

# 경부고속철도 터널 현황



김병호

정회원, 한국고속철도건설공단 설계관리실 팀장



이근

한국고속철도건설공단 설계관리실 부장



김종호

한국고속철도건설공단 설계관리실 과장

## 1. 서언

“꿈의 열차”, “선로위의 비행기”로 불리는 고속철도는 토목·건축·전기·재료·제어·기계·전자분야등이 종합된 첨단기술의 집합체로서 일본, 프랑스, 독일, 스페인에 이어 우리나라는 5번째 보유국이 되었으며 미국, 중국, 캐나다, 대만에서는 건설중이거나 구체적인 계획을 추진하고있고, 말레이시아, 태국, 호주, 브라질등 6개국에서 계획을 수립하고있는등 세계적인 건설붐이 불고있는 21세기의 획기적인 교통수단이다.

경부고속철도는 고속철도 선형특성과 우리나라 지형 특성으로 인하여 노선연장 412km중 약 46%(83개소 191km)가 터널로 구성되어 있으며 이중 2,000m 이상인 장대터널만도 24개소(145km)에 이르고 있다.

이용승객들에게 쾌적한 여행환경을 제공하고 열차운행의 안정성을 확보할 수 있는 경제적인 경부고속철도 터널 설계 및 시공을 위하여 고속철도건설 계획단계부터 현재까지의 설계기준 및 시방기준등 주요 특징사항과 공사 시행시 투입된 선진기계화 장비에 대하여 개략적으로 기술하고자 한다.

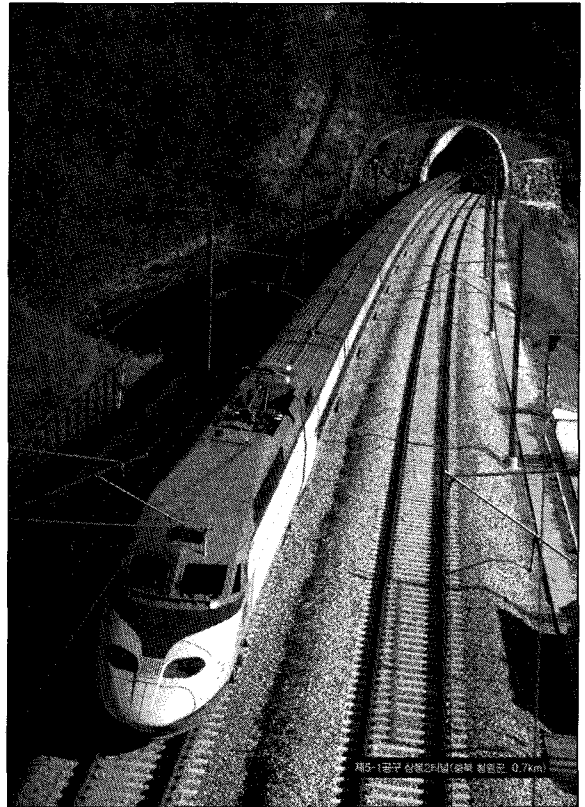


그림 1. 경부고속철도 KTX 운행전경

## 2. 경부고속철도 사업추진 주요 경위

- '73.12 ~ '74.6 : 서울~부산간 수송현황과 타개책에 대한 조사실시(철도차관도입과 관련하여 세계은행의 의뢰를 받아 프랑스

국철조사단과 일본 해외기술협력회 조사단에서 시행)

- '84. 3 ~ '84.11 : 2단계에 걸친 경부고속전철건설에 대한 타당성 조사(국토개발연구원, 현대엔지니어링, 미국 루이스버저사, 덴마크 캠프삭스사)
- '89. 7 ~ '91. 2 : 경부고속전철 기술조사(12개 분야에 교통개발연구원의 5개의 국내외사 참여)
- '90.11 ~ '91. 9 : 고속철도 설계 및 공사표준시방서 작성용역(대한토목학회 외 4개사)
- '91. 7 ~ '92. 5 : “고속전철 정규모 및 표준도 작성” 용역(대한토목학회)
- '95. ~ '95.12 : “경부고속철도 터널내 공기압해석” 용역(대한터널협회)
- '91. 6 ~ 현재 : 노반실시설계 및 공사시행중

### 3. 경부고속철도 터널의 특징

#### 3.1 고속주행시의 터널내 공기압 검토

터널내공단면은 150km/h 전후의 차량속도에서는 주로 차량한계의 지배를 받게되나 200km/h를 넘어가는 고속철도에서는 공기압 변동값에 의해 지배를 받게된다.

열차가 고속으로 터널내에 진입시 발생하는 공기압은 차량제원과 특성(차량속도, 차량단면적, 차량길이, 차량 무게, 차량형상, 차체특성 등), 터널제원과 특성(터널길이, 터널내공단면적, 터널구배, 터널벽면마찰계수, 도상 구조 등) 및 공기압 저감용 또는 공사용 사갱·수직구등에 따라 영향을 받게되며, 고속철도의 경우 터널은 터널 내공 단면적과 열차의 밀폐도 및 승객의 안락도 기준 등이 상반되게 작용하여 전체공사비와 차량제작 및 유지관리비등에 큰 영향을 주게된다.

또한 많은 터널구조물은 열차의 고속운행시 공기압 변

화에 따른 이명현상 발생으로 이용승객에게 쾌적한 여행 환경 제공이 불리할 뿐 만 아니라 터널내 열차의 안전운행 측면등에서도 불리하므로 노선선정 및 구조물계획시 터널구조물을 최소화하여야 하나, 우리나라의 산악지형 특성상 불가피하게 상당구간을 터널구조물로 계획하였다.

따라서 경제적인 터널 내공단면은 우리나라의 노선특성과 설계조건, 차량특성, 안락도 기준에 의한 압력변동 허용기준등을 고려하여 설정하여야 한다.

압력변동허용기준 설정을 위한 승객의 안락도는 전적으로 승객의 주관적인 판단(청각의 불쾌감, 장애 등)에 따른 승객들의 불쾌감에 대한 통계학적인 근거를 기준으로 하고 있으나 문화적·사회적 생활수준, 개인의 건강상태·피로도·그날의 기분과 주변환경 등에 영향을 받으며, 여행목적과 여행중 터널의 통과수등에 따라 다르게 된다.

그러나 국내에는 터널내 운행시 안락도에 대한 통계학적인 객관적 자료가 없어 독일등 선진고속철도운영국의 고속열차 운행과정에서의 안락도 관련 설문 및 통계자료를 활용한 (사)대한토목학회의 용역(1991.7 ~ 1992.5) 결과에 따라 경부고속철도에서 승객의 안락도 기준은 열차가 교행하지 않을 경우 2.5를 기준으로 하였다.

북선에서 열차가 교행할 경우 경제성을 감안하여 안락도 기준은 3.0으로 설정하였으며, 이에 따른 터널내 압력변동 허용기준을 표 1과 같이 설정하였다.

그리고 경부고속철도 설계최고속도(350km/h)에서 상기 표 1의 터널내 압력변동 허용기준을 만족할 수 있는 터널내공단면은 107m<sup>2</sup>로 설정하였다. 경부고속철도 실시설계 선형 및 구조물계획에 따른 터널내 공기압 해석결과 1개소(열차교행시 순간적인 영향으로 승객의 안락도에는

표 1. 경부고속철도 터널내 압력변동기준

(τ(밀폐도)=5sec인 경우)

항 목	열차내부 압력변동 허용치	열차외부 압력변동 허용치
normal case	800 pa/3s	2,700 pa/3s
extreme case	1,250 pa/3s	4,300 pa/3s

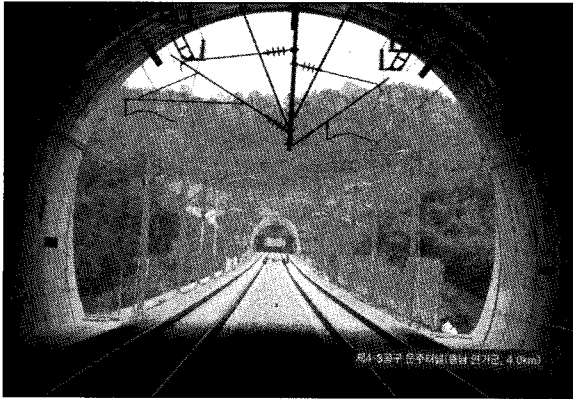


그림 2. 터널내부전경



그림 3. 터널개문 전경(Bell Mouse 형)

큰영향 없을 것으로 검토)외에는 전반적으로 표 1의 압력 변동허용치를 만족하는 것으로 검토되었으며, 세계 주요 고속철도 운행국가의 터널내공단면은 표 2와 같다.

열차가 터널내를 고속으로 주행할 때 터널내 열차진입으로 발생한 압축파가 터널내를 전파하여 반대측 터널출구에 도달할 때 출구에서 외부로 방사되는 압력파인 미기압파에 대하여 검토한 결과, 일반적으로 80Pa 이상의 미기압파인 경우에는 충격음을 발생시키며, 80Pa 이하에서

도 20~30Pa 이상의 미기압파는 통상적으로 인간의 가청범위내의 소음을 내지 않아도 가옥내 창문등의 진동에 따른 2차소음을 야기시킬수도 있을 것으로 검토되어 이에 대한 대책이 필요할 것으로 검토되었다.

미기압파는 열차단면적, 전두부의 형상, 터널의 단면적 및 길이와 터널내 궤도형식등의 영향을 받으며, 그 크기는 터널출구에서 압축파 전면의 압력구배에 비례하고 터널출구로부터의 거리에 반비례한다.

미기압파 저감 대책은 열차가 터널진입시 생성되는 시간에 대한 압축파 전면의 압력구배를 줄이는 것으로 다음과 같은 일반적인 방안이 있다.

- ① 터널입구를 변형(hood, sleet, hone, bell mouth 등) 해서 압축파 전면의 압력구배를 작게하는 방법
- ② 터널내 사갱 및 수직갱을 압축파의 by-pass로 이용하는 방법
- ③ 터널벽면에 ballast와 같은 효과를 갖는 흡음재를 까는 방법
- ④ 터널내 토피가 낮은곳에 shaft를 설치하는 방법
- ⑤ ballast궤도를 사용

경부고속철도에서는 터널출구에서 발생하는 미기압파의 저감대책으로 독일고속철도에서 사용하고있는 bell-mouth 형식의 터널입구와 사갱 및 수직구를 압축파의 by-pass로 사용하고 있다.

외국의 경우 기존터널에서 압축파 저감 및 속도향상을

표 2. 각국별 터널현황

구분		연장 (총연장비율)	단면적	허용속도
TGV	대서양선	16km(6%)	66m <sup>2</sup> 71m <sup>2</sup> 90m <sup>2</sup>	200km/h 220km/h 270km/h
	북부선	1.1km(0.4%)	100m <sup>2</sup>	300km/h
ICE	하노버~ 빌즈브르크	122km(37%)	82m <sup>2</sup>	270km/h
	만하임~ 슈트트가트	31km(31%)	82m <sup>2</sup>	270km/h
시간선	동해도선	69km (13%)	60.4m <sup>2</sup>	220km/h
	산양선	281km (51%)	60.4m <sup>2</sup>	220km/h
	북부선	116km (24%)	82m <sup>2</sup>	240km/h
	상월선	106km (39%)	82m <sup>2</sup>	240km/h
스페인		15.8 (3%)	74.1m <sup>2</sup>	250km/h
대만		62km (15%)	100m <sup>2</sup>	300km/h

위하여 네덜란드와 독일등에서는 통풍공(Air-shaft)을 설치하고있으며 일본에서는 차량성능 개선 및 슬러트드를 설치하고 있다.

## 3.2 터널내 안전설비

터널내에서의 안전설비는 사고 예방 및 사고시 손실을 최소화 하고 유지보수요원 및 승객의 보호와 원활한 대피를 유도하기위한 터널내부설비 뿐 만아니라 유지보수 및 사고시 구조작업을 더 쉽고 신속하게 하기 위하여 터널의 부에 설치하는 설비를 총칭한다.

경부고속철도는 여객전용 선로로 차량제작시에도 난연성 또는 불연성 자재를 사용하여 화재시 열 및 유독가스의 발생가능성은 매우 낮으며 차량에 화재감지장치를 설치하여 화재발생에 대비하였다. 또한 터널내에서의 화재 발생 가능성은 거의 없으나 외국고속철도 터널 설비수준으로 설계하였으며 주요설비는 다음과 같다.

- ① 조명설비
- ② 승객 대피용 측면 보도
- ③ 승객대피 유도 및 보수요원의 안전을 위한 터널측벽의 핸드레일
- ④ 터널출구까지의 거리표시
- ⑤ 터널 입·출구 접근로 및 회차시설(필요시 헬기장 설치)
- ⑥ 터널내 비상전화
- ⑦ 공사용 사갱 또는 수직구를 비상통로로 활용
  - 수직구에 안전계단 설치
  - 사갱입구부 접근로 및 회차시설

## 3.3 터널 구조물 안전 대책

### 3.3.1 콘크리트 라이닝 균열 방지 대책

터널에서 라이닝콘크리트의 균열은 콘크리트의 재료적 성질에 따른 시멘트 수화열, 건조수축, 알칼리 골재반응, 콘크리트의 중성화, 콘크리트용 골재의 품질불량등의 원

인외에 상재하중조건의 변경, 지질상태 변경 및 지반침하, 온도등 기상조건의 변화, 장기적인 1차 지보재 기능의 저하, 라이닝배면의 이상수압 및 잔류수압의 발생등 하중조건의 변경이 원인이 되어 발생할 수도 있다.

고속철도 터널에서는 라이닝콘크리트에 대한 균열억제, 구조물의 내구성 증진 및 유지보수비용 절감등을 위하여 온도변화의 영향을 받거나 지질조건이 불량한 터널 입·출구부 150m와 굴착패턴 4,5구간에는 단철근을 설치하였으며 라이닝콘크리트 철근의 지지를 위하여 •격자형 지보재를 10m당 3조씩 설치하도록 하였다.

그리고 보조도상, 배수공동구, 라이닝콘크리트 전구간에 신축 및 시공이음을 설치하여 구조물의 균열을 방지하고 내구성이 향상되도록 하였으며, 신축이음은 굴착터널 구간에서는 30m 간격으로, 개착구간에서는 20m 간격으로 설치하였으며 시공이음은 신축이음사이에 10m 간격으로 설치하도록 하였다.

### 3.3.2 폐광조사

사업시행중 경부고속철도의 안정성에 영향을 미칠 것으로 예상되는 노선주변의 폐광도 및 채굴공동등과 같은 위해요소를 사전에 파악하고 보강함으로서 고속철도의 시공중과 시공후의 안정성을 확보하였다.

폐광조사시 고속철도의 안정성 확보를 위한 위해범위를 터널등 공동 굴착에 따른 지반의 응력재분포 양상을 고려하여 직경의 약 3배인 50m 까지를 직접영향권, 2배의 안전율을 고려하여 100m 까지를 간접영향권, 10배의 안전율과 수평갱의 개발등을 고려하여 500m 까지를 준영향권으로 산정하였다.

과거의 광산개발에 대한 기록이 없거나 불명확한 자료등으로 인하여 폐광조사에 어려움을 겪었으나 노선주변에 대한 항공사진 판독을 통한 개발흔적등 이상대 위치파악, 광업등록사무소·정부기록보존소등 관련기관을 통하여 자료를 수집하였고 탐문조사등으로 폐광산 및 공동등을 파악하여 각 개소에 대한 위해정도를 검토하여 일부 채굴공동등은 경량기포레미탈로 충전하여 장기적으로 고

속철도의 건설 및 운행에 대한 안정성을 확보하였다.

### 3.4 터널시공의 선진화

우리나라의 지형 및 고속철도 선형특성으로 노선의 상당부분이 터널로 구성되어있다. 특히 일부공구는 노선전체가 터널로만 구성되어있어 최신 터널장비를 이용한 터널시공의 선진화를 통하여 공기단축 및 공사비를 절감할 수 있었으며 표 3과 같은 장비들이 현장에서 사용되었다.

향후 도심구간 터널공사시 TBM 장비도입, 무진동 무소음발파기법의 도입등으로 터널시공 기술의 발달을 고속철도가 선도할 수 있을 것으로 생각된다.

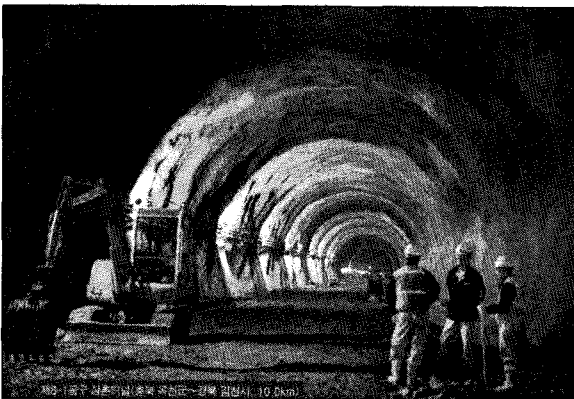


그림 4. 터널내부 공사전경

표 3. 터널공사용 장비

공종	장비	개선 내용
측량	터널내공단면측량기	<ul style="list-style-type: none"> <li>레이저 빔을 이용한 자동측량으로 무타켓으로 터널내에서 200m 까지 측량가능</li> <li>고정레이저 빔 막장투사로 선형 및 굴착정밀도 확보</li> <li>터널내공단면 정밀측량으로 굴착단면 최소화</li> </ul>
막장면 선진천공	선진보링 기록장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>천공장비에 선진천공기록장치 부착</li> <li>굴착전방의 암반을 20m 길이로 선진 천공</li> <li>천공시 속도, 시간, 타격수, 회전수 등을 자동측정기록하여 암반의 연경도 파악</li> </ul>
발파	다단발파기	<ul style="list-style-type: none"> <li>뇌관의 고유지연시간을 2차적으로 재배분하여 발파시간 조절</li> <li>지발당 장약량 최소화로 발파진동 저감</li> </ul>
버럭처리	Wheel Loader (TORO 501, 7.4m <sup>3</sup> ) 및 Dump Truck (TORO 40, 40ton)	<ul style="list-style-type: none"> <li>장비의 대형화 및 기계화</li> <li>작은 회전반경, 적재시간 단축등으로 작업능률 극대화</li> <li>배기가스 특수처리로 작업환경 개선</li> <li>특수브레이크 장착등으로 안전성 향상</li> </ul>

### 3.5 기타 주요사항

기타 고속철도 구조물 내구성 향상, 열차의 안전운행 확보, 도심구간에서 터널 굴착 및 열차 운행시 지상구조물의 안정성 확보, 터널공사에 따른 민원 최소화, 국내 터널기술의 발전등을 위하여 계속하여 터널 설계 및 시공기술 향상과 최신 터널공법등의 도입에 대하여 노력하고 있다.

- ① 도심통과구간은 TBM공법에 의한 굴착 및 비배수형 터널구조물을 계획하였을 뿐 아니라 터널 토피를 약 40m이상 확보하여 도심구간에서 굴착공사로 인한 지상구조물에 대한 영향과 민원발생을 최소화
- ② 선형계획시 용수, 우수등 발생수의 원활한 배수를 위하여 터널구배는 최소 3%이상으로 계획
- ③ 터널지보 재료로 H형강등 중량의 강지보재와 함께 격자형지보재를 사용할 수 있도록 하므로써 시공성 개선
- ④ 일반 슛크리트에 강섬유를 혼합할 수 있도록하여 용접강선망등 사용지보재의 감소등에 따른 시공성 개선과 함께 슛크리트의 품질개선
- ⑤ 터널구조물의 설계기준강도를 향상하여 구조물의 내구성 및 열차운행시 안정성 확보
- ⑥ 공사용 사갱 및 수직구를 유지보수용 및 비상시 대피통로, 환기구로 활용할 수 있도록 영구구조물로 계획

- ⑦ 공단지체 공인품질시험소 운영, 공구별 B/P장 설치, 외국감리사에 의한 직접적인 현장관리, 공단의 ISO 인증 취득 및 설계·시공·감리등 참여사의 ISO인증 취득 의무화하였으며 체계적인 품질관리시스템에 의한 철저한 품질관리로 구조물의 내구성 및 안정성 향상

#### 4. 맺음말

경부고속철도는 우리나라 지형특성 및 선형특성상 노선의 약 46%가 터널로 구성되어 열차운행에 따른 안정성 및 이용승객의 이용환경이 불리하나 터널설계 및 시공시 선형특성을 고려하여 보다 향상된 건설기준의 설정등으로 고속철도 이용객들이 더욱더 쾌적하고 안락하게 이용할 수 있도록 하였을 뿐 만아니라 터널구조물의 내구성 향상 및 선진화된 품질관리등으로 안전한 열차운행이 가능하도록 설계·시공에 최선을 다함으로써 이용객들의 신뢰를 얻을 수 있도록 하였다.

경부고속철도는 21세기 교통혁명의 선구자로 토목·건축·전기·재료·제어·기계·전자분야등이 통합된 첨단

단기술의 집합체로 21세기 산업기술 주도국으로서 산업기술 경쟁력강화에 기여하고 있으며, 토목공사는 공사의 규모, 구조물의 특수성등으로 인한 최신 설계기술·건설공법의 도입과 사업관리 및 품질관리기법등의 선진화 기술로서 우리나라 토목분야의 경쟁력을 한단계 발전시키고 있다.

또한 경부고속철도 건설에 국내 토목기술자들은 함께 참여하고있는 외국기술진으로부터 선진고속철도건설기술을 경험하고 축적함으로써 후발 고속철도 건설국으로의 토목기술수출에 앞장서야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. 고속전철사업기획단, "고속철도 터널설계 표준시방서 (안)", 대한토목학회, 1991
2. 대한터널협회 "경부고속철도 터널내 공기압 해석보고서", 1992
3. 대한토목학회 "고속철도 정구도 및 표준도 작성 종합보고서", 1992
4. 대한광업진흥공사, "경부고속철도 전노선 폐광산 현황조사 보고서", 1997
5. 한국고속철도건설공단, "경부고속철도 건설사", 2000