발 간 등 록 번 호
11-B552989-000534-01

최종보고서

보안등급: 일반[√], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통연구기획사업	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명		
공고번호	공고-제30호	총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
		연구개발과제번호		20RDPP-C159958-01	

기술분류	국가과학기술 표준분류						
	EI0405	60%	EA0504	20%	EI0307	20%	

연구개발과제명	국문	3D 프린팅 기반 사용자 맞춤형 건설 자동화 기술 개발 기획		
	영문	Planning Research of 3D Printing-based Customized Construction Automation Technology Development		
주관연구개발기관	기관명	한국건설기술연구원	사업자등록번호	229-82-01135
	주소	(10223) 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283	법인등록번호	111241-0002284
연구책임자	성명	서명배	직위	연구위원
	연락처 직장전화	031-910-0051	휴대전화	010-3637-8024
	연락처 전자우편	smb@kict.re.kr	국가연구자번호	1101 4169
연구개발기간	전체	2020. 12. 22 - 2021. 12. 21 (12개월)		

연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	150,000							150,000		150,000	
1단계 1년차	150,000							150,000		150,000	

공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구개발기관	(재)한국건설생활환경시험연구원	이봉춘	센터장	010-8390-9052	leebc@kcl.re.kr	공동	연구원
	한국로봇융합연구원	최영호	센터장	010-3759-3415	rockboy@kiro.re.kr	공동	연구원
	㈜이니씽크	윤민기	선임연구원	010-3423-3227	ymk3227@inithink.co.kr	공동	중소기업

연구개발담당자 실무담당자	성명	박형진	직위	수석연구원
	연락처 직장전화	031-910-0286	휴대전화	010-3429-4321
	연락처 전자우편	parkhyungjin@kict.re.kr	국가연구자번호	

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 02 월 23 일

연구책임자: 서 명 배 (인)

주관연구개발기관의 장: 김 병 석 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="3">국토교통연구기획사업</td><td colspan="2">총괄연구개발 식별번호
(해당 시 작성)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명
(해당 시 작성)</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">연구개발과제번호</td><td>20RDPP-C159958-01</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술분류</td><td>국가과학기술
표준분류</td><td>EI0405</td><td>60%</td><td>EA0504</td><td>20%</td><td>EI0307</td><td>20%</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">3D 프린팅 기반 사용자 맞춤형 건설 자동화 기술 개발 기획</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2020. 12. 22 - 2021. 12. 21 (12개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 150,000 천원
(정부지원연구개발비: 150,000 천원, 기관부담연구개발비 : 천원,
지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[ ] 개발[ ]
기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td colspan="2">기술성숙도
(해당 시 기재)</td><td>착수시점 기준( )
종료시점 목표( )</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형
(해당 시 작성)</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성
(해당 시 작성)</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
목표 및 내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">3D 프린팅 기반 사용자 맞춤형 건설 자동화 기술 개발 기획</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">3D 프린팅 시공 프로세스 확립, 주거 가능한 주택성능 확보, 이동형/경량화 3D 프린팅 건설 장비, 내외장재 및 마감재 출력기술, 수평부재 시공기술 확보를 통한 맞춤형/완성형 주택시공 기술 확보를 위해 본 기획을 수행하며, 다음의 프로세스를 통해 수행됨
1) 관련 기술의 개발동향 및 환경 분석 → 중점추진분야 도출
2) 기술수요 및 수준·예측 조사 → 비전, 목표 및 연구개발 후보과제 구성
3) 후보과제 우선순위 평가 → 우선순위 도출
4) 세부 연구개발과제 구성 → 세부 연구목표, 연구내용 및 성과지표 설정
5) 기술개발로드맵 구성, 연구개발 인력 및 예산 산정
6) 사전타당성 분석
7) 본 과제 RFP 작성</td></tr>
</table>

연구개발성과	이 기획연구를 통하여 산출되는 최종 성과물은 RFP가 포함된 최종보고서이며, 주요 내용은 다음과 같음 - 기술 및 시장 동향분석 - 특허분석 - 기술수요조사서 결과 - 연구개발과제 구성 및 추진전략 - 과제 사전타당성 검토 - 연구개발 RFP - 전략계획서
연구개발성과 활용계획 및	- 국토교통연구개발사업을 주관하는 해당 부처인 국토교통부에서 연구개발 필요성, 시급성 및 정책적 지원을 위한 근거 자료로 활용

<table>
<tr><td>기대 효과</td><td colspan="12">- 건축 3D 프린팅 기술은 최첨단 융복합 산업의 결정체로서 개발 결과를 활용하여 글로벌시장 선점의 경제적 효과, 미래 기술 보유국 지위 확보, 건설산업의 국제적 위상 강화, 관련 핵심 기술의 자립화 및 기술 수출을 통해 국가 이미지 제고에 기여 가능
- 실거주가 가능한 비정형 건축물 및 주택성능을 고려한 사용자 맞춤형 건축물 등 건설업의 고부가가치 기술우위 확보가 가능할 것으로 판단
- On-site 및 Off-site 3D 프린팅 기술 융합을 통해 시설물 공기 단축이 가능하고 설계 및 시공단계에 이르는 프로세스 과정을 단축시켜 비용·시간 절감 가능
- 3D 프린팅 기술 적용 건축물 시공 자동화 핵심 기술 개발을 통해 수요자 맞춤형 비정형 건축물의 구현이 가능</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의 비공개여부 및 사유</td><td colspan="12"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발성과의 등록·기탁 건수</td><td rowspan="2">논문</td><td rowspan="2">특허</td><td rowspan="2">보고서 원문</td><td rowspan="2">연구 시설·장비</td><td rowspan="2">기술 요약 정보</td><td rowspan="2">소프트웨어</td><td rowspan="2">표준</td><td colspan="2">생명자원</td><td rowspan="2">화합물</td><td colspan="2">신품종</td></tr>
<tr><td>생명 정보</td><td>생물 자원</td><td>정보</td><td>실물</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황</td><td>구입 기관</td><td colspan="2">연구시설·장비명</td><td>규격 (모델명)</td><td>수량</td><td>구입 연월일</td><td>구입가격 (천원)</td><td>구입처 (전화)</td><td colspan="2">비고 (설치장소)</td><td>ZEUS 등록번호</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>국문핵심어 (5개 이내)</td><td colspan="3">건축3D프린팅설계</td><td colspan="3">건축3D프린팅시공</td><td colspan="3">건축3D프린팅재료</td><td colspan="2">건축3D프린팅장비</td><td>테스트베드</td></tr>
<tr><td>영문핵심어 (5개 이내)</td><td colspan="3">3D Printing Design for Architecture</td><td colspan="3">3D Printing Construction for Architecture</td><td colspan="3">3D Printing Materials for Architecture</td><td colspan="2">3D Printing Equipments for Architecture</td><td>Test-bed</td></tr>
</table>

〈 목 차 〉

Ⅰ. 연구개발과제의 개요 ····· 1

Ⅱ. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 3

Ⅲ. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 6
1. 기술의 정의 및 필요성 ····· 6
2. 국내외 동향 및 환경 분석 ····· 24
3. 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 92
4. 사전타당성 검토 ····· 190
5. 인력투입 소요예산 산정 ····· 213

별첨자료 ····· 216
1. 참고 문헌
2. 자문위원 명단
3. 과제 제안요구서(RFP)

I. 연구개발과제의 개요

1절 사업기획 요약

<table>
<tr><td>사업명</td><td>3D 프린팅 기반 사용자 맞춤형 건설 자동화 기술개발</td></tr>
<tr><td>주관부처</td><td>국토교통부 (관리기관 : 국토교통과학기술진흥원)</td></tr>
<tr><td>총사업비</td><td>368.66억 원 (국비 266억 원, 민자 88.66억 원, 기획평가관리비 14억 원)</td></tr>
<tr><td>사업기간</td><td>2023 ~ 2027년(5년)</td></tr>
<tr><td>사업목적</td><td>3D 프린팅 핵심기술 확보 및 신시장창출을 위한 3D 프린팅 전용 복합재료·공급장치, 시공 장비 개발 및 테스트 베드 구축</td></tr>
<tr><td>근거법령</td><td>o 국토교통 과학기술육성법 제8조 (연구개발사업의 추진)
o 건축기본법 제11조 (건축정책기본계획의 내용)</td></tr>
<tr><td>관련
정부정책</td><td>
<table>
<tr><th>주요정책</th><th>동 사업 관련성</th></tr>
<tr><td>① 제4차 과학기술기본계획 ('18~'22)</td><td>과학기술 기반 신산업·일자리 창출 강화를 위한 국민이 체감하는 혁신성장동력 육성으로 유망산업의 성장동력화 촉진</td></tr>
<tr><td>② 제3차 건축정책기본계획 ('21~'25)</td><td>'첨단 건축기술로 건축 생산성 향상 및 시장확대'를 위한 과제 제시를 통해 첨단 기술의 현장 도입을 위한 제도적 기반 마련과 첨단 기술시장 육성 및 성과 확산 지원으로 스마트 건축 및 첨단기술 확산 기반 조성</td></tr>
<tr><td>③ 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)</td><td>4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>사업목표</td><td>
<table>
<tr><td>목표</td><td colspan="3">3D 프린팅 기반 사용자 맞춤형 건설 자동화 기술개발</td></tr>
<tr><td>성과
목표</td><td>건축 3D 프린팅 통합시공관리기술 및 테스트베드 구축</td><td>건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발</td><td>이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발</td></tr>
<tr><td>성과
지표</td><td>① 품질인증
② 3D 프린팅 실증센터 구축
③ 3D 프린팅 테스트베드 구축</td><td>① 탄소중립형 구조재용 3D 프린팅 복합재료 개발
② 에너지절감형 비구재용 3D 프린팅 복합재료 개발
③ 자동 재료공급 시스템 개발
④ 다기능성 3D 프린팅 복합재료의 성능고도화
⑤ 성능평가 표준(안) 및 지침(안)</td><td>① 말단툴 반복정밀도
② 수평설치 오차
③ 툴패스 보정 오차
④ 가설위치 오차
⑤ 현장적용</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>사업내용</td><td>① 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술 및 테스트베드 구축
② 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발
③ 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발
* 국토부, 지차체, 공공기관, 민간기관 등과 협력을 통한 실증</td></tr>
<tr><td>사업대상</td><td>o 지자체, 공공기관, 민간건설업체</td></tr>
</table>

2절 기대효과

핵심항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'23년 수준	최종 목표수준	
	~'21	'23	'27(종료년도)	'27~(종료이후)
건축 3D 프린팅 통합시공 관리기술	■ 모르타르 기반 건축 수직 골조(벽체)에만 한정된 출력 ■ 현장내 겐트리 타입 출력 장비 1대 운용	■ 기존 시공법과 연계하는 구체적 연구 및 시공사례 전무 ■ 단열, 방수, 차음 등과 같은 품질 및 기능성 검증 사례 전무 ■ 3D 프린팅 기반 건축물 시공시 공정관리 및 현장관리 기법 전무 ■ 현장 내 단일 장비 운용	■ 기존 공법 대비 동등 이상 품질 확보 - 공인시험기관 인증 ■ 시공오차(이격거리) 10mm 이내 ■ 시공성능 폭 10m 기준 5mm 정밀도 ■ 제도 개선(안) 1건	■ 수평부재 출력 시공 ■ 철근콘크리트조로 구조보강된 구조물 출력시공
	TRL Level 4~5단계	→	TRL Level 7단계	
건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발	■ 3D 프린팅 비정형 내외장재 ■ 재료배합/이송/출력 과정 중 다수 인원 투입 ■ 실험적 검증을 통한 현장 배합 도출 ■ 직접시공은 수직부재에 한정하여 가능	■ 출력장비, 전용 재료 및 출력 제품의 성능인증 시스템 부재 ■ 현장 요구 설계 배합강도에 따른 설계 후, 샘플링 검사 수행 ■ 출력재료 공급시스템은 전적으로 인력에 의존 ■ 비정형성에 초점을 맞춘 수직 출력 위주 ■ 출력물 형상제어(출력성, 적층성, 압출성 등)에 국한	■ 구조성능 인증 이상 ■ 성능인증 표준 1건 ■ 기존공법 대비 투입인력 30% 절감 ■ 공급량 오차 2%/min 이내 이동형 연속 공급장비 ■ 동일 원재료 하 품질 변동성 5% 이내 ■ 지면으로부터 수직 기준 30도 경사 출력	■ 3D 프린팅 출력 다기능성 건축 내외장재 복합소재 및 제조기술 ■ 주택성능인증 수준 3D 건축 자재 개발 ■ 3D 프린팅 재료 공급 자동화기술 ■ 출력각도조절 급속 시공 재료기술 ■ 현장 출력물성 품질 관리 기술
	TRL Level 3~4단계	→	TRL Level 7단계	
이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발	■ 겐트리 타입의 프린터로 팩토리운용에는 유리하지만 현장에서의 신속한 설치에 어려움이 있음 ■ 단일노즐로 다중 분사 불가능함 ■ 출력된 결과물의 품질관리를 위한 형상인식 및 이에 따른 툴패스 경로보정과 분사노즐 가변 기능이 없음	■ 대형 건물 출력을 위한 대형 단일 머니퓰레이션 시스템 구성 ■ 바닥면 평탄도에 따라 설치 시간과 비용이 크게 증가 ■ 단일노즐 출력 - 유사경로 반복 출력 - 단열재 등 작업의 별도공정 추가 ■ 말단 툴의 위치측정 및 제어오차에 의해 기존 출력라인과 신규 출력라인 간 정합오차 발생	■ 말단 툴의 반복 정밀도 10mm 이내 ■ 수평설치 오차 0.2도 이내, 설치위치 오차 15mm 이내 ■ 동시분사 노즐수 3개 이상 ■ 동시분사 이종재료 3종 이상 ■ 말단 툴의 정밀 보정 오차 5mm 이내	■ 이동형 가설장치를 통해서 현장 설치가 용이 ■ 대형 주 머니퓰레이터와 소형 말단 머니퓰레이터 복합형으로 대형 구조체 출력과 함께 정밀하고 복잡한 소형 형상 출력 대응 가능 ■ 다중 가변 분사노즐로 출력 효율을 높이고 사용자의 다양한 요구에 대응 가능하도록 출력 대상체의 범위 확대 가능
	TRL Level 4~5단계	→	TRL Level 7단계	

Ⅱ. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

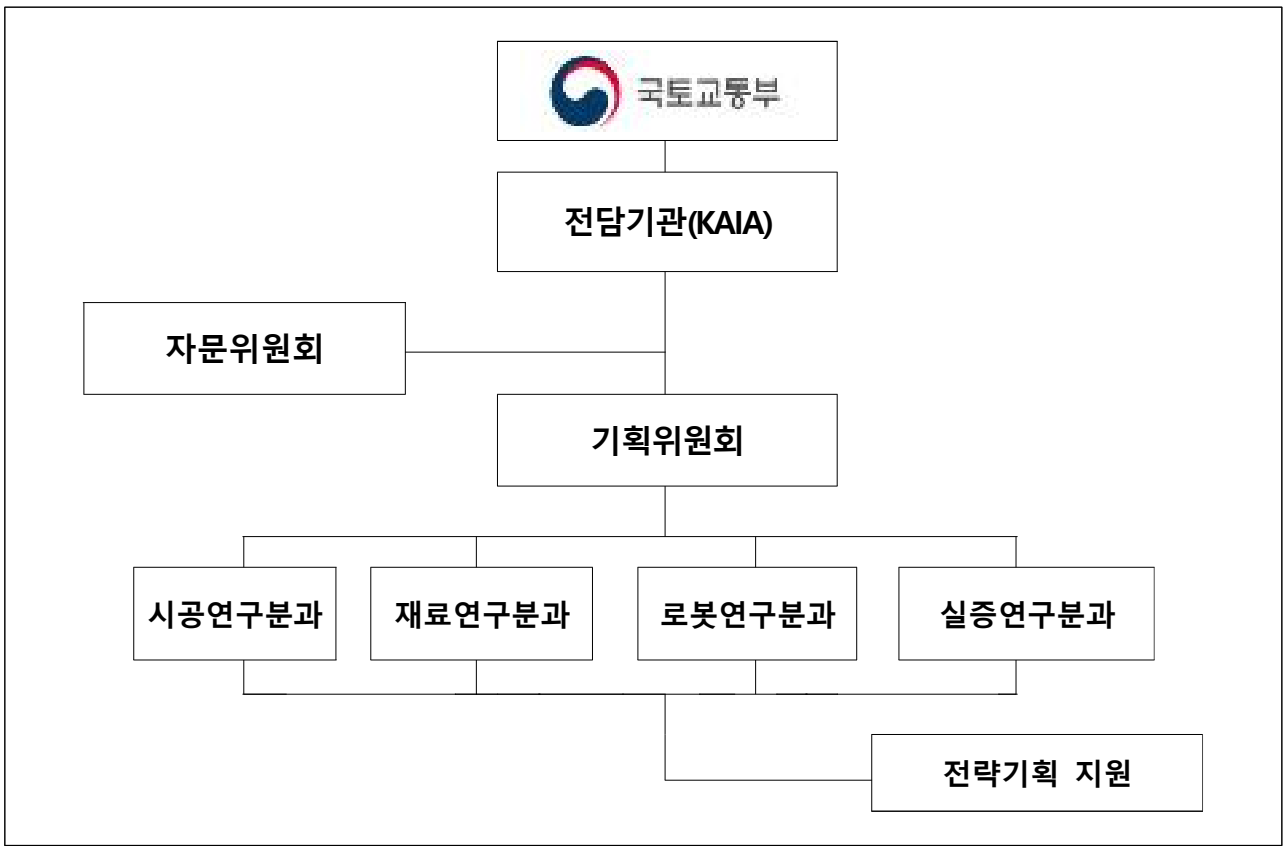
1절 기획추진체계 및 추진경과

1. 기획 추진체계

■ 사업기획 추진체계

○ 기획위원회와 기획연구진을 중심으로 각 전문연구기관별 상호연계 및 명확한 역할관계 정립을 통해 사업기획을 추진

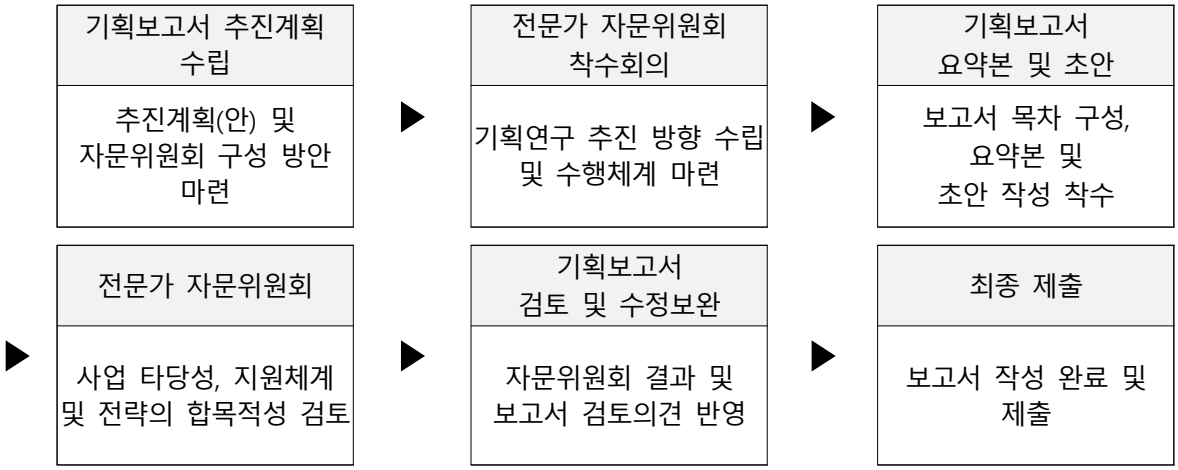
- 사업기획 과정의 합리성과 사업내용의 전문성을 확보하기 위해 민간전문가 중심의 기획위원회 구성 및 운영
- 기획위원회는 기획방향 설정, 전략과제 도출, 타당성 분석에 이르는 기획 전과정에 총괄 자문 및 심의·조정 역할을 수행



[그림 Ⅱ-1] 기획 추진체계

■ 연구 추진절차

○ 연구 추진계획에 대한 전문가 자문회의 의견 수렴을 거쳐, 본 연구내용을 수행하고, 수행 결과에 대한 최종 검토 및 수정·보완을 진행 후, 보고서의 전체적인 내용 점검을 진행



[그림 Ⅱ-2] 연구 추진절차 및 내용

2. 기획 추진경위

<표 Ⅱ-1> 기획 추진경위

연번	일시	주요내용	비고
1	21.01.28	수행과제 착수보고회의	국토교통과학기술 진흥원 (화상)
2	21.02.18	기획팀 전체 연구진 회의 - 연구전체 및 세부별 연구계획 공유 및 협의	
3	21.04.12	기획팀 전체 연구진 회의 - 국토부 중간보고 관련 준비 회의	
4	21.04.20	수행과제 국토교통부 중간보고 - 연구 진행 계획 보고	국토교통부 건축안전과
5	21.05.10	1차 기술수요조사 실시	
6	21.06.09	기술수요 및 관심 기관 방문 및 회의 - 중소기업(건설사) 대상 기술 설명	
7	21.06.23	기획팀 전체 연구진 워크숍 - 각 연구진 수행내용 발표 및 중간점검, 향후일정 공유	
8	21.06.29	수행과제 국토교통부 중간보고 - 담당 사무관 변경으로 인한 과제보고	국토교통부 건축안전과

연번	일시	주요내용	비고
9	21.07.06	기술수요 및 관심 기관 방문 및 회의 - 중소기업(건축 3D 프린팅 장비개발) 대상 기술 설명	
10	21.08.19	기획팀 전체 연구진 회의 - 1차 수요조사결과 및 RFP 관련 회의	
11	21.09.07	수행과제 국토교통부 중간보고 - 연구 진행 현황 및 기술분류체계 보고 및 검토	국토교통부 건축안전과
12	21.09.20	2차 기술수요조사 실시	
13	21.09.27	기획팀 전체 연구진 회의 - 기술분류체계 검토 및 전략계획서 등 작성관련 회의	
14	21.10.08	기획팀 전체 연구진 회의 - 수행과제내용 중간점검 및 2차 수요조사 결과 검토	
15	21.12.01	전문가 자문위원회 초청회의 - 수행내용 점검 및 자문위원 의견 검토	
16	21.12.10	수행과제 국토교통부 최종보고 - 연구 진행 현황 및 결과물 보고, 보완사항 등 회의	KICT 본원
17	21.12.21	기획팀 전체 연구진 회의 - 수행과제 마무리 검토 및 최종보고서 작성 관련 회의	

Ⅲ. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1절 기술의 정의 및 필요성

1. 동 사업의 정의 및 범위

1) 동 사업의 정의

■ **(사업의 정의)** 맞춤형/완성형 주택시공 기술 확보

○ 이를 위한 동 사업은 3D 프린팅 설계/시공 프로세스 확립, 주거 가능한 주택성능 확보, 이동형/경량화 3D 프린팅 건설 장비 개발, 내외장재 및 마감재 출력기술 개발, 수평부재 시공기술 개발을 포함

- 동 사업은 1단계 연구사업('16.11~'21.12)의 3D 프린팅 기술을 기반으로 함

■ **(기술의 정의)** 「3D 프린팅 기반 사용자 맞춤형 건설 자동화 기술 개발」의 개발기술을 3가지 세부 내용으로 정의

○ 건설 3D 프린팅 기술

- 압출 방식(Material Extrusion), 판재적층방식(Sheet lamination) 등 3D 프린팅 방식을 활용하여 On-Site(현장), Off-Site(공장)에서 3D 프린팅 기술의 장점(거푸집 불필요, 비정형 구조 등)을 극대화할 수 있는 시공기술

○ 맞춤형 건설

- 수직골조 외에 3D 프린터를 활용해 시공할 수 있는 건축부재(수평부재, 거푸집 등)를 확대하고 기존 공법과 Hybrid 하여 생산성이 향상된 건축물을 사용자에게 맞춤형으로 제공할 수 있는 기술

○ 자동화 기술

- 현장 및 공장에서 장비의 활용을 극대화함으로써 인력의 개입을 최소화하고 시공성 및 생산성을 높일 수 있는 건축물 시공 기술

2) 동 사업의 기술개발 범위

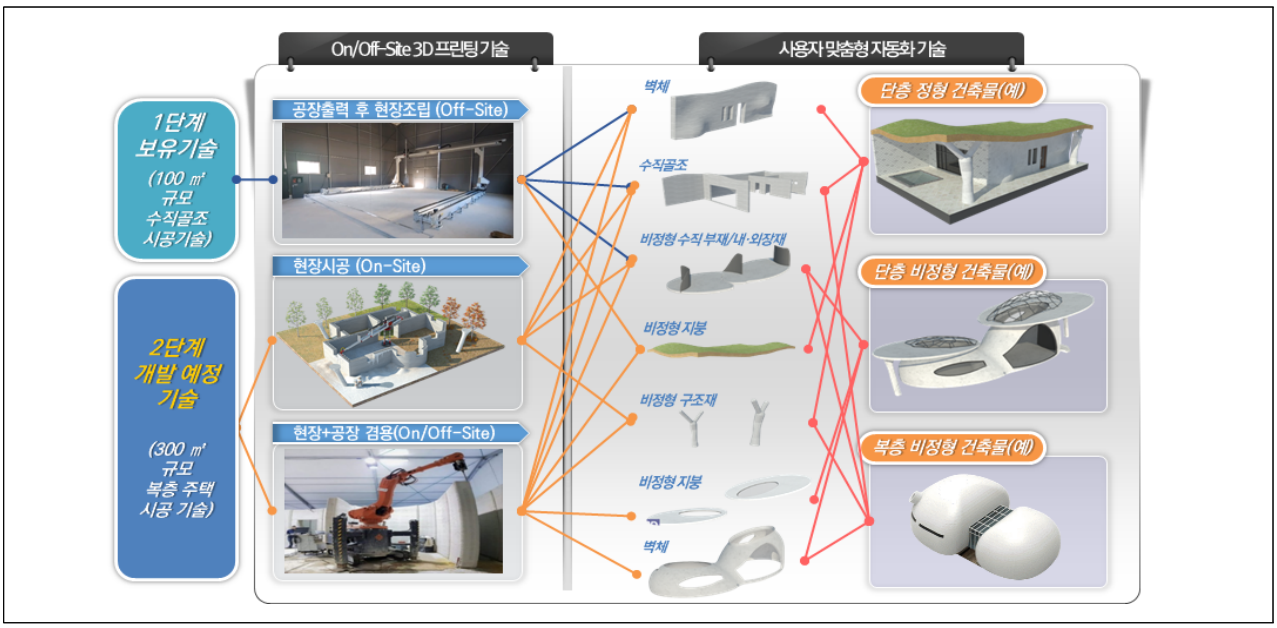
■ 현장대응, 사용자 맞춤형 3DP 기술의 완성

○ 3DP 모듈러 시공기술 완성 및 현장 출력이 가능한 이동형 장비의 개발

- 2단계 사용자 맞춤형 3D 프린팅 건축물 시공을 위해 1단계에 개발된 장비 활용

<표 III-1> 국내수준을 기반으로 하는 동 사업 기술개발 범위

구분		국내수준	본과제 목표
대상	기초	X	Hybrid
	수직골조	O	성능확보(구조, 단열, 방수, 방음, 내진 등)
	수평부재	X	성능확보
	내외장재	O	성능확보
	단열, 설비	X	Hybrid
	지붕	X	Hybrid
	인테리어	X	Hybrid
장비		고정형 Gantry	고정형 Gantry(Off-site 시공)+ 이동형 장비(On-site 시공) + 복합재료 출력 장비 등
재료		단일재료 (콘크리트)	복합재료, 탄소중립형 재료 + ∝
규모		100m2	300m2 복층 이상 시공
부재별 출력방식		On-site 중심	용도에 따라 On-site, Off-site 분할 시공 - Off-site 시공 : 내외장재, 현장대응부재, 수평부재 등, - On-site 시공 : 수직골조
		ME 방식	ME 방식 + ∝
재료배합/이송장치		Off-site 중심	자동화, 패키지, On-site 대응



[그림 III-1] 동 사업의 지원 범위 (개발 대상 핵심기술 범위)

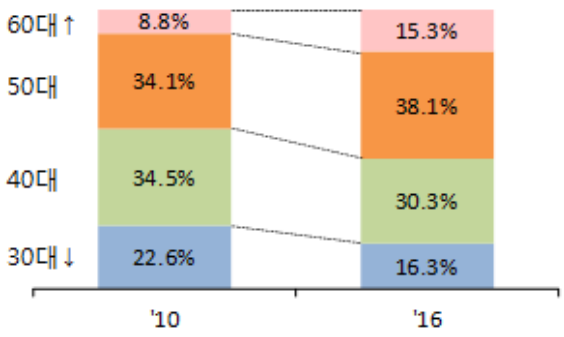
2. 사업 필요성 및 시급성

1) 사업추진 배경

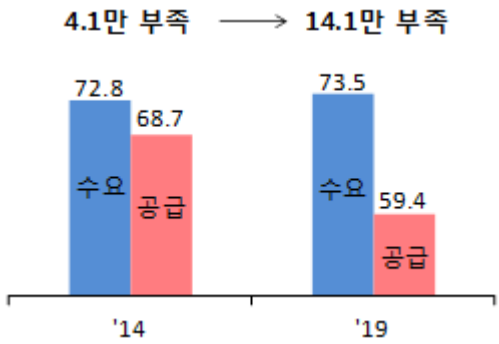
■ 3D 프린팅 등 4차 산업혁명 기술은 건설 산업이 도약할 수 있는 절호의 기회

○ 노동집약·현장 의존적인 생산체계, 공급자 위주 산업구조 등으로 건설은 '낡은 전통산업'에 머무르고 있음

○ 특히 건설은 안전성·생산성이 낮은 상황에서 고령화 및 숙련인력 감소가 빠르게 진행되고 있어 디지털화 및 자동화 필요성이 증대되고 있음



【연령별 건설근로자 비율(%)】



【숙련인력 수급 전망(만명)】

[그림 Ⅲ-2] 연령별 건설근로자 비율 및 숙련인력 수급 전망

■ 건설 산업의 생산성 증가율은 제조업 대비 현저히 낮은 수준

○ 전 세계적으로 지난 20년간 건설업 연평균 생산성증가율은 1% 수준에 그친 반면 제조업은 연평균 3.6%씩 상승

출처: McKinsey(2017), "Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity";
https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=26485099 재인용

[그림 Ⅲ-3] 건설 산업 연평균 생산성증가율(1995-2014)

출처: McKinsey(2017), “Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity”;
https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=26485099 재인용

[그림 III-4] 업종별 시간당 실질 총부가가치

- 건설 산업의 생산성은 1995년 기준으로 1.2배 정도로 거의 제자리 수준

○ 국내 건설업 노동생산성은 하락세를 보이고 있으며, 최근 10년 동안 27.9% 감소

※ 2009년부터 건설업 노동생산성이 하락하고 있으며, 제조업이 동 기간 동안 18.5% 증가한 것과 대조적

출처: 한국생산성본부; 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안(KDB미래전략연구소) 재인용

[그림 III-5] 국내 노동생산성 지수 추이

○ 국내·외 건설기업[1]의 영업이익률 또한 제조업 대비 낮은 수준

- 국내 주요 건설기업의 평균 영업이익률은 2009년 6.5%에서 2017년 4.4%로 감소한 반면, 동 기간 동안 제조업은 5.8%에서 7.5%로 증가
- 2016년 글로벌 건설기업[2]의 영업이익률 또한 4.3%에 머물며 건설산업에서의 저성장·저생산은 전 세계 공통으로 나타나고 있는 현상으로 판단됨

출처: 한국은행, ENR(2017); 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안(KDB미래전략연구소) 재인용

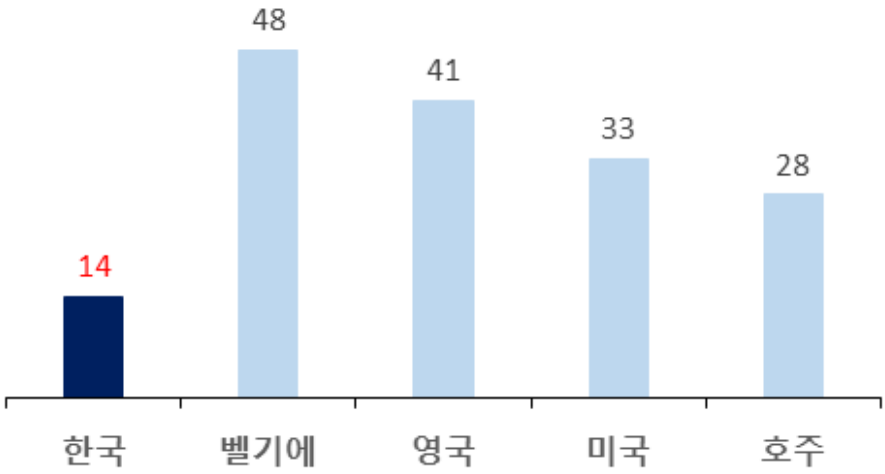
[그림 III-6] 업종별 영업이익률 추이

■ 한편 국내 건설업 노동생산성은 국제비교[3] 시 선진국 대비 절반 수준 미만

○ 노동생산성 선도그룹은 시간당 평균 30-40$의 생산성 나타내는 반면, 국내는 평균에도 못 미치는 시간당 평균 14$의 생산성을 나타내고 있음

- 특히, 생산성이 가장 우수한 벨기에는 시간당 48$의 생산성을 나타내는 것으로 조사되어 국내 대비 약 3배 높은 수준

1) 국토교통부 시공능력평가 상위 10대 기업에 해당하는 종합건설기업
2) ENR(Engineering News Record) 랭킹 상위 20위에 해당하는 건설기업
3) 전체 39개국을 대상으로 OECD(ISIC Rev.4), WIOD Database(2013), GGDC-10 Database(2010) 및 국가별 통계자료를 참고하여 국가별 생산량을 추정하고 건설업 고용자수로 나누어 노동생산성을 산출, 디플레이터, 환율 등은 OECD(ISIC Rev.4)의 기준년도(2005)를 적용한 것으로 설명함



출처: McKinsey(2017); 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안(KDB미래전략연구소) 재인용

[그림 Ⅲ-7] 주요 국가별 건설노동생산성($/시간, 2017)

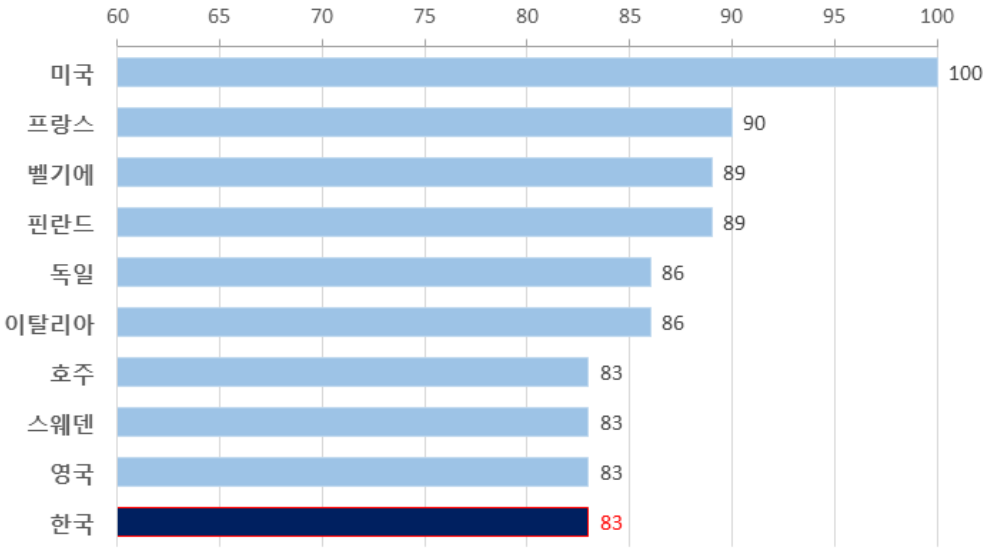
주: 가로축은 10년간 생산성 증가율, 세로축은 노동생산성, 면적은 국가별 건설투자 규모
출처: McKinsey(2017); 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안(KDB미래전략연구소) 재인용

[그림 Ⅲ-8] 국가별 건설업 노동생산성 비교

■ 또한 건설 시공분야 노동생산성 기준으로는 시공분야 생산성이 가장 높은 미국의 약 83% 수준

○ 우리나라는 생산성 선도그룹을 추격하는 중도그룹

- 생산성이 높은 국가는 미국, 프랑스, 벨기에, 핀란드, 호주 순이며 우리나라는 덴마크, 스웨덴 및 영국 등과 함께 중도그룹에 위치



주: 인용 자료에서는 국가별 비교를 위해 미국의 노동생산성을 기준(100)으로 환산하여 사용
출처: COMPASS(2019); 'Global Construction Yearbook' 산업은행 재작성; 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안(KDB미래전략연구소) 재인용

[그림 III-9] 주요 국가별 건설업 시공분야 노동생산성 비교(2019)

■ 생산성 혁신을 위한 건설 산업에서의 건설자동화, 4차 산업혁명 기술 도입의 필요성 대두

○ 2017년 세계경제포럼에서는 건설기술의 미래 발전을 위한 4차 산업혁명 기술 도입의 필요성 강조

- 부재의 표준화 및 모듈화 기술, 자동건설기계 및 3차원 프린팅 기술, IoT기반의 스마트장비 및 빅데이터 활용기술 등

○ 또한 국내 건설업에는 기존 현장생산 중심의 공법과 기술에서 공장생산 중심으로의 전환, ICT 및 제조업을 접목한 건설자동화를 통한 생산성 혁신의 방법 등이 제시되고 있음

※ 국내 건설업은 신규 인력 유입 축소, 노동력 부족, 건설업 종사자의 고령화 등의 문제를 안고 있음

■ 건설업에 디지털 기술 등 첨단기술 도입 시, 생산성 제고가 가능할 것으로 전망

○ 건설업의 경우 첨단기술의 도입 등 디지털화가 가장 늦은 산업으로 기술력 개선만으로도 14~15%의 생산성 제고효과가 발생할 것으로 전망

출처: McKinsey(2017); 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안(KDB미래전략연구소) 재인용

[그림 Ⅲ-10] 기술력 개선의 생산성 제고효과

○ 4차 산업혁명 중장기 전망(산업연구원, 2019)에서는 디지털화 등 첨단기술의 도입으로 건설업에서의 실질 부가가치 성장이 크게 증가 가능할 것으로 분석

<표 Ⅲ-2> 디지털화에 따른 부가가치 전망

(단위: %, YoY)

업종유형	실적	전망(E)	
	(2016-2015)	(2016-2025)	(2026-2035)
농림어광업	1.10	0.25	0.30
제조업	4.76	2.51	1.57
건설업	0.21	2.40	1.11
서비스업	3.39	2.93	2.24

출처: 산업연구원(2019); 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안(KDB미래전략연구소) 재인용

■ 건설 산업으로의 4차 산업혁명 기술 도입에 따른 3D 프린팅 건설시장의 급격한 성장 전망

○ 전 세계 3D 프린팅 건설시장은 2019년 318만 달러에서 2024년 1,575만 달러로(CAGR, 245.9%) 크게 성장할 것으로 전망

- 주거시설에 대한 수요 증가, 수요자 선호의 변화, 지속가능한 건축/건설 방법으로의 전환 등이 3D 프린팅 건축/건설 분야 성장을 가속화

○ 이에 반해 국내의 3D 프린팅 건설 기술은 초기단계로 시장 형성이 시작되고 있는 단계

<표 III-3> 글로벌 3D 프린팅 기반 건축/건설시장 규모

(단위: 천달러)

End-use Sector	2017	2018	2019	2024	CAGR (2019–2024)
Building	224	558	1,779	1,212,579	268.70%
Infrastructure	236	571	1,401	362,535	203.80%
Total	460	1,130	3,180	1,575,114	245.90%

출처: Secondary Research, Expert interviews, and MarketsandMarkets Analysis

2) 사업추진 필요성 · 시급성

■ 건설 산업의 무인시공 자동화 기술의 개발 및 도입을 통한 건설 안전성 및 생산성 향상 필요

○ 건설 산업은 제조업 대비 높은 인력 의존도, 해당 인력의 고령화 및 부족 등의 문제점을 지니고 있음

- 이를 해결하는 위한 대표적인 대안은 건설 산업의 전반적 자동화 대체

○ 또한 최근 현장에서 발생하는 안전사고 및 이에 대한 사회적 높은 관심도로 무인시공 자동화 기술의 도입 필요성이 대두

- 국내 대형 건설사의 경우 스마트건설 전문가 및 로봇산업관계자 등을 중심으로 무인시공 로봇, LiDAR 및 SLAM 기술이 접목된 현장순찰 로봇 등을 개발하여 시장에 선보이고 있음

○ 이에 따라 건설 자동화 분야인 3D 프린팅 기술을 활용한 무인시공 자동화 기술의 개발을 통해 건설 안전성을 확보할 필요가 있음

○ 또한 국내 건설 산업에서 무인시공 자동화 시장의 점차적 확대와 함께 급속한 성장 예상에 따른 시장 선점을 위한 기술개발이 필요

■ 건설자동화를 위한 4차 산업혁명 기술로서 3D 프린팅 기술의 도입을 통한 시공 생산성과 설계 효율성의 향상 필요

○ 건설 산업에서의 3D 프린팅 기술은 3차원 설계를 기반으로 구조물의 요소 또는 건물 전체를 자동화 장비로 시공

- 연구 초기 비정형 조경용 구조물과 장식품 등을 만드는데 사용되었으나, 영역이 확장되어 구조용 건축부품 및 건물 전체에도 사용 중

○ 이러한 3D 프린팅 기술의 도입으로 건설 산업에서의 인건비와 특수 설계에 대한 비용절감이 가능

- 건설 프로젝트의 전반적인 공기를 단축하고 공사비를 절감

- 특히, 비정형 건축물을 기존 방식보다 쉽게 시공이 가능하며, 기존 기술로 만들 수 없는 모양의 시공이 가능하여 효율적이고 흥미로운 디자인 창출이 가능

- 맞춤형 설계에 대한 비용이 감소

※ 3D 프린팅에 의한 건축물 건설은 한번만 건설하는 건축물의 건설비용이나 수천 번 동일한 건설을 시행하는 건축물이나 비용은 동일

- 설치 가설재(거푸집 등)를 사용하지 않고 최소의 재료로 건설하기 때문에 건설폐기물의 최소화 등 친환경적 특징도 보유

○ 따라서 3D 프린팅을 통한 제작비용 및 시간 절감, 비정형·맞춤형 제작, 건설 공정 간소화 및 이에 따른 인건비 감소, 안전도 향상을 위해 사업 추진을 통한 기술개발이 필요

■ 3D 프린팅 1단계 사업 이후 고도화 및 품질 향상을 위한 후속 연구 시급

○ 미국 및 유럽, 중국, 러시아 중심의 건축 3D 프린팅 연구가 활발하게 진행 중으로 건축물 실제 시공 사례가 증가하고 있으나, 국내는 이에 미치지 못하고 있음

- 해외는 복층 이상의 대형 장비 기반 대형 건축물 시공으로의 확대로 기존의 건축물 모사 수준에서 최근 기존 공법과 연계하여 시공된 건축물의 인허가 완료 사례* 증가

* COBOD (2017, 덴마크, The BOD), ICON (2018, 미국, Chicon House)

○ 반면 국내는 건설 3D 프린팅을 위한 설계, 재료, 장비의 기초 원천기술 개발 및 세계 최고수준 규모(10m×10m×3m)의 수직골조 시공기술 확보는 완료하였으나,

- 저층 중심의 수직골조 시공 중심, 사람이 실 거주하기 위한 구조안전성 등에 대한 검토 미흡, 기존 공법과의 연계에 대한 고려 등이 미흡

○ 따라서 세계 시장을 선도하기 위한 First mover 전략으로, 실 거주 가능한 품질수준의 완성된 건축물 시공 기술 확보, 규모 확장, 재료 다양화 및 토목 등 타 도메인 확장을 위해 2단계 연구 시급

- 연구의 대상을 수직골조에서 수평부재를 포함한 완성된 건축물로의 확장

■ 3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템 개발에서도 국내는 관련 연구가 전무한 실정으로 초기 기술력 및 선진기술 확보를 위한 연구가 시급

○ ‘3D 프린팅 활용 비정형 형상’에서 ‘3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템’ 개발로 연구 패러다임이 변화하는 단계로 현재 국내에서는 관련 연구가 전무한 실정

<표 III-4> 3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템 개발

국가	연구그룹명	기술수준/성능	차별성/강점	기술수준(경쟁력)				
				None	Follower	Competitive	Advanced	Pioneer
독일	TUM Department of Architecture	차음, 단열, 차양, 패시브 환기 및 단열 등 다기능성	다기능성 외피 시스템				●	
네덜란드	4TU.Bouw	패시브 단열	패시브 단열시스템		●			
한국				●				

○ 또한 무근 콘크리트 출력의 구조안전성을 극복하기 위한 철근보강형 3D 프린팅 콘크리트 복합구조 재료 개발이 진행 중이나 국내는 관련 연구가 전무

- 국내는 민간을 중심으로 하는 연구 시작단계

<표 III-5> 비정형 철근보강형 3D 프린팅 콘크리트 등 복합구조체 개발

국가	연구그룹명	기술수준/성능	차별성/강점	기술수준(경쟁력)				
				None	Follower	Competitive	Advanced	Pioneer
독일	Shotcrete 3D printing	비정형 철근보강형 3D프린팅 콘크리트	3DP용 숏크리트 및 철근배근자동화			●		
스위스	DFAB	비정형 철근보강형 3D프린팅 콘크리트	비정형 철근 배근 자동화					●
한국	H사	거푸집방식 무근 비정형 콘크리트	-		●			

■ 국내 지자체 및 민간에서의 건축 3D 프린팅에 대한 관심도가 높아지면서, 사용자가 요구하는 디자인에 대응 가능한 기술 개발의 고도화가 시급

○ 국내 건설 분야에서의 3D 프린팅 기술에 대한 관심도가 상당히 높으며, 활용에 대한 적극성이 높은 것으로 조사됨

- 동 사업 기획에서 자체, 공공기관, 민간기업 등을 대상으로 건설시장에서의 3D 프린팅 기술 적용의 필요성 및 수요 등을 조사

※ 총 16곳(지차체 2, 공공기관 3, 군부대 2, 대기업 3, 중소기업 7) 대상의 기술수요조사 실시

- 3D 프린팅 건설기술 인허가 및 제도개선, 사업성 문의, 해외 대비 국내의 기술력, 실용성이 확보된 장비 및 재료 개발이 필요한 것으로 조사되었으며,

- 특히, 각 분야별 적용하고자하는 시설물 대상으로 현재 기술의 적용 가능여부 및 경제성 분석 등에 관한 자료 요청이 많았으며, 2단계 연구시 테스트베드 지원, 장비/재료 등 기술이전 여부, 3D 프린팅 기술 기반 벤처 창업 여부 등 다양한 의견과 문의가 있었음

○ 이를 통해 국내 3D 프린팅 건설시장 규모가 폭발적으로 증가할 가능성이 있는 것으로 예상되며, 사용자 요구에 적합하게 대응할 수 있는 기술의 고도화를 위한 사업추진이 시급

<표 III-6> 기술수요조사 결과 (설문 및 직접 미팅으로 진행)

구분	대상기관명	조사 결과	기타 사항
지자체	고양시	- 인허가문제 해결 필요	- 소형 어린이 도서관 시공 문의
	울산시청	- 인허가문제로 해결 필요 - 2단계 사업 참여 요청	- 3D 프린팅 주택시공 요청
공공기관	서울기술연구원	- 소각재 활용 Binder Jetting&FDM 방식 3D 프린팅 건축 블록 제작기술 개발 필요	
	SH공사	- 3D 프린팅 시험주택 시공 관련 경제성 분석 자료 필요	
	충남테크노파크	- 규제샌드박스에 3DP 건축시공 협력 - 2단계 사업 공동연구 요청	
군부대	해병대	- 급속시공 기술을 통한 군시설 시공 필요 - 기술협력 MOU 체결 예정('21.10)	
	육군	- 육군 임시시설 및 참호 등의 시공에 3D 프린팅 기술 적용	
대기업	삼성물산	- 3D 프린팅 기술 개발 시 재료적용 협조관련 협의 희망	
	NH	- 3D 프린팅 기술 개발 시 재료적용 협조관련 협의 희망	
	현대건설	- 3D 프린팅 기술 개발 시 재료적용 협조관련 협의 희망	- 3D 프린팅 벤치 출력을 위한 조달청 단가 관련 자문

구분	대상기관명	조사 결과	기타 사항
중소기업	에덴21	- 3D 프린팅 핵심기술이전 및 구조물 시공 희망	
	더블유원	- 3D 프린팅 건축물 시공기술 이전 희망	
	아키플랜트	- 3D 프린팅 적용 모듈러 형태 제작관련 기술 개발	
	현대하이시스	- 3D 프린팅 재료 적용에 대한 협의 희망	
	한일에코산업	- ME방식 3D 프린터를 활용한 콘크리트 2차 제품 출력성 검토 필요	
	자연과환경	- 기존 PC를 대체할 수 있는 3D 프린팅 기술 개발 - 2단계 사업 참여 요청	
	컨셉션	- 기존 철근을 대체할 수 있는 GFRP 적용 기술 개발 - 2단계 사업 참여 요청	

■ 또한 3D 프린팅 건설기술 분야는 민간이 주도적으로 수행하기에는 어려움이 있어 정부지원을 통한 사업 추진이 절실

○ 현실적인 인허가, 기술의 검증 부족 등의 문제로 민간이 주도하기에는 어려움

○ 국내의 경우 건축 3D 프린팅 시장이 초기 형성 시기로 국가 지원을 통한 기술개발 주도의 마중물로 민간 참여를 활성화 할 필요가 있음

- 적극적인 정부의 정책 및 기술개발 지원을 통해 노동 집약적인 저부가가치 건설 산업을 기술집약적 고부가가치 산업으로의 패러다임 전환 기대

3) 정부지원의 당위성

■ 삼차원프린팅산업진흥법, 과학기술기본법과 같은 법령 및 제6차 건설기술진흥기본계획, 제2차 3D프린팅산업진흥기본계획 등 정부 계획을 통해 국고지원 요건을 갖춤

국고지원의 적합성

국고지원 요건

(근거법령)

- 과학기술기본법 제11조 (국가연개발사업의 추진)
- 국토교통과학기술육성법 제8조 (연구개발사업의 추진)
- 건설기술진흥법 제8조 (건설기술의 연구·개발 등의 권고)
- 건축기본법 제11조 (건축정책기본계획의 내용)
- 삼차원프린팅산업진흥법 제8조 (기술개발의 촉진)

(종합계획)

- 제4차 과학기술기본계획 ('18-'22)
- 2050 탄소중립 추진전략 ('20)
- 한국판 뉴딜 종합계획 ('20)
- 제7차 산업기술 혁신계획 ('19-'23)

(건설산업 육성 정부계획)

- 제3차 건축정책기본계획 ('21-'25)
- 제1차 국토교통과학기술연구개발종합계획 ('18-'27)
- 제6차 건설기술진흥기본계획 ('18-'22)

(3D프린팅산업 육성 정부계획)

- 제2차 3D프린팅산업진흥기본계획 ('20-'22)

국가재정 운용계획 연계

- 동 사업의 재원이 대부분 국고인 점을 감안하여 국가 재정운용계획 중 R&D 분야와 동 사업의 세부분야인 산업·중소기업·에너지 부문의 중기 재정계획과 동 사업의 예산 계획을 비교 분석
- R&D 분야 재량지출 증가율은 매년 평균 6.6% 증가를 계획하고 있어 주관부처의 재원조달 측면에서의 위험 요인은 없을 것으로 판단
  * R&D 분야 재량지출은 '21년 27.4조원에서 '25년 35.4조원으로 매년 평균 6.6% 정도 증가를 계획
  * 산업·중소기업·에너지 부문 역시 '21년 28.6조원에서 '25년 36.4조원으로 매년 평균 6.2% 정도 증가를 계획

정부지원의 필요성

- **(주거 및 생활터전 보호 의무)** 건축물은 국민의 생명과 재산을 보호해야 할 생활터전으로써 국가는 건축물에 대한 **국민의** 불안감·불신에 대한 문제를 해소하여 **재산 및 생명을 보호해야 할 의무**가 있음
- **(주거권 실현)** 건설기술자동화로 인한 **상대적으로 저렴한 주택의 공급**은 정부 부동산 정책의 핵심 목표인 **국민이 집 걱정 없이 안심하고 사는 주거환경 조성에 기여**
- **(3D프린팅 건설산업 활성화)** 민간의 경우 기존의 장비를 이용하여 콘크리트 재료로 3D 조형물 또는 샘플 주택을 시공하는 수준에 머물러 있어, 3D 프린팅 건설산업 활성화를 위한 시공, 장비, 소재 등 원천기술 확보와 법·제도 개선에 대한 연구 지원 필요
  * 글로벌 3D 프린팅 건설시장은 연평균 246% 수준으로 초고도 성장하여 2024년 약 16억 달러 규모로 성장 예상(3D Printing Construction Market, MarketsandMarkets(2019))

[그림 Ⅰ-1] 국고지원의 적합성

■ 사업추진 지원근거

○ 건축 생산성 향상 및 시장 확대를 위한 4차 산업혁명 대응 첨단기술 기반의 건축기술 연구개발 등과 밀접히 연관

<표 Ⅲ-7> 동 사업의 추진 근거

구분	법령·계획	관련 조항
관련 법령	과학기술기본법	o 제1조(목적) - 이 법은 과학기술발전을 위한 기반을 조성하여 과학기술을 혁신하고 국가경쟁력을 강화함으로써 국민경제의 발전을 도모하며 나아가 국민의 삶의 질을 높이고 인류사회의 발전에 이바지함을 목적으로 한다. o 제5조 1항(과학기술정책의 중시와 개방화 촉진) - 정부는 과학기술정책의 수립과 추진을 통하여 과학기술이 국가의 경제적·사회적 문제를 해결하고 미래전략을 달성하는 중추적인 역할을 할 수 있도록 필요한 자원을 최대한 동원하여 창의적 연구개발과 개방형 과학기술혁신활동을 적극적으로 지원하여야 한다. o 제7조 3항(과학기술기본계획) - 기본계획에서는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.1. 과학기술의 발전목표 및 정책의 기본방향2. 과학기술혁신 관련 산업정책, 인력정책 및 지역기술혁신정책 등의 추진방향 <이하 중략> o 제11조 1항(국가연구개발사업의 추진) - 중앙행정기관의 장은 기본계획에 따라 맡은 분야의 국가연구개발사업과 그 시책을 세워 추진하여야 한다. o 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성) - 정부는 과학기술에 기반을 둔 성장동력을 발굴·육성하기 위하여 필요한 시책을 세우고 추진하여야 한다.
	국토교통과학기술 육성법	o 제7조(기술수요조사) - 국토교통부 장관은 국내외 기술동향조사 등을 통하여 정기적으로 기술수요조사를 하고, 그 결과를 반영하여 연구개발과제를 발굴하여야 한다. - 제1항에 따른 기술수요조사에 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다. o 제8조(연구개발사업의 추진) - 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술연구개발사업(이하 "연구개발사업"이라 한다)을 할 수 있다. - 국토교통부장관은 연구개발사업을 할 때 연도별·분야별 연구과제를 선정하여 다음 각호의 기관 또는 단체등과 협약을 맺어 연구를 하게 할 수 있다. <이하 중략>

구분	법령·계획	관련 조항
관련 법령	건설기술 진흥법	o 제8조(건설기술의 연구·개발 등의 권고) - ▶ 국토교통부장관은 새로운 건설기술의 도입·연구·개발을 위하여 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자에게 대통령령으로 정하는 바에 따라 부설연구소의 설치·운영이나 공동연구 및 정보 교환 등과 기술개발을 위한 투자를 권고할 수 있다. <이하 중략> o 제9조(공동연구·개발) - 국토교통부장관은 건설기술의 연구·개발과 관련된 공공기관·법인·단체·대학(이들의 부설연구소 등을 포함한다. 이하 "건설연구기관"이라 한다)의 인력·자금·시험시설 및 기술정보의 효율적 활용과 선진기술 획득을 위하여 관계 중앙행정기관의 장과 공동연구를 추진하거나 건설기술연구기관의 건설기술 연구·개발을 지원할 수 있다.
	건축기본법	o 제11조(건축정책기본계획의 내용) - 우수한 설계기법 및 첨단건축물 등 연구개발에 관한 사항
	삼차원 프린팅산업 진흥법	o 제5조(기본계획의 수립 및 시행) - 과학기술정보통신부장관은 3년마다 삼차원프린팅산업 진흥을 위한 기본계획을 수립하고 <이하 중략> o 제8조(기술개발의 촉진) - 정부는 삼차원프린팅산업에 관한 기술개발의 촉진을 위하여 다음 각 호의 사업을 추진하여야 한다. 1. 기술수준의 조사 및 기술의 연구개발 2. 개발된 기술의 평가 3. 기술협력·기술이전 등 개발된 기술의 실용화 4. 기술정보의 원활한 유통 5. 그 밖에 기술개발을 위하여 필요한 사업
관련 상위 계획	국정과제	o (국정과제 34)「고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성」 - 첨단기술 산업의 융복합 추진전략 마련, 반도체·탄소산업 등 4차 산업혁명 대응에 필요한 첨단 신소재·부품 개발 ※ 지능형 로봇, 3D프린팅, 나노·바이오, 항공·우주 등 첨단기술 산업 육성을 위한 R&D 및 실증·인프라 구축 지원

구분	법령·계획	관련 조항
관련 상위 계획	제4차 과학기술 기본계획	o 「과학기술기본법」에 따라 향후 5년 간('18~'22) 우리나라 과학기술혁신정책의 비전, 목표, 방향 등을 포함하는 중장기 발전전략 제시 - (전략3-과제11) 과학기술 기반 신산업·일자리 창출 강화를 위한 신기술·신비즈니스 제도적·실증적 생태계 구축을 통해 4차 산업혁명 관련 신기술·신비즈니스의 연착륙 환경을 조성 ※ 기업수요에 기반하여 인프라-실증솔루션-비즈니스모델이 연계된 실증 R&D를 지원 - (전략3-과제11) 과학기술 기반 신산업·일자리 창출 강화를 위한 국민이 체감하는 혁신성장동력 육성으로 유망산업의 성장동력화 촉진 ※ 3D 프린팅 등 첨단기술 산업 육성 지원을 통해 첨단기술 산업 분야 국가경쟁력 강화
	제3차 건축정책기본계획 ('21~'25)	o 건축에 관한 최상위 계획으로서, 건축 관련 부문별 계획과 지역 차원에서 수립되는 지역건축기본계획의 수립방향을 제시 - 소품종·대량생산 중심의 고속성장의 시대에서 지역기반 소규모 건축사업을 통한 다품종·소량생산 중심의 안정적 성장시대로의 전환에 따라 건축의 생산방식, 공간수요, 개발행태 등에서의 건축 패러다임의 변화를 반영 o '첨단 건축기술로 건축 생산성 향상 및 시장확대'를 위한 과제 제시를 통해 첨단 기술의 현장 도입을 위한 제도적 기반 마련과 첨단 기술시장 육성 및 성과 확산 지원으로 스마트 건축 및 첨단기술 확산 기반 조성
	제1차 국토교통과학 기술 연구개발 종합계획 ('18~'27)	o 인공지능, 로봇 등 융복합을 통해 설계·관리·시공·유지보수 등 건설 프로세스를 혁신하는 "지능형 건설생산체계"를 전략목표로 설정 o 4대 전략 중 하나인 기술융합을 통한 새로운 가치창출 중 실천과제인 '융합기술을 통한 건설지능화 실현'과 국토교통 8대 혁신성장동력(건설자동화)에 기술 반영
	제6차 건설기술진흥 기본계획 ('18~'22)	o 4대 추진전략 - `해외 수요 대응형 건설기술 개발 - 분야 간 융·복합을 통한 경쟁력 강화 - 건설 Big Data 유통을 통한 신사업 육성 o 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성
	제2차 3D프린팅산업 진흥 기본계획 ('20~'22)	o 3D프린팅 산업 현장 활용 가속화 - 테스트베드를 구축하고 건축물 대상 3D프린팅 설계·재료·장비 개발기술 검증 o 차별적 기술력 확보 - 3D프린팅 소재·장비·SW 기술 자립화 - 3D프린팅 전주기 통합제어 플랫폼 기술개발 o 혁신·성장 중심 산업기반 고도화 - 국가표준 개발 및 국제표준 대응·선도 활동 강화 - 3D프린팅 품질평가 및 신뢰성 확보 지원체계 강화 등

2절 국내외 동향 및 환경 분석

1. 국내외 정책 동향

1) 해외 정책 동향

■ 미국, 독일, 중국 등 주요 선도 국가는 제조 등 자국 산업의 경쟁력 강화를 위해 3D 프린팅을 활용한 종합전략을 추진 중

<표 III-8> 해외 정책 동향 요약

국가	주요 내용
미국	o 국가제조업 혁신 네트워크 연례보고서 및 전략계획 수립(2016) - 3D 프린터 활용 등 첨단제조업 육성을 통한 새로운 기술개발 촉진 및 기술기반 산업 인프라 조성 추진 o 응용산업별 3D프린팅 기술의 활용 확산 위한 부처별 3D 프린팅 R&D 확대 o 미국 제조업 부흥을 위한 차세대 생산기술로 3D 프린팅 산업 선정 - 첨단제조 연구개발투자 증진을 위해 11개 권고 분야에 3D 프린팅 기술 포함 o 적층제조기술 활용으로 에너지 비용 절감과 생산성 향상 도모
독일	o 인더스트리 4.0 극대화 등을 위한 '디지털전략 2025' 발표(2016) - 산업 전반의 디지털 생태계 구축을 위한 통합 전략 방안 제시로 인더스트리 4.0 보완과 추진전략 구체화 - ICT와 기계산업, 3D 프린팅 융합을 통해 모든 생산과정을 자동화·최적화 하는 스마트 팩토리 구현 추진
영국	o 정부 주도의 3D 프린팅 관련 연구개발 및 교육 지원 정책 수립 및 투자 확대 - 2010년 대학에 3D 프린팅 연구 조직을 설립하여 R&D 자금 지원 - 2013년 3D 프린팅 기술 분야 18개 R&D 프로젝트에 840만 파운드 지원 - 2014년부터 초중등 교육과정에 디아징과 기술 과목을 도입
중국	o 국가 R&D 전략인 국가 첨단 기술 연구 및 개발 프로그램에 3D 프린팅을 미래 핵심기술로 선정 - 3D 프린팅 핵심기술·장비 개발과 테스트 및 산업화 조건 조성을 위한 연구기금을 투입하고 3D 프린팅 산업 경쟁력 보유를 위한 기술 개발 연구에 착수 o 국가 적층가공산업 발전 추진계획 발표(2015) - 3D 프린팅 산업 경쟁력 제고를 위해 2-3개의 3D 프린팅 전문기업 육성 o 3D 프린팅 장비를 국가 중대 기술장비 리스트에 포함하고 보조금 지급을 비롯하여 다양한 세제 혜택 제공 - 해외기업에 대해서는 반독점 및 반덤핑 규제 등을 통해 자국 기업 보호 o 지방 정부별 3D 프린팅 기술 개발을 우선하고 발전계획에 3D 프린팅을 포함하여 산업단지 건설을 추진
일본	o 3D 프린팅 산업 경쟁력 강화방안(2015)에 따라 3D 프린팅 산업기반 조성 및 적극적 R&D 투자를 통한 핵심기술 확보 추진 o 소재, 기계 제어 기술을 활용하여 고속·고성능 차세대 산업용 3D 프린터 개발, 금속재료 측정·평가 방법 개발, 중소기업 실증·도입 등 추진 o 일본재흥전략에서는 3D 프린터를 핵심 산업으로 소재나 기계 제어기술 등에서 3차원 조형 시스템의 연구개발을 국가 프로젝트로 추진

(1) 미국

■ 국가제조업 혁신 네트워크 연례보고서 및 전략계획 수립(2016)

○ 제조업 위기를 극복하기 위해 제조혁신센터를 중심으로 기술개발・인력양성 등을 추진하여 국가경쟁력 강화방안 수립

- 미국 제조업 경쟁력 향상을 위한 기술이전 촉진, 제조 전문인력 양성, 비즈니스 모델 개발 등 사업화 지원방안 제시

- 3D 프린터 활용 등 첨단제조업 육성을 통한 새로운 기술개발 촉진 및 기술기반 산업 인프라 조성 추진

■ 응용산업별 3D프린팅 기술의 활용 확산 위한 부처별 3D 프린팅 R&D 확대

○ FDA는 코로나19에 대응하기 위해 3D 인쇄튜브 커넥터와 같은 항목에 대한 비상사용 허가를 승인

○ VHA(국가보훈처)는 3D 프린팅 기반의 개인화 의료서비스 제공을 위해 3D 시스템즈와 협력 파트너십을 구축하여 기술적용 확대

<표 II-1> 미국의 3D 프린팅 관련 법 규정

법 규정	내용
미국 특허법 safe harbor 조항	o 프린트된 결과물에 대해 미국 저작권법 제102조에서 규정하는 바와 같이, "건축 조감도, 설계도" 등은 "건축물"로서 저작권 보호를 받을 수 있다.
저작권법, DMCA	

* 자료: 2014년 해외 특허분쟁 대응전략 로드맵(3D프린팅), 특허청, 2015.02

■ NIST(미국 국립표준기술연구소) Additive Manufacturing

○ 2018년 3D 프린팅 산업의 발전을 위한 공정, 소재, 측정도구/모델링 연구 등 MSAM(Measurement Science for Additive Manufacturing) 프로그램과 파트너십 체결

- (공정) Engineering Laboratory의 MSAM 프로그램: 표면 품질, 부품 정확성, 가공 속도, 재료 특성 연구 및 재료 특성화, 공정의 실시간 제어, 검증 방법론, 시스템 통합연구 등

- (소재) Material Measurement Laboratory: 금속, 폴리머 등의 소재 검사, 재료 표면과 결합의 나노 단위 특성분석 등

- (측정도구/모델링) The Physical Measurement Laboratory: 고체, 파우더, 액체 상태 물질의 방사 특성 연구, 실시간 온도 측정을 위한 기술 연구, 적층 가공 공정에 대한 모델링 지원 등

○ 미 중소기업의 적층제조기술 활용으로 에너지 비용 절감과 생산성 향상

■ 미국 제조업 부흥을 위한 첨단 제조업 파트너십(Advanced Manufacturing Partnership)의 차세대 생산기술로 3D 프린팅 산업 선정

○ 2012년 차세대 생산기술로 3D 프린팅 산업을 선정하고 대규모 투자계획 발표

- 정부 및 산학연을 결집하여 제조업 분야의 고용을 창출하고, 국제경쟁력을 높일 수 있는 첨단기술에 투자하는 국가적 차원의 대처 방안 마련

- 첨단제조 연구개발투자 증진을 위해 11개 권고 분야에 3D 프린팅 기술 포함

○ 산업과 대학에 3D 프린팅 기술 도입을 지원하고, 제조업체들이 3D 프린팅 원료와 기기를 시험해 볼 수 있는 훈련 프로그램 운영을 계획

○ 첨삭제조(MA)기술 개발에 디자인, 공정 모델링과 제어, 재료 및 공정과 설비, 생의학적 응용, 에너지와ㅗ 지속 가능한 응용, 교육, 연구개발과 공동체, 국가 테스트베드 센터 등 총 8개 부분으로 세분화 하여 연구개발 정책 로드맵 작성

○ 군사 무기 전문연구소 NCDMM 주도의 3D 프린팅 특화연구소 국립첨삭가공 혁신연구소(NAMII)의 건립 계획 공개

- 미국 내 적층 가공 관련 기술 개발 지역 거점 및 글로벌 혁신센터로 기초 R&D와 기술 상용화의 간극을 좁히고 기술 대중화를 위한 인프라 구축 선도를 목표로 함

- 오하이오 주 Youngstown에 설립될 예정으로 3D 프린팅 관련 투자를 9천만 달러로 확대할 예정

- Stratasys, 3D Systems, ExOne 등 3D 프린터 업체와 Honeywell, GE, Boeing, Lockheed Martin 등 글로벌 제조업체 외 40여개 회사, 9개의 연구기관 및 대학교, 5개의 커뮤니티 칼리지, 11개의 비영리 단체로 구성

(2) 유럽

가. EU

■ (EU) 적층기술 관련 기관 통합으로 성장이 둔화된 제조업 재활성화

○ 2012년 ECAM(The European Collaboration on Additive Manufacturing)을 설립하여 개별국가에서 독자적으로 진행하던 연구개발을 EU 차원에서 통합하여 추진

○ 2013년 Strategic Research Agenda(SRA) 2013 for Additive Manufacturing를 공개하고, Horizon2020을 통해 3D 프린터 관련 나노 소재에 관한 프로젝트 공모

- 유럽공작기계협회(CECIMO)는 Horizon2020을 통해 3D 프린팅 R&D 및 교육 프로그램 개발에 지원하였으며, 2014년부터 3D 프린팅, 적층제조를 포함한 약 87개 프로그램에 2억 2,680만 유로 지원

○ 2020년까지 GDP 중 제조업 비중을 늘리기 위해(16%→20%) 3D프린팅 기술을 주요 수단으로 설정하고, 전략 개발 및 투자

나. 독일

■ 하이테크 전략 2025(2018)를 발표하여, 독일이 혁신적인 연구를 통해 만들어가야 하는 미래상을 제시

○ 독일의 미래 기술역량을 강화하고 경쟁력 우위를 유지하기 위해 우선투자가 필요한 7대 기술개발 분야 중 3D프린팅 기술을 세부분야로 포함함

○ ICT와 기계산업, 3D 프린팅 융합을 통해 모든 생산과정을 자동화·최적화하는 스마트 팩토리 구현을 추진

- Industry 4.0에서 스마트 팩토리 구현을 위한 생산방식으로 3D프린팅을 지목하고, 함부르크 정부의 연합계획서 구상안을 발표하여 함부르크를 주요 거점으로 지원

○ Industry 4.0 구현을 위해 프라운호퍼 연구소 중심의 산업 내 3D프린팅 활용 지원

- 금속, 플라스틱, 세라믹 및 기타 재료로 만든 제품의 적층제조와 관련된 유럽 최대의 네트워크로 3D프린팅 생태계를 위한 산·학·연 조직으로서 프라운호퍼 적층제조 얼라이언스(Fraunhofer Additive Manufacturing Alliance) 조직

- 중소기업 경쟁력 향상을 위한 전략, 개념, 기술 및 프로세스를 개발 중으로 프라운호퍼 산하 19개 연구소는 품질, 소재, 기술, 엔지니어링 분야의 공동연구를 추진

- FormNext 등 전 세계가 주목하는 적층제조 및 관련 융합 분야 기술 전시회 운영

- 연방경제에너지부는 프라운호퍼 적층제조 얼라이언스 산하 계면 및 생물공학 연구원(IGB) 중심의 바이오랩(BioRap) 프로젝트를 진행, 3D 프린터를 이용한 인공혈관 제작에 성공

  ※ 인공피부 제작을 위한 나노 수준의 3D프린팅 기술개발 프로그램을 추진

○ 2016년 적층제조 기술의 노하우 공유, 공동 혁신제품 개발 추진을 목표로 베를린에 Mobility goes Additive e.V.(MGA)를 설립

- 베를린 주정부와 SIEMENS社의 후원으로 사용자 기업(대기업 및 중소기업), R&D 기관, 컨설팅 회사, 기계 및 소재 제조업체, 적층기술 서비스 및 소프트웨어 공급업체, 대학 등 약 120개 기업 및 기관이 참여

■ 연방경제에너지부는 National Industrial Strategy 2030(2019)에서 적층제조 산업 분야의 선도적 지위를 인지하고 강화·발전시키기 위한 전략을 추구

○ 독일은 3D 프린팅 선도국 지위 유지를 위해 수요가 큰 금속 소재 개발에 집중

- 독일의 제조기업들은 고부가가치 금속 등 기술력 향상을 위해 해외기업에 투자 및 기업 간 협업을 확대

○ 독일 3D 프린팅 제조기업 AM Ventures는 금속 3D 프린팅의 적용기술 발전을 위해 호주의 Conflux Technology에 투자를 실시하였으며, 항공우주, 모터스포츠, 자동차 분야로 금속 3D 프린팅 시장을 확대할 예정

- AM Ventures는 최근 산업용 3D 프린팅을 핵심 제조기술로 이끌기 위해 금속 3D프린팅 기업 Exmet AB와 3D 프린팅 플랫폼 3YOURMIND 등 유망한 3D프린팅 벤처기업 투자

○ 독일의 장비제조업체 Concept Laser는 산업용 3D 프린팅의 주요 수요 산업인 항공/우주 분야로의 시장 확대를 위해 항공부품 제조사인 Lauak와 파트너십을 맺고, Lauak의 핵심 고객인 다쏘항공사의 항공부품을 3D프린터로 제작

■ 연방교육연구부는 2020년 3월부터 차세대 디지털 생산 라인 개발을 위해 폴리라인 프로젝트(POLYLINE-Projekt) 프로젝트에 약 1,070만 유로 지원

○ 다품종 대량생산을 목표로 공정 준비부터 공정 후 처리에 이르는 모든 개별 하위 공정이 자동화되며, BMW社와 3D프린팅 제작을 하는 EOS社, 연구기관 중에는 프라운호퍼연구소와 아우크스부르크 대학 등 참여

■ 연방교육연구부는 2020년 9월부터 Material Digital 프로젝트를 통해 소재 분야 디지털화를 위한 이니셔티브로 중소기업의 디지털화를 지원

○ 친환경 정책과 디지털 전환 사업을 추진하는 과정에서 탄소 배출이 적은 전기차 생산 및 보급이 장려됨에 따라, 자동차 산업에서 3D 프린팅 기술개발 및 연구에 투자와 지원 확대

○ 2024년까지 총 13개 프로젝트(이 중 3D 프린팅 분야 2개)에 약 2,600만 유로를 지원할 예정

※ 'DiStAl'은 3D프린팅 기술을 접목하여 경량 건축 분야에 이용 가능한 균열에 강한 알루미늄 분말금을 연구

※ 'ODE_AM'은 3D프린팅 기술로 제조한 금속 구조물에 대한 포괄적인 분석 및 조사를 가능하게 하는 온톨로지(ontology) 개발

다. 영국

■ 정부 주도로 대학을 시작으로 3D 프린팅 관련 연구개발 및 교육 지원정책을 수립하고 투자 확대

○ 2010년 노팅엄대학, 셰필드대학 등에 3D 프린팅 연구 조직을 설립하여 R&D 자금을 지원

- 2011년 사우스햄튼대학에서 3D 프린터로 제작한 날개 길이 1.5m의 무인비행기 Sulsa는 최고 시속 160㎞를 기록

○ 2013년 정부 산하 기술전략위원회, 연구위원회는 3D프린팅 기술 분야 18개 R&D 프로젝트에 840만 파운드 지원

○ 비즈니스혁신기술부(Department of Business, Innovation and Skills, BIS)는 2014년 3D 프린팅 시장에 약 1,400만 유로 투자

○ 2014년부터 초·중등 교육과정에 디아징과 기술 과목을 도입하고 장비 공공구매 유도

- 50만 파운드의 기금으로 60개 학교에 3D프린터 보급 및 담당 교사 파견
- 3D 프린팅을 제조업과 경제를 변화시키는 기술로 인식하고, 아이디어를 소프트웨어로 구현하고 3D프린터로 직접 만드는 교육임
- 향후 5년 내 모든 학교에 3D프린터를 설치할 예정

(3) 중국

■ 정부 차원에서 3D 프린팅 산업 전문인력 양성 및 취업 활성화를 위해 R&D 사업과 협력개발센터를 중심으로 영국과 프로젝트 협력을 진행

○ 중국과학기술부, 공업정보화부 등의 지원을 받는 아시아 제조 협회는 2012년 베이징에 중국 3D 프린팅 기술 산업연맹(China 3D Printing Technology Industry Alliance)을 설립

- 3D 프린팅 기술의 산업화 및 시장화를 추진하고 국제 교류를 가속화하며, 3D 프린팅 기술의 산업 표준과 프레임워크 구축을 목표로 함
- 3D 프린팅에 관한 각종 교육 훈련과 홍보 전통 산업과의 결합 등을 모색하기 위한 다양한 프로그램을 전개
- 아시아 제조 협회를 비롯해 중국 내 30개 이상의 연구기관 및 중국 3D 프린팅 산업을 선도하고 있는 주요기업들이 회원사로 참여

○ 2013년에는 공업 도시 10개를 선정하여 3D 프린터 기술산업 혁신센터를 건립하고 각 센터 당 2,000만 위안을 투입

- 각 혁신센터는 제조업을 중심으로 기존 산업과 3D 프린팅 기술의 접목을 위한 다양한 R&D 활동 수행

■ 과학기술부는 863계획(국가 첨단기술 연구발전계획) 및 국가 과학기술 지탱 계획 제조 분야 2014년도 프로젝트 지침에 3D 프린팅을 포함

○ 국가 R&D 전략인 국가 첨단 기술 연구 및 개발 프로그램에 3D 프린팅을 미래 핵심기술로 선정

- 3D 프린팅 핵심기술·장비의 개발과 테스트 및 산업화 조건 조성을 위한 연구기금으로 4,000만 위안을 투입

○ 국가 첨단기술 연구 및 개발 프로그램에 따라 크게 4가지 영역에서 약 72억 원 규모의 3D 프린팅 산업 경쟁력 보유를 위한 기술개발 연구 착수

- ① 대형 항공우주 부품의 레이저 용융 시스템의 개발 및 적용, ② 복잡한 부품 및 금형 제조를 위한 대형 레이저 소결(SLS) 장비의 개발 및 응용, ③ 재료/복잡한 부품 구조 통합 설계를 위한 높은 온도와 압력의 확산 접합 장비의 개발 및 응용, ④ 가전 업계의 3D프린터 기반의 사용자 정의 핵심기술의 개발 및 응용

■ 2015년 국가 차원의 발전 정책으로 3D 프린팅 산업을 국가 산업으로 중시하기 시작하면서 국가 적층가공산업 발전추진계획(2014-2020) 발표

○ 미국·유럽 등 선진국에 뒤처진 3D 프린팅 산업 경쟁력 제고를 위해 2~3개의 3D 프린팅 전문기업 육성을 통해 글로벌 경쟁력 확보 및 연평균 30%의 성장률을 달성할 계획

- 특히 우주·항공 등 직접제조 분야에서 중국 3D 프린팅 기술을 세계 선진 수준으로 제고시켜 세계 시장 점유율을 높일 계획

■ 2015년 중국제조 2025 발표를 통해 중국 제조업 경쟁력 향상을 위한 10대 전략산업을 선정하여 2025년까지 세계 최고수준으로 도약하기 위한 전략목표와 계획을 제시

○ 제조업 소질·혁신능력 강화, 생산성 제고, 공업화와 정보화 융합 계획

○ 기술로드맵의 신소재(금속 3D 프린팅), 바이오·의약 및 고성능 의료기기 관련 내용에서 3D 프린팅 기술개발에 관한 목표와 중점제품, 핵심기술 등 제시

○ 산업구조 고도화를 위한 제조업 혁신역량을 강화하기 위해 적층 가공 분야의 성(省)급 제조혁신센터(산업기술연구기지) 19개를 설립 및 운영 지원

<표 III-9> 중국제조 2025('15.05) 기술로드맵(신소재) 중 3D 프린팅 관련 내용

구분		2020년	2025년
수요		o 항공·우주, 의료, 자동차, 복잡형상 금속 제품의 3D 프린팅 금속분말 수요 약 800만 톤	
목표		o 3D 프린팅 금속분말 연 생산 200톤 수준 o 지적재산권 보유한 세계선진제조기술 형성 o 국가 항공우주 및 바이오의료 등 중요 수요 충족	o 3D 프린팅 금속분말 연 생산 600톤 수준 o 국내시장의 80% 점유, 수출 200톤 o 원가 및 기술 분야에서 국제경쟁력을 갖춘 제품 형성
중점제품	저원가 타이타늄 합금분말	o 항공·우주용 복합부품 및 분말수요 충족 o 저원가 타이타늄 합금분말 원가는 현재와 동등한 수준의 타이타늄 합금분말 원가의 50~60% 수준으로 낮춤	o 항공·우주용 3D 프린팅 복합부품 분야에서의 저원가 타이타늄 합금분말 대량 사용
	타이타늄 합금분말	o 3D 프린팅 공정을 이용한 정밀화 후 금속제품 이용, 제품의 물리성능은 비슷한 합금성분의 정밀제조제품 수준에 상당	
	고온합금 분말	o 금속분말의 정밀화 기술개발, 제품 평가표준시스템 구축	o 핵심부품의 3D 프린팅 제조에 3D 프린팅용 고온합금분말 대량 이용
핵심기술 및 장비		o 저원가 타이타늄 합금분말 제조기술 o 3D 프린팅 원형 금속분말 분사기술 o 3D 프린팅용 금속분말의 평가기술 o 금속분말 정밀화 기술	o 3D 프린팅 분야에서 원형 금속 분말체 응용

* 주: 2017년 기술로드맵은 2015년 기술로드맵 내용과 동일하나, 목표 시기는 각각 2025년, 2030년으로 연장
* 자료: 중국 과학기술·신산업 혁신 역량 분석, 과학기술정책연구원, 2019.08

■ 2017년에는 중국 3D 프린팅 산업발전 행동계획(2017-2020) 발표

○ 중국제조 2025의 달성을 위해 3D 프린팅 산업이 빠르고 지속적으로 발전할 수 있도록 추진하고, 제조업 신성장 동력을 마련하고자 공업정보화부 외 11개 부처가 공동 제정·발표

○ 2020년까지 ① 연평균 30% 이상의 성장 속도로 200억 위안 이상의 매출 달성, ② 선진국과 대등한 수준의 핵심기술 개발, ③ 업계 수요를 충족하는 공정 장비 개발, ④ 산업생태계의 개선과 세계적인 선도수준으로의 도약을 계획

○ 정책목표 실현을 위해 혁신역량 제고, 품질 제고, 응용 추진, 거대기업 육성, 지원시스템 개선 측면에서 중점임무 제시

<표 III-10> 중국 3D 프린팅 산업발전 행동계획('17.12)의 주요 내용

구분		주요 내용
정책 목표	핵심기술 육성	o 주요 업종에서 필요한 공정 장비, 핵심 부품과 전문소재를 100가지 이상 개발하고, 3D 프린팅 제품 품질과 공급능력을 향상시키며, 주요 핵심기술과 일부 분야를 글로벌 선도 수준으로 육성
	기술응용 확대	o 응용범위가 넓고 파급효과가 큰 시범 프로젝트를 100개 이상 진행하고 혁신역량이 우수한 시범기업과 단지를 육성하며. 항공•우주, 선박, 자동차, 의료, 문화, 교육 등 분야에서 3D 프린팅의 응용 추진
	산업생태계 구축	o 소재, 공정, SW, 핵심 부품 등에서부터 장비까지 완전한 3D 프린팅 제조업 밸류체인을 구축하여 계량, 표준 테스트, 인증 등을 포함한 3D 프린팅 생태계를 구축하고 공공서비스 플랫폼과 대표 산업 클러스터 조성
	산업주도권 확보	o 대내외 자원을 통합적으로 활용하여 연구개발 생산제조, 자원 관리, 마케팅, 브랜드 파워 구축 등의 측면에서 협력을 촉진하고, 2~3개 이상의 글로벌 기업·브랜드를 육성하여 기술/장비/제품의 국제표준을 주도
중점 임무	혁신역량 제고	o 3D 프린팅 혁신센터 관리 메커니즘을 개선하여 기술 연구와 우수한 과학기술 성과의 사업화를 동시에 추진하고 차세대 3D 프린팅 제조기술 연구를 지원
	품질 제고	o 3D 프린팅 전용 소재, 핵심 부품 제조기술과 장비의 연구개발을 통해 소재, 주요 핵심장비·부품 SW의 품질과 성능, 안정성을 확보
	응용 확대	o 시범 응용을 통해 직접제조를 활성화하고 원형 설계와 모형 개발 응용을 병행하며 의료, 문화, 교육 등에서 3D 프린팅의 온/오프라인 응용 확대
	거대기업 육성	o 토종 선도기업을 육성해 기술, 인재, 시장자원 통합을 적극적으로 지원하여 브랜드를 구축하고, 밸류체인 전 단계의 협력을 촉진하여 우위 지역에서 세계적인 선진 3D 프린팅 제조산업 클러스터를 조성할 수 있도록 지원
	지원시스템 개선	o 지원체계와 3D 프린팅 제조산업의 실증 테스트 서비스 시스템을 개선하고 3D 프린팅 제조표준시스템을 구축하여 실험검증 기관, 인재양성, 인재 우대 메커니즘을 구축해야 함

* 자료: 주요국의 3D프린팅산업 지원정책 동향, 정보통신정책연구원, 2019.11

■ 중국은 3D 프린팅 장비를 국가 중대기술장비 리스트에 포함하고 보조금 지급을 비롯, 다양한 세제 혜택을 제공

○ 해외기업에 대해서는 반독점 및 반덤핑 규제 등을 통해 자국 기업을 보호

- 중대기술장비 수입세 조정 정책 관련 목록에 관한 통지에 공업용 3D 프린팅 장비와 수입한 핵심부품 원자재에 관한 관세와 부가가치세 면제 등의 내용을 포함

■ 중국 지방 정부는 3D 프린팅 기술을 우선 개발하고 발전계획에 3D 프린팅을 포함하고 산업단지 건설을 추진

○ 각 지방 정부는 3D 프린팅 기술의 개발 및 산업 혁신역량 제고를 위해 발전 계획을 발표하고 기술, 소재, 장비, 기업 및 산업 육성 등의 목표를 제시

<표 III-11> 중국 지방 정부의 3D 프린팅 발전 상황

구분	계획	주요 내용
호남성	'스마트 제조장비산업 발전을 가속화 추진하는 의견'	o 3D프린팅산업을 1조위안 장비제조 지원사업 범위에 포함 o 3D프린팅 기술연구과 산업화 촉진 o 3D프린팅 기술연구, 활용과 산업클러스터 기반 조성
	연구개발 센터 건립	o Farsoon(华曙高科) 3D프린팅산업기지 겸 중국과학원 호남 기술이전센터 3D프린팅 연구개발센터 건립
복건성	'3D프린팅산업발전을 촉진시키는 의견'	o 산업연맹, 공공 R&D플랫폼, 핵심 부속품 제조, 제품활용 등 여러 측면에서 3D프린팅 산업발전 촉진
북경시	'북경시 적층제조(3D프린팅) 과학기술혁신과 산업 육성에 관한 의견'	o 중대 핵심기술 개발, 과학기술혁신플랫폼 구축, 성과이전 촉진, 산업 분포 최적화 등 4측면에서 3D프린팅 혁신과 산업화 중점과제, 또한 보장조치 제기
산동성	청도시 3D프린팅산업 행동계획	o 3D프린팅을 중요한 전략적 신흥산업으로 간주 o 3D프린팅산업을 주도로 하는 청도시고신기술개발구 반고(盤古)사이언스파크 건립
사천성	3D프린팅 산업기술혁신센터 건립 계획	o 중국 3D프린팅기술산업연맹과 상류(双流)현정부가 5억 위안을 공동 투자하여 3D프린팅 산업기술혁신센터를 건립하고 주변 지역에 3D프린팅기술 활용 확산
강소성	3D프린팅 발전 지원 정책	o 중국 3D프린팅기술산업혁신센터, 중국 3D프린팅기술산업 본부기지 남경시에 입주
호북성	무한 동호(東湖) 고신기술개발구 3D프린팅공업원 건립	o 화중과학기술대학교가 주도 o 기술이전센터, 인큐베이터 설립
광둥성	3D프린팅기술산업(주해) 혁신센터 건립	o 주해시와 중국 3D프린팅기술산업연맹 공공 건립
	동완((东莞)시 2013년 '정부공작보고'	o 동완시 전략적 신흥산업으로 지정

* 자료: 중국의 3D프린팅 현황 및 전망, 한중과학기술협력센터, 2014

(4) 일본

■ 일본 정부는 3D프린팅 산업 경쟁력 강화방안(2015)에 따라 3D 프린팅 산업기반 조성 및 적극적 R&D 투자를 통한 핵심기술 확보 추진

○ 3D 프린팅 창업, 인력양성, 융합기술 개발 등을 통한 제조공정 혁신을 추진하여 생산성 향상 및 비용 절감 효과 극대화

○ 경제산업성은 2013년 3D 프린터 개발계획을 발표, 산업기술종합연구소가 3D 프린터 개발 프로젝트 총괄

- 산학연 공동 프로젝트의 모형제작을 위한 초정밀 입체조형 시스템 기술개발 프로젝트를 통해 주물 양산용 3D 프린터 개발에 관여하는 등 적극적으로 차세대 기술에 도전

- 일본 제조업 국제경쟁력 강화 및 국내생산 유지와 고용확보를 위해 고속 3차원 적층 조형 시스템을 구축하고, 주조기술의 개발로 제조산업의 기초기술인 주조생산 프로세스를 혁신적으로 개발

※ 매우 복잡한 형상의 주조제품을 일체 성형으로 제조

○ 또한 별도의 금형을 사용하지 않고 복잡한 형상의 주조 틀을 제작할 수 있는 3D 프린터 개발에도 착수

■ 삼차원 적층 조형 기술 개발 및 실증 프로그램(2014-2018)

○ 일본의 강점인 소재, 기계 제어 기술을 활용하여 고속・고성능 차세대 산업용 3D 프린터 개발, 금속재료 측정・평가 방법 개발, 중소기업 실증・도입 등 추진

○ 산업 적용을 위한 3D프린터 개발과 일본의 전통적 강점 분야인 소재 기술, 금속재료 물성 평가방법론 개발, 중소기업 실증 추진

- 입체 조형 기술 중심의 제조 혁명 프로그램(2014-2018), 에너지 절약형 제조공정 실현을 위한 삼차원 적층 조형기술의 개발・실용화 사업 추진(2016-2018)

■ 일본재흥전략에서는 3D 프린터를 핵심 산업으로 소재나 기계 제어기술 등에서 3차원 조형 시스템의 연구개발을 국가 프로젝트로 추진한다는 구상을 발표

○ 경제산업성은 2014년도 예산안에 「3차원 조형기술을 중심으로 한 제조혁신 프로그램」 등 국가 프로젝트에 40억 엔의 예산을 계상

- 소재개발, 레이저개발, 전자빔장치개발을 포함하는 SLM, EBM, DED 등 적층조형 장치의 코스트 다운・고속화・대형화에 도전

○ R&D 프로젝트와는 별개로, 미국, 유럽, 중국, 한국 등 주요국의 3D 프린팅 기술과 관련한 논문, 특허, R&D 동향 조사를 병행

○ 대학, 고등전문학교 등에서 교육용으로 3D 프린터를 도입할 경우 1억 엔까지 자금을 지원하고 있으며 지원 폭을 확대할 계획

○ 2014년부터 2018년까지 차세대 산업용 3D 프린터 기술개발을 위해 민관합동 기술 연구조합인 차세대 3D 적층조형 기술총합 개발기구(TRAFAM*)를 출범시켜 3차원 적층 조형 장치 개발 및 산업화 프로젝트 추진

* TRAFAM(Technology Resarch Association for Future Additive Manufacturing) : 세계 최고수준의 3차원 적층조형장치 개발로 '고속화, 고정밀화, 대형화, 복층화' 실현을 목표로 하는 사업.

2) 국내 정책 동향

■ 혁신성장동력으로서 3D 프린팅 산업 육성을 위한 국가 차원의 중장기적 기술확보 전략 마련

○ 2016년 3D 프린팅 산업 발전의 기반조성 및 국가 경제 발전에 이바지하기 위한 3D 프린팅 산업 진흥법 제정

- 산업현장 활용 확대로 기술 확산의 변곡점 마련, 차별적 기술력 확보로 양적·질적 성장 실현, 산업기반 고도화로 지속적 혁신·성장 촉발

<표 III-12> 국내 정책 동향 요약

계획명	주요 내용
국정과제	o (국정과제 34)「고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성」 제시 - 첨단기술 산업의 융복합 추진전략 마련
제4차 과학기술기본계획	o 기업수요에 기반하여 인프라-실증솔루션-비즈니스모델이 연계된 실증 R&D 지원 o 혁신성장동력 육성으로 유망산업의 성장동력화 촉진 - 3D 프린팅 등 첨단기술 산업 육성 지원을 통해 첨단기술 산업 분야 국가경쟁력 강화
제3차 건축정책기본계획	o 첨단 건축기술로 건축 생산성 향상 및 시장 확대를 위한 과제 제시 - 첨단 기술의 현장 도입을 위한 제도적 기반 마련과 첨단 기술시장 육성 및 성과 확산 지원으로 스마트 건축 및 첨단기술 확산 기반 조성
제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획	o 지능형 건설생산체계, 혁신성장 동력으로서 건설자동화를 계획에 반영 - 인공지능, 로봇 등 융복합을 통해 설계·관리·시공·유지보수 등 건설 프로세스를 혁신하는 "지능형 건설생산체계"를 전략목표로 설정
제6차 건설기술진흥 기본계획	o 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상 및 신산업 육성을 추진전략으로 반영 - 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상, 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성
3D 프린팅 산업 발전전략	o 제조업 혁신을 통해 창조경제를 이끌기 위한 3D 프린팅 산업의 종합적으로 발전 - 글로벌 선도기업 육성, 시장점유율 제고, 독자 기술력 확보
프린팅 전략기술로드맵	o 국가 차원의 중·장기적 기술확보 전략 마련 - 시장수요를 고려한 3D 프린팅 핵심 활용 분야를 도출하고, 활용 분야 연계형 장비·소재·소프트웨어 기술확보 전략 제시
3D 프린팅 산업 진흥법	o 3D 프린팅 산업 육성의 제도적 근거를 마련하고, 3년마다 3D 프린팅 산업 진흥 기본계획 수립 - 3D 프린팅 산업진흥 기본계획을 수립하고, 충실한 이행을 위해 3D 프린팅 산업 현장 활용 가속화 및 차별적 기술력 확보, 혁신·성장 중심 산업기반 고도화의 세부 정책과제 마련

(1) 정부 국정과제 및 과학기술기본계획을 통한 기술개발의 지원

■ 국정과제 34번 「고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성」과 4차 산업혁명 대응 3D 프린팅 건설 자동화 기술의 개발은 연관성이 높음

○ (국정과제 34) 「고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성」

- 첨단기술 산업의 융복합 추진전략 마련, 반도체·탄소산업 등 4차 산업혁명 대응에 필요한 첨단 신소재·부품 개발

※ 지능형 로봇, 3D프린팅, 나노·바이오, 항공·우주 등 첨단기술 산업 육성을 위한 R&D 및 실증·인프라 구축 지원

■ 제4차 과학기술기본계획(관계부처 합동, '18)에서는 4차 산업혁명 관련 신기술 연착륙 환경 조성 및 혁신성장동력 육성 등을 추진과제로 설정

○ 「과학기술기본법」에 따라 향후 5년 간('18~'22) 우리나라 과학기술혁신 정책의 비전, 목표, 방향 등을 포함하는 중장기 발전전략 제시

- (전략3-과제11) 과학기술 기반 신산업·일자리 창출 강화를 위한 신기술·신비즈니스 제도적·실증적 생태계 구축을 통해 4차 산업혁명 관련 신기술·신비즈니스의 연착륙 환경을 조성

※ 기업수요에 기반하여 인프라-실증솔루션-비즈니스모델이 연계된 실증 R&D를 지원

- (전략3-과제11) 과학기술 기반 신산업·일자리 창출 강화를 위한 국민이 체감하는 혁신성장동력 육성으로 유망산업의 성장동력화 촉진

※ 3D 프린팅 등 첨단기술 산업 육성 지원을 통해 첨단기술 산업 분야 국가경쟁력 강화

(2) 부처(국토교통부) 관련 건설·건축 계획을 통한 기술개발의 지원

■ 건축에 관한 최상위 계획 제3차 건축정책기본계획(국토교통부, '21~'25)은 건축의 생산방식, 공간수요, 개발행태 등 건축 패러다임의 변화를 반영한 수립방향을 제시

○ 소품종·대량생산 중심의 고속성장의 시대에서 지역기반 소규모 건축사업을 통한 다품종·소량생산 중심의 안정적 성장 시대로의 전환

- 건축의 생산방식, 공간수요, 개발행태 등에서의 건축 패러다임 변화의 반영

○ ‘첨단 건축기술로 건축 생산성 향상 및 시장 확대’를 위한 과제 제시

- 첨단 기술의 현장 도입을 위한 제도적 기반 마련과 첨단 기술시장 육성 및 성과 확산 지원으로 스마트 건축 및 첨단기술 확산 기반 조성

■ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(국토교통부, ’18~’27)은 지능형 건설생산체계, 혁신성장 동력으로서 건설자동화를 계획에 반영

○ 인공지능, 로봇 등 융복합을 통해 설계·관리·시공·유지보수 등 건설 프로세스를 혁신하는 “지능형 건설생산체계”를 전략목표로 설정

○ 4대 전략 중 하나인 기술융합을 통한 새로운 가치창출 중 실천과제인 융합기술을 통한 건설지능화 실현과 국토교통 8대 혁신성장동력(건설자동화)에 기술 반영

■ 제6차 건설기술진흥 기본계획(국토교통부, ’18~’22)은 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상 및 신산업 육성을 추진전략으로 반영

○ 4대 추진전략

- 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상
- 해외 수요 대응형 건설기술 개발
- 분야 간 융·복합을 통한 경쟁력 강화
- 건설 Big Data 유통을 통한 신사업 육성

○ 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성

(3) 주요 정책

■ ’14년 「3D프린팅산업 발전전략」 수립 이후, 정부는 국내 3D 프린팅 산업 진흥 및 경쟁력 제고를 위한 다양한 계획 수립 및 정책 시행

* 「3D프린팅 산업진흥법 제정」(’15.12) 및 시행(’16.12~)

<표 III-1> 국내 3D프린팅 산업육성 주요 정책

시기	주요 정책
’14년 4월	o 3D프린팅산업 발전전략(2014-2016) - 4대 전략 및 11대 추진과제 수립(수요 연계형 성장기반 조성, 비즈니스 활성화 지원, 기술경쟁력 확보, 법.제도 개선 등)
’14년 6월	o 3D프린팅산업 발전협의회 개최 - 3D프린팅 산업 전략기술 로드맵 추진계획 수립, 3D프린팅 창의 메이커스 1000만 교육계획 수립, 3D프린팅 제조혁신지원센터 추진계획 수립
’14년 12월	o 3D프린팅 전략기술 로드맵 - 10대 핵심 활용분야 육성을 위한 15대 전략기술개발 로드맵 수립
’15년 12월	o 3D프린팅산업진흥법 제정 - 3D프린팅 서비스사업 안전교육 위탁 및 운영 규정, 3D프린팅 서비스 사업 신고규정, 3D프린팅 제품의 안전한 이용을 위한 지침, 3D프린팅 SW 품질인증가이드라인 등
’16년 9월	o 의료기기 허가.신고.심사 등에 관한 규정 일부개정고시 - 3D프린팅 의료기기 신속 사용 제도 도입을 위한 현행제도 개선
’16년 11월	o 관세(HSK).한국표준산업분류(KSIC) 개정 - HSK 8463.90-1000 : 3D프린터(금속류) - HSK 8477.59-1000 : 3D프린터(고무, 플라스틱류) - HSK 8479.89-9070 : 3D프린터(기타 따로 분류되지 않는 기계류) - KSIC-29222 : 디지털적층성형기계(3D프린터) 제조업
’16년 12월	o 3D프린팅산업진흥법 시행 - 3D프린팅 서비스사업 안전교육 위탁 및 운영 등에 관한 규정, 3D프린팅 서비스사업 신고규정, 3D프린팅 제품의 안전한 이용을 위한 지침, 3D프린팅 SW 품질인증가이드라인 등
	o 조세특례제한법 개정 - 3D프린팅 관련 연구 및 인력개발비에 대한 세액공제 개정 및 사업화를 위한 시설 투자에 대한 세액 공제 조문 신설
	o 3D프린팅산업 진흥 기본계획(2017-2019) 수립 - 4대 전략 및 12대 추진과제 수립(신규수요 창출, 기술경쟁력 강화, 산업확산 기반 강화, 제도적 기반 강화 등)
’17년 12월	o 국방-3D프린팅 융합협력을 위한 산업부·국방부 협력 업무협약 - 3D프린팅이 활용 가능한 국방부품 수요발굴, 공동 기술개발 및 기술이전, 인력양성 및 교육훈련, 국방산업과 3D프린팅 산업 간 융합·협력체계 구축 등
	o 3D프린팅 생활화 전략 - 디지털 교육혁신을 위한 3D프린팅 교육 환경 조성, 중소기업의 3D프린팅 활용확산, 메이커 중심 3D프린팅 확산 도모 등

* 자료: 2019-2021 산업기술 R&D 투자전략(3D프린팅), 산업통상자원 R&D 전략기획단, 2019

■ 제조업 혁신을 통해 창조경제를 이끌기 위해 3D 프린팅 산업을 종합적으로 발전시킬 3D 프린팅 산업 발전전략(2014-2016) 수립

○ 2014년 3D 프린팅 산업에 대한 인식 제고 요청에 따라 산업통상자원부와 미래창조과학부가 공동으로 3D 프린팅 산업 발전전략을 국가과학기술심의회에서 의결

- 2020년 3D 프린팅 국제적 선도 국가로의 도약을 비전으로 제시하고, ① 글로벌 선도기업 육성, ② 시장점유율 제고, ③ 독자 기술력 확보를 3대 목표로 설정

○ 이를 위해 수요연계형 성장기반 조성, 비즈니스 활성화 지원, 기술경쟁력 확보, 법제도 개선 등 4대 전략 제시

- 기업 제조혁신 지원, 국민 참여 환경 조성, 비즈니스모델 발굴 및 사업화 지원, 3D 프린팅용 콘텐츠 시장 활성화, 3D 프린팅 소재, 장비 기술개발 등 11대 세부 추진과제 제시

<표 III-2> 3D프린팅 산업 발전전략('14.04) 추진전략 및 세부 추진과제

추진전략	세부 추진과제
수요연계형 성장기반 조성	① 기업 제조혁신 지원
	② 국민 참여 환경 조성
	③ 기초·전문인력 양성
비즈니스 활성화 지원	④ 비즈니스모델 발굴 및 사업화 지원
	⑤ 3D 프린팅용 콘텐츠 시장 활성화
	⑥ 창업 및 글로벌 진출 지원
기술경쟁력 확보	⑦ 수요연계형 전략기술 로드맵 수립
	⑧ 3D 프린팅 소재·장비 기술개발
	⑨ 3D 프린팅 SW 기술개발
3D프린팅 관련 제도 개선	⑩ 법·제도 개선
	⑪ 3D 프린팅 설비·유통환경 보안 강화

* 자료: 2019-2021 산업기술 R&D 투자전략(3D프린팅), 산업통상자원 R&D 전략기획단, 2019

■ 2014년 3D 프린팅 전략기술 로드맵을 수립하고 국가 차원의 중·장기적 기술확보 전략 마련을 추진

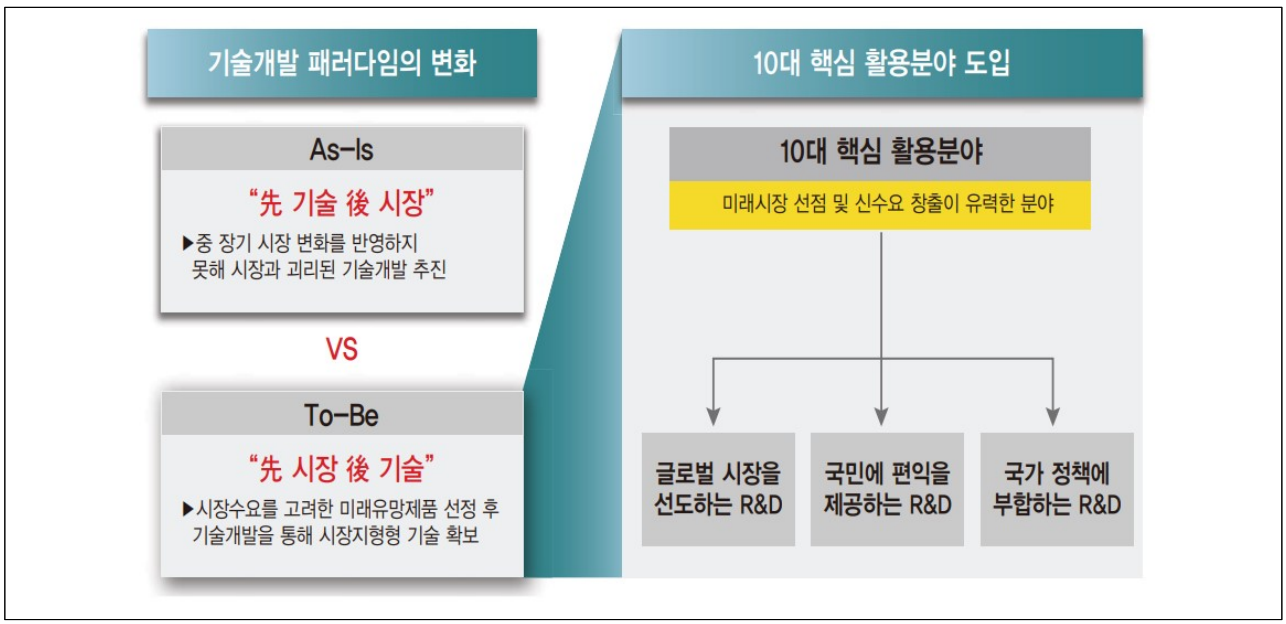
○ 산업부와 과기정통부는 3D 프린팅 산·학·연 전문가를 결집하여 로드맵 수립

- 주력산업 경쟁력 강화와 신산업 육성을 목표로 기초·원천 연구에서 사업화까지의 전주기 포괄

- 기존의 '先 기술개발 後 사업화'의 공급자 중심의 한계를 탈피하고자 시장 선점과 수요 창출이 유망한 활용 분야 제시

○ 핵심 활용 분야는 글로벌 시장선도, 국민편익 제공, 국가정책 부합성을 종합적으로 고려하여 선정

- 이를 위해 전문가 평가, 글로벌 시장전망, 국내 산업구조 분석 등 실시



[그림 III-11] 3D 프린팅 전략기술로드맵('14.12) 수립 방향

○ (추진내용) 시장수요를 고려한 3D 프린팅 핵심 활용 분야를 도출하고, 활용 분야 연계형 장비·소재·소프트웨어 기술확보 전략 제시

- (10대 핵심 활용 분야*) 글로벌 시장전망, 국내 산업구조 분석, 전문가 및 수요업계 의견을 종합하여, 의료, 뿌리산업, 문화체육/국방, 전기/전자, 수송기기, 에너지 등 8개 제품군과 디자인, 유통 등

* 10대 핵심 활용 분야 로드맵: 선택과 집중, 시장 친화 및 신시장 창출, 생태계 활성화 지원을 목표로 글로벌 시장을 선도하는 방향으로 추진

- (장비・소재・소프트웨어 핵심 요소기술*) 장비(7대), 소재(4대), 소프트웨어(3대) 분야별 요소기술 도출

  * 장비·소재·소프트웨어 핵심 요소기술 로드맵: (장비) 자체 주도권 기술확보, (소재) 금속/고분자/세라믹/창의 소재 중심 개발, (소프트웨어) 핵심기술 국산화 및 생태계 활성화 방향으로 추진

<표 III-13> 3D 프린팅 전략기술로드맵('14.12) 핵심 활용 분야 및 전략기술

<10대 핵심 활용 분야 육성>

치과용 의료기기 	인체이식 의료기기 	맞춤형 치료물 	스마트 금형 	맞춤형 개인용품 
3D 전자부품 	수송기기 부품 	발전용 부품 	3D프린팅 디자인 서비스 	3D프린팅 콘텐츠 유통 서비스 

<15대 전략기술 개발>

장비	소재	소프트웨어
대형 금속구조물용 프린터	생체적합성 소재	변환 합성 기반 비정형 입체 3D 모델링 소프트웨어(SW)
복합가공(AM/SM)용 프린터	맞춤형 금속분말 소재 및 공정기술	개방형 협업·저작 솔루션
공정혼합용 다중복합 선택적 레이저 소결 기술(SLS) 프린터	세라믹 소재 및 공정기술	입체(3D) 프린팅 시뮬레이터
고속/고정밀 광조형 프린터	복합 기능성 고분자 소재	지능형 출력·계획 관리 솔루션
정밀검사 및 역설계용 스캐너	능동형 하이브리드 스마트소재	저작물 관리·활용 오용방지 솔루션
※ 상기 15대 전략기술 외 장비·소재·소프트웨어별 핵심 요소기술 존재		

* 자료: 3D프린팅 전략기술 로드맵, 관계부처 합동, 2014.12

■ 2016년에는 3D 프린팅 산업 발전의 기반조성 및 국가 경제 발전에 이바지하기 위해 3D 프린팅 산업 진흥법 제정

○ 3D 프린팅 산업 육성의 제도적 근거를 마련하고, 3년마다 3D 프린팅 산업 진흥 기본계획 수립

- 3D 프린팅 산업 기반조성*, 3D 프린팅 이용자 보호

  * 전문인력 양성, 기술개발 추진, 표준화 추진, 기술 및 서비스 품질인증, 시범사업 실시, 국제협력 및 해외 진출 촉진, 종합지원센터 지정, 이용환경 조성(지식재산권 등)

○ 3D 프린팅 산업진흥 계획을 마련하여 추진전략을 구체화

- 추진전략으로 ① 산업현장 활용 확대로 기술 확산의 변곡점 마련, ② 차별적 기술력 확보로 양적·질적 성장 실현, ③ 산업기반 고도화로 지속적 혁신·성장 촉발 제시

<표 Ⅲ-14> 3D프린팅산업 진흥 기본계획('17~) 추진전략 및 정책과제

추진전략	추진과제	관계부처
3D프린팅 산업 현장 활용 가속화	o 시장진입 유망분야 실증 및 초기시장 창출 지원	과기정통부, 산업부, 국토부, 국방부
	o 3D프린팅 사업화 성공모델 발굴·확산	과기정통부, 산업부
	o 민간 중심 경쟁·협력체계 구축	과기정통부
차별적 기술력 확보	o 소재·장비·SW 기술 자립화	과기정통부, 산업부, 방사청
	o 시장 지향 3D프린팅 응용기술 개발	과기정통부
	o 지능화 및 통합 플랫폼 기술 확보	과기정통부
혁신·성장 중심 산업기반 고도화	o 산업밀착형 선도인재 육성	과기정통부, 산업부, 고용부
	o 중소기업 활용·성장 기반 고도화	과기정통부, 산업부, 중기부
	o 기술 표준 및 평가 체계 고도화	과기정통부, 산업부, 국표원
	o 법·제도 재정비	과기정통부, 산업부, 식약처, 복지부, 고용부

* 자료: 2020년 3D프린팅산업 진흥 시행계획, 관계부처 합동, 2020.10

○ 3D 프린팅 산업진흥 기본계획의 충실한 이행을 위해 관계부처 합동으로 세부 정책과제를 마련

- 3D 프린팅 산업 현장 활용 가속화 및 차별적 기술력 확보, 혁신·성장 중심 산업기반 고도화를 추진전략으로 제시

※ 정부 투자성과가 민간투자 확대와 기술 확산 촉진의 마중물이 될 수 있도록 한국형 성공사례 발굴 및 민간 중심 확산을 지원

※ 핵심 소재·장비·SW 기술을 자립화하고, 잠재수요가 많고 기술 선점이 필수적인 분야의 기술력 확보에 역량 집중

※ 산업기반 고도화를 통해 정부의 기업지원 정책효과를 제고하고, 산업생태계 내 지속적 혁신·성장 촉발

- 제2차 삼차원프린팅산업 진흥 기본계획('20~'22)의 2차 년도 추진내용으로 총 968.3억 원 투입

<표 Ⅲ-15> 2021년 3D 프린팅 산업 진흥 시행계획('17~) 추진과제 및 주요 내용

추진전략	추진과제	주요 내용	투입 예산
3D 프린팅 산업 현장 활용 가속화	시장진입 유망분야 실증 및 초기시장 창출 지원	o 스마트시티 시범도시(부산, '20~'21)에 테스트베드를 구축하고 건축물 대상 3D프린팅 설계·재료·장비 개발기술 검증 o 3D프린팅 의료기기 상용화를 위해 기술개발부터 임상실증까지(품목 인허가, 건강보험적용 등) 전주기 지원 지속 추진	214.5억 원
	3D 프린팅 사업화 성공모델 발굴·확산	o 제조기업의 공정설계·사업화 역량과 3D프린팅의 고부가 제품·부품 공정개발 역량의 협력체계 구축으로 제조혁신 실증지원	
	민간 중심 경쟁·협력 체계 구축	o 산업·안전 실태조사 보고서 발간, 3D프린팅 얼라이언스 구성·운영, 정보포털 운영 및 경진대회(이노베이션 챌린지) 개최 등 3D프린팅 인식 확산 및 서비스 기반 지원	
차별적 기술력 확보	소재·장비·SW 기술 자립화	o 미래 유망 신소재 개발 및 양산기술 확보 o 신공정 기술 기반 장비 개발 o SW 핵심기술 확보	232.8억 원
	시장 지향 3D 프린팅 응용기술 개발	o 의료·바이오 응용기술 개발 o 생활혁신형 응용기술 개발 o 제조혁신 및 고부가 신산업 창출을 위한 응용기술 개발	
혁신·성장 중심 산업기반 고도화	산업밀착형 선도 인재 육성	o 창의적 사고와 3D프린팅 설계·제작 역량을 갖춘 융합형 전문인재 양성을 위한 대학 학위과정 운영 o 산업현장 수요기반 맞춤 인력 양성을 위한 3D프린팅 신소재 분야 석·박사급 인력양성 추진 o 의료·자동차·항공·기계부품 등 유망산업 분야에서 3D프린팅 기반 혁신을 선도할 고급인재 양성	521.0억 원
	중소기업 활용·성장 기반 고도화	o 3D프린팅 혁신성장센터(마포)를 통해 스타트업에 특화된 기업경쟁력 강화 One-Stop 서비스 제공 o 메이커스페이스·창조경제혁신센터 등 제조창업 인프라를 통해 초기 시제품 제작과 소재·부품·장비 등의 전문화된 제조창업 지원	
	기술표준 및 평가체계 고도화	o 주력산업 신성장 기반 조성을 위해 3D프린팅 첨단 의료기기 공동 제조소 운영·실증을 통한 규제개선 추진	
	법·제도 재정비	o 국제표준화(ISO/IEC JTC1, ISO/TC261) 활동, 품질·성능평가 등 국가표준 개발 및 민간 표준화 포럼 운영	
	철저한 안전대책을 통한 이용자 안전 강화	o 3D프린팅 이용자의 인체위험 가능성 예방 차원의 관계부처 합동 3D프린팅 안전 대책 추진	

* 자료: (보도자료)「2021년 삼차원프린팅산업 진흥 시행계획」 수립, 과학기술정보통신부, 2021.03

■ 2019년 산업부에서는 2022년 글로벌 5대 3D 프린팅 강국 도약 비전으로 2019-2021 산업기술 R&D 투자전략(3D 프린팅 산업) 마련

○ 국산화 비율 확대, 수출 증대, 고용 확대, 기술 수준 향상을 목표로 제시

- 국산화 비율 확대 : 23.7%('16) → 42%('21)
- 수출의 지속적인 증대 : 203억 원('16) → 500억 원('21)
- 산업 고용 확대 : 980명('16) → 3,0+00명('21)
- 선진국 대비 기술 수준(격차) : 66%('16) → 75%(-2년)('21)

○ 디자인(DfAM) 중심의 3D 프린팅 디지털 산업 혁신성장

- (기술개발) ① 3D 전용 금속분말 가격경쟁력 확보, ② 고속대형 산업용 3D 프린터 원천기술, ③ 3D 프린터 특화 디자인(DfAM) 모델링
- (기반구축) ④ 수요기업 주도형 시장창출확산 비즈니스모델 발굴, ⑤ 3D 프린팅 전주기 DB 및 연계플랫폼 구축, ⑥ 장비・소재・SW 품질인증 및 실증체계 구축
- (제도/규제) ⑦ 3D 프린팅 역기능(무기류・환경안전 등) 방지를 위한 규제개선, ⑧ 데이터 서비스의 불법 콘텐츠 유통 방지, 지식재산권 보호 등을 위한 모니터링 제도

○ 수요자 맞춤형 스마트 제조 영역에 3D 프린터를 포함하고 투자 비율 확대

- 적층제조 장비・소재・SW의 해외의존도 장비 81%, 소재 87%, SW 88%로 높으며, 국내 선도기업 부재

  ※ 세계시장점유율 : 미국 38%, 독일 11%, 일본 8% 순이며, 한국은 8위(4%)

  ※ 기술수준 : 75%(현재) → 85%('25), 기술격차 : 2.6년(현재) → 1.7년('25)

- 기존 가공품 모사 제조에서 3D 프린팅 특화 설계(DfAM*) 기반 맞춤형 혁신제품 개발・제조로의 변화

  * DfAM(Design for Addictive Manufacturing) : 제품 특성(생산성, 신뢰성, 가격 등)을 최적화하기 위한 적층 공정 디자인 방법론

- 유망 수요산업별(의료・국방 등) 맞춤형 설계・소재・장비・공정 통합기술 개발 및 실증 연계 지원의 투자전략 마련

■ 지역 3D프린팅 산업 및 활용 기반조성을 위해 전국 9개 지역에 3D 프린팅 지역센터 구축・운영

○ 3D 프린팅 활용 및 지역 특화산업과의 연계・결합 촉진 및 지역경제 활성화 지원

○ 2017년 기준, 경남 제외 8개 지역센터는 1,849건의 3D 프린팅 제작을 지원, 3,860명의 교육(체험교육・전문교육)을 시행했고, 38건의 상용화 지원

<표 III-16> 국내 3D 프린팅 지역센터 현황

센터명	설치지역 (운영기관)	특화산업 (중점분야)	시설현황	장비현황
경기센터	경기도 의정부시 (경기도경제과학진흥원)	스마트소재 (패션·가구)	공작실, 창작실, 협업실 등 (661㎡)	o SLA 산업용 3D프린터 6종 9대 o 3D스캐너·SW 4종 22대 o 후가공 장비 4종 5대 등
전북센터	전라북도 전주시 (전주정보문화산업진흥원)	탄소융복합소재 (초경량 고강도 탄소부품)	설계실, 제작실, 교육장 등 (859㎡)	o 대형 FDM 3D프린터 13종 36대 o 3D스캐너·SW 4종 18대 o 후가공 장비 3종 3대 등
대구센터	대구광역시 (경북대 산학협력단)	스마트기기 (생활밀착형 웨어러블 기기)	체험·실습실, 장비실 등 (1,369㎡)	o 대형 FDM 3D프린터 4종 15대 o 3D스캐너·SW 3종 12대 o 후가공장비 8종 28대등
경북센터	경상북도 포항시 (한국로봇융합연구원)	금속·바이오 (금속 및 바이오 소재부품)	장비실, 개발실, 교육실 등 (240㎡)	o 금속 PBF 3D프린터 6종 38대 o 3D스캐너·SW 9종 49대 o 측정장치 3종 21대 등
부산센터	부산광역시 (부산테크노파크)	영상콘텐츠·스포츠 (영상콘텐츠·스포츠 제품)	장비실, 디자인실, 체험실 등 (490㎡)	o Polyzet 3D프린터 7종 19대 o 3D스캐너·SW 3종 3대 o 후가공 장비 1종 1대 등
충북센터	충청북도 충주시 (한국교통대 산학협력단)	의료기기 (재활의료 보조기기)	장비실, 교육실, 전시실 등 (661㎡)	o 금속 SLM 3D프린터 5종 7대 o 3D스캐너·SW 2종 2대 o 후가공 장비 1종 1대 등
대전센터	대전광역시 (대전테크노파크)	스마트기계·로봇 (무인 스마트기계 부품)	제작실, 인벤션랩, 비즈니스실 등 (288㎡)	o FDM/SLA 3D프린터 6종 23대 o 3D스캐너·SW 2종 2대 o 후가공 장비 2종 2대 등
광주센터	광주광역시 (광주정보문화산업진흥원)	스마트가전 (가전 완제품·부품)	자동화공정실, 체험·실습실 등 (917㎡)	o 3D프린터 8종 32대 o 3D스캐너·SW 6종 16대 o 후가공 장비 3종 3대 등
경남센터	경상남도 사천·진주시 (경남과학기술대 산학협력단)	항공 (항공소재·부품)	설계실, 제작실, 후처리실 등 (514.2㎡)	o DMLS/FDM/DLP 3D프린터 5종 9대 o 3D스캐너·SW 1종 2대 o 후가공 장비 1종 5대 등

* 자료: 3D프린팅 산업의 현황과 정책적 과제, 국회입법조사처, 2018

2. 국내외 시장 · 산업 동향

1) 국외 시장 · 산업 동향

(1) 3D 프린팅 기반 글로벌 건축/건설 시장

■ 3D 프린팅 기반 건축/건설 시장의 성장 가능성

○ 중동지역과 아시아-태평양 지역(APAC)의 건설 붐으로 인해 향후 3D 프린팅 기반 건축/건설 시장의 성장 가속화 전망

- 주거시설에 대한 수요 증가, 수요자 선호의 변화, 지속가능한 건축/건설 방법으로의 전환 등이 3D 프린팅 건축/건설 분야의 성장을 가속화
- 특히 건축 분야는 연평균 268.7% 성장하여 2017년 22만 달러에 불과한 시장 규모가 2024년 12억 1,257만 달러에 이를 것으로 전망하고 있음

<표 III-17> 글로벌 3D 프린팅 기반 건축/건설시장 규모

(단위: 천달러)

End-use Sector	2017	2018	2019	2024	CAGR (2019–2024)
Building	224	558	1,779	1,212,579	268.70%
Infrastructure	236	571	1,401	362,535	203.80%
Total	460	1,130	3,180	1,575,114	245.90%

출처: Secondary Research, Expert interviews, and MarketsandMarkets Analysis

○ 건축면적에서도 건축 분야가 2017년 1,021㎡에 불과하나, 2024년에는 753만 5,425㎡의 건축물이 출력될 정도로 연평균 324.3%의 성장을 전망하고 있음

<표 III-18> 글로벌 3D 프린팅 기반 건축/건설시장 건축면적

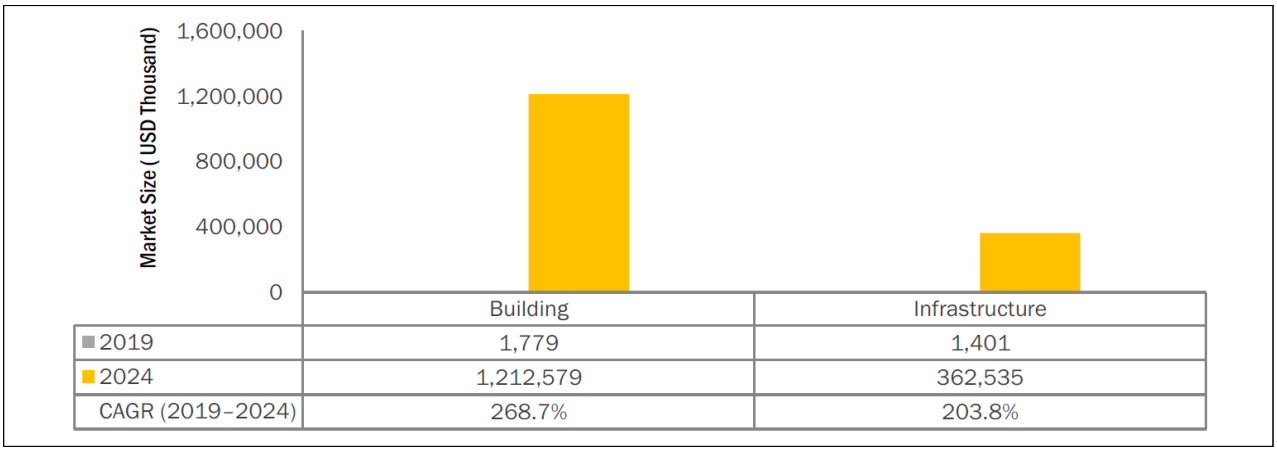
(단위: ㎡)

End-use Sector	2017	2018	2019	2024	CAGR (2019–2024)
Building	1,021	1,812	5,481	7,535,425	324.30%
Infrastructure	209	610	2,068	1,791,217	286.80%
Total	1,230	2,422	7,549	9,326,642	315.30%

출처: Secondary Research, Expert interviews, and MarketsandMarkets Analysis

○ 전 세계적으로 도시 인구의 증가와 신규 건축물 수요의 증가로 건축분야 성장이 가속화 될 전망

- 2018년 건설 분야 점유율이 50.6%로 건축 분야 대비 높은 수준임에도 향후 전망에서는 건축 분야 3D 프린팅 기반 시장의 영향력 확대 전망
- 건축 분야는 2018년 점유율은 49.4%이나 복합 건축물에 대한 트렌드, 급격한 도시화 등이 성장 가속화 요인으로 작용하여 급격한 성장 전망
- 향후 전망에서는 건설(infrastructure) 보다는 건축(building) 분야의 시장 점유율이 높아질 것으로 전망



	Building	Infrastructure
2019	1,779	1,401
2024	1,212,579	362,535
CAGR (2019-2024)	268.7%	203.8%

출처: Secondary Research, Expert interviews, and MarketsandMarkets Analysis

[그림 III-12] 글로벌 3D 프린팅 기반 건축/건설시장 점유율 현황

(2) 3D 프린팅 기반 글로벌 건축 시장

■ 복합 건축물 개발 수요에 따른 3D 프린팅 기반 건축시장의 성장

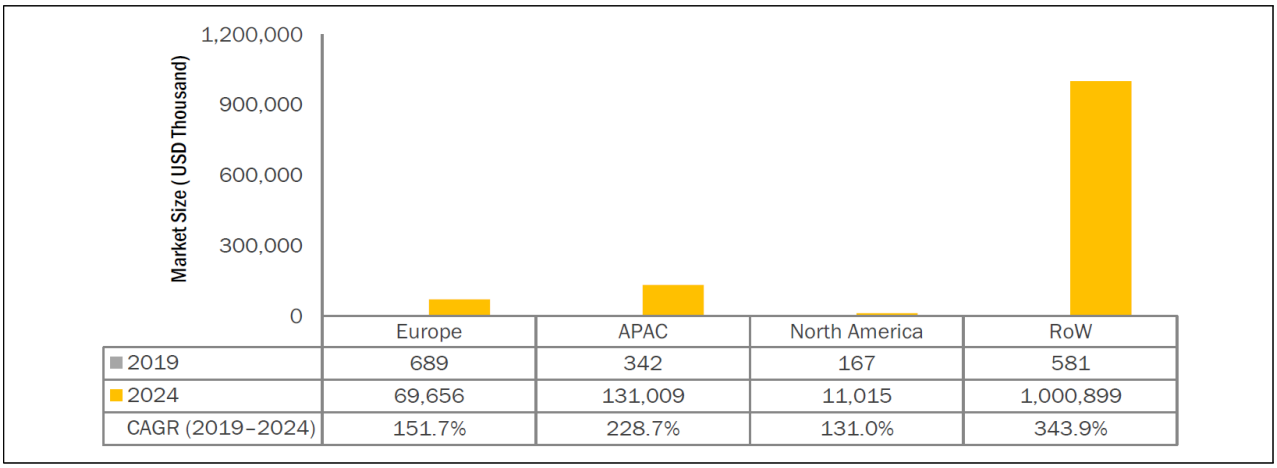
○ 효율적인 비용의 지출과 시간의 절감 등의 특성으로 인해 건축에 집중적으로 활용될 것으로 기대

- 또한 뛰어난 내열성, 건축 폐기물의 절감, 운반 및 운송비용의 절감 등도 기술의 활용 가능성을 가속화할 것으로 전망

○ 중국, 네덜란드, 러시아 기업을 중심으로 3D 프린팅 기반 기술을 두바이, 차이나, 네덜란드 등에서 이미 앞서 건축에 적용하고 있음

- 중국의 윈선(Winsun)은 중국에 10여채의 3D 프린팅 기반 건축물을 출력했으며, 최초의 5층 규모의 빌라와 두바이에서는 최초의 상업용 건축물을 출력하기도 함

- Apis Cor는 러시아 모스크바에 3D 프린팅 기반 거주용 건축물을 출력



	Europe	APAC	North America	RoW
2019	689	342	167	581
2024	69,656	131,009	11,015	1,000,899
CAGR (2019-2024)	151.7%	228.7%	131.0%	343.9%

출처: Secondary Research, Expert interviews, and MarketsandMarkets Analysis

[그림 III-13] 건축 분야에서의 아시아-태평양 지역(APAC)의 빠른 성장 전망

○ 지역별로는 규모와 건축 규모에서 유럽이 2018년 가장 높은 점유율을 나타냄

- 향후 아시아-태평양 지역(APAC)은 3D 프린팅 기술에 대한 높은 수요로 가장 높은 연평균 성장률을 나타낼 것으로 전망하고 있음

<표 III-19> 글로벌 3D 프린팅 기반 건축시장 규모

(단위: 천달러)

End-use Sector	2017	2018	2019	2024	CAGR (2019-2024)
North America	27	76	167	11,015	131.0%
Europe	133	304	689	69,656	151.7%
APAC	24	85	342	131,009	228.7%
ROW(UAE etc.)	41	93	581	1,000,899	343.9%
Total	224	558	1,779	1,212,579	268.7%

주: ROW - UAE, Saudi Arabia, Others
출처: Secondary Research, Expert interviews, and MarketsandMarkets Analysis

<표 III-20> 글로벌 3D 프린팅 기반 건축시장 건축면적

(단위: ㎡)

End-use Sector	2017	2018	2019	2024	CAGR (2019-2024)
North America	72	96	213	22,934	154.8%
Europe	371	921	2,277	316,373	168.3%
APAC	147	601	1,562	893,286	256.0%
ROW(UAE etc.)	431	195	1,428	6,302,832	435.7%
Total	1,021	1,812	5,481	7,535,425	324.3%

주: ROW - UAE, Saudi Arabia, Others
출처: Secondary Research, Expert interviews, and MarketsandMarkets Analysis

2) 국내 시장 · 산업 동향

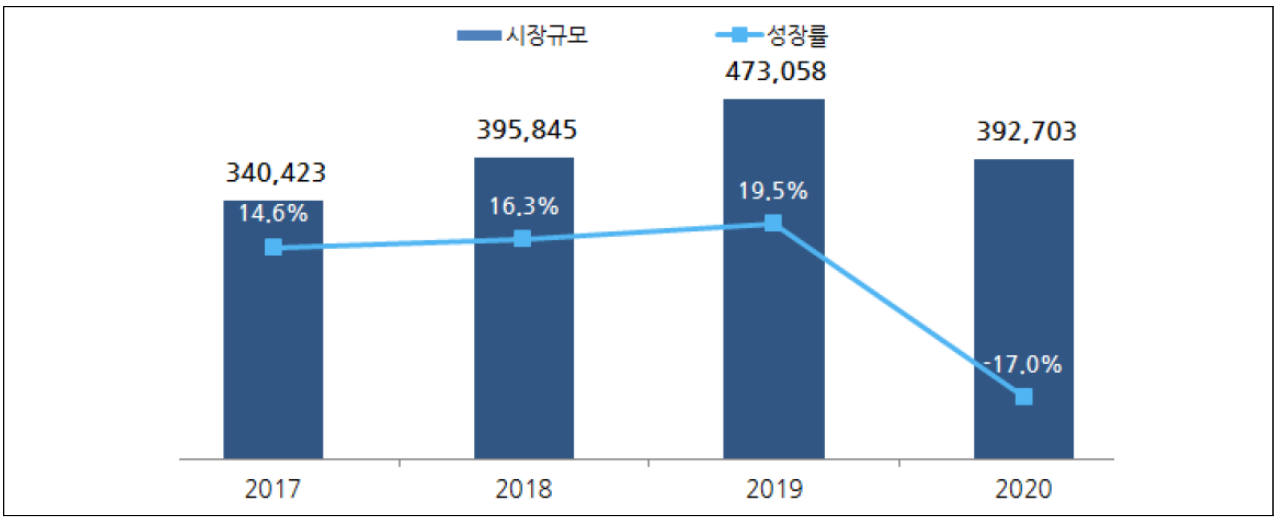
(1) 전체 시장규모

■ 정부 산업육성 정책 확대 및 응용산업군 수요 확산에 따라 지속적으로 산업이 확대되는 추세이나 코로나19에 의해 성장이 감소세 전환

○ 2017년 3,404억원 규모에서 2018년 3,958억원 규모로 16.3% 성장 이후, 2019년 4,730억원 규모의 전년대비 19.5% 성장으로 산업의 확대 추세

- 다만, 2020년 3,927억원 규모로 전년대비 -17.0% 성장하면서 감소세 전환

- 2020년 코로나19 영향으로 제조기업 소비심리 위축 발생에 따른 신규투자 감소, 오프라인 행사 축소, 메이커교실 중단 등 공공/민간 영역에서 수요 감소



출처: 과학기술정보통신부, 2020년 3D프린팅 산업 실태조사

[그림 III-14] 국내 3D 프린팅 시장규모 추이(2017-2020)

(2) 국내 3D 프린팅 기업현황

■ 3D 프린팅 산업의 중요성이 강조되며 3D 프린팅 기업이 꾸준히 증가 추세

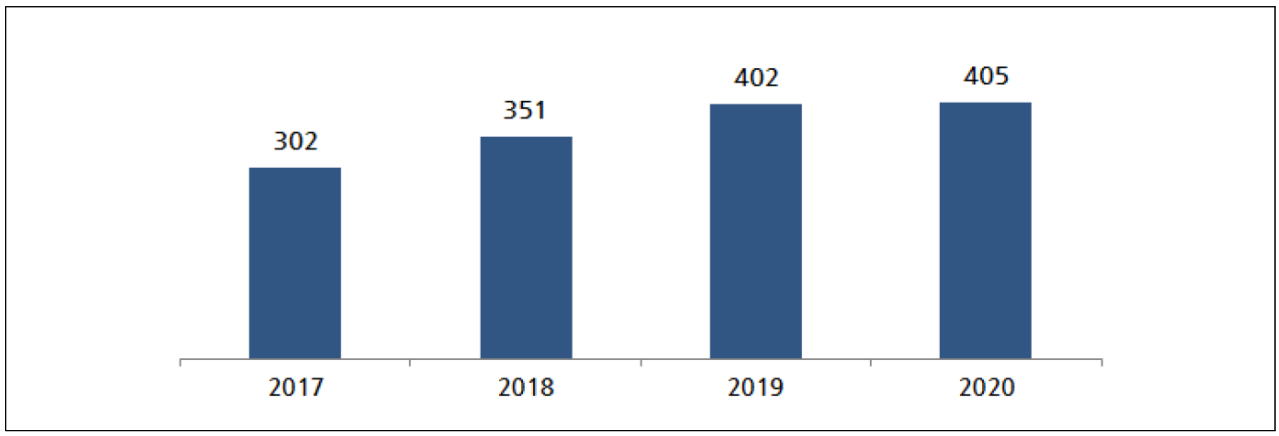
○ 2020년 국내 3D 프린팅 관련 사업체는 405개 업체로 2019년 402개에 비해 0.7% 소폭 증가

- 3D 프린팅 누적설치에 따라 소재의 중요성이 지속적으로 확대되며 유관 기업들의 3D 프린팅 신규 진출이 증가

<표 III-21> 국내 3D 프린팅 기업체 추이(2017-2020)

구분	2017		2018		2019		2020		증감('19~'20)	
	기업수	%	기업수	%	기업수	%	기업수	%	기업수	증감률
장비제조	61	20.2	72	20.5	66	16.4	68	16.8	2	3.0
소재제조	9	3.0	16	4.6	14	3.5	17	4.2	3	21.4
S/W개발	2	0.7	9	2.6	15	3.7	15	3.7	-	0.0
서비스	28	9.3	141	40.2	179	44.5	180	44.4	1	0.6
유통	105	34.8	113	32.2	128	31.8	123	30.9	-3	-2.3
합계	302	100	351	100	402	100	405	100	3	0.7

출처: 과학기술정보통신부, 2020년 3D프린팅 산업 실태조사



출처: 과학기술정보통신부, 2020년 3D프린팅 산업 실태조사

[그림 III-15] 2020년 국내 3D 프린터 기술방식별 매출비중

(3) 3D 프린팅 장비 시장

가. 3D 프린팅 장비제조 제품별 시장규모

■ 3D 프린터의 국산 대 외산 시장비중

○ 2020년 시장을 국산 대 외산 비중으로 살펴보면, 국산 46.2%, 외산 53.8% 수준

- 전년대비 국산 제품의 점유율 소폭 상승

- 주로 보급형 장비를 판매하는 국내 기업들의 산업용 SLA/PBF 장비 판매가 소폭 확대되며 관련 점유율 상승

○ 보급용/산업용 시장으로 구분하면 2020년 3D 프린터 시장은 보급형 3D 프린터 30.2%, 산업용 프린터 69.8%의 비중

- 산업용 시장이 전년대비 약 1%p 상승

<표 III-22> 국내 3D 프린터 보급용 Vs. 산업용 시장규모(2019-2020)

(단위: 백만원, %)

구분	2019				2020				증감률('19~'20)		
	보급용	산업용	합계	비율	보급용	산업용	합계	비율	보급용	산업용	합계
국산	32,837	28,778	61,614	44.7%	22,754	22,796	45,550	46.2%	-30.7	-20.8	-26.1
외산	10,143	66,075	76,217	55.3%	6,967	45,998	52,965	53.8%	-31.3	-30.4	-30.5
합계	42,979	94,852	137,832	-	29,721	68,795	98,515	-	-30.8	-27.5	-28.5
비율	31.2%	68.8%	100%		30.2%	69.8%	100%		-		

출처: 과학기술정보통신부, 2020년 3D프린팅 산업 실태조사

3D 프린터 기술방식별 시장비중

○ 2020년 3D 프린터 기술방식별 매출비중을 살펴보면, ME 기술방식이 37.8%로 시장점유율이 가장 높음

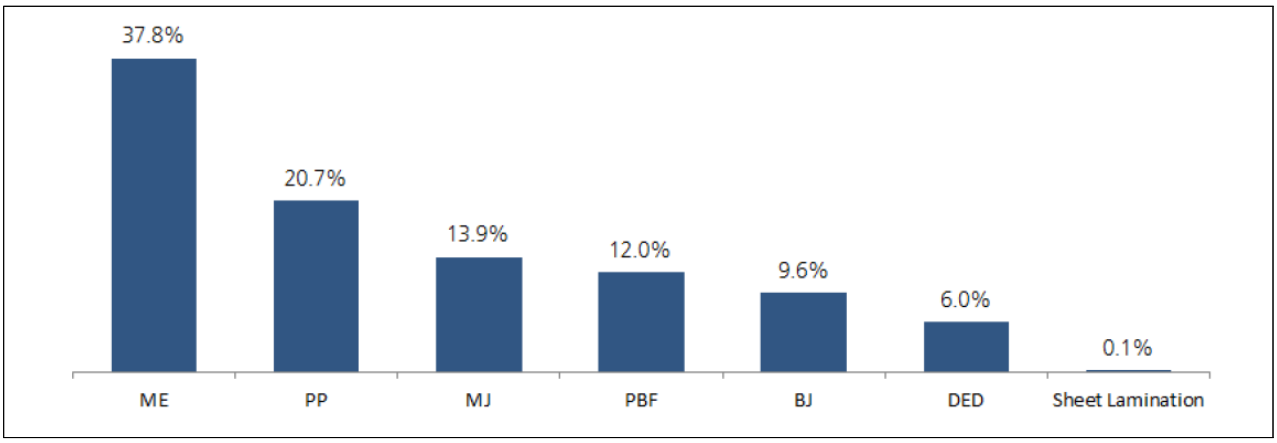
- PP 20.7%, MJ 13.9%, PBF 12.0%, BJ 9.6%, DED 6.0%, Sheet Lamination 0.1% 순으로 나타남
- ME 기술방식은 지속된 기술개선에 따라 최근 보급형 라인에서 산업용으로의 인식 전환 확대로 ME 3D 프린터를 산업용으로 활용하는 사례 증가
- 최근 산업용으로 주로 활용되는 PP/PBF 기술방식의 활용도 크게 증가

<표 III-23> 국내 3D 프린터 기술방식별 매출비중(2019-2020)

(단위: %)

구분		PP	ME	PBF	MJ	BJ	DED	SL
2019	장비제조	21.1	62.7	2.5	0.1	0.2	11.0	0.3
	장비유통	20.3	22.0	16.0	23.7	17.7	0.2	0.1
	장비전체	20.8	38.2	10.8	14.6	10.9	4.5	0.2
2020	장비제조	23.8	57.0	7.3	0.5	0.1	10.8	0.0
	장비유통	17.7	19.7	16.3	26.3	18.4	1.5	0.1
	장비전체	20.7	37.8	12.0	13.9	9.6	6.0	0.1
증감률 ('19~'20)	장비제조	2.7	-5.6	4.8	0.4	-0.1	-0.3	-0.3
	장비유통	-2.6	-2.3	0.2	2.6	0.7	1.3	0.0
	장비전체	-0.1	-0.4	1.2	-0.7	-1.3	1.5	-0.1

출처: 과학기술정보통신부, 2020년 3D프린팅 산업 실태조사



출처: 과학기술정보통신부, 2020년 3D프린팅 산업 실태조사

[그림 III-16] 2020년 국내 3D 프린터 기술방식별 매출비중

(4) 3D 프린팅 소재 시장

■ 국내 소재제조 기업 제품별 시장비중은 열가소성 필라멘트가 가장 높음

○ ME 기술방식의 주요 소재로 활용되는 열가소성 필라멘트가 44.5%의 비중으로 가장 높음

- 2020년 기준 ABS 기반의 소재활용 감소에 따라 비중은 감소

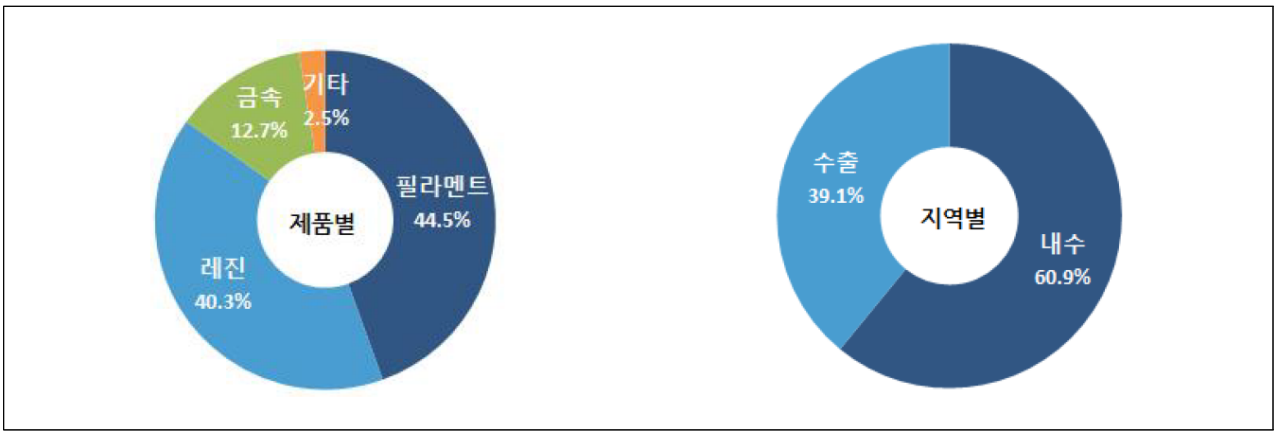
○ 금속 소재는 응용산업 내 금속 3D 프린팅 기술의 활용 확산에 따른 수요증가로 성장 중

<표 III-24> 국내 3D 프린팅 소재시장 매출액 추이(2019-2020)

(단위: 백만원, %)

구분			필라멘트	파우더	레진	금속	기타	합계	비율	
2019	제조	내수	1,882	-	1,948	431	69	4,331	58.3	19.3
		수출	1,815	-	1,151	121	10	3,097	41.7	
		소계	3,697	-	3,099	552	79	7,427	100	
	유통		12,557	3,924	9,854	4,265	481	31,081	-	80.7
	합계		16,254	3,924	12,953	4,817	560	38,508	-	100
2020	제조	내수	1,447	-	1,315	513	99	3,375	60.9	16.7
		수출	1,020	-	917	191	37	2,165	39.1	
		소계	2,467	-	2,232	704	136	5,539	100	
	유통		10,276	3,837	9,006	3,976	438	27,534	-	83.3
	합계		12,743	3,837	11,239	4,681	574	33,073	-	100
증감률 ('19~'20)	제조	내수	-23.1	-	-32.5	18.9	43.5	-22.1	-	
		수출	-43.8	-	-20.3	58.4	266.3	-30.1		
		소계	-33.3	-	-28.0	27.6	71.8	-25.4		
	유통		-18.2	-2.2	-8.6	-6.8	-9.0	-11.4		
	합계		-21.6	-2.2	-13.2	-2.8	2.4	-14.1		

출처: 과학기술정보통신부, 2020년 3D프린팅 산업 실태조사



출처: 과학기술정보통신부, 2020년 3D프린팅 산업 실태조사

[그림 III-17] 2020년 국내 3D 프린터 기술방식별 매출비중

(5) 건축/건설 분야 3D 프린팅 시장

■ 전체 3D 프린팅 시장 매출액 대비 비중은 2020년 기준 3.4%

○ 국내 3D 프린팅 응용산업별 매출 비중을 보면, 건축/건설 분야에서의 매출액 비중은 2020년 기준 3.4% 수준인 것으로 나타남

- 최근 3년간 3D 프린팅을 이용한 국내 건축/건설시장 비중은 3% 중반

※ 글로벌 3D 프린팅 시장에서 건축/건설 분야의 비중은 2019년 2.8%에서 2020년 4.7%로 증가

<표 III-25> 국내 3D 프린팅 응용산업별 매출비중(2018-2020)

(단위: %)

구분	항공우주	자동차	조선	방산	발전	플랜트	가전정보	의료치과	건축건설	의류패션	생활소비재	기계	공공	기타
2020	2.7	15.2	2.0	0.8	0.3	2.2	6.1	12.8	3.4	2.0	6.4	10.5	29.7	5.9
2019	3.4	15.4	3.1	-	-	-	5.3	11.2	3.3	3.1	4.4	12.7	15.0	6.0
2018	3.2	14.5	3.8	-	-	-	4.9	13.0	3.7	3.0	6.9	7.0	17.1	2.6

출처: 과학기술정보통신부, 각년도 3D프린팅 산업 실태조사

3. 국내외 기술 동향

1) 해외 기술 동향

■ 미국 및 유럽과 중국, 러시아 중심으로 건축 3D 프린팅 연구가 활발하게 진행 중으로 건축물 시공 사례가 증가

○ (COBOD) 덴마크 기업으로 14.5 × ∞ × 8.1 m (W×L×H) 의 건축물 출력 가능, 노즐은 2 cm, 5 cm 두 노즐을 교체하여 사용 가능



[그림 III-18] COBOD 프린팅 장비 및 3층 규모 임대용 아파트 출력(2020.11)

○ (Constructions-3D) 프랑스 기업으로 유압 크레인 형태의 3D 프린터로, ∅ 8.5 × 7 m (∅×H) 의 건축물 출력 가능

- 캐터필러 스타일로 이동 가능하며, 전용 컨테이너로 이송이 가능



[그림 III-19] Constructions-3D의 작업 모습과 이동을 위한 모습

○ (Apis cor) 러시아 기업으로 크레인 형태의 3D 프린터를 개발

- ∅ 8.5 × 3.1m (∅×H) 의 건축물 출력 가능, 2019.10 apis cor는 두바이에 가장 큰 3D 출력 건물인 높이 9.5 m, 면적 640 ㎡의 사무용 건물을 출력



[그림 III-20] 이동형 크레인 타입 3D 프린터 및 세계 최대 규모 3D 프린팅 출력물

○ (ICON) 미국 기업으로 레일형 3D 프린터 높이 2.6m, 폭 8.5m, 길이는 레일이 설치된 곳 까지 출력 가능

- 수직골조만 3D 프린터로 출력 후 기존 공법으로 내외장재, 지붕, 창호 시공



[그림 III-21] ICON 레일형 3D 프린터 장비 및 소형 주택 동시 6채 출력(텍사스 오스틴, 2021)

○ (Cybe) 네덜란드 기업으로 독자적으로 이동 가능한 로봇 기반의 3D 프린팅 장비 개발

- 작업 반경 범위는 비교적 좁은 편으로 이동성을 강조



[그림 III-22] 이동형 로봇암 3D 프린팅 장비

■ **(규모)** 복층 이상의 대형 장비 기반 대형 건축물 시공으로 확대

○ 최근 3D 프린팅 기술을 활용한 건축이 단층 규모에서 **복층 이상 규모**로 확장되는 등 **대형 장비 기반 대형 건축물 시공**으로 확대 중

- 장비 또한 기존 소형 갠트리에서 **이동이 가능한 형태 및 로봇암, 대형 장비**로의 확대 발전이 이루어지고 있음

- 기존의 건축물 모사 수준에서 최근 기존 공법과 연계하여 **시공된 건축물의 인허가 완료 사례* 증가**

  * COBOD (2017, 덴마크, The BOD), ICON (2018, 미국, Chicon House)

■ **(재료)** 전 세계적으로 적층 3D 프린팅 기술을 위한 재료로 콘크리트를 선택, 개발 중

○ 3D 프린팅 건설 가능한 크기는 장비와 재료의 개발을 통해 점차적으로 증가되는 추세

- 최대 건설 가능한 면적으로는 Denmark COBOD 사의 기술이 최대이며, 높이로는 미국 Mudbots 사의 기술이 최고로 나타남.

- 건설용 3D 프린팅 기술용 재료는 모든 국가에서 Concrete를 채택

○ ‘3D 프린팅 활용 비정형 형상 출력’에서 **‘3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템 개발’로 3D프린팅 재료 분야 패러다임 변환**

- 기존 시멘트계 재료의 한계점을 극복할 수 있는 신재료 개발 진행 중

  ※ 폐기물을 활용한 신재료 개발(에스토니아, 타르투 대학교(University of Tartu), 에스토니안 생명과학대(Estonian University of Life Sciences))

  ※ 광경화소재를 활용한 경량재료 개발(미국, 마이티빌딩스(Mighty Buildings))

- 비정형 철근보강형 3D 프린팅 콘크리트 등 복합구조체 개발

  ※ 무근 콘크리트 출력의 구조안전성을 극복하기 위하여 철근보강형 3D 프린팅 콘크리트 복합구조 재료 개발이 진행되고 있으며, 국내는 민간중심의 연구 시작단계

2) 국내 기술 동향

■ **(규모)** 비정형 건축부재 시공에서 갠트리 방식의 3D 프린터 기반 단층 100㎡ 규모의 건축물 콘크리트 골조 출력에 성공

○ **복층구조** 및 **대형화** 중심으로 **장비, 재료, 설계, 시공 기술**을 개발 중

- **(한국건설연구원) 겐트리 타입의 콘트리트 압출식 3D 프린터를 개발**하여 규모의 수직골조 출력



[그림 III-23] 한국건설기술연구원 대형 겐트리 3D 프린터 및 출력물

- **(세종대학교)** 규모의 3D 프린터를 제작하여 **시멘트 출력 건축 벽체 Mock-up 제작**
- **(하이시스)** 6m급 겐트리 타입의 3D 프린터를 개발하여 **비정형 건축 조형물 제작에 성공하였고, 12m급 3D 프린터 개발을 진행** 중



[그림 III-24] 하이시스 3D 프린팅 장비 및 출력물(경비소, 조형물)

- **(현대건설)** 2019년부터 **대형 복합소재 3D 프린팅 연구에 착수**, 비정형 거푸집 제작 기술을 확보하고 관련 특허 출원을 진행 중이며, 앞서 복합소재 3D 프린팅 기술을 활용한 **비정형 조경구조물 제작 기술을 개발**

※ 복합소재 3D 프린팅은 다양한 소재를 활용할 수 있다는 장점이 있어 저강도 플라스틱은 물론 고강도 탄소섬유, 유리섬유 등 여러 소재의 사용 및 2가지 이상의 재료를 섞어 강도, 탄성 등 성능 최적화 신소재 제작이 가능



[그림 Ⅲ-25] 로봇암 철근 프린팅 및 비정형 패널 시공

- **(삼성엔지니어링)** 2020년 말부터 건설용 3D 프린팅 기술 개발에 착수, 비정형 건축 전문기업 마션케이(주)와 협력하여 3M급 캔틸레버형 갠트리 장비 개발



[그림 Ⅲ-26] 삼성엔지니어링 3D 프린팅 출력물

■ **(재료)** 방식별 맞춤형 재료 개발 진행 중

○ ME방식 3D 프린팅 건축물 출력기술의 한계인 수평부재 출력, 강재보강, 신속출력 등의 성능을 개선시키기 위한 방식별 맞춤형 재료 개발 진행 중

- 한국건설기술연구원 컨소시엄(국토교통부 도시건축연구사업 “소형 건축물 및 비정형 부재 대상 3D 프린팅 설계, 재료 및 장비 개발”)은 단층 건축물용 수직골조 제작을 위한 ME(Material extrusion; 재료압출) 적층방식용 재료 개발

※ 적층성능(Off-site 장비대응), 노즐직경 25 mm 대응 검증

※ 1회 최대 67 layer 달성(1회적층고 10 mm, 1 layer cycle time 20초 기준)

<표 III-3> KICT 컨소시엄 개발 소재 특성

구 분		COBOD (Denmark)	CyBe (Netherland)	KICT (Korea)
소재강도	압축강도	52 MPa	45 Mpa	66 MPa
	인장강도	-	-	3.88 MPa
	휨강도	-	6 MPa	6.98 MPa
장비대응 소재 이송가능 거리	총연장	20 meter	2.75 meter	30 meter
	이송고	3.5 meter	4.5 meter	4.5 meter
대응속도	보증속력	100 mm/sec	200 mm/sec	200 mm/sec
소재원가	현지통화	698 DKK/ton	-	114,597원/ton
	원화환산	123,640원/ton	-	

4. 기술수준 및 특허분석

1) 기술수준

가. 3D 프린팅 관련 분야 기술수준

■ **(기술 수준)** 2020년 3D 프린팅 장비·소재 분야 67.5%, 3D 프린팅 소프트웨어·활용 기술 분야 70.0% 수준

○ 2020년 기술수준평가(KISTEP)에 따르면 3D 프린팅 **장비·소재** 분야의 기술수준은 **최고기술국 대비 67.5%**, 3D 프린팅 **소프트웨어·활용 기술** 분야의 기술수준은 **최고 기술국 대비 70.0%** 수준

- (3D 프린팅 장비·소재 기술) 메이저 **선도국가들을 모방**하는 정도로 **원천/세부특허가 매우 부족**한 상황이며, **장비 중심으로 개발**이 이루어지고 있으나, 세계적인 장비 업체 대비 수준이 낮은 것으로 평가

- (3D 프린팅 소프트웨어·활용 기술) 소프트웨어 **기술적인 부분은 이미 많은 시도**가 되어있으나, 레퍼런스가 부족하여 **상용화 하는데 응용분야별 실용화 과정이 필요**한 것으로 평가

<표 III-4> 3D 프린팅 관련 기술수준(2020)

구분	국가	기술수준·격차			연구단계역량	
		수준(%)	격차(년)	그룹	기초	응용개발
3D 프린팅 장비·소재 기술	한국	67.5	3.8	후발	보통	우수
	중국	80.0	2.0	추격	우수	우수
	일본	80.0	2.3	추격	우수	우수
	EU	99.5	0.3	선도	탁월	탁월
	미국	100.0	0.0	최고	탁월	탁월
3D 프린팅 소프트웨어·활용 기술	한국	70.0	2.8	후발	보통	우수
	중국	76.5	2.0	추격	보통	우수
	일본	77.5	2.5	추격	우수	우수
	EU	99.5	0.3	선도	탁월	탁월
	미국	100.0	0.0	최고	탁월	탁월

출처: 한국과학기술기획평가원, 2018년 기술수준평가(2019)

■ 3D 프린팅 건축/건설 관련 다기능 건설재료 분야의 기술수준*은 70.0% 수준

○ **3D 프린팅 건설재료 분야는 요소기술 개발 단계**로서 선도국과의 격차는 오히려 조금씩 벌어지고 있는 것으로 평가

* 2020년 기술수준평가(KISTEP)

- 연구개발 투자와 열의가 비교적 높지만, 한정된 연구 인력과 연구 관련 제도의 정비 및 친환경 다기능 재료에 대한 투자가 미흡

※ (중국) 친환경 건설재료 분야에 대한 대규모 국가 지원 연구개발사업 활성에 따른 기술수준이 급상승 했으며, 특히 3D 프린팅 분야의 경우 적극적인 상용화 시도 중

<표 III-26> 건설재료 분야 기술수준(2020)

구분	국가	기술수준·격차			연구단계역량	
		수준(%)	격차(년)	그룹	기초	응용개발
친환경 다기능 건설재료 기술	한국	80.0	3.0	추격	우수	탁월
	중국	70.0	4.3	추격	보통	우수
	일본	90.0	1.0	추격	탁월	우수
	EU	100.0	0.0	최고	탁월	탁월
	미국	100.0	0.0	최고	탁월	탁월

나. 3D 프린팅 기반 건축/건설 시공 장비

■ 3D 복잡 형상물의 정밀 프린팅 가능한 스마트 건축 3D 프린팅 장비기술

○ 프린팅 장비 및 정밀 제어 기술

- 유압기반의 겐트리 또는 크레인 단독 타입으로 말단 노즐의 정밀한 자세제어를 통합 복잡 정밀 형상 프린팅에 한계가 있음

- 유압기반의 프린팅 장치와 말단 전자식 머니퓰레이터의 조합을 통해 복잡하고 정밀한 프린팅이 가능한 복합형 플랫폼과 프린팅 작업효율 극대화를 위한 정밀 프린팅 제어기술 필요

○ 프린팅 장비 가설 기술

- 대부분 외부 견인형으로 이동시켜 프린터를 현장 설치하는 방식을 취하고 있어 정확한 포지션닝과 밸런싱 작업에 많은 시간이 소모되며 설치 정밀도에 한계가 있음

- 전방향 자가 이동 가능한 이동형 가설 장치를 이용하여 정밀하게 포지셔닝하고 자체 밸런싱 기능을 이용해 정밀하게 균형을 잡음으로써 프린팅 품질을 제고할 필요가 있음

○ 다중/다종 가변형 노즐 장치

- 단일 분사노즐 구조로 단일 재료 출력 가능하여 다양한 재료의 출력이 어렵고 프린팅 작업의 효율성이 낮음

- 다중의 이종재료 출력이 가능한 다중노즐구조와 노즐간의 유격 변경 가능하고 다중 노즐 간 정밀하게 동기화 출력제어 가능한 노즐장치를 적용함으로써 3D 프린팅 작업의 효율을 제고할 필요가 있음

■ 기존 소형 갠트리에서 이동 가능한 형태 및 로봇암, 대형 장비로의 확대·발전

○ 최근 3D 프린팅 기술을 활용한 건축이 단층 규모에서 복층 이상의 규모로 확장

- 대형 장비 기반의 대형 건축물 시공으로 확대 중

<표 III-5> 3D 프린팅 장치 기술수준

국가	연구그룹명	기술수준/성능	차별성/강점	기술수준(경쟁력)				
				None	Follower	Competitive	Advanced	Pioneer
덴마크	COBOD	겐트리 타입/ 14.5×∞×8.1m (W×L×H)	모듈형 프린터로 크기조절 가능			O		
프랑스	Constructions -3D	유압크레인 타입/ 8.5×7m (∅×H)	캐터필러 이동형				O	
러시아	Apis Cor	크레인타입/ 8.5×3.1m (∅×H)	곡선형 외벽 작업 유리			O		
프랑스	Batiprint3D	로봇팔 타입/ 7m(H)	단열재와 콘크리트 이중소재 사용				O	
중국	WinSun	겐트리타입/ 6.6mx10m(WxH)	고속/고층(5층) 건물 프린팅				O	

○ Constructions-3D 이동 가능한 형태, Batiprint3D 로봇암 등이 3D 프린팅 장비 개발 분야 기술 개발을 선도

- (Constructions-3D 3D Constructor) 유압 크레인 형태의 캐터필러 스타일의 3D 프린터로 이동 가능하며, 전용 컨테이너로 이송 가능

※ ∅8.5×7m (∅×H)의 건축물 출력 가능



[그림 III-27] Constructions-3D의 작업 모습과 이동을 위한 모습

- (Batiprint3D 3D printer) 로봇 팔 형태의 3D 프린터로 폴리우레탄 폼 소재를 외벽으로 출력하고 외벽 사이에 콘크리트를 채워 건설하는 방법을 채택

※ 최대 7 m 의 높이의 구조물 인쇄 가능



[그림 III-28] Batiprint3D 의 프린팅 모습 및 출력물의 단면(단열재-콘크리트-단열재)

다. 3D 프린팅 기반 건축/건설 시공 재료

■ 구조재용 3D 프린팅 건설재료 개발

○ 전 세계적으로 적층 3D 프린팅 기술을 위한 재료로 콘크리트를 선택하여 개발 중

- 3D 프린팅 건설가능한 크기는 장비와 재료의 개발을 통해 점차적으로 증가되는 추세로 건설용 3D 프린팅 기술용 재료로는 모든 국가에서 Concrete를 채택 중

<표 III-27> 구조재용 3D 프린팅 건설재료 개발 동향

국가	기업명	기술별	건설가능 크기	적용 재료
Denmark	COBOD	BOD2	14620×50520×8140 mm	Concrete
France	Constructions-3D	MAXIPRINTER	12250×12250×7000 mm	Concrete
	WASP	Batiprint3D	–	Concrete/other
	XtreeE	3Dprinter	–	Concrete
Italy	WASP	Infinity3DPrinter	Ø6300x300 mm	Concrete
Netherlands	CyBe	RC3Dp	2500×5000×4000 mm	Concrete
Russian Federation	Apis Cor	3Dprinter	8500×1600×1500 mm	Concrete
Slovenia	BetAbram	P1	16000×8200×2500 mm	Concrete
United States	ICON	Vulcan II	2600×8500×2600 mm	–
	MudBots	Concrete3DPrinter	21945×21945×14630 mm	Concrete
	Total Kustom	StoryBot6.2	1000x1500x600 mm	Concrete
	Contour Crafting	3Dprintingsystem	–	Concrete
	SQ4D	ARCS	9100x4400x∞ mm	Concrete

■ 3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템 개발

○ ‘3D 프린팅 활용 비정형 형상’에서 ‘3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템’ 개발로 연구 패러다임이 변화하는 초기 단계

- 현재 국내에서는 관련 연구가 전무한 실정으로, 초기 기술력 확보 및 선진 기술 수립을 위한 연구가 필요

<표 III-28> 3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템 개발

국가	연구그룹명	기술수준/성능	차별성/강점	기술수준(경쟁력)				
				None	Follower	Competitive	Advanced	Pioneer
독일	TUM Department of Architecture	차음, 단열, 차양, 패시브 환기 및 단열 등 다기능성	다기능성 외피 시스템				●	
네덜란드	4TU.Bouw	패시브 단열	패시브 단열시스템		●			
한국				●				

■ 비정형 철근보강형 3D 프린팅 콘크리트 등 복합구조체 개발

○ 무근 콘크리트 출력의 구조안전성을 극복하기 위하여 철근보강형 3D 프린팅 콘크리트 복합구조 재료 개발이 진행

- 국내는 민간을 중심으로 하는 연구 시작단계로 연구가 전무한 실정

<표 III-29> 3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템 개발

국가	연구그룹명	기술수준/성능	차별성/강점	기술수준(경쟁력)				
				None	Follower	Competitive	Advanced	Pioneer
독일	Shotcrete 3D printing	비정형 철근보강형 3D프린팅 콘크리트	3DP용 숏크리트 및 철근배근자동화			●		
스위스	DFAB	비정형 철근보강형 3D프린팅 콘크리트	비정형 철근 배근 자동화					●
한국	H사	거푸집방식 무근 비정형 콘크리트	-		●			

2) 특허분석

(1) 분석 배경 및 목적

■ 3D 프린팅 산업은 프로토타입 제작, 구조 및 최종 제품의 설계, 모델링, 출시 기간 측면에서 크게 감축할 수 있는 특징 및 장점이 있음

○ 이러한 특징 및 장점을 바탕으로 자동차, 전자, 항공우주 및 국방, 의료와 같은 중공업에서 산업용 프린터에 대한 광범위한 채택이 이루어지고 있음

■ 건설 분야 역시 최근 10년 이상의 지속적 연구가 이루어지고 있음

○ 기존 건설시간의 단축, 폐기물의 감소, 디자인의 자유도, 인적 오류의 감소가 가능하다는 점에서 잠재적 활용성 및 성장성이 높은 분야로 주목받고 있음

■ 특허분석은 건설 자동화 분야에서의 3D 프린팅 기술에 대해 현재 공공/민간분야의 기술적 사상에 근거하여 보유하고 있는 특허 현황을 파악

○ 이를 기반으로 글로벌 주요 국가들과 비교함으로써 세부 분야별 차별화된 추진 전략 수립에 참고

(2) 분석 범위

<표 III-30> 분석대상 기술분류

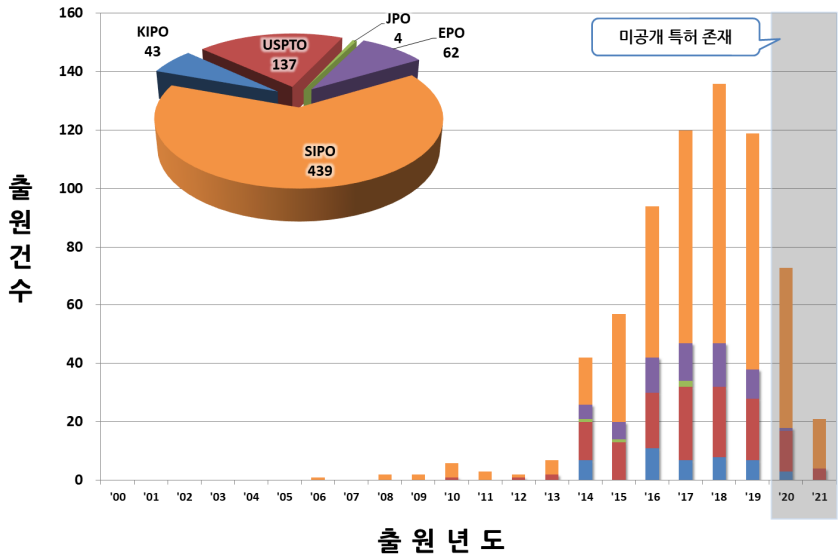
기술분야	기술분류	세부기술
시공관리	섬유 및 가공 소재	3D 프린팅 기반 기존 시공법(철근, 설비, 창호, 마감) 연계 기술
		3D 프린팅 건축물 시공품질(마감면, 단열, 방수, 차음) 관리 기술
		AI기반 3D 프린팅 장비 최적 배치 및 운용 기술
		3D 프린팅 공정관리(공정, 원가, 품질, 리스크) 및 현장관리(진도, 안전, 환경) 기술
재료	건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발	건축물 에너지 효율 향상을 위한 3D 프린팅 비구조재 개발
		건축물 생활환경 개선을 위한 3D 프린팅 비구조재 개발
		건축물 화재 안전 대응 3D 프린팅 비구조재 개발
		3D 프린팅 건축부재 성능인증 시스템 개발
		3D 프린팅 현장 요구성능 대응 배합설계 자동화 기술
		이동형 재료 공급(계량/배합/이송/압출/세척) 시스템 개발
		현장 재료 물성 품질 관리 기술 개발
		출력각도 조절 급속시송 재료 기술 개발
장비	이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발	복잡형상 정밀 출력 가능한 소형 전자식 머니퓰레이터와 대형 유압식 크레인타워 복합형 3D 프린팅 장비 개발
		프린팅 장치의 용이한 이동설치 가능한 전방향 이동형 가설 시스템 개발
		출력된 구조물이 실시간 3D 형상인식기반 3차원 툴패스 보정 및 분사노즐 연동제어 3D 정밀 프린팅 제어기술 개발

(3) 분석 결과

가. 건축 3D 프린팅 통합 시공관리 기술

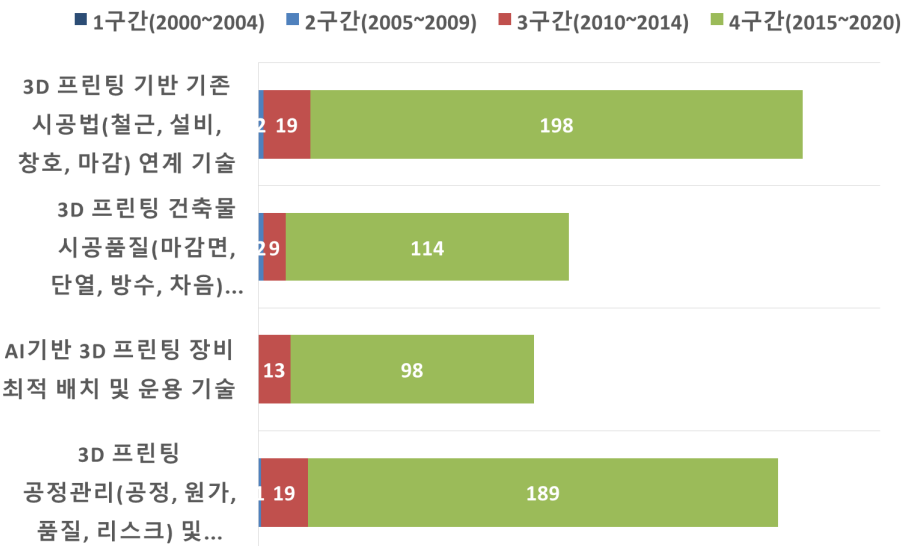
■ 연도별 세부기술 특허출원 현황

○ 2012년 이후 특허출원이 전반적으로 크게 증가하는 추세를 보이고 있으며, 이 중 중국 특허의 비율이 가장 높고, 미국, 유럽, 한국 순으로 뒤를 잇고 있음



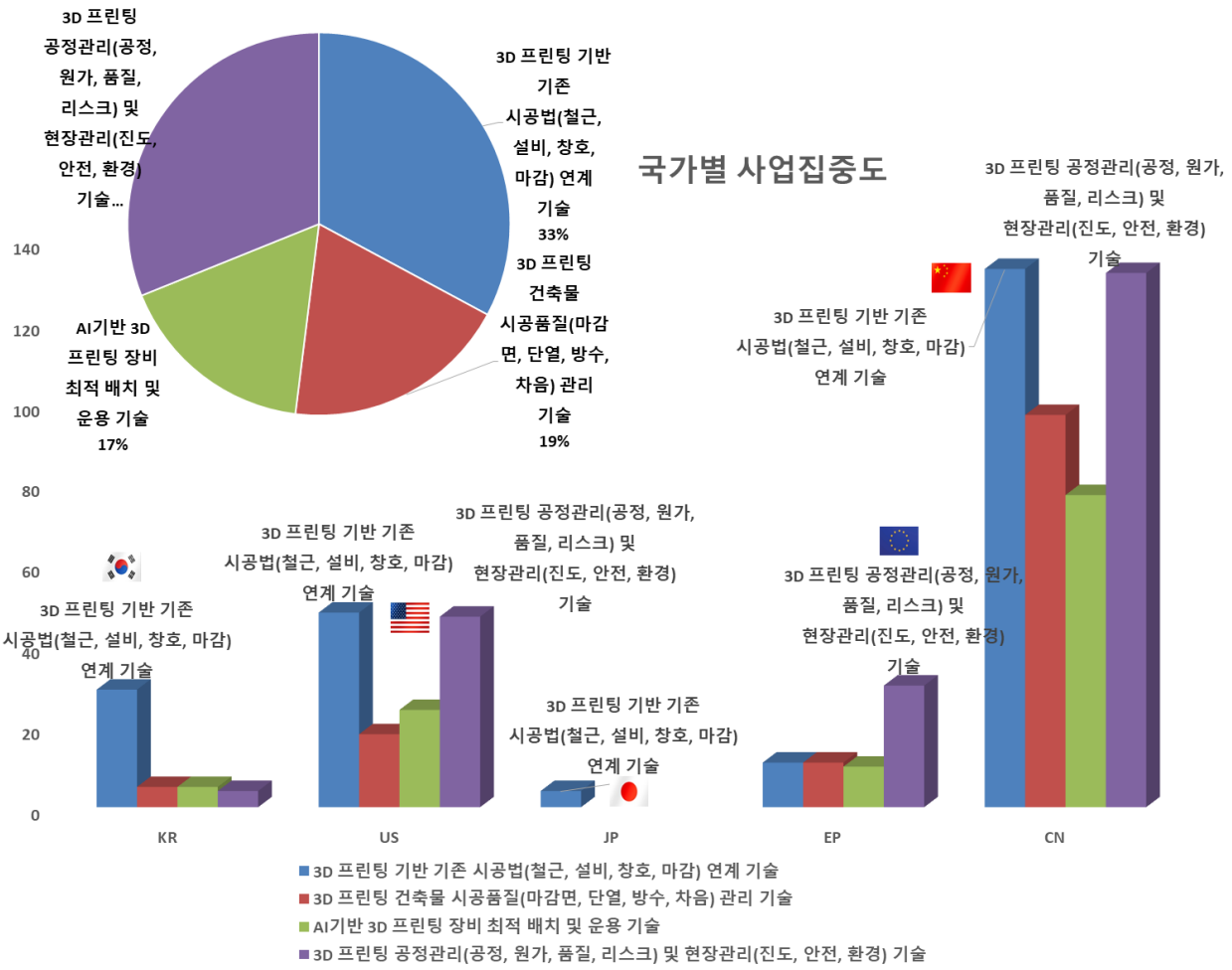
[그림 III-29] 연도별 특허출원 동향

○ 특허출원이 급증한 4구간(2015-2020)에서 전반적으로 모든 분야에서 출원이 활발히 이루어지고 있음을 확인



[그림 III-30] 세부기술 구간별 특허출원 동향

■ 주요국 중점기술개발 분야 (사업집중도)



[그림 Ⅲ-31] 국가별 사업집중도

<표 Ⅲ-6> 주요국 중점기술개발 분야 주요국 특허출원 현황

중점기술개발분야	한국	미국	일본	유럽	중국	총합계
3D 프린팅 기반 기존 시공법(철근, 설비, 창호, 마감) 연계 기술	29	48	4	11	133	225
3D 프린팅 건축물 시공품질(마감면, 단열, 방수, 차음) 관리 기술	5	18	-	11	97	131
AI기반 3D 프린팅 장비 최적 배치 및 운용 기술	5	24	-	10	77	116
3D 프린팅 공정관리(공정, 원가, 품질, 리스크) 및 현장관리(진도, 안전, 환경) 기술	4	47	-	30	132	213
총합계	43	137	4	62	439	685

○ 전 세계적으로 3D 프린팅 기반 기존 시공법(철근, 설비, 창호, 마감) 연계 기술개발에 따른 시장의 확대로 해당 분야의 특허활동이 매우 활발함

- 미국, 중국의 경우 3D 프린팅 기반 기존 시공법(철근, 설비, 창호, 마감) 연계 기술과 더불어 3D 프린팅 공정관리(공정, 원가, 품질, 리스크) 및 현장관리(진도, 안전, 환경) 기술에 대한 기술 개발이 활발함

- 유럽의 경우 3D 프린팅 공정관리(공정, 원가, 품질, 리스크) 및 현장관리(진도, 안전, 환경) 기술 개발이 활발함

○ **(기술점유율)** 3D 프린팅 기반 기존 시공법(철근, 설비, 창호, 마감) 연계 기술이 전체기술의 33%를 차지하여 가장 높은 점유율을 차지

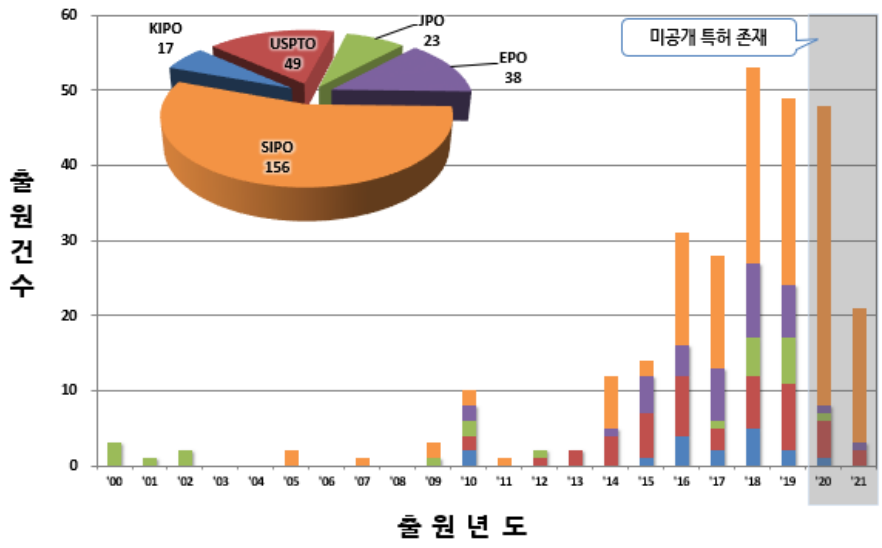
- 3D 프린팅 공정관리(공정, 원가, 품질, 리스크) 및 현장관리(진도, 안전, 환경) 기술이 31%를 차지

나. 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급장치 개발

■ 연도별 세부기술 특허출원 현황

○ 건축 분야에 적용되는 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급장치 개발 관련 특허 건수는 2012년 이후부터 점차 증가하기 시작하여 전반적인 상승 추세를 나타내고 있음

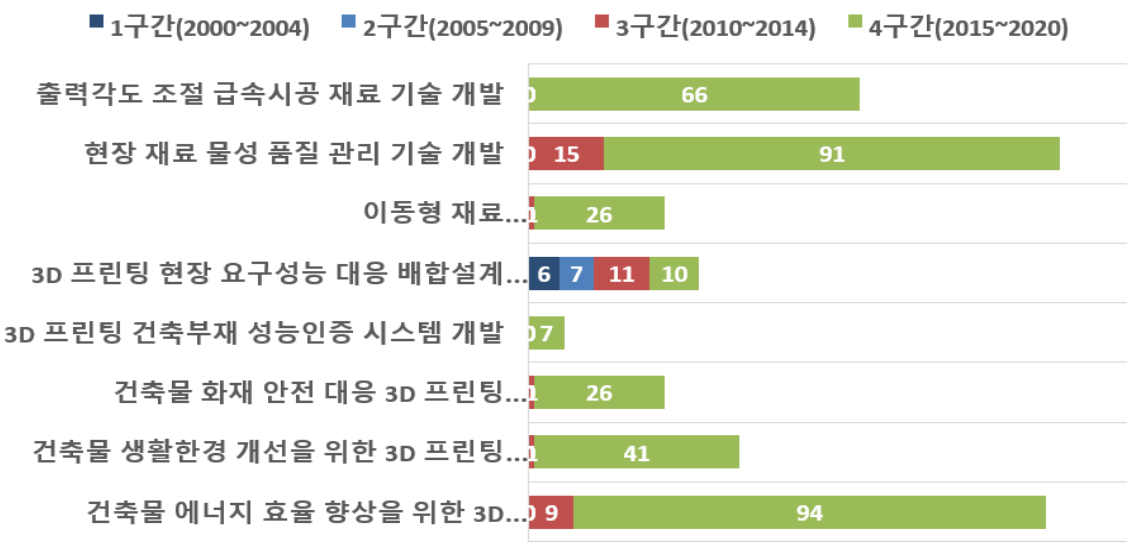
○ 미국과 유럽, 중국 특허의 출원 비중이 다소 높으며, 특히 중국의 상승 추세가 두드러짐



[그림 III-32] 연도별 특허출원 동향

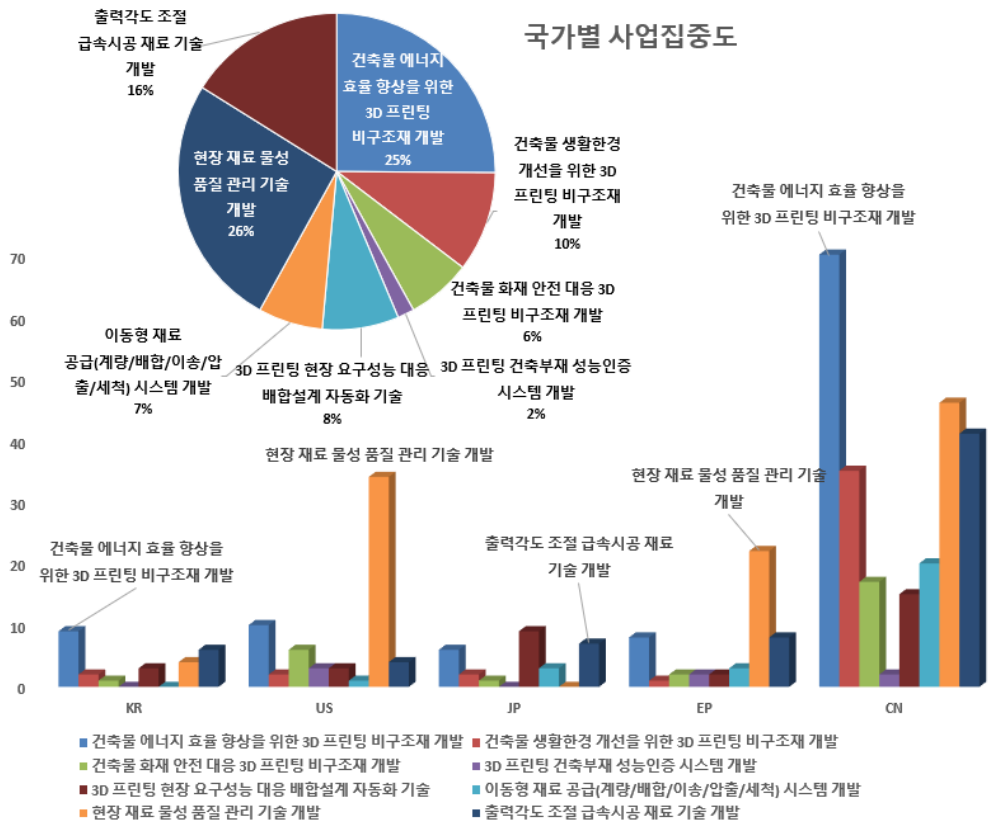
○ 3구간과 4구간에 특허출원이 집중되어 있음

- 특히 대다수가 4구간(2015-2020)에서 출원이 새롭게 두각을 드러내거나 큰 폭으로 증가한 것으로 나타남



[그림 III-33] 세부기술 구간별 특허출원 동향

■ 주요국 중점기술개발 분야 (사업집중도)



[그림 III-34] 국가별 사업집중도

<표 III-7> 주요국 중점기술개발 분야 주요국 특허출원 현황

중점기술개발분야	한국	미국	일본	유럽	중국	총합계
건축물 에너지 효율 향상을 위한 3D 프린팅 비구조재 개발	9	10	6	8	70	103
건축물 생활한경 개선을 위한 3D 프린팅 비구조재 개발	2	2	2	1	35	42
건축물 화재 안전 대응 3D 프린팅 비구조재 개발	1	6	1	2	17	27
3D 프린팅 건축부재 성능인증 시스템 개발	0	3	0	2	2	7
3D 프린팅 현장 요구성능 대응 배합설계 자동화 기술	3	3	9	2	15	32
이동형 재료 공급(계량/배합/이송/압출/세척) 시스템 개발	0	1	3	3	20	27
현장 재료 물성 품질 관리 기술 개발	4	34	0	22	46	106
출력각도 조절 급속시공 재료 기술 개발	6	4	7	8	41	66
총합계	25	63	28	48	246	410

○ 3D 프린팅에 대한 전반적인 특허 출원 활성화에도 불구하고, 건축 분야의 복합재료 및 장치에 국한된 특허 출원은 다소 미약함

- 기존 건축 분야에서 재료나 장치에 소요되는 비용의 비중이 크므로, 이에 대한 기술의 적용 편의성, 활용성, 경제성 관점에서의 특허 출원이 점차 증가하고 있는 것으로 나타남

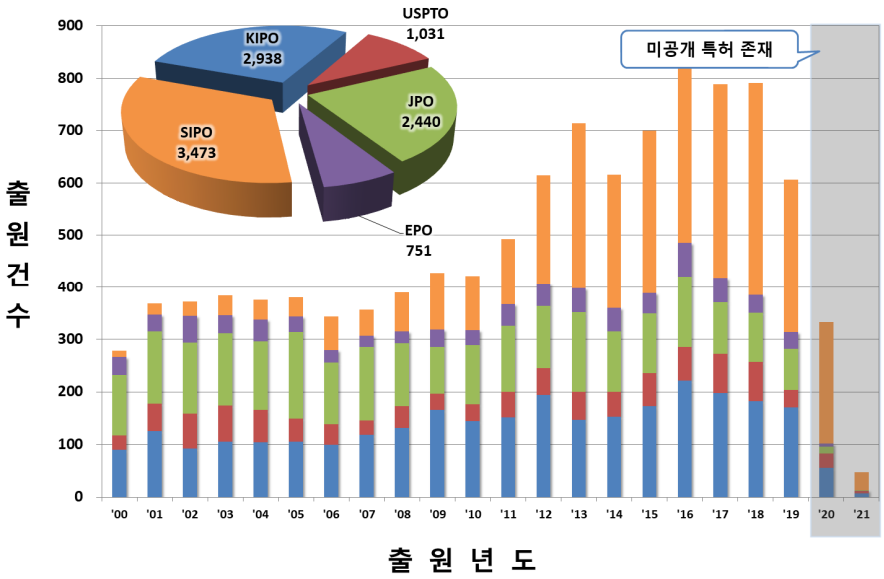
○ **(기술점유율)** 각 국가별 집중되어 있는 기술 분야가 상이하나, 건축물 에너지 효율 향상을 위한 3D 프린팅 비구조재 기술(한국, 중국), 현장 재료 물성 품질 관리 기술(미국, 유럽)에 대한 점유가 다소 높게 나타났음

다. 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발

■ 연도별 세부기술 특허출원 현황

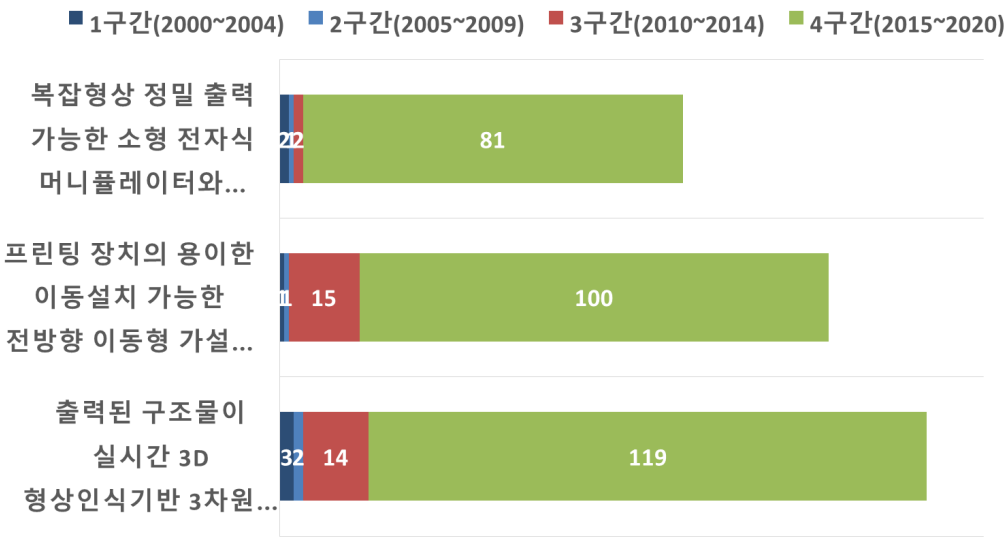
○ 프린팅 시공 장비와 관련된 특허는 연간 200건 이상 다수의 특허가 출원되고 있음

- 전체적으로 증가하는 추세로 중국에 이어 한국, 일본, 미국, 유럽의 순으로 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 파악되었음



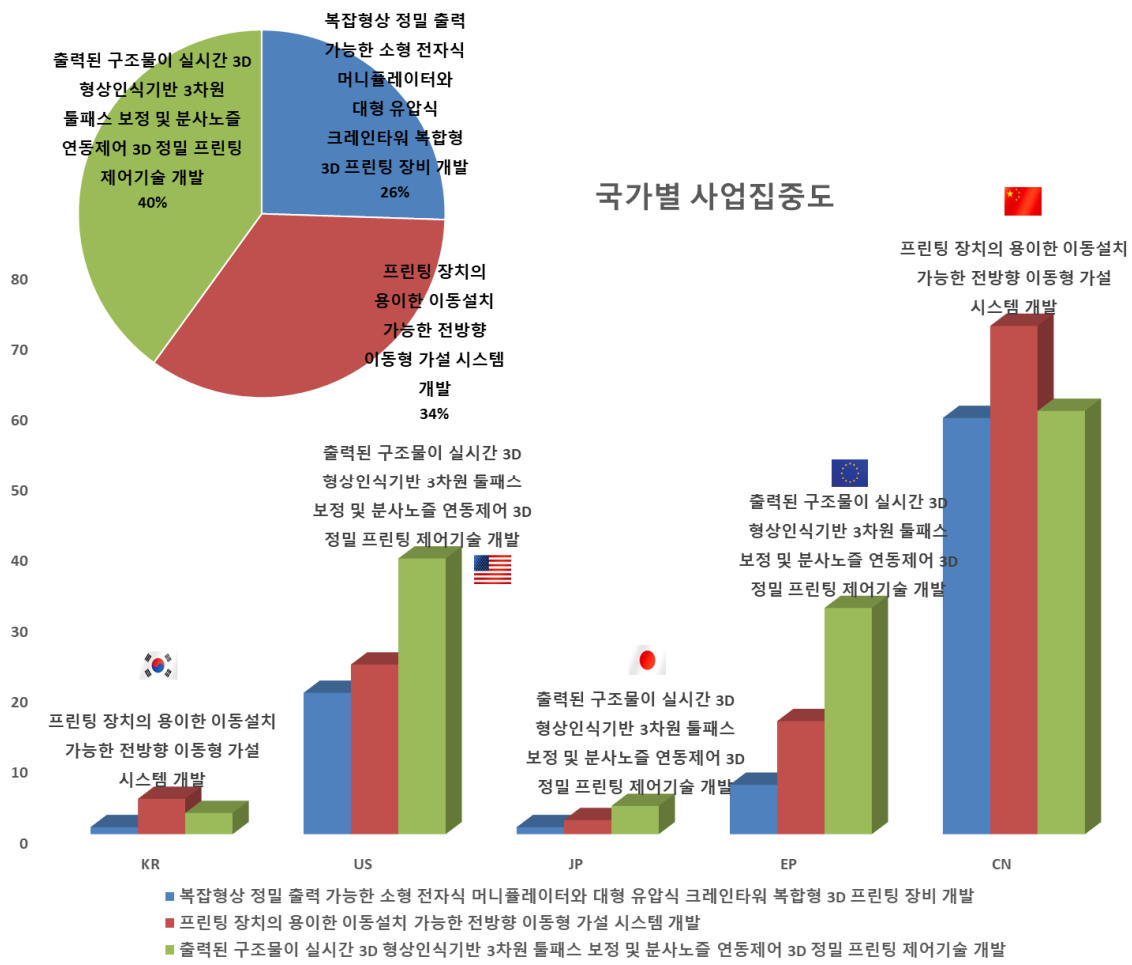
[그림 III-35] 연도별 특허출원 동향

○ 특허출원이 급증한 4구간(2015-2020)에서 출원이 활발히 이루어지고 있었으며, 3구간과 큰 격차를 나타내는 것으로 분석되었음



[그림 III-36] 세부기술 구간별 특허출원 동향

■ 주요국 중점기술개발 분야 (사업집중도)



[그림 Ⅲ-37] 국가별 사업집중도

<표 Ⅲ-8> 주요국 중점기술개발 분야 주요국 특허출원 현황

중점기술개발분야	한국	미국	일본	유럽	중국	총합계
복잡형상 정밀 출력 가능한 소형 전자식 머니퓰레이터와 대형 유압식 크레인타워 복합형 3D 프린팅 장비 개발	1	20	1	7	59	88
프린팅 장치의 용이한 이동설치 가능한 전방향 이동형 가설 시스템 개발	5	24	2	16	72	119
출력된 구조물이 실시간 3D 형상인식기반 3차원 툴패스 보정 및 분사노즐 연동제어 3D 정밀 프린팅 제어기술 개발	3	39	4	32	60	138
총합계	9	83	7	55	191	345

○ 전 세계적으로 출력된 구조물이 실시간 3D 형상인식기반 3차원 툴패스 보정 및 분사노즐 연동제어 3D 정밀 프린팅 제어기술 개발에 따른 시장의 확대로 해당 분야의 특허활동이 매우 활발함

○ **(기술점유율)** 출력된 구조물이 실시간 3D 형상인식기반 3차원 툴패스 보정 및 분사노즐 연동제어 3D 정밀 프린팅 제어기술이 전체기술의 40%를 차지

- 모든 국가에서 해당분야 기술 개발이 주로 이루어지는 것으로 나타남

(4) 한국의 기술 분야별 현황

유사기술 중분류	유사기술 소분류(20)	기술성장성	연평균증가율 ('00~'20)	CPP (인용도지수)	TS (기술력지수)	PFS (시장확보력지수)
건축 3D 프린팅 통합 시공관리 기술	3D 프린팅 기반 기존 시공법(철근, 설비, 창호, 마감) 연계 기술	성장기	43.6%	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)		
	3D 프린팅 건축물 시공품질(마감면, 단열, 방수, 차음) 관리 기술	태동기	28.4%			
	AI기반 3D 프린팅 장비 최적 배치 및 운용 기술	태동기	0%			
	3D 프린팅 공정관리(공정, 원가, 품질, 리스크) 및 현장관리(진도, 안전, 환경) 기술	태동기	0%			
건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발	건축물 에너지 효율 향상을 위한 3D 프린팅 비구조재 개발	성장기	0%	상대적으로 보통 수준	상대적으로 낮음	상대적으로 낮음
	건축물 생활환경 개선을 위한 3D 프린팅 비구조재 개발	태동기	0%	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 낮음
	건축물 화재 안전 대응 3D 프린팅 비구조재 개발	태동기	0%	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 낮음
	3D 프린팅 건축부재 성능인증 시스템 개발	태동기	0%	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)
	3D 프린팅 현장 요구성능 대응 배합설계 자동화 기술	태동기	8.0%	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 높음

	이동형 재료 공급(계량/배합/이송/압출/세척) 시스템 개발	태동기	0%	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)
	현장 재료 물성 품질 관리 기술 개발	성장기	0%	상대적으로 낮음	상대적으로 낮음	상대적으로 낮음
	출력각도 조절 급속시공 재료 기술 개발	태동기	0%	상대적으로 낮음	상대적으로 낮음	상대적으로 낮음
이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발	복잡형상 정밀 출력 가능한 소형 전자식 머니퓰레이터와 대형 유압식 크레인타워 복합형 3D 프린팅 장비 개발	태동기	0%	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)
	프린팅 장치의 용이한 이동설치 가능한 전방향 이동형 가설 시스템 개발	태동기	0%	상대적으로 낮음	상대적으로 낮음	상대적으로 낮음
	출력된 구조물이 실시간 3D 형상인식기반 3차원 툴패스 보정 및 분사노즐 연동제어 3D 정밀 프린팅 제어기술 개발	태동기	0%	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)	상대적으로 낮음 (측정값 도출X)

(5) 결론 및 시사점

가. 결론

■ 3D 프린팅 기술 성장세

○ 건설 분야에 활용 가능한 3D 프린팅 기술영역도 성장하였으나, 건설 분야에만 특화된 특허 출원은 다소 미비한 것으로 나타났음

■ 다른 주요국과의 비교

○ 기존 시공법과 관련된 3D 프린팅 기술, 비구조재나 재료 물성관리 기술 등에서는 성장기를 나타냄

- 그러나 대다수의 기술에서는 아직 태동기에 머물러 있는 것으로 파악됨

■ 국내 특허출원 활동

○ 대체적으로 2014년에서 2019년 사이에 집중

- 특허출원 비중 또한 5극 특허 전체 중 낮은 비중을 차지하는 것으로 나타남

○ 한국의 경우 다른 국가에 비해 인용도지수(CPP), 기술력지수(TS), 시장확보력지수(PFS)가 상당히 낮은 수준

- 이는 아직 미국시장에 대한 권리 확보가 부족한 것이 원인으로 판단됨

○ 다만, 기술추세분석을 보면 특허출원 건수는 지속해서 증가

- 따라서 관심도는 상승하는 것으로 판단할 수 있음

나. 시사점

■ 한국 시장의 성장가능성은 높은 수준이나, 상대적으로 건설 3D 프린팅 기술에 대한 개발은 타국에 비해 많이 이루어지지 않은 것으로 확인됨

○ 이에 따라 분야별 코어 기술개발을 위한 R&D 수행이 활발히 이루어질 필요가 있음

- 또한 해외시장 권리선점을 통해 기술적 수준을 향상할 수 있어야 할 것으로 판단됨

■ 건축 분야의 3D 프린팅 기술은 시공방법이나 시공 장비에 대한 특허출원이 비교적 활발히 이루어지고 있음

○ 그러나 소재나 현장 대응 기술, 품질 보증과 관련된 특허 출원은 전반적으로 미비한 것으로 판단됨

- 이는 3D 프린팅이 극복해 나가야 할 한계점으로 지적되고 있는 유해성분으로 구성된 소재의 사용이나, 시공 후 품질에 대한 불만족과 같은 현상과도 일치하는 측면이 있음

- 따라서 향후 건설 분야에서의 3D 프린팅 건설기술의 전반적인 수준 향상에는 이를 보완하기 위한 기술 개발의 고려가 수반되어야 할 것으로 판단됨

5. 유사사업 및 관련 정부R&D 투자 동향

1) 유사사업 분석

(1) 유사사업 현황

가. 도시건축연구(국토교통부, '07~'19년)

■ 사업 개요

○ (목적) 국민의 행복 증진과 도시의 활력 제고

- 초고층빌딩・한옥 등 신건축문화 창조, 도시재생 활성화, 안전한 생활환경 구축, 온실가스 저감 등 관련 기술 개발

○ (사업구성)

- '21년 기준, 건축환경 및 융복합, 건축계획 및 재료구조, 도시운영 및 관리 등의 사업으로 구성

■ 사업 내용

○ 스마트 친환경 도시 및 도시재생

- 첨단기술과 친환경 도시 조성기술을 융합한 지속가능한 스마트도시 조성 및 낙후도시의 종합적인 기능 회복을 위한 기술 개발

○ 도시운영 및 관리

- 기후변화에 대응 가능한 효율적인 도시운영 및 관리를 위해 도시에너지·자원순환, 탄소저감, 열환경 관리 및 안전한 도시공간 조성 기술 개발

○ 건축계획 및 재료·구조

- 건축설계, 시공 및 유지관리 분야의 성장동력 확보를 위한 국가표준 건축설계기준 선진화, 성능위주 설계기술 개발

○ 건축환경 및 융복합

- 건물 에너지 효율 향상을 위한 건축물의 전주기적 운영시스템(건축설비, 기계 등) 및 초고층빌딩, 특수 건축물 설계, 시공 등 엔지니어링 기술 개발

■ 동 사업과의 차별성

○ 과제 단위의 건축물 3D 프린팅 기반 기술개발 연구가 동 사업과 유사성이 높으나, 기존 과제는 국외 3D 프린팅 기술의 ‘Fast Fallow’의 수직골조 시공이 주요 목표로 동 사업과는 차별성이 있음

- 동 사업은 수직골조에서 수평부재를 포함한 완성형 건축물로 확장하여, 거주 가능한 품질 수준의 건축물 시공 기술 확보, 규모 확장, 재료 다양화 및 토목 등 타 도메인 확장이 목표

나. 스마트건설기술개발(국토교통부, '20~'25년)

■ 사업 개요

○ (목적) 건설산업의 기술혁신과 생태계 조성

- 스마트 건설기술 육성을 통한 글로벌 건설시장 선도

○ (사업구성)

- ’20년 기준, 건설장비 자동화 및 관제기술, 도로 구조물 스마트 건설기술, 스마트 안전 통합 관제기술, 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드 등의 사업으로 구성

■ 사업 내용

○ 건설장비 자동화 및 관제기술

- 지능형 건설장비 관제 기술, 건설현장 정보 수집 및 분석기술, 디지털 기반 SOC 도로 건설장비 자동화 기술

○ 도로 구조물 스마트 건설기술

- 디지털 기반 도로 구조물 설계-제작-시공 지원기술, 도로 구조물 무인 자동화 시공기술, 지능형 도로 구조물 시공품질 관리 기술

○ 스마트 안전 통합 관제기술

- 스마트 안전 통합관제시스템, 건설현장 근로자 안전확보 기술, 임시구조물의 스마트 안전 확보 기술

○ 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드

- 디지털 정보 통합 기술, 지능형 시뮬레이션 기술, 디지털 인프라 운영 및 서비스 기술, 테스트베드

■ 동 사업과의 차별성

○ 자동화 등 첨단기술의 건설 분야 적용을 위한 기술개발이라는 목적 측면에서는 유사성이 존재하나, 기존 기술 기반으로 ICT 등 디지털 기술과의 융합이라는 점에서 동 사업과는 차별성이 존재

- 동 사업은 기존 건설 기술이 아닌 3D 프린팅의 신기술을 기반하고 있으며, ICT 등의 디지털 기술을 융합하고, 기존 공법을 연계하는 기술을 개발

다. 3D프린팅생활혁신융합기술개발(과학기술정보통신부, '19~'22년)

■ 사업 개요

○ (목적) 3D프린팅을 통한 생활혁신 촉진

- 바이오 등 활용가치 및 수요창출이 높은 분야의 기술개발 및 사업화 지원

○ (사업구성)

- '21년 기준, 생활혁신형 3D프린팅 융합기술개발, 부처연계형 3D프린팅 융합기술개발 등의 사업으로 구성

■ 사업 내용

○ 생활혁신형

- 국민 생활 및 사회 문제 해결 등 실생활 적용 가능한 3D프린팅 응용 서비스 창출을 위한 SW-HW 융합기술개발

○ 부처연계형

- 산업 영역에 3D프린팅 기술을 확산하기 위해 타 부처의 3D프린팅 HW 기술(장비, 소재 등)과 연계하여 다양한 종류의 맞춤형 3D프린팅 SW 기술개발

■ 동 사업과의 차별성

○ 3D 프린팅 기반 기술의 활용 측면의 목적에서는 유사성이 있으나, 유사사업의 실생활 및 산업 영역에 3D 프린팅 기술의 활용을 위한 장비, 소재, 소프트웨어 개발은 동 사업의 건축물 시공을 위한 활용 규모 및 재료, 장비 형태 등에서 큰 차별성이 존재

- 동 사업은 복층 이상 규모의 건축물 시공을 위한 대형 장비 기반의 3D 프린팅 기술 및 건축 재료 개발을 주요 내용으로 하고 있음

라. 3D프린팅의료기기산업기술실증(과학기술정보통신부, '19~'24년)

■ 사업 개요

○ (목적) 3D프린팅 의료기기* 신시장 창출 및 시장 선점

* 의료영상을 이용하여 개인 맞춤형으로 설계하고, 의료전용 소재를 적층하여 제작한 의료기기(ex. 인공두개골, 인공관절, 골절합용판, 수술가이드 등)

- 전략품목의 임상실증 및 실증체계를 구축 지원하고 사업화(인허가, 보험적용 등)를 위한 실증지원 환경 조성

○ (사업구성)

- '19년 기준, 3D프린팅 의료기기 시생산 및 임상실증, 3D프린팅 의료기기 상용화 실증지원 등의 사업으로 구성

■ 사업 내용

○ 3D프린팅 의료기기 시생산 및 임상실증

- 장기적 제품개발 및 시험·평가, 임상·실증, 인허가를 요구하는 세계최고 수준의 고위험·고난이도 3D프린팅 의료기기 임상실증 추진

○ 3D프린팅 의료기기 상용화 실증지원

- 3D프린팅 의료기기 상용화 촉진을 위한 부처별 기술개발* 성과 연계 임상지원 체계 수립, 선행·추가 R&D, 제도개선, DB화, GMP시설 위탁생산 등

* 산업부, 과기부, 복지부 등 부처별 3D프린팅 기술개발과제 성과물 등

■ 동 사업과의 차별성

○ 제품의 개발 및 인허가를 위한 임상실증, 상용화를 위한 제도개선 등의 실증 지원 등 실증연구라는 점에서 동 사업과의 유사성이 있으나, 의료기기에의 활용과 건축물 시공에의 활용이라는 점에서 차별성이 존재

- 동 사업은 복층 이상 규모의 건축물 시공을 위한 대형 장비 기반의 3D 프린팅 기술 및 건축 재료 개발, 실증을 주요 내용으로 하고 있음

마. 산업소재핵심기술개발(산업통상자원부, '09~계속)

■ 사업 개요

○ (목적) 대표적 소재 관련 산업의 성장잠재력 확충

- 대표적 소재부품산업인 화학, 금속, 섬유, 세라믹 및 첨단뿌리산업의 핵심원천기술개발 지원을 통해 산업경쟁력 제고 및 전방산업의 수요에 적합한 핵심소재를 공급

○ (사업구성)

- '21년 기준, 화학공정소재, 금속재료, 섬유의류, 세라믹, 첨단뿌리기술 등의 사업으로 구성

■ 사업 내용

○ 화학공정소재

- 첨단화학기술 기반 신성장동력 소재, 에너지절감형 고강도·고기능 화학소재, 4차 산업혁명 대응 융합기술 기반 스마트 소재 개발을 위한 기술개발 지원

○ 금속재료

- 초경량·고강도 합금소재 개발, 금속대체 고부가 소재(타이타늄, 망간 등) 개발, 소재-에너지 간 융합기술 개발 등 미래산업 대응 첨단신소재, 소재-수요 융합신기술, 에너지 신산업 창출 등 혁신적 금속 소재기술개발 지원

○ 섬유의류

- 섬유산업 혁신과 미래시장 선도 확보를 위해 전통산업에서 미래 유망산업 전환을 위한 기술개발 지원

○ 세라믹

- IT, 바이오, 에너지, 환경 및 융합신산업 등 주요 산업분야에 고기능·고효율·극한 물성 등 핵심 기능을 책임지는 첨단세라믹 분야 및 전통세라믹 응용분야 기술개발 지원

○ 첨단뿌리기술

- 국가 주력산업의 품질 및 생산성을 좌우하며 전후방수요산업에 큰 파급효과를 미치는 주조, 금형, 용접접합, 소성가공, 열처리, 표면처리 등 6대 뿌리 기술개발 지원

■ 동 사업과의 차별성

○ 첨단기술의 산업 현장 적용을 통한 성장잠재력 확충이라는 목적 측면에서는 유사성이 있으나, 개발 장비 및 소재의 적용 산업 분야가 다르다는 점에서 차별성이 존재

(2) 유사사업 분석 결과

■ 2021년까지 3D 프린팅 기반 건설/건축 분야 기술개발만을 목표로 추진된 단일 R&D 사업은 없는 것으로 파악됨

○ 다만, 국토교통부 도시건축연구 사업을 통해 과제 단위에서 건축물 3D 프린팅 기반 기술개발 연구가 수행되어 왔음

※ 건축물 3D 프린팅 장비개발, 건축물 3D 프린팅용 건설 복합재료 개발 및 표준화, 건축물 3D 프린팅 설계기술 개발 및 테스트베드 수행 등

○ 이 외의 3D 프린팅 과제는 제조 산업 중심으로 제조업 혁신을 통한 신산업 창출의 목적의 3D 프린팅 산업 현장 활용 가속화를 위한 혁신·성장 중심 산업기반 고도화를 위한 R&D로 추진

- 의료, 뿌리산업(제조업) 등에서의 3D 프린팅 기반 기술 활용 R&D를 추진해 왔으며, 장비, 소재, 소프트웨어 개발 등을 지원

○ 과기부는 의료 분야 3D 프린팅 기반 기술의 활용을 위해 의료기기산업 기술실증 사업을 통해 R&D를 지원

- 시생산 및 임상, 상용화 실증 지원을 위해 제품개발, 인허가 및 제도개선 등을 추진한 것으로 파악됨

○ 또한 3D 프린팅 기반 기술을 활용한 생활혁신 촉진을 위해 과기부가 활용가치 및 수요창출 효과가 높은 분야의 기술개발 및 사업화를 지원

- 실생활 적용 가능한 3D 프린팅 응용 서비스 창출을 위한 소프트웨어 및 장비 융합기술개발 등을 추진한 것으로 파악됨

■ 기존 사업과의 차별성

○ 3D 프린팅 기반 기술개발은 대부분 과제 단위, 일부 내역사업 단위에서 추진되었으며, 사업 단위에서의 건축/건설 분야 기술개발 목적 사업지원은 없음

- 제조업, 의료 등의 분야에서 3D 프린팅 기반 기술 활용 목적의 과제 및 사업 지원이 다수

○ 다만, 도시건축연구사업 과제 단위의 동 사업 1단계 연구과제에서의 건축물 3D 프린팅 기반 기술개발이 수행되었으나, 기존 국외 3D 프린팅 기술의 ‘Fast Fallow’의 수직골조 시공이 주요 목표

- 동 사업은 수직골조에서 수평부재를 포함한 완성형 건축물로 확장하여, 거주 가능한 품질 수준의 건축물 시공 기술 확보, 규모 확장, 재료 다양화 및 토목 등 타 도메인 확장을 목표로 하는 점에서 차별성이 존재

■ 기존 사업과의 연계

○ 도시건축연구사업의 건축물 3D 프린팅 설계기술 개발 및 테스트베드 수행, 건축물 3D 프린팅용 건설 복합재료 개발 및 표준화, 건축물 3D 프린팅 장비개발 과제 등 1단계 연구과제가 동 사업과 직접적으로 연결이 되어 후속 연계가 필요

- 이를 위해 1단계 연구과제에서 확보한 설계, 재료, 장비의 기초 원천기술 및 수직골조 시공기술을 동 사업에서는 거주를 위한 구조안전성 등에 대한 검토, 기존 공법과의 연계를 위한 기술개발로 연계 · 활용하여 고도화

<표 III-31> 동 사업과 기존 유사사업과의 차별성 요약

구분	도시건축연구사업	스마트건설 기술개발사업	3D프린팅생활혁신 융합기술개발	3D프린팅의료기기산업 기술실증	산업소재핵심 기술개발
목적	o 국민의 행복 증진과 도시의 활력 제고	o 건설산업의 기술혁신과 생태계 조성	o 3D 프린팅을 통한 생활혁신 촉진	o 3D 프린팅 의료기기 신시장 창출 및 시장 선점	o 대표적 소재 관련 산업의 성장잠재력 확충
사업개념	o 신건축 문화 창조, 도시재생 활성화, 안전한 생활환경 구축 관련 기술개발	o 스마트 건설기술 육성을 통한 글로벌 건설시장 선도	o 바이오 등 활용가치 및 수요창출이 높은 분야의 기술개발 및 사업화 지원	o 전략품목의 임상실증 및 실증체계의 구축을 지원하고, 사업화(인허가, 보험적용 등)을 위한 실증지원 환경 조성	o 대표적 소재부품산업인 화학, 금속, 섬유, 세라믹 및 첨단뿌리산업의 핵심원천기술 개발 지원을 통해 산업경쟁력 제고 및 전방산업의 수요에 적합한 핵심소재를 공급
구성사업	o 스마트 친환경 도시 및 도시재생 o 도시운영 및 관리 o 건축계획 및 재료구조 o 건축환경 및 융복합	o 건설장비 자동화 및 관제기술 o 도로 구조물 스마트 건설기술 o 스마트 안전 통합 관제기술 o 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드	o 생활혁신형 3D 프린팅 융합기술개발 o 부처연계형 3D 프린팅 융합기술개발	o 3D 프린팅 의료기기 시생산 및 임상실증 o 3D 프린팅 의료기기 상용화 실증지원	o 화학공정소재 o 금속재료 o 섬유의류 o 세라믹 o 첨단뿌리기술
기간	2007-2019	2020-2025	2019-2022	2019-2024	2009-계속
규모	6,522억원 (2008-2021)	477억원 (2020-2021)	145억원 (2019-2021)	92억원 (2019-2020)	10,259억원 (2011-2021)
차별성	o 동 사업은 수직골조에서 수평부재를 포함한 완성형 건축물로 확장	o 유사사업은 기존 기술 기반 ICT 등 디지털 기술과의 융합 - 동 사업은 3D 프린팅 신기술 기반	o 유사사업은 실생활 및 산업영역 활용을 위한 장비, 소재, 소프트웨어 개발 - 활용 규모 및 재료, 장비 형태 등에서 큰 차별성 존재	o 상용화를 위한 제도개선 등 실증지원연구라는 점에서 유사성이 있으나, 적용 분야에서 차별	o 첨단기술의 현장 적용을 통한 성장잠재력 확충에서는 유사하나, 개발 장비 및 소재의 적용 산업 분야에서 차별
	→ 설계, 재료, 장비의 기초 원천기술 및 수직골조 시공기술 연계·활용하여 고도화	-	-	-	-

(3) 국내 민간연구와의 차별성

■ 대상출력물

○ (민간) 3D 프린팅 관련 지침, 제도 등이 완료되지 않아 민간의 경우 제도에 제한이 없는 **구조물 또는 시험주택**에 초점을 맞추고 있는 실정

○ (동 사업) 법/제도/지침 등을 보완하고 **구조성능이 확보된 건축물 시공기술 확보**가 목표로 민간기업 기술개발을 선도

■ 장비

○ (민간) 3D 프린팅용 재료배합 및 이송장비 부재, 오픈소스 기반의 장비 활용으로 정밀제어 및 수정의 어려움

○ (동 사업) 가볍고 이동이 용이하여 **다수 장비의 협업**이 가능한 3D 프린팅 장비 개발 예정

※ 또한 재료 배합/이송/출력이 가능한 배치플랜트 개발, 청소가 용이한 **클리닝 시스템** 개발

■ 재료

○ (민간) 기존에 판매되고 있는 시멘트에 경화제를 섞어서 3D 프린팅 건설에 활용 중이나 **성능 확보, 재료 인증 등에 어려움 호소**

○ (동 사업) 거주 성능이 확보된 3D 프린팅 시공에 적합한 **재료 개발 및 성능 인증**

■ 차별성 확보 방안

○ **설계/시공/재료/장비/인증 등을 통합**하는 건축분야 3D 프린팅 기반 신기술 개발

- 3D 프린팅 건설기술은 장비기술이 아닌 **설계, 시공, 재료, 장비, 인증, 지침, 제도 등이 통합된 새로운 형태의 신기술**

○ 법/제도/지침 등의 보완을 통한 **생태계 조성으로 민간 기술개발 선도**

- **민간**이 주도하기에는 각종 **지침, 규제, 성능인증 등에 한계**
- 정부 주도의 3D 프린팅 건설 애로기술 개발 선도를 통해 **민간기업 기술 지원 및 이전**

(4) 1단계 사업(선행연구사업)과의 차별성

■ 연구 결과물의 차이

○ (출력물 대상 및 규모) 1단계 사업은 수직골조부재에 한정되어 출력되었으며, 100㎡ 건축면적의 단층임
동 사업은 수직/수평 골조부재 등 건축물의 전체적인 부분을 3D 프린팅을 활용하여 출력할 계획이며, 100㎡ 건축면적의 복층 이상의 규모를 목표로 함

○ (출력장비) 1단계 사업은 고정형 장비인 Gantry 형 1대로 운용하였음.
동 사업은 출력물의 형태 및 규모에 구속받지 않고 출력이 가능하도록 고정형 및 이동형 장비를 개발하고, 복수 이상의 장비를 원활하게 운용할 수 있는 최적화된 장비운용관리기술도 개발할 예정

○ (부재별 출력방식) 1단계 사업은 고정형 장비 1대로 On-site 중심으로 한정
동 사업은 부재의 용도에 따라 On-site, Off-site 분할 시공이 가능하고, 각 분할 방식에 적합한 부재를 선정하여 진행할 수 있도록 개발예정

<표 III-32> 1단계 사업과의 차별성

구분		결과물(예상)	
		1단계 사업	동 사업
대상	기초	X	Hybrid
	수직골조	△ (형상)	성능확보(구조, 단열, 방수, 방음, 내진)
	수평부재	X	성능확보
	내외장재	△ (형상)	성능확보
	단열,설비	X	Hybrid
	지붕	X	Hybrid
	인테리어	X	Hybrid
장비		고정형 Gantry	고정형 Gantry(Off-Site 시공) + 이동형 장비(On-site 시공) + 복합재료 출력장비 등
규모		30평형(100㎡)	30평형 복층 이상 시공
부재별 출력방식		On-Site 중심	용도에 따라 On-Site, Off-Site 분할 시공
			Off-Site 시공 : 내외장재, 현장대응부재, 수평부재 등 On-Site 시공 : 수직골조
재료배합/이송장치		Off-Site 중심	On-Site 대응 장비 개발

2) 관련 정부R&D 투자 현황

■ 관련 정부R&D 투자 현황 분석을 위해 3D 프린팅 기반 건설/건축 분야 기술개발 관련 유사과제 도출・분석

○ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 활용하여 유사키워드 검색으로 3D 프린팅 기반 건설/건축 관련 분야의 '17～'21년 종료/수행 유사과제를 도출

- NTIS를 활용하여 도출된 기존과제('17～'21년)의 연구과제명, 연구목표, 연구내용, 기대효과, 키워드를 동 사업과 비교하여 총 64건의 관련 과제를 분류

<표 III-33> 관련 유사과제의 도출

키워드 검색	⇒	연구 제목에 따르는 키워드 선정	⇒	최종 관련 과제 분류 (총 64건)
유사과제검색		연구과제 ⇒ 연구목표 ⇒ 연구내용 ⇒ 기대효과		

○ 관련 과제의 분류 결과 매년 10건 이상의 관련 기술개발 과제가 수행되었으며, 3D 프린팅 기반 건설/건축 기술 분류별로는 시공/관리 관련 기술개발 과제가 50%로 가장 비중이 높았음

- 장비 관련 기술개발 과제 비중은 31.3%, 재료 관련 기술개발 과제 비중은 18.8%

<표 III-34> 3D 프린팅 기반 건설/건축 분야 기술 분류별 과제수(2017-2021)

(단위: 건)

구분	2017	2018	2019	2020	2021	합계
시공/관리	5	5	5	9	8	32
재료	3	2	3	1	3	12
장비	3	5	4	4	4	20
합계	11	12	12	14	15	64

○ 부처별 과제 비중은 국토교통부가 35.9%로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 과학기술정보통신부 29.7%, 교육부 25.0% 순

- 이외에 중소벤처기업(7.8%)부와 산업통상자원부(1.6%)에서 3D 프린팅 기반 건설/건축 기술개발 과제를 수행

<표 III-35> 부처별 3D 프린팅 기반 건설/건축 분야 수행 과제수(2017-2021)

(단위: 건)

부처명	2017	2018	2019	2020	2021	합계
국토교통부	3	3	4	7	6	23
과학기술정보통신부	4	3	4	3	5	19
산업통상자원부	1	-	-	-	-	1
중소벤처기업부	-	2	1	1	1	5
교육부	3	4	3	3	3	16
합계	11	12	12	14	15	64

■ 최근 5년간('17~'21년) 3D 프린팅 기반 건설/건축 분야 정부R&D 투자 규모는 201억 원 수준

○ '17년 이후 투자규모는 증가 추세로 최근 5년간 3D 프린팅 기반 건설/건축 분야 정부R&D 투자는 연평균 40억 원 수준

※ 2021년 투자규모의 경우, 일부 수행 중인 과제의 누락 가능성이 있음

<표 III-36> 3D 프린팅 기반 건설/건축 분야 정부R&D 투자 현황(2017-2021)

(단위: 백만원)

연도	2,017	2,018	2,019	2,020	2,021	합계
정부R&D 투자액	2,022	3,791	4,653	5,779	3,855	20,100

○ 3D 프린팅 기반 건설/건축 분야 기술개발 정부R&D 투자는 개발연구를 중심으로 투자 중

- 개발연구가 68.6%로 가장 높은 비중을 차지하며, 기초 연구 비중은 26.9%

<표 III-37> 연구개발 단계별 정부R&D 투자 현황(2017-2021)

(단위: 백만원, %)

구분	2017		2018		2019		2020		2021		합계	
	투자액	비중	투자액	비중	투자액	비중	투자액	비중	투자액	비중	투자액	비중
기초연구	524	25.9%	687	18.1%	1,035	22.2%	1,675	29.0%	1,490	38.7%	5,411	26.9%
개발연구	1,148	56.8%	2,984	78.7%	3,465	74.5%	3,884	67.2%	2,309	59.9%	13,790	68.6%
응용연구	350	17.3%	120	3.2%	154	3.3%	220	3.8%	56	1.5%	900	4.5%
합계	2,022	100.0%	3,791	100.0%	4,653	100.0%	5,779	100.0%	3,855	100.0%	20,100	100.0%

○ 부처별 투자규모에서는 국토교통부가 최근 5년간 투자액의 68.7%인 138억 원을 개발연구 중심으로 투자

- 반면 과학기술정보통신부와 교육부는 각각 47억 원(23.6%), 6억 원(3.4%)을 기초연구 중심으로 투자

<표 Ⅲ-38> 부처별 정부R&D 투자 현황(2017-2021)

(단위: 백만원)

부처명	연구단계	2017	2018	2019	2020	2021	합계
국토교통부	기초연구	50	-	115	405	210	780
	개발연구	708	2,869	3,441	3,696	2,101	12,815
	응용연구	-	-	-	220	-	220
소계		758	2,869	3,556	4,321	2,311	13,815
과학기술 정보통신부	기초연구	370	500	770	1,130	1,179	3,949
	개발연구	50	61	-	-	-	111
	응용연구	350	120	154	-	56	680
소계		770	681	924	1,130	1,235	4,739
산업통상자원부	기초연구	-	-	-	-	-	-
	개발연구	390	-	-	-	-	390
	응용연구	-	-	-	-	-	-
소계		390	-	-	-	-	390
중소벤처기업부	기초연구	-	-	-	-	-	-
	개발연구	-	54	24	188	208	474
	응용연구	-	-	-	-	-	-
소계		-	54	24	188	208	474
교육부	기초연구	104	187	150	140	101	682
	개발연구	-	-	-	-	-	-
	응용연구	-	-	-	-	-	-
소계		104	187	150	140	101	682
합계		2,022	3,791	4,653	5,779	3,855	20,100

6. 시사점

환경 분석 결과 주요 이슈	시사점
국내외 정책 동향 o 해외 - 주요 선도 국가 중심으로 제조 등 산업 경쟁력 강화를 위해 3D 프린팅을 활용한 종합전략을 추진 중 - 차세대 생산기술, 자동화・최적화 등의 기술로 활용 o 국내 - 3D 프린팅 산업의 국가 혁신성장동력으로써 산업현장 활용 확대를 통한 기술 확산의 변곡점 마련, 산업기반 고도화 등을 위한 첨단기술 산업육성화 정책 추진 중	o 3D 프린팅 기반 첨단기술을 활용한 산업기반 고도화 - 4차 산업혁명 대응 자동화・최적화 등 첨단기술 기반 건축 생산성의 향상
국내외 시장·산업 동향 o 해외 - 중동지역과 APAC 지역 건설 붐으로 인한 3D 프린팅 기반 건축/건설 시장의 성장 가속화 전망 - 특히 전 세계적 도시인구 증가와 신규 건축물 수요의 증가로 3D 프린팅 기반 건축분야 성장 가속화 전망 o 국내 - 정부 산업육성 정책 확대 및 응용산업군 수요 확산에 따라 지속적으로 3D 프린팅 산업은 확대 추세 - 그러나 건축/건설 분야 국내 매출액 비중은 2020년 기준 3.4% 수준에 불과	o 혁신성장동력으로서의 3D 프린팅 기반 산업의 육성 - 도시인구 증가 및 신규 건축물 수요 증가에 따른 3D 프린팅 기반 건축분야 성장 가속화 전망 등 신산업 창출 및 성장동력화
국내외 기술 동향 o (해외) 미국 및 유럽과 중국, 러시아 중심으로 건축 3D 프린팅 연구 활발 및 건축물 시공 사례 증가 추세 - (규모) 복층 이상의 대형 장비 기반 대형 건축물 시공 - (재료) 적층 3D 프린팅 재료로 콘크리트 선택 및 개발 중 ※ 비정형 철근보강형 3D 프린팅 콘크리트 등 복합구조체 개발 o (국내) 갠트리 방식의 3D 프린터 기반 단층 규모 100㎡ 규모 건축물 콘크리트 골조 출력 성공 - 복층구조 및 대형화 중심의 장비, 재료, 설계, 시공기술 개발 중	o 복층 이상 대형 건축물 시공으로의 3D 프린팅 기반 기술의 확대 - 3D 프린팅 기반 복합구조체 기술의 개발 및 적용 등 건축 패러다임 변화
기술수준 및 특허분석 o (기술수준) 2020년 기준 장비・소재 분야 67.5%, 소프트웨어・활용 기술 분야 70.0% 수준 - 3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템 개발에서 국내 관련 연구 전무 - 비정형 철근보강형 3D 프린팅 콘크리트 등 복합구조체 개발 분야는 민간 중심의 연구 초기단계로 관련 연구 전무 o (특허) 국내 시장 성장가능성은 높은 수준이나, 건축/건설 분야 기술의 개발은 타국에 비해 많이 이루어지지 않은 것으로 확인됨 - 다만 건축 분야에서는 시공방법이나 시공장비에 대한 특허 출원이 비교적 활발하게 이루어지고 있음	o 주요 선도국 대비 낮은 건축 분야 3D 프린팅 기반 기술 - 핵심기술 분야에서의 기술개발 및 관련 연구는 전무하며, 민간 중심으로 초기 시작단계
유사사업 분석 o 3D 프린팅 기반 건설/건축 분야 기술개발만을 목표로 추진된 단일 R&D 사업은 없는 것으로 파악 - 다만 국토교통부 도시건축연구 사업을 통해 과제 단위에서 건축물 3D 프린팅 기반 기술개발 연구 수행	o 선행 과제 성과를 연계하는 사업 단위 R&D로의 확대 추진을 통한 기술고도화 - 설계, 재료, 장비의 기초 원천기술 및 수직골조 시공기술의 확장・고도화

3절 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 수요조사

1) 1차 기술수요조사

■ 조사개요

○ 지원대상 기술 발굴을 통한 과제 기획을 위해 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원, 관련 학회, 산·학·연 등의 추천을 받은 건설 및 3D 프린팅 분야 전문가를 대상으로 실시

<표 III-39> 기술수요조사 개요 및 결과

구분	내용
목적	- "3D 프린팅 기반 사용자 맞춤형 건설 자동화 기술 개발" 과제의 기획을 위한 지원대상 기술의 발굴
대상	- 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원, 관련 학회, 산·학·연 등의 추천을 받은 건설 및 3D 프린팅 분야 전문가
조사기간	- 2021. 5. 10. ~ 2021. 5. 30. (3주)
조사방법	- 전자우편 송부 및 회신
조사항목	- 기술분류 - 기술의 개요 - 필요성 - 연구개발 목표 - 연구내용 - 산출물 - 기대 및 파급효과 - 예상 과제규모 - 제안자 인적사항 - 2단계 본 과제 참여의향 (기업대상)
설문회수율	- 87.5% (총 48부 중 42부 회수)

■ 조사 결과

○ 3D 프린팅을 통한 출력물의 규모 확장과 이를 위한 시공기술 및 장비 기술, 재료의 다양성 및 품질확보 등에 관한 기술개발 수요가 높게 나타남

- 3D 프린팅 건축장비 고도화 기술 관련 수요가 31.0%로 가장 높게 나타났으며, 3D 프린팅 건축 품질 및 관리기술(21.4%), 3D 프린팅 건축 시공기술(19.0%) 등이 주요 기술개발 필요 분야로 나타남

- 그 밖에 3D 프린팅 재료 성능 고도화 관련 기술(16.7%), 3D 프린팅 장비 정밀 제어 기술(11.9%) 등에 대한 수요도 높은 것으로 나타남

<표 III-40> 연구개발 주 활용분야

주 활용분야	내용	비중
3D 프린팅 건축 시공기술	o 3D 프린팅 기반 수평부재(슬라브, 보, 지붕 등) 출력 및 시공 o 3D 프린팅 기반 기존 주택 성능 확보(방음/단열/방수/내진/내화 등))를 위한 시공 o 3D 프린팅 기반 구조보강(내력벽, 기둥 등)을 고려한 구조재 출력 및 시공 o 대형 건축물 시공을 위한 3D 프린팅 최적 출력 패스 생성	19.0%
3D 프린팅 재료 성능 고도화 및 평가기술	o 3D 프린팅 기반 품질 확보를 위한 수평부재 재료 개발 o 3D 프린팅 적층 재료 부착성능 평가 및 강화 o 3D 프린팅 출력 부재 내구성 및 내화성 강화 및 평가 o 3D 프린팅 압출재료의 물성제어 및 재료물성 모니터링 o 3D 프린팅 기반 건축부재 대상별 품질 확보를 위한 출력 재료 최적 배합	16.7%
3D 프린팅 건축 품질 및 관리기술	o 3D 프린팅 기반 현장 시공 무인 모니터링 o 3D 프린팅 최적 건축관리(공정, 원가, 품질) o 3D 프린팅 기반 폐기물 저감 o 3D 프린팅 기반 주거가능한 건축물 시공을 위한 법/제도(인증) 개선	21.4%
3D 프린팅 건축 장비 고도화 기술	o 현장 복층 출력 가능한 이동형 3D 프린팅 장비 o 시공/철거/재활용이 용이한 3D 프린팅 노즐 장치 개발 o 표면 평탄화 자동화 기술 o 3D 프린팅 장비 클리닝 시스템	31.0%
3D 프린팅 장비 제어 고도화 기술	o 3D 프린팅 출력 재료 정량 압출 제어(정밀제어) o 이종 재료 출력 및 출력속도 향상을 위한 3D 프린팅 멀티 노즐 제어 o 자유형상 대응 최적 시공을 위한 3D 프린팅 노즐 개폐 자동화	11.9%
계		100%

2) 2차 기술수요조사(민간기업 중심)

■ 3D 프린팅 기술에 관심도가 높고, 활용에 대한 적극성이 높은 민간기업을 대상으로 2차 기술수요조사를 실시

○ (목적) 현재 3D 프린팅 기술로 해결이 필요한 부분(요구 상품 및 적용대상), 현재 1단계 연구과제 수행 중인 한국건설기술연구원과의 협업 필요사항과 요구사항, 2단계 연구과제 참여의사를 조사

○ (대상) 기수행 중인 건축 3D 프린팅 연구단(1단계 연구사업)에 개발기술의 활용 및 수요에 대한 요청/문의 기관과 기업, 1차 조사 회신 민간기업 등 대상

○ (조사방법) 설문조사 및 직접 대면회의 실시

○ (회신결과) 총 16곳에서 회신

- 지자체 2곳, 공공기관 3곳, 군부대 2곳, 대기업 3곳, 중소기업 7곳 등

○ (조사결과)

- 3D 프린팅 건설기술 인허가 및 제도개선, 사업성 문의, 해외 대비 국내의 기술력, 실용성이 확보된 장비 및 재료 개발 필요
- 특히, 각 분야별 적용하고자하는 시설물 대상으로 현재 기술의 적용 가능여부 및 경제성 분석 등에 관한 자료 요청이 많았음
- 2단계 연구시 테스트베드 지원, 장비/재료 등 기술이전 여부, 3D 프린팅 기술 기반 벤처 창업 여부 등 다양한 의견과 문의가 있었음

<표 III-41> 참여의향 리스트

참여의향 기업명	참여의향 분야	비고
울산시청	2단계 연구사업 참여 요청	3D 프린팅 주택시공
충남테크노파크	규제 샌드박스에 3DP 건축시공 협력	공동연구 요청
아키플랜트	3D 프린팅 적용 모듈러 형태 제작관련 기술 개발	2단계 연구사업 참여 요청
자연과환경	기존 PC를 대체할 수 있는 3D 프린팅 기술 개발	2단계 연구사업 참여 요청
컨셉션	기존 철근을 대체할 수 있는 GFRP 적용 기술 개발	2단계 연구사업 참여 요청
현대하이시스	-	3D 프린팅 재료 적용 협의 희망
삼성물산	-	재료적용 협조 관련 협의 희망
NH	-	재료적용 협조 관련 협의 희망
현대건설	-	재료적용 협조 관련 협의 희망

<표 Ⅲ-42> 2차 수요조사 결과 (참여희망 및 기술이전 희망, 테스트베드 협조 등)

구분	대상기관명	조사 결과	기타 사항
지자체	고양시	- 인허가문제 해결 필요	소형 어린이 도서관 시공 문의
	울산시청	- 인허가문제로 해결 필요 - 2단계 사업 참여 요청	3D 프린팅 주택시공 요청
공공기관	서울기술연구원	- 소각재 활용 Binder Jetting&FDM 방식 3D 프린팅 건축 블록 제작기술 개발 필요	
	SH공사	- 3D 프린팅 시험주택 시공 관련 경제성 분석 자료 필요	
	충남테크노파크	- 규제샌드박스에 3DP 건축시공 협력 - 2단계 사업 공동연구 요청	
군부대	해병대	- 급속시공 기술을 통한 군시설 시공 필요 - 기술협력 MOU 체결 예정('21.10)	
	육군	- 육군 임시시설 및 참호 등의 시공에 3D 프린팅 기술 적용	
대기업	삼성물산	- 3D 프린팅 기술 개발 시 재료적용 협조관련 협의 희망	
	NH	- 3D 프린팅 기술 개발 시 재료적용 협조관련 협의 희망	
	현대건설	- 3D 프린팅 기술 개발 시 재료적용 협조관련 협의 희망	3D 프린팅 벤치 출력을 위한 조달청 단가 관련 자문
중소기업	에덴21	- 3D 프린팅 핵심기술이전 및 구조물 시공 희망	
	더블유원	- 3D 프린팅 건축물 시공기술 이전 희망	
	아키플랜트	- 3D 프린팅 적용 모듈러 형태 제작관련 기술 개발	
	현대하이시스	- 3D 프린팅 재료 적용에 대한 협의 희망	
	한일에코산업	- ME방식 3D 프린터를 활용한 콘크리트 2차제품 출력성 검토 필요	
	자연과환경	- 기존 PC를 대체할 수 있는 3D 프린팅 기술 개발 - 2단계 사업 참여 요청	
	컨셉션	- 기존 철근을 대체할 수 있는 GFRP 적용 기술 개발 - 2단계 사업 참여 요청	

3) 전문가 자문회의

(1) 1차 자문회의

■ 민간기업 대상 3D 프린팅을 활용한 출력 가능한 목표 대상물 검토 및 연구내용, 3D 프린팅 기술 적용 대상 등 자문

○ 목표 대상물에 대한 검토

- 현실적인 시장성 확보를 위해 주택이나 오피스보다는 **홍보관, 전시관, 박물관 등 비정형 랜드마크성 건물, 단지**를 대상으로 하는 것이 필요
- **거푸집 설치가 어려운 구조물의 정교한 시공**(맨홀 바닥면 시공, 옹벽, 지하차도, 외벽 대형 문양 시공)이 필요한 부분을 고려하는 것도 추천
- 본관 외에 경비동, 사무동, 화장실, 울타리(펜스) 등 **통일성을 유지하면서 서로 다른 크기와 형태**로 설계, 제작하여 하나의 Complex를 3D 프린팅으로 제작하는 것을 추천
- 건물 내부의 조형물, 조형 기둥 및 벽체(아트월), 비내력벽(조적벽)을 3D 프린팅으로 대체하여 생산성 및 경제성 향상 추구

○ 추가 검토 및 요구되는 연구내용

- **재사용 가능한 콘크리트 재료**의 개발 및 적용 또는 황토와 같은 **친환경 소재를 활용**하여 출력하는 것에 관한 연구 필요
- 실내에서 운용이 가능한 **소형 3D 프린팅 기술** 개발 필요
- 실내 비내려벽 출력가능한 장비 필요, 실내 비내력 조형 기둥의 출력, 로비의 조형적 요소가 높은 디자인 구조물 출력 등 실내에서 소규모 출력기술이 활용될 가능성이 높음
- **건식 재료 배합 장치를 통한 배치 플렌트 이동 문제 해결**
- 굵은 골재를 사용하지 않을 경우 **필요한 강도를 어떻게 확보**할 수 있을지, 또는 이로 인한 **단가 상승문제 해결방안의 검토**
- **3D 프린팅 건축물 철거 시 재료를 재활용할 수 있는 방안**
- 1회성, 단발성, 가설 구조물의 강점을 살릴 수 있는 방안 확인
- 1단계 연구과제 T/B 중 부산 EDC 홍보관 같은 **새로운 시장의 개척 가능성을 보여주는 사례** 필요



[그림 Ⅲ-38] 1차 자문회의

(2) 2차 자문회의

■ 학계와 산업계 종사 전문가 대상의 본 기획과제 검토 및 자문

○ 연구목표, 대상, 규모, 목표, 연구내용, 주요성과, 예산, 연구기간, 민간연구와의 차별성 등에 대한 검토 및 추가적인 의견에 대한 자문 실시

- 온라인과 오프라인 병행

■ 연구목표 및 대상, 규모목표 검토

○ T/B 대상 건축면적 300㎡으로 선정한 것에 대한 적합성 논의 필요

○ 3D 프린팅 기반 2층 이상의 주택건설은 국외에서 성공한 사례가 나오고 있는 현 상황에서 제안한 연구목표가 **선진기술과 차별화가 되어 있지 않음**

- 이를 위해 국외 사례 중 적용되지 않고 해결되지 않은 요소기술을 나열하고 그 **해결과정에 필요한 사항들을 연구목표에 제시**하는 것이 필요

○ 기존 시공프로세스 대비 인력 및 공기에 대한 단축효과는 충분

- 그러나 시공 장비로 인한 경제적인 요인과 적층구조에서 발생할 수 있는 **구조재료의 내구성능 확보 등과 관련한 구체적인 성능목표 제시**가 있어야 할 것으로 판단됨

○ 재료성능을 인장강도로 설정하는 것보다 **압축강도, 부착강도, 휨강도** 등 **다른 구조적 기준을 제시**하는 것이 필요

○ 주거성능과 경제성 요소에 대한 고려를 기술적 해결의 가능성으로 접근하여 판단할 필요가 있음

■ 연구내용 및 주요성과 검토

○ 건축면적 300㎡ 2층 이상 철근콘크리트 구조 시공기술 확보를 위한 **구조 설계, 부재 단위별 구조성능 검토와 구조부재에서 필수적인 보강재 적용 방법 개발에 대한 연구내용의 추가** 필요

○ 1세부의 관리 기술 및 공정관리 시스템과 3세부의 프린팅 장비 개발간의 유기적인 협조 필요

※ 예) 프린팅 장비의 모든 기록과 운영제계가 통합관리 시스템과 상호 연동되는 시스템 모듈 등의 개발

- 기존 건설공정에서 관리는 자재, 각 공정의 결과와 공기 등의 통합관리가 주된 대상이었으나,

- 3D 프린팅의 경우 실시간 모니터링 및 제어가 가능하므로 장비 통합 운용계획 및 시스템 관리 측면에서 유기적인 연구개발 필요

○ 현재 연구기획 단계에서는 콘크리트 구조물의 일체화에만 국한되어 있으나 건축 **구조물 분할(기둥, 거더, 슬래브, 벽체) 제작도 검토**

○ 3D 프린팅 건설의 최대 장점인 비정형 부재제작의 경우 꼭 구조물이 아닌 **인테리어 조형물(콘크리트 벤치, 건축물 외장재 등)에도 적용 필요**

○ 시스템의 긴결성 확보를 위한 **인장보강재 선정 및 시공방법**에 대한 고려

○ 데이터 생성 및 관리를 통한 AI기법 도입에 대한 연구내용 고려가 필요

■ 민간연구와의 차별성 검토

○ 민간의 경우 가장 중요한 장비와 제도에 대한 연구는 미비

- 대부분 기존의 장비를 이용하여 콘크리트 재료로 3D 조형물 또는 샘플 주택시공을 하는 수준에 머물러 있음

○ 민간 니즈와 당면하고 있는 문제점에 대한 정확한 인식을 바탕으로 당해 연구를 통해 해결할 수 있는 방안을 모색하는 것이 바람직할 것으로 판단됨

■ 예산 및 연구기간 적합성 검토

○ 과제의 규모 및 예산부분에서 국내의 **3D 프린팅에서 장비부분의 연구개발이 더 많이 진행되어야 할 필요성**이 있음

- 장비의 비중이 커져야 할 것으로 판단이 됨

○ 적절한 규모이나 민간참여 개발 참여 유도 방법 필요



[그림 Ⅲ-39] 2차 자문회의

2. 사업 도출과정

1) 사전조사 및 분석 결과

■ 국내외 동향분석 및 수요조사를 통해 현안진단 결과, 3개의 주요 이슈 도출

<표 III-43> 문제이슈 도출 방법 및 내용

[주요 동향분석]

시장	o 3D 프린팅 기반 글로벌 건축/건설 시장 성장 가속화 전망 - 건축 분야 연평균 268.7% 성장 전망
산업	o 복합 건축물 개발 수요에 따른 3D 프린터 기반 건축시장의 성장 - 비용, 시간, 건축 폐기물, 운반비용의 절감 등으로 인한 기술활용 가능성의 가속화
기술 동향	o 미국 및 유럽, 중국, 러시아 중심의 3D 프린팅 기반 건축물 시공 사례 증가 - 복층 이상의 대형 장비 기반 대형 건축물의 시공
기술 수준	o 3D 프린팅 장비·소재 분야 최고기술국 대비 67.5% 수준(2020) - 3D 프린팅 기반 다기능성 건설 시스템 개발, 복합구조체 개발 등 관련 연구 국내 기반 전무
한국 특허 출원 동향	o 건축/건설 분야에만 특화된 특허출원은 다소 미비

[수요조사 결과]

수요 조사	o 높은 건축장비 고도화 기술 수요 - 품질 및 관리 기술, 시공기술 등도 수요가 높게 나타남 o 인허가 및 제도개선, 사업성이 확보된 장비 및 재료 개발에 대한 기업 수요 확인

+

[정책동향]

국내 정책	o 제4차 과학기술기본계획
	o 제3차 건축정책기본계획
	o 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획
	o 제6차 건설기술진흥 기본계획
	o 3D 프린팅 산업 발전전략
	o 프린팅 전략기술 로드맵
근거 법령	o 국토교통 과학기술육성법 제8조
	o 건축기본법 제11조
국정 운영 계획	o 34번.「고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성」 - 3D 프린팅 등 첨단기술 산업 육성을 위한 R&D 및 실증 지원

+

[해외 정책동향]

	o 자국 산업의 경쟁력 강화를 위한 3D 프린팅 활용 종합전략 추진 - 3D 프린터 활용 등 첨단제조업 육성 - 3D 프린팅 핵심기술·장비 개발과 테스트 및 산업화
	o 응용산업별 3D프린팅 기술의 활용 확산 위한 부처별 3D 프린팅 R&D 확대
	o ICT와 기계산업, 3D 프린팅 융합을 통한 생산과정 자동화·최적화 구현 추진
	o 국가 첨단 기술 연구 및 개발 프로그램에 3D 프린팅을 미래 핵심기술로 선정
	o 3D 프린팅 산업기반 조성 및 R&D 투자를 통한 핵심기술 확보 추진

[주요 이슈]

3D 프린팅 기반 건축분야 첨단기술 활용 자동화·최적화 구현
건축분야 3D 프린팅 기반기술 확보를 통한 신산업 창출
건축분야 정부주도 3D 프린팅 선도기술 확보 R&D 추진

2) SWOT 분석

■ SWOT 분석을 통한 사업 추진방향의 도출

○ 국내외 건설 3D 프린팅 관련 기술개발 및 정책, 시장 동향 기반의 SWOT 분석 실시

- 내부 환경에서의 강점(Strength), 약점(Weakness)과 외부 환경에서의 기회(Opportunities), 위협(Threats) 요인을 도출

<표 III-44> SWOT 분석

내부환경 / 외부환경		강점(S)	약점(W)
		o 국내 3D 프린팅 시장 급속한 성장 전망 o 정부 주관 3D 프린팅 관련 R&D정책 추진 활성화 o 국내 건설산업 내 스마트 건설 기술 개발 및 적용의 확대 o 1단계 연구사업을 통한 3D 프린팅 기반 수직골조 구조체 출력 기술력 확보	o 선진국 대비 건설산업 내 3D 프린팅 수요에 대한 시장형 미흡 o 3D 프린팅 기반 건축물 인허가 사례 전문 o 주요 선진국 대비 3D 프린팅 기반 건축물 출력 사례 부족 o 관련 소프트웨어 개발 미흡으로 인한 기성제품 의존 o 선진국 대비 건축산업 내 활용 분야 부족
기회(O)	o 건설산업에서의 4차 산업혁명 기술의 적용 관심도 상승 o 건설산업 내 신기술 도입에 대한 긍정적인 사고전환 추세 o 건설 3D 프린팅 글로벌 시장의 지속적 성장 o 민간기업에서의 3D 프린팅 기술에 대한 높은 관심 및 활용의 적극성 o 3D 프린팅 규제 샌드박스 제도 적용시도 및 점진적 확대	**[SO전략]** o 국내 건설 3D 프린팅 기술에 대한 높은 관심도에 부응하기 위한 원천기술 개발의 확대 o 3D 프린팅 기반 건축 구조체 출력 기술력을 활용한 대상 확대 및 글로벌 시장 진입	**[WO전략]** o 민간시장의 관심 및 정부지원의 적극성 반영으로 건축 3D 프린팅 시장 확장 및 기술 활용 o 제도 완화 및 R&D 사업 추진의 활성화를 통한 3D 프린팅 기반 건축물 인허가 사례 확보
위협(T)	o 글로벌 건설시장 내 3D 프린팅 건축물 시장 형성 및 활성화 o 지속적으로 커지는 해외 선진기업들과의 기술 격차 o 선진국 내 3D 프린팅 기술 기반 건축 인허가 사례 증가 o 3D 프린팅 원천기술 특허장벽으로 장비, 소재 등 기술개발 제한	**[ST전략]** o 건축 구조물 출력 사례 확보를 통한 해외 선진기업과의 기술 격차 축소 및 글로벌 시장 진입 o 스마트 건설기술 융·복합을 통한 글로벌 건설 3D 프린팅 원천기술 선점	**[WT전략]** o 3D 프린팅 출력 사례 확보를 통한 글로벌 시장 진입 및 선점 o 건축 3D 프린팅 관련 소프트웨어 개발을 통한 관련 분야 글로벌 시장 선점

3) 세계 선도기술과의 차별성

■ 세계 선도기술과 국내 기술수준과의 비교를 통한 차별화된 목표설정

○ 현재 건축 3D 프린팅 분야 세계 선도기술의 설계/시공기술, 수평/수직 규모, 재료성능, 장비 등 주요 내용과 함께 향후 5년 뒤의 나타날 결과 내용을 예상하여 목표설정

○ 각 부문별 목표는 현재 세계 선도기술의 내용을 통해 향후 5년 뒤 예상 결과물과 차별성 있고 우위를 선점할 수 있는 것을 고려하되, 현재 국내 기술수준에서 5년 뒤 발전 가능한 수준을 고려하여 최종 목표를 설정함

○ 국외 선도기술을 보유한 기관들은 건축 3D 프린팅의 상세한 시공과정과 방법, 재료 혼합 및 정량 압출장치, 콘크리트 재료의 배합비 및 혼화제, 장비 운용 소프트웨어, 장비 설치 및 해체 방법 및 비용 등이 비공개로 정확한 비교는 어려움

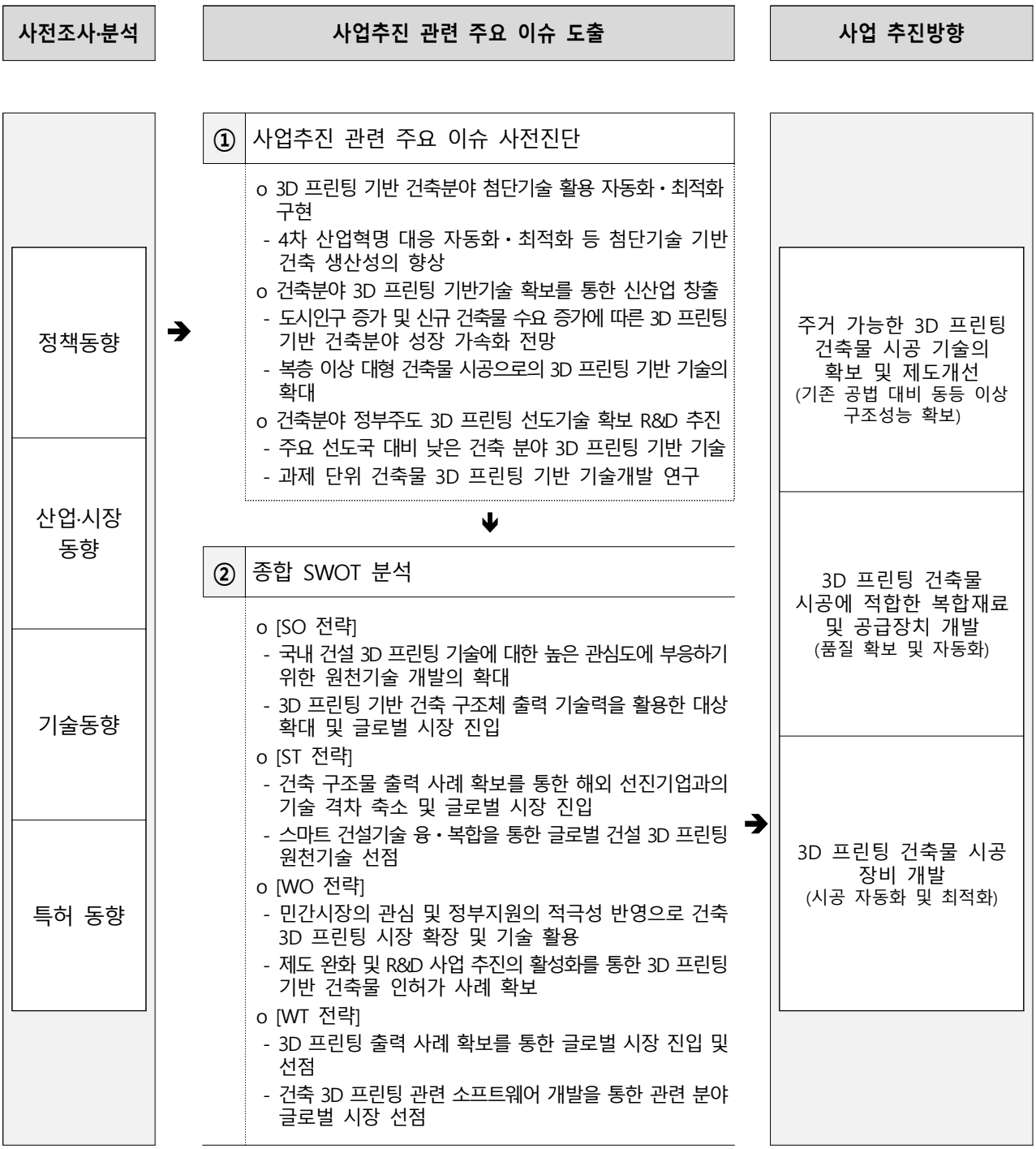
○ 다만, 완전한 3D 프린팅 시공을 위한 다양한 배경기술 미 안전한 성능은 필요한 것으로 판단되기에 부문별 설정된 목표를 다음 그림과 같이 제시함

	세계 선도기술	국내기술수준	'27년(종료)
설계/시공기술	인허가 완료, 단층 주택	수직골조, 시험주택	구조,단열,차음 등 성능 확보된 복층이상 주택
수평규모	132㎡ (러시아, Apis-cor)	100 ㎡ (30평) (가로 10M 세로 10M)	300 ㎡ (100평)+ α (이동성 강화로 현장설치 시간 감소)
수직규모	6층 (중국, WINSUN, 공장출력 후 조립방식)	1층 (최대 높이 3M, 현장 시공)	2층 (최대 높이 6M, 현장/공장 시공)
재료성능	압축강도 52MPa (독일, COBOD)	압축강도 66MPa (세계 최고수준)	인장강도 확보 (세계 최고수준)
장비타입	크레인타입 (러시아, Apis-cor)	겐트리타입 (가로 14M, 세로 12M)	겐트리타입 +크레인타입
출력속도	초당100cm (독일, COBOD)	초당 40cm	초당 40cm 이상 (멀티노즐 포함)
TRL	TRL 7	TRL 5~7	TRL7 이상

4) 중점분야(세부과제) 도출

■ 사업추진 관련 주요 이슈 도출

○ 사전조사・분석을 통해 사업추진 관련 주요 이슈를 사전 진단하고 사업 설계를 위한 주요 이슈 도출

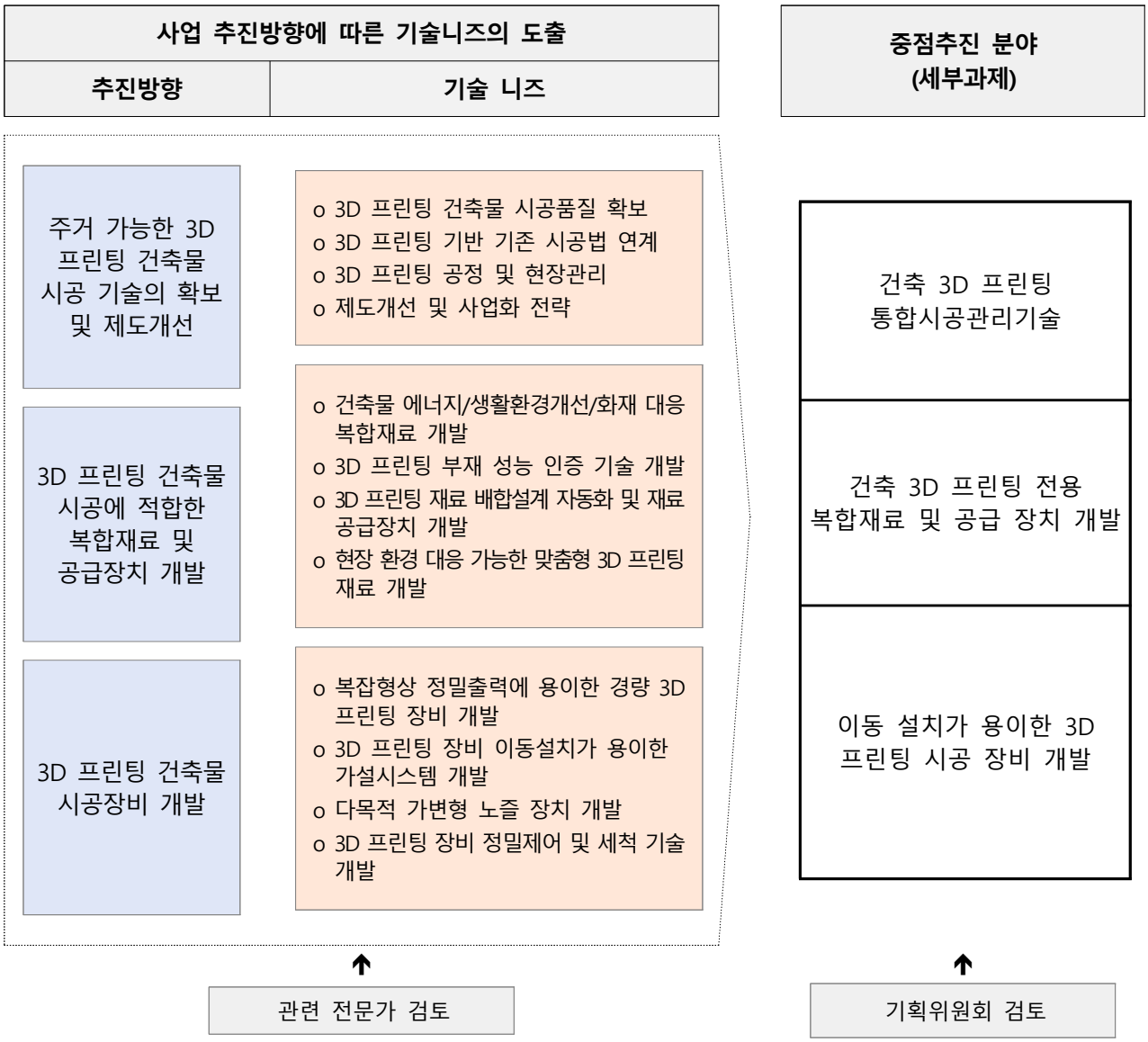


[그림 Ⅲ-40] 사업 추진방향

■ 추진방향의 검토 및 중점추진 분야의 도출

○ 3D 프린팅 관련 건설/건축 분야 전문가 의견 수렴을 통해 동 사업에서 R&D를 통해 개발해야 하는 방향성을 검토

○ 검토된 방향성을 기반으로 기술수요조사 등의 기술니즈를 고려하여 중점추진 분야(세부과제)를 도출하고 기획위원회 검토를 통해 확정

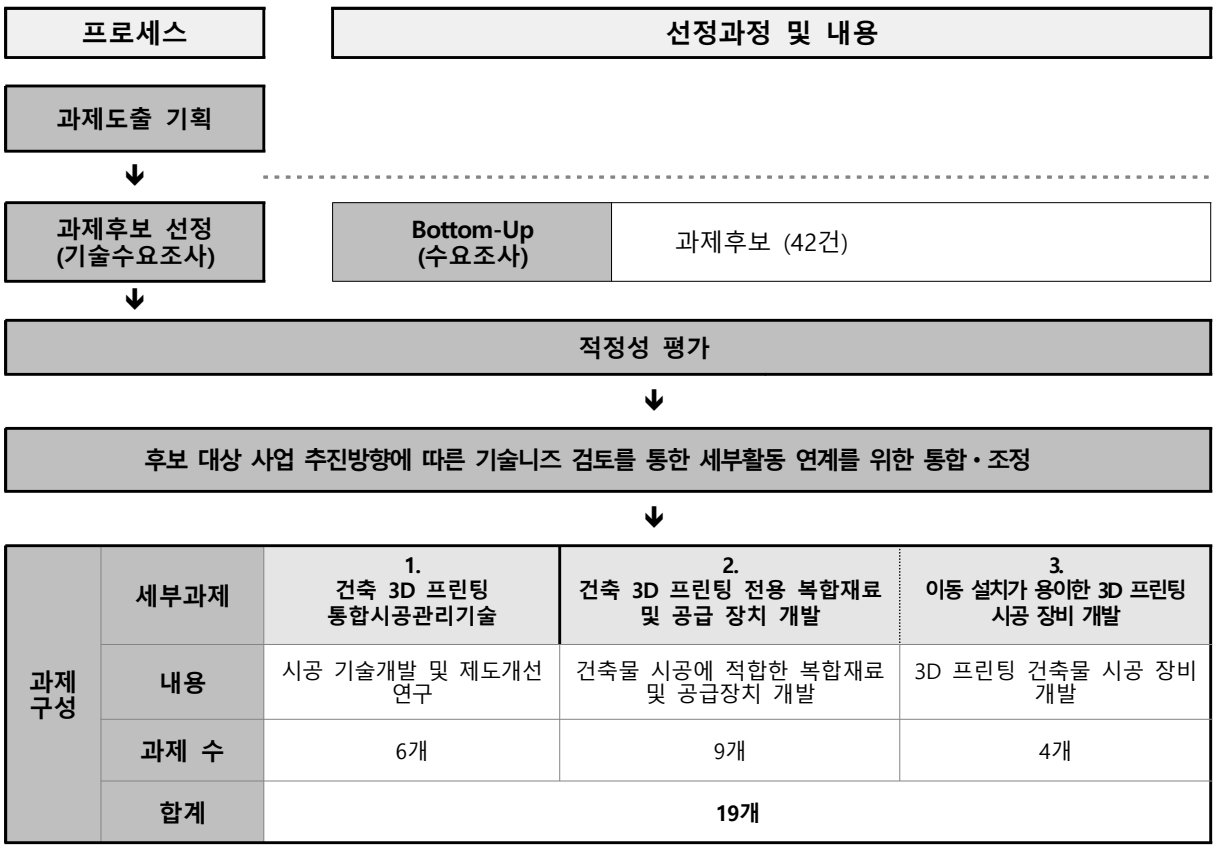


[그림 III-41] 세부과제의 도출

5) 세세부과제 도출과정

■ 도출 개요

○ 사업 추진방향에 따른 기술니즈에 따라 관련 전문가 및 기획위원회 검토를 통해 도출된 세부과제별 기술수요조사의 적정성을 평가하고, 유사분야 통합·조정을 거쳐 세세부과제를 구성



과제 구성	세부과제	1. 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술	2. 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발	3. 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발
	내용	시공 기술개발 및 제도개선 연구	건축물 시공에 적합한 복합재료 및 공급장치 개발	3D 프린팅 건축물 시공 장비 개발
	과제 수	6개	9개	4개
	합계	19개		

[그림 III-42] 세세부과제 도출 개요

■ 기술수요조사를 통한 수요의 확보

○ 지원대상 기술 발굴을 위한 기술수요조사 결과 총 42건의 수요 확보

<표 III-45> 기술수요조사 결과

주 활용 분야	3D 프린팅 건축 시공기술	3D 프린팅 재료 성능 고도화 및 평가기술	3D 프린팅 건축 품질 및 관리기술	3D 프린팅 건축 장비 고도화 기술	3D 프린팅 장비 제어 고도화 기술	합계
기술수요	8	7	9	13	5	42

■ 최종 후보과제의 도출

○ 주 활용 분야를 도출된 세부과제에 맞게 재분류

- 3D 프린팅 건축 시공기술은 세부과제 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술로 분류
- 3D 프린팅 재료 성능 고도화 및 평가기술과 3D 프린팅 건축 품질 및 관리기술은 세부과제 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발로 분류
- 3D 프린팅 건축 장비 고도화 기술과 3D 프린팅 장비 제어 고도화 기술은 세부과제 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발로 분류

○ 확보된 42건의 수요에 대해 분류된 세부과제별 적정성 평가를 실시하고, 세부과제 내 유사분야 통합 및 조정 후 세세부과제 구성 확정

- 적정성 평가 및 유사분야 통합 · 조정 후 최종 세세부과제 19개 확정

■ 세부과제 및 세세부과제 구성

○ 세부과제 3개, 세세부과제 19개 구성

<표 III-46> 과제구성 개요

세부과제	세세부과제
건축 3D 프린팅 통합시공관리기술	3D 프린팅 기반 기존 시공법(철근, 설비, 창호, 마감) 연계 기술
	3D 프린팅 건축물 시공품질(마감면, 단열, 방수, 차음) 관리 기술
	3D 프린팅 기반 건축공사 통합 관리 기술
	AI 기반 3D 프린팅 장비 통합 운용계획 및 최적 공정관리 시스템
	건축물 3D 프린팅 실증 센터 구축 및 운영
	3D 프린팅 테스트베드 구축 및 검증, 제도(안)
건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발	출력각도 조절 급속시공 재료 기술 개발
	구조부재 출력물의 사용성 평가 기술 개발
	탄소중립형 3D 프린팅 재료기술 개발
	건축물 에너지 효율 향상을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발
	건축물 생활환경 개선을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발
	건축물 화재 안전 대응 3D 프린팅 복합재료 개발
	3D 프린팅 현장 요구성능 대응 배합설계 자동화 및 품질관리 기술
	이동형 재료 공급(계량/배합/이송/압출/세척) 시스템 개발
	3D 프린팅 건축부재 성능인증 시스템 개발
이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발	복잡형상 정밀 출력 가능한 소형 말단 머니퓰레이터와 대형 주 머니퓰레이터 복합형 3D 프린팅 장비 개발
	프린팅 장치의 용이한 이동설치 가능한 전(全)방향 이동형 가설 시스템 개발
	다중 이중 재료 동기 분사 가능한 다목적 가변형 노즐 장치 개발
	실시간 3D 형상인식기반 3차원 툴패스 보정 및 분사노즐 연동제어 가능한 3D 정밀 프린팅 제어기술 개발

3. 사업목적 및 사업목표

1) 사업체계도

사업목적

3D 프린팅 핵심기술 확보 및 신시장창출을 위한 3D 프린팅 전용 복합재료·공급장치, 시공장비 개발 및 테스트 베드 구축

사업목표

3D 프린팅 기술을 활용한 건축물 시공 자동화 기술 개발

기존 건축물 시공 대비 투입인력 30% 절감, 시공기간 20% 절감, 동등이상 구조성능 확보 가능한 기술 개발

☞ 자동화율 : 기존 공법* 대비 투입인력 30 % 절감

☞ 공기단축 : 기존 공법* 대비 시공기간 20% 절감

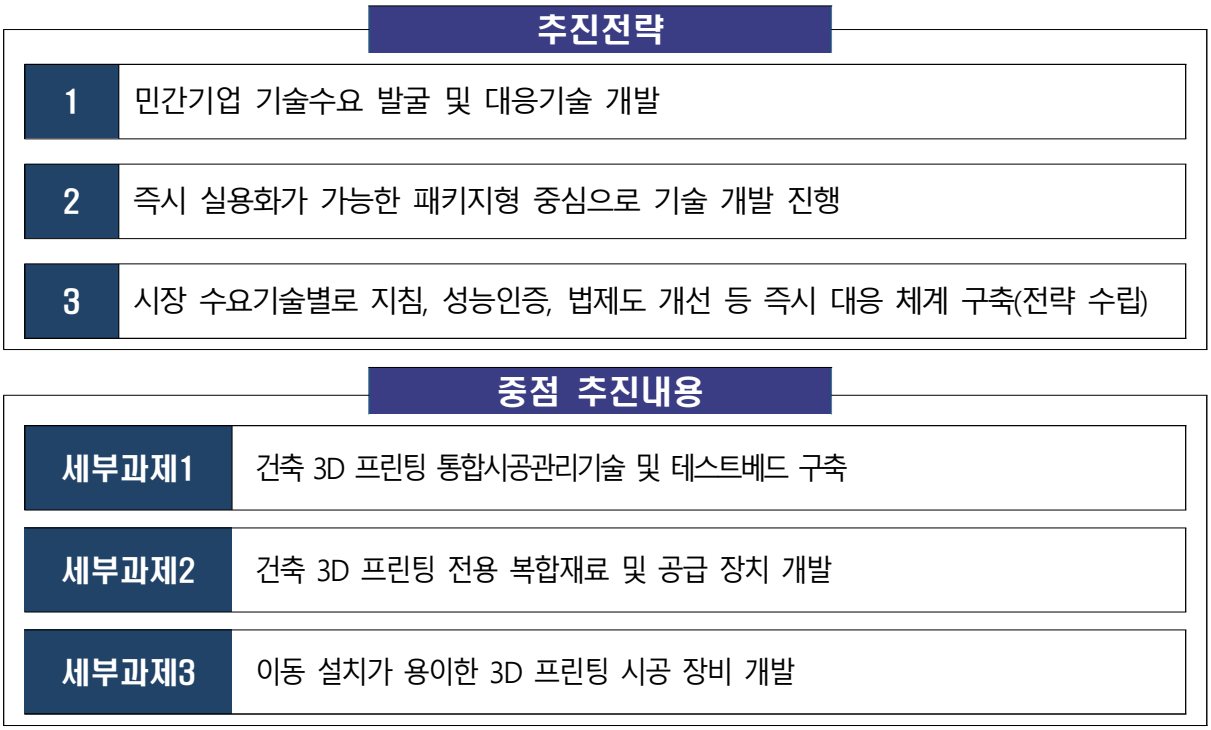
☞ 품질확보 : 기존 공법* 대비 동등이상 구조성능 확보

☞ 안전성 : 자동화율 증가를 통한 현장인력사고 감소 및 안전성 확보

* 기존 건축물 시공 : 골조 대상 거푸집 활용 습식 철근콘크리트 타설공사 시공법

성과목표

성과목표	성과지표	목표치
① 건축 3D 프린팅 통합시공관리 기술 개발, 실증 및 테스트베드 구축	①-1 품질인증	3건
	①-2 3D 프린팅 실증센터 구축	1건
	①-3 3D 프린팅 테스트베드 구축	2건
② 주택성능 인증된 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 이송장치 개발	②-1 탄소중립형 구조재용 3D 프린팅 복합재료 개발	2건
	②-2 에너지절감형 비구조재용 3D 프린팅 복합재료 개발	7건
	②-3 자동 재료공급 시스템 개발	1건
	②-4 다기능성 3D 프린팅 복합재료의 성능고도화	2건
	②-5 성능평가 표준(안) 및 지침(안)	2건
③ 이동, 설치가 용이한 3D 프린딩 건설장비 개발	③-1 말단툴 반복정밀도	10㎜
	③-2 수평설치 오차	0.2도
	③-3 툴패스 보정 오차	3㎜
	③-4 가설위치 오차	10㎜
	③-5 현장적용	2건


추진전략
1
민간기업 기술수요 발굴 및 대응기술 개발
2
즉시 실용화가 가능한 패키지형 중심으로 기술 개발 진행
3
시장 수요기술별로 지침, 성능인증, 법제도 개선 등 즉시 대응 체계 구축(전략 수립)
중점 추진내용
세부과제1
건축 3D 프린팅 통합시공관리기술 및 테스트베드 구축
세부과제2
건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발
세부과제3
이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발

[그림 Ⅲ-43] 사업체계도

2) 사업목표

3D 프린팅 기반 사용자 맞춤형 건설 자동화 기술개발

■ 동 사업은 과학기술기본법 제11조, 국토교통과학기술육성법 제8조, 건설기술진흥법 제8조 등에 근거하여 국고지원의 요건을 갖춤

■ 제3차 건축정책기본계획(2021~2025), 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018~2027) 제6차 건설기술진흥기본계획(2018-2022), 제2차 3D 프린팅산업진흥 기본계획(2020~2022) 등 4차 산업혁명 대응 첨단기술 기반의 건축기술 개발을 적극적으로 유도하고 있음

○ ‘첨단 건축기술로 건축 생산성 향상 및 시장확대’를 위한 과제 제시를 통해 첨단 기술의 현장 도입을 위한 제도적 기반 마련

- 스마트 건축 및 첨단기술 확산 기반 조성

○ 인공지능, 로봇 등 융복합을 통해 설계·관리·시공·유지보수 등 건설 프로세스를 혁신하는 “지능형 건설생산체계”

- 기술융합을 통한 새로운 가치창출 중 실천과제인 ‘융합기술을 통한 건설지능화 실현’

○ 3D프린팅 산업 현장 활용 가속화를 위해 테스트베드를 구축하고 건축물 대상 3D프린팅 설계・재료・장비 개발기술 검증

3) 성과목표

■ 국내외 환경분석 및 수요조사를 기반으로 전문가들의 정량・정성분석을 통해 사업의 성과목표를 설정

○ 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술 개발

○ 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 정량이송장치 개발

○ 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 장비 개발

4) 성과지표

(성과목표1) 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술 개발

성과지표 ①-1	품질인증				
개념	o 기존 시공법으로 구축된 건축물 대비 동등 이상의 품질 확보를 판단할 수 있는 공인시험기관의 인증				
측정방법 및 산출식	o 2차년도 시공품질(방수) 성능인증 1건 o 3차년도 시공품질(차음) 성능인증 1건 o 4차년도 시공품질(구조) 성능인증 1건 o 측정단위 : 건				
목표치	'23	'24	'25	'26	'27
	-	1	1	1	-
목표치 설정근거	o 기존 시공법으로 구축된 건축물 대비 동등 이상의 품질 확보를 판단할 수 있는 공인시험기관의 인증				

성과지표 ①-2	3D 프린팅 실증센터 구축				
개념	o 연구개발과정에서 다양한 3D 프린팅 기술들을 상시 적용 및 테스트 할 수 있는 500㎡ 규모 이상의 3D 프린팅 실증센터의 구축				
측정방법 및 산출식	o 3D 프린팅 기술을 상시 적용 및 테스트 가능한 규모 500㎡ 이상3D 프린팅 실증센터의 구축 유무 o 측정단위 : 건				
목표치	'23	'24	'25	'26	'27
	-	-	1	-	-
목표치 설정 근거	o 연구개발과정에서 다양한 3D 프린팅 기술들을 상시 적용 및 테스트 할 수 있는 500㎡ 규모 이상의 3D 프린팅 실증센터의 구축				

성과지표 ①-3	3D 프린팅 테스트베드 구축				
개념	o 개발한 3D 프린팅 기술의 현장 적용 및 검증을 위한 테스트베드 구축				
측정방법 및 산출식	o 3D 프린팅 기반 기존 시공기술 연계된 건축물 시공기술 개발을 통한 300㎡ 규모의 테스트베드 1건 및 300㎡ 복층 규모의 테스트베드 1건 구축 o 측정단위 : 건				
목표치	'23	'24	'25	'26	'27
	-	-	-	1	1
목표치 설정 근거	o 개발한 3D 프린팅 기술의 현장 적용 및 검증을 위한 테스트베드 구축 필요				

(성과목표2) 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 정량이송장치 개발

<table>
<tr><th>성과지표 ②-1</th><th colspan="5">탄소중립형 구조재용 3D 프린팅 복합재료 개발</th></tr>
<tr><td>개념</td><td colspan="5">o 부재의 목표성능(압축강도 등)을 만족하며 기존 시멘트 및 탄소발생 재료를 탄소저감형 재료로 대체 및 재료 내에 탄소 주입을 통해 CO2 발생량을 20% 이상 저감시킬 수 있는 출력 부재 제작</td></tr>
<tr><td>측정방법 및 산출식</td><td colspan="5">o 3D프린팅 부재 실적용 시작품 2건 유무
- 탄소중립형 재료를 사용 또는 탄소 저감 기술을 적용한 3D 프린팅 기술을 이용하여 CO2 발생량을 20% 이상 저감시킬 수 있는 출력 부재 제작
o 측정단위 : 건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">목표치</td><td>’23</td><td>’24</td><td>’25</td><td>’26</td><td>’27</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>2</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>목표치 설정근거</td><td colspan="5">o 부재의 목표성능(압축강도 등)을 만족하며 기존 시멘트 및 탄소발생 재료를 탄소저감형 재료로 대체 및 재료 내에 탄소 주입을 통해 CO2 발생량을 30% 이상 저감시킬 수 있는 출력 부재 제작</td></tr>
<tr><th>성과지표 ②-2</th><th colspan="5">에너지절감형 비구조재용 3D 프린팅 복합재료 개발</th></tr>
<tr><td>개념</td><td colspan="5">o 주택성능등급 만족 및 실거주 주택 적용이 가능하도록 기존 제품 동등 품질의 시작품 개발</td></tr>
<tr><td>측정방법 및 산출식</td><td colspan="5">o 3D프린팅 주택 단열재 시작품 2건 유무
- 열전도율은 KS M 3808에 준하여 평가방법 제안
※ 두께 30mm 기준 열전도율 0.04 W/(m·k)이하
o 3D프린팅 주택 기밀재 시작품 2건 유무
- 투습계수는 KS M 3808에 준하여 평가방법 제안
※ 투습계수 300 ng/m²·s·Pa 이하
o 3D프린팅 주택 흡음재 시작품 2건 유무
- 흡음계수는 KS F ISO 11654에 준하여 평가방법 제안
※ 흡음계수 0.3 이상
o 3D프린팅 주택 진동재 시작품 1건 유무
- 국토교통부 “공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준”
※ 바닥충격음 차단 성능 등급 4등급 만족
o 측정단위 : 건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">목표치</td><td>’23</td><td>’24</td><td>’25</td><td>’26</td><td>’27</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>7</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>목표치 설정 근거</td><td colspan="5">o 주택성능등급 만족 및 실거주 주택 적용이 가능한 바닥재 시작품 7건 설정</td></tr>
</table>

성과지표 ②-3	자동 재료공급 시스템 개발				
개념	o 재료 공급(배합-이송-압출) 과정의 작업인력 감축을 통해 안전성 확보 및 자동화율 향상				
측정방법 및 산출식	o 자동 재료공급 시스템 시작품 1건 유무 ※ 측정방법은 Test-bed 시공시 실제 작업자 투입시간을 측정 o 측정단위 : 건				
목표치	'23	'24	'25	'26	'27
	-	-	1	-	-
목표치 설정 근거	o 재료 공급(배합-이송-압출) 과정의 작업인력 감축을 통해 안전성 확보 및 자동화율 향상				
성과지표 ②-4	다기능성 3D 프린팅 복합재료의 성능고도화				
개념	o 주택성능등급 만족 및 실거주 주택 적용이 가능하도록 기존 제품과 동등한 품질의 시작품 개발				
측정방법 및 산출식	o 3D프린팅 주택 실적용 여부로 시작품 2건 유무 ※ 소재별·용도별 내화성능 확보 기술 개발 ; 불연재료·준불연재료 또는 난연재료 o 측정단위 : 건				
목표치	'23	'24	'25	'26	'27
	-	-	-	-	2
목표치 설정근거	o 주택성능등급 만족 및 실거주 주택 적용이 가능한 시작품 2건 설정				
성과지표 ②-5	성능평가 표준(안) 및 지침(안)				
개념	o 실거주형 주택건설을 위한 3D 프린팅 건축부재 성능인증 시스템 개발				
측정방법 및 산출식	o 3D 프린팅 장비의 현장실증을 위한 테스트 출력 2건 o 측정단위 : 건				
목표치	'23	'24	'25	'26	'27
	-	-	-	-	2
목표치 설정 근거	o 주택성능등급 연계 가능의 건축부재(구조재/비구조재) 성능평가 및 인증 시스템 구축				

(성과목표3) 이동·설치가 용이한 3D 프린팅 장비 개발

성과지표 ③-1	말단툴 반복정밀도				
개념	o 정밀 프린팅을 위한 말단툴의 정확한 위치제어				
측정방법 및 산출식	o 말단툴의 목표점 10개를 임으로 선정하고 말단툴을 목표점으로 20회 이상 순환 이동시켜 각 목표점에서 목표점과 말단툴간 RMS 위치오차를 구하고 최대 오차값을 대표 오차값으로 사용 o 측정단위 : ㎜				
목표치	'23	'24	'25	'26	'27
	-	25	10	-	-
목표치 설정근거	o 건축법상 벽체두께 허용 오차는 3% 이내로 400mm기준으로 12mm이내의 오차를 가져야 건축법 만족				

성과지표 ③-2	수평설치 오차				
개념	o 설계모델과 일치하는 3D 프린팅 작업을 위한 프린팅 장비의 수평설치 정밀도				
측정방법 및 산출식	o 프린팅 장치 설치 목표점 10개 이상 선정하고 각지점에 20회 이상 순환 설치시켜 직교로 설치된 2개의 수평계 오차값 중 최대값의 20회 RMS오차를 구하고 10개 지점값 중 최대값을 대표 오차값으로 사용 o 측정단위 : 도				
목표치	'23	'24	'25	'26	'27
	-	0.5	0.2	-	-
목표치 설정 근거	o 건축법상 건축물 높이 허용 오차는 2% 이내로 3000mm기준으로 12,000mm 반경으로 출력시 0.23도 미만의 수평도를 가져야 건축법 만족				

성과지표 ③-3	툴패스 보정 오차				
개념	o 정밀 프린팅을 위한 말단툴의 실시간 형상인식 기반 위치보정				
측정방법 및 산출식	o 이전 프린팅된 라인의 중심과 현재 프린팅중인 라인 중심간의 거리 오차를 5m 구간에서 0.1m간격으로 측정하여 RMS 오차 산출 o 측정단위 : ㎜				
목표치	'23	'24	'25	'26	'27
	-	-	-	5	3
목표치 설정 근거	o 건축법상 벽체두께 허용 오차는 3% 이내로 소형 구조물의 벽체 100mm기준으로 3mm이내의 오차를 가져야 건축법 만족				

<table>
<tr><th>성과지표 ③-4</th><th colspan="5">가설위치 오차</th></tr>
<tr><td>개념</td><td colspan="5">o 설계모델과 일치하는 3D 프린팅 작업을 위한 프린팅 장비의 설치 위치 정밀도</td></tr>
<tr><td>측정방법 및
산출식</td><td colspan="5">o 프린팅 장치 설치 목표점 10개 이상 선정하고 각지점에 20회 이상 순환 설치시켜 목표점과 설치된 장치의 중심점 간 오차값 의 20회 RMS오차를 구하고 10개 지점값 중 최대값을 대표 오차값으로 사용
o 측정단위 : ㎜</td></tr>
<tr><td rowspan="2">목표치</td><td>’23</td><td>’24</td><td>’25</td><td>’26</td><td>’27</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>15</td><td>10</td></tr>
<tr><td>목표치
설정근거</td><td colspan="5">o 건축법상 인접대지 경계선과의 거리 허용 오차는 3% 이내로 1000mm기준으로 30mm이내의 오차를 가져야 건축법 만족</td></tr>
<tr><th>성과지표 ③-5</th><th colspan="5">현장적용</th></tr>
<tr><td>개념</td><td colspan="5">o 3D 프린팅 장비의 현장실증을 위한 테스트 출력</td></tr>
<tr><td>측정방법 및
산출식</td><td colspan="5">o 3D 프린팅 장비의 현장실증을 위한 테스트 출력 2건
o 측정단위 : 건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">목표치</td><td>’23</td><td>’24</td><td>’25</td><td>’26</td><td>’27</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>목표치
설정 근거</td><td colspan="5">o 개발된 3D 프린팅 장비의 검증을 위한 현장적용의 출력 건수로 판단 필요</td></tr>
</table>

4. 추진전략

1) [전략 1] 초기 건축 3D 프린팅 시장 창출 촉진을 위한 1단계 사업의 실용화 가능한 기술들을 건축시장에 즉시적용

■ 1단계 사업을 통해 기술검증 및 실용화 가능한 기술을 건설시장에 선제적 적용

○ 약 100㎡ 규모의 단층 수직골조, 비정형 벤치, 기둥, 조형물 등 1단계 사업에서 개발 및 검증된 기술을 기반으로 해당 건축부재를 요구하는 건축시장에 선제적 적용

- 실용화 가능한 기술들을 2단계 사업에 참여의향이 있는 공공기관 및 민간기업을 대상으로 기관 및 기업에서 요구하는 대상물에 적용하여 건축 3D 프린팅 기술의 시장 적용에 대한 가능성 확보

- 대상별 적용 사례별 검증결과 및 보완사항, 추가요구사항 등을 통해 2단계 사업의 연구 방향성, 상세 목적성을 체계적이고 구체적으로 정립 가능하도록 유도

2) [전략 2] 민간시장에서 요구하는 기술수준에 적합한 요소기술 개발 및 시장 수요기술별로 지침, 성능인증, 법제도 개선 추진

■ 해외의 시장변화에 대한 지속적인 모니터링을 실시하고, 건축 및 건설 민간시장에 대한 지속적인 기술수요조사를 통해서 국내의 민간시장에서 요구하고 적합한 기술수준을 정립하고 이에 맞는 요소기술 개발 및 적용

○ 해외 건설 3D 프린팅 시장의 변화와 기술의 발전에 대한 지속적인 모니터링 진행 및 국내에 적합한 기술에 대한 분류

- 해외 사례를 개요 및 적용 기술, 기술의 스펙 등을 분류하여 지속적인 모니터링을 실시하고, 필요시 해당 기관 및 현장을 방문하여 데이터 수집

- 수집된 데이터를 국내 환경 및 시장에 적용하여 적합한 기술들을 도출, 이들의 패키지화의 가능성 등을 분류 분석 실시

- 분석된 결과를 근간으로 적합한 기술에 대한 개발 타당성 조사 및 진행

실시

○ 국내 건축 및 건설 민간시장에서 3D 프린팅 기술에 대한 적용 범위 및 대상 등에 대한 기술수요조사를 지속적으로 실시하여 대응가능한 기술에 대한 개발 우선순위 및 전체적인 기술개발의 방향성 지속적으로 정립

- 연구과제의 전체목표에서 벗어나지 않는 기술개발범위에서 민간시장에서 요구하는 기술을 분류 및 우선순위에 따른 기술개발을 통해 민간시장에 적극적인 적용 및 검증을 실시

■ 국내에서 3D 프린팅 기반 건축물 시공이 가능할 수 있도록 개선이 필요한 법제도, 지침, 성능인증 등을 지속적으로 도출하고, 시장 수요기술별 전문위원회 구성을 통해 즉각 대응가능한 장치 마련

○ 국내 건축시장에 적합한 건축물을 3D 프린팅으로 시공가능할 수 있는 법제도, 지침, 성능인증 등에 관한여 개선이 필요한 부분을 민간시장에서의 요구사항을 통해 도출하고, 개선 및 반영할 수 있는 전문위원회를 구성

- 장비, 재료, 시공 기술별 3D 프린팅 기술 기반으로 건축물 시공이 가능하고, 민간시장에 적용 가능한 법제도, 지침, 성능인증 등을 기술분야별 전문위원회를 구성하여 즉각적으로 대응가능한 장치를 마련

- 기술분야별 전문위원회는 건설 3D 프린팅에 관해 관·산·학·연의 전문가들로 구성

3) (전략 3) 요소기술의 패키지를 통한 통합기술실증 및 거주가능한 기술 검증

■ 구조성능이 확보된 기반기술을 개발하고, 이를 활용하여 시설물 대상을 확장하기 위한 패키지형 중심의 기술개발 진행 및 통합기술실증

○ 기술선도 Track과 실용화 Track로 구분하여 구조성능이 확보된 건축을 위한 대상, 장비, 재료 규모별 목표에 따른 기술을 개발하고 확보된 기술을 기반으로 시설물 대상을 확장하여 실용화 확대

- **(현재)** 벤치, 조형물 → **(동 사업 목표)** 에코월, 방음벽, 공동구, 보행교, 공중화장실 등으로 확대

4) (전략 4) 관련 타 사업(연구)단과의 연계협력을 통한 기술개발 확대

■ OSC(Off-Site Construction), 모듈러, 프리패브와 관련된 연구진행 중인 타 사업(연구)단과의 연구내용 및 결과물 공유 등 연계협력을 통해 기술의 확장, 기술 활용 극대화 모색

○ On-Site에만 한정하지 않고, On/Off-Site에서 적합한 기술의 적용 및 활용하는 연구특성에 맞게 본 연구단에 필요시 되는 기술을 보유하고 있거나 연구진행 중인 타 연구단과의 연계협력 추진

- 수직-수평 부재의 접합부 시공기술, Off-Site의 최적화된 시공 기술, 공장에서 출력된 부재의 JIT(Just-In-Time) 가능한 조달운용 기술 등 본 과업에서 필요한 기술에 관하여 보유하고 있거나 연구 중인 사업단(연구단 혹은 연구진)과 긴밀한 협력체계 구축

- 이를 통한 최종적으로 하이브리드형 건설 자동화 시공 기술 개발로 확장할 수 있는 발판 마련

5. 추진과제 세부계획

1) 세부과제1 : 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술

(1) 이슈진단 및 현안분석

가. 문제/이슈의 도출

<표 III-47> 문제/이슈의 도출

배경	필요성
o 노동집약.현장의존적인 생산체계, 공급자 위주 산업구조 등으로 건설은 '낡은 전통산업'에 머무르고 있음 o 특히 건설은 안전성.생산성이 낮은 상황에서 고령화 및 숙련인력 감소가 빠르게 진행되고 있어 디지털화 및 자동화 필요성 증대	o 3D 프린팅기반 자동화 실현을 통한 건설 안전성.생산성 향상 필요 o 3D 프린팅을 통한 제작비용 및 시간 절감, 비정형.맞춤형 제작, 건설 공정 간소화 및 이에 따른 인건비 감소, 안전도 향상 가능 o 3D 프린팅 1단계 사업 이후 고도화.품질 향상을 위한 후속 연구 필요 o 3D 프린팅 공사 현장에 적합한 환경관리, 현장관리 기술 및 지속적인 실험 및 실증이 가능한 실험실 필요

환경분석			
시장동향	o (전망) - 글로벌 3D 프린팅 건설 시장은 2019년 기준 300만달러에서 2024년에 15억7500만 달러로 크게 선장할 것으로 전망 - 2020년부터 2027년까지 114.8%의 연평균 성장률(CAGR)으로 예측 o (현황) - 국외의 경우, 실거주 가능한 건축물을 3D 프린팅으로 출력한 사례는 있으나, 대다수 외부골조 대상으로만 출력이거나 실험 검증용임 - 국내의 경우, 3D 프린팅 기반 실사용 가능한 건축물 출력 사례는 전무	기술동향	o (동향) - 미국 및 유럽과 중국, 러시아 중심으로 건축 3D 프린팅 연구가 활발하게 진행 중으로 건축물 시공 사례가 증가하고 있음 - 단층의 주택 건물이 아니라 공동주택(3층 규모, COBOD), 주택단지 조성(ICON) 등 대상 구조물이 확장되고 있음 o (수준) - 한국건설기술연구원에서 겐트리 타입의 3D 프린터로 100㎡ 규모 수직골조 출력 - 세종대학교에서 2.5m 규모의 3D 프린터를 제작하여 시멘트 출력 벽체 Mock-up 제작 - 하이시스는 6m급 겐트리 타입의 3D 프린터 개발, 12m급 3D 프린터 개발 진행 중 - 삼성엔지니어링은 마션케이(주)와 협력하여 3M급 캔틸레버형 갠트리 장비 개발

핵심현안
① 3D 프린팅 방식에 적합한 건설 시공 및 현장 관리 방안 개선 필요 ② 기존 전통방식 시공법과 연계한 효율적 3D 프린팅 시공법 개발 필요 ③ 실용화를 위한 실증 실험 구축 운영 및 인허가 개선

나. 핵심현안

1 3D 프린팅 방식에 적합한 건설 시공 및 현장 관리 방안 개선 필요

■ 3D 프린팅 기반 건축공사 공정관리 및 현장관리

○ 3D 프린팅 기반 건축공사 공정관리 및 현장관리가 가능한 3D 프린팅 통합관리 기법 및 매뉴얼(가이드라인) 개발

- 3D 프린팅 기반 건축물 시공에 적합한 공정관리 및 현장관리 기법 개발을 통해 생산성 향상 가능

○ 시공관리(원가. 품질, 리스크) 및 현장관리(진도, 안전, 환경) 기술

- 공정 및 재료 등의 손실을 최소화가 가능하며 현장의 안전사고율 최소화 가능

2 기존 전통방식 시공법과 연계한 효율적 3D 프린팅 시공법 개발 필요

■ 기존 시공법과 연계한 3D 프린팅 건축물의 품질 확보

○ 3D 프린팅 건축물이 기존 철근 콘크리트 구조물과 동등 이상의 품질 확보

- 3D 프린팅 기반 건축물 출력 시 철근공사, 설비공사, 창호공사, 마감공사 등과 같은 기존 시공법과 연계하여 기존 건축물의 품질 확보 가능한 새로운 공법 기술

- 3D 프린팅 기술을 활용하여 기존 거주 가능한 주택 건축물의 품질(단열, 차음, 방수 등) 및 기능성을 확보 가능한 시공관리 기술

3 실용화를 위한 실증 실험 구축 운영 및 인허가 개선

■ 지속적인 테스트 및 기술 검증을 통해 최종 기술 구현을 위한 실증 센터 구축 및 운영

○ 테스트베드 규모의 출력, 구조실험, 재료실험 등 3D 프린팅 기반 건축물 통합 실증 센터를 구축

○ 3D 프린팅을 활용한 300m2 규모의 사용자 맞춤형 건축물 시공 및 개발된 기술의 검증

(2) 기술개발 개요

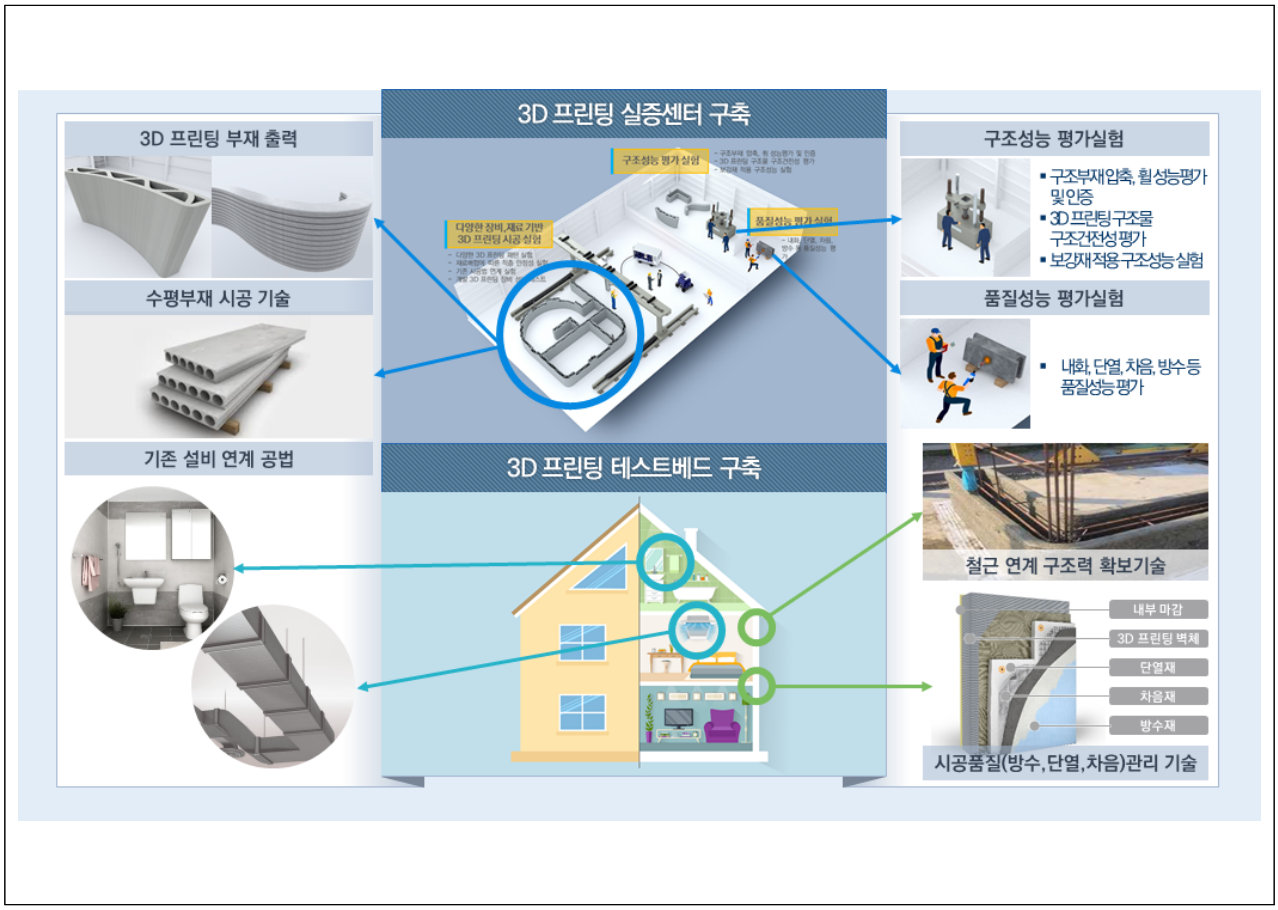
<표 III-48> (세부과제1) 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술 개요

구분	내용	
기술개발 정의	o 3D 프린팅 기반 건축물 출력 시 기존 건축물 시공법 대비 동등 이상의 품질 확보 가능한 기술 개발 o 현장 요소를 고려한 AI기반 통합 장비 운용 관리 기술 개발 o 3D 프린팅 기반 건축 공정 및 현장 관리 기술 개발 o 3D 프린팅 기반 건축물 시공을 위한 제도개선 및 사업화 전략 수립 o 반복적인 테스트 및 기술 검증을 통해 최종 기술 구현을 위한 실증 센터 구축 및 운영 o 3D 프린팅 테스트베드 구축 및 통합 기술 검증	
범위 (세세부과제)	o (세세부과제1) 3D 프린팅 기반 기존 시공법(철근, 설비, 창호, 마감) 연계 기술	
	구성기술	• ①-1 구조부재 연계 3D 프린팅 출력 및 접합 기술 개발 • ①-2 3D 프린팅 기반 철근 콘크리트 구조 출력 기술 개발 • ①-3 MEP 연계 3D 프린팅 출력 기술 개발 • ①-4 창호, 마감 연계 3D 프린팅 출력 기술 개발
	o (세세부과제2) 3D 프린팅 건축물 시공품질(마감면, 단열, 방수, 차음) 관리 기술	
	구성기술	• ②-1 3D 프린팅 기반 마감면 시공 품질 관리기술 개발 • ②-2 3D 프린팅 단열 보강 기술 개발 • ②-3 3D 프린팅 출력물 방수 시공 기술 개발 • ②-4 3D 프린팅 차음 시공 기술 개발
	o (세세부과제3) 3D 프린팅 기반 건축공사 통합 관리 기술	
	구성기술	• ③-1 3D 프린팅 기반 공정관리(원가, 품질, 리스크) 기술 개발 • ③-2 3D 프린팅 건축물 시공 현장관리(안전, 환경) 기술 개발 • ③-3 BIM 기반 3D 프린팅 건축물 전용 슬라이싱 최적화 기술 개발
	o (세세부과제4) AI 기반 3D 프린팅 장비 통합 운용계획 및 최적 공정관리 시스템	
	구성기술	• ④-1 3D 프린팅 장비 타입별 최적 운용 방식 개발 • ④-2 3D 프린팅 장비 타입별 최적 배치 기술 개발 • ④-3 AI 기반 3D 프린팅 장비 통합 운용계획 및 최적 공정관리 시스템 개발
	o (세세부과제5) 건축물 3D 프린팅 실증 센터 구축 및 운영	
	구성기술	• ⑤-1 건축물 3D 프린팅 실증 센터 설계 및 인허가 • ⑤-2 건축물 3D 프린팅 실증 센터 구축 및 완공 • ⑤-3 건축물 프린팅 실증 센터 운영
	o (세세부과제6) 3D 프린팅 테스트베드 구축 및 검증, 제도(안)	
	구성기술	• ⑥-1 테스트베드 인허가 및 설계도서 작성 • ⑥-1 3D 프린팅 관련 국내 건축 유관 법·제도 개선 연구 • ⑥-2 3D 프린팅 건축물 사업화 전략 연구 • ⑥-2 테스트베드 시공계획 및 시방서 작성 • ⑥-3 테스트베드 구축 및 검증

기술개발 목표

As-Is	To-Be	목표성능	대표성과물
- 모르타르 기반 건축 수직 골조(벽체)에만 한정된 출력 - 현장내 겐트리 타입 출력장비 1대 운용	- 수평부재 출력 시공 - 철근콘크리트조로 구조보강된 구조물 출력시공	- 기존 공법 대비 동등 이상 품질 확보(공인시험기관 인증) - 시공오차(이격거리) 10mm 이내 - 시공성능 폭 10m 기준 5mm 정밀도 - 제도 개선(안) 1건	- 3D 프린팅기반 건축 종합 시공법 및 최적 장비 운용 가이드라인 - 복층형 테스트베드, 3D 프린팅 건축물 인허가 개선(안) - 건축물 3D 프린팅 실증센터

기술개발 구성 체계도(1세부)



[그림 III-44] 기술개발 구성 체계도(1세부)

(3) 세세부과제 기술개발 내용

가. (1-1) 3D 프린팅 기반 기존 시공법(철근, 설비, 창호, 마감) 연계 기술

■ 정의

○ 3D 프린팅 기반 건축물 출력 시 철근공사, 설비공사, 창호공사, 마감공사 등과 같은 기존 시공법과 연계하여 기존 건축물의 품질 확보 가능한 새로운 공법 기술

■ 기술수준 및 개발목표

○ 기술수준

As-Is		To-Be
- 현재 3D 프린팅 기술을 이용하여 건축물을 시공한 사례는 수직 구조벽체와 같은 수직구조물에 한정하여 출력하였음 - 3D 프린팅 기반 골조와 기존 철근, 설비, 창호, 마감공사와 연계하는 구체적 연구 및 시공법에 대한 연구 및 시공사례는 전무함	▶	- 철근공사, 설비공사, 창호공사, 마감공사와 같은 기존 시공법과 3D 프린팅 건축 시공기술을 최적 연계하는 시공법을 개발하여 기존 건축물과 동등한 품질확보 - 3D 프린팅 출력 전 후속공정을 고려한 최적 시공자동화 프로세스를 통한 자동화율 증가 및 전체 생산성 향상

○ 개발목표 및 목표 성능

개발목표	o 3D 프린팅 기술과 연계된 기존 건축물의 품질과 동등한 수준의 시공법 개발
목표 성능	o 시공오차(이격거리) 10mm 이내

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
구조부재 연계 3D 프린팅 출력 및 접합 기술 개발	o 3D 프린팅으로 출력된 모르타르 기반 수직골조부재에 구조적 보강을 위한 철근공사와의 연계 공법 개발 o 3D 프린팅 출력 및 철공공사의 최적 연계 공사 프로세스 개발
3D 프린팅 기반 철근 콘크리트 구조 출력 기술 개발	o 복합노즐을 통한 모르타르 기반 수직골조 출력 및 용접기술 기반 철근 출력 기술 개발

구성기술	개발내용
MEP 연계 3D 프린팅 출력기술 개발	o MEP 공사를 고려한 3D 프린팅 출력 설계기술 o 최적화된 MEP 공사 및 3D 프린팅 기반 수직골조 출력 프로세스 개발
창호, 마감 연계 3D 프린팅 출력기술 개발	o 3D 프린팅 기반 개구부를 고려한 최적 출력 경로 생성 기술 개발 o 개구부 부위 구조적 안정성을 고려한 3D 프린팅 출력 기술 개발

■ 기존 기술(현행 건설 공법)과의 차별성 및 연계성

○ (차별성)

- 3D 프린팅 기반 수직골조 출력 시 후속공정의 자동화가 가능하도록 고려한 시공법 개발로 전반적인 생산성 향상 가능

○ (연계성)

- 창호공사 및 마감공사 등과 같은 기존 시공법을 3D 프린팅 출력 기술과 용이하게 연계가능한 시공법 개발로 기존 공법 적용이 용이

■ 최종 성과물

○ 구조부재 연계 3D 프린팅 접합 시방서

○ 3D 프린팅기반 철근 콘크리트 시방서

○ MEP 연계 3D 프린팅 시방서

○ 창호, 마감 연계 3D 프린팅 시방서

나. (1-2) 3D 프린팅 건축물 시공품질(마감면, 단열, 방수, 차음) 관리 기술

■ 정의

○ 3D 프린팅 기술을 활용하여 기존 거주 가능한 주택 건축물의 품질 및 기능성을 확보 가능한 시공관리 기술

■ 기술수준 및 개발목표

○ 기술수준

As-Is		To-Be
- 현재 3D 프린팅 기술을 이용하여 건축물을 시공한 사례는 수직 구조벽체와 같은 수직구조물에 한정하여 출력하였음 - 해외사례 중 일부는 거주가능한 건축물을 3D 프린팅을 활용하여 시공하였지만 단열, 방수, 차음 등과 같은 품질 및 기능성에 대한 검증 사례는 전무	▶	- 3D 프린팅 기술 기반 마감공사, 단열공사, 방수공사 등 새로운 시공법을 개발 - 새로운 시공법을 통한 기존 공법 대비 자동화율을 증가시켜 생산성 향상 도모 - 기존의 건축 품질 및 기능성의 확보 및 인증가능한 인증평가 기술 개발

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 3D 프린팅 기반 기존 건축물의 품질 및 기능성의 확보 가능한 시공품질관리 기술 개발
목표 성능	o 기존 공법 대비 동등 이상 품질 확보 (공인시험기관 인증)

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
3D 프린팅기반 마감면 시공 품질 관리기술 개발	o 3D 프린팅 출력 마감면의 균일한 품질 확보를 위한 후 시공 공법 연구 개발
3D 프린팅 기반 단열 보강 기술 개발	o 기존 상용화된 단열 마감재와 3D 프린팅 구조체와의 결합 시공법 및 단열 성능 확보 연구 개발
3D 프린팅 출력물 방수 시공 기술 개발	o 기존 상용화된 방수재 및 다양한 방수공법(외방수, 내방수 등)과 3D 프린팅 구조체와의 결합 시공법 및 방수 성능 확보 연구 개발
3D 프린팅 차음 시공 기술 개발	o 기존 상용화된 차음 및 흡음 마감재와 3D 프린팅 구조체와의 결합 시공법 및 차음 성능 확보 연구 개발

■ 최종 성과물

○ 시공 품질관리 지침

○ 3D 프린팅 단열 시공 시방서

○ 3D 프린팅 출력물 방수공사 시방서

○ 3D 프린팅 차음 시공 시방서

다. (1-3) 3D 프린팅기반 건축공사 통합 관리 기술

■ 정의

○ 3D 프린팅 기반 건축공사 공정관리 및 현장관리가 가능한 3D 프린팅 통합관리 기법 및 매뉴얼(가이드라인) 개발

○ 시공관리(원가. 품질, 리스크) 및 현장관리(진도, 안전, 환경) 기술

○ BIM 기반 3D 프린팅 건축물 전용 슬라이싱 최적화 기술 개발

■ 기술수준 및 개발목표

○ 기술수준

As-Is		To-Be
- 3D 프린팅 기반 건축물 시공 시 적용되는 건축 공정관리 및 현장관리 기법 전무 - 기존 자동화기술이 적용된 현장 경험을 통한 공정관리 및 현장관리 기술이 적용 - 3D 프린팅 건축물 전용 슬라이싱 기능이 포함된 설계지원 기술 부재	▶	- 3D 프린팅 기반 건축물 시공에 적합한 공정관리 및 현장관리 기법 개발을 통해 생산성 향상 가능 - 공정 및 재료 등의 손실을 최소화가 가능하며 현장의 안전사고율 최소화 가능 - BIM 기반 최적 슬라이싱 기능이 포함된 3D 프린팅 건축물 전용 설계지원 도구를 통한 설계업무 향상 및 작업의 전반적인 효율성 증대 가능

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 생산성 향상 및 안전사고율 저감을 위한 3D 프린팅 기반 건축공사 공정관리 및 현장관리 기술 개발
목표 성능	o 가이드라인 2건 및 SW 1건 개발, 유관 학회 협회 인증

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
3D 프린팅기반 공정관리(공정, 원가, 품질, 리스크) 기술 개발	o 3D 프린팅 기술을 건축공사에 적용하기 위한 공정관리, 원가관리, 품질관리, 리스크관리 등의 건설관리 기술의 3D 프린팅 적용 확장 개발
3D 프린팅 건축물 시공 현장관리(진도, 안전, 환경) 기술 개발	o 기존 공사 현장의 관리 기법(진도관리, 안전관리, 환경관리)에서 3D 프린팅 건축공사에 적합한 현장관리 기법의 개선 및 개발
BIM 기반 3D 프린팅 건축물 전용 슬라이싱 최적화 기술 개발	o BIM 기반 최적 슬라이싱 기능이 포함된 3D 프린팅 건축물 전용 설계지원 도구 개발

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

○ (차별성)

- 기존 건축공사에는 성공적인 프로젝트 수행을 위해 사용되는 다양한 건설관리 기법(공정, 원가, 품질, 리스크 등)이 있음
- 3D 프린팅으로 건축공사를 진행하기 위해 기존 건설관리 기법의 확장 및 응용 연구가 필요
- BIM 기반 3D 프린팅 건축물 전용 설계지원 도구 및 최적화된 설계기법에 관한 연구 필요

○ (연계성)

- 기존 건설관리 업무 프로세스를 바탕으로 신규로 생성되는 3D 프린팅 액티비티와 연계

■ 최종 성과물

○ 3D 프린팅 공정관리 매뉴얼

○ 3D 프린팅 현장관리 매뉴얼

○ BIM 기반 3D 프린팅 슬라이싱 설계 SW

라. (1-4) AI 기반 3D 프린팅 장비 통합 운용계획 및 최적 공정관리 시스템

■ 정의

○ 장비유형 및 대수, 현장 규모 등을 고려한 AI 기반 3D 프린팅 장비의 최적 배치 및 장비 통합 운용계획 수립이 가능하고, 장비 운영 계획이 반영된 공정계획 및 관리 가능한 시스템 개발

■ 기술수준 및 개발목표

○ 기술수준

As-Is	To-Be
- 현장 내 단일 장비 운용을 통한 건축물 출력 - 현장 내 복수의 3D 프린팅 장비 운용은 드묾 - 3D 프린팅 장비 위주의 공정으로 선·후행 공정이 고려된 최적화 공정관리 기법 부족	- 3D 프린팅을 활용하여 대형 건축물 출력 시 이동식, 고정식 등 다양한 형태 및 다수의 장비를 활용이 필수 - 현장 규모, 건축물 형태 등에 맞는 장비 유형 및 대수, 배치 선정 등을 AI 기반으로 최적화하여 효과적인 공정계획 수립 및 생산성 향상 가능

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o AI 기반 현장 요건에 맞는 3D 프린팅 장비 운용계획 및 최적 공정관리 시스템 개발
목표 성능	o 공정계획 수립 자동화률 80% 이상

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
3D 프린팅 장비 타입별 최적 운용 방식 개발	o 현장 규모 및 건축물 형태 등을 고려한 고정식 및 이동식 3D 프린팅 장비의 타입 선정 및 대수 산정 알고리즘 개발
3D 프린팅 장비 타입별 최적 배치 기술 개발	o 현장 요소 및 타입별 장비 운용 시 간섭 최소화를 고려한 3D 프린팅 장비 최적 배치 알고리즘 개발
AI 기반 3D 프린팅 장비 통합 운용 계획 및 최적 공정관리 시스템 개발	o 3D 프린팅 장비 타입별 최적 운용 및 배치 알고리즘을 통합한 통합 운용 알고리즘 개발 o 출력장비 및 비출력장비, 공정 간의 최적 연계를 고려한 장비 운용 관리 기술 개발 o 장비 통합 운영 계획이 고려된 선·후행 공정 수립 자동화 시스템 개발

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

○ (차별성)

- 기존 2대 이상의 3D 프린팅 장비 운용 사례는 전무하며, 경험기반의 장비 운용계획 및 공정수립 대비 현장 요건에 맞는 장비 통합운영 계획 수립 및 최적 공정관리 가능한 시스템 개발로 최적화된 공정계획 수립 가능
- 장비 통합 운용 계획을 고려한 선·후행 공정계획 수립이 자동화가 가능하며, 현장관리지가 선택할 수 있는 대안이 결과로 제공되기 때문에 정량적, 정성적 계획 수립 가능

○ (연계성)

- 기존 중장비 배치 및 대수 산정 시스템과의 연계가 가능하며, 건설 장비 투입 및 인력 투입 등을 고려한 공정관리 시스템과 연계 가능

■ 최종 성과물

○ 3D 프린팅 장비 배치 시스템

○ 3D 프린팅 장비 통합 운용 시스템

○ AI 기반 3D 프린팅 최적 공정관리 시스템

마. (1-5) 3D 프린팅 건축 실증 센터 구축 및 운영

■ 정의

○ 지속적인 테스트 및 기술 검증을 통해 최종 기술 구현을 위한 실증 센터 구축 및 운영

■ 기술수준 및 개발목표

○ 기술수준

As-Is		To-Be
- 현장 내 단일 장비 운용을 통한 건축물 출력 - 현장 내 복수의 3D 프린팅 장비 운용은 드뭄 - 3D 프린팅 장비 위주의 공정으로 선·후행 공정이 고려된 최적화 공정관리 기법 부족	▶	- 3D 프린팅을 활용하여 대형 건축물 출력 시 이동식, 고정식 등 다양한 형태 및 다수의 장비를 활용이 필수 - 현장 규모, 건축물 형태 등에 맞는 장비 유형 및 대수, 배치 선정 등을 AI 기반으로 최적화하여 효과적인 공정계획 수립 및 생산성 향상 가능

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 500m^2 이상의 건축물 3D 프린팅 실증 센터 구축 및 운영 관리 방안 제안
목표 성능	° 500m^2

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
건축물 3D 프린팅 실증 센터 설계 및 인허가	o 건축물 3D 프린팅 실험용 실증 센터 설계도서 작성 o 건축물 3D 프린팅 실험용 실증 센터 인허가
건축물 3D 프린팅 실증 센터 구축 및 완공	o 건축물 3D 프린팅 실험용 실증 센터 구축 및 완공
건축물 3D 프린팅 실증 센터 운영	o 건축물 3D 프린팅 실험용 실증 센터 운영 가이드라인 제안

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

○ (차별성)

- 기존 사례의 경우, Mock-up 수준의 실험 또는 테스트베드 출력을 위한 임시 실험실이 구축됨
- 본 연구에서는 Mock-up 뿐만 아닌 테스트베드 규모의 출력, 구조실험, 재료실험 등 3D 프린팅 기반 건축물 통합 실증 센터를 구축하는 것임

■ 최종 성과물

○ 실증 센터 설계도서 및 인허가

○ 실증 센터 완공

○ 실증 센터 운영 보고서

바. (1-6) 3D 프린팅 테스트베드 구축 및 검증, 제도(안)

■ 정의

○ 3D 프린팅을 활용한 300m^2 규모의 사용자 맞춤형 건축물 시공 및 개발된 기술의 검증

■ 기술수준 및 개발목표

○ 기술수준

As-Is		To-Be
- 3D 프린팅 전용의 재료 실험, 장비 거동 실험, 구조부재의 사용성 평가 및 인증할 수 있는 실험실의 부재	▶	- 3D 프린팅 기반 300 m2 규모의 사용자 맞춤형 테스트베드 구축 및 기술 검증 - 상시 3D 프린팅 출력 재료, 장비, 복합부재의 다양한 성능 실험 및 검증이 가능한 3D 프린팅 실증센터 운영

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 3D 프린팅 기반 300m^2 규모의 사용자 맞춤형 테스트베드 구축 및 기술 검증
목표 성능	° 300m^2

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
테스트베드 인허가 및 설계도서 작성	o 3D 프린팅을 활용하여 거주 가능한 건축물 시공이 가능한 건설 인허가 o 3D 프린팅 기반 사용자 맞춤형 테스트베드 설계도서 작성
테스트베드 시공계획 및 시방서 작성	o 3D 프린팅 기반 사용자 맞춤형 테스트베드 시공계획서 및 시방서 작성
테스트베드 구축 및 검증	o 3D 프린팅 기반 사용자 맞춤형 테스트베드 구축 및 기술 검증

■ 최종 성과물

○ 복층형 T/B 및 3D 프린팅 기반 건축물 인허가 제도(안)

○ 사업화 전략 보고서

○ 테스트베드 설계도서

○ 시공계획서 및 시방서

○ 테스트베드 시작품

(4) 세부과제1 기술개발 로드맵

세세부 과제	주요 연구내용(개발기술)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
[1세부] 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술						
(1-1) 3D 프린팅 기반 기존 시공법(철근, 설비, 창호, 마감) 연계 기술	❖ 구조부재 연계 3D 프린팅 출력 및 접합 기술 개발					
	❖ 3D 프린팅 기반 철근 콘크리트 구조 출력 기술 개발					
	❖ MEP 연계 3D 프린팅 출력 기술 개발					
	❖ 창호, 마감 연계 3D 프린팅 출력 기술 개발					
(1-2) 3D 프린팅 건축물 시공품질(마감면, 단열, 방수, 차음) 관리 기술	❖ 3D 프린팅 기반 마감면 시공 품질 관리기술 개발					
	❖ 3D 프린팅 단열 보강 기술 개발					
	❖ 3D 프린팅 출력물 방수 시공 기술 개발					
	❖ 3D 프린팅 차음 시공 기술 개발					
(1-3) 3D 프린팅기반 건축공사 통합 관리 기술	❖ 3D 프린팅 기반 공정관리(원가, 품질, 리스크) 기술 개발					
	❖ 3D 프린팅 건축물 시공 현장관리(안전, 환경) 기술 개발					
	❖ BIM 기반 3D 프린팅 건축물 전용 슬라이싱 최적화 기술 개발					
(1-4) AI 기반 3D 프린팅 장비 통합 운용계획 및 최적 공정관리 시스템	❖ 3D 프린팅 장비 타입별 최적 운용 방식 개발					
	❖ 3D 프린팅 장비 타입별 최적 배치 기술 개발					
	❖ AI 기반 3D 프린팅 장비 통합 운용계획 및 최적 공정관리 시스템 개발					
(1-5) 3D 프린팅 건축 실증 센터 구축 및 운영	❖ 건축물 3D 프린팅 실증 센터 설계 및 인허가					
	❖ 건축물 3D 프린팅 실증 센터 구축 및 완공					

	❖ 건축물 프린팅 실증 센터 운영					
(1-6) 3D 프린팅 테스트베드 구축 및 검증, 제도(안)	❖ 테스트베드 인허가 및 설계도서 작성					
	❖ 3D 프린팅 관련 국내 건축 유관 법·제도 개선 연구					
	❖ 3D 프린팅 건축물 사업화 전략 연구					
	❖ 테스트베드 시공계획 및 시방서 작성					
	❖ 테스트베드 구축 및 검증					

(5) 기대효과

<table>
<tr><th rowspan="2">핵심항목</th><th rowspan="2">현재 수준(모습)</th><th colspan="2">R&D 수행시 개선수준(모습)</th><th rowspan="2">향후 수준(모습)</th></tr>
<tr><th>'23년 수준</th><th>최종 목표수준</th></tr>
<tr><td></td><td>~'21</td><td>'23</td><td>'28(종료년도)</td><td>'28~(종료이후)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">건축 3D 프린팅 통합시공 관리기술</td><td>▪ 모르타르 기반 건축 수직 골조(벽체)에만 한정된 출력
▪ 현장내 겐트리 타입 출력 장비 1대 운용</td><td>▪ 기존 시공법과 연계하는 구체적 연구 및 시공사례 전무
▪ 단열, 방수, 차음 등과 같은 품질 및 기능성 검증 사례 전무
▪ 3D 프린팅 기반 건축물 시공시 공정관리 및 현장관리 기법 전무
▪ 현장 내 단일 장비 운용</td><td>▪ 기존 공법 대비 동등 이상 품질 확보
- 공인시험기관 인증
▪ 시공오차(이격거리) 10mm 이내
▪ 시공성능 폭 10m 기준 5mm 정밀도
▪ 제도 개선(안) 1건</td><td>▪ 수평부재 출력 시공
▪ 철근콘크리트조로 구조보강된 구조물 출력시공</td></tr>
<tr><td>TRL Level 4~6단계</td><td>→</td><td>TRL Level 7단계</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4"> 
</td></tr>
</table>

2) 세부과제2 : 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발

(1) 이슈진단 및 현안분석

가. 문제/이슈의 도출

<표 III-49> 문제/이슈의 도출

배경	필요성
o '3D 프린팅 활용 비정형 형상 출력'에서 '3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템 개발'로 3D프린팅 재료 분야 패러다임 변환 - 최근 기존의 비정형 형상 출력에 국한된 재료 개발에서 벗어나, 다기능성 건설 자재를 위한 재료 개발이 계속되고 있음 o 국내 3D 프린팅 건설 재료는 실거주 적용이 어려운 상황으로, 주택성능등급 대응형 기술 개발 및 관리기준 필요하며, 현장 활용성 증대를 위한 재료개발이 요구되고 있음	o 3D 프린팅을 활용하여 단순히 비정형 형상을 출력하는 수준을 넘어서, 다기능성 건설 시스템 개발을 위한 원천 기술이 필요 o 현재의 단순 수직골재 기술을 통해서는 실거주 목적의 주택건설이 불가능한 실정으로 다양한 부재출력기술과 이를 수반하는 기반 기술 확보가 필요 o 관련 분야 기술은 국내에 전무한 상황으로 국가경쟁력 향상을 위한 전략적 지원 필요

환경분석			
시장동향	o (전망) 4차 산업혁명 및 융복합 기술 패러다임 전환을 통한 관련 시장 확대 o (현황) 고위기술 격차로 인한 시장 진입/선점의 어려움	기술동향	o (동향) 3D 프린팅을 활용한 다기능성 건설 시스템을 위한 신소재 개발 추진 및 실거주 성능확보를 위한 기술개발 수행 중 - 실거주 수준 만족 혹은 성능 개선을 위한 단열/차음/경량 등 다기능성 소재 개발 - 주택구조물로서의 구조안정성 확보와 수평 및 지붕부재 출력기술 개발 o (수준) 원천 기술력과 기술 경쟁력 확보 미흡 - 실거주 주택을 위한 제품 개발 및 관리 부족

핵심현안

① '3D 프린팅 활용 비정형 형상 출력'에서 '3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템 개발'로 3D프린팅 재료 분야 패러다임 변환에 대비한 초기 기술의 확보
② 현장 활용성 확대를 위한 부재 대응형 출력재료 개발, 구조 성능 강화기술 개발 및 안정적 품질확보기술의 확보
③ 실거주를 위한 주택성능등급 대응형 기술 개발 및 관리기준의 마련

나. 핵심현안

1 ‘3D 프린팅 활용 비정형 형상 출력’ 에서 ‘3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템 개발’로 3D프린팅 재료 분야 패러다임 변환에 대비한 초기 기술의 확보

■ 3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템 전환을 위한 복합 재료 개발 필요

○ 3D 프린팅 재료 분야 패러다임 변환에 대비한 초기 기술 확보 필요

- 3D 프린팅 기술은 기존 전통적인 제조로 불가능한 비정형·정밀 출력이 가능하여 기술적 가치가 높으며, 각 분야에서 요구하는 성능과 특성에 맞춤형으로 제품 개발이 가능
- 건축 분야에서도 각 제품별(단열재, 소음재, 진동재 등) 요구 성능 및 특성에 맞춤형으로 제품 개발이 가능
- 3D 프린팅용 기능성 소재 및 정밀 형상 출력 개발을 통해 차음, 단열, 차양, 패시브 환기 및 단열 등 다기능성 건축 부재 개발을 통해 사회문제 해결형 제품 개발이 가능

2 현장 활용성 확대를 위한 부재 대응형 출력재료 개발, 구조 성능 강화기술 개발 및 안정적 품질확보기술의 확보

■ 부재의 다양성확보를 위한 출력재료 기술개발 필요

○ 전 세계적으로 수직부재를 위한 출력재료 위주로 개발 중이며, 주로 벽체에 해당하는 부재를 출력하는 형태의 재료가 개발 중

○ 수평부재의 경우, 기존의 프리캐스트 공법으로 제작된 부재를 출력된 수직부재에 결합시키는 방식의 기술을 적용 중

■ 안정적 품질확보를 위한 재료공급 자동화 기술, 생산 및 공급과정에서의 품질확보 기술개발 필요

○ 기존 배치플랜트에서 제작하여 레미콘 형태로 운반하여 타설하는 방식으로는 3D 프린팅 기술의 소형화 추세에 부합하지 않음

- 3D 프린팅 기술만을 위한 재료공급 자동화기술이 필요

○ 3D 프린팅 출력 부재의 형상과 물성은 생산-이송-출력 과정 중 재료의 물성변화에 민감하게 반응

- 실제 출력 품질확보를 위해서는 각 공정별 품질검사와 품질관리가 매우 중요

○ 품질검사와 품질관리 수준은 현재 건설업에서 다루는 건설재료의 품질관리 수준을 넘어선 제조업 수준의 품질관리가 필요

- 재료의 공급과정 중 품질확보를 위한 신뢰도 높은 기술 확보가 필요

■ 실거주공간 출력을 위해서는 구조적 성능 확보를 위한 재료성능 강화 기술개발이 필요

○ 3D 프린팅 기술이 가진 가장 큰 특징은 재료와 재료 간의 계면으로 인해 시공조인트, 콜드조인트의 발생이 매우 빈번

- 구조적성능 확보를 위해 일체화 거동에 준하는 부재출력이 가능해야 하며 부재출력을 위해서는 재료 역학적 관점에서의 재료성능 강화기술이 필요

3 실거주를 위한 주택성능등급 대응형 기술 개발 및 관리기준의 마련

■ 실거주가 가능한 건축물 출력 및 이를 위한 관리기준 마련 필요

○ 현재 국내 건설분야 3D 프린팅 기술은 비정형성 출력을 강조하는 것에 국한되고 있음

- 실거주 적용이 가능한 건축 부재를 생산하는 단계에 미치지 못하고 있음

○ 건설 시공/제조 기업의 보수적 접근으로 형성된 높은 진입장벽 극복을 위해서는, 실거주 주택에 적용 가능한 3D프린팅 활용 건축 부재 개발이 필요

- 기존 방식으로 제조 불가능한 제품을 3D 프린팅을 활용하여 제조함으로써 신시장 개척 기대 가능

○ 수요자 맞춤형 실거주 지원 가능 건축 부자재 생산을 통해 시장점유율을 확대하고 시장개척을 할 수 있는 지원이 필요

(2) 기술개발 개요

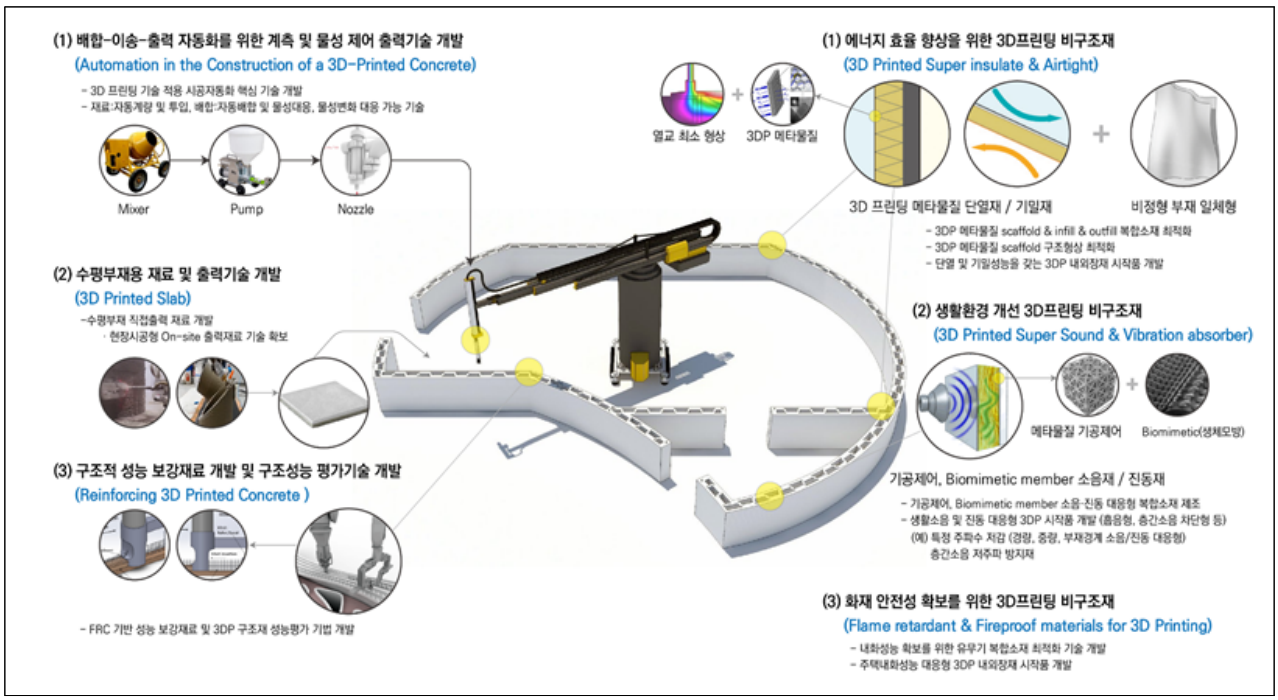
<표 III-50> (세부과제2) 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발 개요

구분	내용	
기술개발 정의	o **"비정형 복층 주택 시공 자동화"**를 위한 3D 프린팅 기술 개발을 목표로 함 - 시공 형상 자유도 확보를 위한 출력각도 조절 및 급속시공 기술 개발 - 복층 주택의 구조성능 및 안전성 확보를 위한 사용성 평가 기술 개발 - 시공 자동화를 위한 배합설계 및 재료공급 시스템 자동화 기술 개발 o 3D 프린팅 기술을 활용하여 **'실거주용'** 및 **'주택생활문제 해결형'**을 위한 건축 복합재료 개발을 목표로 함 - 주택성능등급을 만족하는 '실거주용 주택'에 시공 가능한 3D 프린팅 복합재료 개발 - '주택생활문제 해결'을 위한 기능성 3D 프린팅 복합재료 개발	
범위 (세세부과제)	o (세세부과제1) 출력각도 조절 급속시공 재료 기술 개발	
	구성기술	• ①-1 적층재료 및 공법 개선을 통한 적층 모르타르의 경사재 출력기술 개발 • ①-2 기존부재 접착력이 강화된 분사기술용 재료 개발 • ①-3 연직각 70도 이상의 재료 출력 기술 개발
	o (세세부과제2) 구조부재 출력물의 사용성 평가 기술 개발	
	구성기술	• ②-1 적층재료의 압축부재 장기거동 평가방법 개발 • ②-2 적층재료의 내구성능 평가방법 개발 • ②-3 적층재료의 변형특성 모델 개발
	o (세세부과제3) 탄소중립형 3D 프린팅 재료기술 개발	
	구성기술	• ③-1 순환재료 활용 적층재료 개발 • ③-2 탄소중립형 재료 균질성 확보를 위한 재료주입공정 기술 개발 • ③-3 구조부재/비구조부재용 순환재료 활용 기술 개발
	o (세세부과제4) 건축물 에너지 효율 향상을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발	
	구성기술	• ④-1 3D 프린팅 단열재 복합재료 및 제조 기술 개발 • ④-2 3D 프린팅 기밀재 복합재료 및 제조 기술 개발
	o (세세부과제5) 건축물 생활환경 개선을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발	
	구성기술	• ⑤-1 3D 프린팅 흡음재 복합재료 및 제조 기술 개발 • ⑤-2 3D 프린팅 진동재 복합재료 및 제조 기술 개발
	o (세세부과제6) 건축물 화재 안전 대응 3D 프린팅 복합재료 개발	
	구성기술	• ⑥-1 3D 프린팅 내화성능 복합재료 개발
	o (세세부과제7) 3D 프린팅 현장 요구성능 대응 배합설계 자동화 및 품질관리 기술	
	구성기술	• ⑦-1 3D 프린팅용 현장배합 설계 Data 기반구축 • ⑦-2 Big Data 기반 Machine Learning 학습을 통한 배합설계 Tool 개발 • ⑦-3 환경조건에 따른 테스트베드 적용 및 검증
	o (세세부과제8) 이동형 재료 공급(계량/배합/이송/압출/세척) 시스템 개발	
	구성기술	• ⑧-1 현장 요구성능을 고려한 시스템 Frame 및 구성설계 • ⑧-2 계량, 배합, 이송, 압출 연계 프로세스 게발 및 현장검증 • ⑧-3 재료계량, 배합, 이송, 압출 연계 프로세스 개발 및 현장검증
	o (세세부과제9) 3D 프린팅 건축부재 성능인증 시스템 개발	
	구성기술	• ⑨-1 3D 프린팅 건축부재(구조, 비구조) 표준 개발 • ⑨-2 3D 프린팅 건축부재 성능인증 지침 개발

기술개발 목표

As-Is	To-Be	목표성능	대표성과물
- 3D 프린팅 비정형 내외장재 - 재료배합/이송/출력 과정 중 다수 인원 투입 - 실험적 검증을 통한 현장배합 도출 - 직접시공은 수직부재에 한정하여 가능	- 3D 프린팅 출력 다기능성 건축 내외장재 복합소재 및 제조기술 - 주택성능인증 수준 3D 건축 자재 개발 - 3D 프린팅 재료 공급 자동화기술 - 출력각도조절 급속시공 재료기술 - 현장 출력물성 품질관리 기술	- 구조성능 인증 이상 - 성능인증 표준 1건 - 기존공법 대비 투입인력 30% 절감 - 공급량 오차 2%/min 이내 이동형 연속 공급장비 - 동일 원재료 하 품질변동성 5% 이내 - 지면으로부터 수직 기준 30도 경사 출력	- 3D프린팅 출력 다기능성 건축 내외장재 시작품(단열, 차음, 진동, 내화 등) - 3D 프린팅 배합, 계측, 공급 자동화 시스템 시작품 - 경사재 직접출력 시작품

기술개발 구성 체계도(2세부)



[그림 III-45] 기술개발 구성 체계도(2세부)

(3) 세세부과제 기술개발 내용

가. (2-1) 출력각도 조절 급속시공 재료 개발

■ 정의

○ 수평부재의 직접 출력, 기울기를 가진 수직부재 출력 대응 부착성능을 극대화한 급속시공 재료 개발

■ 기술수준 및 개발목표

○ 기술수준

As-Is		To-Be
- 기존 건설용 3D 프린팅 기술의 경우, 비정형성에 초점을 맞춘 수직 출력 위주의 기술 개발 - 타 분야의 3D 프린팅에서는 support 등의 기법을 이용해서 3D 프린팅을 구현 - 반면, 건설용 3D 프린팅기술의 경우 출력대상물의 형상을 수직으로 구현 후 회전시키는 기술	▶	- 수직방향으로의 출력각도를 조절하여 직접출력이 가능한 출력기술 개발 - 최대 수평부재의 직접 출력이 가능한 출력기술 개발로 중량의 출력물을 회전시키기 위한 부가적인 작업 감소 - 급속시공을 위한 재료 성능 강화 및 부착성능 극대화한 재료 기술 개발

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 수평면으로부터 연직각 70도 경사 출력 구현을 위한 재료 기술 개발
목표 성능	o 출력 이후 응결시간 기존대비 30% 단축 o 출력각도 수평면 기준 연직각 70도 경사 확보 재료 개발

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
적층재료 및 공법 개선을 통한 적층 모르타르의 경사재 출력기술 개발	o 수직방향 출력 시 돌출부(overhang) 확보 방안 검토 및 요소 기술 개발
기존부재 연결부용 분사기술용 재료 개발	o 기존 출력부재 또는 기존공법으로 시공된 부재에 연결을 위한 분사방식 재료 개발

구성기술	개발내용
지면각도 30도 이상의 재료 출력 기술 개발	o 출력노즐의 각도조절을 통한 수직부재의 시공각도 자유도 확보 기술 개발

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

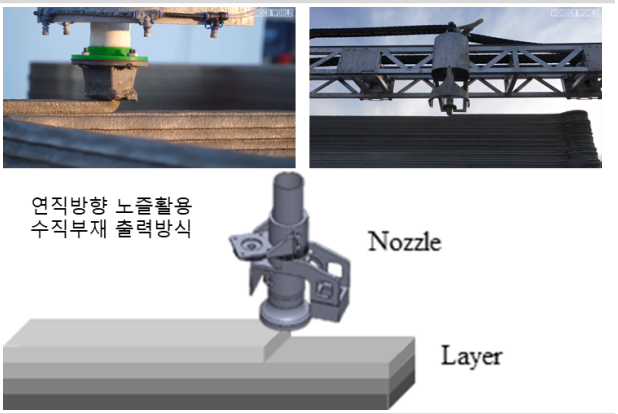
○ (차별성)

- 기존 3D 프린팅 재료의 경우, 수직적층 방식으로 부재를 제작하였으나, 출력물의 형상자유도에 대한 요구증가로 돌출부에 대한 출력 방식 필요
- 기존기술은 출력노즐이 연직방향으로 작동하여 돌출부를 출력하는 방식을 적용하고 있으나 시멘트계 재료의 특성 상 수화반응으로 인한 응결시간 지연으로 항복응력 발현이 늦어져 돌출부 출력의 범위가 한정적
- 본 기술은 기존 수직적층방식의 돌출부 출력 자유도를 향상시키고 노즐부의 회전을 고려하여 출력각도를 조절할 수 있는 기술임

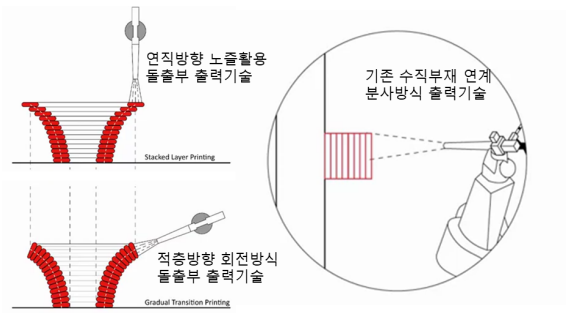
○ (연계성)

- 기존 3D 프린팅 재료 기술과 연동하여 재료의 경화속도를 향상시키는 방법을 적용함으로써 기존 기술과 연계성을 확보
- 경화된 적층물 또는 기존 수직부재에 압출 및 분사기술을 적용하여 수평부재 설치를 위한 우각부 가설물 등의 연계시공 가능

기존 기술



개발 기술



■ 최종 성과물

○ 경사재 적층 출력 시작품

○ 보강재가 포함된 출력물 시작품

○ 연직각 70도 이상의 경사재 출력 시작품

나. (2-2) 구조부재 출력물의 사용성 평가 기술 개발

■ 정의

○ 3D 프린팅으로 출력한 구조부재의 사용기간 중 장기거동, 내구성능 확보를 위한 성능평가기술 및 성능강화기술 개발

■ 기술수준 및 개발목표

○ 기술수준

As-Is		To-Be
o 3D 프린팅 기술로 출력한 구조부재의 장기거동에 대한 평가방법 부재 o 출력 기술에 대한 관심도 집중으로 출력물의 장기 사용성에 대한 연구개발 미진 o 실제 외부 환경에 노출에 의한 내구성능 평가방법 부재	▶	o 장기거동 평가를 위해 크리프, 수축, 균열 등에 대한 종합적인 사용성 평가방법 개발 o 환경적 원인에 의한 노출등급 및 범주 기반 성능 평가방법 개발 o 사용성을 고려한 3D프린팅 부재의 설계근거 마련

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 출력부재의 사용성 평가방법 및 성능강화 기술개발
목표 성능	o 적층재료의 압축부재 장기거동 평가방법(안) 개발 o 적층재료의 내구성능 평가방법(안) 개발 o 적층재료의 변형특성 모델 개발

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
적층재료 압축부재 장기거동 평가방법 개발	o 적층재료 압축부재 장기거동(크리프, 건조수축) 평가방법 개발
적층재료 내구성능 평가방법 개발	o 적층재료의 계면의 확산영향을 고려한 내구성능 평가방법 개발 o 적층재료의 외부환경인자 반영 온도구배에 따른 내구성능 평가방법 개발
적층재료의 변형특성 모델 개발	o 적층재료의 출력초기 노출상태를 고려한 적층재료의 변형특성 평가 o 출력 초기 노출상태 및 장기거동 영향을 반영한 변형특성 모델 개발

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

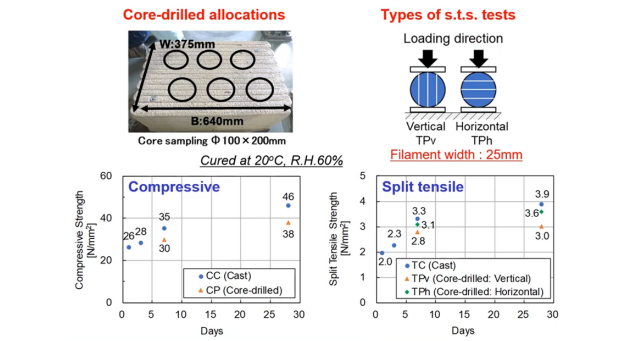
○ (차별성)

- 전 세계적으로 개발된 3D 프린팅 기술은 출력 기술 개발에 집중하여 다양한 형태의 건축물 및 구조물을 출력하였으나, 실제 장기 사용성에 대한 검증은 미흡
- 특히, 출력물의 특성 상 배합 초기 특별한 양생기법 적용 없이 외기에 노출되므로 수분 증발 및 수축량 증가로 장기적인 거동에 대한 검증이 필요하며, 적층된 재료의 특성 평가 기술 개발이 필요
- 또한, 다양한 외기조건에 노출되는 일반 콘크리트 구조물과 같이 장기적인 사용성 관점에서 내구성능에 대한 평가방법 개발과 특성평가가 필요

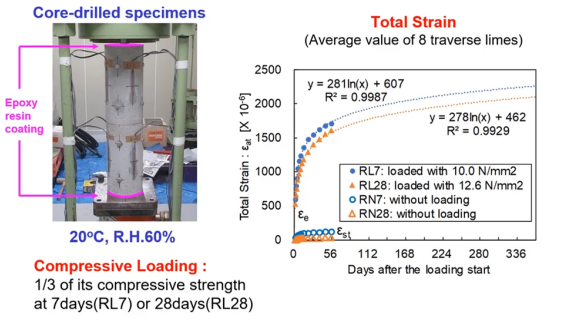
○ (연계성)

- 기존 사용성 평가방법 관점에서의 3D 프린팅 출력물의 특성 평가 방법에 대한 기준을 정립하고, 변형특성 모델을 개발함으로써 기존 설계방식 적용성 확보
- 기존 콘크리트의 내구성능 평가방법과 비교검토를 통한 성능 제시

재료역학적 특성 검토 예시



장기거동 검토 예시



■ 최종 성과물

○ 적층재료의 압축부재 장기거동 평가방법(안)

○ 적층재료의 내구성능 평가방법(안)

○ 적층재료의 변형특성 모델 개발

다. (2-3) 탄소중립형 3D 프린팅 재료기술 개발

■ 정의

○ 재활용 재료 기반의 탄소중립형 건설용 3D 프린팅 복합재료 개발 및 성능 확보

■ 기술수준 및 개발목표

○ 기술수준

As-Is		To-Be
- 기존 3D 프린팅 재료의 경우 시멘트 기반의 복합재료를 활용함으로써 탄소배출량 감축에 대한 기여 부족 - on-demand 방식의 출력으로 요구되는 사용량은 기존 건설방식 대비 감소 효과 - 출력 이후 불필요한 건설폐기물 배출은 기존 건설방식 대비 감소되는 긍정적 효과	▶	- 탄소중립형 재료의 균질성 확보를 위한 재료 주입공정기술 개발 - 재활용재료, 산업부산물 등 순환재료를 활용한 탄소중립형 재료 기술 개발 - 구조부재/비구조부재용 탄소중립형 3D 프린팅 재료기술 개발

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 탄소중립형 3D 프린팅 재료기술 개발
목표 성능	o 순환재료(재활용재료, 산업부산물 등) 50% 이상 활용 기술 개발 o 탄소중립형 재료 균질성 확보를 위한 재료주입공정 기술 개발 o 구조부재/비구조부재용 순환재료 활용 기술 개발

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
순환재료 활용 적층재료 개발	o 순환재료 50% 이상 활용한 3D 프린팅용 적층재료 기술 개발
재료주입공정기술 개발	o 재료균질성 확보용 3D 프린팅 재료공급시스템을 활용한 재료주입공정 기술 개발
구조부재/비구조부재용 순환재료 활용 기술 개발	o 순환재료 특성 맞춤형 순환재료 선택 및 사용기준 정립 o 구조부재/비구조부재 순환재료 적용에 따른 성능 평가 o 순환재료 활용에 대한 가이드라인 제시

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

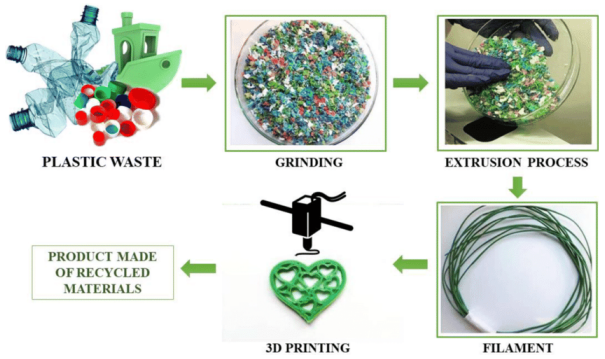
○ (차별성)

- 탄소중립형 건설재료의 개발을 위해 시멘트의 생산단계 이산화탄소 포집, 화석연료 사용감축 등 포집, 저장, 활용 전 분야에서의 다양한 기술개발과 탄소저감을 위한 연구를 진행 중
- 콘크리트는 다양한 원재료가 혼합된 복합재료로 균질성 확보가 충분한 성능발현을 위한 선결조건이나 최근 다양한 재료의 혼입은 원재료의 물질적 특성으로 인해 기존기술로는 해소하기 어려움
- 3D 프린팅은 제조업 프로세스와 같이 다양한 공정을 선택적 적용이 가능하여 탄소중립형 재료 및 출력공정 개발을 통해 기존 전통적 콘크리트 생산공정과 차별화

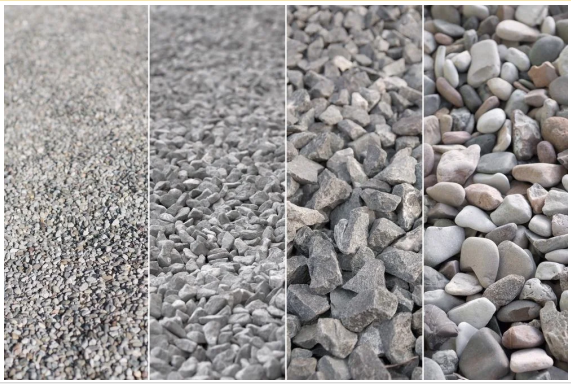
○ (연계성)

- 플라스틱, 유리, 금속계열의 3D 프린팅 기술에서도 다양한 순환재료 적용을 적용하기 위해 기술개발을 수행중이며, 기 개발된 공정을 적극 활용할 수 있는 가능성이 높음
- 특히 건설분야에서는 다양한 순환재료(순환골재 등)이 생산되고 있으나 그 활용방안이 제한적인 제약조건을 3D 프린팅 기술과 연계로 돌파 가능

재생 플라스틱을 사용한 3D 프린팅 기술 예시



순환골재 예시



■ 최종 성과물

○ 순환재료를 50% 이상 활용한 3D 프린팅용 적층재료 시작품

○ 순환재료 적용 구조부재/비구조부재 출력물 시작품

○ 순환재료 활용 가이드라인(안)

라. (2-4) 건축물 에너지 효율 향상을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발

■ 정의

○ 실거주용 주택에 적용가능한 에너지 효율 3D 프린팅 복합재료 및 제조시스템 개발 기술

■ 기술수준 및 개발목표

○ 기술수준

As-Is		To-Be
- 3D 프린팅 재료, 장비 및 시스템 개발이 국내외적으로 진행되고 있음 - 현재 기술수준은 출력물 형상 제어(출력성, 적층성, 압출성 등) 에 국한. - 3D 프린팅 기술 활용 단열성 확보 복합재료 관련 연구 전무	▶	- 기존 건축물과 동등 혹은 이상의 에너지 효율화를 통해 패시브하우스 구축에 기여 가능

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 실거주용 주택에 적용 가능한 에너지 효율 3D 프린팅 복합재료 및 제조시스템 개발
목표 성능	o 주택성능등급 만족 및 실거주 주택 적용이 가능하도록 기존 제품과 동등한 품질 확보 (두께 30mm 기준 열전도율 0.04 W/(m·k)이하, 투습계수 300 ng/m²·s·Pa 이하) o 3D 프린팅 및 기존주택 대응 시작품 개발

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
3D 프린팅 단열재 복합소재 및 제조 기술 개발	o 단열성능 향상 3D 프린팅용 복합소재 개발 o 단열성 복합소재 활용 3D 프린팅 설계/제조 기술 개발 o 단열성 확보 건축물 복합재료 시작품 2건 개발
3D 프린팅 기밀재 복합소재 및 제조 기술 개발	o 기밀성능 향상 3D 프린팅용 복합소재 개발 o 기밀성 복합소재 활용 3D 프린팅 설계/제조 기술 개발 o 기밀성 확보 건축물 복합재료 시작품 2건 개발 (적용부 도출)

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

○ (차별성) 3D 프린팅을 활용하여 비정형 건축물에 적용 가능한 형상으로 출력함과 동시에, 기존 제품 동등 이상의 단열·기밀 성능을 확보한 건축물 에너지 효율 향상 복합재료 개발

○ (연계성) 기존 건축물의 단열·기밀 설비 개선을 위하여 해당 주택 맞춤형 제품 제작을 가능하게 함

■ 최종 성과물

○ 3D 프린팅 단열재 시작품 2건 (재료, 설계, 제조 기술 최적화)

○ 3D 프린팅 기밀재 시작품 2건 (재료, 설계, 제조 기술 최적화)

마. (2-5) 건축물 생활환경 개선을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발

■ 정의

○ 3D 프린팅 주택 및 기존 건축물의 흡음·진동 제어가 가능한 3D 프린팅 기반 기능성 복합재료

- 흡음·진동 제어 최적 소재 개발 및 출력 패턴 최적화를 통해 특정 영역 주파수 맞춤형 복합재료 (패널, 외장재 등)

■ 기술수준 및 개발목표

○ 기술수준

As-Is	To-Be
- 건설용 3D 프린팅의 재료는 콘크리트, 폴리우레탄, 바이오 플라스틱, 진흙, 모래, 혼합재료 등 다양한 소재를 활용하고 있음. - 위와 같이 3D 프린팅용 재료의 다양성 확대를 위한 연구가 진행되고 있으나, 조형성 구현을 최종목표로 형상 출력성 확보에 국한되어 진행되는 한계가 있음.	▶ - 흡음·진동 제어 3D 프린팅용 재료 및 출력 형상 최적화를 통해 생활환경 개선형 복합재료 개발 - 흡음·진동 제어형 복합재료 개발을 통해 소비자 맞춤형 및 생활환경 개선형 제품 개발

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 실거주용 주택에 적용 가능한 생활환경 개선 3D 프린팅 복합재료 및 제조시스템 개발
목표 성능	o 주택성능등급 만족 및 실거주 주택 적용이 가능하도록 기존 제품과 동등한 품질 확보 (흡음재(흡음 0.3등급), 바닥재(바닥충격음 차단 성능 등급 4등급 만족)

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
3D 프린팅 흡음재 복합소재 및 제조 기술 개발	o 흡음성능 향상 3D 프린팅용 복합소재 개발 o 흡음성 복합소재 활용 3D 프린팅 설계/제조 기술 개발 - 경량화/소형화 기술 개발 o 흡음성 확보 건축물 복합재료 시작품 2건 개발

구성기술	개발내용
3D 프린팅 진동재 복합소재 및 제조 기술 개발	o 진동성능 향상 3D 프린팅용 복합소재 개발 o 진동성능 복합소재 활용 3D 프린팅 설계/제조 기술 개발 - 경량화/소형화/내구연한 확보 기술 개발 o 진동성능 확보 건축물용 바닥 완충재 시작품 1건 개발

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

○ (차별성)

- 3D 프린팅 기술을 활용하여 기성제품으로 해결 불가능한 생활환경 문제 해결이 목표
- 흡음·진동 제어 최적 소재 개발 및 출력 패턴 최적화를 통해 특정 영역 주파수 맞춤형 복합재료 개발

○ (연계성)

- 기성 제품(흡음재 및 바닥진동재)과 병행 사용이 가능하도록 설계/제조 기술을 제시함으로써, 3D 프린팅 제조에 따른 경제성 및 제품성능 효율성 확보

■ 최종 성과물

○ 3D 프린팅 흡음재 시작품 2건

- 재료, 설계, 제조 기술 최적화

○ 3D 프린팅 진동재(공동주택 바닥 완충재) 시작품 1건

- 재료, 설계, 제조 기술 최적화

바. [2-6] 건축물 화재 안전 대응 3D 프린팅 복합재료 개발

■ 정의

○ 3D 프린팅 주택 및 기존 건축물의 화재 안전성 확보를 위하여 용도별・소재별 복합재료의 내화성능 확보 기술 개발

※ 용도별 (단열재, 기밀재, 흡음재, 진동재 등) / 소재별 (고분자, 시멘트 계 등)

■ 기술수준 및 개발목표

○ 기술수준

As-Is	To-Be
- 내화성능 확보 3D 프린팅 콘크리트에 대한 연구가 진행되고 있으나, 용도별 복합재료에 대한 내화성 확보 미비	- 용도별·소재별 복합재료의 내화성(불연, 준불연 및 난연)확보를 통해 실거주 주택에 시공가능

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 실거주용 주택에 적용가능한 내화성능 확보 복합재료 개발
목표 성능	o 주택성능등급 만족 및 실거주 주택 적용이 가능하도록 기존 제품과 동등한 품질 확보 o 용도별・소재별 복합재료의 내화성능 확보 기술 개발 ※ 용도별 (단열재, 기밀재, 흡음재, 진동재 등) / 소재별 (고분자, 시멘트 계 등)

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
3D 프린팅 내화성능 복합소재 개발	o 내화성능 향상 3D 프린팅용 복합소재 개발 o 소재별·용도별 내화성능 확보 기술 개발(불연재료・준불연재료 또는 난연재료) o 내화성 복합소재 활용 3D 프린팅 설계/제조 기술 개발 o 내화성능 연계 기술 개발 (단열재, 기밀재, 흡음재, 진동재) o 시작품 2건 개발

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

○ (차별성)

- 용도별·소재별 내화성능을 만족하도록 등급별 내화성 확보를 목표로, 소재 및 제조 기술 최적화

○ (연계성)

- 용도별·소재별 제품 제조 프로세스에 직접 적용하도록 진행하고 이를 통해 제품 간 연계성 및 개발기간 단축 도모

■ 최종 성과물

○ 용도별 내화성능 시작품 2건

- 재료, 설계, 제조 기술 최적화

사. (2-7) 3D 프린팅 현장 요구성능 대응 배합설계 자동화 및 품질관리 기술

■ 정의

○ 3D 프린팅의 on-site 시공 시, 현장의 장비조건, 환경조건을 고려하여 3D 프린팅 배합설계 핵심 인자 도출 및 Data기반의 재료배합설계 자동화 기술 개발

- 재료의 상태분석을 통한 기초데이터 확보, 재료공급과정에서의 온도, 압력 데이터 확보를 통한 Data driven mixing process 개발

■ 기술수준 및 개발목표

○ 기술수준

As-Is		To-Be
- 물-시멘트비, 단위수량 등 적은 수의 인자에 따른 관계식으로 압축강도 추론 - 구성 재료의 품질 변동(골재 표면수 등) 및 작업자(operator)에 의한 재료 계량 오차 발생 - 현장에서 요구되어 지는 설계 배합강도 에 따라 배합설계 후, 생산된 제품에 대한 강도 예측은 샘플링 검사	▶	- 3D프린팅용 콘크리트의 이송성능, 압출성능, 적층성능 사전 예측을 위한 AI 알고리즘 개발 - 배합물성 이상 발생 시 즉시 조치 대응 기술을 개발, 재료 품질 이상으로 인한 출력 중 시공단계 문제점 즉시 해소 - 기계학습을 통한 압축강도 예측으로 사람의 인위적 개입의 최소화 - 원재료의 수급부터 보관 관리에 대한 체계 마련

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 3D 프린팅 현장 요구성능 대응 배합설계 자동화 및 품질관리 기술 개발
목표 성능	o 기존공법 대비 투입인력 30% 절감

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
3D 프린팅용 현장배합 설계 Data 기반 구축	o 배합설계 및 품질관리 자동화를 위한 기본 데이터 베이스 구축을 위해 재료 품질, 혼합 시간, 제조 오차 등 콘크리트 압축강도에 영향을 미치는 여러 인자 반영한 배합 Data 기반 구축
재료의 품질관리 체계 구축	o 재료의 품질관리 상태에 따른 성능평가 data 확보 및 재료관리 체계 구축
Big data 기반 Machine learning 학습을 통한 배합설계 Tool 개발	o 제품 품질 정보 수집의 자동화를 통한 데이터 분석 관리체계 구축 o 재료 생산공정에서 취득된 연속적인 센싱계측데이터 활용 배합설계 Tool 개발
환경조건에 따른 테스트베드 적용 및 검증	o 개발된 시스템을 활용하여 설계배합의 재료물성 및 압축강도 예측데이터와 실측데이터 상대평가 및 Feed back o 표준환경 하 시스템 검증 및 4계절 시공환경 대응 테스트베드 검증 실시

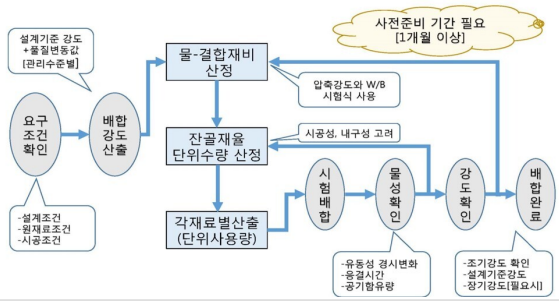
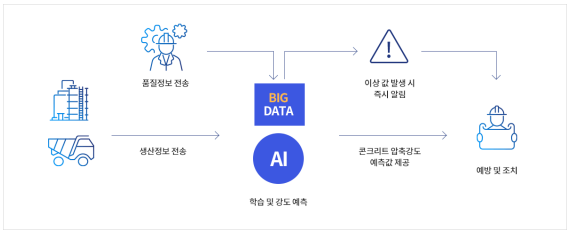
■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

○ (차별성)

- 기존 건설용 3D 프린팅 재료 개발연구는 Trial and Error 방식으로 수차례의 반복적인 테스트를 거쳐 장비와의 호환성 등을 검토함
- 출력물의 크기 변수로 인해 재료 이송거리, 재료 이송고 등의 변화에 따라 따른 요구성능 변화의 수용가능성 확보
- 출력 환경 변화로 인해 겨울철 재료 응결속도 및 강도 저하, 여름철 수분증발로 인한 유동성능 저하 등의 환경적 요인의 성능저하 대응 가능

○ (연계성)

- 기존 구조물 설계/시공 분야 연계 비정형성 확보를 위한 급속시공 파트의 현장 출력 배합 대응
- Offsite construction에서의 3D프린팅 기술을 적용한 부재생산 공정설계 시 요구성능 대응 방안 마련

기존 기술	개발 기술
	

■ 최종 성과물

- ○ 현장 배합 Data 획득 매뉴얼
- ○ 배합설계 Data 학습 매뉴얼
- ○ 테스트베드 출력 시작품

아. (2-8) 이동형 재료 공급(계량/배합/이송/압출/세척) 시스템 개발

■ 정의

- ○ 시공자동화를 위해 재료의 계량을 비롯하여 출력을 자동화하고 사용 후 장비의 세척에 이르기까지 재료공급과 관련된 모든 공정을 포함한 모바일 시스템 개발

■ 기술수준 및 개발목표

- ○ 기술수준

As-Is	To-Be
- 현재 3D 프린팅 재료의 경우 재료 품질 확보를 위해 Premixing 방식으로 사전 계량 및 포장되어 재료를 공급하는 형태로 개발 - 현장에서 3D 프린팅 재료 공급에는 작업인부가 투입되어 정성적인 방법으로 계량, 배합, 공급 되어 출력 - 3D 프린팅의 경우, 출력과정에서 Printing용 robot은 이미 자동화가 되어 있으나, 출력재료의 공급시스템은 전적으로 인력에 의존하는 형태	- 출력물의 특징에 따라 다수의 원재료를 자동으로 계량하여 정량을 공급 - 3D 프린팅 robot과 연동된 재료 공급 자동화 시스템이 연계되어 계량, 배합, 공급되어 출력 - 출력 공정 중 재료의 품질관리, 시공 중 공정관리를 위해 장비의 유휴상태 전환을 위한 자동화 시스템 개발

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 3D 프린팅 시공자동화를 위한 이동형 재료 공급 시스템 개발
목표 성능	o 공급량 오차 2%/min 이내 이동형 연속 공급장비

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
현장 요구성능 대응형 시스템 설계 기술	o 현장 요구성능을 고려한 시스템 Frame 및 구성설계 o 가동범위 category 분류(장비, 출력물, 환경)에 따른 시스템 설계
재료공급시스템 요소기술 개발	o 계량, 배합, 이송, 압출, 세척 시스템 핵심장치 개발 o 인력 투입 최소화 및 품질 확보를 위한 재료공급 공정 요소기술 개발
배합설계 자동화 기술 연계 제어 기술	o 공정별 센싱 계측 기술 개발 및 실시간 공정 제어 기술 개발 o 재료 계량, 배합, 이송 압출 연계 프로세스 개발 및 현장검증

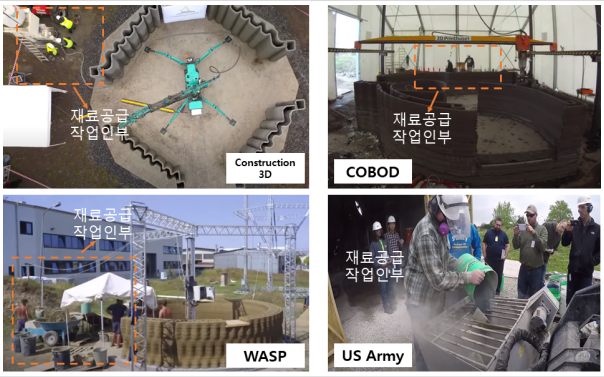
■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

○ (차별성)

- 기존 건설용 3D 프린팅 재료 공급과정에서는 기존 전통적 방식의 콘크리트 재료 공급 방식과는 달리, 소규모의 자동화된 재료 공급 방식이 부재하여 인력 투입이 필수
- 건설용 3D 프린팅의 공정은 재료생산, 이송, 출력 3단계 공정으로 이뤄졌으나 각 공정간 연결에는 정밀한 제어가 필요하여 숙련된 재료관련 기술자가 필요
- 재료공급시스템의 자동화, 현장형 시스템 개발로 3D 프린팅 기술의 강점인 시공자동화의 자동화율 향상 가능

○ (연계성)

- 이동형 재료공급 시스템은 향후 작업자 접근이 어려운 지역(재난지역, 전시지역 등) 및 극한환경(극한지 건설 등)에서 기존의 공법과 연계하여 활용이 가능

기존 기술	개발 기술
	

■ 최종 성과물

- ○ 장비 설계도서
- ○ 이동형 재료공급시스템 시작품
- ○ 테스트베드 시작품

자. (2-9) 3D 프린팅 건축부재 성능인증 시스템 개발

■ 정의

- ○ 실거주형 주택건설을 위한 3D 프린팅 건축부재 성능인증 시스템 개발

■ 기술수준 및 개발목표

- ○ 기술수준

As-Is	To-Be
- 출력 장비, 전용 재료 및 출력 제품의 성능인증 시스템 부재에 따른 현장 도입 한계 - 현재 KS D ISO 17296-3 적층제조-일반원칙-제3부:주요 특성 및 시험방법 등의 3D프린팅 분야의 표준화가 진행되고 있으나, 건축부재 표준은 전무	- 3D 프린팅 주택 및 건축부재 성능평가·인증 시스템 도입에 따른 시장진출 기반 확보

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 실거주용 주택건설을 위한 3D 프린팅 건축부재(구조재/비구조재)의 성능인증 시스템 구축
목표 성능	o 주택성능등급 연계 가능의 건축부재(구조재/비구조재) 성능평가 및 인증 시스템 구축

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
3D 프린팅 건축부재(구조, 비구조) 표준 개발	o 성능평가 표준(안) 제시 o 3D 프린팅 건축부재(구조, 비구조) KS(안) 제시
3D 프린팅 건축부재 성능인증 지침 개발	o 3D 프린팅 건축부재 성능인증 지침서(안) 제시 - 인증대상 (3D 프린팅 장비, 제조 공정, 소재, 품질관리 등) o Test-bed 적용 및 성능 검증

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

○ (차별성)

- 출력장비, 소재 등의 주요요인을 고려하여 3D 프린팅 건축부재 성능평가 및 인증 시스템 구축

○ (연계성)

- 3D 프린팅 건축부재를 기존시공주택에 적용하는 경우를 고려한 지침서(안) 제시를 목표로 하고, 이를 통해 건축부재의 범용성 확보

■ 최종 성과물

○ 성능평가 표준(안)

○ 3D 프린팅 건축부재 성능인증 지침서(안)

(4) 세부과제2 기술개발 로드맵

세세부 과제	주요 연구내용(개발기술)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
[2세부] 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발						
(2-1) 출력각도 조절 급속시공 재료 기술 개발	❖ 적층재료 및 공법 개선을 통한 적층 모르타르의 경사재 출력기술 개발	■	■			
	❖ 기존부재 접착력이 강화된 분사기술용 재료 개발		■	■	■	
	❖ 지면각도 30도 이상의 재료 출력 기술 개발				■	■
(2-2) 구조부재 출력물의 사용성 평가 기술 개발	❖ 적층재료의 압축부재 장기거동 평가방법 개발	■	■	■	■	
	❖ 적층재료의 내구성능 평가방법 개발		■	■	■	■
	❖ 적층재료의 변형특성 모델 개발				■	■
(2-3) 탄소중립형 3D 프린팅 재료기술 개발	❖ 순환재료 활용 적층재료 개발	■	■	■		
	❖ 탄소중립형 재료 균질성 확보를 위한 재료주입공정 기술 개발			■	■	■
	❖ 구조부재/비구조부재용 순환재료 활용 기술 개발				■	■
(2-4) 건축물 에너지 효율 향상을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발	❖ 에너지 효율향상용 복합소재 요소기술 개발	■				
	❖ 에너지 효율향상용 복합재료 제조 및 최적화 기술 개발		■			
	❖ 에너지 효율향상용 시작품 및 현장적용 개발			■		
	❖ 에너지 효율향상용 시작품 성능고도화 개발 및 성능인증				■	■
(2-5) 건축물 생활환경 개선을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발	❖ 생활환경 개선용 복합소재 요소기술 개발	■				
	❖ 생활환경 개선용 복합재료 제조 및 최적화 기술 개발		■			
	❖ 생활환경 개선용 시작품 및 현장적용 개발			■		
	❖ 생활환경 개선용 시작품 성능고도화 개발 및 성능인증				■	■
(2-6) 건축물 화재 안전 대응 3D	❖ 화재안전 대응형 복합소재 요소기술 개발	■				
	❖ 화재안전 대응형 복합재료 제조 및 최적화 기술 개발		■			

프린팅 복합재료 개발	❖ 화재안전 대응형 시작품 및 현장적용 개발					
	❖ 화재안전 대응형 시작품 성능고도화 개발 및 성능인증					
(2-7) 3D 프린팅 현장 요구성능 대응 배합설계 자동화 및 품질관리 기술	❖ 3D 프린팅용 현장배합 설계 Data 기반구축					
	❖ Big data 기반 Machine learning 학습을 통한 배합설계 Tool 개발					
	❖ 환경조건에 따른 테스트베드 적용 및 검증					
(2-8) 이동형 재료 공급(계량/배합/이송/압출/세척) 시스템 개발	❖ 현장 요구성능을 고려한 시스템 Frame 및 구성설계					
	❖ 계량, 배합, 이송, 압출, 세척 시스템 요소기술개발					
	❖ 재료계량, 배합, 이송, 압출 연계 프로세스 개발 및 현장검증					
(2-9) 3D 프린팅 건축부재 성능인증 시스템 개발	❖ 3D 프린팅 건축부재(구조, 비구조) 표준 개발					
	❖ 3D 프린팅 건축부재 성능인증 지침 개발					

(5) 기대효과

핵심항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'23년 수준	최종 목표수준	
	~'21	'23	'28(종료년도)	'28~(종료이후)
건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발	■ 3D 프린팅 비정형 내외장재 ■ 재료배합/이송/출력 과정 중 다수 인원 투입 ■ 실험적 검증을 통한 현장 배합 도출 ■ 직접시공은 수직부재에 한정하여 가능	■ 출력장비, 전용 재료 및 출력 제품의 성능인증 시스템 부재 ■ 현장 요구 설계 배합 강도에 따른 설계 후 샘플링 검사 수행 ■ 출력재료 공급시스템은 전적으로 인력에 의존 ■ 비정형성에 초점을 맞춘 수직 출력 위주 ■ 출력물 형상제어(출력성, 적층성, 압출성 등)에 국한	■ 구조성능 인증 이상 ■ 성능인증 표준 1건 ■ 기존공법 대비 투입인력 30% 절감 ■ 공급량 오차 2%/min 이내 이동형 연속 공급장비 ■ 동일 원재료 하 품질 변동성 5% 이내 ■ 지면으로부터 수직 기준 30도 경사 출력	■ 3D 프린팅 출력 다기능성 건축 내외장재 복합소재 및 제조기술 ■ 주택성능인증 수준 3D 건축 자재 개발 ■ 3D 프린팅 재료 공급 자동화기술 ■ 출력각도조절 급속 시공 재료기술 ■ 현장 출력물성 품질 관리 기술
	TRL Level 3~4단계	→	TRL Level 7단계	



3) 세부과제3 : 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발

(1) 이슈진단 및 현안분석

가. 문제/이슈의 도출

<표 III-51> 문제/이슈의 도출

<table>
<tr><th colspan="2">배경</th><th colspan="2">필요성</th></tr>
<tr><td colspan="2">o 건설 노동력 부족으로 인한 건설로봇 필요성 대두
- 노동인구 감소와 위험작업 기피로 건설 현장의 절대적인 노동력이 부족해지고, 숙련작업자의 수급이 어려워짐
o 수직부재 프린팅에 국한되어 상업화에 한계
- 건축 3D 프린팅이 국내외 많은 연구기관과 기업에서 연구되고 있지만 대부분 수직부재 프린팅에 국한</td><td colspan="2">o 실거주 가능 수준의 건축물 프린팅을 위한 수직부재 이외의 복잡한 형상의 구조물을 정밀하게 출력할 수 있는 프린팅 장비 및 운용 기술 개발 필요
o 실거주 가능 수준의 건축물 프린팅을 위한 콘크리트 이외의 단열재 등 이종 재료 출력 가능 분사노즐 및 제어기술 개발 필요
- 현장에서 상업적인 용도로의 실질적 기술 활용 가능성 확보</td></tr>
<tr><th colspan="4">환경분석</th></tr>
<tr><td>시장동향</td><td>o (전망) 건설 분야에 자동화 로봇기술이 적용되면서 다양한 자동화 건설 장비가 개발되고 있으며, 3D프린팅 기반 건설 방식이 미래 건설 방식의 대세를 이룰 것으로 전망됨

o (현황) 미국, 이탈리아, 네덜란드, 중국 등이 기술을 선도하고 있으나 실증시범 수준으로 실거주 가능 상용화 수준의 시공장비와 운용 장비는 시장에 출현하지 않음
- 일부 수식부재를 출력하는 장비는 상용화 되어 있지만 실거주 가능 주택의 일부만 대응 가능해 큰 수요가 발생하지 않음</td><td>기술동향</td><td>o (동향) 미국, 이탈리아, 네덜란드, 중국을 중심으로 건설 3D프린팅 기술이 활발하게 개발되고 있음
- 모듈형 출력방식과 일체형 출력방식의 양축으로 장비 개발이 진행
- 특히, 중국에서는 고속 주택건설을 시연하고 정부차원의 규제완화를 지원

o (수준) 국내 프린팅 장비 기술개발은 후발주자로 출발했음에도 선진기술이 성숙하지 않아 기술 격차가 크지 않음
- 선진기술 보유국과 기술격차 2.5년 이내
- 수평부재 및 복잡·정밀한 형상출력 기술을 선점하면 글로벌 기술 선도 가능</td></tr>
<tr><th colspan="4">핵심현안</th></tr>
<tr><td colspan="4">① 건설 3D 프린팅장비의 기술 고도화를 통한 경쟁력 확보
② 기술 사업화를 위한 실증 테스트베드 구축 및 운영 지원
③ 건설 3D 프린팅 시장 확산 및 글로벌 선도를 위한 정부차원의 규제 완화</td></tr>
</table>

나. 핵심현안

1 건설 3D 프린팅장비의 기술 고도화를 통한 경쟁력 확보

■ 국내의 경우 수직부재 위주의 장비로 복잡 정밀 프린팅 가능 장비기술의 미흡

○ 선진 기술사들은 수직부재 뿐만 아니라 다양한 형상의 디자인 벽면 프린팅 및 비수직 부재의 출력을 위한 장비와 소재를 개발 중으로 국내에서는 수직부재 이상의 3D 프린팅에 대한 기술 개발이 미흡

- 단순 수직부재가 아닌 복잡·정교한 형상의 디자인 벽면과 경사면 출력 등이 가능한 프린팅 장비 및 노즐장치, 정밀 프린팅 제어 기술 개발을 통한 기술 경쟁력 확보 필요

○ 실거주 가능 건축물 건설에 활용 가능한 수평부재 등 고난도 작업의 프린팅용 소재 및 장비, 시공기술은 선진 기술사도 확보하지 못한 상황

- 선행 투자를 통해 미리 선점할 경우 글로벌 기술 선도 가능

2 기술 사업화를 위한 실증 테스트베드 구축 및 운영 지원

■ 건설 3D 프린팅 장비 개발이 상용화 기술로 발전하기 위한 다양한 실증 가능한 테스트베드 환경 구축과 실증 지원의 필요

○ 효율적이고 정량적인 성능 검증을 위한 표준화된 평가 프로세스 부재

- 국가 차원의 표준화된 성능검증을 위한 정량적 평가기술 확보를 통해 3D 프린팅 장비의 경쟁력 제고 필요

○ 개발업체의 자체적 성능검증을 위해서는 많은 비용 지출 등의 애로사항 존재

- 3D 프린팅 장비의 성능검증 및 현장 적용성 등을 평가하기 위해서는 대규모의 테스트베드 공간확보 및 전원공급 등의 시설 확보 필요

- 따라서 국가차원의 테스트베드 구축으로 장비 개발업체의 성능검증 비용 절감 및 기술 성숙도 조기 달성을 통한 기술 경쟁력 확보 필요

○ 테스트베드 인프라 활용을 통한 개발업체의 장비 성능 검증 프로세스 확보

- 국내 3D 콘크리트 프린팅장비의 기술경쟁력 제고

3 건설 3D 프린팅 시장 확산 및 글로벌 선도를 위한 정부차원의 규제 완화

■ 전통적 건설 방식의 건축물 관련 규정의 3D 프린팅 기반 공법에 적합한 규정으로의 재정립 필요

○ 3D 프린팅 장비의 산업 생태계 조성을 위해 장비가 현업에서 활용될 수 있도록 기존 건설방식에 맞추어 설정된 각종 건축물 관련 규정의 재정비가 필요

- 3D 프린팅 장비 기반의 건축물은 기존 공법에 대한 평가기준으로 평가 시 장비 자체가 현업에서 활용되지 못하도록 하는 걸림돌로 작용할 수 있음

○ 다양한 시공법에 대한 평가기준과 연계하여 건축물 시공 적합성을 판단할 수 있는 새로운 규정의 재정이 필요

- 3D 프린팅 장비의 경우 기존과 매우 다른 다양한 시공기술의 활용이 가능

(2) 기술개발 개요

<표 III-52> (세부과제3) 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발 개요

구분	내용	
기술개발 정의	o 프린팅 장비의 현장 활용성과 프린팅 성능을 제고할 수 있는 장비설계 및 정밀제어 기술 - 3D 프린팅 장치의 현장 설치를 간편하게 함으로써 다양한 현장에서 설치 정밀도를 높이는 동시에 설치 시간은 최소화 - 다양한 크기와 형상의 건축물을 정밀하고 신속하게 출력하게 함으로써 프린팅 장비의 현장 활용성과 프린팅 성능을 제고할 수 있는 장비설계 및 정밀제어	
범위 (세세부과제)	o (세세부과제1) 복잡형상 정밀 출력 가능한 소형 말단 머니퓰레이터와 대형 주 머니퓰레이터 복합형 3D 프린팅 장비 개발	
	구성기술	• ①-1 복합형 3D 프린터 1차 시작품 제작, 기초 모션 구동 테스트 및 보완사항 도출 • ①-2 복합형 3D 프린터 동특성 개선 보완설계 및 제어성능 개선, 공급장치 및 가설 장비와 통합연동 • ①-3 복합형 3D 프린터 정밀 제어 기반, 실 건축물 프린팅 통한 프린터 성능 검증
	o (세세부과제2) 프린팅 장치의 용이한 이동설치 가능한 전(全)방향 이동형 가설 시스템 개발	
	구성기술	• ②-1 전방향 이동형 가설 장치 1차 시작품 제작, 이동성 및 고정장치 구동 테스트 • ②-2 전방향 이동형 가설 장치 이동성 미치 고정성능 개선, 포지셔닝 및 밸런싱 제어 알고리즘 개발 • ②-3 실현장 적용을 통한 포지셔님 및 밸런싱 제어 최적화 및 성능 검증
	o (세세부과제3) 다중 이중 재료 동기 분사 가능한 다목적 가변형 노즐 장치 개발	
	구성기술	• ③-1 다중 이동 분사 모듈 1차 시작품 제작 및 기초 분사 성능 테스트 및 보완사항 도출 • ③-2 다중 이동 분사 모듈 동작 반응성 개선 보완설계, 분사모듈 가변제어 및 이동 분사제어 테스트 • ③-3 프린터 모션연동 정밀 분사제어 최적화 및 성능검증
	o (세세부과제4) 실시간 3D 형상인식기반 3차원 툴패스 보정 및 분사노즐 연동제어 가능한 3D 정밀 프린팅 제어기술 개발	
	구성기술	• ④-1 출력물 형상인식 기반 툴패스 보정 알고리즘 초기 구현 및 기초 실험 • ④-2 출력물 형상 인식 기반 툴패스 보정 알고리즘 성능 개선 및 프린터 연동 제어 실험 • ④-3 실현장 적용 통한 툴패스 보정 알고리즘 최적화 및 성능 검증

기술개발 목표

As-Is	To-Be	목표성능	대표성과물
- 겐트리 타입의 프린터로 팩토리운용에는 유리하지만 현장에서의 신속한 설치에 어려움이 있음 - 단일노즐로 다중 분사 불가능함 - 출력된 결과물의 품질관리를 위한 형상인식 및 이에 따른 툴패스 경로보정과 분사노즐 가변 기능이 없음	- 이동형 가설장치를 통해서 현장 설치가 용이 - 대형 유압식 크레인과 소형 전자식 머니퓰레이터 복합형으로 대형 구조체 출력과 함께 정밀하고 복잡한 소형 형상 출력 대응 가능 - 다중 가변 분사노즐로 출력 효율을 높이고 사용자의 다양한 요구에 대응 가능하도록 출력 대상체의 범위 확대 가능	- 말단 툴의 반복 정밀도 10mm 이내 - 수평설치 오차 0.2도 이내, 설치위치 오차 15mm 이내 - 동시분사 노즐수3개 이상 - 동시분사 이종재료 3종 이상 - 말단 툴의 정밀 보정 오차 5mm 이내	- 복합형 3D 프린팅 장비 - 자가 이동형 가설장치 - 다중 가변형 분사장치 - 복합형 프린터 정밀 제어 SW

기술개발 구성 체계도(3세부)



[그림 III-46] 기술개발 구성 체계도(3세부)

(3) 세세부과제 기술개발 내용

가. (3-1) 복잡형상 정밀 출력 가능한 소형 말단 머니퓰레이터와 대형 주 머니퓰레이터 복합형 3D 프린팅 장비 개발

■ 정의

○ 말단 소형 머니퓰레이터와 대형 주 머니퓰레이터 복합형 3D 프린팅 장비 설계 및 정밀 제어 기술

- 건물의 벽구조체와 같은 대형 구조물의 매크로 출력과 복잡한 형상의 소형 구조물의 마이크로 정밀 출력이 동시에 가능

■ 기술수준 및 개발목표

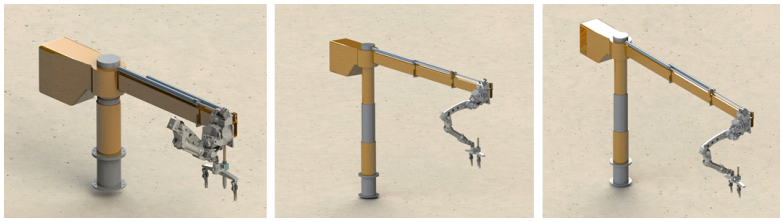
○ 기술수준

As-Is		To-Be
- 대형 건물 출력을 위한 대형 단일 머니퓰레이션 시스템으로 구성 - 복잡한 형상의 소형 구조물 출력시 대형 머니퓰레이터의 동적 특성 때문에 고속 정밀 프린팅에 한계가 있음	▶	- 대형 주 머니퓰레이터 매크로 컨트롤과 소형 말단 머니퓰레이터 마이크로 컨트롤 연동을 통해 보다 정밀하고 신속한 프린팅이 가능 - 복잡하고 정밀한 프린팅 작업이 가능하여 보다 다양한 건축물 시공이 가능

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 대형 주 머니퓰레이터와 소형 말단 머니퓰레이터 복합형 프린팅 장비 및 연동제어기술 개발
목표 성능	o 말단툴의 복합적인 반복 정밀 오차 10mm 이내 o 프린팅 작업 반경 10m

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
대형 주 머니퓰레이터와 소형 말단 머니퓰레이터 복합형 프린팅 장비 개발	o 10m 이상의 넓은 작업 반경과 위치 오차 10mm 이내의 작업이 가능한 대형 머니퓰레이터와 소형 말단 머니퓰레이터 복합형 머니퓰레이션 시스템 설계 o 말단 진동 최소화 및 중력 보상 메커니즘 개발 o 대형 머니퓨레어터와 소형 말단 머니퓰레이터 복합형 머니퓰레이션 시스템의 전장 및 제어기 개발 o 대형 주 머니퓰레이터와 소형 말단 머니퓰레이터 복합형 프린팅 장비의 시제품 제작 
복합 머니퓰레이터 정밀 연동제어 기술	o 고중량물 핸들링을 고려한 다중 복합형 머니퓰레이션 시스템의 자세 제어 알고리즘 개발 o 다중 복합형 머니퓰레이션 시스템의 적층 경로 추종 제어 알고리즘 개발 o 대형 머니퓰레이터의 진동에 대한 말단 머니퓰레이터의 진동 보상 알고리즘 개발 o 다중 복합형 머니퓰레이션 시스템 제어 알고리즘의 시뮬레이션 검증 o 다중 복합형 머니퓰레이션 시스템 제어 알고리즘의 시제품 적용 실험 검증

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

○ (차별성)

- 대-소형 복합 머니퓰레이션 구조를 통한 프린팅 속도 및 정밀도 향상
- 말단 소형 머니퓰레이터를 통한 출력 노즐의 자유도 향상을 통한 다양한 구조물 출력 가능

○ (연계성)

- 기존 단일 대형 머니퓰레이션 기반의 출력 패스 생성 기술 등은 매크로 출력 시 동일하게 연계하여 활용가능
- 여기에 말단 소형 정밀 기능을 극대화하기 위한 복합 출력기능을 추가함으로써 출력속도와 정밀도를 제고

■ 최종 성과물

○ 대-소형 복합 머니퓰레이터 기반 프린팅 장비 3D 설계도

○ 대-소형 복합 머니퓰레이터 기반 프린팅 장비 시제품

○ 복합 머니퓰레이터 정밀 연동제어 알고리즘 설계서

○ 복합 머니퓰레이터 정밀 연동제어 및 모니터링 SW

나. (3-2) 프린팅 장치의 용이한 이동설치 가능한 전(全)방향 이동형 가설 시스템 개발

■ 정의

○ 프린팅 장비의 신속한 현장설치를 위해 전(全)방향 이동이 가능하고 장비의 자가 수평자세제어와 고정설치가 가능한 가설 시스템 및 제어기술 개발

■ 기술수준 및 개발목표

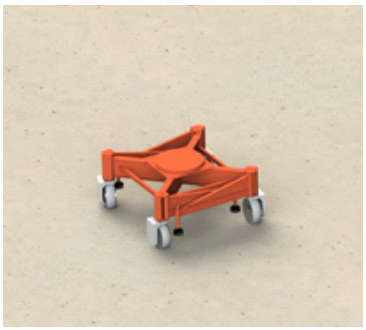
○ 기술수준

As-Is		To-Be
- 현재 3D 프린팅 장비는 자기 이동 기능이 없어 대형 크레인으로 설치해야하는 머니퓰레이터 타입과 현장 레일설치가 필요한 겐트리 타입이 주류 - 현장 설치시 크레인 등 별도의 장비활용이 필요하고 바닥면 평탄도에 따라 설치의 시간과 비용이 크게 증가	▶	- 자가 이동 기능이 있어 별도의 외부 장비 없이 설치지점으로 자가이동 가능 - 자가 균형제어 기능을 통해 바닥면 평탄도에 영향 없이 신속하게 수평설치 가능

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 전(全)방향 자가이동이 가능하고 자가 수평자세제어를 통해 신속한 수평설치가 가능한 이동형 프린팅 장비 가설장비 개발 및 제어기술 개발
목표 성능	o 설치 위치 오차 15mm 이내 o 수평 설치 오차 0.2도 이내

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
고하중용 전(全)방향 이동체 기술 개발	o 고하중 3D프린터 탑재상태에서 전방향 유연 이동가능한 이동체 설계 기술 개발 o 다자유도 전방향 이동체의 동기화 정밀 모션 제어기술 개발 o 고하중 3D프린터 탑재상태에서 전방향 이동성을 활용하여 설치지점에 정밀 포지셔닝 가능한 위치 측정 및 위치 제어 기술 
수평자세제어와 지면고정 가능한 스마트 아웃트리거 기술 개발	o 균형제어를 위한 정밀 수직 위치제어 가능한 4조의 2DOF 아웃트리거 시스템 설계기술 o 정밀 균형제어를 위한 4조의 아웃트리거 동기화 모션 제어 기술 개발 o 자세센서 기반 프린팅 장비 자세 추정 및 수평 유지를 위한 수평 자세제어 기술 o 프린팅 장비의 모션에 따른 수평상태 파괴 및 전복 방지를 위한 지면 고정 장치 및 제어기술 개발 

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

○ (차별성)

- 이동형 가설장치와 프린팅 장치를 모듈형으로 체결케 하여 현장 출력 시 이동형 가설장치를 통해 신속하게 설치함으로써 공사기간을 단축
- 공장설치 출력 시에는 이동형 가설장치를 분리해서 고정형으로 사용할 수 있도록 함으로써 효용성과 효율성을 극대화 할 수 있음

○ (연계성)

- 이동형 가설 장치를 기계적, 전자적으로 모듈화 하여 기존 고정형 프린팅 장비 또는 신규로 개발되는 프린팅 장비와 기계적, 전자적으로 용이하게 인터페이스 가능하게 함으로써 기존 장비와 연동하여 활용 가능

■ 최종 성과물

○ 전방향 이동체와 4조 2DoF 아웃트리거 일체형 가설장치 3D 설계도

○ 전방향 이동체와 4조 2DoF 아웃트리거 일체형 가설장치 시제품

○ 전방향 이동체 모션 및 포지션 제어 알고리즘 설계서 및 SW

○ 4조 2DoF 아웃트리거 동기화제어, 균형제어 설계서 및 SW

다. (3-3) 다중 이중 재료 동기 분사 가능한 다목적 가변형 노즐 장치 개발

■ 정의

○ 다중 이종재료 동기 분사가 가능한 다목적 가변형 노즐장치 및 동기화 제어 기술 개발

- 3D 프린팅 기반 건축물 시공의 공기 단축과 작업 유연성 제고

■ 기술수준 및 개발목표

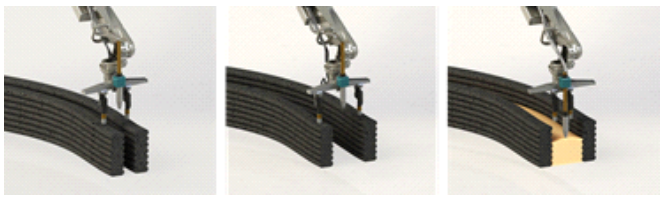
○ 기술수준

As-Is		To-Be
- 단일노즐 출력으로 내벽-외벽 구조체 프린팅 작업 시 유사 경로를 2회 반복해서 출력해야 하므로 시공시간이 오래 걸림 - 단일노즐 구조로 벽체사이의 단열재 등의 작업은 별도의 공정을 통해서 추가적 이루어짐	▶	- 노즐간 폭 변경 가능한 다중노즐로 내벽-외벽 구조체 프린팅시 원하는 간격으로 동시에 출력함으로써 출력속도를 2배 가까이 증대 - 콘크리트 이외 단열재 폼 등을 출력할 수 있는 이종재료 출력용 노즐을 이용해 벽구조체와 동시에 단열재 등의 시공도 가능

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 다중 이종 재료 동기 분사 가능한 다목적 가변형 노즐 장치
목표 성능	o 동시 분사 노즐 수 3개 이상 o 이종 분사 재료 3종 이상

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
정밀 분사량 조절 가능한 분사노즐 개발	o 정밀 분사량 조절 가능한 분사노즐 구조설계 및 해석 o 정밀 분사량 조절 가능한 분사노즐 제작 및 분사량 정밀 제어
분사노즐간 간격 가변 가능한 다중 분사 모듈 개발	o 다중 분사노즐 설치 및 분사 노즐간 간격 제어 가능한 다중 분사모듈 설계 o 다중 분사 모듈 제작 및 노즐 간격 정밀제어 및 응답성 테스트 
프린터 모션연동 분사모듈 정밀제어 기술	o 프린팅 장치 종단 속도와 연동한 분사량, 분사노즐 간격 연동 제어기술 개발 o 다양한 형상의 구조물 프린팅 테스트를 통한 프린터-분사장치 연동 제어 및 분사 제어 최적화

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

○ (차별성)

- 노즐 간 간격 변화가 가능하고 이종의 재료 분사가 가능한 다중 분사 모듈을 활용하여 단일 프린팅 작업 경로에 다중 라인 프린팅을 실시하여 기존 단일 분사노즐 기반 작업 대비 프린팅 작업의 효율성을 현저하게 향상할 수 있음

○ (연계성)

- 기존 장비에서 활용했던 분사노즐을 적용하여 다중 분사모듈을 구성할 수 있어 기존 장비와 연계가 가능
- 다중 분사모듈을 기존 프린팅 장비에 적용하여 기존 장비의 프린팅 성능 제고에도 활용할 수 있음

■ 최종 성과물

○ 분사량 정밀제어 가능한 분사 노즐 3D 설계도

○ 분사량 정밀제어 가능한 분사 노즐 시제품

○ 노즐간 간격제어 가능한 다중 분사모듈 3D 설계도

○ 노즐 간 간격제어 가능한 다중 분사모듈 시제품

○ 3D 프린터-분사모듈 연동 제어 SW

라. (3-4) 실시간 3D 형상인식기반 3차원 툴패스 보정 및 분사노즐 연동제어 가능한 3D 정밀 프린팅 제어기술 개발

■ 정의

○ 신규출력 프린팅라인과의 정합성을 높여 프린팅 품질을 높이고 분사노즐의 이동 속도, 노즐 간 간격까지 실시간 피드백 제어 가능한 프린팅 제어 기술

- 센서융합기반 3D 형상인식을 통해 기출력된 프린팅 라인 형상을 인식하고, 툴패스 보정

■ 기술수준 및 개발목표

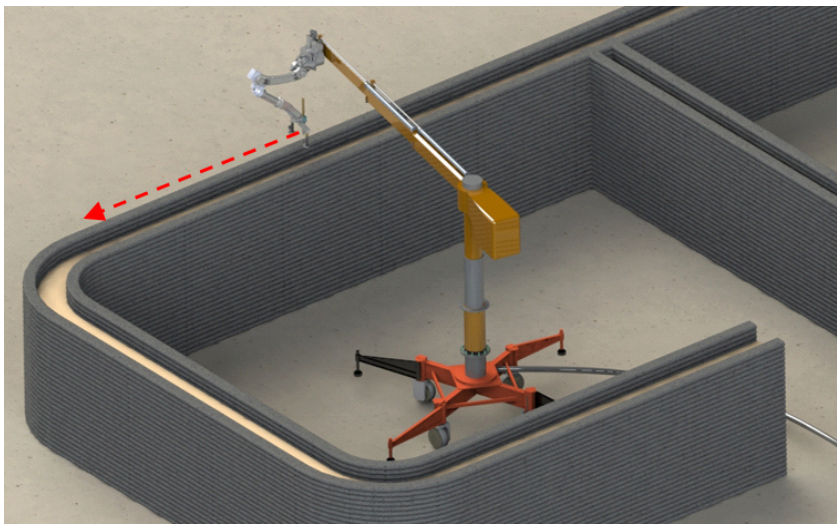
○ 기술수준

As-Is	To-Be
- 기 출력된 구조물의 형상인식 없이 프린팅 장비의 자세 측정 센서 기반 제어를 통해 출력을 진행함으로써 말단 툴의 제어 오차가 출력물의 출력 오차로 전이됨 - 말단 툴의 위치측정 및 제어오차에 의해 기존 출력라인과 신규 출력 라인 간 정합오차가 발생하고 출력된 구조물의 표면 요철이 발생됨	- 3D 형상인식을 통해 기존 출력라인의 3차원 형상을 인식함으로써 기존라인과 현재 툴패스 간 오차를 사전에 파악하고 이를 보정함으로써 출력라인가 정합 오차를 최소화할 수 있음

○ 개발목표 및 목표 사양

개발목표	o 센서융합기반 3D 형상인식을 통한 3차원 툴패스 보정 및 분사노즐 연동제어 가능한 3D 정밀 프린팅 제어기술 개발
목표 성능	o 말단툴과 기존 출력라인 간 정합 오차 3mm이내 o 툴패스 보정 반응속도 50msec 이내

■ 구성기술 및 개발내용

구성기술	개발내용
센서융합 3차원 형상인식 기술	o 말단 툴에 장착 가능한 경량/방수/방진형 멀티모달 센서(라이다, 뎁스, 비전 등) 모듈 개발 o 멀티모달센서 데이터 융합을 통한 기존출력라인의 3차원 형상인식 o 기존 출력라인의 위치, 두께, 폭 실시간 모델링 기술
툴패스 실시간 정밀 보정제어 기술	o 기존 출력라인의 위치와 현재 툴패스 간의 오차 예측 기술 o 기존 출력라인과 신규 출력라인간 정합성을 높이고, 동시에 설계도상 3D 모델과 출력 결과물의 일치성을 높이기 위한 최적 툴패스 보정제어 기술 
형상 인식 기반 노즐간격 및 분사량 보정 기술	o 3D 형상인식으로부터 추출된 기존출력라인의 형상(폭, 두께)과 목적 출력라인 형상과의 오차 추정 기술 o 목적 출력형상과 실제 출력된 형상의 오차를 최소화하기 위한 노즐 간격 및 개별 노즐의 최적 분사량 보정 기술

■ 기존 기술과의 차별성 및 연계성

○ (차별성)

- 출력물 형상에 대한 인식과 피드백 없이 프린팅 장비 자체센서를 통해 예측한 자세값 만을 기반으로 제어하는 기존 프린터와 달리, 출력된 구조물의 형상인식을 통해 출력 품질을 실시간으로 관리함으로써 출력 표면의 평탄도를 제고하고 동시에 목적 3D 설계 모델과의 일치성을 극대화 할 수 있음

○ (연계성)

- 출력물 형상인식용 3D 프린터기는 기존 프린터기의 말단에도 부착가능하며 형상인식 및 오차 모델링 기술을 적용하면 기존의 프린터기의 성능 또한 일정부분 제고할 수 있음

■ 최종 성과물

○ 3D 형상 인식용 경량/방수/방진형 멀티모달 센서 모듈

○ 3D 형상 인식 및 오차 추정 SW

○ 3D 오차 모델 기반 툴패스 실시간 보정 SW

○ 3D 형상 인식 기반 노즐간격 및 분사량 정밀 보정 기술

(4) 세부과제3 기술개발 로드맵

세세부 과제	주요 연구내용(개발기술)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
[3세부] 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발						
(1-1) 복잡형상 정밀 출력 가능한 소형 말단 머니퓰레이터와 대형 주 머니퓰레이터 복합형 3D 프린팅 장비 개발	❖ 복합 머니퓰레이터 기반 프린팅 장비 설계/해석/제작					
	❖ 툴패스 추종위한 다중 머니퓰레이터 동기화 제어					
	❖ 말단 진동최소화 및 중력보상 알고리즘 개발					
	❖ 현장 적용 시스템 성능 검증 및 알고리즘 최적화					
(1-2) 프린팅 장치의 용이한 이동설치 가능한 전(全)방향 이동형 가설 시스템 개발	❖ 고하중용 전방향 이동체 설계/해석/제작					
	❖ 수평자세제어용 아웃트리거 설계/해석/제작					
	❖ 이동체 포지셔닝 및 수평자세 제어 알고리즘 개발					
	❖ 프린팅 장치와 통합 현장 적용 성능검증 및 최적화					
(1-3) 다중 이중 재료 동기 분사 가능한 다목적 가변형 노즐 장치 개발	❖ 정밀 제어가능한 분사노즐 설계/해석/제작					
	❖ 다중 가변 분사모듈 설계/해석/제작					
	❖ 분사량 및 노즐간격 정밀 제어					
	❖ 프린팅장비와 연동 현장적용 성능검증 및 최적화					
(1-4) 3D 형상인식기반 3차원 툴패스 보정 및 분사노즐 연동제어 가능한 3D 정밀 프린팅 제어기술 개발	❖ 3D 형상인식용 멀티모달 센서 모듈 설계/해석/제작					
	❖ 멀티모달센서 기반 3D 형상 인식 기술					
	❖ 3D 형상인식 정보기반 출력라인 모델링 및 툴패스 보정기술					
	❖ 프린팅 장비와 통합 연동 현장실증 및 최적화					

(5) 기대효과

핵심항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'23년 수준	최종 목표수준	
	~'21	'23	'28(종료년도)	'28~(종료이후)
이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발	■ 겐트리 타입의 프린터로 팩토리운용에는 유리하지만 현장에서의 신속한 설치에 어려움이 있음 ■ 단일노즐로 다중 분사 불가능함 ■ 출력된 결과물의 품질관리를 위한 형상인식 및 이에 따른 툴패스 경로보정과 분사노즐 가변 기능이 없음	■ 대형 건물 출력을 위한 대형 단일 머니퓰레이션 시스템 구성 ■ 바닥면 평탄도에 따라 설치 시간과 비용이 크게 증가 ■ 단일노즐 출력 - 유사경로 반복 출력 - 단열재 등 작업의 별도공정 추가 ■ 말단 툴의 위치측정 및 제어오차에 의해 기존 출력라인과 신규 출력라인 간 정합오차 발생	■ 말단 툴의 반복 정밀도 10mm 이내 ■ 수평설치 오차 0.2도 이내, 설치위치 오차 15mm 이내 ■ 동시분사 노즐수 3개 이상 ■ 동시분사 이종재료 3종 이상 ■ 말단 툴의 정밀 보정 오차 5mm 이내	■ 이동형 가설장치를 통해서 현장 설치가 용이 ■ 대형 주 머니퓰레이터와 소형 말단 머니퓰레이터 복합형으로 대형 구조체 출력과 함께 정밀하고 복잡한 소형 형상 출력 대응 가능 ■ 다중 가변 분사노즐로 출력 효율을 높이고 사용자의 다양한 요구에 대응 가능하도록 출력 대상체의 범위 확대 가능
	TRL Level 4~5단계	→	TRL Level 7단계	



4) 세부과제 간 연계성(총괄)

■ 세부과제 간 연계성 확보 방안

○ 동 사업은 주거가능한 수준의 3D프린팅 구조물을 시공하는 것이 목표로 3D 프린팅 기술의 핵심기술인 설계, 재료, 장비 및 후처리 기술을 근간으로 건설 분야와 매칭하여 세부 과제를 구성

○ 1세부-3세부 연계성

- 1세부는 통합시공관리기술을 개발하는 것으로 3세부에서 개발된 장비를 활용하여 대규모 건축물 시공을 위해 다수의 장비를 효율적으로 연동하기 위한 AI 기반 장비 운용기술이 상호 연동됨

- BIM 기반 3차원도면 기반으로 1세부에서 시공성을 검토하며 이를 장비가 인식할 수 있도록 슬라이싱 S/W 등을 3세부 장비로 데이터가 상호 호환됨

○ 1세부-2세부 연계성

- 2세부에서 개발되는 복합재료 기반의 주거성능 확보를 위한 필요한 다양한 성능검증, 구조성능 평가 결과를 내외장재 마감 및 구조물 시공관리에 활용

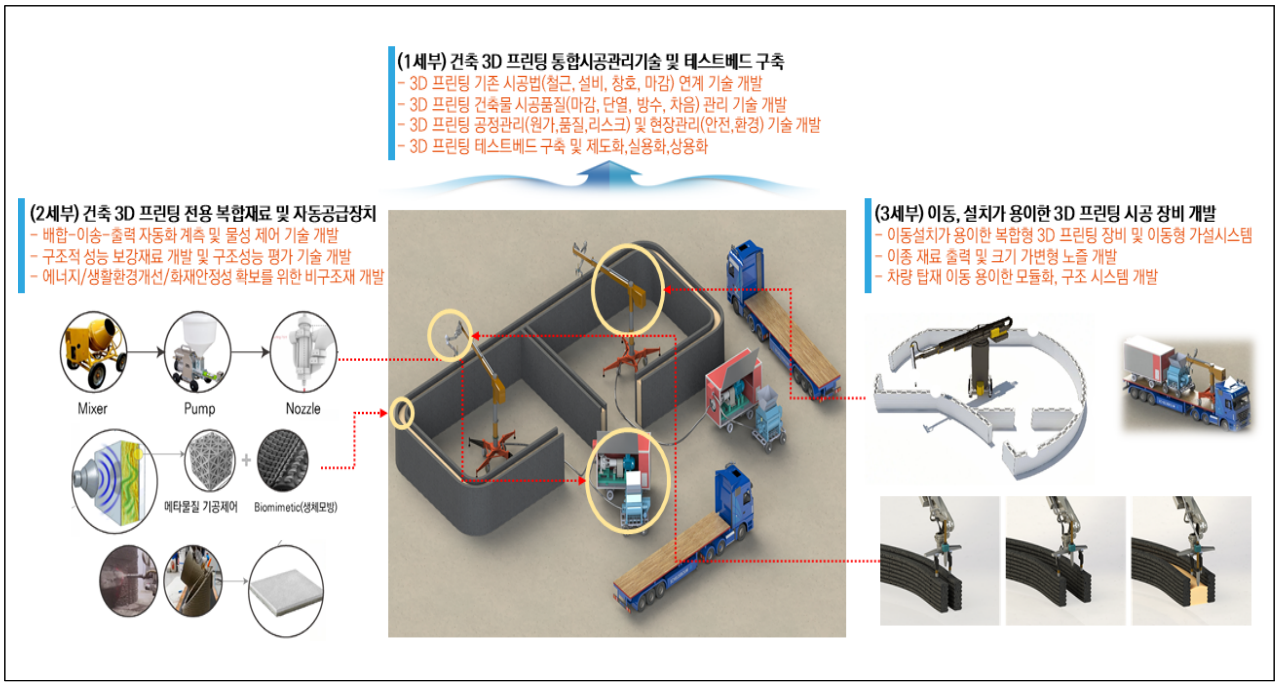
- 건축물 에너지 효율향상을 위한 복합재료, 흡음재, 진동재 복합재료, 내화성능 복합재료 등은 1세부에서 주거가능 수준의 건축물 시공을 위해 반드시 필요한 항목들로 건축물 시공을 위해 반드시 필요

○ 2세부-3세부 연계성

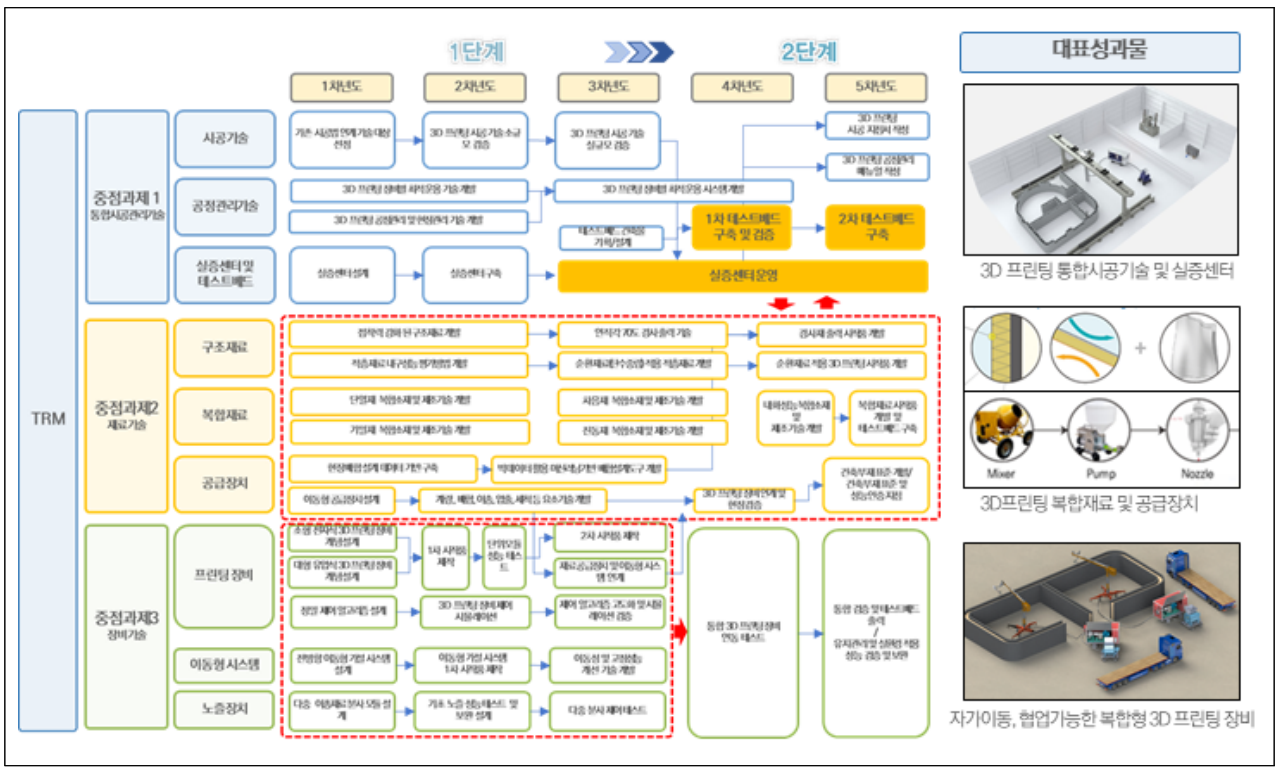
- 2세부에서 개발되어지는 건축 3D 프린팅 전용 복합재료와 전용 공급장치는 3세부에서 개발예정인 이동형 3D 프린팅 장비와 노즐을 통해 출력되기 때문에 재료의 출력패스, 재료의 물성조절 등 실제 건축물 시공을 위해 필요한 다양한 요소들과 직접적으로 연관됨

- 다양한 이종 재료 출력을 위해 3세부에서 개발 예정인 멀티 노즐 등과 연계가 필수적이며 노즐의 개폐 등에 따라 미세한 재료의 물성제어가 필요

■ 세부과제 연계도



■ 총괄 TRM 및 대표성과물



6. 사업 추진체계

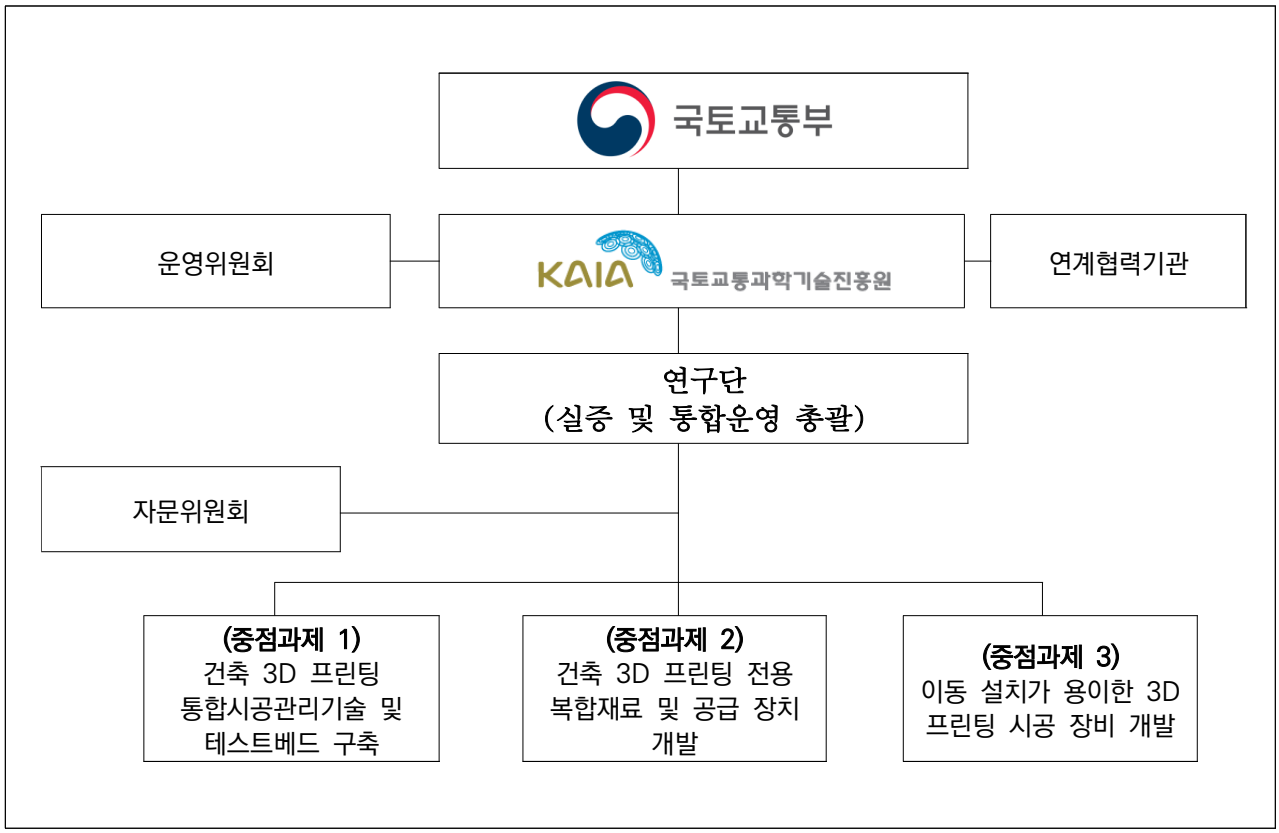
1) 사업 추진체계

■ 추진체계

○ 중점과제 및 세부과제 간의 연계와 이를 종합한 실증 추진 등 전체적인 사업수행을 총괄하기 위한 연구단을 선정하여 추진

- 연구단 내 중점과제 간 협약을 통해 연구단을 중심으로 과제 간 유기적 협력체계 구축
- (1단계) 각 중점과제별 기술개발 및 실용화를 위한 기반구축 및 연계 추진
- (2단계) 1단계 연구를 통해 개발된 기술의 최적화 및 실증 추진

○ 동 사업의 연구단을 주체로 국토부, 국토과학기술진흥원, 운영위원회 등 각각의 역할분담을 통해 사업 운영을 추진



[그림 III-47] 동 사업의 추진체계

■ 추진주체별 역할

○ (국토교통부) 총괄 부처로 사업 기본·시행계획 수립, 정책적 판단 및 의사결정

○ (국토교통과학기술진흥원) 사업 전담기관으로 총괄적 사업관리 역할 담당과 기획평가운영위원회 구성 및 운영, 연구단 선정, 평가, 진도관리 등 수행

○ (운영위원회) 사업 세부시행계획, 주요 변경내용, 지원 우선순위 등 전문기관의 요청 사항에 대한 검토·심의·조정

○ (연계협력기관) 국가공공건축지원센터, 관련 협회(대한건설협회, 전문건설 등), 관련 학회(대한건축학회, 대한토목학회, 한국건축시공학회 등), 지자체 등 연계협력을 통해 기술개발 및 실증을 지원

○ (연구단) 동 사업 수행을 총괄하고 자체 진도관리, 성과관리 및 사업화 지원, 세부 기술을 통합 구현하고 단계별 기술 검증 및 실증을 주도

<표 III-53> 사업추진 주체별 역할 및 기능

주체	역할 및 기능
주관부처 (국토교통부)	o 사업총괄 부처(최상위 의사결정기관) o 사업의 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정 등
전담기관 (국토교통과학기술진흥원)	o 사업관리 총괄 수행 o 연구단 선정, 평가, 진도관리 등 역할 수행
운영위원회	o 사업 세부시행계획, 주요 변경내용, 지원 우선순위 등 전문기관의 요청 사항에 대한 검토·심의·조정
연계협력기관	o 국가공공건축지원센터, 관련 협회 및 학회, 지자체 등으로 구성 o 기술개발을 위한 자문 및 테스트베드 등 구축 지원
자문위원회	o 3D 프린팅 기반 건축물 시공 자동화 기술 자문 및 상용화 지원 - 시공, 장비, 재료 분야 산학연 전문가 15인 내외로 구성
연구단	o 과제별 특성을 반영한 진도관리 계획 수립 및 관리 o 세부 기술을 통합 구현하고 단계별 기술 검증 및 실증 주도

2) 사업 관리방안

(1) 사업 운영체계

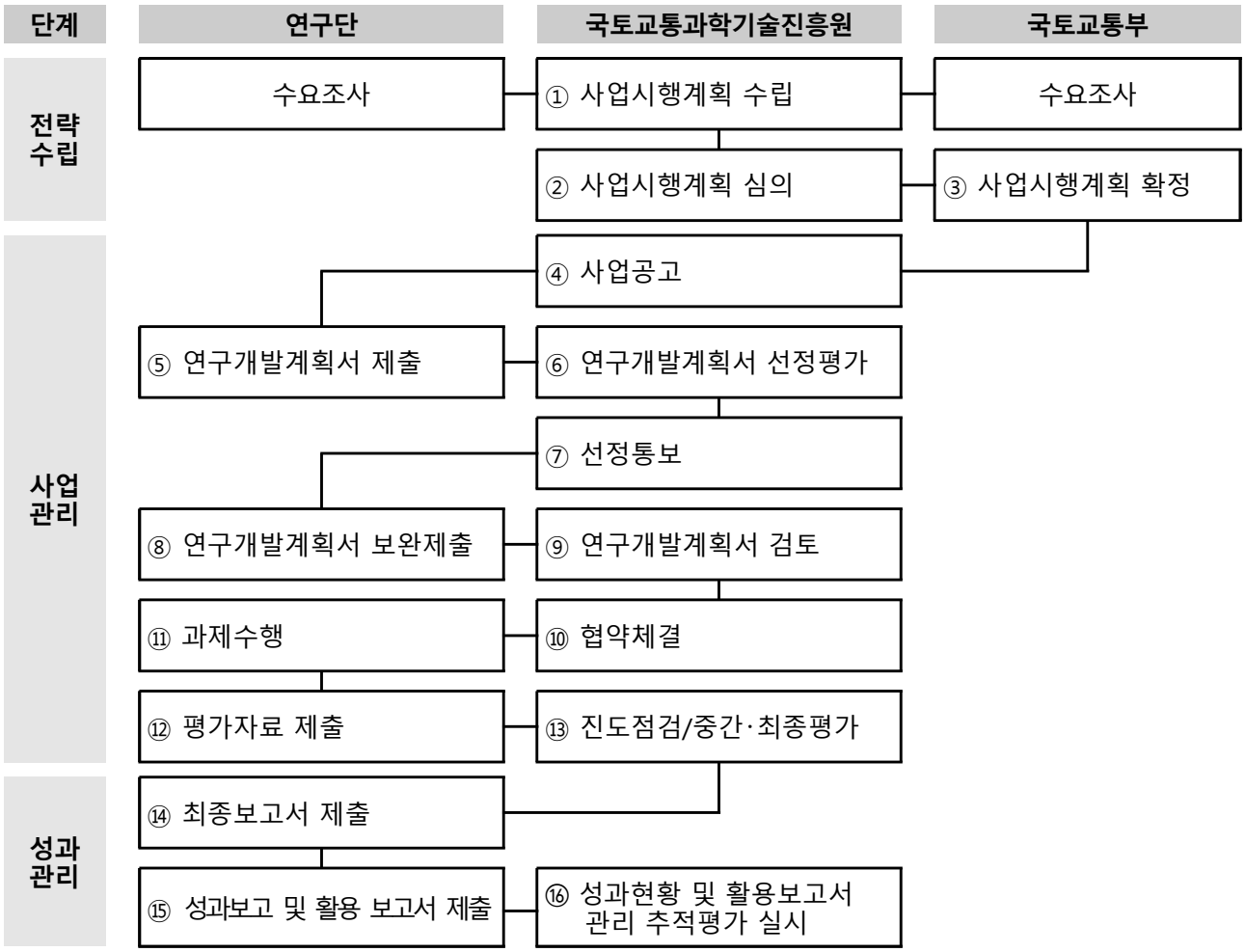
■ 동 사업은 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥원(사업기획, 평가, 관리), 연구단을 중심으로 '전략수립→사업관리→성과관리' 3단계의 사업 운영체계를 구축·운영

○ (전략수립) 선행과제와의 중복성 및 차별성 검토를 강화하고 유사과제와의 구체적인 연계·활용방안을 계획함으로써 과제 추진의 목적 지향성 확보

○ (사업관리) 성과창출 및 활용을 장려하기 위해 주기적인 성과조사·관리 및 평가와 연동한 과제 진도수행 점검으로 연구성과의 효과성 강화

○ (성과관리) 연구수행 과정을 평가결과에 반영하고, 단계(연차) 및 최종평가위원회를 구성·운영하여 평가의 내실화와 평가결과 환류체계 등 평가의 실효성 강화

<표 III-54> 사업 운영체계



(2) 추진 절차 및 일정(안) 수립

■ 동 사업은 총 5년(' 23~' 27년) 사업으로 추진할 계획이며, ' 22년 예산요구 및 심의·확정을 거쳐 ' 23년 사업 착수를 목표로 함

○ 주관부처 ' 23년 예산 및 중기재정 반영

- 예산이 확정·반영되면 이를 고려한 상세(과제) 기획을 추진하고, ' 23년 초에 연구단장 공모와 연구단 조직·인력을 구성하여 사업 운영·관리를 조기(~' 23.3)에 완료

<표 III-55> 사업추진단계별 절차에 따른 일정(안)

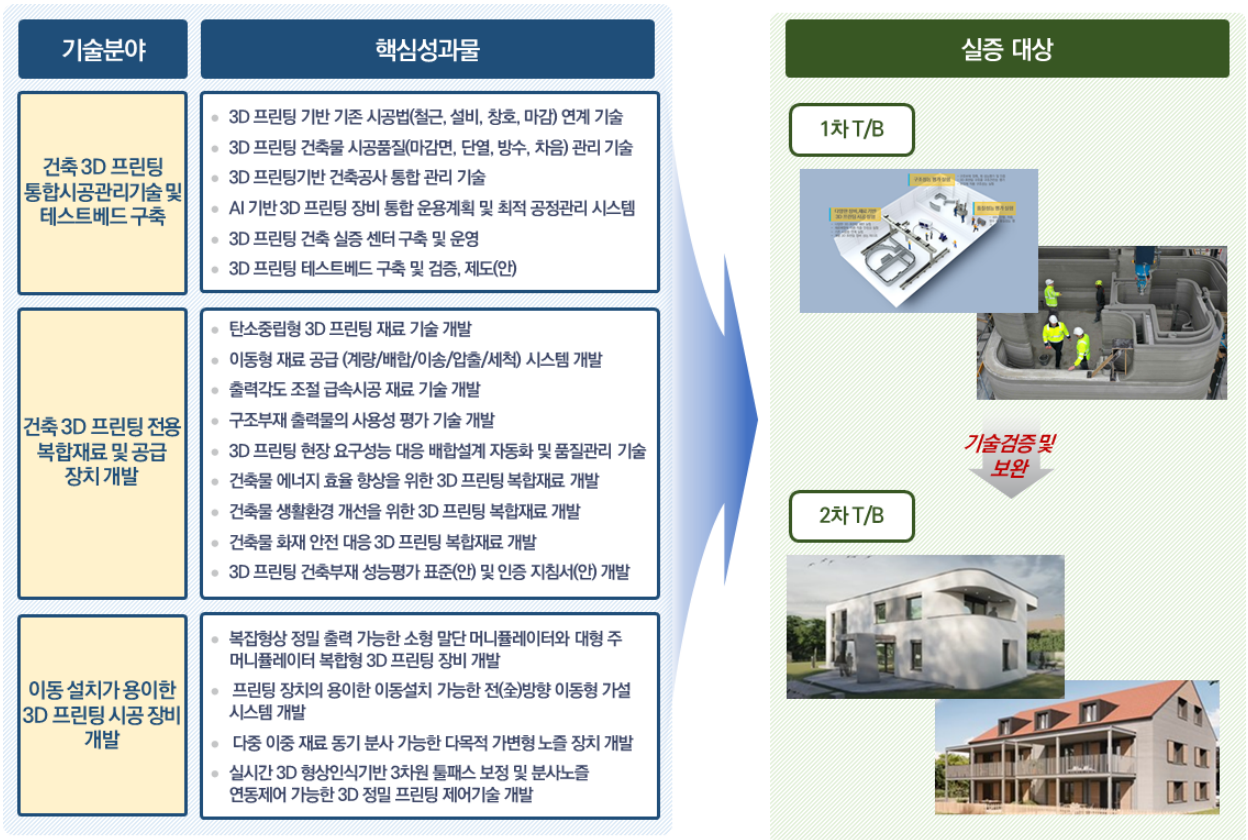
단계	절차	일정	주요내용
상세기획 및 예산 확보	예산 요구	'22.04~	· 상세 중기예산 산정
	예산 심사 및 편성	~'22.12	· 심사에 따른 '23년 예산 및 중기재정반영
	연구단장 선정 및 상세기획 준비	~'22.12	· 예산편성을 고려한 연구단장 선정과 상세(과제)기획 준비
사업추진	연구단장 선정 및 연구단 구성	~'23.03	· 연구단장 선정과 연구단 조직 및 인력 구성
	신규과제 공모	전년12월 ~당해1월	· 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최·과제별 공고, 평가 및 선정 · 사업 1년 차인 '23년에는 3월까지 신규과제 선정완료
	연차평가	매년 11~12월	· 연구목표달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고 서를 제출
실증추진	연구개발 성과물 실증대상 선정	전년12월 ~당해1월	· 기존 실증대상으로 선정된 사업에 대한 중간평가를 기반으로 실증 대상 재선정
	연차평가	매년 11~12월	· 연구목표달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서 제출
	최종평가	'28년 11~ 12월	· 최종 목적 및 목표 달성여부를 평가하고, 사업효과 평가를 위한추적평가 계획 수립

3) 실증 추진계획

(1) 실증 개요

■ 실증(테스트베드)을 통해 3D 프린팅 기반 시공자동화기술의 적용을 실시하여 기술의 성능검증을 수행하고, 기술의 상용화 및 시장진출을 위한 방안 제시

○ 실증을 통한 핵심개발기술 및 성과물의 검증을 실시하고, 3D 프린팅 기반 시공자동화기술 구현의 성능을 평가



[그림 Ⅲ-1] 실증사업 추진 개요

○ 실증은 4, 5차년도 각 1번씩, 총 2번 실시하며, 이후 상용화 방안 제시

- 지차제 및 공공기관, 민간기업의 지원 및 역할부여를 통해 실증추진전략을 수립하고, 실증사업을 통한 향후 상용화 방안을 위한 운영모델 및 기술협력을 시연

(2) 실증 대상 및 범위

■ 최종 건축면적 300㎡ 비정형 복층이상 주택을 대상으로 3D 프린팅 기반 시공자동화기술을 실증

○ 핵심개발기술에 대한 실증을 수행하고, 생산성 및 구조물의 성능 검증, 기술확산모델 및 법·제도 개선(안)을 도출

■ 1차 실증대상 및 수행내용

○ 대상: 건축면적 150㎡ 이상의 비정형 복층 주택을 대상

○ 수행내용

- 3D 프린팅 기반 출력된 구조물의 구조 안전성 중심으로 고려
- 핵심개발기술의 통합화 및 시공자동화의 검증을 위한 실증
- 테스트 진행 중 도출된 문제점에 대한 보완 가능한 대안 도출

■ 2차 실증대상 및 수행내용

○ 대상: 건축면적 300㎡ 이상의 비정형 복층 주택을 대상

○ 수행내용

- 건축물의 구조적 안전성 및 성능, 기능 확보를 중심으로 고려
- 1차 실증에서 도출된 문제점 보완 대안 검증 및 최종 시공자동화 통합 기술 검증을 위한 실증
- 기술의 상용화 및 시장진출을 위한 모델(안) 구성 및 법·제도 개선(안) 제시

(3) 실증 추진방안

■ 지자체, 공공기관, 민간기업 등 건축 3D 프린팅 기술에 지원(투자) 및 관심 등에 관련된 기관과 공동 추진

○ 실증 대상 부지, 용도 등에 관해 지자체 및 공공기관과의 협의를 통한 실증 추진

- 실증 대상 부지는 지자체 또는 공공기관과의 협의하여 시범부지 공모를 통해 선정

○ 기존 시공법 연계된 3D 프린팅 기술 검증을 위한 민간기업과의 협업을 통해 성능검증 실시

○ 실증을 통한 기술운영모델 도출, 사업완료 후 원활한 기술의 활용 및 확산, 시장진출 추진

○ 기술 실증 시 기술검증, 기술확산모델(안), 제도 개선(안) 등을 사전에 수립하여 실무에서 기술의 활용성 및 성능을 사전에 평가하여 기술실시 전 보완

- 실증을 통한 성과물은 기술검증결과, 기술확산모델, 정책 및 제도 개선(안)

<표 III-56> 실증 성과물 유형

기술검증	기술확산모델	정책·제도 개선(안)
기존 유사 연구결과물 및 실증결과물과의 비교검증 결과보고서 작성	핵심개발기술별 사용매뉴얼 및 건축시장 접목 및 운영모델 작성	개발기술의 활용·확산 및 건축시장에서의 활성화를 위한 제도·기준·지침(안) 작성

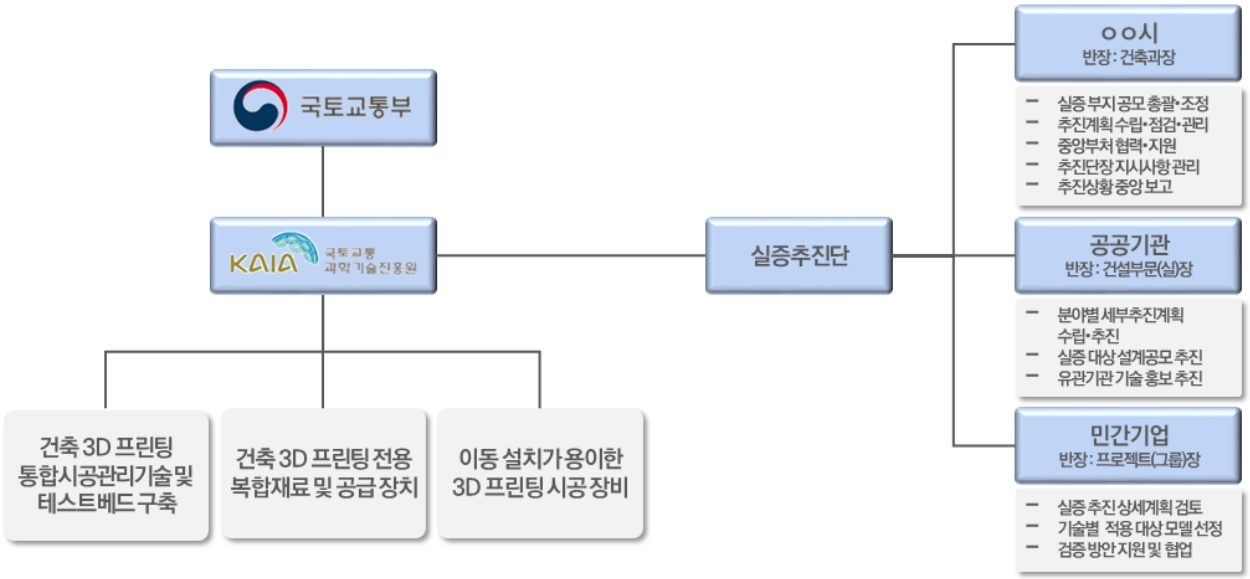
■ 핵심개발기술별 요구되는 시장에 적시 적용 및 검증 추진

○ 3D 프린팅 기반 시공기술, 장비, 재료 등 핵심개발기술별 건축시장에서 필요시되는 기술별 적용 및 검증

○ 대상 요구 프로젝트에 적합한 요소기술 적용 및 관리 방안 도출 및 기술활용 가이드라인 개발

(4) 실증추진체계 및 참여기관

■ 실증사업을 통한 기술검증, 기술확산모델, 관련 제도(안) 등의 개발을 위해 정부, 지자체, 공공기관 및 민간이 함께 참여하는 실증체계 구성



[그림 III-2] 실증추진체계

■ 실증참여기관별 역할 및 수행내용

○ 실증사업을 통한 기술검증, 기술확산모델, 관련 제도 개선(안)의 개발을 위해 정부, 지자체, 공공기관, 민간기업이 참여하는 실증체계 구성

<표 III-57> 실증 성과물 유형

실증참여기관	역할	수행내용
국토교통부 국토교통과학기술진흥원	실증 지원 총괄운영 정책·제도(안) 지원	o 실증을 위한 총괄 검토 및 운영지원 o 실증단계 제도(안) 시범운영
지자체 (OO시 건축과)	실증 부지 대상 공모 실증추진계획 총괄지원	o 실증 부지 대상 지원 o 실증추진 총괄 계획 검토 및 지원
공공기관 (ex. 한국수자원공사, LH, SH 등)	분야별 추진계획 수립 및 추진, 점검	o 분야별, 기술별 추진계획 수립 및 추진, 점검, 대안 모색
공공기관 (ex. 해병대 등 군시설기관)	실증 실시 지원 및 요구사항별 기술대안 제시	o 실증 시 기술적용을 위한 실증요소 지원 및 요구사항별 기술대안 모색 및 지원
민간기업 (ex. 삼성엔지니어링, 하이시스, 자연과환경 등)	실증 실시 지원 및 요구사항별 기술대안 제시	o 실증 시 기술적용을 위한 실증요소 지원 및 요구사항별 기술대안 모색 및 지원 o 민간시장에서의 요구사항 정리 및 대안 검토
시험인증기관 (ex. 한국건설생활환경시험연구원)	기술 검증 및 인증	o 실증 시 적용 대상 기술 및 결과물의 성능검증 및 인증 참여

(5) 상세계획

■ 기술실증 적용대상

○ 기술실증은 1, 2차로 진행될 것이며, 1차는 최종실증단계 전 기술사전 검토 및 보완을 위한 실증단계이며, 2차는 최종실증단계임

- 1차 기술실증 대상물은 150㎡이상 단층 비정형 건축물이며, 해당 건축물은 거주가능한 주택형으로 인허가 추진 예정. 다만, 주택 인허가가 어려울 시 임시실험용 주택 완료예정
- 2차 기술실증 대상물은 300㎡이상 복층 비정형 건축물이며, 해당 건축물은 거주가능한 주택형으로 인허가 추진 예정. 해당 대상물은 연구개발 최종성과물임

■ 기술실증 추진전략

○ 1차 실증은 4차년도에 실시하며, 3차년도까지의 핵심개발기술을 활용하여 기술검증 및 보완사항 도출을 주목적으로 실시

- 3차년도까지 1차 실증에 대한 인허가 완료. 단, 주택의 용도로 인허가가 어려울 시 임시 실험용 주택으로 완료 필요
- 이를 위해 국토부 및 지자체와의 적극적인 협의 통해 진행해야 함

○ 2차 실증은 5차년도에 실시하며, 1차 실증의 결과를 토대로 개선된 기술들을 활용하여 진행하며, 관련 정책 및 제도 개선(안)을 제시 완료

- 국토부 및 지차제와의 적극적인 협의를 통해 4차년도까지 2차 실증에 대한 인허가 완료
- 개발 기술의 확산 및 시장 진출을 위한 모델(안) 및 정책/제도 개선(안) 제시 완료

<표 Ⅲ-58> 실증 추진전략

<table>
<tr><th rowspan="2">실증핵심 성과물</th><th rowspan="2">구성기술 성과물</th><th rowspan="2">실증 관련업무 담당기관</th><th colspan="2">'25년 (3차년도)</th><th colspan="2">'26년 (4차년도)</th><th colspan="2">'27년 (5차년도)</th></tr>
<tr><th>상반기</th><th>하반기</th><th>상반기</th><th>하반기</th><th>상반기</th><th>하반기</th></tr>
<tr><td rowspan="6">(1) 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술 및 테스트베드 구축</td><td rowspan="3">(1-1) 3D 프린팅 기반 기존 시공법(철근, 설비, 창호, 마감) 연계 기술
(1-2) 3D 프린팅 건축물 시공품질(마감면, 단열, 방수, 차음) 관리 기술
(1-3) 3D 프린팅기반 건축공사 통합 관리 기술
(1-4) AI 기반 3D 프린팅 장비 통합 운용계획 및 최적 공정관리 시스템</td><td rowspan="3">민간기관</td><td colspan="2" rowspan="2">기술개발완료</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">1차실증적용/
보완사항도출</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">2차실증적용</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(1-5) 3D 프린팅 건축 실증 센터 구축 및 운영</td><td rowspan="2">민간기관</td><td colspan="2">~센터 운영</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="4">실증 결과 검증 및 보완사항 테스트</td></tr>
<tr><td rowspan="3">(1-6) 3D 프린팅 테스트베드 구축 및 검증, 제도(안)</td><td rowspan="3">국토부/
지차체</td><td colspan="2">1차실증
인허가</td><td colspan="2">1차실증</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">2차실증 인허가</td><td colspan="2">2차실증</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">정책/제도(안)
반영</td></tr>
<tr><td rowspan="3">(2) 건축 3D 프린팅 적용 복합재료 및 공급 장치 개발</td><td rowspan="3">(2-1) 탄소중립형 3D 프린팅 재료 기술 개발
(2-2) 이동형 재료 공급 (계량/배합/이송/압출/세척) 시스템 개발
(2-3) 출력각도 조절 급속시공 재료 기술 개발
(2-4) 구조부재 출력물의 사용성 평가 기술 개발
(2-5) 3D 프린팅 현장 요구성능 대응 배합설계 자동화 및 품질관리 기술</td><td rowspan="3">민간기관</td><td colspan="4" rowspan="2">기술개발 및 테스트 검증</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">1차실증적용/
보완사항도출</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">실증핵심
성과물</th><th rowspan="2">구성기술 성과물</th><th rowspan="2">실증
관련업무
담당기관</th><th colspan="2">’25년
(3차년도)</th><th colspan="2">’26년
(4차년도)</th><th colspan="2">’27년
(5차년도)</th></tr>
<tr><th>상반기</th><th>하반기</th><th>상반기</th><th>하반기</th><th>상반기</th><th>하반기</th></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>(2-6) 건축물 에너지 효율 향상을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발
(2-7) 건축물 생활환경 개선을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발
(2-8) 건축물 화재 안전 대응 3D 프린팅 복합재료 개발</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">2차실증적용</td></tr>
<tr><td>(2-9) 3D 프린팅 건축부재 성능평가 표준(안) 및 인증 지침서(안) 개발</td><td>국가공인인증기관</td><td></td><td></td><td colspan="4">표준(안) 및 인증 지침서(안) 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="4">(3)
이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발</td><td rowspan="4">(3-1) 복잡형상 정밀 출력 가능한 소형 말단 머니퓰레이터와 대형 주 머니퓰레이터 복합형 3D 프린팅 장비 개발
(3-2) 프린팅 장치의 용이한 이동설치 가능한 전(全)방향 이동형 가설 시스템 개발
(3-3) 다중 이중 재료 동기 분사 가능한 다목적 가변형 노즐 장치 개발
(3-4) 실시간 3D 형상인식기반 3차원 툴패스 보정 및 분사노즐 연동제어 가능한 3D 정밀 프린팅 제어기술 개발</td><td rowspan="3">민간기관</td><td colspan="2">기술개발 및 테스트</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">1차실증적용/
보완사항도출</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">2차실증적용</td></tr>
<tr><td rowspan="2">민간기관/
국가공인인증기관</td><td></td><td></td><td colspan="2">운영 매뉴얼</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">지침 및
가이드라인</td></tr>
</table>

4) 사업성과 활용 및 확산 방안

(1) 현장 실증

■ 현장실증 reference 확보 및 적극적 활용을 통한 상용화 촉진기능 강화

○ 연구개발 결과가 실제 확대적용 또는 민간/공공 기업의 사업화까지 연결될 수 있도록 실증 테스트베드 운영을 포함하여 사업을 추진

○ 사업을 통해 구축 및 운영하는 테스트베드가 현장 실증 reference의 역할을 충실하게 수행할 수 있도록 집중 관리

- 테스트베드를 통해 기술 성능을 검증

■ 미완성 기술의 실용화를 위한 테스트베드 실증 지원 방안 마련

○ 동 사업을 통한 개발 기술의 성능이 미흡하여 테스트베드 현장에 즉시 적용되지 못하는 경우, 테스트베드에 단계적으로 적용하여 실증 및 사업화까지 이어질 수 있도록 테스트베드 운영계획을 수립

- 테스트베드 구축 시 당초 적용되지 못했던 기술의 향후 적용이 가능하도록 테스트베드의 확장성 및 유연성을 고려한 구축 및 운영

(2) 연구개발 성과물의 확산

■ 연구개발 성과의 활용 및 확산을 위한 성과정보시스템 운영, 추적평가, 공모전, 전시회 등 활동의 정기적 추진

○ 성과 및 사업화정보 시스템 운영

- 국토교통 R&D 사업의 성과관리를 위한 국토교통 R&D 사업관리시스템 운영

○ 추적평가 수행

- 성과의 활용 및 확산을 위하여 종료된 R&D과제를 대상으로 과제 종료 후 5년간 발생성과에 대한 정기적 추적평가를 실시하여 성과의 사후관리 수행

○ 국토교통기술대전 개최

- 매년 국토교통 R&D 성과물에 대한 대국민 홍보와 기술교류 확산을 위해 국토교통 R&D 우수성과 전시 등을 추진

○ 국토교통기술 아이디어 공모전 개최

- 국토교통 기술 분야에 대한 국민 관심 증대와 기술저변 확대를 위해 국토교통기술 아이디어를 발굴

○ 국토교통 R&D 대표성과 사례집 발간

- 매년 대국민을 대상으로 국토교통 R&D 성과물에 대한 홍보추진을 위해 대표성과 사례집 발간

■ 개발된 기술의 업계 개방 및 보급

○ 개발된 기술의 이전 또는 도입을 중개·알선하여 연구성과를 개방·보급함으로써 동 사업 참여 기업뿐만 아니라 미참여 기업 모두 수혜를 받을 수 있도록 함

- 동 사업 참여 기업은 개발 성과에 대한 권리를 직접 보유

- 미참여 기업에 대한 연구개발 성과의 수혜는 전문기관의 기술거래 중개로 기술이전 실시

○ 국내 3D 프린팅 건설 분야 관련 업체의 경쟁력 강화 및 동반 성장 실현

- 3D 프린팅 건설 분야의 민간 자력 경쟁력 확보의 어려움 및 장기 개발 소요의 애로 등으로 인한 기술경쟁력 부족 해소

■ 전문기관을 통한 기술거래 활성화로 연구개발 성과 공유 확산

○ 전문기관의 역할은 국토교통과학기술진흥원이 수행

- 개발된 기술의 기술평가를 통해 기술거래 촉진

※ 국토교통과학기술진흥원은「기술 이전 및 사업화 촉진에 관한 법률」제10조에 따른 기술거래기관지정(산업통상자원부 고시 제2018-214호, 2018.11.30.)에 따라 기술거래 중개를 위한 전문기관 역할 수행

○ 진흥원은 기술 이전자와 기술 도입자를 위한 기술 중개를 지원하며, 이를 위한 협의체를 운영

- 기술보유기관과 협의체를 운영하여 체계적인 기술공급을 추진

- 수요기업 풀을 구축하여 공급기술 및 니즈기술을 연계하는 협력체계 운영



[그림 Ⅲ-48] 업무흐름

○ 거래가능 기술 및 연구성과물 관리 및 제공을 위해 성과도서관 운영

○ 중개, 알선 및 계약을 위한 활동

- 판매기술의 수요자 탐색을 위한 기술설명회 추진
- 공공수요탐색을 위한 찾아가는 발주처 기술설명회 추진
- 기술이전 방식 및 거래금액 등 거래당사자간의 협상 중재
- 계약서 양식과 거래조건을 반영하여 계약체결 지원



[그림 Ⅲ-49] **연구개발 성과물의 실용화**

4절 사전타당성 검토

1. 과학기술적 타당성

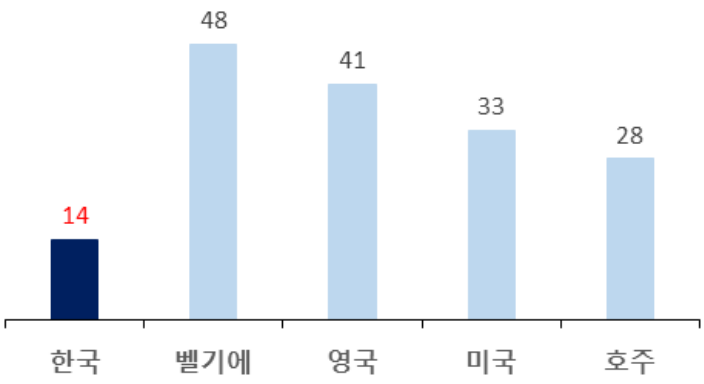
1) 문제/이슈 도출의 적절성

o **동사업의 기술개발 및 시장·산업 동향분석과 문제/이슈 도출은 건설 산업의 낮은 노동생산성에 따른 안전성 및 생산성 향상을 위한 4차 산업혁명 기술 도입의 필요성 및 관련 시장 성장 가능성을 중점으로 검토하고 수행하였음** - 건설 산업의 낮은 생산성 증가율 및 주요국 대비 낮은 국내 건설노동생산성 제시를 통해 4차 산업혁명 기술의 건설 산업 도입의 필요성, 관련 시장의 급격한 성장 전망 및 국내 관련 관심도의 증가를 사업추진 시급성의 근거로 제시하였음 - 이를 통해 기존 사업의 기술고도화 및 품질향상을 위한 후속연구의 시급성을 사업추진 필요성의 근거로 제시하였음 - 또한, 3D 프린팅 기반 건설/건축 분야 기술개발 동향을 동 사업 구성에 필요한 기술개발 트렌드와 내용에 대한 근거로 제시하였음

■ 국내 건설업 노동생산성이 주요 선진국 대비 절반 수준 미만을 동 사업 추진 문제/이슈로 제시

○ (문제/이슈) 주요 선진국은 시간당 평균 30-40$의 생산성 나타내는 반면, 국내는 평균에도 못 미치는 시간당 평균 14$의 생산성의 문제 대두

- 생산성이 가장 우수한 벨기에는 시간당 48$의 생산성을 나타내는 것으로 조사되어 국내 대비 약 3배 높은 수준



출처: McKinsey(2017); 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안(KDB미래전략연구소) 재인용

[그림 III-50] 주요 국가별 건설노동생산성($/시간, 2017)

■ 디지털 기술 등 첨단기술 도입 시, 생산성 제고 가능성 제시

○ (문제/이슈) 건설업의 경우 첨단기술의 도입 등 디지털화가 가장 늦은 산업

- 기술력 개선만으로도 14~15%의 생산성 제고효과 발생

출처: McKinsey(2017); 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안(KDB미래전략연구소) 재인용

[그림 III-51] 기술력 개선의 생산성 제고효과

- 4차 산업혁명 중장기 전망을 통해 디지털화 등 첨단기술의 도입으로 건설산업에서의 실질 부가가치 성장이 크게 증가가 가능함을 제시

<표 III-59> 디지털화에 따른 부가가치 전망

(단위: %, YoY)

업종유형	실적	전망(E)	
	(2016-2015)	(2016-2025)	(2026-2035)
농림어광업	1.10	0.25	0.30
제조업	4.76	2.51	1.57
건설업	0.21	2.40	1.11
서비스업	3.39	2.93	2.24

출처: 산업연구원(2019); 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안(KDB미래전략연구소) 재인용

■ 4차 산업혁명 기술 도입에 따른 3D 프린팅 건축/건설시장 성장 전망 제시

○ (문제/이슈) 국내 3D 프린팅 건설 기술은 초기단계로 시장 형성이 미미

- 전 세계 3D 프린팅 건설시장은 2019년 318만 달러에서 2024년 1,575만 달러로(CAGR, 245.9%) 크게 성장할 것으로 전망

※ 주거시설에 대한 수요 증가, 수요자 선호의 변화, 지속가능한 건축/건설 방법으로의 전환 등

<표 III-60> 글로벌 3D 프린팅 기반 건축/건설시장 규모

(단위: 천달러)

End-use Sector	2017	2018	2019	2024	CAGR (2019–2024)
Building	224	558	1,779	1,212,579	268.70%
Infrastructure	236	571	1,401	362,535	203.80%
Total	460	1,130	3,180	1,575,114	245.90%

출처: Secondary Research, Expert interviews, and MarketsandMarkets Analysis

■ 미국 및 유럽, 중국, 러시아 중심의 건축 3D 프린팅 연구가 활발하게 진행 중으로 건축물 실제 시공 사례가 증가하고 있으나, 국내는 이에 미치지 못하고 있는 실정

○ (문제/이슈) 현실적인 인허가, 기술의 검증 부족 등의 문제로 민간이 기술개발을 주도하기에는 어려운 상황

- 해외는 복층 이상의 대형 장비 기반 대형 건축물 시공으로의 확대로 기존의 건축물 모사 수준에서 최근 기존 공법과 연계하여 시공된 건축물의 인허가 완료 사례 증가

- 반면 국내는 건설 3D 프린팅을 위한 설계, 재료, 장비의 기초 원천기술 개발 및 세계 최고수준 규모(10m×10m×3m)의 수직골조 시공기술 확보는 완료하였으나,

※ 저층 중심의 수직골조 시공 중심, 사람이 실 거주하기 위한 구조안전성 등에 대한 검토 미흡, 기존 공법과의 연계에 대한 고려 등이 미흡

- 또한 3D 프린팅 활용 다기능성 건설 시스템 개발에서도 국내는 관련 연구가 전무한 실정

○ (문제/이슈) 국내 지자체 및 민간에서의 건축 3D 프린팅에 대한 관심도가 증가

- 국내 건설 분야에서의 3D 프린팅 기술에 대한 관심도가 상당히 높으며, 활용에 대한 적극성이 높은 것으로 조사

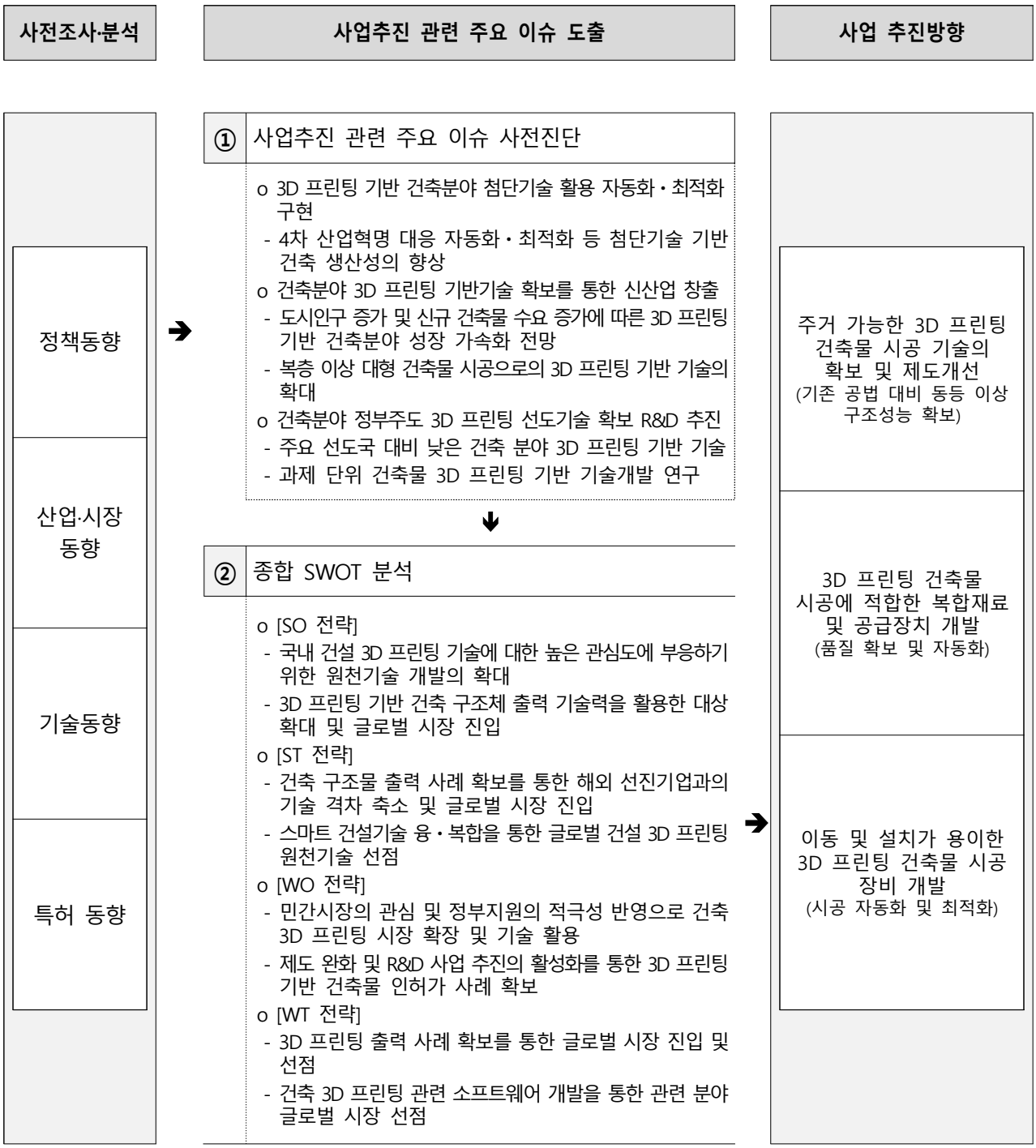
※ 사용자가 요구하는 디자인에 대응 가능한 기술 개발의 고도화 시급

<표 III-61> 기술수요조사 결과

구분	대상기관명	조사 결과	기타 사항
지자체	고양시	- 인허가문제 해결 필요	- 소형 어린이 도서관 시공 문의
	울산시청	- 인허가문제로 해결 필요 - 2단계 사업 참여 요청	- 3D 프린팅 주택시공 요청
공공기관	서울기술연구원	- 소각재 활용 Binder Jetting&FDM 방식 3D 프린팅 건축 블록 제작기술 개발 필요	
	SH공사	- 3D 프린팅 시험주택 시공 관련 경제성 분석 자료 필요	
	충남테크노파크	- 규제샌드박스에 3DP 건축시공 협력 - 2단계 사업 공동연구 요청	
군부대	해병대	- 급속시공 기술을 통한 군시설 시공 필요 - 기술협력 MOU 체결 예정('21.10)	
	육군	- 육군 임시시설 및 참호 등의 시공에 3D 프린팅 기술 적용	
대기업	삼성물산	- 3D 프린팅 기술 개발 시 재료적용 협조관련 협의 희망	
	NH	- 3D 프린팅 기술 개발 시 재료적용 협조관련 협의 희망	
	현대건설	- 3D 프린팅 기술 개발 시 재료적용 협조관련 협의 희망	- 3D 프린팅 벤치 출력을 위한 조달청 단가 관련 자문
중소기업	에덴21	- 3D 프린팅 핵심기술이전 및 구조물 시공 희망	
	더블유원	- 3D 프린팅 건축물 시공기술 이전 희망	
	아키플랜트	- 3D 프린팅 적용 모듈러 형태 제작관련 기술 개발	
	현대하이시스	- 3D 프린팅 재료 적용에 대한 협의 희망	
	한일에코산업	- ME방식 3D 프린터를 활용한 콘크리트 2차 제품 출력성 검토 필요	
	자연과환경	- 기존 PC를 대체할 수 있는 3D 프린팅 기술 개발 - 2단계 사업 참여 요청	
	컨셉션	- 기존 철근을 대체할 수 있는 GFRP 적용 기술 개발 - 2단계 사업 참여 요청	

2) 세부활동 및 추진전략의 적절성

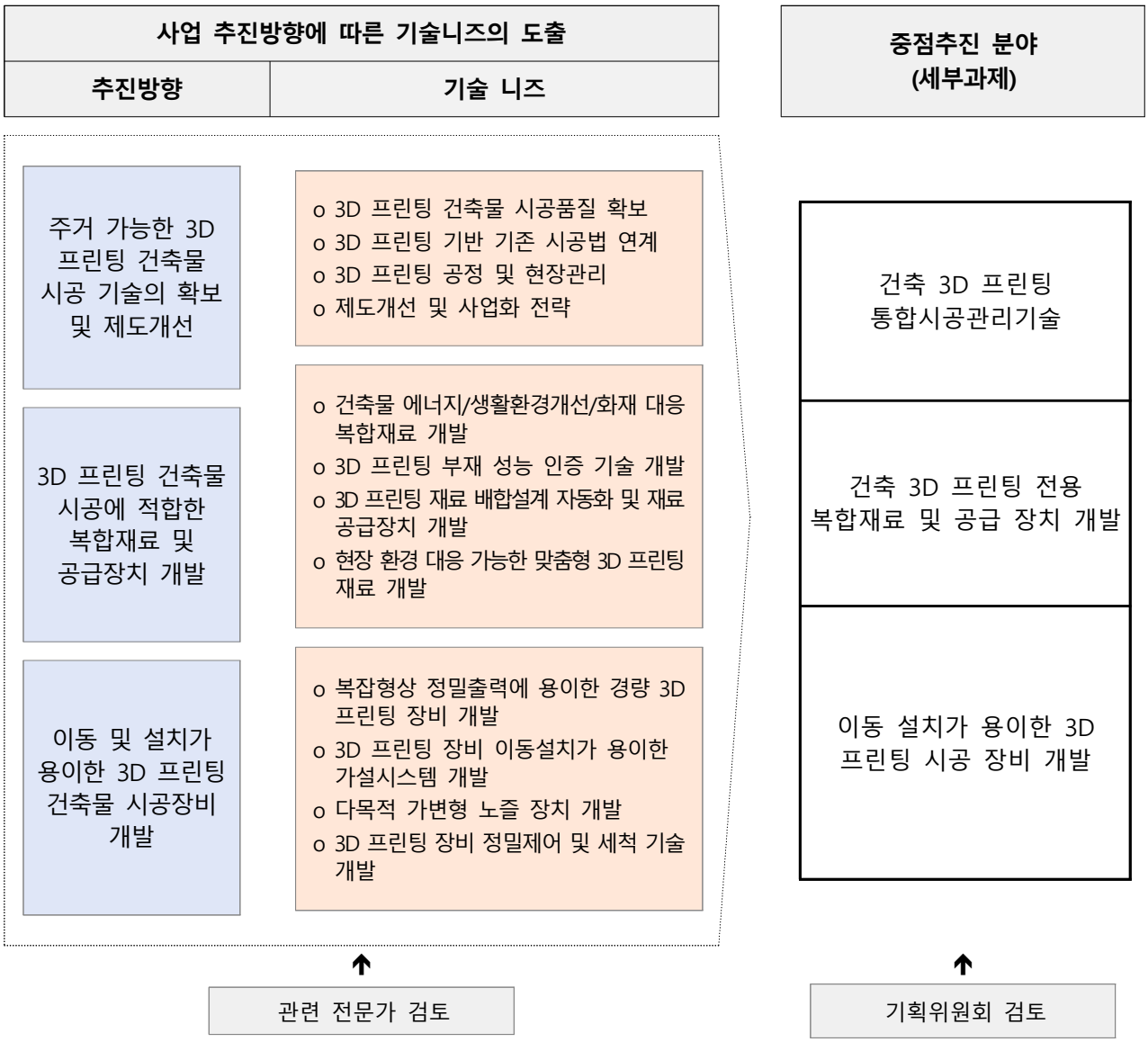
■ 사전조사·분석을 통해 사업추진 관련 주요 이슈를 사전 진단하고 사업 설계를 위한 주요 이슈 도출



[그림 III-52] 사업 추진방향

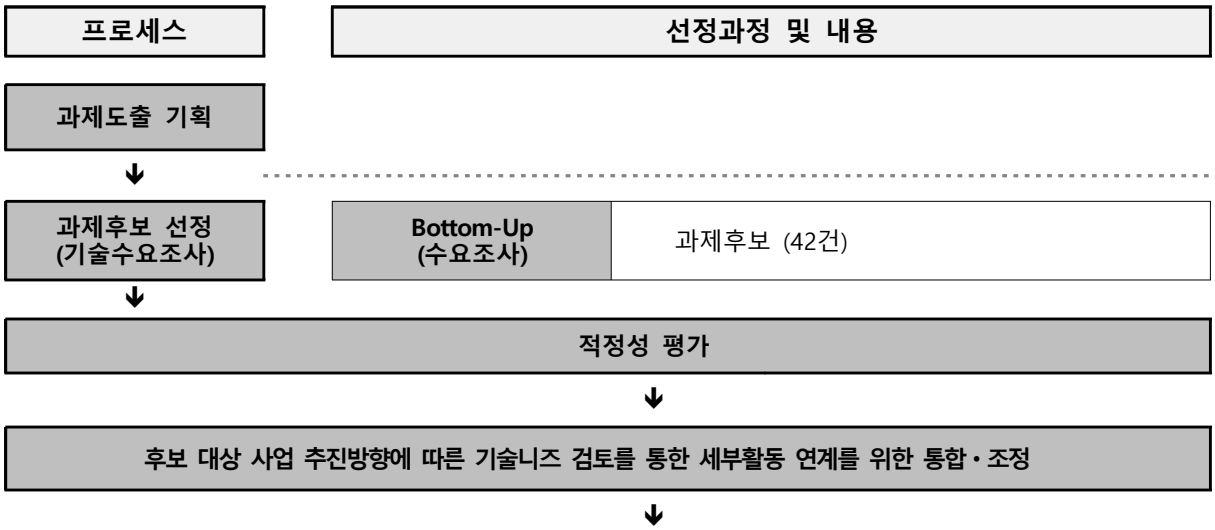
■ 중점추진 분야의 도출

○ 전문가 의견수렴을 통해 사업추진 방향성을 검토하고, 이를 기반으로 기술 수요조사 등의 기술니즐 고려하여 중점추진 분야를 도출



[그림 III-53] 중점추진 분야의 도출

■ 세세부과제의 도출 개요



과제 구성	세부과제	1. 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술	2. 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발	3. 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발
	내용	시공 기술개발 및 제도개선 연구	건축물 시공에 적합한 복합재료 및 공급장치 개발	3D 프린팅 건축물 시공 장비 개발
	과제 수	6개	9개	4개
	합계	19개		

[그림 III-54] 세세부과제 도출 개요

■ 세세부는 선정된 중점추진 분야를 기반으로 Top-down & Bottom-up방식을 병행하여 기술수요조사를 통하여 도출

○ 앞서 도출된 중점추진 분야에 해당되는 3D 프린팅 기반 건설자동화 기술개발 세세부과제 및 구성기술 후보군을 선정

- 선정된 후보군에 대하여 기획위원회 위원 및 전문가의 후보기술 평가를 활용하여 후보기술 선정

- 각 분야의 후보기술을 선정 후, 최종적으로 기획위원들의 기술 중복성 및 과제 연계성 검증을 통해 최종 세세부과제 및 구성기술을 도출

○ 3D 프린팅 기반 건설자동화 기술개발을 위한 중점추진 분야별 전문가 기술수요조사를 실시 및 확보

- 기술수요 확보 중심의 Bottom-Up과 전문성을 고려한 Top-Down을 병행하여 추진함

- (Bottom-Up 방식) 3D 프린팅 관련 건설/건축 및 전문가(산학연)를 대상으로 기술수요조사를 실시, 총 42건의 기술수요를 확보
- (Top-Down 방식) 기획위원회 및 전문가를 활용하여 3D 프린팅 기반 건설/건축 산업을 대상으로 도출된 기술 중 파급효과가 큰 기술을 중심으로 세부과제후보로 선정

■ 중점분야별 개발기술 간 매칭을 통해 도출한 세부과제 및 구성기술을 기획위원회 및 전문가 검토회의를 통해 최종 기술트리 도출

○ 최종적으로 전문가 조정 의견과 기획위원회 검토를 통한 교차검토(cross-check)를 통해 '3대 세부과제-19개 세세부과제'로 구성 확정

<표 III-62> 동 사업 기술트리(과제구성)

세부과제	세세부과제
건축 3D 프린팅 통합시공관리기술	3D 프린팅 기반 기존 시공법(철근, 설비, 창호, 마감) 연계 기술
	3D 프린팅 건축물 시공품질(마감면, 단열, 방수, 차음) 관리 기술
	3D 프린팅 기반 건축공사 통합 관리 기술
	AI 기반 3D 프린팅 장비 통합 운용계획 및 최적 공정관리 시스템
	건축물 3D 프린팅 실증 센터 구축 및 운영
	3D 프린팅 테스트베드 구축 및 검증, 제도(안)
건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발	출력각도 조절 급속시공 재료 기술 개발
	구조부재 출력물의 사용성 평가 기술 개발
	탄소중립형 3D 프린팅 재료기술 개발
	건축물 에너지 효율 향상을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발
	건축물 생활환경 개선을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발
	건축물 화재 안전 대응 3D 프린팅 복합재료 개발
	3D 프린팅 현장 요구성능 대응 배합설계 자동화 및 품질관리 기술
	이동형 재료 공급(계량/배합/이송/압출/세척) 시스템 개발
	3D 프린팅 건축부재 성능인증 시스템 개발
이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발	복잡형상 정밀 출력 가능한 소형 말단 머니퓰레이터와 대형 주 머니퓰레이터 복합형 3D 프린팅 장비 개발
	프린팅 장치의 용이한 이동설치 가능한 전(全)방향 이동형 가설 시스템 개발
	다중 이중 재료 동기 분사 가능한 다목적 가변형 노즐 장치 개발
	실시간 3D 형상인식기반 3차원 툴패스 보정 및 분사노즐 연동제어 가능한 3D 정밀 프린팅 제어기술 개발

2. 정책적 타당성

1) 상위계획과의 부합성

■ 동 사업은 제3차 건축정책기본계획, 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 등 상위계획과 밀접하게 부합함

<표 III-63> 상위계획과의 부합성

국가 상위계획	상위계획 부합성	동 사업(중점과제)의 부합성		
		세부1	세부2	세부3
제3차 건축정책기본계획 ('21~'25)	o 건축에 관한 최상위 계획으로서, 건축 관련 부문별 계획과 지역 차원에서 수립되는 지역건축기본계획의 수립방향을 제시 - 소품종·대량생산 중심의 고속성장의 시대에서 지역기반 소규모 건축사업을 통한 다품종·소량생산 중심의 안정적 성장시대로의 전환에 따라 건축의 생산방식, 공간수요, 개발행태 등에서의 건축 패러다임의 변화를 반영 o '첨단 건축기술로 건축 생산성 향상 및 시장확대'를 위한 과제 제시를 통해 첨단 기술의 현장 도입을 위한 제도적 기반 마련과 첨단 기술시장 육성 및 성과 확산 지원으로 스마트 건축 및 첨단기술 확산 기반 조성	●	◐	◐
제1차 국토교통과학 기술 연구개발 종합계획 ('18~'27)	o 인공지능, 로봇 등 융복합을 통해 설계·관리·시공·유지보수 등 건설 프로세스를 혁신하는 "지능형 건설생산체계"를 전략목표로 설정 o 4대 전략 중 하나인 기술융합을 통한 새로운 가치창출 중 실천과제인 '융합기술을 통한 건설지능화 실현'과 국토교통 8대 혁신성장동력(건설자동화)에 기술 반영	●	●	●
제6차 건설기술진흥 기본계획 ('18~'22)	o 4대 추진전략 - `해외 수요 대응형 건설기술 개발 - 분야 간 융·복합을 통한 경쟁력 강화 - 건설 Big Data 유통을 통한 신사업 육성 o 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성	◐	●	●
제2차 3D프린팅산업 진흥 기본계획 ('20~'22)	o 3D프린팅 산업 현장 활용 가속화 - 테스트베드를 구축하고 건축물 대상 3D프린팅 설계·재료·장비 개발기술 검증 o 차별적 기술력 확보 - 3D프린팅 소재·장비·SW 기술 자립화 - 3D프린팅 전주기 통합제어 플랫폼 기술개발 o 혁신·성장 중심 산업기반 고도화 - 국가표준 개발 및 국제표준 대응·선도 활동 강화 - 3D프린팅 품질평가 및 신뢰성 확보 지원체계 강화 등	●	●	●

2) 타 법령과의 충돌 가능성

■ 동 사업 3개 세부과제별 19개 구성기술은 국토부 소관의 「국토교통과학기술육성법」 및 「건설기술 진흥법」의 조항에 해당되는 기술이므로, 타 법령과의 충돌 가능성은 없는 것으로 판단

○ 동 사업은 새로운 건설기술의 도입·연구개발을 위한 3D 프린팅 기반 건설기술 자동화 기술을 개발하는 사업으로 건축기본법, 삼차원프린팅산업진흥법 등에 부합

- 4차 산업혁명 대응 첨단기술 도입 3D 프린팅 기반 설계기법 및 첨단 건축물 시공을 위한 기술을 개발

- 그리고 삼차원프린팅산업의 기술개발 촉진을 위해 개발된 기술의 평가를 위한 테스트베드를 수행, 기술협력·기술이전 등 개발된 기술의 실용화를 목적으로 하고 있음

<표 III-64> 동 사업 추진 근거

법령	관련 조항
과학기술기본법	o 제1조(목적) - 이 법은 과학기술발전을 위한 기반을 조성하여 과학기술을 혁신하고 국가경쟁력을 강화함으로써 국민경제의 발전을 도모하며 나아가 국민의 삶의 질을 높이고 인류사회의 발전에 이바지함을 목적으로 한다. o 제5조 1항(과학기술정책의 중시와 개방화 촉진) - 정부는 과학기술정책의 수립과 추진을 통하여 과학기술이 국가의 경제적·사회적 문제를 해결하고 미래전략을 달성하는 중추적인 역할을 할 수 있도록 필요한 자원을 최대한 동원하여 창의적 연구개발과 개방형 과학기술혁신활동을 적극적으로 지원하여야 한다. o 제7조 3항(과학기술기본계획) - 기본계획에서는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.1. 과학기술의 발전목표 및 정책의 기본방향2. 과학기술혁신 관련 산업정책, 인력정책 및 지역기술혁신정책 등의 추진방향 <이하 중략> o 제11조 1항(국가연구개발사업의 추진) - 중앙행정기관의 장은 기본계획에 따라 맡은 분야의 국가연구개발사업과 그 시책을 세워 추진하여야 한다. o 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성) - 정부는 과학기술에 기반을 둔 성장동력을 발굴·육성하기 위하여 필요한 시책을 세우고 추진하여야 한다.

법령	관련 조항
국토교통과학기술 육성법	o 제7조(기술수요조사) - 국토교통부 장관은 국내외 기술동향조사 등을 통하여 정기적으로 기술수요조사를 하고, 그 결과를 반영하여 연구개발과제를 발굴하여야 한다. - 제1항에 따른 기술수요조사에 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다. o 제8조(연구개발사업의 추진) - 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술연구개발사업(이하 "연구개발사업"이라 한다)을 할 수 있다. - 국토교통부장관은 연구개발사업을 할 때 연도별·분야별 연구과제를 선정하여 다음 각호의 기관 또는 단체등과 협약을 맺어 연구를 하게 할 수 있다. <이하 중략>
건설기술 진흥법	o 제8조(건설기술의 연구·개발 등의 권고) - ▶ 국토교통부장관은 새로운 건설기술의 도입·연구·개발을 위하여 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자에게 대통령령으로 정하는 바에 따라 부설연구소의 설치·운영이나 공동연구 및 정보 교환 등과 기술개발을 위한 투자를 권고할 수 있다. <이하 중략> o 제9조(공동연구·개발) - 국토교통부장관은 건설기술의 연구·개발과 관련된 공공기관·법인·단체·대학 (이들의 부설연구소 등을 포함한다. 이하 "건설연구기관"이라 한다)의 인력·자금·시험시설 및 기술정보의 효율적 활용과 선진기술 획득을 위하여 관계 중앙행정기관의 장과 공동연구를 추진하거나 건설기술연구기관의 건설기술 연구·개발을 지원할 수 있다.
건축기본법	o 제11조(건축정책기본계획의 내용) - 우수한 설계기법 및 첨단건축물 등 연구개발에 관한 사항
삼차원 프린팅산업 진흥법	o 제5조(기본계획의 수립 및 시행) - 과학기술정보통신부장관은 3년마다 삼차원프린팅산업 진흥을 위한 기본계획을 수립하고 <이하 중략> o 제8조(기술개발의 촉진) - 정부는 삼차원프린팅산업에 관한 기술개발의 촉진을 위하여 다음 각 호의 사업을 추진하여야 한다. 1. 기술수준의 조사 및 기술의 연구개발 2. 개발된 기술의 평가 3. 기술협력·기술이전 등 개발된 기술의 실용화 4. 기술정보의 원활한 유통 5. 그 밖에 기술개발을 위하여 필요한 사업

3) 재원조달 가능성

■ 동 사업은 2023년부터 2027년까지 5년간 총 386.66억 원 투입 계획

○ 국비 280억 원, 민자 88.66억 원으로 구성

■ 동 사업 운영을 위한 국고 재원 조달의 가능성 검토

○ 국토부 R&D 예산 추정을 통해 사업기간 동안의 재원조달 가능성 검토

- 국토교통 R&D 중기재정계획('20~'24)을 기본으로, '25년 이후 예산은 국토교통 R&D 예산의 최근 5년 연평균 증가율(6.5%)을 적용하여 예산 추정
- 국토교통 R&D 장기계속사업의 일몰제 시행으로 계속과제 소요예산이 단계적 감소하여 신규 R&D사업 추진을 위한 소요예산 반영 가능
- '23년부터 '27년까지 계속과제 소요예산 5,613억 원을 제외한 국토교통부 R&D사업의 가용예산 추정치는 총 43,760억 원 수준

○ 따라서 동 사업의 소요예산은 국비 280억 원으로 해당 사업기간의 국토교통 신규 R&D 가용예산 추정치의 0.6%에 해당하여 가용범위 내에 있음

<표 III-65> 국토교통R&D 예산 전망 및 신규 R&D 가용예산 규모

(단위: 억원, %)

구분	'23	'24	'25	'26	'27	합계
국토교통 R&D 예산 추정치(A)	8,611	9,249	9,850	10,490	11,172	49,373
계속과제 소요예산(B)	2,405	1,566	1,095	547	-	5,613
신규 R&D사업 가용예산 추정치 (C) (C=A-B)	6,206	7,683	8,755	9,943	11,172	43,760
동 사업 필요 예산(D)	50	55	55	58	62	280
가용예산 대비 동 사업 예산 비율 (C/D)	0.8%	0.7%	0.6%	0.6%	0.6%	0.6%

* 국토교통 R&D 예산 추정치에서 계속과제('22년~'30년) 소요예산*을 제외하여 신규 R&D사업의 가용예산 추정

4) 연구개발사업의 분쟁가능성

■ 동사업 기획은 그 내용상 상품무역에 관련된 지원이 아니므로, 금지보조금에 따른 분쟁 가능성은 없음

○ WTO 보조금 협정에 관한 사항으로 연구개발 지원정책이 내용상 금지보조금에 해당하는 경우 동 협정에 따른 조치의 대상이 될 수 있음

■ 사업추진상 위험요인 평가는 재원조달 가능성, 근거법령의 적절성, 타 법령과의 충돌 가능성, 국가연구개발사업 절차의 누락 가능성, 연구개발사업 추진 결과의 분쟁가능성 등을 평가

○ 검토결과, 재원조달의 지연 가능성은 낮게 평가되며, 법적・제도적 위험요인은 중립으로 평가되고, 타 법령과의 충돌 가능성은 없는 것으로 판단

○ 정부 R&D 예산 및 국토교통 R&D 예산을 전망하고 국토교통 R&D 예산 내 신규 R&D 가용예산을 추정하여 평가한 결과 재원조달의 문제로 사업 지연 가능성은 없음

○ 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정에서 제시한 사전조사 및 기획연구의 내용을 충실히 반영하였으며, 산·학·연 중심의 기술수요조사를 통해 세부기술을 도출하는 등 절차의 누락 가능성은 낮음

○ 동 사업은 그 내용상 상품무역에 관련된 지원이 아니므로, 금지보조금에 따른 분쟁 가능성은 없음

3. 경제적 타당성

1) 비용 추정

■ 동 사업은 총 사업비 368.68억 원으로 국비 280억 원, 민자 88.68억 원 투자

○ 3개 세부과제에 총 354.68억 원, 기획평가관리비 14억 원

<표 III-66> 총사업비 소요예산

(단위: 억 원)

구분		국고	지방비	민자	총 계
비목구분	세부구분				
연구개발	1. 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술	97.00	-	32.34	129.34
	2. 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발	83.00	-	27.67	110.67
	3. 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발	86.00	-	28.67	114.67
소계		266.00	-	88.68	354.68
사업운영비(기획평가관리비)		14.00	-	-	14.00
총사업비		280.00	-	88.68	368.68

■ 연도별 투자금액은 다음과 같음

<표 III-67> 연도별 투자계획

(단위: 백만원)

구분	총사업비	연도별 투자계획				
		'23	'24	'25	'26	'27
국고	26,600	3,230	5,985	5,795	5,700	5,890
민자	8,868	1,077	1,995	1,932	1,901	1,963
기평비	1,400	170	315	305	300	310
합계	36,868	4,477	8,295	8,032	7,901	8,163

2) 편익 추정

(1) 편익 추정 개요 및 방법론

편익 = 미래 시장규모 × 사업기여율 ×R&D기여율 × R&D사업화성공률 × 부가가치율

○ 편익기간 : 건설관련 IPC 기술순환주기 평균인 11년 적용

○ 회임기간 : 응용·개발연구의 회임기간 3년 적용

○ 사회적할인률 : 4.5% 적용

○ 미래시장

<표 III-68> 글로벌 3D 프린팅 기반 건설/건축시장 규모

(단위: 천달러)

End-use Sector	2017	2018	2019	2024	CAGR (2019–2024)
North America	27	76	167	11,015	131.0%
Europe	133	304	689	69,656	151.7%
APAC	24	85	342	131,009	228.7%
ROW(UAE etc.)	41	93	581	1,000,899	343.9%
Total	**224**	**558**	**1,779**	**1,212,579**	**268.7%**

주: ROW - UAE, Saudi Arabia, Others
출처: Secondary Research, Expert interviews, and MarketsandMarkets Analysis

- 2024년 이후는 CAGR 대신 연도의 평균성장률을 적용하여 미래시장 추정

○ 시장점유율

- 3D 프린팅 기반 건설/건축 시장은 초기 형성단계로 관련 시장 및 한국의 시장점유율을 파악하기에는 현재로서는 어려운 실정
- 따라서 대안으로서 관련성이 높은 건축 부문의 한국 시장점유율을 대리변수로 사용

※ 2016년에 미래부의 '지능정보사회 선도 AI 프로젝트 예비타당성조사 보고서'에도 AI 시장에서의 한국의 시장점유율을 파악하지 못하여 전 세계 S/W 시장에서의 한국의 시장점유율(1%)가 AI 시장에서도 동일하게 유지할 것으로 가정한 바 있음

- ENR(Engineering New-Record)에서 발간한 ‘ENR THE TOP 250’의 2017, 2018, 2019년 Building 부문 세계 상위 250대 기업의 건축 부문 건설계약 자료를 활용
- 한국 건축 부문 해외 수출 실적은 해외건설협회에서 집계한 자료를 활용하여 2017, 2018, 2019년 세계시장 대비 한국 실적의 3년 평균 점유율인 9.7%를 동 사업 목표로 설정

※ 시장이 성숙기가 아닌, 초기 형성단계이기 때문에, 전문가 의견을 참고하여 건축 분야에서 우리나라의 역량을 고려했을 때 동 사업 분야에서도 충분한 역량이 발휘될 수 있을 것으로 기대

<표 III-69> 건축부문 시장점유율 목표

(단위: 백만달러)

연도	Building(세계시장)	건축(해외 수주실적)	점유율
2017	12,114	2,409	19.9%
2018	112,293	5,382	4.8%
2019	114,564	4,913	4.3%
평균(3년 평균)	-	-	9.7%

자료1: ENR THE TOP 250 각 연도 (건축부문 세계시장 규모)
자료2: 해외건설협회 각 연도 (건축부문 해외수주 실적)

○ 사업기여율

- 사업기여율 = (동 사업 투자) / {동 사업 투자 + (정부 투자 + 민간 투자)}

※ 유사사업분석을 통해 유사과제 예산을 산출 적용

- 사업기여율 : 23.6%

○ R&D기여율 : 35.4%(제3차 과학기술기본계획 제시)

○ 부가가치율

- 한국은행 산업연관표 실측표(2015년)의 기초가격 주거용건물 및 비주거용 건물의 부가가치율인 36.75% 적용

○ R&D사업화성공률

- 국토교통부 R&D사업의 3년(2016~2018년) 평균인 43.4%를 적용

(2) 편익 추정 결과

■ 2031~2040년 동안 연간 43~79억 원의 편익이 발생

○ 편익 발생기간 11년 동안 총 673억 원의 편익이 발생하며, 편익의 현재가치는 총 342억 원

<표 III-70> 편익 추정 결과

(단위: 백만원)

연도	시장규모	편익	편익현재가치
2023	376,347	연구개발 기간	
2024	1,387,700		
2025	1,664,832		
2026	1,941,965		
2027	2,219,098		
2028	2,496,231	회임 기간	
2029	2,773,363		
2030	3,050,496		
2031	3,327,629	4,320	2,782
2032	3,604,762	4,680	2,884
2033	3,881,894	5,040	2,972
2034	4,159,027	5,400	3,047
2035	4,436,160	5,759	3,110
2036	4,713,293	6,119	3,162
2037	4,990,425	6,479	3,204
2038	5,267,558	6,839	3,236
2039	5,544,691	7,199	3,260
2040	5,821,824	7,558	3,275
2041	6,098,956	7,918	3,283
합계	-	67,311	34,214

(3) 비용편익 분석 결과

■ 동 사업은 편익/비용 비율(B/C ratio)이 1.11, 순현재가치(NPV)는 35억 원으로 경제성을 확보한 것으로 분석됨

<표 III-71> 경제적 타당성 분석 결과 요약

편익 현재가치(백만원)	비용 현재가치(백만원)	B/C Ratio	순현재가치(NPV), (백만원)
34,214	30,712	1.11	3,501

■ 비용 및 편익 현재가치의 상세한 추이는 다음과 같음

<표 III-72> 비용 및 편익 현재가치의 연도별 추이

(단위: 백만원)

연도	비용	편익	비용현재가치	편익현재가치
2023	4,477	-	4,100	-
2024	8,295	-	7,269	-
2025	8,032	-	6,735	-
2026	7,901	-	6,340	-
2027	8,163	-	6,268	-
2028	회임 기간			
2029				
2030				
2031	-	4,320	-	2,782
2032	-	4,680	-	2,884
2033	-	5,040	-	2,972
2034	-	5,400	-	3,047
2035	-	5,759	-	3,110
2036	-	6,119	-	3,162
2037	-	6,479	-	3,204
2038	-	6,839	-	3,236
2039	-	7,199	-	3,260
2040	-	7,558	-	3,275
2041	-	7,918	-	3,283
합계	36,868	67,311	30,712	34,214

4. 기대효과 및 파급효과

1) 파급효과

(1) 기술 및 사회적 파급효과

■ 3D 프린팅 기반 시공자동화 기술 개발 및 적용 검증을 통한 건설 상품 생산 및 건설환경 패러다임의 변화 및 타산업 기술연계 확산

○ 노동 집약적인 기존 건설 생산 방식에서 3D 프린팅 장비 기반 자동화 장비 시공으로 변화됨으로써 노무생산성 향상 및 작업자 부족, 고령화, 작업자의 안전문제 등과 같은 건설산업의 고질적인 문제점 해결가능

○ 다수의 건설장비의 최적화 운용방식 접목 및 JIT(Just-in-Time) 방식 적용이 가능하여 현장 공정의 효율화 향상으로 Loss의 최소화가 가능하며, 쾌적한 현장 유지 가능으로 건설의 이미지 향상 기대

○ 건설 공정 및 생산방식의 스마트 공법 적용 등과 같은 새로운 현장관리체계의 제시를 통해 새로운 직업군이 생길 수 있으며, 이로 인한 타산업과의 연계된 융합산업의 활성화 가능

■ “실거주용” 및 “주택생활문제 해결”을 위한 기능성 3D 프린팅 전용 복합소재 및 성능인증 시스템 개발을 통한 국제 건축 3D 프린팅 경쟁력 강화, 탄소중립화 달성 및 주거환경문제 해결가능에 대한 국가적·사회적 파급효과

○ 3D 프린팅된 건설복합재료 및 제품의 신뢰성 평가 및 표준 문서 확보를 통해 3D 프린팅 건축기술의 해외진출 기반 마련

○ 국제 경쟁력 강화 및 3D 프린팅 산업 진출 후발주자로서 선두주자와 동등한 기술수준으로 성장 예상

○ 3D 프린팅용 친환경 재료 개발을 통해 건축물 전 생애주기 단계에서 에너지 소비 절감을 달성

○ 사용자재의 친환경성 달성 및 사용량 감축을 통해 탄소중립 목표치를 달성이 가능하며, 신자재, 신공법 개발로 자원고갈 대응 가능

- ○ 3D 프린팅 복합소재(구조재 및 비구조재) 기술 개발을 통해 수요자 맞춤형・실거주 대응형・3D 비정형 건축물 구현 달성
- ○ 3D 프린팅 주택 뿐만 아니라, 기시공된 주택의 주거환경문제에 직면해 맞춤형으로 해결할 수 있는 긍정적인 사회적 파급효과 기대
- ○ 3D 프린팅 건축부재에 대한 평가기술, 관련 표준 및 인증시스템 개발을 통해 실거주용 및 주택성능등급 만족형 주택건설이 가능할 것으로 판단되며, 시장성 진출을 위한 기반 마련

■ 이동 설치가 용이하고 복합형 3D 프린팅 시공 장비 개발을 통한 연관 시스템 및 장비 기술의 상당한 파급효과 및 기술확장 가능

- ○ 대형 주 머니퓰레이터와 소형 말단 머니퓰레이터 복합형 머니퓰레이터 시스템은 다양한 건축물의 정밀한 유지보수를 위한 장치 뿐 만 아니라 매크로, 마이크로 작업이 동시에 필요한 머니퓰레이션 시스템으로 그 기술의 파급효과 상당할 것으로 예상
- ○ 다중 이중재료 동기 분사 가능한 다목적 가변형 노즐 장치는 3D 프린팅기반 건축 이외에도 벽면 마감작업이나, 표면 멀티노즐 페인팅을 위한 출력 장비에 다양하게 기술적 파급효과 발생
- ○ 3차원 형상인식 기반 실시간으로 툴패스와 분사노즐을 제어하는 기술은 건설 분야 이외에도 다양한 3D 프린팅 기반 어플리케이션에 출력물의 품질을 높이기 위한 기술로 확장 가능

(2) 경제적 파급효과

■ 파급효과는 동 사업을 통해 발생하는 총수요를 기준으로 산업연관분석을 통해 생산유발효과, 부가가치유발효과, 고용유발효과를 분석

- ○ 총수요 증가분은 동 사업을 통해 발생하는 편익으로부터 부가가치율을 제외하여 계산
- ○ 산업연관 분석은 한국은행이 가장 최근에 발표한 2015년 실측치 기준 산업연관표를 활용하여 분석 수행

- 각 유발계수는 주거용 건물과 비주거용 건물의 평균값을 적용

<표 III-73> 동 사업 상품분류 및 유발계수

대분류	중분류	소분류	기본부문	생산유발계수	부가가치 유발계수	고용유발계수 (10억 원 당)
건설	건물건설 및 건축보수	주거용 건물	주거용 건물	2.076	0.777	9.597
		비주거용 건물	비주거용 건물	2.113	0.798	8.905
평균				2.095	0.788	9.251

○ 추정결과 편익발생 기간인 11년 동안 생산유발효과 총 3,837억 원, 부가가치 유발효과 총 1,443억 원, 고용유발 총 1,694명의 경제적 파급효과 발생

<표 III-74> 경제적 파급효과 추정 결과

(단위: 억 원, 명)

연도	편익	총수요 증가분	생산유발액	부가가치유발액	고용유발
2031	43	118	246	93	109
2032	47	127	267	100	118
2033	50	137	287	108	127
2034	54	147	308	116	136
2035	58	157	328	123	145
2036	61	167	349	131	154
2037	65	176	369	139	163
2038	68	186	390	147	172
2039	72	196	410	154	181
2040	76	206	431	162	190
2041	79	215	451	170	199
합계	673	1,832	3,837	1,443	1,694

2) 기대효과

■ 과학기술적 기대효과

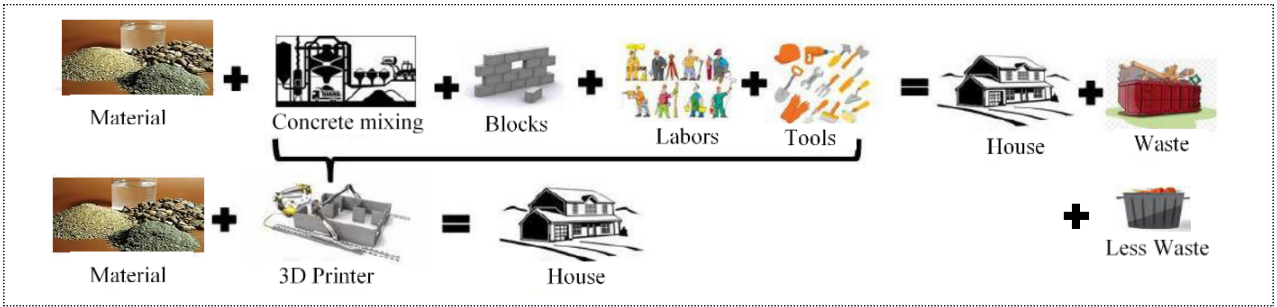
○ 수요자 맞춤형 비정형 건축물의 구현 및 3D 프린팅 건축부재에 대한 평가기술, 관련 표준 및 인증시스템 개발을 통해 실거주용 주택건설 가능성 확보

- 또한 실거주형 주택성능 대응형 3D 프린팅 내외장재 기술개발로 기존 주택이 직면한 주거환경 문제에 대한 맞춤형 해결 방안 확보

○ 건설 설계·시공·재료·장비·프로세스 융합으로 각 요소 시스템을 단일 프레임에서 구현하는 차세대 건설기술 확립의 신개념 기술 창출 기대

- On-site 및 Off-site 3D 프린팅 기술 융합을 통한 건축물 공기 단축과 설계 및 시공단계에 이르는 프로세스 과정의 단축으로 비용·시간 절감에 기여

※ 기존 건축방식의 여러 단계 작업 과정 구성 및 노동 집약적 의존으로 인해 소모되는 시간과 비용을 절감



[그림 Ⅶ-1] 기존 건축과 3D 프린팅 건축 프로세스 비교

■ 사회·경제적 기대효과

○ 3D 프린팅 기반 건설 자동화 기술개발을 통한 하이브리드·미래대응의 첨단기술 확보로 지속가능한 건설 경제구조로의 전환 기대

- 건설 기술 인력의 수급 부족 문제를 프로세스의 단축 및 자동화를 통해 해결함으로써 품질 안정화 및 생산성 향상에 기여

- 건설 생산성 향상을 통한 고부가가치 건설시장 구축을 위한 기반 기술로 활용

※ 시공비용 절감(50% 이상), 시공전주기 소요시간 절감(50%~80%), 미숙련 건설인력 대체 비용절감(50%~80%), CO2 및 폐기물 배출 저감 등

<표 Ⅲ-75> 3D 프린팅 건축방식의 절감효과

구분	기존 건축방식	3D 프린팅	절감효과
투입 자원	자재, 장비, 인력 관련 비용	자재, 장비	비숙련 인력 50~80% 절감
시공기간 단위	주(week)	일(day)	50%~80% 절감
비용	167~333달러/ft2	83달러/ft2 미만	50% 이상 절감
자재 손실률(%)	10% 이상	3% 이하	90% 절감

출처: 미국 Black Buffalo 3D 홈페이지

5절 인력투입 소요예산 산정

1. 인력투입

■ 세부과제별 연구개발 소요인력

○ 사업기간 5년('23 ~ '27) 동안 총 185명이 투입될 것으로 추산

- 박사급(책임급) 인력 76명, 석사급(선임급) 55명, 학사급(연구원급) 54명

<표 III-76> 세부과제별 소요인력

(단위: 명

구분	구분	'23	'24	'25	'26	'27	총계
1. 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술	박사급	3	6	5	6	8	28
	석사급	2	4	4	4	6	20
	학사급	1	4	4	5	5	19
	소계	6	14	13	15	19	67
2. 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발	박사급	3	5	5	5	5	23
	석사급	2	4	4	4	3	17
	학사급	1	5	4	4	4	18
	소계	6	14	13	13	12	58
3. 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발	박사급	4	6	6	5	4	25
	석사급	3	4	4	4	3	18
	학사급	3	4	4	3	3	17
	소계	10	14	14	12	10	60
합계	박사급	10	17	16	16	17	76
	석사급	7	12	12	12	12	55
	학사급	5	13	12	12	12	54
	소계	22	42	40	40	41	185

2. 소요예산

▮ 사업 소요예산

○ 총 5년('23 ~ '27) 동안 국고 266억 원, 민자 88.68억 원 및 기획평가관리비 14억 원을 투입, 총 368.68억 원 규모로 추진

<표 Ⅲ-77> 총사업비 소요예산

(단위: 억 원)

구분		국고	지방비	민자	총 계
비목구분	세부구분				
연구개발	1. 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술	97.00	-	32.34	129.34
	2. 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발	83.00	-	27.67	110.67
	3. 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발	86.00	-	28.67	114.67
소계		266.00	-	88.68	354.68
사업운영비(기획평가관리비)		14.00	-	-	14.00
총사업비		280.00	-	88.68	368.68

■ 연차별 투자계획

○ 연구개발비의 국비 대비 민자 비율은 1단계 연구사업 평균 민간부담금 수준인 25%를 반영

- 1단계 연구사업 평균 민간부담금 수준을 고려

※ 1단계 연구사업 2016년에서 2019년의 민간부담금 비율 평균 26.0%

○ 기획평가관리비는 국비의 5% 수준으로 반영

<표 III-78> 연도별 연구비 투자계획

(단위: 백만원)

구분		'23	'24	'25	'26	'27	합계
1. 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술	국비	930	1,985	1,855	2,150	2,780	9,700
	민자	310	662	618	717	927	3,234
	합계	1,240	2,647	2,473	2,867	3,707	12,934
2. 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발	국비	900	1,950	1,940	1,850	1,660	8,300
	민자	300	650	647	617	553	2,767
	합계	1,200	2,600	2,587	2,467	2,213	11,067
3. 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발	국비	1,400	2,050	2,000	1,700	1,450	8,600
	민자	467	683	667	567	483	2,867
	합계	1,867	2,733	2,667	2,267	1,933	11,467
연구개발비 소계	국비	3,230	5,985	5,795	5,700	5,890	26,600
	민자	1,077	1,995	1,932	1,901	1,963	8,868
	합계	4,307	7,980	7,727	7,601	7,853	35,468
기획평가관리비	국비	170	315	305	300	310	1,400
총계	국비	3,400	6,300	6,100	6,000	6,200	28,000
	민자	1,077	1,995	1,932	1,901	1,963	8,868
	합계	4,477	8,295	8,032	7,901	8,163	36,868

별첨자료

1. 참고 문헌

1) 국토교통부, 제6차 건설기술진흥기본계획 2018-2022.
2) 관계부처 합동, 제2차 3D프린팅산업 진흥 기본계획 2020-2022, 2020.06
3) 과학기술정보통신부, “2020년도 3D프린팅산업 진흥 시행계획(안)”, 2020.10
4) 관계부처 합동, 2021년 3D 프린팅산업 진흥 시행계획, 2021.03
5) 과학기술정보통신부 외 7개 정부부처, “2019년도 3D프린팅산업진흥 시행계획”, 2019.02
6) 국가과학기술심의회, 3D프린팅 산업 발전전략(안), 2014.04
7) 산업통상자원부, “3D프린팅으로 제작하는 국방부품, 국내 조달 길 열린다”, 2020.02
8) 관계부처 합동, 3D프린팅 전략기술 로드맵, 2014.12
9) 산업통상자원부, 2019-2021 산업기술 R&D 투자전략(3D 프린팅)
10) 산업통상자원부, 美 제조업 현황 및 주요혁신 정책, 2019
11) 산업통상자원부, 미국의 첨단 제조업 리더십 확보 전략, 2018
12) 산업통상자원부, 유럽 및 독일의 3D 프린팅 산업 동향, 2021
13) 한국발명진흥회(http://www.kipa.org)_3D프린팅 기술의 현재와 미래
14) KDB 미래전략연구소, 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안, 2019
15) 국토교통과학기술진흥원, 3D 프린팅과 건설 산업
16) 서울기술연구원(이영석), 집을 프린트하는 시대, 건설 3D 프린팅 기술
17) KB금융지주, “KB지식비타민(18-68)_180829현실로 다가온 3D프린팅주택”
18) 산업연구원, 3D프린팅 산업의 가치사슬별 경쟁력 진단과 정책제언, 2021
19) 과학기술정보통신부, 2020년 3D프린팅 산업 실태조사, 2021
20) 한국과학기술기획평가원, 2020년 기술수준평가, 2021
21) 정보통신산업진흥원, 주요국의 3D프린팅산업 지원정책 동향, 2020
22) 한국과학기술기획평가원, 3D프린팅 기반 의료・바이오기술, 2019
23) 한국과학기술기획평가원, 2018년 기술수준평가, 2019
24) 과학기술정책연구원, 중국 과학기술・신산업 혁신 역량 분석, 2019
25) 산업연구원, 최근 중국 산업정책의 방향과 주요 내용, 2019

26) 한국건설관리학회, 중국제조 2025 - 중국의 4차 산업혁명 대응, 2017.06
27) 국회입법조사처, 3D프린팅 산업의 현황과 정책적 과제, 2018
28) 정보통신기술진흥센터, 4차 산업혁명을 대비하는 중국의 ICT 산업 및 정책 동향, 2017
29) 산업연구원, 4차 산업혁명이 한국 제조업에 미치는 영향과 시사점, 2017.05
30) 한국산업기술진흥원, 미국의 3D프린팅 산업 지원, 2017
31) 농림식품기술기획평가원, 4차 산업혁명시대 3D 프린팅 기술동향 및 농식품 분야 적용 전망, 2017
32) Istans Magazine, 상상이 현실로, 3D 프린팅 시대, 2016
33) 국토교통과학기술진흥원, 건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획 최종보고서, 2015.09
34) 한국과학기술정보연구원, 중국제조 2025, 2015
35) 산업연구원, 「중국제조 2025」 전략
36) 한국지식재산보호협회, 해외특허분쟁 대응전략 로드맵[3D 프린팅], 2015
37) 한국산업기술평가관리원, 3D 프린터 기술・시장동향, 2015
38) 한국지식재산연구원, 3D 프린팅 기술에 관한 주요국 특허동향 및 시사점
39) 광학세계, 3D 프린팅 산업 발전전략, 2014.07
40) 정보통신기술진흥센터, 3D 프린팅 산업 육성을 위한 주요국의 최근 정책 동향, 2014.03
41) 한국과학기술정보연구원, 3D프린팅에 의한 제조기술의 혁신(Machinery Industry, 2014
42) 정보통신기술진흥센터, 3D 프린팅 산업 육성을 위한 중국의 전략과 시사점, 2014.05
43) 산업연구원, 제조업 공정혁신의 기폭제 3D프린팅산업, 2014
44) 한중과학기술협력센터, 중국의 3D프린팅 현황 및 전망, 2014
45) COMPASS, “Global Construction Yearbook”, 2019
46) MARKETSANDMARKETS, 3D PRINTING CONSTRUCTION MARKET, GLOBAL FORCAST TO 2024.
47) McKinsey, “Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity”, 2017
48) Han, Y., Yang, Z., Ding, T., & Xiao, J. (2021). Environmental and economic assessment on 3D printed buildings with recycled concrete. Journal of Cleaner Production, 278, 123884.

49) Park, K. M, Min, K. S, Lee, B. C, Rok, Y. S. (2021). Proposal for enhancing the compressive strength of alkali-activated materials-based binder jetting 3D printed output. Construction and Building Materials, 303, 124377.

50) Barcus, J, I.(2020), “Have Seen The Future, And It Is 3D Printing, Forbes.com”

51) Park, K. M., Park, S. H., Lee, J., Lee, B. C., & Roh, Y. S. (2020). Evaluation of Binder jetting 3D Printed Specimens Using Vacuum Impregnation. Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection, 24(2), 103-110.

52) Vantyghem, G., De Corte, W., Shakour, E., & Amir, O. (2020). 3D printing of a post-tensioned concrete girder designed by topology optimization. Automation in Construction, 112, 103084.

53) Voney, V., Odaglia, P., Brumaud, C., Dillenburger, B., & Habert, G. (2020, July). Geopolymer Formulation for Binder Jet 3D Printing. In RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication (pp. 153-161). Springer, Cham.

54) Voxeljet Industrial 3D Printer VX4000, https://www.voxeljet.com/industrial-3d-printer/serial-production/vx4000, 2021.

55) Zhanzhao Li, Maryam Hojati, Zhengyu Wu, Jonathon Piasente, Negar Ashrafi, José P. Duarte, Shadi Nazarian, Sven G. Bilén, Ali M. Memari, Aleksandra Radlińska, Fresh and Hardened Properties of Extrusion-Based 3D-Printed Cementitious Materials: A Review, Sustainability,12(14) (2020). https://doi.org/10.3390/su12145628

56) ENR, ENR THE TOP 250, 각 연도(2017, 2018, 2019)

57) Additively, www.additively.com

58) Apis Cor에서 시공한 640평방미터 2층 오피스, https://www.apis-cor.com/dubai-project

59) Branch TEchnology One City Pavilion 시공사례, https://www.branch.technology/projects-1/2018/11/8/one-city-pavilion

60) COBOD에서 시공한 세계 최초 인허가 주택, https://www.youtube.com/watch?v=Mgi398KG1hQ

61) CyBe에서 시공한 빌라, https://cybe.eu/portfolio-item/3dhousing05/

62) Dessault Systemses 3DEXPERIENCE marketplace,

https://make.3dexperience.3ds.com/explore-labs

63) Digital Concrete 2020, TU Eindhoven, https://digitalconcrete2020.com/

64) Fab365, https://fab365.net/

65) Hidelbergcement, Germany, https://www.heidelbergcement.com/en/pr-29-09-2020

66) ICON, https://www.iconbuild.com/contact/home

67) Shapeways, https://www.shapeways.com/

68) Winsun, http://www.mayidida.com/

69) WePrintHouses, https://weprinthouses.com/

70) 3D Systems, ZB63 Safety Data Sheet, http://infocenter.3dsystems.com/materials/auxiliary/binders/zb63, 2020.

71) D-Shape Enterprises, https://dshape.wordpress .com, 2021.

72) Voxeljet Industrial 3D Printer VX4000, https://www.voxeljet.com/industrial-3d-printer/serial-production/vx4000, 2021.

73) NTIS. www.ntis.go.kr

74) 해외건설협회, http://www.icak.or.kr/

75) https://m.post.naver.com/viewr/postView.nhn?volumeNo=26485099

2. 자문위원 명단

연번	구분	성명	소속	전문분야	비고
1	학	양준모	계명대학교	건축재료	
2	산	연준환	㈜자연과환경	건축시공(PC)	
3	산	이동규	동남기업	건축재료	
4	산	이성우	글로텍	건축설계(플랫폼)	
5	산	조영채	㈜목양종합건축사사무소	건축설계	
6	학	조훈희	고려대학교	건축시공	
7	학	홍성걸	서울대학교	건축구조	

주) 성명은 가나다순으로 정렬

3. 과제 제안요구서(RFP)

연구과제명	3D 프린팅 기반 사용자 맞춤형 건설 자동화 기술 개발

1. 연구개발목표

○ 3D 프린팅 기술을 기반으로 3D 프린팅 설계/시공 프로세스 확립, 구조성능 확보된 건축물 시공기술 확보, 이동형/경량화 3D 프린팅 건설 장비, 수평부재 시공기술 확보를 통한 맞춤형/완성형 건축물 시공 기술 확보

- (규모목표) 건축면적 300㎡, 2층 이상 3D 프린팅 건축물 시공기술 확보
- (생산성 목표)
  - ☞ 자동화율 : 기존 공법* 대비 투입인력 30 % 절감
  - ☞ 공기단축 : 기존 공법* 대비 시공기간 20% 절감
  - ☞ 품질확보 : 기존 공법* 대비 동등이상 구조성능 확보

* 기존 공법 : 골조 대상 거푸집 활용 습식 철근콘크리트 타설공사 시공법

2. 연구개발 필요성 및 기술동향

□ **연구개발 필요성**

○ 3D 프린팅 등 4차 산업혁명 기술은 건설산업이 도약할 수 있는 절호의 기회

- 노동집약·현장의존적인 생산체계, 공급자 위주 산업구조 등으로 건설은 '낡은 전통산업'에 머무르고 있음
- 특히 건설은 안전성·생산성이 낮은 상황에서 고령화 및 숙련인력 감소가 빠르게 진행되고 있어 디지털화 및 자동화 필요성 증대

○ 3D 프린팅기반 자동화 실현을 통한 건설 안전성·생산성 향상 필요

- 3D 프린팅을 통한 제작비용 및 시간 절감, 비정형·맞춤형 제작, 건설 공정 간소화 및 이에 따른 인건비 감소, 안전도 향상 가능

○ 3D 프린팅 1단계 사업 이후 고도화·품질 향상을 위한 후속 연구 필요

- 건설 3D 프린팅을 위한 설계, 재료, 장비의 기초 원천기술 개발 및 세계 최고수준 규모(10m×10m×3m)의 수직골조 시공기술 확보 완료
- 1단계('16~'21)는 저층 중심의 수직골조 시공 중심, 사람이 실 거주하기 위한 구조안전성 등에 대한 검토 미흡, 기존 공법과의 연계에 대한 고려 등이 미흡하였음
- 세계 시장을 선도하기 위한 First mover 전략으로, 연구의 대상을 수직골조에서 수평부재를 포함한 완성된 건축물로 확장하며, 실 거주 가능한 품질수준의 완성된 건축물 시공 기술 확보, 규모 확장, 재료 다양화 및 토목 등 타 도메인 확장을 위해 2단계 연구 필요

□ 기술동향 ○ 최근 3D 프린팅 기술을 활용한 건축이 단층 규모에서 복층 이상 규모로 확장되는 등 대형 장비 기반의 대형 건축물 시공으로 확대 중
- 3D 프린팅 건설가능한 크기는 장비와 재료의 개발을 통해 점차적으로 증가되는 추세
- 장비 또한 기존 소형 갠트리에서 이동이 가능한 형태 및 로봇암, 대형 장비로의 확대 발전이 이루어지고 있음
- 기존의 건축물 모사 수준에서 최근 기존 공법과 연계하여 시공된 건축물의 인허가 완료 사례*가 증가
  * COBOD (2017, 덴마크, The BOD), ICON (2018, 미국, Chicon House
- 건설용 3D 프린팅 기술용 재료로는 모든 국가에서 Concrete를 채택 중임

3. 연구개발내용	

□ (구성기술 1) 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술 및 테스트베드 구축

○ 3D 프린팅 기반 기존 시공법(철근, 설비, 창호, 마감) 연계 기술
○ 3D 프린팅 건축물 시공품질(마감면, 단열, 방수, 차음) 관리 기술
○ 3D 프린팅 기반 건축공사 통합 관리 기술
○ AI 기반 3D 프린팅 장비 통합 운용계획 및 최적 공정관리 시스템
○ 건축물 3D 프린팅 실증 센터 구축 및 운영
○ 3D 프린팅 테스트베드 구축 및 검증, 제도(안)

□ (구성기술 2) 건축 3D 프린팅 전용 복합재료 및 공급 장치 개발

○ 출력각도 조절 급속시공 재료 기술 개발
○ 구조부재 출력물의 사용성 평가 기술 개발
○ 탄소중립형 3D 프린팅 재료기술 개발
○ 건축물 에너지 효율 향상을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발
○ 건축물 생활환경 개선을 위한 3D 프린팅 복합재료 개발
○ 건축물 화재 안전 대응 3D 프린팅 복합재료 개발
○ 3D 프린팅 현장 요구성능 대응 배합설계 자동화 및 품질관리 기술
○ 이동형 재료 공급(계량/배합/이송/압출/세척) 시스템 개발
○ 3D 프린팅 건축부재 성능인증 시스템 개발

□ (구성기술 3) 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발

○ 복잡형상 정밀 출력 가능한 소형 말단 머니퓰레이터와 대형 주 머니퓰레이터 복합형 3D 프린팅 장비 개발
○ 프린팅 장치의 용이한 이동설치 가능한 전(全)방향 이동형 가설 시스템 개발
○ 다중 이중 재료 동기 분사 가능한 다목적 가변형 노즐 장치 개발
○ 실시간 3D 형상인식기반 3차원 툴패스 보정 및 분사노즐 연동제어 가능한 3D 정밀 프린팅 제어기술 개발

4. 연구개발 추진방법	

□ **추진전략**

○ 핵심 연구개발성과의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시

- 핵심 연구개발성과 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과 로드맵을 제시할 것
- 단계별, 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법을 명시할 것
- 연구개발목표는 정량적으로 제시

※ 예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등

○ 연구개발내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

※ 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)는 향후 단계 평가 시 참고 예정

※ 1차년도부터 4차년도까지 구성기술들의 연구개발내용, 연구개발기술, 성과물 간 연계 등에 통합적이고 세부적인 연구개발 추진 계획을 수립하여 제시

○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구개발계획에 포함시켜 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구개발내용에 대해서는 부처 간의 협력방안 또는 연계, 공동 활용방안 등을 제시

○ 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
- 관련 업계 전문가로 구성된 포럼 등을 구성하여 요구조건 파악

○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행. 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출

○ 연구개발성과물을 연구개발계획서에 구체적으로 제시

- 연구개발내용 및 성과물은 1단계, 2단계로 구분하여 제시
- 수요자 중심으로 연구성과물 활용방안 제시
- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 객관적 방안 제시
- 연구개발성과의 보급으로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급효과 및 산출근거 제시

※ 제시한 성과지표가 부족하다고 판단될 경우, 협약시 조정(추가) 될 수 있음

○ 연구개발성과 도출의 기간, 예산, 적정성을 고려하여 주어진 조건 내에서 구체적인 실증 계획(대상지 선정, 실증규모, 소요예산 및 일정

	등) 및 방안을 연구개발계획서에 제시
□ 추진체계	○ 주관연구개발기관은 과제 시작시점부터 종료까지 동일기관이 연구를 수행하여야 함 ○ 컨소시엄 구성시 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것 ※ 연구기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며 연구내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음 ○ 관련 기술 및 기준 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용하여 연구개발의 기술·정책적 보완사항 확인 및 반영 ○ 관계부처 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요 ○ 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술동향 조사 및 수요 조사 등) ○ 본 연구개발과제는 주관연구개발기관, 공동연구개발기관으로 편성된 컨소시엄 공모로 진행 - 주관연구개발기관이 전체 사업을 총괄할 컨소시엄을 구성하여 전체 사업을 책임지고 진행하며, 주관연구개발기관 연구책임자는 총괄연구개발과제 책임자로 공동연구개발기관과의 구체적인 연계전략을 제시 필요 - 공동연구개발기관은 주관연구개발기관과 협의하여 연구계획 수립
5. 최종 연구개발성과물	
□ (구성기술 1) 건축 3D 프린팅 통합시공관리기술 및 테스트베드 구축 ○ 기존 시공법 연계 3D 프린팅 시방서 ○ 3D 프린팅 구조물 품질 관리 지침 ○ BIM 기반 3D 프린팅 건축물 전용 설계지원 SW ○ 3D 프린팅 최적 장비 배치 시스템 ○ 3D 프린팅 공정 및 현장 관리 매뉴얼 ○ 3D 프린팅 실증센터 구축 ○ 3D 프린팅 테스트베드 2건 구축	

1세부과제 요구사항

☞ 3D 프린팅 실증센터
- 500 ㎡ 이상

☞ 3D 프린팅 테스트베드 규모
- 연면적 200㎡ 이상, 2층 이상

□ (구성기술 2) 건축물 3D 프린팅용 콘크리트 복합재료 및 첨단재료 개발

○ 출력각도 조절 3D 프린팅 시공 기술
○ 3D 프린팅 구조부재 사용성 평가기술
○ 탄소중립형 3D 프린팅 재료
○ 에너지 효율 향상 3D 프린팅 복합재료
○ 진동·흡음·화재 대응 가능한 3D 프린팅 복합재료
○ 3D 프린팅 재료 배합설계 자동화 및 품질관리 기술
○ 이동형 3D 프린팅 재료 공급 장치
○ 3D 프린팅 건축부재 성능인증 시스템

2세부과제 요구사항

☞ 3D프린팅 복합재료 : 탄소중립형 구조재용 3D프린팅 복합재료 2건, 에너지절감형 비구조재용 3D 프린팅 복합재료 7건, 자동 재료공급시스템 1건

□ (구성기술 3) 이동 설치가 용이한 3D 프린팅 시공 장비 개발

○ 대-소형 복합 머니퓰레이터 기반 프린팅 장비
○ 복합 머니퓰레이터 정밀 연동제어 기술
○ 이동형 가설 시스템 및 제어기술
○ 다중 이종재료 동시 분사 가능한 가변형 노즐 장치
○ 3D 정밀 프린팅 제어기술 개발

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

- ㅇ 재난대피, 막사, 참호 등 급속시공이 필요한 구조물에 활용
- ㅇ 자유로운 비정형 디자인을 적용한 랜드마크 건축물 시공에 활용
- ㅇ 균등시공품질 확보 및 현장 노동력 대체가 필요한 건설 기술
- ㅇ OSC(Off-Site Construction) 기반 PC를 활용한 비정형 부재 생산에 활용

□ 기대효과

- ○ 3D 프린팅 기반 건설산업 전반의 시공 자동화 기술 개발 및 기술 확보를 통한 고부가가치의 건설산업으로 성장
- ○ 시공 자동화를 통한 지속가능한 건설 경제구조 전환
- ○ 맞춤형/완성형 건축물 시공 기술 확보
- ○ 건설 기술 인력의 수급 부족 문제를 시공 프로세스의 단축 및 시공자동화를 통해 해결
- ○ 건축 구조물 품질 안정화 및 생산성 향상

7. 연구개발기간 및 연구개발비

□ 총 연구개발기간 : 2023.00 ~ 2027.12 (5년)

□ 총 정부지원연구개발비 : 28,00백만원 이내

○ 1년차 정부지원연구개발비 : 5000백만원 이내

※ 정부지원연구개발비는 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 영리기관 참여시 기관부담연구개발비는 연차별로「국가연구개발혁신법 시행령」[별표 1]을 따르되, 추가 부담 가능

8. 기 타	

○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 연구개발목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 연구개발내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 연구개발과제명 외에 연구개발목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구개발과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사 연구개발과제와 연구개발내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 연구개발과제의 결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구개발계획에 포함
- 제안된 연구개발내용이 타 유사 연구개발과제와 연구개발방법이나 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 구성기술 간 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 연구개발일정과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 연구개발과제선정 후 진도점검・관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 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 연구개발과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구개발기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구개발기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 추진할 과제의 기술성숙도(TRL) 범위를 설정 및 제안하고 전문기관 및 연구개발과제 컨소시엄과 협의하여 확정

○ 국토교통과학기술 연구개발사업의 성과로 구축된 12개 대형 실험시설 적극 활용

주 의

1. 이 보고서는 ○○부에서 시행한 ○○연구개발사업 ○○연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 ○○부(○○전문기관)에서 시행한 ○○연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.