

## 무인통신구(Φ1000mm)건설용 마이크로터널링 장비 개발

박정권  
KT 기술연구소

서명우  
KT 기술연구소

김정운  
KT 건설사업단

### Development of Microtunneling machine for Unmanned Cable-Tunnel

Park, Jung-Kwon                      Seo, Myung-Woo                      Kim, Jung-Yun  
KT Technology Laboratory      KT Technology Laboratory      KT Construction Center

**Abstract** - 본 논문에서는 2002년도에 KT에서 개발한 내경 1,000mm의 무인통신구를 건설할 수 있는 마이크로터널링 장비에 대해 소개하고자 한다. 개발된 장비는 3D 기법을 이용한 최첨단 기법을 통하여 개발되었으며, 소형 굴진기의 취약점인 장애물 돌파능력을 보완하기 위하여 막장으로 진입이 가능한 구조로 되어있다. 따라서 굴진 중 장애물에 직면했을 경우 막장을 통하여 장애물을 효과적으로 제거할 수 있으며, 이 막장 진입통로를 이용하여 면판의 비트와 롤러커터를 교체할 수 있으므로 장거리 굴진이 가능하다. 그리고 굴진 작업 시 필요한 원압채과 후방설비인 Desander, 송배니펌프등의 주변설비를 Operating Room에서 통합관리할 수 있는 터널링 관리시스템을 개발하여 적용함으로써 보다 효율적인 굴진관리를 수행할 수 있는 특징을 갖고 있다.

이렇게 개발된 장비와 시스템은 시험 시공을 통해 그 성능을 확인하였으며, 여기서 그 개발 과정 및 시험 시공 결과에 대해 기술하고자 한다.

## 1. 서 론

KT에서는 유인통신구 및 무인통신구 등 정보통신망의 인프라 건설비용 절감과 보다 안정적인 통신망 확보를 위해 마이크로터널링(microtunneling) 장비의 국산화를 정통부의 선도기반기술 개발과제로 수행하고 있다.

이를 위해 KT는 1999~2000년의 1차 연구개발기간 동안에는 직경2,000mm급의 유인통신구 건설을 위한 마이크로터널링 장비를 개발하고, 시험시공 및 현장에 적용하였다.

그리고 통신품질의 고도화를 위해 반영구적이고 신뢰성있는 무인통신구 건설을 위하여 2001~2002년에는 직경 1,000mm급의 터널링 장비를 개발하여 시험 시공을 실시하였다.

이 글에서는 2001~2002년에 개발된 직경 1,000mm급의 마이크로터널링 장비의 특성에 대해 소개하고 이 장비를 이용하여 시험시공 한 결과를 소개함으로써 전적으로 외산 장비에 의존해 온 마이크로터널링 장비의 국내 개발 기술현황을 알리고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 마이크로터널링 장비

본 굴진 시스템은 크게 마이크로터널링 장비와 터널링 관리 시스템으로 이루어져 있다.

#### 2.1.1 장비의 제원

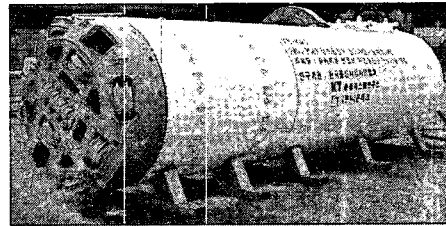


그림 1. 마이크로터널링 장비(XS-1000)

표 1. 마이크로터널링 장비 제원표

항 목	제 원
크 기	1,240mm × 3,428mm
중 량	9.5 ton
면판 토크	7.1ton · m
면판 회전수	3.75 rpm
모터 동력	8.6Kw × 380V × 4 set
막장유지방식	이수 가압식
최소곡률반경	70m
방향 수정력	37 tonf × 40mm × 4 set
좌/우동 경입각	좌/우 : ±2.5° 상/하 : ±2.0°

#### 2.1.2 장비의 특징

본 마이크로터널링 장비(그림 1)는 내경이 1,000mm인 무인통신구를 건설할 수 있는 장비로 3D기법을 이용한 최첨단 기법을 통하여 개발되었으며, 소형장비임에도 면판의 지지방식을 주변지지방식으로 하여 기기 중앙에 공간을 확보함으로써 작업자가 굴진기의 챔버내로 접근할 수 있는 공간을 마련하여 소형장비의 한계인 장애물 직면시 보다 수월하게 대처할 수 있도록 하였다.

그리고 작업시 안전을 고려하여 막장의 상태를 확인할 수 있는 막장카메라를 장착하여 작업자의 안전성을 높였다.

본 장비는 무인통신구를 건설함에 있어 다양한 지반에 적용이 가능하도록 설계되었다. 기존의 장비는 토사용과 암반용, 복합지질등에 맞춰 면판을 따로 사용하였으나 본 장비는 하나의 면판에 롤러커터와 비트를 상호 교체할 수 있는 구조로 되어 있어 다양한 지반에 적용가능 하도록 하였다. 또한 면판의 롤러커터 및 비트는 면판의 안쪽에서 탈착이 가능한 구조로 굴진 중 중앙 통로를 이용하여 마모되거나 손상된 롤러커터나 비트를 교체할 수 있으므로 장거리 굴진이 가능하게 되었다.

또 다른 특징으로는 추력 측정장치를 구비하고 있어 추진관의 마찰력을 제외한 순수 면판에 작용되는 추

력의 측정이 가능하다.

### 2.1.3 터널링 관리 시스템(TMS)

마이크로터널링 장비를 운영함에 있어 터널링 관리 시스템[그림 2]을 적용함으로써 제어단계를 보다 단순화 시켜 안정된 터널링 작업이 가능하게 하였으며, 터널링 장비뿐만 아니라 추진장치, 디샌더, 송배니 펌프 등 터널링 작업에 관련된 부대장치를 통합제어 할 수 있도록 하였다. 또한 토크, 추력, 송·배니압을 자동으로 제어하기 위해 퍼지(Fuzzy)알고리즘을 새로이 개발 적용하였다.

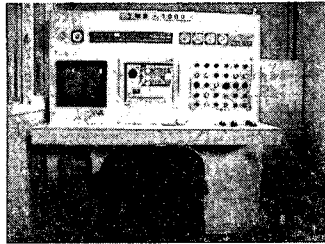


그림 2. 터널링 관리 시스템

### 2.1.4 추진 시스템

마이크로터널링 장비의 추진을 위한 추진시스템으로 추진잭은 3단으로 제작되어 좁은 공간에서 한번에 1개의 표준관(2.5m)을 추진할 수 있게 함으로써 작업 시간의 단축과 굴착공간 최소화로 공사비용을 절감할 수 있도록 하였으며, 유압유닛은 300Bar/21ℓ/min의 펌프 용량으로 추진잭과 두개의 중압잭을 연결하여 사용할 수 있도록 제작되었다.

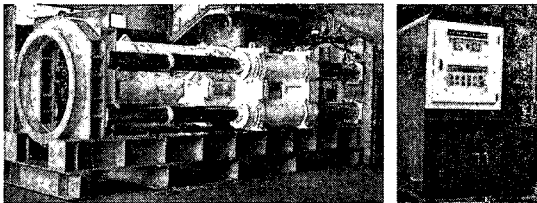


그림 3. 추진잭/유압유닛

## 2.2 시험 시공

본 공사는 개발된 장비의 성능을 시험하기 위한 것으로 KT 대덕1연구센터내 관로 시험장에서 시공되었으며 공사개요는 다음과 같다.

- 공사 기간 : 2002년 8월~10월
- 무인통신구 : 내경 $\phi$ 1,000mm, 길이: 46m(R=73m)
- 발진구 : 프리캐스트 콘크리트(2.45m $\times$ 9m $\times$ 3m)
- 도달구 : 프리캐스트 콘크리트 세그먼트( $\phi$ 5m)

### 2.2.1 터널링 구간 및 발진구, 도달구

터널링 구간의 토질은 눈을 매립하여 부지를 조성한 지역으로 지표로부터 1m 정도는 옥석이 넓게 분포된 토사로 되어있고, 1~1.4m는 옥석이 혼합된 점토와 실트층이며, 그 이하는 풍화토로 형성되어 있었다.

본 마이크로터널링 장비를 이용한 터널링 위치는 지표로부터 장비까지의 높이가 1.2m 깊이로 옥석이 섞인 점토와 풍화토층을 굴착하여 시공하게 되었다.

발진구는 도심지에서 이루어지는 공사의 경우 공사기간을 단축함으로써 원활한 교통소통과 보행자의 안전을 도모하기 위해 현장적용에 앞서 시험시공을 통하여 문제점을 도출해 보고자 기존에 사용되는 가시

설물을 사용하지 않고 공사 후 본 구조물로 사용하는 프리캐스트 콘크리트 구조물을 사용하였다.

도달구는 기 개발된  $\phi$ 2,000mm 마이크로터널링 장비의 시험시공 시 도달구로 사용한 프리캐스트 콘크리트 세그먼트 구조물을 사용하였다.

### 2.2.2 시험 시공 결과

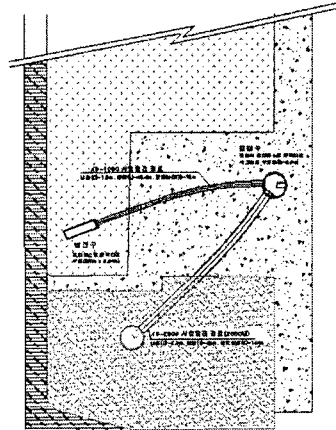


그림 4. 시험 시공 경로

시험 시공은 [그림 4]과 같이 계획된 경로를 거쳐 정확히 도달구에 도달하였다. 시험 시공 시 추진잭의 평균추력은 40~50ton이며, 장비의 평균 굴진속도는 80mm/min으로 나타났다. 장비의 외부 검사에서는 Cutter Head, 롤러 커터, 비트 등이 파손되거나 손상된 것은 전혀 발견되지 않았으며, 마모정도 또한 전반적으로 매우 양호 하였다.

터널링 중 막장카메라를 이용한 막장확인은 3회 실시되었다. 막장카메라는 장비 내에서 운용하는데 공간의 제약은 없었으며 방수성/내구성 이 우수하였다. 그리고 막장을 확인함에 있어 [그림 5]과 같이 조명의 밝기와 화질이 우수하였으며 CCD카메라의 White Balance기능에 의해 카메라와 피사체간의 거리 변동에도 균일한 밝기의 화질을 얻을 수 있었다.



그림 5. 막장내부 관찰

막장카메라를 이용하여 막장을 확인한 후 중앙통로의 커버를 열고 챔버 내로 들어가 작업성을 확인한 결과 공간이 협소하였으나, 롤러커터와 비트를 교체하기는 충분한 공간이었다.

추진잭과 유압유닛은 용량에 있어 전혀 부족함이 없었으며, 조작성 또한 양호 하였다.

### 2.3 암반 굴착 시험

개발된 마이크로터널링 장비는 토사, 옥석(전석)뿐만 아니라 암반에도 대응이 가능하도록 설계/제작 되

었다. 그런데 시험 시공 구간에는 옥석이 넓게 분포된 점토층과 논흙인 실트 그리고 풍화토로 이루어져 암반에 대한 터널링 성능을 검증할 수 없었던 관계로 본 장비를 이용하여 화강암 시료로 [그림 6]과 같이 별도의 시험장치를 제작하여 굴진성능시험을 실시하였다.

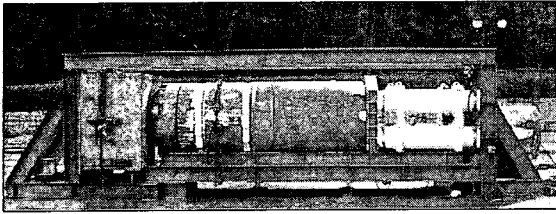


그림 6. 암반 굴착시험 장치

### 2.3.1 암반 굴착 시험 방법

본 시험장치는 구성상 Entrance의 설치가 어려워 마이크로터널링 장비의 송·배니 계통은 가동하지 않고 외부에서 물을 공급하여 암편을 씻어 내고 롤러커파터를 냉각하였다. 시험 시료는 일축압축 강도가 1.135 kg/cm<sup>2</sup>이며 크기는 1.5m×1m×1.5m인 익산 화강암을 사용하였다.

그리고 터널링 관리 시스템의 각종 센서들로부터 실시간으로 추력과 구동모터의 토크등의 자료를 저장할 수 있도록 하였다.

### 2.3.2 암반 굴착 시험 결과

시험 결과는 시험완료 후 장비 및 시료에 대한 외관 검사와 터널링 관리 시스템을 통해 각종 센서들로부터 실시간을 얻어진 자료를 분석한 것으로 나누어 볼 수 있다.

먼저 굴진기 및 시료에 대한 외관 검사를 보면 최대 추력이 160ton에서 장비의 Cutter Head 와 Frame이 양호하고 구동모터의 Trip이 발생하지 않았으며, 롤러커파터와 비트의 상대치수가 양호하여 굴삭면에서 간섭이 없고 롤러커파터의 적절한 배치로 전체 굴착면이 [그림 7]과 같이 양호하게 나타났으며, 암편의 배출과 Over Cut측정결과 설계치수를 만족시켰다.

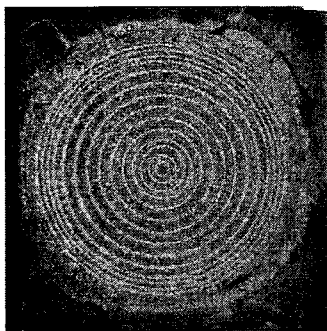


그림 7. 암반시험 시료(시험 후)

다음으로 수집된 자료를 분석한 결과를 살펴보면 구동모터의 정격전류는 18.6A이고 공회전시 11.8A, 굴진 시는 13~14A로 양호하게 나타났다. 그리고 모터의 전류는 3상 유도모터의 특성으로 모터의 부하 토크가 증가되면 모터의 전류가 증가 되는 데 자료 분석결과 추진재의 속도를 증가시키면 굴진속도 또한 증가 되며, 모터의 전류도 이에 비례해서 증가 되었는데 이 분석결과 본 장비는 추력100ton미만으로 운

전하는 것이 안전하다고 할 수 있었다. 위 추력과 모터의 전류간의 관계를 고려하여 암반에 대한 본 장비의 성능은 추력의 범위 95~100ton에서 평균굴진 속도는 85.3mm/min으로 나타났다.

## 3. 결 론

이상과 같이 자체 기술로 개발된 내경이  $\phi$  1,000mm 인 무인통신구를 건설할 수 있는 장비의 특성, 그리고 성능확인을 위한 시험시공에 대해 알아보았다.

굴착성능시험의 결과를 외국에서 제작된 장비와 비교했을 때 성능이나 기능면에서 전혀 뒤지지 않는 것으로 나왔으면 작업성과 우리나라 토질에 대한 적용성은 더 뛰어난 것으로 나왔다.

우리나라는 굴진기에 대한 기술력은 아직 초보 수준이지만  $\phi$  2,000mm 와  $\phi$  1,000mm의 개발을 계기로 우리나라의 토질에 맞는 다양한 크기의 굴진기를 개발함으로써 앞으로 세계의 굴진기 장비 업체와 같은 수준의 기술을 확보할 수 있으리라 기대하며, 비개착 장비 분야에 대한 많은 연구가 이루어지길 바란다.