

한국철도 터널의 변천사



신중서
(사)대한터널협회 고문,
(재)한국철도기술공사 이사장

1. 머리말

우리나라의 지형은 다양하여 북부와 동부는 고지대이며, 남부와 서부는 강기슭에 평야가 발달하고 있어 전국 토면적 22만km²(남한 98,824km²) 중 경작이 가능한 땅이 23%에 불과하고 75% 이상이 산악지대이므로 국토개발은 교통시설에 따른 철도와 터널, 발전 시설에 따른 수로터널, 용수시설에 따른 용수로 터널, 지하상가, 지하저장창고 및 유류저장 터널 등 많은 터널공사가 예상되므로 지하공간을 활용해야한다.

특히 1962년 오스트리아의 Rabcewicz 박사가 국제암반역학회에서 NATM(New Austria Tunnelling Method) 발표와 1973년 스웨덴 Atlascopco에서 터널구멍뚫기 장비인 Hydraulic drifter의 Jumbo를 개발한 이래 세계 각국의 터널굴착공사는 획기적인 변천을 가져왔으며, 우리나라도 1980년 NATM 터널기술이 도입되어 오늘에 이르게 되었다.

철도영업 102주년을 맞이하는 과정에서 철도터널공사가 어떻게 변천하였는가를 건설당시 터널굴착공법, 굴착장비, 사용재료 등을 기술해야하나 6·25동란 때 대부분의 자료가 소실되었고, 현시상황과 자료분석 정리 등 시일이 소요되나 30일도 안되는 짧은 기간내 갑자기 작성하게 되어 부득이 터널건설시기, 굴착공법, 굴착장비, 라이닝공법 및 사용재료 등을 간략하게 말씀드림에 대해 이해하여 주시기 바랍니다.

2 터널의 기원

2.1 고대터널

터널의 역사는 오래되었으나 그 기원을 밝힐 수 없으며 유사(有史)이전 혈거(穴居)시대의 주택이나 묘지의 기원을 들 수 있다. 기록에 남아있는 것을 보면 최초의 터널은 약 4,000년전 고대 Babylon의 Semiramis 여왕의 궁전과 Euphrates 하천변에 있는 Jupiter 사원(寺院)을 연결하기 위한 하저도로 터널이며 연장 900m 중 하저가 180m이고, 터널단면 크기는 4.5m, 폭 3.6m로서 Cut and Cover Method로 시공된 것으로 알고있다.

이외 약 2,700년전 Greece의 사모스섬의 급수터널은 연장 1,500m, 단면크기 높이 1.8m, 폭 1.8m로서 이때 시공법은 모암에 열을 가하여 물로 급냉시켜 균열이 발생하면 정(釘)과 망치로 떼어내는 Fire Setting Method이다.

2.2 근대터널

14세기에 화약이 발명되어 화약을 발파하여 굴착한 터널을 근대터널이라 하며, 1613년 독일 광산에서 흑색화약을 사용하여 발파한 이래 1627년 오스트리아의 Tyrole의 광산가 Kaspar Weindle이 헝가리 광산에서 암반에 정으로 뚫은 가는구멍에 화약을 장전시켜 발파한 것이 역사상 처음 산업용으로 화약이 사용된 것이며 처음 터널을 화약

발파 방법으로 굴착하기 시작하였다. 이렇게 터널굴착을 화약발파방법으로 쉽게 발파하게되어 터널 막장암반에 화약 장전구멍을 쉽게 빨리 뚫기 위해 과학기술을 이용하여 천공기(穿孔機)의 개발에 따라 터널굴착공법과 굴착기술이 점점 발전하게 되었다.

1679년~1681년 건설한 프랑스의 연장 156m Malpas 운하터널, 1683년 착암기가 처음으로 발명되어 1766년~1777년 건설한 영국의 연장 2,300m Harecastle 수로터널, 1802년 미국에서 처음으로 운하터널을 뚫은 연장 246m Schuylkill Canal 터널, 1803년 프랑스에서 Tronguy 운하터널은 전구간에 지보공을 사용하여 굴착하고 석조(石造)로 라이닝한 최초의 터널, 1831년~1833년 미국 최초의 철도터널인 연장 270m Union Canal 터널 등을 알고 있으며, 1864년 공업뇌관과 1866년 다이아마이트(Gelatin Dynamite)를 스웨덴 사람인 Alfred Noble이 발명하여 오늘날에 이르기까지 대부분의 터널은 NATM 공법으로 굴착하고 있다.

1854년~1876년 미국철도터널인 연장 7,600m의 Hoosac 터널은 처음으로 Gelatin Dynamite와 증기 및 공기착암기를 사용하여 근대적인 터널굴착공법으로 시공하고, 1857년~1871년 프랑스와 이태리를 연결을 위하여 알프스산맥을 관통하는 최초의 터널인 연장 12,700m의 철도터널시공, 1870년 일본 최초의 철도터널인 연장 61m의 석옥천(石屋川)터널시공, 1880년~1884년 일본에서 처음으로 다이아마이트와 착암기, 공기압축기 등 착암장비를 사용하여 근대적 공법으로 연장 1,352m의 철도터널시공, 1859년~1906년 스위스와 이태리를 연결하는 그 당시 세계최장의 터널인 연장 19,823m의 Simplon 철도터널시공 등 세계 여러나라에서 계속하여 근대터널공법으로 건설하기 시작하였다.

3. 한국최초의 철도터널

구한말 개화기 철도부설권을 놓고 미국, 프랑스, 러시

아, 일본 등 세계열강들이 치열한 경쟁을 하여 찬반양론으로 국론이 분열되어 정치적으로 어려운 시기에 1889년(고종26년) 주미한국공사의 대리공사인 이하영이 귀국할 때 철도 모형을 가져와 고종황제와 대신들에게 보인 후 철도의 편리함과 효용의 중요성을 인식하고 철도부설 찬성론으로 하나가 되어 미국인 모스(J.R Morse)에게 경인선 철도부설권을 특허하여 표준궤간인 미국식철도를 채택하였으나 자금난으로 추진하지 못하고 그 당시 구한국의 국운과 함께 철도부설권이 일본으로 넘어가 1899. 9. 18 노량진~인천간 33.8km를 개통하고 1900. 7. 8 노량진~서울간 8.5km, 1905. 1. 1 경부선 영등포~초량간 431.2km, 1905. 10. 마산선 삼랑진~마산항간 40.4km, 1906. 4. 3 경의선 용산~신의주간 527.8km, 1910. 10. 평남선 평양~진남포간 55.3km, 1914. 1 호남선 대전~목포간 261.7km, 군산선 이리~군산간 24.7km, 1914. 8. 경원선 용산~원산간 223.7km, 1916. 11 함경선 원산~영흥간 54.5km, 청진~창평간 51.8km 등 1900년대 초기부터 1945. 8. 15 광복 때까지 적극적인 철도건설과정에서 많은 철도터널을 건설하기 시작하였다.

한국철도터널의 발달은 1897. 3. 29~1899. 9. 18 건설한 최초의 경인선은 전구간 터널이 없었고, 두 번째 1901. 8. 21~1905. 1. 1 건설한 경부선 서울~초량간 상선에 있는 단선터널과 세 번째 1902. 5. 8~1906. 4. 3 건설한 경의선 용산~신의주간 단선터널과 마산선 삼랑진~마산간 단선터널이다. 네 번째 1907~1911 경부선 수송능력을 증강하기 위해 선로구배 20%를 10%로, 선로곡선반경 300m를 400~600m로 개량을 복선화 할 때까지 계속 단계별로 개량하여 노선 개량에 따라 최초 건설한 단선터널 16개소가 폐선되어 농로 및 도로로 사용하고 있으며, 1910. 1. 1~1914. 1. 11 건설한 호남선 대전~목포간 단선터널, 군산선 이리~군산간 단선터널, 1909~1910. 10. 16 건설한 평남선 평양~진남포간 단선터널이 있으면 그 터널, 1907~1925 경의선 용산~신의주간 개량한 단선터널과 일부부분복선화의 복선터널, 1910. 10. 15~1914. 8. 16 건설한 경원선 용산~원산간 단선터널이다. 다섯 번째



그림 1. 폐선된 철도터널

1918~1944. 5 경부선 서울~부산간 복선화 할 때 복선터널과 하선 단선터널, 1936~1943. 5 경의선 서울~신의주간 복선화 할 때 복선터널과 하선 또는 상선단선터널,

그 이외 함경선, 평원선, 도문선, 만포선, 경전선, 전라선, 대구선, 동해남부선, 충북선, 중앙선 등 1945. 8. 15 광복 할 때까지 철도건설에서 철도터널 굴착공사의 기술이 발전하였다.

한국최초의 철도터널은 표 1과 같이 1901. 8. 21~1905. 1. 1 건설한 경부선 서울~부산간 상선에 있는 부강~매포간 부강터널(271.27m)외 13개소와 옥천~이원간 하선의 진평터널(613.56m), 밀양~삼랑진간 하선의 무월터널(442.57m)이고, 선로개량으로 폐선된 터널은 표3-2와 같이 14개소이며, 폐선된 터널은 그림 1과 같이 지역주민이 도로 또는 농로로 사용하고 있다.

4. 대한민국정부수립 이전 철도터널기술

표 1. 한국최초철도터널(현재운행 중인 경부선 상선)

역간	터널명	연장(m)	역간	터널명	연장(m)
부강~매포	부강	271.27	삼성~남성현	성현	2,323.49
매포~신탄진	매봉	99.06	청도~유천	은곡 제2	27.15
매포~신탄진	매포	179.83	청도~유천	은곡 제1	93.44
회덕~조차장	회덕	185.01	삼랑진~원동	작원관	59.36
세천~옥천	백석	90.53	원동~물금	신주막	82.20
심천~영동	각계	191.11			
영동~황간	삼령	432.51			
약목~왜관	왜관 제1	224.0	계	14개소	4,366.07m
액목~왜관	왜관 제2	107.0			

표 2. 한국최초 철도터널(경부선 개량으로 폐선된 상선터널)

역간	터널명	연장(m)	역간	터널명	연장(m)
전의~부강	수평	185.93	유천~밀양	방천	미상
전의~부강	성암	130.76	유천~밀양	월연	76.05
세천~옥천	제2증약	160.93	밀양~삼랑진	청룡산	167.00
세천~옥천	제3증약	261.52	삼랑진~원동	인전산	442.57
심천~영동	구십리	231.34			
심천~영동	구북	290.78			
영동~황간	황간	301.75	계	14개소	
약목~왜관	부상	345.95		11개소	2,594.58
유천~밀양	응암	미상		3개소	미상
유천~밀양	유천	미상			

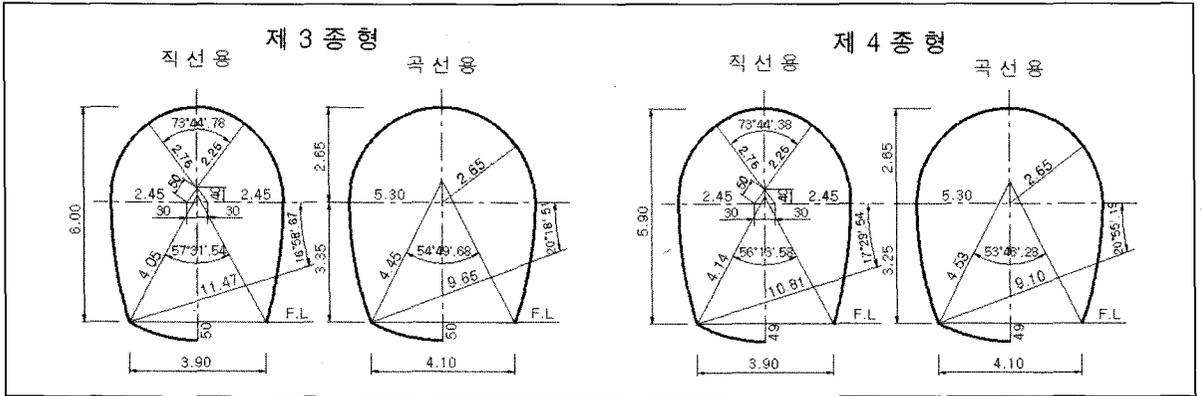


그림 2. 한국최초 철도터널 단면크기와 형식

4.1 한국최초 철도터널

터널단면크기와 형식은 철도청 터널표준도 제1종, 제2종, 제3종, 제4종 중 주로 제4종으로 설계, 시공하였고 일부 제3종으로 설계, 시공한 것도 있으며 터널내공 단면크기는 그림 2와 같이 시공기면(F.L)을 기준하여 내공폭×내공높이는 제3종터널 3.90m×6.00m이고, 제4종터널은 3.90m×5.90m이다. 모양은 지반이 불량한 것을 고려하여 마제형으로 건설하였다.

굴착공법은 시멘트와 천공 및 버럭 적재, 운반장비 조달이 어려운 시대이므로 터널전단면을 그림 3과 같이 여러단면으로 나누어 도갱뚫기를 선행하여 나머지 단면을 넓혀 뚫고 터널 버럭은 인력상하차 트로러운반이며, 짧은

터널은 지게와 리어카로 운반하였다. 터널뚫기는 정(釘)과 메(玄翁)로 구멍(穴)을 뚫어 화약을 장전하고 발파하는 인력굴착공법이며, 지보공은 목제 지주식으로 하고 벽돌로 라이닝하였다.

1발파 진행은 지반지질요건에 따라 0.20~0.80m, 1일 12시간식 2교대, 1교대 1발파와 버럭 처리까지가 일반적인 터널굴착작업패턴이며, 지반이 양호할 때는 저설도갱, 지반이 불량할 때는 정설(頂設)도갱 공법으로 굴착하였다.

라이닝공법은 그림 4와 같이 벽돌쌓기로 하였으며, 벽돌규격은 21cm×10cm×6cm(JIS규격)이고, 벽돌쌓기공법은 측벽 및 갭문은 그림 5와 같이 영국식 또는 프랑스식으로 쌓기 하였고, 아치는 장수식으로 쌓기 하였다.

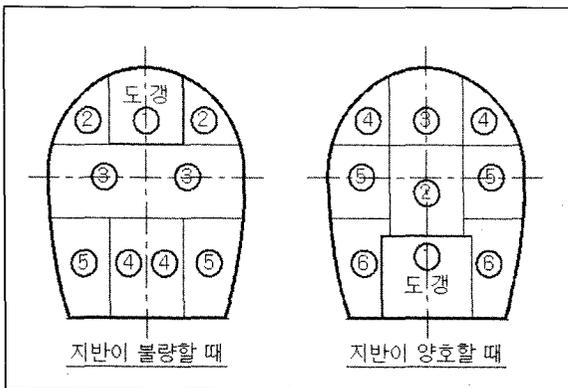


그림 3. 터널굴착공법(뚫기순서)

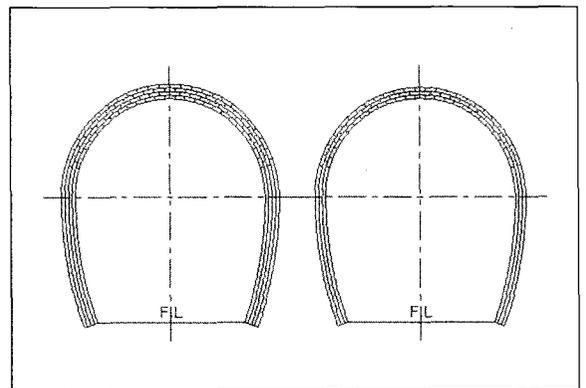


그림 4. 터널라이닝(벽돌쌓기)

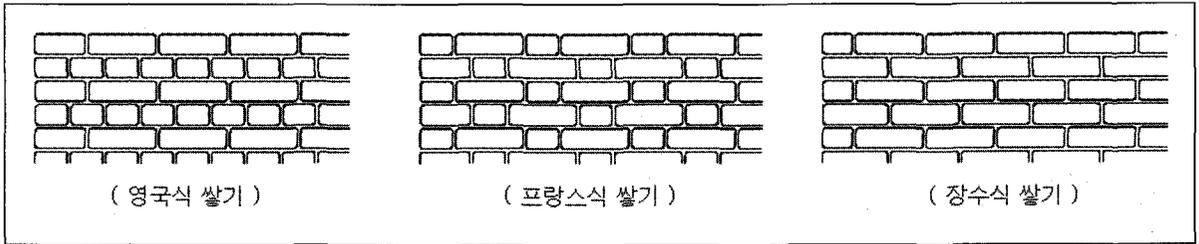


그림 5. 터널라이닝 벽돌쌓기공법

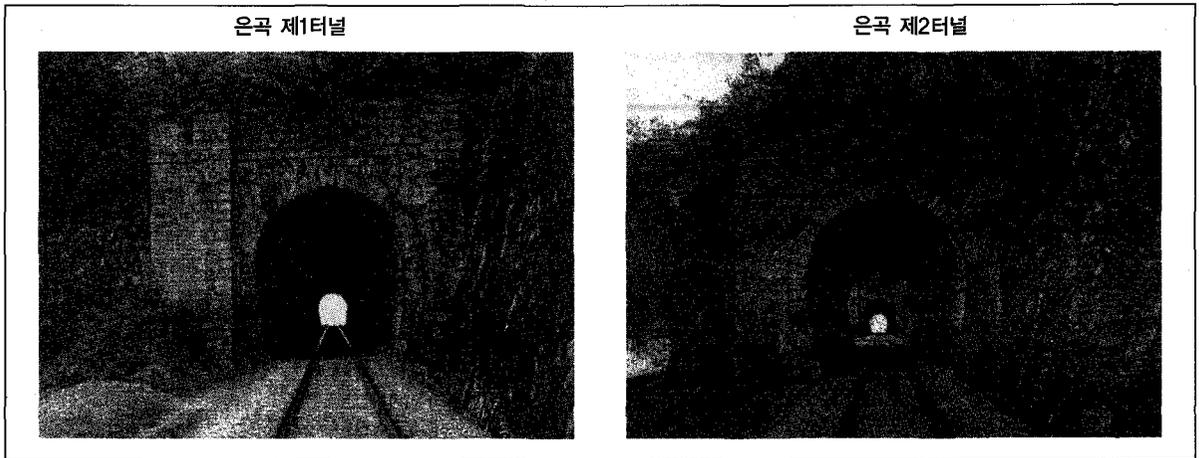


그림 6. 현재운행중인 경부선 상선 터널 갭문

4.2 경부선 단선철도 개통 후 선로개량 할 때 터널

경부선 단선철도를 조기개통 후 열차속도향상과 수송능력을 증강하기 위해 선로취약개소를 개량하였으며, 이때 선로개량에 따라 표 2와 같이 14개소의 터널을 폐선하고 새로운 터널을 굴착하였다.

터널단면크기는 종전과 같은 제4종형을 기준으로하고 일부 제3종형으로 개선한 것도 있으며, 굴착공법과 라이닝공법도 종전과 같은 공법으로 건설하였으나 일부 터널 라이닝에서 측벽과 갭문을 돌쌓기(石積)로 하였다.

1977년 철도청에서 발간한 한국철도사 제2권에 기록된 자료에 의하면 삼성~남성현간 성현터널은 조기개통시 터널길이 1,203.35m(3,948척), 선로구배 20%, 선로곡선 반경 300m를 1920~1923년에 현재운행중인 상선터널길이 2,323.5m로 개량한 것으로 기록되어있다. 이때 성현

터널개량공사에 처음으로 발전소와 전기식 공기압축소를 설치하여 전기식 착암기로 처음으로 구멍을 뚫어 발파하는 공법으로 단기간내에 완공하였다.

경의선 용산~신의주간 초기에 건설한 단선터널과 마산선, 호남선, 군산선, 경원선, 함경선 등 초기에 건설한 단선터널은 같은 공법으로 건설하였다.

4.3 경부선, 경의선 복선건설부터 8·15광복 때까지 터널 (정부수립이전)

한국철도는 만주, 중국, 유라시아 철도와 연결운행으로 철도수송물량증가로 철도수송능력을 향상하기 위해 경부선과 호남선을 복선화하고 그 이외 함경선, 평원선, 도문선, 만포선, 경전선, 전라선, 대구선, 동해남부선, 충북선, 중앙선 등을 적극적으로 건설하였다.

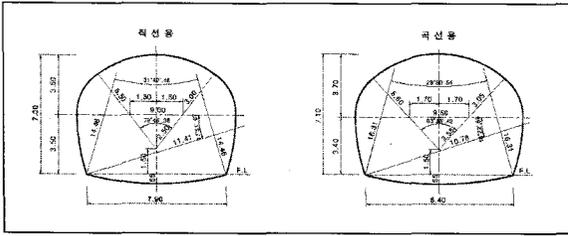


그림 7. 한국최초의 철도복선터널 단면크기와 형식

터널단면크기와 형식을 단선터널은 종전과 같으나 복선터널은 그림 7과 같이 마제형 복선터널단면으로 처음 건설하게되었다.

1945. 8. 15 광복할 때까지 남북철도의 총터널연장과 개소를 자료를 확인하지 못하여 기록할 수 없으나 경부선 성현터널(2,530m), 중앙선 치악터널(3,650m), 죽령터널(4,500m), 만포선 구현령터널(2,377m) 등과 같이 장대터널을 발전소와 전기식 공기압축소를 설치하여 전기식 착압기로 구멍을 뚫어 발파하였고 1발파 진행을 0.5~1.2m 까지 발전시켰다.

특히 측량기계도 월드 T2로 삼각측량을 하고, 루퓨터 널 시공측량을 초단위로 곡선터널 중심측량간 거리5m당 측점을 설정하여 시공하였다. 또한 만포선 안주~만포진 간 303km와 중앙선 청량리~경주간 387.2km의 건설은 그 당시 최고의 기술자들이 최신품법으로 건설하였다.

터널지보공법은 그림 8과 같이 목재지주식 지보공법으로 하였으며, 지반조건에 따라 지반이 양호한 개소는 합장식(合掌式), 보통인 개소는 지량식(枝梁式), 불량한 개

소는 후광량식(後光梁式)으로 사용하였다.

라이닝공법은 이때부터 벽돌 및 돌쌓기를 하지 않고 처음으로 콘크리트로 라이닝을 하였으며, 지반이 보통이거나 양호한 개소는 터널내공을 다 굴착한 후 측벽콘크리트를 먼저 타설하고 양생후 아치콘크리트를 타설하는 방법을 기본으로 하였다. 지반이 불량한 터널이나 터널갱구부, 지반불량한 개소는 상반굴착 후 아치콘크리트를 타설하고 하반굴착하여 측벽콘크리트를 타설하였다. 경부선 하선터널과 복선터널, 경의선복선화, 호남선, 전라선, 경원선, 함경선, 만포선, 경전선, 중앙선, 동해남부선 등 1910년대 이후부터 철도터널은 콘크리트라이닝을 하였다.

콘크리트 생산은 용적배합비로 인력으로 하였으며 시멘트, 모래, 자갈 혼합용적비는 아치 콘크리트 1:2.5:5, 측벽콘크리트 1:3:6, 인버트아치콘크리트 1:2.5:5로 하고 목재거푸집을 사용하였다.

5. 정부수립 후 직근까지 철도터널기술

5.1 정부수립 후 산업선 철도 건설

1945년 광복으로 정부수립 후 기간산업육성과 경제부흥정책에 따라 1949. 3 영암선 영주~철암간 87km, 영월선 제천~함백간 57.0km, 문경선 점촌~가은간 24.7km를 착공하였으나 1950년 6·25전쟁으로 중단하고 전쟁

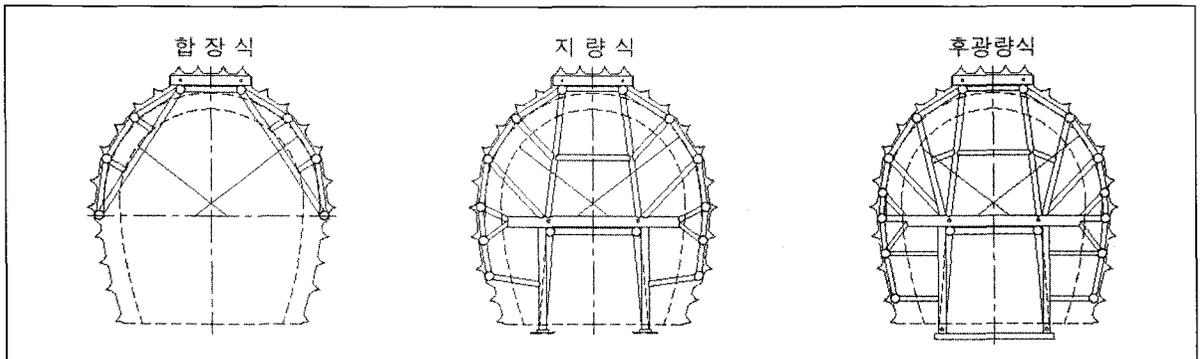


그림 8. 목재지주식 지보공

피해복구와 함께 1953년 재착공하여 1957년에 모두 완성하였으며, 이때 처음으로 한국철도 현직기술자들이 직접 계획, 측량, 설계하여 도급공사로 발주하고 한국건설업체가 처음 철도건설공사를 하기 시작하였다.

이 당시 철도기술자의 핵심요원들은 1945년 이전 경부선 복선철도건설부터 참여하고 많은 철도건설계획, 설계, 시공감독 또는 직영공사에 참여한 실무경험이 많았으므로 정부수립 후 바로 한국기술진들이 주관하여 철도건설을 추진할 수 있었으며 건설회사도 그 당시 공사현장 인부 또는 기능공, 십장, 도십장 등 출신들이 터널, 교량, 토공 등 특기별로 한국건설회사에 모이게 되어 건설회사 아래 전문공사별 도십장이 기능별, 직종별 인부를 모집하고 총괄관리하여 현장공사를 추진하였다.

특히 터널기술자들은 그동안 많은 철도터널공사에 종사하여 실무경험이 많아 한국인 기술진이 성공적으로 철도건설공사를 완공할 수 있었으며 후진을 양성할 수 있었다. 이때 건설공사방법은 철도현직기술자들이 계획, 노선 선정, 측량, 설계하여 공사계약물량은 예계물량으로 발주, 건설회사와 공사계약하고 착공 후 건설회사 기술주임과 기술자들이 현장시공측량하여 시공도를 작성하고 공사감독자에게 승인을 얻은 후 시공하였다. 이때 공사에계 물량의 1할 이내면 준공 때 정산처리하고 1할이상 변화가 있거나 노선변경, 구배변경, 터널, 교량 등 구조물 위치이동 및 신설, 폐지될 경우는 설계변경하였다.

터널공사는 노선선정 및 측량, 설계할 때 보오링 등 지반조사는 하지않고 지형지물조사와 자연환경조사를 노선을 따라하고 터널지반을 추정하여 지반이 양호할 경우는 라이닝두께 40cm, 보통인 경우 50cm, 불량한 경우 및 터널양쪽 갱구부근 적당한 연장은 60cm이상 또는 철근콘크리트라이닝으로 하고 인버트아치를 설계하여 공사를 발주계약 하였으며, 도갱뚫기를 선행하여 지반상태와 용수상태, 도갱지보공 진입상태에 따라 지반조건을 확인하고 이 조건에 따라 터널발파방법, 지보공법, 라이닝공법, 배수처리 등 대응책을 수립하여 시공회사 기술진과 공사감독진이 서로 협의하여 시공하였고 정산처리하였다.

터널조명은 카바이트의 칸데라가 기본이고 터널굴착에서 가장 중요한 기능요원은 지보공하는 기능공(요끼사시)이었다. 터널굴착은 양쪽갱구에서 1개반씩 2개반이 편성되어 착수하고 1개반조직은 구멍뚫기 발파팀, 지보공팀, 버럭처리팀, 거푸집제작 및 조립철거하는 터널목수팀, 양회, 모래, 자갈, 콘크리트용 물 등 재료확보와 공급을 전담하는 콘크리트 재료팀, 콘크리트 혼합, 타설하는 콘크리트팀으로 구성하고 이를 총괄지휘하는 책임자가 터널도십장(오야지)이며, 이 도십장은 현장에 노무자숙소와 노무자식당을 설치 운영 관리하며 기능공과 인부를 확보하며 초기 착수자금을 확보 운영하기도 하였다. 지금 표현으로는 터널공사 하도급자라 할 수 있다.

터널단면크기 및 형식과 굴착공법, 지보공법, 라이닝 콘크리트 공법 모두 정부수립 이전과 같은 방법으로 하였으며, 처음으로 한국인 기술진이 계획, 설계하여 건설한 공사가 태백산 지역 험준한 산악지대의 난공사인 산악철도를 완공하여 정부수립 후 국민들에게 공지를 갖게 하였으며, 철도터널기술을 우리나라 기술로 축적하기 시작하였다. 정부수립 후 우리기술자들이 최초로 설계, 시공한 철도터널은 1949. 3~1952. 12. 25에 완공한 현재 태백선인 영월선 쌍용~입석간 입석터널(405m)이다.

6·25전쟁 후 철도피해복구와 산업선 건설을 조기에 완공하기 위해 미국 ICA 원조자금으로 철도청 중기사무소를 설치하여 불도저, 크레인, 콘크리트믹서, 착암기, 콤팩터, 덤프트럭 등 토목공사 주요장비를 도입하고 산업선 건설 주요교량과 주요터널공사에 관급장비를 무료대여 형식으로 처음 투입시작하였으며, 장비운전공은 철도요원을 해외에 파견 훈련시켜 국내에서 파급교육을 실시하고 중장비와 함께 공사현장에 투입하였다. 정부수립 이전 터널공사용 착암기는 증기식 및 전기식을 주로 사용하였으나, 산업선 철도부터 기압식 콤팩터(Air-Compressor)의 동력으로한 착암기를 처음 사용하기 시작하였다. 이때 터널공사용 장비는 주로 스웨덴의 아트라스코프(Atlascopco), 미국의 인가솔(Ingersoll) 회사의 장비이며, 착암기는 RH-656, 롯데는 $\phi 32\text{mm}$ 환형(丸形)

중공강, $\phi 22\text{mm}$ 육각중공강, $\phi 19\text{mm}$ 육각중공강, 비트(Bit)는 $\phi 38\sim 42\text{mm}$, 콤푸렛서는 공기토출량 515cfm을 사용하였다. 또는 폭약은 국산공업용으로서 제라틴 다이나마이트에 뇌관을 삽입하고 뇌관과 도화선을 연결, 도화선에 점화발파하는 발파방법이며, 심빼기 발파는 주로 V-cut(Wedge-cut)방식 이었다.

5.2 1960~1970년대 철도 건설

정부는 경제개발계획을 본격적으로 추진하기 위해 제1차 경제개발계획(1962~1966년)을 추진하기 시작하여 5개년 단위로 계획을 수립하고 시행하였다. 1962~1981(제4차기간) 경제개발계획에 따라 국민생활의 기본연료인 무연탄을 개발, 수송기 위해 황지선 통리~심포리간 8.5km, 황지지선 백산~황지간 9.0km, 정선선 예미~정선간 41.6km, 정선지선 정선~구절간 23.3km, 증산~고한간 25.6km, 고한선 고한~황지간 15.0km, 경북선 예천~영주간 3.0km, 문경선 진남~문경간 9.5km, 경전선 진주~순천간 80.5km, 호남선 서대전~이리간 82.2km 복선화, 서울지하철 1호선을 계기로 수도권전철 경부선 서울~수원간 41.5km 복선전철화, 경인선 서울~인천간 38.9km 복선전철화, 경의선 서울~수색간 8.2km 복선전철화, 경원선 용산~청량리~성북간 18.2km 복선전철화, 산업선 전철화 사업으로 중앙선 청량리~제천간 154.9km 단선전철, 태백선 제천~증산~고한~황지~백산간 103.5km 단선전철화, 영동선 백산~북평~목호간 61.9km 단선전철화 등 전철화 시대를 맞이하여 이때부터 철도건설은 전철화를 고려한 철도시설을 설계, 시공하게 되었다.

터널단면크기 및 형식은 전철화를 고려해야하므로 정선선, 정선지선, 고한선은 그림 5-1과 같이 처음으로 제2종 마제형으로 설계하여 시공하였으며, 제4종형 마제형으로 시공한 황지선, 황지지선, 영암선, 영월선, 중앙선 등 기존 제4종형마제형 터널내공단면 높이가 부족하여 특수한 방법으로 전철화를 하였으며, 철도기술향상에 역

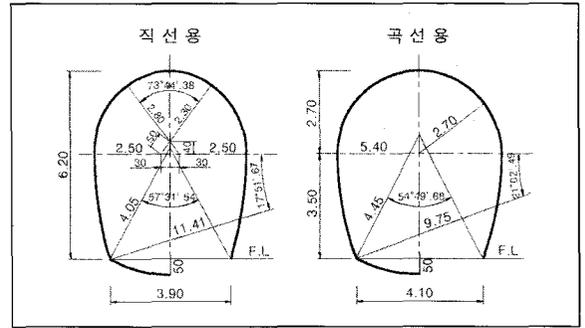


그림 9. 한국최초 철도전철화를 고려한 철도터널 단면크기 및 형식 제2종, 마제형

점을 두었다.

국민경제생활에 절대적인 영향을 미치는 무연탄 개발을 위해 험준한 태백산 지역에 건설하는 황지선, 황지지선, 정선선, 정선지선, 고한선 철도건설은 산악철도로서 지형과 지반의 변화가 심하고 대단층 지대와 애추지대, 파쇄대, 용수 등 지반조건이 아주 불량한 개소에 터널이 많아 이를 극복하기 위해 터널굴착공법은 인력착암기뿔기, 화약발파, 목제지주식 지보공법, 터널라이닝 콘크리트 등 종전방법과 큰차이가 없었으나 이때부터 터널구멍 뚫기는 인력착암기를 기본으로 하였으며, 건설회사가 자기자본으로 터널굴착장비의 보유능력이 없어 철도청 중기사무소에서 관리하는 중장비를 건설공사 현장에 무료 대여 하였으나 철도청에서 보유한 장비의 수가 한정되어 주요터널만 대여하고 나머지는 건설회사가 자기장비를 보유하도록 권장하여 우리나라 건설회사가 처음으로 터널굴착장비를 보유하기 시작하였다. 건설회사가 보유하는 장비는 대부분 착암기인 TY-24이고, 일부회사는 콤푸렛서를 보유하기도 하였다. 건설회사에서 보유한 착암기종이 TY-24로 주종을 이룬 것은 탄광에서 사용하는 착암기가 대부분이 TY-24이고 철도터널공사의 터널착암공이 대부분 탄광출신이므로 건설회사는 TY-24를 공급하였으며 이때부터 일본건설장비가 물밀 듯이 국내에 반입하기 시작하였다.

1961. 8~1963. 5 건설한 황지선 통리~심포리간 8.5km, 철도건설은 해발 700m에 위치하고 수평거리

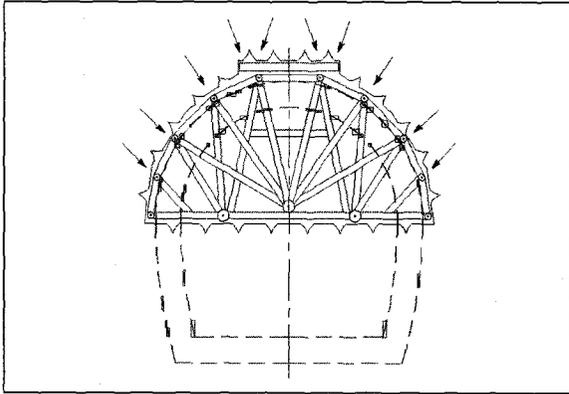


그림 10. 상반방사형 지보공법

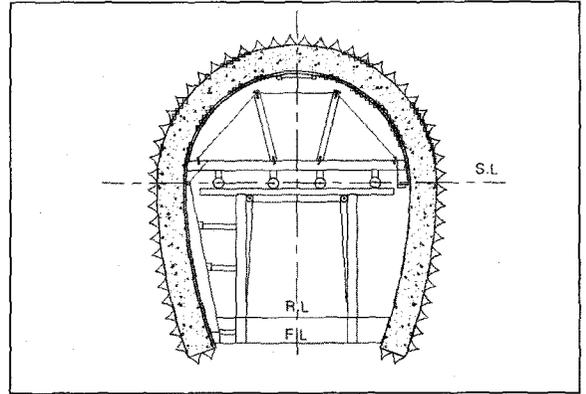


그림 11. 라이닝콘크리트 목재거푸집

1,100m에 높이차가 250m인 특수한 철도의 인크라인이 1959. 9 태풍 사라호에 의해 파괴되어 개량하기 위해 단선철도로 직결하는 신설공사로서 철도건설조건은 최소곡선반경 300m, 선로최급구배는 전구간 동일한 30%의 편구배이기 때문에 대부분 터널이고 터널지반이 대단층, 습곡지대인 탄광지역이므로 터널굴착이 어려운 난공사이다. 철도청에서는 철도건설공사의 효율적인 추진과 철도 터널기술 수준을 향상하기 위해 굴진속도가 빠르고 1발과 진행을 1.5m 이상 높이고저 2-붐잠보 10대와 밧데리카 10대, 쇼벨로다 10대, 라이닝콘크리트 아치거푸집인 스틸폼을 도입하여 황지본선 현장에 투입하였으나 현장지반 조건이 드릴잠보로 밧파구멍을 뚫을 수 있는 조건이 되지 않아 2-붐잠보와 스틸폼을 사용하지 못하고 종전과 같이 인력위주의 굴착공법으로 시공하였다.

- 터널단면키 및 형식은 제4종마제형 터널이고, 굴착공법은 그림 3과 같은 공법으로 굴착하되 구멍뚫기는 인력구멍 뚫기 화약발파방법으로 지보공법은 목재지주식 지보공 이나 지반이 극히 불량한 터널은 그림 8의 후광방식을 보강한 그림 10와 같이 상반방사형 목재지보공으로 하였다.

- 라이닝공법은 종전과 같이 콘크리트라이닝을 하였으나 대부분의 터널이 인버트아치를 하였으며, 라이닝 두께는 60cm이상으로 하고 아치라이닝콘크리트를 선행 후 하반굴착하여 측벽라이닝콘크리트를 타설하

는 방식으로 시공하였다. 지반이 불량하고 천정부에 공동이 많은 개소는 통나무로 채워 지반을 지지하면서 아치라이닝콘크리트를 타설해야 하므로 라이닝 후 그라우팅으로 보강하였으며 터널편압에 대응하는 모양의 측벽라이닝콘크리트로 많이 하고 라이닝콘크리트의 거푸집은 그림 11과 같이 목재거푸집을 사용하였다.

1962. 5~1966. 1 정선선 증산~고한간 16.7km 철도건설공사에서 6개소 1,120m의 터널 중 소산 제2터널(370m)과 도사 제1터널(265m) 등 2개터널을 드릴잠보(Drill Jumbo)로 철도터널에서 최초로 반단면 공법을 시험시공하여 종래 공법을 개선코저 계획하였으나, 소산 제2터널은 지반이 애추지대로 불량하여 드릴잠보로 반단면 공법을 하지 못하고 도사 제2터널을 최초로 드릴잠보 반단면 굴착공법인 신공법으로 시공하였다.

그림 12와 같이 굴착공법은 ① 상반단면 뚫기 ② 강아치 지보공 ③ 하반단면 1단계, 2단계 뚫기 ④ 라이닝 측벽 콘크리트 타설 ⑤ 라이닝 아치콘크리트타설 순서로 시공

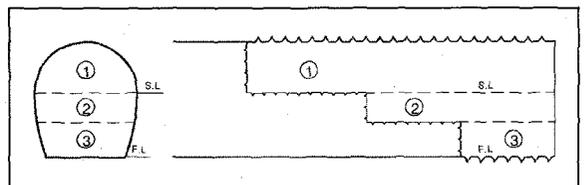


그림 12. 철도터널 최초의 드릴잠보 반단면 굴착공법

하였다. 드릴잡보로 구멍뚫기 발파, 버럭치리를 기준으로 하면 벤치컷트(Bench-cut) 공법으로 굴착한 것이다. 이때 사용한 장비는 드릴잡보 2대, 콤팩트사 600cfm 1대, 500cfm 1대, 쇼벨로다(공기식 벅컷트용량 0.28~0.34m³) 2대, 밧데리카 2대, 강지보공용강재 등을 철도청에서 부담 투입하였다. 결과 시공회사의 기계화 시공의 숙련공이 없어 버럭치리를 위한 궤도에서 탈선, 보안장치에 대한 기능공의 기능 부족과 밧데리카의 정비, 충전시설 등 미비로 밧데리카는 사용하지 못하고, 인력토운차에 버럭적재만 쇼벨로다를 사용하였다. 굴착은 1일 2교대 1교대 12시간에 1발파(버럭치리까지)로 1발파 진행 1.5m 굴진하였으며, 라이닝공법은 종전공법으로 시공하였으나 터널굴착공사는 새로운 기법을 도입하여 철도터널기술 발전에 기여하였다.

1969. 12~1973. 10 고한선 고한~황지간 15.0km 철도 건설공사에서 태백산을 횡단하는 정암터널(4,050m)은 이 당시 우리나라에서 최장대 터널이고 처음으로 저설도갱선진 반단면공법으로 발주하여 시공하였으며, 이 터널 공사는 NATM 공법 이전 종래공법에서 가장 현대화를 노력한 터널중의 하나이다. 그동안 철도청에서 보유한 장비를 총집검하여 투입하고 평가한 후 폐기처분 할 장비를 분류처분 하였을 뿐만 아니라 국내기술과 국산장비를 최대한 설계에 반영하여 시공한 터널이다. 측량기계도 월드 T2를 사용하였다.

- 철도선로조건은 터널연장 4,505m중 시점갱구쪽에서 2,500m 지점이 구배변경점이고, 시점갱구쪽에서 구배변경점까지 상향구배 30%이고, 그 지점에서 종점갱구 방향으로 3%하향구배이며, 선로평면 선형은 터널시점부근 R=2,000m, 터널종점부근 R=1,400m이다.

지반조건은 해발 1,000m의 험준한 태백산지역 고한 삼천탄좌, 추전탄광이 산재해있는 지역이며, 사암과 혈암(頁岩, Shale), 갱구부근은 파쇄대, 용수가 심한 터널지반이고, 터널단면크기와 형식은 제2종 마제형 단선터널이고, 굴착공법은 그림 13과 같이 ①저설도갱굴착 ②도갱

지보공건입 ③상반단면굴착 ④ 상반아치강지보공건입 ⑤ 아치콘크리트타설 ⑥하반단면굴착 ⑦측벽콘크리트타설 순서로 저설도갱선진 상반단면공법으로 시공계획을 하였다.

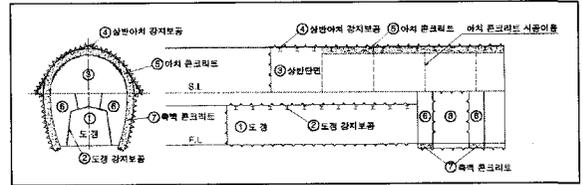


그림 13. 저설도갱선진 상반단면공법

터널갱구쪽 지반이 불량한 개소는 그림 5-6과 같이 ① 저설도갱굴착 ②도갱강지보공건입 ③상반단면링컷트 ④ 상반아치강지보공건입 ⑤아치콘크리트타설 ⑥상반단면 나머지 굴착⑦하반단면굴착 ⑧측벽콘크리트타설 순서로 저설도갱 상반단면 링컷트공법으로 계획하였으며, 도갱 크기는 버럭치리운반의 밧데리카열차의 운용효율을 높이기 위해 복선트로리선을 부설하도록 저폭 3.5m×높이 3.1m×상부폭3.0m, 도갱단면크기 9.8m²로 터널굴착계획을 하였다.

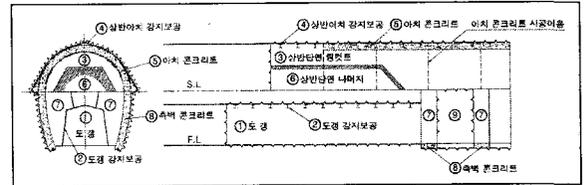


그림 14. 저설도갱선진 상반단면 링컷트공법

- 도갱크기를 크게 한 사유는 장대터널이기 때문에 버럭치리가 터널굴진 사이클타임에 비중이 커서 종래 터널공사 에서는 인력토운반을 강재트로리(1m³) 8대~10대를 밧데리카 1대가 견인, 운반(운반속도 5~10km/h)하는 것으로 개선하였다. 갱내에서 갱외로 나올 때는 발파한 버럭운반을 하고 갱외에서 갱내로 진입할 때는 지보공재료반입, 콘크리트용 골재, 물, 양회 등 기타 필요한 물품을 반입하였다. 또한 밧데리카의 운용효율을 높이기 위해 트로리선로 복선으

로 부설하고 중간에 분기기(슬라이드 포인트)를 제작 설치하였고, 버럭치리막장에는 Y형 포인트를 설치하여 쇼벨로다가 강제트로리에 적재하기 쉽게 하고, 라이닝콘크리트 타설시 버럭치리운반에 지장없도록 거푸집을 조립하였으며 터널내 운반통로의 효율을 증대시켰다.

- 저설도갱선진 상반단면공법을 채택한 사유는 상반단면으로 할 경우 상반굴착 후 하반굴착, 또는 지반이 양호할 경우 벤치컷트로 전단면굴착으로 작업장이 제한되나 저설도갱선진일 경우는 도갱연장을 길게하여 중간에서 상반단면을 양방향으로 굴착할 수 있고 도갱이 선행관통 하였을 경우는 관통지점에서 시점·중점방향으로 상반단면굴착을 할 수있어 공기단축이 가능하다. 또한 터널지반상태와 용수상태 등 터널내 자연조건에 따라 상반단면 링컷트나 상반단면 목재지주식 방사형 지보공법으로 전환을 쉽게 할 수 있어 공기내 안전하게 시공할 수 있는 완벽한 터널굴착공법이다. 단점이 있다면 반드시 레일식 장비를 사용해야하므로 일반 토공장비는 활용이 불가능하다. 정선선 사북~고한간 도사 제2터널에서 시험시공한 2-봄 드릴잠보로 상반단면 공법을 검토한 결과 장대터널에서는 공기가 많이 소요되어 저설도갱 선단반단면 공법으로 시공계획서를 작성하여 착공하고, 2-봄 드릴잠보를 시험시공한 결과 봄의 위치이동, 각도방향 조정이 자동이 아니고 넛트를 인력으로 풀고 조여야하는 장비이기 때문에 구멍뚫기 시간이 많이 소요되고 1일 1발파 정도의 수준이므로 1발파 진행은 2.0m까지 증대할 수 있으나 인력착암기의 1일 2교대 1교대 1발파 1.5m이면 1일 3.0m 굴진에 비해 저조하고 특수한 룯드 및 빗트를 계속 발주처가 구매조달하는 것 등 효율성이 없어 2-봄 드릴잠보 10대는 폐기하는 것으로 이 터널공사중에 시험하여 결정하였다. 또한 인력착암기로 1발파진행을 높이고저 TY-24나 RH-656 대신 BBC란 착암기로 룯드길이 2,400mm를 장착하여 시험한 결과 지반이 양호한 신선한 암반

일 경우 1발파진행 1.5~1.8m까지는 가능하나 착암기 중량이 TY-24나 RH-656보다 훨씬 무겁고 크기가 더 커서 한국사람 체질에는 맞지 않아 기능공들이 기피하고, 보통 착암공 및 조수 2인 작업은 힘이들어 도중에 교대하면서 작업해야 하기 때문에 2개팀 4인이 필요하여 비효율적이므로 부득이 TY-24 및 RH-656에서 2,000mm 룯드 위주로 터널을 굴착하였다.

- 지반이 불량한 개소에 링컷트공법으로 시공계획하여 터널을 굴착하였으나, 상반단면 강아치지보공을 공비절감키 위해 철도청에서 철거한 현레일 30kg/m를 활용하는 것으로 계획하여 냉가가공 등 가공의 어려움과 중량물을 밧데리카로 운반은 하고 적재, 적하, 지보공건입 등 어려움이 많아 종래의 목재지주식 지보공의 기능공들은 강재를 취급하지 않고 터널공사장에서 떠나가기 때문에 지반이 불량한 개소는 정상적으로 시행하지 못하고 부득이 절충형인 그림 15와 같은 저설도갱선진 넓히기 공법으로 굴착하였다.
- 지반이 양호한 개소는 시공계획한대로 그림 13의 저설도갱선진 상반단면 공법으로 굴착하였으며, 강아치지보공을 철도터널에서 처음으로 30kg/m 현레일로 제작, 운반, 건입하는데 협소하고 열악한 갱내작업조건에서 작업효율이 없었고, 원찌와 체인브릭 등 장비를 동원하여 간신히 극복할 수 있었다. 앞으로 새로운 터널에서는 강재지보공재료를 정상적으로 H-빔을 사용하여야함을 공사중 모두 절실하게 느꼈다. 이 시대만 하여도 H-빔은 수입품이고 국산화가 이루어지지 않아 국산화 단계에 있었다.
- 이 터널공사에서 얻은 좋은 교훈은 철도단선터널은 굴착단면크기가 적고, 지반의 변화가 심한 불량한 터널, 장대터널에서는 선진국에서 개발중에 있는 최신형 자동 드릴-잠보와 H-빔으로 제작된 강아치지보공을 확보없이 상반단면공법 또는 전단면 공법을 시행할 수 없음을 판단하였다.
- 라이닝콘크리트는 장대터널이고 지반의 변화가 심하고, 공기문제 등을 고려 ①아치라이닝 콘크리트 선행

후 ②하반굴착 ③측벽콘크리트하는 아치역라이닝(逆差)공법을 기본공법으로 하여 그림 15와 같이 시공하였으며, 처음으로 터널갱내에 믹서를 설치하고 콘크리트 인력비비기를 믹서비비기로 개선하여 콘크리트 타설 효율과 질을 증대시켰다. 종전에는 터널버력을 갱내에서 콘크리트용자갈을 인력으로 생산, 철통운반하였으나 갱외에서 크랏샤를 생산, 트로리로 갱내에 반입 사용하였고, 공기압축 콤푸렉사는 모두 건설회사가 구매설치하여 사용하였고 장대터널의 갱내조명설비와 공사용 환기설비를 위해 갱외에 변전소 설치, 배터리카 충전실, 중기정비소, 숙소, 사무실, 노무자위생시설 등 대규모작업설비와 갱내공사용 환기설비는 전단면 환기용 터보팬(RPM 3,600, Turbo Fan)과 도갱 및 상반단면 막장환기용 축류팬(RPM 1,800)을 사용하는 등 우리나라 터널공사에 처음 공사용 환기를 시행한 일이며, 시공계획수립시 1945년 이전 적용하던 비현실적인 품셈을 실제현장과 적합하게 합리적으로 적용할 수 있는 새로운 품셈산정 방안을 작성하여 정암터널 굴착공사를 계기로 개선하고 정부품셈에 반영하여 현재까지 사용하고 있다. 이때부터 터널공사는 합리적으로, 경제적으로 설계·적산할 수 있도록 기본틀이 마련되어 정암터널 굴착공사는 우리나라 터널기술발전에 크게 기여하였다.

1975. 10~1980. 10 충북선 조치원~봉양간 113.2km 복선화 철도건설공사에서 천동산 박달재가 있는 소백산맥의 인등산을 횡단하는 동량~삼탄간 연장 4,306m의 인등터널은 복선철도터널로서는 처음으로 최장대 터널을

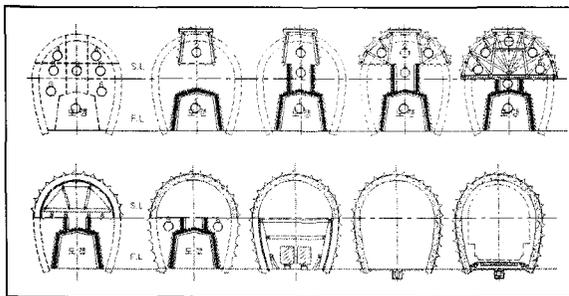


그림 15. 저설도갱선진 넓히기 공법 상반방향 지보공법

AREA의 단면을 고려 그림 16과 같이 표준단면을 바꾸어 전단면 굴착공법으로 시공하였다.

- 터널단면크기 및 형식은 마제형이 아닌 측벽을 수직으로 하여 배수구를 양쪽측구로 하고 상반아치를 반원형으로 설계하여 인력착암기를 트럭에 조립한 조립식 잠보로 전단면을 구멍뚫어 화약으로 발파하였으며, 복선터널에서 처음으로 착암기 롯데길이 2,400mm를 1발파진행 1.8m~2.0m까지 성공시켰다. 터널내 작업공간이 넓어서 버력적재는 쇼벨로우더, 버력 운반은 8톤 덤프트럭인 일반 토공장비를 터널굴착공사에 활용하였다. 강아치지보공 제작은 냉각기공으로 만곡하여야 하나 아직 국내에서는 자유롭게 제작할 수 있는 설비가 없어 강관을 현장에 운반하여 절단, 용접하는 방식으로 만곡형 H-빔을 제작하고 갱내에 반입, 건입하였다. 건입할 때 중량물이므로 덤프트럭운반, 쇼벨로우더 지원이 강아치지보공 건입에 많은 역할을 하였으며 덤프트럭은 막바지에 10톤 트럭이 동원되었다.

- 양쪽갱구에서 지반이 불량한 구간까지는 ①상반단면 굴착 ②상반아치강지보공건입 ③하반단면 1단계 굴착 또는 벤치컷트 ④측벽강지보공 상반강아치 지보공과 연결건입 ⑤하반단면 2단계굴착 정리 ⑥라이닝 콘크리트 전단면 스틸폼조립설치 ⑦라이닝콘크리트 타설 시공순서로 굴착하였으며, 지반이 양호하고 선선한 암반구간만 전단면 굴착공법으로 굴착하였다.

- 터널라이닝 콘크리트는 목재거푸집을 사용하지 않고 처음으로 철재로 스틸폼(Steel Form)을 전단면으로

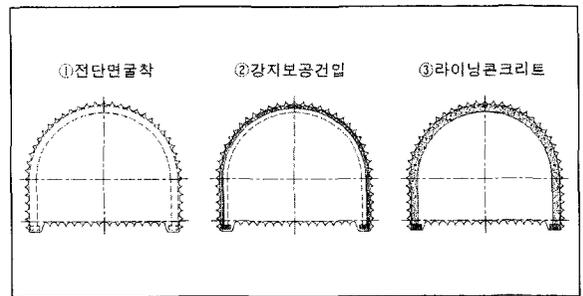


그림 16. 한국최초철도 복선터널 전단면 굴착공법

길이 10m로 제작하여 아치와 측벽을 동시에 라이닝 콘크리트를 하였으며 양쪽갹구부에 콘크리트 생산설비와 콘크리트운반 아지데이트카(Agitator-car), 펌프카(Pumpcar)로 라이닝콘크리트를 인력에서 해방하여 기계화를 성공시켰다. 이는 복선터널이기 때문에 터널내 작업공간을 활용할 수 있었으므로 기계화 시공이 가능하였다.

- 특히 우리나라 터널라이닝콘크리트를 펌프콘크리트(Pump-crete)를 사용한 것은 1978. 3. 30 호남복선대전~이리간 개통한 이듬해(1979. 1. 11)에 가수원~흑석리간 괴곡터널(260m)이 붕괴사고가 발생하였다. 붕괴사고원인은 라이닝 배면 공동채움이 부실하였으므로, 이를 해소하기 위해 장기대책으로 모든 터널라이닝콘크리트는 반드시 펌프콘크리트로 타설하는 방식을 정부에 건의하여 펌프콘크리트장비를 외국으로부터 반입하기 시작하였다. 인등터널은 처음부터 설계에 반영하여 인력시공을 지양하고 굴착공법과 라이닝콘크리트를 기계화로 시공할 수 있었으며, 이 터널에서 2번째로 터널공사용 환기설비를 설계에 반영하여 공사환경조건을 개선하였다.

5.3 1980년~최근까지 철도건설

1980년부터 최근까지 경제사회개발계획에 따라 물동량 증가와 활동인구증가의 수송난을 해결하기 위해 철도수송능력을 증강함에 따라 호남선 이리~송정리간 101.2km 복선화, 경원선 성북~의정부간 13.1km 복선전철화, 서울남부에 1,000만톤 규모의 화물기지 건설, 광양제철선 광양~제철소간 19.7km 건설, 안산선 금정~안산간 20.0km 복선전철건설, 동해남부선 울산역 이전 11.8km, 과천선 금정~남태령간 14.3km 지하철건설, 분당선 오리~왕십리간 31.7km 지하철건설, 일산선 지축~일산간 19.2km 지하철건설, 경인선 구로~부평간 14.9km 2복선전철화, 영동선 영주~철암간 87.0km 전철화, 전라선 신리~순천간 119.0km 개량, 장항선 천안

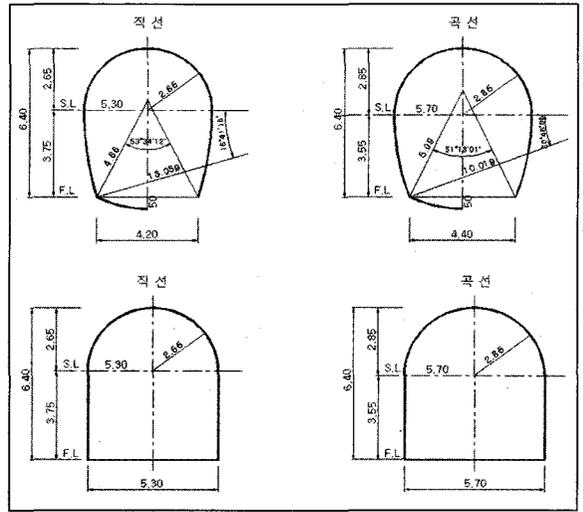


그림 17. 최근철도단선터널 단면키 및 형식

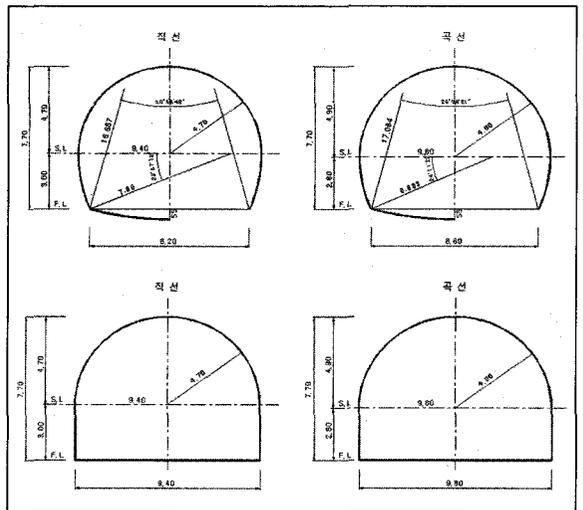


그림 18. 최근철도복선터널 단면키 및 형식

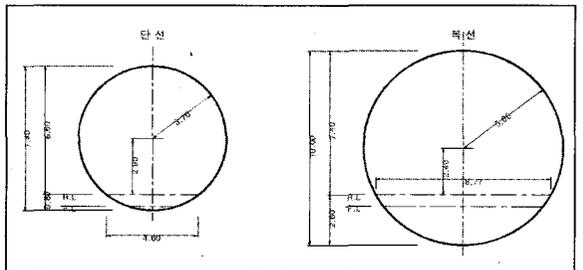


그림 19. 최근철도 TBM공법 터널단면키

~장항간 143.1km 복선전철화, 경춘선 망우~춘천간 83.3km 복선전철화, 중앙선 청량리~원주간 108.2km 복선전철화, 호남선 송정리~목포간 70.6km 복선전철화, 목포대불단지선 일로~대불간 10.3km 철도건설, 경의선 용산~문산간 47.2km 복선전철화, 영동선 통리~도계간 16.5km 선로개량 등을 건설하였거나 건설 중에 있다.

터널내공 단면크기 및 형식은 선로보수 기계화작업, 보수요원의 통로, 신호 CTC 및 통신기기함, 중앙배수구를 측벽양쪽배수구로 개선 등을 고려하여 측벽직선형과마제형으로 구분하고있으나 그림 17, 18, 19과 같이 하고 있다.

터널뚫기 제어발파(Smooth Blasting) 시험시공

- 1979. 5~1984. 7 건설한 서울남부화물기지의 인상선 오봉터널(복선 750m)을 시공할 때 우리나라에서는 NATM공법이 처음으로 소개되고 1981. 5. 10~17(7일간) 프랑스 니스에서 국제터널협회(ITA) 제7차 총회에 우리나라가 처음으로 가입하는 등 터널공사는 NATM으로 해야 한다는 등 열기가 한창이고 프랑스, 스웨덴, 오스트리아, 노르웨이, 독일 등 유럽 터널공사 현장견학 등 NATM 기술습득에 열기를 다하는 시기였다.
- 이 당시 우리나라의 터널기술수준과 터널굴착장비의 수준으로서는 NATM 도입에 선행해야 할 조건들이 있었다. 첫째 터널발파 후 암반면의 요철이 적고 여굴이 적은 제어발파(Smooth Blasting) 기술이 없고, 둘째 제어발파에 사용하는 폭약이 이제 국산화가 되기 시작하였고, 셋째 제어발파 및 NATM은 굴착장비 즉, 착암기의 성능이 자동조정 장치가 된 Hydraulic Drill Jumbo를 확보해야하고, 넷째 슛크리트 혼화재 및 장비, 기능공을 확보해야 하고, 다섯째 록크볼트, 계측장비 등이 문제였으며 NATM 성공여부는 제어발파 성공이 선행되어야 하므로 철도 터널에서 처음으로 제어발파를 시험시공하게 되었다.

- 터널종별 및 크기는 철도복선터널 내공단면 폭 10m, 내공높이 7.7m, 굴착단면크기 78.0m²이고, 터널지반상태는 편마상 경암으로서 암반의 절리가 60°~40° 방향으로 발달하고, 풍화도가 55%, 탄성파속도 3,020~4,750m/sec, 비중 2.71, 공극율 0.7~4.9%, 평균 1.87% 정도의 지반이며 터널뚫기 공법은 전단면굴착공법, 구멍뚫기장비 Hydraulic-2Boom Jumbo, 버럭적재 쇼벨로다, 버럭운반 10톤 덤프트럭, 강지보공 150×150 H-빔으로 제작 진입하였다.
- 이 Jumbo Drill의 룯드직경은 38mm, 비트의 직경 42mm, 장약은 Gelatin Dynamite 특수정밀폭약 Finex1,2, 전기뇌관 MS, DS, 직열식 결선방법으로 1발파진행 1.5m를 기준하여 시험발파를 하였으며, 구멍수는 전단면 총 233구멍 중 심빼기 20구멍, 중간부 131구멍, 바닥부 26구멍, 벽부 28구멍, 천정부 28구멍을 뚫어 장약발파하였으며, 1차, 2차, 3차 비교시험 발파하였다.
- 시험한 결과 제어발파를 일반화하는데 문제점이 무엇인지 파악 되었으며 개선 방안도 검토되었다. 중요한 것은 시공회사의 의지와 기능공확보, 현장조건에 적합한 투입장비, 굴착량과 여굴 등 수량정리 현실화, 적합한 화약종류 국산개발 계속 개선 등 기초자료를 습득하여 철도터널기술발전과 NATM 실용화에 참고가 되어 기술발전에 크게 기여하였다.

철도터널 NATM 공법 처음설계 및 시공

- 1986. 2~1988. 10 안산선 금정~안산간 20.0km 복선전철 건설공사에서 철도터널을 처음으로 NATM으로 설계하여 시공하고, 시공감리회사가 시공관리 감독하는 체제로 시행하였다.
- 안산선의 터널은 4개소 2,084.5m(최장 1,072.5m)로서 터널단면크기 및 형식은 복선터널마제형이고, 터널별 지반조사를 하여 지반조건에 따라 NATM으로 설계하고 라이닝콘크리트의 두께와 모양은 슛크리트인 지보패턴에 따라 40~45cm로 하였으며, 지

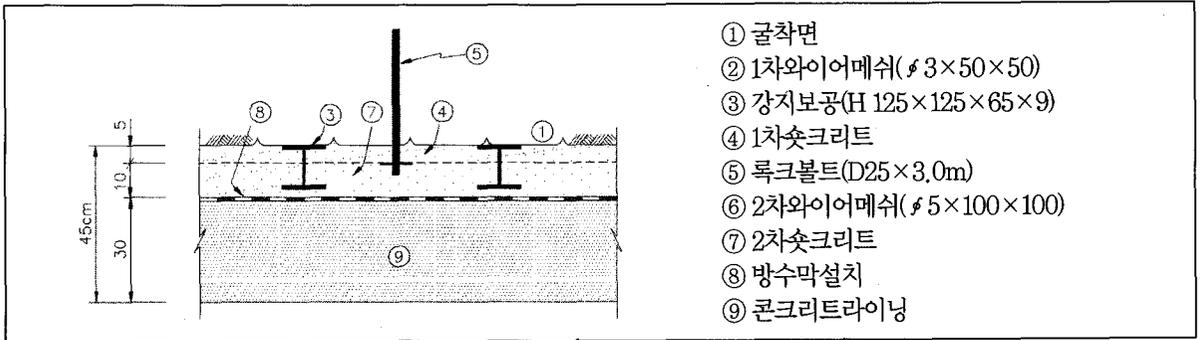


그림 20. NATM 지보패턴 I

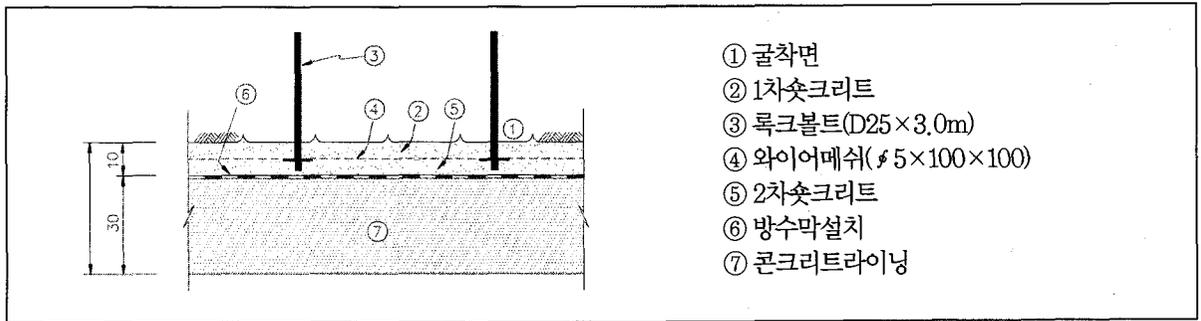


그림 21. NATM 지보패턴 III

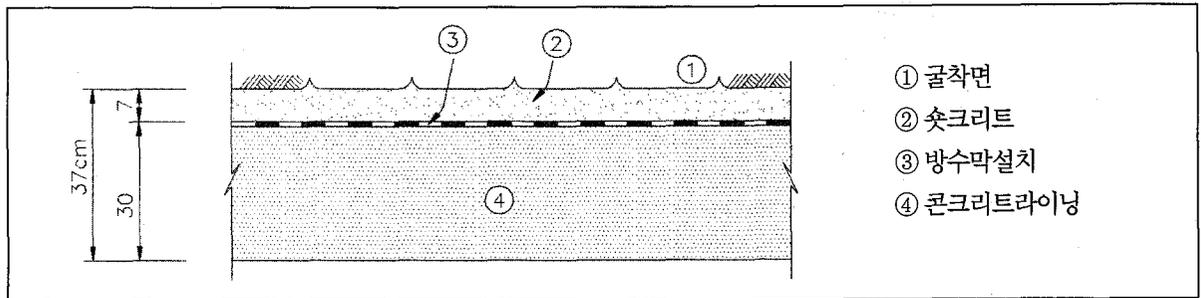


그림 22. NATM 지보패턴 III

보패턴은 I, II, III으로 구분하여 시공하였다.

- 지보패턴 I은 암질이 풍화암이고, 파쇄대지역으로서 R.Q.D가 불량한 지반에 적용하고 췁크리트 두께 15cm, 강지보공 H-빔 125, 간격은 1.2m, 록크볼트는 D25×3.0m를 터널전단면에 15개를 삽입하는 것으로 그림 20과 같이 하였다.
- 지보패턴 II는 지반이 연암 및 경암1, R.Q.D<50인 경암지반에 적용하고 췁크리트 두께는 10cm, 강지보

공은 사용하지 않았고 록크볼트는 D25×3.0m를 터널아치부에 11개를 1.3m 간격으로 삽입하는 것으로 그림 21과 같이 하였다.

- 지보패턴 III은 지반이 경암2, R.Q.D≥50인 경암지반에 적용하고 췁크리트 두께는 7cm, 강지보공은 사용하지 않았고 록크볼트는 지반의 잠재적인 균열이나 절리가 있어 록크볼트가 필요하다고 판단되는 개소만 랜덤(Random)으로 그림 22와 같이 하였으

며, 전반적으로 터널아치부에 파쇄대 등이 나타나 발파 후 붕락이 예상될 경우에는 휘플링(Forepuling)을 실시하여 붕락을 방지하고 지반의 이완을 예방하도록 하였다.

- 터널굴착장비는 6톤 트럭에 인력착암기를 착암대에 설치한 간이 잠보로 굴착발파 하였고 공기압축기 600cfm, 버력적재 쇼벨로다, 버력운반 8톤 덤프트럭, 슛크리트 장비는 Aliva Concrete Spraying Machine으로 하고 라이닝콘크리트는 전단면 철재 거푸집(Steel Form), 콘크리트는 레미콘회사에서 레미콘운반차로 현장에 반입, 콘크리트펌프로 타설 하였다.
- 터널방수는 슛크리트 표면에 폴리펠트(Polyfelt) TS700을 란벨로 못과와셔를 써서 고착시키고, 카보폴(Carbofol) 방수슈트를 전기인두로 접착시켰다. 이때 철도, 지하철, 도로 등 국내터널 NATM에 사용하는 방수슈트재료 모두 스위스로부터 수입품이었으나, 철도청에서는 기술제휴하여 국산품 생산 체제로 한정사용하기로 약속하고 국산품 개발을 유도 권고한 결과 요즘 방수재는 전량 국산방수재를 사용할 수 있게 하였다. 그동안 철도터널 방수방식은 라이닝콘크리트 뒷면으로 자연배수식으로 설계, 시공하였으며 이 터널에서 처음으로 선진국에서 적용하고 있는 슛크리트면과 방수막 사이로 일부 배수하는 공법으로 시공하기 시작하였다.

안산선 복선전철건설 이후부터 최근까지는 과천선, 일산선, 분당선 등 지하철의 터널과 전라선, 호남복선 송정리~목포간, 장항선 복선전철화, 경춘선 복선전철화, 중앙선 청량리~원주간 복선전철화, 경의선 용산~문산간 복선전철화, 영동선 통리~도계간 철도개량 등 터널은 모두 NATM으로 설계, 시공 중에 있으며 철도터널은 상반 단면 선진공법을 기준하여 터널암반조건에 따라 벤치컷트 또는 전단면공법으로 전환하여 굴착하고 있다

특히 단선터널은 터널폭이 좁아 투입장비의 규격에 제한을 받아야하므로 대형장비를 투입할 수 없어 주요터널

은 2분잠보로 구멍을 뚫어 화약발파하고 있으나 중소터널과 공사규모에 따라 인력착암기를 사용하는 수도 있다. 버력처리는 토공장비인 쇼벨로우더와 8~10톤 덤프트럭이고, 콘크리트는 전량 레미콘을 터널내에 반입하여 철제 거푸집, 펌프크리트 타설을 하고 있다. 복선전철건설의 터널은 대부분 복선터널이므로 드릴잠보, 쇼벨로다, 덤프트럭 등 대형장비를 투입하고 있다. 또한 철도터널갱문을 종전에는 터널연장을 가급적 짧게 하려고 노선선정을 계획을 따라 터널입지를 정하여 갱문은 중력식콘크리트 면벽을 설치하고 터널갱문 뒤, 좌우의 깎기비탈면 보수유지관리, 우기시 배수처리 등을 고려 갱문높이와 좌우연결옹벽높이 및 길이를 정하여 설계, 시공하였으며 최근에 터널굴착공사 최신장비투입으로 공기단축이 가능하여 터널길이가 다소 길게 하더라도 터널 입출구가 지반이 좋고 신선한 산등성에 입지할 수 있도록 노선을 선정하고, 자연환경과 지형에 맞추어 터널단면을 경사지게 설계하여 면벽식 갱문과 2중 옹벽을 가급적 채택하지 않고 있다.

중앙선 원주치악산, 죽령소백산을 횡단하는 터널은 선로구배 25%, 곡선반경 400m이므로 멀지않아 개량해야 하며 새로운 강원선 원주~강릉간 신설철도, 분당선 왕십리~청담간 한강하저터널 등 TBM 공법을 채택해야 할 시기가 도래하였으며, 장대터널은 재해대책을 고려 복선터널보다 단선병렬터널로 전환해야할 것으로 생각하며 터널설계기준 및 시방서 개정보완과 발전하는 세계 각국의 터널기술정보 수집 등 터널기술 수준을 선진국 기술수준으로 향상시키기 위해 철도기술진은 계속 노력하고 있다.

6. 고속철도 터널기술

경제사회개발과 GNP 성장에 따라 교통인구와 물동량 증가로 교통체증은 한계에 도달하여 서울~부산간 새로운 복선철도를 건설하게되어 1990. 6 경부고속철도 노선을 발표하고 1992. 6. 30 기공식을 거행하였다. 고속철도

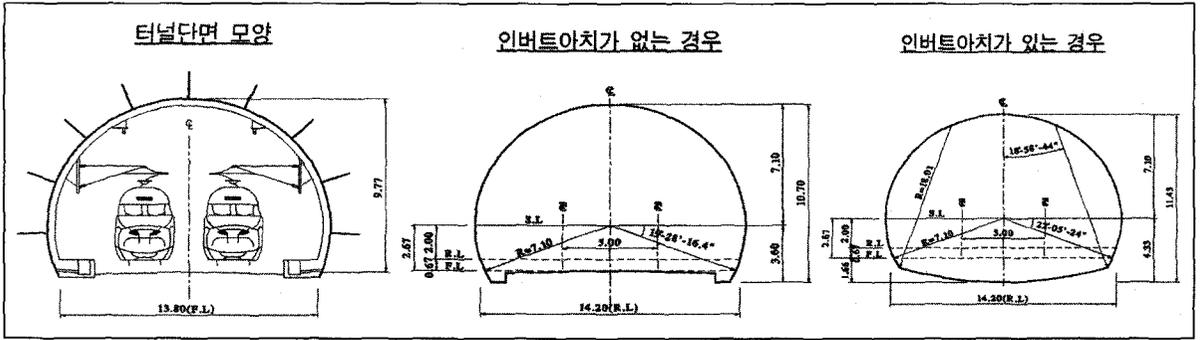


그림 23. 경부고속철도 터널단면크기 및 형식

터널의 단면크기 및 형식은 그림 23과 같이 복선터널 마 제형으로 하고 내공단면크기는 열차운행 최고속도 200km/h 이하일 때는 차량의 크기와 관련되는 차량한계 및 건축한계, 보수유지관리작업 기계화, 전기, 신호, 통신, 배수, 시설, 보수요원의 통로 등을 생각하여 결정하고 있으나 200km/h 이상일 때는 열차주행시 터널공기압 변동에 따라 결정해야 한다.

경부고속철도 터널은 열차운행 최고속도 350km/h로 서로 교행할 때 발생하는 최대 공기압을 차량의 차체가 받는 압력을 단선터널은 2700Pa/3sec, 복선터널은 4,300Pa/3sec로 하여 내공단면크기를 단선터널은 90m², 복선터널은 107m²로 설정하고 산악터널과 도심터널로 구분하여 투자비를 고려 대부분 복선터널로 설계하였다. 특히 터널연장이 총 189km나 되는 우리나라 역사상 최대규모의 터널공사이므로 경제적인 최신기술과 품질면에서 완벽하도록 설계하여 시공하고 있다.

터널지반분류는 시추조사 등 지반을 조사한 모든 자료를 종합검토하여 각 시추점의 터널단면 지반상태를 RMR(Rock Mass Rating) 지반분류기준으로 분류하고, 터널단면의 지반상태를 등급화하기 위해 일축압축강도, RQD(Rock Quality Designation), 절리간격 및 절리조건 등 공학적 특징의 터널과 절리면 방위와의 상관관계를 고려 지반을 표 3과 같이 5종으로 분류하였으며 지반등급에 따른 터널자립시간과 무지보공굴진길이 및 폭(Unsupported span)은 RMR 등급에 따른 터널자립성

(Bieniawski)을 기준하였다.

표 3. RMR에 의한 지반등급분류

지반상태	매우양호	양호	보통	불량	매우불량
등급	I	II	III	IV	V
RMR점수	100~81	80~61	60~41	40~21	<20

굴착공법은 당당시 우리나라에서 가장 경제적인 공법이 NATM이므로 산악터널은 표 4과 같이 NATM 패턴으로 설계하여 시공하고 갱구부근이나 단층, 파쇄대 등 지반조건이 특수한 경우는 파이프 루프, 휘폴링, 그라우팅, 강지보공, 뗏사공법 등을 지반조건에 따라 조합적용하였다. 도심지 및 주거지역, 하저터널은 TBM 공법 또는 개착식(Cut & Cover)공법으로 하고 소음, 진동 등 환경공해를 저감과 허용기준치 이내로 하기위해 도심터널은 지표에서 40~50m 깊이에서 복선터널은 NATM, 단선병렬인 경우는 TBM 공법으로 기준하였으나 투자비와 경제성 등 우리나라 실정을 고려 부득이 복선터널 NATM을 기준하였고 논경지나 지역주민의 민원으로 지상노선이 협의되지 않는 부득이한 개소는 지하깊이 20m 전후로 개착식 공법으로 설계하여 시공중에 있으며, 갱문형식은 기존철도에서는 대부분 면벽형으로 설계, 시공하였으나 경부고속철도에서는 터널미기압을 고려 우리나라에서 최초로 벨마우스(Bellmouth)식으로 설계하여 시공중에 있다. NATM 공법의 굴착은 Hydraulic 3-Boom Jumbo로 구멍뚫기를 하여 쇼벨로다로 적재, 15톤 덤프트럭으로 운반

표 4. 경부고속철도 NATM 패턴

패턴별	지반분류 RMR기준	1차 와이어 매쉬	강지보공 규격 및 간격	1차 숏크리트 두께	록크볼트 규격 및 간격 중×횡	2차 숏크리트 두께	2차 와이어 매쉬	3차 숏크리트 두께	1발파 진행	라이닝 콘크리트 두께
패턴-I	100~81	-	-	5cm	φ25×4.0 2.5×2.0	5cm	-	-	2.5m	40cm
패턴-II	80~60	○	100×100×6×8.0 2m간격	5cm	φ25×4.0 2.0×1.5	5cm	-	-	2.0m	40cm
패턴-III	60~41	○	125×125×16.5×9.0 1.5m간격	5cm	φ25×5.0 1.5×1.5	5cm	-	5cm	1.5m	40cm
패턴-IV	40~21	○	150×150×7×10.0 1.3m간격	5cm	φ25×5.0 1.3×1.3	10cm	○	5cm	1.3m	50cm
패턴-V	20이하	○	150×150×7×10.0 0.8m간격	5cm	φ25×6.0 0.8×1.0	10cm	○	10cm	0.8m	60

하고 상반단면선진 벤치컷트 공법, 또는 전단면 굴착공법이며 화약발파 공법은 제어발파 또는 Supex-cut, 정밀 벤치발파공법, 미진동벤치발파공법, 신벤치발파공법 등 터널굴착조건에 따라 굴착하고 있다.

숏크리트공법은 습식숏크리트와 건식숏크리트 중 습식이 양호하나 습식혼화재료의 국내생산이 없고, 석유비축기지 터널에서 재료를 외국으로부터 수입하여 시공한 실적은 있으나 일반화되지 않아 부득이 국산재료와 국내기술진이 쉽게 할 수 있는 건식으로 설계하여 천안~대전간 시험선 궁현터널에서 숏크리트 후 공극발생 등 숏크리트 시공부실 논란으로 개선대책을 습식으로 공법을 변경하였다. 이때 국내 숏크리트 생산업체가 국산품으로 습식혼

화재를 생산하고 운주터널에서 시험시공한 결과 반발율이 현저하게 양호하고 습식숏크리트 장비가 고가이나 1일 4교대하는 숏크리트 노즐맨의 인력시공의 어려운점을 고려하면 작업효율면에서 유리하므로 강행하였으며 고속철도터널에서 처음으로 습식숏크리트 Robt화 하고 강지보공도 H-빔 대신 격자지보공(Lattice Girder)국산화, 숏크리트의 Steel Fibre, Fibermesh 시험시공 등 NATM 기술수준을 향상하는데 터전을 마련하였다.

터널배수 및 방수공법은 자연배수방법을 기준하고 라이닝콘크리트 터설전 방수막으로 방수 후 라이닝콘크리트의 철재거푸집을 설치하여 라이닝콘크리트하는 방법으로 하였다. 숏크리트면과 콘크리트라이닝 배면의 방수막



사진 1. 방수막 설치후 자주식스틸폼

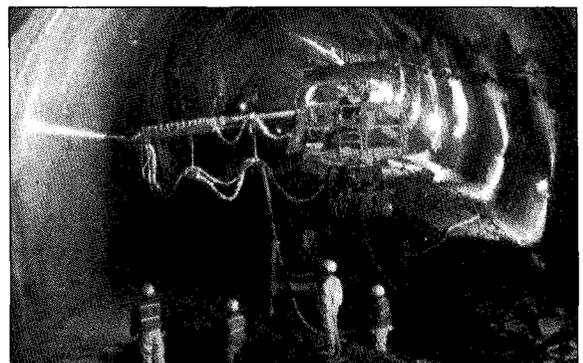


사진 2. 숏크리트 Robt 작업

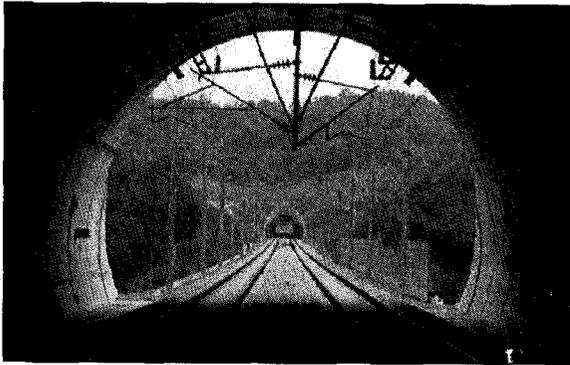


사진 3. 고속철도터널 안경

사이의 누수는 터널양쪽 하수구로 연결하여 배수하도록 하였다.

라이닝콘크리트 철재거푸집 설치후 레미콘을 반입하고 펌프콘크리트를 타설하였다. 특히 시험선 운주터널에서 전단면 자주식 유압스틸폼을 최초로 제작 설치하여 시공 회사의 현장 자체벤틱스플랜트에서 생산한 콘크리트를 레미콘 운반차로 반입하고 펌프콘크리트로 타설하였는데 자주식 스틸폼에는 전기자동 바이브레이터 50개를 상하 좌우에 설치하여 라이닝콘크리트 다짐을 인력에서 자동화로 개선하였으며, 숏크리트에서 발생하는 오염된 오수는 터널갱구 양쪽에 자동여과장치를 설치하여 주민들이 언제든지 직접 확인할 수 있는 환경관리를 하였다. 터널 라이닝콘크리트의 시공이음개소는 방수패드를 삽입하여 누수가 되지 않도록 하였고, 라이닝콘크리트의 균열을 예방하기 위해 터널갱구로부터 지반이 불량한 위치 구간은 아치구간만 철근을 배근하였다. 터널측량은 항공측량한 좌표를 기준하여 선로곡선 시중점 등 기준점을 설치하고 터널중심 평면선형과 종단선형의 기준점을 설치하였다. 터널굴착중 또는 터널관통 후 터널측량은 레이저 광선과 인공위성자료를 활용하는 고도의 측량기술로 확인점검하고 있다.

품질관리는 시공회사, 감리회사, 발주처 모두 ISO를 획득하고 시공회사와 감리회사는 공사착공전 품질관리계획서를 작성하여 제출하면 발주처에서 검토승인 후 공사를 시행하였다. 품질관리는 시공회사에서 품질관리



사진 4. 고속철도터널갱문

QC(Quality Control), 감리회사에서 품질검사 QS(Quality Surveillance), 발주처는 품질검사 또는 보증 QA(Quality Assurance) 하는 체계로 철도건설 공사에서는 처음으로 시행하였다. 특히 선진국의 품질관리기법을 국내기술로 하기 위해 프랑스 TGV, 독일 ICE 공사에서 경험이 있는 기술진을 현장에 투입하여 국내터널 기술수준을 더 한층 발전시켰다.

7. 맺음말

철도는 우리나라 역사와 함께 파란만장한 난관을 극복하면서 철도운행최고속도 50km/h 수준에서 300km/h 수준으로 성장과 함께 철도터널기술도 인력위주에서 최신장비의 기계화 수준으로 발전하였으며, 특히 경부고속철도의 터널설계, 터널시공, 터널시공감리 과정에서 우리나라 터널기술수준을 선진국 수준으로 향상하는데 크게 기여하였다.

앞으로 계속 터널내공단면측정기술, NATM 시공과정에서 막장지반자료를 Feed back 프로그램화 활용기술, 시공도, 기성부분, 설계변경, 준공처리 전산화 프로그램 기술 TBM 공법의 설계 및 시공기술 정착, 숏크리트 재료의 Steel Fiber 또는 Polypropylene Fibers 실용화 등 국내기술로 정착시켜 국가경쟁력을 향상해야 하므로 터널기술인 여러분, 터널협회에 동참하여 철도터널에 많은 관

심과 지도편달을 하여주시기 바랍니다.

참고자료

1. 1977. 12 철도청발간, 한국철도사 (제2권)
2. 1999. 9 철도청발간, 한국철도 100년사
3. 철도청 터널현황 (2000년)
4. 터널뚫기 제어발파에 관한 연구 (1983. 6 한양대학교 산업대학원)

5. ITA 제7차 총회(프랑스) 참석 귀국보고서 (1981. 신종서, 이재활)
6. 21세기의 비전 한국고속철도(KTX)
7. 기타참고자료

[약 력]

- 철도청 시설국 건설과장 (시설서기관)
- 철도청 설계사무소장 (시설부이사관)
- 한국고속전철기획단 건설국장 (시설부이사관)
- 한국고속철도 건설공단 건설본부장
- 제3대 터널협회 회장
- (재)한국철도기술공사 이사장

대한터널협회에서는 2001년도말 회원명부를 출판하기위해 회원명부를 정리하고 있습니다.

회원 여러분들 중 신상변동이 있으신 분들은 협회로 메일을 보내주시면 감사하겠습니다.

E-mail : krtna@chollian.net