

## 국내 마이크로터널링 산업 및 KT의 통신구 건설사업

박 태 동 (KT 운용시스템연구소/실장, tdpark@kt.co.kr)

남 장 현 (KT 운용시스템연구소/선임보연구원, jhnam@kt.co.kr)

### 1. 머리말

최근에 기계식 터널장비의 발달로 터널공사를 하는데 있어서 종래에 많이 적용되던 개착식(open-cut)공법이 비개착공법(trenchless method)으로 대체되어 가고 있는 추세이다. 하수구, 통신구, 전력구, 가스관로 등의 건설에 있어서 중소구경의 경우에는 주로 쉴드(shield), 세미쉴드(semi-shield) 공법이 많이 적용되고 있으며 내경이 비교적 크고 심도가 깊은 경우에는 NATM 공법이 적용되기도 한다. 이는 도로의 굴착이 점점 엄격히 규제되고 기계식 터널공법이 비용 및 환경적 측면에서 경쟁력을 갖추어가기 때문인 것으로 보인다. 이 글에서는 마이크로터널링 공법(microtunneling method)이 국내에 적용되고 있는 현황과 KT에서의 통신구 건설사업 및 그에 관련된 연구개발 내용을 소개하고자 한다.

### 2. 국내의 마이크로터널링 시장

우리나라의 기계식 터널공법은 쉴드공법, 세미쉴드공법이라는 이름으로 1990년대 초부터 하수처리장 차집관로, 통신구 및 전력구 공사 등에 본격적으로 적용되었다. 쉴드공법은 주로 장거리 터널공사에 적용되고, 세미쉴드공법은 대체로 굴진거리가 짧은 중소형 터널공사에 많이 채택되고 있다. 이는 쉴드공법은 세그먼트를 조립하면서 복공 및 추진을 하지만, 세미쉴드공법은 콘크리트 관 또는 강관을 후방에서 추진잭(jack)으로 밀어서 추진하기 때문이다. 이러한 이유로 세미쉴드 공법은 장비가 간단하고 시공비가 저렴하여 일본, 유럽, 미국, 동남아시아 등지에서 활발하게 적용되고 있고, 국내에서도 이를 이용한 터널시공사례가 급증하고 있는 실정이다.

이에 지금부터는 세미쉴드라는 용어 대신 국제적으로 더 많이 쓰이는

마이크로터널링이라는 용어를 써서, 국내의 시장현황을 기술하고자 한다. 마이크로터널링공법은 굴진장비를 원격제어하면서 추진관을 밀어서 터널을 굴착하는 기계식 터널링공법으로 정의된다.

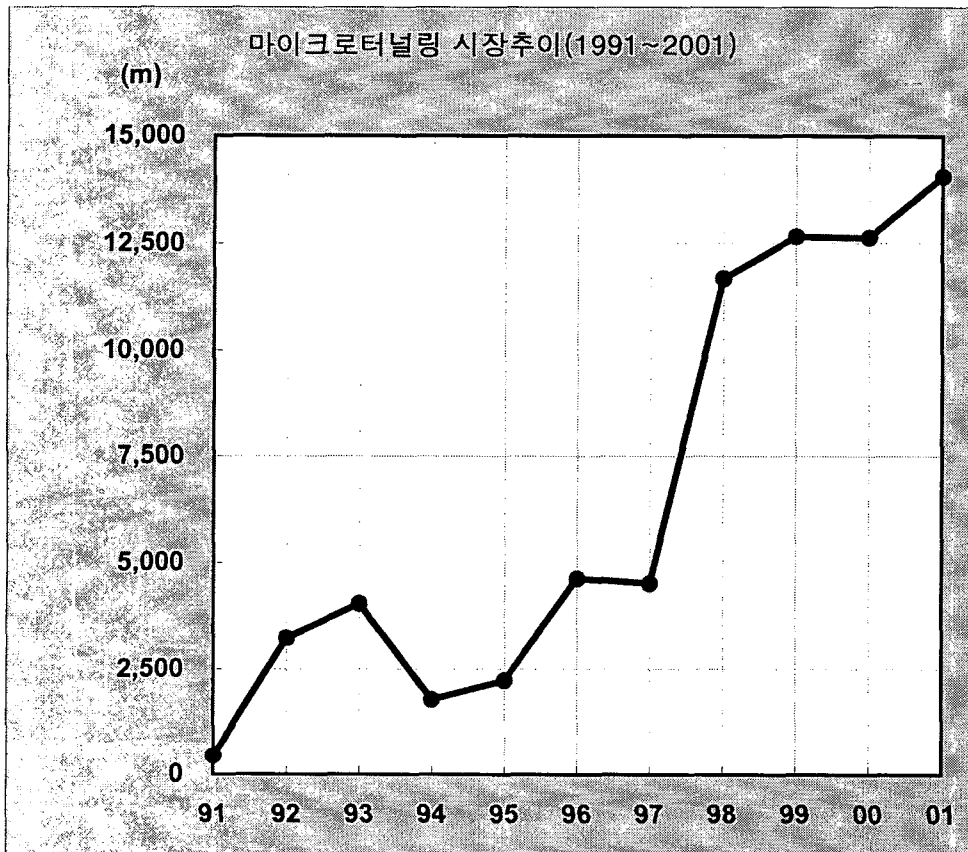


그림 1. 국내의 마이크로터널링 공법에 의한 건설시장의 추이

그림 1에는 지난 10년간 마이크로터널링 공법을 이용하여 국내에서 이루어진 터널건설시장 규모의 추이를 보여준다. 이를 1995년 기준으로 보면 2001년에는 시장규모가 약 7배정도 커졌고, 그 기간동안의 시장규모의 변화는 연평균으로 보면 매년 47%의 성장을 기록하였다.

관경(管經)별로 보면 (표 1)과 같으며, 이 중 1,500mm 이하의 소형 터널이 반 이상을 차지한다. 그 이유는 (표 2)에서 보는 바와 같이 소형의 다양한 관경이 필요한 하수관로 공사의 비중이 높기 때문인 것으로 풀이된다.

(표 1) 관경별 마이크로터널링 시공비중(1999~2001)

관경(mm)	300~500	600~900	1000 ~1500	1650 ~2000	2200 ~3000
점유율	11%	23%	31%	17%	18%

(표 2) 용도별 마이크로터널링공법 적용비중(1999~2001)

	하수	전력	통신	가스	용수	기타
점유율	68%	11%	9%	7%	4%	1%

지금까지는 서울, 부산, 마산, 군산 등 일부 지역에 국한하여 마이크로터널링공법을 이용한 하수관로, 전력구, 통신구 건설이 많이 이루어졌지만 앞으로는 타 지역에도 마이크로터널링 공법을 이용한 기간시설의 건설이 활발해질 것으로 보인다.

### 3. KT의 통신구 건설사업

KT에서는 전화국에서 가입자까지 안정성 및 신뢰성을 갖춘 초고속 통신망을 구축하여 인터넷 및 광대역 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 노력하고 있다. 통신구는 대량의 통신케이블을 안정적으로 수용할 수 있는 지하구조물로서 유인통신구와 무인통신구로 나눌 수 있다. 현재 대량의 동케이블을 수용하기 위한 유인통신구의 건설수요는 많이 감소하고 있으나, 낮은 비용으로 가입자까지 통신망을 구축해주기 위한 무인통신구의 필요성은 플라스틱 관로의 노후화와 수량 부족으로 증대되고 있다.

안정적인 통신망 구축을 위하여 다조의 동케이블 및 광케이블을 수용하기 위한 통신구가 건설되어 왔는데, 지금까지 건설된 통신구는 내경 2,000mm

~ 3,500mm 이며 총연장은 약 350km에 이른다.

건설공법으로는 몇 년 전까지만 해도 개착식 터널시공이 많았으나 이제는 지하철이나 도시철도에 위탁하여 공사하고 있는 공동구를 제외하고는 개착식 공법이 적용되고 있는 현장은 거의 없다. 즉, KT에서 자체적으로 시행하고 있는 통신구 건설시에는 시공거리가 매우 짧은 경우 (예: 수십m) 이외에는 전량 마이크로터널링, 쉘드, NATM 등의 비개착 공법을 적용하고 있다.

2001년에 시행된 통신구 공사건을 살펴 보면 총 길이 약 25km에 계약 금액은 1,880억원에 이른다 (이 수치는 당해 년도에만 국한되는 통신구 공사건을 의미하는 것이 아니고, 2001년 중에 진행되고 있는 시공 건을 합산한 것이다). 그리고 자체시공 및 위탁시공의 비율은 65:35인데, 전술한 바와 같이 위탁시공은 전량 개착식으로 시행되고 있다.

자체시공하는 경우에 채택되고 있는 공법을 보면 개착식은 3%에 불과하고 나머지는 모두 비개착식 공법을 적용하고 있으며, 최근의 추세를 보면 통신구의 내경이 점점 줄어들어 2,000mm가 주종을 차지하므로 마이크로터널링 공법의 적용이 급증하고 있다(표 3).

(표 3) KT 통신구 건설에 적용되고 있는 공법(2001년)

공법	NATM	마이크로 터널링	쉘드	메사쉘드	개착
점유율	39%	32%	19%	2%	3%

앞으로는 지금까지와는 달리 작업자가 출입할 필요가 없는 규모의 소형 무인통신구의 건설이 활발해 질 것으로 보이고, 건설공법도 비용이 저렴한 마이크로터널링공법이 많이 활용될 것으로 예상된다.

#### 4. KT의 비개착 건설기술 연구 개발

세계 여러 나라에서 활성화 되어 있는 비개착기술이 우리나라에서는 다소 뒤떨어져 있는데, 이는 높은 장비가격, 발주기관의 인식부족 등으로 인해 아직까지 국내의 비개착 건설시장이 충분히 활성화 되어 있지 않기 때문이다. 최근에 행정기관의 도로굴착 규제로 인해 국내의 비개착 건설시장의 규모가 커지고 있고, IMF이후 높은 환율로 외국산 장비를 도입하는데 부담이 커지고 있기 때문에 공사비용이 동반 상승하는 현상이 발생하고 있어 비개착 건설기술 및 시장의 발전에 큰 장애가 되고 있다. 이러한 이유로 마이크로터널링 장비의 국산화 필요성이 증대되고 있다.

따라서 KT에서는 유인통신구 및 무인통신구 등 정보통신망의 인프라 건설비용의 절감과 타 국가기간시설 건설비용의 절감을 위해, 마이크로터널링 장비의 국산화를 정통부의 선도기반기술 개발과제로 수행하고 있다.

이를 위해 1999~2000년의 1차 연구개발기간 동안에는 직경 2,000mm급의 마이크로터널링장비(XS-2000)를 개발하였고, 2001~2003년의 2차 연구개발기간 동안에는 직경 1,000mm 및 500mm급의 터널링장비를 개발하고 있다. 이 연구개발 대상의 터널링장비들은 단순한 사이즈 차이를 두고 개발하는 것이 아니고 각각의 방식과 특징이 매우 다른 방식으로 개발되고 있어서, 터널링장비에 대한 폭넓은 기술을 확보할 수 있게 된다. 이에 대한 설명은 아래의 해당 절에서 다루어지고 있다.

##### 가. 1차 연구개발 (2,000mm급)

###### (1) 개발 목표

XS-2000의 연구 개발 목표는 기존의 외국산 장비를 염가에 국산화 하는 것을 기본으로 하되 국내의 토질조건에 효과적으로 대응하도록 몇 가지

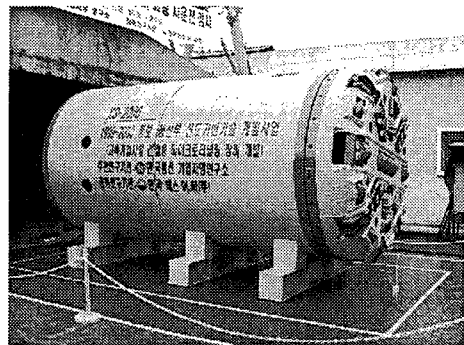
의 부가기능을 추가하여 경쟁력을 갖추도록 하였다. 이는 기존의 외국산 장비가 높은 가격에도 불구하고 변화가 심한 국내토질에 적절히 대응하지 못하는 단점이 있기 때문이었다. 먼저 개발장비의 기본적인 규격은 내경 2,000mm의 터널을 중단없이 200m 이상 굴착할 수 있으며, 곡선형 터널인 경우 곡률반경이 150m까지 굴착이 가능한 장비의 개발을 목표로 하였다. 그리고 국내의 토질조건이 실트, 모래, 자갈, 연암, 경암 등의 복합지질이므로 이에 대응하기 위한 구조 및 부가기능을 개발하고자 하였으며 주요 내용은 다음과 같다.

- ① 굴착중 커터 및 비트를 교환할 수 있는 구조
- ② 지질에 따라 회전수와 토크를 변경할 수 있도록 변속모터 채택
- ③ 암반층 굴착시 하부퇴적 암편 제거기능 부여
- ④ 막장 전단면의 상태를 확인할 수 있는 시스템 추가

## (2) 시작품 제작

1999년 초부터 약 1년 반 동안의 개발기간을 거쳐 시작품(사진; 장비 외경 2.4m, 길이 4.8m)이 제작되었다.

KT와 한국에스이씨(주)가 공동으로 설계한 결과를, 커터 및 비트 분야, 바디 및 감속기



분야, 크러셔 분야, 유압 분야, 그리고 제어시스템 분야 등으로 나누어 협력업체를 통하여 제작하였고 엄격한 검사를 거쳐 인수되었다. 이러한 서브시스템 들은 각 주요 단계마다 시험을 거쳐 하나의 시스템으로 조립되었고, 굴진기와 제어시스템 간의 통합 및 인터페이스 시험이 수행되었다. XS-2000 시작품을 제작하는데 있어서 메인베어링, 송배니 밸브, 솔레노이드 밸

브 등 일부 부품을 제외하고는 최대한 국산품을 채택하여 국산화율이 93% 정도에 이른다.

### (3) 시험시공 및 현장적용

위와 같이 제작된 시작품의 성능을 확인하고 문제점 등을 알아내기 위하여 2000년 6월말부터 대전 KT 가입자망연구소에서 시험시공을 실시하였다. 시험구간은 직선과 곡선구간으로 구성되며 총 거리는 50m, 토피는 3m, 곡선구간의 최소곡률반경은 140m, 그리고 토질은 풍화암/풍화토인 지질조건 (SPT 50/6~50/30) 이었다.

추진관은 원활한 곡선구간의 형성을 위하여 내경 2.0m, 길이 1.25m의 단관을 먼저 사용하였고 뒤이어 길이 2.43m의 표준관을 사용하였다. 시험시공에서는 곡선구간의 곡률반경을 최소140m로 목표하였으나 시험중에 가능한 한 곡률을 많이 주고자 하였기 때문에 시험후 측정한 실제 곡률반경은 132m이었다. 따라서 실제로는 이보다 더 작은 곡률반경의 곡선구간도 시공이 가능할 것으로 보인다.

시험 중에 관찰한 바로는 전체적인 장비의 파워(토크)는 외국산 장비에 비해 더 우수하였고, 면판의 회전수 변경(저속/고속)도 원활하게 이루어졌다. 파쇄공정도 매우 효율적으로 이루어졌으며 송배니 작업에도 문제가 없었다. 경로제어는 수동과 자동을 번갈아 가며 실시하였으나 시험구간이 짧은 관계로 충분한 시험이 이루어지지 못하였으므로 추후 실제 현장에 투입할 때 추가로 테스트를 수행할 계획이다. 시험이 끝난 후에 장비 전체를 분해하며 점검한 결과, 베어링이나 씨일(seal) 등의 부품등에는 아무런 문제점을 발견하지 못하였고 다만 막장관찰용 카메라가 손상되었으므로 이를 보완하여 장착하기로 하였다. 그리고 롤러커터는 거의 마모나 손상이 없었으나, 면판의

외곽에 위치한 비트 중 두개는 일부가 굴진중의 충격으로 균열파손 되었으며 나머지 비트들은 약간씩의 마모가 되었음이 관찰되었다. 이는 시험시공 구간의 토질이 풍화암/풍화토인 지역이었기 때문인 것으로 보인다. 전체적인 시험시공 결과를 보면 대부분의 기능이 정상적으로 작동이 되었고 장비는 우수한 성능을 보여주었다.

시험시공 후에 몇 가지의 미비점을 보완한 후에 통신구 시공현장에 투입하였다. 첫번째 현장투입은 2000년 11월경에 속초전화국 인입통신구 공사(길이 140m)에 투입되었는데 이곳의 토질조건은 쉘트가 주성분인 토사층이었다. 이 공사에는 쉘트형 면판을 장착한 개발품(XS-2000)이 투입되어 성공적으로 작업을 완료하였다. 그 후 2001년 6월에 대구전화국의 통신구 공사(길이 500m)에 개발장비를 투입하였다. 이곳의 국채보상운동공원, 경북대 의대 등이 위치한 곳으로 도로굴착 절대 금지구역일 뿐만 아니라 덤프트럭의 통행도 제한되는 지역이다. 그런 사유로 인해 발진구에서부터 곡선시공을 해야 하고(R=600m) 토질도 대부분 암반지역(풍화암~경암)으로서, 개발장비가 투입되어 무사히 터널링공사를 할 수 있을까 걱정이 되었다. 그러나 공사 진행과정을 보니 암반형 면판을 장착한 장비는 훌륭하게 임무를 수행하였고 2002년 2월 중에 무사히 공사를 완료하여 그 성능의 우수성이 입증되었다.

## 나. 2차 연구개발 (1,000mm 및 500mm급)

### (1) 연구개발 개요

2001년부터 시작된 XS-1000 및 XS-500의 개발은 KT에서 추진하고 있는 무인통신구 사업과 관계가 있다. 케이블을 수용하기 위하여 KT가 보유한 관로설비는 총 12만 km에 달하는데, 추가로 케이블을 포설하기 위한



여유관로가 부족하고 관로의 상태가 열악한 실정이다. 이에 통신품질의 고도화를 위하여 반영구적이고 신뢰성있는 무인통신구를 건설하여 관로를 대체하는 것이 필요하다는 것이 인식되어 앞으로는 관경 400mm~1,000mm 정도의 무인통신구의 건설이 활발해질 것으로 보인다.

이러한 무인통신구의 건설을 활성화하고 건설비용을 절감하기 위하여 무인통신구 건설용 터널링 장비를 국책과제로 개발하기로 하였고, KT에서도 상당한 규모의 현금과 현물을 출연하였다. 개발대상으로는 1,000mm급을 1차년도와 2차년도에 개발하고 500mm급은 2차년도와 3차년도에 개발하는 것으로 하였다.

일반적으로 장비의 규모가 작아질수록 구동력이 낮아지기 때문에 만일 굴진중에 장애물을 만나게 되면 더 이상 굴진이 불가능하여 땅을 파고 장비를 꺼내야만 하는 경우가 종종 발생한다. 그렇게 되면 비용 및 시간 손실이 크게 생기므로, 소형 터널링 장비의 개발에서는 장애물을 돌파하거나 우회하는 것이 매우 중요시되어, 이번의 중소형 터널링 장비 개발에서는 장애물 돌파 기능도 주요 개발 목표 중의 하나로 선정하였다.

## (2) 연구개발 과정

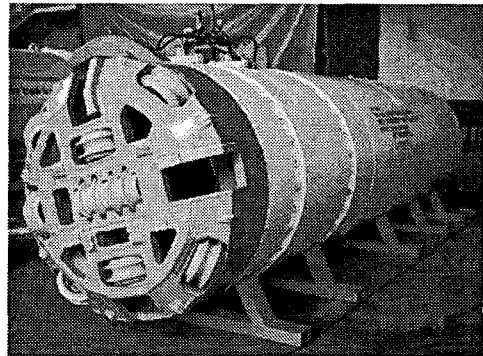
굴진기의 연구개발과정에는 KT가 주축이 되고 (주)나온테크가 공동연구기관으로 참여하였고, 다수의 협력업체들이 주요 서브시스템 제작에 참여하였다.

2001년도 초에 개념정립 및 기본설계를 시작하여 그 해 10월에 상세설계를 완료하였다. 설계는 3차원 설계 툴인 I-DEAS를 사용하여 3차원 애니메이션, 2차원 도면, 그리고 구조해석을 병행하였다. 설계의 타당성을 검증하기 위하여 11월에 면판, 구동장치, 그리고 워터젯 정도만 갖춘 시험굴진기

를 제작하였다.

물을 이용하게 되는 워터젯시스템을 겨울에 가동하기에는 불리한 점이 많아, 시험굴진기를 이용한 테스트는 이듬해인 2002년 3월에 이루어졌다. 시험시편으로는 화강암(단면 1.5m×1.5m)을 이용하였고 송배니 등을 제외한 풀-스케일 시험을 실시하였다. 예상했던 대로 워터젯을 병용할 경우 굴착성능은 대폭 향상 되었으나, 워터젯에 연마제를 투입하여야 하기 때문에 노즐이 막히는 현상이 있었고 아직 국내의 워터젯 산업이 활성화되지 않아 워터젯시스템의 가격이 비싸다는 문제점이 있었다.

그리하여 시작품의 제작에는 워터젯장치를 넣지 않기로 결정하고 설계 변경에 들어가 2002년 6월초에 제작에 착수하였다. 8월 중순에 굴진기의 제작이 완료되어, 이와는 별도로 제작되어온 TMS (Tunneling Management System)와 통합시험을 실시 하였고 최종 튜닝을 하였다.



8월 23일부터는 지금까지의 설계와 제작품질을 확인하기 위하여 대전 KT 운용시스템연구소 부지에서 시작품을 이용한 시험시공을 실시하고 있다.

### (3) 연구개발품의 특징

터널링 시스템은 크게 굴진기와 TMS로 이루어져 있다. 굴진기의 가장 큰 특징은 소형 장비인데도 불구하고 작업자가 챔버까지 접근할 수 있도록 굴진기 중심에 통로를 마련했다는 것이다. 이는 장애물돌파를 위한 워터젯 시스템을 생략하는 대신 소형장비의 한계를 극복하기 위한 구조인데, 협소한 공간에 많은 장치들을 배치하고 통로를 확보하는데 많은 어려움이 있었다.

개발되는 터널굴진기가 이러한 구조를 갖으면서 장착된 막장의 상태를 관찰할 수 있는 카메라를 이용하면 장애물에 대처 능력을 갖출 수 있게 되었다는 것을 의미한다.

또한, 면판은 토질에 따라서 롤러커터와 비트를 상호 교체할 수 있는 구조로 제작되어 암반층에서도 장거리 굴진이 충분히 가능하게 되었다. 그리고, 장비의 길이는 총 4.6m이지만 이는 3단으로 제작되어 있어서 수직구의 크기를 줄이고자 할 경우에는 전장품과 유압유니트가 수용되어 있는 3단 (utility body)을 분리해서 초기굴진을 할 수 있다(이때의 길이는 3.4m).

또 다른 굴진기의 특징으로는 다른 장비와는 달리 추력 측정장치를 구비하고 있다는 것이다. 기존에는 원압잭의 압력을 이용하여 원압잭의 추력을 측정하는 방법을 사용하였으나, 본 굴진기는 방향수정잭의 내부에 추력센서를 부착하여 추진관동에 의한 마찰력을 제외한 순수하게 커터헤드에 걸리는 추력을 측정할 수 있도록 하였다. 이는 장거리 굴진에 있어서, 중압잭의 정확한 설치 위치 및 시기를 정할 수 있다는 장점을 갖는다.

TMS는 굴진기를 제어하는 기능을 담당하는데, XS-2000에 탑재되었던 시스템보다 많은 부분에서 진화가 이루어졌다. 가장 큰 특징으로는 제어 단계를 단순화시킴으로 인해 보다 안정된 터널링 작업이 가능하게 되었고, 크고 작은 시스템 장애 발생시에도 현장에서의 대처가 용이하게 되었다. 또한, 터널굴진 작업에 있어서, 터널굴진기 뿐만 아니라, 추진장치, 디샌더, 송배니 펌프등 터널링 작업에 관련된 부대장치를 통합제어할 수 있도록 하였다. 또한, 토크, 추력, 송배니압을 자동으로 제어하기 위해 퍼지(fuzzy) 알고리즘을 새로이 개발하여 적용하였다는 것이다. 그 외에 소형 곡선터널 시공시에 반드시 필요한 무인 자동 측량시스템을 별도로 개발하였다. 이 시스템은 기존의 토탈스테이션에서 터널굴진기의 위치 측량에 필요한 기능만을 갖추도

록 하는 등 국내 기술을 적용하여 보다 경제적으로 제작되었다.

## 5. 향후계획

개발이 완료된 터널링 장비(XS-2000)는 KT의 통신구 건설공사에 우선적으로 활용하고 필요시 하수관로나 가스관로 공사에도 투입할 예정이다. 그리고 기술자립을 꾀하고, 국내의 장비수요를 충족시킬 뿐만 아니라 외국 장비시장에도 진출할 수 있도록 하기 위하여 설계 및 제작기술을 우수 중소기업에 전수하였다. 양산시 장비 가격은 기존 외국산 장비에 비해 약 30% 정도 낮은 가격을 목표로 하고 있다.

또한 2001년부터는 개발하고 있는 소형 터널링 장비는 철저한 품질보증과정을 거쳐 설계 및 제작을 하고, 면밀한 성능검증을 거쳐 보완을 한 후, 실제 현장에 투입할 것이다.

이와 같이 우리나라 자체의 마이크로터널링 장비의 제작기술이 확보되면, 비개착 방식의 건설비용의 하락이 가능해져 개착식 공법과의 경쟁이 가능해지고, 비개착시장이 활성화됨으로써 장비의 염가 공급이 가능해지는 등 선순환이 기대된다. 아울러 국가적으로는 장비의 수입대체로 인한 이득과 함께 해외시장 개척으로 인한 경제적 효과가 매우 클 것으로 보인다.

## 6. 맺음말

눈에 보이지는 않지만 통신인프라를 구성하는 지하시설의 중요성은 지상의 첨단장비의 그것에 뒤지지 않는다. 그럼에도 불구하고 이러한 시설들은 소홀히 취급되거나 설비투자의 순위에서 뒤로 밀리는 게 보통이다. 하지만 만일 지하시설에 문제가 생겼다면 이를 해결하는데 많은 시간과 경비가

소요되므로, 시설의 관리, 재활용, 업그레이드 등에 꾸준한 노력이 투입되어야 한다.

이 과제의 연구진들도 정부와 KT의 연구개발비로 장비개발하는 것을 무거운 책임으로 인식하고 그 결과가 우리나라 기간설비의 건설비용 절감에 크게 기여할 수 있도록 최선을 다하고자 한다. 아울러 이러한 연구를 계기로 국내의 비개착 건설기술이 진일보 및 활성화되고, 장비의 개발이나 관련 연구개발이 여기에서 그치지 않고 지속적으로 이루어지기를 기대한다.

또한 최근에 터널링 분야의 관련 학회 및 연구회의 활동이 활발해지고 있는 것은 산학연의 긴밀한 협조를 통하여 터널링 분야의 기술진보와 비용 절감을 이룰 수 있을 뿐만 아니라 우리나라의 경쟁력을 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 보인다.