

# 대단면 2-Arch 터널 설계사례 (영덕~오산 광역도로 건설사업 1공구)

김태훈\*, 조창구\*, 윤지남\*, 임재성\*, 김영준\*

## 1 서론

국토의 대부분이 산악지형인 우리나라의 도로 터널은 경제성 및 안정성에 유리한 병설터널 형식을 주로 적용하였으나, 최근 들어 용지매입의 제한, 환경훼손의 최소화, 선형분리 곤란 등으로 인하여 2-Arch 터널의 계획 및 시공이 점차 증가하는 추세이다. 그러나 현재까지 국내에서의 2-Arch 터널에 대한 시공실적 및 설계사례가 부족하여 자료의 체계적인 데이터화가 이루어지지 않은 실정이며 또한 2-Arch 터널의 역학적 거동 특성에 대한 연구가 미흡한 실정이라 하겠다. 따라서 본고에서는 영덕~오산 1공구 2-Arch 터널 설계 시 적용하였던 각종 설계 사례를 정리·분석하여 이를 소개하고자 한다.

## 2. 현 황

\*1 포스코건설 상무이사·PMP(kimcy@poscoenc.com)

\*2 포스코건설 이사·기술사(petercck@poscoenc.com)

\*3 포스코건설 대리·공학석사(yjn131@poscoenc.com)

\*4 씨지엔지니어링(주) 전무이사·기술사(bss1985@hanmail.net)

\*5 씨지엔지니어링(주) 이사·공학석사(tunnelart@hotmail.com)

## 2.1 노선현황

영덕~오산간 광역도로 건설사업은 용인~서울간 고속도로와 오산시를 연결하여 수도권 남부지역과 서울을 연결할 새로운 남북축 도로로서, 서울~오산간 상습정체를 보이고 있는 경부고속도로, 국도1호선 등의 기존 남북축도로의 교통량 분산은 물론 수도권 이남지역의 대규모 택지개발 사업에 따른 서울 방향 교통서비스 수준 향상 및 지역균형 발전을 목적으로 하며, 주요 구조물로 교차로 1개소, 교량 9개소, 터널 3개소를 포함하는 총연장 2.32km의 도로건설 사업이다.

## 2.2 지반현황

과업구간은 추가령지구대의 영향권에 속하는 지역으로 주로 북북동-남남서 방향의 광역선구조(Tectonic Lineaments)가 발달되었으며, 과업구간 주변의 신갈단층, 원천단층 등의 영향으로 인한 소규모 단층파쇄대 발달여부 파악을 위한 정밀지표지

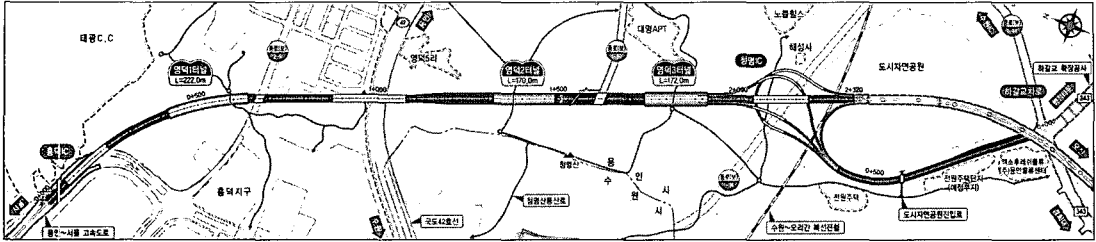


그림 1. 과업구간 현황도

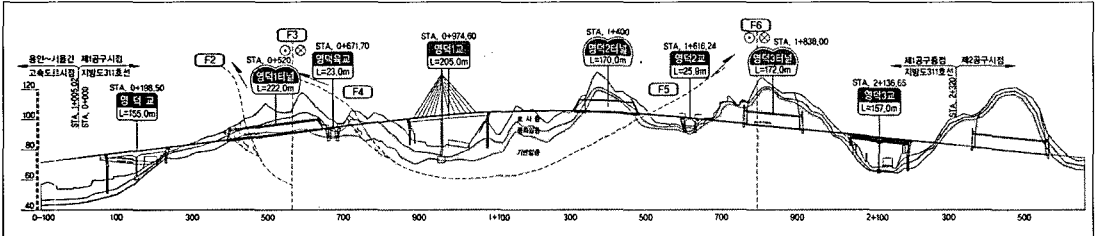
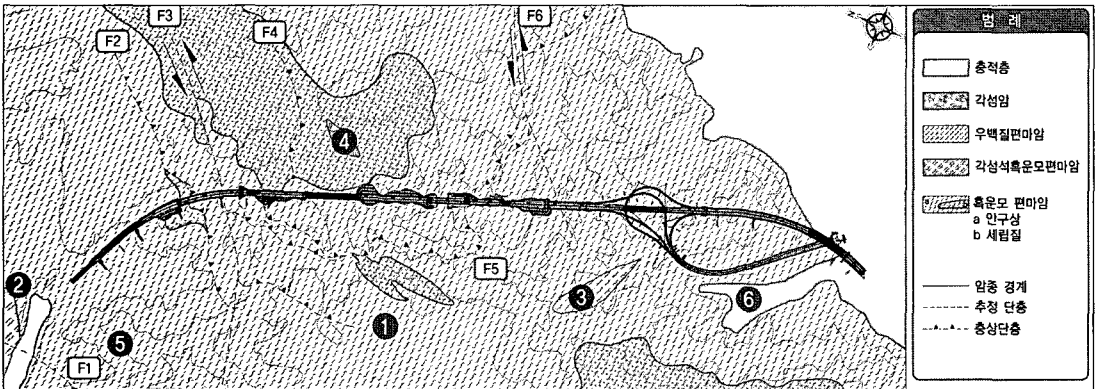


그림 2. 과업구간의 지질도 및 지층 종단면도

표 1. 과업구간 주요기반암 현황

암 종	주요 특징
① 흑운모편암	<ul style="list-style-type: none"> <li>과업구간 내에 광범위하게 분포</li> <li>조석에 따라 세립질 흑운모편암과 호상편암으로 분대</li> </ul>
② 각섬석흑운모편암	<ul style="list-style-type: none"> <li>노선 시점부에 국부적으로 발달</li> <li>광물의 신장과 정향 배열에 의해 엇리 및 선구조가 뚜렷이 발달</li> </ul>
③ 우백질편암	<ul style="list-style-type: none"> <li>흑운모편암 내에 국부적으로 산재</li> <li>노선의 중점부에 지질도 상에 인지될 수 있는 규모의 암체로 발달</li> </ul>
④ 각섬암	<ul style="list-style-type: none"> <li>흑운모편암 및 우백질편암내에 관입되어 국부적으로 출현</li> <li>각섬석, 장석 및 석영으로 구성</li> </ul>
⑤ 중생대화성암류	<ul style="list-style-type: none"> <li>전술한 편암들을 관입하고 있는 형태로 산재되어 국부적으로 분포</li> <li>화강암 계열 및 암맥으로 구성</li> </ul>
⑥ 충적층	<ul style="list-style-type: none"> <li>미고결 퇴적층으로 점토, 실트, 모래 및 자갈로 구성</li> </ul>

## Ⅰ 대단면 2-Arch 터널 설계사례 (영덕~오산 광역도로 건설사업 1공구) Ⅰ

질조사 실시를 하였다. 주요 기반암은 흑운모 편마암이 우세하게 분포하고 있으며 지표지질조사 결과 과업구간에 광범위하게 층상단층이 발달되어 있다.

확보하는 형태를 보이고 있다. 또한, 지반조건이 풍화암~연암 등 불리한 지반조건, 연장 400m 이하인 비교적 짧은 터널에 일반적으로 적용되어지며, 소규모 중앙터널을 이용한 3분할 공법으로 안정성 위주의 시공이 이루어진다.

### 3. 기존 2-Arch 터널설계 현황

#### 3.1 국내 2-Arch 터널 현황 및 시공사례

2-Arch터널은 거리가 매우 짧은 2차로 병렬터널로 볼 수 있으며 이로 인해 충분한 이격거리를 확보한 터널과 달리 굴착시 터널상호간에 미치는 영향이 크다고 할 수 있으며, 터널형상에 있어서도 2-Arch 터널은 일반적인 병렬터널에 비해 중앙상부의 안정성이 취약하므로 벽체를 설치하여 구조적 안정성을

#### 3.2 기존 2-Arch 터널의 문제점 및 개선안

기존 2-Arch 터널은 방수시트 및 중앙벽체 시공의 복잡성에 기인한 누수문제와 누수에 따른 동절기 시 중앙벽체의 동파문제, 본선터널 굴착시 중앙벽체의 손상문제, 지보재량 산정의 불확실성 등 각종 문제점을 내포하고 있다. 따라서 본고에서는 국·내외 시공사례분석 및 현장조사를 통하여 2-Arch 터널 시공의 개선방안을 도출하고자 하였으며, 현장 지반

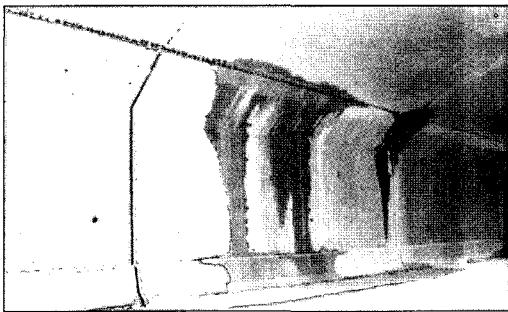


그림 3. 백화현상에 의한 누수발생

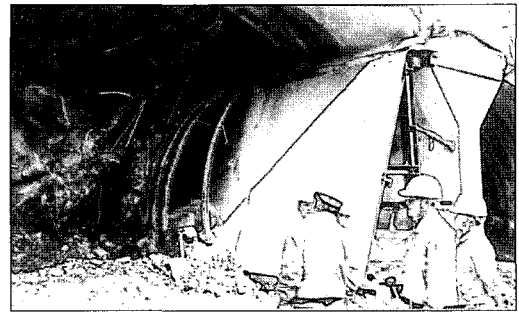


그림 4. 발파에 의한 방수시트 훼손

표 2. 국내 2-Arch터널 현황

터널명	터널연장	암반등급	차로구성	적용사유
소래터널	446m	Ⅳ	일방향 4차로	지반상태불량
정지산터널	130m	Ⅳ~Ⅴ	양방향 4차로	문화재 존재
산성우터널	210m	Ⅳ~Ⅴ	양방향 4차로	지반상태불량
정착터널	140m	Ⅳ~Ⅴ	양방향 4차로	환경문제
신성터널	178m	Ⅱ~Ⅳ	양방향 4차로	환경문제
서천터널	440m	Ⅱ~Ⅳ	양방향 4차로	환경문제
충훈터널	880m	Ⅳ~Ⅴ	양방향 4차로	지반상태불량
장목터널	804m	Ⅱ~Ⅳ	양방향 4차로	선형분리불가

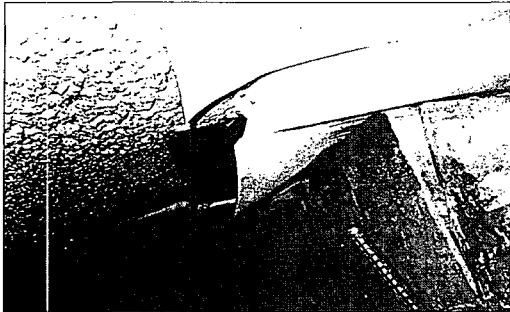


그림 5. 보호철판 시공불량

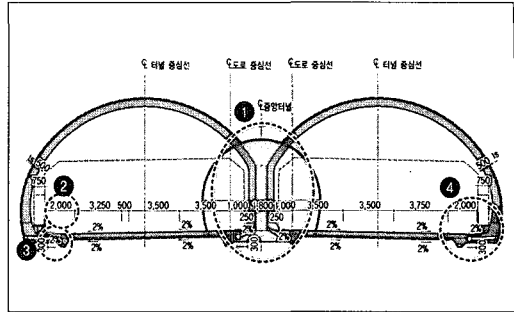


그림 6. 개선된 3차로 2-Arch 터널단면

표 3. 터널단면 개선사항

① 중앙 벽체 개선	② 측방 여유폭 개선	③ 공동구 및 배수구 개선	④ 검사원 통로 설치
하부지지 이중라이닝	측방여유폭 2.0m	오·폐수 분리시스템	검사원통로 설치

조건을 반영한 수치해석을 수행하여 2-Arch 터널의 거동을 파악하고 지보패턴 설계에 반영하여, 합리적인 2-Arch 터널 설계방안을 제시하였다. 또한 최근 점차 강화되는 터널방재 시스템에 대한 설계 적용사례를 제시하였다.

## 4. 영덕~오산 1공구 2-Arch 터널설계 현황

### 4.1 단면계획

영덕~오산간 광역도로공사 구간 중 계획노선이 산지부를 통과하여 대절토 구간 및 급구배의 종단선 형이 발생함에 따라 2차로 터널 1개소와 3차로 터널

3개소를 계획하였다. 터널 계획시 개정된 사양서 및 제규정에 부합하도록 하였으며 도로규격에 따른 소요의 도로폭원과 시설한계를 만족시키는 합리적인 단면형상과 치수로 하였다.

터널 단면은 이중라이닝공법(하부고정형) 적용으로 구조적 안정성 확보 및 방수시스템을 개선하였으며, 환경 친화적인 오·폐수 분리시스템 적용하였고, 유지관리를 위한 검사원통로와 난간을 설치하였다.

### 4.2 갱문계획

지역의 특징과 문화를 감안하고 지형조건에 부합되는 갱문형식을 선정하였고, 자연훼손을 최소화하고 안정성을 확보하는 최적의 갱구위치를 선정하였다. 갱구비탈면 안정성, 주변지형과의 조화, 갱구부

Ⅰ 대안면 2-Arch 터널 설계사례 (영덕~오산 광역도로 건설사업 1공구) Ⅰ

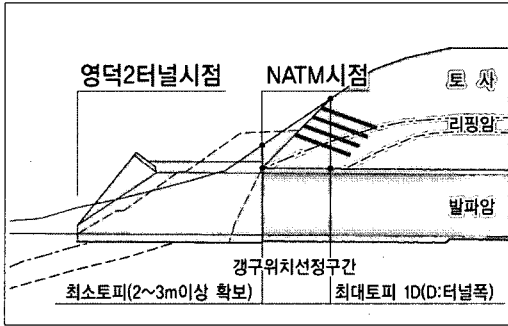


그림 7. 강구부 계획

시공법 등을 고려하여 최소토피고 2~3m에서 1D범위 내에 자연훼손이 최소화되는 위치에 강구부 위치를 선정하여 친환경적인 터널을 계획하였다.

4.3 환기 및 방재계획

터널 이용자에 대한 쾌적한 환경제공 및 비상시 안전성 확보를 위한 환기 및 방재검토를 수행하였다. 환기검토 수행결과, 소요환기량은 50m<sup>3</sup>/sec이고 자연환기량은 410m<sup>3</sup>/sec로 자연환기가 가능한 것으로 계산되었다.

터널내 화재발생을 고려하여 시뮬레이션에 의한 방재성능 검증 및 정량적 위험도 분석(QRA)을 수행하였으며 그 결과에 따라 인명피해 예방을 위하여 터널 중앙부에 비상대피통로를 계획하여 터널 이용자의 안전성 확보를 위한 대책을 수립하였다. 또한,

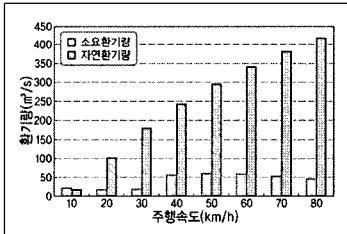


그림 8. 소요 환기량 검토결과

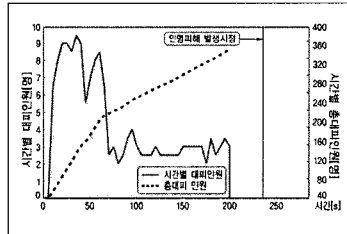


그림 9. 방재 시뮬레이션 경계조건

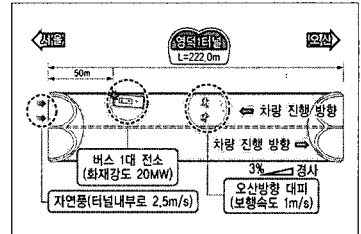


그림 10. 대피통로 설치

표 4. 터널별 갭문 현황

구분	영덕1터널	영덕2터널	영덕3터널
단면도			
갭문형식			
	시·중점 : 벨마우스 변형	시·중점 : 벨마우스 변형	시점 : 벨마우스 변형 중점 : Arch 면벽형

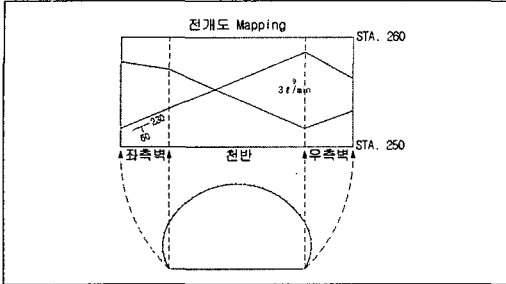


그림 11. 전개도 Mapping 예시

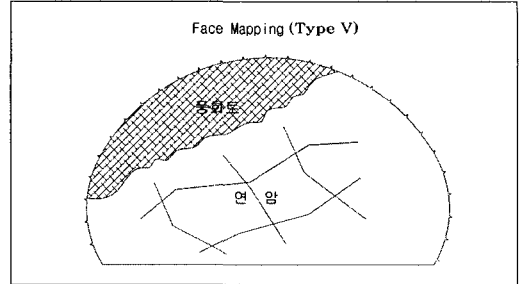


그림 12. Face Mapping 예시

터널 진입 차단막을 적용하여 2차사고를 방지하도록 계획하였다.

#### 4.4 터널 Mapping 계획

터널의 지질상태를 조사, 분석하여 암반 보강방법을 결정하고 막장 전방의 지질예측으로 적정 굴착방법을 판단하기 위한 터널 Mapping 계획을 수립하였다. 터널 Mapping 기록은 공사완료 후 터널의 유지보수시 중요자료로 활용되며 터널이 위치한 주변지역의 보다 정확한 지질도 제작에 이용할 수 있다.

터널 Mapping의 주요내용은 불연속면 등 지반특성을 도시한 터널 지질도의 작성, 암석 및 암반의 특성의 기록, 암반분류를 위한 평점 산정(RMR 또는 Q 값) 및 즉시 보강이 필요한 불안정한 암괴(Key Block)등의 조사 등이 있다. 터널 Mapping의 종류

는 크게 전개도 Mapping과 Face Mapping으로 분류할 수 있으며, 전개도 Mapping은 일반적으로 사용되는 터널 Mapping의 도시방법으로서 터널벽체를 펼쳐 평면상으로 전개하여 지질정보를 기록하는 방법이며, Face Mapping은 천심도 터널에서 혼합된 지층(Mixed Face)의 지질정보 기록에 유리하여 평면 Mapping이 곤란하거나 전개도 Mapping의 보조적인 수단으로 사용할 수 있다.

### 5. 2-Arch 터널 설계 개선안

#### 5.1 갱구부 동파 방지계획

2-Arch NATM 터널의 중앙벽체를 통한 배수 시스템에 있어서 장기 사용시 clogging 등이 발생하여

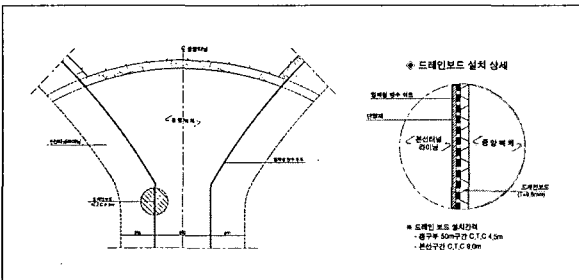


그림 13. 중앙 벽체구간 단열재 설치

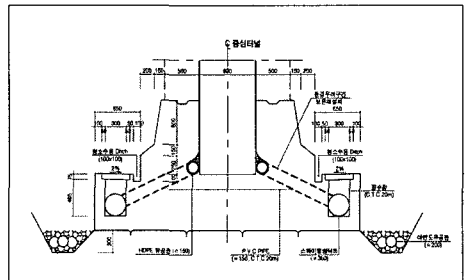


그림 14. 횡배수관 보온재 설치

Ⅱ 대안면 2-Arch 터널 설계사례 (영덕~오산 광역도로 건설사업 1공구) Ⅰ

배수능력이 저해할 수 있으며, 특히, 터널 갱구부에서는 겨울철 기온하강에 따른 동파가 발생할 수 있으므로 이에 대한 유지관리 방안의 수립이 필요할 것으로 사료된다. 따라서 배수능력 개선 및 동파예방을 위한 조치사항으로 첫째, 배수능력 개선을 위하여 배수기능 향상을 위한 통수단면 확대를 위하여 드레인보드 설치간격 축소하였으며 둘째, 한냉시 콘크리트 라이닝 내부 배수층(부직포)의 동결방지를 위하여 외기온도에 직접 영향을 받는 갱구부 50m 구간은 단열재 시공 및 중앙벽체 횡배수관은 파이프 보온재를 설치하는 것으로 계획하였다.

5.2 중앙벽체 손상방지 계획

2-Arch 터널 시공 중 본선테널 굴착시 발파 비산석에 의한 중앙벽체의 충격손상 및 진동에 의한 손상이 우려 되므로 이에 대한 대책방안으로 중앙터널 슛크리트 활용, 중앙벽체 보호시설 설치, 무장약공 배치와 제어발파 및 그라우팅 계획을 수립하여 단계별 조치계획을 수립하여 중앙벽체의 손상이 최소화 되도록 계획하였다.

단계별 조치 계획은 표 6과 같다.

표 5. 중앙벽체 동결방지 대책 비교

구 분	열선설치	단열재 설치	
		라이닝 외면 설치	라이닝 내면설치
개 요	• 배수관의 동결방지를 위하여 PE 관에 정온전선(열선)을 설치	• 콘크리트 라이닝 외측면에 단열재 + 표면 강화 몰탈 설치	• 콘크리트 라이닝 내측면과 방수막 사이에 단열재 설치
장·단점	• 동결방지 효과우수 • 유지관리 복잡 • 초기 시설투자비 과다 및 지속적인 관리 필요	• 동결방지 효과 양호 • 유지관리 보통 • 초기 시설투자비 저렴 • 화재발생시 손상우려	• 동결방지 효과 양호 • 유지관리 간단 • 초기 시설 투자비 저렴 • 화재발생시 안전
적 용			◎

표 6. 중앙벽체 손상방지 계획

구 분	단계별 보호 방안
1단계	중앙터널 지보재인 슛크리트를 사용 본선테널 굴착시 양생중인 중앙벽체를 비산석으로부터 보호(비산석 충격흡수에 유리)
2단계	본선 굴착시 발파 비산석으로부터 중앙벽체를 보호하기 위한 중앙벽체 보호시설 설치
3단계	본선 발파시 중앙터널 근접구간 무장약공 배치 및 Smooth Blasting에 의한 제어발파 수행
4단계	중앙벽체 상부 거더와 초기 지보재 사이의 응력전이를 위한 Contact Grouting 시행 (그라우팅 압력 2~4kg/cm <sup>2</sup> 이하 주입)

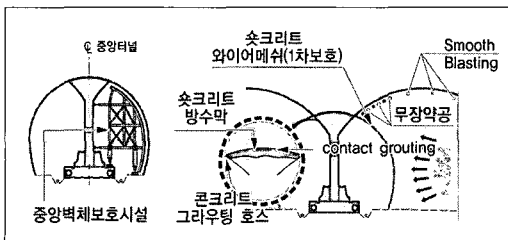


그림 15. 중앙벽체 보호대책

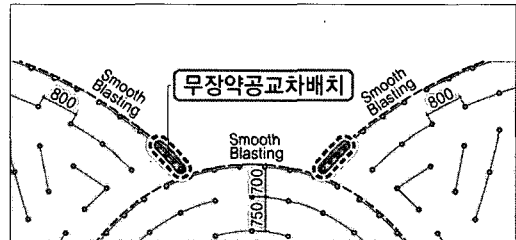


그림 16. Smooth Blasting & 모서리 제어발파

### 5.3 중앙벽체 누수방지 계획(이중라이닝공법)

기존 2-Arch 터널은 중앙벽체에 배수관을 매설하여 시공이 매우 복잡하고, 중앙벽체 상부의 누수 발생 등의 문제점을 내포하고 있다. 따라서 이중라이닝공법에 의한 일체형 방수시스템의 적용으로 중

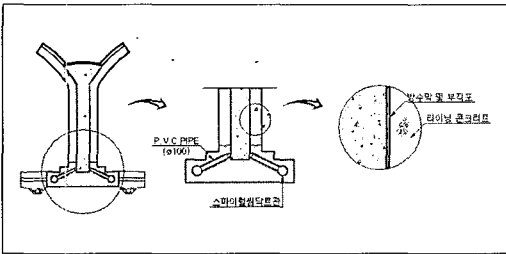


그림 17. 중앙벽체 누수방지 대책

양벽체의 누수문제를 근본적으로 개선하도록 계획하였다. 또한 용수구간에서도 드레인보드 설치가 가능하여 적용성이 우수하며, 유지관리가 편리한 공법이다.

### 5.4 2-Arch 터널 안정성 검토

적정 해석위치 선정, 지반조건에 적합한 다양한 해석법 및 구성모델 적용하였으며, 지반조사결과와의 합리적, 통계적 분석을 통한 물성치 산정 및 특수구간에 대한 정밀한 3차원해석을 수행하였다. 또한 2-Arch 터널의 특성을 반영할 수 있는 정량적 해석을 통한 종합적인 분석을 수행하였다.

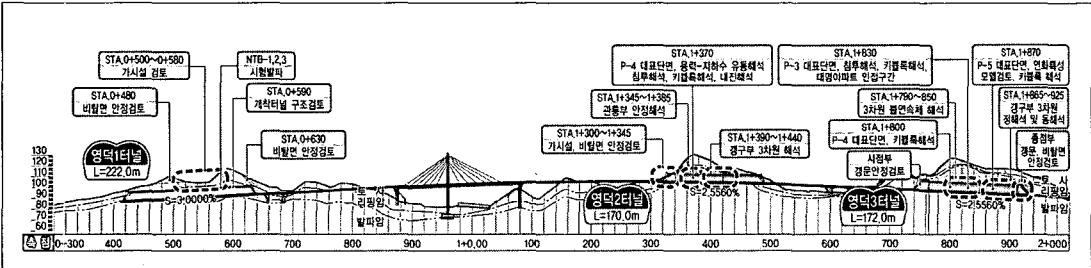


그림 18. 해석현황

표 7. 주요해석내용

연속체 해석	불연속체 해석	시점 갱구부 안정해석	변형률 연화특성 해석
3차원 불연속체 해석	Key Block 해석	지하수 유동해석	발파영향 검토



## | 대단면 2-Arch 터널 설계사례 (영덕~오산 광역도로 건설사업 1공구) |

지반·지질특성을 고려한 터널 안정해석 및 지하수 유동해석 등을 통해 터널 및 주변환경의 안정성을 확보하였으며, 예비해석 및 특수구간해석, 내진해석 등 다양한 해석을 수행하여 터널의 안정성 확인하였다.

### 6. 결론

최근들어 환경훼손의 최소화 및 선형분리의 곤란 등으로 인하여 2-Arch 터널이 많이 시공되고 있으나, 기존의 방식은 중앙벽체 시공 및 방배수 등의 문제점에 대한 뚜렷한 개선 방안 수립이 미흡한 실정이다. 따라서 국내의 시공 및 설계사례를 통하여 개선점들을 도출하여 본 설계에 반영하였다. 기존 2-Arch 터널의 누수로 인한 터널 구조물의 영향 및 동절기 동파 문제 등을 해결하기 위하여 방배수 시스템을 이중라이닝 공법으로 개선하여, 방수슈트 배면을 따라 침투수가 유도배수되어 누수차단 효과가 탁월하며 유지관리 또한 편리할 것으로 기대된다. 또

한 지반조건을 반영한 수치해석을 수행하여 2-Arch 터널의 거동특성을 파악하였으며 이를 설계에 적용하였다.

2-Arch터널의 시공실적이 점차 증가되는 추세이므로 다수의 시공경험과 해석 그리고 계측 등의 자료를 데이터화하여 이를 토대로 설계/시공방안을 좀 더 발전시켜야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

### 참고 문헌

1. (주)포스코건설(2006), 영덕~오산간 광역도로건설사업 (지방도 311호선) 대안설계 보고서, 한국토지공사.
2. 왕이완(2001), 도로에서 2-Arch 터널의 적용성, 대한터널협회 정기학술발표회, pp.141~152
3. 이상덕, 전은숙(2004), 사질토지반에서 2 Arch 터널의 거동, 터널기술 제6권 제2호, pp.171~182
4. 김상균, 박동욱(2003), 수치해석적 접근을 통한 2Arch 터널의 거동양상 고찰, 한국지반공학회 봄 학술발표 논문집, pp.225~232

