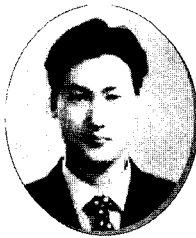


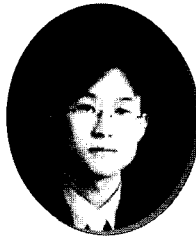
# 제2영동(서울~원주) 고속도로 민간투자사업의 터널 주요구간 통과방안 설계 사례



김우성  
(주)삼보기술단 지반부 차장  
(aguns@hanmail.net)



유동욱  
(주)삼보기술단 지반사업부 과장



안창윤  
(주)삼보기술단 지반사업부 대리



김제경  
(주)삼보기술단 지반사업부 이사



소충섭  
(주)삼보기술단 지반사업부 부사장

## 1. 서론

제2영동(서울~원주) 고속도로는 경기도 광주시 초월읍을 시점으로 하여 강원도 원주시 가현동에서 기존의 영동고속도로와 원주JCT로 연계되는 총연장 56.95km의 왕복 4차로 고속도로로써 '제2경인 고속도로 ~ 제2경인 연결고속도로 ~ 성남-장호원 간 국대도'와 연계되어 인천에서 원주간의 최단거리 교통 통행을 이루도록 설계되었다. 과업구간 지형특성상 대부분의 구간에서 산지가 발달하여 노선의 직선화로 인한 교량 및 터널 구조물이 다수 계획되었으며, 총 7개 공구에 교량 77개소(연결로 33개소 포함), 터널 12개소가 계획되어 있다.

터널은 1km이상 기계화터널 5개소, 1km미만

자연환기터널 7개소가 계획되었고, 터널 통과구간의 지형조건에 따른 편도압 구간, 개발예정지구 저토피 구간 및 갱구부 급경사 지역과 중앙선 삼산터널 교차 구간 등 난시공 예상 구간이 발생하여 이에 대한 안정성 확보를 위한 상세검토가 수행되었다. 또한, 상대적으로 지형조건에 영향을 많이 받는 갱구부에 대하여 불연속면의 방향성을 고려하여 지보패턴의 연장을 검토함으로써 적정한 갱구 지보패턴의 연장 결정을 위한 정량적 판단근거를 제시하였다.

## 2. 주요 시공 유의 구간

본 과업 노선이 동서축으로 계획되고, 기존 고속



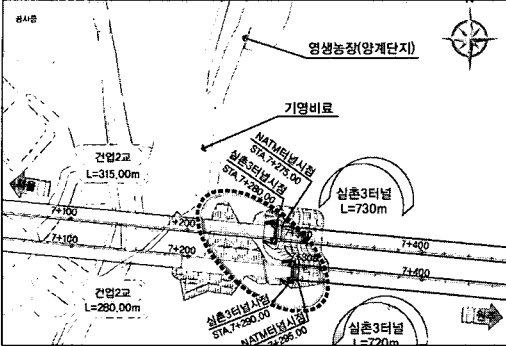


그림 4. 급경사 갱구부 현황

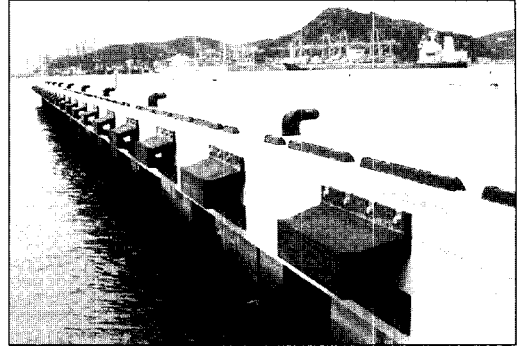


그림 5. 왕실도에 예정지(저토피) 현황

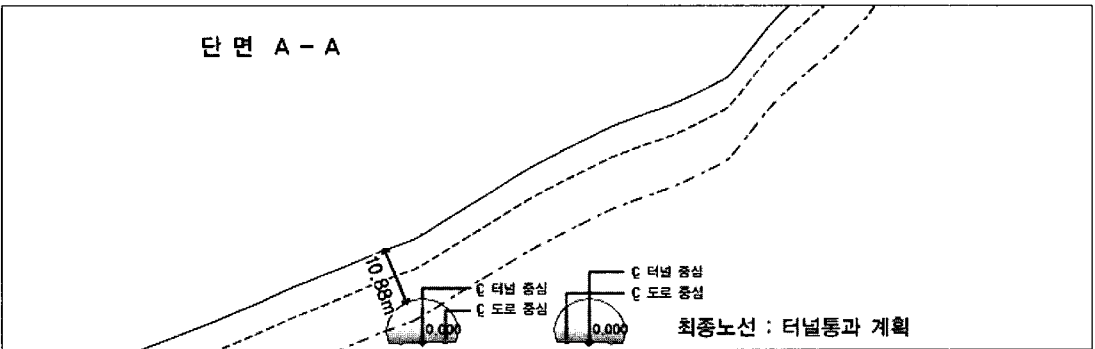


그림 6. 편도압 구간 횡단면도

근접할 것으로 예상되었다.

### 3. 시공난이도를 고려한 주요구간 통과방안

#### 3.1 중앙선 복선전철(삼산터널) 근접통과

중앙선 삼산터널의 상부통과 구간중 본선 깎기부 STA.39+850부근에서 과업 노선 토공에 의한 절취로 삼산터널 천단부와의 이격거리가 약 11.3m 확보될 것으로 예상된다. 이로 인하여 기 시공완료된 삼산터널 천단부의 하중저하에 의한 터널 측벽부 축압

이 증가하여 터널 주변 아치형성의 불균형을 초래 및 근접발파에 따른 진동영향 등에 따라 터널단면의 변형 및 균열 발생이 우려되었다.

터널단면의 변형 및 균열에 대한 안정성 검토를 위하여 교차구간에 대하여 근접시공범위 및 발파 추정 진동식에 의한 삼산터널의 발파진동영향 평가를 수행하였으며, 표 1에 검토결과를 나타내었다.

또한, 삼산터널은 과업 노선의 토공작업시 운영이 예상되므로, 상부 원지반의 굴착에 따른 터널 지보재 안정성 및 천단변위 경향 분석을 위하여 2차원 및 3차원 안정성 검토가 수행되었으며, 검토결과 천단변위 및 슛크리트와 록볼트의 지보재력이 모두 허용치 이내로 평가되었다.

# I 제2영동(서울~원주) 고속도로 민간투자사업의 터널 주요구간 통과방안 설계 사례 I

표 1. 구조물별 조사계획 및 주요 조사항목

구분	검토결과도	검토결과
근접시공범위		<ul style="list-style-type: none"> <li>삼산터널 교차부 안전영역 검토                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 삼산터널 상부 원래의 토피: 25.5m</li> <li>- 본선 토공 굴착이후 잔재 토피: 11.3m</li> <li>- 잔재 토피비 (h/H): 0.44</li> </ul> </li> <li>잔재도피비 = 0.44(근접시공시 요구 범위)                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시공시 별도의 근접시공 영향 최소화 방안 수립</li> </ul> </li> </ul>
발파진동영향		<ul style="list-style-type: none"> <li>발파 진동식: <math>V = K \cdot W^{0.75} \cdot D^{-1.5}</math> <ul style="list-style-type: none"> <li>- V: 진동속도(cm/sec)</li> <li>- W: 최대 지발당 장약량(kg)</li> <li>- K: 진동상수</li> </ul> </li> <li>지중구조물 발파진동 규제기준=1.0cm/sec</li> <li>발파굴착시 진동영향 최소화를 위한 최소 장약량 0.25kg 적용 발파진동 영향검토                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지중 구조물 발파진동 규제기준인 1.0 cm/sec 이하로 안전</li> </ul> </li> </ul>

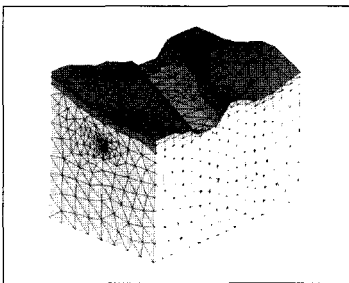


그림 7. 수치해석 모델링

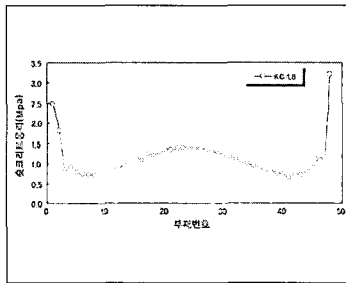


그림 8. 숏크리트 휨압축응력

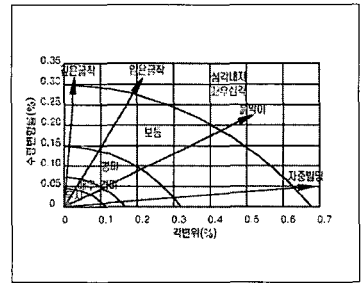


그림 9. Boscardin&Cording도표

## 3.2 급경사 갱구부 작업성을 고려한 일방향 관통

실촌3터널의 시점 갱구부는 계곡부 급경사지에 위치하여 갱구부 작업을 위한 작업공간 확보 및 공사용 진입도로 개설이 곤란할 뿐 아니라, 지형적 조건에 의해 건업2교의 교대가 근접시공 되므로, 터널

버력반출로의 확보 곤란이 예상된다. 이러한 시공상의 어려움을 해결하고자 실촌3터널 시점 갱구부에 대하여 종점부측에서부터 시점부로의 일방향 굴착을 계획하였다.

시점 갱구부로의 일방향 굴착은 갱구 50m 전방으로부터 Pilot터널(D = 3.5m)을 선굴착한 후, 소형장비를 이용 갱구부 비탈면 깎기 및 보강, 갱구가시

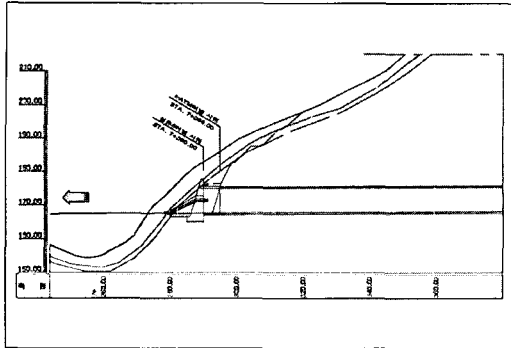


그림 10. 실험3터널 시점 갱구부 종단현황

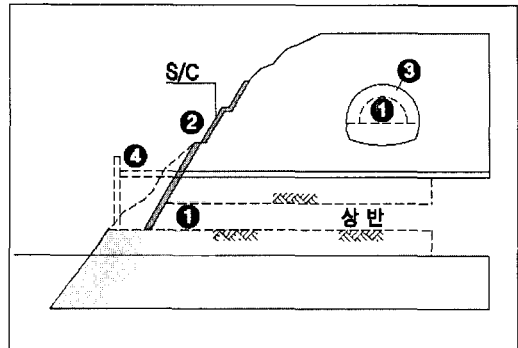


그림 11. 역방향 편도굴착 시공 개념도

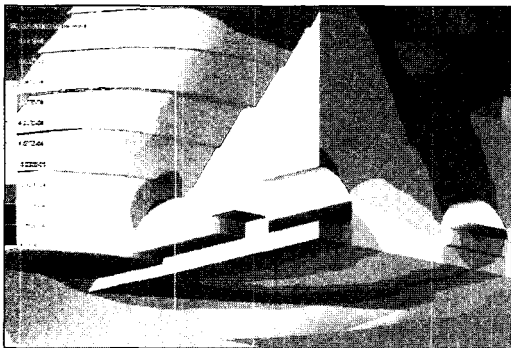


그림 12. Pilot 터널 확공시 변위도

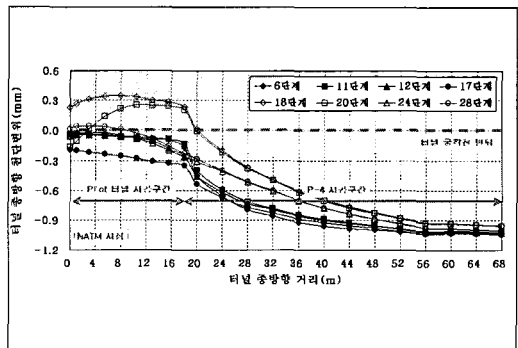


그림 13. 터널 종방향 천단변위(서울방향)

표 2. 천단변위 측정 단계별 시공과정

해석단계	6	11	12	17	18	20	24	28
시공내용	P-4상반 굴착완료	P-4굴착 완료	Pilot터널 굴착시작	Pilot터널 굴착완료	비탈면 시공	P-6확공 굴착시작	P-6하반 15m굴착	시공완료

설 공사를 통한 개착터널 구간의 작업공간을 확보하여 시점에서 종점측으로 Pilot터널을 NATM공법으로 역방향 확공 굴착하여 본선과 관통시키는 것으로 설계하였다. 일방향 관통을 위한 Pilot터널을 적용한 역방향 편도굴착의 개념도를 그림 11에 나타내었다.

본 검토 구간의 갱구부 지형이 급경사를 이루고 있어 터널 종방향으로의 편도압이 예상될 뿐만 아니라, 역방향 굴착에 의한 Pilot터널 구간과 본선 기시

공구간의 관통이 이루어 지므로 터널 안정성 평가를 위한 3차원 검토가 수행되었다.

검토결과, Pilot터널의 굴착 이후 변위 변화폭이 증가하며, 변위 증가폭은 터널 갱구부에 가까운 터널시점 30m 구간에서 크게 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 변위분석 결과 시점 20m이내의 구간은 갱구 비탈면 시공에 따른 상부 토피 하중의 감소로 인한 영향을 크게 받는 것으로 예측되었다.

Ⅰ 제2영동(서울~원주) 고속도로 민간투자사업의 터널 주요구간 통과방안 설계 사례 Ⅰ

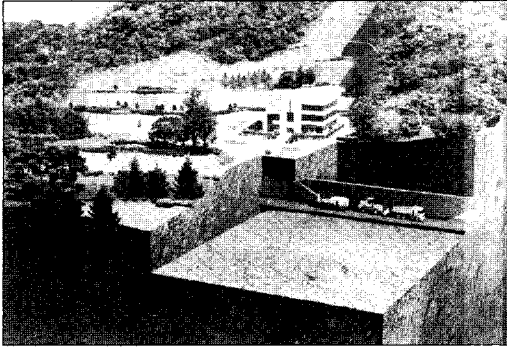


그림 14. 장래개발계획지 굴착 및 보강 개념도

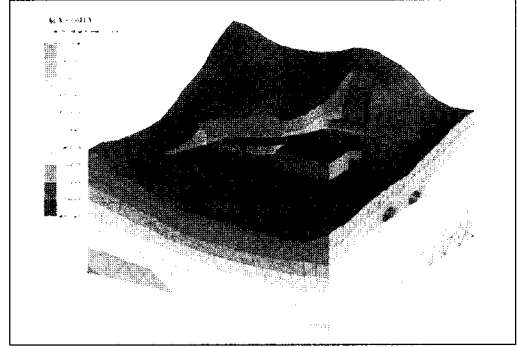


그림 15. 수치해석 모델링

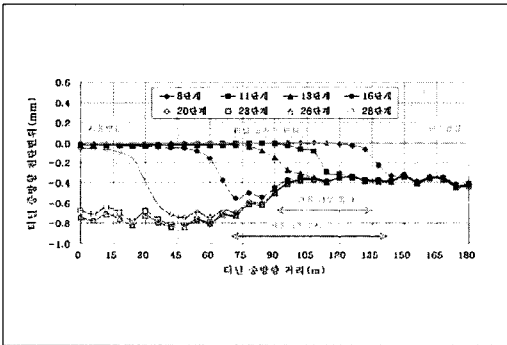


그림 16. 터널 종방향 천단변위(서울방향)

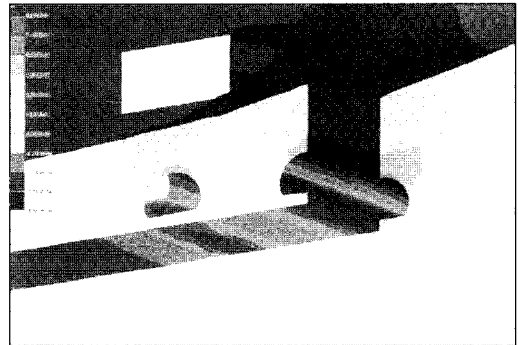


그림 17. 신축건물 하부통과시 연직변위

표 3. 천단변위 측정 단계별 시공과정

해석단계	8	11	13	16	20	23	26	28
시공내용	건물하부 통과전	건물하부 통과중	서울방향 건물통과	원주방향 건물통과	서울방향 부지통과	원주방향 부지통과	터널굴착 완료	시공완료

3.3 장래개발계획을 고려한 저토피 통과

실촌3터널 저토피 구간에 장래개발계획으로 인한 대규모 토공 및 신축건물의 조성이 예상되며, 부지조성을 위한 토공으로 인하여 본선터널 상부 토피도가 1.0D 이내로 근접할 것으로 판단되어 천단부 FRP 보강그라우팅의 적용으로 터널 굴착에 따른 지반 아치효과 및 지반 강성 증가를 유도하였으며, 이에 따른 본선터널의 안정성 검토 및 터널 상부

신축 예상 건물에 대한 침하검토를 수행하였다. 또한, 본선터널 구간에 대한 B계측 수행 및 개발계획 부지에 대해 지표침하계와 지중변위계 설계에 반영하였다.

3차원 검토결과, 개발계획 부지 구간은 지형적으로 저토피 이나, 암반 Ⅲ등급의 양호한 지반조건과 적절한 지보설계로 미소한 변위가 발생하였으며, 건물의 침하경향도 건물중량을 기준으로한 부등침하 및 각변위량 검토결과 허용기준을 만족하였다.

### 3.4 저토피 편토압 구간 통과

본 과업노선 구간의 산지가 많은 지형 특성으로 인하여 편토압 구간이 다수 발생하였다. 그 중 STA.45km740~46km100 구간의 경우 35° 내외의 편경사로 인한 극심한 편토압에 의하여 터널단면의 좌측 어깨부에 응력발생이 집중되는 경향이 발생하였다. 그림 18은 편경사 지형의 터널에 작용하는 편토압의 개념도를 보여주고 있으며, 그림 20, 21의 편토압 대표단면에 대한 연직변위 결과도와 슛크리트 휨압축응력도는 이러한 경향을 잘 보여주고 있다.

이러한 터널 지보재 발생 응력의 편향적인 경향을 감소시키고 구조물의 안정성을 향상시키기 위하여 편토압 발생 반대편의 터널 단면에 대하여 5m 록볼

트를 기존의 시스템 록볼트 사이에 추가 보강을 수행하였으며, 패턴 적용시 편토압 구간을 집중관리대상으로 설정하여 지반조사 결과로 산정된 지반등급을 하향조정하여 지보패턴을 적용하였다.

### 4. 갱구부 지보패턴 연장 검토

본 과업에서는 적절한 갱구부 지보패턴의 연장을 결정하기 위하여 TMR-net(Tunnel rockMass Rating Net)을 이용한 적량적인 근거를 산정하여 적용하였다.

TMR-net은 터널 암반분류를 위해 사용되는 평사투영망으로 RMR 분류법을 사용하여 RMR 평점

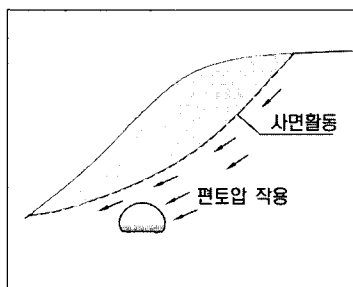


그림 18. 편토압 개념도

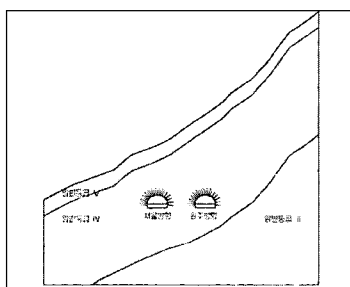


그림 19. 과업내 편토압 단면

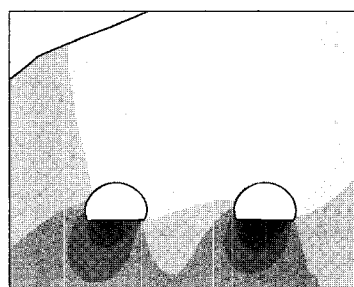


그림 20. 지반 연직변위도

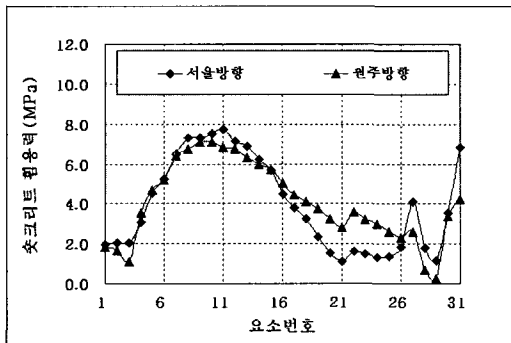


그림 21. 슛크리트 휨압축응력

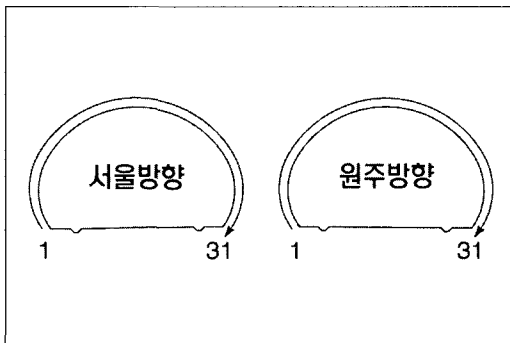


그림 22. 슛크리트 요소번호

| 제2영동(서울~원주) 고속도로 민간투자사업의 터널 주요구간 통과방안 설계 사례 |

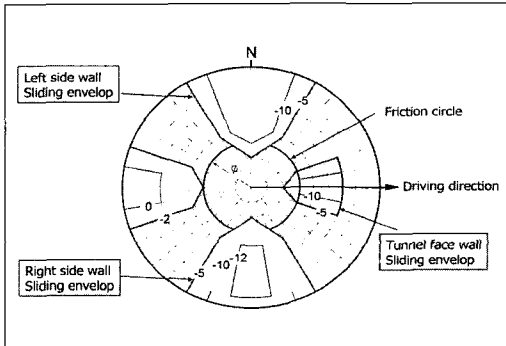
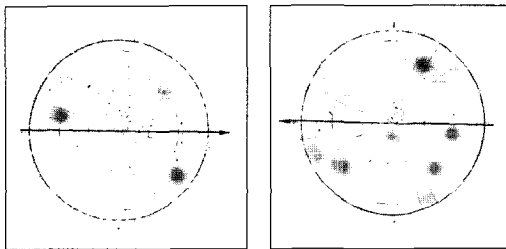


그림 23. TMR-net 개념도



① 초월터널 시점                      ② 초월터널 종점

그림 24. TMR-net 굴진방향성 평가 예시

으로부터 도출되는 마찰각을 도입하여 평가 기준을 산정한다. 또한, 터널을 막장면, 천정부 및 양 측벽부 등 4개의 자유면으로 구분하여 발생 가능한 파괴 형태를 막장면에서의 활동파괴, 측벽부에서의 활동 파괴, 천정부에서의 압괴의 낙반 및 활동 파괴로 구분하여 각각의 설정한 기준을 극 투영망상의 보정 점수 범위로 표현하게 된다

## 5. 결론

본 과업 노선의 특성상 산악지역이 발달함에 따라 12개소의 터널구조물이 계획되었고, 계획된 터널의 개소만큼 많은 시공 주요구간이 발생하였다. 설계시

이러한 지형조건 및 시공조건을 최대한 고려한 설계가 이루어 질 수 있도록 지보패턴 및 보강공법 적용, 시공방법의 선정을 수행하였다. 또한, 정성적인 설계가 아닌 보다 정량적인 설계가 수행될 수 있도록 문헌 및 설계기준, 설계사례 등의 참고자료 검토와 시공조건을 최대한 반영한 수치해석(3차원 및 2차원) 및 TMR-net과 같은 다양한 방법의 검토가 이루어졌으며, 본고에서는 언급하지 못한 수리·수문학 적 검토, 발파 및 지진에 대한 내진검토 및 콘크리트 라이닝의 2차원 및 3차원 구조계산을 통하여 과업 구간의 지형 및 지질, 현장조건에 최대한 부합되는 설계가 되도록 계획하였다.

## 참고문헌

1. 현대건설(2006), 제2영동(서울~원주) 고속도로 민간투자사업 설계보고서
2. 현대건설(2006), 제2영동(서울~원주) 고속도로 민간투자사업 지반조사보고서
3. 현대건설(2006), 제2영동(서울~원주) 고속도로 민간투자사업 터널해석보고서
4. 남광토건(2005), 성남~여주 복선전철 제5공구 건설공사 기본설계보고서
5. 서울특별시 도시철도공사(2001.11), 도시철도인접굴착공사 관리실무, 설계 600-6-8-2001-27
6. 정형식(2004), 토목기술자를 위한 암반역학, 도서출판 새론
7. (사)한국터널공학회, 터널의 이론과 실무
8. John O.Bickel & T.R.Kuesel, Tunnel engineering handbook