[연구개발계획서 작성시 주의사항]

제안시 제출하는 연구개발계획서의 연구목표, 내용, 성과, 예산 등은 RFP에 표기된 내용을 중심으로 필히 작성바랍니다.

(본 기획보고서는 참고자료로 활용바랍니다.)

14RDPP
C084564-01

최종보고서

건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획

2015.09

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

국토교통연구기획사업

14RDPP-C084564-01

건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획 최종보고서

2015. 09

주관연구기관 / 한국기술교육대학교 산학협력단
공동연구기관 / 한양대학교 산학협력단
/ 한밭대학교 산학협력단
/ 한국건설기술연구원
/ 한국건설생활환경시험연구원

Infrastructure
R&D Report

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

주 의 사 항

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

제 출 문

국토교통과학기술진흥장관 귀하

이 보고서를 "건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획에 관한 연구"과제의 보고서로 제출합니다.

2015. 09.

주관연구기관명 : 한국기술교육대학교 산학협력단
주관연구책임자 : 이 승 재
연 구 원 : 곽 의 신
연 구 원 : 손 수 덕
연 구 원 : 이 청 호
연 구 원 : 유 미 나
연 구 원 : 이 돈 우
연 구 원 : 윤 정 원
연 구 원 : 손 광 선

공동연구기관명 : 한양대학교 산학협력단
공동연구책임자 : 김 재 준
연 구 원 : 유 승 규
연 구 원 : 박 정 로
연 구 원 : 이 석 원
연 구 원 : 윤 수 연
연 구 원 : 전 재 근
연 구 원 : 신 상 우
연 구 원 : 이 진 섭
연 구 원 : 전 우 근
연 구 원 : 조 용 현

공동연구기관명 : 한밭대학교 산학협력단
공동연구책임자 : 김 동 수
연 구 원 : 배 성 우

공동연구기관명 : 한국건설기술연구원
공동연구책임자 : 서 명 배
연 구 원 : 김 병 곤
연 구 원 : 문 진 석

공동연구기관명 : 한국건설생활환경시험연구원
공동연구책임자 : 이 봉 춘
연 구 원 : 조 영 근

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>14RDPP-C084564-01</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2014.10.15.-
2015.06.15</td><td>단 계 구 분</td><td>기획</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">국토교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최상위과제명</td><td colspan="4">건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">▪ 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발
▪ 단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발
▪ 단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발
▪ 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>이 승 재</td><td>총
연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 25명
내부 : 25명
외부: 0명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 60,000천원
기업 : 0천원
계 : 60,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속부서명</td><td colspan="5">한국기술교육대학교 산학협력단</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>241</td></tr>
<tr><td colspan="6">• “건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획”과 관련된 핵심기술을 도출하기 위해 총 4단계로 기획연구를 수행함.
- 1)국내·외 정책, 시장, 기술 및 인프라 동향 및 환경 분석, 2)연구개발과제 구성 및 추진전략 수립, 3)연구개발과제 기획, 4)핵심성과(기술) 및 사전타당성 검토
• 그 결과, 기술 및 성과 로드맵과 과제 제안요구서(RFP)를 도출하였으며, 도출된 핵심성과(기술)은 다음과 같음.
- 1)3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발, 2)단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발, 3)단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발, 4)3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">건축 3D프린팅 장비, 건축 3D프린팅 재료, 건축 3D프린팅 생산, 건축 3D프린팅 시장, 테스트베드</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">3D Printing Equipments for Architecture, 3D Printing Materials for Architecture, 3D Printing Products for Architecture, 3D Printing Market for Architecture, Test-bed</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제목

○ 건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획

Ⅱ. 기술의 정의 및 필요성

■ 기술의 정의

○ 본 연구에서는 3D 프린팅 건축 상품의 지속가능한 생태계 구축을 위해 융복합 건축 상품 기획, 건축물 단위 복합 프린팅 기술, 융복합 3D 프린팅 소재, 수요자 중심의 마켓플랫폼 등의 개발과 파일럿 제작 및 성능평가를 위한 기술개발 과제 도출 기획연구임.

■ 연구개발의 필요성

○ 3D 프린팅 기술은 Mckinsey 社가 선정한 12대 와해성 기술(Disruptive technology) 중 하나이며, 2025년까지 $550억의 경제적 파급효과뿐만 아니라, 제조업, 건설업 등 모든 산업의 생산체계, 비즈니스 모델을 변화시킬 것으로 예상하고 있음.

○ 현재 미국, 유럽, 중국 등의 국가에서는 전통적인 건축재료에 기반을 둔 기초적 수준의 3D 프린팅 건축상품(소규모 구조체, 특정부위, 인테리어 등)이 연구/개발되고 있음. 현재까지 3D 프린팅 생산체계가 적용되어 경제성, 상품성, 효율성 등이 확보된 상품사례는 존재하지 않음.

○ 이에 따라, 건설 또는 건축 분야에서 상품의 규모, 형상, 기능 등 종합적/구체적인 상품기획을 설정하고, 이와 연계된 3D 프린팅 소재 및 장비를 선제적으로 개발하는 것은 글로벌 건설시장에서 First-Mover가 되어 기술선도와 독점적 시장지위를 확보를 가능하게 함.

○ 결과적으로 3D 프린팅기술을 이용한 건축상품, 3D 프린팅 장비, 대체가능한 소재는 상품의 종류(건축물, 외장재, 인테리어 등)에 따라 단일 패키지로 연구/개발이 필요함. 이유는, 개별 건축 상품의 요구 기능 및 성능이 독립적이며, 이에 따른 소재, 3D 프린팅 방식에서 많은 차이가 존재하기 때문임.

Ⅲ. 국내외 동향 및 환경 분석

○ 최근 건설산업에서는 비정형 건축물 생산단가 상승, 정밀한 생산방식 필요, 생산의 비효율성 급증 등의 기술적 한계에 도달한 실정에 따라, 이러한 상황에서의 대응방안을 마련하기 위해 건축특화 3D 프린팅 생산플랫폼 개발이 필요함.

○ 건설산업의 복잡하고 다양한 공급사슬 구조에서 설계 및 구조, 기계/설비, 실내 마감 등을 연계하여 생산프로세스를 통합하고 효율화시키기 위해 3D 프린팅 기술 활용이 필요함.

○ 3D 프린팅을 이용하여 건설산업 공급사슬 구조 통합 및 효율화뿐만 아니라, 시장 니즈를 충족시킬 수 있는 다품종 대량생산 체제에 대응하기 위해 3D 프린팅 기술의 활용이 필요함.

○ 영국 시장조사 기관인 「Canalys」에 따르면, 현재 건축분야 3D 프린팅 글로벌 시장점유율은 3%에 불과할 정도인 실정이나 역으로 3D 프린팅 시장의 확대 가능성이 가장 큰 분야임이 자명함.

○ 현재 미국, 유럽, 중국 등의 국가에서는 전통적인 건축재료에 기반을 둔 기초적 수준의 3D 프린팅 건축상품(소규모 구조체, 특정부위, 인테리어 등)이 연구/개발되고 있음. 현재까지 3D 프린팅 생산체계가 적용되어 경제성, 상품성, 효율성 등이 확보된 상품사례는 존재하지 않음.

○ 이와 같이 현재 건설산업에서 3D 프린팅 적용 사례를 살펴보면, 대부분 사례가 기초·실험적 수준이 대부분이고, 구조체 단위의 3D 프린팅 기술 적용 사례는 기존의 Tilt-up Building, Precast Concrete 방식과 비교해보면, 더 낮은 성능/품질, 더 긴 공사기간, 더 높은 비용이 발생되어 품질, 경제성, 생산성 측면에서 미흡하기에 건축 상품으로의 상용화가 어려운 실정임.

○ 이에 따라, 건설산업에서 건축 상품의 규모, 형상, 기능 등 3D 프린팅을 통해 건축 상품의 기획 및 연계된 3D 프린팅 소재 및 장비를 개발하는 것은 글로벌 건설시장에서 기술선도와 독점적 시장지위를 확보할 가능성이 높음.

○ 하지만, 기획의 결과에 따른 연구개발 구성 규모는 시장이 불투명한 상태에서 일반 기업의 참여가 주도적 참여가 어려운 것이 현실이기에 정부정책에 입각하여 정부지원이 절실한 분야이며, 그리고 정부지원 결과는 노동 집약적인 저부가가치 건설산업을 기술집약적 고부가가치 산업으로의 패러다임 전환을 기대할 수 있음.

Ⅳ. 연구개발과제 구성 및 추진전략

■ 연구개발과제 구성

세부과제명	세세부 과제명
[세부과제 1] 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발	**(1-1)** 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소 기획 및 설계 기술 개발
	(1-2) 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소의 구조·환경 엔지니어링 기술 개발
	(1-3) 단위모듈형 건축상품군의 조립 및 접합 시공 및 유지관리 기술 개발
[세부과제 2] 단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발	**(2-1)** 단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 장비 및 공정 기술 개발
	(2-2) 단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 S/W 기술 개발
	(2-3) 단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 생산시스템 설계/제작 및 Test-bed 기술 개발
[세부과제 3] 단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발	**(3-1)** 단위모듈 건축상품군 적용을 위한 3D 프린팅용 원천소재 개발
	(3-2) 단위모듈 건축상품군 생산을 위한 3D 프린팅용 융복합 소재 개발
	(3-3) 3D 프린팅 건축소재 및 자재의 신뢰성 평가기술 및 표준개발
[세부과제 4] 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발	**(4-1)** 단위모듈형 건축상품군 파일럿 테스트 기획·검증 및 성능평가 시스템 개발
	(4-2) 3D 프린팅 건축상품군 오픈마켓 플랫폼 및 관련 제도/정책 개발

■ 추진전략

- 본 연구는 1단계 4년(2016년부터 2019년까지)의 연구기간을 통해 원천기술개발, 2단계 3년(2020년부터 2022년까지)의 연구기간을 통해 파일럿 제작과 성능평가로 기획함.
- 1단계 1차년도 목표는 3D 프린팅 기술을 이용한 건축 상품 기획/설계, 소재, 장비, 제반 연구개발 인프라 기획으로 기획상품 축소모형 검증단계임.
- 1단계 2차년도 목표는 3D 프린팅 건축상품군별 설계(안), 소재, 장비 원천기술 개발 기획 및 평가체계 수립으로 상품부분모형 검증단계임.
- 1단계 3차년도 목표는 건축상품군별 개발 검증 및 건축물용 3D 프린팅 장비 및 소재 기술개발로 상품 Mock-up 테스트 베드 검증단계임.
- 1단계 4차년도 목표는 3D 프린팅 장비 및 소재 기술 안정화와 건축 상품 생산플랫폼 개발 및 장비, 소재 검증단계임.
- 2단계 1차년도 목표는 3D 프린팅 건축 상품개발 및 원천기술 고도화로 융복합성능 소재와 대형화 다중복합화 장비 개발 및 대형화/고층화 단위모듈 모형 검증단계임.
- 2단계 2차년도 목표는 3D 프린팅 건축 상품 및 마켓플랫폼 프로토타입 개발과 융복합 성능 소재 및 장비 개발로 대형화/고층화 단위모듈 축소모형 검증단계임.
- 2단계 3차년도 목표는 3D 프린팅 건축 상품 및 마켓플랫폼 개발로 대형화/고층화

단위모듈 테스트베드 검증단계임.

Ⅴ. 사전타당성 검토

■ 정책적 타당성

○ 정책적 타당성 검토는 1. 국가전략적 중요성, 2. 정부 관련부처 사업추진 의지를 중점으로 검토하였고, 2012년도 미국 정부의 '3D 프린팅 산업 육성' 및 미항공우주국(NASA)과 유럽우주국(ESA) 등에서 달 탐사기지 건설을 위한 3D 프린팅 기술개발 연구에 대해 전 세계적으로 3D 프린팅 기술이 주목받는 시점에서 건설분야와의 연계가 시기적절하며, 글로벌 건설기술 산업에서의 주도권을 잡기 위해 건설분야에 3D 프린팅 기술을 접목하기 위한 기술은 최우선 연구분야라고 할 수 있음.

○ 또한 국내에서는 미래창조과학부에서 경제 재도약 계기를 마련하기 위해 3D 프린팅 관련 기술개발 분야에 적극적인 R&D 예산 지원을 계획 중에 있음.

■ 기술적 타당성

○ 기술적 타당성 검토는 1. 기술개발 계획의 적절성, 2. 기술수준 및 성공가능성, 3. 기존 사업과의 중복성을 중점으로 검토하였고, 본 연구는 연구단 형태로 추진하는 것이 타당하다고 판단되며, 추진조직 및 연구개발기술에 대해 상세하게 기술하였으며, 세부과제별로 기대 성과물과 활용계획, 성과평가를 위한 성과지표를 제시하고 있음. 기술수준 및 성공가능성의 경우 국내외 특허, 논문, 시장 및 기술동향 및 인프라 분석을 통해 선진국대비 인프라 부족하여 정부의 적극적인 사업추진이 없다면, 연구성과 도출이 다소 어려울 것으로 판단됨.

■ 경제적 타당성

○ 경제적 타당성 검토는 비용/편익 분석(Benefit/Cost Analysis)을 통해 '건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 연구단'의 3D 프린터 건축시장에 대해 분석하였고, 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치와 R&D 예산을 고려한, 본 연구단의 경제성 분석결과는 B/C ratio가 2.9로 나타나, 본 사업의 경제성 측면에서 긍정적으로 판단됨.

SUMMARY

The construction industry has recently run into the technical limitations such as the increase in the irregular structure production cost, demand for the precision production system, and inefficiency in production. To overcome such limitations, the 3D printing production platforms specialized for architecture are required. This study is about deriving the technical development projects regarding the combined commercialization of product planning and verification, including the 3D printing architecture product planning, complex printing for individual structures, 3D convergence printing material, and consumer-oriented market platforms.

The 3D printing technology is one of the twelve disruptive technologies chosen by Mckinsey, which is expected to have $ 55 billion economical ripple impact and change the business models for all industries, including manufacturing and construction. At present, basic 3D printing architecture products are being developed based on the traditional construction materials in countries such as the U.S, Europe, China. There is no product yet, which is based on the 3D printing production system. Therefore, the first development of the 3D printing materials and equipment for construction and architecture products can lead to the role of the technical leader in the global construction market and the exclusive market position. The 3D printing architecture products, 3D printing equipment and alternative materials should be developed as single packages according to the product types.

This study has been planned divided into the first four-year stage (2016-2020) for original technology development and the second four-year stage (2020-2023) for commercialization of products and production platforms.
In the first stage, the first-year goal is the product scale model verification, including the 3D printing technology architecture product planning, basic design, material, equipment and relevant research infrastructure, and the second-year goal is the partial product model verification, including the 3D printing architecture product group design, material, original equipment technology development planning and evaluation system. The third-year goal is the product mock-up test bed verification, including the individual architecture group development and verification, and 3D printing equipment

and material technology development for architectures, and the fourth-year goal is the unit module real-scale test bed and small-scale architecture product group verification, including the 3D printing equipment and material technology stabilization and architecture product production platform development.

In the second stage, the first-year goal is the unit module scale model verification, including the future-technology-based 3D printing architecture product development and market platform planning; the second-year goal is the 3D printing architecture product and market platform prototype development and convergent performance material and equipment development; and the final third-year goal is the unit module real-scale test bed verification, including the 3D printing architecture product commercialization and convergent performance material and equipment deployment.

CONTENTS

Chapter 1. Definition and Need of Technology ····· 1
Paragraph 1. Definition and need of technology ····· 1

Chapter 2. Domestic and International Trends Analysis ····· 12
Paragraph 1. Domestic and international trends of policy ····· 12
Paragraph 2. Domestic and international market condition and prospect ····· 25
Paragraph 3. Technique trend analysis ····· 29
Paragraph 4. R&D Infrastructure analysis ····· 88
Paragraph 5. Comprehensive analysis ····· 95

Chapter 3. R&D Research Configuration and Promote Strategy ·· 106
Paragraph 1. Vision and purpose ····· 106
Paragraph 2. Vision of the technical development ····· 107
Paragraph 3. R&D research configuration ····· 117
Paragraph 4. Important Technical Element Selection and TRL Goal ····· 125
Paragraph 5. Main content and promote strategy of detailed task ····· 138
Paragraph 6. Interconnections of detailed task ····· 153
Paragraph 7. Technology and outcome road-map ····· 154
Paragraph 8. Future application plan ····· 164
Paragraph 9. Research performance system proposal ····· 166

Chapter 4. Preliminary Validity Study ····· 169
Paragraph 1. Policy validity ····· 169
Paragraph 2. Technology validity ····· 172
Paragraph 3. Economy validity ····· 181
Paragraph 4. Technology development validity ····· 184
Paragraph 5. Government support validity ····· 185

Chapter 5. Manpower Commitment Plan and Budget Estimates ·· 188
Paragraph 1. Manpower commitment plan of the study schedule ····· 188
Paragraph 2. Budget estimates ····· 193

Chapter 6. Written RFP and Evaluation Standard Setting ····· 200
Paragraph 1. Request for proposal (RFP) ····· 200
Paragraph 2. Evaluation standard setting ····· 213

목 차

1장. 기술의 정의 및 필요성 ····· 1
1절. 기술의 정의 및 필요성 ····· 1
1. 기술의 정의 및 필요성 ····· 1
2. 기술의 범위 ····· 11

2장. 국내외 동향 및 환경 분석 ····· 12
1절. 국내외 정책동향 ····· 12
1. 국외 정책동향 ····· 12
2. 국내 정책동향 ····· 18
3. 결론 및 시사점 ····· 24
2절. 국내외 시장현황 및 전망 ····· 25
1. 3D 프린팅 시장 규모 및 전망 ····· 25
2. 3D 프린팅 시장현황 ····· 26
3. 결론 및 시사점 ····· 28
3절. 기술동향분석 ····· 29
1. 특허 동향 분석 ····· 29
2. 논문 동향 분석 ····· 54
3. 유사기술 및 3D 프린팅 적용 건설기술 사례 ····· 69
4. 결론 및 시사점 ····· 87
4절. 연구개발 인프라 분석(현재 장비, 재료에 대한 현황) ····· 88
1. 장비 ····· 88
2. 3D프린터 재료 ····· 89
3. 국내 3D프린팅 관련 제조 및 유통 업체 현황조사 ····· 92
5절. 종합분석 ····· 95
1. 국내외 정책 및 시장분석 ····· 95
2. 기술개발 동향 및 인프라 분석 ····· 97
2. 기술개발 연구 추진 방향성 도출 ····· 103

3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 106
1절. 비전 및 목표 ····· 106
2절. 기술개발에 따른 미래상 ····· 107
1. 현황 및 미래상 ····· 107
2. 건축물용 3D 프린팅 생산플랫폼과 성능수준 ····· 110
3. 기술개발 전략 및 효과 ····· 114
3절. 연구개발과제 구성 ····· 117
4절. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표 ····· 125
5절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략 ····· 138
6절. 세부과제 간 연계관계 ····· 153
7절. 과제별·연차별 기술로드맵 및 성과로드맵 ····· 154
8절. 성과의 활용방안 ····· 164
9절. 연구수행체계 제안 ····· 166

4장. 사전타당성 검토 ····· 169
1절. 정책적 타당성 ····· 169
2절. 기술적 타당성 ····· 172
3절. 경제적 타당성 ····· 181
4절. 기술개발 필요성 ····· 184
5절. 정부지원 타당성 ····· 185

5장. 인력투입계획 및 소요예산 산정 ····· 188
1절. 연구일정에 따른 인력투입계획 ····· 188
1. 전체사업 인력투입계획 ····· 188
2. 세부과제별 인력투입 ····· 189
2절. 소요예산 산정 ····· 193
1. 예산 산정방법 ····· 193
2. 전체사업 소요예산 ····· 193
3. 세부과제별 소요예산 ····· 196

6장. 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정 ····· 200
1절. 과제 제안요구서(RFP) ····· 200
2절. 평가기준 설정 ····· 213
1. 평가항목 및 배점 ····· 213
2. 가점 및 감점 기준 ····· 216

표 목 차

[표 1] 적층방식 및 재료에 따른 3D 프린팅 기술 구분 ····· 1
[표 2] 3D 프린팅 기술 및 정의 ····· 2
[표 3] 글로벌 시장별 3D 프린팅 건축 상품(기술) 특성 ····· 6
[표 4] 3D 프린터 산업 육성 핵심에 따른 4개 분야 및 세부내용 ····· 18
[표 5] 3D 프린팅 관련 정부 R&D 현황 ····· 21
[표 6] 검색 DB 및 검색 범위 ····· 29
[표 7] 검색 키워드 및 로우데이터 ····· 29
[표 8] 국가별 유효데이터 ····· 29
[표 9] 연도별 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원 건수 ····· 30
[표 10] 3D 프린팅 기술 관련 특허 등록 및 출원 주요 국가 출원인/기관현황 ···· 36
[표 11] 3D 프린팅 기술 관련 특허 보유 출원인/기관 Top 10 ····· 37
[표 12] 미래 3D프린터 시장 핵심 기술 Top 9 ····· 38
[표 13] 2014년 기준 3D 프린팅 기술 관련 특허 만료 현황 ····· 40
[표 14] 2015년 이후 3D 프린팅 기술 관련 특허 만료 예정 현황 ····· 42
[표 15] 국가별 3D 프린팅 건축 특허 현황 ····· 44
[표 16] 국가별 3D 프린팅 건축 특허 내용 ····· 44
[표 17] 논문 검색용 세부 키워드 ····· 54
[표 18] 국내 3D프린터 관련 연도별/분야별 논문 수 ····· 56
[표 19] 국외 3D프린터 관련 연도별/분야별 논문 수 ····· 59
[표 20] 주요 3D 프린팅 건축 특허 내용 ····· 64
[표 21] 국외에서 시도되고 있는 3D 프린팅 건축 유사 사례 ····· 84
[표 22] 회사별 가장 큰 출력 사이즈를 가진 3D프린터 ····· 88
[표 23] FDM, Polyjet 재료 물성치 ····· 90
[표 24] SLS 재료 물성치 ····· 90
[표 25] SLA 재료 물성치 ····· 91
[표 26] 국내 3D 프린터 제조 및 유통 업체 현황 ····· 93
[표 27] 2012년도 기준 국내 3D 프린터 재료 및 소재 관련 업체 현황 ····· 93
[표 28] 국내 3D 프린터 유통 및 솔루션 제공 업체 현황 ····· 94
[표 29] 주요 3D 프린터 업체의 각 국가별 순위 현황 ····· 97

[표 30] 3D시스템스(3D Systems)와 스트라타시스(Stratasys)의 만료 특허 피인용 수 및 소송 활용 현황 ····· 98
[표 31] 국가별 3D 프린팅 건축 특허 내용 ····· 99
[표 32] 국가별 3D 프린팅 건축 논문 내용 ····· 102
[표 33] 예상 최종 성과물의 성능(예시) ····· 113
[표 34] 기획연구제안 당시 기획연구 목표와 주요 기획연구 내용 ····· 118
[표 35] 기술자문 ····· 119
[표 36] 회의 참여 리스트 ····· 120
[표 37] 회의 문답 내용 ····· 121
[표 38] R&D 유형 분류 ····· 125
[표 39] 핵심기술 요소 후보 ····· 127
[표 40] Product 핵심 기술요소(CTE) 선정 ····· 131
[표 41] Equipment 핵심 기술요소(CTE) 선정 ····· 132
[표 42] Material 핵심 기술요소(CTE) 선정 ····· 133
[표 43] Market Platform 개발 및 Test-Bed 핵심 기술요소(CTE) 선정 ····· 134
[표 44] 핵심기술요소(CTE) 목록 ····· 135
[표 45] 기술성숙도(TRL) 단계별 목표 ····· 136
[표 46] 예상되는 연구개발과제 구성 ····· 137
[표 47] 세부과제별 주요 연구내용 ····· 138
[표 48] 1세부과제의 핵심성과 및 목표 수준 ····· 142
[표 49] 1세부과제의 성과항목 및 성과지표 ····· 144
[표 50] 2세부과제의 핵심성과 및 목표 수준 ····· 145
[표 51] 2세부과제의 성과항목 및 성과지표 ····· 147
[표 52] 3세부과제의 핵심성과 및 목표 수준 ····· 148
[표 53] 3세부과제의 성과항목 및 성과지표 ····· 149
[표 54] 4세부과제의 핵심성과 및 목표 수준 ····· 150
[표 55] 4세부과제의 성과항목 및 성과지표 ····· 152
[표 56] 세부과제 별 목표 성과물의 활용 방안 ····· 164
[표 57] 국내 정부 3D프린팅 S/W 기술개발 계획 (미래창조과학부) ····· 170
[표 58] 세부과제별 성과물 ····· 172
[표 59] 건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 연구단 B/C분석 결과 ····· 182
[표 60] 산업분야별 3D 프린터 활용 현황 ····· 186

그 림 목 차

[그림 1] 2050년 건설시장 및 도시거주인구비율 ····· 3
[그림 2] 시대흐름에 따른 건축양식 패러다임의 변화 ····· 4
[그림 3] 비정형 건축물 생산의 기술적 한계 ····· 4
[그림 4] 3D 프린팅을 이용한 건설산업 공급사슬 구조 통합개념도 ····· 5
[그림 5] 3D 프린팅 활용 가능한 건설산업 내 다양한 시장 니즈(Needs) ····· 5
[그림 6] 건설산업 내 3D 프린팅 예상 활용부분 ····· 7
[그림 7] 건설산업 내 3D 프린팅 사례 ····· 8
[그림 8] 3D 프린팅과 유사한 전통 건설기술 ····· 8
[그림 9] 세계 3D 프린팅 및 관련 서비스 시장 규모 전망 ····· 25
[그림 10] 글로벌 시장 산업/국가별 점유율 ····· 26
[그림 11] 캐리마社와 로킷社의 3D 프린터 ····· 27
[그림 12] 국가별 특허 점유율과 증가율 ····· 31
[그림 13] 연도별 한국 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원 건수 ····· 32
[그림 14] 연도별 미국 3D 프린팅 관련 특허 출원 건수 ····· 33
[그림 15] 연도별 일본 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원 건수 ····· 34
[그림 16] 연도별 유럽 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원 건수 ····· 35
[그림 17] 주요 기업의 3D 프린팅 기술 관련 특허 점유율(출원인/기관) ····· 37
[그림 18] 국내 3D프린터 논문 중 본 연구와 거리가 먼 논문의 비율 ····· 55
[그림 19] 연도별 국내 3D 프린터 관련 논문 수 ····· 55
[그림 20] 국외 3D프린터 관련 논문 중 연구 해당 분야 비율 ····· 57
[그림 21] 연도별 국외 3D프린터 관련 논문 수 ····· 58
[그림 22] 국외 3D프린터 관련 논문 분야별 비율 ····· 60
[그림 23] 국외 3D프린터 product 부분 논문 연도별 발행 수 ····· 60
[그림 24] 국외 3D프린터 material 부분 논문 연도별 발행 수 ····· 61
[그림 25] 국외 3D프린터 equipment 부분 논문 연도별 발행 수 ····· 61
[그림 26] 국외 3D프린터 market-platform부분 논문 연도별 발행 수 ····· 62
[그림 27] 국외 3D프린터 test-bed 부분 논문 연도별 발행 수 ····· 62
[그림 28] 국외 3D프린터 architecture 부분 논문 연도별 발행 수 ····· 63
[그림 29] 3D 프린터 기술을 이용한 건축 공법 메커니즘 ····· 65
[그림 30] MakerBot Replicator 2를 이용하여 만든 Mock-Up 백악관 ····· 70

[그림 31] 3D 프린팅 기술을 통해 제작한 에펠탑 모형 ····· 70
[그림 32] 3D 프린팅 기술로 제작한 샌 프란시스코의 스카이라인 ····· 71
[그림 33] FTP3D에서 서비스하는 3D 출력 모델 ····· 72
[그림 34] 3D 프린터를 통해 제작한 보스턴 레드삭스 야구장 모형 ····· 72
[그림 35] 3D 프린팅 기술을 통해 제작한 Degenerate Chair ····· 73
[그림 36] 초대형 3D 프린터를 이용한 중국의 천단'기년전'복제 3D 프린팅 ····· 73
[그림 37] 3D 프린터를 이용한 중국 자금성의 축소 모형 ····· 74
[그림 38] 캘리포니아 대학교(USC)의 초대형 3D 콘크리트 프린팅 'Contour Crafting' 방식 ·· 75
[그림 39] 캘리포니아 대학교(USC)가 Contour Crafting을 통하여 건축 중인 모습 예상도 ··· 75
[그림 40] 개인이 3D프린팅을 통하여 만든 콘크리트 성 ····· 76
[그림 41] 빅렙 원의 모습과 가구 출력물 ····· 76
[그림 42] 윈선이 공개한 상하이 공업단지 사무실용 건물의 건축 모습 ····· 77
[그림 43] 중국 소주시 두 개의 건축프로젝트 ····· 78
[그림 44] D-shape의 3 D프린터와 제작 결과물 ····· 79
[그림 45] IMCRC 센터의 프리폼 컨스트럭션(Freeform Construction) ····· 80
[그림 46] 마커스 카이저의 태양에너지를 이용한 3D 프린터 ····· 81
[그림 47] 두스 아키텍츠가 3D 프린팅 기술을 이용하여 만든 건축 부품 ····· 81
[그림 48] IAAC (Advanced Architecture of Catalonia)의 미니빌더스(Minibuilders) · 82
[그림 49] MIT MEDIA LAB 개발된 3D 프린터로 출력한 비정형 거푸집 제작 모습 ··· 83
[그림 50] MIT 다니엘라 루스 교수팀에서 개발한 자가변형 출력물 ····· 83
[그림 51] 세계 3D 프린팅 시장 규모 및 전망 ····· 96
[그림 52] 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원 총 출원 건수 및 국가별 비율 ····· 97
[그림 53] 국내·외 3D 프린터 관련 논문 분야별 비율 ····· 100
[그림 54] 연도별 국내 3D 프린터 관련 논문 세부 분야 동향 ····· 101
[그림 55] 연도별 국외 3D 프린터 관련 논문 세부 분야 동향 ····· 101
[그림 56] 3D 프린팅 건축 기술의 미래상 ····· 109
[그림 57] 예상 최종 성과물의 특징(예시) ····· 110
[그림 58] 모듈 프린팅 Zone(예시) ····· 111
[그림 59] 모듈 조립 Zone(예시) ····· 111
[그림 60] 모듈 양생 및 함침 Chamber Zone(예시) ····· 112
[그림 61] 완제품 모듈 패키징, 출하 및 선적 Zone(예시) ····· 112
[그림 62] 3D 프린팅 기술의 파급효과 ····· 114

[그림 63] 건설산업 내 3D 프린팅기술 도입 시나리오 ····· 115
[그림 64] 3D 프린팅 기술 도입으로 인한 건설참여자 및 최종수요자의 변화 ··· 115
[그림 65] 기획연구과제 도출과정 ····· 117
[그림 66] 기술성숙도 적용 절차 ····· 125
[그림 67] 단계별 기술성숙도 분류 ····· 126
[그림 68] 세부과제 간 연계관계 ····· 153
[그림 69] 총괄 로드맵 ····· 155
[그림 70] 1세부 기술로드맵 ····· 156
[그림 71] 1세부 성과로드맵 ····· 157
[그림 72] 2세부 기술로드맵 ····· 158
[그림 73] 2세부 성과로드맵 ····· 159
[그림 74] 3세부 기술로드맵 ····· 160
[그림 75] 3세부 성과로드맵 ····· 161
[그림 76] 4세부 기술로드맵 ····· 162
[그림 77] 4세부 성과로드맵 ····· 163
[그림 78] 연구단의 4개 세부과제 ····· 167
[그림 79] 미래창조과학부 보도자료 ····· 171
[그림 80] 연구개발과제 도출 프로세스 ····· 176
[그림 81] 사업추진체계의 구성 ····· 177
[그림 82] 건축물 3D 프린팅 기술의 생산방식 전개 방향 ····· 184

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

제1절 기술의 정의 및 필요성

1. 기술의 정의 및 필요성

가. 기술의 정의

○ 3D 프린팅 기술은 설계 데이터에 따라 액체·파우더 형태의 폴리머(수지), 금속 등의 재료를 가공 및 적층 방식으로 쌓아올려 3D 형상의 조형물을 제조하는 장비를 통해 레이저와 파우더 재료를 활용하여 신속 조형하는 기술이며, 기술적 의미는 Rapid Prototyping(RP)에서 유래되었음.

○ 기계가공 및 레이저를 이용하여 자르거나 깎는 방식으로 조형물을 생산하는 절삭가공(Subtractive Manufacturing)과 반대되는 개념으로 공식적인 기술용어는 적층 가공(Additive Manufacturing)임.

○ 3D 프린팅 기술은 적층 방식과 재료에 따라 표 1과 같이 구분할 수 있음.

[표 1] 적층방식 및 재료에 따른 3D 프린팅 기술 구분

적층방식 \ 재료		폴리머(수지)	폴리머·금속	Paper(Film)	금속
Extrusion(압출)		-	FDM(FFF)	-	-
Jetting (분사)	Material	MJM, Polyjet	-	-	-
	Binder	3DP(파우더)	-	-	-
액체 Light Polymerised		SLA, DLP	-	-	-
고체 Granular Sintering(Melting)		-	SLS, SHS	-	DMLS, SLM EBM(티타늄 전용)
Directed Energy Deposition		-	-	-	DMD(DMT)
Wire(인발)		EBF[3]	-	-	-
Sheet Lamination		-	-	LOM	-

○ 적층 방식은 압출, 잉크젯 방식의 분사, 광경화, 파우더 소결, 인발, 시트 접합 등으로 구분하며, 활용 가능한 재료로는 폴리머(수지), 금속, 종이, 목재, 식재료 등으로 분류됨.

○ 3D 프린팅 기술 및 정의는 표 2와 같음.

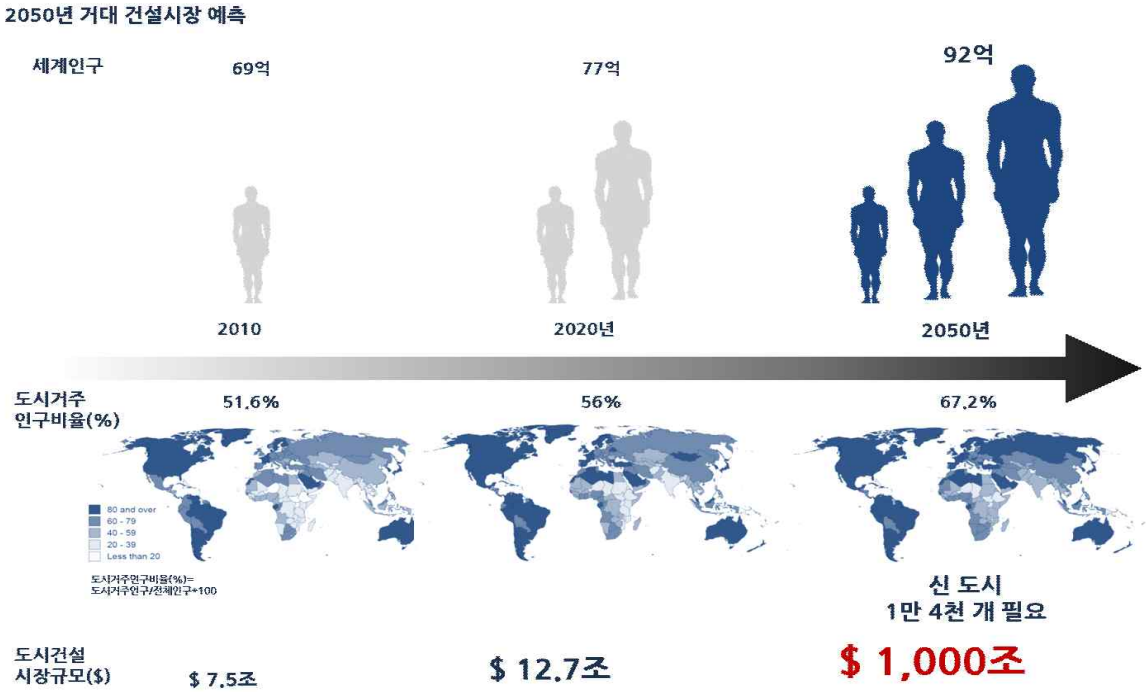
[표 2] 3D 프린팅 기술 및 정의

적층방식	기술명	정의
Extrusion(압출)	FDM (Fused Deposition Modeling)	• 가는 실(필라멘트) 형태의 열가소성 물질을 노즐 안에서 녹여 얇은 필름형태로 출력하는 방식으로 적층 • 노즐은 플라스틱을 녹일 수 있을 정도의 고열을 발산하며 플라스틱은 상온에서 경화
Jetting(분사)	MJM (Multi Jetting Modeling)	• 프린터 헤드에서 광경화성 수지와 WAX를 동시분사 후, UV Light로 고형화하는 방식으로 적층 • 광경화성 수지는 모델의 재료이며, WAX는 지지대로 사용
	Polyjet	• 광경화와 잉크젯 방식의 혼합 • 이스라엘의 Objet에서 개발(현재 Stratasys에 인수)
	3DP (3 Dimensional Printing)	• 노즐에서 액체 상태의 컬러 잉크와 경화물질을 분말원료에 분사하는 방식으로 적층
액체 Light Polymerised	SLA (Stereo Lithography Apparatus)	• 액체 광경화성 수지가 담긴 수조 안에 저전력·고밀도의 UV 레이저를 투사하여 경화시키는 방식으로 적층 • 조형판 위에 지지대(받침대)를 조성하고 조형하고자 하는 모델의 아랫부분부터 경화·적층
	DLP (Digital Light Processing)	• 액체 상태의 광경화성 수지에 조형하고자 하는 모양의 빛을 DLP(Digital Light Projector)에 투사하여 적층 • 프로젝터에서 나온 이미지를 마스크 단위(2차원)로 투사
고체 Granular Sintering (Melting)	SLS (Selective Laser Sintering)	• 베드에 도포된 파우더(분말)에 선택적으로 레이저를 조사·소결하고, 파우더를 도포하는 공정을 반복하여 적층
	SLM (Selective Laser Melting)	• 도포된 금속 파우더에 선택적으로 고출력 Ytterbium-Fibre 레이저를 조사하여 용융시키는 방식으로 적층 • 금속 파우더가 용융되는 동안 산화 방지를 위해 불활성 가스(아르곤, 질소)가 챔버 내에 공급
	EBM (Electron Beam Melting)	• 고진공 상태에서 전자 빔을 활용하여 금속 파우더를 용해하는 방식으로 적층
Directed Energy Deposition	DMD (Direct Metal Deposition)	• 지지대 역할 금속 포면에 고출력 레이저 빔을 조사하여 일시적으로 용융풀을 생성하고, 여기에 금속 분말을 공급하여 클래딩 층을 형성(DMT로도 알려짐)
Wire(인발)	EBF3(Electron Beam FreeForm Fabrication)	• 와이어 형태의 금속 원료에 전자빔을 조사시켜 경화시키는 방식으로 적층 • NASA의 Langley Research Center에서 개발 주도
Sheet Lamination	LOM(Laminated Object Manufacturing)	• 모델의 단면 형상대로 절단된 점착성 종이, 플라스틱, 금속 라미네이트 층 등을 접착제로 접합하여 조형

나. 기술의 필요성

○ 2020년 세계 인구는 82억 명에 도달(UN, 2006)하고, 세계건설시장은 2020년 12.7조 달러로 예상됨.

- 2050년까지 10만 명 규모의 도시 1만 4천개 조성이 전 세계적으로 필요하며, 시장규모는 1,000조 달러로 예상되고 있음.
- 도시성장에 따른 환경 문제점을 해결하기 위해 건축도시 분야에서 지속가능개발을 위한 창의적 원천기술 개발이 필요함.



[그림 1] 2050년 건설시장 및 도시거주인구비율

○ 에너지 과소비 및 폐기물이 대량 발생되는 건설시장 내의 한계점을 극복하고, 지속가능, 친환경, 에너지 자립 등이 글로벌 건설시장 점유율을 높이기 위한 새로운 패러다임으로 나타남.

- 이에 따라, 기후/인구/사회학적 환경변화 대응, 에너지의 생산/소비 균형, 폐기물 배출과 재사용/재활용 순환, 이산화탄소 배출과 흡수 순환 등의 핵심기술개발을 위해 건설 및 3D 프린팅 기술이 간의 융복합 건축상품(기술)이 필요함.

○ 건설 산업에서 건축양식에 대해 살펴보면, 1900년대 이전은 '정형과 비정형의 조화', 1900~2000년대는 '극단적 정형 및 효율성 추구', 2000년대를 넘어오면서부터는 '극단적인 비정형 건축'으로의 시대적 변화가 파악됨.

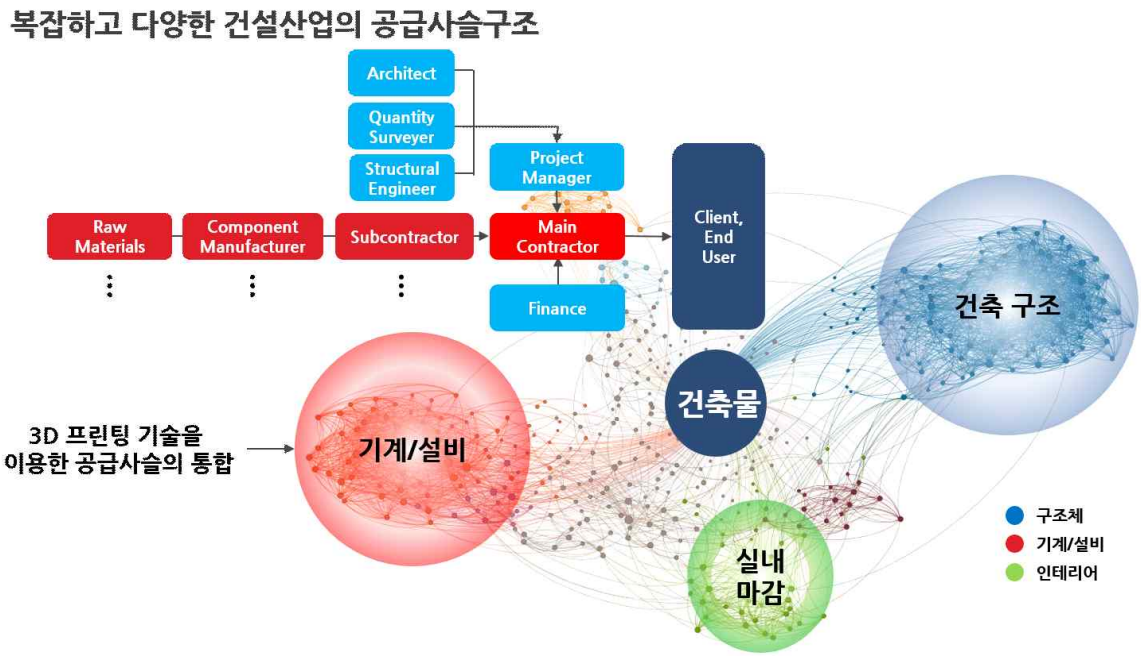
[그림 2] 시대흐름에 따른 건축양식 패러다임의 변화

○ 최근 건설산업에서 비정형 건축물 생산에서 구조부재의 맞춤형 제작 생산, 내외부 마감의 맞춤형 제작 생산, 맞춤형 곡면 노출콘크리트 등에 대한 생산단가 상승, 정밀한 생산방식 필요, 생산의 비효율성 급증 등의 기술적 한계에 도달한 실정임.

[그림 3] 비정형 건축물 생산의 기술적 한계

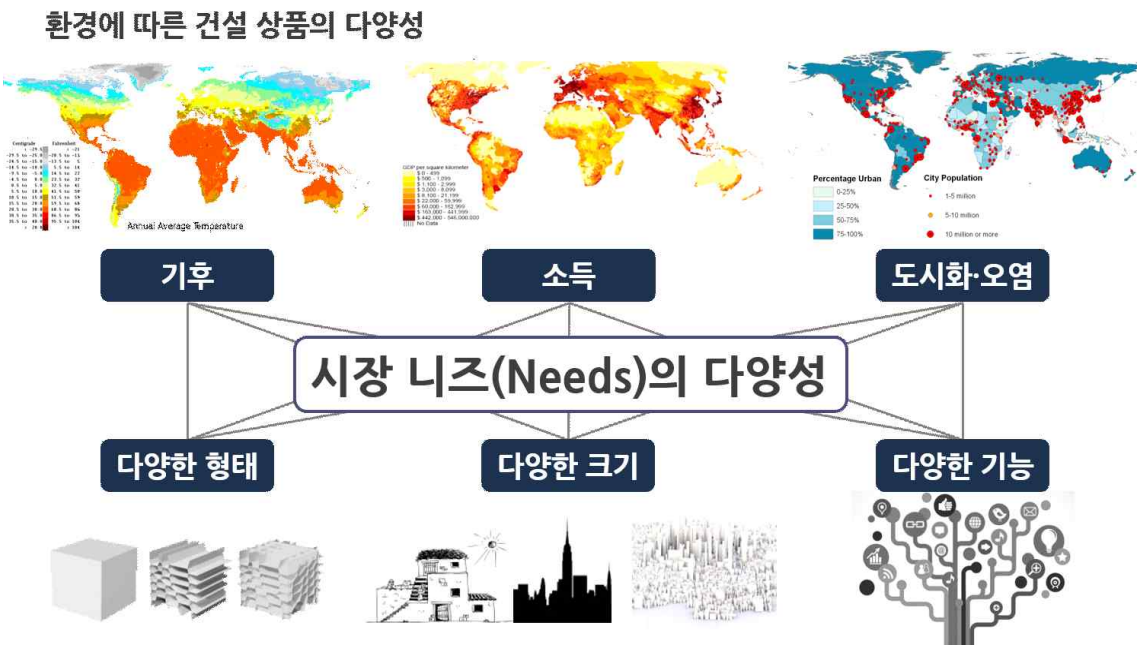
○ 이에 따라, 비정형 건축물 생산에 직면한 기술적 한계에 대응할 수 있는 새로운 생산체계의 마련으로 건축특화 3D 프린팅 생산플랫폼 개발이 필요할 것으로 판단됨.

○ 복잡하고 다양한 공급사슬 구조인 건설산업에서 건축설계 및 구조, 기계/설비, 실내 마감 등의 연계체계를 구축하여 건축물의 생산프로세스를 통합하고 효율화시키기 위해 3D 프린팅 기술의 이용이 필요할 것으로 판단됨.



[그림 4] 3D 프린팅을 이용한 건설산업 공급사슬 구조 통합개념도

○ 3D 프린팅을 이용하여 건설산업 공급사슬 구조 통합 및 효율화뿐만 아니라, 시장 니즈를 충족시킬 수 있는 다품종 대량생산 체제에 대응하기 위해 3D 프린팅 기술의 활용이 필요할 것으로 판단됨.



[그림 5] 3D 프린팅 활용 가능한 건설산업 내 다양한 시장 니즈(Needs)

○ 글로벌 시장별 3D 프린팅 건축 상품(기술) 특성은 다음 표 3과 같이 구분할 수 있음.

[표 3] 글로벌 시장별 3D 프린팅 건축 상품(기술) 특성

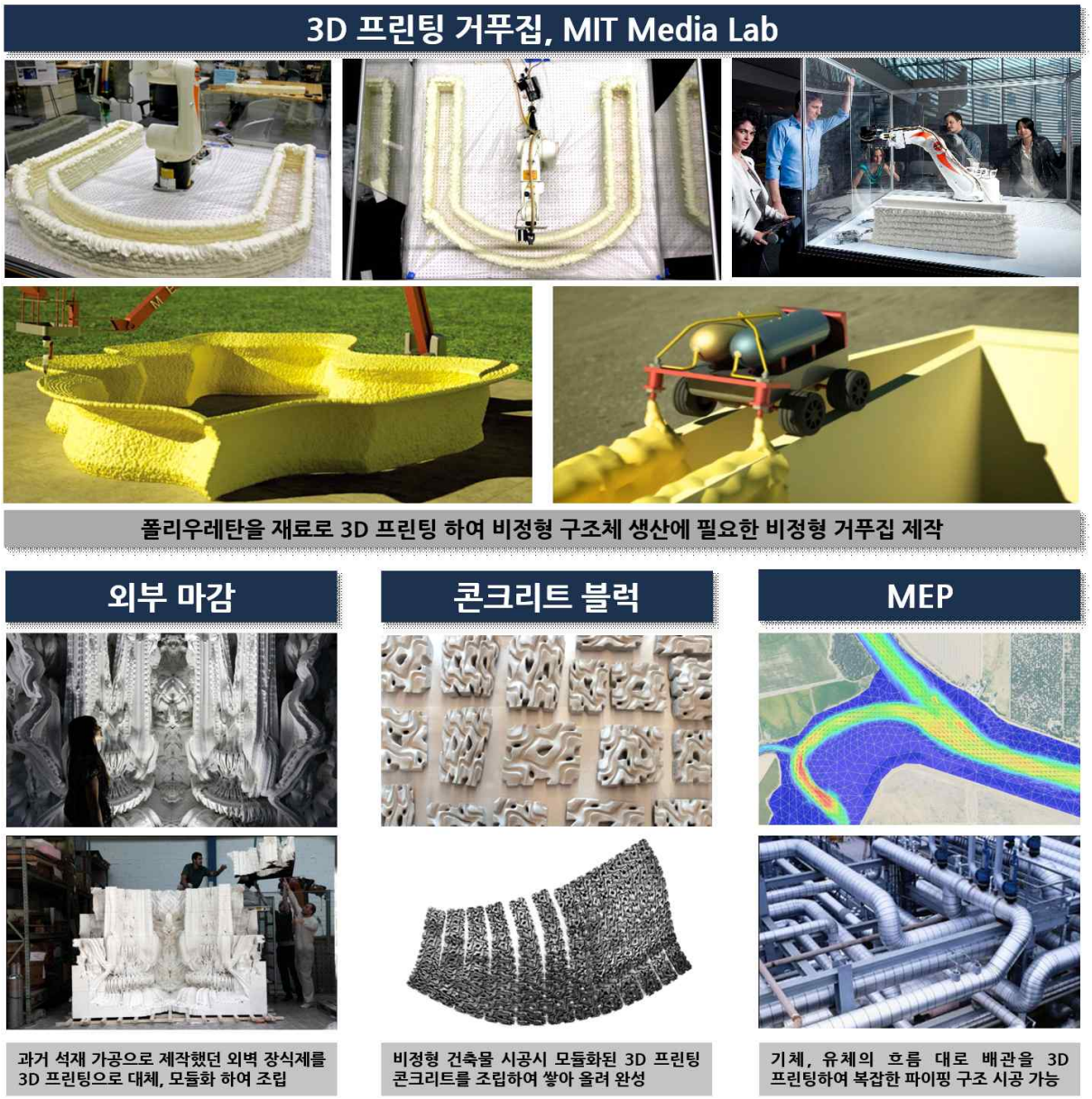
시장 구분		주요 핵심기술
기후	열대우림	열대환경 대응기술, 자연보존 기술
	사막기후	자원자립/소비최소화 기술
	극한지방	극한환경 대응기술
경제	선진국	도시재생 신기술
	중진국	도심지 및 낙후지역 특성화 기술
	후진국	신도시 개발 신기술
기타	자원약소국	자원재생기술, 자원생성기술
	환경오염국	CO_2 재활용/쓰레기 재활용/고효율 설비 기술
	메가시티	고 인구밀도 분산기술, 능동형 교통체계 기술

○ 영국 시장조사 기관인 「Canalys」에 따르면, 현재 건축분야(3.0%)의 3D 프린터 활용은 매우 미미한 실정이나 역으로 이것이 3D 프린팅 시장으로 확대될 가능성이 가장 큰 분야임은 자명함.

- 산업분야별 3D 프린터 활용 현황에 의하면 건축은 전산업분야 중 3.0%를 차지하고 있으며, 현재 시점에서 다품종 소량생산 방식의 기존 타산업 분야와 비교해서 활용도는 작다고 할 수 있으나 성장의 가능성은 크다고 판단됨.

○ 건설산업 내 3D 프린팅을 활용부분은 기존 생산방식과의 융복합을 통해 비정형 설계 상품의 효율적인 구현, 특정 부재 생산에 필요한 공급사슬 통합을 통해 생산기간 단축 및 효율화, 건축 소재 및 부재에 특수기능을 추가하여 새로운 부가가치 창출, 완전히 변화된 새로운 3D 프린팅 건축상품 등으로 예상될 수 있음.

○ 현재 건설산업에서 3D 프린팅 적용 사례를 살펴보면, 대부분 사례가 기초・실험적 수준의 3D 프린팅 기술이 활용/적용되고 있고, 구조체 단위의 3D 프린팅 기술 적용 사례는 기존의 전통적인 건설 생산방식에서 설계, 구조, 재료 등은 유지하며, 단지 생산 수단(tool)만 3D 프린팅 방식으로 전환하는 수준임.



[그림 6] 건설산업 내 3D 프린팅 예상 활용부분

[그림 7] 건설산업 내 3D 프린팅 사례

[그림 8] 3D 프린팅과 유사한 전통 건설기술

○ 기존의 Tilt-up Building, Precast Concrete 방식과 비교해보면, 더 낮은 성능/품질, 더 긴 공사기간, 더 높은 비용이 발생되어 품질, 경제성, 생산성 측면에서 우위를 확보하기 힘들기에 건축 상품에 대한 상용화가 어려운 실정임.

○ 현재 미국, 유럽, 중국 등의 국가에서는 전통적인 건축재료에 기반을 둔 기초적 수준의 3D 프린팅 건축 상품(소규모 구조체, 특정부위, 인테리어 등) 이 연구/개발되고 있음. 현재까지 3D 프린팅 생산체계가 적용되어 경제성, 상품성, 효율성 등이 확보된 상품사례는 존재하지 않음.

- 그 이유는, 정형적 설계(안)에서는 전통적 생산방식(철근콘크리트 및 모듈공법 등)의 효율성과 경제성을 극복하기 매우 힘듦.
- 모듈러 건축 기술은 생산체계를 생력화・공업화하여 생산성과 경제성을 극한으로 끌어올리기 위한 목적을 가지고 있지만, 최근 비정형적 설계(안)으로는 형태적(디자인)요소에 집중되어 건축 상품의 다양성만이 부각되고, 시장성, 생산성, 편의성, 안전성에 대한 부분은 고려되지 못한 실정임.

  대표적으로 동대문디자인플라자(DDP), 카타르박물관(Qatar Museum) 등 극단적인 비정형 건축물의 경우, 전통적인 건설생산체계의 낮은 생산성으로 인해 막대한 시간과 비용 손실이 발생하였음.
- 비정형적 설계(안)의 경우, 3D 프린팅 생산체계를 적절한 수단으로 활용할 수 있으나, 생산 규모의 문제, 이종재료의 복합생산, 대체가능한 소재, 소재와 연계된 3D 프린팅 장비개발에 많은 어려움이 산재되어있기 때문임.
- 비정형 구조체의 경우 내부의 인테리어, 배관, 공조, 전기/기계 등 규격화된 산업재의 비정형화를 불러오게 됨.
- 이에 따라, 건축물 대상 3D 프린팅 기술을 적용하여, 외부형상의 모듈화를 통해 생산체계의 효율성을 높이고, 내부형상과 기능의 다양성을 통해 건설시장에서의 사용자 니즈(Needs)에 대응할 필요가 있을 것으로 판단됨.

○ 건설산업에서 건축 상품의 규모, 형상, 기능 등 종합적/구체적인 상품기획을 설정하고, 이와 연계된 3D 프린팅 소재 및 장비를 선제적으로 개발하는 것은 글로벌 건설시장에서 First-Mover가 되어 기술선도와 독점적 시장지위를 확보를 가능하게 만듦.

- 만약, 건설 분야의 3D 프린팅 소재 및 장비의 원천기술을 선점할 수 없다면 막대한 금액의 기술사용료와 소재 구매비용을 지불하는 결과를 초래함.

○ 결과적으로 3D 프린팅기술을 이용한 건축상품, 3D 프린팅 장비, 대체가능한 소재는 상품의 종류(건축물, 외장재, 인테리어 등)에 따라 단일 패키지로 연구/개발이 필요함. 이유는, 개별 건축 상품의 요구 기능 및 성능이 독립적이며, 이에 따른 소재, 3D 프린팅 방식에서 많은 차이가 존재하기 때문임.

○ 건축물 3D 프린팅 기술개발은 전통적 건설산업 생산체계의 변화 유도가 가능하며 이른바 IT・융합 건설의 대표적인 산출물이 될 것임.

○ 현재 건축용 3D 프린팅 시장은 시장형성시기이며, 각국은 시장형성을 위한 건축용 3D 프린터 장비, 재료 등의 개발에 주력하고 있음.

○ 기존 제조업분야의 3D 프린팅 산업은 저가 대량공급 시장을 향해 가고 있으며, 또한 새로운 시장창출이 매우 시급한 실정임.

○ 건축물 3D 프린팅 기술개발을 통한 글로벌 건설시장 선점을 위한 연구기획은 건축 3D 프린팅 장비, 재료, 설계, 엔지니어링, 서비스, 법제도를 규모, 생산방식, 조달방식에 따른 위계와 연계가 분명한 기획이어야 함. 또한 기획의 결과에 따른 연구개발 구성 규모는 시장이 불투명한 상태에서 일반 기업의 참여가 주도적 참여가 어려운 것이 현실임.

○ 따라서, 정부정책에 입각하여 정부지원이 절실한 분야이며, 그리고 정부지원 결과는 노동집약적인 저부가가치 건설산업을 기술집약적 고부가가치 산업으로의 패러다임 전환을 기대할 수 있음.

○ ICT 융합기술인 결정체인 건축물 3D 프린팅 기술은 다양한 어플리케이션개발을 통해 청년들의 진입 장벽이 매우 낮아지므로 청년창업・창직에 매우 유리하여 청년실업해소에 크게 기여하리라 판단됨.

○ 건축물 3D 프린팅 기술개발 결과로 인한 글로벌시장 선점은 경제적 효과뿐만 아니라 미래기술 보유국의 이미지, 건설산업의 국제적 위상 강화, 관련 핵심 기술의 자립화 및 기술수출을 통해 국가이미지 제고에 기여할 것으로 판단됨.

2. 기술의 범위

○ 본 연구는 건축물 3D 프린팅 산업의 시장 가능성을 비롯하여, 글로벌 시장 선점을 위한 건축물 3D 프린팅 산업의 가능성과 한계를 고려한 파일럿 제작과 성능평가 2단계로 기획함.

○ 이를 위한 포괄적 의미의 건축요소별(구조재료, 가설, MEP, 인테리어 등) 건축물 3D 프린팅 산업의 생산방식과 규모에 따른 포지셔닝과 현재 시장 포지션과의 비교 분석을 통한 건축현장의 3D 프린팅 기술 도입 전략 분석을 실시하고 및 시장선점을 위한 프레임웍을 구축함.

○ 본 연구의 기술범위는 사회적 패러다임 변화를 선제적으로 대응하기 위해, 건축물 3D 프린팅 장비, 재료 개발 기술을 포함하고, 기존 건설시장의 혁신적 변화를 유도하는 새로운 시장 창출 및 시장 선점이 가능한 영역발굴을 위한 설계, 엔지니어링 및 시스템 분야를 포괄함.

○ First Mover(유럽, 미국, 중국 등)와 동등레벨의 기술수준 및 시장점유를 목표로,

○ 1단계는 기획한 건축 상품 축소모형 검증 및 건축 상품 부분모형 검증, 건축 상품 Mock-up 테스트베드 검증을 거쳐 건축물 대상 3D 프린팅 관련 원천기술개발을 목표로 설정하고, 2단계는 미래기술 기반 유닛모듈 축소모형 검증 및 미래기술 기반 유닛모듈 축소모형 검증, 미래기술 기반 유닛모듈 실물규모 테스트 베드 검증을 거쳐 건축물 대상 3D 프린팅 관련 상품과 생산 플랫폼의 파일럿 제작과 성능평가를 목표로 함.

- 연구전략은 연구단계와 매칭 되는 연구전략을 연구기간 별로 설정하여 현재의 3D 프린팅 기술, 건설자재 제조방식 변화에 따른 공급망 진화, On demand형, 스마트기술 융복합 3D 프린팅 상품 진화, 대규모 On demand On site 조달 및 양방향 고객 피드백을 통한 사업모델 진화를 고려한 연구전략 수립

- 연구단계, 연구전략, 핵심역량을 만족하고, Machine, Material, Design, Engineering, Construction, Market Platform 별 소요기술의 도출

○ 본 연구의 연구개발 기술의 범위는 3D 프린팅 분야 요소기술인 3D 스케닝, 3D 디자인 SW, 미세노즐, 미세분사기술, 에너지원(열, 레이저, 전자빔 등) 출력 및 조절기술, 정밀 위치제어, 고속제어 기술, 적정융점 및 경화 제어기술 등을 기반으로 건축물 설계, 시공, 유지관리 기술 및 건축물 생산 특화 장비 및 공정프로세스 기술, 3D 프린팅 소재(세라믹, 메탈, 폴리머, 목재 등)개발 기술 등도 포함됨.

제 2 장 국내외 동향 및 환경 분석

제1절 국내외 정책동향

1. 국외 정책동향

○ 3D 프린팅 기술이 향후 제조업과 각종 산업의 혁신 동력으로 자리 잡을 것이라는 데는 이견이 없으며, 이에 따라 세계 각국에서는 3D 프린팅 기술의 활성화를 위한 연구기관 설립과 정책적 지원책을 추진하고 있음.[1)]

○ 미국을 중심으로 일본, 영국, 독일 등 선진국과 중국, 싱가포르 등 아시아 신흥국이 3D프린팅 및 첨삭제조(AM) 관련 기술 확보 투자가 진행 중임.

- 독일 정부는 경찰 분야에서는 3D 프린팅의 실용적인 활용, 바이오 프린팅 분야에서는 독자성을 확보하는 방향으로 투자가 진행 중임.

○ 제조업 기반 일본과 중국, 싱가포르는 미래 경쟁력 확보를 위해 산・학・연 프로젝트를 중심으로 원천기술개발 연구에 투자가 진행 중임.

- 중국은 최근 산업용 3D 프린터 제조업체인 Beijing Tiertime社를 비롯하여, 우주・항공기술에 이용하기 위한 개발뿐만 아니라, 상업화 수준에 도달할 정도의 성공적인 기술개발에 대한 투자가 진행 중이며, 혁신센터를 통한 기술 확산을 실시하고 있는 중임.[2)]

가. 미국

○ 미국 정부는 오바마 대통령(2012)이 3D 프린팅 산업 육성을 위해, 10억 달러를 투자하겠다고 공표할 정도로 관련 정책을 본격화하고 있음.

- 2013년 연두교서(2013 state of the union)에서 오바마 대통령은 ‘the first manufacturing house’ 설립에 대해 발언하고, 3D printing의 혁명적인 제조방법을 통해 미국 제조업의 부흥 및 선도를 강조하였음.

- 미국 제조업의 혁신을 가져다 줄 3D 프린팅 관련 허브를 증설하고, 생산성을 높이기 위해 성장의 모멘텀이 될 신규 정책 사업을 추진할 계획임

- 오바마 대통령은 오하이오의 3D 프린팅 기술 관련 제조업 혁신 네트워크의 성공적인 사례를 벤치마킹하여, 향후 다른 지역 15곳에 제조업 허브 구축을 통해 첨단 기술의 메카로 육성할 계획을 추진하고 있음.

- 우주항공, 방위산업 및 의료분야를 중심으로 3D 프린팅을 통한 다양한 적용분야를 개척해 나가고 있음.

---

1) ScienceNews, 2013.03.09

2) 최근 중국은 단거리 여객기용 티타늄 날개・동체 부속 제작, 우주비행사용 맞춤형 좌석을 3D 프린팅 기술로 제작함.

○ 미국 정부는 현재 '아메리카 메이크(America Makes)'로 명칭이 변경된 연구 기관 NAMII(이하 아메리카 메이크)를 3D 프린팅 관련 기술 개발 및 활용 방안과 관련된 연구를 집중적으로 수행하기 위해 2012년 8월 설치함.

- NAMII는 3D 프린팅 기술을 산업과 대학의 연구실에 도입하는 것을 지원하고 제조업체들이 3D 프린팅 원료와 기기를 시험해 볼 수 있는 훈련 프로그램을 운영할 것으로 알려짐.

○ 미국 AM기술 개발에 ①디자인, ②공정 모델링과 제어, ③재료, 공정과 설비, ④생의학적 응용, ⑤에너지와 지속가능한 응용, ⑥교육, ⑦연구개발과 공동체, ⑧국가 테스트베드 센터로 총 8개 부분으로 세분화하여 연구개발이 필요하다는 AM 정책의 로드맵을 작성함.

○ 미국 정부는 2012년 8월 제조업 혁신 및 발전을 목표로 3D 프린팅 기술 개발에 3천만 달러 규모의 3D 프린팅 특화연구소 건립 계획을 공개함.

- 3D 프린팅 특화연구소(국립첨삭가공핵심연구소)는 오하이오 주(州)의 Youngstown에 설립될 것으로 보이며 향후 3D 프린팅 관련 투자를 9천만 달러 수준으로 기금을 확대할 예정임.

- 오하이오, 펜실베니아, 웨스트버지니아 주(州)의 제조기업・대학・기관들로 구성된 컨소시엄으로부터 정부자금과 별도로 4천만 달러를 지원받을 예정임.

○ 미국 정부는 중국, 인도 등 저임금 국가로 이전된 제조업 분야를 다시 미국으로 가져오고자 3D 프린팅 기술개발에 집중 투자할 계획임.

- 2012년 3월 미국에서는 최대 15개 국방부 직할부대 및 기관이 참여하고 10억 달러를 투자하는 '제조업 혁신 국가 네트워크' 법령 초안을 국회에 제출함.

○ 미국 정부의 3D 프린팅 기술 개발 및 관련 산업 육성을 통해 리쇼어링(Reshoring)과 리로컬라이제이션(Relocalization)이 더욱 확대될 것으로 기대됨.

- 3D 프린터의 생산과 작동을 담당하는 인력 이외에 다수 노동자 고용이 불필요해짐에 따라 인건비 절약이 가능하고 그로 인해 리쇼어링[3]이 가능해질 요인이 존재함.

- 3D 프린팅 산업의 활성화를 통해 다양한 제품을 수입할 필요 없이 생산 및 유통이 가능해짐에 따라 리로컬라이제이션[4]도 가능함.

나. EU

○ 유럽 내 3D 프린팅 기술 관련 주요 국가들은 보다 고부가가치를 창출할 수 있는 3D 프린팅 관련 산업 발굴에 주력하고 있음.

- 단순 부품 제조 공정상에 3D 프린팅 기술을 도입하기 보다는, 3D 프린팅 기술

3) Reshoring : 비용절감 등을 위해 해외로 생산기지를 옮기는 'Offshoring'과 반대되는 개념으로 해외로 생산기지를 이전한 기업들이 본국으로 되돌아오는 현상을 의미

4) Relocalization : 음식, 대안 에너지, 상품 등을 지역에서 생산·유통하고 공동체 정치, 지역 문화와 교육, 의료를 자체적으로 해결할 수 있는 지역공동체를 만드는 작업을 의미

활용 효과를 좀 더 극대화하여 새로운 수요를 창출하는 전략을 계획하고 있음.

○ 유럽위원회는 ‘2020년까지 제조업이 GDP에서 차지하는 비중을 현 16%에서 20%로 늘리기 위한 대안으로 3D 프린팅 기술을 주요 트렌드로 설정하고 이에 대한 전략 개발 및 개발자금투자를 논의 중임.

- 유럽 내에 영국, 독일, 네덜란드를 중심으로 3D 프린팅 기술 개발 성과를 보이고 있으나 상업화 수준이 미국에 비해 낮아 시장은 크지 않은 상황임.

(1) 독일

○ 독일의 경우 전체 3D 프린팅 시장 규모의 약 절반을 차지할 것이라고 예상하고 있는 ‘3D 바이오프린팅(3D Bioprinting)’ 관련 분야 연구에 주력하고 있음.

- ‘3D 바이오프린팅(3D Bioprinting)’ 은 3D 프린팅 기술을 이용해 생체 조직이나 생체 구조물을 제작하는 기술로써, 컨설팅 업체 ID테크익스(IDTechEx)에 따르면 2025년 전체 3D 프린팅 시장의 약 43%를 3D 바이오프린팅 산업이 차지할 것으로 예상하고 있음.

- 이에 따라, 독일 정부는 국책 연구소 프라운호퍼(Fraunhofer) 산하 프라운호퍼 IGB를 중심으로 2009년부터 프로젝트 ’바이오랩(BioRap)’을 통해 관련 기술개발 연구를 진행 중임.

- 프라운호퍼 IGB는 2011년도에 3D 프린터를 이용한 인공 혈관 제작에 성공한 바 있고, 2013년에는 인체 조직과 장기의 3D 프린팅을 위한 원료로 사용될 ‘젤라틴 형태의 바이오 잉크’를 공개함.

- 현재는 인공 피부의 제작을 위한 나노 수준의 3D 프린팅 기술 개발 프로그램인 ‘아티바스크 3D(ArtiVasc 3D)’ 등을 추진하여 ‘3D 바이오프린팅(3D Bioprinting)’ 분야의 입지를 확보함.

(2) 영국

○ 영국 정부는 2010년에 기술전략위원회가 700만 파운드를 투자하여 노팅엄대와 셰필드대 등에 3D 프린터 연구센터를 설립함.

- 그 외에도 최근 초등학교 교과 과정에 3D 프린팅을 추가하는 등 작은 부분까지 3D 프린팅 활성화 전략을 수립 및 추진 중임.

○ 영국의 Big Innovation Centre는 정부에 3D 프린팅 정책 추진을 6개 영역에 걸쳐 제안함.

- 영국 기업혁신기술부(BIS)를 중심으로 기업 학계 간 의견통합 및 연계강화 등의 활동과 다양한 정책 발굴 및 조정을 지원 방안을 구축함. (3D프린팅 전담팀 구성)

- 3D프린팅의 지적재산권이 미칠 영향력 연구 실시함.(지적재산권 영향력 검토)

- 3D프린팅 관련 기술의 이해 경험 확대를 목표로 파일럿 워크샵 및 자금 조달 체계 구축함.(마케팅 지원)

- 3D프린팅을 위한 비즈니스 모델 개발 및 디지털 저작권 거래소와 유사한 디지털 디자인 거래소 구현에 대한 예비타당성 조사함.(상업화 지원)
- 신소재개발 목표로 각종 경쟁 R&D 프로그램 추진 및 선별적 지원용 자금 조성 방안 구축함.(신소재 개발)
- 3D프린팅 도입으로 인해 발생 가능한 위험요소를 조사하여 해결방안 모색함.(사라질 직업군 예측 및 새로운 직업에 대한 교육체계 마련 등)(리스크 관리)

○ 영국 정부는 2013년도부터 헬스케어, 에너지 등 산업 분야별로 3D 프린팅 기술을 적용할 수 있는 제조 솔루션 개발에 착수하고 있음.

- 특히 영국 정부는 여타 산업 분야와 함께 항공/우주 산업을 미래 핵심 산업으로 상정하고, 이와 관련된 3D 프린팅 기술 개발을 적극적으로 진행하고 있음.
- 항공/우주산업 관련 부품의 경우, 복잡한 구조로 인해 제조 공정 시 장시간 소요 및 고가의 소재(티타늄 등)를 활용한다는 점에서 재료 낭비의 최소화가 요구되기에, 항공/우주산업에 있어 적층 방식 3D 프린팅 기술 활용이 매우 효과적일 것으로 판단하고 있음.
- 이에 따라, 영국 정부는 2014년도에 ‘3D 프린팅 센터(3D Printing Center)’ 설립계획을 발표하고, 해당 센터의 목표를 항공/우주산업 관련 3D 프린팅 기술개발 연구로 설정함.
- 2015년도에 개설 예정인 ‘3D 프린팅 센터(3D Printing Center)’에서는 비행기와 제트 엔진, 민간 헬기 제조에 사용되는 신소재의 개발 및 3D 프린터를 이용한 부품 생산 관련 연구를 진행할 계획임.

다. 중국

○ 중국과학기술부(中國科學技術部; Chinese Ministry of Science and Technology, MOST)는 2013년 4월에 3D 프린팅을 첨단 기술 R&D 분야로 선정함.

- 중국과학기술부는 국가 R&D 전략인 ‘국가 첨단 기술 연구 및 개발 프로그램(国家高技术研究发展计划)’에 3D 프린팅을 미래 핵심 기술로 선정함.
- 이에 따라, 중국 정부는 연구개발비로써, 4,000만 위안(약 6,500만 달러)을 3D프린팅 핵심 기술개발에 투입할 것으로 공표함.

○ 중국과학기술부는 ‘국가 첨단 기술 연구 개발 프로그램’에 따라 4대 영역을 구분하여 3D 프린팅 산업 경쟁력을 보유하기 위한 기술 연구에 착수함.

- 4대 영역은 레이저 3D 프린터를 이용한 대형 항공 우주 부품 제작 시스템의 개발 및 적용, 복잡한 부품 및 금형의 제조를 위한 대형 3D 프린팅 장비의 개발, 복잡한 부품 및 금형 제작을 위한 재료 연구, 3D 프린터 제작 기술의 개발 및 시연으로 구성되어 있음.

○ 중국정부는 공격적 투자가 이루어지고 있으며 특히 중국‘ 군으로부터의 투자를

통해 우주항공 분야에서 3D Printing 상용화 노력을 기울이고 있음.

- Laser를 활용한 적층 기술로 티타늄 부품의 가격을 기존대비 5%까지 낮추고 강도와 무게 감소의 효과를 동시에 꾀할 수 있음.
- 중국 website인 Guancha Zhe의 보고에 따르면 F-22에 적용된 티타늄 단조 부품을 3D 프린팅을 통해 40%까지 줄일 수 있었다는 보고가 있음.
- 중국 Northwestern Polytechnical University of China에서는 5미터의 C919 승합기에 적용되는 5미터의 티타늄 빔을 만들고 있으며 2016년 상용화를 계획하고 있음.
- 공업정보화부(工业和信息化部; Ministry of Industry and Information Technology, MIIT)는 향후 3D 프린팅 기술 혁신을 위한 R&D 시스템을 구축하고, 연 매출 5억 위안(약 8,160만 달러) 이상의 3D 프린팅 기업을 5-10개까지 육성할 것이라고 언급함.
  - 공업정보화부는 2014년 9월에 3D 프린팅 산업 활성화를 위해 정책과제가 포함된 '국가성장재료제조산업발전계획(国家增材制造产业发展推进计划, 2014~2016年)을 최종 발표함.
  - 공업정보화부는 천연 재료, 합성 고분자 재료 등 3D 프린팅에 사용되는 혁신적인 특수 소재를 연구할 것이라고 명시하고 있음.
  - 또한, 인공 뼈 등을 제작하는 바이오 3D 프린팅 산업을 촉진하기 위해 관련 재료 및 장비의 개발을 진행할 것으로 언급함.
- 중국과학기술부, 공업정보화부 등의 지원을 받고 있는 아시아 제조 협회는 2012년 10월에 베이징(北京)에 '중국 3D 프린팅 기술산업연맹(中国3D打印技术产业联盟; China 3D Printing Technology Industry Alliance)'을 설립하였으며, 현재는 각 지방 정부에 혁신 센터 건립을 추진 중에 있음.
- 중국정부는 2015년부터 향후 2년간 약 40만 초등학교에 3D 프린터를 설치하여 육성 할 예정임.[5)]

라. 일본

- 일본 정부의 3D 프린팅 기술에 대한 프로젝트는 경제산업성(経済産業省)을 중심으로 진행되고 있음.
  - 2013년도부터 경제산업성은 별도의 금형을 사용하지 않고, 복잡한 형상의 주조틀을 제작할 수 있는 3D 프린터 개발을 추진함.
  - 이 프로젝트의 목표는 기존 외산 제품 대비 1/10 가격인 대당 2,000만 엔 이하의 산업용 3D 프린터를 개발하는 것이고, 2013년에만 1억 5,000만 엔이 투입됐으며 2018년 까지 총 30억 엔의 예산이 투입될 예정임.
  - 경제 산업성 산하 산업기술종합연구소(AIST)가 프로젝트를 총괄하고 3D 프린터

5) 3D프린트닷컴, 2015.04.08.

업체인 시메트, 구네이화학공업, 고이와이, 고마쓰, IHI, 닛산자동차 등 민간 기업이 역할을 나눠 개발 예정임.

- 주 타깃은 건설, 선박용 디젤엔진(실린더 헤드) 등 고융점 주철 적층용, 자동차 실린더 헤드 등임.
- 2014년도에는 산・학・관 연계 3D 프린팅 프로젝트 추진기구 '차세대 3D 적층조형 기술종합 개발기구(次世代３Ｄ積層造形技術総合開発機構)'가 발족함.

○ 최근 일본 정부는 미국 및 유럽을 추격하기 위해 3D 프린팅 관련 기술특허권 관리에 집중하고 있는 실정임.

- 2013년 9월 경제산업성은 특허청과 함께 3D 프린터 특허 기술 동향을 조사하기 위한 전문위원회를 설치하여, 정부 차원 선행 특허 유무나 특허 존속 기간을 조사하고, 이를 토대로 특허 회피 및 확보 전략을 수립함으로써 일본 내 사업자의 기술 경쟁력 증진 및 시장 진입 장벽 제거하려 하고 있음.

○ 이 외에도 일본 정부는 미국 및 유럽보다 뒤쳐진 3D 프린팅 기술 경쟁력을 확보하기 위해 기존 사업자의 시장 점유율이 높은 3D 프린터 분야 대신 3D 프린터 소재 분야 개발연구에 집중하고 있음.

- 일회성 구매에 그치는 단말과 달리 지속적인 소비가 수반된다는 점에서 재료 시장의 성장세를 예상하고 있음.
- 실제 시장조사업체 카날리스(Canalys)는 3D 프린팅 관련 서비스 및 프린팅 소재 시장이 2018년까지 43.8%의 연평균 성장률을 기록하고, 단말 시장의 두 배 규모에 도달할 것으로 예측함.
- 이에 따라, 일본 정부는 우선적으로 3D 프린터 소재 중 산업 현장에서 요구도가 높은 금속 소재 연구에 집중하고 있음.
- 이와 관련해 2014년 3월 경제산업성은 대학 및 민간 기업과 산업기술총합연구소가 공동으로 참여하는 '금속 분말 3D 프린팅 기술 개발 프로젝트'를 추진한다고 발표함.
- 2014년부터 진행될 본 프로젝트(5년)는 시작 첫 해에만 37억 엔의 예산이 투입될 예정이며, 금속 분말을 이용하는 3D 프린팅 단말 및 관련 소재 개발에 주력하고 있음.

2. 국내 정책동향

○ 미래창조과학부(미래부)와 산업통상자원부(산업부)는 ‘3D 프린팅 산업 발전전략’을 공동으로 수립하여, 2014년 4월 23일 국가기술심의 위원회를 열어 2020년까지 전세계 3D 프린터 산업의 선두로 올라선다는 목표 하에 국내 3D 프린터 산업 지원정책을 의결함.

○ 3D프린팅 활용 수요창출 및 국내 장비·소재·SW 관련 산업 성장을 위한 4대 추진전략 및 11대 세부추진과제를 마련함.

[표 4] 3D 프린터 산업 육성 핵심에 따른 4개 분야 및 세부내용

분야 구분	세부내용
성장기반 조성 분야	▪ 3D 프린터 수요 창출을 위한 중소기업을 선정하는 등 기존 산업 현장에서 3D 프린터 기술을 시범적으로 활용할 계획 ▪ 3D 프린터를 체험할 수 있는 공간으로 꾸밀 계획이며, 교육프로그램과 마이스터 고등학교를 중심으로 실습용 장비도 보급할 계획
시장활성화 분야	▪ 비즈니스 모델을 확보하는 것이 주요 과제를 통해 3D 프린팅 콘텐츠를 만들고 유통할 계획 ▪ 3D 프린터에서 활용할 수 있는 디자인을 유통할 수 있는 플랫폼을 구축을 통한 업계와 일반사용 간의 자유로운 3D 프린터 도안 교류기대
기술확보 분야	▪ 선진국 대비 6.8%에 불과한 특허출원 비중을 끌어올리는 것이 핵심 ▪ 2020년까지 20%까지 끌어올릴 로드맵 작성 및 장비와 소재, 소프트웨어 등 분야별 필수적인 기술개발 계획
제도 정비 분야	▪ 지적재산권을 보호하기 위한 복제품 방지법과 3D 프린터로 불법 무기류를 만드는 것을 막기 위한 제도도 발굴할 계획

○ [성장기반 조성분야-기업 제조혁신] 산업현장에서 3D프린팅 기술을 시범적으로 적용하여 해당사업에 활용할 수 있도록 종합지원기반을 마련함.[6)]

- 특정 거점별 3D프린팅 공정전반(모델링·프린팅·후처리) 관련 장비를 통합 구축하고 중소기업에 기술도입 및 컨설팅 등을 지원함.
- 전국 장비 보유현황 및 관련 기술전문가 등 인프라를 활용 할 수 있도록 온라인 정보제공 시스템을 구축함.
- 온라인 시스템의 활용도를 높이기 위해 중소·벤처기업 대상 주문형 소량생산(On-demand) 시범사업을 추진함.
- 3D프린팅 도입 필요성에 공감대가 부족한 영세·중소기업 대상으로 ‘찾아가는 시제품제작서비스[7)]’를 운영함.

○ [성장기반 조성분야-국민참여 촉진] 일반국민의 접근성과 사용 편의성을 고려한 체험환경 조성 및 경진대회 개최 등 대중의 관심을 제고함.

- 과학관, 도서관 등 무한상상실에 3D프린터를 보급하고, 일반인 스스로 창작·체험할 수 있는 셀프제작소를 구축·운영함.
- 과학관, 박물관 등 공공시설 중심 시범설치 → 접근성 용이한 주민센터 등을 확대함.

6) ‘3D프린팅 기술기반 제조혁신지원센터구축’ 사업(‘14, 20억원) 수행함.
7) 3D프린팅 장비를 탑재한 차량이 현장을 방문, 시제품 제작 등 수행함.

- 무한상상실, 셀프제작소의 상호 정보공유를 위한 지역 거점으로 창조경제혁신센터 내 국민참여 네트워크를 구축・운영함.
- 3D프린팅 활용 우수사례 발굴을 위한 ‘3D프린팅 창의 아이디어 개발 경진대회’ 개최 등 대국민 홍보를 추진함.

○ [성장기반 조성분야-인력양성] 교육 프로그램 운영・개발 및 실습용 장비보급 추진함.

- 초・중・고, 대학 등에 3D프린팅 관련 교육 커리큘럼 개발 및 실무형 교육을 추진함.
- 무한상상실(초・중・고, 과학관 등), 마이스터고 등을 대상으로 장비보급을 추진함.
- 3D프린팅을 활용할 수 있는 인적기반 조성을 위해 기초・실무・지도자급 수준별 교육 프로그램을 운영함.

○ [시장활성화 분야-모델발굴·사업화 지원] 응용분야별 新시장창출을 위한 비즈니스 모델 발굴 및 업계 정보교류의 장을 마련함.

- 제품·서비스에 대한 아이디어, 사업계획을 발굴하여, 사업화 지원, 마케팅 및 경영컨설팅 등 종합지원을 제공함.
- 「3D프린팅 컨퍼런스」 개최, 비즈니스 리뷰 발간 등 정보교류 지원함.

○ [시장활성화 분야-콘텐츠 시장] 3D프린팅용 디자인 콘텐츠 생태계 조성을 위해 ‘3D프린팅 디자인 유통플랫폼’을 구축함.

- 앱스토어 사례와 같이 프리랜서, 디자이너 등의 디자인·설계 창업확산 및 3D프린팅 산업 저변 확대를 도모함.
- 향후 3D프린팅 관련 원스톱 정보서비스 제공 및 각 시스템의 연계 운용을 위한 ‘3D프린팅 콘텐츠 유통플랫폼’을 구축・운영함.
- 미래부(특허지원시스템), 산업부(디자인유통플랫폼 등), 무한상상실 및 지자체 시스템과 연동 및 창조경제타운과 연계함.

○ [시장활성화 분야-창업・글로벌화 지원] 소자본 창업을 위한 종합지원체계 마련 및 유망한 비즈니스 모델의 글로벌 진출 지원전략을 수립함.

- 창업 전주기별 지원을 위해 전문창업 지원 프로그램을 개발, 특허정보제공・IP-R&D전략[8] 확대를 추진함.
- 국가별・모델별 해외 진출을 위한 컨설팅 및 파트너 발굴 등 해외시장 판로 개척을 지원함(미래글로벌창업지원센터 연계).
- 국가 간 3D프린팅 콘텐츠 상호 유통 및 보호 방안을 검토함.

○ [기술확보 분야-전략기술 로드맵 수립] 3D프린팅 요소기술 분야별 기초·원천 연구에서 사업화까지 全주기적 세부기술개발 전략을 수립함.

- 국내 산업 수요연계(단기), 세계시장 선도(중장기)를 목표로 융・복합형 기술을 중점 발굴하고 지원전략을 마련함.
- 장비・소재・SW분야의 산・학・연 전문가 및 수요기업으로 구성된 작업반을 운영함.

8) 특허지원센터를 통한 국내외 특허현황분석・제공, 첨단 소재 부품 IP-R&D전략 지원 사업 등에 3D프린팅 분야 추가 검토함.

○ [기술확보 분야-소재・장비 기술경쟁력 강화] 소재・장비 연계형 기술개발 및 사업화를 위한 R&D 과제를 추진함.

- 개발된 소재를 장비와 연계해 사업화 할 수 있는 전용소재-장비 종합形기술개발 및 차세대 창의 신소재를 개발함.
- 고속・고해상도, 다색・다소재 프린팅, 하이브리드 장비기술, 스캐닝 디바이스 등 산업용 장비 기술개발을 추진함.

○ [기술확보 분야-SW 기술개발] 국산SW 기술개발 및 대중화를 촉진함.① 3D프린팅 SW원천·응용기술 확보 등 ICT 융합기술 개발 및 인터넷・모바일 연계 등이 가능한 지능형 SW기술개발을 지원함.

- 향후 장비운용 SW 등 기술자산정보를 SW뱅크에 등록하여 결과물의 상용화를 촉진함.

○ [제도정비 분야-법・제도 개선] 법・제도상 장애·개선요인을 발굴·정비하고, 표준 및 품질평가체계를 마련함.

- 3D프린팅 산업진흥과 역기능(무기류, 환경안전 관리 등) 방지 등을 위한 법 규제 등 개선방안을 마련함.
- 3D프린팅 장비, 소재 및 SW 등 표준 및 거래·유통·환경품질평가 체계를 마련함.

○ [제도정비 분야-보안 강화] 3D프린팅 시스템・서비스 보안을 강화함.

- 정보보호 가이드 마련 및 시스템 해킹방지 기술개발 등을 추진함.
- 최근 우수기술연구센터(ATC) 기술개발사업을 통해 지원된 ‘3D 프린팅 기반의 디지털 설계 및 제조 환경 구축을 위한 융합 데이터 처리 및 모델링 원천기술 개발’ 과제가 근접한 것으로 판단됨.

○ 산업통상자원부에서는 ‘3D 프린팅 산업 발전 전략 포럼’을 개최하고, 2013년 7월 정책수립 계획을 발표함.

- 제도분과, 기술분과 및 산업응용・사업화 분과 위원회를 구성하여 산업기반 조성 및 활성화방안을 수립할 예정임.
- 현재 3D 프린팅 기술 관련 R&D 지원은 비교적 제한적임.

○ 2013년 미래창조과학부는 경제・윤리・사회・문화・과학기술・환경의 관점에서 ‘3D 프린팅 활용 기술‘의 기술영향평가를 진행 중임.

- 소재, 3D 스캐닝・모델링, 3D 프린팅 공정 및 활용 등에 한해 기술영향 평가를 수행하며, 단기(5년 내) 및 중장기(5년 후)로 나누어 분석함.
- 기술영향평가 결과는 국가연구개발사업의 연구기획에 반영되거나, 기술개발의 부정적 영향을 최소화하기 위한 대책 마련에 활용됨.
- R&D 과제로는 2010년부터 2015년까지 연구개발 중인 ‘나노스케일 3D 프린팅 시스템’ 사업을 지원 중에 있음.

○ 2009년부터 2016년까지의 3D 프린팅 관련 정부부처 주관 연구개발 현황은 표 6과 같이 조사됨.

[표 5] 3D 프린팅 관련 정부 R&D 현황

연도	기관명	연구과제명	연구기간	연구비 (백만원)
2016	한국산업기술평가관리원	3차원 프린팅 기반의 디지털 설계 및 제조 환경 구축을 위한 융합 데이터 처리 및 모델링 원천기술 개발	16.06.01 ~17.05.31	720
2015	중소기업청	고정밀 소형 DLP융합 3D프린터개발	15.02.04 ~16.02.03	161.11
2014	국토교통과학기술진흥원	건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획	14.10.15 ~15.06.15	60
2014		건축물 신속조형을 위한 3D 프린터 핵심부품 및 프린팅 알고리즘의 원천기술 개발	14.07.11 ~16.07.10	200
2014		3D 프린팅된 비정형 입자로 구성된 입상체의 지반-구조물 상호작용 영역에서 광탄성 측정기법을 이용한 지반 내 주응력 분포 측정 기술 개발	14.08.14 ~16.08.13	50
2014	산업기술연구회	3D 프린팅 기반 미래 소자용 플랫폼 소재기술 개발	14.01.01 ~16.12.31	781.88
2014		3D프린팅 기술로드맵 기획사업	14.01.01 ~14.12.31	346
2014		3D프린팅용 원료금속분말 제조를 위한 선진 기술 동향 분석 기획 연구	14.01.01 ~14.12.31	71.42
2014		회전형 미러 및 변조형 광원 기반의 3D 프린터용 헤드 모듈 개발	14.01.01 ~14.12.31	67.8
2014		3D프린팅기술기반 하이브리드 적층생산 공정 및 시스템 개발	14.01.01 ~14.12.31	309.76
2014		강원지역본부 지역특화산업 발전전략을 위한 기획 연구 (3D 프린팅 산업을 중심으로)	14.01.01 ~14.12.31	229.67
2014	산업통상자원부	3D 프린팅 기술을 이용한 자동차 운전대용 인쇄회로기판 일체형 스위치류 개발	14.08.01 ~15.07.31	515.5
2014		고분자 IT 융합 3D 프린팅 소재개발지원사업	14.07.01 ~17.06.30	650
2014		델타형 병렬 로봇 기반의 3색 구현 3D 프린터 개발	14.10.01 ~15.09.30	302
2014		대화형 프로세스를 탑재한 교육용 3D 프린터 개발	14.06.02 ~15.05.31	142.98
2014		개인 제조(personal fabrication) 프로세스를 실현하는 3D 프린터 연동 스마트 어플리케이션 개발	14.08.01 ~15.07.31	198
2014	정보통신산업진흥원	3D 프린팅 기반 PFM 및 FCC 제작을 위한 생체친화적 하이브리드 복합소재 핵심기술 개발	14.09.01 ~16.08.31	280
2014		ICT 기반의 의료용 3D프린팅 응용 SW플랫폼 및 서비스 기술 개발	14.08.01 ~19.07.31	5500
2014		치과기공용 금속 3차원 프린터 장비 개발	14.09.01 ~16.08.31	267
2014	중소기업기술정보진흥원	3D 프린터용 고기능성 PLA 필라멘트 개발	14.05.22 ~15.05.21	142.5
2014		잉크젯 방식을 이용한 보급형 3D 프린터	14.07.15 ~15.07.14	145.7
2014		DC 모터를 위치제어 시스템을 이용하여 25미크론 위치정밀도로 2가지 이상 재료 출력 가능한 FDM타입 3D 프린팅 시스템 개발	14.11.26 ~15.11.25	211.12
2014		3D프린팅을 위한 주얼리 개인화 앱 프레임워크 개발	14.07.15 ~15.07.14	206
2014		3D 프린터를 이용한 장애인 개인맞춤형 필기보조기구 제작 기술	14.08.01 ~15.05.31	42
2014		금속분말 융합기반의 3D프린터 FDM용 복합 폴리머 필라멘트 개발	14.06.17 ~16.06.16	442.5
2014	한국방송통신전파진흥원	3D프린팅 산업육성법 제정방안 연구	14.04.25 ~14.11.30	40
2014		3D프린팅 관련 콘텐츠 보호 및 규제개선 방안 연구	14.04.25 ~14.11.30	30

2014		3D프린팅 관련 신규 서비스 모델 개발 연구	14.04.20 ~14.11.30	30
2014	한국보건 산업진흥원	생체환경 적합성 바이오잉크 활용 3D 프린팅 기반의 차세대 바이오혈관 이식체 개발	14.11.01 ~17.10.31	80
2014		기관재생에 최적화된 줄기세포이식형 3D printing 복합 지지체 개발	14.10.01 ~16.09.30	110
2014		골재생 향상을 위한 복합소재기반 바이오 3D 프린팅 기술 개발	14.12.01 ~20.11.30	237
2014	한국보건 산업진흥원	대면적 턱뼈 결손부 재건을 위한 환자 맞춤형 3차원 바이오프린팅 공정 개발	14.11.01 ~18.10.31	100
2014		난치성 기도협착질환에서 3D 프린팅 기법을 기반으로 한 환자맞춤형 다층구조 인공기도의 제작 및 유효성 분석	14.11.01 ~17.10.31	80
2014		3D 프린팅기법을 이용한 맞춤형 기관지지체 개발	14.06.01 ~17.05.31	100
2014		3D 바이오 프린팅 골유도 생체재료와 간엽줄기세포를 이용한 두개안면골 재건기술 개발	14.12.01 ~20.11.30	225
2014	한국산업기술 평가관리원	공유경제 기반 3D 프린팅 자원의 협력적 생산·소비·공유 플랫폼	14.11.01 ~15.10.31	267
2014		30㎛급 고정밀 맞춤형 3D 프린팅용 유무기 복합소재 핵심기술 개발	14.10.01 ~21.07.31	1733.33
2014		FDM방식 3D프린터 제작 및 출력재료특성 검토	14.12.01 ~15.11.30	100
2014		2종 이상의 범용 재료 복합 소재 적용 및 50㎛ 두께 제어가 가능한 3차원 프린터 개발	14.09.01 ~16.08.31	584.4
2014		문화유산을 정밀 스캐닝 후, 3D프린터를 활용한 제품산업에서 사용할 수 있는 3D문양소스 개발	14.08.01 ~15.07.31	80
2014		삼차원 통합 설계 지원을 위한 3D 프린팅 단면정보 생성 소프트웨어 개발	14.08.01 ~15.07.31	97.93
2014		고정밀 3차원 프린팅 헤드 및 장비, 금속재료 기술 개발을 통한 모바일 기기 안테나 친환경 신공정 기술 개발	14.11.19 ~16.11.18	240
2014		폐자원 물질 재활용 소재를 활용한 자원순환형 3D프린터용 레이우드 필라멘트 개발	14.07.01 ~14.11.30	34
2014		3D rendering engine 기술을 적용한 사용자 참여형 3D 프린팅 콘텐츠 저작도구 시스템 개발	14.09.01 ~14.12.31	34
2014		세라믹 코어 제조를 위한 3D 프린팅 공정기술의 실용화 연구	14.06.01 ~17.05.31	827
2014		3D프린팅 기술기반 제조혁신지원센터 구축	14.07.01 ~19.06.30	2650.82
2014		3×4×1.2(m3) 대형주물 목형대체용 FDM(Fused Deposition Modeling) 기반 하이브리드 3D프린팅 시스템 개발	14.06.01 ~17.05.31	1600
2014		SLS 기반 하이브리드형 3D프린팅 기술을 이용한 개인맞춤형 메디컬 디바이스(치아교정장치 및 임플란트)의 디지털 쾌속금형기술 개발	14.06.01 ~18.05.31	1345
2014		금속 3D 프린팅 기술 기반의 환자맞춤형 정형외과 임플란트 제조 시스템 개발	14.06.01 ~19.04.30	916
2014		차세대 3D프린터를 위한 비접촉 가열방식 헤드 개발	14.06.01 ~15.05.31	80
2014		3D 프린터용 설계데이터의 저작권보호와 검증 및 원격 출력을 지원하는 거래 시스템 개발	14.06.01 ~15.05.31	99.41
2014		3D 프린팅 기반의 골조직 재생/재건용 생분해성 의료기기 개발	14.07.01 ~16.06.30	86.87
2014		무선 3D 프린팅 및 원격제어 모바일 솔루션 개발	14.06.01 ~15.05.31	83.94
2014		개인맞춤형 제조를 위한 DLP방식의 수조형 자동화 시스템 3D 프린터 및 디자인 개발	14.11.19 ~16.11.18	280
2014		보급형 SLS 3D프린터 Engine 개발	14.06.01 ~15.05.31	166.67
2014		3D프린터 주변기기, 소형 팬스프레이, 스프레이로봇	14.02.01 ~15.01.31	37.99
2014		3D프린터를 이용한 정형외과용 인공무릎관절 수술도구 지그 제작	14.02.01 ~15.01.31	51.89

2014		3D프린터를 활용한 저가형 I.V(IntraVenous) 세트 개발	14.02.01 ~15.01.31	2.89
2014		CNC가공 기능을 갖춘 복합형 3D 프린터의 개발	14.10.01 ~15.09.30	80.92
2014		3D프린터를 활용한 200W급 고효율 수직축형 풍력터빈	14.09.01 ~14.12.31	34
2014		고정밀 소형 DLP 3D 프린터 개발	14.09.01 ~14.12.31	34
2014		3D프린터 고체기반형 생분해성수지 필라멘트 압출 최적조건 개발	14.02.21 ~15.01.31	8.45
2014		광경화성 고분자(photopolymer) 수지를 이용한 DLP(Digital Light Processing) 방식의 준중형 3D 프린터 보급형 국산화	14.12.01 ~15.11.30	105.33
2014	한국산업기술 평가관리원	3D 프린터용 Ti-6Al-4V 구형분말의 제조수율 30%이상 증가 Pulse Plasma Rotating Electrode 기술 개발	14.07.01 ~16.06.30	270
2014		3D 프린터를 이용한 실크피브로인 지지체 인공식도의 개발	14.11.01 ~17.04.30	25.16
2014		레이저 기반 멀티스케일 금속/세라믹 3D 프린팅 기술 개발	14.11.01 ~17.10.31	101
2014		진공 상온 스프레이 공정을 이용한 메조 스케일 3D 프린팅 기술 개발	14.05.01 ~17.04.30	100
2014		3D 프린팅 기반의 골접합이 우수한 porous HDPE 구현	14.11.01 ~17.04.30	25.91
2014		여기상태 분자내 양성자 소재 분자 및 3D프린팅 기술을 활용한 다기능 센서 개발	14.05.01 ~17.04.30	50.95
2014		3차원 프린팅 기반기술을 적용한 치과용 환자 맞춤형 유/무기 기능성 스캐폴드 개발	14.05.01 ~17.04.30	101
2014	한국연구재단	3-D 프린팅 기반 치주 복합 조직 재생 scaffold와 치주 인대 줄기 세포 제어 시스템 개발	14.11.01 ~17.04.30	25.33
2014		3차원 프린팅을 활용한 안면성형 및 재건용 재생 연골 개발	14.11.01 ~17.04.30	25.35
2014		3차원 스캐닝, 가상밀착분석, 3차원 프린팅 기반 안면 착용형 제품 설계 기술 연수	14.01.01 ~15.12.31	33
2014		고정밀 3차원 프린팅 기술 및 혈관 맥동운동 모사 인공지지체를 이용한 바이오 혈관의 개발	14.09.01 ~17.04.30	33.63
2014		3D 프린팅이 가능한 인간형 로봇 손의 설계 및 제어에 관한 연구	14.03.01 ~19.02.28	15
2014		치과용 임시 치아 제작에 특화된 3D 프린터 광경화형 소재의 개발	14.05.01 ~17.04.30	50.66
2014		나노 3차원 프린터를 이용한 마이크로/나노 스케일의 매니퓰레이터 제작	14.03.01 ~19.02.28	15
2014	한국콘텐츠 진흥원	3D프린팅 기반 공예, 조각, 캐릭터 창작 콘텐츠 서비스 기술 및 지원 플랫폼 개발	14.11.01 ~17.03.31	511.9
2014		전통문화재의 3D 프린터 적용을 위한 문화콘텐츠 리빌드 및 저작권 보호 기술 개발	14.06.01 ~17.03.31	745.09
2013	정보통신 산업진흥원	치과모형 제작을 위한 정밀도 20μm급 Hybrid 타입의 데스크톱용 3D 프린터 기술 개발	13.12.01 ~16.09.30	370
2013	한국보건 산업진흥원	3D 프린팅 기술을 이용한 성장인자 적용 혈관/골 융합체 개발	13.11.01 ~19.10.31	100
2013		BMP유래 펩타이드 3D 프린팅 접목 융합체의 전임상/임상 적용	13.11.01 ~19.10.31	100
2013	한국산업기술 평가관리원	3D 프린팅을 이용 한 LED 오가닉 조명 디자인 개발	13.03.01 ~14.02.28	5.6
2013		3D 프린팅을 위한 실물 정보 기반 3D콘텐츠 생성 및 편집 기술(표준화연계)	13.09.01 ~16.08.31	3734
2013		3D 프린팅 기술의 데이터베이스화를 지원하는 모바일 및 온라인 확장 시스템 구축	13.10.01 ~14.09.30	85.95
2013		융복합 3D 프린터 및 원료개발	13.12.01 ~14.11.30	191.48
2013		3D 프린팅,3D CNC 디자인 기술을 통한 스마트기기 케이스 및 액세서리 제작	13.10.01 ~14.09.30	72

2013		단축식 스크류를 이용한 보급형 컬러 3D 프린터 노즐 개발	13.12.01 ~14.11.30	74.93
2013		3D 프린터를 이용한 풀오토폴리싱머신 제작 및 조립지그 형상 측정	13.03.01 ~14.02.28	2.21
2013		3D 프린터를 활용한 인형개발	13.03.01 ~14.02.28	0.74
2013	한국연구재단	생체 재료를 이용하는 3D 프린팅 기술 개발과 생분해성의 기능성 스캐폴드 제작	13.11.01 ~16.10.31	44.85
2013		3-D 프린팅 기술을 이용한 periodontal-mimic scaffold 개발과 치계 줄기 세포의 치주 복합 조직 재생 유도를 위한 연구	13.11.01 ~14.10.31	33
2012	한국산업기술 평가관리원	스마트폰용 300dpi급 해상도를 갖는 무안경식 3D 프린터 엔진 개발	12.12.01 ~14.11.30	580
2011		3D프린팅장비(RP)을 활용한 산업제품 연구개발	11.03.01 ~12.02.29	50.38
2011	한국연구재단	3D 분석 및 프린팅 시스템을 이용한 인간공학적 몰드 브라 설계기술 개발	11.05.01 ~14.04.30	40.64
2010	한국연구재단	나노스케일 3차원 프린팅 시스템	10.09.01 ~15.08.31	512
2010		생체 조직 재생을 위한 쾌속조형 기반 3차원 세포 프린팅 기술 개발	10.04.01 ~19.02.28	671
2009	산업기술 연구회	3D Printed 전자소자기반 그린 스마트카드 Platform 기술 개발	09.07.01 ~14.06.30	273.5

출처 : NTIS(국가과학기술지식정보서비스)

○ 3D 프린팅 관련 정부 R&D 총 과제 중 각 기관별 차지한 비중을 살펴보면, 전체 국가R&D 연구과제 중 건축분야의 경우는 단 3건으로 약 3%정도인 것으로 조사됨.

○ 과제 내용을 살펴보면, 융·복합 3D 프린터 개발, 플랫폼 및 시스템 개발, 의료분야, 제조분야 등 다양한 산업군에서 3D 프린팅을 연구하고 있었으나, 건축분야에서는 3D 프린팅 적용 건설기술 및 건축대상에 대한 연구 실적이 미비해 걸음마 단계 수준인 것으로 조사됨.

3. 결론 및 시사점

○ 현재 3D 프린팅 기술 선진국은 제조업 기반으로 집중적인 지원정책 및 예산투자를 해오고 있기에, 본 연구 범위인 건설업 관련 3D 프린팅 국가 정책에 대한 정부투자 및 전략 계획이 아직은 시도되지 않고 있는 것으로 조사됨.

○ 국내 3D 프린팅 관련 지원정책은 3D 프린팅 기술 선진국 실정과 마찬가지로, 제조 및 IT 산업에 대한 지원방향 및 투자가 형성되어 있고, 국가 R&D 중 건축분야에 해당되는 연구과제는 단 3건으로 다른 분야에 비해 상당히 부족한 실정으로 조사됨.

○ 국내외 정책동향 조사결과에 따라, 현재 국내외 국가에서는 정부주도의 건설업 내 3D 프린팅 적용 지원정책 및 예산투자의 흐름이 전무할 정도로 미흡한 시작단계이지만, 지속적인 관련 기술개발 및 예산투자를 통해 국내 건설업의 성장 수단으로 건축 특화 3D 프린팅 관련 기술 및 출력물 개발이 필요함.

○ 국외 3D 프린팅 선진국에 비해 후발 주자이지만, 국외 선진국조차도 대부분이 제조업을 살리기 위한 전략이기에 글로벌 3D 프린팅 적용 건설시장 선점을 위해 국내 정부주도의 3D 프린팅 적용 건설업에 특화된 지원정책 및 예산투자를 통한 적극적인 기술개발이 필요함,

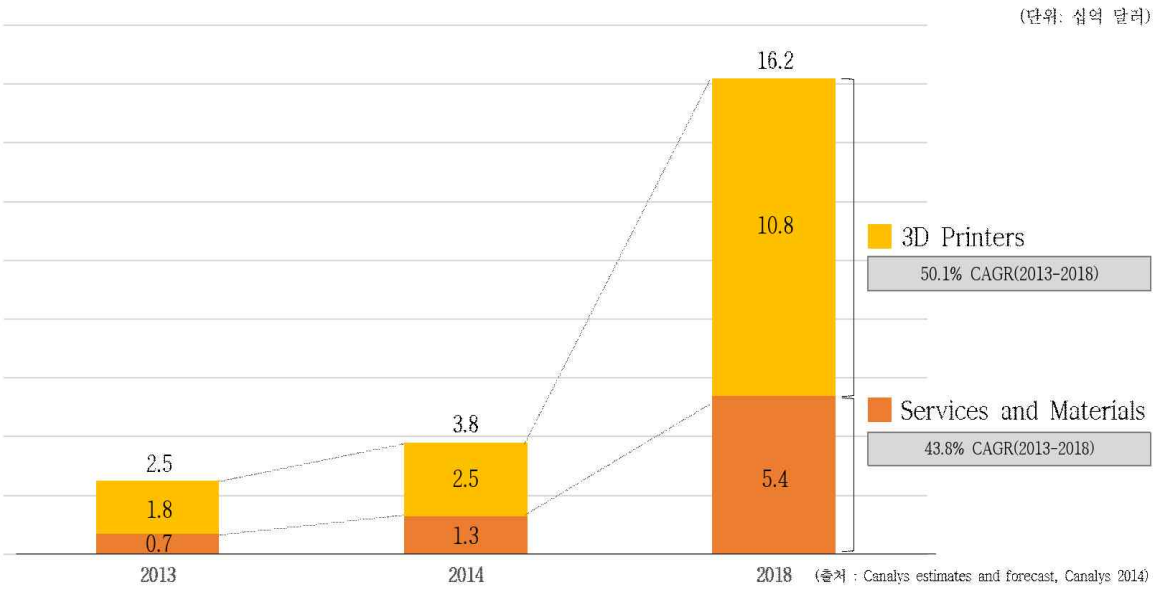
○ 또한, 현재 3D 프린팅 기술의 특허가 만료된 점을 토대로 건설업 특화된 새로운 방식의 원천기술개발이 필요함.

제2절 국내외 시장현황 및 전망

1. 국외 3D 프린팅 시장 규모 및 전망

○ 3D 프린팅 시장규모는 일반 프린터에 비해 미미한 수준이나 두 자리 수의 높은 성장세가 기대됨.

- 영국 시장조사 기관인 「Canalys」에서는 세계 3D 프린팅 시장은 2013년 25억 달러에서 2018년 162억 달러까지 성장할 것으로 보이며, 연평균성장률(CAGR)은 2013~2018년 기간 동안 45.7%로 예측함.[9)]



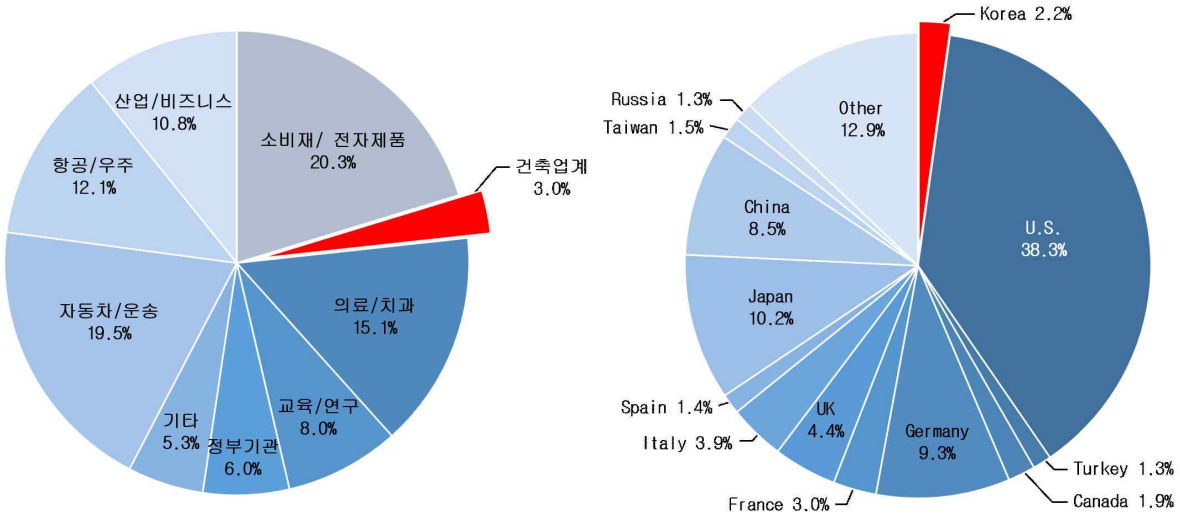
Category	2013 estimates	2014 forecast	2018 forecast	CAGR(2013-2018)
Total	2.5	3.8	16.2	45.7%
3D printers	0.7	1.3	5.4	50.1%
Services and Materials	1.8	2.5	10.8	43.8%

출처:Canalys estimates and forecast, Canalys 2014

[그림 9] 세계 3D 프린팅 및 관련 서비스 시장 규모 전망

○ 3D 프린터의 국가별 시장 점유율 현황은 미국(38.3%), 일본(10.2%), 독일(9.3%), 중국(8.5%) 등의 선진국 중심으로 시장이 형성되어 있으며, 한국은 (2.2%)의 점유율을 차지함.

9) 2015년 기준으로 전체 시장규모는 있으나, 세부사항이 없음.



산업별 점유율[2011] 국가별 누적 점유율[1988-2011]

[그림 10] 글로벌 시장 산업/국가별 점유율

○ 산업별 점유율을 보면, 소비재/전자제품이 20.3%로 가장 많은 비중을 차지하며, 다음으로 자동차/운송(19.5&), 의료/치과(15.1%), 항공/우주(12.1%) 순이며 건축은 3%의 점유율을 차지함.

○ 현재 미국, 일본, 독일, 중국 시장이 전체 시장의 절반 이상을 차지하고 있으며, 소비재/전자제품, 자동차, 의료/치과, 산업기계/사무기기, 항공/우주 등의 순으로 산업분야별 높은 3D 프린팅 활용비중을 나타냄.[10]

- 2013년 기준 산업별 점유율은 소비자/전자제품 영역이 22% 가장 높으며, 자동차(19%), 의료/치과(17%), 산업기계/사무기기(13%), 항공/우주(10%) 순으로 높은 점유율을 나타남.

2. 국내 3D 프린팅 시장현황[11]

○ 국내 3D 프린팅 시장은 2009년부터 전년대비 30~40%의 고성장하여 2012년 시장 규모는 약 300억 원으로 추정되고 있지만, 국내 시장은 아직 초기단계이고, 국내 시장에서 활용되는 3D 프린터의 90%가 수입품인 실정임.

○ 국내 3D 프린터 활용분야는 휴대폰 케이스, 자동차, 가전, 의료기기, 완구, 방위산업, 신발산업 등 제조업이 대부분이며, 건설업에서의 활용은 시도조차 전무하고, 3D 프린팅 산업 내 산업별 시장규모 및 전망이 파악조차 되지 않는 상황임.[12]

○ 3D 프린터 장비 관련 원천기술 취약, 소재 및 소프트웨어 개발 부족 등으로 우리 기업들의 세계시장 참여는 미진한 상황이며 미국 등 글로벌 선도기업

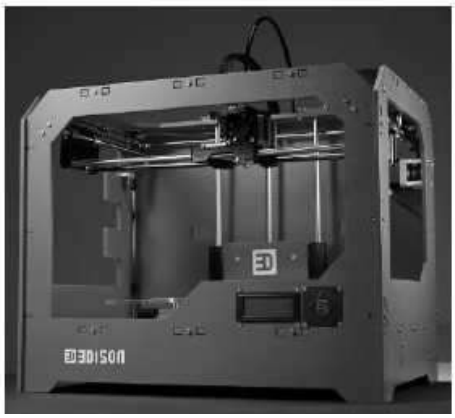
10) 자료출처: Wohlers Associates, 2012
11) 자료출처 : 정보통신산업진흥원, 한국콘텐츠진흥원, 두두차이나, 야노경제연구소, LG경제연구소, 니혼게이자이 자료 인용 종합
12) 한국과학기술정보연구원, 2014

이 3D프린터 핵심 원천기술(SLS, SLA 등)을 주도하고 있기에, 현재의 국내 기업들의 장비 제조 기술력으로는 시장점유율을 높이기 어려운 실정임.

○ 국내외 3D 프린팅 기술 시장점유율로 인한 관련 기술개발의 미흡으로 3D 프린팅 소재 및 소프트웨어 개발도 진행되지 않고 있어 대부분 외국 기업에 의존하는 악순환이 반복되고 있음.

○ 이러한 실정에서 국내 3D 프린터 제조업체 중 캐리마社와 로킷社가 내수시장에서는 그나마 가장 활발하게 3D 프린터 시장을 공략하고 있음.

<캐리마社>의 3D 프린터 '마스터' >



<로킷社 3D 프린터 '에디슨' >

[그림 11] 캐리마社와 로킷社의 3D 프린터

- 캐리마社는 5년의 연구개발 기간과 50억 원을 투자하여 2009년 거의 모든 부품이 국산화되어 제품의 조립 및 생산된 3D 프린터 '마스터'를 개발함.
- 로킷社는 3D 프리터 오픈소스 기반으로 국내 최초 데스크톱형 상용 프린터인 '에디슨'을 개발함.

○ 이외에 산업용 3D 프린팅 시장에서 두각을 나타내는 회사는 현재까지 기술개발 및 상품화를 완료한 인스텍社가 있음.

- 인스텍社는 DMT기술을 기반으로 금속 분말과 레이저를 활용하여 금형과 조형물을 생산가능한 장비를 개발뿐만 아니라, 원천기술을 보유하고 있고 국내 전자회사, 의료회사, 연구소 등에 납품하고 있음.

○ 국내에서는 3D 프린터 사업을 진행하는 기업이 많지 않은 실정에서 상장기업으로는 엔피케이社가 3D 프린터 주원료인 열가소성수지의 착색 컴파운드 및 고농도 안료의 뱃지 설계-개발-생산-판매를 진행하고 있음.

- 세중社의 경우 지분 68.53%를 보유한 연결대상 자회사인 세중정보기술이 미국 3D 프린팅 업체인 3D시스템스(3DSYSTEMS)社의 한국시장 내 판권을 보유 및 A/S를 지원하고 있음.

○ 현재까지의 국내 3D 프린터 시장은 산업소재, IT 부품, 의료부품 등의 소재 분야가 높은 비중을 차지하고 있는 실정임.

- 장비제작과 원천기술 측면에서 기술개발 속도가 더딘 실정이나, IT 및 정밀화학 등의 연관 산업과의 시너지가 본격화 될 경우 시장의 성장 및 발전 속도가 활발해 질 것으로 전망함.[13)]

○ 건축 분야에서의 활용은 전무한 수준이며, 일부 건축 모형과 인테리어 소품제작에만 한정되어 활용함.

- 최근 케이디씨(KDC)업체가 MOU를 통해 중국의 3D프린트 건축 전문기업(윈선)과 3D프린팅 건축 기술 제휴를 맺으며 3D프린팅 건축분야에 진출함

3. 결론 및 시사점

○ 국외 3D 프린팅 시장은 2013년 25억 달러에서 2018년 162억 달러까지 성장할 것으로 예측되고 있음.

○ 국외 시장점유율은 건축분야가 전체의 3%정도 이고, 한국은 전체의 2.2.%정도를 점유하고 있음.

○ 국내 3D 프린팅 시장규모는 2012년 약 300억 원으로 추정되고 있지만, 국내 3D 프린팅 활용 산업별 시장점유율 및 전망이 정량적으로 파악되지 못하는 실정임.

○ 국내 시장 내 활용되는 3D 프린터의 90%가 수입할 정도로 국내 기술력이 상당히 미흡한 실정임. 이는 3D 프린팅 선진국/기업 들이 전체 시장을 주도하기에 3D 프린팅 장비, 소재, 소프트웨어 등의 개발에 대한 진행이 어려운 상황임.

○ 이에 따라, 3D 프린팅 기술개발 후발 주자로써, 제조업 관련 기술개발뿐만 아니라, 시장 선점을 위해 3D 프린팅 기술 활용이 미흡한 건축분야의 3D 프린팅 관련 원천기술개발에 집중할 필요가 있음.

○ 현재까지 건축물을 출력할 수 있는 3D 프린팅 기술이 전무하기에 인간이 거주 및 사용할 수 있는 적정규모의 구조체를 출력할 수 있는 건축분야의 특화된 3D 프린터 개발이 필요함.

○ 또한, 3D 프린터로 출력된 건축물이 기존 건축물 성능을 구현하기 위해 장비개발뿐만 아니라, 동시다발적으로 설계 및 시공기술, 소재 등의 관련 기술개발이 필요함.

13) IRS Global, '3D 프린팅(프린터, 소재) 시장, 기술 전망과 국내외 참여업체 사업전략 ', 2013

제3절 기술동향분석

1. 특허 동향 분석

가. 3D 프린팅 기술 관련 특허 현황

(1) 국가별 3D 프린팅 기술 관련 특허 현황 조사

○ 본 연구에서는 국가별 3D 프린팅 기술 관련 특허 조사를 위하여 약 1억 건의 특허 데이터베이스를 구축한 지식재산 전문기업인 WIPS(Worldwide Intellectual Property Service)내 ‘wips on’을 통해 특허청 지정 선행기술 전문조사 기관의 특허정보 검색 및 기술 현황을 파악하였음.

[표 6] 검색 DB 및 검색 범위

자료 구분	국가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록 특허 (특허출원일 기준)	한국	WIPS	1995.01.01 ~ 현재 (2015.01)	특허공개 및 등록공고/등록 전체문서
	미국			특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표), 및 등록 전체문서
	유럽			특허공개 및 등록 전체문서

출처 : WIPS 특허정보검색서비스 DB

[표 7] 검색 키워드 및 로우데이터

기술분야	검색 키워드	국가				
		KR	US	JP	EP	합계
3D 프린팅	((3D* three-D (three-dimension) 3d 3차원) and (프린팅 프린트 (printing print))	1,369	2,326	1,146	317	5,158

출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

[표 8] 국가별 유효데이터

기술분야	국가				
	KR	US	JP	EP	합계
3D 프린팅	1,267	2,204	995	258	4,724

출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

○ 특허 검색 DB 대상 및 검색 범위

- 본 분석에서는 한국, 미국, 일본 및 유럽의 공개/등록 특허를 분석 대상으로 하여, 각 기술 트리에 부합하는 유효특허를 추출하였고, 1995년 1월 1일부터 2015년 현재까지 출원 공개 및 등록된 특허를 분석 대상으로 하였음.

○ 검색 키워드 및 로우데이터

- 본 분석에서는 3D 프린팅 기술에 대한 핵심 키워드를 추출하여 검색 키워드를 작성하였으며, 작성된 키워드를 WIPS DB에 적용하여 총 6,697건의 로우데이터를 추출하였음.
- 키워드를 이용한 키워드 입력 시 중요 특허를 누락시키지 않도록 하기 위하여 외래어나 외국어, 동의어 및 유사어, 단복수, 변화형, 하이픈(-), 절단자(*) 등 여러 가지 표현을 고려하여 작성하였음.

○ 유효데이터

- 국제 특허분류, 발명의 명칭, 요약 및 특허청구 범위를 참조하여 총 5,158건의 로우데이터에서 노이즈에 해당되는 건을 제거하는 방식을 통해 총 4,724건의 유효데이터를 추출하였으며, 국가별 연도별 출원 건수는 표 15과 같음.

○ 특허기술 현황 조사

- 특허기술 현황에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 주요 국가 기술 개발 활동 현황, 구간별 출원인수와 출원 건수의 증감 정도의 분석을 통한 기술 시장 성장단계 등의 확인을 통해 국가 간 기술 경쟁력 현황을 조사하였음.
- 상위 Top 10의 출원인 도출을 통하여 주요 경쟁자 현황 및 IP로 주요 시장 국가를 분류하고, 주요 경쟁자들의 최근 3년 증감률을 통해 주요 경쟁자들의 최근 기술 개발 상황과 신규 시장 진입자를 파악하였으며, 상위 Top 10 경쟁자들의 연도별 기술개발 현황을 조사하였음.

[표 9] 연도별 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원 건수

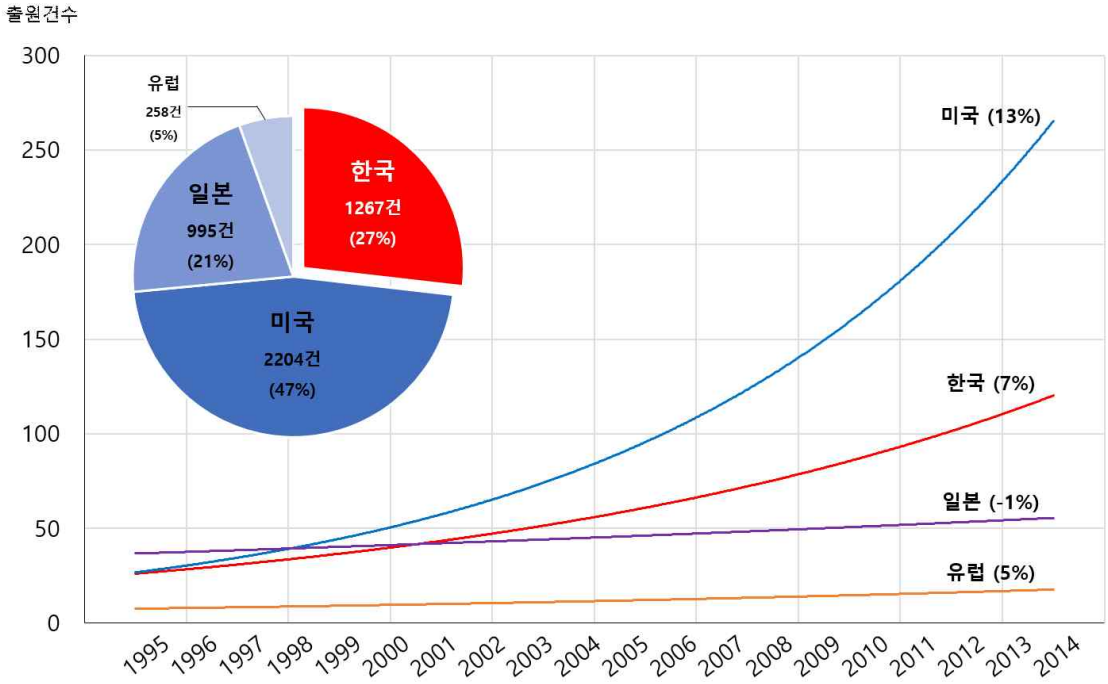
단위: 건수

해당연도	한국 (KR)	미국 (US)	일본 (JP)	유럽 (EP)	합계
1995	30	23	56	14	123
1996	29	27	45	14	115
1997	25	38	28	8	99
1998	21	20	41	8	90
1999	33	26	37	4	100
2000	44	55	53	8	160
2001	49	56	49	6	160
2002	34	74	41	13	162
2003	54	100	37	16	207
2004	47	163	50	14	274
2005	67	143	40	14	264
2006	51	167	45	11	274
2007	61	208	35	19	323
2008	78	171	50	19	318
2009	76	141	56	13	286
2010	141	179	97	19	436
2011	163	205	96	17	481
2012	137	175	83	20	415
2013	90	162	44	16	312
2014	37	71	12	5	125
합계	1,267	2,204	995	258	4,724

출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

(2) 연도별 3D 프린팅 기술 관련 특허 보유국가 현황

○ 3D 프린팅 기술 분야 관련 특허 주요 보유 국가의 연도별 특허 점유율 및 증가율은 그림 19와 같음.



출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

[그림 12] 국가별 특허 점유율과 증가율

○ 3D 프린팅 기술 관련 특허 검색 결과, 해당 기술 분야의 관련 특허는 2000년을 기점으로 2010년까지 지속적인 성장곡선을 보이고 있음.

- 3D 프린팅 기술 관련 기기의 상용화 및 보급형 제품이 출시되고, 기존 산업용 샘플 위주로 찍어내던 기술에서 시계, 신발, 휴대전화 케이스, 자동차 부속품까지 3D 출력이 가능한 기술이 개발되어 발전하는 시기와 일치함.

○ 3D 프린팅 관련 기술은 2010년을 기점으로 감소세를 보이고 있으나, 2015년 세계시장 조사기관들은 '가장 주목받는 IT기술' 중 하나로 선정되어 지속적인 증가세가 전망됨.

- 2013년 미국 오바마 정부가 제조업 부흥을 위한 10대 핵심 제조기술로 선정하였고, MIT, 맥킨지(Mckinsey Global Institute), 다보스포럼의 '유망 기술 글로벌 어젠다 카운슬' 등에서 주목받는 기술로 선정됨에 따라 지속적인 연구개발 및 특허 출원이 발생될 것으로 판단됨.

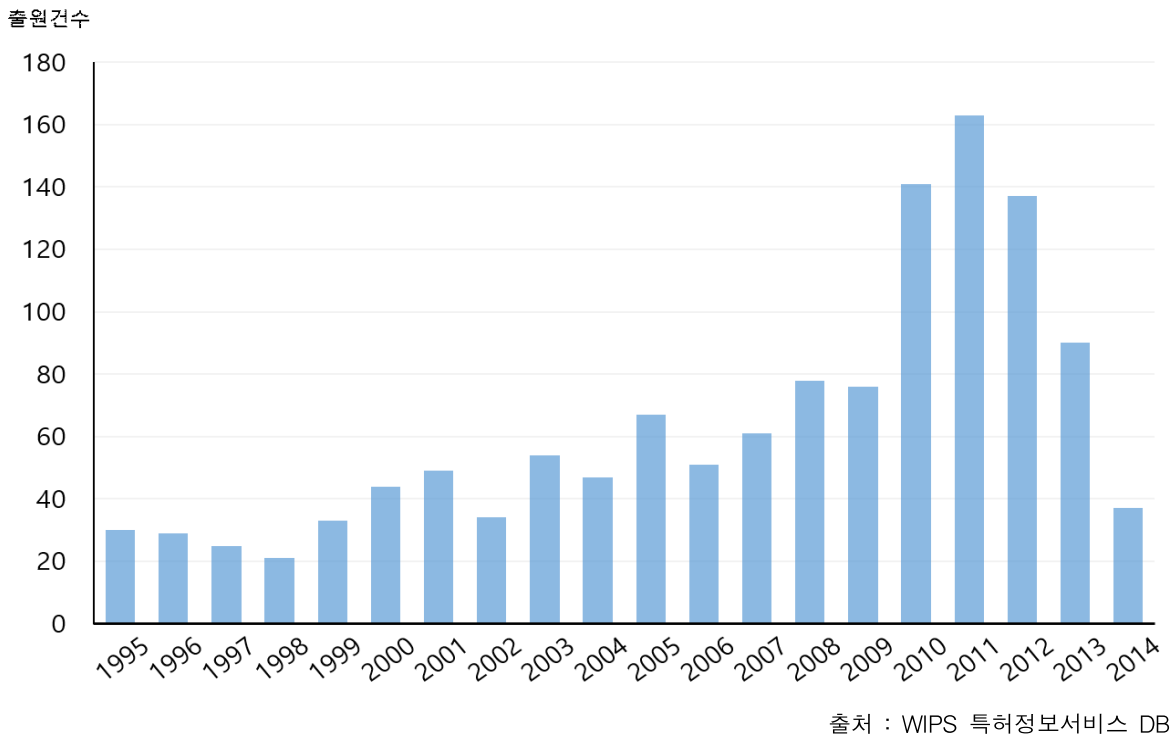
- 미국 IT분야 Research&Advisory 전문업체인 'Garther'는 3D 스캐너 및 디자인 도구 관련의 발전으로 3D 프린팅 기술이 단기 제조 분야를 포함해 건설, 엔지니어링, 토목, 의료 분야 등으로 확대될 것으로 전망함에 따라 3D 프린팅 관련 특허는 향후에도 지속적으로 출원될 것으로 보임.

○ 특허 문헌은 특허 출원 후 1년 6개월이 경과한 후에 출원 정보가 공개되므로, 2013년 이후의 감소세는 미공개 특허출원이 공개되는 시점에 회복될 가능성이 있을 것으로 판단됨.

(가) 국가별 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원 현황

① 한국

○ 한국은 총 1,267건의 3D 프린팅 기술 관련 특허를 보유하고 있으며, 특허 출원 건수는 그림 20과 같음.



출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

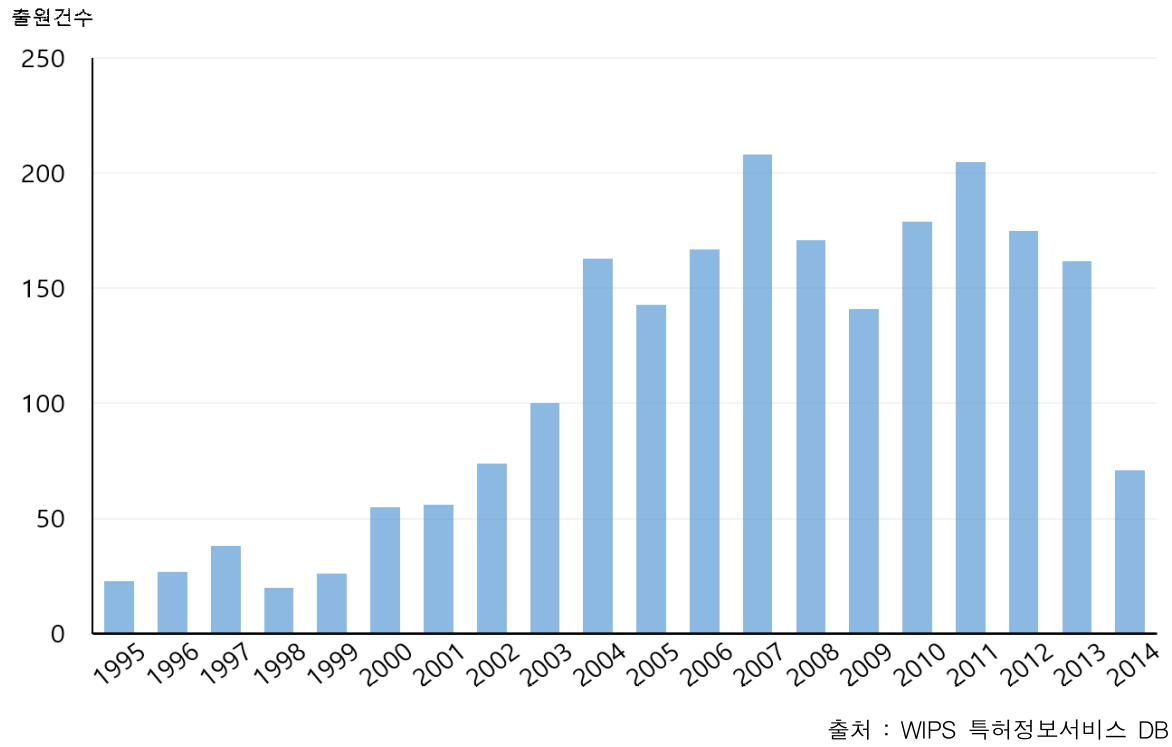
[그림 13] 연도별 한국 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원 건수

○ 한국의 경우 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원이 1995년에 30건을 넘지 못하나, 1999년부터 33건을 시작으로 소폭 증가하기 시작하였음.

- 매년 약 50~70건의 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원을 하였으며, 2000년 44건을 기점으로 증가세를 보이기 시작함. 이후 2009년 76건에서 2010년에 141건으로 출원 건수가 약 86%의 가장 큰 폭으로 증가하였으며, 2011년에 163건의 출원을 하며 현재까지 가장 많은 특허 출원을 하였음. 그러나 2012년부터 다시 특허 출원 건수가 감소하는 것을 확인할 수 있음.
- 1995년부터 2014년까지 평균 63.35건의 특허 출원 건수를 기록하고 있음.
- 한국의 경우, 최근 3D 프린팅 기술 관련 특허의 출원 비율이 점차 높아지고 있으나, 선진국에 비하여 출원 건수가 매우 적으므로 앞으로 정부의 시장점유율을 높일 수 있는 산업의 전략적인 지원 정책 및 투자가 필요할 것으로 판단됨.

② 미국

○ 미국은 총 2,204건의 3D 프린팅 기술 관련 특허를 보유하고 있으며, 특허 출원 건수는 그림 21과 같음.



출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

[그림 14] 연도별 미국 3D 프린팅 관련 특허 출원 건수

○ 미국은 가장 독보적인 특허 출원 건수 및 성장세를 보이며, 매년 한국 대비 약 2~3배의 3D 프린팅 기술 관련 특허를 출원해왔음.

- 실제로 3D 프린팅 기술관련 전체 특허 출원 건수(5158건) 중 미국이 보유한 특허는 1658건으로 32.14% 비중을 차지하고 있음.
- 또한, 미국 내 특허 출원 건수(2326건) 중 여타국가 국적 출원인이 815건으로 35.04% 비중을 차지하고 있는 실정이기에 현재까지 3D 프린팅 기술관련 특허 출원 건수는 미국이 압도적으로 시장을 주도하고 있음.

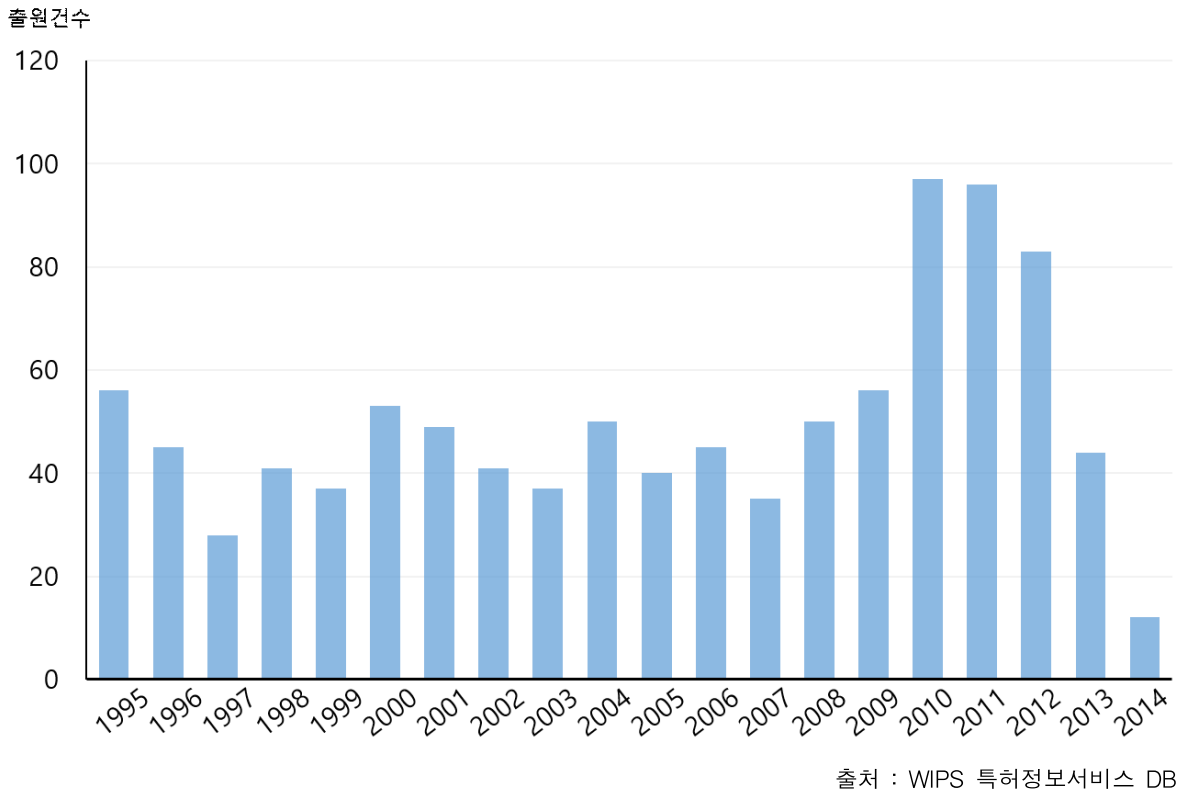
○ 3D 프린팅 기술 관련 특허 보유업체 중 1, 2위를 차지하고 있는 ‘Stratasys’와 ‘3D Systems’가 미국 기업임을 감안하면, 향후에도 3D 프린팅 기술개발에 있어 미국의 강세는 지속될 것으로 판단됨.[14]

○ 이에 따라, 전략적으로 시장점유율을 높일 수 있는 3D 프린팅 기술개발이 가능한 산업별 핵심분야를 파악하는 것이 필요할 것으로 판단됨.

14) 그림26 참조

③ 일본

○ 일본은 총 995건의 3D 프린팅 기술 관련 특허를 보유하고 있으며, 특허 출원 건수는 그림 22와 같음.



출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

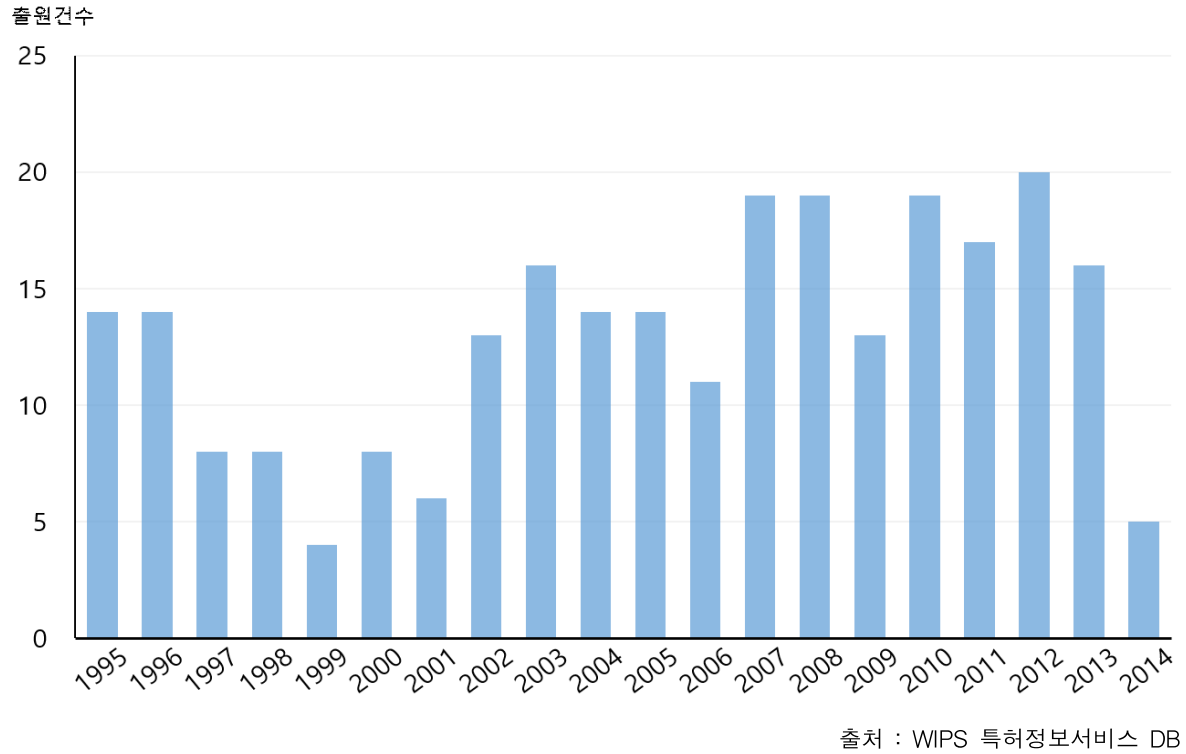
[그림 15] 연도별 일본 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원 건수

○ 일본의 경우, 1995년에 56건으로 2000년까지 미국(23건)보다 상대적으로 더 많은 특허 출원 건수를 기록하였고, 1995년부터 2009년까지 연평균 44.2건의 출원 건수가 지속되고 있음.

- 일본에서 1980년 4월, 코다마 히데오가 (나고야 공업 시험소) 출원한 액상광경화 수지를 고체층으로 형성하여 제품으로 만드는 '특개 소 56-144478 : 입체 도형 작성 장치'가 3D 프린터의 시초였으며, 이후 파생적으로 많은 특허들이 출원되기도 하였음.
- 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원 건수가 2009년(56건) 대비 2010년(97건)에 약 73%의 증가율을 보이며, 가장 많은 특허 출원 건수를 기록하였고, 2011년에 96건의 특허 출원을 기록하면서, 이후로는 특허 출원 건수가 감소하고 있는 추세임.

④ 유럽

○ 유럽은 총 258건의 3D 프린팅 기술 관련 특허를 보유하고 있으며, 특허 출원 건수는 그림 23과 같음.



출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

[그림 16] 연도별 유럽 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원 건수

○ 유럽의 경우, 1995년에 특허 출원 건수가 14건을 시작으로, 1997년 8건으로 해당 연도 다른 국가들(한국: 25건, 미국: 38건, 일본: 28건)에 비하여 낮은 특허 출원 건수를 기록하였으며, 1995년부터 2014년까지 연간 20건을 넘지 않는 특허 출원 건수를 보이고 있음.

- 3D 프린팅 기술관련 특허 보유업체 중 상위 1,2위를 차지하고 있는 미국 국적의 기업인 3D시스템스(3D Systems)와 스트라타시스(Stratasys)의 경우에도 유럽 및 일본을 비롯하여 다수의 지역에서 3D 프린팅 기술 관련 특허를 출원 중임.

(나) 3D 프린팅 기술 관련 특허 보유 주요 국가 출원인/기관 현황

○ 각 국가별 3D 프린팅 기술 관련 특허의 주요 출원인을 조사한 결과, 미국 출원인이 각 국가별 최상위 특허 출원 건수를 기록하고 있음.

- Z CORP, 3D시스템스(3D Systems), 스트라타시스(Stratasys)가 가장 활발한 특허 출원 활동을 보이고 있음.

- 상기의 주요 기업들은 자국 내의 특허 출원 뿐만 아니라, 타국가 내 특허 출원 활동도 활발히 진행 중이며, 3D시스템스(3D Systems)와 스트라타시스(Stratasys)는

해외 특허 출원 건수의 70% 이상이 유럽에 집중되어 있고, Z CORP의 경우, 해외 출원의 60%가 한국, 일본, 중국 등 아시아에 집중되어 기업별 전략적 활동 국가가 구분되어 있는 실정임.

○ 산업용은 3D시스템스(3D Systems)와 스트라타시스(Stratasys)가, 개인용은 렙랩과 메이커봇이 3D 프린팅 기술 시장을 독과점하고 있음.

[표 10] 3D 프린팅 기술 관련 특허 등록 및 출원 주요 국가 출원인/기관현황

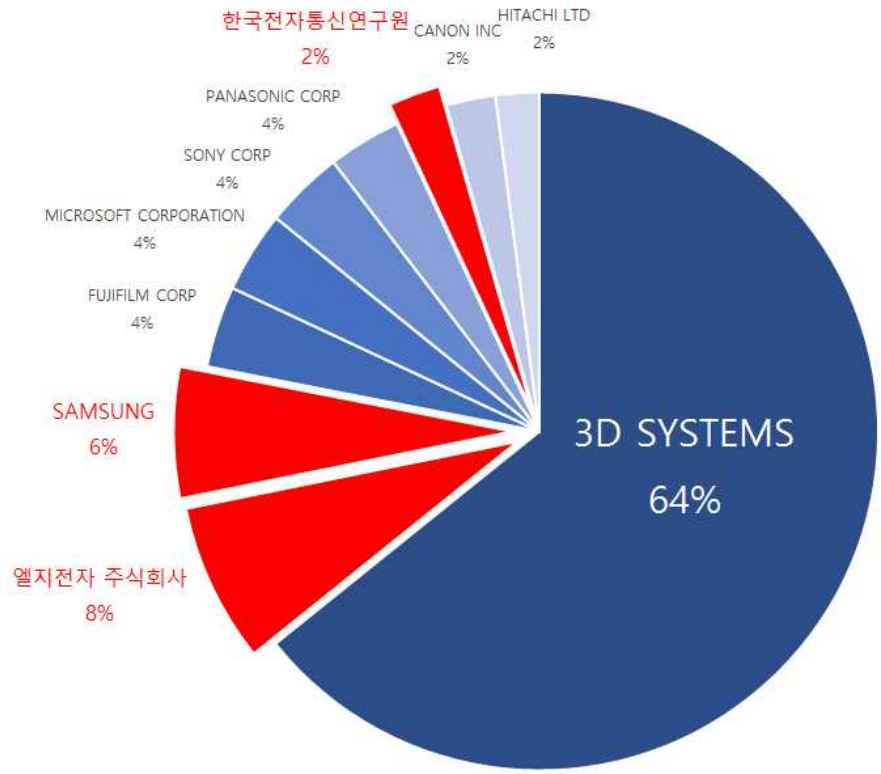
순위	미국 USPTO		유럽 EPO		한국 KIPO		중국 SIPO		일본 JPO	
	출원인/기관	건	출원인/기관	건	출원인/기관	건	출원인/기관	건	출원인/기관	건
1	3D SYSTEMS	248	3D SYSTEMS	153	한국기계연구원	48	STRATASYS	17	3D SYSTEMS	45
2	STRATASYS	122	STRATASYS	49	Z CORP	35	Z CORP	13	TOHO TITANIUM	25
3	Z CORP	105	M.I.T	45	POSTECH	22	SUZHOU CHAOSHENG PRINTING AND PLATE MAKING INDUSTRY	12	Z CORP	20
4	M.I.T	88	Z CORP	44	한국과학기술원	22	ENVISION TECHNOLOGIES	9	MIMAKI ENGINEERING	20
5	SILVERBROOK RESEARCH PTY	55	ENVISION TECHNOLOGIES	20	VANTICO	16	3D SYSTEMS	8	TOPPAN PRINTING	18
6	OBJECT GEOMETRIES	42	OBJECT GEOMETRIES	16	손정오	8	HUAZHONG SCIENCE AND TECHNOLOGY UNIV	7	HUNTSMAN INTERNATIONAL	16
7	JOHNSON & JOHNSON PROFESSIONAL	39	JOHNSON & JOHNSON PROFESSIONAL	13	KIWA CHEMICAL INDUSTRY	7	EZER EREM	6	DAINIPPON PRINTING	15
8	ENVISION TECHNOLOGIES	32	NEDERLAND SEORGANISATIE VOR TOEGEPAST-NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK TNO	13	3D SYSTEMS	6	SHANGHAI JETCOAT CORP	6	KOBE STEEL	15
9	SOUTHPAC TRUST INTERNATIONA	28	MIMAKI ENGINEERING	10	HEWLETT-PACKARD DEVELOPMENT	6	SUN YAT-SEN UNIV	6	HEWLETT-PACK ARD DEVELOPMENT	14
10	XEROX CORP	21	EVONIK DEGUSSA	8	홍국선	6	JILIN UNIV	5	MATSUSHITA ELECTRIC	13

출처: 한국지식전략개발원(2014)[15]

15) 한국지식전략개발원은 특허출원 건수를 조사대상에 포함하였기에 국가별 특허 출원 건수를 조사한 통계 자료의 수치가 본 연구기관과의 조사 통계 수치가 상이함.

(다) 출원인/기관별 3D 프린팅 기술 관련 특허 보유 현황

○ 3D 프린팅 기술 관련 분야의 주요 특허 출원인의 점유율은 그림 24와 같음.[16)]



출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

[그림 17] 주요 기업의 3D 프린팅 기술 관련 특허 점유율(출원인/기관)

[표 11] 3D 프린팅 기술 관련 특허 보유 출원인/기관 Top 10

출원인	소재 국가	출원 국가				
		EP	JP	KR	US	합계
3D SYSTEMS	US	50	0	7	1085	1142
엘지전자 주식회사	**KR**	**0**	**0**	**135**	**0**	**135**
SAMSUNG	**KR**	**1**	**0**	**110**	**0**	**111**
FUJIFILM CORP	JP	0	69	0	0	69
MICROSOFT CORPORATION	US	1	0	0	68	69
SONY CORP	JP	0	67	0	0	67
PANASONIC CORP	JP	0	62	0	0	62
한국전자통신연구원	**KR**	**0**	**0**	**44**	**0**	**44**
CANON INC	JP	0	42	0	0	42
HITACHI LTD	JP	0	37	0	0	37

출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

16) 기업명이 아닌 개인명으로 특허를 출원하는 경우가 발생되어, ‘Stratasys’의 경우 21건으로 검색되어 3D 프린팅 기술관련 특허 점유율에서 제외되었음.

○ 최다 출원 기업으로 조사된 3D시스템스(3D SYSTEMS)의 경우 현재 3D 프린팅 시장에서 특허 주요 출원 국가를 대상으로 다수의 패밀리(연계) 특허를 출원하여 관리하고 있음.

- 그러나 국내 출원인의 경우에는 엘지전자 주식회사, SAMSUNG 및 한국전자통신연구원의 수치를 통하여, 대부분 자국에서 특허를 출원하여 자국 내 시장을 점유하기 위한 것으로 판단할 수 있음.

○ 미래기술연구센터(ETRC)와 특허DB 전문업체 광개토연구소 등의 조사기관에서는 미래 3D프린터 시장 판도를 좌우할 '핵심 기술 Top9'을 발표하였음.

[표 12] 미래 3D프린터 시장 핵심 기술 Top 9

기술명	주요 내용
컴퓨터 그래픽 처리 기술	·3D 형상을 컴퓨터 상에서 구현하는 그래픽 처리 기술
3D 형상 제조법	·3D 프린팅에 관한 원리 및 장치에 관한 기술로 3D 프린팅을 통해 3차원 형상을 만드는 기술
스테레오 리소그래픽 형상 기술	·액체 상태의 수지에 레이저를 조사해 고체 상태의 형상을 제조하는 기술
방사 에너지 적용 기술	·레이저 또는 전자빔을 직접 작업에 활용하기 위한 방식
방사 에너지 애플리케이션 기술	·레이저 또는 전자빔을 물체에 조사하며 작업하는 응용 기술
잉크젯 메커니즘 및 제어	·잉크젯 방식으로 물질을 토출해 내는 기술로 FDM의 헤드 제어 기술에 활용
적층형 몰딩 기술	·한층씩 쌓아가면서 입체형상을 만드는 기술로 일반적인 3D 프린터 제품에 활용
이동형 패턴 제어	·3D 프린팅을 위한 프린터 헤드 또는 3D 프린팅되는 물체를 올려놓는 플랫폼의 이동을 제어하는 기술
3D 프린팅 소재	·레이저 조사에 의해 고체로 변하는 액상수지와 열을 가하면 녹는 열가소성 수지 등 3D 프린티에 사용되는 소재 기술

출처 : 전자신문 미래기술연구센터(ETRC)

○ 컴퓨터 그래픽 처리 기술

- 3D 형상을 컴퓨터 상에서 구현하는 그래픽 처리 기술을 말하며, 최근 1년간 특허 거래가 가장 많은 기술로 분석되었음. 최근 1년간 거래된 특허의 수는 24건으로, 이는 3D프린터 주목 기술 중 가장 높은 수치임. 현재 3D시스템즈(3D Systems)의 경우 관련 특허를 27건 보유하고 있음.

○ 3D 형상 제조법

- 현재까지 총 71건의 특허가 등록되어 특허 등록이 가장 많은 기술로 분석되었음. 최근 3년 동안에만 19건의 특허가 등록되었으며 이는 3D프린터 핵심 기술 중 가장 높음. 3D시스템스(3DSystems)는 관련 특허를 43건, 스트라타시스(Stratasys)는 19건 보유하고 있음.

○ 스테레오 리소그래픽 형상 기술

- 액체 상태의 수지에 레이저를 조사해 고체 상태의 형상을 제조하는 기술임. 최근 1년간 특허 출원이 가장 급등한 기술로 분석되었으며, 최근 1년간 출원된 특허수는 총 6건으로 3D프린터 핵심 기술 의 최근 1년간 평균 출원 특허수가 2.7건임을 감안할 때 상대적으로 높은 수준임. 3D시스템스(3DSystems)는 관련 특허를 37건, 스트라타시스(Stratasys)는 3건 보유하고 있음.

○ 방사 에너지 적용 기술

- 레이저 또는 전자빔을 직접 작업에 활용하기 위한 방식으로, 지난 10년간 등록된 특허수가 총 20건이며, 이 중 7건이 최근 3년 내 등록이 되었음. 이 기술은 지난 3년간 관련 기업들로부터 총 267건 인용되는 등 3D프린터 핵심 기술로 주목받고 있음.

○ 방사 에너지 애플리케이션 기술

- 레이저 또는 전자빔을 물체에 조사하며 작업하는 응용 기술로써, 최근 3년간 13건의 특허가 등록되었으며, 3D시스템스(3DSystems)와 스트라타시스(Stratasys)는 관련 특허를 각각 22건, 13건 보유하고 있음. 특히 방사에너지 기술은 최근 3년간 관련 업체들로부터 총 139건 인용되는 등 최근 영향력이 높은 3D프린터 기술로 평가받았음.

○ 잉크젯 매커니즘 및 제어 기술

- 3D프린터 전통 방식 중 하나인 압출적층방식(FDM)의 헤드 제어에 속하며 주로 재료를 뿌릴 때 활용되는 기술로써, 최근 1년간 거래가 가장 활발한 영역으로 나타났으며, 지난해에만 총 18건의 특허가 거래됨. 3D시스템스(3DSystems)와 스트라타시스(Stratasys)는 잉크젯 매커니즘 및 제어기술 관련 특허를 각각 25건, 4건을 보유중임.

○ 적층형 몰딩 기술

- 소재를 한층씩 쌓아가면서 입체 형상을 만드는 기술로 압출적층방식(FDM)에 해당되며, 최근 개인용 3D프린터에서 주로 활용되고 있음.
- IP 분쟁 리스크[17]가 가장 급등한 기술로써, 지난해에만 관련 총 9건의 소송이 발생함. 이는 미래 3D프린터 핵심 기술 가운데 가장 높은 수치이며, 현재 3D프린터 시장이 초기 단계로 소송 수가 높지 않지만, 향후 특허 소송 발생 가능성이 높은 기술로 분석되고 있음.

○ 이동형 패턴 제어 부분

- 3D프린터 헤드 또는 물체를 올려놓는 플랫폼의 이동을 제어하는 기술로써, 3D프린터 핵심 기술 중에서 IP Activity(피인용지수)가 활발한 특허임. 3D시스템스(3DSystems)와 스트라타시스(Stratasys)는 이 기술의 관련 특허를 각각 24건, 10건 보유하고 있음.

○ 3D프린팅 소재 기술

- 최근 3년간 특허가 급등하였으며, 현재 총 57건의 특허가 등록되었음. 이 가운데 19건 특허가 최근 3년 사이 등록되었으며, 3D시스템스(3DSystems)는 3D프린팅

17) 특허 소송이 빈발하거나, 발생 가능성이 높아진 기술

소재 기술 관련 특허를 24건, 스트라타시스(Stratasys)는 7건을 보유하고 있음.

○ 3D프린터 기업을 분석한 결과 3D시스템스(3DSystems)는 전체 보유 특허 417개 중 58.7%가, 스트라타시스(Stratasys)는 보유 특허 156개 중 44.2%가 미래 3D 프린터 핵심 기술에 포함되어 있음. 그 외 3D프린터 전문기업들도 평균 60%대의 관련 특허 기술을 보유하고 있음.

- 대표적인 사례로 스트라타시스(Stratasys)가 보유한 객체(Object) 프린터 기술이 있으며, 이 기술은 프린터 헤드를 여러 개 만들어 최대 18개 물질까지 한꺼번에 출력할 수 있도록 해주는 기술로써, 프로토타입을 대량으로 제작하는 데 유용한 기술임.
- 이외에도 스트라타시스(Stratasys)와 3D시스템스(3DSystems) 등의 소수 주요 업체들이 보유한 수많은 특허권 때문에 3D 프린터 업체들이 여전히 쉽게 제품을 만들지 못하고 있음.
- 전자 프론티어 재단(EEF)을 비롯한 많은 단체들이 3D 프린팅 기술을 오픈소스로 만들기 위해 노력하고 있지만 특허 문제가 쉽게 풀리지는 않고 있음.

(라) 3D 프린팅 기술 관련 특허의 만료 및 소송 사례

○ 3D 프린팅 기술 관련 보유기관별 만료된 3D 프린팅 기술 관련 특허 건수는 표 18과 같음.

[표 13] 2014년 기준 3D 프린팅 기술 관련 특허 만료 현황

기업	FDM	SLS	SLA	DLP	기타	재료	합계
3D SYSTEMS	-	17	52	-	4	2	75
STRATASYS	9	-	-	6		1	16
DSM DESOTECH	-	-	5	-	1	-	6
HUNTSMAN INTERNATIONAL	-	-	20	-	-	2	22
ZUCKER	5	-	-	-	-	-	5
UNIVERSITY of TEXAS	-	5	-	-	-	-	5

출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

○ 지난 2009년 스트라타시스(Stratasys)가 보유한 압출적층방식(FDM: Fused Deposition Modeling) 특허가 만료되면서 렙랩(RepRap)과 같은 오픈 소스 프로젝트가 가능해졌음.

- FDM은 필라멘트 형태의 플라스틱 소재를 녹여 노즐을 통해 분사, 재료를 층층이 쌓아 물체를 만드는 방식으로, 이 특허의 만료로 인하여 저가 3D프린터 시장이 확대되기 시작했으며, 국내 기업의 3D 프린터 제품을 쉽게 만날 수 있게 되었음.
- 특허 만료 이전에는 FDM 3D프린터 가격이 수천만원에 달했으나 특허가 만료된 현재 다양한 저가 3D프린터가 출시돼 개인용 시장이 활성화되었음.
- FDM 방식 특허는 3D프린터 선도 기업인 스트라타시스(Stratasys)가 가장 많이 보유했고, 현재까지 9건이 만료됐으며, 향후 3년 내 1건이 추가적으로 만료될 예정임.

○ 2014년 2월에는 3D시스템스(3DSystems)가 보유한 선택적 레이저소결조형방식(SLS: Selective Laser Sintering)의 주요 핵심 특허 만료가 되었음.

- FDM 특허의 만료와 마찬가지로 이를 응용한 제품 활성화 및 가격 하락이 예상됨. 이에 미국, 독일 등 주요 장비 제조기업 이외에도 후발 주자들의 연구개발(R&D)과 특허 기술 확보 움직임이 가속화되고 있는 추세이며, 3D 프린터 시장의 성장도 유지될 것으로 판단됨.
- 특히 SLS 방식은 FDM 방식이 단순히 플라스틱 정도에만 활용했던 것과 달리 금속, 세라믹 등 다양한 소재를 활용할 수 있기 때문에, 이에 따라 금속 소재가 많이 활용되는 자동차, 항공, 선박, 의료 등 제조업 패러다임에 큰 변화가 일어날 전망임.
- SLS 방식 특허는 원천 특허 기술을 보유하고 있던 3D시스템스(3DSystems)가 가장 많이 보유했으며, 그 중 22건이 만료되었음. 향후 3년 내 추가적으로 6건이 만료될 예정임.
- 3D시스템스(3DSystems)는 광경화수지조형방식(SLA:Stereo Lithographic Apparatus) 기술에, 스트라타시스(Stratasys)는 FDM 분야에서 만료 특허가 됨.
- SLA 방식은 액체광경화성수지가 담긴 수조 안에 저전력, 고밀도의 UV 레이저를 투사해 경화시키는 방식으로 정교한 출력이 가능한 것이 특징이며, 각 기업이 FDM과 SLA 방식의 독점 및 선두주자였던 만큼, 이로 인하여 선도기업의 핵심 특허 만료로 후발 기업들은 SLA는 물론 FDM과 SLS 기술 관련 특허 장벽도 약화돼 시장 진입이 보다 쉬워질 것으로 보였음. 또 만료 특허를 다량 보유한 선발기업들은 자본력을 바탕으로 M&A나 특허 매입 등 선점 전략을 펼칠 것으로 예상됨.

○ SLA 방식 특허는 3D시스템스(3D Systems)가 가장 많이 보유했으며, 이 중 현재까지 52건이 만료되었음. 향후 3년 내 31건이 추가적으로 만료될 예정임.

- 지금까지 3D프린팅 대표기업인 3D시스템스(3D Systems)와 스트라타시스(Stratasys)가 보유한 특허 중 각각 75개, 16개가 만료되었음.[18]

○ 선도기업의 핵심 특허 만료로 후발 기업들은 SLA는 물론 FDM과 SLS 기술 관련 특허 장벽도 약화돼 신규 기업의 시장 진입이 보다 쉬워질 것으로 보임.

- 만료 특허를 다량 보유한 선발기업들은 자본력을 바탕으로 M&A나 특허 매입 등 선점 전략을 펼칠 것으로 예상됨.
- 그러나 만료가 된 3D 프린팅 기술 관련 특허 외에도 아직 보유중인 객체 프린터 관련 디자인 핵심 기술 및 주변기술 등은 여전히 선두기업에 종속되어있으며, 사용하려면 거액의 로열티를 물어야 함. 그렇기 때문에 신규 국가 및 기업이 단기간에 선점기업들과 어깨를 나란히 할 수는 없다고 판단됨.

18) IP노믹스 보고서 '3D프린터, 기회인가?, 전자신문 미래기술연구센터(ETRC), 2014.05

[표 14] 2015년 이후 3D 프린팅 기술 관련 특허 만료 예정 현황

기업	FDM	SLS	SLA	DLP	기타	재료	합계
3D SYSTEMS	-	6	31	-	4	-	41
STRATASYS	1	-	-	1	1	-	3
DSM DESOTECH	-	-	1	-	-	-	1
HUNTSMAN INTERNATIONAL	-	-	-	-	-	2	2
ZUCKER	3	-	-	-	-	-	3

출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

○ 향후 3년 내 추가적으로 만료될 3D 프린팅 기술 관련 특허는 3D시스템스(3DSystems)가 41개, 스트라타시스(Stratasys)가 3개 예정되어 있음.

- 3D시스템스(3DSystems)는 광경화수지조형방식(SLA:Stereo Lithographic Apparatus) 기술에, 스트라타시스(Stratasys)는 압출적층방식(FDM: Fused Deposition Modeling) 기술에 만료 특허가 집중되어 있음.

○ 향후 3D프린팅 기술 시장은 선도 기업의 핵심 특허 만료로 인해 이를 응용한 제품 활성화 및 가격 하락이 예상되며, 이에 미국, 독일 등 주요 장비 제조기업 이외에도 후발 주자들의 연구개발(R&D)과 3D 프린팅 기술 관련 특허 기술 확보 움직임이 빨라지고 있음.

○ 실제로 3D시스템스(3DSystems)와 스트라타시스(Stratasys)가 보유한 3D프린터 핵심 만료 특허 가운데 인용수가 많은 특허가 소송에 많이 활용되고 있음.

○ 3D 프린팅 기술 관련 핵심특허를 보유한 기업이나 단체는 해당 핵심특허에 관련된 수많은 개량특허를 보유하여 견고한 특허장벽을 구축하고 있음.

○ 대표적으로 국내 시장 공략에 적극적인 것으로 평가되는 스트라타시스(Stratasys)가 아피니아를 상대로 2013년 미네소타지방법원에 제기한 특허침해 소송이 있음.

- 피고인 아피니아는 마이크로보즈(Microboards Technology, LLC)의 자회사로서 중국에서 3D 프린터(Afinia H-Series)을 수입해서 판매하고 있음.

○ 최근 3년 동안 총 15건의 특허소송이 발생했고, 이 중 3D시스템스(3D Systems)社가 제기한 소송이 7건에 달하고 있음.

○ 3D시스템스(3D Systems)와 스트라타시스(Stratasys)는 국내에도 각각 77건, 12건의 3D 프린팅 기술 관련특허를 보유하고 있으며, 특히 이들 기업은 보유 특허 중 인용수가 많은 특허를 소송에 활용하고 있으므로 이에 대한 주의가 필요함.

○ 또한, 우리나라의 경우, 미국 및 일본, 중국 등에 비해 기술개발 및 특허권 확보가 부족한 상황이므로, 이에 대한 민관 합동의 전략적인 투자 및 마스터플랜 수립이 필요함

○ 3D시스템스(3D Systems)와 스트라타시스(Stratasys)를 필두로 하여, 현재 상용화된 대부분의 3D프린터 주요기술들의 특허가 일부 기업에 의해 독점이 되고 있는 상황임.

- 한때 급속한 성장을 보이며 3D 프린팅에 관한 연구가 진행이 되었으나, 현재 주요 독점기업이 있는 미국의 출원건수 저하로 미루어 기존의 기술은 이미 포화상태에 있다고 볼 수 있음.
- 그러나 3D 프린팅의 필요 및 발전 분야는 여전히 존재하기 때문에 지속적으로 연구 및 실용화는 되고 있으나, 원천기술이 이미 기존 기업에게 권리가 있기 때문에 사용이 여의치 않고, 만료된 기술을 중심으로 하여 개선 제품을 선보여도 연관 특허 및 선점 기업들의 전략으로 인해 활성화되지 못하고 있음.
- 이에 따라, 기존의 기술 및 기업과 부딪히지 않는 새로운 기술의 개발이 필요하며, 이를 통해 신규 특허 출원의 감소를 다시 증가세로 돌릴 수 있는 계기가 될 것으로 판단됨.

나. 3D 프린팅 기술을 활용한 건축 특허 현황

(1) 국가별 주요 3D 프린팅 건축 기술 관련 특허 현황

○ 3D 프린팅 관련하여 조사되었던 기존 자료들에서 건축과 직접적으로 관련된 특허를 추출하였음.

[표 15] 국가별 3D 프린팅 건축 특허 현황

기술분야	국가					
	KR	US	CN	JP	EP	합계
3D 프린팅	1	2	11	0	0	14

출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

[표 16] 국가별 3D 프린팅 건축 특허 내용

국가	출원인	출원번호	특허명
한국	김석문	2014-0191685	3D 프린팅 장치 및 이를 이용한 철골 콘크리트 구조물 시공방법
미국	Madison A. Hamilton	2014-254802	3D Printer Based Product Delivery System and Methods
중국	王紅	2014-10463520	For the building industry 3D printing apparatus
	馬義和	2014-10488260	A 3D printing dry construction decorative thermal insulation structure and method of construction
	CHINA STATE CONSTRUCTION CO	2014-10554607	Cement-based composite material used for 3D printing technology as well as preparation method and application thereof
	SHANGHAI LIWUBAO BUILDING TECHNOLOGY CO LTD	2014-10558243	3D print building mortar workability testing device and application
		2014-10558262	3D printing building mortar plastic deformation performance testing mold and application thereof
	SU YUNSHENG	2014-10452254	3D (Three-Dimensional) printing-based house manufacturing system and method
	CHINA CONSTR 8TH ENG DIVISION	2014-10437818	Concrete shear wall structure based on 3D printing and construction method of concrete shear wall structure
	SHANGHAI CONSTRUCTION GROUP CO	2014-10366431	Self-elevating type 3D printing device and method for building
	UNIV TONGJI	2014-10176698	Architectural engineering construction device based on 3D printing technology and application method
	CHINA CONSTRUCTION STEEL STRUCTURE CORP LTD	2014-10007663	Construction equipment and construction method for constructional engineering
		2014-10009382	Tower-type 3D (three-dimensional) printer and printing method thereof

출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

① 한국

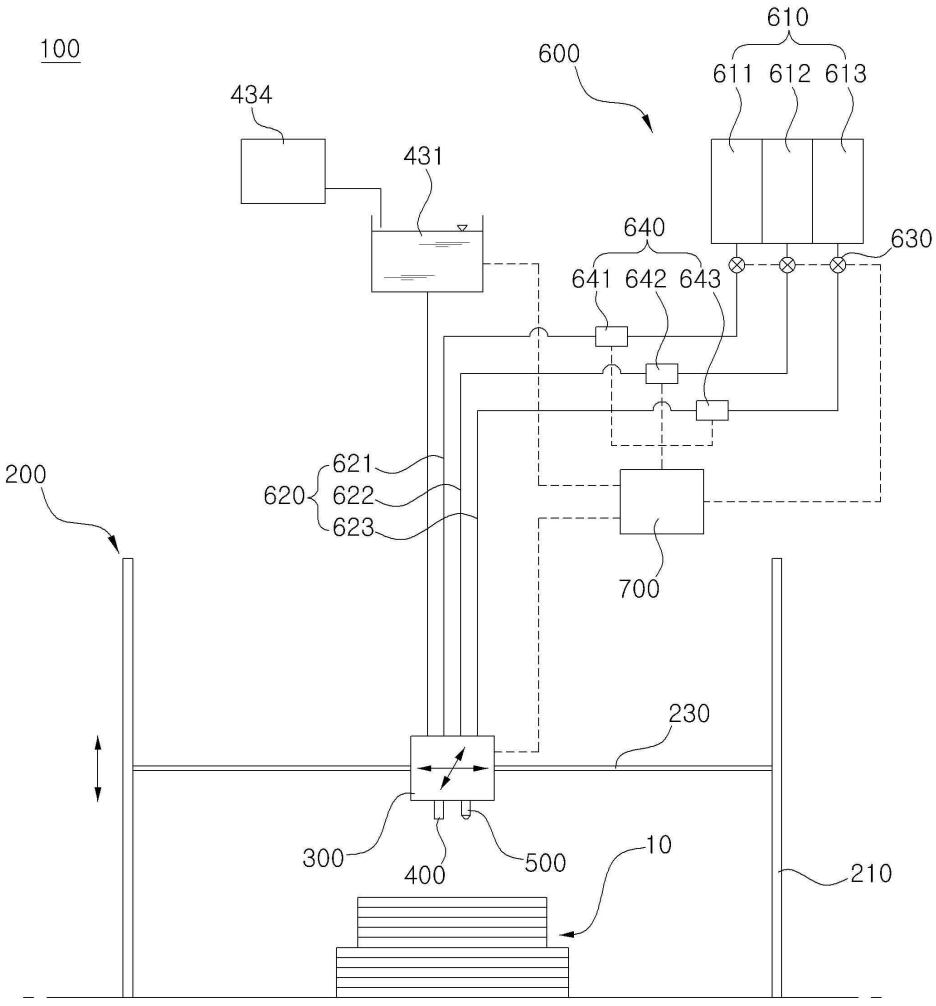
○ 한국은 총 1건의 3D 프린팅 건축 기술 특허를 보유하고 있음.

- 3D 프린팅 장치를 이용한 시공방법에 관한 것으로, 베이스 프레임과, 베이스 프레임의 상부에 설치되는 이동 부위, 프린트 원료를 토출하는 압출헤드, 분말 금속을 분사하는 분사노즐을 포함하는 3D 프린팅 장치 기술을 개발함. 또한, 이를 이용한 시공방법을 출원하였음.

대한민국특허청 (KR)	등록번호	10-1526827
	등록일자	2015년 06월 01일
특허권자	김석문	
발명자	김석문	
발명의 명칭	3D 프린팅 장치 및 이를 이용한 철골 콘크리트 구조물 시공방법	

요약

철골층과 콘크리트층을 평면상에 원하는 형태로 적층을 시켜 3차원 형상의 철골 콘크리트 구조물을 용이하게 제작하는 방법을 개발함. 이때, 평면상에 압출된 콘크리트 혼합물은 마이크로웨이브에 의해 응고 시간이 단축되며, 따라서 생산성이 향상되는 효과가 있음. 또한, 철골층과 콘크리트층의 외곽선을 따라, 합성수지 소재로 경계층을 형성함으로써, 수치 정밀도를 향상시키는 것이 가능함.



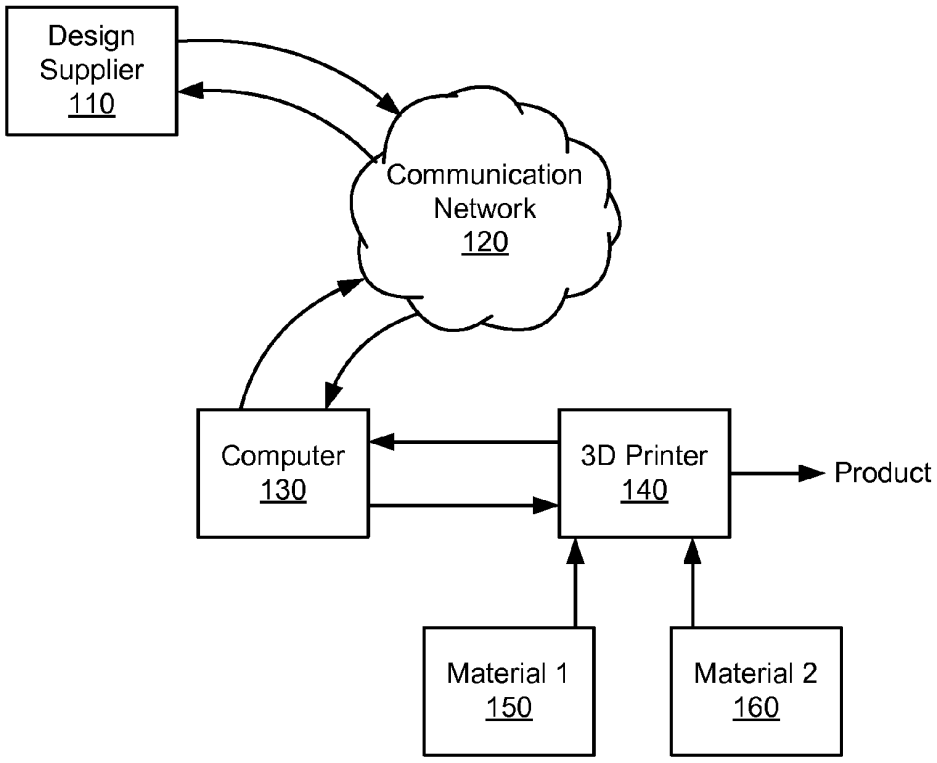
② 미국

○ 미국은 총 2건의 3D 프린팅 건축 기술 특허를 보유하고 있음.

- 미국의 특허는 생산 시스템과 관련된 것으로, 다수의 3D 프린터를 연결하여 제품을 제작하고 전달하는 방식임.

United States Patent Application Publication	등록번호	US2014/0236773
	등록일자	2014년 08월 21일
특허권자	Madison A. Hamilton, Stanton M. Hamilton, Jacob D. Hamilton	
발명자	Madison A. Hamilton, Stanton M. Hamilton, Jacob D. Hamilton	
발명의 명칭	3D Printer Based Product Delivery System and Methods	
요약		

가상으로 온라인상에서 제품을 제공하며, 이를 전달하면 3D 프린터를 사용하여 수신된 위치에서 해당 제품을 제조한다.



③ 중국

○ 중국은 총 11건의 3D 프린팅 건축 기술 특허를 보유하고 있음.

- 중국은 현재 가장 많은 3D 프린팅 건축 기술의 특허를 출원하였으며, 실제로 현재 3D 프린터를 활용한 건설 사례도 다수 존재하고 있음. 3D 프린팅 건축용 재료의 시험 및 기존 콘크리트 재료의 3D 프린터 출력 가능 기술이 있으며, 이를 현장에서 활용하기 위한 타워 3D 프린터 개발 및 시공용 장비 개발과 공법 개발 등으로 다양하게 출원을 하고 있음.

中華人民共和國國家知識産權局	등록번호	201410463520.6
	등록일자	2014년 09월 12일
특허권자	人青島尤尼科技有限公司	
발명자	王紅	
발명의 명칭	For the building industry 3D printing apparatus	

요약

건축에 활용되는 3D 프린터에 사용되며, 주요 구조, 인쇄 헤드 장치, 제어 유닛, 데이터 처리 유닛을 포함한 기술을 개발함. 이 특허는 건축 시공 효율을 향상시키는 것에 목적을 두고, 건축자재의 절약과 비용을 절감하여 건축 시공 환경 개선을 목적으로 함.

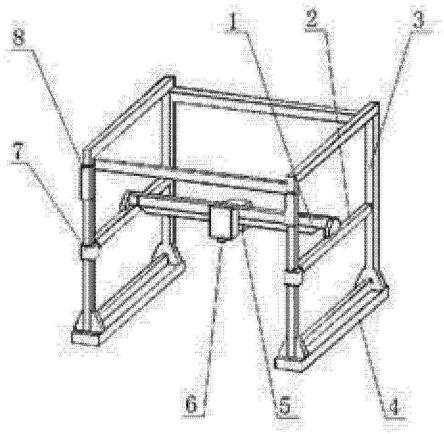


图 1

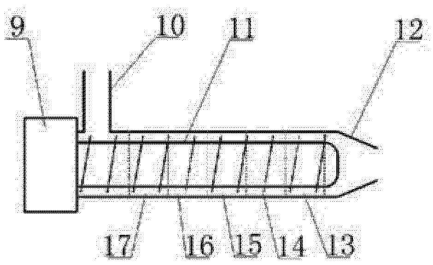


图 2

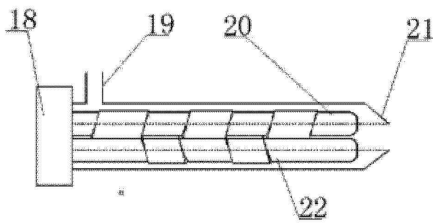


图 3

中華人民共和國國家知識産權局	등록번호	CN 104310918 A
	등록일자	2015년 01월 28일
특허권자	CHINA STATE CONSTRUCTION CO	
발명자	藺喜强, 李景芳, 張濤, 霍亮, 張楠, 廖娟, 李國友	
발명의 명칭	Cement-based composite material used for 3D printing technology as well as preparation method and application thereof	

요약

3D 프린팅 기술의 시멘트 복합 재료의 제조 방법을 개발함. 이를 통하여 건축용 3D 프린터를 활용한 건축물 시공에 응용이 가능함. 복합 시멘트 재료로써 시공편의성을 확보하고 대량으로 응용이 가능하며, 비용이 절감되므로 에너지 절약 및 환경 보호가 가능함. 응결 시간이 빠르고, 강하고, 응집성이 좋기 때문에 안정적인 3D 프린팅 건축 시공의 연속성과 건축 강도의 요구를 만족시킬 수 있음.

본 발명은 사용되는 시멘트 계 복합 3 차원 프린팅 기술에 특히 3D 인쇄 재료 기술의 분야에 관한 재료의 사용 및 제조 방법을 설명함.

3D 프린팅 시멘트 복합재료의 성분 비율은 다음과 같음.

시멘트 : 33% ~ 40%
무기분말 : 0% ~ 8%
모래 : 32% ~ 38%
고분자 : 2.5% ~ 3.0%
복합경화제 : 0.2% ~ 1%
안정제 : 1% ~ 2%
촉진제 : 0.5% ~ 1.5%
감수제 : 0.1% ~ 0.5%
혼합물 : 16.7% ~ 20%

3D 프린팅 시멘트 복합 재료의 제작을 위해서는 8가지의 항목을 만족하여야 함.

건축물 본체의 완공 후 콘크리트는 강도 높은 대리석의 질감과 유사함. 일반 시멘트 사용 콘크리트 건축물은 구성 물질과 혼합하는 구체적인 방법을 통하여 3D 프린팅으로 시공할 필요가 있음.

기존의 일반적인 시멘트 재료는 초기 설정 시간 6-10h, 최종 경화 시간 24 시간이 필요하였음. 3D 프린팅 공정은 단기간에 금속 재료의 성능 및 유동성의 요건을 충족하지 못하였음.

中華人民共和國國家知識産權局	등록번호	CN 104153493 A
	등록일자	2014년 11월 19일
특허권자	CHINA CONSTR 8TH ENG DIVISION	
발명자	馬榮全, 苗冬梅, 葛杰, 白洁	
발명의 명칭	Concrete shear wall structure based on 3D printing and construction method of concrete shear wall structure	

요약

3D 프린팅에 기초한 콘크리트 전단벽의 구조 및 그 시공 방법을 개발함. 사전 제작을 통해 콘크리트 케이스를 만들고, 설치할 때의 편의성을 통하여 시공을 간소화하였음.

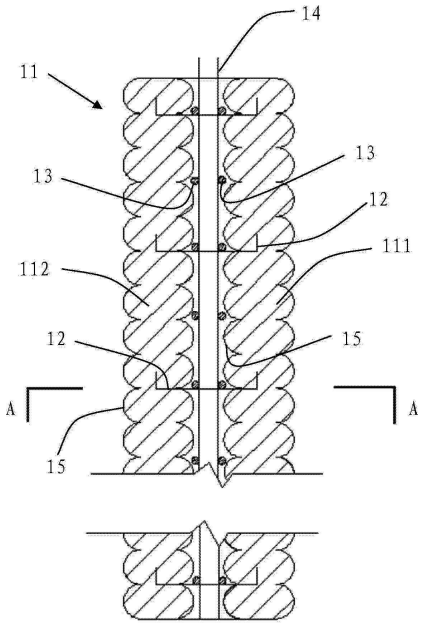


图 1

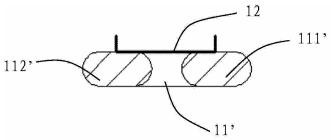


图 4

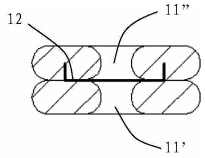
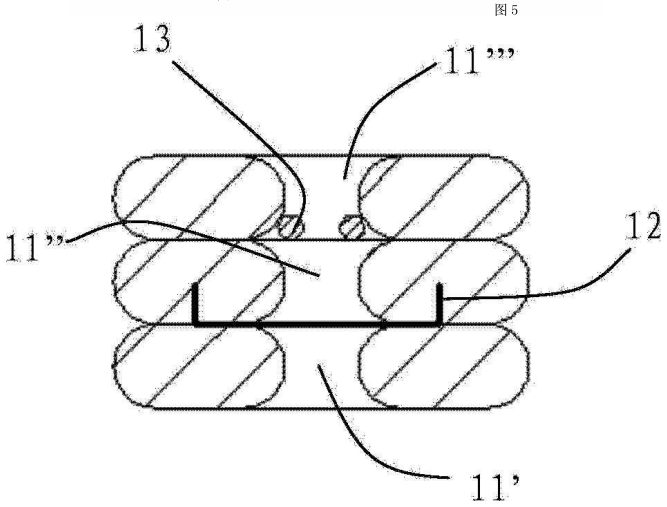


图 5



中華人民共和國國家知識産權局	등록번호	CN 104149345 A
	등록일자	2014년 11월 19일
특허권자	SHANGHAI CONSTRUCTION GROUP CO	
발명자	王美華, 李榮帥	
발명의 명칭	Self-elevating type 3D printing device and method for building	

요약

3D 프린터가 일정한 높이 범위 안에 일정한 정밀도로 건축물의 출력이 가능한 기술을 개발하였으며, 3D 프린팅 장비 기술을 포함하고 있음. 수직 지지대, 트랙 빔 기구, 프린터를 통하여 기구가 상승하고, 출력하는 건축물의 상승에 따라, 3D 프린터 또한 이에 따라 높아지는 것으로 고층 건축물일 경우에 대한 3D 프린팅 문제를 해결함.

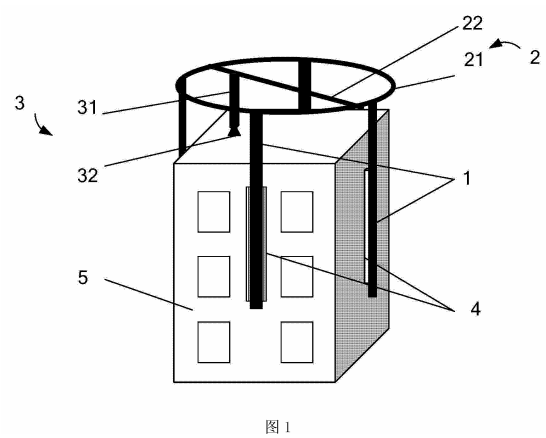


图 1

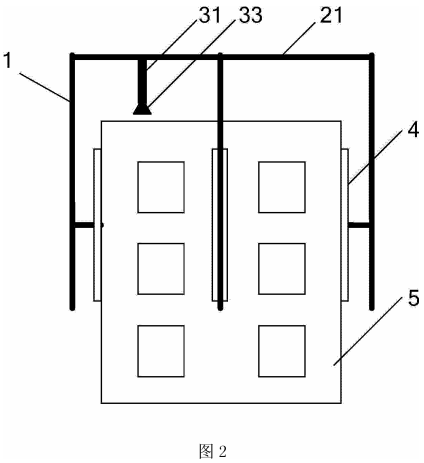
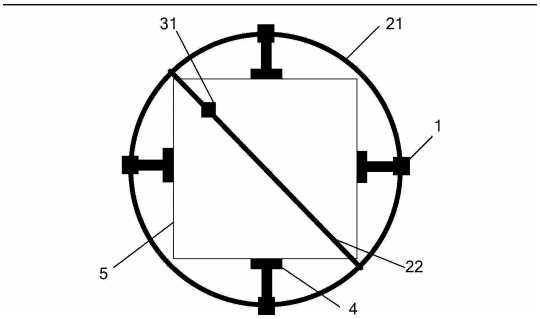


图 2



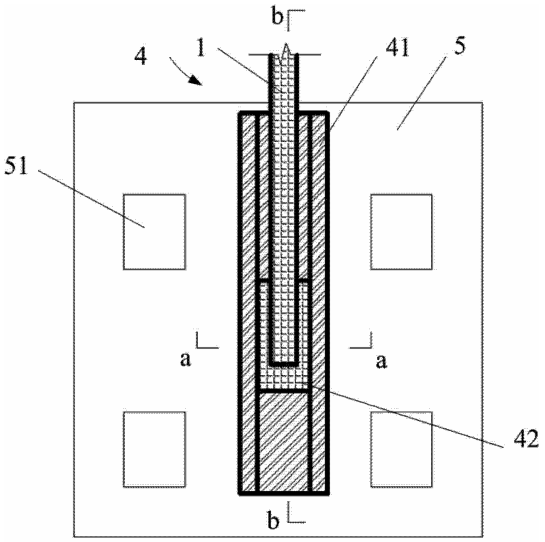
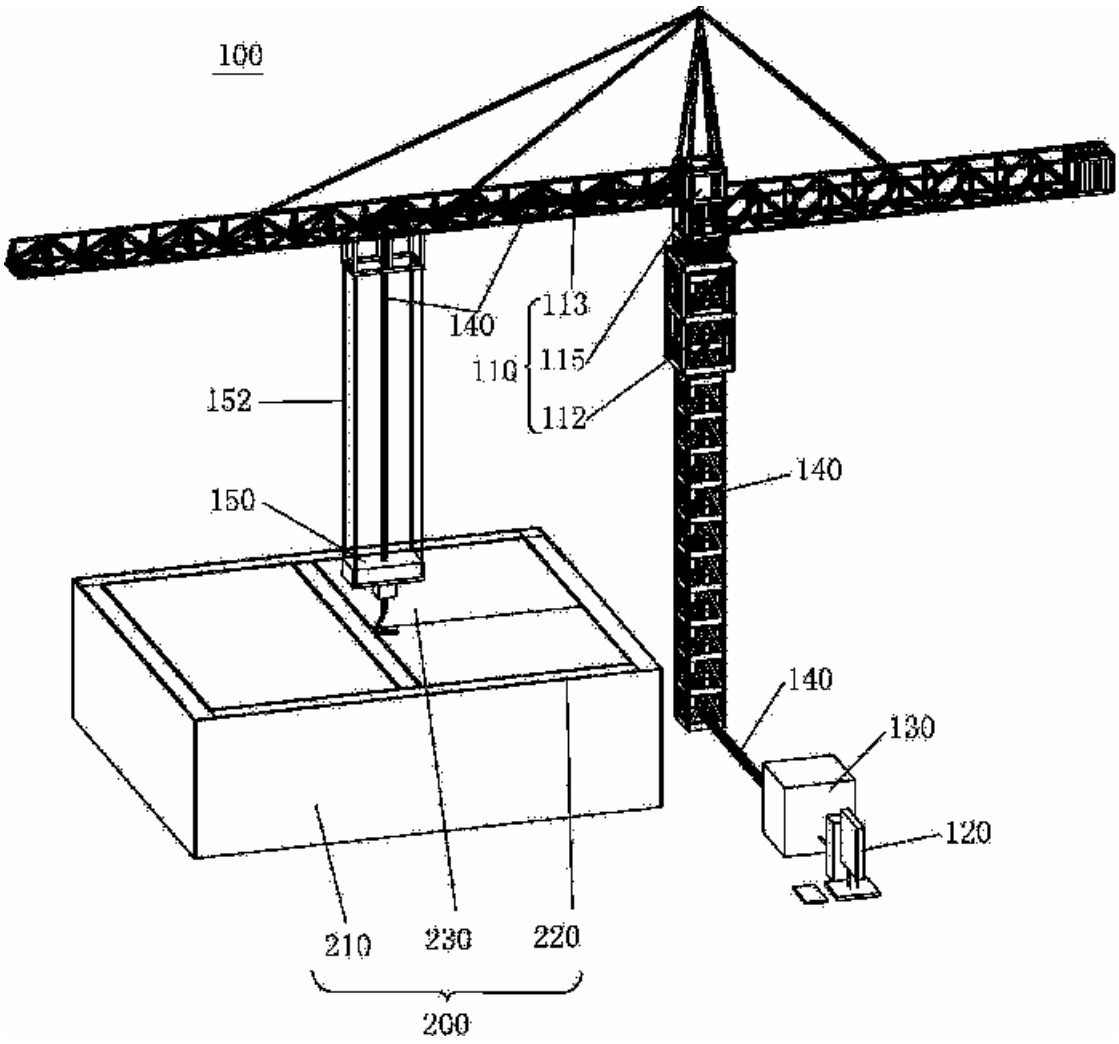


图 4

中華人民共和國國家知識産權局	등록번호	CN 103790378 A
	등록일자	2014년 05월 14일
특허권자	CHINA CONSTRUCTION STEEL STRUCTURE CORP LTD	
발명자	馬義俊, 廖選茂, 李春田, 陳振明, 范彩霞, 廖彪 溫小勇, 孔維拯	
발명의 명칭	Construction equipment and construction method for constructional engineering	

요약

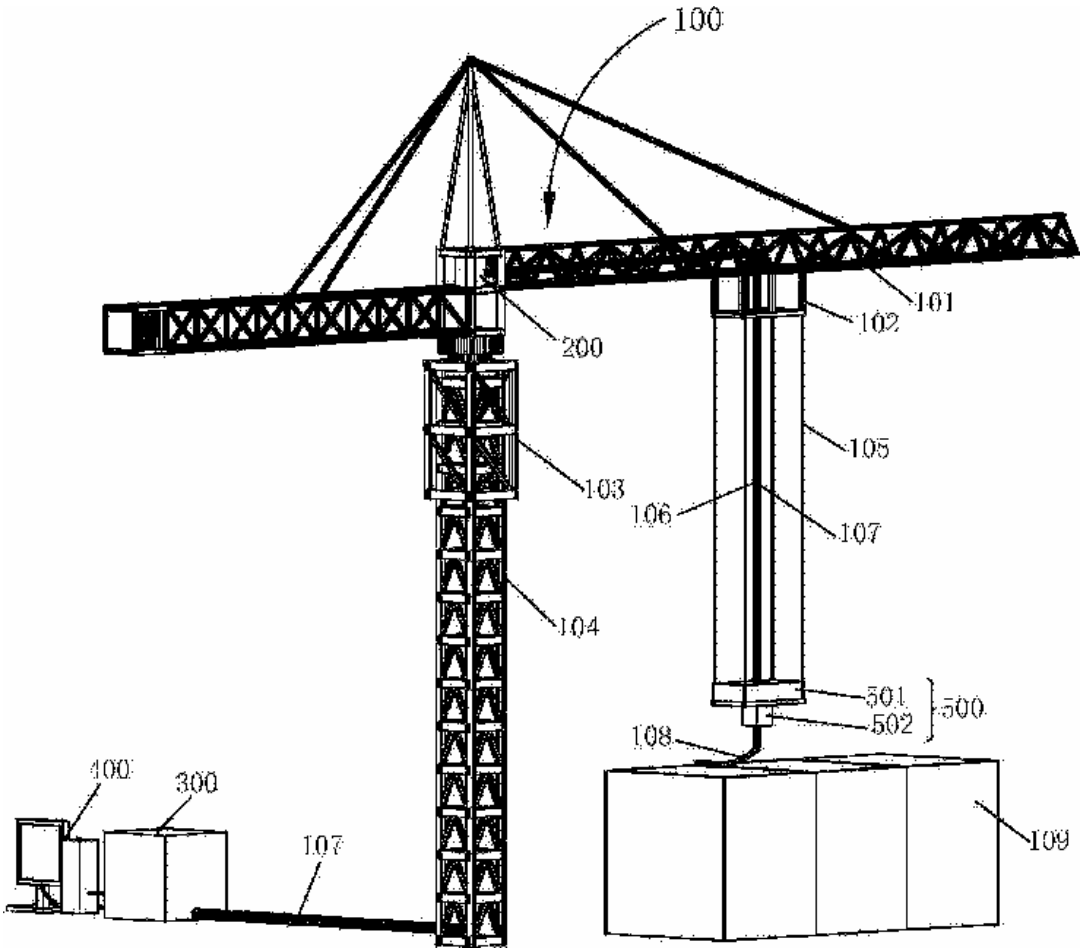
타워 크레인, 제어 시스템, 재료를 포함하여 시스템 및 재료의 도관과 타워 크레인에서 3D 프린팅 헤드 부분을 첨가함. 제어 시스템은 모델링에 사용되어 공정에 따른 3D 프린팅의 정밀도를 확보하고, 동시에 3D 금형제조 소프트웨어를 이용하여 구축하는 모델을 계층화하여 절단을 한 후, 레이어 모델 정보에 근거하여 타워 크레인을 통해 3D 프린팅 헤드 부분의 위치를 제어함. 재료는 저장된 레이어 모델의 건축자재에 근거하여 첨가하며, 재료 도관과 3D 프린팅 헤드 부분을 통해 출력함. 기술자 관리 및 장비의 운영, 재료 준비와 현장관리를 통하여 시공 현장의 수동 작업으로 인한 시간을 절약하며, 이를 통해 비용 절감, 시공정보화, 자동화 및 가시화를 통해 시공 기술의 수준을 향상시킬 수 있음.



中華人民共和國國家知識産權局	등록번호	CN 103786235 A
	등록일자	2014년 05월 14일
특허권자	CHINA CONSTRUCTION STEEL STRUCTURE CORP LTD	
발명자	廖選茂, 戴立先, 馬義俊, 李春田, 陳振明, 范彩霞, 廖彪, 溫,小勇, 孔維拯	
발명의 명칭	Tower-type 3D (three-dimensional) printer and printing method thereof	

요약

타워 크레인, 재료를 포함하여 제어 시스템, 장비 등의 시스템에 재료 도관과 프린팅 장비를 결합하는 기술을 개발함. 재료는 시스템과 서로 연결되어 3D 모델에 따라 출력을 할 수 있도록 제어 명령을 전송하고, 재료 도관과 프린팅 장비를 서로 연결하여 재료를 첨가하여 저장된 건축 재료를 전송함. 프린팅 장비를 타워 크레인에서 고정하여 3D 프린팅 건축에 사용됨. 타워 3D 프린터가 대부분의 수동 시공 작업을 생략하기 때문에 노동력과 물자와 공사비용을 절감할 수 있음.



(2) 3D 프린팅 건축 기술 특허 시사점

- 현재 3D 프린팅 관련 특허는 매우 많이 출원되어있으나, 건축에 활용한 기술은 매우 적으며, 주요 선진국의 보유 특허를 확인하면 14개 정도에 불과함.
- 대다수의 3D 프린팅 건축 관련 특허는 중국에서 보유중이며, 11개의 특허에는 시스템, 재료, 공법 등이 다양하게 존재하고 있음.
- 한국은 단 1개의 특허만을 보유하고 있으며, 이는 생산 시스템 특허로써 3D 프린팅 건축 기술의 원천특허로 볼 수 없음.
- 중국에서는 이미 다방면에서 3D 프린팅 건축 특허를 보유하고 있음에 미루어볼 때, 한국이 이후 3D 프린팅 건축 시장을 선도하기 위해서는 특허의 양적·질적인 면에서 원천특허를 다수 보유해야만 경쟁력을 확보할 수 있을 것임.

2. 논문 동향 분석

○ 논문동향을 분석하기 위하여 국내 논문의 경우 RISS 논문 검색 사이트에서 3D 프린터와 3D printer, 그리고 3D printing을 키워드로 사용하여 2000년부터 2015년 현재까지의 논문동향을 조사하였음.

○ 논문동향을 분석하기 위하여 국외 논문의 경우 Web Of Science 논문 검색 사이트에서 3D printer 와 3D printing을 키워드로 사용하여 2000년부터 2015년 현재까지 논문 동향을 조사하였음.

○ 국내 논문의 수와 국외 논문의 수를 해당 연도별로 나누어 각 연도별로 3D 프린터 관련 논문의 발행 건수를 조사하였음.

○ 위와 같은 키워드로 국내, 국외 논문의 전체 모집단을 추출 후 국내 논문, 국외 논문 각각의 세부 키워드로 분류하여 조사하였음.

○ 국내 논문의 키워드는 상품, 기획, 건축, 장비/시스템, 조달, 서비스/제도(법)/마켓, 재료/소재, 성능평가/표준화 8가지의 세부 키워드로 분류하여 조사하였음.

○ 국외 논문의 키워드는 product, material, equipment, market-platform, test-bed, architecture, 6가지의 세부 키워드로 분류하여 조사하였음.

[표 17] 논문 검색용 세부 키워드

	국내 논문	국외 논문
key-word (연구 분야)	1.상품 **2.건축** 3.장비/시스템 4.조달 5.서비스/제도(법)/마켓 6.재료/소재 7.성능평가/표준화 8.기획	1.product 2.material 3.equipment 4.market-platform 5.test-bed **6.architecture**

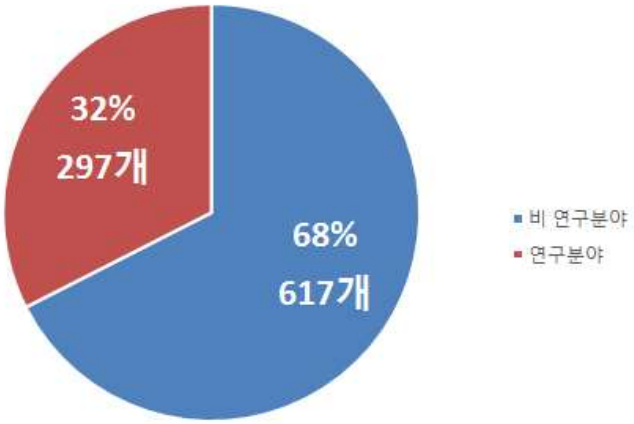
○ 국내·외 논문을 각각의 키워드를 통해 2000년부터 2015년까지 연도별로 논문수를 조사하고, 연도/연구 분야별 동향을 파악하였음.

가. 국내 논문 동향

○ 2000년부터 2015년까지 3D프린터 관련 국내 논문수를 조사하였음.

- 조사 대상은 국내 학술지 논문과 국내 학위 발표 논문으로 한정하여 총 914개의 관련 논문을 조사하였음.
- 총 914건의 국내 논문 중 연구진들의 검토 결과 일부 논문이 해당 연구 주제와 맞지 않은 논문이 포함되어 있어, 연구주제 및 내용을 파악하여 본 연구범위와 연관성이 떨어지는 논문은 제외하였음.[19)]

19) 총 914개의 논문 중 617개(약 68%)의 논문이 연구 주제와 상관없는 논문으로 분석되었다. 이러한 논문의 연구주제 및 내용은 3D애니메이션, 인쇄 출력물, 컴퓨터 3D시각화 등의 내용으로 파악되었음.

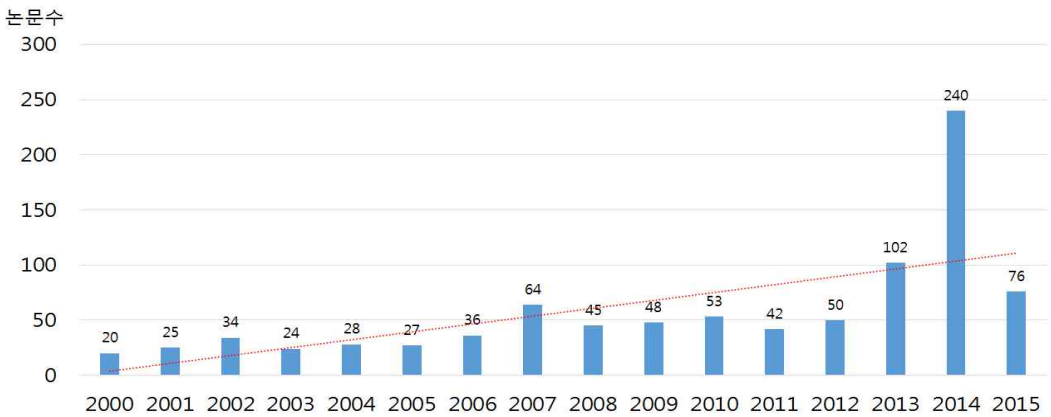


[그림 18] 국내 3D프린터 논문 중 본 연구와 거리가 먼 논문의 비율

(1) 연도별 3D 프린팅 관련 국내 논문 현황

○ 2000년부터 2015년 4월까지 국내 3D프린터 관련 논문의 연도별 동향을 조사하였음.

- 해당 기간 동안 3D프린터 관련 논문의 수는 총 914건으로 조사하였음.
- 2000년부터 2015년 현재까지 각각의 연도에 발행된 국내 3D프린터 관련 논문의 수를 살펴보면 2000년 20건, 2001년 25건, 2002년 34건, 2003년 24건, 2004년 28건, 2005년 27건, 2006년 36건, 2007년 64건, 2008년 45건, 2009년 48건, 2010년 53건, 2011년 42건, 2012년 50건, 2013년 102건, 2014년 240건, 2015년 4월까지 76건 발표되었음.
- 2012년까지 50건 이하의 논문 발표 동향을 보였으며, 2013년부터 최근까지 전년대비 2배의 논문 발표 수를 보이며 논문 수가 늘어나고 있음.
- 해당연구의 추세 그래프를 살펴보면 2015년의 논문 수는 2014년 발행된 논문 수 이상의 논문이 발행될 것으로 예상됨.
- 국내 관련 3D프린터 관련 논문의 동향은 2012년 이전에는 주로 해당 연구 분야가 아닌 애니메이션, 3D 시각화, 인쇄 등에 집중되어 있으며, 2012년 이후 전 산업분야에 걸친 3D프린터 논문이 나오기 시작하였음.



[그림 19] 연도별 국내 3D 프린터 관련 논문 수

(2) 분야별 3D프린팅 관련 국내 논문 현황

- 2000년부터 2015년 4월까지 3D 프린터 관련 논문을 조사하여 총 914건의 논문 결과를 8개 세부분야로 정하여 조사하였음.
- 해당 기간 중 상품에 관련된 논문은 총58건, 기획에 관련된 논문은83건, 건축에 관련된 논문은 5건, 장비/서비스에 관련된 논문은 76건, 서비스/제도(법)/마켓에 관련된 논문은 22건, 재료/소재에 관련된 논문은 22건, 성능평가/표준화에 관련된 논문은 31건으로 분석되었으며, 8개 세부 카테고리 중 하나인 조달에 관련된 논문은 없는 것으로 조사하였음.
- 또한 전체 914건의 3D 프린터 관련 논문 중 617건은 해당 연구 분야에 연관성이 떨어지는 주제로 분류되었음.
- 본 연구와 관련된 297개의 논문을 8개의 세부 분야별로 분석한 결과 기획 부분이 28%으로 가장 높았으며, 장비/시스템 분야가 26%, 상품 분야가 20% 순서로 조사되었음.

[표 18] 국내 3D프린터 관련 연도별/분야별 논문 수

단위: 개

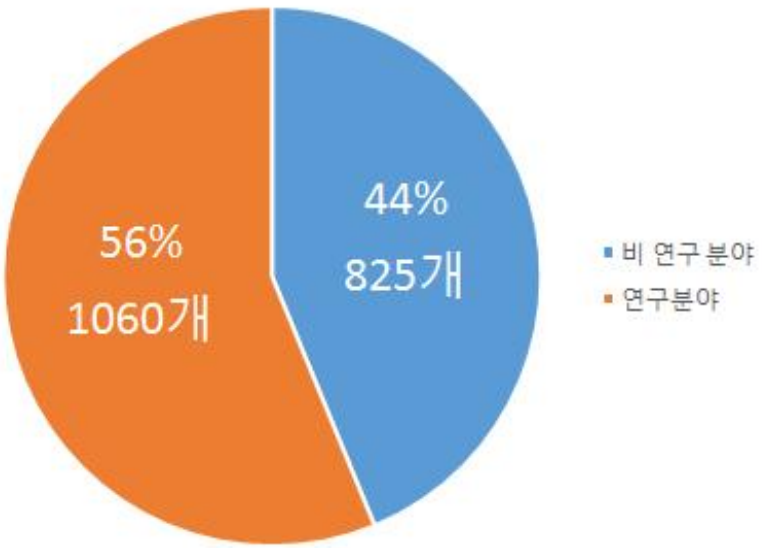
분야	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	종합
상품	0	0	0	0	0	0	0	1	1
기획	2	0	3	2	2	2	0	3	14
건축	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**
장비/시스템	0	2	0	0	5	3	4	7	21
서비스/제도/마켓	1	0	0	0	0	0	0	0	1
재료/소재	0	0	0	0	1	0	2	1	4
성능평가/표준화	0	0	0	0	0	1	0	0	1
total	4	2	3	2	8	6	6	12	43
분야	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**종합**
상품	3	0	1	1	0	10	30	12	57
기획	1	0	5	0	2	11	37	13	69
건축	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**2**	**1**	**4**
장비	4	4	3	1	3	8	29	1	55
서비스/제도/마켓	0	0	1	1	1	2	14	2	21
재료/소재	1	1	1	1	1	1	10	2	18
성능평가/표준화	0	0	0	0	0	6	19	5	30
total	9	6	11	4	7	38	141	36	254

- 국내의 3D프린터 관련 논문 분야는 75% 이상이 기획 분야, 장비/시스템분야, 상품 분야에 집중되어있는 것으로 확인되었음.
- 건축 분야의 3D프린터 관련 논문은 총 5건으로 해당분야에 건축 관련 연구는 상당히 부족한 것으로 조사됨.

나. 국외 논문 동향

○ 2000년부터 2015년 현재 까지 3D프린터 관련 국외 논문 수를 분석하였음.

- 국외 논문은 Web Of Science를 통하여 SCI급 학술지에 개제된 논문을 대상으로 조사하였으며 해당기간동안 총 1885건의 논문이 발표되었음.
- 총 1885건의 해당 논문 중 연구진들의 검토 결과 해당 연구 주제와 맞지 않은 논문이 포함되어 있었기 때문에 각 논문을 분석하여 연구와 관련 없는 논문은 제외하였음..[20]
- 국외 논문 수 조사 결과 총 1885개의 논문 중 825개, 비율은 전체 논문 중 44%의 논문이 연구 주제와 상관없는 논문으로 분석되었고, 1060개, 비율은 전체 논문의 56%의 논문이 연구와 관련된 논문으로 분석되었음.



[그림 20] 국외 3D프린터 관련 논문 중 연구 해당 분야 비율

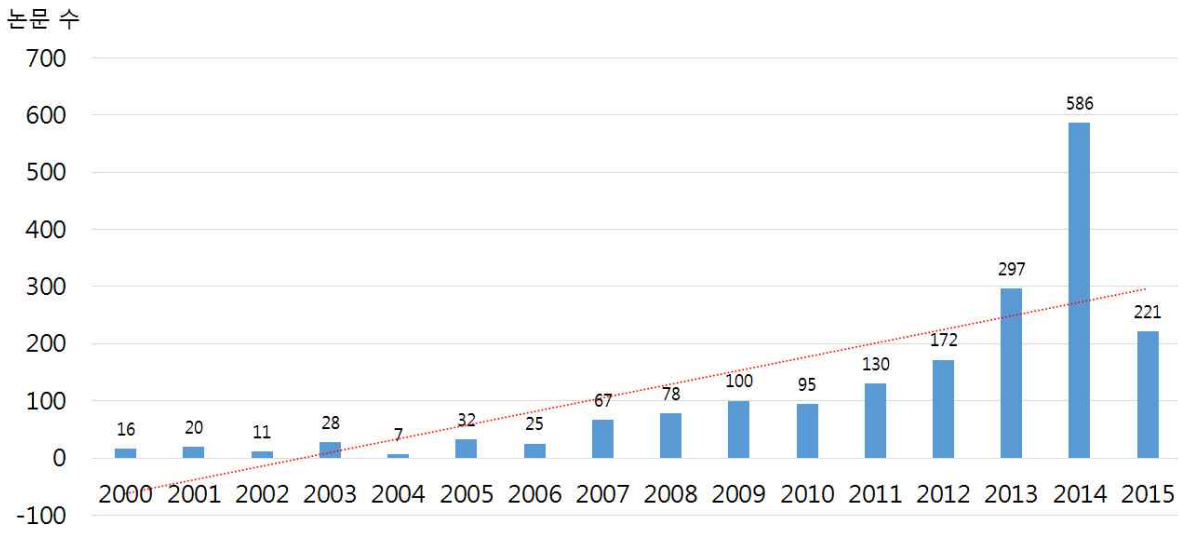
- 국외 논문 수에서는 과반이상이 본 연구와 관련이 있는 논문으로 조사되었으며 국내에 비해 본 연구와 관련된 연구 활동이 활발한 것으로 분석되었음.

(1) 연도별 3D 프린팅 관련 국외 논문 현황

○ 국외 3D프린터 관련 논문 연도별 동향은 2000년부터 2015년 4월까지 기간으로 하여 조사하였음.

- 해당기간의 3D프린터 관련 국외 논문은 총 1885건으로 조사되었음.
- 각각의 연도에 발행된 3D 프린터 관련 국외 논문의 수를 살펴보면 2000년 16건, 2001년 20건, 2002년 11건, 2003년 28건, 2004년 7건 2005년 32건, 2006년 25건, 2007년 67건, 2008년 78건, 2009년 100건, 2010년 95건, 2011년 130건, 2012년 172건, 2013년 297건, 2014년 586건, 2015년 4월 까지 221건이 발표되었음.

20) 국외 논문 수의 경우도 국내 논문과 마찬가지로 비 연구 분야의 주된 논문 내용은 3D프린터와 연관성이 떨어지는 3D애니메이션, 인쇄 출력물, 컴퓨터 3D시각화 등의 내용으로 조사되었다.



[그림 21] 연도별 국외 3D프린터 관련 논문 수

- 국내 3D 프린터 관련 논문의 동향과 마찬가지로 2012년 이후로 관련된 논문이 전년 대비 약 2배의 논문 발표 수를 보였음.
- 이는 지난 2009년 스트라타시스(Stratasys)가 보유한 압출적층방식(FDM: Fused Deposotion Modeling)의 특허가 만료되며 렙렙(RepRep)과 같은 오픈소스 프로젝트가 가능해짐에 따라 개인용 3D프린터를 활용한 다양한 분야의 연구가 활발해지면서 관련 논문이 활발히 발표되는 것으로 파악되었음.
- 특히 논문의 주제를 살펴보면 2010년 발표된 총 논문 수 95건 중 비 연구 관련 분야 논문 수가 68건으로 3D 프린터 관련 논문에서 70% 이상 본 연구주제와 관계가 먼 연구 분야 논문이 많았지만 2015년의 경우와 2013년의 논문 수에서는 221건 중 3건, 297건 중 62 건으로 점차 최근으로 다가 올수록 본 연구주제와 관계가 밀접한 연구주제로 한 논문이 발표 건수가 증가하는 것으로 파악되었음.

(2) 분야별 3D프린팅 관련 국외 논문 현황

○ 국외 논문의 분야별 세부 키워드를 6가지로 분류하여 조사하였음.

- 2000년부터 2015년 4월까지 3D 프린터 관련 논문을 조사하여 총 1885개의 논문을 6개 세부 분야로 분석하였음.
- 해당 기간 중 product에 관련된 논문은 674건, material에 관련된 논문은 190건, equipment에 관련된 논문은 101건, market-platform에 관련된 논문은 36건, test-bed에 관련된 논문은 11건, 건축에 관련된 논문은5건, 이론에 관련된 논문은 43건으로 조사되었음.

[표 19] 국외 3D프린터 관련 연도별/분야별 논문 수

단위: 개

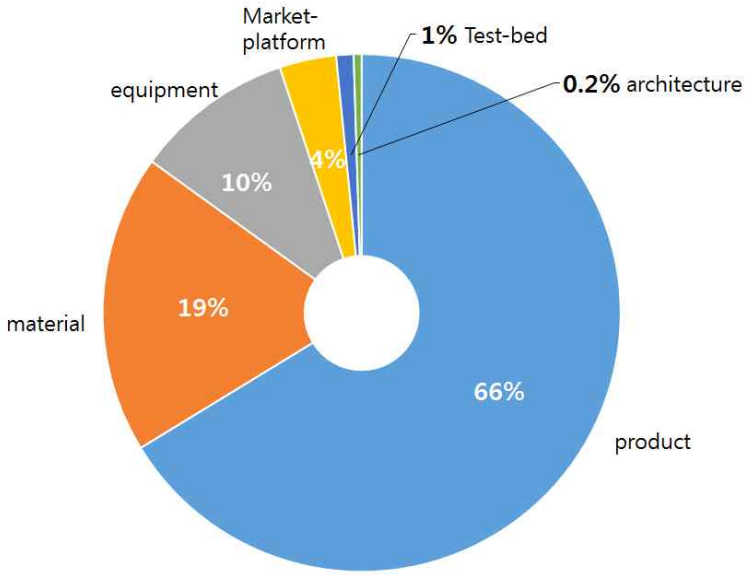
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	종합
product	4	5	2	13	2	13	6	18	63
material	2	0	2	1	0	1	1	7	14
equipment	0	1	0	0	0	1	0	6	8
market platform	0	0	0	1	0	0	0	1	2
test-bed	0	0	0	0	1	0	1	0	2
architecture	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**2**
해당없음	10	13	7	13	4	16	10	34	107
total	16	20	11	28	7	31	18	67	206
	2008	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**종합**
product	28	21	21	48	51	158	159	125	611
material	6	2	3	2	11	51	40	61	176
equipment	7	4	1	0	5	11	49	16	93
market platform	0	0	0	1	2	14	2	15	34
test-bed	1	0	0	0	0	1	6	1	9
architecture	**0**	**0**	**2**	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**	**3**
해당없음	36	73	68	79	103	62	294	3	718
total	78	100	95	130	172	297	586	221	961

- 또한 전체 1885건의 3D프린터 관련 논문 중 825건은 해당 연구 분야에 연관성이 떨어지는 주제로 분류함.
- 본 연구와 관련된 1060개의 논문을 7개의 세부 분야별로 분석한 결과 product부분이 약64%로 가장 높았으며, material 분야가 약 18%, equipment분야가 약 10% 순서로 조사되었음.
- 국외의 3D프린터 관련 논문 동향은 90% 이상이 product, material, equipment분야에 집중 되어 있는 것으로 분석하였음.

(3) 국외 3D 프린터 관련 세부 키워드 연도별 논문 동향

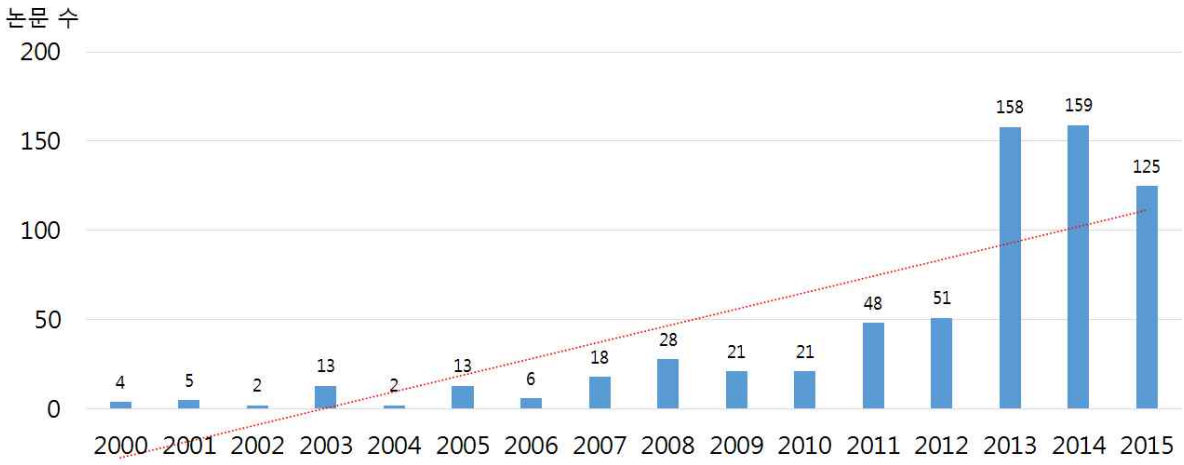
○ 국외 3D 프린팅 관련 product 부분 논문은 전체 연구 관련 3D 프린터 논문 중 674건으로 64%의 비중을 차지하는 것으로 파악되었음.

- 연도별 해당 연구 분야 논문 수를 살펴보면 2000년 4건, 2001년 5건, 2002년 2건, 2003년 13건, 2004년 2건, 2005년 13건, 2006년 6건, 2007년 18건, 2008년 28건, 2009년 21건, 2010년 27건, 2011년 51건, 2012년 69건, 2013년 235건, 2014년 292건, 2015년 4월까지 218건으로 조사되었음.



[그림 22] 국외 3D프린터 관련 논문 분야별 비율

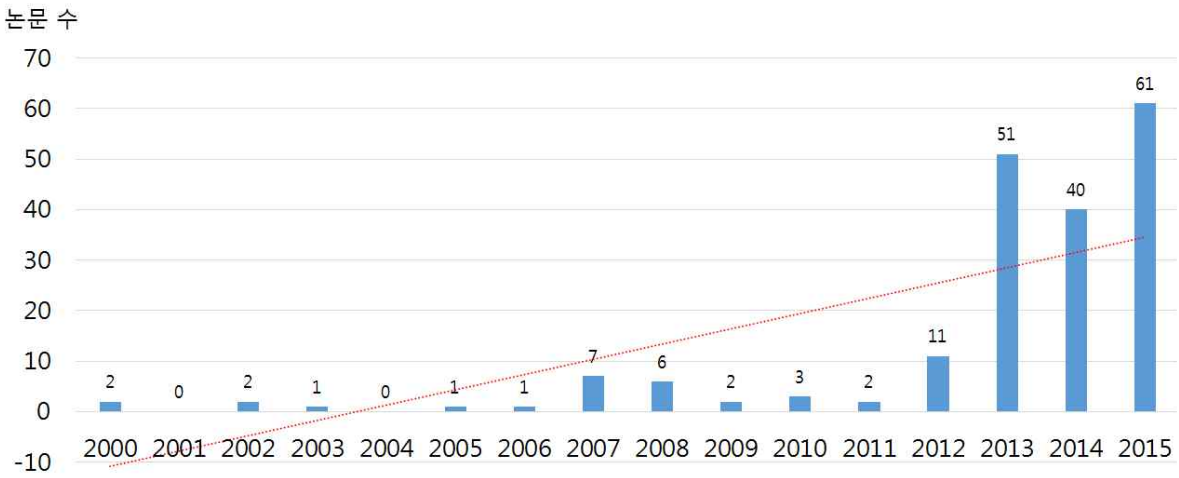
- product 논문 부분은 2010년 까지 20건 전후의 논문 발행 수를 보이다가 2011년부터 증가하기 시작하여 2013년부터는 150건 이상의 관련 논문이 발표되었음.



[그림 23] 국외 3D프린터 product 부분 논문 연도별 발행 수

○ 국외 3D 프린팅 관련 material 부분 논문은 전체 연구 관련 3D 프린터 논문 중 190건으로 18%의 비중을 차지하는 것으로 파악되었음.

- 연도별 해당 연구 분야 논문 수를 살펴보면 2000년 2건, 2001년 0건, 2002년 2건, 2003년 1건, 2004년 0건, 2005년 1건, 2006년 1건, 2007년 7건, 2008년 6건, 2009년 2건, 2010년 3건, 2011년 2건, 2012년 11건, 2013년 51건, 2014년 40건, 2015년 4월까지 61건으로 조사되었음.

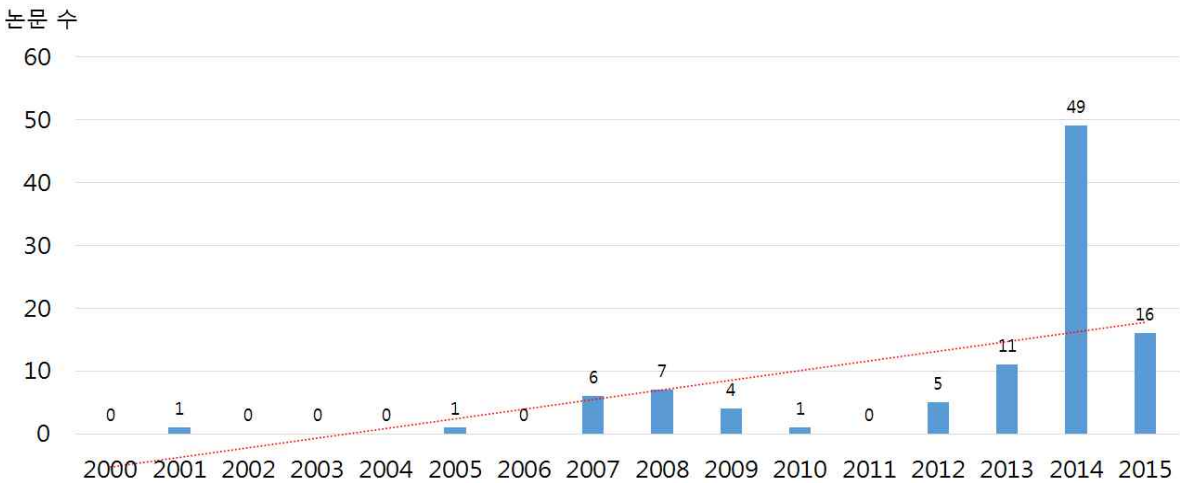


[그림 24] 국외 3D프린터 material 부분 논문 연도별 발행 수

- 2011년 이전에는 해당 분야의 관련 논문의 거의 발행되지 않았으며 2007년과 2008년에 각 7건과 6건으로 논문이 발행되었음.
- 국내 논문 동향의 재료/소재 부분과 마찬가지로 3D프린터의 특허 기술이 대중화 되면서 해당 프린터를 사용하기 위한 재료나 소재에 대한 연구가 활발히 진행된 것으로 분석되었음.

○ 국외 3D 프린팅 관련 equipment 부분 논문은 전체 연구 관련 3D 프린터 논문 중 101건으로 10%의 비중을 차지하는 것으로 파악되었음.

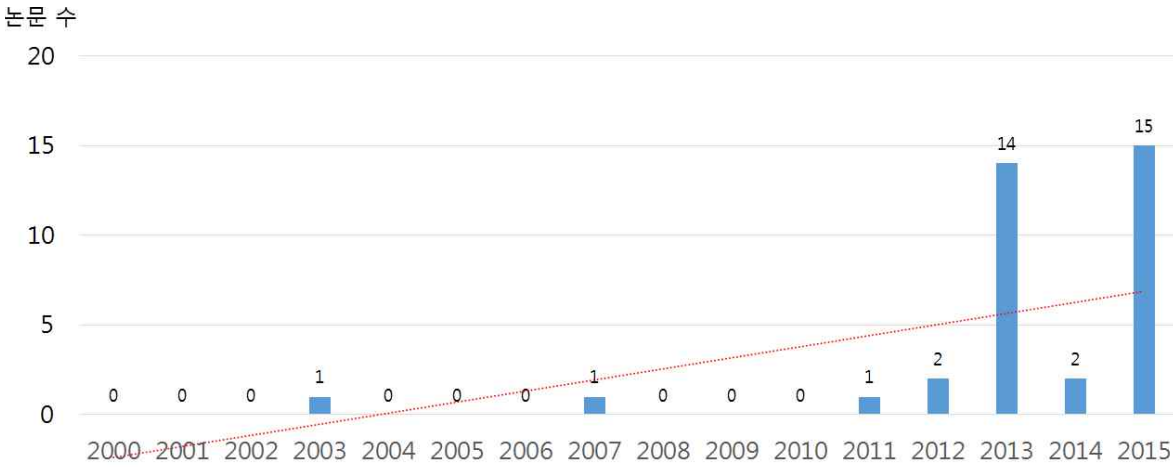
- 연도별 해당 연구 분야 논문 수를 살펴보면 2000년 0건, 2001년 1건, 2002년부터 2004년까지 0건, 2005년 1건, 2006년 0건, 2007년 6건, 2008년 7건, 2009년4건, 2010년 1건, 2011년 0건, 2012년 5건, 2013년 11건, 2014년 49건, 2015년 4월까지 16건으로 조사되었음.



[그림 25] 국외 3D프린터 equipment 부분 논문 연도별 발행 수

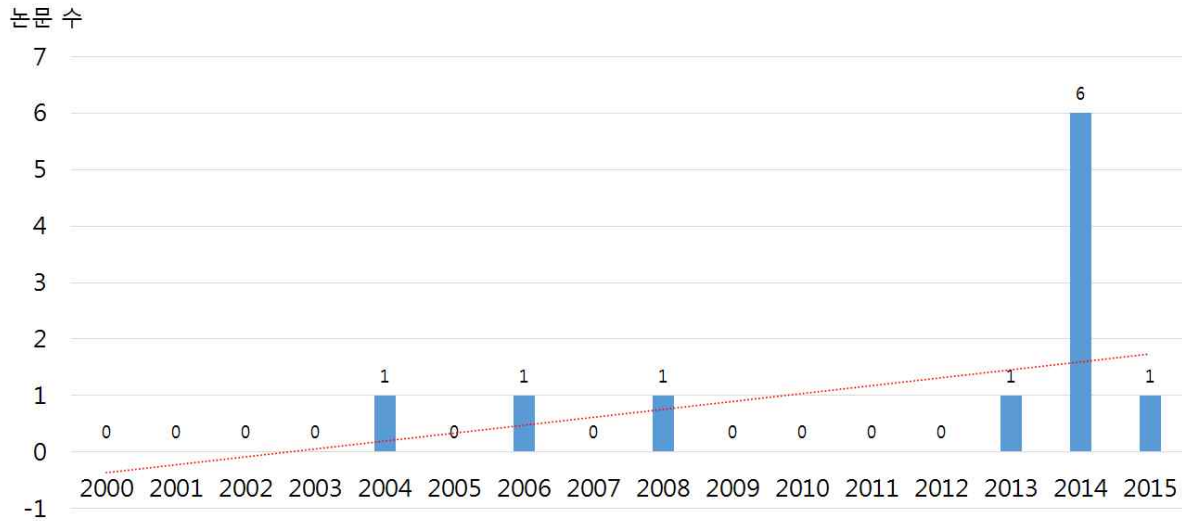
- 2014년부터 해당 연구 분야 논문 수가 급증 하였으며 추세 그래프를 살펴보면 2015년 이후 해당 분야 논문 발행 수가 증가 할 것으로 분석되었음.

○ 국외 3D 프린팅 관련 market-platform 부분 논문은 전체 연구 관련 3D 프린터 논문 중 36건으로 3%의 비중을 차지하는 것으로 파악되었음.



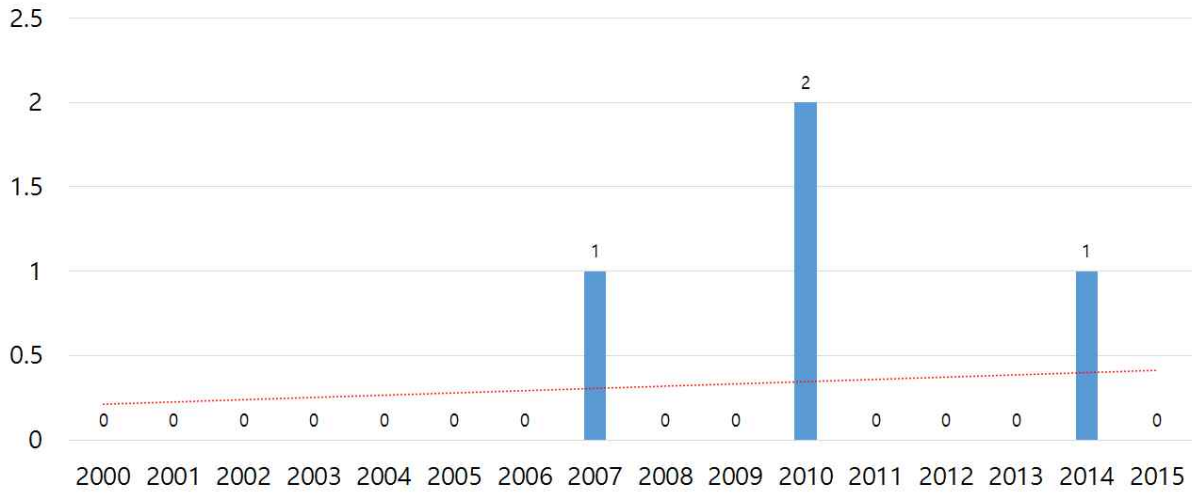
[그림 26] 국외 3D프린터 market-platform부분 논문 연도별 발행 수

- 연도별 해당 연구 분야 논문 수를 살펴보면 2000년부터 2002년까지 0건, 2003년 1건, 2004년부터 2006년까지 0건, 2007년 1건, 2008년부터 2010년까지 0건, 2011년 1건, 2012년 2건, 2013년 14건, 2014년 2건, 2015년 14월까지 5건으로 조사되었음.
- 국외 3D 프린팅 관련 test-bed 부분 논문은 전체 연구 관련 3D 프린터 논문 중 11건으로 1%의 비중을 차지하는 것으로 파악되었음.



[그림 27] 국외 3D프린터 test-bed 부분 논문 연도별 발행 수

- 연도별 해당 연구 분야 논문 수를 살펴보면 2000년부터 2014년 이전까지 총 4건의 해당 연구 논문이 발표 되었으며, 2014년 6건, 2015년 4월까지 1건의 논문이 발표된 것으로 조사되었음.
- 국외 3D 프린팅 관련 건축부분은 전체 연구 관련 3D 프린터 논문 중 5건으로 0.2%의 비중을 차지하는 것으로 파악되었음.



[그림 28] 국외 3D프린터 architecture 부분 논문 연도별 발행 수

- 연도별 해당 연구 분야 논문 수를 살펴보면 2007년 1건, 2010년 2건, 2014년 1건으로 조사되었음.
- 이는 3D 프린터가 건축 분야에서는 아직 연구가 많이 진행되지 않은 부분이며 앞으로 연구가 활발히 진행 될 수 있는 여력이 있는 부분이라고 판단됨.

다. 국내·외 3D 프린팅 건축 논문 동향

○ 앞서 조사하였던 자료를 바탕으로 하여, 3D 프린팅 논문 중에서 건축과 밀접하게 관련된 연구를 필터링 하였음.

[표 20] 주요 3D 프린팅 건축 특허 내용

	저자	게재년도	유형	논문명
국내	서정환, 문성민, 허재명, 신창엽, 홍대희	2014	학술발표	3D 프린터 기술을 이용한 건축 공법 메커니즘 개발
	한나래, 김동현	2014	학술발표	건축물 3D 프린팅을 위한 프린터 규모 및 프린팅 재료에 관한 연구
	최성권	2014	리뷰	3D 프린팅 기술과 건축적 활용
국외	J. B. Gardiner	2011	학위논문	Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing - Project Led Architectural Research
	Cristina Maria Radu	2014	학위논문	How will 3D Printing affect architecture as we know it today?
	Dadi, GB, Taylor, TRB Goodrum, PM, Maloney, WF[	2014	학술지	Performance of 3D computers and 3D printed models as a fundamental means for spatial engineering information visualization

○ 3D 프린팅 기술의 전체 동향과 비교하였을 때, 건축 분야의 논문은 매우 소수만 진행되고 있음.

- 국내·외 주요 3D 프린팅 연구는 국내 총 3건, 국외 총 3건 정도임. 그리고 해당 연구도 주로 2014년에 발표되었던 것으로 미루어볼 때, 3D 프린팅 건축은 최근에서야 관심을 받고있는 연구라는 것을 알 수 있음.

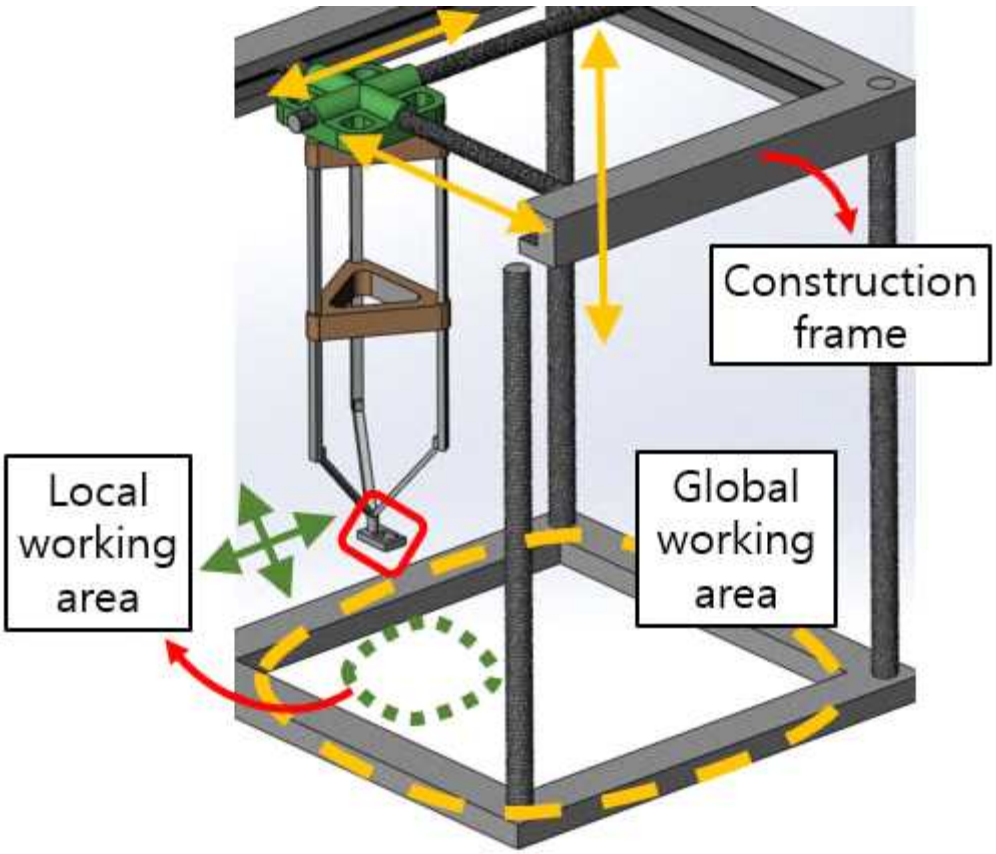
(1) 국내

○ 3D 프린터 기술을 이용한 건축 공법 메커니즘 개발

- 본 논문은 3D 프린터 기술을 이용한 건축 공법 메커니즘을 개발하였음. 건설 현장에서 무거운 건축 자재 운반 및 폐자재 수거 등을 위한 것으로, 멘델형 3D 프

린터 방식인 직교좌표 로봇 시스템과 델타형 3D 프린터 방식인 델타로봇 시스템으로 구성되어 있음.

- 시스템이 건물 프레임에 설치되어 Global moving과 Local moving을 할 수 있도록 두 부분으로 나누어져 있으며, 직교좌표 로봇 시스템은 네모난 건물 모양의 프레임과 볼 스크류로 구성되어 있음.
- 멘델형 3D 프린터의 장점으로는, x, y 축을 따라 델타로봇을 정밀하게 이동시키고, z 축을 따라 건물 프레임의 상판을 움직여서 Global moving이 가능함.
- 델타형 3D 프린터의 장점인 빠른 스피드로 건축 자재를 정확하게 운반할 수 있으며, 심플한 구조로 무게가 가벼워서 엔드 이펙터가 Local 영역에서 자유자재로 이동할 수 있음. 이를 이용하여 건축 자재 운반 및 폐자재를 모으는 역할을 하고 건설 현장에서 무거운 건축 자재 운반 및 폐자재 수거 역할을 통해 건설 자동화와 안전사고를 줄일 수 있도록 설계하였음.



[그림 29] 3D 프린터 기술을 이용한 건축 공법 메커니즘

○ 건축물 3D 프린팅을 위한 프린터 규모 및 프린팅 재료에 관한 연구

- 본 논문은 건축물 형상을 출력할 때 3D 프린터의 기술적인 측면에서 가장 중요한 고려사항인 프린터 규모와 프린팅 재료로 한정하여 연구하였음.
- 이론고찰 및 사례분석을 통해 현재 건축분야에 적용되고 있는 3D 프린팅 기술의

사례에 대해 조사하고, 건축물 형상의 재현과 프린팅 재료 및 프린터 규모와의 관계를 분석하였음. 이후 실제사례를 재료 및 규모에 따른 항목에 대해 적합여부를 판별하고 단계별로 분류함. 그리고 각 단계별로 향후 건축물 3D 프린팅의 연구 방향을 분석하였음.

- 건축물 3D 프린팅의 연구에 있어서 단계를 구분하고 각 단계에서 중요하게 다루어져야 할 기술유형을 제시하되 각 기술유형이 건축물의 형상요소와 어떠한 관계로 연관되어 있는지를 밝혔음. 그리고 각 단계별로 프린터의 재료 및 규모에 한계를 소거하는 기술개발이 뒤따라야만 3D 프린팅 기술이 건축생산시스템에 전 방위적으로 적용될 수 있을 것이라고 발표하였음.

○ 3D 프린팅 기술과 건축적 활용

- 3D 프린팅 기술이 무엇이며 앞으로 어떠한 분야에 활용 가능성이 있는지를 확인하였으며, 건축 분야에서의 3D 프린팅 기술 활용 현황을 파악하였음
- 건축분야에서 가장 활발하게 3D 프린팅 기술이 활용되는 부분은 지형지물과 인테리어를 포함한 건축모형 분야임. 과거와 달리 건물의 외형이 비선형적 형식일 경우 3D 프린팅은 가장 빠른 제작방법이 될 수 있음.
- 폴리젯(Polyjet) 제작 방식은 잉크젯 프린터 노즐에서 나오는 재료가 자외선에 의해 순간 경화되면서 형상을 조형하는 방식으로 정밀도가 우수한 모형 제작이 가능하지만 단 강도가 약하다는 단점이 있음.
- SLA방식은 액상기반의 3D 프린팅 기술로 빛에 반응하는 광경화성 수지에 레이저를 주사하여 경화된 파트를 제작하며, 수작업으로 제작하기에는 거의 불가능한 형상으로 치수 조립 정밀도와 표면조도가 우수함.
- 영국 러프버러대(Loughborough University)의 건축학과 Russ Harris 교수는 포스터(Poster) 파트너스 건축사무소와 공동 연구 중에 비정형 건축에 사용될 수 있는 곡면과 크기가 다른 콘크리트 재료의 패널들을 만들었으며, 이는 앞으로 비정형 건축의 패널 제작에 사용될 수 있는 응용기술로 볼 수 있음.
- 디-셰이프(D-Shape) 프린터를 개발한 Enrico Dini 라는 이탈리아 발명가의 건물 3D 프린터는 사람의 개입 없이도 풀-사이즈 샌드스톤(full-size sandstone) 빌딩을 건축할 수 있음.
- 컨투어 크라프팅(Contour Crafting) 3D 프린팅 기술은 3D 프린터의 원리로 콘크리트를 분사하여 구조체를 만들고 중간에 로봇기술에 의해 골조나 기타 부속품을 결합해 가며 구조물을 완성하는 방식임.
- ‘디지털 그로테스크(Digital Grotesque)’는 프린팅시에 별도의 바인더가 분사되어 딱딱하게 모래 알갱이들이 교결됨.

(2) 국외

○ Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing - Project Led Architectural Research

- 본 논문은 J. B. Gardiner의 학위논문으로써 건설 산업 내에서 확장되고 있는 3D 프린팅 기술을 소개하고 있음. 건설 3D 프린팅은 건설산업 내에서 상당한 발전을 이끌 수 있으며, 기술의 개발을 위해 상당한 투자가 되어지고 있음. 현재 실제 건물 크기로 만들어낼 수 있는 몇 가지의 사례들이 있음.
- 중요한 과제는 현장에서의 제조 방법 및 디지털 설계 프로그램과 결합한 건설 3D 프린팅 디자인에 초점을 맞추어 더 상세한 건축의 개발을 통해 건설 3D 프린팅 기술의 한계까지 얻어낼 필요가 있음.
- 내용은 크게 두 부분으로 나뉘어있으며, 첫 번째 부분은 디자인, 오프 사이트 제작, 디지털 설계 툴, 건설 및 병렬 산업 (항공, 우주, 자동차, 제조, 조선) 내에서 3D 프린팅의 주제에 초점을 맞추고 인터뷰, 현장 방문 및 문헌 고찰을 기반으로 한 배경조사를 제시하였음. 두 번째 부분은 건설 3D 프린팅을 사용하여 제작하는 디자인에 초점을 맞춰 설계한 세 가지 건축 프로젝트의 사례 연구를 제시함.
- 이 연구의 목적은 건설 및 연관 산업 내에서 새로운 동향의 주요 현장 조사에 있었으며, 새로운 설계 및 시공 방법을 형성하기 위해 문헌 검토와 현장 조사에를 통한 소개임.

○ How will 3D Printing affect architecture as we know it today

- 본 논문은 Cristina Maria Radu의 학위논문으로써 3D 프린터 기술의 배경과 역사에 관한 연구를 하였으며, 전문가의 의견을 통한 미래 비전에 관해 서술하였음.
- 3D 프린팅 건축은 혁명적이며 비정형적 구조가 가능해질 것이라고 하였으며, 그 형상에는 제한이 없기 때문에 건축가에게 완전한 자유를 줄 수가 있게 됨.
- 그리고 기존의 콘크리트 및 벽돌을 대체하고 에너지 절감을 할 수가 있어서 환경적으로 기여가 가능하고, 시공이 빠르고 정확하기 때문에 매우 큰 잠재력을 가지고 있음.
- 앞으로는 3D 프린팅을 사용하여 달에 임시 주택을 건설할 수 있으며, 재활용 플라스틱 등을 활용한 건물이나 대량 생산이 가능해질 것임.

○ Performance of 3D computers and 3D printed models as a fundamental means for spatial engineering information visualization

- 엔지니어링 정보는 해당 정보의 오류와 누락 등의 잘못된 해석으로 인하여 비효율적인 의사소통이 발생하는 원인이 될 수 있음.
- 기존에는 건축 도면의 시각화 및 계획을 지원하고 시공을 순차적으로 진행할 수 있도록 하기 위하여 건축 모형을 제공하였음. 그러나 3D CAD 및 빌딩 정보 모

델링 기술의 도입 이후 감소하기 시작하였으며, 최근 3D CAD 모델의 프린팅이 가능하게 되었음. 3D 프린팅 모델은 생산성 측면에서 2D 도면과 3D 컴퓨터 소프트웨어를 상회하는 공학의 산물임.

(3) 3D 프린팅 건축 관련 논문 시사점

○ 3D 프린터 기술 관련 논문은 SCI 등재지를 기준으로 4건밖에 존재하지 않았음. 미등재지의 경우에는 더 많은 수가 있을 것으로 예상되나 국내 학술지의 조사결과에 미루어 짐작하면 그 수는 미미할 것으로 판단됨.

○ 주요 논문을 살펴보면, 국내 3건, 국외 3건이 존재하였음. 그러나 국내는 학술발표대회 2건에 리뷰논문 1건이었으며, 국외는 학위논문 2건에 학술지 1건이었음.

- 내용면에서 살펴보면 국내 논문들은 모두 3D 프린팅 기술 현황을 통한 소개가 주 내용이었으나, 국외 논문은 현황을 포함한 주요 건축 활용 기술의 소개를 하고 있음

3. 유사기술 및 3D 프린팅 적용 건설기술 사례

○ 제품개발 관련 연구 및 제품상용화단계까지 진행 중인 기계, 의료, 항공 등의 분야에 비해 건축 분야는 최근 기초적인 연구개발 및 Mock-up수준의 Test-bed 정도가 진행되는 실정임.

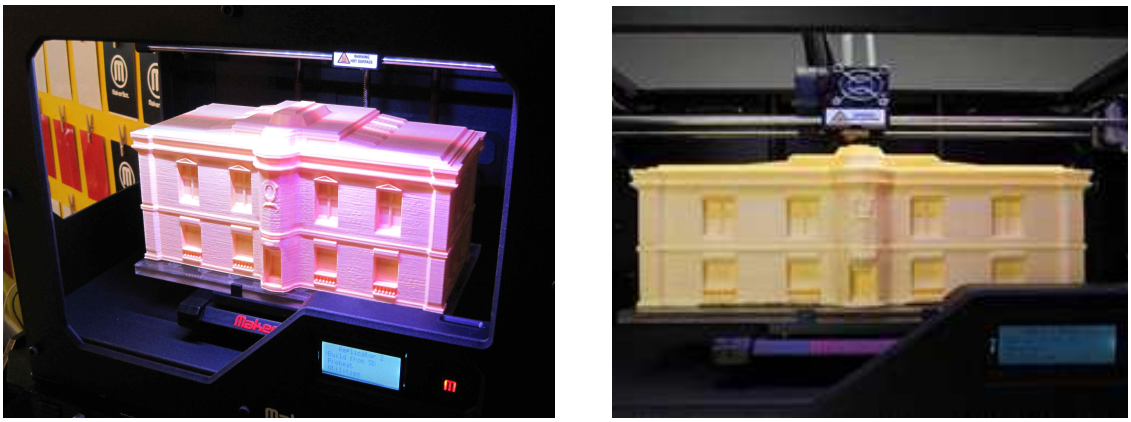
○ 건축분야에서는 실질적인 상품 생산에 있어서는 제품의 비정형화, 제작환경 여건, 타산업 대비 생산품의 거대화, 제품의 안전성, 기존 공법 및 재료/소재 대비 경제성 및 시공성 등의 타분야와는 상이한 조건을 충족시켜야 하는 어려움이 있음.

가. 기초·실험적 수준 사례

○ 현재 건설 산업과 관련하여 가장 활발히 적용되는 3D 프린팅 기술 분야는 3D 프린터를 활용한 소형의 건축물 모형 제작임.

- 최근 비정형 건축 설계와 관련하여 시도가 많아진 시점에서 소형 목업(Mock-Up) 모델을 통한 사전 프로젝트 시에 3D 프린터를 이용한 건축 모형 제작을 통해 비정형 건축 형태의 복잡하고 정밀한 외형을 빠른 시간 내에 간편하게 제작 할 수가 있으며, 이를 통해 불필요한 시간 및 노동력의 소비와 모델 제작 비용 또한 절감하는 효과가 있음.

○ 2012년 9월, 미국의 메이커봇(Makerbot)社에서는 PLA 수지를 사용하여 인쇄할 수 있는 FDM 방식의 MakerBot Replicator 2를 개발하였으며, 미국 백악관의 모형 제작을 통하여 이 3D 프린터의 성능을 시연하였음.



[그림 30] MakerBot Replicator 2를 이용하여 만든 Mock-Up 백악관

○ 2012년 4월에 스트라타시스(Stratasys)社는 즉각적으로 생성된 100가지 이상의 디지털 재료를 비롯한 140가지의 재료 옵션을 통해 제품을 만들 수 있는 Connex 3D 프린터를 사용하여 오브젯 베로 클리어(vero clear)라는 투명재료를 사용해 에펠탑 모형을 제작함.

[그림 31] 3D 프린팅 기술을 통해 제작한 에펠탑 모형

- 잉크젯 기반의 오브젯 3D프린팅 기술을 통해 에펠탑 구조물의 세밀한 틈 사이까지 구현하였으며, 에펠탑이 가지고 있는 구조물의 아주 세밀한 틈 사이에도 불필요한 잔여물을 전혀 남기지 않는 뛰어난 디테일을 보여주었음.
- 모형의 출력에는 즉각적으로 생성된 100가지 이상의 디지털 재료를 비롯한 140가지의 재료 옵션을 통해 제품을 만들 수 있는 Connex 3D 프린터를 사용함.

○ 미국의 Steelblue와 Autodesk는 최근 3D 프린터로 출력을 하여 미국 샌프란시스코의 스카이라인을 미니어처로 만들어내었음.

[그림 32] 3D 프린팅 기술로 제작한 샌 프란시스코의 스카이라인

- 이 모델의 제작 시간은 18시간이 걸렸으며, 도시에 변화가 생길 경우에 다시 제작하는 일이 없도록 각 건물은 개별적으로 제작되었음.
- 의뢰는 부동산 업자인 Tishman Speyer가 의뢰를 하였으며, 기존에 광고용으로 이용하였던 3D 디지털 모델을 사용하여 제작하였음. 모델은 1:1250의 스케일로 만들어졌으며, 이 스카이라인 모델의 규모는 가로세로 6피트 정도의 크기로 제작되었음.
- Steelblue의 사장인 O'Brien Chalmers가 답변한 인터뷰에서는, 이 스카이라인 모델은 퍼즐 조각처럼 완벽히 맞도록 3D 프린팅 출력을 하였으며, 이토록 상세한 건물들을 제작할 수 있다는 것은 매우 많은 이점을 준다고 하였음.
- 미니어처의 제작은 스트라타시스(Stratasys)의 3D 프린터를 이용하여 제작하였으며, VeroClear 재료를 사용하여 투명하고 광택이 있는 모습으로 만들었음.

○ 인도의 FTP 3D에서는 3D 프린팅을 통해 기존과 달리 단순히 건물 모형만을 출력하는 것이 아닌, 대상 건축물 주변 경관까지 디자인하여 프로토타입 모델을 제작하여 주는 일을 하고 있음.

[그림 33] FTP3D에서 서비스하는 3D 출력 모델

- 이 회사는 인도 내의 건축 스튜디오와 협업을 하여 스튜디오에서 받은 설계 파일을 기반으로 하여 3D 프린터로 건물 모델을 출력하고, FTP3D의 자체적인 전문가 팀에 의하여 나무, 녹지 등 다른 풍경 요소를 미니어처로 준비를 함.
- FTP3D는 Mahindra Lifespaces.의 파트너로서, 최근 뭄바이에서 진행중인 프로젝트 'Navya'에 FTP3D의 프린팅 서비스를 사용하고 있으며, 운반의 편의를 위하여 쉽게 해체 하고 다시 조립할 수 있도록 제작함.
- 또한, MMRF Realty과 합작하여 진행하는 첸나이 빌라 프로젝트는, 인테리어도 표현을 하여 고객에서 디자인을 설명하는 것이 용이하도록 하였음.

○ 2012년 4월에 스트라타시스(Stratasys)社의 오브젯 보스턴 지사의 직원들은 자사의 장비 중 가장 큰 복합재료 3D 프린터인 오브젯 코넥스 500 (Objet Connex500)를 사용하여 보스턴 레드삭스(Boston Red Sox)의 홈경기장인 펜웨이 파크(Fenway Park)를 제작함.

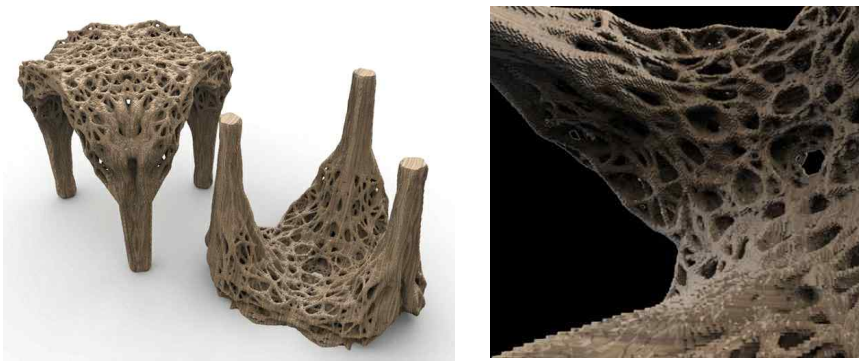
[그림 34] 3D 프린터를 통해 제작한 보스턴 레드삭스 야구장 모형

- 펜웨이 파크 구장의 3D 모델은 오브젯의 장비 중 가장 큰 복합재료 3D 프린터인 오브젯 코넥스500 (Objet Connex500)를 사용하여, 40개의 각기 다른 조립부품으로 나뉘어 제작되었으며, 조립을 마친 완성품 모델의 무게는 약 105 파운드(약 47.6kg)임.
- 최종 완성 3D 모델은 오브젯 장비의 뛰어난 고해상도를 출력 기술을 통해 펜웨이 파크의 상징인 우측 펜스의 페스키 기둥(Pesky's Pole), 전설의 4할타자 테드

윌리엄스의 레드 시트(Ted Williams' red sear), 그린 몬스터(the Green Monster)와 상단의 좌석 등 주요 디테일을 모두 표현해냄.

- 작은 구장의 모형에서 실제 팬웨이 파크 구장의 조명 갯수, 중앙광장, 덕아웃 및 불펜에 이르기는 세부적인 디테일까지 정확하게 재현을 하였음.
- 이후 펜웨이 파크 3D 모델은 보스턴 TD Garden에 위치한 보스턴 스포츠 박물관(Boston Sports Museum)에 기증되었음.

○ 런던에서 활동하고 있는 예술가 Daniel widrig는 프랑스 Orleans에서 열린 건축 전시회 Frac Center를 위해 실험적인 의자를 선보였음.



[그림 35] 3D 프린팅 기술을 통해 제작한 Degenerate Chair

- 친환경 소재인 설탕, 사케, 석고를 혼합한 재료를 사용하여 3D프린터를 통해 구조적으로 불필요한 부분을 선택 제거하여 경량화한 인테리어 스툴인 Degenerate Chair을 제작함.
- 영화나 컴퓨터 게임에서 사용되는 디지털 기술을 이용한 조각 기술을 통해, 약 30억 픽셀로 구성되어진 의자를 설계하였으며, 의자가 마치 나무의 뿌리를 연상시키는 디자인으로 제작.

○ 최근 중국에서는 중국 내 현존하는 가장 큰 규모의 제단인 천단(天壇) '기년전'의 복제품을 초대형 건축용 3D 프린터를 이용하여 실물 크기로 제작을 하는 작업을 진행하고 있음.

[그림 36] 초대형 3D 프린터를 이용한 중국의 천단 '기년전' 복제 3D 프린팅

- 2014년 6월, 중국의 3D 프린터 제조사인 Qingdao Unique Products Develop는 중국 칭다오에서 열린 2014 세계 3D 프린팅 기술 산업 컨퍼런스와 전시회를 통해 초대형 건축용 3D 프린터를 공개함.
- '기년전'의 복제품을 제작하기 위하여 6개월의 제작 기간을 거쳐 무게 20톤, 규모는 12m*12m*12m의 출력물을 제작 가능한 초대형 3D프린터를 개발함.
- 현재 6~8개월의 제작 기간 동안 12톤의 콘크리트와 8톤의 신소재 혼합물을 사용하여 바닥넓이 100㎡로 제작할 예정에 있음. 이것은 3D 프린팅 기술로 만들어진 세계에서 가장 큰 구조물임.
- 초대형 3D 프린터는 120톤 이상의 무게의 크레인 및 기타 장비를 사용해 조립하였으며, 현재 이 지역의 프린팅 산업단지의 첨단 기술 영역에 배치되어 일반인에게도 공개하게 되었음.
- 3D 프린팅 조형 기술은 FDM 방식을 이용하게 제작되었고, 출력용 재료는 가볍고 튼튼하면서 내식성이 강한 친환경 소재인 그래핀 유리섬유 강화 플라스틱이 사용되었음.

○ 2013년 12월, 네덜란드의 'LEAP FROG 3D PRINTERS'사는 네덜란드 De Nieuwe Kerk 지역에서 자사의 3D프린터를 사용하여, 중국 자금성을 구성하는 부속 건물 총 980개(사원, 홀, 타워, 다리, 벽 등) 제작을 통해, 실물 자금성과 같은 미니어처를 제작함.

[그림 37] 3D 프린터를 이용한 중국 자금성의 축소 모형

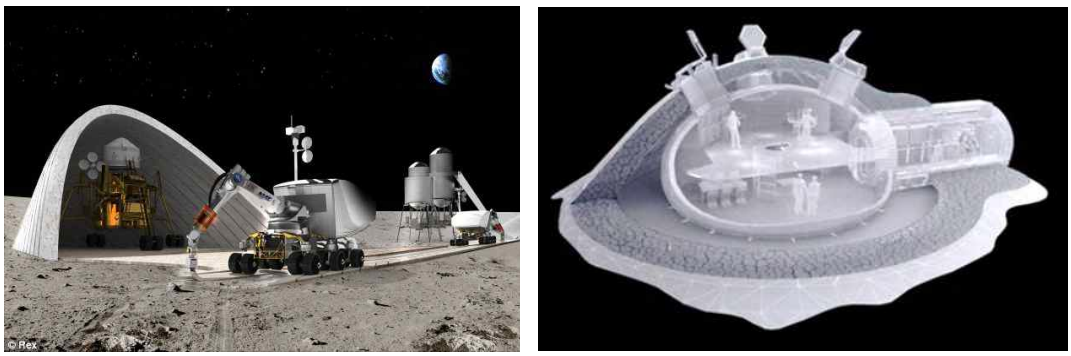
- 이 작업은 2013년 10월 5일 부터 시작이 되었으며, 총 2대의 Leapforg사의 3D 프린터를 쉬는 시간이 없이 매일 24시간을 가동시켜서 완성하였음.
- 제작된 모형의 크기는 1:300 스케일로 만들어졌으며, 제작 방식은 FDM 적층 방식의 이중 압축으로 출력하였으며, 압출 재료는 PLA 재료인 Laybrick 필라멘트를 사용하여 출력하였음.
- 자금성의 부속된 각각 건물의 인쇄 공정은 평균적으로 4~5시간이 걸렸으며. 현재는 암스테르담에 있는 '밍' 전시회에서 전시 중에 있음.

나. 구조체 단위 적용 사례

○ 미국 남부 캘리포니아 대학교(USC)의 'Behrokh Khoshnevis' 교수 연구팀은 기존의 FDM 3D 프린팅 방식을 사용하여, 기존의 미니어처 모형이 아닌 하루 만에 주택(주거공간)을 지을 수 있는 초대형 3D 콘크리트 프린팅 기술인 'Contour Crafting' 을 발표하였음.

[그림 38] 캘리포니아 대학교(USC)의 초대형 3D 콘크리트 프린팅 'Contour Crafting' 방식

- 이 시스템은 산업계에서 널리 사용되는 CAD(Computer-Aided Design)/ CAM(Computer-Aided Manufacturing) 소프트웨어로 설계된 3차원 물체 디자인을 3D 프린터을 통해 플라스틱 레이어들로 연속적으로 적층하여 출력하는 쾌속 시작기(Rapid Prototyping Machine)의 개념을 가지고 기존의 3D 프린터를 일정한 비율로 증대하여 제작한 것임.
- 규모를 키운 FDM 방식의 3D 프린터로 경화속도를 조절한 콘크리트 모르타르를 적층시켜 거푸집이 없이 기성건축자재를 사용하여 로보틱스 기술과 전통적인 건축법을 융합하여 주거공간을 제작함.
- 건물 규모는 230평방미터이며, 약 20시간 내 주택(주거공간)을 시공함.
- 현재 'Behrokh Khoshnevis'교수의 'Contour Crafting' 방식을 이용한 건축 프로젝트는 NASA의 미항공우주국(NASA)의 도움을 받아 진행 되고 있음.



[그림 39] 캘리포니아 대학교(USC)가 Contour Crafting을 통하여 건축 중인 모습 예상도

- 집의 설치와 해체가 쉬워지고 재료의 재활용이 쉽기 때문에 비용이 적게 듬.
- 전문가의 조종이 없이 3D 프린터가 자동으로 건물을 만들기 때문에 화성이나 달 같은 우주 공간에서 흔한 재료를 모아 집을 짓는 것도 가능.

○ 미국의 미네소타 주(州)에 거주하는 안트레이 루덴코는 그가 직접 설계한 3D 프린터를 이용해 약 4개월 동안 본인의 주택 뒷마당에 약 3.6m높이의 성을 제작함.

[그림 40] 개인이 3D프린팅을 통하여 만든 콘크리트 성

- 오픈 소스 3D 프린팅 소프트웨어인 렙랩(RepRap) 프로젝트를 이용하였으며, 콘크리트와 모래로 이뤄진 고유 재료를 활용하여 FDM 기법으로 제작함.
- 루덴코가 설계한 이 3D 프린터는 , 한 층당 가로 30mm 세로 10mm의 사이즈로 원료를 압출시켜 조형할 수 있으며 용도에 따라 압출되는 사이즈를 조절할 수 있음. 이 3D 프린터를 이용하여 해당 성 건설에 투자한 시간은 불과 8시간임.
- 루덴코는 본인이 제작한 이 3D 프린터를 소규모의 건축 회사들도 감당할 수 있는 더 작은 사이즈의 제품으로 개선할 예정으로, 제작비용은 30,000 ~ 50,000 달러를 예상하고 있음.

○ 예술가인 루카스 오미겐과 마르셀 테슬러가 공동 창업한 독일 3D프린터 제조업체 빅렙은 뉴욕에서 열린 '3D프린트쇼'에서 가구를 만들 수 있는 3D프린터 '빅렙 원'을 선보임.

[그림 41] 빅렙 원의 모습과 가구 출력물

- 빅렙 원은 오픈소스 프로젝트 '렙랩(REPRAP)'을 바탕으로 만들어졌으며, 카트리지 재료를 보통의 플라스틱과 나무 느낌이 나는 필라멘트, 모래 느낌이 나는 필라멘트 등을 씀. 기존 FDM방식의 3D프린터도 나무 느낌이나 모래 느낌이 나는 필라멘트를 카트리지에 끼우는 게 원칙적으로 안 되는 건 아니지만, 노즐이 막힐 우려가 있어 권장되진 않았음.

- 빅렙 원은 ABS와 PLA, 나일론, 레이우드 등 9개의 재료 중 고를 수 있으며, 빅렙 원이 다양한 재료를 쓸 수 있는 까닭은 노즐 크기가 1mm로 크기 때문임. 개인용 3D프린터 메이커봇 '리플리케이션2x'는 노즐 크기가 0.1mm이지만, 노즐이 작을수록 재료를 얇게 뽑아 정교한 작품을 만들 수 있음. 그러나 이와 반대로 재료가 두껍게 뽑히면 제품 표면이 매끈하지 않고 울퉁불퉁하게 됨. 빅렙 원은 다양한 재료를 쓰는 대신 정교한 품질을 양보하였음.
- 빅렙은 FDM 방식의 3D프린터 가운데서 빅렙 원이 가장 큰 물체를 만들 수 있다고 하였으며. 빅렙 원은 가로・세로・높이 100×114.7×118.8cm인 제품까지 출력을 할 수 있음.

○ 2014년 4월 윈선 장식 디자인 엔지니어링社는 자사에서 제작한 4대의 거대한 3D 프린터를 이용해 기업 본사건물을 10,000㎡에 30일간 프린트하여 세웠음.

[그림 42] 윈선이 공개한 상하이 공업단지 사무실용 건물의 건축 모습

- 윈선 장식 디자인 엔지니어링社는 지난 10년 동안 3D 프린팅 기술을 활용한 주택 연구를 해왔으며, 현재 섬유강화석고와 특수유리섬유시멘트 등 건축자재에 대하여 약 77개의 특허를 보유하고 있음.
- 제작에 사용된 대형 3D 프린터의 크기는 높이 20피트(약 6.09미터), 가로 33피트(10.05미터), 세로 132피트(40.23미터) 가량임.
- 기존의 데스크탑톱 3D 프린터와 마찬가지로, 이 건축용 3D 프린터 역시 FDM(Fused Deposition Modeling) 기술을 사용하여 치약 튜브에서 치약을 짜내듯 한 번에 한 층씩 쌓아 올리는 방식(적층 방식)을 택하고 있음.
- 주택 1채의 모듈의 규모는 15m*10m*6.5m이고, 각 섹터별로 제작하여 기존의 프리캐스트 공법과 유사한 방식으로 접합함.
- 하루 만에 프린트되는 집들은 약간의 공학적 작업, 배관설비, 전기공사, 냉난방 등은 모듈화를 통해 조립하게 됨. 덕트, 배관, 배선 채널 구조는 프린트가 가능하며. 물, 전력, 히터만 따로 추가하면 금방 들어가서 살 수 있는 집으로 완성됨.
- CAD 디자인을 기반으로 하여, 컴퓨터가 3D 프린터의 출력 노즐(extruder)을 조종하

여 콘크리트를 적층하는데, 이 콘크리트에는 특별 경화제가 추가돼 있어 각 층이 다음 층을 지지할 수 있을 만큼 단단하게 굳어지게 됨. 회사는 공장에서 건물의 벽들을 각각 3D 프린터로 출력하여 제조한 뒤 건축 현장에서 이들을 한 곳에 조립함.

- 윈선 장식 디자인 엔지니어링社는 현재 기존 일반적인 주택건설에서 필요한 공사기간은 70% 재료의 60%, 기존 노동력의 80% 정도를 절약할 수 있고, 건축폐기물을 활용하여 시공이 가능하다고 발표함.
- 기존에도 3D 프린팅을 사용해 건축물을 지으려는 시도는 있었으나, 하루 만에 여러 채의 건물을 건설한 건 잉추앙이 처음이었음.
- FDM방식을 모사, 모듈화 시공방법 활용 및 대량 생산 계획 중에 있음.

○ 2014년 3월 29일 중국의 윈선 장식 디자인 엔지니어링社는 3D프린터를 사용하여 6층 주거용 빌라를 상하이에 만들었음.

1,100㎡의 저택

6층 규모의 주택

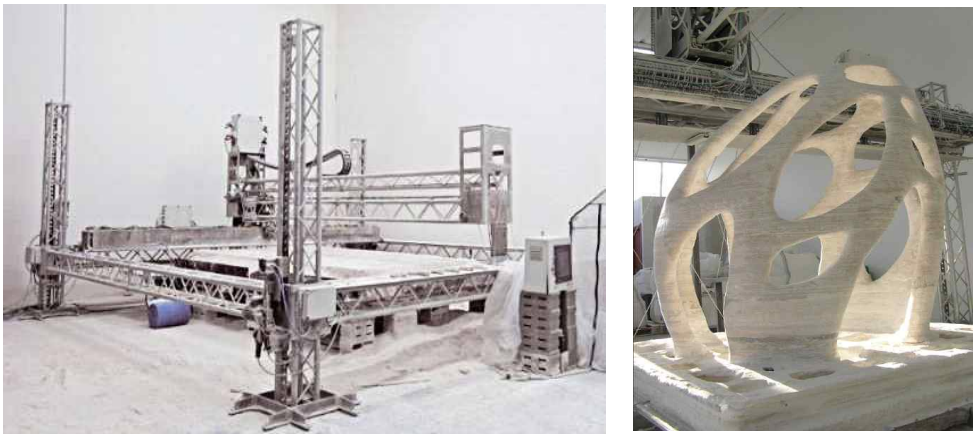
[그림 43] 중국 소주시 두 개의 건축프로젝트

- 제작된 이 빌라의 면적은 1100㎡이며 비용은 우리나라 돈으로 약 1억 7천만원 정도임. 약 16만 1000달러임. 이 빌라를 통해 이집트 정부와 단층집 2만개 공급 계약을 성사시킴.
- 제작에 사용된 3D 프린터는 윈선 장식 디자인 엔지니어링社에서 자체 개발한 높이 6.6m, 너비 10m, 길이 40m의 초대형 프린터를 통해 제작하였음.
- 이 프로젝트는 외형뿐만이 아니라 건물 내부 및 외부장식을 완벽하게 제공하였으며, 건물의 바닥과 벽은 공장에서 3D 프린터로 제작 후에 다시 적당한 크기로 분리하여 현장으로 운반함.
- 이 3D 프린터에는 콘크리트, 유리섬유, 모래 등을 비롯하여, 건축 폐기물, 광물찌꺼기, 도시폐기물 등도 활용이 가능하여 친환경적임.
- 그동안 3D 프린팅 건설은 건설 과정에서 철골을 삽입할 수가 없기 때문에 이러한 철골 및 철근 누락으로 말미암은 골조 안정성의 문제가 가장 큰 걸림돌로 지적되어 왔음. 그리하여 인형이 사는 집이라거나 1층 이상은 활용할 수 없다는 말이 있었음.

- 그러나 윈선 장식 디자인 엔지니어링社는 6층 빌라의 건설을 통해 이와 같은 3D 프린팅 건설의 고질적인 문제점들에 대한 해결책을 제시함.
- 벽체를 건설할 때 벽체의 단면을 ‘지그재그’ 패턴으로 출력을 하여, 빈 공간에 철근이나 철골 등의 보강재와 단열재를 넣을 수 있도록 설계하여 정부의 기본적인 건축 기준을 충족시켰음.
- 윈선 장식 디자인 엔지니어링社는 이 건물이 사람이 거주하기에 안전하며, 총 12층까지 건축이 가능하다고 하였음. 그러나 전문가들은 안전에 대해서는 부정적인 시각임.

○ D-shape社는 특수한 강도를 지닌 분말을 사용하여, 3D 프린팅 적층공법을 통해 실제 구조적 재료로 사용 할 수 있는 건물 형상을 3차원 형태로 제작함.

- 기본적인 구조는 잉크젯 프린터를 거대하게 한 것으로, 6m 사방의 프레임 안에 앞뒤로 이동하는 프린트 헤드가 설치되어 있으며, 헤드에서 모래를 분사하고 그 위에 300개의 노즐이 결합제를 인쇄함.



[그림 44] D-shape의 3 D프린터와 제작 결과물

- 경량 섬유 보강 콘크리트 재료를 이용하여 6m×9m 크기의 패널 모듈 들을 낱개로 프린팅을 한 뒤 조립하는 방식으로 24시간의 응고시간 후 기존의 시멘트보다 강도가 높고, 가벼운 무독성 친환경적인 인조대리석과 같은 마감으로 처리함.
- 각 층의 두께는 5~10mm이며, 결합제가 인쇄된 부분만 응고하고 그 후에 주위의 모래를 제거하면 3D 형상이 나타남. 응고될 때까지 주위의 모래는 토대와 같은 역할로 그 형상을 지지하는 것으로, 모래는 이탈리아의 도로미티 지방 것을 원료로 하고 있음.
- 모래와 분말형 반응제를 섞어 뿜은 뒤 액체형 결합재를 뿌리고, 결합재와 반응제가 만나면서 모래가 굳어 돌이 되는 것으로써 소재의 분출 굵기가 5㎜에 불과해 기존 방법으로는 만들기 어려웠던 정밀한 곡선 모양도 저렴한 가격에 제작할 수 있음.
- D-Shape社의 재료는 가격이 높지만, 콘크리트처럼 철근과 거푸집이 불필요하기 때문에에 기존의 건축물 시공 방식보다 30~50%정도 비용이 절감되는 경제적 효과가 있음.

- 이와 관련하여 이 기술을 이용해 2 층 건물을 개발할 수 있도록 계획을 하고 있으며, D-Shape printer를 발명한 Enrico Dini이라는 이탈리아 발명가와 함께 진행을 하고 있음.
- D-Shape는 사람의 개입 없이 도면 파일의 입력만으로 3D 프린터가 Full-Size Sandstone 빌딩을 건축할 수 있는 기술을 보유하고 있음.
- D-Shape의 이 방식은 기존의 프로세스보다 네 배 빠른 속도로 건설 가능하며, 미래에는 먼지를 재료로서 이용할 수 있는 방법도 추진 중임.
- 각 층의 두께는 5~10mm이며, 결합제가 인쇄된 부분만 응고하고 그 후에 주위의 모래를 제거하면 3D 형상이 나타남. 응고될 때까지 주위의 모래는 토대와 같은 역할로 그 형상을 지지하는 것으로, 모래는 이탈리아의 도로미티 지방 것을 원료로 하고 있음.

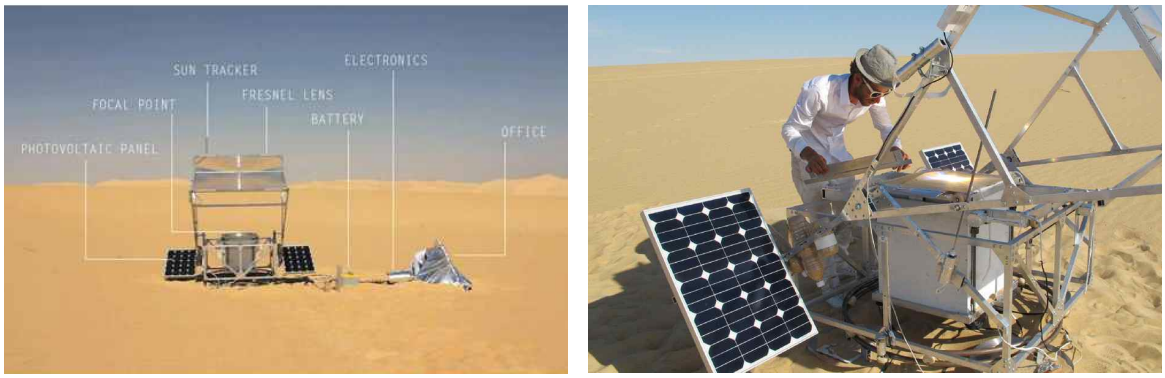
○ 영국 러프버러 (Loughborough) 대학교 소속의 IMCRC (Innovative Manufacturing and Construction Research Centre) 센터는 '프리폼 컨스트럭션 (Freeform Construction)' 프로젝트를 통해 2007년 이후로 줄곧 콘크리트 3D 프린팅 기술을 연구하여 왔음. IMCRC 센터는 연구의 성과로서 지난 2010년, 1톤 무게의 강화 콘크리트 벤치를 3D 프린팅 하는데 성공하였고, 이어서 S자형으로 구부러진 복잡한 형태의 콘크리트 패널을 제작할 수 있는 수준까지 개발함.

[그림 45] IMCRC 센터의 프리폼 컨스트럭션(Freeform Construction)

- 이는 콘크리트 원료와 적층 방식의 3D 프린팅 기술을 이용해 새로운 건축물 제작 공정을 개발하기 위한 시도로서, 3D 프린터 기술이 가진 무한한 가능성에 힘입어, 건축가에게 하여금 어떠한 복잡한 형태도 구현해내는 상당한 수준의 디자인 자유도를 제공할 수 있게 되었음.
- IMCRC센터는 최근, 세계 최대 규모의 건축 회사 중 하나인 스웨덴의 '스칸스카 (Skanska)' 사를 비롯해, 각 전문 분야 업체들과의 파트너쉽을 통해 콘크리트 3D 프린팅 로봇의 본격적인 상용화를 준비중임.

○ 영국왕립미술원에서 디자인을 전공한 마커스 카이저는 몇 달 전 발전 이외에 태양에너지로 할 수 있는 프로젝트를 찾고 있었음. 그는 모래를 녹는점까지 가열했다가 식혀서 유리를 만드는 공정에 대해 알게 되었으며, 커다란 렌즈로 태양열을 모아 모래를 가열하는 3D 프린터 개발을 함.

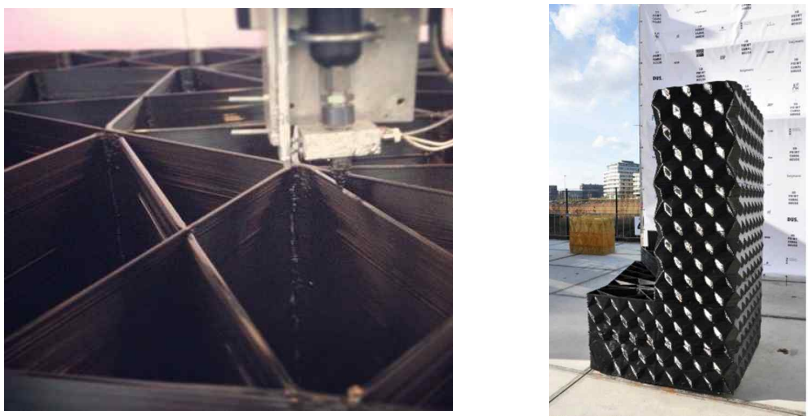
- 프린터의 작동 효율 향상을 위해서는 렌즈의 초점을 모래 표면에 정확히 조준하는 것이 중요함. 그러나 태양은 이동하기 때문에 작업 도중 초점이 바뀔 수 있었다. 그래서 마커스는 폭 1.4m의 대형 렌즈를 주문하고 렌즈를 얹을 모터구동식 프레임을 제작함.



[그림 46] 마커스 카이저의 태양에너지를 이용한 3D 프린터

- 작품이 프린팅 될 중앙의 모래상자는 모든 방향으로 움직일 수 있으며 프린터 전체가 모래상자를 중심으로 회전하도록 설계함. 병렬식으로 배치된 두 개의 알루미늄 프레임 한쪽에는 렌즈, 다른 한쪽에는 태양전지 패널이 부착되며 태양의 각도에 맞춰 45~90도 사이로 이동이 가능함.
- 이 프린터는 모래상자에 태양열을 집중시켜 녹인 뒤 한 층씩 쌓아서 모양을 만듦. 이후 모래가 식으면서 유리 작품이 완성됨. 제작 완료 후 마커스는 런던에서 실험을 하려 했지만 영국 특유의 우중충한 날씨 때문에 어려움이 생김. 그래서 태양이 작열하는 이집트에서 11시간 동안 차를 몰고 달려 사하라 사막에 기기를 설치하였음.

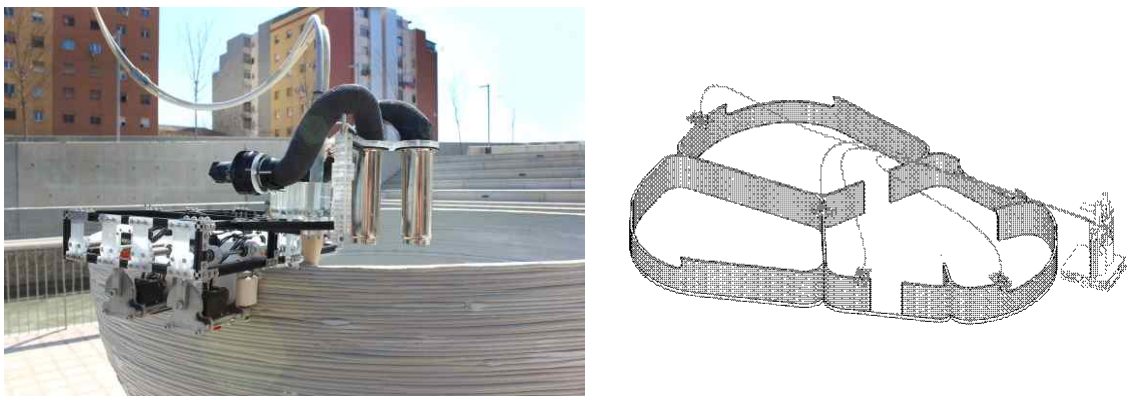
○ 2014년 3월 네덜란드는 '3D프린트 캐널 하우스' 프로젝트를 통하여, 3D 프린터를 이용하여 건물을 제작하고 있음. 3D 프린트 캐널 하우스는 암스테르담 북부 지역 운하에 2층 건물을 짓는 3년짜리 프로젝트이며, 네덜란드 건축업체 더스 아키텍츠社가 맡아 진행하고 있음.



[그림 47] 두스 아키텍츠가 3D 프린팅 기술을 이용하여 만든 건축 부품

- 더스 아키텍츠社는 기존의 소형 3D프린터를 대형화 하여 높이 6m 크기의 실제 건물 시공이 가능한 ‘카머 메이커(Kamer maker)’라는 거대 3D프린터를 제작하였음. 이 대형 3D 프린터의 이름은 ‘룸 빌더(room builder)’라는 의미임.
- 이 대형 3D 프린터를 이용하여 3년 정도의 시공 기간을 통해 암스테르담의 북부 지역에 위치한 운하 주변에 2층짜리 빌딩(Canal house) 건설을 진행함.
- 실제 이 카머 메이커 3D 프린터는 Ultimaker(얼티메이커)사의 3D 프린터를 개조하여 만든 것으로, 건물 전체만큼은 아니지만 방만큼 큰 크기를 가지고 있으며, 각각의 건물 구조들을 따로 출력하여 레고 블록처럼 쌓아 올릴 계획임.
- 지금까지 진행된 상황은 계단을 붙인 집의 측면 부분을 제작하였고 부품의 무게는 약 400파운드이며 매주 하나씩 제작하여 조립하며 커널 하우스를 짓는 계획임.
- 각 부품의 단면은 벌집 구조로 되어 있으며, 구조적 강도 확보를 위하여 거품(foam)재료로 채워져 콘크리트 수준의 강도를 구현함. 이 3D 프린터를 통해 제작 후 남은 재료는 재활용을 하기 때문에 건축자재의 조달 비용도 줄일 수 있음.

○ 스페인 바르셀로나에 소재한 IAAC (Advanced Architecture of Catalonia)의 연구원들은 3D 프린팅 기술과 로봇공학을 결합하여 자신의 크기보다 훨씬 더 큰 조형물을 만들어 낼 수 있는 세 대의 로봇 그룹을 개발함. 이 시스템의 명칭은 미니빌더스 (Minibuilders)로, 구성원인 로봇들은 각각 다른 임무를 실행하도록 설계되었으며, 함께 협업하여 커다란 크기의 출력물을 만들어 냄.



[그림 48] IAAC (Advanced Architecture of Catalonia)의 미니빌더스(Minibuilders)

- 미니빌더스는 총 3단계로 나뉘어 작동하며, 첫 번째 단계는 구조물의 기반을 세우기 위해 20층의 원료를 쌓는 파운데이션 로봇이 담당함. 파운데이션 로봇 내부에 탑재된 센서는 미리 정의된 경로를 따라 방향을 제어하며, 원형의 경로를 따라 이동하면서 재료를 쌓음.
- 파운데이션 로봇이 구조물의 기반을 세우고 나면 두 번째 단계를 그립 로봇이 담당함. 그립 로봇은 4개의 롤러 집게로 앞서 구축된 조형물의 상단부에 고정되어 조형물의 형태를 따라 이동할 수 있도록 설계된 로봇으로, 내장된 히터로 재료를 굳혀 가면서 추가로 층을 쌓음. 그립 로봇 또한 미리 정의된 경로를 따라 움직이도록 설계되어 있지만 에러가 발생할 경우 경로를 중간에 수정할 수 있음.

- 마지막 단계는 버큠 로봇이 내장된 흡입 컵과 진공발생기를 이용해 조형물의 표면에 붙은 채로 방향과 기울기에 상관없이 자유롭게 이동해가며 조형물의 벽이나 천장 표면에 재료를 쌓아 보강함.

○ MIT MEDIA LAB은 기존의 거푸집 제작 방식으로는 비정형 구조체를 제작하기 어려운 상황에서, 폴리우레탄을 재료로 하는 3D프린팅 기술을 개발함.

[그림 49] MIT MEDIA LAB 개발된 3D 프린터로 출력한 비정형 거푸집 제작 모습

- 이러한 3D프린팅 기술을 통한 제작방식은 전통건축 제작방식보다 출력속도가 빠르며, 비정형 형태의 구조체를 상대적으로 저렴한 비용으로 제작할 수 있음.

○ 미국 매사추세츠공대(MIT) 다니엘라 루스 교수팀에서 열을 가하면 스스로 조립되는 토끼 모형을 만듦. 코끼리나 축구공의 평면 설계도를 나무나 탄소섬유가 채워진 3D 프린터에 넣고 출력한 뒤 물에 담그면 입체 코끼리나 축구공으로 변신하는 방식으로, 최근에는 길이 15m 막대를 3D 프린팅 한 뒤 물에 담가 입체 구조로 만드는 데도 성공했다.

[그림 50] MIT 다니엘라 루스 교수팀에서 개발한 자가변형 출력물

- 나무 잉크가 든 3D 프린터에 코끼리의 평면 설계도를 출력한 뒤 물에 담그면 저절로 조립돼 코끼리모형으로 완성됨. 이와 같은 4D 프린팅 기술을 이용하면 저절로 만들어지는 상자나 글자를 만드는 것도 가능함.

다. 소결

○ 현재 건설산업 내 기업 및 대학 연구진에서 3D 프린팅 기술을 활용이 다양하게 시도되고 있음.

- 국외의 경우, Mock-up수준의 건축 모형부터 실물규모의 주거공간이 건축되고 있고, 이처럼 이미 국외에서는 3D 프린팅 기술을 적용하여, 건축 상품을 위한 제작하기 위한 기초수준에서 적정수준까지의 기술을 보유하고 있으며, 일부 건설업체는 3D 프린팅 기술을 활용한 실물규모의 주택, 빌라 등을 건설하여 분양사업을 시도하고 있음.

[표 21] 국외에서 시도되고 있는 3D 프린팅 건축 유사 사례

연도	국가	기관	성과물	출력 방식	성과물 기술수준		
2010	영국	D-shape	구조체	SLS	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2012	미국	Markerbot	백악관 (모형)	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2012	미국	Stratasys	에펠탑 (모형)	POLY JET	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2012	미국	Stratasys	보스턴 야구장 (모형)	POLY JET	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2012	미국	MIT	거푸집	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	

2014	미국	Steelblue	미국 샌프란시스코 스카이라인 (모형)	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2014	미국	-	건축물	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2014	미국	빅렙	가구	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2014	미국	University of Southern Calfornia	Contour Crafting (개발중)	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2015	미국	M.I.T	자가조립 모형	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2013	중국	Qingdao Unique Products Develop	천단 기년전 (모형)	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2014	중국	Winsun	건축물	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2014	영국	러프버러 대학교	콘크리트 패널	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	

2015	영국	-	모래상자	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2013	네덜란드	Leap frog 3D printers	자금성 (모형)	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2014	네덜란드	Dutch	건축물	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	
2014	스페인	IAAC (Advanced Architecture of Catalonia)	건축물	FDM	사업화	9	
					실용화	8	
						7	
					시작품	6	
						5	
					실험	4	
						3	
					기초연구	2	
						1	

- 그러나 대부분의 시도는 FDM 방식으로 이루어지고 있으며, 이 FDM 방식은 출력물의 표면이 고르지 않고, 현재 사용 중인 소재는 일정 수준 이상의 강도를 보장할 수 없기 때문에 당장 실용화가 될 수는 없음.
- 또한, 일부 건설산업에서 시도되는 3D 프린팅 활용 건축물은 단지 내·외부 벽체 단위모듈 생산 시 3D 프린팅 기술을 적용할 뿐 내부 설비 및 단열 등은 건축물 내 필수요소들에 대한 추가 작업은 기존 모듈러 공법와 생산체계가 동일함.
- 이에 따라, 기존 건축방식과의 경제성, 효율성, 생산성 등을 비교에서 실질적으로 성능 및 품질 등이 현저히 떨어져 건축 상품으로써, 글로벌 시장에서의 상요화가 어려울 것으로 판단됨.

○ 그러므로 이러한 시점에서 온전히 상용화될 수 있는 건축 상품으로써, 건축물 대상 3D 프린팅 기술 개발 및 파일럿 제작 후 성능검증 단계까지 실현된다면 현재 글로벌 건설시장 내 3D 프린팅 기술 및 건축 상품을 선도할 수 있을 것으로 판단됨.

4. 결론 및 시사점

○ 현재 3D 프린팅 관련 특허는 매우 많이 출원되어있으나, 건축에 활용한 기술은 매우 적으며, 주요 선진국의 보유 특허를 확인하면 14개 정도에 불과함.

- 대다수의 3D 프린팅 건축 관련 특허는 중국에서 보유중이며, 11개의 특허에는 시스템, 재료, 공법 등이 다양하게 존재하고 있음.
- 한국은 단 1개의 특허만을 보유하고 있으며, 이는 생산 시스템 특허로써 3D 프린팅 건축 기술의 원천특허로 볼 수 없음.

○ 중국에서는 이미 다방면에서 3D 프린팅 건축 특허를 보유하고 있으며, 한국이 이후 3D 프린팅 건축 시장을 선도하기 위해서는 새로운 기술의 개발 및 특허 출원을 통하여 선도국가들의 기존 특허에 제한받지 않는 원천기술 특허를 다수 보유할 필요가 있음.

○ 3D 프린터 기술 관련 논문은 SCI 등재지를 기준으로 4건밖에 존재하지 않았음. 미등재지의 경우에는 더 많은 수가 있을 것으로 예상되나 국내 학술지의 조사결과를 기반으로 생각하면 그 수는 미미할 것으로 판단됨.

○ 주요 논문을 살펴보면, 국내 3건, 국외 3건이 존재하였음. 그러나 국내는 학술발표대회 2건에 리뷰논문 1건이었으며, 국외는 학위논문 2건에 학술지 1건이었음.

- 내용면에서 살펴보면 국내 논문들은 모두 3D 프린팅 기술 현황을 통한 소개가 주 내용이었으나, 국외 논문은 현황을 포함한 주요 건축 활용 기술의 소개를 하고 있음.

○ 현재 국내·외 논문 모두 3D 프린팅 건축 분야의 연구는 미비하며, 이러한 상황에서 현재와 같은 동향 파악보다는 국내 연구자들이 주도적으로 3D 프린팅 건축을 연구하여 논문들이 지속적으로 나올 필요가 있음.

○ 국외에서는 이미 3D 프린팅을 활용한 건축 기술을 실용화하기 위해 다양한 실험들이 이루어지고 있으며, 이미 대부분 기초연구의 수준 이상으로 개발되었으며, 일부 국가에서는 실용화 단계까지 이르렀음.

- 주요 연구의 성과물은 2010년경부터 발표되기 시작하였으며, 당시에는 단순 구조체였음. 그리고 2014년 중국 WINSUN에서 완성한 3D 프린팅 건축물 시공을 통해 현재 실용화 직전 수준까지 개발되었음.

○ 그러나 현재 실용화 단계까지 도달한 것은 중국뿐이며, 활용 기술은 FDM 3D 프린팅 방식으로 강도 및 표면 처리에서 많은 단점을 가진 기술임

- 또한, 이 실험은 각 부재를 모듈화하여 출력한 뒤 결합하여 건축물을 만드는 것으로써 완전한 3D 프린팅 건축이라고 하기에는 미흡한 부분이 있음.

○ 이러한 시점에서 기존 선도국가 및 기업들의 부족한 기술로 불완전한 3D 프린팅 건축물을 만들어내기보다 국내에서 3D 프린팅 건축을 위한 새로운 소재 및 공법을 개발하여 글로벌 3D 프린팅 건축을 선도하고 이후 3D 프린팅 건축 상품의 시장을 선점할 필요가 있음.

제4절 연구개발 인프라 분석(현재 장비, 재료에 대한 현황)

1. 장비

○ 현재 유통되고 있는 산업용 3D프린터는 스트라타시스(Stratasys), 3D시스템즈(3D Systems), EOS의 3D프린터가 시장 점유율이 비중이 높은 것으로 조사되며, 각 업체의 3D 프린터별 사양은 다음 표 25와 같음.

[표 22] 회사별 가장 큰 출력 사이즈를 가진 3D프린터

회사	방식	모델명	조형크기 (mm)	레이어 두께	장비크기 (mm)	장비무게 (kg)	조형판 크기 (mm)
STRATASYS	FDM	Fortus 900mc	914x610 x914	0.178/0.254 /0.330 (mm)	2,772x1,683 x2,027	2,869	-
		Fortus 400mc	406x355 x406	0.127/0.178 /0.254/0.330 (mm)	1,281x896 x1,962	593	-
	POLYJET	Object 1000	1,000x800 x500	16/30 (㎛)	2,800x1,800 x1,800	1,950	1,000x800
		Object Eden500V	490x390 x200	16/30 (㎛)	1,320x990 x1,200	410	500x400
3D SYSTEMS	SLA	ProX950	1,500x750 x550	-	2,420x1,730 x2,540	1,724	-
		ProX800	650x750 x550	-	1,900x1,630 x2,480	1,134	-
	SLS	sPro230HS	550x550 x750	0.08~0.15 (mm)	-	-	-
		sPro140HS	550x550 x460	0.08~0.15 (mm)	-	-	-
	DMP	ProX400	500x500 x500	10~100 (㎛)	-	약6,000	-
		ProX300	250x250 x300	10~50 (㎛)	-	약5,000	-
EOS	SLS (Plastic)	EOS P 760	700x380 x580	0.06/0.1/0.1 2/0.15/0.18 (mm)	4,800x4,800 x3,000	2,300	-
		EOS P 396	340x340 x600	0.06/0.1/0.1 2/0.15/0.18 (mm)	4,300x3,900 x3,000	1,060	-
	SLS (Metal)	EOS M 400	400x400 x400	-	6,500x6,000 x3,300	4,635	-
		EOS M 290	250x250 x325	-	4,800x3,600 x2,900	1,250	-

- 현재 스트라타시스에서 산업용으로 가장 큰 출력물을 프린팅 할 수 있는 3D 프린터는 FDM방식의 FORTUS 900MC이며, 최대 조형 크기는 914mm×610mm ×914mm인 것으로 조사되었음.
- 스트라타시스에서 잉크젯 방식의 가장 큰 출력물을 프린팅 할 수 있는 3D 프린터는 Objet1000으로 1000mm×800mm×500mm의 최대 조형 크기를 가진 것으로 조사되었음.
- 3D 시스템즈의 산업용 3D프린터의 경우 SLA 방식의 ProX950이 가장 큰 출력 크기를 가진 것으로 조사되었고, 크기는 1500mm×750mm×550mm 임.

- 3D 시스템즈의 산업용 3D프린터 중 SLS 방식의 경우 sPro230HS가 가장 큰 조형 크기를 가진 것으로 조사되었고, 크기는 550mm×550mm×750mm 임.
- 3D 시스템즈의 산업용 3D프린터 중 DMP 방식의 경우 ProX400가 가장 큰 조형 크기를 가진 것으로 조사되었고, 크기는 500mm×500mm×500mm 임.
- 독일의 EOS사의 경우는 SLS방식의 3D프린터를 집중 생산하며 플라스틱과 메탈 재료에 따라 3D프린터의 종류가 달라지는 것으로 조사되었음.
- 그중 플라스틱 재료를 사용하는 EOS P750의 크기는 700mm×380mm×580mm로 최대 조형 크기를 가지는 것으로 조사됨.
- 메탈 재료를 사용하는 EOS M400의 크기는 400mm×400mm×400mm로 최대 조형 크기를 가지는 것으로 조사됨.
- 이처럼 현재 산업 분야에서 사용되는 3D프린터의 최대 크기는 약 1000mm×1000mm×500mm정도 인 것으로 조사되었음.
- 이에 따라, 최대 조형 크기의 3D 프린터로는 실제 건축물에서 부재 혹은 구조체로의 역할을 할 수 있는 조형물을 프린터하기 위해 사용되기는 어려움이 있으며, 유통되는 산업용 3D프린터를 건축 분야에 사용하게 될 경우 건축물을 무수히 많은 조각으로 모듈화 또는 분해해야 하는 문제점이 발생할 것으로 판단됨.
- 반면, 중국 3D 프린팅 건설기업인 '윈선(Winsun)社'의 경우, 자체적으로 제작한 3D프린터를 사용하여 집을 건축한 사례가 있지만, 이는 대형화된 3D프린터 장비가 아닌 거푸집 없이 쉽게 경화하는 콘크리트 재료를 사용하여 일정한 두께로 분사하는 방식으로 직접적인 3D프린팅 장비가 아닌 재료적 측면에서의 시도라고 판단됨.
- 향후 건축 분야에서 3D프린팅 기술을 활용하기 위한 장비로써는 최소 약 1.2m×1.2m×1.2m 이상의 조형크기가 가능해야 될 것으로 판단됨.
- 또한 현재의 3D 프린팅 장비로는 특정 상품 또는 특정 재료를 사용하여 조형크기를 늘리는 것은 어느 정도 가능하다고 볼 수 있지만, 조형시간이 장시간이 걸리는 것으로 조사됨.
- 건축물에 직접적으로 3D프린팅 장비를 사용하기 위해서는 상기에서 설명한 3D 프린팅 방식이 복합적으로 사용될 수 있는 3D프린터의 조형 크기가 최소한의 조건으로 판단됨.

2. 3D프린터 재료

○ 현재 유통되고 있는 3D프린팅 방식별 재료 및 소재의 물성치를 표 23, 표 24, 표 25와 같이 조사하였음.

- 재료의 경우, 3D프린터를 제작하는 회사가 장비에 맞는 재료를 독점 공급하고 사용하도록 유도하는 환경이 조성되어 있는 것으로 조사됨.

- 이는 고가의 3D프린터 장비를 각 프린터 제조회사가 공급하지 않는 재료를 사용하여 생기는 고장사항에 대해 제조사를 통한 A/S가 불가능한 정책 때문인 것으로 판단됨.

[표 23] FDM, Polyjet 재료 물성치

방식	재료	압축강도 (Mpa)	인장강도 (Mpa)	휨강도 (Mpa)	Izod(J/m)	열변형 온도©
FDM	ABS-ESD7	-	36	61	55	96
	ABS-M30	-	28	48	300	82
	ABSplus-P430	-	33	35	106	96
	ABSi	-	37	62	191.1	86
	PC	-	68	104	320	138
	PC-ABS	-	28	41	642	110
	PC-ISO	-	57	90	53	133
	PPSF	-	55	110	165.5	189
	ULTEM 9085	104	71.6	115.1	613.8	153
	ICW06 Wax Model	-	-	-	-	76
	NYLON 12	71	48	-	-	82
	ULTEM 1010	-	81	144	327	216
	ABS	65	22	41	213.56	90
	ABS-M3Oi	-	36	61	283	96
	ASA	-	29	60	321	-
Polyjet / Inkjet	DIGITAL ABS	-	55-60	1700-2200	65-80	58-68
	ENDUR	-	40-45	52-59	30-35	49-54
	FULLCURE	-	50-65	80-110	20-30	113-122
	TANGOBLACK	-	1.8-2.4	-	-	-
	TANGOPLUS	-	0.8-1.5	-	-	-
	VEROBACKPLUS	-	51	80	24	47
	VEROBLUE	-	50-60	60-70	20-30	45-50
	VEROCLEAR	-	50-65	75-110	20-30	45-50
	VEROGRAY	-	60	95	25	49
	VEROWHITEPLUS	-	55-65	75-110	20-30	45-50

[표 24] SLS 재료 물성치

방식	재료	압축강도 (Mpa)	인장강도 (Mpa)	휨강도 (Mpa)	열변형 온도
SLS	EOS Aluminiuim AlSi10Mg	240±10	460±20	70 Gpa	890
	EOS CobaltChrome MP1	800±100	1200±150	200±20 Gpa	1150
	EOS MaragingSteel MS1	1000±100	1100±100	160±25 GPa	450
	EOS NickelAlloy HX	570±50	850±40	195±20 GPa	-
	EOS StainlessSteel GP1 for EOSINT M 270	570±50	930±50	170±30 GPa	550
	EOS NickelAlloy IN625	615±50	990±50	170±20 GPa	650
	EOS NickelAlloy IN718	634±50	1060±50	160±20 GPa	650
	EOS StainlessSteel PH1 for EOSINT M 270	1000±50	1150±50	-	460
	EOS StainlessSteel 316L	470±90	640±50	185 GPa	-
	EOS Titanium Ti64	1070±50	1230±50	110±10 GPa	350
	EOS Titanium Ti64ELI	1130±75	1260±40	108±20	350

[표 25] SLA 재료 물성치

방식	재료	인장강도 (Mpa)	휨강도 (Mpa)	Izod (J/m)	열변형 온도©
SLA	ACCURA25	38	55-58	19-24	58-63
	ACCURA PP WHITE(SL7811)	40-42	54-66	42-59	47
	ACCURA XTREME	33-44	52-71	35-52	62
	ACCURA XT WHITE 200	45-50	75	55	47
	ACCURA 55	63-68	88-110	12~22	55-58
	ACCURA ABS WHITE(SL7810)	46-48	74-76	24-47	51
	ACCURA ABS BLACK(SL7820)	45-47	75-78	39-56	51
	ACCURA CLEARVUE FREE(SL7870)	38-42	73-76	23-51	48
	ACCURA CLEARVUE	46-53	72-84	40-58	51
	ACCURA 60	58-68	87-101	15-25	53-55
	ACCURA CASTPRO	52-53	82-84	43-49.5	51
	ACCURA CAST FREE(SL7800)	45-48	81-83	35-50	62
	ACCURA 48 HTR	64-67	105-118	22-29	65
	ACUURA SL 5530	57-61	63-87	21	70-85
	ACUURA PEAK	57-78	77-126	21.3-27.3	78
	ACCURA CERAMAX	78-87	137-145	14.5-17.9	148
	ACCURA BLUESTONE	66-68	124-154	13-17	65-66

- 주요 산업용 3D프린팅의 재료는 산업용 3D프린터를 만드는 스트라타시스, 3D 시스템즈, EOS에서 나온 재료가 시장에서 주로 유통되며, ABS수지, 아크릴, 합성 폴리머플라스틱계열, 금속파우더, 세라믹파우더 계열인 것으로 조사됨.
- ABS수지나 아크릴 계열의 재료는 FDM방식 또는 잉크젯 방식을 사용하여 두 가지 이상의 색상 조합이 가능하며, 부분적으로 복합 프린팅이 가능한 것으로 조사됨.
- 이는 동종소재의 다양한 물성치를 가진 재료를 조합하여 새로운 재료를 만들어낼 수 있고, 기존 재료 간의 융합을 통해 보다 다양한 재료를 개발 할 수 있을 것으로 판단됨.
- 건축분야에서 일반적으로 가장 많이 사용되는 콘크리트의 경우는 24Mpa의 강도, 초고강도콘크리트의 경우는 100Mpa의 강도를 나타냄에 있어, 3D프린팅 재료의 경우에도 인장강도의 경우는 콘크리트보다 높은 구조적 성능을 가지고 있는 것으로 조사됨.
- 3D프린팅 재료의 압축강도는 적층방식에 따라 달라지기에, 재료의 제조사에서도 각 재료의 압출강도 물성치를 표준화시키지 못하는 실정인 것으로 파악되고, 이는 FDM방식 또는 polyjet/Inkjet방식에 많이 나타나는 사례로써 재료와 재료 간의 접착에 따른 구조적 성능이 발휘되기 때문인 것으로 조사됨.
- 이처럼 건축분야에서 활용하기 위해서는 재료의 적층방식, 관련 정책/제도 등의 기준에 대한 표준화 연구 및 개발이 필요할 것으로 판단됨.
- FDM방식의 경우 스트라타시스(Stratasys)의 ULTEM9085(PEI계열의 엔지니어링 플라스틱)의 경우 구조적 성능이 가장 높은 것으로 조사되었고, 인장강도의 경우 알루미늄의 1.5배, 콘크리트의 25배, 이는 적층방식에 따라 다르지만 압축강도는 약 70Mpa이상으로 의료기기, 선박, 자동차 분야 등에서 활용하기에 가장 이상적인 재료로 조사됨.

- SLS방식의 경우 주로 금속계열의 3D프린팅 출력에 적합하며, 재료의 구조적성능 역시 건축부재에 필적하거나 뛰어 넘는 것으로 조사됨.
- EOS Nickel Alloy MX 시리즈의 재료 등은 가공이 쉽고, 비교적 열에 강하며 항복강도와 인장강도도 높은 것으로 조사됨.
- 이처럼 FDM방식의 3D프린팅 재료는 건축분야에서 콘크리트를 대신할 재료로 적합하고, SLS방식의 3D프린터 재료는 건축분야에서 철근이나 금속 부재를 대신할 재료로 적합한 것으로 판단됨.
- 그러나 대부분의 산업용 3D프린팅 재료는 열 성형을 통해 출력함으로 인해 열에 취약한 부분이 가장 주요한 특성이며, 일부 3D프린팅 재료의 경우는 약 100℃의 온도에도 구조적 성능이 발휘되지 못하는 것으로 조사됨.
- 특히, 건축분야에서 3D 프린팅 재료를 통해 출력된 구조체에 대한 건축법/제도 기반의 피난, 방재, 안전 등에 대한 기준에 현재까지는 거리감이 있는 것으로 조사됨.
- 또한 현재 산업용 3D프린터에 사용되는 상당수의 재료의 가격이 고가에 유통되고 있기에 단기적인 측면에서는 기존 건축부재 대비 경제성이 현저히 떨어지는 것으로 판단되기에, 건축분야에서 3D 프린팅 기존 재료의 활용 및 새로운 재료를 개발하기 위해서는 중/장기적인 연구개발 계획이 필요함.

3. 국내 3D프린팅 관련 제조 및 유통 업체 현황조사

○ 국내 3D 프린팅 장비 및 재료의 제조사, 공급사 등은 제조업에서 가장 활발히 3D 프린팅을 산업용으로 활용하여 시제품의 개발주기를 단축시키고, 원가절감 및 의료분야에서 맞춤형 의료 도구 및 수술 연습용 도구와 같은 정밀한 도구 제작에 사용되고 있음.

- 제조업에서는 전자제품, 자동차 부품, 건설기계의 조이스틱, 완구 제작 등에 활용되고, 의료산업에서는 사용자 혹은 환자에게 적합한 맞춤형 안경, 보청기, 치과 교정기 또는 신체의 일부를 3D 프린팅으로 제작하는 사례가 증가되고 있음.

○ 최근 기업에서는 엔터테인먼트 사업을 위해 3D 프린팅을 적극적으로 활용하고 있는 것으로 조사됨.

- 국내에서는 세중정보기술에서는 3D Systems, USL(美), Formtech 등의 제품을 판매하고 있으며, 시스옵엔지니어링은 Stratasys, Objet 제품을 판매하고 있으며, 2012년 10월 3D Systems는 국내 3D 스캐너 및 SW 개발업체 아이너스 기술을 3,500만 달러에 인수한 실정임.
- 국내 기업 중 실제 산업용 3D 프린터를 개발·판매하는 기업은 캐리마, 인스텍 등에 불과하고, 2012년도 기준 국내에 설치된 3D 프린터 1,300여대 중 캐리마社와 인스텍社의 제품은 약 40대 정도로 시장점유율 면에서 극히 미미한 상황이며, 캐리마社의 3D 프린터 누적 판매대수는 약 70대 정도이며, 그 중 60%는 해외수출에 의존하고 있음.

[표 26] 국내 3D 프린터 제조 및 유통 업체 현황

기업명	업종	주요 내용
(주) 로킷	IT 하드웨어 연구 개발 및 경영자문 서비스	• 데스크톱'형 3D프린터 '에디슨'개발 • 컴퓨터로 작업한 3D디자인 파일을 마이크로SD파일에 담아 3D프린터에 바로 입력 가능한 소프트웨어 개발 • 2013년 5월 3D스캐너팩 '이지스캔'을 개발/출시
오픈 크리에이터 (Opencreator)	IT 하드웨어 연구 개발 및 경영자문 서비스	• 2013년 5월 사용자가 직접 조립해서 사용하는 3D 프린터(NP-MENDEL)을 출시 • 소형크기(425×425×400㎜(W×D×H))제품을 출시하여 기존의 3D프린터 제품 가격의 거품을 제거 • PLA재질/ABS재질의 원료 모두 사용가능한 프린터 개발
윌리봇 (WILLYBOT)	워크샵 및 교육 서비스	• 워크샵과 교육을 통해 3D프린터 인력을 양성 • FDM방식으로 200×200㎜사이즈까지 인쇄할 수 있는 박스형 3D프린터 개발 • 내부 온도조절이 가능, 듀얼 익스트루더 탑재 • 3D프린터 조립에 필요한 재료를 모아 키트형태로 판매
(주)인스텍	전자응용 공작기계 제조업	• RP&T(Rapid Prototyping&tooling)부문에서 혁신적인 기술인 DMT기술을 자체 기술력으로 개발 • 독특하고 강력한 보수 기술인 오토트래킹 기술 보유 • 금속 3D프린팅 기술을 통해 복잡한 내부구조를 갖는 금속제품의 제작이 가능
(주)3D시스템즈 코리아	시스템 소프트웨어 개발 및 공급업	• 3D 스캐너 측정 데이터 처리용 프로그램, 내장형시스템 개발환경, 네트워크 기반의 프로그램 제작용 미들웨어 등의 개발 및 공급 • 2010년 10월, 3D시스템즈는 현금 3,500만달러(약 390억원)에 한국의 3D 스캐닝 소프트웨어 업체인 아이너스기술을 인수 • 아이너스기술에서 개발한 래피드폼을 이용하여 3D 역설계 및 품질 검사 소프트웨어 개발
(주) 캐리마	기타 광학기기 제조업	• DLP(디지털광학기술)을 이용하여 특수시트 위에 액상 플라스틱 등을 자동으로 쌓아 올리는 방식으로 실물모형 제작 • 비슷한 수준의 외산제품보다 가격과 소모품의 경제성 확보 • 일반형/의료용/보석디자인용 등 3가지 모델 제작 • D스캐너로 개개인의 치아형태에 맞는 최적화된 상품생산이 가능

[표 27] 2012년도 기준 국내 3D 프린터 재료 및 소재 관련 업체 현황

기업명	주업종	사업내용	매출액 (백만원)
(주)SH 에너지 화학	합성수지 및 기타 플라스틱 물질 제조업	• EPS 레진(상품명 애니폴(ANYPOL))을 생산기술을 국내 유일하게 보유 • 합성수지 및 기타 플라스틱 제조, 가공 및 판매와 더불어 3D프린터에 사용되는 원료를 공급 • 애니베스를 3D프린팅에 사용하여 시간과 비용을 획기적으로 절약	193,950
(주)엔피케이	합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업	• 3D프린터의 주원료인 열가소성수지의 착색 컴파운드 및 고농도 안료 뱃지를 설계, 개발, 생산, 판매에 관한 기술력 보유 • 범용 플라스틱 컴파운드, 엔지니어링 플라스틱 컴파운드, 다양한 색상과 기능성 마스터 배치 및 플라스틱 가공업체 • 색채 응용 연구소의 설립으로 재활용성 제품, 플라스틱 착색제, 새로운 가공안료를 개발 중	64,600
(주)코프라	기계장비 조립용 플라스틱제품 제조업	• 고기능성 폴리머 소재를 자동차, 전기전자, 가구 등 다양한 산업에서 사용 • 자동차 분야에서 80%의 매출을 올리고 있음 • 3D프린터에 설계용 소프트웨어로 만든 설계도 파일을 입력한 후 폴리머를 분사하여 제품을 제작	88,396

[표 28] 국내 3D 프린터 유통 및 솔루션 제공 업체 현황

기업명	주업종	사업내용
(주)브룰레 코리아	-	• 산업용 3D프린터를 보급용으로 제작하여 3D프린팅 보급 • 보급형 3D스캐너를 개발하여 스트라타시스에 인수
(주)세중 정보기술	시스템 소프트웨어 개발 및 공급업	• JEWELCAD를 홍콩Jewellery CAD/CAM사에서 수입, 독점 공급 • IT컨설팅 및 정보 인프라 기술컨설팅, 시스템통합, 솔루션 등 공급, 시스템 유지보수 및 교육서비스 제공
(주)시스옵 엔지니어링	컴퓨터 및 주변장치, 소프트웨어 도매업	• CAD/CAM 시스템과 데이터 변환 시스템, 리버스엔지니어링 등 다양한 솔루션을 제공 • PolyJet기술을 적용한 시스템을 개발하여 동시에 여러 가지 복합재료를 사용할 수 있는 제품을 제시 • 2008년에는 보급형 데스크탑 3D 프린터인 Araris30을 발표
(주)씨이피 테크	사무용 가구 및 기기 도매업	• 종단면의 CT Data로부터 다른 2개 이상의 단면 이미지를 구현하여 3D Model을 쉽게 디자인 가능 • 가상 의료 시술과 직접적인 Implant 설계 등에 활용할 수 있는 Mimics S/W 의 공급
(주)프로토텍	공작기계 도매업	• 기존에 사용하는 잉크젯 프린터처럼 재료 교환 방법 및 소프트웨어 운영방법이 편리한 프린터 제작 • 0.17㎜의 적층두께 구현으로 높은 해상도를 실현하며 내구성이 강한 엔지니어링 플라스틱(ABSplus)을 사용 • 기존 3D프린터 대비 저렴한 가격에 정밀도와 내구성이 좋은 프린터 제작 • 3D파일준비, 3D제품제작, 서포트 제거 등 3단계 운영 프로세스를 원 클릭으로 간단하게 결과물 제작, 완료
(주)한국 아카이브	컴퓨터 및 주변장치, 소프트웨어 도매업	• 3D Visualization을 위한 Actify社의 제품 제작 • 3D Data의 Motion Control을 위한 3Dconnextion社의 제품 제작 • Roland社의 3D 밀링과 3D 스캐너 제품 제작 • 3DSystem社의 3D프린터(RP) 제작 • Artec社의 Portable 3D컬러 스캐너 제작 • Sensable社의 촉각모델링 시스템(FreeForm Systems) 제작 • 위와 같은 3D분야의 다양한 솔루션 연구, 개발, 제공
(주)한국 테크놀로지	반도체 제조용 기계 제조업	• 기존 제품보다 조형 속도 면에서 3~5배 빠르고 저렴한 기기 제작 • 시스템사업부에서 보유한 영상처리기술과 검사알고리즘, 광학기술을 확보한 3D 검사기술로 AMOLED와 SMARTPHONE용 TSP에 사용되는 검사 장비를 개발완료, 직접제작, 생산

제5절 종합분석

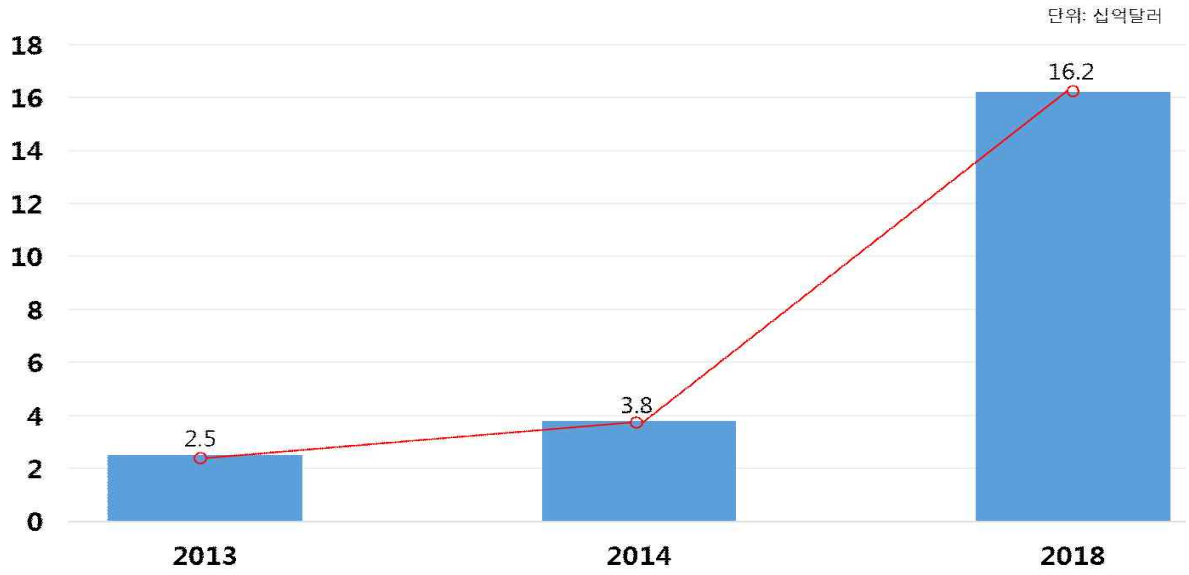
1. 국내외 정책 및 시장분석

가. 국내·외 정책 분석

- 최근까지 국외에서 3D 프린팅 기술이 향후 각종 산업의 혁신 동력으로 자리 잡을 것이라는 데는 이견이 없으며, 이에 따라 세계 각국에서는 3D 프린팅 기술의 활성화를 위한 연구기관 설립과 정책적 지원책을 추진하고 있음.
- 미국을 중심으로 일본, 영국, 독일 등 선진국과 중국과 같은 신흥국들은 현재 제조업 기반의 3D프린팅 및 첨삭제조(AM) 관련 산학연 프로젝트를 중심으로 원천기술개발에 대한 기술개발연구에 지속적인 투자를 하고 있음.
- 이와 같이 국외 3D 프린팅 기술 선진국 대부분이 제조업에 집중투자하며, 건설업 관련 3D 프린팅 국가 정책에 대한 정부투자 및 전략 계획이 현재 미흡한 것으로 조사됨.
- 3D 프린팅 관련 정부 R&D 총 과제 중 각 기관별 차지한 비중을 살펴보면, 전체 국가R&D 연구과제 중 건축분야의 경우는 단 3건으로 약 3%정도인 것으로 조사됨.
- 국내 3D 프린팅 관련 지원정책은 3D 프린팅 기술 선진국 실정과 마찬가지로, 제조 및 IT 산업에 대한 지원방향 및 투자가 형성되어 있고, 국가 R&D 중 건축분야에 해당되는 연구과제는 단 3건으로 다른 분야에 비해 상당히 부족한 실정으로 조사됨.
- 현재 국내 건축분야 국가 R&D 연구과제는 3D 프린팅 적용 건설기술 및 건축물 구현에 대한 기술개발 연구의 대상에 대한 연구의 초기단계인 것으로 판단되기에, 3D 프린팅 기술개발 후발주자로써, 전체 시장선점을 목표로 시장성을 보고 접근할 수 있는 연구가 필요한 것으로 판단됨.
- 현재 국내 정부주도의 건설업 내 3D 프린팅 적용 지원정책 및 예산투자의 흐름이 전무할 정도로 미흡한 시작단계이지만, 지속적인 관련 기술개발 및 예산투자를 통해 건축 특화 3D 프린팅 관련 기술 및 출력물 개발을 통해 국내 건설업의 성장의 주요 수단이 될 것으로 판단됨.
- 국외 3D 프린팅 선진국에 비해 후발 주자이지만, 국외 선진국조차도 대부분이 제조업을 살리기 위한 전략 및 투자이기에 3D 프린팅 적용 건설업에 특화된 지원정책 및 예산투자를 통한 적극적인 기술개발을 통해 세계 3D 프린팅시장 건축분야 선점이 가능할 것으로 판단됨.
- 이러한 기술개발은 현재 선진국/기업에서 주도하는 3D 프린팅 기술과는 상이한 건설업 기반 새로운 방식의 원천기술개발을 통한 3D 프린팅 건축물, 공정, 소재 등뿐만 아니라, 시장형성 관련 기술 및 마켓도 고려한 복합적인 연구가 필요한 것으로 판단됨.

나. 국내·외 시장 분석

○ 2013년 기준 3D 프린팅 글로벌 시장규모는 25억 달러에서 연평균 45.7%로 성장해 2018년에는 162억 달러의 초대규모 시장이 형성될 것으로 전망하고 있음.



[그림 51] 세계 3D 프린팅 시장 규모 및 전망

○ 국내 3D 프린터 활용분야는 휴대폰 케이스, 자동차, 가전, 의료기기, 완구, 방위산업, 신발산업 등 제조업이 대부분이며, 건설업에서의 활용은 시도조차 전무하고, 3D 프린팅 산업 내 산업별 시장규모 및 전망이 파악조차 되지 않는 상황임.

○ 세계 3D 프린팅 시장에서의 산업별 점유율을 살펴보면, 건축분야는 3%로 상당히 적은 비중을 차지하고 있기에 국가별 건축분야에서 3D 프린팅 기술개발 및 활용 수준에 있어서는 여타산업에 비해 기술격차가 낮다고 판단할 수 있음.

○ 국내 산업별 3D 프린팅 활용 상황은 국외와 마찬가지로 건축분야에서의 3D 프린팅 활용은 미진하나, 일부 건축 모형 및 인테리어 소품제작 정도로 한정되어 활용되고 있기에 실질적인 건축물 구현을 위한 기술수준은 전무한 것으로 판단됨.

○ 국내 시장에서는 사용되고 있는 3D 프린터의 90%가 수입품인 실정이기에, 3D 프린터 개발 및 연계된 소재 및 소프트웨어 개발도 진행되지 못하고 있는 상황임.

○ 이에 따라, 3D 프린팅 기술개발 후발 주자로써, 제조업 관련 기술개발뿐만 아니라, 시장 선점을 위해 3D 프린팅 기술 활용이 미흡한 건축분야의 3D 프린팅 관련 원천기술개발에 집중할 필요가 있음.

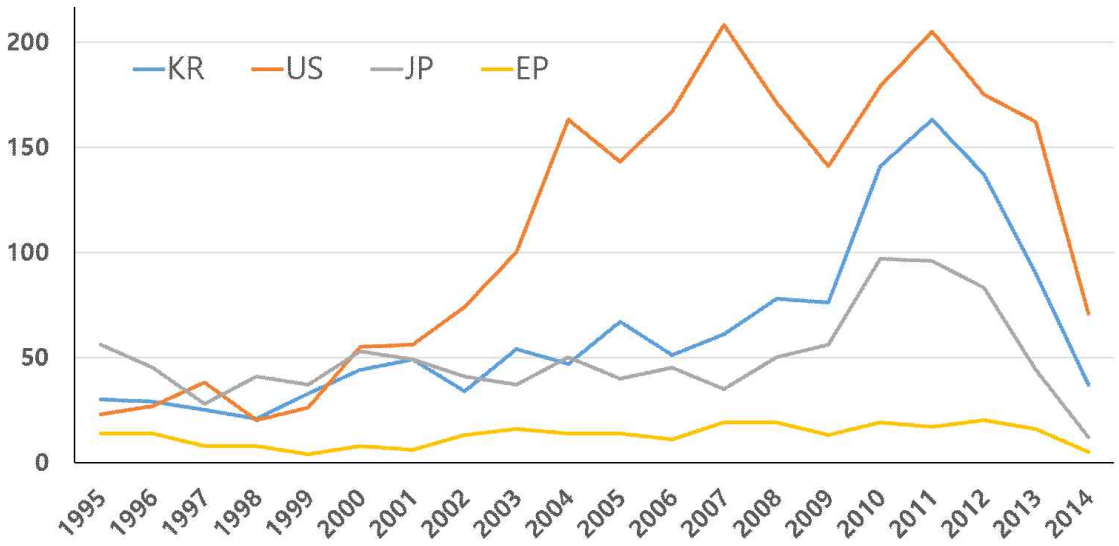
○ 현재까지 건축물을 출력할 수 있는 3D 프린팅 기술이 전무하기에 인간이 거주 및 사용할 수 있는 적정규모의 구조체를 출력할 수 있는 건축분야의 특화된 3D 프린터 개발이 필요함.

○ 또한, 3D 프린터로 출력된 건축물이 기존 건축물 성능을 구현하기 위해 장비개발뿐만 아니라, 동시다발적으로 설계 및 시공기술, 소재 등의 관련 기술개발이 필요함.

2. 기술개발 동향 및 인프라 분석

가. 특허 동향 분석

○ 2015년 기준 국가별 3D 프린팅 관련 특허 출원 건수를 조사한 결과, 미국 2,204건, 한국 1,267건, 일본 995건, 유럽 258건으로 미국 다음으로 한국의 3D 프린팅 관련 특허 출원 건수가 높은 것으로 파악되었음.



출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

[그림 52] 3D 프린팅 기술 관련 특허 출원 총 출원 건수 및 국가별 비율

[표 29] 주요 3D 프린터 업체의 각 국가별 순위 현황

출원인 명	국적	미국	유럽	한국	중국	일본
3D SYSTEMS	미국	**1위**	**1위**	8위	5위	**1위**
STRATASYS	미국	2위	2위	-	**1위**	-
Z CORP	미국	3위	4위	2위	2위	3위
M.I.T	미국	4위	3위	-	-	-
Object	이스라엘	6위	6위	-	-	-
ENVISION TECHNOLOGIES	독일	8위	5위	-	4위	-
한국기계연구원	한국	-	-	**1위**	-	-
한국과학기술원	한국	-	-	3위	-	-

○ 글로벌 산업용 3D 프린터 시장은 스트라타시스(Stratasys)와 3D시스템스(3D SYSTEMS) 양사의 과점 체제가 구축되어 있으며, 그 중에서 Z CORP, 3D시스템스(3D SYSTEMS), 스트라타시스(Stratasys)社가 활발한 3D 프린팅 기술 관련 특허 활동을 보이고 있음,

○ 그러나 위 선도기업들은 특허 주요 출원 국가를 대상으로 다수의 패밀리(연계) 특허를 출원하여 관리하고 있으며, 독자적인 3D 프린터 관련 특허를 충분히 확보하지 못한다면 향후 특허 분쟁에서 어려움을 겪을 가능성이 높을 것으로 판단됨.

○ 2009년 스트라타시스(Stratasys)가 보유한 압출적층방식(FDM: Fused Deposition Modeling) 특허가 만료되면서 보급형 프린터들이 생겨날 수 있는 기회가 되었으며, 향후 3년 내에 3D시스템스(3D Systems)가 보유한 SLA 방식과 SLS 방식 31건이 추가적으로 만료될 예정임.

○ 핵심특허를 보유한 기업이나 단체는 해당 핵심특허에 관련된 수많은 개량 특허 또한 보유하고 있기 때문에, 다른 특허와 연계되는 견고한 특허장벽을 구축하고 있음.

[표 30] 3D시스템스(3D Systems)와 스트라타시스(Stratasys)의 만료 특허 피인용수 및 소송 활용 현황

단위: 건

모회사	권리자	기술 방식	발명의 명칭	피인용수	소송 특허
3D 시스템즈	DTM	선택적 레이저 소결 조형 방식 (SLS)	선택적 소결 부품의 제조 장법 및 장치	309	7
			선택적 빔 소결에 대한 다양한 재료 방식	163	4
			보조 분말 처리 선택적 레이저 소결	128	5
	3D 시스템스	광경화 수지 조형 방식 (SLA)	열 스테레오리소그래픽 기술	102	5
			조형에 의한 고해상도 3차원 물체의 제조 방법 및 장치	71	6
스트라타시스	스트라타시스	압출 적층 방식 (FDM)	3차원 물체 제조 장치 및 방법	271	6
			3차원 물체에 대한 모델링 기술	185	4
			노즐 방식에 의한 폐쇄형 압출 모델 생성 시스템	133	4
	오브젝트	마스크투영 이미지 경화 방식 (DLP)	3차원 모델링 제조 방식	172	9

○ 최근 3년 동안 3D 프린팅 기술 원천 기술 특허의 완료에 따라 총 15건의 특허 소송이 발생하였으며, 이 중 3D시스템스(3D Systems)社가 제기한 소송이 7건에 달하고 있음.

- 주로 산업용 3D 프린터 제조에 힘을 기울이던 거대 3D 프린터 제조업체들이 개인용 3D 프린터를 제조하는 중소업체들에 대하여 이와 같은 압력을 행사하는 것은 개인용 3D 프린터 시장의 성장 속도 및 가능성이 이미 무시할 수 없는 수준에 올라와 있기 때문인 것으로 보임.

- 한국의 경우 최근 3D 프린팅 기술 관련 특허의 출원 비율이 점차 높아지고 있으나, 선진국에 비해 출원 건수가 매우 적으므로 정부의 전략적인 투자가 뒷받침된 전략이 필요할 것으로 보임.

○ 최근에 주요 국가들이 3D 프린팅을 건축에 활용하기 위한 기술을 개발하여 특허를 출원하고 있으며, 그 중에서도 중국은 가장 많은 특허를 출원 중에 있으며 3D 프린팅 건축 기술 개발의 선두주자 역할을 하고 있음.

- 중국은 장비, 시공, 재료 뿐만 아니라 시스템 관련 특허까지 다방면에서 기술 개발을 하고 있으며, 이를 통해 3D 프린팅을 건설에 활용하기 위한 기술을 출원함. 또한 해당 기술들을 활용한 실제 건축 사례도 보유하고 있음.

[표 31] 국가별 3D 프린팅 건축 특허 내용

국가	출원인	기술유형	특허명
한국	김석문	시공	3D 프린팅 장치 및 이를 이용한 철골 콘크리트 구조물 시공방법
미국	Madison A. Hamilton	시스템	3D Printer Based Product Delivery System and Methods
중국	王紅	장비	For the building industry 3D printing apparatus
	馬義和	시공	A 3D printing dry construction decorative thermal insulation structure and method of construction
	CHINA STATE CONSTRUCTION CO	재료	Cement-based composite material used for 3D printing technology as well as preparation method and application thereof
	SHANGHAI LIWUBAO BUILDING TECHNOLOGY CO LTD	재료	3D print building mortar workability testing device and application
		재료	3D printing building mortar plastic deformation performance testing mold and application thereof
	SU YUNSHENG	시스템	3D (Three-Dimensional) printing-based house manufacturing system and method
	CHINA CONSTR 8TH ENG DIVISION	시공	Concrete shear wall structure based on 3D printing and construction method of concrete shear wall structure
	SHANGHAI CONSTRUCTION GROUP CO	장비	Self-elevating type 3D printing device and method for building
	UNIV TONGJI	장비	Architectural engineering construction device based on 3D printing technology and application method
	CHINA CONSTRUCTION STEEL STRUCTURE CORP LTD	장비	Construction equipment and construction method for constructional engineering
		장비	Tower-type 3D (three-dimensional) printer and printing method thereof

출처 : WIPS 특허정보서비스 DB

○ 최근에 주요 국가들이 3D 프린팅을 건축에 활용하기 위한 기술을 개발하여 특허를 출원하고 있으며, 그 중에서도 중국은 가장 많은 특허를 출원 중에 있으며 3D 프린팅 건축 기술 개발의 선두주자 역할을 하고있음.

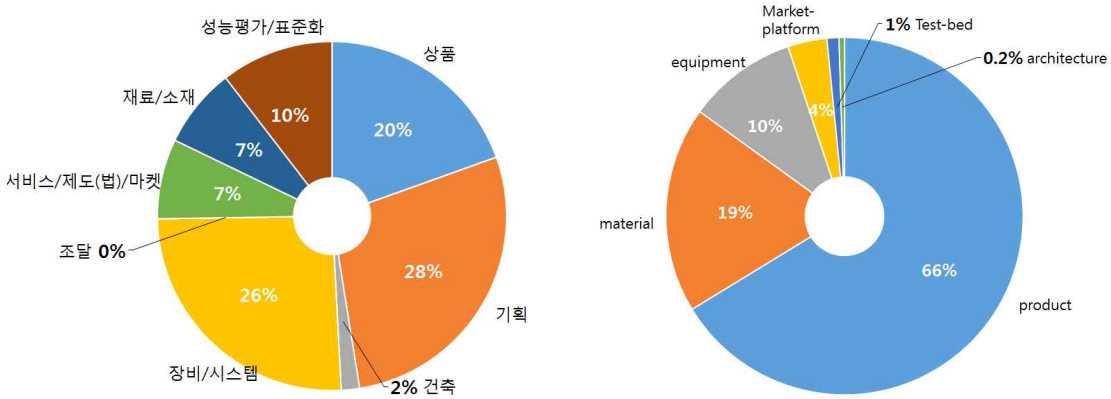
○ 한국은 3D 프린팅 건축 기술의 후발주자로서 이미 선도국가들의 특허와 충돌이 있을 수 밖에 없으며, 이를 대비하기 위한 전략적인 기술 개발이 필요할 것으로 판단됨.

○ 이를 위해 기존 국가들이 시도하고 있는 FDM 방식을 벗어난 새로운 방식의 기술 활용이 필요하며 이를 통해 기존의 불완전한 공장제조 방식의 3D 프린팅 건축 기술이 아닌 수요자 취향에 맞춰 현장에서 직접 제작이 가능한 3D 프린팅 모듈형 건축 기술의 개발이 가능하게 될 것으로 판단됨.

- 기존과 다른 신규 원천기술의 확보를 통해 후발주자였던 한국이 3D 프린팅 건축 기술의 선도국가로 자리매김 할 수 있는 기회가 될 것으로 보임.

나. 논문 동향 분석

○ 2000년부터 2015년 현재까지 3D프린팅 관련 국내/외 논문을 살펴보면, 국내는 총 914건[21], 국외는 총 1885건[22]으로 조사됨.



[그림 53] 국내 · 외 3D 프린터 관련 논문 분야별 비율

- 국내 논문의 경우 기획, 장비/시스템, 상품 분야의 논문 건수가 전체 건수의 약 75%를 차지하는 것으로 파악되었고, 국외 논문의 경우 product, material, equipment 분야의 논문 건수가 약 90% 이상을 차지하는 것으로 파악되었음.
- 국내/외 3D 프린팅 관련 논문 중 건축분야는 국내/외 각각 5건 정도로써, 타분야에 비해 현저히 연구개발이 미흡한 것으로 파악됨.
- 이를 통해, 글로벌 시장에서 기술경쟁력을 갖추기 위해서는 product, material, equipment 분야의 연구개발뿐만 아니라, market platform, Test-bed, architecture 분야의 연구를 통해 기술경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단됨. 특히, architecture 분야는 0.2%로써 기술경쟁력을 높여 시장선점을 기대할 수 있을 것으로 판단됨.

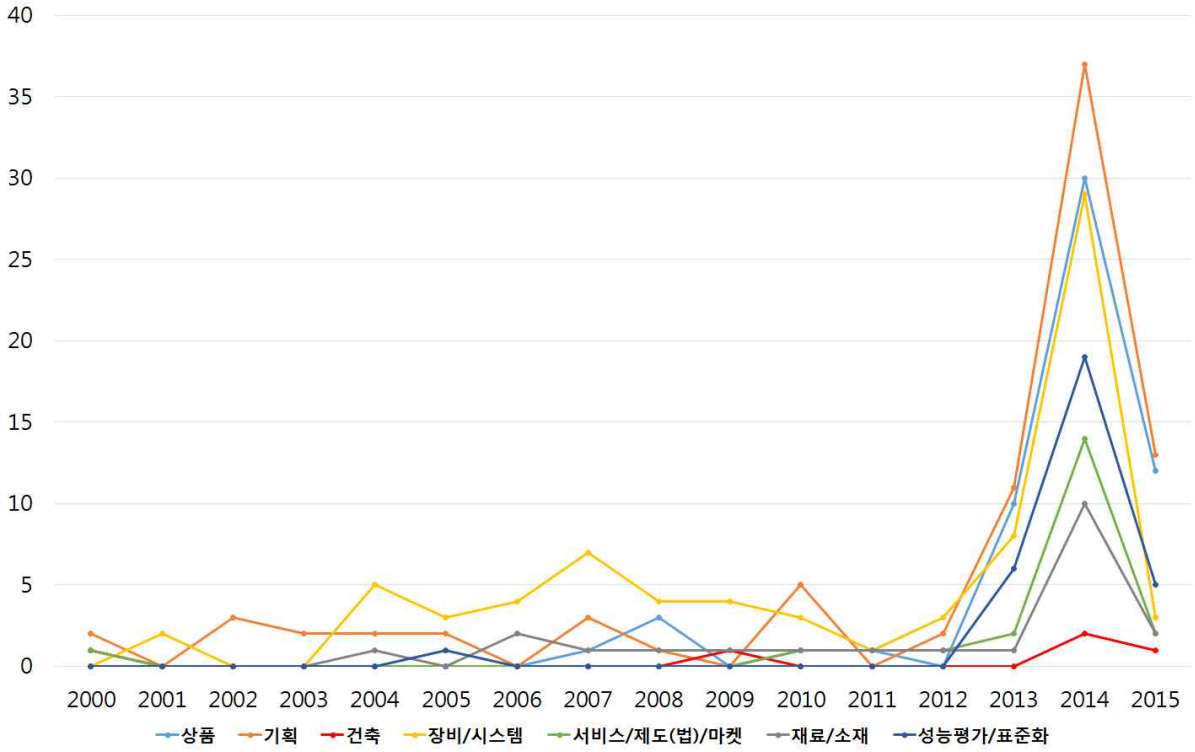
○ 연도별 국내 3D 프린팅 관련 논문 연구분야를 살펴보면, 2013년 이후 논문 건수 급증을 통해 국내에서는 2013년도 기준으로 3D 프린팅 대한 관심이 높아진 것으로 판단됨.

- 2014년도에 총 141건으로 가장 많은 논문 건수를 기록하며, 연구 분야 중 '기획 분야'가 37건으로 가장 많은 연구가 진행된 것으로 조사됨.

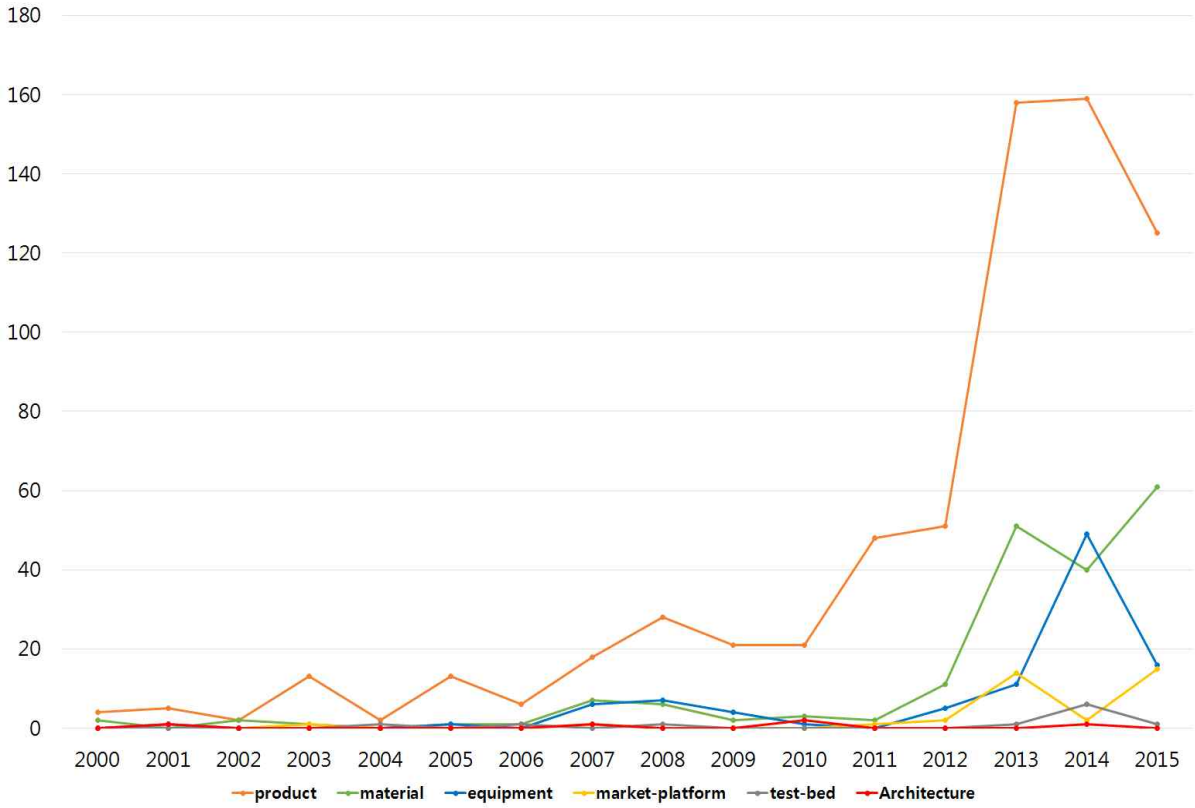
○ 연도별 국외 3D프린팅 관련 논문 연구분야를 살펴보면, 국내 논문 동향과 마찬가지로, 2013년 이후 논문 건수 급증을 통해 2013년도 기준으로 3D 프린팅에 대한 관심이 높아진 것으로 판단됨.

- 2014년도 총 292건이고 연구 분야로는 'product'가 159건으로 가장 많은 연구가 진행된 것으로 조사됨.

21) 총 914건의 논문 중 617건(약 68%)의 논문이 본 연구와의 연계성이 미흡한 3D이미지, 3D애니메이션, 인쇄술, 컴퓨터 3D 시각화에 관련된 논문인 것으로 파악되었음.
22) 총 1885건의 논문 중 825건(약 44%)이 본 연구와의 연계성이 미흡한 것으로 조사되었음.



[그림 54] 연도별 국내 3D 프린터 관련 논문 세부 분야 동향



[그림 55] 연도별 국외 3D 프린터 관련 논문 세부 분야 동향

○ 그러나 3D 프린팅 건축 분야와 관련된 논문은 2009년 1건, 2014년 2건, 2015년 1건으로 총 4건의 논문이 발행되었으며, 전체 동향과 비교하였을 때, 앞으로 활발한 연구가 필요할 것으로 분석되었음.

- 전체 논문 동향을 확인하면 국내에서는 3D 프린팅 기획(28%), 장비/시스템(26%), 상품(20%) 등으로 고르게 분포되었으나 국외에서는 상품(66%)으로 연구 분야가 편중된 현상을 보임.

○ SCI 학술지 외에 국내·외의 주요 3D 프린팅 연구는 국내 총 3건, 국외 총 3건 정도임. 그리고 해당 연구도 주로 2014년에 발표되었던 것으로 미루어볼 때, 3D 프린팅 건축은 최근에서야 관심을 받고 있는 연구라고 판단되었음.

[표 32] 주요 3D 프린팅 건축 특허 내용

	저자	논문명	유형
국내	서정환, 문성민, 허재명, 신창엽, 홍대희	3D 프린터 기술을 이용한 건축 공법 메커니즘 개발	학술발표
	한나래, 김동현	건축물 3D 프린팅을 위한 프린터 규모 및 프린팅 재료에 관한 연구	학술발표
	최성권	3D 프린팅 기술과 건축적 활용	리뷰
국외	J. B. Gardiner	Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing - Project Led Architectural Research	학위논문
	Cristina Maria Radu	How will 3D Printing affect architecture as we know it today?	학위논문
	Dadi, GB, Taylor, TRB Goodrum, PM, Maloney, WF[	Performance of 3D computers and 3D printed models as a fundamental means for spatial engineering information visualization	학술지

○ 관련 논문 중에서 국내 논문은 학술발표대회 2건, 리뷰 1건이 있으며, 국외 논문은 학위논문 2건, 학술지 1건이 존재함.

- 국내 논문은 학술발표의 경우 전반적인 3D 프린팅 분야의 조사를 통해 건축 분야에 활용 가능한 기술을 소개하는 수준이었으며, 리뷰의 경우에도 학술발표와 마찬가지로 기술 동향을 다루는 내용이었음.

- 국외 논문은 학위논문 및 학술지가 있었으며, 국내 논문에 비하여 내용이 방대하고, 구체적이었으나 건축 관련 사례들을 제외하면 대부분 3D 프린팅 기술의 현황들을 다루고 있었음.

○ 3D 프린팅 건축 관련 논문을 조사한 결과, 건축분야에서 일부 논문이 발표는 되고 있으나 전반적인 동향을 다루는 수준이었으며, 논문 내에서 소개된 건축 사례들도 기존 3D 프린팅 기술을 활용한 실험이었음.

- 국내 연구자들의 지속적인 3D 프린팅 건축 기술의 연구를 통해 신규 원천기술을 연구한다면 향후 현재의 선도국가들을 추월할 수 있는 충분한 상황이라고 판단됨.

3. 기술개발 연구 추진방향성 도출

○ 국내/외 정책, 시장, 기술(특허, 논문, 유사사례) 동향 분석 결과를 기반으로 내부 환경에서의 강점(Strengths), 약점(Weaknesses)과 외부 환경에서의 기회(Opportunities), 위협(Threats)요인을 도출하여, SWOT 분석을 실시함.

강점(Strengths)	약점(Weaknesses)
·'3D 프린팅 산업 발전전략'수립을 통한 추진 전략 및 세부추진과제 마련 ·정부부처 주관 3D 프린팅 기반 조성사업 지원 프로젝트 추진 ·3D 프린팅 기술기반 제조혁신지원센터 설립 ·3D 프린팅 산업발전 전략 포럼을 통한 정책수립 계획 ·3D 프린팅 활용기술(소재, 3D 모델링, 공정 및 활용 등)의 기술영향평가 진행 ·정부부처 3D 프린팅 요소기술개발 추진을 통한 핵심기술력 확보 및 글로벌 표준화 계획 ·기존 3D 프린터 산업현장 시범적 활용 계획 수립 ·중소/벤처기업 대상 온라인 주문형 소량생산(On-demand) 시범사업 추진 ·2015년 기준 최근 3년간 정부주관 R&D 사업 추진 활발(총 92건) ·국내 3D 프린팅 시장 급속한 성장 전망 ·정부차원의 한국형 스마트공장 기술개발과 시범구축을 통한 3D 프린팅 지원 사업 진행 ·국내 3D 프린팅 관련 산업 전반의 관심 집중 ·1995~2015년까지 3D 프린팅 관련 특허 출원 건수가 2위(미국 1위)	·선진국 대비 건설산업 내 3D 프린팅 수요에 대한 시장형성이 미흡함. ·글로벌 건설시장 선점을 위한 3D 프린팅 원천기술개발 연구인프라 미흡 ·건설산업 내 3D 프린팅 적용 기술개발 시도사례가 없음. ·선진국 대비 특허 출원 비중(6.8%) 미흡 ·건축분야 정부주관 R&D 추진 사업(3건) 부족 ·선진기업 대비 국산 3D 프린터 품질저하 ·국내 시장 3D 프린터 90%가 수입품 사용 ·3D 프린팅 장비 관련 원천기술 취약 ·3D 프린팅 소재 및 소프트웨어 개발 부족 ·3D 프린팅 장비제조 기술력 미흡 ·기술개발 미흡으로 인한 소재 및 소프트웨어 선진기업에 의존 ·한국의 글로벌 시장점유율은 2%로 미비 ·국내 3D 프린팅 산업 도입 초기단계 ·주요 선진국 대비 건축산업 내 활용 분야 부족(모형 및 인테리어소품 제작) ·3D 프린팅 원천기술 미확보로 인한 관련 장비 및 소재에 대한 기술개발 범위 제한 ·2000~2015 동안 3D 프린팅 관련 건축분야 연구(논문:5건)가 미흡 ·매년 국외 대비 3D 프린팅 관련 논문 건수가 2배정도 부족
기회(Opportunities)	**위협(Threats)**
·3D 프린팅 글로벌 시장규모는 2018년 162억 달러로 예상 ·도시성장에 따른 건축도시 분야 지속가능개발을 위한 창의적 원천기술 개발 필요 ·폐기물 배출과 재사용/재활용, 이산화탄소 배출 등에 대해 극복하여, 글로벌시장 점유율을 높일 수 있는 융복합 건설기술 수요 증가 ·비정형 건축물 생산에 직면한 기술적 한계(생산단가 상승, 정밀한 생산방식 필요, 생산의 비효율성 급증 등)에 대한 새로운 기술 및 생산체계 수요 발생 ·건설산업 내 기존 3D 프린팅 기술활용 사례의 대부분이 기초·실험적 수준 및 생산수단(tool)적용에 그치고 있음 ·기존 3D 프린팅 특허가 순차적으로 만료되고 있음 ·글로벌 시장 내 3D 프린팅 건축분야 점유율 3% ·국외 건축분야 3D 프린팅 관련 연구(논문:5건)부족 ·글로벌 시장에서 건축 3D 프린팅 장비 전무 ·건축분야 활용 설계, 장비, 재료/소재 개발 전무 ·건축분야 3D 프린팅 적용 공정프로세스 전무 ·건축분야 3D 프린팅 관련 기술개발 시 시장선점 가능성 확보 ·건축분야 3D 프린팅 원천기술 개발 및 상용화 시 시장 선점 가능성 확보 ·기존의 건축분야 3D 프린팅 기술 활용수준 격차 단기간 추월 가능성 확보	·글로벌 시장 내 선진국/기업 내 기술개발 연구 인프라 구축 ·글로벌 건설시장 내 FDM방식의 3D 프린팅 건축물 시장 형성 및 선점 국가(중국) 및 기업(Winsun)이 존재함 ·주요 선진국들의 3D 프린팅 기술개발 및 인프라 조성 국내 대비 집중투자 확대 ·3D 프린팅 원천기술 특허장벽으로 장비, 소재 등 기술개발의 제한 ·주요 선진국의 3D 프린팅 산업의 상업화 수준으로 진입 ·주요 선진국들의 글로벌 시장점유율이 전체 시장의 절반 이상을 차지 ·2015년 중국의 3D 프린팅 시장 규모는 100억 위안에 달할 것으로 예측(1위) ·주요 선진국의 3D 프린팅 기술개발 연구의 활성화를 위한 연구기관 설립 및 정부차원의 집중 지원 ·유럽은 바이오, 에너지 분야 3D 프린팅 시장 선점 ·주요 선진국의 3D 프린팅 활용 산업분야 확대(자동차/항공기 부품 등)

○ SO전략

- 건축분야 사용 가능한 3D 프린팅 장비, 재료, 설계 핵심요소기술 개발을 통한 글로벌 건축시장 선점 우위 확보
- 3D 프린팅 기술 기반 건축분야 법/제도 표준화 정립을 통한 핵심기술 국산화 구축
- 3D 프린팅 건축분야 지원정책 및 투자 확대를 통한 글로벌 시장 선점
- 3D 프린팅 기술 활용 비정형 건축물 맞춤형 구조부재, 내·외부 인테리어 등에 대한 핵심기술 및 생산체계 개발을 통한 글로벌 3D 프린팅 건축물 시장 선점
- 모듈러 공법과 같은 기존 건축물 생산체계에서 생산수단(tool)뿐만 아니라, 3D 프린팅 특화 장비, 재료/소재, 생산플랫폼 등의 개발을 통해 시장 니즈(Needs) 맞춤형 다품종 대량생산(1000개 이하) 체계 인프라 구축
- 3D 프린팅 건축물 생산인프라 구축을 위한 관련 원천기술 우선개발 기초·실험적 연구진행 시급

○ ST전략

- 기존 선진국 비 집중 지원 및 투자 분야인 건축분야 3D 프린팅 산업 지원을 통한 원천기술 특허를 통한 시장 선점 가능
- 글로벌 시장 선점 FDM 방식 이외의 출력방식을 활용한 건축물 설계, 장비, 재료/소재 관련 원천기술개발을 통한 선진국/기업 대상 기술 및 상품 역수출 가능
- 선진국 여타산업 집중투자 대비 국내 건축분야 집중 투자를 통한 3D 프린팅 건축 상품 상용화 수준 진입으로 3D 프린팅 기술력 확보 가능
- 건축분야 3D 프린팅 상품기획 및 설계, 장비, 소재 개발과 같은 생산플랫폼 구축과 상품생애주기 관점에서 소비자와 공급자를 연결하기 위한 3D 프린팅 마켓플랫폼을 최단기간에 추진함으로써 해당 시장분야의 주도적 입지를 점유할 수 있음.

○ WO전략

- 3D 프린팅 건축물 설계, 장비, 재료/소재 등 개발 관련 원천기술 확보를 통한 주요 선진기업 특허장벽 극복
- 3D 프린팅 특화 생산플랫폼 및 조달, 유지관리 기술개발을 통한 단순 생산수단(tool) 활용 3D 프린팅 기술 글로벌 시장 선점 선진국/기업과의 차별화되고 범용적인 시장 선점확보 가능

○ WT전략

- 글로벌 시장 3D 프린팅 선점 국가/기업 집중투자 및 기술개발 분야(에너지, 바이오, 자동차, 항공기 등)이외의 시장규모가 큰 건축분야 핵심기술 개발을 통한 시장접근 및 선점 전략 수립필요
- 건축물 대상 3D 프린팅 특화 설계, 장비, 재료/소재 개발을 통한 3D 프린터 장비, 재료/소재) 선진국 의존 수입률 저하 가능
- 건축분야 3D 프린팅 기획 및 설계, 공정프로세스 등 기술개발을 통한 국내 기술

수준이 미흡한 소프트웨어 측면 보강

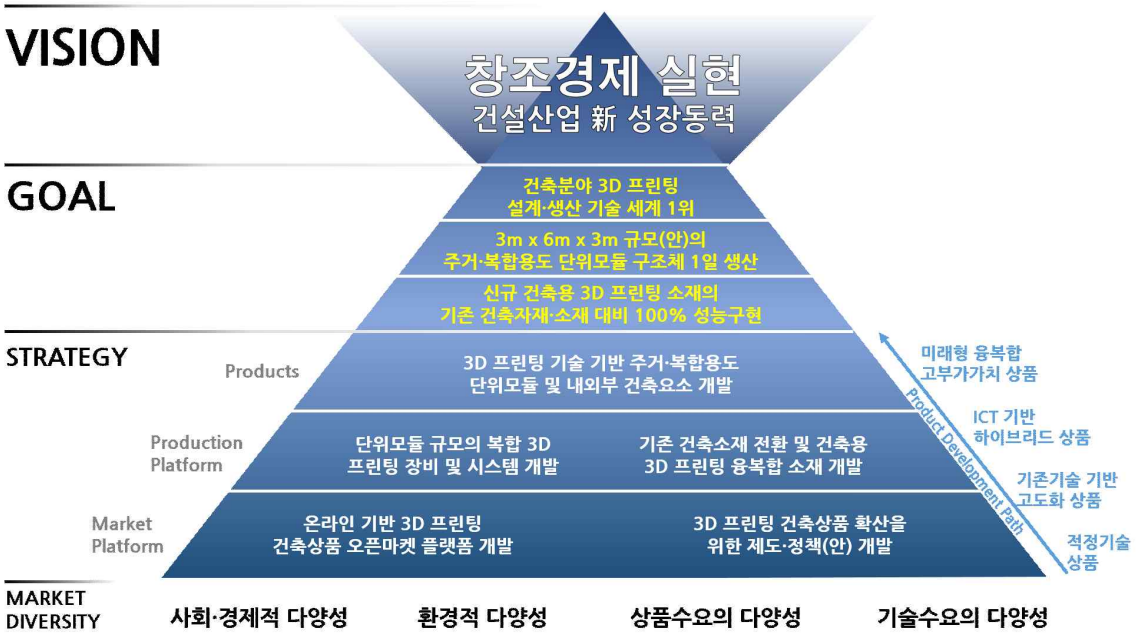
- 글로벌 시장 선점을 위한 3D 프린팅 건축물 특화 설계, 장비, 재료/소재 핵심기술개발 국내 기술개발 인프라 구축 및 투자 추진

○ 상기와 같이, 국내/외 동향 및 환경 분석 기반 SWOT 분석을 통해 도출한 기술개발 연구 추진방향은 다음과 같음.

- 현재 건축분야 3D 프린팅 활용은 정형적인 설계(안)에서 기존 건축재료 기반을 둔 기초적 수준(소규모 구조체, 인테리어 등)의 3D 프린팅 건축 상품으로써, 건축분야의 3D 프린팅 장비 및 소재의 원천기술 선점 및 시장을 선도하기에 어려움이 있음.
- 건축분야 3D 프린팅 활용을 위해 선결적으로 규모의 한계를 극복하기 위해 건설시장 및 환경과 연동하여 유연화된 연구기획이 필수적일 것이며, 이는 글로벌시장 선점 및 원천기술 확보를 위한 연구 기반으로 판단됨.
- 이에 따라, 건축분야에서 상품의 규모, 형상, 기능 등 종합적인 건축상품 기획을 설정하고, 이와 연계된 건축특화 3D 프린팅 소재 및 장비를 선제적으로 개발하여 3D 프린팅 건축분야 글로벌 시장에서의 기술선도와 독점적 시장점유율 확보가 가능한 연구기획이 필요함.
- 전통적인 기존 건축분야 생산체계 대비 경제성, 효율성, 상품성 등을 극복할 수 있는 3D 프린팅 기술을 활용한 건축기획 및 설계기술, 3D 프린팅 장비 및 소재의 핵심원천기술에 대한 연구기획이 필요함.
- 또한, 상기의 3D 프린팅 기획 및 설계, 장비, 소재와 연계되어 건축상품의 유형(구조체, 외장재, 인테리어 등)에 따른 3D 프린팅 생산체계까지의 패키지화된 연구기획이 필요함.
- 이와 더불어 건축분야 3D 프린팅 건축물 특화 설계, 장비, 재료/소재 핵심원천기술 개발뿐만 아니라, 글로벌 시장 선점을 위한 건축물 생산플랫폼 및 조달, 유지보수기술개발도 동시에 추진되어야 할 것으로 판단됨.
- 또한, 글로벌 시장 선점 및 선진국/기업 역수출을 위한 생산된 건축 상품 검증 및 평가체계 표준화 및 관련 법/제도 개정 또는 수립하여 상용화시킬 수 있는 마켓플랫폼까지 구축하여, 소프트웨어적인 부분도 동시에 추진되어야 할 것으로 판단됨.

제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제1절 비전 및 목표



❖ **비전 (Vision)** :

3D 프린팅 기술을 건설산업에 성공적으로 도입함으로써 새로운 상품·니즈·시장·기술을 창조함. 이를 통해 산업의 새로운 성장동력으로 자리매김하며, 일자리 창출, 글로벌 경쟁력 증가 등 창조경제 실현에 이바지 함.

❖ **연구개발 목표 (Goal)**

-건축분야 3D 프린팅 설계·생산 기술 세계 1위

-3m x 6m x 3m 규모(안)의 주거·복합용도 단위모듈 구조체 1일 생산

-신규 건축용 3D 프린팅 소재의 기존 건축자재·소재 대비 100% 성능구현

❖ **연구개발 전략 (Strategy)** :

3D 프린팅 건축상품의 다양성 확보와 소비자-공급자간의 지속가능한 생태계 구축을 위해 '3D 프린팅 기술 기반 주거·복합용도 단위모듈 및 내외부 건축요소', '단위모듈 규모의 복합 3D 프린팅 장비 및 시스템', '기존 건축소재 전환 및 건축용 3D 프린팅 융복합 소재'에 기반을 둔 '생산플랫폼(Production Platform)'과 새로 개발된 건축상품의 시장구축 및 제도·정책적 기저환경 구축을 위한 '마켓플랫폼(Market Platform)' 개발을 연구개발 전략으로 설정함.

❖ **상품개발 경로(Product Development Path)** :

시장의 다양성에 기초하여 광범위한 용도의 적정기술 시장 확보 전략, 산업의 점진적 변화를 유도하기 위한 기존기술 기반 고도화 상품 전략, 과도기 하이브리드(Hybrid) 상품 전략, 미래형 융복합 고부가가치 상품 전략으로 세분화 함.

❖ **시장다양성(Market Diversity)** :

상품 수요자(국가, 기업, 개인 등)가 당면한 사회·경제·기후·환경·자원·에너지 환경은 모두 다르며, 이에 대응하는 수요자의 니즈(Needs)는 다양한 스펙트럼(Spectrum)을 가지고 있음. 이에 따라 상품개발은 최소한의 필요조건만을 충족하며, 형상적·기능적 다양성을 확보할 수 있도록 개방형 생태계(Open ecosystem)를 추구해야함.

제2절 기술개발에 따른 미래상

1. 현황 및 미래상

○ 건설 산업에서 건축양식에 대해 살펴보면, 1900년대 이전은 ‘정형과 비정형의 조화’, 1900~2000년대는 ‘극단적 정형 및 효율성 추구’, 2000년대를 넘어오면서부터는 ‘극단적인 비정형 건축’으로의 시대적 변화가 파악됨.

○ 정형적 설계(안)에서는 전통적 생산방식(철근콘크리트 및 모듈공법 등)의 효율성과 경제성을 극복할 수 없기 때문에, 최근 건설산업에서 비정형 건축물 생산에서 구조부재의 맞춤형 제작 생산, 내외부 마감의 맞춤형 제작 생산, 맞춤형 곡면 노출콘크리트 등에 대한 생산단가 상승, 정밀한 생산방식 필요, 생산의 비효율성 급증 등의 기술적 한계에 도달한 실정임. 현재 건설산업 내 기업 및 대학 연구진에서 3D 프린팅 기술을 활용한 사례들을 보면, Mock-up수준의 건축물 모형부터 실물규모의 주거공간 등이 시도되어왔고, 건축 상품을 제작하기 위한 기초수준에서 적정수준까지 기술을 보유한 것으로 판단될 정도임. 또한, 일부 건설업체의 경우 3D프린팅 기술을 활용하여 실물규모의 주택, 빌라 등을 건설하여 분양사업을 시도하고 있음.

○ 이로 인해 개발된 모듈러 건축 기술은 생산체계를 생력화・공업화하여 생산성과 경제성을 극한으로 끌어올리기 위한 목적을 가지고 있지만, 최근 비정형적 설계(안)으로는 형태적(디자인)요소에 집중되어 건축 상품의 다양성만이 부각되고, 시장성, 생산성, 편의성, 안전성에 대한 부분은 고려되지 못한 실정임. 그러므로 시장 니즈를 충족하는 다품종 대량생산 체제에 대응하기 위해 3D 프린팅 기술을 활용한 건축상품 및 생산플랫폼, 마켓플랫폼이 필요할 것으로 판단됨.

○ 현재 미국, 유럽, 중국 등의 국가에서는 전통적인 건축 재료에 기반을 둔 기초적 수준의 3D 프린팅 건축 상품(소규모 구조체, 특정부위, 인테리어 등)이 연구/개발되고 있고, 최근까지 3D 프린팅 생산체계가 적용되어 상품성, 안전성, 효율성 등이 확보된 상품사례는 존재하지 않음.

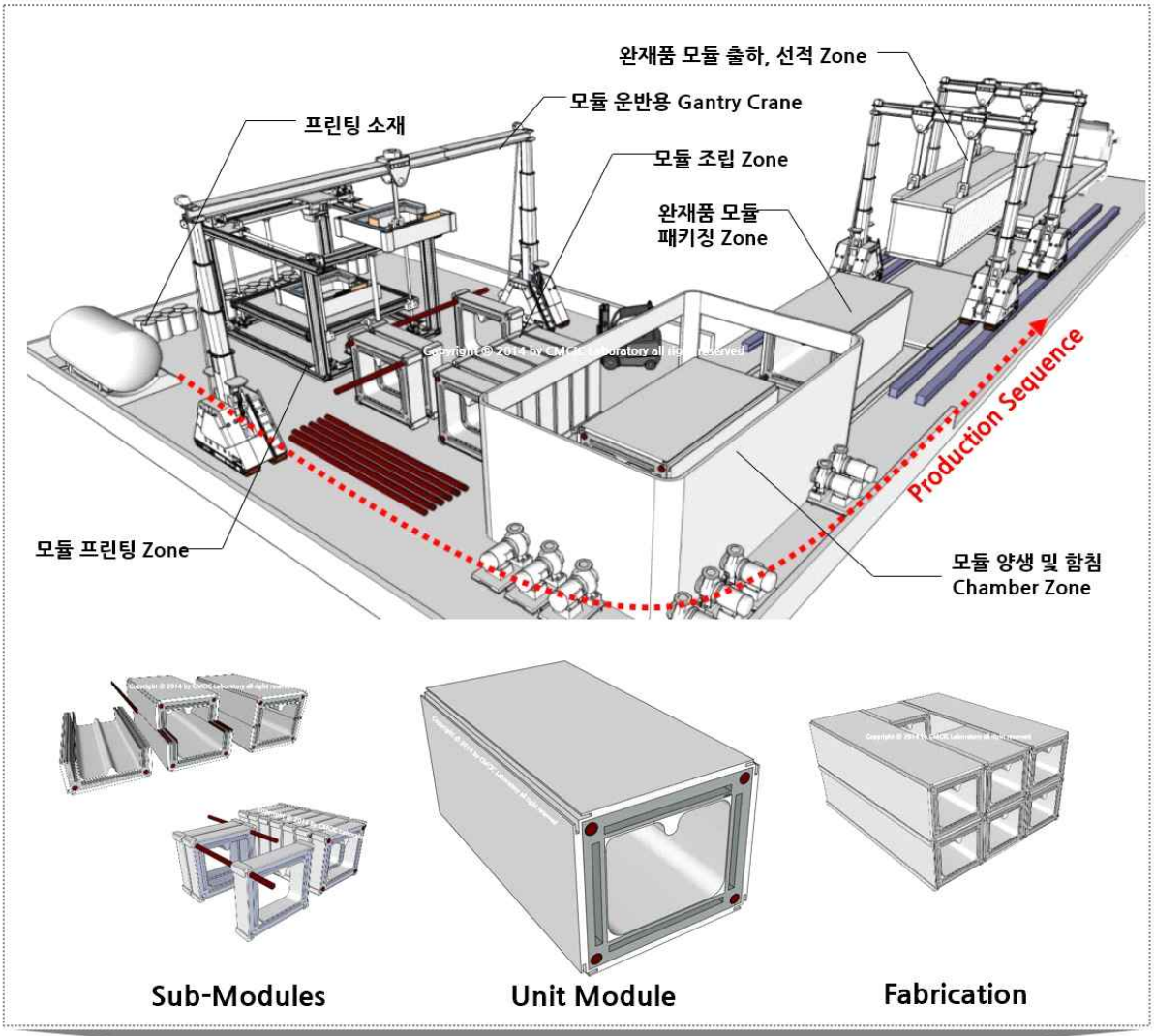
○ 3D 프린팅 기술이 응용된 건축상품은 규모, 형상, 소재, 기능, 적층방식 등 다양성이 매우 높을 것으로 판단되며, 기 개발된 타 산업분야의 활용사례에 근거하면 수요자의 용도/목적 등에 따라 다양한 파생상품들이 개발될 것으로 판단됨.

○ 그러나 현재까지 개발된 3D 프린팅 기술 및 사례에 근거하면, 건축물 생산에 대한 원천적/종합적 접근은 매우 제한되어있음. 특히 규모, 소재, 장비 등 생산방식과 관계된 원천기술은 현재까지 존재하지 않음.

○ 건설·건축 분야 내 3D 프린팅 기술의 수용은 형상의 다양성, 정밀성뿐만 아니라, 대량생산 기반의 제조업의 특성을 건축분야에 효과적으로 도입할 수 있음. 또한 건설업이 가지고 있는 다품종 소량생산, 노동집약적 생산, 현장생산 등 전통적이고 복잡한 생산체계를 다양한 규모 및 형태, 성능에 대한

시장수요에 대응할 수 있도록 혁신적인 변모가 가능할 것으로 판단됨.

- 이에 따라 본 기획연구진은 상술된 국내외 시장·기술 동향에 근거하여, 향후 건축물용 3D 프린팅 상품(기획 및 설계), 생산플랫폼(장비, 소재), 마켓플랫폼(Test-bed 및 제도/정책)으로 최종성과물을 설정하였음.
- 또한 향후 개발될 건축 상품이 건축물로써 기본적인 기능을 수행할 수 있도록 단위모듈(Unit Module)을 생산물의 기본 모델(Base Model)로 설정하였음. 이는 단위모듈의 다양한 규모 및 형태 구현과 독립적 활용(Stand Alone)뿐만 아니라, 조립(Fabrication), 확장(Expansion), 배열(Arrangement)을 통한 규모적 확대를 용이하게 하며, 사용자의 다양한 기능적(Functional) 요구를 효과적으로 반영할 수 있기 때문임.
- 플랫폼화(Platformization)된 생산체계와 이를 구성하는 원천기술을 기반으로 단위모듈을 생산할 경우, 향후 글로벌 건축상품 시장의 기술선도와 독점적 시장지위 확보가 가능함.
- 3D 프린팅 건축상품군의 생산플랫폼과 예상되는 최종성과물에 대한 미래상의 예시(안)은 다음과 같음.



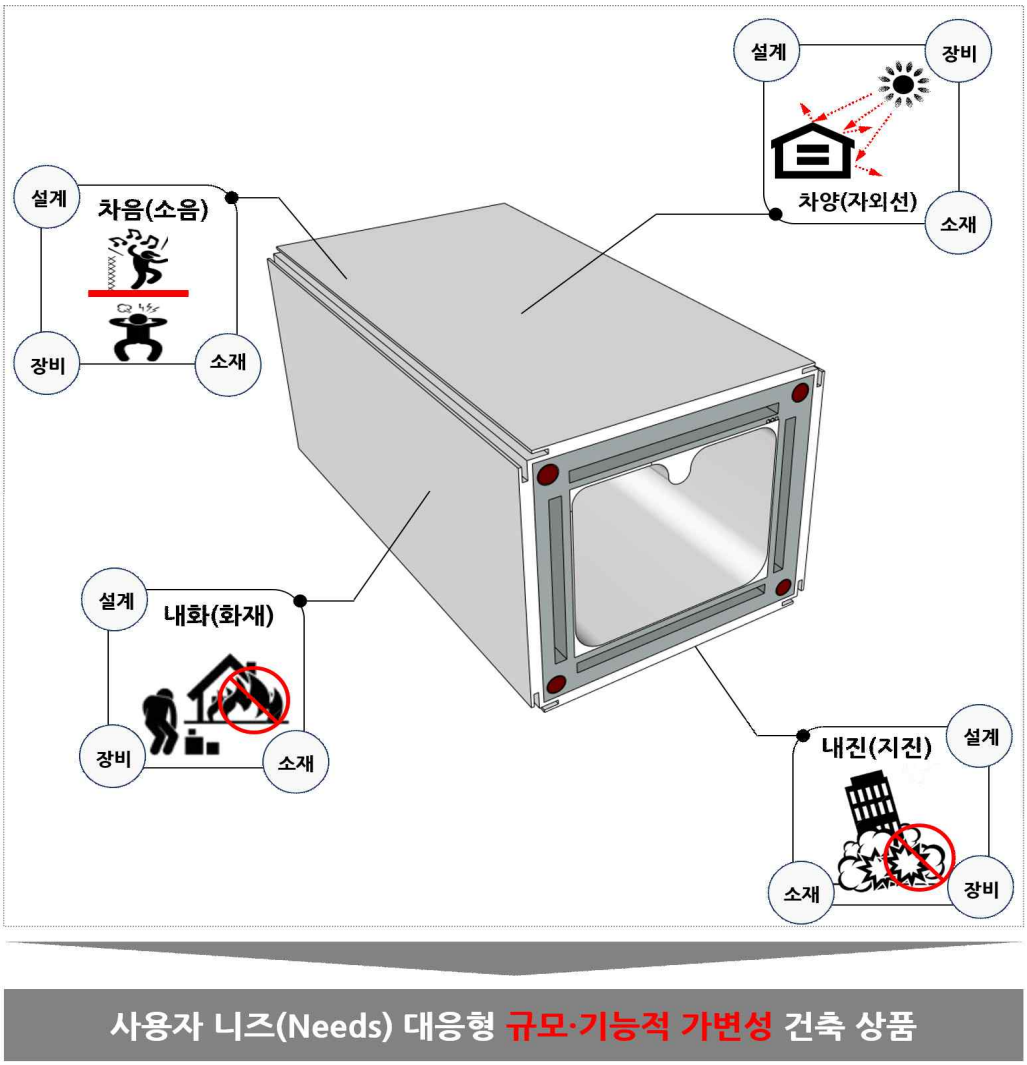
[그림 56] 3D 프린팅 건축 기술의 미래상

2. 건축물용 3D 프린팅 최종성과물과 성능수준

가. 단위모듈형 건축상품

○ 본 연구의 예상 최종 성과물인 단위모듈형 건축상품은 내구성, 내수성, 내화성, 내열성, 내진성, 차음성 등과 같이 기본적인 주택성능기준에 100% 부합하여야 함. 특히 벽체(내·외벽 마감 포함), 바닥(보, 슬라브 등), 내부 인테리어는 전통적 건축물의 기능적·형태적 한계점을 극복함으로써 사용자의 내외부 비정형 공간과 같은 다양한 규모 및 형태, 성능 등에 대한 사용자 및 공급자의 니즈에 대응할 수 있을 것으로 판단됨.

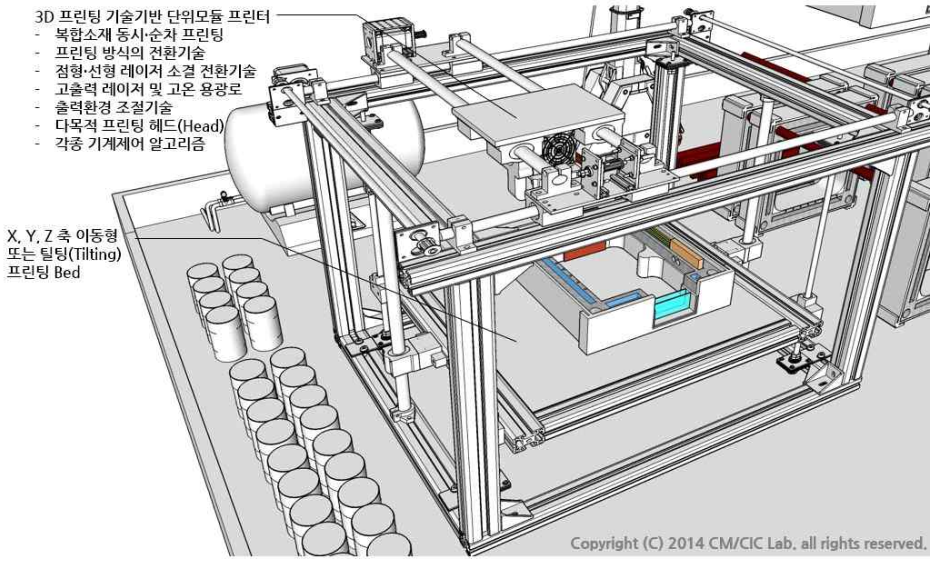
○ 또한, 시장 니즈를 충족하는 다품종 대량생산 체제에 대응하기 위해 3D 프린팅 기술의 활용이 필요할 것으로 판단됨. 이를 통해 3D 프린팅 기술이 적용된 단위모듈은 기존 소극적인 건설+IT(ex. Home automation 등) 기술을 벗어나, 공간과 공간, 인간, 사물과의 관계를 긴밀히 연결해줄 것으로 예상됨. 특히 ICT(Information and Communication Technologies) 임베디드(Embedded), 사물인터넷(Internet of Things) 등과 같은 이종 기술과의 적극적인 융합을 통해 공간에 대한 새로운 사용자 경험(User experience)을 창출하며, 상품의 부가가치 향상을 이끌어 낼 것으로 판단됨.



[그림 57] 예상 최종 성과물의 특징(예시)

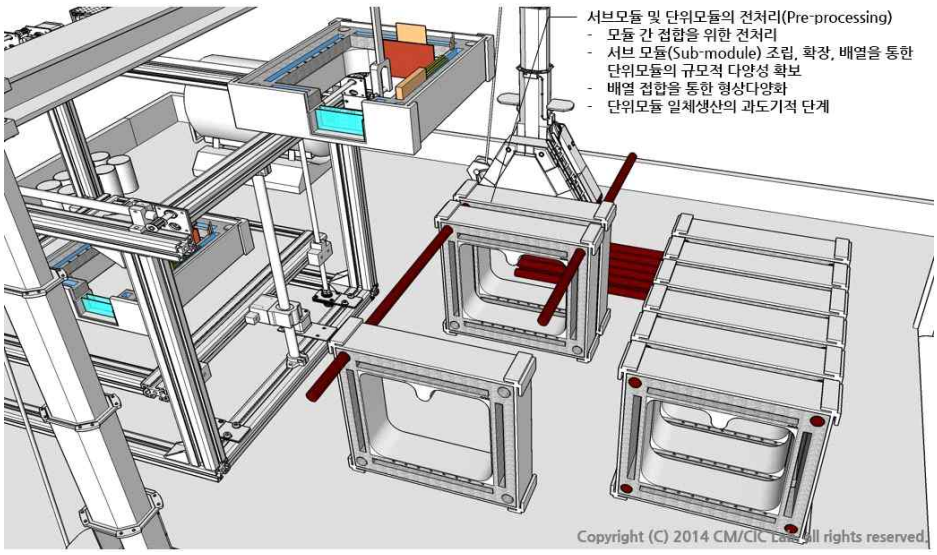
나. 단위모듈형 건축상품 생산플랫폼

○ 기획연구진은 그림 58과 같이 3D 프린팅 기술이 적용된 공장형태의 생산플랫폼을 제시함. 생산플랫폼은 단위모듈 규모의 건축상품군을 생산하기 위해 3D 프린팅 소재와 장비를 이용한 1)모듈 프린팅 Zone, 2)모듈 조립 Zone, 3) 모듈 양생 및 함침 Chamber Zone, 4)완제품 모듈 패키징, 출하 및 선적 Zone과 같은 프로세스로 구성됨.



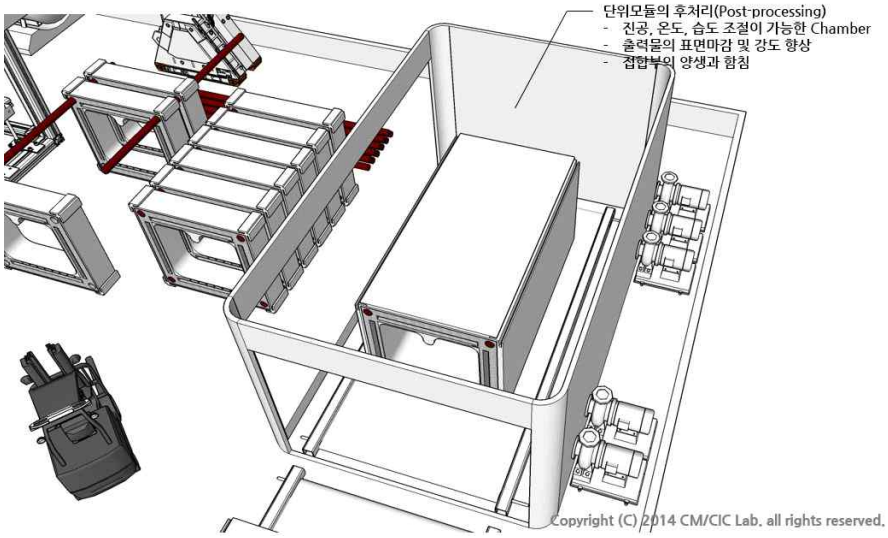
[그림 58] 모듈 프린팅 Zone(예시)

- [모듈 프린팅 Zone] 이 부분은 복합소재 동시·순차 프린팅, 프린팅 방식의 전환기술, 점형(Spot)·선형(Linear) 레이저 소결 전환기술, 고출력 및 고온 용광로, 출력환경 조절기술, 다목적 프린팅 헤드(Head), 각종 기계제어 알고리즘, X・Y・Z축 이동형 또는 틸팅(Tilting) 프린팅 Bed 등의 기술개발이 필요할 것으로 예상됨.



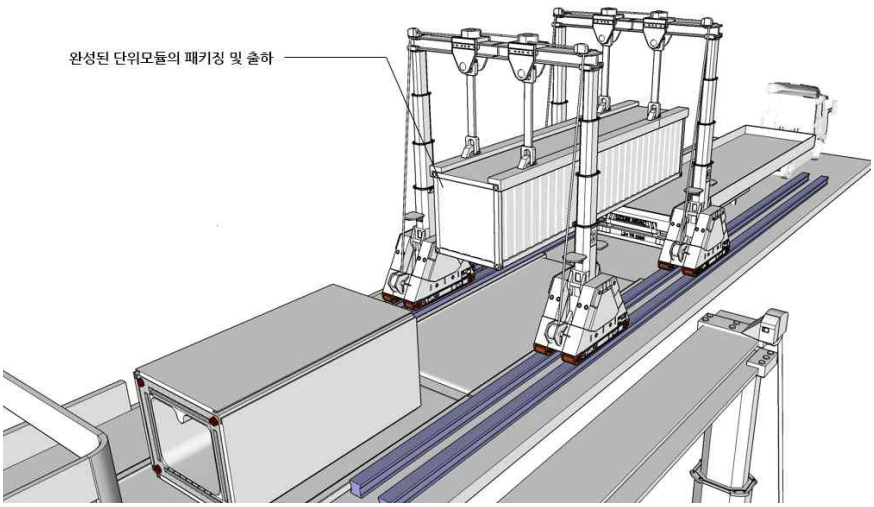
[그림 59] 모듈 조립 Zone(예시)

- [모듈 조립 Zone] 이 부분은 서브모듈(Sub-module) 및 단위모듈의 전처리 과정(Pre-processing)으로 모듈 간 접합을 위한 전처리, 서브모듈 조립, 확장, 배열을 통한 단위모듈의 규모적 다양성 확보, 배열접합을 통한 형상 다양화 등의 기술개발이 필요할 것으로 예상됨. 건축물용 3D 프린팅 기술이 발전할수록 서브모듈의 생산규모도 커지게 되며, 궁극적으로 단위모듈 일체생산이 가능할 것으로 판단됨.



[그림 60] 모듈 양생 및 함침 Chamber Zone(예시)

- [모듈 양생 및 함침 Chamber Zone] 이 부분은 서브모듈 접합 및 단위모듈의양생과 함침에 활용되는 공정이며, 출력물의 표면마감, 강도향상, 진공, 온도. 습도 조절과 관련된 기술개발이 필요할 것으로 예상됨.



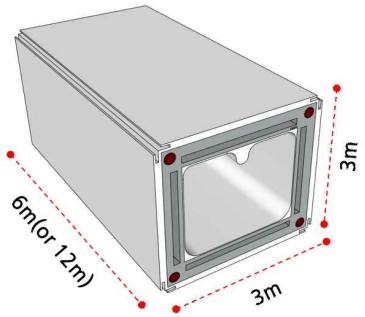
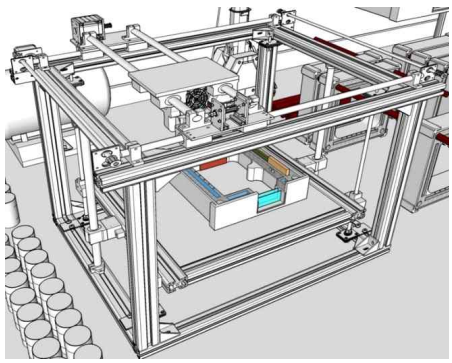
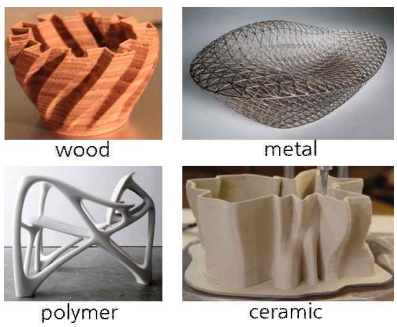
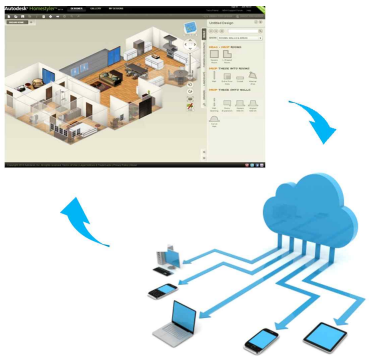
[그림 61] 완제품 모듈 패키징, 출하 및 선적 Zone(예시)

- 완제품 모듈 패키징, 완제품 모듈 출하 및 선적 Zone] 이 부분은 생산공정을 통해 완성된 단위모듈을 사용자의 기호에 맞게 부분적으로 수정하거나 보정하며, 제품 배송 또는 운송을 위한 패키징 공정임.

다. 예상 최종성과물 성능수준

○ 본 연구 예상 최종성과물인 단위모듈형 건축상품, 생산플랫폼(장비, 소재), 마켓플랫폼의 기본 성능수준은 다음과 같이 예시로 제시함.

[표 33] 예상 최종 성과물의 성능(예시)

최종 성과물	기본 성능수준	
건축 상품	· 3m×6m×3m 규모(안)을 갖는 단위모듈형 구조체 및 내·외부 건축요소 · 통합 설계(건축, 구조, 설비, 시공) 소프트웨어 · 3D 프린팅 기술기반 설계·엔지니어링 가이드라인 · 압축강도(콘크리트 강도 기준) : 바닥 24MPa, 벽 27MPa · 인장강도(철근 강도 기준) : 500MPa	
생산 플랫폼 (장비, 재료)	· 단위모듈 출력 가능 규모 방안 : 3m×6m×3m · 이종소재 동시 프린팅 및 FDM+SLS 혼용 가능 · 200㎛(미세부분)~1,000㎛(일반) 정밀 제어 가능 · 수십~수만KW 급 레이저 가공 및 고온 용광로 · 평면/곡면 상 프린팅 가능 · X, Y, Z 축 이동형 또는 틸팅(Tilting) Printing Bed	
	· 내화성(철근 내화성 기준) : 538 ˚C · 차음성(공동주택건설 기준) : 50dB 이하 · 열관류율(건축물 설비 기준) : 3.00 W/㎡·K 이하 및 2.58㎉/㎡h.℃이하 · 경량화(고성능 경량 콘크리트 기준) : 1.6~1.9t/m^3 · 복합성능: 이종재료혼합	
마켓 플랫폼	· 3D 프린팅 기술 기반 융복합 건축상품군 성능평가 시스템 · 웹기반 3D 프린팅 건축상품 오픈마켓 플랫폼 · 3D 프린팅 기술 기반 융복합 건축상품 확산을 위한 제도 및 정책(안)	

3. 기술개발 전략 및 효과

가. 3D 프린팅 기술이 건설산업에 미치는 파급효과

○ Mckinsey & Company는 3D 프린팅 기술을 산업 근간을 뒤흔드는 12가지 와해성 기술(Distruptive Technology) 중 하나로 지목하였음[23]. 또한 이 기술을 통해 파급되는 경제적 효과는 총 550억 달러로 추정하였음.

※ 와해성 기술: 정치, 경제, 군사, 기타 사회적 측면 등 다양한 분야에서 국가 경쟁력에 위협이 될 수 있거나 혹은 국력 신장에 기여할 정도로 파급효과가 큰 기술을 의미함[24]. 이는 곧 업계를 완전히 재편성하고 시장 대부분을 점유하게 될 신제품이나 서비스로 이해될 수 있음.

○ 3D 프린팅 기술은 와해성 기술의 기본적 특성 이외에도 일자리에 대한 감소, 직종 감소에 대해 막연한 불안감을 발생시켰으나, 기존 직종이 변화된 비즈니스 모델 변화로 인한 직종 계승 및 직업 수준 향상으로 진행되고 있음.

○ 과거 3D 프린팅 기술의 등장에 따른 불안감은 점차 상쇄되고 산업의 재편과 혁신의 발판으로 이해되고 있으며, 국가전략화, 기업의 혁신매개로 재평가 되고 있는 상황임.

[그림 62] 3D 프린팅 기술의 파급효과

○ 건설산업의 경우, 제조업과 다르게 생산규모가 비교할 수 없을 정도로 거대함에 따라, 국가적 차원의 3D 프린팅 기술 도입 전략에서 언급된 사례가 적음. 앞서 사례 조사에서 언급된 바와 같이, 미국, 중국, 영국 등 소수 국가 건설산업에서 소극적으로 도입되고 있는 상황임.

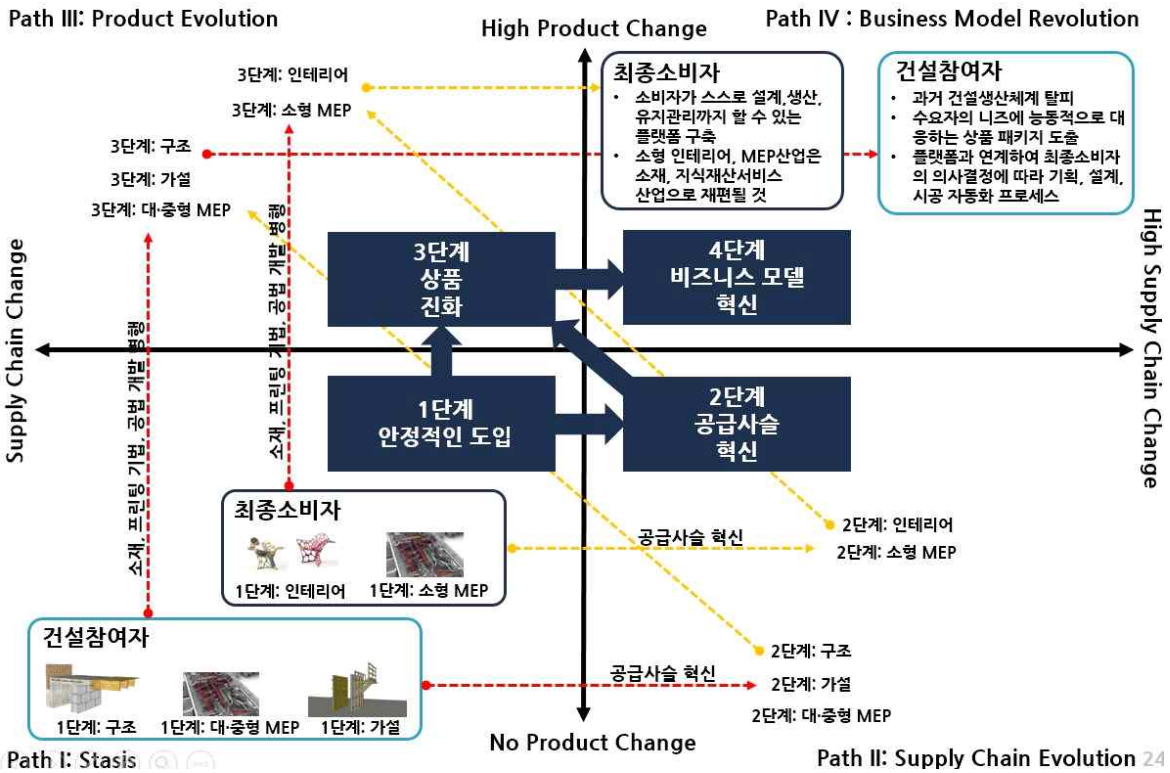
○ 3D 프린팅 기술은 다품종 생산, 소비자 지향적, 생산체계의 통합, 생산물의 정확성, 신속성 부분에 가장 큰 강점을 가지고 있음. 건설산업 또는 건설상품의 경우 다품종 소량생산, 복잡한 공급사슬 구조, 생산체계의 비효율성, 생산기간의 장기화 등 다양한 산업적 특성이 존재함.

---

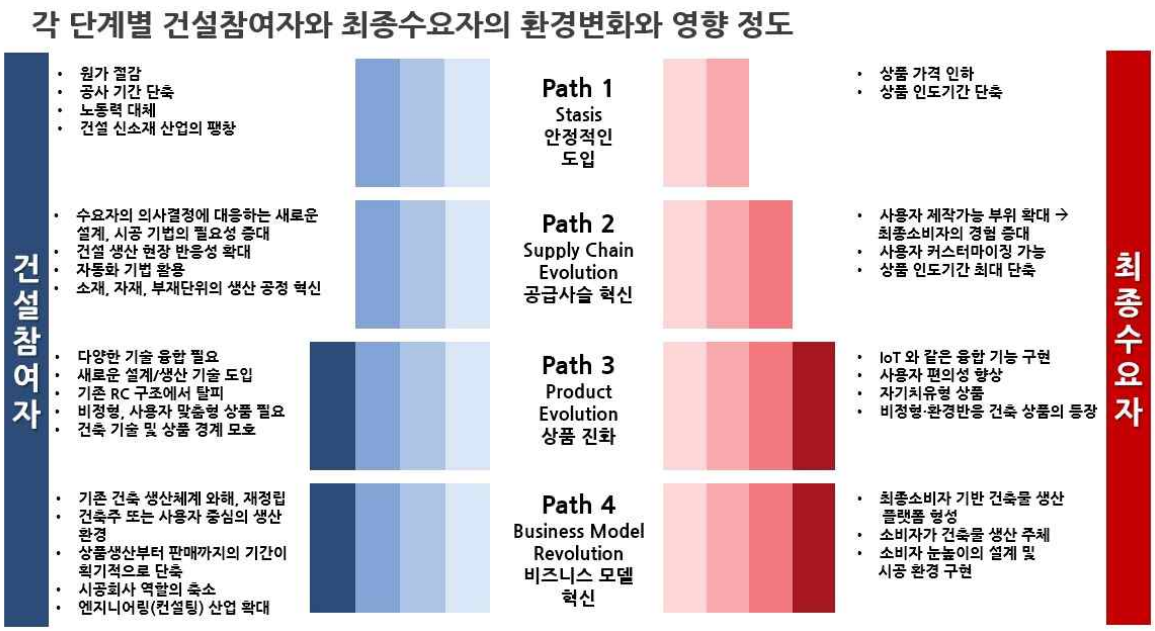
23) McKinsey Global Institute, Disruptive Technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy, 2013

24) National Intelligence Council, Disruptive Civil Technologies: Six Technologies with Potential Impacts on US Interests out to 2025, 2008

○ 본 기획연구진은 위와 같은 3D 프린팅 기술의 강점과 건설산업의 약점에 집중하여 건설산업에 미칠 파급효과를 살펴보았으며, 예상되는 3D 프린팅 기술 도입 시나리오를 고려하였음.



[그림 63] 건설산업 내 3D 프린팅기술 도입 시나리오



[그림 64] 3D 프린팅 기술 도입으로 인한 건설참여자 및 최종수요자의 변화

○ 3D 프린팅 기술 도입이 심화 될수록 건설참여자 및 최종수요자에게 미치는 파급효과가 점진적으로 커지게 됨. 궁극적으로 수요자는 스스로 건축상품을

기획, 설계, 생산, 거래할 수 있으며, 건설참여자는 건축 상품, 엔지니어링 기술, 건축물 단위 3D 프린터를 거래하는 시장으로 변화될 가능성이 있음.

나. 기대효과

(1) 사회 및 경제적 측면

- 건축물 대상 3D 프린팅 관련 기술개발 결과로 인한 글로벌시장 선점은 경제적 효과뿐만 아니라 미래 기술 보유국의 이미지, 건설산업의 국제적 위상 강화, 관련 핵심 원천기술의 자립화 및 기술 수출을 통해 국가 이미지 제고에 기여가 가능함.
- 건축 규모를 극복하는 건축물 대상 3D 프린팅 관련 핵심기술의 개발이 성공하면 침체된 건설경기 부양효과 및 글로벌 시장 내 새로운 분야로의 진출, 청년창업의 영역이 대폭적으로 확대될 것이며, 이른바 IT융합 건설 산업의 대표적인 산출물이 될 것임.
- ICT 기술적 융합의 결정체인 건축물 대상 3D 프린팅은 다양한 어플리케이션개발을 통해 청년들의 진입 장벽이 매우 낮아지므로 청년창업에 매우 유리하여 청년실업 해소에 크게 기여하리라 판단됨.
- 국가발전의 핵심 사업으로 활용하기 위한 건축물 대상 3D 프린팅 관련 핵심기술에 대한 정책으로 활용 가능한 로드맵을 제시하여, 국가 신성장 동력으로써의 역할을 할 수 있을 것으로 판단됨.
- 글로벌 시장에서 전무한 건축물 대상 3D 프린팅 관련 기술 개발을 통해 원천기술 특허확보 및 관련 첨단 건설 산업 활성화를 통한 국제 경쟁력 확보가 가능하며, 적정·하이브리드·미래기술 대응을 고려하였기에 지속가능한 건설경제구조로의 전환이 가능함.
- 경제적 측면에서 건축물 전 생애주기 단계에서 에너지 소비 절감을 달성하고, 더 나아가 국가 온실가스 감축 목표치를 달성이 가능할 것으로 판단됨.

(2) 기술적 측면

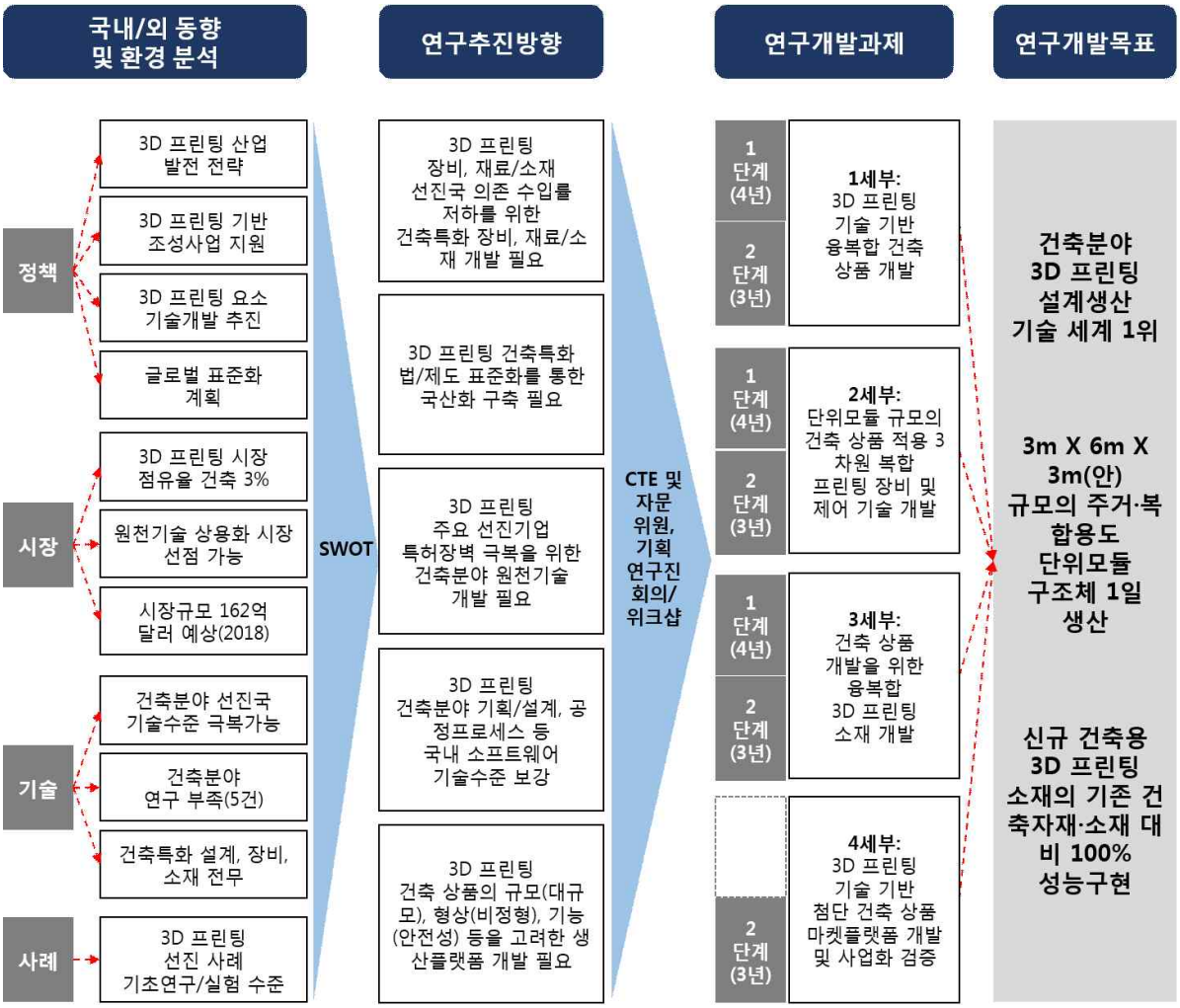
- 본 기획에 의한 연구가 진행되면, 1단계에서는 건축용 3D 프린팅 관련 원천기술 확보를 통해 국제 경쟁력 강화 및 3D 프린팅 산업 진출 후발주자로서 선두주자의 기술수준이 동등 또는 추월이 예상됨.
- 또한 2단계에서 건축 상품 관련 마켓 플랫폼 및 파일럿 제작 후 성능평가 및 법/제도, 정책을 통해 3D 프린팅 기반 스마트건축물 구현이 가능하게 되고, 3D 프린팅 기반 스마트건축물 구현은 차세대의 와해성 기술과 융합되어 신규 산업 창출에 기여를 하리라 판단됨.
- 과제 기획을 통해 건축물 대상 3D 프린팅 관련 기술 및 건축 상품에 대한 R&D 추진의 토대를 마련하여 기술의 융복합 협력체계를 구축할 수 있을 것으로 판단됨.

제3절 연구개발과제 구성

1. 연구개발과제 도출

○ 2장 국내/외 동향 및 환경 분석을 통해 도출한 기술개발 연구 추진방향을 기반으로 3D 프린팅 시장 내 재료, 장비, 설비, 평가 각 분야에서 독보적인 활동을 하고 있는 연구진들에게 기술자문을 구해 연구개발 후보기술을 선정하고 최종적으로 자문위원과 기획연구진 간의 회의 및 워크샵을 통해 최종 연구개발과제를 도출함.

○ 최종적으로 도출한 총 4개 세부의 연구개발과제는 연구개발 목표인 건축분야 3D 프린팅 설계·생산 기술 세계 1위, 3mx6mx3m(안) 규모의 주거·복합용도 단위모듈 구조체 1일 생산, 신규 건축용 3D 프린팅 소재의 기존 건축자재·소재 대비 100% 성능구현을 위해 『1단계 원천기술개발』 및 『2단계 파일럿 제작 및 성능 평가』로 연구 단계를 구분함.



[그림 65] 기획연구과제 도출과정

○ 최초 기획연구 제안 당시 도출된 32개의 주요 기획연구 내용은 Material(재료 및 소재, 성능평가 등) 개발, Equipment(장비, 장비제어 등) 개발, Product(설계, 시공, 유지관리, 서비스) 개발, Market Platform(조달, 오픈마켓, 법/제도 등) 개발 및 Test-bed, 사업화추진으로 구성되어있음.

[표 34] 기획연구제안 당시 기획연구 목표와 주요 기획연구 내용

기획연구 목표	주요 기획연구 내용
Material (재료 및 소재, 성능평가 등) 개발	• 건축물 적용 3D 프린팅 재료 및 소재 개발(재료 및 소재 배합기술, 제어기술 등) • 건축물 적용 3D 프린팅 재료 및 소재의 신뢰성(강도, 안전성 등)평가 • 3D 프린팅 건축물의 구조 안전성(내진 등) 평가 • 건축물 적용 3D 프린팅 재료 및 소재의 경제성(사업성, 시장성 등) 평가 • 건설자재용 무기질/폴리머/금속 재료 및 소재 기술 개발 • 3D 프린팅이 가능한 건설자재용 고강도 재료 개발
Equipment (장비, 장비제어 등)개발	• 건설자재 생산을 위한 레이저 및 스캔 시스템 기술 개발 • 건설 분야에 적합한 3D 프린터 제어 S/W 및 알고리즘 개발 • 고강도 재료 적층 및 후처리 시스템 개발 • Head Block(노즐) 제작 및 제어기술 개발 • 3D 프린팅 장치 구조 설계 및 안정성 평가 • 건축물 적용 3D 프린팅 장비의 경제성(사업성, 시장성 등) 평가
Product (설계, 시공, 유지관리 서비스) 개발	• 3D 프린팅 건축물 설계기술 개발 • 3D 프린팅으로 제조된 건설자재의 신뢰성 평가 기술 개발 • 3D 프린팅 장치 구조 설계 및 안정성 평가 • 건축물 적용 3D 프린팅 기반 설계기술(상품) 개발 및 신뢰성 평가 - 건축물 3D 프린팅을 위한 표준 모델링 도구 개발 - 3D 프린팅용 건설자재 표준 라이브러리 및 저작도구 개발 - 3D 프린팅 건축물 안정성 진단 자동화도구 개발 • 건축물 적용 3D 프린팅 기반 시공기술(상품) 개발 및 신뢰성 평가 - 건축용 3D 프린팅 장비 및 시공 통합 모니터링 도구 개발 • 건축물 적용 3D 프린팅 기반 유지관리기술(상품) 개발 및 신뢰성 평가 • 3D 프린팅 건설 프로세스 및 매뉴얼 개발
Market Platform (조달, 오픈마켓, 법/제도 등) 개발 및 성능평가 추진	• 건축물 적용 3D 프린팅 기반 공급사슬 관리 • 건축물 적용 3D 프린팅 기반 상품 조달을 위한 플랫폼 개발 • 건축물 적용 3D 프린팅 상품 유통 활성화를 위한 법, 제도 수립 • 건축물 규격 기준 3D 프린팅 건설자재 특성 분석 및 평가 • 건축물 규격 기준 3D 스캐닝 기술 및 시공정밀도 측정용 소프트웨어 개발 • 3D 프린팅 건축물 활성화를 위한 법제도 개선방안 연구 • 3D 프린팅 건축물 개발을 위한 기술 로드맵 작성 • 건축시공이 가능한 대형 3D 프린팅 시스템 개발전략 수립 • 3D 프린팅에 기반한 저층규모 건축물 실증구축 방안 제시 • 건축물 적용 3D 프린팅 시장조사 및 전략 개발

○ 표 35와 표 36은 총 11번의 회의와 1번의 워크샵의 날짜에 따른 회의 리스트와 자문위원과 연구진들 간의 대화를 적은 표이다. 각 회의와 워크샵를 통하여 나온 대화를 토대로 연구개발과제들이 도출됨.

[표 35] 기술자문

순번	세부연구내용	성 명	소 속	직 급	전 공(학위)
1	3D 프린팅용 건설재료 개발	김 윤 용	충남대학교	교 수	토목(박사)
2	건축 설비 설계	여 명 석	서울대학교	교 수	건축(박사)
3	건설재료 특성 제어	신 경 준	충남대학교	조교수	토목(박사)
4	3D 프린팅용 복합재료	이 봉 기	전남대학교	조교수	기계(박사)
5	3D 프린팅용 재료 유동제어	이 방 연	전남대학교	조교수	건축(박사)
6	장비개발	김 정 수	㈜펨스	연구소장	기계(박사)
7	장비개발	안 영 진	전남TP	선임연구원	기계(박사)
8	신뢰성 평가	옥 종 호	서울과학기술대학교	교 수	건축(박사)
9	신뢰성 평가	이 광 명	성균관대학교	교 수	토목(박사)

[표 36] 회의 참여 리스트

순번	날 짜	장 소	참여자	전문가	비 고
1	‘14년 11월 29일	서 울	이승재 교수, 곽의신 연구원, 김재준 교수, 유승규 연구원, 김동수 교수, 배성우 교수, 이봉춘 박사, 조영근 연구원, 서명배 연구원, 문진석 연구원	김윤용 교수, 여명석 교수, 신경준 교수, 여명석 교수, 김정수 소장, 안영진 연구원, 옥종호 교수	장비 상품 설계
2	‘14년 12월 05일	서 울	이승재 교수, 곽의신 연구원, 김재준 교수, 유승규 연구원, 김동수 교수, 배성우 교수, 서명배 연구원	김정수 소장, 안영진 연구원	장비 상품 법
3	‘14년 12월 09일	천 안	이승재 교수, 배성우 교수, 조정민 박사, 이봉춘 박사, 조영근 연구원	김윤용 교수, 여명석 교수, 이봉기 교수, 이방연 교수	장비 재료
4	‘14년 12월 13일	서 울	이승재 교수, 김동수 교수, 배성우 교수	김윤용 교수, 안영진 연구원, 여명석 교수	장비
5	‘14년 12월 19일 ~ 20일	경 주 (워크샵)	이승재 교수, 손광선 연구원, 이돈우 연구원, 김재준 교수, 김재경 교수, 유승규 연구원, 신상우 연구원, 김동수 박사, 배성우 박사	안영진 연구원, 김정수 소장, 서명배 연구원, 이봉춘 박사, 이준 연구원, 정상화 연구원, 조영근 연구원, 김윤용 교수, 신경준 교수, 이방연 교수, 이봉기 교수, 강현욱 교수	장비 상품 설계 재료 법
6	‘14년 12월 23일	서 울	이승재 교수, 곽의신 연구원, 이봉춘 박사, 서명배 연구원	이봉기 교수, 신경준 교수, 옥종호 교수	재료 평가
7	‘15년 01월 07일	천 안	이승재 교수, 곽의신 연구원, 서명배 연구원	김정수 소장, 안영진 연구원, 이광명 교수	법
8	‘15년 01월 10일	천 안	이승재 교수, 김재준 교수, 유승규 연구원, 함남혁 연구원, 조영근 연구원	신경준 교수, 여명석 교수, 이봉기 교수	상품 재료
9	‘15년 01월 17일	대 전	이승재 교수, 김재준 교수, 유승규 연구원, 함남혁 연구원, 서명배 연구원	이광명 교수, 옥종호 교수, 안영진 교수	상품 평가
10	‘15년 01월 26일	서 울	이승재 교수, 곽의신 연구원, 김동수 교수, 배성우 교수, 이봉춘 연구원	김윤용 교수, 여명석 교수, 이봉기 교수, 김정수 연구원, 안영진 연구원,	장비 재료
11	‘15년 02월 07일	대 전	이승재 교수, 김재준 교수, 유승규 연구원, 이주성 연구원, 이봉춘 연구원, 조영근 연구원	신경준 교수, 이방연 교수	재료 상품

[표 37] 회의 문답 내용

회의 날짜	회의 내용 및 소결
2014년 11월 29일	문 : 현재 유럽이나 미국, 중국과 같은 첫 시행국가 같은 경우 3D 프린팅 장비로 건축물을 짓는 연구가 수행중이고 장비가 개발이 되고 있는데 우리나라의 3D 프린팅 기술로는 건축물을 지을 수 있는가? 답 : 지금 당장은 건축물을 지을 수 있는 장비는 없다. 하지만 기술력 부족으로 만들지 못하는 것은 아니다. 현재 우리나라의 3D 프린터 시장에서 건축분야가 차지하고 있는 시장 크기가 작기 때문에 장비의 제작을 시도하지 않았다. 그러나 연구가 진행되고 3D 프린터 시장에서 건축분야의 시장이 커진다면 장비를 제작 가능하다. 문 : 우린 3D 프린터에 전문적이지 않아 프린터 자체가 생소하다. 일반적으로 많이 사용하는 3D 프린터와 건축용으로 사용할 3D 프린터에 차이가 많지 않을까? 답 : 3D 프린터 구조, 부재 사이즈, 출력되는 재료, 노즐 모든 것이 달라질 것이다. 그리고 아마 프린터의 구조가 제일 중요하지 않을까 한다. 만약 높은 건축물을 시공한다고 하면 프린터의 구조체도 높아지고 높아진 만큼 구조적으로 안정해야 할 것이다.
	건축용으로 사용할 3D 프린팅 구조체는 일반적인 3D 프린터보다 커져야 하기 때문에 3D 프린팅 구조체의 단면 설계 기술이나 단면구조 설계 기술 또한 구조체의 최적화 설계 기술에 대한 연구가 필요하다고 판단됨.
2014년 12월 5일	문 : 3D 프린팅 기술을 이용하여 건축물을 만들고 그 안에 사람이 들어가 살 수 있다고 하자. 만약 태풍이나 폭설 등으로 인하여 집이 부분 붕괴나 어느 한 곳이 탈락이 일어난다고 하면 그건 누가 고치나? 사람이 손으로 고쳐야 하나? 답 : 뭐 그게 가장 간단한 방법이다. 그래도 3D 프린팅으로 시공한 집이기 때문에 뭔가 차별화를 둬야 하지 않을까? 3D 프린팅으로 집을 시공한 집이니까 3D 프린팅을 이용하여 유지보수까지 하는 것을 생각했었다. 부분 붕괴된 곳이나 탈락이 일어난 곳을 3D 프린터가 알아내고 자동으로 보수하는 것도 필요하다고 생각한다. 문 : 그럼 집주인인 거주자가 3D 프린터를 작동 할 것 같은데 작동시키는 프로그램 자체가 쉬워야 할 것 같다. 답 : 같은 생각이다. 사용자 중심으로 생각해야 한다. 보편화가 된다고 하면 전문가뿐만 아니라 일반 비전문가인 사용자들도 사용하기 때문에 일반 사용자들도 사용하기 쉽게 만들어야 할 것이다.
	사용자를 중심으로 생각하여 사용자가 사용하기 쉽게 사용자 기반으로 생산/시공/유지보수 자동화 플랫폼을 만들고 건축물 유지보수 시 붕괴 위치를 쉽게 파악하고 시공할 수 있도록 유지보수용 3D 스캐닝 기술에 대한 연구가 필요하다고 판단됨.
2014년 12월 9일	문 : 현재 우리나라에는 건축물을 시공하는 것 자체가 힘들어졌다. 이미 아파트나 주택들의 포화상태다. 요즘은 증축이나 리모델링의 시장이 더 커지고 있는 추세이다. 우리도 3D 프린터 장비로 건축물을 시공하는 것뿐만 아니라 현재 있는 건축물에 접목시키는 방법도 있으면 좋을 것 같다. 현재에는 콘크리트 건물이 우리나라에 더 많이 있다고 알고 있다. 답 : 맞다. 현재에는 아파트, 주택들도 대부분 콘크리트 건물로 되어있다. 문 : 그럼 재료파트에서 할 말이 많을 것 같다. 답 : 제가 보기에는 2가지 방법이 있는 것 같다. 하나는 재료파트에서 콘크리트와 최대한 결합이 가능한 재료를 3D 프린팅 장비의 재료로 사용하는 것이다. 이렇게 되면 새로운 재료의 개발이 될 것이다. 또 하나는 기존 건축물에 콘크리트와 새로운 물질 사이에 뭔가 연결 장치를 부착하여 접합강도가 더 크게 할 수도 있을 것 같다.

	문 : 그런 재료를 바로 개발이 가능한가? 답 : 바로 가능하진 않다. 제일 먼저 볼 것은 3D 프린트의 재료로써 노즐을 통해 제대로 출력이 되는지에 대한 테스트 해봐야하고 출력한 후에 양생 기간을 거치면서 콘크리트에 제대로 부착이 되는지에 대한 것도 봐야할 것 같다. 하여튼 기존의 건축물에 사용되는 재료들에 3D 프린트의 재료와 무엇인가 연결 할 수 있는 방법을 찾는 것도 필요할 것 같다.
	현존하는 우리나라 건축물들이 이미 많이 시공되어있고 새로운 시공이 아닌 증축이나 리모델링의 사용 될 가능성을 생각하여 기존 건축자재와 3D 프린팅 된 객체간의 연결 기술에 대한 연구가 필요하다고 판단됨.
2014년 12월 13일	문 : 건축물은 작은 크기가 아니기 때문에 장비가 건축물보다 커야 할 텐데 이에 대한 문제는 어떻게 해결이 가능한가? 답 : 좋은 질문이다. 제일 쉬운 방법은 프린팅 할 건물보다 더 큰 프린터 장비를 제작하면 된다. 문 : 그건 말이 안 되지 않는가. 현실적이지 않은 방법이고 효율적이지 않다. 답 : 그럼 바퀴를 다는 방법도 있다. 프린터 장비에 바퀴를 달고 이동하면서 프린팅을 한다면 아까 말한 장비보다 현실적이고 효율적인 방법일 것이다. 문 : 좋은 방법이다. 하지만 프린팅 장비가 움직인다면 진동이 생기거나 돌이나 이물질을 밟음으로써 재료를 출력하는 노즐의 위치가 도면과 정확하게 일치하지 않을 수도 있다. 도면과 다르게 출력을 한다면 건축주가 원한 건축물이 아닌 새로운 건축물이 지어질 수도 있다. 그렇다고 작업 환경을 100% 깨끗하게 유지할 수도 없다. 답 : 당연하다. 작업하는 바닥을 100% 깨끗하게 유지시키는 것은 본인도 불가능하다고 본다. 이것도 기술의 접목이 필요할 듯하다. 최대한 노즐의 흔들림이 없어야 한다. 바퀴나 장비의 본체는 움직일 수 있다. 건축물도 지진이 오면 흔들림을 막아줄 댐퍼 같은 장치를 설치하듯이 프린팅 장비에도 흔들림이 없을 순 없으니 최대한 흔들리지 않도록 댐퍼 같은 역할을 해줄 장치를 설치하는 것이 좋을 것 같다. 이에 대해서는 조금 더 생각해보고 연구할 필요가 있을 것 같다.
	건축물의 크기가 크기 때문에 3D 프린터의 크기도 커져야 하지만 장비의 크기를 최소화시키기 위하여 이동할 수 있는 3D 프린팅 장비를 기획 및 개발하고 정확한 높이와 위치에서 프린팅 될 수 있도록 노즐의 정밀성에 대한 기술의 개발이 필요하다고 판단됨.
2014년 12월 19일	문 : 적층 3D 프린터를 이용하여 구조체를 시공할 때 노즐의 크기는 어떻게 해야 하나? 벽이나 기둥과 같은 부분은 크고 굵게 출력해도 되겠지만 굵게 출력하지 않고 세밀하게 출력해야 할 부분도 있다. 이러한 상황에서는 어떻게 하는 것이 좋겠는가? 답 : 출력되는 노즐의 크기가 일단 다양해야한다. 말씀하신 것과 같이 굵게 출력할 부분 세밀하게 출력해야할 부분이 있다. 노즐의 크기에 따른 규약을 정해야 할 것이다. 또 노즐의 크기가 너무 작게 되면 재료가 출력이 안 될 수도 있다. 이 부분은 재료파트와 장비파트가 회의를 해야 할 것 같다. 문 : 또 현 시점에 대공간 구조물이 각광을 받고 있는 중이다. 우리는 이 시점에서 할 수 있는 것이 없을까? 답 : 3D 프린팅에 건축물을 적용한 첫 사례이기 때문에 이전 사례는 없지만 건축물에 3D 프린팅을 사용할 수 있다면 대공간 구조물에도 접목시킬 수 있다고 생각한다.
	구조체의 두께나 부재들이 단일화 되어있지 않고 다양하기 때문에 그에 따른 출력 노즐의 크기를 다양화한 기술이 필요하고 요즘 각광받고 있는 대공간 구조물에 대한 3D 프린팅 제조/공정 기술이 필요하다고 판단됨.
2014년 12월 20일	문 : 외국의 경우 3D 프린팅 재료로 그냥 콘크리트를 사용한다고 알고 있다. 우리나라도 외국의 경우처럼 콘크리트를 사용할 것인가?

	답 : 아직 기존의 재료를 사용할 것인가 새로운 재료를 만들 것인가에 대한 정확한 3D 프린팅 재료를 정하진 않았다. 아직 우리나라에서는 건축물에 3D 프린터를 적용한 사례가 없기 때문이다. 하지만 우리나라도 우리나라만의 재료를 개발하여 사용하는 것도 나쁘지 않다고 생각한다. 문 : 같은 건축분야라고 하지만 건축물의 목적에 따라서도 3D 프린팅 재료가 다를 수도 있을 것 같다. 답 : 여러 가지의 프린팅 재료들에 관해 연구를 해봐야 알 것 같다.
	우리나라에는 아직 3D 프린팅 재료 및 소재를 선정하는데 있어 가이드라인이 잡혀있지 않기 때문에 재료 및 소재 선정에 대한 가이드라인을 제시하고 상품의 용도나 기술 적용 분야별 다양하게 사용 간한 신소재 개발에 대한 매트릭스 기획이 필요하다고 판단됨.
2014년 12월 23일	문 : 저번 회의 때 나왔던 재료에 대한 얘기를 다시 해보겠다. 일반적으로 시공을 하여 건축물을 시공할 때도 시공성을 평가한다. 3D 프린터를 이용하여 건축물을 제작하는 경우에도 평가를 해야 할 텐데 이에 따른 평가의 기준이 필요하지 않겠는가? 답 : 물론이다. 3D 프린터를 이용하여 건축물을 시공하더라도 시공성이 평가됨은 당연하고 다양한 재료가 개발 된다면 다양한 재료를 사용하여 건축물을 시공이 가능할 것이고 이 재료에 대한 평가도 진행되어야 한다고 생각한다. 문 : 현재 건축물의 시공에 사용되는 재료들의 평가 체계를 참고하는 것도 좋을 것 같다. 답 : 건축물에 있어 제일 중요한 안전성, 내구성, 내화성에 대한 평가는 당연히 진행되어야 하며 다른 부분에서도 평가가 이루어져야 할 것 같다.
	아직 건축물에 사용될 3D 프린팅의 소재 및 재료의 평가 체계가 확실히 규정되어 있지 않았기 때문에 소재 및 재료의 안정성, 안전성, 내구성, 내화성 및 시장성, 경제성에 대한 평가 체계의 구축이 필요하다고 판단됨.
2015년 1월 7일	문 : 현재 외국에서는 3D 프린터로 건축물을 짓는 사례가 늘어나고 있다고 한다. 외국에서는 이러한 상황에서 현행 건축법과 맞지 않는 부분들이 생기지 않았겠는가? 답 : 좋은 질문이다. 중국을 예로 들어보면 3D 프린터 사업이 활성화 되어 건축물을 짓는 사례가 늘어나고 있다고 한다. 하지만 아직까지 3D 프린터를 이용하여 제작할 수 있는 건축물은 단층 건축물에 국한 되어 프린터를 이용하여 복층 건축물이나 고층 건축물을 시공할 경우 불법 건축물이 된다고 한다. 문 : 이러한 문제로 인해서 기술발전을 저해할 수 있는 요인으로 작용 할 것 같다. 좋은 해결책이 없겠는가? 답 : 이와 같은 문제가 중국에서 뿐 아니라 우리나라에서도 발생할 수 있는 문제라고 생각 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존 건축 관련법 체계와 저촉되는 부분이 없는지 살펴보고 이와 관련된 건축 관련법 개정안을 도출해 내는 것이 좋을 것 같다.
	기존에 있는 건축 관련법의 체계와 3D 프린터로 출력한 건축물 사이에 저촉되는 부분이 있을 것이라고 본다. 따라서 기존 건축 관렵법 체계와의 저촉 부분을 도출하고 3D 프린팅 건축 상품을 위한 건축 관련법 개정(안)의 도출이 필요하다고 판단됨.
2015년 1월 10일	문 : 3D 프린팅 재료에 있어서 프린팅의 재료의 소재들이 외국의 기술들보다 앞서나가려면 무슨 조건이 필요할까? 답 : 기본적으로 필요한 안전성, 안정성, 내구성에 대해서는 당연한 조건이라고 생각한다. 실제 건축물 자재에서도 적용하는 내화성, 고강도 내화성, 불연성에 대한 내용을 추가 하면 세계적으로 기술 선도를 할 수 있는 재료일 것이다.

	문 : 추가적인 내용이 있을까? 답 : 만약 초고층 건축물을 3D 프린팅 기술을 이용하여 출력하게 된다면 철골과 같은 기존 건축 재료와 융합을 필요로 할 수도 있을 것이다. 또한 건축물이 높아질수록 경량화 되어있는 소재를 사용해야 할 것이다.
	3D 프린팅의 첫 시행국가들과 비교하여 경쟁력을 확보하기 위해서는 기존 건축재료에 응용/융합 가능한 소재이어야 하며 추가적으로 고강도 내화성, 경량성, 불연성 등의 소재를 개발하여야 함의 필요성을 판단함.
2015년 1월 17일	문 : 현재 진행 중에 있는 3D프린터 사업이 현실적으로 경제성을 갖출 수 있다고 판단되는가? 답 : 현재는 그렇게 경제성을 갖추고 있다고 볼 수는 없다. 세계 3D프린터 시장 규모는 2011년에 300억 원, 2012년에는 460억 원 정도였고, 우리나라 3D프린터 시장 규모를 살펴보면 2011년에는 6~9.5억 원, 2012년에는 9.2~13.5억 원 정도로 볼 수 있었다. 아직까지 3D프린터 시장이 크게 활성화 되지 못했기 때문에 경제성이 있다고 판단하기는 타당하지 못하다. 문 : 그렇다면 언제쯤 3D프린터 사업이 활성화 될 수 있겠는가? 답 : 현재 매년 2배 정도의 성장을 한다고 예측한다고 한다. 2018년에는 전 세계 규모가 14조 규모에 달할 것이라고 예측하고 있다. 따라서 이에 대비하기 위해 3D 프린터에서의 건축 상품의 경제성, 시공성, 상품성에 대한 평가 체계가 시급하다고 할 수 있다.
	현재 3D 프린터 시장의 규모가 해마다 증가하고 있다. 이에 따라 건축물 시공이 가능한 3D 프린팅 시스템 개발이 추진되어야 하며 건축 상품의 경제성, 시공성, 상품성 등에 대한 평가체계가 필요하다고 판단됨.
2015년 1월 24일	문 : 일반적으로 헤드가 1개인 3D 프린터로 건축물을 출력할 경우 건축물의 면적이 넓기 때문에 출력하는 시간이 너무 오래 걸리지 않을까? 답 : 출력 시간을 단축시키기 위해 노즐의 크기를 무한정으로 늘릴 수는 없는 일이다. 최대로 출력을 할 수 있는 노즐의 크기가 있을 것이다. 따라서 최소 2개 이상의 헤드를 갖는 기술이 필요하다고 생각한다. 문 : 2개의 헤드가 동시에 출력을 하는 시스템인가? 답 : 맞다. 2개의 헤드가 동시에 서로 다른 위치에서 출력하기 때문에 서로의 위치를 읽고 다른 위치의 헤드가 한 일을 알고 있어야 할 것이다.
	출력시간을 단축시키기 위해 고속복합출력이 가능하도록 다중 프린팅 방식을 갖는 멀티헤드 기술과 다양한 해상도를 갖는 프린팅 기술이 필요하다고 판단됨.
2015년 1월 30일	문 : 미래에 3D 프린팅이 경제성을 확보 할 수 있는 방안이 무엇이 있을까? 답 : 일상에서 구하기 쉬운 물질로 프린팅을 하는 것이다. 예를 들면 재활용 자재 및 폐기물을 3D 프린팅 소재로 변환하여 결과물을 출력한다면 세계적으로 획기적인 기술이 될 것 같다. 답 : 또한 이미 프린팅 된 2 재료를 부득이하게 접합할 일이 있을 수도 있다. 이렇게 프린팅 재료 접합을 가능케 하는 것도 경제성을 확보 할 수 있다고 본다.
	미래형 융복합상품 기능을 구현하고 경제성을 확보하기 위하여 재활용 자재 및 폐기물을 3D 프린팅 소재로 변환하는 기술과 프린팅 된 재료의 접합을 위한 접착 소재 개발이 필요하다고 판단됨.

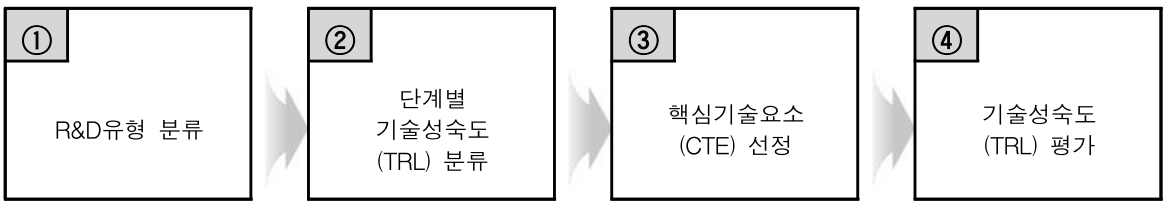
제4절 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표

○ 기술성숙도(TRL: Technology Readiness Level)는 개발기술의 성숙도 또는 이행단계를 평가하기 위한 정량화된 측정지표로서 연구자-관리자-사업자 간의 공통된 의사소통 수단으로 활용될 수 있음

○ 기술성숙도를 적용하여 관리함으로써 연구개발의 기획단계부터 성능평가까지 단계별 기술 수준을 투명하게 제공할 수 있으며, Top-down 프로세스로서 사업자의 요구사항을 기획단계에서부터 반영이 가능함

○ R&D과제 연구목표를 설정함에 있어 표준화된 기술성숙도(TRL)를 적용하여 사용함으로써 주관적이고 모호하지 않은 객관적이고 정량적인 목표 설정을 유도하고 핵심기술요소의 성능목표 달성여부를 관리하여 연구과제 핵심성과 중심의 관리를 지향하기 위함임

○ 기술성숙도 적용 절차는 먼저 국토교통 R&D 성과특성을 고려하여 기술성숙도 관리를 위해 5가지 분류 유형 중 R&D 유형을 선택하고, 해당유형에 따라 단계별로 기술 성숙도를 분류하며, 목표 연구개발 사업의 핵심기술요소를 선정한 후 기술 성숙도를 평가하는 절차로 이루어 짐



[그림 66] 기술성숙도 적용 절차

가. R&D 유형 분류

○ 국토교통과학기술진흥원의 기술성숙도(TRL) 시범적용 방안에서는 국토교통 R&D 성과특성을 고려한 기술성숙도 관리를 위하여 R&D 유형을 아래 표와 같이 5가지 유형으로 분류함

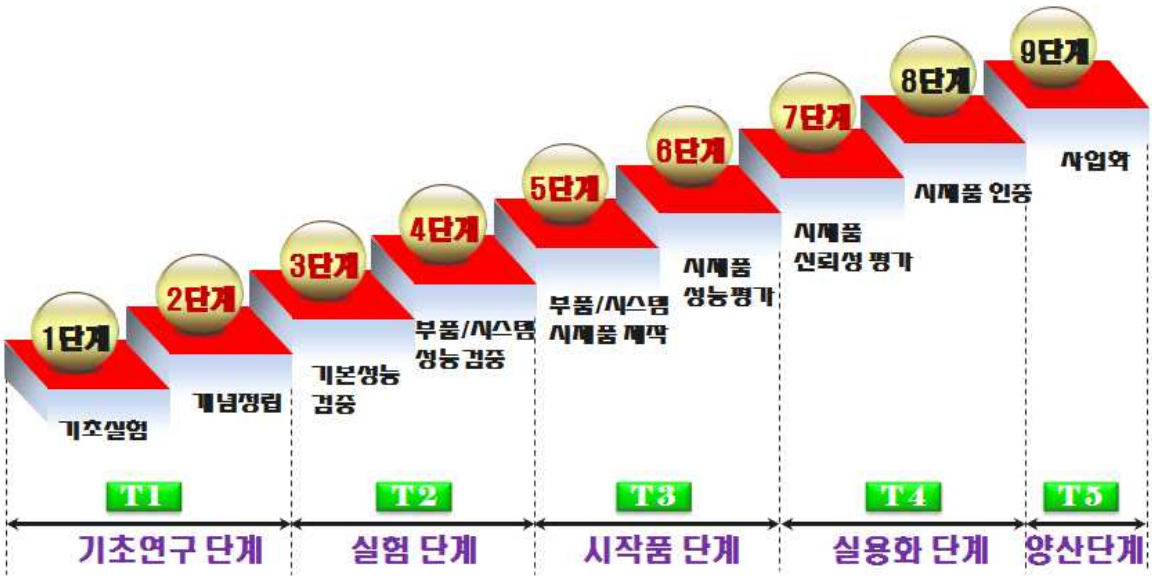
[표 35] R&D 유형 분류

R&D 유형	정의	사례
시스템	다양한 장치와 소프트웨어 등이 결합하여 운영되는 R&D	철도, 공조시스템 등
공법·기법	기존과 차별화되는 제작 및 시공 방법 등을 제시하는 R&D	시공방법, 설계기법 등
재료·자재	기존 원료 및 재료를 대체할 수 있는 R&D	FRP, 강화 콘크리트 등
소프트웨어	특화된 요구를 충족시키는 소프트웨어 R&D	설계 프로그램, D/B등
장비·장치	기존과 달리 대체 또는 개선된 장비/장치 R&D	기계, 부품, 측정 장치 등

○ “건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획” 연구개발은 3D 프린팅 기술을 활용한 건축 기술 개발을 수행하기 위해 조직화되고 상호 작용하는 설계・장비・재료・검증의 집합으로서 [표 35]을 참고하여 다양한 장치와 소프트웨어가 결합하여 운영되는 시스템 유형으로 분류함

나. 단계별 기술성숙도(TRL) 분류

○ 단계별 기술성숙도는 연구개발환경(실험실, 유사환경, 실제환경), 연구개발 결과물(시제품, 완제품), 기술수준(개념, 시현, 성능검증)에 따라 분류하는 기술성숙도로서 기초연구, 실험, 시작품, 성능평가, 양산의 R&D 5단계와 9세부 단계로 분류할 수 있음



[그림 67] 단계별 기술성숙도 분류

다. 핵심기술요소(CTE) 선정

○ 핵심기술요소(CTE: Critical Technology Elements)는 과제의 성패를 좌우하는 중요한 기술로서 개발 기술이 완성되기 위하여 충족되어야 할 필수기술을 의미함

- CTE는 기술개발 최종 목표의 성공여부를 결정짓는 소재나 부품, 시스템으로 그 자체로 시연이 가능하여 시험평가 항목에 대한 측정이 가능하여야 하며, 세부과제당 1개 이상 도출될 수 있음

○ 본 “건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획” 연구개발을 위해 도출된 핵심기술 요소는 아래 표와 같음

○ 기획위원회 운영을 통해 상기 32개의 주요 기획연구 내용을 5개 분야(Product, Equipment, Material, Market Platform 및 Test-bed 추진)를 기반으로 114개의 후보기술로 도출하였음.

○ 해당 후보기술은 기술의 속성에 따라 15가지의 소구분으로 나누어짐.

※ Product (3개): 상품 기획 및 서비스, 설계, 시공 및 유지관리; Equipment (4개): 3D 프린팅 장비 기획, 시스템 및 환경 제어기술, 장비 설계 및 제작, 적층 및 소결기술; Material (4개): 3D 프린팅 재료 기획 및 상품 개발, 3D 프린팅 재료 생산 기술, 3D 프린팅 재료 성능평가, 신소재 개발; Market Platform 및 Test-bed 추진 (4개): 3D 프린팅 건축 상품 플랫폼, 조달·제도·정책, 기술개발 평가, 실증사업.

[표 36] 핵심기술 요소 후보

세부과제	No.	후보과제 내용	분류
Product (상품기획, 설계, 시공, 유지관리, 서비스)	후보1	3D 기반 모듈러 시공 시뮬레이션 기술	시공 및 유지관리
	후보2	비정형 단위모듈 내외부 공간 설계 기술	설계
	후보3	3D 기반 구조체 시공 가이드라인	시공 및 유지관리
	후보4	3D 프린팅 건축 상품 유지관리 가이드라인	시공 및 유지관리
	후보5	3D 프린팅 구조체 구조 시뮬레이션 기술	설계
	후보6	3D 프린팅 구조체 단면 설계 기술	설계
	후보7	3D 프린팅 구조체 설계 기술	설계
	후보8	3D 프린팅 구조체 유지보수 기술	설계
	후보9	비정형 단위모듈 설비 설계 및 제어 기술	설계
	후보10	3D 프린팅 모듈 구조공법 설계 기술	설계
	후보11	건축물 또는 부재단위의 3D 스캐닝 기반 역설계 기술	설계
	후보12	공간정보 인식 센서 응용 기술	상품 기획 및 서비스
	후보13	공간정보 통합 관재 및 서비스 플랫폼	상품 기획 및 서비스
	후보14	비정형 단위모듈 구조형상 최적화 설계 기술	설계
	후보15	기성 건축자재와 3D 프린팅 된 객체간의 연결 기술	시공 및 유지관리
	후보16	3D 프린팅 건축물 생산 플랫폼	상품 기획 및 서비스
	후보17	3D 프린팅 건축물 서브 모듈화 알고리즘	설계
	후보18	3D 프린팅 건축물 설계 툴(Tool)	설계

	후보19	비정형 단위모듈 3D 프린팅 적용 일체화 시공기술	설계
	후보20	비정형 단위모듈 간의 적층시공 기술	시공 및 유지관리
	후보21	3D 프린팅 구조체 접합부 설계 기술	설계
	후보22	3D 프린팅 구조체 접합부 시공 기술	시공 및 유지관리
	후보23	3D 프린팅 구조체 실내 공간 설계 가이드라인	설계
	후보24	3D 프린팅 구조체 실내 공간 시공 가이드라인	시공 및 유지관리
	후보25	3D 프린팅 구조체 실내 공간 유지관리 가이드라인	시공 및 유지관리
	후보26	3D 프린팅 구조체 구조해석 툴(Tool)	설계
	후보27	사용자 기반 유지보수용 3D 스캐닝 기술	상품 기획 및 서비스
	후보28	공급자 기반 비정형 단위모듈 건축 상품 내외부 공간 설계 자동화 플랫폼	상품 기획 및 서비스
	후보29	수요자 기반 단위모듈 건축상품군 기획·설계 이지(easy) 플랫폼	상품 기획 및 서비스
	후보30	공급자 기반 비정형 단위모듈 건축상품 구조 및 설비 설계 자동화 플랫폼	상품 기획 및 서비스
	후보31	비정형 단위모듈 내외부 공간 설비시설 교체 및 재배열 유지관리 기술	시공 및 유지관리
	후보32	3D 프린팅 건축 공간모듈 상품	상품 기획 및 서비스
	후보33	3D 프린팅 구조체 건축기술 기획	상품 기획 및 서비스
	후보34	3D 프린팅 구조체 건축 상품 기획	상품 기획 및 서비스
Equipment (장비, 장비제어 등)개발	후보35	건축물 3D 프린터 통합 운용 소프트웨어 기술	시스템 및 환경 제어 기술
	후보36	단위모듈 규모 3D 프린팅 실행/제어/슬라이싱 소프트웨어	장비 설계 및 제작
	후보37	단위모듈 규모 프린팅 제조/공정 기술	3D 프린팅 장비 기획
	후보38	균일 단위의 프린팅 재료 공급 기술	적층 및 소결 기술
	후보39	균일 입자 단위의 해상도를 갖는 소규모 프린팅 기술	3D 프린팅 장비 기획
	후보40	기존 건축재료의 재처리/재활용 기술	3D 프린팅 장비 기획
	후보41	건축물 3D 프린터 H/W 통합 운용 소프트웨어	시스템 및 환경 제어 기술
	후보42	다양한 입자크기의 프린팅 재료 공급 기술	시스템 및 환경 제어 기술
	후보43	다양한 해상도를 갖는 프린팅 기술	적층 및 소결 기술
	후보44	다중 프린팅 방식을 갖는 멀티헤드 기술	적층 및 소결 기술
	후보45	단위모듈 규모 3D 프린팅 제조/공정 기술	장비 설계 및 제작
	후보46	단위모듈 규모 경화 환경 제어 기술	시스템 및 환경 제어 기술
	후보47	단위모듈 규모 프린팅 출력 베드 설계 기술	장비 설계 및 제작
	후보48	단위모듈 규모 고출력 레이저 소결 기술	적층 및 소결 기술
	후보49	단위모듈 규모 이동식 독립 3D 프린팅 장비	3D 프린팅 장비 기획
	후보50	단위모듈 규모 건축 객체의 역설계를 위한 3D 레이저 스캐닝 기술	3D 프린팅 장비 기획
	후보51	상품 기능에 따른 프린팅 장비 유형 매트릭스 기획	3D 프린팅 장비 기획
	후보52	상품 및 환경조건에 따른 프린팅 장비 유형 매트릭스 기획	3D 프린팅 장비 기획
	후보53	소재, 재료에 따른 프린팅 장비 유형 매트릭스 기획	3D 프린팅 장비 기획
	후보54	실수요자 대상 자동화 시공 및 이동이 가능한 3D 프린터 개발	장비 설계 및 제작
	후보55	양생 및 함침 챔버의 대기환경 조절 기술	시스템 및 환경 제어 기술
	후보56	적층 프린팅 방식에서 출력 노즐의 크기 다양화 기술	장비 설계 및 제작
	후보57	단위모듈 규모 객체의 적층·양생 및 레이저 소결 기술	적층 및 소결 기술
	후보58	단위모듈 규모 프린팅 객체의 양생 및 함침 기술	적층 및 소결 기술
	후보59	단위모듈 규모 프린팅 출력 베드 설계 기술	장비 설계 및 제작

	후보60	프린팅 노즐의 이동경로 알고리즘	장비 설계 및 제작
	후보61	프린팅 노즐의 정밀, 무진동 이동 기술	시스템 및 환경 제어 기술
	후보62	프린팅 장비의 진동을 억제하기 위한 댐핑(Damping) 기술	시스템 및 환경 제어 기술
Material (재료 및 소재, 성능 평가 등) 개발	후보63	3D 프린팅 건축물 시공성 평가 체계	3D 프린팅 재료 성능 평가
	후보64	3D 프린팅 소재화된 기존 건축소재의 배합 및 경화 기술	3D 프린팅 재료 생산 기술
	후보65	3D 프린팅 소재화된 기존 건축소재의 안전성 및 내화성 확보 기술	3D 프린팅 재료 생산 기술
	후보66	가공성이 높은 금속재료 개발	3D 프린팅 재료 생산 기술
	후보67	3D 프린팅 건축 재료 및 소재 선정 가이드라인	3D 프린팅 재료 기획 및 상품 개발
	후보68	상품용도 및 기술 활용 분야별 소재의 최적화 기술	신소재 개발
	후보69	경량 소재 개발	신소재 개발
	후보70	고강도 내화성 소재 개발	신소재 개발
	후보71	고기능성 소재 개발	신소재 개발
	후보72	융복합 소재 생산 기술	신소재 개발
	후보73	기존 건축 소재를 3D 프린팅 생산방식에 따라 변환하는 기술	3D 프린팅 재료 기획 및 상품 개발
	후보74	기존 건축재료 응용/융합 소재	신소재 개발
	후보75	내화성, 불연성 소재 개발	신소재 개발
	후보76	내화성, 불연성이 높은 소재 개발	3D 프린팅 재료 생산 기술
	후보77	반응형 촉매 소재 개발	신소재 개발
	후보78	복합성능 발현 소재 개발	신소재 개발
	후보79	상품 용도, 기술 적용 분야별 신소재 개발 매트릭스 기획	3D 프린팅 재료 기획 및 상품 개발
	후보80	소재 및 재료의 시장성, 경제성 평가 체계	3D 프린팅 재료 성능 평가
	후보81	3D 프린팅 건축 소재의 신뢰성 평가기술 및 표준	3D 프린팅 재료 성능 평가
	후보82	3D 프린팅 건축 자재의 신뢰성 평가기술 및 표준	3D 프린팅 재료 성능 평가
	후보83	소재 및 재료의 안정성 및 내구성 평가 체계	3D 프린팅 재료 성능 평가
	후보84	소재 및 재료의 탄소배출량 평가 체계	3D 프린팅 재료 성능 평가
	후보85	소재의 양생 기간 단축 기술 개발	3D 프린팅 재료 생산 기술
	후보86	소재의 입자 크기 평준화 생산 기술	3D 프린팅 재료 생산 기술
	후보87	속경화 소재 개발	신소재 개발
	후보88	양생 및 함침 시간을 단축할 수 있는 소재 배합 기술	3D 프린팅 재료 생산 기술

	후보89	재활용 자재 및 폐기물을 3D 프린팅 소재로 변환하는 기술	3D 프린팅 재료 생산 기술
	후보90	프린팅 재료 접합을 위한 접착 소재 개발	3D 프린팅 재료 생산 기술
	후보91	단위모듈용 복합요소 부재 및 시제품 제작	3D 프린팅 재료 생산 기술
Market Platform (조달, 오픈마켓, 법/제도 등) 개발 및 Test-Bed 추진	후보92	3D 프린팅 건축 상품을 위한 건축 관련법 개정(안) 도출	조달, 제도, 정책
	후보93	3D 프린팅 건축물 부재 및 구성요소 전자파일 표준규격	조달, 제도, 정책
	후보94	3D 프린팅 건축물 활성화를 위한 법제도 개선방안	조달, 제도, 정책
	후보95	3D 프린팅 시장조사 및 개발 전략 기획	3D 프린팅 건축 상품 플랫폼
	후보96	단위모듈 기반 건축상품군 통합 생산 플랫폼	3D 프린팅 건축 상품 플랫폼
	후보97	대/중/소형 단위모듈 기반 건축 상품 조달 플랫폼	3D 프린팅 건축 상품 플랫폼
	후보98	3D 프린팅 건축물 활성화를 위한 법, 제도 개선 방안	조달, 제도, 정책
	후보99	3D 프린팅 건축 상품 유통 활성화를 위한 법, 제도	조달, 제도, 정책
	후보100	기존 건축 관련법 체계와의 저촉 부분 도출	조달, 제도, 정책
	후보101	상품 생산, 조달 및 납품 프로세스 기획	조달, 제도, 정책
	후보102	실사용자 기반 설계기술 접근성 향상 체계	3D 프린팅 건축 상품 플랫폼
	후보103	클라우드 기반 오픈마켓 플랫폼 프로토타입 시스템	3D 프린팅 건축 상품 플랫폼
	후보104	클라우드 기반 오픈마켓 플랫폼 개발	3D 프린팅 건축 상품 플랫폼
	후보105	단위모듈 기반 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 Test-bed 검증 기법	실증사업
	후보106	3D 프린팅 건축 상품 기술 성능평가 프로세스 및 생태계 구축	실증사업
	후보107	3D 프린팅 상품별 부분·축소모형 Specimen Test, Mock-up Test-bed 기획	실증사업
	후보108	Test-bed 성능평가 및 홍보	실증사업
	후보109	건축시공 가능 초대형 3D 프린팅 시스템 개발 추진	기술개발 평가
	후보110	기존기술 고도화 상품 기반 3D 프린팅 상품 실물규모 Test-bed 사업기획 및 기술 검증 프로세스 개발	실증사업
	후보111	건축 상품 및 기술 통합 평가 지표	기술개발 평가
	후보112	3D 프린팅 건축 상품의 경제성, 시공성, 상품성 평가체계	기술개발 평가
	후보113	건축 상품의 탄소배출량 평가체계	기술개발 평가
	후보114	3D 프린팅 건축물 개발을 위한 기술로드맵 변화 관리 및 총괄	기술개발 평가

[표 37] Product 핵심 기술요소(CTE) 선정

체크리스트	후보 1	후보 2	후보 3	후보 4	후보 5	후보 6	후보 7	후보 8	후보 9	후보 10	후보 11	후보 12	후보 13	후보 14	후보 15	후보 16	후보 17	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?	×	○	×	×	×	○	○	×	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○하○나○○이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	×	○	×	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	×	○	×	×	○	○	○	×	○	○	×	×	×	○	×	×	×	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	○	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	○	×	×	×	

체크리스트	후보 18	후보 19	후보 20	후보 21	후보 22	후보 23	후보 24	후보 25	후보 26	후보 27	후보 28	후보 29	후보 30	후보 31	후보 32	후보 33	후보 34	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	○	○	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	×	×	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?	×	○	○	○	○	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	×	×	하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	×	○	×	○	○	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	×	×	
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	×	○	○	○	○	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	×	×	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	○	○	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×	×	×	

표 38 Equipment 핵심 기술요소(CTE) 선정

체크리스트	후보 35	후보 36	후보 37	후보 38	후보 39	후보 40	후보 41	후보 42	후보 43	후보 44	후보 45	후보 46	후보 47	후보 48	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?	×	×	○	○	×	×	×	×	○	○	×	○	○	○	하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	○	×	×	×	
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	

체크리스트	후보 49	후보 50	후보 51	후보 52	후보 53	후보 54	후보 55	후보 56	후보 57	후보 58	후보 59	후보 60	후보 61	후보 62	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	×	×	×	×	○	○	○	×	×	○	×	○	×	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?	○	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	×	○	○	하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	○	×	×	×	×	○	×	×	○	○	○	×	○	×	
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	○	×	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	○	×	

표 39 Material 핵심 기술요소(CTE) 선정

체크리스트	후보 63	후보 64	후보 65	후보 66	후보 67	후보 68	후보 69	후보 70	후보 71	후보 72	후보 73	후보 74	후보 75	후보 76	후보 77	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?	×	○	○	×	○	○	×	×	×	○	×	○	×	×	○	하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	×	○	○	○	×	○	×	×	×	○	○	○	×	×	○	
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	×	×	×	×	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	×	×	×	○	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	

체크리스트	후보 78	후보 79	후보 80	후보 81	후보 82	후보 83	후보 84	후보 85	후보 86	후보 87	후보 88	후보 89	후보 90	후보 91		비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	×	×	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○		반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?	○	×	×	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○		하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	○	×	×	○	○	×	×	×	×	○	○	○	○	○		
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○		

표 40 Market Platform 개발 및 Test-Bed 추진 핵심 기술요소(CTE) 선정

체크리스트	후보 92	후보 93	후보 94	후보 95	후보 96	후보 97	후보 98	후보 99	후보 100	후보 101	후보 102	후보 103	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	×	○	○	○	○	○	×	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?	×	×	×	×	○	○	○	○	○	×	×	○	하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	×	×	×	×	○	○	○	○	×	×	○	○	
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	×	×	×	○	○	○	○	×	×	×	○	

체크리스트	후보 104	후보 105	후보 106	후보 107	후보 108	후보 109	후보 110	후보 111	후보 112	후보 113	후보 114		비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○		반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?	○	○	○	×	×	○	○	○	×	○	○		하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	○	○	○	×	×	×	×	○	×	×	×		
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	○	×	×	×	×	×	○	×	○	×		

표 41 핵심기술요소(CTE) 목록

CTE	유형*	CTE명	최종 TRL
1	기술	비정형 단위모듈 내외부 공간 설계 기술	TRL 6
2	시스템	공급자 기반 비정형 단위모듈 건축 상품 내외부 공간 설계 자동화 플랫폼	TRL 7
3	시스템	수요자 기반 단위모듈 건축상품군 기획·설계 이지(easy) 플랫폼	TRL 7
4	기술	비정형 단위모듈 구조형상 최적화 설계 기술	TRL 6
5	기술	비정형 단위모듈 설비 설계 및 제어 기술	TRL 6
6	시스템	공급자 기반 비정형 단위모듈 건축상품 구조 및 설비 설계 자동화 플랫폼	TRL 7
7	기술	비정형 단위모듈 3D 프린팅 적용 일체화 시공기술	TRL 6
8	기술	비정형 단위모듈 간의 적층시공 기술	TRL 6
9	기술	비정형 단위모듈 내외부 공간 설비시설 교체 및 재배열 유지관리 기술	TRL 6
10	장비	단위모듈 규모 이동식 독립 3D 프린팅 장비	TRL 7
11	기술	단위모듈 규모 프린팅 제조/공정 기술	TRL 7
12	기술	단위모듈 규모 3D 프린팅 실행/제어/슬라이싱 소프트웨어	TRL 6
13	기술	건축물 3D 프린터 H/W 통합 운용 소프트웨어	TRL 8
14	기술	프린팅 노즐의 정밀/무진동 이동 기술	TRL 8
15	기술	단위모듈 규모 프린팅 출력 베드 설계 기술	TRL 8
16	재료	상품용도 및 기술 활용 분야별 소재의 최적화 기술	TRL 6
17	지침	3D 프린팅 건축 재료 및 소재 선정 가이드라인	TRL 5
18	자재	융복합소재 생산기술	TRL 6
19	자재	단위모듈용 복합요소 부재 및 시제품 제작	TRL 6
20	기법	3D 프린팅 건축 소재의 신뢰성 평가기술 및 표준	TRL 6
21	기법	3D 프린팅 건축 자재의 신뢰성 평가기술 및 표준	TRL 5
22	시스템	단위모듈 기반 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 Test-bed 검증기법	TRL 6
23	시스템	건축 상품의 탄소배출량 평가체계	TRL 6
24	시스템	건축 상품 및 기술 통합 평가지표	TRL 6
25	시스템	단위모듈 기반 건축상품군 통합 생산플랫폼	TRL 8
26	시스템	클라우드 기반 오픈마켓 플랫폼	TRL 7
27	시스템	대/중/소형 단위모듈 기반 건축 상품 조달 플랫폼	TRL 7
28	법/제도	3D 프린팅 건축물 활성화를 위한 법, 제도 개선 방안	TRL 7
29	법/제도	3D 프린팅 건축 상품 유통 활성화를 위한 법, 제도	TRL 6

표 42 기술성숙도(TRL) 단계별 목표

연구과제명	건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획	유형		공법·기법				
프레임워크		선행단계	시제품 제작 및 시연		현장적용		제품화/실용화	
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL					
			1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차(종료)
마일스톤 일정		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CTE No.	기술명								
CTE 1	비정형 단위모듈 내외부 공간 설계 기술	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 6
CTE 2	공급자 기반 비정형 단위모듈 건축 상품 내외부 공간 설계 자동화 플랫폼	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 6	TRL 7
CTE 3	수요자 기반 단위모듈 건축상품군 기획·설계 이지(easy) 플랫폼	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 6	TRL 7
CTE 4	비정형 단위모듈 구조형상 최적화 설계 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 6
CTE 5	비정형 단위모듈 설비 설계 및 제어 기술	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 6
CTE 6	공급자 기반 비정형 단위모듈 건축상품 구조 및 설비 설계 자동화 플랫폼	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 5	TRL 6	TRL 7
CTE 7	비정형 단위모듈 3D 프린팅 적용 일체화 시공기술	TRL 2	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 6
CTE 8	비정형 단위모듈 간의 적층시공 기술	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 6
CTE 9	비정형 단위모듈 내외부 공간 설비시설 교체 및 재배열 유지관리 기술	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 6
CTE 10	단위모듈 규모 이동식 독립 3D 프린팅 장비	TRL 0	TRL 1	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 5	TRL 6	TRL 7
CTE 11	단위모듈 규모 프린팅 제조/공정 기술	TRL 0	TRL 1	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 5	TRL 6	TRL 7
CTE 12	단위모듈 규모 3D 프린팅 실행/제어/슬라이싱 소프트웨어	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 5	TRL 6	TRL 6
CTE 13	건축물 3D 프린터 H/W 통합 운용 소프트웨어	TRL 0	TRL 1	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8
CTE 14	프린팅 노즐의 정밀/무진동 이동 기술	TRL 0	TRL 1	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8
CTE 15	단위모듈 규모 프린팅 출력 베드 설계 기술	TRL 0	TRL 1	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8
CTE 16	상품용도 및 기술 활용 분야별 소재의 최적화 기술	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 6
CTE 17	3D 프린팅 건축 재료 및 소재 선정 가이드라인	TRL 0	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 5
CTE 18	융복합소재 생산기술	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6
CTE 19	단위모듈용 복합요소 부재 및 시제품 제작	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 5
CTE 20	3D 프린팅 건축 소재의 신뢰성 평가기술 및 표준개발	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 6
CTE 21	3D 프린팅 건축 자재의 신뢰성 평가기술 및 표준개발	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5
CTE 22	단위모듈 기반 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 Test-bed 검증기법	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 5	TRL 6	-	-	TRL 6
CTE 23	건축 상품의 탄소배출량 평가체계	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 5	TRL 6	-	-	TRL 6
CTE 24	건축 상품 및 기술 통합 평가지표	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 5	TRL 6	-	-	TRL 6
CTE 25	단위모듈 기반 건축상품군 통합 생산플랫폼	TRL 1	-	-	-	-	TRL 4	TRL 5	TRL 8
CTE 26	클라우드 기반 오픈마켓 플랫폼	TRL 1	-	-	-	-	TRL 3	TRL 5	TRL 7
CTE 27	대/중/소형 단위모듈 기반 건축 상품 조달 플랫폼	TRL 1	-	-	-	-	TRL 3	TRL 5	TRL 7
CTE 28	3D 프린팅 건축물 활성화를 위한 법, 제도 개선 방안	TRL 1	-	-	-	-	TRL 3	TRL 5	TRL 7
CTE 29	3D 프린팅 건축 상품 유통 활성화를 위한 법, 제도	TRL 1	-	-	-	-	TRL 3	TRL 5	TRL 6

2. 후보 연구개발과제 구성

○ 본 기획연구진은 앞서 제시된 비전과 연구목표를 이용하여 5개 분야(Product, Equipment, Material, Market Platform 및 Test-bed 추진) 114개의 후보기술과 29개의 핵심요소기술(CTE)을 기반으로 후보 연구개발과제를 구성하였음.

[표 43] 예상되는 연구개발과제 구성

후보 연구과제명	후보 연구과제 내용
[Product] 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발	단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소 기획 및 설계 기술 개발
	단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소의 구조·환경 엔지니어링 기술 개발
	단위모듈형 건축상품군의 조립 및 접합 시공 및 유지관리 기술 개발
[Equipment] 단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발	단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 장비 및 공정 기술 개발
	단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 S/W 기술 개발
	단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 생산시스템 설계 /제작 및 Test-bed 기술 개발
[Material] 단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발	단위모듈 건축상품군 적용을 위한 3D 프린팅용 원천소재 개발
	단위모듈 건축상품군 생산을 위한 3D 프린팅용 융복합 기술 개발
	3D 프린팅 건축소재 및 자재의 신뢰성 평가기술 및 표준개발
[Market Platform] 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발	단위모듈형 건축상품군 파일럿 테스트 기획·검증 및 성능평가 시스템 개발
	3D 프린팅 건축상품군 오픈마켓 플랫폼 및 관련 제도/정책 개발

제5절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 연구단계별 세부과제 주요내용

○ 본 연구는 서 도출된 연구개발과제에 대해 『1단계(4년) 원천기술개발』을 통해 개발된 설계 와 장비, 소재 개발을 통한 3D 건축상품 및 원천기술 관련 성과(물)을 『2단계(3년) 파일럿 제작 및 성능 평가』에서 활용하여 3D 건축상품의 성능 고도화 및 마켓플랫폼을 개발하기 위한 연구개발과제별 주요 연구내용을 배치하였음.

[표 44] 세부과제별 주요 연구내용

세부과제명	세세부 과제명	단계	주요 연구 내용
1 세부: 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발	**1-1 세세부:** 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소 기획 및 설계 기술 개발	1단계	• 주거·복합용도의 단위모듈 기반 구조체 및 건축요소 기획 • 단위모듈형 구조체 및 내외부 형상 설계 알고리즘 개발 • 3D 프린팅 기술기반 건축설계 통합 프로세스 개발 • 공급자 기반 단위모듈형 건축상품 설계 가이드라인 개발 • 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소의 성능 평가·검증 및 가이드라인 개발 • 공급/수요자 기반 단위모듈형 건축상품군 기획·엔지니어링 소프트웨어 개발
		2단계	• 대형/중저층 규모의 주거용 단위모듈 구조체 및 건축요소 기획 및 설계기술 개발 • 공급/수요자 기반 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소 설계 자동화 플랫폼 개발 • 수요자 기반 단위모듈 건축상품군 기획·설계 이지(easy) 플랫폼 개발
	1-2 세세부: 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소의 구조·환경 엔지니어링 기술 개발	1단계	• 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소의 구조공법 기획 • 단위모듈형 구조체의 형상최적구조 알고리즘 개발 • 단위모듈형 구조체-구조체 접합부 개발 • 단위모듈 내 건축설비요소의 설계·엔지니어링 기술 개발 • 단위모듈 내 환경·설비 통합제어시스템 기획 및 개발 • 단위모듈 기반 구조·환경 시뮬레이션 및 성능평가 Add-on SW 개발 • 공급자 기반 단위모듈형 건축상품군 구조·환경설계 가이드라인 개발
		2단계	• 다중배열된 비정형 단위모듈 집합의 응력분포 최적화 구조공법 개발 • 단위모듈 구조체의 대형화/고층화 구조공법 개발 • 공급자 기반 단위모듈형 구조체 및 건축요소의 구조·설비 설계 자동화 플랫폼 개발
	1-3 세세부: 단위모듈형 건축상품군의 조립 및 접합 시공 및 유지관리 기술 개발	1단계	• 단위모듈 간의 적층시공 및 고층화 시공 기술 개발 • 기존 건축요소와 3D 프린팅 건축요소간 연결·접합 시공기술 개발 • 단위모듈형 구조체 간 고기밀·고수밀 연결·접합 시공기술 개발 • 단위모듈형 구조체 및 건축요소의 시공 시뮬레이션 Add-on SW 개발 • 공급자 기반 단위모듈형 구조체의 유지보수 기술 개발 • 수요자 기반 단위모듈형 건축상품군 유지보수 기술 개발 • 공급자/수요자 기반 단위모듈 시공 및 유지관리 가이드라인 개발 • 단위모듈형 구조체 및 건축요소의 유지관리 모니터링 Add-on SW 개발
		2단계	• 단위모듈형 구조체의 대형화/고층화 시공 프로세스 및 기술 개발 • 단위모듈형 구조체 및 건축요소의 시공성 평가 체계 개발

2 세부: 단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발	**2-1 세세부:** 단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 장비 및 공정 기술 개발	1단계	• 5축 제어 고출력 레이저 가공 기술 개발 • 빔 사이즈 가변형 고정밀, 고속 저출력 레이저 가공 기술 개발 • 임의파형 전압 발생기 적용 다중 잉크젯 프린팅 기술 개발 • 이종 소재 압출 가공기술 개발 • IoT 배선 전극 형성 기술 개발 • 3D 복합 프린팅 장비 시제품 제작
		2단계	• 3D 복합 프린팅 파일럿장비 설계 제작 및 평가 기술 개발 • 3D 복합 프린팅 파일럿장비 최적 공정 기술 개발
	2-2 세세부: 단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 S/W 기술 개발	1단계	• 빔 사이즈 가변형 레이저 제어 알고리즘 기술 개발 • 임의파형 전압 발생기 알고리즘 기술 개발 • 환경제어(온도, 산소 등) 알고리즘 기술 개발 • 이종소재 모델링 및 정렬을 위한 복합 방식 제어 알고리즘 기술 개발
		2단계	• 3D 복합 프린팅 및 디지털 제어, 사용자 편의성 Expert S/W 개발 • 3D 프린팅 생산시스템 적용 시험
	2-3 세세부: 단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 생산시스템 설계/제작 및 Test-bed 기술 개발	1단계	• 단위모듈 규모 프린팅 출력 베드 설계 기술 개발 • 단위모듈 규모 출력 3D 프린팅 생산시스템 및 관련 기술 Test-bed Layout 설계
		2단계	• 단위모듈 규모 출력 3D 프린팅 생산시스템 파일럿 장비 설계 제작 및 시험평가 • 인라인 3D 프린팅 생산시스템 최적공정 기술 개발

3 세부: 단위모듈 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발	**3-1 세세부:** 단위모듈 건축상품군 적용을 위한 3D 프린팅용 원천소재 개발	1단계	• 용도 및 기술 활용분야별 적용기법 • 경화 제어형 3D 프린팅용 세라믹 소재의 최적화 기술 • 성능 대응형 3D 프린팅용 금속 소재의 최적화 기술 • 형상제어형 3D 프린팅용 고분자 소재 개발 • 산업 폐기물, 부산물 활용 자원순환형 3D 프린팅용 소재개발
		2단계	• 형상제어형 3D 프린팅용 고분자 소재의 적용기술 • 산업 폐기물, 부산물 활용 자원순환형 3D 프린팅용 적용기술 • 3D 건축재료 및 소재 선정가이드라인 개발
	3-2 세세부: 단위모듈 건축상품군 생산을 위한 3D 프린팅용 융복합 소재 개발	1단계	• 단위모듈 건축상품군 생산을 위한 요소 부재별 설계 및 적용기법 • 시공성 향상을 위한 구조벽체용 복합체 생산기술 • 에너지 효율 향상을 위한 복합 단열재 생산기술 • 이종 소재간 계면접착력 향상 기술 • 단위모듈 적용을 위한 복합요소 부재 제작 및 평가(1) • 단위모듈 건축상품용 시제품 제작 및 성능검증(1)
		2단계	• 단위모듈 적용을 위한 복합요소 부재 제작 및 평가(2) • 단위모듈 건축상품용 시제품 제작 및 성능검증(2)
	3-3 세세부: 3D 프린팅 건축소재 및 자재의 신뢰성 평가기술 및 표준개발	1단계	• 현행 평가시스템의 적합성 검토 • 3D 프린팅 건축소재의 신뢰성 평가기법(수명, 안정성, 기능성, 환경성) • 3D 프린팅 건축소재의 탄소배출량 평가기법 • 3D 프린팅 건축소재의 표준시험법(안) • 3D 프린팅 건축소재의 인증시스템
		2단계	• 3D 프린팅 건축자재의 신뢰성 평가기법 • 3D 프린팅 건축자재의 에너지 효율 평가기법 • 3D 프린팅 건축자재의 탄소배출량 평가기법 • 3D 프린팅 건축자재의 표준시험법(안) • 3D 프린팅 건축자재의 인증시스템

4 세부: 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발	**4-1 세세부:** 단위모듈형 건축상품군 파일럿 테스트 기획·검증 및 성능평가 시스템 개발	1단계	• 단위모듈 기반 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 Test-bed 검증기법 개발 • 대/중/소형 단위모듈 규모 Test-bed 기술 검증기법 개발 • 건축물 대상 3D 프린팅 재료 및 단위모듈 단위 건축 상품의 구조 안전성(강도, 강성, 내진 성능 등) 평가 • 3D 프린팅 건축 상품의 경제성, 시공성, 상품성 평가체계 개발 • 건축 상품의 탄소배출량 평가체계 개발 • 건축 상품 및 기술 통합 평가지표 개발
	4-2 세세부: 3D 프린팅 건축상품군 오픈마켓 플랫폼 및 관련 제도/정책 개발	2단계	• 단위모듈 기반 건축상품군 통합 생산플랫폼 개발 • 대/중/소형 단위모듈 기반 건축 상품 조달 플랫폼 개발 • 클라우드 기반 오픈마켓 플랫폼 개발 • 3D 프린팅 건축물 활성화를 위한 법, 제도 개선 방안 개발 • 3D 프린팅 건축 상품 유통 활성화를 위한 법, 제도 개발

2. 예상되는 핵심성과 및 목표 수준

○ 1세부과제 : 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발

[표 45] 1세부과제의 핵심성과 및 목표 수준

핵심 성과	단위 성과물 정의	단위 성과물		성과 수요처	기술성숙도 (TRL) 단계 구분		단위성과의 목표 기술수준			
							현재 기술수준		연구 단계별 기술수준	
							국외	국내	1단계 (4년)	2단계 (3년)
단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소 기획 및 설계 기술 개발	기술	1-1	비정형 단위모듈 내외부 공간 설계 기술	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	시스템	1-2	공급자 기반 비정형 단위모듈 건축 상품 내외부 공간 설계 자동화 플랫폼	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	시스템	1-3	수요자 기반 단위모듈 건축상품군 기획·설계 이지(easy) 플랫폼	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소의 구조·환경 엔지니어링 기술 개발	기술	1-4	비정형 단위모듈 구조형상 최적화 설계 기술	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	기술	1-5	비정형 단위모듈 설비 설계 및 제어 기술	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	시스템	1-6	공급자 기반 비정형 단위모듈 건축상품 구조 및 설비 설계 자동화 플랫폼	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				

단위모듈형 건축상품군의 조립 및 접합 시공 및 유지관리 기술 개발	기술	1-7	비정형 단위모듈 3D 프린팅 적용 일체화 시공기술	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	기술	1-8	비정형 단위모듈 간의 적층시공 기술	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	기술	1-9	비정형 단위모듈 내외부 공간 설비시설 교체 및 재배열 유지관리 기술	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				

※ 성과목표 기술수준 : TRL(Technology Readiness Level) 9단계를 적용함.

[표 46] 1세부과제의 성과항목 및 성과지표

세세부과제		성과항목	성과지표		건수
1-1	단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소 기획 및 설계 기술 개발	논문	1-1	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	12
			1-2	학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	8
			1-3	SCI급 학술지 게재 논문 건수	1
		지식재산권	2-1	특허출원 건수(국내/국외)	3
			2-2	특허등록 건수(국내/국외)	3
		기획/계획 수립	15-1	기획결과의 적절성	1
		인력양성	29-1	분야별 인력양성 배출 실적	5
		연구성과 확산 노력	28-3	연구개발 관련 홍보	3
1-2	단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소의 구조·환경 엔지니어링 기술 개발	논문	1-1	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	10
			1-2	학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	8
			1-3	SCI급 학술지 게재 논문 건수	3
		지식재산권	2-1	특허출원 건수(국내/국외)	4
			2-2	특허등록 건수(국내/국외)	4
		계획설계 기술	7-1	설계도면 및 사양서 개발	1
			7-2	계획설계 기법 개발	1
			7-4	설계결과의 현장적용 건수	1
1-3	단위모듈형 건축상품군의 조립 및 접합 시공 및 유지관리 기술 개발	논문	1-1	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	14
			1-2	학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	9
			1-3	SCI급 학술지 게재 논문 건수	2
		지식재산권	2-1	특허출원 건수(국내/국외)	3
			2-2	특허등록 건수(국내/국외)	3
		현장적용 효과	9-1	현장적용 건수 (시범적용 등)	1
		비용절감 효과	10-5	LCC 절감 효과	1

○ 2세부과제 : 단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발

[표 47] 2세부과제의 핵심성과 및 목표 수준

핵심 성과	단위 성과물 정의	단위 성과물		성과 수요처	기술성숙도 (TRL) 단계 구분		성과 목표 기술수준			
							현재 수준		연구 단계별 수준	
							국외	국내	1단계 (4년)	2단계 (3년)
단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 장비 및 공정 기술 개발	장비	2-1	단위모듈 규모 이동식 독립 3D 프린팅 장비	민간	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	기술	2-2	단위모듈 규모 프린팅 제조/공정 기술	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 S/W 기술 개발	기술	2-3	단위모듈 규모 3D 프린팅 실행/제어/슬라이싱 소프트웨어	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	기술	2-4	건축물 3D 프린터 H/W 통합 운용 소프트웨어	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				

단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 생산시스템 설계/제작 및 Test-bed 기술 개발	기술	2-5	프린팅 노즐의 정밀/무진동 이동 기술	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	기술	2-6	단위모듈 규모 프린팅 출력 베드 설계 기술	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				

※ 성과목표 기술수준 : TRL(Technology Readiness Level) 9단계를 적용함.

[표 48] 2세부과제의 성과항목 및 성과지표

세세부과제명		성과항목	성과지표		건수
2-1	단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 장비 및 공정 기술 개발	논문	1-1	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	10
			1-2	학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	15
			1-3	SCI급 학술지 게재 논문 건수	4
		지식재산권	2-1	특허출원 건수(국내/국외)	4
			2-2	특허등록 건수(국내/국외)	3
		기획/계획 수립	15-1	기획결과의 적절성	1
		사업화	25-4	창업 건수	1
		인력양성	29-1	분야별 인력양성 배출 실적	4
		연구성과 확산 노력	28-3	연구개발 관련 홍보	2
2-2	단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 S/W 기술 개발	논문	1-1	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	7
			1-2	학술회의 발표 논문건수(국내/국외)	6
			1-3	SCI급 학술지 게재 논문 건수	4
		지식재산권	2-1	특허출원 건수(국내/국외)	5
			2-2	특허등록 건수(국내/국외)	5
2-3	단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 생산시스템 설계/제작 및 Test-bed 기술 개발	논문	1-1	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	6
			1-2	학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	5
			1-3	SCI급 학술지 게재 논문건수	2
		지식재산권	2-1	특허출원 건수(국내/국외)	3
			2-2	특허등록 건수(국내/국외)	2
		기술성능 목표 달성	8-3	소재 및 부품개발 건수	3
		현장적용 효과	9-1	현장적용 건수 (시범적용 등)	1

○ 3세부과제 : 단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발

[표 49] 3세부과제의 핵심성과 및 목표 수준

핵심 성과	단위 성과물 정의	단위 성과물		성과 수요처	기술성숙도 (TRL) 단계 구분		성과 목표 기술수준			
							현재 수준		연구 단계별 수준	
							국외	국내	1단계 (4년)	2단계 (3년)
단위모듈 건축상품군 적용을 위한 3D 프린팅용 원천소재 개발	재료	3-1	상품용도 및 기술 활용 분야별 소재의 최적화 기술	민간	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	지침	3-2	3D 프린팅 건축 재료 및 소재 선정 가이드라인	공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
단위모듈 건축상품군 생산을 위한 3D 프린팅용 융복합 소재 개발	자재	3-3	융복합소재 생산기술	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	자재	3-4	단위모듈용 복합요소 부재 및 시제품 제작	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
3D 프린팅 건축소재 및 자재의 신뢰성 평가기술 및 표준개발	기법	3-5	3D 프린팅 건축 소재의 신뢰성 평가기술 및 표준개발	공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	기법	3-6	3D 프린팅 건축 자재의 신뢰성 평가기술 및 표준개발	공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				

※ 성과목표 기술수준 : TRL(Technology Readiness Level) 9단계를 적용함.

[표 50] 3세부과제의 성과항목 및 성과지표

세세부과제명		성과항목	성과지표		건수
3-1	단위모듈 건축상품군 적용을 위한 3D 프린팅용 원천소재 개발	논문	1-1	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	3
			1-2	학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	8
			1-3	SCI급 학술지 게재 논문 건수	1
		지식재산권	2-1	특허출원 건수(국내/국외)	8
			2-2	특허등록 건수(국내/국외)	8
3-2	단위모듈 건축상품군 생산을 위한 3D 프린팅용 융복합 소재 개발	논문	1-1	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	2
			1-2	학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	10
			1-3	SCI급 학술지 게재 논문 건수	1
		지식재산권	2-1	특허출원 건수(국내/국외)	7
			2-2	특허등록 건수(국내/국외)	7
		테스트베드 구축 및 활용	6-3	테스트베드 활용 건수(횟수/시간)	1
		기술성능 목표 달성	8-3	소재 및 부품개발 건수	2
			8-4	원천기술 확보 건수	2
3-3	3D 프린팅 건축소재 및 자재의 신뢰성 평가기술 및 표준개발	논문	1-1	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	4
			1-2	학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	7
			1-3	SCI급 학술지 게재 논문 건수	1
		지식재산권	2-1	특허출원 건수(국내/국외)	5
			2-2	특허등록 건수(국내/국외)	5
		테스트베드 구축 및 활용	6-2	테스트베드 운영 지침 및 매뉴얼 개발	1
			6-3	테스트베드 활용 건수(횟수/시간)	1
		현장적용 효과	9-1	현장적용 건수 (시범적용 등)	7

○ 4세부과제 : 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발

[표 51] 4세부과제의 핵심성과 및 목표 수준

핵심 성과	단위 성과물 정의	단위 성과물		성과 수요처	기술성숙도 (TRL) 단계 구분		성과 목표 기술수준			
							현재 수준		연구 단계별 수준	
							국외	국내	1단계 (4년)	2단계 (3년)
단위모듈형 건축상품군 파일럿 테스트 기획·검증 및 성능평가 시스템 개발	시스템	4-1	단위모듈 기반 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 Test-bed 검증기법	공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	시스템	4-2	건축 상품의 탄소배출량 평가체계	공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	시스템	4-3	건축 상품 및 기술 통합 평가지표	공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
3D 프린팅 건축상품군 오픈마켓 플랫폼 및 관련 제도/정책 개발	시스템	4-4	단위모듈 기반 건축상품군 통합 생산플랫폼	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				

					기초연구	2				
						1				
	시스템	4-5	클라우드 기반 오픈마켓 플랫폼	민간, 공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	시스템	4-6	대/중/소형 단위모듈 기반 건축 상품 조달 플랫폼	공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	법/제도	4-7	3D 프린팅 건축물 활성화를 위한 법, 제도 개선 방안	공공	사업화	9				
					실용화	8				
					시작품	7				
						6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				
	법/제도	4-8	3D 프린팅 건축 상품 유통 활성화를 위한 법, 제도	공공	사업화	9				
					실용화	8				
						7				
					시작품	6				
						5				
					실험	4				
						3				
					기초연구	2				
						1				

※ 성과목표 기술수준 : TRL(Technology Readiness Level) 9단계를 적용함.

[표 52] 4세부과제의 성과항목 및 성과지표

세세부과제명		성과항목	성과지표		건수
4-1	단위모듈형 건축상품군 파일럿 테스트 기획·검증 및 성능평가 시스템 개발	논문	1-1	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	10
			1-2	학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	3
			1-3	SCI급 학술지 게재 논문 건수	2
		지식재산권	2-1	특허출원 건수(국내/국외)	4
			2-2	특허등록 건수(국내/국외)	4
			2-8	소프트웨어(S/W) 등록 건수	3
		사업화	25-4	창업 건수	1
		연구성과 확산 노력	28-3	연구개발 관련 홍보	2
4-2	3D 프린팅 건축상품군 오픈마켓 플랫폼 및 관련 제도/정책 개발	논문	1-1	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	6
			1-2	학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	5
		정책	17-1	정책제안 건수	3

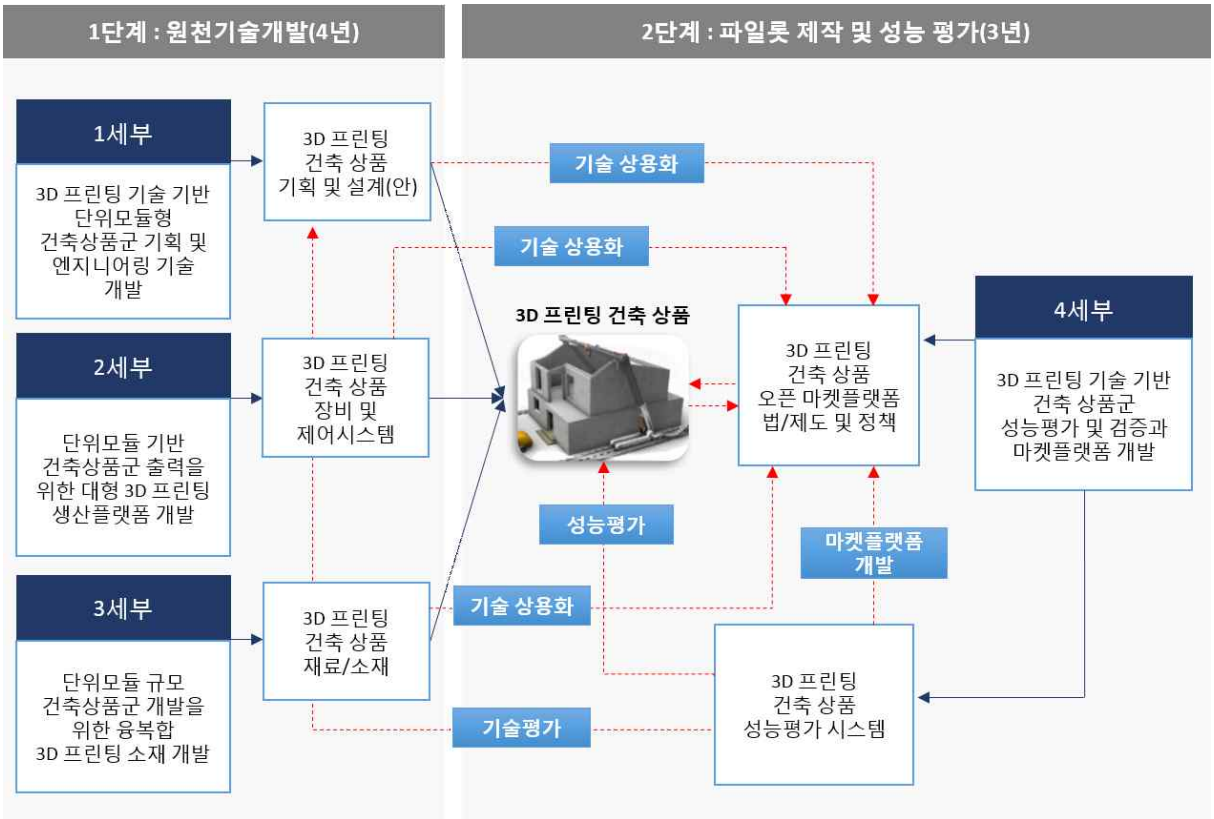
제6절 세부과제 간 연계관계

○ 1세부는 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발을 하기 위한 기획 및 엔지니어링 기술개발로써, 단위모듈 기반의 설계, 구조, 설비, 유지보수 관련 알고리즘, 프로세스, Tool, 가이드라인 등의 기술개발로 구성되어 있음.

○ 2세부는 단위모듈 규모 건축상품군 출력의 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발을 위한 단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 장비제작 및 환경제어, 생산공정 등의 기술개발로 구성되어 있음.

○ 3세부는 단위모듈 규모 건축 상품의 융복합 3D 프린팅 소재 개발을 위한 미래 기술 대응형 3D 프린팅 건축소재, 단위모듈 건축자재 생산을 위한 3D 프린팅용 융복합 기술, 3D 프린팅 건축 재료의 종합성능평가 및 표준화, 선도형 3D 프린팅 건축 전략소재 생산을 위한 기술개발로 구성되어 있음.

○ 4세부는 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 마켓플랫폼 개발을 위한 연구이기에 1, 2, 3세부 연구를 통해 개발, 생산된 3D 프린팅 건축상품군에 대한 성능평가 및 수요시장에서의 확산 및 보급을 위한 오픈마켓 플랫폼, 법/제도 및 정책 개발로 구성되어 있음.



[그림 68] 세부과제 간 연계관계

제7절 과제별 · 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵

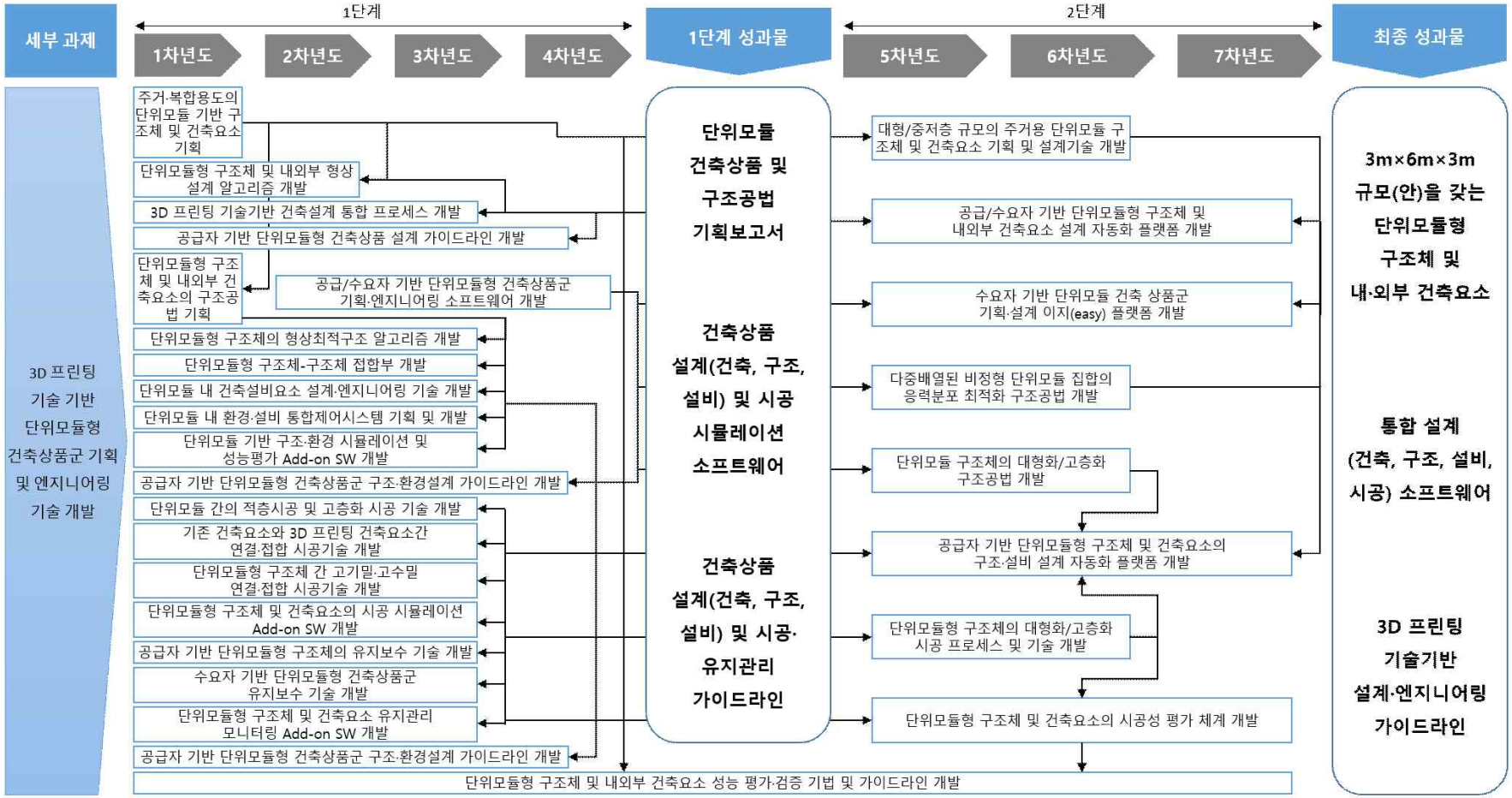
- 본 연구는 최종성과물인 3D 건축상품, 생산플랫폼(장비, 재료), 마켓플랫폼을 개발하기 위해 1단계 4년(2016년부터 2019년까지)의 연구기간을 통해 3D 건축상품 관련 설계, 장비, 소재 개발을 위한 원천기술개발 연구가 선행으로 추진되고, 2단계 3년(2020년부터 2022년까지)의 연구기간은 1단계 연구성과(물) 활용 기반으로 다양한 규모 및 형태의 3D 건축상품 및 마켓플랫폼 개발을 위한 파일럿 제작과 성능평가로 기획함.
- 1단계 1차년도 목표는 3D 프린팅 기술을 이용한 건축 상품 기획/설계, 소재, 장비, 제반 연구개발 인프라 기획으로 기획상품 축소모형 검증단계임.
- 1단계 2차년도 목표는 3D 프린팅 건축상품군별 설계(안), 소재, 장비 원천기술 개발 기획 및 평가체계 수립으로 상품부분모형 검증단계임.
- 1단계 3차년도 목표는 건축상품군별 개발 검증 및 건축물용 3D 프린팅 장비 및 소재 기술개발로 상품 Mock-up 테스트 베드 검증단계임.
- 1단계 4차년도 목표는 3D 프린팅 장비 및 소재 기술 안정화와 건축 상품 생산플랫폼 개발 및 장비, 소재 검증단계임.
- 1단계 4년 연구기간을 통해 단위모듈 건축상품 및 구조공법 기획보고서, 건축상품 설계(건축, 구조, 설비) 및 시공 시뮬레이션 S/W, 건축상품 설계 및 시공・유지관리 가이드라인, 고(3kW급)/저출력(30W급) 레이저 헤드, Multi-Inkjet 헤드. 이종소재 압출 헤드, 3D 복합 프린팅 S/W(경쟁사 대비 70%), 3D 복합 프린팅 장비 시제품(가공속도 10m/sec, 가공정밀도 500um), 인라인 생산시스템 시제품, 3D 프린팅용 융복합 건축자재 및 신뢰성 평가 기법, 3D 프린팅 단위모듈 규모 건축상품 Test-bed 기술 및 검증 프로세스 및 관련 기술 종합 평가체계 등의 성과물이 도출될 수 있을 것으로 판단됨.
- 2단계 1차년도 목표는 3D 프린팅 건축 상품개발 및 원천기술 고도화로 융복합 성능 소재와 대형화 다중복합화 장비 개발 및 대형화/고층화 단위모듈 모형 검증단계임.
- 2단계 2차년도 목표는 3D 프린팅 건축 상품 및 마켓플랫폼 프로토타입 개발과 융복합성능 소재 및 장비 개발로 대형화/고층화 단위모듈 축소모형 검증단계임.
- 2단계 3차년도 목표는 3D 프린팅 건축 상품 및 마켓플랫폼 개발로 대형화/고층화 단위모듈 테스트베드 검증단계임.
- 2단계 3년 연구기간에는 1단계 연구성과(물)을 기반으로 다양한 규모 및 형태의 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소 통합설계(건축, 구조, 설비, 시공) S/W, 3D 프린팅 기술 기반 설계엔지니어링 가이드라인, 3D 복합 프린팅 파일롯 장비(레이저 출력: 50W/5kW급, 가공속도: 15m/sec이하, 가공정밀도: 200um이하), 융복합 3D 프린팅 소재 및 신뢰성 평가 시스템, 3D 프린팅 건축물 활성화를

위한 법, 제도 개선(안), 시장지향형 3D 프린팅 건축상품군 오픈마켓 플랫폼(플랫폼 개발 100%, 건설업체 50곳 이상 활용) 등의 성과물이 도출될 수 있을 것으로 판단됨.

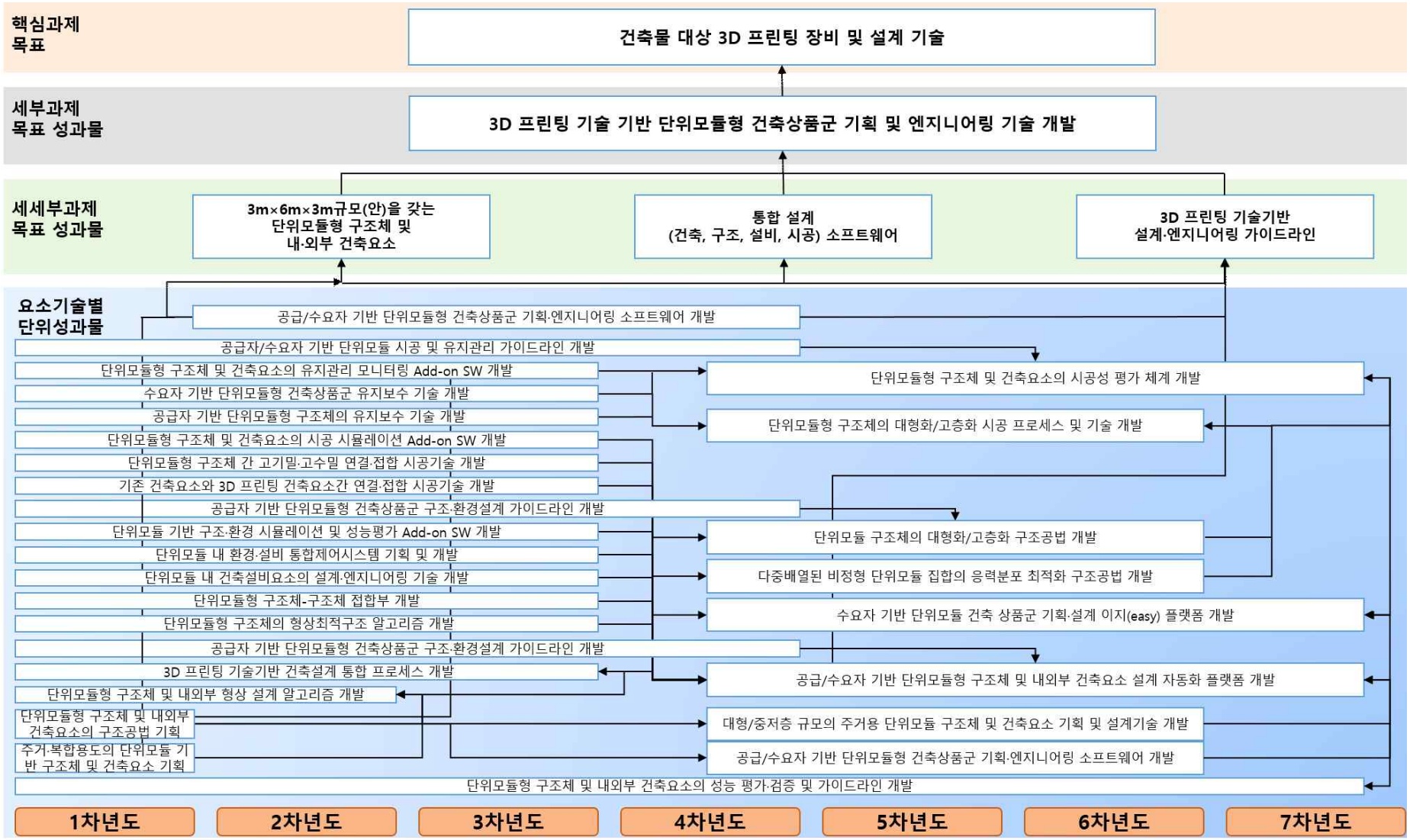
[그림 69] 총괄 로드맵

1. 세부과제별 기술 및 성과 로드맵

가. 세부과제 1 : 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발

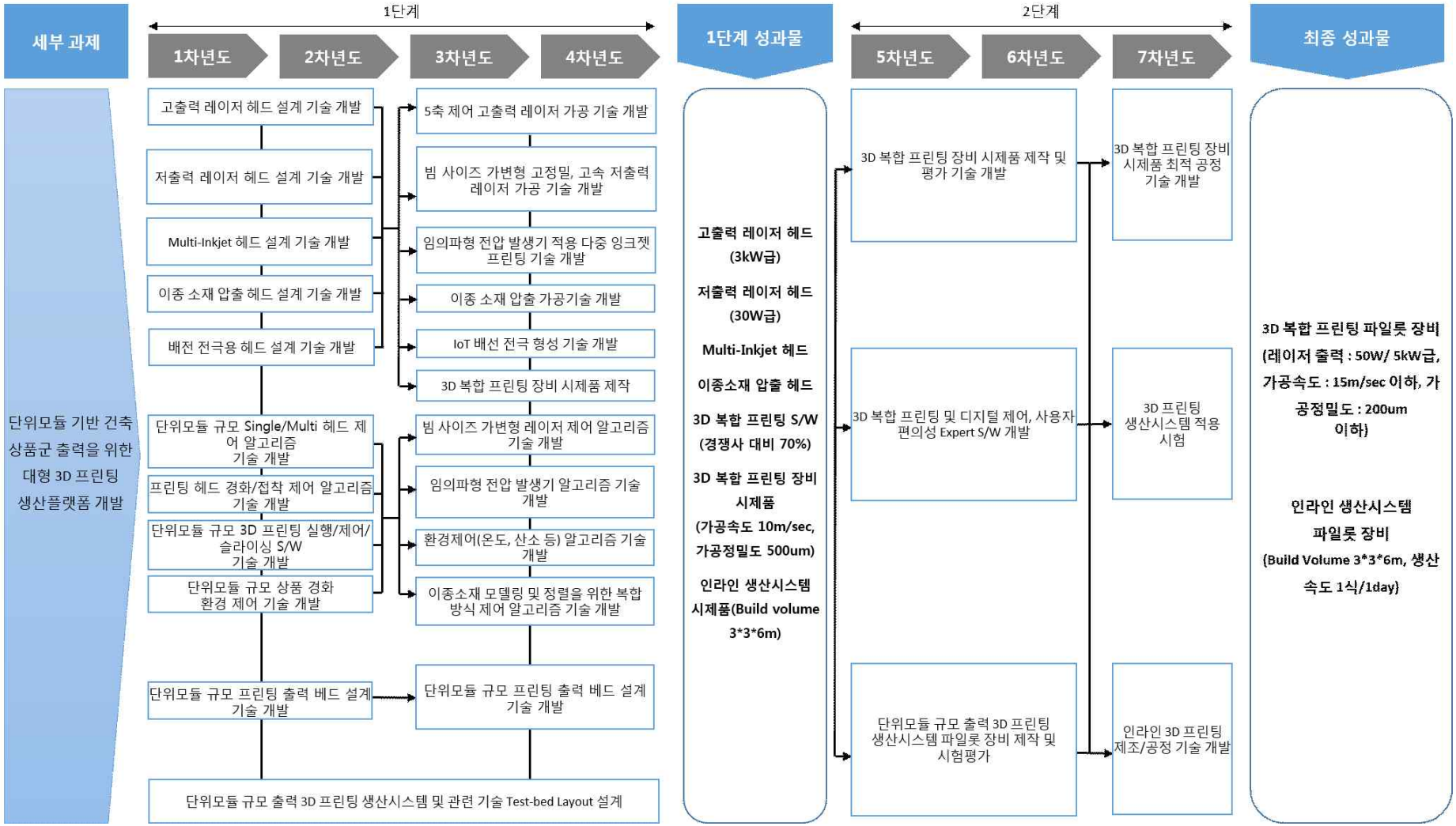


[그림 70] 1세부 기술로드맵

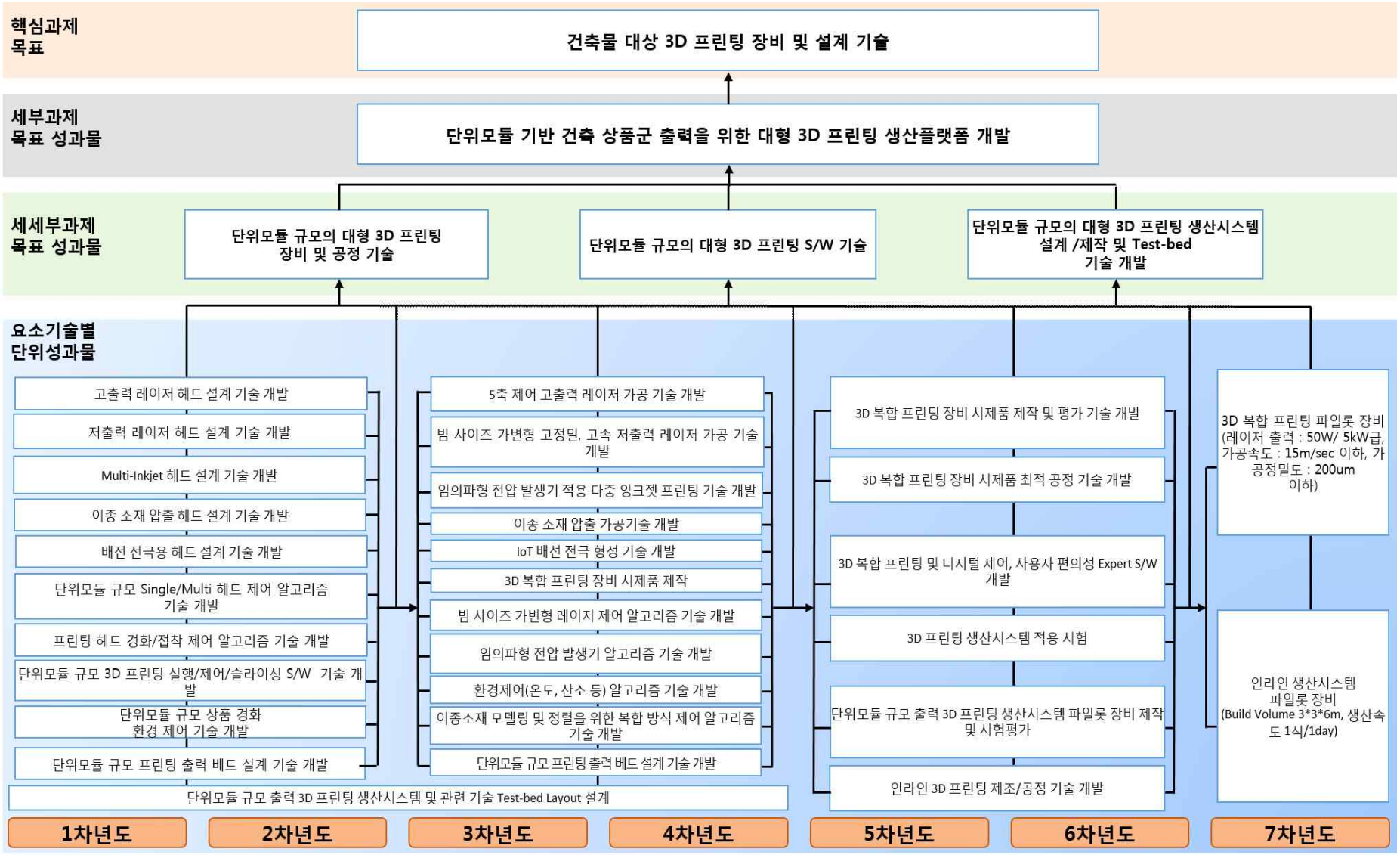


[그림 71] 1세부 성과로드맵

나. 세부과제 2 : 단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발

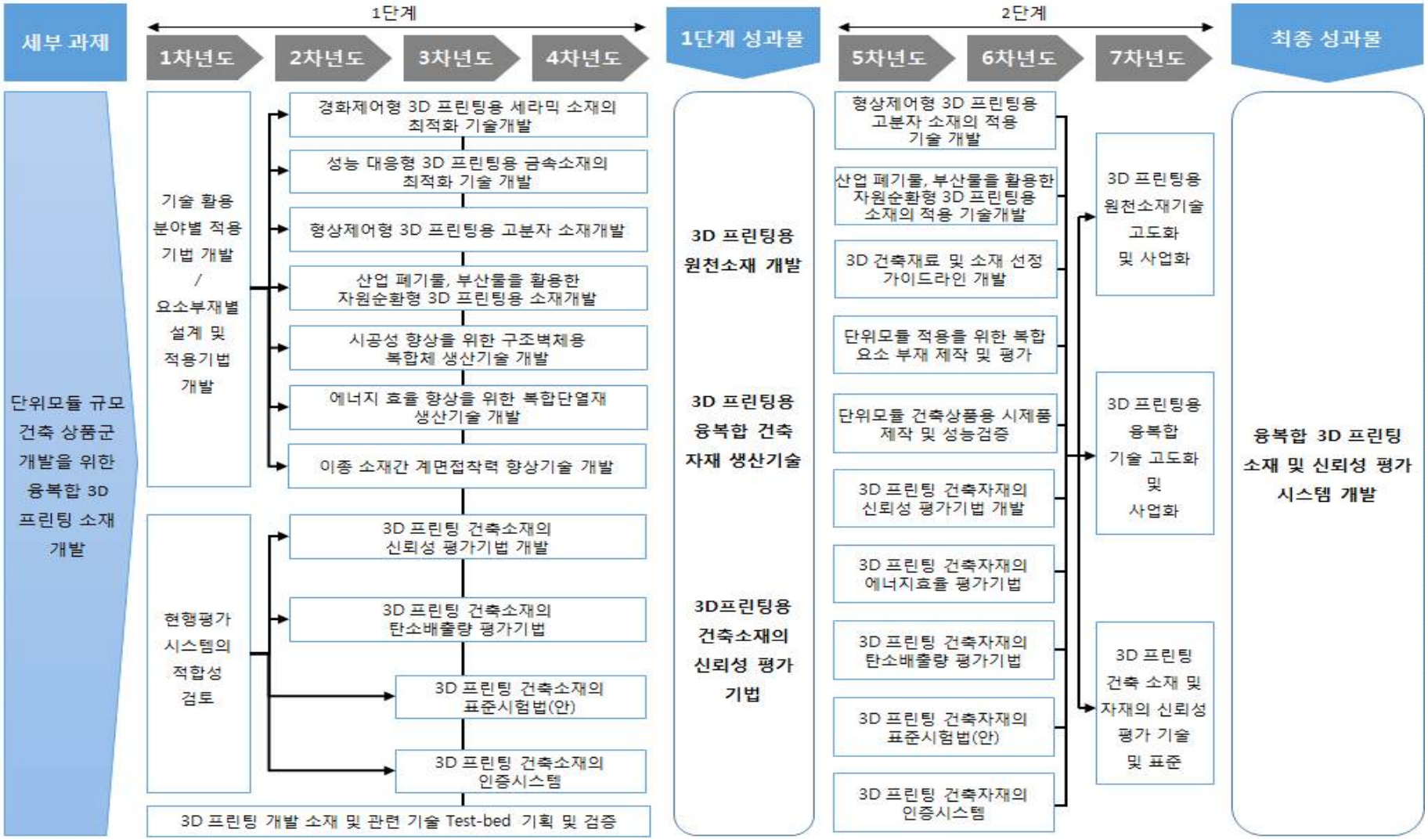


[그림 72] 2세부 기술로드맵

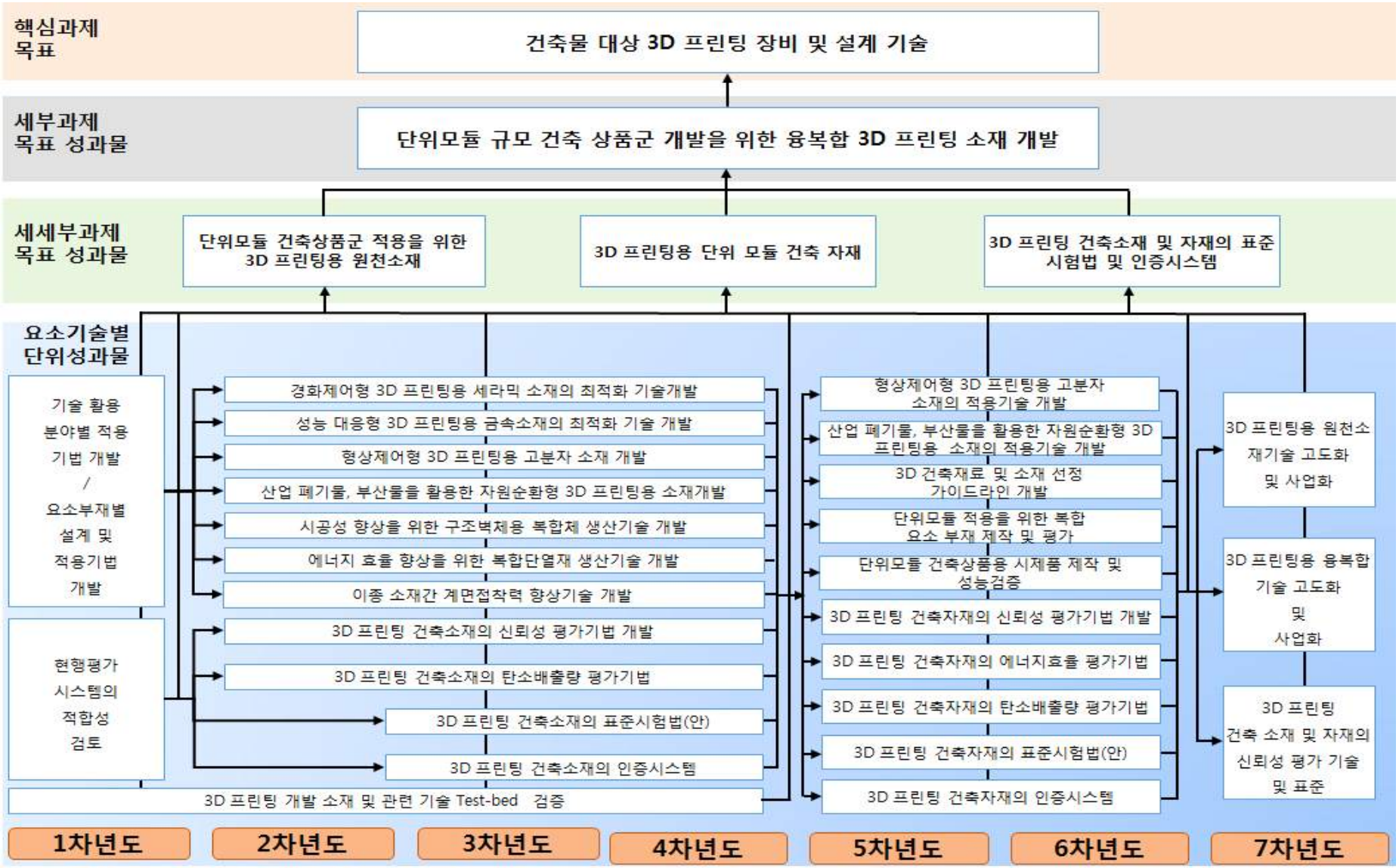


[그림 73] 2세부 성과로드맵

다. 세부과제 3 : 단위모듈 규모 건축상품 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발

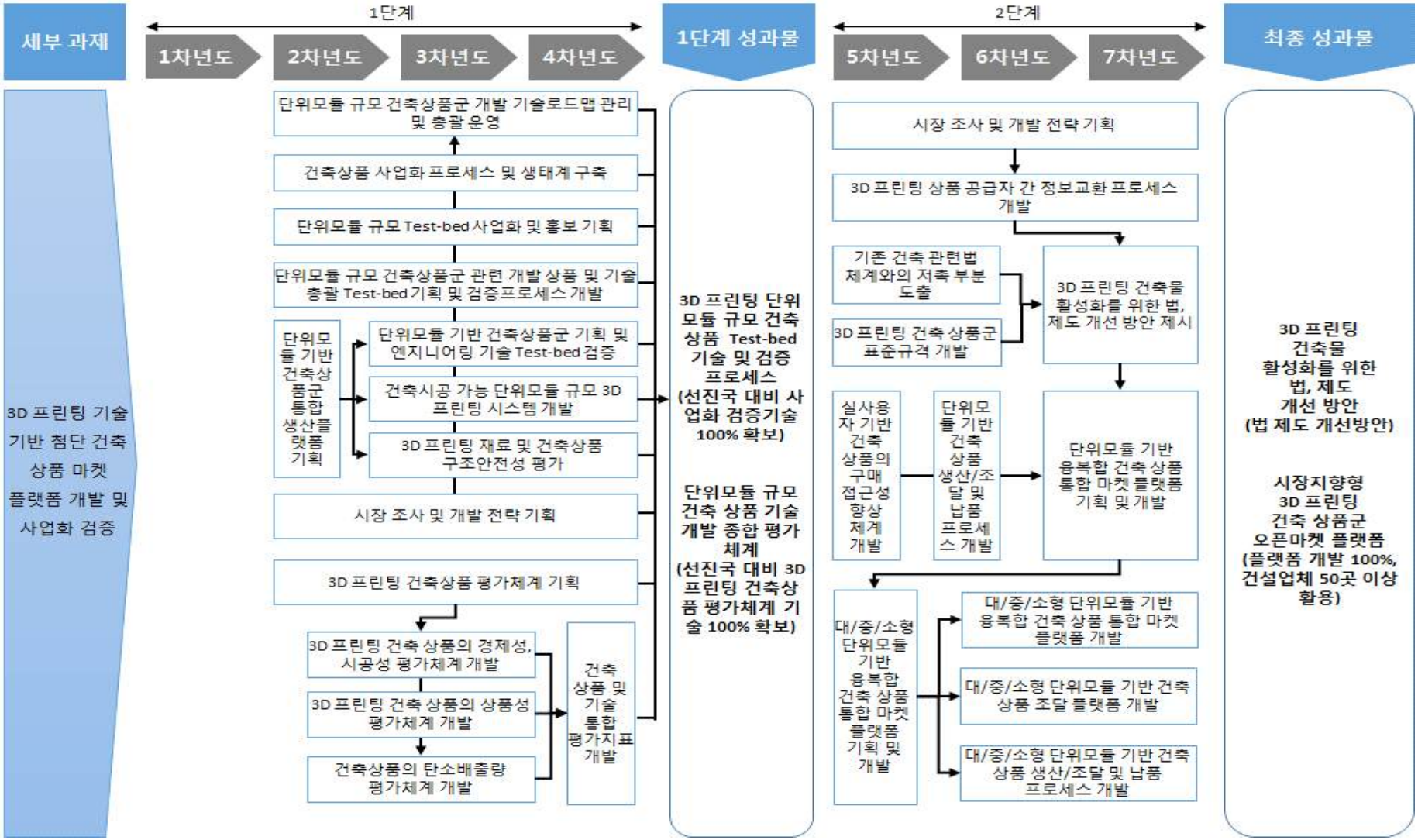


[그림 74] 3세부 기술로드맵

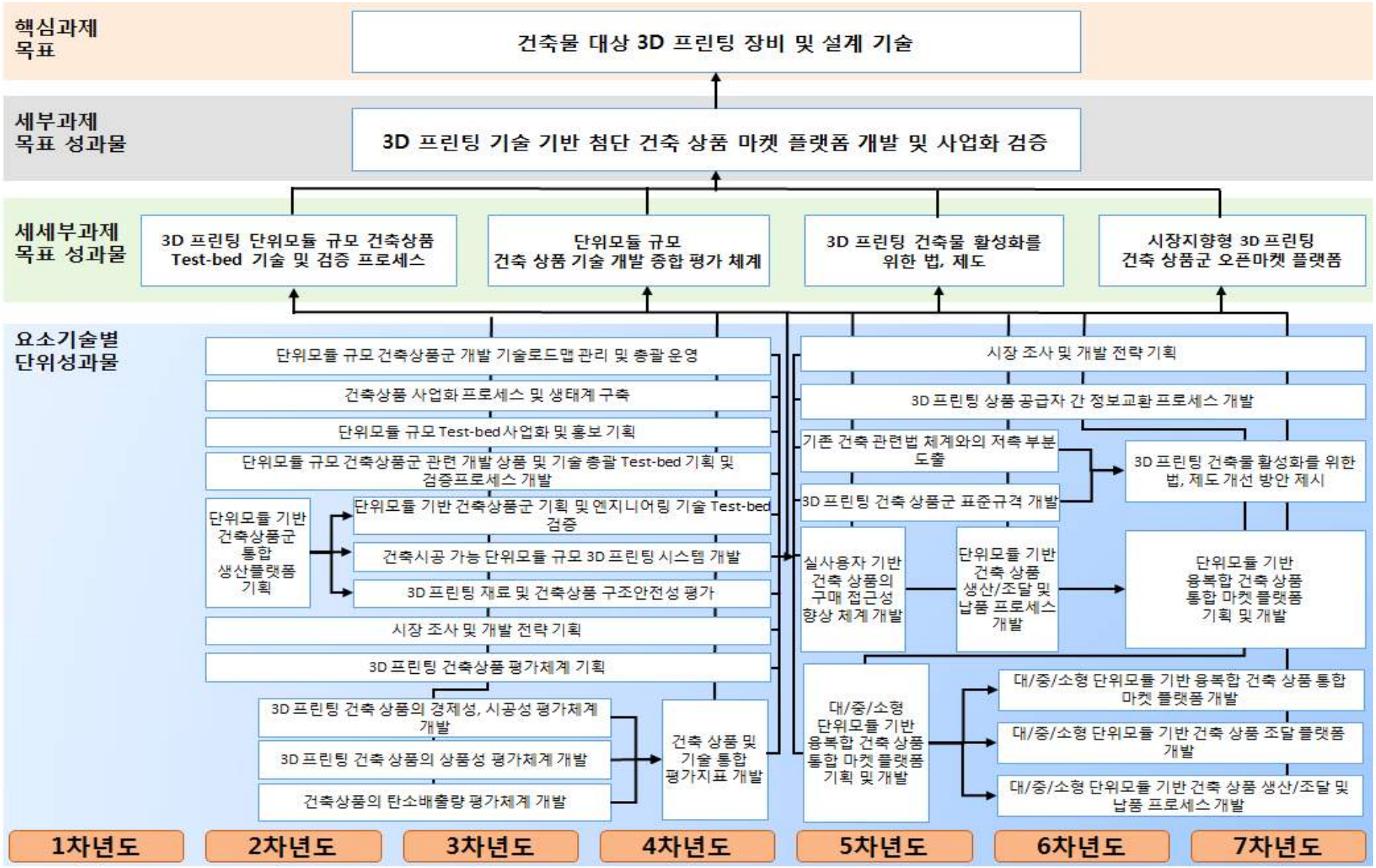


[그림 75] 3세부 성과로드맵

라. 4세부 : 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발



[그림 76] 4세부 기술로드맵



[그림 77] 4세부 성과로드맵

제8절 성과의 활용방안

○ ‘3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발’은 3D 프린팅 기술을 활용한 설계 및 단위모듈 건축상품의 출력을 통해 공정이 단순화되어 노무비용의 절감 및 안전의 확보를 통해 시공비용을 줄일 수 있음. 또한, 필요에 따라 저층 및 고층화 선택이 가능하게 되며, 수요자의 취향에 따른 즉각적인 적용 및 변경이 가능하게 됨.

○ ‘단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발’은 기존 건축 재료 및 3D 프린팅 건축용 신소재를 출력하여 3D 프린팅 건축상품의 생산이 가능하도록 하는 3D 프린팅 건축용 출력 장비의 개발을 목적으로 함. 이를 통하여 단위모듈형 건축상품을 사전제작 및 현장제작이 가능하도록 하여 거주가 가능하고 건축물로서의 역할이 가능한 3D 프린팅 단위모듈 건축상품을 제작할 수 있음.

○ ‘단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발’은 3D 프린팅 건축용 재료의 개발을 목적으로, 기존 건축재료를 활용할 수 있는 기술을 우선으로 개발하여 3D 프린팅 건축상품이 기존의 건축물과 동일하거나 그 이상의 성능을 확보할 수 있도록 함. 또한 이후 3D 프린팅 건축용 신소재를 개발하여 차후 건축상품이 고층화 및 고도화를 할 수 있는 기반을 마련함.

○ ‘3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발’은 설계, 장비, 소재의 연구를 통해 나온 건축상품을 수요자가 손쉽게 구매가 가능하도록 하는 바탕을 만들어주며, 기존의 건축물과 공법 및 재료가 다르기 때문에 벌어질 수 있는 제도 및 법적인 문제를 사전에 연구하고 개선하여 3D 프린팅 건축상품이 기존 건설시장에 원활히 자리잡을 수 있도록 하는 기초로서 활용이 가능함.

○ 이를 위해, 기술을 개발하고 적극적으로 활용이 가능한 3D프린팅 장비, 건축설계, 건설시공, 건설재료 등의 전문 분야별로 기업체의 참여가 필요함.

[표 53] 세부과제 별 목표 성과물의 활용 방안

세부과제	목표성과물	기술 수요처	실용화 방안
[세부과제 1] 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발	논문	학교, 연구소, 기업체 등	• 분야별 전문가(학계, 기업체, 관련 기관)의 참여를 통한 실용성 확보 • Pilot Test 추진을 통한 성능 검증 • 국가주관 입찰 과제 공고를 통한 건설업체의 3D 프린팅 기술 활용 고취
	지식재산권	기업체, 연구소	
	인력양성	학교, 연구소, 기업체 등	
	단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소 기획 및 설계 기술	국토교통부, 지자체, 건축설계사무소, 엔지니어링사, 유지관리업체, 연구소 등	
	단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소의 구조·환경 엔지니어링 기술		
	단위모듈형 건축상품군의 조립 및 접합 시공 및 유지관리 기술		

[세부과제 2] 단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발	논문	학교, 연구소, 기업체 등	• 분야별 전문가(학계, 기업체, 관련 기관)의 참여를 통한 실용성 확보 • Pilot Test 추진을 통한 성능 검증 • 개발 제품의 실제 프로젝트 공급
	지식재산권	기업체, 연구소	
	단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 장비 및 공정 기술 개발	학교, 연구소, 기업체 등	
	단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 S/W 기술 개발	연구소, 기업체,	
	단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 생산시스템 설계 /제작 및 Test-bed 기술 개발	기업체	
[세부과제 3] 단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발	논문	학교, 연구소, 기업체 등	• 분야별 전문가(학계, 기업체, 관련 기관)의 참여를 통한 상용화 추진 • 법/제도를 통한 부분 도입 권유 • 유사, 관련 산업 프로젝트에 우선 적용
	지식재산권	기업체, 연구소	
	단위모듈 건축상품군 적용을 위한 3D 프린팅용 원천소재 개발	학교, 연구소, 시공사	
	단위모듈 건축상품군 생산을 위한 3D 프린팅용 융복합 기술 개발		
	3D 프린팅 건축소재 및 자재의 신뢰성 평가기술 및 표준개발	국토교통부, 지자체, 기업체, 연구소	
[세부과제 4] 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발	논문	학교, 연구소, 기업체 등	• 분야별 전문가(학계, 기업체, 관련 기관)의 참여 활성화를 통한 시스템 확보 • 시범 시스템 운영을 통한 신뢰성 확보 • 이후 점차적인 범위 증대 • 3D 프린팅을 이용한 건축물 시공시 유지관리 시스템 활용
	지식재산권	기업체, 연구소	
	단위모듈형 건축상품군 파일럿 테스트 기획·검증 및 성능평가 시스템 개발	국토교통부, 지자체, 기업체	
	3D 프린팅 건축상품군 오픈마켓 플랫폼 및 관련 제도/정책 개발	국토교통부, 지자체, 기업체	

제9절 연구수행체계 제안

1. 연구추진체계 정립

○ 본 연구과제의 경우, 3D 프린팅을 활용하여 건설 전반적인 생태계를 바꾸기 위한 목적을 가지고, 해당 3D 프린팅 건축 산업의 기반이 되는 핵심요소기술 개발 및 각 세부 간의 유기적 연계를 통해 만들어지는 패키지 기술의 성격임. 또한, 해당 기술의 Test-Bed 기간을 포함하여 전체 기술의 성능평가를 목적으로 하고 있으므로, 이 연구의 목적상 사업단 수준의 구성이 적합한 것으로 판단되었음.

2. 추진조직

○ “건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획” 사업단은 기초·원천기술, 성능평가 기술, 관리 정책 및 법/제도 제안 등의 다양한 성격의 연구를 총괄해야 하므로 산, 학, 관과 유연한 관계를 유지하고 객관적 관리가 가능한 연구기관 및 총괄 연구책임자가 필요함.

- 원천기술은 이론 정립, 실험 등의 위주로 기술 정립이 필요하므로 학교 또는 연구기관에서 주도하도록 추진함.

○ 성능평가 기술은 현장적용 가능기술로 생산현장 또는 시공현장을 보유한 기업에서 주도하도록 추진함.

○ 추진 과제중 1개의 과제는 연구단 개발성과물의 파일럿 제작 및 성능평가를 위한 Pilot Test를 계획하고 추진계획 및 관리가 가능한 적정 규모의 연구기관 및 기업체로 구성하도록 함.

○ 전체 연구 조직은 산, 학, 연이 고루 연계되어 상호보완 및 지원이 이루어지도록 구성함.

3. 추진체계

가. 성과 위주의 연구 추진체계

○ 연구추진 시 주관 및 협동, 위탁기관 및 참여 기업은 모두 성과물이 발생되고 이의 활용이 이루어지도록 연구추진체계를 구성.

○ 연구계획 시부터 달성이 가능한 성과목표 및 성과지표를 제안·유도하고 연구진행 중 성과목표의 달성 및 관리방안을 정립하고, 주기적인 관리 시행.

○ 성과물의 파일럿 제작 및 성능평가를 우선하여 기술 실시 대상기업을 명확히 결정하고, 대상 기술이 실용화가 가능한 수준으로 성과물이 도출되도록 상시 관리체계 수립.

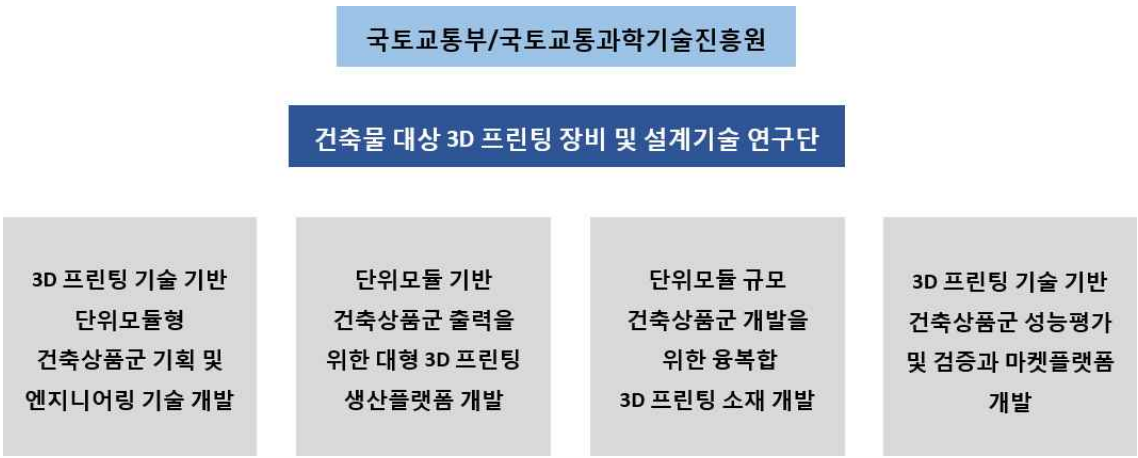
나. 종합적인 과제 관리체계

○ 각 세부별로 담당하게 되는 기술 개발을 진행하면서 “건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획” 사업단을 총괄 조정하고 외부의 여건을 반영하여 각 세부과제를 통합적으로 운영하며, 성과물의 통합 활용 등을 효과적으로 적용하는 역할의 수행이 필요함.

○ 추후 전체 예산규모에 따라 과제별 성과를 고려한 예산의 배정 및 과제진행 기간 조정을 통한 우수한 과제지원을 고려함.

○ 상호 정보를 공유하고, 상호활용, 기술지원이 가능한 체계를 수립함.

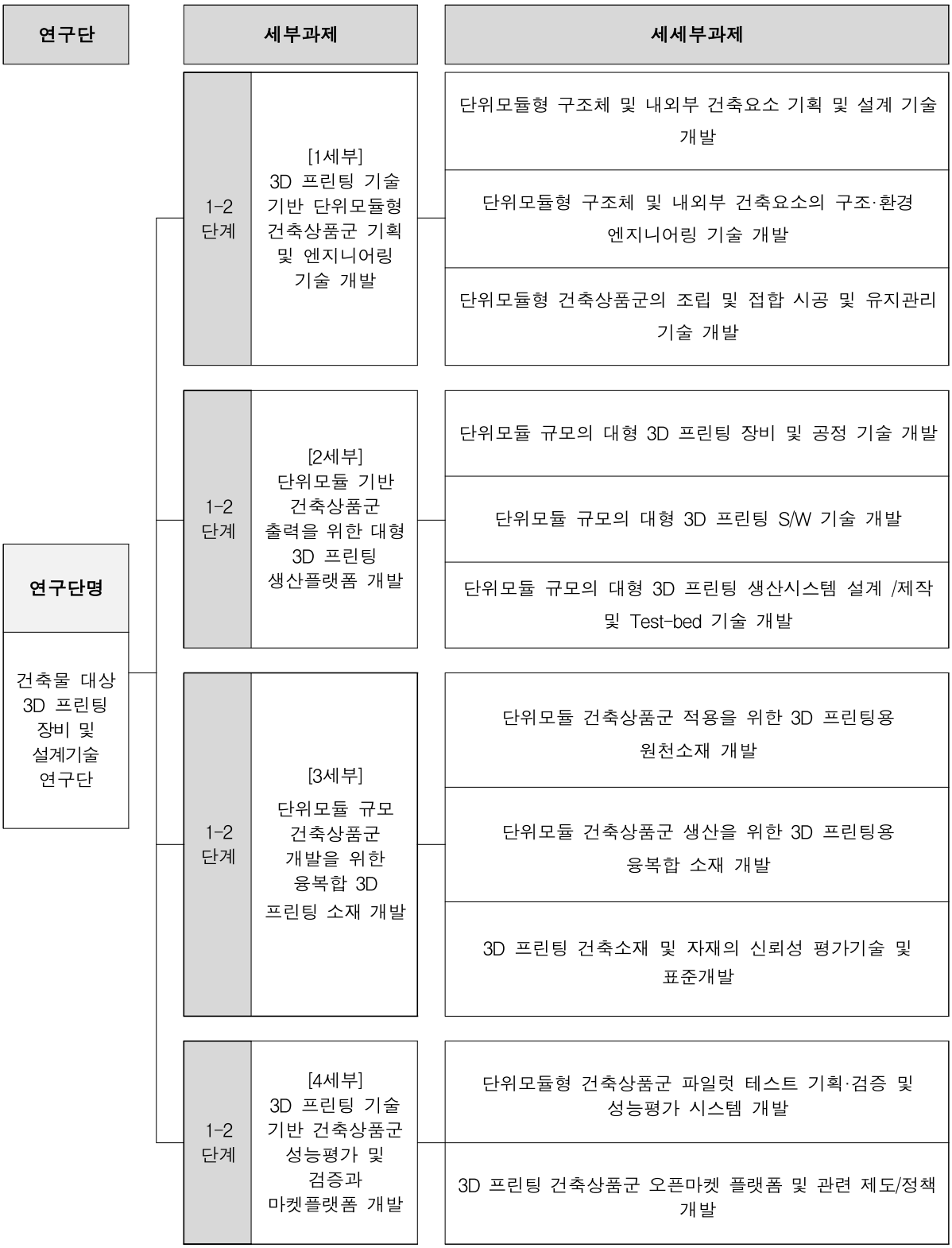
- 본 연구의 비전을 달성하기 위해서는 미래 유망한 3D 프린팅 장비 및 설계기술의 지속적인 개발을 통해 최고 수준의 기술력을 확보하고, 3D 프린팅 기술의 상용화를 통해 국가적으로 에너지 및 온실가스 저감에 대한 목표 달성, 침체된 건설경기 활성화, 신시장 창출, 청년창업 · 신규 직업 창출의 대폭 확대에 기반한 국가 신성장 동력으로서의 새로운 가치를 창출하여야 함.
- 이러한 맥락에서 보았을 때 다음과 같이 건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 연구단을 중심으로 4가지 세부과제에 따라 연구수행체계를 마련해야 할 것으로 판단됨.



[그림 78] 연구단의 4개 세부과제

- 따라서, 도출된 후보과제를 연구개발성격에 따라 Material(재료 및 소재, 성능평가 등)개발, Equipment(장비, 장비제어 등)개발, Product(설계, 시공, 유지관리 서비스) 개발, Market Platform(조달, 오픈마켓, 법/제도 등) 개발 및 Test-Bed, 성능평가 추진으로 그룹핑하여 관리의 효율성을 높이고, 국가목표를 전략적으로 달성할 수 있을 것으로 기대되는 연구단을 연구수행체계로 선택하여 다음 절에서 세부과제 구성체계를 제시하고자 함.

2) 연구단


연구단
세부과제
세세부과제
연구단명
건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 연구단
1-2 단계
[1세부] 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발
단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소 기획 및 설계 기술 개발
단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소의 구조·환경 엔지니어링 기술 개발
단위모듈형 건축상품군의 조립 및 접합 시공 및 유지관리 기술 개발
1-2 단계
[2세부] 단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발
단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 장비 및 공정 기술 개발
단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 S/W 기술 개발
단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 생산시스템 설계 /제작 및 Test-bed 기술 개발
1-2 단계
[3세부] 단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발
단위모듈 건축상품군 적용을 위한 3D 프린팅용 원천소재 개발
단위모듈 건축상품군 생산을 위한 3D 프린팅용 융복합 소재 개발
3D 프린팅 건축소재 및 자재의 신뢰성 평가기술 및 표준개발
1-2 단계
[4세부] 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발
단위모듈형 건축상품군 파일럿 테스트 기획·검증 및 성능평가 시스템 개발
3D 프린팅 건축상품군 오픈마켓 플랫폼 및 관련 제도/정책 개발

제 4 장 사전타당성 검토

제1절 정책적 타당성

1. 국가전략적 중요성

(1) 사업추진의 시급성

- 3D 프린팅 기술은 다품종 소량 생산, 제품의 제작비용 및 시간 절감, 맞춤형 제작, 복잡한 형상 제작 및 재료비 절감, 제조 공정 간소화, 인건비·조립비용 절감의 가능성을 내세우며 연구되어 왔지만 핵심 특허 보호기간에 의해 널리 확산되지 못하였음.
- 하지만 적층식(FDM) 3D 프린팅 기술의 핵심 특허의 보호기간이 2009년에 만료됨에 따라 FDM 방식 3D 프린팅 기술이 세계 각 분야로 급속 확산·연구되기 시작하였음.
- 3D 프린팅 기술은 다양한 분야로 적용 연구가 진행되고 있으며, 각 산업분야의 시장 진출까지는 일반적으로 10~20년 정도의 시간이 소요될 것으로 전망됨.
- Graham Tromans는 주요 연구 분야와 기술 성장 및 발전을 기반으로 예측한 유망 3D 프린팅 기술 분야 중 건설 산업과 관련된 기술 개발은 2017년 주를 이룰 것이라 예상함.
- 미항공우주국(NASA)과 유럽우주국(ESA) 등에서 달 탐사기지 건설을 위해 3D 프린팅 기술에 대한 연구를 시작하면서 3D 프린팅과 건설산업과의 연계가 전 세계적으로 더욱 주목 받고 있어 기술선점을 위한 연구개발진행이 시급한 상황임.
- 3D 프린팅을 건축에 접목하는 것이 어렵다는 편견을 깨고 최근 중국에서 5층 규모의 실증주택을 건설함에 따라 관련 기술 및 시장이 주목을 받고 있음.
- 기술에 대한 연구와 시장진출까지의 확산시간을 고려했을 때 향후 건설기술 산업의 주도권을 잡기 위해 건설 분야에 3D 프린팅을 접목하기 위한 기술은 더 이상 미룰 수 없는 최우선 연구 분야라고 할 수 있어 시기적절한 과제라 판단됨.

(2) 국가별 정책동향

- 2012년도 미국 대통령(Barack Obama)의 '3D 프린팅 산업 육성'의 일환으로 3D 프린팅 관련 기술개발 연구의 거점인 'America Makes'(구 NAMII)를 설립하여 8개 분야로 세분화하여 로드맵 및 기술개발 사업을 추진 중에 있음.
- Reuters에 따르면 지난해 10월 EU는 첨단 기술 육성을 통해 2020년까지 GDP의 제조업 비중을 16%에서 20%로 늘릴 계획을 세웠으며 대안으로 3D 프린팅을 언급함.
- 또한 영국의 경우 3D 프린팅이 항공에서 주얼리에 이르기까지 다양한 산업에 영향력을 미칠 수 있는 잠재력을 가진 기술로 평가하면서 기술전략위원회를 통해

700만 파운드를 투자하기로 함.

○ 중국의 경우, 국가 R&D 전략인 ‘국가 첨단 기술 연구 및 개발 프로그램’에서 3D 프린팅을 미래 핵심기술로 선정하여 정부에서 약 6,500만 달러를 연구개발비로 투자하였으며 향후 3D 프린팅 분야의 선진국으로 도약하기 위해 다양한 지원책을 발표함.

○ 일본 정부에서는 기술경쟁력 확보를 위해 시장 점유율이 낮은 3D 프린터 분야 대신 3D 프린터 소재 분야 개발연구에 집중하며, 우선적으로 산업현장에서 요구도가 높은 금속 소재 연구를 추진하고 있음.

○ 국내에서는 2014년 ‘3D프린팅 산업 발전전략’을 수립을 통해 국내의 수요창출 및 장비/소재/SW 관련 산업 성장을 위한 4대 추진전략 및 11대 세부추진과제를 마련하였으며 2020년까지 전세계 3D 프린터 산업의 선두로 올라선다는 정책을 발표했음.

- 3D 프린팅 S/W에 2018년까지 464억 원의 예산을 투입한다고 발표함. 다음 표는 미래창조과학부에서 계획하고 있는 3D프린팅 S/W 기술개발 과제임.

[표 57] 국내 정부 3D프린팅 S/W 기술개발 계획 (미래창조과학부)

과제명	과제기간	연간 투입 예정 예산 (원)
3D콘텐츠 생성 및 편집	3년 (2013년 9월 ~ 2016년 8월)	28억
의료용 3D프린터 응용 S/W 플랫폼 및 서비스	5년 (2014년 하반기 ~)	40억
모바일 웹기반 3D프린팅 원천·응용	3년 (2015년 ~)	30억
고속 3D 프린팅	3년 (2015년 ~)	10억
저작물 보호	3년 (2015년 ~)	20억

○ 또한, 2014년 미래창조과학부와 산업통상자원부 공동주관 3D 프린팅 인력양성과 기반 조성사업 지원을 위한 ‘창의 메이커’ 1000만 명 양성 프로젝트를 추진 중에 있고, 3D 프린팅 기술기반 제조혁신지원센터를 설립함.

○ 현재 국내 3D 프린팅 정책 및 전략의 주요 쟁점은 외국을 따라가는 기술을 개발하는 것 보다 외국과 차별점을 가질 수 있는 실질적인 기술을 개발하고 이를 지원하는 것이 주요 핵심임.

○ 3D 프린터 장비 및 재료 등 주요 요소기술은 미국 등 선진국이 기 보유하고 있고 국내는 후발주자이지만 핵심기술을 단기간에 Follow-Up 하기는 어려우나, 응용분야인 건축은 시장 진입단계이기 때문에 “Fast Follower”가 가능할 경우 “First Mover”로의 역할 수행이 가능하리라 판단됨.

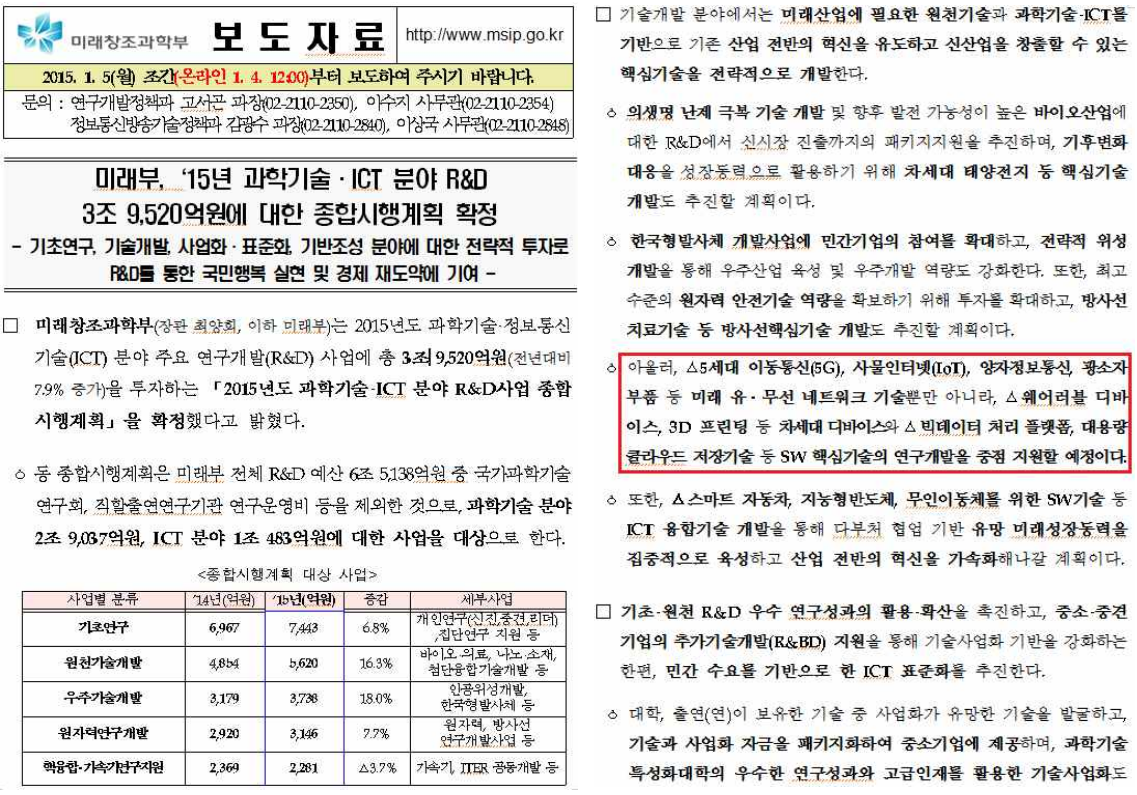
2. 정부 관련부처 사업추진 의지

○ 미래창조과학부는 경제 재도약 계기 마련 등을 위해 3D 프린터 등 기술개발 분야에 대한 적극적인 R&D 예산 지원 예정임.

- 2015년 1월 미래창조과학부는 기초기술, 기술개발, 성능평가, 표준화, 기반조성 분야에 대한 전략적 투자로 R&D를 통한 국민행복 실현 및 경제 재도약에 기여하겠다는 취지 아래 과학기술·ICT분야 R&D 4조에 대한 종합시행계획을 확정함

- 동 종합시행계획은 미래부 전체 R&D 예산 6조 5,138억 원 중 국가과학기술연구회, 직할출연연구기관 연구운영비 등을 제외한 것으로, 과학기술 분야 2조 9,037억원, ICT 분야 1조 483억 원에 대한 사업을 대상으로 함.

- 부문별 투자액으로는 (기초연구) 7,443억 원, (기술개발) 2조 2,508억 원, (성능평가·표준화) 1,617억 원, (인력양성) 1,550억 원, (기반조성) 6,402억 원임.



미래창조과학부 **보 도 자 료** http://www.msip.go.kr

2015. 1. 5(월) 조간(온라인 1. 4. 12:00)부터 보도하여 주시기 바랍니다.

문의 : 연구개발정책과 고서곤 과장(02-2110-2350), 이수지 사무관(02-2110-2354)
정보통신방송기술정책과 김광수 과장(02-2110-2840), 이상국 사무관(02-2110-2848)

미래부, '15년 과학기술·ICT 분야 R&D 3조 9,520억원에 대한 종합시행계획 확정

- 기초연구, 기술개발, 사업화·표준화, 기반조성 분야에 대한 전략적 투자로 R&D를 통한 국민행복 실현 및 경제 재도약에 기여 -

□ **미래창조과학부**(장관 최양희, 이하 미래부)는 2015년도 과학기술·정보통신기술(ICT) 분야 주요 연구개발(R&D) 사업에 총 **3조 9,520억원**(전년대비 7.9% 증가)을 투자하는 **「2015년도 과학기술·ICT 분야 R&D사업 종합시행계획」을 확정**했다고 밝혔다.

○ 동 종합시행계획은 미래부 전체 R&D 예산 6조 5,138억원 중 국가과학기술연구회, 직할출연연구기관 연구운영비 등을 제외한 것으로, **과학기술 분야 2조 9,037억원, ICT 분야 1조 483억원에 대한 사업을 대상**으로 한다.

<종합시행계획 대상 사업>

사업별 분류	'14년(억원)	'15년(억원)	증감	세부사업
기초연구	6,967	7,443	6.8%	개인연구(신진,중견,리더), 집단연구 지원 등
원천기술개발	4,854	5,620	16.3%	바이오·의료, 나노·소재, 첨단융합기술개발 등
우주기술개발	3,179	3,738	18.0%	안풍위성개발, 한국형발사체 등
원자력연구개발	2,920	3,146	7.7%	원자력, 방사선 연구개발사업 등
핵융합·가속기연구지원	2,369	2,281	△3.7%	가속기, ITER 공동개발 등

□ 기술개발 분야에서는 **미래산업에 필요한 원천기술**과 **과학기술·ICT를 기반**으로 기존 **산업 전반의 혁신을 유도하고 신산업을 창출할 수 있는 핵심기술을 전략적으로 개발**한다.

○ **의생명 난제 극복 기술 개발** 및 향후 발전 가능성이 높은 **바이오산업**에 대한 R&D에서 신시장 진출까지의 패키지지원을 추진하며, **기후변화 대응**을 성장동력으로 활용하기 위해 **차세대 태양전지 등 핵심기술 개발**도 추진할 계획이다.

○ **한국형발사체 개발사업에 민간기업의 참여를 확대**하고, **전략적 위성 개발**을 통해 우주산업 육성 및 우주개발 역량도 강화한다. 또한, 최고 수준의 **원자력 안전기술 역량**을 확보하기 위해 투자를 확대하고, **방사선 치료기술 등 방사선핵심기술 개발**도 추진할 계획이다.

○ 아울러, △**5세대 이동통신(5G), 사물인터넷(IoT), 양자정보통신, 광소자 부품 등 미래 유·무선 네트워크 기술**뿐만 아니라, △**웨어러블 디바이스, 3D 프린팅 등 차세대 디바이스**와 △**빅데이터 처리 플랫폼, 대용량 클라우드 저장기술 등 SW 핵심기술의 연구개발을 중점 지원할 예정이다.**

○ 또한, △**스마트 자동차, 지능형반도체, 무인이동체를 위한 SW기술 등 ICT 융합기술 개발**을 통해 다부처 협업 기반 **유망 미래성장동력을 집중적으로 육성**하고 **산업 전반의 혁신을 가속화**해나갈 계획이다.

□ **기초·원천 R&D 우수 연구성과의 활용·확산**을 촉진하고, **중소·중견기업의 추가기술개발(R&BD) 지원**을 통해 기술사업화 기반을 강화하는 한편, **민간 수요를 기반으로 한 ICT 표준화**를 추진한다.

○ 대학, 출연(연)이 보유한 기술 중 사업화가 유망한 기술을 발굴하고, **기술과 사업화 자금을 패키지화하여 중소기업에 제공**하며, **과학기술 특성화대학의 우수한 연구성과와 고급인재를 활용한 기술사업화**도

[그림 79] 미래창조과학부 보도자료

○ 건축물 3D 프린팅 기술 경제 재도약 및 창조경제 실현에 일조가 가능함.

- 3D프린팅을 이용한 공정 패러다임 변화를 건축 분야에 적용할 경우 자재 이동에 소요되는 비용 및 기간 축소, 1인 설계시장 창출로 인한 설계비용 저감 등의 효과가 있을 것으로 예상됨.

- 또한, 건축물 3D 프린팅 신소재 시장 개척, 표준 플랫폼 개발에 따른 3D 프린팅 시장 형성, 건축 설계시장 변화, 다양한 중소기업 창업 등 정부에서 추진 중인 창조경제 실현에 일조 가능할 것으로 판단됨.

제2절 기술적 타당성

1. 기술개발 계획의 적절성

가. 사업목표와 내용의 구체성

(1) 사업목표의 구체성

○ “건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술”의 총괄목표를 단계적으로 정량적이고 구체적으로 제시함

- 본 연구단의 비전은 “3D 프린팅 기술을 건설산업에 성공적으로 이식시킴으로써 새로운 상품·니즈·시장·기술을 창조를 통해 산업의 새로운 성장동력으로 자리매김, 일자리 창출, 글로벌 경쟁력 증가 등 창조경제 실현에 이바지”이며, 이를 달성하기 위한 목표로 “3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발”, “단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발”, “융복합 3D 프린팅 소재 개발”및 “3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발”을 제시함
- 연구단을 4개의 세부로 세분화하고 관련 요소기술 개발 및 파일럿 제작을 위해 총 7년(4+3)으로 기획하였으며 1단계는 원천기술을 개발, 2단계는 파일럿 제작과 성능평가로 구분하였음
- 각각의 총괄목표를 달성하기 위하여 세부목표와 최종성과물을 제시함. 또한 연구단 총괄목표를 단계별로 구분하여 구체적으로 제시하였으며 단계별 목표를 달성하기 위해 핵심과제와 핵심과제별로 도출되는 성과물에 대해 파악이 가능하도록 타당하게 제시된 것으로 분석됨

[표 58] 세부과제별 성과물

세세부과제		성과항목	성과지표	건수
1-1	단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소 기획 및 설계 기술 개발	논문	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	12
			학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	8
			SCI급 학술지 게재 논문 건수	1
		지식재산권	특허출원 건수(국내/국외)	3
			특허등록 건수(국내/국외)	3
		기획/계획 수립	기획결과의 적절성	1
		인력양성	분야별 인력양성 배출 실적	5
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	3
1-2	단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소의 구조·환경	논문	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	10
			학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	8

	엔지니어링 기술 개발		SCI급 학술지 게재 논문 건수	3
		지식재산권	특허출원 건수(국내/국외)	4
			특허등록 건수(국내/국외)	4
		계획설계 기술	설계도면 및 사양서 개발	1
			계획설계 기법 개발	1
			설계결과의 현장적용 건수	1
1-3	단위모듈형 건축상품군의 조립 및 접합 시공 및 유지관리 기술 개발	논문	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	14
			학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	9
			SCI급 학술지 게재 논문 건수	2
		지식재산권	특허출원 건수(국내/국외)	3
			특허등록 건수(국내/국외)	3
		현장적용 효과	현장적용 건수 (시범적용 등)	1
		비용절감 효과	LCC 절감 효과	1
2-1	단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 장비 및 공정 기술 개발	논문	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	10
			학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	15
			SCI급 학술지 게재 논문 건수	4
		지식재산권	특허출원 건수(국내/국외)	4
			특허등록 건수(국내/국외)	3
		기획/계획 수립	기획결과의 적절성	1
		사업화	창업 건수	1
		인력양성	분야별 인력양성 배출 실적	4
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	2
2-2	단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 S/W 기술 개발	논문	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	7
			학술회의 발표 논문건수(국내/국외)	6
			SCI급 학술지 게재 논문 건수	4
		지식재산권	특허출원 건수(국내/국외)	5
			특허등록 건수(국내/국외)	5
2-3	단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 생산시스템 설계 /제작 및 Test-bed 기술 개발	논문	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	6
			학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	5
			SCI급 학술지 게재 논문건수	2
		지식재산권	특허출원 건수(국내/국외)	3
			특허등록 건수(국내/국외)	2
		기술성능 목표 달성	소재 및 부품개발 건수	3
		현장적용 효과	현장적용 건수 (시범적용 등)	1
3-1	단위모듈 건축상품군 적용을 위한 3D 프린팅용 원천소재 개발	논문	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	3
			학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	8
			SCI급 학술지 게재 논문 건수	1
		지식재산권	특허출원 건수(국내/국외)	8
			특허등록 건수(국내/국외)	8
3-2	단위모듈 건축상품군 생산을 위한 3D 프린팅용 융복합 소재	논문	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	2
			학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	10

	개발		SCI급 학술지 게재 논문 건수	1
		지식재산권	특허출원 건수(국내/국외)	7
			특허등록 건수(국내/국외)	7
		테스트베드 구축 및 활용	테스트베드 활용 건수(횟수/시간)	1
		기술성능 목표 달성	소재 및 부품개발 건수	2
			원천기술 확보 건수	2
3-3	3D 프린팅 건축소재 및 자재의 신뢰성 평가기술 및 표준개발	논문	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	4
			학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	7
			SCI급 학술지 게재 논문 건수	1
		지식재산권	특허출원 건수(국내/국외)	5
			특허등록 건수(국내/국외)	5
		테스트베드 구축 및 활용	테스트베드 운영 지침 및 매뉴얼 개발	1
			테스트베드 활용 건수(횟수/시간)	1
		현장적용 효과	현장적용 건수 (시범적용 등)	7
4-1	단위모듈형 건축상품군 파일럿 테스트 기획·검증 및 성능평가 시스템 개발	논문	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	10
			학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	3
			SCI급 학술지 게재 논문 건수	2
		지식재산권	특허출원 건수(국내/국외)	4
			특허등록 건수(국내/국외)	4
			소프트웨어(S/W) 등록 건수	3
		사업화	창업 건수	1
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	2
4-2	3D 프린팅 건축상품군 오픈마켓 플랫폼 및 관련 제도/정책 개발	논문	학술지 게재 논문 건수(국내/국외)	6
			학술회의 발표 논문 건수(국내/국외)	5
		정책	정책제안 건수	3

(2) 사업내용의 적절성

○ 연구개발 후보기술 도출을 위해 정책/기출동향 분석, 논문/특허분석, 인프라 분석 및 기획운영회 운영 결과 연구개발 후보기술 114개를 도출하였으며 도출된 후보기술의 속성에 따라 15개의 소구분으로 나누었음. 비전 및 최종 목표를 달성하기 위해 3D 프린팅 건설 장비, 재료, 설계/시공/유지관리 기술, Market Platform 등 4개 분야 및 소구분이 적절하게 도출된 것으로 판단됨

- Product (3개): 상품 기획 및 서비스, 설계, 시공 및 유지관리
- Equipment (4개): 3D 프린팅 장비 기획, 시스템 및 환경 제어기술, 장비 설계 및 제작, 적층 및 소결기술
- Material (4개): 3D 프린팅 재료 기획 및 상품 개발, 3D 프린팅 재료 생산 기술, 3D 프린팅 재료 성능평가, 신소재 개발
- Market Platform 및 Test-Bed 추진 (4개): 3D 프린팅 건축상품 플랫폼, 조달・제

도・정책, 기술개발 평가, 실증사업

○ 3D 프린팅 관련기술 선점을 위해 요소기술 개발 및 파일럿 제작으로 나누어 진행할 예정으로 국내의 기술수준 및 국내외 시장 고려 시 효율적인 구성으로 판단됨

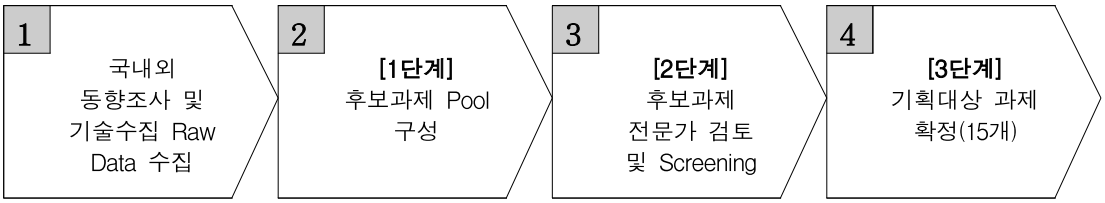
- 본 기획에 따른 연구가 진행되면 1단계에서는 건축용 3D 프린팅 요소기술 및 단위상품의 개발이 가능하게 되며, 후발주자로서 선두주자와 동등한 기술수준에 도달하리라 판단됨
- 또한 2단계에서 요소기술 및 단위상품의 개발은 3D 프린팅 기반 스마트건축물 구현이 가능하게 되고, 3D 프린팅 기반 스마트건축물 구현은 차세대의 와해성 기술과 융합되어 신규 산업 창출에 기여를 하리라 판단됨

○ 4개의 세부과제의 연구내용은 본 연구단의 총괄목표 달성을 위해 적절하게 구성되었음

- 1세부는 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술을 개발하기 위한 단위모듈 기반의 설계, 구조, 설비, 유지보수 관련 알고리즘, 프로세스, Tool, 가이드라인 등의 기술개발과 연구과제 총괄운영 및 검증으로 구성되어 있음.
- 2세부는 단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발 및 환경제어, 생산공정, 고속복합출력 등의 기술개발로 구성되어 있음.
- 3세부는 단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발을 위한 3D 프린팅 건축소재, 3D 프린팅용 융복합 건축자재, 3D 프린팅 건축 재료의 종합성능평가 및 표준화, 선도형 3D 프린팅 건축 전략소재 생산을 위한 기술개발로 구성되어 있음.
- 4세부는 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발을 위해 1, 2, 3세부 연구를 통해 개발된 3D 프린팅 건축상품군을 마켓시장 내 확산・보급할 오픈마켓 플랫폼, 법/제도 및 정책 개발과 건축상품군 및 기술의 경제성, 효율성, 상품성 등을 평가하여 성능을 검증하는 것으로 구성되어 있음.
- 각 세부과제는 세부과제를 구성하는 기술을 명확히 제시하고 각 구성기술별 내용을 구체적으로 기술하였으며 특히 3D 프린팅 건설을 적용하기 위한 마켓플랫폼 등 3D 프린팅 시장 생태계 구축에 주안점을 둔 것으로 판단됨

○ 연구개발과제의 도출 프로세스를 제시함으로써 본 연구단 세부과제 도출의 적절성을 제시함

- 기획검토위원회 결과를 반영하여 세부 사업내용을 확정함에 따라 사업내용의 선정절차는 적절한 것으로 판단됨
- 국내외 기술수요조사, 경제/기술동향, 인프라, 선행사업 분석을 실시하여 후보과제를 선정, 기술전문가를 통한 후보과제의 검토 및 Screening, 국토교통과학기술진흥원 기획타당성위원회를 통한 기획대상 과제를 확정함
- 사업추진방식은 건기평의 기획타당성평가위원회 결과를 바탕으로 연구단으로 추진함



[그림 79] 연구개발과제 도출 프로세스

나. 사업추진전략의 적절성

(1) 사업추진전략의 구체성 및 도출근거

○ 국토교통과학기술진흥원의 기획타당성위원회를 통하여 건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 연구단으로 추진하는 것으로 확정됨

○ 본 연구단은 산학연 전문가로 구성된 기획위원회를 통하여 총괄목표 및 세부목표의 단계별 목표를 수립하고 이를 달성하기 위한 4개의 세부과제와 15개의 세세부과제를 구성함

- 각 세부과제별로 기존사업과의 중복성 분석결과를 바탕으로 연구개발 추진전략, 기술개발 성공가능성에 대하여 구체적으로 제시하였음
- 핵심기술 위주의 개발 전략을 수립함
- 국내 3D 프린팅 장비 및 재료와 관련된 기 보유기술 등의 적극 활용을 통한 기술연계 시너지 극대화
- 국가연구개발사업에서 개발되었거나 현재 개발중인 기술과 접목하는 전략 수립
- 철저한 실험검증 전략을 수립함
- 현장적용 및 성능평가를 위해 1~2층 규모의 Test-Bed를 통한 철저한 검증 및 테스트 베드 구축을 위한 전략 수립
- 기술 성능 검증 추진을 통한 실용화 효율 극대화 전략을 수립함

※ 관련 시장 창출을 위한 오픈 마켓 플랫폼과 지식포탈 운영계획 수립

※ 기술 성능 검증 추진을 위한 실시기업 연계 및 실시기업의 기술개발 참여도 확대전략 수립

- 연구개발 내용별로 기준 수립과 파일럿 제작 및 성능평가로 분류하여 목표 수준을 수립함
- 3D 프린팅 건설 활성화를 위한 기존 법제도 개선방안 수립

(2) 사업추진체계의 적절성

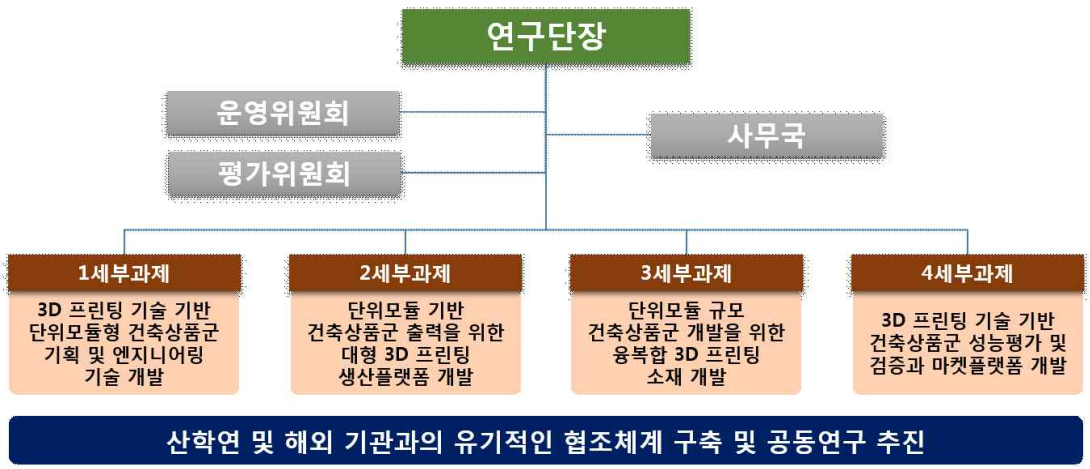
○ 동 연구단은 건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술의 기획타당성 검토위원회를 통하여 4개 세부과제로 이루어진 사업으로 과제의 특성을 고려하여 연구단 형태로 추진하는 것이 타당하다고 판단됨

- 본 사업의 연구비(정부출연금 기준)는 1단계(4년) 168억, 2단계(3년) 180억으로 국

토교통과학기술진흥원의 연구수행 형태 구분 중 정부출연금 기준의 연구수행 형태구분[25]에 만족함.

○ 연구단 추진조직의 구성에 대해 상세하게 기술함.

- “건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 연구단”은 기초·원천기술, 파일럿 제작 기술, 제도 개선 등 다양한 성격의 연구를 총괄해야 하므로 산·학·연·관간의 유연한 조직체계 및 객관적 관리가 가능한 연구기관 및 총괄 책임자가 필요함.
- 전체 연구조직은 산·학·연이 연계되어 상호보완 및 지원이 이루어지도록 구성 필요
- 연구단의 총괄운영, 지원 및 홍보를 위한 사무국을 구성하고 연구단 운영관련 중요사항 심의를 위한 운영위원회를 구성함.
- 기초응용 성격의 기술은 기술정립이 필요하므로 연구기관 또는 대학에서 주도하도록 추진함
- 개발 기술의 최종 보유주체가 세부과제 기술의 최종 보유 주체가 되도록 연구기관을 구성하고 핵심기술 개발단계부터 적극 참여하도록 유도함.
- 성능평가는 현장 적용기술로 IT 및 건설 전문기업이 참여하여 연구들 진행
- 과제 수행 중에 테스트베드 등의 구축이 필요하므로 이를 위한 공공기관 등의 참여가 필요함
- 연구추진 시 주관, 협동, 위탁기관 및 참여기업은 실용적인 성과물을 개발하고 이를 현장에서 활용할 수 있도록 연구추진체계를 구성해야 함.
- 연구계획 시부터 달성이 가능한 성과목표 및 성좌지표를 제안·유도하고 연구 진행 중 성과목표의 달성 및 관리방안을 정립하고 주기적인 성과모니터링을 실시하여 단기난 내에 실증적인 연구가 되도록 함.
- 성과물의 성능평가를 위해 기술실시 대상 기업을 명확히 결정하고 대상 기술이 실용화가 가능한 수준으로 성과물이 도출되도록 상시 관리체계를 수립함.
- 본 연구단의 추진체계에 대하여 보다 세부적인 추진계획을 수립하는 것이 필요하며, 향후 본 연구단을 수행하는 총괄 주체가 세부적인 추진체계를 수행할 것으로 기대됨.



[그림 80] 사업추진체계의 구성

25) 연구단 규모 : 50억원 이상~300억원 미만

2. 기술수준 및 성공가능성

가. 기술수준 및 역량분석

(1) 보유기술수준 및 기술개발의 기대수준

○ 동 연구단 관련분야의 보유기술 및 기술수준을 파악하기 위하여 논문/특허 분석을 수행함.

- 국내 논문 동향 분석결과 2000~2015년까지 3D 프린팅 관련 국내 논문을 살펴보면, 총 914건으로 연구 분야로는 기획(28%), 장비/시스템(26%), 상품(20%) 순으로 건수가 전체의 78%를 차지하였고, 건축분야의 논문은 총 5건으로 조사됨.
- 국내에서는 2014년 이후로 3D 프린팅 관련 논문의 수가 급증하여, 다른 연구분야와 달리 장비/시스템 분야는 2007년부터 지속적인 연구가 진행되어 왔음
- 국외 논문 동향 분석결과 2000~2015년까지 3D 프린팅 관련 국외 논문은 총 1885건으로 연구 분야로는 product(66%), material, equipment 순으로 건수가 전체의 90%를 차지하였고, 건축분야의 논문은 총 5건으로 국내와 같음
- 2011년부터 국외 3D 프린팅 관련 논문 건수가 매년 국내 대비 약 2배 이상의 차이를 보이고 있고, 2013년도 이후 논문 건수 급증하여, 다른 연구분야와 달리 'product'가 159건으로 가장 많은 연구가 진행되었음
- 전 세계적으로 3D 프린팅 건축과 관련된 논문은 국내는 2%, 국외는 0.2% 수준이며 연구가 활발히 이루어지고 있는 것에 반해 논문수가 적은 이유는 그동안은 3D 프린팅 요소기술 중심의 논문들이 많았던 것으로 판단됨
- 3D 프린팅 건축 분야에 대한 연구가 전세계적으로 초창기 단계라 향후엔 논문수가 기하급수적으로 증가할 것으로 예상됨
- 특허분석 결과, 1995~2015년까지 3D 프린팅 관련 특허 출원 건수는 총 4,724건으로 미국(2,204건), 한국(1,267건), 일본(995건), 유럽(256건)으로 나타나고, 2013년 기준으로 미국은 한국 대비 약 1.8배 정도 특허 출원 건수가 높음
- 3D 프린팅 관련 특허 출원인 전체 1위인 3D Systems社는 미국, 유럽, 일본 등에서 총 출원 건수가 1위이고, 중국 5위, 한국 6위를 차지했고, 전체 2위인 Stratasys社의 경우 중국 1위, 미국, 유럽 2위를 차지하고 있음
- 각 주요 국가별 특허 출원 현황을 살펴보면, 주로 미국과 이스라엘에 의해 3D 프린팅 기술 개발이 이루어지고 있는데, 특히 시장을 주도하는 주요 출원인은 3D Systems와 Stratasys로 판단됨.
- 국내에서는 한국기계연구원, 한국과학기술원이 내수시장 출원 건수는 높지만, 해외 국가에서는 출원이 현저히 떨어지는 것으로 보임.
- 3D 프린팅 기술은 미국정부 주도의 정책과 투자에 힘입어 미국출원의 증가세가

두드러지며 이는 최근까지 전반적인 출원 증가로 이어지고 있음 미국의 3D SYSTEMS社, STRATASYS社, Z CORP社, MIT 등을 중심으로 기술과 시장을 주도하는 형태를 보이며, 이들 출원인은 자국뿐만 아니라 해외출원도 적극적으로 진행하고 있음.

- 기술단계로 볼 때, 3D 프린팅 기술은 현재 경쟁이 격화된 성장단계의 후기에 근접한 상황인 것으로 사료되며, 이는 어느 레벨까지 기술개발이 완료되었으며 다른 분야로의 확장이 필요한 시점으로 판단됨.
- 최근 3D 프린터를 이용한 건축물 실제 시공이 성공한 사례가 있고 비용과 효율 측면을 비롯하여 향후 전망에서 긍정적인 평가가 있어 이 분야의 시장성은 매우 높은 것으로 예측됨.
- SLS, FDM 방식의 원천특허가 소멸됨에 따라 자율실시가 가능하므로, 기존의 3D 프린팅 기술을 기반으로 건설분야의 특유한 특성(재료, 강도, 규모 등)을 고려한 요소기술에 대한 기술개발과 지적재산권 확보를 통해 기술선점이 매우 필요함.

(2) 기술개발 역량 및 잠재력

○ 기술개발을 위한 전문인력 보유 정도, 기술 구축정도, 연구 시설 및 설비, 등에 대하여 국내와 선진국과의 인프라 수준을 비교 분석한 결과, 향후 본 과제를 추진 시 산학연 공동연구가 필요할 것으로 판단됨.

- 건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술과 관련하여 기술수준 및 역량을 분석 시, 관련분야 전문가는 확보된 상황이나, 연구소 및 기업에 핵심인력이 존재하고 대학 등에는 전문 인력이 부족한 상황이므로 정부 민간 공동연구가 필요한 상황임
- 선진국 대비 국내연구 인프라 수준을 비교 시, 기술이전 및 거래, 국제기술협력 기반 및 업계현황은 다소 부족한 상황임.

나. 기술개발의 성공가능성

(1) 기술적 위험요인

○ 본 연구단의 세세부과제 수준으로 연구개발 수행 중 발생할 수 있는 기술적 위험요인, 기술확보 위험요인을 분석하고 이에 따른 대응방안을 수립하였음.

- 현 건축물 대상 3D 프린팅 기술의 문제점을 명확히 파악하고 이를 해결할 수 있는 기술적/제도적 요인별로 구분하여 제시하였음.
- 핵심과제(세세부과제) 15개를 도출하고 과제별로 세부기술을 구체적으로 제시하였음
- 국내의 3D 프린팅 장비 기술, 3D 설계기술, 재료 관련 전문인력 및 산업체 기술을 적극 활용하여 기술을 확보함.
- 해외에서 수행중인 관련 기술 일부를 활용하고 기술자문그룹 및 성능 검증 운영을 통하여 기술개발 성공가능성을 높임.

- 핵심기술 위주의 개발 전략 수립을 통하여 기존 관련기술과의 연계 시너지 극대화 전략을 수립함.
- 상용화를 위해 요구되는 기술을 상세히 세분화하고 참여기관 연구역량을 고려하여 연구개발 업무를 분담함.

(2) 기술개발 성공가능성

○ 건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 관련 분야의 국내 기술수준, 연구역량 및 위험요인에 대한 대응방안 수립을 종합적으로 고려할 때, 본 연구단에서 수행하는 기술개발은 성공가능성이 높을 것으로 판단됨.

- 세세부과제별 성공여부를 결정하는 핵심요소기술의 성공가능성을 분석한 결과, 건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 중 3D 프린팅 재료 및 마켓 중심으로 개발이 수행된다면 본 과제 추진시 기술개발의 성공가능성이 높을 것으로 기대됨.
- 논문/특허 분석결과 우리나라의 기술개발 수준은 높지 않은 편이나, 세계 최고수준의 국내 IT 기술력 및 R&D 연구역량을 고려하고 기 개발된 국외의 사례 및 연구 실적을 연계/활용한다면 기술개발 성공가능성이 높을 것으로 판단됨.
- 관련 연구인력 부족은 국내외 산학연 협력 및 공동연구 수행으로 극복할 수 있을 것이며 관련 법제도 개선과 관련하여 정부의 적극적인 지원이 이루어진다면 기술개발 및 파일럿 제작의 성공가능성을 높일 수 있을 것으로 기대됨.

3. 기존 사업과의 중복성

○ 본 연구단에서 추진하는 과제는 2단계의 기획과정을 거쳐 추진하였으며, 기획과정과 1차례의 기획타당성 평가를 통해 기존 연구와의 중복성을 검토하였음.

- 본 연구에 대한 중복성 조사는 1차적으로 NTIS 자료 및 각 부처 R&D 계획 자료를 이용하여 중복가능성이 있는 사업과 과제들을 스크리닝 하였음.
- 각 단계별로 전문가 워크샵을 추진하여, 1차 스크리닝 결과에 대해 검토를 하였으며, 착수보고 및 1차례의 기획타당성 평가시 제기된 중복과제에 대해 면밀한 검토를 하였음.
- 중복성 검토는 세부과제별로 기존과제 연구성과 활용을 통한 시간단축 및 시행착오 최소화를 위한 연계가능 방안, 기존과제 연구성과의 성능 및 수준향상을 통한 성과의 고도화 방안으로 구분하여 분석함.

○ 분석결과, 3D 프린팅 요소기술과 의료 및 제조분야 적용에 대한 연구들은 많았으나, 건축에 적용 가능한 3D 프린팅 기술과 관련된 연구는 1건으로 조사됨.

- 국토교통과학기술진흥원에서 ‘14 ~ ‘16년까지 2년동안 추진중인 “건축물 신속조형을 위한 3D 프린터 핵심부품 및 프린팅 알고리즘의 원천기술 개발” 과제는 프린터 일부 및 이를 제어하는 알고리즘을 개발하는 과제로 본 기획과제의 결과물인 건축물 3D 프린팅 Product, Market, Equipment 등과는 차별됨.

제3절 경제적 타당성

1. 경제성 분석 방법

○ 비용/편익 분석(Benefit/Cost Analysis)

- B/C ratio는 분석 대상에 비용규모 대비 혜택규모의 비율로 1보다 높으면 경제성이 높은 것으로 판단할 수 있음.

○ 분석대상

- “건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 연구단”의 3D 프린터 건축시장에 대해 분석하였으며, 총괄적인 비용/혜택 분석 결과를 도출함.

○ 편익범위

- 본 연구단의 기술개발에 의한 편익은 미래 시장규모 추정이 가능한 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치 증대이므로 시장접근법을 사용함.
- 본 연구단의 연구기간을 2016년~2022년으로 가정하고, 파일럿 제작 및 성능평가 기간을 3~4년으로 볼 때 본 연구단의 결과물이 시장에 반영되는 시기는 2026년 이후라 볼 수 있음.
- 2026년~2035년(10년간) 3D 프린터 건축시장을 예측하여 반영하였음.

○ 비용의 설정

- 각 세부과제의 향후 7년간 예산(안)으로 정부출연금과 민간참여금의 합한 금액으로 산정함.

○ Benefit 산출을 위한 요소

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

Benefit = (국내시장규모×시장점유율×기술성공률×기술기여도)×(부가가치비중×R&D기여도)

(연구개발사업 추진으로 인한 추가창출 생산액 기댓값) *(부가가치창출비율)*

- 추가창출시장규모 : 기술개발과제 추진을 통한 연구결과물이 파급되는 산업의 시장 규모
- 시장 점유율 : 해당 산업의 관련 국내 시장에서의 점유비율
- 기술개발성공률 : 2010년 산업기술연구회 등에 대한 국정감사 결과에 의하면 정부 연구개발(R&D)성과의 사업화 성공률이 30% 수준으로 조사되었으며, 이를 준용하여 적용함
- 부가가치 비중 : 부가가치 비중은 한국은행의 2009년 산업연관표를 기준으로 건설업종의 40.1%를 적용함
- R&D 기여도 : 본 연구 과제를 통해 달성된 기술 개선 비중[26)]

- 기술기여도 : 제품/공법에서 기술이 차지하는 비중[27)]
- 할인율 : 할인율은 5년 만기 국고채금리인 2.2%(2015, 5,12 기준)를 적용함

2. 경제성 분석 결과

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

○ 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치와 R&D 예산을 고려한, 본 연구단의 경제성 분석 결과는 B/C ratio가 2.9로 나타나, 본 사업의 경제성 측면에서 긍정적으로 판단됨

- 연도별 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치 및 R&D 예산을 고려한 금액 및 B/C ratio 산출식의 산정 결과는 다음과 같음
  - 편익 = 시장규모의 현재가치(국내 + 국외NPV = 373,451억원)×기술개발성공률(30%)×부가가치 비중(40.1%)×R&D기여도(10.9%)×기술기여도(25%)
  - 비용(422억원) = 연도별 소요 예산의 현재가치(연구비 NPV)
  - 편익/비용 = 2.9

[표 59] 건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 연구단 B/C분석 결과

(단위:억원)

구분	Benefit						Cost
	국내			해외			
연도	시장전망	시장점유율	Market Penetration	시장전망	시장점유율	Market Penetration	연구비
2016	-	-	-	-	-	-	12.3
2017	-	-	-	-	-	-	85.7
2018	-	-	-	-	-	-	60.3
2019	-	-	-	-	-	-	65.7
2020	-	-	-	-	-	-	75.0
2021	-	-	-	-	-	-	82.5

26) KISTEP에서 작성된 “09 R&D분야 예비타당성 조사 수행을 위한 지침연구”의 R&D사업의 효과분석 사례에서는 R&D기여도를 10.9% 혹은 30.6%로 적용하였음. 본 분석에서는 10.9% 적용함

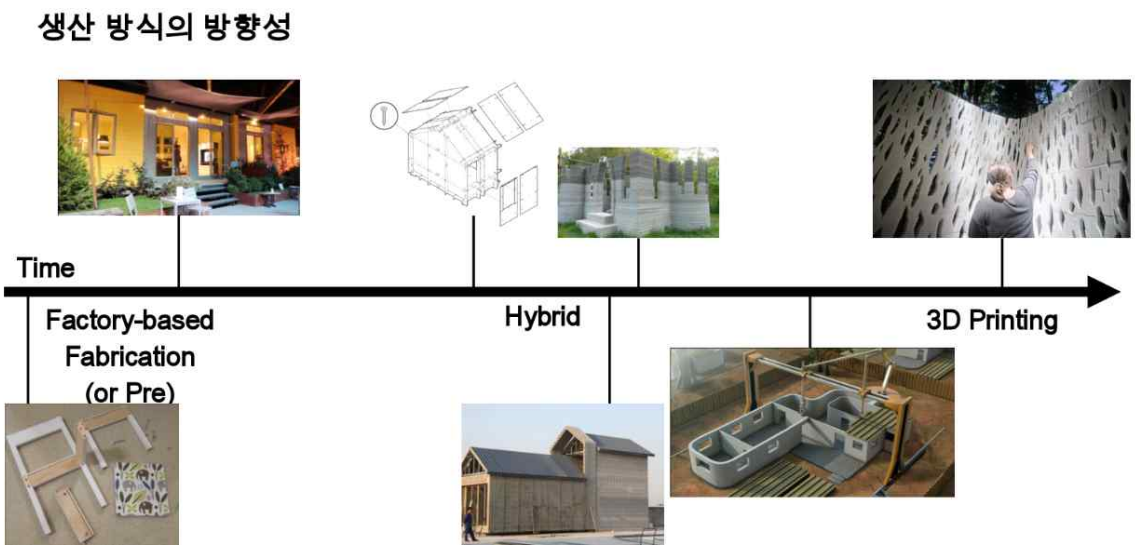
27)기술가치 평가과정에서 기술기여도 적용방법은 전문가의 주관적 판단에 의하거나 관행적으로 적용하는 방법이 있음. 전문가 판단법의 일종인 AHP를 적용하여 기술기여도를 산정한 이영찬(2006)의 연구에서는 사업가치 구성요소를 기술자산, 시장자산, 인적자산으로 구분하고 이중 기술자산의 상대적 중요도(기술기여도)를 29.7%로 산출한바 있음. 기술기여도를 일률적으로 적용하는 방법은 일반적으로 33%나 25%를 적용함. 본 분석에서는 25%적용함

2022	-	-	-	-	-	-	82.5
2023	-	-	-	-	-	-	-
2024	-	-	-	-	-	-	-
2025	-	-	-	-	-	-	-
2026	2,391	50%	1,195	**108,669**	1.0%	1,087	-
2027	3,483	55%	1,916	**158,331**	1.0%	1,583	-
2028	5,075	60%	3,045	**230,688**	1.0%	2,307	-
2029	7,394	65%	4,806	**336,112**	2.0%	6,722	-
2030	10,774	70%	7,542	489,715	2.0%	9,794	-
2031	15,697	75%	11,773	713,515	3.0%	21,405	-
2032	22,871	78%	17,839	1,039,591	3.0%	31,188	-
2033	33,323	80%	26,658	1,514,684	4.0%	60,587	-
2034	48,552	82%	39,812	2,206,894	4.0%	88,276	-
2035	70,740	85%	60,129	3,215,445	5.0%	160,772	-
NPV	-	-	117,589	-	-	255,863	422
B/C	-	-	-	-	-	-	**2.9**

○ 동 기술이 3D 프린팅 건설시장에 적극 활용될 경우, B/C분석 값은 더욱 높아질 것으로 예상됨

제4절 기술개발 필요성

- ○ 건축물 3D 프린팅 기술개발은 장비, 소재를 중심으로 이와 관련한 연구가 유럽, 미국, 중국을 중심으로 활발히 진행되고 있으며, 신시장 진입의 여명기로서 시장 선점자가 없는 상황임.
- ○ 따라서 건축물 관련 3D 프린팅 산업은, First Mover와 Fast Follower가 혼재되어 있는 상황이며, 이것은 3D 프린팅의 산출물의 특성과 건설현장에 소요되는 부품의 특성의 차이에 따른 시장의 불확실성에 근거하고 있음.
- ○ 본 기획은 건축물 3D 프린팅의 규모와 그에 따른 생산방식 및 조달방식이 기획의 기본철학이 되며, 이를 바탕으로 장비, 재료, 설계, 엔지니어링, 시스템, 법·제도 연구에 대한 기획이 이루어져야함.
- ○ 3D 프린팅으로 생산하는 제품의 규모에 따른 생산방식 및 조달방식의 포지셔닝 및 유연화된 시장창출 패스를 구축하게 되면 글로벌 신시장 창출이 가능하며 시장선도형 기술로서 자리매김 하리라 판단됨.
- ○ ①제품의 규모에 따른 생산방식 및 조달방식 확정 ②연구기간 및 단계별 생산제품 및 생산방식을 바탕으로 한 시장창출 패스 구축 ③각 규모별, 단계별 장비, 재료, 설계, 엔지니어링, 법제도와 관련한 연구수행 ④테스트베드 적용 및 검증 ⑤상용화 및 상품화의 단계를 거치게 되면, 기존의 장비제조에 있어서 Fast Follower의 역할에서 탈피하여 건축분야에서는 First Mover의 역할이 가능하다고 판단됨.
- ○ 건축물 3D 프린팅 산업의 Target Market & Killer Items의 발굴 및 이에 따른 기술개발이 절실하고 긴급을 요함.



[그림 81] 건축물 3D 프린팅 기술의 생산방식 전개 방향

제5절 정부지원 타당성

○ 3D 프린팅 건설과 관련된 국민의 사고전환, 새로운 시장 창출 및 건설시장의 패러다임 변화를 위해 정부 차원의 3D 프린팅 건설 기술을 선도 필요함.

- 건축 규모를 극복하는 건축물 3D 프린팅 기술개발이 성공하면 침체된 건설경기 활성화, 신시장 창출, 청년창업・창직의 영역이 대폭적으로 확대될 것임.
- ICT 융합기술인 결정체인 건축물 3D 프린팅 기술은 다양한 어플리케이션개발을 통해 청년들의 진입 장벽이 매우 낮아지므로 청년창업・창직에 매우 유리하여 청년실업해소에 크게 기여하리라 판단됨.
- 건축물 3D 프린팅 기술개발은 고전적 건설산업 체재의 변화 유도가 가능하며 이른바 IT융합건설의 대표적인 산출물이 될 것임.
- 정부주도하의 성공적인 건설자동화 장비 개발을 통해 건설자동화 기술개발 및 투자가 미흡한 국내 민간 건설산업에 건설자동화 기술의 도입 및 로봇 기술개발 등의 분야에 긍정적인 파급효과를 미칠 수 있을 것으로 기대됨.
- 민간 기업에게도 국내 건설환경에 적합한 자동화 기술개발 분야를 도출하고, 해당 분야에 대한 자체 기술개발을 촉진토록 함으로써 향후 급변하는 해외건설 시장에 능동적으로 대처할 수 있는 기반 환경을 제공할 것임.

○ 전 세계적으로 시장 진입 초기단계의 3D 프린팅 건설 시장 선점 필요

- 산업분야별 3D 프린터 활용 현황에 의하면 건축은 전산업분야 중 3.9%를 차지하고 있으며, 현재 시점에서 다품종 소량생산 방식의 기존 타산업 분야와 비교해서 활용도는 작다고 할 수 있으나 성장의 가능성은 크다고 판단됨.
- 건축용 3D 프린팅 시장은 시장형성 시기이며, 각국은 시장형성을 위한 건축용 3D 프린터 장비, 재료 등의 개발에 주력하고 있음.
- 중국의 경우 3D 프린팅 건설분야 선점을 위해 정부에서 건축 관련 규제를 완화하고 해외 수출을 적극적으로 지원하고 있으며 이에 따라 중국의 Winsun사와 같은 회사가 3D 프린팅 건설에 대한 기술력을 확보하는 계기가 됨.
- 현재 건축분야의 3D 프린터 활용은 매우 미미한 실정이나 최근 3D 프린팅 실증주택 건설 등이 진행되고 있으며 재료비용은 지속적으로 낮아질 것으로 예상되는 바 3D 프린팅 건설 시장으로 확대될 가능성이 매우 높음.
- 건설자동화 분야는 지금까지 외국기술에 의존할 수밖에 없었으며 이에 따라 기술의 도입 및 기술료 지불로 인하여 건설자동화의 진전에 따른 막대한 외화의 유출이 예상되고 있음.
- 또한 외국 기술의 폐쇄성으로 인하여 이들로부터의 기술이전은 아직 제대로 이행되지 못하고 있는 실정임. 이러한 한정적인 기술 수행으로는 다양한 기술능력 획득에 장애가 되어 장기적인 건설기술경쟁력이 취약해질 수밖에 없음.

- 3D 프린팅 건설 과 같은 자동화 된 건설 장비의 개발은 미래 건설산업의 비전, 성장 동력, 건설기술력 향상을 위해 산·학·연·관이 협업하여 전략적으로 육성해야 할 필수적인 연구개발 (R&D) 분야임.
- 국내의 정보화 및 자동화 기술개발 수준과 그 발전 속도를 고려해 볼 때, 추후 미국, 일본 등 선진외국에 비해 보다 진보되고 동시에 경제성 확보가 가능한 자동화 기술의 구현이 가능할 것으로 기대됨. 건설자동화 기술개발을 통해 국내 건설산업에 있어 새로운 시장의 창출 또한 가능할 것으로 판단됨.

[표 60] 산업분야별 3D 프린터 활용 현황

산업 분야	비중(%)	주요활동
소비재/ 전자제품	21.8	▪ 개인 맞춤형 제품 제작으로 소비자의 구매욕구 자극 ▪ 기존의 부식/절삭 방법이 아닌 적층방식으로 정밀한 회로 제작비용 절감
자동차	18.6	▪ 시제품 제작비용 및 기간 단축을 통한 최종 시작품 생산 빠른 대응 ▪ 단종된 부품도 바로 제작 가능
의료/치과	16.5	▪ CT로 스캔한 데이터로 중앙을 재현하여 충분한 연습을 통해 수술 성공 가능성 제고 ▪ 인공 혈관, 인공 장기, 맞춤형 조직을 개발 • 생산 시도 확산
산업기계/ 사무기기	13.4	▪ 복잡한 형상 • 극미소 부품 제작 용이 ▪ 주변 환경 맞춤형 사무기기 제작 ▪ 회의 • 컨퍼런스 개최 준비물의 자체 제작
항공우주	10.2	▪ 복잡한 형태의 모듈을 단일 구조로 제작하여 조립기간과 유지보수 비용 절감 ▪ 분말 및 액체 형태의 식료품을 이용한 우주식품 개발 ▪ 우주 공간에서의 부품 생산 및 조달
교육/연구	6.8	▪ 수업의 특성에 맞는 실험 장비 및 저렴한 비용으로 교육 보조재 제작 ▪ 가정에서 교육 컨텐츠를 스스로 생산하여 활용
정부/국방	5.2	▪ 항공기 부품 등 군수 물자 적시 보급 확대, 재고 비용 및 생산 비용 감소 ▪ 3D 프린터를 활용한 무기 생산
건축	**3.9**	**▪ 건설 현장에서 건축자재를 생산함으로서 운송비용 감소 및 공사기간 단축 ▪ 다양한 디자인의 건축 모형 구현**
기타	3.6	▪ 예술, 엔터테인먼트 분야 등

○ 3D프린팅 건설을 통한 정부차원의 건설산업의 인력 부족현상 해결 및 건설재해 감소

- 우리나라의 노동 생산성은 1970년대부터 1990년대까지 산업전반에 걸쳐 상위의 위치를 유지해 오고 있지만, 전반적으로 타 국가들과의 격차가 좁혀지지 않는 양상이 나타나고 있으며 그 대표적인 분야 중 하나가 바로 건설산업 임.
- 건설산업의 생산성은 주로 개인의 숙련도에 의존하고 있기 때문에 향상속도가 더딜 뿐 아니라 최근 국내 건설산업은 수요자의 요구가 다양화되면서 시설물이 첨단화, 복잡 및 고급화되어 가는 추세이며 이에 대한 기술력의 확보가 경쟁력의 관건이 되고 있음.

- 또한 건설시장의 개방으로 기술력을 바탕으로 한 고부가가치 창출이 건설산업의 경쟁력 확보를 위한 지상 목표라 할 수 있으나 전통적으로 3D업종으로 인식되어온 건설산업은 최근 젊은 기능 인력의 건설현장 기피 현상이 심화되면서 숙련된 기능 인력의 확보가 더욱 힘들어지고 있어 건설 기능인력 수급의 불균형이 심각한 문제로 대두되고 있음
- 숙련공 부족 현상 등으로 인한 노무 생산성 저하, 임금상승으로 인한 채산성 악화, 품질의 균일성 및 안전성 확보의 어려움 및 시공 기술 경쟁력의 약화는 국내 건설산업이 해결해야 할 필수적인 당면과제이며, 건설로봇의 개발은 그러한 당면과제의 해결을 위한 최선의 기술적 접근 방법임.
- 무인시공이 가능한 건설자동화 및 로봇 시스템의 개발을 통해 현재 노무인력의 고령화 및 공급 부족을 해결할 수 있는 기반을 마련하게 될 것임. 또한 첨단 시공 기술력 확보와 로봇개발을 통한 건설산업 이미지 개선을 통해 젊고 유능한 기술 인력 유입을 유도함으로써 기능공 부족현상을 대비할 수 있음.
- 무인시공 현장 구현을 통한 생산성을 향상시키고 노무 인력 비용 절감을 통한 건설업계의 채산성을 향상시킬 수 있을 것임. 또한 현장의 공장화 및 시스템화를 통한 3D산업의 부정적 이미지를 탈피하고, 위험 작업환경 내에서 로봇 기술을 활용하여 노무자의 안전성을 확보함으로써 건설재해를 획기적으로 감소시킬 수 있을 것으로 기대됨.
- 이를 통해 건설재해 감소에 따른 노무자 사기 저하 및 이를 통한 잠재적 손실을 사전에 예방할 수 있을 것임.

○ 불투명한 시장성 및 요소기술 개발의 어려움 등으로 인해 민간보다는 정부 주도로 3D 프린팅 건설시장 및 법제 개선 등의 선도가 필요함.

- 건축물 3D 프린팅 기술개발을 통한 글로벌 건설시장 선점을 위한 연구기획은 건축 3D 프린팅 장비, 재료, 설계, 엔지니어링, 서비스, 법제도를 규모, 생산방식, 조달방식에 따른 위계와 연계가 분명한 기획이어야 함. 또한 기획의 결과에 따른 연구개발 구성 규모는 시장이 불투명한 상태에서 일반 기업의 참여가 주도적 참여가 어려운 것이 현실임.
- 3D 프린팅 장비, 재료 등의 요소기술 개발 등을 위해 막대한 비용이 소요되는 바 민간보다는 공공에서 관련 연구를 주도하고 민간으로 기술 이전이 효과적임.
- 따라서, 정부정책에 입각하여 중장기 계획 수립, 요소기술 개발, 관련 법제도 개선 등 정부지원이 절실한 분야이며, 그리고 정부지원 결과는 노동 집약적인 저부가가치 건설산업을 기술집약적 고부가가치 산업으로의 패러다임 전환을 기대할 수 있음.

○ 3D 프린팅 건설과 관련된 첨단 건설자동화 기술 개발확보에 따른 국가 이미지 제고에 기여함.

- 최근 미국의 NASA 및 일본 시미즈 건설사 등에서 3D 프린팅 기술을 건설에 접목해 우주 및 심해에 건축물을 짓는 프로젝트를 구상중이며 이러한 기술은 최신 미래기술의 보유국 이미지 및 기술 선도국이라는 이미지를 갖게 함.
- 건축물 3D 프린팅 기술개발 결과로 인한 글로벌시장 선점은 경제적 효과뿐만 아니라 미래 기술 보유국의 이미지, 건설산업의 국제적 위상 강화, 관련 핵심 기술의 자립화 및 기술 수출을 통해 국가이미지 제고에 기여가 가능할 것으로 판단됨.

제 5 장 인력투입계획 및 소요예산 산정

제1절 연구일정에 따른 인력투입계획

1. 전체사업 인력투입계획

가. 연차별 투입 연구인력

전체 소요인력

(단위 : 명)

분류	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	합계
총괄	52	52	52	52	62	62	62	386
1세부과제	15	15	15	15	15	15	15	105
2세부과제	15	15	15	15	15	15	15	105
3세부과제	16	16	16	16	16	16	16	104
4세부과제	6	6	6	6	16	16	16	72

나. 상세 투입연구인력

분류	총 개발인력(명)								비고
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	합계	
책임연구원	12	12	12	12	12	12	12	84	
연구원	12	12	12	12	12	12	8	80	
연구보조원	12	12	12	12	14	14	14	90	
보조원	16	16	16	16	24	24	20	132	

2. 세부과제별 인력투입

가. 1세부과제 : 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발

분류		총 개발인력(명)								비고
		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	합계	
계	책임연구원	3	3	3	3	3	3	3	21	
	연구원	3	3	3	3	3	3	3	21	
	연구보조원	3	3	3	3	3	3	3	21	
	보조원	6	6	6	6	6	6	6	42	
1-1 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구보조원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	보조원	2	2	2	2	2	2	2	14	
1-2 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구보조원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	보조원	2	2	2	2	2	2	2	14	
1-3 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구보조원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	보조원	2	2	2	2	2	2	2	14	

나. 2세부과제 : 단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발

분류		총 개발인력(명)								비고
		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	합계	
계	책임연구원	3	3	3	3	3	3	3	21	
	연구원	3	3	3	3	3	3	3	21	
	연구보조원	3	3	3	3	3	3	3	21	
	보조원	6	6	6	6	6	6	6	42	
2-1 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구보조원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	보조원	2	2	2	2	2	2	2	14	
2-2 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구보조원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	보조원	2	2	2	2	2	2	2	14	
2-3 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구보조원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	보조원	2	2	2	2	2	2	2	14	

다. 3세부과제 : 단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발

분류		총 개발인력(명)								비고
		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	합계	
계	책임연구원	4	4	4	4	4	4	4	28	
	연구원	4	4	4	4	4	4	-	24	
	연구보조원	4	4	4	4	4	4	4	28	
	보조원	4	4	4	4	4	4	-	24	
3-1 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구원	1	1	1	1	1	1	-	6	
	연구보조원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	보조원	1	1	1	1	1	1	-	6	
3-2 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구원	1	1	1	1	1	1	-	6	
	연구보조원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	보조원	1	1	1	1	1	1	-	6	
3-3 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구원	1	1	1	1	1	1	-	6	
	연구보조원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	보조원	1	1	1	1	1	1	-	6	
3-4 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	연구원	1	1	1	1	1	1	-	6	
	연구보조원	1	1	1	1	1	1	1	7	
	보조원	1	1	1	1	1	1	-	6	

라. 4세부과제 : 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발

분류		총 개발인력(명)								비고
		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	합계	
계	책임연구원	2	2	2	2	2	2	2	14	
	연구원	2	2	2	2	2	2	2	14	
	연구보조원	2	2	2	2	4	4	4	20	
	보조원	-	-	-	-	8	8	8	24	
4-1 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	1	1	1	
	연구원	1	1	1	1	1	1	1	1	
	연구보조원	1	1	1	1	2	2	2	2	
	보조원	-	-	-	-	4	4	4	4	
4-2 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	1	1	1	
	연구원	1	1	1	1	1	1	1	1	
	연구보조원	1	1	1	1	2	2	2	2	
	보조원	-	-	-	-	4	4	4	4	

제2절 소요예산 산정

1. 예산 산정방법

- ○ 세부과제를 수행하는데 소요되는 적정 비용을 산정하고, 이를 토대로 중점추진분야의 연구비를 산정하여 총 사업예산 규모를 확정함.
- ○ 인건비는 ‘2015년 학술연구용역 인건비기준단가’를 기준으로 작성함.
- ○ 항목별 예산은 ‘국토교통부소관 연구개발사업 운영규정’의 별표 2 연구개발비 비목별 계상기순‘을 작성기준으로 활용함.

2. 전체사업 소요예산

- ○ 본 연구개발과제의 최종목표 달성을 위해 필요로 하는 세부과제 연구개발 내용을 수행하기 위해 소요되는 연구개발예산을 추정하여 전체 연구개발 기간 내에서 연도별로 제시하고 기업체 참여가 가능한 과제의 경우 예상 기업부담금을 제시함.

(단위 : 천원)

구분	1차년		2차년		3차년		4차년		5차년		6차년		7차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄	919,996	306,665	6,428,428	2,142,809	4,524,664	1,508,221	4,926,895	1,642,298	5,624,456	1,874,819	6,187,324	2,062,441	6,188,206	2,062,735	34,799,970	11,599,990
1세부	399,999	133,333	1,828,769	609,590	536,129	178,710	435,099	145,033	666,699	222,233	747,079	249,026	1,186,219	395,406	5,799,992	1,933,331
1-1	371,999	124,000	1,700,755	566,918	498,600	166,200	404,642	134,881	620,030	206,677	694,783	231,594	1,103,183	367,728	5,393,992	1,797,997
1-2	12,000	4,000	54,863	18,288	16,084	5,361	13,053	4,351	20,001	6,667	22,412	7,471	35,587	11,862	174,000	58,000
1-3	16,000	5,333	73,151	24,384	21,445	7,148	17,404	5,801	26,668	8,889	29,883	9,961	47,449	15,816	232,000	77,333
2세부	279,999	93,333	2,744,699	914,900	2,361,899	787,300	1,653,399	551,133	2,800,499	933,500	2,669,498	889,833	1,629,999	543,333	14,139,992	4,713,331
2-1	150,079	50,026	1,471,159	490,386	1,265,978	421,993	886,222	295,407	1,501,067	500,356	1,430,851	476,950	873,679	291,226	7,579,035	2,526,345
2-2	21,560	7,187	211,342	70,447	181,866	60,622	127,312	42,437	215,638	71,879	205,551	68,517	125,510	41,837	1,088,779	362,926
2-3	108,359	36,120	1,062,199	354,066	914,055	304,685	639,865	213,288	1,083,793	361,264	1,033,096	344,365	630,810	210,270	5,472,177	1,824,059
3세부	239,999	80,000	1,279,999	426,666	1,024,999	341,666	1,514,999	505,000	1,829,249	609,750	2,170,748	723,583	1,399,999	466,666	9,459,992	3,153,331
3-1	66,960	22,320	357,120	119,040	285,975	95,325	422,685	140,895	510,360	170,120	605,639	201,880	390,600	130,200	2,639,338	879,779
3-2	42,000	14,000	224,000	74,667	179,375	59,792	265,125	88,375	320,119	106,706	379,881	126,627	245,000	81,667	1,655,499	551,833
3-3	131,040	43,680	698,879	232,960	559,649	186,550	827,189	275,730	998,770	332,923	1,185,228	395,076	764,400	254,800	5,165,156	1,721,719
4세부	-	-	574,961	191,654	601,637	200,546	1,323,399	441,133	328,009	109,336	599,999	200,000	1,971,989	657,330	5,399,995	1,799,998
4-1	-	-	264,482	88,161	276,753	92,251	608,763	202,921	150,884	50,295	275,999	92,000	907,115	302,372	2,483,998	827,999
4-2	-	-	310,479	103,493	324,884	108,295	714,635	238,212	177,125	59,042	323,999	108,000	1,064,874	354,958	2,915,997	971,999

가. 예산 항목별 소요예산

○ 인건비는 ‘2015년 학술연구용역 인건비기준단가’를 기준으로 작성함.

○ 항목별 예산은 ‘국토교통부소관 연구개발사업 운영규정’의 ‘별표2 연구개발비 비목별 계상기준’을 작성기준으로 활용함.

(단위 : 천원)

예산항목	세부항목	예산항목									비율(%)
		단가(연봉)	연평균 인원/참여율	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	소계	
인건비	책임연구원	36,696	4.15	73,400	88,080	88,080	88,080	88,080	95,420	88,080	609,220	2%
	연구원	28,138	4.15	56,300	67,560	67,560	67,560	67,560	73,190	67,560	467,290	1%
	연구보조 (박사과정)	18,809	6.4	37,600	86,480	86,480	60,160	67,680	86,480	56,400	481,280	1%
	보조 (석사과정)	14,108	5.8	36,660	56,400	67,680	39,480	36,660	50,760	39,480	327,120	1%
	소 계			203,960	298,520	309,800	255,280	259,980	305,850	251,520	1,884,910	5%
직접비	연구장비재료비			355,190	4,891,526	3,252,475	3,653,765	4,245,018	4,677,724	4,735,775	25,811,473	74%
	연구활동비			108,000	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000	972,000	3%
	연구과제추진비			108,015	144,008	144,013	144,012	144,008	144,007	144,012	972,075	3%
	연구수당			40,792	59,704	61,960	51,056	51,996	61,170	50,304	376,982	1%
	소 계			611,997	5,239,238	3,602,448	3,992,833	4,585,022	5,026,901	5,074,091	28,132,530	81%
간접비				104,039	890,670	612,416	678,782	779,454	854,573	862,595	4,782,530	14%
합 계				919,996	6,428,428	4,524,664	4,926,895	5,624,456	6,187,324	6,188,206	34,799,970	100%

3. 세부과제별 소요예산

가. 1세부과제 : 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발

(단위 : 천원)

예산항목	세부항목	예산항목										비율(%)
		단가(연봉)	연평균 인원/참여율	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	소계	
인건비	책임연구원	36,696	1.05	22,020	22,020	22,020	22,020	22,020	22,020	22,020	154,140	3%
	연구원	28,138	1.05	16,890	16,890	16,890	16,890	16,890	16,890	16,890	118,230	2%
	연구보조 (박사과정)	18,809	1.65	11,280	22,560	22,560	11,280	22,560	22,560	11,280	124,080	2%
	보조 (석사과정)	14,108	1.5	8,460	16,920	16,920	8,460	8,460	16,920	8,460	84,600	1%
	소 계			58,650	78,390	78,390	58,650	69,930	78,390	58,650	481,050	8%
직접비	연구장비재료비			208,020	1,408,370	303,550	238,020	424,073	483,849	880,000	3,945,882	68%
	연구활동비			36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	252,000	4%
	연구과제추진비			36,001	36,002	36,002	36,001	36,000	36,002	36,004	252,012	4%
	연구수당			11,730	15,678	15,678	11,730	13,986	15,678	11,730	96,210	2%
	소 계			291,751	1,496,050	391,230	321,751	510,059	571,529	963,734	4,546,104	78%
간접비				49,598	254,329	66,509	54,698	86,710	97,160	163,835	772,838	13%
합 계				399,999	1,828,769	536,129	435,099	666,699	747,079	1,186,219	5,799,992	100%

나. 2세부과제 : 단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발

(단위 : 천원)

예산항목	세부항목	예산항목									비율(%)
		단가(연봉)	연평균 인원/참여율	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	소계	
인건비	책임연구원	36,696	1.05	22,020	22,020	22,020	22,020	22,020	22,020	22,020	154,140	1%
	연구원	28,138	1.05	16,890	16,890	16,890	16,890	16,890	16,890	16,890	118,230	1%
	연구보조 (박사과정)	18,809	1.8	11,280	22,560	22,560	22,560	18,800	18,800	18,800	135,360	1%
	보조 (석사과정)	14,108	1.5	16,920	16,920	16,920	8,460	8,460	8,460	8,460	84,600	1%
	소 계			67,110	78,390	78,390	69,930	66,170	66,170	66,170	492,330	3%
직접비	연구장비재료비			96,530	2,191,215	1,864,035	1,267,405	2,251,795	2,139,830	1,251,370	11,062,180	78%
	연구활동비			36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	252,000	2%
	연구과제추진비			36,004	36,004	36,004	36,001	36,004	36,003	36,002	252,022	2%
	연구수당			13,422	15,678	15,678	13,986	13,234	13,234	13,234	98,466	1%
	소 계			181,956	2,278,897	1,951,717	1,353,392	2,337,033	2,225,067	1,336,606	11,664,668	82%
간접비				30,933	387,412	331,792	230,077	397,296	378,261	227,223	1,982,994	14%
합 계				279,999	2,744,699	2,361,899	1,653,399	2,800,499	2,669,498	1,629,999	14,139,992	100%

다. 3세부과제 : 단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발

(단위 : 천원)

예산항목	세부항목	예산항목									비율(%)
		단가(연봉)	연평균 인원/참여율	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	소계	
인건비	책임연구원	36,696	1.40	29,360	29,360	29,360	29,360	29,360	29,360	29,360	205,520	2%
	연구원	28,138	1.40	22,520	22,520	22,520	22,520	22,520	22,520	22,520	157,640	2%
	연구보조 (박사과정)	18,809	2.00	15,040	30,080	30,080	15,040	15,040	30,080	15,040	150,400	2%
	보조 (석사과정)	14,108	1.60	11,280	11,280	22,560	11,280	11,280	11,280	11,280	90,240	1%
	소 계			78,200	93,240	104,520	78,200	78,200	93,240	78,200	603,800	6%
직접비	연구장비재료비			50,640	923,676	693,825	1,140,390	1,408,980	1,685,000	1,042,100	6,944,611	73%
	연구활동비			36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	252,000	3%
	연구과제추진비			36,010	36,000	36,005	36,003	36,003	36,000	36,003	252,024	3%
	연구수당			15,640	18,648	20,904	15,640	15,640	18,648	15,640	120,760	1%
	소 계			138,290	1,014,324	786,734	1,228,033	1,496,623	1,775,648	1,129,743	7,569,395	80%
간접비				23,509	172,435	133,745	208,766	254,426	301,860	192,056	1,286,797	14%
합 계				239,999	1,279,999	1,024,999	1,514,999	1,829,249	2,170,748	1,399,999	9,459,992	100%

라. 4세부과제 : 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발

(단위 : 천원)

예산항목	세부항목	예산항목										비율(%)
		단가(연봉)	연평균 인원/참여율	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	소계	
인건비	책임연구원	36,696	0.65	-	14,680	14,680	14,680	14,680	22,020	14,680	95,420	2%
	연구원	28,138	0.65	-	11,260	11,260	11,260	11,260	16,890	11,260	73,190	1%
	연구보조 (박사과정)	18,809	0.95	-	11,280	11,280	11,280	11,280	15,040	11,280	71,440	1%
	보조 (석사과정)	14,108	1.20	-	11,280	11,280	11,280	8,460	14,100	11,280	67,680	1%
	소 계			-	48,500	48,500	48,500	45,680	68,050	48,500	307,730	6%
직접비	연구장비재료비			-	368,265	391,065	1,007,950	160,170	369,045	1,562,305	3,858,800	71%
	연구활동비			-	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	216,000	4%
	연구과제추진비			-	36,002	36,002	36,007	36,001	36,002	36,003	216,017	4%
	연구수당			-	9,700	9,700	9,700	9,136	13,610	9,700	61,546	1%
	소 계			-	449,967	472,767	1,089,657	241,307	454,657	1,644,008	4,352,363	81%
간접비				-	76,494	80,370	185,242	41,022	77,292	279,481	739,902	14%
합 계				-	574,961	601,637	1,323,399	328,009	599,999	1,971,989	5,399,995	100%

제 6 장 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정

제1절 과제 제안요구서(RFP)

연구과제명	건축물 대상 3D 프린팅 장비 및 설계기술 개발 기획

1. 연구개발 목표

◦ 3D 프린팅 건축상품의 다양성 확보와 소비자-공급자간의 지속가능한 생태계 구축을 위해 '3D 프린팅 기술 기반 주거·복합용도 단위모듈 및 내외부 건축요소', '단위모듈 규모의 복합 3D 프린팅 장비 및 시스템', '기존 건축소재 전환 및 건축용 3D 프린팅 융복합 소재'에 기반을 둔 '생산플랫폼(Production Platform)'과 새로 개발된 건축상품의 시장구축 및 제도·정책적 기저환경 구축을 위한 '마켓플랫폼(Market Platform)' 개발을 주요 전략으로 다음과 같은 연구개발 목표를 제시함.

- -건축분야 3D 프린팅 설계·생산 기술 세계 1위
- -운송 및 시공성 확보를 위해 3m x 6m x 3m 규모(안)의 주거·복합용도 단위모듈 구조체 1일 생산
- -신규 건축용 3D 프린팅 소재의 기존 건축자재·소재 대비 100% 성능구현

2. 연구개발의 필요성 및 기술동향

▣ 연구개발 필요성

◦ 국내 환경 측면의 필요성(정책,시장)

- 미래창조과학부(미래부)와 산업통상자원부(산업부)는 '3D 프린팅 산업 발전전략'을 공동으로 수립
- 2014년 4월 23일 국가기술심의 위원회를 열어 2020년까지 전세계 3D 프린터 산업의 선두로 올라선다는 목표 하에 국내 3D 프린터 산업 지원정책을 의결
- 3D프린팅 활용 수요창출 및 국내 장비·소재·SW 관련 산업 성장을 위한 4대 추진전략 및 11대 세부추진과제를 마련함.
- 전체 3D 프린팅 관련 국가R&D 연구과제 중 건축분야의 경우는 단 3건으로, 전체 98건 중 약 3%
- 융·복합 3D 프린터 개발, 플랫폼 및 시스템 개발, 의료분야, 제조분야 등 다양한 산업군에서 3D 프린팅을 연구하고 있었으나, 건축분야에서는 연구 실적이 미비해 아직 걸음

마 단계 수준

- 국내 3D 프린터 시장은 아직 초기 단계이고, 2012년 시장 규모는 약 300억 원으로 추정되고 있지만, 국산 3D 프린터 품질이 전반적으로 선진국 대비 다소 떨어진다는 평가이기에 판매되는 3D 프린터의 90%가 수입품인 실정이며 소재 또한 장비와 소재를 연계하여 판매하는 산업구조로 인해 대부분 해외로부터 수입
- 국내 3D 프린터 시장은 산업소재, IT 부품, 의료부품 등의 소재 분야가 높은 비중을 차지하고 있는 실정
- 건축 분야에서의 활용은 전무한 수준이며, 일부 건축 모형과 인테리어 소품 제작에만 한정되어 활용

◦ 국외 환경 측면의 필요성(정책, 시장)

- 3D 프린팅 기술이 향후 제조업과 각종 산업의 혁신 동력으로 자리 잡을 것이라는 데는 이견이 없으며, 이에 따라 세계 각국에서는 3D 프린팅 기술의 활성화를 위한 연구기관 설립과 정책적 지원책을 추진
- 영국 시장조사 기관인 「Canalys」에서는 세계 3D 프린터 시장은 2013년 25억 달러에서 2018년 162억 달러까지 성장할 것으로 보이며, 연평균성장률(CAGR)은 2013~2018년 기간 동안 45.7%로 예측
- 3D 프린터는 산업용 프린터를 중심으로 성장하여 왔으나, 최근 규모가 경제 효과 및 기술 발달로 인한 원가 절감 등으로 개인용 3D 프린터로 시장 성장이 가속화되는 추세
- 산업별 점유율을 보면, 소비재/전자제품이 20.3%로 가장 많은 비중을 차지하며, 다음으로 자동차/운송(19.5&), 의료/치과(15.1%), 항공/우주(12.1%) 순이며 건축은 3%의 점유율을 차지
- 미국 시장은 2011년 기준 세계 3D 프린터 시장의 38% 이상을 점유하고 있으며, 글로벌 3D 프린팅 상위 8대 기업 중 스트라타시스(Stratasys), 인비전텍(Envisionte), 3D시스템스(3D systems), Z Corp, 솔리드스케이프(Solidscape) 등 5개 업체가 미국 기업
- 현재 영국에서는 대당 500파운드 정도인 소형 3D 프린터의 가격이 대중화를 통해 일반 가정에서 보편적으로 사용

되는 실정이기에 간단한 제품은 개인이 직접 만드는 '자가 공업' 시대 개막을 예상

- 그리스는 최근 학계나 산업계에서 수요가 증가하여 미국, 영국 등 국가로부터 3D 프린터 수입 증가
- 일본에서는 20만엔 대의 초저가 제품도 등장하고 있어, 지금까지 고가라는 이유로 도입하지 못하고 있던 중소·중견 기업과 교육기관 (공업학교, 전문학교 등) 등 신규 사용자도 도입하는 사례가 증가
- 중국 내 베이징 타이얼스다이(太爾時代) 기업에서 생산한 개인용 3D프린터는 2010년 한해 동안 세계적으로 200대 판매에 그침. 그러나 2012년 판매량이 3000대까지 증가했으며 가격 역시 1만 위안 선으로 저렴
- 2013년 기준 인도 내 3D 프린터 산업별 점유율은 전자 응용 프로그램(24.1%), 자동차(21.2%), 의료(15%), 산업(13.8%), 항공 우주(10.8%), 건축(5.2%) 그리고 교육(3.0%)으로 나타나고, 3D 프린터 시장 매출은 2019년 4600만 달러까지 도달 할 것으로 예상
- 칠레 3D 프린터 시장은 2013년에 시장규모가 1억 4717만 달러에 달함. Ecomex에 따르면, 칠레 3D 프린터 시장이 라틴 아메리카에서 차지하는 비중이 증가

▣ 기술동향

◦ 국내 기술동향

- 3D 프린팅 관련 기술은 미국 및 일본, 중국 등에 비해 기술개발 및 특허권 확보가 부족한 상황이므로, 이에 대한 민관 합동의 전략적인 투자 및 마스터플랜 수립이 필요
- 국내 기업들 중에서는 한국기계연구원, 한국과학기술원의 특허 활동이 눈에 띄나 한국 출원 건수에서만 1위일 뿐, 해외 국가에서의 출원은 매우 적은 것으로 확인
- 2012년까지 50건 이하의 논문 발표 동향을 보였으며, 2013년부터 최근까지 전년대비 2배의 논문 발표 수를 보이며 논문 수가 증가
- 국내 관련 3D프린터 관련 논문의 동향은 2012년 이전에는 주로 해당 연구 분야가 아닌 애니메이션, 3D 시각화, 인쇄 등에 집중되어 있으며, 2012년 이후 전 산업분야에 걸친 3D프린터 논문이 나오기 시작

- 관련된 297개의 논문을 8개의 세부 분야별로 분석한 결과 기획 부분이 28%으로 가장 높았으며, 장비/시스템 분야가 26%, 상품 분야가 20% 순으로 차지

◦ 국외 기술동향

- 3D 프린팅 기술 관련 특허 검색 결과, 해당 기술 분야의 관련 특허는 2000년을 기점으로 2010년까지 지속적인 성장
- 3D 프린팅 관련 기술은 2010년을 기점으로 감소세를 보이고 있으나, 2015년 세계시장 조사기관들은 '가장 주목받는 IT기술'중 하나로 선정되어 지속적인 증가세
- 미국은 가장 독보적인 특허 출원 건수 및 성장세를 보이며, 매년 한국 대비 약 2~3배의 3D 프린팅 기술 관련 특허를 출원
- 각 주요 국가별 특허 출원 현황을 살펴보면, 주로 미국과 이스라엘에 의해 3D 프린팅 기술 개발이 이루어지고 있으며, 시장을 주도하는 주요 출원인은 3D Systems와 Stratasys
- 1995년부터 2015년까지 한국, 미국, 일본, 유럽의 3D 프린팅 관련 특허 출원 건수는 총 4,724건
- 3D 프린팅 관련 기술 분야 특허 출원 건수를 살펴보면, 현재 공개 진행중인 2014년 특허를 제외하고 2013년 기준으로 한국 90건, 미국 162건, 일본 44건, 유럽 16건의 특허를 출원
- 각 국가별 3D 프린팅 기술 관련 특허의 주요 출원인을 조사한 결과, 미국 출원인이 각 국가별 최상위 특허 출원 건수를 기록
- 산업용은 3D시스템스(3D Systems)와 스트라타시스(Stratasys)가, 개인용은 렙랩과 메이커봇이 3D 프린팅 기술 시장을 독과점
- 선도기업의 핵심 특허 만료로 후발 기업들은 SLA는 물론 FDM과 SLS 기술 관련 특허 장벽도 약화돼 신규 기업의 시장 진입이 보다 용이함
- 향후 3D프린팅 기술 시장은 선도 기업의 핵심 특허 만료로 인해 이를 응용한 제품 활성화 및 가격 하락이 예상되며, 이에 미국, 독일 등 주요 장비 제조기업 이외에도 후발 주자들의 연구개발(R&D)과 3D 프린팅 기술 관련 특허 기술 확보 움직임이 증가
- 3D 프린팅 기술 관련 핵심특허를 보유한 기업이나 단체는 해당 핵심특허에 관련된 수많은 개량특허를 보유하여 견고

한 특허장벽을 구축

- Web Of Science를 통하여 SCI급 학술지에 기제된 논문을 대상으로 2001년에서 2015년까지 총 1885건의 논문 발표
- product에 관련된 논문은 674건, material에 관련된 논문은 190건, equipment에 관련된 논문은 101건, market-platform에 관련된 논문은 36건, test-bed에 관련된 논문은 11건, 건축에 관련된 논문은 5건, 이론에 관련된 논문은 43건
- 제품개발 관련 연구 및 제품상용화단계까지 진행 중인 기계, 의료, 항공 등의 분야에 비해 건축 분야는 최근 기초적인 연구개발 및 Mock-up수준의 Test-bed 정도가 진행
- 건축분야에서는 실질적인 상품 생산에 있어서는 제품의 비정형화, 제작환경 여건, 타산업 대비 생산품의 거대화, 제품의 안전성, 기존 공법 및 재료/소재 대비 경제성 및 시공성 등의 타분야와는 상이한 조건을 충족 필요

3. 연구개발 내용

[1세부과제] 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈형 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발

○ (1-1) 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소 기획 및 설계 기술 개발

- 주거·복합용도의 단위모듈 기반 구조체 및 건축요소 기획
- 단위모듈형 구조체 및 내외부 형상 설계 알고리즘 개발
- 3D 프린팅 기술기반 건축설계 통합 프로세스 개발
- 공급자 기반 단위모듈형 건축상품 설계 가이드라인 개발
- 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소의 성능 평가·검증 및 가이드라인 개발
- 공급/수요자 기반 단위모듈형 건축상품군 기획·엔지니어링 소프트웨어 개발
- 대형/중저층 규모의 주거용 단위모듈 구조체 및 건축요소 기획 및 설계기술 개발
- 공급/수요자 기반 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소 설계 자동화 플랫폼 개발
- 수요자 기반 단위모듈 건축상품군 기획·설계 이지(easy) 플랫폼 개발

○ (1-2) 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소의 구조·환경 엔지니어링 기술 개발

- 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소의 구조공법 기획
- 단위모듈형 구조체의 형상최적구조 알고리즘 개발
- 단위모듈형 구조체-구조체 접합부 개발
- 단위모듈 내 건축설비요소의 설계·엔지니어링 기술 개발
- 단위모듈 내 환경·설비 통합제어시스템 기획 및 개발
- 단위모듈 기반 구조·환경 시뮬레이션 및 성능평가 Add-on SW 개발
- 공급자 기반 단위모듈형 건축상품군 구조·환경설계 가이드라인 개발

- 다중배열된 비정형 단위모듈 집합의 응력분포 최적화 구조공법 개발
- 단위모듈 구조체의 대형화/고층화 구조공법 개발
- 공급자 기반 단위모듈형 구조체 및 건축요소의 구조·설비 설계 자동화 플랫폼 개발

○ (1-3) 단위모듈형 건축상품군의 조립 및 접합 시공 및 유지관리 기술 개발

- 단위모듈 간의 적층시공 및 고층화 시공 기술 개발
- 기존 건축요소와 3D 프린팅 건축요소간 연결·접합 시공기술 개발
- 단위모듈형 구조체 간 고기밀·고수밀 연결·접합 시공기술 개발
- 단위모듈형 구조체 및 건축요소의 시공 시뮬레이션 Add-on SW 개발
- 공급자 기반 단위모듈형 구조체의 유지보수 기술 개발
- 수요자 기반 단위모듈형 건축상품군 유지보수 기술 개발
- 공급자/수요자 기반 단위모듈 시공 및 유지관리 가이드라인 개발
- 단위모듈형 구조체 및 건축요소의 유지관리 모니터링 Add-on SW 개발
- 단위모듈형 구조체의 대형화/고층화 시공 프로세스 및 기술 개발
- 단위모듈형 구조체 및 건축요소의 시공성 평가 체계 개발

[2세부과제] 단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발

○ (2-1) 단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 장비 및 공정 기술 개발

- 5축 제어 고출력 레이저 가공 기술 개발
- 빔 사이즈 가변형 고정밀, 고속 저출력 레이저 가공 기술 개발
- 임의파형 전압 발생기 적용 다중 잉크젯 프린팅 기술 개발
- 이종 소재 압출 가공기술 개발
- IoT 배선 전극 형성 기술 개발
- 3D 복합 프린팅 파일럿장비 설계 제작 및 평가 기술 개발
- 3D 복합 프린팅 파일럿장비 최적 공정 기술 개발

○ (2-2) 단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 S/W 기술 개발

- 빔 사이즈 가변형 레이저 제어 알고리즘 기술 개발
- 임의파형 전압 발생기 알고리즘 기술 개발
- 환경제어(온도, 산소 등) 알고리즘 기술 개발
- 이종소재 모델링 및 정렬을 위한 복합 방식 제어 알고리즘 기술 개발
- 3D 복합 프린팅 및 디지털 제어, 사용자 편의성 Expert S/W 개발
- 3D 프린팅 생산시스템 적용 시험

○ (2-3) 단위모듈 규모의 대형 3D 프린팅 생산시스템 설계 /제작 및 Test-bed 기술 개발

- 단위모듈 규모 프린팅 출력 베드 설계 기술 개발
- 단위모듈 규모 출력 3D 프린팅 생산시스템 및 관련 기술 Test-bed Layout 설계
- 단위모듈 규모 출력 3D 프린팅 생산시스템 파일럿 장비 제작 및 시험평가
- 인라인 3D 프린팅 생산시스템 파일럿 장비 최적공정 기술 개발

[3세부과제] 단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발

◦ (3-1) 단위모듈 건축상품군 적용을 위한 3D 프린팅용 원천소재 개발

- 용도 및 기술 활용분야별 적용기법
- 경화 제어형 3D 프린팅용 세라믹 소재의 최적화 기술
- 성능 대응형 3D 프린팅용 금속 소재의 최적화 기술
- 형상제어형 3D 프린팅용 고분자 소재의 최적화 기술
- 산업 폐기물, 부산물 활용 자원순환형 3D 프린팅용 소재개발 및 적용기술

◦ (3-2) 단위모듈 건축상품군 생산을 위한 3D 프린팅용 융복합 소재 개발

- 단위모듈 건축상품군 생산을 위한 요소 부재별 설계 및 적용기법
- 시공성 향상을 위한 구조벽체용 복합체 생산기술
- 에너지 효율 향상을 위한 복합 단열재 생산기술
- 이종 소재간 계면접착력 향상 기술
- 단위모듈 적용을 위한 복합요소 부재 제작 및 평가
- 단위모듈 건축상품용 시제품 제작 및 성능검증

◦ (3-3) 3D 프린팅 건축소재 및 자재의 신뢰성 평가기술 및 표준개발

- 3D 프린팅 건축소재 및 자재의 신뢰성 평가기법(수명, 안정성, 기능성, 환경성)
- 3D 프린팅 건축소재 및 자재의 에너지 효율 평가기법
- 3D 프린팅 건축소재 및 자재의 탄소배출량 평가기법
- 3D 프린팅 건축소재 및 자재의 표준시험법(안)
- 3D 프린팅 건축소재 및 자재의 인증시스템

[4세부과제] 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발

◦ (4-1) 단위모듈형 건축상품군 파일럿 테스트 기획·검증 및 성능평가 시스템 개발

- 단위모듈 기반 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 Test-bed 검증기법 개발
- 대/중/소형 단위모듈 규모 Test-bed 기술 검증기법 개발
- 건축물 대상 3D 프린팅 재료 및 단위모듈 단위 건축 상품의 구조 안전성 평가
- 3D 프린팅 건축 상품의 경제성, 시공성, 상품성 평가체계 개발
- 건축 상품의 탄소배출량 평가체계 개발
- 건축 상품 및 기술 통합 평가지표 개발

◦ (4-2) 3D 프린팅 건축상품군 오픈마켓 플랫폼 및 관련 제도/정책 개발

- 단위모듈 기반 건축상품군 통합 생산플랫폼 개발
- 대/중/소형 단위모듈 기반 건축 상품 조달 플랫폼 개발
- 클라우드 기반 오픈마켓 플랫폼 개발
- 3D 프린팅 건축물 활성화를 위한 법, 제도 개선 방안 개발
- 3D 프린팅 건축 상품 유통 활성화를 위한 법, 제도 개발

4. 연구개발 추진방법

▣ 추진전략

◦ 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립
- 연구내용, 개발기술, 성과물간 연계가 표출되는 기술개발 및 성과 로드맵 수립
- 개발기술의 현장적용을 통한 검증 강화 및 적용사례 확보
- 기술 성취도 향상을 위한 해당 기술 관련 기업체 참여
- 실질적인 기술 성능 평가 추진을 위한 실시기업 연계 및 실시기업의 기술개발 참여도 확대전략 수립

◦ 각 세부과제별로 현장적용 기술, 검증내용(달성목표), 검증방법, 검증시기, 현장적용 대상지(테스트베드)의 범위 등을 구체적으로 설정하고, 관계기관과 사전적·지속적 협조체계를 구축하는 등 개발기술의 현장적용을 위한 전략 수립

◦ 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축
- 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴
- 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영

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

▣ 추진체계

◦ 본 연구단은 개발기술의 파일럿 제작 및 성능평가를 위해 산업체, 연구기관 및 학계 컨소시엄으로 구성하여 공동연구를 수행해야 함

※ 관련 기술을 확보한 연구기관 및 성과물을 활용할 수 있는 산업체 참여 유도 (참여시 가점 부여)

◦ 관련 정부기관, 수요기관, 운영기관 등과의 연계를 통해 성능평가 등을 위한 협력체계 구축

◦ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장 제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

◦ 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용

◦ 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문

◦ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으

로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것

◦ 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 필요

◦ 성과물의 파일럿 제작 및 성능평가를 우선하여 기술실시 대상기업을 명확히 결정하고, 대상기술이 실용화가 가능한 수준으로 성과물이 도출되도록 상시 관리체계 수립

5. 최종성과물

[세부과제 1] 3D 프린팅 기술 기반 융복합 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 개발

◦ 3m×3m×6m 규모(안)을 갖는 단위모듈형 구조체 및 내외부 건축요소

- 정의 : 3m×3m×6m 규모(안) 단위모듈 구조체 및 내외부 공간 설계(건축, 구조, 설비) 엔지니어링 기술
- 성능 목표 : 기존 주택 구조환경 성능 대비 구조적 성능 100% 확보

◦ 통합 설계(건축, 구조, 설비, 시공)소프트웨어

- 정의 : 단위모듈형 구조체 및 내외부 공간 통합 설계(건축, 구조, 설비, 시공) 생산소프트웨어
- 성능 목표 : 기존 동일규모 모듈러 건축 대비 생산프로세스 50% 단축

◦ 3D 프린팅 기술기반 설계·엔지니어링 가이드라인

- 정의 : 3D 프린팅 기술 기반 단위모듈 주택 설계엔지니어링 기술 가이드라인
- 성능 목표 : 기존 2층 규모의 단위모듈 주택 설계(건축, 구조, 설비, 시공)기술수준 100%확보

[세부과제 2] 단위모듈 기반 건축상품군 출력을 위한 대형 3D 프린팅 생산플랫폼 개발

○ 3D 복합 프린팅 장비

- 정의 : 단위모듈/이종소재 적용 3D 복합 프린팅 장비
- 성능 목표 : 단일/이종 소재를 이용한 단위 모듈 제작 및 Repair 기능이 포함된 3D 프린터 (레이저 출력 50W, 5kW, 가공정밀도 200㎛, 가공속도 15m/sec)

○ 인라인 3D 프린팅 생산 시스템 파일럿 장비

- 정의 : 인라인 3D 프린팅 생산 시스템 파일럿
- 성능 목표 : 단위 모듈 및 객체 생산을 위한 인라인 3D 프린팅 파일럿 생산 시스템 (생산 속도 1식/1day, Build volume 3*3*6m)

○ 단일소재 및 이종 소재 적용 3D 프린팅 최적화 프로그램

- 정의 : 단일소재/이종소재용 3D 프린팅 제어 프로그램
- 성능목표 : 단일소재 및 이종소재 적용에 따른 구동 시뮬레이션 및 소프트웨어 기술 개발

○ 3D 복합 프린팅 장비 헤드 시스템

- 정의 : 단일/이종 소재를 동시 또는 교대 방식의 프린팅이 가능한 멀티 헤드 시스템
- 성능목표 : 이종 소재 멀티 헤드 구동 안정성 및 최적화 기술 개발 (고출력 레이저 헤드, 저출력 레이저 헤드, Multi-jetting 헤드, 이종 소재 압출헤드, 전극소재 Dispensing 헤드)

[세부과제 3] 단위모듈 규모 건축상품군 개발을 위한 융복합 3D 프린팅 소재 개발

◦ 단위모듈 건축상품군 적용을 위한 3D 프린팅용 원천소재
-정의 : 대상 건축자재에 적합한 3D 프린팅용 소재 개발
-성능목표 : 적용 용도별 소요성능을 만족시키는 세라믹, 금속 및 고분자 소재의 최적화 기술개발

◦ 3D 프린팅용 단위 모듈 건축 자재
-정의 : 에너지 효율 및 시공성이 향상된 3D 프린팅용 융복합 건축자재 개발
-성능목표 : 주택성능 기준을 만족시키는 복합소재, 부재 및 시제품 개발

◦ 3D 프린팅 건축소재 및 자재의 표준시험법 및 인증시스템
-정의 : 건축용 3D 프린팅 소재 및 자재의 신뢰성 확보를 위한 기반 구축
-성능목표 : 신뢰성 및 에너지효율 평가기법, 표준시험법 및 인증시스템 개발

[세부과제 4] 3D 프린팅 기술 기반 건축상품군 성능평가 및 검증과 마켓플랫폼 개발

◦ 대/중/소형 단위모듈 기반 건축상품 조달 플랫폼
- 정의 : 수요자와 생산자의 실시간 온라인 연결을 통한 협업지원 및 주문형, 맞춤형 건축물 생산이 가능한 건축물 적용 3D 프린팅 기반 상품 조달 플랫폼 구축
- 성능목표 : 웹기반의 개방형 3D 프린팅 건축 상품 조달 플랫폼

◦ 클라우드 기반 오픈마켓 플랫폼
- 정의 : 실사용자 접근성 향상 및 시장 활성화를 위해 3D 프린팅 기술기반 건축상품 유통이 가능한 시장지향형 마켓 플랫폼 구축
- 성능목표 : 웹기반의 개방형 분산병렬처리가 가능한 3D 프린팅 건축 상품 유통 플랫폼

◦ 3D 프린팅 건축 상품 유통 활성화를 위한 법, 제도
- 정의 : 3D 프린팅 기술 기반의 건설 자재, 부재 등 다양한 상품의 유통 및 활성화를 위한 법, 제도 마련
- 성능목표 : 건축물 적용 3D 프린팅 상품 유통 활성화를 위한 법, 제도 및 지침 마련

◦ 건축상품 및 기술 통합평가지표 개발
- 정의 : 3D 프린팅 기술을 적용한 목표 건축 상품에 적정 기술이 적용되었는지를 파악하고 목표에 부합하는 상품 평가를 위한 지표 마련
- 성능목표 : 목표성능에 부합하는 상품과 필요 기술 개발의 타당성 및 적정성 평가지표 개발

◦ 단위모듈 기반 건축상품군 기획 및 엔지니어링 기술 Test-bed 검증기법
- 정의 : 3D 프린팅 기술을 활용한 건축 상품을 생산하기 위해 건축물 대상 3D 프린징 장비와 소재, 자재 생산 플랫폼의 활용 가능성 여부를 판단하기 위한 Test-bed 검증기법
- 성능목표 : 3D 프린팅 기술로 생산된 여러 개의 단위모듈들을 조합하여 이루어진 건축물의 기술 개발 및 검증을 위한 Test-bed 검증기법 개발

6. 활용방안 및 기대효과

○ 건축물 대상 3D 프린팅 관련 기술개발 결과로 인한 글로벌시장 선점은 경제적 효과뿐만 아니라 미래 기술 보유국의 이미지, 건설산업의 국제적 위상 강화, 관련 핵심 원천기술의 자립화 및 기술 수출을 통해 국가 이미지 제고에 기여가 가능

○ 건축 규모를 극복하는 건축물 대상 3D 프린팅 관련 핵심기술의 개발이 성공하면 침체된 건설경기 부양효과 및 글로벌 시장 내 새로운 분야로의 진출, 청년창업의 영역이 대폭적으로 확대

○ ICT 기술적 융합의 결정체인 건축물 대상 3D 프린팅은 다양한 어플리케이션개발을 통해 청년들의 진입 장벽이 매우 낮아지므로 청년창업에 매우 유리하여 청년실업해소에 크게 기여

○ 국가발전의 핵심 사업으로 활용하기 위한 건축물 대상 3D 프린팅 관련 핵심기술에 대한 정책으로 활용 가능한 로드맵을 제시하여, 국가 신성장동력으로써의 역할

○ 글로벌 시장에서 전무한 건출물 대상 3D 프린팅 관련 기술 개발을 통해 원천기술 특허확보 및 관련 첨단 건설 산업 활성화를 통한 국제 경쟁력 확보가 가능하며, 적정·하이브리드·미래기술 대응을 고려하였기에 지속가능한 건설경제구조로의 전환이 가능

○ 경제적 측면에서 건축물 전 생애주기 단계에서 에너지 소비 절감을 달성하고, 더 나아가 국가 온실가스 감축 목표치를 달성이 가능

○ 본 기획에 의한 연구가 진행되면, 1단계에서는 건축용 3D 프린팅 관련 원천기술 확보를 통해 국제 경쟁력 강화 및 3D 프린팅 산업 진출 후발주자로서 선두주자의 기술수준이 동등 또는 추월 예상

○ 기업체의 연구 참여를 통해 해당 기업의 기술 경쟁력 확보가 가능하며, 이로 인해 국내 기업의 글로벌 시장 진입 및 성장 가능성이 증대

○ 2단계에서 건축 상품 관련 마켓 플랫폼 및 실질규모의 검증 및 법/제도, 정책을 통해 3D 프린팅 기반 스마트건축물 구현이 가능하게 되고, 3D 프린팅 기반 스마트건축물 구현은 차세대의 와해성 기술과 융합되어 신규 산업 창출에 기여

○ 과제 기획을 통해 건축물 대상 3D 프린팅 관련 기술 및 건축 상품에 대한 R&D 추진의 토대를 마련하여 기술의 융복합 협력체계를 구축

○ 이를 위하여 기술을 개발하고 적극적으로 활용이 가능한 3D프린팅 장비, 건축설계, 건설시공, 건설재료 등 전문 분야별 기업체의 참여가 필요함.

7. 연구개발기간 및 소요예산

◦ 총 연구기간 :

[1단계]

- 1단계 1차년도 연구기간 : 2016 ~ 2017 (12개월)
- 1단계 2차년도 연구기간 : 2017 ~ 2018 (12개월)
- 1단계 3차년도 연구기간 : 2018 ~ 2019 (12개월)
- 1단계 4차년도 연구기간 : 2019 ~ 2020 (12개월)

[2단계]

- 2단계 1차년도 연구기간 : 2020 ~ 2021 (12개월)
- 2단계 2차년도 연구기간 : 2021 ~ 2022 (12개월)
- 2단계 3차년도 연구기간 : 2022 ~ 2023 (12개월)

◦ 총 정부출연금 : 34,800백만원

[1단계] : 16,800백만원

- 1단계 1차년도 정부출연금 : 920백만원
- 1단계 2차년도 정부출연금 : 6,428백만원
- 1단계 3차년도 정부출연금 : 4,525백만원
- 1단계 4차년도 정부출연금 : 4,927백만원

[2단계] : 18,000백만원

- 2단계 1차년도 정부출연금 : 5,624백만원
- 2단계 2차년도 정부출연금 : 6,187백만원
- 2단계 3차년도 정부출연금 : 6,188백만원

※ 각 단위과제별 정부출연금은 별첨 기획보고서의 예산편성에 준하여 제시할 것
※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정에 따라 조정될 수 있음
※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
※ 연구단과제는 세부과제 별로 기업부담금 비율 준수하되, 분리공모과제의 경우는 분리공모과제 단위에서 기업부담금 비율을 준수할 것
※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능

10. 기타

◦ 본과제의 연구개발과제 보안등급은 “보안 과제”임
◦ 필요에 따라 주관(협동)연구기관, 공동연구기관, 위탁연구기관 및 참여기업으로 편성된 컨소시엄으로 신청 가능
◦ 연구단 컨소시엄 신청시 연구단장 신청자는 반드시 세부주관 연구책임자 또는 총괄과제 연구책임자로 참여하여야 함
◦ 각 세부 별 참여기관은 기업체도 가능하며, 해당 연구와 관련된 실적을 보유하거나 유사 연구 참여 경력이 있는 기업이어야 함

※ 연구단장은 연구단의 효율적 운영·관리를 위해 총괄과제 수행 가능

◦ 타 연구과제(국토해양부, 타 부처, 민간 등 포함)와의 차별성 및 연계·

활용방안을 반드시 검토하여 제시할 것

◦ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

◦ 전체 연구단 및 세부과제별로 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시

- 연구개발 핵심성과물 목록 및 핵심성과물 세부 설명 제시
- 연구착수시점과 종료시점에 대하여 기술수준, 국산화율 등에 대한 대비가 가능하도록 “As-is”와 “To-be”를 구체화·가시화하여 제시
- 연구성과 명시 및 성과도출계획, 평가방안 제시
- 연구성과의 파일럿 제작 및 주택성능기준 만족 계획 필히 제시

※ 내세울 만한 가치가 있는 핵심성과물과 그 성과로드맵 제시

※ 성과 및 기술의 유형별 분류 포함(TRL)

- 실용화 대상 기술을 반드시 명시하고 기술검증/실용화 범위 및 방안 제시

◦ 연구신청자는 제안요청서에 제시된 연구개발 내용을 기준으로 연구개발 계획서를 작성하되, 과제의 목표 달성에 필요하다고 판단되는 경우 연구내용을 충분한 관련근거를 제시하고, 수정하여 제안할 수 있음

◦ 테스트베드를 포함하는 경우에는 적용대상 기술 및 개략적인 소요예산 제시

◦ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 국토해양기술연구개발사업으로 구축한 분산공유형 건설연구 인프라(6대 실험시설) 적극 활용(www.koced.or.kr 참조)

◦ 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항

- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표 작성 및 제출

※ 성과점검기준표는 향후 진도점검·관리 및 평가 등의 근거자료로 활용

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

◦ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

제2절 평가기준 설정

1. 평가항목 및 배점

기준항목	세부평가항목	배점
연구진의 기술개발 업적 (10점) ※ 주관, 협동, 공동연구기관만 해당	세부연구내용에 관한 국내외 논문 건수(1)	10점
	세부연구내용에 관한 국내외 특허등록 및 건설 신기술 인증 건수(2)	
연구진의 주요실적 (10점) ※ 주관, 협동, 공동연구기관만 해당	세부연구내용 관련 유사 실무프로젝트 수행실적 건수(3)	10점
	세부연구내용 관련 국가 연구개발사업 수행건수(4)	
연구단 구성의 적정성 (10점) ※ 주관, 협동, 공동연구기관만 해당	주관, 협동, 공동연구 책임자의 적정성(5)	5점
	산업체 참여비율의 적정성(6)	5점
연구제안의 충실도 (25점)	기획결과의 반영 및 RFP 부합성	10점
	계획수립을 위한 조사 분석의 충실도	
	연구범위 및 목표설정의 타당성	10점
	성과목표·지표 설정의 명확성 및 적정성	
	과제평가, 관리 및 운영의 효율성	5점
추진전략의 구체성 (30점)	연구수행, 지원체계 및 인프라 구축의 합리성	15점
	산학연 네트워크 구성 및 국내외 전문가 활용의 구체성	
	목표달성을 위한 과제추진계획의 적정성 ※ 인력, 일정, 비용에 대한 계획	
	독창적인 과제제안 등 추진전략의 차별성	
	연구결과의 활용 계획의 구체성	15점
	파일럿 프로젝트 계획의 구체성	
연구책임자의 수행역량 (15점)	연구책임자의 연구수행체게 관리능력, 전문성 및 주요업적	15점
	연구책임자의 공모과제 관련 국가연구개발사업 수행실적	

부합성 평가	평가위원 과반수 이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정 시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수 이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정 시 탈락 조치

※ 총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 경우에는 탈락

가. 정량지표에 대한 등위 선정을 위한 환산식

□ 연구진의 기술개발 업적

(1) 공모과제 관련 국내외 논문 건수

- 최근 5년간 국내 등재지 이상 및 국외 SCI 및 SCI-E 저널에 수록된 논문만 포함
- 반드시 증빙서류 제출

(2) 공모과제 관련 국내외 특허 출원·등록 및 건설신기술 인증 건수

- 최근 5년간 실적만 포함
- 반드시 증빙서류 제출

$$\frac{\sum \text{해당 연구단 과제 관련 국내외 (논문+특허출원/등록+건설신기술인증) 건수}}{\sum \text{경쟁 연구단 과제 관련 국내외 (논문+특허출원/등록+건설신기술인증) 최다건수}} \times 100$$

- 백분율은 소수점 셋째자리에서 반올림함

□ 연구진의 주요실적

(3) 공모과제 관련 실무프로젝트 실적 건수

- 반드시 증빙서류 제출
- 최근 10년간 공모과제 관련 1억원 이상의 실무프로젝트만 해당

(4) 공모과제 관련 국가 연구개발과제 수행 건수

- 반드시 증빙서류 제출
- 최근 10년간 공모과제 관련 연평균 50,000천원 이상의 정부출연 연구개발과제만 해당

$$\frac{\sum \text{해당 연구단의 세부연구내용 관련 (실무프로젝트 실적+국가연구개발과제수행) 건수}}{\sum \text{경쟁연구단중 세부연구내용 관련 (실무프로젝트 실적+국가연구개발과제수행) 최다건수}} \times 100$$

- 백분율은 소수점 셋째자리에서 반올림함

□ 연구컨소시엄 구성의 적정성

(5) 주관, 협동, 공동연구 책임자의 적정성

- 공모과제 관련 연구의 주관, 협동, 공동연구 책임연구자 수: 컨소시엄의 주관, 협동, 공동연구 책임자가 공모과제와 관련된 연구에 대하여 주관, 협동 또는 공동연구의 연구책임자를 역임한 자

$$\frac{\sum \text{해당 연구단의 공모과제 관련 연구의 주관, 협동, 공동연구 책임자 수}}{\sum \text{경쟁 연구단중 공모과제 관련 연구의 주관, 협동, 공동 연구책임자 최대 수}} \times 100$$

- 백분율은 소수점 셋째자리에서 반올림함

(6) 산업체 참여비율의 적정성

- MAX(a, b)는 a, b중 큰 값을 나타냄

$$\left(\frac{\text{해당 연구단의 대기업 참여비율}}{\text{MAX}(30\%,\ \text{경쟁연구단 중 최대 대기업 참여비율})}\right) \times 100 \times 0.4$$

$$\left(\frac{\text{해당 연구단의 중소기업 참여비율}}{\text{MAX}(30\%,\ \text{경쟁연구단 중 최대 중소기업 참여비율})}\right) \times 100 \times 0.6$$

- 백분율은 소수점 셋째자리에서 반올림함

※ 연구진의 기술개발 업적(10점), 연구진의 주요실적(10점) 그리고 주관, 협동, 공동연구 책임자의 적정성(5점), 산업체 참여비율의 적정성(5점)에 대한 취득 점수는 상대평가에 의한 등위를 점수로 환산함

$$\frac{(\text{과제 계획서 제출 연구단 총수} - \text{등위}) + 1}{\text{과제 계획서 제출 연구단 총수}} \times \text{배점}$$

- 백분율은 소수점 셋째자리에서 반올림함

예)

등위	배점	취득 점수	
1	5	$\frac{(4-1)+1}{4}\times 5$	5
2		$\frac{(4-2)+1}{4}\times 5$	3.75
3		$\frac{(4-3)+1}{4}\times 5$	2.5
4		$\frac{(4-4)+1}{4}\times 5$	1.25

2. 가점 및 감점 기준

가. 연구수행 형태에 따른 가점

(1) 연구단 수정 기준

※ 연구단 과제의 경우

○ 연구기관으로 산, 학, 연이 모두 참여하고
- 세부 주관연구기관으로 산, 학, 연이 각각 구성된 경우 : 2점
- 세부 주관연구기관으로 중소기업이 구성된 경우 : 1점

○ 세부과제에 중소기업이 참여하고
- 중소기업이 세부과제 연구기관의 1/3 이상인 경우 : 2점
- 중소기업이 세부과제 연구기관의 1/3 미만인 경우 : 1점

나. 총연구개발비에 대한 연구신청기관의 연구개발비 부담비율에 따른 가점

○ 총 연구개발비에 대한 연구신청기관이 부담하는 연구개발비(현금)의 비율에 따라 신청기관별로 가점 부여 (단, 경쟁응모인 경우에 한함)
- 신청기관 중 연구개발비(현금) 부담비율이 가장 높은 기관 : 1.0점

- 그 외 기관은 최대 연구개발비(현금) 부담비율을 기준으로 연구개발비(현금) 부담비율에 따른 가점 부여

$$\text{부여가점} = 1.0 \times \frac{\text{해당기관 연구개발비 부담비율}}{\text{신청기관 중 최대연구개발비 부담비율}}$$

다. 추적평가결과에 따른 가점

○ 국토교통부기술 연구개발사업 관리지침의 가점 및 감점 기준에 따르되, 이 지침 시행 이전에 협약체결된 과제의 추적평가결과에 따른 가점 및 감점은 종전 지침에 의함

라. 기타

○ 기획과제에 대한 과제제안자가 본 과제의 주관(공동)연구책임자로 참여시 : 가점 2점(기입 여부)

○ 여성연구자가 신규과제 주관연구적임자로 참여시 : 가점 1점

○ 최근 3년 이내에 우수 논문(임팩트팩터 15 이상) 실적이 있는 연구책임자가 신규과제를 신청할 경우 : 가점 1점

○ 연구개발과제 선정 후 협약포기 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토해양기술 연구개발사업 관리지침」 제정(‘09. 6. 30)이후 협약과제 대상) : 3점 감점

○ 연구개발과제의 연구수행 도중 연구를 포기한 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토해양기술 연구개발사업 관리지침」) 제정(‘09. 6. 30) 이후 협약과제 대상) : 3점 감점