~영천 고속도로 민간투자사업 6공구 실시설계

[7] 깎기 7구간(상주방향 우측)



제 7 장 비탈면 안정성 검토

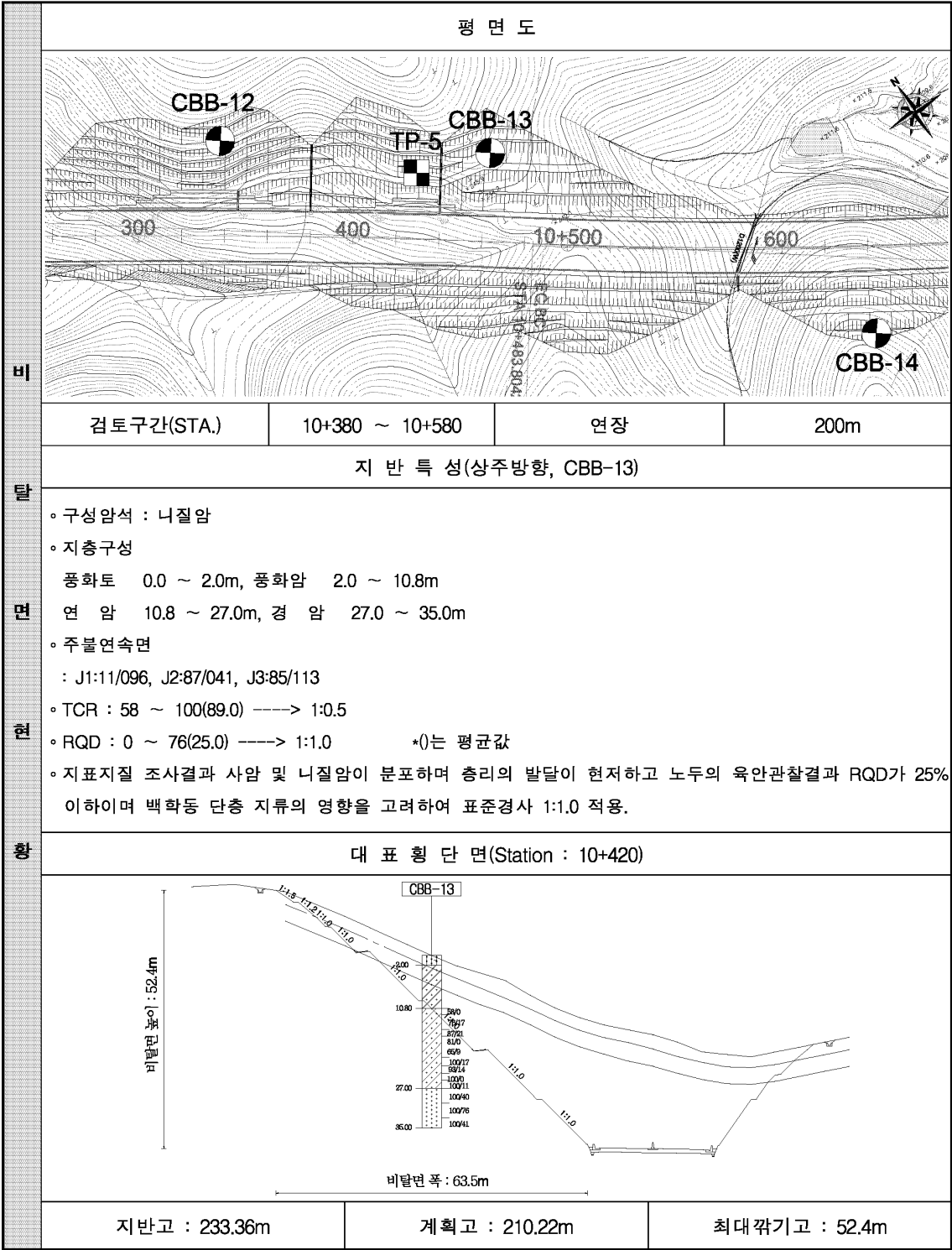
비탈면 안정성 검토	썩기구간 안정성 검토				
	토 사 비 탈 면				
	건 기 시		우 기 시		
	Fs = 1.766 > 1.5 ∴ OK		Fs = 1.049 < 1.2 ∴ NG		
	암 반 비 탈 면				
	평면 및 전도파괴 분석도		썩기파괴 분석도		
	평 사 투 영 해 석				
	구 분	평면	전도	썩기	
	1:0.5	안 정	불안정	안 정	
	1:0.7	안 정	불안정	안 정	
	1:1.0	안 정	불안정	안 정	
평가	한 계 평 형 해 석				
	구 분	평면파괴		썩기파괴	
		건기	우기	건기	우기
	1:0.5	-	-	-	-
	1:0.7	-	-	-	-
	1:1.0	-	-	-	-
	◦ 토사비탈면은 표준경사(1:1.2~1:1.5) 적용시 비탈면고 증가로 인한 환경훼손 범위가 과대하며 불안정하므로 보강공법이 필요함.				
◦ 전도파괴가 예상되므로, 전도파괴에 대한 보강공법을 강구하여 시공시 안정성을 도모해야 함.					
◦ 암반비탈면 표준경사(1:0.7) 적용시 암반층 평사투영 해석결과 평면파괴 및 썩기파괴 가능성이 적으나 비탈면고 증가로 인한 환경훼손범위가 과대하므로 경사조정 후 보강공법이 필요함.					

6

비탈면 보강 검토 결과	구분	비탈면 보강(Soil Nailing+보강토옹벽)
	공법	◦ 토사층 : 조정경사 적용(1:1.0) ◦ 리핑암 : 조정경사 적용(1:0.7) - Soil Nailing (6~12m 1.5x1.5) ◦ 암반층 : 조정경사 적용(1:0.2) - 보강토옹벽 (보강재 6~10m 2.0x1.5)
	보강 검토 결과	◦ H=50.3m, B=43.4m ◦ 시추조사 결과 토사 비탈면이 과대하게 발생하는 구간임. ◦ STA. 0+180~0+380의 경우 비탈면고가 과대하여 경사조정 후 Nailing 보강공법을 적용하여야 함. ◦ 암반비탈면의 경우 암질에 따른 표준경사(1:0.7)적용시 비탈면고가 과대하므로 경사 조정 후 보강토옹벽 공법을 적용하여 안정성을 확보하여야 할 것으로 판단됨.

상주~영천 고속도로 민간투자사업 6공구 실시설계

[8] 깎기 8구간(상주방향 우측)



제 7 장 비탈면 안정성 검토

비탈면 안정성 검토

썩기구간 안정성 검토

토 사 비 탈 면

건 기 시

우 기 시

$F_s = 2.198 > 1.5 \therefore \text{OK}$

$F_s = 1.540 > 1.2 \therefore \text{OK}$

암 반 비 탈 면

평면 및 전도파괴 분석도

썩기파괴 분석도

평 사 투 영 해 석

구 분	평면	전도	썩기
1:0.5	안 정	불안정	안 정
1:0.7	안 정	불안정	안 정
1:1.0	안 정	불안정	안 정

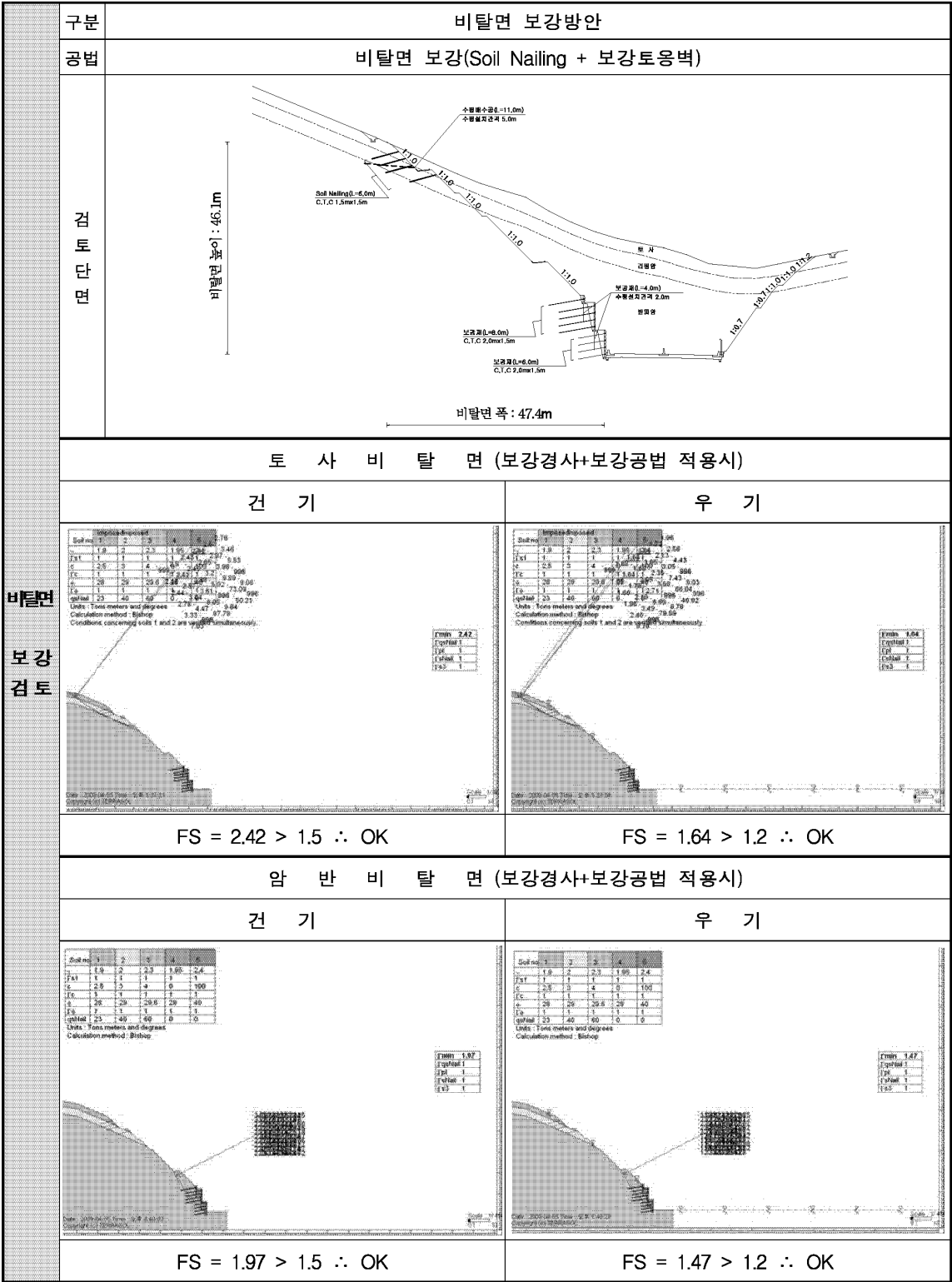
한 계 평 형 해 석

구 분	평면파괴		썩기파괴	
	건기	우기	건기	우기
1:0.5	-	-	-	-
1:0.7	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-

평가

- 토사비탈면은 표준경사(1:1.2~1:1.5) 적용시 안정성은 확보되나 비탈면고 증가로 인한 환경훼손 범위가 과대하므로 보강공법이 필요함.
- 전도파괴가 예상되므로, 전도파괴에 대한 보강공법을 강구하여 시공시 안정성을 도모해야 함.
- 암반비탈면 표준경사(1:1.0) 적용시 암반층 평사투영 해석결과 평면 및 썩기파괴 가능성이 적으나 비탈면고 증가로 인한 환경훼손범위가 과대하므로 경사 조정 후 보강공법이 필요함.

상주~영천 고속도로 민간투자사업 6공구 실시설계



비탈면 보강 검토 결과	구분	비탈면 보강(Soil Nailing+보강토옹벽)
	공법	◦ 토사층 : 조정경사 적용(1:1.0) ◦ 리핑암 : 조정경사 적용(1:1.0) - Soil Nailing (6~12m 1.5x1.5) ◦ 암반층 : 조정경사 적용(1:0.2) - 보강토옹벽 (보강재 6~8m 2.0x1.5)
	짜기고	◦ H=52.4m, B=63.5m
	보강 검토 결과	◦ 시추조사 결과 토사 비탈면이 과대하게 발생하는 구간임. ◦ STA. 10+390~10+455의 경우 비탈면 안정성은 확보되나 비탈면고가 과대하여 경사조정 후 Nailing 보강공법을 적용하여야 할것으로 판단된다. ◦ 암반비탈면 표준경사(1:1.0) 적용시 비탈면고가 과대하므로 경사조정 후 보강토옹벽 공법을 적용하여 안정성을 확보하여야 할 것으로 판단됨.

STA.10+260~10+710, 영천

제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.6.3 암반파쇄에 따른 비탈면 경사 현황

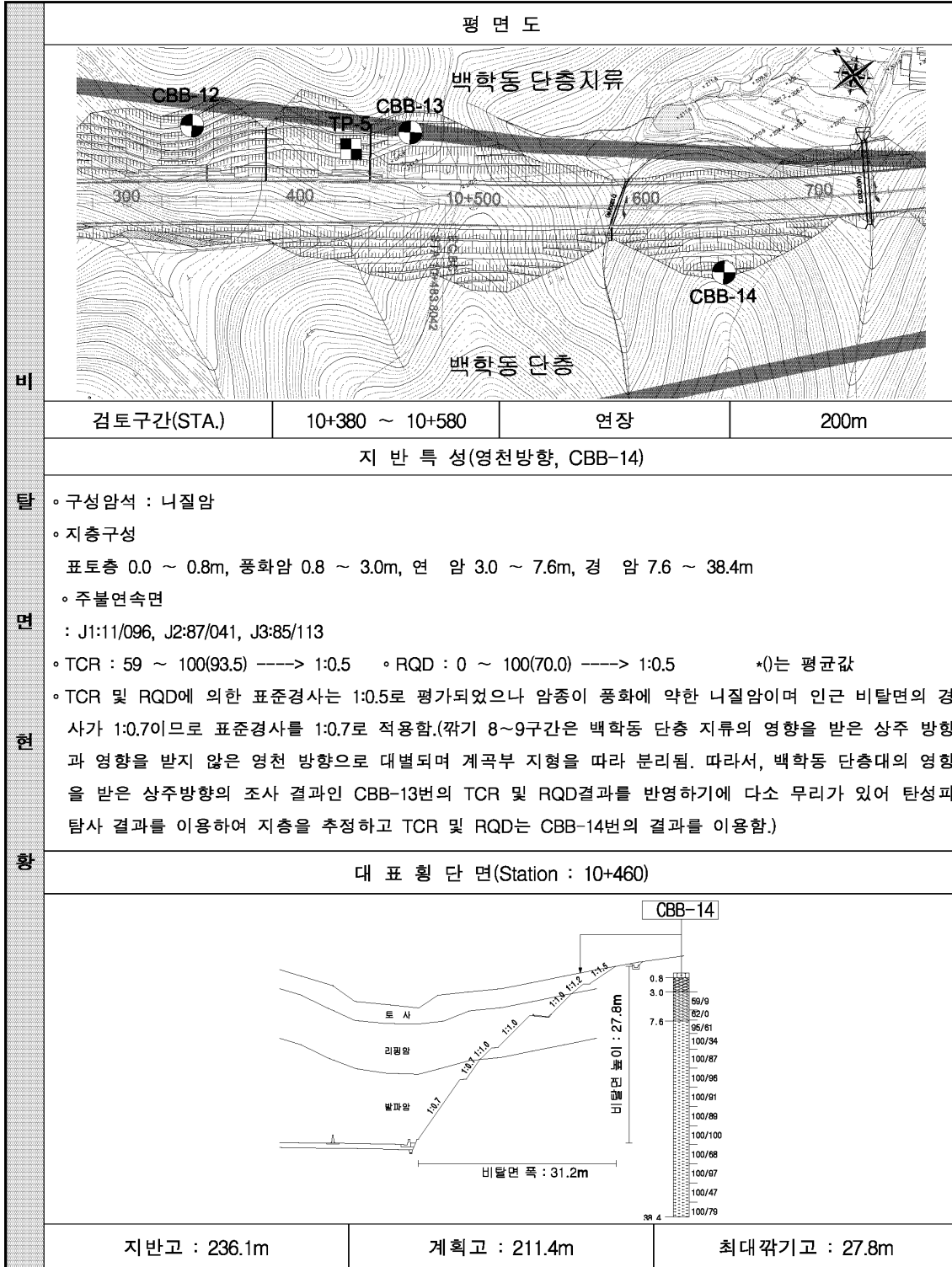
시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 깎기 경사 평가 및 검토를 암석별 깎기 적정경사 기준으로 실시하면 다음 표와 같다.

[암반 파쇄 상태에 따른 깎기비탈면 경사 검토]

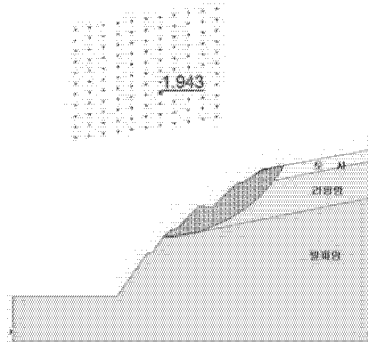
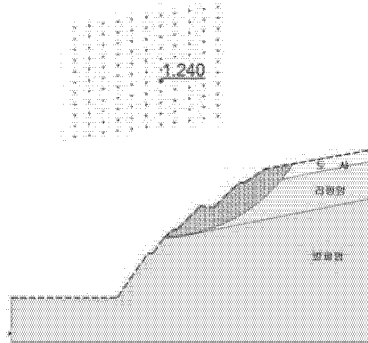
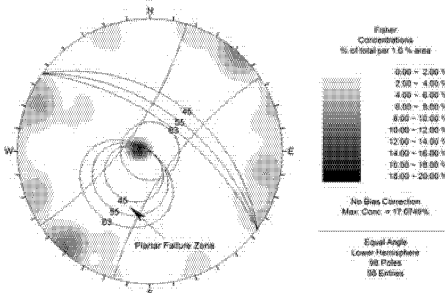
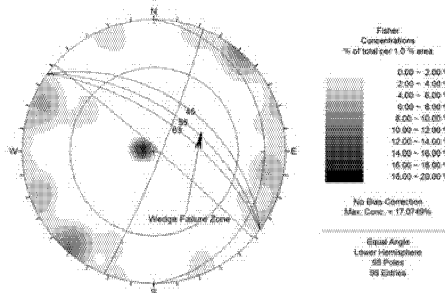
구분 구간	검토구간 (STA.)		시 번 호	암반 특성에 따른 비탈면 경사					적 경 사
				암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 경사	RQD에 의한 경사	
깎기 9구간	10+380 ~10+700	영천방향	CBB-14	니질암	59~100	0~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5

상주~영천 고속도로 민간투자사업 6공구 실시설계

[9] 깎기 9-1구간(영천방향 우측)

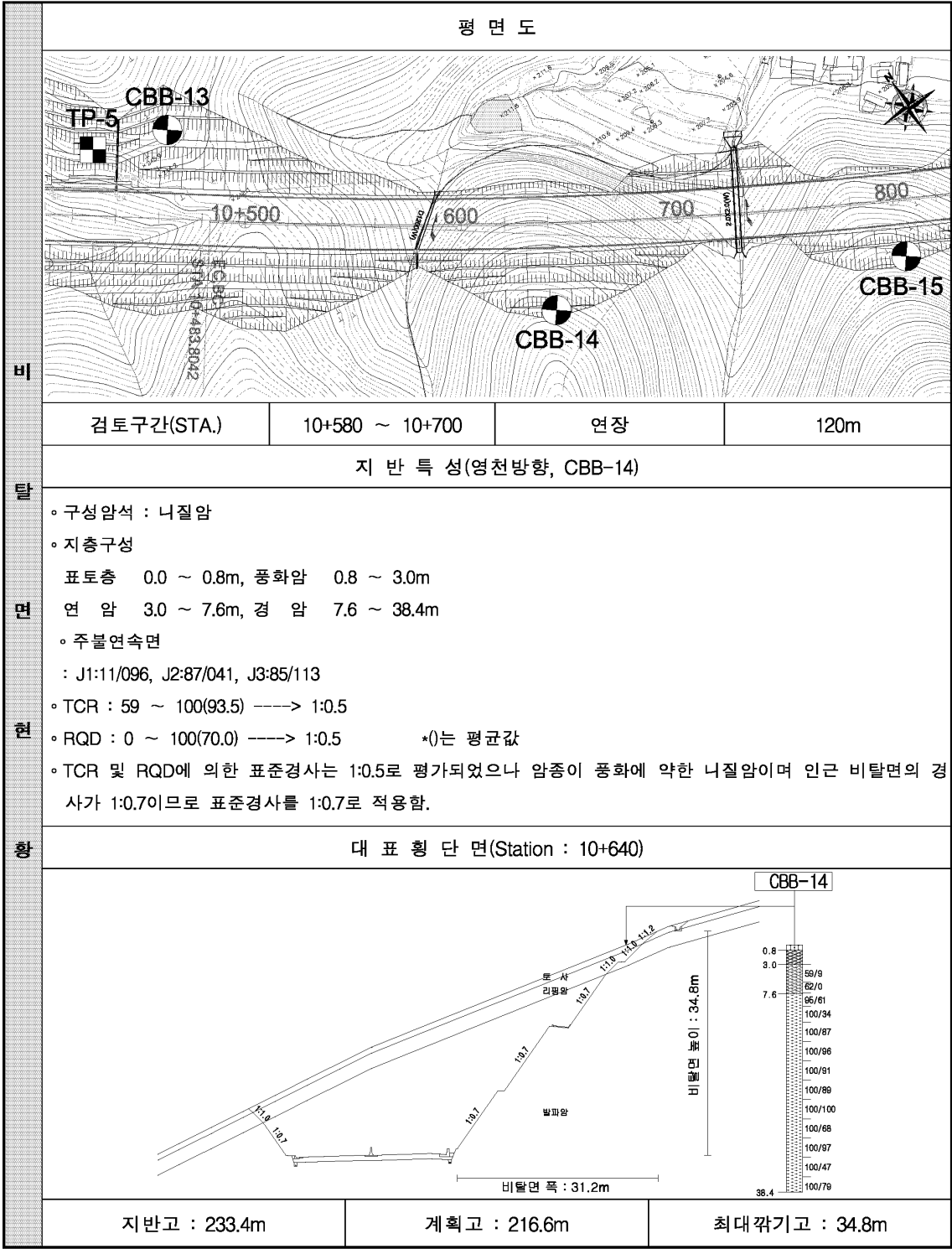


제 7 장 비탈면 안정성 검토

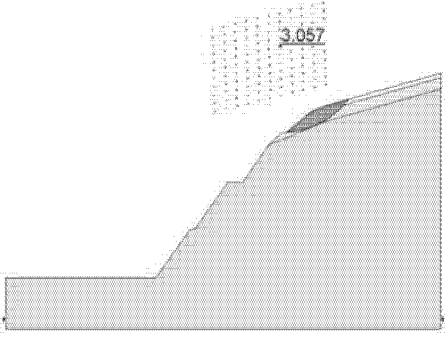
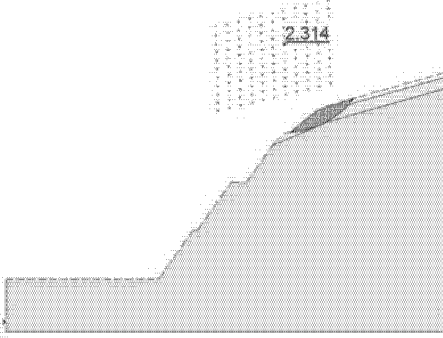
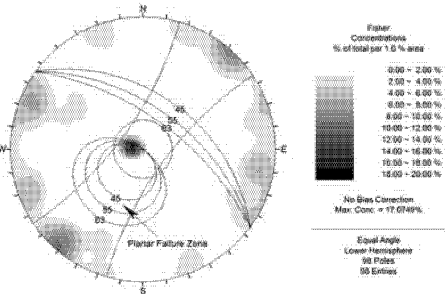
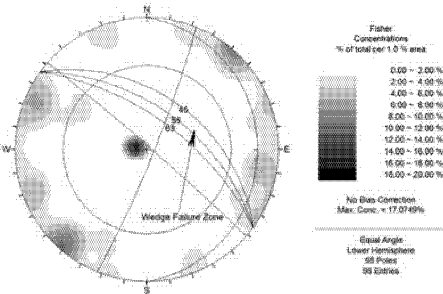
비탈면 안정성 검토	썩기구간 안정성 검토				
	토 사 비 탈 면				
	건 기 시		우 기 시		
					
	Fs = 1.943 > 1.5 ∴ OK		Fs = 1.240 > 1.2 ∴ OK		
	암 반 비 탈 면				
	평면 및 전도파괴 분석도		썩기파괴 분석도		
					
	평 사 투 영 해 석				
	구 분	평면	전도	썩기	
	1:0.5	안 정	불안정	안 정	
	1:0.7	안 정	불안정	안 정	
	1:1.0	안 정	불안정	안 정	
	한 계 평 형 해 석				
	구 분	평면파괴		썩기파괴	
		건기	우기	건기	우기
	1:0.5	-	-	-	-
	1:0.7	-	-	-	-
	1:1.0	-	-	-	-
평 가	◦ 전도파괴가 예상되므로, 전도파괴에 대한 보강공법을 강구하여 시공시 안정성을 도모해야 함. ◦ 암반비탈면 표준경사(1:0.7) 적용시 암반층 평사투영 해석결과 평면 및 썩기파괴 가능성이 적으므로 보강공법을 적용하지 않고 표준경사를 적용.				

상주~영천 고속도로 민간투자사업 6공구 실시설계

[10] 깎기 9-2구간(영천방향 우측)



제 7 장 비탈면 안정성 검토

비탈면 안정성 검토	쐐기구간 안정성 검토				
	토 사 비 탈 면				
	건 기 시		우 기 시		
					
	Fs = 3.057 > 1.5 ∴ OK		Fs = 2.314 > 1.2 ∴ OK		
	암 반 비 탈 면				
	평면 및 전도파괴 분석도		쐐기파괴 분석도		
					
	평 사 투 영 해 석				
	구 분	평면	전도	쐐기	
	1:0.5	안 정	불안정	안 정	
	1:0.7	안 정	불안정	안 정	
	1:1.0	안 정	불안정	안 정	
평가	한 계 평 형 해 석				
	구 분	평면파괴		쐐기파괴	
		건기	우기	건기	우기
	1:0.5	-	-	-	-
	1:0.7	-	-	-	-
	1:1.0	-	-	-	-
	◦ 전도파괴가 예상되므로, 전도파괴에 대한 보강공법을 강구하여 시공시 안정성을 도모해야 함.				
◦ 암반비탈면 표준경사(1:0.7) 적용시 암반층 평사투영 해석결과 평면 및 쐐기파괴 가능성이 적으므로 보강공법을 적용하지 않고 표준경사를 적용.					

STA.10+970~11+230, 영천

제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.6.3 암반파쇄에 따른 비탈면 경사 현황

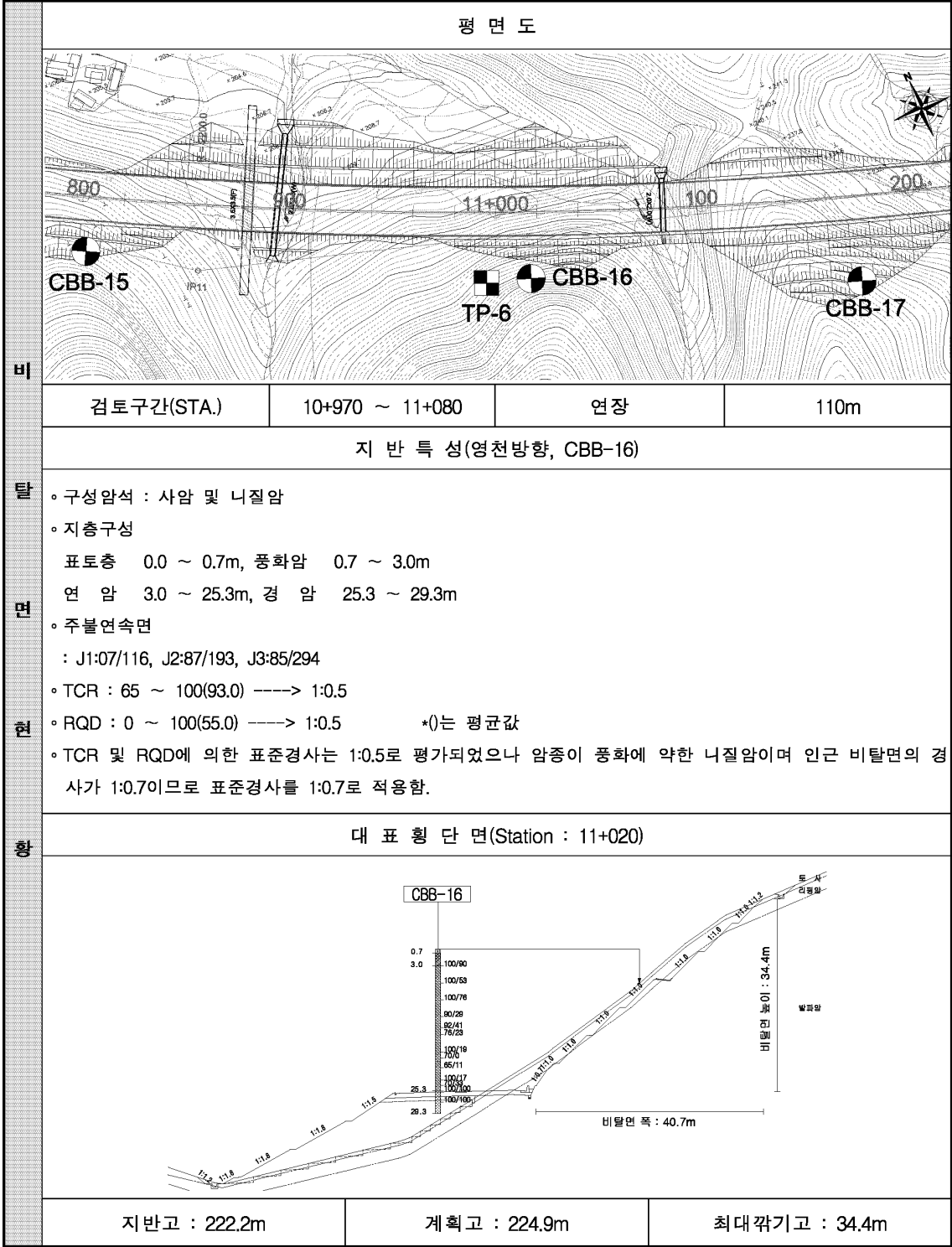
시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 깎기 경사 평가 및 검토를 암석별 깎기 적정경사 기준으로 실시하면 다음 표와 같다.

[암반 파쇄 상태에 따른 깎기비탈면 경사 검토]

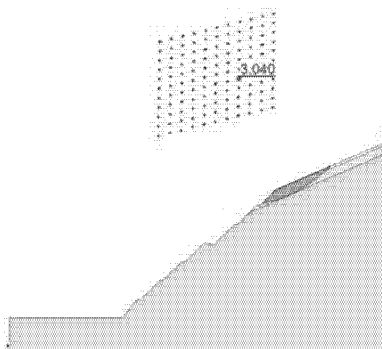
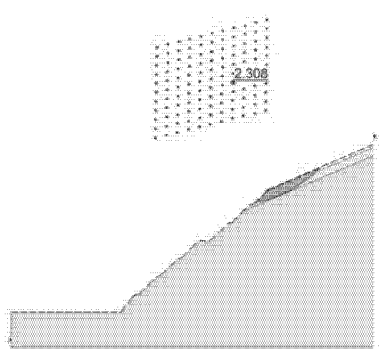
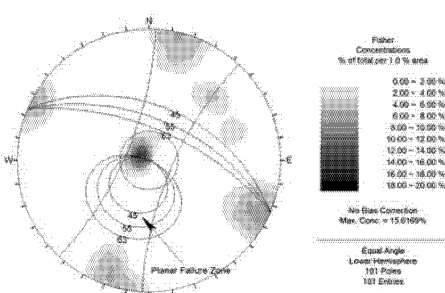
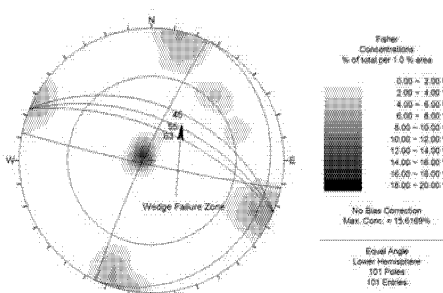
구분 구간	검토구간 (STA.)		시 추 번 호	암반 특성에 따른 비탈면 경사					적 용 경 사
				암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 경사	RQD에 의한 경사	
깎기 11구간	10+970 ~11+080	영천방향	CBB-16	사암 및 니질암	65~100	0~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
깎기 12구간	11+080 ~11+220	영천방향	CBB-17	사암 및 니질암	31~100	0~97	1:0.5	1:0.7	1:0.7

상주~영천 고속도로 민간투자사업 6공구 실시설계

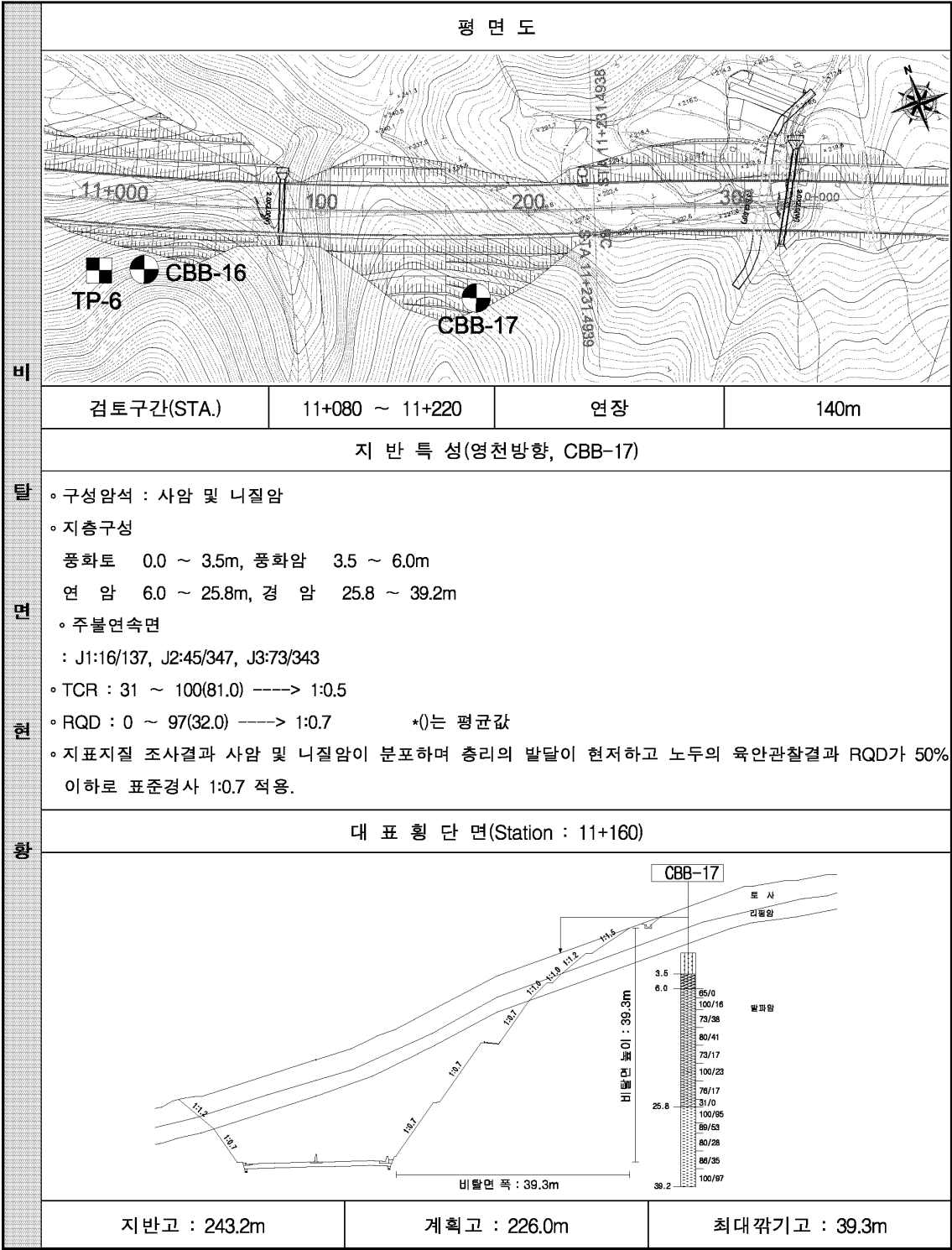
[12] 깎기 11구간(영천방향 우측)



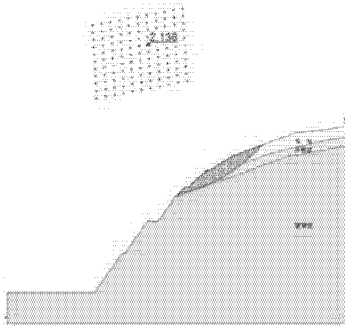
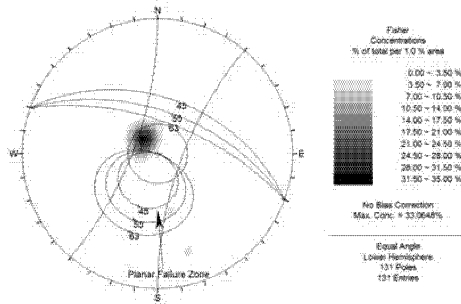
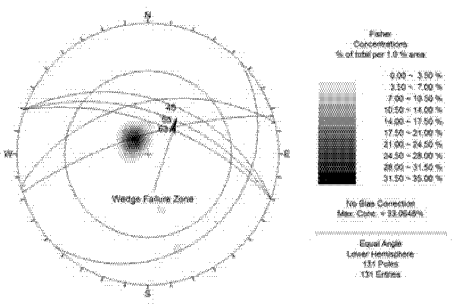
제 7 장 비탈면 안정성 검토

비탈면 안정성 검토	썩기구간 안정성 검토				
	토 사 비 탈 면				
	건 기 시		우 기 시		
					
	Fs = 3.040 > 1.5 ∴ OK		Fs = 2.308 > 1.2 ∴ OK		
	암 반 비 탈 면				
	평면 및 전도파괴 분석도		썩기파괴 분석도		
					
	평 사 투 영 해 석				
	구 분	평면	전도	썩기	
	1:0.5	안 정	불안정	안 정	
	1:0.7	안 정	불안정	안 정	
	1:1.0	안 정	불안정	안 정	
	한 계 평 형 해 석				
	구 분	평면파괴		썩기파괴	
		건기	우기	건기	우기
	1:0.5	-	-	-	-
	1:0.7	-	-	-	-
	1:1.0	-	-	-	-
평가	◦ 토사 및 리핑암 비탈면은 표준경사(1:1.0~1:1.5) 적용시 비탈면고 증가로 인한 환경훼손 범위가 과대하므로 보강공법 적용 필요함. ◦ 전도파괴가 예상되므로, 전도파괴에 대한 보강공법을 강구하여 시공시 안정성을 도모해야 함. ◦ 암반비탈면 표준경사(1:0.7) 적용시 암반층 평사투영 해석 결과 평면 및 썩기파괴 가능성이 적으므로 보강공법을 적용하지 않고 표준경사를 적용.				

[13] 깎기 12구간(영천방향 우측)



상주~영천 고속도로 민간투자사업 6공구 실시설계

비탈면 안정성 검토	쐼기구간 안정성 검토			
	토 사 비 탈 면			
	건 기 시		우 기 시	
				
	Fs = 2.138 > 1.5 ∴ OK		Fs = 1.442 > 1.2 ∴ OK	
	암 반 비 탈 면			
	평면 및 전도파괴 분석도		쐼기파괴 분석도	
				
	평 사 투 영 해 석			
	구 분	평면	전도	쐼기
	1:0.5	안 정	안 정	안 정
	1:0.7	안 정	안 정	안 정
	1:1.0	안 정	안 정	안 정
평가	한 계 평 형 해 석			
	구 분	평면파괴		쐼기파괴
		건기	우기	우기
	1:0.5	-	-	-
	1:0.7	-	-	-
	1:1.0	-	-	-
	◦ 암반비탈면 표준경사(1:0.7) 적용시 암반층 평사투영 해석결과 평면 및 쐼기파괴 가능성이 적으므로 보강공법을 적용하지 않고 표준경사를 적용.			

7.6.5 비탈면 안정대책 및 경사 종합검토

본 계획노선의 깎기지역 비탈면은 시추조사 결과를 토대로 암질상태(T.C.R, R.Q.D)에 따라 암반 특성에 따른 비탈면 경사를 기준으로 깎기지역의 지표지질조사 결과에 의한 평사투영 해석, 한계 평형 해석결과와 종합, 구간별 특성을 고려하여 조정하였다.

비탈면 안정 해석결과 및 적용경사

구 분	방향	구간 (STA.)	시추 조사	최대 비탈면 높이 (m)	토사 비탈면		암반 비탈면			적용경사			보강	비고
					한계평형	건기 우기	T.C.R, R.Q.D	평사 투영	한계 평형	토사	리핑	발파		
깎기 구간	깎기1구간	영천 0+220 ~0+450	CBB-1	9.0	5.40	4.67	90/40	-	-	1:1.2 ~1.5	1:1.0	1:0.7	-	
	깎기2구간	상주 지방도 919호선 0+040 ~0+360	CBB-3	45.8 /36.0	1.64 /2.10	0.99 /1.27	97/28	전도	-	1:1.0*	1:1.0*	1:0.7	Soil Nailing 지방도 919호선 0+080~0+190	74공(12m) 126공(10m) 280공(8m) 266공(6m)
	깎기3구간	상주 6+500 ~6+900	CBB-5	37.8	-	-	98/64	전도	-	1:1.2 ~1.5	1:1.0	1:0.7	-	
	깎기4구간	상주 8+860 ~9+340	CBB-7 CBB-9	37.2	-	-	96/56	-	-	1:1.2 ~1.5	1:1.0	1:0.7	-	
	깎기5구간	상주 9+340 ~9+750	CBB-10	28.4	3.21	2.45	99/45	평면	0.91 /1.33	1:1.2 ~1.5	1:1.0	1:0.7	RockBolt 9+360~9+680	493공 (6m)
	깎기6구간	상주 9+770 ~10+180	CBB-11	40.1	2.40	1.74	94/33	-	-	1:1.2 ~1.5	1:1.0	1:0.7	-	
	깎기7구간	상주 10+180 ~10+380	CBB-12	60.1 /50.3	1.76 /2.12 1.05 /1.93	1.05 /1.46	99/49	전도	-	1:1.0*	1:0.7*	1:0.7	Soil Nailing 10+180~10+380 보강토옹벽 10+291~10+370	56공(12m) 314공(10m) 336공(8m) 525공(6m)
	깎기8구간	상주 10+380 ~10+580	CBB-13	52.4 /46.1	2.20 /2.42 1.54 /1.64	1.54 /1.47	89/25	전도	-	1:1.0*	1:1.0*	1:1.0	Soil Nailing 10+390~10+455 보강토옹벽 10+392~10+455	33공(8m) 115공(6m)
	깎기9-1구간	영천 10+380 ~10+580	CBB-14	27.8	1.94	1.24	94/70	전도	-	1:1.2 ~1.5	1:1.0	1:0.7	-	
	깎기9-2구간	영천 10+580 ~10+700		34.8	3.06	2.31		전도	-	1:1.2 ~1.5	1:1.0	1:0.7	-	
	깎기10구간	영천 10+750 ~10+840	CBB-15	21.8	2.79	2.13	87/49	-	-	1:1.2 ~1.5	1:1.0	1:0.7	-	
	깎기11구간	영천 10+970 ~11+080	CBB-16	34.4 /13.3	3.04 /2.76	2.31 /2.04	93/55	전도	-	-	1:0.7*	1:0.7	Soil Nailing 10+975~11+065	156공(5m)
	깎기12구간	영천 11+080 ~11+220	CBB-17	39.3	2.14	1.44	81/32	-	-	1:1.2 ~1.5	1:1.0	1:0.7	-	

* 적용경사는 보강구간에 해당되며, 이외의 구간은 표준경사를 적용함.

* 깎기8구간 암반비탈면의 경우 백학동 단층지류의 영향을 고려하여 비탈면경사 1:1.0을 적용함.

* 암반비탈면의 전도파괴가 예상되는 구간에는 적용경사 절취 후 Face Mapping을 통해 부석 및 뜬돌 제거후 Random Rock Bolt, 낙석방지망 및 낙석방지책 등을 설치하여 안정성을 확보하여야 할 것으로 판단된다.

구 분	방향	구간 (STA.)	시추조사	최대 비탈면 높이 (m)	적용경사	보강	비고
쌓기 구간	쌓기1구간	상주 0+340 ~2+430	CBB-1 참조	13.9m	1:1.5~1.8		
	쌓기2구간	영천 2+740~3+840	SBB-5	8.2m	1:1.5~1.8		
	쌓기3구간	상주 3+855~4+895	SBB-12	11.5m	1:1.5~1.8		
	쌓기4구간	영천 4+940~6+647	BBB-26	14.0m	1:1.5~1.8		
	쌓기5구간	상주 6+663~7+257	BBB-29	10.7m	1:1.5~1.8		
	쌓기6구간	영천 7+290~8+080	BBB-30	9.7m	1:1.5~1.8		
	쌓기7구간	영천 8+110~8+680	BBB-35	14.2m	1:1.5~1.8		

7.7 비탈면 계측

7.7.1 비탈면의 계측계획

가. 계측계획의 수립시 고려사항

- 사전에 공사의 진척상황에 대응하는 계측계획을 수립 작성하고, 계측의 목적, 계측방법, 관리기준치에 관한 기본적 사항을 정해 둘 필요가 있음.
- 주어진 모든 조건이나 각종 제약중에서 문제가 되는 지반의 거동을 정확히 모니터링하여 얻어진 데이터를 종합적으로 해석한 다음에 기준치와의 비교와 실제의 지반 거동과의 해석, 검토 등의 결과 판정을 해야 함.
- 토사비탈면의 변형이나 붕괴형태를 정확히 예상하고, 파악한 다음에 계측의 목적을 명확히 하여 그 목적에 맞는 계측기기의 선정이나 배치, 계측의 방법, 관리기준치 등을 검토하여 실시계획을 작성할 필요가 있음.
- 계측이 장기간에 걸치는 경우나 토사비탈면의 상황이 크게 변화되는 경우에는 계측내용의 재고를 하고 항상 적절한 계측관리가 실시되도록 노력해야 함.

나. 계측계획의 목적

현장계측은 토사비탈면의 붕괴에 이르는 초기의 토사 변상현상을 계측기기로 파악하고, 이것들을 바탕으로 적절한 대책을 취해 토사비탈면의 붕괴를 미연에 방지하거나 붕괴에 의한 피해를 최소한으로 억제하는 것을 기본적인 목적으로서 실시

주요 평가 사항

- | | |
|------------------------|--------------------|
| · 변상기구나 규모의 조사, 해명 | · 비탈면의 안정성의 평가 |
| · 붕괴의 예지·예측 | · 대책공의 효과 판정 |
| · 안전확보(대피경보 등의 조치를 위해) | · 시공관리(정보화 시공을 포함) |

다. 계측대상 범위

- 변상현상이 발생되거나 혹은 예상되는 범위
- 피해가 예상되는 범위
- 2차 붕괴의 파급이 예상되는 범위
- 공사의 시공범위

7.7.2 계측방법

가. 계측기기 및 계측항목

계측기기	암반비탈면의 붕괴형태 등	응력개방현상	붕락현상	평면활동붕괴	왜기변형붕괴	원호활동붕괴	복합활동붕괴	토폴링	버클링
	주요한 계측대상 항목								
지표면 신축계	텐션부 부근의 머리부 변위량			○	○	◎	◎	○	
지반경사계	활동머리부 · 중간부 · 말단부의 표면경사량					◎	◎	△	
광파측거법	지표면 변위량(수평 · 수직성분)	○		△	△	△	○	○	△
소폭판측량	지표면 변위량(수평 · 수직성분)			△	△	△	△	△	
파이프변형계	활동면 위치의 검출과 변형누적경향			△	△	△	△		
삽입식 지중경사계	활동면 위치의 검출과 암괴이동량			○	○	○	◎	△	
고정식 지중경사계	활동면 위치의 검출과 암괴이동량			△	△	△	○		
지중신축계	활동면 위치의 검출과 암괴이동량			△	△	△	○	△	
다단식 지중신축계	활동면 위치의 검출과 암괴이동량			△	△	△	○	△	
지중변위계	지중변위량(수평 · 수직성분)	○		○	○	○	○	△	△
검지선식 낙석감지기	낙석의 감지		◎						
전도스위치	지반, 암괴의 경사량(전도, 회전)							△	
GPS 측량	지표면 변위량(수평 · 수직성분)						△		
지하수위계	지하수 동태 관측과 비탈면 안정도의 검토	○		○	○	○	○	△	△
간극수압계	비탈면부근의 간극수압 측정			△	△	△	△		
우설량계	비탈면부근의 간극수압 측정	○	○	○	○	◎	◎	○	○
적설심계	우량데이터 수집(비탈면안정과 강우의 관계)	△					△		
유량계	우량데이터 수집(비탈면안정과 적설의 관계)						○		

(기호설명) ◎ : 가장 적합한 것, ○ : 약간 적합한 것, △ : 적합한 케이스와 적합하지 않은 케이스가 있는 것

(시행 · 연구 단계의 것), 무기입 : 적합하지 않은 것으로 생각되는 것

상주~영천 고속도로 민간투자사업 6공구 실시설계

나. 계측기간과 계측빈도

(1) 계측빈도 고려사항

- 계측의 목적에 따라 가능한 한 자주 실시하는 것이 좋으나, 한편 그 경우에는 계측 작업에 노력을 요하는 비용의 증가가 예상되므로 비탈면의 변동상황, 위험도, 계측기기의 특성이나 내구성, 현지조건 등을 합리적으로 고려하여 적절하게 설정해야 한다.
- 보통비탈면에 변동현상이 발생하여 시공중의 작업원의 안전확보가 우선되는 경우나 강우시 등에는 치밀한 빈도로 하고 공사 완료후나 대책공 시공후 등의 경우에는 빈도를 줄이는 것을 기본으로 한다.
- 지하수위와 같이 그 피크치가 문제가 되는 경우에는 피크치의 관측 누설을 막기위해 계측빈도는 밀실이 취할 필요가 있으며, 가급적 자기기록 방식으로 하는 것이 좋다.
- 암반붕괴나 비탈면의 활동이 호우, 융설, 지진 등의 자연요인이 발생된 경우에는 당초의 계측계획으로 설정된 계측빈도에 구애받지 않고 계측빈도를 자주 실시한다.

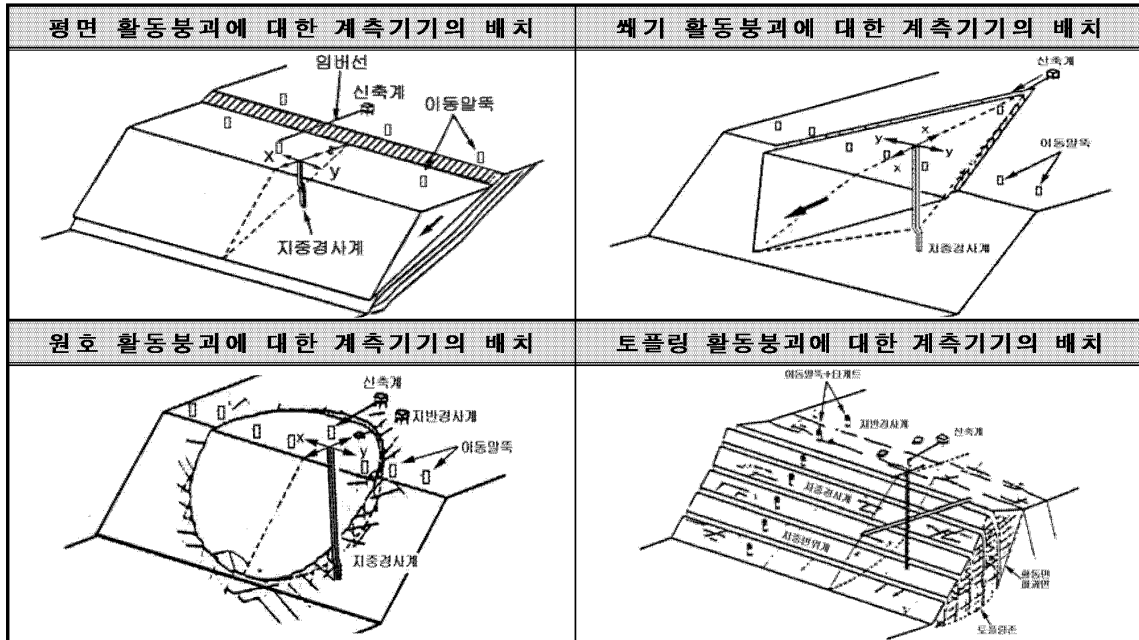
(2) 계측기간 고려사항

- 계측의 기간은 비탈면의 변상 규모와 그 영향도, 보전대상 구조물의 중요도, 대책공의 유무, 공사의 진척도 등에 따라 결정해야 한다.
- 암반비탈면의 변동 상황은 강우나 융설 등의 기상 요인의 영향을 크게 받으므로 그 동태를 정확히 파악하기 위해서는 적어도 필요 최적 기간으로서 1년을 통하여 계측을 계속할 필요가 있다.
- 계측개시에 대한 기본적 사항에는 다음과 같은 것이 있다.
 - ① 암반비탈면에 육안 확인이 되는 변상이 생긴 시기부터 개시한다.
 - ② 사전의 현지답사, 암반 조사에서 불안정 혹은 위험 비탈면으로 판단된 경우 공사 시공 전부터 개시한다.
 - ③ 대책공 시공 후부터 개시한다.
- 계측의 완료시기에 대해서, 기본적으로는 암반비탈면의 변동이 계측되지 않게 된 시점을 기준으로하여 그 후 1년간 계측을 계속하고, 그 중간에 있어서도 변동이 보이지 않게 된 것을 확인하여 완료로 하는 것이 바람직하다.

[계측항목 및 빈도]

계 측 기 기		계 측 대 상	계 측 빈 도		
			깎 기 중	1~3 개 월	3 개 월 이 후
시 공 중	지중경사계	활동면의 위치 확인과 압괴이동량	2회/주	1회/주	1회/월
	지하수위계	지하수 상태 관측과 안정성 검토	2회/주	1회/주	1회/월
	지표침하계	비탈면 지표침하 측정	2회/주	1회/주	1회/월
무선 자동화 계측 시스템	지중경사계	활동면의 위치 확인과 압괴이동량	상 시 계 측		
	지표침하계	비탈면 지표침하 측정	상 시 계 측		
	신축변위계	인장균열 발생 부근의 머리부 변위량	상 시 계 측		

다. 계측기기 배치 예



라. 계측위치 및 수량

- 토사비탈면의 변동 상황을 최소의 계측기기로 효과적으로 파악하기 위해서는 우선 토사비탈면의 변동사항을 파악
- 계측기기의 배치 밀도는 토사비탈면의 변상규모나 위험도에서 판단하여 적절한 것이 될 수 있도록 유의
- 구체적인 계측기기의 배치에 대해서는 상세한 현지조사나 지질조사 등을 하여 변동 블록과 붕괴 형태를 최종적으로 결정함.

구 분		비탈면방향	지중경사계 (개소)	지표면 변위측정(개소)	지하 수위측정
깎기1구간	0+220~0+450	영 천	1	1	1
깎기2구간	3+640~4+000	상 주	1	1	1
깎기3구간	6+500~6+900	상 주	1	1	1
깎기4구간	8+860~9+340	상 주	1	1	1
깎기5구간	9+340~9+750	상 주	1	1	1
깎기6구간	9+770~10+180	상 주	1	1	1
깎기7구간	10+180~10+380	상 주	2	2	2
깎기8구간	10+380~10+580	상 주	1	1	1
깎기9-1구간	10+380~10+580	영 천	1	1	1
깎기9-2구간	10+580~10+700	영 천	1	1	1
깎기10구간	10+750~10+840	영 천	1	1	1
깎기11구간	10+970~11+080	영 천	1	1	1
깎기12구간	11+080~11+220	영 천	1	1	1
합 계			14	14	14

주) 깎기 7구간 비탈면의 경우 Soil Nailing 공법과 보강토옹벽이 복합적으로 적용되었으며 비탈면 연장 및 높이가 큰 구간으로 계측수량을 추가 적용하였으며, 구간별 상세 계측위치는 시공시 상세한 현지조사 및 지질조사를 통하여 파괴형태 및 규모등을 고려한 현장상황에 따라 배치하여야 한다.

상주~영천 고속도로 민간투자사업 6공구 실시설계

7.8 시공시 유의사항

본 비탈면 안정검토는 토질 및 암반 역학적인 관점에서 정량적인 접근방법에 의해 합리적으로 실시되었으나 설계단계의 제한성으로 인한 시공시 유의사항 및 건의사항을 다음과 같이 기술하였다.

- 본 검토에서는 전술된 여러 단계의 조사방법에 의해 획득된 자료를 참조로 대상암반의 대표적인 불연속면에 대한 공학적인 특성을 고려하여 평사투영법 및 한계평형법등의 방법을 통해 암반비탈면의 안정성 분석하였으며, 토사층에 대해서는 원호활동 파괴로 가정한 안정해석을 수행하였다.
- 본 조사지역에서 비탈면의 최적경사 설정은 제한된 노두관찰에 의한 지표지질조사와 한정된 시추조사의 제한으로 공사 대상 전지역의 토질 및 암반의 특성을 완전하게 파악하기는 상당한 무리가 따르며 또한, 대꺾기 비탈면의 경우는 절취에 의한 응력이완의 정도가 크고, 비탈면 전체에 걸쳐 균일한 토층이 형성되기 어려우며 부분적으로 확인되지 않은 단층이나 파쇄대등과 같은 붕괴요인을 갖는 토층조건이 노출되는 경우가 있다.
- 본 검토구간 중 다수의 깎기비탈면 구간은 지형여건상 탄성파탐사에 의한 간접적 방법에 의해 지층을 추정한 상태이므로 깎기비탈면을 대상으로 토공절취시 시추조사 및 Face Mapping을 통한 지층 확인 및 절리면의 특성을 파악하여 실제 현장 시공시 비탈면 안정검토를 수행하여 최적비탈면 경사 선정 및 보호공등 안정성 판단 후 단계별로 시공하여야 한다.
- 사실상 완전한 비탈면 안정검토가 설계단계에 이루어지는 것은 상기에서 전술한 바와같이 불가능하며 실제 시공시 면밀한 지반조사를 실시하여 설계단계에서 예상치 못한 지층변화, 암질불량, 절리나 단층 등 불연속면의 발달, 지하수 용출 등 불안정한 요인이 확인되는 경우에는 시추조사, Face Mapping 등을 통한 비탈면 안정 재검토가 필요하다. 따라서 현재의 설계는 초기 단계로 가정하고 시공초기에 대꺾기 비탈면에 대하여 비탈면안정에 대한 검토가 전문가에 의해 반드시 이루어져야 한다.
- 본 검토에서 설정된 비탈면 경사는 차후 시공시 비탈면 굴착과 병행하여 현장에서 정밀조사를 실시하므로서 실제 확인되지 않은 사항이 발생될 경우는 현장 감독원과 협의하여 비탈면 경사를 변경하여 시행하여야 하고, 이에 따른 보강대책과 계획된 비탈면경사 및 안정성 검토를 재검토하여야 한다.
- 토사 및 풍화암은 절취 후 장기간 대기에 노출됨으로서 토사의 공학적인 특성이 약해지므로 시공시 굴착공사 후에 가능한 신속한 시간내에 비탈면의 보호가 필요하다. 특히 토층이 포화되면 비탈면 경사를 낮추는 것으로도 비탈면의 안정을 유지할 수 없다. 깎기비탈면의 지형을 고려하여 우기시 지표수의 원활한 배수가 이루어지도록 비탈면 상부에 산마루 측구와 봉우리사이의 비탈면 중앙부에

도수로를 설치하며, 소단내 배수로를 설치하여 강우의 침투로 인한 토사 및 암반에 포화가 발생하지 않도록 하여야 한다. 수압은 비탈면의 안정에 대단히 중요한 영향을 미친다. 따라서, 비탈면 내부의 불연속면에 작용하는 수압을 낮추어야 비탈면의 안정성을 높여 보강효과를 얻을 수 있다. 비탈면의 수압을 낮추기 위해서는 먼저 전술한 바와 같이 지표수가 인장균열이나 절리등의 틈새를 통하여 비탈면 내부로 들어오지 못하도록 막아야 한다. 잠재적인 비탈면의 파괴면 근처에 수압이 작용하고 있으면 지표배수 및 맹암거공, 수평 내지 수직 배수공과 같은 적절한 배수공법을 적용하여 수압을 완화시켜 주어야 한다.

- 전도파괴가 예상되는 구간에 대하여 시공시 부석 및 뜯돌 제거 후 낙석방지책, 낙석방지망 및 Random Rockbolt등을 적용하여야 하며, Random Rockbolt 설치각도는 절리면 방향성에 따라 현장감독관과 상의하여 시공하여야 한다. 단, Face Mapping을 통한 지층확인 및 절리면의 특성을 파악하여 예상치 못한 불안정성이 발견될 경우 비탈면 안정을 재검토 후 기울기 완화 및 옹벽 구조물 등의 보강대책을 마련해야 한다.
- 본 과업구간의 기반암은 대부분 니질암 내지 사암으로 이루어져 있으며, 비탈면 시공시 우수와 대기의 노출에 의해 빠른 풍화가 예상되므로 시공시 식생에 의한 법면 보호공법이 조기 피복되어야 한다.
- 암반의 경우는 토사층에 비하여 각 대상지역마다 변화가 심하므로 설계단계에서 조사된 암반절리의 주향 및 경사와 불연속면의 특성이 추정치와 상반된 결과가 나타날 가능성이 있다. 따라서, 암반 비탈면의 안정성 분석은 수치적인 계산에 의한 안정성 평가보다 시공시 불안정한 요인을 정확히 파악하여 불안정한 요소를 제거하거나 또는 보강대책 등에 의해 보강하여 비탈면붕괴 또는 낙석사고 등을 없애야 한다.
- 시공 중 안정해석을 위한 조사는 비탈면 시공 중에 파괴를 유발시킬 수 있는 잠재적인 요인을 찾거나 파괴가 발생한 경우에 실시한다. 조사방법은 기본적으로 깎기면 현황도 작성(face mapping)을 실시하고, 위험요인이 있는 경우에는 지형조건, 비탈면규모, 지질상태, 토질 및 암반상태에 따라 본 조사의 방법을 조합하여 실시한다.
- 시공 중 안정해석을 위한 조사는 지반조건 및 비탈면의 규모에 따라 조사빈도를 다르게 수행할 수 있다. 일반 깎기비탈면(연직높이 20m 미만)은 깎기가 완료되는 시점까지 1회 이상 실시하고, 대규모 깎기비탈면(연직높이 20m 이상)은 중간정도 높이(약 20m 내외)까지 깎았을 때 1회, 깎기가 완료되는 시점까지 1회 이상을 실시한다.