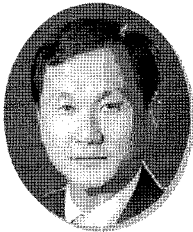
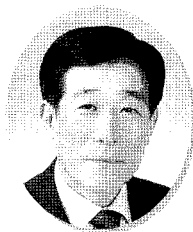


고속국도 제60호선 동홍천-양양간 건설공사 제14공구 국내 최장대 도로터널 『인제터널』 설계사례



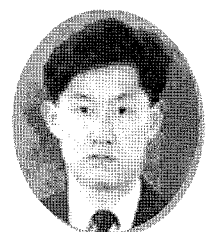
김희철
대우건설 14공구 현장소장
(hckim@dwconst.co.kr)



구임식
대우건설 토목사업본부장



방산영
대우건설 토목사업 임원



김병용
대우건설 14공구 설계과장

1 개요

본 고속국도 제60호선 춘천~양양간(동홍천~양양간) 건설공사는 전국 간선도로망 체계(7×9)의 동서2축을 완성하여 동서3축인 영동고속도로의 효율성을 증대하고 수

도권과 동해안을 최단거리로 연결함으로써 연도개발 촉진 및 효율적 물류지원 체계를 확립하여 강원북부 및 설악권, 동해안권 지역의 교통수요 담당과 국토 균형발전을 도모하고 통일시대에 대비한 최첨단 고속도로를 완성하기 위한 건설공사로 추진하고 있다.

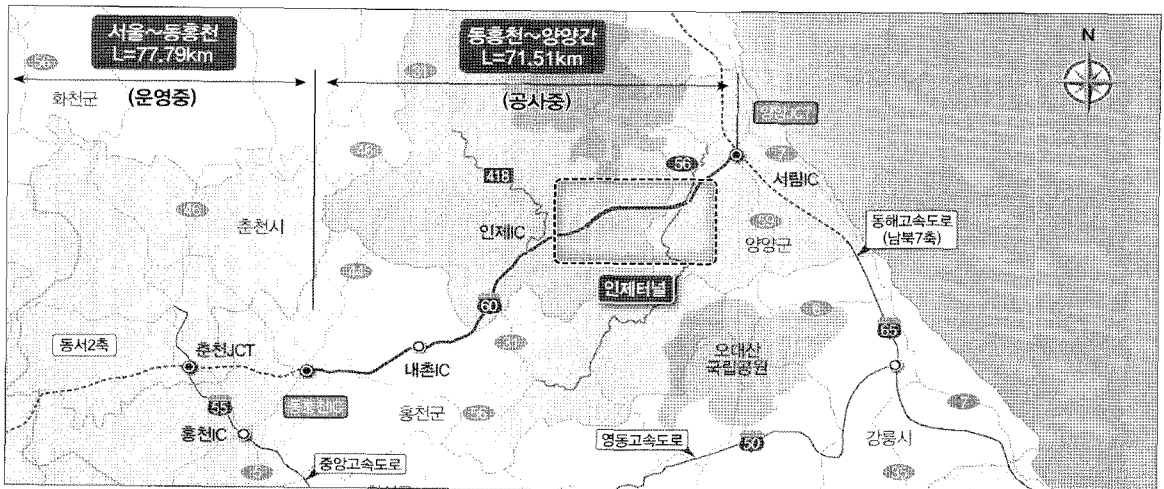


그림 1. 위치도

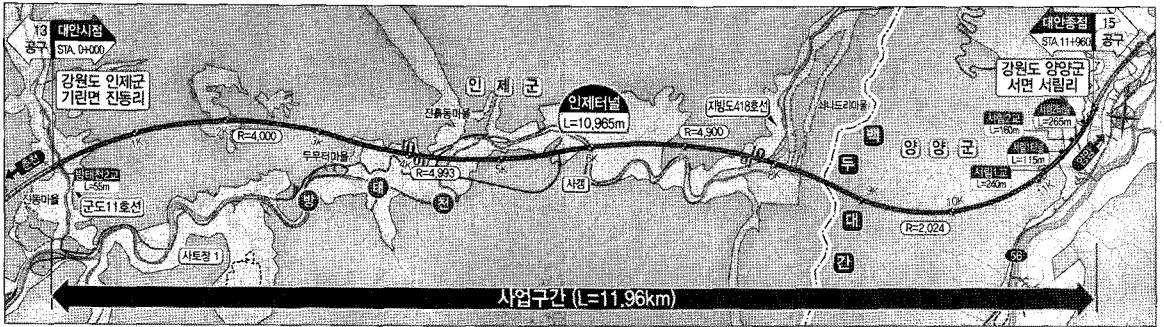


그림 2 사업구간 현황도

서울~동홍천구간(77.79km)은 2009년 7월에 기 개통되었고 현재 동홍천~양양구간(71.51km)은 2015년 12월 완공목표로 공사중에 있다.

이 중 14공구(진동~서림구간)는 강원도 인제군 기린면 진동리와 양양군 서면 서림리를 잇는 연장 11,958km 구간이며, 주요 구조물로는 국내 최장대이자 세계 11번째의 초장대 도로터널이 될 연장 10,965km의 인제터널과 서림1터널, 서림2터널 등 터널 3개소, 방태천2교를 비롯 서림1교, 서림2교, 방태천3교, 쇠나드리교, 치전천교 등 교량 6개소, 인제터널 입·출구부에 터널관리사무소 각 1개소씩 설치하였으며, 인제터널 부대시설로 공기단축과 양양방향 환기를 위한 사갱 1개소를 계획하였으며, 춘천방향 환기를 위한 수직갱 2개소를 계획하였다.

2. 주변 현황

본 사업구간은 백두대간을 동-서로 가로지르는 노선으로 험준한 산세와 수려한 자연환경을 가지고 있다. 특히, 녹지 8등급의 자연림이 광범위하게 분포하고, 노선과 인접한 방태천은 열목어, 빙어 등이 서식하는 수질 1등급의 상수원보호구역으로 하천을 따라 팬션과 휴양시설들이 산재하고 있어 많은 사람들이 찾는 곳이기도 하다. 따라서, 이러한 자연환경의 보존을 도모하고자 노선의 대부분을 터널로 계획하여 공사로 인한 자연훼손을 최소화하도록 계획하였다.

3. 인제터널 설계

3.1 지반상태

과업구간의 지질도, 위성영상 분석을 통하여 지형발달 특성과 광역지질분포를 파악하고 암종경계, 단층 및 불연속면 등을 조사하여 지질구조 특성분석에 의한 구조물검토를 수행하였다.

주요구간의 지반 및 지질특성은 지표지질조사, 시추조사 및 물리탐사 결과를 종합적으로 분석하여 지질도를 그림 3에 나타내었다.

그림 3에서 보는바와 같이 기반암은 변성작용에 의한 복잡한 지질구조의 선펠브리아기 변성암과 이를 관입한 중생대 화강암으로 형성되었으며 그중 터널구간은 대부분 화강암 및 편마암으로 구성되어 있다. 전체 노선중 6개의 선구조와 9개의 단층이 과업노선에 통과하는 것으로 나타났으며 이중 터널구간은 3개의 단층이 통과하여 단층대 통과 시 대책공법이 필요한 것으로 나타났다.

3.2 단면계획

3.2.1 인제터널 본선단면

인제터널은 10,965km에 이르는 초장대터널로써 단면 계획 시 설계기준 준수, 시공성, 세부 구성요소 적정성 검증 등을 통하여 경제성 및 유지관리에 적합한 최적단면을 설계하였고 장대터널을 고려한 환기, 방재 등 시설물설치 기준을 고려하여 안전성과 운전자의 주행성을 반영하였다.

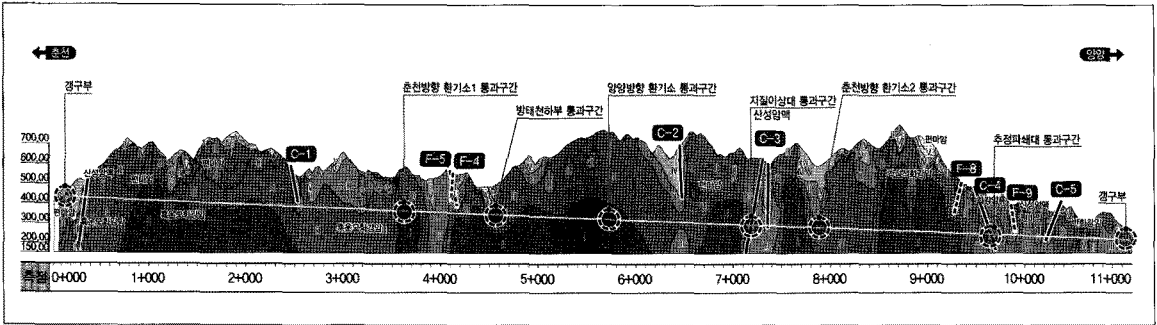


그림 3. 지질 종단면도

표 1. 지반현황

주요 구간	현황 및 지반조건
경구부	<ul style="list-style-type: none"> 서림2터널 중정부 : 토사 및 풍화암 깊게 분포 서림1,2터널 : 편토압 작용
지질 이상대	<ul style="list-style-type: none"> 단층파쇄대, 암종경계부, 산성암맥 통과구간은 지표부근에 분포하며 심도가 깊어질수록 영향이 미미
방대한 하부	<ul style="list-style-type: none"> 암종경계부에 인접하고 지표면 부근에 이상대가 존재하나 터널 통과심도에서는 지질상태가 양호

표 2. 인제터널 본선단면

구분	인제터널 본선단면 계획
표준단면	
측방여유폭	<ul style="list-style-type: none"> 측방여유폭 2.5m를 확보하여 전구간 비상주차 가능
공 동 구	<ul style="list-style-type: none"> 추월차로: 700×640mm, 주행차로: 1,000×940mm 상하행 터널별 급수배관, 광통신선로 분리배치로 최적화
배수시스템	<ul style="list-style-type: none"> 유류 확산방지 맨홀 및 오폐수 전용관 적용 측벽 및 바닥 지하수는 아연도 유공관(φ350mm)으로 배수 → 유지관리 용이
시공호용성	<ul style="list-style-type: none"> 터널별 통합단면 적용으로 시공성 향상

표 2에서 보는 바와 같이 단면계획 시, 타이어형 비상차량을 도입하여 비상시에는 사고지점 접근의 신속성과 유지관리 시에는 점검효율성을 확보하였고 통합단면 적용, 측벽 지하수와 바닥지하수의 통합배수, 측방여유폭 2.5m 확보 등을 통해 최적의 단면설계를 계획하였다.

3.2.2 사갱 단면

인제터널 사갱은 공사중에는 굴착공기 단축을 위한 버력운반통로로 이용되며 운영 시에는 양방향 터널의 환기를 담당하며 비상 시에는 피난대피통로로 계획하였다.

표 3. 인제터널 사갱 단면

공사중 사갱 단면	운영중 사갱 단면	차량 회차갱
<ul style="list-style-type: none"> • 굴착공기 단축 • 버력운반동로로 활용 	<ul style="list-style-type: none"> • 양양방향 터널 환기 • 비상 시, 차량 진출입 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 공사차량 회차 안전성 확보 • 수리 및 점검 용이

표 4. 인제터널 수직갱 단면

구분		수직갱	수직갱 표준단면
수직갱높이 (m)	수직갱#1	208	
	수직갱#2	303	
소요면적 (m²)	춘천방향	64	
	양양방향	사갱대체	
적용내경 (m)	춘천방향	9.7	
	양양방향	사갱대체	

3.2.3 수직갱 단면

인제터널 수직갱은 2개소로 춘천방향의 환기를 담당하며 구조적안전성 및 시공성, 환기능률을 고려하여 원형으로 계획하였고 급배기를 분리하기 위해 원형단면 중간에 격벽을 설치토록 계획하였다.

3.3 갱구부계획

인제터널의 시종점 갱구부는 종단상 급경사 지역으로 무보강 시, 대규모 환경훼손이 예상되어 중력식쏘일네일링을 적용하였으며 낙석 및 토사유출에 대응이 유리한 갱문형식인 아치면벽형 갱문을 계획하였다.

또한 강관다단그라우팅을 계획하여 터널의 천단 및 막장의 안전성을 확보하였으며 터널입구부에는 가드레일 설치로 충돌사고에 대한 위험을 방지하였다.

3.4 방태천 하부 통과계획

인제터널과 방태천은 과업구간중에 1회 교차하는데 위치는 STA.4+400지점이며 이격 거리는 132m이다. 이 지점은 시공 중 선진수평시추를 계획하였고 결과에 따라 차수그라우팅을 적용하도록 계획하였다. 또한 공용 중 터널 안전성을 확보키 위해 간극수압계를 설치하여 영구계측을 실시토록 계획하였다.

3.5 배수 계획

장대터널 특성을 고려한 터널내 유입수의 합리적인 평가 및 지하수와 오폐수를 완전분리 배수토록 시스템을 개선했다.

맹암거는 측벽유입수와 바닥지하수를 일원화하여 배수

표 5. 인제터널 시중점부 갱구부

인제터널 시중점부		인제터널 종점부	
<ul style="list-style-type: none"> • 토사에 NATM 시점 위치, • 저압 강관보강그라우팅 적용 • 갱구부 배면 쏘일네일링 보강 		<ul style="list-style-type: none"> • NATM종점 천장부에 리피암, • 저압 강관보강그라우팅 적용 • 갱구부 배면 및 측면 비탈면 쏘일네일링 보강 	

표 6. 방태천 하부 통과 방안

방태천 통과구간 현황	통과구간 안정성 검토	방태천 하부 유지관리
<ul style="list-style-type: none"> • 방태천 1회 통과 • 방태천 하부 132m에 위치 	<ul style="list-style-type: none"> • 선진수평시추 및 차수그라우팅 적용 	<ul style="list-style-type: none"> • 간극 수압계 설치로 정기적 유지관리 계획 실시

표 7. 인제터널 배수계획

구분	배수계획	유지관리 맨홀
개념도		
적용사항	<ul style="list-style-type: none"> • 터널내 노면 오폐수와 측벽 유입수 완전 분리 • 아연도 유공관 유리관리용 맨홀 설치 	

토록 설계하였으며 50m간격으로 유지관리 맨홀을 설치하여 유공관이 막힐 경우 청소를 수행할 수 있도록 계획하였다.

3.6 장대터널 시공계획

인제터널은 연장 10.965km의 병렬터널로서 합리적 시

공을 위해 시, 종점 및 사갱을 이용한 굴착 8개조를 운영하며 라이닝은 방향별 8개조, 총 16개조를 투입하여 시공토록 계획하였다.

3.7 환기설계

인제터널은 10.965km의 초장대 터널로 계획되어 주행 차량에 의해 배출되는 배기가스가 환경에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 환기방식이 요구되었다. 또한 노선 주변 지역이 대부분 녹지 8등급에 위치하고 있어 수직갱과 사갱

설치 시, 주요 제약조건이 되었다. 대안설계 시에는 환기 시스템을 교통량분석, 시공성, 환기성능을 종합적으로 고려하여 제트팬, 수직갱 및 사갱의 종류식 환기방식으로 계획하였다. 인제터널의 양양방향 터널은 1.95%의 하향구배로 차량의 오염물질 배출량이 작아 사갱으로 환기를 하고 춘천방향 터널은 1.95%의 상향구배로 양양방향 터널보다 오염물질 배출량이 1.8배 커서 수직갱 2개소로 환기를 수행하도록 계획하였다. 특히 주말 및 휴가철에 상,하행 교통량 차이가 큰 영동지역의 교통특성을 고려하여 각 방향별 집중운전을 할 수 있도록 계획하였다.

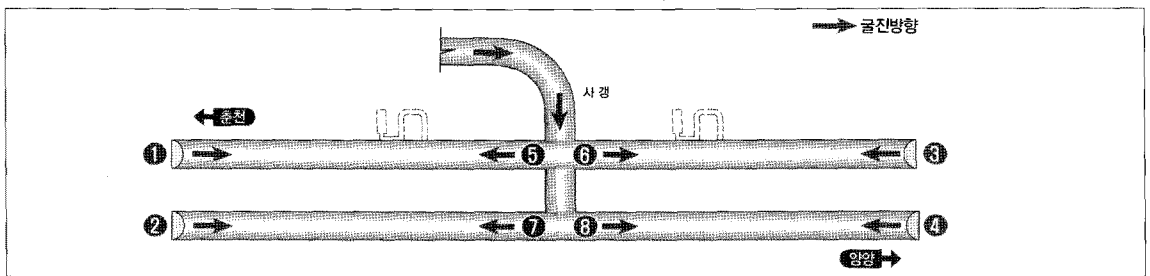
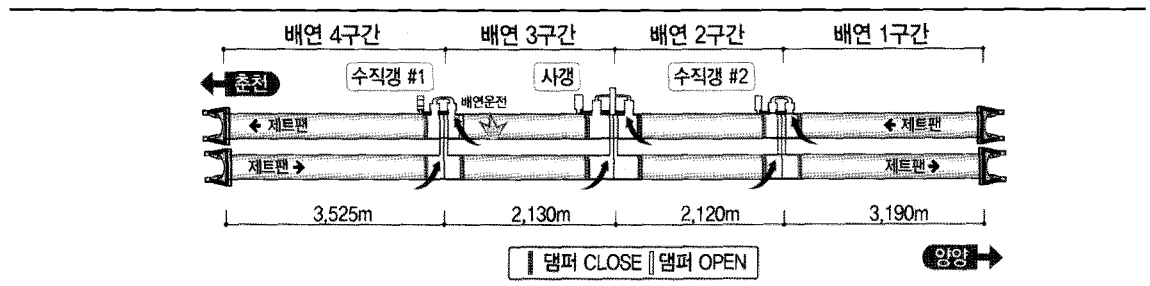


그림 4. 시공계획

표 8. 환기시스템

평상시 / 상,하행 운전계획	양양방향 집중운전시 / 상,하행 연동 운전계획
<ul style="list-style-type: none"> • 양양방향 : 사갱으로 환기 • 춘천방향 : 수직갱1, 수직갱2로 환기 	<ul style="list-style-type: none"> • 통량 집중터널 : 수직갱1, 사갱, 수직갱2로 환기

표 9. 배연시스템



- 화재 시 배연구간 4분할로 신속한 배연기능 확보
- 배연거리 축소(3.52km)로 피해 최소화

표 10. 축소모형실험

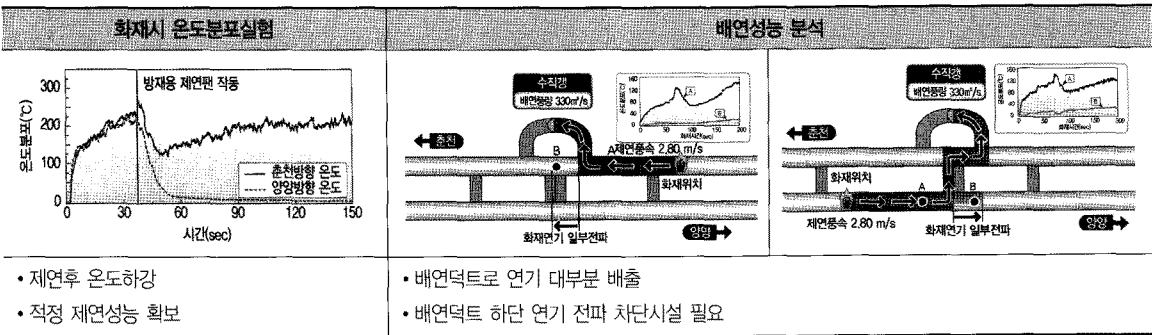
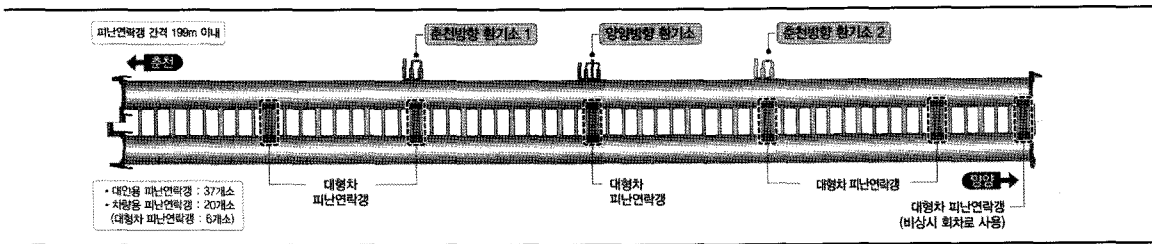


표 11. 피난연락갱



3.8 방재설계

인제터널은 방재등급 1등급에 해당되며 특히 국내최장 대터널로 계획하여 대형차량의 화재발생 시, 대규모 피해가 예상되므로 이에 대비한 신속한 화재진압과 이용자의 안전한 대피가 가능하도록 대피시설계획을 수립하였다. 축소모형실험에 의한 방재성능 검증과 정량적위험도분석(QRA)을 수행하여 장대터널에 적합한 종합적 방재시나리오 계획을 수립하였다. 그 결과 터널내 대규모 화재 발생 시, 이용자가 최악의 조건에서 탈출이 가능한 피난연락갱 간격을 199m이하로 대인용37개소 차량용14개소 대형차량용6개소를 설치하여 이용자의 안전을 최우선으로 확보하였다.

또한 터널내 화재 시, 사강을 통해 외부로 탈출할 수 있도록 계획하였으며 구난차량의 진출입이 가능하도록 설계하여 인명피해를 최소화하고 방재, 구난기능을 극대화시켰다.

4. 결론

본 과업은 수도권과 동해안 최단거리 연결 고속도로로

써 동서2축 고속도로 완성 및 남북7축 고속도로와의 연결이며 그 기대효과로는 연도개발 촉진 및 물류지원 체계 확립, 동해안권 교통수요 담당 및 국토 균형발전 도모, 통일 시대에 대비한 최첨단 고속도로 완성이라 하겠다.

과업노선 총연장 11.958km중, 인제터널은 10.965km로 국내에서 가장 긴 터널로 계획되었으며 터널설계 시, 주안점을 둔 부분은 다음과 같다.

첫째, 직선을 배제한 리듬감 있는 곡선선형계획으로 폐쇄된 초장대 터널구간의 주행안정성을 확보하였고

둘째, 영동지역의 교통특성을 고려한 상,하행 연동 환기 시스템을 계획하여 효율적이며 유지관리에 유리한 환기 시스템을 계획하였으며

셋째, 터널내 대피시간 단축, 터널 중앙부 대피시설 집중배치 및 신속한 배연 용량 확보 등을 통해 비상 시 이용자의 안전에 최우선을 두었으며

또한, 종합방재시나리오 계획을 수립하여 인명피해 최소화 및 방재 및 구난기능을 극대화시켰다.

추후, 인제터널과 같은 장대터널의 건설은 많지 않을 것으로 예상되나 이런 설계자료들의 공유로 장대터널 설계 시, 유용한 자료로 활용되었으면 한다.