터널과 지하공간, 한국암반공학회지
제15권 제6호, 2005년 12월, pp. 432~440

TUNNEL & UNDERGROUND SPACE, Vol. 15, No. 6, 2005, pp. 432-440
Journal of Korean Society for Rock Mechanics

국내 최장대 양방향 도로터널 설계사례 - 배후령터널

이선복[1)]*, 제해찬[2)]

Case Study of the Longest Roadway Tunnel in Korea, Baehuryeong Tunnel

Seon-Bok Lee and Hae-Chan Je

Abstract Baehuryeong tunnel connects Chuncheon with Hwacheon in Kangwon, Korea. This tunnel is a single tunnel with 5,057 m long and two bidirectional lanes which will be extended into four lanes in the future. The estimated construction period of Baehuryeong tunnel is approximately 55 months. This tunnel will become the longest bidirectional roadway tunnel in Korea. Compared to a twin tunnel, a bidirectional single tunnel has two major disadvantages with regard to the ventilation system and ease of escape during fire. For these reasons, a service tunnel and the transverse ventilation system are planned first time in Korea. In case of fire, the tunnel ventilation design aims to maintain a smoke free layer for passenger evacuation. The geology of Baehuryeong tunnel site is mainly composed of gneiss and granite. Baehuryeong fault is a mainly large scale fault which stands vertical and parallels with tunnel direction. The influenced zone of this fault is within 70 m. Baehuryeong tunnel was designed that it was separated with the distance of more than 100 m from Baehuryeong fault for its safety.

KeyWords Single tunnel with two bidirectional lanes, Service tunnel, Transverse ventilation system, Baehuryeong fault

초 록 배후령 터널은 강원도 춘천과 화천을 연결하는 길이 5,057 m의 2차선 양방향 단선 터널로 장래 4차선으로 확장 될 계획이다. 본 터널은 55개월의 공기로 현재 시공 중이며 완공 후 국내 최장대 양방향 도로터널이 될 것이다. 양방향 단선터널은 복선터널에 비해 환기 및 화재 대처에 대한 단점을 가지고 있다. 이러한 이유로 배후령 터널에는 국내 최초로 연장 5,173 m, 직경 5 m의 서비스터널을 계획하였으며, 횡류식 환기방식을 적용하였다. 이 환기 시스템은 화재 시 제연효과로 대피자의 안전을 확보할 수 있다. 배후령 터널 구간은 편마암과 화강암을 기반암으로 하며, 터널 방향을 따라 큰 규모의 배후령 단층이 발달 되어있다. 이 단층의 영향 범위는 각종 조사 및 시험결과 약 70 m로 분석되어, 안전을 고려 터널 노선은 단층에서 100 m 이상 이격하여 선정되었다.

핵심어 양방향 단선 터널, 서비스 터널, 횡류식 환기방식, 배후령 단층

1. 서 론

국도 46호선 신북~북산(배후령) 국도개량공사의 일환으로 계획된 배후령 터널은 험준한 지형조건으로 인하여 총연장 5,057 m의 국내 최장 도로터널로 계획되었다. 당초 Fig. 1과 같이 우회노선으로 계획되었으나, 소양강 상수원 오염문제와 청평사 문화재 보호지역 저촉 등을 피하기 위한 환경친화적 노선 선정으로 장대터널이 계획되었다.

[1)] 정회원, 동부건설(주) 토목설계팀 차장
[2)] 정회원, 동부건설(주) 토목사업부 상무이사
* 교신저자 : leesb111@dongbu.co.kr
접수일 : 2005년 9월 22일
심사 완료일 : 2005년 11월 22일

배후령 터널 완공 후에는 경기 동북부 지역과 강원 북부지역의 원활하고 쾌적한 교통으로 균형적인 지역 발전과 물류지원의 효율성이 증대되어 균형적인 지역 발전에 이바지할 수 있으며, 향후 남북교류 활성화에 공헌할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 지형 및 지질조건

배후령터널 구간은 시점측보다 종점측이 높고 노선 중앙부의 심도는 400 m이상으로 접근할 수 있는 계곡이 적은 지형적 특징을 가지고 있다. 터널 주변의 대부분의 산지는 녹지 8등급으로 매우 조밀한 수목분포를 보이며 지형이 험해 접근성 및 조사 작업이 매우 어려운 조건이다.

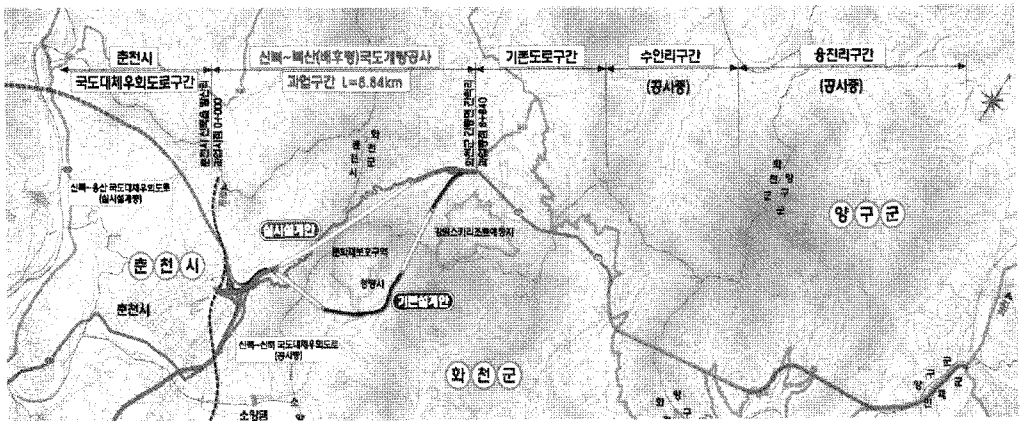


Fig. 1. General view of the new roadway connection Shinbuk-Yanggu

터널구간의 지층은 Fig. 2와 같이 주로 편마암과 화강암으로 구성되어 있으며, 주요 단층으로는 배후령 단층이 터널노선과 나란하게 발달되어 있다. 배후령 단층은 기존 국도 비탈면의 노두에서 뚜렷하게 관찰되었으며 물리탐사 및 지표지질조사를 통하여 연장성이 분석되었다.

배후령 단층의 영향범위를 분석하기 위하여 단층대 주변의 미세절리밀도, 미세균열밀도, 조암광물조사를 수행하였다. Fig. 3은 단층을 중심으로 조사된 결과를 나타낸 것으로 파쇄대는 8 m, 손상대는 30 m로 분석되었고 최대영향권은 64 m 정도로 분석되었다. 따라서, 배후령 터널은 단층의 영향을 고려 최소 97 m 이격하여 계획하였다[1].

이 지역 편마암과 화강암의 역학적 차이는 미소하여

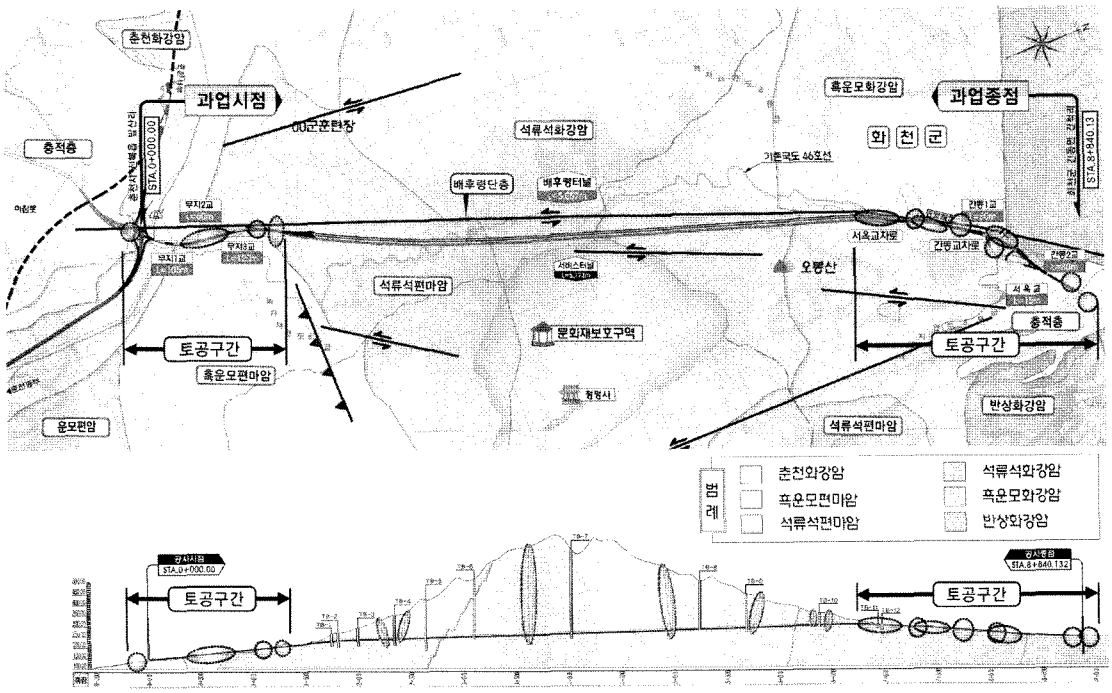


Fig. 2. Geological map and tunnel section view

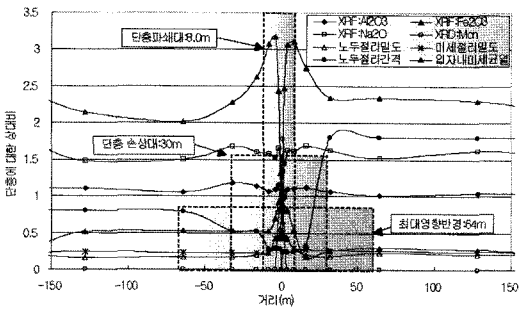


Fig. 3. Analysis of Baehuryeong fault

신선암의 일축압축강도는 평균 13.5 MPa이고, TBM시공에 대비한 Taber 마모시험과 현미경 Modal 분석에 의하면, 합경도는 119~145의 범위를 보이며 석영함량은 24~31%정도이다. 터널통과 구간의 기반암은 I등급(RMR>75)이 전구간의 71%를 차지하고 있을 정도로 양호하고 암반의 투수계수도 갱구부를 제외하면 매우 낮아 터널 굴착에는 매우 유리한 조건이었다. 그림 4는 터널구간의 암반등급을 나타낸 것이다[2].

3. 터널시설계획

국내 최장의 양방향 도로터널로 계획된 배후령 터널은 배후령 심부 최대 400 m 이하를 통과하는 왕복 2차로, 연장 5,057 m의 터널이다.

Fig. 5에 보인바와 같이 배후령 터널은 국도46호선의 장래 4차로 확장계획에 따라 Fig. 6과 같이 현재는 비상시 이용자의 대피로 기능을 하고 장래 4차로 확장 시에는 확공하여 2차로 본선터널을 시공할 수 있는 5,173 m의 서비스 터널을 계획하였다.

본 터널은 Table 1과 같이 설계속도 80 km/h의 왕복 2차로 터널, 3.5 m 차선폭과 측방여유폭 1.0 m(춘천방향), 2.5 m(양구방향)로 단면을 구성하였다. 피난연락갱은 150 m 간격으로 서비스 터널과 연결하도록 설치하여 비상시 이용자들의 응급피난이 가능하도록 하였고 방화문을 설치하여 화재시 화염과 연기로부터 안전하게 대피할 수 있도록 하였다. 서비스터널은 구급차와 피난자가 동시에 통행할 수 있는 폭을 확보할 수 있도록 직경 5.0 m의 TBM 터널로 계획하였다.

배후령 터널은 국내 최장의 양방향 터널로 제연효과가 우수한 횡류식 환기방식을 택하였으며 갱내 오염공기의 배출과 외부 신선한 공기의 공급을 위해 양쪽 갱구부에 2개의 환기소를 설치하였다. 환기소의 축류팬은 화재시 제연모드 전환이 용이하도록 하였고 터널내 덕트는 필요에 따라 부분적으로 개폐가 용이하도록 하였다. 양쪽 갱구부에는 터널로부터 진출하는 운전자의 조도순응을 돕기 위해 시각순응시설을 각각 설치하였다.

3.1 단면계획

배후령 터널은 양방향 단일터널이기 때문에 화재 시

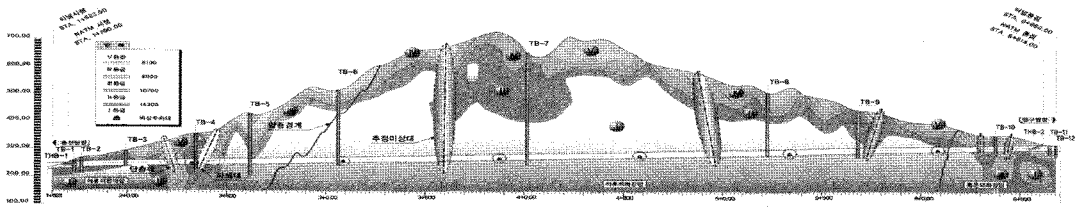


Fig. 4. RMR distribution of Baehuryeong tunnel

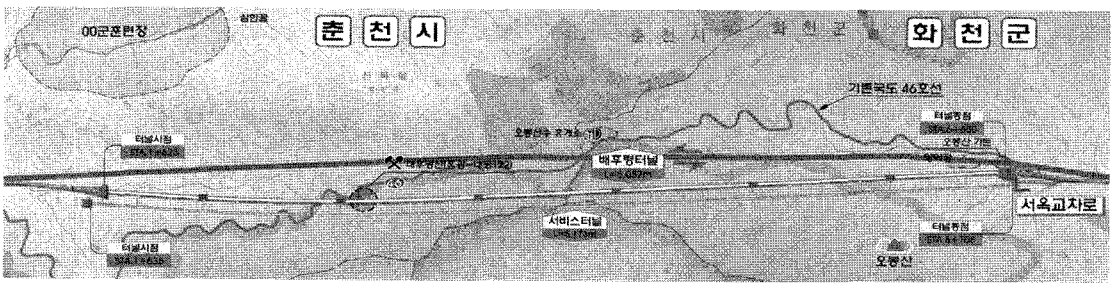


Fig. 5. Road map of Baehuryeong tunnel

Table 1. Design specification of Baehuryeong tunnel

연장	종단경사	환기방식	폭원구성	비 고
5,057 m	S=+1.38%	횡류식 (급기, 배기)	· 2차로 : 3.5 m×2 · 측방여유폭 : 1.0 m+2.5 m(양구방향) · 중앙분리대 : 0.5 m	· 도로폭원 : 11.0 m · 서비스터널(TBM ø5.0)

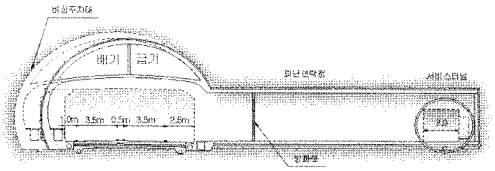


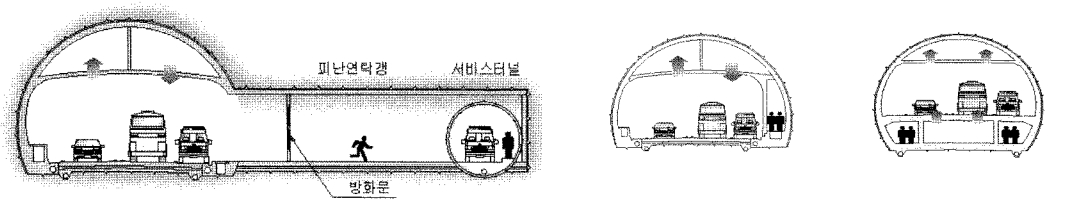
Fig. 6. Cross section of Baehuryeong tunnel

대피가 원활하도록 단면계획을 수립하였다. Fig. 7은 대피를 고려한 단일터널의 단면형식으로 이미 외국의 일부 터널에서 적용한 사례가 있으나 구급차량의 진입 및 사고지점까지 접근이 용이하며 대형사고 발생시에도 안전한 대피통로를 확보할 수 있는 서비스터널 방식의 단면형식을 적용하였다.

양방향 통행으로 상대 차량에 대한 위압감을 해소하고 중앙차선에 대한 시인성을 향상시켜 중앙차로를 침범하는 사고 발생 예방을 위해 중앙분리차로를 0.5 m 확보하고 춘천방향은 내리막 경사의 차로이므로 고장차량의 견인이 비교적 용이하므로 측방여유폭을 1.0 m 적용하였다(Fig. 8(a)). 반면에 양구방향은 오르막 경사의 차로로 고장시 차량의 견인이 불리하므로 2.5 m의 측방여유폭을 적용하여 고장차량의 대피와 작업 시 춘천방향과 양구방향 차량 흐름의 지장을 최소화하도록 하였다(Fig. 8(b)).

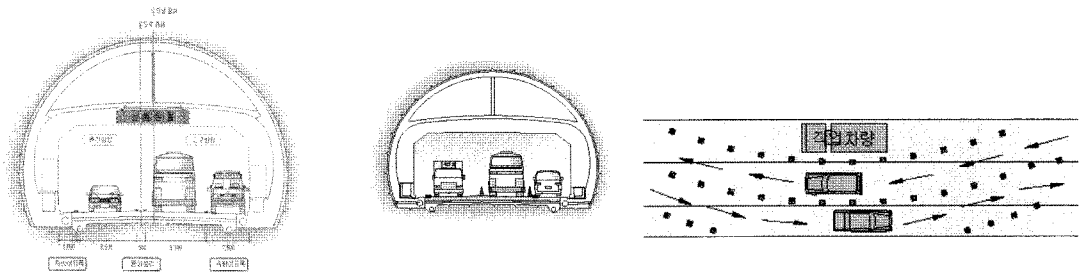
3.2 서비스터널계획

서비스 터널은 ø5.0의 굴진속도가 빠른 TBM을 이용하여 선행 막장 조사용 터널로 활용하였다. 전체 터널 구간 중 비교적 암질이 양호한 시점부와 중앙부를



(a) 서비스터널 방식 (b) 측면 대피통로 방식 (c) 하부 대피통로 방식

Fig. 7. Comparison of tunnel cross section in consideration of fire



(a) 도로폭원 구성 (b) 고장차 및 작업차 정차시 교통처리

Fig. 8. Schematic Diagram of lane planning

TBM을 이용하여 굴착하고 종점부 붕적층 및 풍화대 구간은 NATM으로 선행굴착하도록 하였다. 터널 완공 후 양방향 2차로 터널운행 중에는 방화문으로 격리된 안전한 서비스 터널을 대피통로로 활용하여 사고로 인한 터널내 차량정체 시 응급차의 신속한 이동이 가능하도록 하고 부상자 및 대피자의 안전한 이동이 가능토록 하였다.

상기와 같은 서비스 터널의 활용을 위해 응급차의 이동통로로 3.0 m, 인명의 이동통로로 0.83 m를 확보하는 단면을 Fig. 9와 같이 구성하였으며 응급차 이동시 이용자와의 충돌을 방지하기 위해 차량 이동통로와 이용자 통로를 구별하였다.

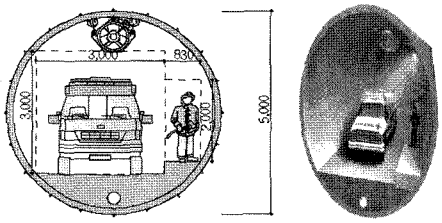


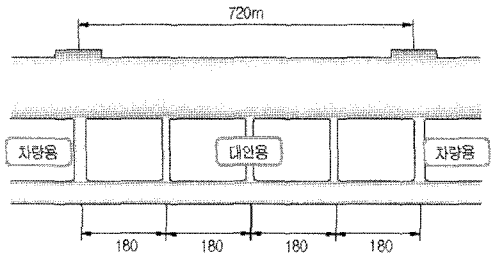
Fig. 9. Cross section of service tunnel

3.3 피난연락갱 설계

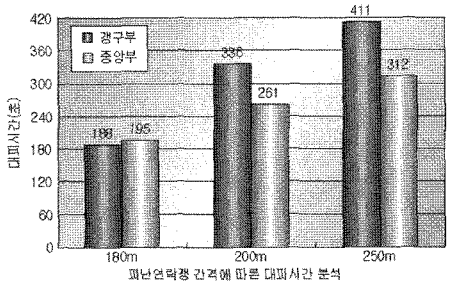
피난연락갱은 한국도로공사의 설계기준에 따라 대인용(폭 2.5 m×높이 2.5 m)과 차량용(폭 4.7 m×높이 3.5 m)으로 구분하여 적용하였다. 한국도로공사의 연구결과에 의하면 피난연락갱은 4분(240초)이내에 대피할 수 있는 204 m 이하의 간격으로 설치하는 것이 바람직하다고 하였고 배후령 터널에서는 시뮬레이션을 통해 화재지점을 피난연락갱으로 가정시 4분내 탈출이 가능한 거리를 180 m로 산정하여 Fig. 10과 같이 대인용은 180 m, 차량용은 720 m 간격으로 배치하였다.

3.4 환기방식

양방향 장대터널의 적용사례가 거의 전무한 국내 사정상 적정 환기방식의 선정은 Fig. 11과 같은 유럽의 설계기준을 참조하였다. 약 5 km의 연장과 양방향 운영조건상 비도심지역 임을 고려하더라도 횡류식 환기방식



(a) 피난연락갱 설치간격



(b) 피난연락갱 설치간격 시뮬레이션 결과

Fig. 10. Schematic Diagram of passenger cross passages

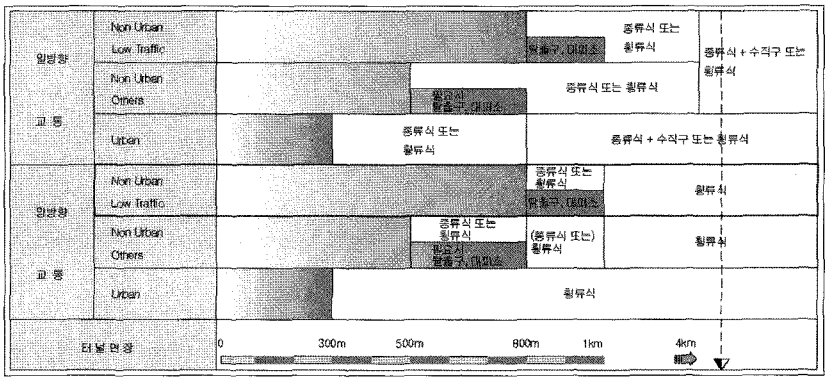


Fig. 11. *Design Criteria for Tunnel types*

의 적용이 적정한 것으로 분석되었다[3]. 특히, 본 기준은 환기효율보다는 화재 시 제연특성을 고려한 것이므로 최근 터널의 방재에 대한 중요성이 증가하는 측면을 고려하면 적절한 것으로 판단된다.

Table 2와 같이 교통환기력을 이용할 수 없는 양방향 터널인 본 터널은 수직갱이 필요한 종류식 환기방식이나 초기 제연효과가 불량한 반횡류식에 비해 제연효과가 우수한 횡류식 환기방식이 적합한 것으로 평가되었다. 특히, 장래 4차선 확장 시에는 일방향 전환에 따른 통행 교통량의 증가로 양구방향은 환기량이 약 2배 증가할 것으로 예측되어 향후 양구방향으로 단계적인 터널 증설을 계획하였다.

횡류식은 상시운전 조건에서도 제연이 가능하고 인명의 질식 위험이 없으며 화재 시 운전조건으로 전환 시에는 매우 우수한 제연효과로 연기확산의 가능성이 매우 낮은 방식이다. Table 3은 각 환기방식별 상시와 화재시의 제연특성을 비교한 것으로 반횡류식과 종류식은 각각 운전모드 전환 시와 양방향터널의 특성상 화재 시 제연에 불리한 것을 보여주고 있다.

Table 2. Comparison of long tunnel ventilation system

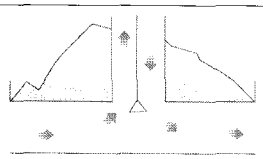
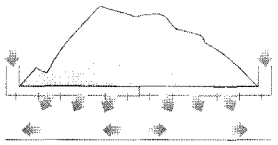
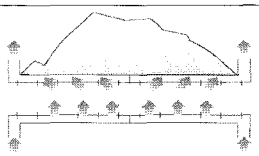
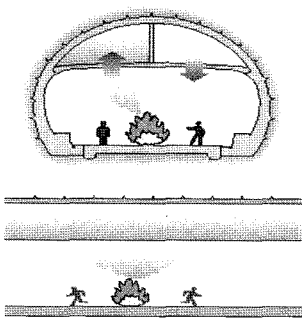
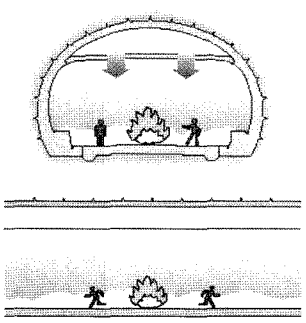
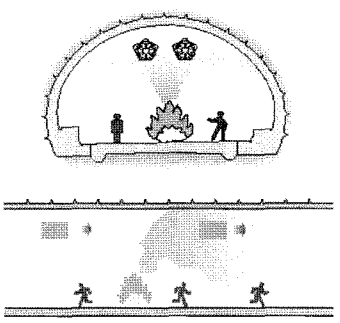
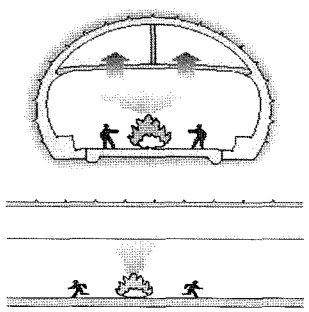
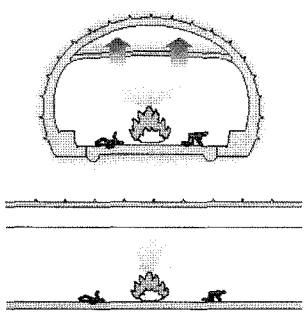
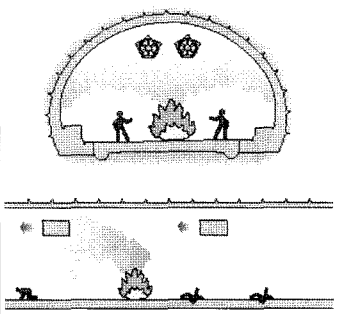
종류식	급기 반횡류식	횡류식
		
· 양방향 터널에서 교통환기력이용 곤란 · 과다한 시설필요, 갱내 대기 조건 불량	· 환기효율은 비교적 양호 · 제연 운전시 초기 대응성 낮음	· 환기효율 우수 · 제연효과 우수

Table 3. Characteristics of forced ventilation system in fire

구분	횡류식	반횡류식(급기)	종류식
상시			
화재시			
제 연 특 성	· 상시운전 조건에서 제연가능 · 화재시 우수한 제연효과	· 상시 급기에 의한 제연효과 미흡 · 송풍기 역회전에 의한 사고 우려	· 한 방향으로 제연방향 설정 · 제연방향쪽 대규모 피해우려

4. 터널방재 시스템

46번국도 구간은 장래 교통수요 증가요인이 미미하여 가까운 장래(10~20년)에 확장 가능성이 매우 낮으므로 방재조건이 불리한 양방향 2차로 터널로 장기간 운영될 가능성이 크다. 따라서, 양방향 2차로 장대터널 조건을 고려한 최상의 방재계획 수립이 필요하고 장래 4차로 확장 시에는 일방향 2차로 터널전환이 용이한 단면으로 계획되어야 한다.

이러한 배후령터널의 방재수준을 감안하여 Fig. 12와 같은 단계적 다중 방재시스템을 계획하였다. 단계적 다중 방재시스템은 5단계로 구분하여 단계별로 방재계획의 목표와 대처방안을 수립하여 화재 시 진행상황에 따라 효율적으로 대처하도록 하였다.

Fig. 13은 배후령터널의 방재시설 배치 현황으로 방재시설은 터널 외부 시설과 내부 시설로 구분하여 배치하였다. 터널 외부시설로는 운전자에게 터널 내 정보전달을 위한 터널진입정보 현황판을 설치하였고 터널내 진입이 제한되었을 경우를 위한 회차로와 운전자의 눈부심 방지를 위한 시각순응시설을 양쪽 갱구에 설치하였다. 이외에도 동절기를 대비한 노면 융설설비, 동파방지 설비 등도 적용하였다. 터널내 방재시설물로는 소화와 화재감지를 위한 기본적 방재시설 기준을 만족하도록 피난연락갱, 비상차량 진입공간, 음성/음향을 이용한 피난유도시설(방송 스피커, 라디오 수신설비 등) 등을 배치하였다.

5. 장래 확장계획

5.1 장래노선계획

장래 4차선 확장은 기존터널을 4차선으로 확장하거나 2차선 터널을 추가하는 방안이 있으나, 기존 터널의 확장은 공사기간 동안 도로 기능이 중단되는 큰 문제점이 있으므로 2차선 터널을 추가하는 방안이 일반적으로 적용된다. 이때, 1단계 터널은 장래 확장 시 상향 또는 하향터널로 이용될 수 있으므로 1단계 도로운영조건은 물론 장래 운영조건에 대한 검토가 필요하다.

장래터널의 설계속도는 80 km/h 이므로 1단계 터널의 평면 및 종단계획은 이를 만족할 수 있도록 계획하였다. 장래터널의 환기요구량은 상향과 하향터널이 각각 1,100과 400 CMS(Cubic Meter per Second) 이고 1단계 터널은 421 CMS이다. 따라서 1단계 터널은 장

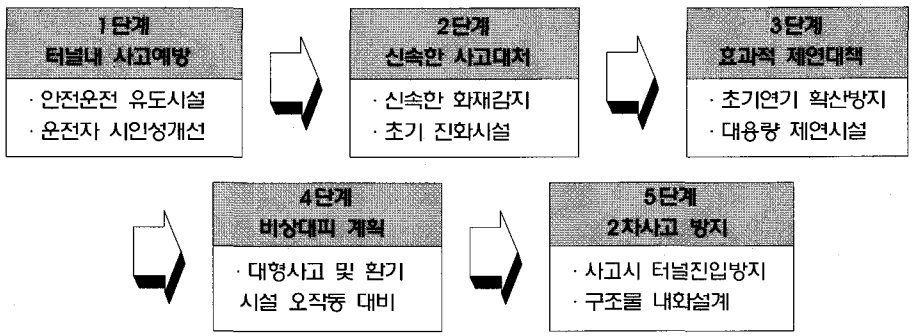


Fig. 12. Multiplex safety system by step

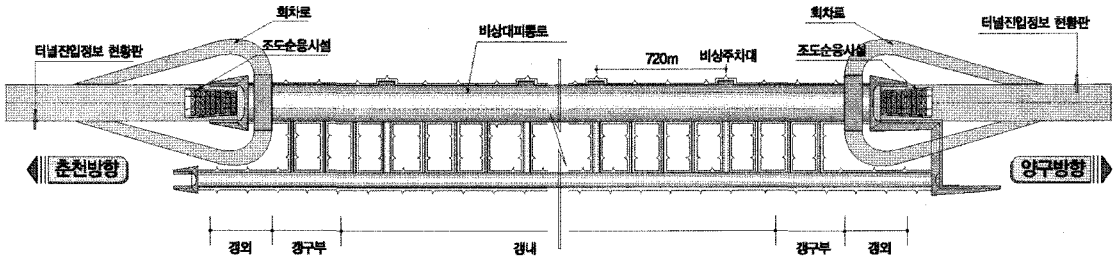
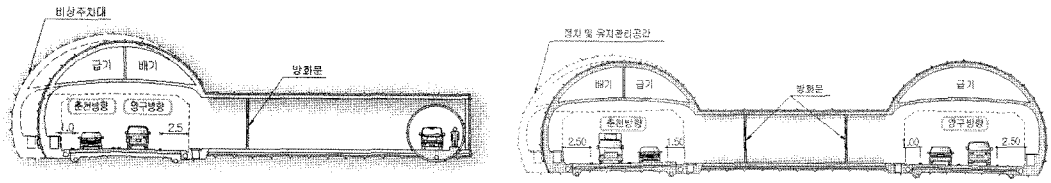


Fig. 13. Emergency system



(a) 1단계 : 양방향2차로 (b) 장래 : 양방향4차로

Fig. 14. Cross section at first stage and enlargement

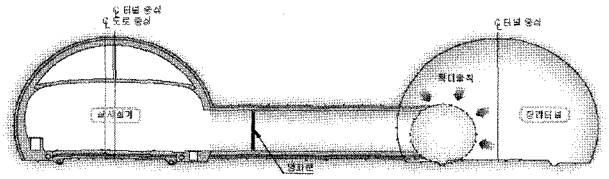


Fig. 15. Excavation plan of enlargement

래 하향터널로 계획되었으며, 1단계운영조건과 장래 확장 시 운영조건은 Fig. 14와 같다.

장래 운영조건을 감안하여 서비스터널은 장래 상향 터널측에 위치토록 하여 향후 확대 굴착 시 활용토록 계획하였다. 또한, 1단계에는 도로면이 양방향 횡단경사로 계획되었으나, 장래에는 편경사 적용에 따른 포장두께 변화를 고려한 시설한계를 터널단면에 반영하였다.

장래터널은 일방향 2차로 터널로 운영되어 1단계 왕복2차로 터널에 비하여 교통환기력이 작용하고 방재측면에서 크게 유리하기 때문에 반횡류식(급기) 환기방식의 적용이 가능하다. 또한, 추월차선측은 1.0 m의 여유폭을 확보하고 주행차선측에는 2.5 m의 측방여유폭을 확보하여 전구간에 비상차량 통행 및 고장차량 대피가 가능토록 하였다.

5.2 장래 시공계획

장래터널의 건설은 Fig. 15와 같이 서비스터널을 확대 굴착하여 건설하도록 계획하였다. 서비스터널의 위치는 확대발파 시 진동에 의한 본 터널의 영향을 고려하여 결정되었다. 서비스터널은 선진도갱 역할뿐 아니라 공사 중 효과적인 배수로 및 환기구로 활용될 수 있다. 장래터널 건설을 위한 지반정보는 1단계터널과 서비스터널 공사 중 습득한 자료를 활용토록 하였다.

6. 결 론

배후령 터널은 5 km급의 양방향 단선 장대터널 이라는 특징을 가지고 있다. 이러한 터널 형식은 복선터널에 비해 환기 및 화재 측면에서 불리할 수밖에 없는 구조적인 취약성을 가지고 있다. 이러한 이유로 다각적인 검토가 수행되어 설계에 반영되었으며, 그 중 대표적인 것이 횡류식 환기 방식과 서비스터널의 추가 건설계획이다.

횡류식 환기방식은 상시운전 조건에서도 제연이 가능하고 인명의 질식 위험이 적으며 화재 시 운전조건으로 전환 시에는 매우 우수한 제연효과로 연기확산의 가능성이 매우 낮은 방식으로 5 km급의 장대터널에 적합한 방식이다.

직경 5 m의 TBM공법으로 계획된 서비스 터널은 공용 중 화재 시의 대피통로로 이용될 뿐 아니라 시공 중 본선터널을 선행하여 막장 조사용 터널로 활용할 수 있으며, 장래 4차선 복선터널 확장 시 pilot터널로 활용 할 수 있는 등 복합적인 활용이 가능한 장점을 가지고 있다.

또한 화재 시 진행상황에 따라 효율적으로 대처가 가능토록 사고예방에서 2차사고 방지에 이르는 단계적 다중 방재시스템을 계획하여 대형사고 예방에 만전을 기하였다.

이상에서 소개한 바와 같이 배후령터널은 노선선정, 지반조사, 단면계획, 굴착계획, 환기, 방재계획 등 여러 측면에서 이용자 및 발주자의 요구를 최대한 고려하여 계획함으로써 국내 터널 설계 수준을 한 단계 높인 계기가 된 것으로 평가된다.

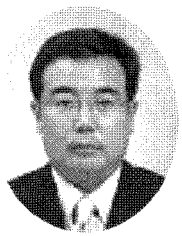
참고문헌

1. 문상조, 장석부, 허도학, 민동호, 이선복, 2004, 장래확장을 고려한 국내 최장의 양방향 도로터널계획, 도로의날 세미나, 103-115.
2. 문상조, 장석부, 2000,장대 철도터널의 전단면 기계화시공 방안, 제1차 터널기계화 시공기술 심포지엄 논문집, 27-38.
3. Bickel, O., et. al. ,1996, Tunnel Engineering Handbook, 209-210.

이 선 복

1989 인하대학교 공과대학 자원공학과 공학사
1991 인하대학교 공과대학 자원공학과 공학석사
2003 인하대학교 공과대학 자원공학과 공학박사

Tel: 02-3484-2290
E-mail: leesb111@dongbu.co.kr
현재 동부건설 토목설계팀



제 해 찬

1979년 서울대학교 공과대학 토목공학과 공학사

Tel: 02-3484-2150
E-mail: jhc@dongbu.co.kr
현재 동부건설(주) 토목사업부 상무이사