

중대단면 TBM 국산화 기획 최종보고서(안)

2015. 9.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / 한국생산기술연구원
위탁연구기관 / 산업연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "중·대단면 TBM 국산화 기획"과제의 보고서로 제출합니다.

2015. 9.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원

주관연구책임자 : 장 수 호

연 구 원 : 배 규 진

" : 김 창 용

" : 이 규 필

" : 최 순 욱

" : 이 철 호

" : 강 태 호

협동연구기관명 : 한국생산기술연구원

협동연구책임자 : 남 윤 주

연 구 원 : 신 대 영

" : 이 종 호

위탁연구기관명 : 산업연구원

협동연구책임자 : 조 용 원

연 구 원 : 정 만 태

" : 권 문 주

보고서 요약서

과제고유번호	14RDPP-C0 74864-01	해 당 단 계 연 구 기 간	2014.08.11.~ 2015.08.10	단 계 구 분	1차년/1차년
연구사업명	국토교통연구기획사업				
연구과제명	최 상 위 과 제 명	중·대단면 TBM 국산화 기획			
연구책임자	장수호	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 13명 내부: 10명 외부: 3명	총연구비	정부: 150,000천원 기업: 0천원 계: 150,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국건설기술연구원 지반연구소	공동 및 위탁연구기관	(공동)한국생산기술연구원 (위탁)산업연구원		
국제공동연구	해당사항 없음				
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	279
<ul style="list-style-type: none"> • 중·대단면 TBM 국산화 및 사업화를 위한 연구개발 목표, 개발내용, 추진전략 및 기술로드맵 제시 • 중·대단면 TBM 관련 국내외 기술동향 및 시장현황·전망 분석을 통한 연구개발 방향 및 전략 제시 • 기계·건설·소재 등 국내 전문가 대상 기술수요조사 및 기술수준·예측조사를 통한 후보과제 도출 및 연구개발과제 구성 • 중·대단면 국산 TBM의 주요 성능 및 사양 목표 제시 • 세부과제별·연차별 기술로드맵 및 소요예산 도출 • 향후 본 사업 발주를 위한 과제 제안요구서(RFP) 및 평가기준 제시 					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	TBM, 터널 기계화시공, 국산화, 제작, 연구기획,			
	영 어	TBM, Mechanized tunnelling, Domestic production, Manufacturing, Research planning			

요 약 문

I. 제 목

중·대단면 TBM 국산화 기획

II. 기획과제의 정의 및 필요성

■ 기획과제의 정의

- 중·대단면(직경 7 m 이상) TBM 설계·제작 기술의 100% 국산화를 위한 연구개발 목표, 개발내용, 추진전략과 관련 기술로드맵 등 제시

■ 기획과제의 필요성

- 전 세계적으로 도심지 터널, 해저터널, 장대 산악터널에서 친환경적이고 고속시공이 가능한 TBM의 적용이 일반화된 추세이며 시장규모도 지속적으로 성장
- 특히, TBM은 도심지에서 환경성, 안정성 및 경제성 향상을 위한 최적의 터널공법으로 고려되고 있음
- 국가간·대륙간 연결통로로서 초장대 해저터널 건설이 활발히 진행·구상되고 있으며, 경제성 및 안전성 측면에서 TBM을 필수적으로 적용하고 있는 추세
- 최근 들어 발주되고 있는 해외 터널 프로젝트의 대부분이 TBM터널인 관계로, 국내 건설사의 해외공사 참여 시에 기술적인 애로사항을 해결해줄 수 있는 국제적 수준의 기술경쟁력을 갖춘 국내 TBM 제작사가 필요
- 우리나라에서도 TBM 적용이 유력한 수도권 급행 광역철도 GTX(Great Train eXpress), 서울시 U-SMARTWAY 등의 메가 터널 프로젝트들이 구체적으로 검토되고 있으며, 호남-제주 해저터널, 한-중 해저터널, 한-일 해저터널 등의 초장대 해저터널들도 구상 중
- TBM은 기술집약적 건설장비로서 관련 핵심기술은 극소수의 제작사별로 비공개 보유하고 있기 때문에 시장진입 장벽이 높은 과점시장 형태임
- 하지만 전 세계적으로 TBM이 기존의 재래식 터널공법(conventional tunnelling method)을 대체하고 있음. 따라서 TBM 자체 제작 시에 내수시장 대응뿐만 아니라 관련 세계시장 진출 기반을 마련할 수 있음
- 그러나 현재의 기술력으로는 TBM의 자체 설계·제작이 불가능하여 외국산 TBM의 도입이 불가피
- 유럽은 세계 최고 수준의 기술을 보유하고 있음에도 불구하고, 11개국 41개 기관이 참여한 EU공동 프로젝트(EU-FrameworkProject)인 “TUNCONSTRUCT” 프로젝트('04~'08) 등을 통해 지속적으로 기술 개발을 수행하고 있어, 타 국가와의 기술격차가 더욱 극심해지고 있음

- 중국은 세계 최대 건설시장이자 터널시장으로서, 정부 차원의 전폭적인 R&D 지원 및 외국 제작사의 M&A를 통해 세계 최대의 TBM 제작국가로 급부상
- 우리나라의 최대 직경 TBM은 8.41 m(원주-강릉 철도건설 11-3공구, 독일 Herrenknecht 사 제작)로서, 대부분의 TBM 실적이 전력구, 통신구 등의 소구경 유틸리티 터널에 집중되어 있어 세계적인 대단면화 추세와는 큰 격차
- 국토교통R&D로 수행되었던 “TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술” 연구단(‘10.12~’15.5)에서는 TBM터널의 공사비 절감에 중점을 둔 건설기술 위주의 연구사업으로서, TBM의 커터헤드만 국산화하여 기존 외국 TBM을 재활용하는데 의의가 있었으며, 본격적인 TBM 국산화를 위해서는 추가적인 연구가 필요
- TBM 산업은 국내 기반산업의 장점을 융합하여(건설-기계-소재) 고부가가치 및 신규 고용을 창출해 낼 수 있다는 특징을 가지고 있기 때문에, TBM 기술의 국산화를 통해 미래 성장산업으로의 성장을 기대할 수 있음

III. 국내외 동향 및 환경분석

■ 기술동향

- 현재 우리나라는 TBM의 설계·제작을 외국에 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 상황임
- 더욱이 선진외국에서는 TBM 제작·생산 및 시공 경험을 40~50년 이상 축적한 반면, 우리나라는 1985년에서야 최초로 TBM공법이 적용되었고 대부분이 연장이 짧은 소구경 터널이었던 관계로 세계 최고수준의 기술과 비교할 때 뒤쳐져 있음
- 본 기획과제의 전문가 설문에 의한 기술수준예측 조사 결과, 세계 최고 수준 대비 우리나라의 TBM 기술수준은 61.9%에 불과한 것으로 평가됨
- 더욱이 TBM 관련 분야의 핵심기술들은 특허 등의 지적재산권화를 하기보다는 각 회사 또는 기관별(전 세계 6개국)로 독자적인 비공개 노하우로 보유하고 있는 관계로 자구적인 기술격차 해소 노력이 시급함
- 중국은 정부의 전폭적인 지원 하에 기존의 프랑스, 독일, 이탈리아 등의 TBM 제작사를 인수합병하여 TBM 기술을 습득하고 있고 정부 주도의 기술개발 사업을 통해 TBM을 독자적으로 제작·생산하고 있으며 세계 최대의 TBM 제작국가로 급부상
- 이와 같이 전 세계적인 추세와 기술수준에 크게 뒤쳐져 있음에도 불구하고 현재까지 우리나라에서 TBM 설계·제작과 관련된 국가 R&D사업은 단 3건만 수행됨

■ 시장 및 산업 동향

- 전 세계적으로 TBM 제작대수 기준으로 소단면의 유틸리티터널(utility tunnel, 직경 4 m 이하)의 수요가 가장 크며, 최다 적용실적을 보유한 일본에서도 상·하수도/가스/공

- 동구/전력의 적용실적이 전체의 74.2%를 차지 (직경 6 m 미만 90.6%)
- 우리나라의 경우에도, 전력구/가스관로/통신구/상·하수도의 적용실적이 전체의 80%를 차지 (고속도로/도로에의 적용 전무)
 - 하지만 장대/대단면 터널의 건설이 증가함에 따라 TBM 기술은 대단면화·대심도화·장대화 추세에 대응하기 위한 기술로 발전되고 있음
 - 전 세계적으로 직경 7 m 이상의 중·대단면 TBM은 연장이 길거나 높은 안전성이 요구되는 조건의 철도/지하철 터널에 대부분 적용되고 있음
 - 세계 최대 TBM 제작사인 독일 Herrenknecht社의 실적 기준, 교통터널(traffic tunnel) 가운데 지하철/철도(직경 6~13 m)가 87%로서 가장 큰 비중을 차지하고 있음
 - 2009~2014년 기간 동안 전세계 TBM 수요는 2009년 294대에서 2014년 465대로 158%의 큰 증가율을 보임
 - 향후 2015~2020년 기간 동안 TBM 생산은 2015년 227대에서 2020년 302대로 33% 증가할 전망이며, 생산가능량도 308대에서 458대로 49% 증가할 전망임 (산업연구원, 2015)
 - 2008년까지 세계시장의 약 40%를 점유하고 있던 독일 Herrenknecht社의 매출은 지속적으로 증가하고 있으나, 인수합병과 대규모 투자로 인해 중국의 CRTE, CRCHI, NHI 등이 급격하게 성장하고 있어 Herrenknecht社의 세계 시장 점유율은 감소 추세
 - 세계 최대 시장으로 급부상한 중국의 TBM 수요는 2009년 이후 지속적으로 증가하여 2014년까지 연평균 15%의 증가율을 나타내고 있음
 - 특히, 중국은 '국가 863 계획사업' 지원 하에 인수합병과 자국 기술로 TBM의 자체 연구 개발에 성공한 이후, 그 동안 독점해오던 해외 장비 도입을 줄이고, 제조원가를 절감시키기 위해 TBM 제조사업을 16개 중대 장비 기술 사업의 하나로 편성하고 다양한 건설 사업에 자국 장비를 투입시킴
 - 중국의 TBM 생산 및 개발 증가는 향후 2020년까지 계속되어 생산 가능량과 생산량이 각각 8.85% 및 9.07%의 증가율을 보일 것으로 전망됨
 - 최근의 초장대 산악터널과 초장대 해저터널의 대부분은 경제성과 안전성을 확보할 수 있는 TBM으로 시공되고 있음. 현재 세계 10대 초장대 터널 가운데 5개가 TBM으로 완공 또는 시공 중으로서, 나머지 5개 초장대 터널은 과거에 발파공법 등에 의한 재래식 터널로 시공된 사례임
 - 전 세계적으로 TBM시장은 7.5% 성장(2009년~2013년)하였으며, 중국의 경우에는 2009년~2014년까지 12%이상 성장하였고 앞으로도 성장할 것으로 예상됨
 - 중국의 철도투자는 지속적인 증가가 예상되며(도시철도: 2020년까지 2,677 km, 지하철: 2050년까지 18,829 km) 특히 지하철의 경우 쉘드TBM을 이용한 4,500 km(500개 프로젝트) 굴착공사가 예상됨
 - 우리나라에서도 1990년대 중반 이후로 TBM 시공실적이 증가하고 있으며 (연간 약 12% 증가), 특히 유틸리티터널 분야에서는 전력구(한국전력)의 TBM 공사가 지속적으로 발주되고 있으며 최근에는 가스관로의 노후화에 따라 향후 가스공사의 TBM 공사발주가 확

대될 것으로 예상됨

- 그러나 우리나라 도심지 교통터널에서의 TBM 적용 비율은 1% 미만으로서 전세계적인 추세와 큰 차이를 보이고 있음(유럽 80%, 일본 60%). 단, 서울시를 중심으로 지하철·철도터널에서 TBM 적용실적이 증가 추세
- 해외 터널공사 사업의 대부분이 TBM터널으로 발주되고 있으며, 대표적인 사례로는 국내 건설사들이 진출하고 있는 싱가포르 MRT, 카타르 도하 지하철, 아부다비 수로터널 등을 들 수 있음
- 장기적으로는 TBM의 적용이 유력한 수도권 광역급행철도(GTX), 서울시 지하도로망(U-SMARTWAY), 한·중/한·일 해저터널 등의 검토가 이루어지고 있음

IV. 연구개발과제 목표 및 구성

■ 연구개발과제의 비전 및 목표

- ‘중·대단면 TBM 국산화를 통한 글로벌 시장 진출’을 위해 ‘중·대단면(완성품 직경 7~9m) TBM의 국산 설계·제작기술 개발’을 목표로 설정함
- 대단면 TBM의 경우 일부 제작사 및 일부 국가에서만 제작 및 시공경험을 보유하고 있으며, 직경이 증가할수록 위험성 및 가격, 고 사양이 증가하여 시장성이 낮음
- 설문조사 결과 국내 전문가들은 시장수요가 많아 국산화 시 효과가 크고 국산화 성공 가능성도 높은 7~9m급(지하철/철도) TBM터널 완성품이 국산화 대상으로 가장 적합한 것으로 고려하고 있음

■ 연구개발과제의 구성

- 후보과제 우선순위 도출결과와 기술·시장 동향분석 결과 등의 기획연구 수행 결과를 고려하여 연구개발 목표와 주요 연구내용을 도출함
- 세부목표로 ‘TBM 완성품 설계 및 제작기술 자립화’, ‘국산화 시뮬레이터 기반 TBM 운영 전문인력 확보’를 설정함
- 세부목표 달성을 위해 ‘TBM 완성품 개발’, ‘TBM 핵심부품 개발’, ‘TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발’을 동 연구개발사업의 중점추진분야로 설정함



V. 사전타당성 검토

■ 정책적 타당성

- 중·대단면 TBM 국산화 연구개발과제는 ‘박근혜정부 국정목표 및 국정과제(’ 5, ’ 10, ’ 91)’, ‘경제혁신 3개년 계획(’ 18, ’ 26, ’ 31)’, ‘창조경제(전략 2)’, ‘법적계획: 제3차 과학기술기본계획(’ 13~ ’ 17), 제5차 건설기술진흥기본계획(’ 13~ ’ 17)’의 건설공사 현장의 재해 및 안전사고 저감과 고부가치 원천기술 확보를 추구하는 방향성에 부합함
- 또한 해외건설 시장 공략 및 글로벌 전문인력 양성등을 함께 고려하고 있어 ‘박근혜정부 미래성장동력(’ 9, ’ 19)’, ‘국토교통 R&D 중장기 전략(’ 14.7)’, ‘2014년도 해외건설 추진계획(국토교통부, ’14.4)’의 해외건설 특화기술 및 글로벌 트렌드를 추구하는 방향성에 부합함

■ 기술적 타당성

- 산·학·연 전문가를 대상으로 중·대단면 TBM 국산화 관련 기술의 실현시기, 기술수준, TRL단계, 중요도 등을 고려하여 기술개발이 필요한 기술아이템에 대한 기술수요를 조사함
- 중·대단면 TBM 국산화기술의 기술획득 방식은 대체적으로 정부-민간 공동(57%)이 중요성이 높은 것으로 나타남

■ 경제적 타당성

- 중·대단면 TBM기술의 국산화를 통해 국내 터널 시장뿐만 아니라 국내 건설사의 해외 TBM터널 수주 시장에 적용/지원하여, 해외 TBM 제작기업에의 외화유출을 절감
- 세계적인 수준의 TBM 운용 전문인력 양성을 통해, TBM 시공품질을 향상시키고 (시공트러블 저감) 국산 TBM 제작사의 서비스 경쟁력을 확보. 또한 숙련된 전문인력에 의해 TBM 시공트러블 발생 시에 시공 지체시간을 최소화하고 관련 공사비용 절감
- TBM 제작 관련 기업 및 건설사의 매출증대 및 수주실적 증대
- 개착공법 및 NATM공법 적용 시 수반되는 소음진동으로 인한 환경피해, 낙반으로 인한 붕괴사고 피해 등으로 발생하는 사회적 간접비용 저감
- 투입 연구비 대비 연구추진이 타당한 B/C 확보 가능
- 2015년 대비 연구종료 시점인 2020년에 33% 증가가 예상되는 전 세계 TBM 제작시장에의 참여와 수주(2012년 기준 전 세계 TBM 제작 시장규모 추정액: 약 4조1,100억원)

목 차

1장. 개요	1
1절. 기획 과제 정의 및 범위	1
1. 기획 과제의 정의 및 필요성	1
2. 기획 과제의 범위	8
2절. 기술분류 및 내용	10
1. 기술분류체계도	10
2. 기술분류별 기술내용	13
2장. 동향조사 및 환경분석	16
1절. 국내외 정책동향	16
1. 국외 정책동향	16
2. 국내 정책동향	18
2절. 국내외 시장현황 및 전망	25
1. 국외 시장현황 및 전망	25
2. 국내 시장현황 및 전망	46
3절. 국내외 기술동향	65
1. 국외 기술동향	65
2. 국내 기술동향	88
3. 특허분석	95
4. 논문분석	101
4절. 종합분석	104
1. 국내외 정책동향분석 시사점	104

2. 국내외 시장동향분석 시사점	105
3. 국내외 기술동향분석 시사점	107
3장. 기술수요 및 수준 · 예측조사	108
1절. 기술수요조사	108
2절. 기술수준 및 예측조사	112
1. 기술수준 및 기술격차	112
2. 최고기술보유국	125
3. 기술기반(인프라) 성숙도	129
4. 기술획득 방식	138
5. 정부우선 시행방안	143
4장. 연구개발과제 구성 및 추진전략	150
1절. SWOT / Issue-Tree 분석	150
1. SWOT 분석	150
2. Issue-Tree 분석	152
2절. 국산화 대상 TBM 직경 설정	153
3절. 비전 및 목표	160
1. 비전	160
2. 목표	160
3. 중점추진 분야	162
4. 중·대단면 국산 TBM의 주요 목표 성능 및 사양	162
4절. 연구개발과제 우선순위 평가	163
1. 개요	163

2. 후보과제 우선순위 평가결과	167
5절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략	170
1. (세부과제 1) TBM 완성품 개발 분야	170
2. (세부과제 2) TBM 핵심부품 개발분야	175
3. (세부과제 3) TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발 분야	179
6절. 성과의 활용방안	184
7절. 과제별·연차별 기술로드맵	185
1. 총괄 로드맵	185
2. 과제별 로드맵	185
8절. 연구수행체계 제안	187
1. 연구추진체계 정립	187
2. 추진조직	187
3. 추진체계	188
5장. 인력투입계획 및 소요예산 산정	189
1절. 연구일정에 따른 인력계획	189
1. 전체사업 인력투입계획	189
2. 세부과제별 인력투입계획	190
2절. 소요예산 산정	193
1. 예산 산정방법	193
2. 전체사업 소요예산	194
3. 세부과제별 소요예산(정부출연금)	196

6장. 사전타당성 검토	198
1절. 정책적 타당성	198
1. 국가전략의 중요성	198
2. 상위계획 부합성	198
3. 정책적 추진의지	201
2절. 기술적 타당성	202
1. 기술개발 계획의 적절성	202
2. 기술수준 및 성공가능성	203
3. 기존 사업과의 중복성	204
3절. 경제적 타당성	205
1. 경제적·기술적 효과(정성적 분석)	205
2. 파급효과	206
3. 경제성 분석(정량적)	206
7장. 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정	221
1절. 과제 제안요구서(RFP)	221
2절. 평가기준 설정	235
1. 평가항목	235
2. 가점 및 감점기준	236
[부록 1] 후보과제 카드	238
[부록 2] 직경 8m급 토압식 쉘드TBM 주요 구성품 제원 산출 규격서 ...	270

1장. 개요

1절. 기획 과제 정의 및 범위

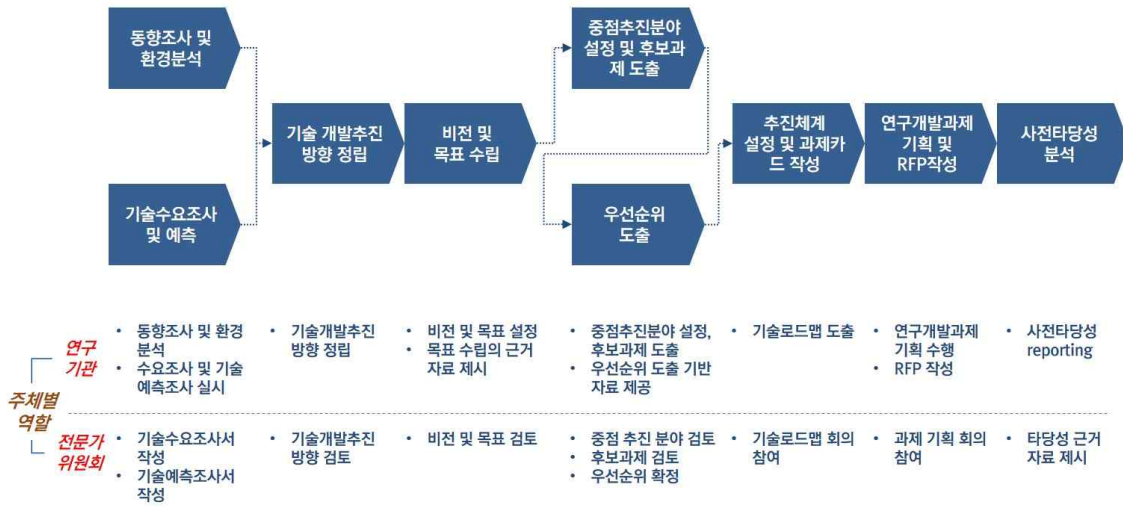
1. 기획 과제의 정의 및 필요성

(1) 기획 과제의 정의

- TBM 설계·제작 기술의 100% 국산화를 위한 연구개발 목표, 개발내용, 추진전략과 관련 기술로드맵 등 제시
 - 대단면 터널 굴착용 TBM 커터헤드 및 굴진면 안정화 시스템
 - TBM 추진 및 운영 시스템
 - 세그먼트 라이닝 시공을 위한 세그먼트 이렉터
 - 굴착 버력 및 토사의 운반·처리 등을 위한 후방설비 시스템
 - TBM 전문 오퍼레이터 교육·훈련을 위한 시뮬레이터
- ※ TBM(Tunnel Boring Machine) : 전면의 커터헤드(cutterhead)를 회전시켜서 터널을 굴착하는 대단면 터널 굴착기
- 본 기획연구에서는 관련 시장 및 기술 전망 분석을 통해 직경 7 m 이상의 중·대단면 대단면 터널굴착기(Tunnel Boring Machine)의 국산화를 위한 원천 설계·부품·제작 기술의 연구개발 목표, 개발내용, 추진전략 및 관련 기술로드맵을 제시
 - ※ 일반적으로 직경 14 m 이상을 대단면 TBM(Mega TBM), 직경 7~14 m를 중단면 TBM, 직경 6 m 이하를 소단면 TBM으로 분류 (출처: <http://www.tunneltalk.com> 외)
- 향후 시장성과 적용성을 고려한 TBM 시제품 제작규모(TBM 직경)의 설정, 성능 검증 및 실증 방안 도출
 - 지하철, 철도(고속철도 포함), 도로터널, 지하도로 등의 건설에 사용될 수 있는 중·대단면 TBM터널을 대상으로 검토
 - 다양한 국내·외 수요처, 기술확보 가능성, 시장전망 및 소요예산 등을 고려하여 실제 활용이 유망한 중·대단면 TBM 시제품의 제작규모 도출
 - 직경 7~8m급 쉘드TBM의 1대당 가격은 약 120~150억원으로써, 연구예산의 효율적인 투입방안 도출

- 본 기획과제는 건설분야의 유일한 정부출연연구기관인 **한국건설기술연구원**이 주관연구기관으로서 과제를 총괄하며, **한국생산기술연구원**은 기계·소재 분야의 국내외 기술력 및 인프라 분석을 수행하고, **산업연구원**은 TBM의 시장 분석 및 전망을 제시하는 건설-기계·소재-산업분석 분야의 **융복합 연구진**으로 구성
- TBM 1단계 연구사업인 “TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM터널의 최적 건설기술” 연구단을 주관으로 수행 중인 한국건설기술연구원(주관)에서는 건설분야의 수요자 측면에서 TBM 개발방향 및 1단계 주요 연구성과들과의 연계성 확보방안 제시
- 한국생산기술연구원(공동)은 기계 및 소재 분야의 국내외 전문가와 기업들과 연계하여 국산 TBM의 제작을 위한 기술개발 로드맵과 관련 소요 예산을 산출. 또한 **한국기계연구원 연구진들이 국산 TBM에 대한 신뢰성/안전성 확보를 위한 기술분석 및 검토를 수행하기 위한 전문가로서 공동 참여**
- 산업연구원(위탁)은 TBM의 개발방향을 제시하기 위한 TBM 관련 국내외 시장 현황을 분석하고 미래 전망을 예측

연구기관	중점 연구목표
주관연구기관 (건설연)	<ul style="list-style-type: none"> ● 시장 및 기술수요 조사를 통한 TBM 개발방향 수립 ● 중·대단면 TBM 커터헤드 제작기술 개발방향 수립 ● TBM 전문인력 양성을 위한 시뮬레이터 개발방향 수립 ● 국산 TBM의 실증 방안 기획 ● 연구개발사업의 소요 예산 산출 및 타당성 분석 ● 1단계 연구사업인 “TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술” 연구단의 연구성과와의 차별성 및 연계성 확보 방안 제시 ● 국산 TBM의 시장 진출전략 제시
공동연구기관 (생기연)	<ul style="list-style-type: none"> ● 기계·소재 분야의 국내외 기술 현황 및 인프라 분석 ● TBM 추진 및 운영 시스템 개발방향 수립 ● 세그먼트 이렉터 및 후방설비 시스템 개발방향 수립 ● TBM 시작품 제작을 위한 소요 예산 산출 및 타당성 분석
위탁연구기관 (산업연)	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 TBM 수요처 분석 및 미래 수요 전망 ● 세계 TBM 시장 구조 분석 및 전망 ● 국산 TBM 제작시 경제적 효과 분석



<기획연구의 Total Frame Work>

(2) 과제 추진의 배경 및 필요성



<기획연구의 배경 및 필요성>

- 전 세계적으로 **도심지 터널, 해저터널, 장대 산악터널**에서 친환경적이고 고속 시공이 가능한 **TBM의 적용이 일반화된 추세**이며 **시장규모도 지속적으로 성장**
 - 도심지 교통터널 TBM터널 비율 : 유럽 80%, 일본 60%, 한국 1% 미만
 - 전 세계 10대 초장대 터널 중 TBM터널 : 50%('00년 이후 80%)
 - 연장이 긴 터널에서 시공속도가 빨라 공사기간/공사비용 절감되고, 기계식 굴착으로 시공 중 안전성이 뛰어나며 주변 환경피해(소음/진동, 침하 등) 최소화



도심지 터널
(유럽 80%, 국내 1%미만)



초장대/장대 산악터널
(최근 초장대 터널의 대부분 TBM터널)



해저/하저 터널
(안전성 확보 측면에서 실드터널 일반화)

<TBM의 활용성>

- 특히 TBM은 도심지에서 **환경성, 안정성 및 경제성 향상을 위한 최적의 터널공법**으로 고려되고 있음 (예 : 지하철, 지하도로, 지하저류지, 지하방수로, 전력구·통신구·가스관로 등)
- 국가간·대륙간 연결통로로서 초장대 해저터널 건설이 활발히 진행·구상되고 있으며, 경제성 및 안전성 측면에서 TBM을 필수적으로 적용하고 있는 추세
 - TBM에 의한 해저터널 건설사례 : 채널터널(영·불 해저터널), 도쿄 아쿠아라인 해저터널, 터키 이스탄불 보스포러스 해저터널 등
- 최근 들어 발주되고 있는 **해외 터널 프로젝트의 대부분이 TBM터널인** 관계로, 국내 건설사의 해외공사 참여 시에 기술적인 애로사항을 해결해줄 수 있는 국제적 수준의 기술경쟁력을 갖춘 국내 TBM 제작사가 필요
 - 사례(국내 건설사 진출) : 터키 보스포러스 해저터널, 싱가포르 MRT, 카타르 도하 지하철, 아부다비 수로터널 등
- 우리나라에서도 TBM 적용이 유력한 수도권 **급행 광역철도 GTX(Great Train eXpress)**, 서울시 U-SMARTWAY 등의 메가 터널 프로젝트들이 구체적으로 검토되고 있으며, **호남-제주 해저터널, 한-중 해저터널, 한-일 해저터널** 등의 초장대 해저터널들도 구상 중
- TBM은 기술집약적 건설장비로서 관련 핵심기술은 극소수의 제작사별로 비공개 보유하고 있기 때문에 **시장진입 장벽이 높은 과점시장** 형태임.

- TBM은 외국으로부터 100% 수입되고 있으며 **선진 6개국에서만 설계·제작 원천기술 보유(비공개)**
 - ※ TBM 생산 국가('10년 기준) : 독일, 일본, 미국, 캐나다, 프랑스, 이탈리아
 - ※ TBM 생산 국가('15년 기준) : 독일(Wirth社 중국에 합병), 일본, 미국, 캐나다, **프랑스(NFM社 중국에 합병), 이탈리아(SELI社 중국에 합병)**, 중국, 호주(소구경 세미셴드에서 사업 확대)
- 반면, 기존의 개착 또는 발파 공법과 비교할 때 안전하고 굴착속도가 빠르며 소음·진동 등의 공사 중 환경피해를 최소화할 수 있어 국내외 수요가 증가하고 있으며 기존의 재래식 터널공법(conventional tunnelling method)을 대체하고 있음. 따라서 TBM 자체 제작 시에 **내수시장 대응뿐만 아니라 관련 세계시장 진출 기반을 마련할 수 있음**
- 그러나 현재의 기술력으로는 TBM의 자체 설계·제작이 불가능하여 외국산 TBM의 도입이 불가피
- **유럽**은 세계 최고 수준의 기술을 보유하고 있음에도 불구하고, 11개국 41개 기관이 참여한 EU공동 프로젝트(EU-FrameworkProject)인 “TUNCONSTRUCT” 프로젝트('04~'08) 등을 통해 **지속적으로 기술 개발을 수행**하고 있어, 타 국가와의 **기술격차가 더욱 극심해지고 있음**
- **중국**은 세계 최대 건설시장이자 터널시장으로서, **정부 차원의 전폭적인 R&D 지원 및 외국 제작사의 M&A**를 통해 세계 최대의 TBM 제작국가로 급부상
- 세계 최대의 TBM은 현재 제작 중인 직경 19m의 쉘드TBM (러시아 상트페테르부르크 Neva 하저터널, 독일 Herrenknecht사 제작)
 - 우리나라의 최대 직경 TBM은 8.41 m(원주-강릉 철도건설 11-3공구, 독일 Herrenknecht사 제작)로서, 대부분의 TBM 실적이 전력구, 통신구 등의 소구경 유틸리티 터널에 집중되어 있어 세계적인 대단면화 추세와는 큰 격차
- 세계 최고 TBM 굴진속도(Open TBM 기록) : 68m/day(미국 리버마운틴 터널)
 - 국내 최고 TBM 굴진속도(Open TBM)은 17m/day(죽령터널)로서 역시 세계 최고기록과는 큰 격차를 보이며, 이는 관련 기술과 시공경험이 절대적으로 부족하기 때문임
 - ※ 굴진속도는 현장 지반조건이나 굴착 직경에 따라 좌우
- 국토교통R&D로 수행되었던 “TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건

설기술” 연구단(’10.12~’15.5)에서는 TBM에서 가장 핵심적인 커터헤드(직경 7m급)의 독자적인 설계·제작 기술을 확보하고(세계 7번째), 이를 기반으로 기존 TBM을 재활용하는데 성공

- 직경 7m급 TBM 커터헤드 설계·제작 기술 확보(TBM 국산화율 약 20% 달성, TBM 전체 가격 중 커터헤드 비율 기준)
- 국산 커터헤드 장착 직경 4.4m 및 3.6 m 재활용 쉴드TBM 실제 시공 완료(연장 1.5km 해저 배출관로 및 연장 1.27 km 케이블 지중화 공사)
- 선진국 디스크커터 대비 동등 이상의 성능을 구현하며 기존 대비 20% 이상 마모를 저감할 수 있는 고성능 디스크커터 완성
- 제작비용 10% 이상 절감이 가능한 고강도 RC 세그먼트, SFRC(Steel Fibre Reinforced Concrete) 세그먼트와 Hybrid SFRC 세그먼트 완성 및 실 적용
- TBM 전방 조사시스템, TBM 시공리스크 관리시스템, TBM터널 단면 표준화/활성화 정책제안, TBM 공사비 산출시스템 등 TBM 지원기술 개발

○ 그러나 “TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술” 연구단에서는 TBM터널의 공사비 절감에 중점을 둔 건설기술 위주의 연구사업으로서, TBM의 커터헤드만 국산화하여 기존 외국 TBM을 재활용하는데 의의가 있었으며, 본격적인 TBM 국산화를 위해서는 추가적인 연구가 필요

○ TBM 산업은 국내 기반산업의 장점을 융합하여(건설-기계-소재) 고부가가치 및 신규 고용을 창출해 낼 수 있다는 특징을 가지고 있기 때문에, TBM 기술의 국산화를 통해 미래 성장산업으로의 성장을 기대할 수 있음



<“TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술” 연구단의 주요 목표>

<“TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBMT터널의 최적 건설기술” 연구단의 연구성과물>

최종 연구성과물		성과 개요
복합지반용 커터헤드 최적 설계·제작 기술		<ul style="list-style-type: none"> ● TBM에서 가장 핵심적인 커터헤드의 설계기술 확보 (세계 7번째) ● TBM 커터헤드 설계모델 및 설계 패키지 ● TBM 굴착성능 평가 인프라 ● 국산 커터헤드 장착 TBM 제작에 활용
국산 커터헤드 장착 쉴드 TBM 시작품		<ul style="list-style-type: none"> ● 국산 커터헤드 장착 쉴드TBM 시작품 제작 및 시공 (Test-Bed #1 및 #2) ● TBM 커터헤드 제작 부속설비 및 jig ● 재활용을 통한 고가의 TBM 경제성 향상 도모 ● TBM 굴진율 10 m/day 이상 달성
고성능 디스크커터		<ul style="list-style-type: none"> ● 경압(압축강도 150 MPa 이상) 대응 및 현행 외국산 커터 대비 소모량 20% 절감이 가능한 커터 링 개발 ● 외국산 롤러 베어링을 대체하기 위한 바이메탈 부상 내부구조 개발
고성능 세그먼트		<ul style="list-style-type: none"> ● 철근보강 최소화와 두께 축소를 통한 경제적인 세그먼트 기술 개발 ● 설계강도 60 MPa 이상의 고로슬래그 50% 치환 고강도 RC 세그먼트 ● 세계 최고 수준의 고성능 Hybrid 및 Full SFRC 세그먼트
TBM 전방 지반조사에 기반한 TBMT터널 시공리스크 관리 시스템		<ul style="list-style-type: none"> ● 굴진면 전방 20 m 이상 사전 지반조사 기법 및 지반조사 장비(전기비저항 프루브드릴링, 전기비저항 디스크커터 센서 및 선진 시추 시스템) ● 실시간 TBM 시공리스크 관리 시스템
TBM 최적 활용 기반		<ul style="list-style-type: none"> ● 용도별 TBMT터널 표준단면도(안) ● TBM 공사비 적산 시스템 ● TBMT터널 발주체계(안) ● TBMT터널 설계기준/시방(안)

2. 기획 과제의 범위

- 본 기획연구에서는 다음과 같은 TBM의 주요 구성별로 실제 연구개발이 요구되는 기술들을 상세 분석하여 연구개발 전략을 제시

■ TBM터널의 굴착성능 및 굴진면 안정성 확보를 위한 후드부(hood)

- 중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작 기술
- TBM터널 굴진면 안정화 시스템(토압식, 이수식 등)

■ TBM 추진 및 운영 시스템

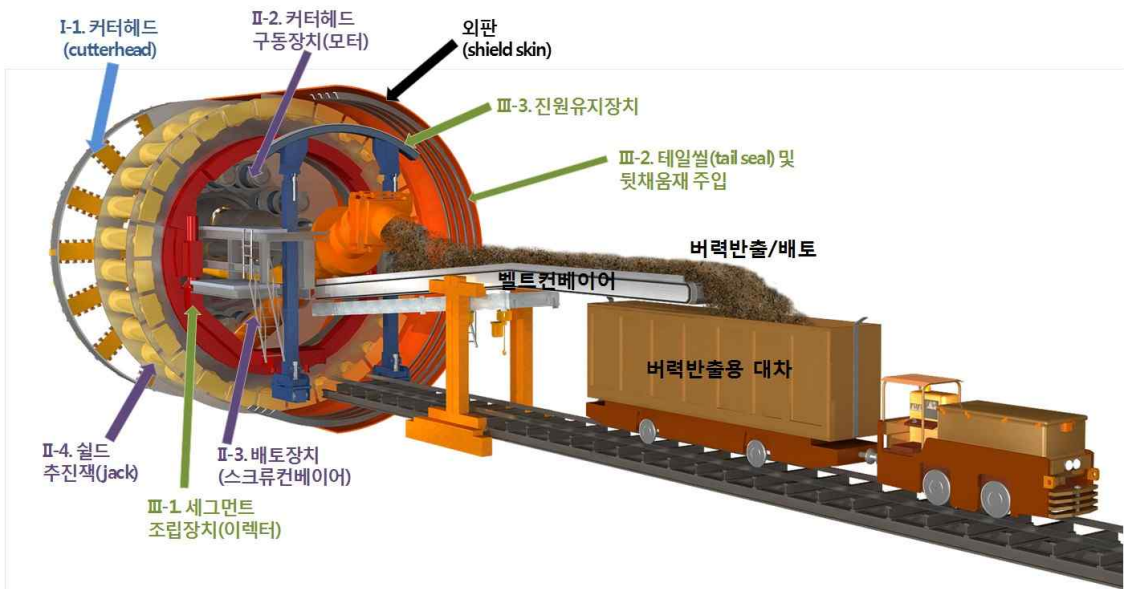
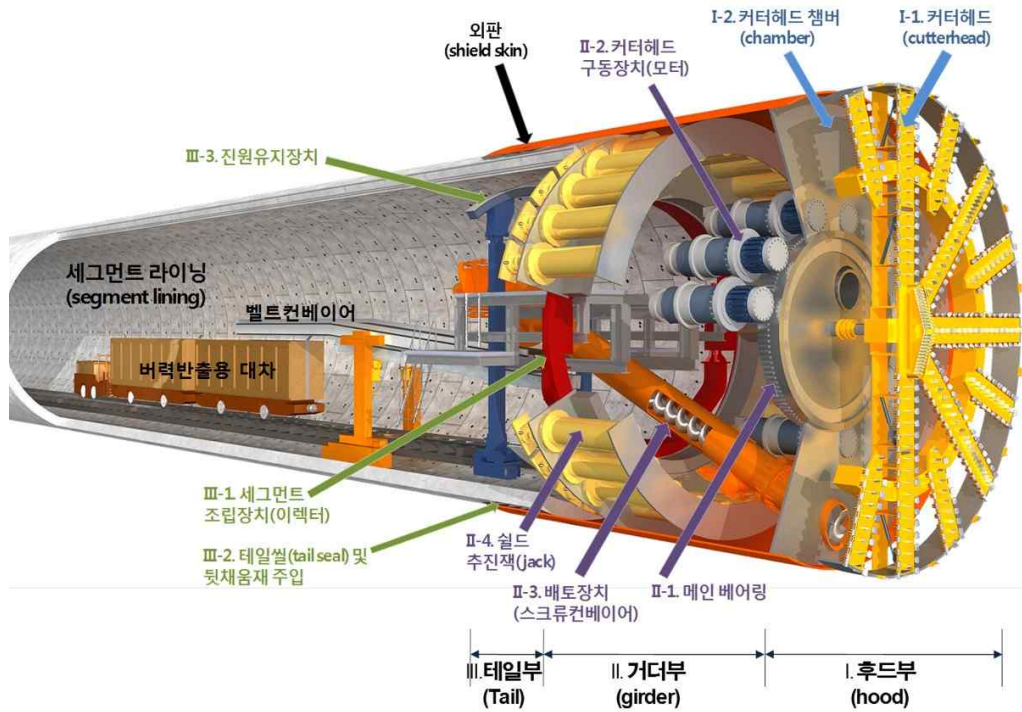
- TBM 유압 추진 시스템
- TBM 구동을 위한 메인베어링 및 구동 모터 시스템
- TBM 제어, 운전 및 방향 제어 시스템

■ 세그먼트 이렉터 및 후방설비 시스템

- 쉘드TBM터널에서 세그먼트 라이닝을 링(ring)으로 조립하는데 필요한 이렉터(erector) 시스템
- 세그먼트와 지반 사이의 간극(gap 또는 void)을 채워서 세그먼트라이닝과 지반을 일체화시키기 위한 뒤채움 주입 시스템
- 굴착된 토사와 버력을 효율적으로 외부 반출·이송시키는 설비 등 후방설비 시스템

■ TBM 전문 오퍼레이터 교육·훈련을 위한 시뮬레이터

- 향후 국산 TBM의 활용성 향상과 시공전문가 양성을 위한 TBM 전문 오퍼레이터(operator) 교육·훈련 시스템
- 가상현실(VR) 등 첨단 IT기법을 접목하여 다양한 시공 조건에서의 TBM 오퍼레이터 교육·훈련을 위한 시뮬레이터



<본 기획과제의 검토 대상인 TBM의 주요 구성도>

2절. 기술분류 및 내용

1. 기술분류체계도

- 본 기획연구에서의 세부기술 도출은 기획연구사업의 목적 대상물을 구현하기 위해 기획위원회 전문가 그룹의 논의를 통해 수립된 기술분류체계를 기반으로 광의적으로 설정됨
- 목적 대상물(TBM)의 목표 성능과 기능을 설정하고, 이를 달성하기 위해 진행되어야 할 과업의 적시성과 시급성을 고려하며 전문가 그룹의 상호 논의를 통해 우선순위를 협의 하에 결정함. 이에 따라 TBM 후드부의 설계·제작 기술, TBM 추진·운영 시스템, 세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술, 전문인력 양성을 위한 TBM 시뮬레이터 개발에 대한 세부기술체계도를 설정함
- 이상과 같이 본 기획연구에서 설정한 기술분류 체계도는 다음과 같음

대분류	중분류(최초안)	중분류 개선/변경(최종)
1 TBM 후드부의 설계·제작 기술	1-1 중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술	1-1 중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술
	1-2 TBM터널 굴진면 안정화 시스템 (토압식, 이수식 등)	1-2 토압식 굴진면 안정화 시스템
	중분류 추가	1-3 이수식 굴진면 안정화 시스템
	중분류 추가	1-4 TBM 굴착도구
2 TBM 추진·운영 시스템	2-1 TBM 유압 추진 시스템	1-5 TBM 전방 탐사 기술
	2-2 TBM 구동을 위한 메인 베어링 및 구동 모터 시스템	2-1 TBM 유압 추진 시스템
	2-3 TBM 제어, 운전 및 방향제어시스템	2-2 TBM 구동을 위한 메인 베어링 및 구동 모터 시스템
	중분류 추가	2-3 TBM 제어, 운전 및 방향제어시스템
3 세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술	3-1 세그먼트 라이닝 ring 조립 및 erector 시스템	2-4 TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터
	3-2 세그먼트 라이닝과 지반 일체화 뒤택움 주입시스템	3-1 세그먼트 이렉터(erator) 시스템
	3-3 굴착 토사버력 외부 반출 이송 설비 등 후방설비 시스템	3-2 세그먼트 라이닝 뒤택움 주입시스템
	중분류 추가	3-3 후방설비 시스템 (굴착 버력/토사 반출 외 기타)
4 전문인력 양성을 위한 TBM 시뮬레이터 개발	4-1 TBM전문 operator 교육훈련 시스템	삭제
	4-2 VR기반 TBM operator 교육훈련 시뮬레이터	삭제
	중분류 추가	삭제
	중분류 추가	삭제

<기술분류 체계도>

- 또한 이상의 기술분류 체계도에 따라 설정된 기술분류체계 소분류와 해당 국영문키워드는 다음과 같음

대분류	중분류	소분류	국/영문 키워드	
1 TBM 후드부의 설계·제작 기술	1-1 중대 단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술	1-1-1 중대 단면 커터헤드 설계기술	커터헤드, 설계, 배열, 개구부, 스포크 Cutterhead, design, array, opening, spoke	
		1-1-2 중대 단면 커터헤드 제작기술	분할구조, 소재, 가공, 용접, 열처리 Structure segmentation, material, fabricating, welding, heat treatment	
	1-2 토압식 굴진면 안정화 시스템	1-2-1 스크류컨베이어	토압식, 굴진면, 안정화, 스크류컨베이어, 굴착토, 버력 Earth-pressure balanced, face, stabilization, screw conveyor, excavated soil, muck	
		1-2-2 벨트컨베이어	굴착토, 버력, 벨트컨베이어 excavated soil, muck, belt conveyor	
		1-2-3 커터헤드 챔버	토압식, 굴진면, 안정화, 커터헤드 챔버 Earth-pressure balanced, face, stabilization, screw conveyor	
		1-2-4 굴착토 처리 기술	폴리머, 벤토나이트, 굴착토 처리, 첨가제 Polymer, bentonite, ground conditioning, additive	
	1-3 이수식 굴진면 안정화 시스템	1-3-1 송니관 및 배니관	송니관, 배니관, 이수재, 유체 이송, 커터헤드 챔버 Slurry feeding pipe, slurry discharging pipe, slurry, fluid conveying, cutterhead chamber	
		1-3-2 이수처리플랜트	이수처리플랜트, 재료분리, 폐기물 Slurry treatment plant, material segregation, waste	
	1-4 TBM 굴착도구	1-4-1 디스크커터	절삭도구, 디스크커터, 커터링, 마모검지, 교체 Cutting tool, disc cutter, cutter ring, wear detection, replacement	
		1-4-2 커터비트	절삭도구, 커터비트, 마모검지, 붕괴검지, 교체 Cutting tool, cutter bit, wear detection, collapse detection, replacement	
	1-5 TBM 전방 탐사 기술	1-5-1 물리탐사	TSP, 이상대, 전기비저항, 탄성파, 전자기파 TSP(Tunnel seismic prospection), anomaly, resistivity, seismic wave, electromagnetic wave	
		1-5-2 선진보링	프루브드릴링, 보링(시추), 전방 그라우팅, 탐사, 조사 Probe drilling, boring, face grouting, survey, prospecting	
		1-5-3 기타 탐사 기술	화상계측, 반사법, 토모그래피, 커터 작용력, 변형, 변형률 Photogrammetry, reflection, tomography, cutter force, deformation, strain	
	2 TBM 추진·운영 시스템	2-1 TBM 유압 추진 시스템	2-1-1 추진용 유압잭	Shield Jack, Propulsion Jack 셸드 잭, 추진 잭
			2-1-2 중절용 유압잭	Articulation Jack, 중절잭
2-1-3 보조 그리퍼			Gripper, Gripper Jack, 그리퍼, 그리퍼 잭	
2-2 TBM 구동을 위한 메인 베어링 및 구동 모터 시스템		2-2-1 메인베어링	Main Bearing for TBM, Main Bearing TBM용 메인 베어링, 메인베어링,	
		2-2-2 감속기	Reducer, Reducer for TBM, 감속기, TBM용 감속기	
		2-2-3 커터헤드 구동용 모터	Hydraulic Motor, electric motor 유압 모터, 전기 모터	
2-3 TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템		2-3-1 회전 구동 제어 장치	Cutter Head Rotation Control, Rotation Control, 커터 헤드 회전 제어, 회전 구동 제어, 모터 제어	
		2-3-2 추진 구동 제어 장치	TBM Propulsion Control, Propulsion Control, TBM 추진 제어, 추진 제어, 추진 구동 제어	
		2-3-3 중절 구동 제어 장치	TBM articulation Control, Articulation Control, TBM 중절 제어, 중절 제어, 중절 제어 구동	
		2-3-4 커터헤드 챔버 배면압 제어 장치	Cutter Head Chamber back pressure control, back pressure control, 커터 챔버 배압 제어 장치, 배압 제어	

대분류	중분류	소분류	국/영문 키워드
	2-4 TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터	2-4-1 TBM 시공 시나리오	시공, 운전, 시나리오, 리스크관리, 트러블, 오퍼레이터 Construction, operation, scenario, risk management, trouble, operator
		2-4-2 시뮬레이터 S/W 및 H/W	가상현실, 사물인터넷, 제어, 제어판, 훈련, 운전 Virtual reality, internet of things, control, control panel, training, operation
		2-4-3 TBM 교육·훈련 프로그램	훈련, 교육, 자격, 커리큘럼 Training, education, certificate, curriculum
3 세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술	3-1 세그먼트 이렉터 (erector) 시스템	3-1-1 세그먼트 이렉터	Segment Erector, 세그먼트 이렉터
		3-1-2 이렉터 회전용 모터	Hydraulic Motor, electric motor 유압모터, 전기모터
		3-1-3 세그먼트 인양용 유압잭	Segment erector jack, 세그먼트이렉터잭
		3-1-4 세그먼트 호이스트	Segment Hoist, 세그먼트 호이스트
		3-1-5 라이닝 설치용 유압잭	SegmentliningJack, RoundnessRetainer 라이닝설치용잭, 라이닝진원도조절
	3-2 세그먼트 라이닝 뒷채움 주입시스템	3-2-1 주입시스템	테일보이드, 그라우팅, 그라우팅, 테일셀, 주입관, 주입압, 주입방식 Tail void, grout, grouting, tail seal, injection pipe, injection pressure, injection type
		3-2-2 뒷채움 재료	그라우팅, 그라우팅, 뒷채움, 공극, 유동성, 블리딩, 수밀성 Grout, grouting, backfill, void, flowability, bleeding, watertightness
	3-3 후방설비 시스템 (굴착 버력/토사 반출 외 기타)	3-3-1 TBM 제어설비	TBM Control Equipment, TBM 제어 설비
		3-3-2 TBM 유압설비	TBM Hydraulic Equipment, TBM 유압 설비
		3-3-3 TBM 전기설비	TBM Electric Equipment, TBM 전기 설비
		3-3-4 TBM 윤활설비	TBM Lubrication Equipment, TBM 윤활 설비
		3-3-5 TBM 공조설비	TBM Ventilation Equipment, TBM 공조 설비
		3-3-6 TBM 용수설비	TBM Water Equipment, TBM 용수 설비
		3-3-7 TBM 송배니설비	TBM Slurry Transportation Equipment, TBM송배니설비

<기술분류체계 소분류별 국영문 키워드>

2. 기술분류별 기술내용

- 이상과 같이 도출된 각 대분류 기술항목별 중·소분류 기술분야 및 관련 기술내용들을 정리하면 다음과 같음

■ (대분류 1) TBM 후드부의 설계·제작 기술분야

중분류		기술내용
1-1	중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술	- 직경 7~8 m이상의 커터헤드를 제작하기 위한 커터헤드 최적 배열/개구부 설계 및 커터헤드 제작을 위한 소재, 가공, 용접, 열처리 기술 등
1-2	토압식 굴진면 안정화 시스템	- 커터헤드 후면의 챔버를 굴착토사나 버력으로 가득 채워서 굴진면을 지지하는 안정화 시스템과 관련 재료
1-3	이수식 굴진면 안정화 시스템	- 커터헤드 후면의 챔버 내에서 이수를 가압 순환시켜 굴진면을 지지하는 안정화 시스템과 관련 재료 및 처리 시스템
1-4	TBM 굴착도구	- 암반과 토사지반을 굴착하기 위한 소모성 굴착도구인 디스크커터와 커터비트의 설계·제작·교체 기술
1-5	TBM 전방 탐사기술	- TBM 굴진면 전방을 사전에 탐사하여 예상되는 트러블에 대처하기 위한 물리탐사, 선진보링 등에 기반한 사전 탐사기술

<(대분류 1) TBM 후드부의 설계·제작 기술분야 중분류 기술내용>

중분류	소분류	기술내용
1-1	중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술	1-1-1 중대단면 커터헤드 설계기술 - 디스크커터와 커터비트의 최적 배열설계, 배토/굴진면 안정화를 위한 스포크와 개구부 설계 및 TBM의 굴진성능 예측·평가 기술
	1-1-2 중대단면 커터헤드 제작기술 - 커터헤드를 제작하기 위한 최적의 분할 구조, 소재 선정, 용접, 열처리 등의 각종 가공/제작 기술	
1-2	토압식 굴진면 안정화 시스템	1-2-1 스크루컨베이어 - 굴진면 안정화와 효율적인 배토를 위한 커터헤드 챔버 후면의 스크루컨베이어 설계·제작기술
	1-2-2 벨트컨베이어 - 스크루컨베이어를 통해 배토된 버력의 터널외부반출을 위한 벨트컨베이어 설계·제작기술	
	1-2-3 커터헤드 챔버 - 굴진면 안정화와 디스크커터/커터비트의 교체 작업 효율 확보를 위한 챔버 설계·제작 기술	
	1-2-4 굴착토 처리 기술 - 굴진면 토압이 스크루컨베이어에 효율적으로 전달 되도록 사용하는 첨가제 주입기구 및 첨가제 재료	
1-3	이수식 굴진면 안정화 시스템	1-3-1 송니관 및 배니관 - 굴진면을 이수에 의해 가압 순환시키는 송니관과 굴착된 버력/토사를 배출하기 위한 배니관으로 구성되는 이수 시스템
	1-3-2 이수처리플랜트 - 배니관에 의해 지상으로 이송된 이수를 처리하기 위한 지상 이수처리플랜트 시스템	
1-4	TBM 굴착도구	1-4-1 디스크커터 - 암반을 절삭하기 위해 사용되는 원반 형태의 소모성 굴착 도구
	1-4-2 커터비트 - 토사지반을 굴착하기 위해 사용되며 커터헤드 스포크에 장착되는 소모성 굴착도구	
1-5	TBM 전방 탐사기술	1-5-1 물리탐사 - 전기비저항탐사, 탄성파탐사 등의 물리탐사 기법을 활용하여 TBM 전방의 지반조건을 탐사하는 기술
	1-5-2 선진보링 - TBM 전방 지반에 대한 사전 드릴링/보링을 통해 지반조건을 미리 탐사하고 필요시 전방 지반을 사전에 보강하는 기술	
	1-5-3 기타 탐사 기술 - 물리탐사나 선진보링으로 분류되지 않는 개념의 전방 탐사 기술	

<(대분류 1) TBM 후드부의 설계·제작 기술분야 소분류 기술내용>

■ (대분류 2) TBM 추진·운영 시스템 기술분야

중분류		기술내용
2-1	TBM 유압 추진 시스템	- TBM의 추진 제어를 위한 다수의 유압 잭과 방향 제어를 위한 다수의 유압 잭으로 구성 됨.
2-2	TBM 구동을 위한 메인 베어링 및 구동 모터 시스템	- 터널 굴착을 위하여 커터헤드가 회전 할 때, 축을 일정한 위치에 고정 시키고, 축에 걸리는 자중과 하중을 지지할 수 있는 메인 베어링과 회전을 위한 구동력 공급을 위한 다수의 유압 또는 전기 모터 시스템
2-3	TBM 제어, 운전 및 방향제어시스템	- 터널 굴착을 위하여 커터헤드의 제어, 커터헤드 챔버 내 배압 제어, 전진을 위한 추진 제어와 각도 조절을 위한 중절 제어를 포함한 운전 및 방향 제어 전반
2-4	TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터	- 다양한 시공조건에서의 대응능력 함양과 TBM 전문 오퍼레이터 양성을 위해 실제 TBM 운전 환경과 동일하게 구현된 TBM 운전 시뮬레이터

<(대분류 2) TBM 추진·운영 시스템 기술분야 중분류 기술내용>

중분류	소분류	기술내용	
2-1	2-1-1	추진용 유압잭	- 쉴드기 본체에 조립 되어 쉴드를 추진시키기 위한 유압 잭
	2-1-2	중절용 유압잭	- 쉴드기 본체에 조립 되어, 본체를 중절조작하기 위한 유압 잭
	2-1-3	보조 그리퍼	- 갱벽에 유압잭으로 슈를 압착함으로써 쉴드에서는 커터의 회전 반력, TBM 앞 몸통의 추진 반력을 취하는 장치
2-2	2-2-1	메인베어링	- 커터 헤드 회전 시 축을 일정한 위치에 고정 시키고, 축의 자중과 축에 걸리는 하중을 지지
	2-2-2	감속기	- 커터헤드 구동용 모터의 회전 수를 커터헤드의 회전수에 맞게 감속하는 장치
	2-2-3	커터헤드 구동용 모터	- 커터 헤드 구동용 유압 또는 전기 모터
2-3	2-3-1	회전 구동 제어 장치	- 커터 헤드의 회전 구동을 제어하는 장치
	2-3-2	추진 구동 제어 장치	- TBM 본체의 추진 구동을 제어하는 장치
	2-3-3	중절 구동 제어 장치	- TBM 본체의 중절 구동을 제어하는 장치
	2-3-4	커터헤드 챔버 배면압 제어 장치	- 커터헤드 챔버 내 배면압을 일정하게 제어하는 장치
2-4	2-4-1	TBM 시공 시나리오	- 다양한 시공조건을 고려하여 시공 트러블 발생시 대응 및 대처 능력을 향상시키기 위한 리스크관리 기반의 TBM 시공 시나리오
	2-4-2	시뮬레이터 S/W 및 H/W	- TBM 시공 시나리오와 가상현실 기반의 TBM 오퍼레이션 시뮬레이터 구축
	2-4-3	TBM 교육·훈련 프로그램	- 글로벌 TBM 오퍼레이터 양성을 위한 교육과정 및 전문가 자격과정 마련

<(대분류 2) TBM 추진·운영 시스템 기술분야 소분류 기술내용>

■ (대분류 3) 세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술분야

중분류		기술내용
3-1	세그먼트 이렉터(erector) 시스템	- TBM으로 공급된 세그먼트를 지정된 위치로 이동하는 시스템
3-2	세그먼트 라이닝 뒷채움 주입시스템	- 굴착면과 세그먼트 외주면 사이에 발생하는 테일보이드를 신속하고 밀실하게 충전하기 위한 뒷채움 주입 시스템
3-3	후방설비 시스템 (굴착 버력/토사 반출 외 기타)	- TBM의 원활한 작동을 위한 제어/유압/전기/윤활/공조 등의 모든 제반 설비

<(대분류 3) 세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술분야 중분류 기술내용>

중분류	소분류	기술내용	
3-1	세그먼트 이렉터(erector) 시스템	3-1-1 세그먼트 이렉터	- 쉴드기의 테일부에 장착되어 세그먼트를 파지하고, 선회하며 소정의 조립 위치에 세그먼트를 이송하는 장치
		3-1-2 이렉터 회전용 모터	- 세그먼트 이렉터의 회전 구동 장치
		3-1-3 세그먼트 인양용 유압잭	- 세그먼트를 제 위치에 체결 할 수 있도록 하는 위치 이동 장치
		3-1-4 세그먼트 호이스트	- 세그먼트를 TBM 내 지정된 위치로 이동하기 위한 호이스트
		3-1-5 세그먼트 라이닝	- 세그먼트의 진원도를 확보하기 위한 장치
		3-1-6 라이닝 설치용 유압잭	- 진원도를 확보하기 위해서 사용되는 유압 잭
3-2	세그먼트 라이닝 뒷채움 주입 시스템	3-2-1 주입시스템	- 주입재료의 유출을 방지하기 위한 테일씰과 주입방식에 따른 뒷채움재의 주입 시스템
		3-2-2 뒷채움 재료	- 굴착 대상 지반조건과 쉴드TBM 형식에 따라 신속하고 밀실한 테일보이드 충전을 위해 사용되는 뒷채움 재료 기술
3-3	후방설비 시스템 (굴착 버력/토사 반출 외 기타)	3-3-1 TBM 제어설비	- 커터헤드 챔버 배압 안정화, 커터헤드 회전속도 최적화, TBM 추력속도 극대화 및 중절 구동잭 동기화를 위한 제어 설비
		3-3-2 TBM 유압설비	- 고압/고유량 펌프, 밸브, 작동유 탱크를 포함한 유압 설비
		3-3-3 TBM 전기설비	- 발전기, 배전반, 차단기, 케이블, 접지, 피뢰를 포함한 전기 설비
		3-3-4 TBM 윤활설비	- 베어링, 씰, 감속기 및 기어 마찰마모 저감을 위한 윤활 설비
		3-3-5 TBM 공조설비	- TBM 본체 내 공기 공급 및 장비 구동용 공압장치를 포함한 공조 설비
		3-3-6 TBM 용수설비	- TBM 본체 내 요수 공급 및 폐수처리를 위한 용수처리 설비
		3-3-7 TBM 송배니설비	- 이수식 TBM의 배압 제어 및 배토를 위한 송/배니 설비

<(대분류 3) 세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술분야 소분류 기술내용>

2장. 동향조사 및 환경분석

1절. 국내외 정책동향

1. 국외 정책동향

- 유럽이 전 세계 TBM장비 및 TBM터널 건설기술을 주도하고 있는 상황임에도 불구하고 유럽에서는 EU공동프로젝트인 TUNCONSTRUCT(2004 ~ 2008) 프로젝트 등을 통해 TBM 커터헤드 설계기술 선진화, 고성능 디스크커터, 고성능 세그먼트 등의 기술발전에 더욱 박차를 가하고 있음
- 세계 최다의 TBM 제작 실적을 보유한 일본은 지난 20년간 자국에서만 3,000개에 달하는 TBM터널 공사발주를 통해 TBM기술 발전이 이루어졌고, 특히 지속적인 발주를 통해 TBM터널의 공사비를 합리적으로 절감하는 방안을 도모함
- 중국은 향후 20년간 교통터널의 수요만 20,000여개에 달할 것으로 추정되고, 중국 전체 지하철 구간의 70% 이상이 TBM으로 시공되고 있으며 각종 초장대 터널 건설 프로젝트들이 구상되면서 TBM이 필수적으로 적용 또는 검토되고 있음
- 중국은 정부 차원의 전폭적인 지원과 해외 TBM 제작사들의 인수·합병을 통해 독자적으로 TBM을 설계, 제작하면서 TBM을 포함한 세계 최대의 터널 시장으로 급부상해 상당한 기술력과 경험을 축적하고 있음¹⁾
 - 터널 굴착공사 시 터널 벽을 통해 스며 나온 지하수를 퍼내는 작업을 반복하게 되어 지하수 수위가 낮아져 싱크홀 발생 빈도가 증가하고 있음
 - 중국의 주요 TBM제조업체들의 생산능력은 '14년 기준 CRTE가 40대로 생산능력 1위를 차지하고 있고 이어서 2위에는 STE가 35대, 3위는 CRCHI가 33대, 4위는 NHI가 30대를 생산할 수 있는 생산능력을 보유하고 있음²⁾
 - 중국은 자국 터널 시장 적용을 목적으로 해외 주요 TBM 제작·생산 기업을 인수합병했으며 이를 기반으로 TBM 제작·생산 및 시공기술력을 향상시켰음³⁾

1) 국내 TBM 기술은 어디까지 왔나, 한국건설신문, 2015. 8. 12.

2) 중국 TBM 수요, 매년 11~13%씩 증가 추세, 한국건설신문, 2014. 8. 26.

- 중국은 향후 20년간 교통터널 수요만 20,000여개에 달할 것으로 추정되고 있음
- 중국정부의 철도 및 도로 인프라 건설계획에 따라 초장대 터널건설 프로젝트들이 구상되면서 TBM이 필수적으로 적용 또는 검토되고 있음
- 최근에는 TBM 제작사인 프랑스 NFM사를 합병한 북방중공업(NHI)이 독자적으로 TBM을 제작·생산하고 있음

3) 2015 국토교통 R&D동향조사 및 기술수준조사, 국토교통부, 2015. 8. 23.

2. 국내 정책동향

- 정부의 국정과제에서는 (20. 중소기업의 수출경쟁력 강화)를 통해서 TBM 세계시장에의 진출과 새로운 수출동력 마련하고, (18. 해외건설·플랜트 및 원전산업 진출 지원)에서 해외 터널공사의 대부분을 차지하는 해외 TBM터널 시장 진출 및 수주 경쟁력 강화를 추진하고 있으며, (97. 안전하고 쾌적한 일터 조성 및 근로자 건강 증진)에서 TBM에 의한 기계화시공으로 인해 터널 건설공사 현장의 재해 및 안전사고 저감에 기여하고자 함
 - ‘20. 중소기업의 수출경쟁력 강화’과제를 통해 중소기업이 세계시장에 눈을 돌리도록 함으로써, 경제위기 극복, 일자리 창출 등 지속적 경제 성장을 견인하는 신성장동력으로 육성하기 위하여 중소기업의 글로벌 경쟁력 제고에 역량을 집중하고, 수요대응형 수출지원체계를 구축하고자 함
 - (중소·중견기업 역량별·성장단계별 맞춤형 지원) 기업의 글로벌화 역량평가와 수출단계(준비-실행-현지진출)별 정책수요에 맞춘 수출지원 패키지 지원 및 중소기업 수출지원을 위한 지역전문가 양성
 - (신흥시장 마케팅 지원 및 인프라 강화) 해외시장에서 문화한류와 기업의 사회적 책임을 결합한 국가브랜드 제고 활동 추진 및 수출지원 인프라(해외전시회, 무역관, 무역보험 등) 확충
 - (총력 수출지원체계 구축) 지역별 원스톱 수출지원네트워크 구축 및 대통령 주재 무역진흥전략회의 개최 등을 통해 수출애로 해소
 - ‘18. 해외건설·플랜트 및 원전산업 진출 지원’과제를 통해 해외건설·플랜트, 원자력발전소 등 건설·원전산업의 해외 진출 촉진을 통해 신성장동력 창출을 목적으로 국가별 특성과 수요를 반영한 맞춤형 수출전략을 수립·추진하고 수주활동을 적극 지원할 예정임
 - ‘97. 안전하고 쾌적한 일터 조성 및 근로자 건강 증진’과제를 통해 근로자가 안전하고 건강하게 일할 수 있는 안심 일터 조성을 통해 산업현장의 재해를 감소시키고자 함
 - 작업 시 안전담당자를 지정하여 기초적인 안전보건활동 수행을 유도함
 - 위험성평가 강화 및 산재예방 요율제 등을 도입하는 등 자율적 재해예방활동 활성화를 촉진함
- 경제혁신 3개년 계획은 (18. 중소기업 경쟁력 강화)의 정책에 일환으로

TBM 제작 중소·중견기업 육성 및 해외 TBM터널 건설시장 진출 기업들의 경쟁력 강화하고, (26. 융합신산업 육성)에서 건설·기계·소재의 융복합 기술 및 IoT 기반의 TBM 운용·인력양성 기술 개발을 추진하며, (37. 해외건설·플랜트 수출 고부가가치화)를 통하여 '15년부터 향후 5년간 약 33% 증가가 예상되는 TBM 관련 시장에서의 신규 진출 및 해외 6개국에서만 비공개로 보유하고 있는 고부가가치 TBM 원천기술 보유·활용하고자 함

- '18. 중소·중견기업 경쟁력 강화' 정책 추진을 통해 금융·R&D 등 중소·중견기업 지원을 통한 경쟁력 강화를 도모함

- (금융) 한국은행 금융중개지원대출을 통한 기술금융 활성화
- (R&D) 중소·중견기업 R&D 투자 확대
- (생산성) 상생협력을 통한 중소기업 생산성 혁신 추진
- (중소기업 지원시스템 혁신) 중소기업 지원사업 평가체계를 강화하고, 중소기업 지원기관 경쟁 평가체계 도입

- '26. 융합신산업 육성' 정책 추진을 통해 ICT 및 융복합 기술을 응용한 건설·기계·소재를 개발하고 IoT를 기반으로한 TBM의 전문 운용기술자를 양성을 도모함

- '37. 해외건설·플랜트 수출 고부가가치화' 정책 추진을 통해 해외건설·플랜트 수출 확대를 위한 금융 등 지원 확대를 통하여 해외건설·플랜트 사업 중 국가전략적으로 육성이 필요한 부분을 신성장동력 분야로 선정하여 사업타당성 조사, R&D 지원 등을 기반으로 TBM 원천기술을 보유 및 활용하고자 함

◦ 창조경제의 (전략 2 벤처·중소기업의 창조경제 주역화 및 글로벌 진출 강화)를 통하여 TBM 관련 중소기업의 글로벌 시장 진출을 지원함

- '창조경제 전략2벤처·중소기업의 창조경제 주역화 및 글로벌 진출 강화' 수립을 통해 TBM 관련 중소기업이 시작부터 글로벌 기업을 목표로 창업하고 성장할 수 있게 세계시장 진출 가능성을 진단받고 해외 현지 인프라 및 네트워크 등과 연계된 현지화 지원을 추진함

◦ 제3차 과학기술기본계획('13~'17)을 통하여 (4. 깨끗하고 편리한 환경 조성)으로 국토인프라 선진화를 추진하고, (15. 기술이전·사업화 촉진)으로 사업화 초기장벽 극복지원 확대하며, (16. 신시장 개척 지원)으로 융합 기술·제품 개

발 촉진하고 함

- `4. 깨끗하고 편리한 환경 조성` 분야 추진을 통해 국토인프라 선진화를 위해 최첨단 인프라구조물 건설기술, 국토정보구축 및 활용기술, 미래첨단 도시 건설기술, 복합지하 대공간 활용기술 등을 개발하고자 함
- `15. 기술이전·사업화 촉진`을 통해 중소기업의 사업화 초기장벽 극복을 위해 후속연구 지원프로그램 마련, 유망 연구성과 사업화 프로젝트를 기술보증기금과 연계, 기술 및 제품 검증·실용화 사업 확대 추진 등의 정책을 수립함
- `16. 신시장 개척 지원`을 통해 융합 신기술·신제품 개발지원 강화, 중소기업 융합 R&D인프라 구축, 융합기술의 사업화 연계 강화 정책을 추진함

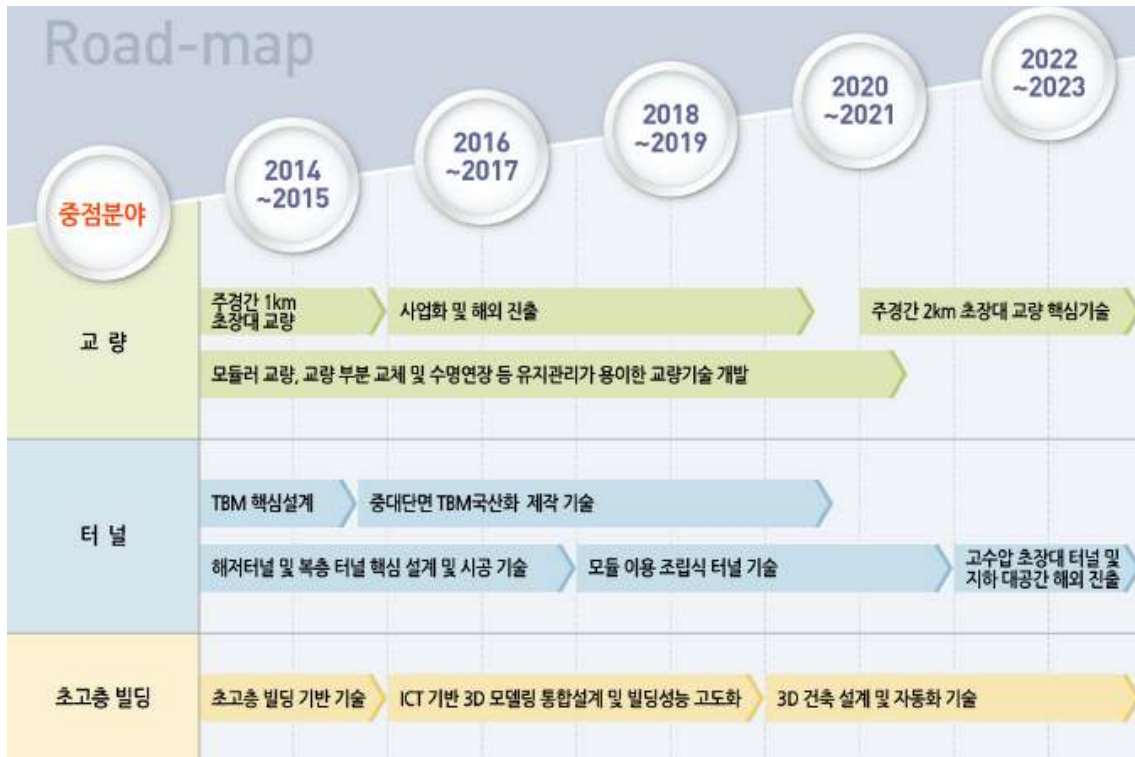
<제3차 과학기술기본계획 중 TBM 기술 개발 관련 내용>

5대 전략 (High 5)	19개 분야	추진과제
(High 2) 국가전략기술개발	4. 깨끗하고 편리한 환경 조성	④ 국토인프라 선진화
(High 4) 신산업 창출 지원	15. 기술이전·사업화 촉진	② 사업화 초기장벽 극복지원 확대
	16. 신시장 개척 지원	① 융합 기술·제품 개발 촉진

- 제5차 건설기술진흥기본계획('13~'17)을 통하여 (1-② 시장친화 미래형 교육 훈련 확대)로 ①해외건설기술 맞춤형 교육 확대/③실무역량 및 미래유망 전문교육 강화하며, (1-⑤ Green&Smart 건설기술 개발)로 ③ 기초·원천·핵심기술 R&D추진함

- `1-② 시장친화 미래형 교육훈련 확대`를 위해 건설기술교육원·협회 등을 통해 해외건설기술 교육인원을 순차적으로 확대하고, 분야간 전환교육 및 해외현장 훈련(OJT)을 지원하며 일-자격-교육훈련이 연계되는 `건설분야 직무능력표준`을 개발·보급('17까지 50개이상)하여 건설기술인력 역량 강화를 도모함
- `1-⑤ Green&Smart 건설기술 개발`을 위해 건설기술 발전의 근간이 되는 “첨단재료, 지능형시설, 프로세스, 재난·안전”분야 R&D*를 지속적으로 추진함

- 미래성장동력은 (9.가상훈련시스템)으로 TBM 글로벌 전문인력 양성·훈련용 시뮬레이터 개발하며, (19.첨단소재가공시스템)으로 대형 건설장비인 직경 7 m 이상의 TBM 제작을 위한 첨단소재 가공시스템 및 첨단공구의 활용
 - `9.가상훈련시스템` 과제 추진을 통해 고위험·고비용의 현장훈련 대신, 실제와 유사한 가상체감 환경에서 안전하게 교육·훈련할 수 있는 TBM 글로벌 전문인력을 양성·훈련 시스템을 개발함
 - `19.첨단소재가공시스템` 과제 추진을 통해 첨단소재의 효율적 가공을 위한 가공·검사장비, 개방형 CNC, 운영 S/W 패키지 및 첨단소재 가공성을 향상시키기 위한 공구형상 설계, 내마모성, 수명향상을 위한 표면처리 기술을 통한 첨단소재 전용 공구 등을 개발함
- 창조경제 실현을 위한 국토교통 R&D 중장기 전략(국과심 본회의, '14.7)에서 (1. 건설기술연구사업-기계화/자동화 시공기술) [중기] 기계식 터널 굴착장비(TBM)의 국산화 기술 개발 및 [장기] 대단면 TBM 제작기술 및 실증
 - 중장기 전략 수립 및 추진을 통해 TBM 핵심 설계부품 기술의 고도화 및 터널 건설 최적화 기술과 더불어 대심도 복층터널, 해저터널 기술 등 개발 및 실증화를 도모함



<국토교통 R&D 중장기 전략 중점분야별 기술개발 로드맵>

- 2014년도 해외건설 추진계획(국토교통부, '14.4)에서 (2. 해외건설 산업 수익성 제고 지원) 해외건설에 특화된 R&D 추진 및 글로벌트렌드에 따른 해외건설 시장에 대한 선제적 대응 기술 개발 추진계획을 검토하고 있음
 - '2. 해외건설 산업 수익성 제고 지원' 계획 수립을 통해 해외건설을 고부가가치 신성장 수출 산업으로 육성하기 위해 해외건설에 특화된 맞춤형 R&D를 추진함
 - 글로벌트렌드에 따른 미래 건설수요 및 신흥국 인프라 수요 등 잠재력 높은 해외건설시장에 대한 선제적 대응 기술을 개발함
- 국토교통부는 지하공간 통합지도를 기반으로 지하공간의 통합 안전관리체계를 구축하여 안전에 선제적으로 대응하기 위한 “지반침하 예방대책”을 수립하여 추진 중임
 - 지하공간 통합지도는 지하매설물, 지하구조물, 지반 등 보이지 않는 지하공간을 한 눈에 확인할 수 있도록 3D로 작성 예정임
 - 현재 관련 부처가 개별적으로 관리 중인 지하공간 정보를 '17년까지 통합할 계획임

- 국토교통부는 지하공간 통합 안전관리체계를 통해 지하공간 통합지도의 정보를 지자체, 개발주체, 시설관리자 등에게 제공하여 기존 지반·시설물 및 신규 프로세스 안전관리를 강화할 계획임
 - 통합지도 완성 전부터 지하정보 지원센터를 설치하여 수요자에게 정보 제공을 할 예정임



<지하공간 통합 안전관리체계 개요>

- 최근 서울을 포함한 전국 각지에서는 굴착공사, 하수관·상수관 손상 등을 이유로 싱크홀 발생이 증가하고 있음
 - 터널 굴착공사 시 터널 벽을 통해 스며 나온 지하수를 퍼내는 작업을 반복하게 되어 지하수 수위가 낮아져 싱크홀 발생 빈도가 증가하고 있음
- 시설물에 대한 안전관리를 위하여 국토교통부는 `12년 12월에 「제3차 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 기본계획(2013~2017)」을 수립하고 고시하였음⁴⁾
 - 시설물에 대한 안전성을 파악할 수 있도록, 시설물에 대한 실태조사 체계 구축을 `13년부터 `16년까지 추진함
 - 보수·보강 등 유지관리 기술 선진화를 위한 시설물 장수명화 기술 개발과 보수·보강 등 유지관리 기술 및 기준 개발·보완을 주요 추진방향으로 설정(`15 ~ `17)
 - 최근 한국시설안전공단에서는 4차 기본계획 수립을 위한 연구를 수행중임
- 정부는 `15년도 예산 수립 시, 재난 예방·대응을 위한 안전 예산을 확대하고

4) 제3차 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 기본계획, 국토교통부, 2012.12.

- SOC 안전 확보 및 안전 기술 개발을 추진하여 안전재난사고를 줄이고자 함⁵⁾
- 예산 증가는 세월호 참사, 판교 환풍구 추락 사고 등 후진국형 안전사고를 사전에 차단하기 위한 방편으로 계획되었으며, 총 예산액은 '14년 12조 4,000억원보다 17.9% 증가한 14조 6,000억원으로 계획됨
 - 안전 예산 중 직접적인 재난 예방과 대응을 지원하는 SOC 안전 확보를 위한 예산을 확대하여 노후 SOC에 대한 보수·보강 및 시설 구축, 안전 기술 개발을 계획하고 있음

<2015년도 주요 분야별 안전 예산(안)>

분야	'14년 예산(억원)	'15년 예산(안)(억원)	'14년 대비 증가(%)
수리시설 개보수	4,800	5,297	10.4
재해위험지역 정비	3,524	3,816	8.3
항만 유지보수	1,468	1,608	9.5
국가어항 구축·관리	1,710	2,061	20.5
도로투자(선형 불량 위험 도로, 노후 교량·터널)	8,000	13,000	62.5
교량 보수 잔여 물량 해소	891	2,597	약 200
철도(지하철역 스크린도어, 내진 보강)	-	902(신규)	-
노후 철도선로·교량 개선	6,000	9,000	50%
재해 예방 시설(항만, 댐 등) 구축 및 관리	6,000	7,000	4.7%
소하천 정비	2,094	2,300	9.8
첨단 안전 기술 및 제품 개발 연구	5,000	6,000	15.6
싱크홀 예방을 위한 건설 기술 개발	-	42(신규)	-

자료 : 한국건설산업연구원, '내년도 안전 예산 대폭 증액 - 재난 예방·대응에 중점', 2014. 10.

- 미래부는 범부처 차원에서 연구개발과 정부정책 간 연계를 강화하여 재난·재해에 선제적이고 종합적인 대응체계를 구축하고자 다부처 공동 기술협력 특별위원회를 구축함
- '14년 6월 20일 개최한 제4회 다부처 공동 기술협력 특별위원회에서는 '재난·재해 예방 및 피해저감을 위한 과학기술 분야의 기여방안을 모색'을 목적으로 '재난·재해 대응 과학기술 역할 강화 기본방향(안)'이 제시됨
 - 재난·재해 연구개발 효과성 제고, 재난·재해 과학기술 대응 교육·홍보·훈련 내실화, 재난·재해 대응 과학기술 인프라 확충 등 3대 추진방향을 핵심 내용으로 제시함

5) '내년도 안전 예산 대폭 증액 - 재난 예방·대응에 중점, 한국건설산업연구원, 2014. 10.

2절. 국내외 시장현황 및 전망

1. 국외 시장현황 및 전망

■ 전 세계 TBMT터널 시장 전망

- Assis(2004)에 따르면 2004년부터 2014년까지 10년간 전 세계 주요 지역별 교통터널의 수요만 26,150개소에 달할 것으로 파악되고 있음
- 세계 최대의 터널 시장인 중국에서만 향후 20년간 20,000여개의 신규 터널이 건설될 것으로 전망되고 있음
- 이 수치는 우리나라를 포함한 아시아 주요 국가(중국, 일본 제외)들의 통계치가 제외된 것으로서, 개발도상국과 도시국가(예: 싱가포르)의 터널 수요까지 고려하면 시장 규모가 매우 클 것으로 추정됨

<전 세계 교통터널 수요 전망 (2004~2014)>

국가	교통터널의 수요 (2004년~2014년)
중국 (향후 20년간)	20,000개
일본	2,500개
오스트리아+스위스+독일	800개
북아메리카	650개
남아메리카	500개
노르웨이+스웨덴+핀란드	500개
스페인+포르투갈	500개
프랑스+이탈리아	350개
영국	250개
네덜란드+벨기에	100개

- 기술현황에서 기술한 바와 같이 장대 산악터널, 도심지 터널, 장대 해저터널 등의 건설이 전 세계적으로 활발히 이루어지고 있는 상황으로서 TBMT터널 관련 시장이 더욱 확대될 것으로 예상하고 있음(TUNCONSTRUCT, 2008)
- 현재 시점에서 근 미래의 시장 예측을 할 수 있는 자료가 매우 부족한 관계로, 앞선 시장현황에서 분석한 바와 같이 Herrenknecht의 2008년 매출액을 기준으로 Herrenknecht사의 연평균 매출 22% 증가, 직접공사비 중 TBM장비 비율 15% 및 Herrenknecht사의 시장점유율 40%를 가정하여 산출된 향후 5년간의 전 세계 TBMT터널 시장 규모를 예측하면 다음과 같음

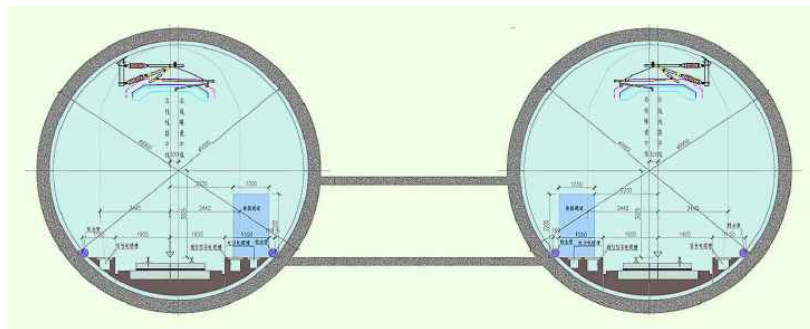
<전 세계 TBM 관련 시장규모 전망 (2009~2015, 추정)>

년도	TBM장비 시장규모 (‘09.11 환율기준)	TBM터널 시장규모 (‘09.11 환율기준)
2009	5조4,107억원	36조713억원
2010	6조6,011억원	44조70억원
2011	8조533억원	53조6,886억원
2012	9조8,250억원	65조5,001억원
2013	11조9,865억원	79조9,101억원
2014	14조6,235억원	97조4,903억원
2015	17조8,407억원	118조9,382억원

■ 세계 최대의 터널시장인 중국의 TBM터널 시장의 현황과 전망

- 전 세계적으로 TBM시장은 7.5% 성장(2009년 ~ 2013년)하였으며, 중국의 경우에는 2009년 ~ 2014년까지 12%이상 성장하였고 앞으로도 성장할 것으로 예상됨 (QYResearch, 2015)
- 현재 중국은 급속한 경제발전과 도시화에 따라 세계에서 가장 활발히 터널 및 지하공간 프로젝트를 수행하고 있는 나라임. 2007년 기준으로 **향후 2,500 km 이상의 철도터널이 시공될 예정**이며, 이 가운데 1/3이상인 760 km 구간이 초장대터널로 계획되어 있음. 또한 **향후 10,000 km의 신규 도로구간의 터널 건설에 약 100대 이상의 TBM이 발주될 것으로 예상**되고 있음
 - 중국의 철도투자는 지속적인 증가가 예상되며(도시철도: 2020년까지 2,677 km, 지하철: 2050년까지 18,829 km) 특히 지하철의 경우 **셴드TBM**을 이용한 4,500 km(500개 프로젝트) 굴착공사가 예상됨 (QYResearch, 2015)
 - 중국은 제2도시들도 TBM 수요가 있고 전 세계적으로는 거대도시(megacity)가 지속적으로 팽창(성장)하면서 이에 따라 교통 터널의 수요 증가와 고속철도 터널의 수요가 증가할 것으로 전망
- 무엇보다 주지할만한 중국의 최대 TBM 관련 프로젝트로는 양쯔강의 3개 지점에 운하를 뚫어 베이징과 톈진 등 물부족 현상을 겪고 있는 북부 황하 유역으로 물을 보내는 **남·북 수로건설 프로젝트(South to North Water Transfer Project)**를 들 수 있음. 이상과 같이 장대터널과 초장대터널에 대한 수요가 급증하면서 중국에서는 적극적으로 TBM을 활용하고 있는 상황임

- 향후 20년간 중국에서 건설될 교통 터널은 약 20,000여개에 달할 것으로 예상되며(Assis, 2004), 이는 세계 2위인 일본보다 8배, 그리고 터널 선진국인 오스트리아, 스위스, 독일 전체의 터널을 합친 것보다 25배가 큰 시장 규모임
- 2005년 현재 중국에서 운영 중인 철도터널은 7,538개에 총 연장 4,314 km로서 세계 최대임. 중국의 11차 5개년 계획에 의하면 향후 5년간 2,500 km 이상의 철도터널이 시공될 예정이며, 특히 이 가운데 1/3이상인 760 km 구간이 초장대 터널로 계획되어 있어, 경제적인 급속시공을 위해 TBM의 적용이 필수적인 것으로 지적되고 있음(Huawu, 2006). 또한 신설 철도노선에서 터널이 전체 노선 연장의 30%를 차지하고 있음(Qihu, 2003).
- 일반철도 이외에도 고속철도의 건설도 활발하여 고속철도의 총 연장은 향후 20,000 km 이상이 될 예정임
- 또한 티베트 노선에 위치한 Guanjiao터널은 연장이 약 32.6 km로서 현재 중국에서 계획 중인 최장 터널임. 단선 병렬 터널로서 터널 사이의 이격 거리는 40 m이며, 터널은 해발 3,380 m에 위치한다. 주지할만한 사항은 성공적인 TBM 시공을 위하여 실제 본 터널 굴착 전에 복합지반의 조사를 위해 발파에 의한 선진도갱 굴착을 계획하였다는 점임
- Xiangtang과 Putian을 연결하는 Xiangpu 철도구간에는 20 km 이상의 초장대 터널이 3개나 되며 10 km 이상의 터널도 11개나 됨. 가장 긴 터널은 Dai Yunshan터널로서 연장이 27.8 km에 달함. 연장 15 km 이상인 4개의 터널들은 모두 단선병렬의 TBM 터널로 계획되었으며 설계속도는 200 km/h임



<중국 Xiangpu 철도구간의 철도터널 설계단면>

- 지하철 터널은 평균적으로 매년 180 km이 신설되고 있으며(Qihu, 2007), 2020년까지 15대 도시에 계획된 지하철은 2,280 km에 달할 것으로 예상됨(Qihu, 2003)
- 향후 10,000 km의 신규 도로구간의 터널 건설에 약 100대 이상의 TBM이 발주될 것으로 예상되고 있다. 또한 중국 정부는 2020년까지 총 35,960 km의 고속도로를 건설할 예정인데, 이 가운데 약 20%인 3,670 km가 산악지역을 통

과함. 예를 들어 Qinling Zhongnanshan 터널은 연장이 18.4 km에 달함

- 중국에서도 프랑스 파리의 A86도로, 일본 동경도 중앙환상 신주쿠선 지하도로 등과 마찬가지로 대도시 지하 고속도로를 건설할 계획을 수립하고 있음. 특히 상하이에서는 2010년까지 26 km의 지하도로를 건설할 예정임. 베이징에서도 井자 형태의 4개 지하 고속도로망을 2020년까지 구축할 예정이며, 각 도로구간에는 4~6개의 입·출입구가 건설되도록 계획됨. 선진의 Gangshen west routeway에는 약 7 km의 지하 고속도로가 건설될 예정이며, 난징에서도 도심지 교통체증 문제를 해소하기 위하여 지하 고속도로의 건설 계획을 적극적으로 연구하고 있음(Qihu, 2003).



<선진시의 지하 고속도로 구상(Gangshen west routeway)>

- 향후 중국의 가장 큰 TBM 시장은 수로터널이 될 것으로 예상됨. 대표적으로 중국 최대 프로젝트 중의 하나로서 남수북조(南水北調) 프로젝트의 하나인 ‘서부지역 남·북 수로건설 프로젝트(West line of the South to North Water Division Project)’를 들 수 있음. 이 프로젝트는 중국 북서지역의 가뭄해소를 위해 양쯔강 상류의 물을 황하 상류로 돌리기 위한 프로젝트로서 약 36조원이 투입되어 세계 최대 규모로 알려진 댐보다 12조원 이상 규모가 큰 수로건설 프로젝트가 될 예정임. 이 프로젝트의 1단계는 5개의 댐, 7개의 터널 및 1개의 수로로 구성되어 있음. 터널 총 연장은 244 km에 달하며, 터널 직경은 9.5~10.2 m이다. 특히 7개의 터널 가운데 3개 터널의 연장은 50 km가 넘으며 가장 긴 터널의 연장은 73 km에 달함. 가장 짧은 터널도 연장이 6.9 km이다. 이로 인해 모든 터널에서 TBM의 적용이 필수적이며, 1단계에서만 필요한 TBM이 수십 대에 이를 것으로 추정됨(Lu 등, 2004)

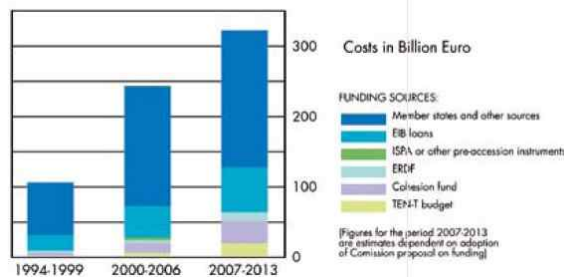


<남수북조(南水北調) 프로젝트 계획>

- 2000년~2020년 사이에 10개 이상의 수력발전소를 건설할 예정인데, 수력발전소의 수로터널 연장은 1,100 km에 달하여 매년 180 km의 수로터널을 건설해야 할 상황임(Qihu, 2003)

■ 초장대 산악터널에의 TBM 적용 전망

- 유럽의 인프라 건설현황과 전망은 다음의 그래프와 같으며 2007년부터 2013년까지의 인프라 건설비용은 3,000억 유로에 달하는 것으로 나타남. 이 가운데 터널이 차지하는 비중이 상당하며, 특히 대규모 철도 건설에 상당한 예산이 투입될 것으로 예정임. 따라서 터널 건설비용 절감에 대한 요구가 증대되고 있음



<유럽의 인프라 건설예산 추이(TUNCONSTRUCT, 2008)>

- 현재 유럽에서 시공 중 또는 시공 예정인 주요 초장대 TBM터널 프로젝트는 다음과 같음. 표에 예시된 프로젝트들만 총 시공연장 162km에 공사비용은 232억 유로에 달함. 이상과 같이 산악지역을 통과하는 지역간 또는 국가간 연결통로로서 초장대 TBM터널 건설 수요가 더욱 증대될 것으로 예상됨. 특히 TUNCONSTRUCT 프로젝트의 연구성과를 적용할 경우 보수적으로 평가하더라도 공사비를 10% 절감할 수 있는 것으로 분석되었으며 시공 리스크 또한 대폭 감소시켜 TBM터널의 경제성을 보다 향상시킬 수 있는 것으로 평가되고 있음

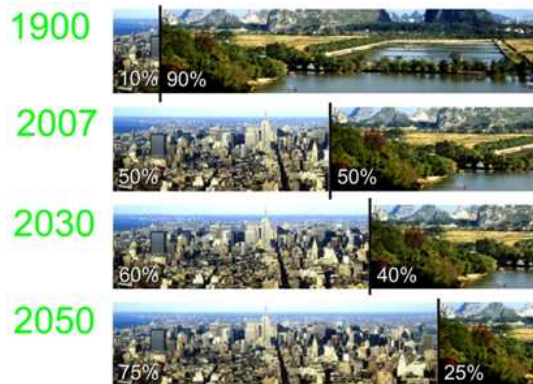
음 (TUNCONSTRUCT, 2008)

<유럽의 주요 초장대 TBM터널 계획>

터널 프로젝트명	연장	국가	공사기간	공사비용
Brenner basis	55km	오스트리아, 이탈리아	2010~2020	90억 유로
Koralm	33km	오스트리아	2008~2016	40억 유로
Semmering	22km	오스트리아	2009~2018	26억 유로
Lyon-Turin	52km	프랑스, 이탈리아	2009~2019	76억 유로
합계	162km			232억 유로

■ 도심지 지하도로 건설 전망

- 도시화의 급격한 진전과 가용 지상공간의 한계로 인해 TBM의 적용이 필수적인 도심지 지하도로 건설이 더욱 증가될 것으로 예상됨. 2000년 이후 대부분의 인구증가는 도시에 집중되고 있으며, 현재 50% 정도인 도시화가 2030년에는 60%로, 그리고 2050년에는 75%가 될 것으로 전망되고 있음(한국터널지하공간학회, 2012)



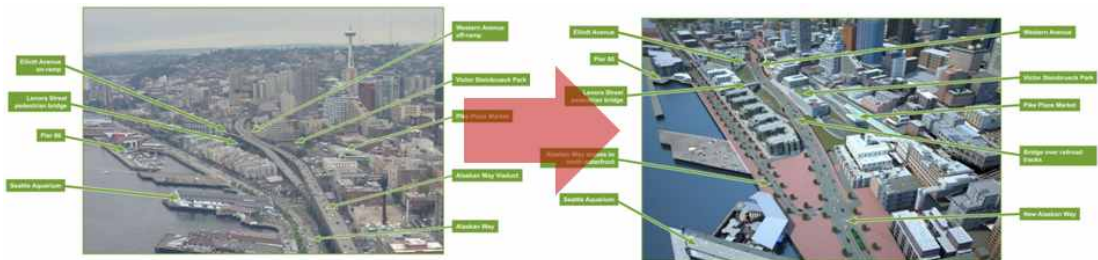
<전세계적인 도시화 추이>

- 이러한 도시화 추세 가운데 지속가능한 발전(sustainable development) 대안으로서 터널과 지하공간 건설이 대두되고 있으며, 특히 지상공간을 쾌적한 녹지 또는 거주공간으로 유지하면서 교통체계로부터 배출되는 각종 온실가스를 터널 내에서 사전에 처리하여 지상으로 배출하기 때문에 녹색성장(green growth)의 주요한 방안으로 고려되고 있음
- 유럽에서는 이러한 측면에서 도시에서 터널과 지하공간을 활용한 쾌적한 도시공간 창출을 계획하고 있음 (TUNCONSTRUCT, 2008)



<유럽의 지하공간 활용 개념>

- 향후 건설 예정인 도심지 지하도로 건설 프로젝트의 대표적인 사례로 미국 시애틀의 Alaskan Way 프로젝트를 예로 들 수 있음



<미국 시애틀 Alaskan Way 프로젝트 계획>

- Alaskan Way 프로젝트는 시애틀의 노후된 기존 고가도로를 철거한 후 지하도로를 건설하는 프로젝트로서 현재 계획 확정되었으며 2011년부터 착공하여 2015년에 개통이 예상됨
- 당초 2007년에는 1) 현대식 고가도로, 2) 복층 개착터널에 대해 주민투표가 이루어졌으나 모두 부결됨. 주된 이유는 당초 예상보다 공사비용/공사기간이 크게 증가되었던 보스턴 Big Dig 사례(개착공사), 개착식 터널 시공의 각종 문제점 (환경피해, 주변 상업활동 침해 등) 등이었음
- 이로 인해 2009년 1월에 쉴드TBM에 의한 지중 굴착터널 건설계획이 승인됨. 직경 16.5m의 대단면 쉴드터널로서 왕복 4차로 복층 구조에 계획 심도는 9~61m임

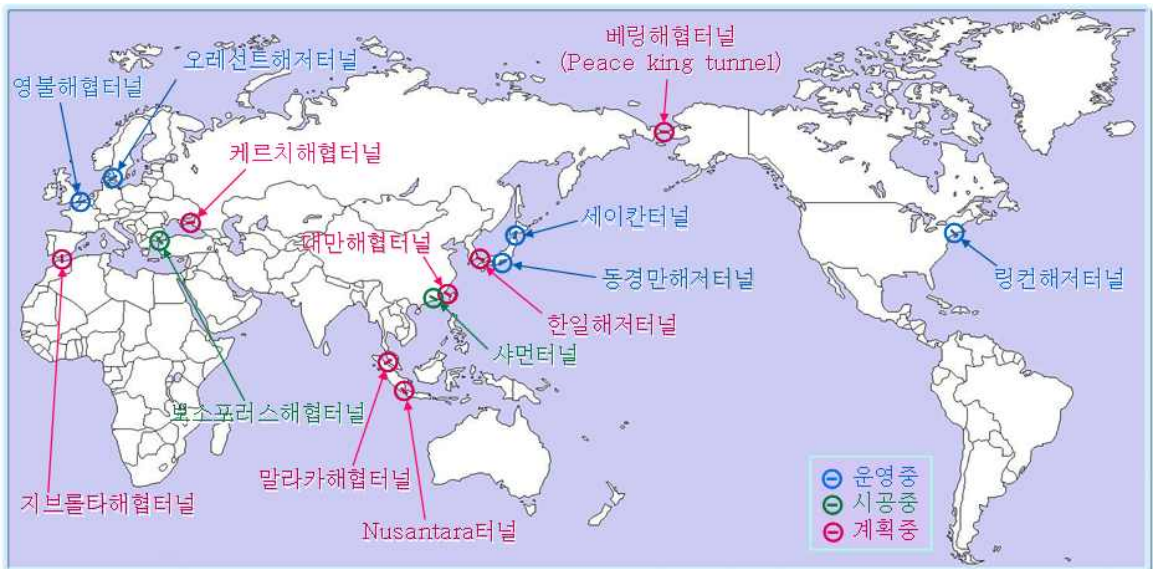


<미국 시애틀 Alaskan Way 쉴드터널 단면계획>

- 이상과 같이 더 이상 대도시권에서는 고가도로의 건설이나 개착 또는 발파굴착 터널의 건설이 어렵다는 것을 보여주는 좋은 예라고 할 수 있음

■ 국가간-대륙간 초장대 해저터널 건설의 전망

- 전 세계적으로 현재 시공 중이거나 계획 중인 해저터널 프로젝트는 다음과 같음. 이들 초장대 해저터널들은 국가간 또는 대륙간 연결통로로의 의의가 있으며 해저 구간의 초장대 터널시공이라는 특수성 측면에서 쉴드TBM의 적용이 필수적임



<전 세계 해저터널 건설 동향>

- 현재 구상 중인 전 세계 해저터널 프로젝트는 다음과 같음

<구상 중인 초장대 해저터널 프로젝트>

Country	Tunnel	Length
China	Mainland - Taiwan	125 km
Estonia - Finland	Tallin - Helsinki	54~80 km
Finland - Sweden	Umeå - Vaasa	25~48 km
Ireland - Wales	Dublin - Holyhead, Irish Sea	95 km
Korea - Japan	Tsushima-kaikyo (Strait) and Korean Strait	55+65 km
Russia - Ukraine	Kerch Strait (Krasnodar - Krym)	45km
Marokko - Spain	Gibraltar	38.7 km
Russia	Stalin's forced-labor project to link Sahalin to the mainland,	10~20 km
Russia - USA	Bering Strait	74.4 km

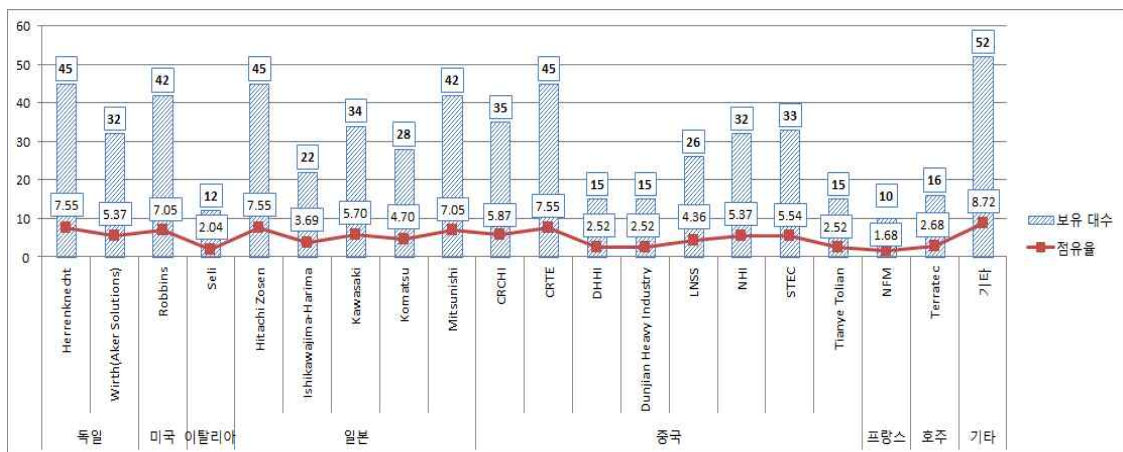
- 중국 본토와 대만을 연결하는 **대만해협 해저터널**은 현재 양국 간에 해저터널을 건설하기로 합의하였으며 구체적인 노선선정 작업에 착수 중임. 대만해협 해저터널의 노선은 크게 3가지로 논의되고 있음. 북쪽 노선은 푸젠성 칭화에서 핑탄다오까지 장대 교량을 건설하고 핑탄다오에서 대만의 신주까지는 해저터널로 연결하는 것으로서 총 연장은 125 km임. 중간 노선은 푸젠성 푸티엔에서 대만 중부까지 연결하는 것으로서 총 연장은 130 km임. 남쪽 노선은 푸젠성 샤먼에서 시작해 대만의 진먼다오와 평후다오를 거쳐 대만섬의 자이에 이르는 것으로서 길이는 170 km임. 그러나 가장 큰 문제는 대만과 중국 사이의 정치적 갈등 이외에도 엄청난 건설비용과 환경문제임. 전문가들은 대만해협 해저터널의 공사비가 약 48조~60조원에 이를 것이라고 추산하고 하고 있음. 이는 영국과 프랑스를 연결하는 유로터널 건설에 소요된 약 15조원의 3~4배임. 또한 대만해협의 지질이 매우 복잡하고 지진도 가끔 발생한다는 문제점도 지적되고 있음
- 유럽 대륙과 아프리카 대륙을 잇는 **지브롤터 해저터널**의 건설을 위하여 1980년 10월 스페인과 모로코간에 **협정이 체결**된 바 있다. 1989년 타당성 조사를 위한 추가협정이 있었고, 1990~1996년 4차례 국제회의를 개최, 타당성 및 개발방향을 논의함. 1990년 예비타당성 조사가 완료되었고 1996년 1단계 조사가 완료되어 기본 노선대안이 결정되었으며, 1997년부터 2단계 타당성 조사 중에 있음. 최대수심은 320m, 해저면에서 100m 하부에 터널이 위치함. 터널의 총 연장은 스페인 카날레스-모로코-시레스간 42.7km(해저터널 구간 27.7km)으로서 셔틀열차로 승객과 화물, 차량을 수송하며 최고 속도는 120km/h임. 공사는 2단계로 추진되며 1단계는 2045년까지 수요를 처리할 1

개의 터널을 건설하여 연간 경차량 158만대와 중차량 46만대, 그리고 1,600만 명의 여객을 수송할 예정임

- 러시아 극동 사할린 섬과 본토인 하바로프스크주를 철도가 깔린 해저터널(7km)로 연결하고, 다시 사할린과 일본 홋카이도를 잇는 해저터널(42km)을 건설하는 방안도 검토되고 있음
- 한편 유라시아대륙(러시아)와 동단과 북미대륙의 알래스카 사이의 베링 해협을 85km의 해저터널로 연결하는 계획이 활발히 검토되고 있음. 총 200조원이 투입되는 초대형 사업으로서 최근 기본설계를 위한 자료조사가 이루어졌음

■ 해외 주요 제조사 현황

- 현재 세계 TBM장비 제조사는 10% 이상의 점유율을 차지하는 회사 없이, 중국, 유럽, 일본, 미국을 중심으로 약 20개 이상의 제조사가 생산하고 있음.
 - 가장 큰 제조사는 독일의 Herrenknecht사로 2014년 기준 세계 전체 시장의 약 7.55%를 차지하고 있으며 45대의 장비를 보유하고 있음.
- 2008년까지 세계시장의 약 40%를 점유하고 있던 독일의 Herrenknecht사의 매출은 지속적으로 증가하였으나 중국의 CRTE 및 CRCHI 등의 급격한 성장으로 세계 시장 점유율은 감소
 - 일본의 Hitachi Zosen사 및 중국의 CRTE사 45대의 장비로 전체 시장의 7.55%를 차지하고 있으며, Mitsubishi 및 미국의 Robbins사가 그 뒤를 이어 각 7.05%를 차지함.
- 일본은 중공업 분야의 수주실패로 저조한 실적을 만회하기 위하여 사업다각화의 일환으로서 TBM 제작을 추진하였고, 그 결과 TBM 선진국 대열에 진입한 상태임.⁶⁾



자료: QYReaserch Tunnel Boring Machine (TBM) Research Center, Jan 2015

<세계 TBM 주요 제조사의 장비 보유대수 및 점유율 현황(2014)>

6) 한국건설교통기술평가원, 기계화·자동화 터널건설을 위한 TBM 기술개발 기획연구, 2010.08.

■ 주요 제조사의 TBM 개발 현황

- 현재 전 세계 주요 TBM 제조사는 약 20여개로, 안전과 환경이 중요해짐에 따라 발파공법에서 기계굴착으로 TBM 수요 및 시장 규모가 확대되고 있는 추세임.
- 국가별 대표적인 주요 제조사 거점 및 R&D 수준 현황을 살펴보면 아래와 같음.
- 세계 점유율 1위인 독일의 Herrenknecht는 독일, 프랑스, 중국에 생산지를 두고 있으며 독립적 연구개발 투자를 통해 세계 유일 최대 규모의 TBM을 보유하는 등 세계 최고 수준의 기술을 보유하고 있음.
 - 동 제조사의 TBM 대당 평균 가격은 2014년 기준 2,719만 달러로 전체 평균 2,314만 달러보다 17% 높음.
- 미국의 Robbins는 60년 이상의 경험을 보유하고 있고 현재 히말라야 고속도로 건설사업, 홍콩 지하철 사업 등에 참여하는 등 전 세계의 다양한 프로젝트에 참여 중임.
 - 동 제조사 역시 독립적 연구개발 투자를 통해 세계 최고 수준의 기술을 보유하고 있으며, TBM 대당 평균 가격은 2,810만 달러임.
- 일본의 Hitachi Zosen은 1881년 설립되어 지금까지 다양한 산업기계, 공정장비 및 정밀 기계 등을 개발·생산해오면서 TBM 관련 기술을 축적하여 1967년 TBM 제조에 성공함.
 - 현재 약 1,200여개의 해외 고객을 보유하고 있으며 중국에도 생산지를 운영 중에 있음. 동 제조사의 TBM 대당 평균 가격은 2,690만 달러임.
- 호주의 Terratec은 터널 및 광산기계 개발 생산에 40년 이상의 경험을 통해 TBM을 제조하고 있으며 평균 대당 가격 2,242만 달러로 비교적 높은 가격경쟁력을 보유하고 있어 전 세계 시장 점유율이 지속적으로 증가 추세에 있음.
- 중국 TBM 생산의 가장 많은 비중(16.26%)을 차지하고 있는 CRTE사는 연간 10억 위안 규모, 40대의 TBM 생산이 가능하며 생산 제조부터 프로그램 디버깅, 개조, 임대 등 TBM 관련 토털서비스를 모두 시행하고 있음.
 - 지금까지 TBM에 R&D 자금으로 2억 위안을 투자하여 15개의 국가 특허(national patent) 및 5개의 발명 특허(invention patent)를 취득함.
 - 동 제조사의 TBM 대당 평균 가격은 2014년 기준 2,082만 달러로 전체 평균보다 약 10% 낮아 가격경쟁력이 높은 장점이 있음.
- 이탈리아의 SELI는 UM&T, innotek S.r.l., S.A.M.E. Srl, SIT Information Technology and IMMOBILEUR Srl 등 5개의 자회사로 구성되어 각 회사의 기술력을 바탕으로 TBM 분야 최고의 기술력을 보유하고 있었음.

- 최근 중국의 Tianye Tolian사에 인수되었고, 최근 6년 간 세계시장점유율은 약 2%임.
- 프랑스의 NFM은 직경 4~15m 이상의 TBM 기술에 특화를 보이는 업체로서 2014sus 기준 평균 대당 가격 2,084만 달러로 비교적 높은 가격경쟁력을 보유하고 있음.
- 중국의 NHI(북방중공업)에 인수되었고, 생산량은 2014년 8대로 많지 않으나 세계시장점유율은 2009년 이후 지속적 증가추세에 있었음

<글로벌 주요 TBM 제조사 생산지 및 R&D 현황>

단위: %

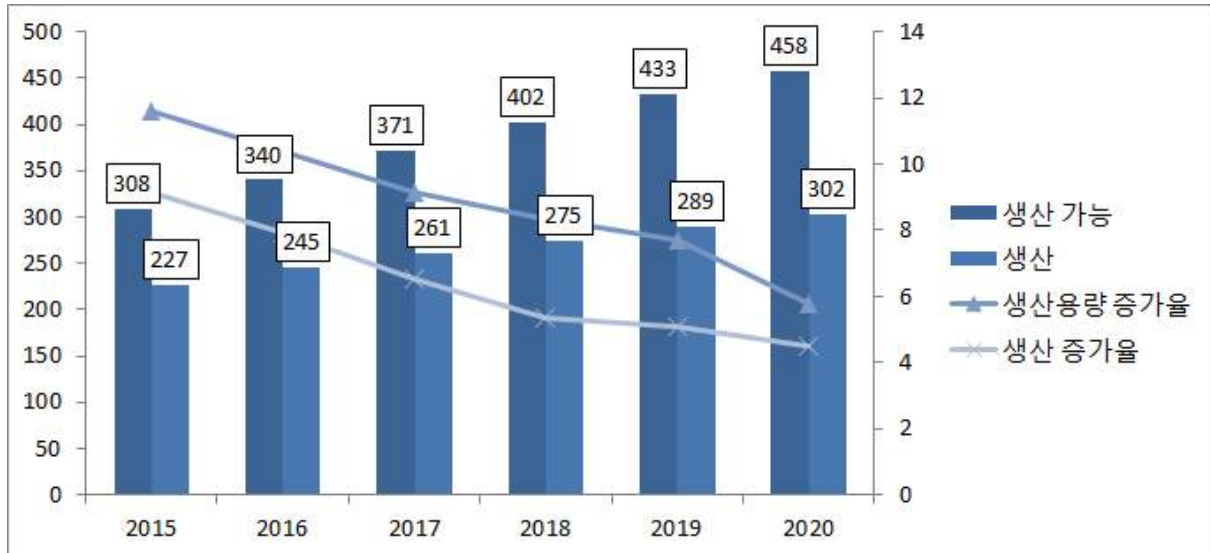
제조사	생산지	R&D 수준	기술 원천
Herrenknecht	독일, 프랑스, 중국	◎	독립적 연구개발 투자
Robbins	미국	◎	독립적 연구개발 투자
Hitachi Zosen	일본, 중국	○	기술 추격 및 독립적 연구개발
Mitsubishi	일본, 중국	◎	독립적 연구개발 투자
Wirth (Aker Solution)	독일	◎	기술 추격 및 독립적 연구개발
Caterpillar	미국, 이탈리아	◎	독립적 연구개발 투자
Kawasaki	일본	◎	기술 추격 및 독립적 연구개발
Komatsu	일본	○	기술 추격 및 독립적 연구개발
Ishikawajima-Harima	일본	○	기술 추격 및 독립적 연구개발
Terratec	호주	○	기술 추격 및 독립적 연구개발
Seli	이탈리아	◎	독립적 연구개발 투자
NFM	프랑스	◎	독립적 연구개발 투자
CRTE	중국	○	Wirth사의 TBM 핵심기술 인수 및 공동 연구개발
CRCHI	중국	◎	독립적 연구개발 투자
NHI	중국, 프랑스	○	프랑스 NFW사 인수 및 독립적 연구개발 투자
STEC	중국	◎	독립적 연구개발 투자
LNSS	중국, 캐나다	○	캐나다 Lovat사 인수 및 독립적 연구개발 투자
Tianye Tolian	중국	◎	독립적 연구개발 투자
DHHI	중국	◎	독립적 연구개발 투자
Dunjian Heavy Industry	중국	○	독립적 연구개발 투자

자료: QYReaserch Tunnel Boring Machine (TBM) Research Center, Jan 2015

주: ◎는 연구개발 최고수준, ○는 연구개발 선도적 수준을 의미함.

- 향후 2015~2020년 기간 동안 TBM 생산은 2015년 227대에서 2020년 302대로 33% 증가할 전망이며, 생산가능량도 308대에서 458대로 49% 증가할 전망이다.
- 생산용량 증가율과 생산증가율은 각 2015년 11.59%, 9.13%에서 2020년 5.77%, 4.50%로 감소할 전망이다.

단위: 대수, %



자료: QYReaserch Tunnel Boring Machine (TBM) Research Center, Jan 2015

<글로벌 TBM 생산 전망(2015~2020)>

■ 중국의 TBM 수요 및 시장 전망

- 현재 중국은 도로교통, 고속도로, 수질관리, 도시개발 등으로 굴착기계를 비롯하여 세계 최대의 TBM 기계 생산 및 TBM 이용공법을 적용하고 있는 시장임.
 - 특히, 중국의 TBM 산업은 자국 내 최첨단 장비제조산업 및 전략적 신흥산업의 핵심 지원산업으로 자리잡음.
- 중국은 1953년 중국 북동부의 푸신(阜新)지역 석탄광산개발을 위해 2.6m Manual TBM 개발을 시작으로 다양한 건설공사에 TBM을 활용하면서 정부의 적극적 연구개발지원이 이루어짐.
 - 해외 TBM 도입을 줄이고 국산 TBM의 기술력을 높이기 위하여 다양한 정책을 통해 지원한 결과 현재 중국은 세계 TBM 점유율 38.62%로 가장 높은 비중을 차지하고 있음.

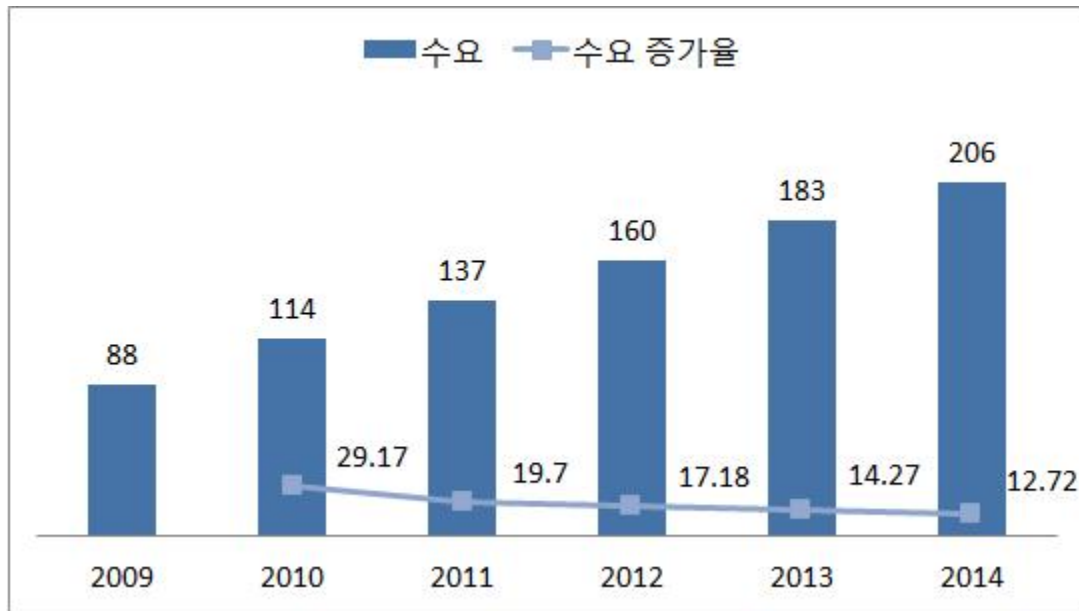
< 중국의 TBM 개발 주요 연혁 >

연도	내용
1953	중국북동부 Fuxin Coal Mine의 2.6m 도로용으로 Manual TBM 개발
1963	상해의 파일러트터널 굴착용으로 4.2m구경의 Shield TBM 사용
1966~1968	북경 지하철 설계 및 건설에 Shield TBM 사용
1976	수력부에서 수력 발전용으로 중국에서 최초의 TBM개발
1985	다양한 건설공사에 외국 TBM소개하기 시작하고 TBM연구 개발 시작
1987	Shanghai Tunnel Engineering Co Ltd에서 중국 최초의 쉴드 TBM개발에 성공(직경4.3m)
1990~	중국의 도시개발로 인프라 건설을 위해 해외 TBM 도입 증가 <ul style="list-style-type: none"> • 상해 지하철 1호선에 프랑스의 EPB Shield TBM 7대 및 2호선에 7대의 Shield TBM 선정 • Yanan east road에 일본의 Slurry Pressure Balanced Shield TBM이 채택 • 광저우 지하철에 일본의 EPB Shield TBM 채택
2000.07	과학기술부에서 Shield TBM 최초개발을 위한 프로젝트 대학과 기업 공동 지원
2002	‘국가 863 계획사업’을 통해 TBM 개발 지원
2013	CRTE가 독일 Wirth TBM과 Shaft Boring M/C기술 인수 상표사용 계약

- TBM에 대한 중국의 수요는 2009년 이후 지속적으로 늘어 2014년까지 연평균 15%의 증가율을 보임.
- 중국은 ‘국가 863 계획사업’ 지원 하에 자국 기술로 TBM의 자체 연구개발에 성공한 이후, 그 동안 독점해오던 해외 장비 도입을 줄이고, 제조원가를 절감시키기 위해 TBM 제조사업을 16개 중대 장비 기술 사업의 하나로 편성하고 다양한 건설사업에 자국 장비를 투입시킴.
- 세계 최대의 수로건설 프로젝트인 남수북조(南水北調) 프로젝트(7)를 통해 2010년부터 244km 규모의 터널을 연장하면서 TBM 수요가 급격히 증가한 것으로 나타남.

7) 남수북조 프로젝트는 물이 부족한 베이징 지역에 물을 공급하기 위한 사업으로서 창장 북부에서 산둥(山東)성 웨이하이(威海)를 잇는 동선(東線)과 창장~베이징·톈진 등 수도권을 연결하는 중선, 창장~칭하이(青海)·간쑤(甘肅)성·네이멍구(內蒙古)자치구를 연결하는 서선(西線)으로 구성되며, 사업비는 약 620억 달러(한화 약 63조원)이며, 2050년 완료될 예정이다.

단위: 대수, %



자료: QYReaserch Tunnel Boring Machine (TBM) Research Center, Jan 2015

< 중국의 TBM 수요 및 수요증가율(2009~2014)>

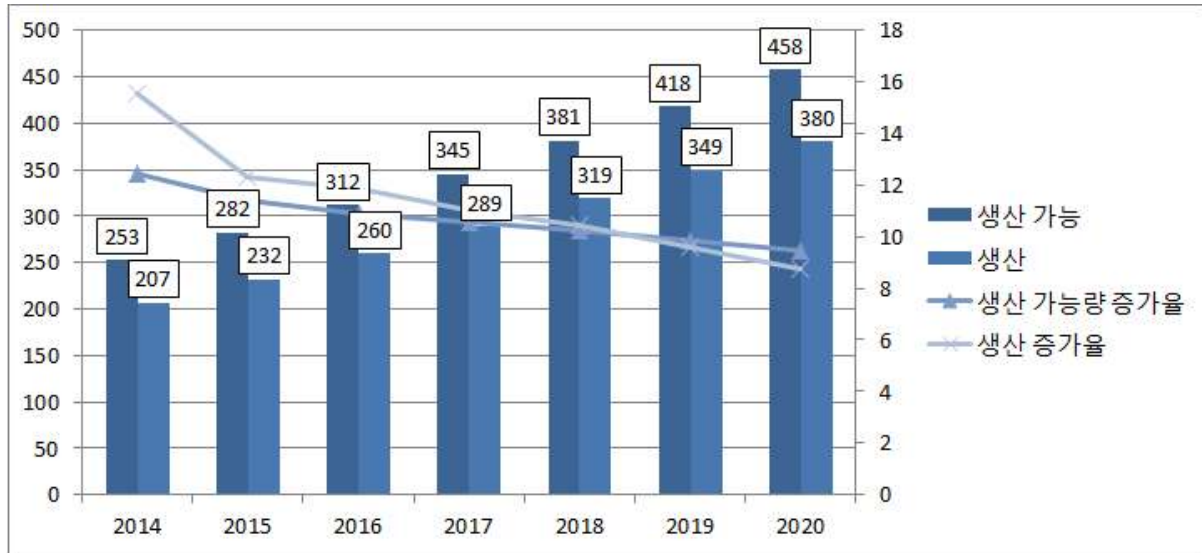
- 중국의 TBM 생산 및 개발 증가는 향후 2020년까지 계속되어 생산 가능량과 생산량이 각 8.85%, 9.07%의 증가율을 보일 것으로 전망되며, 그 이유는 다음과 같음.
 - 첫째, 석유 및 가스 등의 에너지 비용이 증가하면서 중국 내 석탄 수요가 높아졌는데 현재 중국은 다양한 크기의 석탄 광산을 가지고 있기 때문에 다양한 종류의 TBM이 필요할 것으로 전망됨.
 - 둘째, 현재 상해, 북경, 광둥지역에서 경량급 TBM이 활용되는 다수의 철도 건설 및 도로 개발 계획이 있어 자국 내 TBM을 활용하기 위하여 국산화 및 핵심기술 확보를 위하여 정부차원의 적극적 투자가 이루어질 것으로 전망됨.
 - 특히, 베이징이나 상하이 등 대도시들은 교통시스템, 배수시스템 등이 필요하여 중국의 모든 중대형 도시들이 지하철 및 도시 등의 교통시스템 구축에 나서고 있음.

< 중국의 주요 TBM 활용 도시건설 계획 >

계획 분야	내용	규모	비고	
철도 건설	4종 4횡의 여객전용 철도 건설계획			
	4종	① 베이징-상해	약 1,300km	무한-광저우 구간 외 구간은 2020년까지 완공 목표 하얼빈-따렌(921km)구간은 2012년 12월 완공, 기타 구간은 2020년까지 완공 목표 항저우-샤먼 구간은 완공, 기타 구간은 2020년까지 완공 목표
		② 베이징-광저우-선전	약 2,230km	
		③ 베이징-선양-하얼빈-따렌	약 2,230km	
		④ 항저우-닝보-푸조우-선전	약 1,600km	
	4횡	① 쉬조우-란조우-펑조우	약 1,400km	베이징-천진, 시안-펑조우, 상하이-난징, 우한-광저우 구간은 기착공하여 공사 진행 중
		② 항저우-난창-창사	약 880km	
		③ 칭따오-시자장-타이웬	약 770km	
		④ 난징-우한-충칭-청두	약 1,900km	
	중국의 남-북, 동-서를 연결하는 8종 8횡 철도 건설 계획			
	8종	① 베이징-하얼빈		
		② 선양-광저우		
		③ 베이징-상하이		
		④ 베이징-지우룽		
⑤ 베이징-광저우				
⑥ 다통-잔장				
⑦ 빠오터우-류저우				
⑧ 란저우-쿤밍				
8횡	① 베이징-란저우		석탄운송 북노선	
	② 대동-진황도		석탄운송 남노선	
	③ 태원-덕주, 장치-청도, 후마-일조			
	④ 연운항-아납산구		유라시아대륙 철도노선	
	⑤ 난징-시안		연장노선	
	⑥ 충경-상해			
	⑦ 상해-쿤밍			
	⑧ 곤명-심강			서남출해노선
도로망 계획	① 중국 총 도로망	40만 1,000km	2030년 완공	
	② 국가 고속도로망	11만 8,000km	2030년 완공	
	③ 일반 도로망	26만 5,000km	2030년 완공	
	④ 기타 도로망	1만 8,000km	2030년 완공	

자료: 한국건설신문 보도자료, 중국의 중대형 도시들 지하철 건설 등 교통시스템 구축, 2014.08.19
참고하여 KIET 재작성

단위: 대수, %



자료: QYReaserch Tunnel Boring Machine (TBM) Research Center, Jan 2015
 <중국의 TBM 생산 전망(2014~2020)>

■ 지역별 TBM 생산 변화 추이

- 2009~2014년 기간 동안 지역별 TBM 생산 변화 추이를 살펴보면 중국이 14.52%로 다른 지역 대비 월등히 높고, 일본은 5.13%로 그 뒤를 이음.
- 미국과 유럽은 각각 -0.65%, -1.39%를 기록하여 감소추세를 보임.

<지역별 TBM 생산 추이(2009~2014)>

단위: 대수, %

국가	2009	2010	2011	2012	2013	2014	연평균 증가율
중국	90	115	139	161	185	203	14.52
미국	26	29	30	31	32	25	-0.65
유럽	62	66	68	71	74	57	-1.39
일본	100	108	116	121	129	135	5.13
기타	19	25	29	32	36	38	12.25

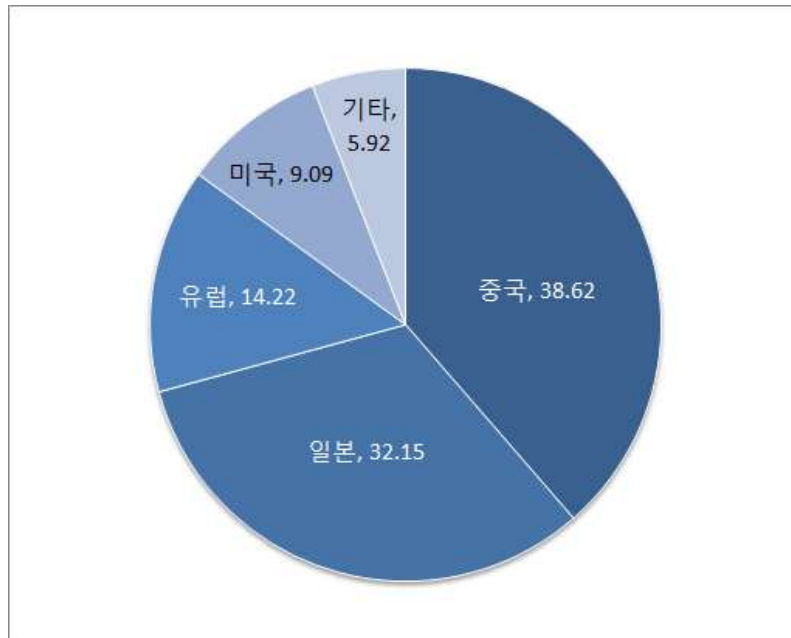
자료: QYReaserch Tunnel Boring Machine (TBM) Research Center, Jan 2015

- 국가별로 살펴보면 전체에서 중국이 차지하는 비중이 38.62%로 가장 높음.
- 중국의 주요 제조사로는 앞서 언급한 CRTE(7.55), CRCHI(5.87), NHI(5.37), STEC(5.54), LNSS(4.36), Tianye Tolian(2.52), DHHI(2.52), Dunjian Heavy Industry(2.52)가 있음.
- 두 번째로 많은 비중을 차지하는 일본은 전체의 32.15%로서, TBM 기술력

이 우수하여 지속적으로 증가추세에 있으며, 도심지의 경우 80% 이상 적용하고 있음.⁸⁾

- 주요 제조사로는 Hitachi Zosen, Mitsubishi, Kawasaki 등이 있음.
- 유럽은 최고 수준의 기술을 보유한 제조사가 많으며, 다양한 사이즈의 TBM 제조기술을 보유하여 전체 판매량의 7.55%를 차지하고 있는 독일의 Herrenknecht사가 대표적이고, Wirth, Seli 등을 보유하여 전체 14.22%를 차지함.

단위: %

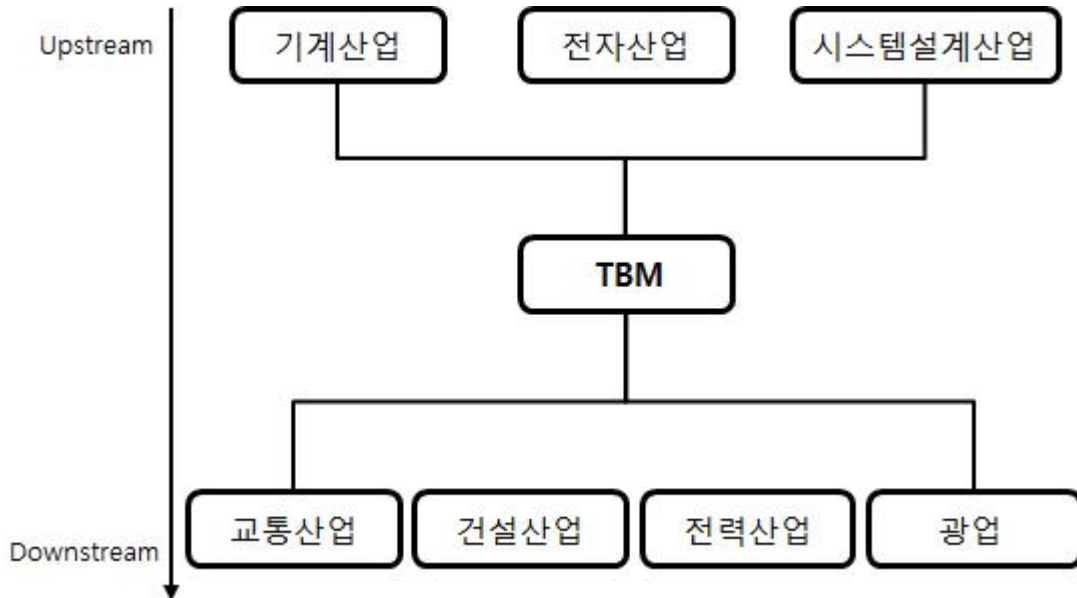


자료: QYReaserch Tunnel Boring Machine (TBM) Research Center, Jan 2015
<글로벌 주요 TBM 제조사 현황(2014)>

8) 한국건설교통기술평가원, 기계화·자동화 터널건설을 위한 TBM 기술개발 기획연구, 2010.08.

■ 해외 TBM 시장 공급망 구조

- TBM 산업은 기계적으로 굴착을 수행하는 모든 터널 굴착기술을 활용하는 산업으로서 기계산업, 전자산업, 시스템 설계산업의 종합적인 기술이 활용되는 복합산업임.
- 또한, TBM 산업기술은 공법이 매우 다양하여 수력발전소, 통신구 터널, 도로 철도터널, 탄광 등 다양한 분야에 활용되고 있음.



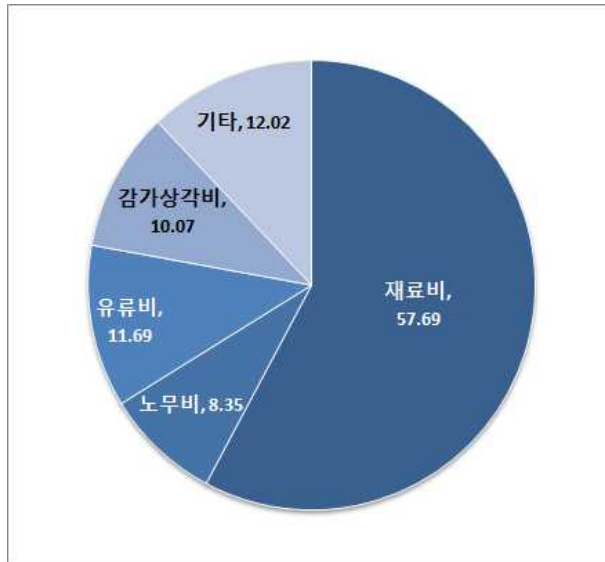
자료: QYReaserch Tunnel Boring Machine (TBM) Research Center, Jan 2015

< TBM산업의 가치사슬 구조 >

■ 해외 TBM 비용 구조

- TBM 생산 시, 제조회사의 비용 구조는 재료비가 57.69%로 가장 높고 유류비 11.689%, 감가상각비 10.07%, 노무비 8.35%의 순임.
- 설비의 기계화로 노무비 비중이 높지 않은 편임.

단위: %



자료: QYReaserch Tunnel Boring Machine (TBM) Research Center, Jan 2015
 <TBM 제조원가 비용 구조>

- 2009~2014년 기간 동안 TBM의 연도별 생산 가동률 및 마진율 추이를 살펴보면, 생산용량 및 생산량은 각 10.6%, 11.4% 증가하였음.
- 해당 가격은 2009년 약 3,071만 달러(한화 약 330억원)에서 2014년에는 2,314만 달러로 비용이 줄어 연평균 6.8% 감소한 것으로 나타났고, 마진율 역시 4.3% 감소한 것으로 나타남.

< TBM 생산량 및 가격 변화 추이(2009~2014)>

단위: 대, %, 백만 달러

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	연평균 증가율
생산용량	398	441	484	536	578	596	10.6
생산량	297	343	382	416	456	458	11.4
가동률	74.62	77.78	78.93	77.61	78.89	76.85	0.7
가격	30.71	29.25	28.08	25.29	24.27	23.14	-6.8
마진율	59.88	58.16	58.00	54.51	51.60	50.29	-4.3

자료: QYReaserch Tunnel Boring Machine (TBM) Research Center, Jan 2015

■ 해외 TBM 수요 구조

- 2009~2014년 기간 동안 전세계 TBM 수요를 보면 2009년 294대에서 2014년 465대로 158%의 큰 증가율을 보이고 있음.
- 15.83%로 수요 증가가 가장 컸던 2010년은 중국에서의 수요가 전년도 88대에서 114대로 크게 증가하였기 때문으로 추정됨.

단위: 대, %



자료: QYReaserch Tunnel Boring Machine (TBM) Research Center, Jan 2015

<글로벌 TBM 수요 추이(2009~2014)>

- 같은 기간, 수요-공급 추이를 보면 2013년까지 공급이 수요보다 많았으나 2014년에는 수요가 공급을 추월하여 약 7대 가량이 부족했던 것으로 나타남.
- 이는 최근 정부에서 건설분야 전반에 친환경성을 강조하는 녹색성장을 추구하고 있고, 그 일환으로 건설분야에서도 신설 도로 및 철도 건설 시 환경피해를 최소화하기 위하여 TBM 수요가 급증했기 때문으로 보임.

단위: 대, %



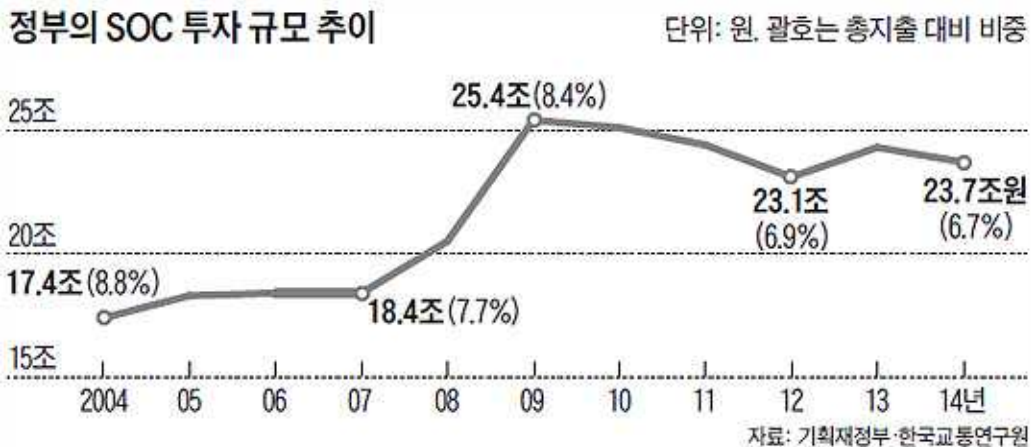
자료: QYReaserch Tunnel Boring Machine (TBM) Research Center, Jan 2015

<글로벌 TBM 수요-공급 추이(2009~2014)>

2. 국내 시장현황 및 전망

■ 우리나라의 TBM 시장 동향

- 최근 정부의 SOC 예산은 `09년 25조 4,000억원에서 `14년 23조 7,000억원으로 1조 7,000억원(6.7%) 감소하였으며, 앞으로 SOC 예산 감소 폭은 더욱 커질 전망이다)
- 같은 기간 정부 전체 지출에서 SOC 예산이 차지하는 비중이 8.4%에서 6.7% 수준으로 줄어들어 최근 10년 사이 가장 낮은 수치를 기록함
- 기획재정부는 14년부터 4년간 복지 자원 마련을 목적으로 SOC 예산 11조 6,000억원을 줄이겠다고 발표해 SOC 감소 폭은 매년 커질 전망이다



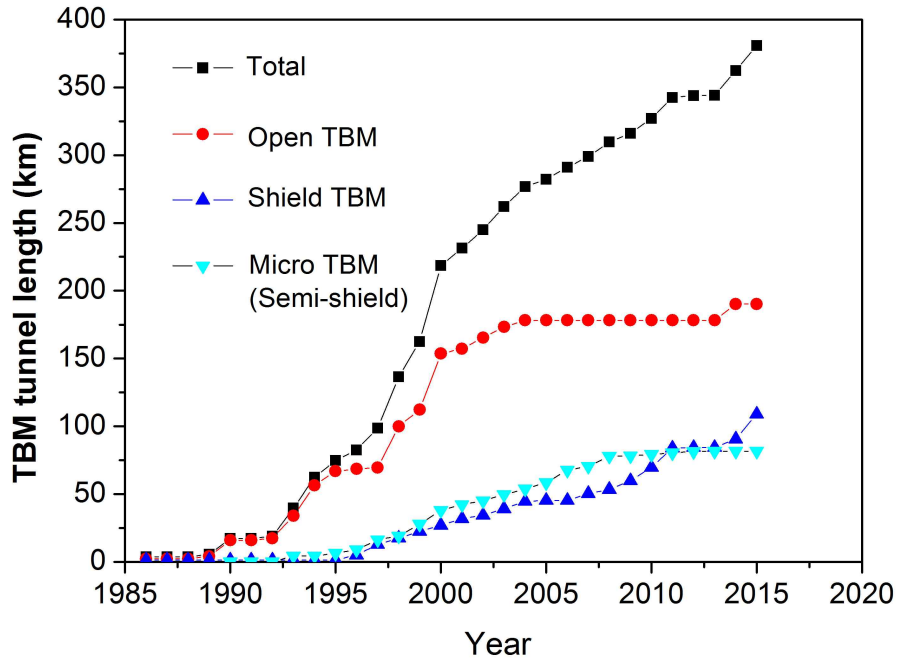
<정부의 SOC 투자 규모 추이>

- 현재까지 우리나라의 TBM 시공실적은 약 400 km에 달하며, TBM 도입 초기에는 연장이 긴 수로터널을 중심으로 Open TBM의 적용 실적이 많았음. 그 이후에는 도로터널과 지하철에서 TBM+NATM 병용공법에서 채택된 사례가 증가함. 현재까지 수로터널과 도로터널에의 Open TBM 적용비율은 각각 53%와 25%이며, 적용된 Open TBM의 직경은 주로 3.5~6.5 m임
- 그러나 2000년을 기준으로 Open TBM의 적용은 매우 미미한 반면, 쉴드TBM과 세미쉴드는 1996년을 기점으로 거의 선형적으로 적용 실적이 증가
- 특히, 쉴드TBM은 1987년에 부산 광복동 전력구 공사에서 약 1 km의 터널 시공에 처음으로 적용된 후, 1995년부터 도심지 터널구간에 적용사례가 급증하여 현재까지 총 170여건이 국내·외에서 시공되었거나 추진 중임
- 관로공사에 적용되기 시작한 초기의 쉴드TBM은 Open TBM과 유사한 직경이 주를 이루었지만, 1990년대 중반이후부터는 지하철에 적용됨으로써 8.0 m 내

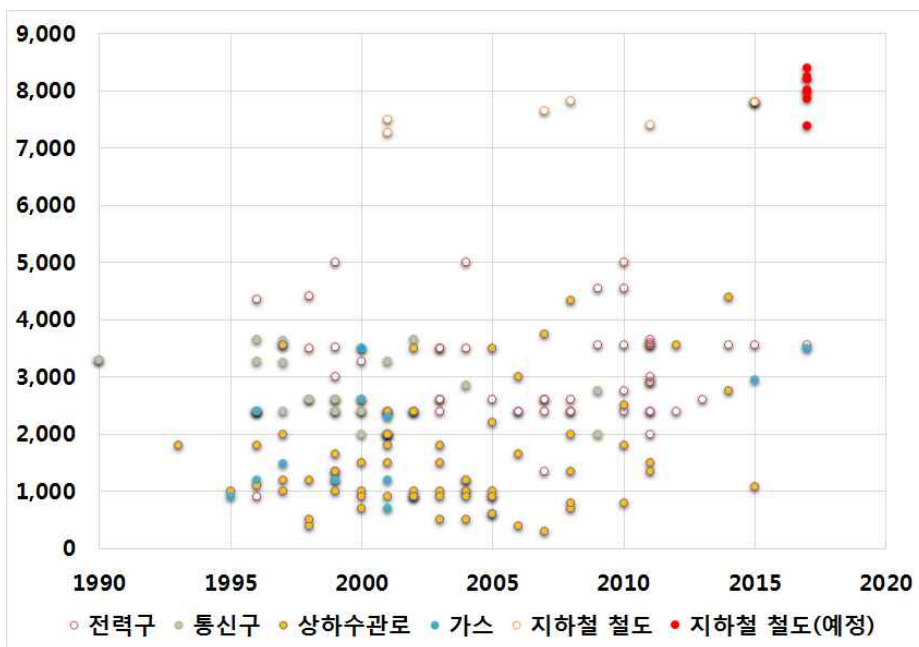
9) SOC(사회간접자본)예산 6.7% 급감, 4년동안 매년 3조원씩 더 줄이기로, 조선일보, 2014. 4. 3.

외 직경의 적용이 점차 증가하고 있음. 쉴드TBM의 형식별로는 현재까지 토압식(EPB)이 80%, 이수식(Slurry)은 20%로 토압식이 주를 이루고 있음

- 2000년 이전을 기준으로 쉴드TBM의 실적은 관로공사가 약 38%, 전력구 약 24%, 통신구가 약21%를 차지하고 있었으나, 2015년까지의 실적을 파악해 보면 통신구의 적용은 다소감소하고 전력구와 지하철도의 적용이 점차 증가



<우리나라의 연도별 TBM터널의 시공연장>



<우리나라의 터널 용도별 쉴드TBM 적용현황>



(a) 2000년 이전

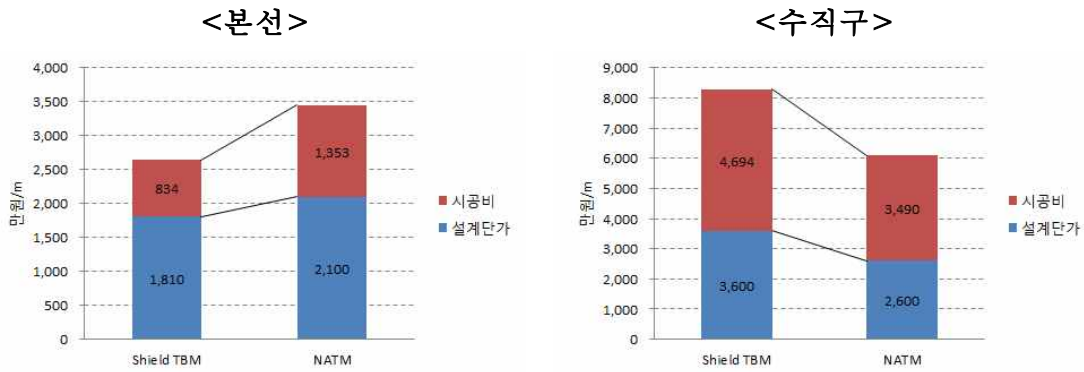


(b) 2015년

<우리나라의 용도별 쉴드TBM 적용현황(2015년과 2000년 이전 비교)>

- 직경 7~8 m의 중대단면 TBM은 지하철 단선터널 규모로 적합하나 2차로 이상으로 계획되는 도로터널에는 부적합하며, 단선병렬로 적용할 경우 공사비 부담이 NATM에 비해 증가하는 문제가 있음
- 아직까지 직경 10 m 이상인 대단면 TBM의 국내 적용실적은 전무하며, 설계계획 단계에서 검토는 되고 있으나 경제성이 가장 큰 문제로 지적되고 있음
- 대단면 TBM은 해외에서도 그 실적이 적고 제작사가 한정되어 있어 국내의 설계회사에서 장비제작사에 견적을 의뢰할 때 높은 견적이 책정되는 문제가 있음. 이와 같은 문제로 설계단계에서 대구경 TBM의 적용이 채택되지 않는 경향이 있음
- 현재까지 우리나라에서 시공된 직경 7m 이상급 쉴드터널로는 서울시지하철9호선 1단계 909공구(국회의사당 통과구간), 분당선 왕십리~청담간 복선전철 3공구 하저터널(연장 1.7 km), 서울시지하철 7호선 703공구/704공구(연장 약 4.5 km)와 인천국제공항철도(연장 1.9 km) 등이 있음
- 또한 서울시지하철9호선 3단계 919~921공구(쉴드TBM 3대, 3공구 연장 4.3 km)가 시공 중에 있으며, 부전-마산 복선전철 낙동강 하저터널(쉴드TBM 2대, 총연장 32.6 km중 낙동강 하저 5 km구간)이 실시설계가 완료되었음 또한 대곡-소사 복선전철 한강 하저터널(쉴드TBM 1대, 총연장 19.5 km중 한강 하저 2.5 km구간)은 정부 부처간 이견으로 다소 지연되었음
- 현재 우리나라의 쉴드터널의 공사비는 NATM터널과 비교할 때 불리한 것이 사실임. 그러나 현재까지 쉴드TBM이 가장 많이 적용된 한국전력공사의 전력구터널의 경우에는 다음과 같이 NATM보다 쉴드터널의 단위공사비가 낮은 것으로 되어 있음. 이는 전력구 터널에서 쉴드TBM의 적용이 정착됨으로 인한 공사효율화 등에 기인된 것으로 파악됨

- 일본에서는 과거 TBM공사를 지속적으로 발주하여 비용절감 방법의 루틴화를 통해 TBM공사비용을 절감함(동경지하철주식회사, 2006). 일본 동경지하철주식회사의 자료(1997년 기준)에 따르면 개착공사(1,400지수) 보다 쉴드터널의 공사비(1,020지수)가 약 27% 저렴한 것으로 파악됨



자료: 한국건설기술연구원, 2010, 기계화·자동화 터널건설을 위한 TBM 기술개발 기획연구, 한국건설교통기술평가원 기획연구보고서.

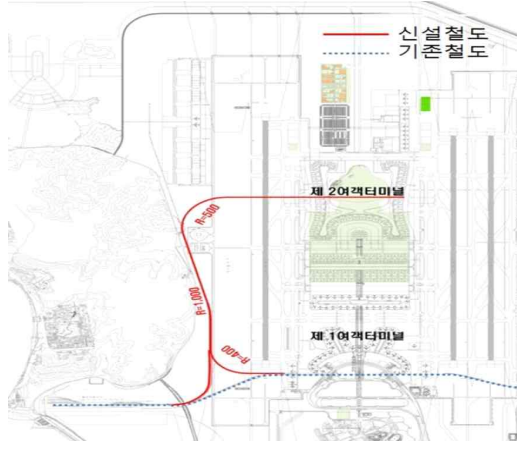
<한국전력공사의 전력구공사 단위공사비 비교>

- 따라서 중대단면 이상의 쉴드터널의 경우에도 설계·시공 기술과 경험이 축적되고 이를 뒷받침할 수 있는 첨단 기술들이 개발된다면 공사비용 측면에서 NATM 대비 경쟁력을 보다 높일 수 있을 것으로 기대됨
- 향후 국내 TBM 수요는 EU, 중국 등의 사례에 비추어 볼 때 지속적으로 증가할 것으로 전망
- 특히, 환경피해를 최소화하는 공법을 사용하도록 권장하는 추세에 따라 NATM 공법보다는 TBM 공법에 대한 수요가 증가할 것으로 예상됨
- 2015년 5월 현재, 쉴드TBM으로 시공예정이거나 설계중인 프로젝트 현황을 정리하면 다음과 같음. 특히 쉴드TBM을 활용하여 시공할 것으로 예상되는 공사는 도시 인프라(전력구, 배수시설)와 교통 터널 등이 있는데 기존의 공사들과는 달리 중대단면 TBM을 활용하는 수요가 늘어나고 있음

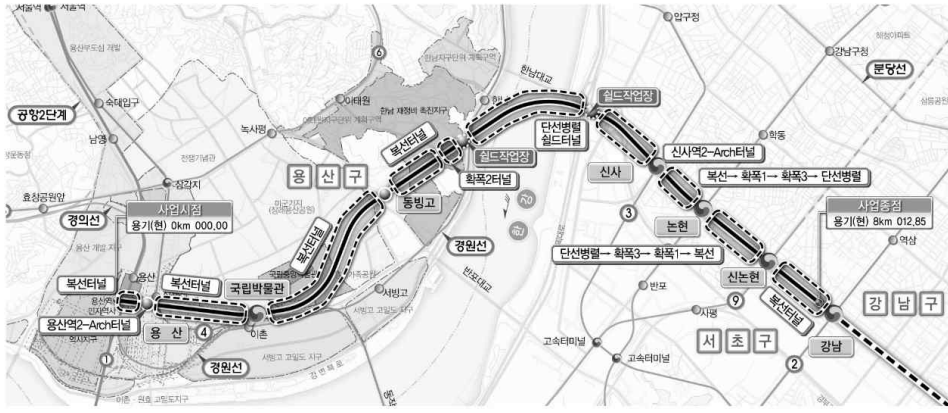
구분	프로젝트명	시공사	진행현황	시공연장	비고
시공 중	9호선연장 919공구	삼성물산	시공 중	2.3km	-
	9호선연장 920공구	롯데건설	시공 중	2.4km	-
	9호선연장 921공구	포스코건설	시공 중	2.4km	-
	인천국제공항 제2여객터미널 연결철도 건설공사	현대산업개발/ 동아지질	2013~	5.94 km	제3활주로 하부통과 외경 7.93 m
	부천 여월 빗물배수터널	부천시	2015~	1.09km	외경 약 5.5 m
	대곡-소사 복선전철 한강 하저터널	현대건설	2015~	2.5km	외경 8.2 m
	부전~마산 복선전철 낙동강 하저터널	SK건설	2015~	5.0km	초연약지반 (점토층) 통과구간 외경 8.0 m
	원주-강릉 철도건설 11-3공구	삼환기업/ 동아지질	2015~	1.16km	외경 8.41m
착공	진해-거제 주배관 건설공사	한국가스공사	착공	7.76 km	외경 약 3.5 m
발주예정	수도권 서부지역 전기공급시설 전력구 공사	한국전력공사	'13 상반기 발주	23.5 km	외경 약 3.5m
실시설계 완료	신분당선 연장선 (철드구간)	두산건설	실시설계 완료	3 km	용산구간 미군기지 이전 관계로 착공시기 불투명
기타	울촌II복합화력발전소 배출관로 공사	현대건설/동아지질	2012~2014	1.56 km	외경 4.4 m
	장문천연가스발전소 송전선로 지중화공사	SK건설/동아지질	2014~2015	1.275 km	외경 3.6 m



<서울시지하철 9호선 3단계 노선도>



<인천국제공항 제2여객터미널 연결철도 건설공사>



<신분당선(용산-강남 구간) 노선도>



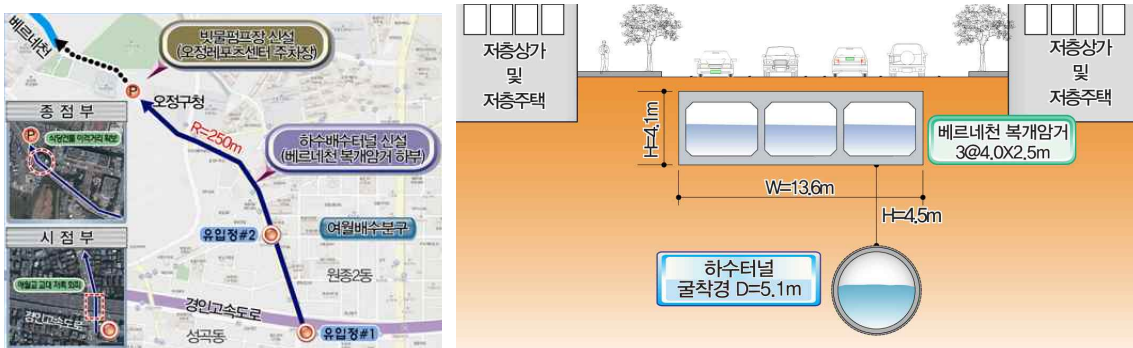
<부전-마산 복선전철 개요도>



<대곡-소사 복선전철 한강 하저구간 노선도>



<한국전력공사 수도권 서부지역 전기공급시설 전력구 공사 노선계획(안)>



<부천 여월 빗물배수터널 계획>

- 이외에도 TBM의 전망이 유망한 서울과 수도권의 대도시권 하부의 대심도를 활용하는 대심도 지하 지하터널 프로젝트가 활발히 검토·계획되고 있음
- 이들 프로젝트들은 향후 기획과제 종료 후에 본 연구과제의 연구성과들을 적용할 수 있는 후보지가 될 것으로 판단됨

① 수도권 광역급행철도(GTX)

- 첫 번째로 수도권 광역급행철도(GTX)는 정부-지자체 공동사업으로 추진하는 것으로 발표되었으며('10.9), 국토교통부에서는 2013년 2월 28일에 경제적 타당성이 확보된 일산~삼성간 A노선을 즉시 추진하고 B노선과 C노선은 재기획 및 보완 과정을 거쳐 예비타당성 조사를 재추진하기로 발표함
- 대심도 40~60m에 최대 200km/h(표정속도 100km/h)의 급행철도를 구축하는 계획으로서 3개의 노선으로 구성됨. 노선 A는 일산 킨텍스~동탄 신도시 구간으로 연장이 74.8km에 달하며, 노선 B는 청량리~인천 송도의 49.9km 구간이

며, 노선 C는 의정부~군포 금정 구간으로 연장이 49.3km임

- 총 사업비는 약 12조원(현대산업개발 컨소시엄)에서 13조원(경기도)로 추산됨
- GTX 사업은 철도터널이며 지하철과 같이 지상 도로구간 하부를 따라 노선이 설정되는 것이 아니므로 TBM의 적용성이 보다 높을 것으로 기대됨. 하지만 TBM의 적용에 대해서는 차량속도/방재/환기/작업개소 등을 종합적으로 설계 검토한 이후에 파악이 가능할 것으로 고려됨



<수도권 광역급행철도 노선안>

② 서울시 U-SMARTWAY

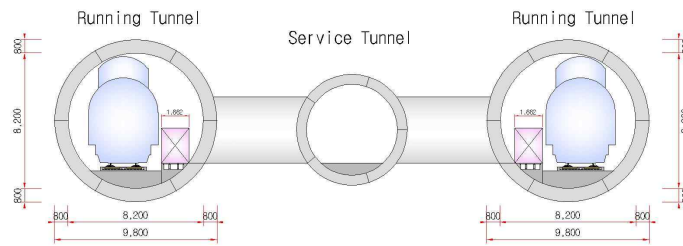
- 남북 3개축 및 동서 3개축, 총 6개축에 대해 지하 40m 이하의 대심도 지하공간에 지하도로망을 구축하는 계획으로서, 6개 노선의 총 연장은 148.7km에 달하며 총 사업비는 11조2천억원으로 추정되고 있음
- 대형차의 통행을 허용하는 남북3축(동부간선도로 하부, 재정사업으로 추진예정)을 제외한 일반구간의 사업비는 9조4,670억원으로 추산됨
- 현재까지 발표된 일반구간의 터널단면(안)은 프랑스 파리 A86 지하도로의 경우와 마찬가지로 소형차 전용의 복층 원형터널로 계획되어 있으며, 직경은 14.5m로서 A86지하도로 직경인 10m보다는 큼
- 이상과 같이 복층 원형터널 계획(안)이 확정된다면 A86 지하도로 등의 사례와 밀집된 서울시 하부의 대규모 터널공사라는 점을 고려할 때 TBM의 적용이 유리하다고 예상됨
- GS건설에서는 민자사업 제안서를 작성하였으며, 동서2축과 남부1축의 한강 통과 구간에 직경 13.42 m의 쉴드터널을 계획하였음



- 역시 초장대 해저터널 건설 프로젝트인 관계로 해저터널 구간은 직경 9.8m의 쉴드TBM으로 계획되어 있음 (쉴드터널 공사비 추정액 = 8조8,000억원)

<호남-제주 해저터널 개요>

구분	목포~해남	해남~보길도	보길도~제주
연장	66km	28km	73km
특성	지상구간	해상교량구간	해저터널구간
사업비	2조8천억원	3조원	8조8천억원
	사업비: 총 14조 6천억원(추정) 공사기간: 총 11년(추정)		



<호남-제주 해저터널의 터널 단면계획(안)>

③ 한-일 해저터널

- 한-일 해저터널은 동경에서 서울-평양-단동-베이징으로 연결되는 “동아시아 하이웨이”의 일부로서 고속도로, 고속철도, 자기 부상열차(Linear Motorcar)등이 검토되고 있음
- 한국의 부산에서 일본 후쿠오카(福岡)까지 웨리(Ferry)선으로 16시간, 고속 수중익선(Jet Foil)으로는 2시간 55분이 소요됨
- 한-일 해저터널이 완성되면 자동차로 3시간 30분, 고속철도는 (최고속도 350km 적용시) 1시간 20분, 최고속도 700km의 자기부상 열차로는 40분이 걸리게 되어, 항공기(서울-후쿠오카:1시간 소요, 서울-베이징:2시간 소요)와 충분히 경쟁이 가능하다고 평가되고 있음
- 한-일 해저터널은 노선에 따라 다소 차이는 있지만 총 연장이 209~231km에 달하며, 이 가운데 쉴드 시공연장은 128~145km로 추정됨

구분	노선 A	노선 B	노선 C
총 연장	209	217	231
시공 공기	15~20년		
건설비 (230km기준)	철도/도로병용 단선 : 101조원, 철도/도로병용 복선:201조원		

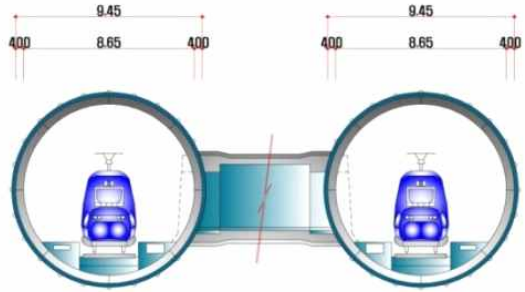
- 최저 수심은 155~220m으로서 한-중 해저터널보다 더 깊은 대수심 조건임
- 공사기간은 15~20년으로 추정되며, 쉴드터널 구간의 공사비는 50조7,500억원으로 추산됨



<한-일 해저터널 노선안(일본측 구상안)>



<한-일 해저터널 셸드터널 구간 공구계획(안), 노선A 기준>



는 구상되고 있는 해저터널 가운데 최장의 해저터널임

구 분	비교 1안	비교 2안	비교 3안	비교 4안
위 치	인천-웨이하이	화성-웨이하이	평택-웨이하이	웅진-웨이하이
총 연 장	341km	373km	386km	221km
예상공사비	123조 4470억원	117조 8094억원	127조 9817억원	72조 5770억원
사업기간	조사 및 설계기간 : 5년, 시공기간 : 10년 - 총 15년 예상			

- 한-중 해저터널 가운데 쉘드TBM(직경 7.6m) 시공연장만 185~220km에 달하며 최대 수심은 72m임
- 공사기간은 15~20년으로 추정되며 쉘드터널 공사비는 77조1,050억원으로 추정됨



■ 우리나라의 TBM 도입 현황과 실정

- 우리나라는 TBM 장비의 설계 및 제작을 해외에 의존하고 있고 TBM 관련 기술력이 부족하여 실제 건설 현장에서 TBM을 활용하는 실적이 저조함¹⁰⁾
 - 국내 교통터널 건설공사 중 TBM 공법을 적용하는 비중은 1% 미만
 - TBM 장비와 관련된 국내 기술력이 부족하여 건설현장의 지반에 적합한 TBM 장비를 투입하지 못해 각종 문제가 발생하고 있음
 - ※ 지반조건에 부적합한 TBM장비를 건설현장에 투입할 경우에 각종 문제가 발생하기 때문에 국내 터널 건설현장에서 TBM 공법에 대한 선호가 낮은 인식 문제
 - 국내 TBM 시장의 높은 해외 의존도로 인해 수입시 물류비용, 제작사가 가격 결정을 주도하는 등 경쟁 공법인 NATM에 비해 경제성이 상대적으로 떨어지는 문제 발생
- 해외 선진 TBM 제작사들은 원천·핵심기술을 공개하지 않기 때문에 기술기반 여건이 부족한 우리나라에서 추격하는데 어려움이 많은 것으로 지적됨
 - 해외 제작사들은 TBM 관련 원천기술을 지적재산권화하지 않고 독자적인 비공개 노하우로 보유하고 있기 때문에 우리나라가 주도하는 기술격차 해소 노력이 필요함
 - 해외로부터 구매한 TBM 장비의 상세 설계도 및 매뉴얼도 미비한 경우가 많아 벤치마킹을 통한 장비개발에 애로
 - ※ 이로 인해 유지보수도 국내에서 자체적으로 수행이 불가능하여 해외 장비 판매기업에 전적으로 의존하고 있는 문제점이 지적됨.
- 우리나라에서는 Semi-shield TBM 장비를 총 119대를 보유하고 있고 금송이엔씨, 동아지질, 송현이엔씨의 점유율이 48.8%을 차지함
 - 국내 TBM 수요가 전력구 중심의 소구경 TBM에 집중되어 있기 때문에 1m 미만의 Semi-shield TBM의 비율이 53%임

10) ㈜날리지웍스, 2015, TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM 터널의 최적 건설기술의 경제성 분석.

<국내 업체별 Semi-shield TBM 장비 보유 현황>

연번	업체명	대수	비율(%)
1	금송이엔씨	22	18.5
2	동아지질	20	16.8
3	송현이엔씨	16	13.5
4	강릉건설	13	10.9
5	추진기술	13	10.9
6	신한건설	11	9.3
7	아주지오텍	10	8.4
8	신성굴착	7	5.9
9	삼부굴착	5	4.2
10	특수건설	2	1.7
합계		119	100.0

자료: EMKorea (2015) 내부자료.

<직경별 국내 Semi-shield TBM 장비 보유 현황>

연번	직경(mm)	대수	비율(%)	비율(%)
1	300미만	21	17.7	53.0
2	400~500	16	13.4	
3	600~700	12	10.1	
4	800~900	14	11.8	
5	1,000	7	5.9	26.0
6	1,200~1,350	11	9.2	
7	1,500	11	9.2	
8	1,800	2	1.7	
9	2,000~2,200	8	6.7	21.0
10	2,400	6	5	
11	2,500~2,600	3	2.5	
12	2,800	4	3.4	
13	3,000	4	3.4	
합계		119	100.0	100.0

자료: EMKorea (2015) 내부자료.

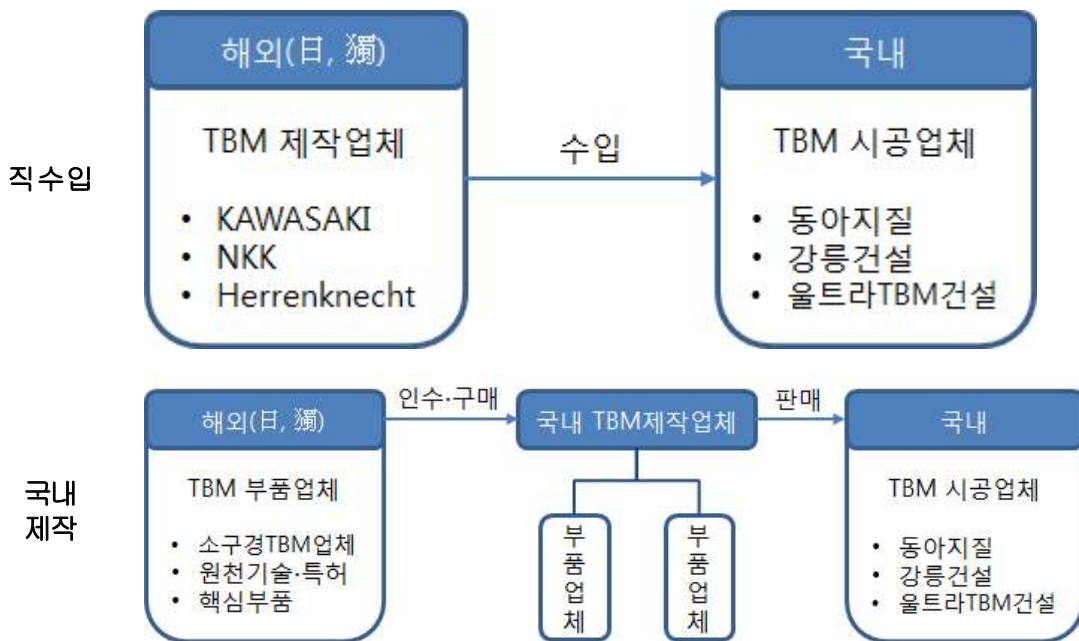
- 현재 우리나라는 TBM을 총 30대를 보유하고 있으며, 동아시아와 강릉건설, 울트라TBM건설 순으로 점유율이 높은 특징
 - 30대 가운데 직경이 5m 이하 구경인 장비는 80%인 24대로서 가장 비중이 높은 반면, 7m 이상의 중대단면 장비는 4대에 불과함.
 - 동아시아는 직경 2.7m부터 7.9m까지의 TBM을 10대 보유하고 있음

<국내 업체별 TBM 장비 보유 현황>

연번	회사명	장비보유현황			
		제작사	보유장비(mm)	합계(대)	
1	동아시아	Kawasaki	- 3,500	10	
			- 3,550		
			- 3,600		
			- 4,340		
			- 7,810		
			- 7,930		
	Rasa	- 3,520			
		- 2,750			
	Lovat	- 3,520			
	NKK	- 3,500			
2	강릉건설	Okumura	- 2,270	8	
			- 2,980		
		Lovat(검용)	- 3,000		
			- 3,600		
		Okumura	- 3,600		
		Atlaswpco	- 5,000		
Hitachi	- 7,200				
ISEKI	- 5,100				
3	울트라TBM건설	Wirth	- 2,600 - 3,000 - 3,500(×3대) - 5,000(×2대) - 8,000	8	
4	특수건설	Herrenknecht	- 3,200	1	
5	아주지오텍	Kawasaki	- 3,000~3,500 (더블 셸드)	2	
		Robbins	- 3,500		
6	(주)경동		- 3,500	1	
합계				30	

자료: EMKorea (2015) 내부자료.

- 지금까지 TBM 장비는 국내 전문 시공업체가 주로 일본과 독일 등에서 수입해서 사용
 - 현재 국내에서 가장 많이 수입된 제품은 일본 KAWASAKI로 23.3%의 점유율 기록
 - 국내에서 TBM을 자체 제작하게 되면 해외 TBM 부품업체로부터 원천기술, 특허 등을 구매하거나 소구경 TBM 업체를 인수함으로써 핵심기술을 확보하고 국내 부품생산업체들을 통해 부품을 조달함으로써 국내 전문 시공업체에 판매 가능 기대



자료: 산업연구원 작성

<국내의 TBM 공급망 구조의 향후 전망>

- TBM 장비는 고정비용이 많이 소요되기 때문에 경기변동에 탄력적인 건설경기가 나빠질 경우, 장비 보유업체의 위험이 높아지는 문제 발생
 - '97년 외환위기 이전에는 국내에서 보유한 TBM 장비의 개수(23대)가 유럽(22대)보다 많았으나 외환위기 이후 수요가 급감하여 자산고정성이 높은 TBM 보유업체들이 부도가 난 바 있음.
 - 이후 국내 업체들이 TBM 기술개발에 소극적으로 변화한 결과 현재 전문 O&M 인력도 전무한 상황임.
- ※ TBM 장비의 고장확률도 높고 수리비용도 과다 소요되는 문제 발생

- 현재의 하도급 구조에서는 TBM 전문 시공업체의 수익성이 높지 못한 반면, 시공에 따른 리스크는 모두 시공업체가 부담하는 문제
 - 건설경기는 경기변동에 탄력적이기 때문에 원청회사에서 TBM 공법을 활용한 시공을 기피하고 별도의 전문 시공업체에 위탁하는 추세임.
 - 이로 인해 TBM 미보유 업체는 가격부담으로 인해 중고 TBM 장비를 활용하거나 인력으로 대체하고 있는 상황임
 - ※ 저렴한 중고장비를 사용하기 때문에 국내에서 사용하는 TBM의 규격이 모두 다른 문제가 있어 표준화가 시급함.
- 국산 TBM 제품이 출시된다면 성능보장(PQ)을 요구하는 수요자의 니즈에 부합하기 위해 트랙레코드를 축적할 수 있는 정부의 지원이 필요함
 - 실증시험을 위해 테스트 설비를 발주처에 기부할 경우 발주처, 제작사, 관리기관에서 실증시험 관련 리스크를 분담할 수 있을 것으로 판단됨.
 - 또한 제품 표준화를 위한 표준규격이 제정되면 시공 효율성 제고 및 관리비용 절감을 기대할 수 있음
- 최근 SK건설, 쌍용건설, 삼성물산 등의 국내 건설회사는 해외 TBM 터널 공사 수주를 받아 공사를 진행하고 있음
 - SK건설은 `08년 유럽 대륙인 카즐리체시메와 아시아 대륙인 괴즈테페를 길이 5.4km 복층 해저터널로 연결하는 유라시아 터널 프로젝트 수주에 성공하여 공사를 진행하고 있음¹¹⁾
 - 쌍용건설은 10차선 도로와 폭 25m의 로터 운하 지하에서 진행되는 싱가포르 921공구 지하철 프로젝트 수주에 성공함¹²⁾
 - 921공구는 광범위한 해상점토층, 퇴적층, 암반층 등 복잡한 구조를 가지고 있기 때문에 쌍용건설은 나툼(NATM)공법, TBM공법, 개착터널 공법 등 모든 지하철 공법을 적용함
 - 삼성물산은 사우디의 수도 리야드에 지하철 6개 노선을 건설하는 사이디아라비아 리야드메트로 프로젝트 공사에 컨소시엄 형태로 참여하고 있음¹³⁾
 - 프로젝트 공사는 TBM 공법을 활용하여 진행될 예정이며 지난 4월말 TBM 굴진행사를 개최함

11) 한국 건설, 해저터널까지 ... “유럽~아시아 대륙연결 자부심”, 중앙일보, 2015. 8. 21.

12) 싱가포르 지하세계 강자 `쌍용건설`, 디오데오, 2015. 8. 4.

13) 삼성물산, 리야드메트로 프로젝트 공사 돌입, 뉴시스, 2015. 5. 14.

이젠 더욱 있는 해저터널 건설까지



<터키 유라시아 해저터널 건설공사 개요>

3절. 국내외 기술동향

1. 국외 기술동향

■ TBM터널의 대단면화·대심도화·장대화에 따른 기술 요구수준 증대

① 대단면화

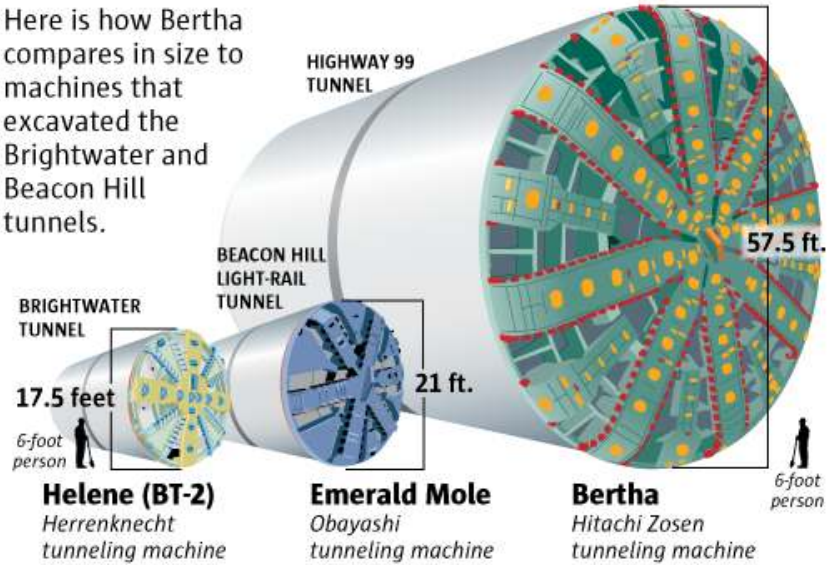
- 과거 철도/지하철 터널 위주의 TBM 적용에 탈피하여 최근 들어 도심지 대심도 지하도로(예: 프랑스 A86 지하도로) 등을 중심으로 TBM터널의 대단면화가 이루어지고 있음
- 현재 국내의 최대 단면 TBM터널은 원주-강릉 철도건설 11-3공구의 외경 8.41 m의 이수식 쉴드 TBM이나, 현재까지 적용된 세계 최대 단면 TBM은 홍콩의 해저 고속도로 건설에 투입된 외경 17.6 m의 토압식 쉴드 TBM임. 최근 들어 독일 Herrenknecht사에서 러시아 상트페테르부르크 Neva 하저터널에 투입될 직경 19m의 쉴드TBM을 제작 중에 있음
- TBM의 단면 크기를 정의하는 명확한 기준은 없지만, 3차로 도로에서는 지름 19~20 m급을 필요한 한계 직경으로 볼 수 있으며, 지름 20m 이상의 TBM은 홍수대책용 우수저류관의 건설과 같은 용도에 적합할 것임
- 일례로 소형차 전용의 도심지 복층 지하도로인 프랑스 파리 A86 지하도로인 경우에는 직경 10m의 쉴드TBM으로 시공되었으나, 현재 사업이 확정된 미국 시애틀 Alaskan Way 프로젝트에서는 직경 16.5m의 대단면 쉴드터널(왕복 5차로 복층구조)로 계획되어 있으며, 러시아 모스크바에는 직경 19m급의 쉴드 TBM이 투입될 것으로 예상되고 있음

<세계 최대 단면의 TBM 터널>

TBM 종류	외경 (m)	국가	터널 용도	비고
혼압식 쉴드TBM (Mixshield)	17.6	중국(홍콩) Tuen Mun - Chek Lap Kok subsea highway link	해저 고속도로	국내 최대 TBM터널: 원주-강릉 11-3공구 (직경 8.4m)
토압식 쉴드TBM	17.48	미국 시애틀 Alaskan Way highway replacement tunnel	도로	
Open TBM	10.7~12.2	미국 나이아가라 수로터널	용수공급용	

Comparing tunnel-boring machines

Here is how Bertha compares in size to machines that excavated the Brightwater and Beacon Hill tunnels.

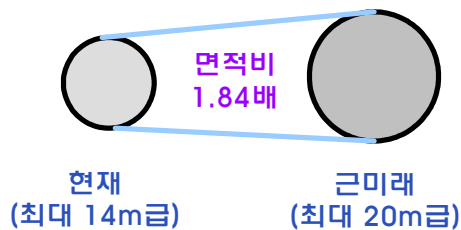


Sources: King County, Sound Transit, WSDOT

MARK NOWLIN / THE SEATTLE TIMES

<미국 시애틀 Alaskan Way에 투입된 TBM과 기존 TBM의 크기 비교>

- 이상과 같이 특수조건에서는 직경 10m 이상의 대단면 TBM터널의 수요가 증대될 것으로 예상됨
- 그러나 지름 19~20 m급 TBM의 단면적은 지름 14 m급 TBM의 약 2배에 달함. 이와 같은 단면 증대에 따른 TBM 사양증가를 추정하면 추진용 유압 잭이나 토크 용량이 상당히 증가되어야 함. 이와 같이 대단면화에 따른 TBM 설계·제작상의 문제점들을 정리하면 다음과 같음
 - (1) 외주부와 내주부에서 커터헤드 속도 차이의 증가
 - : 버력 및 굴착토사의 유동성 확보와 내주부의 막힘 대책 수립 필요
 - (2) 현장 조립의 문제
 - : 육상 운송의 한계와 다분할로 정확도/정밀도 확보 어려움
 - : 분할이 늘어남으로서 이음부 보강작업과 중량이 증가
 - (3) 구조상의 문제
 - : 유압 잭의 개수와 배치 (고압용 잭이 필요)
 - : 커터헤드 구동모터 등 고압 유압기기의 적용 필요



<현재 최대 수준과 직경 19 m급 TBM의 주요 사양 비교 (배규진, 2008)>

주요사양	지름 19 m급 (추정사양)	지름 14 m급
외경	19.00 m	14.00 m
길이	19.10 m	11.83 m
유압 잭의 총 용량	36,000 ton (600 ton/개 × 60개)	19,200 ton (400 ton/개 × 48개)
단위면적당 추력	127 ton/m ²	126 ton/m ²
커터 토크	6,820 ton·m	2,727 ton·m
회전부 외경	약 12 m	8 m
추정본체 중량	7,000 ton 이상	2,800 ton 이상

- 이상과 같은 TBM 터널의 대단면화에 필요한 기술적 과제들을 정리하면 다음과 같음

<TBM의 대단면화를 위한 기술적 과제>

대상	항목	문제점	대응 정도
굴진면	초대단면 굴진면 안정	막장지지압, 압력 관리법	B, C
TBM	TBM 외부구조	다분할구조: 응력/변형 검토	B
		테일부의 skin plate 강도	B
	TBM 장비	부하용량	B
		커터 다양화 검토	B
		고추력 유압 잭의 개발	C
		커터/비트의 배열 최적화	B, C
	TBM 제작	제작 정밀도 확보	A, B
		다분할에 따른 정밀도 확보	B
	TBM 운반/조립	운반제약, 분할 구조	B
		운반중량, 크기제한 완화	-
현지조립 정밀도, 초대형 크레인		B	
라이닝	1차 라이닝	세그먼트 중량, 크기, 분할구조	B, C
		자동 조립	C
		지반하중의 규명	B
기타	발전/도달 시공법	보조공법	B
	굴착공법	운송장비, 배토방식	B, C
	환경보전	공사 구역주변에의 영향 조사	B

* A: 기존 기술로 대응가능, B: 검토 필요, C: 개발 및 연구 필요

② 대심도화

- 도심지 천층 하부 지하에는 상하수도, 전력, 통신, 가스, 철도, 하천 등 다양한 목적의 터널이 기 운영 중이기 때문에 새로운 터널은 도심지 심부 지하에 건설될 수밖에 없음. 또한 법·제도적인 측면에서도 도심지 심부 지하에 대해서는 소유권이 완화되기 때문에 경제적인 측면에서도 대심도화는 이루어질 수밖에 없는 현실임
- 대도시권을 중심으로 용지보상비를 최소화하고자 대심도(일반적으로 심도 40m 이하)를 활용하는 터널 계획 등이 검토되고 있음. 일본에서는 일반적으로 이용하지 않는 대심도 지하공간의 유효한 이용촉진을 위해 “대심도 지하 특별조치법(2000년)”이 제정되었음. 우리나라에서도 대심도 지하공간을 활용하는 서울시 지하도로인 U-SMARTWAY, 수도권 급행광역철도인 GTX 등이 계획되고 있는 단계로서 대심도에 대한 건설수요가 증대될 것으로 예상됨. 현재 대심도 지하공간에 대한 법·제도가 미비한 상황으로서 관련 제도가 마련될 것으로 기대됨
- 산악지역에서도 스위스의 고타르 베이스 터널(심도 1,000 m 이상)과 같이 대심도에 위치한 TBM 터널 사례가 증가하고 있으며, 근미래의 각종 해저터널 프로젝트와 같이 대심도·고수압 하의 TBM 터널 역시 수요가 증가할 것이 확실시됨
- 이상과 같은 대심도 TBM에서 가장 중요한 사항은 고지압과 고수압에 대한 대책을 수립하는 것임. 대심도 TBM에서 가장 적극적인 대책 방안은 라이닝의 개선이라고 할 수 있음. 예를 들어 지금까지 세그먼트는 반경방향 삼입 형의 키(key) 세그먼트가 일반적이었지만, 대심도의 고지압·고수압 하에서 키 세그먼트의 전단 강도에 한계가 있을 수 있으므로 축방향 삼입형 키 세그먼트로 대체하는 것이 좋은 대책이 될 수 있음
- TBM의 기본 단면 형상인 원형단면은 휨모멘트의 영향이 적고, 거의 축력에 의한 압축 영역에서 지지할 수 있는 구조적로서 안정성 측면에서 유리한 측면이 있음. 따라서 원형 단면을 위주로 한 TBM의 대심도화 경향은 사회적·경제적 요구에 따라 더욱 증대될 것임. 이상과 같은 TBM 터널의 대심도화에 필요한 기술적 과제들을 정리하면 다음과 같음

<TBM의 대심도화를 위한 기술적 과제 (배규진, 2008)>

항목	기술적 과제	기술 개발의 장래 전망
지질 조사 법	<ul style="list-style-type: none"> - 천층부에 비해 보다 정확하고 3차원적인 지질 구조, 지반 정수 및 지하수 정보의 파악 - 표준관입시험의 정밀도 저하 방지 	<ul style="list-style-type: none"> - 지질구조에 대해서는 전기검층, 속도검층, 방사능검층 및 캘리퍼 검층이 유망하며, 지반정수의 평가에 대해서는 공내 재하시험이 유망 - 심도에 따른 시추공 편향 등에 따른 정밀도 저하 해결
TBM	<ul style="list-style-type: none"> - 커터헤드 구동부 토사 실의 지수성 확보 - 테일 실의 지수성 확보 	<ul style="list-style-type: none"> - 실의 단수 증가 및 온도 상승 방지용 클리닝 장치 필요 - 내마모성 재료의 개발, 단수 증가, 충전재의 주입 관리 및 교환 방법의 개량
라이닝	<ul style="list-style-type: none"> - 라이닝 작용하중의 평가 - 세그먼트 실 재료의 지수성 확보 - 세그먼트 및 이음부 구조 - RC 세그먼트의 지수성 확보 	<ul style="list-style-type: none"> - 실측, 실험 등에 의한 라이닝 작용하중의 규명 - 수평창 실의 사용이 주류가 될 것임. 따라서 실의 두께, 폭, 체적 등 명확한 설계 항목 및 내구성 평가법의 확립 필요 - 그라우트 주입공 및 이음부가 없는 구조의 개발
기타	<ul style="list-style-type: none"> - 발진 및 도달 공법 - 버력/굴착도 반출 장치의 지수성 확보 - 재료 수송의 효율성 	<ul style="list-style-type: none"> - 보조공법의 검토 - 제어방법의 개발 - 가설비 및 반송방법의 개발

③ 장대화

- 최근의 초장대 산악터널과 초장대 해저터널의 대부분은 TBM으로 시공되고 있음. 일반적으로 TBM터널에서는 고가의 TBM 도입으로 인한 초기 투자비용이 크기 때문에 장대 터널에서 경제성이 유리한 것으로 보고되고 있음. Sauer(2004)에 따르면 현재 NATM대비 TBM터널의 경제적인 시공연장은 3.2 km인 것으로 파악되고 있음. 또한 장대 터널에서 조사·설계 단계에서 예측하지 못한 트러블 요인으로 인한 공사 중 사고를 방지하지 위해서도 TBM의 적용이 증대되고 있음. 현재 세계 10대 초장대 터널 가운데 5개가 TBM으로 완공 또는 시공 중임을 알 수 있으며, 나머지 5개 초장대 터널은 TBM 기술이 현재와 같이 크게 발달하지 못했을 때 발파공법 등에 의한 재래식 터널로 시공된 사례 임

<시공 중 또는 운영 중인 세계 10대 초장대 터널 (장수호 등, 2008)>

터널명	연장 (km)	국가	용도	터널 공법
고타르트 베이스 터널 (Gottard Base Tunnel, 시공중)	57.07	스위스	철도	4대의 경암반 TBM
세이칸 터널 (Seikan Tunnel)	53.85	일본	철도	재래식 공법
영불 해저터널 (Channel Tunnel)	50.45	영국-프랑스	철도	11대의 쉴드 TBM
뢰치베르그 베이스 터널 (Lötschberg Base Tunnel)	34.58	스위스	철도	경암반 TBM
과다라마 터널 (Guadarrama Tunnel)	28.38	스페인	철도	4대의 High-Power 쉴드 TBM
하코다 터널 (Hakoda Tunnel)	26.46	일본	철도	NATM
이와테-이치노에 터널 (Iwate-Ichinoe Tunnel)	25.81	일본	철도	NATM
파자레스 베이스 터널 (Pajares Base Tunnel, 시공중)	24.67	스페인	철도	10대의 더블 쉴드 및 싱글 쉴드 TBM
라에르달 터널 (Laerdal Tunnel)	24.51	노르웨이	도로	NMT (Norwegian Method of Tunnelling)
이이야마 터널 (Iiyama Tunnel, 시공중)	22.23	일본	철도	NATM

<공법별 경제적인 터널 시공연장 (발파굴착 대비)>

문헌	TBM	NATM
Sauer(2004)	> 3.2 km	< 2.4 km
노르웨이(1998)	> 5~6 km	< 3 km
Handwidth & Dahmen(1982)	> 6.7 km	-

- 이상과 같이 도로·철도 등의 직선화·고속화에 따라 장대 및 초장대 터널의 건설이 전세계적으로 급증하고 있는 상황에서 TBM 기술 수요가 더욱 증가할 것으로 예상됨
- 장대터널에서 성공적인 TBM 굴진을 위해 필요한 핵심적인 기술향목으로는 TBM의 내구성(제반 부재의 교환 최소화 포함), 다양한 지반조건에 대한 굴진면의 안정성 확보, TBM 적용범위의 확대, 기자재 반송 및 굴착토사 반출 등 수송의 효율화, 측량 기술 및 방향 제어기술 등 시공정도의 향상, 공사기간 단축을 위한 고속시공 및 자동화 기술 등을 들 수 있음. 이 가운데 TBM의 내구성과 고속시공 기술이 가장 중요하다고 할 수 있음
- TBM의 각 부분 중에서 특히 커터/비트, 커터 구동부의 토사 실(seal) 및 테일 실(tail seal)의 내구성 확보가 가장 중요함

1) 커터/비트

커터와 비트의 마모도, 결손, 박리, 탈락 등에 의해 결정됨. 결손이나 박리의 현상을 정량적으로 분석·파악하는 것은 어렵기 때문에, 일반적으로 커터와 비트의 수명은 허용 마모량, 지반조건에 따른 마모계수, TBM 직경, 커터회전수, 굴진속도 등을 고려하여 추정하고 있음. 하지만 근본적으로 장거리 굴진에서는 커터와 비트 교환회수를 최소화할 수 있는 내구성의 향상기술과 자동 점검 및 교환이 가능한 새로운 공법의 개발이 필요하다고 할 수 있음.

2) 토사 실

토사 실은 굴진 중에 TBM 내부에서의 교환이 불가능하므로 내마모성의 재료, 최적 형상 및 단수 등의 검토가 중요함. 또한 가동 중의 온도 관리가 중요하며 비정상적인 온도 상승에 대한 대응책으로써 냉각 설비의 설치도 검토가 필요함

3) 테일 실

셸드 TBM의 테일 부의 장기 내구성은 실 본체의 마모나 열화보다는 셸드 TBM 테일과 세그먼트의 마찰, 그리스 충전 관리, 셸드 TBM의 후진 등 시공관리와 관계가 깊음. 충전재의 관리기술, 고수압 하에서의 교환 방법 등 장거리 굴진 시 내압성과 내구성을 확보할 수 있는 테일 실 관련 기술 개발이 요구됨

- 장대터널에서는 필연적으로 공사기간의 단축이 요구됨. 2차 라이닝을 생략하여 공사기간을 단축할 수도 있으나, 근본적인 방법은 고속시공에 의해 공사기간을 단축하는 것임
- 고속시공의 개념을 직경 4 m급 이수식 셸드를 기준으로 검토해보면, 고속시공은 현재 시공속도와 비교하여 약 2배 정도 굴진속도가 향상된 경우에 해당함 (일본 셸드터널신기술연구회, 2001)

<고속시공에 대한 개념 (직경 4m급 밀폐형 실드, 연장 약 3km)>

구 분	일반시공	고속시공
평균 일굴진속도	8~10 m/일	15.6~20.4 m/일
월 가동일수	20 일/월	20 일/월
평균 월굴진속도	160~200 m/월	312~408 m/월
교대회수	2교대	2교대
세그먼트 폭	1.0m	1.2m

- 하지만 국내의 평균 굴진속도는 일본의 일반시공 시의 굴진속도와 비교하여도 약 50% 이하 수준에 머무르고 있음. 따라서 굴진성능 향상을 위한 기술적 방안들을 적극적으로 도입하여 굴진속도를 적극적으로 향상시킬 필요가 있음

<우리나라와 일본의 평균 굴진속도의 비교 (배규진과 장수호, 2006)>

구 분	한국	일본
평균 굴진량	3~6 m/일	8~10 m/일
월가동 일수	25 일/월 (사질토층) 20 일/월 (복합지반)	20 일/월

- 장대 TBM터널에서 고속시공을 도모하기 위해 일본의 쉘드터널신기술연구회 (2001)에서 제시한 기술개발 전망을 정리하면 다음과 같음

<TBM의 고속굴진을 위한 기술적 과제>

대상	요소기술	기술과제	대응도
TBM	커터/비트	내마모성, 최적형상, 마모검지	B, C
	커터헤드	내마모성, 최적형상, 회전수, 토크	B, C
	커터축	구조, 수명, 윤활방식	B, C
	토사 실	내마모성, 형상, 단수, 발열대책	B, C
	유압 잭	고추력 잭, 로드(rod) 수명	C
	테일 실	내마모성, 단수, 주입관리	B, C
라이닝	1차 라이닝	세그먼트 폭, 분할수, 구조, 길이	B
	조립	고속조립, 동시시공	B
운송	자재반입	자동배출 시스템	A, B
	버력반출	펌프 운송, 송배니 라인 강화	B
기타	막장안정	막장 안정 관리	B
	환기	환기 시스템	A, B
	자동굴진	진단 시스템	B

* A: 기존 기술로 대응가능, B: 검토 필요, C: 개발 및 연구 필요

④ 요약

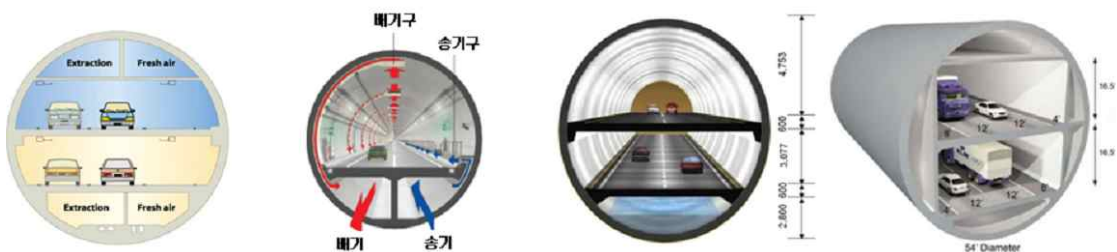
- 그러나 이상과 같은 TBM터널의 대단면화·대심도·화장대화에 대한 기술적 수요에 대응하기 위해서는 기술적으로 검토 또는 해결되어야 할 사항들이 많이 제기되고 있음. 대표적으로 고속시공 기술(월 500m 이상 굴진), 세그먼트의 효율화, NATM대비 경제성 확보 등을 들 수 있음

<대단면화·대심도화·장대화에 대한 TBM의 기술적 검토 항목 (배규진, 2008)>

배경		기술적 요구사항
대중교통에 대한 대응	대단면화	<ul style="list-style-type: none"> · 대단면 굴착기술 · 초대단면 굴진면 안정성 확보 기술 · TBM 용량 증대 · TBM 제작, 운반, 조립의 효율화 · 세그먼트 중량, 크기, 분할구조의 효율화 · 무효단면의 최소화
토지이용의 고도화·복잡화에 대응		<ul style="list-style-type: none"> · 기설구조물의 지지기술 · 특수단면 굴착기술
도시공간의 유효활용	대심도화	<ul style="list-style-type: none"> · 고수압에 대한 대응기술 · 신뢰적인 지반조사 기술 · 세그먼트 실(seal) 재의 지수성 · 세그먼트의 합리적인 구조 확보
환경확보	비개착화 장거리 굴착기술 수직구의 최소화	<ul style="list-style-type: none"> · TBM의 내구성 향상(커터, 비트, 테일 실 등) · 고속시공 기술(월 굴진 500 m 이상)의 확보 · 세그먼트 구조 및 조립작업의 효율화 · 버력반출 및 자재반입의 효율화 · 분·합류부 등의 지중 확폭기술
	지하수위 저하대책 대기오염대책	<ul style="list-style-type: none"> · 지하수보전기술 · 부유분진(SPM), NO_x 등의 오염원 제거기술
안전확보		<ul style="list-style-type: none"> · 화재사고대책 · 내화기술 · 환기기술 · 내진기술
비용절감 및 공기단축		<ul style="list-style-type: none"> · 시공의 합리화 기술 · 세그먼트의 개량

■ 도심지 TBM터널 건설 증대에 따른 요구 기술

- 전 세계적으로 다음과 같은 TBM의 장점들 때문에 도심지 터널에서 재래식 터널공법과 비교하여 TBM의 적용이 크게 증가하고 있음 (Guglielmetti et al., 2007)
 - 작업 환경이 공장과 유사하여 작업환경이 매우 쾌적하고 안전
 - 모든 시공과정의 자동화로 인해 시공 사이클의 향상이 가능
 - 주요 시공변수(굴착 버력의 양, 굴진면에 작용하는 지지압, 여굴, 터널 주변의 지반 변형, 지표침하 등)들을 측정하고 관리할 수 있음
 - 소음·진동과 분진이 매우 낮고 지하수위의 교란을 최소화할 수 있음
 - 프리캐스트 세그먼트를 사용하기 때문에 시공 품질을 향상시킬 수 있음
 - 재래식 터널공법과 비교하여 총 공사비용이 적은 경우도 많다
- 특히 녹지공간 등으로 지상공간을 활용하고 포화상태인 지상 교통량을 해소하기 위하여 도심지 지하 터널의 시공사례가 급증하고 있음. 도심지 지하터널이란 고밀도화된 도시에서 도시 재정비와 교통량을 제어할 목적으로 도심지 하부를 근접하여 통과하도록 계획된 터널로 정의할 수 있음. 도심지 지하터널 프로젝트의 주요 개발배경을 정리하면 다음과 같음 (한국건설기술연구원, 2006).
 - 도심지의 과밀화(토지 가용공간의 고밀도화)
 - 용지보상 및 민원문제 해결 가능
 - 환경과 도시미관의 가치중시 강화
- 이상과 같은 도심지 지하터널 건설시에는 환기·방재 기술과 더불어, 공사 중 주변 환경피해나 민원 발생을 최소화할 수 있는 TBM 안전시공 기술, 조기개통으로 인한 사회혼잡비용을 절감하기 위한 고속시공 기술 등이 중요한 기술항목임



<외국의 도심지 지하도로 사례 (숄드터널)>

■ 경제적인 TBM 시공기술에 대한 기술적 요구 증대

- 현재 TBM 적용에 있어서 가장 중요한 사항은 TBM의 경제성 확보임. 일본의 실적 자료에 따른 쉴드터널 직접공사비에서 가장 큰 비중을 차지하는 항목은 세그먼트로서 약 25~40%를 차지함. 반면, TBM장비는 10~20%로서 오히려 세그먼트보다 적은 비중을 차지하며, 디스크커터와 커터비트의 소요비용도 10~15%에 달함

<쉴드터널 직접공사비 구성 (일본 실적 참조)>

구분	세그먼트	TBM장비	커터/비트	기타
직접공사비 비율(%)	25~40	10~20	10~15	25~50

- TBM 장비 가격의 산정에 있어서의 기술적 어려움은 다음과 같음
 - TBM은 주문제작(taylor-made) 형태로서 규격화 또는 단가 산정이 불가능
 - TBM장비와 세그먼트 비용은 견적서에 근거하여 산출되므로 일관된 공사비 산정이 어려움
 - TBM 설계단계 산정기준 부재
 - TBM 설계·시공 경험 미흡
- 따라서 TBM의 독자 제작을 하지는 않더라도 TBM의 설계기술, 특히 커터헤드와 TBM 주요사양(추력, 토크, 동력 등)을 설계할 수 있는 능력을 갖추게 되면 TBM 주문제작시 합리적인 장비가격을 추정하는데 기여할 수 있음
- 또한 TBM터널 건설비용을 절감할 수 있는 기술적 개선방안은 다음과 같음
 - 장거리 굴착에 의한 수직구 최소화
 - 고속화에 의한 공기 단축
 - 2차 세그먼트 라이닝의 생략
 - 기타
- 이러한 기술적 개선을 통하여 일본에서는 과거 10년 이전과 비교하여 단위 건설비용을 50%까지 절감한 사례가 보고되고 있음 (일본 국토교통성 대심도지하이용기획실, 2005)

■ 공사비용/공사기간 단축을 위한 TBM 고속시공 기술

- 기존의 발파굴착 및 개착식 공법과 비교할 때 TBM이 가지고 있는 장점은 소음·진동 및 관련 민원 발생을 최소화할 수 있는 친환경적인 공법이라는 점과 장대 터널에서 급속시공을 도모할 수 있어 경제적인 터널 시공이 가능하다는 점 등을 들 수 있음. 따라서 굴착대상 지반조건에 따라 최적의 TBM을 선정함과 동시에, 선정된 TBM의 성능을 극대화할 수 있는 방안을 적극적으로 강구하는 것이 성공적인 기계화시공을 위해 가장 핵심적인 사항임

① 최대 월굴진속도 향상을 위한 대응 기술

- 커터크기
 - 암반 굴착의 경우, 디스크커터의 직경을 크게 하면 내장 베어링의 용량을 크게 할 수 있기 때문에 최대 허용커터 하중을 크게 하는 것이 가능하고, 특히 경암부에서 커터 관입력, 즉 순굴진속도(net penetration rate)를 향상시키는 것이 가능함. 또한 커터 직경이 크면 마모영역이 커지고, 1회전당 디스크 커터의 절삭길이도 길어지기 때문에 커터 전주거리 수명도 향상됨. 이로 인해 커터의 교환회수가 감소되어 굴진속도 향상을 기대할 수 있음. 따라서 TBM 크기와 용량 등을 고려할 때 허용가능하다면, 디스크커터가 클수록 굴진속도 향상에 관련된다고 할 수 있음
- 커터형상과 커터간격
 - 암반 절삭용 디스크커터의 형상은 평형커터와 썰기형 커터가 있음. 평형커터는 일반적으로 폭이 10~20 mm 정도로서 끝단이 거의 180°에 가까운 형상을 하고 있으며, 마모로 인한 교체시까지 일정한 관입폭을 유지하는 것이 가능함. 반면 썰기형 커터는 커터 끝단을 예각으로 뾰족하게 하여 마모가 발생하기 전에는 절삭성능이 우수하지만, 마모진행이 빠르며 마모에 비례해서 끝단폭이 증가됨. 이 때문에 한계마모량 부근에서는 절삭성능이 극단적으로 나빠져 디스크커터의 교환 주기가 빨라짐. 즉, 경암에 대한 대책으로서 평형 커터의 끝단 폭을 좁게 하는 것도 효과적인 방법이겠지만 내마모성이 저하되기 때문에 마모성이 높은 지반의 경우에는 주의가 필요함
 - TBM에서는 동심원으로 배치된 디스크커터를 암반에 관입시켜 인접파쇄에 의해 암반을 굴착하기 때문에 커터 간격의 설정은 매우 중요함. 커터 간격이 너무 좁으면 커터 개수가 증가해 TBM의 가격이 높아지고 시공비용이 증가됨. 반면 커터 간격이 너무 넓으면 인접파쇄가 발생하기 어렵게 되어 굴진효율이 매우 나빠짐. 따라서 굴착 대상지반의 특성에 따른 최적의 커터 간격을 결정하는 것이 굴진효율의 증대를 위해 필수적인 과

정이라고 할 수 있음. 또한 쉴드 TBM에서는 동일 궤적상에 복수의 커터를 배치하는 것이 많으나, open TBM의 경우에는 마모와 함께 커터를 교환해가면서 굴착하기 때문에 1패스 복수 커터는 커터소비량의 증대로 연결되기 때문에 $\phi 5.0\text{m}$ 급 이상의 TBM에서는 커터배치 면에서의 이유도 있고 해서 적용되는 경우는 없음.

◦ 커터헤드의 구동동력

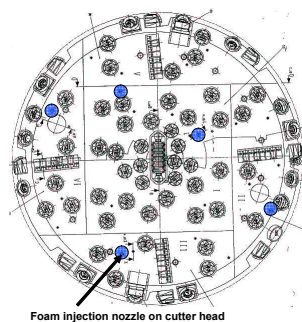
- 커터헤드의 동력을 크게 하는 것은 지반의 일축압축강도가 100 MPa이하인 영역에서 효과가 있다고 보고되고 있음. 반대로 100 MPa이상의 경암반에서 디스크커터의 관입량은 커터의 최대 허용하중에 따라 결정되며, 커터헤드의 동력 증가에 따른 커터 관입량의 증대효과는 작다고 보고되고 있음 (지오프론트연구회, 1999). 그러나 커터헤드의 가용 동력이 크면 남은 동력을 커터헤드 회전속도를 높이는데 활용할 수 있기 때문에 순굴진속도를 향상시키는 것이 가능함.

한편 커터의 관입량은 지반강도가 작은 조건에서는 이론상 극단적으로 매우 큰 값을 얻을 수 있으나, 실제로는 굴착벽면의 안정성이나 배토능력의 한계 등에 의해 일반적으로 커터 관입량을 1.5 cm/rev 정도로 억제하기 때문에 순굴진속도는 제한됨. 그러나 이와 같은 연약지반에서는 굴착벽면의 자립성이 낮고 붕괴토가 발생할 가능성이 있기 때문에 커터헤드에서 회전저항 토크의 증가가 예상된다. 따라서 이에 따른 커터헤드 소요 동력의 증가를 고려하여 커터헤드의 가용 동력을 충분히 확보하는 것이 필요함.

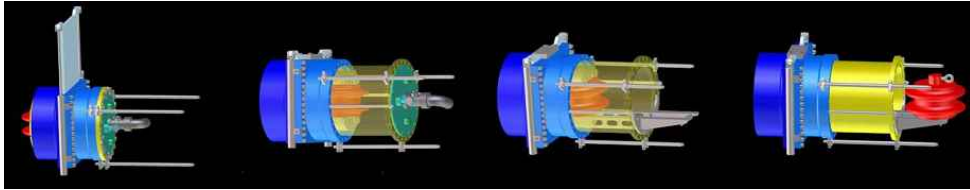
◦ 커터 및 비트의 소모량과 교환작업

- 월굴진 500m 이상과 같은 고속굴진을 목표로 하는 경우에는, 전체 시공 사이클에서 차지하는 커터와 비트 교환작업의 비율이 큰 비중을 차지. 예를 들어 커터 교환빈도를 15.5인치 커터에서는 200 m에 1회, 17인치 커터에서는 300 m에 1회라고 가정하면, 15.5인치 커터사용 시에는 4회/월, 17인치 커터에서는 2.7회/월 커터교환을 수행하게 되고, 전체 작업 시간에서 차지하는 커터 교환작업의 비율은 20~30%를 차지. 따라서 커터 및 비트의 교환작업 시간을 저감시키기 위해서는 커터와 비트의 내구성을 향상시키던가 교환작업을 효율화할 필요가 있음
- 커터 직경이 크면 마모영역이 커지고, 1회전당 디스크 커터의 절삭길로도 길어지기 때문에 커터 전주거리 수명도 향상됨. 하지만 커터 소비량은 직접적인 굴착비용에 영향을 미치는 것이 아니고, 교환회수의 증가에 따른 공정의 지연 등을 초래하게 되므로 신중히 산출할 필요가 있음

- 최근 들어 우수한 냉각효과로 인해 커터 베어링의 내구성을 증가시키고 커터 온도를 낮춤으로 인해 커터 마모율을 감소시키기 위한 화학적인 foam의 사용이 시도되고 있음. 이외에도 분진을 억제하여 작업 환경을 쾌적하게 하고 버력과 배토에 소성특성을 향상시켜 원활한 배출에도 도움이 되는 효과를 가진 것으로 보고되고 있음. 일례로 총 연장 56 km의 스페인 Guadarrama 고속철도 터널에 foam을 적용한 결과, 마모성이 높은 지반조건 (Cerchar Abrasivity Index=5.66, Extremely abrasive)에서도 커터 마모율을 15% 감소시키는 효과를 달성함
- 커터와 비트의 교환작업은 실제 공사에 있어서 직접적으로 굴착 과정에 영향을 주기 때문에, 대상 지반조건에 따른 마모경향을 파악하여 교환시기를 정확히 계획하고 예비 커터를 사전에 준비하는 것이 중요함. 이와 동시에 커터와 비트의 교환작업 자체를 효율화하여 단시간에 교환할 수 있는 대책을 강구하는 것도 필요함. 커터와 비트의 교환시기를 예측할 때는 과거의 실적 및 해당 현장에서의 교환 실적을 참고로 하는 것은 물론이지만, 정기적으로 마모량을 측정하거나 지질 조건이 변화되는 지점에서 마모량을 측정하는 노력도 필수적임. 또한 최근 들어 TBM의 운전 상황을 실시간으로 수집·해석하는 시스템도 도입되고 있고 이들 시스템을 이용하여 커터 토크, 커터 압입압력, 순굴진속도, 지반조건 등에 따라 어느 정도의 마모량을 추정할 수 있음. 또한 그리퍼의 부착량, 혹은 지보 설치량에 의해 굴착 내경을 측정하고 커터 마모량을 간접적으로 측정하는 것도 가능함



- 과거에는 커터 크기가 작았던 이유도 있고 하여 커터와 비트는 거의 인력으로 운반, 제거 및 설치되었지만, 요즘에는 점차 대형화되어 인력으로는 취급이 불가능함. 따라서 각 TBM 제작회사에서는 커터 및 비트의 반입·반출장치의 개량, 취급방법의 검토, 제거 및 부착공구 등의 개발을 수행하고 있어, 커터/비트의 교환작업 자체가 과거보다는 상당히 기계화·효율화되고 있음. 최종적으로는 open TBM에서도 shield TBM의 세그먼트 자동 조립장치와 같은 자동 장치의 개발이 요구됨



<디스크커터의 자동 교체장치 (Herrenknecht사)>



<커터비트의 자동 교체장치 (Kawasaki사)>

◦ 기타 대책방안

- 이상의 기술적인 항목 이외에 최대 월굴진속도를 향상시키기 위한 대책방안은 다음과 같이 정리할 수 있음

- 1) TBM의 1회 굴진길이 향상: 1.5~2.0 m/stroke (현행 1.5 m/stroke)
- 2) 그리퍼 재설치 시간의 단축
 - 굴진과 지보 시공의 병행
 - 방향 설정의 단축화
 - 더블 그리퍼의 적용
- 3) 배토의 효율적인 관계: TBM에 의한 고속굴진시 굴착 배토량이 많아지기 때문에 다음에 대해서 검토를 수행
 - 배토능력에 따른 커터헤드 회전수의 한계

- 배토량과 버킷(bucket) 및 컨베이어 용량과의 관계
- 4) 극경암 및 복합지반 대책
- 5) 지보 설치시간의 단축: 벌집모양(honeycomb) 세그먼트, 원패스(one-pass) 라이닝의 적용 등

② 최소 월굴진속도 향상을 위한 대응 기술

- 평균 월굴진속도를 향상시키기 위해서는 최소 월굴진속도를 증대시키는 것이 필수적. 월굴진속도가 높아지지 못하는 요인으로서는 각종 트러블에 의한 굴진 정지 이외에 초기굴진이나 기계의 관리(정기점검 등), 다른 작업과의 시공 사이클 관계 등을 들 수 있음. 이러한 사항들은 당초 설계 단계부터 공정을 예상할 수 있는 것이 일반적이지만 지질적 트러블을 당초부터 정확하게 예측하기란 어려움. 특히 TBM은 굴진이 시작된 후부터는 기계의 개조 등이 어렵기 때문에 설계단계에서 지질상황과 TBM의 사양 및 장비와의 적합성을 충분히 검토하고 지질적인 트러블을 피하는 것이 고속굴진의 필수조건임
- 입지조건이나 지질조건에 차이는 있으나 일본 지오프론트연구회(1999)에서는 평균 월굴진속도가 유럽에 비해 낮은 원인으로 사전조사의 정밀도가 낮고, TBM의 사양이나 장비 선정 시에 선택한 지질상황과 달리 실제 조건이 불리하여 그로 인한 굴진정지 또는 굴진속도의 저하가 발생하는 지질적인 문제를 지적하고 있음
- NATM에서는 지질적인 트러블에 대해서 보조공법을 적용하는 것이 일반적이지만, TBM에서는 보조공법을 설계단계에서 검토해야만 하는 항목이 많음. TBM 구조상 굴착벽면에 대한 주입 등 지반개량을 목적으로 하는 보조공법은 어려움. 주입식 forepoling 등의 보조공법을 굴진과 병행하는 경우에도 특별한 장치를 사전에 설치하지 않는다면, TBM 내부로부터 보조공법의 적용은 거의 불가능
- 어떠한 보조공법을 적용하여도 TBM의 굴진을 지연시키기 때문에 TBM 도입을 검토하는 경우에는, 계획단계에서 지질상황과 TBM의 사양 및 장비와의 적합성을 충분히 검토하고 터널 전체구간 가운데 보조공법이 필요한 불량지반의 비율을 고려하여 TBM의 효율을 극대화할 수 있어야 함

◦ TBM 시공 시의 대표적인 지질적 트러블 사례

- 일본 지오프론트연구회(1999)의 조사결과에 따르면 TBM의 지질적 트러블의 발생장소와 주요 트러블 수준을 다음과 같이 정리할 수 있음

<TBM의 지질적 트러블 사례분석 결과 (발생장소)>

발생장소	대규모 붕락		용수		압출·끼임		지반지지력 부족	
	셸드형	오픈형	셸드형	오픈형	셸드형	오픈형	셸드형	오픈형
굴착전방	4	8	7	2	0	0	0	0
커터헤드부	0	0	2	2	7	3	1	2
본체부	1	0	1	1	5	1	5	3
후속대차	1	1	1	1	0	0	0	0
후방구간	0	0	2	2	0	0	0	0
합계	6	9	13	8	12	4	6	5

<TBM의 지질적 트러블 사례분석 결과 (트러블수준)>

트러블수준	대규모 붕락		용수		압출·끼임		지반지지력 부족	
	셸드형	오픈형	셸드형	오픈형	셸드형	오픈형	셸드형	오픈형
통상굴진	0	0	1	1	0	0	0	0
굴진가능	2	1	1	2	0	0	0	0
굴진불능	3	8	6	4	9	4	6	3
기타	0	0	1	0	0	0	0	0
합계	5	9	9	7	9	4	6	3

- 이상과 같은 지질적 트러블이 발생한 경우, 수일에서 수개월의 대책기간이 필요하고 이로 인해 TBM의 굴진이 정지되어 평균 월굴진속도가 급격히 저하

<TBM의 지질적 트러블 사례분석 결과 (대책기간)>

대책기간 (일)	대규모 봉락		용수		압출·끼임		지반지지력 부족	
	셴드형	오픈형	셴드형	오픈형	셴드형	오픈형	셴드형	오픈형
최소기간	15	8	0	0	13	0	0	0
최대기간	100	104	0	0	120	104	240	0

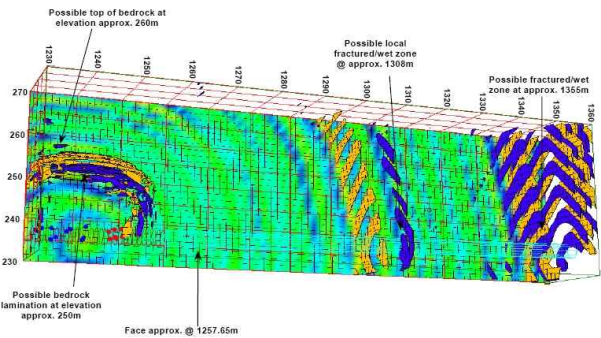
- 대규모 봉괴가 TBM의 주된 트러블로 발생하는 장소는 굴착면 전방이 압도적으로 많고, 커터헤드를 포함한 굴착장비에서의 트러블이 주된 요인임. 또한 대규모 봉괴시 트러블수준은 굴진불능으로 되는 경우가 50%이상이고, 특히 open TBM에서는 90%이상임. 이로 인한 대책기간은 최소 8일에서 최대 104일로 나타남
- 용수가 TBM의 트러블 요인일 경우에, 발생장소는 셴드형에서는 굴착면 전방, 그리고 오픈형에서는 굴착면 전방, 커터헤드, 후방구간 등에 다양하게 발생.. 트러블수준은 셴드형의 경우 굴진불능이 되는 경우가 많으나 오픈형에서는 40% 정도 굴진이 가능함
- 압출·끼임이 트러블 요인일 경우, 발생장소는 커터헤드와 본체부이고 굴착기계와 추진계통에 트러블이 발생하며 100% 굴진불능으로 이어지게 됨
- 마지막으로 지반지지력이 부족할 경우에, 주된 트러블 발생위치는 TBM의 본체부이고 그 영향은 셴드형에서 크게 발생하고 추진계통에서의 트러블로 나타남. 또한 지반지지력 부족으로 인한 트러블레벨은 100% 굴진불능인 것으로 조사됨

◦ 굴진면 전방탐사에 의한 지질적 트러블의 예측기술

- 시공 중 트러블 최소화와 최소 굴진속도 향상을 위해 TBM 굴진시 굴진면 전방을 탐사기술이 핵심적임
- 최근에 개발된 TBM 굴진면 전방 지반조사 방법으로는 TRT(Tunnel Reflection Tomography)를 들 수 있음. 이 조사법은 일종의 magnetic restrictive system으로서 에너지 소스로 폭약, 대형 해머 등을 사용할 수 있음. 조사에는 일반적으로 4~5시간이 소요되며 시공조건에 상관없이 50~150 m 정도를 탐사할 수 있음. TRT로부터는 반사계수(reflection coefficient)에 대한 2차원 및 3차원 토모그래피가 결과로 얻어짐



(a) TRT 조사장면

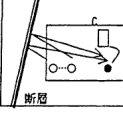
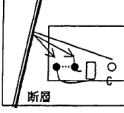
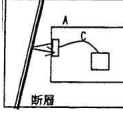
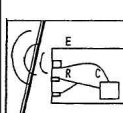
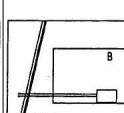
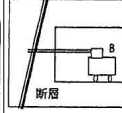

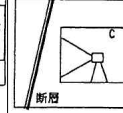


(b) 3차원 토모그래피

<TRT에 의한 TBM 굴진면 전방조사 기술개발 사례>

- 최근 들어 Zhang 등 (2003)은 디스크커터에 변형롤게이지 및 수신안테나를 설치하고, 커터 작용력을 실시간으로 측정하여 굴진면 전방의 지반 상태를 추정하기 위한 실험 연구를 수행. 하지만 이 방법은 아직까지 실용화되지는 않고 있음
- 이상과 같은 현행 TBM 굴진면 전방 조사기술들의 특징과 동향을 정리하면 다음과 같음

<TBM 굴진면 전방 탐사기술 현황>

분류	물리탐사				선진보링		터널굴진면 반사법	굴진면 화상해석	
	TSP탐사법	터널 HSP 탐사법	전자파법	표면파 탐사법	보링	천공탐사			
측정개요	 ○:발진점 ●:수진점 (수진기) C:TSP본체	 ○:발진점 ●:수진점 (수진기) C:HSP본체	 A:안테나 C:레이더 본체	 E:기진기 R:검출기 C:계측장치	 B:보링장비	 B:천공기,보 링장비	 T:발진점 (소발파) R:수진기 (공내) C:지진계	 C:화상 취득장치	
적용 공법	제약없음	제약없음	TBM 후진필요	TBM 후진필요	천공위치 검토 필요	천공위치 검토 필요	적용사례 없음	적용사례 없음	
적용 지반	중경암이상	중경암이상		균열성 암반불가	제약없음	제약없음	제약없음	제약없음	
탐사가능거 리	~ 100m	~ 100m	~ 10m	~ 20m	50 ~ 100m 이상	30 ~ 50m	~ 150m ?	막장근접부	
측정정도/분 해능 (m)	± 5m/1m	± 5m/1m	± 1m/0.1m	± 1m/0.5m	± 0.1 ~ 0.5m	± 0.1 ~ 0.5m	± 2 ~ 3m ?	± 1m	
경제성	○	△	△	△	△ ~ ×	△ ~ ○	△ ~ ○	△ ~ ○	
조사 속도 (시공성)	○ 준비/해석: 1일	△ 준비/해석: 2~3일	◎ 즉시 확인가능	△ 준비/해석: 1~2일	△ ~ ×	○ 수시간내 가능	○ 수십분내 가능	△ ~ ○ 방법에 따라 다름	
적 용 성	단층	○	○	△	△	○	○ ~ △	?	△
	지하수	×	×	△	×	○	○	×	△
	종합	장거리 탐사용이, 지하수 정보 수집 불가	TSP와 동일	연구단계 로서 현장적용을 위한 선행문제가 많음	탐사거리 등의 제약되므로 특수조건에 서의 적용으로 국한	정보량의 과다	주된 정보를 얻을 수 있으며, TSP와의 병행사용이 전망됨	적용 사례가 없어 불분명한 점이 많음	막장 근접부에 대한 예측만이 가능

◦ 보조공법의 적용

- 최소 월굴진속도를 향상시키기 위해 적용되는 보조공법은 지질적 트러블의 요인과 TBM의 형식에 따라 일반적으로 다음과 같이 분류됨

<시공 중 TBM 트러블 최소화를 위한 보조공법의 종류>

지질적 트러블 요인	오픈형에서의 보조공법	셸드형에서의 보조공법
붕락	<ul style="list-style-type: none"> - 섬유보강 모르타르 뿜어붙이기 - 널말뚝 시공 - 지보 설치간격의 변경 - 물빠기 보링 - 굴진면 전방보강(forepoling, forepiling) - 약액주입 	<ul style="list-style-type: none"> - 섬유보강 모르타르 뿜어붙이기 - 널말뚝 시공 - 지보 설치간격의 변경 - 물빠기 보링 - 약액주입 - 약액주입에 의한 지반개량 (후방에서 보링)
그리핑 (gripping) 부족	<ul style="list-style-type: none"> - 반력 지보재 설치 - 슛크리트 등에 의한 반력벽 설치 	<ul style="list-style-type: none"> - 반력 지보재 설치 (셸드잭 추진)
기계 조임	<ul style="list-style-type: none"> - 반력 지보재 설치 - 오버커팅 (overcutting) - 확폭 굴착 	<ul style="list-style-type: none"> - 셸드잭 추진 - 셸드 배면 골재 주입 - 확폭 굴착 - 반력지보재 설치 - 오버커팅 (overcutting)
용수	<ul style="list-style-type: none"> - 물빠기 보링 - 용수 처리공 	<ul style="list-style-type: none"> - 물빠기 보링 - 용수 처리공
기체 침하	<ul style="list-style-type: none"> - 지반개량 - 치환 콘크리트 	<ul style="list-style-type: none"> - 지반개량 - 인버트라이너 설치에 의한 기계의 상향조작 향상 - 세그먼트의 적용

■ 초장대 및 장대 해저터널에서의 TBM터널 건설기술

- 대륙간-국가간-지역간 연결통로로서 장대 해저터널의 건설이 전세계적으로 활발히 계획 또는 구상되고 있음. 대표적인 계획으로 대만해협 해저터널(연장 125 km), 베링해협 해저터널(연장 74.4 km), 지브롤터 해저터널(연장 38.7 km) 등을 들 수 있다. 무엇보다도 우리나라에서도 한·중 해저터널(연장 221~386 km), 한·일 해저터널(연장 209~231 km) 및 호남-제주 해저터널(연장 167 km)의 구상이 활발히 논의되고 있음
- 과거에는 해저터널의 건설을 위해 주로 발파굴착이 적용되었으나, 최근에는 쉘드TBM의 기술발전과 더불어 해저구간의 시공성·안정성 향상을 위해 상당수의 해저터널이 쉘드터널로 설계 또는 시공되고 있음. 수심이 비교적 얇고 연장이 짧은 경우에서 침매터널의 건설사례도 증가하고 있으나 장대 또는 초장대 해저터널에의 적용성은 낮다고 할 수 있음
- 공사기간과 공사비용 측면에서 시공성을 좌우하는 가장 큰 기술적인 검토사항은 쉘드TBM의 순굴진율과 가동율의 향상 방안임. TBM은 100% 주문자 제작 (taylor-made) 장비이기 때문에, TBM의 설계·제작단계에서 적용 대상 지반조건과 예상되는 주요 트러블 요인들을 사전에 정확히 파악하고 고려하는 것이 무엇보다 중요함. 또한 이와 더불어 작업구 개소, 특히 인공섬의 공사기간을 신중히 고려할 필요가 있음
- 원형터널의 최대 단점인 무효 단면을 최소화하기 위하여 단면을 보다 효율적으로 활용하기 위한 검토가 필요함. 도로터널의 경우에는 앞선 동경만 횡단도로와 Westerschelde 터널과 같이 도로 하부공간을 방재 또는 터널 운영 목적으로 활용하고 있으나, 현재 실시설계 중인 보스포러스 해저터널이나 최근의 도심지 지하도로 사례와 같이 복층 도로터널로 건설하는 방안도 검토할 필요가 있음
- 쉘드TBM의 시공 리스크를 최소화하기 위한 가장 적극적인 대책은 굴착 이전에 지반에 사전 그라우팅을 지상 또는 지중에서 실시하여 "Grouted body"를 형성하는 것이라고 고려되고 있음 (Kovari & Ramoni, 2004). 그러나 해상 그라우팅의 적용이 매우 어렵다는 점을 고려한다면 쉘드TBM 내부에서 굴진면 전방 지반상태를 사전에 파악하여 선 보강하는 것이 유용한 대안임
- 이상과 같이 장대 해저터널에서 쉘드TBM을 적용할 경우에 고려해야 할 제반 기술적 고려사항들을 정리하면 다음과 같음 (장수호, 2009)

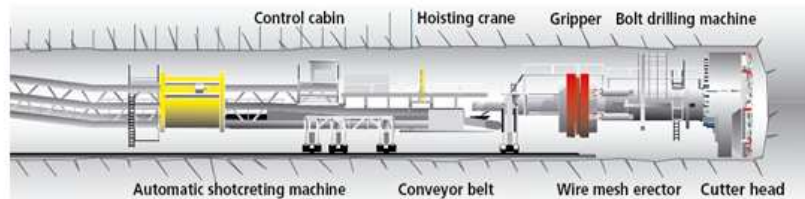
<장대 해저터널에서 쉴드TBM 적용 시의 주요 기술적 고려사항>

항목	기술적 고려사항
<p>세그먼트 및 콘크리트 라이닝</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 2차 콘크리트 라이닝의 생략 - 고성능화에 의한 세그먼트 두께 축소 - 세그먼트 연결·이음부의 방수 대책 - 세그먼트 길이/폭 증가 - 뒷채움 재료 및 주입방식 - 고수압 대응 테일실(tail seal) - 내화대책 - 내진대책 - 염해방지 대책
<p>쉴드TBM의 시공성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 인공섬 또는 작업구 개소 (쉴드TBM 1대당 시공연장과 관련) - 쉴드TBM의 굴진율 향상 방안 - 쉴드TBM의 내마모성 향상 - 쉴드TBM의 고정밀 선형 관리 시스템 - 쉴드TBM의 지중접합 - 세그먼트 고속 시공 - 커터/비트의 교환 최소화 및 자동교체 방안 - 고효율 버력/토사 배출 시스템 - 굴진면 전방 사전 지반조사 및 지반보강
<p>최적 단면 설계</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 무효 단면 최소화를 위한 단면의 최적 활용 - 고속철도의 경우 미기압파 최소화 방안
<p>기타</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 대수심 조건에서 인공섬 구축 기술 - 지중 접합부, 피난연락갱 등에서 동결공법의 채용 여부 - 굴착 버력/토사의 재활용 방안 - 쉴드TBM의 제작 및 운반 계획

2. 국내 기술동향

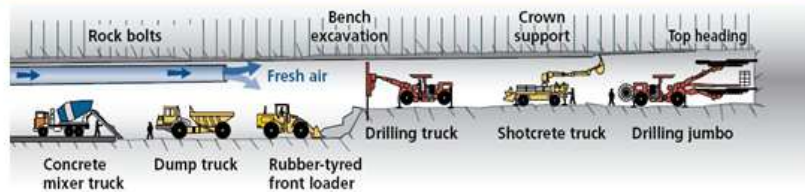
- TBM기술발전으로 인해 전 세계적으로 터널공법은 과거의 발파 또는 개착공법에서 NATM을 중심으로 한 재래식공법(conventional tunnelling)과 TBM에 의한 기계식공법(mechanized tunnelling)으로 양분되고 있음 (ITA, 2006)

기계화 터널공법 (Mechanized tunnelling method)



정의: 디스크커터, 커터비트 등에 의해 기계적으로 터널을 굴착하는 공법
TBM(Tunnel Boring Machine)을 포함한 모든 기계화굴착공법 포함
 (ITA, 2006)

재래식 터널공법 (Conventional tunnelling method)



정의: **발파공법(drill and blast)**에 의해 다양한 단면형상의 터널을 굴착
 시공하는 공법. 일부에서는 자유단면/부분단면 굴착기를 포함
 (AFTES, 2000)

<최근의 터널공법의 구분 개념(ITA, 2006)>

- 국내 SOC 시설물에 대한 국가예산 감소로 건설시장 침체 및 관련시장 축소가 이루어지고 있지만, 글로벌 건설시장은 확대가 이루어짐에 따라 글로벌 건설시장을 겨냥한 경쟁력 있고 경제적인 TBM기술의 적시확보가 시급
- 국내 SOC 시설물에 대한 국가예산은 감소 추세인 반면, 동남아시아를 비롯한 개발도상국 및 중동 지역을 중심으로 한 해외 건설시장 수요 증가
- 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 트러블**이 발생함으로 인해 TBM에 대한 인식이 좋지 못한 상황임
- 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 상황임. 따라서 기술적인 측면과 정책적인 측면 모두에서 우

리나라의 TBM 적용성이 불리한 상황임

- 충분한 TBM 운용 일력의 부족으로 TBM 운전미숙이나 대처미흡으로 인한 시공트러블로 인한 공사기간 증가 및 경제적 손실이 발생됨. 따라서, TBM 시뮬레이터를 활용한 글로벌 TBM 전문인력 및 운영 전문가가 양성이 요구되는 상황임
- 전 세계적으로 도심지 터널, 장대 산악터널, 하해저터널 등에서는 안전하고 경제적인 고속시공을 위하여 TBM의 적용이 일반화되고 있음. 특히, **지속가능한 발전(sustainable development)과 녹색성장(green growth)의 대안**으로서 도심지 지하공간을 활용하는 도심지 지하터널들이 활발히 계획 또는 건설되고 있는 상황임(TUNCONSTRUCT, 2008)
- 유럽에서는 **도심지 교통터널에서의 TBM 적용비율**이 80%에 달하고 있지만 **우리나라에서는 1% 미만**으로서 전 세계적인 동향이 매우 뒤쳐져 있음. 특히 도심지에서도 종래의 개착 또는 발파굴착으로 인해 공사 중 극심한 교통흐름 저해와 소음·진동 등으로 인한 환경 관련 민원들이 제기되고 있음

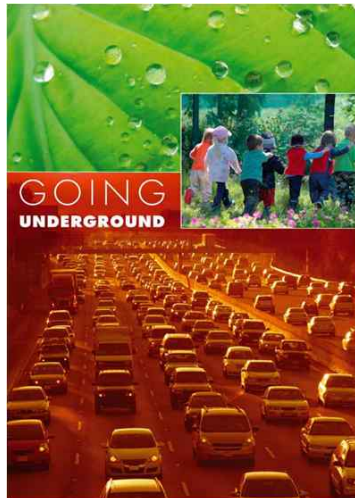
<주요 국가별 도심지 교통터널에서의 TBM 적용비율 (건설경제신문, '09. 10. 13)>

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

- 최근 들어 우리나라에서도 **도심지 도심지 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 있음
- 그러나 도심지 터널과 초장대 해저터널 건설 시에 필수적으로 적용되는 TBM에 대한 기반과 관련 기술이 매우 미약한 상황임
- 현재 우리나라가 참여 또는 계획하고 있는 **상당수의 해외 터널 프로젝트들도 TBM터널**(예: 터키 보스포러스 해저터널, 싱가포르 지하철 3단계, 아부다비 수로공사 등)인 관계로서 TBM 기술력을 확보하지 못하면 전 세계 터널 시장에 참여하기가 어려운 상황임
- 최근 들어 **중국이 세계 최대의 터널 시장**으로 급부상하였으며, 이를 기반으로 **중국의 장대 터널 시공능력이 이미 우리나라를 능가한 것으로 평가**(한국공학한림원, 2006, 세계일보 기사 인용)되고 있는 상황으로서 첨단 기술 확보가 국

제경쟁력 및 해외시장 확보 측면에서 매우 시급함

- 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 있음
- 더욱이 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 시급함



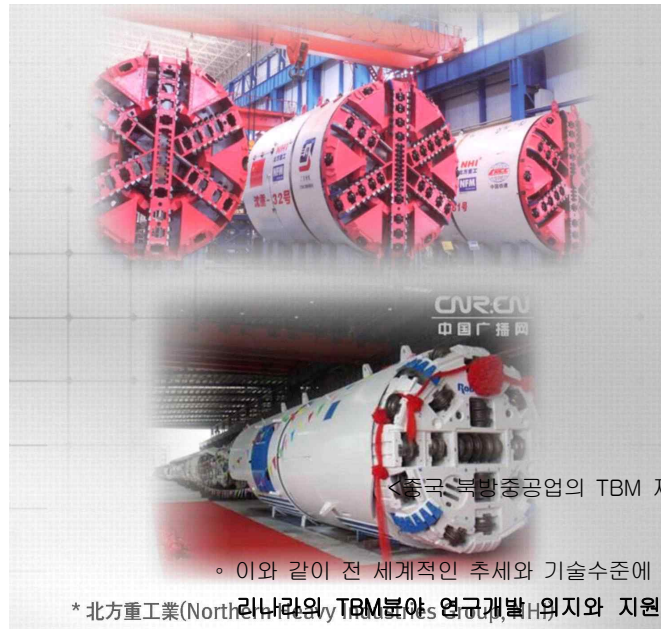
<EU공동프로젝트-TUNCONSTRUCT>



<EU공동프로젝트-GOODLIFE>

- 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 이루어짐
- 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 있음
- 중국은 향후 20년간 교통터널의 수요만 20,000여개에 달할 것으로 추정되고 있으며, 최근에는 TBM 제작사인 프랑스 NFM사를 합병한 북방중공업(NHI)에서 독자적으로 TBM을 제작·생산하기에 이르렀음. 특히, 이는 정부 주도의 기

술개발 및 정부의 전폭적인 지원 하에 이루어졌음. 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 있음(지왕률 등, 2008)



* 北方重工業(Northern Heavy

- 이와 같이 전 세계적인 추세와 기술수준에 크게 뒤쳐져 있음에도 불구하고 우리나라의 TBM분야 연구개발 의지와 지원이 극히 부족한 상황임. 현재까지 TBM 분야에서 수행된 국가R&D사업은 단 3건에 불과함
- 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) 장비였음. 특히, **지반조건에 따른 TBM 최적 설계기술에 대한 개발이 이루어지지 않았고 이수식(slurry) 소형 장비만이 제작됨**
- 본 기획과제의 주관연구기관인 한국건설기술연구원에서는 TBM 관련 독자기술 확보를 위해 기관고유사업(2004~2009)을 통해 암반용 커터헤드 설계와 성능 평가를 위한 LCM(Linear Cutting Machine)을 세계 6번째로 구축·활용하는데 성공함. 또한 건설교통R&D 과제(2004~2007)를 통해 암반TBM의 굴진성능 평가기술과 디스크커터 절삭 모델링 기법을 확보함. LCM을 기반으로 한 암반용 굴진을 예측모델은 국내 TBM터널 설계실무에도 활용되고 있으며 디스크커터 절삭 모델링 기법 또한 독창적인 연구성과로서 세계적인 수준으로 고려되고

있음. 하지만 암반, 토사지반 및 복합지반용 커터헤드 상세설계 기술과 성능평가 기술의 개발이 이루어지지 않은 상황으로서 여전히 선진국 최고수준의 기술과 상당한 격차를 보이고 있음

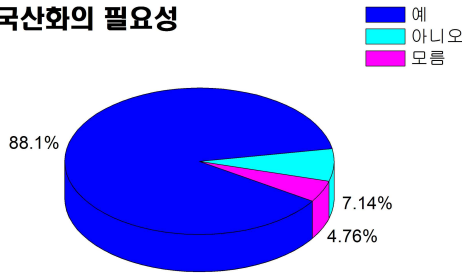
- 국토교통R&D 연구단 사업인 “TBM 핵심 부품·설계기술 및 TBM터널의 최적 건설기술(2010~2015, 수행 중)”에서는 TBM에서 실제 지반을 굴착하며 TBM의 굴착성능을 좌우하는 가장 중요한 커터헤드(cutterhead)의 설계·제작기술을 세계에서 7번째로 독자적으로 개발하는데 성공하였으며, TBM터널의 경제성 향상을 위한 고성능 세그먼트 라이닝(segment lining), 고성능 디스크커터(disc cutter), TBM 전방 조사 및 리스크 관리 시스템 등을 개발하여 TBM터널 건설 기술의 경쟁력 향상에 크게 기여함. 그러나 TBM 제작과 관련해서는 직경 7 m 급의 커터헤드 설계·제작기술만을 확보하여 기존에 사용된 외국산 TBM을 재활용(refurbishment)하는데 국한되어 있음



<“TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술” 연구단 목표>

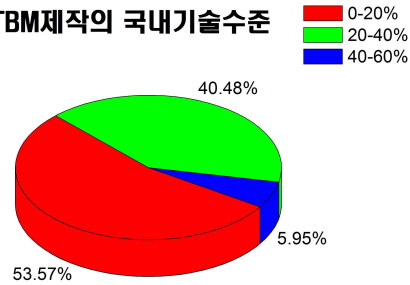
- 과거 한국건설교통기술평가원(現 국토교통과학기술진흥원)의 “기계화·자동화 터널건설을 위한 TBM 기술개발 기획연구(‘10.8)”에서 수행된 국내 전문가 설문조사 결과에서도, 우리나라의 TBM 설계·제작기술은 선진국 대비 20%이라고 답변한 경우가 과반수 이상이었으며(응답자의 54%), TBM터널 건설기술의 수준도 선진국 대비 40~60%라고 평가한 응답자가 71%였음. 이와 같이 우리나라의 TBM 관련 기술은 선진국과 큰 격차를 보이고 있음. 그러나 전체 응답자 중의 88%가 TBM 국산화가 필요한 것으로 응답하여 TBM 국산화에 대한 요구가 높음을 알 수 있음

TBM국산화의 필요성



TBM 국산화의 필요성

TBM제작의 국내기술수준



우리나라의 TBM 제작기술 수준

<국내 TBM 기술수준 설문조사 결과(출처: 한국건설교통기술평가원, 2010)>

- 본 기획연구에서 수행한 국내 전문가 설문조사 결과*, 응답자의 93%가 TBM 국산화가 필요하다고 답변하였으며, 국산화가 필요한 이유로는 ① 기계화시공으로의 전세계적인 전환 추세(27%), ② 국제적 수준의 기술력 확보(21%) 및 글로벌 TBM 시장의 증대(21%), ③ 공사비 절감(15%), ④ 중공업·기계분야의 신사업 창출기여(7%), ⑤ 외국 TBM 제작사와의 협력 한계(6%), ⑥ TBM 관련 국내 유망 사업 예상(2%)의 순으로 나타남

※ 한국터널지하공간학회, 한국표준협회 등 건설·기계 전문가 30명 대상

- TBM 국산화가 필요하지 않다고 응답한 7% 전문가들은 국산화가 필요하지 않다는 이유를 TBM 국산화에 따른 경제성 제고 효과 부족, 외국 TBM의 도입/수입으로도 충분 및 국내 TBM 수요 부족을 동등한 비율로 고려함
- 향후 TBM의 국내 수요 전망과 관련된 설문조사 결과는 ① 점진적 증가(62%), ② 급격한 증가(17%), ③ 현재 수준 유지(21%) 순으로 나타남
- 향후 TBM의 전 세계 수요 전망과 관련된 설문조사 결과 역시도 국내 수요 전망과 거의 동일하게 ① 점진적 증가(66%), ② 급격한 증가(28%), ③ 현재 수준 유지(21%) 순으로서 응답자의 94%가 TBM 수요 증가를 예상함
- 현재까지 TBM 국산화가 이루어지지 못한 원인으로는 ① 기존 공법 대비 높은 공사비(35%), ② 국내 시장규모 미미(29%), ③ 관련 기술 및 전문가 부족(16%), ④ 발주 체계 등 제도적 문제(13%), ⑤ TBM에 대한 일부 부정적 인식(6%) 순으로 응답함
- 향후 연구개발을 통한 TBM 국산화의 성공가능성과 관련해서는 ① 높음(52%), ② 매우 높음(21%), ③ 보통(21%), ④ 낮음(7%), ⑤ 매우 낮음(0%)로 나타나, 응답자의 73%가 TBM 국산화의 성공가능성을 높음 이상으로 응답함
- 마지막으로 TBM 국산화 연구의 성공을 위해 필요한 지원 사항들의 중요도를 전문가 설문을 통해 분석한 결과에 따르면, 아래의 표와 같이 ① 정부의 연구

예산 지원과 ② 정부의 정책적·제도적 지원이 가장 중요한 것으로 응답함

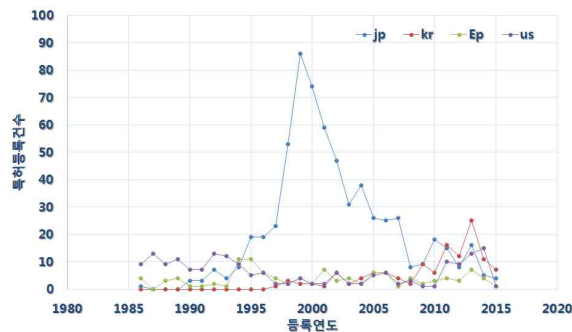
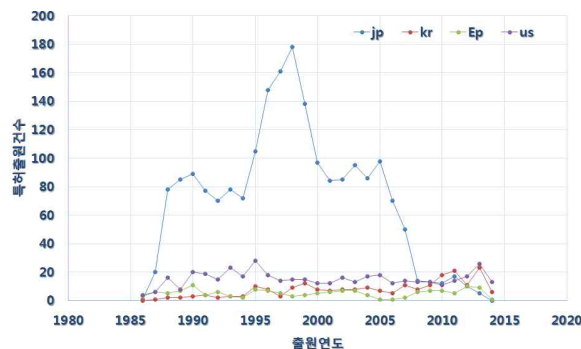
<TBM 국산화 연구의 성공을 위해 필요한 지원사항의 중요도(전문가 설문조사 결과)>

문항	정부의 예산지원	정부의 정책적/제도적 지원	전문인력 양성/인프라 구축	시범사업 및 현장 확보	외국 기술의 도입/제휴
1순위	52%	21%	21%	3%	3%
2순위	28%	34%	10%	14%	14%
3순위	14%	24%	24%	24%	14%
4순위	7%	7%	38%	28%	21%
5순위	-	14%	7%	31%	48%
가중치 점수* (순위)	123 (1)	99 (2)	84 (3)	67 (4)	59 (5)

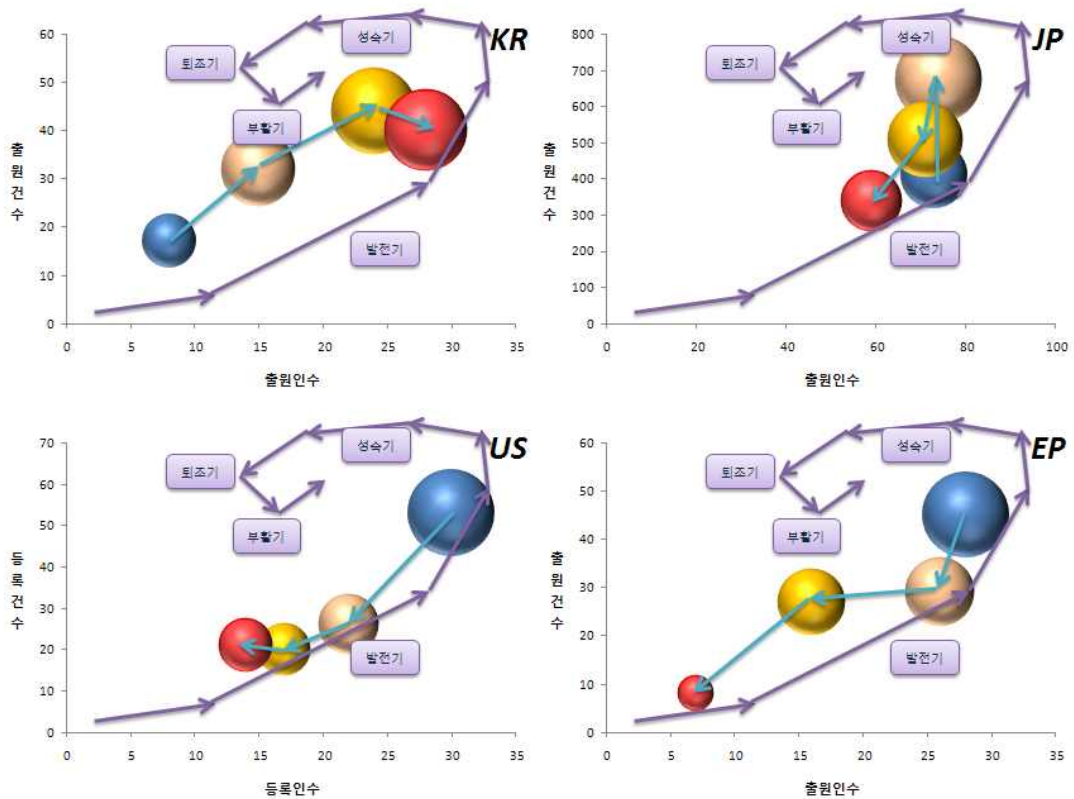
3. 특허분석

■ TBM 기술분야 해외 특허기술 동향 분석

- 일본에서는 1980년대 후반부터 출원량이 급증하고 1990년대 후반에 활발한 출원활동을 보인 후 2000년 이후에 다소 출원량이 감소하였으나 지속적인 출원량을 유지하다가 최근에는 출원량이 감소하고 있는 추세임. 등록량은 1990년대 후반 급증하였으나, 2000년 이후 다소 감소하고 출원 추세와 유사하게 일정 수준을 유지하는 추세임.
- 유럽에서는 1980년대 후반부터 출원량이 서서히 증가하고 1990년대에 가장 많은 출원활동을 보인 이후 2000년대에 와서는 다소 감소하고 있는 추세가 나타남. 등록량은 출원과 유사한 추세를 보이다가 최근 다소 증가하고 있음.
- 미국에서는 1990년대까지는 출원량이 서서히 증가하다가 다소 감소하여 유지되다가 최근 2000년대 이후 다소 증가한 추세임. 등록량의 경우, 1970년대 후반에 많은 등록량을 보이고 감소한 후 1980년대 중반부터 다시 증가하여 1990년대 초반까지 활발한 등록건수를 나타낸 후 감소하다가 2010년 이후 다소 증가하고 있음
- 그러나 TBM과 관련된 핵심 설계·제작기술은 특허 등 지적재산권 등록을 추진하지 않고 각 기관별로 독자적인 노하우로써 활용되고 있는 것으로 파악됨

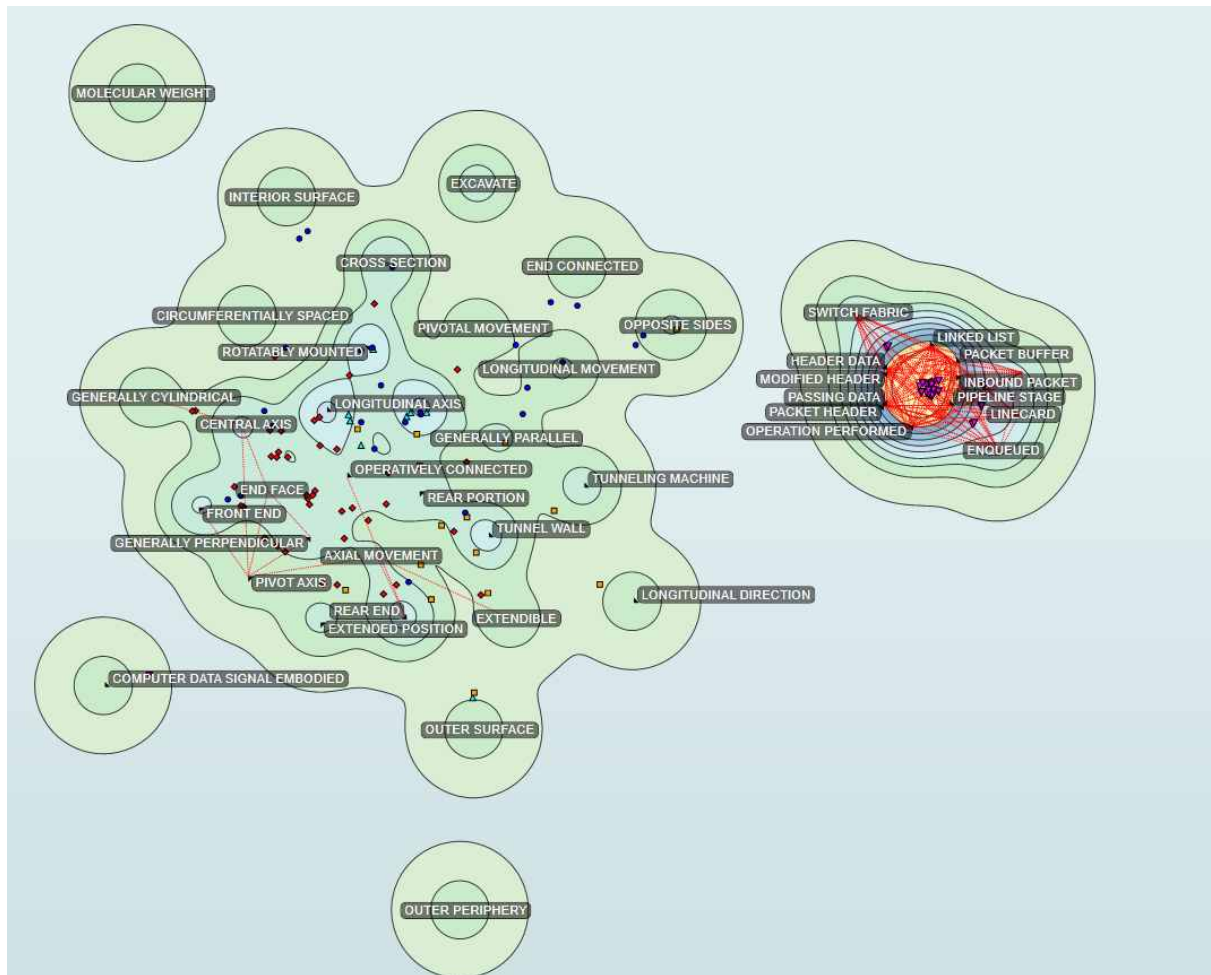


<국가별 연도별 특허출원·등록건수>



<TBM분야의 기술발전 위치분석 결과>

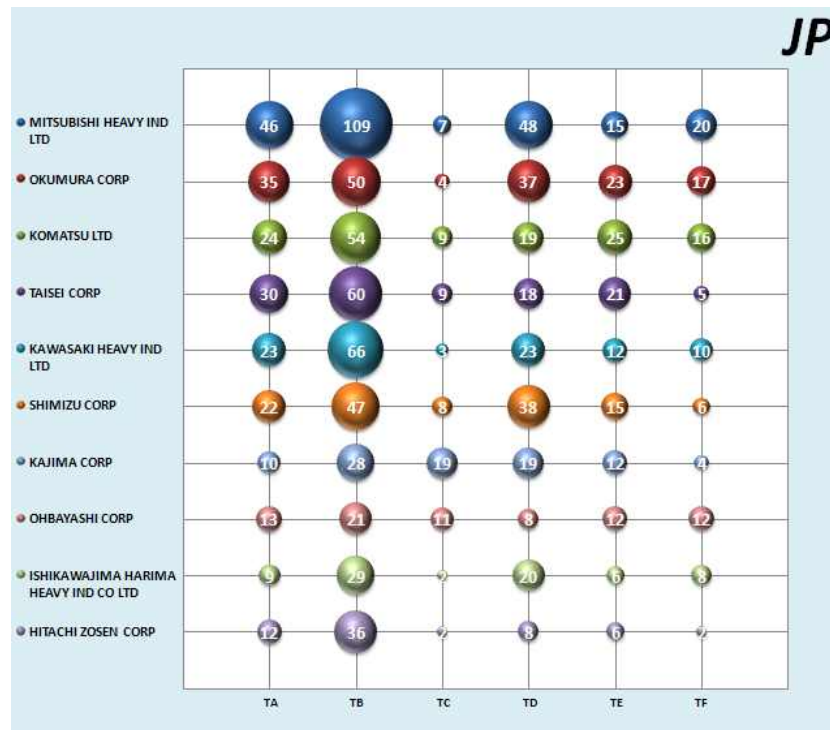
- TBM 분야 미국의 특허점유율 및 증가율에 따른 포트폴리오를 살펴보면, TB (커터헤드 제작 및 설계) 및 TA(TBM 장비제작 및 설계) 분야가 증가율과 점유율이 상대적으로 높은 값을 차지해 지속적으로 특허활동이 활발한 분야로 보이고, 기타 기술분야는 증가율이 감소하는 값을 보여 최근 특허출원이 감소하고 있는 것으로 분석됨
- TBM 분야 유럽의 특허점유율 및 증가율에 따른 포트폴리오를 살펴보면, TB (커터헤드 제작 및 설계) 분야는 점유율과 증가율이 가장 높은 값을 차지해 특허활동이 활발한 것으로 보이나 TA(TBM 장비제작 및 설계) 분야는 점유율은 평균이상을 차지하고 있으나 실제로 증가율은 감소하는 값을 나타내 다소 출원이 감소하고 있는 것으로 보이며, 기타 기술분야는 증가율이 감소하는 값을 보여 최근 특허출원이 감소하고 있는 것으로 분석됨
- 전체 세부 기술 분야(키워드 기반)별 특허의 분포도를 한눈에 조망하기 위하여 Wisdomain사의 특허분석 Tool을 이용하여 특허 키워드맵을 작성·분석함



<특허 키워드맵>

- 특허분포도를 출원년도를 기준으로 “2008년~최근”, “2003년~2007년” 및 “~2002년”으로 구분하여 시대에 따른 연구개발 트렌드의 변화를 비교함. TBM 분야의 특허분포도를 구간별로 분석하여 볼 때, 2002년 이전의 경우 전 분야에서 걸쳐 다양한 키워드가 넓게 분포되어 있고 그 중에 특히 Hydraulic Muck Handling System, TBM with crusher 등에 관련된 기술이 많은 것을 파악할 수 있음
- 2003년~2007년의 경우는 Segment Erector Assembling, Bit Mounting Spoke, Boring Wall Diameter 등의 키워드를 포함한 특허가 분포되어 있으며, 2008년~최근에는 All condition TBM 키워드를 중심으로 좁게 분포되어 있는 것으로 보아 TBM 관련 연구가 과거에 이미 전반적으로 개발이 완료되어 최근에는 개량특허 위주의 특허활동이 유지되고 있는 것으로 분석됨
- 일본의 출원인별 출원성향을 살펴보면 TA(TBM 장비제작 및 설계), TB(커터헤드 제작 및 설계), TD(지보 및 세그먼트) 및 TF(후방설비) 분야에서는 미쓰비시중공업, TC(TBM 굴진면 유지기술) 분야에서는 카지마건설, TE(TBM 운영

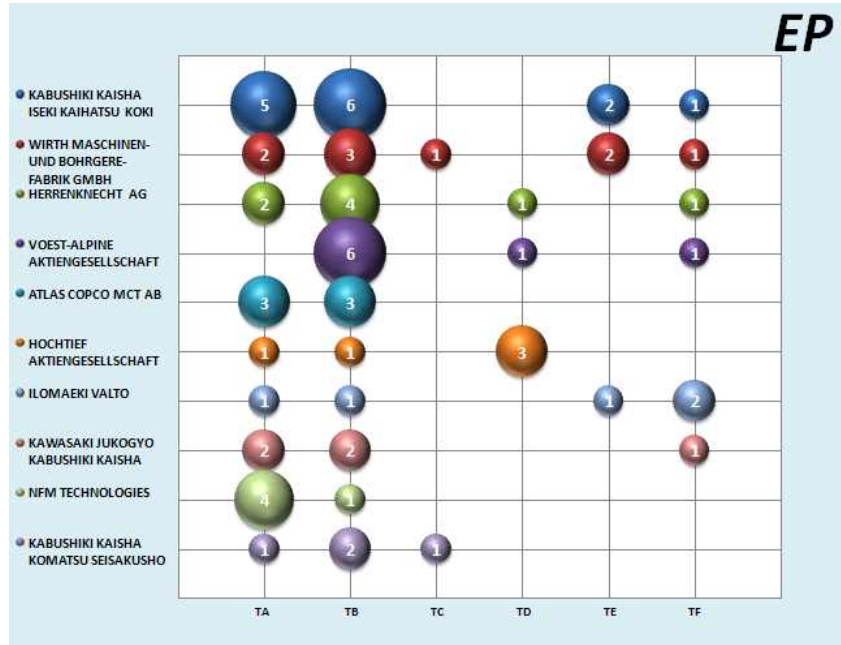
및 구동) 분야에서는 고마쓰가 주도적으로 출원하고 있는 것으로 나타남



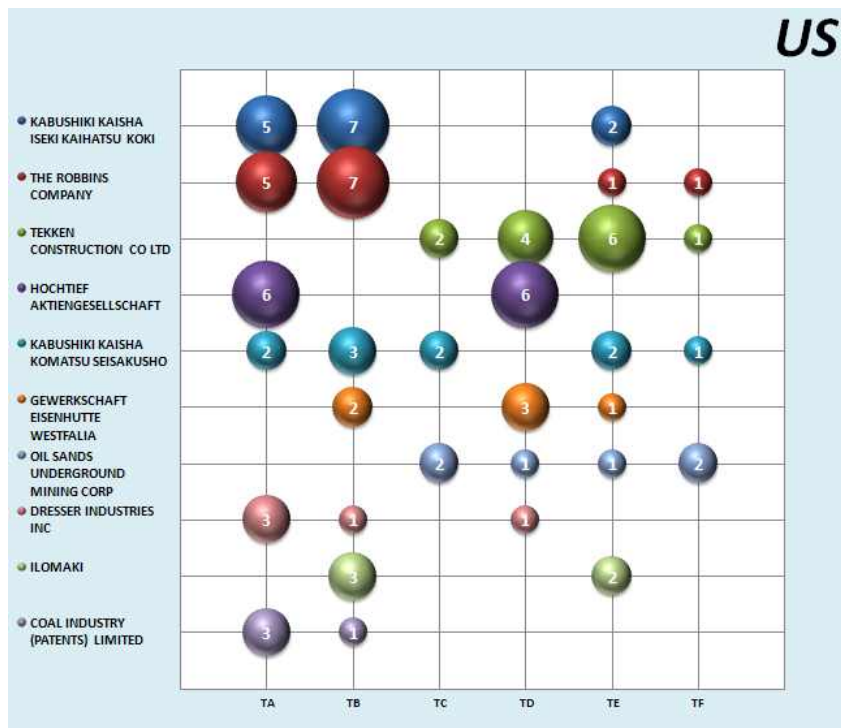
1. 제 1출원인 기준, 2. 분석구간: 일본특허 1978~최근 공개건까지(출원년도)

<기술분야별 특허권자 분포(일본)>

- 유럽의 출원인별 출원성향을 분석한 결과, TA(TBM 장비제작 및 설계) 분야에서는 일본기업인 ISEKI KAIHATSU KOKI와 프랑스기업인 NFM TECHNOLOGIES, 그리고 TB(커터헤드 제작 및 설계) 분야에서는 일본기업인 ISEKI KAIHATSU KOKI와 오스트리아기업인 VOEST-ALPINE, 또한 TD(지보 및 세그먼트) 분야에서는 독일기업인 HOCHTIEF가 주도적으로 출원하고 있는 것으로 나타남
- 미국의 특허권자별 출원성향을 분석한 결과, TA(TBM 장비제작 및 설계) 및 TD(지보 및 세그먼트) 분야에서는 독일기업인 HOCHTIEF가, TB(커터헤드 제작 및 설계) 분야에서는 일본기업인 ISEKI KAIHATSU KOKI와 미국기업인 ROBBINS, 그리고 TE(TBM 운영 및 구동) 분야에서는 일본기업인 TEKKEN CONSTRUCTION이 주도적으로 출원하고 있는 것으로 나타남



1. 제 1출원인 기준, 2. 분석구간: 유럽특허 1980~최근 공개건까지(출원년도)
 <기술분야별 특허권자 분포(유럽)>



1. 제 1등록권자 기준, 2. 분석구간: 미국특허 1976~최근 등록건까지(등록년도)
 <기술분야별 특허권자 분포(미국)>

- TBM 분야에 관한 주요국 출원인별 출원성향을 보면, TA(TBM 장비제작 및 설계) 및 TB(커터헤드 제작 및 설계) 분야분야에서는 미국, 유럽, 한국에서 일본 기업인 ISEKI KAIHATSU KOKI가, 일본에서는 미쓰비시중공업이 출원을 주도하고 있는 것으로 나타남
- TC(TBM 굴진면 유지기술) 분야에서는 한국, 미국, 유럽에서 상대적으로 출원량이 많은 기업이 발견되지 않았고, 일본에서는 카지마건설이 출원을 주도하고 있는 것으로 나타남
- TD(지보 및 세그먼트) 분야에서는 미국과 유럽에서 독일기업인 HOCHTIEF가, 일본에서는 미쓰비시중공업, 시미즈건설 등이 출원을 주도하고 있는 것으로 나타남
- TE(TBM 운영 및 구동) 분야에서는 미국에서 일본기업인 TEKKEN건설이, 일본에서는 고마쓰가 출원을 주도하고 있는 것으로 나타남
- TF(후방설비) 분야에서는 미쓰비시중공업이 출원을 주도하고 있는 것으로 나타났고, 미국과 유럽에서는 상대적으로 출원량이 많은 기업이 발견되지 않았음
- 특히, 일본기업인 ISEKI KAIHATSU KOKI는 한국, 미국, 유럽에서 TBM 관련 TA(TBM 장비제작 및 설계), TB(면판제작 및 설계) 분야에서 출원을 주도하고 있는 기업으로서 국제특허를 다수 출원하고 있는 출원인으로 분석되었으며, 자국내에서의 출원은 상대적으로 미비한 것으로 분석됨

4. 논문분석

■ TBM 기술분야 해외 논문분석 (최근 10년간 논문 NDSL 검색 및 분석)

- TBM 장비제작 및 설계와 관련하여 총 197편이 발표되었으며, 특히 J. Zhao (9건), G. Anagnostou (4건) 및 Jamal Rostami(4건) 등이 관련분야에서 두각을 나타내는 전문가들로 조사되었고, 발표건수는 9건~31건 범위에 있었음. 2014년도에 발표건수가 가장 많았음
 - 관련 키워드 : disc, roller cutter, cutter bit, cutter life, bit life, abrasion, wear, cutter housing, spoke, slit, opening ratio, thrust, torque, rpm, power, penetration, advance

<TBM 장비 제작 및 설계분야의 해외 논문발표 현황>

저널 또는 프로시딩	저자명	년도	주제분야
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automation in Construction(6) ▪ Construction and Building Materials(2) ▪ Computers & Industrial Engineering(1) ▪ International Journal of Mechanical Sciences and technology(3) ▪ International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences(14) ▪ Tunnelling and underground space technology(171) 	<ul style="list-style-type: none"> J. Zhao (9) G. Anagnostou(4) Jamal Rostami(4) Nuh Bilgin(4) Bahtiyar Unver(3) E.A.Gharahbagh(3) Günther Meschke(3) In-Mo Lee(3) M. Thewes(3) Seokwon Jeon(3) 	<ul style="list-style-type: none"> 2015(22) 2014(31) 2013(26) 2012(29) 2011(18) 2010(15) 2009(11) 2008(16) 2007(9) 2006(20) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Civil engineering(154) ▪ Engineering and allied operations(12) ▪ Applied physics(8) ▪ Earth sciences(18) ▪ Mechanical technologies (4) ▪ Combinatorial Optimization Technologies(1)

- TBM 커터헤드 제작 및 설계분야에 있어서는 총 54편이 발표되었으며, Jamal Rostami (5건), G. Anagnostou(4건) 및 J. Zhao(4건) 등이 관련분야에서 두각을 나타내는 전문가들로 조사되었고, 발표건수는 3건~13건 범위에 있었음. 2012년도에 발표건수가 가장 많았음. 커터헤드 제작 및 설계 분야의 해외 논문수가 적은 것은 커터 또는 비트에 관련된 논문의 경우 TBM 관련 키워드가 본문에 기재되어 있는 논문이 검색이 안 되어 누락된 것이 존재함을 감안해야 함
 - 관련키워드 : disc, roller cutter, cutter, bit, cutter life, bit life, abrasion, wear, cutter housing, spoke, slit, opening ratio, thrust, torque, rpm,

power, penetration, advance

<TBM 커터헤드 제작 및 설계분야의 해외 논문발표 현황>

저널 또는 프로시딩	저자명	년도	주제분야
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Engineering Geology(5) ▪ Computers & Industrial Engineering(1) ▪ International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences(6) ▪ Tunnelling and underground space technology(54) 	Jamal Rostami(5)	2015(9)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Civil engineering (56) ▪ Data processing Computer science (1) ▪ Applied physics (8) ▪ Economics (1)
	G. Anagnostou(4)	2014(6)	
	J. Zhao(4)	2013(8)	
	M. Ramoni (4)	2012(13)	
	Q.M. Gong (3)	2011(6)	
	E.A.Gharahbagh(2)	2010(6)	
	In-Mo Lee(2)	2009(8)	
	Seokwon Jeon(2)	2008(4)	
	Soo-Ho Chang(2)	2007(3)	
		2006(3)	

- 굴진면 유지기술 분야에서는 총 100편이 발표되었으며 Nuh Bilgin(7건), J. Zhao(4건) 및 Oriol Arnau(4건) 등이 관련분야에서 두각을 나타내는 전문가들로 조사되었고, 발표건수는 5건~16건 범위에 있었음. 2015년도에 발표건수가 가장 많았음
 - 관련키워드 : EPB(Earth-Pressure Balanced), slurry, feed, mixshield, double shield, earth mud, foam, compressed air, reinforcement, probing, probe, exploration, mapping, bolt, anchor, grout, bentonite, soil conditioning, backfill, seal, tail void, gap, mortar, tail skin, tail clearance, segment offset
- TBM 운영 및 구동 기술분야에서는 총 88편이 발표되었으며, Jamal Rostami(8건), J. Zhao(6건) 및 Q.M. Gong(6건) 등이 관련분야에서 두각을 나타내는 전문가들로 조사되었고 발표건수는 3~16건 범위에 있었음. 2014년도에 발표건수가 가장 많았음
 - 관련키워드 : guidance, operating, operation, survey, driving, feed back, control, cutter replacement, sensor, detect, sensing, ventilation, monitoring, emergency, measure

<TBM 굴진면 유지기술 분야의 해외 논문발표 현황>

저널 또는 프로시딩	저자명	년도	주제분야
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Engineering Geology(7) ▪ International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences(12) ▪ Tunnelling and underground space technology(81) 	Nuh Bilgin(7)	2015(16)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Civil engineering (78) ▪ Engineering and allied operations (6) ▪ Natural sciences and mathematics (6) ▪ Simulation Modelling for Computer Science(3) ▪ Geology, hydrology, meteorology (7)
	J. Zhao(4)	2014(15)	
	Oriol Arnau(4)	2013(13)	
	A. Aguado(3)	2012(12)	
	A. D. L. Fuente(3)	2011(12)	
	Shui-Long Shen(3)	2010(6)	
	Q.M. Gong(3)	2009(9)	
	Climent Molins(3)	2008(5)	
	Ebrahim Farrokh (3)	2007(5)	
		2006(7)	

<TBM 운영 및 구동 기술 분야의 해외 논문발표 현황>

저널 또는 프로시딩	저자명	년도	주제분야
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Engineering Geology(5) ▪ Computers & Industrial Engineering(5) ▪ International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences(12) ▪ Tunnelling and underground space technology(64) 	<ul style="list-style-type: none"> Jamal Rostami(8) J. Zhao(6) Q.M. Gong(6) Ebrahim Farrokh (3) Haifeng Zhao(3) Qian Zhang (3) 	2015(10)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Civil engineering (68) ▪ Applied physics (15) ▪ Computer Engineerig (3) ▪ Data processing Computer science (2)
		2014(16)	
		2013(11)	
		2012(14)	
		2011(7)	
		2010(8)	
		2009(7)	
		2008(5)	
		2007(7)	
		2006(3)	

4절. 종합분석

1. 국내외 정책동향분석 시사점

- 유럽이 전 세계 TBM장비 및 TBM터널 건설기술을 주도하고 있는 상황임에도 불구하고 유럽에서는 EU공동프로젝트인 TUNCONSTRUCT(2004 ~ 2008) 프로젝트 등을 통해 TBM 커터헤드 설계기술 선진화, 고성능 디스크커터, 고성능 세그먼트 등의 기술발전에 더욱 박차를 가하고 있음
- 세계 최다의 TBM 제작 실적을 보유한 일본은 지난 20년간 자국에서만 3,000개에 달하는 TBM터널 공사발주를 통해 TBM기술 발전이 이루어졌고, 특히 지속적인 발주를 통해 TBM터널의 공사비를 합리적으로 절감하는 방안을 도모함
- 중국은 향후 20년간 교통터널의 수요만 20,000여개에 달할 것으로 추정되고, 중국 전체 지하철 구간의 70% 이상이 TBM으로 시공되고 있으며 각종 초장대 터널 건설 프로젝트들이 구상되면서 TBM이 필수적으로 적용 또는 검토되고 있음
- 중국은 정부의 전폭적인 지원 하에 기존의 프랑스, 독일, 이탈리아 등의 TBM 제작사를 인수합병하여 TBM 기술을 습득하고 있고 정부 주도의 기술개발 사업을 통해 TBM을 독자적으로 제작·생산하고 있음
- 국정과제에서는 (5. 중소·중견기업의 수출경쟁력 강화)를 통해서 TBM 세계시장에의 진출과 새로운 수출동력 마련하고, (10. 교통체계·해운 선진화 및 건설·원전산업 해외진출 지원)에서 해외 터널공사의 대부분을 차지하는 해외 TBM 터널 시장 진출 및 수주 경쟁력 강화를 추진하고 있으며, (91. 안전하고 쾌적한 일터 조성)에서 TBM에 의한 기계화시공으로 인해 터널 건설공사 현장의 재해 및 안전사고 저감에 기여하고자 함.
- 경제혁신 3개년 계획은 (18. 중소·중견기업 경쟁력 강화)의 정책에 일환으로 TBM 제작 중소·중견기업 육성 및 해외 TBM터널 건설시장 진출 기업들의 경쟁력 강화하고, (26. 융합신산업 육성)에서 건설·기계·소재의 융복합 기술 및 IoT 기반의 TBM 운용·인력양성 기술 개발을 추진하며, (31. 해외건설·플랜트 수출 고부가가치화)를 통하여 '15년부터 향후 5년간 약 33% 증가가 예상되는 TBM 관련 시장에서의 신규 진출 및 해외 6개국에서만 비공개로 보유하고 있는 고부가가치 TBM 원천기술 보유·활용하고자 함.
- 창조경제의 (전략 2 벤처·중소기업의 창조경제 주역화 및 글로벌 진출 강화)를 통하여 TBM 사업화 추진 중소기업의 기술확보 및 글로벌 시장 진출 **지원**

2. 국내외 시장동향분석 시사점

- TBM 제작대수 기준으로 소단면의 유틸리티터널(utility tunnel, 직경 4 m 이하)의 수요가 가장 크며, 최다 적용실적을 보유한 일본에서도 상·하수도/가스/공동구/전력의 적용실적이 전체의 74.2%를 차지 (직경 6 m 미만이 90.6%)
- 전 세계적으로 직경 7 m 이상의 중·대단면 TBM은 연장이 길거나 높은 안전성이 요구되는 조건의 철도/지하철 터널에 대부분 적용되고 있음
- 세계 최대 TBM 제작사인 독일 Herrenknecht社의 실적 기준, 교통터널(traffic tunnel) 가운데 지하철/철도(직경 6~13 m)가 87%로서 가장 큰 비중을 차지하고 있음 (시공연장 기준)
- 최근 들어서는 도심지 지하도로(예: 프랑스 A86 지하도로) 등과 같은 도로터널에의 적용도 일부 이루어지고 있으나, 도로터널에 규모에 적합한 직경 14 m의 대단면 TBM(Mega TBM)은 1994년부터 현재까지 약 20년간 27건만이 제작되었고 전 세계적으로 7개 제작사에서만 실적을 보유하고 있음(독일 Herrenknecht社가 55% 실적 보유)
- 세계 최대 직경의 TBM은 홍콩 해저 도로터널 건설에 사용되고 있는 독일 Herrenknecht社의 직경 17.6 m 쉴드TBM이며, 국내 최대 직경 TBM은 원주-강릉 철도건설 11-3공구에 적용될 직경 8.41 m의 쉴드TBM임
- 최근의 초장대 산악터널과 초장대 해저터널의 대부분은 경제성과 안전성을 확보할 수 있는 TBM으로 시공되고 있음. 현재 세계 10대 초장대 터널 가운데 5개가 TBM으로 완공 또는 시공 중으로서, 나머지 5개 초장대 터널은 과거에 발파공법 등에 의한 재래식 터널로 시공된 사례임
- 전 세계적으로 TBM시장은 7.5% 성장(2009년~2013년)하였으며, 중국의 경우에는 2009년~2014년까지 12%이상 성장하였고 앞으로도 성장할 것으로 예상됨 (QYResearch, 2015)
- 중국의 철도투자는 지속적인 증가가 예상되며(도시철도: 2020년까지 2,677 km, 지하철: 2050년까지 18,829 km) 특히 지하철의 경우 쉴드TBM을 이용한 4,500 km(500개 프로젝트) 굴착공사가 예상됨 (QYResearch, 2015)
- 중국은 제2도시들도 TBM 수요가 있고 전 세계적으로는 거대도시(megacity)가 지속적으로 팽창(성장)하면서 이에 따라 교통 터널의 수요 증가와 고속철도 터널의 수요가 증가할 것으로 전망
- 우리나라에서도 1990년대 중반 이후로 TBM 시공실적이 증가하고 있으며 (연간 약 12% 증가), 특히 유틸리티터널 분야에서는 전력구(한국전력)의 TBM 공사가 지속적으로 발주되고 있으며 최근에는 가스관로의 노후화에 따라 향후

가스공사의 TBM 공사발주가 확대될 것으로 예상됨

- 우리나라의 경우에도, 전력구/가스관로/통신구/상·하수도의 적용실적이 전체의 80%를 차지 (고속도로/도로에의 적용 전무)
- 그러나 우리나라 도심지 교통터널에서의 TBM 적용 비율은 1% 미만으로서 전 세계적인 추세와 큰 차이를 보이고 있음(유럽 80%, 일본 60%). 단, 서울시를 중심으로 지하철·철도터널에서 TBM 적용실적이 증가 추세
- 해외 터널공사 사업의 대부분이 TBM터널으로 발주되고 있으며, 대표적인 사례로는 국내 건설사들이 진출하고 있는 싱가포르 MRT, 카타르 도하 지하철, 아부다비 수로터널 등을 들 수 있음
- 장기적으로는 TBM의 적용이 유력한 수도권 광역급행철도(GTX), 서울시 지하도로망(U-SMARTWAY), 한·중/한·일 해저터널 등의 검토가 이루어지고 있음
- 선진 6개국의 주요 TBM 제조사는 약 20여개로, 안전과 환경이 중요해짐에 따라 발파공법에서 기계굴착으로 TBM 수요 및 시장 규모가 확대 추세임
- 2009~2014년 기간 동안 전세계 TBM 수요는 2009년 294대에서 2014년 465대로 158%의 큰 증가율을 보이고 있음 (산업연구원, 2015)
- 향후 2015~2020년 기간 동안 TBM 생산은 2015년 227대에서 2020년 302대로 33% 증가할 전망이며, 생산가능량도 308대에서 458대로 49% 증가할 전망임 (산업연구원, 2015)
- 2008년까지 세계시장의 약 40%를 점유하고 있던 독일 Herrenknecht社의 매출은 지속적으로 증가하고 있으나, 인수합병과 대규모 투자로 인해 중국의 CRTE, CRCHI, NHI 등이 급격하게 성장하고 있어 Herrenknecht社의 세계 시장 점유율은 감소 추세
- 세계 최대 시장으로 급부상한 중국의 TBM 수요는 2009년 이후 지속적으로 증가하여 2014년까지 연평균 15%의 증가율을 나타내고 있음
- 특히, 중국은 ‘국가 863 계획사업’ 지원 하에 인수합병과 자국 기술로 TBM의 자체 연구개발에 성공한 이후, 그 동안 독점해오던 해외 장비 도입을 줄이고, 제조원가를 절감시키기 위해 TBM 제조사업을 16개 중대 장비 기술 사업의 하나로 편성하고 다양한 건설사업에 자국 장비를 투입시킴
- 중국의 TBM 생산 및 개발 증가는 향후 2020년까지 계속되어 생산 가능량과 생산량이 각각 8.85% 및 9.07%의 증가율을 보일 것으로 전망됨

3. 국내외 기술동향분석 시사점

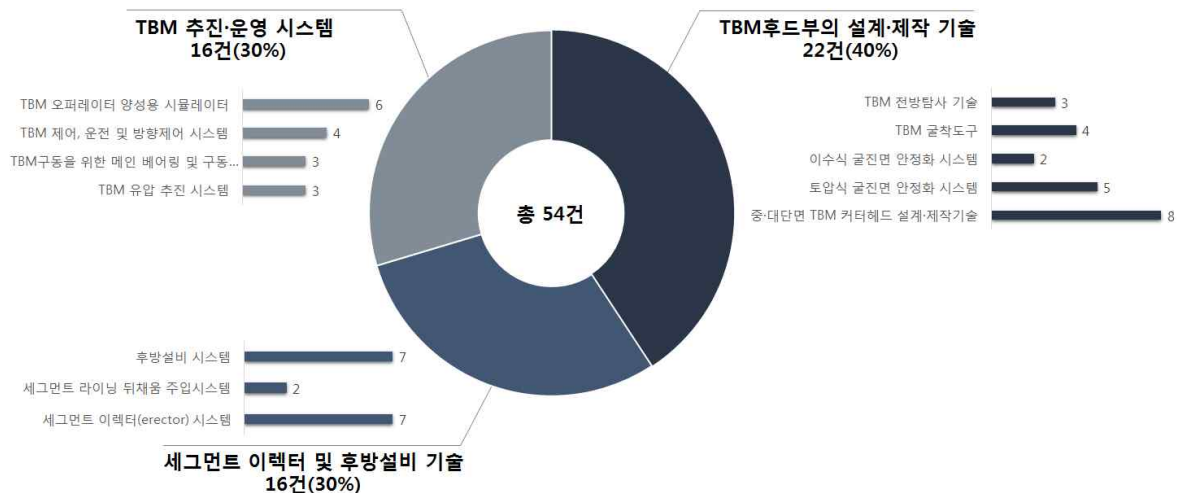
- TBM기술발전으로 인해 전 세계적으로 터널공법은 과거의 발파 또는 개착공법에서 NATM을 중심으로 한 재래식공법(conventional tunnelling)과 TBM에 의한 기계식공법(mechanized tunnelling)으로 양분되고 있음
- 현재 우리나라는 TBM의 설계·제작을 외국에 100% 의존하고 있는 실정으로서, TBM 관련 기술력 부족으로 인해 전 세계적인 기계화시공 추세를 따라가지 못하고 있으며 적용대상 지반에 부적절한 TBM장비의 투입으로 인한 각종 시공 트러블이 발생함으로 인해 TBM에 대한 인식이 좋지 못한 상황임
- 더욱이 선진외국에서는 TBM 제작·생산 및 시공 경험을 40~50년 이상 축적한 반면, 우리나라는 1985년에서야 최초로 TBM공법이 적용되었고 대부분이 연장이 짧은 소구경 터널이었던 관계로 세계 최고수준의 기술과 비교할 때 뒤쳐져 있음
- 전문가 설문에 의한 기술수준예측 조사 결과, 세계 최고 수준 대비 우리나라의 TBM 기술수준은 61.9%에 불과한 것으로 평가됨(날리지웍스, '15.3)
- 더욱이 TBM 관련 분야의 핵심기술들은 특허 등의 지적재산권화를 하기보다는 각 회사 또는 기관별(전 세계 6개국)로 독자적인 비공개 노하우로 보유하고 있는 관계로 자구적인 기술격차 해소 노력이 시급함
- 유럽이 전 세계 TBM장비 및 TBM터널 건설기술을 주도하고 있는 상황임에도 불구하고 유럽에서는 EU공동프로젝트인 TUNCONSTRUCT(2004~2008) 프로젝트 등을 통해 TBM 커터헤드 설계기술 선진화, 고성능 디스크커터, 고성능 세그먼트 등의 기술발전에 더욱 박차를 가하고 있음
- 세계 최다의 TBM 제작 실적을 보유한 일본은 지난 20년간 자국에서만 3,000개에 달하는 TBM터널 공사발주를 통해 TBM기술 발전이 이루어졌고, 특히 지속적인 발주를 통해 TBM터널의 공사비를 합리적으로 절감하는 방안을 도모함
- 중국은 향후 20년간 교통터널의 수요만 20,000여개에 달할 것으로 추정되고, 중국 전체 지하철 구간의 70% 이상이 TBM으로 시공되고 있으며 각종 초장대 터널 건설 프로젝트들이 구상되면서 TBM이 필수적으로 적용 또는 검토되고 있음
- 중국은 정부의 전폭적인 지원 하에 기존의 프랑스, 독일, 이탈리아 등의 TBM 제작사를 인수합병하여 TBM 기술을 습득하고 있고 정부 주도의 기술개발 사업을 통해 TBM을 독자적으로 제작·생산하고 있음

3장. 기술수요 및 수준 · 예측조사

1절. 기술수요조사

◦ TBM 장비를 TBM 후드부, TBM 추진·운영 시스템 및 세그먼트 이렉터 및 후방 설비 등으로 세분화하여 각 분야별로 산·학·연 전문가(건설, 기계, 전기·전자, 소재, 발주처 등)를 대상으로 중·대단면 TBM 국산화를 위해 기술개발이 필요한 기술아이템에 대한 기술수요를 조사를 수행하였으며, 그 조사결과는 다음과 같음.

- TBM후드부의 설계·제작 기술분야에서는 총 22건의 기술아이템을 제안받았으며, 세부적으로는 중·대단면 TBM커터헤드 설계·제작기술분야에서 가장 많은 8건의 기술아이템을 제안 받음
- TBM 추진·운영시스템분야에서는 총 16건의 기술아이템을 제안받았으며, 세부적으로는 TBM오퍼레이터 양성용 시뮬레이터분야에서 가장 많은 6건의 기술아이템을 제안 받음
- 세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술분야에서는 총 16건의 기술아이템을 제안받았으며, 세부적으로는 세그먼트 이렉터 시스템분야와 후방설비 시스템분야에서 각각 7건의 기술아이템을 제안 받음



<기술분야별 기술수요조사 결과>

<TBM 후드부 설계제작 기술분야 기술수요조사 제안기술 목록>

기술분류체계		제안기술
중분류	소분류	
중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작 기술	중·대단면 커터헤드 설계기술	중·대단면 TBM 커터헤드 자동화 설계기술
		토사 또는 복합지반에서의 면판설계 및 굴진성능에 대한 정량적 가이드라인
		실드 TBM 장비선정을 위한 설계기준 정립
		TBM전방탐사 센서 설치용 커터헤드 설계기술
	중·대단면 커터헤드 제작기술	중·대단면 TBM 커터헤드 제작기술
		고수압구간 내 상압조건 커터교체 작업이 가능한 커터헤드 제작기술
		중·대단면 TBM 산업기반조성을 위한 국제표준 기반구축
	중고 TBM 재활용 기술	
토압식 굴진면 안정화 시스템	스크루 컨베이어	스크루 컨베이어 시스템 개발
	벨트 컨베이어	버력 배출을 위한 벨트 컨베이어 개발 굴진에 따른 벨트 길이 가변식 컨베이어 개발
	커터헤드 챔버	토압식 Chamber와 Screw Conveyor의 설계제작 및 Soil Conditioning 기술 개발
	굴착토 처리기술	실드 TBM 기포 공법 이토압식 실드 TBM 적용시 굴착토 소성유동화를 위한 최적 첨가재 기술
이수식 굴진면 안정화 시스템	송니관 및 배니관	이수식 TBM 굴진면 안정화를 위한 송/배니관 개발
	이수처리 플랜트	이수식 TBM의 친환경 이수 처리를 위한 플랜트 개발
TBM 굴착도구	디스크 커터	다양한 지반조건에 따른 중·대단면 TBM용 디스크커터의 설계기술
		TBM 굴착용 복합지반적용 디스크커터 국산화 개발
	커터비트	3차원 터널 전방 탄성파 탐사(Tunnel Seismic Prediction) 시스템 전기비저항을 이용한 TBM터널 시공 중 지반공동 예측 기술 개발
TBM 전방탐사 기술	물리탐사	3차원 터널 전방 탄성파 탐사(Tunnel Seismic Prediction) 시스템
		전기비저항을 이용한 TBM터널 시공 중 지반공동 예측 기술 개발
	선진보링	대구경 TBM 선진 보링 시 MWD기술을 응용한 지반정보 예측기술
	기타 탐사기술	(제안기술 없음)

<세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술분야 기술수요조사 제안기술 목록>

기술분류체계		제안기술
중분류	소분류	
세그먼트 이렉터(erator) 시스템	세그먼트 이렉터	자동화 세그먼트 이렉터 개발
		세그먼트 자동조립시스템
		세그먼트 조립 동시 굴진 병행 실드 장비
	이렉터 회전용 모터	세그먼트 이렉터 회전용 모터 개발
	세그먼트 인양용 유압잭	세그먼트 이렉터 인양용 잭 개발
	세그먼트 호이스트	세그먼트 공급용 호이스트 개발
	라이닝 설치용 유압잭	세그먼트 라이닝용 유압 잭 개발
세그먼트 라이닝 뒤채움 주입시스템	주입시스템	Two Component Backfill Grout Injection System
	뒤채움 재료	뒤채움 주입방식에 따른 재료선정
후방설비 시스템 (굴착 버력/토사 반출 외 기타)	TBM 제어설비	중·대단면 TBM의 굴착 속도 증대를 위한 제어 설비 개발
	TBM 유압설비	중·대단면 TBM 유압 공급을 위한 설비 제작
	TBM 전기설비	중·대단면 TBM 전기 공급을 위한 설비 제작
	TBM 윤활설비	중·대단면 TBM 윤활유 공급을 위한 설비 제작
	TBM 공조설비	중·대단면 TBM 공조 설비 제작
	TBM 용수설비	중·대단면 TBM 용수 설비 제작
	TBM 송배니설비	중·대단면 TBM 송배니 설비 제작

<TBM 추진·운영 시스템분야 기술수요조사 제안기술 목록>

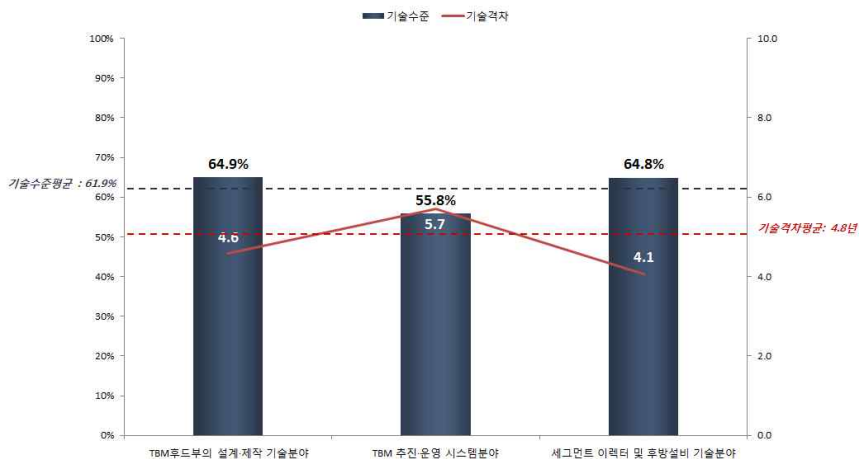
기술분류체계		제안기술
중분류	소분류	
TBM 유압 추진 시스템	추진용 유압잭	추진용 유압잭 개발
	중절용 유압잭	중절용 유압잭 개발
	보조 그리퍼	TBM 보조 그리퍼용 유압 추진 시스템 개발
TBM구동을 위한 메인 베어링 및 구동 모터 시스템	메인 베어링	중·대단면 TBM용 메인베어링 신뢰성 확보 기술 개발
	감속기	TBM 국산화 개발을 위한 커터헤드 구동용 울트라 심플, 고토크(최대 1,350 kNm) 감속 시스템 개발
	커터헤드 구동용 모터	TBM 구동 모터(감속기 포함) 국산화
TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템	회전 구동 제어장치	TBM 회전 구동 제어 장치 및 기술 개발
	추진 구동 제어장치	TBM 추진 구동 제어 장치 및 기술 개발
	중절 구동 제어장치	TBM 중절 구동 제어 장치 및 기술 개발
	커터헤드 챔버 배면압 제어장치	TBM 커터 헤드 챔버 내 배압 제어 기술 개발
TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터	TBM 시공 시나리오	실시간 TBM장비 데이터 분석을 통한 연약구간 또는 파쇄구간 굴착 시의 리스크 예측 및 시공관리 프로그램
		중·대단면 TBM의 실시간 온라인 예지 와치독 레이더(Watchdog Radar) 개발
	시뮬레이터 S/W 및 H/W	TBM 시뮬레이터 개발
		복합지반 및 곡선구간 중·대단면 TBM의 추진시스템 개발 및 시뮬레이터용 프로그램
		TBM 기계데이터를 이용한 3D기반 모니터링 및 굴진이력 재현 시스템
TBM 교육훈련 프로그램	TBM 시뮬레이터 개발	

2절. 기술수준 및 예측조사

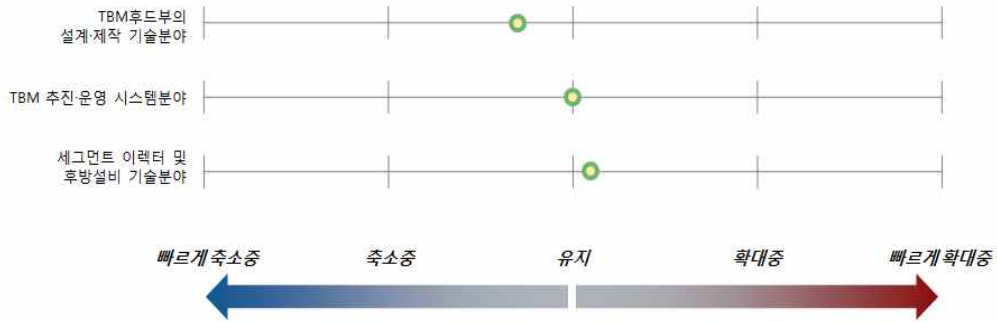
- 산·학·연 전문가를 대상으로 중·대단면 TBM 국산화 관련 기술의 실현시기, 기술수준, TRL단계, 중요도 등 를 위해 기술개발이 필요한 기술아이템에 대한 기술수요를 조사를 수행하였으며, 그 내용은 다음과 같음.

1. 기술수준 및 기술격차

- 국내 중·대단면 TBM기술의 전체 기술수준은 61.9%이며, 평균기술격차는 4.8년임
- 국내 중·대단면 TBM기술의 기술격차는 전반적으로 유지 추세에 있으며, 기술에 따라 차이가 존재
 - TBM 후드부의 설계·제작 기술분야(64.9%)와 세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술분야(64.8%)의 기술수준이 상대적으로 높고, TBM추진·운영 시스템분야(55.8%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - 세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술분야(4.1년)의 기술격차가 가장 적으며, TBM추진·운영 시스템분야(5.7년)의 기술격차가 상대적으로 큼
 - 국내 중·대단면 TBM기술의 기술격차는 전반적으로 유지 추세에 있으며, 기술에 따라 차이가 존재
 - TBM 후드부의 설계·제작 기술분야는 기술격차가 소폭 축소 추세에 있음
 - TBM추진·운영 시스템분야는 기술격차가 유지되고 있음
 - 세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술분야는 기술격차가 소폭 확대중임



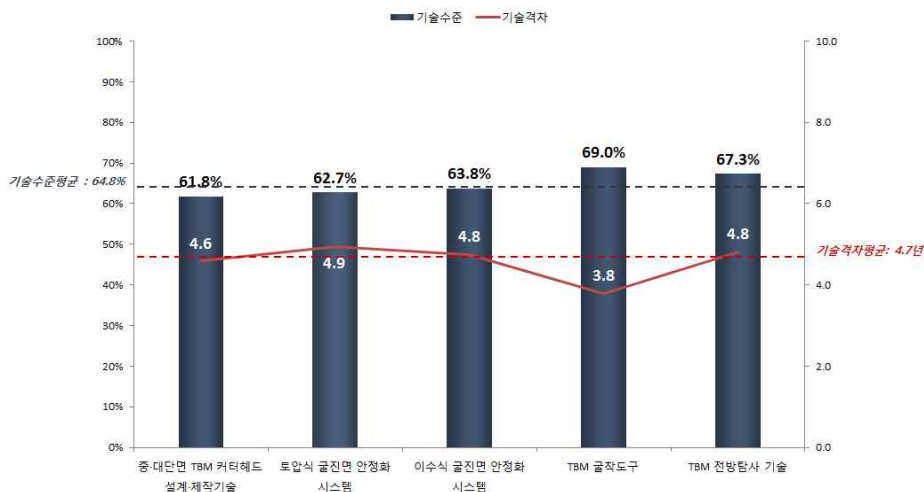
<국내 중·대단면 TBM 기술분야 대분류별 기술수준 및 기술격차>



<국내 중·대단면 TBM 기술분야 대분류별 기술격차 추세>

(1) TBM후드부의 설계·제작 기술

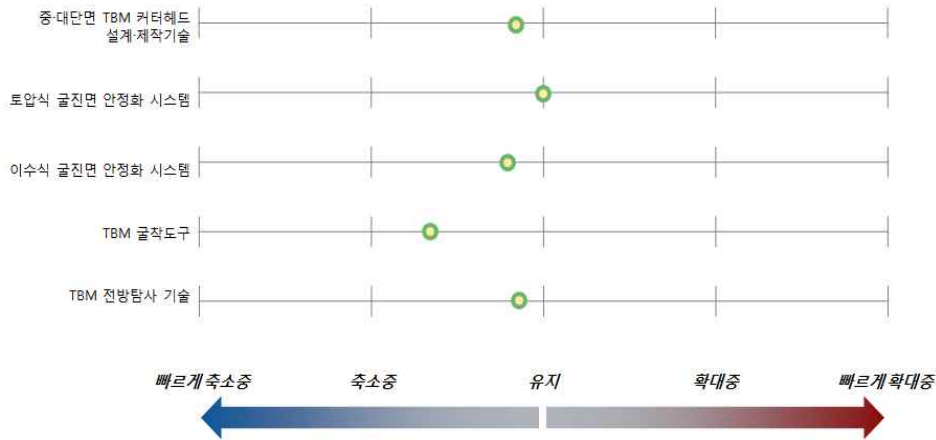
- 국내 TBM후드부의 설계·제작 기술의 전체 기술수준은 64.8%이며, 평균기술격차는 4.7년임
 - TBM 굴착도구(69.0%)와 TBM 전방탐사 기술(67.3%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술(61.8%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - TBM 굴착도구(3.8년)의 기술격차가 가장 적으며, 토압식 굴진면 안정화 시스템(4.9년)의 기술격차가 상대적으로 큼



<TBM후드부의 설계·제작 기술분야 중분류별 기술수준 및 기술격차>

- 국내 TBM후드부의 설계·제작 기술의 기술격차추세는 전반적으로 축소 추세에 있으며, 기술에 따라 차이가 존재
 - 중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술, 이수식 굴진면 안정화 시스템, TBM 전방탐사 기술, TBM 굴착도구의 기술격차가 축소 추세에 있음

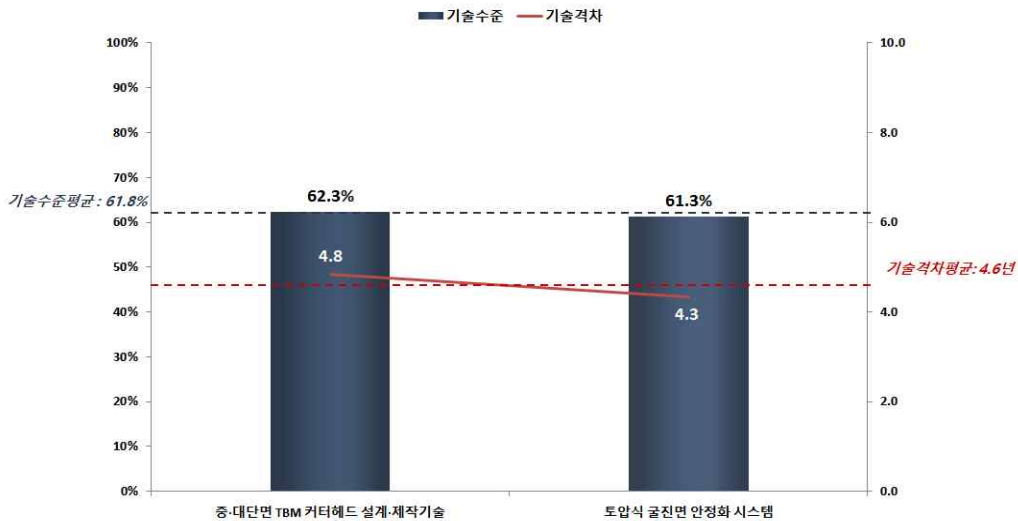
- 이수식 굴진면 안정화 시스템은 기술격차가 유지되고 있음



<TBM후드부의 설계·제작 기술분야 중분류별 기술격차 추세>

(가) 중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술

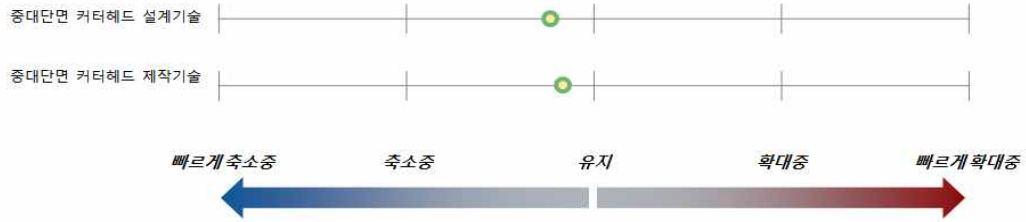
- 국내 중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술의 전체 기술수준은 61.8%이며, 평균기술격차는 4.6년임
 - 중·대단면 커터헤드 설계기술(62.3%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 중·대단면 커터헤드 제작기술(61.3%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - 중·대단면 커터헤드 제작기술(4.3년)의 기술격차가 가장 적으며, 중·대단면 커터헤드 설계기술(4.8년)의 기술격차가 상대적으로 큼



<중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차>

- 국내 중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술의 기술격차 추세는 전반적으로 축소 추세에 있음

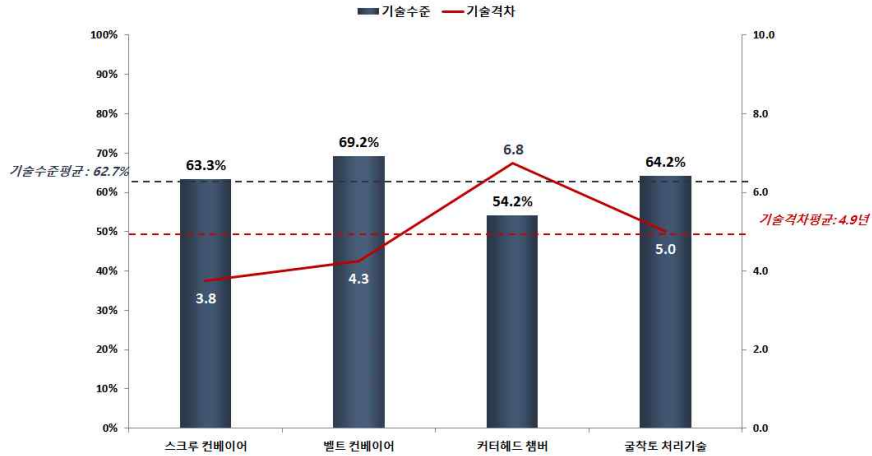
- 중·대단면 커터헤드 설계기술, 중·대단면 커터헤드 제작기술 분야는 기술 격차가 소폭 축소 추세에 있음



<중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술분야 소분류별 기술격차 추세>

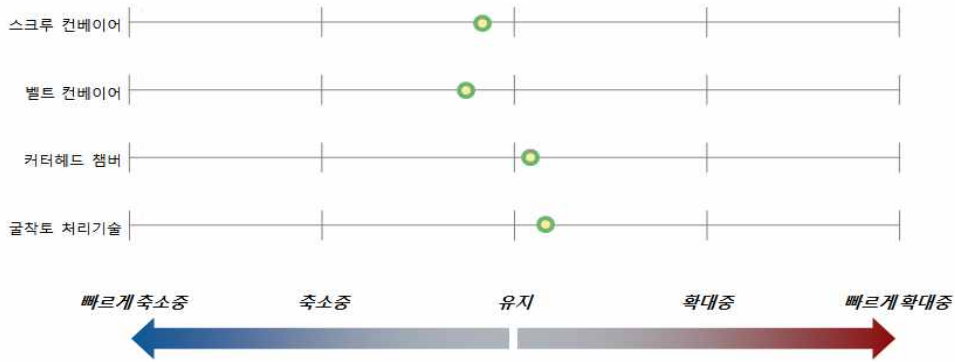
(나) 토압식 굴진면 안정화 시스템

- 국내 토압식 굴진면 안정화 시스템의 전체 기술수준은 62.7%이며, 평균기술격차는 4.9년임
 - 벨트 컨베이어(69.2%), 굴착토 처리기술(64.2%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 커터헤드 챔버(54.2%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - 스크루 컨베이어(3.8년)의 기술격차가 가장 적으며, 커터헤드 챔버(6.8년)의 기술격차가 상대적으로 큼



<토압식 굴진면 안정화 시스템분야 소분류별 기술수준 및 기술격차>

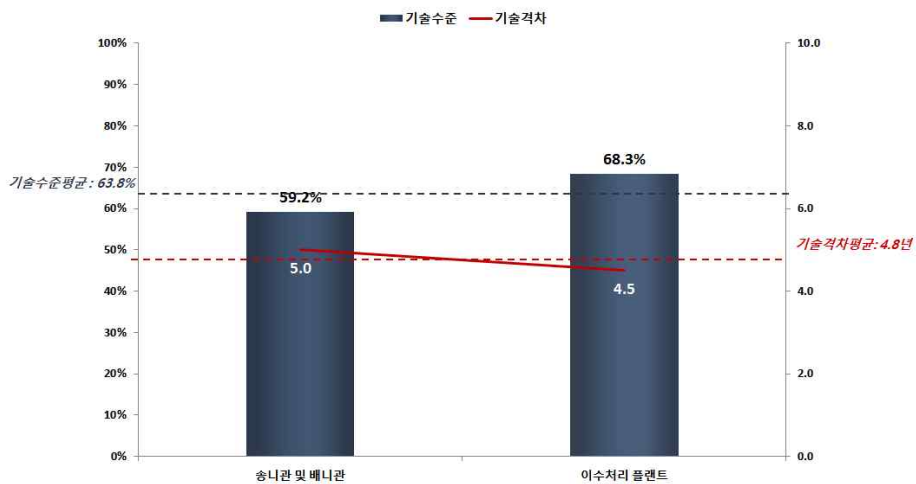
- 국내 토압식 굴진면 안정화 시스템 분야의 기술격차추세는 전반적으로 스크루 컨베이어, 벨트 컨베이어가 축소 추세에 있으며, 그 외 기술들은 확대 추세임
 - 스크루 컨베이어, 벨트 컨베이어가 축소 추는 기술격차가 축소 추세에 있음
 - 커터헤드 챔버, 굴착토 처리기술 분야는 기술격차가 유지되고 있음



<토압식 굴진면 안정화 시스템분야 소분류별 기술격차 추세>

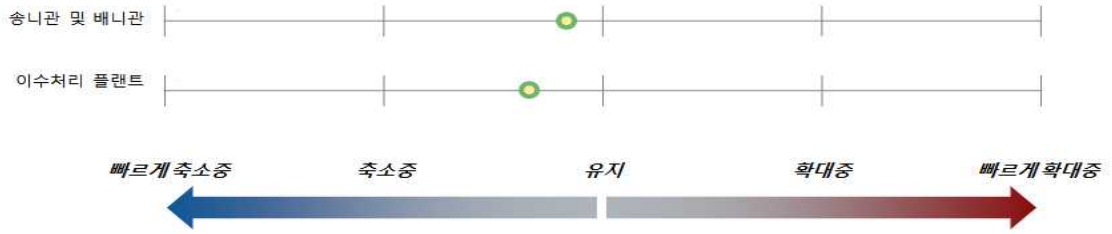
(다) 이수식 굴진면 안정화 시스템

- 국내 이수식 굴진면 안정화 시스템의 전체 기술수준은 63.8%이며, 평균기술격차는 4.8년임
 - 이수처리 플랜트(68.3%)분야의 기술수준이 상대적으로 높고, 송니관 및 배니관(59.2%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - 이수처리 플랜트(4.5년)의 기술격차가 가장 적으며, 송니관 및 배니관(5.0년)의 기술격차가 상대적으로 큼



<이수식 굴진면 안정화 시스템분야 소분류별 기술수준 및 기술격차>

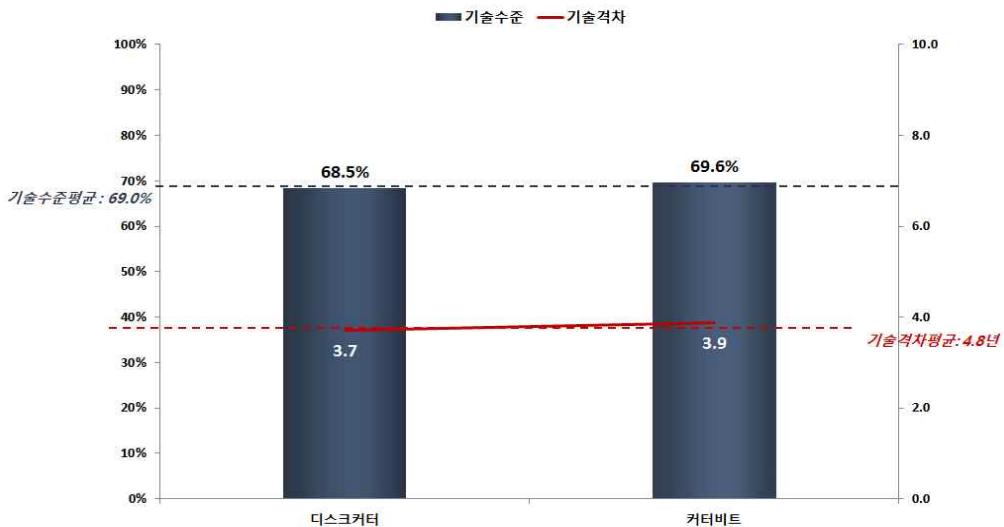
- 국내 이수식 굴진면 안정화 시스템 분야의 기술격차 추세는 전반적으로 축소 추세에 있음
 - 송니관 및 배니관, 이수처리 플랜트는 기술격차가 축소 추세에 있음



<이수식 굴진면 안정화 시스템분야 소분류별 기술격차 추세>

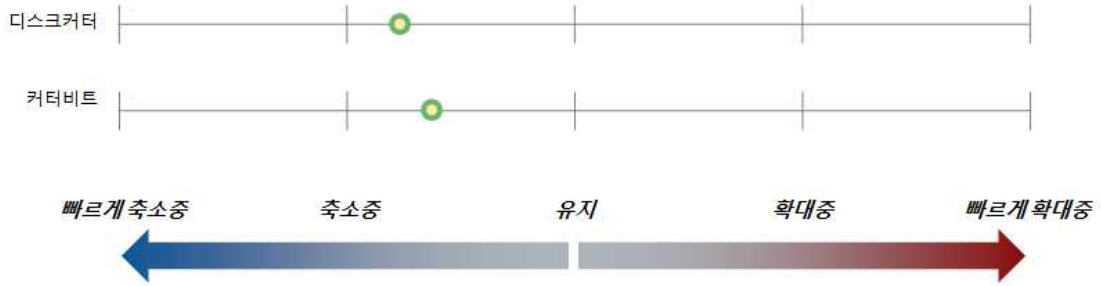
(라) TBM 굴착도구

- 국내 TBM 굴착도구의 전체 기술수준은 69.0%이며, 평균기술격차는 3.8년임
 - 커터비트(69.6%)분야의 기술수준이 상대적으로 높고, 디스크커터(68.5%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - 기술수준과 반대로 디스크커터(3.7년)의 기술격차가 적으며, 커터비트(3.9년)의 기술격차가 상대적으로 큼



<TBM 굴착도구분야 소분류별 기술수준 및 기술격차>

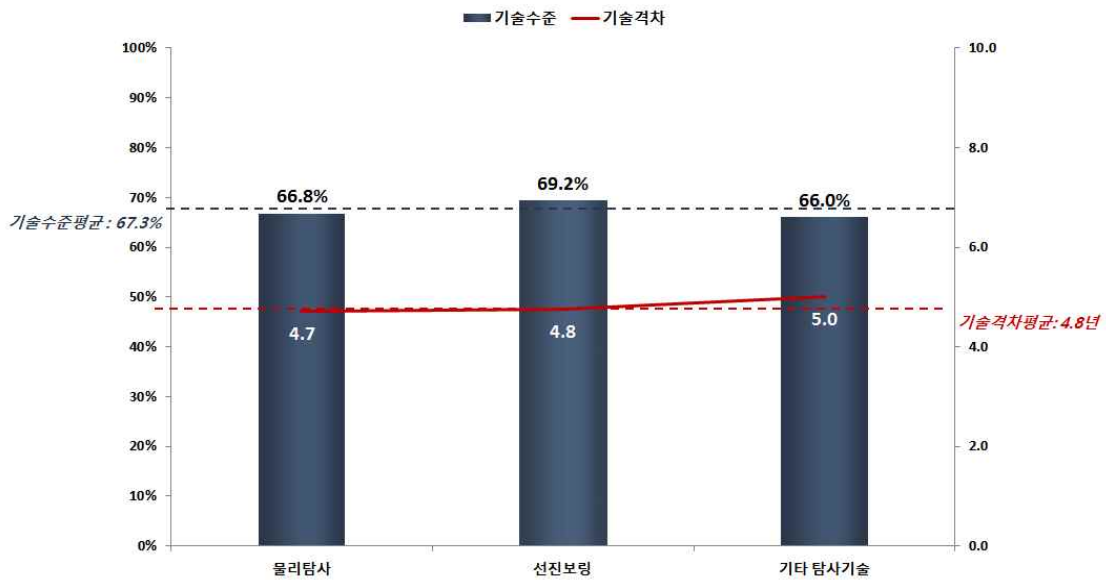
- TBM 굴착도구 분야의 기술격차추세는 전반적으로 축소 추세에 있음
 - 디스크커터, 커터비트 모두 기술격차가 축소 추세에 있음



<TBM 굴착도구분야 소분류별 기술격차 추세>

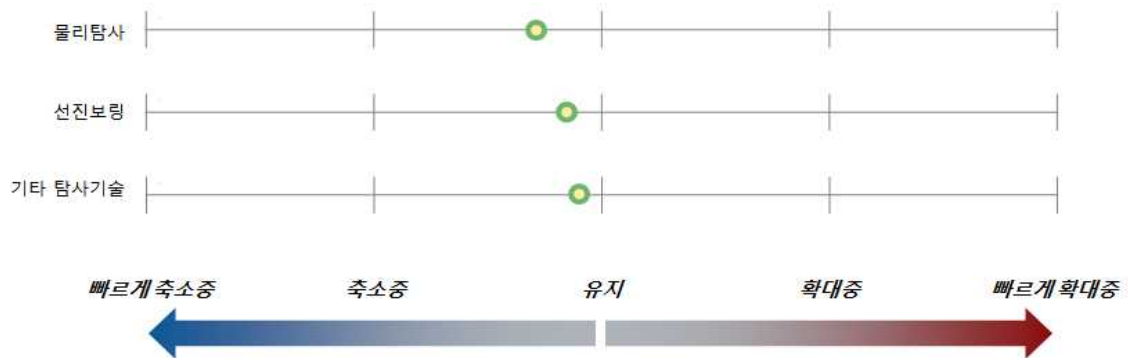
(마) TBM 전방탐사 기술

- 국내 TBM 전방탐사 기술의 전체 기술수준은 67.3%이며, 평균기술격차는 4.8년임
 - 선진보링(69.2%)분야의 기술수준이 상대적으로 높고, 물리탐사(66.8%), 기타 탐사기술(66.0%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - 물리탐사(4.7년)의 기술격차가 가장 적으며, 기타 탐사기술(5.0년)의 기술격차가 상대적으로 큼



<TBM 전방탐사 기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차>

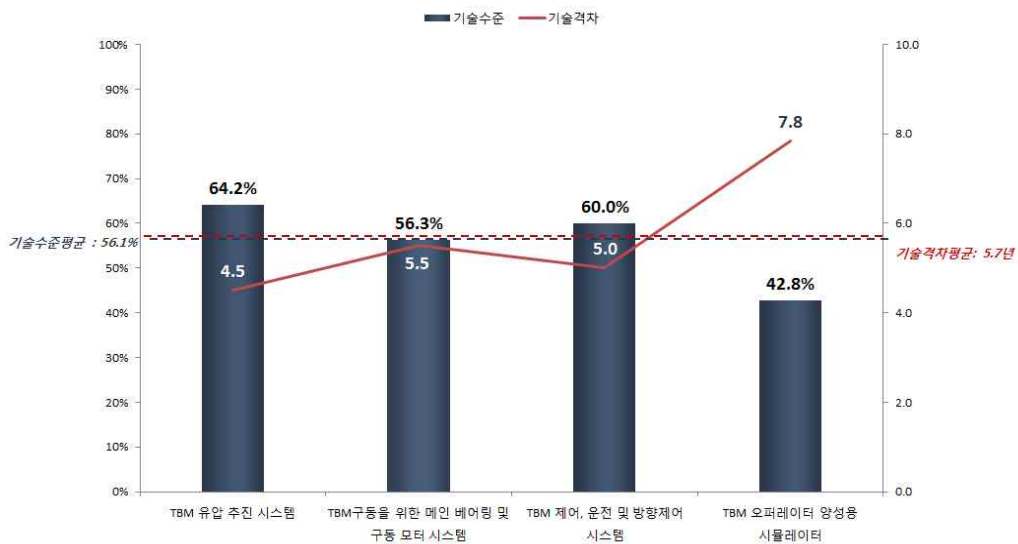
- 국내 TBM 전방탐사 기술 분야의 기술격차 추세는 전반적으로 축소 추세에 있음
 - 물리탐사, 선진보링, 기타 탐사기술 분야는 기술격차가 축소 추세에 있음



<TBM 전방탐사 기술분야 소분류별 기술격차 추세>

(2) TBM 추진·운영 시스템

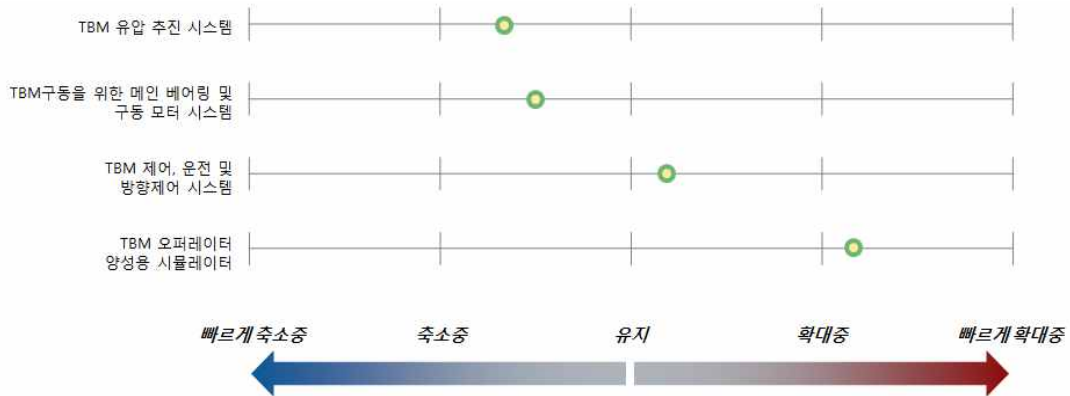
- 국내 TBM 추진·운영 시스템의 전체 기술수준은 56.1%이며, 평균기술격차는 5.7년임
 - TBM 유압 추진 시스템(64.2%)와 TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템 분야(60.0%)의 기술수준이 상대적으로 높고, TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터 분야(42.8%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - TBM 유압 추진 시스템분야(4.5년)의 기술격차가 가장 적으며, TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터 분야(7.8년)의 기술격차가 상대적으로 큼



<TBM 추진·운영 시스템분야 중분류별 기술수준 및 기술격차>

- 국내 중·대단면 TBM기술의 기술격차의 기술격차추세는 기술분야에 따라 차이가 있음
 - TBM 유압 추진 시스템, TBM구동을 위한 메인 베어링 및 구동 모터 시스템 분야는 기술격차가 축소 추세에 있음

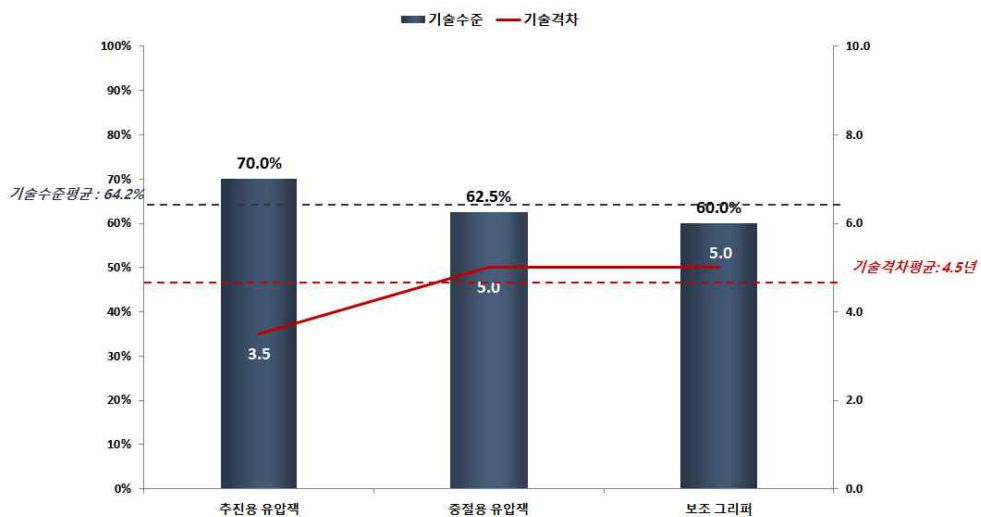
- TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템분야는 기술격차가 확대중에 있으며, TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터분야는 기술격차가 빠르게 확대중임



[그림 111] TBM 추진·운영 시스템분야 중분류별 기술격차 추세

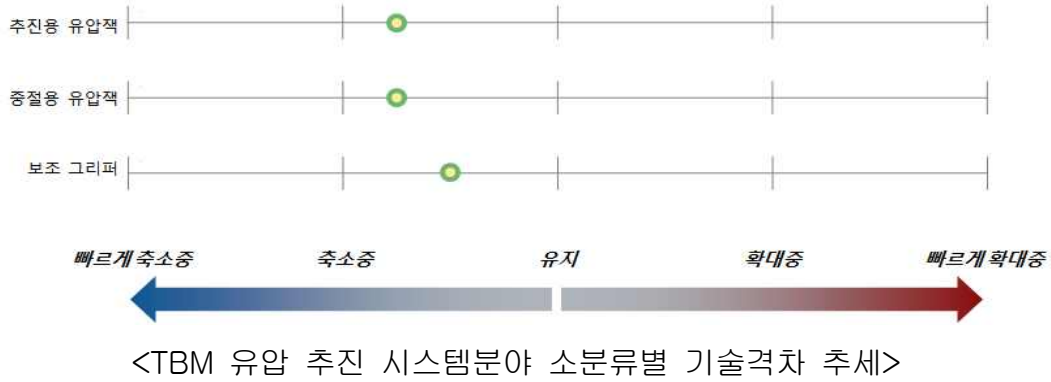
(가) TBM 유압 추진 시스템

- 국내 TBM 유압 추진 시스템의 전체 기술수준은 64.2%이며, 평균기술격차는 4.5년임
 - 추진용 유압잭(70.0%)분야의 기술수준이 상대적으로 높고, 중절용 유압잭(62.5%), 보조 그리퍼(60.0%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - 추진용 유압잭(3.5년)의 기술격차가 가장 적으며, 중절용 유압잭(5.0년), 보조 그리퍼(5.0년)의 기술격차가 상대적으로 큼



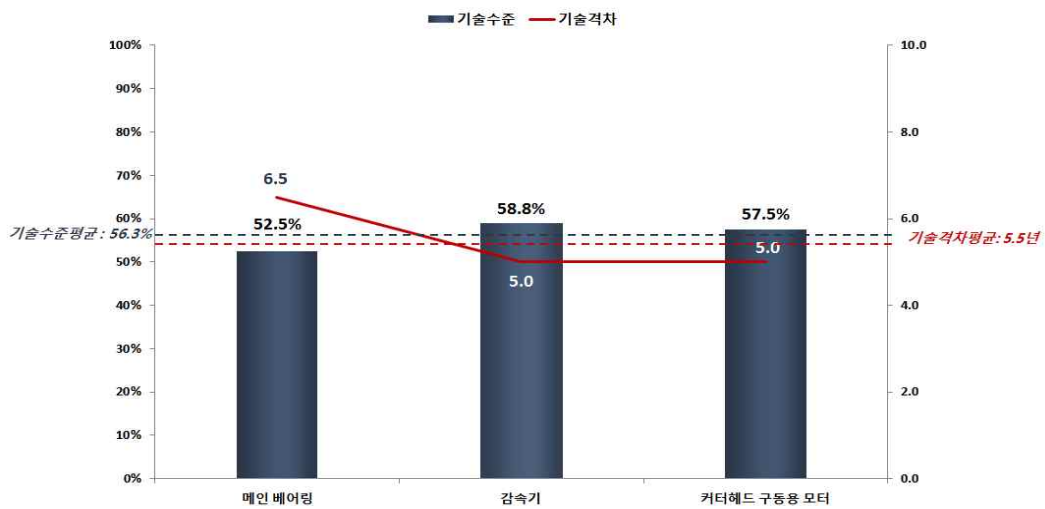
<TBM 유압 추진 시스템분야 소분류별 기술수준 및 기술격차>

- 국내 TBM 유압 추진 시스템 분야의 기술격차 추세는 전반적으로 축소추세에 있음
 - 추진용 유압잭, 중절용 유압잭, 보조 그리퍼 분야의 기술격차가 축소 추세에 있음



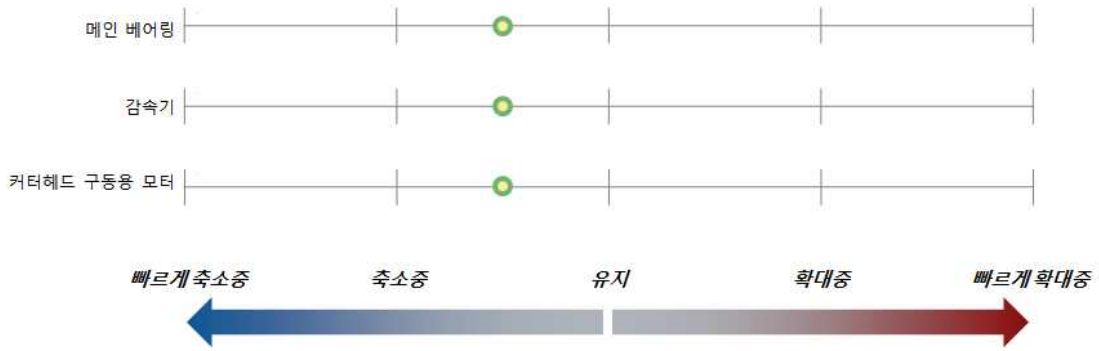
(나) TBM구동을 위한 메인베어링 및 구동 모터 시스템

- 국내 TBM구동을 위한 메인 베어링 및 구동 모터 시스템의 전체 기술수준은 56.3%이며, 평균기술격차는 5.5년임
 - 감속기(58.8%), 커터헤드 구동용 모터(57.5%)분야의 기술수준이 상대적으로 높고, 메인 베어링(52.5%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - 감속기(5.0년), 커터헤드 구동용 모터(5.0년)의 기술격차가 적으며, 메인 베어링(6.5년)의 기술격차가 상대적으로 큼



<TBM구동을 위한 메인베어링 및 구동 모터 시스템분야 소분류별 기술수준 및 기술격차>

- 국내 TBM구동을 위한 메인 베어링 및 구동 모터 시스템분야의 기술격차 추세는 전반적으로 축소 추세에 있으며, 기술에 따라 차이가 존재
 - 메인 베어링, 감속기, 커터헤드 구동용 모터의 기술격차는 축소 추세에 있음



<TBM구동을 위한 메인베어링 및 구동 모터 시스템분야 소분류별 기술격차 추세>

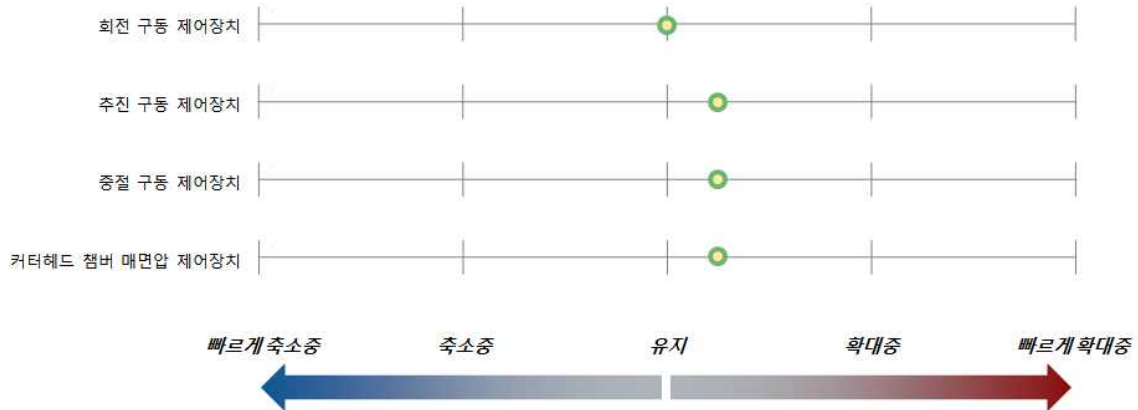
(다) TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템

- 국내 TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템의 전체 기술수준은 60.0%이며, 평균기술격차는 5.0년임
 - 국내 TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템의 하위기술 모두 기술수준은 60.0%로 동일하며, 기술격차의 경우도 5.0년으로 동일함



<TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템분야 소분류별 기술수준 및 기술격차>

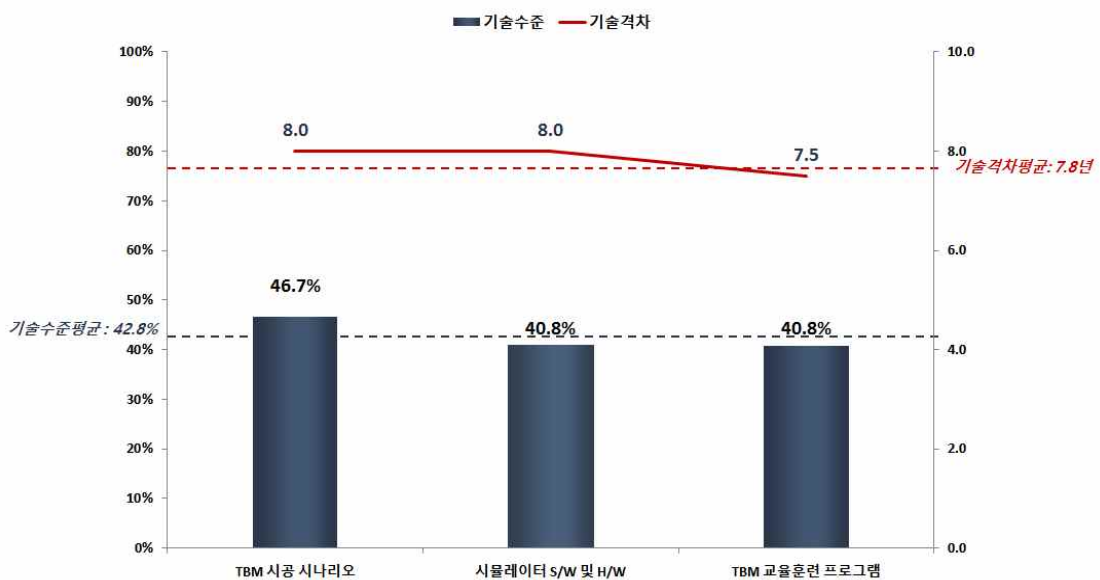
- 국내 TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템 분야의 기술추세격차는 회전 구동 제어장치를 제외하고 전반적으로 확대추세에 있음
 - 회전 구동 제어장치는 기술격차가 유지되고 있음
 - 추진 구동 제어장치, 중절 구동 제어장치, 커터헤드 챔버 배면압 제어장치는 기술격차가 확대중임



<TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템분야 소분류별 기술격차 추세>

(라) TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터

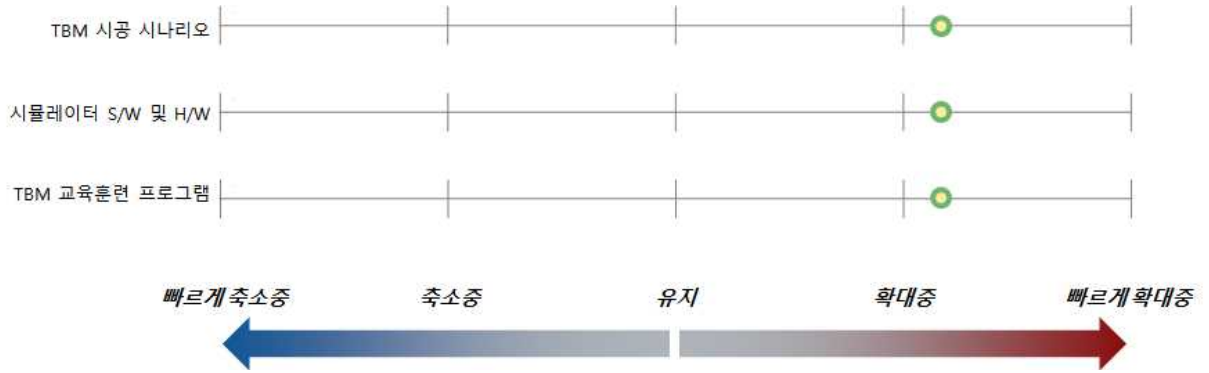
- 국내 TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터의 전체 기술수준은 42.8%이며, 평균 기술격차는 7.8년임
 - TBM 시공 시나리오(46.7%)분야의 기술수준이 상대적으로 높고, 시뮬레이터 S/W 및 H/W(40.8%), TBM 교육훈련 프로그램(40.8%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - TBM 교육훈련 프로그램(7.5년)의 기술격차가 가장 적으며, TBM 시공 시나리오(8.0년), 시뮬레이터 S/W 및 H/W(8.0년)의 기술격차가 상대적으로 큼



<TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터분야 소분류별 기술수준 및 기술격차>

- 국내 TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터의 기술격차추세는 빠르게 확대중에 있음

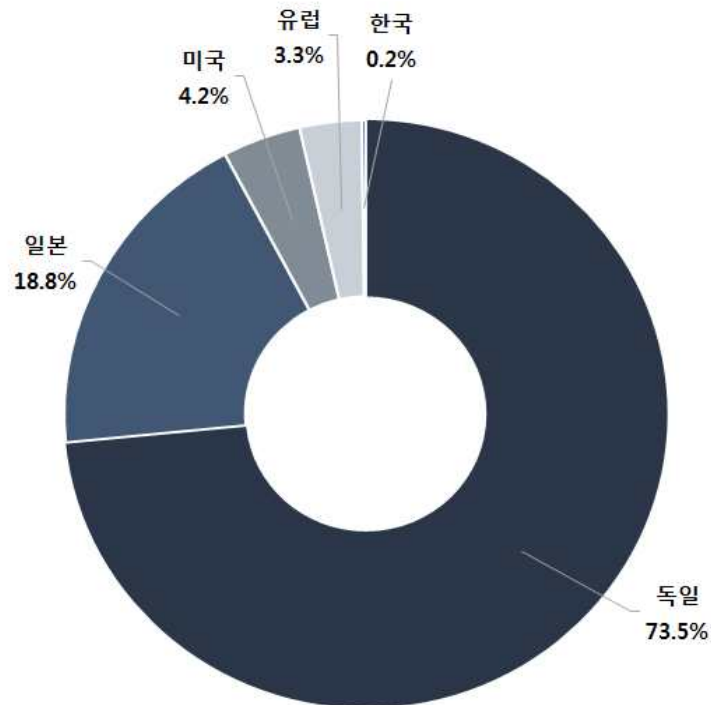
- TBM 시공 시나리오, 시뮬레이터 S/W 및 H/W, TBM 교육훈련 프로그램의 기술격차는 빠르게 확대중임



<TBM 오퍼레이터 양성을 시뮬레이터분야 소분류별 기술격차 추세>

2. 최고기술보유국

- 중·대단면 TBM기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 독일이 가장 많은 최고 기술을 보유한 것으로 나타남
 - 독일 73.5%, 일본 18.8%, 미국 4.2%, 유럽 3.3%, 한국 0.2%순으로 최고 기술을 보유한 것으로 나타남

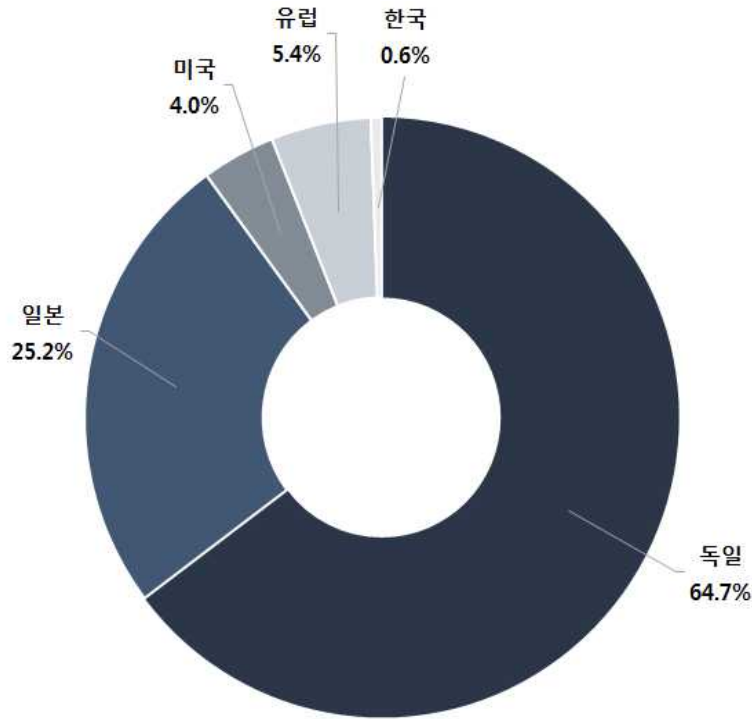


<중·대단면 TBM기술의 최고기술보유국 비중>

* 유럽은 독일을 제외한 국가 합계

(1) TBM후드부의 설계·제작 기술

- TBM후드부의 설계·제작 기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 독일이 가장 많은 최고 기술을 보유한 것으로 나타남
 - 독일 64.7%, 일본 25.2%, 유럽 5.4%, 미국 4.0%, 한국 0.6%순으로 최고 기술을 보유한 것으로 나타남



<TBM후드부의 설계·제작 기술분야 최고기술보유국 비중>

* 유럽은 독일을 제외한 국가 합계

<TBM후드부의 설계·제작기술분야 소분류별 최고기술 보유국 비중>

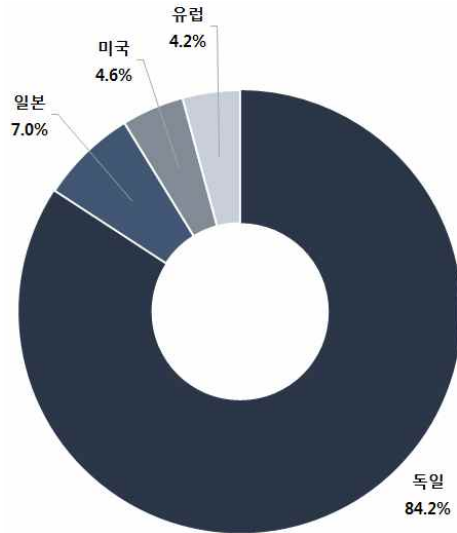
대분류	중분류	소분류	최고기술보유국(비중)				
			한국	유럽	독일	미국	일본
TBM 후드부의 설계·제작 기술	중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작 기술	중·대단면 커터헤드 설계기술	0.0%	0.0%	75.0%	6.3%	18.8%
		중·대단면 커터헤드 제작기술	0.0%	0.0%	85.7%	0.0%	14.3%
	토압식 굴진면 안정화 시스템	스크루 컨베이어	0.0%	0.0%	64.3%	0.0%	35.7%
		벨트 컨베이어	0.0%	0.0%	60.0%	6.7%	33.3%
		커터헤드 챔버	0.0%	0.0%	66.7%	0.0%	33.3%
		굴착토 처리기술	0.0%	8.3%	58.3%	0.0%	33.3%
	이수식 굴진면 안정화 시스템	송니관 및 배니관	0.0%	0.0%	73.3%	0.0%	26.7%
		이수처리 플랜트	0.0%	7.1%	64.3%	0.0%	28.6%
	TBM 굴착도구	디스크 커터	0.0%	0.0%	86.7%	13.3%	0.0%
		커터비트	0.0%	7.7%	61.5%	0.0%	30.8%
	TBM 전방탐사 기술	물리탐사	7.7%	15.4%	53.8%	0.0%	23.1%
		선진보링	0.0%	23.1%	46.2%	7.7%	23.1%
		기타 탐사기술	0.0%	9.1%	45.5%	18.2%	27.3%
	평균			0.6%	5.4%	64.7%	4.0%

* 유럽은 독일을 제외한 국가 합계

(2) TBM 추진·운영 시스템

◦ TBM 추진·운영 시스템의 최고기술보유국을 조사한 결과 독일이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남

- 독일 84.2%, 일본 7.0%, 미국 4.6%, 유럽 4.2%순으로 최고 기술을 보유한 것으로 나타남



<TBM 추진·운영 시스템분야 최고기술보유국 비중>

* 유럽은 독일을 제외한 국가 합계

<TBM 추진·운영 시스템분야 소분류별 최고기술 보유국 비중>

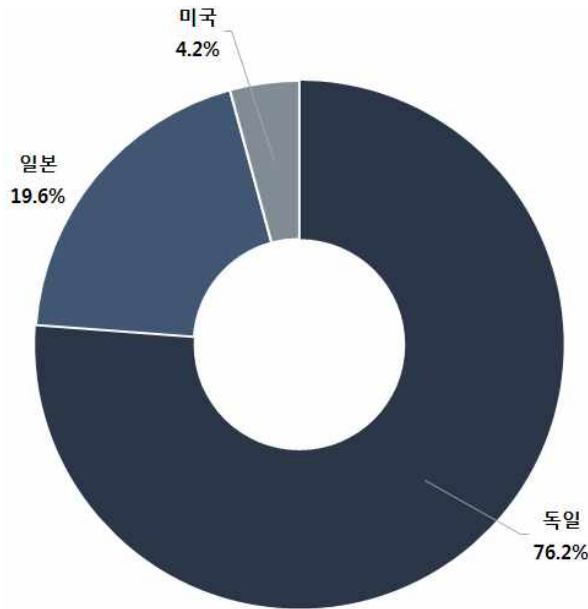
대분류	중분류	소분류	최고기술보유국(비중)					
			한국	유럽	독일	미국	일본	
TBM 추진·운 영 시스템	TBM 유압 추진 시스템	추진용 유압잭	0.0%	0.0%	87.5%	12.5%	0.0%	
		중절용 유압잭	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	
		보조 그리퍼	0.0%	0.0%	71.4%	28.6%	0.0%	
	TBM 구동을 위한 메인 베어링 및 구동 모터 시스템	메인 베어링	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	
		감속기	0.0%	0.0%	85.7%	0.0%	14.3%	
		커터헤드 구동용 모터	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	
	TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템	회전 구동 제어장치	0.0%	0.0%	87.5%	0.0%	12.5%	
		추진 구동 제어장치	0.0%	0.0%	87.5%	0.0%	12.5%	
		중절 구동 제어장치	0.0%	0.0%	87.5%	0.0%	12.5%	
		커터헤드 챔버 배면압 제어장치	0.0%	0.0%	87.5%	0.0%	12.5%	
	TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터	TBM 시공 시나리오	0.0%	18.2%	63.6%	9.1%	9.1%	
		시뮬레이터 S/W 및 H/W	0.0%	18.2%	63.6%	9.1%	9.1%	
		TBM 교육훈련 프로그램	0.0%	18.2%	72.7%	0.0%	9.1%	
	평균			0.0%	4.2%	84.2%	4.6%	7.0%

* 유럽은 독일을 제외한 국가 합계

(3) 세그먼트 이렉터 및 후방설비기술

◦ 세그먼트 이렉터 및 후방설비기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 독일이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남

- 독일 64.7%, 일본 25.2%, 유럽 5.4%, 미국 4.0%, 한국 0.6%순으로 최고기술을 보유한 것으로 나타남



<세그먼트 이렉터 및 후방설비기술분야 최고기술보유국 비중>

* 유럽은 독일을 제외한 국가 합계

<세그먼트 이렉터 및 후방설비기술분야 소분류별 최고기술 보유국 비중>

대분류	중분류	소분류	최고기술보유국(비중)				
			한국	유럽	독일	미국	일본
세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술	세그먼트 이렉터(erector) 시스템	세그먼트 이렉터	0.0%	0.0%	81.8%	0.0%	18.2%
		이렉터 회전용 모터	0.0%	0.0%	81.8%	0.0%	18.2%
		세그먼트 인양용 유압잭	0.0%	0.0%	81.8%	0.0%	18.2%
		세그먼트 호이스트	0.0%	0.0%	81.8%	0.0%	18.2%
		세그먼트 라이닝	0.0%	0.0%	81.8%	0.0%	18.2%
		라이닝 설치용 유압잭	0.0%	0.0%	81.8%	0.0%	18.2%
	세그먼트 라이닝 뒤채움 주입시스템	주입시스템	0.0%	0.0%	72.7%	0.0%	27.3%
		뒤채움 재료	0.0%	0.0%	70.0%	0.0%	30.0%
	후방설비 시스템 (굴착버력/토사반출외기타)	TBM 제어설비	0.0%	0.0%	72.7%	9.1%	18.2%
		TBM 유압설비	0.0%	0.0%	72.7%	9.1%	18.2%
		TBM 전기설비	0.0%	0.0%	72.7%	9.1%	18.2%
		TBM 윤활설비	0.0%	0.0%	72.7%	9.1%	18.2%
		TBM 공조설비	0.0%	0.0%	72.7%	9.1%	18.2%
		TBM 용수설비	0.0%	0.0%	72.7%	9.1%	18.2%
		TBM 송배니설비	0.0%	0.0%	72.7%	9.1%	18.2%
	평균		0.0%	0.0%	76.2%	4.2%	19.6%

* 유럽은 독일을 제외한 국가 합계

3. 기술기반(인프라) 성숙도

- 국내 중·대단면 TBM기술 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 자체 연구개발 수행이 가능한 수준에 있음
 - 세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술분야 분야는 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남
 - TBM후드부의 설계·제작 기술분야, TBM 추진·운영 시스템분야 분야는 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남



<중·대단면 TBM기술의 대분류별 기술기반 성숙도>

(1) TBM후드부의 설계·제작 기술

- 국내 TBM후드부의 설계·제작기술 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
 - TBM 굴착도구 분야는 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체 연구수행이 가능한 것으로 나타남
 - 중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술, 토압식 굴진면 안정화 시스템, 이수식 굴진면 안정화 시스템, TBM 전방탐사 기술 분야는 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남



<TBM후드부의 설계·제작 기술분야 중분류별 기술기반 성숙도>

(가) 중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술

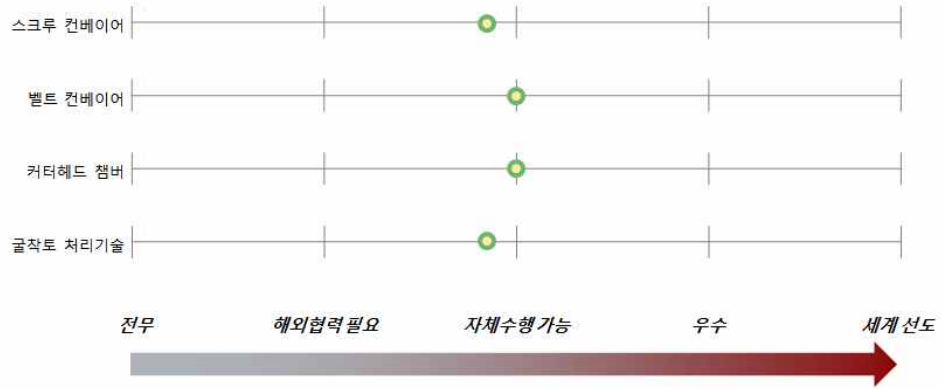
- 국내 중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
 - 중·대단면 커터헤드 설계기술, 중·대단면 커터헤드 제작기술 분야는 자체 연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남



<중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기술분야 소분류별 기술기반 성숙도>

(나) 토압식 굴진면 안정화 시스템

- 국내 토압식 굴진면 안정화 시스템 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
 - 스크루 컨베이어, 벨트 컨베이어, 커터헤드 챔버, 굴착도구 처리기술 분야는 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남



<토압식 굴진면 안정화 시스템분야 소분류별 기술기반 성숙도>

(다) 이수식 굴진면 안정화 시스템

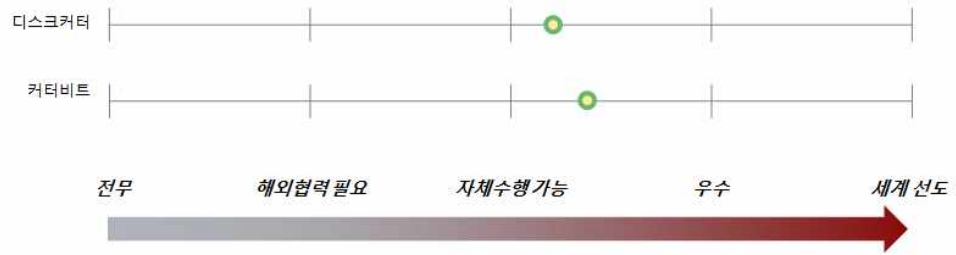
- 국내 이수식 굴진면 안정화 시스템 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
 - 송니관 및 배니관, 이수처리 플랜트 분야는 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남



<이수식 굴진면 안정화 시스템 분야 소분류별 기술기반 성숙도>

(라) TBM 굴착도구

- 국내 TBM 굴착도구 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남
 - 커터비트 분야는 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남
 - 디스크커터 분야는 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남



<TBM 굴착도구분야 소분류별 기술기반 성숙도>

(마) TBM 전방탐사 기술

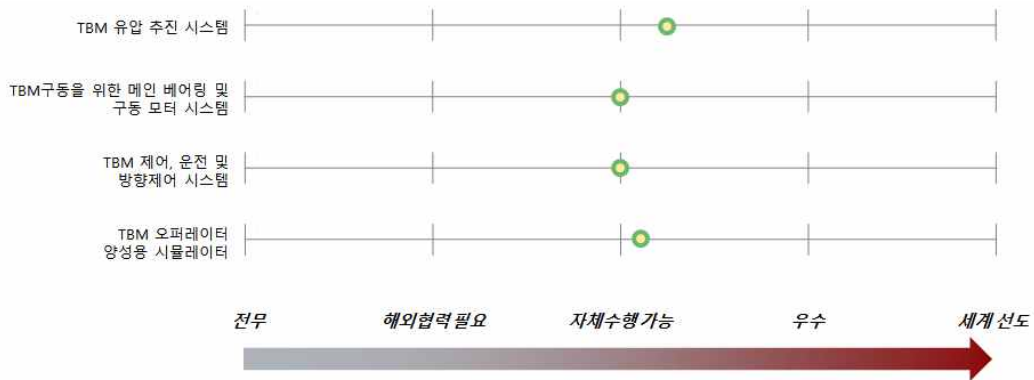
- 국내 TBM 전방탐사 기술 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 자체 연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
 - 물리탐사, 선진보링, 기타 탐사기술 분야는 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남



<TBM 전방탐사 기술분야 소분류별 기술기반 성숙도>

(2) TBM 추진·운영 시스템

- 국내 000 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
 - TBM 유압 추진 시스템 분야는 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남
 - TBM구동을 위한 메인 베어링 및 구동 모터 시스템, TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템, TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터 분야는 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남



<TBM 추진·운영 시스템분야 중분류별 기술기반 성숙도>

(가) TBM 유압 추진 시스템

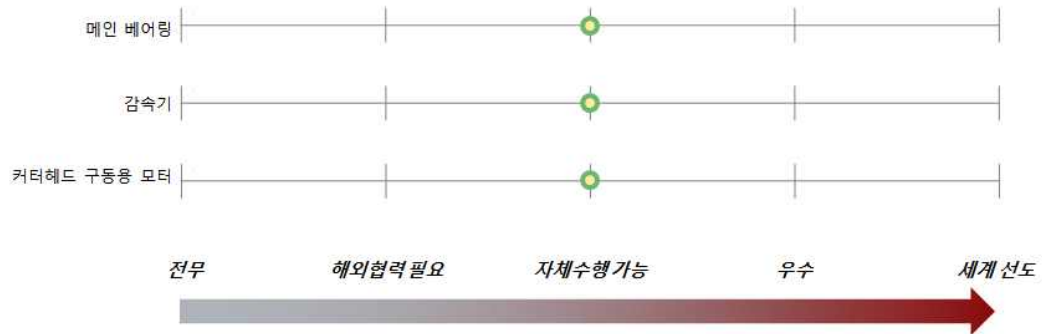
- 국내 TBM 유압 추진 시스템 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남
 - 추진용 유압잭, 중절용 유압잭, 보조 그리퍼 분야는 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남



<TBM 유압 추진 시스템분야 소분류별 기술기반 성숙도>

(나) TBM구동을 위한 메인베어링 및 구동 모터 시스템

- 국내 TBM구동을 위한 메인베어링 및 구동 모터 시스템 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
 - 메인 베어링, 감속기, 커터헤드 구동용 모터 분야는 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남



<TBM구동을 위한 메인베어링 및 구동 모터 시스템분야 소분류별 기술기반 성숙도>

(다) TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템

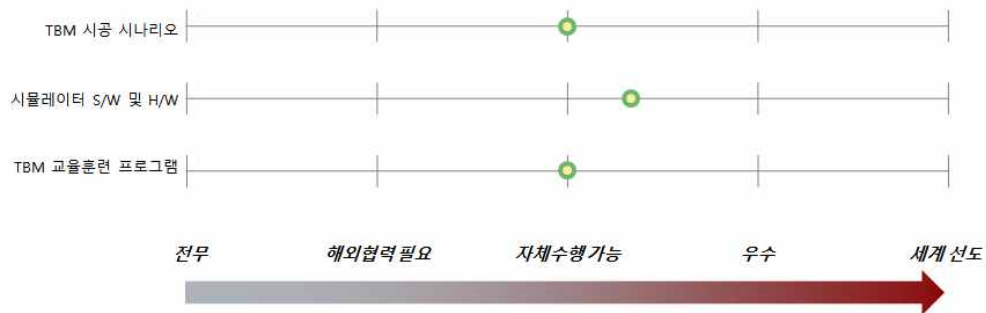
- 국내 TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
 - 회전 구동 제어장치, 추진 구동 제어장치, 종절 구동 제어장치, 커터헤드 챔버 배면압 제어장치 분야는 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남



<TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템분야 소분류별 기술기반 성숙도>

(라) TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터

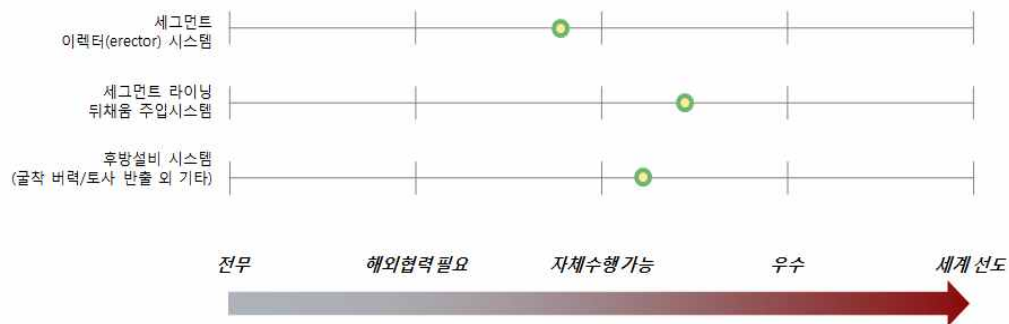
- 국내 TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
 - 시뮬레이터 S/W 및 H/W 분야는 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남
 - TBM 시공 시나리오, TBM 교육훈련 프로그램 분야는 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남



<TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터분야 소분류별 기술기반 성숙도>

(3) 세그먼트 이렉터 및 후방설비기술

- 국내 000 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 세그먼트 이렉터(erecator) 시스템을 제외하고 전반적으로 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
 - 세그먼트 라이닝 뒤채움 주입시스템 분야는 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남
 - 후방설비 시스템 분야는 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
 - 세그먼트 이렉터(erecator) 시스템 분야는 상대적으로 국내 인프라가 미흡하여 일부 연구는 해외협력이 필요한 것으로 나타남



<세그먼트 이렉터 및 후방설비기술분야 중분류별 기술기반 성숙도>

(가) 세그먼트 이렉터 시스템

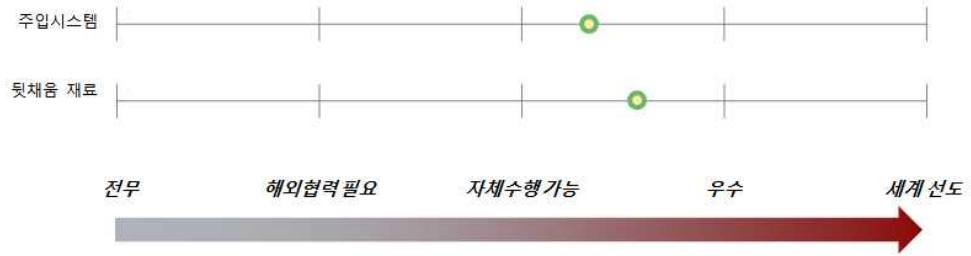
- 국내 세그먼트 이렉터 시스템 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 자체연구개발 수행이 가능하나 상대적으로 국내 인프라가 미흡하여 일부 연구는 해외협력이 필요한 것으로 나타남
 - 이렉터 회전용 모터, 세그먼트 인양용 유압잭, 세그먼트 호이스트, 라이닝 설치용 유압잭 분야는 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
 - 세그먼트 이렉터, 세그먼트 진원 유지장치 분야는 상대적으로 국내 인프라가 미흡하여 일부 연구는 해외협력이 필요한 것으로 나타남



<세그먼트 이렉터 시스템분야 소분류별 기술기반 성숙도>

(나) 세그먼트 라이닝 뒤택움 주입시스템

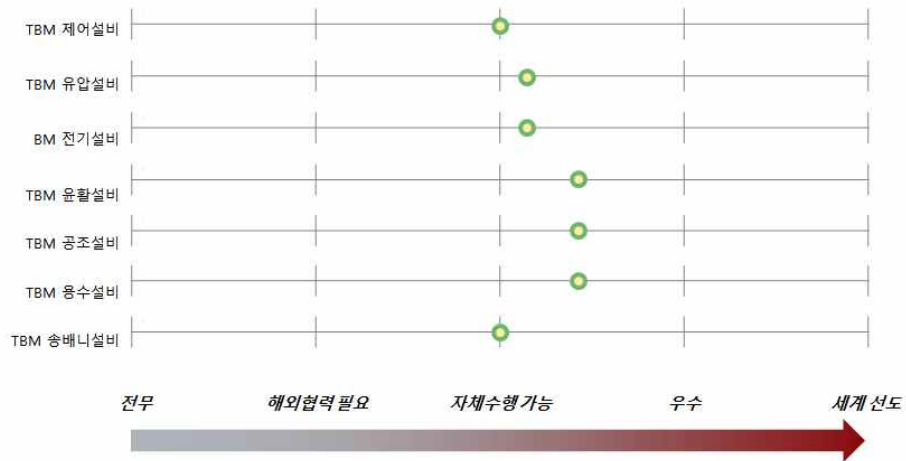
- 국내 세그먼트 라이닝 뒤택움 주입시스템 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남
 - 주입시스템, 뒤택움 재료 분야는 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남



<세그먼트 라이닝 뒤채움 주입시스템분야 소분류별 기술기반 성숙도>

(다) 후방설비 시스템

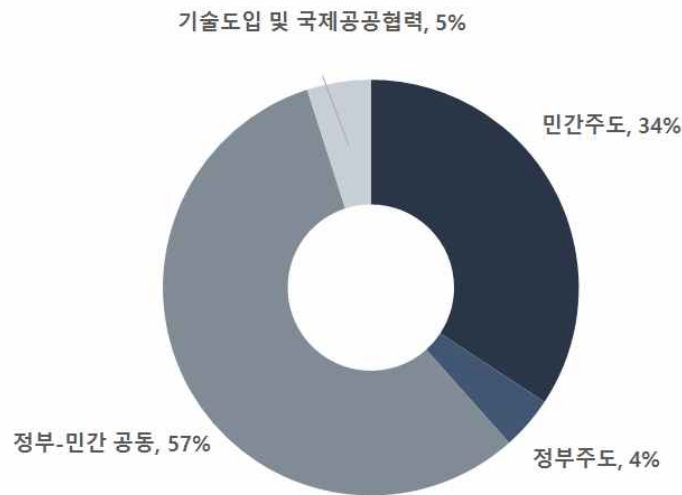
- 국내 후방설비 시스템 분야의 기술기반(인프라) 성숙도는 전반적으로 자체연구 개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
 - TBM 윤활설비, TBM 공조설비, TBM 용수설비 분야는 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남
 - TBM 제어설비, TBM 유압설비, TBM 전기설비, TBM 송배니설비 분야는 자체연구개발 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남



<후방설비 시스템분야 소분류별 기술기반 성숙도>

4. 기술획득 방식

- 중·대단면 TBM 국산화기술의 기술획득 방식은 대체적으로 정부-민간 공동 (57%)이 중요성이 높은 것으로 나타남
 - 중·대단면 TBM 국산화기술 모두 정부-민간 공동연구를 통한 기술획득이 중요하며, TBM 추진·운영 시스템분야, 세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술 분야는 정부-민간 공동연구 중요성이 60%이상으로 나타남



<중·대단면 TBM 국산화 기술 기술획득 방식 조사결과>

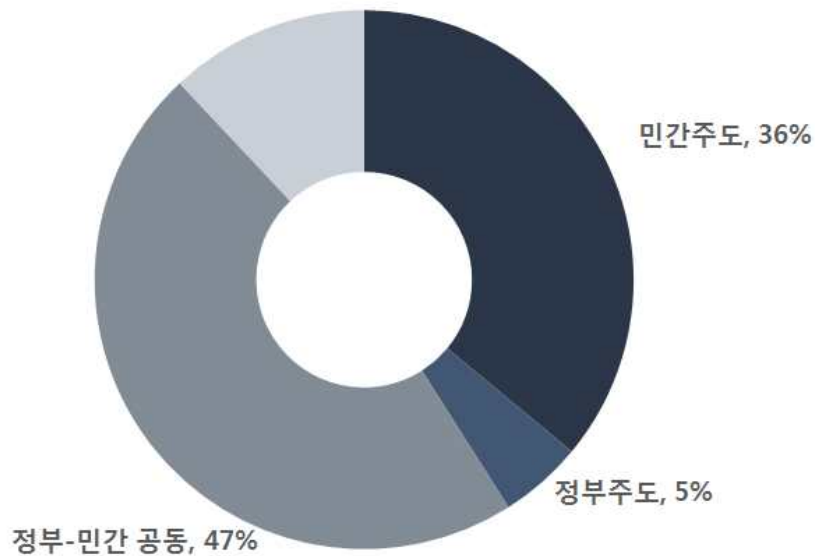
<중·대단면 TBM 국산화 기술 기술획득 방식 조사결과>

분야	대분류	기술획득 방식			
		민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
중·대단면 TBM 국산화 기술	전체	34%	4%	57%	5%
	TBM후드부의 설계·제작 기술분야	36%	5%	47%	12%
	TBM 추진·운영 시스템분야	30%	8%	61%	2%
	세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술분야	37%	1%	61%	1%

(1) TBM후드부의 설계·제작 기술

- TBM후드부의 설계·제작 기술의 기술획득 방식은 정부-민간 공동(47%)가 중요성이 높은 것으로 나타남
 - TBM후드부의 설계·제작 기술 중 중·대단면 커터헤드 설계기술, 중·대단면 커터헤드 제작기술, 스크루 컨베이어, 벨트 컨베이어, 커터헤드 챔버, 송니관 및 배니관, 이수처리 플랜트 기술은 정부-민간 공동연구를 통한 기술획득이 중요한 것으로 나타남
 - 벨트 컨베이어, 굴착토 처리기술, 디스크 커터, 커터비트, 물리탐사, 선진보링, 기타 탐사기술은 민간주도가 중요한 것으로 나타남

기술도입 및 국제공공협력, 12%



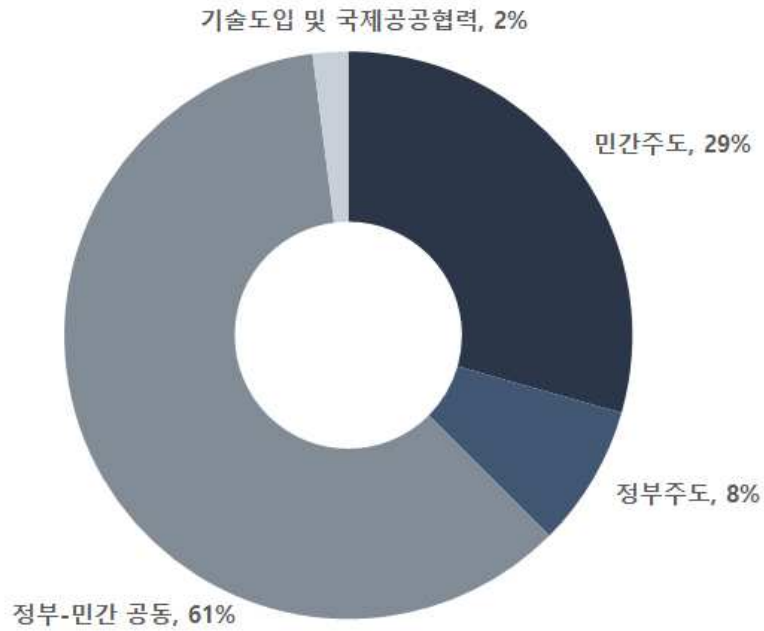
<TBM후드부의 설계·제작 기술분야 기술획득 방식 조사결과>

<TBM후드부의 설계·제작 기술분야 소분류별 기술획득 방식 조사결과>

중분류	소분류	기술획득 방식			
		민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
전체		36%	5%	47%	12%
중·대 단면 TBM 커터헤드 설계·제작 기술	중·대 단면 커터헤드 설계기술	0%	6%	82%	12%
	중·대 단면 커터헤드 제작기술	19%	6%	63%	13%
토압식 굴진면 안정화 시스템	스크루 컨베이어	19%	6%	69%	6%
	벨트 컨베이어	44%	6%	44%	6%
	커터헤드 챔버	31%	6%	56%	6%
	굴착토 처리기술	44%	6%	38%	13%
이수식 굴진면 안정화 시스템	송니관 및 배니관	38%	0%	44%	19%
	이수처리 플랜트	31%	0%	44%	25%
TBM 굴착도구	디스크 커터	47%	0%	41%	12%
	커터비트	47%	0%	47%	6%
TBM 전방탐사 기술	물리탐사	42%	11%	37%	11%
	선진보링	53%	6%	24%	18%
	기타 탐사기술	53%	7%	27%	13%

(2) TBM 추진·운영 시스템

- TBM 추진·운영 시스템의 기술획득 방식은 대부분 정부-민간 공동(61%)가 중요성이 높은 것으로 나타남
 - TBM 추진·운영 시스템 모든 소분류 기술은 정부-민간 공동연구를 통한 기술획득이 중요한 것으로 나타남
 - 메인 베어링, 커터헤드 구동용 모터기술은 정부-민간 공동연구 외에도 민간주도가 중요한 것으로 나타남



<TBM 추진·운영 시스템분야 기술획득 방식 조사결과>

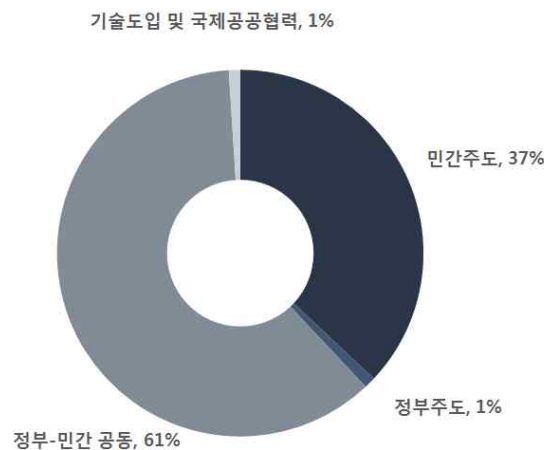
<TBM 추진·운영 시스템분야 소분류별 기술획득 방식 조사결과>

중분류	소분류	기술획득 방식			
		민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
전체		29%	8%	61%	2%
TBM 유압 추진 시스템	추진용 유압잭	38%	0%	63%	0%
	중절용 유압잭	38%	0%	63%	0%
	보조 그리퍼	38%	0%	63%	0%
TBM구동을 위한 메인 베어링 및 구동 모터 시스템	메인 베어링	38%	0%	38%	25%
	감속기	38%	0%	63%	0%
	커터헤드 구동용 모터	50%	0%	50%	0%
TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템	회전 구동 제어장치	38%	0%	63%	0%
	추진 구동 제어장치	38%	0%	63%	0%
	중절 구동 제어장치	38%	0%	63%	0%
	커터헤드 챔버 배면압 제어장치	38%	0%	63%	0%
TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터	TBM 시공 시나리오	0%	33%	67%	0%
	시뮬레이터 S/W 및 H/W	0%	33%	67%	0%
	TBM 교육훈련 프로그램	0%	33%	67%	0%

(3) 세그먼트 이렉터 및 후방설비기술

◦ 세그먼트 이렉터 및 후방설비기술의 기술획득 방식은 정부-민간 공동(47%)가 중요성이 높은 것으로 나타남

- 세그먼트 이렉터 및 후방설비기술의 대부분의 기술은 정부-민간 공동연구를 통한 기술획득이 중요한 것으로 나타났으며 세그먼트 라이닝, TBM 유압설비, TBM 송배니설비 기술은 정부-민간 공동연구 비중이 80%이상으로 나타남
- 뒷채움 재료는 민간주도가 높은 것으로 나타났으며, TBM 송배니설비, 주입 시스템, TBM 윤활설비, TBM 공조설비, TBM 용수설비는 정부-민간 공동 연구 외에도 민간주도가 중요한 것으로 나타남



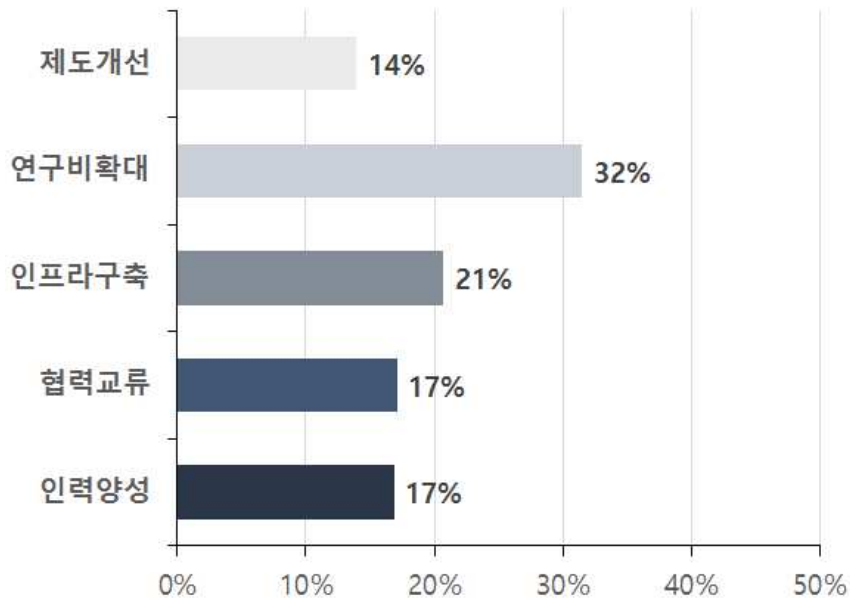
<세그먼트 이렉터 및 후방설비기술분야 기술획득 방식 조사결과>

<세그먼트 이렉터 및 후방설비기술분야 소분류별 기술획득 방식 조사결과>

중분류	소분류	기술획득 방식			
		민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
	전체	37%	1%	61%	1%
세그먼트 이렉터(erector) 시스템	세그먼트 이렉터	20%	0%	70%	10%
	이렉터 회전용 모터	40%	0%	60%	0%
	세그먼트 인양용 유압잭	40%	0%	60%	0%
	세그먼트 호이스트	50%	0%	50%	0%
	세그먼트 라이닝	20%	0%	80%	0%
	라이닝 설치용 유압잭	40%	0%	60%	0%
세그먼트 라이닝 뒷채움 주입시스템	주입시스템	50%	0%	50%	0%
	뒷채움 재료	50%	10%	40%	0%
후방설비 시스템 (굴착 버력/토사 반출 외 기타)	TBM 제어설비	20%	0%	70%	10%
	TBM 유압설비	20%	0%	80%	0%
	TBM 전기설비	30%	0%	70%	0%
	TBM 윤활설비	50%	0%	50%	0%
	TBM 공조설비	50%	0%	50%	0%
	TBM 용수설비	50%	0%	50%	0%
	TBM 송배니설비	20%	0%	80%	0%

5. 정부우선 시행방안

- 전·대단면 TBM 국산화 기술분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
 - 3개 분야 공통적으로 연구비확대가 가장 시급한 것으로 나타났으며, 다음으로 인프라 구축이 필요한 것으로 나타남



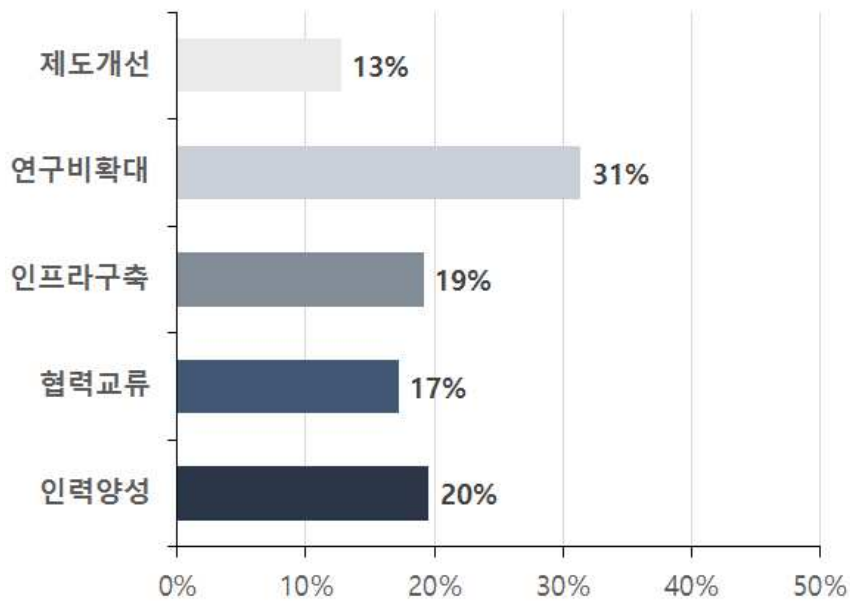
<중·대단면 TBM 국산화기술 정부우선 시행방안 조사결과>

<중·대단면 TBM 국산화기술 대분류별 정부우선 시행방안 조사결과>

분야	대분류	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
중·대단면 TBM 국산화 기술	전체	17%	17%	21%	32%	14%
	TBM후드부의 설계·제작 기술	20%	17%	19%	31%	13%
	TBM 추진·운영 시스템	17%	18%	20%	30%	16%
	세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술	14%	17%	23%	33%	13%

(1) TBM후드부의 설계·제작 기술

- TBM후드부의 설계·제작 기술 분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
 - TBM후드부의 설계·제작 기술의 대부분이 연구비확대가 가장 시급한 것으로 나타났음
 - 벨트 컨베이어 기술은 인프라구축이 시급하고, 물리탐사, 선진보링 기술은 인력양성이 시급한 것으로 나타남



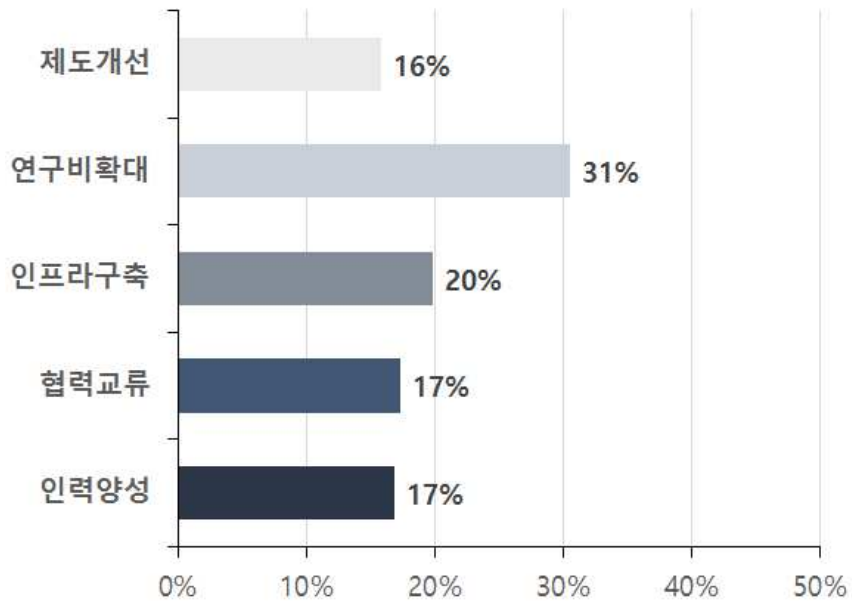
<TBM후드부의 설계·제작 기술분야 정부우선 시행방안 조사결과>

<TBM후드부의 설계·제작 기술분야 소분류별 정부우선 시행방안 조사결과>

중분류	소분류	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
전체		20%	17%	19%	31%	13%
중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작기 술	중·대단면 커터헤드 설계기술	22%	13%	17%	35%	13%
	중·대단면 커터헤드 제작기술	17%	15%	19%	36%	14%
토압식 굴진면 안정화 시스템	스크루 컨베이어	20%	21%	17%	29%	13%
	벨트 컨베이어	21%	15%	25%	25%	13%
	커터헤드 챔버	20%	23%	18%	28%	11%
	굴착토 처리기술	21%	15%	15%	34%	14%
이수식 굴진면 안정화 시스템	송니관 및 배니관	20%	23%	18%	28%	11%
	이수처리 플랜트	15%	21%	19%	33%	12%
TBM 굴착도구	디스크 커터	15%	16%	22%	35%	12%
	커터비트	14%	15%	23%	35%	13%
TBM 전방탐사 기술	물리탐사	29%	15%	15%	27%	14%
	선진보링	28%	16%	16%	27%	13%
	기타 탐사기술	22%	17%	24%	25%	12%

(2) TBM 추진·운영 시스템

- TBM 추진·운영 시스템의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
 - TBM 추진·운영 시스템의 대부분이 연구비확대가 가장 시급한 것으로 나타났음
 - 메인 베어링 기술은 협력교류 활성화가 시급하고, TBM 교육훈련 프로그램은 인력양성이 시급한 것으로 나타남



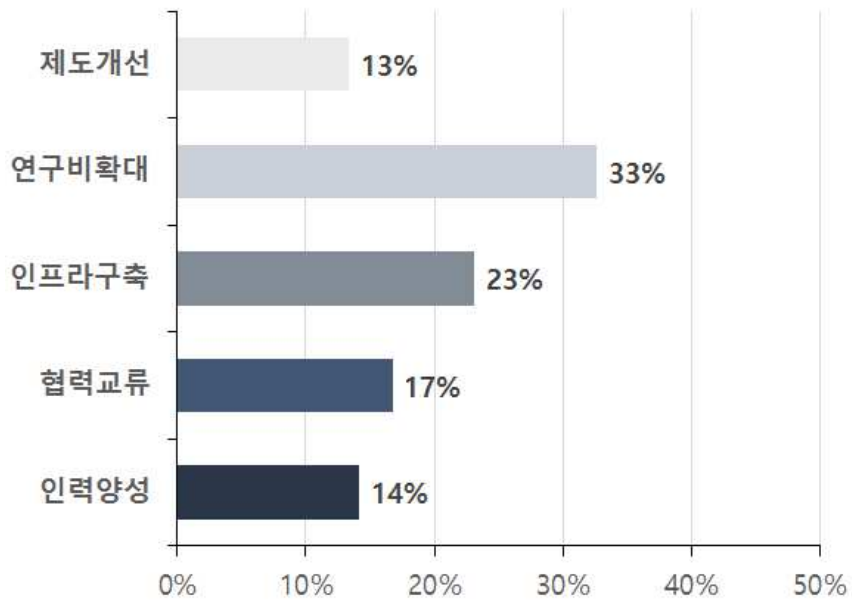
<TB4M 추진·운영 시스템분야 정부우선 시행방안 조사결과>

<TBM 추진·운영 시스템분야 소분류별 정부우선 시행방안 조사결과>

중분류	소분류	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
전체		17%	18%	20%	30%	16%
TBM 유압 추진 시스템	추진용 유압잭	13%	17%	25%	29%	16%
	중절용 유압잭	13%	17%	25%	29%	16%
	보조 그리퍼	13%	17%	25%	29%	16%
TBM구동을 위한 메인 베어링 및 구동 모터 시스템	메인 베어링	13%	27%	19%	26%	15%
	감속기	13%	17%	24%	30%	16%
	커터헤드 구동용 모터	13%	17%	23%	28%	18%
TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템	회전 구동 제어장치	18%	20%	18%	29%	15%
	추진 구동 제어장치	18%	20%	18%	29%	15%
	중절 구동 제어장치	18%	20%	18%	29%	15%
	커터헤드 챔버 배면압 제어장치	18%	19%	18%	29%	15%
TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터	TBM 시공 시나리오	18%	11%	14%	43%	17%
	시뮬레이터 S/W 및 H/W	18%	14%	16%	39%	15%
	TBM 교육훈련 프로그램	35%	11%	14%	27%	15%

(3) 세그먼트 이렉터 및 후방설비기술

- 세그먼트 이렉터 및 후방설비기술 분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
 - 세그먼트 이렉터 및 후방설비기술분야의 모두가 연구비확대가 가장 시급한 것으로 나타났음



<세그먼트 이렉터 및 후방설비기술분야 정부우선 시행방안 조사결과>

<세그먼트 이렉터 및 후방설비기술분야 소분류별 정부우선 시행방안 조사결과>

중분류	소분류	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
	전체	14%	17%	23%	33%	13%
세그먼트 이렉터(erec tor) 시스템	세그먼트 이렉터	16%	13%	25%	34%	12%
	이렉터 회전용 모터	14%	17%	23%	31%	15%
	세그먼트 인양용 유압잭	14%	15%	25%	31%	15%
	세그먼트 호이스트	12%	15%	25%	32%	15%
	세그먼트 라이닝	13%	14%	25%	35%	12%
	라이닝 설치용 유압잭	14%	15%	24%	32%	14%
세그먼트 라이닝 뒤채움 주입시스템	주입시스템	13%	18%	23%	32%	14%
	뒤채움 재료	14%	17%	23%	30%	15%
후방설비 시스템 (굴착 버력 /토사 반출 외 기타)	TBM 제어설비	19%	14%	23%	33%	10%
	TBM 유압설비	15%	16%	22%	37%	10%
	TBM 전기설비	16%	17%	22%	36%	11%
	TBM 윤활설비	16%	18%	21%	32%	13%
	TBM 공조설비	13%	20%	21%	32%	13%
	TBM 용수설비	13%	21%	21%	32%	12%
	TBM 송배니설비	14%	17%	23%	37%	10%

4장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. SWOT / Issue-Tree 분석

1. SWOT 분석

- SWOT분석을 통해 동향분석 시사점을 내부환경요인 및 외부환경요인으로 정리하고, 포지션별 전략을 도출함
 - SWOT분석은 기획 연구진 브레인스토밍을 통해 작성함

(1) 강점(Strength) 및 약점(Weakness) 분석방법

- 타 국가 및 조직과 비교하여 상대적으로 우수하거나 부족한 부분을 제시하였음
 - 강점 및 약점은 "2장. 동향 및 환경분석" 결과 중 내부요인을 강점과 약점으로 다시 구분하여 키워드를 작성하는 방법으로 구성하였음
 - 강점 및 약점은 주요 선진·경쟁 국가 및 기관 대비 핵심경쟁력, 노하우, 자원, 전문인력 등의 관점에서 정리하였음

(2) 기회(Opportunity) 및 위협(Threat) 요인 분석방법

- 대외 환경변화로 인하여 새롭게 발생하는 기회요인 및 불안요인 등을 제시하였음
 - 기회 및 위협요인은 "2장. 동향 및 환경분석" 결과 중 외부요인을 기회와 위협요인으로 구분하여 정리하였음
 - 기회 및 위협요인은 국가별 기술의 융합추세, 해외 주요국 대비 정책적 장려정도, 국내외 기술수요 차이, 국가별 시장 성장의 차이, 해외 주요국의 기술개발 전략 등의 관점에서 정리하였음

(3) 포지션별 전략 수립 방법

- 제시된 내부 강점(S) 및 약점(W), 외부 기회(O) 및 위협(T) 요인을 분석하고, SO/WO/ST/WT의 포지션별 전략을 수립하였음
 - SO전략은 강점을 이용하여 기회요인을 활용하는 전략임
 - ST전략은 강점을 이용하여 위협요인을 극복하는 전략임
 - WO전략은 기회를 이용하여 약점을 줄이는 전략임
 - WT전략은 위협과 약점을 최소화하는 전략임

(4) SWOT분석 결과

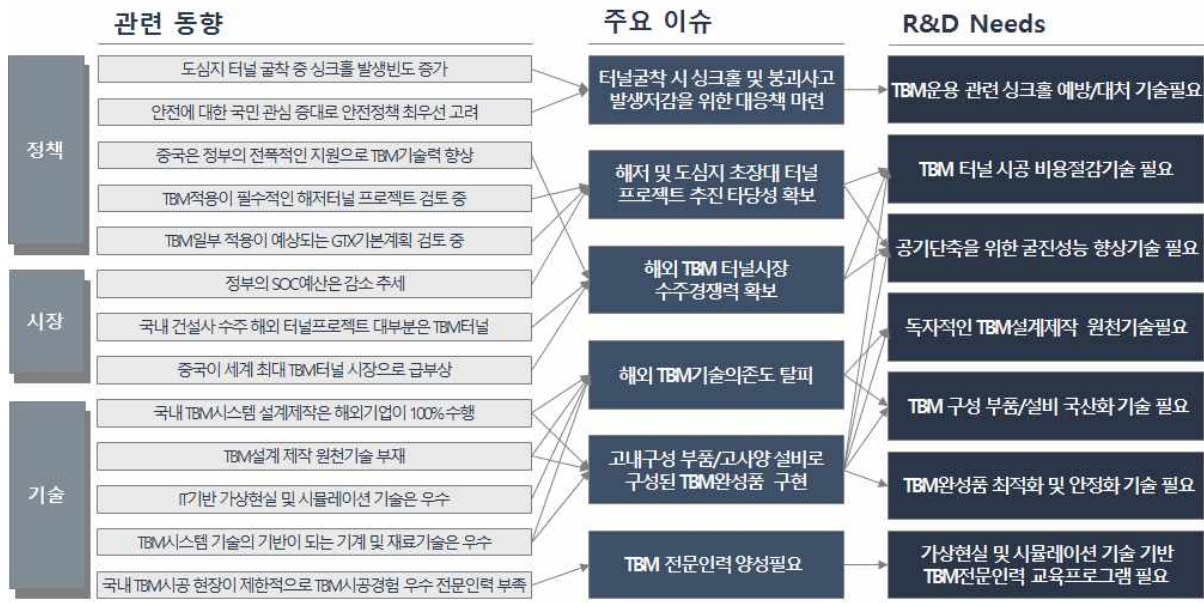
- 내외부 환경분석을 통해 도출한 강점, 약점, 기회, 위협요인 및 이를 기반으로 도출한 SO전략, ST전략, WO전략, WT전략은 아래와 같음

내부 환경 분석	【 강 점(S) 】	【 약 점(W) 】
	<ul style="list-style-type: none"> - IT기반의 가상현실 및 시뮬레이션 기술 우수 - 사물인터넷(IoT) 관련 정부의 전폭적 지원 - 국내 기계·재료 기반 기술수준 우수 - 도심지 소구경 TBM 시공실적 다수 보유(예: 전력구 등) 	<ul style="list-style-type: none"> - TBM 설계·제작 원천기술의 부재 - TBM 핵심부품의 국산화율 저조 - 제한적인 국내 시공실적으로 인해, 우수한 TBM 전문운용인력 부족
외부 환경 분석	【 기 회(O) 】	【 위 험(T) 】
	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 기업의 중동, 동남아 TBM터널 프로젝트 수주 증가 - TBM 관련 초대형 프로젝트들의 구상 및 검토 활발(예: 해저터널, GTX 등) - 기존 개착 또는 발파공사를 대체한 TBM적용 가능 시장 확대 전망(소음진동 및 민원피해 이슈) 	<ul style="list-style-type: none"> - 중국의 공격적인 유럽 TBM제작사 인수합병으로 세계 최대 TBM생산국으로 급부상 - 세계 최대터널시장인 중국의 자국생산 제품 적용가능성 증대 - 중국정부는 TBM개발에 전폭적인 지원 - 선진국은 1950년대부터 수십년간의 TBM 노하우 보유

SO 전략	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 기업 수주 프로젝트 현장대상 우수 IT기술을 기반으로 한 TBM운용기술 확보 - 국내 기업 수주 프로젝트 추진 시점을 고려하여 우수 국내 TBM연관 기술 기반 TBM 국산화 기술 개발 집중수행 	WO 전략	<ul style="list-style-type: none"> - TBM전문운용인력의 국내 기업 수주 프로젝트 현장 투입을 위한 교육시스템 개발 추진 - TBM장비의 국내 기업 수주 프로젝트 현장 투입을 위한 TBM국산화 개발 우선 추진 - 국내 기업 수주 프로젝트 시공 시 발생하는 트러블을 분석하여 독자적인 TBM설계·제작 원천기술 개발
ST 전략	<ul style="list-style-type: none"> - 우수 IT 및 기계·재료 기술을 활용한 고성능 TBM장비 개발로 대량생산 중심의 중국 TBM과 차별화 	WT 전략	<ul style="list-style-type: none"> - 국외 우수 TBM 제작사와 기술협력 추진 - TBM핵심부품을 국산화하여 중국의 대형 TBM생산 기업에 납품 추진 - TBM시스템 개발 및 생산체계 구축을 위한 정부주도의 산·연 TBM개발생태계 조성

2. Issue-Tree 분석

- Issue-Tree분석은 동향분석결과로부터 R&D Needs를 도출하기 위해 수행함
 - Issue-Tree분석은 기획 연구진 브레인스토밍을 통해 작성함
 - 기획연구진 브레인스토밍을 통해 국내외 정책/기술/시장동향 조사결과를 기반으로 관련 키워드를 정리함
 - 개별 키워드는 이슈트리를 통해 체계적으로 세분화하고 주요 이슈를 도출함
 - 기획연구진 브레인스토밍을 통해 이슈를 해결하기 위한 R&D Needs를 도출함
- 동향분석을 기반으로 도출된 주요 이슈 및 이슈해결을 위한 R&D Needs간 연계는 아래와 같음



2절. 국산화 대상 TBM 직경 설정

■ 대단면 TBM의 현황

- 본 기획연구에서는 직경이 14 m 이상인 전 세계 대단면 TBM(Mega TBM)의 현황을 조사하고 분석함
- 대단면 TBM 최초로 제작된 1994년부터 현재까지 제작된 전 세계 대단면 TBM은 아래의 표와 같이 27건에 불과함

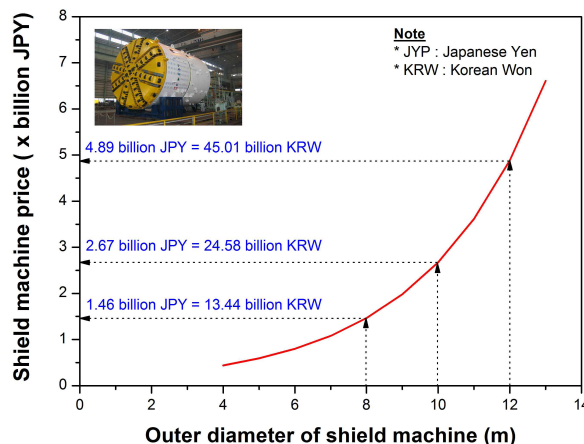
<전 세계 대단면 TBM의 적용 실적 (출처: <http://www.tunneltalk.com>)>

착수 년도	국가	프로젝트명	터널 용도	TBM 제작사	TBM 형식	직경
2015	홍콩	Tuen Mun - Chek Lap Kok subsea highway link*	고속도로	Herrenknecht(독)	Mixshield (1대)	17.6m
2015	중국	Wuhan Metro road/metro river crossing	도로/지하철 겸용	Herrenknecht(독)	Mixshield (2대)	15.76m
2013	중국	Shouxhiou Lake Highway Tunnel	고속도로	Herrenknecht(독)	Mixshield (1대)	14.93m
2013	이탈리아	Caltanissetta highway tunnel, Sicily	고속도로	NFM(프)	-	15.08m
2011	중국	Shanghai West Changjiang Yangtze River Road Tunnel	도로	Herrenknecht(독)	Mixshield (1대)	15.43m
2013	뉴질랜드	Waterview highway connection, Auckland	고속도로	Herrenknecht(독)	토압식 (1대)	14.41m
2011	미국	Alaskan Way highway replacement tunnel	고속도로	Hitachi Zosen(일)	토압식 (1대)	17.48m
2011	중국	Weisan Road Tunnel, Nanjing	도로	IHI(일) Mitsubishi(일)	이수식 (1대) 이수식 (1대)	14.93m
2012	중국	Shanghai Hongmei Road	도로	Herrenknecht(독)	Mixshield (1대)	14.93m
2011	이탈리아	A1 Sparvo highway tunnel	고속도로	Herrenknecht(독)	토압식 (1대)	15.55m
2010	스페인	Seville SE-40 Highway Tunnels	고속도로	NFM(프)	토압식 (2대)	14.00m
2010	중국	Hangzhou Qianjiang Under River Tunnel	고속도로	Herrenknecht(독)	Mixshield (1대)	15.43m
2009 (설계)	러시아	Orlovsky Tunnel, Saint Petersburg (사업 지연)	도로	Herrenknecht(독)	Mixshield (1대)	19.00m
2009	중국	Yingbinsan Road Tunnel, Shanghai	도로	Mitsubishi(일)	토압식 (1대)	14.27m
2008	중국	Nanjing Yangtze River Tunnel	도로	Herrenknecht(독)	Mixshield (2대)	14.93m
2007	중국	Bund Tunnel, Shanghai	도로	Mitsubishi(일)	토압식 (1대)	14.27m
2006	중국	Jungong Road Subaqueous Tunnel, Shanghai	도로	NFM(프)	이수식 (1대)	14.87m
2006	중국	Shanghai Changjiang under river highway tunnel	고속도로	Herrenknecht(독)	Mixshield (2대)	15.43m
2006	캐나다	Niagara Water Diversion Tunnel	수로터널	Robbins(미)	Gripper (1대)	14.4m
2005	스페인	Madrid Calle 30 Highway Tunnels	고속도로	Herrenknecht(독) Mitsubishi(일)	각 1대씩	15.2m 15.0m
2004	러시아	Moscow Silberwald Highway Tunnel	고속도로	Herrenknecht(독)	Mixshield (1대)	14.2m
2004	중국	Shangzhong Road Subaqueous Tunnel, Shanghai	도로	NFM(프)	-	14.87m
2004	일본	Tokyo Metro	지하철	IHI(일)	토압식 (1대)	14.18m
2001	러시아	Moscow Lefortovo Highway Tunnel	고속도로	Herrenknecht(독)	Mixshield (1대)	14.2m
2000	네덜란드	Groenehart double-track rail tunnel	복선철도	NFM(프)	-	14.87m
1997	독일	Hamburg 4th Elbe River Highway Tunnel	고속도로	Herrenknecht(독)	Mixshield (1대)	14.2m
1994	일본	Trans Tokyo Bay Highway Tunnel	고속도로	Kawasaki(일) 3대 Mitsubishi(일) 3대 Hitach(일) 1대 IHI(일) 1대	-	14.14m

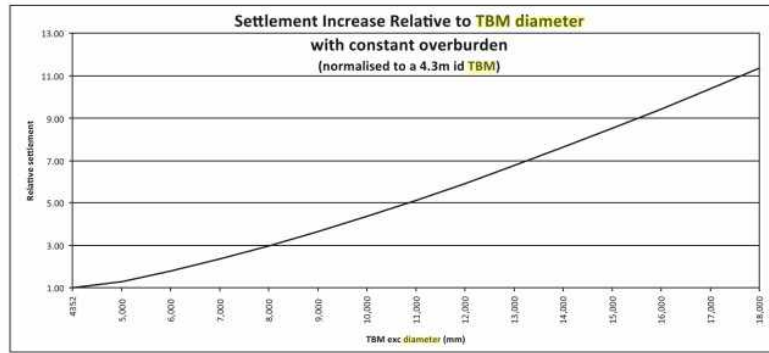
- 용도에 따른 분석 결과 대단면 TBM은 터널 단면이 큰 **고속도로/도로에의 적용 사례가 대부분**이었으며, 터널 수요가 가장 많은 중국의 비중이 가장 높으며 제작사 역시 **Herrenknecht에 집중**되어 있음
 - 국가별: 중국(홍콩) 13건, 러시아 3건(설계 1건 포함), 일본/이탈리아/스페인 각 2건, 독일/미국/캐나다/네덜란드/뉴질랜드 각 1대
 - 제작사별: Herrenknecht 15건, NFM 5건, Mitsubishi 5건, IHI 3건, Hitachi 2건, Robbins 1건, Kawasaki 1건
 - 용도별: 고속도로/도로 24건, 지하철/철도 2건, 수로터널 1건
- 2015년 현재 우리나라 최대 직경 TBM은 Φ 8.41 m
 - 원주-강릉 철도건설 11-3공구(시공연장 1.16 km): Herrenknecht 제작 이수식 쉴드TBM(시공예정, '15.10~'16.7)
 - 원주-강릉 철도건설 11-3공구를 제외하고 **우리나라의 교통터널에 적용된 TBM은 모두 '지하철' 건설용(Φ 7~8 m)**

■ 대단면 TBM의 문제점

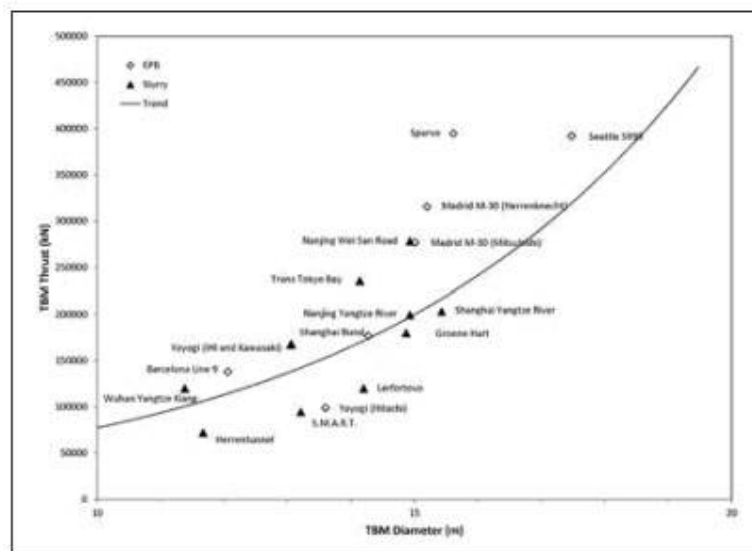
- 대단면 TBM의 리스크 발생시 대응 어려움
 - (대표사례) 미국 시애틀 “Alaskan Way(직경 17.48 m 복층터널)”: 제작실적 2건 보유한 Hitach 제작 TBM의 베어링 파손 및 심각한 기계 손상으로 2015년 현재 1년 이상 굴진정지 (총 연장 3.2 km 중 300 m 굴착, TBM 가격 8천만\$)
 - ※ TBM 장비 매몰 의견 제시됨 (Hitachi의 천문학적 보상 예상)
- 일부 제작사 및 일부 국가에서만 제작·시공 경험 보유
- 약 20년간 제작실적 27건(프로젝트 기준)에 불과하여 시장성 낮음
- TBM 직경이 증가할수록 침하위험성/장비 가격/장비 사양 급증 (그림 참조)



<직경별 TBM 추정가격(출처: (사)일본터널기술협회(2000))>



<TBM 직경 증가에 따른 잠재적 침하량(φ4.3 m로 정규화)>
(출처: RETC proceedings(2013), p. 617)



<TBM의 직경별 추력 변화(출처: RETC proceedings(2013), p. 620)>

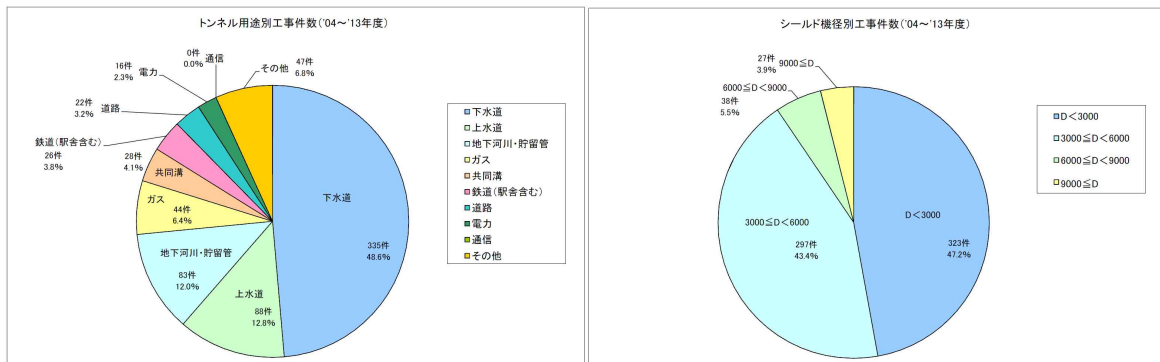
■ TBM의 직경별 시장 수요

◦ TBM 제작대수 기준으로 소단면의 유틸리티터널(utility tunnel, 직경 4 m 이하)의 수요가 가장 큼

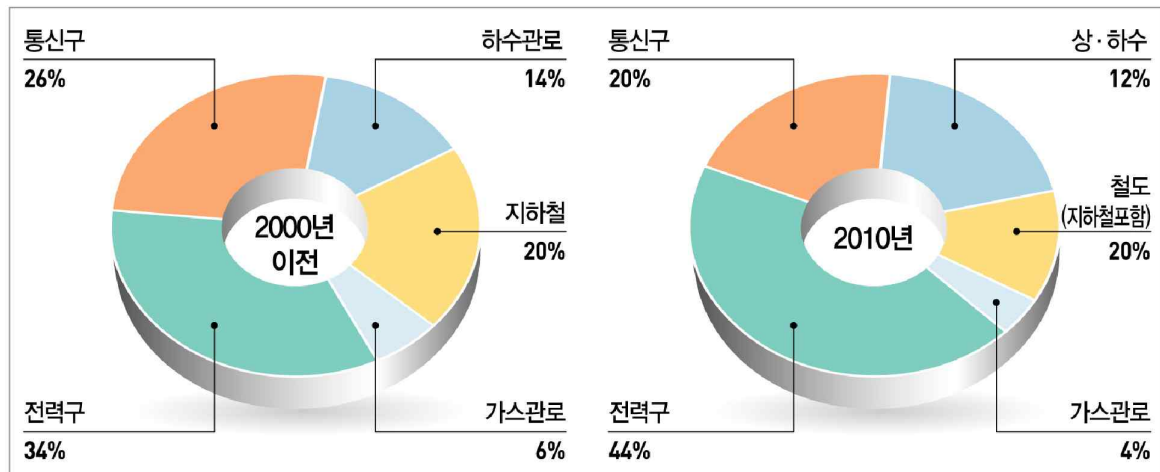
- 전 세계적으로 TBM 최대 적용실적을 보유한 일본의 경우, 상·하수도/가스/공동구/전력의 적용실적이 전체의 74.2%를 차지 (직경 6 m 미만이 90.6%)
- 우리나라의 경우에도, 전력구/가스관로/통신구/상·하수도의 적용실적이 전체의 80%를 차지 (고속도로/도로에의 적용 전무)

- 세계 최대 TBM 제작사인 Herrenknecht 실적 기준, 교통터널(traffic tunnel) 중 지하철/철도(직경 6~13 m)가 87%를 차지(시공연장 기준)

※ 지하철(Φ6~8m) 950 km, 철도(Φ6~14 m) 466 km, 도로(Φ11 m 이상) 185 km



<일본의 TBM 적용실적 (출처: 일본실드공법기술협회, '04~'13년)>



<우리나라의 TBM 적용실적 (출처: 국토교통R&D 중장기전략('14))>

■ 중·대단면 TBM 국산화 대상 직경 관련 전문가 설문조사 결과

- 기획과제의 일환으로 실시된 전문가 설문조사 결과, 중·대단면 TBM 국산화 대상으로 가장 적합한 TBM 직경(외경 기준)으로 응답자의 59%가 7~9 m(지하철/철도)로 응답
 - 응답자 비율: 7~9 m(59%), 10~12 m(26%), 12~15 m(15%), 15 m 이상(0%)
- 선형 연구사업인 “TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술” 연구단의 연구결과로부터 제시된 TBM터널의 표준단면(안)을 기준으로 하면, Φ 14 m급 TBM은 국도 2차로 터널(대면)에 적용 가능. Φ 7~9 m급 TBM은 지하철/철도에 해당 (내경 기준)

도로 터널	철도 터널	지하철 터널

- Risk저감 차원에서 **중단면부터 실용화**하는 것이 바람직함
 - 현재 TBM 전체에 대한 국산화가 되어 있지 않은 상황이고, 현재 가장 사용이 유망할 것으로 생각되는 지하철/철도/ 터널을 대상으로 할 경우 7~9m가 적당
 - 중소단면 터널개발 대부분 지하철, 가스공사, 도수터널 등은 대부분 중소형 터널임(대부분은 중소단면 터널임)
 - 도심지 지하철의 직경이 7~9m이며 향후 대도시의 지하철 건설이 많이 필요할 것으로 예상되기 때문
 - 국내 및 해외 수요를 고려하여 중단면 TBM의 국산화가 최우선이라고 판단됨, 특히, 국내 지질 조건에 잘 맞는 장비 개발이 매우 시급함
 - 지하철 철도에 적합/케이블 터널의 대구경화 고려
 - 수요가 제일 많은 지하철, 철도 대상 국산화가 가장 필요하고 선정에 적합
 - 전세계적으로 지하철과 철도가 교통터널에서 수요가 가장 높으며, 국산화 1 단계에서 큰 대단면을 목표로 설정하는 것은 리스크가 큼
 - 기존 drill and blast 터널은 많은 보강을 요구하여 공사비 과다 및 환경피해 요소를 많이 내포함, 따라서 쉴드TBM공법의 저변확대가 필요
- 두 번째로 **응답자의 26%가 직경 10~12 m가 국산화 대상으로 적합하다고 응답한 근거들**을 정리하면 다음과 같음
- 국내외 TBM 수요가 많은 규모로서, 향후 시장개척 용이
 - 국내 복선철도 설계와 도심지하와 소형차 전용도로 사업확장이 예상되므로 10~12m 급이 적합할 것으로 판단되며, 최근 지하분기 네트워크 터널의 경우 복층도로를 감안하면 12.5m까지도 고려대상으로 판단됨. 직경범위를 8~13m까지로 제안하고자 함
 - 국내에서 NATM터널을 계획하는 경우 폭 10~20m의 터널이 가장 많기 때문에 향후 TBM공법으로 대체시 상기 10~12m 직경의 단면이 가장 수요가 많을 것으로 예상
 - 단선고속철도터널의 표준적인 굴착지경이 유럽(프랑스)의 경우 직경 10m
 - 직경 12m의 경우는 일반도로까지 적용이 가능하기 때문에, 개발 시 경제적 파급효과가 있을 것으로 판단됨
 - TBM시장은 미국,유럽, 일본, 중국 등 해외 10여개 업체(Caterpillar, Mitsubishi, Herrenknecht, Robbins, JTSC, CRCHI 등)로만 선점되어 있는 시장임. 특히 대단면으로 갈수록 기술격차로 인해 시장진출이 매우 어려운 실정임. 또한 한정된 국내 수요를 위해서 국산화 개발을 하는 것 보다는 보다 적극적인 해외시장 진출을 위해 대단면 TBM 국산화 개발을 해야한다고 생각됨. 이를 위해서는 Entry model size인 직경 10~12 m를 기준으로 기술 개발하고 정부지원을 통해 개발된 장비의 신뢰성까지 확보가 된다면 해외시

- 장 진출에 많은 도움이 될 것으로 판단됨
- 국내는 규모가 다소 적은 편으로 향후 필요한 분야가 지하의 소형차가 갈 수 있는 곳을 개발하는 부분이 많은 것이라 판단됨
- 마지막으로 **응답자의 15%가 직경 12~15 m가 국산화 대상으로 적합하다고 응답한 근거들을 정리하면 다음과 같음**
 - 수요 대수가 많지 않을 것으로 판단되나 직경 15 m는 되어야 파급효과가 클 것으로 기대
 - 국내 수요와 해외수출 시장을 고려하고, 기술 개발의 성공과 확장성을 아울러 고려할 때 직경 12~15m이 바람직
 - 복수 차선에 대한 선호 및 차량증가 속도가 아주 빠른 관계로 소형 터널들은 포화상태로 빠르게 진행되고 있음. 또한 터널은 다양한 용도(차량, 열차, 유틸리티 라인 등)로 건설하는 경우가 많아지고 있음

■ 중대단면 TBM 국산화 대상의 직경 설정

- 유틸리티터널을 제외한 **교통터널 시장현황과 전문가 설문조사 결과를** 고려할 때, 시장수요가 높은 **지하철/철도터널($\Phi 7\sim 9$ m)을 대상으로 설정 필요**
- **현재 시점의 기술격차와 시장현황(도로 건설수요 감소 등)을** 고려할 때 향후 5년 이내에 $\Phi 12\sim 15$ m 이상의 국산 대단면 TBM을 시장에 적용하기 어려울 것으로 판단
 - 기술수준예측조사 결과: 세계 최고 수준 대비 국내 TBM의 기술수준 61.9%, 기술격차 평균 4.8년 (날리지웍스, '15.3)
- 시공연장 2 km를 기준으로 $\Phi 8$ m 및 $\Phi 12$ m급 TBM터널의 직접공사비는 각각 최소 500억원 및 1,000억원(수직구 제외) 이상으로서 **TEST-BED 예산을 연구예산에 반영하는 것은 현실적이지 못함**
- TBM은 표준화가 불가능한 주문자 제작 장비이므로, 산업부 R&D의 사례를 참고하여 **TBM 시제품 제작에 일부 국가R&D 예산을 투여하되 참여기업이 사업화를 직접 도모하는 '수요연계형' 또는 '구매조건형' R&D로 추진** → 현실적으로 현재 시점에서 수요가 높을 것으로 예상되는 '수요연계형'으로 추진 바람직

3절. 비전 및 목표

1. 비전

- 동 연구의 비전은 동향 및 환경분석을 통해 ‘중·대단면 TBM 국산화를 통한 글로벌 시장 진출’로 설정함
 - 국내 기업은 해외 TBM 터널건설 프로젝트를 수주하고 있어, 대상 현장에 투입하기 위한 TBM장비의 국산화, TBM전문운영인력 교육시스템 개발이 요구되고 있음
 - 국내 보유 우수한 IT 및 기계, 재료 기술을 활용한 고성능 TBM장비 국산화 기술 확보를 통해 대량 생산 중심의 중국의 TBM과 차별화할 경우, 해외 시장진출 확대에 기여할 수 있음
 - 중국의 정부지원 및 공격적인 TBM제작사 인수 등에 대응하여 TBM완성품 국산화 개발 및 생산체계 구축을 위한 정부주도의 산연 생태계조성이 요구되고 있음

2. 목표

- ‘중·대단면 TBM 국산화를 통한 글로벌 시장 진출’을 위해 ‘중·대단면(완성품 직경 7~9 m) TBM의 설계·제작기술 개발’을 목표로 설정함
 - 대단면 TBM의 경우 일부 제작사 및 일부 국가에서만 제작 및 시공경험을 보유하고 있으며, 직경이 증가할수록 위험성 및 가격, 고 사양이 증가하여 시장성이 낮음
 - 설문조사 결과 국내 전문가들은 시장수요가 많아 국산화 시 효과가 크고 국산화 성공 가능성도 높은 7~9m급(지하철/철도) TBM터널 완성품이 국산화 대상으로 가장 적합한 것으로 고려하고 있음
 - TBM 국산화 성공시, 해외 수입 TBM 대비 약 20~25%의 비용 절감 예상
* 외국산 대비 장비가격 10% 절감(국산화율 60~70%시) 및 해운-내륙 운송, 통관 등의 부대 비용(장비가격의 약 10~15%) 절감 가능(관련 기업 인터뷰 결과 참조)
- 세부목표로 ‘TBM 완성품 설계 및 제작기술 자립화’, ‘국산화 시뮬레이터 기반 TBM 운영 전문인력 확보’를 설정함
- 세부목표 달성을 위해 ‘TBM 완성품 개발’, ‘TBM 핵심부품 개발’, ‘TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발’을 동 연구개발사업의 중점추진 분야로 설정함

비전

중·대단면 TBM국산화를 통한 글로벌 시장 진출

목표

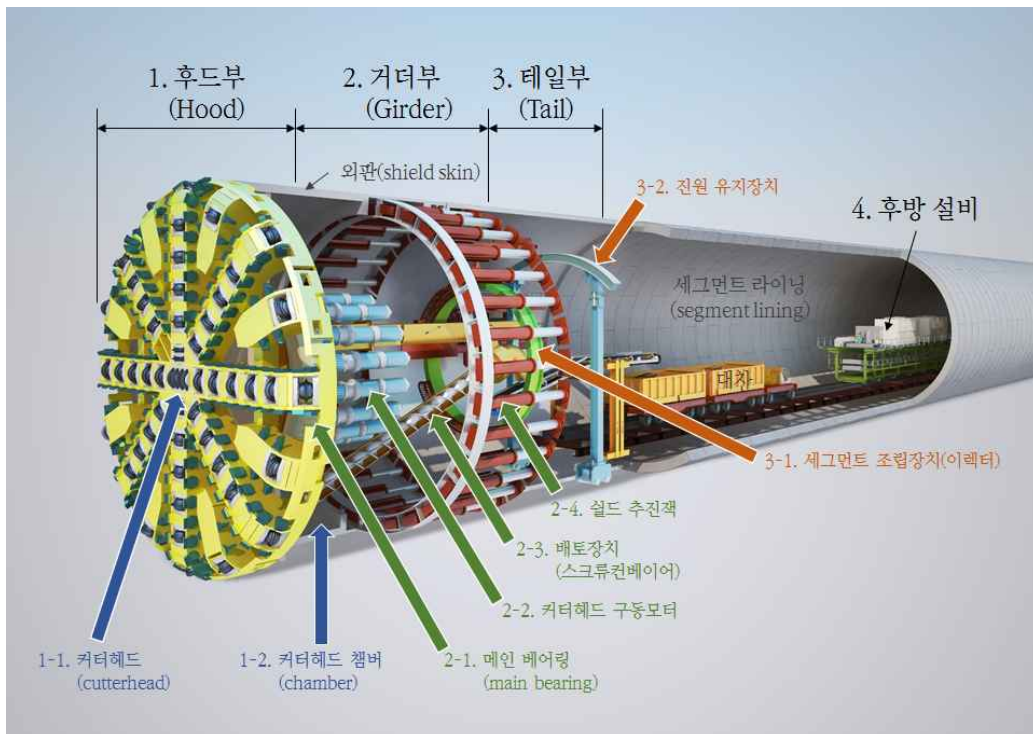
중·대단면(완성품 직경 7~9m) TBM의 국산화 기술 개발
(TBM의 설계 및 제작기술 자립화, 국산화 시뮬레이터 기반 TBM운영 전문인력 확보)

중점 추진 분야

TBM 완성품 개발

TBM 핵심부품 개발

TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발



<중·대단면 TBM 국산화를 위한 연구대상 및 연구목표>

3. 중점추진 분야

- TBM 완성품 개발
 - TBM 완성품 시스템 개발
 - TBM 후방설비 시스템 개발
 - TBM 버력 처리 기술 개발
 - TBM 운전/제어 시스템 개발
- TBM 핵심부품 개발
 - TBM 스크류컨베이어 시스템 개발
 - TBM 회전 구동 시스템 개발
 - TBM 추진 시스템 개발
 - TBM 세그먼트 이렉터 시스템 개발
- TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발
 - 중·대단면 TBM 커터헤드 설계기술 및 설계자동화 시스템 개발
 - VR(Virtual Reality) 기반의 TBM 전문인력 양성·훈련을 위한 TBM 시뮬레이터 개발

4. 중·대단면 국산 TBM의 주요 목표 성능 및 사양

- 본 기획과제에서 설정한 직경 7~9 m(직경 8 m 기준) 국산화 대상 TBM의 주요 기계적 성능과 사양들을 도출하고 설정한 결과는 아래의 표와 같음 (상세 도출결과: 부록 2 참조)

순번	항목	설정치	단위	비고
1	TBM 직경	8	m	7~9m
2	커터헤드 회전속도	4.9	rpm	최대치
3	커터헤드 토크	10,590	kNm	최대치
4	TBM 추진속도	6.0	cm/min	
5	TBM 추진력	50,750	kN	
6	TBM 종절속도	1.5	cm/min	
7	TBM 종절력	45,675	kN	
8	TBM 종절각도	±0.5	deg	
9	스크류 컨베이어 배토량	181	m ³ /h	
10	스크류 컨베이어 배토압	19.6	MPa	
11	세그먼트 중량	4,000	kg	
12	세그먼트 길이	1500	mm	
13	세그먼트 두께	300	mm	
14	암반 일축압축강도	50	MPa	참고치

4절. 연구개발과제 우선순위 평가

1. 개요

(1) 우선순위 평가의 목적

- ‘중대단면 TBM국산화 기획’연구에서 도출된 후보과제 중 동 사업 수행에 필요한 과제를 선정하고, 선정과제 중 추진 우선순위를 설정하기 위함임
 - 산·학·연 전문가를 대상으로 중대단면 TBM국산화 기획에서 도출된 후보과제의 기술적 중요도, 기술개발 실현가능성, 사회경제적 파급효과, 정부지원 필요성 등에 대한 평가를 수행함

(2) 우선순위 평가의 절차

- 우선순위 평가는 후보과제 선정, 우선순위평가서 설계, 우선순위평가 수행, 기술수요조사 결과분석 및 활용 순으로 추진함
 - 후보과제 선정단계에서는 기술수요조사 결과를 바탕으로 중복성검토, 유사성 및 위계검토를 통해 후보과제 pool을 설정, 과제카드를 작성하고, 기술분류체계에 매칭함
 - 후보과제 카드는 우선순위 평가시 평가자의 판단을 돕기위해 참고자료로 활용
- 우선순위 평가서 설계단계에서는 우선순위평가 항목을 결정하고 평가 대상자를 설정함
 - 기술적 중요도(기술의 중요도, 시급성, 과학기술적 파급효과), 기술개발 실현가능성, 사회경제적 파급효과, 정부지원 필요성을 평가항목으로 설정함
 - 기술적 중요도의 경우 후보과제에 매칭되는 기술분류체계 소분류의 기술수준/예측조사 결과를 활용함
 - 우선순위평가시 참고자료로 후보과제에 해당하는 소분류의 수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술격차-기술수준, 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 결과를 제공하여 우선순위평가자의 객관성을 도모함
 - 우선순위평가 수행단계에서는 기술수준/예측조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신함
 - 우선순위평가 결과분석 및 활용단계에서는 평가결과를 통해 사업 추진과제를 선정하고 과제추진 우선순위 선정에 활용함

우선순위평가 절차	세부내용
1 후보과제 선정	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기술수요조사 결과를 바탕으로 후보과제 선정 ■ 후보과제의 기술분류체계 매칭
2 우선순위평가서 설계	<ul style="list-style-type: none"> ■ 후보과제의 우선순위 평가항목 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 기술적 중요도(기술의 핵심성, 기술개발 시급성, 과학기술적 파급효과), 기술개발 실현가능성, 사회경제적 파급효과, 정부지원 필요성 - 기술적 중요도 평가는 후보과제에 매칭되는 기술분류체계 소분류의 기술수준/예측조사 결과를 활용
3 우선순위평가 수행	<ul style="list-style-type: none"> ■ 우선순위평가 대상자 메일 발송 및 회수
4 우선순위평가 결과 분석 및 활용	<ul style="list-style-type: none"> ■ 사업 추진과제 선정 ■ 과제 추진 우선순위 선정에 활용

<우선순위 평가 진행 절차>

(3) 우선순위평가서 발송 및 응답개요

- 우선순위평가는 내부 기획연구진, 자문위원 및 외부전문가들을 대상으로 메일을 발송하여 조사함

< 우선순위평가서 발송 및 응답개요>

구분	내용
조사기간	- 2015년 4월 30일 ~ 2015년 5월 8일 (1주간)
조사대상	- 내부 기획연구진, 자문위원 및 외부전문가
조사방법	- 워크숍 및 이메일 발송을 통한 설문조사

(4) 우선순위평가 항목 설정

- ‘기술 중요도’항목은 ‘기술의 핵심성’, ‘기술개발 시급성’, ‘과학기술적 파급효과’로 구분되며, 기술수준/예측조사 결과를 활용함
- ‘기술의 핵심성’는 해당기술이 ‘중대단면 TBM기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도를 5점 척도로 평가함
- ‘기술개발 시급성’은 적정 수준을 구현해야할 시기를 고려하여 기술개발이 시급한 정도를 5점척도로 평가함
- ‘과학기술적 파급효과’는 해당기술이 과학기술 발전에 미치는 영향력을 5점척도로 평가함
- ‘기술개발 실현가능성’항목은 연구개발 사업 추진 시 과제카드 목표 수준까지 실현 가능한지 여부를 5점척도로 평가함
- 해당항목은 후보과제가 속한 소분류 기술분야의 수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석결과 및 후보과제카드를 참조하여 평가함

<기술개발 실현성 평가예시>

소분류	참고 자료 포트폴리오분석결과				기술중요도 평가결과	후보과제 우선순위 평가	
	수준 중요도	기술격차-격차추세	기술격차-기술수준	기술기반 성숙도-중요도		후보과제	평가 항목 기술개발 실현가능성
○○○	기술혁신을 통한 파급효과가 큰 유망한 영역	효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요한 영역	기술기반 확보가 시급한 영역	4.0	1 ○○○	4
						2 ○○○	3
						3 ○○○	3

- ‘사회경제적 파급효과’항목은 목표수준까지 기술개발 완료 시 사회경제적으로 미치는 파급효과를 5점척도로 평가함
- 해당항목은 후보과제가 속한 소분류 기술분야의 수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 및 후보과제카드를 참조하여 평가함

<사회경제적 파급효과 평가예시>

참 고 자 료						후보과제 우선순위 평가		
소분류	포트폴리오분석결과					기술중요도 평가결과	후보과제	평가 항목
	수준-중요도	기술격차-격차추세	기술격차-기술수준	기술기반 성숙도-중요도	기술중요도 평가결과			
○○○	기술혁신을 통한 파급효과가 큰 유망한 영역	효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요한 영역	기술기반 확보가 시급한 영역	4.0	1 ○○○	4	
						2 ○○○	3	
						3 ○○○	3	

- ‘정부지원 필요성’항목은 기술개발 사업을 통해 기술을 획득하는 데에 정부지원이 필요한 정도를 5점척도로 평가함
- 해당항목은 후보과제가 속한 소분류 기술분야의 수준-중요도, 기술격차-기술수준 포트폴리오 분석결과 및 후보과제카드를 참조하여 평가함

<정부지원 필요성 평가예시>

참 고 자 료						후보과제 우선순위 평가		
소분류	포트폴리오분석결과					기술중요도 평가결과	후보과제	평가 항목
	수준-중요도	기술격차-격차추세	기술격차-기술수준	기술기반 성숙도-중요도	기술중요도 평가결과			
○○○	기술혁신을 통한 파급효과가 큰 유망한 영역	효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요한 영역	기술기반 확보가 시급한 영역	4.0	1 ○○○	4	
						2 ○○○	4	
						3 ○○○	5	

2. 후보과제 우선순위 평가결과

(1) [세부과제1] TBM 완성품 개발

후보과제명	기술 개발 실현 가능성	사회 경제적 파급 효과	정부 지원 필요성	기술 핵심성	기술 개발 시급성	과학 기술적 파급 효과	총합	순위
중대단면 TBM의 굴착속도 증대를 위한 제어설비 개발	4.05	3.81	3.67	4.71	4.43	4.57	25.24	1
세그먼트 조립 동시 굴진 병행 실드 장비	3.77	3.64	3.64	4.67	4.50	4.67	24.88	2
중대단면 TBM 유압 공급을 위한 설비 제작	4.36	3.59	3.77	4.57	4.43	4.00	24.73	3
TBM 회전구동 제어장치 및 기술 개발	4.09	3.82	3.95	4.25	4.00	4.50	24.61	4
TBM 추진구동 제어장치 및 기술 개발	4.05	3.64	3.86	4.25	4.00	4.50	24.30	5
TBM 커터헤드 챔버 내 배압 제어기술 개발	4.14	3.64	3.77	4.00	4.25	4.50	24.30	6
중대단면 TBM 송배니 설비 제작	4.29	3.33	3.29	4.43	4.43	4.00	23.76	7
중대단면 TBM 전기 공급을 위한 설비 제작	4.29	3.19	3.29	4.43	4.29	3.86	23.33	8
커터헤드 챔버 설계제작 기술	3.50	3.50	3.25	4.31	4.38	4.31	23.25	9
TBM 종절구동 제어장치 및 기술 개발	3.91	3.45	3.59	4.00	3.75	4.50	23.20	10
TBM의 친환경 이수처리를 위한 플랜트 개발	4.26	3.52	3.61	3.77	3.69	3.92	22.78	11
중대단면 TBM 윤활유 공급을 위한 설비 제작	4.10	3.00	2.90	3.71	3.57	3.43	20.71	12
중대단면 TBM 용수 설비 제작	4.05	3.10	3.05	3.43	3.29	3.00	19.90	13
중대단면 TBM 공조 설비 제작	4.14	3.00	2.86	3.43	3.29	3.00	19.71	14

(2) [세부과제2] TBM 핵심부품 개발

후보과제명	기술 개발 실현 가능성	사회 경제적 파급 효과	정부 지원 필요성	기술 핵심성	기술 개발 시급성	과학 기술적 파급 효과	총합	순위
자동화 세그먼트 이렉터 개발	4.27	3.59	3.82	4.67	4.50	4.67	25.52	1
세그먼트 자동조립 시스템	3.95	3.68	3.55	4.67	4.50	4.67	25.02	2
토압식 Chamber와 Screw Conveyor의 설계 제작 및 Soi lConditioning 기술 개발	4.22	3.74	3.83	4.31	4.38	4.31	24.78	3
스크류 컨베이어 시스템 개발	4.52	3.61	3.52	4.08	3.92	4.00	23.65	4
TBM 굴진면 안정화를 위한 송/배니관 개발	4.23	3.41	3.55	4.15	3.92	4.08	23.34	5
중대단면 TBM용 메인 베어링 신뢰성 확보 기술 개발	3.83	3.79	3.83	4.50	4.00	3.25	23.21	6
TBM 국산화 개발을 위한 커터헤드 구동용 울트라 심플, 고토크 (최대1,350kNm)감속 시스템 개발	3.88	3.72	3.76	4.50	4.00	3.25	23.11	7
TBM 구동모터(감속기포함) 국산화	3.96	3.70	3.74	4.25	4.00	3.00	22.64	8
추진용 유압잭 개발	4.32	3.73	3.64	4.00	3.25	3.00	21.93	9
세그먼트 이렉터 회전용 모터 개발	3.96	3.26	3.52	3.83	3.67	3.33	21.57	10
버력 배출을 위한 벨트 컨베이어 개발 굴진에 따른 벨트 길이 가변식 컨베이어 개발	4.22	3.22	3.26	3.54	3.54	3.77	21.54	11
Two Component Backfill Grout Injection System	3.95	3.40	3.40	3.83	3.50	3.33	21.42	12
뒷채움 주입방식에 따른 재료선정	4.05	3.45	3.25	3.71	3.14	3.57	21.18	13
세그먼트 라이닝용 유압잭 개발	4.05	3.36	3.18	3.67	3.33	2.83	20.42	14
중절용 유압잭 개발	4.14	3.18	3.27	3.75	3.00	2.75	20.09	15
세그먼트 이렉터 인양용 잭 개발	4.00	3.18	3.27	3.50	3.17	2.83	19.95	16
TBM 보조 그리퍼용 유압 추진 시스템 개발	4.05	3.14	3.18	3.75	3.00	2.50	19.61	17
세그먼트 공급용 호이스트 개발	3.91	3.00	2.95	3.33	3.33	2.83	19.36	18

(3) [세부과제3] TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발

후보과제명	기술 개발 실현 가능성	사회 경제적 파급 효과	정부 지원 필요성	기술 핵심성	기술 개발 시급성	과학 기술적 파급 효과	총합	순위
TBM 시뮬레이터 개발(TBM 시뮬레이터 S/W 및 H/W)	4.45	4.35	4.45	4.83	4.83	5.00	27.92	1
TBM 시뮬레이터 개발(TBM 교육훈련 프로그램)	4.44	4.17	4.61	4.83	4.83	5.00	27.89	2
중·대단면 TBM 커터헤드 자동화 설계 기술	4.57	4.26	4.48	4.71	4.64	4.57	27.23	3
복합지반 및 곡선구간 중대단면 TBM의 추진시스템 개발 및 시뮬레이터용 프로그램	4.31	4.15	4.00	4.83	4.83	5.00	27.13	4
실시간 TBM 장비 데이터 분석을 통한 연약구간 또는 파쇄구간 굴착시 리스크 예측 및 시공관리 프로그램	4.05	3.85	4.05	4.83	4.83	5.00	26.62	5
중·대단면 TBM 커터헤드 제작 기술	4.39	4.22	4.17	4.62	4.46	4.38	26.24	6
셸드 TBM 장비 선정을 위한 설계기준 정립	4.32	3.95	4.00	4.71	4.64	4.57	26.19	7
TBM 기계데이터를 이용한 3D기반 모니터링 및 굴진 이력 재현 시스템	4.05	3.57	3.67	4.83	4.83	5.00	25.95	8
중대단면 TBM의 실시간 온라인 예지 와치독 레이더 (Watchdog Radar) 개발	3.80	3.70	3.60	4.83	4.83	5.00	25.77	9
TBM 굴착용 복합지반 적용 디스크커터 국산화 개발	4.26	4.09	4.04	4.57	4.36	4.29	25.61	10
토사 또는 복합지반에서의 면판설계 및 굴진성능에 대한 정량적 가이드라인	4.11	3.79	3.74	4.71	4.64	4.57	25.56	11
다양한 지반조건에 따른 중대단면 TBM용 디스크커터의 설계 기술	4.22	3.87	4.13	4.57	4.36	4.29	25.43	12
고수압구간 내 상압조건 커터교체 작업이 가능한 커터헤드 제작기술	4.00	3.82	3.95	4.62	4.46	4.38	25.23	13
중대단면 TBM산업기반 조성을 위한 국제 표준 기반 구축	3.96	3.65	3.96	4.62	4.46	4.38	25.03	14
TBM 전방탐사 센서 설치용 커터헤드 설계 기술	3.65	3.61	3.65	4.71	4.64	4.57	24.84	15
중고 TBM 재활용기술	4.09	3.68	3.27	4.62	4.46	4.38	24.51	16
TBM 굴착용 커터비트 국산화 개발	4.17	4.00	4.00	4.15	4.00	3.92	24.25	17
이토압식 셸드 TBM 적용시 굴착 토소성 유동화를 위한 최적 첨가제 기술	3.95	3.50	3.50	3.92	3.77	4.00	22.65	18
셸드 TBM 기포 공법	3.73	3.18	3.32	3.92	3.77	4.00	21.92	19
대구경 TBM 선진 보링시 MWD기술을 응용한 지반정보 예측 기술	4.09	3.36	3.27	3.86	3.64	3.64	21.87	20
전기비저항을 이용한 TBM터널 시공중 지반 공동 예측기술 개발	3.50	3.59	4.64	3.40	3.33	3.33	21.79	21
3차원 터널 전방 탄성파 탐사(Tunnel Seismic Prediction) 시스템	3.77	3.32	3.32	3.40	3.33	3.33	20.48	22

5절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. (세부과제 1) TBM 완성품 개발 분야

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

- 본 세부과제에서는 앞선 후보과제 우선순위 도출결과와 기획연구 수행 결과를 고려하여 연구개발 목표와 주요 연구내용을 도출함
 - 후보과제명을 TBM 완성품의 장치 구성별로 구분하면 ① 중·대단면 TBM 완성품, ② TBM 운전제어시스템, ③ TBM 후방설비 및 ④ 버력처리 기술로 구분됨
 - 중·대단면 TBM 완성품 관련 후보과제는 상위 2위, 9위에 해당함
 - TBM 운전·제어 시스템 관련 후보과제는 상위 1위, 4위, 5위, 6위, 10위에 해당함
 - TBM 후방설비 관련 후보과제는 상위 3위, 7위, 8위, 11위, 12위, 13위, 14위에 해당함
 - 버력처리 기술 관련 후보과제는 상위 6위, 7위, 11위에 해당함
 - 버력처리 기술을 제외한 TBM 완성품, 운전제어시스템 및 후방설비는 장치 개발에 관련한 것으로 본 과제의 최종목표가 국산 TBM 완성품 개발에 있음을 고려할 때 후보과제의 우선순위와 관계없이 반드시 개발되어야 하므로 연구개발 목표 및 연구내용에 포함함
 - TBM의 가장 기초적이면서 중추적인 기능은 굴착과 배토이며 이들은 항상 동시에 구현되어야 하므로 세부과제 3의 커터헤드와 상대적인 기술인 버력처리 기술은 상기의 장치 기술과 독립적으로 구분하되 연구개발 결과는 장치 기술을 상호보완하기 위해 반드시 개발되어야 하므로 연구개발 목표 및 연구내용에 포함함
- 이상과 같이 도출된 세부과제 1의 개발목표와 주요 연구내용은 다음과 같음

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 중대단면 TBM 완성품 개발
개발목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지반 및 굴착 조건을 고려한 TBM 완성품 설계제작 플랫폼 기술개발 ▪ TBM 완성품의 성능, 내구, 안전성 확보를 위한 시험평가 기술개발
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 완성품 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - TBM 직경 및 굴진면 안정화 방식(토압식, 이수식, 혼합식) 선정 - TBM 핵심부품의 주요 규격 산출 - TBM 본체 및 핵심부품 장착을 위한 구조부 설계제작 - TBM 전기회로 및 유압회로 설계제작 - TBM 본체 이물질 유입 방지장치를 위한 기밀, 밀폐 기술 개발 ▪ TBM 후방설비 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - TBM 운전제어, 고장진단 및 비상정지를 위한 계전 설비 - 발전기, 배전반, 차단기, 케이블, 접지, 피뢰를 포함한 전기 설비 - 고압/고유량 펌프, 밸브, 작동유 탱크를 포함한 유압 설비 - 베어링, 씰, 감속기 및 기어 마찰마모 저감을 위한 윤활 설비 - TBM 본체 내 공기 공급 및 장비 구동용 공압장치를 포함한 공조 설비 - TBM의 배압 제어 및 배토를 위한 송/배니 설비 - TBM 본체 내 용수 공급 및 폐수처리를 위한 용수 설비 ▪ TBM 버력 처리 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - TBM 굴진 시 발생 하는 버력의 안정적 배토 기술 개발 - 버력 배출량 측정/산출 기술 개발 - 버력 배출량 측정을 통한 토사 유출 방지 기술 개발 ▪ TBM 운전제어 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 굴진 속도에 따른 커터헤드 챔버 배압 안정화 제어 기술 개발 - 굴착 부하에 따른 커터헤드 회전속도 최적화 제어 기술 개발 - 추력에 따른 TBM 추진속도 최적화 제어 기술 개발 - 선회 각도에 따른 복수다단 중절 구동책 위치 제어 기술 개발
기술개발 방향성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지반 및 굴착 조건을 고려한 TBM 완성품 설계제작 플랫폼 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 부하전달 경로 및 핵심부품 지지구조를 고려한 TBM 본체 구조의 설계 및 제작 기술 - TBM 구동을 위한 전기계통도 및 유압계통도의 설계 및 제작 기술 - 계전, 전기, 유압, 윤활, 공조 및 용수를 위한 후방설비의 설계 및 제작 기술 - TBM 시공자동화, 운전감시, 고장진단 및 비상정지를 위한 운전제어 기술 ▪ TBM 완성품의 성능, 내구, 안전성 확보를 위한 시험평가 및 운영 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 운전, 제어, 안전기능 특성에 관한 TBM 완성품의 시험평가 기술 - TBM 완성품의 운전, 유지보수 절차서 개발



(2) 연차별 목표 및 내용

◦ 이상의 연구개발 목표를 달성하기 위한 연차별 수행내용은 다음과 같음

연차	연구목표	연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 선진 TBM 완성품의 기술규격 분석 ▪ TBM 완성품 및 핵심부품의 주요 규격 산출 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 선진 TBM 완성품 기술자료 수집 및 기술규격 분석 ▪ TBM 관련 국내외 형식규격 및 표준 분석 ▪ TBM 직경 및 굴진면 안정화 방식(토압식, 이수식, 혼합식) 선정 ▪ TBM 완성품 및 핵심부품의 주요 규격 산출
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 완성품의 기본설계 ▪ 후방설비의 기본설계 ▪ 운전제어시스템의 기본설계 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부하전달 경로 및 핵심부품 지지구조를 고려한 TBM 완성품 구조 설계 ▪ 전기 및 유압계통도 설계 및 구성품 규격 선정 ▪ 계전, 전기, 유압, 윤활, 공조 및 용수를 위한 후방설비의 용량 및 규격 산출 ▪ 운전자동화, 고장진단 및 비상정지를 위한 운전제어 방안 설계
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 완성품의 상세 설계 ▪ 후방설비의 상세 설계 ▪ 운전제어시스템의 상세설계 ▪ TBM 완성품의 성능평가 기준 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부하전달 경로 및 핵심부품 지지구조를 고려한 TBM 완성품 구조 최적화 및 제작방안 수립 ▪ 전기 및 유압계통도 해석 및 구성품 규격 확정 ▪ 계전, 전기, 유압, 윤활, 공조 및 용수를 위한 후방설비의 설계 ▪ 운전자동화, 고장진단 및 비상정지를 위한 운전제어 알고리즘 설계 ▪ 운전, 제어, 안전기능 특성을 고려한 TBM 완성품 성능평가 기준 개발
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 시제품 제작 ▪ 후방설비 시제품 제작 ▪ 운전제어시스템 시제품 제작 ▪ TBM 시제품 공장시험평가 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 완성품 구조 제작 ▪ 전기 및 유압회로 제작 및 조립 ▪ 계전, 전기, 유압, 윤활, 공조 및 용수를 위한 후방설비의 제작 ▪ 운전자동화, 고장진단 및 비상정지를 위한 운전제어 시스템 제작 ▪ 운전, 제어, 안전기능 특성에 관한 TBM 완성품 무부하 시험절차서 개발 및 공장시험평가
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 시제품 수정보완 ▪ 후방설비 시제품 수정보완 ▪ 운전제어시스템 시제품 수정보완 ▪ TBM 시제품 현장시험평가 ▪ TBM 운전, 유지보수 절차서 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 완성품 구조 수정 보완 ▪ 전기 및 유압회로 수정 보완 ▪ 계전, 전기, 유압, 윤활, 공조 및 용수를 위한 후방설비의 수정 보완 ▪ 운전자동화, 고장진단 및 비상정지를 위한 운전제어 알고리즘 및 시스템 수정 보완 ▪ 운전, 제어, 안전기능 특성에 관한 TBM 완성품 부하시험 및 성능평가 ▪ TBM 완성품의 운전, 유지보수 절차서 개발

(3) 최종성과물 및 성과지표

- 세부과제 1의 개발목표와 주요 연구내용을 고려한 최종 성과물과 그에 따른 성과지표는 다음과 같음

세세 부과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)
TBM 완성품 시스템 개발	후드부 개발	1	커터헤드 직경	자체평가 (입회검수)	m	8	0.5
		2	회전 속도	↑	rpm	4.9	
		3	출력 토크	↑	kNm	10,590	
	추진부 개발	4	추진 속도	↑	cm/min	6.0	
		5	추진력	↑	kN	50,750	
	중절부 개발	6	중절 속도	↑	cm/min	1.5	
		7	중절력	↑	kN	45,675	
		8	중절 각도	↑	deg	±0.5	
TBM 후방설비 시스템 개발	전기설비 개발	1	전기 동력	↑	kW	2,100	0.25
	유압설비 개발	2	유량	↑	lpm	3,000	
		3	압력	↑	MPa	Max. 35	
TBM 버력 처리 기술 개발	배토량 측정	1	최대 측정 배토량	↑	m ³ /h	200	0.05
		2	측정/산출 오차	↑	%	5	
TBM 운전제어 시스템 개발	운전제어 시스템 개발	1	배압 제어	↑	-	유	0.2
		2	회전속도 제어	↑	-	유	
		3	추진 속도 제어	↑	-	유	
		4	중절 각도 제어	↑	-	유	
		5	비상정지회로	↑	-	유	
		6	자동제어 제어	↑	-	유	
		7	상태감시	↑	-	유	

2. (세부과제 2) TBM 핵심부품 개발분야

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

- 본 세부과제에서는 앞선 후보과제 우선순위 도출결과와 기획연구 수행 결과를 고려하여 연구개발 목표와 주요 연구내용을 도출함
 - 후보과제명을 TBM 완성품의 핵심 기능별로 구분하면 ① 배토 기능을 수행하는 스크류 컨베이어 시스템, ② 굴착 기능을 수행하는 회전구동 시스템, ③ 굴진 기능을 수행하는 추진 시스템 및 ④ 세그먼트 설치를 수행하는 세그먼트 이렉터 시스템으로 구분됨
 - 스크류 컨베이어 시스템 관련 후보과제는 상위 3위, 4위, 11위, 12위, 13위, 14위, 16위, 18위 해당함
 - 회전구동 시스템(메인베어링, 감속기, 구동모터 등) 관련 후보과제는 상위 6위, 7위, 8위 해당함
 - 추진 시스템(유압잭, 유압추진시스템 등) 관련 후보과제는 상위 9위, 15위, 17위 해당함
 - 세그먼트 이렉터 시스템 관련 후보과제는 상위 1위, 2위, 10위 해당함
 - 스크류컨베이어 시스템, 회전구동 시스템, 추진 시스템 및 세그먼트 이렉터 시스템은 장치 개발에 관련한 것으로 본 과제의 최종목표가 국산 TBM 완성품 개발에 있음을 고려할 때 후보과제의 우선순위와 관계없이 반드시 개발되어야 하므로 연구개발 목표 및 연구내용에 포함함
 - 중대단면 TBM 개발이 국내 최초라는 점과 기존 건설기계 및 산업기계과 달리 TBM은 고신뢰성과 고내구성을 요구하기 때문에 기존 양산품을 단순 수정정보완에 의해 TBM에 적용하기 어렵다는 점을 고려할 때 TBM을 위한 전용 부품의 개발이 반드시 필요함
 - TBM 단면 증대에 따라 요구되는 추력과 토크가 지수함수적으로 증가하므로 복수의 핵심부품을 집약적으로 배치하거나 단일 구성품의 출력을 증가시켜야 하는 기술적 문제 해결이 선행되어야 하는 바, TBM 완성품에서 요구하는 목표 규격을 구현하기 위한 핵심부품의 신규 개발이 반드시 병행되어야 함
- TBM 굴진면 안정화 시스템과 관련해서는 앞선 2장의 ‘동향조사 및 환경분석’에서 조사된 바와 같이, 현재까지 토압식(EPB)이 80%이고 이수식(Slurry)은 20%인 관계로 시장에서 가장 수요가 높은 토압식 쉘드TBM을 대상으로 한 스크류컨베이어 시스템을 포함함. 이수식 시스템은 향후 본 사업이 완료된 후 민간기업에서 자체적으로 개발이 가능할 것으로 판단됨
- 이상과 같이 도출된 세부과제 1의 개발목표와 주요 연구내용은 다음과 같음

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 중대단면 TBM 핵심부품 개발 								
개발목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 극한운전조건을 고려한 TBM용 고내구성 부품 설계제작 기술개발 ▪ TBM 핵심부품을 위한 신뢰성 시험평가 기술개발 								
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 스크류컨베이어 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 굴진면 안전화 및 효율적인 배토를 위한 스크류컨베이어 개발 - 버력 반출량 극대화를 위한 스크류 오거 개발 - 스크류컨베이어 회전구동을 위한 감속기 및 유압모터 개발 ▪ TBM 회전구동 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 커터헤드 회전축 지지 및 반발력 제공을 위한 고강성 베어링 개발 - 커터헤드 회전구동을 위한 토크리미트 내장형 감속기 개발 - 커터헤드 회전구동을 위한 고효율 유압모터 개발 ▪ TBM 추진 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - TBM 굴진 추력 극대화를 위한 고성능 추진잭 개발 - TBM 선회 굴진을 위한 중절 각도 조절용 유압잭 개발 - TBM 굴진 추력을 보조하는 그리퍼 개발 ▪ TBM 세그먼트 이렉터 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 세그먼트 이송, 인양, 회전, 장착 및 라이닝 자동화시스템 기술 개발 - 세그먼트의 병진 이동을 위한 유압실린더 개발 - 세그먼트의 회전 이동을 위한 유압모터 개발 								
기술개발 방향성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 극한환경조건을 고려한 고내구성 부품 설계해석제작 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 핵심부품 자동 용량산출 기술 - 핵심부품 기능전개에 따른 요소부품 규격 선정 기술 - 고강도/고강성/고내구성 확보를 위한 TBM 핵심부품 설계 및 제작 기술 ▪ TBM 핵심부품을 위한 신뢰성 시험평가 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 핵심부품의 성능, 피로수명 및 내환경성 시험평가 기술 - 핵심부품 양산을 위한 품질관리체계 및 양산시험 절차서 								
개념도	<div style="text-align: center;"> <p>중대단면 TBM 핵심부품 개발</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: #444; color: white; padding: 5px;">스크류컨베이어 시스템</td> <td style="background-color: #666; color: white; padding: 5px;">TBM 회전구동 시스템</td> <td style="background-color: #333; color: white; padding: 5px;">TBM 추진구동 시스템</td> <td style="background-color: #333; color: white; padding: 5px;">세그먼트이렉터 시스템</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ccc; padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> ◆구조 설계제작 ◆스크류 오거 ◆감속기 ◆유압 모터 </td> <td style="background-color: #fff; padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> ◆메인 베어링 ◆감속기 ◆유압 모터 </td> <td style="background-color: #eee; padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> ◆추진용 유압잭 ◆중절용 유압잭 ◆보조 그리퍼 </td> <td style="background-color: #ddd; padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> ◆구조 설계제작 ◆병진용 유압잭 ◆회전용 유압모터 ◆이렉터 자동화 </td> </tr> </table> <p style="text-align: center; background-color: #888; color: white; padding: 5px; margin-top: 10px;">극한환경조건을 고려한 TBM용 고성능/고내구성 핵심부품 TBM 핵심부품의 신뢰성 시험평가 기술</p> </div>	스크류컨베이어 시스템	TBM 회전구동 시스템	TBM 추진구동 시스템	세그먼트이렉터 시스템	<ul style="list-style-type: none"> ◆구조 설계제작 ◆스크류 오거 ◆감속기 ◆유압 모터 	<ul style="list-style-type: none"> ◆메인 베어링 ◆감속기 ◆유압 모터 	<ul style="list-style-type: none"> ◆추진용 유압잭 ◆중절용 유압잭 ◆보조 그리퍼 	<ul style="list-style-type: none"> ◆구조 설계제작 ◆병진용 유압잭 ◆회전용 유압모터 ◆이렉터 자동화
스크류컨베이어 시스템	TBM 회전구동 시스템	TBM 추진구동 시스템	세그먼트이렉터 시스템						
<ul style="list-style-type: none"> ◆구조 설계제작 ◆스크류 오거 ◆감속기 ◆유압 모터 	<ul style="list-style-type: none"> ◆메인 베어링 ◆감속기 ◆유압 모터 	<ul style="list-style-type: none"> ◆추진용 유압잭 ◆중절용 유압잭 ◆보조 그리퍼 	<ul style="list-style-type: none"> ◆구조 설계제작 ◆병진용 유압잭 ◆회전용 유압모터 ◆이렉터 자동화 						

(2) 연차별 목표 및 내용

◦ 이상의 연구개발 목표를 달성하기 위한 연차별 수행내용은 다음과 같음

연차	연구목표	연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 선진 TBM 핵심부품의 기술규격 분석 ▪ TBM 핵심부품의 주요 규격 산출 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 선진 TBM 핵심부품 기술자료 수집 및 기술규격 분석 ▪ 고강도, 고강성, 고내구성 및 고신뢰성 확보를 위한 TBM 핵심부품 설계 및 제작 원천기술 분석 ▪ 핵심부품 구조 분석 및 기능전개에 따른 요소부품 목록 분석 ▪ 핵심부품 용량산출 및 규격 확정
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 핵심부품의 기본 설계 ▪ TBM 핵심부품의 신뢰성 평가 기준 개발 ▪ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 고강도, 고강성, 고내구성 및 고신뢰성 확보를 위한 TBM 핵심부품 설계 및 제작 원천기술 개발 ▪ 핵심부품 기본 구조 설계 및 기능전개에 따른 요소부품 규격 선정 ▪ 부하특성 및 사용환경을 고려한 성능, 환경 및 수명 시험 평가 기술 개발 ▪ 실제 고장모드와 동일한 가속 수명 시험평가 기준 개발
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 핵심부품의 상세 설계 및 1차 시작품 제작 ▪ TBM 핵심부품 시작품의 1차 신뢰성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 고강도, 고강성, 고내구성 및 고신뢰성 확보를 위한 TBM 핵심부품 설계 및 제작 원천기술 적용 ▪ 핵심부품 상세 구조 설계 및 기능전개에 따른 요소부품 규격 1차 확정 ▪ 핵심부품 별 신뢰성 시험을 위한 테스트벤치 준비 ▪ 1차 핵심부품 성능, 환경 및 수명 시험평가 및 결과 분석
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 핵심부품 1차 시작품의 수정 보완 및 2차 시작품 제작 ▪ TBM 핵심부품 시작품의 2차 성능 및 신뢰성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 고강도, 고강성, 고내구성 및 고신뢰성 확보를 위한 TBM 핵심부품 설계 및 제작 원천기술 확보 ▪ 핵심부품 구조 수정보완 및 기능전개에 따른 요소부품 규격 2차 확정 ▪ 핵심부품 별 신뢰성 시험을 위한 테스트벤치 수정보완 ▪ 2차 핵심부품 성능, 환경 및 수명 시험평가 및 결과 분석
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 핵심부품 시제품 제작 ▪ TBM 핵심부품의 양산 품질 안정화 방안 수립 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 핵심부품 구조 및 요소부품 규격 최종 확정 ▪ 핵심부품 양산시험을 위한 테스트벤치 수정보완 ▪ 핵심부품 양산을 위한 품질관리체계 및 양산시험 절차서 개발

(3) 최종성과물 및 성과지표

- 세부과제 2의 개발목표와 주요 연구내용을 고려한 최종 성과물과 그에 따른 성과지표는 다음과 같음

세부과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)		
TBM 스크류 컨베이어 시스템 개발	스크류 오거	1	배토압	자체평가 (입회검수)	MPa	19.6	0.2		
		2	배토량	↑	m ³ /h	181			
		3	출력 토크	↑	kNm	Max. 109			
	유압모터 /감속기	1	용적 (감속기 포함)	↑	cm ³ /rev	2,500			
		2	압력	↑	MPa	14			
		3	유량	↑	lpm	270			
		4	출력 회전수 (감속기 포함)	↑	rpm	54			
		5	출력 토크 (감속기 포함)	↑	kNm	109			
		6	내구 수명 (감속기 포함)	↑	B10.hour	7000			
TBM 회전구동 시스템 개발	메인 베어링	1	출력 회전수	↑	rpm	4.9	0.5		
		2	출력 토크	↑	kNm	10,590			
		3	추력	↑	kN	50,750			
		4	내구 수명	↑	B10.hour	7000			
	유압모터 /감속기	1	용적 (감속기 포함)	↑	cm ³ /rev	170			
		2	압력	↑	MPa	35			
		3	유량	↑	lpm	290			
		4	출력 회전수	↑	rpm	1,710			
		5	출력 토크 (감속기 포함)	↑	kNm	109			
		6	감속비	↑	-	43.2			
		7	내구 수명 (감속기 포함)	↑	B10.hour	7000			
	TBM 추진 시스템 개발	추진잭	1	추력	↑	kN		1,813	0.15
			2	스트로크	↑	mm		2,250	
3			압력	↑	MPa	35			
중절잭		1	추력	↑	kN	2076			
		2	스트로크	↑	mm	180			
		3	압력	↑	MPa	35			
TBM 세그먼트 이렉터 시스템 개발	세그먼트 이렉터	1	출력 회전수	↑	rpm	Max. 1.0	0.15		
		2	출력 토크	↑	kNm	254.8			
	유압모터 /감속기	1	용적 (감속기 포함)	↑	cm ³ /rev	2,859			
		2	압력	↑	MPa	14			
		3	유량	↑	lpm	52.2			
		4	출력 회전수 (감속기 포함)	↑	rpm	20			
		5	출력 토크 (감속기 포함)	↑	kNm	127.4			
		6	내구 수명 (감속기 포함)	↑	B10.hour	7000			

3. (세부과제 3) TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발 분야

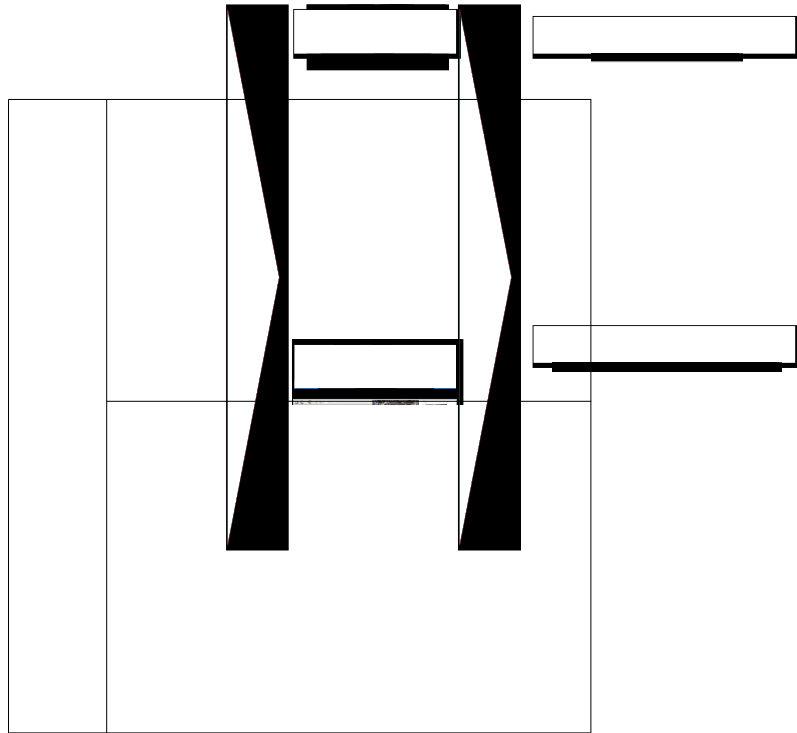
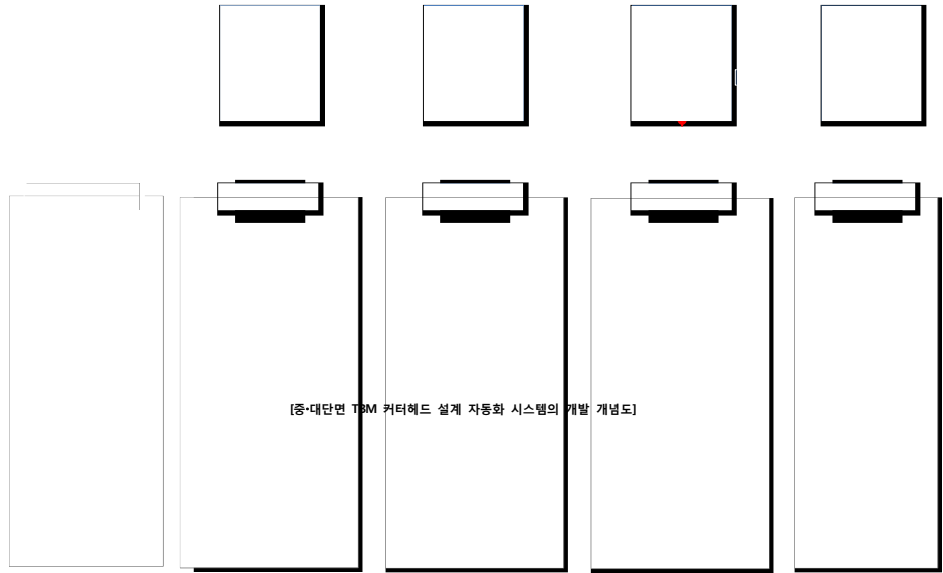
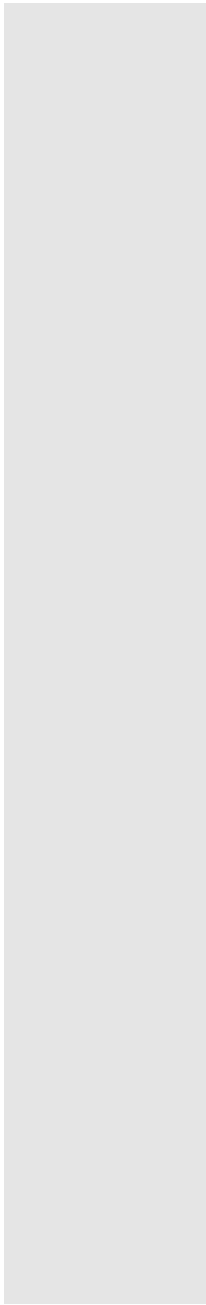
(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

- 본 세부과제에서는 **앞선 후보과제 우선순위 도출결과와 기존에 수행된 “TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술” 연구단 사업과의 중복성 등을 고려하여 연구개발 목표와 주요 연구내용을 도출함**
 - 상위 10위까지의 후보과제 가운데 ① **중·대단면 TBM 커터헤드 설계기술 및 커터헤드 자동화 설계 관련 후보과제들을 통합하였으며, ② TBM 시뮬레이터(S/W, H/W 및 교육 프로그램) 관련 후보과제들도 통합**
 - 1~2세부과제에서 제작될 중·대단면 TBM 완성품(직경 8 m 기준)의 현장적용과 관련된 세세부과제(국산 TBM 시제품의 현장 굴착성능 평가·분석)를 추가
 - 상위 7위 후보과제인 ‘TBM 장비선정 설계기준’과 11위 후보과제인 ‘TBM 커터헤드 설계 및 굴진성능 가이드라인’을 통합하여 상기 국산 TBM 시제품 현장 평가분석 과제에 포함
 - 또한 상위 10위까지의 후보과제 중에 추진시스템 개발, 기계데이터 분석 시스템 등은 세부과제 1~2와 중복되는 내용인 관계로 제외
 - 상위 10위인 디스크커터 국산화 개발된 기존 연구단 사업에서 개발 완료되었으므로 중복성을 고려하여 배제
 - 후보과제 11위부터 22위는 특수공법, 세부과제 1~2와 중복내용 내용, 기존 연구단 사업에서 개발된 전방 탐사기술과 디스크커터 개발 내용으로서 연구 예산 규모와 중복성을 고려하여 배제
- 중·대단면 TBM 커터헤드 설계기술과 관련해서는 기존 TBM 연구단 성과(직경 7 m 이하 커터헤드 설계기술)를 연계하여 직경 7 m이상의 중·대단면 TBM 커터헤드 설계기술로 성과 확장 도모. 특히, 기존 연구성과는 디스크커터와 커터 비트의 기하학적 배열 설계만이 가능하여 실제 제작도면은 수작업으로 이루어졌으나, 금번에는 3D modeling 기법, 자동화 설계 및 구조해석의 연동이 가능한 커터헤드 설계 시스템 개발을 통해 커터헤드 설계-제작의 모든 과정을 Non-stop(산출물: 커터헤드 제작도면)으로 가능하게 개발계획 수립
- 국내 TBM 전문인력(오퍼레이터)이 절대적으로 부족하며 시공경험도 부족하여 각종 시공리스크 발생시 대응능력이 떨어지는 문제점이 발생함. 이를 해결하기 위해 다양한 시공조건에 대한 시뮬레이션이 가능한 VR(Virtual Reality)기반의 TBM 시뮬레이터 개발 계획 수립. 특히, **현재까지 TBM 관련 시뮬레이터는 독일 Herrenknecht에서 개발한 세그먼트 이렉터(erector) 시뮬레이터가 유일하나, 본 세부과제에서는 이렉터 시뮬레이터와 더불어 세계 최초의 TBM 구동·운**

영 시뮬레이터 개발까지 특화기술로서 연구내용에 포함

◦ 이상과 같이 도출된 세부과제 3의 개발목표와 주요 연구내용은 다음과 같음

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발
개발목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 중·대단면 쉴드TBM 커터헤드의 설계자동화 시스템 개발 ▪ 다양한 지반조건과 시공조건을 고려한 쉴드TBM의 글로벌 전문인력(오퍼레이터) 훈련·양성용 시뮬레이터 개발 ▪ 국산 TBM 시제품의 현장적용에 따른 굴착성능 평가 및 분석
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 중·대단면 TBM 커터헤드의 설계자동화 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - 국내·외 TBM 커터헤드 제작도면 D/B 구축 - TBM 커터헤드의 주요 파트 및 부품의 D/B 구축 - 3D Modeling기반 TBM 커터헤드 설계 프로그램 및 구조해석 연동 기술 개발 - TBM 커터헤드 자동 배열 설계기술(디스크커터, 비트) 보완 - TBM 커터헤드 제작도면 자동 산출 모듈 개발 ▪ TBM 시뮬레이터 개발 <ul style="list-style-type: none"> - TBM 시뮬레이터 개발을 위한 TBM 유압·전기 계통도 분석 - 다양한 지반조건과 시공조건에 따른 리스크관리 기반의 TBM시공 시나리오 개발 - TBM 운전미숙이나 대처미흡으로 인한 시공트러블 현상 구현 및 대처방법 개발 - 다양한 TBM 시공 시나리오를 접목한 가상현실 기반의 TBM 시뮬레이터 S/W 및 H/W 제작 - TBM 시뮬레이터를 활용한 글로벌 TBM 전문인력 양성용 교육 프로그램 및 전문가 자격과정 개발 ▪ 국산 TBM 시제품의 현장 굴착성능 평가·분석 <ul style="list-style-type: none"> - 시공조건에 따른 TBM 최적 장비 선정기법 및 프로세스 개발 - 중·대단면 국산 TBM 시제품(직경 8 m 기준)의 현장적용 연구 및 실제 굴착성능의 평가·분석을 통한 검증(세부과제 1~2와 연계)
기술개발 방향성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 중·대단면 쉴드TBM의 설계검토시 도출된 최적 커터헤드 제원과 커터배열을 기반으로 3D모델링을 수행하고 구조해석을 통해 구조검토를 수행하는 일련의 작업을 자동화하고 최종적으로 제작도면 산출하는 자동화 기술을 개발 ▪ 지반조건/시공조건에 따른 TBM 운전/대처방법의 교육을 위한 가상현실(VR) 기반의 TBM 시뮬레이터 개발과 글로벌 TBM전문인력 양성용 교육프로그램 개발
개념도	



(2) 연차별 목표 및 내용

◦ 이상의 연구개발 목표를 달성하기 위한 연차별 수행내용은 다음과 같음

연차	연구목표	연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내·외 TBM 커터헤드 제작도면 D/B 구축 ▪ TBM 유압·전기 계통도 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내·외 중대단면 TBM 커터헤드 제작도면 수집 및 D/B화 ▪ TBM 시뮬레이터 구성 체계 확립을 위한 TBM 유압·전기 계통도 분석
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 커터헤드의 주요 파트 및 부품의 D/B 구축 ▪ 3D Modeling기반 TBM 커터헤드 설계 프로그램 및 구조해석 연동 플랫폼 제작 ▪ TBM 시뮬레이터 개발을 위한 TBM시공 시나리오 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TBM 커터헤드 설계자동화를 위한 주요 파트 및 부품의 D/B 구축 ▪ 설계자동화 UI를 이용한 커터헤드 베이스 형상 설계기술 개발 ▪ 중대단면 TBM 커터헤드 디스크커터 및 비트의 자동 배열 설계기술 보완 ▪ 다양한 지반조건과 시공조건에 따른 TBM시공 시나리오 분석 및 TBM 장비기종 분석
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 3D Modeling기반 TBM 커터헤드 설계 프로그램 및 구조해석 연동 기술 완성 ▪ TBM 커터헤드 제작도면 자동 산출 모듈 개발 ▪ TBM 시뮬레이터 개발을 위한 TBM시공 시나리오 완성 ▪ TBM 시뮬레이터 H/W 제작 ▪ TBM 장비선정 가이드라인 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ UI를 이용한 디스크커터, 비트의 자동배열 설계 보완(간섭, 형상수정) ▪ 3D Modeling기반 TBM 커터헤드 설계자료의 구조해석을 위한 자료 변환 모듈 제작 ▪ 중대단면 TBM 커터헤드 제작을 위한 부품별·전체도면 작성 자동 산출 모듈 개발 ▪ TBM 운전미숙이나 대처미흡으로 인한 시공트러블 현상 구현 및 대처방법 개발 ▪ 실제 TBM operating room 시스템을 구현한 시뮬레이터 H/W 제작 ▪ 시공조건에 따른 TBM 최적 장비선정 가이드라인 제시
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 중대단면 TBM 커터헤드 설계자동화 시스템 완성 ▪ TBM 시뮬레이터 S/W 제작 ▪ TBM 장비선정 프로세스 및 시스템 완성 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 커터헤드 설계자동화 프로그램을 이용한 국산 TBM 커터헤드 도면 자동제작기능 완성 및 오류 수정 ▪ 다양한 TBM 시공 시나리오를 접목한 IoT 및 VR 기반의 TBM 시뮬레이터 S/W 제작 ▪ 시공조건에 따른 TBM 최적 장비선정 프로세스 확립 및 시스템 완성
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국산 TBM 시작품의 현장 성능검증 ▪ TBM 시뮬레이터 시스템 완성 및 운영 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국산 TBM 시작품의 현장적용에 따른 굴착성능 평가·분석 및 검증 ▪ TBM 전문인력 양성을 위한 시뮬레이터 기반 교육 프로그램 및 전문가 자격과정 완성

(3) 최종성과물 및 성과지표

- 세부과제 3의 개발목표와 주요 연구내용을 고려한 최종 성과물과 그에 따른 성과지표는 다음과 같음

세부과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)
중대단면 TBM 커터헤드 설계기술 및 자동화 설계 시스템 개발	커터헤드 설계 기술	1	설계 가능 직경	외국 설계결과와의 비교	m	≥ 8	0.10
		2	설계 정확도 향상비율 (커터 작용력 예측 등)	현장결과 등과의 비교	%	20	0.10
	커터헤드 자동화 설계 시스템	1	시스템 구축건수	시스템 구현여부 등	식	1	0.10
		2	구조해석 결과의 정확성	기존 상용해석 S/W와의 비교	%	≥ 90	0.05
		3	디스크커터/커터 비트의 간섭율	제작도면 확인	%	0	0.05
4	설계시간 단축 (기존 대비)	기존 설계방법과의 비교	%	≥ 50	0.05		
5	설계결과의 CAD와의 호환성	CAD프로그램과 의 연계성 확인	%	100	0.05		
TBM 시뮬레이터 개발	TBM 시뮬레이터 S/W	1	TBM 시공 시나리오 개수	시뮬레이터에 포함된 개수 확인	개	≥ 10	0.05
		2	시뮬레이터 기반 TBM 교육훈련 프로그램	프로그램의 합리성/타당성	식	1	0.10
		3	최적 TBM 장비 선정 가이드라인 및 시스템	가이드라인의 적용성/타당성	식	1	0.05
	TBM 시뮬레이터 H/W	1	TBM 구동·운영 시뮬레이터	구축/구동 여부 확인	식	1	0.10
		2	세그먼트 이렉터 시뮬레이터	구축/구동 여부 확인	식	1	0.05
국산 TBM 시제품의 현장 굴착성능 평가분석	국산 TBM 시제품 굴착성능	1	적용 직경	현장적용 결과 확인	m	≥ 8	0.05
		2	최대 굴진율	굴진자료 분석결과 확인	m/day	≥ 10	0.05
		3	평균 가동율	굴진자료 분석결과 확인	%	≥ 30	0.05

6절. 성과의 활용방안

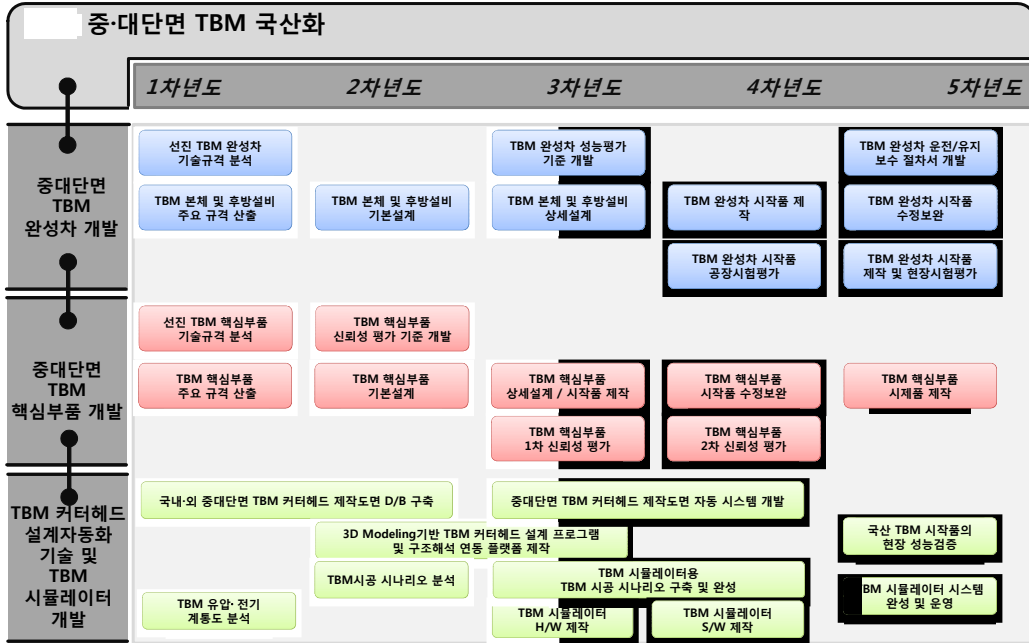
- 이상과 같이 도출된 각 세부과제별 목표성과물과 그에 따른 기술수요처 및 실용화 방안을 정리하면 다음과 같음

<목표성과물별 기술수요처 및 실용화방안>

세부과제	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
세부과제1	중·대단면 TBM 완성품	TBM 제작사 및 TBM 전문시공사	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발 시점의 시장수요를 고려하여 TBM 완성품의 직경을 본 과제 수행 중에 확정하여 실제 현장에 투입 추진(실시기업에서 수요연계형으로 실용화 추진)
	중·대단면 TBM 운전제어시스템 중·대단면 TBM 후방설비	TBM 제작사 및 TBM 전문시공사 (신규 완성품 제조의 핵심부품 및 기술공급, 완성품용 A/S 부품 공급)	<ul style="list-style-type: none"> 세부과제 2의 성과물인 핵심부품을 세부과제 1의 성과물인 완성품을 구현하는데 투입하여 TBM 국산화 개발을 도모 핵심부품 제조기업을 완성품 제조기업(실시기업)의 Supply chain으로 등록하여 국내외 시장 진입을 위한 공동 전략 수립 국내외 TBM 완성품 제조사의 A/S 부품 시장 대응을 통한 실용화 추진
세부과제2	중·대단면 TBM 스크류컨베이어 시스템		
	중·대단면 TBM 회전구동 시스템		
	중·대단면 TBM 추진구동 시스템		
	중·대단면 TBM 세그먼트 이렉터 시스템		
세부과제3	중·대단면 TBM 커터헤드 설계기술	TBM 제작사 및 TBM 전문시공사(TBM 재활용)	<ul style="list-style-type: none"> 개발된 기술의 지식재산권과 시스템을 참여기업(실시기업)으로 기술이전하여 실용화 추진
	중·대단면 TBM 자동화 설계 시스템		
		TBM 시뮬레이터 및 이렉터 시뮬레이터	발주처, TBM 제작사 및 TBM 시공사

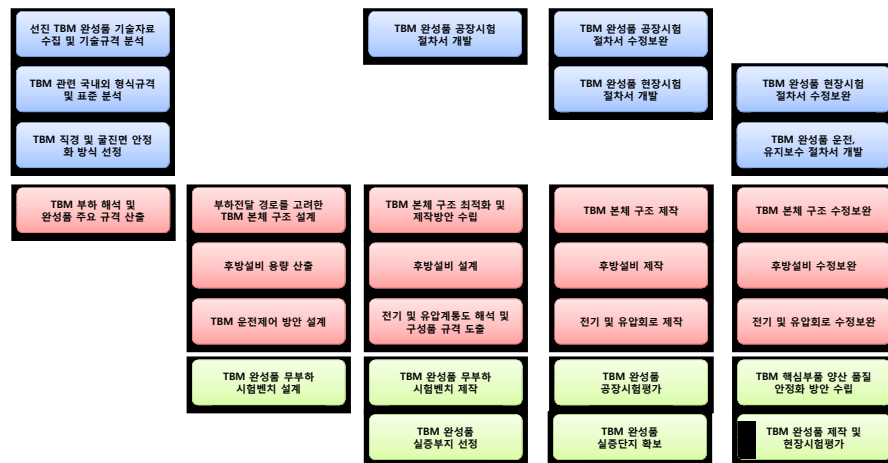
7절. 과제별·연차별 기술로드맵

1. 총괄 로드맵

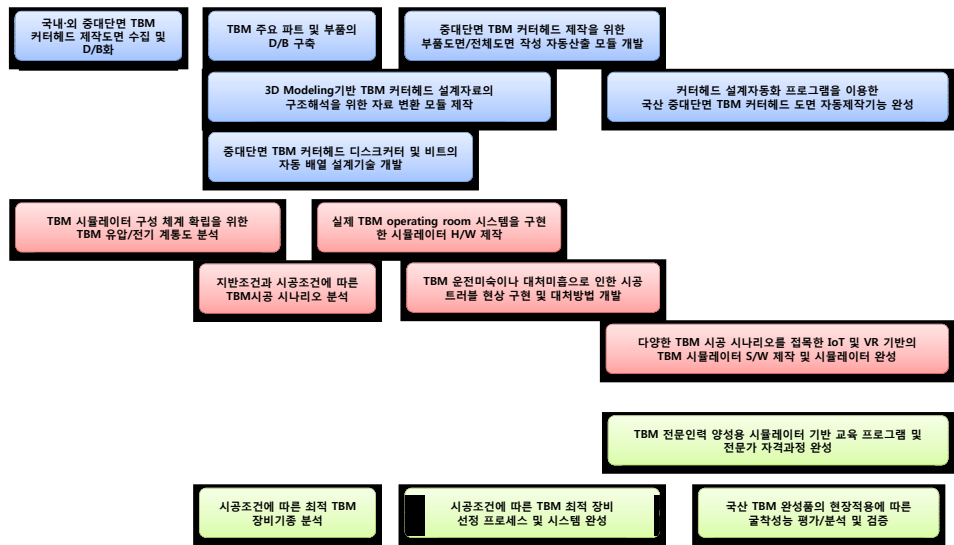


2. 과제별 로드맵

(1) (세부과제 1) 중대단면 TBM 완성품 개발



(2) (세부과제 2) 중대단면 TBM 핵심부품 개발



8절. 연구수행체계 제안

1. 연구추진체계 정립

- “중·대단면 TBM 국산화 기획”은 건설산업의 기반이 되는 핵심요소기술 개발 및 유기적 연계를 통한 패키지화된 기술의 성격으로 “연구단 수준”의 구성이 적합한 것으로 판단됨.
 - 중대단면 국산화 TBM완성품 개발 및 인력양성을 위해 TBM 핵심부품기술 개발, TBM 커터헤드 설계자동화 및 시뮬레이터기술 개발이 이루어져야 하며, 각 구성품이 연계되어 하나의 완성품으로 제작 및 실험이 수행되어야 함
 - 각 기술분야별로 연구에 집중하면서도, 상호간 연계되는 부분에 있어서 통합적으로 연구를 추진하기 위해서는 사업단 및 연구단 형태의 추진체계가 적절하며, 전체 연구범위 및 규모를 고려하여 연구단으로 추진함

〈국토교통부소관 연구개발사업 운영규정’의 과제 분류〉

사업단	기술별 총괄시스템의 개발과 연구개발결과의 시범적 적용을 포함한 사업단이 수행하는 과제
연구단	단위·요소기술의 유기적 연계를 통하여 패키지화된 기술을 개발하는 과제
일반과제	단위·요소기술을 개발하는 연구과제

2. 추진조직

- “중·대단면 TBM 국산화 기획”은 기초·원천기술, 실용화 기술, 관리정책의 다양한 성격의 연구를 총괄해야 하므로 산, 학, 관과 유연한 관계를 유지하고 객관적 관리가 가능한 연구기관 및 총괄 연구책임자 필요함.
- 원천성격의 기술은 이론정립, 실험 등의 위주로 기술정립이 필요하므로 학교 또는 연구기관에서 주도하도록 추진함.
- 실용화 기술은 현장적용 가능기술로 생산현장 또는 시공현장을 보유한 기업에서 주도하도록 추진함.
- 전체 연구조직은 산, 학, 연이 연계되어 상호보안 및 지원이 이루어지도록 구성함.

3. 추진체계

- 연구추진시 주관 및 협동, 위탁기관 및 참여기업은 모두 성과물이 발생되고,이의 활용이 이루어지도록 연구추진체계를 구성함.
- TBM 설계·제작을 위한 기계, 전기·전자, 소재 등의 연구기관들뿐만 아니라, 실제 수요자 측면에서 현장시공 및 TEST-BED를 운영할 수 있는 대형 건설사의 참여가 필요함
- 달성이 가능한 성과목표 및 성과지표를 제안·유도하고 연구진행 중 성과목표의 달성 및 관리방안을 정립하며, 주기적으로 성과를 관리함.
- 성과물의 실용화를 우선하여 기술실시 대상기업을 명확히 결정하고, 대상기술이 실용화가 가능한 수준으로 성과물이 도출되도록 상시 관리체계를 수립함.
- 상호 정보를 공유하고, 상호활용, 기술지원이 가능한 체계를 수립함



<연구추진체계>

5장. 인력투입계획 및 소요예산 산정

1절. 연구일정에 따른 인력계획

- 앞선 세부과제 1~3의 연구개발 내용을 수행하기 위해 필요한 연차별 및 세부과제 투입인력을 분석한 결과는 다음과 같음
 - 5년간 총 401명 투입: 1세부과제 156.8명, 2세부과제 141.1명, 3세부과제 103.1명
 - 책임연구원급 66.6명, 연구원급 88.6명, 연구보조원급 110.1명, 보조원급 136명

1. 전체사업 인력투입계획

(1) 연차별 투입 연구인력

(단위 : 명)

분류		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
총괄		30.8	66.9	89.4	125.9	88	401
세부 과제 1	1세세부과제	6.3	10.8	14.4	28.9	18.1	78.5
	2세세부과제	3.1	5.4	7.2	14.4	9.0	39.1
	3세세부과제	0.6	1.1	1.4	2.9	1.8	7.8
	4세세부과제	2.5	4.3	5.8	11.6	7.2	31.4
	계	12.5	21.6	28.8	57.8	36.1	156.8
세부 과제 2	1세세부과제	2.2	5.2	7.8	7.8	5.2	28.2
	2세세부과제	5.5	13.0	19.5	19.5	13.0	70.5
	3세세부과제	1.6	3.9	5.9	5.9	3.9	21.2
	4세세부과제	1.6	3.9	5.9	5.9	3.9	21.2
	계	10.9	26	39.1	39.1	26	141.1
세부 과제 3	1세세부과제	1.3	3.4	3.8	2.7	2.2	13.4
	2세세부과제	4.7	12.1	14.1	19.5	18.6	69.0
	3세세부과제	1.4	3.8	3.6	6.8	5.1	20.7
	계	7.4	19.3	21.5	29.0	25.9	103.1

(2) 상세 투입연구인력

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	5.3	11.6	14.8	20.6	14.3	66.6	
연구원	7.9	14.6	19.9	27.4	18.8	88.6	
연구보조원	7.3	18.7	24.1	35.0	25	110.1	
보조원	10.5	22.0	30.7	42.9	29.9	136	
합계	31.0	66.9	89.5	125.9	88	401.3	

2. 세부과제별 인력투입계획

(1) (세부과제 1)TBM 완성품 개발

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계		
계	책임연구원	2.1	3.6	4.8	9.6	6.0	26.1	
	연구원	2.8	4.8	6.4	12.8	8.0	34.8	
	연구보조원	3.5	6.0	8.0	16.0	10.0	43.5	
	보조원	4.2	7.2	9.6	19.3	12.1	52.4	
	합계	12.6	21.6	28.8	57.7	36.1	156.8	
1 세부 기술	책임연구원	1.0	1.8	2.4	4.8	3.0	13	
	연구원	1.4	2.4	3.2	6.4	4.0	17.4	
	연구보조원	1.7	3.0	4.0	8.0	5.0	21.7	
	보조원	2.1	3.6	4.8	9.6	6.0	26.1	
	합계	6.2	10.8	14.4	28.8	18	78.2	
2 세부 기술	책임연구원	0.5	0.9	1.2	2.4	1.5	6.5	
	연구원	0.7	1.2	1.6	3.2	2.0	8.7	
	연구보조원	0.9	1.5	2.0	4.0	2.5	10.9	
	보조원	1.0	1.8	2.4	4.8	3.0	13	
	합계	3.1	5.4	7.2	14.4	9	39.1	
3 세부 기술	책임연구원	0.1	0.2	0.2	0.5	0.3	1.3	
	연구원	0.1	0.2	0.3	0.6	0.4	1.6	
	연구보조원	0.2	0.3	0.4	0.8	0.5	2.2	
	보조원	0.2	0.4	0.5	1.0	0.6	2.7	
	합계	0.6	1.1	1.4	2.9	1.8	7.8	
4 세부 기술	책임연구원	0.4	0.7	1.0	1.9	1.2	5.2	
	연구원	0.6	1.0	1.3	2.6	1.6	7.1	
	연구보조원	0.7	1.2	1.6	3.2	2.0	8.7	
	보조원	0.8	1.4	1.9	3.9	2.4	10.4	
	합계	2.5	4.3	5.8	11.6	7.2	31.4	

(2) (세부과제 2) TBM 핵심부품 개발

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)						비고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
계	책임연구원	1.8	4.3	6.5	6.5	4.3	23.4	
	연구원	2.4	5.8	8.7	8.7	5.8	31.4	
	연구보조원	3.1	7.2	10.9	10.9	7.2	39.3	
	보조원	3.7	8.7	13.1	13.1	8.7	47.3	
	합계	11	26	39.2	39.2	26	141.4	
1 세부 기술	책임연구원	0.4	0.9	1.3	1.3	0.9	4.8	
	연구원	0.5	1.2	1.7	1.7	1.2	6.3	
	연구보조원	0.6	1.4	2.2	2.2	1.4	7.8	
	보조원	0.7	1.7	2.6	2.6	1.7	9.3	
	합계	2.2	5.2	7.8	7.8	5.2	28.2	
2 세부 기술	책임연구원	0.9	2.2	3.3	3.3	2.2	11.9	
	연구원	1.2	2.9	4.3	4.3	2.9	15.6	
	연구보조원	1.5	3.6	5.4	5.4	3.6	19.5	
	보조원	1.8	4.4	6.5	6.5	4.4	23.6	
	합계	5.4	13.1	19.5	19.5	13.1	70.6	
3 세부 기술	책임연구원	0.3	0.7	1.0	1.0	0.7	3.7	
	연구원	0.4	0.9	1.3	1.3	0.9	4.8	
	연구보조원	0.5	1.1	1.6	1.6	1.1	5.9	
	보조원	0.6	1.3	2.0	2.0	1.3	7.2	
	합계	1.8	4	5.9	5.9	4	21.6	
4 세부 기술	책임연구원	0.3	0.7	1.0	1.0	0.7	3.7	
	연구원	0.4	0.9	1.3	1.3	0.9	4.8	
	연구보조원	0.5	1.1	1.6	1.6	1.1	5.9	
	보조원	0.6	1.3	2.0	2.0	1.3	7.2	
	합계	1.8	4	5.9	5.9	4	21.6	

(3) (세부과제 3) TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)						비고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
계	책임연구원	1.4	3.7	3.5	4.5	4.0	17.1	
	연구원	2.7	4.0	4.8	5.9	5.0	22.4	
	연구보조원	0.7	5.5	5.2	8.1	7.8	27.3	
	보조원	2.6	6.1	8.0	10.5	9.1	36.3	
	합계	7.4	19.3	21.5	29.0	25.9	103.1	
1 세세부 기술	책임연구원	0	0.7	0.5	0.8	0	2.0	
	연구원	0.7	0.9	0.8	1	0	3.4	
	연구보조원	0	0.9	1	0	1	2.9	
	보조원	0.6	0.9	1.5	0.9	1.2	5.1	
	합계	1.3	3.4	3.8	2.7	2.2	13.4	
2 세세부 기술	책임연구원	0.7	2.5	2.5	3.3	3.5	12.5	
	연구원	2	2.7	3.2	4.5	4	16.4	
	연구보조원	0.7	3.2	3.4	5.5	5	17.8	
	보조원	1.3	3.7	5	6.2	6.1	22.3	
	합계	4.7	12.1	14.1	19.5	18.6	69.0	
3 세세부 기술	책임연구원	0.7	0.5	0.5	0.4	0.5	2.6	
	연구원	0	0.4	0.8	0.4	1	2.6	
	연구보조원	0	1.4	0.8	2.6	1.8	6.6	
	보조원	0.7	1.5	1.5	3.4	1.8	8.9	
	합계	1.4	3.8	3.6	6.8	5.1	20.7	

2절. 소요예산 산정

1. 예산 산정방법

- 세부과제를 수행하는데 소요되는 적정 비용을 산정하고, 이를 토대로 세부과제의 연구비를 산정하여 총 사업예산 규모를 확정함
- 앞선 4장 1절에서 분석한 바와 같이, 시공연장 2 km를 기준으로 Φ 8 m 및 Φ 12 m급 쉴드TBM터널의 직접공사비는 각각 최소 500억원 및 1,000억원(수직구 제외) 이상으로서 TEST-BED 예산을 연구예산에 반영하는 것은 현실적이지 못함
- 역시 TBM은 표준화가 불가능한 주문자 제작 장비이므로, 산업부 R&D의 사례를 참고하여 TBM 시제품 제작에 일부 국가R&D 예산을 투여하되 참여기업이 사업화를 직접 도모하는 ‘수요연계형’ R&D로 계획
- TBM 핵심 부품과 시제품 제작 일부에 연구예산이 반영되었으나, 실제 국산 시제품(직경 8 m 기준)은 향후 실시기업에서 실제 사업을 수주하여 현장적용을 하는 것으로 계획을 수립
 - 이상과 같이 본 연구예산에는 TBM 시제품 제작에 필요한 100% 예산과 현장시공 비용이 포함되어 있지 않으므로, 실제 현장적용될 국산 TBM 시제품의 직경은 실시기업의 수주결과에 따라 변경이 가능하도록 허용되어야 함
- 인건비는 ‘2015년 학술연구용역 인건비기준단가’를 기준으로 작성
- 항목별 예산은 ‘국토교통부소관 연구개발사업 운영규정’의 ‘별표 2 연구개발비비목별 계상기준’을 작성기준으로 활용

2. 전체사업 소요예산

(1) 총괄 소요예산

- 5개년간의 총 연구비는 367.92억원으로 산출됨
 - 총괄: 정부출연금 255억원+민간부담금 112.92억원(현금 및 현물 포함)
 - 1세부: 정부출연금 100억원+민간부담금 45억원(현금 및 현물 포함)
 - 2세부: 정부출연금 90억원+민간부담금 40.5억원(현금 및 현물 포함)
 - 3세부: 정부출연금 65억원+민간부담금 27.42억원(현금 및 현물 포함)

(단위 : 백만원)

분류	1차 년도		2차 년도		3차 년도		4차 년도		5차 년도		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄	2,000	900	4,290	1,868	5,680	2,515	7,970	3,586	5,560	2,422	25,500	11,292
세부과제 1	800	360	1,380	621	1,840	828	3,680	1,656	2,300	1,035	10,000	4,500
1-1(세세부과제)	400	180	690	311	920	414	1840	828	1150	517	5000	2,250
1-2(세세부과제)	200	90	345	155	460	207	920	414	575	259	2500	1,125
1-3(세세부과제)	40	18	69	31	92	41	184	83	115	52	500	225
1-4(세세부과제)	160	72	276	124	368	166	736	331	460	207	2000	900
세부과제 2	700	315	1,660	747	2,490	1,120	2,490	1,120	1,660	747	9,000	4,050
2-1(세세부과제)	140	63	332	149	498	224	498	224	332	149	1,800	810
2-2(세세부과제)	350	158	830	374	1244	560	1244	560	830	374	4,500	2,024
2-3(세세부과제)	105	47	249	112	374	168	374	168	249	112	1,350	608
2-4(세세부과제)	105	47	249	112	374	168	374	168	249	112	1,350	608
세부과제 3	500	225	1,250	500	1,350	567	1,800	810	1,600	640	6,500	2,742
3-1(세세부과제)	80	36	230	92	230	96.6	200	90	100	40	840	354.6
3-2(세세부과제)	320	144	800	320	900	378	1,250	562.5	1200	480	4,470	1,884.5
3-3(세세부과제)	100	45	220	88	220	92.4	350	157.5	300	120	1,190	502.9

(2) 예산 항목별 소요예산(정부출연금)

- 인건비는 ‘2015년 학술연구용역 인건비기준단가’를 기준으로 작성
- 항목별 예산은 ‘국토교통부소관 연구개발사업 운영규정’의 ‘별표 2 연구개발비 비목별 계상기준’을 작성기준으로 활용

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	36.7	195.37	427.62	544.12	757.45	526.95	2488.2	9.76
	연구원	28.14	222.97	410.47	559.4	770.68	528.77	2520.4	9.88
	연구 보조원	18.81	136.17	352.73	452.87	658.3	471.43	2090.3	8.20
	보조원	14.11	147.68	311.02	433.28	604.71	421.42	1932.2	7.58
소계			702.2	1501.8	1989.7	2791.1	1948.6	8933.4	35.0
직접비	연구장비/ 재료비		800	1716	2272	3188	2224	10200	40.0
	연구활동비		172.4	373.2	495.7	697.3	481.3	2219.9	8.71
	연구수당		125.4	270	354.6	496.5	350.1	1596.6	6.26
소계			1275	2797	3596.5	5013.5	3618	16300	63.92
간접비			200	429	568	797	556	2550	10.0
합계			2000	4290	5680	7970	5560	25500	100.0
*인건비=소요인력(ManPower) × 단가									

3. 세부과제별 소요예산(정부출연금)

(1) (세부과제 1) TBM 완성품 개발

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	36.70	76.80	132.48	176.64	353.28	220.80	960	9.6
	연구원	28.14	78.40	135.24	180.32	360.64	225.40	980	9.8
	연구 보조원	18.81	65.60	113.16	150.88	301.76	188.60	820	8.2
	보조원	14.11	59.20	102.12	136.16	272.32	170.20	740	7.4
소계			280.0	483.0	644.0	1288.0	805.0	3,500	35
직접비	연구장비/재료비		320.0	552.0	736.0	1472.0	920.0	4,000	40
	연구활동비		72.0	124.20	165.60	331.2	207.0	900	9
	연구수당		48.0	82.80	110.40	220.8	138.0	600	6
소계			440.0	759.0	1012.0	2024.0	1265.0	5,500	55
간접비			80.0	138.0	184.0	368.0	230.0	1,000	10
합계			800.0	1380.0	1840.0	3680.0	2300.0	10,000	100

(2) (세부과제 2) TBM 핵심부품 개발

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	36.70	67.20	159.36	239.04	239.04	159.36	864	9.6
	연구원	28.14	68.60	162.68	244.02	244.02	162.68	882	9.8
	연구 보조원	18.81	57.40	136.12	204.18	204.18	136.12	738	8.2
	보조원	14.11	51.80	122.84	184.26	184.26	122.84	666	7.4
소계			245.0	581.0	871.5	871.5	581.0	3,150	35
직접비	연구장비/재료비		280.0	664.0	996.0	996.0	664.0	3,600	40
	연구활동비		63.0	149.4	224.1	224.1	149.4	810	9
	연구수당		42.0	99.6	149.4	149.4	99.6	540	6
소계			385.0	913.0	1369.5	1369.5	913.0	4,950	55
간접비			70.0	166.0	249.0	249.0	166.0	900	10
합계			700.0	1660.0	2490.0	2490.0	1660.0	9,000	100

다. (세부과제 3) TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임연 구원	36.70	51.37	135.78	128.44	165.13	146.79	627.51	9.65
	연구원	28.14	75.97	112.55	135.06	166.02	140.69	630.29	9.70
	연구보 조원	18.81	13.17	103.45	97.81	152.36	146.71	513.50	7.90
	보조원	14.11	36.68	86.06	112.86	148.13	128.38	512.11	7.88
소계			177.19	437.84	474.17	631.64	562.57	2,283.41	35.13
직접비	연구장비/ 재료비		200.0	500.0	540.0	720.0	640.0	2600.0	40.0
	연구활동비		37.37	99.59	106.00	142.03	124.92	509.91	7.84
	연구수당		35.44	87.57	94.83	126.33	112.51	456.68	7.03
소계			450.0	1125.0	1215.0	1620.0	1440.0	5850.0	90.0
간접비			50.0	125.0	135.0	180.0	160.0	650.0	10.0
합계			500.0	1250.0	1350.0	1800.0	1600.0	6500.0	100.0
*인건비=소요인력(ManPower) × 단가									

6장. 사전타당성 검토

1절. 정책적 타당성

1. 국가전략의 중요성

- 국민의 안전을 최우선하는 현 정부 정책에 부합함.
- 본 연구단의 기술개발을 통한 해외기술에 전적으로 의존하고 있는 TBM을 국산화하여 국내 TBM건설을 활성화 하는 한편, 해외시장 진출 기반을 마련함
 - 외국에 100% 의존하고 있으며 선진 6개국에서만 비공개로 보유하고 있는 TBM(Tunnel Boring Machine)의 설계·제작 자립기술 확보하고, TBM 국산화를 통한 국부 유출 방지와 해외시장 진입에 기여, 친환경적이고 경제적인 TBM터널 건설의 활성화 기반 마련.
 - TBM은 기술집약적 건설장비로서 관련 핵심기술은 극소수의 제작사별로 비공개 보유하고 있기 때문에 시장진입 장벽이 높은 과점시장 형태임. 반면, 기존의 개착 또는 발파 공법과 비교할 때 안전하고 굴착속도가 빠르며 소음·진동 등의 공사 중 환경피해를 최소화할 수 있어 국내외 수요가 증가하고 있음. 따라서 TBM 자체 제작 시에 내수시장 대응뿐만 아니라 관련 세계시장 진출 기반 구축이 필요함.

2. 상위계획 부합성

- 중·대단면 TBM 국산화하는 동 연구단은 ‘박근혜정부 국정목표 및 국정과제(‘5, ‘10, ‘91)’, ‘경제혁신 3개년 계획(‘18, ‘26, ‘31)’, ‘창조경제(전략 2)’, ‘법적계획: 제3차 과학기술기본계획(‘13~‘17), 제5차 건설기술진흥기본계획(‘13~‘17)’의 건설공사 현장의 재해 및 안전사고 저감과 고부가치 원천기술 확보를 추구하는 방향성에 부합함
 - 국정과제에서는 (5. 중소·중견기업의 수출경쟁력 강화)를 통해서 TBM 세계시장에의 진출과 새로운 수출동력 마련하고, (10. 교통체계·해운 선진화 및 건설·원전산업 해외진출 지원)에서 해외 터널공사의 대부분을 차지하는 해외 TBM터널 시장 진출 및 수주 경쟁력 강화를 추진하고 있으며, (91. 안전하고 쾌적한 일터 조성)에서 TBM에 의한 기계화시공으로 인해 터널 건설공사 현장의 재해 및 안전사고 저감에 기여하고자 함.
 - 경제혁신 3개년 계획은 (18. 중소·중견기업 경쟁력 강화)의 정책에 일환으

로 TBM 제작 중소·중견기업 육성 및 해외 TBM터널 건설시장 진출 기업들의 경쟁력 강화하고, (26. 융합신산업 육성)에서 건설·기계·소재의 융복합 기술 및 IoT기반의 TBM 운용·인력양성 기술 개발을 추진하며, (31. 해외건설·플랜트 수출 고부가가치화)를 통하여 '15년부터 향후 5년간 약 33% 증가가 예상되는 TBM 관련 시장에서의 신규 진출 및 해외 6개국에서만 비공개로 보유하고 있는 고부가가치 TBM 원천기술 보유·활용하고자 함.

- 창조경제의 (전략 2 벤처·중소기업의 창조경제 주역화 및 글로벌 진출 강화)를 통하여 TBM 사업화 추진 중소기업의 기술 확보 및 글로벌 시장 진출 지원 함.
- 법정계획: 제3차 과학기술기본계획('13~'17)을 통하여 (4. 깨끗하고 편리한 환경 조성)으로 국토인프라 선진화를 추진하고, (15. 기술이전·사업화 촉진)으로 사업화 초기장벽 극복지원 확대하며, (16. 신시장 개척 지원)으로 융합 기술·제품 개발 촉진하고 함.
- 법정계획: 제5차 건설기술진흥기본계획('13~'17)을 통하여 (1-② 시장친화 미래형 교육훈련 확대)로 ①해외건설기술 맞춤형 교육 확대/③실무역량 및 미래유망 전문교육 강화하며, (1-⑤ Green&Smart 건설기술 개발)로 ③ 기초·원천·핵심기술 R&D추진함.

◦ 본 연구단 개발기술은 해외건설 시장 공략 및 글로벌 전문인력 양성등을 함께 고려하고 있어 '박근혜정부 미래성장동력('9,'19) ', '국토교통 R&D 중장기 전략('14.7) ', '2014년도 해외건설 추진계획(국토교통부, '14.4)'의 해외건설 특화기술 및 글로벌 트렌드를 추구하는 방향성에 부합함

- 미래성장동력은 (9.가상훈련시스템)으로 TBM 글로벌 전문인력 양성·훈련용 시뮬레이터 개발하며, (19.첨단소재가공시스템)으로 대형 건설장비인 직경 7 m이상의 TBM 제작을 위한 첨단소재 가공시스템 및 첨단공구의 활용
- 창조경제 실현을 위한 국토교통 R&D 중장기 전략(국과심 본회의, '14.7)에서 (1. 건설기술연구사업-기계화/자동화 시공기술) [중기] 기계식 터널 굴착장비(TBM)의 국산화 기술 개발 및 [장기] 대단면 TBM 제작기술 및 실증
- 2014년도 해외건설 추진계획(국토교통부, '14.4)에서 (2. 해외건설 산업 수익성 제고 지원) 해외건설에 특화된 R&D 추진 및 글로벌트렌드에 따른 해외건설시장에 대한 선제적 대응 기술 개발 추진계획

◦ 본 연구단 개발기술은 핵심설계 및 소재, 부품장치 국산화, 국가경쟁력향상, 예산절감, 국가정책계획과의 부합성, 온실가스 감축을 추구하는 국가연구개발 투자방향과의 부합함

- “핵심 설계·소재” 및 “부품·장치 국산화”: 비공개인 TBM 핵심 설계·제작 기

술 확보

- “국가경쟁력 향상” 및 “예산절감”: 국산 TBM으로 인한 외화 유출방지 및 가격 현실화
- “국가 정책·계획과의 부합성”, “온실가스 감축”, : TBM 관련 유망 메가 프로젝트(GTX, 해저터널 등)에의 기여를 위한 핵심 기술 개발
- 본 연구단 개발기술은 제3차 과학기술기본계획, 국토교통 R&D중장기 전략, 해외시장 선도형 복합인프라 플래그십 프로그램, 건설기술진흥기본계획, 제2차 건설교통 R&D중장기 계획 등 국가 R&D로드맵 상에 제시되고 있는 기술임
 - 동 연구단 개발기술은 제3차 과학기술기본계획(’13~’17): “4. 깨끗하고 편리한 환경 조성/국토인프라 선진화/최첨단 인프라구조물 건설기술”에 해당
 - 해외 터널 건설공사의 대부분이 TBM공법으로 발주되는 상황에서 국내 건설사의 해외진출과 관련된 애로사항을 해결해 줄 수 있는 국내 TBM 제작사에 관련 기술전수하는 것으로 국토교통부 R&D지원 목적성 및 방향성과의 부합
 - 동 연구단 개발기술은 창조경제 실현을 위한 국토교통R&D 중장기 전략(’14.7)의 기술개발 방향: (터널) TBM 핵심 설계·부품 기술의 고도화 및 터널 건설 최적화 기술과 더불어 대심도 복층터널, 해저터널 기술 등 개발 및 실증에 해당
 - 동 연구단 개발기술은 해외시장 선도형 복합인프라 플래그십 프로그램(’14.11) : “II-1-5-㉞ 해저터널 설계·시공기술 개발” 내 TBM기술개발에 해당
 - 동 연구단 개발기술은 2015년도 국토교통기술연구개발사업 시행계획(’14.12) : 세계 수준의 터널 핵심기술 자립화에 해당
 - 동 연구단 개발기술은 제5차 건설기술진흥기본계획(’13~’17) : 시장친화 미래형 교육훈련 확대, Green&Smart 건설기술 개발에 해당
 - 동 연구단 개발기술은 제2차 건설교통 R&D 중장기계획(’13~’17) : 국산화·자립화 및 해외수출 지원에 해당

3. 정책적 추진의지

- 정책적 중요도와 이슈해결 여부
 - 최근 들어 수도권 대심도 광역 급행 광역철도(GTX), 서울시 지하도로망(U-SMARTWAY), 초장대 해저터널 구상(예: 호남-제주 해저터널) 등의 TBM 관련 메가 프로젝트들이 구상 또는 검토되고 있는 상황으로서, 이를 실현하기 위한 핵심 기술로서 활용이 가능
 - 터널공사 중의 각종 사고와 민원을 방지할 수 있는 기계화 시공기술이며, 해외 터널 시장의 대부분이 TBM으로 전환되고 있는 상황으로서 해외 건설 진출 활성화를 위해서도 필수적인 기술임
 - 고가의 TBM 도입(예: 직경 7 m 쉘드TBM의 경우 1대당 약 120억원 내외)으로 인해 국부 유출이 이루어지고 있는 상황으로서 수입대체 및 관련 국내 시장 창출 차원에서 정책적인 효과가 큼
- 정부주도의 기술개발 필요성
 - 우리나라의 TBM 관련 기술 수준은 선진국 대비 약 60%에 불과하며 건설-기계-소재의 융·복합 분야로서 민간 단독으로의 개발이 어려움
 - 선진외국(예: EU)과 중국에서도 정부주도로 산·학·연 TBM 대형 연구과제를 추진하고 있음
 - 이상과 같이 민간 단독의 단기간 투자와 연구를 통한 기술개발은 리스크가 매우 크기 때문에, 정부주도로 중장기적인 융·복합 산학연 공동연구를 통해 TBM 국산화 기술을 확보하고 사업 추진능력과 의지를 보유한 관련 기업에서 사업화를 추진하는 것이 필요
- 정부주도가 필요할 만큼의 기술개발 시급성 여부
 - TBM은 국민소득 2만불 이상에서 주로 이루어지는 공법이며, 특히 환경 및 안전 분야에 대한 중요도가 높아지면서 적용이 활발해지는 공법임
 - 우리나라에서는 직접공사비 측면에서는 TBM이 다소 불리하기 때문에 소득 수준에 비해 TBM의 활용이 미미하지만 TBM의 사용은 전 세계적인 추세임
 - 또한 국내 건설시장의 침체로 인해 해외진출이 많은 상황에서 대부분 해외 공사에서 TBM공법이 적용되고 있음

2절. 기술적 타당성

1. 기술개발 계획의 적절성

- 본 연구단의 비전으로 제시하고 있는 ‘중대단면 TBM 국산화를 통한 글로벌 시장 진출’ 달성을 위해 본 연구단의 사업목표를 ‘중·대단면 TBM용 핵심 국산부품 개발’, ‘중·대단면 TBM 시스템의 설계·제작 원천기술 개발’, ‘글로벌 TBM 전문인력 양성 및 TBM 시공 트러블 저감을 위한 세계 최초 IoT기반 TBM 시뮬레이터 개발’으로 구체적으로 제시함.
- 세부과제로 ‘TBM 완성품 개발’, ‘TBM 핵심부품 개발’, ‘TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발’을 설정하고, 이를 실현하기 위한 최적의 과제 구성을 제시함.
- 기술수요조사, 기술수준예측조사, 우선순위조사 등을 통해 관련 전문가들의 의견을 적극적으로 반영한 과제 발굴 및 구성으로 객관성을 확보함.
- 본 연구단의 사업목표를 달성하기 위해 각 중점추진과제를 구성하였으며, 적절한 연구개발 목표와 연구내용 및 범위를 설정하여 제시함.
 - 중점추진과제 1은 완성품 설계제작 기술, 후방설비 시스템, 버력처리 시스템, 세그먼트 라이닝 및 뒤택움주입 시스템의 구축을 통하여 TBM 완성품 개발을 목표로 함.
 - 중점추진과제 2는 스크류컨베이어 시스템, 회전구동 시스템, 추진구동 시스템, 세그먼트 이렉터 시스템, 운전제어 시스템 개발을 추진하여 TBM 핵심부품 개발을 목표로 함.
 - 중점추진과제 3은 TBM 굴착도구/전방 조사, 커터헤드 설계제작 기술 개발, 전문 TBM 오퍼레이터 양성을 시뮬레이터 개발, 국산 TBM 시제품 현장 검증을 통하여 TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발을 목표로 하고 있음.

2. 기술수준 및 성공가능성

- TBM 핵심 설계·부품기술 개발 및 TBM터널 최적 건설기술을 개발한 TBM연구단 연구개발사업에 이어 TBM설계·제작 기술 100% 국산화 및 사업화 연구 기획을 위한 기술 수요·수준·예측 조사 수행한 결과 국내 TBM 굴착도구의 전체 기술수준은 69.0%이며, 평균기술격차는 3.8년임
 - 최고기술보유국의 중·대단면 TBM기술은 국내보다 3년 이상 앞서 실현될 것으로 전망되며, 중·대단면 TBM기술의 기술적 실현 후 사회경제적 실현까지 해외 0~3년, 국내 0~2년이 소요될 것으로 전망됨
- 산·학·연 전문가를 대상으로 중·대단면 TBM 국산화 관련 기술의 실현시기, 기술수준, TRL단계, 중요도 등을 위해 기술개발이 필요한 기술아이템에 대한 기술수요를 조사함
 - 중·대단면 TBM 기술의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지고 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 실험실규모의 핵심성능평가가 이루어지는 단계에 있음
- 중·대단면 TBM 국산화기술의 기술획득 방식은 대체적으로 정부-민간 공동(57%)이 중요성이 높은 것으로 나타남
 - 중·대단면 TBM 국산화기술 모두 정부-민간 공동연구를 통한 기술획득이 중요하며, TBM 추진·운영 시스템분야, 세그먼트 이렉터 및 후방설비 기술분야는 정부-민간 공동연구 중요성이 60%이상으로 나타남
- 중·대단면 TBM 국산화 기술분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
- 국내 업체에서 보유 및 실용화 가능한 기술 여부
 - 선행 연구사업을 통해 TBM의 중요 파트인 커터헤드에 대한 독자 기술을 확보
 - 수입·도입이 타당한 일부 부품을 제외하고는 국내 인프라를 활용하여 제작이 가능한 국산화 핵심부품을 연구기획을 통해 선정 및 개발전략을 수립(개념도의 '세부기술 2' 참조)
- 시장이 수용가능한 가격수준으로 기술적용(생산 등) 가능여부
 - 본 연구사업은 국내 시장뿐만 아니라 세계 시장을 대상으로 하고 있기 때문에 가격경쟁력이 가장 중요한 고려항목 중의 하나임
 - 특히, 최근 들어 TBM 국산화 생산을 추진하고자 하는 국내 기업들이 생기고 있는 상황으로서 기술개발의 적기임

나. 기술개발 성공가능성

- SWOT 분석을 통하여 내부적 강점과 약점을 파악하고, 외부적 기회와 위협에 대해 명확히 분석하여, 우선수행 및 보완 전략과 RI SK 해결 전략 및 장기보완 전략을 수립하였음.
- 이를 통해 기술개발이 성공적으로 이루어질 수 있는 연구 전략을 수립하여 기술개발 성공가능성을 높임.
- TBM 개발의 관련 기수행 연구와의 연계를 통한 기술개발 추진하고, 수요기간인 산업체의 연구 참여 및 정부기관의 의견 수렴을 통해 성공가능성을 향상함.
- 기획연구를 통해 꼭 필요하고 개발가능성 높으면서 실용화 가능성이 큰 기술을 발굴하여 기술개발 성공가능성을 높임.

3. 기존 사업과의 중복성

- 기존 연구개발과제/민간기술들과의 차별성
 - 선행 연구인 “TBM 핵심 설계·기술개발 및 TBM터널의 최적 건설기술” 연구단(2010.12~2015.5) 를 통해 직경 7 m 이하의 TBM 커터헤드 설계기술을 확보하였으나 기존 수입 TBM을 재활용하는데 목적이 있었으며, 중·대단면 TBM 전체를 국산화하는 것은 국내에서 최초로 개발되는 기술임
 - 특히, 선행 연구에서는 디스크커터와 커터비트의 기하학적 배열 설계에 중점을 두고 있어서, 설계된 커터헤드의 수치해석을 통한 구조적 안정성 검증과 제작도면 작성은 개별적으로 수동으로 이루어짐
- 따라서 본 기획과제에서 제시된 연구계획에서는 상기 선행 연구성과를 활용하여, 중·대단면 TBM 커터헤드의 자동화/논스톱 설계 시스템을 개발하는 것으로 목표를 설정
- 일부 기업에서 TBM 국산화에 성공하였다는 언론홍보를 하고 있으나, 후방설비만 국내에서 조립한 것이며 이미 국산 제품이 있는 디스크커터와 커터비트를 그대로 사용. 즉, TBM에서 가장 핵심적인 커터헤드, 추진·구동 시스템 등에 대해서는 해외(일본) 제작사로부터 직접 도입하고 있는 실정임. 기타 관련 국가/민간 연구사업 전무
- 해외 선진기술과의 차별성과 기술적 차이점
 - 본 사업은 추격형 연구로서 해외 TBM과 형식적인 측면에서는 차이가 없으나, 비공개 기술분야에서 독자적인 원천 기술을 확보하는데 의의가 있음
 - 또한 TBM 시뮬레이터는 세계적으로 처음 시도되는 독창적인 기술분야임

3절. 경제적 타당성

1. 경제적·기술적 효과(정성적 분석)

◦ 경제적 효과

- 중·대단면 TBM기술의 국산화를 통해 국내 터널 시장뿐만 아니라 국내 건설사의 해외 TBM터널 수주 시장에 적용/지원하여, 해외 TBM 제작기업에 의 외화유출을 절감
- 세계적인 수준의 TBM 운용 전문인력 양성을 통해, TBM 시공품질을 향상 시키고 (시공트러블 저감) 국산 TBM 제작사의 서비스 경쟁력을 확보. 또한 숙련된 전문인력에 의해 TBM 시공트러블 발생 시에 시공 지체시간을 최소화하고 관련 공사비용 절감
- TBM 제작 관련 기업 및 건설사의 매출증대 및 수주실적 증대
- 개착공법 및 NATM공법 적용 시 수반되는 소음진동으로 인한 환경피해, 낙반으로 인한 붕괴사고 피해 등으로 발생하는 사회적 간접비용 저감
- TBM 장비비의 약 10~20%를 차지하는 커터헤드의 국산화를 통한 종래의 외국산 TBM의 재활용 대비 추가적인 장비비 절감 및 공사비 절감 제고

◦ 기술적 효과

- 국내외 다양한 지반환경조건에 따른 최적 중대단면 TBM장비 완성품 설계 제작 기술 확보
- 다양한 환경조건에서 사전 시뮬레이션을 수행할 수 있는 TBM장비 운용 시뮬레이터 확보
- 중대단면 TBM기술을 기반으로 부가가치가 높을 것으로 예상되는 대단면 TBM장비 설계제작 및 장비활용 건설기술 개발에 활용 가능

- 정책적 효과
 - TBM장비가 요구되는 해저교통터널, GTX, U-SMARTWAY 등의 메가 프로젝트 관련 정책 실현에 기여
 - 교통터널에의 적용이 가능한 중대단면 TBM기술을 확보함에 따라 기존 발파/개착공법 대비 안전하고 빠른 개통이 가능하여 정부 및 지자체의 도시 인프라 건설효과 조기 실현
 - 중대단면 TBM부재로 발파/개착공법으로 추진해야 했던 교통터널 건설현장에서 발생하는 소음진동 등의 각종 사회적 이슈 해결
 - 발파/개착공법 대비 안전성이 향상되어 정부의 안전을 우선시하는 정책에 기여

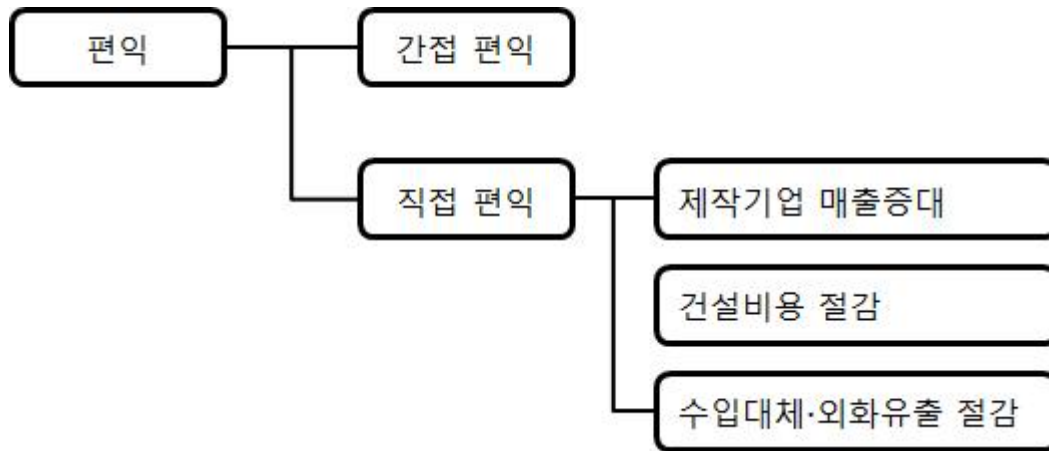
2. 파급효과

- 직접적 파급효과
 - 2015년 대비 연구종료 시점인 2020년에 33% 증가가 예상되는 전 세계 TBM 제작시장에의 참여와 수주(2012년 기준 전 세계 TBM 제작 시장규모 추정액: 약 4조1,100억원)
 - 경쟁력이 있는 국산 TBM 장비 확보를 통해 국내 건설기업의 해외 TBMTunnel 시공사업 수주 가능성 제고
- 간접적 파급효과
 - 국내 중공업 및 기계산업 분야의 신시장 창출 항목으로 활용
 - 선진 6개국에서 독점하고 있는 중대단면 TBM 기술 확보를 통한 국가 기술력 이미지 제고에 기여

3. 경제성 분석(정량적)

(1) 분석 개요

- 본 연구의 중점 추진 분야는 1) TBM 완성차 개발, 2) TBM 핵심부품 개발, 3) TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발로 구분
 - TBM 완성차 개발분야에는 완성차 설계제작 기술, 후방설비 시스템, 버력처리 시스템, 세그먼트 라이닝 및 뒤채움주입 시스템으로 구성
 - TBM 핵심부품 개발분야는 스크류컨베이어, 회전구동 및 추진구동, 세그먼트 이렉터, 운전제어 시스템을 포함
 - TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 시뮬레이터 개발분야는 커터헤드 설계제작 기술, TBM 굴착 도구, 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터 개발 기술이 해당
- 본 연구에 필요한 정부예산은 인건비와 직·간접비로 구성되며 3대 중점 추진 분야에 2016년부터 2020년까지 5년간 총 255억이 소요
 - 직접비는 전체 정부예산의 40%인 163억원이 사용되며 인건비는 89억원이 투입됨
 - 국산 TBM 완성차 제작 연구에 전체 정부예산 중 39.2%인 100억원이 투입되며 핵심부품의 국산화 연구에도 전체 예산의 35.3%인 90억원이 소요됨
- 본 연구를 통해 개발된 제품 및 기술을 통해 발생할 수 있는 편익은 크게 직접 편익과 간접 편익으로 구분
 - 직접편익은 TBM 완성차 및 부품 제작기업의 매출증대, 건설비용 절감, 수입 대체로 인한 외화유출 절감으로 나눌 수 있음.
 - TBM을 국산화할 경우, 해외에서 TBM을 구매하던 수요가 국내산 제품을 구입하게 되므로 해외 제조사로 유출되는 외화를 절감할 수 있음.
 - TBM의 O&M과 관련된 전문 인력을 양성하게 되면 시공과정에서의 하자 발생빈도가 낮아지게 되면서 건설비용을 절감 가능
 - 국내 TBM 제작 기업은 국내 수요로 인해 매출이 증대되는 효과 발생
 - 간접편익은 기존의 NATM 공법에서 TBM을 사용함으로써 절감할 수 있는 환경피해, 붕괴사고 피해 등의 경제적 가치로 정의가능
 - 발생하지 않은 사건(환경피해, 사고 등)에 대한 경제적 가치평가는 가상가치평가법(Contingent Valuation Method; CVM)을 활용할 수 있으나 본 연구에서는 고려하지 않음



<TBM 국산화의 직·간접적 편익>

◦ TBM 국산화의 편익을 직접 편익에만 한정하면, 본 연구의 3대 중점과제의 편익은 아래의 그림과 같이 구분할 수 있음

	매출증대효과	건설비용 절감효과	수입대체효과
TBM 완성차 개발	√		√
TBM 핵심부품 개발	√		√
TBM 커터헤드 설계자동화 및 시뮬레이터 개발	√	√	

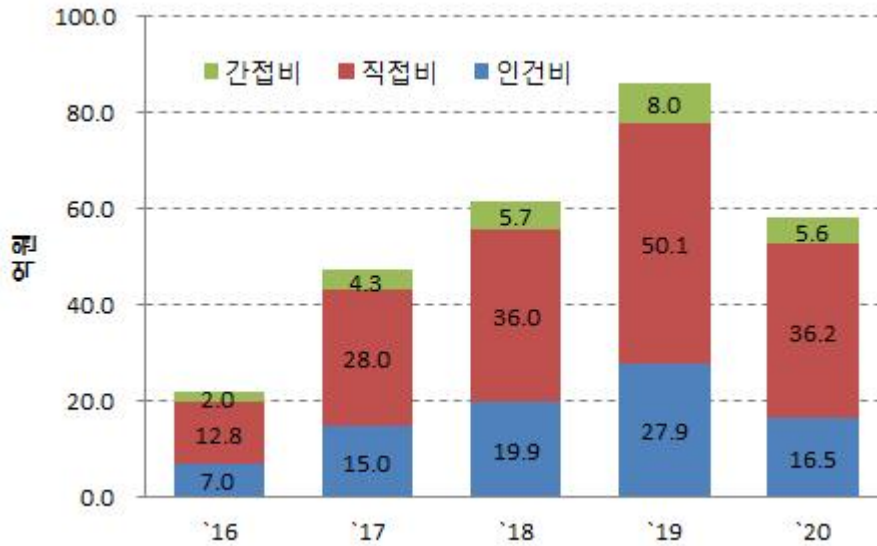
<TBM 국산화 핵심과제별 편익 구분>

- 국산 TBM 완성품이 개발되면 국내 TBM 제작사의 매출이 증대되는 효과가 있는 동시에 국내 건설사들이 해외산 TBM 구입에 지출하던 외화를 절감하는 수입대체효과를 거둘 수 있음.
- TBM의 핵심부품이 국산화되면 국내 TBM 부품제작사의 매출이 증대되는 효과가 있고 국내 TBM 제작사가 국산 부품을 사용함에 따라 외화절감 효과 발생
- TBM 시뮬레이터가 개발되면 국내 시뮬레이터 제작사의 매출이 증대되며 이를 통해 훈련된 O&M 인력이 건설현장에 배치되면 시공정확도 제고 및 하자 발생확률 저하로 인해 건설비용이 절감될 것으로 기대됨

- TBM 국산화의 경제적 효과를 측정하기 위해서는 핵심과제별 편익과 비용이 모두 측정되어야 하나, 본 절에서는 TBM 완성차 개발의 편익만 고려하는 반면 비용은 완성차 개발과 핵심부품의 개발에 필요한 비용까지 포함
 - TBM 시뮬레이터는 세계 최초로 상용화되는 것이기 때문에 시장전망이 불확실하고 O&M 인력의 훈련으로 인한 시공정확도 제고 및 하자발생확률 저하를 미리 측정하기 어려움.
 - TBM의 핵심부품인 스크류 컨베이어, 구동체, 세그먼트 이렉터 등은 모두 국산 TBM 완성차에 사용될 것으로 판단되므로 핵심부품 개발로 인한 편익은 국산 TBM 완성차의 편익과 중첩될 가능성
 - 다만, 해외산 TBM 제품을 수입해서 사용하다 국산 부품으로 변경되는 수요는 있을 수 있으나 1) 국산 부품과 해외 부품이 완전히 호환가능해야 하고 2) 해외에서 조달하는 비용보다 국산 부품의 가격이 저렴해야 한다는 가정이 추가적으로 필요

(2) 비용 추정

- 본 연구에서 초점을 맞추고 있는 국산 TBM 완성품 및 핵심부품 개발에 소요되는 비용은 ‘국토교통부소관 연구개발사업 운영규정’의 기준을 준용하여 산출함
 - 연구개발에 필요한 인건비는 ‘2015년 학술연구용역 인건비기준단가’를 기준으로 산정함.
 - 국산 TBM 완성차 및 핵심부품 개발에 소요되는 총 비용은 275.5억 원으로 정부 예산이 전체 비용의 69%만큼 사용(190억 원)되고 민간은 84.5억 원(31%) 가량 투자
- `16년부터 `20년까지 국산 TBM 완성품 및 핵심부품 개발에 소요되는 비용은 정규분포 형태를 가지고 있고 개발에 필요한 직접비 비중이 가장 높은 특징
 - 5년간 평균 직접비의 비중은 55%로 완성차가 출시되기 직전 해인 2019년에 가장 많은 50.1억 원이 소요됨. 이 시기에 실증 및 인증 관련 실험에 예산이 집중적으로 투여될 것으로 판단됨
 - 국산 TBM 완성차 및 핵심부품 개발에 투자되는 정부예산 190억 원을 사회적 할인율(5.5%)을 적용하여 현재가치로 환산하면 156억 원임.
 - RD&D 전주기를 고려할 때 연구개발단계에서 실증 및 상용화 단계로 갈수록 직접비 지출비중이 높아지는 것으로 해석



<국산 TBM 완성차 연도별 정부예산>

(3) 편익 추정

- 국산 TBM 완성품 개발에 따른 경제적 편익은 직접적 편익으로만 한정하고 '16년부터 '20년까지 5년간 투자한 후 '21년부터 '30년까지 10년간 편익이 발생하는 모형을 설정함.
 - TBM 국산화와 관련된 경제적 편익은 제작사 매출증대와 외화 유출 절감효과로 구분되나 수입대체 편익은 국내 총생산 증대로 인한 편익과 중복되는 문제가 있으므로 제작사 매출증대로 인한 편익만을 고려함.
 - '16년부터 '20년까지는 R&D 투자를 위한 비용이 투입된 후 '21년부터 '30년까지 10년간 편익이 발생한다고 설정함.
- TBM 완성품 개발로 인한 편익을 정량화하기 위해서 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 권장하는 편익산출 모형을 활용함.

$$\text{편익} = (\text{TBM 국내 시장규모}) \times (\text{국산 TBM 완성차 시장점유율}) \times (\text{사업기여율}) \times (\text{R\&D기여율}) \times (\text{R\&D사업화성공률}) \times (\text{부가가치율})$$

- 사업기여율은 국가과학기술지식정보(National Science & Technology Information Service; NTIS)를 통해 TBM 관련 과제를 검색한 후, 과제별로 정부예산과 민간투자 규모를 조사하여 도출¹⁴⁾

14) NTIS에서 조사한 TBM 관련 과제는 모두 세 건으로 투자 규모는 다음과 같음.

사업기여율=(국산 TBM 완성차 및 핵심부품 개발 과제 투자규모)/(국내 관련 사업 전체 투자규모+ 국산 TBM 완성차 및 핵심부품 개발 과제 투자규모)

- 부가가치율은 한국은행의 2012년도 산업연관표의 투입산출표 중 총 거래표로부터 본 사업과 직접적으로 관련된 ‘특수목적기계’의 부가가치율(0.304) 적용
- R&D 사업화 성공률은 연구관리 전문기관에서 발표하는 성과보고서를 활용함. 본 연구에서는 한국과학기술기획평가원(KISTEP, 2012)에서 제시한 기계·소재분야의 사업화성공률(0.397)을 적용함¹⁵⁾.
- o 국내 TBM 시장규모는 선행연구에서 도출된 시장 규모를 활용함¹⁶⁾.
 - 본 연구에서 목표로 하는 TBM 터널시장은 직경 8m급 일반철도 및 지하철 터널, 수로터널 및 전력구 터널임
 - 상대적으로 소구경인 수로터널공사, 전력구, 가스관 공사 등에 TBM공법을 적용하면 NATM 공법에 비해 공기가 단축되고 공사비가 절감
 - 새로 건설되는 도심지 지하철은 기존 지하시설물들이 복잡하게 조성되어 있기 때문에 NATM 공법을 사용할 경우, 발파진동 등으로 인한 환경피해, 균진롤 향상으로 공기질 저하 문제 등이 대두될 수 있어 TBM 공법이 유리할 것으로 판단
 - 목표 시장은 크게 ‘기존에도 TBM공법이 적용되어 오던 시장(A)’과 ‘NATM공법을 대체하여 TBM공법을 도입할 수 있는 시장(B)’로 구분함¹⁷⁾.
 - (A) 시장은 기존 TBM 공법을 사용하여 연장 4km 이상 시공한 사례가 확인되었고 4km를 초과하는 철도 장대터널에서도 NATM공법에 비해 공사비용이 저렴한 것으로 조사됨.
 - NATM 공법으로 인한 환경부담 증가, 폭발진동으로 인한 민원 등 부정적 외

단위: 억 원

과제명	과제 시작 년도	정부 연구비	민간 연구비	계
TBM 핵심설계부품기술 및 TBM 터널의 최적건설기술	2010	62.6	19.4	81.9
TBM 커터헤드 최적 설계기술 및 고성능 디스크커터 개발	2014	0.2	0.1	0.2
중대단면 TBM 국산화 기획	2014	1.5	0.0	1.5
합계		64.2	19.4	83.7

자료: 국가과학기술지식정보시스템, 2015.

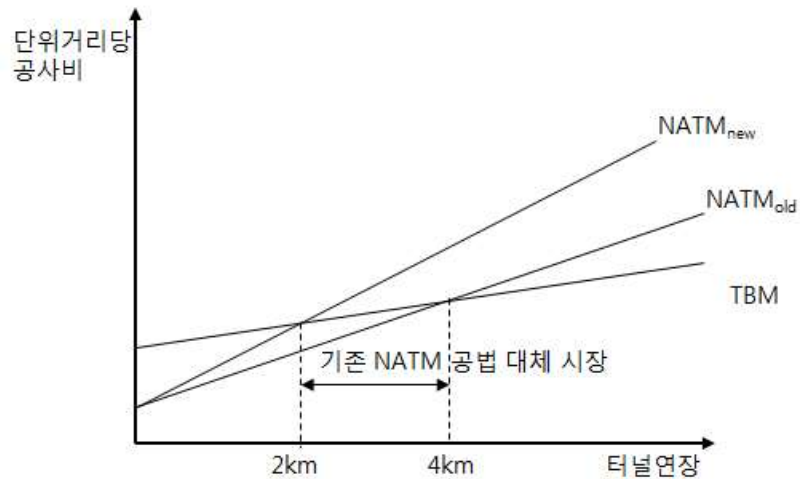
15) 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2012, 미래해양개발을 위한 수중건설로봇 개발사업, 2012년도 예비타당성조사자료.

16) ㈜날리저웍스, 2015, TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM 터널의 최적 건설기술의 경제성 분석.

17) NATM 공법과 TBM 공법에 대한 경제성 분석은 공사조건(토질, 암반조건 등)과 공사구간 등 다양한 조건에 따라 상이한 결과가 도출 가능하기 때문에 차후에 엄밀한 분석이 요구됨.

부효과(negative externality) 문제가 발생함에 따라 예전에 비해 단위거리당 공사비용이 증가하게 됨¹⁸⁾.

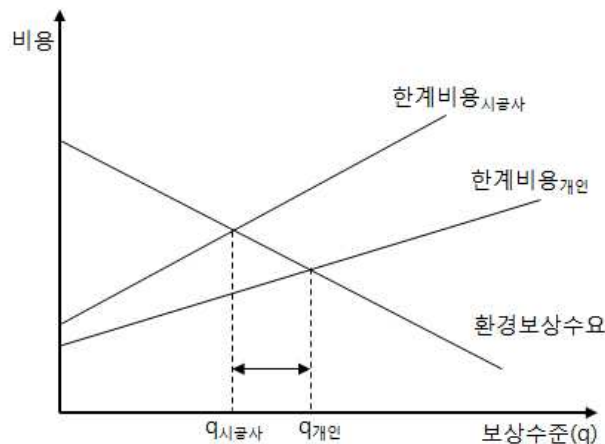
- NATM 공법의 터널연장에 따른 단위거리당 공사비가 10% 증가하게 되면 2~4km에서도 TBM 공법은 NATM 공법에 비해 경제성을 확보할 수 있을 것으로 판단됨.



<기존 NATM 공법 대체 TBM 시장>

구분	장점	단점
NATM 공법	<ul style="list-style-type: none"> ● 암반불량구간 적용 가능 ● 일반터널에 적용시 경제적 	<ul style="list-style-type: none"> ● 정밀성 저하 ● 발파로 인한 낙반 사고 ● 장대터널에 적용시 비경제적
TBM 공법	<ul style="list-style-type: none"> ● 시공 정밀성 ● 원지반 안전성 확보에 유리 ● 여굴량 최소화에 따른 경제성 	<ul style="list-style-type: none"> ● 암질 불량구간에서 타공법 병행 불가 ● 초기비용 고가

18) 본 연구의 경우에 외부효과는 NATM공법이 유발하는 소음, 진동, 분진 등으로 인해 피해를 받는 민원인의 후생수준이 NATM공법을 사용하는 시공사의 의사결정에 따라 직접적으로 영향을 받고 있음에도 불구하고 시공사의 의사결정으로 인해 발생하는 민원인의 후생변화를 시공사가 고려하지 않기 때문에 발생함. 이같이 음의 외부효과가 발생하는 상황에서는 보상수준에 대한 시공사의 한계비용은 개인의 한계비용보다 크기 때문에 민원인에 대한 시공사의 보상수준은 민원인이 수용가능한 보상수준에 미치지 못하는 문제가 나타남(권오상, 2014). 따라서 음의 외부효과로 인한 각종 이전비용(transaction cost)가 발생하게 되면 시공사 입장에서도 예전에 비해 단위거리당 공사비용이 증가하게 됨.



- 기존에도 TBM공법이 적용되던 터널시장(A) 규모는 지속적으로 확대되어 2030년에는 2,152억 원 규모까지 성장할 것으로 전망됨.
 - 2000년부터 2015년까지 국내에서 TBM 공법을 적용한 프로젝트 착공건수는 30건으로 연평균 1.9건이 착공됨 (2장-3절 국내 시장현황 및 전망 참조)
 - 15년간 착공건수가 지속적인 증가, 감소 추세는 없는 형태이기 때문에 동기간 평균 착공 건수를 향후 전망에 적용되는 것으로 가정하여 `16년부터 `30년까지 동일한 수준으로 유지될 것으로 전망
- `15년까지 착공된 TBM 터널의 평균 굴착공사 실적을 고려한 **프로젝트당 평균 공사비는 465.6억원임.**
 - TBM 공사의 연평균 착공건수인 1.9건에 프로젝트당 평균 공사비를 적용하면 `15년 기준으로 연간 TBM 터널 공사비는 873억 원으로 추산 가능
 - `15년까지 shield TBM을 활용한 시공연장 결과의 연평균 증가율(6.2%)만큼 TBM 시장이 지속적으로 성장한다고 가정
 - `16년부터 `30년까지 현재 규모 수준의 TBM 터널공사가 발주되고 공사비용은 매년 6.2%씩 증가한다는 가정은 향후 TBM 수요가 증가한다는 해외시장 전망보다는 보수적인 수준으로 평가
 - `15년부터 `30년까지 TBM 시장규모는 873억 원에서 2,152억 원까지 성장할 것으로 전망

<국내 TBM시장(A) 규모 전망>

단위: 억 원

연도	2015	2018	2020	2023	2025	2028	2030
TBM 시장 규모	873.0	1,045.7	1,179.3	1,412.6	1,593.2	1,908.2	2,152.2

- 유사한 방법으로 NATM 공법을 대체하는 TBM 시장(B) 규모를 전망하면 `30년까지 2.9천억 원까지 성장할 것으로 예상됨. 이 결과를 통해 앞으로 TBM 자체 시장보다는 NATM 대체 시장규모가 더 클 것으로 전망됨.
- 앞서 NATM 공법을 대체하는 TBM 시장은 터널연장 2~4km 구간이기 때문에 `04년부터 `13년까지 해당 연장의 일반철도터널 프로젝트의 규모를 바탕으로 시장규모를 측정함.
- `15년 기준 연장 2~4km의 일반철도터널의 평균 공사비는 1,255억 원으로 추정하면 동년 화폐기준 연간 TBM터널 공사비용은 1,170.5억 원으로 계산 가능

- NATM 대체 시장(B) 역시 기존 TBM 시장이 성장하는 것과 동일한 속도로 성장한다고 가정하면 '30년에는 2.9천억원 규모가 될 것으로 추정됨

<국내 TBM시장(B) 규모 전망>

단위: 억 원

연도	2015	2018	2020	2023	2025	2028	2030
TBM 시장 규모	1,170.5	1,402.0	1,581.2	1,894.0	2,136.1	2,558.5	2,885.6

- 국산 TBM 완성품의 시장점유율은 쉘드TBM의 국내 보유대수 중 국산 TBM의 비중으로 산출함.
 - '15년 현재 국내에서 보유하고 있는 쉘드TBM은 30대임. '30년까지 TBM 시장규모 성장추세를 고려하여 TBM의 대수는 연평균 6.2%씩 증가한다고 가정
 - 그 결과 '15년에 국내에서 30대를 보유한 TBM은 '30년까지 74대로 증가할 것으로 전망되고 '20년까지 기술개발이 끝난 후, 국산 제품은 '21년부터 출시될 것으로 가정함

<국산 TBM 제품의 시장 점유율 전망>

단위: 대, %

연도	2015	2018	2021	2023	2025	2028	2030	
TBM 대수	30	36	41	49	55	66	74	
비중	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
국산 TBM 수요	긍정 비중	0	0	3	10	18	30	38
	중간 비중	0.0	0.0	7.0	21.0	33.0	46.0	51.0
	부정 비중	0	0	2	8	16	28	36
	중간 비중	0.0	0.0	5.0	16.0	29.0	43.0	49.0
	부정 비중	0	0	2	7	13	22	30
부정 비중	0.0	0.0	5.0	14.0	18.0	34.0	41.0	

- 현재 보유한 30대 중 국산 TBM 완성차에 대한 신규 수요와 기 보유 중이던 외국산 TBM 제품의 교체 수요 전망은 시나리오에 따라 다르게 전망함.
 - 긍정적인 시나리오 하에서는 2013년까지 국산 TBM 완성차의 시장 점유율이 51%가 될 것으로 예상한 반면 부정적인 시나리오는 국산 TBM 완성차의 시장점유율이 41%에 불과
 - 세 가지 시나리오는 국내 TBM 시장규모의 성장추세와 해외 TBM 수요 증가추세를 고려할 때, 보수적인 시나리오라 평가할 수 있음.

- 국산 TBM 완성품에 대한 기술개발이 종료되고 출시되는 '21년부터 '30년까지 국산 TBM 제품개발의 편익은 긍정적 시나리오 하에서는 347억원인 반면 부정적 시나리오 하에서는 258억원으로 추정됨.
- 긍정적 시나리오 하에서 추정된 편익은 사회적 할인율을 사용하여 현재가치화 할 경우, 173.2억 원으로 환산된 반면 부정적 시나리오 하의 편익의 현재가치는 127.7억 원으로 환산됨.
- 편익 도출과정에서 국산 TBM 제품의 국내 시장 점유율이 미래의 편익을 결정하는 가장 중요한 요인임.
- 본 모형에서 국산 TBM 제품의 해외수출은 고려하지 않음. 최대 시장인 중국에서 TBM 수요가 급증하는 만큼 중국 TBM 공급도 빠르게 성장하면서 내수를 충족시키고 있는 것으로 판단됨
- 또한 국산화된 TBM 제품은 해외산 제품과 품질격차가 없는 것으로 가정하였고 현장 적용을 위한 실증 및 Track record 축적은 모두 '20년까지 확보하는 것으로 가정함
- 이상의 가정 하에서 국내 시공업체는 국산 TBM 제품과 해외산 제품이 무차별적으로 인식되기 때문에 국산 제품의 가격이 저렴할 경우, 시장점유율을 빠르게 제고할 수 있음

<국산 TBM 제품 편익 전망 및 현재가치>

단위: 억원

연도	편익			편익의 현재가치		
	긍정	중간	부정	긍정	중간	부정
2021	5.2	3.5	3.5	3.7	2.4	2.4
2022	10.4	6.9	6.9	6.9	4.6	4.6
2023	17.3	13.8	12.1	10.8	8.7	7.6
2024	24.2	20.7	17.3	14.3	12.3	10.2
2025	31.1	27.7	22.5	17.4	15.4	12.5
2026	38.0	34.6	27.7	20.0	18.2	14.6
2027	44.9	41.5	32.8	22.3	20.6	16.3
2028	51.9	48.4	38.0	24.3	22.7	17.8
2029	58.8	55.3	44.9	26.0	24.5	19.9
2030	65.7	62.2	51.9	27.4	26.0	21.6
합계	347.5	314.6	257.6	173.2	155.4	127.6

(4) 비용편익 분석

- R&D 사업의 경제적 타당성 분석에 사용하는 모델은 세 가지로 구분; 1) 비용편익비율(Benefit-cost ratio), 2) 순현재가치모형(Net Present Value; NPV), 내부수익률분석(Internal Rate of Return; IRR)
 - 타당성 분석에 사용되는 모델들은 R&D 사업이나 정책적 평가를 위해 도입하는 일반적인 분석방법이며 소요비용과 그로 인한 편익을 측정함으로써 최선의 대안을 찾는 기법으로 평가됨.
 - 비용편익비율이 높을수록 사업의 타당성이 높은 것으로 판단할 수 있고 사업비용 단위당 편익을 계산할 수 있는 장점
 - 비용편익비율은 예산제약으로 인해 대규모사업을 수행하기 어려울 때 사회적 할인율을 적용하여 사업의 타당성을 판단 가능

$$B/Cratio = \frac{\sum_{t=0}^T B_t(1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^T C_t(1+r)^{-t}}, \quad t=0,1,2,\dots,T; r \text{은 사회적 할인율}$$

- 순현재가치는 현금의 순유출(현금유출-현금유입)의 현재가치에 대한 총합으로 계산

$$NPN = \sum_{t=0}^T (B_t - C_t)(1+r)^{-t}$$

- 내부수익률은 투자에 소요되는 현금유출액의 현재가치와 투자로 인해 예상되는 현금유입액의 현재가치를 일치시키는 할인율을 찾는 방법
 - 투자계획의 순현재가치를 0으로 만들어주는 할인율을 이용하여 투자 의사를 결정하는 방법
 - 내부수익률이 사회적 할인율(r)보다 크면 타당성이 있는 것으로 판단하며 내부수익률이 클수록 유리한 사업으로 판정 가능

$$NPN = \sum_{t=0}^T (B_t - C_t)(1+r^*)^{-t} = 0; \quad r^* = irr$$

- 앞 절에서 도출한 국산 TBM 완성품의 비용과 편익 결과를 바탕으로 비용편익 분석을 실시함
 - R&D사업에 적용하는 할인율은 사회적 할인율이라 하고 국가주도 R&D는 다양한 외부효과(externality)를 창출하기 때문에 KDI가 예비타당성조사에서

일반지침으로 제시한 5.5%를 적용

- 경제 성장률이 높지 않은 선진국에서는 상대적으로 사회적 할인율을 낮게 설정하는 경향이 있기 때문에 적절한 것으로 판단됨.
- 국산 TBM 완성품의 시장점유율에 대한 세 가지 시나리오별로 비용편익 분석을 실시한 결과 중간 시나리오까지 본 사업은 타당한 것으로 판단됨.
 - 비용은 '16년부터 '20년까지 총 190억 원이 소요되고 편익은 '21년부터 '30년까지 10년 간 발생하는 것으로 가정
 - 총 비용의 현재가치는 158.5억 원으로 추정
 - 2030년에 국산 TBM 완성품이 국내 시장의 51%를 점유한다는 긍정적인 시나리오 하에서는 순편익의 현재가치가 24.6억 원으로 도출되고 내부수익률도 7.3%로 사회적 할인율인 5.5%보다 높기 때문에 본 사업은 타당한 것으로 판단 가능
 - 2030년에 국산 TBM 완성품이 국내 시장 점유율이 49%가 되는 중간 시나리오에서는 순편익의 현재가치가 5.9억 원임에도 불구하고 내부수익률은 5.9%로 사회적 할인율보다 높은 5.9%로 도출됨.
 - 부정적인 시나리오의 비용편익비율이 0.85로 도출되었기 때문에 2030년의 국산 TBM 완성품의 시장점유율이 41%를 상회한다면 본 사업은 경제적으로 타당할 것으로 해석 가능

<비용편익 분석 결과>

구분		긍정	중간	부정
순편익의 현재가치(억원)	총 편익의 현재가치	183.1	164.4	135.0
	총 비용의 현재가치	158.5	158.5	158.5
	순편익의 현재가치	24.6	5.9	-23.5
비용편익비율		1.16	1.04	0.85
내부수익률(%)		7.3	5.9	3.6

- 본 사업은 5년 간 190억 원의 예산을 정부가 투자하는 대규모 사업이기 때문에 타당성 여부를 사전에 평가할 때 불확실성에 대한 상황을 미리 고려하여 사업의 성패에 대한 영향을 분석할 필요
 - TBM 완성품의 국산화와 관련하여 불확실한 상황은 사업화 성공률과 사회적 할인율로 설정
 - 긍정적 시나리오 하에서 사업화 성공률이 40% 이상이면 비용편익 비율이 1

을 상회하기 때문에 본 사업은 타당한 것으로 판단됨.

- 반면 중간 시나리오에서는 사업화 성공률이 40%를 초과해야 비용편익 비율이 1을 상회하기 때문에 투자 유인이 있을 것으로 판단됨.
- 국산 TBM 완성품 점유율이 30%를 하회하는 부정적 시나리오 하에서는 사업화 성공률이 50% 이하로 낮아지면 비용편익비율이 1을 넘지 못하는 문제가 발생하기 때문에 사업의 타당성이 부족할 것으로 예상
- 사회적 할인율 변화에 따라서도 비용편익비율이 영향을 받게 되는데, 긍정적인 시나리오 하에서는 사회적 할인율이 6%보다 높아도 투자 유인이 있는 것으로 도출됨
- 반면 중간 시나리오에서는 사회적 할인율이 5%보다 높아지면 비용편익비율이 1보다 낮아 투자 유인이 없을 것으로 예상됨
- 가장 비관적인 시나리오에서 사회적 할인율이 4% 이상이 되면 투자 유인이 없을 것으로 추정됨.

<사업화 성공률 변화에 따른 민감도 분석 결과>

사업화 성공률	구분	긍정	중간	부정
30%	순편익의 현재가치(억원)	130.9	117.4	96.5
	비용편익비율(%)	0.84	0.75	0.62
	내부수익률(%)	3.8	2.6	0.3
40%	순편익의 현재가치(억원)	174.5	156.6	128.6
	비용편익비율(%)	1.12	1.00	0.82
	내부수익률(%)	7.4	6.0	3.6
50%	순편익의 현재가치(억원)	218.1	195.7	160.8
	비용편익비율(%)	1.40	1.25	1.03
	내부수익률(%)	10.3	8.8	6.4
60%	순편익의 현재가치(억원)	261.7	234.8	192.9
	비용편익비율(%)	1.68	1.51	1.24
	내부수익률(%)	12.8	11.2	8.7

<사회적 할인율 변화에 따른 민감도 분석 결과>

사회적 할인율	구분	긍정	중간	부정
3%	순편익의 현재가치(억원)	71.6	47.6	8.1
	비용편익비율	1.42	1.28	1.05
4%	순편익의 현재가치(억원)	50.7	29.0	-6.1
	비용편익비율	1.30	1.17	0.96
5%	순편익의 현재가치(억원)	32.6	13.0	-18.2
	비용편익비율	1.20	1.08	0.89
6%	순편익의 현재가치(억원)	17.2	-0.6	-28.4
	비용편익비율	1.11	1.00	0.82

(5) 산업파급효과 분석

- 한 산업에서 생산된 상품이 다른 산업의 상품 생산을 위한 중간재로 투입되기 때문에 각 산업은 전후방으로 서로 밀접한 연관관계를 맺고 있으며 이러한 산업간 연관관계를 파악하기 위해 산업연관분석을 실시함.
- 산업연관표는 산업간 상호연관관계를 쉽게 파악할 수 있는 장점
 - 산업연관표의 행은 각 산업부문의 생산물의 판매를 나타내며 중간재로 판매되는 중간수요와 소비재, 자본재, 수출상품 등으로 판매되는 최종수요의 두 부분으로 구분됨.
 - 산업연관표의 열은 각 산업부문의 투입 구조를 나타내며 원재료 투입을 나타내는 중간투입과 노동과 자본투입을 나타내는 부가가치의 두 부분으로 구분됨
 - 산업연관표의 요소인 투입계수는 각 산업부문이 재화나 서비스의 생산에 사용하기 위해 다른 산업으로부터 구입한 각종 중간재 투입액을 총 투입액으로 나눈 수치로써 산업별 생산물 1단위 생산에 필요한 중간재의 양을 의미함
- 최종수요가 1단위 증가했을 때 이를 충족시키기 위해 각 산업부문별 직·간접적으로 유발되는 생산액을 측정함.

$$AX + Y - M = X$$

- A는 투입계수행렬; X는 총산출액 벡터; Y는 최종수요벡터; M은 수입액벡터를 의미함
- 위 식을 총산출액에 대해 풀면 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$X = (I - A)^{-1}(Y - M)$$

- 이 때, $(I - A)^{-1}$ 행렬은 생산유발계수 행렬이고 I는 단위행렬임. 생산유발계수를 구한 후 부가가치유발계수를 곱하면 부가가치 유발효과를 도출 가능
- 도출된 생산유발계수와 부가가치유발계수를 고려하여, 국산 TBM 완성차 개발이 전후방 산업에 미치는 생산유발효과와 부가가치유발효과를 분석함

- 세 가지 시나리오에 따라 TBM 완성차가 제조업에 미치는 생산유발효과와 부가가치유발효과를 측정한 결과, **긍정적 시나리오 하에서 TBM의 전후방 산업에 생산유발 376.7억원, 부가가치유발 94억 원의 효과가 발생하는 것으로 나타남.**
 - 국산 TBM 완성품 개발이 우리나라 제조업에 미치는 경제적 파급효과를 측정하기 위해 한국은행에서 발행한 산업연관표를 활용
 - 투입부문은 최종 수요가 발생하는 특수목적기계로 설정하고 `16년부터 `30년까지 발생한 편익의 현재가치에 대한 투입산출효과를 도출함
 - 긍정적인 시나리오 하에서 제조업 전후방 산업에 94억 원의 부가가치를 유발하고 생산은 376.7억 원 가량 유발할 것으로 예상됨
 - 중간 시나리오 하에서는 제조업 전후방 산업에 84.3억 원의 부가가치를 유발하며 338.2억 원 규모의 생산을 유도할 것으로 추정
 - 부정적인 시나리오 하에서도 TBM 완성품 개발로 인해 69.2억 원의 부가가치가 유발되며 전후방산업에 277.8억 원의 생산유발 효과를 거둘 것으로 예상

<국산 TBM 완성품의 생산유발효과 및 부가가치유발효과 산정결과>

구분	긍정	중간	부정
부가가치 유발액 (억 원)	94.0	84.3	69.2
생산유발액 (억 원)	376.7	338.2	277.8

주: 제조업에 미치는 효과로 한정

- TBM 전후방 산업 중에서도 **철강, 금속제품, 전기기계 및 장치, 그리고 건설 산업에 미치는 영향이 큰 것으로 나타남**
 - 철강, 금속제품, 전기기계 및 장치산업은 TBM의 후방산업(upstream industry)이므로 국산 TBM 완성품이 출시되면 건설, 전력, 수송산업 등 전방산업에 비해 후방 산업의 신규수요가 증가할 것으로 전망

7장. 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정

1절. 과제 제안요구서(RFP)

연구개발과제명	중·대단면 TBM 국산화
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 중·대단면(직경 8 m 기준) TBM의 국산 설계·제작기술 개발 - 외국에 100% 의존하고 있으며 선진 6개국에서만 비공개로 보유하고 있는 TBM(Tunnel Boring Machine)의 설계·제작 자립기술 확보 - TBM 국산화를 통한 국부 유출 방지와 해외시장 진입에 기여 - 친환경적이고 경제적인 TBM터널 건설의 활성화 기반 마련
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	<p data-bbox="209 981 384 1066">□ 연구개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 환경 측면의 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 국내의 경우 TBM의 적용이 유력한 대규모 터널 프로젝트인 수도권 광역 급행철도(GTX), 서울시 지하도로망(U-SMARTWAY), 한·중/한·일 해저터널 등의 검토가 이루어지고 있으나, 현재의 국내 기술력으로는 자체제작이 불가능하여 외화유출 예상 - TBM 산업은 국내 기반산업의 장점을 융합하여 고부가가치 및 신규 고용을 창출해 낼 수 있다는 특징을 가지고 있기 때문에, TBM 기술의 국산화를 통해 미래 성장산업으로의 성장을 기대할 수 있음 - 국내의 경우 TBM의 적용이 유력한 대규모 터널 프로젝트인 수도권 광역 급행철도(GTX), 서울시 지하도로망(U-SMARTWAY), 한·중/한·일 해저터널 등의 검토가 이루어지고 있으나, 현재의 국내 기술력으로는 자체제작이 불가능하여 외화유출 예상 - TBM 산업은 국내 기반산업의 장점을 융합하여 고부가가치 및 신규 고용을 창출해 낼 수 있다는 특징을 가지고 있기 때문에, TBM 기술의 국산화를 통해 미래 성장산업으로의 성장을 기대할 수 있음 ○ 국외 환경 측면의 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - TBM은 기술집약적 건설장비로서 관련 핵심기술은 극소수의 제작사 별로 비공개 보유하고 있기 때문에 시장진입 장벽이 높은 과점시장 형태임. 반면, 기존의 개착 또는 발파 공법과 비교할 때 안전하고 굴착속도가 빠르며 소음·진동 등의 공사 중 환경피해를 최소화할

수 있어 국내외 수요가 증가하고 있음. 따라서 TBM 자체 제작 시에 내수시장 대응뿐만 아니라 관련 세계시장 진출 기반을 마련할 수 있음

- 최근 들어 발주되고 있는 해외 터널 프로젝트의 대부분이 TBM터널인 관계로, 국내 건설사의 해외공사 참여 시에 기술적인 애로사항을 해결해줄 수 있는 국제적 수준의 기술경쟁력을 갖춘 국내 TBM 제작사가 필요

○ 국내외 시장동향

- TBM 제작대수 기준으로 소단면의 유틸리티터널(utility tunnel, 직경 4 m 이하)의 수요가 가장 크며, 최다 적용실적을 보유한 일본에서도 상·하수도/가스/공동구/전력의 적용실적이 전체의 74.2%를 차지 (직경 6 m 미만이 90.6%)
- 우리나라의 경우에도, 전력구/가스관로/통신구/상·하수도의 적용실적이 전체의 80%를 차지 (고속도로/도로에의 적용 전무)
- 하지만 장대/대단면 터널의 건설이 증가함에 따라 TBM 기술은 대단면화·대심도화·장대화 추세에 대응하기 위한 기술로 발전되고 있음
- 전 세계적으로 직경 7 m 이상의 중·대단면 TBM은 연장이 길거나 높은 안전성이 요구되는 조건의 철도/지하철 터널에 대부분 적용되고 있음
- 세계 최대 TBM 제작사인 독일 Herrenknecht社의 실적 기준, 교통터널(traffic tunnel) 가운데 지하철/철도(직경 6~13 m)가 87%로서 가장 큰 비중을 차지하고 있음 (시공연장 기준)
- 최근 들어서는 도심지 지하도로(예: 프랑스 A86 지하도로) 등과 같은 도로터널에의 적용도 일부 이루어지고 있으나, 도로터널에 규모에 적합한 직경 14 m의 대단면 TBM(Mega TBM)은 1994년부터 현재까지 약 20년간 27건만이 제작되었고 전 세계적으로 7개 제작사에서만 실적을 보유하고 있음(독일 Herrenknecht社가 55% 실적 보유)
- 세계 최대 직경의 TBM은 홍콩 해저 도로터널 건설에 사용되고 있는 독일 Herrenknecht社의 직경 17.6 m 쉴드TBM이며, 국내 최대 직경 TBM은 원주-강릉 철도건설 11-3공구에 적용될 직경 8.41 m의 쉴드TBM(Herrenknecht 제작)임
- 최근의 초장대 산악터널과 초장대 해저터널의 대부분은 경제성과 안전성을 확보할 수 있는 TBM으로 시공되고 있음. 현재 세계 10대

초장대 터널 가운데 5개가 TBM으로 완공 또는 시공 중으로서, 나머지 5개 초장대 터널은 과거에 발파공법 등에 의한 재래식 터널로 시공된 사례임

- 전 세계적으로 TBM시장은 7.5% 성장(2009년~2013년)하였으며, 중국의 경우에는 2009년~2014년까지 12%이상 성장하였고 앞으로도 성장할 것으로 예상됨
- 중국의 철도투자는 지속적인 증가가 예상되며(도시철도: 2020년까지 2,677 km, 지하철: 2050년까지 18,829 km) 특히 지하철의 경우 쉴드TBM을 이용한 4,500 km(500개 프로젝트) 굴착공사가 예상됨
- 중국은 제2도시들도 TBM 수요가 있고 전 세계적으로는 거대도시(megacity)가 지속적으로 팽창(성장)하면서 이에 따라 교통 터널의 수요 증가와 고속철도 터널의 수요가 증가할 것으로 전망
- 우리나라에서도 1990년대 중반 이후로 TBM 시공실적이 증가하고 있으며 (연간 약 12% 증가), 특히 유틸리티터널 분야에서는 전력구(한국전력)의 TBM 공사가 지속적으로 발주되고 있으며 최근에는 가스관로의 노후화에 따라 향후 가스공사의 TBM 공사발주가 확대될 것으로 예상됨
- 그러나 우리나라 도심지 교통터널에서의 TBM 적용 비율은 1% 미만으로서 전세계적인 추세와 큰 차이를 보이고 있음(유럽 80%, 일본 60%). 단, 서울시를 중심으로 지하철·철도터널에서 TBM 적용실적이 증가 추세
- 해외 터널공사 사업의 대부분이 TBM터널로 발주되고 있으며, 대표적인 사례로는 국내 건설사들이 진출하고 있는 싱가포르 MRT, 카타르 도하 지하철, 아부다비 수로터널 등을 들 수 있음
- 장기적으로는 TBM의 적용이 유력한 수도권 광역급행철도(GTX), 서울시 지하도로망(U-SMARTWAY), 한·중/한·일 해저터널 등의 검토가 이루어지고 있음

□ 기술동향 ○ 국내기술동향

- TBM기술발전으로 인해 전 세계적으로 터널공법은 과거의 발파 또는 개착공법에서 NATM을 중심으로 한 재래식공법(conventional tunnelling)과 TBM에 의한 기계식공법(mechanized tunnelling)으로 양분되고 있음
- 현재 우리나라는 TBM의 설계·제작을 외국에 100% 의존하고 있는 실정으로서, TBM 관련 기술력 부족으로 인해 전 세계적인 기계화

시공 추세를 따라가지 못하고 있으며 적용대상 지반에 부적절한 TBM장비의 투입으로 인한 각종 시공 트러블이 발생함으로 인해 TBM에 대한 인식이 좋지 못한 상황임

- 더욱이 선진외국에서는 TBM 제작·생산 및 시공 경험을 40~50년 이상 축적한 반면, 우리나라는 1985년에서야 최초로 TBM공법이 적용되었고 대부분이 연장이 짧은 소구경 터널이었던 관계로 세계 최고 수준의 기술과 비교할 때 뒤쳐져 있음
- 전문가 설문에 의한 기술수준예측 조사 결과, 세계 최고 수준 대비 우리나라의 TBM 기술수준은 61.9%에 불과한 것으로 평가됨
- 더욱이 TBM 관련 분야의 핵심기술들은 특허 등의 지적재산권화를 하기보다는 각 회사 또는 기관별(전 세계 6개국)로 독자적인 비공개 노하우로 보유하고 있는 관계로 자구적인 기술격차 해소 노력이 시급함

○ 국외기술동향

- 선진 6개국의 주요 TBM 제조사는 약 20여개로, 안전과 환경이 중요해짐에 따라 발파공법에서 기계굴착으로 TBM 수요 및 시장 규모가 확대되고 있는 추세임
- 유럽이 전 세계 TBM장비 및 TBM터널 건설기술을 주도하고 있는 상황임에도 불구하고 유럽에서는 EU공동프로젝트인 TUNCONSTRUCT(2004~2008) 프로젝트 등을 통해 TBM 커터헤드 설계기술 선진화, 고성능 디스크커터, 고성능 세그먼트 등의 기술발전에 더욱 박차를 가하고 있음
- 세계 최다의 TBM 제작 실적을 보유한 일본은 지난 20년간 자국에서만 3,000개에 달하는 TBM터널 공사발주를 통해 TBM기술 발전이 이루어졌고, 특히 지속적인 발주를 통해 TBM터널의 공사비를 합리적으로 절감하는 방안을 도모함
- 중국은 향후 20년간 교통터널의 수요만 20,000여개에 달할 것으로 추정되고, 중국 전체 지하철 구간의 70% 이상이 TBM으로 시공되고 있으며 각종 초장대 터널 건설 프로젝트들이 구상되면서 TBM이 필수적으로 적용 또는 검토되고 있음
- 중국은 정부의 전폭적인 지원 하에 기존의 프랑스, 독일, 이탈리아 등의 TBM 제작사를 인수합병하여 TBM 기술을 습득하고 있고 정부 주도의 기술개발 사업을 통해 TBM을 독자적으로 제작·생산하고 있음
- 특히, 중국은 ‘국가 863 계획사업’ 지원 하에 인수합병과 자국 기술

로 TBM의 자체 연구개발에 성공한 이후, 그 동안 독점해오던 해외 장비 도입을 줄이고, 제조원가를 절감시키기 위해 TBM 제조사업을 16개 중대 장비 기술 사업의 하나로 편성하고 다양한 건설사업에 자국 장비를 투입시킴

- 이와 같이 전 세계적인 추세와 기술수준에 크게 뒤쳐져 있음에도 불구하고 현재까지 우리나라에서 TBM 설계·제작과 관련된 국가 R&D사업은 단 3건만 수행됨

3. 연구개발내용

□ 세부과제별 [1세부과제] 중대단면 TBM 완성품 개발

연구내용

- (1-1) TBM 완성품 시스템 개발
 - TBM 직경 및 굴진면 안정화 방식(토압식, 이수식, 혼합식) 선정
 - TBM 핵심부품의 주요 규격 산출
 - TBM 본체 및 핵심부품 장착을 위한 구조부 설계제작
 - TBM 전기회로 및 유압회로 설계제작
 - TBM 본체 이물질 유입 방지장치를 위한 기밀, 밀폐 기술 개발
- (1-2) TBM 후방설비 시스템 개발
 - TBM 운전제어, 고장진단 및 비상정지를 위한 계전 설비
 - 발전기, 배전반, 차단기, 케이블, 접지, 피뢰를 포함한 전기 설비
 - 고압/고유량 펌프, 밸브, 작동유 탱크를 포함한 유압 설비
 - 베어링, 씰, 감속기 및 기어 마찰마모 저감을 위한 윤활 설비
 - TBM 본체 내 공기 공급 및 장비 구동용 공압장치를 포함한 공조 설비
 - 이수식 TBM의 배압 제어 및 배토를 위한 송/배니 설비
 - TBM 본체 내 용수 공급 및 폐수처리를 위한 용수 설비
- (1-3) TBM 버력 처리 기술 개발
 - TBM 굴진 시 발생 하는 버력의 안정적 배토 기술 개발
 - 버력 배출량 측정/산출 기술 개발
 - 버력 배출량 측정을 통한 토사 유출 방지 기술 개발
- (1-4) TBM 운전제어 시스템 개발
 - 굴진 속도에 따른 커터헤드 챔버 배압 안정화 제어 기술 개발
 - 굴착 부하에 따른 커터헤드 회전속도 최적화 제어 기술 개발
 - 추력에 따른 TBM 추진속도 최적화 제어 기술 개발

- 선회 각도에 따른 복수다단 중절 구동책 위치 제어 기술 개발

[2세부과제] 중대단면 TBM 핵심부품 개발

- (2-1) TBM 스크류컨베이어 시스템 개발
 - 굴진면 안정화 및 효율적인 배토를 위한 스크류컨베이어 개발
 - 버력 반출량 극대화를 위한 스크류 오거 개발
 - 스크류컨베이어 회전구동을 위한 감속기 및 유압모터 개발
- (2-2) TBM 회전구동 시스템 개발
 - 커터헤드 회전축 지지 및 반발력 제공을 위한 고강성 베어링 개발
 - 커터헤드 회전구동을 위한 토크리미트 내장형 감속기 개발
 - 커터헤드 회전구동을 위한 고효율 유압모터 개발
- (2-3) TBM 추진 시스템 개발
 - TBM 굴진 추력 극대화를 위한 고성능 추진책 개발
 - TBM 선회 굴진을 위한 중절 각도 조절용 유압책 개발
 - TBM 굴진 추력을 보조하는 그리퍼 개발
- (2-4) TBM 세그먼트 이렉터 시스템 개발
 - 세그먼트 이송, 인양, 회전, 장착 및 라이닝 자동화시스템 기술 개발
 - 세그먼트의 병진 이동을 위한 유압실린더 개발
 - 세그먼트의 회전 이동을 위한 유압모터 개발

[3세부과제] TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및 TBM 시뮬레이터 개발

- (3-1) 중·대단면 TBM 커터헤드의 설계자동화 시스템
 - 국내·외 TBM 커터헤드 제작도면 D/B 구축
 - TBM 커터헤드의 주요 파트 및 부품의 D/B 구축
 - 3D Modeling 기반 TBM 커터헤드 설계 프로그램 및 구조해석 연동 기술 개발
 - TBM 커터헤드 자동 배열 설계기술(디스크커터, 비트) 보완
 - TBM 커터헤드 제작도면 자동 산출 모듈 개발
- (3-2) TBM 시뮬레이터
 - TBM 시뮬레이터 개발을 위한 TBM 유압·전기 계통도 분석
 - 다양한 지반조건과 시공조건에 따른 리스크관리 기반의 TBM 시공 시나리오 개발

- TBM 운전미숙이나 대처미흡으로 인한 시공트러블 현상 구현 및 대처방법 개발
- 다양한 TBM 시공 시나리오를 접목한 가상현실 기반의 TBM 시뮬레이터 S/W 및 H/W 제작
- TBM 시뮬레이터를 활용한 글로벌 TBM 전문인력 양성을 교육 프로그램 및 전문가 자격과정 개발
- (3-3)국산 TBM 시제품의 현장 굴착성능 평가·분석
 - 시공조건에 따른 TBM 최적 장비선정 가이드라인 및 시스템 개발
 - 국산 TBM 시제품의 현장적용에 따른 굴착성능 평가·분석

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략 ○ 각 단위과제별로 연구기간 내 현장적용이 가능한 기술, 기술별 달성목표에 대한 검증방법, 내용 및 검증시기 등을 제시하고, 각 단위과제별 연구성과가 집약된 최종 성과물의 현장적용방안을 구체적으로 수립

○ 개발결과물의 특허출원 등을 통한 실수요처 기술이전 적극 추진 및 현장 활용성 도모

○ 총연구기간 내 단계별 연구개발 목표 설정 및 실현 전략 제시
 ※ 예시 : 1단계(요소기술 개발 단계), 2단계(시제품 제작 등 개발기술 구현 단계), 3단계(테스트베드 적용, 검증 등 완성단계)

□ 추진체계 ○ 연구추진시 주관 및 협동, 위탁기관 및 참여기업은 모두 성과물이 발생되고,이의 활용이 이루어지도록 연구추진체계를 구성

○ TBM 설계·제작을 위한 기계, 전기·전자, 소재 등의 연구기관 들뿐만 아니라, 실제 수요자 측면에서 현장시공 및 TEST-BED를 운영할 수 있는 대형 건설사의 참여가 필요함

○ 달성이 가능한 성과목표 및 성과지표를 제안·유도하고 연구진행 중 성과목표의 달성 및 관리방안을 정립하며, 주기적으로 성과를 관리

○ 성과물의 실용화를 우선하여 기술실시 대상기업을 명확히 결

정하고, 대상기술이 실용화가 가능한 수준으로 성과물이 도출되도록 상시 관리체계를 수립

- 상호 정보를 공유하고, 상호활용, 기술지원이 가능한 체계를 수립
- 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립
 - 개발기술의 현장적용을 통한 검증 강화 및 적용사례 확보
 - 실직적인 기술사업화 추진을 위한 실시기업 연계 및 실시기업의 기술개발 참여도 확대전략 수립
 - ※ 공동구 설계·시공사, 시공장비 제작업체 및 공동구 발주·관리기관 등을 연구수행체계에 적극 포함
- 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축
 - 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴
 - 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영
- 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용
- 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문
- 연구신청자는 과도한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모
- 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 필요

5. 최종성과물

□ 주요 [1세부과제] 중대단면 TBM 완성품 개발
최종성과물

- (1-1) TBM 완성품 시스템 개발
 - 국산 TBM 완성품
 - TBM 핵심부품의 주요 규격 산출 계산서
 - TBM 완성품 제작도면
 - TBM 전기 및 유압 계통도

- TBM 운전 및 유지보수 메뉴얼
- TBM 공장시험 및 현장시험 메뉴얼

○ (1-2) TBM 후방설비 시스템 개발

- TBM 계전 설비 및 운전/유지보수 메뉴얼
- TBM 전기 설비 및 운전/유지보수 메뉴얼
- TBM 유압 설비 및 운전/유지보수 메뉴얼
- TBM 윤활 설비 및 운전/유지보수 메뉴얼
- TBM 공조 설비 및 운전/유지보수 메뉴얼
- TBM 용수 설비 및 운전/유지보수 메뉴얼

○ (1-3) TBM 버력 처리 기술 개발

- 버력 배출량 측정/산출 기술
- 버력 배출량 측정을 통한 토사 유출 방지 기술

○ (1-4) TBM 운전제어 시스템 개발

- 굴진 속도에 따른 커터헤드 챔버 배압 안정화 제어 기술
- 굴착 부하에 따른 커터헤드 회전속도 최적화 제어 기술
- 추력에 따른 TBM 추진속도 최적화 제어 기술
- 선회 각도에 따른 복수다단 중절 구동축 위치 제어 기술
- TBM 제어 및 비상정지회로도

[2세부과제] 중대단면 TBM 핵심부품 개발

○ (2-1) TBM 스크류 컨베이어 시스템 개발

- TBM 스크류 컨베이어
- TBM 스크류 컨베이어용 스크류 오거
- TBM 스크류 컨베이어용 감속기 및 유압모터

○ (2-2) TBM 회전구동 시스템 개발

- TBM 회전구동용 베어링
- TBM 회전구동용 감속기
- TBM 회전구동용 유압모터
- TBM용 베어링, 감속기 및 유압모터의 신뢰성평가 기술

- (2-3) TBM 추진 시스템 개발
 - TBM 추진용 유압잭
 - TBM 종절용 유압잭
 - TBM 그리퍼용 유압잭
 - TBM용 유압잭의 신뢰성평가 기술
- (2-4) TBM 세그먼트 이렉터 시스템 개발
 - 세그먼트 병진이동용 유압실린더
 - 세그먼트 회전이동용 감속기 및 유압모터
 - 세그먼트 이송, 인양, 회전, 장착 및 라이닝 자동화 기술

**[3세부과제] TBM 커터헤드 설계자동화 기술 및
TBM 시뮬레이터 개발**

- (3-1) 중·대단면 TBM 커터헤드의 설계자동화 시스템
 - 중·대단면 TBM 커터헤드 설계기술
 - TBM 커터헤드 자동화 설계 시스템(구조해석, 자동화 설계 기능, 커터 간섭배제 기능 등 포함)
 - 시공조건에 따른 최적 TBM 장비 선정 시스템 및 가이드라인
- (3-2) TBM 시뮬레이터
 - TBM 구동·운전 시뮬레이터(S/W 및 H/W)
 - 세그먼트 이렉터 시뮬레이터(S/W 및 H/W)
 - TBM 시뮬레이터용 시공 시나리오(리스크 대응)
 - 시뮬레이터 기반의 TBM 전문인력의 양성·훈련 프로그램
- (3-3) 국산 TBM 시제품의 현장 굴착성능 평가·분석
 - 국내 지반/굴착 조건에 적합한 국산 TBM 완성품 현장 평가

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

- 국산 TBM 사업화 추진 전문기업의 신사업 창출 및 매출 확대에 기여
- 국내 TBM터널 시장에서 TBM의 합리적인 가격 정착
- 세계적 수준의 TBM제작 기술 확보로 개발도상국 등을 중심으로 개발기술의 해외 수출(설계지원, 기술이전 및 사업수주 등)

□ 기대효과

○ 경제적 효과

- 2015년 대비 연구종료 시점인 2020년에 33% 증가가 예상되는 전 세계 TBM 제작시장에의 참여와 수주(2012년 기준 전 세계 TBM 제작 시장규모 추정액: 약 4조1,100억원)
- 중·대단면 TBM기술의 국산화를 통해 국내 터널 시장뿐만 아니라 국내 건설사의 해외 TBM터널 수주 시장에 적용/지원하여, 해외 TBM 제작기업에의 외화유출을 절감
- 세계적인 수준의 TBM 운용 전문인력 양성을 통해, TBM 시공 품질을 향상시키고 (시공트러블 저감) 국산 TBM 제작사의 서비스 경쟁력을 확보. 또한 숙련된 전문인력에 의해 TBM 시공 트러블 발생 시에 시공 지체시간을 최소화하고 관련 공사비용 절감
- TBM 제작 관련 기업 및 건설사의 매출증대 및 수주실적 증대
- 개착공법 및 NATM공법 적용 시 수반되는 소음진동으로 인한 환경피해, 낙반으로 인한 붕괴사고 피해 등으로 발생하는 사회적 간접비용 저감
- 국내 중공업 및 기계산업 분야의 신시장 창출 항목으로 활용

○ 기술적 효과

- 국내외 다양한 지반환경조건에 따른 최적 중·대단면 TBM장비 완성품 설계 제작 기술 확보
- 다양한 환경조건에서 사전 시뮬레이션을 수행할 수 있는 TBM 장비 운용 시뮬레이터 확보
- 중·대단면 TBM기술을 기반으로 부가가치가 높을 것으로 예상되는 대단면 TBM장비 설계제작 및 장비활용 건설기술 개발에 활용 가능
- 선진 6개국에서 독점하고 있는 중·대단면 TBM 기술 확보를 통한 국가 기술력 이미지 제고에 기여

○ 정책적 효과

- TBM장비가 요구되는 해저교통터널, GTX, U-SMARTWAY 등의 메가 프로젝트 관련 정책 실현에 기여
- 교통터널에의 적용이 가능한 중·대단면 TBM기술을 확보함에 따라 기존 발파/개착공법 대비 안전하고 빠른 개통이 가능하여 정부 및 지자체의 도시인프라 건설효과 조기 실현
- 중·대단면 TBM부재로 발파/개착공법으로 추진해야 했던 교통터널 건설현장에서 발생하는 소음진동 등의 각종 사회적 이슈

<p>해결</p> <p>- 발파/개착공법 대비 안전성이 향상되어 정부의 안전을 우선시 하는 정책에 기여</p>	
7. 연구개발기간 및 소요예산	
<p>○ 총 연구기간 : 2016년 7월 ~ 2020년 12월(4년 6개월)</p> <p>○ 연구비 예산 : 367.92억원(정부출연금 : 255억원 이내)</p>	
8. 기 타	
<p>○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임</p> <p>○ 연구단컨소시엄 신청시 연구단장 신청자는 반드시 세부과제의 주관연구책임자 또는 총괄과제의 연구책임자로 참여하여야 함 ※ 연구단장은 연구단의 효율적 운영·관리를 위해 총괄과제 수행 가능</p> <p>○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함</p> <p>○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음</p> <p>○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 ※ www.kaia.re.kr, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조</p> <p>- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함</p> <p>- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함 ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음</p>	

- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부 과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발 기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - ※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발 계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함
 - ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 최종 연구성과(국산 TBM)의 경제성 분석(해외 TBM 대비 가격절감, NATM과의 경제성 비교분석 등)을 연구종료 이전에 실시하여 제시하여야 함
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안, 기술도입 및 해외 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐

연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구 추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항

- 주기적 특허 및 시장 동향 조사 실시
- 총 연구기간 중 최소 2회(중간/종료 단계) 이상의 연구성과 점검 및 파급효과 분석을 실시(별도 보고서 제출)
- 실용화 대상 기술에 대한 기술설명서(SMK)를 작성하여, 연구 개발 완료시점에 제출

○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 「분산공유형 건설연구 인프라 구축」 과제결과로 구축된 “분산공유 6대 실험시설” 우선 활용

※ 공고시 첨부한 “분산공유형 건설연구 인프라 실험시설 소개자료” 참조

2절. 평가기준 설정

1. 평가항목

- 평가항목은 ‘국토교통기술 연구개발사업 관리지침, 2013.5.03. 개정, [별지 6] 평가서 표준서식’을 참고하여 작성함

평 가 항 목		배점
가) 연구개발의 필요성(10)	①연구개발 대상기술의 중요성 및 필요성	5
	②국토교통 R&D정책과 연구내용과의 장기적 연계성	5
나) 연구개발의 목표 및 내용(30)	①최종·연차별 목표 및 분야별 목표와의 적합성, 명확성, 창의성	10
	②성과목표 및 성과지표 설정의 명확성 및 타당성	10
	③RFP와의 적합성	5
	④연구개발내용의 완성도 및 실현가능성	5
다) 연구개발추진전략·체계 및 연구수행 방법(20)	①추진전략 및 연차별 추진체계의 합리성	10
	②연구수행방법의 적합성	10
라) 연구성과 활용 가능성(20)	①활용방안의 적절성 및 구체성	10
	②개발기술의 경제적 기대성과(투자 및 파급효과 등)	10
마) 연구수행 능력(10)	①연구책임자의 연구수행·관리능력 및 관련분야 연구경험	5
	②참여연구인력의 적정성 및 전문성	5
바) 연구시설 확보 및 연구개발비 계상의 합리성 (10)	①연구장비·시설 확보 및 활용의 적합성	5
	②연구개발비 계상·집행 및 개발기간의 합리성	5

2. 가점 및 감점기준

- ‘국토교통기술 연구개발사업 관리지침, 2013.5.03. 개정, [별표 3] 가점 및 감점기준’을 참고하여 작성함

구 분	내 용
평가결과 등에 따른 가·감점	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 최종평가 결과, 최우수등급(상대평가시 최상위 10%, 절대평가시 만점의 90% 이상)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후 2년간 2점 가점 ◦ 최종평가결과 최하위등급(상대평가 시 하위 10% 등급, 절대평가시 만점의 50% 이하)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종 평가 후(연구개발참여제한에 해당되는 경우에는 참여제한 기간 만료 후) 2년간 2점 감점 ◦ 최종평가결과 하위등급(상대평가 시 하위 30% 등급, 절대평가시 만점의 60% 이하)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 1점 감점 ◦ 추적평가 결과, 최우수등급(상대평가 시 만점의 80%이상으로서 최상위 10%, 절대평가시 만점의 90% 이상)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 추적평가 후 2년간 2점 가점
논문실적에 따른 가점	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 최근 3년 이내에 우수 논문(임팩트팩터 15이상)실적이 있는 연구책임자가 신규과제를 신청할 경우 가점 1점
보안과제 수행에 따른 가점	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 최근 3년 이내에 협약한 연구개발과제로서 협약 시 보안과제로 분류된 연구개발과제의 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 가점 1점
기술실적에 따른 가점	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 최근 3년 이내에 기술실시계약을 체결하여 징수한 기술료 총액이 2천만원 이상이거나, 같은 기간 내에 2건 이상의 기술이전 실적이 있는 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 가점 1점
연구성과 포상에 따른 가점	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 최근 3년 이내에 공동관리규정 제17조제9항에 따라 국가과학기술위원회로부터 우수한 연구성과로 포상을 받은 연구자의 경우 가점 1점
신기술 또는 녹색인증에 따른 가점	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 국토교통연구개발 결과를 활용하여 최근 2년 이내에 R&D사업 연구결과로 건설·교통신기술을 받은 중소기업이 관련분야의 신규 신기술 지정분야와 동일한 기술분야의 연구개발과제를 신청하는 경우 가점 1점(단, 참여기업 또는 위탁연구기관으로 참여하는 경우는 제외하고, 기술분야 분류는 전문기관의 장이 별도로 정한다.) ◦ 최근 2년 이내에 「저탄소 녹색성장 기본법 시행령」 시행령 제19조에 따른 녹색인증을 받은 중소기업이 연구개발과제를 신청하는 경우 가점 1점
연구부정행위에 따른 감점	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 전문기관의 장은 연구개발과제를 선정하는 경우 최근 3년 이내에 운영규정 제55조제1항 각 호의 연구부정행위를 한 경우 4점 감점
협약 또는 연구 포기에 따른 감점	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 연구개발과제 선정 후 협약을 포기하거나, 연구수행 도중 연구를 포기한 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우, 향후 3년간 2점 감점
기업의 연구수행 형태에 따른 가점	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 대기업이 주관연구기관으로서 <ul style="list-style-type: none"> - 중견·중소기업이 참여하지 않는 경우 : 1점 - 중견기업은 참여하고, 중소기업이 참여하지 않는 경우 : 1.5점 - 중소기업이 참여하는 경우 : 2점 ◦ 중견기업이 주관연구기관으로서 <ul style="list-style-type: none"> - 중소기업이 참여하지 않는 경우 : 1.5점 - 중소기업이 참여하는 경우 : 2점

구 분	내 용
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 중소기업이 주관연구기관인 경우 : 2점 ○ 기업 이외의 기관이 주관연구기관이고, 참여기업이 있는 경우 : 1점
<p style="text-align: center;">총 연구비에 대한 연구신청기관의 연구비 부담비율에 따른 가점</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 총 연구비에 대한 연구신청기관이 부담하는 연구비(현금)의 비율에 따라 신청기관 별로 가점 부여 (단, 경쟁응모인 경우에 한함) <ul style="list-style-type: none"> - 신청기관 중 연구비(현금) 부담비율이 가장 높은 기관 : 1.0점 - 그 외 기관은 최대 연구비(현금) 부담비율을 기준으로 연구비(현금) 부담비율에 따른 가점 부여 <p style="text-align: center;">· 부여가점 = $1.0 \times \frac{\text{해당 기관 연구개발비 현금 부담비율}}{\text{신청기관 중 최대 연구개발비 현금 부담비율}}$</p>
<p style="text-align: center;">기 타</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 여성연구자가 신규과제 주관연구책임자로 참여시 가점 1점 ○ 최근 3년 이내에 조기성공 실적이 있는 연구자가 신규과제 연구책임자로 신청 시 가점 0.5점 ○ 「하도급거래 공정화에 관한 법률」을 최근 3년 이내에 상습적으로 위반한 기업이 연구개발과제를 신청한 경우에 그러한 위반 사실이 같은 법 제26조에 따른 공정거래위원회로부터 관계 행정기관의 장에의 통보 등을 통하여 확인될 경우, 2점 감점

[부록 1] 후보과제카드

1. 제안 기술명		- 토사 또는 복합지반에서의 면판설계 및 굴진성능에 대한 정량적 가이드라인
2. 기술분류체계		- 1.1.1 중대단면 커터헤드 설계기술
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- TBM공법 초기 검토시 굴진율(공기)에 대한 요소가 공법적용의 주요한 인자임 - 현재 암반구간에 대한 정량적 분석은 가능하나 토사 및 복합지반에 대한 굴진성능은 사례에 의존하고 있어 설계 RISK가 큼
	경제적	- 토사 및 복합지반에 대한 굴진성능을 정량화하여 커터비트 및 디스크커터 등의 최적화로 경제성 향상
	기술적	- TBM 적용구간은 암반보다는 토사 및 복합지층에 위치하는 경우가 다수임 - 토사지반에 대한 굴진성능 및 커터헤드 설계기술 부족
4. 기술개발 목표		- 토사 및 복합지반에 대한 RPM, 면판설계 가이드 라인 제시
5. 기술개발 내용		- 토질조건에 대한 세분화 (예: 사질토, 점성토, N값, 토성 등) - 토질조건에 대한 일굴진량 및 커터헤드(커터비트, 디스크커터)의 정량화 - 커터헤드의 성능 실험방법 고안 - 커터의 배치, 궤적, 수량 및 RPM 등 가이드 라인 제시
6. 기존 선행연구		- 국내사례 없음
7. 소요기간 및 예산		(5) 년, (15)억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	토질별 굴진성능 및 면판설계 Program	TBM 기본 및 실시설계서 (지하철본부, 한전, 가스공사 등)
9. 기대효과		- 면판 설계 Program를 활용하여 면판설계 및 디스크 커터의 필요수량을 정량적 산출하여 시공시의 Risk 최소화

1. 제안 기술명		- TBM 커터헤드 자동화 설계 기술 개발
2. 기술분류체계		- 1.1 중·대단면 TBM 커터헤드 설계·제작 기술
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- TBM공법은 현재 도심지 지하굴착의 필수 공법임. 1단계 연구에서 개발된 국산 커터헤드 설계·제작 기술의 적용 효율성을 제고하기 위해 커터헤드 설계의 자동화 기술 개발이 필요
	경제적	- TBM 커터헤드의 설계는 장비사양 및 커터배열설계와 커터헤드의 형상에 대한 세부설계로 이루어짐. - 위 두가지 설계는 구조해석을 통한 안정성 결과로 피드백되며 두가지 설계를 일괄적으로 수행할 경우 빠르고 효율적인 설계가 가능하며, 더불어 설계비 절감이 이루어질 수 있음.
	기술적	- TBM설계에서 TBM의 장비사양 및 커터배열설계와 커터헤드 형상의 세부설계의 연동은 국내 TBM 설계 및 제작사의 경쟁력 향상에 필요. - TBM 커터헤드의 기술력 향상을 위해서는 커터헤드의 기존 제작 도면 축적 및 제작 도면 도출기술 개발이 필요.
4. 기술개발 목표		- 직경 7 m 이상급 중·대단면 실드TBM 자동화 설계 기술 개발
5. 기술개발 내용		- 3D Modeling기반 TBM 커터헤드 설계 프로그램 개발 - 국내·외 TBM 커터헤드 제작 도면 D/B구축 - 3D Modeling기반 TBM 커터헤드 설계 프로그램의 구조해석 연동 기술 개발 - TBM 커터헤드 제작 도면 산출
6. 기존 선행연구		- 국내: 관련 연구 전무 - 해외: TBM커터헤드 설계기술은 각 TBM 제작사의 비밀유지 사항이어서 외부로 알려진 바 없음
7. 소요기간 및 예산		(5) 년, (25) 억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	TBM 커터헤드 자동화 설계 프로그램	TBM 설계 및 제작사
	커터헤드 부품 제작도면 D/B	
9. 기대효과		- 커터헤드 설계 자동화를 통한 설계 및 제작기술 향상 - 커터헤드 제작 도면 축적을 통해 TBM 설계·제작사의 기술 경쟁력 제고

1. 제안 기술명		- 고수압구간내 상압조건 커터교체 작업이 가능한 커터헤드 제작
2. 기술분류체계		- 1.1 중대단면 TBM 커터헤드 설계제작기술 - 소분류에 해당되는 내용은 기존 분류체계에 적합한 것은 없는 것으로 판단 - 제안) 1.1.3 커터헤드 부속설비 제작기술 기술내용 : 상시 상압조건에서 커터교체가 가능한 커터헤드 부속설비의 가공/제작기술
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- 쉴드터널의 장대화, 대심도화, 해저횡단 증가로 인해 고수압구간 통과 사례가 증가할 것으로 예상됨 - 고수압구간내 커터교체 등 막장작업시 잠수병 등 인명피해 방지 및 작업환경 개선이 요구됨
	경제적	- 고수압 구간내 커터교체시 고가의 장비/설비 및 특수 잠수사 등이 필요하여 경제적으로 매우 불리함
	기술적	- 유사한 해외 기술이 적용되고 있음 - 보다 기존 시스템을 보완하여 유지관리 효율성이 향상되고 경제적으로 유리한 기술개발이 필요함
4. 기술개발 목표		- 20bar 정도의 고수압에서도 상압내 환경에서 커터를 교체할 수 있는 부속설비 제작, 부속설비 자체의 내구성도 확보될 수 있어야 함
5. 기술개발 내용		- 기존 해외 유사설비의 기술과 효율성에 대한 연구 - 20bar 정도 고수압에서 상압을 유지할 수 있는 설비 제작 - 커터를 설비(격실)내에서 교체할 수 있는 기술 개발 - 부속설비(격실) 내구성 향상 기술개발(소재개발)
6. 기존 선행연구		- 기수행중인 "고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발"에서 유사한 기술 개발 중인 것으로 알고 있음
7. 소요기간 및 예산		(4) 년, (??)억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	- 상압조건 커터교체 가능 커터헤드 부속설비(격실)	- 고수압구간 통과 쉴드TBM 커터헤드에 적용하여 시공성, 경제성 향상
9. 기대효과		- 시공성 향상 : 커터교체 기간 단축(공기단축) - 안정성 향상 : 상압내 작업으로 작업원의 안정성 향상 - 경제성 향상 : 별도 고가장비나 특수 잠수부 없이 일반 작업원으로 커터교체 가능으로 경제성 향상 - 기술경쟁력 향상

1. 제안 기술명		- 쉴드TBM 기포 공법
2. 기술분류체계		- 1.2.4 굴착토 처리기술
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- 쉴드TBM 기술의 국산화를 위해서는 해외 시장에서 요구하는 기술수준으로 개선한 재료의 개발이 필요
	경제적	- 해외 고가의 재료를 대체하여 쉴드TBM 공사의 경제성 확보
	기술적	- 해외 선진 기술에 비해 뒤쳐진 국내 기술의 개선
4. 기술개발 목표		- 해외 선진 기술과 동등한 수준의 요구성능 확보 - 점성, 기포 유지성, 분해성, 환경성 등
5. 기술개발 내용		- 토압식 쉴드TBM은 챔버내에 굴착 토사를 채워 막장의 붕괴를 방지하면서 굴착하는 공법이다. 이때 토질에 따라서 토사의 부착이나 아칭현상에 의해 TBM 토크가 과다하게 증가하거나 배토불능 현상이 발생하기도 한다. - 또한 스크류컨베이어에서의 지수효과나 배토구의 Gate 대책만으로는 충분하지 못하여 토사가 지하수와 함께 분출하는 경우가 있어 과굴착의 원인이 된다. - 이러한 과굴착으로 인하여 도심지 쉴드TBM 구간에서의 침반침하가 발생하여 사고를 유발하는 경우가 종종 있다. - 이에 대한 대책으로 챔버내의 굴착토에 Foam제를 투입하여 적절한 유동성과 지수성을 가지도록 하여 안정적인 쉴드TBM 시공을 가능하게 한다.
6. 기존 선행연구		- 외국 선진기술을 모방한 국내생산 폴리머와 기포제를 사용하고 있으나, 현장에서 요구하는 기술수준에 미치지 못하고 있는 것으로 파악된다.
7. 소요기간 및 예산		(3) 년, (6) 억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	기포제	토압식 쉴드TBM 국내외 현장 (시공사)
	소포제	토압식 쉴드TBM 국내외 현장 (시공사)
9. 기대효과		- 해외 현장에서 요구되는 선진 기술 수준에 적합한 재료개발로 국내업체의 경제적 이득 기대 - 쉴드TBM 현장에서의 시공 트러블 감소로 경제적, 환경적, 사회적 이득 기대

1. 제안 기술명		TBM 전방탐사 센서 설치용 커터헤드 설계 기술
2. 기술분류체계		1-5-1 물리탐사
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	싱크홀 등 각종 지반함몰 예방 기술로 활용 가능
	경제적	TBM 시공 중 각종 리스크발생 저감으로 인한 시공지체시간 저감, 리스크 대응/복구비용 절감 등의 경제성 효과 기대
	기술적	1단계 연구사업을 통해 전방탐사 기반 기술이 확보되었으므로, 연구를 통해 단기간 세계 수준 기술 확보 가능
4. 기술개발 목표		센서 탑재형 커터헤드 기술과 카피커터를 활용한 전기비저항 탐사 기술 개발
5. 기술개발 내용		<p>1. 센서 설치가 가능한 커터헤드 설계기술 국내 TBM 개발시 전기비저항 전방탐사의 원활한 시행을 위해 커터 헤드 내부에 전방 탐사용 센서가 탑재되어야 하며, 탑재시 헤드부분에 1cm 내외의 구멍을 뚫어 전방지반과 센서가 밀착되게 해야 하며, 면판 뒤 헤드내부 공간에 탑재센서가 위치할 공간이 필요하고 관련배선용 로터리조인트 등의 설계 기술이 필요함.</p> <p>2. 헤드 내부에 copy cutter를 전기비저항 센서화하여 전기비저항 탐사를 수행할 수 있도록 만드는 카피커터 센서화 기술이 필요함.</p>
6. 기존 선행연구		1단계 연구사업에서 수행된 디스크커터 활용 전기비저항 탐사 기술
7. 소요기간 및 예산		(5) 년, (15)억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	카피커터 활용 전기비저항 탐사기술	시공사(건설사)
9. 기대효과		공사 중 각종 붕괴·붕락 사고의 사전 예방

1. 제안 기술명		- 이토압식 쉴드 TBM 적용시 굴착토 소성유동화를 위한 최적 첨가제 기술 개발
2. 기술분류체계		- 1.2 토압식 굴진면 안정화 시스템
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- 적정 챔버압 관리를 통한 사회적 공사위험도 저감
	경제적	- 시공중 트리블 요인 최소화로 경제성 향상
	기술적	- 도심지 지하철 시공시의 안전한 쉴드 TBM 터널 시공기술 확보
4. 기술개발 목표		- 점성토 및 사질토 특성에 따른 적정 첨가제 및 배합비율 선정
5. 기술개발 내용		- 첨가제가 필요한 막장면 상태의 정량적 평가(막장 자립성) - 용수발생 유무에 따른 적정 첨가제 제안 - 대상 토질의 세립분 함유율에 따른 첨가제 종류 및 혼입 비율에 대한 연구
6. 기존 선행연구		- 없음
7. 소요기간 및 예산		(5) 년, (17) 억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	토질 특성별 첨가제 혼입별 소성유동특성 파악	설계 및 시공중 막장압 관리 시공관리 기준으로 활용
	설계 및 시공관련 회사 / 발주기관	
9. 기대효과		- 이수압식 대비 이토압식의 경우 막장압 관리가 어려움 - 이토압식 쉴드 TBM의 절대적 시공관리항목인 굴착토의 소성유동화 성능 확보로 안전시공 유도

1. 제안 기술명		다양한 지반조건에 따른 중대단면 TBM용 디스크 커터의 설계기술
2. 기술분류체계		1.4.1디스크 커터
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	국내뿐 아니라 해외에서도 유통될 수 있는 성능의 TBM부품 개발
	경제적	TBM 공사비의 약 10%를 차지하는 디스크커터의 장수명화를 통한 굴착공사비 절약 필요
	기술적	해외, 특히 유럽의 지반은 국내지반과는 역학적 특성이 상이하므로 절삭능력을 최적화하기 위한 디스크커터 개발이 필요
4. 기술개발 목표		해외지반에도 적용가능한 최적 형상 및 재질의 디스크커터 개발
5. 기술개발 내용		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 본 과제를 통해 개발될 중대형 국산 TBM은 국내에서뿐 아니라 해외에도 수출을 목표로 개발되어야 하며, 따라서 국내지반뿐 아니라 해외의 다양한 지반조건에서도 최적의 굴진효율을 도출할 수 있는 것이 중요함 ▪ 이를 위해서는 다양한 지반조건에서 현재 Robins등에서 사용되고 있는 제품과 동등이상의 성능을 발휘할수 있는 디스크커터 개발이 필수적임 ▪ 결국 유럽 및 기타국가의 다양한 지질조건에서도 최적의 성능을 발휘할 수 있는 디스크 커터를 SINTEF와 공동으로 시험실 시험 및 야외 샘플시험을 통해 개발하고자 함. ▪ 또한 기존의 NTNU TBM 굴진모델을 응용하여 개발된 디스크커터가 장착된 중대형 TBM에 특성화된 굴진을 예측모델 개발
6. 기존 선행연구		현재 TBM 핵심 설계부품·기술/최적 건설기술 개발 연구단에서 고성능 디스크커터 연구진행 중
7. 소요기간 및 예산		(5) 년, (7.5) 억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	디스크 커터 논문, 특허	장비 및 부품 회사
9. 기대효과		국산 TBM디스크커터의 수입대체 및 해외 수출

1. 제안 기술명	3차원 터널 전방 탄성파탐사(Tunnel Seismic Prediction)시스템 개발	
2. 기술분류체계	1.5 TBM 전방탐사기술 (1.5.1 물리탐사)	
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	<ul style="list-style-type: none"> - 최근 사회적 문제인 도심지 싱크홀과 관련하여 국민들의 관심이 높아지고 있으며, 이에 대응하기 위해 국가적인 해결방안 및 정책개발이 진행되고 있음. 지난해 송파구(서울) 일대에 대규모 공동이 발생되어 큰 인명피해가 발생할 뻔 하였음. 원인은 지하철 9호선의 TBM 굴착에 의해 발생한 것으로 드러났지만, 실제로는 TBM 굴착방법의 문제가 아닌 터널전방의 지질조건을 제대로 인지하지 못하여 그에 맞는 올바른 보강대책을 마련하지 못한 것임.
	경제적	<ul style="list-style-type: none"> -3차원 터널전방 탄성파탐사 장비는 100% 외국에서 수입되며 매우 고가임. 탐사업종 특성상 소규모 업체가 많아 고가의 장비를 구입하는데 많은 부담이 있으며, 이에 따라 탐사 수행단가도 상당히 높을 수밖에 없음. -높은 탐사 비용은 탐사 업체와 시공사 모두에게 부담이 되어 터널 전방에 대한 물리탐사 횟수에 제한이 있음.
	기술적	<ul style="list-style-type: none"> -터널 전방의 지질상태를 파악하는 물리탐사기술에는 주로 TSP 탐사 방법이 사용되고 있으며 국내에는 스웨덴 Amberg 사의 TSP 장비를 주로 사용하고 있고, 최근 3차원 해석이 가능한 장비와 소프트웨어가 개발되어 국외 및 국내에서 상용화되어 있음. -3차원 터널전방 탐사시스템 개발을 통하여 고해상도 다중채널 수신기 설계/제작의 국산화 기술 자립화 및 3차원 터널 전방 불연속면 해석기술의 확보가 가능함.
4. 기술개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> -3차원 터널전방 탄성파탐사 하드웨어 시스템 개발 -3차원 터널전방 탄성파탐사 데이터 분석 및 해석 기술 개발 	
5. 기술개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 탄성파 자료취득 geometry 선정 및 하드웨어 개발(TBM 터널 우선 고려) - 탄성파 신호 수신기(3축 센서)의 선정(주파수, S/N비, 채널수 등 고려) - PC와 송수신기 결합 모듈 개발(시공중인 터널내부의 열악한 환경 고려) - 수신기와 터널내 지반과의 결합방법 선정 및 개선 - 수신된 탄성파 신호의 잡음제거 및 필터링 기술 개발 - P파와 S파를 이용한 초기 3차원 속도모델 개발 - 반사면 이벤트 추출기법 개발 - 터널전방의 불연속면 및 역학적 특성의 3차원 도식화 프로그램 개발 - 탐사 하드웨어 시스템과 해석 소프트웨어 검증 및 개선 	
6. 기존 선행연구	터널 전방 예측 다중채널 반사법탐사(2011년)	

7. 소요기간 및 예산	(5) 년, (55)억원	
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	-3차원 터널전방 탐사장비 및 해석기술 확보	-TBM 터널을 포함한 모든 공법의 터널시공현장
9. 기대효과	-터널전방 탐사장비를 국산화하여 국내 탐사업체 및 터널 시공사의 경제적 부담을 줄이고, 저 비용으로 탐사횟수를 늘려 굴착 중인 터널 전방에 대한 지질정보를 보다 자세히 파악하여 공기 단축과 시공안정성을 확보할 수 있음.	

1. 제안 기술명		대구경 TBM 선진 보링시 MWD기술을 응용한 지반정보 예측기술 개발
2. 기술분류체계		1.5.2 선진보링
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	기존 해외 선발업체들과의 기술 경쟁력 확보에 필수적인 요소
	경제적	TBM굴진시 취약한 지반조건으로 인해 TBM굴진에 문제가 발생하는 경우 이를 처리하기 위한 투입 비용 및 시간은 대구경일수록 증가함
	기술적	TBM이 대구경 일수록 막장 전방 지반상태 예측은 더욱 정교하고 많은 지반정보를 필요로 하므로 이를 위한 기술개발이 매우 시급함
4. 기술개발 목표		대구경 TBM굴진시 막장 전방 지반정보 예측을 위한 선진보링용 MWD(Measurement While Drilling) 기술 실용화
5. 기술개발 내용		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 현재 MWD(Measurement While Drilling) 기술은 Drill&blast 터널의 천공시 컴퓨터 점보드릴에 장착되어 활용되고 있음(예: 노르웨이 Bever Control AS) ▪ MWD기술을 응용한 중대형 TBM용 막장 전방 지반정보 파악시스템 개발 및 선진보링(Probe drilling) 장비에 접목(수집 가능 정보 : 천공시 천공속도, 압력, 회전압력, 타격압력, 수압 등과 이를 분석한 3차원적 지반정보) ▪ MWD에 의한 지반정보와 현재 NTNU에서 연구중인 NTNU TBM굴진예측 수정 모델을 접목하여 대구경 TBM에 적합한 굴진을 예측모델 개발
6. 기존 선행연구		현재 TBM 핵심 설계부품·기술/최적 건설기술 개발 연구단에서 선진시추/시추공 영상화에 의한 지반평가 시스템 개발 연구진행 중
7. 소요기간 및 예산		(4) 년, (6) 억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	
	개발된 MWD기술이 접목된 선진보링	TBM 제작사
	지반정보 및 굴진을 예측 시스템	발주처 및 시공사
		논문, 특허, 지침서 등
9. 기대효과		중대단면 TBM 국산장비의 선진화 및 해외 장비와의 기술경쟁력 제고

1. 제안 기술명		- 세그먼트 조립 동시 굴진 병행 쉴드 장비 개발
2. 기술분류체계		- 2.1 TBM 유압 추진 시스템 - 소분류에 해당되는 내용은 기존 분류체계에 적합한 것은 없는 것으로 판단 - 제안) 2.1.3 세그먼트조립 및 굴진 병행용 추진 유압잭 기술내용 : 세그먼트조립 및 굴진 병행이 가능한 추진 유압잭 가공/제작기술
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- 쉴드터널의 장대화로 인해 초장대터널 시공 사례가 증가할 것으로 예상됨 - 초장대터널의 공기단축을 통해 사회적 비용 절감이 필요함
	경제적	- 공기단축으로 경제성 향상
	기술적	- 유사한 해외 기술이 적용되고 있음 - 보다 기존 시스템을 보완하여 시공성이 향상되고 경제적으로 유리한 기술개발이 필요함
4. 기술개발 목표		- 유사 해외 기술(장비)보다 30% 이상 효율 향상이 가능한 기술개발
5. 기술개발 내용		- 세그먼트 조립 동시 굴진 병행 추진 시스템 개발 - 병행 가능한 굴진장 향상 기술 - 고속 세그먼트 조립기술과의 융합 기술 개발
6. 기존 선행연구		- 국내 선행 연구사항은 없는 것으로 판단되며 일본에서 유사 특허 기술이 있으며 국내 도입 시도가 있었음
7. 소요기간 및 예산		(4) 년, (??)억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	- 세그먼트 조립 동시 굴진 병행 추진 시스템 및 추진유압잭 제작기술	- 초장대 터널 시공 기간 단축활용
9. 기대효과		- 시공성 향상 : 공기단축 - 민원발생 최소화 : 작업구 운영기간 최소화로 민원억제 우수 - 경제성 향상 : 공기단축에 따른 경제성 제고 - 기술경쟁력 향상

1. 제안 기술명		- 실시간 TBM 장비데이터 분석을 통한 연약구간 또는 파쇄구간 굴착 시의 리스크 예측 및 시공관리 프로그램 개발
2. 기술분류체계		2. TBM 추진 · 운영 시스템 2.4 TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터 2.4.1 TBM 시공 시나리오
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- 국내 TBM 관련 운영 기술 및 리스크 관리 기술의 부족으로 인해 각종 시공 트러블이 발생하고 있음. 특히 최근 TBM 굴착으로 싱크홀 및 공동이 다수 발생하여 정책적, 사회적으로 시공관리 기술 개발에 대한 요구가 급증하고 있는 실정임
	경제적	- TBM 시공 중 연약구간 또는 파쇄구간이 존재할 경우, 사전에 예측하지 못한 리스크가 발생하여 커터헤드의 파손 등 경제적 손실이 발생함 - TBM 장비의 추진력, 토크, 굴진속도 등 장비데이터를 실시간으로 모니터링하여 연약구간 또는 파쇄구간 굴착 시 발생 가능한 리스크 예측 및 시공관리 프로그램을 개발한다면, 시공 중 상황에 따른 운영 기술을 적용함으로써 경제적 손실을 예방할 수 있음
	기술적	- 현재 우리나라는 TBM장비의 설계·제작을 해외에 100% 의존하고 있음. 또한 국내 연약구간 또는 파쇄구간의 굴착은 정립된 매뉴얼 또는 시공관리 프로그램 없이 기술자의 노하우를 통해 수행되고 있어, 비숙련 기술자의 활용도는 매우 낮음 - TBM 시공 중 실시간 시공관리가 가능한 매뉴얼 및 시스템이 개발된다면, 경력이 적은 기술자의 활용도를 높이고 TBM 운영관리 기술의 국산화가 가능할 것으로 기대됨
4. 기술개발 목표		- 연약구간 또는 파쇄구간 굴착 시, 지반 거동을 예측할 수 있는 수치해석 모델 개발 - 실시간 TBM 장비데이터 분석을 통한 리스크 예측 및 시공관리 프로그램 개발
5. 기술개발 내용		○ 연약구간 또는 파쇄구간 굴착 시, 지반 거동을 예측할 수 있는 수치해석 모델 개발 - TBM 굴착 시의 지반 거동 예측이 가능한 수치해석 모델 개발 - 지반의 구성(복합지층) 및 지하수압에 따른 TBM 굴착 시의 지반 거동 예측 - 실내 챔버시험 또는 현장시험을 통해 개발된 기술의 검증 수행 ○ 실시간 TBM 장비데이터 분석을 통한 리스크 예측 및 시공관리 프로그램 개발 - TBM 장비의 추진력, 토크, 굴진속도 등의 장비데이터를 실시간으로 모니터링하여 상황에 맞는 시공관리 방법 제시 - 연약구간 또는 파쇄구간 굴착 시의 시공관리가 가능한 프로그램 개발 ○ 연약구간 또는 파쇄구간 굴착 시, 실시간 장비데이터에 따른 시공 매뉴얼 제시 - 연약구간 또는 파쇄구간 굴착 시, 전방 그라우트 및 프리징 공법 적용 매뉴얼 개발
6. 기존 선행연구		- TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술 (건설기술혁신사업)
7. 소요기간 및 예산		(5) 년, () 억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	
	TBM 시공 시, 지반거동예측 수치해석 모델	TBM 시공사, 시공 감리 및 설계사
	TBM 시공관리 프로그램 또는 시공 매뉴얼	TBM 시공사, 시공 감리 및 설계사
9. 기대효과		- TBM 시공 시, 지반 거동을 예측할 수 있는 수치해석 모델 및 시공관리 프로그램을 개발하여 안전하고 신뢰성 있는 TBM 시공을 수행할 수 있음 - TBM 시공 중의 장비데이터의 지속적인 모니터링을 통해 시공 상황에 맞는 공법을 적용함으로써 설계 단계에서 예측하지 못한 리스크의 발생을 최소화할 수 있음

1. 제안 기술명		- TBM 시뮬레이터 개발
2. 기술분류체계		- 2.4 TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- TBM은 고가의 건설장비임에도 불구하고, 타 건설장비와 달리 TBM 전문인력(오퍼레이터 등)을 양성하기 위한 교육·제도·정책적 기반이 전무
	경제적	- TBM의 시공을 오퍼레이터의 경험에 의존함에 따라, TBM 오퍼레이터의 숙련도에 따라 TBM의 시공효율이 좌우 - 오퍼레이터들이 외국의 TBM 제작사의 자체적인 교육/훈련에 의존하여 관련 외화 유출
	기술적	- 국산 TBM의 활용도를 높이고 TBM 국산 제작사의 경쟁력을 높이기 위해, 다양한 시공조건을 고려한 세계 최고의 TBM 시뮬레이터 개발 필요 - 국산 TBM의 현장적용 이전에 국산 TBM의 성능시험 및 성능평가에 활용 가능
4. 기술개발 목표		- 다양한 지반조건과 시공조건을 고려한 직경 7 m 이상급 중·대단면 쉴드TBM 시뮬레이터 개발
5. 기술개발 내용		- 다양한 지반조건과 시공조건에 따른 리스크관리 기반의 TBM의 시공 시나리오 개발 - TBM 운전미숙이나 대처미흡으로 인한 시공 트러블 현상 구현 및 대처방법 개발 - TBM 시공 시나리오를 접목한 가상현실 기반의 TBM 시뮬레이터 S/W 및 H/W 제작 - TBM 시뮬레이터를 활용한 글로벌 TBM 전문인력 양성용 교육 프로그램 및 전문가 자격과정 개발
6. 기존 선행연구		- 국내: 관련 연구 전무 - 해외: 유럽 TUNCONSTRUCT 프로젝트에서 '세그먼트 이렉터 시뮬레이터'를 개발한 사례(독일 Herrenknecht)는 있으나 TBM 전체에 대한 시뮬레이터 개발 연구사례는 전무
7. 소요기간 및 예산		(5) 년, (25) 억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	TBM 시뮬레이터	TBM 제작사 및 시공사 (해외 포함)
TBM 교육 프로그램/전문가 과정		국토부 및 TBM 전문시공사
9. 기대효과		- 세계 최초의 TBM 전용 시뮬레이터 개발 및 활용 - 글로벌 수준의 TBM 전문인력 양성에 기여 - 국산 TBM에 대한 사전 검증/교육에의 활용을 통해 TBM 제작사의 경쟁력 제고

1. 제안 기술명		- TBM 기계데이터를 이용한 3D기반 모니터링 및 굴진이력 재현 시스템
2. 기술분류체계		- TBM 추진·운영시스템 / 2.4 TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- TBM굴진 중 리스크관리로 기반시설 보호 및 효율적 공사관리
	경제적	- 굴진관리 및 모니터링 시스템의 3D화로 리스크관리와 D/B의 활용범위 확대
	기술적	- Global Top 수준의 국내 IT기술을 활용한 3D 기반 굴진관리 모니터링 시스템의 필요
4. 기술개발 목표		- 기계데이터를 활용한 TBM굴진 상황을 3D 모니터링 및 시간이력으로 재현
5. 기술개발 내용		- TBM 기계데이터를 바탕으로 3D 모니터링 프로그램 개발 - 굴착/추진, 배토, 세그먼트 조립 등 굴진장비 트러블을 시간이력을 고려하여 3D화로 재현
6. 기존 선행연구		- 없음
7. 소요기간 및 예산		(5) 년, (20) 억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	모니터링 시스템(프로그램)	국내외 실드 TBM공사
9. 기대효과		- 실시간 기계데이터를 활용한 3D연동 시뮬레이션 굴진관리로 TBM장비 및 공정관리, 불확실성 리스크의 선제적 대응 - TBM 오퍼레이터 등 인력양성을 위한 소프트웨어로 활용

1. 제안 기술명	세그먼트 자동조립시스템	
2. 기술분류체계	3.1 세그먼트 이렉터 (erector)시스템	
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	기계류 융복합화에 의한 경쟁력의 획기적 강화
	경제적	세그먼트 연속조립으로 시공속도 2배향상으로 시공비 대폭 절감
	기술적	ICT기술도입에따른 세그먼트 조립속도 향상으로 터널시공속도 대폭 향상
4. 기술개발 목표	8M급 실드 TBM용세그먼트 자동조립시스템 개발	
5. 기술개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 세그먼트 자동조립시스템은 세그먼트의 운송에서 파지, 위치결정, 볼트 체결까지의 일련의 세그먼트조립 작업을 자동으로 안전하게 고정도로 시공가능함. 세그먼트 공급방식은 세그먼트 상부 공급방식과 세그먼트 하부 공급방식이 있음 	
6. 기존 선행연구	국내 연구실적 없음	
7. 소요기간 및 예산	(3) 년, (25	
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	세그먼트 자동조립시스템	실드 tbm
9. 기대효과	교통터널 및 utility터널공사	
	세그먼트자동조립시스템 채용시 수동식에 비해 시공속도가 2배로 향상되어 공사기간 단축,공사비 절감,안전성향상 등 많은 효과 발생	

1. 제안 기술명		- Two Component Backfill Grout Injection system 개발
2. 기술분류체계		- 3.2.1. 주입시스템
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- 최근 터널 건설시 기존의 NATM공법보다는 쉴드 TBM을 이용한 기계화굴착이 많이 이용되고 있음. 이로 인하여 쉴드 TBM의 기기적 성능의 발전에 대한 관심이 높아지고 있음
	경제적	- 굴착 후 지반과 세그먼트의 사이의 공극을 채우는 Backfill grout가 제대로 시공되지 않을 경우 터널 구조물의 변형 및 상부 지반 침하 등의 발생으로 인한 손실이 발생할 수 있음. 이로 인한 구조적, 경제적 손실을 방지하기 위해서는 Backfill 주입 시스템의 개선 및 개발이 필요함
	기술적	- 쉴드 터널 시공시 Backfill 그라우트 주입구의 막힘 현상은 터널 굴진을 저하의 주된 원인임. Backfill 그라우트 주입구의 막힘 현상 발생시 쉴드기기를 부분적으로 분해하고 그라우트 주입구를 청소해야하는 번거로움이 자주 발생함
4. 기술개발 목표		- 쉴드의 Tail 부분에서 가소성 그라우트 주입재를 신속히 주입할 수 있고, 막힘 현상이 적어 쉴드 TBM 시공성을 향상시킬 수 있는 Backfill grout injection 시스템을 개발
5. 기술개발 내용		- Two component grout 주입을 위한 Simultaneous grout injection 시스템 개발 : A액(시멘트&벤토나이트)과 B액(급결제)을 개별적으로 운송하여 쉴드 Tail부에서 주입 직전에 혼합될 수 있도록 하는 주입 시스템을 개발 : 주입 직후 신속하게 세그먼트와 지반 사이의 공극을 메울 수 있는 주입 장치 개발 : 주입구의 막힘이 적고, 막힘 발생시 보수 및 유지관리가 용이한 시스템 개발 - 가소성 그라우트 플랜트 및 운송 시스템 개발 : 장거리 운송시에도 그라우트의 품질이 유지될 수 있는 그라우트 플랜트 및 운송 시스템의 개발
6. 기존 선행연구		- 없음
7. 소요기간 및 예산		(3) 년, (3)억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	Backfill grout injection 시스템 Backfill grout 플랜트 및 이송시스템	이수식 및 토압식 쉴드 TBM 기기에 적용
9. 기대효과		- Backfill grout 주입률 향상을 통한 세그먼트의 구조적 안정성 확보 - Backfill grout 주입 속도 및 막힘 방지를 통한 쉴드터널 굴진을 향상 - Backfill grout injection 시스템에 막힘 발생시 유지관리를 용이하게 하여 현장의 시공성을 향상

1. 제안 기술명		- 뒷채움 주입방식에 따른 재료선정
2. 기술분류체계		- 3.2 세그먼트 라이닝 뒷채움 주입 시스템
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- 장기적인 침하제어를 통한 사회적 위험적 감소
	경제적	- 주입방식 및 주입재별 최적 주입량 선정
	기술적	- 확실한 뒷채움으로 터널의 장기안정성 및 내구성 확보
4. 기술개발 목표		- 테일보이드 침하제어를 목표로 하는 뒷채움에 대하여 시공성을 고려한 지층조건별 최적방식 선정 - 뒷채움 재료의 적정 겔타임 및 목표강도 선정 - 뒷채움 주입재의 충전여부에 대한 품질평가 방법
5. 기술개발 내용		- 동시주입, 즉시주입등의 주입방식에 따른 주입재료 선별방안 수립 - 주입재의 정량적 품질확보방안이 없음에 따라 적정 방안 도출
6. 기존 선행연구		- 없음
7. 소요기간 및 예산		(5) 년, ()억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	세그먼트 뒷채움용 재료 관리 기준	설계 및 시공중 막장압 관리 시공관리 기준으로 활용
9. 기대효과		- 시공중 안정성 확보 및 장기적인 지표침하 제어

1. 제안 기술명	- 중고 TBM 재활용 기술 개발
2. 기술분류체계	<ul style="list-style-type: none"> - 중고 TBM사용의 사용규정 확립 및 비전문가에 의한 무분별한 사용규제를 통한 중고 TBM의 올바른 활용 및 부적격 장비의 퇴출 - 장비의 등록, 장비사용 이력 확보 및 비전문가에 의한 무리한 장비의 재활용억제
3. 기술개발 배경 및 이슈	<p style="text-align: center;">정책적</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현재 TBM 국산화 연구의 가장 큰 적은 소위 중고 TBM을 활용하여 사업을 하는 자들로서 현재 TBM 국산화 연구의 가장 큰 걸림돌이다. 전세계적으로 공공공사에서는 New TBM을 발주처가 직접 구매하여 (OPP방식) 가장 우수한 TBM 장비의 투입을 가능케하여 TBM의 장점인 굴착 속도, 안전성, 품질관리 등에서 괄목한 성장을 하고 있으나, 우리나라는 잘못된 장비의 발주 관행으로 저가의 중고 장비를 활용해야 되는 구조적 문제 점을 안고 있어, 제대로 Design이 된 TBM장비가 도입 되지 못하여, TBM 굴진 기계화의 만족도가 외국과 비교하여 현저히 떨어져, 이를 극복해야 TBM 국산화의 명분과 시장 규모 창출이 가능 할 것이다.
	<p style="text-align: center;">경제적</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현재 장비의 발주 시스템으로는 저가 입찰의 저가 재활용 중고 장비를 써야 되는 시스템으로 현장비로는 굴진율을 높이고, 공기를 준수하기가 어려운 사실이다. 그이유는 저가의 오래된 잘 정비가 안된 장비를 이용하여 터널 굴착을 하다 보니 장비의 고장율이 높아 장비의 가동율이 떨어져, 장비의 효율적 굴착이 어려운 현실이다.
	<p style="text-align: center;">기술적</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기술적으로도 20년 넘은 장비를 비전문가의 손에 맡겨, 땀질하듯이 재활용하는 것은 Project의 Risk를 극대화 하는 것으로, 현대화된 TBM 기계화 시공의 장점을 전혀 못살리고, 터널공사의 공기를 지연 시키고, 전문 시공사의 실행을 악화시켜, 미래로 가지 못하고, 과거에 안주하는 고질적 문제로 기술발전에 큰 장애물이다. 제대로 된 기준에 따라 장비를 재활용하고, 전문가 집단에 의해 재활용장비를 검사하고, 재활용 수리업체의 보증을 통해 재활용 장비 고장시 Risk를 원천적으로 차단한다.
4. 기술개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> - 재활용 장비는 원 New TBM 과 같은 품질의 기량을 회복한 경우, 전문가의 검증과, 제작사의 품질 보증 등의 규정을 확보하여, - 재활용 TBM의 품질을 확보하고, 재활용 분야도 최대 적정 기술력을 확보 한다. - 모든 TBM 장비의 성능 검사기관을 만들어, 신장비 및 중고장비 재활용의 정비규정 방침을 만들어 TBM 터널시공의 현대화와 품질 개선에 기여한다.

<p>5. 기술개발 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 재활용 기준 정립 - 모든 재활용 TBM은 완전 100% 분해 하여 - 모든 부품의 원 제작사를 통해 정비하여, 원제작사의 품질 보증된 부품에 한해 - 전문가의 인증을 거쳐, 재활용을 허가하며, - 장비를 관에 등록하여, 장비의 이력 사항을 충실히 기록하고, 또한 장비의 정비 현황도 꼼꼼히 작성하여, 이를 통해 터널현장에서의 Risk를 최소화 해야 한다. 	
<p>6. 기존 선행연구</p>	<p>- 없음</p>	
<p>7. 소요기간 및 예산</p>	<p>(3) 년, (10) 억원</p>	
<p>8. 예상 성과 및 활용처</p>	<p>예상 성과물</p>	<p>성과 활용처</p>
	<p>TBM 장비 재활용 규정 및 방침</p>	<p>TBM 장비의 올바른 재활용으로 터널 굴착시 재활용 장비의 Risk를 최소화</p>
<p>9. 기대효과</p>	<p>현재 무분별한 비전문가를 통한 TBM 재활용 시장의 정상화가 가능하게 되어 New TBM 뿐 아닌 USed TBM의 활용성도 정상화 시켜, 터널 공사비의 감소 효과를 가져 올 수 있다.</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> - TBM 국산화에 앞서 장비의 재활용기준을 선정하여, 비싼 장비의 재활용을 공식적으로 가능하도록 한다. 	

1. 제안 기술명	- 쉴드 TBM 장비선정을 위한 설계기준 정립	
2. 기술분류체계	- 1.6 발주 현장에 맞는 쉴드 TBM장비 선정을 위한 설계기준 정립	
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- 장비선정시 일정한 설계기준이 없어 관공서 장비발주시 장비(이수식/토압식)의 기준이 없어 모호한 발주로 인한 초기장비선정에 많은 어려움 겪고 있으므로 이에 대한 가이드가 필요
	경제적	- 초기 장비에 대한 스펙 가이드를 제시함으로써 향후 장비 시공중에 공사비 증감사유를 줄일 수 있어 장기적으로 경제성확보가 가능함
	기술적	- 대분류와 소분류에서 검토된 아이템을 종합하고 현장의 장비선정 조건을 객관적으로 제시할 수 있는 TBM설계 기초기술 획득 가능
4. 기술개발 목표	- TBM 장비선정에 있어 초기 가이드라인과 설계기준 제시	
5. 기술개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> - TBM 장비선정을 위한 설계 ITEM 정립 - TBM 장비선정을 위한 설계 흐름 정립 - 장비전방에 걸친 설계 체크리스 정립 - TBM 장비운영에 필요한 설계 가이드 제시 	
6. 기존 선행연구	- 선행 연구“TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술” 세부아이템 분석	
7. 소요기간 및 예산	(5)년, (30)억원	
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	<ul style="list-style-type: none"> - TBM 장비선정을 위한 가이드 및 기준 - TBM 장비운영을 위한 가이드 및 기준 	<ul style="list-style-type: none"> - TBM장비 발주시 장비선정 가이드제시 - TBM 장비운영가이드 활용
9. 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 쉴드 TBM설계 기술 확대경제성 확보 및 잘못된 장비선정으로 인한 추가 공사비 절감효과 기대 - 국내 장비제작업체의 해외진출시 현지 장비설계에 필요한 기술지원 - 국제시장의 TBM설계발주시 설계 및 감리 업무 수주 가능 	

1. 제안기술명	TBM 굴착용 복합지반적용 디스크커터 국산화 개발	
2. 기술분류체계	1-4-1 디스크커터	
3. 기술개발 배경 및 이슈	<p>TBM 굴착시 굴착면을 깎아내는 디스크커터는 토사, 풍화암, 연암, 경암 등 모든 지질 조건에서 사용할 수 있는 구조로서 내마모성이 뛰어나야 함. 국내에서는 해외선진사 제품에 의존하고 있는 실정이며, 소형 실드용 커터는 모방제작 수준으로 과학적인 분석을 통한 제조공정 확보가 필요한 실정임</p> <p>또한, 커터의 수명이 곧 TBM 공사의 성공여부를 가늠하는 잣대가 되므로, TBM 국산화를 위하여 TBM 전용 장수명 디스크커터의 국산화 연구개발 및 적용 TEST는 필수적임</p>	
4. 기술개발 목표	<p>중·대단면 고성능 디스크커터 국산화 개발 및 제작 기술 확보 <개발사양></p> <ul style="list-style-type: none"> - Sample 2 set 제작 Test 결과 반영한 Full Set (60 sets) 개발 - 커터당 하중 : 10 Ton - 커터수명 : 평면마찰계수 $\mu = 0.5$, 10Ton 하중에서 연속 200hr 	
5. 기술개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 중·대단면 고성능 디스크커터 국산화 개발 <ul style="list-style-type: none"> : 커터당 하중 : 10 Ton : 커터수명 : 평면마찰계수 $\mu = 0.5$, 10Ton 하중에서 연속 200hr - 토사, 풍화암, 연암, 경암 등의 복합지반 조건에 적용할 수 있는 "복합지반형"으로 개발 	
6. 기존 선행연구	1단계 연구사업에서 개발된 고성능 디스크커터 연구	
7. 소요기간 및 예산	(3) 년, (20) 억원	
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	중·대단면용 고성능 디스크커터	시공사, TBM 제작사 등
9. 기대효과	- 복합지반형 중·대단면 고성능 디스크커터의 수명향상으로 교체주기 감소 및 공사비 절감 기여	

1. 제안기술명	TBM 굴착용 커터비트 국산화 개발	
2. 기술분류체계	1-4-2 커터비트	
3. 기술개발 배경 및 이슈	<p>암반 등을 굴삭하여 터널을 구축하기 위해서는 대부분의 경우 커터헤드에 롤러비트만을 구비하는 터널굴진기를 사용하고 있으며, 토질이 변화하면 그 때마다 커터헤드의 절삭날을 교환할 필요가 있어 번잡하였으며, 공기가 길어지는 차질이 발생하며, 또한, 암반에 점성토가 많이 포함되는 경우에는 점성토가 롤러비트에 부착하여 절삭이 불가능하게 된다는 결점이 있음. 이러한 부분의 문제를 해결하고 높은 압축강도를 가지는 단단한 암반부터 연약지반까지 다중다양한 지질에 있어서 장거리에 걸쳐 절삭날을 교환하는 공정없이 굴진할 수 있는 TBM의 커터비트에 대한 국산화 개발이 필요함</p> <p>TBM 굴착시 커터비트는 굴착대면에 커터비트를 장착하고 절삭된 토사나 암반 조각들을 배출하는 배출구와 함께 동력을 전달받는 동력전달부 및 지지 베어링들로 구성되며, TBM 작업에 있어서 절대적인 요소임. 따라서 TBM 국산화를 위한 고내마모성 커터비트에 대한 연구개발 및 적용 Test가 필수적임</p>	
4. 기술개발 목표	<p>중·대단면 TBM 커터비트 국산화 개발 및 제작기술 확보</p> <ul style="list-style-type: none"> - 커터마모 검출 System 개발 및 장착 (Sampling Checking 구조) - 동력전달용 Slewing Bearing 장착이 가능한 구조 개발 - 이수배출용 커터헤드(Cutterhead) 챔버 개발 - 원주방향 내마모성 개선구조 개발 	
5. 기술개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 일축압축강도가 500kgf/cm²정도까지의 단단한 암반이어도 절삭 가능한 커터비트 개발 - 커터비트의 설치부에 측방으로부터 직접적으로 큰 하중이 작용하는 것을 방지하고 설치볼트 등의 전단파괴를 방지할 수 있는 구조 설계개발 - 지질변화가 심한 암반으로부터 연약지반까지 복잡하게 혼재한 지질이어도 각 비트가 유효하게 절삭하기 때문에 장거리에 걸쳐 절삭날을 교환하는 일 없이 굴진할 수 있는 비트의 구조 및 배치 설계기술 개발 	
6. 기존 선행연구	- 해당 사항 없음	
7. 소요기간 및 예산	(3) 년, (50) 억 원	
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	중·대단면용 커터비트	시공사, TBM 제작사 등
커터마모 검출 시스템	시공사, TBM 제작사 등	
9. 기대효과	- 커터비트의 수명향상으로 교체주기 감소 및 공사비 절감 기여	

1. 제안기술명	중대단면 TBM 산업기반조성을 위한 국제표준 기반구축
2. 기술분류체계	- 해당사항 없음
3. 기술개발 배경 및 이슈	<ul style="list-style-type: none"> - 국제적으로 터널 공사방법이 발파굴착(NATM)공법에서 기계굴착 (TBM) 공법으로 전환되는 추세에 따라 중대단면 TBM 활용이 증가하고 국내 TBM 제조기술 향상에도 불구하고 국제표준화가 전무 · 친환경성 중시 : 소음, 진동, 먼지 등 환경피해 최소화 · 작업 안전성 중시 : 공사 안전성 중시에 적합 · 지상교통원 활용 : 도로 굴착에 의한 교통방해 최소화 · 지상 녹지공간 재창출 : 지하에 각종 시설 설치로 지상공간 활용 · 경제성 요구 : 고속 시공에 의한 공사기간 단축, 공사비용 절감 · 용지보상비 최소화 : 대심도(大深度)화로 용지보상비, 민원최소화 - 국내외 고속철도 및 도심지터널, 산악장대터널, 하·해저터널, 전력 구, 통신구, 가스관로, 상·하수관로 등 시장성 무한 확대 中 · 중국, 호주, 중동, 동남아의 TBM시장 대폭 증대(2020년 500억불 예상) - 국내 기술기준은 건설공사기준으로 TBM관련 3종의 기술기준이 있으며 해외에는 유럽표준 4종, 일본표준 4종이 있으나 국제표준은 전무함 · 건설공사지준 : KDS 27 50 00:2014, KCS 27 20 10:2014, KCS 27 30 11:2014 · 유럽표준 : EN12110:2002+A1:2008, EN12111:2002+A1:2009, EN815:1996+A2:2008, EN12336:2005+A1:2008 · 일본표준 : JIS A 8201:1993, JIS A 8202-1:2007, JIS A 8202-2:2007, JIS A 8202-3:2010 - 중소·중견기업 우수 기술의 육성 및 한국형 TBM 수출·판매의 촉진을 위해 전략적 국제표준화 주도가 요구됨 - 중대단면 TBM 국제표준 제안으로 기술자립과 외화 유출 방지 · TBM 핵심기술 100% 외국 의존 탈피 및 고가의 국내 TBM 중소·중견기업 기술우위로 인한 막대한 외화 유출 방지 - TBM 산업발전 포럼 운영으로 해외 기술격차 해소 및 새로운 시장 창출 - TBM 제조사, TBM관련 부속품 제조사, 시공사, 조종사·시공인력 양성 간 표준화된 용어 및 제원 활용 · TBM공사 발주 시 TBM표준사양서 제공으로 국내 TBM 생산 중소·중견기업의 국내·외 경쟁력 제고
4. 기술개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> - 국가표준 기반 조성 : 국가표준 KS 3종, 국제표준 1종 제안 · 국가표준 : TBM 용어 및 시방서 1종 등 안전기준 및 시험방법 · 국제표준 : TBM ISO 127 SC 분과신설 및 WG 구성 ISO NP제안 : 용어 및 시방서 1건

<p>5. 기술개발 내용</p>	<p>[1단계]</p> <ul style="list-style-type: none"> - TBM 표준화 위원회(국내) 구성 및 운영 - TBM 용어 및 상용사양관련 국가표준 1종 개발 - TBM 용어 및 상용사양관련 단체표준(가이드) 1종 개발 - TBM 용어 및 상용사양 제안관련 프로젝트리더(PL) 후보자 선출 - 국제표준제안에 따른 안건 설명을 위한 국제회의 참가 (ISO/TC195, ISO/TC127) - TBM산업발전 표준화 포럼 운영 <p>[2단계]</p> <ul style="list-style-type: none"> - TBM 용어 및 상용사양에 대한 NP 제안 - TBM 안전요구사항관련 국가표준 1종 개발 - TBM 안전요구사항관련 단체표준(가이드) 1종 개발 - 국제표준 제안을 위한 국제회의 참가(ISO/TC195, ISO/TC127) - TBM 국제 및 국가표준개발관련 위원회 운영 - TBM 용어 및 상용사양에 대한 프로젝트리더(PL) 수임 및 활동 지원 - TBM 산업발전 표준화 포럼 운영 <p>[3단계]</p> <ul style="list-style-type: none"> - TBM 용어 및 상용사양에 대한 NP 채택 - 국제표준 채택을 위한 국제회의 참가(ISO/TC195, ISO/TC127) - TBM 국제 및 국가표준개발관련 위원회 운영 - TBM 표준화 보급·확산을 위한 세미나 개최 - TBM 용어 및 상용사양에 대한 프로젝트리더(PL) 수임 및 활동 지원 - TBM 산업발전 표준화 포럼 운영 						
<p>6. 기존 선행연구</p>	<p>- 없음</p>						
<p>7. 소요기간 및 예산</p>	<p>(5) 년, (20) 억원</p>						
<p>8. 예상 성과 및 활용처</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="523 1227 954 1261">예상 성과물</th> <th data-bbox="954 1227 1390 1261">성과 활용처</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="523 1261 954 1294">- TBM 표준</td> <td data-bbox="954 1261 1390 1294">- 국토교통부 외</td> </tr> <tr> <td data-bbox="523 1294 954 1328">-</td> <td data-bbox="954 1294 1390 1328">-</td> </tr> </tbody> </table>	예상 성과물	성과 활용처	- TBM 표준	- 국토교통부 외	-	-
예상 성과물	성과 활용처						
- TBM 표준	- 국토교통부 외						
-	-						
<p>9. 기대효과</p>	<p>- 국산 TBM 핵심부품의 표준화에 기여</p>						

1. 제안기술명	TBM 유압설비																																			
2. 기술분류체계	<ul style="list-style-type: none"> - 중대단면 TBM 유압 공급을 위한 설비 제작 - 세그먼트 자동조립 시스템 - 추진용 유압잭 개발 - 세그먼트 라이닝용 유압잭 개발 - 중절용 유압잭 개발 - 세그먼트 이렉터 인양용 잭 개발 - TBM 보조 그리퍼용 유압 추진 시스템 개발 																																			
3. 기술개발 배경 및 이슈	<ul style="list-style-type: none"> - 유압 공급원을 위한 후방설비의 국산화 요구 - 추진잭, 중절잭, 세그먼트 이렉터용 실린더의 국산 제작 																																			
4. 기술개발 목표	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">Application</th> <th style="width: 25%;">Flow rate[L/min]</th> <th style="width: 25%;">Pressure[MPa]</th> <th style="width: 25%;">EA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shield jack</td> <td>100</td> <td>34.3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Segment erector rot.</td> <td>125</td> <td>14</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Segment erector jack</td> <td>60</td> <td>14</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Screw conveyor</td> <td>275</td> <td>14</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Screw conveyor gate</td> <td>60</td> <td>14</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Articulate jack</td> <td>20</td> <td>34.3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Roundness retainer</td> <td>30</td> <td>14</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>				Application	Flow rate[L/min]	Pressure[MPa]	EA	Shield jack	100	34.3	1	Segment erector rot.	125	14	1	Segment erector jack	60	14	1	Screw conveyor	275	14	2	Screw conveyor gate	60	14	1	Articulate jack	20	34.3	1	Roundness retainer	30	14	1
Application	Flow rate[L/min]	Pressure[MPa]	EA																																	
Shield jack	100	34.3	1																																	
Segment erector rot.	125	14	1																																	
Segment erector jack	60	14	1																																	
Screw conveyor	275	14	2																																	
Screw conveyor gate	60	14	1																																	
Articulate jack	20	34.3	1																																	
Roundness retainer	30	14	1																																	
5. 기술개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> - TBM 완성품용 유압계통도 개발 - 유량, 압력, 유압동력 및 전기동력 자동산출 프로그램 개발 - 유압실린더 크롬도금 기술 개발 - 고압용 유압잭을 위한 이동/고정용 씰링 요소 개발 - 유압계통과 TBM 비상정지회로와의 연동 연계 기술 개발 - 고압용 유압잭을 위한 하우징 소재 개발 																																			
6. 기존 선행연구	<ul style="list-style-type: none"> - 굴삭기용 유압실린더 개발 - 모바일 크레인용 붐실린더 및 헤드 개발 																																			
7. 소요기간 및 예산	5년, 25억원																																			
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물		성과 활용처																																	
	- TBM용 유압잭	- TBM 완성품 제조 및 A/S 기업		- TBM 후방용 유압설비																																
9. 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 후방설비의 국산화로 수입대체 효과 및 수입 TBM의 주요 설비 A/S 시장 확대 - 유압실린더의 신규 매출처 확보 - 고신뢰성 유압실린더 제작을 위한 소재, 열처리 및 후처리 기술 확산 																																			

1. 제안기술명	TBM 핵심부품 개발														
2. 기술분류체계	<ul style="list-style-type: none"> - 커터헤드 구동용 울트라 심플 고토크 감속시스템 개발 - TBM 구동모터(감속기포함) 국산화 - 세그먼트 이렉터 회전용 모터 개발 														
3. 기술개발 배경 및 이슈	<ul style="list-style-type: none"> - TBM 굴착 작업 중 터널 내에서 유압모터 및 감속기의 유지보수 공간 협소로 인해 Down-time을 최소화하고 TBM 시공 경제성 확보를 위해 고신뢰성, 고내구성 유압모터 및 감속기 개발이 중요 - 고신뢰성과 고내구성 확보를 위해서 소재, 열처리 및 후처리 등의 뿌리 관련 원천기술 확보 시급 - 유압모터 및 감속기의 소음진동 최소화 및 출력효율 최대화 관련 기술 확보를 통한 선진사 수준의 성능 확보로 해외 수출 시장 진입 가속화 및 대중국 기술 방어력 고취 														
4. 기술개발 목표	<p>TBM 구동 actuator 중 유압 모터(감속기 포함) 국산화</p> <table border="1" data-bbox="539 808 1374 1025"> <thead> <tr> <th>Application</th> <th>Flow rate[L/min]</th> <th>Hyd. Power[kW]</th> <th>cc/rev.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Screw conveyor</td> <td>269</td> <td>69.2</td> <td>2497</td> </tr> <tr> <td>Segment erector rot.</td> <td>114</td> <td>29.4</td> <td>2858</td> </tr> </tbody> </table>			Application	Flow rate[L/min]	Hyd. Power[kW]	cc/rev.	Screw conveyor	269	69.2	2497	Segment erector rot.	114	29.4	2858
Application	Flow rate[L/min]	Hyd. Power[kW]	cc/rev.												
Screw conveyor	269	69.2	2497												
Segment erector rot.	114	29.4	2858												
5. 기술개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 커터헤드 회전구동을 위한 토크리미트 내장형 감속기 개발 - 커터헤드 회전구동을 위한 고효율 유압모터 개발 - 신뢰성 향상을 위한 고장모드 분석 및 내구수명 보증 시험 코드 개발 - 유압 모터의 유량/압력 맥동에서 기인한 소음진동 저감을 위한 포트 플레이트 형상 설계 해석 기술 - 감속기 경량화 및 내구성 확보를 위한 단조소재 및 열처리 기술 - 주물 소재로 제작되는 유성기어 캐리어의 스플라인 치수 최적화 - 과토크 방지 및 충격 절연을 위한 쉬링크 타입 토크리미트 개발 														
6. 기존 선행연구	<ul style="list-style-type: none"> - 굴삭기 선회/주행 유닛용 유압모터 개발 - 굴삭기 선회/주행 유닛용 감속기 개발 														
7. 소요기간 및 예산	5 년, 30억원														
8. 예상 성과 및 활용처	<table border="1" data-bbox="539 1666 1374 1823"> <thead> <tr> <th>예상 성과물</th> <th>성과 활용처</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- TBM용 감속기</td> <td>- TBM 완성품 제조 및 A/S 기업</td> </tr> <tr> <td>- 감속기 신뢰성 시험 기술</td> <td>- 감속기 공인인증시험기관</td> </tr> </tbody> </table>			예상 성과물	성과 활용처	- TBM용 감속기	- TBM 완성품 제조 및 A/S 기업	- 감속기 신뢰성 시험 기술	- 감속기 공인인증시험기관						
예상 성과물	성과 활용처														
- TBM용 감속기	- TBM 완성품 제조 및 A/S 기업														
- 감속기 신뢰성 시험 기술	- 감속기 공인인증시험기관														
9. 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 핵심부품 국산화에 따른 수입대체효과 - 고신뢰성 확보를 통한 유압모터 시장 진입 가능성 확대 - 방위산업 기술 진입 														

1. 제안기술명	중대단면 TBM의 실시간 온라인 예지 와치독 레이더(Watchdog Radar) 개발	
2. 기술분류체계	1-5-1 물리탐사	
3. 기술개발 배경 및 이슈	<p>TBM은 인구밀집 지역의 지하에서 터널을 시굴하는 장비로써 복잡하고 불확실성이 많은 환경 하에서 작업을 수행하기 때문에 지질의 특성이나 주변 환경에 따라 운용 조건을 바꿔줘야 특별한 운용/관리 기술을 필요로 한다</p> <p>TBM의 사고는, 서울지하철 5호선 공사 사고에서 보듯이, 지상에 위치하고 있는 많은 기반 구조물과 인명의 안전에 직접적으로 영향을 미칠 수 있으며 장소의 제약으로 인하여 사후 정비 및 보수가 힘들고 많은 시간과 비용을 수반한다.</p> <p>이러한 예측하지 못한 사고를 미연에 방지하기 위하여 TBM 장비에는 지질 및 주변 환경에 대한 수많은 데이터를 운용 중에 측정하고 있다.</p> <p>하지만, 이러한 데이터를 사용자들이 신속하고 적절하게 분석하지 못하여 사고가 빈번히 발생하고 있는 실정이다.</p> <p>그러므로 TBM의 운용 중에 획득한 데이터를 이용하여 당면한 위험을 미리 예지하고 운용 조건을 조절할 수 있는 온라인 예지 기술이 필요한 실정이다.</p>	
4. 기술개발 목표	<p>본 연구의 목표는 TBM운용 중에 획득한 지질 및 주변 환경에 대한 데이터를 이용하여 현재 운용 조건의 안정성을 실시간으로 평가하고 당면한 위험을 미리 예지하여 그에 상응하는 운용 조건을 조절할 수 있는 “운용 안정성 및 예지 기술” 소프트웨어와 이를 탑재한 TBM 와치독 레이더를 개발하는 것이다.</p>	
5. 기술개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> - TBM 장비의 운용 안정성 및 예지 기술을 개발하기 위해서는 (1) 측정 데이터들에 내재하고 있는 여러 가지 불확실성들을 고려할 수 있어야 하고 (2) 이종 데이터들을 융합하여 당면한 위험을 미리 예지할 수 있는 융합기술이다. - 본 연구에서는 해외협력대학에서 보유하고 있는 원천 기술, 베이지안 예지 알고리즘, Particle filter 알고리즘, Neural network 알고리즘, Gaussian process 알고리즘을 융합하여 측정 데이터들에 내재해 있는 불확실성의 영향을 효과적으로 줄이고 현재 장비의 상태에 대한 일관성 있는 평가를 할 수 있는 기술을 개발하는 것을 목표로 한다. - 또한 본 연구에서는 이종 데이터들을 베이지안 네트워크 개념을 사용하여 장비의 운용 여부를 신뢰성 평가 개념에서 결정하고 신뢰수준이 확보되지 않을 경우 운용 조건을 가장 효율적으로 조절할 수 있는 기술을 개발하는 것을 목표로 한다. - 이러한 안정성 평가와 예지 기술을 실시간으로 온라인 상에서 구현하기 위한 효율적인 계산 알고리즘을 GUI 와치독 레이더로 구현하는 것을 목표로 한다. <p>Ref: 1) H. Jiang, ed. al, “Risk moniotring system for tunnel boring machine and its application in risk prediction and management”, Applied Mechanics and Materials, Vols 501-504, pp.1742-1748, 2014.</p> <p>2) www.phm.re.kr</p>	
6. 기존 선행연구	-	
7. 소요기간 및 예산	(5 년, (50)억원	
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	- 와치독 레이더 시스템	- 건설사, 시공사
9. 기대효과	- TBM 시공리스크 저감	

1. 제안기술명	TBM 국산화 개발을 위한 커터헤드 구동용 울트라 심플, 고토크(최대 1,350 kNm) 감속 시스템 개발	
2. 기술분류체계	- TBM 구동모터(감속기 포함) 국산화	
3. 기술개발 배경 및 이슈	<p>도심지 및 산악 장대터널을 중심으로 TBM의 수요가 급증하는 추세이나 중대단면 TBM은 수입에 의존하고 있으므로 수입대체와 신속한 현장대응으로 공기단축에 따른 비용절감을 위해 국산화가 요구됨</p> <p>커터헤드의 회전은 다수의 감속기로 구성된 시스템에 의해 구동되며 굴착에 필요한 막대한 토크를 제한된 수의 감속기로 공급하기 위해 시스템을 구성하는 개별 감속기는 고토크 출력이 필요함</p> <p>굴착 중, 지하에서 수리 및 교체가 필요한 경우를 대비하여 감속기는 구성부품을 최소화하여 가볍고 작게(울트라 슬림) 구성할 필요가 있음</p> <p>국산화는 물론 2015년에 약 17조 8,407억 원으로 추정(한국 건설기술연구원)되는 세계시장에 진입을 위해 정부지원을 통한 체계적인 기술 개발이 필요함</p>	
4. 기술개발 목표	<p>커터헤드 구동용 울트라 심플, 고토크 감속 시스템 설계, 제작 및 평가 기술 개발</p> <p>회전 수: 38 ~ 47 rpm 최대토크: 1,350 kNm 이상 감속비: $i = 1/36 \sim 44$ 효율: 90% 이상 신뢰수명 B10: 10,000 시간 이상</p>	
5. 기술개발 내용	<p>제한된 지하공간에서 유지보수 작업에 적합한 형태</p> <ul style="list-style-type: none"> - 구성부품을 최소화하여 신뢰성 향상 - 탈부착 등 작업이 용이하도록 부피와 무게를 최소화 <p>감속기 시제품 제작 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기어의 정적, 동적 치합 해석 - 치절 및 열처리 기술 - 조립 최적화 기술 <p>신뢰성 시험 및 평가기술 확보</p> <ul style="list-style-type: none"> - TBM 실차 장착 실험 및 평가 	
6. 기존 선행연구	<ul style="list-style-type: none"> - 타워 크레인용 2단 감속기 개발 - 굴삭기 선회/주행 유닛용 감속기 개발 - 풍력발전기 피치/요 감속기 개발 	
7. 소요기간 및 예산	(5) 년, (50) 억원	
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	- TBM용 감속기	- TBM 완성품 제조 및 A/S 기업
	- 감속기 신뢰성 시험 기술	- 감속기 공인인증시험기관
9. 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 핵심부품 국산화에 따른 수입대체효과 - 고신뢰성 확보를 통한 감속기 시장 진입 가능성 확대 - 방위산업 기술 진입 	

1. 제안 기술명	- 전기비저항을 이용한 TBM터널 시공 중 지반공동 예측 기술 개발	
2. 기술분류체계	-	
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- 굴착공사 현장 주변의 안전관리 강화를 위해 지하공간을 개발하기 전에 인근 지반과 시설물의 안전성을 분석하는 '지하개발 사전안전성 분석'을 특별법 제정을 통해 도입 예정
	경제적	- 지반침하구간 보강으로 인한 TBM 공기 지연 및 비용 증가 발생
	기술적	- TBM 막장 전방 예측기술은 개발되어 있으나 굴착으로 인해 발생하는 공동을 확인하기 어려움. 지반 공동은 상부 지반 침하를 유발하게 됨.
4. 기술개발 목표	- TBM 굴진 중 터널 주변 존재하는 공동 위치 탐사(위치 및 크기 정확도 80%이상)	
5. 기술개발 내용	- TBM 주변 존재할 수 있는 2개 이상의 지하 공동 동시 예측 이론 개발 - TBM 주변 공동 예측 프로그램 개발 - TBM 장비 및 세그먼트에 부착 가능한 공동 탐사 장치 개발	
6. 기존 선행연구	- 지표면에서 GPR (Ground Penetration Radar), 2D 전기비저항 탐사 등을 이용하여 공동을 탐사하는 기술이 존재하나 도심지의 포장 등으로 인해 정확성이 떨어지며 센서 설치가 어려움. - TBM 터널 막장 전방 예측 기술 (TBM-TEPS)은 TBM 터널직경의 4배 전방의 지반을 정확히 예측할 수 있으나 굴착으로 인해 발생할 수 있는 TBM 상부의 공동 탐사는 어려움.	
7. 소요기간 및 예산	(4.5) 년, (7)억원	
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	TBM 터널 주변 공동 예측 프로그램	서울특별시 도시기반시설본부
	TBM 터널 주변 공동 탐사 장치 개발	한국전력공사
9. 기대효과	- TBM 굴진 중 공동 예측을 통해 TBM 굴진 및 상부 구조물에 영향을 줄 수 있는 공동을 사전에 보강할 수 있음. 이를 통해 공동으로 인한 문제 발생량의 50%이상 절감할 수 있을 것으로 기대됨. 이와 더불어 공기 단축 및 공사비 절감이 가능할 것으로 기대됨. - 연구의 성공으로 상부 지반 침하 예측 및 대응이 가능하다면 최근 문제가 되고 있는 상부 지반 침하에 대한 국민적 불안을 해소할 수 있을 것으로 기대됨. - 기존에 개발된 TBM 터널 전방 예측과 연계하여 통합적인 TBM 터널 주변 지반 상태 예측이 가능할 것으로 기대됨.	

1. 제안 기술명		- 토압식 Chamber 및 Screw Conveyor 설계제작 및 버력의 안정화 (Soil Conditioning) 설계운영기술 개발 및 시뮬레이터용 프로그램 개발
2. 기술분류체계		- 1.2 토압식 굴착면 안정화 시스템 - 2.4 TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- 중대단면 TBM 운영 시 현실적으로 가장 문제가 되고 있는 후두부 중 Chamber 및 Screw Conveyor의 설계제작 및 버력의 안정화 (Soil Conditioning) 의 시공기술수준 향상 필요.
	경제적	- 최적의 Soil Conditioning을 위한 경제적 첨가제 및 방법 개발 필요
	기술적	- 버력의 안정화 (Soil Conditioning)을 위한 Chamber 및 Screw Conveyor의 설계기술과 운영기술 및 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터 프로그램 필요
4. 기술개발 목표		- 토압식 Chamber 설계제작 개발 (100%) - Screw Conveyor 설계제작 및 운영기술 개발 (100%) - 버력의 안정화 (Soil Conditioning) 설계 및 운영 기술 개발 (100%) - Chamber 설계기준 및 제작시방 개발 (100%) - TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터용 프로그램 개발 (100%)
5. 기술개발 내용		- Chamber 제원 설계 제작 기술 - Screw Conveyor 제원 설계제작 및 운영 기술 - Soil Conditioning 기술 - 첨가제 개발 - Chamber-Screw Conveyor-Soil Conditioning 상호 운영 기술 - TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터용 프로그램 개발
6. 기존 선행연구		- Soil Conditioning 첨가제 연구 - 스크루 컨베이어 배토 효율 연구
7. 소요기간 및 예산		(5) 년, (15)억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	성과 활용처
	- 토압식 Chamber 설계 제작 기준 및 시방 - TBM 시뮬레이터용 프로그램	토압식 TBM 제작사 TBM 교육훈련
9. 기대효과		- 토압식 TBM 적용 현장 - TBM 교육훈련기관 - 국내 현실에 적응하는 토압식 TBM의 굴진 안정화 기술 발전 - 국내 지반에 적합한 첨가제 개발 활용

1. 제안 기술명		- 복합지반 및 곡선구간 중대단면 TBM의 추진시스템 개발 및 시뮬레이터용 프로그램 개발
2. 기술분류체계		- 2.3 TBM 제어, 운전 및 방향제어 시스템 - 2.4 TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터
3. 기술개발 배경 및 이슈	정책적	- 복합지반 또는 곡선구간에서 세그먼트의 안정성을 확보하는 Shield-TBM의 추진기법개발로써 터널의 기계화시공의 굴진성능 향상과 정밀시공을 위한 필수적인 기술연구 필요
	경제적	- 중대형 TBM 추력 및 라이닝 세그먼트의 상호거동을 최대 고려된 추진시스템의 개발로 현실화에 따른 경제적인 TBM 터널시공
	기술적	- 복합지반 또는 곡선구간에 대하여 세그먼트의 안정성을 확보하면서 추진하는 기법에 대한 기술이 확보로 해외 TBM사업에 진출과 기술적용시장 확대
4. 기술개발 목표		- 복합지반 및 곡선구간 TBM 추진시스템 개발 (100%) - 추진 시스템 설계제작 기술 개발 (100%) - 추진 시스템 운영 기술 및 시방 지침 작성 (100%) - TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터용 프로그램 개발 (100%)
5. 기술개발 내용		- 복합지반 및 곡선구간의 지반반력에 따른 패턴 확립 - 복합지반 및 곡선구간 지반압-추력-세그먼트 상호거동모델 개발 - 복합지반 및 곡선구간에 대한 추진 시스템 개발 - 추진 시스템 설계제작 기술 및 운영 기술 확립 - TBM 오퍼레이터 양성용 시뮬레이터용 프로그램 개발
6. 기존 선행연구		- 추진방법에 있어서 중심축을 이용하여 추진연구 - 복합지반의 경우 구조물과 지반거동 측정에 따른 거동 연구 - 직선구간에 대한 연구
7. 소요기간 및 예산		(5) 년, (15) 억원
8. 예상 성과 및 활용처	예상 성과물	- 복합지반 및 곡선구간의 지반, 추력, 세그먼트 상호거동모델 개발 및 추진 메카니즘 확립 - 추진시스템의 시방지침 제시 - TBM 시뮬레이터용 프로그램
	성과 활용처	TBM 제작사 및 시공사 TBM 교육훈련
9. 기대효과		- TBM 터널의 고성능 추진시스템개발로 급속시공 시 정밀성과 안정성을 확보 - 복합 및 곡선구간에서 트러블 발생 최소화 및 하자과 유지보수 비용 절감

[부록 2] 직경 8 m급 토압식 실드TBM 주요 구성품 제원 산출 규격서

1. TBM 인자 산출 유도

■ 중요 인자 정의

No.	항목	선정치	단위	참고 사항	비고
1	TBM 직경	8	m		Dia_CH
2	암반 일축 강도	50	MPa		USC_ROCK
3	세그먼트 중량	4,000	kg		Mass_seg
4	세그먼트 길이	1500	mm		L_seg
5	세그먼트 두께	300	mm		T_seg

2. 커터헤드(cutterhead)

■ 입력

No.	항목	선정치	단위	참고 사항	비고
1	정격회전	1.1	rpm		RPM_CH
2	수량	8	개	8m급 평균	N_CH
3	모터 극수	4	P		POLE_CHI
4	모터 전압	440	V		V_CHI
5	랙/피니언 직경비	1:8	-		RED_CH

■ 결과

No.	항목	계산결과	단위	비고
1	최대 토크	10,590.1	kNm	T_CH
2	최대 회전수	4.9	rpm	MAXRPM_CH
3	최소 토크	2354.0	kNm	Tmin_CH
4	기계 동력	1219.9	kW	MP_CH
5	전기 동력	1,585.9	kW	EP_CH
6	단품 최대 토크	1323.8	kNm	T_CHI
7	단품 기계 동력	152.5	kW	EP_CHI
8	단품 전기 동력	198.2	kW	MP_CHI
9	단품 회전수	1,710	rpm	RPM_CHI
10	단품 감속비	43.2	-	RED_CHI

$$(1) T_{CH} = 212.37 \cdot \text{Dia}_{CH}^{1.88} \text{ (회귀 분석)}$$

$$(2) \text{MAXRPM}_{CH} = 21.49e^{-D/3.69} + 2.49 \text{ (회귀 분석)}$$

$$(3) T_{\min CH} = T_{CH} \cdot \text{RPM}_{CH} / \text{MAXRPM}_{CH}$$

$$(4) \text{MP}_{CH} = T_{CH} \cdot \text{RPM}_{CH} \cdot (2\pi/\text{rev}) \cdot (1\text{min}/60\text{sec})$$

$$(5) \text{EP}_{CH} = \text{MP}_{CH} \cdot 1.3$$

$$(6) T_{CHI} = T_{CH} / N_{CH}$$

- (7) $MP_{CHI} = MP_{CH}/N_{CH}$
 (8) $EP_{CHI} = EP_{CH}/N_{CH}$
 (9) $RPM_{CHI} = 0.95*(60*60)/(POLE_{CHI}*2)$
 (10) $RED_{CHI} = RPM_{CHI} / (RED_{CH}*MAXRPM_{CH})$

3. 쉴드잭(Shield Jack)

■ 입력

No.	항목	입력치	단위	참고 사항	비고
1	추진 속도	6.0	cm/min	목표 (8m급 평균)	V _{SJ}
2	압력	350	bar	선정치	P _{SJ}
3	수량	28	개	8m급 평균	N _{SJ}

■ 결과

No.	항목	계산 결과	단위	비고
1	추력	50,750.2	kN	TF _{SJ}
2	유량	95.7	lpm	Flux _{SJ}
3	스트로크	2,250	mm	ST _{SJ}
4	유압 동력	55.8	kW	HP _{SJ}
5	기계 동력	50.8	kW	MP _{SJ}
6	전력	66.0	kW	EP _{SJ}
7	단품 추력	1,812.5	kN	TF _{SJI}
8	단품 유량	3.4	lpm	Flux _{SJI}
9	단품 실린더 내경	25.7	cm	DIA _{SJI}
10	단품 로드 외경	18.2	cm	ODIA _{SJI}

- (1) $TF_{SJ} = 29032.4e^{(D/7.44)} - 34337.4$ (회귀 분석)
 (2) $Flux_{SJ} = (TF_{SJ}*V_{SJ})*1.1/P_{SJ}*(1bar/10^2kN/m^2)*(10^4cm^2/m^2)$
 $* (1liter/10^3cm^3)$
 (3) $ST_{SJ} = 1.5*L_{seg}$
 (4) $HP_{SJ} = Flux_{SJ}*(10^2kN/m^2/1bar)* P_{SJ}*(1min/60sec)*$
 $(10^{-3}m^3/1liter)$
 (5) $MP_{SJ} = TF_{SJ}*V_{SJ}*(1min/60sec)*(1m/100cm)$
 (6) $EP_{SJ} = 1.3* MP_{SJ}$
 (7) $TF_{SJI} = TF_{SJ}/N_{SJ}$
 (8) $Flux_{SJI} = Flux_{SJ}/N_{SJ}$
 (9) $DIA_{SJI} = 2*sqrt(((TF_{SJ}/P_{SJ})*(1bar/10^2kN/m^2)*$
 $(10^4cm^2/1m^2))/N_{SJ})/\pi$
 (10) $ODIA_{SJI} = sqrt(0.5*DIA_{SJI}^2)$

4. 중절잭(Articulation Jack)

■ 입력

No.	항목	입력치	단위	참고 사항	비고
1	추진 속도	1.5	cm/min	목표 (8m급 평균)	V _{AJ}
2	압력	350	bar	선정치	P _{AJ}
3	수량	22	개	8m급 평균	N _{AJ}

■ 결과

No.	항목	계산 결과	단위	비고
1	추력	45675.2	kN	TF _{AJ}
2	유량	21.5	lpm	Flux _{AJ}
3	스트로크	180	mm	ST _{AJ}
4	유압 동력	12.6	kW	HP _{AJ}
5	기계 동력	11.4	kW	MP _{AJ}
6	전력	14.8	kW	EP _{AJ}
7	단품 추력	2076.1	kN	TF _{AJI}
8	단품 유량	1.0	lpm	Flux _{AJI}
9	단품 내경	27.5	cm	DIA _{AJI}
10	단품 로드 외경	19.4	cm	ODIA _{AJI}

$$(1) TF_{AJ} = 0.9 * (29032.4e^{(D/7.44)} - 34337.4)$$

$$(2) Flux_{AJ} = (TF_{AJ} * V_{AJ}) * 1.1 / P_{AJ} * (1bar / 10^2 kN/m^2) * (10^4 cm^2 / m^2) * (1liter / 10^3 cm^3)$$

$$(3) ST_{AJ} = 0.6 * L_{seg}$$

$$(4) HP_{AJ} = Flux_{AJ} * (10^2 kN/m^2 / 1bar) * P_{AJ} * (1min / 60sec) * (10^{-3} m^3 / 1liter)$$

$$(5) MP_{AJ} = TF_{AJ} * V_{AJ} * (1min / 60sec) * (1m / 100cm)$$

$$(6) EP_{AJ} = 1.3 * MP_{AJ}$$

$$(7) TF_{AJ} = TF_{AJI} / N_{AJ}$$

$$(8) Flux_{AJI} = Flux_{AJ} / N_{AJ}$$

$$(9) DIA_{AJI} = 2 * \sqrt{((TF_{AJI} / P_{AJ}) * (1bar / 10^2 kN/m^2) * (10^4 cm^2 / m^2)) / N_{AJ} / \pi}$$

$$(10) ODIA_{AJI} = \sqrt{0.5 * DIA_{AJI}^2}$$

5. 세그먼트 이렉터 회전(Segment Erector Rotation)

■ 입력

No.	항목	입력치	단위	참고 사항	비고
1	최소 회전수	0.4	rpm		MINRPM _{ER}
2	최대 회전수	1.0	rpm		MAXRPM _{ER}
3	랙/피니언 직경비	1:20	-		RED _{ER}
4	압력	140	bar		P _{ER}
5	수량	2	개		N _{ER}

■ 결과

No.	항목	계산 결과	단위	비고
1	토크	254.8	kNm	T _{ER}
2	유량	114.4	lpm	Flux _{ER}
3	유압 동력	29.4	kW	HP _{ER}
4	기계 동력	26.7	kW	MP _{ER}
5	전력	34.7	kW	EP _{ER}
6	모터 단품 토크	127.4	kNm	T _{ERI}
7	모터 단품 회전수	20.0	rpm	RPM _{ERI}
8	모터 단품 용적(감속기포함)	2858.8	cm ³ /rev	Cap _{ERI}

$$(1) T_{ER} = 2 * (Mass_{seg} * 9.8m/sec^2 * (1kN/10^3N)) * (Dia_{CH} / 2 - (2.5 * S_t) * 1m/10^3mm)$$

$$(2) Flux_{ER} = Maxrpm_{ER} * (2 * \pi / rev) * T_{ER} / P_{ER} * (1bar/10^2kN/m^2) * (1liter/10^{-3}m^3) * 1.1$$

$$(3) Hp_{ER} = Flux_{ER} * (1min/60sec) * (10^{-3}m^3/1liter) * P_{ER} * (10^2kN/m^2/1bar)$$

$$(4) Mp_{ER} = Minrpm_{ER} * (2 * \pi / 60) * T_{ER}$$

$$(5) Ep_{ER} = 1.3 * Mp_{ER}$$

$$(6) T_{ERI} = T_{ER} / N_{ER}$$

$$(7) Rpm_{ERI} = Maxrpm_{ER} * RED_{ERI}$$

$$(8) Cap_{ERI} = (Flux_{ER} / N_{ER}) * (10^3cm^3/1liter) * Rpm_{ERI} * (1rev/2\pi)$$

6. 세그먼트 이렉터 확장(Segment Erector Expansion)

■ 입력

No.	항목	입력치	단위	참고 사항	비고
1	속도	250	cm/min		V _{EEJ}
2	압력	140	bar		P _{EEJ}
3	수량	2	개		N _{EEJ}

■ 결과

No.	항목	계산 결과	단위	비고
1	추력	333.2	kN	TF _{EEJ}
2	유량	65.5	lpm	Flux _{EEJ}
3	스트로크	750	mm	ST _{EEJ}
4	유압 동력	15.3	kW	HP _{EEJ}
5	기계 동력	13.9	kW	MP _{EEJ}
6	전력	18.0	kW	EP _{EEJ}
7	단품 추력	166.6	kN	TF _{EEJI}
8	단품 유량	32.7	lpm	Flux _{EEJI}
9	단품 실린더 내경	12.3	cm	DIA _{EEJI}
10	단품 로드 외경	8.7	cm	ODIA _{EEJI}

$$(1) TF_{EEJ} = 8.5 * (Mass_{seg} * 9.8 m/sec^2)$$

$$(2) Flux_{EEJ} = (TF_{EEJ} * V_{EEJ}) * 1.1 / P_{EEJ} * (1 bar / 10^2 kN/m^2) * (10^4 cm^2/m^2) * (1 liter / 10^3 cm^3)$$

$$(3) ST_{EEJ} = 2.5 * T_{seg}$$

$$(4) HP_{EEJ} = Flux_{EEJ} * (10^2 kN/m^2 / 1 bar) * V_{EEJ} * (1 min / 60 sec) * (10^{-3} m^3 / 1 liter)$$

$$(5) MP_{EEJ} = TF_{EEJ} * V_{EEJ} * (1 min / 60 sec) * (1 m / 100 cm)$$

$$(6) EP_{EEJ} = 1.3 * MP_{EEJ}$$

$$(7) TF_{EEJ} = TF_{EEJ} / N_{EEJ}$$

$$(8) Flux_{EEJI} = Flux_{EEJ} / N_{EEJ}$$

$$(9) DIA_{EEJI} = 2 * \sqrt{((TF_{EEJ} / P_{EEJ} * (1 bar / 10^2 kN/m^2) * (10^4 cm^2/m^2)) / N_{EEJ}) / \pi}$$

$$(10) ODIA_{EEJI} = \sqrt{0.5 * DIA_{EEJI}^2}$$

7. 세그먼트 이렉터 슬라이드(Segment Erector Slide)

■ 입력

No.	항목	입력치	단위	참고 사항	비고
1	추진 속도	620	cm/min	목표 (8m급 평균)	V _{ESJ}
2	압력	140	bar		P _{ESJ}
3	수량	2	개		N _{ESJ}

■ 결과

No.	항목	계산 결과	단위	비고
1	추력	137.2	kN	TF _{ESJ}
2	유량	66.8	lpm	Flux _{ESJ}
3	스트로크	795	mm	ST _{ESJ}
4	유압 동력	15.6	kW	HP _{ESJ}
5	기계 동력	14.2	kW	MP _{ESJ}
6	전력	18.4	kW	EP _{ESJ}
7	단품 추력	68.6	kN	TF _{ESJI}
8	단품 유량	33.4	lpm	Flux _{ESJI}
9	단품 실린더 내경	7.9	cm	DIA _{ESJI}
10	단품 로드 외경	5.6	cm	ODIA _{ESJI}

$$(1) TF_{ESJ} = 3.5 * (Mass_{seg} * 9.8m/sec^2)$$

$$(2) Flux_{ESJ} = (TF_{ESJ} * V_{ESJ}) * 1.1 / P_{ESJ} * (1bar / 10^2 kN/m^2) * (10^4 cm^2/m^2) * (1liter / 10^3 cm^3)$$

$$(3) ST_{ESJ} = 0.53 * L_{seg}$$

$$(4) HP_{ESJ} = Flux_{ESJ} * (10^2 kN/m^2 / 1bar) * V_{ESJ} * (1min / 60sec) * (10^{-3} m^3 / 1liter)$$

$$(5) MP_{ESJ} = TF_{ESJ} * V_{ESJ} * (1min / 60sec) * (1m / 100cm)$$

$$(6) EP_{ESJ} = 1.3 * MP_{ESJ}$$

$$(7) TF_{ESJ} = TF_{ESJI} / N_{ESJ} \text{ kN}$$

$$(8) Flux_{ESJI} = Flux_{ESJ} / N_{ESJ} \text{ lpm}$$

$$(9) DIA_{ESJI} = 2 * \sqrt{((TF_{ESJ} / P_{ESJ}) * (1bar / 10^2 kN/m^2) * (10^4 cm^2/m^2)) / N_{ESJ} / \pi}$$

$$(10) ODIA_{ESJI} = \sqrt{0.5 * DIA_{ESJI}^2}$$

8. 세그먼트 이렉터 그립(Segment Erector Grip)

■ 입력

No.	항목	입력치	단위	참고 사항	비고
1	추진 속도	780	cm/min	목표 (8m급 평균)	V _{ESJ}
2	압력	140	bar		P _{EGJ}
3	수량	2	개		N _{EGJ}

■ 결과

No.	항목	계산 결과	단위	비고
1	추력	105.8	kN	TF _{EGJ}
2	유량	64.9	lpm	Flux _{EGJ}
3	스트로크	100	mm	ST _{EGJ}
4	유압 동력	15.1	kW	HP _{EGJ}
5	기계 동력	13.8	kW	MP _{EGJ}
6	전력	17.9	kW	EP _{EGJ}
7	단품 추력	52.9	kN	TF _{EGJI}
8	단품 유량	32.4	lpm	Flux _{EGJI}
9	단품 실린더 내경	6.9	cm	DIA _{EGJI}
10	단품 로드 외경	4.9	cm	ODIA _{EGJI}

$$(1) TF_{EGJ} = 2.7 * (Mass_{seg} * 9.8m/sec^2)$$

$$(2) Flux_{EGJ} = \frac{(TF_{EGJ} * V_{EGJ}) * 1.1 / P_{EGJ} * (1bar / 10^2 kN/m^2) * (10^4 cm^2/m^2) * (1liter / 10^3 cm^3)}{}$$

$$(3) ST_{EGJ} = T_{seg} / 3$$

$$(4) HP_{EGJ} = Flux_{EGJ} * (10^2 kN/m^2 / 1bar) * P_{EGJ} * (1min / 60sec) * (10^{-3} m^3 / 1liter)$$

$$(5) MP_{EGJ} = TF_{EGJ} * V_{EGJ} * (1min / 60sec) * (1m / 100cm)$$

$$(6) EP_{EGJ} = 1.3 * MP_{EGJ}$$

$$(7) TF_{EGJ} = TF_{EGJ} / N_{EGJ} \text{ kN}$$

$$(8) Flux_{EGJI} = Flux_{EGJ} / N_{EGJ} \text{ lpm}$$

$$(9) DIA_{EGJI} = 2 * \sqrt{((TF_{EGJ} / P_{EGJ} * (1bar / 10^2 kN/m^2) * (10^4 cm^2/m^2)) / N_{EGJ}) / \pi}$$

$$(10) ODIA_{EGJI} = \sqrt{0.5 * DIA_{EGJI}^2}$$

9. Roundness Expansion

■ 입력

No.	항목	입력치	단위	참고 사항	비고
1	추진 속도	123.5	cm/min		V_ESJ
2	압력	140	bar		P_EGJ
3	수량	2	개		N_EGJ

■ 결과

No.	항목	계산 결과	단위	비고
1	추력	333.2	kN	TF_ESJ
2	유량	32.3	lpm	Flux_EGJ
3	스트로크	500	mm	ST_EGJ
4	유압 동력	11.3	kW	HP_EGJ
5	기계 동력	10.3	kW	MP_EGJ
6	전력	13.4	kW	EP_EGJ
7	단품 추력	166.6	kN	TF_EGJI
8	단품 유량	16.2	lpm	Flux_EGJI
9	단품 실린더 내경	12.3	cm	DIA_EGJI
10	단품 로드 외경	8.7	cm	ODIA_EGJI

$$(1) TF_{REJ} = 8.5 * (Mass_{seg} * 9.8m/sec^2)$$

$$(2) Flux_{REJ} = (TF_{REJ} * V_{REJ}) * 1.1 / P_{REJ} * (1bar / 10^2 kN/m^2) * (10^4 cm^2 / m^2) * (1liter / 10^3 cm^3)$$

$$(3) ST_{REJ} = L_{seg} / 3$$

$$(4) HP_{REJ} = Flux_{REJ} * (10^2 kN/m^2 / 1bar) * V_{REJ} * (1min / 60sec) * (10^{-3} m^3 / 1liter)$$

$$(5) MP_{REJ} = TF_{REJ} * V_{REJ} * (1min / 60sec) * (1m / 100cm)$$

$$(6) EP_{REJ} = 1.3 * MP_{REJ}$$

$$(7) TF_{REJ} = TF_{REJ} / N_{REJ}$$

$$(8) Flux_{REJI} = Flux_{REJ} / N_{REJ}$$

$$(9) DIA_{REJI} = 2 * \sqrt{((TF_{REJ} / P_{REJ} * (1bar / 10^2 kN/m^2) * (10^4 cm^2 / m^2)) / N_{REJ}) / \pi}$$

$$(10) ODIA_{REJI} = \sqrt{0.5 * DIA_{REJI}^2}$$

10. Roundness Slide

■ 입력

No.	항목	입력치	단위	참고 사항	비고
1	추진 속도	500	cm/min	목표 (8m급 평균)	V_ESJ
2	압력	140	bar		P_EGJ
3	수량	2	개		N_EGJ

■ 결과

No.	항목	계산 결과	단위	비고
1	추력	82.3	kN	TF_ESJ
2	유량	32.3	lpm	Flux_EGJ
3	스트로크	1695.0	mm	ST_EGJ
4	유압 동력	7.5	kW	HP_EGJ
5	기계 동력	6.9	kW	MP_EGJ
6	전력	8.9	kW	EP_EGJ
7	단품 추력	41.2	kN	TF_EGJI
8	단품 유량	16.2	lpm	Flux_EGJI
9	단품 실린더 내경	6.1	cm	DIA_EGJI
10	단품 로드 외경	4.3	cm	ODIA_EGJI

$$(1) TF_{RSJ} = 2.1 * (Mass_{seg} * 9.8m/sec^2)$$

$$(2) Flux_{RSJ} = (TF_{RSJ} * V_{RSJ}) * 1.1 / P_{RSJ} * (1bar / 10^2 kN/m^2) * (10^4 cm^2/m^2) * (1liter / 10^3 cm^3)$$

$$(3) ST_{RSJ} = 1.13 * L_{seg}$$

$$(4) HP_{RSJ} = Flux_{RSJ} * (10^2 kN/m^2 / 1bar) * V_{RSJ} * (1min / 60sec) * (10^{-3} m^3 / 1liter)$$

$$(5) MP_{RSJ} = TF_{RSJ} * V_{RSJ} * (1min / 60sec) * (1m / 100cm)$$

$$(6) EP_{RSJ} = 1.3 * MP_{RSJ}$$

$$(7) TF_{RSJ} = TF_{RSJ} / N_{RSJ}$$

$$(8) Flux_{RSJI} = Flux_{RSJ} / N_{RSJ}$$

$$(9) DIA_{RSJI} = 2 * \sqrt{((TF_{RSJ} / P_{RSJ}) * (1bar / 10^2 kN/m^2) * (10^4 cm^2/m^2)) / N_{RSJ}} / \pi$$

$$(10) ODIA_{RSJI} = \sqrt{0.5 * DIA_{RSJI}^2}$$

11. 스크류컨베이어(Screw Conveyor)

■ 입력

No.	항목	입력치	단위	참고 사항	비고
1	최소 회전수	5	rpm		MINRPM _{SC}
2	최대 회전수	13.5	rpm		MAXRPM _{SC}
3	랙/피니언 직경비	1:4	-		RED _{SC}
4	압력	140	bar		P _{SC}
5	수량	2	개		N _{SC}

■ 결과

No.	항목	계산 결과	단위	비고
1	배토포압	196.2	bar	EP _{SC}
2	배토포량	181	m ³ /h	Q _{SC}
3	최대 토크	109.3	kNm	TMAX _{SC}
4	최소 토크	40.5	kNm	TMIN _{SC}
5	유량	269.8	lpm	Flux _{SC}
6	유압 동력	69.2	kW	HP _{SC}
7	기계 동력	57.2	kW	MP _{SC}
8	진력	74.4	kW	EP _{SC}
9	모터 단품 토크	54.6	kNm	T _{SC}
10	모터 단품 회전수	54.0	rpm	RPM _{SC}
11	모터 단품 용적(감속기포함)	2497.9	cm ³ /rev	Cap _{SC}

$$(1) EP_{SC} = USC_{ROCK} * 1,000 * 9.81 \text{m/sec}^2 * 0.5 * \text{Dia}_{CH} * 1/100/1000$$

$$(2) Q_{SC} = 0.25 * (\pi * D^2) * V_{SJ} * (60 \text{min}/1 \text{hr}) * (1 \text{m}/100 \text{cm})$$

$$(3) TMAX_{SC} = 0.075 * EP_{SC} * Q_{SC} / MAXRPM_{SC} * (100 \text{bar}/1 \text{MPa}) * (1 \text{h}/3600 \text{sec})$$

$$(4) TMIN_{SC} = 0.075 * EP_{SC} * Q_{SC} / MINRPM_{SC} * (100 \text{bar}/1 \text{MPa}) * (1 \text{h}/3600 \text{sec})$$

$$(5) Flux_{SC} = Maxrpm_{SC} * (2\pi/\text{rev}) * T_{SC} / P_{SC} * (1 \text{bar}/10^2 \text{kN/m}^2) * (1 \text{liter}/10^{-3} \text{m}^3) * 1.1$$

$$(6) Hp_{SC} = Flux_{SC} * (1 \text{min}/60 \text{sec}) * (10^{-3} \text{m}^3/1 \text{liter}) * P_{SC} * (10^2 \text{kN/m}^2/1 \text{bar})$$

$$(7) Mp_{SC} = Minrpm_{SC} * (2 * \pi / 60) * T_{SC} * 0.4$$

$$(8) Ep_{SC} = 1.3 * Mp_{SC}$$

$$(9) T_{SC1} = T_{SC} / N_{SC}$$

$$(10) \text{ Rpm}_{\text{SCI}} = \text{Maxrpm}_{\text{SC}} * \text{REd}_{\text{SCI}}$$

$$(11) \text{ Cap}_{\text{SCI}} = (\text{Flux}_{\text{SC}} / \text{N}_{\text{SC}}) * (10^3 \text{ cm}^3 / \text{liter}) * \text{Rpm}_{\text{SCI}} * (1 \text{ rev} / 2\pi)$$

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.