

<보고서 요약서>

보 고 서 요약서

과제고유번호		해당 단계 연구 기간	~	단 계 구 분	(1)/(1)
연구사업명					
연구과제명	대과제명	도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발			
	세부과제명				
연구책임자	해당단계 참여 연구원수	총 : 명 내부 : 명 외부 : 40 명	해당단계 연구비	정부 : 5억원 기업 : 0억원 계 : 5억원	
	총연구기간 참여 연구원수	총 : 명 내부 : 명 외부 : 40 명	총연구비	정부 : 5억원 기업 : 0억원 계 : 5억원	
연구기관명 및 소속부서명			참여기업명		
국제공동연구 위탁연구	상대국명 :			상대국연구기관명 :	
	연구기관명 :			연구책임자 :	
요약				보고서 면수	
<p>○ 세계최고수준의 라이프라인 인프라 건설기술 구축의 일환으로, 「도심지 소단면(Φ3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 고도화」를 위하여 다음과 같은 3가지 중점기술 개발목표를 세움:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 도심지 소단면(Φ3.5m급) 터널식 공동구 글로벌표준화설계법(LRFD) 및 안전관리 기술 개발 • 도심지 소단면(Φ3.5m급) 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수지반(downtime 40% 이하) 급속시공기술 및 장비 개발 • 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발 <p>○ 위 기술개발을 통해 공동구 시공중 민원 30% 저감, 공동구 건설중 안전재해 20% 저감, 도심지 공동구 건설비용 10% 절감에 기여하고자 함.</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한글	터널식 공동구, 공동구 수직구, 급속시공, 급곡굴착, 한계상태설계, 방재안전			
	영어	Utility tunnel, Vertical shaft, Rapid construction, Sharp curved excavation, LRFD, Safety management			

목 차

요 약 문	I
1장. 기술의 정의 및 필요성	1
1절. 기술의 정의 및 분류체계	1
2절. 기술개발의 필요성	25
2장. 국내외 동향 및 환경분석	36
1절. 국내외 정책동향	36
2절. 국내외 시장현황 및 전망	50
3절. 기술(특허, 논문 등)동향	61
4절. 국내 연구개발 인프라 분석	122
5절. 동향분석 결과 시사점	126
3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략	127
1절. 비전 및 목표	127
2절. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표	132
3절. 기술개발에 따른 미래상	159
4절. 연구개발과제 구성 및 추진체계	163
5절. 세부 과제별 주요내용 및 추진전략	177
1. 1세부과제	177
2. 2세부과제	184
3. 3세부과제	192
6절. 연구과제의 중복성 및 차별화 방안	200
4장. 자원투입 계획	207
1절. 연구시설 및 장비 투입계획	207
2절. 연구일정에 따른 인력투입 계획	226
3절. 소요예산 산정	230

5장. 과제공모 방안	239
1절. 과제제안 요구서	239
2절. 공모조건	271
3절. 선정평가 방법	272
 [부 록]	
1. 사전타당성 검토	278
제1장. 경제적 타당성	278
제2장. 기술적 타당성	283
제3장. 정책적 타당성	293
 2. 핵심기술요소(CTE)	 302

요 약 문

1. 기술의 정의 및 필요성

1.1 기술의 정의

(1) 기술의 정의

[도심지 소단면(ϕ 3.5m 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발]

도심지 소단면(ϕ 3.5m 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 고도화

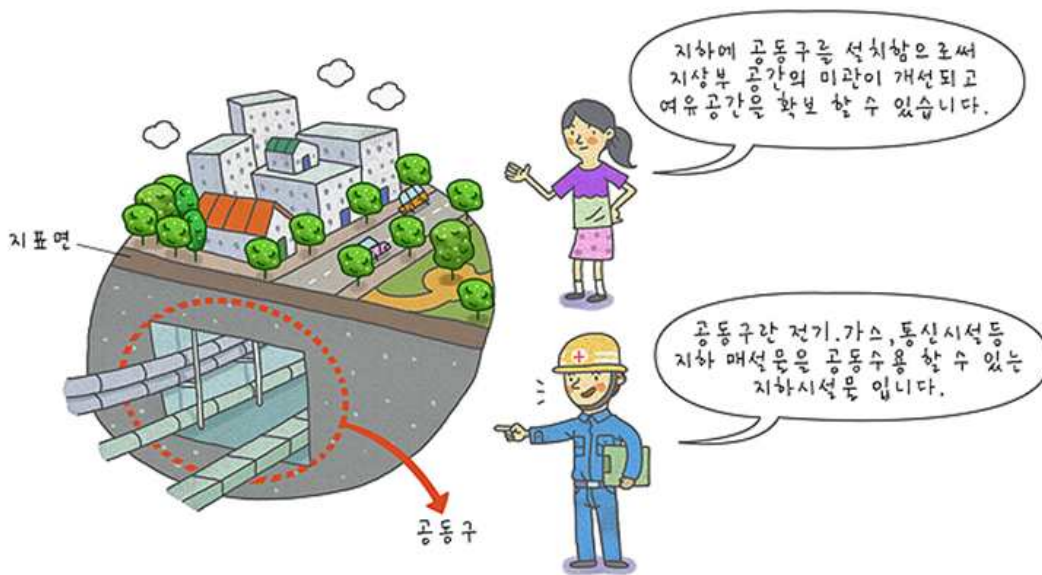
- 소단면(ϕ 3.5m 급) 터널식 공동구 글로벌표준화설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발
- 급곡구간(R30m 이하)/특수지반(downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발
- 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

- 본 기획연구는 국토 라이프라인 연구개발사업 기획연구의 일환으로 도로, 철도, 항만 등 SOC 연계기술(또는 시설)과 관계된 통신구, 전력구 등 공동구의 최적 설계·시공을 위한 핵심 기술 개발에 관한 것임.
- 도심지 소단면(ϕ 3.5m 급) 터널식 공동구 건설기술 고도화를 위한 글로벌 표준화 설계기법 및 안전관리 지침 제시, 급곡구간/특수지반/급속 시공기술 및 장비 개발, 수직구 급속/모듈화 시공기술 및 장비 개발을 목표로 함.
- 최종 기대효과는 도심지 시공중 민원 30% 저감, 건설안전 재해 20% 저감, 공동구 건설비용 10% 절감 및 공기단축임.
- 개발된 기술 및 장비에 대해 실대형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용, 설계 반영 및 현장적용으로 공동구 관련 공공기업(한국전력, LH 공사, 시설안전공단 등) 발주 공동구 프로젝트에 설계반영(10km 이상)을 통한 기술 사업화/상용화를 추진.

(2) 공동구 개요

가. 공동구 정의 및 개요

- 공동구(共同溝)의 정의 : 라이프라인의 하나로 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따른 도시계획시설로 구분되며, 지하매설물을 공동 수용함으로써 도시미관, 도로 구조 보전, 교통의 원활한 소통, 효율적인 안전·유지관리 등을 위하여 지하에 설치하는 시설물을 말함.



<그림 1> 공동구의 개념(서울시, 2014)

- 공동구 수용시설 범위 : 전선로, 통신선로, 수도관, 열수송관, 중수도관, 쓰레기수송관, 가스관, 하수도관임(국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제44조).
- 공동구의 특징
 - 장기적으로 개별 매설에 비해 경제성이 뛰어남(국토해양부, 2008) (생애주기비용(LCC) 공동구(1.00) > 관로(1.19) > 단독구(2.35))
 - 잦은 도로 굴착을 방지하여 예산낭비 및 민원을 방지
 - 방재성능 향상 등
- 신도시 공동구 설치 의무화
 - 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 (제35조의2 신설, 2010) : 200만 m² 이상 신도시 개발 시
 - 서울시 공동구 중장기 기본계획(2013) : 50만 m² 이상 개발 시

○ 도심지 공동구 설치 고려

- 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 (제44조 신설, 2011)에 따른 타당성 검토 : 도로 관리청은 지하매설물의 빈번한 설치 및 유지관리 등의 행위로 인하여 도로 구조의 보전과 안전하고 원활한 도로교통의 확보에 지장을 초래하는 경우
- 「서울특별시 공동구 설치 및 점용료 등 징수조례」 (제32조, 2014) 공동구 설치 우선고려 : 도로구조의 보전과 원활한 교통 확보에 지장이 예상되는 지역, 지하매설물의 빈번한 설치 지역 등

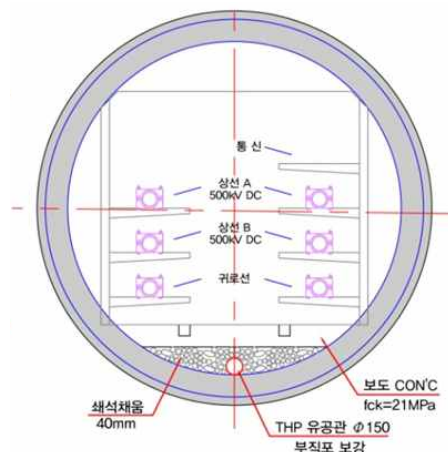
나. 공동구 현황

1) 국내 적용 현황

- 1978년 여의도 공동구가 시초, 이후 신도시 개발과 병행하여 설치됨
- 신 도시 : 개착박스 구조물(개착터널) 위주로 적용, 도로하부
- 도 심 지 : 전력구나 통신구와 같은 소단면 터널식 단독구의 형태로 주로 적용, 지하부
- 적용연장 : 공공용과 민간부문의 일반용 공동구 및 단독구는 839개소 총연장 491.2km(공동구 총 264.2km, 53.8%; 단독구 총 227.0km, 46.2%)에 달함(이정일, 2011).



<그림 2> 개착박스 공동구 적용 예(세종시)



<그림 3> 터널식 단독구 적용 예(북당진-평택 전력구(Φ3.55), 2015)

○ 수용비율 : 수용시설 연장대비 공동구 수용비율이 매우 낮음(서울시, 2005).
 (지중화율 : 서울 52.4%, 런던/파리 100%, 뉴욕 72.2%, 동경 86.3%(지식경제부, 2010))

○ 수용시설 및 규모

- 수용규정

· 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제44조 : 전선로, 통신선로, 수도관, 열수송관, 중수도관, 쓰레기수송관, 가스관, 하수도관 수용, 수용시설의 조합 규정 없음. 단 가스관, 하수도관은 공동구협의 후 수용

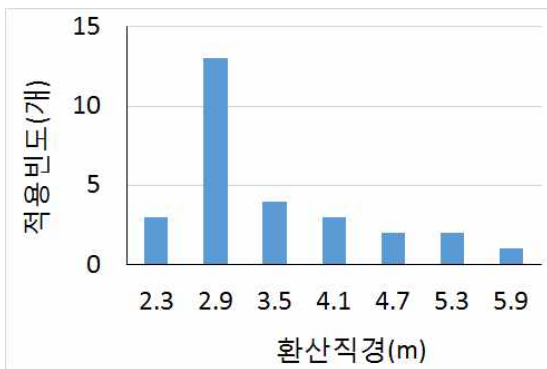
· 공동구 설계기준(2010) : 4종 이상 수용 → 2종 수용 개정 중

- 개착 공동구 수용시설 및 규모(국토해양부, 2011)

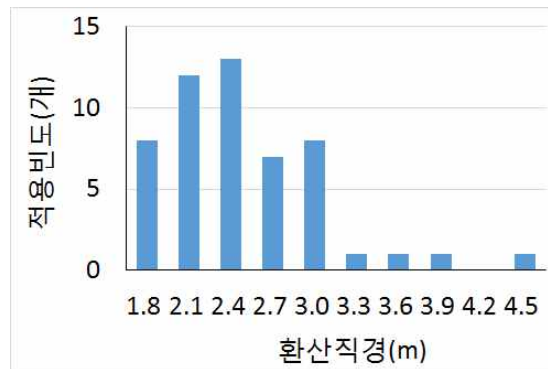
· 2000년 이전 상수, 전기, 통신시설을 2~3종씩 별실 수용 → 2000년 이후 다양화 (난방, 쓰레기 등 공동 수용)

· 전체 단면 고려시 공동구 환산직경(내경)은 평균 Φ 4.1m(2.3~5.9m), 수용시설은 2~6종, 3종이 대다수(52%)

· 별실 당 평균 Φ 3.2m(1.8~4.5m), 수용시설은 2~4종, 3종이 대다수(63%)

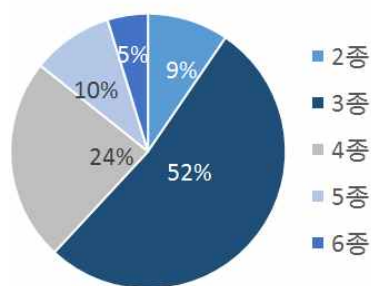


a) 전체

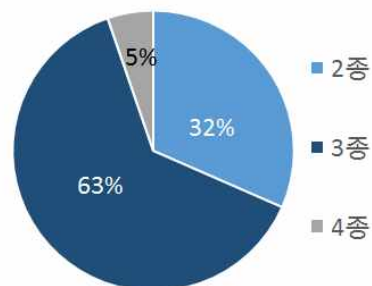


b) 별실

<그림 4> 공동구 적용 규모(환산직경)



a) 전체

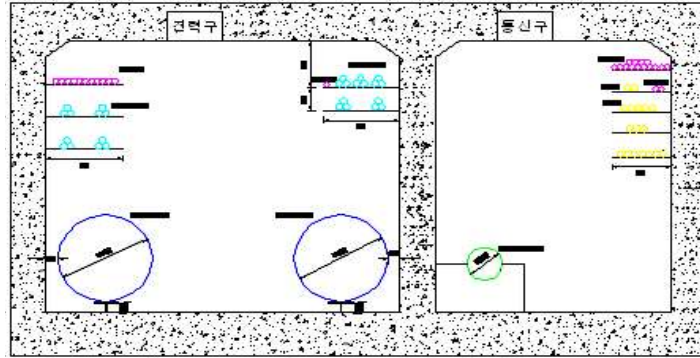


b) 별실

<그림 5> 공동구 수용시설 종류

※ 여의도공동구 예

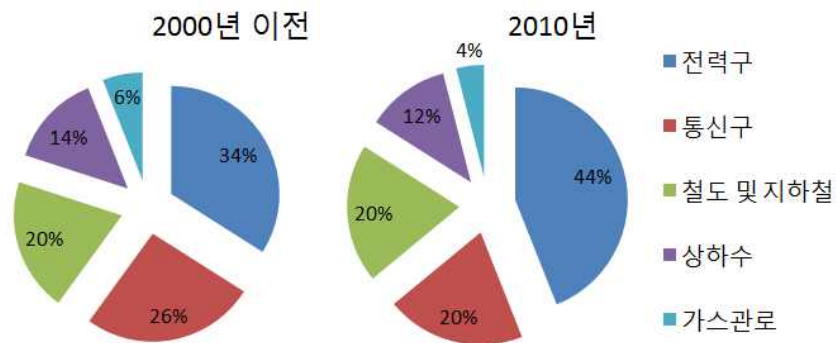
- 전체기준: 11.5m²(Φ3.8m), 4종수용(상수, 전력, 통신, 난방)
- 별실기준: 2실 6.9m²(Φ3.0)/4.6m²(Φ2.4), 3종(전력, 통신, 난방)/2종(상수, 통신) 수용



<그림 6> 여의도 공동구(5.3 × 2~2.3m) 적용 단면

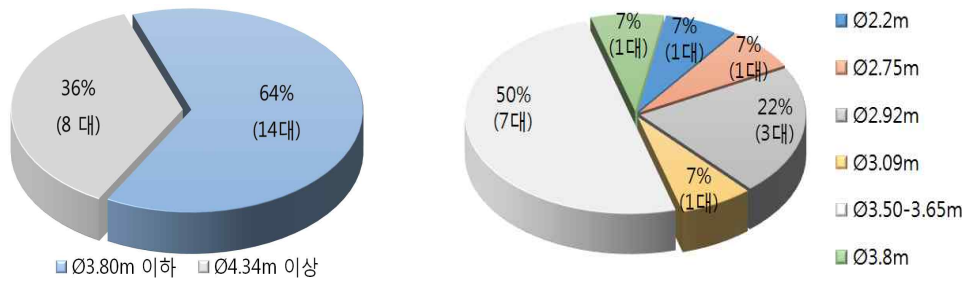
- 터널식 단독구 수용시설 및 규모

- 터널식 단독구 수용시설은 전력(42.4%), 통신(22%), 하수관, 가스관 등임
- 단독구 터널은 국내 쉴드 터널의 80% 점유(한국건설교통기술평가원, 2010)
- 전력구가 단독구의 55% 비중 점유, 전력과 통신을 공동 수용하는 경우 많음



<그림 7> 국내 shield-TBM 적용 현황

- 장비 현황 분석(2015년) : 국내 shield-TBM 시공장비의 64%가 소단면 단독구 터널 시공장비, 소단면 국내 shield-TBM 장비의 대다수(50%)가 Φ3.5m 급 → 국내 대부분의 단독구는 Φ3.5m 이하



a) 단독구와 교통터널 시공장비 분포 b) 단독구 시공장비 외경별 분포
<그림 8> 국내 단독구 터널 shield-TBM 장비 현황

※ 세미셴드 적용 불리 사유 : 압출시공의 문제점

- Ø2.90m 이상 적용 불가 → 시공성, 사용성 제약
- 곡선시공 불가 → 지장물 우회 불가, 선형 변경 시 수직갱 다발(부지점유/민원/교통체증 증가, 공사비상승)

○ 설치 심도 및 지반특성

– 설치 심도 규정

- 공동구 설계기준(2010) : 2.5m 이상 확보, 특수부 1m 이하
- 서울시(2008) : 5m 이내(지하공간 시설물 설치 가이드라인)
- 터널식 공동구/단독구 규정 없음

– 설치 심도 현황

- 개착식 공동구/단독구 : 5m 이내(평균 3.1/1.5m)
- 터널식 단독구 : 5m 이상(평균 23.4m, 최근 50m 까지도 시공)

– 지반특성: 주로 지하수위가 높은 도심지 충적층(토사, 연약지반) 지반 및 암반지반

2) 해외 적용현황

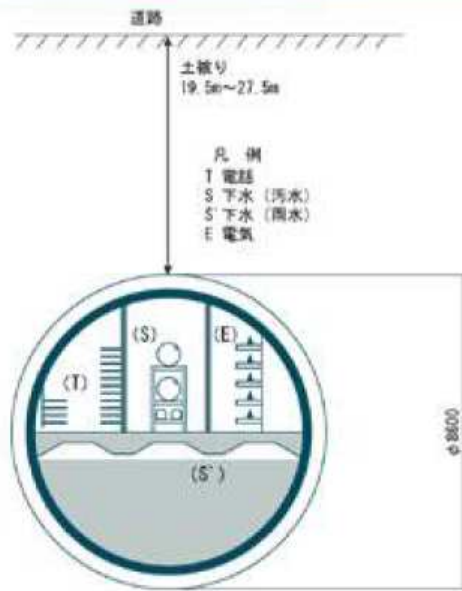
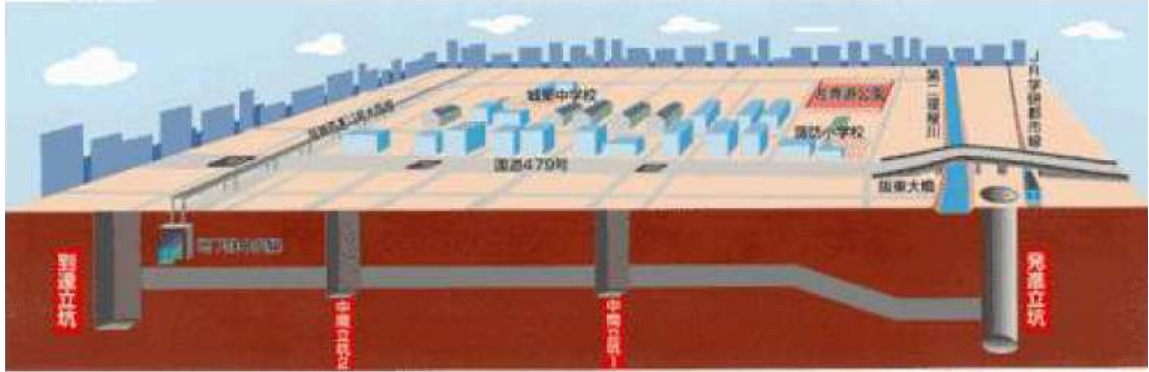
○ 설치 현황 : 19세기 프랑스, 영국 등이 시초

(지중화율 : 런던/파리 100%, 뉴욕 72.2%, 동경 86.3% (지식경제부, 2010))

○ 수용시설 및 규모 :

- 수용시설 : 상/중수, 냉/난방, 전력/통신, 도시가스, 압축공기, 쓰레기, CATV
- 규 모 : 개착 공동구(A = 5 ~ 19m²), 터널식 공동구(2종 이상, Ø2.5 ~ 8.6m), 셸드(Ø7 ~ 8m) 굴착에 의한 도심지 터널식 공동구도 많이 적용

○ 설치 심도 예(싱가포르 등) : 개착식 1 ~ 3m, 터널식 20 ~ 60m



<그림 9> 일본 오사카 스와 공동구

(수용시설 : 통신, 하수(오수/우수), 전기, 규모 : $\Phi 8.6\text{m}$, 심도 : 19.5 ~ 27.5m)

5) 시사점

- 박스형 공동구 및 터널식 단독구의 수용시설 및 규모, 시공 장비 현황 분석에 따른 터널식 공동구 적용
 - ➔ 수용시설은 전력, 통신, 상수 또는 전력, 통신, 난방 등과 같은 3종 이상 수용 유력
 - ➔ 규모는 $\Phi 3.5\text{m}$ 급이 합리적
 - ➔ 설치 대상 심도 및 지반은 평균 20m, 충적층 토사지반/암반지반

(3) 공동구 전망 : 소단면 공동구 적용 대상의 증가

- 도시집중화(도시화율 90%)에 따른 집단민원(잡은 굴착, 가공송전선로 도심지 통과 등), 공동구 설치 의무화(세종시 등), 공동구 지중화에 대한 인식변화 등으로 공동구 설치연장의 꾸준한 증가

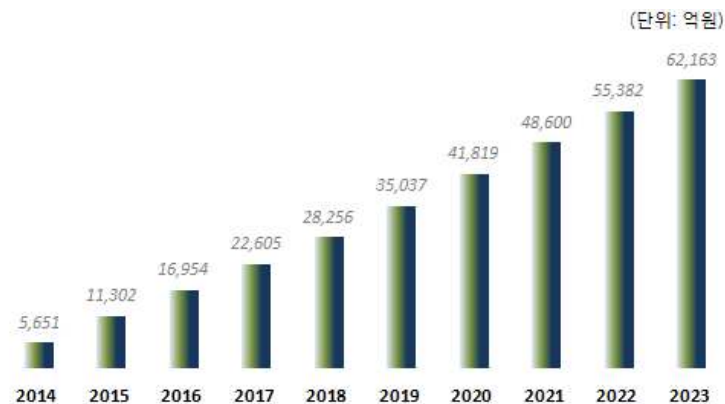


<그림 10> 연도별 공동구 연장 추세

○ 공동구 수요 전망

- 단기 수요전망 : 공동구 설계기준에서 수용시설의 범위를 4종에서 2종으로 변경 추진 중(국토교통부와 건설기술연구원은 건설공사 기준인 설계기준 21종, 표준시방서 27종(전문시방서 포함)에 대한 기준 코드화 작업 중, 2015년). 전선지중화법안(「전선공동구 설치 등에 관한 특별법안」, 2013) 발의 등으로 수년 내 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 수요 급증 전망.
- 장기 수요전망 : 도심지 공동구 수용용량의 확대로 대단면 터널식 공동구(Φ6~7m) 수요발생, 신도시 공동구 인천 송도, 새만금 개발(시장규모 4000억원) 등에 따른 공동구 수요 증가

- 공동구 시장 규모 추정 : 복합 공동구(전력, 통신, 가스, 상하수도 등을 동시 수용) 건설 분야와 고압 송전선의 지하화를 위한 배전선 공동구 건설 분야, 그리고 주거 환경 개선을 위한 가공선로 지하화를 위한 공동구 건설 고려



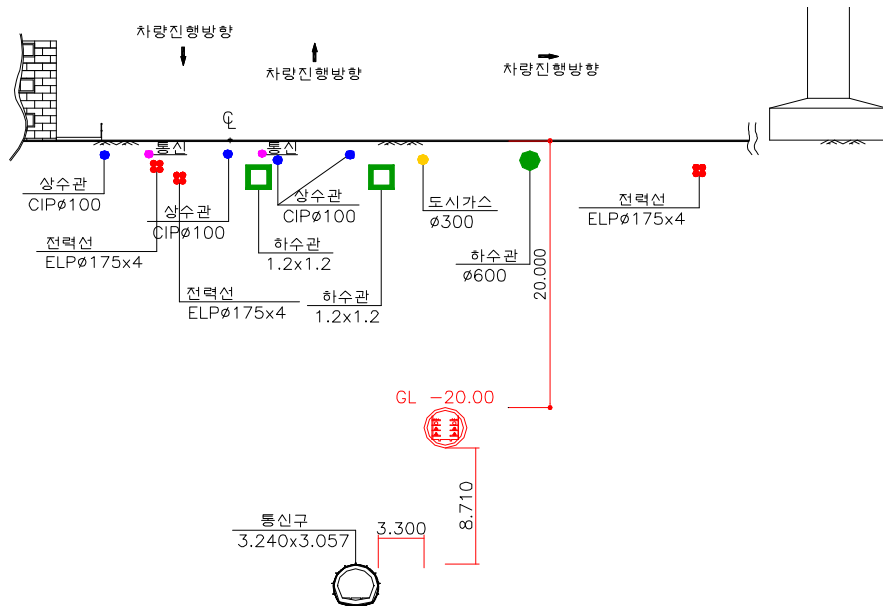
<그림 11> 추정 누적 시장규모

2. 기술개발의 필요성

2.1 공동구 건설 시 문제점

(1) 도심지 건설 시 문제점

- 기존 지장물의 난립, 시공성 저하 및 안전/재해 우려
- 각종 민원에 의한 개착시공의 한계, 비개착식 시공 필요
- 관로, 단독구 시공시 국가예산 낭비, 공동구화 필요



<그림 12> 지장물 난립에 의한 터널계획(개착→터널, 성수분기 전력구)



<그림 13> 지장물로 인한 선형 변경(성수분기 전력구)

(2) 공동구 계획의 문제점

○ 공동구설계기술의 낙후

- 최근(2013년)에서야 공동구 설계기준이 제정되었으나 허용응력설계법과 강도설계법에 한함
- 국외 및 타분야는 글로벌 표준화 설계법으로 한계상태설계법(LRFD)을 적용중임
- 설계기술이 낙후하여 해외진출 시 애로 발생

○ 공동구 관련 법제도의 미비

- 공동구설계기준 개정(중)에 의하면 최소 수용시설을 4종 → 2종으로 축소 예정으로 소단면 공동구 수요 대폭증가 예정
- 공동구 건설비용 및 유지관리 비용분담의 문제로 적용 불리
- 관로 및 단독구 개별 추진 시 사회적 비용 증가

※ 생애주기비용(LCC) 평가결과: 공동구(상대 LCC : 1.00) > 관로(1.19) > 단독구(2.35)

- 시공중 안전, 재해로부터 수용시설물의 기능유지를 고려한 계획/설계 중 방재안전 지침 부재

○ 시사점

- 글로벌표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구
- 설계기술/방재·안전기술 개발 필요
- 공동구 관련 지침 및 법제도 정비 필요

(3) 공동구 시공의 문제점

○ TBM 실굴진성능 예측의 문제

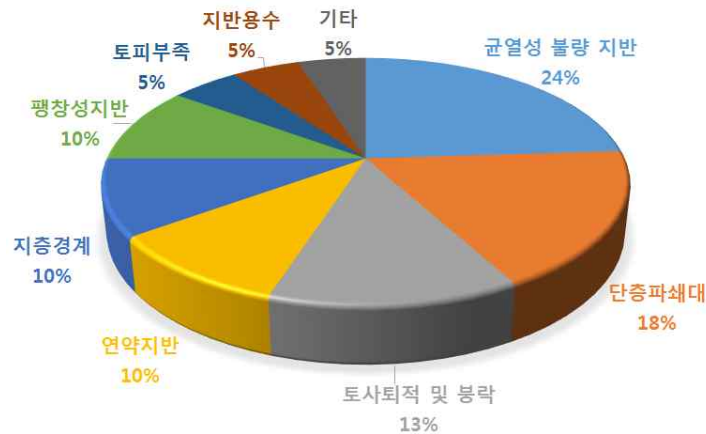
- 국내외 암반용 TBM 굴진율(PR) 모델은 암석특성을 이용한 면판 설계용임
- 해외에 암반특성을 고려한 TBM 굴진율 모델은 존재하나 국내지반과 맞지 않음
- 도심지 충적층 지반특성(토사, 호박돌)에 대한 굴진율(PR, AR) 산정방법이 없음
- 장비/시공특성을 고려한 실굴진율(AR) 예측방법이 없어 비현실적인 설계를 함
- 특히 $\Phi 3.5\text{m}$ 급과 $\Phi 3.9\text{m}$ 이상의 TBM은 직경의 크기에 따른 자중의 차이, 탑재 장치의 수량 및 종류의 차이로 인하여 동일한 지반에서도 다른 굴진율을 나타냄

○ 급곡구간 시공의 필요성

- 도심지 시공의 경우 지장물 난립으로 선형 결정이 어렵고, 공사비 증가 유발
- 공동구는 통상 R300m로 시공, 최소 R60m 시공실적이 있으나 급곡구간에 대한 국내 시공장비 및 기술 부재

○ 특수지반/특수조건 시공의 문제

- 일반 shield-TBM과 달리 소단면($\Phi 3.5\text{m}$ 급) shield-TBM은 단면 규모 때문에 장비(지반보강, 감압장치, 쇼 크러셔, 개구부 크기 등) 장착의 한계가 있음
 - 특수지반/특수조건(고수압, 호박돌 등)에서 시공 불리, 민원 및 재해(지반침하, 지하수 유출 등) 유발
 - 특수지반/특수조건 시공기술이 미흡함
 - 특수지반 시공기술 미흡으로 downtime 발생
- shield-TBM 시공시 전체 downtime중 문제 지반에 의한 downtime이 전체 86% 점유



<그림 14> 리스크 발생시 지반조건(장수호 등, 2006)

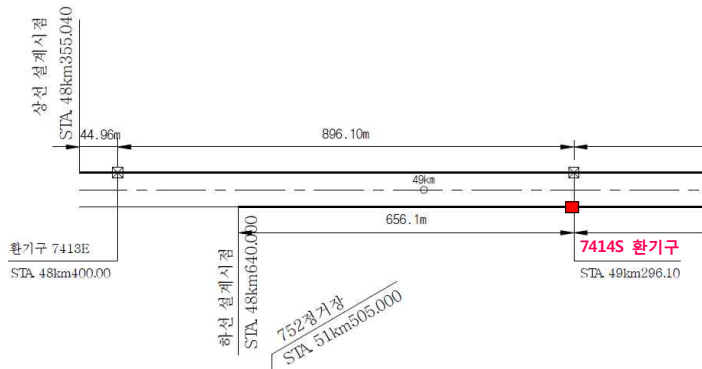
○ 시사점

- 국내지반에 맞는 장비/시공특성을 고려한 실골진을 예측 방법 필요
- 급곡구간(R30m 이하) shield-TBM 시공기술 및 장비 개발 필요
- 특수지반/특수조건에서 소단면($\Phi 3.5\text{m}$ 급) shield-TBM downtime 최소화 시공기술 필요

(4) 도심지 공동구용 수직구 문제점

○ 수직구 공사 현황

- 소단면 터널(전력구 등, shield-TBM 시공 80%) → 원형 수직구($\Phi 6\sim 8\text{m}$)가 다수, 상향식 슬립폼을 적용한 현장타설 라이닝 시공
- 교통터널(지하철 정거장/환기구) → 대단면 또는 소규모($2 \times 4\text{m}$) 직사각형, 라이닝 시공시 슬립폼 적용 불리(우각부 시공문제 등)



<그림 15> 적용 예: 서울지하철 7호선 7414S 환기구(2 x 4m)



<그림 16> 적용 예: 전력구 수직구

○ 수직구 라이닝 시공의 문제

- 기존 수직구 시공공법은 공중(가시설, 차수, 보강, 라이닝 설치 등)이 많고, 공정이 복잡하여 공기 및 공사비 과다 소요
- 부지점유 기간 및 범위 증가로 민원(교통체증, 상관침해 등) 유발, 공기증가로 공사비 증가



<그림 17> 지하공사로 인한 부지점유

○ 도심지 수직구 암반굴착의 문제

- 도심지 암반굴착은 민원문제로 저소음/무진동 굴착기술이 필요
- 국내 기존 저소음/무진동(할암 등) 굴착공법은 시공속도가 느리고 공사비가 고가임
- 부지점유 기간 증가로 민원(교통체증, 상관침해 등) 유발, 공기증가로 공사비 증가

○ 차수 및 접속부 보강의 문제

- 국내에 접속부 보강기술 부재로 접속부 크랙 및 누수, 지반침하 등 장기적 안정성 및 유지관리 문제발생
- 수직구 시공시 차수 및 지반보강이 필요하나 기존 재료는 환경문제 및 민원유발



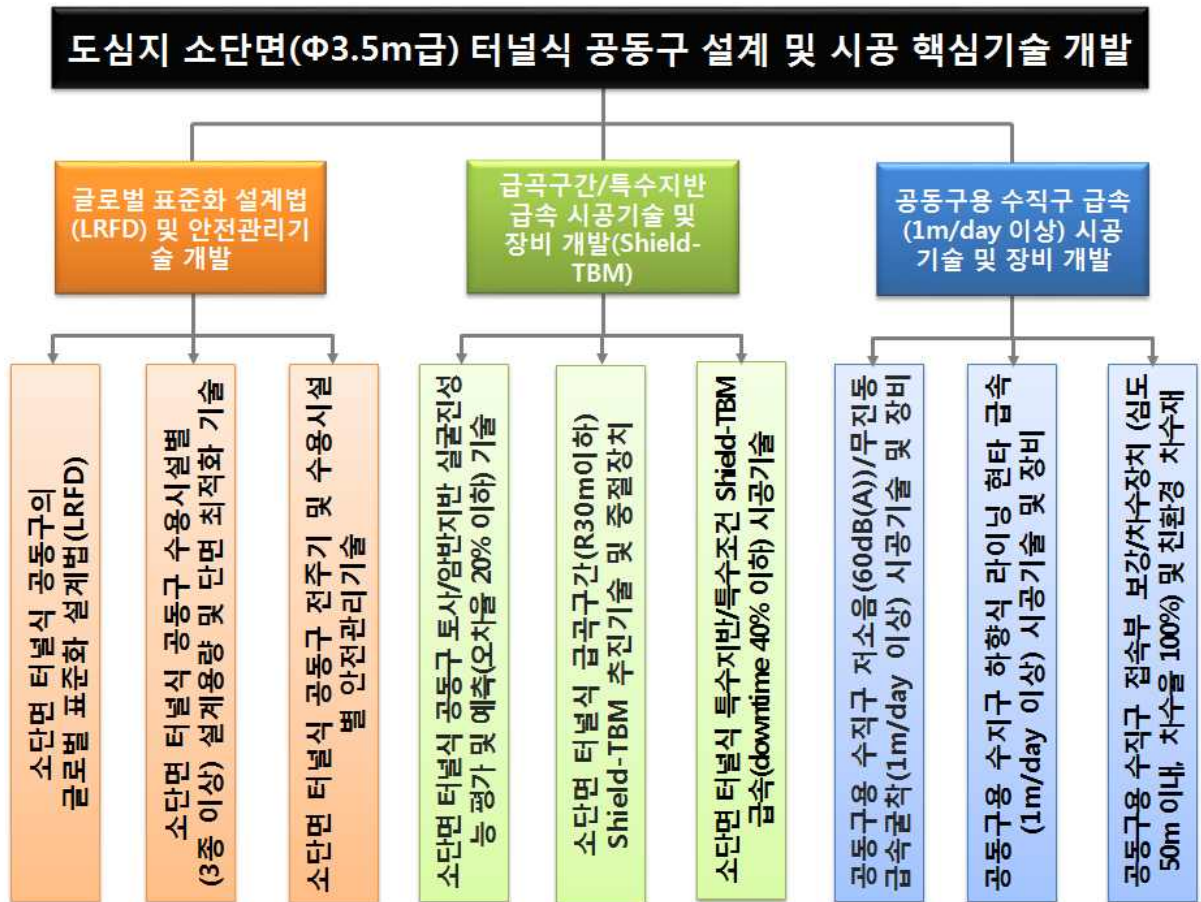
<그림 18> 지하공사로 인한 지반침하

○ 시사점

- 경제적인 수직구 저소음/무진동 급속(1m/day 이상) 굴착공법 필요
- 경제적인 수직구 라이닝 급속(1m/day 이상)/모듈화 시공기술 및 장비 필요
- 친환경 차수 및 접속부 보강공법이 필요

2.2 연구 목적 및 개요

- 본 기획연구의 목적은 도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 건설을 위한 글로벌 표준화 설계법을 적용한 최적설계/안전관리 기술, 공동구 급곡구간/특수지반/급속 시공기술 및 장비, 공동구용 수직구 급속/모듈화 시공기술 및 장비 등 핵심기술 개발을 위한 연구를 기획하는데 있음.
- 연구개발될 기술은 최종적으로 도심지 공동구 건설비용 10% 절감 및 공기단축, 시공중 민원 30% 저감, 건설안전 재해 20% 저감에 기여함.
- 기획연구의 효율적 추진을 위해 기획대상 및 범위를 3개의 세부과제 구분.



2.3 연구의 필요성

(1) 정책적 필요성

- 2013년 국토교통부는 사회기반시설의 안전관리를 강화하기 위하여 공동구, 소규모 터널을 시트법에 따른 2종 시설물에 포함시키는 것을 주요 내용으로 하는 동법 시행령과 시행규칙 개정안을 마련하여 입법예고하였음. 공동구 설계 및 시공 관련 핵심기술 개발로 개정으로 인해 시트법 개정으로 새롭게 포함된 약 4,500여 개의 시설물과 향후 발주될 공동구의 경제적 시공을 통해 국민의 생명과 재산을 보호하고 시설물 붕괴 시 발생할 수 있는 사회적/경제적 비용 피해를 예방할 수 있음.
- 전선공동구 설치 등에 관한 특별법안이 발의 국회 계류중이며, 공동구 설치 조례가 서울시의회 건설위 통과(2013.12)되어 지하철공사 등 추진시 공동구 지중화사업 병행 예정이므로 공동구 설치법안 통과 등으로 공사가 급증할 것으로 예상되므로 공동구 건설비용 절감방안, 구조물 환경피해에 의한 민원저감 방안에 활용할 수 있을 것으로 기대됨.
- 이 연구는 국정과제, 창조경제 실현과제, 경제혁신 3개년 계획 및 여러 국가정책에 긴밀하게 연관되어 있음. 특히 정부 및 국회에서는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 개정안, 「전선공동구 설치 등에 관한 특별법안」, 「시트법」 시행령 개정 등을 통하여 공동구의 설치를 활성화 하고 안전기준을 강화하는 추세이며 이와 같은 국가정책을 원활하게 추진하기 위하여 이 연구의 수행이 반드시 필요함.
- 공동구는 국토 공간내 기반시설과 이의 연결망으로 구성되는‘라이프라인’의 일부로 전선로·통신선로 등을 공동 수용하여야 하므로 관할지자체를 비롯한 유관기관이 다수이며, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의해 주요 국가 기간시설로 구축되므로 국가차원의 통합 설계기준 및 시공기술 개발이 반드시 필요함.
- 국정과제 : (16. 국가 과학기술 혁신역량 강화) 중소·중견기업 R&D에 대한 지원 강화, (87. 에너지공급 시설의 안전관리 강화) 전력·가스 공급의 안정성 강화와 연관됨.
- 창조경제 실현과제 : (2-1. 벤처·중소기업의 성장발판 마련) 정부 R&D 예산의 투자확대, (3-1. 과학기술과 ICT 융합으로 기존산업 신성장활력 창출) 과학기술과 ICT를 활용하여 국토 산업인프라(교통 등)의 생산성 및 경쟁력 향상과 연관됨.
- 경제혁신 3개년 계획 : (II-18-② 중소·중견기업 경쟁력 강화) 중소·중견기업의 R&D 투자 유도, (II-31-③ 안정적 에너지 수급체계 구축) 가스·전기 공급 인프라 적기 확충에 연계됨.
- 국가정책으로는 제3차 과학기술기본계획(2013~2017), (생활공간편의성 향상), (최첨단 인프라구조물 건설기술), 제5차 건설기술진흥기본계획(2013~2017),

(Global·User 지향 설계·시공기준 정비) 설계·시공기준의 OECD화와 연관됨.

- 국가과학기술위원회 본회의 심의·확정(2012.05.24)
- 부처방침 등으로 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 개정안 국무회의 통과(2010.06)로 200만m²를 초과하는 택지개발사업 지역 등에는 공동구 설치를 의무화 됨. 공동구 설치 조례(서울특별시 공동구 설치 및 점용료 등 징수조례) 서울시의회 건설위 통과(2013.12)로 지하철공사 등 추진시 공동구 지중화사업 병행이 의무화 됨.

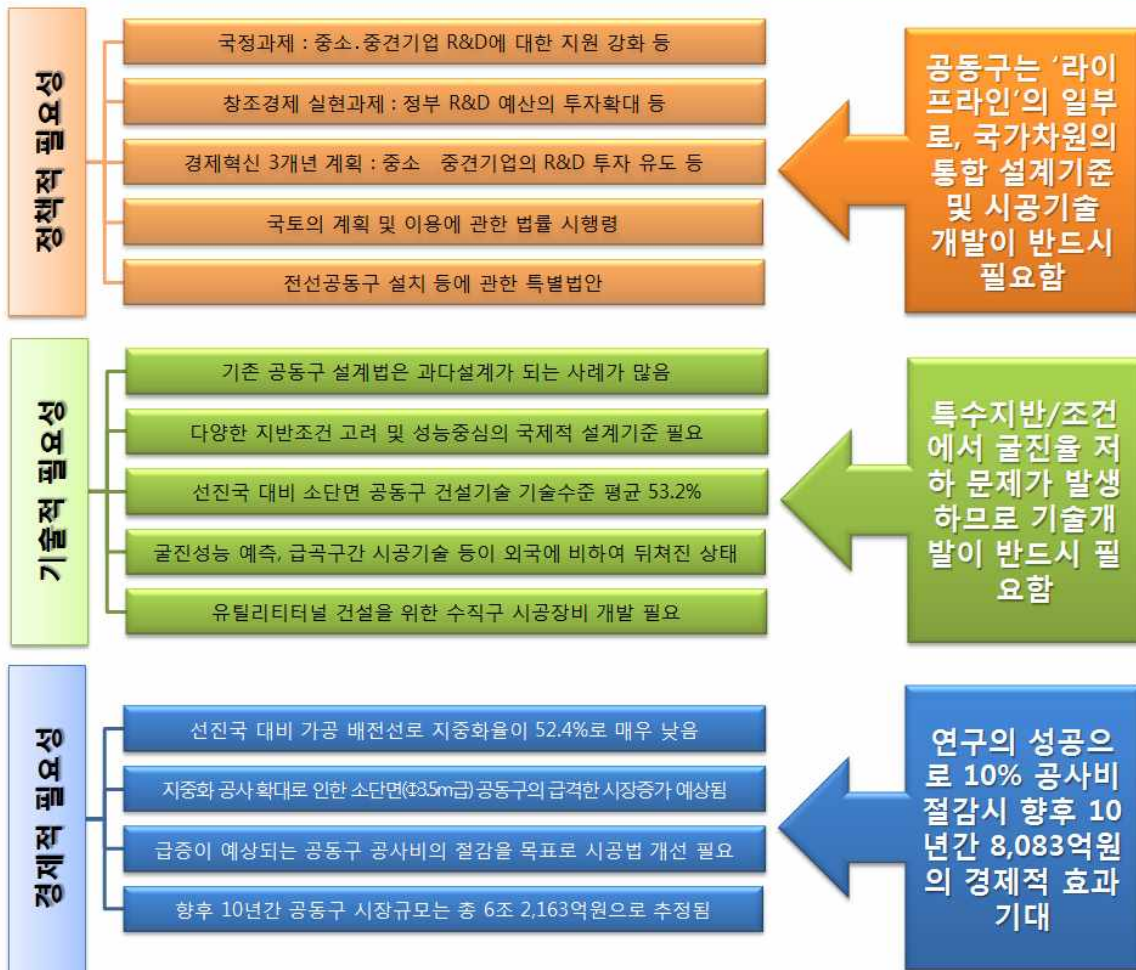
(2) 기술적 필요성

- 국내 복합지반 특성을 고려한 소단면 shield-TBM의 토사/암반지반 실굴진을 세계 최고 수준 오차율 예측 기술 개발. 세계최소 곡률반경(R30m 이하)의 shield-TBM 추진기술 및 중절장치 기술 개발. 고수압/복합이질층/호박돌층대 등 특수지반 및 특수조건에서 shield-TBM 급속시공기술 개발을 통한 다운타임 20%저감으로 세계적인 소단면 shield-TBM 기술 선진국으로 갈 수 있는 교두보가 될 수 있음.
- 미래창조과학부와 KISTEP 의‘2012년 기술수준평가’(2013)에 의하면 이번 연구에서 개발하려고 하는 공동구 건설기술에 해당되는 국가중점과학기술 중 서비스로봇기술(건설), 최첨단 인프라구조물 건설기술의 기술수준은 모두‘선진기술 모방개량’에 해당되며 기술적 실현시기를 2017~18년, 사회적 실현시기를 2023~27년으로 평가하고 있음.
- 그러나 기존 공동구 설계법은 과다설계가 되는 사례가 많아 공사비 절감에 불리한 것으로 알려져 있으며, 현행 공동구 설계기준은 다양한 공동구 수용시설의 요구, 다양한 지반조건과 지상조건, 성능중심으로 발전되어가는 설계기준에 부합하지 않음. 따라서 국제적인 설계법 변화 추세에 맞추어 진보된 글로벌 기준에 맞는 설계기준의 적용이 필요함.
- 또한 선진국 대비 소단면 공동구 건설기술 분야 기술수준은 평균 53.2% 로 경쟁력이 매우 낮은 편이며, 최고기술 보유국 대비 기술격차는 56개월 (4.7년)로 나타났음. 이것은 소단면 터널식 공동구 건설을 위한 shield-TBM 굴진성능 예측과 급곡구간 시공 기술, 특수지반 시공기술, 환경영향을 최소화 하는 수직구 시공기술 등이 외국에 비하여 매우 뒤쳐진 상태이기 때문인 것으로 추정됨. 이번 연구를 통한 기술개발과 실증실험 기반 구축을 통하여 5년 이내 선진국과 동등 이상 수준의 기술력 확보가 필요함.

(3) 경제적 필요성

- 전선공동구 법안 통과시 신규 소단면 터널식 공동구 시장 발생 가능성이 매우 크고, 우리나라 대도시의 가공 배전선로 지중화율이 매우 낮아(예, 서울 52.4%, 런던·파리 100%, 뉴욕 72.2%, 동경 86.3%) 지중화 공사 확대 고려시 소단면 터널식 공동구는 급격한 시장증가가 예상되는 지금 매우 시의적절함. 본 과제를 통해 개발되는 핵심기술은 국내외 미래 공동구 시장을 선점하는데 있어서 매우 중요한 의의가 있음.
- 공동구 연장은 해가 갈수록 기하급수적으로 늘어나고 있으며, 공동구 시장규모는 향후 10년간 총 6조2,163억원(물가상승 제외)으로 추정됨. 이 연구의 성공으로 10% 공사비 절감시 예상 절감액은 향후 10년간 약 6,217억원이 가능하고 민원 저감, 교통체증 감소, 건설재해 저감효과 등 간접적 비용 추정액 1,866억원을 고려한다면 전체 경제적 효과는 8,083억원으로 추정됨. 따라서, 전기/통신 등 라이프 라인 지중화 기술 개발을 통한 국가 경쟁력 향상을 위하여 국가의 연구지원이 필요함.
- 서울시 등 지자체의 공동구 적용 확대정책, 도심지의 가공선로 지중화에 대한 민원 증가추세 등을 고려할 때 소단면 공동구 시장 규모가 대폭 확대될 가능성이 큼. 특히 2013년 발의되어 국회 계류중인‘전선공동구 설치 등에 관한 특별법안’ 통과하는 경우 지중화 공사 확대에 따른 소단면(Φ3.5m 급) 공동구의 급격한 시장증가가 예상됨.
- 도심지 시공 특성상 개착 공동구 시공은 상권침해 등에 의한 민원과 교통체증을 심각하게 유발하므로 개착 공동구 보다는 소단면 터널식 공동구를 시공해야하나 터널식 공동구는 개착식 공동구 대비 4배 이상 고가임. 국가 예산절감과 원활한 사업수행을 위하여 급증이 예상되는 공동구 공사비의 절감을 목표로 설계기준 및 시공법 개선·개발을 위한 연구와 이에 대한 정부차원의 지원이 시급함

도심지 소단면(Φ3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발



2.4 연구 내용 및 방법

(1) 비전 및 목표

비전

도심지 소단면(ϕ 3.5m 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 고도화

목표

도심지 소단면(ϕ 3.5m 급) 터널식 공동구

- 글로벌표준화설계법(LRFD) 및 방재안전관리기술 개발
- 급곡구간(R30m 이하)/특수지반(시공downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발
- 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

중점 기술

- 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술

- 급곡구간/특수지반 급속시공 기술 및 장비

- 수직구 급속 시공기술 및 장비

핵심 성과물

- 공동구 라이닝 한계상태설계(LRFD) 기술 및 기준(개정)
- 공동구 수용시설별(3중 이상) 설계용량 및 단면표준화
- 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술

- 토사/암반지반 실굴진성능 평가(오차율 20% 이하) 및 지침
- 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치
- 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속(downtime 40% 이하) 시공기술

- 저소음/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비
- 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비
- 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재

○ 연구과제 구성은 다음과 같음.

구 분	연 구 과 제 명
연구단총괄	도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발
1세부	도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발
1-1	소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발
1-2	소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발
1-3	소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발
2세부	도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수지반(downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발
2-1	소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발
2-2	소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 증절장치 개발
2-3	소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속(downtime 40% 이하) 시공기술 개발
3세부	도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
3-1	공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
3-2	공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
3-3	공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발

(2) 주요 연구내용

[1세부] 도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발

- (1-1) 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발
 - 글로벌 표준화 설계법 적용을 위한 국내 지반 중요인자 평가기술 개발
 - 한계상태설계법 적용을 위한 내진해석 및 내진설계 기술 개발
 - 한계상태설계법에 의한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계기준 개정 및 운영관리 가이드라인 제시

- (1-2) 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 최적화 기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 단면 최적화 기술 개발
 - 글로벌 표준화 설계(LCC) 표준 공정 및 공사비 관리시스템 개발

- (1-3) 소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 전주기 안전 위험요인(안전사고, 화재, 테러, 지진, 침수 등) 조사/평가기법 개발
 - 소단면 터널식 공동구 수용시설특성을 고려한 안전관리기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 안전관리 매뉴얼 및 지침서 제시

[2세부] 도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수지반(downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발

- (2-1) 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발
 - 소단면 Shield-TBM 실굴진성능 평가기술 개발
 - 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 데이터베이스 구축
 - 국내 복합지반 특성을 고려한 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 예측기술 개발
 - 굴진성능 예측기술 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용

- (2-2) 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절 장치 개발
 - 급곡구간 Shield-TBM 추진 및 시공기술 개발

- 급곡구간 시공 Shield-TBM 중절장치 개발
- 급곡구간 세그먼트 지보시스템 개발
- 급곡구간 시공장비·추진기술 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용

○(2-3) 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속(downtime 40% 이하) 시공 기술 개발

- 고수압 등 특수조건에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 기술 개발
- 특수지반(복합지층, 호박돌층 등)에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 기술 개발
- 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속시공 기술 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용

[3세부] 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

○(3-1) 공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

- 저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 시공기술 및 장비 개발
- 수직구 급속 굴착장비 제어 기술 개발
- 실대형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용

○(3-2) 공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

- 현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 기술 및 장비 개발
- 수직구 구조물 슬래브/계단/접속개구부 급속시공 기술 개발
- 수직구-수평터널 연결부, 가설장치 시공 기술 개발
- 실대형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용

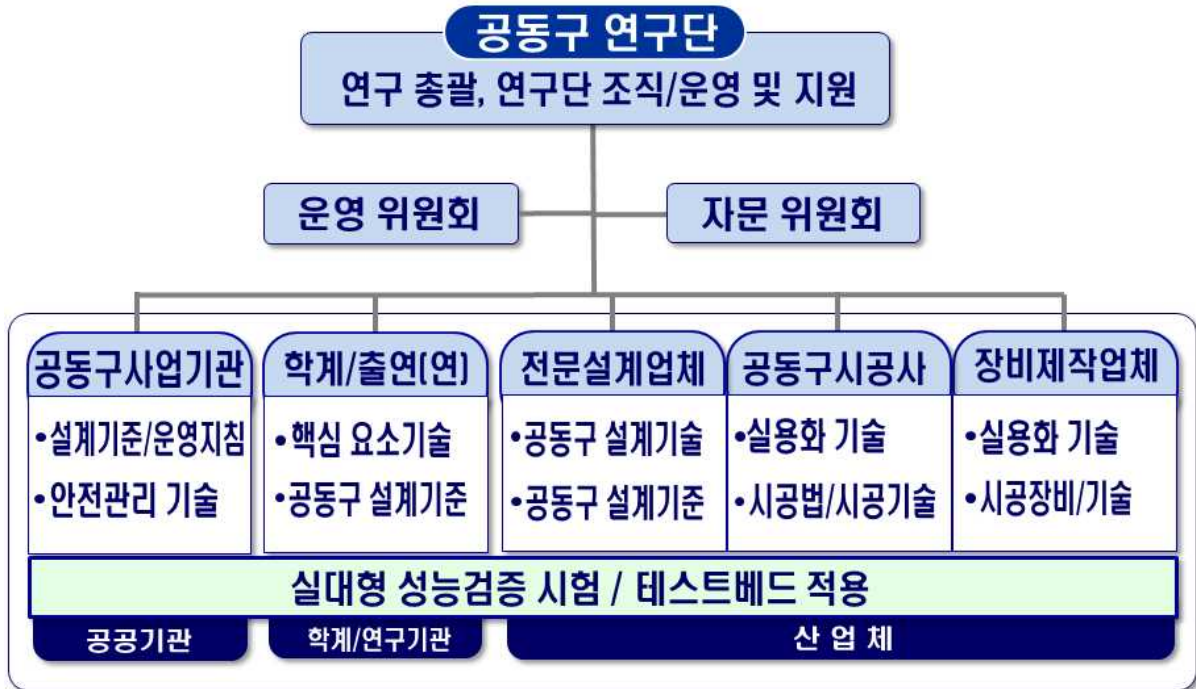
○(3-3) 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발

- 접속부 직경별/시공 심도별 상대변위 분석 및 수용 범위 분석
- 터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강공법 개발
- 비시멘트계열 친환경 차수재 및 시공기술 개발
- 실대형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용

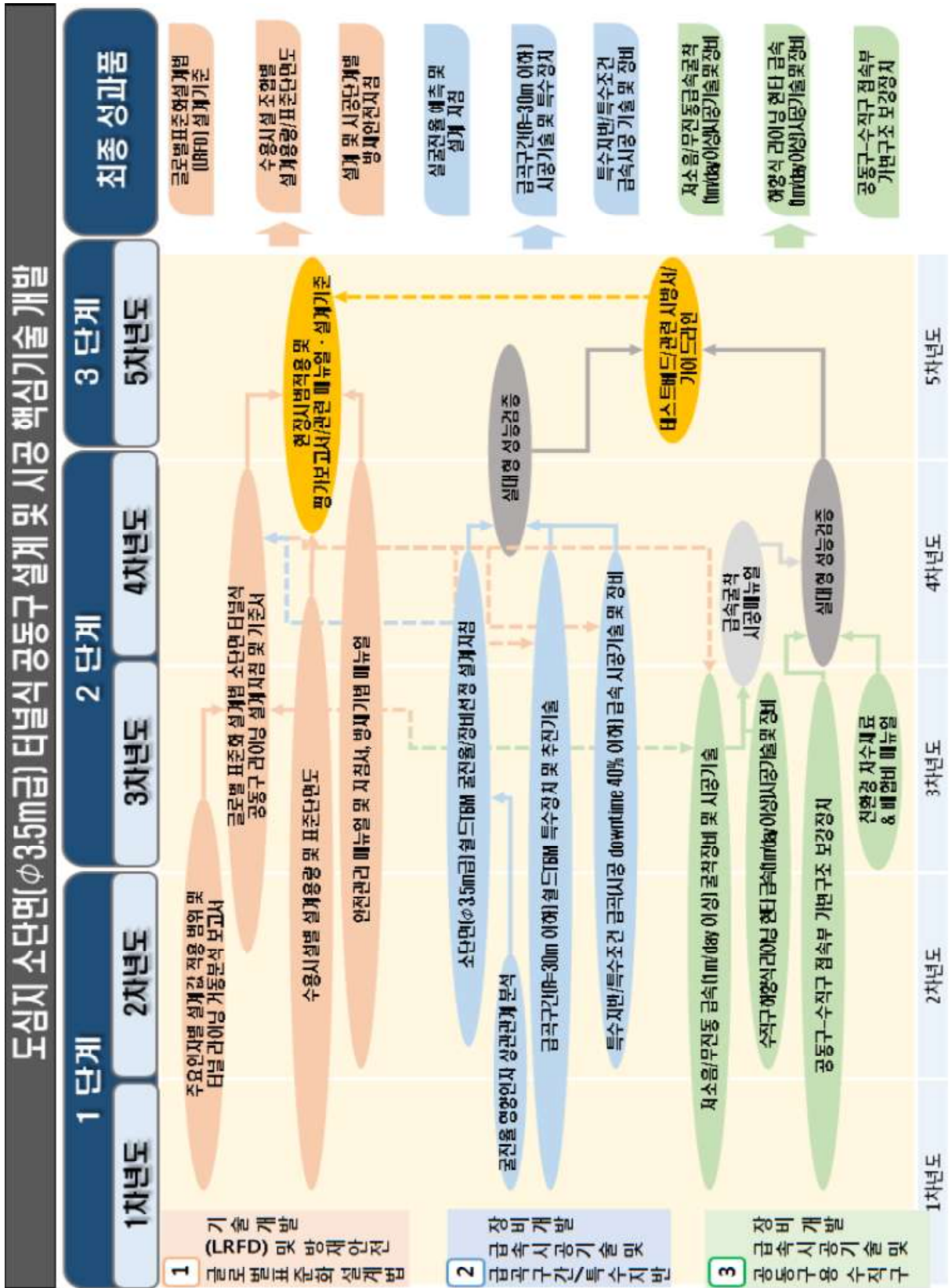
(3) 연구 추진체계

○ 연구 추진체계는 다음과 같음.

도심지 소단면(φ3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발



(4) 연구단 연차별 기술로드맵(TRM)



제 1 장

기술의 정의 및 필요성

1절. 기술의 정의 및 분류체계

1. 기술의 정의

[도심지 소단면($\phi 3.5\text{m}$ 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발]

도심지 소단면($\phi 3.5\text{m}$ 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 고도화

- 소단면($\phi 3.5\text{m}$ 급) 터널식 공동구 글로벌표준화설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발
- 급곡구간($R30\text{m}$ 이하)/특수지반(downtime 40% 이하) 급속시공기술 및 장비 개발
- 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

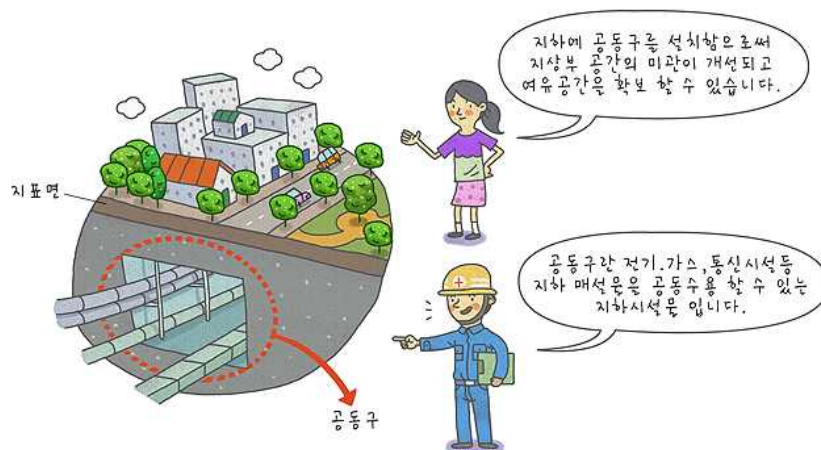
- 본 기획연구는 국토 라이프라인 연구개발사업 기획연구의 일환으로 도로, 철도, 항만 등 SOC 연계기술(또는 시설)과 관계된 통신구, 전력구 등 공동구의 최적 설계·시공을 위한 핵심 기술 개발에 관한 것임.
- 도심지 소단면($\phi 3.5\text{m}$ 급) 터널식 공동구 건설기술 고도화를 위한 글로벌 표준화 설계기법 및 안전관리 지침 제시, 급곡구간/특수지반/급속 시공기술 및 장비 개발, 수직구 급속/모듈화 시공기술 및 장비 개발을 목표로 함.
- 최종 기대효과는 도심지 시공중 민원 30% 저감, 건설안전 재해 20% 저감, 공동구 건설비용 10% 절감 및 공기단축임.
- 개발된 기술 및 장비에 대해 실대형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용, 설계 반영 및 현장적용으로 공동구 관련 공공기업(한국전력, LH 공사, 시설안전공단 등) 발주 공동구 프로젝트에 설계반영(10km 이상)을 통한 기술 사업화/상용화를 추진.

2. 공동구 개요

2.1 공동구의 정의

- 공동구(共同溝)의 정의 : 라이프라인의 하나로 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따른 도시계획시설로 구분되며, 전가가스수도, 통신시설 등의 지하매설물을 공동 수용함으로써 도시미관, 도로구조 보전, 교통의 원활한 소통, 효율적인 안전·유지관리 등을 위하여 지하에 설치하는 시설물을 말함(<그림 1.1>).

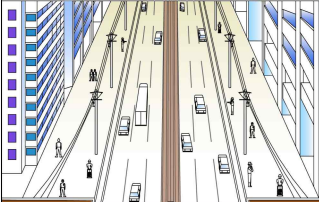
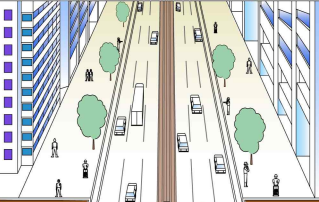
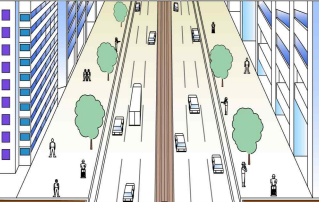
- 공동구는 다음과 같은 장점이 있음(국토해양부, 2008; 국토해양부, 2010).
 - 장기적으로 개별매설에 비해 경제성이 뛰어나
 - 잦은 도로굴착을 방지하여 예산절감 및 도로교통 장애요인 제거
 - 방재성능의 향상으로 쾌적한 도시환경 조성, 도시 경쟁력 확보
 - 가로변의 복잡한 전봇대, 전선 철거로 도시미관 향상, 노면이용 가치 증대
 - 지하공간의 효율적 활용
 - 장기 수요 증가에 따른 탄력적 대응
 - 재해예방(태풍에 의해 전주가 쓰러져 인명/차량 사고 발생, 우천시 감전/정전 사고, 지진피해 등) 및 유지관리 용이
 - 노면의 내구력 증대 및 노면유지비 절감



<그림 1.1> 공동구의 개념(서울시, 2014)

- 라이프라인(Life-line Infrastructure) : 국민생활과 산업 및 경제활동에 필수적인 기능유지를 위하여 건설되는 도로, 철도, 항만 등의 교통시설과 정보·통신시설, 상하수도, 전력 및 가스, 열 및 연료, 폐기물 등의 공급·처리시설과 이의 네트워크 연결망, 방재안전시설 등으로 정의됨.
- 공동구 수용시설 범위 : 전선로, 통신선로, 수도관, 열수송관, 중수도관, 쓰레기수송관, 가스관, 하수도관임(국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제44조).
- 공동구의 특징(<표 1.1> 참조)
 - 장기적으로 개별 매설에 비해 경제성이 뛰어남(국토해양부, 2008)
(생애주기비용(LCC) 공동구(1.00) > 관로(1.19) > 단독구(2.35))
 - 잦은 도로 굴착을 방지하여 예산낭비 및 민원을 방지
 - 방재성능 향상 등
- 신도시 공동구 설치 의무화
 - 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 (제35조의2 신설, 2010) : 200만 m² 이상 신도시 개발 시
 - 서울시 공동구 중장기 기본계획(2013) : 50만 m² 이상 개발 시
- 도심지 공동구 설치 고려
 - 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 (제44조 신설, 2011)에 따른 타당성 검토 : 도로 관리청은 지하매설물의 빈번한 설치 및 유지관리 등의 행위로 인하여 도로 구조의 보전과 안전하고 원활한 도로교통의 확보에 지장을 초래하는 경우
 - 「서울특별시 공동구 설치 및 점용료 등 징수조례」 (제32조, 2014) 공동구 설치 우선고려 : 도로구조의 보전과 원활한 교통 확보에 지장이 예상되는 지역, 지하 매설물의 빈번한 설치 지역 등

<표 1.1> 공동구, 관로, 단독구 등 비교(국토해양부, 2008)

구 분		관로 (직접매설)	단 독 구	공 동 구
형 식 (단면도)				
장 점		<ul style="list-style-type: none"> ○ 초기투자비 절감 ○ 인접건물 등에 대한 관로 인입분기 원활 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도로반복굴착 방지 <ul style="list-style-type: none"> - 교통소통의 원활화 - 노면 내구력 증가 ○ 재해 방지 기능 ○ 유지관리 용이 ○ 장래 수요량 예측에 의한 확보용이 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도로반복굴착 방지 <ul style="list-style-type: none"> - 교통소통의 원활화 - 노면 내구력 증가 ○ 재해 방지 기능 ○ 유지관리 용이 ○ 지하매설물 통제 및 점용면적 절약 ○ 장래 수요량 예측에 의한 확보용이
단 점		<ul style="list-style-type: none"> ○ 유지관리 난점 ○ 시설확장 및 신설이 용이하지 않음 ○ 계획변경, 수요예측 오류시 도로의 반복굴착 우려 <ul style="list-style-type: none"> - 교통체증, 도로기능 훼손 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 건설투자비 과다로 경제성 저하와 함께 건설투자비의 중복낭비 우려 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시설사업자의 건설·유지관리비 납부부담 ○ 설치와 관련 재원조달 및 적절한 보조금 확보 곤란 ○ 수용물 사고발생시 타수용물에 영향 우려
현 황 분 석	경 제 성	○ 초기시설비 절감 <34억원/km>	○ 초기시설비 과다 <166억원/km>	○ 초기시설비 <81억원/km> ○ 장기적 경제성 우수
	기 능 성	○ 좁은 도로 굴착으로 인한 구조/기능훼손	○ 지하공간의 단독활용	○ 지하공간의 효율적 활용, 환경피해 최소화
	계 획 성	○ 매설물 기관별 관리로 관리부서 책임 명확화	○ 장래 주변 개발계획 고려	○ 장기적·단계적 정비계획에 대응 수월
	유 지 관 리 성	○ 안전사고 발생시 원인파악 및 수습지연	○ 일상적인 점검, 보수 수월	○ 시설물 유지관리 용이
	안 정 성	○ 적절한 시공·관리로 안정성 확보	○ 해당 지하매설물 서비스의 안정적 공급	○ 굴착에 따른 타시설물 훼손으로 인한 사고방지
	경 관 성	○ 맨홀, 전주등이 난립되어 도시미관 저해	○ 도시 미관 개선	○ 도시 미관 개선 ○ 쾌적한 통행공간

※ 생애주기비용(LCC) 평가 결과, 공동구가 경제성 가치가 우월

경제성 순위	공동구(상대 LCC : 1.00) > 관로(1.19) > 단독구(2.35)
--------	---

2.2 공동구 현황

(1) 공동구 적용현황

가. 국내 적용현황

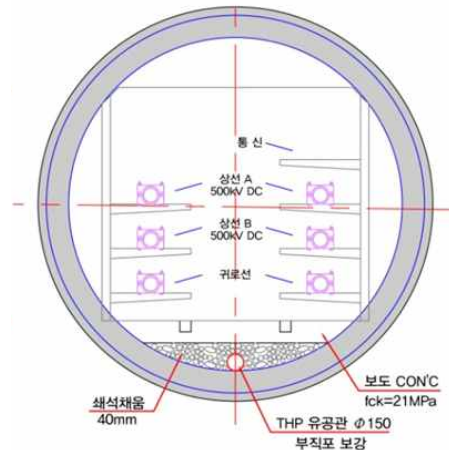
1) 적용 현황

○ 개요

- 1978년 여의도 공동구가 시초, 이후 신도시 개발과 병행하여 설치됨
- 신도시 : 도로하부, 개착박스 구조물(개착터널) 위주로 적용
- 도심지 : 지하부, 전력구/통신구와 같은 소단면 터널식 단독구 형태 적용



<그림 1.2> 개착박스 공동구 적용 예(세종시)



<그림 1.3> 터널식 단독구 적용 예(북당진-평택 전력구(Φ3.55), 2015)

○ 적용연장

- 서울특별시, 시설관리공단, 한국전력공사 및 한국통신공사에서 관리하는 공동구연장은 다음과 같음(2010년 기준)
 - 공공용 공동구 및 단독구의 경우 공동구 총연장 32.8km(6개소), 단독구 총연장 217.7km(113개소)에 이르고 있음
 - 일반용의 경우(아파트, 학교, 병원 및 공공시설 설치) 공동구 총연장 231.4km(670개소), 단독구(전력구, 통신구, 난방구, 수도 등)의 경우 총연장 9.3km(50개소)

- 공공용과 일반용을 합해 공동구 및 단독구는 839개소에 총연장 491.2km에 달함.
(공동구 총 264.2km, 53.8%; 단독구 총 227.0km, 46.2%)

<표 1.2> 2010년 공동구 설치 및 시설 현황(이정일, 2011)

구분	총계	공공용				일반용					
		소계	공동구	단독구		소계	공동구	단독구			
				전력구	통신구			전력구	통신구	난방구	수도
개소수	839	119	6	68	45	720	670	9	2	20	19
연장(km)	491.2	250.5	32.8	80.4	137.3	240.7	231.4	1.4	0.1	4.6	3.2

※ 참고 : 2005 현재 서울시의 공동구 특징(서울시, 2005).

- 공동구 수용시설의 변화(다변화)
- 단독구 형태의 단면구조 보유
- 시설의 노후화
- 공동구와 공동구의 연계성 부족
- 소방·보안시설의 강화
- 수용시설 연장대비 공동구 수용비율 낮음

- 2) 수용율 : 수용시설 연장대비 공동구 수용비율이 매우 낮음(서울시, 2005).
(지중화율 : 서울 52.4%, 런던/파리 100%, 뉴욕 72.2%, 동경 86.3%(지식경제부, 2010))

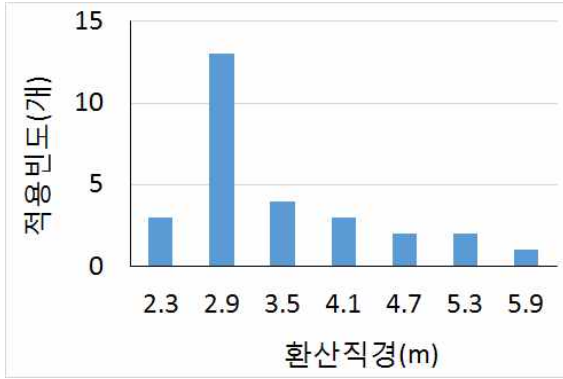
3) 수용시설 및 규모

○ 공동구 수용규정

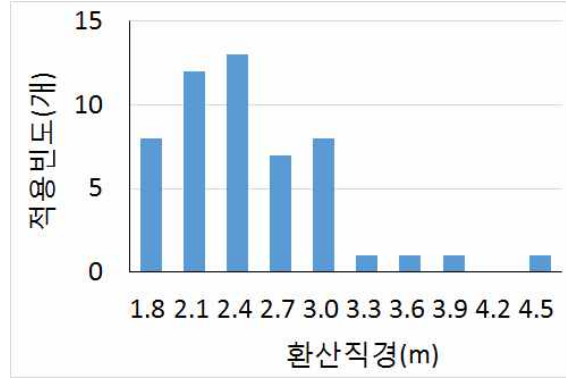
- 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제44조 : 전선로, 통신선로, 수도관, 열수송관, 중수도관, 쓰레기수송관, 가스관, 하수도관 수용, 수용시설의 조합 규정 없음. 단 가스관, 하수도관은 공동구협의 후 수용
- 공동구 설계기준(2010) : 4종 이상 수용 → 2종 수용 개정 중
- LH공사 : 2종 이상의 공공시설물을 수용, 도시미관을 고려(가공전선로 등)

○ 박스형 개착 공동구 수용시설 및 규모(국토해양부, 2011)

- 2000년 이전 상수, 전기, 통신시설을 2~3종씩 별실 수용
→ 2000년 이후 다양화(난방, 쓰레기 등 공동 수용)
- 전체 단면 고려시 공동구 환산직경(내경)은 평균 $\Phi 4.1\text{m}$ (2.3~5.9m), 수용시설은 2~6종, 3종이 대다수(52%)
- 별실 당 평균 $\Phi 3.2\text{m}$ (1.8~4.5m), 수용시설은 2~4종, 3종이 대다수(63%)

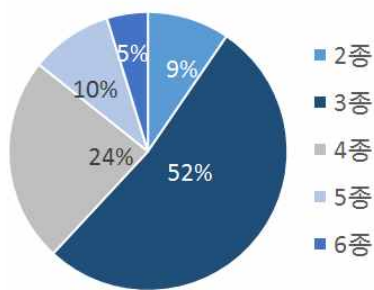


a) 전체

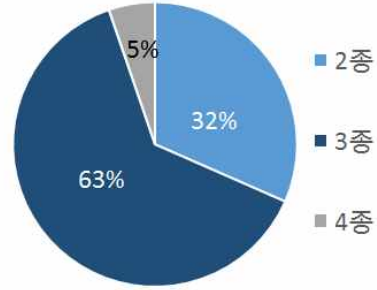


b) 별실

<그림 1.4> 공동구 적용 규모(환산직경)



a) 전체

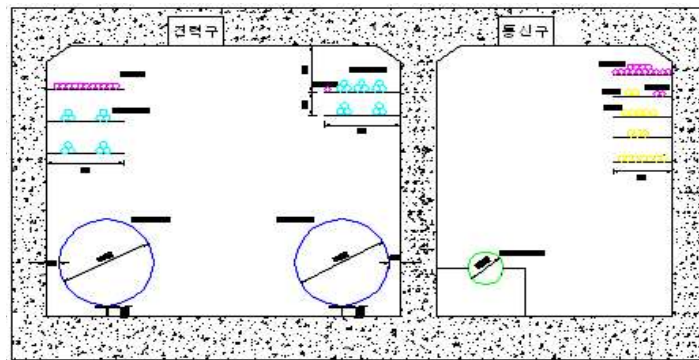


b) 별실

<그림 1.5> 공동구 수용시설 종류

※ 여의도공동구 예

- 전체기준 : 11.5㎡(Φ3.8m), 4종수용(상수, 전력, 통신, 난방)
- 별실기준 : 2실 6.9㎡(Φ3.0)/4.6㎡(Φ2.4), 3종(전력, 통신, 난방)/2종(상수, 통신)수용

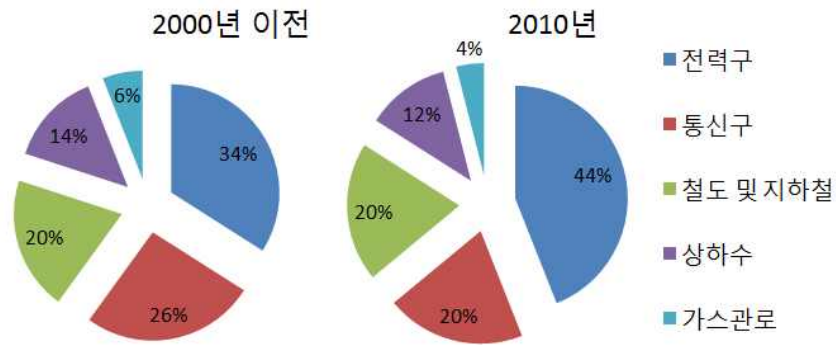


<그림 1.6> 여의도 공동구(5.3 × 2~2.3m) 적용 단면

○ 터널식 단독구 수용시설 및 규모

- 터널식 단독구 수용시설

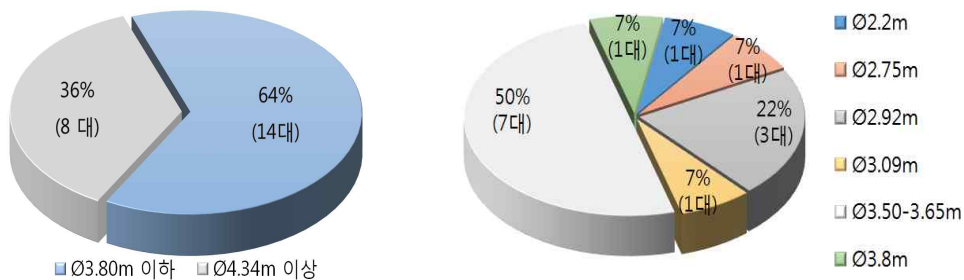
- 터널식 단독구 수용시설은 전력, 통신, 하수관, 가스관 등임
- 전력과 통신을 공동수용(2종)하는 경우 다수
- 단독구 터널은 국내 쉴드터널의 80% 점유(한국건설교통기술평가원, 2010), 전력구가 단독구의 55% 비중 점유(전력 42%, 통신 22%, 하수관 14%, 가스관 6%)



<그림 1.7> 국내 shield-TBM 적용 현황

- 터널식 단독구 시공장비 현황 분석(2015년 1월 기준)

- 국내 shield-TBM 시공장비의 64%가 소단면 단독구 터널 시공장비
- 소단면 국내 shield-TBM 장비의 대다수(50%)가 $\Phi 3.5\text{m}$ 급
 → 국내 대부분의 단독구는 $\Phi 3.5\text{m}$ 이하



a) 단독구와 교통터널 시공장비 분포 b) 단독구 시공장비 외경별 분포

<그림 1.8> 국내 단독구 터널 shield-TBM 장비 현황

※ 세미쉴드 적용 불리($\Phi 2.6\text{m}$ 급 이하) : 압출시공의 문제점

- $\Phi 2.9\text{m}$ 이상 적용 불가 → 단면이 작아 시공환경이 매우 열악, 사용성 불리
- 곡선시공 불가 → 지장물 우회 불가, 선형 변경 시 수직갱 다발(부지점유/민원/교통체증 증가, 공사비상승 요인)

○ 설치 심도 및 지반특성

－ 설치 심도 규정

- 공동구 설계기준(2010) : 2.5m 이상 확보, 특수부 1m 이하
- 서울시(2008) : 5m 이내(지하공간 시설물 설치 가이드라인)
- 터널식 공동구/단독구 규정 없음

－ 설치 심도 현황

- 개착식 공동구/단독구 : 5m 이내(평균 3.1/1.5m)
- 터널식 단독구 : 5m 이상(평균 23.4m, 최근 50m 까지도 시공)

<표 1.3> 서울시 생활기반시설 개발 심도 현황

구 분	심 도	평균심도	최저심도
광역상수도	1.4~12.0	3.4	12.4
상수도	0.2~6.9	1.1	7.0
하수도	0.1~16.7	1.2	16.7
송유관시설	1.3~5.4	2.4	5.9
통신시설	0.2~5.4	0.7	5.5
전력시설 (전력구)	0.1~5.0, 1.0~2.0 4.8~50.7	1.5 (개착식) 23.4 (터널형)	5.2 54.1
가스시설	0.0~2.0	1.2	3.0
열공급시설	0.5~6.0	1.7	6.0
공동구	0.6~9.1	3.1	13.9

- － 지반특성 : 주로 지하수위가 높은 도심지 충적층(토사, 연약지반) 지반 및 암반지반

나. 국외 적용현황

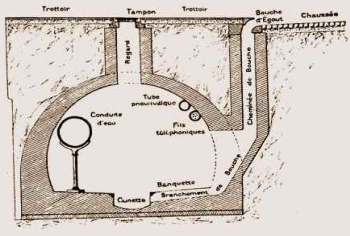
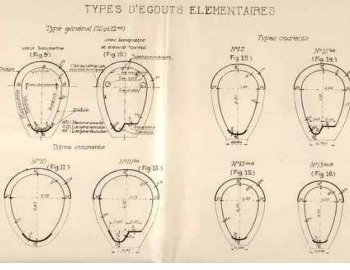
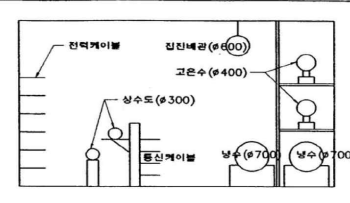
- 1) 설치 현황 : 19세기 프랑스, 영국 등이 시초(지중화율 : 런던/파리 100%, 뉴욕 72.2%, 동경 86.3% (지식경제부, 2010))

- 유럽의 공동구 현황 : 파리의 테크니컬 갤러리(Technical gallery)는 1832년 하수도망 정비차원에서 계획 설치한 시설로 도로 하부에 수도관, 통신 케이블, 압축 공기관 등을 수용함(<표 1.4>). 영국의 경우 1861년에 런던 킹스웨이(Kingsway)의 파이프

서브웨이(Pipe subway)로 가스관, 수도관, 하수도관, 전기, 통신 케이블 등을 수용함. 독일은 1890년에 함부르크에서 가로 축조와 병행하여 보도측 지하에 설치. 헝가리, 스페인, 스위스의 취리히 공동구, 핀란드의 헬싱키 공동구 등에서도 공동구의 필요성에 의하여 도로 신설, 지하철 건설시에 병행 건설함(국토해양부, 2011). 프랑스, 스페인, 포르투갈의 공동구의 체계적인 정비는 미비하나, 신도시의 개발여건을 감안하여 선별적으로 공동구 설치함. 비용분담 중 초기 건설비는 국고 또는 신도시 개발시 건설비에 포함하며 각 수용기관에서는 유지관리비만 수용면적에 따라 분담하므로 공동구 건설에 호의적임. 공동구의 모든 시설을 가능한 한 수용하고 있으며, 도시가스의 경우에도 방폭 시설 설치로 선별 수용함(<표 1.6>). 포르투갈은 가스시설을 터널 외부공간에 설치하여 초기 투자비를 경감하였음(인천시, 2010).

- 일본의 공동구 현황 : 1920년 관동대지진 이후 도시복구사업의 일환으로 공동구 3개소를 시험적으로 설치. 1963년 「공동구 정비 등에 관한 특별조치법」이 제정된 이후 공동구가 도로 부속물로서 법적 인정, 건설비 및 유지관리비용에 대한 법적근거로 규정하여 비용분담 쟁점이 해결됨(국토해양부, 2011). 동경도의 경우 약 70%인 106km가 설치되었으며, 동경도 관할의 간선도로 약 1,100km 중 10% 가량인 119km가 설치됨(<표 1.5>, <표 1.6>).
- 대만의 공동구 현황 : 1989년에 「공동관도법(共同管道法, Common Duct Act)」을 제정 내각(행정부), 광역자치단체, 기초자치단체 3단계로 나누어 시행하고 있으며, 건설비용은“공동관도건설기금(共同管道建設基金)”에서 지원(<표 1.5>).
- 싱가포르의 공동구 현황 : 인구밀도가 높아 지하공간을 체계적으로 개발하고 있으며, 각종 도면 등 자료의 관리가 철저함. 지진 발생시 지하 구조물의 안정성 확보를 위한 내진설계를 도입하고 공동구는 쉘드공법을 적용하여 40 ~ 60m 정도에 원형 단면으로 건설되고 있음(<표 1.7>)(대전시, 2014).

<표 1.4> 프랑스 공동구 현황(인천시, 2010)

공동구명(소재지)	공동구 단면도	수용물 내용	시공방식
시바스트홀 공동구 (프랑스 파리)		·상수도 ·전신, 전화 ·압축공기 케이블	개착식, 1800년 설치
1800년대 공동구 (Technical Gallery) (프랑스 파리)		·하수도 ·상수도(φ350, φ200, φ100)	개착식, 1833년 설치
라데팡스 공동구 (프랑스 라데팡스)		·상수도 (φ300) ·전력, 통신케이블 ·냉수 (φ700) ·고온수 (φ400) ·집진배관(φ600)	개착식 최근 설치

<표 1.5> 국외 공동구 현황(국토해양부, 2011)

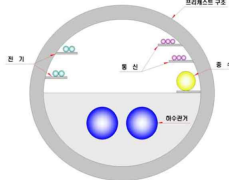
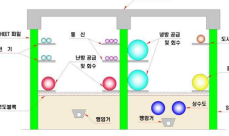
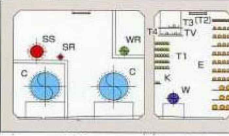
국가명	내용	특징
프랑스	·하수도망 계획 (1832) ·재개발 사업 (라데팡스 지구)	·하수도망 내부에 수도, 통신 등 수용 ·공동구 하부에 하수도관 설치
독일	·도로 건설시 설치 (1890) ·브페르타트 공동구 (1959)	·보도 지하에 설치 및 가스관 수용 ·가스관 수용 및 대환경 상수도관
영국	·도로 건설시 설치 (1861) ·도로 신설공사 지하철 병행 설치	·반원형 단면 및 가스관 수용 ·교통정체 및 도로굴착 방지
일본	·도시복구사업 (1920년대) ·공동구 특별법 제정 (1963)	·3개소 시험 건설 ·교통정체 및 도로굴착 방지
대만	·공동구법 제정 (1989)	·교통안전 및 도시미관 향상 ·국가, 지자체에서 기본계획 수립

2) 수용시설 및 규모




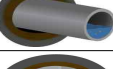
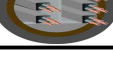
○ 수용시설 : 상/중수, 냉/난방, 전력/통신, 도시가스, 압축공기, 쓰레기, CATV

○ 규모 : 개착 공동구(A = 5 ~ 19m²), 터널식 공동구(2종 이상, Φ2.5 ~ 8.6m),
쉴드(Φ7 ~ 8m) 굴착에 의한 도심지 터널식 공동구도 많이 적용

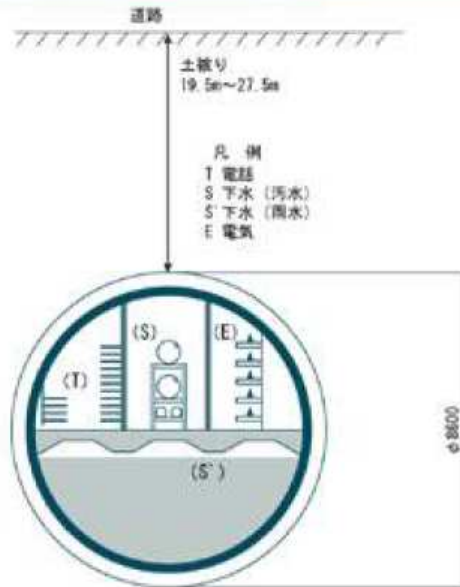
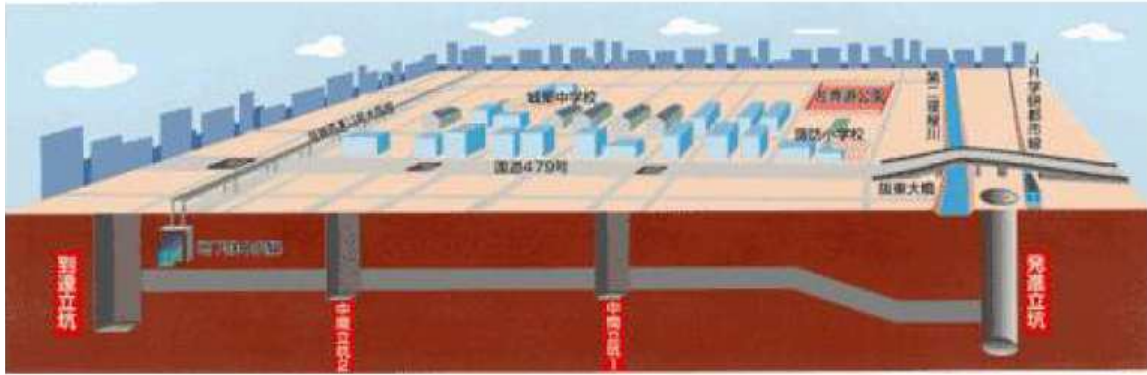
<표 1.6> 국외 공동구 설치사례(국토해양부, 2011)

국가명	지역명	시설규모(m)	수용시설	비고
독일	브페르타트	3.40×1.90	수도, 가스	 <p>[취리히 공동구]</p>  <p>[암스테르담공동구]</p>  <p>[사이타마신도심공동구]</p>
영국	런던	반원형 (Φ2.65m)	통신, 가스, 수도	
러시아	모스크바	2.30×2.10	통신, 전력, 난방, 수도	
스위스	취리히	셸드터널	하수, 중수, 전기, 통신	
네덜란드	암스테르담	2련암거	상수, 중수, 냉방, 난방, 전력, 통신, 도시가스	
미국	NASA	2.40×2.20	전력, 통신, 냉난방, 공기	
	알래스카 미군기지	1.50×1.70	상·하수도, 난방	
네덜란드	암스테르담	12.0×4.0	상수, 중수, 냉방, 난방, 도시가스, 전력, 통신	
일본	사이타마	19.2×5.2	상수, 중수, 난방, 하수, 전력, 통신	
	히비야	Φ7.3m	전력, 통신, 상·하수도	
	오사카	Φ8.6m	통신, 오수/우수, 전기	

<표 1.7> 싱가포르 깊이별 지하 시설물 현황(대전시 2014).

깊이(m)	시설물	설명	비고
1 ~ 3		·가스배관 및 상수도 ·우수처리	
8 ~ 26		·고속도로 구축	
30		·지하철	
40		·하수도관	
60		·특고압 전력선(공동구)	셸드공법

3) 설치 심도 예(싱가포르 등) : 개착식 1 ~ 3m, 터널식 20 ~ 60m



<그림 1.9> 일본 오사카 스와 공동구 사례

(수용시설 : 통신, 하수(오수/우수), 전기, 규모 : $\Phi 8.6\text{m}$, 심도 : 19.5 ~ 27.5m)

(2) 시사점

[국내 적용사례]

- 개착박스(별실 당) $\phi 3.2\text{m}$ /3종 수용, 터널식 단독구 $\phi 3.5\text{m}$ 이하/1~2종 수용
→ 3종수용(전력, 통신, 상수/난방), $\phi 3.5\text{m}$ 급 터널식 공동구 가능
- 설치 심도 20m, 충적층 토사지반/암반지반 대상

[해외 적용사례]

- 설비 및 유지관리비용에 대한 법적근거 제정필요(대만, 일본 등)
- 향후 실드굴착에 의한 대단면 터널식 공동구 도입 필요(수용시설 최대화)

2.3 공동구 건설시 해결과제

(1) 공동구 계획시 해결과제

가. 법제도 : 공동구 관리 책임(건설비용, 유지관리 비용 등) 문제

○ 2010년 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 시행령 개정으로 대규모 개발사업 지역에 공동구 설치가 의무화 되고, 2013년 발의된 「전선공동구 설치 등에 관한 특별법안」 이 통과되면 전력선과 통신선을 모두 공동구화 해야 함. 또한 공동구 설계기준 개정(중)에 의하면 최소 수용시설을 4종 → 2종으로 축소 예정이어서 소단면 공동구 수요가 대폭 증가될 수 있음.

○ 그러나 이 법제도는 일부만을 규정하고 있어 한계가 있음. 대표적으로 새만금 방조제 공동구 설치사업(전북일보, 2007)은 공동구 관계자들의 의견이 달라 공동구가 무산되는 전형적인 예를 보여줌(농촌공사: 방조제 공동구 선례 없어 수요기관에서 설치해야, 수자원공사: 설치계획 없음 군산시가 추진 타당, 군산 도시가스: 공동구 가스관 포함시 공사비 급증으로 공동구 밖에 매설, 한전과 통신공사: 공동구에 수도와 가스관이 미포함시 공사비 분담액증가로 공동구 미참여). 결국 방조제도로 완공 후 관련 기관별로 개별지중매설이 추진될 경우 다시 방조제 도로를 파헤쳐야 하는 불합리한 모순 발생. 따라서 공동구 건설비용 및 유지관리 비용분담의 문제를 해결하여야 함.

○ 공동구 재난 위기관리 매뉴얼, 공동구 설치 및 관리지침(국토교통부), 공동구 설계기준 및 표준시방서(국토교통부 고시)의 관리기준 존재하나 공동구의 설계 및 시공 시 고려사항을 포함한 구체적 대책 및 안전관리기법 부재.

나. 설계기술의 해결과제

○ 콘크리트와 강구조물에 대한 한계상태 설계개념은 꾸준한 연구와 발전으로 최근 도로교설계기준(2012) 및 콘크리트구조기준(2012) 에 한계상태 설계를 위한 고려사항을 포함하였음. 그러나 2010 제정 「공동구설계기준」에는 기존의 허용 응력설계법이나 강도설계법을 제시하여 기술적 진보가 이루어지지 않았고, 기존 설계법은 불확실성을 단일계수 및 하중계수를 이용하여 과다설계가 되는 사례가 많아 공사비 절감에 불리한 것으로 알려져 있음. 또한 현행 공동구 설계기준은 다양한 공동구 수용시설의 요구, 다양한 지반조건과 지상조건, 성능중심으로 발전되어가는 설계기준에 부합하지 않음. 국외의 경우 글로벌 표준화 설계법(LRFD)을 적용중으로 설계사의 해외진출 시 애로 발생.

- 1980년 초에 설계되어진 목동, 가락, 개포 등의 지하 공동구는 시설물 규모와는 관계없이 별실 수용하여 비경제적인 시설투자를 한 바 있음. 서울시 (2005)에 의하면 상계공동구의 경우 건설당시 수용인구 및 개발면적대비 공동구 비율이 미약했고, 공동구내 수용시설의 장기수요 예측미비 및 공동구내 수용 기피로 공동구 주변 직접매설 시설물이 급증하였음. 그러나 전문가 부족으로 이에 대한 연구 및 발전이 없었음. 신도시의 도시계획(MP) 및 기본설계시 공동구의 형식, 규모, 배수시설(집수용량 등)과 수용시설간의 영향 등을 고려한 최적 용량을 산정하여 고려하지 못하였고, 향후 30년이 지난 노후구조물 급증이 예상됨에도 신설 구조물과 기존 구조물과의 연계, 노후시설물의 성능개선과 추가 시설 설치 방법에 대한 체계화가 이루어지 않은 문제가 있음.

- 2000년 법제처 법령해석 질의내용을 살펴보면 공동구와 같은 소단면(직경 3m 급) 터널 품셈기준이 일반 대단면 터널기준을 적용하여 문제가 된 사례를 보여줌. 표준품셈 『15-4 NATM 공법』 작업구(수직구)를 이용한 지하터널 굴진시 슛크리트 타설 장비투입설치 등을 위한 준비시간이 10분으로 정하였으나 소단면인 통신구, 전력구 등의 경우 작업공간이 협소하여 작업시마다 장비를 새로 투입하여야 하므로 많은 시간이 소요됨에도 품셈에 반영하지 않아 불합리한 점을 지적하고 있음. 특히 설계기준 개정, 신규 공종 추가, 단면 형태변경 등의 경우 새로운 공정/공사비 기준은 기존 기준과 상이해 질 수 있음에도 이에 대한 고려가 없음.

(2) 공동구 시공시 해결과제

가. 도심지 공동구(개착식/터널식) 시공시 해결과제

1) 민원유발

- 도심지 공동구 개착시공은 대체로 도로를 따라 시공하며 부지 점유 구간이 넓어 불가피하게 도로점용으로 상가피해, 시공 장비에 의한 소음 및 진동 등을 유발하며 인근 지역주민의 집단민원을 빈번하게 발생시키는 문제가 있음.



<그림 1.10> 개착공사로 인한 부지점유

- 발파 굴착으로 인한 민원 : 광주 OO 수직구 공사(에너지 데일리, 2001) 의 경우 지속적인 발파에 의해 기존의 균열 부분이 진전하는 원인으로 집단민원이 제기 되었으며, 서울 OO 공사(강북신문, 2011)의 지하수직구 굴착공사 현장은 도로지반 붕괴 및 건축물 붕괴 위험 등을 우려로 민원이 발생함(<그림 1.11>).



<그림 1.11> 서울 OO 공사 민원사례

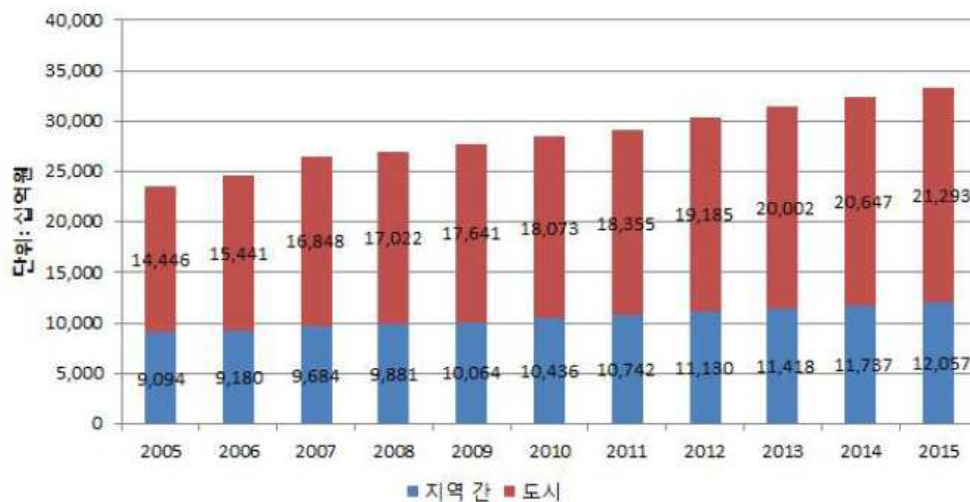
- 신중호 등(2009)에 의하면 서울지하철 2기 시공중 발생민원 6,219 건 분석 결과, 노선/시설물 추가설치 변경 33%, 지하수 저감/지반침하/발파로 인한 구조물/환경 피해가 34%, 사유재산권 손실 및 영업손실 보상이 8%, 기타 25% 로 나타남. 이 중 구조물/환경 피해는 기술적으로 충분히 방지가 가능함에도 발생하는 문제가 있음.

2) 교통혼잡 유발

- 공동구 건설로 인한 일시적인 도로 및 부지의 점유와 이에 의한 도심 교통의 혼잡은 불가피함.
- 한국교통연구원(2014)의 발표에 따르면, 2015년 전국 교통혼잡 비용은 33조 4천억 원으로 2010년 대비 17.0% 증가할 것으로 예측되며, 특히 서울이 총 9조 4,353억 원(2010년 대비 18.6% 증가), 6대 광역시가 총 11조 8,575억 원(2010년 대비 17.2% 증가)로 대책이 시급한 것으로 평가되었음(<그림 1.13>).
- 현재도 심각하게 생각되는 서울 및 6대 광역시의 교통혼잡과 이에 의한 비용의 증가는 2015년 기준 교통혼잡도 1% 증가시 서울과 6대 광역시에서 각각 950억/년, 1,200억/년 에 달하는 심각한 문제가 발생할 수 있음.



<그림 1.12> 지하굴착에 의한 도로점유



<그림 1.13> 2005~2015 교통혼잡 비용 추이 및 예측

3) 안전재해 발생

- 개착공사는 굴착에 의한 토류벽 변형, 지하수위의 저감 등에 따른 지반변형을 유발하며 건축물, 도로 등 지장물이 인접한 도심지 현장 특성으로 인해 많은 안전재해를 발생시키고 있음.



<그림 1.14> 00현장 개착공사로 인한 지반변형 예

- 지하수 유출 등으로 인한 지반 침하 : 인천국제공항철도 00공구 지표침하, 인천 도시철도 2호선 공사 진행중 지반침하(20m 함몰, 1명 사망), 경기도 고양 터파기 현장 지반침하(2009) 등은 터널 공사중 지하수위 저하에 의한 대표적인 단기 지반 침하 사례임. 장기 지반침하는 서울지하철 건설후 지하수위가 평균 15m 하강, 영천 도수터널의 경우 지하수위가 100m 하강, 호남선 목포터널의 영향으로 목포시 지하수 5m 하강 등 임(현윤정 등, 2013). 단기 지하수위 하강은 주변 구조물에 단기 피해를 나타내나, 장기 지하수위 하강은 도시하천의 건천화, 지하수순환체계 교란, 지반침하, 지하수 오염 등 복합적 피해를 유발함.



<그림 1.15> 인천 도시철도 지반침하

4) 공동구 건설비용의 증가

- 국회, 국토교통부, 서울시 등이 공동구의 필요성 인식하고 공동구 건설을 추진하고 있음. 공동구는 생애주기비용 평가시 단독구에 비하여 낮으나 최초 건설비가 고가인 문제가 있음(서울시, 2005; 국토해양부, 2008)
- 공동구 건설이 본격적으로 추진 될 경우 폭증하는 공동구 건설 수요로 관련 예산의 신규확보 또는 대폭적인 증액이 필요하여 국가 재정운용에 부담을 줄 수 있을 것으로 예상됨. 공동구 사업 수행을 위해 재원확보가 중요하지만 건설비용 절감을 위한 시도 또한 병행되어야 발주량 증대, 재정절감으로 성공적인 사업이 가능함

나. 도심지 터널식 공동구 시공시 해결과제

1) 도심지 지장물 난립에 의한 공동구 선형 제한

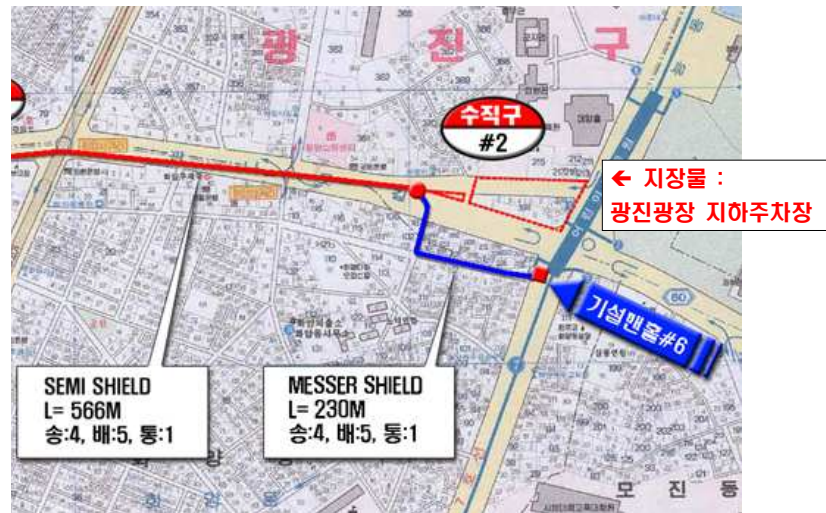
- 서울과 같은 대도심에서 건축물 지하구간, 사유지 구간, 지하철, 지하보·차도, 상·하수도, 가스·송유관, 통신시설 등 지장물과 지하공간을 공유함 (<표 1.8>). 따라서 신규 공동구를 설치하는 경우 공동구 종단선형과 평면선형은 지장물을 회피하도록 해야 함(<그림 1.16>).

<표 1.8> 서울시 교통상업 관련 지하시설현황 및 개발심도

구 분	시 설 현 황	심 도	평균심도	최대심도
지하보도	88개(총 4.9km)	0.7~7.9	4.3	10.7
지하차도	129개(총 37.3km)	1.5~5.0	3	12.2
지하상가	·서울시설관리공단: 2,738개 ·서울메트로: 654개 점포 ·서울도시철도공사: 538개	0.7~11.7	3.5	15.1
지하주차장	82개 (공공용지: 54, 민자 유치 : 10개, 지하철 환승: 19개)	0~5.4	3	34
지하철	·1기: 1,2,3,4 호선(총 389.7km) ·2기: 5,6,7,8 호선(총 162.2km) ·3기: 9호선(총 27km)	0~65.13	1기: 13.7 2기: 22.6 3기: 21.9	77.1

- 154kV 시흥-독산 전력구의 경우 지장물(사유지와 시흥대로)를 회피하기 위해 급곡선(R60) 구간이 발생되었으며(전력신문, 2004), 기존 장비는 급곡선 시공이 불가능해 TBM 장비를 신규 제작하여 사용함. 부산 동래 전력구에도 급곡선(R60) 구간이 발생하였음(전력신문, 2009). 성수분기 전력구(2008)의 경우 광진광장 지하주차장 계획과 간섭되어 선형을 변경하였으며, 세미셴드 TBM 사용이 불가한 90°곡선구간이 발생함. 따라서 시공성이 떨어지고 비경제적이 될 수

있음에도 불구하고 이 구간에 타 공법(메서쉴드)을 적용하는 문제가 발생함(<그림 1.16>).



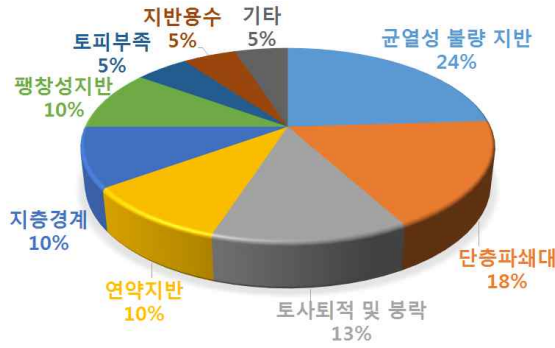
<그림 1.16> 성수분기전력구 평면선형 변경 사례

2) 도심지 공동구 shield-TBM 공사비/공기 예측의 문제점

○ 도시는 층적층 지반위에 건설되므로 도심지 공동구용 shield-TBM은 암반층 뿐 아니라 토사, 모래, 자갈층 등 다양한 지반을 굴착하여야 함. TBM의 굴진율은 공사비, 공기와 직결되기 때문에 매우 중요함. 국내에서 가장 많은 shield-TBM 시공을 수행하는 한전의 경우 자체적인 지반별 굴진율 기준을 가지고 공사비 산정을 하고 있으나 잘 맞지 않는 것으로 알려져 있음. 현재까지 개발된 굴진율 예측모델은 면판설계용으로 대구경 교통터널 TBM이 주 대상으로 대부분 암반지반에 적합하며, 도심지 층적층 지반에 대한 지반특성이나 작업환경 및 작업자의 숙련도 등의 비정량적 인자들의 영향을 고려할 수 없는 한계가 있음.

3) 특수지반/특수조건(고수압, 복합지층, 호박돌 등) 시공의 문제

○ 일반 shield-TBM과 달리 소단면(Φ3.5m 급) shield-TBM은 단면 규모 때문에 장비(지반보강, 감압장치, 크러셔, 개구부 크기 등) 장착의 한계가 있음. 특수지반/특수조건에서 시공 불리하나 시공기술이 미흡하여 민원 및 재해(지반침하, 지하수 유출 등), downtime을 유발함. shield-TBM 시공시 전체 downtime중 문제 지반에 의한 downtime이 전체의 86%를 점유함.

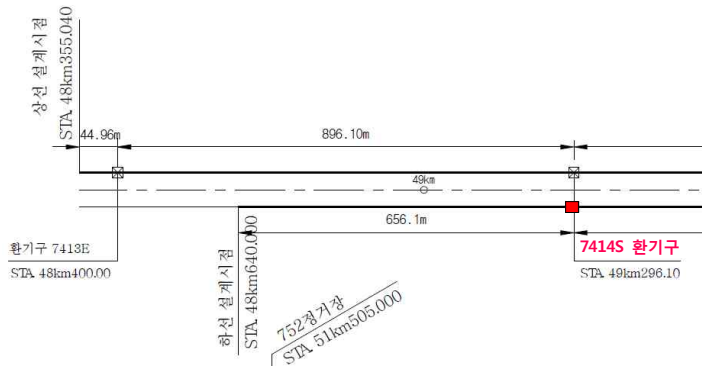


<그림 1.17> 리스크 발생시 지반조건(장수호 등, 2006)

4) 공동구 수직구 시공시 해결과제

○ 공동구 수직구 공사 현황

- 원형 단면(Φ6~8m) 수직구가 다수이며, 구조물은 상향식으로 현장타설 라이닝을 시공함. 원형 단면의 경우 상향식 슬립폼 적용 가능. 교통터널(지하철 정거장/환기구)의 경우 대단면 또는 소규모(2 x 4m) 직사각형 단면이므로 우각부 시공문제로 라이닝 시공시 슬립폼 적용이 불리함.



<그림 1.18> 적용 예: 서울지하철 7호선 7414S 환기구(2 x 4m)



<그림 1.19> 적용 예: 전력구 수직구

- 수직구 시공공법은 공중(가시설, 차수, 보강, 라이닝 설치 등)이 많고, 공정이 복잡하여 공기가 많이 소요되므로 부지점유 기간 증가로 민원과 교통체증을 유발함.

(3) 공동구 안전·유지관리의 해결과제

- 생애주기간 계획적인 방재안전관리 부재 : 지하에 축조되는 공동구는 설계, 시공에서부터 유지관리까지 많은 위험요소를 가지고 있어 시설물의 생애주기간 계획적인 안전관리기법이 필요함. 즉, 공동구는 지중구조물인 만큼 설계는 물론 시공단계 및 유지관리단계에서 발생가능한 모든 안전취약요소를 고려하여 사전에 위험요소를 방지해야 함은 물론이고 시공중에는 시공 전과정 중에 발생할 수 있는 인적·물적 요인에 의한 사고에 대해 프로파일하여 발생 가능한 개별요소에 대하여 사전에 방지해야 함.
- 방재안전관리 시스템 부재 : 공동구 재난 위기관리 매뉴얼 및 공동구 설치 및 관리지침(국토해양부 훈령), 공동구 설계기준 및 표준시방서(국토해양부 고시)와 같은 관리기준이 존재하나, 위기관리 매뉴얼은 재난 발생시 대응을 다루고 있으며, 공동구의 설계 및 시공 시 고려사항을 포함한 구체적 대책 및 안전관리 시스템 부재.
- 성능개선 필요 : 2023년 21.5%로 증가 될 것으로 추정되는 노후화 공동구는 20, 30년전 시공되어 방재시설이 미비하고 가연물질들로 구성을 이루고 있으며, 구조체의 노후화 및 구조적으로 취약. 공동구 진입통로 미확보(상계공동구)로 환기구로 출입 사례도 있음(<그림 1.20>).



<그림 1.20> 공동구 출입구의 단면 부족

- 공동구 유지관리 기술 부재 : 2023년 준공후 30년 이상의 노후화된 공동구가 21.5%로 증가하여 리모델링을 통한 수명연장, 단면확장에 의한 성능개선 등의 요구가 커지고 있음. 또한 기존의 공동구와 신규 공동구의 네트워크 연결 필요가 발생할 것으로 추정되며, 발달된 ICT를 기반으로 한 효율적인 유지관리 기술의 개발이 가능해질 것으로 보임.

(4) 시사점

[공동구 계획]

- 글로벌표준화 설계법을 적용한 공동구 설계기준, 안전관리기술, 최적 설계기술 등의 개발 필요

[공동구 시공]

- 도심지 공동구 시공시 부지점유로 인한 민원, 교통정체, 안전재해 등을 저감시키고 공사비를 절감하기 위한 급속시공 기술, 저소음/저진동 시공기술의 개발이 필요
- 특히 터널식 공동구 시공시는 shield-TBM 시공기술에 대하여 지장물 회피기술, 고수압/복합지층 등 특수조건 시공기술, 도심지 총적층 지반의 굴진을 예측 등이 필요

[공동구 안전·유지관리]

- 생애주기간 계획적인 안전관리, 노후화 공동구의 성능개선 기술 개발 필요

→ 공동구 건설기술 개발 필요

3. 기술의 분류체계

- 과학기술기본법 제27조에 따른 국가과학기술표준분류체계(국가과학기술위원회 고시 제 2012 - 4호, 2012.09)에 의한 기술의 분류체계는 다음과 같음.

구 분	대분류	중분류	소분류	가중치(%)
1순위	Y14 건설업	EI04 건설시공/재료	EI0401 토목시공기술	50
2순위	Y14 건설업	EI03 시설물설계/해석기술	EI0306 지반구조/터널	30
3순위	X08 교통/정보통신/기타기반시설	EI02 국토공간개발기술	EI0299 달리 분류되지 않는 국토공간개발기술	20

2절. 기술개발의 필요성

1. 국가 R&D 전략

1.1 부처방침(국토교통부)

- 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령 개정안 국무회의 통과(2010.06)
 - 200만㎡를 초과하는 택지개발사업 지역 등에는 공동구 설치를 의무화

- 전선공동구 설치 등에 관한 특별법안 발의 국회 계류중(2013.07)
 - 배전선로, 통신선로 등의 지상전선을 지하에 공동 수용하기 위하여 전선공동구를 도입: 소단면 터널식 공동구 필요

- 공동구, 소규모 터널 등 안전관리 강화(2013.11)
 - 공동구를 시특법상 2종 시설물로 신규 포함

- 공동구 설치 조례 서울시의회 건설위 통과(2013.12)
 - 지하철공사 등 추진시 공동구 지중화사업 병행

- 신행정수도 후속대책을 위한 연기·공주지역 행정중심복합도시 건설을 위한 특별법 시행령(2014.02)
 - 제12조(개발계획의 수립), 제14조(우선지원대상 기반시설)에 공동구 설치 명시

1.2 국가정책

(1) 2014 국정과제

- (국가 과학기술 혁신역량 강화) 중소·중견기업 R&D에 대한 지원 강화 : 유망 중소·중견기업에 의한 설계·시공기술 개발 및 사업화

- (에너지공급 시설의 안전관리 강화) 전력·가스 공급의 안정성 강화 : 도심지 시공성이 향상된 민원저감형 터널식 공동구 설계·시공기술 개발로 교통장애 축소, 공급의 안정성 강화, 재해 안전성 향상

○ 창조경제 실현과제

- (벤처·중소기업의 성장발판 마련) 정부 R&D 예산의 투자확대
 - 정부 R&D 예산으로 실대형 검증시설을 구축하고 개발기술을 검증함으로써, 벤처·중소기업의 설계기술 글로벌 표준화 및 시공기술 개발 사업화로 경쟁력 증진 및 성장발판 마련
- (과학기술과 ICT 융합으로 기존산업 신성장활력 창출) 과학기술과 ICT를 활용하여 국토 산업인프라(교통 등)의 생산성 및 경쟁력 향상
 - 자동화/기계화 시공장비 개발에 의한 터널식 공동구 건설의 국내외 기술경쟁력 강화 및 경제적 생산성 확보

○ 경제혁신 3개년 계획

- (중소·중견기업 경쟁력 강화) 중소·중견기업의 R&D 투자 유도
 - 중소·중견기업의 개발기술에 대한 실증 및 현장적용 기회를 제공함으로써 자발적 적극 참여를 유도하여 R&D 투자 확대 및 경쟁력 강화
- (R&D 총량확대) 민간 R&D 투자 활성화
 - 안정적인 중장기 연구 및 공기업의 매칭펀드로 지속적인 민간 R&D 투자 활성화 및 특급 고유기술 확보 촉진
- (안정적 에너지 공급체계 구축) 가스·전기 공급 인프라 적기 확충
 - 자동화/기계화/모듈화 시공에 의한 공사기간 단축 및 공사비 저감, 민원저감 및 재해예방에 의한 도심지 공동구 적기 확충 근간 마련

1.3 법정계획

○ 제3차 과학기술기본계획(2013 ~ 2017)

- (생활공간편의성 향상)
 - 공공시설의 효율적 건설 및 도심지 공사에 의한 교통혼잡 및 민원 저감
 - 환경변화(인구감소, 노령화, 극한작업 등)에 대한 능동적 대응을 위한 시공 자동화·모듈화 추진
- (최첨단 인프라구조물 건설기술)
 - 설계기술 글로벌 표준화 및 급속·모듈화 시공기술 개발에 의한 공간확보, 한계극복, 사용효율 극대화 등 국토의 효율적 사용을 위한 최첨단 터널식 공동구 건설 역량 강화

○ 제4차 기술이전·사업화 촉진계획(2012 ~ 2014)

- 융복합 및 개방형 혁신 촉진(이종기술·산업간 융복합 사업화 활성화)

- 산학연 연구를 통한 기계, 제어공학, 재료공학, 지반공학, 구조공학 등의 이종기술 융복합 기술 개발
 - 개발 기술에 대한 실대형 성능 검증과 현장적용의 기회를 제공하여 신기술 인증 및 기술이전·사업화 촉진
 - 융복합 및 개방형 혁신 촉진(글로벌 기술사업화 네트워크 강화)
 - 정부차간 협력채널 지원을 통하여 도심지 라이프라인시설의 공동화 촉진
 - 설계기술 글로벌 표준화를 통하여 민간기업 해외시장 개척 및 기술사업화
- 제5차 건설기술진흥기본계획(2013 ~ 2017)
- (Global·User 지향 설계·시공기준 정비) 설계·시공기준의 OECD화
 - 하중저감계수설계법(LRFD) 도입으로 설계기준 글로벌 표준화
 - 공동구 표준공정/공사비 관리시스템 개발로 시공기준 글로벌 표준화

라. 국가과학기술위원회 본회의 심의·확정(2012.05.24)

- 제2차 건설교통기술 연구개발사업 중장기계획(2013 ~ 2017)

2. 국내 여건

2.1 정책적, 사회적 여건

- 2005년 이전의 경우 도시기반 시설인 공동구의 중요성이 부각되지 못해 공동구에 대한 활발한 연구가 진행되지 않아 제대로 된 자료조차 없었으며(서울시, 2005) 이후 공동구에 대한 관심이 증가됨.
- 국가 예산낭비 사례의 40%는 도로굴착 공사 관련 내용이며, 서울·부산 등 24개 구청의 보도 및 도로공사 94%는 지하매설물을 수리하는 공사임. 잦은 도로굴착공사로 인한 예산낭비 방지를 위해 지하매설물을 통합 수용하기 위한 공동구 구축안이 정부차원(국토해양부, 2008)으로 대두됨.
- 따라서 국토해양부는 2010년 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제44조(공동구의 설치, 공동구의 관리·운영 등, 공동구 설치비용 등)에 공동구의 설치를 제정하였고, 시행령을 개정하여 200만㎡를 초과하는 개발사업 지역(도시개발구역, 택지개발예정지구, 경제자유구역, 정비구역, 보금자리주택지구, 도청이전신도시 등)에 공동구 설치를 의무화 하였음. 공동구에 들어갈 수용시설 범위를 전선로, 통신선로, 수도관, 열수송관, 중수도관, 쓰레기수송관은 의무적으로 수용토록 하고, 가스관, 하수도관은 심의를 거쳐 수용할 수 있도록 개정함. 또한 「공동구설계기준」을 발간하여 공동구 설계기준을 정비하였음.
- 이에 따라 「신행정수도 후속대책을 위한 연기·공주지역 행정중심복합도시 건설을 위한 특별법 시행령」에 공동구 등 지하매설물계획을 수립하고 우선지원대상 기반시설에 공동구, 상·하수도, 가스공급설비 및 폐기물처리시설을 지정함.
- 대규모 개발사업지가 아닌 기존 도심지의 경우 서울시 시의회에서는 2013년 지중화사업을 체계적으로 추진하기 위해 공동구 설치 조례를 제정하였음. 서울시는 10년마다 '공동구 설치 기본계획'을 수립해야 하고 5년마다 그 타당성을 검토해 개정안을 마련해야 함. 지하철공사와 함께 지중화사업을 병행해 도로굴착을 줄이고 비용을 절감하는 것이 목표이며, 박원순 시장의 역점사업인 '보도블록 십계명' 사업도 유사한 성격임.

- 2013년 「전선공동구 설치 등에 관한 특별법안」이 발의되어 국회계류중이며, 지상전선의 난립으로 인한 도시경관 훼손과 재해 방지 목적임. 지자체와 전기/통신사업자 등의 지중화 사업이 기관별 단독시행, 예산부족 등으로 사업추진에 많은 어려움을 겪고 있음을 감안하여 특별법 제정으로 체계적 사업추진, 국고지원으로 지중화 사업 활성화를 유도함. 주요내용은 다음과 같음.
 - 배전선로, 통신선로 등을 수용 위한 전선공동구 도입
 - 국토교통부장관이 10년 단위 기본계획 수립, 시/도지사는 5년 단위 실행계획 수립
 - 도로관리청이 전선공동구 설치, 전기사업자 등이 전선공동구 활용
 - 소요비용은 도로관리청과 전선공동구 점용예정자가 분담

- 가공송전선로의 지중화에 대한 사회적 압력은 계속 증가될 전망이다.
 - 1995년 성남 구미동 1천78가구 주민의 송전선로 지중화를 요구하는 집단 민원 제기 후 2005년 성남시와 한전이 공사비 1천349억원을 분담하는 합의로 2009년 성남 전력구 지중화 공사를 수행하였음.
 - 산업자원부에 의하면 2008년 기준 지중화 검토가 필요한 시가지를 통과하는 가공 송전선로는 30개소 34.6km, 지중화가 시급한 교육시설 횡단/인접 가공 송전선로는 총 98개소로 조사하고 지중화 비용이 각각 약 5,900억원, 6,500억원 소요될 것으로 추정하였음(한국감정원, 2008).
 - 전남 순천변전소 가공송전선로 지중화 민원(2013 타결), 신가평-신포천 송전탑 건설사업(2013 타결), 군산-새만금 송전선로 사업(전북일보, 2013), 밀양 송전탑 사업 등 민원사례가 다수임.

2.2 공동구 안전/유지관리

- 지하공동구는 화재 등 각종 재난사고 발생 시 국가적 혼란이 예상되는 중요 시설이며, 주요 대테러 방호 시설임. 따라서 2013년 국토교통부는 시특법의 2종 시설물에 공동구를 포함하여 안전관리를 강화함.

- 그러나 2014. 1. 서울시 공동구 관리실태 점검결과 서울시내 공동구의 안전관리가 부실해 화재나 침수 발생시 대형 재난으로 이어질 수 있어 공동구 안전관리 '낙제점' 결론을 내림.

- 국토교통부에 의하면 준공 후 30년이 지난 노후화 시설물이 2013년 9.6%에서

2023년 21.5%로 증가 될 것으로 추정됨에 따라 현재의 안전관리체계를“사고대응 중심”에서“예방형 유지관리”로 전환하기로 함.

- 분야별 시설물별 방재관리 시스템 구축사업 추진으로 재난관리 책임기관에서는 각 시설물별(국가핵심기반시설) 재난시나리오(홍수, 산사태, 지진 등)별 위험관리 시스템을 구축중이며, 유사 시설물별 시스템 통합 추세에 있음.

3. 연구개발의 필요성

3.1 정책적 필요성

- 2013년 국토교통부는 사회기반시설의 안전관리를 강화하기 위하여 공동구, 소규모 터널을 시트법에 따른 2종 시설물에 포함시키는 것을 주요 내용으로 하는 동법 시행령과 시행규칙 개정안을 마련하여 입법예고하였음. 공동구 설계 및 시공 관련 핵심기술 개발로 개정으로 인해 시트법 개정으로 새롭게 포함된 약 4,500여 개의 시설물과 향후 발주될 공동구의 경제적 시공을 통해 국민의 생명과 재산을 보호하고 시설물 붕괴 시 발생할 수 있는 사회적/경제적 비용 피해를 예방할 수 있음.
- 전선공동구 설치 등에 관한 특별법안이 발의 국회 계류중이며, 공동구 설치 조례가 서울시의회 건설위 통과(2013.12)되어 지하철공사 등 추진시 공동구 지중화사업 병행 예정이므로 공동구 설치법안 통과 등으로 공사가 급증할 것으로 예상되므로 공동구 건설비용 절감방안, 구조물 환경피해에 의한 민원저감 방안에 활용할 수 있을 것으로 기대됨.
- 창조경제 실현과제‘벤처·중소기업의 성장발판 마련’과 관련하여 하중저감계수설계법(LRFD) 및 생애주기비용(LCC) 도입에 의한 설계기준 글로벌 표준화로 유망 엔지니어링 업체의 기술경쟁력 강화와 해외진출 확대를 위한 성장발판 마련을 위해 필요함.
- 제3차 과학기술기본계획 ‘최첨단 인프라구조물 건설기술’ 과 관련하여 공간확보, 한계극복, 사용효율 극대화 등 국토의 효율적 사용을 위한 급곡구간/특수지반 시공기술/장비 개발이 반드시 필요함.
- 국정과제‘에너지공급 시설의 안전관리 강화’, 경제혁신 3개년 계획 ‘안정적 에너지 공급체계 구축’관련하여 교통혼잡 예방, 방재성능 향상으로 쾌적한 도시환경 조성을 위한 민원저감형 공동구·수직구 건설기술 및 안전관리 지침이 필요함.
- 국정과제‘국가 과학기술 혁신역량 강화’, 경제혁신 3개년 계획‘중소·중견기업 R&D에 대한 지원 강화’와 관련하여 중견·중소기업의 기술력 향상 및 R&D 투자 확대 유도하고 실대형 성능검증 시험을 통한 공기업(한국전력, LH 등) 발주 공동구 프로젝트 설계반영(10km 이상) 으로 개발기술 실용화를 위하여 반드시 필요함.

- 최근 발의된 '전선공동구 설치 등에 관한 특별법안'의 실행을 위해 도심지 공동구를 원활하게 사업하도록 하는 기술 개발이 필요. 굴착으로 인한 교통장애 및 소음·진동, 도시 쾌적성 저하 등에 의한 각종 민원 유발등 사회적 문제 유발 가능성이 큼. 시공기간이 장기화 될 경우 개털라성 호우 또는 지반변형 장기화, 가시설물의 구조성능 열화로 인한 건설재해 발생 가능성이 증가될 수 있고, 부지 장기점유와 장기적 공해유발로 민원유발 가능성은 더욱 증가함(예, 밀양 송전탑). 공동구 건설중 사회적 문제해결을 위해 도심지 민원저감형 저소음 저진동, 공기절감형 기술개발이 필요함.

3.2 기술적 필요성

- 국내 복합지반 특성을 고려한 소단면 shield-TBM의 토사/암반지반 실굴진을 세계최고 수준 오차율 예측 기술 개발. 세계최소 곡률반경(R30m 이하)의 shield-TBM 추진기술 및 중절장치 기술 개발. 고수압/복합이질층/호박돌층대 등 특수지반 및 특수조건에서 shield-TBM 급속시공기술 개발을 통한 다운타임 20%저감으로 세계적인 소단면 shield-TBM 기술 선진국으로 갈 수 있는 교두보가 될 수 있음.
- 국가중점과학기술 중 서비스로봇기술(건설), 최첨단 인프라구조물 건설기술의 기술적 실현시기를 2017 ~ 2018년으로 평가(미래창조 과학부와 KISTEP, 2013) 하였듯이 관련 기술적 역량이 축적되고 있으므로 집중적인 정부지원이 필요한 실정임.
- 공동구와 같은 지반구조물 설계시 선진국에서는 하중저항계수설계법(LRFD) 및 생애주기비용(LCC) 등의 사용으로 최적화 설계하는 것이 추세이나 국내는 통일된 설계법이 없이 이전 설계를 사용하여, 공동구 설계가 비효율적이므로 설계기술의 글로벌 표준화를 통한 중소 설계업체의 해외 진출을 확대를 위해 이 연구의 진행이 반드시 필요함.
- 도심지 공동구 평면선형 계획시에는 수많은 지장물이 존재하여 노선의 선정에 악영향을 주고 지장물 완곡 우회로 인한 연장 및 심도증가로 공사비 증가 요인을 발생시킴. 도심지는 연약한 충적층 지반에 건설되므로 지반굴착으로 인한 지반 변형, 지하수 유출로 인한 지반침하, 복잡한 퇴적 지층구조 및 호박돌층으로 인한 쉴드 터널 시공 시 굴진율/시공성 저하 등의 문제가 발생함. 도심지 공동구 건설

시 이러한 당면과제를 시급히 해결하여야 하므로 연구가 필요함.



<그림 1.21> 도심지 공동구 건설 시 해결이 시급한 당면과제

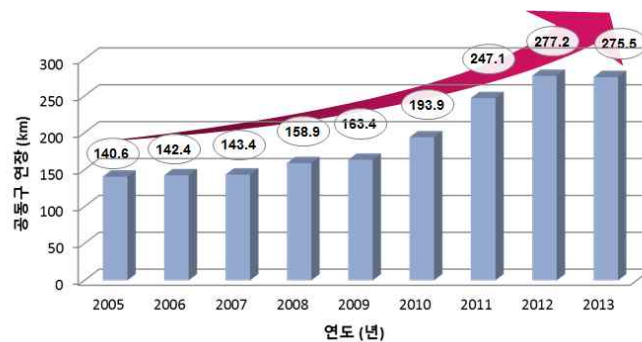
- 우리나라에서는 2010년부터 TBM 장비 개발에 대한 연구가 시작되었고, 국내 터널시공방법의 변경과 도심지 지하 교통네트워크 건설 수요에 대비하고 막대한 외화유출의 방지를 위해 향후 TBM 장비의 국산화가 시급함(국토교통부, 2013).
- 공동구 재난 위기관리 매뉴얼은 운영중 재난 발생시 대응을 다루고 있으므로 공사중 안전대책이 미흡함. 공동구의 설계 및 시공 시 고려사항을 포함한 구체적인 안전대책 및 안전관리기법 개발 필요.

3.3 경제적 필요성

- 전선공동구 법안 통과시 신규 소단면 터널식 공동구 시장 발생 가능성이 매우 크고, 우리나라 대도시의 가공 배전선로 지중화율이 매우 낮아(예, 서울 52.4%, 런던·파리 100%, 뉴욕 72.2%, 동경 86.3%) 지중화 공사 확대 고려시 소단면 터널식 공동구는 급격한 시장증가가 예상되는 지금 매우 시의적절함. 본 과제를 통해 개발되는 핵심기술은 국내외 미래 공동구 시장을 선점하는데 있어 의의가 있음.
- 공동구 연장은 해가 갈수록 기하급수적으로 늘어나고 있으며, 공동구 시장규모는 향후 10년간 총 6조2,163억원(물가상승 제외)으로 추정됨. 이 연구의 성공으로

10% 공사비 절감시 예상 절감액은 향후 10년간 약 6,217억원이 가능하고 민원저감, 교통체증 감소, 건설재해 저감효과 등 간접적 비용 추정액 1,866억원을 고려한다면 전체 경제적 효과는 8,083억원으로 추정됨. 따라서, 전기/통신 등 라이프라인 지중화 기술 개발을 통한 국가 경쟁력 향상을 위하여 국가의 연구지원이 필요함.

- 공동구와 같은 지반구조물 설계시 선진국에서는 경제적인 한계상태설계법(LRFD) 및 생애주기비용(LCC) 등의 사용으로 최적화 설계하는 것이 추세이나 국내는 통일된 설계법이 없이 이전 설계를 사용하여, 공동구 설계가 비경제적일 수 있음. 국가예산 절감을 고려하여 이 연구의 진행이 반드시 필요함.
- 현재 지중화시설은 신도시 개착식 공동구와 기존 도심지 개착/터널식 단독구가 주류이며, 기존 도심지 민원대책으로 터널식 단독구가 증가추세임. 터널식 단독구는 전력구가 가장 큰 시장을 형성하고 있으며, 공동구로 수용될 수 있는 부분이 75%를 차지하여 효율성을 크게 증가시킬 수 있음.
- 공동구 전망 : 소단면 공동구 적용 대상의 증가
 - 도시집중화(도시화율 90%)에 따른 집단민원(잡은 굴착, 가공송전선로 도심지 통과 등), 공동구 설치 의무화(세종시 등), 공동구 지중화에 대한 인식변화 등으로 공동구 설치연장의 꾸준한 증가



<그림 1.22> 연도별 공동구 연장 현황

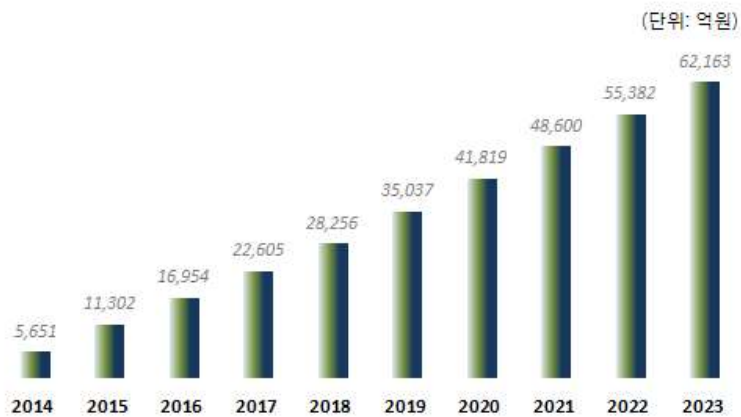
- 공동구 수요 전망

가. 단기전망 : 공동구 설계기준에서 수용시설의 범위를 4종에서 2종으로 변경 추진 중(국토교통부와 건설기술연구원은 건설공사 기준인 설계기준 21종, 표준시방서 27종(전문시방서 포함)에 대한 기준 코드화 작업 중, 2015년). 전선지중화 법안(「전선공동구 설치 등에 관한 특별법안」, 2013) 발의 등으로 수년 내 소

단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 수요 급증 전망.

나. 장기전망 : 도심지 공동구 수용용량의 확대, 선진화 대단면화 6~7m 수요발생, 신도시 공동구 인천 송도, 새만금 개발(시장규모 4000억원)에 따른 공동구 수요 증가

- 공동구 시장 규모 추정 : 복합 공동구(전력, 통신, 가스, 상하수도 등을 동시 수용) 건설 분야와 고압 송전선의 지하화를 위한 배전선 공동구 건설 분야, 그리고 주거환경 개선을 위한 가공선로 지하화를 위한 공동구 건설



<그림 1.23> 추정 누적 시장규모 (억원)

○ 전선공동구 법안 통과시 신규 소단면 터널식 공동구 시장 발생 가능성이 매우 크고, 우리나라 대도시의 가공 배전선로 지중화율이 매우 낮아(예, 서울 52.4%, 런던·파리 100%, 뉴욕 72.2%, 동경 86.3%) 지중화 공사 확대 고려시 소단면 터널식 공동구는 급격한 시장증가가 예상됨.

제 2 장

국내외 동향 및 환경분석

1절. 국내외 정책동향

1. 국내외 정책동향 및 분석

1.1 국내 정책현황

(1) 국정과제

- 국가 과학기술 혁신 역량 강화를 위한 유망 중소·중견기업에 의한 설계·시공기술 개발 및 사업화 지원을 강화함.
- 에너지공급 시설의 안전관리 강화 및 전력·가스 공급의 안정성 강화.
- 도심지에서 시공성이 향상된 공동구 설계·시공기술 개발로 교통장애 축소, 공급의 안정성 강화 및 재해 안전성을 향상시킴.

(2) 창조경제 실현과제

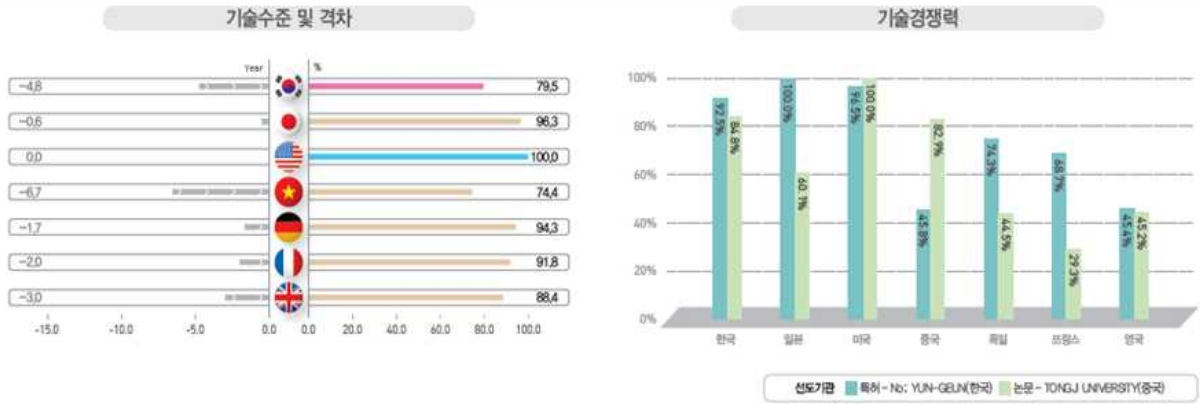
- 벤처·중소기업의 성장발판 마련을 통한 정부 R&D 예산의 투자확대를 추진함. 이를 통해 정부 R&D 예산으로 개발기술을 검증함으로써, 벤처·중소기업의 설계기술 글로벌 표준화 및 시공기술 개발 사업화로 경쟁력 증진 및 성장발판을 마련함.
- 과학기술과 ICT 융합으로 기존산업에 신성장활력을 창출하며, 과학기술과 ICT를 활용하여 국토 산업인프라(교통 등)의 생산성 및 경쟁력을 향상시킴.
- 위의 내용을 바탕으로, 자동화/기계화 시공장비 개발에 의한 공동구 건설의 국내외 기술경쟁력 강화 및 경제적 생산성 확보.

(3) 경제혁신 3개년 계획

- 중소·중견기업 경쟁력 강화를 통한 중소·중견기업의 R&D 투자를 유도함. 이를 바탕으로, 중소·중견기업의 개발기술에 대한 실증 및 현장적용 기회를 제공함으로써 자발적 적극 참여를 유도하여 R&D 투자 확대 및 경쟁력을 강화함.
- R&D 총량확대에 따른 민간 R&D 투자 활성화를 바탕으로 안정적인 중장기 연구 및 공기업의 매칭펀드로 지속적인 민간 R&D 투자 활성화 및 특급 고유기술 확보를 촉진할 것으로 기대함.
- 안정적 에너지 수급체계 구축을 통한 가스·전기 공급 인프라를 적기에 확충하여 자동화/기계화/모듈화 시공에 의한 공사기간 단축 및 공사비 저감, 민원저감 및 재해예방에 의한 도심지 공동구 적기 확충 근간을 마련함.

(4) 창조경제 R&D 중장기전략(2014~2023)

- 기존 재료의 한계를 극복하는 친환경·고성능 신재료 확보와 첨단기술을 융합한 건설프로세스 혁신을 통해 공사비 절감, 공기 단축 및 품질 향상 등 생산성을 제고하고자 함.
- 추격형 R&D에서 미래선도형 R&D로의 전환, 중소기업 R&D역량강화, 초우량 인재양성과 프레임웨어 융합기술의 성장동력화 강조.
- 패키지형 기술개발 및 검증을 통한 연구성과 활용 촉진.
 - 대형 공공건설사업 추진을 위한 테스트베드형 과제 추진으로 연구개발에서 실용화에 이르는 모든 과정을 종합적인 패키지 형태로 추진하여 개발기술의 검증 및 안정화 단계까지 포괄함.
- 주요 SOC시설물별 기술 한국의 기술수준(기술격차)은 최고기술국 대비 78.2%(5.1년)이며 특허/논문기술경쟁력은 상대적으로 상위권에 해당함.
 - 터널분야는 일본이 최고기술 보유국이며, 한국은 76.0% 수준으로서 터널설비, 해저/침매터널, 부유식터널 분야를 집중보완하여 기술수준 향상 제고가 필요할 것으로 판단됨.



<그림 2.1> 주요SOC시설물분야 기술수준 및 경쟁력

- 특수SOC구조물분야 기술수준은 일본이 최고기술국이며, 한국은 65.9%수준으로서 인공섬, 극한지구조물, 지하대공간 등에 대한 구축 경험이 미흡하여 기술수준이 낮은 것으로 판단됨.



<그림 2.2> 특수SOC구조물분야 기술수준 및 경쟁력

<표 2.1> 주요 SOC 시설물별 기술격차 해소 방안

터널	육상터널	·TBM 장비 및 설비 국산화 필요
	해저/침매터널	·해저터널의 핵심은 수압제어기술로서 방배수 시스템과 차수그라우팅과 관련된 기술 개발 필요 ·침매터널의 구조체 설계 및 방수설계에 대한 R&D 투자 필요함
	부유식터널	·부유식터널의 설계 및 시공기술 개발과 함께 다양한 실증시험 필요
	대심도터널	·대심도터널의 경우는 과지압에 의한 암과열 및 스퀴징 등 일반

		육상터널과는 다른 거동이 예측되므로 심도있는 연구 필요
특수 구조 물	인공섬	·친환경 인공섬 건설기술 개발 필요 ·해상환경의 변화에 따른 안전성 확보기술 개발 필요 ·장기 침하 예측 및 관리 기술 개발 필요
	극한지 구조물	·극한환경 대응형 구조설계기술, 재료 및 접합기술, 급속시공기술 개발 필요
	지하대공간	·지하대공간의 적용대상을 넓히고 활용성을 높일 수 있는 보편성을 확보하는 연구 필요

(5) 건설교통 R&D 중장기계획(2013~2017)

주요 분야	주요 내용
<ul style="list-style-type: none"> ○ 지능형 시설물 ○ 재난 및 안전관리 ○ 프로세스 효율화 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대형 SOC 시장창출을 위한 기획·설계·시공·유지관리의 통합 ENG기술 경쟁력 확보 (전략과제: 차세대 교량기술, 해양 횡단 기술, 지하 복합공간 창출 기술) ○ 위험요소 관리를 통한 SOC 안전 및 유지관리, 자연재해 예방을 위한 선제적 대응체계 구축(전략과제: 시설물 안전 및 유지관리 기술, 자연재해 대응 기술) ○ 건설프로세스의 지능화·효율화, 건설기술의 표준화, 해외진출 인프라 조성 등을 통한 글로벌 경쟁력 확보(전략과제: 탄소저감형 스마트 설계·시공 기술, 신재생에너지 시설물 설계·시공 효율화, 해외진출 인프라 조성, 건설기술 표준화)

○ 기존 건설교통 R&D 중장기계획(08~12)이 마무리되는 시점이므로 후속계획을 수립할 필요성이 존재함. 향후 5년간 중장기계획에서는 발전전략을 보다 구체화하고, 효율적인 투자전략을 수립하여 건설교통 R&D 성과창출의 극대화를 도모함.

○ 향후 5년간 중장기계획에서는 발전전략을 보다 구체화하고, 효율적인 투자전략을

수립하여 건설교통 R&D 성과창출의 극대화를 도모함.

- 기후변화, 재해, 재난의 대형화로 인한 갈등과 분쟁의 심화 등에 따른 위기대응과 안보 전략 구축 및 이러한 위협으로부터 안전하고 편안한 사회를 실현하고자 함.
- 스마트 SOC 건설기술력 향상을 통한 가치창출 및 안전제고를 위하여 국내·외 대규모 건설 프로젝트의 고부가가치 분야를 기획·설계·시공·유지관리 할 수 있는 통합시스템 엔지니어링 기술 확보를 목표로 함(지하 복합공간 창출 기술, 해양 횡단 기술 등).

(6) 제 3차 과학기술기본계획(2013~2017)

- 공공시설의 효율적 건설 및 도심지 공사에 의한 교통혼잡 해결을 통한 민원 저감을 바탕으로 생활공간편의성을 향상코자 함.
- 환경변화(인구감소, 노령화, 극한작업 등)에 대한 능동적 대응을 위한 시공 자동화·모듈화 추진
- 설계기술 글로벌 표준화 및 급속·모듈화 시공기술 개발에 의한 공간확보, 한계극복, 사용효율 극대화 등 국토의 효율적 사용을 위한 최첨단 공동구 건설역량 강화 추진

(7) 제 5차 건설기술진흥기본계획(2013~2017)

- 건설기술 정책·제도 선진화 및 연구개발 촉진 등을 통해 기술수준을 향상시키고 경쟁력을 제고하기 위해 수립하는 법정계획임.
- 4차 기본계획이 종료되면서, 향후 5년(13-17)간 건설기술정책 로드맵과 건설기술 발전 청사진 제시가 필요함에 따라 5차 건설기술진흥기본계획 개발이 추진됨.
- 기술인력, 건설정보, R&D·신기술 추진을 바탕으로 건설기술 경쟁력 기반을 구축하고, 나아가 계획·설계, 시공관리, 유지관리 등 전체 건설 단계별 '소프트'역량을 극대화시킬 수 있도록 전방위적으로 모든 지원역량을 집중할 계획임.
- (Global·User 지향 설계·시공기준 정비) 설계·시공기준의 OECD화를 위해 한계상

태설계법(LRFD) 도입으로 설계기준의 글로벌 표준화를 촉진시키고자 함.

- 공동구 표준공정/공사비 관리시스템 개발로 시공기준의 글로벌 표준화를 촉진시키고자 함.

(8) 신행정수도 후속대책을 위한 연기·공주지역 행정중심복합도시 건설을 위한 특별법 시행령

- 해당 법은 수도권의 과도한 집중에 따른 부작용을 시정하기 위하여 행정중심복합도시를 건설하는 방법 및 절차에 관하여 규정함으로써 국가의 균형발전과 국가경쟁력의 강화에 이바지함을 목적으로 함.
- 공동구 등 지하매설물계획을 수립하고 우선지원 대상 기반시설에 공동구, 상·하수도, 가스공급설비 및 폐기물처리시설을 지정함.

(9) 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령 일부 개정안(2010)

주요계획	세부내용
<ul style="list-style-type: none"> ○ 공동구 설치 의무화 사업규모 및 대상지역 설정 ○ 공동구에 들어갈 수용시설 범위 산정 ○ 공동구 설치비용 부담관련 내용 포함 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공동구를 의무적으로 설치하여야 하는 사업규모는 200만㎡을 초과하는 사업으로 정함(도시개발구역, 택지개발지구, 경제자유구역, 도시정비구역, 보금자리주택지구, 도청이전신도시). ○ 공동구가 설치되면 전선로, 통신선로, 수도관, 열수송관, 중수도관, 쓰레기수송관은 의무적으로 수용하고 가스관, 하수도관은 안전성 및 기술적 사항 등에 대한 심의 후 수용하도록 함. ○ 공동구설치 비용은 공동구 점용 예정자와 사업시행자가 공동으로 부담함. 점용 예정자는 해당 시설을 개별적으로 매설할 때 필요한 비용의 범위를 부담함.

- 공동구 설치비용은 해당 시설을 개별적으로 매설할 때 소요되는 범위만 부담하고, 초과 금액은 사업시행자가 부담토록 되어있어, 기존 시가지에서 공동구 설치시에 점용기관의 추가 부담과 지자체의 많은 예산 부담으로 신규 사업의 추진이 곤란한 실정임.

- 따라서 국가 중요시설 중 하나인 공동구 설치를 활성화하기 위해서는 국고지원 범위에 대한 명확한 규정이 필요하며, 이를 위해서는 공동구 단면의 설계기준/최적설계/안전관리를 통해 설치비용 절감 방안이 요구됨.

(10) 전선공동구 설치 등에 관한 특별법 제정 중

주요계획	세부내용
<ul style="list-style-type: none"> ○ 배전선로, 통신선로 등의 지상전선을 지하에 공동 수용하기 위하여 전선공동구를 도입하기로 함. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최소 2개 이상의 지상전선을 지중수용할 수 있는 공공시설인 전선공동구를 신규 도입하여 효율적이고 체계적인 지중화를 추진함. ○ 도시계획시설 결정 없이 설치가능한 시설로 도입하여 사업절차 간소화함. ○ 전선공동구 설치비용은 지자체에서 부담하고 전선 설치·교체비용 등은 점용자가 부담함.

- 기존 공동구 설치비용은 점용예정자와 사업시행자가 부담토록 되어 있으나, 전선 공동구 설치비를 지자체에서 부담하고 일부를 국고에서 지원하는 것은 지자체 입장에서는 재정 부담이 크다는 단점이 있음.
- 상기 도표와 같이 전선공동구에 다양한 지상전선들을 지하로 수용하기 위해서는 소단면 공동구의 필요성이 커지고 있으며, 이를 위한 관련 연구의 진행이 시급한 시점임.

(11) 지하공간 종합 기본계획 수립(2007, 서울특별시)

- 주요 내용으로는 계획적인 지하이용지구 선정 및 종합이용계획 구상안, 지하시설물 기본계획, 지하도로 기본구상안을 수립함.
- 지하시설물 기본계획 구상안은 천심도(지하 5m 이하)의 경우 공동구시설 등으로 통합관리토록 하며, 전력 공동구를 도시계획시설로 결정토록 개정하는 방안을 추진하였음.

(12) 터널형 송·배전설로에 대한 도시계획적 관리방안 수립(2012, 서울특별시)

- 기존 터널형 송·배전선로가 도시관리 계획결정을 거치지 않고 중심도(지하 20m) 이상에 매설되어 지하공간의 난개발을 유발하고 있는 상황을 극복하기 위한 관리 방안을 모색하고자 함.
- 현행 국토계획법 시행규칙 개정안이 협의 중이기 때문에, 국토계획법 시행규칙이 개정되기 전까지는 터널형 송·배전선로 설치를 위한 도로 굴착허가 신청시 도시관리 계획결정을 선행토록 조치함.

(13) 건설환경기본계획(2001~)

- 건설교통부 및 관리주체(관련 학·협회)에서 정비하고 있는 건설공사기준에 대한 지속적인 정비추진.
- 수자원·도로·하천·터널·건축물·조경 등의 설계기준 및 표준시방서, 산업설비공사표준시방서.

(14) 교육과학기술부(국가과학기술기본계획)

- 국가과학기술기본계획 국가정책 중 ‘국민의 삶의 질 향상과 국가안전보장을 위한 지질재해 예측 및 피해저감기술 개발’과 연계된 중장기적 국가정책 수립에 기반 자료를 제공하기 위한 기술 개발의 필요성이 대두됨.

(15) 건설기술관리법

제1조(목적) 이 법은 건설기술의 연구·개발을 촉진하고 이를 효율적으로 이용·관리하게 함으로써 건설기술 수준의 향상과 건설공사 의 적정한 시행을 이루고 건설공사의 품질과 안전을 확보하여 공공복리의 증진과 국민경제의 발전에 이바지함을 목적으로 한다.

제3조(건설기술진흥기본계획) ① 국토해양부장관은 건설기술의 연구·개발을 촉진하고 그 성과를 효율적으로 이용하게 하기 위하여 건설기술진흥기본계획(이하 "기본계획"이라 한다)을 수립하여야 한다.

- 건설기술진흥기본계획은 제5차 건설기술진흥기본계획(2013~2017) 수정계획이 수립되었으며, 지구온난화 문제와 관련하여 에너지 수급 불균형에 대한 대책으로

녹색성장을 실현하는 건설기술을 확보하기 위한 전략을 수립함.

(16) 2010 국토해양 R&D 발전전략(국토해양부, 2010)

- Post V10 국토해양 R&D 전략으로 녹색기술 향상 및 온실가스 감축달성을 위한 30개의 미래 핵심기술(Green up-30) 선정.
- 도심도 교통·물류 네트워크 구축 기술은 미래핵심기술 중 건설분야에서 중요한 전략기술로 분류되고 있음.
- 국토해양 연구개발사업의 발전전략 중 도심도 교통·물류 네트워크 구축 기술이 미래핵심기술 중 건설분야의 중요 기술로 분류되었을 뿐만 아니라, 도심지 도심도 분야의 인프라 건설 기술개발 및 운용에 있어서 국토의 효율적인 사용 방안을 위한 미래기술의 성격도 함께 가지고 있음.



<그림 2.3> 2010 국토해양 R&D 발전전략 미래핵심기술

(17) 건설교통 R&D 혁신로드맵(건설교통부, 한국건설교통기술평가원)

- 기존 건설교통 R&D는 건설교통 혁신을 주도하지 못하고, 현재 건설교통 경쟁력은 선진국 대비 큰 격차가 있으므로, 건설교통의 국가신성장동력화를 위해 R&D 혁신전략과 신개념의 가치창출자(Value Creator)로서의 역할 전환이 요구됨.
- 이러한 목적으로 환경요인에 따라 유연하게 변화하는 중장기 마스터 플랜으로

‘건설교통 R&D 혁신로드맵’을 수립함.

- R&D 혁신로드맵은 핵심기술분야에 집중되어 있으며, 수반되는 관련분야에 대해서는 구체적인 전략이 없는 상태임.
- 예를 들어 도심지 소단면 공동구 건설기술 개발은 설계기준/최적설계/방재안전 관리시스템 개발과 함께 관련되는 공동구 구간별 요소 건설 기술도 함께 개발되어야 함.



<그림 2.4> 사업구조

[요 약]

o 신도시 공동구 설치 의무화

- 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 (제35조의2 신설, 2010) : 200만 m² 이상 신도시 개발 시
- 서울시 공동구 증장기 기본계획(2013) : 50만 m² 이상 개발 시

o 도심지 공동구 설치 고려

- 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 (제44조 신설, 2011)에 따른 타당성 검토 : 도로 관리청은 지하매설물의 빈번한 설치 및 유지관리 등의 행위로 인하여 도로구조의 보전과 안전하고 원활한 도로교통의 확보에 지장을 초래하는 경우
- 「서울특별시 공동구 설치 및 점용료 등 징수조례」 (제32조, 2014) 공동구 설치 우선고려 : 도로구조의 보전과 원활한 교통 확보에 지장이 예상되는 지역, 지하매설물의 빈번한 설치 지역 등

o 공동구 설계기준 개정시도(2015)

- 4종 수용 → 2종 수용

o 전선공동구 설치 등에 관한 특별법안 발의 국회 계류 중(2013)

- 배전/통신선로 등 지상전선을 지하에 공동 수용하기 위한 전선공동구 도입

1.2 국외 정책 현황

(1) 공동구 정비 등에 관한 특별조치법(1963년 제정, 일본)

- 일본에서는 1920년 관동대지진 이후 도시복구사업의 일환으로 공동구 3개소를 시험적으로 설치하면서 공동구 건설이 시작되었으나, 본격적으로 공동구 사업이 시작된 것은 1963년 「공동구 정비 등에 관한 특별조치법」이 제정된 이후부터라 할 수 있음.
- 이를 통해 공동구가 도로 부속물로서 법적으로 인정받게 되었고, 건설비 및 유지관리비용에 대한 법적근거가 명확하게 규정됨으로써 비용분담에 대한 쟁점이 해결되어 공동구 건설이 본격적으로 시작되었음.
- 또한, 해당 법령을 통해 공동구 건설 활성화 및 수용시설 배치기준, 내공 선정기준, 공동구 건설비용 분담금 산출 및 납부 방법, 국가 보조금의 산출방법 등 공동구 건설 및 관리를 위한 명령이 선포되면 그 구간은 개별 굴착을 금지하였음.

(2) 전선공동구 정비 등에 관한 특별조치법(1995년 제정, 일본)

- 전선공동구를 '2이상의 자가 전선을 수용하기 위하여 도로의 지하에 설치하는 시설'이라 정의함. 또한 지상의 전선 및 전주의 철거 또는 설치를 제안하는 것이 특히 필요하다고 인정되는 도로에 대하여 전선공동구를 정비하여야 할 도로로 지정함.
- 전선공동구의 설치 작업은 도로관리자가 전반적인 사업을 관할하며, 전선공동구의 설치를 위한 행정 절차로는 먼저 전선공동구 정비도로를 지정한 후 도로점용허가신청을 해야만 전선공동구의 건설을 수행할 수 있음.
- 전선공동구 건설비용 부담은 점용예정자와 정부 간에 상호 협의에 따라 결정됨. 점용예정자가 부담하는 건설 부담금을 제외한 금액은 중앙정부와 지자체가 절반씩 나누어 부담함.
- 전선공동구의 운영 및 유지관리비용의 경우 도로관리자와 전선 관리자가 각각 부담함. 또한, 전선공동구의 점용료 징수는 도로점용료 등의 징수 조례에 따라 점용료를 부과함.

(3) 공동관도법(1989년 제정, 대만)

- 대만에서는 공동구 건설을 위하여 '공동관도법'을 제정하여 내각(행정부), 광역자치단체, 기초자치단체 3단계로 나누어 시행하고 있으며, 건설비용은 '공동관도건설기금'에서 지원하고 있음.
- 국가, 지자체에의 기본계획 수립을 바탕으로 교통안전 및 도시의 미관을 향상시키고자 함.

(4) 국외 정책현황 비교

- 국외 공동구 관련 정책현황 내용 및 특징은 <표 2.2>에서와 같음. 우리나라와 일본의 공동구 정책 현황 비교는 <표 2.3>에서와 같음. 국외의 경우 정책적인 공동구 적용 연한이 매우 오래되었으며, 가스관등 다양한 형태의 수용시설을 나타냄. 특히 일본의 경우 공동구 관련 법제 정비가 매우 정교하며, 공동구 건설비용 분담에 국가가 매우 적극적으로 개입하고 있음.

<표 2.2> 국외 공동구 관련 정책현황

국가명	내 용	특 징
프랑스	○ 하수도망 계획(1832) ○ 재개발 사업(라데팡스지구)	○ 하수도망 내부에 수도, 통신 등 수용 ○ 공동구 하부에 하수도관 설치
독 일	○ 도로 건설시 설치(1890) ○ 브페르타트공동구(1959)	○ 보도 지하에 설치 및 가스관 수용 ○ 가스관 수용 및 대관경 상수도관
영 국	○ 도로 건설시 설치(1861) ○ 도로 신설공사, 지하철 병행 설치	○ 반원형 단면 및 가스관 수용 ○ 가스관 수용
일 본	○ 도시복구사업(1920년대) ○ 공동구 특별법 제정(1963)	○ 3개소 시험 건설 ○ 교통정체 및 도로굴착 방지
대 만	○ 공동관도법 제정(1989)	○ 교통안전 및 도시미관 향상 ○ 국가, 지자체에서 기본계획 수립

<표 2.3> 한일 공동구관련 정책현황 비교(행정중심복합도시건설청)

구 분	한 국	일 본
최초공동구	○ 1987년 여의도 공동구	○ 1925년, 1963년 법 제정 후 활성화
공동구 근간법	○ 독립된 법 없음 ○ 국제법, 도시개발법 및 지자체 조례에 일부 언급	○ 공동구 장비 등에 관한 특별조치법(1963) ○ 전선공동구 정비 등에 관한 특별조치법(1995)
조 직	○ 공동구 전담조직은 없음 ○ 건교부 도시환경팀(타 업무병행) ○ 지자체에 일임	○ 국토교통성 도로국 공동구계 ○ 정비국 공동구계 ○ 국도사무소 공동구계
보조제도	○ 형식적 존재 ○ 지원사례: 지방비 2건, 국비 1건	○ 개별공사비 초과금액에 대하여 국가 1/2, 지자체 1/2 부담 ○ 실제 보조액은 건설비의 약 40%
건설비 분담방식	○ 수용물 별로 공동구내 공간점유 단면적 비율로 분담	○ 개별공사비에 대한 추정투자액을 산정하여 분담 ○ 부대시설은 수용기관 균등 분담
비용납부	○ 설치 전 1/3, 설치 후 2/3	○ 도로관리자가 정한 자금계획에 의해 납부
관리비 분담방식	○ 수용물 별로 공동구 내 공간점유 단면적 비율로 분담	○ 본체: 건설비의 부담기준 ○ 부대설비, 유지관리비: 균등부담 ○ 관리는 관리규정에 의해 실시
수용물 종류	○ 전력, 통신, 상수도 등 일부 수용 ○ 최근 난방 등 다양화	○ 전력, 통신, 상·하수도, 가스, 난방 등 가능한 한 모두 수용
건설공법	○ 개착식 ○ 최근 단독구 공사에 쉴드 등 적용	○ 개착식, 쉴드 등 현장조건에 따라 다양한 적용
국가 제재	○ 신설, 개축도로 3년간 굴착 불허 ○ 송도: 공동구 계획노선 굴착불허	○ 신설, 개축도로 5년간 굴착 불허
내구 연한	-	○ 75년

2절. 국내외 시장현황 및 전망

1. 국내 시장현황 및 전망

1.1 현황

(1) 공동구 건설 흐름

- 우리나라에서 처음 공동구가 건설된 것은 1969년에 시작된 여의도 개발사업(완공은 1978년)이었으며, 이후의 적용은 주로 신도시 건설지구의 개발과정에서 수행되고 있음.
- 시대흐름에 따른 적용방식의 변화를 살펴보면, 1970년대에는 지하철 공사와 병행되어 설치되었고 1980-90년대에는 당시 도시개발의 주된 방식이었던 공영개발방식에 의한 토지개발사업과 병행하여 사업지역 내 일부 간선도로에 설치되었으며 2000년대 이후로는 행정중심복합도시, 송도신도시 등 국가 주도의 개발사업 위주로 설치되어 왔음.

(2) 공동구 설치 현황

- 통계청 국가통계포털(KOSIS)에 의하면, 2013년 조사된 우리나라의 공동구의 숫자와 총연장은 121개소, 275 km로 나타남(<표 2.4> 참조).

<표 2.4> 행정구역별 공동구 숫자 및 연장(2013, 통계청)

행정구역	개 소	연 장 (km)
서울특별시	28	34.17
부산광역시	46	19.234
인천광역시	4	27.221
광주광역시	6	1.819
대전광역시	4	16.831
세종특별자치시	9	23.183
경기도	12	34.281
충청북도	3	2.525
충청남도	2	3.755

전라남도	5	103.986
경상북도	1	3.06
경상남도	1	5.40
계	121	275.462

1.2 전 망


(1) 사회적 상황

- 우리나라는 높은 도시화 비율(약 90%)을 가지고 있어 도시의 생활 및 주거환경의 개선은 국민의 삶의 질 향상에 지대한 영향을 끼칠 수 있음.
- 공동구 설치에 도시미관의 개선, 자연재해로부터 전력/통신/가스 등의 인프라 네트워크 보호, 그리고 네트워크 운용의 효율성 제고 등 다양한 효과를 거둘 수 있어 그 필요성에 대한 인식이 확산되고 있는 추세임.
- 2010년 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 시행령 개정으로 대규모 개발사업 지역에 공동구 설치가 의무화 되었고, 2013년 발의되어 현재 국회에 계류중인 「전선공동구 설치 등에 관한 특별법안」이 최종 발효될 경우 전력 공동구에 해당되는 소단면의 공동구 시장이 급격하게 증가될 것으로 전망됨.

(2) 시장규모의 산출

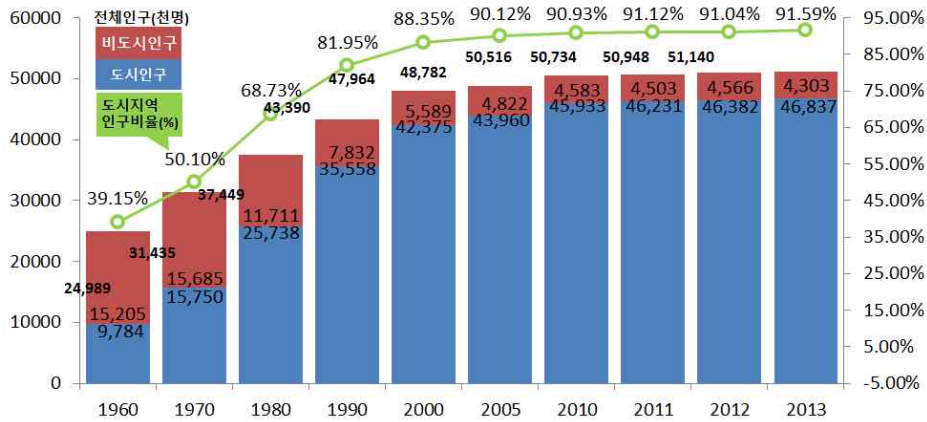
- 공동구 건설의 주요 수요를 구성하는 분야로는 도심지 공간 활용도 제고와 인프라 성능 향상을 위한 복합 공동구(전력, 통신, 가스, 상하수도 등을 동시 수용) 건설 분야와 고압 송전선의 지하화를 위한 배전선 공동구 건설 분야, 그리고 주거환경 개선을 위한 가공선로 지하화를 위한 공동구 건설 분야 등을 들 수 있음.
- 통계청, 한전, 한국감정원 등의 자료를 통해 향후 공동구 건설 수요를 예측해 본 결과 2014년부터 2023년까지 10년간의 공동구 건설시장의 누적규모는 약 6조2천억원인 것으로 나타났음.

<표 2.5> 국내 공동구 시장규모 산출

구 분	2004-2018년	2019-2023년
누적시장규모 (억원)	28,256	33,907
연도별 누적시장규모 (억원)	 <p>(단위: 억원)</p>	
산출근거	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 공동구 시장은 크게 한국전력 부문과 비(非)한국전력 부문으로 나누어 산정하였음. ▪ 비한국전력 부문은 통계청의 2005-2012년 전체 공동구 건설현황에서 한국전력 부문을 제외한 뒤, 기존 성장추세를 외삽하는 방식으로 산정하였음(한국전력 부문의 비율 설정은 이정일(2011)의 연구결과에 근거하였음). ▪ 한국전력 부문은 신규 공동구 건설 수요와 주거환경 개선을 위한 기존 시가지 경과 가공선로의 지중화 수요로 나누어 산정하였음. ▪ 신규공동구 건설 수요는 한국전력의 공동구 사업계획안에 근거, 투자추이를 외삽하는 방식으로 작성하였음. ▪ 지중화 수요는 산업자원부의 보고서에 제시된 지중화 최우선 대상선로 공사비를 추정기간에 등분하여 배분하는 방식을 취하였음. 	

(3) 향후 전망

- 우리나라 전체 인구 중 도시지역에 거주하는 인구비율은 2005년 이후 약 90% 이상으로 매우 높은 편이며 이러한 추세는 지속될 예정임. 따라서 인구집중에 의한 공동구와 같은 도시기반시설의 수요는 지속적으로 존재.



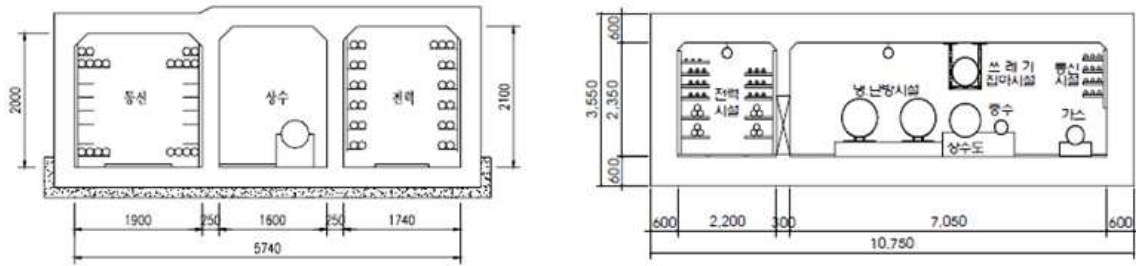
<그림 2.5> 도시지역 인구비율 현황(뉴시스, 2013)

- 그러나 대표적인 지상전선인 전력선의 경우 우리나라 대도시 가공 배전선로 지중화율은 매우 낮음(예, 서울 52.4%, 런던·파리 100%, 뉴욕 72.2%, 동경 86.3%). 현재 국회계류중인 「전선공동구 설치 등에 관한 특별법안」이 최종 발효될 경우 전선 공동구에 해당되는 소단면의 공동구 시장이 급격하게 증가될 것으로 전망됨.
- 도심지 공사의 경우 민원과 기존 지하시설물의 지표부근 난립으로 개착공사가 수월하지 않아 터널식 공동구가 선호됨. 2010년 기준 한국전력의 공동구 건설 공법별 적용 현황을 보면 2000년을 기준으로 대부분 비개착식인 TBM공법이 사용됨. 이러한 추세는 우리나라 도시인구 집중과 공사 민원에 따른 것으로 추정됨.

<표 2.6> 한전 터널 공법별 적용 현황(투데이에너지, 2014)

구분	NATM	TBM	기타	계
2000년 이전	17	24	1	42
2000년 이후	5	56	15	76
계	22	80	16	118

- 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 시행령 개정결과로 대규모 개발사업지 공동구 설치가 의무화 되었음. 공동구에 들어갈 수용시설 범위를 전선로, 통신선로를 포함한 다수의 설비를 의무적으로 수용토록 함에 따라 공동구 단면이 대규모화될 예정임. 특히 향후 건설될 새만금지구의 경우 공동구 사업비는 4,000억원에 달할 것으로 추정됨(국토교통부, 2013).



<그림 2.6> 분당 신도시 공동구(좌)와 행복중심 복합도시 설치 공동구(우) 비교

○ 최근 시특법의 2종 시설물에 공동구가 포함되었으며, 특히 노후 공동구가 2023년 21.5%로 증가 될 것으로 추정되어 국토교통부 안전관리체계가“예방형 유지관리”로 전환됨에 따라 공동구에 대한 안전관리 및 유지관리 수요가 크게 증가할 것으로 추정됨.

○ 공동구 전망 : 소단면 공동구 적용 대상의 증가

- 도시집중화(도시화율 90%)에 따른 집단민원(жат은 굴착, 가공송전선로 도심지 통과 등), 공동구 설치 의무화(세종시 등), 공동구 지중화에 대한 인식변화 등으로 공동구 설치연장의 꾸준한 증가



<그림 2.7> 연도별 공동구 연장 추세

- 공동구 수요 전망

- 단기 수요전망 : 공동구 설계기준에서 수용시설의 범위를 4종에서 2종으로 변경 추진 중(국토교통부와 건설기술연구원은 건설공사 기준인 설계기준 21종, 표준시방서 27종(전문시방서 포함)에 대한 기준 코드화 작업 중, 2015년). 전선지중화법안(「전선공동구 설치 등에 관한 특별법안」, 2013) 발의 등으로 수년 내 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 수요 급증 전망.
- 장기 수요전망 : 도심지 공동구 수용용량의 확대에 따른 대단면 터널식 공동구(Φ6~7m) 수요발생, 신도시 공동구 인천 송도, 새만금 개발(시장규모 4000억원) 등에 따른 공동구 수요 증가

2. 국외 시장현황 및 전망

2.1 현황

(1) 전반적 동향

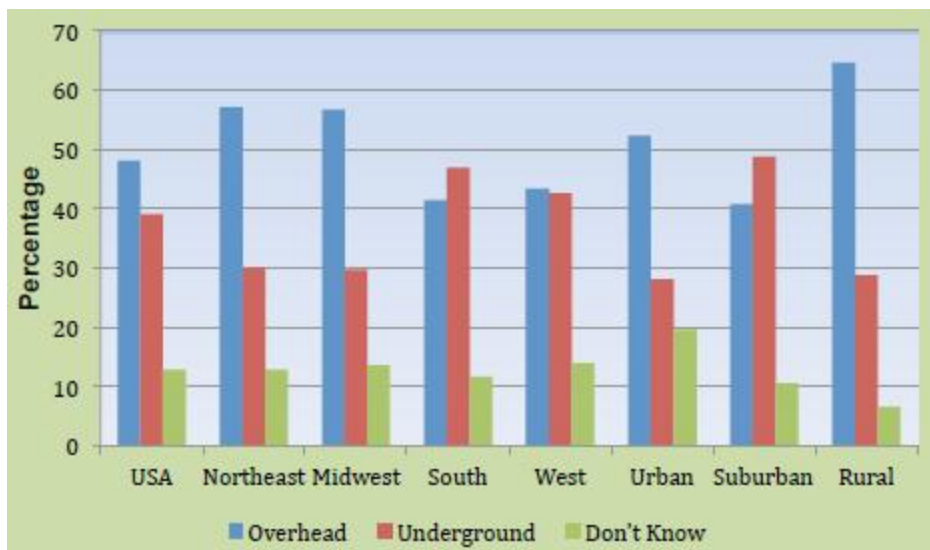
- 공동구 방식을 포함하는 지중화 사업은 지상화 방식에 비해 수 배에서 수십 배의 공사비가 소요되기 때문에(EEI, 2013), 경제발전 단계가 선진국 수준에 도달하지 못하면 국가정책의 우선순위에서 낮은 위치를 차지하는 것이 일반적임. 따라서 지중화 사업의 수행이 어느 정도 활성화 되어있는 국가는 미국, 일본, 그리고 유럽의 일부 국가들을 들 수 있음.
- 국외에서의 공동구 건설사업을 포함한 지중화 사업은 주로 자연재해로 인한 단전 사고의 저감, 도시미관의 향상 등을 목표로 수행되고 있는데 미국의 경우는 전자의 이유가, 일본의 경우는 후자의 이유가 사업 수행의 주된 목표가 되고 있음. 유럽의 경우, 경제발전이 앞선 국가들을 중심으로 도심지역에서의 지중화가 상당 수준 이루어져 있는 상황임. 유럽 전체의 차원에서 유럽의 주요 전력회사들로 구성된 RGI(Renewables Grids Initiative) 등의 민간기구를 중심으로 장거리 고압/초고압 송전선의 지중화를 위한 움직임이 있으나, 아직은 계획단계로 실제로 착수되기까지는 상당한 기간이 지나야 할 것으로 보임.

(2) 미국

- 미국의 경우, 공동구 건설을 포함한 전선 지중화 사업에서는 자연재해로 인한 단전사고의 저감이 사업수행의 주된 이유가 되고 있음.
- 단전사고를 초래하는 자연재해의 유형으로는 열대성 폭풍(hurricane), 하절기 폭우와 그에 동반하는 낙뢰와 돌풍, 동절기 폭설과 그에 동반하는 결빙, 홍수, 산불, 지진 등을 들 수 있는데, 이 중 열대성 폭풍/하절기 폭우/동절기 폭설로 인한 단전 사고의 비율이 97.8%를 차지하고 있으며, 지구온난화의 영향에 따라 그 발생빈도 또한 증가하고 있는 추세임(DOE, 2012).
- 2000년대에 들어오면서 지중화 관련 연구 및 사업 수행이 늘어나고 있는데, 이를 수행하는 사업주체는 국가 차원보다는 주로 주(state) 또는 시(city) 차원인 경우

가 대부분을 차지하는 것이 특색임(Navigant Consulting, 2005). 이는 에너지 정책의 수립 및 집행의 권한이 지방자치단체에 속해 있는 미국의 정치구조와 고도로 사영화(私營化: privatized)되어 있는 전력사업 구조에 기인하는 것으로 보임.

- 미국 내 전선 지중화의 정도는 상당한 수준에 달해 있는 것으로 평가됨. 에디슨 전기연구소(EEI: Edison Electric Institute)의 2012년 조사자료에 의하면 직/간접적으로 지중화 방식의 전력공급을 받고 있는 가구의 비율은 39%로 조사되었음. 특기할만한 사항으로, 일반적인 추측과는 달리 교외지역의 지중화 정도가 도심지역의 지중화 정도보다 더 높게 나타나는 특징을 보이고 있음(<그림 2.8> 참조).



<그림 2.8> 전선 지중화 서비스 제공률(EEI, 2013)

- 교외의 지중화율이 도심보다 더 높게 나타나는 이유는 지중화 방식이 지상화 방식에 비해 많은 비용이 든다는 점, 지역적 조건에 따라 도심이 교외보다 지중화 비용이 많이 소요된다는 점, 개별 사용자에게 지중화 비용을 부담시키는 비용분담방식이 주를 이루는 미국의 특성에 따라 경제적 능력이 상대적으로 뛰어난 교외 거주자들이 지중화 사업의 시행을 선택할 가능성이 높다는 점 등을 들 수 있음(<표 2.7>, <표 2.8> 참조).

<표 2.7> Mile 당 지중화 송전시설 건설비(EEI, 2013)

	Overhead			Underground		
	Urban [\$]	Suburban [\$]	Rural [\$]	Urban [\$]	Suburban [\$]	Rural [\$]
Minimum	377,000	232,000	174,000	3,500,000	2,300,000	1,400,000
Maximum	11,000,000	4,500,000	6,500,000	30,000,000	30,000,000	27,000,000


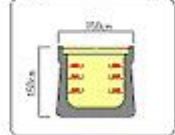


<표 2.8> Mile 당 지중화 배전시설 건설비(EEI, 2013)

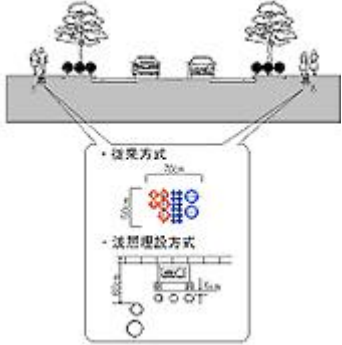
	Overhead			Underground		
	Urban [\$]	Suburban [\$]	Rural [\$]	Urban [\$]	Suburban [\$]	Rural [\$]
Minimum	126,900	110,800	86,700	1,141,300	528,000	297,200
Maximum	1,000,000	908,000	903,000	4,500,000	2,300,000	1,840,000

(3) 일본

- 일본은 경관 개선, 방재, 도로 상의 공간 확보 등을 목적으로 ‘전선류지중화(電線類地中化)’(또는 ‘무전주화(無電柱化)’라고도 일컬음) 사업을 국토교통성(国土交通省) 차원에서 수행하고 있음.
- 일본의 지중화 사업은 장기적 계획의 관점에서 수립/집행되어 왔음. 전선류지중화계획은 1986년부터 2008년까지 5단계에 걸쳐 수행되었으며, 이를 통해 약 8,500 km의 지중화 실적을 달성하였음(国土交通省, 2012).

<표 2.9> 일본 전선류지중화 사업

단계명	시기	정비대상지역	지중화방식
제1기 전선류 지중화계획	1986 - 1990	<ul style="list-style-type: none"> 전력 수요가 많은 대도시 지역 	
제2기 전선류 지중화계획	1991 - 1994	<ul style="list-style-type: none"> 지방도시 및 경관 지구로 대상 확대 	
제3기 전선류 지중화계획	1995 - 1998	<ul style="list-style-type: none"> 전력 수요의 증대가 예상되는 지역에 대한 선행적 정비 	
신(新) 전선류 지중화계획	1999 - 2003	<ul style="list-style-type: none"> 중규모 상업지구 및 주거지역으로 대상을 확대 	
무전주화(無電柱化)	2004 -	<ul style="list-style-type: none"> 역사적 보존이 필요한 지구 및 양호 	

계획	2008	한 도시 주거환경을 만들어야 하는 지구 등의 주요 비간선(非幹線) 도로 변을 대상	
----	------	---	---

(출처: 日本 国土交通

省)

- 지중화 사업에 소요되는 비용은 국가가 전액 분담하는 것이 아니라 통신회사, 전력회사 등의 민간 분야에서 그 일부를 분담하는 방식으로 수행되고 있음. 이로 인해 기존 업체와 신규 시장진입업체 등과의 불균형 문제 등이 초래되어 이의 해결을 위한 방안이 검토되고 있음(東都綜合研究所, 2001).

2.2 전망

(1) 전반적 현황

- 세계 지중화 시장은 초기투자비가 많이 소요되는 지중화 사업의 특성 상 기반시설에 대한 신규 수요가 많지 않고 지중화에 따른 투자비를 국가와 민간이 부담할 수 있는 능력을 갖춘 국가들, 즉 경제발전 단계가 높은 수준에 도달한 선진국 중심으로 형성되어 있는 상황임.
- 선진국 시장의 경우, 도시형성 초기에 지중화 계획을 수립하여 장기적 관점에서 사업을 시행한 경우보다는 기존 시가지에 대한 우선순위 설정에 근거한 점진적 개선의 경우가 주를 이룸. 이는 대부분의 도시가 역사적 전통을 가지고 장기간에 걸쳐 성장해 온 사회적 배경에 일정 부분 기인하고 있는 것으로 보임.
- 그러나 점진적 개선을 통한 지중화 방식은 소규모의 자본 확보로 개별 사업을 수행할 수 있는 장점을 갖는 대신 지상화 방식의 기존 시설 확보와 해체에 따른 중복투자 문제와 기존에 형성된 도시 형태에 따른 공간적 제약 등에 따른 공사비 상승 등의 문제점을 가지고 있음.
- 장기발전계획에 근거한 선제적 지중화 방식은 점진적 방식과 반대의 특성을 가지고 있어, 신도시 개발방식에 의해 도시화 문제를 해결하고자 하는 국가의 경우 일정 수준의 자본투자능력을 갖추고 있다면 사업수행의 질적 성취도 향상을 위해서 반드시 고려해야 하는 선택지로 볼 수 있음.
- 따라서 지중화 사업의 신규시장은 점진적 개선방식이 주를 이루는 선진국 중심의 시장과, 장기발전계획에 근거한 선제적 지중화 방식이 주를 이루는 신흥공업국 중심의 시장으로 양분되어 형성될 것으로 예측 가능함.

(2) 시장 예측

- 신흥공업국 시장의 경우 국가별로 도시화의 정도와 추세, 투자우선순위가 상이하 여 시장 추정이 용이하지 않은 문제가 있음. 따라서 본 절에서는 선진국 중심의 시장, 특히 일본과 미국의 경우를 중심으로 향후 시장규모를 추정하는 것으로 하였음.

○ 국외 공동구 누적시장 규모는 2014-2018년 1,400,581 억원으로 추정되고, 2019-2023년 2,541,255 억원으로 추정됨.

<표 2.10> 국외 공동구 시장규모 산출(단위 : 억원)

구 분		2014-2018년	2019-2023년
누적시장규모 (억원)	일본	105,750	126,900
	미국	229,293	238,853
	유럽	391,147	798,612
	동아시아	337,196	688,450
	중동/아프리카	121,390	247,832
	남미	148,366	302,918
	CIS	67,439	137,690
	합계	1,400,581	2,541,255
산출근거	일본	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 일본 지중화시장의 규모는 국토교통성(国土交通省) 및 일본건설신문(日本建設新聞)의 자료에 근거하여 작성하였음. ▪ 산출방식은 다음과 같음. <ol style="list-style-type: none"> (1) 지중화가 완료된 선로의 총연장(国土交通省, 2013a)에 2011-2012년간 발주된 지중화 사업의 km당 사업비 평균(日本建設新聞)을 곱하여 현재까지 투입된 전체 지중화 사업비를 산정하고 (2) 전체 지중화 사업비를 현재의 전국 지중화비율(国土交通省, 2013b)로 나누어 단위비율(%)/당 소요사업비를 산출한 뒤 (3) 기간별로 예상되는 지중화 사업의 달성비율에 단위비율당 소요사업비를 곱하여 기간별 시장규모를 산정하고 (4) 여기에 엔-원 환율(2014년 5월 기준 이전 6개월 평균치)을 곱하여 원화 기준의 시장규모를 도출하였음. 	
	미국	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 미국 지중화시장의 규모는 미국 통계청(U.S. Census Bureau)의 2002년, 2007년 자료에 근거하여 작성하였음. ▪ 산출방식은 다음과 같음. <ol style="list-style-type: none"> (1) 미국 통계청의 분류코드(2012 NAICS: 237130 - Power and communication line and related structures construction)의 송배전설비 관련 항목(Power and communication transmission lines, cables, towers, and related facilities)의 금액에 기준하여 (2) 지중화 사업이 해당항목에서 차지하는 비율의 추정치(20%)을 곱하여 지중화 사업의 2007년도 시장규모를 산출한 뒤 (3) 2007년의 2002년 대비 시장 성장규모를 이용하여 관심기간에 대한 연간 및 누적시장규모를 추정한 뒤 (4) 달러-원 환율(2014년 5월 기준 이전 6개월 평균치)을 곱하여 원화 기준의 시장규모를 도출하였음. 	
	그 외 지역	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 그 외 지역의 지중화시장 규모는 세계적인 건설정보종합미디어그룹인 KHL Group의 자료에 기반하여 작성하였음. ▪ 산출방식은 다음과 같음. <ol style="list-style-type: none"> (1) 세계 지역별 건설시장 규모(2012년 기준) 자료를 이용, 미국에 대한 상대적 비중을 계산하고 (2) 기 산출된 미국의 지중화 시장 규모에 각 지역의 상대적 비중을 곱하여 지역별 지중화시장 규모를 도출하였음. 	

3절. 기술(특허, 논문 등) 동향

1. 국내외 특허분석

1.1 분석절차 및 범위

(1) 분석절차

- 본 기획에서는 조사항목, 대상, 기간, 검색범위를 설정하고 분석 대상 관련 Keyword 도출 및 검색식 설정, 특허 DB 검색 및 노이즈 제거를 거쳐 분석 대상을 확정하여 분석하는 절차를 따름.

(2) 분석범위

- 특허 검색 방법은 다음과 같음.
 - 미국과 일본에서 1994년 이후 공개·등록된 특허를 대상으로 하였음.
 - 검색은 한국특허정보원의 특허정보검색서비스를 활용함.
 - 검색수준은 중분류 수준으로 키워드 검색하고, 분석은 대분류 수준에서 수행함.
 - 중분류 특허수는 타 중분류와 중복된 경우에도 포함하여 작성함.
 - 공동구 기술분류별 특허 검색식 및 특허수는 다음과 같음.

<표 2.11> 공동구 기술분류별 특허 검색식 및 특허수

대분류	중분류	검색식	특허수
공동구 설계	설계기술	("utility tunnel*" or "utility duct*" or "common duct*") AND (plan or design) NOT (hydrocarbon or turbine or storage or humidifier or fuel or fluid)	19
	내진설계 기술	("utility tunnel*" or "utility duct*" or "common duct*") AND (plan or design) AND (seismic* or earthq*) NOT (hydrocarbon or fuel)	6
	설계용량/단면 최적화 기술	("utility tunnel*" or "utility duct*" or "common duct*") AND ((section or plan) and optim*) OR (design and capacity) NOT (hydrocarbon or fuel)	1
	표준 공정/공사비 관리시스템	("utility tunnel*" or "utility duct*" or "common duct*") AND (management or system or process or cost) AND (construct* or underground) NOT (hydrocarbon or fuel)	1
	방재 및 안전 관리시스템	("utility tunnel*" or "utility duct*" or "common duct*") AND (disaster or accident or secur*) AND ("safe*" or inspect* or prevent or "manage*")	19
	운영 관리 제도	("utility tunnel*" or "utility duct*" or "common duct*") AND (regulation or rule*) AND (operat* or manage*)	17

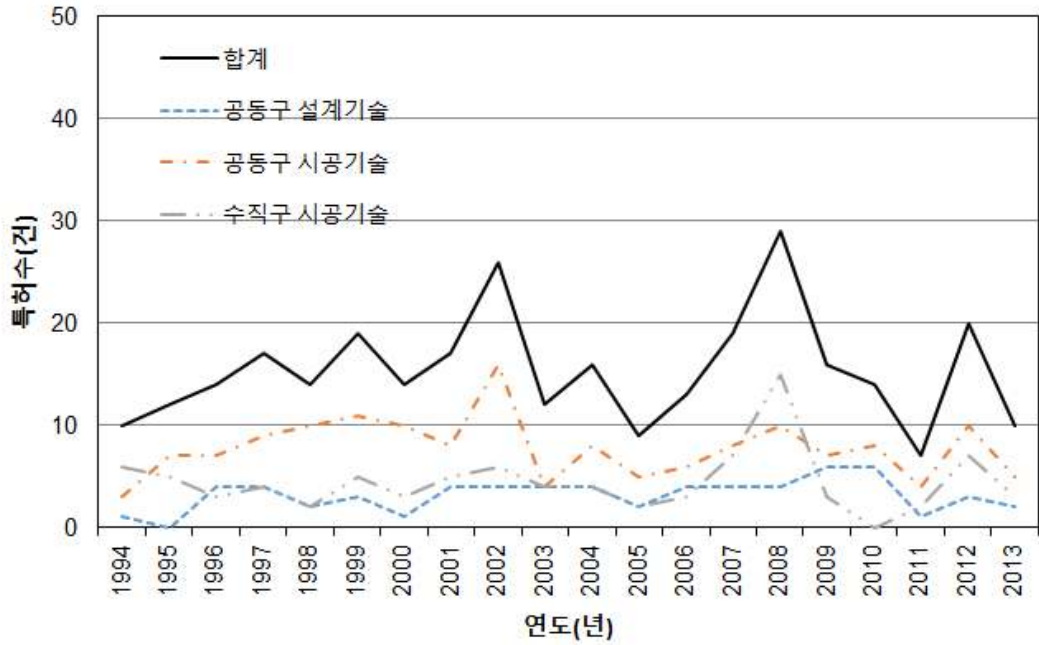
공동구 시공기술	shield-TBM 시공기술	굴진성능 예측	("shield-TBM" or "tunnel boring" or monitor) AND (dig* or excav* or tunnel*) AND (perform* or monitor* or predict*) AND (underground or subterr* or construct*)	63
		급곡/우회/특수 지반 시공기술	("shield-TBM" or "tunnel boring") AND ((curve or slope) OR ("soft soil" or "weak ground")) AND construct*	55
		실대형 성능검증 기술	("shield-TBM" or "tunnel boring" or construct*) AND (test* or verif* or investig*)	1
	개착박스 시공기술	암거 장기 거동제어/안정 성 기술	("conduit" or "culvert") AND (control or manage* OR ("long term" or safe*))	17
		침매(매입식) 공동구	("utility tunnel*" or "utility duct*" or "common duct*" or "conduit" or "culvert") AND (buried* or underground* or subterr*)	20
수직구 시공기술	지하수 유출 방지, 차수 건설공법	("vertical shaft" or "shaft tunnel" or "vertical tunnel") AND (leak* or waterproof or water or seal) AND (prevent*) AND (underground or construct*)	25	
	급속 굴착공법	("vertical shaft" or "shaft tunnel" or "vertical tunnel") AND (fast* or rapid) AND (dig* or excav* or tunnel* or boring) AND (underground or construct*)	22	
	급속/모듈화 시공법	("vertical shaft" or "shaft tunnel" or "vertical tunnel") AND (fast* or rapid) AND (modul*) AND (underground or subterr*) AND (build* or construct*)	16	
	수직구-터널 접속부 보강기술	("vertical shaft" or "shaft tunnel" or "vertical tunnel") AND (connect* or joint*) AND (reinforc*) AND (underground or subterr*)	26	

1.2 전체동향

(1) 연도-기술분야별 특허출원등록 현황

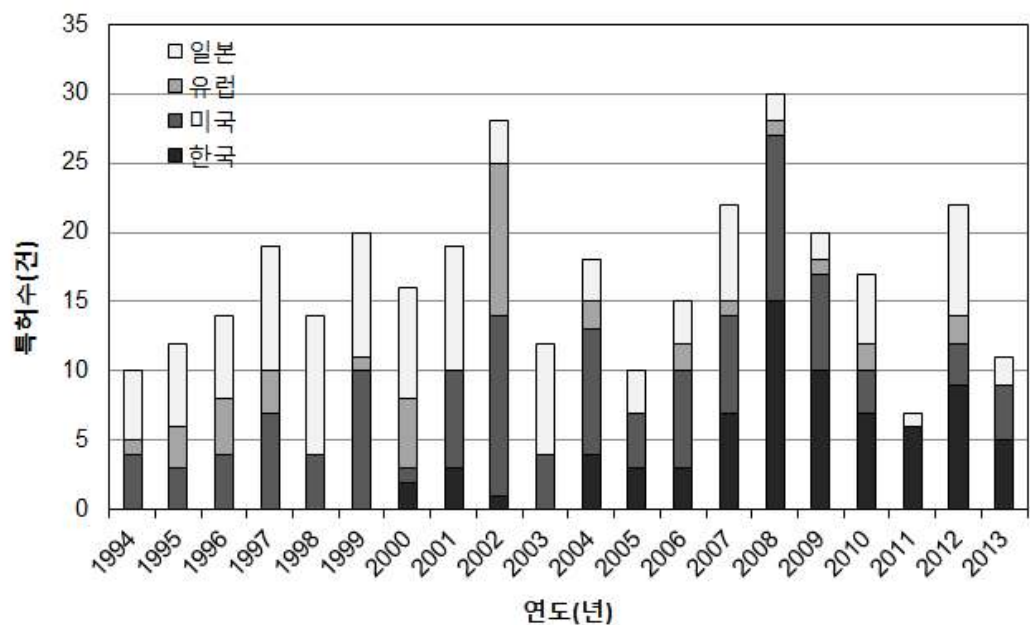
○ 연도별 특허출원추세는 1994년 10건에서 2008년에 최고 29건으로 (2014년은 출원 미공개 특허가 존재하여 연평균성장 분석에서 제외함) 연평균 8%의 성장률을 보임.

- 2013년에는 13건으로 감소함.

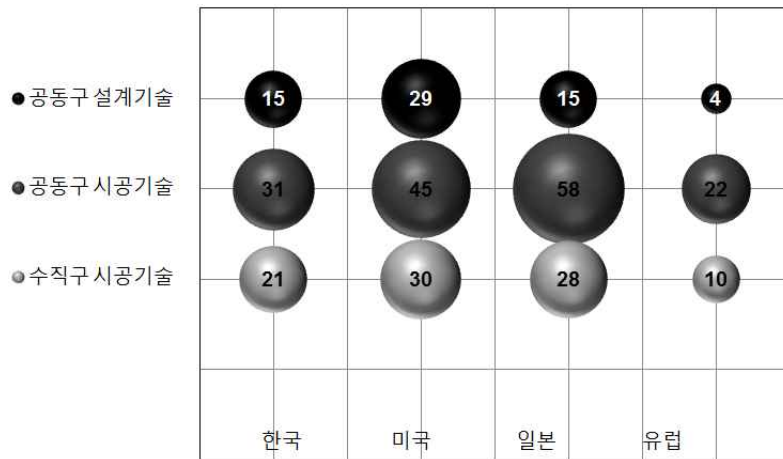


(2) 국가별 특허출원등록 현황

- 공동구에 관련하여 1994년 이후 우리나라, 미국, 일본, 유럽에 등록 및 공개된 특허는 총 336건 임.
- 분야별로는 공동구 설계기술 63건, shield-TBM 시공기술 156건, 수직구 시공기술 89건으로 나타남.
- 우리나라는 2000년대에 들어서 활발한 특허 출원·등록 활동이 일어남.



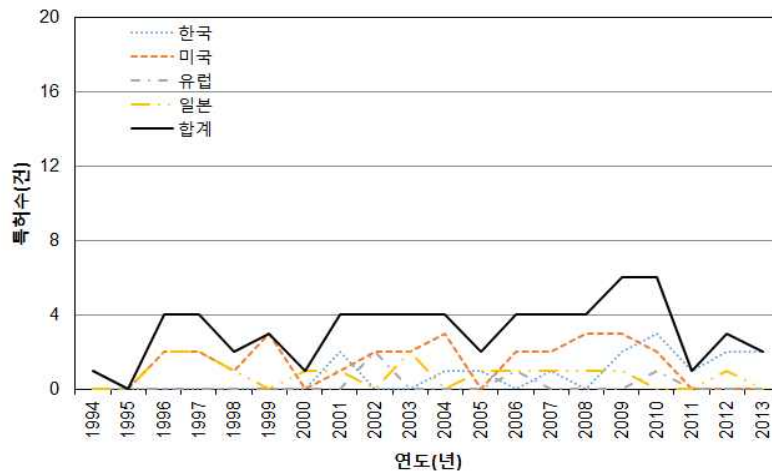
- 국가별 특허출원등록 현황을 분석한 결과, 공동구 설계에 관련하여 특허를 가장 많이 출원·등록한 국가는 미국이고, 그 다음 일본, 우리나라, 유럽 순으로 나타남.
 - 우리나라는 shield-TBM 시공공법과 관련된 특허를 집중적으로 출원·등록함.
 - 미국은 전 분야에서 골고루 특허 활동이 활발함.



1.3 세부동향

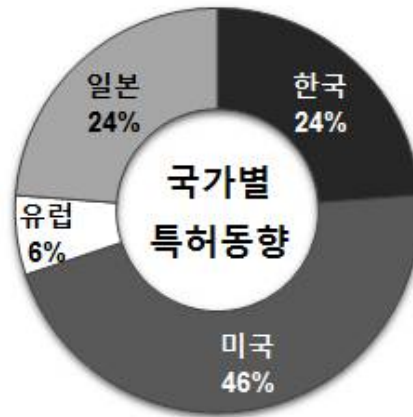
(1) 공동구 설계기술

- 연도별 현황
 - 공동구 설계기술과 관련한 특허는 총 63건이 검색됨.
 - 2000년대 중반 이후 한국의 특허활동이 활발하게 일어남.



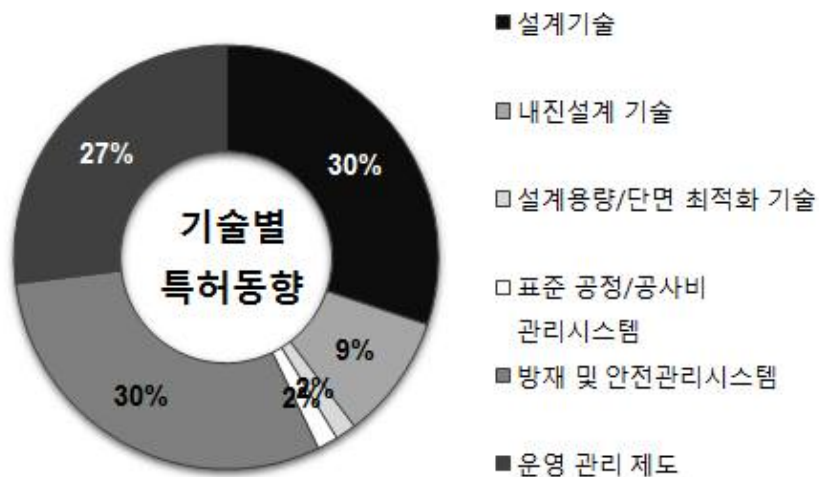
○ 국가별 현황

- 우선권 주장 국가별로는 공동구 설계기술 관련 특허를 가장 많이 보유하고 있는 국가는 미국이 29건으로 전체의 46%를 차지하고 있음.
- 미국 다음으로는 일본, 우리나라, 유럽 순으로 나타남.

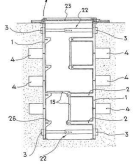
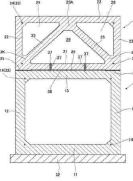
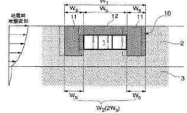


○ 기술별 현황

- 기술분야별로는 설계기술, 방재안전 시스템, 운영관리제도에 집중적으로 특허가 출원·등록되었음.
- 내진설계기술, 설계용량/단면 최적화 기술, 표준 공정/공사비 관리시스템과 관련된 특허출원이 미미함.



○ 주요 피인용 특허 정보

등록번호	특허제목	권리권자	특허일	대표단면
US7156582	Inspectable tunnel for underground pipes and cables	Angel Ballesteros	2004	
18141959	BOX CULVERT STRUCTURE AND ITS CONSTRUCTION METHOD	MATSUBA DESIGN JIMUSHO:KK	2006	
21217006	SEISMIC STRENGTHENING STRUCTURE FOR BOX CULVERT	SHIMIZU CORP	2009	

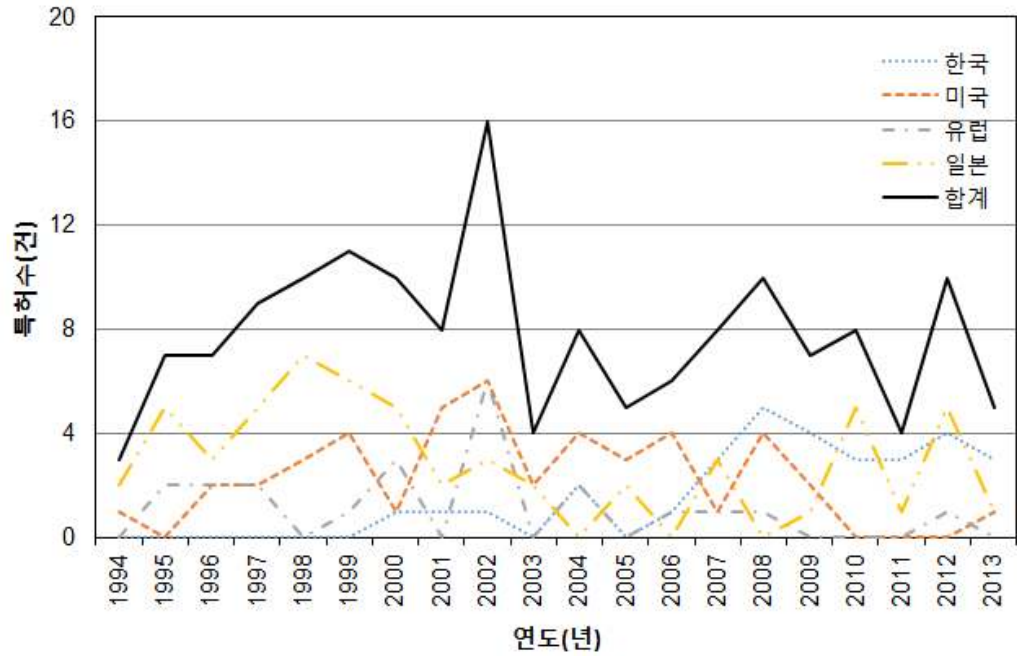
○ 주요 출원기관 현황

순위	미 국		일 본		대한민국	
	특허권자	건수	특허권자	건수	특허권자	건수
1	Council of Scientific & Industrial Research	1	SHOWA CONCRETE IND CO LTD	2	한국건설기술연구원	2
2	-	-	SHIMIZU CORP	2	국토연구원	1
3	-	-	OBAYASHI CORP	2	-	-

(2) 공동구 시공기술

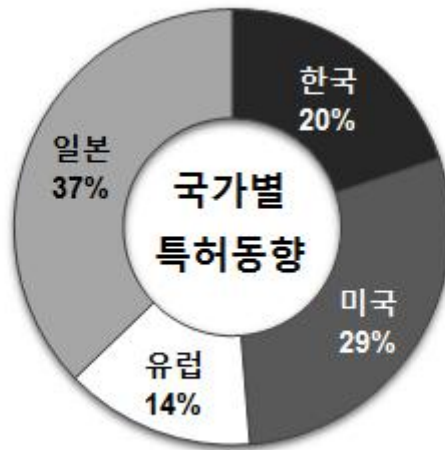
○ 연도별 현황

- 공동구 시공기술과 관련한 특허는 총 156건이 검색됨.
- 2000년대 초반에 미국, 유럽, 일본에서 특허활동이 활발했음.
- 2000년대 중반 이후 한국의 특허활동이 활발하게 일어남.



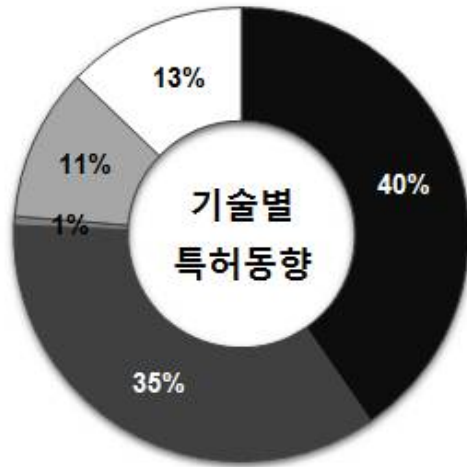
○ 국가별 현황

- 우선권주장 국가별로는 shield-TBM와 개착박스 시공기술과 관련 특허를 가장 많이 보유하고 있는 국가로서 일본이 58건으로 전체의 37%를 차지하고 있음.
- 일본 다음으로는 미국, 우리나라, 유럽 순으로 나타남.



○ 기술별 현황

- 기술 분야별로는 굴진성능 예측시스템과 급곡/우회/특수지반 시공기술에 집중적으로 특허가 출원·등록되었음.
- 실대형 성능검증 기술과 관련된 특허출원이 미미함.

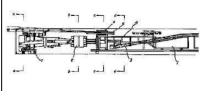
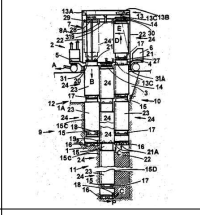
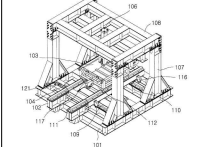


- 굴진성능 예측시스템
- 급곡/우회/특수지반 시공기술
- 실대형 성능검증 기술
- 암거 장기 거동제어 / 안정성 기술
- 침매(매입식) 공동구

○ 주요 출원기관 현황

순위	미 국		일 본		대한민국	
	특허권자	건수	특허권자	건수	특허권자	건수
1	Vermeer Manufacturing Company	3	TASEI CORP	8	한국건설기술연구원	2
2	-	-	KAJIMA CORP	6	(주)지오넷	2
3	-	-	TOKYO ELECTRIC POWER CO INC	1	SK건설 주식회사	1

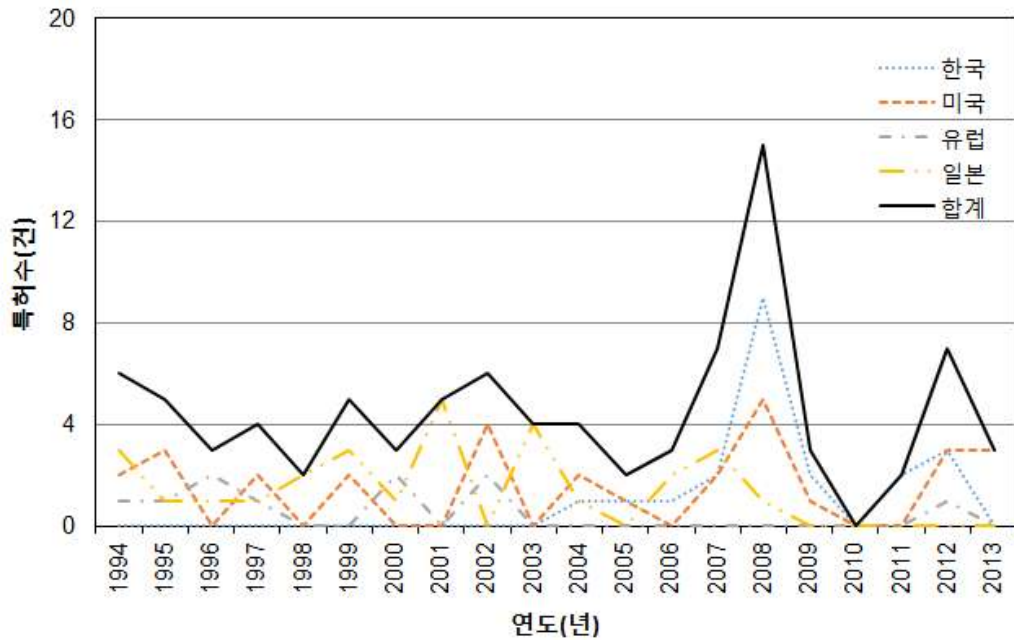
○ 주요 피인용 특허 정보

등록번호	특허제목	권리권자	특허일	대표도면
JP10311198	TBM EXCAVATION PARALLEL PRECEDING BORING DEVICE AND PRECEDING BORING HOLE EXCAVATION METHOD	KAJIMA CORP	1997	
US20040208710	Underground boring machine employing navigation sensor and adjustable steering	Natalia Shreider	2004	
1020040105793	TBM의 면판설계 및 굴진성능 평가를 위한 선형절삭 시험장치	한국건설 기술연구원	2004	

(3) 공동구용 수직구 시공기술

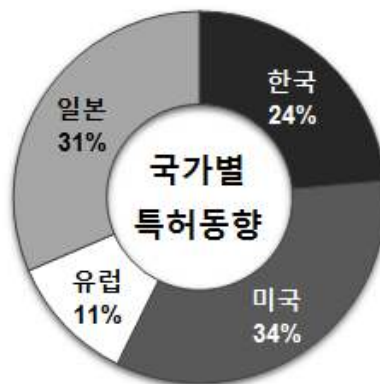
○ 연도별 현황

- 수직구 시공기술과 관련한 특허는 총 89건이 검색됨.
- 2000년대에 들어서 특허출원 건수가 증가함.
- 2008년에 전 세계적으로 15건의 특허가 출원되었으나, 그 이후 특허출원 건수가 줄어들음.



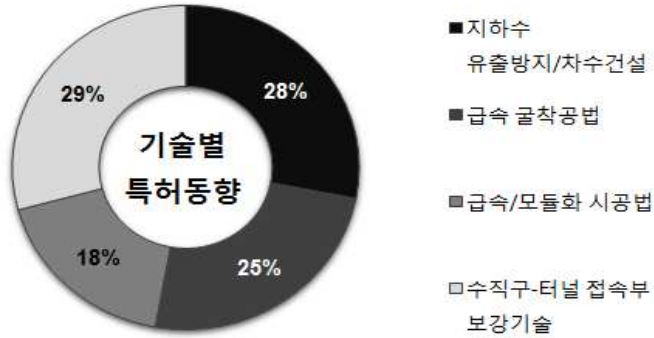
○ 국가별 현황

- 우선권 주장 국가별로는 수직구 시공기술 관련 특허를 가장 많이 보유하고 있는 국가는 미국이 30건으로 전체의 34%를 차지하고 있음.
- 미국 다음으로는 일본, 우리나라, 유럽 순으로 나타남.



○ 기술별 현황

- 기술분야별로 골고루 특허가 출원·등록됨.
- 급속/모듈화 시공법과 관련된 특허출원이 상대적으로 미미함.



○ 주요 출원기관 현황

순위	미 국		일 본		대한민국	
	특허권자	건수	특허권자	건수	특허권자	건수
1	The Charles Machine Works, Inc.	2	KAJIMA CORP	3	지질자원연구원	1
2	-	-	TASEI CORP	3	철도기술연구원	1
3	-	-	MITSUI CONSTR CO LTD	2	-	-

○ 주요 피인용 특허 정보

등록번호	특허제목	권리권자	특허일	대표도면
US6827326	Modular forming system for box culvert	GCI Pipe Products, Inc.	2002	
JP2008144485	TUNNEL STRUCTURE OF BRANCH/MERGING SECTION AND CONSTRUCTION METHOD	NIPPON STEEL CORP	2006	
1020120088041	지하 수직구 구조물 시공 방법	장영미	2008	

2. 국내외 문헌연구 분석

2.1 분석절차 및 범위

(1) 분석절차

- 여기에서는 조사항목, 대상, 기간, 검색범위를 설정하고 분석 대상 관련 Keyword 도출 및 검색식 설정, 논문 DB 검색 및 노이즈 제거를 거쳐 분석대상을 확정하여 분석하는 절차를 따름.

(2) 분석범위

- 문헌분석 방법은 다음과 같음.
 - 검색은 1994년 이후에 SCI에 발표된 논문을 대상으로 하였음.
 - 검색은 Web of Science를 활용하였으며, 검색 범위는 주제어로 함.
 - 검색수준은 중분류수준으로 키워드 검색하고, 분석은 대분류 수준에서 수행함.
 - 공동구 기술분류별 논문 검색식 및 논문수 요약은 다음과 같음.

<표 2.12> 공동구 기술분류별 논문 검색식 및 논문수 요약

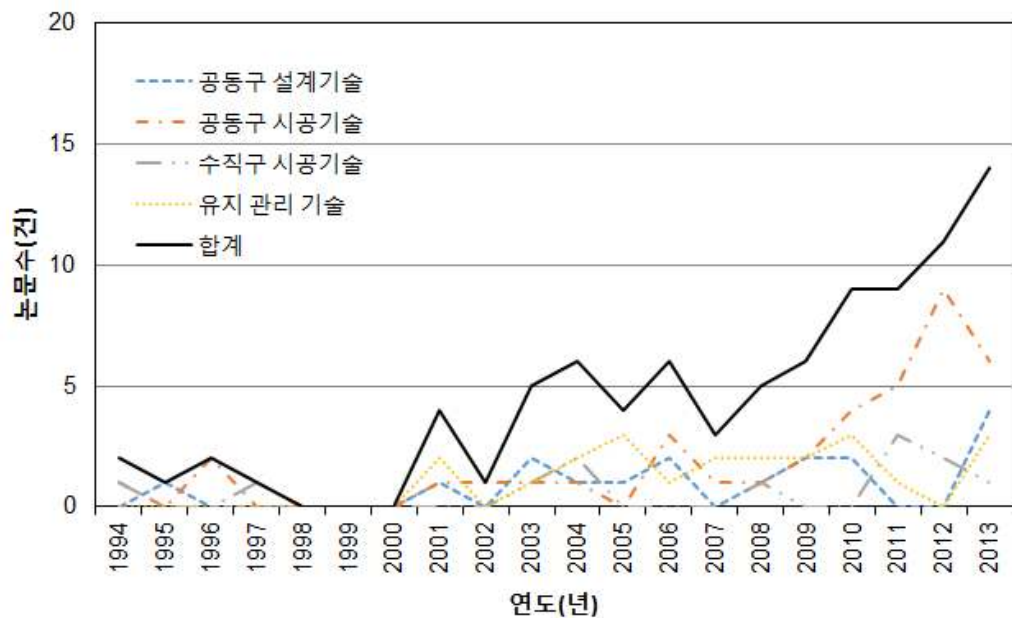
대분류	중분류	검색식	논문수
공동구 설계기술	설계기술	("utility tunnel*" or "utility duct*") AND ("plan*" or "design*") NOT ("express*" or "driv*" or "bile") NOT (safety or management or standard or section or capacity or seismic* or *quake or opti*)	4
	내진설계 기술	("utility tunnel*" or "utility duct*") AND ("plan*" or "design*") NOT ("express*" or "driv*" or "bile") AND (seismic* or *quake)	2
	설계용량/단면 최적화 기술	("utility tunnel*" or "utility duct*") AND ("plan*" or "design*") NOT ("express*" or "driv*" or "bile") AND (capacity or section)	5
	표준 공정/공사비 관리시스템	("utility tunnel*" or "utility duct*") AND ("plan*" or "design*") NOT ("express*" or "driv*" or "bile") AND (standard)	1
	방재 및 안전 관리시스템	("utility tunnel*" or "utility duct*") AND ("plan*" or "design*") NOT ("express*" or "driv*" or "bile") AND (safety)	3
	운영 관리 제도	("utility tunnel*" or "utility duct*") AND ("plan*" or "design*") NOT ("express*" or "driv*" or "bile") AND (management)	2

공동구 시공 기술	섀드 TBM 시공기술	굴진성능 예측	("shield tunnel*" or "shield* TBM") AND ("construction*") NOT ("express*" or "driv*" or "bile") AND (pene* or "drill* rate" or "advan* rate" or "progress rate*")	6
		급곡/우회/특수지 반 시공기술	("shield tunnel*" or "shield* TBM") AND ("construction*") NOT ("express*" or "driv*" or "bile") AND ("ben*" or "curv*" or "soft ground" or "weak ground" or detour or bypass or "by-pass" or "by pass" or "obstruction")	14
		실대형 성능검증 기술	("shield tunnel*" or "shield* TBM") AND ("construction*") NOT ("express*" or "driv*" or "bile") AND (valid* or verification or investigation)	11
	개착박스 시공기술	암거 장기 거동제어/안정성 기술	("open-cut*" or "open cut*" or "open excavation") AND (utility or tunnel) AND ("construction*" or "excavation") NOT ("express*" or "driv*" or "bile") AND (stab* or durab* or endur* or move* or motion* or control*)	3
		침매(매입식) 공동구	("open-cut*" or "open cut*" or "open excavation") AND ("construction*" or "excavation*") AND (lay* or buri* or bury* or tubing or submerged or immersed)	4
수직구 시공기술	지하수 유출 방지, 차수 건설공법	-	3	
	급속 굴착공법	(shaft or "vertical shaft" or "horizontal shaft") AND ("rapid" or "fast") NOT (tbm) AND (excavation)	4	
	급속/모듈화 시공법	(shaft or "vertical shaft" or "horizontal shaft") AND ("rapid" or "fast") NOT (tbm) AND (construction)	3	
	수직구-터널 접속부 보강기술	(shaft "tunnel") AND (reinforcement or strengthen)	2	
유지관리 기술	유지관리 기술 (ICT/BT 기반)	("utility tunnel*" or "utility duct*" or "shaft tunnel" or "vertical tunnel") AND (maintenance or management) NOT ("express*" or "driv*" or "bile")	7	
	리모델링 기술 (단면/구조 성능개선)	("utility tunnel*" or "utility duct*" or "shaft tunnel" or "vertical tunnel") AND (improve* or reform* or upgra* or modif*) NOT ("express*" or "driv*" or "bile")	9	
	공동구 연결 기술 (네트워크 확장)	("utility tunnel*" or "utility duct*" or "shaft tunnel" or "vertical tunnel") AND (connec* or join* or link* or attach*) NOT ("express*" or "driv*" or "bile")	6	

2.2 전체동향

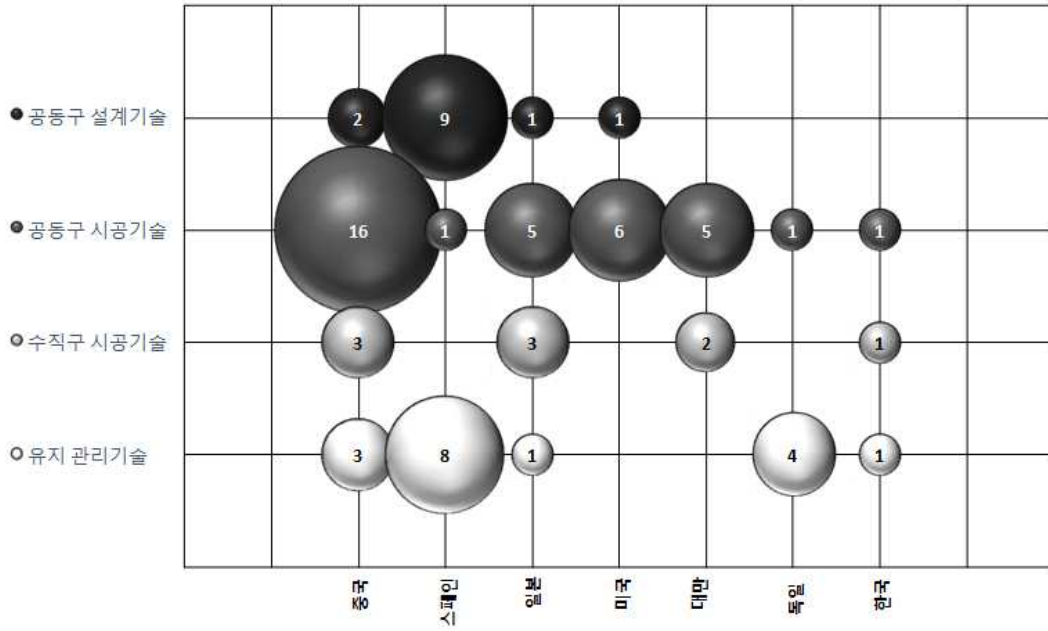
(1) 연도별 논문발표 현황

- 소단면 터널식 공동구에 관련하여 1994년 이후 발표된 SCI급 논문은 총 89건임.
 - 분야별로는 공동구 설계기술 17건, 공동구 시공기술 38건, 수직구 시공기술 12건, 유지관리 기술 22건이 발표됨.
- 연도별 논문발표추세는 1994년 2건에서 2000년대 이후 지속적으로 출간되다가 2013년 14건으로 매우 크게 증가함.
 - 1993년부터 2000년대까지는 논문출간 횟수가 거의 없었으나, 2001년부터 연평균 11%의 높은 성장률을 기록하여 연구 활동이 최근 들어 활발해지는 분야임을 확인할 수 있음.
 - 기술 분야별로는 shield-TBM 시공기술이 9.4%로 가장 높은 성장세를 보였고, 수직구 시공기술 8.4%, 공동구 설계기술 7.6%로 나타남.



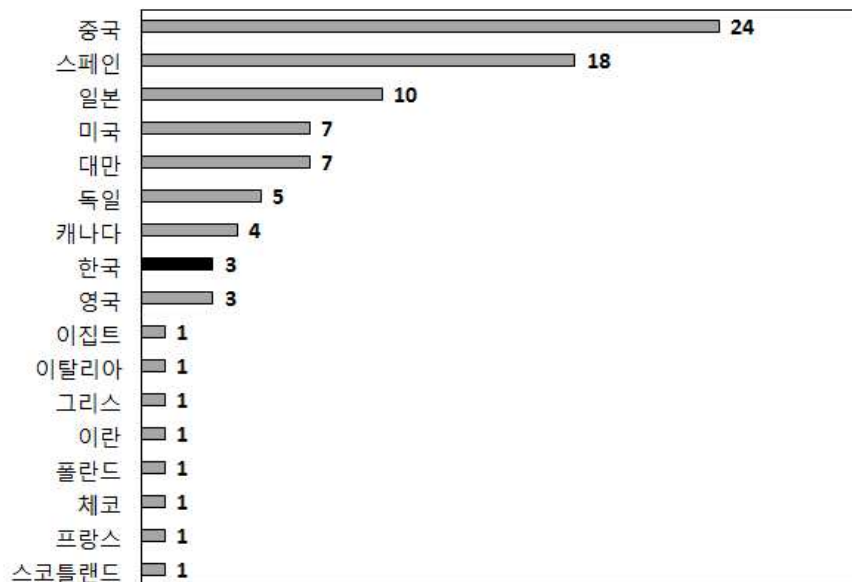
(2) 국가별 논문발표 현황

- 국가별 논문발표 현황을 분석한 결과, 소단면 터널식 공동구에 관련하여 논문을 가장 많이 발표한 국가는 중국이고, 그 다음으로 스페인, 일본, 미국, 대만 순으로 나타났으며, 우리나라는 8위를 기록함.



(3) 국가경쟁력 순위

- 우리나라는 공동구 설계 및 시공에 관련하여 발표된 논문건수로 비교한 결과 전체 8위로 나타남.

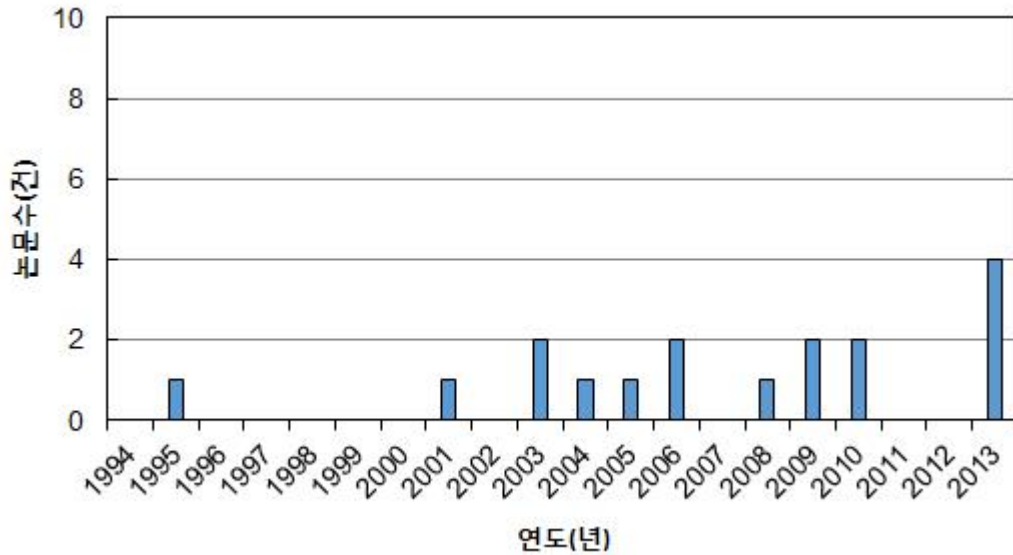


2.3 세부동향

(1) 공동구 설계기술

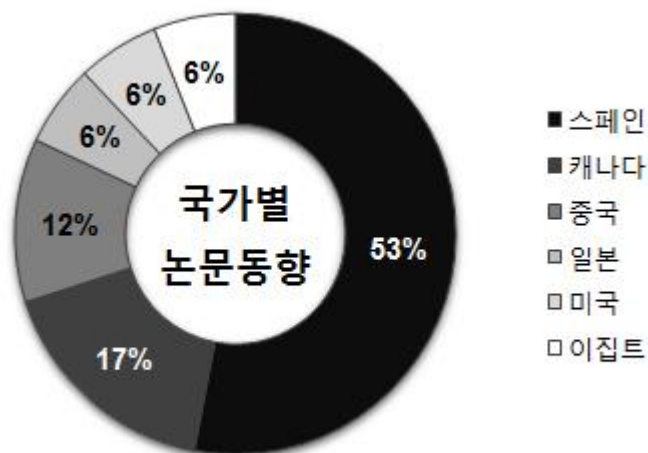
○ 연도별 현황

- 1994년 이후 총 17편이 발표되었고, 1995년에 1편, 2013년에 4편이 발표되어 대체적으로 저조한 연구동향을 보임.



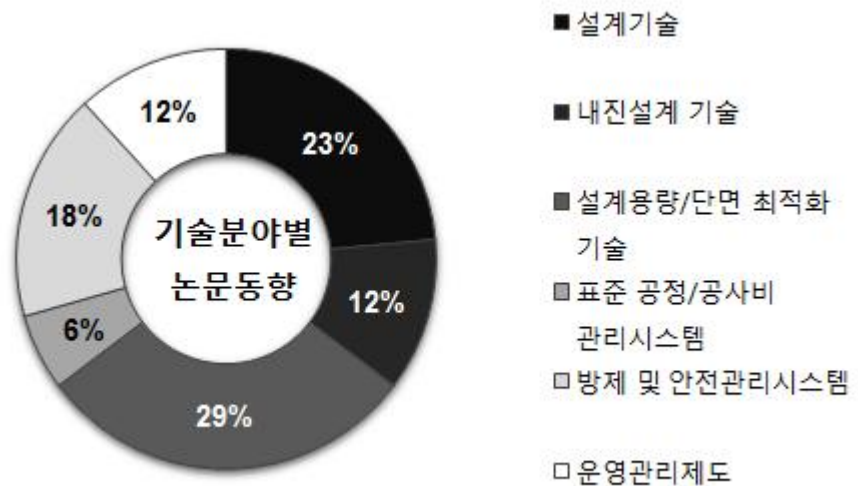
○ 국가별 현황

- 국가별 공동구 설계기술 논문 발표 현황을 살펴보면 전체 발표논문의 53%가 스페인에서 발표되었음.
- 스페인 다음으로 캐나다(3편, 17%), 중국(2편, 12%)순으로 연구 활동이 활발한 것으로 나타남.



○ 기술별 현황

- 공동구 설계기술 분야 세부기술별 논문발표현황을 살펴보면 설계용량/단면 최적화기술이 5건이 발표되어 전체의 29%를 차지하여 중요 관심분야임을 나타냄.
- 다음으로 논문발표가 활발한 분야는 설계기술로 4편 23%를 나타냄.
- 나머지 분야는 3건 이하의 논문이 발표되었고, 특히 표준 공정/공사비 관리시스템과 관련된 기술 분야가 가장 적은 논문이 발표된 것으로 나타남.



○ 주요 연구기관 및 연구자 현황

- 공동구 설계기술과 관련된 주요 연구기관을 살펴보면, Univ Politecn Valencia, Tongji Univ, SMA Consulting Ltd 등으로 나타남.
- 주요 연구자로는 Canto-Perello, Julian(Univ Politecn Valencia, Spain)이 9건, Curiel-Esparza, Jorge(Univ Politecn Valencia, Spain)가 9건 Calvo, Vicente(Univ Politecn Valencia, Spain)가 3건의 논문을 발표한 것으로 나타남.
- 공동구 설계기술과 관련된 연구가 주로 발표되는 저널은 TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY, PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS-MUNICIPAL ENGINEER, EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS 순으로 나타남.
- TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY는 공동구 설계기술 분야에서 4편의 논문이 발표되어 23.5%의 점유율을 나타내는 주요 저널임.

연구기관		연구자		주요저널	
기관명	건수	연구자명 (소속, 국가)	건수	저널명	건수
Univ Politecn Valencia	9	Canto-Perello, Julian	9	TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY	4
Tongji Univ	2	Curiel-Esparza, Jorge	9	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS-MUNICIPAL ENGINEER	2
SMA Consulting Ltd	1	Calvo, Vicente	3	EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS	1
Univ Alberta	1	Li Jie	2	ARCHIVES OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING	1
Waseda Univ	1	Chen Jun	2	JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE	1

○ 주요 피인용 논문 정보

제 목	저널명	저 자	연 도	피인용 횟수
Advancing sustainable urban development in China	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS—MUNICIPAL ENGINEER	Wang, J. H.; Koizumi, A.; Liu, X.	2008	6
Shaking table test of utility tunnel under non-uniform earthquake wave excitation	SOIL DYNAMICS AND EARTHQUAKE ENGINEERING	Chen, Jun; Shi, Xiaojun; Li, Jie	2010	7
Human factors engineering in utility tunnel design	TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY	Canto-Perello, J; Curiel-Esparza, J	2001	12
Establishing sustainable strategies in urban underground engineering	SCIENCE AND ENGINEERING ETHICS	Curiel-Esparza, J; Canto-Perello, J; Calvo, MA	2005	8
Risks and potential hazards in utility tunnels for urban areas	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS—MUNICIPAL ENGINEER	Canto-Perello, J; Curiel-Esparza, J	2003	9
Indoor atmosphere hazard identification in person entry urban utility tunnels	TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY	Curiel-Esparza, J; Canto-Perello, J	2005	8

○ 국가 경쟁력 순위

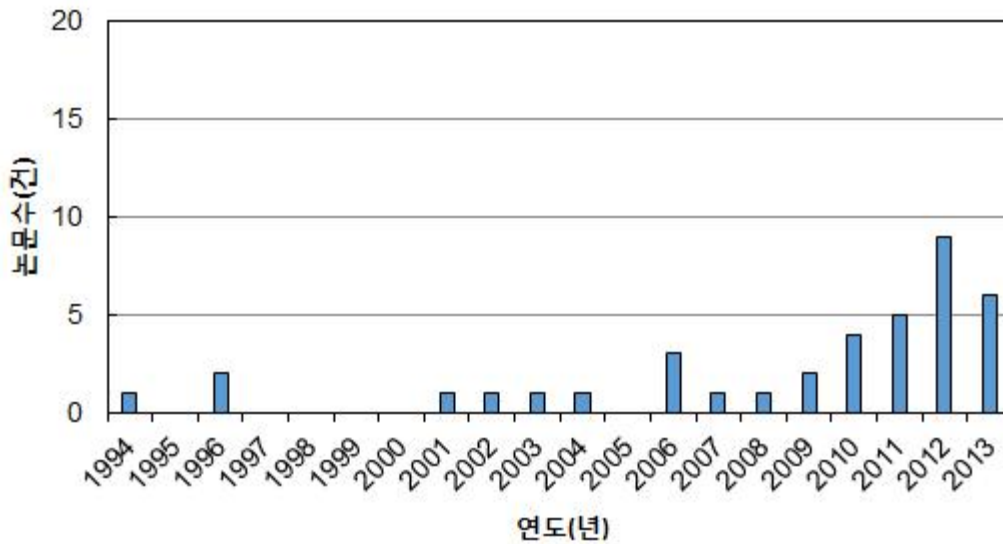
- 논문 경쟁력 분석은 1994년 이후 SCI급 저널에 게재된 논문들을 대상으로 국가별 논문등재건수를 통해 국가별 기술수준을 정량화하여 분석함.
- 공동구 설계기술과 관련하여 가장 높은 SCI 논문 점유율을 나타낸 국가는 스페인으로 나타남.



(2) 공동구 시공

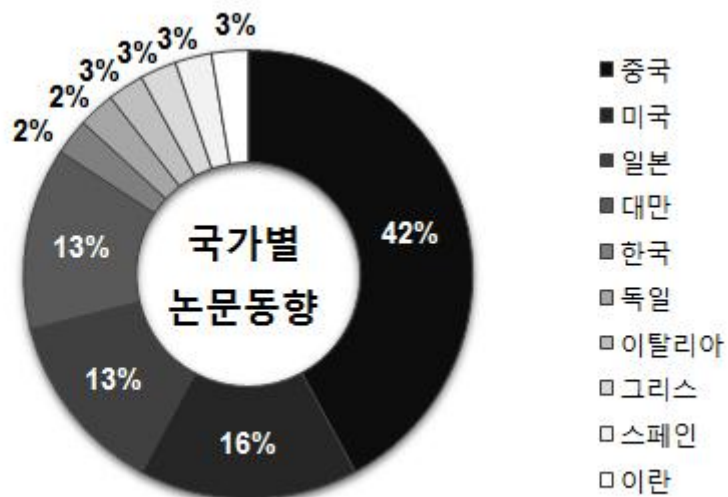
○ 연도별 현황

- 1994년 이후 총 38편이 발표되었고, 1994년에 1편, 2013년에 6편이 발표됨.



○ 국가별 현황

- 국가별 공동구 시공기술 논문 발표 현황을 살펴보면 전체 발표논문의 42%가 중국에서 발표되었고, 우리나라는 1편으로 5위를 차지함.
- 중국 다음으로 미국(6편, 16%), 일본(5편, 13%)순으로 연구 활동이 활발한 것으로 나타남.

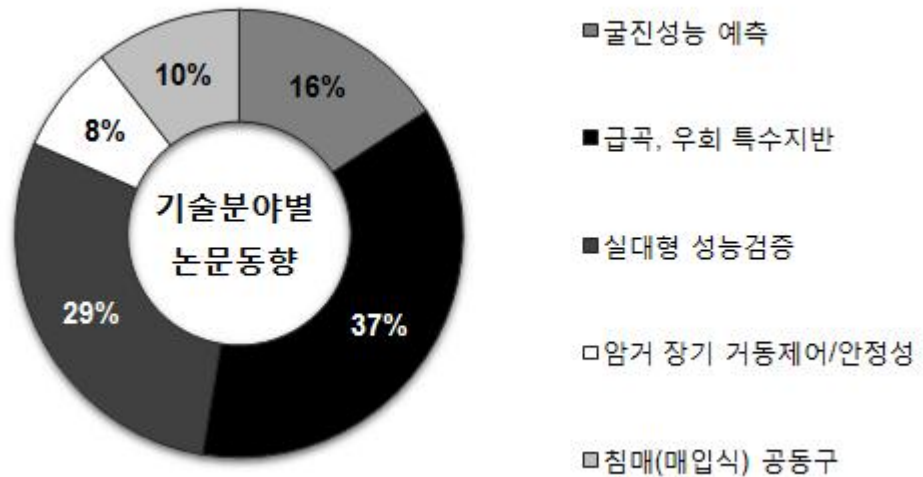


○ 기술별 현황

- 공동구 시공기술 분야 세부기술별 논문발표현황을 살펴보면 급곡/우회/특수지반

시공기술이 14건이 발표되어 전체의 37%를 차지하여 중요 관심분야임을 나타냄.

- 다음으로 논문발표가 활발한 분야는 굴진성능 예측 기술로 11편 29%를 나타냄.
- 실대형 성능검증 기술이 가장 적은 논문이 발표된 것으로 나타남.



○ 주요 연구기관 및 연구자 현황

- shield-TBM 시공기술과 관련된 주요 연구기관을 살펴보면, Zhejiang Univ, Tongji Univ, Penn State Univ, Natl Taipei Univ Technol Taipei Tech 등으로 나타남.
- 주요 연구자로는 Rostami, J(Penn State Univ, USA)가 3건, Xie, Xiongyao (Georgia Inst Technol, Sch Civil & Environm Engn, USA)이 2건 Gui, Meen-Wah(Natl Taipei Univ Technol Taipei Tech, Taiwan)이 2건의 논문을 발표한 것으로 나타남.
- shield-TBM 시공기술과 관련된 연구가 주로 발표되는 저널은 TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY, CANADIAN GEOTECHNICAL JOURNAL, DISASTER ADVANCES 순으로 나타남.
- TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY는 shield-TBM 시공기술 분야에서 12편의 논문이 발표되어 31.58%의 점유율을 나타내는 주요 저널임.

연구기관		연구자		주요저널	
기관명	건수	연구자명 (소속, 국가)	건수	저널명	건수
Tongji Univ	5	Rostami, J (Penn State Univ, USA)	3	TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY	12
Zhejiang Univ	4	Xie, Xiongyao (Georgia Inst Technol, SCh Civil & Environm Engn, USA)	2	CANADIAN GEOTECHNICAL JOURNAL	3
Penn State Univ	2	Gui, Meen-Wah (Natl Taipei Univ Technol Taipei Tech, Taiwan)	2	DISASTER ADVANCES	2
Natl Taipei Univ Technol Taipei Tech	2	Samuel T. Ariartnam (Arizona State University, USA)	2	JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE	2
Georgia Inst Technol, Sch Civil & Environm Engn	1	(Samuel T. 동일인물임 수정요망)	2	JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING	2

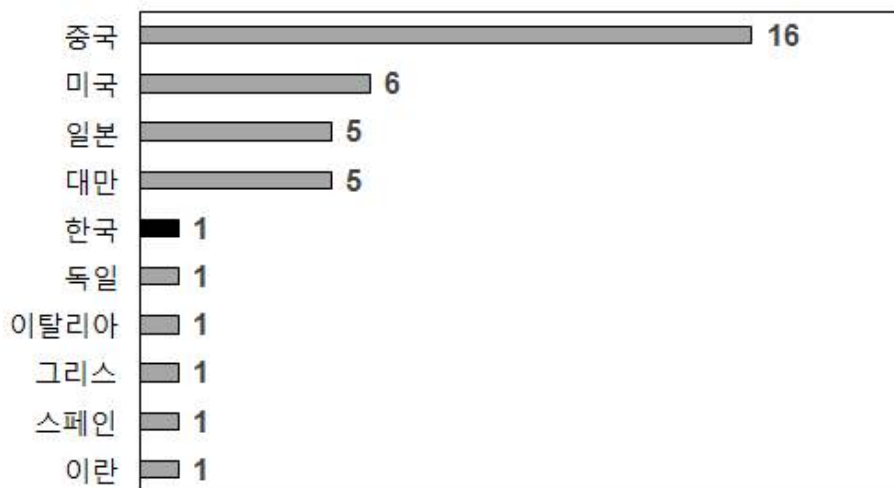
○ 주요 피인용 논문 정보

제목	저널명	저자	연도	피인용 횟수
Correlation of tunnel convergence with TBM operational parameters and chip size in the Ghomroud tunnel, Iran	TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY	Farrokh, Ebrahim; Rostami, Jamal	2008	10
On the influence of face pressure, grouting pressure and TBM design in soft ground tunnelling	TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY	Kasper, T; Meschke, G	2006	42
Prediction and analysis of subsidence induced by shield tunnelling in the Madrid Metro extension	CANADIAN GEOTECHNICAL JOURNAL	Melis, M; Medina, L; Rodriguez, JM	2002	22

Lessons learned for ground movements and soil stabilization from the Boston Central Artery	JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMEN TAL ENGINEERING	O'Rourke, T. D.; McGinn, A. J.	2006	6
A Method for Estimating the Location of the Drill-Bit During Horizontal Directional Drilling Using a Giant-Magnetostrictive Vibrator	JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	Tamura, Junpei; Kawamura, Youhei; Mochiji, Hidemi; et al.	2011	3

○ 국가 경쟁력 순위

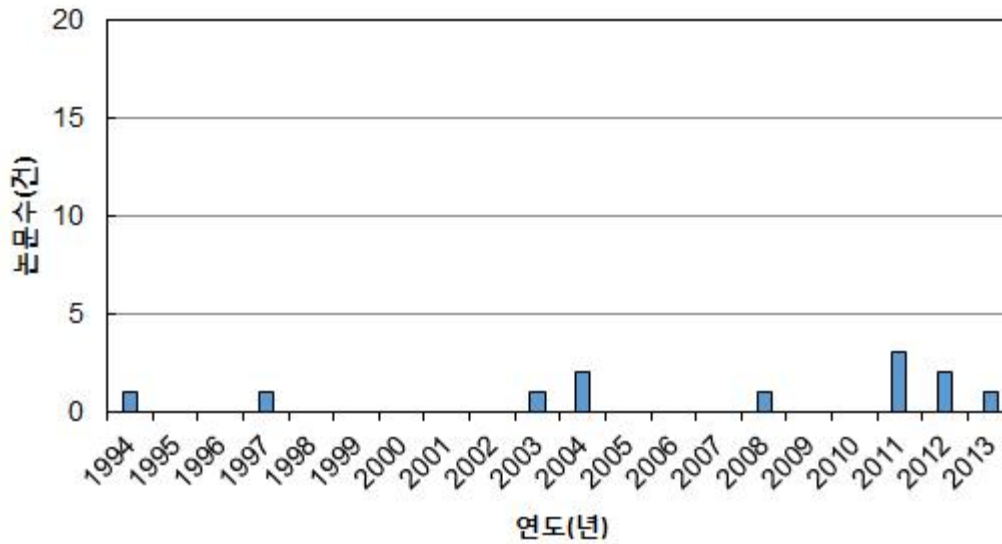
- 논문 경쟁력 분석은 1994년 이후 SCI급 저널에 게재된 논문들을 대상으로 국가별 논문등재건수를 통해 국가별 기술수준을 정량화하여 분석함.
- 공동구 시공기술과 관련하여 가장 높은 SCI 논문 점유율을 나타낸 국가는 중국이고, 우리나라는 1건을 발표하여 5위로 나타남.
- 우리나라는 시공기술 수준의 세계 순위는 높으나 중국에 비해 연구가 활발히 진행되지 않는 실정이 두드러지게 나타남.



(3) 공동구용 수직구 시공기술

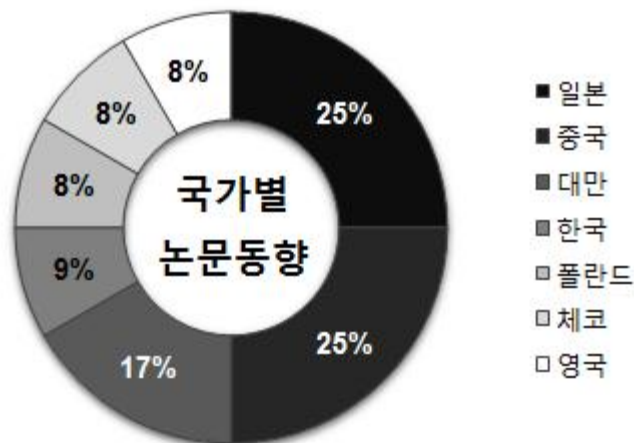
○ 연도별 현황

- 1994년 이후 총 12편이 발표되었고, 1994년에 1편, 2003년 1편, 이후에는 9편 이내로 저조한 연구동향을 보임.



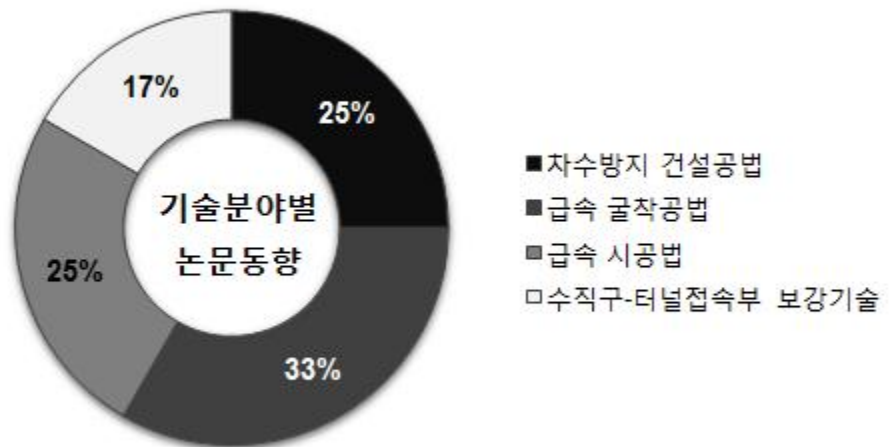
○ 국가별 현황

- 국가별 수직구 시공기술 논문 발표 현황을 살펴보면 전체 발표논문의 25%가 일본 및 중국에서 각각 발표되었고, 우리나라는 1편으로 4위를 차지함.
- 일본 및 중국 다음으로 대만(2편, 17%), 한국(1편, 9%)순으로 연구 활동이 활발한 것으로 나타남.



○ 기술별 현황

- 수직구 시공기술 분야 세부기술별 논문발표현황을 살펴보면 급속 굴착공법이 4건이 발표되어 전체의 33%를 차지하여 중요 관심분야임을 나타냄.
- 다음으로 논문발표가 활발한 분야는 급속 시공법 및 차수방지 건설공법으로 각각 3편 25%를 나타냄.
- 나머지 분야에서는 수직구-터널 접속부 보강 기술이 가장 적은 논문이 발표된 것으로 나타남.



○ 주요 연구기관 및 연구자 현황

- 수직구 시공기술과 관련된 주요 연구기관을 살펴보면, Natl Taipei Univ Technol, Northeastern Univ, Waseda Univ 등으로 나타남.
- 주요 연구자로는 Ni, James C.(Natl Taipei Univ Technol, Taiwan)가 2건 Cheng, Wen-Chieh(Natl Taipei Univ Technol, Taiwan)이 2건의 논문을 발표한 것으로 나타남.
- 수직구 시공기술과 관련된 연구가 주로 발표되는 저널은 PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS, INTERNATIONAL JOURNAL OF ROCK MECHANICS AND MINING SCIENCES, TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY 순으로 나타남.
- PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS는 수직구 시공기술 분야에서 11편의 논문이 발표되어 25%의 점유율을 나타내는 주요 저널임.

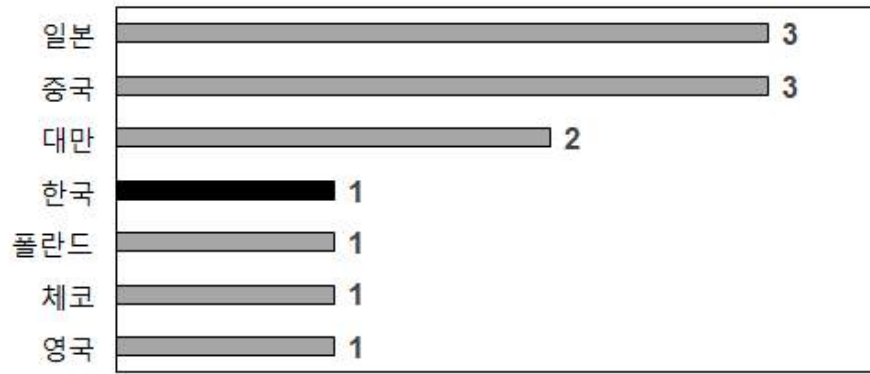
연구기관		연구자		주요저널	
기관명	건수	연구자명 (소속, 국가)	건수	저널명	건수
Natl Taipei Univ Technol	2	Ni, James C.	2	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS	3
Northeastern Univ	1	Cheng, Wen-Chieh	2	INTERNATIONAL JOURNAL OF ROCK MECHANICS AND MINING SCIENCES	2
Waseda Univ	1	Zhang Juanxia	1	TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY	2
China Univ Mining & Technol	1	Akagi, H	1	DISASTER ADVANCES	1
Czech Tech Univ, Fac Civil Engn	1	Wang, Liang	1	GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS GEOSYSTEMS	1

○ 주요 피인용 논문 정보

제목	저널명	저자	연도	피인용 횟수
Geotechnical aspects of current underground construction in Japan	SOILS AND FOUNDATIONS	Akagi, H	2004	1
Safety technologies for the excavation of coal and gas outburst-prone coal seams in deep shafts	INTERNATIONAL JOURNAL OF ROCK MECHANICS AND MINING SCIENCES	Wang, Liang; Cheng, Yuan-ping; Ge, Chun-gui; et al.	2013	5
Shield machine disassembly in grouted soils outside the ventilation shaft: A case history in	TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY	Ni, James C.; Cheng, Wen-Chie h	2011	2
A new technique for repairing and controlling large-scale collapse in the main transportation	INTERNATIONAL JOURNAL OF ROCK MECHANICS AND MINING SCIENCES	Wang, JA; Park, HD; Gao, YT	2003	0

○ 국가 경쟁력 순위

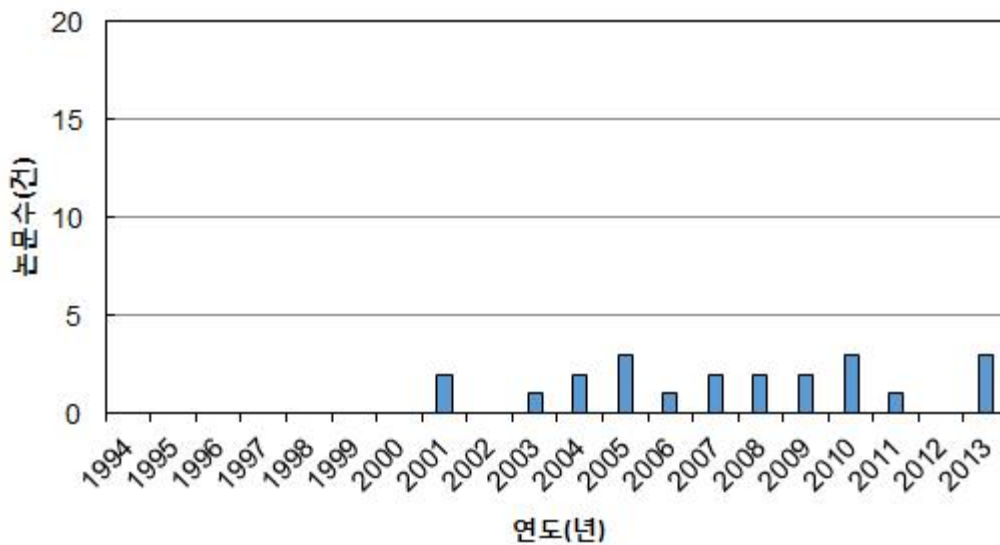
- 논문 경쟁력 분석은 1994년 이후 SCI급 저널에 게재된 논문들을 대상으로 국가별 논문등재건수를 통해 국가별 기술수준을 정량화하여 분석함.
- 수직구 시공기술과 관련하여 가장 높은 SCI 논문 점유율을 나타낸 국가는 중국과 일본이고, 우리나라는 1건을 발표하여 4위로 나타남.
- 우리나라는 시공기술 수준의 세계 순위는 높으나 중국에 비해 연구가 활발히 진행되지 않는 실정이 두드러지게 나타남.



(4) 공동구 및 수직구 유지관리 기술

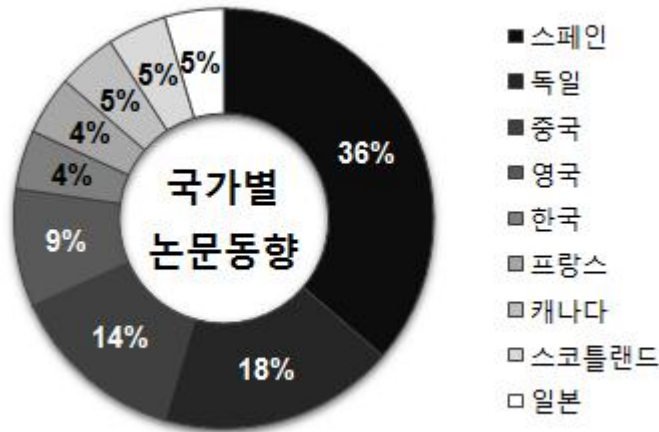
○ 연도별 현황

- 1994년 이후 총 22편이 발표되었고, 1994년에 0편, 2004년 2편, 이후에는 17편 이내로 저조한 연구동향을 보임.



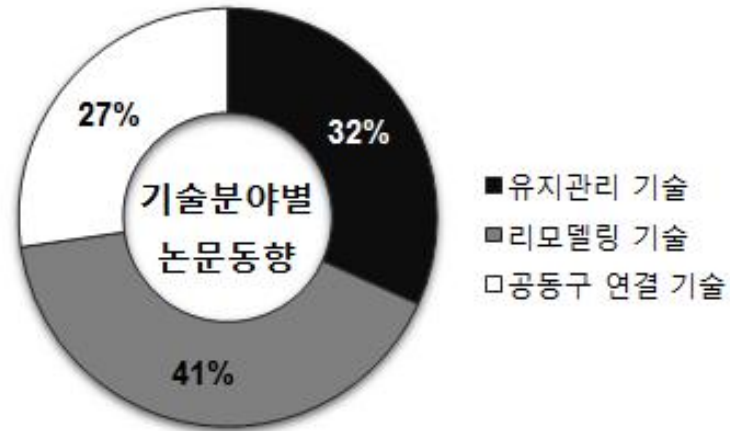
○ 국가별 현황

- 국가별 공동구 및 수직구 유지관리 기술 논문 발표 현황을 살펴보면 전체 발표 논문의 36%가 스페인에서 발표되었고, 우리나라는 1편으로 5위를 차지함.
- 스페인 다음으로 독일(4편, 18%), 중국(3편, 14%)순으로 연구 활동이 활발한 것으로 나타남.



○ 기술별 현황

- 공동구 및 수직구 유지관리 기술 분야 세부기술별 논문발표현황을 살펴보면 리모델링 기술이 9건이 발표되어 전체의 41%를 차지하여 중요 관심분야임을 나타냄.
- 다음으로 논문발표가 활발한 분야는 유지관리기술로 7편 32%를 나타냄.
- 나머지 분야에서는 공동구 연결 기술이 가장 적은 논문이 발표된 것으로 나타남.



○ 주요 연구기관 및 연구자 현황

- 공동구 및 수직구 유지관리 기술과 관련된 주요 연구기관을 살펴보면, Univ Politecn Valencia, Univ German Fed Armed Forces Munich, Tongji Univ 등으로 나타남.
- 주요 연구자로는 Canto-Perello, Julian(Univ Politecn Valencia, Spain)가 6건 Bhuwarka, KK(Univ German Fed Armed Forces Munich, Germany)이 3건의 논문을 발표한 것으로 나타남.
- 공동구 및 수직구 유지관리 기술과 관련된 연구가 주로 발표되는 저널은 TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY, PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS, IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES 순으로 나타남.
- TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY는 공동구 및 수직구 유지관리 기술 분야에서 6편의 논문이 발표되어 27.27%의 점유율을 나타내는 주요 저널임.

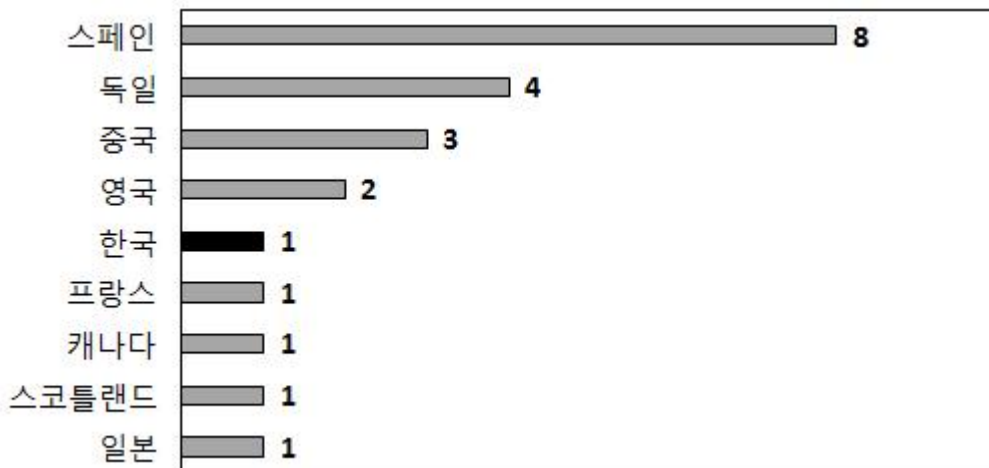
연구기관		연구자		주요저널	
기관명	건수	연구자명 (소속, 국가)	건수	저널명	건수
Univ Politecn Valencia	6	Canto-Perello, Julian	6	TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY	6
Univ German Fed Armed Forces Munich	3	Canto-Perello, Julian	6	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS	3
Tongji Univ	2	Calvo, Vicente	3	IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES	2
Inst Natl Rech & Secur	1	Bhuwalka, KK	3	EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS	1
Waseda Univ	1	Schulze, J	3	JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE	1

○ 주요 피인용 논문 정보

제목	저널명	저자	연도	피인용 횟수
Risks and potential hazards in utility tunnels for urban areas	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS-MUNICIPAL ENGINEER	Canto-Pere llo, J; Curiel-Esparrza, J	2003	9
Performance enhancement of vertical tunnel field-effect transistor with SiGe in the delta p(+) layer	JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS PART 1-REGULAR PAPERS SHORT NOTES & REVIEW PAPERS	Bhuwalka, KK; Schulze, J; Eisele, T	2004	69
Shaking table test of utility tunnel under non-uniform earthquake wave excitation	SOIL DYNAMICS AND EARTHQUAKE ENGINEERING	Chen, Jun; Shi, Xiaojun; Li, Jie	2010	7

○ 국가 경쟁력 순위

- 논문 경쟁력 분석은 1994년 이후 SCI급 저널에 게재된 논문들을 대상으로 국가별 논문등재건수를 통해 국가별 기술수준을 정량화하여 분석함.
- 공동구 및 수직구 유지관리 기술과 관련하여 가장 높은 SCI 논문 점유율을 나타낸 국가는 스페인이고, 우리나라는 1건을 발표하여 5위로 나타남.
- 우리나라는 시공기술 수준의 세계 순위는 높으나 스페인에 비해 연구가 활발히 진행되지 않는 실정이 두드러지게 나타남.



3. 국내 기술동향 조사 및 분석

3.1 공동구 설계 기술

- 현재 국내의 공동구는 1978년에 완성된 여의도 공동구를 시초로, 공공용 공동구 6개소 32km 연장, 일반용 공동구 약 670개소 231km 연장으로 총 260km 연장의 공동구가 있음.
 - 2000년도 이전에 지어진 국내 공동구의 경우, 주로 상수, 전력, 통신시설을 단순 수용하는 정도이며, 각 수용 시설물간에 격벽을 설치한 단독구의 조합 형태를 이루고 있음.
 - 2000년도 이후, 신도시(송도, 세종시 등)를 중심으로 난방, 쓰레기, 중수, 가스 등이 포함된 복합적인 공동구가 설치되고 있음.

- 국내에서 기초구조물 설계시 사용하고 있는 허용응력설계법은 하중과 지반의 불확실성을 고려하지 못하고 획일적인 안전율을 적용함으로써 경제적이고 효율적인 설계가 불가능하다는 단점을 가지고 있으며, 이에 반해 한계상태설계법은 신뢰도 해석을 바탕으로 파괴확률을 정량화하여 상부구조물과 하부구조물을 일관된 신뢰도 수준으로 설계할 수 있는 장점을 가지고 있어 지반공학분야에서 한계상태설계법의 적용은 세계적인 추세이며, 국내에서도 하중저항설계법으로 전환하려는 작업이 진행 중임.

- 한국의 공동구 건설 공법으로는 주로 개착식으로 이루어지며, 현재 국내에서 shield-TBM을 이용한 공동구 건설은 미비한 실정이며, 최근 "TBM 핵심 설계, 부품 기술 및 TBM터널의 최적 건설기술 개발" 연구단에서 TBM의 국산화에 성공하면서 지하 단독구에 대해 shield-TBM 적용이 적극 검토되고 있음.

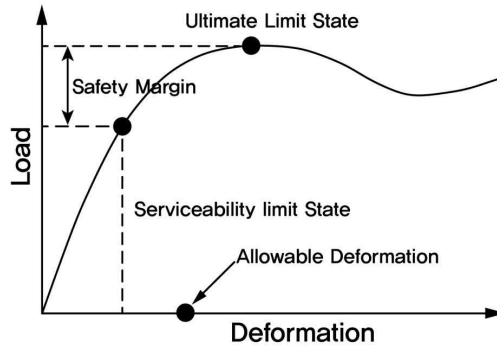
- GIS기법을 통한 기존의 지하 시설물 관리 시스템은 연구되고 있으나, 설계단계부터 시설물의 효율적 관리를 기반에 둔 공동구 단면 설계 연구는 전무한 실정임.

- 한계상태설계에 기초한 글로벌 표준화 설계법(LRFD)에 관한 터널 및 지반분야의 설계기법 연구는 아직 부족하며, 도로교설계기준(2012, 한계상태설계법)에서 교량설계 분야의 콘크리트 및 강구조물에 대한 한계상태 설계기준을 제시하고 있음.

- 글로벌 표준화 설계법(LRFD)에 관한 국내기술은 아직 초기단계이며, 특히 지반

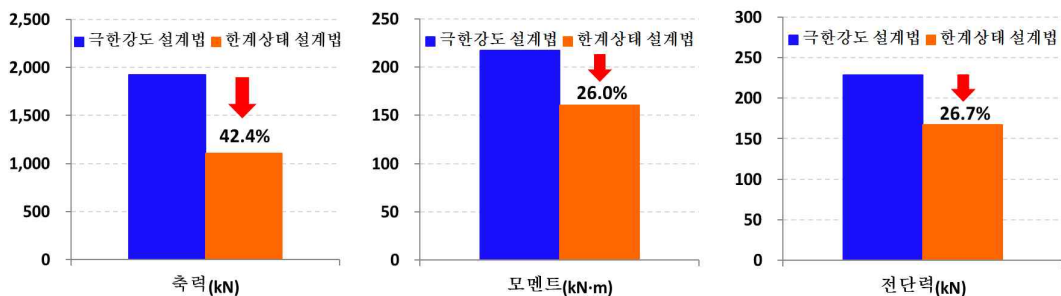
분야의 경우는 학술적인 차원에 머무르고 있음.

- 한계상태설계법이란 콘크리트 구조물을 중심으로 그것이 가지는 내구성이나 최종적인 내하능력을 작용하는 하중과의 관계로 구조물을 설계하는 방법으로서, 구조물의 국부적 손상이나 기능장애를 초래하는 한계(사용한계상태), 구조물의 붕괴나 주요손상을 초래하는 한계(극한한계상태)로 구분함.



<그림 2.9> 사용한계상태(S.L.S)와 극한한계상태(U.L.S)

- “성능중심의 건설기준 표준화”연구(2011)에서 성능중심 콘크리트 구조설계기준 개발연구를 수행하여 우리나라 환경, 재료특성 기술수준을 반영한 성능중심 구조설계기준을 연구하였고, 터널분야 성능중심의 건설기준 정비 및 표준화 연구를 시행하였음.
- 지반분야에서는 기초와 옹벽 등 지반구조물 분야에 초기연구가 시작된 수준이며, “TBM 핵심 설계 부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술”연구(2014)에서 TBM 세그먼트 라이닝을 대상으로 한계상태 설계법 적용성을 분석하고 기존 설계법과의 비교 검토를 수행하였으나, NATM 및 TBM 라이닝을 대상으로하는 한계상태법을 고려한 구조설계기준은 아직 제시되지 못하고 있는 실정임.



<그림 2.10> 설계법별 최대부재력 비교

- 소단면 터널식 공동구 설계 표준 공정/공사비 관리시스템 개발이 필요한 실정임.

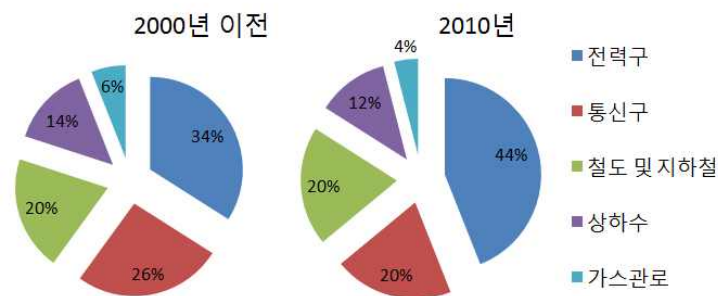
- 건설공사 공정관리 수행 시 Primavera, Nex-pert, Microsoft Project 등이 주로 사용되며, 이중 Primavera는 한국철도시설공단과 해외 발주 프로젝트에서 주로 적용되고 있음.
 - 국토교통부에서는 도로분야, 한국철도시설공단에서는 철도분야에 대한 표준 작업분류체계(WBS)를 구축하여 운영 중에 있으나, 대공종 중심의 편제구성으로 인해 실무 적용은 원활하지 못한 실정임.
 - 한국철도시설공단, 한국수자원공사 등 일부 발주처는 독립적인 건설사업 관리시스템을 운영 중에 있으며, 대부분 발주처 중심의 관리체제로 운영되고 있음.
- 건설 공정관리 소프트웨어는 상용화 되어 있으며, 일부 발주처에서는 공정관리시스템까지 구축하여 운영 중에 있으나, 터널식 공동구와 관련된 공정관리 기법 및 현장 공정/공사비 관리시스템은 부재한 실정임.
- 현재 우리나라에서 지하공동구는 점용예정자의 요청에 의해 건설될 수 있도록 하고 국가기관이 이를 관리할 수 있는 통로를 만들어 놓은 형태로 운영되고 있음. 이 중 상당부분은 국가에서 계획적으로 설치·운영하고 있으며, 1970년대부터 시작된 지하철 공사와 관련하여 전력 및 통신시설 위주의 지하공동구가 있고 이후 신시가지 구성 공사에 설치한 지하 공동구가 있음. 지하 공동구는 자치단체장이 관리하는 것이 원칙이나 많은 자치단체들이 시설물관리의 일부로 평가하여 자치단체에 설치된 시설관리공단에 실질적인 지하공동구의 관리를 위임한 형태로 진행되고 있음.
- 국내 지하 공동구의 특성으로는 각 수용시설물을 단일 공동구에 공동으로 수용하는 것 보다는 격벽처리를 하여 전력통신구에 각각 수용하려는 경향이 나타나고 있음. 특히, 1980년 초에 설계되어진 목동, 가락, 개포 등의 지하 공동구는 시설물 규모와는 관계없이 별실 수용하여 비경제적인 시설투자를 한 바 있음. 다만, 각 시설물의 수용 방법을 외국과 비교할 때 외국의 경우는 대부분 동일구내에 각 시설물을 공동으로 수용하고 공동으로 수용할 수 없을 정도로 수용시설이 많거나 규모가 큰 경우에 한하여 별실을 수용하고 있는 것을 고려한다면 국내에서의 단면구성은 매우 비경제적이고 비합리적이라 평가할 수 있음.
- 최근에는 건설기준간의 연계·호환성이 부족하여 중복 또는 상충되는 기준이 발생하고 있어 실무에서 사용자의 불편을 초래하고, 관련기준의 세부내용에 대한 검색, 기준간의 상호참조 관계 파악 등이 어렵고, 기준 제·개정에 대한 효율적·체계적 이력관리가 어려운 실정으로 이러한 문제점을 해결하기 위하여 설계기준 및

표준시방서의 코드체계가 완료('13)되어, 이에 대한 추진 일환으로 구축된 코드 체계에 맞추어 공동구설계기준을 포함한 건설공사 설계기준 및 표준시방서의 중복·상충 내용 정비 및 통합된 코드가 작성되고 있음(과제명: 건설공사 설계·시공 기준 표준화, 연구기간: 2013년~2016년).

- 그러나 현행 공동구 설계기준은 국내에 운용중인 공동구특성상 개착식박스구조에 대한 기준으로 대부분 콘크리트구조기준을 준용하고 있으나 향후 다양한 공동구 수용시설의 요구, 다양한 지반조건과 지상조건, 성능중심으로 발전되어가는 설계 기준에 부합하는 공동구 설계기준의 마련이 필요함.

3.2 공동구 시공기술

- 공동구의 시공은 주로 도심지에서 이루어지고 있으며 그 중 개착식 공동구는 주로 도로의 하부에 설치됨. 신설 개착식 공동구 건설을 위해서는 교통을 통제해야 하고 이로 인해 교통 체증이 유발되기 때문에 개착식 공동구의 건설이 점차 기피되고 있음. 따라서 공동구의 신설 시 TBM을 이용하는 것이 선호되고 있음. TBM을 이용한 시공실적 중 shield-TBM만을 고려하였을 때, 2010년 기준으로 전력구, 통신구, 상하수도, 그리고 가스관로를 포함한 공동구가 전체의 80%에 이름(한국건설교통기술평가원, 2010년).



<그림 2.11> 용도별 국내 shield-TBM 적용 현황(한국건설교통기술평가원, 2010년)

- 공동구 TBM은 주로 도심지의 충적층 지반을 지나고 있고, 터널직경 또한 2~3 m로 6~8 m 이상을 가지는 교통용 TBM에 비해 작음. 따라서 공동구 TBM은 기존 TBM과 다른 지반 조건과 직경을 가지기 때문에 기존 대단면 TBM에 대하여 연구하였던 결과의 적용이 어려움.
- 국내외 암반용 TBM 굴진율(PR) 모델은 주로 암석특성을 반영한 면판 설계용이며 해외에 암반특성을 고려한 TBM 굴진율 모델은 존재하나 국내지반과 잘 맞지 않음. 특히 도심지의 충적층(토사, 호박돌 등) 지반특성에 대한 굴진율(PR, AR) 산정방법이 없고 장비/시공특성을 고려한 실굴진율(AR) 예측방법이 없으므로 비현실적인 설계를 함. 특히 $\Phi 3.5\text{m}$ 급과 $\Phi 3.9\text{m}$ 이상의 TBM은 직경의 크기에 따른 자중의 차이, 탑재 장치의 수량 및 종류의 차이로 인하여 동일한 지반에서도 다른 굴진율을 나타냄.
- 굴진율은 TBM의 시공시간 및 비용과 직접적으로 관련되기 때문에 매우 중요함. 여러 기관 및 기업들에서 굴진율 예측 모델을 제시해왔지만 해외기관에서 제안된 굴진율 예측 모델은 국내 지반 특성과 작업환경이 다르기 때문에 국내 적용이 불가능 할 것으로 판단됨. 또한 굴진율은 지반의 물리적 성질 뿐 아니라 TBM의 기

계적 특성, 시공 길이, 심지어는 작업자의 숙련도 등의 비정량적 인자들의 영향도 받기 때문에 정확한 예측이 어려움. 작업자 숙련도 등의 정량화되지 않은 인자들도 굴진율에 상당한 영향을 미치나 이에 대한 고려는 이루어지지 않고 있음.

- 암반의 경우 많은 연구자들이 LCM (Linear Cutting Machine)에서 1개 혹은 2개의 디스크 커터를 이용한 실내 절삭실험의 결과를 굴진 성능 예측모델에 반영하고 있지만 이 절삭실험은 실제 TBM 현장의 지반상태 및 디스크커터 상태를 반영하는 데 한계가 있음. 비트커터를 사용하는 토사지반의 굴진율 예측은 이론식, 모형시험 등의 결과에 의존하여 구하고 있으나 실제 지반에서의 거동을 제대로 모사할 수 없으므로 한계가 있음.
- 공동구의 지중화는 미관 및 삶의 질 향상을 위해 전 세계적으로 대도시를 중심으로 활발히 이루어지고 있으며(런던, 파리: 100%, 동경: 86.3%) 국내 역시 주로 도심지를 중심으로 지중화가 이루어지고 있으며 아직 외국에 비하여 공동구 설치 비율이 낮으나 지속적인 공동구 시공이 이루어지고 있음. 도심지 내 공동구 신설에는 개착이 불리한 경우가 많아 TBM을 이용하는 것이 선호되고 있으며. 소형 shield-TBM 을 이용한 터널식 공동구 건설을 위해서는 사전에 수직구 건설이 필수적으로 수행되어야 함.
- 서울과 같은 도심지 지반의 경우 상부 충적층 지반 아래 암반지반이 존재하는 것이 대부분임. 특히 공동구 시공 시 기존 지하시설물을 회피하기 위해 심도가 깊어지는 경향이 있으므로 암반지반에 공동구가 시공될 가능성이 매우 큼. 수직구 굴착시 상부 충적층 지반은 백호 등을 사용하여 굴착하나 하부 암반지반의 경우 다양한 굴착 공법을 사용하는 것이 가능함. 암반지반 수직구 굴착 방식으로 많이 활용되는 공법에는 RBM (Raise Boring Machine), RC (Raise Climber) 공법, 발파공법, 할암기에 의한 기계굴착 등이 있음.
- 국내의 암반관련 굴진율 모델은 한국건설기술연구원(KICT)의 모델이 대표적이며 추력, 암반 강도, Siever's J-value, AVS (Abrasion Value Steel), DRI (Drilling Rate Index), 그리고 CLI (Cutter Life Index) 등을 고려한 경험식임. 국내 모델은 TBM의 기계적인 특성(디스크커터 형상, 간격 등)을 중심으로 개발되어, 국내의 복합지반 및 작업자의 숙련도 등 외적인 요인이 반영되지 못함. 또한 이 모델은 LCM (Linear Cutting Machine)을 이용한 실험 결과를 반영하고 있으나 LCM은 실제 지반 및 디스크커터를 모사하는 데 한계가 있음.

- TBM의 토사 굴착 관련 연구는 호서대학교에서 관련 연구를 수행하였음. 이외에는 관련 연구가 거의 없고 비트를 이용한 암반굴착에 관한 연구는 일부 이루어진 바 있음. 비트를 이용한 석탄층 굴진을 예측(Evans, 1958), 그리고 비트를 이용한 암반 절삭에 관한 연구가 이루어졌음(Potts & Shuttleworth, 1959; Nishimatsu, 1972). 여러 기관에서 정확한 굴진을 예측 모델 제시를 위해 TBM의 데이터베이스 구축에 있지만 필요한 굴진 중요인자에 관한 정보가 부족한 경우가 많음. 실험실 실험을 통해 검증된 TBM 굴진율 예측모델은 전 세계적으로 이루어진 바가 전무함.
- 도심지의 터널식 공동구 시공법으로서 적합하여 사용이 증가하고 있는 TBM 공법은 대부분 노선을 직선에 가깝게 설계하는 경우가 많으며, 곡선으로 설계하는 경우 국내는 일반적으로 곡률반경이 150m보다 크도록(예: 서초분기 2차 전력구) 설계하였음. 또한, 지장물 때문에 곡선반경이 작게 시공되어야 하는 경우 별도의 공법을 추가로 도입하여 시공한 사례도 존재함.
- 현재 국내 전력구, 통신구, 공동구 등의 설치는 매년 증가 추세에 있으며 그 외 도심지에서 TBM 시공이 필요한 유틸리티 터널의 시공도 활발히 진행 중에 있어 이와 관련된 사업의 증가와 함께 지하공간의 수직적 공간 제약과 평면선형 제약으로 인한 문제는 해마다 증가할 것으로 추정됨.
- shield-TBM 장비에 있어서 3대 핵심부분은 Cutterhead, 버력 Chamber, 추진시스템 등을 들 수 있으나 국내에서 이와 관련된 기술력이 이론적으로나 경험적으로 미흡하여 상당 부분을 외국 기술에 의존하고 있는 상태임.
- shield-TBM 기술 중에서 핵심요소기술로 굴진성과 정밀시공에 밀접하고 중요한 관계가 있는 shield-TBM의 추진시스템에 대한 지속적인 기술연구가 요구됨.
- 실내모형실험을 통한 TBM 커터헤드 개구율에 관한 연구(김상환 등, 2010), 단일절리를 포함한 암석 시험편에서 디스크커터의 압입에 의한 파괴 메커니즘의 수치해석적 연구(이승중 등, 2009) 등, shield-TBM 굴착성능 및 굴착에 따른 지반 거동에 대한 연구 및 절삭메커니즘에 대한 연구가 주를 이룸. shield-TBM 기술 중 핵심요소기술인 추진시스템에 대한 지속적인 기술연구가 필요하다고 판단됨. shield-TBM 장비의 운영에 있어서 여러 장비간의 상호 연계를 고려하여야 하기 때문에 기술적 연구가 요구됨.

- 일반적인 경우에는 외국에서 제시된 막장압 및 뒷채움압 산정방법을 적용할 수 있으나, 천층터널 및 특수지반에 대한 막장압 및 뒷채움압 산정 방법에 대한 가이드라인은 없는 실정임.

- 현재까지 지하 공동구 근접시공과 관련하여 일부 연구가 수행되었으나 설계 및 시공에 활용되고 있는 기술개발내용은 주로 지상 구조물과 지하 공동구와의 이격 거리를 중심으로 한 평가방법 위주임. 해외의 전력구를 중심으로 한 지하공동구 위험도 관리시스템은 NATM(Drill & Blast) 시공 또는 기계화 시공분야 등에 대한 관리시스템으로 개발되어 적용되고 있으나, 국내에서 개발된 위험도 관리시스템은 터널 붕괴사례를 기반으로 하고 있으며 주로 대단면의 NATM으로 시공되는 터널에 집중되어 있어 도심지에서의 소규모 공동구 시공 및 근접시공 특성에 대해서는 고려할 수 없는 실정임. 특히 국내의 위험도 관리시스템은 주로 시공 중 위험도 관리시스템에 해당되는 해외기술을 적용하고 있는 실정이며, 이에 대한 기술적 수준 또한 시작 단계에 머물러 있음.

- 일반적인 경우에는 외국에서 제시된 막장압 및 뒷채움압 산정방법을 적용할 수 있으나, 천층터널 및 특수지반에 대한 막장압 및 뒷채움압 산정 방법에 대한 가이드라인은 없는 실정임.

- 소구경 전력구 터널의 경우 비교적 천층에 굴착되어 퇴적층 및 매립층을 통과하는 경우가 많음. 특히 점착력이 없는 자갈층을 통과하는 경우 특별한 보강이 없이는 재밍이 발생하여 굴진이 불가능한 경우가 많고 TBM의 형태에 따라서도 굴진불능 조건이 발생하기도 함.
 - 호박돌층을 사전에 탐사하기 위한 탐사 및 지반 조사 기술
 - 호박돌층의 범위와 입도 분포를 평가하고 보강 영역 및 보강기법을 선정하기 위한 기술
 - 보강된 호박돌층에서 TBM의 굴착효율을 평가하기 위한 기술
 - 보강된 불량지반을 안정적으로 통과하기 위한 장비 운영 조건의 선정(개구율, 압입깊이, 회전속도 등)



<그림 2.12> 커터헤드 내로 유입된 호박돌로 인한 굴진불능 사례

- 비개착 공법 중 하나인 수평굴착공법(HDD, Horizontal Directional Drilling)기술을 이용하여 간선 및 지선연결을 위한 국내 지반 여건에 적합한 한국형 첨단 비개착 관로시공 기술 개발이 필요함.
- 기존의 개착식 공법을 통한 관로 매설로 인해 도로 수명 단축, 교통 장애, 환경 문제 및 민원 발생 등을 야기하고 있으며 이로 인한 관련기관의 막대한 중복 예산이 집행되고 있음
- 선진국은 70년대 초반에 비개착 공법의 필요성을 인식하고 장비 및 공법 개발을 통해 많은 현장에 적용하고 있으며 활발한 연구개발 및 기업화를 이루고 있음
- 도시지역 내에서 통신케이블, 전력케이블, 도시가스관, 상하수도관 등을 설치하기 위한 비개착식 파이프라인 시공기술이 급속히 발전하고 있음
- 국내에서도 도로를 절단 후 지반을 절토하여 관로를 매설하는 개착식 공법의 문제점을 해결하기 위해 외국의 비개착식 장비 및 공법을 그대로 도입하여 시공하고 있는 실정임
- 간선 및 지선연결을 위한 관로시공을 위한 기존의 개착식 공사는 관로의 굴착, 관의 설치, 도로복구 등에 소요되는 비용을 포함하고 있으며 이로 인해 공사 발주자 뿐만 아니라 일반시민이 부담해야 하는 사용적 비용이 증가하고 있음
- 도로를 절단 후 지반을 절토하여 관로를 매설하는 개착식 공법이 갖는 교통장애, 환경문제(소음, 분진) 및 민원 등을 줄이기 위한 첨단 관로 건설 공법의 개발이 절실함
- 국내에서는 직경 2,000mm 이상의 대구경 굴착 터널 공법 및 장비개발에 관한 연구가 대부분이었으며 300mm 이하의 소구경 굴착에 대한 연구는 거의 없음
- 일본에서는 마이크로터널 기술 개발을 위해 일본 비개착 기술협회를 중심으로 정부, 장비 제조업자, 시공업자가 협력하고 있으며 하수도, 상수도, 도시가스관, 전력케이블 특히 통신 케이블의 지하 관로 매설이 활발하게 이루어지고 있음
- 하수도 체계가 오래된 영국 북서지역의 지층은 빙하 퇴적물과 강 퇴적물이 섞여 있으며 지하수위가 높고 석탄층이 존재하는 지역으로 마이크로터널 공법 적용을

통해 효과적인 해결책을 찾고 있음

3.3 수직구 시공기술

- 발파공법은 도심지 내에서 발파진동, 소음 등으로 인한 주변 구조물의 피해 및 거주민들의 집단민원으로 인해 도심지 수직구 굴착에 사용하기가 매우 힘든 실정임(<그림 10>). 또한 민원방지를 위해 시공되는 할암기 기계굴착은 시공속도가 발파공법(1m 이상/day)에 비해 매우 느리고(0.5m/day), 공사비가 매우 높아(일반 발파굴착 공법 대비 3배 이상) 매우 비효율적임.

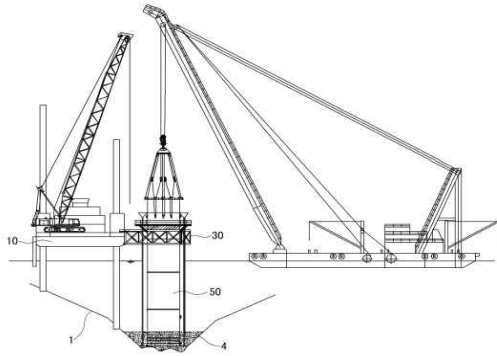


<그림 2.13> 터널 발파진동으로 인한 피해(좌측) 및 집단민원 사례(우측)

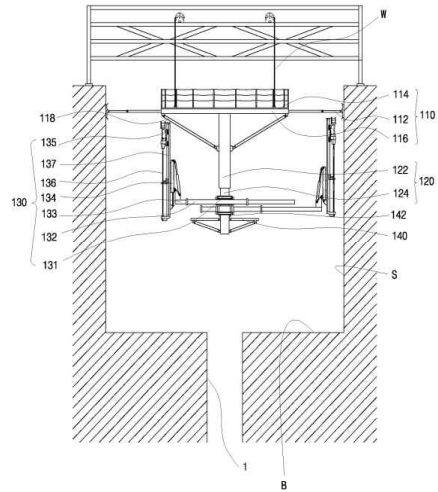
- 급격한 통신시설의 증대와 함께 통신구터널의 건설이 증가하고 있으며 이에 따라 수직구 건설도 증가하고 있는 실정임. 통신구터널 수직구 직경은 대략 6.0-8.0m 이고, 연장은 최저 10m에서 최대 50m임. 최근 들어, 한국전력에서 7개소의 수직구가 포함된 총 1540억원 규모의 전력 공동구 공사를 발주(2014년).
- 현재 수직구 시공방법은 가설용 수직강재와 라운드 링빔, 콘크리트, 토류판 등의 가설작업을 시공하고 있으며, 도심지 수직구 굴착장비는 보통 굴삭기와 크레인을 사용하여 일반적으로 굴착하고 있다. 또한 굴착이 완료된 이후에는 수직구 라이닝 구조물공사는 층별 거푸집 및 동바리를 설치하여 시공하는 단계별 상승공법과 프리캐스트 콘크리트 세그먼트로 조립하여 시공하는 방법이 국내 및 국외에서 적용하여 사용되고 있으나 굴착과 병행하여 수직구 라이닝 구조물을 동시에 시공하는 공법은 아직 개발되고 있지 못하고 있음.
- 수직구 굴착 공법 관련 특허
 - 해저 굴착 및 수직구 시공방법(KR2011-0122939)은 준설면에 케이싱이 배치될 수 있도록 잭업 바지(jack-up barge)를 고정 설치한 후 케이싱에 굴착기를 삽입하여 준설면을 수직으로 굴착하고 케이싱에 이너케이싱을 삽입하여 준설면

의 굴착된 부분에 설치하는 방법임.

- 수직터널 굴착장치(KR2008-0069572)은 프레임지지구조에 회전이 가능한 굴착부를 장착하여 하향 굴착하는 방법임.



<그림 2.14> 해저 수직구 시공방법



<그림 2.15> 수직터널 굴착장치

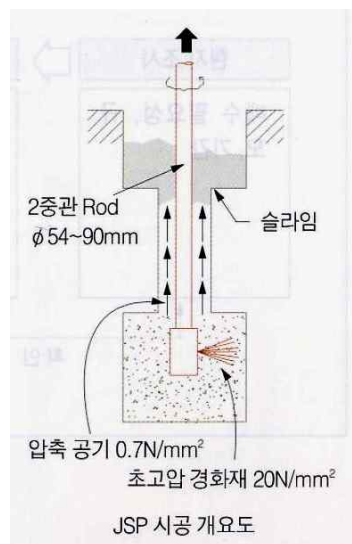
○ 지수/차수 관련 건설 재료 기술

- 물유리(water glass)계 주입재는 시멘트 유액을 채우고 공극에 물유리(water glass)를 저압 주입하는 가장 일반적인 지수재임. 사용량의 조절에 따라 켈타임을 자유롭게 조절할 수 있으나 강알칼리성이므로 환경오염가능성이 있으며 용탈현상이 발생함. 6개월 이상의 장기간의 내구성이 요구되는 공사 등에는 사용하기 어려움.
- 시멘트계 급결재는 수화반응을 응용한 약액으로 초기에 켈을 형성하며 시간경과에 따라 강도 증진시킴.
- Bentonites 안정액은 벤토나이트의 성질을 이용하여 현탁액 상태의 벤토나이트를 주입함. 염분이 많은 경우 벤토나이트 입자의 응집현상이 일어나므로 공사 중에도 지속적인 관리가 필요함.
- 우레탄계 주입재는 기계적 물성 및 내구성이 우수하며 공기단축효과가 크나 다른 약액에 비교해 주위조건에 민감하고 가격이 높음. 아크릴 아미드계 주입재는 시멘트계나 물유리계 약액보다 차수효과 및 전단강도가 높음.

○ 지수/차수 관련 공법

- 시멘트 유액(cement milk)과 물유리(water glass)를 저압 주입하여 고결화하는 LW공법이 일반화된 공법이며 토사안정재로서 취급이 용이하나 차수 효과가 높지 않고 지하수 오염 가능성이 있음. 물유리(water glass)를 사용하므로 용탈현상이 발생함.

- 이중관 Rod에 특수 선단장치(Rocket)를 부착시켜 대상지반에 형성시킨 유도공간을 통해 급결성과 완결성의 주입재를 저압으로 복합주입하는 SGR공법(Soil grouting roket), 40m이상의 사력층에서 주입효과가 저하됨. 외력에 대한 저항력이 부족하여 장기간의 차수 및 지반 보강용으로 불리하나 유도 공간을 형성하므로 작업효과 및 차수효과가 균일하며 대상 지반 내 주입효과가 우수함.
- 이중관 rod 선단에 jetting nozzle(3mm)를 정착하여 시멘트 유액(cement milk)을 압축공기와 함께 초고압으로 분사하여 지반을 절삭 파쇄함과 동시에 공극에 그라우팅 주입제를 충전하는 JSP공법(jumbo special pattern). 주입 심도 40m이상의 사력층에서는 주입효과가 저하되고 실트질 점토층에서의 적용은 불확실하나 유속의 흐름이 빠른 자갈, 전석층에서도 사용가능함.
- 터널 굴착 전에 고강도 FRP관을 설치하고 FRC 1호와 시멘트계 급결재를 주입하는 FRP 보강 그라우팅 공법. 전문 업체에 의한 정밀 시공이 필요하고 사면내 배수처리를 위한 수발공 설치가 필요하나 내부 식성이 좋아 영구적인 보강재로 사용가능함.
- 굴착장비로 소정의 깊이까지 천공후 공내에 조립된 철근 및 자갈을 채우고 모르타르를 주입하거나 콘크리트를 타설하여 현장타설 말뚝을 조성하는 CIP(cast in place pile)공법. 시공단면이 작고 소음과 진동이 적으나 말뚝간의 연결성이 나빠 별도의 차수대책이 필요하고 암반에서는 적용이 불가능함.

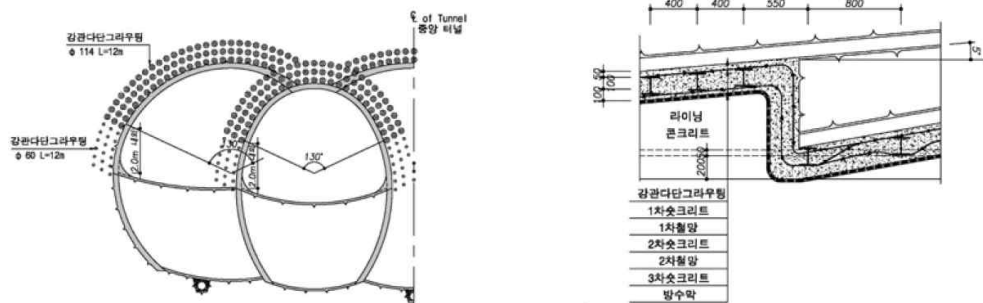


<그림 2.16> 지수/차수 관련 공법

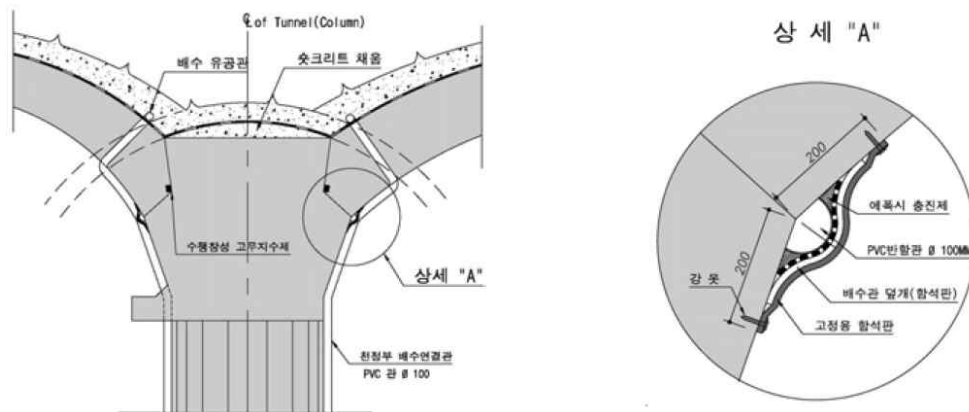
○ 수직구-터널 접속부 보강기술 개발

- shield-TBM 터널 초기 굴진시 지반안정화를 위한 접속부 보강공법으로 지반 약액주입공법, 고압교반분사공법 및 동결공법을 주로 사용되고 있으나, 수직구와 터널본체 라이닝과의 접속기술은 기존 연구 사례가 없음.

- 현재 주로 적용되고 있는 접속부 보강기술은 강관 그라우팅 및 접속부 누수방지 대책임(<그림 2.17>, <그림 2.18>).
- 현재 국내에서는 별도의 수직구-터널 접속부에 특화된 시공기술은 없음.
- 국내에서는 강재에 대한 기존의 접속방법을 개량한 무볼트·무용접 강재 접합장치를 개발 중에 있음.
 - 썬치를 이용한 강재 접합장치는 체결공에 의한 단면결손, 응력집중 등을 피할 수 있고, 많은 수의 볼트를 체결해야 하는 기존 접합방법에 비해 시공이 간편하여 공기단축과 원가절감효과를 기대할 수 있음.
- 또한, 철근콘크리트 기둥과 철골 보의 접합부 형식을 개발함.
 - 철근콘크리트 구조나 철골 구조로 이루어진 건축물에 특화된 현장타설 콘크리트 기둥에 철골 보를 간편하게 접합시킬 수 있는 복합구조 접합부 시스템을 개발함으로써 구조 성능, 경제성 및 시공성을 동시에 확보함.



<그림 2.17> 강관 그라우팅 적용 사례



<그림 2.18> 접속부 누수방지대책 적용 사례

3.4 세부 기술별 현황 및 전망

(1) 공동구 설계 기술

○ 기술 현황

- 현행 공동구 설계기준은 국내에 운용중인 개착식 박스구조에 국한된 기준임.
- 대규모 시설물을 수용하는 공동구 뿐 아니라 복잡한 지하 지장물과 도심지 공사 조건에 적합한 소형 터널식 공동구의 요구가 증대되고 있음.
- 공동구 설계기준은 허용응력설계법과 강도설계법을 사용하나 선진화된 한계상태 설계법 등에 대한 요구가 증가하고 있음.
- 건설 공정관리 소프트웨어는 상용화 되어 있으나, 생애주기를 고려한 터널식 공동구와 관련된 공정관리 기법 및 현장 공정/공사비 관리시스템은 부재한 실정임.
- 지하에 축조되는 공동구는 설계, 시공에서부터 유지관리까지 많은 위험요소를 가지고 있어 시설물의 생애주기간 계획적인 방재/안전 관리시스템의 필요성이 커지고 있음.
- 현재 공동구 유지관리는 시설물 관리 주체별로 별도 관리하여 일관적인 관리기준이 없으며, 운영관리지침이 존재하지 않아 공동구 사업 수행시 시설물 수용기관의 이해에 따라 수용여부, 유지관리 비용 납부 등에 이견이 발생하여 원활한 사업의 진행이 어려운 경우가 많음.
- 복잡한 지장물과 도심지공사 증대로 인한 시공 중 안전취약 요소에 매뉴얼 부재하나, 최근 다양화 되고 있는 재해에 대한 원인분석 및 대처방안 정립이 필요함.

○ 기술 전망

- 기존의 허용응력설계법이나 강도설계법은 불확실성을 단일계수 및 하중계수를 이용하여 과다설계가 되는 사례가 많으나, 글로벌 표준화 설계법(LRFD)이 도입된다면 불확실성을 각각 고려하는 최적화한 설계가 가능하여 건설비용 절감효과가 매우 높을 것으로 예상됨.
- 전력구, 통신구 및 상하수도 관로등을 일원화 하여 통합운영 할 수 있는 공동구 단면 배치기술의 개발로 공동구 시공비 절감 및 유지관리의 효율성 극대화 가능
- 공동구 설계시 주요단면에 대한 하중 및 저항과 관련된 설계변수들의 불확실성과 변동성이 고려된 신뢰성 기반의 글로벌 표준화 설계법(LRFD)의 도출로 기존의 허용응력설계 및 강도설계법에 의한 구조물에 비해 경제적인 공동구 시공 가능
- 성능중심의 설계흐름을 반영하여 수용시설물에 적합한 단면설계로 설계, 시공의 경제성 확보필요.

- shield-TBM터널에 대한 설계, 시공, 유지관리를 아우르는 위험요소 발굴과 프로파일로 체계적인 안전관리 확보 필요.
- 공동구 자체의 시설물뿐 아니라 수용시설물의 유지관리 방법을 제시하여 재해를 예방하고 이를 통한 체계적인 안전관리시스템 개발 필요.
- 설계기준 개정 연구를 통해 향후 증가되고 있는 공동구 설계와 시공에 대한 유지관리 비용 절감 가능기술 필요.
- 글로벌 표준화 설계법이 적용된 설계기준을 제시함으로써 새로운 구조물에 대해 설계법을 적용할 수 있도록 하여 설계자 및 시공자의 기술개발 유도 필요.
- 공동구의 안전성 및 기능성을 강화하여 안정적인 공급기반 마련 및 국가 신뢰도 향상 도모가 요구됨.
- 공동구의 재난 유형별 피해 예측 및 방재 시나리오 개발 필요
- 공동구 방재 안전 기술의 체계화와 연구개발을 통한 기술 개발 및 적용 필요
- 향후 성능위주의 방재안전설계기술에 응용할 수 있는 기반기술의 확보
- 화재사고 및 테러·지진·침수사태 등으로 인한 파괴사고로 전력·통신·상수도·난방 등이 24시간 이상 공급 중단되는 대규모 재난상황에 대한 대비 필요.
- 표준화된 대응활동과 재난대응 역량개선을 통한 인명 및 재산피해 최소화 필요.
- 설계부터 시공까지 선제적 방재안전대책으로 사회적, 경제적 손실 최소화 필요.
- 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계기준에 부합되고, 적정 공사기간 산정 및 생애주기를 고려하여(LCC) 공사비 절감효과를 가진 공정/공사비 관리시스템의 개발 필요.

(2) 공동구 시공기술

○ 기술 현황

- 점차 밀집되고 포화되어 가는 도심지 지하 공동구를 신설 또는 확장하기 위해서는 기존 인접 시설물에 대한 건전도 상태 및 성능기반을 중심으로 한 안정성을 평가하고 적합한 시공 방안을 도입하여야 하며 시공 중, 장기적인 안정성 및 환경성을 확보할 필요가 있음.
- 따라서 도심지 지하 공동구와 상부 구조물과의 근접시공 상관관계 등을 반영하는 국내 실정에 적합한 구조물 근접시공 위험요인을 도출하고 그 영향을 최소화할 수 있는 대처방안 수립이 시급하게 추진되어야 할 연구항목이라고 사료됨.
- 일반적인 경우에는 외국에서 제시된 막장압 및 뒷채움압 산정방법을 적용할 수 있으나, 천층터널 및 특수지반에 대한 막장압 및 뒷채움압 산정 방법에 대한 가이드라인은 없는 실정임.
- 국내에서도 도로를 절단 후 지반을 절토하여 관로를 매설하는 개착식 공법의 문

제점을 해결하기 위해 외국의 비개착식 장비 및 공법을 그대로 도입하여 시공하고 있는 실정임.

○ 기술 전망

- 도심지 지하구조물은 설치 후에 철거가 매우 어려운 구조물임을 감안하여 국외에서는 계획단계에서부터 PAT(Plan for Advance of Tunnel)기법을 활용한 리스크분석을 도입하고 있으므로 이러한 국제적인 추세를 반영하여 국내에서도 지하 공동구에 대한 위험도 평가 및 관리시스템에 대한 연구가 필요함.
- 현재“TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술 개발”연구 중 위험도 관리시스템이 연구되고 연구결과의 활용이 기대되고 있으므로 국내의 대다수 TBM 시공사례인 전력구를 중심으로 한 지하공동구 설계 및 시공 특성에 적합한 위험도 평가시스템 개발 활용에 대한 요구가 확대될 것으로 예상됨.
- 아울러 개발된 위험도 평가 시스템을 활용한 구조물 근접시공 영향 최소화를 위한 대처방안이 국내 공동구 설계 및 시공뿐만 아니라 향후 유지관리에도 적극 활용될 수 있을 것으로 판단됨.
- 향후 국내의 기계화 시공 증가로 국내 지반/암반에 적합한 막장압 및 뒷채움압 산정 이론이 많이 제시될 것으로 판단됨.
- 현재 국내외적으로 뒷채움 주입재의 역학적, 수리적 특성이 지반의 장기거동에 미치는 영향에 대한 분석이나 연구가 미진한 실정임. 또한 뒷채움 주입재의 주입 상태를 평가할 수 있는 표준화 된 기술이 없으므로 뒷채움 주입재의 채움상태를 평가 할 수 있는 독창적인 기술 개발 시 국내외적으로 수요가 높을 것으로 예상됨.
- 국내 지반 여건에 적합한 지향성 굴착공법 및 수평굴착공법(HDD) 기술을 적용한 시제품의 현장적용을 통해 시공성 및 경제성 검증 할 수 있는 한국형 비개착식 공법 개발이 절실함.

(3) 수직구 시공기술

○ 기술 현황

- 현재 지수/차수 관련 국내 기술은 약액주입에 크게 의존하고 있는 상황이며, 재료 또한 기존 시멘트, 물유리, 벤토나이트 등에서 크게 벗어나지 못하고 있음. 향후 새로운 고성능 지수/차수 재료 개발이 필요할 것으로 전망됨.
- 수직구 굴착 전 가시설용 항타, 굴착중 발파진동, 소음으로 민원 발생.
- 굴착과 다운 구조물 병행공법에 사용 가능한 구조물 시공법 개발이 필요함.
- 현재 수직구 구조물공사는 지하수 압력으로 인한 유지보수 공사가 상존함.

- 라이닝 다운 구조물(PC 또는 현장타설)용 유압 및 컨트롤장치 개발 필요함.
- 국내 및 해외터널 공사 중 전력구 수직구 및 유사 구조물공사에 시장성이 증가하는 추세임.

○ 기술 전망

- 특히, 지하수위에 인접한 경우 높은 수압에서도 견딜 수 있으면서, 지하수 및 하천 교란(오염 등)의 걱정이 없는 친환경 신재료에 대한 수요가 높을 것으로 기대됨.
- 수직구 굴착과 라이닝 병행 시공용 다운공법 개발로 공사기간 15 ~ 30% 단축
- 수직구 가시설 최소화 다운 라이닝 공법으로 공사비 및 유지보수비 절감
- 국내 및 해외 전력구, 지하철, 자원개발, 지하 저장시설에 기술력 보급 및 수출
- 도심지 지하공간 개발 지속적 증대로 수직구 병행 시공법 개발기술 사용 증가
- 프리캐스트 및 모듈화 기술을 활용하여 공동구용 수직구 접속부 보강기술을 개발한다면 신속한 설치에 의한 공기단축이 가능하며, 안전사고의 위험성을 감소시킬 수 있는 시공기술을 확보할 수 있을 것으로 전망됨.

4. 국외 기술동향 조사 및 분석

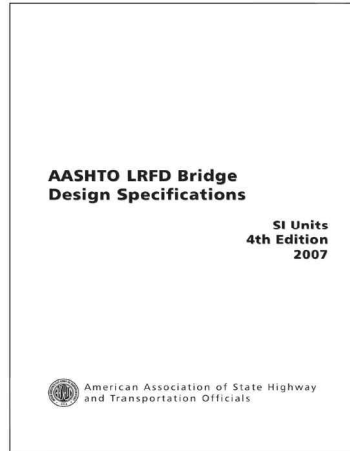
4.1 공동구 설계 기술

- 글로벌 표준화 설계법(LRFD)은 구조설계 분야에 먼저 처음 도입되었고, 지반분야에는 상대적으로 최근에 도입되기 시작하였으며, 지반분야의 경우 유럽지역에서 먼저 시작되어 Eurocode7(1994)에서 설계기준으로 채택되기 시작하였음.
- WTO체제 및 국제표준화기구(ISO)를 중심으로 북미지역(LRFD)과 유럽지역(CEN)의 선진국 위주로 성능중심 설계기준을 구축하려는 움직임이 활발해지고 있으며, 이에 따라 한계상태 설계법이 적용 추세에 있음.
- 외국의 주요 한계상태설계 기준별 고려대상의 한계상태는 다음과 같음.
 - AASHTO-LRFD: 강도한계상태를 근간으로 하며 극한한계상태를 부분적 고려
 - Eurocode2: 극한한계상태를 근간으로 하며 강도한계상태를 부분적 고려
 - JSCE: 극한한계상태와 강도한계상태를 복합적으로 고려

<표 2.13> 국외 한계상태설계 기준 비교

구 분	사용한계상태	강도한계상태	극한한계상태
ACI, AASHTO	◎	◎	×(△)
Eurocode2	◎	×(△)	◎
JSCE	◎	○	○

- 미국은 AASHTO LRFD 교량설계기준 1판(1994)에서 기초구조물 설계에 한계상태설계 개념을 적용하기 시작한 이후 2010년에는 연방정부에서 발주되는 모든 교량에 대하여 LRFD 설계를 의무화 하였고, 지속적인 연구개발을 통해 하중계수, 저항계수의 보정 및 적용 지반구조물의 종류를 늘려가고 있음(<그림 2.19>).



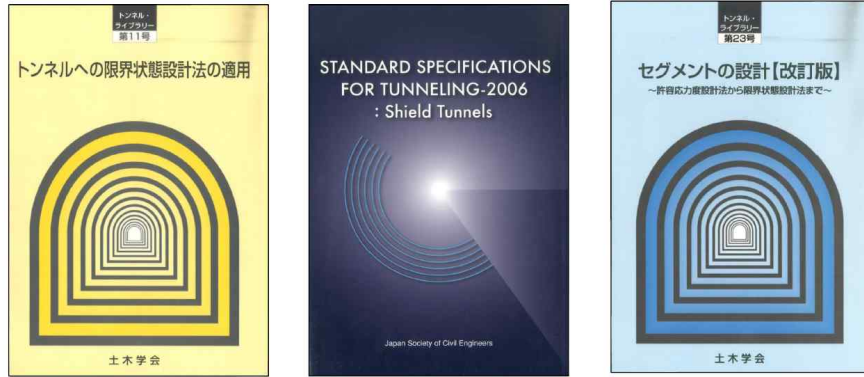
<그림 2.19> 대표적인 하중저항계수설계코드

- 또한, 미국에서는 라이닝구조설계에만 LRFD를 따르고 있으며, 초기지보에는 LRFD를 적용하지 않고 있음.
- Eurocode 7은 부분안전율 설계법을 기초로 하고 있으며, 극한한계상태를 근간으로 하면서 강도한계상태를 부분적으로 고려한 설계법으로서, 이후 개정된 Eurocode 7-1(2000)과 Eurocode 0(1999)에서는 하중저항 설계법까지 포함시켜 설계자의 판단에 따라 3가지 접근방법 중 하나를 선택하도록 하고 있음.

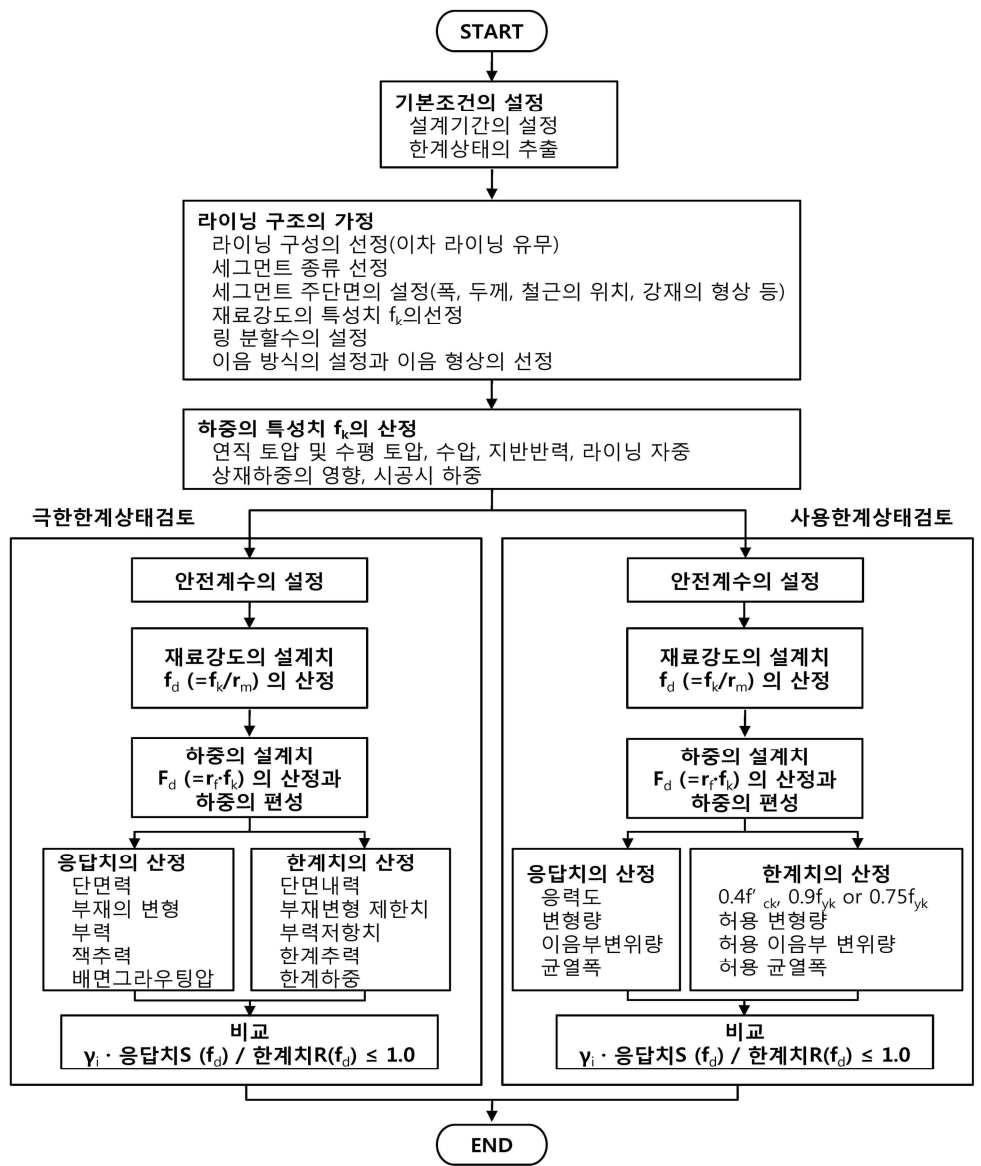
<표 2.14> Eurocode의 설계 접근방법

접근방법	설계하중		지반저항력
	구조하중	지반하중	
1	하중계수		부분안전율
2	하중계수		저항계수
3	하중계수	부분안전율	

- 일본의 경우는 1997년부터 한계상태설계법으로 터널 적용연구를 시작하여 2001년에는 한계상태설계지침(안)을 제시하였고, Geo-code21(2004)에서부터 성능기반의 한계상태설계법을 도입하였으며, 일본 터널표준시방서(철도터널, 2006)의 세그먼트설계에 한계상태설계법이 반영되어 있고, 허용응력설계법과 비교한 해설서가 발간되었음.

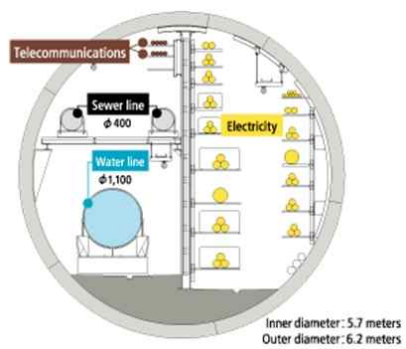


<그림 2.20> 일본의 터널 한계상태설계법 기준

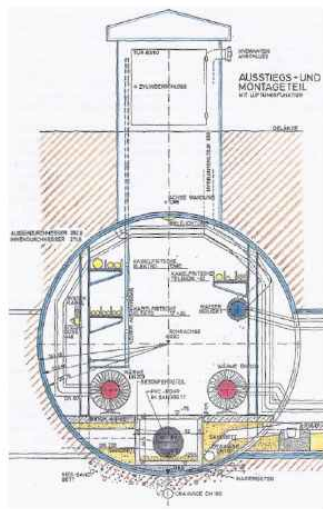


<그림 2.21> 쉴드 터널의 한계상태설계 흐름도

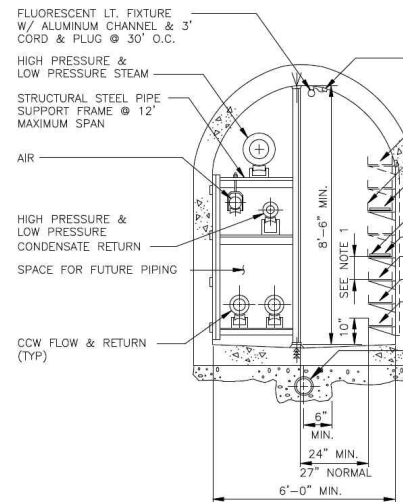
- 이렇듯 국외 선진국을 중심으로 토목구조물 설계법이 한계상태 설계법으로 전환되는 과정에 있으며, 한계상태 설계법의 터널 적용에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으므로 가까운 장래에 터널설계에도 도입이 예상됨.
- 유럽, 미국 및 일본의 경우 1980년대부터 다양한 단면형상 및 건설재료를 사용한 도심지 Utility Tunnel의 적용이 이루어져 왔으며, 지하매설관의 공동구내 수용을 통해 도시미관 향상 및 원활한 유지관리가 이루어지고 있음. 특히, 일본의 경우 공동구 정비 등에 관한 특별조치법에 공동구 사업의 시행 및 공동구 건설에 관한 법적 기반을 확보하고 있음.



(일본_신스기타 공동구(shield-TBM))



(독일_도심지 공동구단면 개념도)



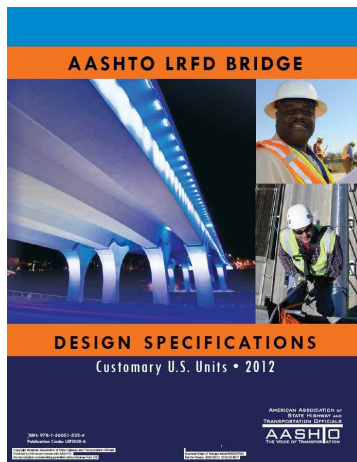
(미국_NATM 공동구 단면)

<그림 2.22> 해외의 공동구 단면사례

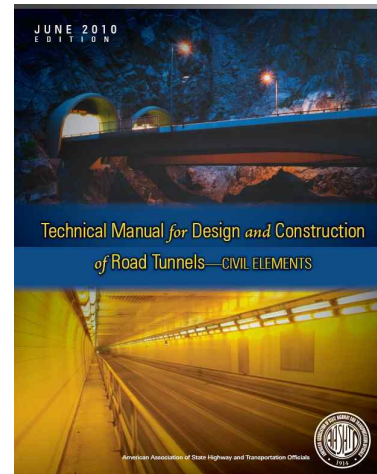
- 해외의 터널 설계분야에서는 신뢰성공학을 기반으로 하여 경제적이고 합리적인 설계가 가능한 한계상태설계법(LSD: Limit State Design)이 국제표준으로 자리

잡고 있음. 특히 유럽연합(Eurocode) 및 미국(AASHTO-LRFD), 캐나다(OHBD) 등의 기술 선진국에서 종전의 결정론적인 안전율을 사용하는 허용응력설계법(ASD: Allowable Stress Design)에서 하중 및 저항의 공칭 값에 대한 실제 값의 변동성으로 인한 불확실성을 고려할 수 있는 확률 통계적인 구조신뢰성 이론에 기초한 하중저항계수설계법(LRFD: Load and Resistance Factor Design)으로의 전환이 이루어졌음. 국제표준화기구(ISO)와 건설관련 설계표준(ISO 2394) 역시 신뢰성기반 설계법을 채택하였음.

- 미국의 경우 2007년 8월 이후 교량설계시방서(AASHTO LRFD Bridge design specification)를 근간으로 하중저항계수설계법의 사용이 의무화 되었으며, Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels_AASHTO 에서는 하중저항계수설계법의 도로터널 설계적용 매뉴얼을 제시하고 있음.



<AASHTO LRFD Bridge design specification>



<Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels>

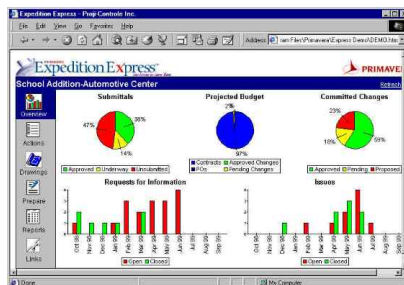
<그림 2.23> 미국 하중저항계수설계법 적용 설계 매뉴얼

- 유럽은 Eurocodes에서 1960년대 유럽 통일의 토목·건축 구조물의 구조설계 코드로 한계상태설계법을 기본개념으로 강·콘크리트·합성·목재·알루미늄을 재료로 구조물의 설계에 사용하는 것을 의도로 제안되었음. 이 중 지반설계에 관한 것은 Eurocodes 7로 제 1부 「지반설계: 일반원칙」, 제 2부 「지반조사와 시험」의 2개의 문서로 구성되어 있다. Eurocodes의 작성은 1970년부터 시작되어 2010년까지 일련의 문서가 모두 유럽기준화(EN화)되었음. 1970년대에 시작된 한계상태설계법은 이러한 과정의 근간을 이루고 있으며 이것을 이용하여 한 단계 높은 수준의 유럽 설계코드로 통일되었음.
- 일본은 터널표준시방서(철도터널편, 2006)에서 설계의 합리화가 강하게 요구되는 사회정세를 반영하여, “한계상태설계법편”을 새롭게 추가하였음. 한계상태설계

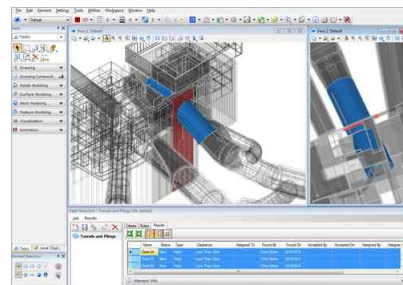
법에서는 사용재료 및 구조물에 가해지는 하중, 적용한 구조설계법 등의 격차나 변동을 각기 개별의 안전계수로서 설정하는 것이 가능하고, 설계 작업을 합리화할 수 있음. 2006년 개정작업시 터널라이브러리 제11호의 “터널의 한계상태설계법 적용”을 참고하였음.

○ 공동구 표준 공정/공사비 관리시스템

- 미국은 대규모 건설공사에 건설관리 시스템(PMIS)을 적용하고 있으며, 소규모 공사의 경우 웹-호스팅 서비스업체 등을 통한 아웃소싱으로 현장 공정관리시스템을 구축하여 운영하고 있음.
- 일본의 경우, 건설사업관리 표준화(건설 CALS, CI-NET 등)를 통한 건설사의 CIC(Computer Integrated Construction) 체계를 개발하여 운영 중에 있으며, 일본 도로공단에서는 공사관리 업무/기술 기준/전자 도면, 정보인프라 정비 등의 국책사업을 통한 지속적인 현장 관리시스템 개발을 추진 중에 있음.
- 유럽은 OSMOS 프로젝트를 통해 건설사들이 보유하고 있는 응용 프로그램들 간의 정보교환이 가능하도록 웹 환경의 관리시스템을 개발하여, 건설공사 참여주체 간의 신속한 정보공유 및 의사결정 지원체계를 구축하여 현장에 적용하고 있음.



Primavera Expedition



Schedule Simulator

<그림 2.24> 미국의 건설사업 관리시스템

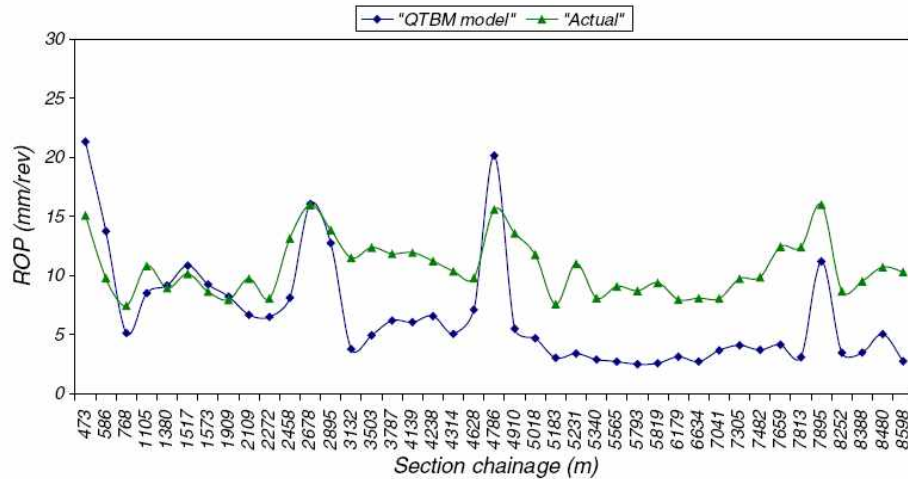
- 미국, 일본, 유럽과 같이, 국내 터널식 공동구 건설공사에서도 적정 공사기간 산출 및 국가예산 절감 등 사회적 비용을 최소화 할 수 있는 공정/공사비 관리시스템의 개발이 반드시 필요함.

4.2 공동구 시공기술

○ 공동구 급속시공을 위한 shield-TBM 굴진성능 예측

- 해외에서 제안된 암반용 TBM 굴진을 모델의 경우 일축압축강도를 기준으로 개발되어, 다양한 지반조건(절리 형상 및 복합지반특성)을 고려하지 못함. 따라서

설계 시 예측했던 굴진율과 비교하였을 때 상당한 차이를 보임. 이란 수로터널의 경우 굴진율 모델인 QTBM 모델(Barton, 2000)은 실제 굴진율과 비교하여 3배 이상 차이 나는 경우도 있음.



<그림 2.25> QTBM과 실제 굴진율 비교
(Hassanpour et al., 2010)

- 암반 관련 굴진율 모델인 CSM (Colorado School of Mining) 모델의 경우 다양한 현장 데이터를 바탕으로 개발되었으나 핵심 기술이 비공개이며 굴진율 산정에 관한 자문을 할 때 상당한 비용이 필요함. 또한 미국 지반을 대상으로 하였기 때문에 국내 지반의 특성을 반영하지 못하고 있음.
- 전 세계적으로 TBM을 독자 설계, 제작할 수 있는 국가는 7개국에 불과하며, 근대적인 TBM의 최초 상용화는 1952년에 시작되어 선진외국에서는 수십 년간 기술축적을 도모하고 있음. TBM 관련 지적재산권 등록도 다수 파악되고 있으나 핵심 설계, 제작기술은 100% 미공개인 상황으로 각 회사별로 독자적 노하우를 보유중임.
- 국외 연구동향을 보면 쉴드터널장비의 전기-유압식 추진압력과 속도제어에 대하여 Hu Shi et.al.(2008, 2009)이 연구하였고, 이들 연구결과에 대하여 Zhibin Liu et al.(2010)은 또 다른 형식의 제어시스템과 비교 분석함.
- Deng Kongshu et. al.(2011)은 Shield machines에 대하여 추력시스템에 대하여 장비 형식에 따라 추진시 변형 특성과 추력전이특성에 대하여 연구를 수행함.
- 상호거동인자인 지반압(Pground), 추력(Njacking), 그리고 세그먼트 반력(Rsegment reaction)을 이용하여 추진시스템에 대한 이론을 확립함. 최근에는 Shield 터널장비의 추력시스템에 대한 기계적 주파수특성에 대한 연구(Xiaoqiang Tang et al., 2012)와 추진시스템의 추력 분석과 모델링에 대한 연구결과가 발표됨.

- 그러나 대부분의 모델은 실내시험 데이터를 바탕으로 개발되어 실제 현장의 굴진율과 잘 맞지 않음. 국내외에는 제작된 장비의 굴진 성능을 현장 투입 전 사전에 측정할 수 있는 기술이 없음.

- 국외의 경우, 아래와 같이 많은 연구자가 막장압 산정 이론을 제시하였음.

제인자	지반 정수 반영 여부				식	비고
	마찰각	점착력	간극수압	3 차원		
Horn	○	○	×	○	-	
Murayama	○	○	○	×	$s_{\min} = \frac{1}{2R_p} (G_p + q_u u_1 (l_u + \frac{u_1}{2}) - c(r_d^2 - \frac{r_a^2}{2 \tan \phi}))$	대수 나선형
Broms & Bennermark	×	○	×	○	$s_{\min} = \gamma(C+R) + q_u - N_{C_1} N \approx 6$	경험식
Atkinson & Potts	○	×	×	○	$s_{\min} = \frac{2K_p}{K_p^2 - 1} \gamma R, K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$	
Davis et al.	×	○	×	○	$s_{\min} = \gamma(C+R) - 4c_u \ln(\frac{C}{R} + 1) + q_u$	
Krause	○	○	×	×	$s_{\min} = \frac{1}{\tan \phi} (\frac{1}{9} D \gamma' - \frac{1}{2} \pi c)$	반구
					$s_{\min} = \frac{1}{1 + \tan \phi} (\frac{1}{6} D \gamma' - \frac{1}{2} \pi c)$	반원
					$s_{\min} = \frac{1}{\tan \phi} (\frac{1}{3} D \gamma' - \frac{1}{2} \pi c)$	4분기 원
Mohkam	○	○	○	○	$H = \iint_A h[\omega(x,y), \theta(x,y), \sigma(x,y)] dx dy = 0$	
Leca & Dormieux	○	○	×	○	$s_{\min} = N_s + (N_s + N_\gamma - 1) \frac{c'}{\tan \phi'}$	
Mori	×	○	○	×	$s_{work} = \sigma_3 - s_{water}$	경험식
Jancsecz & Steiner	○	○	×	○	$s_{\min} = K_{so} \sigma'_c + P$	
Anagnostou & Kovari	○	○	○	○	$s' = F_0 \gamma' D - F_1 c + F_2 \gamma' \Delta h - F_3 c \frac{\Delta h}{D}$	엠브레인 모델
					$\frac{s}{s_0} = 1 - \frac{e}{2D \tan \omega}$	부분 침투
					$\frac{s}{s_0} = \frac{D \tan \omega}{2e}$	완전 침투
						총상지반
Belter	○	○	○	×	-	
Broere	○	○	○	○	$s'_{(ef)} = \frac{G_s - P_s + G_w + K' + 2T' - 2P_T + S'_{dev}}{2}$	
Carranza-Torres	○	○	○	×	-	
DIN	○	○	○	×	$E_{ch} = b \sum_0^D \epsilon_{ch} \cdot \Delta h$	

- 공동구 급곡구간 굴착용 shield-TBM 장비 개발
 - TBM 선진국인 유럽의 경우 EU공동프로젝트인 TUNCONSTRUCT 프로젝트를 통해 TBM 커터헤드 설계기술 선진화, 고성능 디스크커터, 고성능 세그먼트 등 기술 발전 및 규격화에 앞장서고 있음.

- 특수지반 시공기술
 - 소단면 TBM 뿐만 아니라, 대단면 TBM터널의 경우에도 연약지반을 굴착하는 경우에 자갈층을 굴진하는데 많은 어려움이 있는 것으로 보고되고 있음. 굴진불능, 재밍(jamming), 막장압 유지 불가, 굴착도구 및 장비의 안정성 문제 등이 주요 문제로 언급되고 있는 실정임. 관련 기술은 다음과 같음.
 - 지반의 조사/탐사 기술 및 데이터를 통한 토사입자의 입도 분포 조사 기술
 - 조사된 입도분포를 기반으로 한 적절한 장비를 설계하는 기술(TBM 형식, 개구율, 커터 종류 등)
 - 커터의 회전불능, 막장압 문제 해결하기 위한 그라우팅 기술
 - 압축공기를 이용한 커터헤드 전면 작업공간 확보 기술
 - 장비 내부로 유입된 호박돌의 파쇄(crusher) 기술
 - 거품(foam) 혹은 슬러리 주입을 통한 유동을 확보 기술

- 공동구 shield-TBM 지장물 우회 시공
 - 유럽의 경우 TUNCONSTRUCT 프로젝트 컨소시엄을 진행하였는데, 연구기관들과 TBM 관련 기업들이 참여한 해당 프로젝트의 목표는 TBM 핵심기술을 개발이며 주요연구로써 ‘대단면 TBM의 설계기술’, ‘지반조건에 따른 디스크커터의 설계기술’, ‘TBM 커터헤드 설계기술’, ‘안전하고 효율적인 커터 교체 기술’, ‘관련 시험의 표준화 (암석, 강재 등)’, ‘암반과 커터 사이의 상호작용 분석’, ‘고효율 TBM 부속 시스템 개발’등이 수행되었음. 하지만 이러한 TBM 공정 및 시공기술에 관한 연구항목 중에 지장물 우회나 곡률반경 최소화를 위한 연구는 부족한 실정임.
 - TBM의 다양한 기술을 확보한 일본에서 Fukuoka 현 터널 쉘드공 현장에서 곡률반경 40m의 최소곡률 시공사례가 있으며, 이후 최소곡률 15m 급도 적용 사례가 있어 급곡시공 분야에서 가장 앞선 기술을 보유함. 따라서 급곡구간 시공기술 개발시 일본 사례의 벤치마킹 필요.

4.3 수직구 시공기술

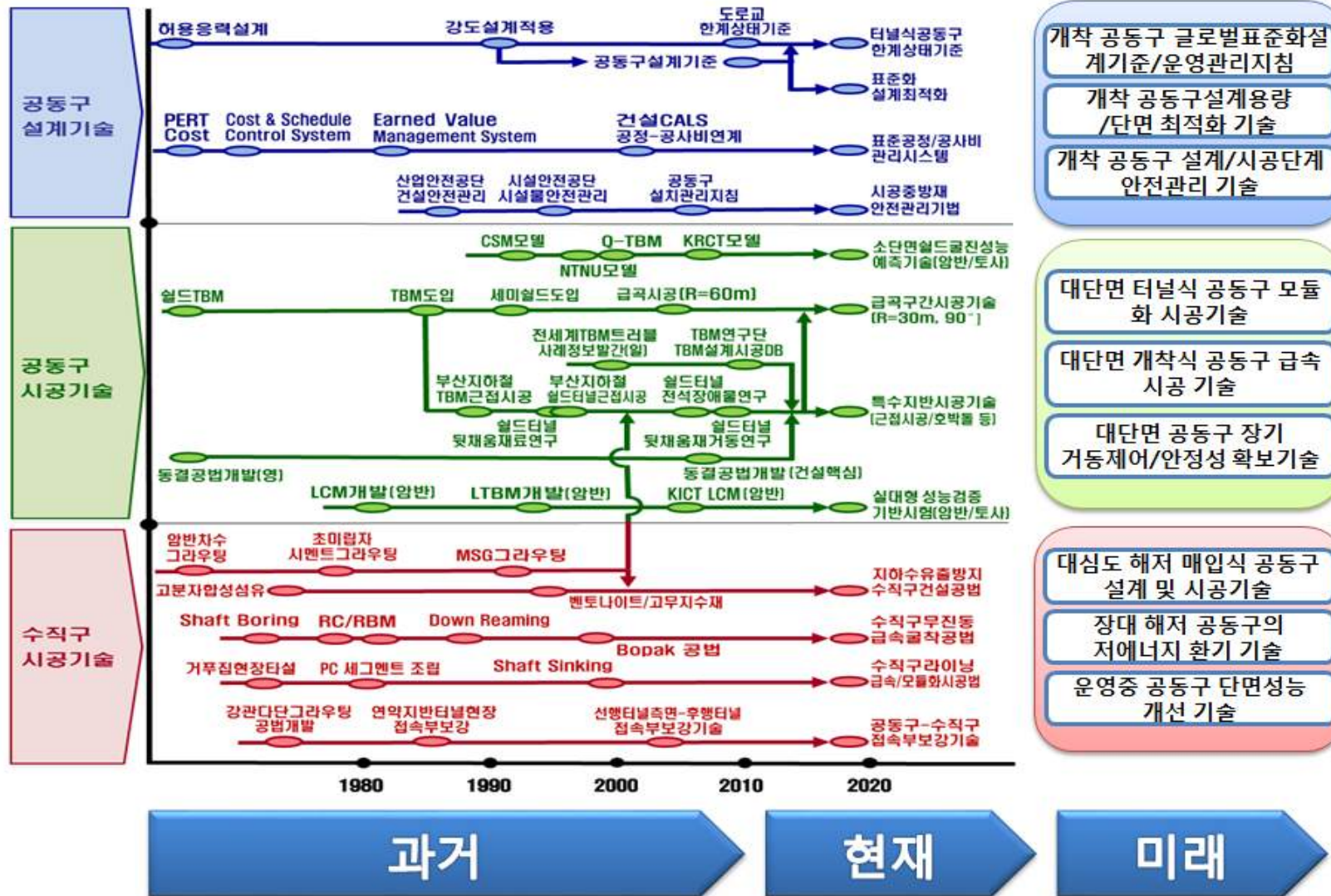
- 굴착 시 지수/배수 관련 기술 현황
 - 미국에서는 토목섬유(geotextile)를 이용한 배수층을 터널에 설치하는 방법도 시행되고 있음. 보통 CIP공법과 함께 쓰이며 연약지반에는 closed system, 암석지반에는 umbrella system 등 적용방법이 지반에 따라 다름.
 - 지수재와 관련해 새로운 재료는 많이 나오고 있지 않음. 국내와 기술 격차 미미함.
 - 최근 터널 지수/배수 관련 연구는 중국이 활발히 진행하고 있으나 그 방향이 대부분 modeling이나 analysis가 많음.

- 유럽과 미국 일본 등 수직터널 공법 관련 선진국에서는 기계식 굴착장비사용과 병행하여 하향식 수직터널 콘크리트 라이닝에 대한 시공 수행과 수압 및 설계수명을 고려한 공사방법이 수행되고 있음.

- 유럽과 일본 등 선진국 지중터널 수직터널 굴착공법 방식은 기계식 굴착장비와 콘크리트 라이닝 시공을 위하여 다양한 굴착 및 구조물공법을 사용하여 터널을 시공한 경험을 다수 보유하고 있음.

- 도심지 수직구 시공 공법 개발은 유럽, 미국 등의 기계식 굴착과 하향식 라이닝 시공을 접목한 기술을 개발하여 저소음, 무진동, 공기/공사비 절감을 구현 필요.

4.4 요소기술 기술발전 단계



4.5 선진국 대비 국내 기술수준 요약

○ 최고 기술국 대비 국내 공동구 설계 기술 수준

기술명	기술수준		
	최고기술포유국	기술수준(%)	기술격차(개월)
글로벌 표준화 설계법 (LRFD) 을 고려한 터널설계	유럽, 미국, 일본	50	72
공동구 설계용량 최적화 연구	일본	78	52
공동구 안전관리기술	싱가폴, 유럽, 일본	70	120

○ 해외 선진국 대비 국내 공동구 시공기술 기술수준

기술명	기술수준		
	최고기술포유국	기술수준(%)	기술격차(개월)
TBM 굴진성능 예측기술	미국, 노르웨이	50	60
shield-TBM 추진부 기술	일본	10	120
막장압 및 뒷채움압 선정 관련	일본, EU	25	60
공동구 급곡구간 굴착용 shield-TBM 장비	일본, 독일	10	120

○ 해외 선진국 대비 국내 수직구 시공기술 기술수준

기술명	기술수준		
	최고기술포유국	기술수준(%)	기술격차(개월)
차수재 및 공법	미국	95	12
저소음/저진동 암반굴착공법	독일, 일본, 미국	80	60
도심지 공동구 수직구 라이닝 급속 /모듈화 시공법	독일	20	36
공동구용 수직구-터널 접속부 보강기술	일본, 미국	50	72

5. 시사점

○ 공동구 설계기술 시사점

미국, 일본, 유럽의 경우 토목구조물 설계법이 한계상태 설계법으로 전환되는 과정에 있으며, 한계상태 설계법의 터널 적용에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으나 우리나라는 아직 설계기술 도입되지 않았음. 따라서 국제적인 추세에 맞추어 LRFD 설계법 등의 개발이 필요함.

○ 공동구 시공기술 시사점

shield-TBM의 굴진성능을 예측하기 위한 다양한 모델이 존재하나 대부분의 모델은 해외에서 실내시험 데이터를 바탕으로 개발되어 실제 현장의 굴진율과 잘 맞지 않음. 그러나 국내외에는 제작된 장비의 굴진 성능을 현장 투입 전 사전에 측정할 수 있는 기술이 없으므로 관련 기술이 개발되어도 성공 가능성을 예측하기 어려움. 따라서 이에 대한 검증 방안을 연구내용에 포함할 수 있도록 하여야 함. 또한 공동구/수직구 시공기술의 경우 해외에 비하여 기술수준이 낮아 개발이 필요하며, 연구개발의 성공가능성을 높이기 위해 성능검증 시험을 활용한 기술 개선/보완을 효율적으로 수행 할 필요가 있음.

○ 특허 관련 시사점

- 미국, 일본, 한국, 유럽 중 공동구 설계기술과 관련된 특허를 가장 많이 가지고 있는 국가는 46% 점유율을 차지하고 있는 미국으로 분석됨. 한국은 일본에 이어 24% 점유율을 차지하고 있음. 특히, 설계용량/단면 최적화 기술과 관련된 특허출원이 미미함. 시공기술 또한 일본, 미국에 이어 20%만을 차지하고 있음. 특히 공동구용 수직구 시공기술과 관련된 급속 시공법 특허출원이 상대적으로 미미한 것으로 분석됨. 연구개발 수행시 국제특허 출원 등을 통한 개발기술의 보호 및 시장 선점 방안 수립, 공동구 관리주체의 과제참여로 향후 국내 대형 시공사와 컨소시엄을 구성하여 개발기술의 해외사업 적용 전략을 제시하도록 유도가 필요함.

○ 인력 양성 시사점

공동구 설계, 시공, 수직구 시공기술의 국내 수준은 전체적으로 선진국 기술 대비 절대적으로 부족한 실정임. 또한 공동구 관련 연구를 진행하고 있는 국내 관련 연구소 및 일부 대학에만 핵심인력이 존재하며, 기업 등에는 숙련된 인력이 부족한 실정임. 본 연구를 통해 관련 학계와 산업계, 그리고 연구계에서 역량을 발휘할 수 있는 전문 인력양성이 절실히 필요하므로 연구 컨소시엄에 학계, 연구원, 설계사의 참여가 필요함.

4절. 국내 연구개발 인프라 분석

1. 연구인력 인프라

- 현재 본 사업과 관련해서 국내 관련 연구소 및 일부 대학의 전문 분야에만 핵심 인력이 존재하며, 기업 등에는 현재 숙련된 인력이 부족한 실정임. 다만, 본 사업의 성격상 사업 추진과 관련된 용역사 및 시공사에 전문 분야의 인력들이 일부 그 역할을 수행하고 있는 실정임.
- 본 사업의 특성상 업계와 학계 그리고 연구계가 함께 추진해야 하는 형태로 진행되어야 하며, 관련 인력이 부족한 학계와 산업계의 needs 그리고 연구계의 인프라 등이 결합된 새로운 형태의 연구 추진체계가 요구됨.

<표 2.15> 관련 기업 현황

업체명	업체별 능력
평화엔지니어링	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 NATM/TBM 터널 설계 경험 보유 • 특히, 도로, 철도, 수로 및 전력구 터널 등 다양한 종류의 터널 설계 실적을 보유
CM엔지니어링	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 전력구 및 통신구 설계 경험 보유 • 소규모 기계화 시공법 관련한 많은 설계 실적을 보유
태조엔지니어링	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 터널식 및 개착식 전력구 설계 경험 보유
신성엔지니어링	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 터널식 및 개착식 전력구 설계 경험 보유
대우건설 외	<ul style="list-style-type: none"> • 도심지 터널 기술 개발
한국터널공학회	<ul style="list-style-type: none"> • 대형 대단면 지하공간 건설을 위한 요소기술 개발
대정건설턴트	<ul style="list-style-type: none"> • 다수의 국내외 지하철, 철도, 도로, 공동구의 설계 및 설계 컨설팅 • 터널 건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석 연구 수행
(주)현인피씨엠	<ul style="list-style-type: none"> • 건설사업관리의 핵심분야인 공정 및 원가 관련 기술과 실적 보유 • 표준품셈 제·개정사업 등 원가관리 국가연구과제 다수 수행
(주)희송지오텍	<ul style="list-style-type: none"> • 도로, 철도, 댐 등의 터키 및 실시설계 지반조사 경험 다수 • 암종별, 지역별 설계지반정수 데이터 다수 보유
EMK (이엠코리아)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 최초 TBM 생산 기반 구축 • 3m 이하 중소형 TBM 제작 • 국내 최초 Semi-shield-TBM 자체 개발 능력 보유 • 일본 JTSC 와 shield-TBM 공동 생산을 통한 제작 능력 확보 및 향후 설계 능력 확보 예정
삼성물산	<ul style="list-style-type: none"> • 해외 해저터널 설계 실적 보유 • 특히 기계화 시공 관련 가장 많은 해외 컨설팅 실적을 보유
동아지질	<ul style="list-style-type: none"> • TBM을 사용한 기계화 시공법관련 가장 많은 시공 및 컨설팅 실적을 보유

울트라건설	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 지하철터널, 수로터널, 상하수도 관로 공사 실적 보유
한진디앤비	<ul style="list-style-type: none"> • 수평굴착공법(HDD)용 시추시스템 설계 및 개발 생산 • 시추관련 우수 국제특허 다수 보유
프로몰엔지니어링	<ul style="list-style-type: none"> • 지향성 압입 설계 및 시공관련 특허 다수 보유 • 작업거리 2,000m가 가능한 시추장비 보유
KOMATSU (주)	<ul style="list-style-type: none"> • 건설 기계, 중장비 분야에서 세계적인 전문성 보유 (건설기계 제조 분야 세계 2위 수준) • 급곡구간 굴착용 shield-TBM 장비 보유
지중공영	<ul style="list-style-type: none"> • 서울지하철 9호선 및 신분당선 차수 및 지수 시공 경험 보유
드림이엔지	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 터널 및 지하구조물 설계 경험 보유 • 워터젯을 이용한 터널 굴착방법 연구 및 장비 개발

<표 2.16> 관련 국책 및 민간 연구소 현황

연구기관	연구기관 기술 수준
토지주택연구원	<ul style="list-style-type: none"> • U-CITY 고도화 연구단 • 도심방재형 토사재해 회피기술 연구 및 차세대 토사재해 연구기획 사업(예방/대응/복구 기술) • 도심지 대심도 지하도로 건설기술의 기획연구 • 미래형 신공간/인프라 창출을 위한 도시계획 및 재생 연구
한국건설기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • TBM 핵심 설계 부품기술 및 TBM 터널의 최적 건설기술 연구단 • 지하공간 환경개선 및 방재기술 연구사업(지하구조물 재해손상 대응 기술) • 기계화 자동화 터널건설을 위한 TBM 기술개발 기획연구 • 해저터널 방배수 설계기술 및 신재료 개발 • 도심지 대심도 지하도로 건설기술의 기획연구 • 지하구조물 굴착 전방 지질학적 위해요소 모니터링 기술 개발 • 미래형 신공간/인프라 창출을 위한 지반기술의 신개념 활용 방안 기획연구
한전 전력기술원	<ul style="list-style-type: none"> • 전력구 내구성 및 냉각성능 개선과 감시진단 시스템 개발 연구단 • 전력구 구조건전성 평가시스템 기술 보유 • LCC(Life Cycle Cost) 기반 지하 전력구조물 통합 수명관리시스템 기술 보유 • 전력구 최적 설계/시공을 위한 신공법 개발 기획 연구 • 지중 전력구구조물 뒷채움용 급결 콘크리트 기술 보유 • 전력구 정밀안전진단 및 보수/보강 설계 기술 보유 • 지하 전력구조물 방수시스템 기술 보유
한국지질자원연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 경암 굴착의 굴진을 예측 기술 보유 • 굴진을 예측을 위한 실내 시험 장비 보유 • 국내 TBM 굴진 데이터 및 분석 기술 보유 • 방향성 시추가 가능한 Coiled Tubing Drilling 시스템 보유 • 유·가스 개발을 위한 천/심부 방향성 시추 및 모니터링 기술 개발
네오테크	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 수직터널 관련 제조업 및 시공 경험보유 • 특히 수직구 유압장치 기계화 시공법 관련 가장 많은 기술적용 실적을 보유
세니즈 코퍼레이션	<ul style="list-style-type: none"> • 철도 및 도로터널의 점검 및 유지관리 보수/보강 설계 다수

<표 2.17> 관련 대학 현황

대학	기술 수준
아주대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 대단면 및 소단면 지하공간 연구 및 관련 기술 보유 • 대형 및 소형 모형시험기 등 다양한 종류의 터널모형시험 경험 및 실적 보유
수원대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 안전을 개념을 근거로 한 지하구조물 안정성 검토, 위험도 분석, 신뢰성 분석 등 관련 연구경험 다수 보유 • 근접시공과 관련한 신개념 지보재 관련 보강공법 연구 및 수치해석 검증관련 연구기술 보유 • 대형 대단면 지하공간 연구단 참여 및 관련 기술 보유 • 해저시설물 차폐기술 관련 기술 보유 • 갱도모형시험기 및 암석 강도시험용 만능시험기 보유
호서대학교	<ul style="list-style-type: none"> • shield-TBM 터널의 모형 시뮬레이션을 통한 안전시공 분석 연구 • 암반구간에 대한 shield-TBM 굴착 적정성 분석 연구 • 연약지반 shield-TBM 구간에 안전시공 방안을 위한 분석 연구 • 추진기법에 따른 세그먼트 안정성 분석 연구 • TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM 터널의 최적 건설기술 연구 • 축소모형 shield-TBM Simulation System 보유 • shield-TBM 최적 배토 효율 분석을 위한 축소모형 Chamber System 보유 • shield-TBM 절삭력 분석을 위한 축소모형 실험기 보유
인하대학교	<ul style="list-style-type: none"> • QSRC system을 이용한 자연상태 암석의 절리 상태 평가 연구 기술 보유 • 가스 하이드레이트 추출을 위해 대심도에 설치되는 시추공 케이스의 안정성 평가 기술 보유 • 3차원 수치해석을 이용한 지하 공간 구조물 안정성 평가 기술 보유 • 최적의 지보 시스템 설계를 위한 FEM 사용자 코드 개발 기술 보유 • shield-TBM 전력구 터널 연구단 참여 및 관련 기술 보유
건국대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 해저터널 연구단 세부과제 책임기관 • 토압 산정관련 시험기 다수 보유
서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> • TBM 핵심 설계 부품기술 및 TBM 터널의 최적 건설기술 연구 • 급속 터널의 기계화시공을 위한 최적 굴착설계 모델 개발 연구 • 동적파괴 모델링 기법에 의한 TBM 디스크 커터의 불연속 이방성 암반 절삭효율 최적화 연구 • 초장대 해저터널 계획을 위한 최적 지질·지반조사 기술 개발 • 다양한 목적의 암석시험기기 및 인프라 보유
동아대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 시추 제한요소를 고려한 시추궤도 설계 기술 보유 • 방향성 시추관련 다수의 국가연구과제 수행 경험
한국과학기술원	<ul style="list-style-type: none"> • 대단면 터널굴착 및 막장면 모니터링관련 기술 보유 • 대형 대단면 지하공간 연구단 운영 및 관련 기술 보유 • 동적 암반시험기 보유

2. 국내 연구개발 인프라 관련 분석결과 및 시사점

- 국내 공동구 관련 연구 인프라는 전통적인 토목 설계 시공 기술에 국한되어 있어, 첨단화/융합화/선진화 되고 있는 최신의 기술 개발 및 적용에는 한계점을 안고있는 실정임. 한편, 해외 기술력을 확보하고 있는 핵심 연구인력들이 국내에서 활동하고 있으므로 이러한 인적 인프라를 바탕으로 정부의 과감하고 전략적인 R&D투자를 통해 선진화된 연구인프라를 구축하여 소단면 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술을 개발이 가능할 것으로 판단됨.
- 국외에서는 공동구 관련 기술 개발을 유도하고, 다양한 현장 적용과 테스트를 통해 기술 확보 및 기술력 증진이 진행되고 있음. 제한적으로 해외기술이 국내에 도입되고 있으나, 이에 대한 기술적 수준 또는 문제점들에 대한 모니터링과 분석이 아직 이루어지지 않고 있는 실정임.

5절. 동향분석 결과 시사점

○ 동향분석 결과 및 시사점을 요약하면 다음과 같음.

구분	촉진요인	저해요인
정책 (P)	<ul style="list-style-type: none"> ·주요 국정과제, 창조경제 실현과제, 경제혁신 3개년 계획을 중심으로 정부 연구예산 지속 확대 ·제3차과학기술기본계획(2013~2017)생활공간 편의성 향상과 최첨단 인프라구조물 건설기술, 제5차 건설기술진흥기본계획 (2013~2017) Global·User 지향 설계·시공기준 정비 중 설계·시공기준의 OECD화와 연관 ·전선공동구 설치 등에 관한 특별법안이 발의 국회 계류중이며, 공동구, 공동구를 시특법상 2중 시설물로 신규 포함 안전관리 강화(2013.11), 공동구 설치 조례가 서울시의회 건설위 통과(2013.12)되어 지하철공사 등 추진시 공동구 지중화사업 병행 예정임. 	<ul style="list-style-type: none"> ·공동구 관련 공공기관의 이해관계로 공동구 설치 무산사례 발생 ·공동구 설치법안 통과 등으로 공사가 급증할 수 있으나 공동구 건설비용 절감방안, 구조물 환경피해에 의한 민원저감 방안 등이 개발되지 않아 효율적인 정책 추진이 어려움 ·우수한 신기술의 현장적용을 위한 기준 등 제도 마련, 정책적 뒷받침 미흡
경제 (E)	<ul style="list-style-type: none"> ·가공 배전선로 지중화율이 매우 낮고(서울 52.4%), 민원과 공동구 지중화 정책으로 연간 6,200억원의 관련 시장 형성 추정 	<ul style="list-style-type: none"> ·세계 경제의 위축과 국내 건설분야 시장 감소로 성장동력 약화
기술 (T)	<ul style="list-style-type: none"> ·국가중점과학기술 중 서비스로봇기술(건설), 최첨단 인프라구조물 건설기술의 기술적 실현시기를 2017 ~ 2018년으로 평가(미래창조과학부와 KISTEP, 2013) 하였듯이 관련 기술적 역량이 축적되고 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> ·선진국 대비 공동구 분야 기술수준은 평균 53.2% 로 경쟁력이 매우 낮음. 최고기술 보유국 대비 기술격차는 56개월(4.7년)임. 이것은 공동구 급곡구간/특수지반 건설기술 중 소단면 터널식 공동구 건설을 위한 shield-TBM 굴진성능 예측과 급곡구간 시공 기술 등이 외국에 비하여 매우 낮기 때문.
인프라 (I)	<ul style="list-style-type: none"> ·도로교설계기준, 초장대교량 등 타 분야를 중심으로 LRFD 설계 도입추세 ·과학기술의 급속한 발달 및 기술의 융복합화 가속 ·세계 수준의 IT, 로봇기술 경쟁력 확보 ·고성능 강재 등 우수한 첨단 건설재료 기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> ·공동구 분야 연구 인프라 구축정도는 평균 53.5%로 미약한 수준임 ·국제 설계 엔지니어링 기술력 및 전문가 부족 ·기초·원천 기술 확보 수준이 미흡하고 소단면 shield-TBM의 경우 굴진성능 예측 시험을 위한 시험설비가 없음 ·정부정책과 국가경쟁력 제고 위한 세계 최고기술 개발 미흡

건설기술연구사업 기본방향 도출

[친환경 민원저감형 건설기술] 친환경 건설재료, 급속시공, 무진동 시공 등에 의한 도심지 부지점유, 교통영향, 환경영향 최소화 기술 개발
[경제적 건설기술] 급속/모듈화 등에 의한 공기/공사비 절감형 건설기술 개발
[재해안전 건설기술] 예방형 안전관리 체계구축을 통한 공사중 건설재해 최소화
[글로벌설계기술] 새로운 우수기술의 적용기준 마련 및 설계기술 표준화·국제화
[첨단융합 건설기술] 전통적인 건설기술에 IT, 로봇기술을 활용한 첨단융합기술 개발
[실대형 성능검증 시험] 세계최초 공동구 건설기술 실대형 성능검증 시험을 통한 개발기술 검증, 사업화 가능성 향상, 선도기술 확립 및 신시장 창출

제 3 장

연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표

1. 비전 및 목표

- 본 연구는 세계최고수준의 라이프라인 인프라 건설기술 구축의 일환으로 도심지 소단면($\Phi 3.5\text{m}$ 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 고도화를 위해 도심지 소단면 공동구 건설기술을 개발하여 공사중 민원 30% 저감, 안전재해 20% 저감, 공사비 10% 절감을 기대함.

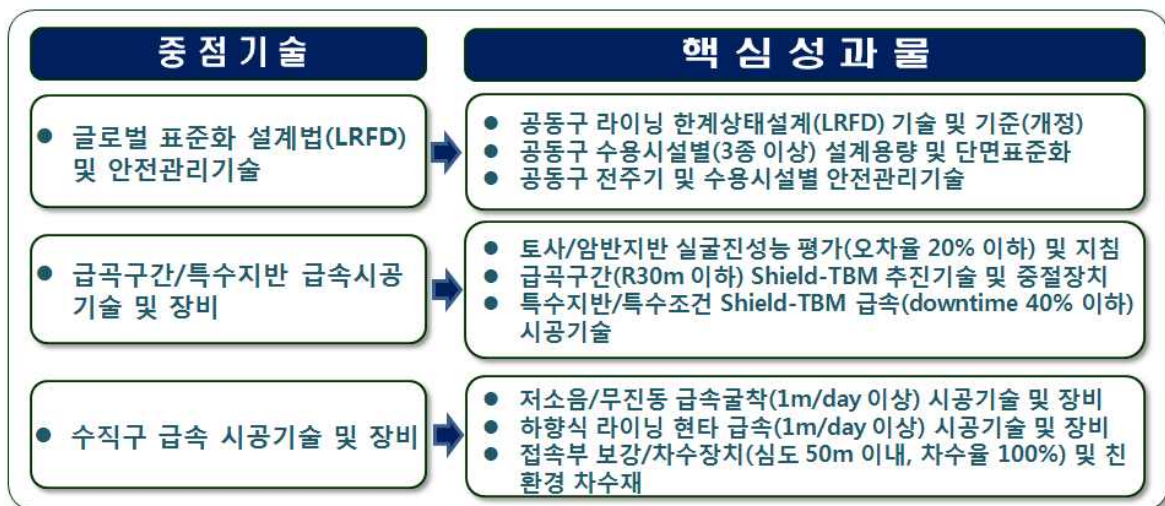
비 전

도심지 소단면($\Phi 3.5\text{m}$ 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 고도화

목 표

도심지 소단면($\Phi 3.5\text{m}$ 급) 터널식 공동구

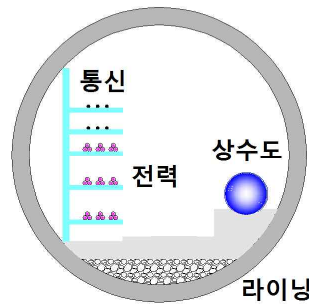
- 글로벌표준화설계법(LRFD) 및 방재안전관리기술 개발
- 급곡구간(R30m 이하)/특수지반(시공downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발
- 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발



2. 비전 및 목표 설정 근거

2.1 비전 설정 근거

- 국내 소단면 shield-TBM의 대부분을 차지하는 $\Phi 3.5\text{m}$ 급의 shield-TBM 시공을 통한 소단면 터널식 공동구 건설을 추진 배경으로 함. 소단면 공동구의 수용 규모는 3종 이상(전력 + 통신 + 상수, 전력 + 통신 + 난방 등)임.



- 세계최고수준의 라이프라인 인프라 건설기술 구축의 일환으로, 도심지 소단면($\Phi 3.5\text{m}$ 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 고도화를 비전으로 함.

2.2 목표 설정 근거

(1) 도심지 소단면($\Phi 3.5\text{m}$ 급) 터널식 공동구 글로벌표준화설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발

- 현재 설계법(허용응력법 설계, 강도설계법)은 터널구조물의 불확실성을 단일계수로 조정하여 과다 설계되고, 이를 개선한 한계상태설계법은 교량, 구조물 기초 설계 등에 이미 적용중이나 터널분야에는 적용되지 않음.
- 세계적 추세인 성능중심의 설계흐름을 반영하여 소단면($\Phi 3.5\text{m}$ 급) 공동구 터널 라이닝의 글로벌표준화설계법(LRFD) 개발 및 설계기준 제시를 목표로 함.
- 글로벌 설계법 도입에 따른 연관 기준은 직접적 개정이 필요한 '공동구 설계기준', '공동구 설치 및 관리지침'(2종)과 간접적으로 연관된 '콘크리트 구조기준', '콘크리트 표준시방서', '터널설계기준', '터널표준시방서'(4종)임.



(2) 도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수지반 (downtime 40% 이하) 급속시공기술 및 장비 개발

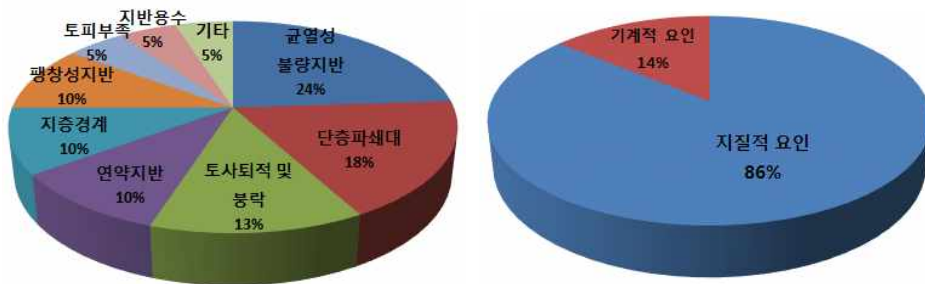
가. 급곡구간 급속시공기술

- 기존에는 직선에 가까운 곡률반경에 대한 이론연구만 진행(장치 없음)하였고, 국내 shield-TBM 급곡 추진기술은 미흡하여 외국기술에 의존함(현재 최소 R60m).
- 소단면(Φ3.5m 급) shield-TBM 급곡구간(R30m 이하) 시공이 가능한 특수장치 개발 및 추진기술에 대한 현장 시방지침 제시를 목표로 함.
- 도심지에서 일반적인 왕복 2차로 차도(총 10m 폭, 차로 3×2m, 인도 3×2m)로 구성되는 4거리 교차로를 통과하기 위한 최대 회전 반경인 30m를 기준으로 함.



나. 특수지반 급속시공기술

- 공동구 설치 대상 심도 및 지반은 평균 20m, 충적층 토사지반/암반지반에 위치하므로 특수지반/특수조건(호박돌층, 고수압층, 복합지반 등)에 주로 시공됨.
- 도심지 shield-TBM 시공시 특수지반/특수조건의 경우, 주로 NATM 공법 적용 기술이 개발됨. 소단면 shield-TBM 시공시 트러블지반에서 큰 downtime (~80%)이 발생하고 있음.



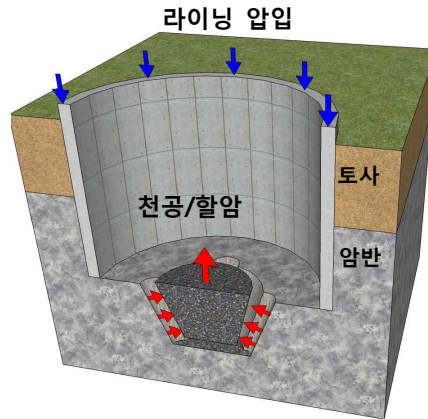
출처: 일본 지오프론트연구회(1999)

- 특수지반/특수조건에서 downtime 40% 이하로 저감 및 지반침하 최소화할 수 있는 급속 시공기술/장비 개발, 시공지침 제시를 목표로 함.

(3) 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

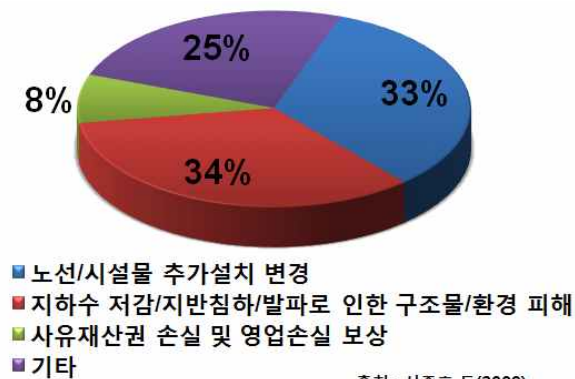
- 교통터널(지하철)보다 공동구에서 일반적인 원형(Φ6~8m) 수직구를 대상으로 함.

- 기존 흙막이 가시설 + 라이닝 시공속도는 약 0.3m/day(심도 50m 기준)임. 가시설을 배제한 하향식 라이닝 수직벽 급속시공을 통해 1m/day 이상의 구조물 시공과 저소음/무진동 암반지반 굴착을 목표로 함.

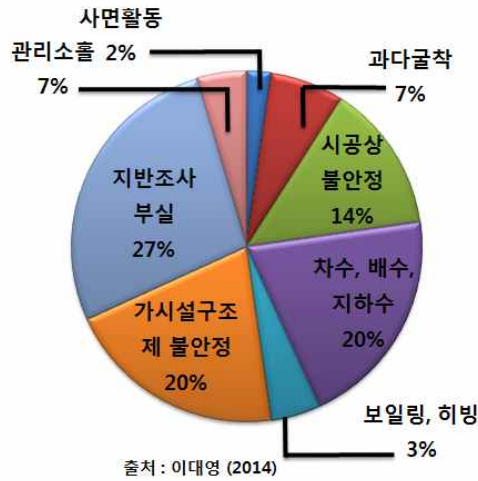


3. 기대효과 설정 근거

- 신중호 등(2009)에 의하면 서울지하철 2기 시공중 발생민원 6,219 건 분석 결과, 지하수 저감/지반침하/발파로 인한 구조물/환경 피해가 약 30%로 나타남. 따라서 이 연구를 통하여 공동구 시공 중 발생 가능한 구조물/환경 피해를 줄여 전체 민원의 30% 저감을 기대함.



- 굴착공사로 인한 지반침하 중 차수, 배수, 지하수로 인한 원인이 약 20%(9건/24건)를 차지함. 따라서 이 연구를 통하여 공동구 시공 중 발생 가능한 지하수 등으로 인한 지반침하를 줄여 전체 안전재해의 20% 저감을 기대함.



- 소단면 쉴드터널 공사비는 약 800만원/m, 수직구(Φ6~8m) 공사비는 약 3천만원/m 임. 이 연구를 통해 전체 공동구 공사비의 10% 절감(공동구 터널 80만원/m, 수직구 300만원/m)을 기대함.

2절. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표

1. 핵심기술요소(CTE) 도출

1.1 개요

- 핵심기술요소(CTE, Critical Technology Elements)는 연구의 성패를 좌우하는 중요한 기술로서 연구목표를 달성하기 위해 충족되어야 할 필수 기술임.
- 핵심기술요소(CTE)의 선정은 기술예측조사를 통하여 예측된 기술에 대하여 기술수요조사로 기술개발의 우선순위 파악 후 CTE후보를 선정하고, 그 결과를 검토하여 수행함.
- 핵심기술요소(CTE)의 선정과정은 다음과 같음.



1.2 기술예측조사

(1) 개요

- 기술예측조사는 기술의 실현시기, 기술특성의 변화속도를 정량적으로 평가하여 미래의 기술개발계획을 수립하기 위한 기초자료로 활용하기 위함.
- 기술예측조사는 공동구 및 공동구 터널 관련 기술니즈 조사 실시 후 그 결과에 대한 미니델파이(Mini-Delphi) 조사를 통한 분석을 수행함.
- 공동구 및 공동구 터널 관련 전문가 집단에 설문조사를 통하여 실시하였으며, 개요는 다음과 같음.

구 분	내 용
조사기간	2014. 05. 01. ~ 2014. 05. 14.
조사대상	기획위원 및 관련 전문가
응답자수	50 명
조사방법	이메일을 통한 설문조사
조사항목	공동구 및 공동구 터널 관련 기술의 기술니즈 조사, 델파이 조사

○ 기술예측조사 명단

연번	분 야	성 명	소 속	1차 응답	2차 응답
1	설계기준 안전관리분야	이대수	한국전력 전력연구원	○	○
2		김경열	한국전력 전력연구원	○	○
3		류희환	한국전력 전력연구원	○	○
4		진규남	LH공사 토지주택연구원	○	○
5		심영종	LH공사 토지주택연구원	○	○
6		최항석	고려대학교	○	○
7		김홍문	평화엔지니어링	○	○
8		김중훈	희송지오택	○	○

9		박인준	한서대학교	○	○
10		최덕찬	대정컨설팅	○	○
11		박성욱	넥스지오	○	○
12		배근우	현인피씨엠	○	○
13		신중호	건국대학교	○	○
14	공동구 시공분야 (터널식/ 개착박스)	조계춘	KAIST	○	○
15		권태혁	KAIST	○	○
16		홍은수	KAIST	○	○
17		김상환	호서대학교	○	○
18		유광호	수원대학교	○	○
19		박치면	에스코컨설팅	○	○
20		강신현	EM 코리아	○	○
21		안재훈	부산대학교	○	○
22		송기일	인하대학교	○	○
23		전석원	서울대학교	○	○
24		이대성	동아대학교	○	○
25	수직구 시공분야	이성원	건설기술연구원	○	○
26		장일한	건설기술연구원	○	○
27		이대수	한국전력 전력연구원	○	○
28		김경열	한국전력 전력연구원	○	○
29		류희환	한국전력 전력연구원	○	○
30		이강렬	한국전력 전력연구원	○	○
31		박창민	스마트 ENC	○	○
32		신영완	하경엔지니어링	○	○
33		이승훈	하경엔지니어링	○	○
34		김기중	세니츠코포레이션	○	○
35		홍은수	KAIST	○	○
36	유지관리 분야	김영진	LH공사 토지주택연구원	○	○
37		진규남	LH공사 토지주택연구원	○	○
38		성주현	한국시설안전공단	○	○
39		이대수	한국전력 전력연구원	○	○

40		김경열	한국전력 전력연구원	○	○
41		류희환	한국전력 전력연구원	○	○
42		이강렬	한국전력 전력연구원	○	○
43		박성욱	넥스지오	○	○
44		조계춘	KAIST	○	○
45		권태혁	KAIST	○	○
46		홍은수	KAIST	○	○
47		송기일	인하대학교	○	○
48		최덕찬	대정건설턴트	○	○
49		김기중	세니즈코포레이션	○	○
50		박치면	에스코건설턴트	○	○

(2) 기술 니즈 조사

○ 니즈도출 방법

- 공동구 및 공동구 터널 관련 전문가 집단 설문조사를 활용.
- 국내외 정책 동향, 국내외 시장현황 및 전망, 국내외 기술동향 분석 결과를 사용하여 사회, 기술, 경제, 환경, 정책 분야에 대한 이슈를 제시하고 이에 대한 기술 니즈를 도출함.

○ 기술니즈 조사 대상기술

- 공동구 건설기술은 구조물 기준으로 구분 시 기존 도심지의 터널식 공동구 건설 기술, 신 사업부지에서의 개착박스 공동구 건설기술로 구분 됨. 또한 공동구 건설 단계는 조사/설계, 시공, 운영 및 유지관리 단계에 망라됨.
- 대상 구조물별 조사/설계 기술관련 공종은 다음과 같음.

구 분	대상 구조물	공 종
개착박스 공동구	개착박스, 환기구, 분기구	지반조사, 선형(평면/종단), 단면, 굴착 및 가시설, 기초, 구조물, 접합 및 부설, 되메움 및 다짐, 방수, 부대시설(기계, 전기, 소방 등), 내진, 계측
터널식 공동구	터널라이닝, 수직구/환기구	터널공: 터널 굴착공법(shield-TBM/세미셴드/메서셴드/발파/기계굴착), 라이닝, 버력처리 수직구: 굴착 및 가시설, 차수 공 통: 지반조사, 선형(평면/종단), 단면, 부대시설(기계, 전기, 소방 등), 내진, 계측

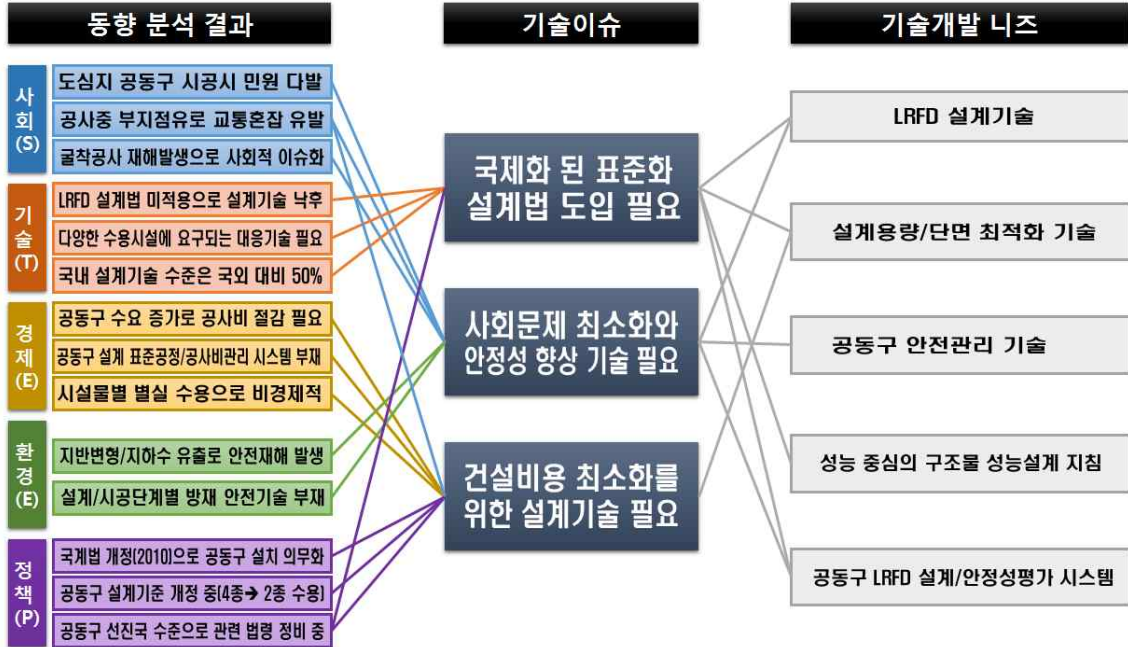
- 대상 구조물별 공동구 시공관련 공종은 다음과 같음.

구 분	대상 구조물	공 종
개착박스 공동구	개착박스, 환기구, 분기구	굴착 및 가시설, 기초공사, 접합 및 부설, 퇴메움 및 다짐, 개착구간 방수, 부대시설(배수, 환기), 계측
터널식 공동구	터널라이닝, 수직구/환기구	터널공: 터널굴착, 라이닝, 버력처리 수직구: 굴착 및 가시설, 방수, 차수 공 통: 부대시설(배수, 환기), 계측

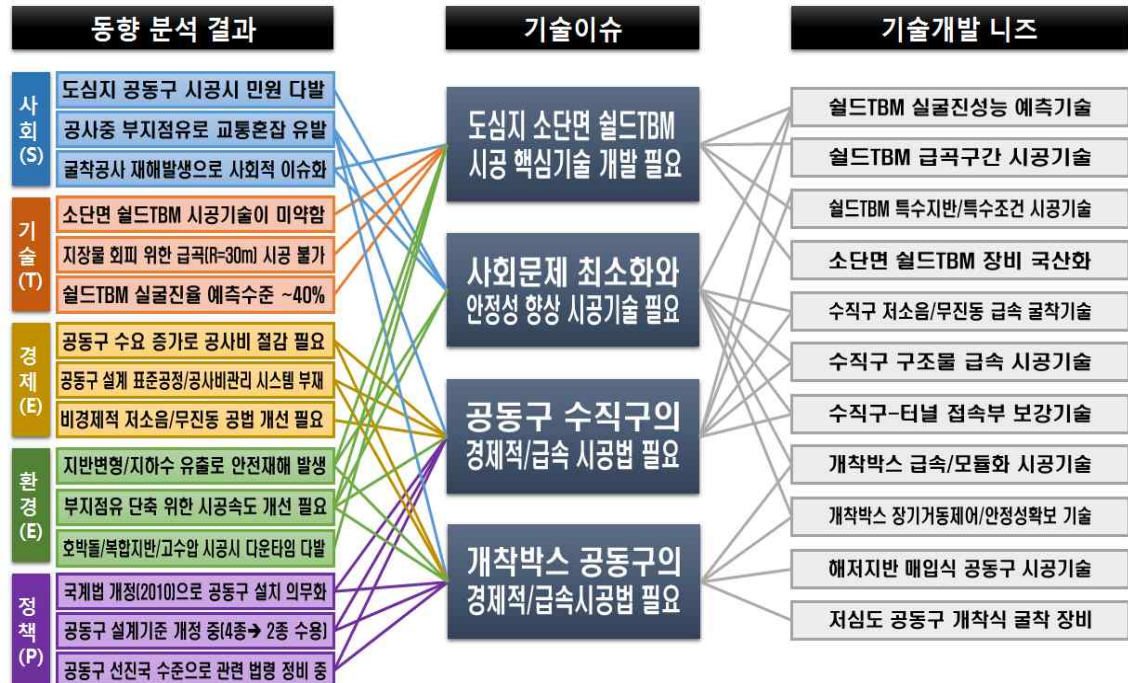
- 시설물의 유지관리는 시설물이 제 기능을 유지하기 위한 것으로 시설물 성능평가, 손상 부분의 보수·보강, 시설물의 개량, 추가시설 등에 해당함.
- 구조물 유지관리 성능평가 항목은 균열, 누수, 파손/손상, 열화, shield-TBM 체결볼트 손상, 쉘드터널 지수재 손상 등임.

○ 조사기술 기술니즈 조사 결과 : 없음

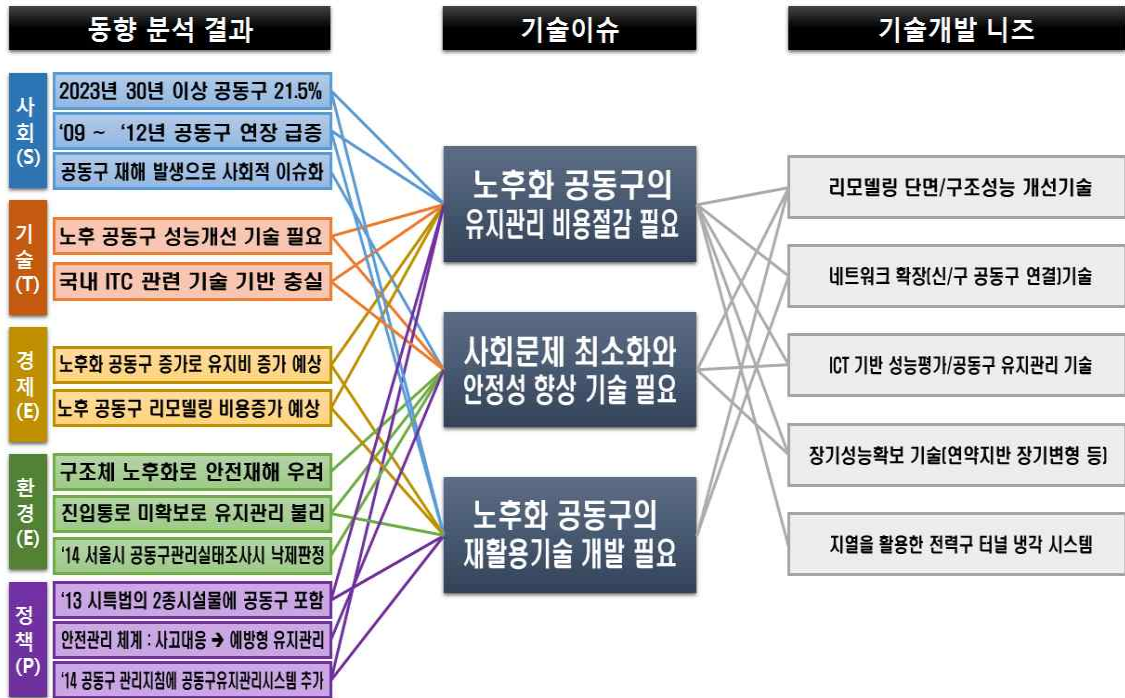
○ 설계기술 기술니즈 조사 결과



○ 시공기술 기술니즈 조사 결과



○ 유지관리기술 기술니즈 조사 결과



(3) 미니델파이 (Mini-Delphi) 조사

가. 조사 방법

- 기술니즈 조사 결과 공동구 설계기술 5종, 시공기술 11종, 유지관리기술 5종의 주요 기술니즈 도출. 도출 결과를 근거로 미니델파이 조사(2회 조사)를 수행함.
- 미니델파이 조사의 구성항목은 국내외 실현 시기, 전략적 중요도(1 ~ 5점), 기술수준 (기술수준 최상위 국가, 국내 연구개발 수준), 사회적 합의(기대효과), 정책적 합의(연구개발 추진주체, 정책수단 등) 등임.

나. 미니텔파이 조사 결과

○ 공동구 설계기술은 공동구 시공기술과 연계성을 나타내도록 shield-TBM과 개착 박스로 나누어 분석함.

○ 미니텔파이 조사 결과는 다음과 같음.

대분류	중분류	예측기술명 소분류	실현시기 (연도)		중요도 (1~5)	기술수준		기대 효과	연구개발 추진주체
			세계	국내		최상 위국	국내 수준		
설계 기술	쉴드 TBM	LRFD 설계기술(공동구/수직구)	86	18	5	미국	50%	공사비 ↓	국가
		설계용량/단면 최적화 기술	63	19	4	일본	78%	공사비 ↓	국가
		공동구 안전관리기술	-	18	5	-	-	안정성 ↑	국가
	개착 박스	LRFD 설계기술	86	18	5	미국	50%	공사비 ↓	국가
		설계용량/단면 최적화 기술	63	19	4	일본	78%	공사비 ↓	국가
		공동구 안전관리기술	-	18	5	-	-	안정성 ↑	국가
시공 기술	쉴드 TBM	실굴진성능 예측기술	-	19	5	미국	-	공기 ↓ 공사비 ↓	국가 /민간
		급곡구간 시공기술	92	18	5	일본	10%	공사비 ↓ 민원 ↓	국가 /민간
		특수지반/특수조건 시공기술	66	19	4	일본	25%	공사비 ↓ 안정성 ↑	국가 /민간
		수직구 저소음/무진동 급속 굴착기술	67	18	5	독일	80%	공사비 ↓ 민원 ↓	국가 /민간
		수직구 구조물 급속 시공기술	'80s	18	4	독일	20%	공사비 ↓ 민원 ↓	국가 /민간
		수직구-터널 접속부 보강기술	-	18	3	-	-	안정성 ↑ 민원 ↓	국가 /민간
	개착 박스	급속/모듈화 시공기술	-	21	4	-	80%	공사비 ↓ 민원 ↓	국가 /민간
		장기 거동제어/안정성 확보 기술	-	21	3	-	-	안정성 ↑ 민원 ↓	국가 /민간
		해저지반 매입식 공동구시공 기술	73	22	4	화란	50%	공사비 ↓	국가 /민간
유지 관리 기술	쉴드 터널/ 개착박스	리모델링 단면/구조 성능개선 기술	'80s	23	5	일본	60%	유지비 ↓	국가 /민간
		네트워크 확장(공동구 연결)기술	-	23	4	-	-	공사비 ↓	국가 /민간
		ICT기반 성능평가/유지관리 기술	'80s	23	4	일본	80%	유지비 ↓	국가 /민간

다. 순차별 연구의 필요성

- 터널식 공동구와 개착박스 공동구에 대한 조사/설계, 시공, 운영 및 유지관리 기술 전체 개발에는 많은 투입비용이 소요 될 것으로 예상됨. 또한 국내 연구개발 인프라 분석 결과 기술개발 성공을 위한 핵심역량은 충분하나 단기간에 모든 기술을 개발하는 것은 어려운 것으로 추정됨.
- 공동구 건설 기술은 단기간에 모든 기술을 개발하는 것은 불합리하며, 우선순위가 높은 기술부터 순차적으로 개발하는 것이 타당함.
- 소단면 터널식 공동구 건설기술 우선 개발의 당위성
 - 국내여건 분석결과 현재 유지관리 대상 시설물의 비중이 9.6%로 낮음(준공 후 30년 이상 지난 노후화 시설물이 2023년 이후 20% 이상 증가). 따라서 설계/시공 기술의 우선 개발이 필요함.
 - 공동구 설치에 관한 정부정책(수용시설의 범위를 4종에서 2종으로 변경 추진 중('15), 전선지중화법안(전선공동구 설치 등에 관한 특별법안, 2013) 발의, 공동구 설치 조례 서울시의회 건설위 통과('13) 등)으로 수년 내 소단면 터널식 공동구 수요 급증이 전망됨.
 - 미니텔파이 조사에 의한 기술의 실현 시기는 소단면 터널식 공동구가 가장 앞섬.
- 국내여건과 정부정책, 미니텔파이 조사 결과를 고려할 때 도심지의 소단면 터널식 공동구 건설기술 개발이 우선이며(1차), 이후 신 사업부지에서의 개착식 대단면 공동구 건설기술(2차), 공동구 유지관리 개발(3차)을 수행하는 것이 합리적임.
- 터널식 공동구는 정책적 시의성으로 인해 우선적으로 개발되어야 하는 소단면 터널식 공동구와(3종 이상을 수용, $\Phi 3.5\text{m}$ 급), 기술수요가 후순위인 대단면 터널식 공동구(개착박스 공동구와 동일 수용규모, $\Phi 6 \sim 7\text{m}$ 급)으로 구분하였음.

○ 미니델파이 조사 결과에 의한 순차별 연구 기술은 다음과 같음.

대분류	중분류	소분류		예측기술	구분	차수
설계 기술	셴드 TBM	<ul style="list-style-type: none"> · LRFD 설계기준(공동구/수직구) · 설계용량/단면 최적화 기술 · 공동구 안전관리기술 		<ul style="list-style-type: none"> · LRFD 설계기술(공동구/수직구) · 설계용량/단면 최적화 기술 · 공동구 안전관리기술 	공동구 셴드	[1차] 소단면 터널식 공동구 건설기술
	개착 박스	<ul style="list-style-type: none"> · LRFD 설계기준 · 설계용량/단면 최적화 기술 · 공동구 안전관리기술 		<ul style="list-style-type: none"> · 실굴진성능 예측기술 · 급곡구간 시공기술 · 특수지반/특수조건 시공기술 	셴드 TBM 시공	
시공 기술	셴드 TBM	<ul style="list-style-type: none"> · 실굴진성능 예측기술 · 급곡구간 시공기술 · 특수지반/특수조건 시공기술 		<ul style="list-style-type: none"> · 수직구 저소음/무진동 급속 굴착기술 · 수직구 구조물 급속 시공기술 · 수직구-터널 접속부 보강기술 	수직구 시공	
		<ul style="list-style-type: none"> · 수직구 저소음/무진동 급속 굴착기술 · 수직구 구조물 급속 시공기술 · 수직구-터널 접속부 보강기술 		<ul style="list-style-type: none"> · LRFD 설계기술 · 설계용량/단면 최적화 기술 · 공동구 안전관리 기술 	공동구 셴드	[2차] 대단면 개착박스
	개착 박스	<ul style="list-style-type: none"> · 급속/모듈화 시공기술 · 장기 거동제어/안정성 확보 기술 · 해 저지반 매입식 공동구시공 기술 		<ul style="list-style-type: none"> · 급속/모듈화 시공기술 · 장기 거동제어/안정성 확보 기술 · 해저지반 매입식 공동구시공 기술 	공동구 시공	/터널식 공동구 건설기술
유지 관리 기술	개착박스 셴드터널	<ul style="list-style-type: none"> · 리모델링 단면/구조 성능개선 기술 · 네트워크 확장(공동구 연결)기술 · ICT기반 성능평가/유지관리 기술 		<ul style="list-style-type: none"> · 리모델링 단면/구조 성능개선 기술 · 네트워크 확장(공동구 연결)기술 · ICT기반 성능평가/유지관리 기술 	공동구 유지관리	[3차] 공동구 유지관리 기술

(4) 기술예측조사 결과

○ 기술예측 조사 최종 결과 도출된 예측기술은 다음과 같음.

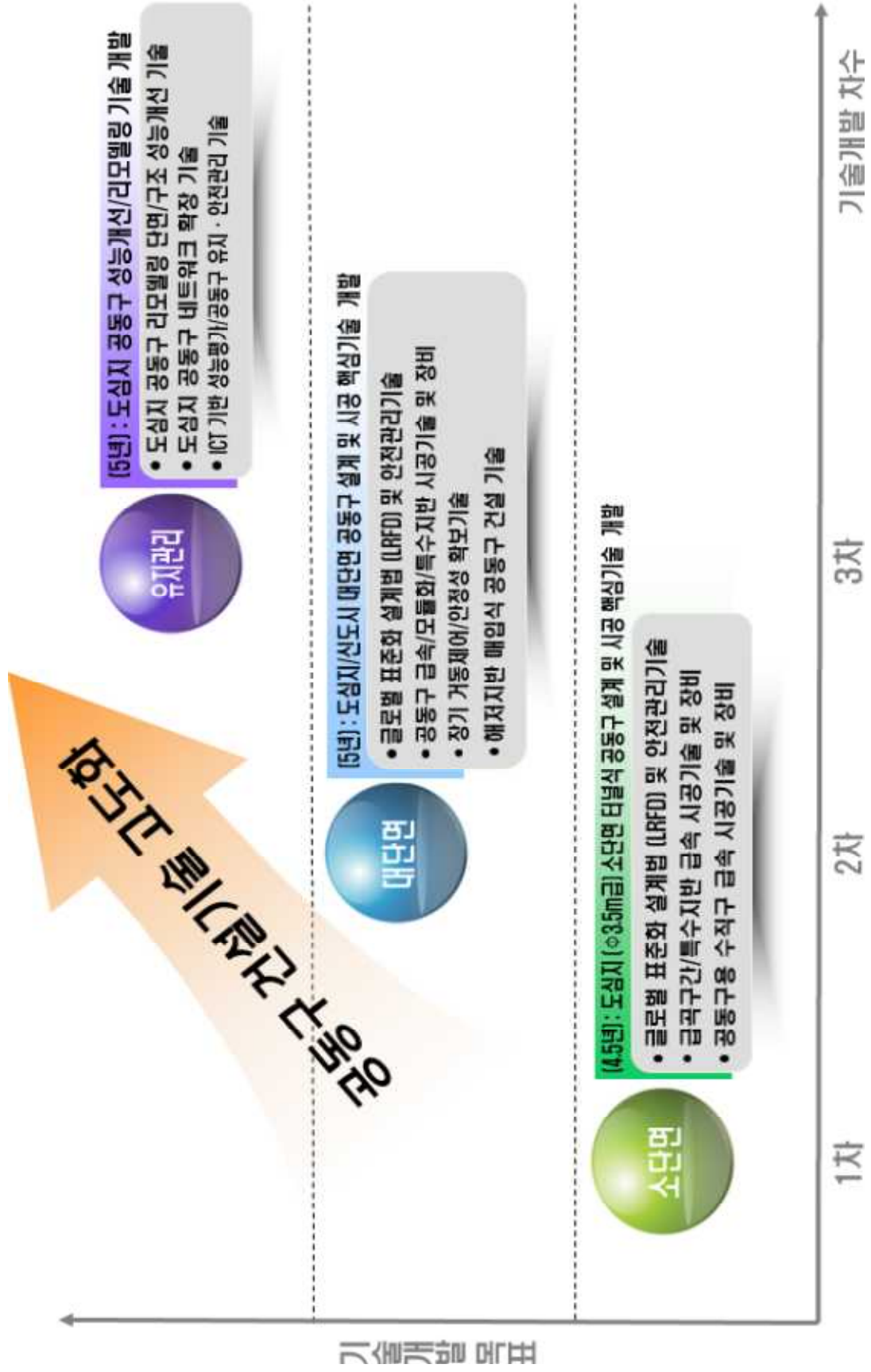
구 분	대분류	중분류	소분류 (예측기술)
[1차] 소단면 터널식 공동구 건설기술	공동구 설계기술	shield-TBM 설계기술	· LRFD 설계기술(공동구/수직구)
			· 설계용량/단면 최적화 기술
			· 공동구 안전관리기술
	공동구 시공기술	shield-TBM 시공기술	· 실굴진성능 예측기술
			· 급곡구간 시공기술
			· 특수지반/특수조건 시공기술
수직구 시공기술	수직구 시공기술	· 수직구 저소음/무진동 급속 굴착기술	
		· 수직구 구조물 급속 시공기술	
		· 수직구-터널 접속부 보강기술	
[2차] 대단면 개착박스/ 터널식 공동구 건설기술	공동구 설계기술	개착박스 shield-TBM 설계기술	· LRFD 설계기술
			· 설계용량/단면 최적화 기술
			· 공동구 안전관리기술
	공동구 시공기술	개착박스 shield-TBM 시공기술	· 급속/모듈화 시공기술
			· 장기 거동제어/안정성 확보 기술
			· 해저지반 매입식 공동구시공 기술
[3차] 공동구 유지관리 기술	공동구 유지관리 기술	개착박스 셴드터널 유지관리기술	· 리모델링 단면/구조 성능개선 기술
			· 네트워크 확장(공동구 연결)기술
			· ICT기반 성능평가/유지관리 기술

○ 순차별 연구 내용에 의한 연구 최종안은 다음과 같음.

소단면	도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발
	도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 글로벌표준화설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발
	도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 급곡구간/특수지반 급속시공기술 및 장비 개발
	도심지 공동구용 수직구 급속 시공기술 및 장비 개발

대단면	신도시/도심지 대단면 개착박스/터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발
	신도시/도심지 대단면 공동구 글로벌표준화설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발
	신도시/도심지 대단면 공동구 급속/모듈화/특수지반 시공기술 및 장비 개발
	신도시/도심지 대단면 공동구 장기 거동제어/안정성 확보 기술 개발
	해저지반 매입식 공동구 건설 기술 개발

유지관리	도심지 공동구 성능개선/리모델링 및 유지관리 기술 개발
	도심지 공동구 리모델링 단면/구조 성능개선 기술 개발
	도심지 공동구 네트워크 확장 기술 개발
	ICT 기반 성능평가/공동구 유지·안전관리 기술 개발



1.3 기술수요 조사 및 결과 분석

(1) 기술수요 조사

가. 개요

- 기술수요조사는 최종 기술예측조사 결과중 [1차]‘소단면 터널식 공동구 건설기술’을 바탕으로 공동구 및 공동구 터널 관련 전문가 집단에 설문조사를 통하여 실시하였으며, 개요는 아래와 같음.

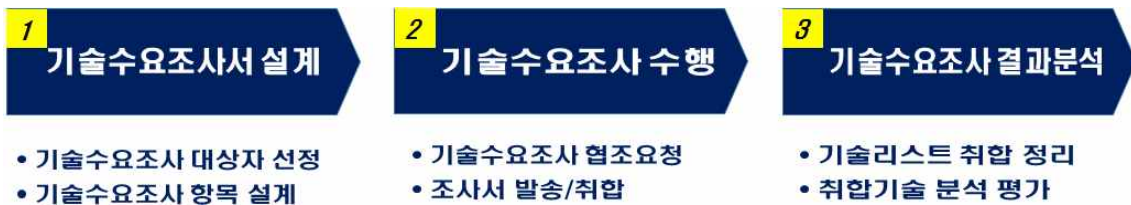
구분	내용
조사기간	2014. 05. 14. ~ 2014. 05. 24
조사대상	전문기획위원 및 관련 전문가
응답자수	50 명
조사방법	이메일을 통한 설문조사
조사항목	1. 기술예측 조사 결과를 바탕으로 제안 요소기술 파악 2. 요소기술별 국책사업의 타당성, 시장니즈, 시장규모, 목표달성가능성, 신시장창출가능성, 연구개발부합성, 범용성 검토

- 기술수요조사 명단

- 기술예측조사의 전문가 집단 풀과 동일함.

○ 기술수요조사는 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발 과제간 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위함.

○ 일반적인 기술수요조사 절차는 아래 예와 같음.



○ 기술수요조사 결과를 취합하여 중복성 검토, 유사기술 통합 및 분리 작업을 수행함.

○ 이 연구에서는 기술예측조사 결과로 도출된 소분류의 예측기술에 대하여 제안 요소기술을 도출하고, 제안된 요소기술에 대하여 대책사업의 타당성, 시장니즈, 시장규모, 목표달성가능성, 신시장창출가능성, 연구개발부합성, 범용성 검토를 통하여 핵심기술 후보를 도출함.

다. 제안 요소기술

- 기술수요조사에 의한 제안 요소기술
 - 소단면 터널식 공동구 건설기술 기술에 대한 제안 요소기술은 총 44개임.
 - 기술수요조사에 의한 제안 요소기술은 다음과 같음.
 - LRFD설계법은 ‘글로벌 표준화 설계법’으로 명칭을 통일함.

대분류	중분류	소분류	제안 요소기술명
공동구 설계 기술	셸드 TBM 설계 기술	글로벌 표준화 설계기술 (공동구/수직구)	글로벌 표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 설계기준
			글로벌 표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계기술
			글로벌 표준화 설계법 적용을 위한 국내지반 중요인자 평가기법
			지반-공동구 동적 상호작용을 고려한 소단면 터널식 공동구 내진해석/설계 기술
			소단면 터널식 공동구 운영관리 가이드라인
			성능중심 라이닝 성능설계 지침
			성능중심 라이닝 성능설계 기술
		설계용량/단면 최적화 기술	소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 최적화
			소단면 터널식 공동구 수용시설별 단면 최적화 기술
			소단면 터널식 공동구 LCC 표준공정 및 공사비 관리시스템
			자동 글로벌 표준화 단면설계/안정성평가 시스템
		공동구 안전관리 기술	소단면 터널식 공동구 건설 단계 및 공정별 안전 위험요인 조사/평가기법
			소단면 터널식 공동구 건설단계 및 특성을 고려한 방재기법
			소단면 터널식 공동구 안전 위험요인을 고려한 안전관리 매뉴얼 및 지침서
공동구 시공 기술	셸드 TBM 시공 기술	실굴진성능 예측기술	소단면 shield-TBM 실굴진성능 평가
			소단면 shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 데이터베이스 구축을 통한 굴진 예측
			국내 복합지반 특성을 고려한 소단면 shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 예측
			암반지반 굴진모델 비교분석을 통한 shield-TBM 굴진을 설계모델
			선형절삭시험 DB구축을 통한 국내 암반지반 굴진성능 예측
		급곡구간 시공기술	급곡구간 소단면 shield-TBM 추진 및 시공기술
			급곡구간 시공 소단면 shield-TBM 중절장치
			급곡구간 소단면 shield-TBM 조인트 지보시스템
			급곡구간 시공이 가능한 shield-TBM 방수장치
			급곡구간 시공중 지반침하 방지기술
		특수지반/특수조건 시공기술	고수압 등 특수조건에서의 소단면 shield-TBM 급속시공기술
			복합지층에서의 소단면 shield-TBM 급속시공기술
			호박돌층에서의 소단면 shield-TBM 급속시공기술
			특수지반/특수조건 지반보강공법
			셸드 TBM 근접시공 위험요인 평가 및 영향 최소화 방안
	특수지반/특수조건 셸드 TBM 리스크 관리 기술		
	소단면 shield-TBM 국산화		
	수직구 시공 기술	수직구 저소음/무진동 급속 굴착기술	저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 시공기술 및 장비
			저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 장치 제어기술
			공동구용 수직구 급속 배토 시스템
		수직구 구조물 급속 시공기술	현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 기술 및 장비
			수직구 구조물 슬래브/계단/접속개구부 급속시공 기술
			수직구-수평터널 연결부, 가설장치 시공 기술
			세그먼트를 이용한 수직구 상향식 라이닝 급속시공 기술
			공동구용 수직구 구조물 방수기술
		수직구-터널 접속부 보강기술	터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강공법
			터널직경별 심도별 상대변위 분석 및 변위수용범위 분석
비시멘트계열 친환경 차수재 및 시공기술			
수직구-터널 접속부 급속 지반보강 기술			
급속 차수공법 및 차수장비			

(2) 제안 요소기술의 평가

- 제안 요소기술에 대하여 기획위원 및 전문가를 대상으로 국책사업의 타당성(20점), 시장니즈(15점), 시장규모(10점), 목표달성가능성(15점), 신시장창출가능성(10점), 연구개발부합성(20점), 범용성(10점) 등 총 100점 만점으로 평가를 실시함.
- 연구개발부합성은 ‘국토 라이프라인 연구개발사업’과의 부합성, 범용성은 해당기술이 타 건설기술에 공통으로 활용될 수 있는지 여부 의미함.

사회적 이슈		국책사업 타당성	정부가 비전/목표를 가지고 육성하거나 중소기업 등 약자 보호차원에서 또는 시장 실패의 위험을 일부 부담하기 위하여 해당 기술 개발 프로그램을 정부연구 개발사업으로 추진해야 하는 정도
기술적 이슈		시장 니즈	본 과업을 통해 개발하는 기술 또는 제품에 대한 사용자 또는 수혜자의 예상 수요
환경적 이슈		시장 규모	과업을 수행하는 동안 발생하는 기술 또는 제품의 실용화/상용화 이후 5년간 전 세계의 예상 시장 규모
경제적 이슈		목표도달 가능성	과업 기간 내에 최종 기술개발 목표를 달성할 수 있는 가능성 정도
정책적 이슈		신시장 창출가능성	과업을 통해 개발하는 기술 또는 제품이 새로운 시장을 창출하거나 기존 시장을 크게 변화시킬 수 있는 정도

○ 기술수요조사 제안 요소기술의 평가 결과는 다음과 같음.

순위	수요조사 기술설명 과제명	평가내용							합계
		국책사업의 타당성 (20)	시장니즈 (15)	시장규모 (10)	목표달성가능성 (15)	신시장창출가능성 (10)	연구개발부합성 (20)	범용성 (10)	
1	저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 시공기술 및 장비	18.3	13.9	8.5	12.5	8.4	18.7	8.2	88.5
2	글로벌 표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 설계기준	18.9	13.9	8.1	12.6	9	18.3	6.9	87.7
3	글로벌 표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계기술	18.9	13	8	12.7	9	17.1	7.4	86.1
4	호박돌층에서의 소단면 shield-TBM 급속 시공기술	18.9	13.2	8	12.7	7.1	17.9	7.2	85.0
5	급곡구간 시공 소단면 shield-TBM 중절장치	19	12.6	6.9	11.8	7.2	17.6	7.3	82.4
6	소단면 shield-TBM 실굴진성능 평가	17.8	12.5	7.4	11.4	7.3	17.6	7.7	81.7
7	소단면 shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 데이터베이스 구축을 통한 굴진 예측	17.4	12.5	7.5	11.8	7.1	17.4	7.2	80.9
8	고수압 등 특수조건에서의 소단면 shield-TBM 급속시공기술	17.4	12.4	7.6	11.7	7.2	17.3	7.2	80.8
9	소단면 터널식 공동구 안전 위험요인을 고려한 안전관리 매뉴얼 및 지침서	17.4	12.3	7.9	11.6	7.2	17.1	7.3	80.8
10	국내 복합지반 특성을 고려한 소단면 shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 예측	17.4	12.5	7.5	11.8	7.1	17.4	6.9	80.6
11	소단면 터널식 공동구 운영관리 가이드라인	18.3	12.4	7.2	11.2	7.1	17	7.2	80.4
12	소단면 터널식 공동구 건설단계 및 특성을 고려한 방재기법	17.3	12.4	7.1	11.1	7.1	17.8	7.5	80.3
13	소단면 터널식 공동구 LCC 표준 공정 및 공사비 관리시스템	17.7	12.1	7.2	10.8	7	17.7	7.3	79.8
14	저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 장치 제어기술	17.5	12.2	7.3	10.7	6.9	17.3	7.8	79.7
15	비시멘트계열 친환경 차수재 및 시공기술	17	12.5	7.4	10.7	6.8	16.8	7	78.2
16	급곡구간 소단면 shield-TBM 추진 및 시공기술	17.1	12.3	7.9	10.3	6.6	16.3	7.6	78.1
17	급곡구간 소단면 shield-TBM 조인트 지보시스템	17	12.4	7.3	10.4	6.3	17.4	7.2	78.0
18	지반-공동구 동적 상호작용을 고려한 소단면 터널식 공동구 내진 해석/설계 기술	16.6	12.3	8	10.9	6.1	16.4	7.2	77.5

순위	수요조사 기술설명 과제명	평가내용							합계
		국책사업의 타당성 (20)	시장니즈 (15)	시장규모 (10)	목표달성가능성 (15)	신시장창출가능성 (10)	연구개발부합성 (20)	범용성 (10)	
19	소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 최적화	16.3	11.8	6.9	10.4	6.9	16.9	7.9	77.1
20	소단면 터널식 공동구 수용시설별 단면 최적화 기술	16	11.9	6.5	10.5	6.7	16.7	7.1	75.4
21	현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 기술 및 장비	16.6	12	6.3	10.3	5.7	16.8	7.3	75.0
22	터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강공법	16.3	11.9	6.4	10.2	5.3	16.7	7.1	73.9
23	소단면 터널식 공동구 건설 단계 및 공정별 안전 위험요인 조사/평가기법	15.8	11.5	6.3	9.5	5.8	16.8	7.6	73.3
24	복합지층에서의 소단면 shield-TBM 급속시공기술	15.3	11.5	5.5	9.9	5.6	16.3	7.3	71.4
25	글로벌 표준화 설계법 적용을 위한 국내지반 중요인자 평가기법	14.7	11.3	5.9	9.4	5.9	16.3	7	70.5
26	수직구 구조물 슬래브/계단/접속개구부 급속시공 기술	16.6	12	5.7	10.3	3.7	15.8	6.3	70.4
27	수직구-수평터널 연결부, 가설장치 시공 기술	16.6	12	5.6	10.3	3.7	15.8	6.3	70.3
28	터널직경별 심도별 상대변위 분석 및 변위수용범위 분석	16.5	11.9	6.4	10.2	5.1	14.9	5.1	70.1
29	특수지반/특수조건 지반보강공법	18.5	10.1	4.9	10.1	3.1	16	7.2	69.9
30	성능중심 라이닝 성능설계 지침	18.9	13.9	4.1	9.6	3.2	13.1	7.1	69.9
31	성능중심 라이닝 성능설계 기술	18.9	13.9	4.1	9.6	3.2	13.1	7.1	69.9
32	급곡구간 시공이 가능한 shield-TBM 방수장치	19	11.5	4.2	11.6	3.5	14.5	5.5	69.8
33	자동 글로벌 표준화 단면설계/안정성평가 시스템	17.5	12.9	4.1	9.6	3.4	13.1	7.9	68.5
34	급곡구간 시공중 지반침하방지기술	16.5	10.2	5.3	9.8	3.8	15.3	7.5	68.4
35	셸드 TBM 근접시공 위험요인 평가 및 영향 최소화 방안	16.3	10.1	5.3	9.9	3.6	15.3	7.7	68.2
36	특수지반/특수조건 셸드 TBM 리스크 관리 기술	16.3	10.1	5.3	9.9	3.6	15.3	7.7	68.2
37	암반지반 굴진모델 비교분석을 통한 shield-TBM 굴진을 설계모델 개발	14.1	12.5	7.5	9.6	6.1	11.4	6.9	68.1
38	선형절삭시험 DB구축을 통한 국내 암반지반 굴진성능 예측	14.1	12.5	7.5	9.6	6.1	11.1	6.9	67.8

순위	수요조사 기술설명			평가내용						합계
	과제명	국책사업의 타당성 (20)	시장니즈 (15)	시장규모 (10)	목표달성가능성 (15)	신시장창출가능성 (10)	연구개발부합성 (20)	범용성 (10)		
39	공동구용 수직구 구조물 방수기술	13.2	12.5	7.4	8.9	4.8	13.5	7.2	67.5	
40	수직구-터널 접속부 급속 지반보강 기술	13.2	12.5	7.4	8.9	4.8	13.2	7.2	67.2	
41	공동구용 수직구 급속 배토 시스템	13.1	12.4	7.8	8.9	4.9	12.5	7.2	66.8	
42	급속 차수공법 및 차수장비	13.1	12.4	7.4	8.9	4.8	13.1	7.2	66.9	
43	세그먼트를 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 기술	16.6	12	6.3	7.1	5.7	11.6	7.3	66.6	
44	소단면 shield-TBM 국산화	15.5	12.6	7.2	6.8	7.2	9.6	7.3	66.2	

- 기술수요조사 결과 우선순위 도출 결과 크게 ‘글로벌 표준화 설계법’, ‘공동구 시공기술’, 그리고 ‘수직구 시공기술’이 대다수를 차지하는 것으로 나타남.
- 저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 시공기술 및 장비가 가장 높은 점수를 받았고 도심지 수직구 급속 시공, 급곡구간 굴착용 shield-TBM 장비 개발이 뒤를 이었음.
- 연구의 효율성을 향상시키기 위해 우선순위가 높은 요소기술을 선정함. 총 45개의 제안 요소기술에 대하여 총점 70점 이상으로 평가된 28개의 과제를 최종 제안 요소기술로 선정함.
- ‘11. 소단면 터널식 공동구 운영관리 가이드라인’기술은 반드시 필요하나 공동구 사업자/운영자의 역할과 관련되어 공동구 설계기준 개정과도 밀접한 관련이 있으므로 ‘2. 글로벌 표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 설계기준’과 공동 진행이 바람직함. 따라서 ‘2. 글로벌 표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 설계기준/운영관리지침’으로 변경함.

(3) 최종 제안 요소기술

○ 최종 제안 요소기술은 다음과 같음.

대분류	중분류	소분류	최종 제안 요소기술명		
공동구 설계 기술	월드 TBM 설계 기술	글로벌 표준화 설계기술 (공동구/수직구)	글로벌 표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 설계기준/운영관리지침		
			글로벌 표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계기술		
			글로벌 표준화 설계법 적용을 위한 국내지반 중요인자 평가기법		
			지반-공동구 동적 상호작용을 고려한 소단면 터널식 공동구 내진해석/설계 기술		
		설계용량/단면 최적화 기술	소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 최적화		
			소단면 터널식 공동구 수용시설별 단면 최적화 기술		
			소단면 터널식 공동구 LCC 표준공정 및 공사비 관리시스템		
		공동구 안전관리 기술	소단면 터널식 공동구 건설 단계 및 공정별 안전 위험요인 조사/평가기법		
			소단면 터널식 공동구 건설단계 및 특성을 고려한 방제기법		
			소단면 터널식 공동구 안전 위험요인을 고려한 안전관리 매뉴얼 및 지침서		
		공동구 시공 기술	월드 TBM 시공 기술	실굴진성능 예측기술	소단면 shield-TBM 실굴진성능 평가
					소단면 shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 데이터베이스 구축을 통한 굴진 예측
국내 복합지반 특성을 고려한 소단면 shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 예측					
급곡구간 시공기술	급곡구간 소단면 shield-TBM 추진 및 시공기술				
	급곡구간 시공 소단면 shield-TBM 중절장치				
	급곡구간 소단면 shield-TBM 조인트 지보시스템				
특수지반/특수조건 시공기술	고수압 등 특수조건에서의 소단면 shield-TBM 급속시공기술				
	복합지층에서의 소단면 shield-TBM 급속시공기술				
	호박돌층에서의 소단면 shield-TBM 급속시공기술				
수직구 시공 기술	수직구 저소음/무진동 급속 굴착기술		저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 시공기술 및 장비		
			저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 장치 제어기술		
	수직구 구조물 급속 시공기술		현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 기술 및 장비		
			수직구 구조물 슬래브/계단/접속개구부 급속시공 기술		
			수직구-수평터널 연결부, 가설장치 시공 기술		
	수직구-터널 접속부 보강기술		터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강공법		
			터널직경별 심도별 상대면위 분석 및 변위수용범위 분석		
			비시멘트계열 친환경 차수재 및 시공기술		

1.4 핵심 기술요소의 선정

○ 27개의 최종 제안 요소기술을 핵심기술 요소(CTE) 후보로 선정 하였음.

구 분	후보 핵심기술요소
CTE 후보1	글로벌 표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 설계기준/운영관리지침
CTE 후보2	글로벌 표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계기술
CTE 후보3	글로벌 표준화 설계법 적용을 위한 국내지반 중요인자 평가기법
CTE 후보4	지반-공동구 동적 상호작용을 고려한 소단면 터널식 공동구 내진해석/설계 기술
CTE 후보5	소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 최적화
CTE 후보6	소단면 터널식 공동구 수용시설별 단면 최적화 기술
CTE 후보7	소단면 터널식 공동구 LCC 표준공정 및 공사비 관리시스템
CTE 후보8	소단면 터널식 공동구 건설 단계 및 공정별 안전 위험요인 조사/평가기법
CTE 후보9	소단면 터널식 공동구 건설단계 및 특성을 고려한 방재기법
CTE 후보10	소단면 터널식 공동구 안전 위험요인을 고려한 안전관리 매뉴얼 및 지침서
CTE 후보11	소단면 shield-TBM 실굴진성능 평가
CTE 후보12	소단면 shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 데이터베이스 구축을 통한 굴진 예측
CTE 후보13	국내 복합지반 특성을 고려한 소단면 shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 예측
CTE 후보14	급곡구간 소단면 shield-TBM 추진 및 시공기술
CTE 후보15	급곡구간 시공 소단면 shield-TBM 중절장치
CTE 후보16	급곡구간 소단면 shield-TBM 조인트 지보시스템
CTE 후보17	고수압 등 특수조건에서의 소단면 shield-TBM 급속시공기술
CTE 후보18	복합지층에서의 소단면 shield-TBM 급속시공기술
CTE 후보19	호박돌층에서의 소단면 shield-TBM 급속시공기술
CTE 후보20	저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 시공기술 및 장비
CTE 후보21	저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 장치 제어기술
CTE 후보22	현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 기술 및 장비
CTE 후보23	수직구 구조물 슬래브/계단/접속개구부 급속시공 기술
CTE 후보24	수직구-수평터널 연결부, 가설장치 시공 기술
CTE 후보25	터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강공법
CTE 후보26	터널직경별 심도별 상대변위 분석 및 변위수용범위 분석
CTE 후보27	비시멘트계열 친환경 차수재 및 시공기술

○ 체크리스트 평가에 의한 핵심기술요소(CTE) 선정 결과

체크리스트	CTE 후보																											비 고
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	14	25	26	27	
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	○	○	X	X	○	○	○	○	X	X	X	○	X	○	X	X	○	X	○	X	X	○	X	X	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가?	X	X	X	X	X	X	X	X	○	○	○	X	X	○	○	○	○	X	X	○	○	X	X	X	○	○	○	두개 이상 충족
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?	○	○	X	X	○	○	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	○	X	X	○	○	○	X	X	X	
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	○	X	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	X	○	X	X	X	X	○	X	X	X	X	○	X	X	X	
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	○	○	○	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	○	X	X	X	○	X	X	X	○	X	○	X	X	X	○	X	○	X	X	○	X	○	X	X	○	X	X	

1.5 기술성숙도(TRL) 및 연차별 목표

○ 최종 선정 핵심기술요소(CTE)의 TRL은 다음과 같음.

구 분	기 술 명	최종성과물 유형	TRL	
			현재	최종
CTE 1	글로벌 표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 설계기준/운영관리지침	지침 기준	2	8
CTE 2	소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 최적화	지침	1	7
CTE 3	소단면 터널식 공동구 건설단계 및 특성을 고려한 안전관리 기법	지침 매뉴얼	2	7
CTE 4	소단면 shield-TBM 실굴진성능 평가	지침 기법	2	8
CTE 5	급곡구간 시공 소단면 shield-TBM 중절장치	장치 기법	2	7
CTE 6	고수압 등 특수조건에서의 소단면 shield-TBM 급속 시공기술	기법 장치	2	7
CTE 7	저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 시공기술 및 장비	장비 기법	3	8
CTE 8	현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 기술 및 장비	장비 기법	3	8
CTE 9	터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강공법	장치	2	7

※ 기술성숙도 (TRL)

TRL 1	이론적 연구단계
TRL 2	기술적 개념정립 단계
TRL 3	실험적 증명 단계
TRL 4	실험실 성능평가 단계
TRL 5	유사환경 시험 단계
TRL 6	유사환경 기술시험 단계
TRL 7	실제환경 시제품 데모 단계
TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
TRL 9	현장적용/사업화 단계

○ 기술성숙도(TRL) 연차별 목표는 다음과 같음.

연구과제명		도심지 소단면 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발		유 형		
프레임워크		선행단계	시제품 제작/시연	성능검증 시험		제품화/실용화
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL			
마일스톤 일정			2 년도	3차년도	4차년도	5차년도 (종료)
		2015.09 ~ 2016.02	2016.03 ~ 2017.02	2017.03 ~ 2018.02	2018.03 ~ 2019.02	2019.03 ~ 2020.02
구 분	기술명					
CTE 1	글로벌 표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 설계기준/운영관리지침	2	3	5	7	8
CTE 2	소단면 터널식 공동구 수용 시설별 설계용량 최적화	1	3	5	6	7
CTE 3	소단면 터널식 공동구 건설 단계 및 특성을 고려한 안전관리 기법	2	3	5	6	7
CTE 4	소단면 shield-TBM 실굴진 성능 평가	2	3	5	6	8
CTE 5	급곡구간 시공 소단면 shield-TBM 중절장치	2	3	5	6	7
CTE 6	고수압 등 특수조건에서의 소단면 shield-TBM 급속시공기술	2	3	5	6	7
CTE 7	저소음/무진동 토사 및 암반 지반용 급속굴착 시공기술 및 장비	3	4	6	7	8
CTE 8	현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 기술 및 장비	3	4	6	8	8
CTE 9	터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강공법	2	3	3	6	7

1.6 요약 : 기술개발 목표 및 형태, 성과물

구분	기술의 정의	기술 수준 및 현황		연구목적	기술개발 목표 및 형태			성 과 물
		수준 ^a	현황		목 표	TRL	형태	
CTE 1	한계상태설계(LRFD) 기술	50%	허용응력 강도설계	국산화 (시장선도형)	LRFD 설계기준	2 → 8	지침 기준	라이닝 설계매뉴얼, 설계기준(개정)
CTE 2	수용시설별 설계용량/단면 표준화	78%	1종 수용	국산화 (시장선도형)	수용용량 3종 ↑	1 → 7	지침	설계용량 지침, 표준단면도
CTE 3	설계/시공 단계별 안전관리 지침	70%	부재	국산화 (시장선도형)	방재/안전 지침	2 → 7	지침	방재/안전 지침서(제정)
CTE 4	shield-TBM 실굴진율 예측시스템	50%	오차율 ~40% 예측기술부재	국산화 (시장선도형)	오차율 ^b 20% ↓	2 → 8	기법 지침	Φ3.5m 급 shield-TBM 실굴진율 설계지침
CTE 5	곡률반경 30m 이하 shield-TBM 중절장치 및 추진기술	10%	R60m (수입장비)	국산화 (추격형)	급곡반경 R30m ↓	2 → 7	장치 기법	Φ3.5m 급 shield-TBM 급곡시공 중절장치
CTE 6	트러블 지반 급속시공 기술/장비 (호박돌, 복합지반, 고수압 등)	25%	downtime ~80%	국산화 (추격형)	downtime ^c 40% ↓	2 → 7	기법 장치	Φ3.5m 급 shield-TBM 급속시공 매뉴얼/장치
CTE 7	저소음/무진동 급속굴착 장비	80%	굴착속도 ~0.3m/day	국산화 (시장선도형)	굴착속도 1m/day ↑	3 → 8	장비 기법	저소음(60dB)/무진동 급속(1m/day) 굴착장비
CTE 8	하향식 수직구 라이닝 현타 시공 장비	20%	시공속도 ~0.3m/day	국산화 (추격형)	시공속도 1m/day ↑	3 → 8	장비 기법	하향식 라이닝 급속(1m/day) 시공장비
CTE 9	가변구조의 접속부 상대변위 흡수 장치	50%	부재	국산화 (시장선도형)	차수율 100% (심도 50m 이내)	2 → 7	장치	터널-수직구 접속부 상대변위 흡수장치

도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구
설계 및 시공 핵심기술

1. 도심지 소단면
(Φ3.5m 급) 터널식
공동구 글로벌
표준화 설계법(LRFD)
및 안전관리기술

2. 도심지 소단면
(Φ3.5m 급) 터널식
공동구 급곡구간
(R30m 이하)/
특수지반(downtime
40% 이하) 급속
시공기술 및 장비

3. 도심지 공동구용
수직구 급속
(1m/day 이상)
시공기술 및 장비

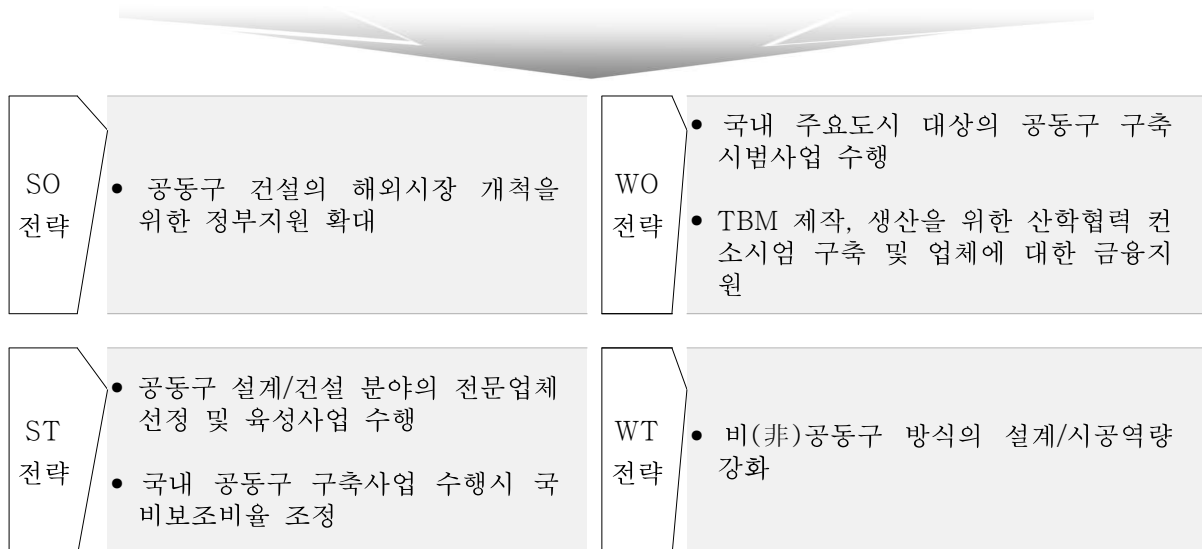
실
대
형
성
능
검
증
시
험

^a선진국 대비 국내 기술수준. ^b오차율 : 터널굴진율(advance rate)에 대한 설계대비 시공실적의 차이. ^cdowntime : (터널굴진을 못하는) 공사정지시간; 예, downtime = 80% 의미는 10일간의 공사기간에 대해 순굴진시간은 2일, 공사정지시간은 8일임.

1.7 SWOT 분석 및 전략

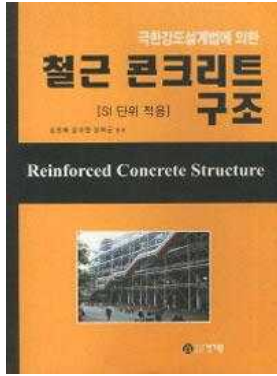



내부 환경 분석	【 강 점(S) 】	<ul style="list-style-type: none"> • 다수의 지하철, 도로/철도터널 건설을 통해 축적된 지하공간개발 관련 기술 및 시공능력 • TBM 제작/생산 시 요구되는 기계/재료 관련 기반기술 보유 • 콘크리트, 강구조물 분야에서 확보된 한계상대 설계기법에 대한 연구경험 • 중동, 동남아 등 공동구 건설의 잠재 시장에서의 건설사업 경험 및 인지도 확보 • 신도시 개발과정에서 얻어진 전력/통신/상하수도 등 기반시설과 관련된 도시계획 기술력 	【 약 점(W) 】
	<ul style="list-style-type: none"> • 공동구 설계 및 시공과 관련한 경험부족에 따른 낮은 기술수준 • TBM 설계에 필요한 핵심기술 수준이 낮고 제작/생산 경험이 부재 • 지반 분야에서 한계상대설계법에 대한 연구 축적이 미진 		

외부 환경 분석	【 기 회(O) 】	<ul style="list-style-type: none"> • 도시 주거/교통환경 개선 및 안전도 제고에 대한 사회적 공감대 존재 • 국내 도시의 공동구 적용이 낮은 단계에 머무르고 있어 초기시장 확보의 잠재적 대상이 풍부 • 국내 건설시장 포화에 따른 해외시장 진출을 위한 신기술 확보와 관련한 업계의 강한 의지 • 건설기술 고도화에 대한 국가적 관심 	【 위 험(T) 】
	<ul style="list-style-type: none"> • 공동구 건설 및 운영과 관련한 법적/제도적 환경 정비가 미비 • 건설경기 부진에 따른 설계/시공업체들의 관련 투자여력이 낮은 상태 • 국가/지방자치단체의 채무수준이 높아짐에 따른 기반시설 확충사업의 사업우선순위 조정 가능성 • 선진국(특히 일본)에 비해 현저히 떨어지는 기술수준 및 기업 인지도에 따른 해외시장 진출에서의 경쟁열위 		

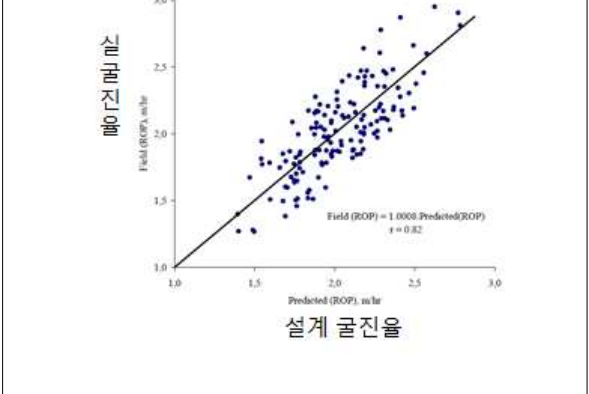
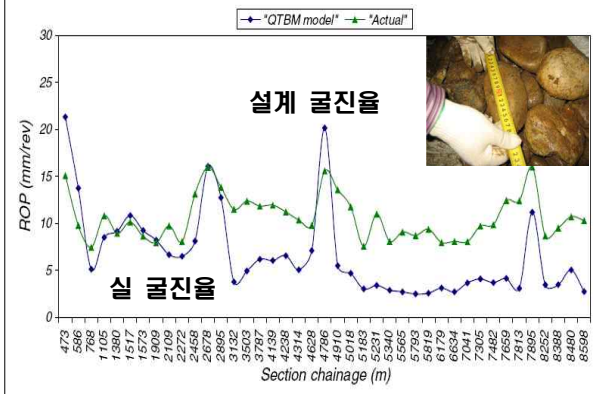
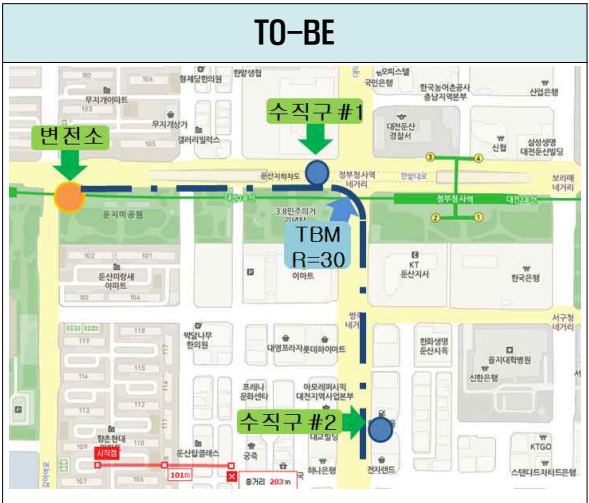


3절. 기술개발에 따른 미래상

1. 도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 글로벌표준화설계법 (LRFD) 및 안전관리기술 개발의 미래상

AS-IS	TO-BE
	
	
<p>이전 설계법 적용으로 공사비 절감 미흡 공동구 방재안전 기준 및 안전관리 시스템 미비</p>	<p>글로벌 표준화 설계(LRFD) 설계기준 및 시방서 제시, 공사비/공정관리 지침 운영관리지침 제정, 안전관리 시스템 구축</p>
<p>현재 기술수준</p> <ul style="list-style-type: none"> - 지반분야 설계법 글로벌 기준 미달 <ul style="list-style-type: none"> ➔ 도로분야 LRFD 도입 합리적 설계, 공사비 절감 ➔ 유럽은 지반분야, 일본은 터널분야 도입 - 공동구 표준 공정/공사비 관리시스템 미비 <ul style="list-style-type: none"> ➔ 적정 공기/공사비 산정 불리 ➔ LCC 미고려로 합리적 사업비 산정 불가 - 공동구 운영관리 제도 미비 <ul style="list-style-type: none"> ➔ 공사비 분담/운영관리 주체 불명확으로 공동구 사업 무산사례 다수 - 공동구 안전관리 시스템 미약 <ul style="list-style-type: none"> ➔ 설계/시공 단계를 고려한 안전관리 대책 부재 ➔ 예방형 안전관리 시스템 부족 	<p>기술개발 완료 후</p> <ul style="list-style-type: none"> - 공동구 공사비 10% 절감 - 정확한 공사비/공기 산정 기준/도구 확립 - 설계사 글로벌 사업화 역량 강화로 건설 ENG 해외진출 기여 - 예방형 안전관리 체계 구축으로 건설안전재해를 20% 감소 기여 - 공공기관(한전, LH, 시설안전공단등) 참여로 신기술 활용 활성화, 사업화 촉진

2. 도심지 소단면($\Phi 3.5\text{m}$ 급) 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/
특수지반(downtime 40% 이하) 급속시공기술 및 장비 개발의 미
대상



- 공동구 사업 확대 시 문제점 대책 미흡
- 구조물/환경 피해로 민원(총 34%) 급증
 - 국가 재정운용 부담으로 사업화 진척 불리
 - 지장물로 인한 급곡구간/특수지반 시공 실패

소단면(Φ3.5m 급) TBM 굴진율 예측모델, 급곡/특수지반 시공장비, 건설공법, 지보공법 개발 → 실패형 성능검증

- 현재 기술수준**
- 유사 공사의 경우 민원방지 실패사례 : 기술적 방지가 가능한(지하수 저감/지반침하/발파) 민원이 전체 민원의 34%
 - 2015 기준 교통혼잡도중 서울과 6대 광역시 공동구 공사로 인한 교통혼잡비용 총 235억/년 발생 추정
 - 터널식 공동구 시공 시 문제로 공기/공사비 증가, 민원발생 대책기술 없음 : 굴진율 저하로 공기연장, 급곡구간 시공불가, 특수지반 공사실패
 - 기계화 시공 기술 40년 뒤쳐짐, 연구 인프라 부족(국토교통부 & KAIA, 2013)

- 기술개발 완료 후**
- 공동구 건설중 민원발생 30% 저감
 - 공동구 공사비 10% 절감
 - 교통혼잡비용 총 50% 축소
 - 도심지 소단면 shield-TBM 시공 문제점 해결기술 사업화

3. 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발의 미래상

AS-IS	TO-BE
	
	
<p>부지 점유기간 축소와 교통체증, 상권침해 민원방지, 발파 배제 의한 민원방지 노력 미흡, 수직구 건설기술 낙후로 공사비/공기 절감 미흡</p>	<p>수직구 (Φ6 ~ 8m) 무진동 급속굴착, 라이닝 모듈화 장비 신개발, 접속부 방수공법 및 보강장치 개발</p>
<p>현재 기술수준</p> <ul style="list-style-type: none"> - 사고/민원발생, 공사비/공기 감소를 위한 기술개발 없음 ➔ 시공중 발파진동, 지하수위 저감 ➔ 굴착/라이닝 시공 장기화로 지반변형 ➔ 접속부 보강기술 미흡으로 변형, 누수 발생 - 작업공간 협소로 일반 교통터널 수직구 대비 시공성 저하, 공기 증가 - 공동구 수직구 상부 구조물 시공으로 인한 접속부 구조 취약점 발생 	<p>기술개발 완료 후</p> <ul style="list-style-type: none"> - 공동구 건설중 민원발생 30% 저감 - 공동구 공사비 10% 절감 및 교통혼잡비용 총 2,150억/년 축소 - 무진동 굴착, 공사기간 25% 단축 - 수직구 라이닝 시공기간 25% 단축 - 실대형 성능검증 시험 수행으로 기술검증을 통한 사업화 기반 구축

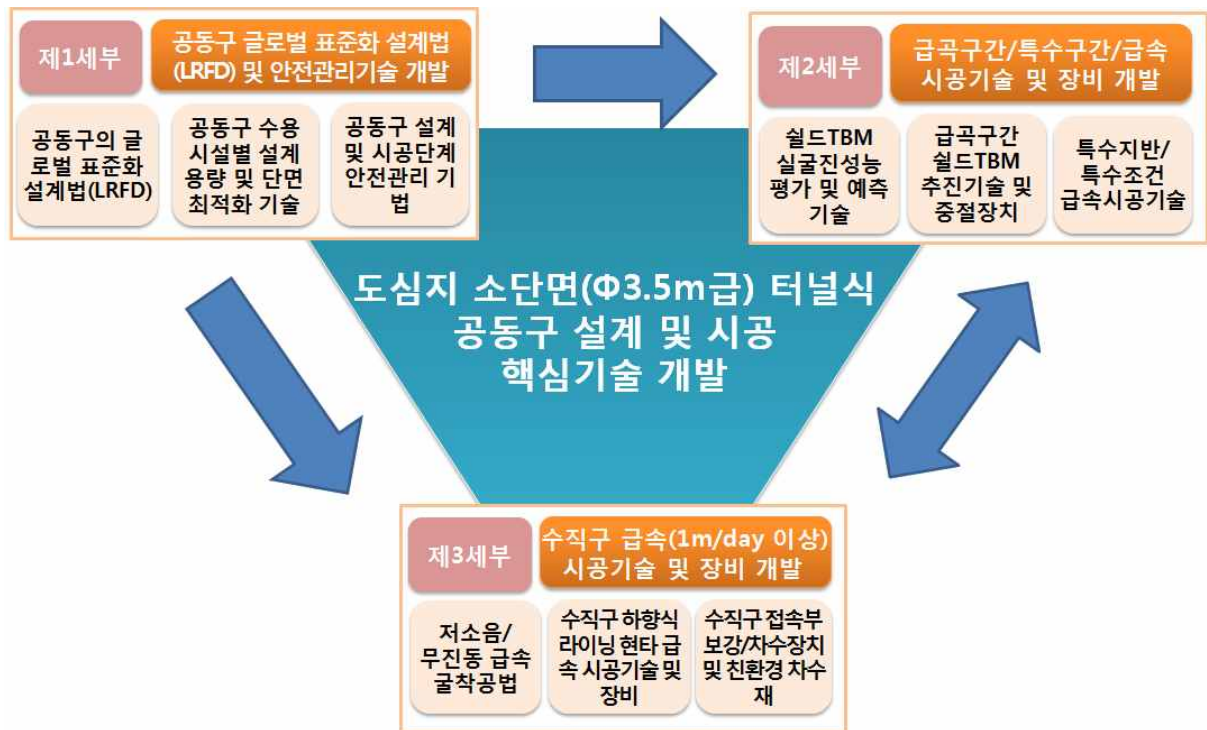
4절. 연구개발과제 구성 및 추진체계

1. 연구개발 과제 구성

1.1 연구개발 과제 구성

(1) 세부과제의 구성(안)

- ‘도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발’ 연구단은 ‘도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌표준화설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발’, ‘도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수지반(downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발’, ‘도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발’의 3개 세부과제로 구성함.



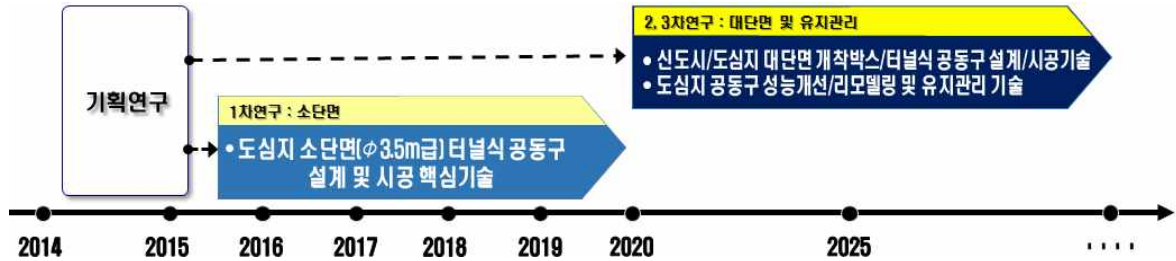
○ 정량적 기술개발 목표를 반영한 전체 연구단 과제 구성(안)은 다음과 같음.

구 분	연구과제명
연구단총괄	도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발
1세부	<p>도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발</p> <p>1-1 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발</p> <p>1-2 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발</p> <p>1-3 소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발</p>
2세부	<p>도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수지반(downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발</p> <p>2-1 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발</p> <p>2-2 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치 개발</p> <p>2-3 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속(downtime 40% 이하) 시공기술 개발</p>
3세부	<p>도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발</p> <p>3-1 공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발</p> <p>3-2 공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발</p> <p>3-3 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발</p>

(2) 연구기간 및 연구비 구성(안)

가. 차수별 연구규모의 제안

- '2절 1. 핵심기술요소(CTE) 도출'에서 총 3차 연구개발 계획을 제안함.



- 기존 도심지의 소단면 터널식 공동구 건설기술 개발(1차), 신 사업부지에서의 개착식 대단면 공동구 건설기술(2차), 공동구 유지관리 개발(3차)을 통한 차수별 예상 연구 규모는 다음과 같음.

구 분	1차연구	2차연구	3차연구	비 고
연구내용	도심지 소단면 (Φ3.5m 급) 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발	신도시/도심지 대단면 개착박스/터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발	도심지 공동구 성능개선/리모델링 및 유지관리 기술 개발	1차연구 확정 ('15)
연구기간	4.5년	5년	5년	
연구비 (정부출연금)	192억원	200억원	200억원	
추진방식	연구단	연구단	연구단	

나. 1차연구 연구기간 및 연구비 구성(안)

- 이 연구의 1세부 글로벌표준화 설계기술 개발은 기준개정에 대한 내용이므로 연구개발과 기준의 개정을 위한 충분한 연구기간이 필요함.
- 2세부와 3세부는 시공장비 개발을 주 내용으로 하며, 세계최초 실대형 성능검증 시험과 현장 테스트베드의 시험 적용을 통하여 개발기술의 완성을 내용으로 하므로 충분한 연구기간과 연구비가 필요함.
- 1차연구 연구기간 총 4.5년으로 하며, 총 연구비는(정부출연금) 192억원이 소요됨.

- 민간대응자금을 고려한 연차별 연구비 구성안은 다음과 같음(4장'3절. 소요예산산정'참조).

(단위 : 백만원)

구 분	1차년도 (6개월)		2차년도 (12개월)		3차년도 (12개월)		4차년도 (12개월)		5차년도 (12개월)		합 계
	금 액	%	금 액	%	금 액	%	금 액	%	금 액	%	
정부 출연금	481	2.51	5,183	26.99	5,760	30.00	4,704	24.50	3,072	16.00	19,200
민간대응자금	162	2.53	1,732	27.00	1,923	29.98	1,570	24.47	1,028	16.02	6,415
합 계	643	-	6,915	-	7,683	-	6,274	-	4,100	-	25,615

다. 단계별 연구계획(안)

- 1차년도의 연구개발기간이 짧고(0.5년) 정부출연금에 한정됨(481백만원).
- 이 연구의 구성은 연구계획 및 원천기술연구 또는 장비설계 및 초기시작품개발 단계, 기술개발/시작품 제작 또는 개발된 기술/장비의 성능검증 단계, 현장 테스트베드 적용 및 실용화 단계로 명확히 구분될 수 있으므로 단계별 연구 및 성과관리 계획이 필요함.
- 단계별 연구계획의 수립 연구과제 구성 제안
 - 1단계(원천기술개발 단계), 2단계(장비제작/성능검증 단계), 3단계(테스트베드/실용화 단계)로 구분하여 3 단계 연구과제 구성

1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1 단계 : '15. 06 ~ '16. 12		2 단계 : '17. 01 ~ '18. 12		3 단계 : '19. 01 ~ 12
원천기술개발 단계		장비제작/성능검증 단계		테스트베드/실용화 단계
<ul style="list-style-type: none"> • 연구계획/원천기술 연구 • 장비설계/초기 시작품 개발 		<ul style="list-style-type: none"> • 기술개발/장비제작 • 개발된 기술/장비 성능검증 시험 		<ul style="list-style-type: none"> • 테스트베드 • 실 용 화

1.2 연구개발 내용

(1) 연구개발 범위 및 목표

과제명	도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발
연구개발 범위	<ul style="list-style-type: none"> - 도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발 - 도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수지반(downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발 - 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비개발
연구개발 목표	○ 세계최고수준의 라이프라인 인프라 건설기술 구축의 일환으로, 도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 고도화

(2) 주요 연구내용

주요 연구내용	<p>[1세부과제] 도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (1-1) 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 글로벌 표준화 설계법 적용을 위한 국내 지반 중요인자 평가기술 - 한계상태설계법 적용을 위한 내진해석 및 내진설계 기술 - 한계상태설계법에 의한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계기술 - 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계기준 개정 및 운영관리 가이드라인 ○ (1-2) 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 최적화 기술 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 단면 최적화 기술 - 글로벌 표준화 설계(LCC) 표준 공정 및 공사비 관리시스템 ○ (1-3) 소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구 전주기 안전 위험요인(안전사고, 화재, 테러, 지진, 침수 등) 조사/평가기법 - 소단면 터널식 공동구 수용시설특성을 고려한 안전관리기술 - 소단면 터널식 공동구 안전관리 매뉴얼 및 지침서 <p>[2세부과제] 도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수지반</p>
----------------	--

(downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발

- (2-1) 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발
 - 소단면 Shield-TBM 실굴진성능 평가기술
 - 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 데이터베이스 구축
 - 국내 복합지반 특성을 고려한 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 예측기술
 - 굴진성능 예측기술 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용
- (2-2) 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치 개발
 - 급곡구간 Shield-TBM 추진 및 시공기술
 - 급곡구간 시공 Shield-TBM 중절장치
 - 급곡구간 세그먼트 지보시스템
 - 급곡구간 시공장비·추진기술 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용
- (2-3) 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속(downtime 40% 이하) 시공기술 개발
 - 고수압 등 특수조건에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 기술
 - 특수지반(복합지층, 호박돌층 등)에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 기술
 - 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속시공 기술 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용

[3세부과제] 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

- (3-1) 공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
 - 저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 시공기술 및 장비
 - 수직구 급속 굴착장비 제어 기술
 - 실대형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용
- (3-2) 공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
 - 현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 기술 및 장비
 - 수직구 구조물 슬래브/계단/접속개구부 급속시공 기술
 - 수직구-수평터널 연결부, 가설장치 시공 기술
 - 실대형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용
- (3-3) 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발
 - 접속부 직경별/시공 심도별 상대변위 분석 및 수용 범위 분석
 - 터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강공법

- | | |
|--|--|
| | |
| | <ul style="list-style-type: none">- 비시멘트계열 친환경 차수재 및 시공기술- 실대형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용 |

(3) 기술개발 최종 성과물

최 중 성 과 물	<p>[1세부과제] 도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (1-1) 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 한계상태설계법에 의한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계 지침서 - 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계기준 개정(안) - 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 운영관리 가이드라인 ○ (1-2) 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 산정 지침서 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 표준 단면도 - 소단면 터널식 공동구 LCC 최적설계 프로그램 ○ (1-3) 소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구 전주기 안전 위험요인(안전사고, 화재, 테러, 지진, 침수 등) 조사/평가기법 - 소단면 터널식 공동구 수용시설특성을 고려한 안전관리기술 개발 - 소단면 터널식 공동구 건설단계 및 특성을 고려한 방재안전 관리 지침서 - 소단면 터널식 공동구 안전관리 매뉴얼 및 지침서 <p>[2세부과제] 도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수지반 (downtime 40% 이하) 급속시공기술 및 장비 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (2-1) 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 예측 소프트웨어 - 소단면 shield-TBM 토사/암반지반 실굴진 정보 데이터베이스 - 소단면 터널식 공동구 굴진 장비 선정 가이드라인 - 굴진성능 예측기술 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과 ○ (2-2) 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 급곡구간 Shield-TBM 추진기술 - 급곡구간 시공 Shield-TBM 중절장치 - 급곡구간 세그먼트 지보시스템 - 급곡구간 중절장치 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과 ○ (2-3) 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속 (downtime 40% 이하) 시공기술 개발
-----------------------	--

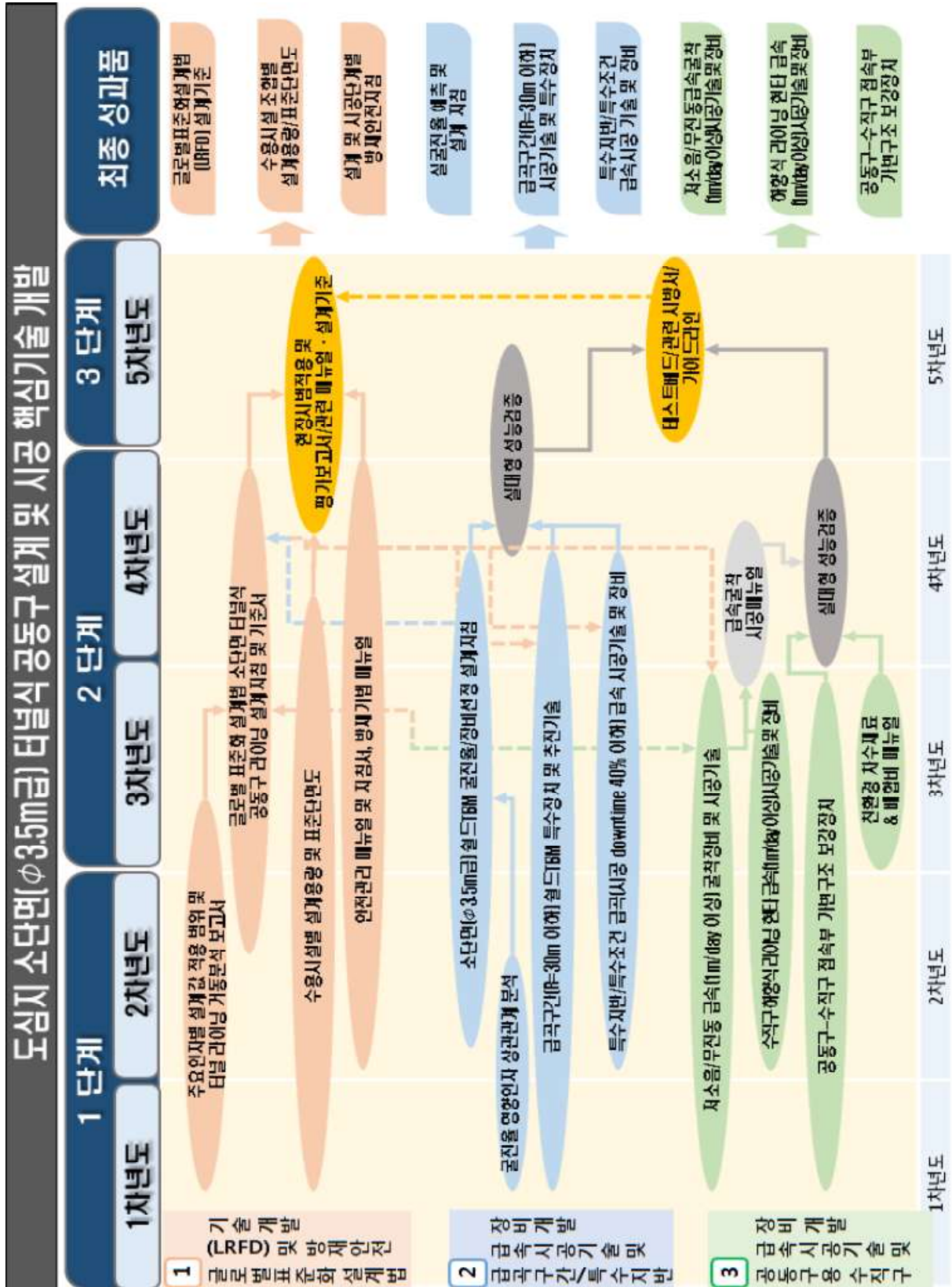
- 고수압 등 특수조건에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 장치 및 매뉴얼
- 특수지반(복합지층, 호박돌층 등)에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 매뉴얼
- 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속시공 기술 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과

[3세부과제] 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

- (3-1) 공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
 - 저소음/무진동 급속굴착 시공장비
 - 수직구 급속 굴착장비 제어시스템
 - 저소음/무진동 급속굴착 기술 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과
- (3-2) 공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
 - 현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 장비
 - 수직구 구조물 슬래브/계단/접속개구부 설계매뉴얼
 - 수직구-수평터널 연결부 설계도 및 가설장치
 - 하향식 라이닝 현타 급속 시공기술 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과
- (3-3) 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발
 - 직경별/시공심도별 상대변위 분석 결과
 - 터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강매뉴얼
 - 비시멘트계열 친환경 차수재 및 시공매뉴얼
 - 접속부 보강/차수장치·차수재 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과

1.3 기술성과로드맵(TRM)과 연차별 성과목표

(1) 연구단 기술성과로드맵



(2) 연차별 성과목표

도심지 소단면(φ 3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발						
구분	1 단계		2 단계		3 단계	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
1세부	논문	1 논문	4 논문	5 논문	5 논문	2
			지침/매뉴얼	1 지식재산권	3 지식재산권	2
				지침/매뉴얼	1 지침/매뉴얼	2
				계획설계	1 계획설계	1
					비용절감	2
					현장적용	2
					표준	2
2세부	논문	2 논문	5 논문	3 논문	4 논문	2
	계획설계	1 지식재산권	2 지식재산권	3 지식재산권	3 지침/매뉴얼	4
		계획설계	1 기술성능	1 비용절감	1 현장적용	3
		기술성능	1 효율성	1 현장적용	2 효율성	1
					효율성	2
					비용절감	2
					사업화	1
3세부	논문	2 논문	2 논문	1 논문	1 현장적용	3
		지침/매뉴얼	2 지식재산권	3 지식재산권	2 효율성	1
		계획설계	3 지침/매뉴얼	1 기술성능	2 비용절감	3
				계획설계	1 효율성	

(2) 최종성과물 및 성과지표

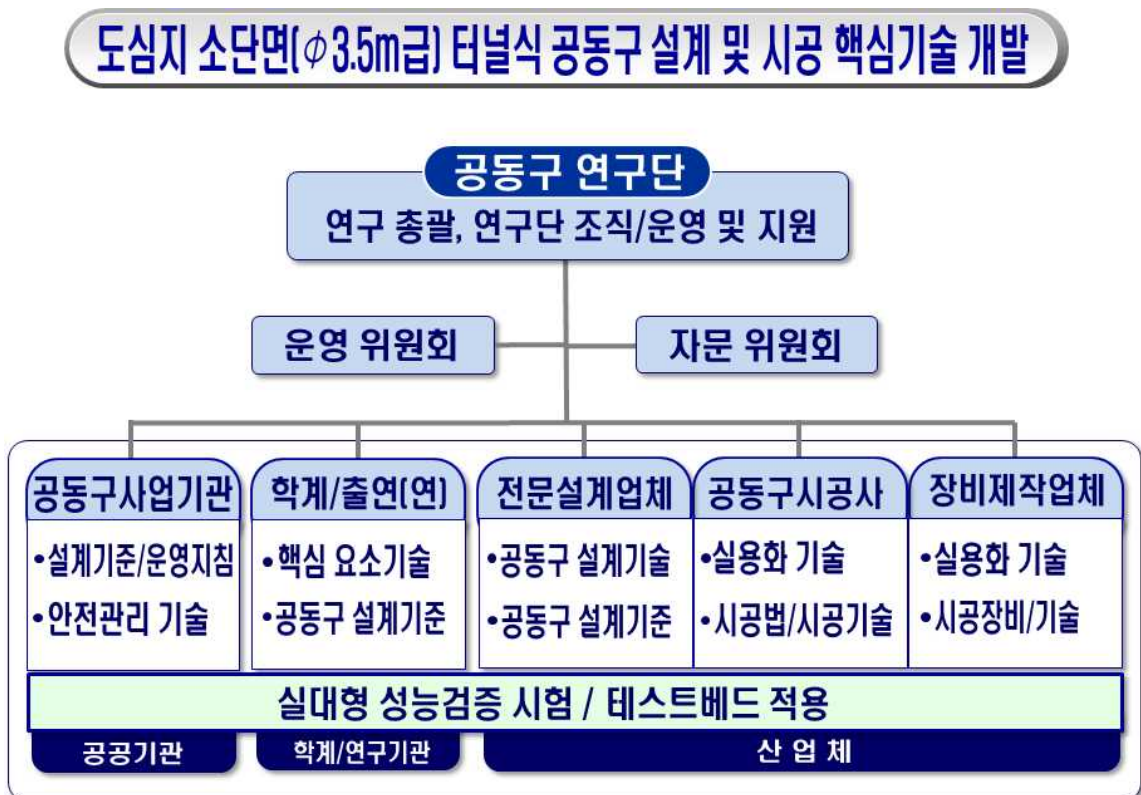
요소기술	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정근거	
공통지표	- 학술지 등재 논문 - 국제 수준 논문 - 학술대회 발표	논문	국내외 학술지/학술발표 게재여부	건	17	연구개발을 통한 학술지/학술대회 발표 가능	
					16		
				6			
	논문 소계					39	
	- LRFD를 이용한 표준 단면 설계 기술 및 설계 프로그램 - LCC를 이용한 최적설계기술 및 설계 프로그램 개발 - 실굴진율예측 프로그램 - 급곡구간 추진시스템/중절장치 - 특수지반/특수조건 시공기술	특허출원/등록 건수 프로그램 등록 건수 등의 지적재산권	국내 특허출원/등록여부	건	5	지적재산권 보호를 위한 특허출원 및 등록/소프트웨어 등록이 요구	
	- 수직구 급속굴착 장치 - 접속부 보강장치 - 라이닝 성형장치				8		
					5		
	지적재산권 소계					18	
	공통지표 합계					57	
	고유지표	- 최적설계 - 표준단면설계	계획설계/설계도	설계도 개발 건수	건	2	수용시설별 최적설계/표준단면도 개발 예상
- 급곡구간 중절장치 시제품 설계도 - 특수시공장비 시제품 설계도		2				주요 성과별 시제품 제작을 위한 설계도 제작이 요구됨	
- 수직구 급속굴착 장치 시제품 설계도 - 접속부 보강장치 시제품 설계도 - 라이닝 성형장치 시제품 설계도		4				주요 성과별 시제품 제작을 위한 설계도 제작이 요구됨	
계획설계/설계도 소계					8		
- LRFD를 이용한 한계상태설계 기술		비용절감/생산 및 공정비용 절감	기존대비 생산 및 공정비용 절감 예상액	%	10	기존설계 대비 한계상태설계 원가 대비표	
급 곡구간/특수지반 급속 시공을 통한 공사비 절감			기존대비 유사구간 공사비 절감액		10	유사구간 기존공법 대비 굴진속도 증가가 예상됨	
원형 수직구 저소음/무진동 굴착기술			유사구간 대비 수직구 공사비 절감액		10	유사구간 기존공법 대비 저소음/무진동 굴착이 예상됨	
비용절감/생산 및 공정비용 절감 소계					10%		

-방재안전 -라이닝구조해석 -최적단면설계	지침/매뉴얼의 개발 및 보급	매뉴얼 개발건수	건	4	TRM에 따른 1세부의 기술 개발 주요 연구성과목표
-중절장치 운용 매뉴얼 -성능검증 매뉴얼 -급속시공 설계 시공 가이드				3	개발 기술의 효과적인 운용과 활용을 위한 가이드 작성 요구
-수직구 굴착기 운용 매뉴얼 -하향식 수직구 설계 매뉴얼 -접속부 설계 매뉴얼				3	개발 기술의 효과적인 운용과 활용을 위한 가이드 작성 요구
지침/매뉴얼의 개발 및 보급 소계				10	
-설계표준 개정 -안전방재 기준 제정	표준/기준의 규정/ 지침편람/시방서화	지침 작성 여부	건	2	공동구 관련 기준의 복잡성과 연동성을 고려하여 개정과 제정이 요구됨
표준/기준의 규정/ 지침편람/시방서화 소계			2		
-최적단면 테스트베드 도입 -안전관리기법 시험적용	테스트베드 및 현장적용	적용 사례 건수	건	2	개발기술의 실용화를 위한 현실화 방안
-실굴진율예측 -추진시스템 -중절장치 -특수지반/특수조건 시공장비의 실대형 검증 또는 테스트베드적용				5	개발기술의 실용화를 위한 현실화 방안
-수직구 급속굴착 장치 시제품 검증 -접속부 보강장치 시제품 검증 -라이닝 성형장치 시제품 검증				3	개발기술의 실용화를 위한 현실화 방안
테스트베드 및 현장적용 소계				10	
-세계최고 수준 실굴진율 오차율	기술성능/기술자립도(기술축적)	shield-TBM 실굴진율 예측 오차율	%	20	기술개발을 통한 세계 최고 수준 기술 목표 설정
저소음/무진동 공법을 통한 민원 30% 저감		도심지 유사구간 대비 수직구 시공중 민원 사례		30	저소음/저진동 공법 개발로 인한 민원 최소화 요구
기술성능/기술자립도(기술축적) 소계				30	
-급곡구간 굴진 효율성 증대 -최적장비 선정을 통한 효율성 증대	효율성/공정 및 공사기간 단축 효과	공동구 굴진 효율성 증대 기대 요소 건수	건	3	중절장치 개발을 통한 급곡구간 굴진효율성 증대 및 DB를 이용한 최적 장비 선정 기법 개발 예상

-급속 시공기술 및 장비 개발을 통한 직구 굴진 효율성 증대		공동구용 수직구 굴진 효율성 증대 기대 요소 건수		2	굴착 기술 및 장비 개발을 통한 수직구 굴진효율성 증대 예상
				효율성/공정 및 공사기간 단축 효과 소계	
급속구간 중절장치 시제품 제작	사업화/시제품	시제품 출시 건수	건	1	중절장치의 실대형 성능검증을 위한 시제품 출시
				사업화/시제품 소계	
고유지표 합계			건	49 (비용절감 8건, 효율성 5건 포함)	

2. 연구 추진체계 제안

- 최적설계/방재안전 관리시스템 개발은 국가 기반시설인 전력-에너지 관련 공공 연구를 진행하는 공기업연구소나 정부출연연구소가 주도하는 것이 바람직 함.
- 급곡구간/특수지반 시공기술/장비개발은 관련 분야에 대한 기술과 경험을 갖춘 관련 기업체나 학계가 주도할 수 있도록 하였음.
- 또한 수직구 급속/모듈화 시공 공법 개발은 건설엔지니어링 경험이 풍부한 기업체가 연구·개발을 주도하여 실증적 연구결과를 도출할 수 있도록 추진체계를 구성하는 것이 바람직함.
- 세부과제 별로 다음과 같은 주요 연구내용 및 추진 전략을 검토함.
 - 연구개발 범위 및 목표, 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성, 기존 연구와의 중복성 및 연계방안, 연구개발 주요내용, 연구개발과제 TRM, 최종성과물 및 성과 지표, 연차별 성과목표.
- 연구개발 과제 추진체계는 다음과 같음.



5절. 세부 과제별 주요내용 및 추진전략

1. 1세부과제

1.1 연구개발 범위 및 목표

과제명	도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발
세부과제 범위	<ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발 - 소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발
연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> - 글로벌 표준화 설계법 도입 및 설계용량/단면 최적화로 공동구 건설비용 10% 절감 기여 - 공동구 방재/안전 기술 개발로 민원 30% / 안전재해 20% 저감 기여

1.2 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 연구개발 필요성

- 설계법의 세계적인 추세가 한계상태 설계 개념으로 이동하고 있으며, 특히 지반 구조물분야는 주변지반특성 및 지하구조물(공동구)의 특성상 아직 한계상태 설계 개념이 정착되지 않고 있으므로, 지하 공동구의 한계상태 설계 기술을 선점하여 해외 설계 프로젝트 수주에 있어 경쟁력을 확보할 수 있는 기회임.
- 지하 공동구의 콘크리트라이닝을 한계상태설계법으로 설계하기 위해서는 콘크리트 구조물을 중심으로 구조물의 내구성이나 최종적인 내하능력을 작용하는 하중과의 관계로 구조물을 설계하여야 하므로, 지하 공동구의 사용한계상태(S.L.S)나 극한한계상태(U.L.S)에 대한 개념정립이 필요함.
- 또한, 지하 공동구의 한계상태를 정의하기 위해서는 붕괴상태, 공동구의 용도에 따른 사용성, 재료의 경과년도에 의한 열화 등에 대한 시험이나 실험결과, 계측

및 다양한 수치해석 결과에 대한 상호검증이 필요하며, 신뢰도 기반의 한계상태 설계법의 근간은 콘크리트구조물 설계법이므로, 터널분야와 구조분야의 협업이 매우 중요하고, 국내 콘크리트학회 등을 통한 설계법의 검증이 필요함.

- 도심지를 중심으로 전력구 건설사업이 활발하게 시행되어지고 있는 시점에서 전력구 건설사업비 절감 및 건설시공을 위한 설계기술 개발과 함께 적정공사기간 산정 및 공정관리 기술이 필요함.
- 일본(2001, JSCE)의 경우 도심지 NATM터널 한계상태를 설정하였으며, 극한한계상태(U.L.S)에 적용하기 위한 다양한 안전계수(재료계수, 하중계수, 구조해석계수, 부재계수, 구조물계수)에 대한 정의를 하였으며, 지하 공동구의 한계상태설계법의 개발을 위해서는 이와같은 신뢰도를 기반으로 하는 안전계수의 분류 및 정의가 반드시 필요함.
- 현재 북미 및 유럽 각국들이 확률론적 설계기준을 제안 혹은 준비하고 있으나, 아직은 매우 초보적인 단계에 있는바 우리나라도 조속히 관련 연구를 시작하면 충분한 국제경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 예상됨.

(2) 정부지원 필요성

- 한국의 공동구 건설 공법으로는 주로 개착식으로 이루어지며, 현재 국내에서 shield-TBM을 이용한 공동구 건설은 미비한 실정이며, 최근 "TBM 핵심 설계, 부품 기술 및 TBM터널의 최적 건설기술 개발" 연구단에서 TBM의 국산화에 성공하면서 지하 단독구에 대해 shield-TBM 적용이 적극 검토되고 있음.
- 현재 우리나라에서 지하공동구는 점용예정자의 요청에 의해 건설될 수 있도록 하고 국가기관이 이를 관리할 수 있는 통로를 만들어 놓은 형태로 운영되고 있음. 이 중 상당부분은 국가에서 계획적으로 설치·운영하고 있으며, 1970년대부터 시작된 지하철 공사와 관련하여 전력 및 통신시설 위주의 지하공동구가 있고 이 후 신시가지 구성 공사시 설치한 지하 공동구가 있음. 지하 공동구는 자치단체장이 관리하는 것이 원칙이나 많은 자치단체들이 시설물관리의 일부로 평가하여 자치단체에 설치된 시설관리공단에 실질적인 지하공동구의 관리를 위임한 형태로 진행되고 있음.
- 최근에는 건설기준간의 연계·호환성이 부족하여 중복 또는 상충되는 기준이 발생

하고 있어 실무에서 사용자의 불편을 초래하고, 관련기준의 세부내용에 대한 검색, 기준간의 상호참조 관계 파악 등이 어렵고, 기준 제·개정에 대한 효율적·체계적 이력관리가 어려운 실정임.

- 현행 공동구 설계기준은 국내에 운용중인 공동구특성상 개착식박스구조에 대한 기준으로 대부분 콘크리트구조기준을 준용하고 있으나 향후 다양한 공동구 수용시설의 요구, 다양한 지반조건과 지상조건, 성능중심으로 발전되어가는 설계기준에 부합하는 공동구 설계기준의 마련이 필요함.

1.3 연구개발 주요내용 및 추진전략

(1) 연구개발 주요내용

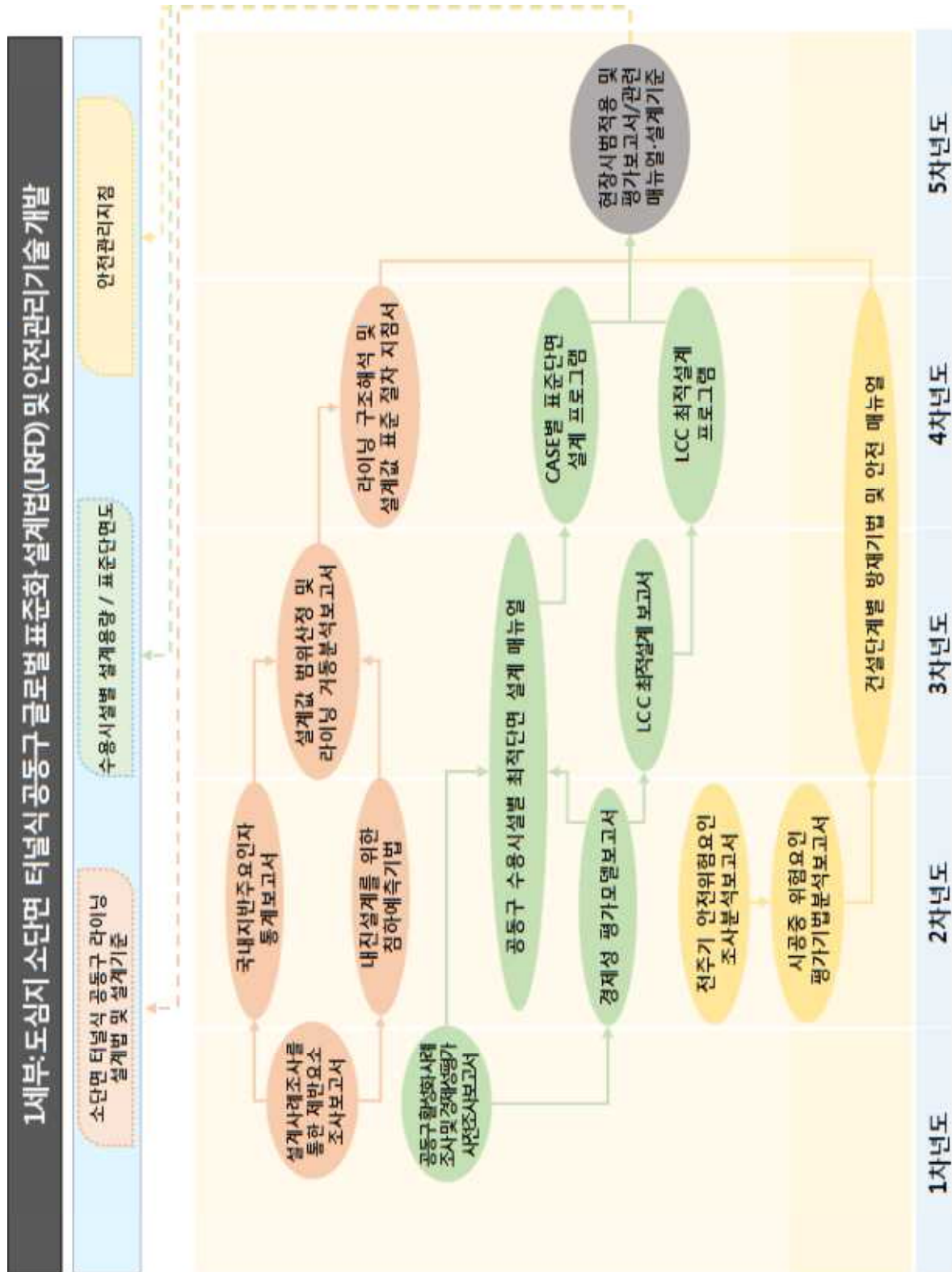
세부과제 개 념	기존의 설계법(허용응력/강도 설계법)을 탈피하고 국제적인 추세에 맞추어 새로운 글로벌 표준화 설계법(LRFD)을 적용한 터널식 공동구 설계기준/운영관리 지침, 공동구 수용용량 및 설계단면/공사비 최적화 기술, 계획·설계 단계 방재기법 및 공동구 시공중 건설 단계별 안전관리 기술의 개발
세부과제 주요내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ (1-1) 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 글로벌 표준화 설계법 적용을 위한 국내 지반 중요인자 평가기술 개발 - 한계상태설계법 적용을 위한 내진해석 및 내진설계 기술 개발 - 한계상태설계법에 의한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계기술 개발 - 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계기준 개정 및 운영관리 가이드라인 제시 ○ (1-2) 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 산정 최적화 기술 개발 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 표준단면도 개발 - 소단면 터널식 공동구 LCC 최적설계 프로그램 개발 ○ (1-3) 소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구 전주기 안전 위험요인(안전사고, 화재, 테러, 지진, 침수 등) 조사/평가기법 개발 - 소단면 터널식 공동구 수용시설특성을 고려한 안전관리기술 개발 - 소단면 터널식 공동구 안전관리 매뉴얼 및 지침서 제시
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> ○ 핵심기술 위주의 개발 전략 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 타 분야 관련기술의 적극 활용을 통한 기술연계 시너지 극대화 - 국가 연구개발사업에서 개발된 기존 기술과 연계 ○ 철저한 개발 기술의 검증 <ul style="list-style-type: none"> - 현장적용 및 실용화를 위해 테스트베드 적용과 연계한 철저한 검증

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설계반영을 통한 기술사업화 추진 <ul style="list-style-type: none"> - 기술적용을 위한 발주기관과 기술개발 기관 연계 및 실시기업의 기술개발 참여도 확대전략 수립 ○ 산학연 연계 및 확보기술 실용화 조직 구성 <ul style="list-style-type: none"> - 정부출연 연구원, 대학, 발주기관, 설계사 등과 유기적인 협력체계 구축 - 설계 기준화, 실용화, 사업화 기반 구축 ○ 소요 연구기간 : 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법 및 시공단계 방재/안전기술 개발기간과 설계기준 개정 및 지침 제정을 위해 연구기간을 4.5년으로 설정함.
--	--

(2) 추진전략

기술적 위험요인	기술적 위험요인에 대한 예측 및 대응방안 설정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내 공동구 터널 설계시 한계상태 설계법 적용 사례가 전무하여 개발 기술의 적용상 어려움이 예측됨. ▪ 공동구 설계기준 연구 시 타 분야 한계상태 설계법 적용사례를 참조하여 글로벌 설계법에 대한 인식 제고
	요소기술별 기술확보 전략 및 미확보시 대응방안 설정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내외 유사 지하구조물(해저터널, 교통용 터널)등 연구자료 및 요소별 기술 상관성 검증 연구 ▪ 해외 연구진과의 상호 교류
	기술적 위험요인에 대한 관리체계, 대응방안 설정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 각종 현장에서의 기술 시험 확인 연구 ▪ 해외 연구진과의 상호 교류
	법 또는 제도상 위험요인에 대한 대응방안 설정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개발된 글로벌 설계법을 기존 공동구 설계기준에 반영이 어려운 경우 연구과제 성공이 불확실함. ▪ 기준제정기관의 연구참여, 기준개정을 과제에 포함하여 개발된 글로벌 설계법을 공동구 설계기준에 반드시 반영함.
기술개발 성공 가능성	기술수준 및 역량 대비 기술개발의 성공가능성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존에 글로벌 설계법을 연구한 사례가 없었으나 타 분야에서 반영한 사례가 존재하여 국내 기술개발 역량은 충분함.
	시장창출 및 진입 등 시장경쟁력 측면에서의 성공가능성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내 공동구 시장 확대가 예상되고, 해외 진출시 글로벌 설계법이 반드시 적용되어야 하므로 시장창출 및 진입 등 시장경쟁력 측면에서 성공가능성이 높음.
	사업목표 이외의 부수적으로 기대되는 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 각종 국내외 지하 구조물 공사의 설계 개념 및 수준을 국제적 수준으로 향상

1.4 연구개발과제 TRM



<그림 3.1> 1세부 연구개발과제 TRM

1.5 연차별 연구성과 목표

1세부: 도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발							
1-1 요소 기술	논문	1	논문	2	논문	1	
					지식재산권	2	
					계획설계	1	
					지침/매뉴얼	1	
1-2 요소 기술			논문	1	논문	1	
					지침/매뉴얼	2	
						계획설계	
						비용절감	
						표준	
						지침/매뉴얼	
1-3 요소 기술			논문	1	논문	1	
						현장적용	
						지침/매뉴얼	
구분	1차년도	2차년도			3차년도	4차년도	5차년도

1.6 최종성과물 및 성과지표

1세부 : 도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발

요소기술	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정근거
공통지표	-학술지 등재 논문 -국제 수준 논문 -학술대회 발표	논문	국내외 학술지/학술발표 게재여부	건	17	연구개발을 통한 학술지/학술대회 발표 가능
	-LRFD를 이용한 표준 단면 설계 기술 및 설계 프로그램 -LCC를 이용한 최적설계기술 및 설계 프로그램 개발	특허출원/등록 건수 프로그램 등록 건수 등의 지적재산권	국내 특허출원/등록여부	건	5	지적재산권 보호를 위한 특허출원 및 등록/소프트웨어 등록이 요구
고유지표	-최적설계 -표준단면설계	계획설계/설계도	설계도 개발 건수	건	2	수용시설별 최적설계/표준단면도 개발 예상
	-LRFD를 이용한 한계상태설계 기술	비용절감	기존대비 생산 및 공정비용 절감 예상액	%	10	기존설계 대비 한계상태설계 원가 대비표
	-방재안전 -라이닝구조해석 -최적단면설계	지침/ 매뉴얼의 개발 및 보급	매뉴얼 개발 건수	건	4	TRM에 따른 1세부의 기술 개발 주요 연구성과목표
	-설계표준 개정 -안전방재 기준 제정	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	지침 작성 여부	건	2	공동구 관련 기준의 복잡성과 연동성을 고려하여 개정과 제정이 요구됨
	-최적단면 테스트베드 도입 -안전관리기법 시험적용	테스트베드 및 현장적용	적용 사례 건수	건	2	개발기술의 실용화를 위한 현실화 방안

2. 세부과제

2.1 연구개발 범위 및 목표

과제명	도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 급곡구간/특수지반/급속 시공기술 및 장비 개발
세부과제 범위	<ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발 - 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치 개발 - 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속 (downtime 40% 이하) 시공기술 개발
연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> - Shield-TBM 굴진성능 평가/예측, 급곡구간 시공기술 개발로 공동구 건설비용 10% 절감 기여 - 특수지반/특수조건 Shield-TBM 시공기술 개발로 공동구 민원 30% / 안전재해 20% 저감 기여

2.2. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 연구개발 필요성

- 우리나라는 매우 높은 도시인구 비율(91%) 때문에 도로, 철도, 지하철, 전력/통신 시설 등 라이프라인 시설 과밀화 현상과 난개발로 인한 만성적 예산낭비와 각종 민원(시공, 재해, 에너지 수급, 안전사고 등)이 발생하였고, 효율적인 지하공간 활용이 필요하여 최근 관련 법안 정비와 함께 ‘전선공동구 설치 등에 관한 특별법안’이 발의되었음.
- 현재 지중화시설은 신도시 개착식 공동구와 기존 도심지 개착/터널식 단독구가 주류이며, 기존 도심지 민원대책으로 터널식 단독구가 증가추세임. 터널식 단독구는 전력구가 가장 큰 시장을 형성하고 있으며, 공동구로 수용될 수 있는 부분이 75%를 차지하여 효율성을 크게 증가시킬 수 있음.
- 공동구 연장은 해가 갈수록 기하급수적으로 늘어나고 있으며, 공동구 시장규모는 향후 10년간 총 6조2천억원(물가상승 제외)으로 추정됨. 이 연구의 성공으로 10% 공사비 절감시 예상 절감액은 향후 10년간 약 6,200억원이 가능하고 민원

저감에 의한 국민편익 및 파급효과를 고려한다면 천문학적인 숫자가 예상된다.

- 전선공동구 법안 통과시 신규 소단면 터널식 공동구 시장 발생 가능성이 매우 크고, 우리나라 대도시의 가공 배전선로 지중화율이 매우 낮아(예, 서울 52.4%, 런던·파리 100%, 뉴욕 72.2%, 동경 86.3%) 지중화 공사 확대 고려시 소단면 터널식 공동구는 급격한 시장증가가 예상된다.
- 도심지 공동구 평면선형 계획시에는 수많은 지장물이 존재하여 노선의 선정에 악영향을 주고 지장물 완곡우회로 인한 연장 및 심도증가로 공사비 증가 요인을 발생시킴. 도심지는 연약한 충적층 지반에 건설되므로 지반굴착으로 인한 지반 변형, 지하수 유출로 인한 지반침하, 복잡한 퇴적 지층구조 및 호박돌층으로 인한 터널 굴진율/시공성 저하 등의 문제가 발생함.
- 공동구 건설중 사회적 문제: 굴착으로 인한 교통장애 및 소음·진동, 도시 쾌적성 저하 등에 의한 각종 민원 유발등 사회적 문제 유발 가능성이 큼. 시공기간이 장기화 될 경우 케릴라성 호우 또는 지반변형 장기화, 가시설물의 구조성능 열화로 인한 건설재해 발생 가능성이 증가될 수 있고, 부지 장기점유와 장기적 공해유발로 민원유발 가능성은 더욱 증가함.
- 도심지 공동구 건설 시 이러한 공학적·사회적 당면과제를 시급히 해결하여야 하므로, 이에 국가정책에 대한 시의성과 국가예산 절감을 고려하여 이 연구의 진행이 반드시 필요함.
- 제3차 과학기술기본계획 ‘최첨단 인프라구조물 건설기술’ 과 관련하여 공간확보, 한계극복, 사용효율 극대화 등 국토의 효율적 사용을 위한 급곡구간/특수지반 시공기술/장비 개발이 반드시 필요함.
- 국정과제 ‘에너지공급 시설의 안전관리 강화’, 경제혁신 3개년 계획 ‘안정적 에너지 공급체계 구축’ 관련하여 교통혼잡 예방, 방재성능 향상으로 쾌적한 도시환경 조성을 위한 민원저감형 공동구·수직구 건설기술 및 방재·안전관리 지침이 반드시 필요함.
- 국정과제 ‘국가 과학기술 혁신역량 강화’, 경제혁신 3개년 계획 ‘중소·중견기업 R&D에 대한 지원 강화’와 관련하여 중견·중소기업의 기술력 향상 및 R&D 투자 확대 유도하고 실대형 성능검증 시험을 통한 공기업(한국전력, LH 등) 발주 공동구

프로젝트 설계반영(10km 이상) 으로 개발기술 실용화를 위하여 반드시 필요함.

(2) 정부지원 필요성

- 공동구는 국토 공간내 기반시설과 이의 연결망으로 구성되는 도로, 철도 등 ‘라이프라인’의 일부로 전선로·통신선로 등을 공동 수용하여야 하므로 관할지자체를 비롯한 유관기관이 다수이며, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의해 주요 국가 기간시설로 구축되므로 국가차원의 시공기술 개발이 반드시 필요함.
- 국회 계류중인 ‘전선공동구 설치 등에 관한 특별법안’에서는 배전선로, 통신선로 등의 지상전선을 지하에 공동 수용하기 위하여 전선공동구를 제안하였으며, 이와 관련하여 경제적인 도심지 민원저감형 소단면 터널식 공동구 건설기술 개발에 국가차원의 연구 지원이 절실함.
- 공동구 건설비용 10% 절감시 향후 10년간 약 6,200억원 절감이 가능할 것으로 추정 되므로 전기/통신 등 라이프라인 지중화 조기실현을 위하여 국가의 연구지원이 필요함.

2.3 연구개발 주요내용 및 추진전략

(1) 연구개발 주요내용

세부과제 개 념	<p>기존 도심지 지하에 시공되는 소단면(Φ3.5m 급 일반적 소구경 터널) 터널식 공동구 시공 시 공기와 공사비 절감을 위한 도심지 층적층지반 Shield-TBM 굴진성능 평가 및 예측 기술, Shield-TBM 시공중 사유지 침범 최소화/기존 시설물 회피를 위한 급곡(R30m 이하, 국내 최고는 50m) 시공 기술, Shield-TBM 안전시공/시공장애 해소를 위한 도심지 특수지반(복합지반, 호박돌층 등) 시공기술의 개발</p>
세부과제 주요내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ (2-1) 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소단면 Shield-TBM 실굴진성능 평가기술 개발 - 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 데이터베이스 구축 - 국내 복합지반 특성을 고려한 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 예측기술 개발 - 굴진성능 예측기술 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용 ○ (2-2) 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기

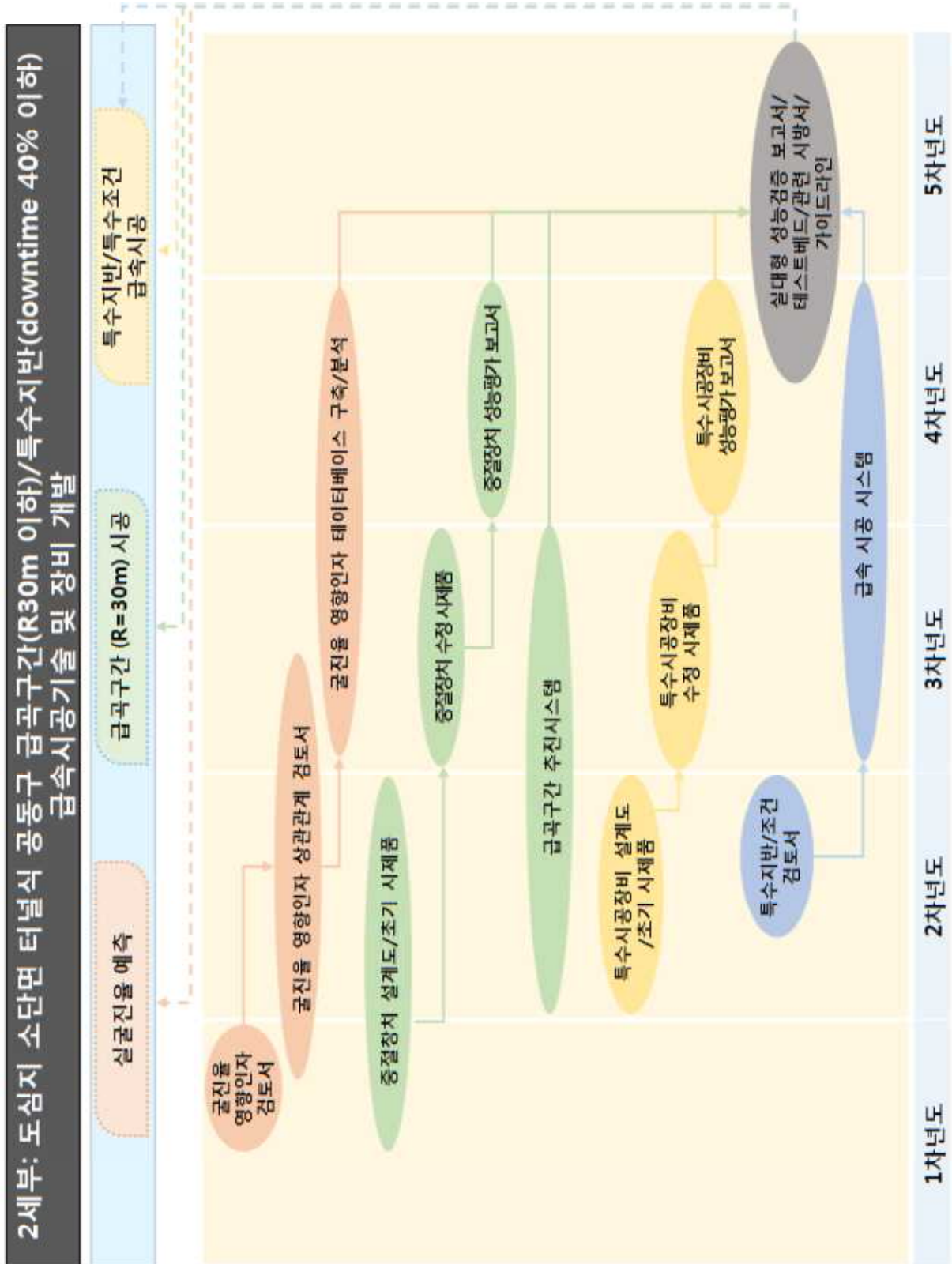
	<p>술 및 중절장치 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 급곡구간 Shield-TBM 추진 및 시공기술 개발 - 급곡구간 시공 Shield-TBM 중절장치 개발 - 급곡구간 세그먼트 지보시스템 개발 - 급곡구간 시공장비/추진기술 실험대형 성능검증 및 테스트베드 적용 <p>○ (2-3) 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속 (downtime 40% 이하) 시공기술 개발(추후 분리공모 예정)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고수압 등 특수조건에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 기술 개발 - 특수지반(복합지층, 호박돌층 등)에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 기술 개발 - 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속시공 기술 실험대형 성능검증 및 테스트베드 적용
<p style="text-align: center;">연구개발 추진전략</p>	<p>○ 핵심기술 위주의 개발 전략 수립</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국내 타 분야 관련기술의 적극 활용을 통한 기술연계 시너지 극대화 - 국가 연구개발사업에서 개발된 기존 기술과 연계 <p>○ 철저한 개발 기술의 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현장적용 및 실용화를 위해 실험대형 성능검증 및 테스트베드 적용과 연계한 철저한 검증 <p>○ 기술실시, 기술사업화 추진을 통한 실용화 효율 극대화 전략</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기술적용을 위한 사업화 기관과 기술개발 기관 연계 및 실시기업의 기술개발 참여도 확대전략 수립 <p>○ 산학연 연계 및 확보기술 실용화 조직 구성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대학, 전문 시공사, 설계사 등과 유기적인 협력 체계를 구축 - 실용화, 사업화 기반 구축 <p>○ 소요 연구기간 : 소단면 터널식 공동구 급곡구간/특수지반 급속시공기술 및 장비 개발과 실험대형 성능검증 시험 및 현장적용을 위하여 연구기간을 4.5년으로 설정함.</p>

(2) 추진전략

<p style="text-align: center;">기술적 위험요인</p>	<p>기술적 위험요인에 대한 예측 및 대응방안 설정</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 신뢰도 기술자료 확보 후 기술력 확보를 위한 연구 실시, 다양한 검증을 통한 위험도 예측 오류 최소화 ▪ 목표 기술의 상세 검증 수행 ▪ 안전한 상용성 확보를 위한 기술의 검증된 가이드라인 제안
	<p>요소기술별 기술확보 전략 및 미확보시 대응방안 설정</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기술 확보 전략 수립 및 현장 데이터를 중심으로 한 재검증 ▪ 국내 관련업체를 통한 기술 및 자료 확보, 학계 및 현장전문가를 활용한 자문위원회 등 구성 ▪ 국외의 선진화된 기술 조사 및 도입

	기술적 위험요인에 대한 관리체계, 대응방안 설정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 산학연 연계를 통한 관리체계 수립 및 대응 ▪ 관련 업계 및 학계 전문가를 활용
	법 또는 제도상 위험요인에 대한 대응방안 설정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 분쟁사례 검토 분석을 통해 위험요인 배제
기술개발 성공 가능성	기술수준 및 역량 대비 기술개발의 성공가능성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 설계 및 시공 맞춤형 위험도 평가시스템 적용으로 경제성 확보 및 시공성/안정성 증대 효과 극대화가 가능할 것으로 판단 ▪ 현재 기술수준과 연구기관들의 역량으로 이루어 해당기술의 개발에는 문제가 없는 것으로 판단
	시장창출 및 진입 등 시장경쟁력 측면에서의 성공가능성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 공동구의 미래 수요에 대한 기술력 제공을 위한 연구를 실시하므로 즉시 현장에 도입하여 반영할 수 있을 것으로 기대 ▪ 복합적인 지반조건에서도 안정성, 경제성과 시공성을 확보할 수 있는 설계 및 장비, 공법을 개발하므로 다양한 시장확보 가능
	사업목표 이외의 부수적으로 기대되는 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 공동구 터널에서의 공기 감소 및 공사비 감소 ▪ 불량지반에 대한 보강비용 최소화 ▪ 장비운영 개선으로 장비 및 굴착도구의 손상 및 소모량 절감 ▪ 공동구뿐만 아니라 도심지 지하공간 창출 및 도심 과밀구간 지하화 유틸리티라인 지하화 방안 등에 적용할 수 있는 응용기술로 확대

2.4 연구개발과제 TRM



<그림 3.2> 2세부 연구개발과제 TRM

2.5 연차별 연구성과 목표

2세대: 도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수지반(downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발

2-1 요소 기술		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
논문	1	논문	1	효율성	1	현장적용
				지식재산권	1	지침/메뉴얼
						비용절감
2-2 요소 기술		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
논문	1	논문	1	논문	1	비용절감
계획설계	1	지식재산권	1	지식재산권	1	현장적용
		기술성능	1	기술성능	1	사업화
					효율성	지침/메뉴얼
2-3 요소 기술		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
		논문	3	논문	2	논문
		지식재산권	1	지식재산권	1	지침/메뉴얼
		계획설계	1		1	현장적용
						효율성

2.6 최종성과물 및 성과지표

2세부 : 도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간/특수지반 급속 시공기술 및 장비 개발

요소기술	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정근거
공통지표	-학술지 등재 논문 -국제 수준 논문 -학술대회 발표	논문	국내외 학술지/학술 발표 게재여부	건	16	연구개발을 통한 학술지/학술대회 발표 가능
	-실굴진율예측 프로그램 -급곡구간 추진시스템/중절장치 -특수지반/특수조건 시공기술	특허출원/등록 건수 프로그램 등록 건수 등의 지적재산권	국내 특허출원/등록여부	건	8	지적재산권 보호를 위한 특허출원 및 등록/소프트웨어 등록이 요구
고유지표	-급곡구간 중절장치 시제품 설계도 -특수시공장비 시제품 설계도	계획설계/설계도	설계도 개발 건수	건	2	주요 성과별 시제품 제작을 위한 설계도 제작이 요구됨
	급곡구간/특수지반 급속 시공을 통한 공사비 절감	비용절감/생산 및 공정비용 절감	기존대비 유사구간 공사비 절감액	%	10	유사구간 기존공법 대비 굴진속도 증가가 예상됨
	-중절장치 운용 매뉴얼 -성능검증 매뉴얼 -급속시공 설계 시공 가이드	매뉴얼의 개발 및 보급	매뉴얼 개발건수	건	3	개발 기술의 효과적인 운용과 활용을 위한 가이드 작성 요구
	-실굴진율예측 -추진시스템 -중절장치 -특수지반/특수조건 시공장비의 실대형 검증 또는 테스트베드적용	테스트베드 및 현장적용	적용 사례 건수	건	5	개발기술의 실용화를 위한 현실화 방안
	-세계최고 수준 실굴진율 오차율	기술성능/기술자립도(기술축적)	shield-TBM 실굴진율 예측 오차율	%	20	기술개발을 통한 세계 최고 수준 기술 목표 설정
	-급곡구간 굴진 효율성 증대 -최적장비 선정을 통한 효율성 증대	효율성/공정 및 공사기간 단축 효과	공동구 굴진 효율성 증대 기대 요소 건수	건	3	중절장치 개발을 통한 급곡구간 굴진효율성 증대 및 DB를 이용한 최적 장비 선정 기법 개발 예상
	급곡구간 중절장치 시제품 제작	사업화/시제품	시제품 출시 건수	건	1	중절장치의 실대형 성능검증을 위한 시제품 출시

3. 3세부과제

3.1 연구개발 범위 및 목표

과제명	도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
세부과제 범위	<ul style="list-style-type: none"> - 공동구 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발 - 공동구 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발 - 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발
연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> - 저소음/무진동 급속굴착공법, 라이닝 급속/모듈화 시공기술 및 장비 개발로 공동구 건설비용 10% 절감, 공동구 민원 30% 저감 기여 - 친환경 차수 및 접속부 보강공법 개발로 공동구 민원 30% / 안전재해 20% 저감 기여

3.2 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 연구개발 필요성

- 기존에 가장 보편적으로 사용되던 물유리계 지수재는 시간이 지나면서 지반 결합 효과가 떨어지는 용탈현상이 나타나고 지하수에 의해 유실 가능함. 이 과정에서 알칼리성의 지수재가 환경오염을 일으킬 수 있음.
- 이러한 문제들을 해결하기 위해 시멘트계 급결재, 우레탄계열의 재료들이 개발되었으나 시멘트계 급결재는 여전히 환경오염 가능성이 있고 우레탄 계열의 지수재는 친환경적이나 지반조건과 온도에 민감(공동구의 경우 온도가 상당히 높음)하다는 단점을 가지고 있음.
- 또한 기존의 지수재는 40m 이상의 깊은 심도에서 지수·보강효과가 현저히 떨어지는 현상을 보이기 때문에 적용사례가 거의 없음. 공동구의 경우 대심도의 공사가 예상되므로 깊은 곳에서도 적용 가능한 지수재의 개발이 필요함.
- 현재의 지수재개발은 규산계열 및 우레탄 계열에 국한되어있으며 미생물을 이용한 지수공법에 대한 연구가 거의 없으므로 최근 각광받는 고강도/고내구성 미생

물 기반 중합체를 이용하여 깊은 심도에서도 적용 가능한 친환경·급결성 지수재를 개발하면 세계 시장을 점유 가능함.

- 기존의 발파에 의한 암반 수직구 굴착공사는 발파진동에 의해 주변 건물 균열과, 주변 지반 침하를 유발하므로 주변 거주민들의 집단 민원발생으로 인해 적용에 한계가 많으며, 할암기 등에 의한 기계식 굴착을 활용한 수직구 굴착은 기존 발파공법에 비해서 상대적으로 많은 시간과 비용이 소모되어 비효율적임.
- 수직구 가설 설치 후 해체에 따른 가설자재 및 지중 매설용 콘크리트와 파쇄용 폐기물 처리에 따른 비용이 지속적으로 발생되어 친환경적이고 더불어 장기적인 안정성에 문제가 없는 가설 대체용 수직구 라이닝 다운시공 및 병행 굴착공법 개발이 필수적임.
- shield-TBM 터널 구조에서 본선 터널의 방수성능에 비해 상대적으로 균열과 누수의 발생 확률이 높은 수직구-터널 접속부의 보강 기술에 대한 연구가 필요함.
- 그러나 수직구-터널 접속부가 하자 발생 위험이 높은 부위임에도 불구하고 지금까지 터널-수직구 접속공법에 대한 연구가 거의 없는 실정으로 수직구 급속/모듈화 시공 공법 개발에 있어 반드시 연구해야할 대상임.
- shield-TBM 터널 본선과 수직구의 접합부는 이질적인 재료사용으로 일체화시키기 어려워 그 경계지점에서 균열, 누수와 같은 하자가 많이 발생함. 따라서 이 두 이질적인 재료를 일체화시키고 누수를 예방할 수 있는 접속부 보강 기술 개발이 필요함.
- 국외에서는 저소음 저진동 방식의 굴착장비 개발과 더불어 라이닝 구조물 연결 조립 공법을 이용하여 다양한 현장 적용 및 실험을 통해 기술력 축적을 진행하고 있음.

(2) 정부지원 필요성

- 국내에서는 급격한 통신시설의 증대와 함께 통신구터널의 건설이 증가하고 있으며 이에 따라 수직구 건설도 증가하고 있는 실정임. 통신구터널 수직구 직경은 대략 6.0-8.0m이고, 연장은 최저 10m에서 최대 50m임. 최근 들어, 한국전력에 서 7개소의 수직구가 포함된 총 1540억원 규모의 전력 공동구 공사를 발주 예정

임.

- 국내의 지수공법은 주입공법에 크게 의존하고 있고 현재까지의 지하철 및 공구 건설현장에 다양한 형태의 주입공법이 쓰여 왔음. 하지만 주입공법에 쓰이는 지수 재료의 경우 물유리, 시멘트, 우레탄 계열 등에서 벗어나지 않고 있어 새로운 재료에 대한 연구가 필요함.
- 국내 수직구 구조물 공사는 현장타설 공법과 PC공법 시공이 적용되고 있지만, 공사기간 장기소요 및 고가의 공법으로 원활하게 개선되어 적용되고 있지 못한 상태임.
- 최근에는 수직구 굴착 후 벽체는 연속상승공법 시공 후에 내부 슬래브는 프리캐스트 세그먼트 슬래브를 설치하는 공법으로 개선하고 있으며, 외국은 수직굴착과 동시에 수직구 벽체를 Precast Concrete 조립방식으로 시공하고 있으나, 국내에서는 굴착과 병행하여 라이닝 구조물을 시공하기 위한 공법으로 개선되어 시공되고 있지 못하고 있음.
- 현재 수직구-터널 접속부에 특화된 시공기술 공법은 없으며, 국내에서는 강재에 대한 기존의 접합방법을 개량한 무볼트·무용접 강재 접합장치를 개발 중에 있음.

3.3 연구개발 주요내용 및 추진전략

(1) 연구개발 주요내용

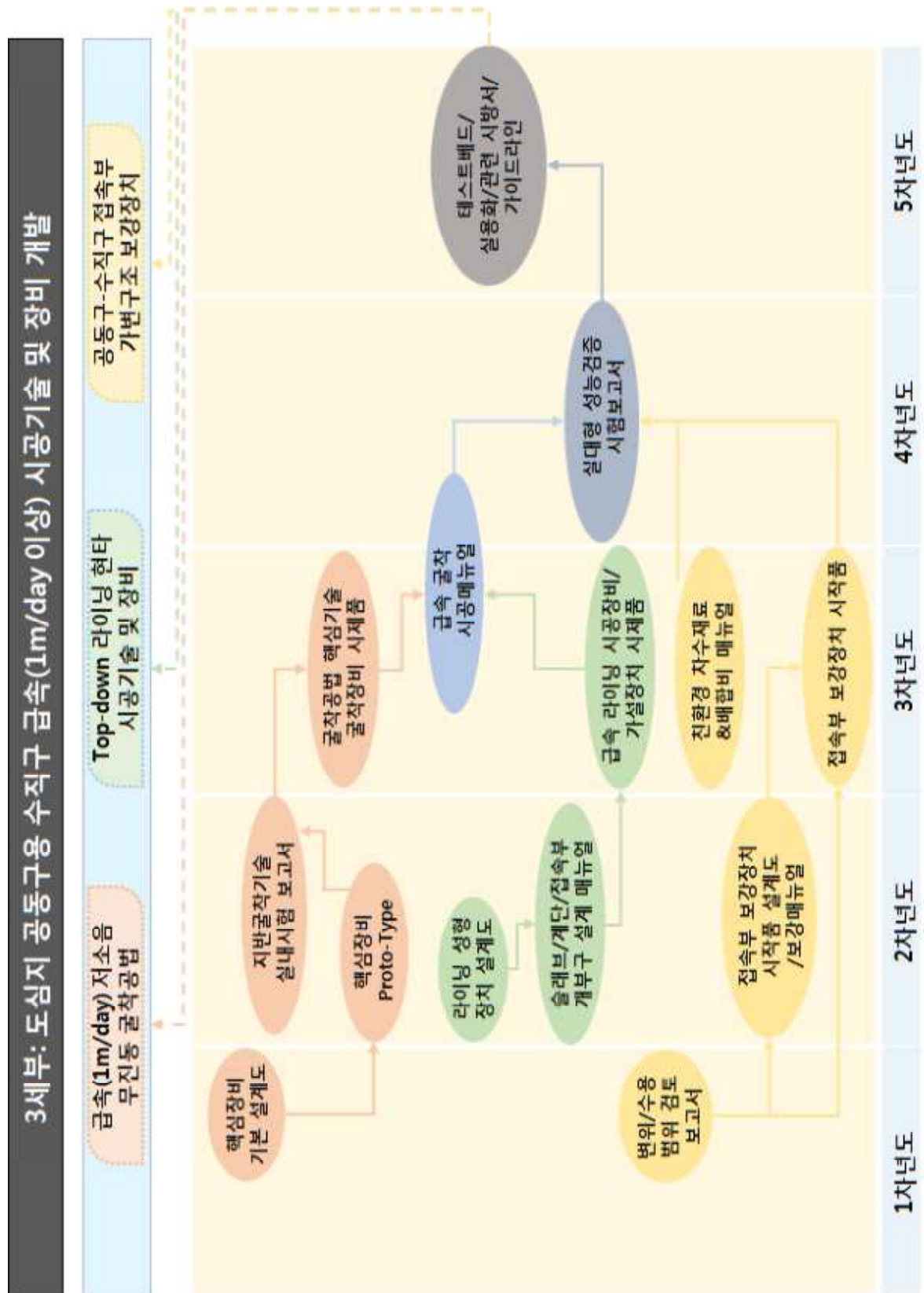
세부과제 개 념	<p>기존 도심지 공사중 부지 점유로 민원과 교통장애를 유발하는 공동구 수직구 시공을 위한 저소음/무진동 수직구 급속 굴착공법과 수직구 라이닝 급속/모듈화 시공기술 개발, 시공중/운영중 지하수 유출/지반침하 방지를 위한 친환경 차수 및 접속부(수직구-공동구 터널) 보강공법 개발</p>
세부과제 주요내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ (3-1) 공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 시공기술 및 장비 개발 - 수직구 급속 굴착장비 제어 기술 개발 - 실대형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용 ○ (3-2) 공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 기술 및 장비 개발 - 수직구 구조물 슬래브/계단/접속개구부 급속시공 기술 개발 - 수직구-수평터널 연결부, 가설장치 시공기술 개발 - 실대형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용 ○ (3-3) 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 접속부 직경별/시공 심도별 상대변위 분석 및 수용범위 분석 - 터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강공법 개발 - 비시멘트계열 친환경 차수재 및 시공기술 개발 - 실대형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> ○ 핵심기술 위주의 개발 전략 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 타 분야 관련기술의 적극 활용을 통한 기술연계 시너지 극대화 - 국가 연구개발사업에서 개발된 기존 기술과 연계 ○ 철저한 개발 기술의 검증 <ul style="list-style-type: none"> - 현장적용 및 실용화를 위해 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용과 연계한 철저한 검증 ○ 기술실시, 기술사업화 추진을 통한 실용화 효율 극대화 전략 <ul style="list-style-type: none"> - 기술적용을 위한 사업화 기관과 기술개발 기관 연계 및 실시기업의 기술개발 참여도 확대전략 수립 ○ 산학연 연계 및 확보기술 실용화 조직 구성 <ul style="list-style-type: none"> - 대학, 전문 시공사, 설계사 등과 유기적인 협력 체계를 구축

	<ul style="list-style-type: none"> - 실용화, 사업화 기반 구축 ○ 소요 연구기간 : 공동구용 수직구 저소음/무진동 급속굴착 시공기술 및 장비 개발과 실험형 성능검증 시험 및 현장적용, 실용화를 위하여 연구기간을 4.5년으로 설정함.
--	--

(2) 추진전략

기술적 위험요인	기술적 위험요인에 대한 예측 및 대응방안 설정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 암반지반의 저소음/무진동 급속굴착 기술이 부재하여 수직구 급속시공에 한계가 있음. ▪ 저소음/무진동 굴착기기술과 급속 굴착 기술이 적용 중이므로 유관기술을 종합 분석하여 신기술 개발 가능
	요소기술별 기술확보 전략 및 미확보시 대응방안 설정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내외 유사자료의 검증 및 연구로 요소별 기술 상관성 검증 연구 ▪ 해외 연구진과의 상호 교류
	기술적 위험요인에 대한 관리체계, 대응방안 설정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개발기술의 실험형 성능검증, 현장 테스트베드 적용 등을 통한 다층적 기술검증 체계 확충
	법 또는 제도상 위험요인에 대한 대응방안 설정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 일반적인 경우 저소음/무진동 공법 적용시 공사비가 증가하여 실무 적용에 한계가 있음 ▪ 저소음/무진동을 충족하며 기존 공법대비 저렴한 공법개발로 위험요인 해소
기술개발 성공 가능성	기술수준 및 역량 대비 기술 개발의 성공가능성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 전체기술은 아직 없으나 일부 핵심요소기술을 확보하여 전체기술 개발 가능성은 매우 높음.
	시장창출 및 진입 등 시장경쟁력 측면에서의 성공가능성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 향후 수직구 및 공동구 시장 확대 예상 ▪ 도심지에서의 기존 수직구 시공 공법은 민원발생이 높아서 개발될 기술은 시장경쟁력이 매우 높음.
	사업목표 이외의 부수적으로 기대되는 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 각종 국내외 터널 및 수직구 공사의 시공법 개선을 통한 경제성 확보 및 기술 수준 향상

3.4 연구개발과제 TRM



<그림 3.3> 3세대 연구개발과제 TRM

3.5 연차별 연구성과 목표

3세부: 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day) 시공기술 및 장비 개발										
3-1 요소 기술	논문	1	논문	1	논문	1	논문	1	현장적용	1
			계획설계	1	지식재산권	1	기술성능	1	비용절감	1
							지식재산권	1	효율성	1
3-2 요소 기술			논문	1	계획설계	1	효율성	1	현장적용	1
			지침/매뉴얼	1	지식재산권	1	지식재산권	1	비용절감	1
			계획설계	1						
3-3 요소 기술	논문	1	지침/매뉴얼	1	지침/매뉴얼	1	기술성능	1	현장적용	1
			계획설계	1	지식재산권	1			비용절감	1
구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도					

3.6 최종성과물 및 성과지표

3세부 : 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

요소기술	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정근거
공통지표	-학술지 등재 논문 -국제 수준 논문 -학술대회 발표	논문	국내외 학술지/학술 발표 개제여부	건	6	연구개발을 통한 학술지/학술대회 발표 가능
	-수직구 급속굴착 장치 -접속부 보강장치 -라이닝 성형장치	특허출원/등록 건수 프로그램 등록 건수 등의 지적재산권	국내 특허출원/등록여부	건	5	지적재산권 보호를 위한 특허출원 및 등록/소프트웨어 등록이 요구
고유지표	-수직구 급속굴착 장치 시제품 설계도 -접속부 보강장치 시제품 설계도 -라이닝 성형장치 시제품 설계도	계획설계/설계도	설계도 개발 건수	건	4	주요 성과별 시제품 제작을 위한 설계도 제작이 요구됨
	원형 수직구 저소음/무진동 굴착기술	비용절감/생산 및 공정비용 절감	유사구간 대비 수직구 공사비 절감액	%	10	유사구간 기존공법 대비 저소음/무진동 굴착이 예상됨
	-수직구 굴착기 운용매뉴얼 -하향식 수직구 설계 매뉴얼 -접속부 설계 매뉴얼	매뉴얼의 개발 및 보급	매뉴얼 개발건수	건	3	개발 기술의 효과적인 운용과 활용을 위한 가이드 작성 요구
	-수직구 급속굴착 장치 시제품 검증 -접속부 보강장치 시제품 검증 -라이닝 성형장치 시제품 검증	테스트베드 및 현장적용	적용 사례 건수	건	3	개발기술의 실용화를 위한 현실화 방안
	저소음/무진동 공법을 통한 민원 30% 저감	기술성능/기술자립도(기술축적)	도심지 유사구간 대비 수직구 시공중 민원 사례	%	30	저소음/무진동 공법 개발로 인한 민원 최소화 요구
	-급속 시공기술 및 장비 개발을 통한 수직구 굴진 효율성 증대	효율성/공정 및 공사기간 단축 효과	공동구용 수직구 굴진 효율성 증대 기대 요소 건수	건	2	굴착 기술 및 장비 개발을 통한 수직구 굴진효율성 증대 예상

6절. 연구과제의 중복성 및 차별화 방안

1. 1세부 과제

1.1 1-1 과제

- 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발

유사 과제명	발주처	수행 기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화 방안
상능중심의 건설기준 표준화연구	국 토 교 통 과 학 기 술 진 흥 원	한국건설 기술연구 원	터널라이닝 성능 기준 제시 및 굴 착터널의 라이닝 구조설계를 위한 사용성, 경제성, 안정성 요구성능 의 판단기준 제시	중복 없음	○	·터널라이닝 성능기준 및 사용성, 안정성 요구성능 기 준을 활용하여 다양한 안전 계수를 분류하고 정의할 수 있음. 터널식 공동구 한계상 태설계법의 설계기술을 개발 에 활용 가능.
				연계 가능	○	
				고도화		
				중복됨		
			성능중심의 콘크 리트 구조설계기 준 작성	중복 없음	○	·우리나라 환경, 재료특성, 기술수준 및 설계자의 요구 에 따라 다양한 성능 충족여 부를 검증할 수 있는 성능중 심의 콘크리트 구조설계기준 을 개발에 활용 가능. ·재료성능과 관련한 안전계 수를 반영하는 터널식 공동 구 한계상태설계법의 설계기 술 개발
연계 가능	○					
고도화						
중복됨						
TBM핵심 부설계부품 기술 및 TBM터널 의 최적진 설기술	국 토 교 통 과 학 기 술 진 흥 원	한서대학 교	기존 강도설계법 과 한계상태설계 법의 비교 분석을 통하여 세그먼트 라이닝 설계를 위 한 안전계수 및 주요인자의 연구	중복 없음	○	·교통터널에 대한 연구이므 로 중복성은 없으며, 이 연구 의 라이닝의 한계상태설계법 개발을 위한 기반 연구자료 로 활용 가능
연계 가능	○					
고도화	○					
중복됨						
공동구 재 해방지와 안정성 강 화를 위한 설계시공 및 관리기 술 개발	국 토 교 통 부	한국건설 기술연구 원	공동구 유지관리 를 효율적으로 수 행할 수 있는 관 리지침 작성	중복 없음	○	·이 연구의 운영관리 가이 드라인은 공동구의 유지관리 관련 부분이 아니고 수용시 설간의 비용분담과 관련된 지침제정에 관한 것이므로 중복성이 전혀 없음.
연계 가능						
고도화						
중복됨						
지하공동구 내진설계 기준 연구	국 토 교 통 부	(사)한국 지진공학 회	·시설물별 지하 공동구 현황과악 지하공동구의 내 진설계기준 제시 ·시설물별 내진 설계 예제 및 해 석집 작성	중복 없음	○	·기존 설계법에 대한 내진 설계 연구이므로 중복성이 없으며, 한계상태설계를 위 한 내진설계기준 연구에 활용 가능
				연계 가능	○	
				고도화		
				중복됨		

1.2 1-2 과제

○ 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발

유사 과제명	발주처	수행 기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화 방안
				중복 없음	○	
고수압 초 장대 해저 터널 기술 지립을 위 한 핵심요 소 기술개 발	국토 교통부	(주)현인피 씨엠	해저터널 표준 작 업분류체계 및 공 정관리 업무매뉴 얼 개발	연계 가능	○	·이 연구의 글로벌 표준화 설계(LCC) 표준공정 및 공사 비관리 시스템 개발과 연구 내용이 달라 중복성이 없음. ·해저터널 작업분류체계 (WBS) 구축 방법을 공동구 공정 및 공사비 관리시스템 개발에 일부 활용 가능함.
				중복 없음		
				고도화		
				중복됨		

1.3 1-3 과제

○ 소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발

유사 과제명	발주처	수행 기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화 방안
				중복 없음	○	
기후변화에 안전한 재 해통합대응 도시구축 방안연구	한 국 연 구재단	국토연구 원	기후변화에 따른 재해통합대응 도 시의 계획요소 도 출	연계 가능	○	·연구의 대상이 달라 중복 성은 없으나 재해유형, 공간 범위, 도시입지를 고려한 방 재요소 검토에 활용 가능.
				중복 없음		
				고도화		
				중복됨		

2. 2세부 과제

2.1 2-1 과제

- 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발

유사 과제명	발주처	수행 기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화 방안
TBM 핵심 설계부품기술 및 TBM 터널의 최적 건설기술	국 토 교 통부	한국건설기술연구원	1세부 TBM 커터헤드 최적 설계기술 및 고성능 디스크커터 개발 : 7m 이상급 TBM 커터헤드 설계 및 암반지반 굴진 성능 예측	중복 없음	○	<ul style="list-style-type: none"> · 이 연구는 연구는 $\Phi 3.5\text{m}$ 급 소단면 shield-TBM에 대한 국내 층적층 지반특성, 작업환경 및 작업자의 숙련도 등의 비정량적 인자들의 영향을 고려한 실굴진을 연구이므로 차별화 됨. · 동일한 암반지반의 경우도 쉴드본체의 규모에 따라 추진시 분담 가능한 반력의 트기가 달라 소구경과 대구경의 굴진율이 다르므로 별도의 연구가 필요하나 일부 방법론의 경우 연계가 가능함.
				연계 가능	○	
				고도화		
				중복됨		
급속 터널 기계화시공을 위한 최적 굴착설계 모델 개발	국 토 교 통 과 학 기 술 진 흥 원	서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> · LCM (Linear Cutting Machine) 의 구축 및 개발 · 암석 절삭메커니즘의 실험적 규명 · 암석 메커니즘의 수치해석적 규명 	중복 없음	○	<ul style="list-style-type: none"> · 암반용 TBM 커터헤드의 설계를 위한 이론적 연구로 본 과제에서 대상으로 하는 토사 혹은 연약지반의 시공 기술 개발과 중복성이 없음. · 수치해석, 실험 등의 연구 결과는 본 과제의 기초자료로 일부 활용이 가능함.
				연계 가능	○	
				고도화		
				중복됨		

2.2 2-2 과제

- 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치 개발

유사 과제명	발주처	수행 기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화 방안
				중복 없음	○	
TBM핵심부 설계부품기 술 및 TBM 터널의 최 적건설기술	국 토 교 통부	한국건설 기술연구 원	·TBM 커터헤드 설계기술과 이를 기반으로 TBM을 재활용하기 위한 설계·제작기술, 핵심 부품·시공재 료 및 리스크 최소 화 기술 개발을 목 표함	중복 없음	○	·이 연구는 면판등 장 비 제작을 목표로 하지 않고 급곡구간 추진장치 만을 개발하므로 기존 과제와 중복성이 없음. ·지반, shield-TBM 추력 및 라이닝 세그먼트의 상호거동을 최대 고려된 다만 급곡구간의 추진시 스템의 개발과 관련하여 일부 연계가 가능함.
				연계 가능	○	
				고도화		
				중복됨		
			·고성능 세그먼트 거동평가 및 현장 적용 연구 ·고성능 세그먼트 재료 및 이음부 기 술 개발	중복 없음	○	·연구내용이 달라 중복 성이 없으나 급격한 지 장물 우회에 따른 추가 적인 하중부담의 허용범 위 추정에 활용 가능.
				연계 가능	○	
				고도화		
				중복됨		

2.3 2-3 과제

- 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속(downtime 40% 이
하) 시공기술 개발

유사 과제명	발주처	수행 기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화 방안
				중복 없음	○	
TBM핵심 부설계부품 기술 및 TBM터널 의 최적건 설기술	국 토 교 통 과 학 기 술 진 흥원	한국건설 기술연구 원	국내에서 개발된 터널 붕괴사례 사 례를 기반으로 한 시공위험도 관리 시스템	중복 없음	○	·이 연구의 특수지반/특수 조건 시공기술과 연구 내 용이 달라 중복성이 없음. ·기존 연구 결과에 제시된 시공위험도 평가 자료를 사 전연구를 위한 기초자료로 활용 가능.
				연계 가능	○	
				고도화		
				중복됨		
고수압 초 장대 해저 터널 핵심 요소 기술 개발	국 토 교 통 과 학 기 술 진 흥원	고려대학 교	·해저구간을 통 과하는 가상 실드 터널에 대한 설계 기법 개발	중복 없음	○	·고심도(200m) 해저구간을 통과하는 가상의 대단면 shield-TBM 터널에 대한 기 술개발로 이 연구에서 개발 하고자 하는 도심지(평균 20m) 층적층 지반의 소단면 shield-TBM시공기술과 내 용이 달라중복성이 없음. ·그러나 고수압조건에 대한 시공 고려사항, 시공기술 등 은 이 연구에서 기초자료로 활용 가능함.
				연계 가능	○	
				고도화		
				중복됨		

3. 3세부 과제

3.1 3-1 과제

- 공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

유사 과제명	발주처	수행 기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화 방안
철도터널 내공단면적 저감을 위한 통풍공의 공기역학 설계기술 및 수직구 굴착공법 개발	국 토 교 통 부	한국철도기술연구원 외	·철도터널 내공 단면적 저감을 위한 통풍구 설계 및 수직구 굴착 방법 개발 ·Φ3m급 소단면 수직구를 RBM으로 상향 기계굴착 연구	중복 없음	○	·이 연구는 하향식 할암 굴착공법 개량에 관한 것이므로 기존 연구와 차별화 됨.
				연계 가능		
				고도화		
				중복됨		

3.2 3-2 과제

- 공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

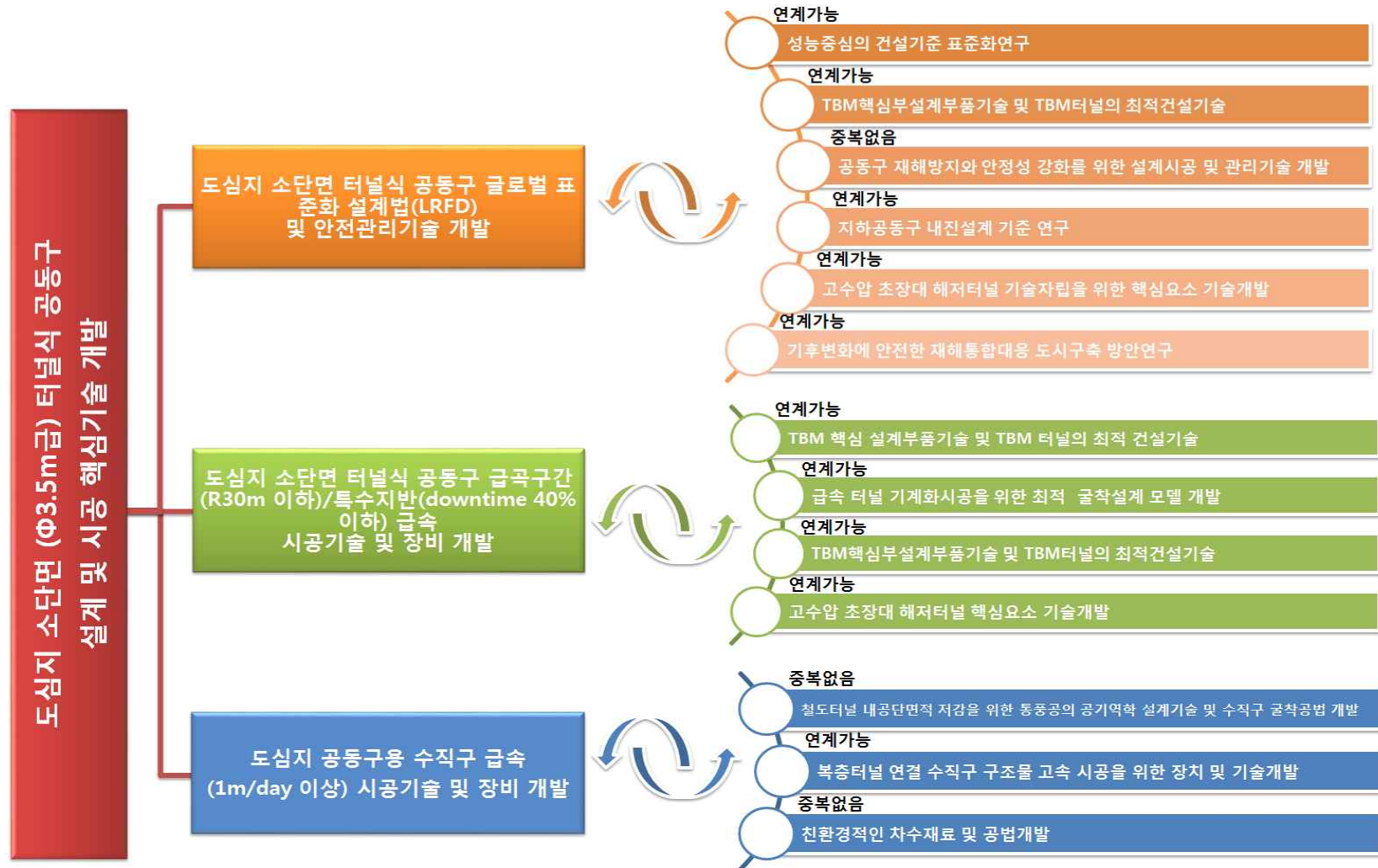
유사 과제명	발주처	수행 기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화 방안
복층터널 연결 수직구 구조물 고속 시공을 위한 장치 및 기술개발	국 토 교 통 과 학 기 술 진 흥 원	(주)하경엔지니어링	·복층터널 연결 수직구 구조물 고속 시공을 위한 장치 및 기술개발 ·하향식 슬립폼을 이용한 라이닝 고속시공 연구	중복 없음	○	· 이 연구는 가시설을 배제하고 굴착과 동시에 라이닝을 상부로부터 하부로 하향식 현타 방식으로 급속 시공하고자 하는 기술로 중복성이 없음. ·슬립폼 운용방식, 원천기술 등은 기존 연구과제의 결과를 참조 가능함,
				연계 가능	○	
				고도화		
				중복됨		

3.3 3-3 과제

- 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발

유사 과제명	발주처	수행 기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화 방안
				중복 없음	○	
친환경적인 차수재료 및 공법개 발	중 소 기 업청	제주대학 교	산업부산물을 이 용하여 pH가 낮 은 친환경 차수재 료 및 현장 적용 방법 개발	연계 가능		·기존연구는 화학제품 계열 을 활용한 연구이며 이 연구 는 미생물 기반 바이오 물질 을 사용하므로 중복성이 없 음.
				고도화		
				중복됨		

4. 세부 연구과제의 중복성 검토 종합



제 4 장



자원투입 계획



1절. 연구시설 및 장비 투입계획


1. 요구되는 연구 기자재 인프라

1.1 국내 연구 기자재 인프라

○ 본 연구를 위한 요구 시설 및 기자재 현황은 다음과 같음.

소요실험 장비	실험장비 개요	측정항목
LCM (선형절삭시험기)		암석의 선형 절삭 저항 및 변위 측정
NTNU 시험 장비 (TBM 굴진 성능 예측 시스템)		- DRI (비트 마모시험) - CLI (커터 마모시험)
대형전단시험기 및 소형전단시험기		설계정수 산정

<p>전력구 열화탐사용 Hybrid 3차원 스캐너</p>		<p>전력구 내부 열화현상 탐사</p>
<p>광복합 지중 배전 케이블 지능화 시스템</p>		<p>광복합케이블을 활용하여 케이블 온도, 부분방전 측정 감시 및 통신망 확보</p>
<p>shield-TBM Simulation System</p>	 	<p>축소지반을 조성하여 실제 굴착을 시뮬레이션 함</p> <p>Shield 터널 시공시 거동 분석 및 시공시 문제점을 사전에 검토</p>
<p>shield-TBM 절삭력 평가 System</p>		<p>비트 설계 변수인 각도, 비트 폭을 고려하여 절삭력을 평가</p> <p>다양한 지반, RPM, 추력을 에 따른 최적의 비트 각도 및 폭을 도출</p>
<p>shield-TBM 배토효율 평가 System</p>		<p>Screw 각도 및형태, Screw conveyor 각도 에 따른 배토량 측정</p> <p>배토에 따른 Chamber 내 토압 변화 측정</p>

<p>대형삼축시험기</p>		<p>응력-변형률 곡선 각종 암석 실내실험을 통한 물성치 산정</p>
<p>피로 및 강도용 만능재료 시험기</p>		<p>응력-변형률 곡선에 의한 탄 성계수 산정</p>
<p>일축압축시험기</p>		<p>응력-변형률 곡선에 의한 탄 성계수 산정</p>
<p>갱도모형시험기</p>		<p>지반 및 숯크리 상호거동 특 성 분석 하중(조절 가능) 및 변위측정 유압실린더(압력:210 kg/cm²)</p>
<p>해석 소프트웨어</p>	<p>FLAC 2D & 3D (Itasca Consulting Group, Inc.)</p>	
	<p>UDEC (Itasca Consulting Group, Inc.)</p>	
	<p>GTS NX (MIDAS Information Technology Co., Ltd.)</p>	
<p>기타 소프트웨어</p>	<p>Solidworks (Dassault Systèmes SolidWorks Corp.)</p>	

<p>NI-TB-2631B TERM BLOCK</p> <p>NI-PXI 4090</p> <p>실내실험용 토조</p>		<p>스트레인 게이지, 가속도계, 저항값 측정가능</p>
<p>센트리퓨지 시험시설</p>		<p>지반특성 평가 지반구조물 내진해석 가능 지진응답해석, 액상화 평가</p>
<p>광파기</p> <p>콘크리트테스트 햄머</p> <p>소음측정기</p> <p>초고압펌프(240HP)</p>		<p>위치 정보 획득 암석 강도 측정 소음 측정 워터젯 실험</p>
<p>콘크리트 경화강도 측정기</p>		<p>콘크리트 양생 강도 측정 압력 디지털 측정기</p>
<p>유압잭 컨트롤장치 및 유압잭</p>		<p>콘크리트 벽체 슬립폼용 유압 잭 및 컨트롤장치</p>

○ 연구기자재 인프라 투입시 고려사항

- 보편적 연구 기자재 인프라는 충분하나 본 과제 개발 기술관련 인프라가 부족함.
- 관련 개발 기술의 성능검증 시험관련 인프라가 특히 부족함.
- 제한적 연구 인프라를 극복하기 위해 시험장치 개발, 해외 인프라 활용 등 필요.

1.2 해외 협력기관 인프라

○ 해외 공동구, shield-TBM 관련 기술 보유기관은 다음과 같음.

<표 4.1> 해외 협력기관 인프라

국가명	기관명	주요 활동내용
일본	PWRI (Public Works Research Institute)	일본 건설성에서 추진하는 각종 터널/지하공간 관련 연구 개발 주도, 도시부 도로 시험주로 및 터널 형 도로 등에 대한 실물 실험 추진 등 아시아 지역의 왕성한 활동 기여 지하도로 관련해서는 일본 외곽 순환망에 대한 각종 설계/시공 기술 분야에 참여, http://www.pwri.go.jp/
	JTSC (Japan Tunnel Systems Corporation)	JFE 및 IHI의 합자회사로 일본 내 및 국내, 아시아 등에 다수의 shield-TBM 납품 실적, 동경만 해저터널(아쿠아라인) 공사 수행 실적, http://www.jp-tunnel-sys.co.jp/ JTSC와의 공동생산 협력으로 생산기술능력 확보가능하며, 향후 본 과제 수행 시 JTSC를 통하여 Design 기본 Data를 확보가능함, 주) OEM 생산을 통한 설계 Basic 기초 연구 수행
미국	CSM (Colorado School of Mines)	선형 절삭 실험, 세르샤 마모시험 및 지반 물성을 이용하여 디스크커터에 의한 TBM 굴진 성능 예측 원형 절삭 시험, 1m 이하 소형 TBM 보유 및 실험 수행
	Penn state Univ. (펜실베이니아 주립대)	TBM 사양 및 커터헤드 설계 모델을 보유하고 있으며 TBM과 관련된 각종 실무 컨설팅 수행(많은 노하우 보유) TBM의 시공리스크 및 시공기간 관리에서부터 TBM의 굴진성능 예측, 디스크 커터의 마모와 관련된 연구를 활발하게 수행하고 있음. TBM 과 관련된 유사 과제에서 연구내용 교류가 이루어진 바 있음
노르웨이	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)	커터 수명 인자(cutter life index, CLI), 굴진 성능 인자(drilling rate index, DRI) 등을 이용하여 노르웨이 암반에 대한 TBM 굴진성능 예측, 개발 기술이 공개되어 있어 해당 정보 수집 용이 TBM 설계 모델을 보유하고 있으며 유럽뿐 아니라 세계적으로 TBM 관련 최고 기술을 보유한 기관 중 하나, TBM의 성능평가와 관련된 연구를 활발하게 수행하고 있는 것으로 파악됨 TBM관련 연구과제에서 연구 교류가 이루어진 바 있음
중국	IWHR (China Institute of Water Resources & Hydropower Research)	중국 수자원부 산하 연구기관으로써 지하수 및 수자원 관련 활발한 연구를 수행하고 있음. 특히 2000년대 들어 중국에서 활발하게 추진된 TBM 관련 기술 개발에서 선단 차수 및 배수 관련 연구에 다양한 형태로 기여함. http://www.iwahr.com

○ 해외 기관의 경우 오랫동안 관련 기술이 축적되어 있으므로 필요시 기술협력 MOU 추진 등을 통한 소요기술의 조기확보 추진 검토 필요.

- 전 세계적으로 본 연구와 같은 대규모 종합적인 사업추진이 없었고, 일부 유사 기술 분야에 대해서 단편적인 연구개발이 진행되어 있었던 점을 감안하면, 향후 국제 기술 협력기반에서 우리의 역할이 우월적인 입장에서 진행될 가능성이 있음.

1.3 기술확보 전략

(1) 기술확보 전략 일반

- 기술확보 전략 내용은 다음과 같음.

구 분	추진전략
국내외 법, 제도적 요인	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제44조에 의한 공동구 설치 규정, 공동구의 설치를 제정전선공동구 설치 등에 관한 특별법안, 서울시 공동구 설치 조례를 제정 등을 바탕으로 공동구 건설 수요증가가 예상되므로 개발기술의 적용과 상용화에 유리하도록 적기에 요소기술을 확보하여 활용하여야 함.
재원 조달 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국가 R&D 연구비 및 기업부담금
사업의 장기화/연장 요인	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 글로벌설계기준/방재안전, 공동구/수직구 건설기술, 시공 장비 등의 핵심 요소기술을 개발하고, 개발된 기술 및 장비에 대해 실대형 성능검증 시험과 설계적용(10km 이상)을 통한 기술 사업화 및 상용화 추진
기술의 부정적 요인	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개발기술의 활용을 촉진하기 위해 개발기술 실용화를 위하여 실대형 성능검증 시험을 활용한 검증 시험, 설계반영 및 현장 테스트베드 적용을 통한 철저한 기술 검증 전략 수립이 반드시 필요
권리 확보 계획	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내외 특허 출원을 통한 개발기술의 선점 필요 ▪ 경제성, 효율성, 기술니즈 등을 종합적으로 고려하여 지적재산권 확보 전략 수립 필요
기 타	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 안정적인 장기 연구로 지속적인 유망 중소·중견기업의 R&D 투자확대/활성화, 중소·중견기업의 기술역량 확충 및 고유기술 확보, 실대형 성능검증 시험 사업화 및 해외공동 연구로 국제기술/학문 역량 국제화, 해외 시장 개척을 통한 글로벌 기술 사업화 등과 같은 기술경쟁력 강화 전략을 수립

(2) 실대형 현장검증 시험 및 테스트베드를 통한 기술확보의 필요성

- 일반적인 기술확보 전략과 더하여 이 연구에서는 추가적인 기술확보 전략을 기획하여 개발 기술의 상용화와 사업화 가능성을 획기적으로 높이고자 함.
- 실대형 성능검증 시험을 통한 요소기술 검증으로 개발 기술의 상용화 시기를 촉진하고 성공 가능성 향상.
- 공동구 사업기관과 공동연구를 추진하여 공동구 사업기관 현장에서의 설계반영 및 테스트베드 적용 추진을 통한 조기 사업화 가능성 향상과 사업성공 가능성 향상 추진.

2. 실대형 성능검증 시험을 통한 기술확보

2.1 실대형 성능검증 시험 개념 및 목적

- 성능 실증시험은 '도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발' 연구에서 개발된 시공기술 및 장비를 실대형 성능검증 시험을 통하여 검증하는 것을 말함.
- 기술 실증시험은 실대형 규모의 공동구 시공장비와 터널 구조물을 적용하여 현장 조건을 반영하는 지반조건에서, 개발된 기술을 적용 및 검증하는 데 그 목적이 있음.



<그림 4.1> 실대형 성능검증 시험 개념도

2.2 실대형 성능검증 시험의 필요성

- 토목구조물에 관한 기술의 경우 실험실 수준의 기술 및 모형은 실제 현장 상황을 모사하는 데 한계가 있음. 개발된 기술의 신뢰성을 확보하기 위해서는 실제 시공에 참여하여 적용성을 확인해야 함. 지금까지 공동구 관련 기술은 개발 후 곧바로 설계반영을 시도하였으나 개발환경과 다른 현장조건으로 현장적용 시 실패 위험성이 높아 기술의 실용화 확률이 떨어지고 성공까지의 기간이 연장됨.
- 건설교통분야 국가 R&D의 사업화 비율이 약 20% 로 저조한 이유는 적절한 기술의 현장 적용성 확인절차 부재 때문임. 따라서 현장 상황을 모사하는 조건에서 다양한 시험을 통하여 현장 적용시 발생할 수 있는 문제점을 해결하여 개발된 기술의 실용화 확률을 높이기 위하여 성능 실증시험의 적용이 반드시 필요함
- 현장 테스트베드는 한 현장만의 특성을 반영하므로 다양한 현장 조건을 제공하지 못하고, 현장 공정과의 간섭으로 원하는 조건으로 기술적용을 할 수 없어 다양한 현장 조건을 반영하지 못함. 충분한 실증시험을 위해서는 많은 시간과 비용이 소요되므로 불리한 측면이 있으며, 개발기술의 사업화 성공까지의 기간이 연장될 수 있음.
- 실대형 성능검증 시험은 다양한 현장조건을 반영하며, 원하는 조건에서 충분한 시험을 시도할 수 있어 다양한 문제점에 대한 개발기술의 검증과 보완이 용이하며, 시간과 비용을 충분히 단축시켜 성능 실증시험 완료 후 개발기술의 사업화가 가능함.



<그림 4.2> 실대형 성능검증 시험 및 기술 실용화

2.3 실대형 성능검증 시험 추진전략

(1) 실대형 성능검증 시험 방안

가. 해외 유사 시험시설 개요

- 중국 산둥대 Large-scale scientific test system for tunnel advanced detection (L17m x W8.4m x H6.7m) : 지구물리탐사 시험 용도



<그림 4.3> 중국 산둥대 지구물리탐사 시험시설

- 일본 시공기술총합연구소 모의터널(폭 12.4m, 높이 7.4m, 연장 80m)
 - 라이닝 구조물 유지관리 시험 등



<그림 4.4> 일본 시공기술총합연구소 모의터널

- 미국 Colorado School of Mines(CSM)의 LTBM(직경 2m)
 - 암석 굴착 모의시험, 토사지반/구속압 불가



<그림 4.5> 미국 CSM의 LTBM

나. 해외 유사 시험시설 분석결과

- 국외의 경우 터널 구조물의 시험을 위한 시설은 존재하나 현장 상황을 반영한 실험대형 터널 시공을 모사하는 시설은 없음.
- TBM 굴진 시험은 암반지반에서 굴착을 부분적으로 모사하는 시험은 수행하고 있으나 토사지반에서 현장지반의 구속압을 반영한 실험대형 시험수행 사례 없음.
- 현장의 구속압, 지반조건(토사, 암반) 등을 반영하는 실험대형 성능검증 시험은 수행 사례가 없으므로 본 과제수행으로 실험대형 성능검증 시험 기술 확보시 개발기술의 성공 가능성 증대와 더불어 대외적인 기술 우위 선점 가능성이 큼.

(2) 실험대형 성능검증 시험 추진체계 및 전략

가. 실험대형 성능검증 시험 추진계획

- 실험대형 성능검증 시험은 1차연구에서 주로 shield-TBM 시공 관련 개발기술과 수직구 시공 관련 개발기술의 성능검증에 활용 추진.
- 1차연구에서 적용후 2차연구 대단면 개착/터널식 공동구 관련 기술과 3차연구 공동구 리모델링/유지관련 기술의 성능검증에 활용.



나. 연차별 연구 추진계획

- 1차연구 시 연차별 연구 추진계획은 다음과 같음. 성능검증 시험 장소는 연구 참여기관의 현물 제공 추진이 합리적임.

구분	시험계획 및 설계		시험장치 제작 및 시험		기술 검증
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
단계	계획 및 설계	시험장치 개발	시험장치 설치	성능검증 시험	개발기술 완성
범위	<ul style="list-style-type: none"> 세부과제 요구사항 검토 지반조건 검토 (토압, 수압, 지반 등) 공동구 조건검토 (단면크기/형태 등) 	<ul style="list-style-type: none"> 시험규모선정 지반조건/장비 시공방식 검토 시험조건/시험 방식 결정 시험설계 완료 	<ul style="list-style-type: none"> 시험장치 설치 성능검증 시험장치 검/교정 	<ul style="list-style-type: none"> 개발기술 성능검증 시험 수행 	<ul style="list-style-type: none"> 개발기술 성능검증 및 개선/최적화 개발기술 완성
요구수준	15	45	75	90	100

다. 실대형 성능검증 시험의 기대효과

- 본 연구에서 개발된 기술들을 실제 공동구 현장에서 사용 시 발생할 수 있는 문제점을 사전에 예측하고 이를 보완하여 기술 완성도 향상에 크게 기여.
- 성공적인 실증실험을 통한 적기 기술사업화 가능성 향상.
- 관련 기술들의 실대형 실증실험 적용 결과를 바탕으로 국토해양부 건설신기술 인증 등에 활용할 수 있음.
- 실대형 적용을 통해 TBM 관련 실험 검증을 위한 필수적인 설비로 인정받아 추후 진행되는 다른 TBM 관련 연구에 도움이 될 것으로 기대됨.
- 2차, 3차 연구의 실증실험 수행으로 공동구 분야 기술체계 확립, 시험기관 국가공인인증기관 추진.
- 국제적인 관련 분야 지명도 향상 및 대구경 TBM 분야 기술력 향상 기여.

라. 실대형 성능검증 시험비용

- 실대형 성능검증 시험비는 시험 기자재, 지반 모니터링 및 재료비 등으로 직접비에 포함됨.

(단위 : 억원)

구 분	1차년도 (2015)		2차년도 (2016)		3차년도 (2017)		4차년도 (2018)		5차년도 (2019)		합 계	
	금 액	%	금 액	%	금 액	%	금 액	%	금 액	%	금 액	%
성능검증 시험비용	0.7	1.60	17.54	40.21	10.43	23.91	10.83	24.83	4.12	9.45	43.62	100.0

2.4 실대형 성능검증 시험 시스템 향후 활용방안

- 기존에 개발된 공동구 관련 장비 및 관련 기술의 특정현장 적용성 예측에 활용.
기 개발된 TBM 장비의 굴진성능 검증시험시 활용.
- 2/3단계 연구와 추후 개발되는 국내/외 공동구 관련 기술의 실대형 검증에 활용
될 수 있음.
- 기술표준원 한국인증기구(KOLAS, Korea Laboratory Accreditation Scheme) 인
증을 통해 공인시험기관 인증을 통한 터널 및 지반공학 전반 개발 기술의 실대형
검증시험 기술 사업화 추진 필요.



<그림 4.6> 실대형 성능검증 시험 시스템 활용방안

3. 테스트베드를 통한 기술확보 전략

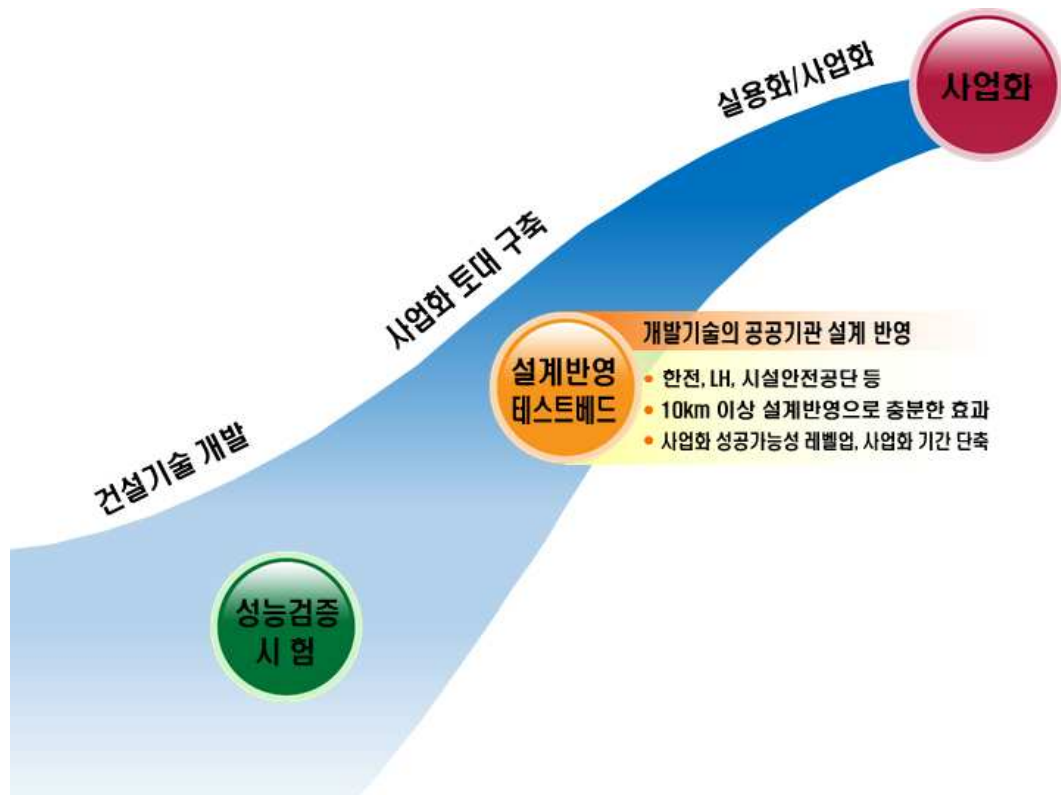
3.1 설계반영 및 현장적용 개요

(1) 설계반영 및 현장적용 개념과 목적

- 설계반영 및 테스트베드 적용은 ‘민원저감형 도심지 소단면 터널식 공동구 건설기술 개발’연구에서 개발된 시공기술 및 장비를 공동구 시공, 활용, 관리 주체 (한전, LH, 한국통신, 가스공사, 지역난방공사, 지자체, 시설안전공단)의 현장에 대한 기술을 적용하는 것을 말함.
- 설계반영 및 테스트베드 적용은 연구 성과로 개발된 공동구 시공기술과 장비를 공동구 관련 사업 현장적용을 통하여, 실험실 실증실험 수행으로 검증된 기술을 사업화하기 위한 토대를 구축하는데 그 목적이 있음.

(2) 설계반영 및 현장적용 적용의 필요성

- 공동구는 국가기간시설 중의 하나이므로 공동구 시공, 활용, 관리 주체가 공공 사업기관 또는 지자체이며, 개발기술을 사업화하려면 해당 공공기관의 사업에 반영하여야 함.
- 그러나 민간사업과 달리 공공기관의 사업에 기술을 실시하는 것은 많은 절차와 노력이 필요하여 사업화 까지 오랜 기간이 소요될 수도 있음.
- 따라서 개발기술의 사업화 가능성을 높이고 사업화 기간을 단축시키려면 ‘도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 핵심기술 개발’연구에 공동구 시공, 활용, 관리 주체(한전, LH, 한국통신, 가스공사, 지역난방공사, 지자체, 시설안전공단) 참여를 유도하고, 참여기관으로 하여금 해당사업의 현장 적용에 반영하도록 추진하는 것이 반드시 필요함.



(3) 테스트베드 비용

- 전체 공동구 연장 중 일부만 시공 후 장비 교체가 불가능한 공동구 TBM과 수직구 시공장비 특성상 테스트베드 적용은 전 구간에 적용하여야 함. 이 경우 테스트베드 비용이 연구비에 비해 상대적으로 과중하여 실현성이 작으므로 현장 수주 등을 통한 테스트베드 적용 전략 수립이 필요.
- 테스트베드 비용은 현장 수주 적용 시 현장 특성에 따른 장비 개조(단면 등) 및 기타 부대비용 발생, 비 수주시 일부구간 실시 가능한 기술의 적용을 고려하여 다음과 같이 계상함.

(단위 : 억원)

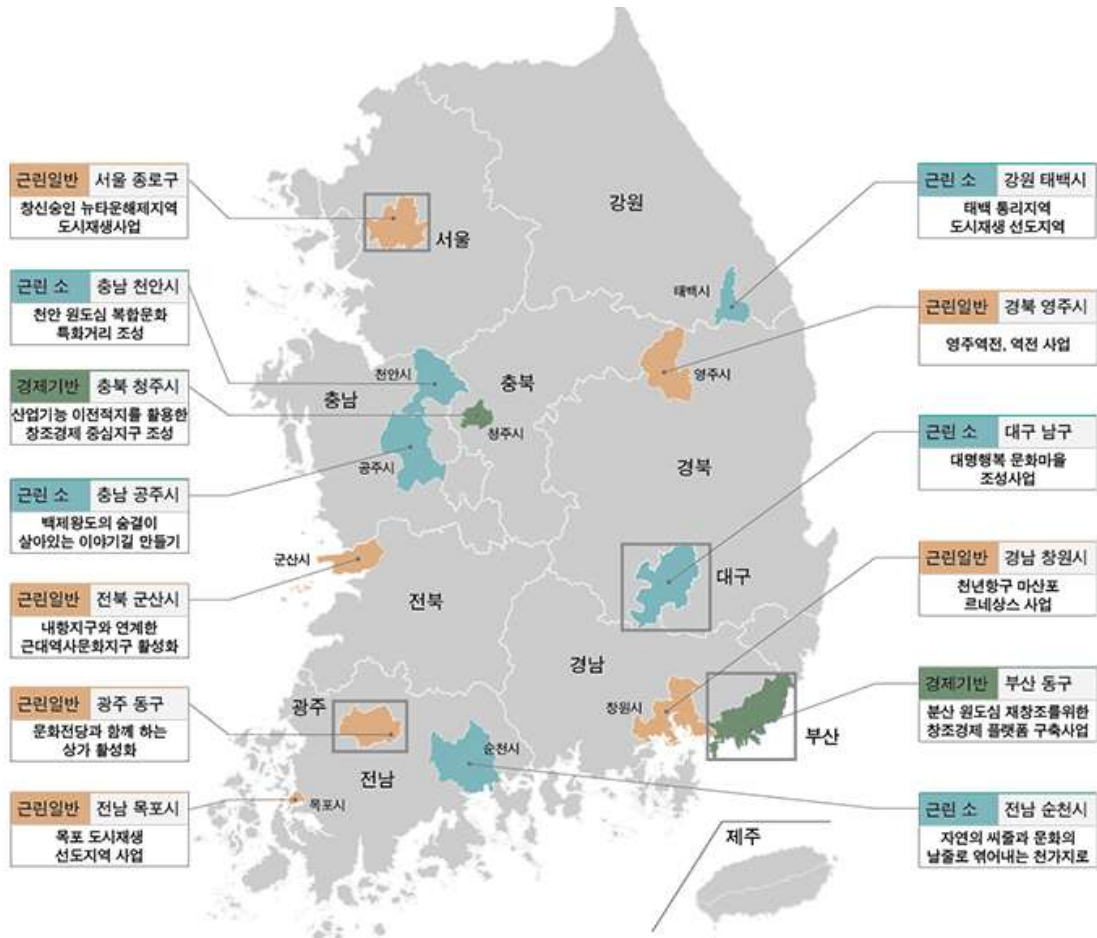
구 분	1차년도 (2015)		2차년도 (2016)		3차년도 (2017)		4차년도 (2018)		5차년도 (2019)		합 계	
	금 액	%	금 액	%	금 액	%	금 액	%	금 액	%	금 액	%
테스트베드 비용	-	-	-	-	-	-	3.0	31.8	6.44	68.2	9.44	100.0

(4) 테스트베드 후보지

- 공동구는 국가기간시설 중의 하나이므로 공동구 시공, 활용, 관리 주체가 공공 사

업을 주도하는 특성이 있음.

- LH공사에서는 상향식 도시재생의 취지를 살리기 위하여 공모방식으로 진행하여 총 86개의 지원 지역중에서 13개의 도시재생 선도지역¹⁾을 (2014년 기준)을 선정하였음.



<그림 4.7> 도시재생 선도지역 지정현황(<http://www.city.go.kr/index.do>)

- 현재 진행중인 도시재생 선도지역 중 서울, 부산, 순천에서 하수관거 정비 및 신설공사가 아래와 같이 진행중이며 본 연구의 결과가 일부 활용될 것으로 기대됨.
- 국토교통부는 신성장동력 확충일환으로 노후산단 재정비, 도시첨단산단조성, 미니 복합타운 조성 등을 위해 공동구의 건설이 예상되며 생활인프라 조성을 위해 광역 상수도 건설 등을 추진하고 있는바 지속가능한 공동구 건설은 도시의 경쟁력과 맞물려 활발하게 진행될 것으로 예상됨. 현재 2016년 ‘도시재생사업 일반지역’과 ‘도시활력증진 지역개발사업’ 지구선정을 위한 공모가 진행중이며 선정된 지역은 본

1) 도시재생을 긴급하고 효과적으로 실시하여야 할 필요가 있고 주변지역에 대한 파급효과가 큰 지역으로, 국가와 지방자치단체의 시책을 중점 시행함으로써 도시재생 활성화를 도모하는 지역을 말한다.(※ 도시재생특별법 제1장 총칙 2조 8항, 제6장 도시재생선도지역 33조, 34조)

연구의 본격적인 테스트베드로 활용이 시기적으로 가능할 것으로 판단됨.

<표 4.2> 서울, 부산, 순천의 하수관거 정비사업

1) 서울 창신·송인 뉴타운해제지역 도시재생사업					
① 도시재생사업 개요					
지자체	서울특별시	사업유형	근린재생형(일반규모)		
사업명	창신·송인 뉴타운해제지역 도시재생사업				
사업위치 및 면적	서울시 종로구 송인1동, 창신 1,2,3동 일원 / 830,130㎡				
사업비	459.4억원(국비 125.4억원, 지방비 334.0억원)				
② 종로 하수관로 정비사업					
사업유형	사업명	사업내용	사업기간	주관기관	
마중물사업	종로 302 하수관로 정비	<ul style="list-style-type: none"> 하수관로 정비, 통수능력 향상 D=300~1,500mm, L=37km 	2014~2017	서울특별시 물재생계획과	
2) 부산 원도심 재창조를 위한 창조경제 플랫폼 구축사업					
① 도시재생사업 개요					
지자체	부산광역시	사업유형	도시경제기반형		
사업명	부산 원도심 재창조를 위한 창조경제 플랫폼 구축사업				
사업위치 및 면적	부산시 동구 초량동 1, 2, 3, 6동 일원 / 3.12km ²				
사업비	2,952억원(국비 502억원, 지방비 1,048억원, 민간 1,402억원)				
② 오수관거 신설사업					
사업유형	사업명	사업내용	사업비	사업기간	주관기관
지자체사업	초량동 일원 오수관거 신설	<ul style="list-style-type: none"> 오수관거 설치 L=2,225m(φ200~400mm) 	20억	2013~2015	부산광역시 (생활하수과)
3) 전남 순천의 도시재생 사업					
① 도시재생사업 개요					
지자체	전라남도 순천시	사업유형	근린재생형(소규모)		
사업명	자연의 씨줄과 문화의 날줄로 엮어내는 천가지로				
사업위치 및 면적	전남 순천시 향동,중앙동 일원 / 0.38km ²				
사업비	1,480억원(국비 176억원, 지방비 484억원, 민자 820억원)				
② 원도심 하수관거 정비사업					
사업유형	사업명	사업내용	사업비	사업기간	주관기관
민간사업	원도심 하수관거 정비	<ul style="list-style-type: none"> 관로(L=114km), 배수설비(4,713가구), 하수저류시설 정비 	778억	2014~2017	순천시

- 한국전력에서는 아래와 같은 프로젝트가 2015년부터 시행될 예정이므로 아래와 같은 전력구 현장을 테스트베드 후보지로 추천할 수 있음.

전력구 사업명	사업비	사업소
포천지역 전기공급시설 전력구공사(용정분기) 2차	33,838	경인건설처
당진 ~ 평택지역 전기공급시설 전력구공사(해저터널)	70,580	중부건설처
전주 덕진지역 전기공급시설 전력구공사(송천-태평)	17,458	중부건설처
전주 덕진지역 전기공급시설 전력구공사(송천-서곡)	16,192	중부건설처

3.2 설계반영 및 테스트베드 적용 추진체계



2절. 연구일정에 따른 인력투입 계획

1. 연차별 투입 연구인력

(단위 : 명)

세부과제		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
총괄		28	134	139	137	119	557
1세부	1-1	7	25	25	26	15	98
	1-2	2	8	8	8	4	30
	1-3	0	8	8	6	6	28
	계	9	41	41	40	25	156
2세부	2-1	5	10	10	10	11	46
	2-2	7	24	27	25	24	107
	2-3	0	27	28	28	28	111
	계	12	61	65	63	63	264
3세부	3-1	5	16	16	16	18	71
	3-2	0	10	11	12	7	40
	3-3	2	6	6	6	6	26
	계	7	32	33	34	31	137

2. 상세 투입연구인력

2.1 총 투입연구인력

분류	총 개발인력(명)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
책임연구원	9	24	24	25	21	103
연구원	15	68	72	68	62	285
연구보조원	4	33	35	34	32	138
보조원	0	9	8	10	4	31
합계	28	134	139	137	119	557

2.2 세부과제 투입 연구인력

(1) 1세부과제

○ 과제총괄

분류	총 개발인력(명)					계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
책임연구원	4	9	9	10	6	38
연구원	5	22	22	20	14	83
연구보조원	0	6	6	6	5	23
보조원	0	4	4	4	0	12
합계	9	41	41	40	25	156

○ 1-1 과제

분류	총 개발인력(명)					계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
책임연구원	3	5	5	6	3	22
연구원	4	11	11	11	8	45
연구보조원	0	5	5	5	4	19
보조원	0	4	4	4	0	12
합계	7	25	25	26	15	98

○ 1-2 과제

분류	총 개발인력(명)					계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
책임연구원	1	2	2	2	1	8
연구원	1	6	6	6	3	22
연구보조원	0	0	0	0	0	0
보조원	0	0	0	0	0	0
합계	2	8	8	8	4	30

○ 1-3 과제

분류	총 개발인력(명)					계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
책임연구원	0	2	2	2	2	8
연구원	0	5	5	3	3	16
연구보조원	0	1	1	1	1	4
보조원	0	0	0	0	0	0
합계	0	8	8	6	6	28

(2) 2세부과제

○ 과제총괄

분류	총 개발인력(명)					계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
책임연구원	3	9	9	9	9	39
연구원	7	31	35	33	33	139
연구보조원	2	18	18	18	18	74
보조원	0	3	3	3	3	12
합계	12	61	65	63	63	264

○ 2-1 과제

분류	총 개발인력(명)					계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
책임연구원	1	1	1	1	1	5
연구원	4	6	6	6	7	29
연구보조원	0	3	3	3	3	12
보조원	0	0	0	0	0	0
합계	5	10	10	10	11	46

○ 2-2 과제

분류	총 개발인력(명)					계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
책임연구원	2	3	3	3	3	14
연구원	3	11	14	12	11	51
연구보조원	2	9	9	9	9	38
보조원	0	1	1	1	1	4
합계	7	24	27	25	24	107

○ 2-3 과제

분류	총 개발인력(명)					계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
책임연구원	0	5	5	5	5	20
연구원	0	14	15	15	15	59
연구보조원	0	6	6	6	6	24
보조원	0	2	2	2	2	8
합계	0	27	28	28	28	111

(3) 3세부과제

○ 과제총괄

분류	총 개발인력(명)					계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
책임연구원	2	6	6	6	6	26
연구원	3	15	15	15	15	63
연구보조원	2	9	11	10	9	41
보조원	0	2	1	3	1	7
합계	7	32	33	34	31	137

○ 3-1 과제

분류	총 개발인력(명)					계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
책임연구원	1	2	2	2	2	9
연구원	2	8	8	8	9	35
연구보조원	2	6	6	6	7	27
보조원	0	0	0	0	0	0
합계	5	16	16	16	18	71

○ 3-2 과제

분류	총 개발인력(명)					계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
책임연구원	0	2	2	2	2	8
연구원	0	4	4	4	3	15
연구보조원	0	2	4	3	1	10
보조원	0	2	1	3	1	7
합계	0	10	11	12	7	44

○ 3-3 과제

분류	총 개발인력(명)					계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
책임연구원	1	2	2	2	2	9
연구원	1	3	3	3	3	13
연구보조원	0	1	1	1	1	4
보조원	0	0	0	0	0	0
합계	2	6	6	6	6	26

3절. 소요예산 산정

1. 연구단과제 소요예산

(단위 : 백만원)

과제명	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
연구단 총괄	481	162	5,183	1,732	5,760	1,923	4,704	1,570	3,072	1,028	19,200	6,415
1세부과제	109	37	819	275	1,026	343	932	312	764	256	3,650	1,223
·1-1	69	23	454	152	525	175	487	163	391	131	1,926	644
·1-2	40	14	226	76	305	102	259	87	206	69	1,036	348
·1-3	0	0	139	47	196	66	186	62	167	56	688	231
2세부과제	190	64	3,004	1,002	3,227	1,077	2,332	778	1,127	377	9,880	3,298
·2-1	65	22	1,281	427	1,704	568	879	293	323	108	4,252	1,418
·2-2	125	42	1,419	473	1,171	391	1,121	374	638	213	4,474	1,493
·2-3	0	0	304	102	352	118	332	111	166	56	1,154	387
3세부과제	182	61	1,360	455	1,507	503	1,440	480	1,181	395	5,670	1,894
·3-1	162	54	850	284	869	290	840	280	727	243	3,448	1,151
·3-2	0	0	260	87	288	96	240	80	154	52	942	315
·3-3	20	7	250	84	350	117	360	120	300	100	1,280	428

2. 예산항목별 소요예산

2.1 연구단 총괄

(단위 : 천원)

예산항목	세부항목	구분					소계	비율 (%)
		1차년도 인원×참여율/100	2차년도 인원×참여율/100	3차년도 인원×참여율/100	4차년도 인원×참여율/100	5차년도 인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	73,300	402,000	438,000	380,000	283,000	1,576,300	6.15%
	연구원	104,150	1,204,480	1,439,050	1,106,300	771,810	4,625,790	18.06%
	연구보조원	14,000	356,800	420,200	356,980	183,000	1,330,980	5.20%
	보조원	0	75,000	67,000	77,000	21,000	240,000	0.94%
소계		191,450	2,038,280	2,364,250	1,920,280	1,258,810	7,773,070	30.35%
직접비	연구장비/재료비	171,850	2,962,090	2,836,640	2,386,800	1,401,138	9,758,518	38.10%
	연구활동비	44,890	166,740	327,610	226,360	211,930	977,530	3.82%
	연구과제추진비	62,120	201,400	367,360	276,780	221,580	1,129,240	4.41%
	위탁연구개발비	44,720	144,080	254,250	181,360	175,060	799,470	3.12%
	연구수당	38,830	442,910	478,210	417,860	268,362	1,646,172	6.43%
소계		362,410	3,917,220	4,264,070	3,489,160	2,278,070	14,310,930	55.87%
간접비		89,140	959,500	1,054,680	864,560	563,120	3,531,000	13.78%
합계		643,000	6,915,000	7,683,000	6,274,000	4,100,000	25,615,000	100.00%

2.2 세부과제 소요예산

(1) 1세부과제

(단위 : 천원)

예산항목	세부항목	구분					소계	비율 (%)
		1차년도 인원×참여율/100	2차년도 인원×참여율/100	3차년도 인원×참여율/100	4차년도 인원×참여율/100	5차년도 인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	31,300	91,000	138,000	132,000	105,000	497,300	10.21%
	연구원	33,000	331,600	401,050	355,300	317,100	1,438,050	29.51%
	연구보조원	0	40,000	45,000	40,000	37,000	162,000	3.32%
	보조원	0	22,000	22,000	22,000	0	66,000	1.35%
소계		64,300	484,600	606,050	549,300	459,100	2,163,350	44.39%
직접비	연구장비/재료비	17,010	138,320	163,080	155,400	129,920	603,730	12.39%
	연구활동비	9,720	69,040	93,400	80,520	61,240	313,920	6.44%
	연구과제추진비	14,580	90,780	132,340	109,200	85,360	432,260	8.87%
	위탁연구개발비	7,430	53,600	66,260	59,560	46,240	233,090	4.78%
	연구수당	13,400	101,340	121,210	114,860	94,420	445,230	9.14%
소계		62,140	453,080	576,290	519,540	417,180	2,028,230	41.62%
간접비		19,560	156,320	186,660	175,160	143,720	681,420	13.98%
합계		146,000	1,094,000	1,369,000	1,244,000	1,020,000	4,873,000	100.00%

○ 1-1 과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
		인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	20,000	40,000	66,000	77,600	52,000	255,600	9.95%
	연구원	20,000	170,500	179,500	149,900	153,000	672,900	26.18%
	연구보조원	0	32,500	37,500	32,500	30,000	132,500	5.16%
	보조원	0	22,000	22,000	22,000	0	66,000	2.57%
소계		40,000	265,000	305,000	282,000	235,000	1,127,000	43.85%
직접비	연구장비/ 재료비	10,800	75,700	86,700	80,300	64,700	318,200	12.38%
	연구활동비	6,100	36,500	44,200	40,800	30,500	158,100	6.15%
	연구과제 추진비	9,800	50,800	73,400	60,000	43,800	237,800	9.25%
	위탁연구 개발비	4,900	32,400	36,700	33,500	24,400	131,900	5.13%
	연구수당	8,400	57,600	61,000	61,400	49,600	238,000	9.26%
소계		40,000	253,000	302,000	276,000	213,000	1,084,000	42.18%
간접비		12,000	88,000	93,000	92,000	74,000	359,000	13.97%
합계		92,000	606,000	700,000	650,000	522,000	2,570,000	100.00%

○ 1-2 과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
		인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	11,300	32,000	41,000	27,000	20,000	131,300	9.49%
	연구원	13,000	103,900	142,150	128,700	103,750	491,500	35.51%
	연구보조원	0	0	0	0	0	0	0.00%
	보조원	0	0	0	0	0	0	0.00%
소계		24,300	135,900	183,150	155,700	123,750	622,800	45.00%
직접비	연구장비/ 재료비	6,210	36,900	42,800	41,500	33,600	161,010	11.63%
	연구활동비	3,620	18,300	29,140	21,520	15,500	88,080	6.36%
	연구과제 추진비	4,780	26,820	38,900	30,800	25,500	126,800	9.16%
	위탁연구 개발비	2,530	14,800	19,400	16,900	13,400	67,030	4.84%
	연구수당	5,000	27,000	36,630	31,140	24,750	124,520	9.00%
소계		22,140	123,820	166,870	141,860	112,750	567,440	41.00%
간접비		7,560	42,280	56,980	48,440	38,500	193,760	14.00%
합계		54,000	302,000	407,000	346,000	275,000	1,384,000	100.00%

○ 1-3 과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
		인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	0	19,000	31,000	27,400	33,000	110,400	12.01%
	연구원	0	57,200	79,400	76,700	60,350	273,650	29.78%
	연구보조원	0	7,500	7,500	7,500	7,000	29,500	3.21%
	보조원	0	0	0	0	0	0	0.00%
소계		0	83,700	117,900	111,600	100,350	413,550	45.00%
직접비	연구장비/ 재료비	0	25,720	33,580	33,600	31,620	124,520	13.55%
	연구활동비	0	14,240	20,060	18,200	15,240	67,740	7.37%
	연구과제 추진비	0	13,160	20,040	18,400	16,060	67,660	7.36%
	위탁연구 개발비	0	6,400	10,160	9,160	8,440	34,160	3.72%
	연구수당	0	16,740	23,580	22,320	20,070	82,710	9.00%
소계		0	76,260	107,420	101,680	91,430	376,790	41.00%
간접비		0	26,040	36,680	34,720	31,220	128,660	14.00%
합계		0	186,000	262,000	248,000	223,000	919,000	100.00%

(2) 2세부과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
		인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	25,000	245,000	236,000	182,000	112,000	800,000	6.07%
	연구원	44,150	715,880	826,000	553,000	289,710	2,428,740	18.43%
	연구보조원	7,000	269,800	304,200	237,980	86,000	904,980	6.87%
	보조원	0	42,000	40,000	38,000	16,000	136,000	1.03%
소계		76,150	1,272,680	1,406,200	1,010,980	503,710	4,269,720	32.40%
직접비	연구장비/ 재료비	55,520	1,712,160	1,438,320	1,242,720	534,708	4,983,428	37.82%
	연구활동비	20,500	60,400	200,810	58,430	48,560	388,700	2.95%
	연구과제 추진비	29,500	73,070	203,020	76,740	42,390	424,720	3.22%
	위탁연구 개발비	21,540	53,480	159,170	54,730	49,330	338,250	2.57%
	연구수당	15,230	273,370	293,600	231,000	114,742	927,942	7.04%
소계		142,290	2,172,480	2,294,920	1,663,620	789,730	7,063,040	53.60%
간접비		35,560	560,840	602,880	435,400	210,560	1,845,240	14.00%
합계		254,000	4,006,000	4,304,000	3,110,000	1,504,000	13,178,000	100.00%

○ 2-1 과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
		인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	10,000	101,400	100,000	90,700	30,000	332,100	5.86%
	연구원	23,150	284,480	537,000	196,300	81,710	1,122,640	19.80%
	연구보조원	0	142,000	140,000	101,000	20,000	403,000	7.11%
	보조원	0	0	0	0	0	0	0.00%
소계		33,150	527,880	777,000	388,000	131,710	1,857,740	32.76%
직접비	연구장비/ 재료비	15,000	742,160	573,320	452,280	172,608	1,955,368	34.49%
	연구활동비	5,500	31,000	158,200	17,500	10,260	222,460	3.92%
	연구과제 추진비	9,000	37,930	170,000	19,540	10,110	246,580	4.35%
	위탁연구 개발비	5,540	24,340	120,000	22,000	10,630	182,510	3.22%
	연구수당	6,630	105,570	155,400	108,600	35,342	411,542	7.26%
소계		41,670	941,000	1,176,920	619,920	238,950	3,018,460	53.24%
간접비		12,180	239,120	318,080	164,080	60,340	793,800	14.00%
합계		87,000	1,708,000	2,272,000	1,172,000	431,000	5,670,000	100.00%

○ 2-2 과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
		인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	15,000	131,200	80,000	74,800	62,000	363,000	6.08%
	연구원	21,000	351,000	227,000	294,200	167,000	1,060,200	17.77%
	연구보조원	7,000	100,800	138,000	97,000	54,000	396,800	6.65%
	보조원	0	28,000	28,000	22,000	10,000	88,000	1.47%
소계		43,000	611,000	473,000	488,000	293,000	1,908,000	31.98%
직접비	연구장비/ 재료비	40,520	820,000	650,000	653,700	300,000	2,464,220	41.30%
	연구활동비	15,000	19,360	32,000	15,700	24,200	106,260	1.78%
	연구과제 추진비	20,500	19,920	23,160	20,000	22,060	105,640	1.77%
	위탁연구 개발비	16,000	18,040	30,000	17,700	29,000	110,740	1.86%
	연구수당	8,600	138,800	134,840	90,600	63,600	436,440	7.31%
소계		100,620	1,016,120	870,000	797,700	438,860	3,223,300	54.02%
간접비		23,380	264,880	219,000	209,300	119,140	835,700	14.01%
합계		167,000	1,892,000	1,562,000	1,495,000	851,000	5,967,000	100.00%

○ 2-3 과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
		인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	0	12,400	56,000	16,500	20,000	104,900	6.81%
	연구원	0	80,400	62,000	62,500	41,000	245,900	15.96%
	연구보조원	0	27,000	26,200	39,980	12,000	105,180	6.83%
	보조원	0	14,000	12,000	16,000	6,000	48,000	3.11%
	소계	0	133,800	156,200	134,980	79,000	503,980	32.70%
직접비	연구장비/ 재료비	0	150,000	215,000	136,740	62,100	563,840	36.59%
	연구활동비	0	10,040	10,610	25,230	14,100	59,980	3.89%
	연구과제 추진비	0	15,220	9,860	37,200	10,220	72,500	4.70%
	위탁연구 개발비	0	11,100	9,170	15,030	9,700	45,000	2.92%
	연구수당	0	29,000	3,360	31,800	15,800	79,960	5.19%
소계	0	215,360	248,000	246,000	111,920	821,280	53.30%	
간접비	0	56,840	65,800	62,020	31,080	215,740	14.00%	
합계	0	406,000	470,000	443,000	222,000	1,541,000	100.00%	

(3) 3세부과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
		인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	17,000	66,000	64,000	66,000	66,000	279,000	3.69%
	연구원	27,000	157,000	212,000	198,000	165,000	759,000	10.03%
	연구보조원	7,000	47,000	71,000	79,000	60,000	264,000	3.49%
	보조원	0	11,000	5,000	17,000	5,000	38,000	0.50%
	소계	51,000	281,000	352,000	360,000	296,000	1,340,000	17.72%
직접비	연구장비/ 재료비	99,320	1,111,610	1,235,240	988,680	736,510	4,171,360	55.15%
	연구활동비	14,670	37,300	33,400	87,410	102,130	274,910	3.63%
	연구과제 추진비	18,040	37,550	32,000	90,840	93,830	272,260	3.60%
	위탁연구 개발비	15,750	37,000	28,820	67,070	79,490	228,130	3.02%
	연구수당	10,200	68,200	63,400	72,000	59,200	273,000	3.61%
소계	157,980	1,291,660	1,392,860	1,306,000	1,071,160	5,219,660	69.01%	
간접비	34,020	242,340	265,140	254,000	208,840	1,004,340	13.28%	
합계	243,000	1,815,000	2,010,000	1,920,000	1,576,000	7,564,000	100.00%	

○ 3-1 과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
		인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	14,000	22,000	22,000	23,000	22,000	103,000	2.24%
	연구원	24,000	103,500	152,000	148,000	109,000	536,500	11.67%
	연구보조원	7,000	23,500	43,000	37,000	50,000	160,500	3.49%
	보조원	0	0	0	0	0	0	0.00%
소계		45,000	149,000	217,000	208,000	181,000	800,000	17.40%
직접비	연구장비/ 재료비	92,960	753,100	715,000	654,200	568,850	2,784,110	60.54%
	연구활동비	10,370	13,100	12,200	28,100	20,950	84,720	1.84%
	연구과제 추진비	14,000	15,000	11,000	27,100	20,000	87,100	1.89%
	위탁연구 개발비	14,430	15,000	14,400	19,000	19,000	81,830	1.78%
	연구수당	9,000	41,800	43,400	41,600	36,200	172,000	3.74%
소계		140,760	838,000	796,000	770,000	665,000	3,209,760	69.79%
간접비		30,240	147,000	146,000	142,000	124,000	589,240	12.81%
합계		216,000	1,134,000	1,159,000	1,120,000	970,000	4,599,000	100.00%

○ 3-2 과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
		인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	0	22,000	22,000	21,000	15,000	80,000	6.36%
	연구원	0	29,300	40,000	20,000	15,000	104,300	8.30%
	연구보조원	0	6,700	8,000	4,000	5,000	23,700	1.89%
	보조원	0	11,000	5,000	17,000	5,000	38,000	3.02%
소계		0	69,000	75,000	62,000	40,000	246,000	19.57%
직접비	연구장비/ 재료비	0	179,620	200,240	132,500	75,160	587,520	46.74%
	연구활동비	0	12,000	15,000	24,000	31,000	82,000	6.52%
	연구과제 추진비	0	10,000	14,000	23,300	12,000	59,300	4.72%
	위탁연구 개발비	0	14,000	11,000	21,000	11,000	57,000	4.53%
	연구수당	0	13,800	15,000	12,400	8,000	49,200	3.91%
소계		0	229,420	255,240	213,200	137,160	835,020	66.43%
간접비		0	48,580	53,760	44,800	28,840	175,980	14.00%
합계		0	347,000	384,000	320,000	206,000	1,257,000	100.00%

○ 3-3 과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
		인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	3,000	22,000	20,000	22,000	29,000	96,000	5.62%
	연구원	3,000	24,200	20,000	30,000	41,000	118,200	6.92%
	연구보조원	0	16,800	20,000	38,000	5,000	79,800	4.67%
	보조원	0	0	0	0	0	0	0.00%
소계		6,000	63,000	60,000	90,000	75,000	294,000	17.21%
직접비	연구장비/ 재료비	6,360	178,890	320,000	201,980	92,500	799,730	46.82%
	연구활동비	4,300	12,200	6,200	35,310	50,180	108,190	6.33%
	연구과제 추진비	4,040	12,550	7,000	40,440	61,830	125,860	7.37%
	위탁연구 개발비	1,320	8,000	3,420	27,070	49,490	89,300	5.23%
	연구수당	1,200	12,600	5,000	18,000	15,000	51,800	3.03%
소계		17,220	224,240	341,620	322,800	269,000	1,174,880	68.79%
간접비		3,780	46,760	65,380	67,200	56,000	239,120	14.00%
합계		27,000	334,000	467,000	480,000	400,000	1,708,000	100.00%

※ 인건비 단가(백만원/년/명) :

책임연구원 73.39, 연구원 56.28, 연구보조원 37.62, 보조원 28.22

2.3 직접비중 주요 연구장비 및 재료비 산정 근거

(단위 : 억원)

2-1	항 목	내 역	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	성능검증비		0.7	8.8	5.3	5.5	2.1
합계			0.7	8.8	5.3	5.5	2.1

2-2	항 목	내 역	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	초기 시제품(본체프레임 일부)			2.50			
	수정 시제품(본체 프레임 전체)				5.50		
	programmable logic controller, PLC				3.00		
	유압유닛 (유압펌프, 모터, 밸브 등)			3.00	1.50		
	제어시스템(동력반, 조작반)			3.00			
소계				8.50	10.00		
	성능검증비			8.74	5.13	5.33	2.02
합계				17.24	15.13	5.33	2.02

(단위 : 억원)

2-3	항 목	내 역	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	특수시공장비 prototype			1.50			
	유압펌프, 모터			1.00			
	밸브 및 구성품류			1.00	2.50		
	특수시공장비 시제품 (스크류컨베이어 시스템)				3.00		
합계				3.50	5.50		

3-1	항 목	내 역	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	Pump(3000bar, 77l/min)	3.1억/대		3.10	-		
	핵심장비 prototype			0.90			
	굴착장비 시제품(직경4m급)				2.30		
	에어 콤프레셔 (18k, CFM 1070) 임대	500만/월 x 6월		0.30	0.90		
	실내시험 재료비(암석)	6만/개(30x30x30 cm)		0.06	0.30		
	유압유닛(유압 팩/모터)			0.07	0.44		
	제어시스템	외주			1.00		
	경유	300l/day x 1250원 x 3월		0.34	0.34		
합계				4.76	5.28		

3-2	항 목	내 역	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	가설장치 prototype (하향식성형/유압/연결장치)	2.5억/1set		2.50			
	재료비(브라켓 및 고정장치, 콘크리트, 철근등)			3.10			
	가설장치 시제품 (하향식성형/유압/연결장치)	7.1억/8set		2.00	5.10		
합계				7.60	5.10		

3-3	항 목	내 역	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	차수장치 정착용 라이닝 Collar모듈				1.50		
	터널 부착부 차수기구 접합 모듈				1.50		
	수직구 부착부 차수기구 접합 모듈				1.50		
	성형 차수재				0.50		
	비시멘트계열 바이오 친환경 차수재(젤란)	20만/kg x 100kg			0.20		
	차수 시험용 토조	1m x 1m x 1m			0.10		
합계					5.30		

제 5 장

과제공모 방안

1절. 과제제안 요구서

1. 연구단 RFP

연구개발과제명	도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 고도화 - 도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리 기술 개발 - 도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/ 특수지반 (시공 downtime 40% 이하) 급속시공기술 및 장비 개발 - 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>□ 연구개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 공동구 관련 법률, 정책 등으로 인해 향후 공동구 건설시장이 급성장할 것으로 전망 - 향후 10년간 총 6조 2,163억원(물가상승 제외)의 시장 예상 <ul style="list-style-type: none"> ※ ('00년 이전) 주로 상수, 전력, 통신시설 등에 대한 단독구 조합 형태 ※ ('00년 이후) 송도, 세종시 등 신도시를 중심으로 난방, 중수, 가스 등이 포함된 복합적인 공동구 구축 </div> <div style="border: 1px dotted black; padding: 5px; margin-top: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 시행령 개정('10.06) <ul style="list-style-type: none"> - 200만㎡를 초과하는 택지개발사업 지역 등에 공동구 설치 의무화 ◆ 「전선공동구 설치 등에 관한 특별법안」 발의('13.07, 국회 계류중) <ul style="list-style-type: none"> - 배전/통신 선로 등 지상전선을 지하에 공동 수용 위해 전선공동구 도입 - 체계적인 전선공동구 설치를 통한 지상전선 지중화를 위해 국토부장관이 10년 단위 기본계획, 시도지사는 5년 단위 실행계획 수립 ◆ 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」 개정('13.11) <ul style="list-style-type: none"> - 공중에 위해를 끼칠 우려가 큰 공공시설물로 관리주체가 명확한 공동구, 소규모 터널 등을 2종 시설물에 신규 편입 ◆ 「서울특별시 공동구 설치 및 점용료 등 징수조례」 통과('13.12) <ul style="list-style-type: none"> - 지하철공사 등 도로굴착이나 도로확장을 위한 공사 시행시 공동구 지중화 사업 병행 </div>

- 특히, 우리나라의 경우 가공 배전선로 지중화율이 매우 낮은 수준으로, 지중화 공사 확대 고려시 소단면 터널식 공동구는 급격한 시장증가가 예상
 - 도심지 내 잦은 개착으로 인한 주민 민원, 기존 지중구조물의 밀집 등으로 인해 터널식 공동구 건설연장이 꾸준히 증가 추세
 - ※ 국내외 대도시 지중화율('05년 기준) : 서울 52.4%, 런던·파리 100%, 뉴욕 72.2%, 동경 86.3%
 - ※ 국내 공동구 연장 : ('05) 140.6km, ('09) 163.4km, ('13) 275.5km
- 소단면 공동구 건설기술 분야 기술수준은 프랑스, 영국, 일본 등 기술선진국 대비 평균 53.2%, 최고기술 보유국 대비 기술격차는 56개월(4.7년) 수준에 불과한 실정
- 현행 『공동구 설계기준』('10.02)은 허용응력/강도설계법으로 되어 있어, 다양한 공동구 수용시설, 지반/지상조건 등 각종 설계요소 반영이 불가능하고 과다설계되는 경향이 있어 공사비용 증대 유발
 - 또한, 개착식 박스구조물을 주대상으로 함에 따라 비개착식(터널식) 공동구에 적용하기에는 한계
 - 세계적 추세인 성능중심의 터널식 공동구 설계·시공이 가능하고 보다 경제적인 한계상태설계법(LRFD, Load-Resistance Factor Desin) 확보 및 기준 반영 필요
 - ※ (유럽) Eurocode 7('94), (미국) AASHTO LRFD('94), (일본) Geo-code21('04)
- 국내 복합지반 특성 등을 고려한 소단면 Shield-TBM 실굴진을 예측 및 평가기술 확보 필요
 - ※ 기존 국내외 Shield-TBM 굴진을 예측모델은 암반지반에 대한 면판 설계용
- 기존의 소형 Shield-TBM을 활용한 터널식 공동구 시공은 굴착가능한 곡률반경이 커서, 지장물의 회피가 어렵고 노선 연장의 주요 원인으로 작용
 - 곡률반경 축소를 통한 지장물 우회로 시공성 향상 및 공사비용 절감이 가능한 급곡구간 시공공법 확보 필요
 - ※ TBM을 활용한 최소 곡률반경 시공사례 : 국내 R60m(외산 장비 활용), 국외 R30m(일본)
- 일반 Shield-TBM 터널 시공시 특수지반/특수조건(복합지층, 호박돌, 고수압 등) 통과시 downtime 발생율은 약 86% 수준이며, 특히 소단면 공동구의 경우 단면규모가 작아 대응용 부대시설 미확보로 시공 효율성 급감
- 발파공법에 의한 수직구 시공은 굴착속도(1m 이상/day)는 빠르나 진동, 소음 등 민원으로 인해 도심지 시공이 불가능하고, 도심지 시공이 가능한 기계공법(할암기 활용)은 굴착속도(0.3m/day, 경암 기준)가 느리고 공사비가 고가(발파공법 대비 3배 이상)
 - 저소음/무진동이며, 천공/할암/소할 공종 단순화를 통해 급속시공이 가능한 도심지 수직구 굴착기술 확보 필요

□ 기술동향

- 한계상태설계법(LRFD)은 구조설계 분야에서 먼저 도입되기 시작했으며, 지반분야의 경우 최근에 도입되기 시작
 - 지반분야는 유럽에서 먼저 시작되어 Eurocode7('94)에서 설계기준으로 처

음 채택

- WTO 체제 및 국제표준화기구(ISO)를 중심으로 북미, 유럽 등 기술선진국 위주로 성능중심의 설계기준을 구축하려는 움직임이 활발해지고 있으며, 이에 따라 한계상태설계법 적용 추세
 - ※ 미국 : '10년 연방정부에서 발주되는 모든 교량에 대해 한계상태설계법에 따른 설계를 의무화하였으며, 터널분야의 경우 라이닝 구조설계에만 적용(초기 지보에는 미적용)
 - ※ 일본 : 한계상태설계법 터널 적용연구 시작('97), 한계상태설계지침(안) 제시('01), Geo-code21에서 성능기반의 한계상태설계법 도입('04)
- 국내 『공동구 설계기준』('10.02)은 허용응력/강도설계법으로 되어 있으며, 운용중인 공동구 특성상 개착식 박스구조에 대한 기준으로 대부분 『콘크리트 구조기준』을 준용
- 도심지는 주로 단독구 또는 관로 위주의 각종 지하매설물이 난립하여 관리와 추가시설물 설치에 어려움을 겪고 있으며 그 원인은 소단면에 대한 공동구 수용시설별 설계용량 및 최적단면에 대한 표준 모델이 부재하기 때문임.
- 기존 국내외 Shield-TBM 굴진을 예측모델은 암반지반에 대한 면판 설계용으로, 국내 도심지 층적층(토사층, 복합층) 지반특성 등 다양한 지반조건(절리 형상, 복합지반특성 등)을 고려하지 못함
 - 해외에서 제안된 암반용 TBM 굴진을 예측모델의 경우, 일축압축강도를 기준으로 개발되어 다양한 지반조건을 고려하지 못하며 실 굴진율과 상당한 차이 발생
 - ※ 이란 수로터널에 적용된 굴진율 모델인 QTBM 모델(Barton, '00)은 실제 굴진율과 비교하여 3배 이상 차이
 - 암반 굴진율 예측모델인 CSM(Colorado School of Mining) 모델은 다양한 현장 데이터를 바탕으로 개발되었으나, 핵심기술은 비공개
 - ※ 미국 지반을 대상으로 하였기 때문에 국내 지반의 특성을 반영하지 못하며, 굴진율 산정 자문 시 상당한 비용 필요
 - 국내의 경우, 소형 Shield-TBM 설계 시 일축압축강도만을 이용하여 굴진율을 추정하고 있으며, 실제 계측 굴진율과 약 59%의 오차율 발생
 - 국내 암반 굴진율 예측모델은 한국건설기술연구원(KICT) 모델이 대표적이거나, TBM의 기계적 특성 중심으로 개발되어 국내 복합지반특성, 작업자 숙련도 등 굴진율에 영향을 미치는 다양한 인자를 고려하지 못하는 한계 존재
 - ※ KICT 모델 : LCM(Linear Cutting Machine)에 의한 선형절삭실험 결과와 TBM 현장 굴진자료를 통해 다변량 회귀분석을 실시하여 TBM의 굴진성능 예측
- 도심지 터널식 공동구 시공법으로 적합하여 활용이 증가되고 있는 TBM 공법은 대부분 노선을 직선에 가깝게 설계
 - 국내의 경우, 도심지에서 사유지 침범을 최소화하고 기존 지장물을 통과하기 위한 급곡구간 시공기술(장비)이 부재하여 일반적으로 곡률반경을 150m보다 크게 설계(예 : 서초분기 2차 전력구)
 - ※ 일본에서는 곡률반경 15m까지 시공한 사례가 있음

- 또한 Shield-TBM의 3대 핵심은 Cutterhead, 버력 Chamber 및 추진시스템이나, 국내의 경우 관련 기술력이 부족하여 상당 부분을 외국 기술에 의존 중
 - ※ 전 세계적으로 TBM을 독자 설계·제작할 수 있는 나라는 7개국에 불과 (관련 핵심기술을 비공개로 보유·활용)
 - ※ 유럽의 경우, TUNCONSTRUCT 프로젝트를 통해 TBM 커터헤드 설계기술 선진화, 고성능 디스크커터, 고성능 세그먼트 등 공동구 급곡구간 굴착용 Shield-TBM 장비 개발에 앞장서고 있음
- 호박돌층/복합 이질층/고수압 조건과 같이 소형 Shield-TBM의 굴착기술에 대한 연구가 부족한 실정이며 선진 외국과의 기술격차는 50%이상으로 평가됨.
- 국내 수직구 구조물 공사는 대부분 Bottom-up 방식으로 거푸집 또는 슬립폼을 사용한 현장타설 공법이 적용되고 있으나, 굴착과 병행하여 수직구 라이닝 구조물을 시공하는 공법은 부재
 - 해외의 경우, Bottom-up 방식보다 진보된 Top-down 방식의 수직구 구조물 건설 공법 적용 추세
 - ※ 수직굴착과 동시에 수직구 벽체를 PC 조립방식으로 시공하고 있으며, 저소음·저진동 방식의 굴착장비와 라이닝 구조물 연결/조립 공법 이용
 - ※ 대표적인 공법 : 독일 Herrenknecht의 Vertical Shaft Sinking Machine 공법(VSM), 일본 쉘드기술공업협회의 Rotating Shield 공법
 - 수직구 시공을 위한 발파공법은 발파진동, 소음 등으로 주변 구조물의 피해 및 거주민들의 집단민원 야기
 - ※ 민원방지를 위한 할암기 기계굴착 시공은 시공속도 0.3m/day로 발파공법(1m 이상/day)에 비해 매우 느림
 - 국내외 수직구 무진동 굴착공법은 할암기를 이용하며, 할암원리는 동일하나 할암방식에 따라 피스톤 타입, 췌기 타입 등으로 구분
 - ※ 암반을 회전식 드릴로 천공(Drilling) → 할암기를 삽입한 뒤 췌기작용에 의해 암반 굴착 → 브레이커를 이용하여 파쇄된 암반을 2차 파쇄 → 굴삭기를 이용하여 파쇄된 암반 제거
 - ※ 할암기를 이용한 무진동 굴착공법은 각 작업단계별 별개의 장비로 작업이 수행되므로, 작업능률이 떨어지고 발파공법 대비 3배 이상 공사비 상승
 - 국내외 차수공법은 주로 주입공법을 활용하고 있으며, 차수재료로는 물유리, 시멘트, 우레탄 계열 등을 주로 사용
 - 국내외에서 적용하고 있는 접속부 보강기술로는 접속부 주변지반 안정화 방법(시멘트나 약액을 주입하거나 물을 전기화학적으로 고결), 버림 콘크리트 타설 방법(도달부에 두껍게 버림 콘크리트 타설하여 배면의 누수 방지), False Tunnel 방법(TBM 장비 도달 전에 구멍을 뚫고 차수를 사전에 하는 방법), Sealing System 설치 방법(TBM 장비의 진출입부에 금속 링을 설치) 등이 있음

3. 연구개발내용

세부과제별 [1세부과제] 도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법

(LRFD) 및 안전관리기술 개발

- (1-1) 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발
 - 글로벌 표준화 설계법 적용을 위한 국내 지반 중요인자 평가기술 개발
 - 한계상태설계법 적용을 위한 내진해석 및 내진설계 기술 개발
 - 한계상태설계법에 의한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계기준 개정 및 운영관리 가이드라인 제시
- (1-2) 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 최적화 기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 단면 최적화 기술 개발
 - 글로벌 표준화 설계(LCC) 표준 공정 및 공사비 관리시스템 개발
- (1-3) 소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발(추후 분리공모 예정)
 - 소단면 터널식 공동구 전주기 안전 위험요인(안전사고, 화재, 테러, 지진, 침수 등) 조사/평가기법 개발
 - 소단면 터널식 공동구 수용시설 특성을 고려한 안전관리기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 안전관리 매뉴얼 및 지침서 제시

[2세부과제] 도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수 지반(downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발

- (2-1) 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발
 - 소단면 Shield-TBM 실굴진성능 평가기술 개발
 - 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 데이터베이스 구축
 - 국내 복합지반 특성을 고려한 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 예측기술 개발
 - 굴진성능 예측기술 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용
- (2-2) 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치 개발
 - 급곡구간 Shield-TBM 추진 및 시공기술 개발
 - 급곡구간 시공 Shield-TBM 중절장치 개발
 - 급곡구간 세그먼트 지보시스템 개발
 - 급곡구간 시공장비·추진기술 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용
- (2-3) 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속(downtime 40% 이하) 시공기술 개발(추후 분리공모 예정)
 - 고수압 등 특수조건에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 기술 개발

- 특수지반(복합지층, 호박돌층 등)에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 기술 개발
- 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속시공 기술 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용

[3세부과제] 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

- (3-1) 공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
 - 저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 시공기술 및 장비 개발
 - 수직구 급속 굴착장비 제어기술 개발
 - 실험형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용
- (3-2) 공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발(추후 분리공모 예정)
 - 현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 기술 및 장비 개발
 - 수직구 구조물 슬래브/계단/접속개구부 급속시공 기술 개발
 - 수직구-수평터널 연결부, 가설장치 시공기술 개발
 - 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용
- (3-3) 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발
 - 접속부 직경별/시공 심도별 상대변위 분석 및 수용범위 분석
 - 터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강공법 개발
 - 비시멘트계열 친환경 차수재 및 시공기술 개발
 - 실험형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용

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 구현단계), 3단계(테스트베드 적용, 검증 등 완성단계)

추진체계

- 본 공모는 분리공모과제를 제외한 연구단 컨소시엄 공모임
 - 분리공모과제의 연구수행기관은 추후 별도 선정되며, 선정 이후 본 연구단 내 해당 세부과제의 공동연구기관으로 편입 예정임

- 연구단 컨소시엄 신청자는 **분리공모과제를 포함(연구내용 및 연구개발비 등 포함, 연구수행기관 제외)**한 연구계획을 수립하여 제안하되, 분리공모과제의 편입 후 통합추진을 고려하여 연계전략을 면밀히 수립하여 제시 바람
- 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립
 - 개발기술의 현장적용을 통한 검증 강화 및 적용사례 확보
 - 실질적인 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 보완 사항에 대한 자문
- 연구신청자는 과도한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체제의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모
- 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 필요

5. 최종성과물

□ 주요
최종성과물

[1세부과제] 도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발

- (1-1) 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발
 - 한계상태설계법에 의한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계 지침서
 - 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계기준 개정(안)
 - 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 운영관리 가이드라인
- (1-2) 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 산정 지침서
 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 표준단면도
 - 소단면 터널식 공동구 LCC 최적설계 프로그램
- (1-3) 소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발(추후

분리공모 예정)

- 소단면 터널식 공동구 전주기 안전 위험요인(안전사고, 화재, 테러, 지진, 침수 등) 조사/평가기법
- 소단면 터널식 공동구 수용시설특성을 고려한 안전관리기술
- 소단면 터널식 공동구 건설단계 및 특성을 고려한 방재안전 관리 지침서
- 소단면 터널식 공동구 안전관리 매뉴얼 및 지침서

[2세부과제] 도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수지반(downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발

- (2-1) 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20%이하) 기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 예측 소프트웨어
 - 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진 정보 데이터베이스
 - 소단면 터널식 공동구 굴진장비 선정 가이드라인
 - 굴진성능 예측기술 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과
- (2-2) 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치 개발
 - 급곡구간 Shield-TBM 추진기술
 - 급곡구간 시공 Shield-TBM 중절장치
 - 급곡구간 세그먼트 지보시스템
 - 급곡구간 중절장치 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과
- (2-3) 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속(downtime 40% 이하) 시공기술 개발(추후 분리공모 예정)
 - 고수압 등 특수조건에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 장치 및 매뉴얼
 - 특수지반(복합지층, 호박돌층 등)에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 매뉴얼
 - 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속시공 기술 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과

[3세부과제] 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발

- (3-1) 공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
 - 저소음/무진동 급속굴착 시공장비
 - 수직구 급속 굴착장비 제어시스템
 - 저소음/무진동 급속굴착 기술 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과
- (3-2) 공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발(추후 분리공모 예정)

- 현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 장비
- 수직구 구조물 슬래브/계단/접속개구부 설계매뉴얼
- 수직구-수평터널 연결부 설계도 및 가설장치
- 하향식 라이닝 현타 급속 시공기술 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과
- (3-3) 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발
 - 직경별/시공심도별 상대변위 분석 결과
 - 터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강매뉴얼
 - 비시멘트계열 친환경 차수재 및 시공매뉴얼
 - 접속부 보강/차수장치·차수재 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과

6. 활용방안 및 기대효과

- 활용방안
 - 향후 신도시 중심으로 급증할 것으로 전망되는 국내 소단면 터널식 공동구 건설사업에 개발기술 적극 활용
 - 세계적 수준의 소단면 터널식 공동구 설계·시공 기술 확보로 개발도상국 중심으로 개발기술의 해외 수출(설계지원, 기술이전 및 사업수주 등)
 - 도로, 철도 등 타 SOC 건설사업 추진시 특수지반 시공기술, 수직구 급속 시공 기술 등 활용
 - 한계상태설계법을 적용한 『공동구 설계기준』 개정(안) 제시
- 기대효과
 - 도심지 소단면 터널식 공동구 건설비용 10% 절감, 공사중 민원 30% 저감 및 안전재해 20% 저감 기여
 - ※ 10% 공사비 절감시 향후 10년간 약 6,200억원 절감 기대
 - 선진국 대비 90% 수준으로 국내 공동구 설계·시공 기술력 향상
 - 공동구 건설기술 자립화로 기술 수입에 따른 국내 자본의 해외 유출 방지

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구개발기간 : 2015.09. ~ 2020.02. (4년 6개월)
 - 1차년도 연구개발기간 : 2015.09. ~ 2016.02. (6개월)
- 총 정부출연금 : 19,200백만원 이내(분리공모과제 포함)
 - 1차년도 정부출연금 : 481백만원 이내(분리공모과제 제외)
 - ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정 될 수 있음
 - ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
 - ※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수(분리공모과제의 경우 신청시 및 2차년도는 분리공모과제 단위에서 기업부담금 비율 준수)

- ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불 명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능
- ※ 분리공모과제 총 정부출연금 : (1-3) 688백만원, (2-3) 1,154백만원, (3-2) 942백만원

8. 기타

- 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임
- 연구단컨소시엄 신청시 연구단장 신청자는 반드시 세부과제의 주관연구책임자 또는 총괄과제의 연구책임자로 참여하여야 함
 - ※ 연구단장은 연구단의 효율적 운영·관리를 위해 총괄과제 수행 가능
- 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
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 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
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 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 연구개발계획서에 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
- 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 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술 개발에 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, 연구개발 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
- 기타 세부적인 연구내용, 주요 성과물, 세부과제별 연구비(안) 등은 ‘도심지 소단면(Φ3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발’ 기획보고서 참조
- 과제별 연구기간 및 공모방식

세부과제명	연구내용	총 연구기간 (연차)	공모방식		금회 공모
			컨소시엄 공모	분리 공모	
【 1세부과제 】 도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발	(1-1) 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발	1~5	○		○
	(1-2) 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발	1~5	○		○
	(1-3) 소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발	2~5		○	

세부과제명	연구내용	총 연구기간 (연차)	공모방식		금회 공모
			컨소 시엄 공모	분리 공모	
【 2세부과제 】 도심지 소단면 터널식 공동구 급속시공기술 및 장비 개발	(2-1) 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발	1~5	○		○
	(2-2) 소단면 터널식 공동구 급속구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치 개발	1~5	○		○
	(2-3) 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속(downtime 40% 이하) 시공기술 개발	2~5		○	
【 3세부과제 】 도심지 공동구용 수직구 급속 시공기술 및 장비 개발	(3-1) 공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발	1~5	○		○
	(3-2) 공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발	2~5		○	
	(3-3) 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발	1~5	○		○

2. 1세부과제 RFP

세부 과제명	도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 글로벌 표준화 설계법을 적용한 도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 설계법 선진화 및 안전관리기술 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발 - 소단면 터널식 공동구 건설단계 및 특성을 고려한 안전관리 기법 개발 ○ 글로벌 표준화 설계법 도입 및 설계용량/단면 최적화로 공동구 건설비용 10% 절감 기여, 공동구 안전관리기술 개발로 안전재해 10% 저감 기여
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	<p>□ 연구개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 환경 측면의 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 세계적인 토목구조물 설계 추세가 한계상태 설계 개념으로 이동하고 있으나, 아직 국내에서는 터널식 공동구에 대하여 한계상태 설계법에 의한 설계기준이나 설계기술이 정립되어 있지 않음. - 터널식 공동구에서는 터널 라이닝 한계상태 설계법 적용 대상이 되며, 한계상태 설계법을 적용하기 위해서는 터널식 공동구에 대한 사용한계상태(S.L.S), 극한한계상태(U.L.S)에 대한 개념정립이 필요함. - 한계상태설계법은 재료가 가지는 내구성이나 최종적인 저항능력을 구조물에 작용하는 하중과의 관계로 평가하여 토목구조물을 설계하는 방법으므로 최적화 설계가 가능하므로 소단면 터널부터 설계이론 정립이 필요함. - 도심지를 중심으로 각종 유틸리티 시설을 공동구로 통합하여 지중에 설치하는 사업이 점차 증가할 것으로 예상되므로 공동구 수용 용량의

최적화와 단면의 최적화가 병행 연구되어야 함.

- 도심지 지중에 건설되는 터널식 공동구는 재해로부터 안전한 구조물이 되어야 하므로 구조물 특성에 다른 방재 및 안전관리지침 수립이 중요하고, 운용중 효율적인 관리지침이 필요함.
- 국내에서 개별적으로 운용중인 유틸리티 터널의 건설 공정 및 공사비 산정/ 관리 시스템을 수요기관별로 각기 다른 방식을 적용하고 있으므로 공동구에 통합 수용할 경우 표준공정에 의한 공사비 산정 공정관리 시스템 구축이 필요함.

○ **국외 환경 측면의 필요성**

- 일본의 경우 2000년대 초반부터 터널 한계상태설계법 연구에 착수하여 쉘드터널의 세그먼트 설계에는 한계상태설계법 적용 지침이 정립되었고, 도심지 NATM터널의 한계상태에 대해서도 극한한계상태(U.L.S)에 적용하기 위한 다양한 안전계수(재료계수, 하중계수, 구조해석계수, 부재계수, 구조물계수)에 대한 정의를 하였으며, 터널식 공동구의 한계상태설계법의 개발을 위해서는 이와 같은 신뢰도를 기반으로 하는 안전계수의 분류 및 정의가 반드시 필요함.
- 현재 북미에서는 AASHTO LRFD 설계법을 적용하여 토목구조물을 설계하고 있고, 유럽에서는 EURO CODE를 적용하여 구조물을 설계하고 있음.
- 동남아 및 중동지역에서도 선진국의 설계 및 엔지니어링 컨설팅을 받아 설계가 이루어지므로 한계상태설계법에 의한 설계법 확립 및 국내 적용은 국외 건설시장 진출을 위해서도 필요한 실정임.

□ **기술동향**

○ **국내기술동향**

- 한계상태설계에 기초한 글로벌 표준화 설계법에 관한 터널분야의 설계기법 연구는 아직 미비한 실정이며, 도로교설계기준(2012, 한계상태설계법)에서 교량설계 분야의 콘크리트 및 강구조물에 대한 한계상태 설계기준을 제시하고 있음.
- 글로벌 표준화 설계법에 관한 국내기술은 아직 초기단계이며, 특히 터널분야의 경우는 학술적인 연구차원에 머무르고 있어 글로벌 표준 설계법을 국내에 적용하기 위한 기준 및 설계법 정립이 필요함.
- 최근에는 건설기준간의 연계·호환성이 부족하여 중복 또는 상충되는 기준이 발생하고 있어 실무에서 사용자의 불편을 초래하고, 관련기준의 세부내용에 대한 검색, 기준간의 상호참조 관계 파악 등이 어렵고, 기준 제·개정에 대한 효율적·체계적 이력관리가 어려운 실정으로 이러한 문제점을 해결하기 위하여 설계기준 및 표준시방서의 코드체계가 완료('13)되어, 이에 대한 추진 일환으로 구축된 코드체계에 맞추어 공동구설계기준을 포함한 건설공사 설계기준 및 표준시방서의 중복·상충 내용 정비 및 통합된 코드가 작성되고 있음(과제명: 건설공사 설계·시공기준 표준화, 연구기간: 2013년~2016년)
- 현행 공동구 설계기준은 국내에 운용중인 공동구특성상 개착식박스구조에 대한 기준으로 대부분 콘크리트구조기준을 준용하고 있으나 향후 다양한 공동구 수용시설의 요구, 다양한 지반조건과 지상조건, 성능중심으로 발전

되어가므로 설계기준에 부합하는 공동구 설계기준의 마련이 필요함

○ **국외기술동향**

- 유럽, 미국 및 일본의 경우 1980년대부터 다양한 단면형상 및 건설재료를 사용한 도심지 Utility Tunnel의 적용이 이루어져 왔으며, 지하매설관의 공동구내 수용을 통해 도시미관 향상 및 원활한 유지관리가 이루어지고 있음. 특히, 일본의 경우 공동구 정비 등에 관한 특별조치법에 공동구 사업의 시행 및 공동구 건설에 관한 법적 기반을 확보하고 있음
- 해외의 터널 설계분야에서는 신뢰성공학을 기반으로 하여 경제적이고 합리적인 설계가 가능한 한계상태설계법(LSD: Limit State Design)이 국제표준으로 자리 잡고 있다. 특히 유럽연합(Eurocode) 및 미국(AASHTO-LRFD), 캐나다(OHBDC) 등의 기술 선진국에서 종전의 결정론적인 안전율을 사용하는 허용응력설계법(ASD: Allowable Stress Design)에서 하중 및 저항의 공칭 값에 대한 실제값의 변동성으로 인한 불확실성을 고려할 수 있는 확률 통계적인 구조신뢰성 이론에 기초한 하중저항계수설계법(LRFD: Load and Resistance Factor Design)으로의 전환이 이루어졌다. 국제표준화기구(ISO)와 건설관련 설계표준(ISO 2394) 역시 신뢰성기반 설계법을 채택하였음
- 미국은 대규모 건설공사에 건설관리 시스템(PMIS)을 적용하고 있으며, 소규모 공사의 경우 웹-호스팅 서비스업체 등을 통한 아웃소싱으로 현장 공정관리시스템을 구축하여 운영하고 있음

3. 연구개발내용

- (1-1) 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발
 - 글로벌 표준화 설계법 적용을 위한 국내 지반 중요인자 평가기술 개발
 - 한계상태설계법 적용을 위한 내진해석 및 내진설계 기술 개발
 - 한계상태설계법에 의한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계기준 개정 및 운영관리 가이드라인 제시
- (1-2) 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 최적화 기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 단면 최적화 기술 개발
 - 글로벌 표준화 설계(LCC) 표준 공정 및 공사비 관리시스템 개발
- (1-3) 소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발(추후 분리공모 예정)
 - 소단면 터널식 공동구 전주기 안전 위험요인(안전사고, 화재, 테러, 지진, 침수 등) 조사/평가기법 개발
 - 소단면 터널식 공동구 수용시설 특성을 고려한 안전관리기술 개발
 - 소단면 터널식 공동구 안전관리 매뉴얼 및 지침서 제시

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 구현단계), 3단계(테스트베드 적용, 검증 등 완성단계)
- 추진체계
 - 본 공모는 분리공모과제를 제외한 연구단 컨소시엄 공모임
 - 분리공모과제의 연구수행기관은 추후 별도 선정되며, 선정 이후 본 연구단 내 해당 세부과제의 공동연구기관으로 편입 예정임
 - 연구단 컨소시엄 신청자는 **분리공모과제를 포함(연구내용 및 연구개발비 등 포함, 연구수행기관 제외)**한 연구계획을 수립하여 제안하되, 분리공모과제의 편입 후 통합추진을 고려하여 연계전략을 면밀히 수립하여 제시 바람
 - 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립
 - 개발기술의 현장적용을 통한 검증 강화 및 적용사례 확보
 - 실질적인 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 협조체계 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	
<input type="checkbox"/> 주요 최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ (1-1) 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 한계상태설계법에 의한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계 지침서 - 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계기준 개정(안) - 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 운영관리 가이드라인 ○ (1-2) 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 산정 지침서 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 표준단면도 - 소단면 터널식 공동구 LCC 최적설계 프로그램 ○ (1-3) 소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발 (추후 분리공모 예정) <ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구 전주기 안전 위험요인(안전사고, 화재, 테러, 지진, 침수 등) 조사/평가기법 - 소단면 터널식 공동구 수용시설특성을 고려한 안전관리기술 - 소단면 터널식 공동구 건설단계 및 특성을 고려한 방재안전 관리 지침서 - 소단면 터널식 공동구 안전관리 매뉴얼 및 지침서
6. 연구기간 및 소요예산	
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 총 연구개발기간 : 2015.09. ~ 2020.02. (4년 6개월) <ul style="list-style-type: none"> - 1차년도 연구개발기간 : 2015.09. ~ 2016.02. (6개월) ○ 총 정부출연금 : 3,650백만원 이내(분리공모과제 포함) <ul style="list-style-type: none"> - 1차년도 정부출연금 : 2,962백만원 이내(분리공모과제 제외) <ul style="list-style-type: none"> ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수(분리공모과제의 경우 신청시 및 2차년도는 분리공모과제 단위에서 기업부담금 비율 준수) ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능 ※ 분리공모과제 총 정부출연금 : (1-3) 688백만원
7. 기타	
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임 ○ 연구단컨소시엄 신청시 연구단장 신청자는 반드시 세부과제의 주관연구책임자

임자 또는 총괄과제의 연구책임자로 참여하여야 함

※ 연구단장은 연구단의 효율적 운영·관리를 위해 총괄과제 수행 가능

- 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
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 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
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 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 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 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
- 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 및 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, 연구개발 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
- 기타 세부적인 연구내용, 주요 성과물, 세부과제별 연구비(안) 등은 ‘도심지 소단면(Φ3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발’ 기획보고서 참조
- 과제별 연구기간 및 공모방식

세부과제명	연구내용	총 연구기간 (연차)	공모방식		금회 공모
			컨소 시엄 공모	분리 공모	
【 1세부과제 】 도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법 및 안전관리기술 개발	(1-1) 소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발	1~5	○		○
	(1-2) 소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발	1~5	○		○
	(1-3) 소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발	2~5		○	

3. 2세부과제 RFP

세부 과제명	도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) /특수지반(downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수지반(시공 downtime 40% 이하) 급속시공기술 및 장비 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발 - 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치 개발 - 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속(downtime 40% 이하) 시공기술 개발 ○ Shield-TBM 굴진성능 평가/예측, 급곡구간 시공기술 개발로 공동구 건설비용 10% 절감 기여, 특수지반/특수조건 Shield-TBM 시공기술 개발로 공동구 민원 30% / 안전재해 20% 저감 기여
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	<p><input type="checkbox"/> 연구개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 환경 측면의 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 공동구의 설계 및 시공에 관한 기술 개발은 국민의 생명과 재산을 보호하고 사회적/경제적 피해를 예방하기 위해 필요한 것이므로 정부의 정책적/경제적/기술적 지원이 없이는 이루어질 없는 특성이 있음. - 선진국 대비 소단면 공동구 건설기술 분야 기술수준은 평균 53.2% 로 경쟁력이 매우 낮은 편이며, 최고기술 보유국 대비 기술격차는 56개월(4.7년)로 나타났음. - 소단면 터널식 공동구 건설을 위한 Shield-TBM 굴진성능 예측과 급곡구간 시공 기술, 특수지반 시공기술, 환경영향을 최소화 하는 수직구 시공기술 등이 외국에 비하여 매우 뒤쳐진 상태이기 때문인 것으로 추정됨. - 시공성을 향상시키고, 공사비용을 절감시킬 수 있는 지장물 평면 및 종단면 우회 시공기술 개발과 관련된 기술로서 최소 곡률반경 소형 TBM 에서 소요될 조인트 지보 기술의 개발이 필요함. - 국내 복합지반 특성을 고려한 소단면 shield-TBM의 토사/암반지반 실굴진을 세계최고 수준 오차율 예측 기술 개발. 세계최소 곡률반경(R30m 이하)의 shield-TBM 추진기술 및 중절장치 기술 개발. 고수압/복합이질층/호박돌층대 등 특수지반 및 특수조건에서 shield-TBM 급속시공기술 개발을 통한 다운타임 20%저감으로 세계적인 소단면 shield-TBM 기술 선진국으로 발돋움 할 수 있음. ○ 국의 환경 측면의 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 유럽에서는 도심지의 터널, 공동구 및 전력구 등 지하공간 시공에 대한

TBM 적용비율이 80%에 달하고 있지만, 국내는 제한된 경우에 주로 전력구와 같은 소단면 터널에만 활용하고 있으므로 전 세계적인 동향이 매우 뒤쳐져 있음. 최근 들어 중국이 세계 최대의 TBM 시장으로 급부상하고 있는 상황으로서 첨단 기술 확보가 국제경쟁력 및 해외시장 확보 측면에서 매우 시급함.

- 기계식 터널 시공 기술 관련 분야의 핵심기술들은 특허 등 지적재산권화를 통해 공개되기 보다는 각 회사 또는 기관별로 독자적인 비공개 노하우(예: 미국 Colorado School of Mines의 커터헤드 설계기술 등)로 보유하고 있는 현실이므로 자구적인 기술격차 해소 노력이 시급함.
- 기존의 소형 Shield-TBM 공법은 시공 곡률반경이 커서 지장물의 회피가 어렵고 노선 연장이 증가할 수 있으며, 타 공법과 병행하는 경우 시공성이 떨어지고 비경제적이 될 수 있음. 곡률반경 축소를 통한 지장물 우회로 시공성을 향상시키고, 공사비용 절감시킬 수 있는 새로운 공법 개발이 필요함.

□ 기술동향

○ **국내기술동향**

- 현재 국내에서는 소형 shield-TBM 설계 시, 굴진율은 ‘압축강도’ 하나의 인자만을 이용하여 추정하고 있으며, 실제 설계시 굴진율과 계측 굴진율을 비교해 보았을 때 오차율이 약 59% 발생하였음.
- 국내 굴진율 예측모델인 KICT(Korea Institute of Construction Technology)모델은 LCM(Linear Cutting Machine)에 의한 선형절삭실험 결과와 TBM 현장 굴진자료를 통해 다변량 회귀분석을 실시하여 TBM의 굴진성능을 예측한 모델임. 그러나 KICT 모델은 TBM의 기계적인 특성을 중심으로 개발되어, 국내의 복합지반 및 굴진율에 영향을 미치는 다양한 인자를 고려하지 못함. 또한 LCM을 이용한 선형절삭실험은 실제 현장에 적용되는 다양한 디스크커터를 모사하는데 한계가 있음.
- 저심도 복합 이질층에 적합한 국내 TBM 기술보유 기관으로는 소구경 TBM 요소기술을 보유한 동아지질, 특수건설 등이 있으며, 삼안, 대한 컨설턴트 등이 전력구 쉴드터널 설계 실적을 보유하고 있으나, 선진외국과의 기술격차는 50%이상으로 평가됨.
- 복합 이질층에 대한 국내 TBM 기술은 선진국 최고수준의 기술과 상당한 격차를 보이고 있으며, 특히 국내 복합 이질층의 TBM 운영, 감리, 감독을 위한 합리적인 관리 프로그램과 설계식 및 지반거동 분석 수치 모델 기술은 거의 없음.
- 호박돌층 조우 시 개구율을 줄이고 전방 지반에 대하여 상부 및 좌우 약 2D 이상의 영역에 대하여 SGR 그라우팅 공법 등으로 보강하고 재굴진하는 것이 국내 기술 현황임. 이 경우 공기 및 공사비의 증가가 필연적으로 동반됨.

○ **국외기술동향**

- 국외의 TBM 굴진율 예측 모델은 대부분 해외 연구기관 및 해외 TBM 제작사 및 운용사에서 제안되었음. 즉, 국내의 지반과는 상이한 부분이

있을 수 있으며 대부분이 암반 위주의 모델임.

- 도심지에서 사유지 침범을 최소화 하고 기존 지장물을 통과하기위한 급곡구간 시공기술 및 중절장치의 개발에 대한 연구가 매우 절실함.
- 도심지에서 사유지 침범을 최소화 하고 기존 지장물을 통과하기위한 급곡구간 시공기술 및 중절장치의 개발에 대한 연구가 매우 절실함. 일본에서는 곡률반경 15m의 최소곡률 시공사례가 있음.
- 호박돌층/복합 이질층/고수압 조건과 같이 소형 shield-TBM을 이용한 공동구 시공시 크러셔 설치공간 부족으로 인한 굴진속도 저하/배토량 관리 어려움/고수압 굴진을 위한 2단 및 3단 스크류컨베이어 설치의 어려움 등 굴착기술에 대한 연구가 매우 부족한 실정임.

3. 연구개발내용

- (2-1) 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발
 - 소단면 Shield-TBM 실굴진성능 평가기술 개발
 - 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 데이터베이스 구축
 - 국내 복합지반 특성을 고려한 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 예측기술 개발
 - 굴진성능 예측기술 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용
- (2-2) 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치 개발
 - 급곡구간 Shield-TBM 추진 및 시공기술 개발
 - 급곡구간 시공 Shield-TBM 중절장치 개발
 - 급곡구간 세그먼트 지보시스템 개발
 - 급곡구간 시공장비·추진기술 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용
- (2-3) 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속(downtime 40% 이하) 시공기술 개발(추후 분리공모 예정)
 - 고수압 등 특수조건에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 기술 개발
 - 특수지반(복합지층, 호박돌층 등)에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 기술 개발
 - 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속시공 기술 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용

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

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 총연구기간 내 단계별 연구개발 목표 설정 및 실현 전략 제시 <ul style="list-style-type: none"> ※ 예시 : 1단계(요소기술 개발 단계), 2단계(시제품 제작 등 개발기술 구현단계), 3단계(테스트베드 적용, 검증 등 완성단계)
<input type="checkbox"/> 추진체계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 공모는 분리공모과제를 제외한 연구단 컨소시엄 공모임 <ul style="list-style-type: none"> - 분리공모과제의 연구수행기관은 추후 별도 선정되며, 선정 이후 본 연구단 내 해당 세부과제의 공동연구기관으로 편입 예정임 - 연구단 컨소시엄 신청자는 분리공모과제를 포함(연구내용 및 연구개발비 등 포함, 연구수행기관 제외)한 연구계획을 수립하여 제안하되, 분리공모과제의 편입 후 통합추진을 고려하여 연계전략을 면밀히 수립하여 제시 바람 ○ 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 개발기술의 현장적용을 통한 검증 강화 및 적용사례 확보 - 실질적인 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 <ul style="list-style-type: none"> - 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	
<input type="checkbox"/> 주요 최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ (2-1) 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20%이하) 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 예측 소프트웨어 - 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진 정보 데이터베이스 - 소단면 터널식 공동구 굴진장비 선정 가이드라인 - 굴진성능 예측기술 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과

- (2-2) 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치 개발
 - 급곡구간 Shield-TBM 추진기술
 - 급곡구간 시공 Shield-TBM 중절장치
 - 급곡구간 세그먼트 지보시스템
 - 급곡구간 중절장치 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과
- (2-3) 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속(downtime 40% 이하) 시공기술 개발(추후 분리공모 예정)
 - 고수압 등 특수조건에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 장치 및 매뉴얼
 - 특수지반(복합지층, 호박돌층 등)에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 매뉴얼
 - 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속시공 기술 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과

6. 연구기간 및 소요예산

- 총 연구개발기간 : 2015.09. ~ 2020.02. (4년 6개월)
 - 1차년도 연구개발기간 : 2015.09. ~ 2016.02. (6개월)
- 총 정부출연금 : 9,880백만원 이내(분리공모과제 포함)
 - 1차년도 정부출연금 : 8,726백만원 이내(분리공모과제 제외)
 - ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
 - ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
 - ※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수(분리공모과제의 경우 신청시 및 2차년도는 분리공모과제 단위에서 기업부담금 비율 준수)
 - ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능
 - ※ 분리공모과제 총 정부출연금 : (2-3) 1,154백만원

7. 기 타

- 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임
- 연구단권소사업 신청시 연구단장 신청자는 반드시 세부과제의 주관연구책임자 또는 총괄과제의 연구책임자로 참여하여야 함
 - ※ 연구단장은 연구단의 효율적 운영·관리를 위해 총괄과제 수행 가능
- 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

- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 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
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 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 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 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
- 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 및 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 연구개발 계획서의 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, 연구개발 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
 - 기타 세부적인 연구내용, 주요 성과물, 세부과제별 연구비(안) 등은 ‘도심지 소단면(Φ3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발’ 기획보고서 참조
 - 과제별 연구기간 및 공모방식

세부과제명	연구내용	총 연구기간 (연차)	공모방식		금회 공모
			컨소 시업 공모	분리 공모	
【 2세부과제 】 도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간/특수지 반 급속 시공기술 및 장비 개발	(2-1) 소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발	1~5	○		○
	(2-2) 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치 개발	1~5	○		○
	(2-3) 소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속(downtime 40% 이하) 시공기술 개발	2~5		○	

4. 세부과제 RFP

세부 과제명	도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - 공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발 - 공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발 - 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발 ○ 도심지 공동구용 수직구 급속 시공기술 및 장비 개발로 공기 25% 단축, 민원 30% 저감, 건설비용 10% 절감 기여
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	<div style="border-bottom: 1px solid black; padding-bottom: 10px;"> <p><input type="checkbox"/> 연구개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 도심지 암반굴착시 발파공법 적용이 불가함. 무진동 암반굴착시 천공, 할암, 소할, 상차 등 공종이 복잡하여 부지 점유기간 증가, 교통체증, 상권침해 등 문제 발생함. 문제점 해소를 위해 발파를 배제하는 저소음/무진동 급속 굴착공법을 개발하여 수직구 공기 단축/공사비 절감이 필요 ○ 도심지 공동구 수직구 굴착 시 도심지 인접 건축물 및 지반침하에 따른 안정성 증진이 필요함. 도심지 공사기간 장기간 소요, 가시설 비용 증가, 교통통제에 따른 사회적 손실 방지를 위해 공기/공사비 절감이 가능한 공동구 수직구 현타방식 라이닝 시공장치 개발 필요 ○ 상대강성 차이가 있는 터널-수직구 접속부의 손상을 최소화하여 지하수 유출 최소화기 필요함. 터널-수직구 접속부의 누수, 열화, 파손에 따른 경제적 손실 최소화 공법 개발 필요 </div> <div style="padding-top: 10px;"> <p><input type="checkbox"/> 기술동향</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 국내기술동향 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 무진동 굴착공법은 할암기를 이용하며 암반을 회전식 드릴로 천공(Drilling)하고 할암기를 삽입한 뒤 썰기 작용에 의해 암반을 굴착하고, 브레이커를 이용하여 파쇄된 암반을 2차 파쇄한 뒤 굴삭기를 이용하여 파쇄된 암반을 제거함. 이 방식은 각 작업 단계에서 별개의 장비로 작업이 수행되므로 작업능률이 떨어지고 발파공법 대비 4~5배 공사비가 상승하는 단점을 가지고 있음. - 국내 수직구 공사 중 굴착용 가설 작업은 일반적으로 수직 H형 강재 및 토류판 설치, 콘크리트 부어넣기 및 수평지지 보강용 띠장을 설치하며, 굴착 중 지반의 붕괴 방지를 위해 구조물 시공에 선행공정으로 필요하나 가설작업 후 일부 해체 및 매립되고 있음. 국내 수직구 구조물 공사는 대부분 Bottom-up 방식으로 거꾸집 또는 슬립폼을 사용한 현장타설 공법 </div>

이 적용되고 있음. 최근 벽체는 현장타설 시공을 하고 내부 슬래브는 조립식 PC공법 시공이 적용되고 있지만 공사기간 및 공기가 증가하여 원활하게 개선되어 적용되고 있지 못한 상태임.

- 국내의 차수공법은 주입공법에 크게 의존하여 다양한 형태의 주입공법이 쓰여 왔음. 그러나 차수 재료의 경우 물유리, 시멘트, 우레탄 계열 등에서 크게 벗어나지 않고 있어 새로운 재료에 대한 연구가 거의 없었음. 접속부 보강기술은 접속부 주변 지반 안정화 방법(시멘트나 약액을 주입하거나 물을 전기화학적으로 고결), 버림 콘크리트 타설 방법(도달부에 두껍게 버림 콘크리트 타설하여 배면의 누수 방지), False Tunnel 방법(TBM 장비 도달 전에 구멍을 뚫고 차수를 사전에 하는 방법), Sealing System 설치 방법(TBM 장비의 진출입부에 금속 링을 설치)을 주로 적용중임.

○ **국외기술동향**

- 할암기를 사용하는 무진동 암반굴착은 국내외에서 크게 다르지 않으며, 국내 할암공법은 외국에서 사용중인 공법을 모사한 경우가 대부분임. 대체로 할암 방식에 따라 피스톤 타입, 썰기 타입 등으로 구분할 수 있으나 할암원리는 동일함.
- 외국은 Bottom-up 방식 수직구 구조물 건설보다 진보된 Top-down 방식의 수직구 구조물 건설 공법이 적용되고 있음. 수직굴착과 동시에 수직구 벽체를 PC 조립방식으로 시공하고 있으며, 저소음 저진동 방식의 굴착장비 개발과 더불어 라이닝 구조물 연결 조립 공법을 이용하여 다양한 현장 적용 및 실험을 통해 기술력 축적을 진행하고 있음. 대표적인 공법으로는 Herrenknecht의 Vertical Shaft Sinking Machine (VSM), (일)쉴드 기술공업협회 Rotating Shield 임.
- 국외의 차수 및 보강공법은 국내의 크게 다르지 않으며 운영중의 최종 구조물에 대한 수직구-터널 접속부에 특화된 시공기술 공법은 거의 없음.

3. 연구개발내용

- (3-1) 공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
 - 저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 시공기술 및 장비 개발
 - 수직구 급속 굴착장비 제어 기술 개발
 - 실대형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용
- (3-2) 공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발(추후 분리공모 예정)
 - 현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 기술 및 장비 개발
 - 수직구 구조물 슬래브/계단/접속개구부 급속시공 기술 개발
 - 수직구-수평터널 연결부, 가설장치 시공기술 개발
 - 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용
- (3-3) 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율

- 100%) 및 친환경 차수재 개발
 - 접속부 직경별/시공 심도별 상대변위 분석 및 수용범위 분석
 - 터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강공법 개발
 - 비시멘트계열 친환경 차수재 및 시공기술 개발
 - 실대형 성능검증 시험 및 테스트베드 적용

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 구현단계), 3단계(테스트베드 적용, 검증 등 완성단계)

- 추진체계
 - 본 공모는 분리공모과제를 제외한 연구단 컨소시엄 공모임
 - 분리공모과제의 연구수행기관은 추후 별도 선정되며, 선정 이후 본 연구단 내 해당 세부과제의 공동연구기관으로 편입 예정임
 - 연구단 컨소시엄 신청자는 **분리공모과제를 포함(연구내용 및 연구개발비 등 포함, 연구수행기관 제외)**한 연구계획을 수립하여 제안하되, 분리공모과제의 편입 후 통합추진을 고려하여 연계전략을 면밀히 수립하여 제시 바람
 - 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립
 - 개발기술의 현장적용을 통한 검증 강화 및 적용사례 확보
 - 실질적인 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 추진 체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모
- 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 필요

5. 최종성과물

- 주요 최종성과물
- (3-1) 공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발
 - 저소음/무진동 급속굴착 시공장비
 - 수직구 급속 굴착장비 제어시스템
 - 저소음/무진동 급속굴착 기술 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과
 - (3-2) 공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비
 - 현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 장비 개발(추후 분리공모 예정)
 - 수직구 구조물 슬래브/계단/접속개구부 설계매뉴얼
 - 수직구-수평터널 연결부 설계도 및 가설장치
 - 하향식 라이닝 현타 급속 시공기술 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과
 - (3-3) 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발
 - 직경별/시공심도별 상대변위 분석 결과
 - 터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강매뉴얼
 - 비시멘트계열 친환경 차수재 및 시공매뉴얼
 - 접속부 보강/차수장치·차수재 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과

6. 연구기간 및 소요예산

- 총 연구개발기간 : 2015.09. ~ 2020.02. (4년 6개월)
 - 1차년도 연구개발기간 : 2015.09. ~ 2016.02. (6개월)
- 총 정부출연금 : 5,670백만원 이내(분리공모과제 포함)
 - 1차년도 정부출연금 : 4,728백만원 이내(분리공모과제 제외)
 - ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
 - ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
 - ※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수(분리공모과제의 경우 신청시 및 2차년도는 분리공모과제 단위에서 기업부담금 비율 준수)
 - ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가

불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능
 ※ 분리공모과제 총 정부출연금 : (3-2) 942백만원

7. 기 타

- 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임
- 연구단컨소시엄 신청시 연구단장 신청자는 반드시 세부과제의 주관연구책임자 또는 총괄과제의 연구책임자로 참여하여야 함
 - ※ 연구단장은 연구단의 효율적 운영·관리를 위해 총괄과제 수행 가능
- 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
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 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
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 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 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안

을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 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 및 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 연구개발 계획서의 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, 연구개발 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

○ 기타 세부적인 연구내용, 주요 성과물, 세부과제별 연구비(안) 등은 ‘도심지 소단면(Φ3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발’ 기획보고서 참조

○ 과제별 연구기간 및 공모방식

세부과제명	연구내용	총 연구기간 (연차)	공모방식		금회 공모
			컨소 시업 공모	분리 공모	

세부과제명	연구내용	총 연구기간 (연차)	공모방식		금회 공모
			컨소 시엄 공모	분리 공모	
【 3세부과제 】 도심지 공동구용 수직구 급속 시공기술 및 장비 개발	(3-1) 공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발	1~5	○		○
	(3-2) 공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발	2~5		○	
	(3-3) 공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수재 개발	1~5	○		○

2절. 공모조건

- 이 연구에서 개발하려는 공동구 건설 기술은 일반 토목구조물에 비하여 구조물 발주기관, 관리기관 등이 타 구조물에 비하여 소수로 한정되어 있고, 개발 기술의 실용화 사업화 등에 필수적인 테스트베드를 수행하기 위한 현장 확보에 어려움이 있을 수 있음. 따라서 기술을 성공적으로 개발하고, 개발된 기술의 현장 활용성을 제고하기 위하여 일반 연구과제와 별도로 다음과 같은 별도의 공모조건을 추가함.
- 연구 추진체계의 구성 조건 : 공동구 기술 활용이 가능한 기관(공동구 시설의 발주 또는 관리), 기술 사업화가 가능한 기관(시공사, 설계사), 장비 제작이 가능한 업체(제작사) 등이 연구 주체에 포함되는 것이 바람직함.
- 성능 검증 시험을 통한 실용화 전략 수립 : 핵심 요소기술의 경우 테스트베드와 별도로 테스트베드 수행 전 개발된 기술의 완성도를 선행 검증하고 개발 기술을 최적화하기 위한 성능검증 시험 수행 계획을 구체적으로 수립하여야 함. 연구기관이 성능검증을 위한 부지를 제공하는 경우 제공되는 부지의 가치를 민간 대응 자금(현물)으로 인정하는 것이 가능함.
- 성능검증으로 완성된 기술을 테스트베드에 적용하기 위한 다수의 테스트베드 시험 후보지를 제시하여야 함.
- 핵심 연구장비의 확보 : 기존 장비에 급속 시공기술 등 신규 핵심 요소기술이 적용하여 장비를 개량하는 경우 연구 수행에 차질이 발생하지 않도록 연구에 활용되는 주요 장비(TBM 등)를 연구에 전담 활용하기 위한 핵심 연구장비 확보 계획(임차 또는 현물 등)을 수립하여야 함. 단 일부 기술개발이 아닌 신규 개발되는 장비는 별도로 함.
- 기업부담금(현금)의 확보 : 원활한 연구수행을 위하여 연구 신청기관이 부담하는 기업부담금을 충분히 확보하도록 노력하여야 함.
- 연구과제 분리공모 계획 : 기술을 성공적으로 개발하고, 개발된 기술의 현장 활용성을 제고하기 위하여 필요시 연구과제 분리공모 계획을 수립하여야 함.

3절. 선정평가 방법

1. 선정평가 내용

- 선정평가는 다음 기준을 적용하여 평가하는 것으로 함.

1.1 연구개발 목표

- 공동구 건설기술이라는 시대적 요구에 부응하는 건설 기술개발의 최종목표에 부합되도록 각 과제의 구성과 연차별 목표 및 최종목표를 설정하여 제시.
- 연차별 목표 및 최종목표의 달성에 대한 정량적인 평가를 위하여 국토해양부의 '건설교통 R&D 성과지표'에 따라 명확한 성과지표 설정과 평가기준 제시.

1.2 연구개발 내용

- 기술개발 최종목표의 실현을 위해 체계적이고 실천적인 과제 구성이 필요함.
- 기획과제에서 제시한 연구목표 및 기술 개발 요청 사항에 대하여 제안과제가 적절하게 제시되었는지, 상향된 목표를 제시하였는지 평가.
- 공동구 건설기술에 대한 체계적인 과제 구성 여부 평가.
- 최종 목표 달성을 위한 각 과제 간 연계성 및 차별성에 대한 평가.

1.3 추진전략 및 계획

- 지원한 기관 및 연구진은 기초/원천기술, 응용기술, 실용화기술 등 과제 성격에 따른 성과물을 얻을 수 있는 기관 및 연구진인가.
- 공동구 건설기술 개발의 성공적 수행을 위한 산, 학, 연의 기관이 적절하게 구성되었는가 및 연계되었는가.
- 과제의 최종 연구목표 달성을 위해 각 단계별 추진 사항에 부합하는 단계별 평가기준이 적절히 설정되었는가.

- 과제의 단계별 연구목표가 타당하고 연구개발 사항과 이를 위한 구체적 추진방안이 수립되었는가.
- 과제의 목표달성을 위한 연구기간의 단계설정과 연구개발비가 적정하게 편성되었는가.

1.4 연구성과물 활용계획의 구체성 및 달성 가능성

- 연구기관 또는 참여기관을 통한 개발기술의 실용화 방안이 성과지표의 구체적 항목으로 제시되었는가.
- 연구기관 또는 참여기관을 통한 개발기술의 실용화 및 사업화 방안이 성과지표의 구체적 항목으로 제시되었는가.
- 개발되는 과제 결과는 실험실 내의 제한된 범위와 조건과는 달리 현장의 여건과 환경을 고려한 실질적이고 실현가능한 기술인가.
- 개발기술의 경제적 기대성과로서 투자 및 파급효과 등에 대한 평가방안이 구체적으로 제시되었는가.

1.5 연구진 구성의 전문성

- 연구책임자는 과제 내의 세부과제 및 세세부과제 간에 유기적인 결합이 원활하게 추진되도록 할 필요가 있음.
- 연구책임자는 각 과제의 연구기관과의 협조체제구축은 물론 과제내에서 진행되는 과제 관리, 대외기술협력 등 해당 사업의 원활한 추진을 위한 역할을 수행해야 함.
- 참여연구진은 해당분야의 전문성을 확보하고 있는가 또한 관련분야의 국가연구개발사업을 수행한 경험이 풍부한 책임자로 구성하였는가.

2. 평가항목별 배점기준

- 개발 기술의 신규성과 혁신성, 공동구 건설기술 관련 정책 반영, 실용화 및 사업화 수준, 사회/경제적 파급정도, 관련 전문 인력 양성 등 다각적인 관점을 통해 도출된 과제 평가 항목은 다음과 같음.

기준항목		세 부 항 목
연구개발목표 (15점)		최종목표 및 연차별 달성목표의 명확성·타당성(5점)
		성과목표·지표설정의 명확성 및 적정성(10점)
연구개발내용 (25점)		과제(연구단 또는 일반과제) 연구 목표와의 부합성(5점)
		세부과제(또는 공동연구과제) 연구개발내용과의 상호연계성(5점)
		연구개발내용의 실현 가능성(10점)
		연구개발내용의 차별성 및 창의성(5점)
추진전략 및 계획 (20점)		연구추진전략·체계의 구체성 및 타당성(5점)
		연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성(5점)
		연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성(5점)
		전문가활용계획의 적정성 및 타당성(5점)
연구성과물 활용 계획의 구체성 및 달성가능성(25점)		연구성과물 활용방안의 구체성 및 적절성(10점)
		연구성과물의 실용화(법·제도화, 사업화 등) 가능성(10점)
		연구성과물의 기대성과(정책·사회·경제적 파급효과 등)(5점)
연구진 구성의 전문성(15점)		연구책임자 전문성 및 해당분야 실적(10점)
		연구진 전문성 및 구성의 적정성(5점)
기타	부합성 평가	평가위원 과반수이상이 연구개발계획서가 과제 제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정 시 탈락조치
	중복성 평가	평가위원 과반수 이상이 기 수행되었거나 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정 시 탈락 조치

※총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 경우에는 탈락

3. 가점 및 감점 기준

3.1 가점 및 감점 기준

- 「국토교통기술 연구개발사업 관리지침」 제17조에 따라 과제 선정평가 시 ± 5 점을 넘지 않는 범위 내에서 가점 및 감점을 부여.
- 가점 및 감점은 평가위원회 개최 전까지 제출된 자료를 근거로 평가위원회의 종합평가점수에 합산하되, 60점 미만인 과제에 대하여는 부여하지 않음.

3.2 기업의 연구수행 형태에 따른 가점

- 대기업이 주관연구기관으로서
 - 중견·중소기업이 참여하지 않는 경우 : 1점
 - 중견기업은 참여하고 중소기업이 참여하지 않는 경우 : 1.5점
 - 중소기업이 참여하는 경우 : 2점
- 중견기업이 주관연구기관으로서
 - 중소기업이 참여하지 않는 경우 : 1.5점
 - 중소기업이 참여하는 경우 : 2점
- 중소기업이 주관연구기관인 경우 : 2점
- 기업 이외의 기관이 주관연구기관이고, 참여기업이 있는 경우 : 1점

3.3 평가결과 등에 따른 가점 및 감점

- 국토교통기술 연구개발사업 관리지침 제17조의 가점 및 감점 기준에 따르되, 동지침 시행 이전에 협약 체결된 과제의 최종평가 및 추적평가 결과에 따른 가점 및 감점은 종전 지침에 의함.
- 총 연구 개발비에 대한 연구신청기관이 부담하는 연구개발비(현금)의 비율에 따

라 신청기관 별로 가점 부여(단, 경쟁응모인 경우에 한함)

- 신청기관 중 연구개발비(현금) 부담비율이 가장 높은 기관 : 2.0점
- 그 외 기관은 최대 연구개발비(현금) 부담비율을 기준으로 연구개발비(현금) 부담비율에 따른 가점 부여

$$\text{부여 가점} = 2.0 \times \frac{\text{해당 기관 연구개발비 부담비율}}{\text{신청기관 중 최대 연구개발비 부담비율}}$$

○ 최종평가 결과,

- 최우수등급(상대평가 시 최상위 10%, 절대평가 시 만점의 90% 이상)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후 2년간 2점 가점.
- 최하위등급(상대평가 시 하위 10%, 절대평가 시 만점의 50% 이하)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후(연구개발 참여제한에 해당되는 경우에는 참여제한 기간 만료 후) 2년간 2점 감점.
- 하위등급(상대평가 시 하위 30%, 절대평가 시 만점의 60% 이하)인 연구개발과제의 주관연구 책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 1점 감점.

- 추적평가 결과, 최우수등급(상대평가 시 만점의 80% 이상으로서 최상위 10%, 절대평가 시 만점의 90% 이상)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 추적평가 후 2년간 2점 가점.

3.4 기타

- 최근 3년 이내에 해외 우수논문(총 임팩트팩터 15 이상) 실적이 있는 주관연구책임자가 신규과제를 신청할 경우 가점 1점.
- 최근 3년 이내에 협약한 연구개발과제로서 협약 시 보안과제로 분류된 연구개발과제의 연구책임자가 신규과제 연구책임자로 신청할 경우 가점 1점.
- 최근 3년 이내에 기술실시계약을 체결하여 징수한 기술료 총액이 2천만 원 이상이거나, 같은 기간 내에 2건 이상의 기술이전 실적이 있는 연구책임자가 신규과제 주관연구책임자로 신청하는 경우 가점 1점.

- 최근 3년 이내에 공동관리규정 제17조제9항에 따라 국가과학기술위원회로부터 우수한 연구성과로 포상을 받은 연구자가 신규과제 주관연구책임자로 신청하는 경우 가점 1점.
- 국토해양연구개발 결과를 활용하여 최근 2년 이내에 R&D사업 연구결과로 건설·교통 신기술을 받은 중소·중견기업이 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」 제19조에 따른 녹색인증을 받은 중소·중견기업이 연구개발과제를 신청하는 경우 가점 1점.
- 최근 3년 이내에 운영규정 제55조제1항 각 호의 연구부정행위를 한 경우 4점 감점.
- 연구개발과제 선정 후 협약을 포기하거나, 연구수행 도중 연구를 포기한 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우, 향후 3년간 2점 감점.
- 여성연구자가 신규과제 주관연구책임자로 참여시 가점 1점.
- 최근 3년 이내에 조기성공 실적이 있는 연구자가 신규과제 주관연구책임자로 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] 사전타당성 검토

제1장. 경제적 타당성

1절. 경제성 분석

1. 경제성 분석

1.1 경제성 분석 방법

- 비용/편익 분석(Benefit/Cost Analysis)
 - B/C ratio는 분석 대상에 비용규모 대비 혜택규모의 비율로 해당 비율이 1보다 크면 분석 대상이 일정 수준 이상의 경제성이 존재하는 것으로 판단할 수 있음.

- 분석대상
 - 소단면 터널식 공동구 연구단의 세부사업과 관련된 3개 시장에 대해 분석하였으며, 3개 시장의 총괄적인 비용/혜택 분석 결과를 도출함.

- 편익범위
 - 본 연구단의 기술개발에 의한 편익은 미래 시장규모 추정이 가능한 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치 증대이므로 시장접근법을 사용함.
 - 본 연구단의 연구기간을 2015년~2019년으로 가정하고, 실용화 기간을 3~4년으로 볼 때 본 연구단의 결과물이 시장에 반영되는 시기는 2023년 이후라 볼 수 있음. (세부과제별로 2023년~2032년(10년간) 시장을 예측하여 반영하였음)

- 비용의 설정
 - 각 세부과제의 향후 5년간 예산(안)으로 정부출연금과 민간참여금을 합한 금액으로 산정함.

○ 편익(Benefit) 산출을 위한 요소

- R&D에 의한 부가가치의 증대를 환산하기 위하여, 추가창출시장규모, 부가가치 비중, 시장점유율, 기술기여도, 기술개발성공률, R&D기여도, 할인율 고려함.

$$\text{Benefit} = (\text{국내시장규모} \times \text{시장점유율} \times \text{기술개발성공률} \times \text{기술기여도}) \times (\text{부가가치비중} \times \text{R\&D기여도})$$

(연구개발사업 추진으로 인한 추가창출 생산액 기댓값) (부가가치창출비율)

- 추가창출시장규모 : 기술개발과제 추진을 통한 연구결과물이 과급되는 산업의 시장 규모
- 시장 점유율 : 해당 산업의 관련 국내 시장에서의 점유비율
- 기술개발성공률 : 2010년 산업기술연구회 등에 대한 국정감사 결과에 의하면 정부 연구개발(R&D)성과의 사업화 성공률이 30% 수준으로 조사되었으며, 이를 준용하여 적용함.
- 부가가치 비중 : 부가가치 비중은 한국은행의 2009년 산업연관표를 기준으로 건설업종의 40.1%를 적용함.
- R&D 기여도 : 본 연구 과제를 통해 달성된 기술 개선 비중은 KISTEP에서 작성된 R&D사업의 효과분석 사례를 근거로 30.6%로 적용하였음.
- 기술기여도 : 제품/공법에서 기술이 차지하는 비중(기술기여도를 일률적으로 적용하는 방법은 일반적으로 33% 이므로 33%를 적용함).
- 할인율 : 할인율은 10년만기 국고채금리인 3.5%를 적용함.

1.2 경제성 분석 결과

- 세부과제별로 적용 시장을 구분하여 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치와 R&D 예산을 산정하고, 이를 취합하여 연구단 전체 B/C ratio를 산정함.

- 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치와 R&D 예산을 고려한, 본 연구단의 경제성 분석 결과는 B/C ratio가 1.51로 나타나, 본 사업의 경제성 측면에서 긍정적으로 판단됨.

- 연도별 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치 및 R&D 예산을 고려한 금액 및 B/C ratio 산출식의 산정 결과는 다음과 같음.

- 편익 = 시장규모의 현재가치(62,166억원) × 시장점유율(50%) × 기술개발성공률(30%) × 부가가치 비중(40.1%) × R&D기여도(30.6%) × 기술기여도(33%)
= 378 억원

- 비용(250.7억원) = 연도별 소요 예산의 현재가치(NPV)

- 편익/비용 = 1.51

2절. 과학기술적 및 사회적·경제적 파급효과

1. 과학기술적 및 공익적 파급효과 분석

- 논문, 특허 등의 과학기술적 성과 및 공공기여 성과가 기대됨
- 각 세부과제별 성과목표에 도달 할 경우 논문, 지적재산권, 시제품, 기술이전, 설계기준 및 표준 등의 과학기술 및 공익적 성과가 기대됨.

2. 사회적·경제적 파급효과 분석

- 본 연구의 성공으로 10% 공사비 절감 시 예상 절감액은 향후 10년간 약 6,200 억원 정도의 금액이 절감 가능할 것이라 판단되며, 민원저감에 의한 국민편익 및 파급효과를 고려한다면 천문학적인 숫자가 예상됨.
- 급속/모듈화 기술개발을 통한 민원저감형 공동구·수직구 시공기술 개발을 바탕으로, 도심지 시공 시 교통혼잡 및 민원저감, 공사기간 단축으로 인한 수해/사고 등 재해 안전성을 향상시킬 것으로 기대됨.
- 공동구 방재 및 안전관리 시스템 개발을 통해 체계적인 재난 예방 관리로 예기치 못한 라이프라인 섷다운 방지 및 국민 안전 향상을 도모할 수 있을 것으로 판단 됨.
- 공동구·수직구 자동화/급속/모듈화 시공 기술개발을 통해 인구감소, 노령화, 극한 작업 기피 등 사회 환경변화 대응을 위한 노동력 절감을 이루어 내며 소단면 터널식 공동구 공사비 절감을 통한 국가예산을 절감할 수 있을 것으로 기대됨.

3절. 예산 적정성 분석

1. 예산계획 수립체계 및 과정의 적절성

- 각 요소기술과 그 하위 과제별 정부지원 및 민간 예산을 연차별로 구분하여 제시함.
- 도심지 소단면 터널식 공동구의 설계 및 시공 핵심 기술 개발을 위한 연구 목표와 범위를 고려했을 때 연구비의 수준이 합리적으로 산정된 것으로 판단됨.
- 세부별로 1세부는 LRFD를 이용한 설계법 개발 및 단면최적화 등 지침 및 기준 개정에 대한 것으로 장비 및 시제품제작에 많은 비용이 소요될 것으로 예상되는 2세부와 3세부에 비해 연구비가 다소 작게 산정 제시되었음. 2세부와 3세부의 2-3차년도에서는 shield-TBM용 중절장치, 수직구 굴착장치 등의 시제품이 제작이 필요할 것으로 예상되어 다소 높은 장비/재료비가 산정되었으며 이를 고려한 전체 연구비의 배분이 매우 합리적인 것으로 판단됨.
- 민간자용대금은 정부출연금의 약 30% 수준으로 실제 연구 개발에 참여하는 기관들이 현물 및 현금을 매칭하여 연구의 성공가능성과 실용화의 가능성을 보다 높일 수 있을 것으로 판단됨.
- 전체 연구단 기획위원회를 구성하여 예산을 산출함.
- 최소 연구단위의 연구과제 구성기술을 수행하는데 소요되는 적정비용을 산정하고, 이를 토대로 세부과제의 연구비를 산정하여 사업예산 규모를 확정함.
- 인건비는 '2011년 학술연구용역 인건비기준단가'를 기준으로 작성함.
- 각 구성기술별 특성을 고려하여 민간기업의 참여가능성을 예측하고 이를 바탕으로 정부출연금과 기업부담금을 구분함.
 - 정부출연금 및 기업부담금의 배분비율은 '국토해양부소관 연구개발사업 운영규정'의 '별표1 중앙행정기관 및 참여기업의 연구개발비 출연·부담 기준'을 작성기준으로 활용함.
- 항목별 예산은 '국토해양부소관 연구개발사업 운영규정'의 '별표 2 연구개발비 비목

별 계상기준'을 작성기준으로 활용함.

2. 과제별 예산 작성 및 배분의 합리성

- 각 세부과제의 세세부과제별 정부지원 및 민간 예산을 연차별로 구분하여 제시함.
- 각 세부과제의 구성기술별 정부지원 및 민간 예산을 연차별로 구분하여 제시함.
- 각 세부과제의 공동과제별 인건비, 직·간접비를 연차별로 구분하여 제시함.
- 인건비는 연구원을 4단계로 구분하여 참여율을 감안하여 산정함.
- 직접비는 연구장비, 재료비, 연구활동비, 연구수당으로 구분하여 산정함.

4절. 경제적 타당성 평가 및 결론

- 본 연구의 경제적 타당성을 평가하기 위해, 비용-편익 분석(cost-benefit analysis)을 수행하였으며, 이율을 5.5%로 가정하였을 때 실용화 5년 동안 1.16 수준의 B/C Ratio를 확보하는 것으로 평가되어, 실용화 후 비교적 단기간 내에 경제적 성과가 창출될 것으로 판단됨.
- 공동구 시장규모의 지속적인 성장(향후 10년간 총 6조 2천억원 규모 예상)이 기대되며, 이를 지원하는 정책들(전선공동구 설치 등에 관한 특별법, 서울시의회 공동구 설치 조례 등)도 함께 추진되고 있으므로 본 연구를 통해 발생하는 활용성 및 편익은 더욱 증가할 것으로 기대됨.

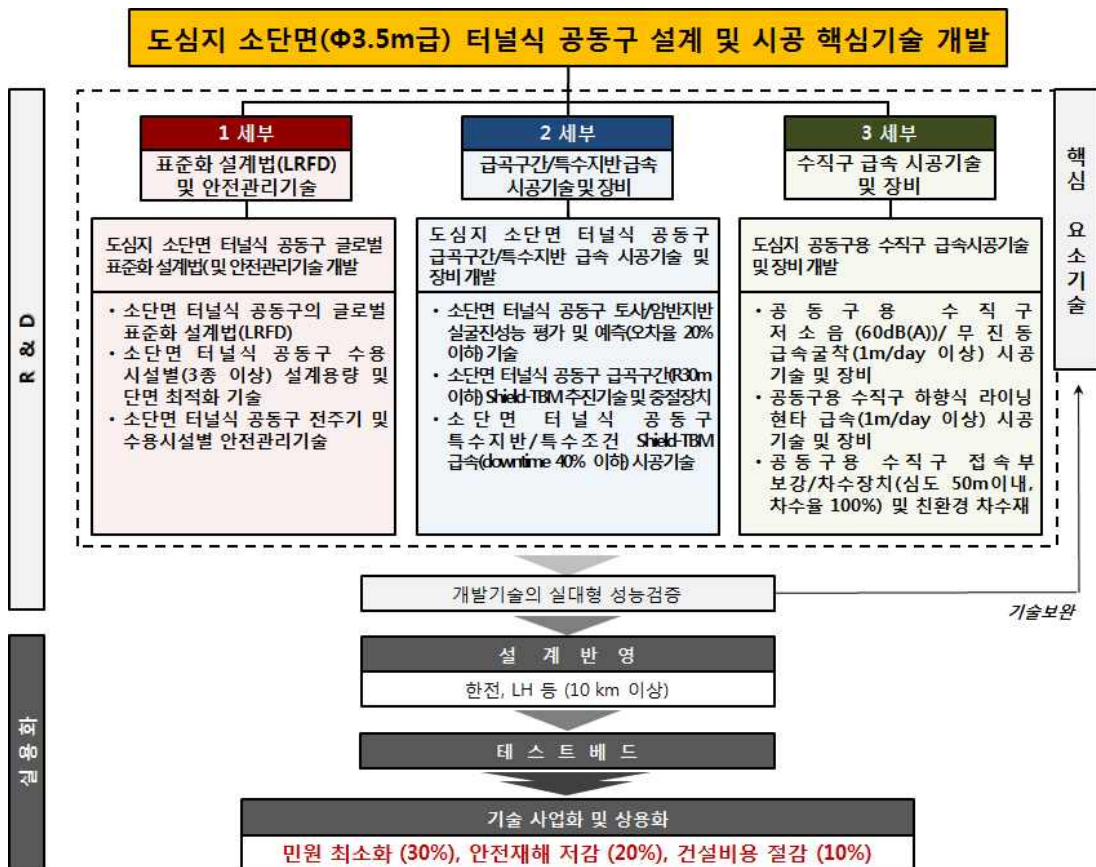
제2장. 기술적 타당성

1절. 기술개발 계획의 적절성

1. 사업목표와 내용의 구체성

1.1 사업목표의 구체성

- “도심지 소단면($\phi 3.5\text{m}$ 급) 터널식 공동구 핵심기술 개발 연구단”의 총괄목표를 구체적으로 제시함.
- 본 연구단의 비전은 “도심지 소단면($\phi 3.5\text{m}$ 급) 터널식 공동구 건설을 위한 글로벌 표준화 최적설계기법 및 안전관리 시스템 확보, 자동화/급속/모듈화 시공기술·장비 개발”이며, 이를 달성하기 위한 총괄목표는 “도심지 소단면($\phi 3.5\text{m}$ 급) 터널식 공동구 핵심기술 개발”으로 구체적으로 제시함.
- 연구단 총괄목표를 3개의 세부목표로 세분화하고 각각의 세부목표를 달성하기 위하여 세부과제 및 세부과제 목표를 구체적으로 제시함.



○ 본 연구단의 세부과제 목표를 단계별로 제시함.

단계구분	1단계		2단계		3단계
	기초연구 및 개발준비		기술개발 및 완성		검증 및 실용화
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술	<ul style="list-style-type: none"> 국내·외 관련 사례조사 데이터베이스 구축 각종 통계량 정리 	<ul style="list-style-type: none"> 중요인자 산정 설계용량 최적화 기법 개발 표준 작업 분류 (WBS) 체계 정립 	<ul style="list-style-type: none"> 통합 관리 시스템 체계 구축 최적단면 설계기술 개발 안전 위험요인 발굴 및 지침서 개발 공정관리 모델 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 한계상태설계법 정립 및 표준서작성 내진설계 기준 정립 방재기법 개발 	
급속구간/특수지반 급속 시공기술 및 장비	<ul style="list-style-type: none"> 국내·외 기술 조사 데이터베이스 구축 기술 패턴 확립 	<ul style="list-style-type: none"> 상호거동 모델 개발 기술인자 도출 이론 개발 검증실험 시설 설계 	<ul style="list-style-type: none"> 기술 메커니즘 확립 기술 모델 개발 분석 기법 개발 Mock-up 제작 시공 위험도 평가 시스템 고안 	<ul style="list-style-type: none"> 시공 장비/공법 개발 시공 가이드라인 개발 안정성 확보방안마련 	
수직구 급속 시공기술 및 장비	<ul style="list-style-type: none"> 기술동향 파악 및 사전연구 계획 수립 경제성/타당성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 기존 공법 분석 설계기법 개발 굴착 공법 설계 	<ul style="list-style-type: none"> 최적 재료 선정 굴착 장비 제작 기본설계 및 상세설계 기술 개념 Mock-up 	<ul style="list-style-type: none"> 시작품 제작 굴착 공법 구축 실증실험 및 보완 	<ul style="list-style-type: none"> 현장 시험적용 기술 실용화 규격화 및 상품화 시공 매뉴얼 작성

- 본 연구단 목표를 달성하기 위한 세부과제의 목표를 단계별로 구분하여 구체적으로 제시하였으며, 연차별로 도출되는 성과물에 대한 세부적인 사항을 확인 가능하도록 성과목표와 성과지표를 합리적으로 제시한 것으로 분석됨.
- 각 세부과제의 단계별 목표는 연구단의 목표를 달성하기 위해 적절하게 설정 되었다고 판단됨.
- 연차별 도출되는 성과물(논문, 특허, 비용절감, 기술이전 등)에 대해 파악이 가능하도록 성과목표, 성과지표 및 측정방법이 제시되어 있어 연구의 성공/실패 여부를 객관적으로 측정할 수 있도록 타당하게 제시한 것으로 판단됨.

○ 연구단의 목표를 설정한 근거를 타당하게 제시함

- 연구단의 목표는 정책/경제/기술 동향 분석 및 논문/특허 분석, 인프라 분석을 통해 도출된 시사점에 기초하고 있으며, 그 과정에서 이슈트리라는 논리적 구조 모형을 사용하여, 목표 설정 체계 및 근거가 논리적이고 타당성이 있는 것으로 분석됨.
- 공동구는 국토 공간내 기반시설과 이의 연결망으로 구성되는 도로, 철도 등 ‘라이프라인’의 일부로 전선로·통신선로 등을 공동 수용하여야 하므로 관할지자체를 비롯한 유관기관이 다수이며, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의해 주요 국가 기간시설로 구축되므로 국가차원의 통합 설계기준/방재안전 관리시스템 및 시공기술 개발이 반드시 필요한 상황임.
- 공동구 연장은 해가 갈수록 기하급수적으로 늘어나고 있으며, 공동구 시장규모는

향후 10년간 총 6조2천억원(물가상승 제외)으로 추정됨. 이 연구의 성공으로 10% 공사비 절감 시 예상 절감액은 향후 10년간 약 6천2백억원이 가능하고 민원저감에 의한 국민편익 및 과급효과를 고려한다면 천문학적인 숫자가 예상됨.

- 국내 소단면 터널식 공동구 수요에 대응하기 위해서는 글로벌 표준화 설계기법(LRFD) 및 안전관리시스템 확보, 자동화/급속/모듈화 시공기술 및 장비 개발기술 확보가 필요하며 본 연구단에서 설정한 목표는 타당한 것으로 분석됨.

1.2 사업내용의 적절성

- 3개의 세부과제의 연구내용은 본 연구단의 목표 달성을 위해 적절하게 구성되었음.
 - 1세부과제는 도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발로서 이를 달성하기 위해 총 3개의 연구과제로 구성함.
 - 2세부과제는 소단면 터널식 공동구 건설을 위한 핵심기술로서 이를 달성하기 위해 총 3개의 연구과제로 구성함.
 - 3세부과제는 공동구 건설 시 필요한 수직구관련 급속/모듈화 시공 공법 개발과 관련하여 총 3개의 연구과제로 구성함.
 - 각 세부과제는 세부과제를 구성하는 기술을 명확히 제시하고 각 구성기술별 내용을 구체적으로 기술함.

<표 1> 1세부과제 구성기술

1세부 과제 : 도심지 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 및 안전관리기술 개발			
1	1-1	소단면 터널식 공동구의 글로벌 표준화 설계법(LRFD) 개발	- 글로벌 표준화 설계법 적용을 위한 국내 지반 중요인자 평가기술 - 한계상태설계법 적용을 위한 내진해석 및 내진설계 기술 - 한계상태설계법에 의한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계기술 - 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계기준 개정 및 운영관리 가이드라인
	1-2	소단면 터널식 공동구 수용시설별(3종 이상) 설계용량 및 단면 최적화 기술 개발	- 소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 최적화 기술 - 소단면 터널식 공동구 수용시설별 단면 최적화 기술 - 글로벌 표준화 설계(LCC) 표준 공정 및 공사비 관리시스템
	1-3	소단면 터널식 공동구 전주기 및 수용시설별 안전관리기술 개발	- 소단면 터널식 공동구 전주기 안전 위험요인(안전사고, 화재, 테러, 지진, 침수 등) 조사/평가기법 - 소단면 터널식 공동구 수용시설 특성을 고려한 안전관리기술

			- 소단면 터널식 공동구 안전관리 매뉴얼 및 지침서
--	--	--	------------------------------

<표 2> 2세부과제 구성기술

2세부 과제 : 도심지 소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하)/특수지반 (downtime 40% 이하) 급속 시공기술 및 장비 개발			
2	2-1	소단면 터널식 공동구 토사/암반지반 실굴진성능 평가 및 예측(오차율 20% 이하) 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 소단면 Shield-TBM 실굴진성능 평가기술 - 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진율 데이터베이스 - 국내 복합지반 특성을 고려한 소단면 Shield-TBM 토사/암반지반 실굴진율 예측기술 - 굴진성능 예측기술 실험대형 성능검증 및 테스트베드
	2-2	소단면 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) Shield-TBM 추진기술 및 중절장치 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 급곡구간 Shield-TBM 추진 및 시공기술 - 급곡구간 시공 Shield-TBM 중절장치 - 급곡구간 세그먼트 지보시스템 - 급곡구간 시공장비·추진기술 실험대형 성능검증 및 테스트베드
	2-3	소단면 터널식 공동구 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속 (downtime 40% 이하) 시공기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 고수압 등 특수조건에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 기술 - 특수지반(복합지층, 호박돌층 등)에서의 소단면 Shield-TBM 급속시공 기술 - 특수지반/특수조건 Shield-TBM 급속시공 기술 실험대형 성능검증 및 테스트베드

<표 3> 3세부과제 구성기술

3세부 과제 : 도심지 공동구용 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발			
3	3-1	공동구용 수직구 저소음(60dB(A))/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 시공기술 및 장비 - 수직구 급속 굴착장비 제어 기술 - 실험대형 성능검증 시험 및 테스트베드
	3-2	공동구용 수직구 하향식 라이닝 현타 급속 (1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 현타 슬립폼을 이용한 수직구 하향식 라이닝 급속시공 기술 및 장비 - 수직구 구조물 슬래브/계단/접속개구부 급속시공 기술 - 수직구-수평터널 연결부, 가설장치 시공 기술 - 실험대형 성능검증 및 테스트베드
	3-3	공동구용 수직구 접속부 보강/차수장치(심도 50m 이내, 차수율 100%) 및 친환경 차수	<ul style="list-style-type: none"> - 접속부 직경별/시공 심도별 상대변위 및 수용범위 - 터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강공법 - 비시멘트계열 친환경 차수재 및 시공기술 - 실험대형 성능검증 시험 및 테스트베드

- 연구개발과제의 도출 프로세스를 제시함으로써 본 연구단 세부과제 도출의 적절성을 제시함.
- 본 연구단의 기획검토위원회 결과를 반영하여, 소단면 터널식 공동구 건설기술 개발 분야에 한정하여 세부 사업내용을 확정함에 따라 사업내용의 선정절차는 적절한 것으로 판단됨.
- 국내외 기술수요조사, 경제/기술동향, 인프라, 선행사업 분석을 실시하여 후보과제를 선정, 기술전문가를 통한 후보과제의 우선순위 도출을 통한 기획대상 과제를 확정함.

2절. 사업추진전략의 적절성

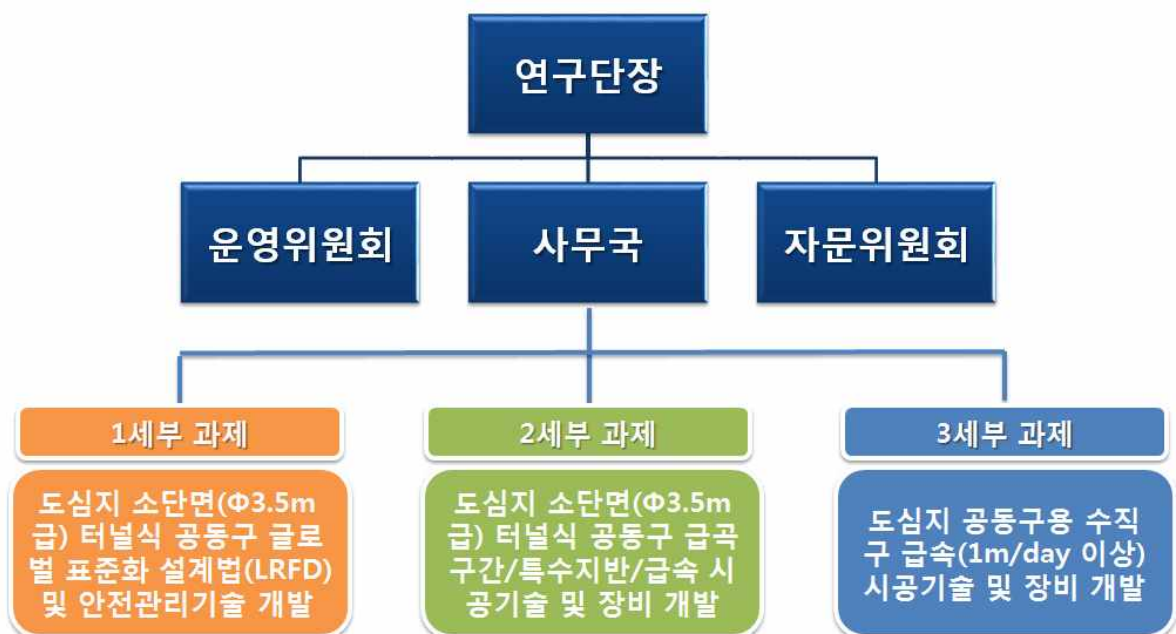
1. 사업추진전략의 구체성 및 도출근거

- 산학연 전문가로 구성된 기획위원회를 통하여 총괄목표 및 세부목표의 단계별 목표를 수립하고 이를 달성하기 위한 3개의 세부과제와 27개의 연구 과제를 구성함
- 각 세부과제별로 기존사업과의 중복성 분석결과를 바탕으로 구성기술, 연구개발 추진전략, 기술적 위험요인, 기술개발 성공가능성에 대하여 구체적으로 제시하였음.
- 핵심기술 위주의 개발 전략을 수립함.
 - 국내 개발 관련기술의 적극 활용을 통한 기술연계 시너지 극대화
 - 국가 연구개발사업에서 개발된 기존 기술과 접목하는 전략 수립
- 철저한 실험검증 전략을 수립함.
 - 현장적용/상용화를 위해 철저한 검증 및 테스트베드 구축을 위한 전략 수립
 - 개발 기법의 적용결과를 이용한 소단면 터널식 공동구 건설기술 간의 유기적인 연계 전략 수립
- 기술사업화 추진을 통한 실용화 효율 극대화 전략을 수립함.
 - 기술사업화 추진을 위한 실시기업 연계 및 실시기업의 기술개발 참여도 확대 전략 수립
- 연구개발 내용별로 기준 수립과 실용화 개발로 분류하여 목표 수준을 수립함

2. 사업추진체계의 적절성

- 본 연구단은 라이프라인 지중화 조기실현을 위해 소단면 터널식 설계기준/최적설계/안전관리 시스템 개발, 급곡구간/특수구간 소단면 터널식 공동구 건설기술, 급속/모듈화 수직구 건설기술 개발 총 3개 세부과제로 이루어진 사업으로 과제의 특성을 감안하여 연구단 형태로 추진하는 것이 타당하다고 판단됨.
 - 본 사업의 연구비(정부출연금 기준)는 약 192억원으로 건설교통기술평가원의 연구수행 형태 구분 중 정부출연금 기준의 연구단 연구수행 형태구분에 만족함.

- 연구단 추진조직의 구성에 대해 상세하게 기술함
 - 산학연 연계 및 확보기술 실용화 조직을 구성함.
 - 정부, 정부출연연구원, 대학, 시공사, 소재업체, 제품생산업체 등과 유기적인 협력체계를 구축함
 - 실용화를 목적으로 산·학·연 공동연구 조직을 구성함.
 - 원천기술 확보와 기준 개발은 학·연 중심으로 주관연구기관이 추진함.
 - 실용화기술 개발은 산·학 중심으로 주관연구기관이 추진함.
 - 국내외 관련기관 네트워크 활용 및 국제교류를 통한 연구동향 조사 및 연구방향을 검증함.
 - 본 연구단의 추진체계에 대하여 보다 세부적인 추진계획을 수립하는 것이 필요하며, 향후 본 연구단을 수행하는 총괄 주체가 세부적인 추진체계를 수행할 것으로 기대됨.



사업 추진체계의 구성

3. 성과 평가 및 관리체계의 적절성

- 총괄목표 및 세부과제 목표의 달성 여부를 측정하기 위하여 세세부과제 수준으로 아래의 핵심점검 사항에 대하여 성과평가 적절성을 점검하였음.

- 연구단 성과목표가 구체적으로 설정되어 있는지 여부 확인
- 설정된 성과목표를 측정하는 방법이 확정되어 있는지 여부 확인
- 연구단 목표와 대외(정부, 기업, 대학)목표가 같이 고려되었는지 여부 확인
- 연구단의 목표달성도를 측정하기 위한 자료 수집이 가능한지 확인
- 연구단의 목표달성시점을 명확히 설정하였는지 여부 확인

- 세세부과제의 성과목표를 측정 가능하도록 정량적이며 구체적으로 제시하였으며 성과지표는 공통지표(학술적 성과와 지식재산권)와 특성지표(매뉴얼, 시제품, pilot, 기술이전, 공사비용 절감효과)로 구분하여 세세부과제별 목표에 부합하도록 지표를 설정하고 이에 따른 측정방법 및 설정 근거를 적절하게 제시함.

- 향후 본 연구단을 추진하는 주체가 성공적인 사업목표달성을 위해 성과관리체계의 효과적인 방안을 검토하는 것이 필요함.
- 본 연구단을 추진하는 주체가 성공적인 사업목표달성을 위해 한국건설교통기술평가원의 성과관리체계를 적용하는 것을 추후 검토할 예정임.

3절. 기술수준 및 성공가능성

1. 기술수준 및 역량분석

1.1 보유기술수준 및 기술개발의 기대수준

- 소단면 터널식 공동구 연구단 관련분야의 선진국 대비 국내 기술수준을 파악하기 위해 최고기술보유국, 기술수준 및 기술격차 분석을 수행하였음.
- 소단면 터널식 공동구 연구단의 최고기술 보유국은 유럽, 미국, 일본 등으로 조사되었으며, 글로벌 표준화 설계법(LRFD)을 고려한 터널설계와 관련된 기술수준은 50% 정도이며 우리나라와의 기술격차는 6년인 것으로 조사되었음.
- 또한, 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계용량 최적화 연구와 관련된 기술수준은 약 80% 정도이며 우리나라와의 기술격차는 약 4.3년인 것으로 조사되었음.
- 국내 기술수준은 해외에 비하여 전체적으로 뒤쳐져 있으나, 국내의 소단면 터널식 공동구 건설기술과 연관 있는 다수의 연구 경험과 성과를 활용하여 추진한다면 본 연구단이 종료되는 시점에는 선진국 수준에 근접할 것으로 예상됨.

1.2 기술개발 역량 및 잠재력

- 기술개발을 위한 전문인력 보유 정도, 기술 구축정도, 연구 시설 및 설비, 등에 대하여 국내와 선진국과의 인프라 수준을 비교 분석한 결과, 향후 본 과제를 추진 시 산학연 및 해외 공동연구가 필요할 것으로 판단됨.
- 소단면 터널식 공동구 건설기술 개발역량 및 잠재력 분석 결과 전문인력과 실험장비 등의 인프라는 충분히 보유된 상태이나, 연구소 및 대학에 전문인력이 특정 분야에 편중되는 것으로 나타나 본 과제 추진 시 산학연협력 및 해외 공동연구가 필요할 것으로 판단됨.

2. 기술개발의 성공가능성

2.1 기술적 위험요인

- 본 연구단의 세부과제 수준으로 연구개발 수행 중 발생할 수 있는 기술적 위험요인, 기술확보 위험요인을 분석하고 이에 따른 대응방안을 수립하였음.
- 공동구 평면선형 계획 시에 수많은 지장물이 존재하여 노선의 선정에 악영향을 주는 기술적 한계를 극복하기 위해 최대한 유사 조건에서의 연구를 수행할 수 있도록 함.
- 요소기술 확보를 위해 국내외 유사자료의 검증 및 요소별 기술 상관성 검증 연구를 하고 국내외 관련분야 연구진과의 상호 교류 및 공동연구를 추진하도록 함.
- 기존 연구에서 수행한 기술의 일부를 활용하고 기술자문그룹 및 상용화/사업화 운영을 통해 기술개발 성공가능성을 높임.
- 핵심기술 위주의 개발 전략 수립을 통하여 기존 관련기술과의 연계 시너지 극대화 전략을 수립함.
- 상용화를 위해 요구되는 기술을 핵심기술-세부기술-단위기술로 세분화하고 참여기관 연구역량을 고려하여 연구개발 업무를 분담함.
- 기술개발의 실패 시 해외기술을 도입하여 추진하며, 향후 본 연구단 과제를 수행하는 기관에서 해외기술 도입을 위한 세부적인 전략 수립이 필요함.

2.2 기술개발 성공가능성

- 소단면 터널식 공동구 건설기술개발 관련 분야의 국내 기술수준, 연구역량 및 위험요인에 대한 대응방안 수립을 종합적으로 고려할 때, 본 연구단에서 수행하는 기술개발은 성공가능성이 높을 것으로 판단됨.
- 세부과제별 성공여부를 결정하는 핵심요소기술의 성공가능성을 분석한 결과, 해저터널 핵심기술 중심으로 개발이 수행된다면 본 과제 추진 시 기술개발의 성공가능성이 높을 것으로 기대됨.
- 최고기술 보유국과 우리나라의 기술격차가 3.2년으로 기술개발 수준은 높지 않은 편이나, 우리나라는 해저터널 분야에 다수의 연구 실적을 연계/활용한다면 기술개발 성공가능성이 높을 것으로 판단됨.
- 관련 연구인력 부족은 국내외 산학연 협력 및 공동연구 수행으로 극복할 수 있을 것이며, 기자재 부족은 정부의 적극적인 지원이 이루어진다면 기술개발의 성공가능성을 높일 수 있을 것으로 기대됨.

2.3 기존 사업과의 중복성

(1) 기존 사업과의 중복성 검토

가. 기존 사업과의 중복성 검토 절차 및 내용의 적절성

- 본 연구단에서 추진하는 과제는 여러 기획과정을 거쳐 추진하였으며, 기존 연구와의 중복성을 검토하여 기존연구와 연계, 활용, 차별화 전략을 제시하여 중복성을 최소화한 것으로 판단됨.
- 본 연구단에서 수행할 연구에 대한 중복성 조사는 1차적으로 NTIS 자료 및 각 부처별 R&D 계획 자료를 이용하여 중복가능성이 있는 사업과 과제들을 심사하였음.
- 각 단계별로 전문가 자문을 추진하여, 1차 스크리닝 결과에 대해 검토를 하였으며, 검토 시 제기된 중복과제에 대해 면밀한 심사를 진행하였음.
- 중복성 검토는 세부과제별로 기존과제 연구성과 활용을 통한 시간단축 및 시행착오 최소화를 위한 연계가능 방안, 기존과제 연구성과의 성능 및 수준향상을 통한 성과의 고도화 방안으로 구분하여 분석함.

2.4 기술적 타당성 평가 및 결론

- 본 기획 결과는 기술개발 기획에 있어 각 세부과제별 연구목적 및 배경, 연구개발 목표, 기술개발 및 산업시장 동향, 기존 기술 활용방안, 선행연구와의 차별성 등이 구체적으로 제시되는 등 연구 개발계획의 완성도 및 적절성이 우수한 것으로 판단됨.
- 또한, 기술로드맵 수립에 있어서도 연구 과제의 목표 및 세부 기술개발 내용간의 연계성, 최종 성과물의 실용화 등이 종합적으로 고려되어 세부과제별 기술로드맵(TRM)이 작성됨.
- 타 과제와의 중복성에 있어서도 소단면 터널식 공동구 분야에 특화된 기술을 주요거점에 대해 집중적으로 구축하는 등 타 과제와 차별화된 연구가 진행되도록 계획하였음.

제3장. 정책적 타당성

1절. 국가전략적 중요성

1. 산업·국토개발 정책적 중요성

- 정부에서는 미래에 발생할 기상재해, 지진 등으로 인한 SOC시설물 피해를 줄이고, 국민의 생명 및 재산을 안전하게 지키기 위해서 교량, 터널, 지하 공동구와 같은 SOC시설물에 대한 선제적 재해안전을 담보하는 기술개발을 고려중이며, 이를 위해 민원저감형 경제적 도심지 소단면 터널식 공동구 건설이 필요함.
- 본 연구단의 연구개발을 통해 미래 각종 자연재해를 대비하여 에너지 공급 시설의 안전관리를 강화할 수 있으며, 도시인구 과밀화로 인한 각종 도로, 철도, 지하철, 전력/통신 시설 등 라이프라인 시설 밀집현상과 난개발로 인한 만성적 예산 낭비 및 민원의 절감을 통해 정부의 정책 달성에 기여함.

2. 사회문화적 기여도와 중요성

- 본 연구단의 사업추진으로 도심지 라이프라인 시설들의 지중화 실현을 통해, 교통혼잡 예방, 방재성능 향상으로 쾌적한 도시환경을 조성하여 국내 산업에 사회문화적으로 긍정적인 파급효과가 발생할 것으로 예상됨.

3. 정부지원의 타당성

- 국내 소단면 터널식 공동구 건설 기술 수준은 현재 추진 중인 민원저감형 경제적 도심지 소단면 터널식 공동구 프로젝트를 추진하기에는 미흡하여, 해외기술 수입을 고려해야하며, 공동구는 공공재로써의 성격이 강하기 때문에 민간에서는 연구개발에 대한 매력이 떨어져 정부에서 주도적으로 연구개발을 추진해야 할 것으로 판단됨.

4. 사업추진의 시급성

- '13년 발의되어 국회 계류 중인 '전선공동구 설치 등에 관한 특별법안' 통과시 소단면 공동구 시장 규모가 대폭 확대될 가능성이 있으며, 전선공동구에 전력·통신만 포함되는 단면 특성상 소단면 공동구가 대폭 급증할 것으로 추정됨.
- 도심지 시공 특성으로 개착 공동구 보다는 터널식 공동구를 시공해야하나, 터널식 공동구는 개착식 공동구 대비 4배 이상 고가임. 국가 예산절감 차원에서 급증이 예상되는 공동구 공사비의 절감을 목표로 설계기준/방재안전 관리시스템 및 시공법 개선/개발을 위한 연구와 이에 대한 정부차원의 지원이 시급함.
- 급증하는 공동구 시공으로 인한 교통장애, 민원 등에 대비하기 위해 도심지 공동구·수직구 급속/모듈화 시공 공법·장비의 개발이 시급히 요구되므로 당해연도 예산반영이 반드시 필요함.
- 국정과제와 창조경제의 일환인 유망 중소·중견기업에 대한 R&D 지원강화와 민간 R&D 확대를 위해 적기 예산반영이 시급함.

2절. 상위계획과의 부합성

1. 정책적 일관성

1.1 상위유관계획과의 부합성

- 정부의 주요 정책 분석을 통해 상위계획과 연구단 및 세부과제와의 연계성을 분석한 결과 연구단을 구성하는 모든 세부과제는 상위 계획과 상당히 높은 연계성을 가지고 있는 것으로 판단됨.
- 제 4차 기술이전·사업화 촉진계획(2012~2014)
 - 이종기술·산업간 융복합 사업화 및 활성화를 통한 개방형 혁신을 추진하여, 추후 개발되는 기술에 대한 실대형 성능 검증과 현장적용의 기회를 제공하여 신기술 인증 및 사업화를 촉진시키고자 함.
 - 글로벌 기술사업화 및 네트워크 강화 촉진을 위한 수단으로 정부부처 간 협력채널 지원을 통하여, 도심지 라이프라인시설의 공동화 및 설계기술의 글로벌 표준화를 통하여 민간기업의 해외시장 개척 및 기술사업화를 모색하고자 함.
- 제 3차 과학기술기본계획(2013~2017)
 - 공공시설의 효율적 건설 및 도심지 공사에 의한 교통혼잡 해결을 통한 민원 저감을 바탕으로 생활공간편의성을 향상코자 함. 또한, 환경변화(인구감소, 노령화, 극한작업 등)에 대한 능동적 대응을 위한 시공 자동화·모듈화 추진.
 - 설계기술 글로벌 표준화 및 급속·모듈화 시공기술 개발에 의한 공간확보, 한계극복, 사용효율 극대화 등 국토의 효율적 사용을 위한 최첨단 터널식 공동구 건설 역량 강화 추진.
- 제 5차 건설기술진흥기본계획(2013~2017)
 - 설계·시공기준의 OECD화를 위해 한계상태설계법(LRFD) 도입으로 설계기준의 글로벌 표준화를 촉진시키고자 함.
 - 공동구 표준공정/공사비 관리시스템 개발로 시공기준의 글로벌 표준화를 촉진시키고자 함.
- 국토해양 R&D 발전전략
 - 기존 국토해양 R&D 발전전략의 녹색기술 R&D체계 미흡하고 부처가 통합되었으나 분야별 사업규모의 차이 존재, 사업의 기술분야별 세분화로 유사기술간 시너지 창출에 대한 연계 부족등의 문제점을 해소하기 위해, 국토해양부에서는 국토해양 R&D발전전략을 개편하여 추진함.
 - 새로운 국토해양 R&D 발전전략은 녹색성장 측면에서 미래 시장성이 높은 분야

를 독립하고, 기술영역이 유사한 사업을 통합하여 기술간 연계 강화를 통한 시너지 효과를 극대화하고, 사업 내 일부 이질적인 분야를 유관사업으로 이관하는 방향으로 개편함.

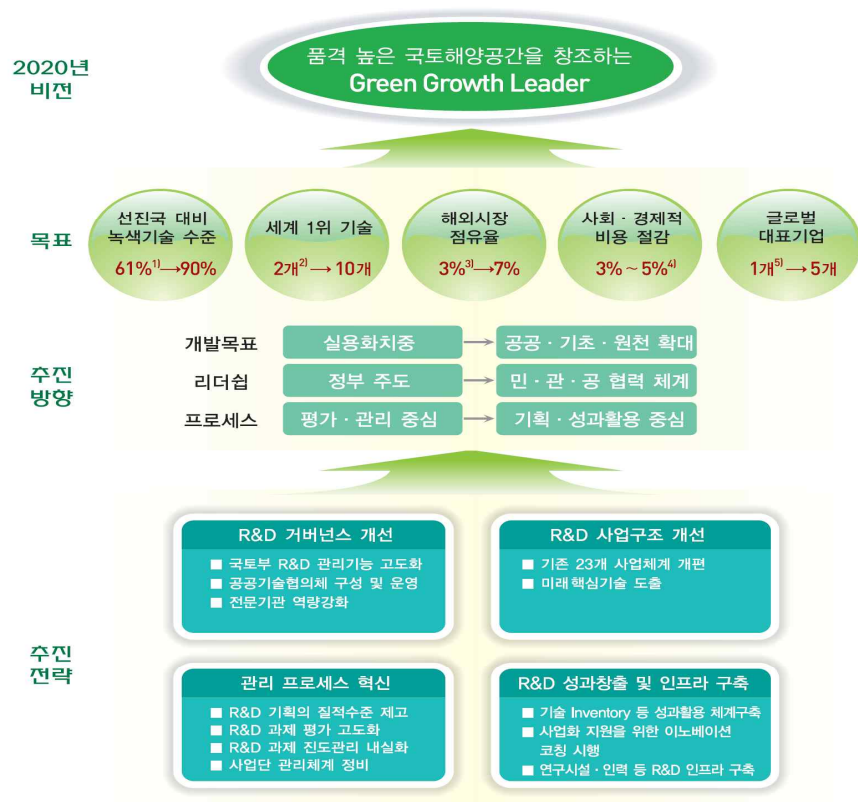
- 국토해양 분야의 녹색기술 관련 미래핵심기술(Green up-30)에 예산을 투자하고 있으며, 본 연구단은 Green up-30 미래핵심 기술 중 건설분야의 대심도 교통·물류 네트워크 구축기술 기획을 추진하는 연구단임.
 - 제 5차 건설기술진흥기본계획 (국토해양부, 2012.12.)
- 제 5차 건설기술진흥기본계획은 선진국 대비 건설기업 설계 경쟁력수준을 10위권으로 끌어올리는 것을 목표로 하고 있으며, 2014년 현재 국내의 글로벌 표준화 설계법 (LRFD/LCC)을 고려한 터널설계기술 수준은 50% 수준으로 조사됨. 본 연구단의 기술개발활동을 바탕으로 향후 관련 기술수준을 80-90% 수준까지 향상시킬 수 있을 것으로 기대됨.
- 소단면 터널식 공동구 글로벌 표준화 설계용량 최적화 연구 관련 기술수준은 선진국대비 70-80% 수준으로 조사되었으며, 본 연구단의 기술개발활동으로 90~100% 수준까지 향상시킬 수 있을 것으로 예상되어 관련 기술을 목표치 수준까지 향상시키는 데에 기여할 것으로 보임.

3절. 사업 추진의지와 관련기관 협조체계

1. 정책적 추진의지 분석

1.1 본 연구단과 관련한 국토교통부의 관련 사업 추진의지

○ 국토교통부(구 국토해양부)는 2010 ‘국토해양 R&D 발전전략’을 통하여 기술수준 향상, 사회/경제적 비용 저감, 사회 환경개선 등의 성과를 창출하여 글로벌 5대 녹색강국으로 도약하고자 함.



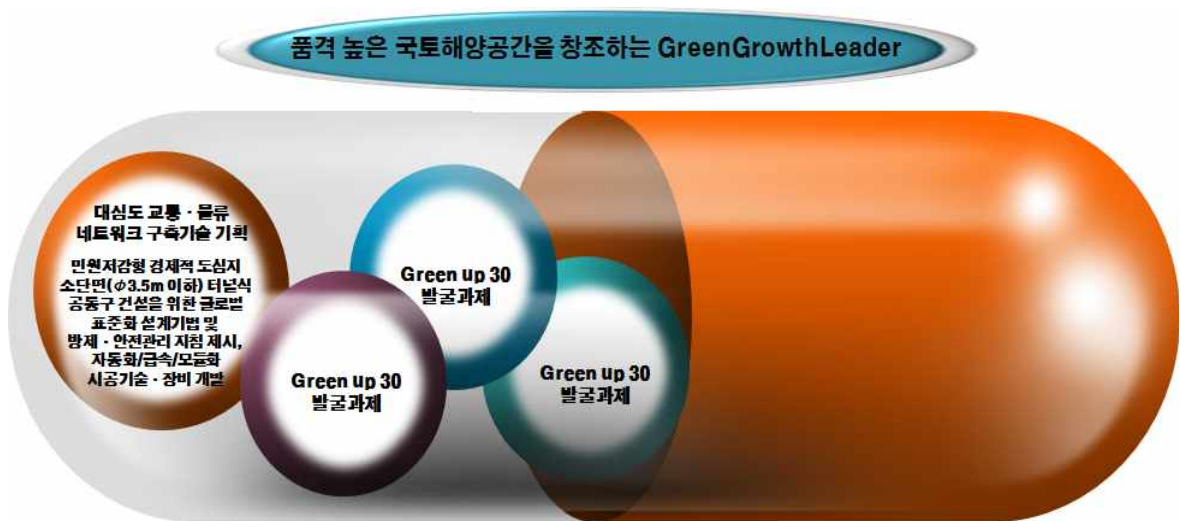
1) Delphi 조사 결과 기준; 2) 현재 해수담수화 기술, 용존리튬추출 기술; 3) 국토해양 핵심산업의 시장점유율: 건설시장 2.9%, 플랜트 5.4%, 엔지니어링 0.5% 등; 4) '09년 406조원 비용발생(교통사고비용, 물류비용, 혼잡비용, 재해피해, 에너지 비용); 5) 두산중공업(해수담수화 플랜트)

국토해양 R&D 발전전략의 비전 목표 및 추진전략

- 국토해양 R&D 사업체계를 미래중점분야 육성 등 방향으로 사업체계를 23개에서 19개 사업으로 개편하고 녹색·공공, 기초·원천기술 투자를 확대함.
- 미래 국토해양 분야의 녹색성장을 견인할 신성장 동력 창출을 위해 미래핵심기술 “Green-up 30”을 도출하였음.
- 본 연구단은 건설 분야의 공공 및 성장동력 창출을 위한 소단면 터널식 공동구

기술이 주요 연구내용으로 국토부의 사업 추진의지는 매우 높을 것으로 판단되며, 공공기여를 고려하면 국토부의 적극적인 지원이 수행될 것으로 예상됨.

- 본 사업의 비전은 “민원저감형 경제적 도심지 소단면(φ3.5m 급) 터널식 공동구 건설을 위한 글로벌 표준화 설계기법 및 방재·안전관리 시스템 확보, 자동화/급속/모듈화 시공기술·장비 개발”로 국토해양부의 R&D 비전인 "품격 높은 국토해양공간을 창조하는 Green Growth Leader"를 실현하기 위한 소단면 터널식 공동구 건설기술 분야의 연구개발로서 그 필요성이 인정됨.
- 국토해양부는 R&D를 통한 기대효과로 사회적 비용절감효과와 녹색산업 성장을 예상하고 있으며, 본사업의 추진으로 소단면 터널식 공동구 건설기술 분야의 사회적 비용절감효과가 예상됨.



국토해양부 R&D 비전과 연구단 비전의 관계도

4절. 사업 추진상의 위험요인과 대응방안

1. 사업추진상의 위험요인 및 대응방안

1.1 사업추진상의 위험요인

○ 국내외 법 제도적 요인

- 공동구는 국토 공간내 기반시설과 이의 연결망으로 구성되는 도로, 철도 등 ‘라이프라인’의 일부로 전선로·통신선로 등을 공동 수용하여야 하므로 관할지자체를 비롯한 유관기관이 다수이며, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의해 주요 국가 기간시설로 구축되므로 국가차원의 통합 설계기준/방재안전 관리시스템 및 시공기술 개발에 대한 대응방안 마련이 필요할 것으로 판단됨.
- 국회 계류중인 ‘전선공동구 설치 등에 관한 특별법안’에서는 배전선로, 통신선로 등의 지상전선을 지하에 공동 수용하기 위하여 전선공동구를 제안하였으며, 이와 관련하여 경제적인 도심지 민원저감형 소단면 터널식 공동구 건설기술 개발에 국가차원의 연구 지원이 절실한 상황임.

○ 재원 조달 가능성

- 국토교통부의 ‘11년 R&D예산은 ‘10년 대비 6.0% 증가한 6,095억원으로 ’08년부터 지속적으로 증가하여 왔으며, 예산 증가 추이를 비추어 볼 때 향후 국토해양부 R&D예산은 지속적으로 증가할 것으로 예상되어 예산확보 면에서 긍정적인 측면이 있음.
- 연구예산은 증가 추세이나, 최근 개별 연구단에 대한 연구규모는 150억원 수준으로 과거보다 소규모로 추진하고 있는 상황임.
- 본 연구단에서 수행하고자 하는 연구개발 활동은 많은 연구인력과 자원이 필요할 것으로 보이며, 192억원의 정부 예산을 산정하여, 최근 추세를 비추어 볼 때 정부의 재원 조달에 다소 어려움이 있을 것으로 보임.
- 본 연구단에서 수행해야하는 연구개발 활동은 민원저감형 경제적 도심지 소단면 (φ3.5m 급) 터널식 공동구 건설을 위한 글로벌 표준화 설계기법 및 방재·안전관리 시스템 확보, 자동화/급속/모듈화 시공기술·장비 개발관련 기술임.

○ 기타 요인

- 현재 계획 중인 사업 계획에 있어 본 연구단을 통해 개발된 기술을 적용하기 위해서는, 기술에 대한 안전성 및 경제성에 대한 검증이 필요함.

- 설계 및 시공을 수행하는 기업체 입장에서는 수익 및 안전성이 보장되지 않고, 비용 산정이 불명확한 기술보다는, 수익 및 안전성이 검증되고, 비용이 정립화된 기술을 적용하려는 경향이 강함.

1.2 사업추진상의 위험요인에 대한 대응방안

○ 국내외 법 제도적 요인

- 본 연구단을 통해 개발된 기술의 적용을 위해서는 일본 및 대만의 법, 제도, 규정 및 설계, 시공 기준에 대해 고려해야 하며, 기술 개발 시 상용화를 고려하여, 주변 국가의 법 제도, 규정 및 기준에 대한 연구가 사전적으로 수행되어야 할 것으로 보임.

○ 재원 조달 가능성

- 정부의 재원이 연구수행에 부족할 경우를 대비하여, 참여기업의 기술이전을 통하여 초기 연구비에 기업분담형태로 투자가 이루어지도록 유도하고 기존 연구기관과의 연구인력과 장비를 적극적으로 활용하는 방안이 고려되어야 할 것으로 보임.

○ 기타 요인

- 연구개발 수행 초기부터 실제 설계 및 시공관련 업체와 국가연구기관을 참여시키고, 실용화 및 개발 기술에 대한 안전성과, 경제성 검증을 수행하도록 하여, 기술사업화 및 사용화 추진 시 본 연구단을 통해 개발된 기술이 원활히 적용될 수 있도록 함.

5절. 정책적 타당성 평가 및 결론

- '경제적인 도심지 소단면 터널식 공동구 건설기술 개발' 사업의 정책적 타당성 분석 결과 동 사업은 국내 공동구 건설기술 산업의 경쟁력 강화를 꾀하고 있는 '제3차 과학기술기본계획' 및 '제4차 기술이전·사업화 촉진계획', '제5차 건설기술진흥기본계획'등 최근 이슈가 되는 주요 상위계획과 부합하는 등 정책적 타당성을 확보한 것을 평가됨.

- 이는 본 사업이 기술적 타당성 및 정책적 타당성 측면에서 공공기술개발을 통해 터널식 공동구 건설기술 산업 전반에 글로벌 표준화 설계기법(LFRD), 안전관리 시스템 확보 및 자동화/급속/모듈화 시공기술 및 장비 개발을 통한 경쟁력 향상,

동반성장 및 상생협력이라는 창조경제 실현에 기여하는 등의 타당성을 확보하고 있으며, 경제성 측면에서도 관련 산업의 성장세를 고려할 때, 충분한 타당성을 갖고 있으므로 본 연구 과제의 추진이 관련 산업의 발전에 충분히 기여할 것으로 기대됨.

[부록 2] 핵심기술요소(CTE)

[CTE1] 글로벌 표준화 설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 설계기준/운영관리지침

관련 그림/사진							
	<지반정수 결정 프로그램>		<내진해석 및 설계기법>		<설계기준>		
정의 (기술설명)	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌표준화설계법으로 인정되고 있는 한계상태설계법(LRFD)에 의한 소단면 터널식 공동구의 최적 설계를 위한 제반연구 및 기준 개정 						
설정사유 (필요성)	<ul style="list-style-type: none"> 최근 다양화 되어가는 공동구 수용시설 조건에 부합하고 체계적인 효율적인 설계·시공을 위한 국제표준화 및 선진화설계기법에 부합하는 공동구 설계기준 마련이 필요 한계상태설계의 신뢰성 분석에 요구되는 건설재료로서 지반의 불확실성의 정량화하는 지반 주요인자 결정기법의 개발 필요 한계상태설계를 위한 합리적이고 새로운 내진해석 및 내진설계법의 개발이 필요 						
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌표준화설계법(LRFD)을 적용한 소단면 (Φ3.5m 급) 터널식 공동구 설계기술의 선진화 						
주요 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌표준화설계법(LRFD) 적용을 위한 국내 지반 중요인자 평가기술 개발 한계상태설계법(LRFD) 적용을 위한 내진해석 및 내진설계기술 개발 한계상태설계법(LRFD)에 의한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계기술 개발 개발된 설계법의 설계기준 반영 						
성능목표	기존기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 터널 구조물의 불확실성을 단일계수로 조정하여 과다 설계됨 한계상태설계법은 교량, 구조물 기초 설계 등에 설계기법이 도입되어 적용중이나 터널분야에는 미적용 				TRL2	
	개발기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 세계적 추세인 성능중심의 설계흐름 반영 공동구 터널라이닝의 글로벌표준화설계법(LRFD) 개발 소단면 (Φ3.5m 급) 터널식 공동구 설계기준 제시 				TRL8	
	개발기술 수준 설계근거	<ul style="list-style-type: none"> [성능] 해외사례 대비 신뢰적 지반물성평가 및 합리적인 설계기준 [품질] 한계상태설계법에 의한 터널식 공동구 라이닝 설계 최적화 [규격] 소단면 터널식 공동구 라이닝의 설계법 글로벌 표준화 					
기대효과	공기 절감	공사비 절감	인원 저감	안전재해 저감			
	-	5% 이상	-	-			
소요기간	'15. 09 ~ '20. 02 (4년 6개월)						
핵심 성과	주요 성과물 (질적성과)	1차년도	• 국내외 공동구 설계사례 및 한계상태설계법 적용을 위한 제반요소 조사보고서				
		2차년도	• 국내지반 주요인자 통계보고서 및 내진설계를 위한 지반침하 예측 알고리즘				
		3차년도	• 국내지반 주요인자별 설계값 적용 범위 및 터널 라이닝 거동분석 보고서				
		4차년도	• 터널식 공동구 라이닝 구조해석 및 설계값 결정 표준 절차 지침서				
		5차년도	• 글로벌표준화설계법을 적용한 소단면 터널식 공동구 라이닝 설계지침 및 기준서				
	양적 성과	성과지표	논문	지식재산권	인증	계획설계	기술성능
			8	3	-	1	-
			현장적용	비용절감	효율성	안전	연구시설
			-	1	-	-	-
			표준	지침/매뉴얼	국제협력	사업화	기타
1	2	-	-	-			
검증방법	정책반영	수치해석	실내실험	실대형 실험	테스트베드		
	1	2	-	-	1		
최종성과물 (형태)	지침/기준	장비/장치	프로그램	공법/기법	재료/자재		
	1	-	2	1	-		
예상 연구비 (만원)	소요예산	1차년도(6개월)	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
	인건비	4,000	26,500	30,500	28,200	23,500	
	직접비	4,000	25,300	30,200	27,600	21,300	
	간접비	1,200	8,800	9,300	9,200	7,400	
	소계	9,200	60,600	70,000	65,000	52,200	

[CTE2]소단면 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 최적화

관련 그림/사진	도심지 지하매설관로(기존)		터널식 공동구화(연구방향)				
							
정의 (기술설명)	<ul style="list-style-type: none"> 도심지 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구에 수용가능한 시설의 최적 설계용량 산정과 한정된 공동구내 공간활용을 극대화 하고 수용시설물간(3종이상) 상호간섭을 최소화하기 위한 효율적인 배치기법 및 최적단면 설계기술개발 						
설정사유 (필요성)	<ul style="list-style-type: none"> 도심지는 각종 지하매설물이 복잡하게 분포하여 개착식 공동구 설치가 곤란 현재 국내는 터널식 공동구 적용사례가 없는바 해외 설치사례와 기준을 검토 분석하고 공동구내 수용시설 종류 및 규모를 고려한 CASE별 설계용량 산정과 단면 최적화 연구가 필요 						
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> 수용시설(전력, 통신, 상수도, 난방, 가스관 등)간 영향 배제 및 효율적인 배치로 단면 최적화 수용시설 VE/LCC분석을 통해 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구의 경제성 및 각종 기능성 확보 						
주요 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 수용시설별 설계용량 최적화 기술개발 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 공간활용 극대화를 위한 단면 최적화 기술개발 수용시설물 조합에 따른 LCC 최적 설계 시스템 개발 						
성능목표	기존기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 도심지는 각종 지하매설물이 난립되어 있어 관리에 어려움이 있으며 도심지를 위한 터널식 공동구 관련 연구는 매우 미흡 				TRL1	
	개발기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 도심지의 복잡한 지하매설물을 포괄적으로 최적화한 수용시설별(3종이상) 공동구 글로벌 표준화 단면 				TRL7	
	개발기술 수준 설정근거	<ul style="list-style-type: none"> [성능] 공간활용 극대화로 수용시설별(3종이상) 공동구 표준화 단면 [품질] 격벽구조물, 지지대 등 부대설비의 저비용 고품질화 도모 [규격] 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 					
기대효과	공기 절감	공사비 절감	인원 저감	안전재해 저감			
	-	5% 이상	-	10%			
소요기간	'15. 09 ~ '20. 02 (4년 6개월)						
핵심성과	주요 성과물 (질적성과)	1차년도	<ul style="list-style-type: none"> 터널식 공동구 활성화 선진사례 및 경제성 평가모델 사전조사 보고서 				
		2차년도	<ul style="list-style-type: none"> 국내외 공동구 배치기준 검토 및 경제성 평가모델 				
		3차년도	<ul style="list-style-type: none"> 공동구 수용시설/규모별 최적단면 설계 매뉴얼 및 LCC 최적설계 보고서 				
		4차년도	<ul style="list-style-type: none"> 수용시설 종류/규모를 고려한 CASE별 표준단면 및 LCC 최적설계 프로그램 				
		5차년도	<ul style="list-style-type: none"> 테스트베드를 통한 표준단면 및 LCC설계프로그램 검증 보고서 				
	양적 성과	성과지표	논문	지식재산권	인증	계획설계	기술성능
			5	2	-	1	-
			현장적용	비용절감	효율성	안전	연구시설
			1	1	-	-	-
	표준	지침/매뉴얼	국제협력	사업화	기타		
1	2	-	-	-			
검증방법	정책반영	수치해석	실내실험	실대형 실험	테스트베드		
	1	-	-	-	1		
최종성과물 (형태)	지침/기준	장비/장치	프로그램	공법/기법	재료/자재		
	1	-	2	-	-		
예상 연구비 (만원)	소요예산	1차년도(6개월)	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
	인건비	2,430	13,590	18,315	15,570	12,375	
	직접비	2,214	12,382	16,687	14,186	11,275	
	간접비	756	4,228	5,698	4,844	3,850	
	소계	5,400	30,200	40,700	34,600	27,500	

[CTE3] 소단면 터널식 공동구 건설단계 및 특성을 고려한 안전관리 기법

<p>관련 그림/사진</p>							
<p>정의 (기술설명)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구의 계획, 설계/시공 단계 등 공정을 고려한 안전관리 매뉴얼/지침서 개발 및 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 특성을 고려한 방재기법 개발 						
<p>설정사유 (필요성)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 도심지 지하에 건설될 소형 터널식 공동구의 특성상, 공사현장 및 주변 지반·시설물의 안전성 확보가 중요함(최근 발생되는 지반 함몰발생 주요원인) • 또한, 도심지 굴착공사는 건설안전취약공종의 하나로 분류되어 있어, 소단면 터널식 공동구 계획, 시공, 설계 단계 및 공정을 고려한 안전 위험요인 발굴을 통한 안전관리 기법이 필수임 • 화재사고 및 테러·지진·침수사태 등으로 인한 파괴사고로 전력·통신·상수도·난방 등이 24시간 이상 공급 중단되는 대규모 재난상황에 대한 대비 • 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구의 특성, 내부 수용시설물의 종류 및 재난발생유형에 따른 특화된 안전관리 및 방재기술이 필요함 						
<p>연구목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 계획, 설계 및 시공단계 안전관리 및 방재기법 개발, 관련지침 제시 						
<p>주요 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 소단면 터널식 공동구 계획, 시공, 설계 단계 및 공정을 고려한 안전 위험요인 발굴 • 계획, 설계 및 시공 단계별 위험요인 차단·감소기법 개발 및 안전 위험요인을 반영한 안전관리 매뉴얼 및 지침서 개발 • 공동구 내·외부 유형별 재난발생현황 조사·분석 및 구조/운영/조직 대책수립 및 방재기법 개발 						
<p>성능목표</p>	<p>기존기술 수준</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 공동구 설치, 관리지침(국토교통부) 및 공동구 재난 위기관리 매뉴얼 등의 관리기준 존재하나 • 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구의 설계 및 시공 시 고려사항을 포함한 구체적 안전관리 및 방재기법 부재 				<p>TRL2</p>	
	<p>개발기술 수준</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 계획, 설계 및 시공 단계와 공정을 고려한 안전관리기술 매뉴얼 및 지침서 제시 • 공동구 특성, 내부수용시설을 고려한 방재기법 제시 				<p>TRL7</p>	
	<p>개발기술 수준 설정근거</p>	<ul style="list-style-type: none"> • [성능] 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 안전관리 및 방재 지침 • [품질] 건설사업 단계별 위험요인 차단, 감소방안 • [규격] 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 					
<p>기대효과</p>	<p>공기 절감</p> <p>-</p>	<p>공사비 절감</p> <p>-</p>	<p>인원 저감</p> <p>-</p>	<p>안전재해 저감</p> <p>10%</p>			
<p>소요기간</p>	<p>'16. 03 ~ '20. 02 (4년)</p>						
<p>핵심성과</p>	<p>주요 성과물 (질적성과)</p>	<p>1차년도</p>	<p>-</p>				
		<p>2차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 공동구 계획, 설계, 시공단계를 고려한 안전위험요인 조사분석 보고서 • 시공시의 위험요인, 기능 및 성능저하·상태 조사 및 평가기법 분석 보고서 				
		<p>3차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 공동구 건설 단계별 위험요인 차단 및 감소기법 지침서 				
		<p>4차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 안전위험요인을 반영한 안전관리 매뉴얼 및 지침서와 소단면 터널식 공동구 계획, 설계 및 시공 단계를 고려한 방재기법 매뉴얼 				
		<p>5차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 개발된 안전관리기법의 시범적용 및 평가 보고서 				
	<p>양적 성과</p>	<p>성과지표</p>	<p>논문</p> <p>3</p>	<p>지식재산권</p> <p>-</p>	<p>인증</p> <p>-</p>	<p>계획설계</p> <p>-</p>	<p>기술성능</p> <p>-</p>
			<p>현장적용</p> <p>1</p>	<p>비용절감</p> <p>-</p>	<p>효율성</p> <p>-</p>	<p>안전</p> <p>2</p>	<p>연구시설</p> <p>-</p>
			<p>표준</p> <p>-</p>	<p>지침/매뉴얼</p> <p>2</p>	<p>국제협력</p> <p>-</p>	<p>사업화</p> <p>-</p>	<p>기타</p> <p>-</p>
			<p>정책반영</p> <p>-</p>	<p>수치해석</p> <p>2</p>	<p>실내실험</p> <p>-</p>	<p>실대형 실험</p> <p>-</p>	<p>테스트베드</p> <p>1</p>
	<p>최종성과물 (형태)</p>	<p>지침/기준</p> <p>2</p>	<p>장비/장치</p> <p>-</p>	<p>프로그램</p> <p>-</p>	<p>공법/기법</p> <p>2</p>	<p>재료/자재</p> <p>-</p>	
<p>2</p>			<p>-</p>	<p>-</p>	<p>2</p>	<p>-</p>	
<p>예상 연구비 (만원)</p>	<p>소요예산</p>	<p>1차년도(6개월)</p>	<p>2차년도</p>	<p>3차년도</p>	<p>4차년도</p>	<p>5차년도</p>	
	<p>인건비</p>	<p>-</p>	<p>8,370</p>	<p>11,790</p>	<p>11,160</p>	<p>10,035</p>	
	<p>직접비</p>	<p>-</p>	<p>7,626</p>	<p>10,742</p>	<p>10,168</p>	<p>9,143</p>	
	<p>간접비</p>	<p>-</p>	<p>2,604</p>	<p>3,668</p>	<p>3,472</p>	<p>3,122</p>	
	<p>소계</p>	<p>-</p>	<p>18,600</p>	<p>26,200</p>	<p>24,800</p>	<p>22,300</p>	

[CTE4] 소단면 shield-TBM 실굴진성능 평가

<p>관련 그림/사진</p>	<p style="text-align: center;"> 현장굴진자료 현장굴진자료DATA분석 실굴진을 예측 및 설계지침 수립 </p>						
<p>정의 (기술설명)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 국내 소단면(Φ3.5m 급) shield-TBM 장비의 현장 실굴진자료를 데이터베이스화하고 분석하여 국내 지반특성(토사/암반)에 맞는 실굴진을 예측모델 및 프로그램 개발, 설계지침을 수립. 						
<p>설정사유 (필요성)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 소단면 shield-TBM의 굴진율은 설계시 가장 중요한 영향인자임에도 불구하고 국내 지반특성(토사/암반)에 적합한 실굴진을 예측모델 및 설계지침이 부재하여, 굴진율에 대한 설계대비 시공실적의 큰 오차(40%(±10%)) 발생으로 인한 공정관리 불확실성 및 사회적비용 증대(도로 점검, 적기설치 등) 						
<p>연구목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> 소단면(Φ3.5m 급) shield-TBM 토사/암반지반 실굴진을 예측(오차율 20%이하)기술 개발 및 설계지침 제시 						
<p>주요 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> 실굴진을 주요영향인자 설정, 실굴진을 데이터베이스 구축 실굴진을 데이터분석 및 예측모델, 프로그램 개발 및 실험형 성능검증 장비특성 및 지반조건별 굴진을 설계지침 수립 및 테스트베드 적용 						
<p>성능목표</p>	<p>기존기술 수준</p>	<ul style="list-style-type: none"> 굴진율에 대한 설계대비 시공실적의 오차율 40%(±10%) 수준 shield-TBM 굴진율/장비선정 설계지침 없음 	<p>TRL2</p>				
	<p>개발기술 수준</p>	<ul style="list-style-type: none"> 소단면(Φ3.5m 급) shield-TBM 굴진율/장비선정 설계지침 제시 	<p>TRL8</p>				
	<p>개발기술 수준 설정근거</p>	<ul style="list-style-type: none"> [성능] 장비특성 및 지반조건별 소단면 shield-TBM 실굴진을 예측 [품질] 실굴진을 예측모델 오차율 40%(±10%)에서 20%(±10%)로 저감 [규격] 소단면(Φ3.5m 급) shield-TBM, 현장(전구간) 6개소 이상 					
<p>기대효과</p>	<p>공기 절감 불확실성 50% 저감</p>	<p>공사비 절감 불확실성 50% 저감</p>	<p>인원 저감 사회적 비용 10% 저감</p>	<p>안전재해 저감 -</p>			
<p>소요기간</p>	<p>'15. 09 ~ '20. 02 (4년 6개월)</p>						
<p>핵심성과</p>	<p>주요 성과물 (질적성과)</p>	<p>1차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 실굴진을 주요영향인자 분석 보고서 실굴진을 데이터베이스 구축시스템 설계 				
		<p>2차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 국내 소단면(Φ3.5m 급) shield-TBM 장비특성 보고서 굴진을 영향인자 상관관계 분석 보고서 				
		<p>3차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 지반조건별 굴진율 및 관련 영향인자 데이터베이스 				
		<p>4차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 실굴진을 예측 프로그램 굴진을 예측모델의 실험형 성능검증 				
		<p>5차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 테스트베드 및 현장적용, 굴진율 및 장비선정 설계지침 				
	<p>양적 성과</p>	<p>성과지표</p>	<p>논문</p>	<p>지식재산권</p>	<p>인증</p>	<p>계획설계</p>	<p>기술성능</p>
			<p>3</p>	<p>2</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>
			<p>현장적용</p>	<p>비용절감</p>	<p>효율성</p>	<p>안전</p>	<p>연구시설</p>
			<p>2</p>	<p>1</p>	<p>1</p>	<p>-</p>	<p>-</p>
			<p>표준</p>	<p>지침/매뉴얼</p>	<p>국제협력</p>	<p>사업화</p>	<p>기타</p>
<p>검증방법</p>	<p>정책반영</p>	<p>수치해석</p>	<p>실내실험</p>	<p>실험형 실험</p>	<p>1</p>	<p>2</p>	
	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>1</p>	<p>2</p>	
<p>최종성과물 (형태)</p>	<p>지침/기준</p>	<p>장비/장치</p>	<p>프로그램</p>	<p>공법/기법</p>	<p>1</p>	<p>재료/자재</p>	
	<p>1</p>	<p>-</p>	<p>1</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	
<p>예상 연구비 (만원)</p>	<p>소요예산</p>	<p>1차년도(6개월)</p>	<p>2차년도</p>	<p>3차년도</p>	<p>4차년도</p>	<p>5차년도</p>	
	<p>인건비</p>	<p>3,315</p>	<p>52,788</p>	<p>77,700</p>	<p>38,800</p>	<p>13,171</p>	
	<p>직접비</p>	<p>4,167</p>	<p>94,100</p>	<p>117,692</p>	<p>61,992</p>	<p>23,895</p>	
	<p>간접비</p>	<p>1,218</p>	<p>23,912</p>	<p>31,808</p>	<p>16,408</p>	<p>6,034</p>	
	<p>소계</p>	<p>8,700</p>	<p>170,800</p>	<p>227,200</p>	<p>117,200</p>	<p>43,100</p>	

[CTE5] 급곡구간 시공 소단면 shield-TBM 중절장치

<p>관련 그림/사진</p>							
<p>정의 (기술설명)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 국내 소단면(Φ3.5m 급) shield-TBM 곡률반경 R30m 이하의 급곡구간에서 세그먼트 라이닝의 파손 없이 시공할 수 있는 특수장치(중절장치)를 개발하고 이에 적합한 추진시공기술을 개발하여 공기 및 공사비 절감 						
<p>설정사유 (필요성)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 도심지 터널식 공동구의 경우, 기존에 설치된 지하 시설물 등에 의해 급곡구간이 자주 발생함에도 불구하고, 국내 소단면 shield-TBM(R60m 이하)의 급곡구간 시공기술 및 시공장비가 전무하여 시공 시 Jacking Force의 편심에 의한 세그먼트 파손 등 공동구 안정성 문제가 대두됨 						
<p>연구목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> 소단면(Φ3.5m 급) 터널식 공동구 급곡구간(R30m 이하) shield-TBM 특수(중절)장치 개발 및 이의 추진(시공)기술 개발 						
<p>주요 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> shield-TBM 곡률반경 R30m 이하를 위한 Steering System 구축, 특수장치 개발 및 제작 shield-TBM 곡률반경 R30m 이하를 시공하기 위한 추진(시공)기술 개발 개발된 특수장치(중절장치)의 실험형 성능검증 						
<p>성능목표</p>	<p>기존기술 수준</p>	<ul style="list-style-type: none"> 직선에 가까운 곡률반경에 대한 이론연구만 진행(장치 없음) 국내 shield-TBM 급곡 추진기술은 미흡하여 외국기술에 의존 	<p>TRL2</p>				
	<p>개발기술 수준</p>	<ul style="list-style-type: none"> 소단면 shield-TBM 급곡구간 R30m 이하 특수장치 개발 및 적용 R30m 이하 급곡구간 추진기술 개발 및 현장 시방지침 제시 	<p>TRL7</p>				
	<p>개발기술 수준 설정근거</p>	<ul style="list-style-type: none"> [성능] 소단면 shield-TBM R30m 이하 급곡구간 시공 가능 [품질] 세그먼트의 손상 없이 급곡구간 시공가능에 따른 안정성 증대 [규격] 소단면(Φ3.5m 급) shield-TBM 					
<p>기대효과</p>	<p>공기 절감 5% 저감</p>	<p>공사비 절감 20% 저감</p>	<p>인원 저감 -</p>	<p>안전재해 저감 -</p>			
<p>소요기간</p>	<p>'15. 09 ~ '20. 02 (4년 6개월)</p>						
<p>핵심성과</p>	<p>주요 성과물 (질적성과)</p>	<p>1차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 중절장치 개념설계도 및 목표 사양 				
		<p>2차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 중절장치 주요 핵심 부품 제원 산출, 상세 설계도, 초기 시제품 지반반력 및 세그먼트 안정성을 고려한 상호거동 패턴 				
		<p>3차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 중절장치 성능/내구 시험의 평가 방법 및 수정 시제품 급곡구간 추진 메카니즘 				
		<p>4차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 중절장치 성능 평가 및 보완 개선 추진시스템 및 메카니즘 실험형 성능검증 				
		<p>5차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 중절장치의 실험형 성능검증 및 테스트베드 추진시스템 기술 현장 시방지침 				
	<p>양적 성과</p>	<p>성과지표</p>	<p>논문</p>	<p>지식재산권</p>	<p>인증</p>	<p>계획설계</p>	<p>기술성능</p>
			<p>4</p>	<p>3</p>	<p>-</p>	<p>1</p>	<p>2</p>
			<p>현장적용</p>	<p>비용절감</p>	<p>효율성</p>	<p>안전</p>	<p>연구시설</p>
			<p>2</p>	<p>1</p>	<p>1</p>	<p>-</p>	<p>-</p>
	<p>검증방법</p>	<p>정책반영</p>	<p>표준</p>	<p>지침/매뉴얼</p>	<p>국제협력</p>	<p>사업화</p>	<p>기타</p>
<p>-</p>			<p>1</p>	<p>-</p>	<p>1</p>	<p>-</p>	
<p>정책반영</p>			<p>수치해석</p>	<p>실내실험</p>	<p>실험형 실험</p>	<p>테스트베드</p>	
<p>최종성과물 (형태)</p>	<p>지침/기준</p>	<p>-</p>	<p>장비/장치</p>	<p>프로그램</p>	<p>공법/기법</p>	<p>재료/자재</p>	
		<p>1</p>	<p>-</p>	<p>1</p>	<p>-</p>		
<p>예상 연구비 (만원)</p>	<p>소요예산</p>	<p>1차년도(6개월)</p>	<p>2차년도</p>	<p>3차년도</p>	<p>4차년도</p>	<p>5차년도</p>	
	<p>인건비</p>	<p>4,300</p>	<p>61,100</p>	<p>47,300</p>	<p>48,800</p>	<p>29,300</p>	
	<p>직접비</p>	<p>10,062</p>	<p>101,612</p>	<p>87,000</p>	<p>79,770</p>	<p>43,886</p>	
	<p>간접비</p>	<p>2,338</p>	<p>26,488</p>	<p>21,900</p>	<p>20,930</p>	<p>11,914</p>	
<p>소계</p>	<p>16,700</p>	<p>189,200</p>	<p>156,200</p>	<p>149,500</p>	<p>85,100</p>		

[CTE6] 고수압 등 특수조건에서의 소단면 shield-TBM 급속 시공기술

<p>관련 그림/사진</p>							
<p>정의 (기술설명)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 특수지반/특수조건에서 소단면(Φ3.5m 급) shield-TBM 시공성 향상(downtime 저감)을 위하여 위험도 평가 시스템, 급속시공기술시스템, 특수시공장비시스템 등의 개발을 하고, 그에 부합되는 위험도 평가 소프트웨어, 설계/시공 가이드라인, 특수시공장비 등을 제시함 						
<p>설정사유 (필요성)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 도심지 공동구는 특성 상, 다층지반, 호박돌층지반, 피압대수층지반, 복합지반 및 근접시공 등 지반침하(예, 동공 등)나 장비장애를 유발하는 다양한 특수지반/특수조건을 만나나, 소단면 shield-TBM은 보강장비를 내부에 반입이 어려워 이에 대처할 수 있는 시공기술이 미흡함 이러한 특수지반/특수조건 시공구간이 전체 공기를 좌우하므로 shield-TBM의 downtime을 줄일 수 있는 급속시공기술개발이 필요함 						
<p>연구목표</p>	<p>소단면(Φ3.5m 급) 공동구 특수지반/특수조건 shield-TBM 급속시공기술 및 장비 개발</p>						
<p>주요 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> 특수지반/특수조건 쉴드 TBM 급속시공기술 개발 및 설계/시공 가이드라인 제시 특수지반/특수조건 쉴드 TBM 특수 시공장비 개발 개발된 시공기술/특수장비의 실대형 성능검증 						
<p>성능목표</p>	<p>기존기술 수준</p>	<ul style="list-style-type: none"> 특수지반/조건인 경우, 주로 NATM 공법 적용기술이 개발됨 소단면 shield-TBM 시공시 특수지반/특수조건에서 큰 downtime (~80%)이 발생함 			<p>TRL2</p>		
	<p>개발기술 수준</p>	<ul style="list-style-type: none"> 특수지반/특수조건에서 downtime 40% 이하로 저감할 수 있는 급속 시공기술 및 장비 개발 특수지반/특수조건에서 지반침하를 최소화하는 시공지침 제시 			<p>TRL7</p>		
	<p>개발기술 수준 설정근거</p>	<ul style="list-style-type: none"> [성능] 특수지반/특수조건에서 안전한 급속시공 가능 [품질] 특수지반/특수조건에서 shield-TBM downtime 40% 이하로 저감 [규격] 소단면(Φ3.5m 급) shield-TBM 					
<p>기대효과</p>	<p>공기 절감 10% 저감</p>	<p>공사비 절감 5% 저감</p>	<p>인원 저감 -</p>	<p>안전재해 저감 5% 저감</p>			
	<p>소요기간 '16. 03 ~ '20. 02 (4년)</p>						
<p>핵심성과</p>	<p>주요 성과물 (질적성과)</p>	<p>1차년도</p>	<p>-</p>				
		<p>2차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 특수시공장비 개념설계도 및 목표 사양 특수지반/특수조건 정의 및 대처기법(안) 보고서 특수시공장비 주요 핵심 부품 제원 산출, 상세 설계도 				
		<p>3차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 특수지반/특수조건 급속시공 핵심기술 보고서 특수시공장비 시작품 				
		<p>4차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 특수지반/특수조건 급속시공 자동화 시스템 특수시공장비 성능 평가 및 보완 개선 				
		<p>5차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> 급속시공기술/장비 실대형 성능검증 급속시공 설계/시공 가이드라인 				
	<p>양적 성과</p>	<p>성과지표</p>	<p>논문</p>	<p>지식재산권</p>	<p>인증</p>	<p>계획설계</p>	<p>기술성능</p>
			<p>9</p>	<p>3</p>	<p>-</p>	<p>1</p>	<p>-</p>
			<p>현장적용</p>	<p>비용절감</p>	<p>효율성</p>	<p>안전</p>	<p>연구시설</p>
			<p>1</p>	<p>2</p>	<p>-</p>	<p>1</p>	<p>-</p>
			<p>표준</p>	<p>지침/매뉴얼</p>	<p>국제협력</p>	<p>사업화</p>	<p>기타</p>
<p>검증방법</p>	<p>-</p>	<p>정책반영</p>	<p>수치해석</p>	<p>실내실험</p>	<p>실대형 실험</p>	<p>테스트베드</p>	
<p>최종성과물 (형태)</p>	<p>-</p>	<p>지침/기준</p>	<p>장비/장치</p>	<p>프로그램</p>	<p>공법/기법</p>	<p>재료/자재</p>	
<p>예상 연구비 (만원)</p>	<p>소요예산</p>	<p>1차년도(6개월)</p>	<p>2차년도</p>	<p>3차년도</p>	<p>4차년도</p>	<p>5차년도</p>	
	<p>인건비</p>	<p>-</p>	<p>13,380</p>	<p>15,620</p>	<p>13,498</p>	<p>7,900</p>	
	<p>직접비</p>	<p>-</p>	<p>21,536</p>	<p>24,800</p>	<p>24,600</p>	<p>11,192</p>	
	<p>간접비</p>	<p>-</p>	<p>5,684</p>	<p>6,580</p>	<p>6,202</p>	<p>3,108</p>	
	<p>소계</p>	<p>-</p>	<p>40,600</p>	<p>47,000</p>	<p>44,300</p>	<p>22,200</p>	

[CTE7] 저소음/무진동 토사 및 암반지반용 급속굴착 시공기술 및 장비

<p>관련 그림/사진</p>							
<p>정의 (기술설명)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 발파가 불가능한 도심지 암반지반에 대하여 굴착속도가 1m/day 이상 가능한 저소음/무진동 지반 급속굴착 시공기술 및 장비의 개발 						
<p>설정사유 (필요성)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 도심지 암반굴착시 발파공법 적용불가, 무진동 암반굴착시 천공, 활암, 소할, 상차 등 공종이 복잡하여 부지 점유기간 증가, 교통체증, 상권침해 등 문제 발생 • 문제점 해소를 위한 발파배제, 저소음/무진동 급속 굴착공법 개발 필요 • 수직구 건설기술 개선을 통한 수직구 시공 공기단축/공사비 절감 목적 						
<p>연구목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 공동구용 수직구 저소음/무진동 급속(1m/day 이상) 굴착공법 개발을 통한 도심지 수직구 굴착기술 고도화 						
<p>주요 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 저소음/무진동 암반지반 급속굴착(1m/day 이상) 기술 개발 • 토사지반 굴착기술 개발 • 수직구 급속 굴착장비 제어 기술 개발 • 저소음/무진동 급속(1m/day 이상) 토사/암반지반 수직구 굴착장비 시제품 개발 • 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 						
<p>성능목표</p>	<p>기존기술 수준</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 무진동 암반 굴착시 천공, 활암, 소할, 상차 등 복잡 공종 • 무진동 활암공법은 공종이 복잡하고, 다수의 장비 사용으로 경암기준 공기(0.3m/day)와 공사비가 고가(200천원/m³) 	<p>TRL3</p>				
<p>개발기술 수준</p>		<ul style="list-style-type: none"> • 암반 급속굴착으로 천공, 활암, 소할 공종을 단순화 • 급속굴착(1m/day 이상)으로 부지 점유기간 단축 • 기존기술 대비 공사비 25% 절감 	<p>TRL8</p>				
<p>개발기술 수준 설정근거</p>		<ul style="list-style-type: none"> • [성능] 1m/day 시공 저소음 무진동 암반 굴착장비 및 시공기술 • [품질] 소음 60dB(A)(5m 이내), 경암기준 굴착 공사비 150천원/m³ 이내 • [규격] Ø6~10m 원형단면 공동구 수직구 굴착장비 및 시공기술 					
<p>기대효과</p>	<p>공기 절감 25% 이상</p>	<p>공사비 절감 10% 이상</p>	<p>민원 저감 30%</p>	<p>안전재해 저감 -</p>			
<p>소요기간</p>	<p>'15. 09 ~ '20. 02 (4년 6개월)</p>						
<p>핵심 성과</p>	<p>주요 성과물</p>	<p>1차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 핵심장비 기본 설계도 				
	<p>2차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 저소음/무진동 암반 굴착기술 실내시험 결과분석 및 보완 보고서 					
	<p>3차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 급속 굴착장비 제어시스템 및 굴착장비 시제품 					
	<p>4차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 시제품 실험형 성능검증 보고서 및 매뉴얼 					
	<p>5차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 현장 테스트베드 결과서 					
	<p>양적 성과</p>	<p>성과지표</p>	<p>논문</p>	<p>지식재산권</p>	<p>인증</p>	<p>계획설계</p>	<p>기술성능</p>
	<p>4</p>		<p>4</p>	<p>2</p>	<p>-</p>	<p>1</p>	<p>1</p>
	<p>현장적용</p>		<p>1</p>	<p>비용절감</p>	<p>효율성</p>	<p>안전</p>	<p>연구시설</p>
	<p>1</p>		<p>1</p>	<p>1</p>	<p>1</p>	<p>-</p>	<p>-</p>
	<p>표준</p>		<p>-</p>	<p>지침/매뉴얼</p>	<p>국제협력</p>	<p>사업화</p>	<p>기타</p>
	<p>-</p>		<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>
	<p>목표 결과물 검증</p>	<p>결과물</p>	<p>원천기술</p>	<p>장비/장치</p>	<p>프로그램 개발</p>	<p>공법/기법</p>	<p>재료/자재</p>
	<p>1</p>		<p>1</p>	<p>2</p>	<p>-</p>	<p>2</p>	<p>-</p>
	<p>검증방법</p>		<p>수치해석</p>	<p>실내실험</p>	<p>무부하시험</p>	<p>실험형 실험</p>	<p>테스트베드</p>
	<p>1</p>		<p>1</p>	<p>1</p>	<p>-</p>	<p>2</p>	<p>2</p>
<p>예상 연구비 (만원)</p>	<p>소요 예산</p>	<p>1차년도(6개월)</p>	<p>2차년도</p>	<p>3차년도</p>	<p>4차년도</p>	<p>5차년도</p>	
<p>인건비</p>	<p>4,500</p>	<p>14,900</p>	<p>21,700</p>	<p>20,800</p>	<p>18,100</p>	<p>66,500</p>	
<p>직접비</p>	<p>14,076</p>	<p>83,800</p>	<p>79,600</p>	<p>77,000</p>	<p>66,500</p>	<p>12,400</p>	
<p>간접비</p>	<p>3,024</p>	<p>14,700</p>	<p>14,600</p>	<p>14,200</p>	<p>12,400</p>	<p>97,000</p>	
<p>소계</p>	<p>21,600</p>	<p>113,400</p>	<p>115,900</p>	<p>112,000</p>	<p>112,000</p>	<p>97,000</p>	

[CTE9] 터널-수직구 접속부 가변형 보강장치 및 보강공법

<p>관련 그림/사진</p>							
<p>정의 (기술설명)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 소단면 shield-TBM 터널-수직구 접속부 직경별, 시공 심도별 상대변위 분석 및 수용 범위 선정을 통한 소구경 공동구 터널-수직구 접속부의 상대변위에 대한 흡수 및 차수 장치 개발 						
<p>설정사유 (필요성)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 상대강성 차이가 있는 터널-수직구 접속부의 손상을 최소화하여 지하수 유출 최소화를 위함 • 터널-수직구 접속부의 누수, 열화, 파손에 따른 경제적 손실을 최소화 						
<p>연구목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 터널-수직구 접속부의 가변구조 상대변위 흡수 장치 개발을 통한 차수성능 향상 및 누수에 의한 2차 열화 현상 방지(50m 이내, 100% 차수) 						
<p>주요 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 소단면 shield-TBM 터널-수직구 접속부의 조건별(직경, 심도, 지반 상태) 상대변위 분석 • 상대변위를 고려한 상대변위 흡수 및 차수 구조 설계 및 시제품 제작 • 실험형 성능검증 및 테스트베드 적용 						
<p>성능목표</p>	<p>기존기술 수준</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 안전시공을 위해 입구부근에 시공중 지반안정화 공법을 적용하고 있으나, 접속부에 직접적인 차수보강을 하지 않음 • 쉴드 터널의 세그먼트 간 상대변위 발생부는 차수실링 처리를 하나, 쉴드 터널의 수직구 접속부는 적용 사례가 없음 				<p>TRL2</p>	
	<p>개발기술 수준</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 소구경 쉴드 TBM 터널-수직구 접속부의 조건별(직경, 심도, 지반 상태) 상대변위를 고려한 상대변위 흡수 및 차수(30m 이내, 100% 차수) 구조 설계 및 장치 개발 				<p>TRL7</p>	
	<p>개발기술 수준 설정근거</p>	<ul style="list-style-type: none"> • [성능] 터널-수직구 접속부 100% 차수 장치 • [품질] 상대변위 수용 가능한 차수구조, 수심 50m 이내 적용가능 장치 • [규격] 소단면(3.5m 급) 쉴드 터널용 접속부 보강장치 					
<p>기대효과</p>	<p>공기 절감</p>	<p>공사비 절감</p>	<p>안전재해 저감</p>	<p>보수비 절감</p>			
	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>30%</p>	<p>90%</p>			
<p>소요기간</p>	<p>'15. 09 ~ '20. 02 (4년 6개월)</p>						
<p>핵심성과</p>	<p>주요 성과물</p>	<p>1차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 접속부의 조건별 상대변위 분석 보고서 				
		<p>2차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 접속부 보강장치 시제품 설계도 및 실내실험용 prototype 				
		<p>3차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 접속부 보강장치 시제품 				
		<p>4차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 접속부 보강장치 실험형 성능검증 시험 보고서 				
		<p>5차년도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 현장 테스트베드 적용 결과 보고서 				
	<p>양적 성과</p>	<p>성과지표</p>	<p>논문</p>	<p>지식재산권</p>	<p>인증</p>	<p>계획설계</p>	<p>기술성능</p>
			<p>1</p>	<p>1</p>	<p>-</p>	<p>1</p>	<p>1</p>
			<p>현장적용</p>	<p>비용절감</p>	<p>효율성</p>	<p>안전</p>	<p>연구시설</p>
			<p>1</p>	<p>1</p>	<p>-</p>	<p>1</p>	<p>-</p>
			<p>표준</p>	<p>지침/매뉴얼</p>	<p>국제협력</p>	<p>사업화</p>	<p>기타</p>
	<p>목표 결과물 검증</p>	<p>결과물</p>	<p>원천기술</p>	<p>장비/장치</p>	<p>프로그램 개발</p>	<p>공법/기법</p>	<p>재료/자재</p>
			<p>1</p>	<p>1</p>	<p>-</p>	<p>1</p>	<p>1</p>
		<p>검증방법</p>	<p>수치해석</p>	<p>실내실험</p>	<p>무부하시험</p>	<p>실험형 실험</p>	<p>실험형 실험</p>
<p>-</p>			<p>-</p>	<p>-</p>	<p>1</p>	<p>1</p>	
<p>예상 연구비 (만원)</p>	<p>소요 예산</p>	<p>1차년도(6개월)</p>	<p>2차년도</p>	<p>3차년도</p>	<p>4차년도</p>	<p>5차년도</p>	
	<p>인건비</p>	<p>600</p>	<p>6,300</p>	<p>6,000</p>	<p>9,000</p>	<p>7,500</p>	
	<p>직접비</p>	<p>1,722</p>	<p>22,424</p>	<p>34,162</p>	<p>32,280</p>	<p>26,900</p>	
	<p>간접비</p>	<p>378</p>	<p>4,676</p>	<p>6,538</p>	<p>6,720</p>	<p>5,600</p>	
	<p>소계</p>	<p>2,700</p>	<p>33,400</p>	<p>46,700</p>	<p>48,000</p>	<p>40,000</p>	