

고속철도 터널의 시공관리

이경환^{*1}, 김병호^{*2}, 김선홍^{*3}

1. 서론

1970년대 초반에 국토종합개발계획이 시행되면서 경제개발계획의 일부로 다루어지던 교통투자가 장기적인 국토계획의 하나로 다루어지게 되었으며, 당시의 교통정책은 주요 수출산업으로 부상한 중화학공업을 지원하기 위해 도로투자에 비중을 두었다. 그러나 경제개발이 한창 추진되면서 포화상태에 달한 경부축에 새로운 운송수단 신설에 대한 필요성이 제기되었고 한국과학기술원(KIST)이 "대량화물 수송체계 개선 및 교통투자 최적화 방안 연구"를 통해 간선 철도망의 확충과 경부축에 새로운 철도건설을 주요골자로 하는 내용을 정부에 건의하면서 본격적인 논의가 시작되어 오늘날의 고속철도에 이르게 되었다.

경부고속철도는 국가의 경제상황을 감안하면서 경부축의 교통난을 조기에 해소할 수 있도록 초기 투자비를 최소화 한 단계별 개통방안을 마련하였는데, 우선 서울~대구 구간에 신설노선을 건설하고 대구~부산 구간은 기존 철도를 개량하여 2004년 우선 개통하고, 이를 운행하면서 대구~경주~부산 구간의 신설노선을 건설하여 2010년 완전 개통하는 것이다.

경부고속철도는 고속철도 선형특성과 우리나라의 산악지형 조건으로 인하여 총 412km의 노선연장 중 약 46%인 191km(80개소)가 터널로 구성되어 있으며, 이중 2km 이상의 장대터널이 24개소

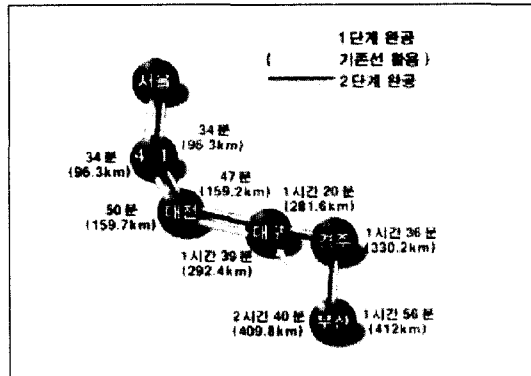


그림 1. 경부고속철도의 단계별 개통계획

표 1. 경부고속철도 터널의 구성 현황

연장	개소(단면비)	총연장(단면비)
1.0km 이하	44 (55%)	21,806(12%)
1.0~2.0km	14 (18%)	21,010(11%)
2.0~5.0km	13 (16%)	37,131(19%)
5.0~10.0km	4 (5%)	28,495(15%)
10.0km 이상	5 (6%)	82,249(43%)
총계	80 (100%)	190,691(100%)

(약 145km)이고 13.3km인 울랑터널을 포함하여 10km 이상 되는 초 장대터널도 5개소(약 82km)에 이른다. 경부고속철도 터널이 일반 철도 및 도로 터널과 크게 구분되는 것은 내공단면적과 갱문형식을 들 수 있는데, 먼저 터널내공단면적은 200km/h 이상의 고속운행시 발생하는 공기압변화에 따른 이명현상과 그에 따른 이용승객의 안락도 기준에 의한 압력변동 허용기준 등을 고려하여 경부고속철도의 설계최고속도(350km/h)에서 터널내 압력변동 허용기준을 만족할 수 있도록 프랑스의 TGV(단면적 100m², 허용속도 300km/h)와 독일의 ICE(단면

*1 (주)유신코퍼레이션 감리기술부 전무이사

*2 한국고속철도건설공단 토목처 처장

*3 정회원, (주)유신코퍼레이션 터널부 이사

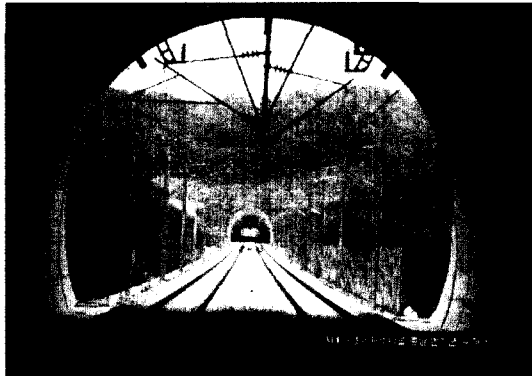


그림 2. 경부고속철도 터널의 내부 전경



그림 3. Bell mouth 형식의 터널갱문

적 82m², 허용속도 270km/h) 그리고 일본의 신간선(단면적 62m², 허용속도 240km/h)과 대만의 고속철도(단면적 100m², 허용속도 300km/h) 터널등을 고려하여 107m²으로 계획하였다(김병호 외 2인, 2001). 또한, 터널의 갱문형식은 열차가 터널내를 고속으로 주행할 때 터널내 열차진입으로 발생한 압축파가 터널내를 전파하여 터널출구에서 외부로 방사될 때 발생하는 미기압파를 저감시키기 위해서 열차가 터널진입시 생성되는 시간에 대한 압축파 전면의 압력구배를 줄이기 위해서 독일철도에서 사용하고 있는 bell-mouth 형식의 갱문을 적용하였다.

경부고속철도터널은 우리나라의 지형적인 특성상 장대터널이 불가피하며 이러한 대단면 장대터널

의 특성으로 인하여 터널시공과정에서 지보재 개선, 터널의 기계화 시공, 그리고 시공관리 기법 개발등과 같은 많은 기술적 발전의 계기가 마련되었으며, 이러한 성과들은 최근의 터키설계 등에 적극적으로 반영되어 터널설계기술의 발전에도 이바지하고 있다.

본 내용에서는 기존의 관련문헌과 현장에서 수집된 자료를 토대로 경부고속철도터널의 주요 시공관리 및 개선내용을 기술하고자 한다.

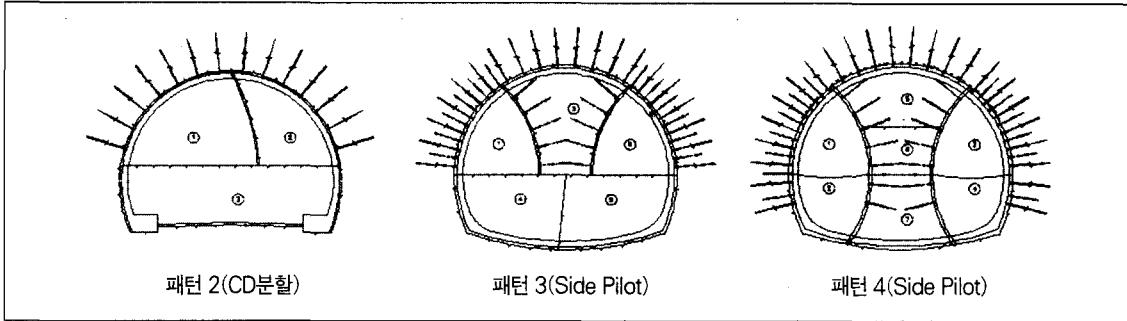
2. 굴착방법 개선

고속철도 터널은 공기압 영향을 고려하여 일반철도 복선 단면(75m² 내외)보다 규모가 크게 적용되었으며 터널 굴착시 안정성 확보를 위하여 연경암 지반으로 구성된 2패턴부터 CD분할, Side-pilot 등의 대단면 굴착방법이 적용되었다. 또한 당시의 NATM 터널 기술 및 장비의 한계로 인하여 안정성 확보를 위한 분할굴착이 불가피 하였다. 그러나 터널시공과정에서 시험시공을 통한 경제성과 안전성을 향상시킬 수 있는 지보재, 굴착장비 등이 도입되었고 막장관찰과 계측자료를 활용한 현장 시공관리 기법이 향상되면서 다단분할 굴착방법을 상·하반 단면 굴착방법으로 변경하여 시공성과 경제성을 확보하였다. 변경된 굴착방법은 풍화암 이하(패턴5 이하) 지반의 터널굴착시 CD분할굴착을 실시하고 그외의 패턴은 상·하반단면을 적용하였다.

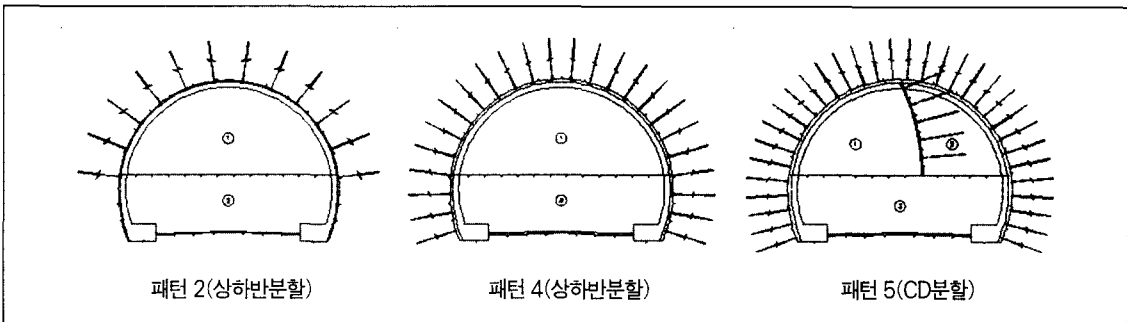
3. 지보재 시공관리

3.1 슛크리트와 강지보재의 시공개선

스�크리트 공법은 습식스�크리트와 건식스�크리트 중 습식이 양호하나, 고속철도 터널의 시공초기에는 습식혼화재를 외국으로부터 수입해야 하기 때문



(a) 당초 터널 굴착방법



(b) 변경 터널 굴착방법

그림 4. 터널 굴착방법 개선 내용

에 가격이 비싸고 일반화되지 않아서 국내기술진이 쉽게 할 수 있는 건설으로 계획되었다. 그러나, 천안~대전간 시험선 구간에서 숏크리트 타설후 공극

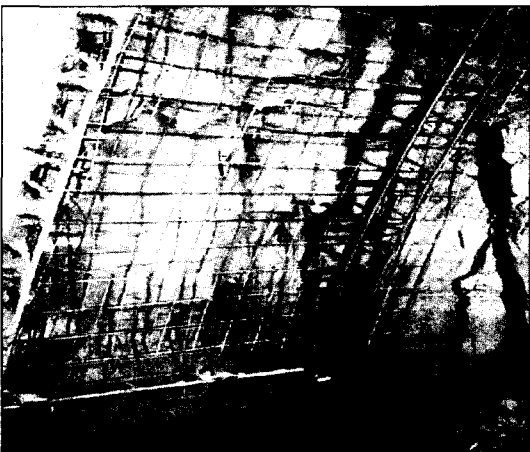


그림 5. 격자지보재 시공 전경

발생 등으로 인하여 개선대책을 논의하는 과정에서 습식공법으로 변경하게 되었다(신중서, 2001). 이때, 강섬유가 국내 생산되고 운주터널에서의 시험 시공 성과가 양호하여 비록 습식장비가 고가이나 숏크리트 로봇에 의한 노즐맨의 인력대체로 공사효율 및 품질관리가 양호하다는 측면에서 습식숏크리트가 적용되게 되었다. 이를 계기로 강지보공도 H빔 대신에 국산화된 격자지보(lattice girder)를 적용함에 따라 NATM 터널시공에 큰 기술발전을 이루게 되었다.

3.2 철망겹이음 개선

터널 와이어메쉬 상·하 겹이음 확보를 위한 방법으로 종전에는 상반부 굴착 후 와이어메쉬를 설치한후 숏크리트를 타설하고, 하반부 와이어메쉬

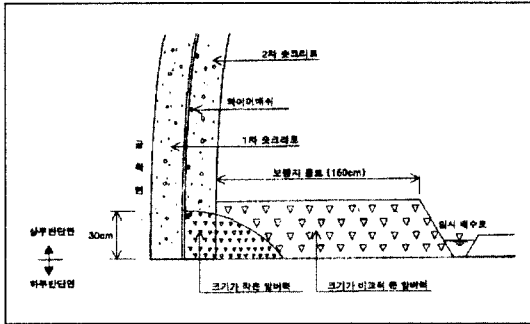
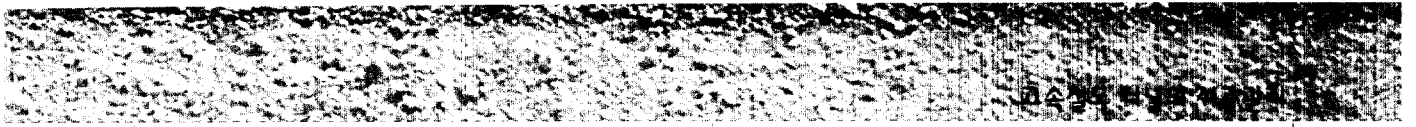


그림 6. 철망겹이음 개선

겹이음 길이를 확보하기 위하여 기 시공된 상반부의 슛크리트를 제거하여 시방서에 규정된 와이어메쉬 겹이음(20cm)를 확보했다. 이 방법은 슛크리트 손실로 인하여 공사비를 증가시키고, 와이어메쉬 손상이 우려되며, 공사를 지연시키는 단점이 있었다. 이를 개선시키기 위하여 상반부 굴착 후 와이어메쉬를 설치하고 슛크리트를 타설하기 전에 바닥에 약 30cm의 잔버력을 사전에 채운 후 슛크리트를 타설해서 하반부 굴착시 상반부의 잔버력이 제거되어 와이어메쉬 겹이음 길이를 쉽게 확보하는 방법으로 발전되었다. 이는 슛크리트 제거 비용과 공기를 절감시키고, 와이어메쉬의 손상을 최소화시키는 성과를 이루었다.

3.3 천정부 철근보강

기존에는 라이닝 콘크리트 전체구간에 대하여 단철근(D13mm, 중·횡방향 간격은 200mm)으로 보강할 계획이었다. 그러나, 검토결과 철근시공시 터널 내공단면적이 큰 관계로 철근의 자립성이 떨어져 처짐이 발생하고, 라이닝 거푸집 이동에 지장을 주며, 균일한 콘크리트 피복두께를 유지하기가 곤란하고, 천장의 전기설비 고정을 위한 매립부재와의 간섭으로 철근 배치가 어렵고, 별도의 철근지지대 설치에 따른 공사비가 증대되고, 철근설치에 따른 공기의 증가를 가져오는 문제점이 발생하였다. 따라서, 시공성과 경제성을 고려하여 온도변화 및

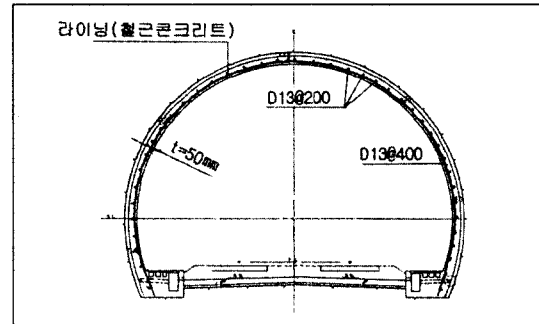


그림 7. 철근배치도

불량지반 등에 의하여 구조적으로 가장 취약한 터널 입·출구부 150m와 굴착패턴 4.5구간에 철근을 설치하여 라이닝을 강화시키는 방법을 적용하였다.

3.4 철근처짐 방지

터널 내공단면적이 커 철근의 자립성이 취약하여 철근의 처짐이 발생하므로 이를 막기 위해 터널 입출구 150m 및 굴착패턴 4.5구간의 철근콘크리트 라이닝에 격자형 지보재(50×φ19×φ19)를 10m당 3조로 설치하도록 하였다. 그 결과, 격자지보의 철근지지로 인하여 라이닝 철근의 처짐방지, 정확한 위치에 철근 배근을 가능하게 하였으며, 방수셔트의 손상을 없애고, 철근조립 등 타 공정에 지장을 주지 않는 효과를 얻었다.

3.5 시공이음 및 신축이음

중전의 시공이음과 신축이음시 삼각 모따기를 할 때 강재거푸집 전방쪽에는 고정식 모따기 면을 두고 후방쪽에는 삼각폴대를 콘크리트에 부착하여 시공하였다. 그러나, 라이닝이 곡면으로 이루어져 있기 때문에 삼각폴대를 부착하기가 힘들고, 라이닝 콘크리트 타설시 거푸집이 약간 밀리기 때문에 삼각면이 고르게 되지 않아 삼각면을 갈고 앵폭시 주입 및 실런트를 하는 등 마무리시 비용이 많이 들어가는 문제가 발생하였다. 이 과정에서 개선책으로

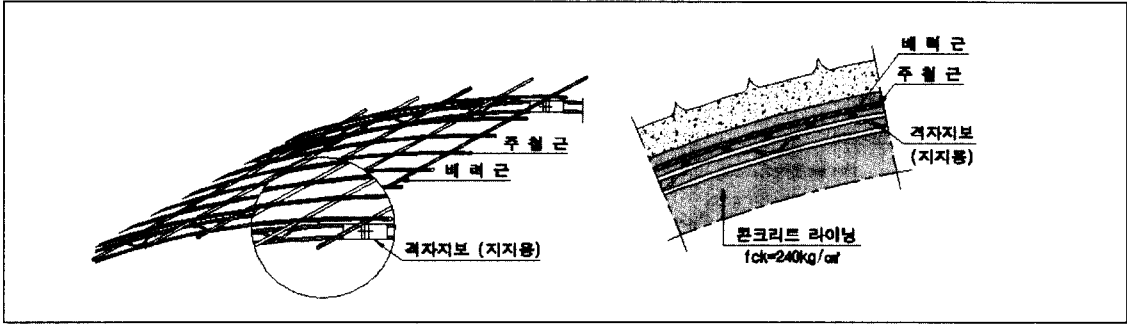


그림 8. 격자지보설치도

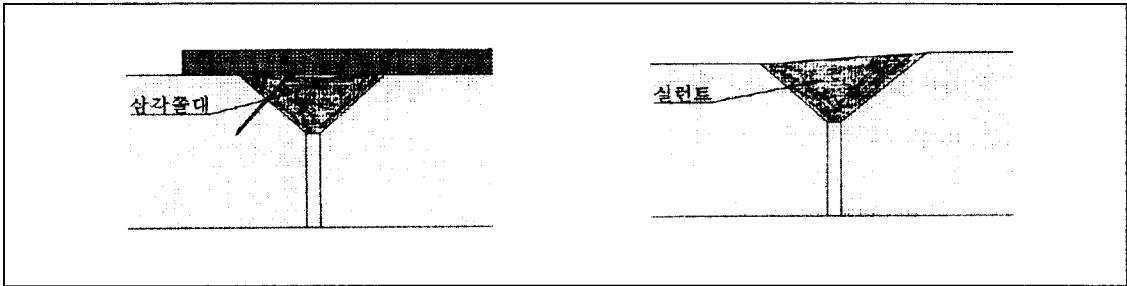


그림 9. 시공이음 및 신축이음 (개선 전)

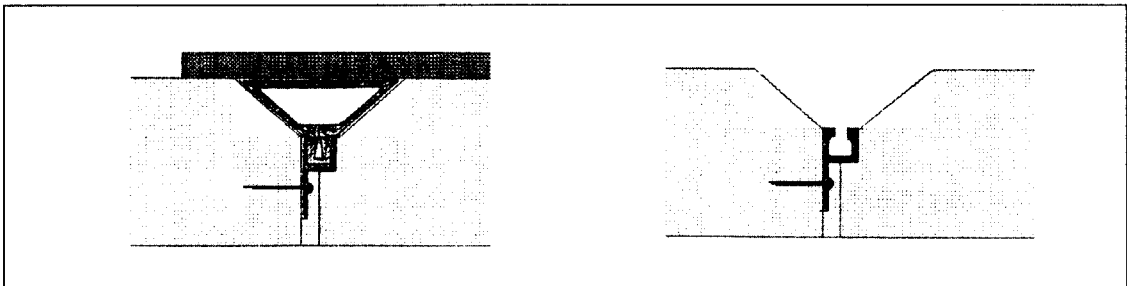


그림 10. 시공이음 및 신축이음 (개선 후)

강재거푸집 전방쪽 고정식 모따기 면은 같게 하고 삼각줄대 대신 Rehau Fillet으로 시공하고 줄대는 뽑아 재사용하는 방법으로 터널라이닝의 시공이음 및 신축이음을 개선시켰다. 이렇게 함으로서 거푸집 제거후 시공이음(모따기)부가 일정하게 되어 끝 마무리가 필요 없어졌고, 실린트를 설치할 필요가 없어져 비용이 감소되는 효과를 가져왔다.

4. 터널기계화 시공

고속철도터널은 장대터널이 많고 단면적이 커서 갱내 작업공간이 충분하기 때문에 기계화시공을 통하여 공기 및 공사비 절감과 정밀한 시공관리가 가능하였다. 산악 장대터널의 특성상 기존 재래식 장비를 이용한 굴착방식으로는 효율이 저하되고 원활한 공정추진이 어려우므로 선진화된 터널장비의 조합·투

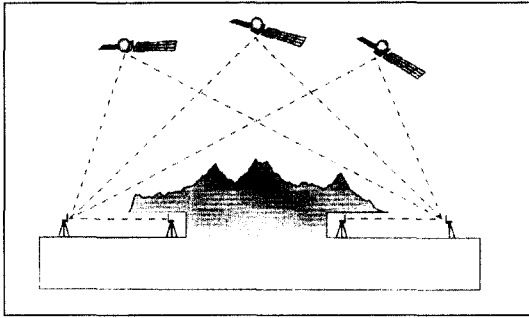


그림 11. GPS에 의한 정밀측량 모식도



그림 12. 터널내공단면을 측량하는 모습

입에 의한 터널의 기계화시공은 터널연장이 9,975m 인 상촌터널을 비롯한 장대터널을 중심으로 적용되어 공기단축 및 정밀시공에 큰 효과를 보았으며, 그 내용을 소개하면 다음과 같다(양종화 외 2인, 2000).

4.1 GPS에 의한 측량

장대터널의 정확한 위치측량을 위하여 인공위성을 이용한 최신 노선측량방법인 GPS기법을 적용하였다. 본 기법은 고정밀측량으로 측량오차를 최소화할 수 있으며, 정확도는 1/1,000,000이다. 그림 11은 GPS에 의한 정밀측량의 모식도를 나타낸 것이다. 또한 지속적인 터널내공단면 관리를 위하여 Total Station(Geodimeter)을 이용하여 터널내공단면을 측량하였다. 본 장비는 고정밀 장대터널에서 노선측량이 가능하며, 내공단면을 확인 Feedback하여 여굴을 관리할 수 있다. 그림 12는

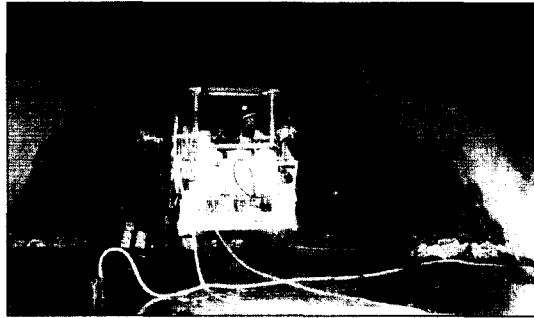


그림 13. Jumbo Drill



그림 14. 자동천공각도 조절장치

터널내공단면을 측량하는 모습이다.

4.2 천공장비에 의한 막장지질예측

본 터널에서는 선진천공에 의한 전방암반상태의 사전조사를 실시하였다. 장비는 선진보링장치(FORALIM-I)로서 굴착전방 암반 20m까지 선진천공하여 천공속도(IAS), Torque, Total Pressure 등을 측정하여 암반의 연경도를 판단하게 된다. 또한 절리층이나 연약암반에서의 Water pocket에 대한 사전예측이 가능하다. 천공장비는 3-Boom점보드릴(BOOMER, 그림 13)에 의한 동시천공으로 천공작업의 능률을 극대화시켰고, Eagle Type으로 전단면 천공이 가능하다. 또한 자동천공각도조절장치를 장착하여 천공 수평/수직각을 자동조절(3~7도)하여 천공의 정밀도를 향상하도록 하였다(그림 14).



그림 15. Wheel Loader

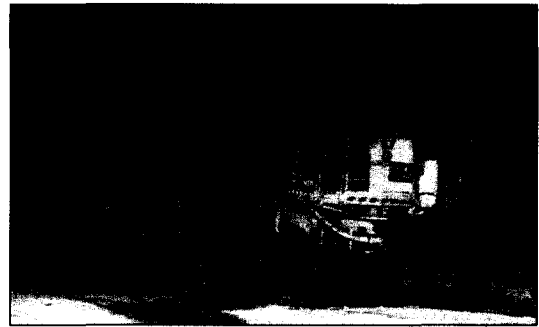


그림 17. 슛크리트 타설기

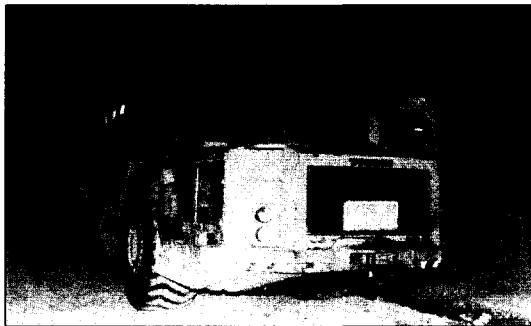


그림 16. 40톤급 덤프트럭



그림 18. 유압식 자동대차

4.3 터널전용장비에 의한 버력처리 및 부석 정리

발파후 암버력의 적재장비는 7.4m³급 휠로더(TORO 501, 그림 15)로서, 적재기간을 단축하고, 좁은공간에서 회전가능하여 사갱터널에서 유용하였다. 운반장비는 40톤 덤프트럭(TORO 40, 그림 16)으로 사갱굴착시 12%구배에 적용할 수 있도록 하였으며, 2중 특수브레이크를 사용하여 경사지 안전운행을 도모하였다. 또한 배기가스 특수처리로 작업환경을 개선하도록 하였다.

4.4 로봇장비에 의한 슛크리트 및 록볼트 시공

스�크리트 타설은 습식스�크리트 타설용 로봇식장비를 사용하였다(그림 17). 슛크리트의 생산공급은 60m³/hr급 콘크리트 배치플랜트와 6m³적재능력의

믹서트럭을 사용하여 균질한 슛크리트의 공급과 소요강도를 유지하도록 하였다. 록볼트는 점보드릴에 의해 소정의 착공길이로 천공한 후, 유압식자동대차(Charmec 9900bc Twin, 그림 18)를 이용하여 삽입장착하였다.

5. 맺음말

철도는 우리나라의 역사와 함께 많은 난관을 극복하면서 최고운행속도 350km/h까지 성장하였고 철도터널의 시공기술도 과거의 인력위주에서 최신식 기계화장비에 의한 시공으로 수준이 향상되었으며 고속철도터널 건설과정에서 축적된 경험과 외국 감리자를 통한 기술도입은 우리나라 터널의 설계와 시공기술 발전에 크게 이바지하였다. 현재, 공사가 완료된 구간 외에도 앞으로 공사가 예정된 구간에

는 남부지역의 장대터널 구간과 부산 도심지구간 등과 같은 많은 난공사 구간이 있다. 따라서, 기 시공된 터널에서 쌓은 경험과 앞으로 건설될 고속철도터널에서 축적될 많은 터널건설 기술이 우리나라의 터널설계 및 시공기술 발전에 크게 이바지할 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 김병호, 이근, 김종호(2001), 경부고속철도 터널현황,

대한터널협회지 3권2호, pp.26-31
 2. 신종서(2001), 한국철도터널의 변천사, 대한터널협회지 3권2호, pp.6-25
 3. 양종화, 신태은, 김영근(2000), 대단면 장대산악터널에서의 NATM 기계화 시공, 터널과 지하공간, 한국암반공학회, Vol.10, pp.111-120
 4. 한국고속철도건설공단(1999), 경부고속철도건설 신기술 적용 및 품질개선사례, p.109

한국지반공학회 논문집 정기구독 신청 안내

회원 여러분의 안위를 기원합니다.

1999년 1월부터 우리학회의 간행물이 학회지와 논문집으로 분리 발간되었습니다. 학회지는 매월 무가로 회원들께 배포되며, 논문집은 유가로 1년에 20,000원의 구독료를 납부하고 받아 보실 수 있습니다. 필요하신 회원은 다음 사항을 참고하셔서 논문집 구독 신청을 하시기 바랍니다.

다음

- 구 독 료 : 1년 6회, 20,000원
- 신청기한 : 수시(단, 신청시점이 구독료 납부 회계시점임)
- 입 금 처 : 한국주택은행 (예금주: 한국지반공학회) 534637-01-002333
- * 입금 후 반드시 학회 사무국(02-3474-4428, 7865)으로 연락하여 확인하시기 바랍니다.