

제 1 장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

장대터널, 도심지터널, 해·하저터널 등과 같이 굴착공사 중에 높은 안전성과 고속시공(rapid excavation)이 요구되는 조건에서 TBM(Tunnel Boring Machine)의 활용이 전 세계적으로 일반화되고 있다. 특히, 현재의 터널공법은 발파공법에 의한 NATM(New Austrain Tunnelling Method) 등의 재래식 공법(conventional tunnelling method)과 TBM으로 대표되는 기계화 시공법(mechanized tunnelling method)으로 양분화되고 있다. 또한 우리나라에서도 전력구 등의 유틸리티터널과 도심지 지하철터널의 건설 시에 TBM의 활용이 지속적으로 증가하고 있으며, 해외의 신규 터널 프로젝트들의 대부분이 TBM터널로 발주되고 있어서 TBM의 기술력 확보가 무엇보다 중요하다.

하지만 전 세계적으로 TBM의 설계·제작기술은 7개국에서 비공개 기술로 보유하고 있어 기술격차가 더욱 증가하고 있으며, 이로 인해 선진국 대비 TBM의 시공 경험도 절대적으로 부족한 상황이다. 특히, TBM은 규격화된 건설기계가 아니라 시공조건에 따라 달리 설계·제작되는 주문자 제작방식(taylor-made)의 건설기계로서 요구되는 기술수준이 매우 높다.

따라서 본 연구과제에서는 TBM 국산화의 1단계로서 TBM에서 가장 중요한 부분인 TBM의 커터헤드(cutterhead) 설계·제작 원천기술을 개발하고, 이를 기반으로 국산 커터헤드를 장착하여 기존에 사용된 쉘드TBM을 국산 재활용(refurbishment)하는 것을 목표로 설정하였다.

또한 TBM터널의 경제성과 굴착성능의 향상을 위해 핵심 소모성 부품인 암반 굴착용 디스크 커터(disc cutter)의 고성능화 기술 개발을 목표로 설정하였다.

이상과 같이 설정된 본 연구과제의 대상기술과 목표 성과를 정리하면 다음과 같다.

- 복합지반용 쉘드TBM 커터헤드의 최적 상세설계 기술 (암반 및 토사지반용 커터헤드 설계기술 포함)
- 쉘드TBM 최적 사양 설계기술
- 국산 커터헤드 장착 쉘드TBM의 제작과 현장 적용 (TEST-BED #1 및 #2)
- 직경 7m 이상급 국산 커터헤드 시제품 제작
- TBM터널 공사비 절감을 위한 고성능 디스크커터 개발
- TBM터널 공사기간 산정을 위한 TBM 굴진성능 예측기술
- 커터헤드 설계 및 굴진성능 예측용 실험 인프라 구축·활용

이상의 목표 성과로부터 도출된 본 연구과제의 최종 연구성과물을 요약하면 다음의 표 1.1.1과 같다.

[표 1.1.1] 본 연구과제의 최종 연구성과물 및 개요

최종 연구성과물	성과 개요
복합지반용 커터헤드 최적 설계제작 기술  	

제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

앞서 기술한 바와 같이 현재 우리나라는 TBM장비의 설계·제작을 100% 의존하고 있는 실정으로서, TBM 관련 기술력 부족으로 인해 전 세계적인 기계화시공 추세를 따라가지 못하고 있으며 적용대상 지반에 부적절한 TBM장비의 투입으로 인한 각종 시공 트러블이 발생함으로 인해 TBM에 대한 인식이 좋지 못한 상황이다.

더욱이 TBM의 적용성이 높을 수 있는 경우에도 공구분할 등으로 인해 TBM의 최대 장점 중의 하나인 고속시공 효과를 도모할 수 없으며 조기완공에 대한 인센티브 또한 없는 상황이다. 따라서 기술적인 측면과 정책적인 측면 모두에서 우리나라의 TBM 적용성이 불리한 상황이다.

전 세계적으로 도심지 터널, 장대 산악터널, 하·해저터널 등에서는 안전하고 경제적인 고속시공을 위하여 TBM의 적용이 일반화되고 있다. 특히, 지속가능한 발전(sustainable development)과 녹색성장(green growth)의 대안으로서 도심지 지하공간을 활용하는 대심도 지하터널들이 활발히 계획 또는 건설되고 있는 상황이다 (TUNCONSTRUCT, 2008).

유럽에서는 도심지 교통터널에서의 TBM 적용비율이 80%에 달하고 있지만 우리나라에서는 1% 미만으로서 전 세계적인 동향이 매우 뒤쳐져 있다 (표 1.3.1). 특히 도심지에서도 종래의 개착 또는 발파굴착으로 인해 공사 중 극심한 교통흐름 저해와 소음·진동 등으로 인한 환경 관련 민원들이 제기되고 있다.

[표 1.3.1] 주요 국가별 도심지 교통터널에서의 TBM 적용비율 (건설경제신문, 2009. 10. 13)

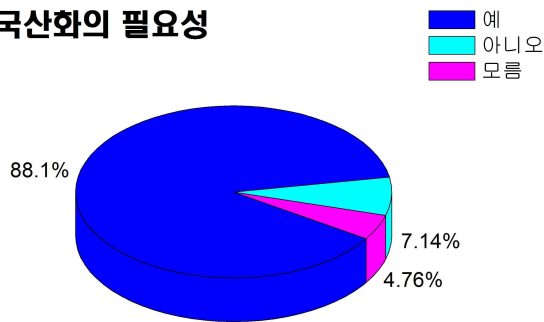
국가	유럽	일본	미국	중국	대만	한국
도심지 교통터널에서의 TBM 적용비율	80%	60%	50%	40%	30%	< 1%

최근 들어 우리나라에서도 도심지 대심도 지하 교통터널(예: 수도권 급행광역철도 GTX 및 서울시 지하도로 U-SMARTWAY)과 초장대 해저터널(예: 호남-제주, 한-중 및 한-일 해저터널) 프로젝트들이 본격적으로 검토 또는 계획되고 있다. 그러나 도심지 터널과 초장대 해저터널 건설 시에 필수적으로 적용되는 TBM에 대한 기반과 관련 기술이 매우 미약한 상황이다.

과거 한국건설교통기술평가원(現 국토교통과학기술진흥원)의 “기계화·자동화 터널건설을 위한 TBM 기술개발 기획연구(2010.8)”에서 수행된 국내 전문가 설문조사 결과에서도, 우리나라의 TBM 설계·제작기술은 선진국 대비 20%이라고 답변한 경우가 과반수 이상이었으며(응답자의 54%), TBM터널 건설기술의 수준도 선진국 대비 40~60%라고 평가한 응답자가 71%이었다. 이와 같이 우리나라의 TBM 관련 기술은 선진국과 큰 격차를 보이고 있으나, 전체 응답자 중의 88%가 TBM 국산화가 필요한 것으로 응답하여 TBM 국산화에 대한 요구가 높음을 알 수 있다

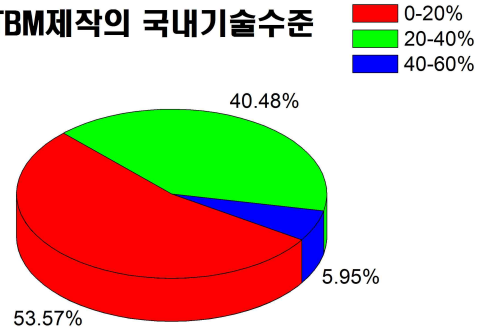
(그림 1.3.1).

TBM국산화의 필요성



(a) TBM 국산화의 필요성

TBM제작의 국내기술수준



(b) 우리나라의 TBM 제작기술 수준

[그림 1.3.1] 우리나라의 TBM 기술수준 설문조사 결과(출처: 한국건설교통기술평가원, 2010)

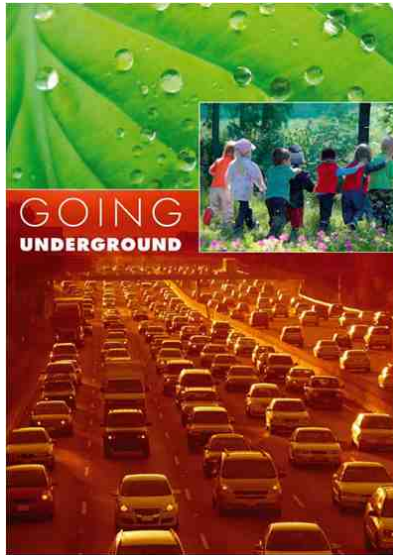
현재 우리나라가 참여 또는 계획하고 있는 상당수의 해외 터널 프로젝트들도 TBM터널(예: 터키 보스포러스 해저터널, 카타르 도하 메트로, 싱가포르 지하철 3단계, 아부다비 수로공사 등)인 관계로서 TBM 기술력을 확보하지 못하면 전 세계 터널 시장에 참여하기가 어려운 상황이다.

특히, 최근 들어 중국이 세계 최대의 터널 시장으로 급부상하였으며, 이를 기반으로 중국의 장대 터널 시공능력이 이미 우리나라를 능가한 것으로 평가(한국공학한림원, 2006, 세계일보 기사 인용)되고 있는 상황으로서 첨단 기술 확보가 국제경쟁력 및 해외시장 확보 측면에서 매우 시급하다.

더욱이 선진외국에서는 TBM 제작·생산 및 시공 경험을 40~50년 이상 축적한 반면, 우리나라는 1985년에서야 최초로 TBM공법이 적용되었고 대부분이 연장이 짧은 소구경 터널이었던 관계로 세계적인 대단면화·장대화 추세에 매우 뒤쳐져 있다.

앞서 기술한 바와 같이, 타 기술분야보다도 TBM 관련 분야의 핵심기술들은 특허 등 지적재산권화를 하기보다는 각 회사 또는 기관별로 독자적인 비공개 노하우(예: 미국 Colorado School of Mines의 커터헤드 설계기술 등)로 보유하고 있는 관계로 자구적인 기술격차 해소 노력이 시급한 상황이다.

유럽이 전 세계 TBM장비 및 TBM터널 건설기술을 주도하고 있는 상황임에도 불구하고 유럽에서는 EU공동프로젝트인 TUNCONSTRUCT(2004~2008) 프로젝트를 통해 TBM 커터헤드 설계기술 선진화, 고성능 디스크커터, 고성능 세그먼트 등 기술발전에 더욱 박차를 가하고 있으며, 역시 이에 앞서 유럽 공동으로 추진되었던 GOODLIFE(2000~2003)에서도 디스크커터 수명 향상 등의 기술개발이 이루어지고 있다 (그림 1.3.2).



(a) EU 공동프로젝트-TUNCONSTRUCT



(b) EU 공동프로젝트-GOODLIFE

[그림 1.3.2] 유럽의 TBM 관련 대형 연구 프로젝트 현황

일본 역시 지난 20년간 자국에서만 3,000개에 달하는 TBM터널 공사발주를 통해 TBM장비 및 TBM터널 건설기술을 도모하였고, 특히 지속적인 발주를 통해 TBM터널의 공사비를 합리적으로 절감하는 방안을 도모하고 있다.

중국은 향후 20년간 교통터널의 수요만 20,000여개에 달할 것으로 추정되고 있으며, 최근에는 프랑스 NFM사, 독일 Wirth 등을 합병한 자국의 중공업사들에서 독자적으로 TBM을 제작·생산하기에 이르렀다. 특히, 이는 정부 주도의 기술개발 및 정부의 전폭적인 지원 하에 이루어졌다. 또한 전 세계적인 추세에 맞게 중국 전체 지하철 구간의 70% 이상이 TBM으로 시공되고 있으며, 각종 초장대 터널 건설 프로젝트들이 구상되면서 TBM이 필수적으로 적용 또는 검토되고 있다(지왕률 등, 2008).

이와 같이 전 세계적인 추세와 기술수준에 크게 뒤쳐져 있음에도 불구하고 우리나라의 TBM 분야 연구개발사업은 극히 부족한 상황이다. 현재까지 TBM 분야에서 수행된 국가R&D사업은 극소수에 불과하다.

과거 정보통신부 R&D로 수행된 과제(2000~2003)에서는 KT통신구용 소구경 TBM장비가 개발되었으나, 직경 0.5~2.0m에 불과하여 실질적인 TBM이라고 보기 어려운 마이크로터널링(micro-tunnelling) 장비였다. 특히, 지반조건에 따른 TBM 커터헤드 설계기술 등에 대한 개발이 이루어지지 않았고 이수식(slurry) 소형 장비만이 제작되었다.

본 연구과제의 주관연구기관인 한국건설기술연구원에서는 TBM 관련 독자기술 확보를 위해 기관고유사업(2004~2009)을 통해 암반용 커터헤드 설계와 성능평가를 위한 LCM(Linear Cutting Machine)을 세계 6번째로 구축·활용하는데 성공하였다. 또한 건설교통R&D 과제(2004~2007)를 통해 암반TBM의 굴진성능 평가기술과 디스크커터 절삭 모델링 기법을 확보하였다. LCM을 기

반으로 한 암반용 굴진을 예측모델은 국내 TBM터널 설계실무에도 활용되고 있으며 디스크커터 절삭 모델링 기법 또한 독창적인 연구성과로서 세계적인 수준으로 고려되고 있다. 하지만 해당 과제에서는 암반, 토사지반 및 복합지반용 커터헤드 상세설계 기술과 성능평가 기술의 개발은 이루어지지 못하였다.

따라서 본 연구과제는 TBM에서 실제 지반을 굴착하며 TBM의 굴착성능을 좌우하는 가장 중요한 커터헤드의 설계·제작기술을 세계에서 7번째로 독자적으로 개발하는데 성공하였다는 점에 큰 의의가 있다. 그러나 TBM 제작과 관련해서는 직경 7 m급의 커터헤드 설계·제작기술만을 확보하여 기존에 사용된 외국산 TBM을 재활용(refurbishment)하는데 국한되어 있으므로, 향후에는 본 연구과제의 성과를 바탕으로 본격적인 100% TBM 국산화 연구사업이 이루어져야 할 것이다.

제4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치

본 연구과제는 앞서 기술한 바와 같이 세계에서 7번째로 비공개 기술분야였던 TBM 커터헤드의 독자적인 설계·제작기술을 확보하였다는데 큰 의의가 있다. 또한 기술개발에 머무르지 않고 개발된 기술에 의해 국산 커터헤드 장착 쉴드TBM을 제작하고 실제 TBM터널 시공에 투입함으로써, 기술개발 성과의 우수성을 검증하였다. 특히, TBM 커터헤드 설계기술의 모든 과정들을 통합하여 쉽게 TBM 커터헤드를 설계하고 그에 따른 굴착성능을 설계단계에서 예측할 수 있는 시스템을 제작하여 활용성을 높였다.

기존에는 외국의 원 제작사에서 TBM의 재활용 설계·제작을 수행하였으나, 앞으로는 본 연구과제의 성과에 의해 국내에서 재활용 설계·제작이 가능하게 되어 외화유출을 방지하고 그로 인해 TBM터널의 경제성을 향상시키는데 기여하였다. 향후에는 본 연구과제의 개발기술을 활용하면 100% TBM 국산화의 시기를 앞당길 수 있을 것으로 기대한다. 또한 해외 TBM터널 시장에 진출하고 있는 우리나라 건설사들이 시공조건에 적합한 TBM을 선정하고 설계하는데 활용이 가능하기 때문에, 국제적인 기술경쟁력을 확보할 수 있는 초석을 마련하였다고 할 수 있다.

고성능 디스크커터의 경우에도 세계 최고수준인 유럽 디스크커터 대비 동등 이상의 성능을 발현하면서 제작비용을 절감하는 기술을 개발하여, TBM의 굴착속도와 경제성을 향상시키는데 기여하였다.