

# 기 술 검 토 서

NO. 토질 및 기초 — 8

제 목: 터널 굴착중 낙반에 따른 대책 검토

2005. 6

강 원 건 설 사 업 소

춘 천 ~ 동 흥 천 기 술 자 문 단

| 기술검토건명  | 터널 굴착중 낙반에 따른 대책 검토       |         |                      |
|---------|---------------------------|---------|----------------------|
| 공 구     | 제 2 공구                    | 검 토 구 분 | 토질 및 기초              |
| 검 토 기 간 | 2005. 6. 14 ~ 2004. 6. 15 | 검 토 자   | 오 관 식                |
|         |                           | 담 당 자   | 오 성 민                |
| 근 거 공 문 | 구두지시(2005. 6. 14)         | 회 신 공 문 | 용마(홍천) 제2005 - 0018호 |

## 1. 검토목적

춘천~동홍천간 고속도로 건설공사를 시행함에 있어 제2공구에 위치하는 북방1터널(서울 방향)을 굴착함에 있어 설계시와 상이한 암질상태를 나타내고 있으며 암질의 변화가 다양하고 급변하는 바 굴착에 따른 안정성을 확보하기 위하여 현장여건에 적합한 굴착방안을 검토하고자 함.

## 2. 검토내용

### 가. 일반현황

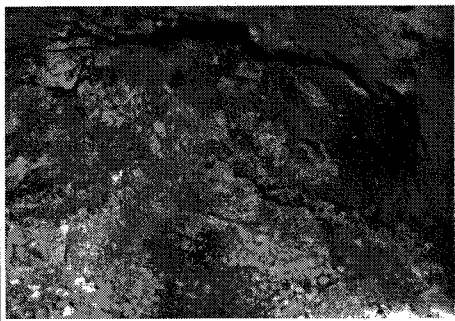
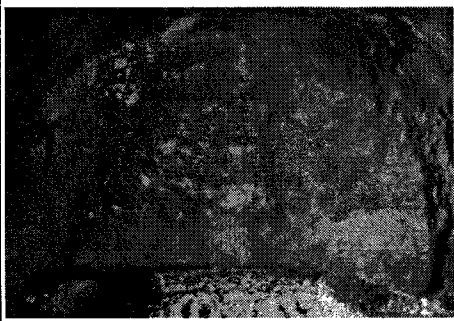
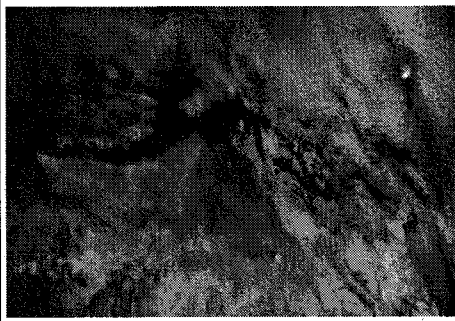
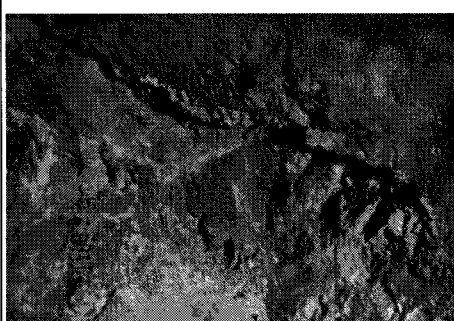
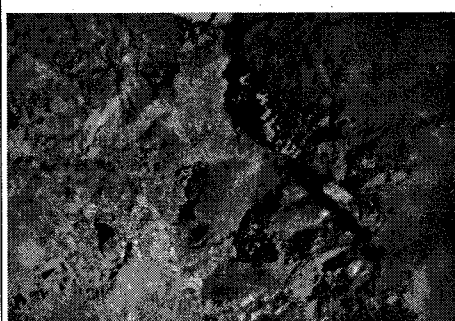
[표-1] 북방1터널 현황

| 구 분    |    | 북방1터널                        |
|--------|----|------------------------------|
| 위 치    | 시점 | 강원도 춘천시 동산면 조양리              |
|        | 종점 | 강원도 홍천군 북방면 성동리              |
| 터널연장   | 서울 | 2290m(STA. 5+380~STA. 7+670) |
|        | 양양 | 2311m(STA. 5+352~STA. 7+663) |
| NATM연장 | 서울 | 2257m(STA. 5+390~STA. 7+647) |
|        | 양양 | 2286m(STA. 5+360~STA. 7+646) |
| 갱문형식   | 서울 | 시점 : 돌출아치형, 종점 : 면벽식         |
|        | 양양 | 시점 : 돌출아치형, 종점 : 면벽식         |
| 통행방식   |    | 일방향 통행(2차로)                  |
| 환기방식   |    | 기계환기                         |
| 터널시공방법 |    | NATM 공법                      |
| 터널중심간격 |    | 33.020                       |

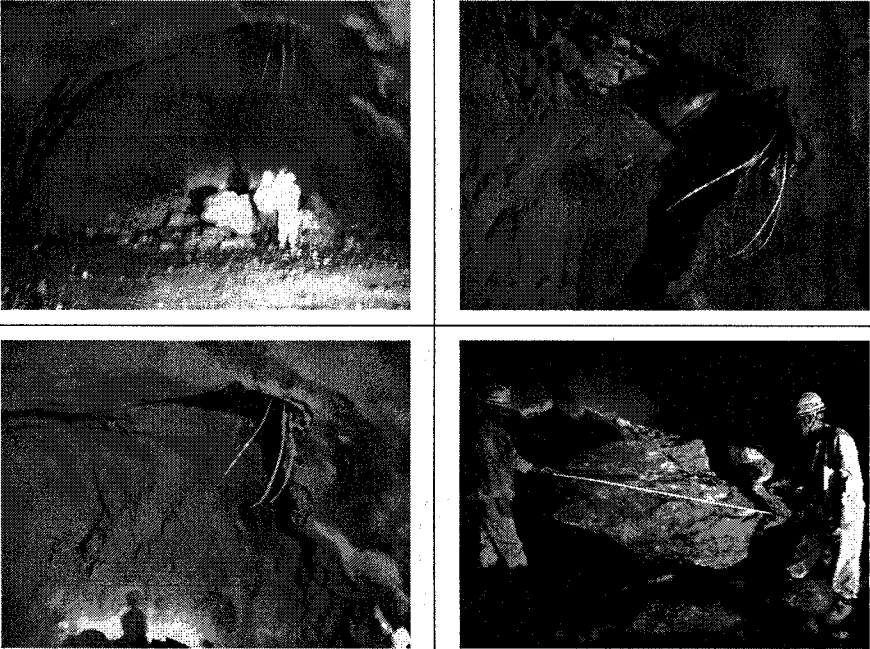
#### 나. 시공현황

북방1터널은 종점부에서 시점부방향으로 굴착중이며 설계에서 제안된 지보패턴은 현질굴착면을 대상으로 평가한 결과 상당한 차이를 나타내고 있어 대부분이 하향지보패턴을 유지하고 있으며 이는 공사비의 상승 및 공기에 영향을 미치고 있는 실정임. 또한 굴착중 일부구간에서는 소규모 낙반이 몇차례 발생하여 터널안전성에 적합한 보강방안 수립이 필요한 상태이며 설계 및 시공시 적용된 지보패턴은 '#첨부1.북방1터널굴착 현황도' 와 같다.

[사진-1] 북방1터널 낙반현황

| 낙 반 사 진                                                                             |                                                                                      | 낙반현황                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   | 일자:2005. 3. 21<br>위치:7+196.7(서울)<br>규모:폭3~3.5m,<br>깊이1m,<br>3m <sup>3</sup> 정도<br>형태:타원형낙반<br>지보TYPE:4type |
|  |  | 일자:2005. 4. 21<br>위치:7+133(양양)<br>규모:폭2.0m,<br>깊이1m,<br>2m <sup>3</sup> 정도<br>형태:썩기형낙반<br>지보TYPE:4type     |
|  |  |                                                                                                            |

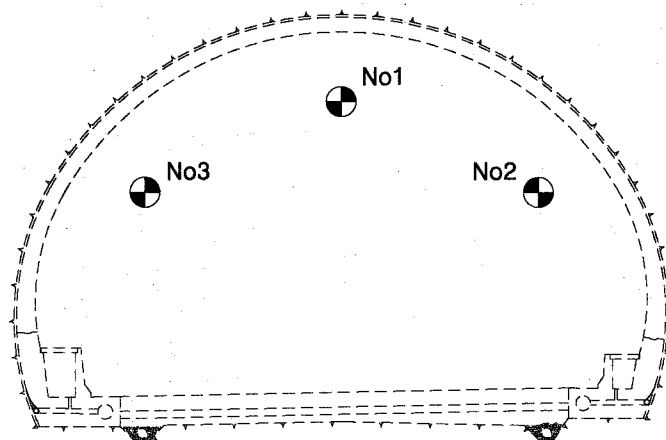
[사진-1] 계속

| 낙 반 사 진                                                                             | 낙반현황                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>일자:2005. 6. 2<br/>         위치:7+009.7(서울)<br/>         규모:폭2.5~3m,<br/>         깊이2m,<br/>         5m<sup>3</sup>정도<br/>         형태:빼기형낙반<br/>         지보TYPE:3type</p> |

다. 현장조사 내용

1) 선진수평시추

굴착을 진행함에 따라 설계와 시공시의 암질차이로 암분류 등급이 떨어지고, 국부적인 낙반이 발생되어 현장에서 막장전방의 암질변화 및 파쇄대의 존재여부 등을 확인하기 위하여 3개소에 대하여 수평시추(NX size)를 실시하였으며, 시추결과는 다음과 같다.



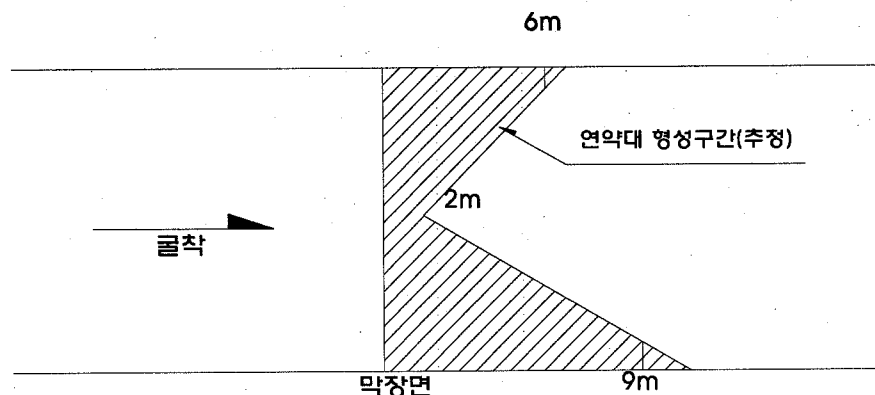
[그림-1] 수평시추 위치도(STA. 7+007.7(서울방향))

[표-2] 수평시추 결과

| 구분  | 지층     | 지층두께(m)  | TCR(%) | RQD(%) | 비 고                                                                |
|-----|--------|----------|--------|--------|--------------------------------------------------------------------|
| No1 | 연암     | 0.0~2.0  | 77     | 16     | 수평시추결과 전방6~9m까지 TCR은 비교적 양호하나 RQD는 저조한 상태로 암질의 변화가 복잡·다양한 것으로 추정됨. |
|     | 보통암~경암 | 2.0~30.0 | 100    | 46~82  |                                                                    |
| No2 | 연암     | 0.0~9.0  | 80~100 | 23~40  |                                                                    |
|     | 보통암~경암 | 9.0~30.0 | 100    | 43~80  |                                                                    |
| No3 | 연암     | 0.0~6.0  | 84~100 | 4~9    |                                                                    |
|     | 보통암~경암 | 6.0~30.0 | 100    | 20~92  |                                                                    |

## 2) 시추결과 검토

선진수평시추 결과는 천정부보다는 상대적으로 굴진방향 좌측어깨부 및 우측어깨부에서 암질이 불량한 것으로 조사됨. 특히 우측어깨부는 암질불량 심도가 깊은(전방9m) 것으로 조사되었으며, 이는 낙반이 발생한 위치와 유사한 지점임을 감안할 때 암질의 변화가 심하고 불규칙적인 절리발달 및 파쇄대가 형성되어 있을 것으로 추정됨. 따라서 시공시 주의를 요하며, 보강공법의 적용을 통하여 막장의 안정을 확보하여야 할 것으로 판단됨. 수평시추결과에 대한 전반적인 막장면 전방의 암질상태는 0~9m구간의 코아회수율(TCR)은 77%~100%로 비교적 양호하나, 암질지수(RQD)은 4%~40%로 매우불량 내지 불량한 상태로 나타나므로 0~9m 굴착시 보강공법적용 등 세심한 시공이 요구되며, 계측관리에 의한 터널의 변위 등에 대한 전반적인 거동을 관찰하여야 할 것으로 판단됨.



[그림-2] 수평시추결과 추정도(STA. 7+007.7(서울방향))

## 라. 안정방안 검토

### 1) 보조공법 개요

터널내 각 보조공법의 선정시 지반조건, 지하수상황, 터널의 용도, 터널의 규모 등에 따라 상이하기 때문에 구체적인 보강공법의 활용 목적과 평가방법을 명확히 설정한 다음 지반조사 결과 따라 현장여건에 필요한 공법을 선정하여야 함.

아래에 제시된 굴착공법은 현장여건에 따라 2개 혹은 3개의 지반보강공법을 목적에 따라 병용할 수 있으며 천단부 보강에 적용 가능한 공법은 다음과 같다.

[표-3] 굴착보조공법의 적용성

| 공법                      | 적용방안                             |
|-------------------------|----------------------------------|
| 격자지보                    | 절리발달에 따른 자립능력이 부족할 경우 국부적으로 시공   |
| 파이프 루프                  | 터널 천정부의 낙반방지 및 천정부 보강            |
| 경사 록볼트                  | 절리면을 고려하여 봉합효과를 고려한 경사시공         |
| 포오폴링                    | 터널 천정부의 낙반방지 및 천정부 보강            |
| 강관다단그라우팅<br>(FRP보강그라우팅) | 터널 갱구부 또는 천정부의 상재하중의 분산효과 및 경감효과 |
| 약액주입                    | 지반보강 및 차수효과                      |

### 2) 현장보강 방안 검토

현재 시공중인 북방1터널은 설계지보 TYPE 보다 하향TYPE으로 굴착중에 일부구간에 서 소규모 낙반이 발생하였으며 막장의 암질이 불량한 상태로 선진수평시추 등의 방법을 적용하여 전방의 암질 및 파쇄대 등의 연약토층 존재여부를 조사하였다. 특히 3TYPE으로 굴착중 낙반발생 및 암질이 불량할 경우에 대한 안정방안을 수립하기 위하여 터널 막장면과 선진수평시추결과 등을 종합적으로 판단한 결과 굴착안정방안은 다음과 같이 제안함.

- 3TYPE에 의한 전단면 굴착을 상·하분할하여 굴착하는 방안

: RMR분류에 따른 지보TYPE은 3TYPE이라도 불규칙한 절리교차 따른 안정성이 우려되며 막장자립시간이 짧을 것으로 예상됨.

- 굴진장을 줄이는 방안

: 굴진장을 줄이면 막장에 작용되는 하중 및 이원영역이 감소됨.

- 국부적인 취약구간은 격자지보로 보강하는 방안(6~9m구간)

: 국부적인 낙반우려지점은 록볼트, 포오폴링 시공시 지지대 역할을 기대할 수 있고 횡방향의 아칭현상에 따른 터널막장면의 안정을 기대할 수 있으므로 약 1.5m 정도의 간격, 4~5본 정도의 격자지보로 보강(암질의 변화에 따라 수량증가 가능)

- 록볼트, 포오폴링 등의 보조공법을 적용하는 방안

: 설계에 반영된 SYSTEM 볼트이외에 낙반우려 지점은 절리방향을 고려하여 RANDOM 볼트를 절리에 직각방향으로 시공함으로써 보강효과를 최대화시킴.

상기 제안된 터널 막장안정 공법은 현장여건(국부적인 절리 및 파쇄대 구간, 낙반우려 구간 등)에 따라 2~3개의 공법을 병용하여 적용할 수 있음.

### 3. 검토결론

- 1) 터널굴착시 안정성 확보는 지반조건에 적합한 지보공을 굴착즉시 시공하여 터널의 변위를 최소화하여야 함.
- 2) 북방1터널의 암질은 변성암계열(편마암류)로 편리 및 엽리구조에 의한 여굴발생이 많은 조건이며 낙반의 위험성이 높은 편이므로 터널 막장조사 결과에 의해 제안된 지보패턴을 기본으로 하되 국부적인 취약층 발생시는 상기 제시된 공법 중 현장여건에 적합한 보조공법을 적용함이 타당한 것으로 판단됨.
- 3) 낙반이 발생한 지점은 거의 3,4TYPE구간이므로 보조공법을 도입하여 보강하는 방안이 적합한 것으로 판단되며, 반단면 굴착(4type)과 전단면 굴착(3type)의 경계지점은 굴착방법 및 보강방법의 차이에 따라 불안정한 시공조건을 초래할 가능성이 있으며, 터널의 거동관점에서 중요한 지점이므로 막장면의 암질 변화 및 파쇄대 존재여부를 면밀히 관찰하여야 함.
- 4) 현재 낙반이 발생한 북방1터널(서울방향) STA. 7+007.7지점에서 전방으로 6~9m 정도는 '라. 안정방안 검토, 2) 현장보강 방안 검토' 항을 참조하여 보강하는 방안이 적합한 것으로 판단됨.

- 5) 시공시에는 천공길이, 천공각도, 장약량, 발파공법개선 등을 종합적으로 검토하여 여굴 발생 및 모암의 손상을 최소화하여야 하며, 계측관리 등에 의한 터널의 변위 등에 대한 전반적인 거동을 관찰하여야 함.