

기 술 검 토 서

NO. 토질 및 기초 — 25

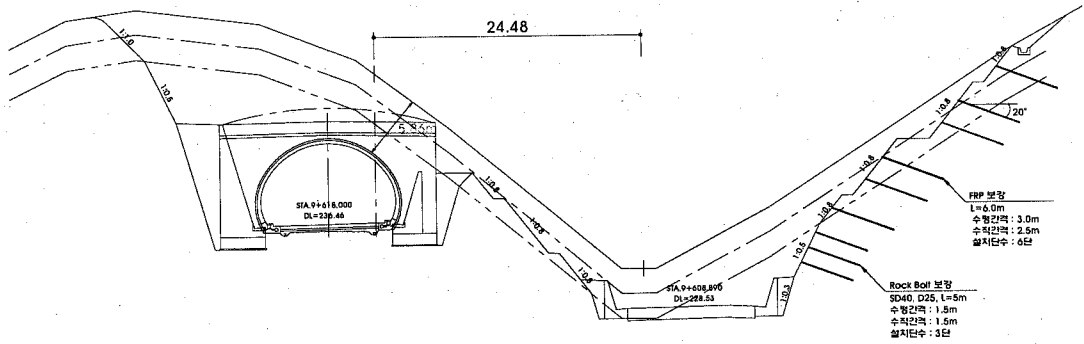
제 목: 북방2터널 종점부(서울)
안정대책 적정성 검토

2005. 12

강 원 건 설 사 업 소
춘 천 ~ 동 홍 천 기 술 자 문 단

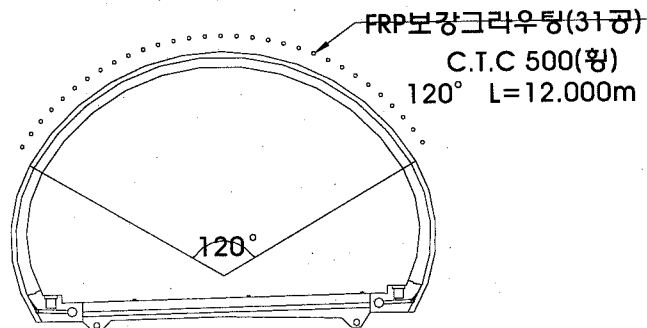
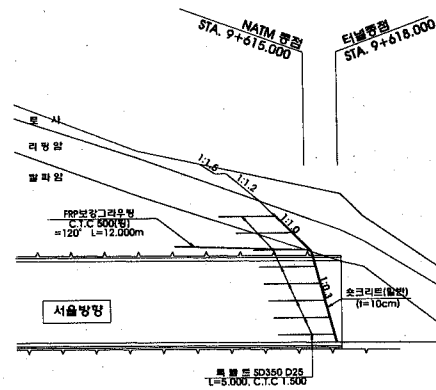
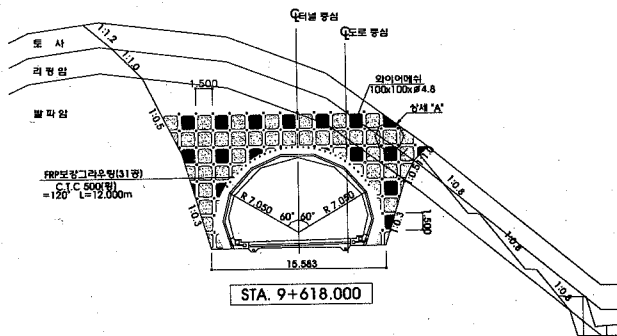
2) 갱구도면(설계)

서울방향 북방2터널 종점부



서울방향

서울방향 북방2터널 종점부



서울방향 북방2터널 종점부(STA. 9+618)

[그림-2] 횡단면도 및 갱구보강도

나. 현장조사



서울방향의 내측사면은 토피고가 6m 정도로 박층을 형성하고 있으며 노출된 암질도 불량한 상태로 좌·우측 측벽부는 일부 발파암이 노출되나 터널 중앙부, 어깨부 등은 파쇄연암 또는 풍화암(토)가 분포하고 있으며 지형여건상 편토압 발생이 우려됨.

나. 추진현황

- 1) 북방2터널은 지형여건상 갱구NATM위치가 서울방향은 STA. 9+617, 양양방향은 STA. 9+590으로 측정상으로는 약 27m차이를 나타내고 있으나, 실제 터널간 NATM위치 차이는 약 18m이며 분리터널간 높이차가 약 8m로 양양방향보다 서울방향이 위에 위치하여 토피고가 6m 정도로 박층을 형성하고 있음.
- 2) NATM위치의 차이에 따른 상부 지형을 고려할 때 서울방향은 편토압 발생이 우려됨에 따라 별도의 보강방안이 필요한 것으로 판단되어 사업소, 자문단, 설계자, 시공사관계자 등이 2차례에 걸쳐 대책회의를 실시하였으며 세부내용은 다음과 같다.

(1) 1차 회의

- 일 자 : 2005. 11. 04
- 참석자 : - 도로공사 : 설계과장, 주감독
 - 기술자문단 : 자문단장, 토질담당자
 - 대원토질 : 우상백 이사 외1인
 - 시공사 : 소장, 공사차장 등
- 협의결과 : - 갱구부 FRP보강 추가 시공(1열 추가시공)
 - 갱문설치 후 TYPE-6구간 굴착하면서 지질상태 확인후 추가보강방안 수립

(2) 2차 회의

○ 일 자 : 2005. 11. 05

- 참석자 : - 도로공사 : 설계과장, 주감독
 - 기술자문단 : 자문단장, 토질담당자
 - 설계사 : 정성모 상무, 환경섭 부장
 - 터널계측 : 김명섭 과장
 - 터널발파 : 이효 부장
 - 시공사 : 소장, 공사차장, 협력업체 소장 등

○ 협의결과

[표-1] 2차 협의결과 정리

구 분	협의내용 및 조치사항	비 고
설계사	- 북방2터널(서울) 저토피고 부분 구조해석 재검토 - 갱구부 상단 FRP추가시공여부 검토(1열 추가) - 확인시추 결과에 따른 사면안정성 검토 - 사면안정성 검토후 보강방안 제시 - 터널 시험발파시 입회 예정	
터널계측	- 사면안정성 확인 계측 항목 검토 - 1일 2회정도 상시계측 - 터널 굴착후 위험구간 통과시(약 30m)까지 진동 및 변위 관찰	
터널발파	- 갱구부 암질상태 미자립층 존재 및 암질상태 불량 - 매발파마다 발파패턴도 조정(부위별 암질상태 및 절리방향성 고려) - 굴진장 조절 필요(1.0m→0.8m) - 막장 암질상태에 따라 조절부분발파 검토 - 위험구간 통과시(약 30m)까지 현장 상주하면서 발파기술지도	
시공사	- 서울방향 갱구부 우측사면 확인시추	

다. 터널 안정성 검토

1) 적용 물성치

(1) 설계적용 지반정수

[표-2] 지반정수

구 분	단위중량 (tonf/m ³)	변형계수 (tonf/m ²)	점착력 (tonf/m ²)	내부마찰각 (°)	포아송비	비 고
붕적토	1.9	1,800	0.0	28	0.35	
풍화토	1.9	2,400	1.5	30	0.35	
풍화암(V)	2.1	60,000	5.0	30	0.30	
발파암	IV	2.5	240,000	32.0	0.28	연암
	III	2.6	850,000	70.0	0.25	경암
	II	2.7	1,560,000	180.0	0.21	
	I	2.7	4,090,000	380.0	0.20	

(2) FRP 보강시 설계적용 지반정수

[표-3] FRP 보강시 지반정수

구 분	단위중량 (tonf/m ³)	변형계수 (tonf/m ²)	점착력 (tonf/m ²)	내부마찰각 (°)	포아송비	비 고
붕적토	1.9	3,600	0.0	33	0.35	
풍화토	1.9	4,800	3.0	35	0.35	
풍화암(V)	2.1	120,000	10.0	35	0.30	
연암(IV)	2.5	480,000	64.0	36	0.28	

(3) 지보재 물성치

해석시 사용되는 터널의 슛크리트와 록볼트의 물성치는 다음과 같이 적용하였음.

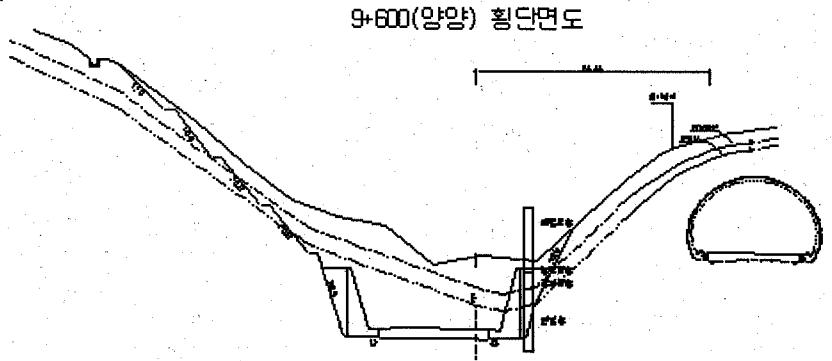
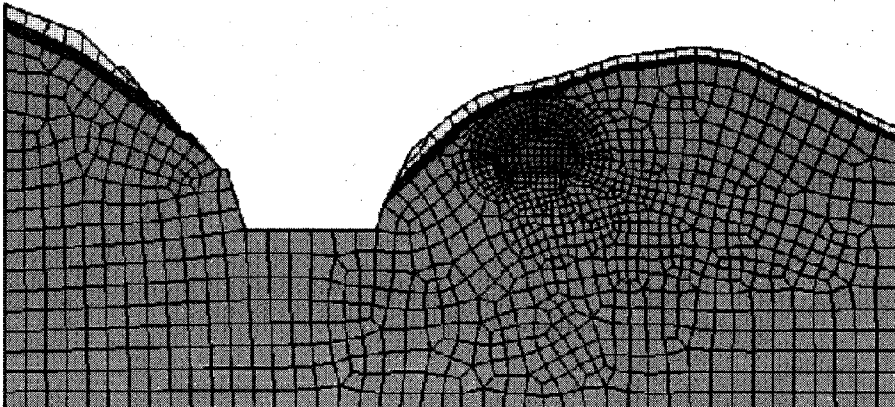
[표-4] FRP 보강시 지반정수

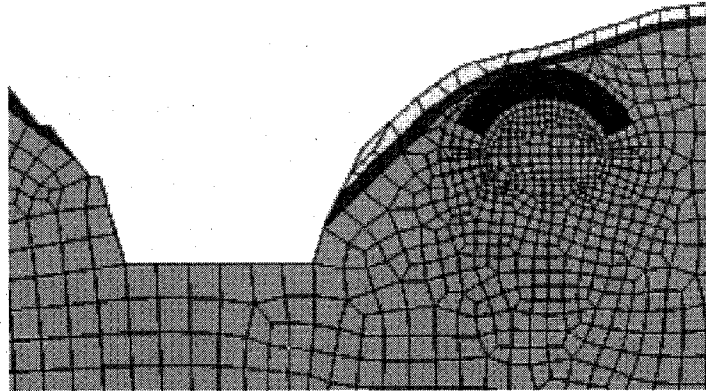
구 분	탄성계수 (tonf/m ²)	단위중량 (tonf/m ³)	설계강도 (kgf/cm ²)	비 고
붕적토	500,000	2.5	100	
풍화토	1,500,000	2.5	200	
연암(IV)	21,000,000	7.85	1,750	L=4m(SD35 D25)

2) 해석내용

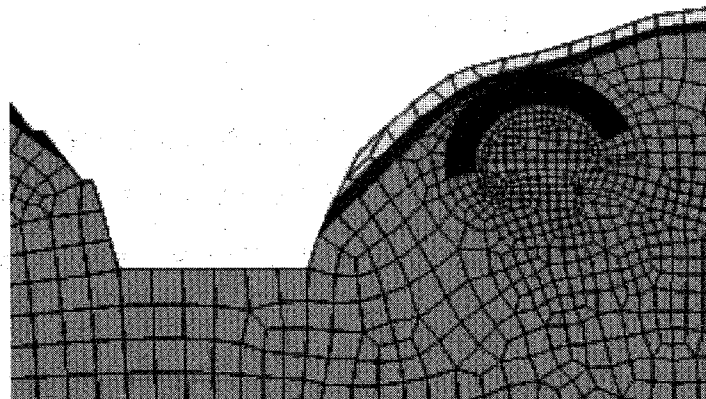
FRP보강그라우팅 영역에 따라 1단보강(좌60° , 우60°), 1단보강(좌90° , 우60°), 2단보강(좌90° , 우60°)으로 총3가지 경우의 해석을 수행하였음.

[표-5] 해석단면 및 FRP보강 영역도

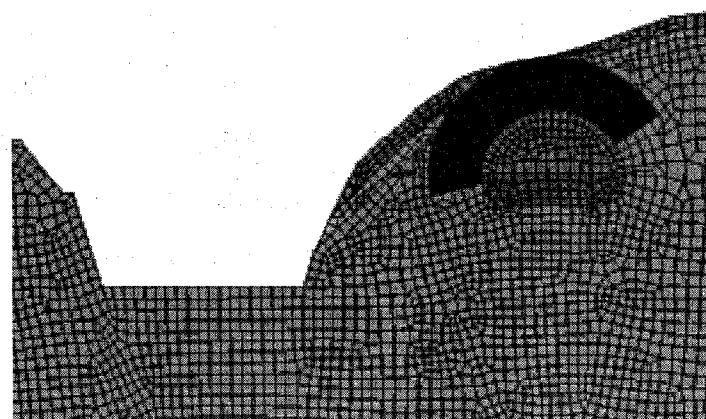
해석 단면	9+600(양암) 횡단면도 
개 요	- 본 해석단면은 북방2터널의 STA. 9+600(서울)지점으로 갱구부에 위치하였다. - 본 해석단면은 상부로부터 토사, 풍화암, 연암으로 지층이 구성되어 있으며, 터널이 위치하는 막장면은 연암층에 위치하고 있다. - 하중분담을 값은 암반등급 IV의 40-30-30을 적용하였으며, 지보패턴은 TYPE-VI을 적용하였다. 터널의 굴착은 상하 반단면 분할굴착의 시공순서로 해석을 실시하였다.
모델링	



1단보강(좌60° , 우60°)



1단보강(좌90° , 우60°)



2단보강(좌90° , 우60°)

[그림-3] 조건별 FRP그라우팅 보강영역

3) 해석결과

[표-6] 해석결과 요약

구분	숏크리트 압축응력 (ton/m ²)	숏크리트 전단응력 (ton/m ²)	록볼트 축력 (tonf)	천단변위 (mm)	좌측변위 (mm)	우측변위 (mm)
1단보강 (좌60°, 우60°)	134.61	12.16	0.57	1.131	-0.427	0.410
1단보강 (좌90°, 우60°)	132.29	10.31	0.56	1.015	-0.390	0.415
2단보강 (좌90°, 우60°)	129.79	10.98	0.56	0.995	-0.378	0.389
허용값	840	36.7	8.88	5~30	5~30	5~30

라. 자문단 검토의견

1) 해석결과 검토

상기 해석결과에 의하면 지반강도정수, 모델링은 적절한 것으로 판단되며, 해석결과 3가지 경우 모두 부재력은 허용응력치 이내로 발생하며, 터널 변위는 미미하게 발생되므로 터널은 안정한 것으로 분석됨. 따라서 3가지 조건 모두 적용가능한 것으로 판단됨.

2) 시공방안 검토

설계사 검토내용은 갱구부의 안정성만 검토되었으므로 적절한 시공방안에 대한 세부내용은 다음과 같이 제안함.

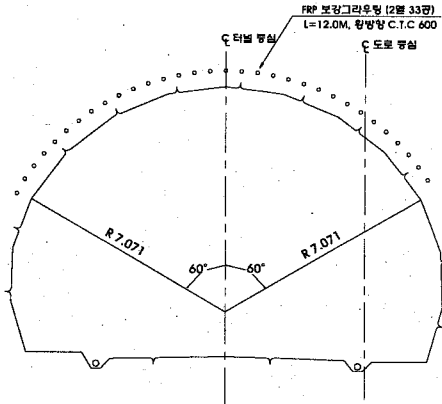
(1) 갱구보강방안

수치해석 결과는 3가지 조건 모두 안정하지만 수치해석은 지반의 다양한 조건(절리, 파쇄대, 단층대, 용수 등)을 충분히 고려할 수 없고, 불균질한 지반을 정확히 모델링하는 것은 한계가 있고, 예상치 못한 외력 등에 의한 불안정 요인이 상존하고 있으며, 북방2터널 종점부(서울방향)는 지형여건상 편토압이 예상되는 바 안전측으로 FRP보강그라우팅을 2단보강(좌90°, 우60°)을 적용하는 것이 적합한 것으로 판단됨. 또한 갱구부에 적용된 보강패턴(6-type)의 Rock Bolt는 저토피구간의 천공시 지반이완에 따른 불리한 요인 제공과 토층까지 일부 Rock Bolt가 시공되어 전면정착형의 Rock Bolt 본래의 기능 발휘가 저하되므로 기검토(용마(홍천) 제2005-0026호)내용과 같이 Rock Bolt를 삭제하고 FRP보강그라우팅에 의한 보강이 여건상 적합한 것으로 판단되며 내측으로 보강

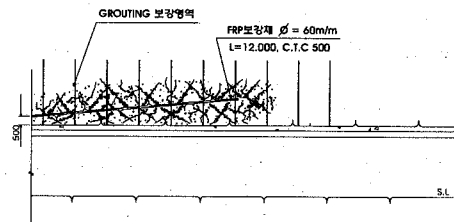
이 끝나는 마지막구간 6m단부쪽은 중복하여 Rock Bolt시공함이 타당한 것으로 판단됨.
북방2터널 종점부 서울방향과 양양방향의 NATM위치 차가 약 18m 정도인 점을 감안하
여 갱내보강은 FRP보강그라우팅을 18m 이상까지는 보강하는 것이 안전할 것으로 판
단되며 이후 구간은 막장면 및 계측결과를 면밀히 분석하여 추가보강여부를 결정함이
타당한 것으로 판단됨.

북방2터널 경구부(서울방향)

STA.9+617 FRP 33공(L=12.0m)



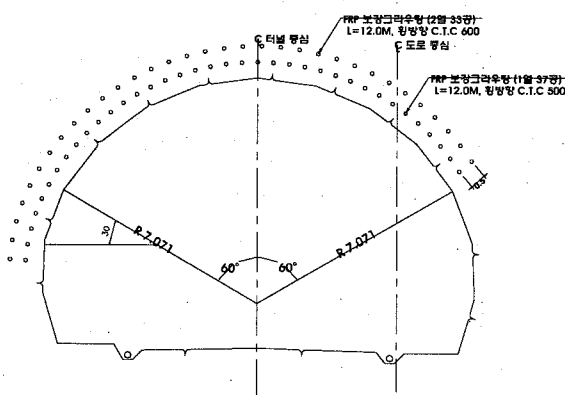
측면도



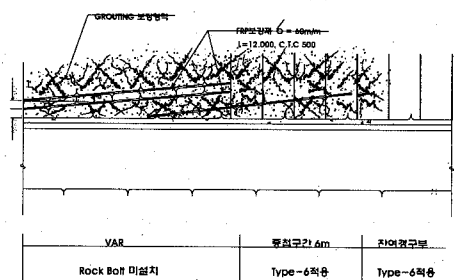
< 당 초 >

북방2터널 경구부(서울방향)

STA.9+617 FRP 70공(L=12.0m)



측면도



주) 내측부 보강은 FRP보강그라우팅(1열 37공)

L=12.0m, 횡방향 C.T.C 500

< 변 경 >

춘 천 ~ 동 흥 천 기 술 자 문 단

(2) 굴착방안

1~2D(D:터널폭) 정도의 토피층후를 확보할 때까지는 Grand Arch형성이 어려워 갱구부는 불안정한 상태이므로 매 막장마다 Face Mapping에 의한 표준발파패턴을 부위별 암질상태 및 절리상태(연장성, 절리방향, 절리빈도 등) 등을 감안하여 발파패턴을 조정하고 필요시 막장코아를 남기는 ring cut 공법을 적용하고, 저토피 측사면은 발파로 인한 지반변위 등 진동영향이 최소화되도록 기계굴착을 병행하고, 국부적으로 발파가 필요한 부위는 지발당 장약량을 조정하고 조절부분발파에 의한 다단발파를 하되, 굴진장을 가급적 설계(6-type)에서 1.0m~0.7m 정도로 줄여 막장의 안정을 도모하는 것이 적정한 것으로 판단됨.

(3) 계측관리방안

일상(A)계측 및 주요(B)계측을 세심하게 관찰하고 계측빈도를 보다 조밀하게 할 필요성이 있음. 특히 갱구 배면 사면과 측사면은 지중변위계측 및 지표침하측정의 수량을 증가시켜 계측하는 것이 타당할 것으로 판단됨. 발파 및 굴착직후의 터널안정성이 초기안정성에 매우 중요한 시점이므로 세심한 계측을 통하여 변위발생 여부를 수시로 확인하고 발파시에는 진동영향에 따른 사면안정성을 반드시 확인하여야 하며 이상징후 발생시에는 안전굴착 시공대책을 재수립하여야 할 것임.

(4) 기타 시공관리방안

- 보강 후 갱구굴착시에는 적정지보재를 가능한 한 빠른시간내에 설치하여 지반변위를 억제하고 천정부 및 어깨부의 슛크리트 타설시에는 국부적으로 와이어메쉬를 적용하여 슛크리트 경화시까지 슛크리트의 강도 및 자립성을 유지시켜주고, 균열저감 및 부착력을 향상시키는 방안을 제안함.
- 격자지보 설치시 지보의 단부는 터널 상반바닥에 밀착시공하여 보조지보재로서의 기능이 충분히 발휘될 수 있도록 설치하여야 함.
- 시공중에는 배수처리를 철저히 하여 바닥부가 연약화되지 않게 하여야 함.
- 굴착작업시 계측결과를 충분히 검토하여 시공에 적극 반영하고 이상징후(내공변위, 천단변위, 사면거동 등)를 초기에 감지하는 등 계측의 목적에 부합하는 시공이 되어야 함.

3. 검토결론

- 1) 북방2터널 종점부 갱구위치는 지형여건상 저토피구간에 내측사면의 토피층의 높이가 6.0m 이내로 편토압 발생이 우려되는 지형으로 적절한 보강방안이 강구되어야 할 것으로 판단됨.
- 2) 설계사에서 안정해석을 실시한 내용을 검토한 결과 강도정수 및 모델링, 해석결과는 적절한 것으로 판단됨.
- 3) FRP그라우팅의 보강영역을 달리하여 3가지 조건(1단보강(좌60° , 우60°), 1단보강(좌90° , 우60°), 2단보강(좌90° , 우60°))으로 검토한 결과 모두 부재력은 허용응력치 이내로 안정한 상태이므로 터널의 안정성을 확보될 수 있을 것으로 판단됨.
- 4) 수치해석 결과는 3가지 조건 모두 안정하지만 수치해석은 지반의 다양한 조건(절리, 파쇄대, 단층대, 용수 등)을 충분히 고려할 수 없고, 불균질한 지반을 정확히 모델링하는 것은 한계가 있으며, 현 지형여건보다 더 좋은 북방1터널 시점측 양양방향 갱구부 굴착 시에도 편토압 등의 복합적인 요인에 의하여 터널 및 사면 안정성에 문제가 발생되었던 사례 등을 보아 저토피 구간에 편토압 발생 예상지역임을 감안하여 안전측(2단보강(좌90° , 우60°))으로 보강하는 것이 적합한 것으로 판단됨.
- 5) 터널 갱구굴착시에는 양양방향과 서울방향의 갱구위치의 차이가 18m정도이므로 이구간은 굴진장을 1.0m~0.7m 정도로 줄여 안전굴착을 유도하고, 갱내보강의 FRP그라우팅은 18m 이상을 적용하되, 막장면의 암질 및 계층결과를 면밀히 분석하여 추가보강여부를 결정함이 적절한 것으로 판단되며, 슛크리트 타설시 국부적으로 와이어 메쉬를 적용하여 균열발생 억제 및 부착력을 향상시키는 방안을 제안함.
- 6) 막장면의 암질에 적합한 발파패턴을 적용하고 갱구배면 사면과 측사면은 세심한 계층을 통하여 변위발생 여부를 수시로 확인하고 발파시에는 진동영향에 따른 사면안정성을 반드시 확인하여야 하며 이상징후 발생시에는 안전굴착시공 대책을 재수립하여야 할 것임.