

기 술 검 토 서

NO. 토질 및 기초 — 55

제 목: 송정1터널(시점측) 갱구부 및
사면보강대책 적정성 검토

2007. 4

강 원 건 설 사 업 단
춘 천 ~ 동 홍 천 기 술 자 문 단

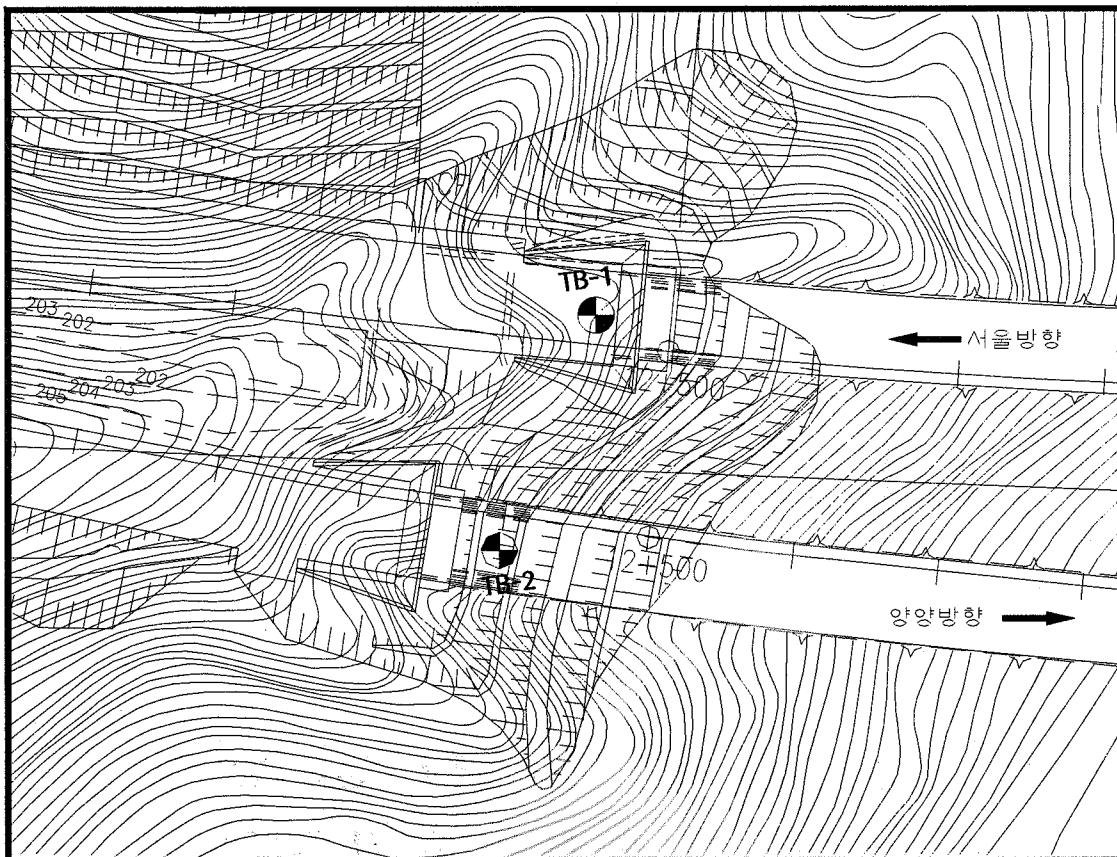
기술검토건명	송정1터널(시점측) 갱구부 및 사면보강대책 적정성 검토		
공 구	제 4 공구	검 토 구 분	토질 및 기초
검 토 기 간	2007. 4. 10 ~ 2007. 4. 17	담 당 자	오 성 민
근 거 공 문	제 강원-2007-22호	회 신 공 문	제 강원자문-2007-22호

1. 검토목적

고속국도 60호선 춘천~동홍천간 건설공사를 시행함에 있어 송정1터널(시점측) 갱구부 및 사면보강대책을 시공사에서 제출한 바 이에 대한 적정성을 검토하고자 함.

2. 검토내용

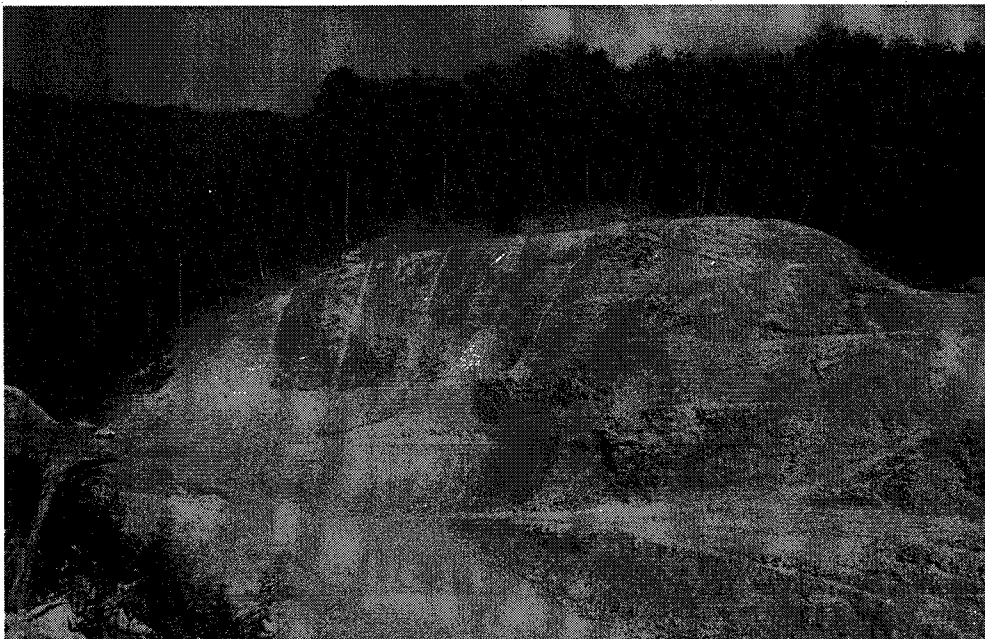
가. 위치평면도



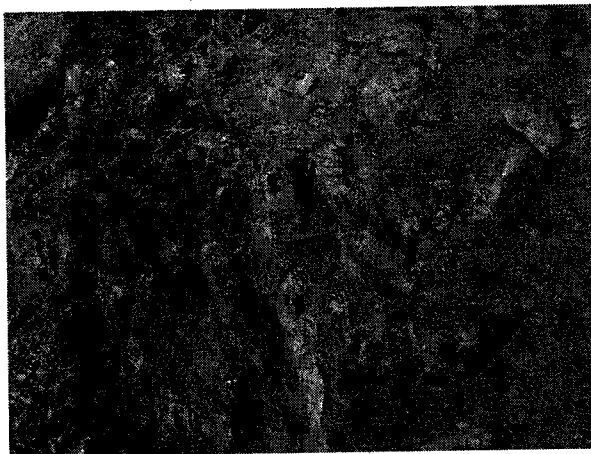
[그림-1] 송정1터널(시점측) 위치평면도(원설계)

나. 현황

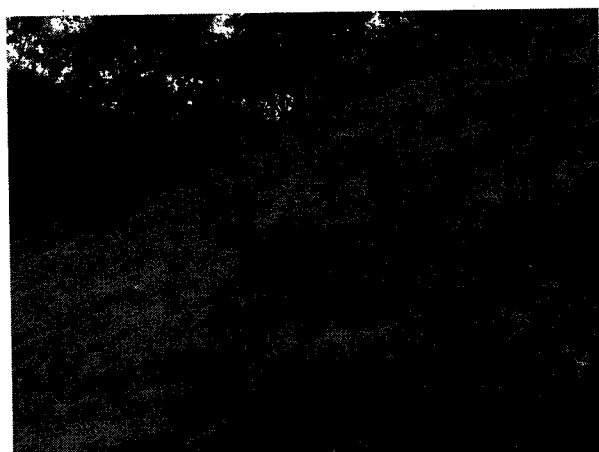
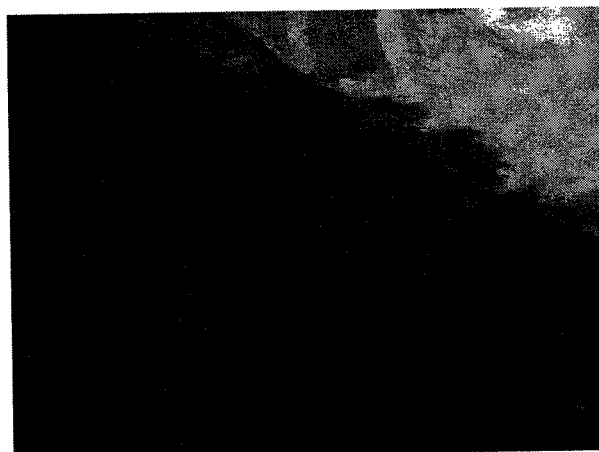
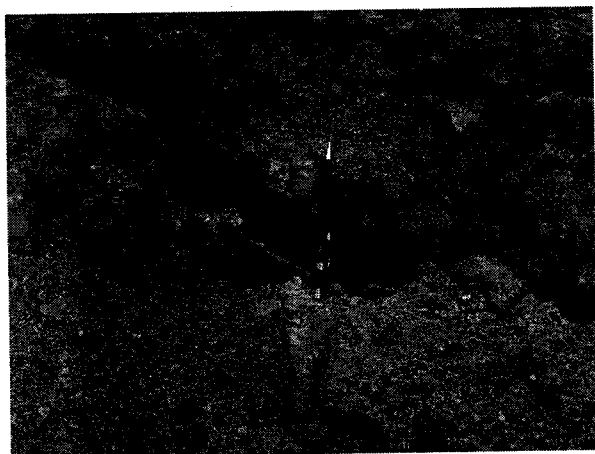
- 1) 상부로부터 표토층, 풍화암, 연암의 순으로 구성되어 있으며 차별풍화, 단층, 변성작용 등의 지각운동의 영향으로 지층분포가 다소 불규칙하며 표토층의 심도가 원설계보다 깊게 분포함.
- 2) 본 검토사면은 HW~CW 가량으로 풍화가 이미 상당히 진행된 상태이며 표층의 상대 밀도가 아주 느슨하여 지질해머의 자중에 의해 관입이 될 정도로 느슨한 상태임.
- 3) 단층, 변성작용 등 지각운동의 영향 및 차별풍화작용특성에 의해 풍화가 불규칙하며, 단층내 풍화발달에 의해 취약토층이 넓게 분포하고 있음.
- 4) 갱구사면 좌측부에 형성된 소규모 계곡부에 인접한 절취부에서 편마암이 노출되어 분포하며 엽리가 발달되어 있음.
- 5) 사면을 경사방향으로 절개하는 인장균열이 발생되어 있으며, 단층 및 엽리의 주불연속면은 사면과 유사한 방향을 형성하고 있으며 대규모 활동 가능성 있음.
- 6) 점토가 두꺼운 상태로 충전되어 있으며 전반적으로 파쇄가 심한 상태임.
- 7) 상부로부터 절취작업중 사면내에 인장균열이 발생되었으며 현장조사결과 사면 배면에도 인장균열(최대 1.5m정도의 단차발생)이 발생되어 사면안정대책이 필요한 실정임.



[사진-1] 검토구간 전경

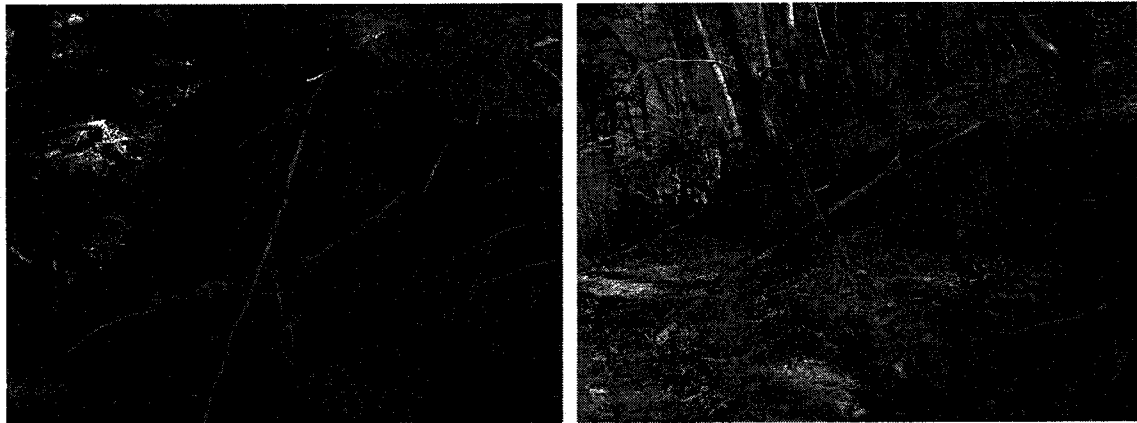


갱구부좌측 암조직 및 지질해머 관입(매우 느슨함)



사면내 인장균열 및 폭 측정(깊이는 추정불가)

[사진-2] 사면내 인장균열 현황



[사진-3] 사면 배면 인장균열 현황

다. 지반조사 현황

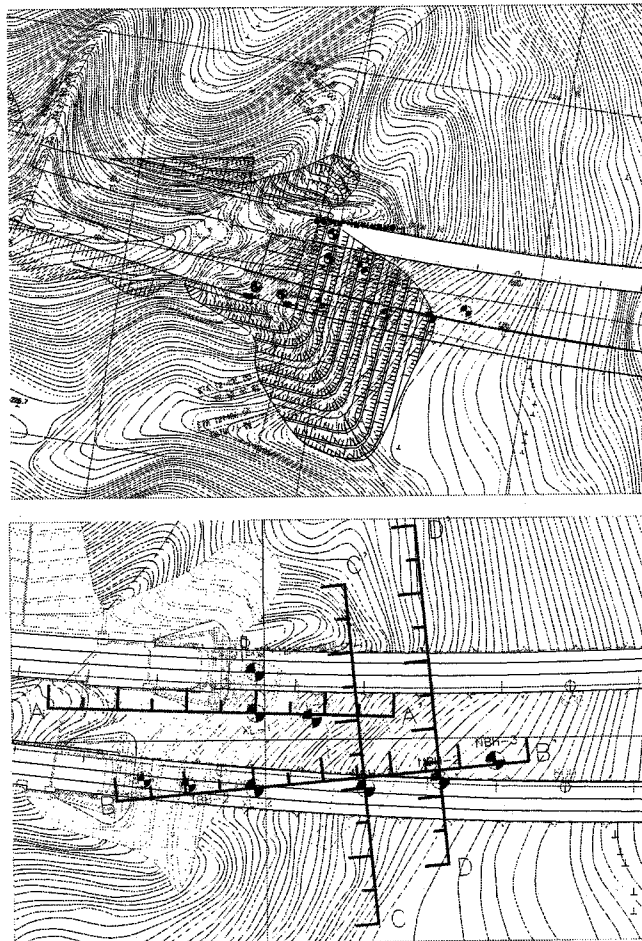
1) 시추조사

갱구사면에 대하여 3차례에 걸쳐 총 8개소에 시추조사 및 시추공영상촬영(BIPS)를 실시하였으며 기반암의 분포 및 추정단층대에 의한 파쇄대, 지층경계 등의 지반연약대를 파악하기 위하여 전기비저항탐사 4회를 실시함.

- 1차조사 : 시추조사(2공) TBB-1, TBB-2
- 2차조사 : 시추조사(3공) 및 시추공영상촬영(3개소) XL-1, XL-2, XL-3
- 3차조사 : 시추조사(3공) NBH-1, NBH-2, NBH-3
- 전기비저항탐사 : 쌍극자 배열법으로 균일구간의 지반상태를 파악하기 위하여 최소전극 간격 5m로 측정(4회 실시)

[표-1] 지반조사 현황

구 분	공 번	비 고
1차	서울방향	지표하 8.0m까지 시추
	TBB-1	지표하 33.3m까지 시추
	TBB-2	지표하 27.5m까지 시추
2차	XL-1	지표하 23.0m까지 시추 시추공영상촬영(BIPS) 실시
	XL-2	지표하 37.0m까지 시추 시추공영상촬영(BIPS) 실시
	XL-3	지표하 24.6m까지 시추 시추공영상촬영(BIPS) 실시
3차	NBH-1	지표하 30.0m까지 시추
	NBH-2	
	NBH-3	
전기비저항탐사		최소전극 간격 5m로 4회 측정



[그림-2] 시추조사 및 물리탐사 위치도

2) 조사결과 분석

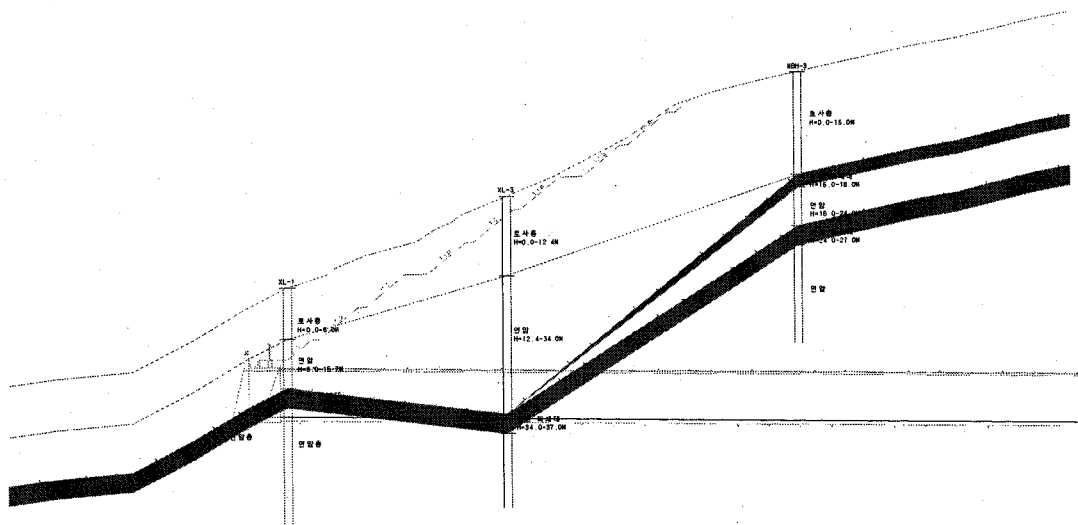
본 지역의 기반암은 편마암으로 시추조사 결과 미세절리 및 절리발달에 의한 파쇄가 심하며 절리면은 점토협재와 부분적으로 Slickenside(경면)이 존재하며 암질의 변화가 심한 것으로 판단됨. 2차조사의 경우 특히 XL-1번에서는 14.3m, XL-2번에서는 21.0~24.0m, XL-3번에서는 31.5m이하에서 단층의 흔적이 발견됨. 시추공영상촬영결과 수개소의 파쇄대가 관찰되며 절리의 분포는 불규칙적이며 크고 작은 개구성 절리가 분포하는 것으로 조사되어 전반적으로 암질이 불량한 상태로 판단됨. 단층대의 분포 특성은 사면과 유사한 방향으로 분포하는 것으로 조사되었으며, 전기비저항탐사 결과 지층연약대가 하부에서 2조 이상으로 관찰되며, 파쇄대의 분포양상은 서울방향이 양양방향보다 저부에 분포하여 경사지게 상향으로 형성되어 있으며 양양방향을 따라 상부로 진행되는 것으로 분석되며 연약대 폭은 최대 40m 이상으로 파악됨.

3) 활동면 추정

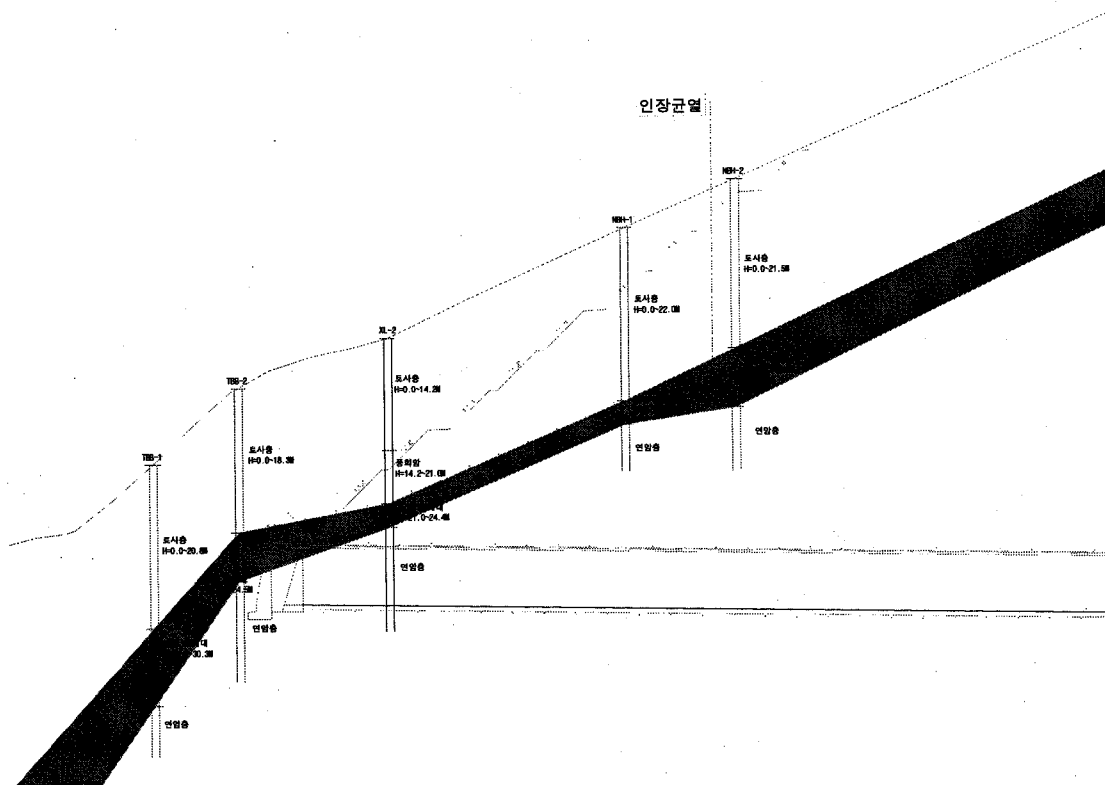
시추조사 결과 코아의 상태 및 시추공영상촬영(BIPS) 자료, 전기비저항탐사 자료 등을 통하여 암반이 불량한 심도를 조사하였으며, 그 자료를 근거로 지층단면에서 활동면을 추정함.

[표-2] 활동면 예상심도

구 분		단층파쇄대 또는 암질불량구간	추정활동면 심도	비고
1차	TBB-1	20.8~30.0m, 31.3~33.3m	20.8~30.3m	
	TBB-2	18.3~24.5m, 26.5~27.5m	18.3~24.5m	
2차	XL-1	12.3~12.7m, 15.7~18.7m 21.3~21.6m, 22.6~22.9m	15.7~18.7m	
	XL-2	21.0~24.0m, 33.7~33.8m	21.0~24.0m	
	XL-3	25.2~25.4m, 31.3~31.8m 34.0~37.0m	34.0~37.0m	
3차	NBH-1	22.0~25.0m	22.0~25.0m	
	NBH-2	21.5~29.0m	21.5~29.0m	
	NBH-3	16.0~18.0m, 24.0~27.0m	16.0~18.0m, 24.0~27.0m	



<서울방향>



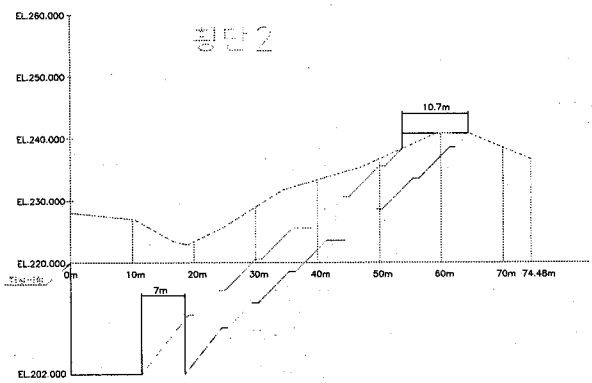
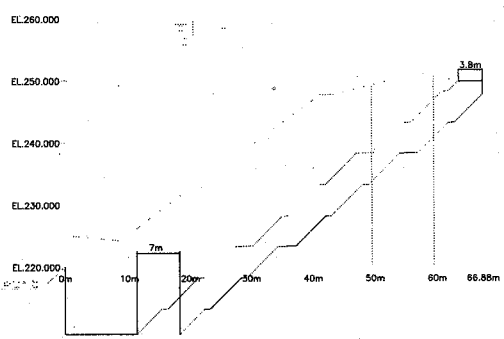
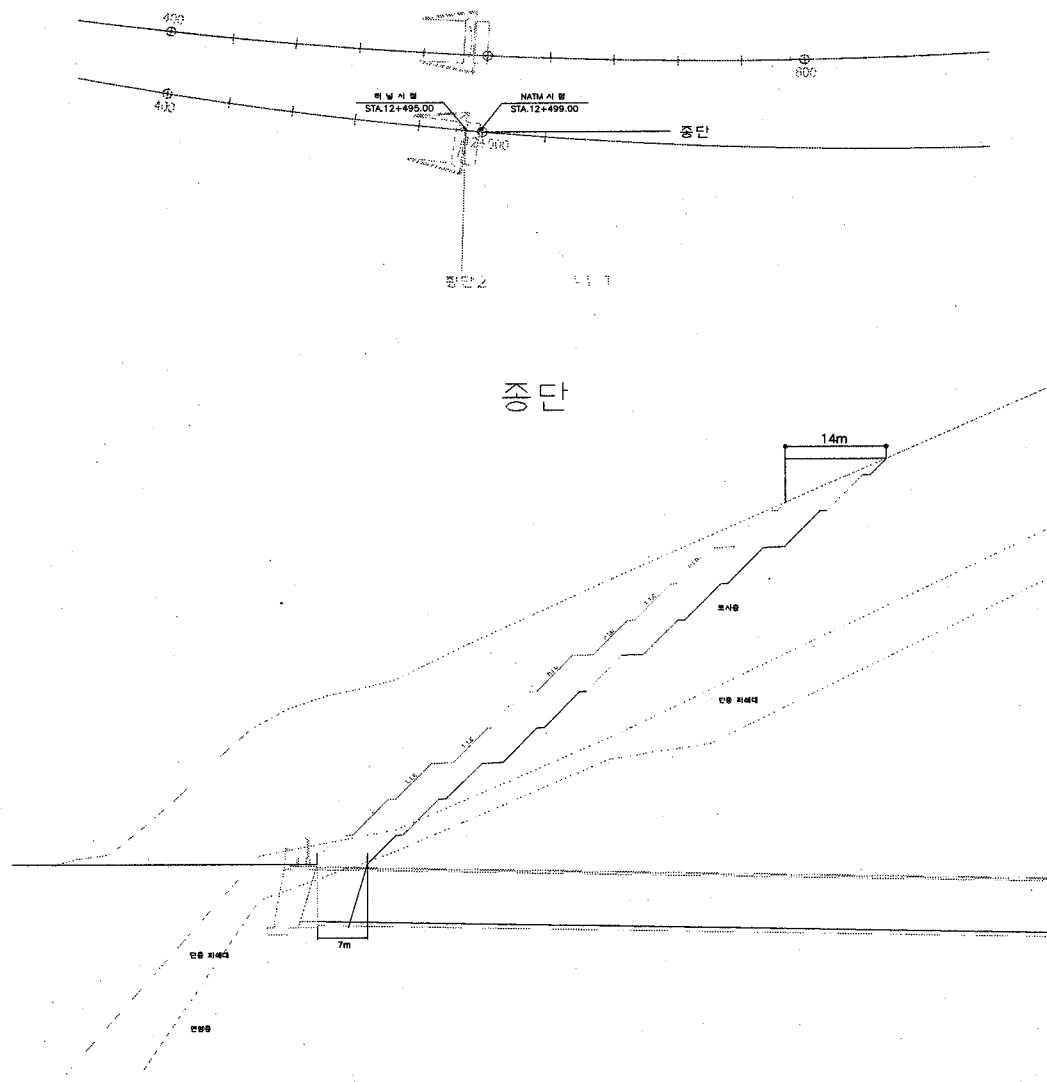
<양양방향>

[그림-3] 활동면 추정단면도

라. 갱구위치 적정성 검토

[표-3] 갱구위치 적정성 검토의견

구 분	갱구위치 적정성
대책보고서 방안	- 1안 : 원위치+사면완화(1:1.5)+지반보강 · 지표하 약 20.0m까지 토사층이며 하부로 2~3m 두께의 단층파쇄대 통과 · 터널의 안정성 확보를 위한 지반보강비용 과다 · 인장균열면까지의 굴착에 의한 식색비용 증대 · 층후가 깊은 토사층의 영향으로 터널 사이구간의 사면보강비용 과다 발생 - 2안 : 터널연장단축(25m)+사면보강 · 터널연장 축소에 의한 추가적 토공작업 발생 · 터널연장 축소에 의한 터널 시공비 감소 · 토사층 및 단층파쇄대의 영향으로부터 벗어나 설치되므로 터널보강비용 감소 - 3안 : 터널연장증가(개착식 약 29m)+압성토+지반보강 · 배면사면의 활동력에 저항할 수 있는 압성토를 설치하여 사면의 안정성 도모 · 개착식 터널의 추가 설치로 인한 시공기간 및 공사비 증대 · 활동저항체로 작용하는 압성토 시공을 위한 대규모 토공작업 불가피 · NATM 터널의 안정성 확보를 위한 지반보강비용 과다 토사층 및 단층파쇄대의 영향을 벗어날 수 있는 위치에 갱구부를 설치하여 터널의 안정성을 확보하기 위한 부가적인 지반보강 비용을 발생시키지 않고 절취사면의 면적을 최소화 할 수 있는 제2안이 가장 합리적이며 효과적이라 판단됨.
자문단 검토의견	터널 갱구부의 위치는 갱구부의 안정성 뿐만아니라 갱구사면의 안정성, 절취량, 보강시에는 보강범위, 보강량 및 보강공법 등과도 연관되는 사항으로 위치 선정시에는 상기내용을 종합적으로 고려하여 신중하게 선정되어야 함. 갱구사면에 활동이 진행된 송정1터널의 경우 단층파쇄대의 영향, 공사비, 추가절취영향 등을 고려하여 터널의 위치를 조정하는 방안은 적절한 것으로 판단됨. 대책보고서의 내용을 검토한 결과 양양방향의 적정 갱구위치로 제안된 제2안(터널연장단축(25m)+사면보강)을 적용할 경우 서울방향과 양양방향의 갱구부가 거의 동일선상에 위치하게 되며 파쇄대위치 및 영향에 따른 갱구부에 별도의 지반보강이 필요하지 않으며 갱구배후 사면의 절취량을 최소화하려는 의도로 판단됨. 대책보고서에서 제안된 2안의 경우 갱구부의 위치는 양양방향의 경우 25m를 터널쪽으로 이동하였으나 활동면 추정단면도에서 갱구위치를 검토한 결과 터널갱구상단에 다소의 단층파쇄대가 통과하는 것으로 검토됨. 따라서 이를 완전히 제거하기 위해 터널쪽으로 25+7m를 이동한 결과 절취량이 과다한 것으로 판단되며, 현장에서 제출된 도면을 검토결과 터널 종방향으로 약14m, 횡방향으로 약 11m의 추가절취가 필요한 것으로 검토되므로 NATM상단에 다소의 단층파쇄대가 존재(강관다단그라우팅 등으로 보강)하지만 대책보고서에서 제안된 터널 갱구부 위치는 적절한 것으로 판단됨.



[그림-4] 갱구위치 검토단면

마. 갯구사면 안정방안 적정성 검토

[표-4] 갯구사면 안정방안 적정성 검토의견

구 분	갯구사면 안정방안
대책보고서 방안	- 1안 : 1:1.0절취+Anchor+Soil Nailing(압력식)보강 · Anchor(50ton) : 2.0m×2.5m(Hs×Vs), L=28~35m · Soil Nailing(압력식) : 1.2~1.4m×1.2~1.8m(Hs×Vs), L=10~16m - 2안 : 1:1.5절취+Soil Nailing(압력식)보강 · Soil Nailing(압력식) : 1.0~1.6m×1.2~1.8m(Hs×Vs), L=8~16m - 3안 : 1:1.0절취+Anchor+Soil Nailing(압력식)보강+억지말뚝 · Anchor(50ton) : 2.5m×2.5m(Hs×Vs), L=28~35m · Soil Nailing(압력식) : 1.2~1.4m×1.2~1.8m(Hs×Vs), L=8~16m · 억지말뚝 : 수평간격6m, L=22~30m - 4안 : 1:2.0절취 사면의 손상이 최소화되며 경제성 및 시공성이 양호한 제1안을 제안함.
자문단 검토의견	활동이 발생된 사면은 구배를 안정경사로 완화하는 방안은 경우 1:2.0까지 완화하여야 함. 이는 사면의 안정성 측면에서 유리하나 배후사면 및 측사면의 과다절취에 따른 산림훼손이 우려되므로 적용이 불가한 것으로 판단됨. 검토사면과 같이 대규모의 활동이 우려되는 장대사면인 점을 감안할 경우 활동심도가 비교적 얇은 사면하단 부위는 Soil Nailing(압력식)공법을 적용하고 시공성 측면에서는 다소 불리하지만 활동심도가 깊은 사면중단이상 부위는 Prestress를 도입하여 활동력에 저항하는 Anchor공법으로 대책보고서에 제안된 1:1.0절취+Anchor+Soil Nailing(압력식)보강공법은 현장상황에 적합한 공법으로 판단됨. 현장조사결과 추정활동면의 심도가 비교적 깊은 상태로 장심도의 Anchor시공이 요구되므로 전문업체에 의한 정밀시공이 필요하며, 압력식 Soil Nailing의 경우 본 지역과 같이 느슨한 지반에 적용성이 있으나 주입압의 조절을 통하여 설계에 부합하는 시공이 되어야 함. 압력주입 시공의 경우 심층부는 주변지반의 구속압에 의해 가압효과를 기대할 수 있으나 표층부는 구속압이 약하므로 가압효과가 떨어지고 시공이 어려우므로 주의를 요함. Anchor공법과 Soil Nailing(압력식)공법 적용후에는 반드시 현장시험을 실시하여 적정시공여부를 확인하여야 하며 Anchor공법의 경우 지압판에 대한 설계가 누락되었으므로 이에 대한 보완이 필요함. 보강사면 완료 후 조속히 표면처리를 실시하여 Anchor와 Anchor사이 또는 Nail과 Nail 사이의 세굴 및 유실을 방지하여야 하며 표면처리는 암반취부공을 적용하되 취부두께는 절취구배(1:1.0)와 보강사면임을 감안할 때 7~10cm정도가 적정한 것으로 판단됨.(고속도로 전문시방서 4-5 암깍기면 보호식재)

바. 터널 안정방안 적정성 검토

[표-5] 터널 안정방안 적정성 검토의견

구 분	터널 안정방안
대책보고서 방안	서울방향 - 갱구부강 : 강관다단그라우팅 1열(180°), L=12m - 측벽부(파쇄대) : 강관다단그라우팅 L=3~6m 양양방향 - 갱구부강 : 강관다단그라우팅 2열(180°), 1열 180°, 1열 150°, L=12m
자문단 검토의견	터널 굴착시 안정여부는 굴착에 따른 이완하중의 효과적인 Arching작용이 매우 중요함. 지반조사 결과 설계보다 토사층의 심도가 두껍고 서울방향의 경우 터널 측벽부에 파쇄대가 존재하는 상태이므로 이에 대해 적정한 보강방안이 필요한 것으로 판단됨. 굴착시 종방향의 Arching은 선시공되는 강관다단그라우팅에 의해 보완이 가능하나 횡방향의 Arching은 측벽부가 불안정할 경우 과도한 변위 발생에 따른 슛크리트 및 지보재의 변상 또는 붕괴의 원인이 될 수 있으므로 측벽부가 연약한 경우 강도를 보강할 수 있는 보조공법의 도입이 요망됨. 현장에서 제안된 보강방안을 검토한 결과 파쇄대의 규모, 위치등을 고려할 때 안정성, 경제성 및 시공성 측면에서 적정보강방안으로 판단됨. 단 그라우팅에 의한 주입에 의해 불투수층이 형성될 경우 수압이 크게 발생할 수 있으므로 수발공을 설치하여 과도한 수압상승을 억제하여야 함. 상기 보강공법은 연직방향 시추결과에 의한 안정대책이므로 실시공시에는 막장면의 변화여부를 매단면 확인하고 필요시 선진수평시추 또는 횡방향 선진수평시추를 실시하여 보강방안의 적정여부를 확인하여야 함. 터널굴착시에는 굴진장 조절, 지발당 장약량 조절 등 화약전문가에 의한 매단면 토질상태분석에 따른 발파패턴도를 작성시행하여 터널 및 보강사면에 미치는 영향을 최소화하는 것이 바람직 할 것임. 이는 갱구사면과 터널안정여부는 밀접한 관련이 있는 사항으로 갱구사면이 안정된 경우라도 터널 굴착에 따른 응력의 재분배에 따라 갱구사면이 불안정해 질 수 있으므로 이에 대한 주의를 요함. 따라서 터널 굴착시에는 일상 및 대표계측의 빈도를 높여 갱구 및 사면의 거동 및 이상징후를 면밀히 관찰하여 터널굴착에 따라 사면불안정 여부를 확인하고 불안정시에는 대책을 강구함이 타당한 것으로 판단됨. 또한 필요시 영구계측을 도입하여 공용후 및 유지관리시 자료로 활용할 수 있도록 함이 타당한 것으로 사료됨.

3. 검토결론

- 1) 송정1터널(시점측) 갱구부는 시공중 사면 및 배후 사면에 인장균열이 발생되었으며 지반조사 결과 토사층의 심도가 깊으며 암질이 불량하고 대규모 단층대(파쇄대)가 분포하는 것으로 조사되어 안정대책이 필요한 실정임.
- 2) 지반조사결과 토대로 사면안정성을 검토한 결과 안정구배는 1:2.0까지 완화하여야 함. 이는 사면의 안정성 측면에서는 우수하나 배후사면 및 측사면의 절취에 따른 산림훼손이 과다하여 적용이 어려울 것으로 판단되므로 사면을 보강하는 방안이 적합한 것으로 판단됨.
- 3) 터널 갱구부의 위치는 갱구부의 안정성 뿐만아니라 갱구사면의 안정성, 절취량, 보강시에는 보강범위, 보강량 및 보강공법 등과도 연관되는 사항으로 터널 갱구상단에 위치 파쇄대를 고려하여 갱구위치를 조정(현장안 25+7m이동)한 결과 절취량이 다소 많이 발생하므로 현장에서 제안된 갱구위치는 적절한 것으로 판단됨.
- 4) 갱구사면의 안정대책으로 활동심도가 비교적 얇은 사면하단 부위는 Soil Nailing(압력식) 공법을 적용하고 시공성 측면에서는 다소 불리하지만 활동심도가 깊은 사면중단이상 부위는 Prestress를 도입하여 활동력에 저항하는 Anchor공법으로 대책보고서에서 제안된 1:1.0절취+Anchor+Soil Nailing(압력식)보강공법은 현장상황에 적합한 공법으로 판단됨. 다만 사면의 표층부는 느슨한 붕적층이 존재하므로 보강공법 적용후 조속히 표면처리를 실시하여 세굴, 표면유실 등에 따른 사면불안정요인을 제거함이 타당한 것으로 판단됨.
- 5) 터널안정대책은 터널 주변의 지층상태를 감안한 적정공법으로 판단되며 터널굴착시에는 굴진장 조절, 지발당 장약량 조절 등 화약전문가에 의한 매단면 토질상태분석에 따른 발파패턴도(발파계획서)를 작성, 시공하여 발파진동으로 인한 보강사면에 미치는 영향을 최소화하는 것이 바람직 할 것임.
- 6) 터널의 안정여부는 갱구사면의 안정과도 연관이 되므로 시공중에는 계측의 수량증가 및 빈도를 높이는 등의 방안을 강구하여 터널과 사면의 거동을 지속적으로 관찰함이 타당한 것으로 판단됨.