

## 중앙선 원주~봉양간 장대 철도터널 계획



**장석부**  
(주)유신코퍼레이션  
이사



**문상조**  
(주)유신코퍼레이션  
전무



**김동기**  
(주)유신코퍼레이션  
전무



**허도학**  
(주)유신코퍼레이션  
차장



**정병률**  
(주)태조엔지니어링  
부사장

### 1. 머리말

중앙선 원주~제천간 복선전철 노반 기본설계는 청량리~원주간 및 제천~도담간 복선전철화 사업과 연계하여 일관된 철도수송체계를 구축하기 위한 것으로 행정구역 상으로 시점부는 강원도 원주시 신림면, 종점부는 충청북도 봉양면에 위치한다(그림 1참조). 선로등급은 2급선으로 설계속도는 150km/h이고 최소곡선반경과 선로기울기는 각각 1,200m, 12.5%이다.

본 구간중 원주~봉양구간은 치악산을 서측에서 마주보는 백운산과 구학산을 통과하기 때문에 당초 기본계획에서는 연장 25km의 초장대터널이 계획되었다[1]. 장대터널은 선형의 직선화 및 완만한 종단경사의 확보에는 매우 유리하지만, 공사기간과 공사비가 과다하게 소요되며 운영중 화재에 매우 취약한 특성을 갖는다.

이에, 기본 설계시에는 보다 효과적인 장대터널 건설 및 운영을 위하여 대상지역의 지형조건을 최대한 활용한 장대터널 노선을 계획함에 따라 25km의 초장대터널을 14km와 11km, 2개의 장대터널로 양분하였다. 또한, 장

대터널의 효과적 건설 및 운영중 방재성능을 확보하기 위한 터널계획을 수립하였다[2].

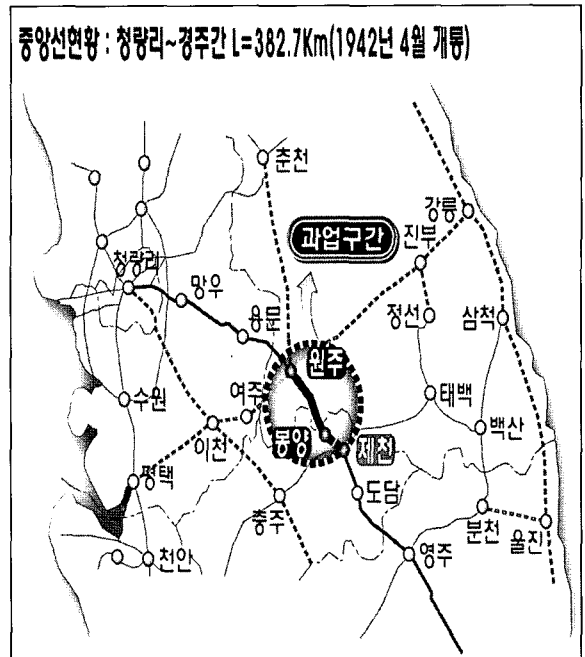


그림 1. 과업 구간 위치

## 2. 장대터널 노선계획

### 2.1 대안노선 현황

당초 기본계획은 남원주와 봉양을 최단거리로 연결하는 노선으로 계획되어 25km의 초장대 터널이 계획되었

으며, 구난신희장이 지하 190m에 위치하고 있다. 대상지역은 백운산과 구학산으로 지형이 높은 산악지대이나 지방도 402호선이 지나는 두 산의 경계부는 계곡이 형성되어 있어 주변 지역보다 상대적으로 표고가 낮다.

이에, 그림 2와 3과 같이 초장대 터널을 분리할 수 있는 북부노선과 남부노선 대안을 설정하였다. 북부노선은 3개

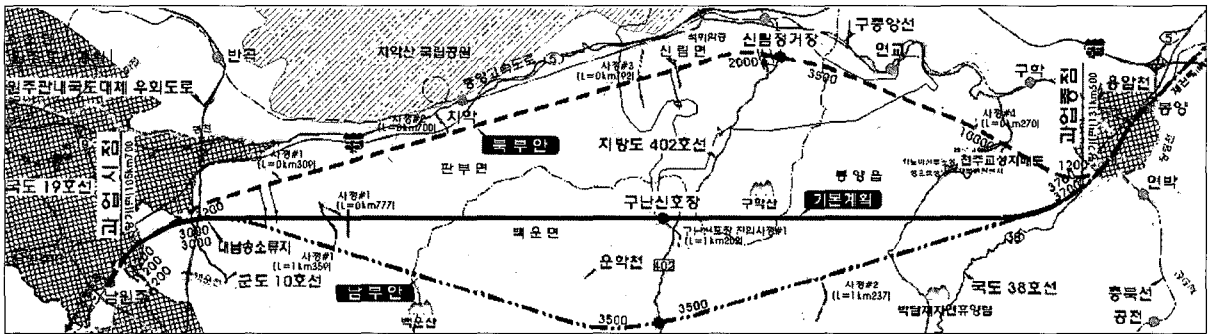
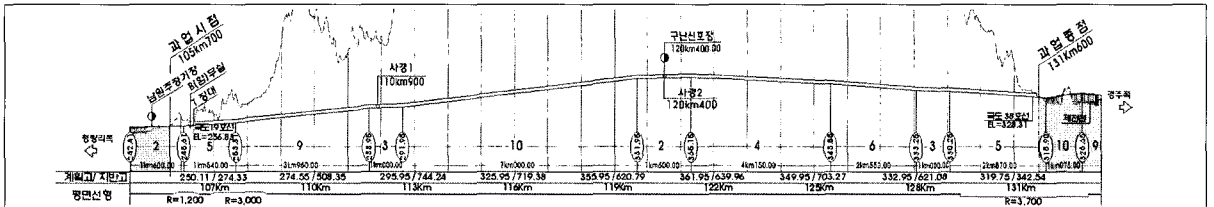
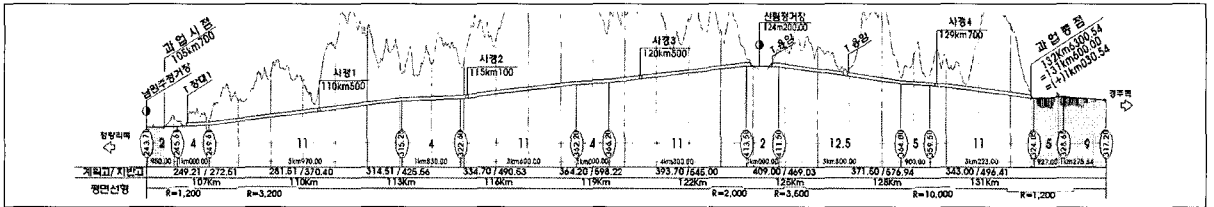


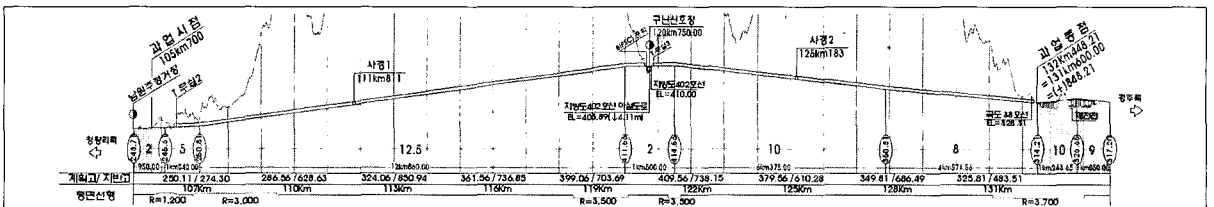
그림 2. 대안 노선 평면 현황



(a) 기본계획 노선



(b) 북부노선안



(c) 남부노선안

그림 3. 대안 노선 종단 현황

표 1. 노선대안별 현황

구분	기본계획	북부노선안	남부노선안
노선개요	남원주~봉양간 직선화 노선	북단우회, 배론성지 근접	남단우회
최대역간거리	15.3km	19.1km(신호장 추가필요)	15.6km
연장	25.9km	27.1km(+1.2km)	27.1km(+1.2km)
최급기울기	10%	12.5%	12.5%
터널연장	25.1km	17.5km + 2.2km + 5.7km	14.2km + 11.2km
구난신호장	지하190m 위치	지상설치	지상설치

터널로 구성되며 각각의 연장은 17.5km, 2.2km, 5.7km 이고 남부노선은 14km와 11km의 2개 터널로 거의 균등하게 양분되며 각 노선별 주요 특징은 표 1과 같다.

북부노선은 중앙고속도로 및 국도5호선과 나란히 근접되어 사갱 설치의 용이하나 천주교 배론성지에 근접하여 종교단체의 민원발생 가능성이 있다.

최장 터널의 연장이 17.5km로써 기본계획 대비 터널 연장 감소효과가 낮고 역간거리가 15km를 초과하여 신림정거장과 과업시점 사이의 터널구간에 신호장을 추가해야 한다.

남부노선은 민원요인은 매우 낮으나, 험준한 산세와 박달재 자연휴양림으로 인하여 사갱 설치를 위한 노선접근 개소가 제한적이다. 최장터널은 14km로써 기본계획의 25km 초장대 터널을 크게 해소할 수 있는 장점이 있다.

## 2.2 대안노선별 지질조건

본 과업의 대상지역이 광범위하기 때문에 노선계획에 필요한 지질정보를 파악하는 수단으로서 광역지표지질조사를 수행하였다. 그림 4의 지질도는 국립지질조사소의 1:50,000 신림 및 문막도폭과 국내 연구논문을 기초로 광역지표지질조사 결과를 토대로 작성된 것이다.

과업 시·종점부는 화강암이 분포하나 그 외 구간은 노선에 따라 지질조건에 큰 차이를 보이고 있다. 본 과업지역에서의 위험요인으로는 석회암 공동발생이 우려되는 석회암층과 동서방향의 황계덕 단층, 트러스트 단층을 들 수 있다. 황계덕 단층은 지방도 402호선과 거의 같은 위치를 지나기 때문에 어느 노선도 우회할 수 없으나, 북부노선은 석회암층을 광범위하게 통과하며 트러스트 단층

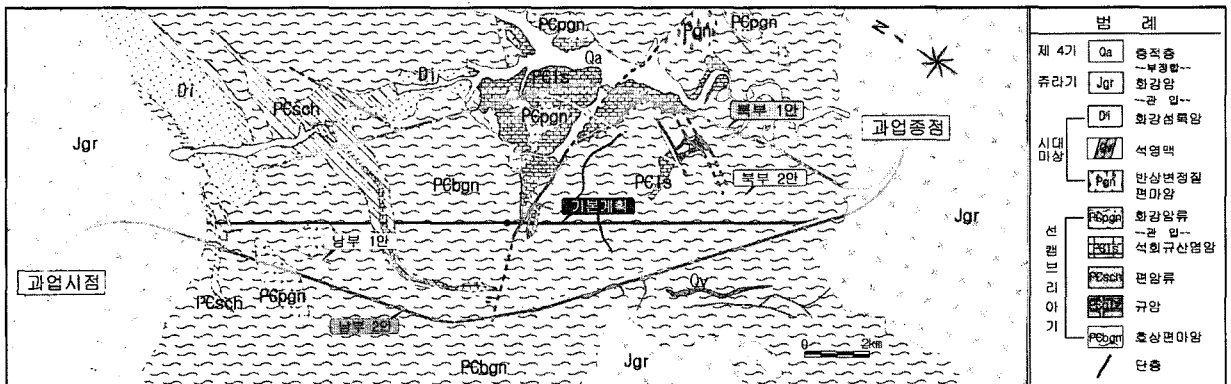
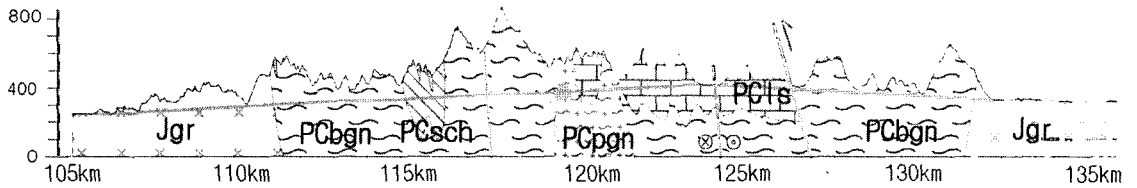
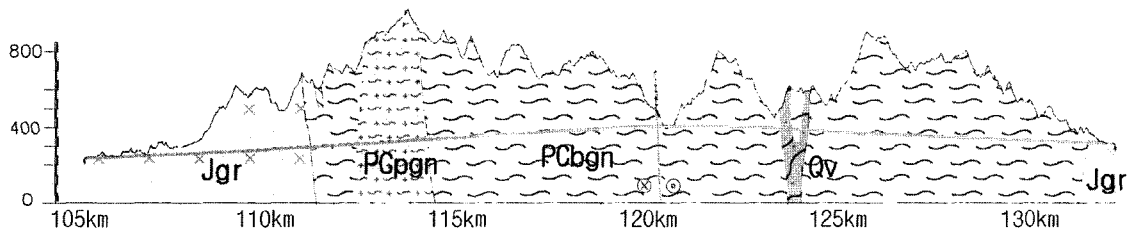


그림 4. 과업지역 지질평면



(a) 북부노선안



(b) 남부노선안

그림 5. 북부노선안과 남부노선안의 지질종단

도 통과하고 있다. 따라서, 지질조건상으로는 북부노선에 비해 남부노선이 상당히 양호한 조건을 가지고 있다.

### 2.3 노선선정 및 터널현황

기본계획 노선상의 초장대터널조건을 개선하기 위하

여 북부노선과 남부노선을 검토한 결과, 남부노선이 초장 대터널 구간의 적정분할이 가능하고 지질조건이 상대적으로 양호한 것으로 분석되었다.

이에 남부노선을 기본설계노선으로 선정한 결과, 터널 현황은 그림 5와 같이 연장 14.3km의 백운터널과 11.2km의 박달터널이 단선병렬 터널로 계획되었다. 각

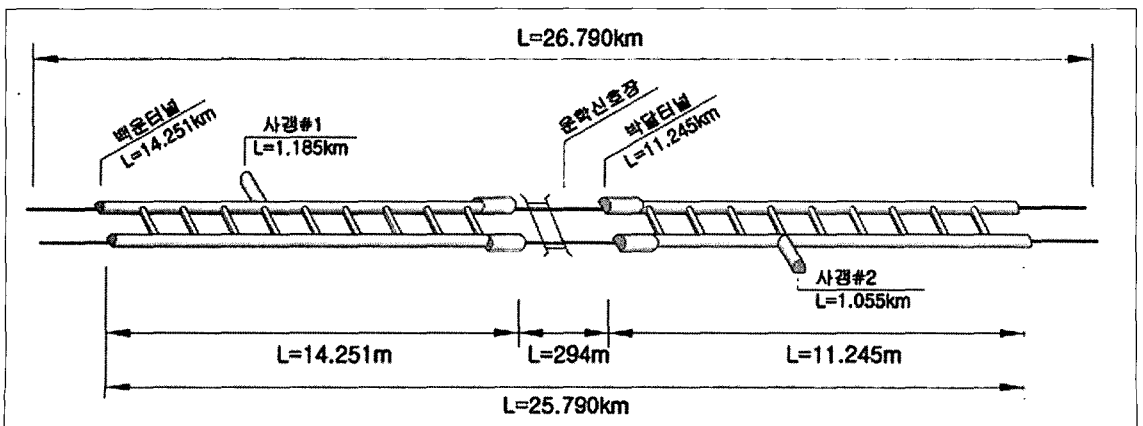


그림 6. 터널 현황

표 2. 터널 계획 현황

구 분		백운터널	박달터널	비 고
본선	단선 병렬	NATM	13,979m	10,900m
		개착	53m	140m
신호장	복선 병렬	NATM	240.5m	190m
		개착	11m	15m
계		14,251m	11,245m	
		사 갱	1개소, 1,185m	1개소, 1,055m
부대시설	횡 갱	33개소	26개소	400m 간격
	환기실	1개소	1개소	사갱 접속부

터널에는 약 1.1km의 사갱이 1개소씩 계획되었고 터널 사이에는 718m의 신호장이 계획되었으며 이중 지상구간인 294m는 구난역으로 계획되었다. 그 외 상세 터널현황은 표 2와 같다.

### 3. 주요 터널계획

#### 3.1 대피통로(보도)설치방안

단선병렬 터널에서 보도의 역할은 유사시 승객의 하차 공간제공과 더불어 인접 횡갱까지 터널내에서 이동하는 경로를 제공한다. 동일한 터널내공에서 보도를 배치하는 방법은 그림 7과 같이 보도를 편측배치(폭 1.5m)하는 방안과 양측배치(0.8m x 2)하는 방안이 있다.

보도를 양측배치하는 경우 화재열차에서 상대적으로 신속한 하차는 유리하나, 개별 보도에서 이동속도가 느린 노약자에 의해 전체적인 대피속도가 저하될 가능성이 있고 횡갱 입구의 병목현상이 발생할 우려가 예상되었다. 이에, 2가지 방안에 대해 SIMULEX에 의한 대피시뮬레이션을 수행한 결과, 보도를 내측에 배치하는 방안이 약 20%정도의 대피시간을 절감할 수 있는 것으로 분석되어 단면계획시 적용하였다.

#### 3.2 횡갱 설치간격 검토

단선병렬 터널에서 횡갱은 공사중 작업공간으로 활용될 뿐 아니라 터널내 화재시 반대터널로 대피할 수 있는 안전통로를 제공한다. 국외 사례에 의하면 횡갱간격은

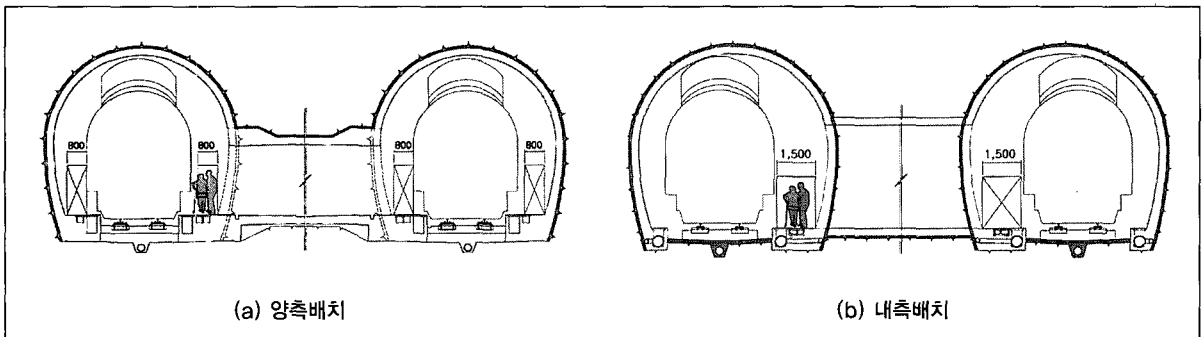


그림 7. 단선병렬터널 보도설치 방안

표 3. 위험도 등급에 따른 횡갱 권장 간격

위험도 등급	추천 횡갱 설치간격	관련 설계기준
Low risk	최대 1,000m	EBA Guideline
Medium risk	500m	
High risk	350m	
Very high risk	250m	NFPA 130 Standard

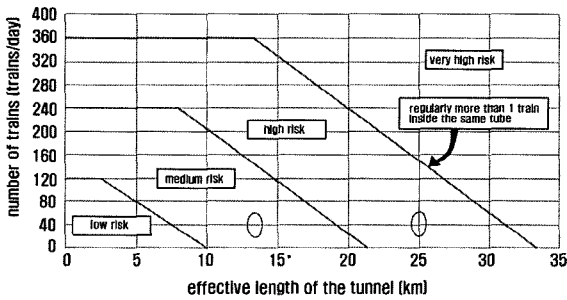


그림 8. 터널유효연장과 열차운행량에 따른 터널 위험도 등급[4]

250~500m까지 다양하나, 본 과업에서는 터널 위험도 등급에 따른 적정 횡갱간격을 검토해 보았다.

그림 8은 터널연장과 열차운행량에 따른 터널위험도를 나타낸 것으로 백운터널은 14km 정도이나 박달터널과의

거리가 300m 미만에 불과하기 때문에 터널 유효거리를 25km로 검토해 보았다. 열차 운행량은 32~37대/일이므로 본 터널은 중간~높은 위험도로 분류할 수 있다. 표 3은 위험 등급에 따른 적정 횡갱간격을 제안한 것으로 이에 따르면 횡갱간격은 350~500m 정도이다. 따라서, 터널위험등급에 따른 적정 횡갱간격 범위와 국내에서 일반적으로 적용되고 있는 기존 사례를 참조하여 횡갱간격을 400m로 설정하였다.

### 3.3 사갱단면계획

사갱은 공사중에는 작업구로 이용되고 운영중에는 환기구 및 대피통로로 이용되기 때문에 이 모든 조건을 고

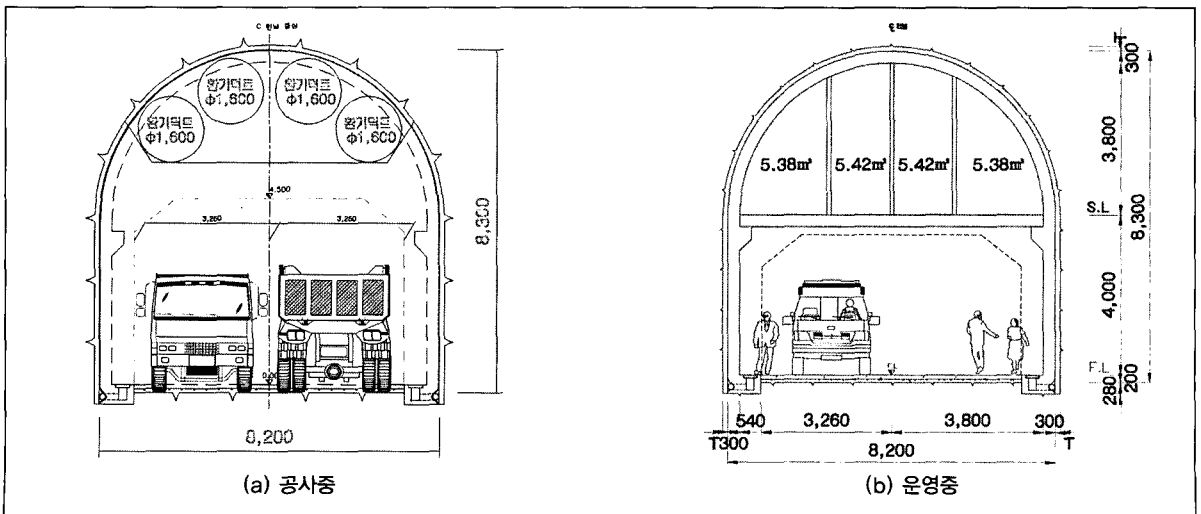


그림 9. 사갱단면

려하여 사갱단면을 계획하였다(그림 9).

공사중에는 덤프트럭 교통이 가능하고 배수로를 설치할 수 있도록 바닥폭을 확보하고 천정부에는 4개의 터널 막장에 공급할 공사용 덕트 설치공간을 확보하였다. 운영 중에는 상하행선에 공급될 급배기 공간을 확보하고 비상시 차량진입 및 대규모 승객대피가 가능하도록 하였다.

### 3.4 재난구호지역 계획

재난구호지역은 터널갱구부 작업부지를 최대한 활용하여 계획하였으며, 본선갱구부와 사갱갱구부의 구호활동 특성을 고려하여 계획되었다(그림 10). 재난구호지역은 유사시 소방열차 및 각종 구난차량이 접근할 수 있는 진입도

로가 계획되었으며, 공사중 진입로를 활용토록 하였다.

본선 갱구부의 재난구호지역은 화재열차가 인접 역사까지 도달할 수 없는 경우 불가피하게 터널을 탈출한 후 정차하는 지역이다. 따라서, 갱구부 재난구호지역은 구급차뿐 아니라 화재열차의 소화를 위한 소방차량이 주차할 수 있는 공간을 추가로 확보하였다. 사갱 갱구부는 화재열차가 터널안에 있는 경우이므로 소방차가 갱구부에 주차할 필요가 없으므로 구급차 주차공간만을 확보하였다. 헬기장은 긴급 환자 수송을 위하여 모든 곳에 설치하였다.

### 3.5 시공계획

본 과업구간의 터널굴착계획은 특정 구간에서 공기가

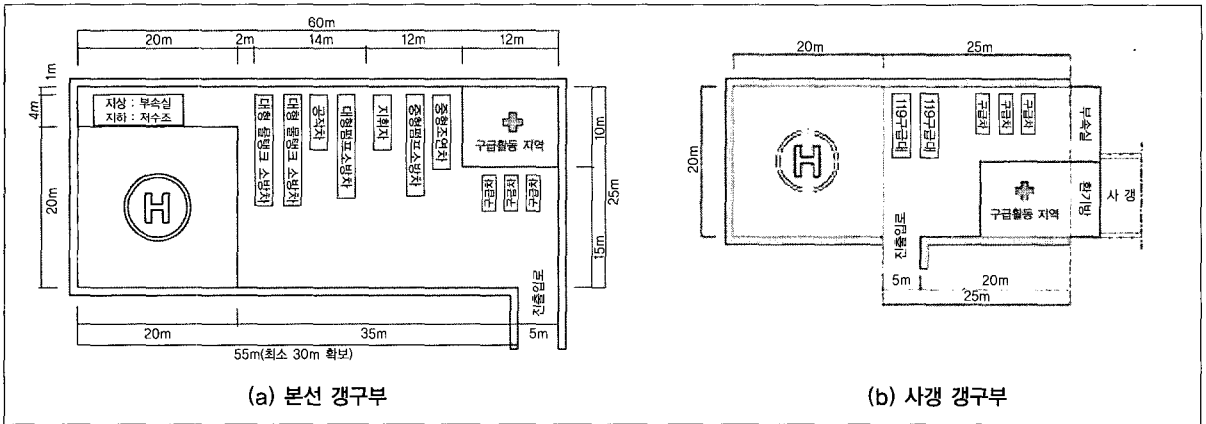


그림 10. 사갱단면

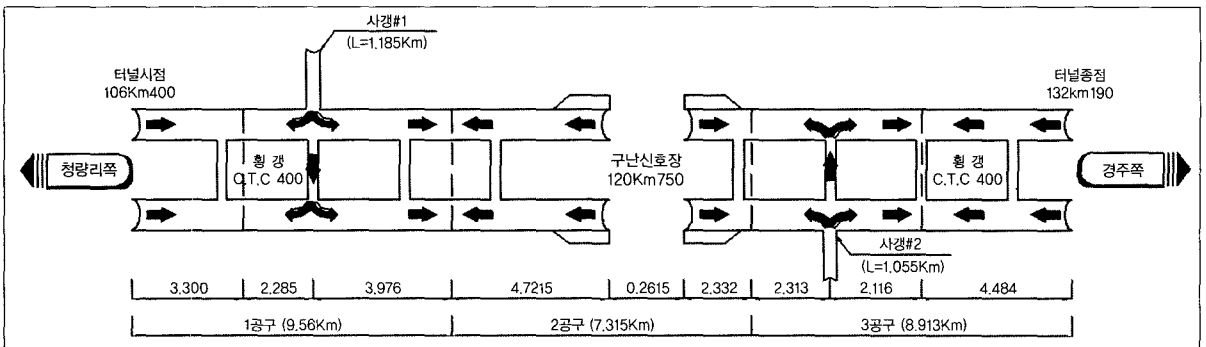


그림 11. 장대터널 굴착계획

집중되어 전체적으로 공사기간이 지연되지 않도록 그림 11과 같이 굴착구간을 균등하게 분할하도록 노력하였다.

백운터널은 약 1.2km의 사갱을 이용하여 약 5.2km가 굴착되고 시점부에서 3.3km, 구난신호장측에서 4.7km가 굴착된다. 박달터널은 약 1.1km의 사갱을 통해 4.4km가 굴착되고 구난신호장측에서 2.3km, 종점부에서 4.5km가 굴착되도록 계획하였다.

## 4. 환기 및 방재시설계획

### 4.1 환기 및 방재시스템 개요

백운터널과 박달터널은 그림 12와 같이 각각 축류팬이 설치된 사갱접속부의 환기실과 터널 입출구부의 보조축류팬 방식의 환기시스템을 가지고 있다. 터널내 각종 설비의 통제 및 관리는 시점부 남원주역에서 이루어진다. 터널내 환기설비의 가동은 일반 도로터널에 비해 열차운행 집중도 및 계절별 기후조건에 따라 비연속적인 경향을 가지고 있으므로 효율적 운영을 위해 터널내 대기조건에 따른 자동제어시스템이 적용되었다.

터널내 화재시 열차는 박달터널과 백운터널을 탈출하여 인근 역사로 대피하는 것을 원칙으로 한다. 그러나, 열차운행이 곤란한 정도에 따라 터널중간의 운학신호장을

구난역으로 활용하도록 계획하였다. 또한, 가능성은 낮으나 화재열차가 부득이 터널내에서 정차하는 경우에 승객은 하차하여 횡갱을 통하여 반대터널로 대피하고 환기설비에 의한 적절한 배연을 통해 화재연기에 의한 질식을 방지토록 계획하였다.

### 4.2 자연환기력 및 소요환기량 검토

철도터널의 자연환기력은 교통환기력과 터널내부와 외부의 온도차에 의한 부력효과를 들 수 있다. 교통환기력은 열차진행방향으로 형성되므로 단선병렬터널에서 이에 의한 기류방향은 항상 일정하다. 반면에 부력효과는 터널의 부 온도가 계절에 따라 변하기 때문에 동절기에는 상향구배쪽으로 하절기에는 하향구배쪽으로 기류방향이 형성된다. 운학신호장이 시종점보다 표고가 높기 때문에 계절별 기류는 표 4와 같이 형성된다. 이 때, 열차진행방향과 부력에 의한 풍향이 반대방향으로 생성되는 경우 자연환기력은 크게 저하되어 강제(기계)환기가 필요하게 된다.

터널의 소요환기량은 운영중 터널내 대기농도를 허용치 이하로 유지하기 위한 운영중 환기용량과 터널내 화재시 터널내 기류를 제연풍향으로 유지하기 위해 필요한 화재시 환기용량으로 구분할 수 있으며, 이 중 큰 용량을 설계용량으로 설정한다. 일반적으로 철도터널은 운영중 환

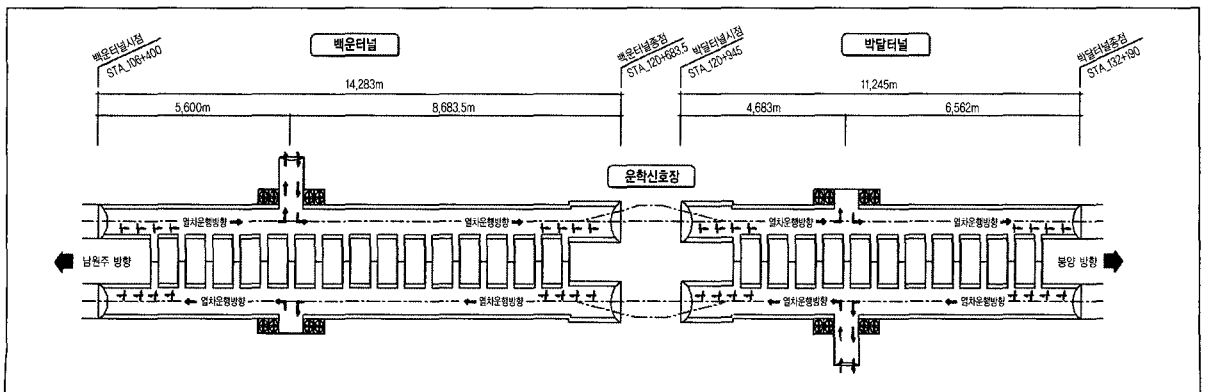
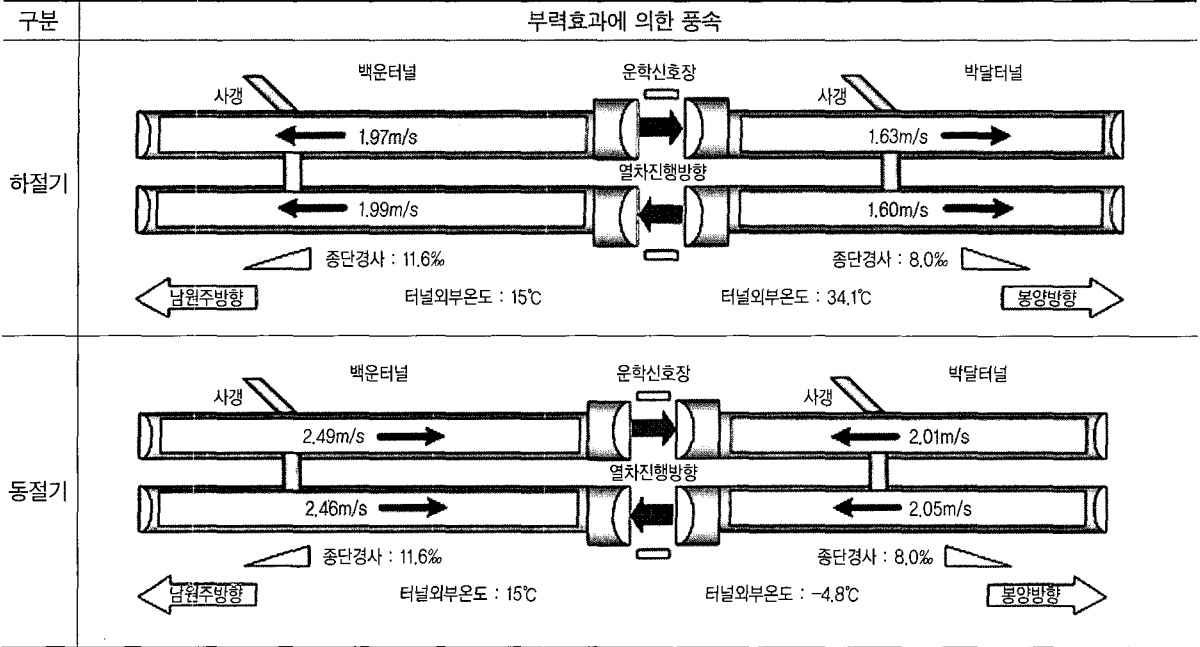


그림 12. 환기시스템 개요도



표 4. 계절별 자연환기력 검토



기용량이 작아 화재시 제연용량이 설계용량으로 결정되는 경우가 많다. 본 과업에서도 동절기환기효율이 매우 불량한 백운터널 남원주 방향 터널을 제외하고 모든 터널은 화재시 환기용량이 설계용량으로 결정되었다.

### 4.3 환기설비 운전계획

환기설비의 운전은 운영중 상시 운전계획과 화재시 비상 운전계획이 있다. 상시 운전계획은 터널내 대기 오염 농도를 허용치 이하로 유지하기 위한 것으로 터널내 기류 방향은 열차에 의한 교통환기력이 부력에 의한 자연환기력보다 크기 때문에 계절에 상관없이 열차진행방향으로 환기기를 가동한다. 상시 환기설비의 제어는 터널내 환기 소요량과 계절 및 주야간 변화를 고려하여 최적운전이 가능하도록 터널내 VICONO측정기, 풍향풍속 측정기 등의 센서를 이용한 자동제어시스템을 적용하였다. 본 시스템 적용시 기대되는 효과는 운영중 에너지 절감, 상시 운

전관리요원 불필요, 환기설비 수명 연장, 철도터널 대기 상태 자료축적 등을 들 수 있다.

화재시 제연운전은 비상운전계획에 의하여 이루어지며 터널내 화재지점에 따라 환기기의 운전모드가 달라진다. 제연운전의 기본은 최근접 출구로 제연방향을 설정하고 화재반대터널은 연기역류방지를 위한 가압급기 운전이다. 한 예로, 그림 13은 백운터널 봉양방향터널의 사갱부근 화재시 제연운전계획을 보여주는 것으로 화재연기는 사갱으

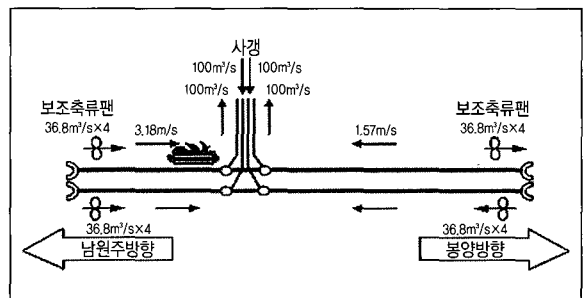


그림 13. 백달터널 사갱부근 화재시 제연운전

로 배출되도록 봉양방향 터널의 환기가 작동되고 반대 측 남원주 방향 터널의 환기는 터널내 압력을 높이기 위하여 터널내측으로 환기가 작동됨을 볼 수 있다.

나타낸 것이다.

#### 4.5 방재시스템 분석

본 터널의 방재시스템의 적정성을 검토하기 위하여 화재 및 대피 시뮬레이션을 수행하였다. 3차원 화재시뮬레이션은 FLUENT 프로그램을 사용하여 화재강도 10MW(객차 1량 전소규모), 화재위치는 10량 편성중 5번째 객차, 그리고 EUREKA 화재강도 곡선 조건에 대해 수행되었다. 대피시뮬레이션은 SIMULEX를 이용하였으며 대피승객은 우리나라의 남녀노소 인구비를 고려하여 구성되었다.

#### 4.4 방재시설계획

터널방재시설은 국내의 철도터널 설계기준과 장대터널 방재시설 사례를 조사하여 계획하였다. 방재시설계획은 장대터널의 특성을 고려하여 화재의 직접적 소화활동보다는 승객의 신속한 대피에 역점을 두었다. 그림 14는 본선터널과 사강접속부의 방재시설 배치를 도식적으로

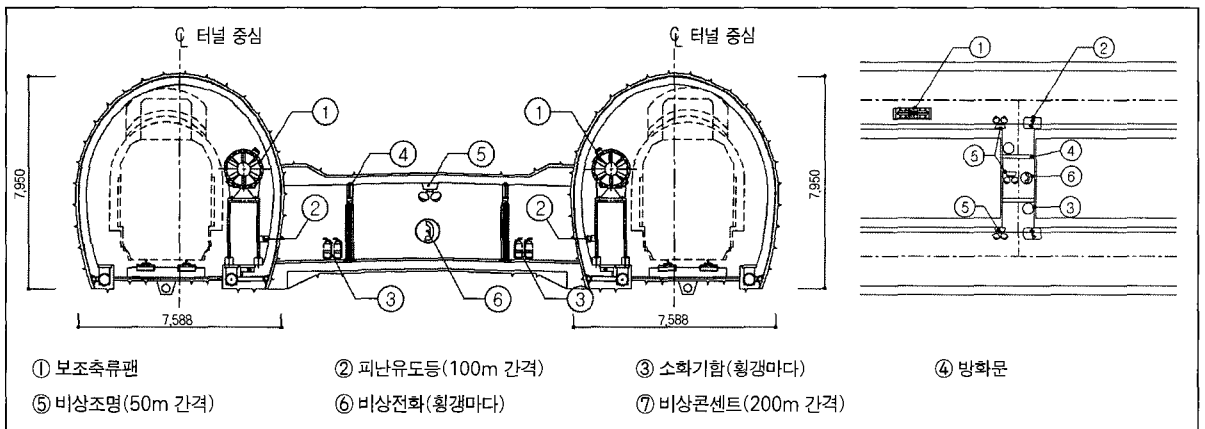


그림 14. 터널내 방재시설

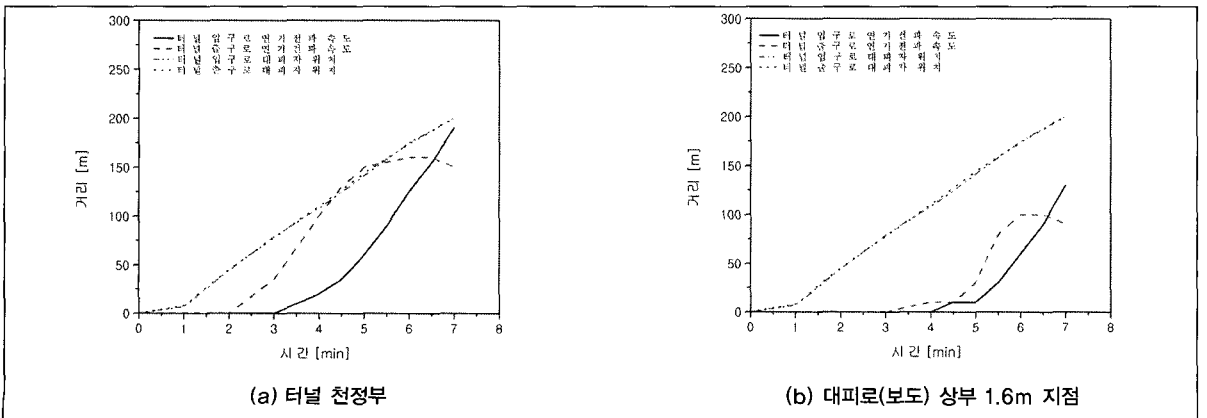


그림 15. 시간별 화재연기 및 승객대피거리

표 5. 화재시간대별 열차주변 연기농도 및 승객대피현황

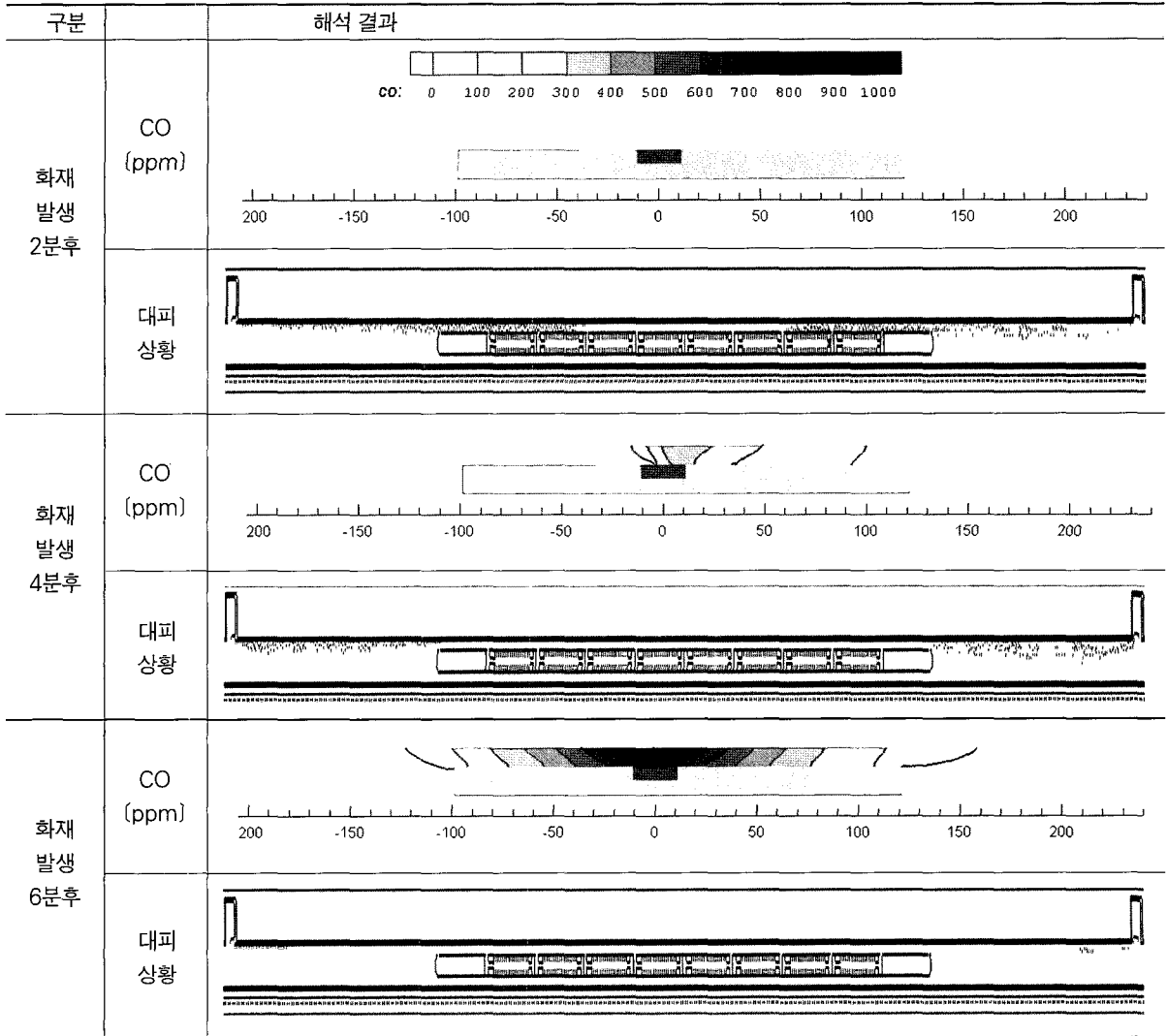


표 5는 화재발생 시간대별 열차주변의 CO 농도와 승객 대피상황을 보여주고 있으며 그림 15는 시간대별 연기 전파거리와 승객대피거리를 보여주고 있다. 터널 천정부를 기준으로 하는 경우 화재발생 5분후에 연기가 대피승객 위치까지 미치고 있으나, 대피승객 호흡위치(머리)에서는 화재연기가 대피승객에 충분히 미치지 않음을 볼 수 있다. 따라서, 터널내 화재시 승객은 연기가 터널내 전파

되기 전에 횡갱을 통하여 충분히 대피할 수 있음을 검증할 수 있었다.

### 5. 맺음말

철도노반시설로써 장대터널은 다른 토목구조물에 비하여 험준한 지형을 극복한 철도건설에 매우 효과적이며,

---

환경보존 측면에서 매우 유리한 장점이 있다. 본 과업 외에 2000년부터 공사중인 영동선 동백산~도계간 솔안터널(연장 16.3km)을 비롯하여 앞으로 원주~강릉간 대관령구간에도 장대터널이 계획될 예정이다. 이는 우리나라의 산악지형 조건상 철도건설에 터널은 필수적인 선택일 수밖에 없음을 보여주는 좋은 예라 할 수 있다.

따라서, 앞으로 국내는 물론 남북교류시대를 맞아 남북한 국토건설 등에 있어서 험준한 산악지형에서의 철도계획 및 장대 철도터널 계획에 참고가 되길 기대한다.

### 參考文獻

1. 철도시설공단(2003) 중앙선 원주~제천간 복선전철 타당성 조사 및 기본계획 보고서
2. 철도시설공단(2004) 중앙선 원주~봉양간 복선전철 노반 기본설계 보고서
3. 철도청(2000) 영동선 동백산~도계간 철도이설 건설공사 실시설계 보고서(토목)