

# 2000년 터널기술

이인모<sup>1</sup>, 배규진<sup>2</sup>, 박남서<sup>3</sup>, 이두화<sup>4</sup>, 박광준<sup>5</sup>, 한명식<sup>6</sup>

## 1. 서언

협소하고 산악이 발달한 국토를 효율적으로 이용하기 위하여 고속철도, 고속도로 및 지하철과 같은 교통시설을 위한 터널과 산업 폐기물 처리 시설, 에너지 저장시설, 공장 및 발전소 등을 위한 지하공간에 대한 수요가 증대되고 있다. 대부분의 토목이론 및 기술이 매우 느리게 개선되고 발전되는 것이 일반적이던데, 국내에서 터널 및 지하공간 개발에 관한 이론 및 기술은 지난 20년 동안에 혁신적인 발전을 해왔다. 터널 설계를 위한 지반조사 및 탐사기술의 발달은 경이로운 수준에 도달했으며 설계 및 해석 기법 역시 눈부신 발전을 하였다. 그러나, 현재까지도 세부 공정에 대한 Detail Design이나 시공수준은 아직도 많은 문제점을 안고있어 앞으로 해결해야 할 과제로 남아있다.

향후 터널분야에서 해결해야 할 과제로는

첫째, 공사중의 안정성을 향상시키는 일이다. 터널은 안정된 지반중에 인위적인 구조물을 축조하는 것이기 때문에 공사중에 가장 낮은 안전율을 보이는 구조물이므로 공사중의 안전이 영구 구조물의 안전에까지 영향을 미친다.

둘째, 경제적인 터널의 건설이다. 터널도 타 토목 구조물과 경쟁적인 대안관계에 있기 때문에 공사비 측면 및 유지관리 측면에서 경쟁력이 있을 때 적극

적으로 적용될 수 있을 것이다.

셋째, 환경친화적인 구조물이어야 한다. 앞으로의 세상은 자연과 인간이 공존할 수 있는 환경 친화적인 구조물만이 요구될 것이므로 터널 역시 자연 환경피해를 최소화하고 인간과 자연에 이익을 주는 방향으로 기술이 개발되어야 한다.

본고는 2000년 새로운 미래니트를 맞이하여 과거부터 현재까지 적용해왔던 터널 기술에 관해서 재조명 해보고 앞으로 나아갈 바를 제시하기 위하여 마련되었다. 터널 분야에 대한 제도, 기준, 기술, 공법 등 제반 분야에서 지속적인 개선과 기술개발이 이루어졌을 때 터널도 토목 구조물의 한 분야로써 확고한 자리 메김을 할 수 있을 것이다.

## 2. 터널 발전사

### 2.1. 터널의 역사

오래 전부터 인류는 의식주를 해결하기 위해 천연동굴을 이용하거나 이를 연장, 확장하기도 하고, 새롭게 건설하는 등의 소위 터널의 창조를 시작하였다. 인간의 활동이 다양해짐에 따라 터널의 기능은 기본적인 의식주의 해결에서부터 배수, 수송 및 기타 특수용도로 확대되어왔다.

고대 이집트인들은 기원전 3000년경에 이미 피라미드 속에 석실분묘까지 연결되는 사갱을 시공하였으며 룩소르(Luxor)에 있는 왕가의 계곡과 왕비의 계곡에는 도굴을 방지하기 위하여 피라미드 대신 석회암 산 속으로 200m 정도나 터널을 굴착하고 분묘를 설치하였다. 또한 저수조나 수원으로부터 도수하기 위해 운하를 이용하였으나 지형상 문

<sup>1</sup> 정희원 : 고려대학교 공과대학 토목환경학과 교수

<sup>2</sup> 정희원 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<sup>3</sup> 정희원 : (주)대덕공영 대표이사

<sup>4</sup> 정희원 : (주)삼보기술단 대표이사

<sup>5</sup> 정희원 : (주)대정건설턴트 대표이사

<sup>6</sup> 정희원 : (주)삼보기술단 상무이사

제로 운하건설이 불가능할 경우 터널을 건설하였으며 고대 아시리아(Assyria)의 수도 님루트(Nimrud)에 기원전 1240년경 수로터널이 건설되었음을 기록으로 알 수 있다. 그러나 이 당시 터널시공 기술은 매우 기초적인 것으로 선형이나 표고에 큰 오차를 가지고 있었다. 이런 기초적인 터널기술을 높은 수준으로 발전시킨 것은 고대 로마인들로 유럽 최초의 고속도로인 아피아로(Via Appia)와 로마 최초의 수로인 아피아 수로(Aqua Appia)를 포함하여 총 11개의 수로 502km를 건설하였고 이 중 상당부분은 터널로 건설되었다. 이들은 도로터널, 수로터널, 배수터널 등 필요에 따라 터널을 건설하였으며 지보로써 돌과 시멘트를 이용하여 라이닝을 설치기도 하였다.

신성로마제국의 멸망이후 17세기의 소위 운하기(Canal Era)에 이르러 운하용 터널공사가 시작될 때까지 대규모 터널공사의 예는 드물게 나타나고 있다. 이 시기의 터널 대부분은 성과 성 외곽을 연결하는 비밀통로의 역할이나, 중국 감숙성 돈황 부근의 천불동, 인도의 아잔타(서기 5세기 전후)와 엘로라(서기 8세기 전후) 및 우리나라의 석굴암(서기 751년) 등과 같은 종교적 역할로 건설되었다.

근대 유럽과 북미에서는 17세기 말부터 19세기 초까지 약 150년 간의 운하기(Canal Era)와 19세기 초부터 1920년경까지 약 100년 간의 철도기(Railroad Era)에 많은 터널이 건설되었다. 말파스(Malpas) 터널은 랑귀도 운하(Languedoc Canal)라고도 불리우며 1666년 착공하여 1681년 관통, 1692년에 완공되었고 최초의 수송용, 운하 터널이자 화약을 사용하여 굴착한 최초의 터널이다. 최초의 철도터널은 1826년 프랑스(Roanne와 Andrezieux 간 노선)에 건설된 테레노아(Terre Noir)터널이며, 최초의 스팀엔진 철도터널은 워핑(Wapping)터널로 화약을 사용하여 굴착하였으며 이때부터 장약, 발파, 버력운반 등의 굴착 사이클이 정착되기 시작하였다. 최초의 하저터널은 런던 테임즈(Thames)강에 마크·브루넬(Marc

Isambard Brunel: 1769~1845)에 의해 개발된 실드(Shield)공법으로 시공되었다. 1864년 영국인 바로우(Peter Williams Barlow)는 직경 0.9m, 길이 2.4m의 원통형 실드를 발명하여 1869년 테임즈강 하저터널을 시공하였다. 이 터널은 최초로 주철제 세그먼트 라이닝을 사용하였다. 이후 바로우의 실드는 그레잇헤드(Henry Greathhead)에 의해 개량되어 1885년~1889년 사이 런던 지하철에 사용되었으며 오늘날의 실드와 근본적으로 같은 형태를 가지고 있다. 1890년에는 최초의 지하철 터널인 런던 지하철이 완공되었다. 19세기 말 유럽 각국 간의 이용거리 단축을 위해 알프스산맥에 설치한 연장 19.7km의 심프론(Simplon) 터널은 착암기에 의한 습식 천공작업에 의해 굴착된 최초의 터널이며, 썩 고타르트(Saint Gotthard) 터널은 건설 기간 동안 310명의 사망자와 877명의 산업재해 환자가 발생하여 인력굴착으로부터 기계굴착으로 시공법의 전환을 모색하는 계기를 제공하였다. 이처럼 19세기 들어 터널분야의 발전은 터널 지보로써 철과 콘크리트 재의 등장과 새로운 동력원의 등장에 따른 시공의 기계화 그리고 화약의 활용이라는 점이다.

20세기 들어 터널분야는 그 이전에 비교할 수 없을 정도로 크게 발전하였다.

첫째, 터널시공 실적에 있어 1988년 완공된 세이칸(青函) 터널은 일본 홋카이도(北海道)와 혼슈(本州) 사이의 츠가루(津軽) 해협 밑을 통과하는 전장 53.85km의 세계 최장 해저터널로 해저구간의 연장이 23.3km이며 해수면하 240m의 지반을 통과하여 시공되었다. 1987년에 착공하여 1991년 6월에 관통된 총연장 50km의 영국과 프랑스 도버해협을 연결하는 체널터널(The Channel Tunnel)은 세계최대의 민영사업으로 해저부만 38km이며 철도터널 2기 및 서비스터널 1기를 시공하였으며 11대의 TBM이 사용된 최대의 터널로 기록되었다. 이 외에도 1994년 노르웨이 동계올림픽을 위해 건설된 그외빅 올림픽 마운틴 홀(Gj vik Olympic

Mountain Hall)은 폭 62m, 길이 91m, 높이 25m, 주경간 61m인 세계최대의 공동으로 시공되었다.

둘째, 터널시공 공법에 있어 NATM이 전 세계적으로 확산되었다. NATM은 1940년대에 오스트리아에서 개발되어 1960년대에 유럽에서 광범위하게 채용되었으며, 원래 연암정도의 지반을 대상으로 개발되었으나 풍화암, 풍화토를 거쳐 현재는 조밀한 층적층 지반에까지 그 적용범위가 확대되고 있다.

셋째, 지반조사기법에 있어 최근 각종의 지구물리탐사(Geophysical Prospecting) 기법, 지반검층기법(Geotomography), 지반레이더(Georadar) 기법 등과 함께 시추공 카메라(Borehole Camera)와 시추공을 활용하는 원위치 시험기법등이 괄목할 정도로 발전되었다.

넷째, 터널 시공을 위한 사전검토로써 대용량 컴퓨터의 발전과 함께 유한요소법(FEM), 유한차분법(FDM), 경계요소법(BEM), 개별요소법(DEM) 등 수치해석기법에 괄목할 만한 성장을 보였다.

다섯째, 변화무쌍한 지보조건에 대응할 수 있는 각종 보조공법의 개발 및 활용, 실드, TBM등 시공기계의 개발과 개량에 의한 기계화 시공과 자동화 시공이 가능해졌다는 것이다.

이외에도 비개착기술(Trenchless Technology) 또는 마이크로 터널링 등 다양한 굴착기법이 개발·발전되어 왔다.

지금까지 살펴본 세계의 터널기술동향에 발맞추어 우리나라에도 늦게나마 도로 및 철도에 터널도입의 필요성을 인식하여 현재에는 대부분의 구간이 터널로 시공되고 있으며 그에 따라 터널기술도 급속한 발전을 보이고 있다. 이에 본 고에서는 우리나라에서 기 시공된 터널의 종류별 변천을 알아보고 터널시공기술의 과거 및 현주소를 고찰하여 미래로의 과제를 제시하고자 한다.

## 2.2. 우리나라 터널의 변천

우리나라는 1900년대 초 자동차 도로가 개축되기 시작하였으나 1950년대까지는 주요 수송수단으로 사용된 철도의 발달이 두드러지게 나타나고 있다. 그 후 한차례 전란을 겪으면서 대부분의 사회간시설이 파괴되었으나 1960년대 경제개발을 거치면서 도로 및 철도 재건의 필요성이 부각되었고 1960년대 후반 비로소 도로터널의 건설이 시작되기에 이르렀다. 본 장에서는 경제적, 사회적 요구에 의해 건설되기 시작한 도로 및 철도터널의 기술변천에 대해 알아보고 앞으로의 방향을 제시한다.

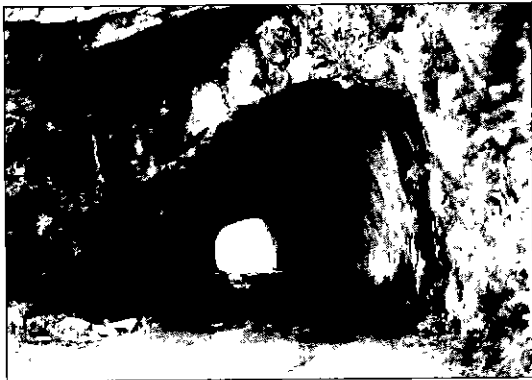
### 2.2.1 도로터널

우리나라는 지형특성상 전국토의 70% 이상이 산지이기 때문에 도로계획시 도로터널의 건설은 필연적이라 할 수 있다. 19세기 이전까지의 우리나라 도로는 우마차가 통행할 수 있을 정도의 너비인 1~2m의 오솔길 수준이었으며, 1910년 이후로 자동차를 위한 도로가 개축되었으나 대중화가 되지 않았으므로 도로터널의 건설 필요성을 거의 느끼지 못하였다. 반면 1950년대까지는 철도가 주요 교통수단이었으므로 우리나라의 터널건설은 철도터널을 우선하여 발전하게 되었다. 1950년대에는 한국전쟁 및 전후 복구사업으로 도로건설이 미흡하였으나, 1961년 이후 수 차례의 경제개발 5개년 계획을 수행하면서, 도로건설이 경제개발에 절대적으로 필요함을 인지하게 되어 도로분야에 많은 투자를 하게 되었고 1960년대 후반이 되어서야 비로소 도로터널의 건설이 시작되었다.

도심지 터널로는 1960년 후반의 남산 1, 2, 3호 터널이 채래식 설계방법인 ASSM 방식으로 시공되었으며, 환기방식은 반횡류식을 선정하였다. 반면 산악터널의 경우는 경부고속도로의 건설을 시점으로 도로산악터널 건설이 본격화되었다.

1968년 경부고속도로에 상·하행분리터널로 연장 135~590m의 6개소(길치, 아감, 당재, 도내, 계룡, 하화터널)를 착공하였으며, 1972년에 호남~남해 고속도로에 연장 169~698m의 4개소(사남, 성

내, 문산, 진영터널)를 착공하였고, 1974년에는 영동고속도로에서 연장 225~625m의 4개소(둔내, 봉평, 화비령, 밤재터널)를 착공하였다. 아울러, 1976년과 1978년에 구마고속도로에 565m의 옥포터널과 남해고속도로에 432m의 진영터널을 각각 착공하여 ASSM 방식에 의한 국내 도로터널공사가 본격화되었다



참옥굴(경기도 연천군도, 1차로, 길이 60m)

그러나, 터널시공경험과 기술력 부족 및 경제성 측면에서 매우 불리한 채래식 터널건설방법(ASSM)에 의존함으로써 터널공사가 그다지 활발하지 못하였다. 경제적인 터널 시공방법인 NATM 공법을 1984년 고속도로 호남터널에 적용시켜 성공적으로 완공함으로써 바야흐로 80년대 중반 이후의 대다수 도로터널공사는 NATM 공법을 적용하게 되었다.

1990년대에 들어서면서 도로터널의 주요 변화는 연장 1km 이상인 장대터널 건설의 본격화와 3, 4차로 터널 등 터널단면의 대형화 및 TBM 등의 특수 기계 굴착장비에 의한 기계화시공 등을 들 수 있다.

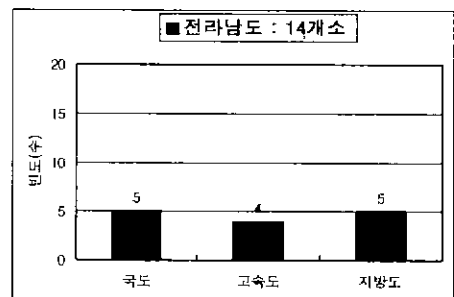
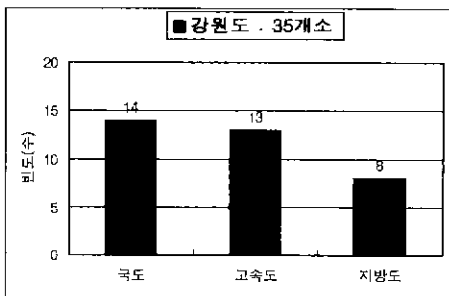
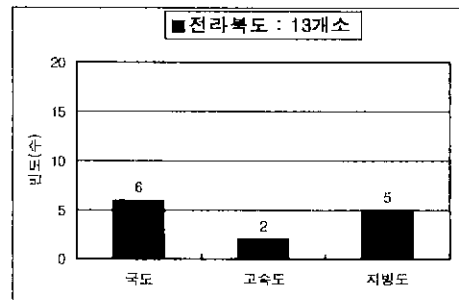
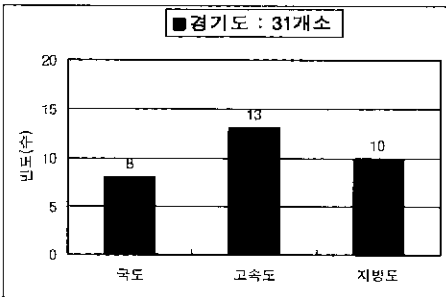
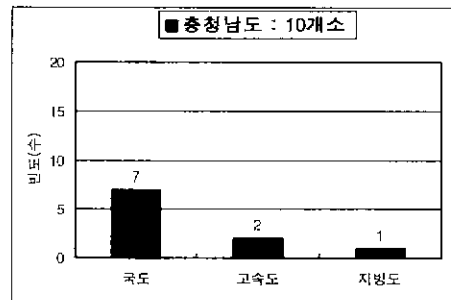
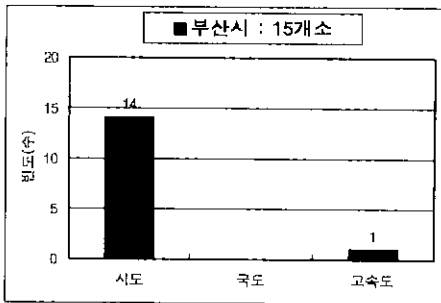
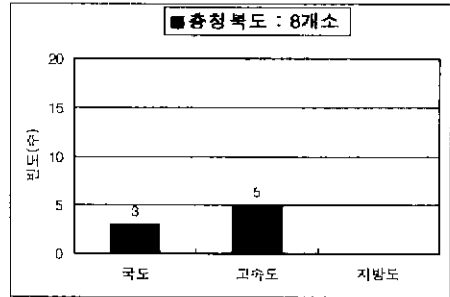
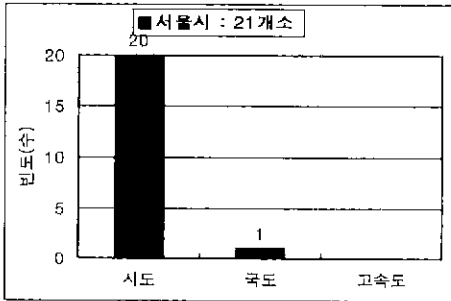
첫 번째 변화로써, 연장 1km 이상인 장대터널이 국도 및 고속도로에서 수십 개소 건설됨으로써 장대화의 주요요소인 환기방식의 기술발전을 또한 이끌게 되었다. 서울 및 부산 등의 대도시 터널에서는 1960년대부터 1km 이상의 장대터널로 횡류 또는 반횡류식의 터널환기 방식이 적용된 이후 현재까지 횡류, 반횡류 방식이 주류를 이루고 있으나 일부 터널에서는 종류식 방법인 젯트펜 방식(북악터널) 및 전기 집진기 방식(수정산 터널) 등이 적용되었다.

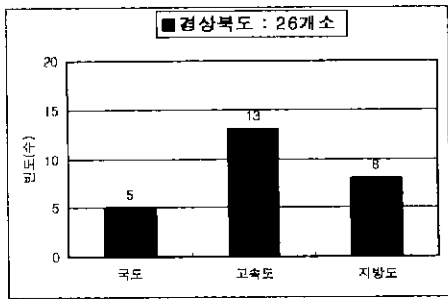
1998년에는 국내 도로터널로는 최초로 수직갱 환기방식인 3.3km의 둔내터널과, 전기집진기 환기방식인 2.1km의 진부터널이 영동고속도로 확장구간에 완공되었다. 또한 환기설계기준에 있어서도 1990년 초반까지는 일본도로협회 또는 수도권고속도로공단 방식이 주로 적용되었으나 1990년 중반 이후로는 국제 환기방식인 PIARC 방식이 적용되고 있으며 현재 국내 실정을 고려한 적용기준 연구가 활발히 진행중에 있다.

두 번째 변화로써, 단면의 대형화는 1995년 국내 최초 4차로 대단면 터널인 서울외곽 순환고속도로 청계터널 완공을 시작으로 수리, 수암, 소래터널 등이 4차로 대단면 터널로서 차례로 준공되어 대단면 터널의 일반화를 이끌게 되었다.

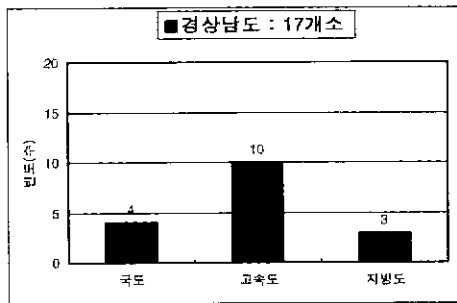
세 번째 변화로써, 기계굴착장비의 사용을 예로 들면 TBM + NATM 공법을 병용하여 시공된 죽령터널의 성공사례를 계기로 현재 시공중인 중앙고속도로 4.5km 구간에 TBM 굴착이 적극적으로 추진될 전망이다.

▣ 국내 도로터널 현황(1999년)





향후 도로터널의 건설추세는 대형화 및 장대화가



필연적일 것으로 예측된다. 따라서 이를 위하여 우선 장대화에 따른 환기시설로 터널내부의 원활한 환기는 물론 터널외부(입출구부 및 환기시설 인접주)의 자연환경보호까지도 감안한 환기시설 계획이 요구되며, 안전시설로 터널내에서 비상상황 발생(화재, 지진, 대형사고)에 대비한 대피, 구난, 방재시설 및 장대터널 운전시 안전운행(시선유도, 지루함 방지) 유도시설이 필요하다.

또한 장대터널 건설공법으로 우리나라 산악지형의 견고한 암질을 감안할 때 지보패턴 간소화, 기계화 시공, 내부라이닝 생략 등으로 공기단축 및 건설경비를 최소화할 수 있는 NMT(Norwegian Method of Tunnel) 공법 적용이 필요할 것으로 전망된다.

끝으로 터널내 환기, 전기, 조명을 자동제어하고, 사고발생 등을 한눈에 감시 자동감지할 수 있고 통합운영·관리가 가능한 터널건설이 필요할 것이다.

### 2.2.2 지하철 터널

지하철이 처음으로 개통된 것은 1863년 1월 10일 영국의 Metropolitan 철도회사에 의해서였으며 그 후 1802년 미국 시카고에 지하철이 개통되었으나 이때까지의 지하철은 증기기관 이었다. 지하철이 전기화된 것은 1890년 영국 런던 지하철이 최초였으며 그 후 전동차가 각국 대도시에 보급되기에 이르렀다. 한편 동양 최초의 지하철이 1927년 일본 동경(東京) 2.2km 구간에 개통된 것을 필두로 1933년 오사카(大阪), 1957년 나고야(名古屋), 그리고 1971년에 고베(神戸) 등 일본의 주요도시에 건설되었으며, 서울에는 1974년 8월 15일 지하철 1호선이 개통되었다. 세계 주요 대도시에 지하철이 다투어 건설되고 있는 것은 인구집중, 활발한 도시활동, 수송수요의 증대, 자동차 폭증 등의 요인이 겹쳐 노면교통이 한계에 도달했기 때문이다. 서울역에서 청량리까지 9.54km에 걸친 지하철 1호선 기공식이 거행된 1971년 당시 서울시 지하철 본부는 이 사업을 일컬어 [민족의 지혜와 기술을 종합하는 역사적 대사업]이라고 표현하였다. 당시 건설은 공사의 빠른 진척과 공사비의 절감 때문에 원칙적으로 전 구간에 걸쳐 개착(Open Cut) 방식이 채택되었다. 이후 서울 지하철 2호선 순환선은 서울을 영동, 잠실, 그리고 영등포의 세 축을 중심으로 다핵 도시화하여야 한다는 이론을 바탕으로 건설되었다. 또한 도시교통의 대중교통수단 체계개편을 위한 지하철 분담을 증대측면에서 도심방사선형으로 관통하는 지하철 노선에 대한 요구의 증대가 지하철 3, 4호선 공사의 계기가 되었다.

지하철 3, 4호선 공사시 터널공사의 획기적인 전환은 도심부 터널공사에서 NATM이 채택되었다는 점이다. 국내 초유로 대단위 NATM을 적용한 터널 시공은 기존의 도시기능을 유지하고 공사에 의해 발생하는 공해로부터 쾌적한 시민생활을 보호한다는 점에도 크게 기여하였으며, 3, 4호선 건설을 조기에 완공시키는데 직접적인 역할을 하였다. NATM의 초기 시행단계에서 국내 건설계 일부에서는 기술여건을 이유로 깊은 우려를 표시하기도

하였으나 국내 기술진의 능력을 신뢰하고 우리도 할 수 있다는 각오로 전문기술 교육과 해외현장 견학을 통하여 자신감을 불러일으키게 하는 한편 NATM용 장비도입을 지원하는 등 시도의욕을 촉진케 하였다. 이러한 적극적인 조치로 건설공사의 공정향상과 더불어 국내 건설업계에도 점진적으로 NATM의 우수성이 인정되기 시작하였으며, 앞을 다투어 NATM의 기술이론을 정립 연구하는 계기가 되었다.

지하철 5호선에서는 시공중 교통장애 최소화를 위해 기존 지하철에서 터널구간의 비율이 16.9%였던 것을 56.4%로 확대 적용하게 되었다. 따라서 각종 굴착공법과 보조공법 등이 다양하게 도입되었고 성공리에 준공되었으나 크고 작은 사고도 많아 그에 따른 원인과 대책 분석 등을 통하여 기술축적을 보다 많이 이루게 되는 계기가 되었다. 국내 최초의 하저터널을 해외 기술진의 걱정어린 시선에도 불구하고 순수 우리 기술진에 의해 성공리에 건설한 것은 지하철 5호선 건설의 큰 실적이라고 할 수 있다.

지금까지 쌓은 터널 시공경험과 기술력을 바탕으로 현재 6, 7호선의 시공이 2000년 7월과 11월에 구간별 개통목표달성에 차질없이 진행되고 있으며 8호선은 이미 1999년 7월에 개통완료 되었다. 지하철 터널의 다양한 크기(단선병렬, 복선터널, 유치선 터널, 정거장 터널)와 형태(연약지반에서의 터널, 소음 및 진동 최소화를 위한 터널, 기존구조물과의 인접한 터널) 등 풍부한 설계와 시공경험에 의해 국내 지하철 터널도 이제는 상당한 수준이라고 자부할 수 있지만 이에 만족하지 말고, 다른 상황에도 효율적, 탄력적이며 합리적으로 대처해 나가기 위한 사전준비와 연구를 지속하여야 할 것이다.

### 2.3. 우리나라의 터널기술

과거에서 현재까지 우리나라의 터널은 생활의 변화와 더불어 기본적인 의식주의 해결에서부터 배수, 수송 및 기타 특수용도로 확대되어왔으며, 20세기 들어 터널분야는 기술의 황금기라 할 만큼 그

이전에 비교할 수 없을 정도로 비약적인 발전을 거듭하여왔다. 도로, 철도터널을 비롯하여 해저터널에서부터 지하공동까지 그 기능상 변화 뿐만 아니라 터널시공 공법에 있어서의 변화도 주목할 만하다. 과거 수송수단으로써의 터널시공을 탈피하여 핵폐기물 저장, 전략 미사일 지하기지 구축, 그리고 대규모 지하도시 개발 등의 요구에 부합하여, 2000년 세천년을 맞이하여 한국암반공학회에서는 우리나라 도로터널 현황과 터널 갱구형상을 정리한 터널 갱구집 발간을 통해 전국 터널현황을 고찰하고 주변환경과의 조화, 조형, 그리고 경과계획을 위한 지침을 제공하기도 하였다. 이에 본 장에서는 우리나라 터널의 과거부터 현재까지의 변화를 알아보고 미래의 과제를 제시한다.

#### 2.3.1 과거

과거의 터널은 흔히 산간 오지의 철도터널을 연상하게 된다. 우리나라의 경우 본격적인 산업화 이전에 주로 농업의존도가 높았고, 산지가 전 국토의 2/3이상을 차지하였다. 따라서 도로나 철도의 건설 시 높은 기술력을 요하며 위험도가 큰 교량이나 터널을 건설하기보다는 값싼 노동력과 저렴한 지가를 고려하여 평지에 선형을 정하여왔다. 1950년 이전 구한말로부터 일제시대에 이르기까지는 경부선·경원선·경인선·경의선·전라선·중앙선·함경선과 호남선 등의 건설에 국부적으로 철도터널이 건설되었으며 이후로 사회간접자본에 편승하여 본격적인 터널시공이 이루어져 경부고속도로 건설을 비롯한 도로건설공사에도 터널이 적용되었다.

이때까지의 터널건설공법은 재래식 공법인 목재지주식 지보공의 이용과 낙후된 굴착장비로 의한 인력굴착이 대부분을 차지하여 많은 인명피해를 가져왔으며 공기 또한 길게 소요되었던 것이 사실이다. 이 당시 터널시공에 대한 사회적 시각은 크게 두 부류로 나눌 수 있다.

첫째, 도로·철도터널 등의 개설로 인한 인접지역과의 획기적인 거리 단축으로 생활권이 확대되었다

는 점에서는 매우 긍정적이었다.

둘째, 이와는 반대로 당시 터널공사나 광산의 갱도 작업 등에 참여하는 사람들은 그야말로 생명을 담보로 한 값싼 노동력으로 늘 상존하는 위험 및 각종 산업질병에 무방비 상태로 노출되어 있었다는 점에서는 부정적이었다.

### 2.3.2 현재

터널기술은 단적으로 표현하면 암반 혹은 토사를 파괴·굴착하여 운반하는 기술과 굴착된 공간을 계속 유지하는 기술로 표현할 수 있다.

전자와 관련하여 과거와 현재의 기술을 비교하면 과거에는 인력에 의한 굴착이 주된 수단이었으며 화약을 이용한 발파기술이 일부 적용되었으나, 현재는 천공, 폭파, 절삭, 폐석처리 등을 위한 기기, 설비, 재료의 개량·개발로 인해 이용기술이 고도화되고 시공기계의 성능향상과 대형화를 가져왔다.

후자, 즉 굴착공간을 계속 유지하는 기술은 지보공이나 복공에 관련된 기술인 동시에 굴착순서나 굴착단면 분할에 관계된 것이라 할 수 있다. 이는 터널설계·시공의 근본을 형성한다. 이와 관련하여 터널굴착에 따른 터널 주변암반에서의 응력 재분배 또는 지보공이나 복공에 발생하는 응력집도 등과 같은 역학적 검토기법에 관한 기술, 안정을 위하여 사용하는 지보에 관한 기술이 과거와 현재 터널기술의 근본적인 차이점이라고 할 수 있다. 지보에 있어서의 변천을 보면 과거에는 목재 지주식 지보공이 주류를 이루고 있었으나 강아치공을 거쳐 점차 록볼트와 슛크리트를 주 지보재로 활용하게 되었다. 이는 터널의 생산성과 안정성 향상을 위한 획기적인 기술로 인식되었으며 지반이완을 최소화하여 터널품질 향상을 도모하였고 이때부터 본격적인 기계화 시공이 이루어졌다.

우리나라 터널의 역사를 돌아볼 때 근대 산업화와 아울러 발달·도입된 현대 터널기술인 NATM 공법은 TBM과 함께 현재 터널시공에 사용되는 대표적인 기술이다. NATM 공법이 본격적으로 도입

된 것은 서울 지하철 3, 4호선 건설공사가 시작된 1980년대 초반이라고 볼 수 있다. 그 당시는 사회적 배경 상 산업화 정책 및 경제개발 계획의 성공적 시행으로 사회간접자본에 대한 정부의 투자 당위성과 아울러 지가의 상승이 뚜렷하여 용지의 수용이 어려워졌을 뿐만 아니라, 각종 민원의 제기로 도로나 도시철도 등의 건설에 있어 터널을 고려하지 않을 수 없었고 이러한 상황으로 터널시공의 본격적 도입을 강요받았다. 이와 같은 시대적 요구와 이 요구에 부응한 터널시공에 수반하여 우리나라 터널기술은 괄목할 만한 성장을 이루었다. 여기서, 우리나라 터널설계 및 시공측면에서의 기술발전을 되짚어 보도록 하자.

NATM 공법이 도입될 당시인 1980년대 초반에는 프로젝트가 복잡하고 대형화되지 않았으며 프로젝트에 참여할 전문 기술인력도 상당히 부족하였다. 따라서, 그 당시 터널설계시 터널기술에 있어 선진국이었던 Austria나 일본 철도협력회 기술자를 초빙하여 기술자문을 받으며 국내 기술자가 터널설계에 참여하는 방식으로 설계를 진행하였다. 그러나 현재에 이르러서는 우리 설계기술자들의 저변확대와 아울러 국내·외에서 터널설계에 관해 공부하여 실력을 쌓은 기술자들이 대거 참여하여 독자적으로 프로젝트를 수행할 수 있는 능력을 갖추고 있다. 이는 도시철도 및 도로, 전력구, 통신구 등의 사회간접자본 시설건설에 있어 수용부지의 고가에 따른 건설비용적 측면, 자연환경 침해에 따른 환경적 측면, 사용자의 의식발달에 따른 집단민원의 제기 등 복합적 요소가 터널설계 기술의 저변확대에 기여했다고 볼 수 있다.

이런 영향은 실제 NATM 공법의 도입 후 서울지하철 건설에 있어 터널구간의 점유율이 도입초기인 1984년 2호선 건설에서는 10% 이하 이었던데 반해, 85년 3, 4호선 건설에서 약 35%, 1992년 5호선 건설에서 약 55% 정도로 증가하고 있는 추세로도 알 수 있다. 언급한 바와 같이 터널구간의 확대에 수반하여 발전된 터널설계 기술을 구체적으로



논하면 다음과 같다

#### 첫째, 조사기법의 발전

과거 시추조사에만 의존하던 지반조사는 근래 들어 시추조사 뿐만 아니라 공내재하시험, 수압파쇄시험, 각종 암석시험, Televiewer, Crosshole Test, Downhole Test, GPR, Borehole Camera 등 현장특수시험을 비롯하여 탄성과 탐사, 전기비저항 탐사기법 등을 도입하는 등 비약적인 발전을 보이고 있으며, 아울러 이렇게 조사된 데이터의 수집, 분석 및 적용하는 기술 또한 상당한 발전을 보였다.

#### 둘째, 지보패턴 결정 및 안정성 해석의 발전

현재 각종 조사로부터 얻어진 결과를 바탕으로 RMR 또는 Q-System에 의해 암반분류를 실시하여 적정 지보패턴 및 굴착단면을 선정하고 있으며, 조사 데이터의 오차보정을 위한 확률론적 방법으로 Monte Carlo Simulation 등이 제시되어 활용되고 있다. 그리고 이렇게 선정된 지보패턴 및 굴착단면의 적정성 평가를 위해 예비설계로써 FEM, FDM, DEM 등의 기법을 이용하여 안정성 해석을 실시하는 것이 보편화되었으며, Coupling 및 복잡다양한 지층조건을 모사할 수 있을 정도로 발전하였다.

#### 셋째, 보조공법 및 계측기술의 발전

예전에는 Pipe Roof 공법과 같이 단순한 공법이 보조공법의 주를 이루었으나 요즘은 강판다단 그라우팅을 비롯하여 Jet Grouting, 차수 Grouting 등 수많은 보조공법들이 개발되어 설계에 반영되고 있다. 계측기술도 과거의 A, B계측 수준을 뛰어넘어 터널완공 후 유지관리를 위한 영구계측을 비롯하여 광섬유, 갱내 탄성과 탐사 기법을 이용한 계측 및 광파기를 이용한 3차원 계측기술이 도입되었다.

위에 언급한 터널 설계기술의 발전에 아울러 터널 시공기술도 터널 시공기계의 발전에 힘입어 크게 성장하였다. NATM 공법 도입초기에는 터널굴착을 Leg Drill을 이용한 인력굴착에 주로 의존하

였으나 이 당시 서서히 도입되기 시작한 Jumbo Drill, 로드헤드, TBM 등의 대형장비에 의해 인력 의존에서 벗어나 상당한 기계화 시공을 이루었다. 그러나 기계화 시공의 적극적인 도입에 있어 고가의 장비가격이 장애가 되고 있는 것이 현실이다.

이에 더불어, 현재의 터널공사에 있어 제도적인 측면에서의 터널 기술발전도를 무시할 수 없으며 대표적인 사유는 다음과 같다.

터널공사는 정확한 굴착지반의 특성을 파악할수록 정확한 설계 및 시공계획이 될 수 있는 특징이 있으나 이는 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 터널의 설계는 예비설계라고 할 수 있으며 이를 근간으로 시공중 막장의 암반상태 및 용수상태, 굴착지반의 변위등을 관찰, 계측하여 굴착방법 및 지보방법을 변경하고 결정해 나가야 한다.

이러한 터널건설의 특성을 고려한 발주시 지반조사비 및 계측을 위한 예산의 책정과 아울러 예비설계를 근간으로 한 굴착 및 지보방법에 대한 변경보장 등이 제도적인 측면에서 발전이라고 할 수 있다. 또한 이러한 특성에 대한 인식의 결과 NATM 공법이 최초로 도입시공된 서울지하철 3, 4호선의 경우 계측감리라는 형태의 설계가 발주된 예도 있다.

#### 2.3.3 미래

현재까지 터널건설은 주로 도로, 철도 등 수송목적, 전력구, 통신구 등 소규모 Utility 공급을 위해 적용되어왔다. 따라서 이들 시설물은 터널단면이 50m<sup>2</sup>~150m<sup>2</sup> 정도로 매우 소규모이다. 그러나 곧 제한된 평면공간에서의 개발은 벽에 부딪칠 것이며 이에 따라 지하로의 새로운 생활공간 개발이 필수적이다. 이제 수송수단으로써의 터널시공을 탈피하여 핵폐기물 저장, 전략 미사일 지하기지 구축, 그리고 대규모 지하도시 개발 등에 주력해야 할 때이다.

향후 핵폐기물, 유류저장, 농·수산물 지하비축 등 저장시설과 미사일 지하기지, 군수물자의 지하비축 등 전략 기지시설, 지하 운동시설, 터미널 등 대규모 지하도시 건설이 예상되며 지금까지의 소형

굴착으로 인한 지반의 변형, 굴진방법이 아닌 지하 암반에서의 대규모 공동형성에 대한 건설기술이 주 과제가 될 것이다.

틸레니움을 맞이한 지금 우리에게 있어 우주개발, 해양개발에 이어 지하개발은 또 하나의 미래로의 도전이며 우리의 당면과제이다.

### 3. 터널 기술상의 문제점 분석과 개선 안 제시

국가의 산업이 발달함에 따라 많은 인적 및 물적 물동량이 도시간 또는 지역간으로 신속하게 이동해야 할 필요성이 대두됨에 따라 철도, 도로 및 지하철망의 고속화와 직선화가 필요하게 되었다. 도심지는 기존의 도로망 및 건축물이 밀집되어 있어 지하화가 불가피하여 지하철이 건설되고 있으며, 도시간에는 국내의 지형 특성상 산악지형이 대부분이어서 장대터널의 시공이 급증하고 있다. 산악지형에서의 터널시공은 공사비 절감 및 자연환경 보존의 측면에서 유일한 대안이 되고 있다.

이와 같이 국내에서 터널의 시공은 단시간 내에 엄청난 양적 팽창을 가져왔지만 질적으로는 아직도 많은 문제점을 안고있는 실정이다.

따라서, 지금부터 국내의 터널 설계 및 시공상의 문제점들을 살펴보고 그 개선 안을 제시코자 한다.

#### 3.1 NATM의 개념에 대한 재조명

##### 3.1.1 NATM의 기본 개념

NATM 공법에서는 슛크리트, 강지보재 및 록볼트로 구성된 가축성 1차 지보재가 지반에 밀착 시공되어 지반이 주 지보재가 되도록 합리적으로 보조해주는 역할을 담당한다. 따라서, 굴착에 의해 교란된 지반은 이러한 1차 지보재의 도움을 받아 변위를 동반하면서 영구적인 안정 상태에 도달하게 된다. 지반 자체의 지보능력을 효율적으로 활용하기 위해서는 지반이 강도를 상실하지 않는 범위 내에서 변위

를 허용하여야 하고 1차 지보재의 지보력은 지반 응력에 대하여 충분한 안전율을 갖는 상태에서 지반 응력과 평형을 이루도록 설계되고 시공된다.

여기서 주지하여야 할 사항은 굴착면 주위 지반의 응력은 시간에 따라 계속 변화된다는 점과 설계 단계에서 파악된 지반정보는 극히 제한적이고 실제 지반 조건과 상이할 경우가 빈번하다는 점이다. 이것은 NATM 공법이 시간성과 지반 변화에 대한 대응성을 그 골격으로 하고 있음을 의미한다.

내부 라이닝은 토압이나 수압을 지지해주고 터널의 내공단면을 확보해주는 역학적 기능 혹은 교통 운행중에 요구되는 부수적 기능을 제공해주는 역할을 담당한다. 1차 지보재만으로 완전하게 안정된 터널에 설치되는 내부 라이닝은 후자의 기능만을 감당하여 (i) 구조물의 수명기간 동안 구조물로서의 기능유지, (ii) 미관유지, (iii) 터널내의 시설물 보호, (iv) 방수기능들을 유지시켜 쾌적한 시설유지를 가능하도록 한다. 그러나, 1차 지보재에 의해 안정된 터널이라 할지라도 시간이 흐르면서 원지반 특성이 저하되거나 또는 지보재 재료의 약화 등에 의해 지보재의 지보능력이 저하된다면 지반은 다시 평형상태를 잃게 된다. 이때에는 내부 라이닝이 구조적인 기능을 담당하게 되므로 토압을 안전하게 지탱할 수 있는 단면으로 설계되지 않으면 안 된다. 방수터널인 경우에는 토압과 원지하수위에 해당하는 정수압에 저항할 수 있는 구조적 기능을 발휘하여야 하며, 배수형 터널이라 할지라도 배수시설의 능력이 유입수를 원활하게 처리하지 못하게 되면 수압이 작용하게 되므로 이에 대해서도 저항하는 역할을 담당해야 한다.

##### 3.1.2 국내의 NATM 터널 설계 개념

현재 국내에서 수행되는 NATM 터널의 설계는 대부분 1차 지보를 영구 구조물로 인정하고 있다. 따라서, 터널은 어떠한 형태로든지 1차 지보재에 의해서 안정되고 내부 라이닝은 터널의 구조적 기능보다는 부수적 기능유지만을 목적으로 하기 때

문에 배수형 터널에서는 자중만 견딜 수 있는 구조로 설계된다. 특히 대상지반의 특성과도 무관하여서 양호한 지반에서나 연약한 충적토사 지반에서도 동일한 개념이 적용되고 있는 실정이다. 하지만 NATM이 원래 산악터널을 대상으로 개발된 공법이고 이 공법의 성공적인 시공실적이 축적되면서 흙 피복이 얇은 함수 미고결 지반을 대상으로 하는 공법으로까지 발전된 공법임을 상기하여야 한다.

국내에서 NATM 적용 경륜은 짧은 편이고, NATM에서 적용되는 1차 지보재 (숏크리트, 강지보재, 록볼트)의 내구성도 확인되지 않은 상태이다. 더군다나 국내의 열악한 시공수준에 비추어 볼 때 토피가 얇은 토사지반 터널에서도 현 1차 지보재가 영구한 안정성을 확보해 줄 수 있을지는 의문이다. 도심지에는 끊임없이 공사가 진행중이고 지반에 전달되는 하중의 변화도 예측키 어려울 뿐 아니라 지하수 오염원들도 산재해 있기 때문에 지하수위 변동에 따른 지반특성의 저하 혹은 1차 지보재 등의 부식 가능성이 높다. 이렇게 해서 1차 지보재의 지보능력과 지반 응력과의 1차 평형 상태가 균형을 잃게 되면 지반은 다시 변형을 동반하며 새로운 안정 상태에 도달하려 한다. 그 결과 토압이 내부라이닝에 작용하게 된다. 따라서 연약 지반에 구축되는 천층 도심 터널에서는 이와 같은 현상을 충분히 반영하여 설계 개념을 재정립하여야 할 필요가 있다.

터널을 굴착하여 지하 자연 지반을 교란시킬 때에는 가능한 한 교란의 정도를 최소화하려는 노력을 기울여야 한다. 이것은 설계에 NATM의 기본원리가 능동적이고 포괄적으로 수용되었을 때 가능한 것이다.

현행 설계는 이러한 측면에 너무 경직되어 있다. 다시 말하면, 설계 자체에 합리성과 지반변화에 대한 대응성이 충분히 고려되어 있지 않아 운영의 경직성과 함께 터널 시공의 더욱 어렵게 하고 있다.

### 3.2 터널 설계상의 문제점

#### 3.2.1 지반조사 및 시험

(1) 현장 지반조건과 터널 굴착공법을 고려한 시험항목 선정

① 터널설계를 위한 지반특성치 산정을 위해 많이 실시하는 실내 실험항목으로는 기본토성실험, 일축압축강도 실험, 압밀인장강도실험, 삼축압강도 실험 등이 있으며, 여기서 삼축압강도실험은 실험이 어려운 반면, 그 자료의 활용도가 미비하고, 또한 대부분의 보고서 상에는 1개의 구속압력 (Confining Pressure)조건에서만 시험을 실시하고 있어 형식적이지만 필수 시험항목 사항으로 규정하고 있다.

② 국내 터널설계를위한 "지반조사 보고서"에 제시된 실내시험 결과를 보면 단지 1개 시험시편에 대한 실내시험 만을 실시하여 결과에 대한 신뢰도를 저하시키는 경우가 많이 있다.

③ 외국의 경우에는 현장압반의 특성과 구조물의 용도, 터널의 굴착공법 등을 충분히 고려하여 시험항목을 선별, 수행하고 있으나, 국내에서는 다양한 지반조건하에서도 일정한 시험항목을 적용하여 설계에 반영하는 획일적인 시험을 실시하고 있다. 따라서 일부 시험 항목의 경우에는 단지 시험 결과치만을 토질 보고서에 제시하고, 이를 설계에 직접 사용하지 않는 경우도 많이 있다.

(2) 설계대상 지반의 현장 지반조사

현재 국내 터널굴착을 위한 지반조사 항목은 크게 현지 지표 지질조사 및 물리탐사, 시추조사 등이 있으며, 도심지역에서는 지표 지질조사 그리고 산악지역에서는 시추조사에 한계가 있다.

① 시추조사의 경우, 지표 노두조사 자료, 수집한 인접구간의 지반조사 자료, 현장 지형의 특성, 시공 구조물의 용도, 지장물의 종류 및 분포상태 등을 종합적으로 분석하여 시추 위치를 선정해야 하고 필요시에는 경사시추와 대심도 시추도 수행해야 한다. 하지만 대부분의 국내터널 현장에서는 시추를 개략적인 등간격으로 실시하거나, 산악터널의 갱구

부 주변에서도 터널 단면의 -2m ~ -5m 부분까지 시추해야 하지만 터널단면 상부의 얕은 심도까지만 수직시추를 실시하고 있는 경우가 많다.

② 시추조사 이외의 보완조사, 즉 지표 탄성과 탐사, 항공사진촬영, Geotomography, 전기 비저항 탐사 등의 탐사 기법의 폭넓은 적용이 필요하지만, 국내의 경우 탐사기술 및 장비가 일반화되어 있지 못하여 그 활용도가 낮고, 결과에 대한 신뢰도 또한 낮은 실정이다.

③ 시추공을 활용한 지하수위 조사는 계절별 변화를 고려한 장기적인 측정이 요구되지만 국내 지하수위 조사의 경우에는 단기간에 한하여 실시하므로 배수시설 및 터널 라이닝의 수압을 고려한 유입량 산정에 신뢰도가 저하되고 있다.

④ 지반조사에 소요되는 경비 측면에서는, 외국의 경우엔 도로 및 철도터널을 기준으로 할 때 총 공사비의 0.1 ~ 2.0%를 지반 조사비로 집행하고 있으나, 국내의 경우는 지반조사의 중요성에 대한 인식 결여로 과소 책정되고 있다. 그러나, Turnkey 프로젝트의 경우 많은 물량의 다양한 시험 및 조사가 수행되고 있으나 설계에 충분히 반영되지 못하고 있는 실정이다.

### (3) 암반분류 및 시공 중 지반조사

① 터널설계를 위하여 지표지질 조사, 시추코어 조사 및 실내시험을 실시하고 있으나 터널의 지보 패턴을 결정하기 위한 RMR값 및 Q-값의 산정은 막장면의 지질조사에 의해 분류되므로 상기 조사 및 시험에 의한 암반분류는 몇 가지 항목에 대해서는 가점치를 사용할 수밖에 없어 신뢰성에 한계가 있다.

② RMR 창안자 Bienawski에 따르면 입력자료가 충분하지 않을 경우 RMR분류법을 사용하지 않아야 하고, 현장 적용시 최소한 2개 이상이 암반분류방법을 적용하여 그 결과를 상호 비교 검토하도록 추천하고 있으나 최근까지 국내에서는 단순히 RMR분류법에 의존하여 사용하고 있다.

③ 터널은 단면에 비해 길이가 매우 긴 구조물로 조사영역이 넓어지며, 지반조사도 지형조건에 따라서 큰 제약을 받게 되므로 시공 전에 지반조사를 완벽하게 수행하는 것이 어렵다. 따라서, 시공 중 지반조사가 필히 요구되지만 국내에서는 일부 공사구간에 한하여 시공 중 지반조사를 실시한 사례가 있을 뿐, 대부분의 현장에서는 시공 중 지반조사가 충분히 이루어지지 못하고 있다.

### (4) 실내 및 현장 시험 결과로부터 지반 특성치 결정

① 국내 대부분의 설계회사에서는 설계와 지반조사가 분리되어 있어 연계성이 부족하며, 조사·시험·계측의 결과에 대한 종합적인 분석능력을 보유한 전문 기술인이 부족한 실정이다.

② 국내의 “터널설계서”중 많은 경우가 조사 및 시험결과를 단순히 나열하는 것에 불과하며, 실제 해석 및 설계에 적용되는 자료들은 현장조사와 시험결과로부터 얻은 자료가 아닌 국내에서 관행적으로 사용된 일반 특성치를 반영하고 있어 해석과 설계에 대한 신뢰성이 저하되고 있다

## 3.2.2 터널의 해석

### (1) 수치해석 단면선정 및 해석영역 선정

① 수치해석을 위한 단면 설정시 현재 Critical Section을 기준단면으로 선정하고 있어, 지반 조건이 양호한 구간의 경우 슛크리트 응력, Rock Bolt축력 등이 허용응력에 크게 미치지 못하므로 안전 개념이 아닌 과대 설계가 될 수 있다.

② 수치해석에 의한 해석영역 산정에도 문제점들이 발견되고 있다. 일반적으로 단일 터널보다는 병렬 터널에서, 소단면보다는 대단면에서 해석영역의 폭을 적게 잡아 해석하는 경향이 있다.

### (2) 측압계수의 결정 및 적용

터널 해석시 측압계수(K<sub>0</sub>)는 심도 및 지질구조 등에 의해 큰 차이를 보이므로 이를 결정함에 있어

현장조사 및 문헌조사의 수행이 선행되어야 하며, 국내 현장에서 실측한 사례로는 둔내터널 현장(1.8 ~ 2.5), 대구지하철 현장 (1.5 ~ 2.0 ; 심도 - 50m), 도시터널 시공구간(1.2 ~ 3.7)으로 지표부근에서 횡방향 압력이 크게 나타났다.

그러나, 이와 같은 실측에 의한 적용사례를 제외하고 대부분의 국내 터널해석에 사용되는 축압계수는 일반적인 관행에 따른 값을 사용하고 있어 터널의 해석결과에 대한 신뢰성이 감소되고 있다.

### (3) 해석용 Tool의 선정 및 검증

① 외국의 경우, 공동해석이나 주요 터널의 해석에는 개별요소법(DEM)이 이미 일반화 되어 있으나, 국내에서는 아직까지 유한차분법(FEM)이나 유한요소법(FEM)에 의한 해석이 주로 행해지고 있다.

② 터널 및 지하공동에서의 지하수 흐름해석 및 지하수 유입량 해석의 경우, 국내에의 연구실적이 미흡하고 현장 적용성이 결여되어 적절한 유입량 산정이 이루어지지 못하고 있다.

③ 여러 종류의 터널 해석용 S/W가 실무에 활용되고 있지만 이들의 정확성에 대한 검증은 여전히 숙제로 남아있고, 또한 해석자 각각의 주관적인 결과를 유도하므로 해석을 위한 제반 기준의 선정이 요구된다.

### (4) 하중분담율의 결정

3차원적인 응력분포 가정을 위한 하중분담율의 해석 결과에 미치는 영향은 매우 크지만 현재 하중분담율의 합리적인 결정이 이루어지지 못하여 해석자에 따라 분담율의 적용 편차가 매우 크게 나타나고 있다. 특히 숏크리트가 타설되지 않는 경우, 측벽도강 선진공법이 적용되는 경우, 크기가 서로 다른 평행한 터널을 굴착할 경우등에 관한 정립이 부족하다.

## 3.2.3 터널의 단면 설계

### (1) 콘크리트 라이닝의 작용수압 및 철근보강

① 국내 터널설계에서 배수형 터널의 구조해석시 콘크리트 자중만을 고려하는 경우가 많았으나, 최근 배수기능 저하에 따른 라이닝 배면의 잔류수압과 1차 지보재의 지보능력 저하로 기인한 초과하중을 터널설계시 고려하는 설계자가 증가하고 있어 이에 대한 심도 있는 연구와 설계기준의 제시가 요구된다.

② 절리의 발달이 매우 적고, RQD가 70이상이며 코어 회수율이 거의 100%에 가까운 경암지역에서 비배수형 터널을 설계할 때, 지하수압의 산정기준이 미비하여 임의의 수압 감소계수를 적용하거나, 전체 정수압으로 고려하고 있어 과대 또는 과소설계의 우려가 있다.

③ 터널설계 전문가기술자들의 콘크리트 라이닝 철근보강 개념이 서로 상이하여, 라이닝 전체 철근배근을 주장하는 경우와 모멘트가 크게 걸리는 Invert부에만 철근배근을 주장하는 경우가 있어 철근배근에 관한 연구가 필요하다.

### (2) 본선 이외 터널단면 및 갱구부 설계

① 터널내 확폭단면, 비상주차대, 피난 연결통로 등의 상세단면 설계와 굴착 및 지보방법 등에 관하여 그 중요성이 인식되지 못하여 설계가 누락되는 경우가 많다. 또한 도로터널의 경우, 쌍굴 터널설계시 Pillar의 두께, 보강방법, 1차 굴착터널의 선정기준 등이 경직되게 적용되고 있어 경제적인 설계를 못하는 경우가 많다.

② 지반조건이 불량하고 온도변화, 응력집중, 편토압 등이 고려되는 터널 입·출구 부에 관한 보강법 및 도면설계 등이 대부분 누락되어 있으며, 특히 보강구간을 짧게 하여 현장에서 라이닝의 균열문제가 대두되는 경우가 많다.

### (3) 지보설계 및 보조공법

① 국내 TBM 터널설계서에는 TBM의 특성을 고려한 지보설계가 정립되지 못하고 단지 RMR값

을 20% 상향조정한다고 되어 있어 터널의 크기, 지반의 상태, 굴진조건 등을 고려한 적정지보 설계가 미비하다.

②Forepoling 공법, Pipe Roof 공법, 강판다단 그라우팅 공법 등의 보조공법들이 대부분 설계과정 없이 시공시에 경험적으로 적용되고 있어 보조공법에 관한 설계방법이 요구된다.

### 3.3 시공상의 문제점

터널의 시공은 설계자의 의도대로 신속하게 구조물을 완성하여 이용할 수 있도록 하여야 한다. 이를 위하여 시공자는 설계자의 의도와 설계된 공법을 충분히 파악하고 이해한 후 시공에 임해야 한다. 그러나, 터널 공법에 대한 국내의 기술 수준이 아직 충분치 못하고, 더욱이 한정된 기술 인력에 비하여 과도한 공사량의 동시 발주 등으로 인하여 상기와 같은 시공자의 요건을 충족시키지 못하여 철저한 시공관리가 어려운 경우가 종종 있다. 특히, 각 작업 공정에 투입된 인력이 각각 별도로 관리되고 운영되고 있기 때문에 작업 공정의 연결이 순조롭지 못하고 휴지 시간 등 손실이 많이 발생할 뿐만 아니라 NATM의 기본 원리인 시간성 준수를 크게 저해하는 요인이 되고 있다.

#### 3.3.1 터널의 방수 및 배수

터널의 방수 및 배수는 터널 구조체에 작용하는 수압을 조절하고 장치 열차 운행에 필요한 설비 및 미관상의 조건들을 만족시키기 위하여 다루어지는 매우 중요한 항목이다. 그러나, 개념에 대한 이해 부족으로 방수 및 배수시설 시공에 있어서 부적절한 경우가 종종 있다.

시공중에는 안정성 확보를 위하여 막장면의 배수 처리가 매우 중요하다. 특히 풍화도와 같이 물과 접촉했을 때 강도가 현저히 저하되는 지반에서는 막장에서의 신속한 지하수 처리가 무엇보다 중요한 공정이다. 현장에 따라서는 지반 상태가 비교적 양호한 경우 막장에 지하수가 고여 연못을 이루고 있

는 경우도 있는데, 이 경우에는 지하수로 인한 지반의 강도 저하는 심각한 일이 아니나, 막장에서의 작업성 불량으로 굴착에 이어 연속되는 슛크리트, 록볼트 등의 주요 지보재 설치 작업시 품질 저하의 요인이 되기도 한다.

방수막 설치중에 부주의로 인하여 방수막에 손상이 발생하거나, 대단면 터널의 경우 라이닝용 철근 거치를 위하여 방수막을 관통하여 앵커 록볼트를 시공하는 사례도 있으며, 구조물 접합부에서의 방수막 접합이 소홀한 경우 등도 있다. 이러한 일들은 내부 라이닝 누수의 원인이 되며, 내부 라이닝 시공 후에 방수막의 손상을 보수 하기는 매우 어려우며 비용도 고가 이다. 따라서, 터널 시공 시에는 방수막에 작은 손상도 발생치 않도록 철저한 시공관리를 하여야 한다.

#### 3.3.2 터널 내공 치수 확보 및 부족시 대책

터널의 내공 치수는 안정성을 확보할 수 있는 지보재 설치와 원활한 열차 운영을 보장할 수 있는 범위 내에서 최소값을 확보하여야 한다. 이를 위하여는 시공시 각종 오차를 고려하여 적절한 여유를 가지도록 정밀 시공하여야 한다.

터널의 시공중 내공이 부족한 경우의 대책은 궤도 선형 수정, 내부 라이닝의 두께 조정, 단면 제형성 등 여러 가지가 있으나 내공 부족 상황이 인지된 시점에 따라 대책도 다르게 된다. 즉, 내공 부족 상황이 시공 초기에 인지될 경우 대책은 더 쉬워진다. 이를 위하여는 터널 시공중에 정밀한 내공 측정을 통하여 항상 내공의 크기를 확인하여야 한다.

#### 3.3.3 1차 지보 시공 및 품질 관리

1차 지보재는 터널의 안정성을 유지하기 위한 주 지보재이므로 시공시에는 품질관리에 주의를 기울여야 한다. 1차 지보는 크게 슛크리트, 철망 (Wire Mesh), 강지보, 록볼트 등으로 구성된다.

##### 1) 슛크리트

쑏크리트의 품질과 시공 시기 등이 터널시공의 성패를 좌우한다는 인식이 작업원까지 도달되지 못한 시공 현상이 많이 있음이 분석되었다. 굴착직후에 쑏크리트가 타설될 수 있도록 사전에 준비된 현장은 많지 않다. 이것은 작업 공정별로 별개의 팀이 형성되었기 때문에 팀간의 인수 인계와 책임 한계가 불분명하고 동일한 목적을 수행한다는 인식이 절대적으로 결핍된 결과로 분석할 수 있다.

쑏크리트 품질 면에서도 쑏크리트 타설 각도 및 배합 등에 문제가 있어 쑏크리트의 부착성이 저하되거나 강도가 저하되는 일들이 종종 관측되고 지반과 쑏크리트 사이에 공극이 발생하여 터널 전체의 안정성을 해치는 시공이 목격되기도 한다. 최근 국내의 쑏크리트가 건식에서 습식으로 전환되어 작업 환경은 많이 개선되었으나 공정의 연계성이 원활치 못할 경우에는 과도한 손실이 발생하기도 한다. 따라서, 작업원들의 쑏크리트에 대한 전반적인 인식의 전환과 작업 환경의 개선만이 양질의 품질을 보장해 줄 것이다.

## 2) 철망

1차 철망은 지반에 밀착되어 쑏크리트가 지반에 잘 접착될 수 있도록 도와주고 구조적 보강효과를 최대한 발휘할 수 있도록 하여야 한다. 편의성 위주의 시공결과로 인하여 강지보재 위에 매에다는 경우가 있다. 이렇게 되면 쑏크리트 타설시 철망이 진동을 하게 되어 쑏크리트가 지반에 올바르게 부착되지 못하게 된다. 격자 크기가 너무 작은 (50mm) 철망을 겹쳐서 시공하게 되면 격자 크기가 더욱 작아져 철망 배면에 공극이 발생하게 된다. 따라서 특정 목적을 위한 경우가 아닌 일반적인 경우의 철망 눈금 크기는 100mm가 적합하다.

2차 철망을 두는 경우는 철망의 위치를 가능한 내측에 배치하여 구조적인 보강 효과를 증진시키도록 함은 물론 종방향으로 강지보재를 기준하여 절단되지 않도록 하여야 한다. 철망은 중/형 모두 충분한 겹이음이 되도록 해야 하며 상/하반 연결부에

서도 충분한 겹이음이 되도록 하여야 한다. 철망의 배치 연결 문제에 있어서 현행 시공 수준은 개선의 여지가 많다. 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 최근에는 습식 쑏크리트에 강섬유재를 섞어서 타설함으로써 철망의 사용을 배제하고 있다.

## 3) 강지보재

강지보재는 암피의 붕락으로 부터 작업원을 보호하고 쑏크리트 강도가 발현되기 이전의 1차적인 터널 안정을 도모해주기 때문에 충분한 강성을 가져야 할뿐만 아니라 협소한 공간에서 취급하기에 편리하도록 크기와 단면을 결정하여야 한다. 또한, 쑏크리트의 파복 두께를 유지해야 하기 때문에 쑏크리트의 두께에 제한을 받기도 한다.

현행 강지보재 시공에서는 각 연결부의 체결 상태가 양호하지 못하고 많은 경우에 간격재를 L-형 강재로 사용하도록 되어 있어 쑏크리트 타설이 양호하게 되지 못하게 하는 경우가 발생한다.

강지보재는 H-100×200 단면이면 충분할 것으로 사료되며 플랜지 배면의 공극부를 없애기 위해서는 삼각지보재(Lattice Girder)또는 강섬유보강 쑏크리트 등의 과감한 적용이 필요하다.

## 4) 록볼트

록볼트는 충분한 접착응력이 발생하여 지반을 보강하거나 암반의 절리를 봉합하는 효과를 발휘하여야 한다. 그러나, 현장에 따라서 천공홀에 록볼트를 삽입한 후 충진을 하지 않거나, 충진후 지압판 등 두부를 체경하지 않은 상태에서 수일씩 방치하는 일들이 있어 록볼트의 효과가 충분히 발휘되지 않는 경우가 종종 있다. 특히 Swellex 록볼트와 같은 팽창형 록볼트 사용시에도 록볼트 설치와 동시에 팽창을 시키지 않고 방치하는 등 사용제품의 특성을 충분히 파악하지 못하고 시공되는 경우도 있다.

록볼트는 터널 주변을 보강하여 주는 역할을 하나 터널 천단부의 얇은 암피복을 넘어서 포화된 충전토가 있는 경우 록볼트 시공은 지하수 유입을 초

래할 수 있으므로 지반에 따라서는 그 사용을 자제하여야 하는 경우도 있다.

### 3.3.4 내부 라이닝 시공 및 품질 관리

내부 라이닝은 터널 구조체중 제일 안쪽이므로 외관 및 구조적으로 모든 조건을 만족하여야 한다. 이를 위하여는 라이닝 시공시 콘크리트의 품질, 타설 길이, 양생 조건, 철근 배근 상태 등 모든 면에서 철저한 품질관리를 하여야 한다. 특히, 라이닝이 구조적으로 필요한 두께를 유지하도록 각별히 유의하여야 한다. 이를 위해서는 내공측정용 신 장비를 도입하여 관리하도록 하여야 한다. 라이닝에 발생한 균열을 구조적 및 외관상으로 문제를 유발할 수 있으므로 세심한 시공을 요한다. 현재 국내 터널의 최대 문제점은 천장부에 발생되고 있는 종균열이다. 터널 천장부의 종균열발생은 설계상에도 원인이 있으나 시공에 더 많은 원인이 있다. 시공상의 원인으로는 과대 발파에 따른 주변암의 장기적인 Creep하중 발생, 물시멘트비의 부적합, 거푸집의 조기 탈형, 다짐불량등 많이 원인들이 복합적으로 작용하고 있다.

### 3.3.5 진동 및 소음

시공시의 진동 및 소음원은 주로 시공 장비의 운행과 발파이다. 이러한 진동 및 소음에 대한 시공관리는 주로 진동의 상한치를 구조물 별로 구별하여 일정한도 이하로 제한하는 방법을 사용하여 진동에 의한 구조적인 피해 측면만을 초보 단계의 평가 방법으로 평가하고 관리되어 왔다. 한편 시공시의 소음 및 진동에 의한 환경적 피해측면은 대체로 무시되어져 왔다.

그러나 근래 문제시되고 있는 집단 이기주의 등에 능동적으로 대처하고 보다 효율적인 터널 시공을 위하여는 시공시의 소음 및 진동에 의한 환경적 피해에 대하여도 충분한 주의를 기울여야 할 것이다. 아울러 충분한 홍보도 실시하여야 함을 염두에 두어야 한다.

### 3.3.6 설계 변경

NATM의 설계는 한정된 지반정보를 토대로 실시되고 굴착대상 지반도 변화가 심하기 때문에 최종 설계의 성격보다는 예비설계의 성격을 띠게 된다. 이 공법의 원리 또한 실제의 지반 거동에 민감하게 대처해 가면서 시공하는 것이다. 이는 NATM에서의 설계 변경은 필연적인 사항임을 내포하고 있다 하겠다.

현행 시공 단계에서의 설계변경은 그다지 순조롭지 못하다. 그것은 설계가 경직되어 있고 변경사항에 대한 기술적인 판단에 대한 신뢰성과 이에 대한 수용의 한계성에서 기인되고 있다고 분석할 수 있다. 이러한 문제를 해결하고 합리적인 시공을 이룩하기 위해서는 기술력의 향상과 이의 적극적인 활용이 보편화되어야 한다.

## 3.4 제도상의 문제점 및 개선 사항

터널이 경제적이고 안전하게 시공되고 기술이 점진적으로 발전되기 위해서는 사회적인 여건 조성과 제도적인 지원이 필요하다.

### 3.4.1 현장 근로자에 대한 인식

현장 근로자는 일반적으로 "막장 인부"로 지칭되고 있으며 이는 사회적으로 낮은 계층으로 인식된다. 그러나, 터널 시공에서의 현장 근로자는 특정한 기술 및 기능을 지닌 기술인 또는 기능인이며, 실제 시공되는 터널의 품질은 이들에 의하여 지배된다. 따라서, 현장 근로자에 대한 사회의 인식 및 현장 근로자 자신들도 "후손에게 물려줄 유산을 건설한다"는 생각으로 자신들에 대한 인식을 전환할 수 있도록 사회적 여건을 만들어 주어야 한다. 이를 위해서는 주민들의 의식 전환과 근로자들에 대한 사회적인 보상이 마련되어야 한다

### 3.4.2 기술자 양성 체계 (기능인)



현재 터널 시공 기능인들은 대부분이 체계적인 교육 없이 막장에서 선배 기능인으로부터 특수한 기능들을 전수 받는다. 이러한 방법에 의한 기능 전수는 매우 독자적인 기능으로 발전되는 수도 있지만 와전 및 왜곡되어 전수되는 경우가 더 많다. 그리고 장기적으로 지속되지도 못한다. 따라서 기능 인력의 제도적인 양성 기관을 신설하여 자격 취득자를 대우해주고 지속적으로 관리 해주는 체제가 확립되어야 한다.

### 3.4.3 공사 운영 조직

대부분의 터널공사는 발주처로부터의 1차 도급 후 터널 공정을 몇개로 나누어 각각 제도급 된다. 따라서, 실제 공사를 수행하는 시공팀은 굴착팀, 지보설치팀, 보조공법 시공팀 등으로 분할 구성되며 상호간의 협조체계가 원활하지 못하여 공정간에 시간 지연을 물론 부실 시공을 발생시킬 수 있다. 이러한 분할된 시공팀에 의하여는 신속한 연계조치가 어려운 바, "다기능 팀"을 운영하여 시공함으로써 굴착, 지보설치, 보조공법 등의 전 시공 과정을 단일팀이 모두 수행할 수 있도록 하여야 한다.

### 3.4.4 제도상의 제약

NATM은 본래 지반 조건에 맞추어 지보패턴 등을 적절히 변형하며 막장 상태에 신속히 대응하는 터널 공법이다. 그러나, 현재 대부분의 공구에서 적용되고 있는 발주자-시공자의 관계는 이러한 설계변경을 사실상 어렵게 하고 있으며 원칙적으로 억제되고 있다. 따라서, 설계변경, 신기술 도입 등이 합리적으로 수용될 수 있는 제도를 마련하여야 한다.

최근 도로, 철도 및 지하철터널 공사에서 채택하고 있는 일괄 도급 방식(Turn Key)은 시공자의 책임 및 비용부담 하에 자유로운 기술적용이 가능한 제도이므로 NATM 터널 시공 측면에서 볼 때는 바람직한 방법이라고 판단된다. 그러나 보다 좋은 제도를 위하여는 과거 설계에 얽매이지 않는 진취적인 사고와 부단한 연구/개발이 있어야 할 것이다.

## 3.5 터널 기계화 시공

기계화 시공을 이용한 터널굴착은 전세계적인 추세이며, 우리나라에서도 그 이용도가 증대되고 있다. 기계화 터널시공의 기술상 문제점들과 그 해결점들을 나열하면 다음과 같다.

- 기계화 시공과 관련한 각종 용어의 통일된 정의와 함께 기계화 시공육성을 위한 기계손료의 합리적인 계상
- 기계화 시공법의 선정기준, 기계기종의 선정 기준, Backfill제의 강도기준 등, 각종 기준의 정립 및 시공요소 기술의 통일된 시방수립
- 특수지반(토사-경암 복합지반, Core stone 내제 토사지반, 피압수대 형성지반 등)에 적용할 수 있는 특수 쉴드 TBM기의 개발 유도 또는 관련 보조공법의 개발
- 대구경 쉴드 TBM 시공시 굴진효율 증대기술의 개발
  - 터널 선형조정기술(곡선부, centering, 침하 문제) 확보
  - 고효율 Bit, 고강도 Cutter의 국산화
  - 급속 시공 및 안전성이 우수한 세그먼트 라이닝 제조 및 설치 기술개발
  - 막장 전방지반이 정밀조사 기술확보(비파괴 탐사기술, 베틀분석기술, 기계작동력 분석기술 등)
  - 기계화 시공분야에 맞는 보조공법 등 취약지반 대응기술 확보
- 쉴드 TBM 관련 거동 메카니즘 규명 및 각종 해석 기술들의 개발
- 국내 기계화 시공 특성을 반영한 굴착 및 지보 설계가 가능하도록 국외 지반분류 시스템에 대한 도입 및 수정, 보완(1993, 1999년 Nick Barton의 QTBM, 1969년 Peck의 토사터널의 지반분류법 등의 검토)
- 기계화 시공시 주변환경 보호를 위한 각종 기

술(지반침하의 예측 및 억제기술, 인접 구조물의 안정성 평가기술, 지하수 오염방지기술, 버력 처리기술 등)의 개발

- 국내뿐만 아니라 해외 기계화 시공현장의 수가 늘고 있는 점을 감안, 쉘드 TBM의 국산화 방안 재검토 필요

### 3.6 검토 및 결과

터널은 단면 크기에 비해 길이가 매우 긴 기하학적 특성을 가지고 있고 다양한 지반상태를 대상으로 시공되며, 조사, 해석, 설계 시공 및 관리의 각 부분마다 또한 많은 제약조건들을 가지고 있다. 따라서 타 구조물의 설계에 비하여 예비설계의 개념이 강하지만 정확도와 신뢰도를 높여 나가는 것이 매우 중요하다.

상기에 언급된 설계 및 시공상의 문제는 각각의 항목이 서로 연관성을 가지고 있어 터널 시공시 임의의 가정이나 획일적인 적용은 해당 터널구조물의 안전도를 감소시킬 수도 있고, 혹은 시공비 과대산출의 원인이 되기도 한다.

따라서, 국내 터널 구조물의 질적 향상을 위해서는 상기 언급된 설계상의 문제뿐만 아니라 시공상의 문제를 연구, 검토하여 현장에 적합한 설계방법 및 시공법을 제시하여야 하며, 각 설계항목들에 대한 체계적이고 지속적인 연구개발이 요구된다.

## 4. 미래의 터널기술

### 4.1 개요

미래에 소요될 터널기술을 현상태에서 정확히 예측하는 것은 매우 어렵다. 하지만 지금까지의 연구 개발현황과 선진외국의 터널기술 개발동향을 파악해 보면 우리 나라가 앞으로 추진해야할 개략적인 방향은 제시할 수 있다고 생각된다. 선진외국의 경우 재래식 터널건설기술, 즉 인력굴착이나 발파에 의한 굴착보다는 현재에는 대다수 국가들이 기계

화, 자동화시공에 대한 연구를 많이 수행하고 있는 실정이다. 따라서 미래의 터널기술은

1) 조사의 경우 광역의 지반을 보다 정밀하게 조사할 수 있는 정밀물리탐사장비 개발 및 실용화 기술이 미래에는 크게 각광받을 것이다.

2) 기계화 시공의 경우 암반을 안전하게 굴진하면서 초고속으로 굴진할 수 있는 관련기술 개발이 체계적으로 수행될 필요가 있으며, 심해나 극한지, 대심도 등에서도 작업할 수 있는 건설로봇 개발 등 자동화 기계굴착기술이 미래에는 반드시 요구될 것이다.

3) 대심도 지하공간내에서 화재, 사고등이 발생했을 때 이를 효과적으로 처리할 수 있는 방재기술 개발이 필요하다.

### 4.2 21세기의 터널기술

먼 미래보다 가까운 장래에 개발될 가능성 높은 선진기술들을 파악·제시하기 위하여 1999년 6월 ITA 창립 25주년 기념 Open Session인 “Past, Present and Future of Tunneling”에서 Eisenstein 교수, Broch 교수 및 Pelizza 교수가 발표한 내용들과 Tunnels & Tunneling International, Ground Engineering, Norwegian TBM Tunneling, 土木技術 등의 최근호, Tunneling Activities in Japan 2000 등의 자료들을 조사·분석한 결과 21세기의 터널기술은 Drill & Blast Method와 기계화 시공기술이 함께 발전하여 나갈 것으로 예견한 바와 같이, 각각의 기술이 갖고있는 우수성 때문에 그 우수성을 좀더 발전시켜 나가는 방향으로 기술개발이 이루어질 것으로 판단된다. 각 기술분야별 발전방향은 다음과 같이 정리할 수 있다.

#### 4.2.1 Drill & Blast method

이 공법은 같은 장비와 재료로서도 다양한 지반조건에 적용 가능하고 다양한 터널 크기 및 형태를 만들 수 있는 공법이며, 터널 굴착시 나타난 지반의 상

태를 육안으로 직접 확인하고 발생하는 매 상황마다 적절한 조기대응이 가능하기 때문에 21세기에도 다음과 같은 분야를 중심으로 한 기술 발전이 이루어질 것으로 판단된다.

- Computerized Drilling Rig 및 자동화 굴착지보 설계기술의 개발
- Drilling hole내의 각종 지반정보의 조사, 분석, 가공, 제공
- Tunnel contour의 정밀 mapping 및 선형조정
- Drilling Rig 가공정보의 자동분석을 통한 다음 단계의 최적 굴착, 지보 설계
- Blast round의 길이가 9m를 초과하는 장공 발파 및 환경친화형 기술 등

#### 4.2.2 터널기계화 시공기술

나라마다 국가경제가 발전하여 경제 선진화가 이루어지게 되면 필수록 국민들의 삶의 질 향상에 대한 욕구가 증대됨과 아울러 친환경적인 건설의 요구도 또한 커지게 된다. 특히 경제선진화는 예외 없이 노동시장에서의 High labour cost 문제를 발생시키는데, 이를 근원적으로 해결할 수 있게 해주는 터널기계화 시공법은 21세기에 들어 보다 급속도로 발전하게 될 전망이다. ITA 창립 25주년 기념 Open Session에서 Eisenstein 교수는 "The ultimate dream of mechanized tunnelling is a TBM capable of handling any type of ground" 라고 밝힌바 있다. 이는 21세기 터널기계화 시공 기술의 개발 방향과도 일치한다고 볼수 있으며, 여기에 "Any hape and size of tunnel"을 덧붙인다면 밀레니엄 시대에 보다 걸맞는 기계화 시공기술의 궁극적 개발목표가 될 수 있는 것이 아닌가 싶다.

기계화 시공관련 미래기술의 개발분야는 기존의 타산업 분야에 활용되고 있는 첨단기술의 응용분야, 기존 고정관념을 타파한 Idea 분야, 신소재 및 고성능 기계, 장비 개발 분야 등 크게 3분야로 구분할 수 있으며, 주요개발 기술로는 인간 삶의 질 향상에 초점을 둔 환경친화성 기술과 고임금 문제 해결을 위

한 공장 생산 및 조립화, 자동화, 로봇화 기술들이 될 것으로 판단되며, 우선적으로 필요한 제반 요소들을 3.5절에 상세히 기술하였다.

## 5. 결론

국내에 NATM 공법이 도입 된지 20여년만에 국내의 모든 터널건설에 적용되어 성공적인 시공을 하게 된 것은 그 동안 국내 토목기술자들의 노력에 의해서 이루어낸 성과라고 생각된다. 그러나, 아직도 터널기술은 미개척분야가 산재해 있고 개선하고 개발해야할 분야가 많기 때문에 더 많은 전문기술자들의 참여와 연구가 요구되고 있다.

국내 현장에 적합한 터널신기술을 개발하는데는 많은 시간과 노력이 필요하다. 따라서 외국에서 개발된 신기술을 국산화하는 방안도 하나의 전략이라고 판단되며, 우리나라 자체의 기술력 확보를 위해서는 무엇보다 국내실정에 적합한 신기술을 자체개발하여 국가경쟁력을 향상시키는 것이 중요하므로 신기술개발을 활성화 할 수 있는 모든 제도적, 정책적 지원체계의 구축이 이루어져야 할 것이다.

현재까지의 터널공학분야의 기술개발은 도로터널이나 철도터널 등과 같이 사용목적에 국한하여 단일용도의 터널을 건설하기 위한 기술개발이 이루어지고 있었으나, 미래의 터널기술개발은 단일용도의 구조물로 생각했던 기존의 관념에서 탈피하여 쾌적함과 자연미를 느낄 수 있는 자연친화적인 구조물로 인식하는 개념의 전환이 선진외국을 중심으로 이루어지고 있다. 이와같이 터널에 대한 인식의 전환으로 선진외국에서 환경친화적인 터널건설기술의 개발과 안락함과 자연미를 추구하는 터널의 건설을 위해 자연채광의 도입이나 쾌적함을 느낄수 있는 터널 내부의 설계에 대한 구상들이 논의되고 있다.

이와같이 선진외국에서 구상하고 있는 미래형 터널의 유형을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 앞으로는 건설분야에서도 환경친화적인 기술

이 더욱 절실하게 요구될 것이다. 이점을 감안할 때 향후 터널의 수요증가는 터널시공에 따라 수반되는 환경문제의 발생을 급증시킬 것으로 판단된다. 지반침하, 소음, 진동, 지하수의 오염 및 고갈, 식생변화 등 여러 가지 환경오염요인들을 해결해 나갈 수 있는 부단한 노력과 연구개발이 요구되고 있다.

2) 설계자동화 및 로봇시공기술이 가시화될 것이다. 터널기술의 연구개발동향에서 살펴 본 바와 같이 터널설계와 굴착 및 보강에 첨단장비의 개발과 자동화 설계 기술의 개발이 지속적으로 이루어짐으로써 향후에는 터널의 설계자동화와 굴착 및 보강 등의 터널건설과 관련된 기술은 최첨단과학장비의 활용이 예상되며, 이와 관련된 설계에도 자동화된 설계기술의 개발이 이루어질 것으로 예측되므로 향후의 연구개발도 이러한 경향에 따라 이루어질 것

으로 판단된다.

3) 안락하고 자연미를 반영할 수 있는 터널기술의 개발이 추진될 것이다. 터널의 형상이나 내부환경이 현재 터널과는 매우 다르게 자연채광이나 쾌적함을 느낄 수 있도록 설계되어 건설한 터널의 시공 뿐만 아니라 미적 아름다움과 자연의 안락함을 느낄수 있는 기술분야가 터널분야에 접목 될 것으로 판단된다.

4) 기존관념을 타파하는 새로운 터널기술의 개발이 추진될 것이다. 산악터널, 도로터널, 해저터널, 하저터널 등 터널이란 지반의 굴착을 통해 지중에 건설되는 것으로 생각되는 기존의 관념을 해체 및 하저터널이 수중에 부유된 형태로 건설되는 터널을 생각할 수 있을 것이다.

**금년도 Rankine Lecturer인 영국 런던 City University의 John Atkinson교수를 초청하여 다음과 같이 특별강연회를 갖고자 하오니 관심있는 분들의 많은 참여를 바랍니다.**

◆ 주 제 : Determination of Parameters for Geotechnical Design from Laboratory Tests

◆ 일 시 : 2000년 11월 2일 (목요일) 14:00 - 17:30

◆ 장 소 : 서울역앞 연세재단빌딩 국제회의실 24층 (약 100명 수용가능)

◆ 강연내용 :

Session 1. Selection of Design Parameters (1시간)

Session 2. Analysis and Interpretation of Test Results (1시간)

Session 3. Soil Parameters Related to Soil Description (1시간)

◆ 참가비 : 없음 (강연노트 당일 배부)

◆ 후 원 : 대우건설

◆ 등록처 : 대우 건설기술연구소 김성운 부장

전화: 031-250-1101, 팩스: 031-250-1131, E-mail: swk@mail.dwconst.co.kr

\* 강연회장 사정 및 유인물 준비에 필요하오니 참석코자 하시는 분께서는 사전에 등록하여 주시기 바랍니다.