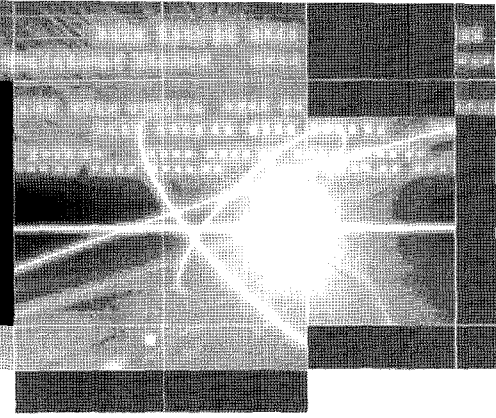


“TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술” 연구단



배규진
정회원
한국건설기술연구원
선임본부장



장수호
정회원
한국건설기술연구원
지반연구실
연구위원



이인모
정회원
고려대학교
건축사회환경시스템
공학과 교수

1. 연구단 추진배경

친환경적이고 경제적인 터널사공에 대한 기술적·사회적 요구에 따라 전 세계적으로 TBM(Tunnel Boring Machine)으로 대표되는 터널 기계화사공에 대한 수요가 증대되고 있다.

우리나라에서도 1985년 구덕 수로터널에 최초로 TBM이 적용된 이래로 TBM 누적 시공연장이 총 250km를 넘게 되었으나, 도심지 교통터널에서의 TBM 적용비율은 1% 미만으로서 전 세계적인 추세(예: 유럽의 경우 약 80%)와 큰 차이를 보이고 있으며(건설경제신문, 2009), 세계 최대급인 직경 15m이상의 TBM과 비교할 때 현재까지 국내에 적용된 TBM의 최대구경은 8.1m(분당선 한강하저터널)에 불과하여 적용 구경에 있어서도 외국과 큰 격차를 보이고 있다.

전문가 설문조사 결과에서도, 조사 대상자의 약 81%가 국내 TBM 건설기술 수준을 선진국 대비 60%로 응답한 바 있다(한국건설교통기술평가원, 2010).

전 세계적으로 도심지터널, 초장대 산악·해저터널 등

을 중심으로 TBM터널 관련 대형 프로젝트들이 추진 또는 구상되고 있으며, 우리나라에서도 TBM의 적용이 유망시 되는 대형 프로젝트(예: GTX, U-SMARTWAY, 초장대 해저터널 등)들이 검토되고 있는 실정에서 TBM 관련 독자기술 및 선진기술의 확보가 매우 시급하다고 할 수 있다.

이러한 배경에서 본 연구단이 추진 및 발족되기에 이르렀으며, 본 연구단의 추진경위를 정리하면 다음과 같다.

- 조선·중공업 활성화를 위한 신규검토 가능분야로 TBM 개발 보고(지식경제부, '09.11.5)
- 건설산업 경쟁력 차원에서 국토해양부가 주도적으로 추진하는 것으로 논의(국토해양부, '09.11.15)
- 「기계화·자동화 터널건설을 위한 TBM 기술개발 기획연구」 수행(발주기관: 한국건설교통기술평가원, 연구기관: 한국건설기술연구원, 연구책임자: 이성원 연구위원, 연구기간: '09.12~'10.8)
- 기획연구를 통해 TBM 관련 연구사업이 총 2단계로 제안됨. TBM 국산화 연구는 현재 시점의 시장성과 기술격차 등을 고려하여 본 연구단의 후속 2단계 사업으로 기획됨

- 1단계: TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM터널 최적 건설기술
- 2단계: 중대형급(직경 7~8m) 쉴드TBM 국산화 및 최적 활용기술
- 1단계 연구사업의 공고 및 협약
 - 공고기간: '10.10.27~'10.11.26
 - 선정평가: '10.12.15
 - 협약체결: '10.12.29

2. 연구단 개요

본 연구단의 구성, 연구기간 및 연구예산 등을 정리하면 다음과 같다.

- 발주기관: 한국건설교통기술평가원(건설기술혁신사업)
- 과제명: TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술
- 주관연구기관: 한국건설기술연구원
- 연구단장: 배 규 진(한국건설기술연구원 선임본부장)
- 연구기관: 고려대학교(3세부과제 책임자: 이인모 교수) 외 13개 기관
- 참여기업: 총 12개 기업
- 연구기간: '10.12.29 ~ '15.6.28 (4년 6개월)
- 연구예산: 총 16,481백만원 (정부출연금: 12,000백만원, 기업부담금: 4,481백만원)

3. 연구개발 목표

본 연구에서는 TBM의 독자 설계·제작을 위해 필수적인 복합지반용 쉴드TBM 커터헤드 설계기술과 이를 기반으로 쉴드TBM을 재활용하기 위한 설계·제작기술 확보와 더불어, NATM터널 대비 TBM터널의 경제성과 안정성 향상을 위한 핵심 부품·시공재료 및 리스크 최소화 기술 개

발을 목표로 설정하였다. 구체적으로 TBM장비와 관련해서는 직경 7m이상의 재활용 쉴드TBM 시작품 제작과 복합지반용 TBM 커터헤드 설계기술의 완성을 목표로 설정하였다.

또한 TBM터널의 경제성 향상을 위해서 쉴드터널 공사비의 약 40~50%를 차지하는 세그먼트와 디스크커터의 고성능화 기술을 개발하며 현행 대비 쉴드터널 직접공사비를 10%이상 절감하는 것을 두 번째 목표로 설정하였다.

마지막으로 TBM의 적용성 향상을 위해서 설계·시공단계에서 TBM 트러블 발생을 절감시키기 위한 쉴드TBM 전방 지반조사 및 리스크 관리 시스템 기술개발과 함께 TBM의 최적 활용을 위한 정책/제도 제안을 목표로 설정하였다.

이상과 같은 본 연구단의 연구개발 비전과 목표를 정리하면 다음의 그림 1과 같다.

이상과 같이 본 연구단에서는 TBM장비에서 가장 핵심적인 커터헤드 설계기술을 확보하면서 TBM터널의 경쟁력 향상을 위한 공사비용 절감을 목표로 설정하였다. 연구개발 대상기술들을 정의하면, ① 외국기술에 100% 의존하고 있는 TBM 기술자립을 위한 핵심기술(예: 복합지반용 커터헤드 설계기술 등) 확보, ② 직경 7m 이상급 재활용 쉴드TBM 시작품의 제작, ③ TBM터널 공사비에서 약 50% 가까이 차지하는 핵심 재료·부품(고성능 디스크커터, 고성능 세그먼트 라이닝 등) 개발을 통한 TBM터널 직접공사비 10% 이상 절감, ④ 설계·시공단계에서 각종 공사 트러블을 방지하기 위한 사전 대응기술 개발, ⑤ TBM 최적 활용을 위한 기반(발주체계, 단면표준화 등) 조성 ⑥ 전 세계적인 터널 기계화시공 추세와 그에 따른 해외 TBM터널 시장 진출을 위한 TBM터널 건설기술 선진화 등이 포함된다(그림 2).

본 연구단에서 도출될 주요 핵심기술들의 개발목표와 예상성과물들을 정리하면 다음의 표 1과 같다.

연차별로는 1차년도에 기반기술 및 조사연구가 이루어지고 3차년도까지 핵심기술들을 완성한 후, 4차년도와 5

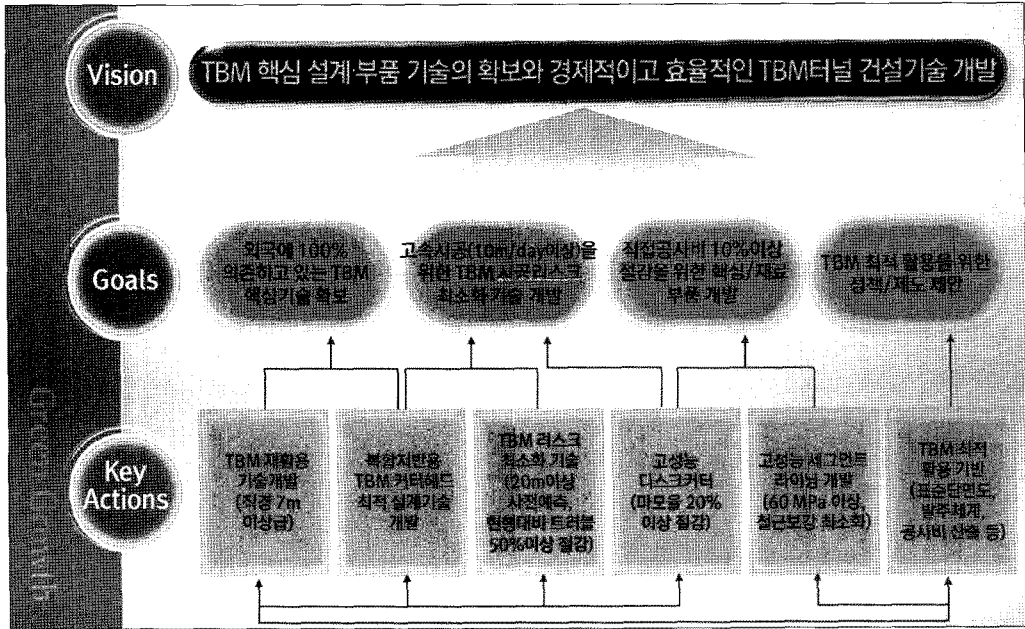


그림 1. 연구단의 비전과 목표

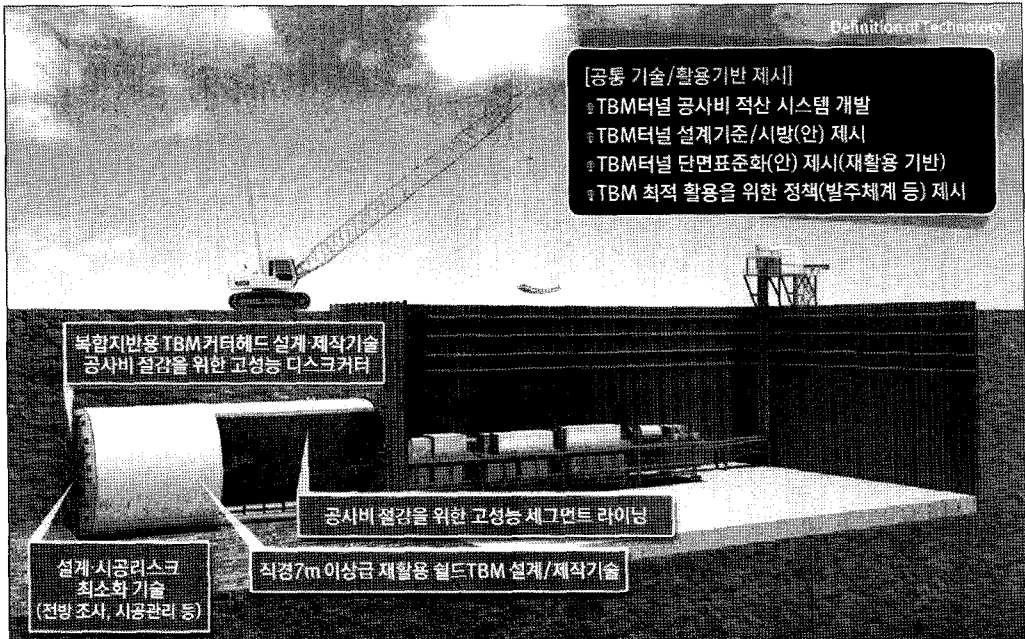


그림 2. 연구개발 대상 기술분야

표 1. 연구단 주요 핵심기술의 개발목표와 예상성과물

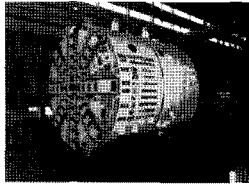
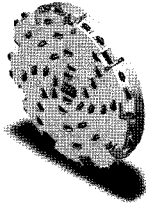
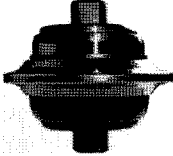
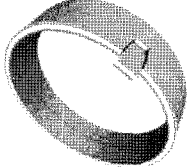
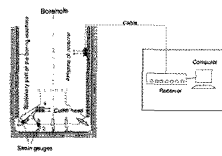
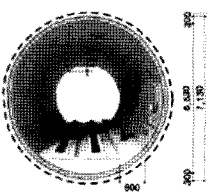
핵심기술	성과물	개요
TBM 재활용 기술		<ul style="list-style-type: none"> • 직경 7m 이상급 쉴드TBM 재활용을 재활용하기 위한 설계·제작기술 개발 • TBM 최적 사양 설계 패키지 • TBM 재활용 제작 인프라 • 재활용을 통한 고가의 TBM 경제성 향상 도모
복합지반용 커터헤드 최적 설계기술		<ul style="list-style-type: none"> • TBM에서 가장 핵심적인 커터헤드의 설계기술 확보 (2단계 연구에 직접 활용 가능) • TBM 커터헤드 설계모델 및 설계 패키지 • TBM 성능평가 연구인프라 • TBM 굴진율 10m/day 이상 달성 목표
고성능 디스크커터		<ul style="list-style-type: none"> • TBM 공사비의 약 10%를 차지하는 핵심부품(소모품) • 경압(압축강도 200MPa 이상) 대응 및 현행 대비 마모율 20% 절감 목표
고성능 세그먼트		<ul style="list-style-type: none"> • 쉴드터널 직접공사비의 약 30% 이상을 차지하는 세그먼트 비용절감을 위한 고강도화 철근보강 최소화 기술 개발 • 고강도 RC 세그먼트 및 고강도 SFRC 세그먼트 • 세그먼트 라이닝 자동화 해석설계 프로그램
TBM 리스크 최소화 기술		<ul style="list-style-type: none"> • 시공 중 TBM 트러블 발생을 대폭 절감시키기 위한 설계·시공 리스크 최소화 기술 개발 • 전방 20m 이상 사전 지반조사 시스템 • 실시간 리스크 관리 시스템 • TBM터널 적산시스템
TBM 최적 활용기반 기술		<ul style="list-style-type: none"> • TBM의 적용성과 경제성 향상을 위한 기반기술, 제도, 정책, 기준시방 제시 • TBM터널 표준단면도(안) • TBM터널 발주체계(안) • TBM터널 설계기준/시방(안)

표 2. 연구단의 연차별 연구개발 목표

연도	연구단계	세부연구목표
1차년도 (6개월)	기본기술 개발 및 조사연구	<ul style="list-style-type: none"> • TBM 커터헤드 최적 설계 및 TBM 재활용을 위한 기반연구 • 고성능 디스크커터 재료 선정 • 고성능 세그먼트 재료/아음부 기반연구 • TBM 전방예측/시공리스크 관리기술 조사연구 • 선진국의 TBM터널 단면/발주체계 사례조사 연구
2차년도 (12개월)	요소기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • TBM 커터헤드의 최적 설계모델 개발 및 커터헤드 제작설비 설계 • 고성능 디스크커터의 최적 형상/재료/구조 설계 • 고성능 세그먼트 최적 재료/배합 연구 및 아음부 개량구조 설계 • 세그먼트 라이닝 자동화 설계기법 연구 • TBM 전방예측 장비 모델 설계 및 시공리스크 영향인자 분석 • TBM터널 공사비 산출 시스템 조사 연구 및 단면/발주제도 개선방안 연구
3차년도 (12개월)	핵심기술 완성	<ul style="list-style-type: none"> • TBM 커터헤드 최적 설계시스템 개발 • TBM 커터헤드 제작설비 구축 • 고성능 디스크커터 1차 시작품 제작/성능평가 • 고강도 RC세그먼트 및 아음부 개량구조 시작품 제작/성능평가 • 전방 지반 예측기술/장비 및 시공리스크 평가모델 개발 • TBM터널 공사비 산출시스템 제작 및 표준단면도/정책방안 제시
4차년도 (12개월)	시작품 제작 및 최적 활용(안) 작성	<ul style="list-style-type: none"> • TBM 커터헤드 최적 설계시스템의 검증/보완 및 시작품 제작 • 고성능 디스크커터 최종 시작품 완성 • 고강도 SFRC세그먼트 시작품 제작 및 아음부 개량구조 개선 • 시공리스크 통합 관리를 위한 운영시스템 제작 • 적산시스템 적용성 평가, 표준단면도 개선 및 설계기준/시방 초안 작성
5차년도 (12개월)	현장적용 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> • 재활용 TBM 시작품 제작 및 현장적용 • 고성능 디스크커터의 현장적용 • 고성능 세그먼트 라이닝의 현장적용 • 전방 지반 예측 및 시공리스크 관리 시스템의 현장적용 • TBM 최적 활용을 위한 지침서 제시 및 설계기준/시방(안) 완성

차년도에는 실제 현장적용 등을 통한 기술 보완과 검증이 이루어지게 된다. 이상의 연차별 연구목표를 정리하면 다음의 표 2와 같다.

4. 연구단 구성

이상과 같은 연구개발 비전과 목표를 달성하기 위하여 본 연구단은 총 3개의 세부과제로 구성되어 있으며, 각 세부과제간 연계성에도 중점을 두어 연구가 추진될 예정이다(그림 3 및 그림 4 참조).

본 연구단은 TBM 관련 분야에서 국내 최고의 기술, 노

하우 및 인프라를 보유한 기관들을 중심으로 구성된 건설-기계-재료 분야의 융복합 연구진으로 구성되어 있으며, 최종 연구성과들을 실용화·사업화할 수 있는 관련 기업들이 다수 참여하고 있다. 또한 본 연구단은 산·학·연 비율이 12:9:2이며, 각 연구기관별로 수행해야 할 역할과 연구목표에 따라 연구기간에 다소 차이가 있다(표 3 참조).

5. 기대효과

본 연구단의 목표를 달성할 경우 기대할 수 있는 제반 파급효과들을 정리하면 다음과 같다.



그림 3. 연구단의 세부과제 구성

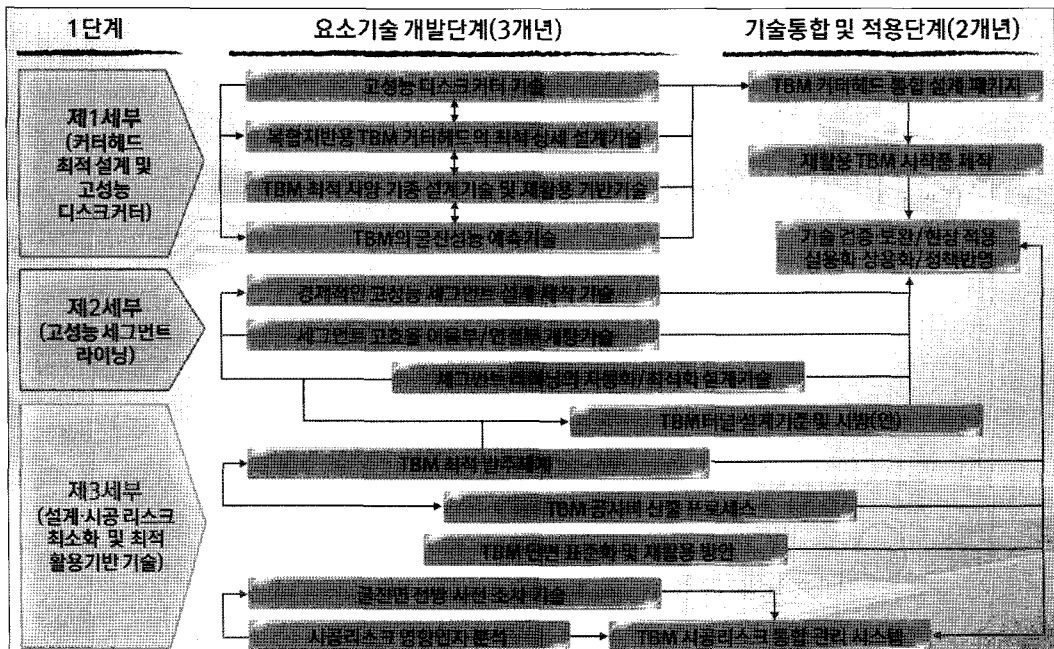


그림 4. 연구개발 기술로드맵

표 3. 연구기관별 역할 및 개요

세부과제	참여유형	역할	연구기관	연구책임자	연구기간
1세부	주관	복합지반용 TBM 커터헤드 설계기술 및 굴착성능 평가기술 개발	건기연	배규진	1~5차년도
	공동	커터헤드 제작/TBM 재활용 기술 개발	동아지질	정경환	1~5차년도
	공동	고성능 디스크커터의 개발	삼연기술	박지원	1~5차년도
	공동	수치모델링/실내실험에 의한 암반용 커터헤드 설계기법 개발	서울대	전석원	2~4차년도
	공동	토사지반 커터헤드 설계기술 개발	호서대	김상환	1~5차년도
	위탁	디스크커터 특성평가 및 합금설계	산업기술대	정용석	1~2차년도
	참여기업	재활용 TBM 제작 지원	반석건설기계	-	1~5차년도
2세부	협동	고성능 세그먼트 거동평가 및 현장적용 연구	건기연	장수호	1~5차년도
	공동	고성능 세그먼트 재료/이음부 기술 개발	삼표건설	이경태	1~5차년도
	공동	고성능 세그먼트 라이닝의 적용성 평가 연구	단우기술단	추석연	2~5차년도
	공동	지식기반형 세그먼트 라이닝 자동화 설계 시스템 개발	성균관대	유충식	2~5차년도
	위탁	철근보강 세그먼트의 구조최적화/철근보강 최소화 기술 개발	경성대	문도영	1~4차년도
	위탁	세그먼트 라이닝 이음부 성능평가 기법 개발	건국대	이석원	2~4차년도
	위탁	세그먼트 라이닝 해석모델/한계상태설계법 적용 연구	한서대	박인준	2~4차년도
참여기업	고성능 세그먼트 라이닝 현장 적용 및 지원	SK건설	-	1~5차년도	
3세부	협동	TBM전방 예측기법에 근거한 시공리스크 관리 시스템 개발	고려대	이인모	1~5차년도
	공동	전기비저항을 이용한 TBM전방 지반평가 시스템 개발	KAIST	조계춘	2~5차년도
	공동	선진시추/시추공 영상화에 의한 전방 지반평가 시스템 개발	희송지오택	김기석	2~5차년도
	공동	TBM터널 경쟁력 확보를 위한 최적 활용기반 연구	평화ENG	이호성	1~5차년도
	공동	TBM터널 공사비 산출 시스템 개발	넥스지오	박정훈	2~4차년도
	공동	TBM터널 설계기준/시방서 작성 연구	철기연	사공명	3~5차년도
	참여기업	TBM전방 예측/리스크 관리 시스템 현장적용 및 지원	두산건설	-	1~5차년도
	참여기업	소구경 TBM터널의 현장 적용 및 지원	특수건설	-	1~5차년도
참여기업	TBM전방 예측기법의 현장 적용 및 지원	한서ENG	-	1~5차년도	

- TBM 재활용, TBM 핵심 시공재료의 경제성 향상, 시공 중 트러블 저감 등을 통해 TBM 직접공사비 10% 이상 절감 도모 (직경 8m급 쉴드터널 기준)
- 외국에 100% 의존하고 있는 TBM 기술자립을 위한 핵심기술 확보를 통해 향후 2단계 연구사업인 TBM 국산화에 기여
- 선진국 대비 60% 이하 수준인 TBM터널 건설기술을 선진국 수준으로 향상하여 국제 기술경쟁력을 확보하고 전 세계 TBM터널 건설시장에의 참여 확대에 기여
- 국내 지반조건에 적합한 TBM 설계 기술 확보로 인한

기술 선진화 추구

- 현재 NATM대비 불리한 TBM터널 경제성을 향상시키고 공사 중 민원을 최소화시킬 수 있는 TBM터널 건설의 정착화에 기여
- 건설-기계-재료 분야의 융·복합 연구 활성화와 기술 확산에 기여
- TBM터널의 활성화를 위한 정책 및 기준/시방 제시를 통한 국내 TBM터널 건설시장 확대에 기여
- 기존 지상공간을 쾌적한 환경으로 유지하면서 토지 보상비를 최소화하고 녹색성장에 기여할 수 있는 도

심지 대심도 지하터널(GTX 및 U-SMARTWAY) 건설 추진에 기여

- 향후 호남-제주, 한-중 및 한-일 해저터널 건설을 위한 핵심 기술 확보
- 건설산업 및 기계산업 분야의 신시장 창출에 기여

하다고 할 수 있다. 향후 본 연구단의 연구성과들이 널리 활용되어 우리나라의 터널 기계화시공기술 발전에 기여할 수 있도록 본 연구진들은 최선을 다할 예정이다.

우리 학회의 많은 회원들이 참여하고 있으며 우리나라의 터널기술 발전에 기여하고자 하는 연구사업인 만큼, 회원 여러분들의 많은 격려와 도움을 부탁드립니다.

6. 맺음말

과거 암반용 커터헤드 설계를 위한 기초적인 연구과제와 통신구용 소구경 TBM장비(직경 2m, 1m 및 0.5m) 개발을 위한 연구사업이 수행된 바 있으나, 중대단면 이상의 실드터널에 중점을 두어 체계적인 연구가 이루어지는 최초의 연구사업이라는 점에서 본 연구단의 큰 의의가 있다.

세계 최고 수준의 TBM기술을 보유하고 있는 유럽에서도 TUNCONSTRUCT 프로젝트(EU-FP프로젝트, '05~'09)와 GOODLIFE 프로젝트(유럽공동프로젝트, '00~'03)를 통해 지속적으로 TBM 관련 기술력 및 경제성을 향상시키고 있다. 중국에서도 1966년부터 축적된 40년 이상의 소구경 TBM 설계·제작 경험과 프랑스 NFM社의 인수합병을 통해 최근 독자적으로 TBM 제작·생산을 하는데 성공하였다. 이러한 상황에서 본 연구사업의 추진이 다소 늦은 감이 있다.

중대형 국가R&D이라는 점과 선진국 대비 극히 뒤쳐진 TBM 기술력 확보라는 측면에서 본 연구단의 책임이 막중

감사의 글

본고는 한국건설교통기술평가원의 건설기술혁신사업인 “TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술(과제번호: 10CCTI-B056690-01)”의 일환으로 작성되었습니다.

참고문헌

1. 건설경제신문(2009), “‘실드TBM활용’ 선진국선 대세, 한국은 고작 1%”, 2009. 10. 13
2. 한국건설교통기술평가원(2010), 기계화·자동화 터널건설을 위한 TBM기술개발 기획연구보고서(연구기관: 한국건설기술연구원), 2010. 8.
3. GOODLIFE(Global Optimisation of Disc Cutter Tool Life for Tunnel Boring Machine), <http://www.iai.csic.es/goodlife>.
4. TUNCONSTRUCT(2008), Going Underground, <http://www.tunconstruct.org>.