20CTAP
-C152019
-02

비정형 공공시설물의 마감품질향상을 위한 재생 플라스틱용 3D프린팅 기술 개발 최종보고서

2021

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

보안 과제( ), 일반 과제(√) / 공개(√), 비공개( ) 발간등록번호()

국토교통기술촉진연구 사업 제2차 연도 최종 보고서

R&D / 20CTAP-C152019-02

비정형 공공시설물의 마감품질향상을 위한 재생 플라스틱용 3D프린팅 기술 개발 최종보고서

2021. 03. 04.

주관연구기관 / 순천향대학교 산학협력단

공동연구기관 / 지인디자인(주)

공동연구기관 / (주)종합건축사사무소 디에스그룹

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

제출문

제 출 문

국토교통과학기술원장 귀하

'국토교통기술촉진연구사업'(연구개발 기간 : 2019.04. ~ 2020.12.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2021. 03. 04.

주관연구기관명 : 순천향대학교 산학협력단 김성렬 (인)

공동연구기관명 : 지인디자인㈜ 박지윤 (인)

㈜종합건축사사무소 디에스그룹 강계숙 (인)

주관연구기관책임자: 이태희
공동연구기관책임자: 박지윤
공동연구기관책임자: 조진만

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	20CTAP -C152019-02	해당 단계 연구 기간	2020.01.01 - 2020.12.31.	단계구분	2 / 2 (단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구 사업			
	세부사업명	기초 원천			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	비정형 공공시설물의 마감품질향상을 위한 재생 플라스틱용 3D프린팅 기술 개발			
연구책임자	이태희	해당단계 참여연구원 수	총: 15 명 내부: 15 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 203,000천원 민간: 68,559.4천원 계: 271,559.4천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 16 명 내부: 16 명 외부: 명	총 연구비	정부: 366,000천원 민간: 123,602.4천원 계: 489,602.4천원
연구기관명 및 소속 부서명	순천향대학교 산학협력단			지인디자인(주) (주)종합건축사사무소 디에스그룹	
국제공동연구	상대국명: -			상대국 연구기관명: -	
위탁연구	연구기관명: -			연구책임자: -	
※ 국내・외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음					
연구개발성과의 보안등급 및 사유	보안등급 일반				

9대 성과 등록・기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설・장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록・기탁 번호	Y	Y	Y	Y	-	-	-	-	-	-	-

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설・장비 현황

구입기관	연구시설・장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호
순천향대 산학협력단	3D 프린터	MODIX BIG60 V2	1	2019.07.11.	5,355.114	02-2662-8811	산학협력관 205호	-
순천향대 산학협력단	분쇄기	2800W SILENT SHREDDER	1	2019.07.30.	297	02-761-5686	산학협력관 205호	-
순천향대 산학협력단	압출기	FILABOT EX2 EXTRUDER	1	2019.09.09.	6,597.78	02-369-8600	산학협력관 205호	-
순천향대 산학협력단	압출기	MDPH2	1	2019.09.09.	6,970.34	02-333-1143	산학협력관 205호	-
순천향대 산학협력단	펠릿3D프린터	C1000플러스	1	2019.12.01.	8,900	032-239-8586	산학협력관 205호	-
순천향대 산학협력단	펠릿 3D프린터	펠릿 3D 프린터 (주문제작)	2	2020.08.28.	30,000	032-239-8586	산학협력관 205호	-
종합건축사 사무소 DS 그룹	3D 프린터	핀터 500	2	2019.07.03.	5,500	032-674-7037	산학협력관 205호	-

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수

요약문

연구의 목적 및 내용	○ 연구 목적 : 넓은 형태의 마감재를 생산하여 구조체에 설치하기 위해서는 마감재의 형상데이터를 3d 프린터에 입력하기 위한 프리폼 모델링기술, 마감자재를 출력하기 위한 마감자재용 3D 프린터 기술, 기본구조와 구조물에 마감자재를 설치하기 위한 시공기술의 연구가 필요, 이를 위해 본 연구는 3D 마감재 모델링, 3D 마감재 생산, 3D 마감재 시공 분야로 나눠 각 세부 분야의 핵심기술을 개발 ○ 연구 내용 : • 3D 마감재 분할시 기존방식 대비 설치 마감재 수 20% 감소 • 3D 마감재 생산시 마감재 형태오차 및 변형 최소화 • 3D 마감재 시공시 기존방식 대비 시공속도 20% 향상 [Modeling] 3D마감재 최적모델링 기술 3D마감재 최적모델링 기술은 비정형입면을 분할하여 마감재를 모델링하는 기술로 생산과 원가를 고려하여 최적의 크기 및 형상으로 분할하여 모델링하고 출력방식을 설정하는 기술 연구 - 형상정보 모델링기술 - 마감재 최적분할 기술 - 마감재 최적배치 기술 [Manufacturing] 3D마감재 최적품질 프린팅 기술 3D마감재 최적품질 프린팅 기술은 마감재의 강도 및 품질을 유지하면서 생산 및 접합오차를 최소화할 수 있는 생산최적화 기술로 마감재에 적합한 재료를 시험하고 마감재용 3D프린터의 사양을 개발하는 기술 - 생산 및 시공 프로세스 설정 - 마감재용 재활용 플라스틱 재료 설정기술 - 마감재용 3d프린팅 생산기술 - 마감재용 면처리 기술 [Construction] 3D마감재 고속시공 기술 3D마감재 고속시공기술은 시공품질과 속도향상을 위한 최적시공 방식에 관한 연구로 시공이 용이한 프레임구조와 마감재 접합방식 개발하는 기술 - 프레임 단순화 기술 - 마감재 최적 접합기술 - 비정형 벽면 시험시공
연구개발성과	- (기관별 경쟁력) ㈜종합건축사사무소 디에스그룹은 비정형월 설계능력 확보, 순천향대학교는 3D프린터 활용 비정형 마감재 제작 및 폐플라스틱 적용 전문성을 확보함. 또한 지인디자인㈜은 조립형 시공능력을 확보하여 세 기관 모두 연구를 통한 기술 개발과 인프라를 구축함. - 디자인(설계) 분야는 비정형벽면의 설계 및 모델링을 위한 가이드와 출력 가능한 모델링으로의 자동변환 알고리즘을 개발하여 3차원 디자인 능력의 성장으로 경쟁력을 강화 - 제작 분야에서는 출력의 품질과 속도가 중요하므로 장비의 제작 및 개선, 출력방식의 최적화, 재료연구 등을 통하여 시제품 단계의 결과물 제작 - 시공 분야에서는 비숙련자가 설치 할 수 있도록 조립시공 방식의 모듈화 시스템으로 개발하고 이를 시험시공까지 진행

연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 활용 계획 • 시험시공 (2차) 본 연구는 최종결과물을 통해 아산시립도서관 어린이자료실의 한쪽 벽면에 시험시공을 하여 성능을 검증하고 시설물의 유지를 통해 내구성을 검토하려함 • 상용화 (아이템 확장) 본 연구는 비정형 공공시설물의 마감재를 대상으로 하지만 마감재의 특성상 어떤 건물이나 시설물에도 적용할 수 있는 범용성과 확장성을 가짐. 본 연구의 결과물을 통해 후속과제를 진행하여 아트월, 커튼월 부재, 지붕재 등의 마감재로 확대시켜 상용화 모델을 구축할 계획임 • 사업화 - (사업화) 연구결과를 활용한 사업화 성과로 3개의 연구기관이 협의하여 회사(업사이클링 시티)를 설립(창업)하였고 주관기관 연구책임자가 대표로 취임. 1.1천만원의 시제품 설계 용역을 시작으로 사업화가 진행 중이고 추가용역, 인력고용(2명) 및 기술이전(1건)을 예정하고 법인화 및 투자유치를 준비하고 있음 - (추진계획)개발된 기술과 인프라를 기반으로 세 기관의 협업으로 충남 아산시 음봉 도서관 신축현장에 비정형 월 설계 및 시공을 제안 중이며, 수주 시 공동연구기관 ㈜종합건축사사무소 디에스그룹은 설계, 주관연구기관 순천향대학교는 생산, 공동연구기관 지인디자인㈜는 시공을 수행할 예정 ○ 기대효과 특수한 경우에만 시도되는 비정형 월을 기업이 일반 공사에 사용가능한 방식으로 인식하고 시도하여 미래기술 적용한 건설(설계, 자재, 시공)분야의 새로운 사업영역을 생성함. • 건축 및 환경분야 기대효과 - 본 연구 정보를 활용한 관련 분야 창업, 새로운 사업 영역 창출 - 비정형 공공시설물 마감품질 및 시공능력 향상 - 건축 및 환경 분야 3D 프린팅 기술 활성화 - 공공시설물 가치 증가 및 도시 경쟁력 확보 • 사업화 기대효과 - 비정형 공공시설물 마감품질 및 시공능력 향상 - 지속적 관련 분야 연구를 통한 비정형 마감재 품질 향상 • 사회적 기대효과 - 도시 및 지자체의 정체성 강화 및 심미적 공간 제공 - 폐플라스틱 저감으로 환경문제 해결 - 건축분야 첨단 및 친환경 이미지 제고

국문핵심어 (5개 이내)	3D프린팅	비정형 디자인	재생 플라스틱	마감재	품질향상
영문핵심어 (5개 이내)	3D printing	freeform design	recycled plastic	finshing materials	quality improvement

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1
1-1. 연구 개발의 목적 ····· 1
1-2. 연구 개발의 중요성 및 필요성 ····· 1
1-3. 국내 · 외 기술개발 현황 ····· 4
1-4. 연구 개발의 범위 ····· 11

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 13
2-1. 연구 전략 및 방법 ····· 13
2-2. 연구 수행 내용 ····· 19
2-3. 연구 개발 성과 ····· 23
2-4. 연구 결과 ····· 29
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 51
3-1. 성과 목표 ····· 51
3-2. 목표 달성여부 ····· 52
3-3. 관련 분야 기여도 ····· 54
3-4. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책 ····· 56
4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 57
4-1. 활용 계획 ····· 57
4-2. 기대 효과 ····· 59
붙임. 참고 문헌 ····· 60

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

1.1. 연구 개발의 목적

구분	내용
최종 목표	재생플라스틱용 3D 프린팅 기술을 통한 비정형 공공시설물의 품질평가 20% 향상
세부 목표	○1차년도 1) 마감재용 3D 프린팅 재료 및 생산기술 개발 2) 3D 마감재 모델링 및 최적설계 기술개발 3) 3D 마감재 접합기술 개발 ○ 2차년도 1) 3D 마감재용 후처리기술 개발 2) 3D 마감재 최적 품질·설계 기술개발 3) 3D 마감재용 프린팅 기술 시험시공

1.2. 연구 개발의 중요성 및 필요성

1.2.1. 사회적 이슈의 증가

○ 공공시설물 비정형 디자인 증가

- 전 세계적으로 도시의 정체성과 공공디자인의 역할이 강조되면서 **비정형 디자인을 통해 도시의 아이덴티티와 상징적 디자인 요소를 공공시설물에 적용하는 사례가 증가**하고 있음

- 국내에서도 도시와 지자체를 중심으로 지역별 공공시설물의 가이드라인을 제시하여 기존의 일률적인 디자인과 차별화된 지자체의 정체성을 반영한 비정형 공공시설물을 설치하려는 시도와 사례들이 증가하는 추세임

- 이러한 공공시설물의 비정형 디자인 추세는 최근 개성을 중시하며 삶의 질을 강조하는 소비형태와 도시의 경쟁력확보 노력과 맞물려 더욱 가속화 될 것으로 예상됨

브라질/디자인센터입구	독일/대중교통시설	불가리아/길거리도서관	대한민국/문화집회시설

○ 건설폐기물 저감 노력

- 건설폐기물은 전체 산업폐기물에 50% 이상을 차지하며 최근 자재와 형태가 다양해짐에 따라 그 양이 증가하는 추세이며 불법으로 투기되는 폐기물이 많아 환경오염에 주된 요인으로 지목됨[1)]

- 이를 방지하기 위해 환경부는 '건설폐기물 재활용 기본계획'을 지속적으로 추진 중에 있으며 주된 목표는 건설폐기물의 zero emission 추진과 건설폐기물의 재활용을 통한 자원화와 제품 원료화 추진임[2)]

- 이 중 플라스틱은 중국이 2017년 7월부터 재활용 고체 쓰레기 수입을 중단하기로 발표하면서 우리나라를 비롯한 미국·영국·독일 등은 폐플라스틱 처리에 대한 문제가 단순히 건설산업뿐만이 아닌 국가차원의 문제로 심각한 수준에 이르렀음

- 이에 폐플라스틱의 발생량을 최소화하고 폐플라스틱의 재활용률을 높이기 위해 "재활용 폐기물 관리종합 대책", "지속 가능한 자원순환 정책방향"등을 통한 노력들을 정부차원에서 추진 중에 있음[3)]

1.2.2. 비정형 공공시설 증가와 폐기물 저감의 문제점

○ 품질적 측면

- 비정형 디자인은 기존의 수직, 수평면이 아닌 경사면과 곡면을 사용하기 때문에 **현재 시공 방식으로는 설계안을 그대로 구현하기가 어려우며 이러한 문제는 품질의 저하로 나타남**

- 곡률 설계부족, 곡면 형상제어 부족, 다른 형상이 접하는 조인트 부분 품질 저하 등의 문제가 발생하며 이는 설계의도와 다르게 건물을 조잡하게 만들 수 있으며 건물의 가치를 떨어뜨림

- 이는 기존의 수직, 수평부재를 분리하여 생산하는 2D방식 마감재료 생산방식의 한계로 3차원 부재생산을 위한 새로운 생산방법이 요구됨

와이어,엣지 시공 불량	곡면 형상제어 미흡	줄눈폭 불일치	곡률이 일정하지 않음

○ 비용적 측면

- 비정형 부재는 정형의 **부재를 깎아내어 만드는 과정에서 상당한 양의 재료를 낭비**하며

1) 이지윤, 김영주, 건설폐기물의 재활용에 관한 국내 연구동향 분석 1995-2016, 한국콘텐츠학회, 2017
2) 환경부, 제3차 건설폐기물 재활용 기본계획 수립을 위한 연구, 2016
3) 유지예 외 2명, 국내외 바이오 플라스틱 규제 현황, 인증마크 및 식별 표시 동향, 한국포장학회, 2018

이는 재료비가 상승하여 기존 공사비용보다 증가함

- 시공 측면에 있어서도 시공오차가 발생할 확률이 높아 현장가공이 자주 발생하며 시공의 난이도가 높아 공사시간과 비용이 증가함

○ 환경적 측면

- 대부분 금속재료를 사용함으로써 **재료의 낭비, 재료의 가공을 위해 투입되는 에너지로 인해 비정형 건축물을 생산할 때 발생하는 환경부하가 상당함**

- 건설폐기물 저감을 위해서는 재료의 사용량이 제한되며 재활용이 가능한 재료를 사용해야 하나 비정형 건축물은 재활용 자재의 사용이 어려워 플라스틱과 같은 폐기물 저감에 도움이 되지 않음

1.2.3. 해결기술

○ 3D 프린팅 기술

- 3D 프린팅 기술은 비정형 공공시설과 품질과 비용, 환경부하 저감을 동시에 해결할 수 있는 적합한 생산 기술임
- 3D 프린팅의 생산방식은 노즐에서 재료를 출력하여 적층시켜 3d 형상을 구현하는 기술로 **CNC 가공에 비해 정교한 형상제어가 가능하고 재료를 가공하는 방식이 아닌 적층하여 형상을 만드는 방식으로 재료의 낭비가 적음**
- 3D 프린팅은 건설분야에 요구되는 높은 강성과 크기 때문에 적용이 어려웠으나 공공시설물의 부재를 생산하는 방식은 현재 프린터의 크기와 생산방식을 고려하였을 경우 실용성이 높음

○ 재활용 플라스틱

- 재활용 3D 프린터 재료로 펠릿(원재료), 필라멘트(가공재료)를 사용하며 폐플라스틱의 사용으로 자원의 재사용량을 증가시킬 수 있음
- 재활용 펠릿은 폐플라스틱을 가공한 재활용 입자로써 플라스틱 가공을 위한 원료가 되는 재료로 필라멘트로의 가공 공정이 생략되어 에너지와 비용의 절감 효과가 있으며 재활용 필라멘트는 같은 조건의 3D 프린터에서 출력 속도가 빠르다는 장점이 있음
- 두 방식 모두 폐플라스틱을 재활용을 하여 사용한다는 장점이 있으며 이로 인해 **재료의 낭비를 줄이고 재사용을 통해 폐기물 처리로 인한 환경부하의 저감이 가능함**
- 플라스틱은 현재 건축용 3d 프린터에서 사용되는 콘크리트에 비해 생산속도가 빠르고 확장 및 변경이 용이하며 건축물을 폐기, 보수할 경우 파쇄하여 다시 펠릿형태로의 재가공이 가능하므로 건축된 시설물의 폐기 및 수정 시에도 폐기물 발생이 거의 없음

1.3. 국내·외 기술개발 현황

1.3.1. 국내외 기술현황

○ 재활용 플라스틱 3D프린터 기술현황

	업체명	이미지	기술특성
국내	이조		- 재활용 펠릿을 소재로 형상을 적층해 나가는 일체형 3D 프린터로 기존 소재 대비 10배 이상 재료비가 저렴함 - 3D 프린팅 후 버려지는 필라멘트 여분과 서포트로 사용된 재료를 재활용하여 3D 프린팅 가능 - 원형의 뭉툭한 익스트루더 사용으로 마감 표면이 매끄럽지 못함 - 기존 FDM 방식 3D 프린터보다 출력 속도가 빠르고 대형(600×600×600mm) 사이즈 출력이 가능함
국외	re:3D		

- 노즐의 크기가 커 적층 레이어의 표면이 매끄럽지 않아 마감재로의 활용도가 낮으나 건축상품의 소재, 크기에 따라서 고객 및 현장 맞춤형 제품 생산이 가능해 추후 사업화가 유망함
- 특히, 소형자재의 경우 현 적층제조기술(FDM)과 기존 생산기술을 연계하여 디자인, 경제성, 생산성을 만족하는 공급전략이 필요하며 마감재의 3D 모델링과 품질처리 공정기법의 개발이 요구됨
- 건축 전용의 프린팅 기술은 시장 도입기로서 기술 개발 전략의 수립이 중요하고 출력물의 오차와 출력 속도, 강도 등의 한계점을 개선하기 위한 기술적, 전략적 방안이 필요함
- **기존의 기술들은 건축용 미감재를 생산하기에는 아직 품질에 한계가 있으며 생산을 위한 크기 및 속도에 대한 고려가 충분하지 못함**

○ 재활용 플라스틱 3D프린터 특허현황

기존특허					
특허명	출원번호	출원일	출원인	분야	특징
일체형 필라멘트형 성형물 압출시스템	10-2016-0054676	2016.05.03	주식회사 이조	장비	- 펠릿 형태의 원료를 사용하여 필라멘트의 제조와 동시에 3D 프린팅 작업 가능
3D 프린터 재료 재활용 장치	10-2015-0083179	2015.06.12	소대섭	장비	- 3D 프린터 재료 재활용 장치로서 재활용 재료를 녹여 일정한 두께의 필라멘트로 제조함
비정형 내외장재의 소량 다품종 생산을 위한 로보틱 기반의 융합형 형상변형몰드 제작장치 및 비정형 내외장재 성형용 몰드 제작방법	10-2018-0026469	2018.03.06	주식회사 건축사사무소 디지털건축연구소위드웍스	장비/제작방안	- 비정형 내·외장재의 소량 다품종 생산을 위한 특수한 형태의 로보틱 기반의 융합형 형상변형몰드 제작장치

- 재활용 펠릿을 이용한 3D 프린팅 기술 특허는 수가 적으며 폐플라스틱을 녹여 3D 프린팅용 필라멘트로 제조하는 장비에 대한 특허가 존재함
- 또한 재활용 플라스틱을 사용하는 3D프린팅의 경우 재료의 기술에 집중되어 있어 프린터의 사양에 대한 기술특허는 거의 없음
- **건축용 내·외장재를 재생 플라스틱을 소재로 하여 3D 프린팅이 가능하도록 개발할 경우 기존 특허들과 충분한 차별성을 가질 것으로 보임**

○ 재활용 플라스틱 3D프린터 연구현황

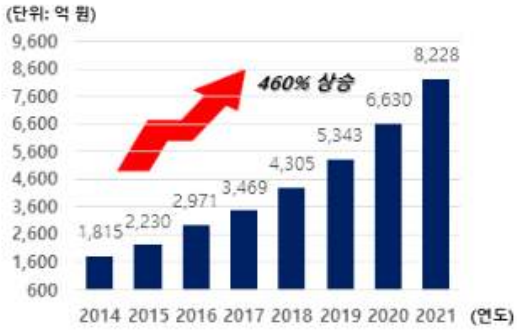
기존 연구개발과제					
발주처	과제명	수행기간	예산 (백만원)	분야	연구내용
산업통상자원부	펠릿(3D프린터 원료)를 이용한 일체형 3D프린터 기술개발	2015-07-01 2016-06-30	300.00	제조업	- 펠릿 형태의 원료를 이용한 일체형 3D프린터 개발
중소기업기술정보진흥원	펠릿 전용 압출기를 이용한 3D프린터 개발	2016-09-01 2017-05-31	66.15	제조업	- FDM 방식의 산업용 3D프린터 개발 경량화 및 진동 내구 특성을 고려한 메인 프레임 구조 설계
중소기업기술정보진흥원	폐 PET병의 친환경 업사이클링을 위한 3D 프린터 기술개발	2017-08-21 2017-12-20	34.00	공정개발	- 폐PET병의 친환경 업사이클링을 위한 3D 프린터 기술개발

- 기존 연구과제는 펠릿 형태의 원료 및 폐플라스틱을 이용한 3D 프린터 장비 개발에 초점이 맞춰져 있으며 장비를 활용한 기술이나 생산된 자재의 기술분야에 대한 특성을 고려되어 있지 않음
- 본 연구는 단순히 재생플라스틱을 사용하는 3D 프린팅에 대한 연구가 아닌 **비정형 건축용 마감재를 생산하기 위한 3D 프린팅 기술개발로 기존 연구와 차별성을 가지며 건축분야의 실용화를 갖기 위한 특성화가 강조된 연구**라 판단됨
- 또한 재생 플라스틱을 사용하는 3D 프린팅 연구와도 연계가 가능하며 현재 진행 중인 **콘크리트를 사용하는 건축분야의 3D 프린팅 연구와도 골조-마감 형태의 연계가 가능**하며 확장성이 높은 연구임

1.3.2. 국내외 시장현황[4)]

○ 3D프린터 국내시장 현황

<국내 3D 프린팅 시장규모 및 성장 전망>

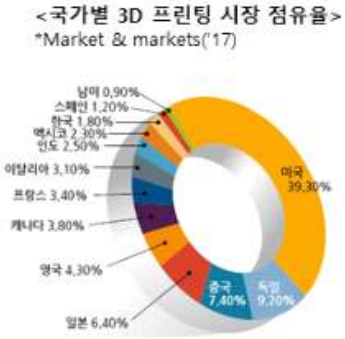


<국내 3D 프린팅 부문별 시장현황>

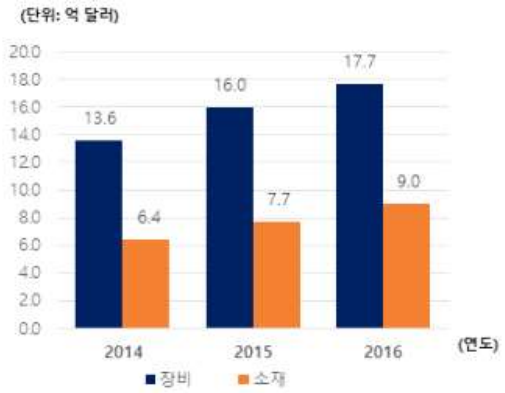
- <u>'19년 국내시장은 '18년 4,305억 원보다 24.1%증가한 5,343억 원으로 예상되며 '22년까지 1조원 규모로 성장(CAGR 24.1%) 전망</u>
- 국내 시장은 아직 초기 단계이며 국내 시장에서 3D 프린터의 90%가 수입품이고 3D 프린터 장비 관련 원천기술 취약, 소재 및 소프트웨어 개발의 부족으로 우리 기업이 세계시장 참여는 미진하며 관련 기술개발을 대부분 외국 기업에 의존하는 악순환이 지속되고 있음.
- 부문별 시장을 조사한 결과 장비시장과 S/W 시장이 75% 이상을 차지하며 소재와 서비스 시장은 규모가 작지만, 교육 분야 활성화(전년보다 24.4%↑) 등으로 매년 10%가량 성장하고 있으며 활용 확산을 위해 적용 분야 다양화 등을 요구하고 있음.
- 기술 수준에서는 최고 기술국인 미국의 75% 수준이며, 격차는 2.6년 뒤쳐짐(유럽과 기술격차는 2.5년 일본 1.7년, 중국 0.9년)[5)]
- 최근 건축 분야에서도 CAD기반의 2D 설계에서 3D 설계로 전환되는 추세이므로 3차원 모델링 기술을 활용한 마감재의 설계기술 시장은 지속적으로 성장 추세에 있음.
- 또한, 3D 프린터를 활용한 시공법이 새롭게 등장하고 있으므로 공기 및 원가 산정을 포함한 새로운 엔지니어링 소프트웨어의 개발과 새로운 공정관리 플랫폼이 시장에서 필요할 것으로 전망됨.

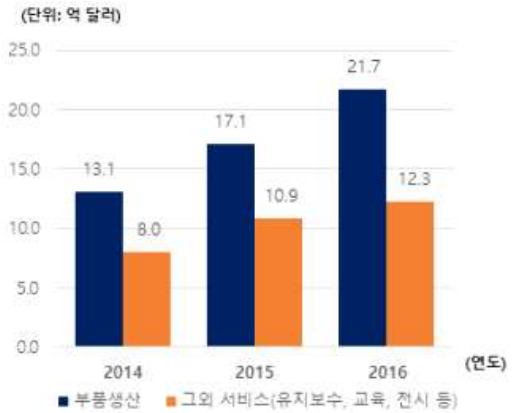
4,5) 2018년 3D프린팅산업 진흥 시행계획 관계부처 합동
5) 기술 수준 평가 보고서

○ 3D프린터 국외시장 현황 6)



- <u>'18년 세계시장 규모는 전년보다 21.8% 증가한 95억 달러로서 '22년까지 262억 달러로 고성장</u>
  <u>(CAGR 27.6%)전망7)</u>
- 3D 프린팅 시장은 미국, 독일의 기계 항공 자동차 분야 위주의 소수 기업(Stratasys, 3D systems 등)이 시장을 주도하고 있으나 향후 산업용 장비 서비스 중심으로 확대되어 중국, 일본, 유럽 등의 글로벌 기업도 시장에 참여할 것으로 전망됨.

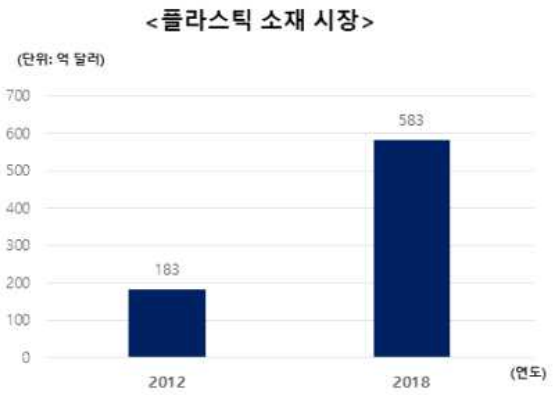




- 3D 프린팅 장비, 소재 등의 '제품' 시장(26.7억 달러, 2016년 기준)보다 3D 프린팅 기술 활용 부품 생산, 유지보수, 교육 등 '서비스' 시장 비중이 56%(34억 달러)로 높고, 성장률도 빠른 추세임

7) Wohlers Associates

○ 3D프린터 원료 시장



- 3D 프린터 재료 시장은 2015년 437억 달러에서 2018년 686억 달러, 2021년 1,409억 달러에 도달할 것으로 전망됨
- <u>이 중 플라스틱 소재 시장의 경우 연평균 23.3% 성장률을 보여 2012년 1.8억 달러에서 2018년도 5.8억 달러 규모로 성장하였음.</u>

○ 폐플라스틱 활용시장

- 사업장 폐플라스틱 발생량은 2011년 약 325만 톤에서 2015년 약 458만 톤으로 크게 증가하였으며, 이는 국내 플라스틱 제품 제조 산업 규모가 크게 증가함에 따라 함께 증가한 것으로 판단됨
- 폐플라스틱의 전체적인 처리현황은 2011년 기준, 재활용이 약 52%, 소각 등 열적처리가 약 41%, 매립이 약 7%로 나타났고, 2015년 기준, 재활용이 약 60%, 소각 등 열적처리가 약 35%, 매립 등 기타 방법에 의한 것이 약 5%로 나타났으며 폐플라스틱의 처리 현황 중 재활용률이 증가하는 수치를 보임

<재활용 플라스틱 업사이클링 현황>

- 단순 재활용률은 다른 국가에 비해 높은 편이지만 <u>재활용 재료를 활용한 제품을 생산하는 업사이클링(upcycling)의 비중은 낮은 수준</u>[8)]
- 이에 폐플라스틱을 통한 재활용 제품을 생산하는 방식에 대한 노력이 요구되고 있음

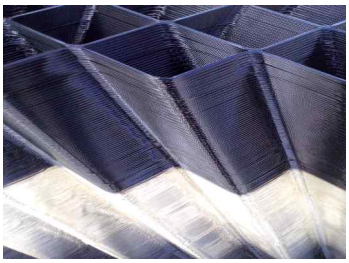
8) 국립환경과학원

1.3.3. 3D 프린터 정책동향

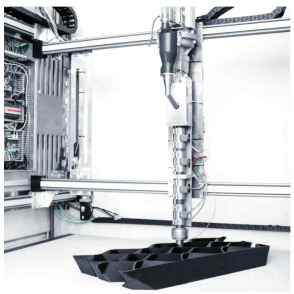
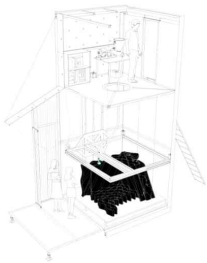
- 2012년도 미국 대통령(Barack Obama)의 '3D 프린팅 산업 육성'의 일환으로 3D 프린팅 관련 기술개발 연구의 거점인 'America Makes'(구 NAMII)를 설립하여 8개 분야로 세분화하여 로드맵 및 기술개발 사업을 추진 중에 있음.
- Reuters에 따르면 '15년 10월 EU는 첨단 기술 육성을 통해 2020년까지 GDP의 제조업 비중을 16%에서 20%로 늘릴 계획을 세웠으며 대안으로 3D 프린팅을 언급함
- 영국에서는 2010년 노팅엄 대학과 셰필드 대학 등에 3D 프린터 연구 조직을 설립하여 R&D 자금을 지원하고 있으며, 2014년 6월에는 영국 정부가 설립한 기술전략위원회와 혁신대학기술부 산하 연구위원회가 공동으로 3D 프린터 기술분야의 18개 R&D 프로젝트에 대해 840만 파운드 지원계획을 발표하고, 복스홀 암페라(Vauxhall Ampera)와 같은 주행거리 연장형 전기차(range extended electric vehicle)용 신규 마이크로 터빈 개발 등을 개시하고 있음.
- 일본의 경우, 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. 2014년 5월 경제산업성에서 AIST와 Cmet, 닛산자동차 등 이 참여하는 3D 프린터 기술개발 과제를 출범시켰으며, 3D 프린터의 경쟁력 강화 및 대응 방안을 도모하고 있음.
- 중국과학기술부는 "국가 기술발전 연구계획 및 2014년 국가과학기술 제조영역 프로젝트 지침"에 3D 프린터를 처음으로 포함시키며 약 72억원 규모의 4개 R&D 과제를 출범시켰으며, 공업정보화부에서도 3D 프린터 산업 육성을 위한 표준을 수립 중에 있음.
- 우리나라의 경우, 2014년 '3D 프린팅 산업 발전전략'의 수립을 통해 국내의 수요창출 및 장비/소재/SW 관련 산업 성장을 위한 4대 추진전략 및 11대 세부추진과제를 마련하였으며 2020년까지 전 세계 3D 프린터 산업의 선두로 올라선다는 정책을 발표함
- 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 것보다 **외국과 차별점을 가질 수 있는 실질적인 기술을 개발하고 이를 지원**하는 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**

1.3.4. 재활용 플라스틱 프린터 선도업체 (DUS Architectures, Netherlands)[9]



- 지속 가능한 맞춤형 및 주문형 주택 솔루션을 개발하기 위해 3D 프린팅 기술을 사용하였으며 콘크리트와 재활용 플라스틱을 사용하는 등 환경친화적인 건설 프로젝트의 가능성과 잠재력을 볼 수 있는 사례임
- 3D 프린팅 출력된 검은색의 바이오 기반 소재로 다양한 형태의 파사드 장식, 양식 최적화 기술 및 단열재 소비 및 재료 소비를 위한 스마트 솔루션이 적용되었음.
- 공기가 짧으며 개발도상국 및 건설 환경 조건이 까다로운 곳, 구호 주택 등에 활용될 수 있으며 인구밀집 도시의 주거 및 도시 환경 개선 솔루션으로 활용이 가능하고 철거 후 재료를 분쇄하여 다시 재료로 활용할 수 있어 환경문제를 줄일 수 있는 선순환 구조 시스템임.
- 사용 3D 프린터 : XL 3D 프린터

XL 3D 프린터

- 최대 볼륨 크기 : 1.6m x 1.6m x 4.5m
- 재료 : 바이오 기반 또는 재활용 소재(인쇄 된 제품은 사용 후 파쇄되어 프린터에 다시 넣을 수 있음)
- FDM 적층 방식의 3D 프린터

- 본 연구과제는 마감재를 생산하여 프레임에 설치하는 방식이므로 이 기술의 **일체형 블록 방식과 생산과정에 차별성을 지니며 프레임에 부착하는 방식으로 기존의 시공법에도 적용되게 함으로써 범용성과 확장성을 기닌 연구기술임**
- 국내 건축분야는 아직 3D 프린팅 기술의 도입단계로 기술적용의 용이성을 고려하여 기존의 기술에도 적용이 가능한 3D 프린팅 기술이 상용화 가능성이 높다고 판단됨

9) https://houseofdus.com/#section-manifesto

1.4. 연구 개발의 범위

1.4.1. 1차년도

① 개발 목표

- 주관연구기관(순천향대학교) : 3D 마감재용 재료 및 프린팅기술 개발
- 공동연구기관(디에스그룹) : 3D 마감재 모델링 및 최적분할 기술개발
- 공동연구기관(지인디자인) : 3D 마감재 접합기술 개발

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(순천향대학교)
  · 3D 프린팅 기존 생산방식 분석
  · 3D 마감재 생산방식 및 시공 프로세스 아이디어 도출
  · 3D 마감재 생산 및 시공방법 개발
  · 3D 마감재 재생 플라스틱 재료설정 시험
  · 마감재용 3D 프린터 노즐 크기 및 속도 시험

- 공동연구기관(디에스그룹)
  · 형상정보 모델링 플랫폼 설정
  · 3D 형상정보 분석 및 분할 알고리즘 설정
  · 3D 마감재 최적 분할 알고리즘 개발
  · 3D 마감재 최적 분할 알고리즘 적용 및 평가

- 공동연구기관(지인디자인)
  · 공공시설물 프레임 구조 분석
  · 프레임 단순화 기술개발
  · 프레임-마감재 접합방식 아이디어 도출
  · 프레임-마감재 접합기술 개발

1.4.2. 2차년도

① 개발 목표

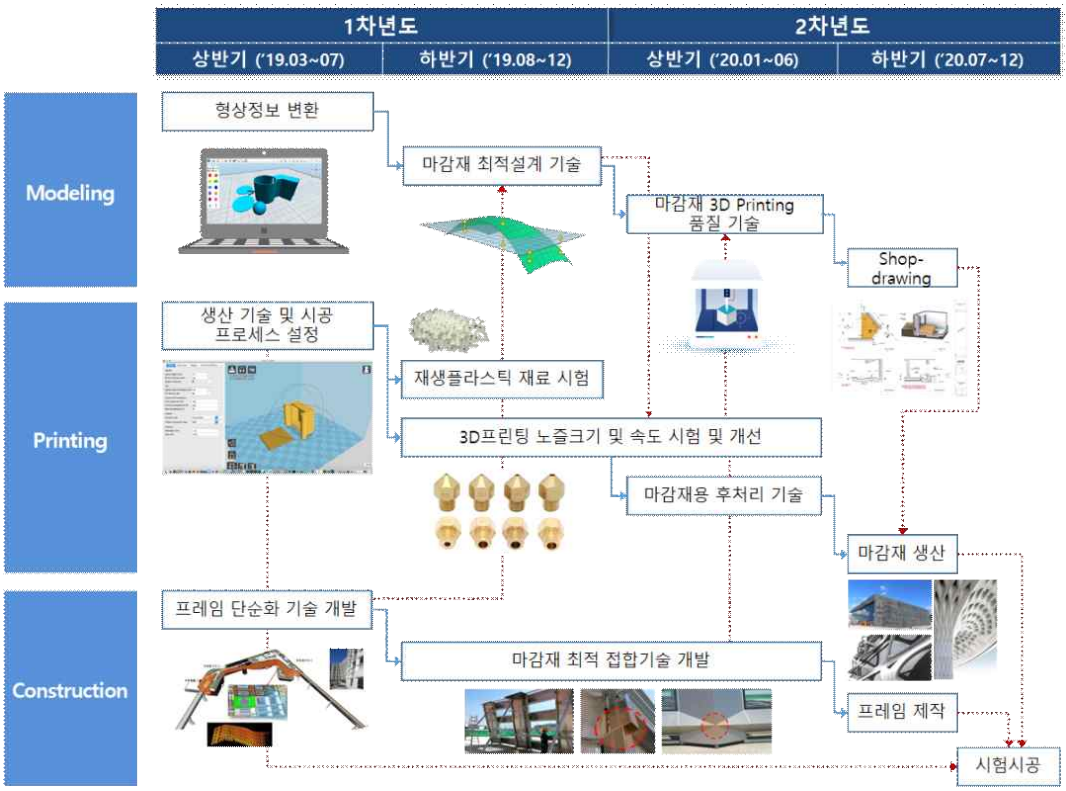
- 주관연구기관(순천향대학교) : 3D 마감재용 후처리기술 개발
- 공동연구기관(디에스그룹) : 3D 마감재 최적 품질·설계 기술개발
- 공동연구기관(지인디자인) : 3D 마감재용 프린팅 기술 시험시공

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(순천향대학교)
  · 마감재용 3D 프린터 마감재 불량 및 오차검토
  · 마감재용 3D 프린터 재료 및 사양 개선
  · 3D 프린터 후처리 기술 분석
  · 마감재용 보조 출력물 제거 아이디어 도출
  · 마감재용 보조 출력물 제거 기술 개발
  · 시험시공 벽면 마감재 생산
  · 시험시공 및 마감재용 3D 기술개선

- 공동연구기관(디에스그룹)
  - 3D 마감재 기준면 및 출력방향 설정
  - 3D 마감재 최적 설계기술 개발
  - 3D 마감재 최적 설계기술 적용 및 평가
  - 3D 마감재 시험시공을 위한 shop-drawing 모델링

- 공동연구기관(지인디자인)
  - 프레임-마감재 접합부 시험 및 개선사항 도출
  - 프레임-마감재 접합부 개선
  - 시험시공벽면 프레임 제작
  - 시험시공벽면 마감재 설치 및 분석



<연차별 연구개발 내용>

2. 연구수행내용 및 성과

2.1 연구 전략 및 방법

2.1.1. 연구 추진 전략

○ 연구기관의 구성

- 재생플라스틱용 3D 프린팅 기술개발을 위해 프린팅, 모델링, 시공 전문성을 가진 연구기관으로 연구팀을 구성하여 각 세부연구를 진행함

<순천향대학교>

- 이태희 교수 : 비정형디자인과 3D 프린팅에 관한 다수의 지적재산권 및 수상실적 보유
  순천향대학교 Industry inside 센터장으로 3D 프린터 관련 교육 및 연구수행
- 임현수 교수 : 건설공법, 장비개발 관련 다수의 국책과제 수행실적 및 지적재산권 보유
  수행과제 2016 국토교통 R&D 우수성과 20선 선정

<디에스그룹>

- BIM을 통한 비정형 모델링과 3D 설계 전문기업, 기술혁신형 인증기업

<지인디자인>

- 인테리어 디자인&시공 전문기업으로 비정형 입면 및 인테리어 시공실적 다수 보유

- 각 연구기관은 전문분야 연구를 수행하며 연계되는 기술 분야를 협업하고 주관연구기관인 순천향대학교가 연구의 최종목표를 위한 연구과제 진행 및 성과물 도출을 관리함

- 주관연구기관은 3D 프린팅과 모델링 관련 전문기업을 자문기관으로 두어 기술정보의 수집, 연구의 전문성 및 실용성 확보를 위해 활용함

<연구기관의 구성 및 연계방안>

○ 자문기관

- 건축용 3D 프린터와 모델링의 **국내 최고수준의 전문연구기관이 자문기관으로 참여**

<프리폼연구소>

- 건축용 대형 3D프린팅 기술연구와 비정형 건축물의 BIM엔지니어링을 수행
- 건축용 대형프린터의 연구개발 및 제작에 있어 선도기업으로 3D 프린터 하드웨어 자문

<CBTS>

- 3D 스캐닝을 통한 포인트클라우드 데이터를 모델링하여 역설계 및 CG, VR 컨텐츠를 제공
- 스캐닝 데이터를 통한 모델링 전문 선도기업으로 3차원 모델링 자문

<프리폼연구소>
NASA 우주기지 3D프린팅 챌린지 우승

<CBTS>
국립국악원 공연장 역설계 모델링

○ 연구인프라 활용

- 주관기관인 순천향대학교는 Industry inside라는 연구 및 교육센터를 운영하고 있으며 센터에는 다수의 3D 프린터, 후가공 시설, 데이터 처리 및 통신시설 등을 보유하고 있음
- Industry inside center의 센터장은 주관연구책임자인 이태희 교수로 3년간 Industry inside center를 운영하며 3D 프린팅에 관한 다양한 연구와 교육을 통해 충분한 노하우를 가지고 있음
- 이태희 교수는 본 연구를 위해 **장비를 최소한으로 구입하며 현재 Industry inside center에서 구축한 다양한 3D 프린팅 장비와 공간, 네트워크를 활용하여 재료 및 실험을 통해 연구개발이 가능함**
- 본 연구팀인 디에스그룹과 지인디자인 역시 기존에 Industry inside center의 장비를 활용하여 연구 및 교육을 함께 진행한 경험이 있어 **인프라 사용에 별도의 교육없이 단기간에 본 과제의 수행이 가능함**

<Industry inside center의 소형 3d 프린터>

<2018 국제3D프린팅코리아 엑스포 부스운영>

○ 3D 프린팅 관련 장비구축 현황

- 순천향대학교의 Industry inside가 보유하고 있는 장비는 다음과 같음
- **소형 3D 프린터 37대, 대형 3D 프린터 3대, 산업용 정밀 3D 프린터 5대, 플라스틱 파쇄기 1대, 모델링을 위한 다수의 소프트웨어**를 보유하고 있어 본 과제 수행에 충분한 인프라를 갖추고 있음

구분	장비명	규격(mm)	수량(대)
소형 3D 프린터	Sindoh DP200	제작크기 : 210*200*195 방식 : FDM	30
	Sindoh DP201	제작크기 : 210*200*189 방식 : FDM	3
	Sindoh 2x	제작크기 : 228*200*300 방식 : FDM	2
	UPbox	제작크기 : 255*205*205 방식 : FDM	2
대형 3D 프린터	Cross 3.0	제작크기 : 500*500*1,000 방식 : FDM	2
	Freeform RC1000A	제작크기 : 1,000*1,000*1,000 방식 : FDM	1
산업용 3D 프린터	Projet 660Pro	제작크기 : 254*381*203 방식 : CJP	1
	Master EV	제작크기 : 200*112*200 방식 : DLP	1
	Projet 3510HD	제작크기 : 298*185*203 방식 : MJP	1
	RS6000	제작크기 : 600*600*400 방식 : SLA	1
	RS450	제작크기 : 600*600*400 방식 : SLA	1
플라스틱 파쇄기	GV 400 Crusher	제품크기 : 1,010*815*1,330 용량 : 시간당 200kg	1
소프트 웨어	Rhinoceros 3D	3D 모델링 프로그램	20
	Magics	3D 모델링/프린팅 편집 프로그램	1
	Soildworks	3D 모델링 프로그램	21
	Catia	3D 모델링 프로그램	20
	SketchUp	3D 모델링 프로그램	20

○ 연구개발 추진체계

연구개발과제		총 참 여 연 구 원
과제명	비정형 공공시설물의 품질향상을 위한 재생 플라스틱용 3D프린팅 기술 개발	주관연구책임자 (이태희)외 총 11명

기 관 별 참 여 현 황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
대 기 업		
중견기업		
중소기업	2	5
대 학	1	7
국공립(연)		
출 연 (연)		
기 타		

순천향대학교
원가절감형 3D마감재 프린팅 기술 개발
연구책임자명 (이태희)외 6명
담당기술개발내용
3D마감재용 재료 및 프린팅 기술과 그에 따른 후처리 기술 개발

(주)종합건축사사무소 디에스그룹	지인디자인(주)
3D마감재 최적모델링 기술 개발	형상맞춤형 3D마감재 시공 기술 개발
연구책임자명 (조진만)외 1명	연구책임자명 (박지윤)외 2명
담당기술개발내용	담당기술개발내용
3D마감재 모델링 기반 최적 배치 및 최적 설계 기술 개발	3D마감재 접합기술 및 마감재용 프린팅 기술 개발

○ 연구 개발 추진 일정

1차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비(단위: 천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	3D 프린팅 기존 생산방식 분석													10	이태희(순천향대학교)
2	3D 마감재 생산방식 및 시공프로세스 아이디어 도출													10	
3	3D 마감재 생산 및 시공방법 개발													37	
4	3D 마감재 재생 플라스틱 재료설정 시험													20	
5	마감재용 3D 프린터 노즐 크기 및 속도 시험													20	
6	형상정보 모델링 플랫폼 설정													10	조진만(디에스그룹)
7	3D 형상정보 분석 및 배치 알고리즘 설정													10	
8	3D 마감재 최적배치 알고리즘 개발													15	
9	3D 마감재 최적배치 알고리즘 적용 및 평가													10	
10	공공시설물 프레임 구조 분석													10	박지윤(지인디자인)
11	프레임 단순화 기술 개발													20	
12	프레임-마감재 접합방식 아이디어 도출													15	
13	프레임-마감재 접합기술 개발													31	

2차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비(단위: 천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	마감재용 3D 프린터 마감재 수축 및 변형 검토													5	이태희(순천향대학교)
2	마감재용 3D 프린터 재료 및 사양 개선													5	
3	3D 프린터 후처리 기술 분석													15	
4	마감재용 후처리 기술 아이디어 도출													15	
5	마감재용 후처리 기술 개발													30	
6	시험시공 벽면 마감재 생산													43	
7	시험시공 및 마감재용 3D 기술 개선													10	
8	3D 마감재 기준면 및 출력방향 설정													5	조진만(디에스그룹)
9	3D 마감재 최적 설계기술 개발													23	
10	3D 마감재 최적 설계기술 적용 및 평가													10	
11	3D 마감재 시험시공을 위한 shop-drawing 모델링													15	
12	프레임-마감재 접합부 시험 및 개선사항 도출													5	박지윤(지인디자인)
13	프레임-마감재 접합부 개선													10	
14	시험시공벽면 프레임 제작													40	
15	시험시공벽면 마감재 설치 및 분석													40	

2.1.2. 연구 방법

- 3D 마감재용 재료 및 프린팅기술 개발 : 품질기능전개 기법(QFD), TRIZ 기법, 재료조합 실험
- 3D 마감재 모델링 및 최적분할 기술개발 : 배치알고리즘을 활용한 분할기법, BIM 모델링
- 3D 마감재 접합기술 개발 : 기존 마감재 접합방식 분석을 바탕으로 브레인스토밍

2.2 연구 수행 내용

연도	연구목표	세부연구내용	세부연구목표(목표치)	연구 수행 내용
1차년도 (2019)	마감재용 재료 및 3D프린팅 기술	3D 마감재용 프린팅 재료	① 마감재 강도(100) ② 마감재 오차율(5%이내)	기존 마감재 대비 강도↓ (미흡, 2차년도 추가 연구) 오차율 10% (미흡, 2차년도 추가 연구)
		마감재용 3D프린터	① 생산 속도 향상(10%)	생산속도 10% 향상(달성)
	3D 마감재 최적분할 기술	최적분할 알고리즘	① 형상정보 변환(10%) ② 3D마감재 비출력 경로 최소화(20%)	오차 없음 (달성) 비출력 경로 최적 대안 탐색(달성)
	3D 마감재 접합기술	마감재 접합기술	① 시공용이성 향상률(10%) ② 시공속도 향상률(10%)	시공용이성 및 시공속도 향상(달성)
2차년도 (2020)	3D 마감재 품질 향상 기술	마감재용 3D프린팅 품질 기술	① 마감재 불량률(3%이내) ② 마감재 오차율(1%이내)	불량률 28.5% (달성) 오차율 0.98% (달성)
		후처리 기술	① 보조 출력물 제거 소요 시간(30%단축)	소요 시간 95% 단축 (달성)
	3D 마감재 최적 설계 기술	비정형 마감재 최적 분할 알고리즘	① 3D 프린팅 출력 불가 패널 저감율(10%)	저감율 8% (달성)
		마감재 시공 도면	② Shop-modeling작성(샵도면)	시공 도면 작성
	3D 마감재 시험 시공	3D 마감재 시험시공	① 시공 시간(20%단축) ② 시공 품질(품질향상) ③ 시공 비용(20%저감)	시공 시간 25.87% 단축 (달성) 시공 품질 향상 (달성) 시공 비용 12.07% 저감 (달성)

2.2.1. 1차년도 연구 수행 내용

○ 3D 마감재용 재료 및 프린팅 기술

[3D 마감재용 프린팅 재료]
① 마감재 강도
- 비정형 패널을 실제 시공 시 사용하기 위하여 강도 및 내후성 평가 후 검증
- 3D프린팅으로 생산한 비정형 패널의 압축강도를 알아보기 위해 실험 실시
- 기존 마감재보다 3D 프린팅 비정형 마감재의 강도가 약하다는 결과가 도출됨
- 비정형 패널의 구조적 문제를 해결하기 위한 구조 프레임 설계 보완 (2차년도 추가 진행)

② 마감재 오차율
- 3D 프린팅 재료 물성 파악 후 비정형 패널의 형태 변형, 출력 오류, 형상 오차 등 품질 저하 요인 분석 및 해결 방안 연구
- 용융 상태의 필라멘트가 고체로 굳어지면서 외부 환경 요인 및 직접적인 노즐, 배드의 온도에 따라 재료의 수축이 발생
- 오차율 10% 달성 (2차년도 추가 진행)

[마감재용 3D프린터]
① 생산 속도
- 기존 노즐 크기를 이용한 생산방식 분석
- 출력물 내 내부채움(Infill) 설정값과 생산속도 연관성 분석
- 모델링 방식에 따른 생산속도 분석
- 생산속도의 향상으로 5개 Set Test결과 생산 시간이 절감
- 생산속도 향상 목표치인 10%에 도달 (목표치 달성)

○ 3D 마감재 최적분할 기술

[최적분할 알고리즘]
① 형상 정보 변환
- 기존 모델링 비교 분석
- 설계도를 통한 검증 실시
- 검증 결과 오차 없음 (목표치 달성)

② 비출력 경로 최소화
- 비출력 경로가 길어짐에 따라 비효율적인 생산방식이 되므로 이를 해결하고자 최적화 알고리즘을 제안
- 최적화 알고리즘을 적용하여 비출력경로가 최소화되어 생산성 및 효율성을 높일 수 있는 패널의 출력 순서와 배치를 생성
- Harmony Algorithm을 통한 비출력 거리 최소화 함수 연산 및 최적 출력배치 및 순서 도출로 비출력 경로 최적 대안 탐색 완료 (목표치 달성)

○ 3D 마감재 접합기술

[마감재 접합기술]
① 시공용이성 향상률
- 자재 결속, 시공공정이 많아 시공 용이성이 떨어지고, 공사인원 투입 증가
- 마감 면 오차로 인한 마감재 재생산이 들어가는 경우 공사기간의 지연
- 비용적인 측면에 대한 우려가 높아 비정형 시설물에 대한 수요가 미비
- 이에 3D 프린팅을 활용한 마감재 생산, 시공 방식을 연구 개발
- 자재 결속 및 공정 감소 시공 프로세스로 인한 시공용이성 향상 (목표치 달성)

② 시공속도 향상률
- 기존 접합 시간과 자체 개발 접합 시간 비교
- 접합 속도 20% 감소, 시공속도 향상 (목표치 달성)

2.2.2. 2차년도 연구 수행 내용

○ 3D 마감재 품질 향상 기술

[마감재용 3D프린팅 품질 기술]
① 마감재 불량률
- 비정형 마감재의 품질 향상을 위하여 생산 마감재 불량률 측정 평가 후 검증
- 불안정한 베드 접착 및 디자인 공정 과다로 생산품질의 불량이 발생함
- 1차년도 접합형의 문제점을 개선한 2차년도 구조형의 불량률은 2.85% (목표치 달성)

② 마감재 오차율
- 비정형 마감재의 오차율 측정 평가 후 검증
- 2차년도 비정형 패널(마감재)에 맞는 프린팅 속도 설정
- 슬라이싱 프로그램(CURA) 프린팅 속도 설정 값 변경
  기존 프린팅 속도 : 60mm/s => 변경 프린팅 속도 : 40mm/s
- 35개의 비정형 패널 출력 결과, 약 1개의 품질이 미흡함.
- 오차율 0.98% (목표치 달성)

[마감재 후처리 기술]
① 보조 출력물 제거 소요 시간
- 비정형 마감재 보조 출력물 제거 소요 시간과 기존 방식 비교 평가 후 검증
- 2차년도 개발 비정형 마감재의 형태는 서포터가 없는 날개구조 형태로 프린팅 진동을 해결하기 위한 래프트만 생성
- 2차년도 비정형 마감재 출력 후 서포터 제거 소요 시간 X
- 보조 출력물 후처리 소요 시간 95% 감소 (목표치 초과 달성)

○ 3D 마감재 최적 설계 기술

[비정형 마감재 최적 분할 알고리즘]
① 3D 프린팅 출력 불가 패널 저감율
- 비정형 마감재의 불량 패널 저감을 위하여 기존 분할 방식 비교 평가 후 검증
- 설정된 패널 개수, 크기, 좌표점 추출을 통해 비정형 월을 벽면 패널을 출력할 프린터에 맞게 분할하는 알고리즘 개발
- 저감율 8% 달성 (목표치 달성)

[마감재 시공 도면]
② Shop-modeling작성
아래와 같은 내용으로 시공 도면 작성
- 설치 장소
• 엘리베이터 홀 벽 시공

- 활용 자재
• 프로파일 + 철물 잡자재

- 체결 방식
• 패널 접합부와 볼트&너트 체결 방식
• 패널 접합부 1당 조인트 약 0.25개

- 구조 및 시공 방식
• 각관 + 3D프린팅 제작 잡자재
• 비내력벽 활용 각관 구조
• 3D프린팅 활용 각관 간 조인트 구성

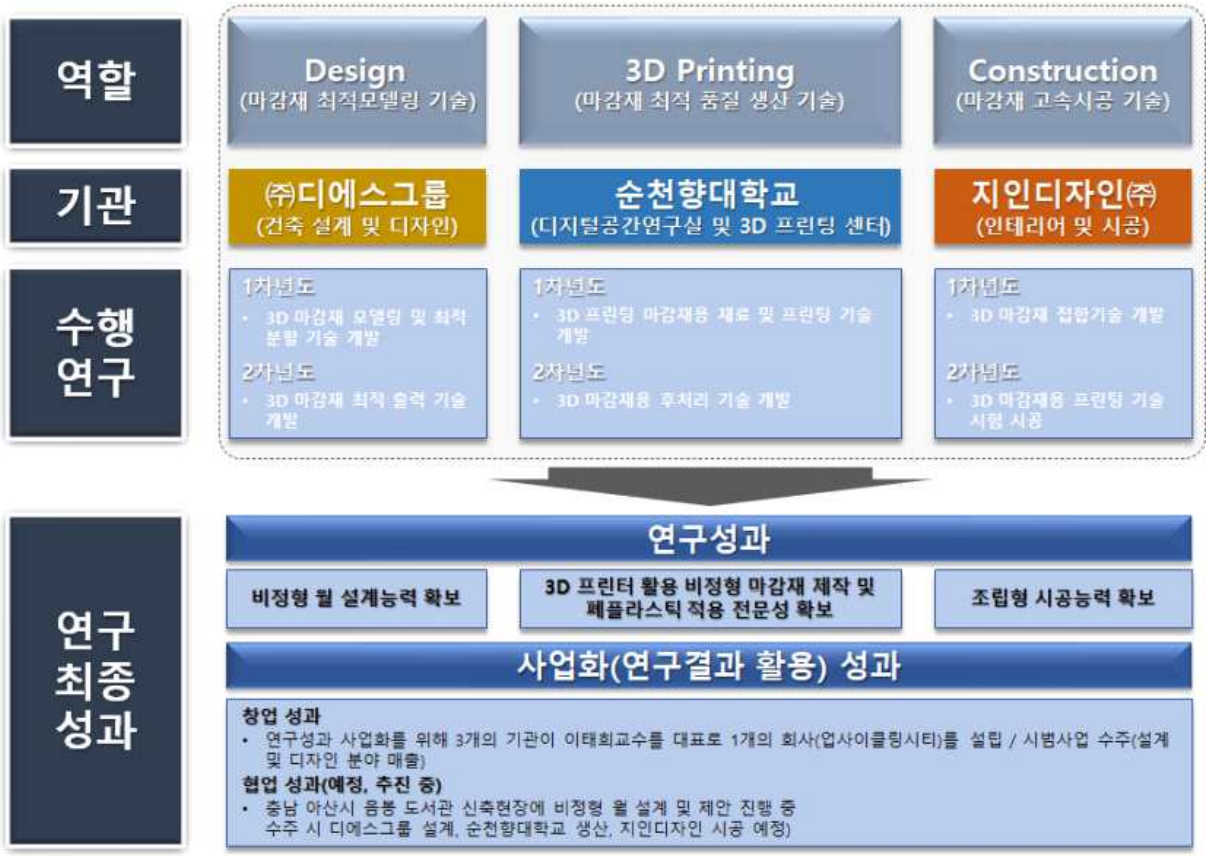
○ 3D 마감재 시험 시공

[3D 마감재 시험 시공]
① 시공 시간
- 비정형 마감재의 시공 시간 단축 측정 평가 후 검증
- 1차년도와 달리 2차년도 모델의 접합 부분 길이 조절로 인해 조인트의 길이는 모두 같도록 설계
- 1차년도는 마감재당 7.23분이 소요되었고, 2차년도는 5.36분이 소요되었음
- 1차년도보다 2차년도가 25.87% 시공 시간이 단축되었음 (목표치 달성)

② 시공 품질
- 비정형 마감재의 시공 품질 향상 사용자 만족도 평가 후 비교 분석 검증
- 비정형 패널(마감재) 품질 및 시공 기술의 중요도 순위를 결정하여 비정형 패널(마감재) 시공 시 시공품질 향상을 위한 방안을 제시
- 품질 향상에 필요한 마감재 품질 및 시공기술을 선정함, 5점 척도로 시공품질 향상을 위한 기술의 중요도를 설정
- 2차년도 품질 향상, 시공기술 향상, 시공품질 향상이 되었음이 검증됨

③ 시공 비용
- 비정형 마감재의 시공 비용 저감 비교 분석 후 검증
- 비정형 마감재의 형태 변형으로 불량률 저감을 통한 생산 비용 절감
- 연결부 형태 변형으로 프로파일 철물 제작 과정 삭제
- 생산품질 하자율 저감으로 인한 재료비용 감소, 공기절감
- 프로파일+연결부의 간편 시공 방법으로 인건비 감소
- 1차년도 대비 12.07%의 시공 비용절감 효과 (목표치 달성)

2.3 연구 개발 성과



- ㈜종합건축사사무소 디에스그룹은 비정형월 설계능력 확보, 순천향대학교는 3D프린터 활용 비정형 마감재 제작 및 폐플라스틱 적용 전문성을 확보함. 또한 지인디자인㈜은 조립형 시공능력을 확보하여 세 기관 모두 연구를 통한 기술 개발과 인프라를 구축함.

- 연구결과를 활용한 사업화 성과를 이루었으며 세 기관이 이태희교수를 대표로 1개의 회사(업사이클링 시티)를 설립함. 이에 3D 디자인 및 모델링 시범사업을 수주받아 일천만원의 매출을 확보함.

- 개발된 기술과 인프라를 기반으로 세 기관의 협업하여 충남 아산시 음봉 도서관 신축현장에 비정형 월 설계 및 제안을 진행 중이며, 수주 시 ㈜종합건축사사무소 디에스그룹은 설계, 순천향대학교는 생산, 지인디자인㈜는 시공을 수행할 예정에 있음.

○ 1차·2차년도 성과

구분			1차년도	2차년도	계
국외논문 게재	SCI		-	2 (예정)	2 (예정)
	비SCI		-	-	-
	계		-	2 (예정)	2 (예정)
국내논문 게재	SCI		-	-	-
	비SCI		-	2	2
	계		-	2	2
특허출원	국내		3	1 (예정)	4 (1건은 예정)
	국외		-	-	-
	계		3	1 (예정)	4 (1건은 예정)
특허등록	국내		-	3 (예정)	3 (예정)
	국외		-	-	-
	계		-	3 (예정)	3 (예정)
인력양성	석사		-	2	2
	박사		-	-	-
	계		-	2	2
기술이전	계약건수		-	-	-
	계약액		-	-	-
	징수액		-	-	-
국제 표준화	기고서 제출		-	-	-
	기고서 채택		-	-	-
	표준안 채택		-	-	-
국내 표준화	기고서 제출		-	-	-
	기고서 채택		-	-	-
	표준안 채택		-	-	-
등록・기탁 대상 성과물	보고서 원문		-	-	-
	연구시설 · 장비		-	-	-
	기술요약정보		-	-	-
	생명 자원	생명정보	-	-	-
		생물자원	-	-	-
		신품종	-	-	-
	소프트웨어		-	-	-
	화학물		-	-	-
기타	시제품		-	2	2
	성과 홍보		-	2	2
	일자리 창출		2	1	3

2.3.1. 1차년도 연구 성과

① 특허출원 3건

○[3D프린터용 필라멘트 연속 공급 장치] 순천향대학교

- 1차년도 **세부연구목표<3D 마감재용 재료 및 프린팅기술 개발>**연구를 진행하는 중에 주기적인 필라멘트 스풀 교체와 주변 환경의 변화로 출력이 멈추며 일정 품질 유지의 어려움을 겪는 문제가 발생하였음. 이는 압출에서 출력의 단계를 일체화하여 지속적인 프린팅을 시도하는 방법의 기술개발로 이어짐.
- 본 연구 진행을 통해 필라멘트 원재료(펠릿)을 활용하여 **기존의 ①펠릿-압출-필라멘트 스풀, ②필라멘트 스풀-3D 프린터 압출 노즐의 방식**에서 **원재료(펠릿)-필라멘트 압출-무한출력기-3D 프린터 압출 노즐**로 즉시 연결되며 필라멘트를 공급하는 **무한출력 방식**의 특허개발을 진행, 현재 출원 중에 있음.

- 2차년도 **세부연구목표<3D 마감재용 후처리기술 개발>** 중 마감재 후처리면 평활도를 높이는 방안으로 해당 개발기술을 적용할 예정이며, 출력 시 환경적인 요소를 최소화하여 일괄적인 마감재 생산이 가능할 것으로 기대됨.

○[3D프린팅을 활용한 비정형 패널 최적화 생산 방법] 순천향대학교

- 1차년도 **세부연구개발<3D 마감재 최적분할 기술개발>**연구에서 비정형 패널을 출력하는 과정 중 모든 패널의 크기가 다르므로 개별적으로 모델을 생성하여 출력하는 방식을 택함. 이 과정에서 패널 1개의 무게중심축이 한 방향으로 이동하여 출력하자가 반복적으로 발생함. 따라서 패널 2개를 서로 지지하는 방식으로 연결하여 출력하게 되었으며 두 패널의 배치에 따라 이동경로가 결정됨. 이는 출력 속도를 향상시키기 위해 두 패널 사이를 이동하는 경로를 최소화하는 기술개발로 이어짐.
- 본 기술개발을 통해 **최적화 알고리즘을 적용**하여 비 출력경로가 최소화되는 **알고리즘 특허개발**을 진행하였으며 3D프린팅 시 패널의 출력 순서와 배치를 최적화함. 현재 출원 중에 있음.

- 2차년도 **세부연구목표<3D 마감재 최적출력 기술개발>**연구 중 **세부연구개발<3D 마감재 최적출력 기술개발>**에서 해당 개발기술을 적용할 예정. 또한 2차년도 **질적 성과지표인 <마감재 품질 향상>**을 위한 기술개발과 함께 2차년도 양적성과 달성치를 이끌어내고 연구성과를 높일 수 있을 것으로 기대됨.

○[3D프린팅을 이용한 실내 비정형 마감재 생산 및 시공방법] 순천향대학교·지인디자인·디에스그룹

- 1차년도 **세부연구목표<3D 마감재 접합기술 개발>**연구에서 기존 프레임-마감재 접합기술보다 시공속도가 빠르고, 정확한 시공이 가능한 기술개발을 하고자 함. 마감재 테두리에 마감재 형태의 구조를 덧대어 마감재 구조를 설계하고, 구조에 각기 크기가 다른 일자형 날개를 덧대어 연결부를 설계하는 기술을 개발.
- 기존 방식과 달리 스페이스 프레임을 마감재에 연결 설계하는 방식을 택하여 시공용이성 및 속도를 각 10% 향상시켰으며 본 기술은 현재 출원 중에 있음.

- 2차년도 **세부연구목표<3D 마감재용 프린팅 기술 시험시공>**연구에서 현 개발기술을 적용할 예정이며, 본 기술의 시스템을 통해 비정형 형태의 디자인을 쉽게 구현할 수 있음.

또한 이는 프레임 구조를 선 시공 후 마감재를 부착하는 기존 방식보다 빠른 시간 내 시공이 가능하기 때문에 핵심성과 중 **<3D마감재 고속시공 기술>**을 유사환경 기술시범 단계까지 이루어 낼 수 있을 것으로 기대됨.

② 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	비정형 마감재 생산을 위한 3D프린팅 요소기술 도출	최환 임현수 이태희	2019.5.10	고려대학교 서울캠퍼스 하나스퀘어	-

③ 지식재산권(특허, 실용신안, 디자인, 상표, 신품종 등)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록 번호*	등록인	등록일	등록번호	등록 번호*	
1	3D프린터용 필라멘트 연속 공급 장치	-	순천향대학교 산학협력단	2019. 12.04	10-2019-0159978	-	-	-	-	-	-
2	3D프린팅을 활용한 비정형 패널 최적화 생산 방법	-	순천향대학교 산학협력단	2019. 12.30	10-2019-0177514	-	-	-	-	-	-
3	3D프린팅을 이용한 실내 비정형 마감재 생산 및 시공 방법	-	순천향대학교 산학협력단	2019. 12.27	10-2019-0177001	-	-	-	-	-	-

* 연구 개발 성과 관리·유통 전담 기관에 등록한 번호 기재

④ 기타

구분	연도	내용	비고
수상내역	2019	국제 3D프린팅 코리아 엑스포 제4회 3D프린팅 BIZCON 경진대회 우수상 **<3D 프린팅을 활용한 비정형 마감재 생산>**	정성주, 이성호, 황병연

2.3.2. 2차년도 연구 성과

① 특허 등록(예정) 3건, 출원(예정) 1건

○[3D프린터용 필라멘트 연속 공급 장치] 순천향대학교
- 1차년도와 같음, 등록 예정

○[3D프린팅을 활용한 비정형 패널 최적화 생산 방법] 순천향대학교
- 1차년도와 같음, 등록 예정

○[3D프린팅을 이용한 실내 비정형 마감재 생산 및 시공방법] 순천향대학교·지인디자인·디에스그룹
- 1차년도와 같음, 등록 예정

○[재활용 플라스틱 활용 조립형 블록 건축물]

- 2차년도 연구에서 자체 개발한 조립형 블록과 기성 구조물을 활용하여 확장 및 축소가 가능한 형태의 건축물을 만드는 기술 및 방법으로 조립형 블록과 각관을 블록에 결합하는 형태, 이를 통해 소형부터 대형 구조물 설치 방법의 기술을 개발.
- 본 기술은 현재 출원 중에 있음.

② 국내·외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호*
1	Optimal 3d printing production technology adapted for double-curved finishing panel	Automation in Construction	황병연	-	-	-	SCI	예정	
2	Minimization algorithm for 3D printing non-productive path to improve the productivity of curved finishing panels	Automation in Construction	임현수	-	-	-	SCI	예정	
3	거리 가구 제작을 위한 3D 프린팅 기술 중요도 도출 및 적용 방안에 관한 연구	한국산학기술학회논문지	이성호	4	대한민국	한국산학기술학회	비SCI	2020년 4월	제21권
4	3D프린팅 조형설치물 유형분류 및 경향분석에 관한 연구	한국산학기술학회논문지	김지민	게재예정	대한민국	한국산학기술학회	비SCI	2021년 1월 게재 예정	

* 연구 개발 성과 관리·유통 전담 기관에 등록한 번호 기재

③ 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	곡면 마감재 생산성 향상을 위한 3D프린팅 비생산거리 최소화 모델	임현수 김태훈 이태희 황병연	2020.05	논문집 발간으로 대체	-

④ 지식재산권(특허, 실용신안, 디자인, 상표, 신품종 등)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록 번호*	등록인	등록일	등록번호	등록 번호*	
1	3D프린터용 필라멘트 연속 공급 장치	-	순천향대학교 산학협력단	2019. 12.04	10-2019-0159978	-	등록예정				-
2	3D프린팅을 활용한 비정형 패널 최적화 생산 방법	-	순천향대학교 산학협력단	2019. 12.30	10-2019-0177514	-	등록예정				-
3	3D프린팅을 이용한 실내 비정형 마감재 생산 및 시공 방법	-	순천향대학교 산학협력단	2019. 12.27	10-2019-0177001	-	등록예정				-
4	재활용 플라스틱 활용 조립형 블록 건축물	-	출원예정				-				-

⑤ 전문 연구 인력 양성

번호	기준 연도	현황										
		학위별				성별		지역별				
		박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	2021	-	2	-	-	1	1	-	2	-	-	-

⑥ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생연도	기술 수명
							국내	국외		
1	창업	매출	국내	3D프린팅용 비정형 마감재 디자인 계약	비정형 마감재 디자인 및 데이터 납품	업사이클링시티	11,000 (천원)	-	2020	-

⑦ 기타

구분	연도	내용	비고
수상내역	2020	과학기술정보통신부 장관상(3D프린팅건축분야)	이태희
	2020	한국생태환경건축학회 2020년도 녹색찬란 Smart Life 학생창업 아이디어공모전 우수상	정성주 · 김지민 · 김도영
시제품	2020	비정형 패널 1건, 비정형 파빌리온 1건	-
성과홍보	2020	3D프린팅 건축전 및 폐플라스틱 활용 제작 이슈 기사 26건 보도	-
	2020	성과물 홍보(국제3D프린팅 엑스포 및 TJB 뉴스 보도)	-

2.4 연구 결과

2.4.1. 기술적 성과

○ 재생 플라스틱 비정형 패널의 품질 향상

① 재생 플라스틱의 장·단점 및 한계점

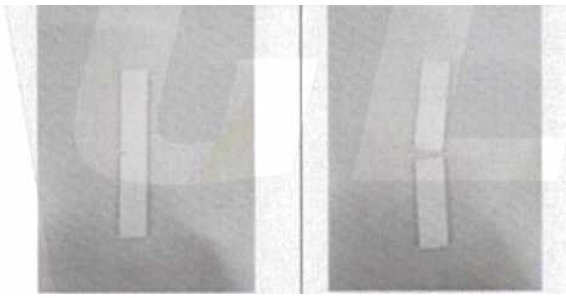
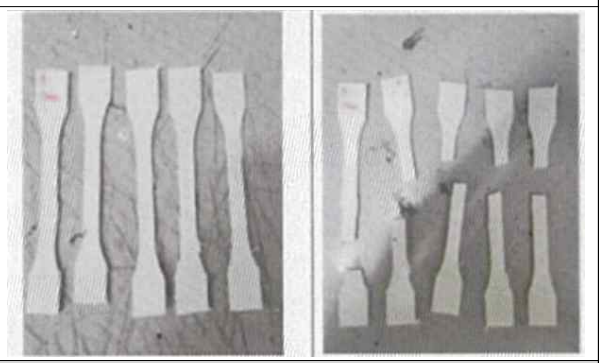
- 재생 플라스틱을 활용한 비정형 마감재의 품질, 내구성은 실험을 통해 확인한 결과 기존 신재 사용 대비 큰 차이가 없는 수준까지 올라왔으며 재생 플라스틱과 추가적 화학물질인 안료 등의 사용으로 재생 플라스틱을 활용한 비정형 마감재 패널의 재질 및 색감은 사용자 설정에 맞추어 생산이 가능하다는 장점이 있음.
- 또한 폴리머, 폴리프로필렌 등과 같은 합성수지 계열의 재료를 건축에 활용하면 경량인 장점이 있어서 기존의 건축·건설 재료가 갖는 중량문제를 해결할 수 있는 방안이 됨. 재료적 측면에서 이러한 재료를 시멘트 및 다양한 혼화제와 혼합하면 일반 건축·건설 재료 보다 구조적인 강도가 높고 내구성이 좋으며 중량이 적은 재료를 만들 수 있음.
- 하지만 일반 생활 폐기물로 배출된 플라스틱 재활용 과정에서는 이물질, 선별과정의 오류 등으로 인해 신재의 물성에 맞추어 생산 시 재생 플라스틱의 공정과정이 세분화됨에 따라 공정과정이 늘어나 생산 비용이 증가한다는 단점 존재.
- 재활용 기술 중 기계적 처리가 가능한 플라스틱은 PVC, HDPE, PP, PS, LDPE 등 폴리에틸렌(PE) 계열과 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)로 두 가지 유형뿐이며 다른 폐플라스틱은 회수되지 않고 버려진다. 플라스틱 재활용 기술에서 단량체로의 중합과 분해는 선택적이고 효율적이지만 공정에 드는 비용 증가.
- 기존 신재 펠릿의 평균 가격은 약 7,000원 내외 이며 재활용 펠릿의 평균 가격은 1,000원 내외이다. 재생 플라스틱 사용자적 측면의 경제성에서는 월등히 높아질 수 있으나 재생 플라스틱 생산업체의 기준에서는 생산성, 경제성이 크게 하락한다는 것을 나타냄.
- 이로인해 재활용 재료 생산 공정과정을 줄이게 되어 생산 품질이 떨어지고 재생 플라스틱의 R&D와는 별개로 업체 측면의 참여도는 떨어져 재생 플라스틱의 생산도가 떨어지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 생활 폐기물 배출 시 플라스틱 종류별 분리배출과 이물질의 제거 등이 필요하며 신재 플라스틱을 사용한 생산품에도 재활용을 염두에 두고 설계를 진행하고 국가적 차원에서 다양한 규제와 협력이 필요할 것으로 판단됨.
- 또한 현재는 법적인 구조 강도 및 내화 기준을 만족하는 것을 증명하기 어렵거나 재료의 강도 및 내구성 등이 부족하여 기존 공법과 혼용하는 것이 불가피하다고 판단됨.

< 재생 플라스틱 리사이클링 개념도>[10)]

■ 신재 대비 재생 플라스틱 연구 진행사항 및 결과

A01	마감재용 재료 및 3D 프린팅 기술 – 3D 마감재용 프린팅 재료 – 마감재 강도

연구목적	- **비정형 패널(마감재)의 강도 충족을 위한 시험**

실험 개요	- 비정형 패널(마감재) 실제 시공 시 사용하기 위한 강도 평가 후 검증 - 비정형 패널(마감재)가 외력(압축, 인장), 충격에 의한 휨률 및 비틀림률 등 변형정도를 파악하기 위함 실험 내용 - 1차년도 비정형 패널 두께는 5mm -> 2차년도 비정형 패널 두께는 2mm 임. - 1차년도 패널 두께는 내부 비침(시안성이 떨어짐) - 2차년도에는 이를 보완할 수 있는 패널 두께를 연구하고 이를 적용함. - 2mm의 두께에 대한 충격 및 인장강도에 대한 실험을 함.
실험 방법	- PLA-2mm 시편 제작 - 온도 35°C, 습도 80% 환경에서 7일동안 방치 후 외관 및 최종형태 관찰 - 한국건설생환환경시험연구원 시험의뢰
실험 항목	- 아이조드 충격강도 시험 - 인장강도 시험 - 항온항습시험(외관, 길이변화율)
실험 결과	  시험전 시험후 / 시험전 시험후 - 1차년도 5mm 실험결과 충격강도 : 2.44kj/㎥ 인장강도 : 14.5Mpa - 2차년도 2mm 실험결과 충격강도 : 4.73kj/㎥

10) http://www.americansustainablerecycling.com/plastics-recycling

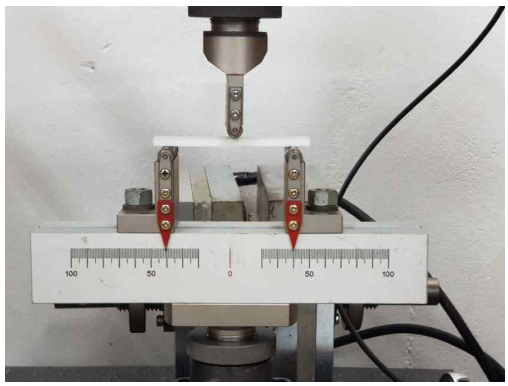
	인장강도 : 41.5Mpa 종합결과 - 1차년도 대비 충격강도, 인장강도 모두 증가 - 충격강도 193.8% 증가(2.44kj/㎥ -> 4.73kj/㎥) - 인장강도 286.2% 증가(14.5Mpa -> 41.5Mpa) - 항온항습 : 이상 없음(35℃, 습도 80%, 7일 방치)

② 재생 플라스틱의 3D 프린터 재료화 국내 연구현황

- 현재 국내·외에서 폐플라스틱을 리사이클링한 재생 플라스틱의 3D 프린터 재료화 연구는 지속적으로 진행되고 있으며 국외 기업은 이미 3D 프린터의 재료인 재생 펠릿이 아닌 재생 필라멘트까지 연구개발이 진행되어 상용화 되고 있음.
- 반면 국내에서는 재생 펠릿화 연구까지는 진행되었지만 현재 압출방식인 3D 프린터의 재료로써 적용 보다는 사출방식에서 사용가능한 재료화만 진행됨.
- 또한 재생 필라멘트를 가공할 수 있는 파쇄기, 분쇄기, 압출기 등의 장비 개발은 활발히 진행되고 있지만 일부 재료의 한에서만 재생 필라멘트 제작이 가능.
- 추후 3D 프린터용 재생 펠릿 뿐만 아니라 재생 필라멘트까지 상용화 되어 생산이 가능하도록 재료적 측면에서 폐플라스틱의 발생량이 가장 높은 생활 폐플라스틱의 물성을 파악하고 연구 진행되어야 함.

○ 3D 마감재용 재료 및 프린팅 기술 개발을 통한 강도, 내후성, 생산속도 향상

① 생산한 비정형 패널의 실제 시공 활용을 위해, 휨률, 비틀림률 등 변형정도를 파악하고 옥외 노출한 실험편의 성능을 평가

비정형 패널 압축강도 실험	
	
UTM(만능재료실험기)장치 활용 압축강도 향상 1차 검증	플라스틱(PLA)소재 및 재활용 재료 시편 압축강도 2차 검증

- utm(만능재료실험기)장치를 활용하여 비정형 패널 접합부의 양쪽 끝에서 패널 안쪽으로 압력을 가하여 변형 및 파손 정도 측정

- 1차 검증 실험 변수는 아래와 같이 진행

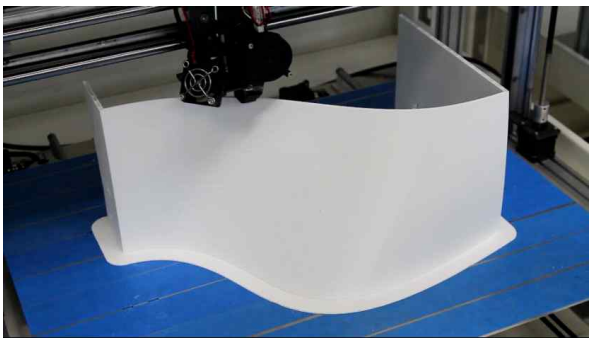
구분	내용
실험품 규격	가로 400mm x 세로 400mm
내부채움	10%/15%/20%/25%/30%
아웃라인	1
프린팅 속도	100mm/s
시간당 작용하는 압축력	0.1N * 10mm / 1분

- 비정형 마감재의 형태 유지 후 일정 시간 뒤 변형 및 파손
- 0.1N의 힘으로 10mm / 1분으로 비정형 패널 3장을 압축강도 테스트 한 결과 약 20초 ± 5초 후에 급격한 형태 변형이 일어남
- 기존 마감재보다 3D 프린팅 비정형 마감재의 강도가 약하다는 결과가 도출됨
- 현재 비정형 패널의 구조적 문제를 해결하기 위한 구조 프레임 설계 보완

- 2차 검증 실험 변수는 아래와 같이 진행

구분	내용
실험품 규격	가로 400mm x 세로 400mm
내부채움	20%
아웃라인	2
프린팅 속도	90mm/s

- 비정형 마감재의 형태 유지 후 일정 시간 뒤 변형 및 파손
- 기존 재료는 약150초 후에 26.7N ±2%의 힘으로 파괴점 도달
- 재활용 재료는 약150초 후에 25.3N ±5의 힘으로 파괴점 도달
- 기존 재료와 재활용 재료의 파괴점이 비슷하다고 판단됨에 따라 두 재료의 강도 또한 비슷하다는 결과 도출

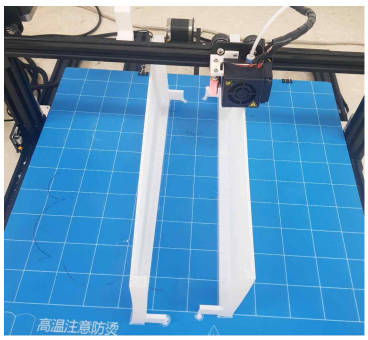
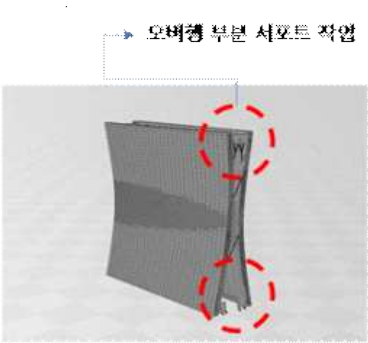
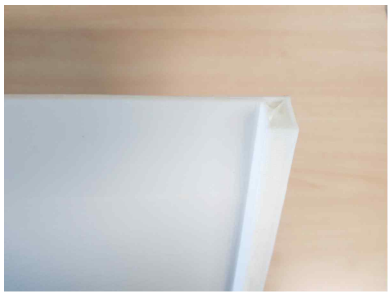
비정형 패널 생산 및 시험 시공	
	
비정형 패널 생산	실내 시험 시공된 비정형 패널(측면)

- 실내 시험 시공한 비정형 패널을 아래와 같이 옥외 노출하였음

비정형 패널 옥외 노출 내후성 시험		
여름 최고온도 30.3 ℃ 최저온도 21.3 ℃	가을 최고온도 13.2 ℃ 최저온도 -1.1 ℃	겨울 최고온도 -3.7 ℃ 최저온도 -18.0 ℃

- 옥외 자연 기후에 직접 노출시킨 재활용 소재의 비정형 패널 내후성 시험
- 약 6개월간 옥외에 설치되어 햇빛, 온도, 습기, 바람 등에 중·장기적으로 노출되었으며 자체적 내후성 시험을 진행함
- 변색, 뒤틀림, 갈라짐 등 큰 변화가 없었으며 따라서 재활용 재료를 활용하여 생산한 비정형 패널의 내후성이 뛰어나다는 결과 도출

② 노즐 크기, 내부채움 및 모델링 방식, 세팅 값에 따른 생산속도 향상

생산속도 향상을 위한 3D프린팅 세팅 값 단계별 실험		
		
1단계 노즐크기 및 내부채움	2단계 모델링 방식	3단계 노즐 Travel Speed(이동속도)

- 0.4mm-1.0mm까지 노즐 테스트를 진행하여 생산 속도를 올릴 수 있는 적합한 노즐 크기를 선택할 수 있도록 함, 노즐 테스트를 진행하는 동시에 각 노즐 크기에 적합한 내부채움 정도를 파악, 오버행 부분은 모델링 내에 서포터를 슬라이싱 프로그램이 아닌 수동 작업하여 생산 시간을 줄이도록 함

- 연구 결과, 강도를 유지하기 위해 내부채움은 5%로 설정하고 0.6mm의 노즐로 선택하였고, 서포터 자동 설정을 하였을 시에 생산시간이 34시간 소요되었으나 모델링 내에서 서포터를 직접 작업하는 방식을 택하여 생산시간이 27시간 소요되었음. 따라서, 생산속도 향상 목표치인 10%

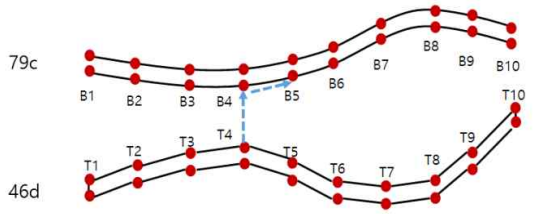
에 도달

- 앞의 1·2단계 연구 과정을 통하여 생산속도를 10% 향상시켰으나, 패널 2장을 이용하여 한 번에 출력하기 때문에 하루 이상(24시간 이상)의 시간이 소요되었으며 이를 개선함
- 기존 노즐 travel speed 40.0mm/s에서 90.0mm/s까지 cube test 및 패널 test를 진행하고 적정 세팅 값을 지정함
- 기존 travel speed 40.0mm/s를 지정한 패널의 출력시간은 19시간 소요, 변경한 travel speed 90.0mm/s를 지정한 패널의 출력시간은 15시간 소요.

- 패널 품질은 기존과 변경 후의 차이가 없었으며, 서포터 강화로 출력물의 흔들림을 보완할 수 있을 것으로 보임, 따라서 기존 방식보다 생산시간이 20% 절감하였으며 생산속도 향상 목표치인 20%에 도달

○ 3D 마감재 모델링 및 최적분할 기술 개발을 통한 형상정보 변환 개선, 생산 속도 및 품질 개선

- 패널의 내부를 채우는 경우는 패널의 형태에 따라 이동경로가 결정되며 패널의 레이어를 이동하는 경로는 두 패널의 배치에 따라 이동경로가 결정됨. 특히 비정형 패널은 모든 패널의 형태가 다르기 때문에 현재는 순서대로 출력하거나 육안으로 판단하여 비슷한 형태의 패널을 배치하여 출력하지만 형태가 복잡해지거나 패널 수가 많아지면 부정확해지는 문제 발생

<table>
<tr><th colspan="3">비정형 패널의 효율적 제작을 위한 비출력 경로 최소화</th></tr>
<tr><td>그림</td><td> 
</td><td>
<table>
<tr><th>항목</th><th>기존방식</th><th>최적방식</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>알고리즘 연산값</td><td>175,794</td><td>143,195</td><td rowspan="2">18.54% 감소</td></tr>
<tr><td>비출력 이동길이</td><td>23,380,538mm</td><td>19,044,898mm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">비출력 이동시간</td><td>688,015 sec</td><td>544,139 sec</td><td rowspan="2">34.41 h 감소</td></tr>
<tr><td>185.56 h</td><td>151.15 h</td></tr>
<tr><td>출력시간</td><td>약 700 h</td><td>약 700 h</td><td>-</td></tr>
<tr><td>총생산시간</td><td>885.56 h</td><td>851.15 h</td><td>3.89% 감소</td></tr>
<tr><td>비출력 비율</td><td>26.51%</td><td>21.59%</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="2">- 비출력 경로 최소화를 위해 두 패널 간격의 총 합을 구해야하며 다음의 8개의 좌표(A_{1-4} ~ B_{1-4})가 필요함

- A패널을 모두 출력하고 B패널로 넘어가 출력하는 방법의 경로는 (A2-B1) or (B4-A3)가 될 것임

- 레이어에 따라 어떤 경로가 최소일지 모르므로 두 경우를 모두 고려해야함(x)

- 또한 방향이 바뀔 경우 좌표의 점들이 바뀌므로 4가지 경우를 모두 고려해야 함

- 주의사항은 패널이 겹치면 안 되며, 출력품질을 위해 일정 간격을 주어야 함</td></tr>
</table>

- 비출력 경로를 연산하기 위해 각 패널의 좌표 값을 도출하고 각 층별로 좌표점간의 거리를 연산

- 연산된 모든 레이어들의 총합으로 비출력 거리 도출
- 최적화 알고리즘을 적용하여 비출력경로가 최소화되어 생산성 및 효율성을 높일 수 있는 패널의 출력 순서와 배치를 생성

○ 3D 마감재 접합기술 개발을 통한 시공용이성 개선 및 시공 속도 개선

① 시공용이성 개선

구분	초기 개발 방식 (1차년도)	최종 개발 방식 (2차년도)
시공 방식		

- 1차년도에서 3D프린팅 활용 방식 시공 프로세스를 연구하고 실행해 본 결과, 결합방식 시뮬레이션, 시공자 인터뷰, 테스트 등을 통해 기존 스페이스 프레임 방식 대비 개선점이 도출됨.
- 비용 절감 측면에서 기존 방식 대비 공정 감소로 시공 인원 감축, 시간 단축을 통한 비용이 절감, 시간 절감 측면에서 자재 결속 및 공정 감소로 인한 시공 시간 2-30% 절감

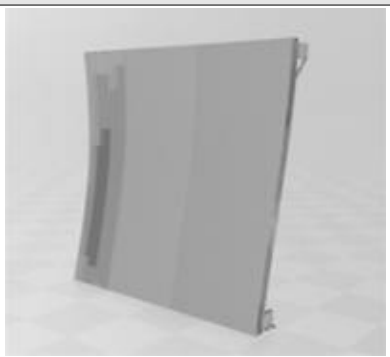
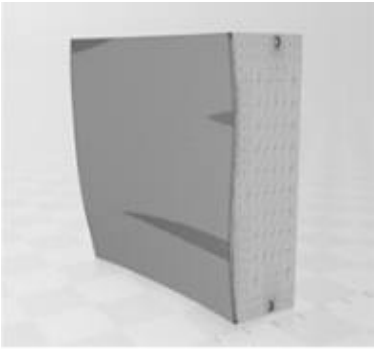
- 따라서, 기존 방식 시공 프로세스(공정) 100% 기준으로 보았을 때 1차년도 성과 자체 목표 10%단축에서 3D프린팅 활용방식 시공 프로세스(공정) 25% 단축

② 시공속도 개선

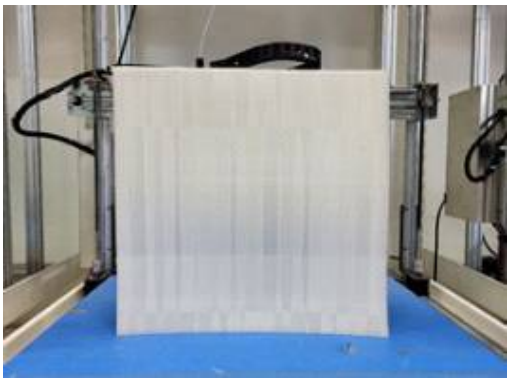
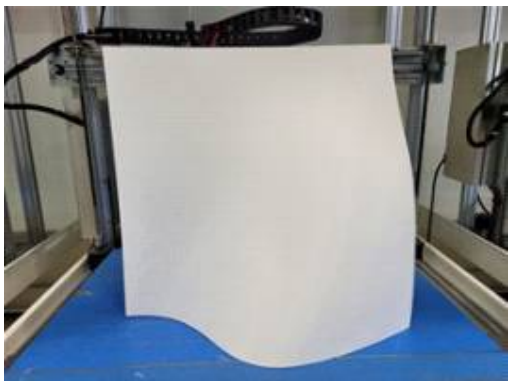
구분	초기 개발 모델 (1차년도)	최종 개발 모델 (2차년도)
접합 체결 방식		

- 결합방식 시뮬레이션, 시공자 인터뷰, 테스트 등을 통해 기존 방식 대비 개선점이 도출됨.
- 비용 절감 측면에서 스페이스 프레임 방식 대비 접합부 제작 비용 절감 (알루미늄 -> 플라스틱), 3D프린팅 활용 방식 1,2차 대비 조인트 개수 감소로 인한 시공 비용 절감
- 시간 절감 측면에서 3D 프린팅 방식 대비 접합부 생산 및 시공 시간 절감(72개 -> 48개 -> 28개 약 60% 감소), 기존 스페이스 프레임 방식 대비 결합방식 시뮬레이션 결과 약 접합속도 20% 감소
- 따라서, 기존 스페이스 프레임 방식 접합부는 비정형 형태를 따라가는 구조인 스페이스 프레임에 체결하고 그 위에 패널과 결합된 프레임을 체결하는 방식으로 다양한 공정을 거쳐 완성이 되는 반면, 3D프린팅 활용 방식(3차)는 1,2차와 마찬가지로 구조프레임에 조인트 결합 후 패널을 체결하는 방식으로 접합 속도 및 시공 용이성이 상승함.
- 1차년도 모델의 비정형 패널(마감재)의 4개의 모서리가 각각 길이가 다르기 때문에 길이가 다른 조인트를 활용, 2차년도 모델의 접합 부분 길이 조절로 인해 조인트의 길이는 모두 같게 설계
- 1차년도는 마감재당 7.23분이 소요되었고, 2차년도는 5.36분이 소요되었다. 1차년도보다 2차년도가 25.87% 시공 시간이 단축되었으며, 근거로는 곡면 마감재 설치 과정에서 2차년도에서 개선 설치 후 간격 조절로 인해 시공 시간에 차이를 보임.
- 따라서, 1차년도 연구에서 기존방식 대비 20%의 시공속도 향상을 달성하였으며, 2차년도는 1차년도 연구대비 시간을 25.87% 더 단축함.

○ 3D 마감재용 품질향상 기술 개발을 통한 불량률, 오차율 감소, 보조 출력물 제거 소요 시간 단축

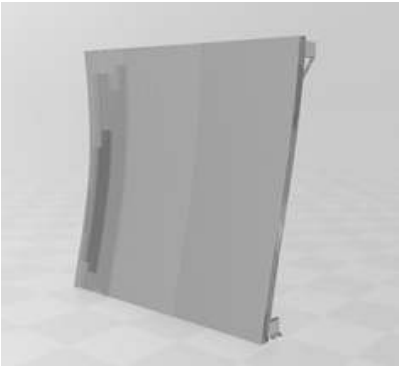
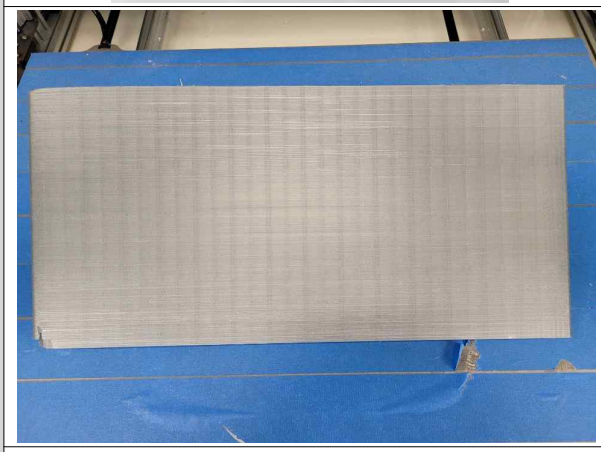
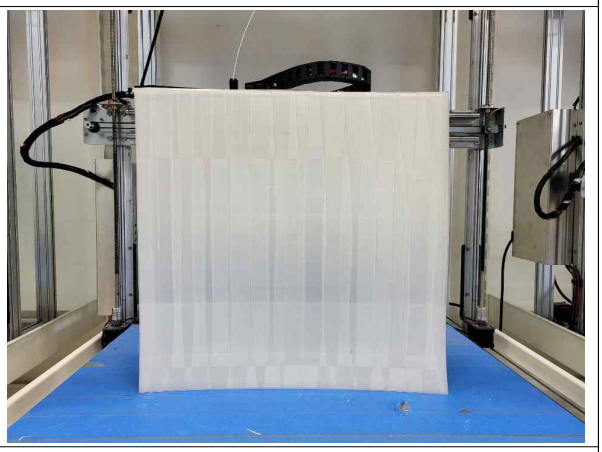
초기 개발 모델 (1차년도)	최종 개발 모델 (2차년도)
	

① 불량률

초기 개발 모델 (1차년도)	최종 개발 모델 (2차년도)
	

- 초기 개발 모델은 불안정한 베드 접착 및 디자인 공정 과다로 생산품질의 불량이 발생함
- 따라서 초기 모델에서 형태 변형을 통한 프린팅 진동 문제 해결, 두께 변경으로 내부 패턴(Infill) 비침 문제 해결
- 출력 오류 현상, 형태 변형, 형상 오차 등의 품질이 저하된 패널이 35개 중 1개의 패널 품질이 미흡
- 1차년도 접합형의 문제점을 개선한 2차년도 구조형의 불량률은 2.85%로 1차년도 모델보다 35.05% 불량률이 감소됨
- 불량률 2.85% (목표치 달성)

A01	**비정형 마감재 고급 품질화를 위한 기술 연구 진행사항 및 결과_불량률**

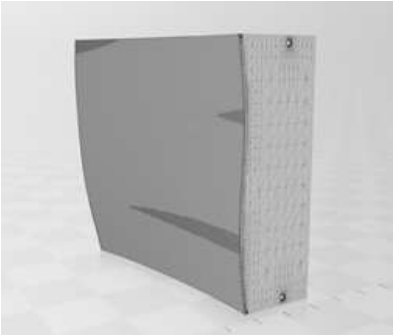
연구개요	- 3D 프린팅 출력 시 불량률 측정 - 2차년도 3D 프린팅 패널(마감재) 자체 제작 - 비정형 패널(마감재)의 형태 변형, 출력 오류, 형상 오차 등 품질 저하 요인 분석 및 해결 방안 제시 - 생산품질 불량에 관한 결론	
품질 저하 요인 분석 및 결과	**1차년도 접합형**	
		**규격** - W 400 * H 400 * T 10(디자인 면 3T) **디자인 공정** - 면 디자인 + 사각 구조 + 접합부 + 서포팅 **3D 프린팅 개요** - 프린팅 시간 : 평균 24H(2장 기준) - 재료 소모량 : 평균 1,000g(2장 기준)
		
	출력 결과 - 출력 오류 현상, 형태 변형, 형상 오차 등의 품질이 저하된 패널이 100개 중 38개의 패널 품질이 미흡한 상태임	

문제점
- 불안정한 베드 접착으로 인한 패널 품질 저하
- 디자인 공정 과다
- 내부 불규칙 패턴(Infill) 비침

불량률 : 37.9%

해결방안
- 형태 변형을 통한 프린팅 진동 문제 해결
- 두께 변경으로 내부 패턴(Infill) 비침 문제 해결

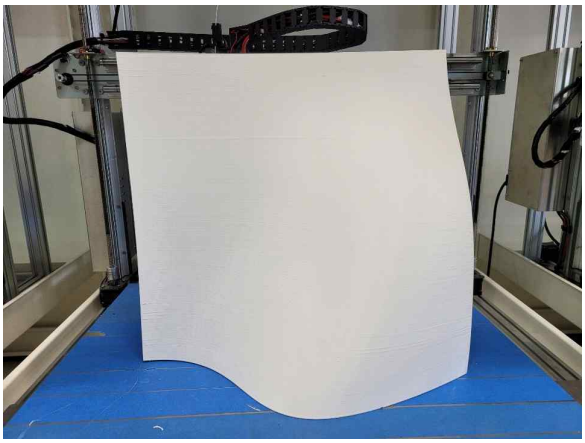
2차년도 날개구조형

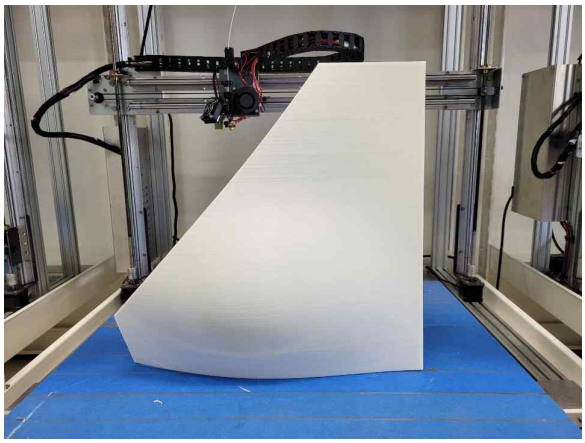


규격
- W 400 * H 400 * T 2.2(디자인 면 2.2T, 날개 5T)

디자인 공정
- 면 디자인 + 날개 구조

3D 프린팅 개요
- 프린팅 시간 : 평균 18H(1장 기준)
- 재료 소모량 : 평균 800g(1장 기준)





출력 결과

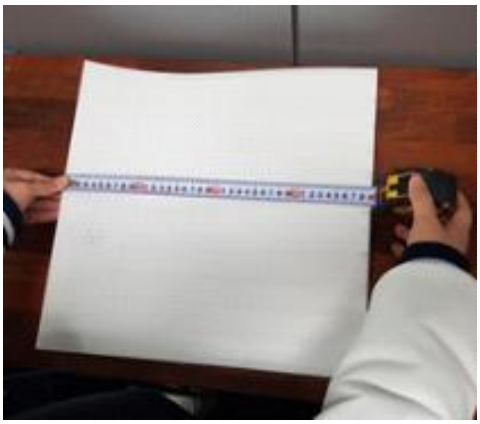
- 출력 오류 현상, 형태 변형, 형상 오차 등의 품질이 저하된 패널이 35개 중 1개의 패널 품질이 미흡한 상태임

불량률 : 2.85%

결론 및 보완	- 불안정한 베드 접착 및 디자인 공정 과다로 생산품질의 불량이 발생함

	- 1차년도 접합형의 문제점을 개선한 2차년도 구조형의 불량률은 2.85%로 1차년도 모델보다 35.05% 불량률이 감소됨 - 두께 최적 설정 값과 바닥 부착 형태인 래프트 변경 및 배드 접착 연구를 통해 마감재 불량률을 1% 이내로 달성할 예정

② 오차율

초기 개발 모델 (1차년도)	최종 개발 모델 (2차년도)
	

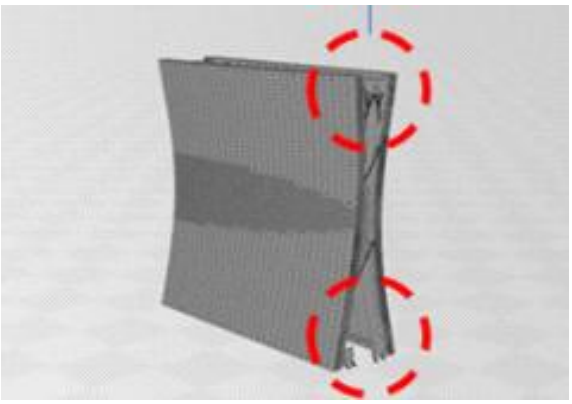
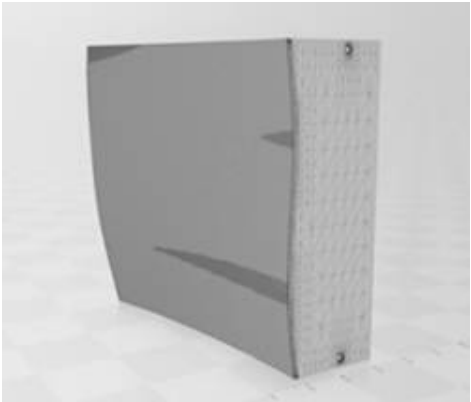
- 1차년도에는 형태 변형에 따른 수축현상이 발생함으로써 출력물의 품질이 떨어짐
- 2차년도 비정형 패널(마감재)에 맞는 외부 환경 요인 조성
- 이후 높은 프린팅 속도에 의해 탈조 현상, 탈조 문제로 인한 모델링 데이터와 실측 데이터 치수 오류 , 치수 오류로 인한 패널 간 간격 불일치 등 문제점 발생
- 2차년도에는 비정형 마감재에 맞는 프린팅 속도 설정 (60mm/s -> 40mm/s)
- 오차율 0.98% (목표치달성)

A02	**비정형 마감재 고급 품질화를 위한 기술 연구 진행사항 및 결과_오차율**

개요	- 1차년도 대비 비정형 패널(마감재) 형태 변형으로 인한 오차율 측정 - 출력물 실측을 통한 오차율 측정 - 3D프린팅 형태 변형, 출력 오류 등 형상 오차 요인 분석 및 해결 방안 - 오차율 감소에 관한 결론		
품질 저하 요인 분석 및 결과	**3D 프린팅 출력 시 오차율 측정**		
	1단계		

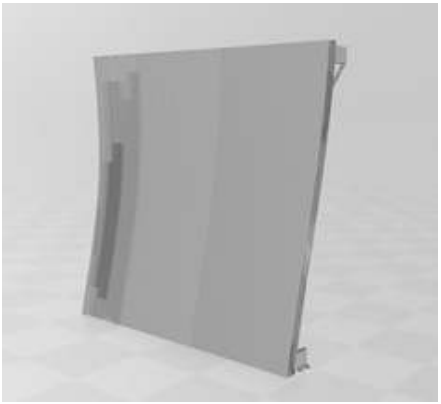
		문제점 - 1차년도 대비 형태 변형에 따른 수축현상이 발생함으로써 출력물의 품질이 떨어짐 - 수축현상으로 인해 출력 과정에서 형상 오차가 발생 **해결방안** - 2차년도 비정형 패널(마감재)에 맞는 외부 환경 요인 조성 - 외부 환경 요인 (실내 온도, 습도) 변경 - 기존 실내 온도 : 27℃, 습도 : 80% - 변경 실내 온도 : 24℃, 습도 : 35%
		결과
		- 1단계와 같이 오차율 검증을 위해 35개의 비정형 패널 출력 결과 약 2개의 품질이 미흡함 - **오차율 : 5%** - 비정형 패널(마감재) 형태에 따라 받아들여지는 외부 환경 요인이 다름

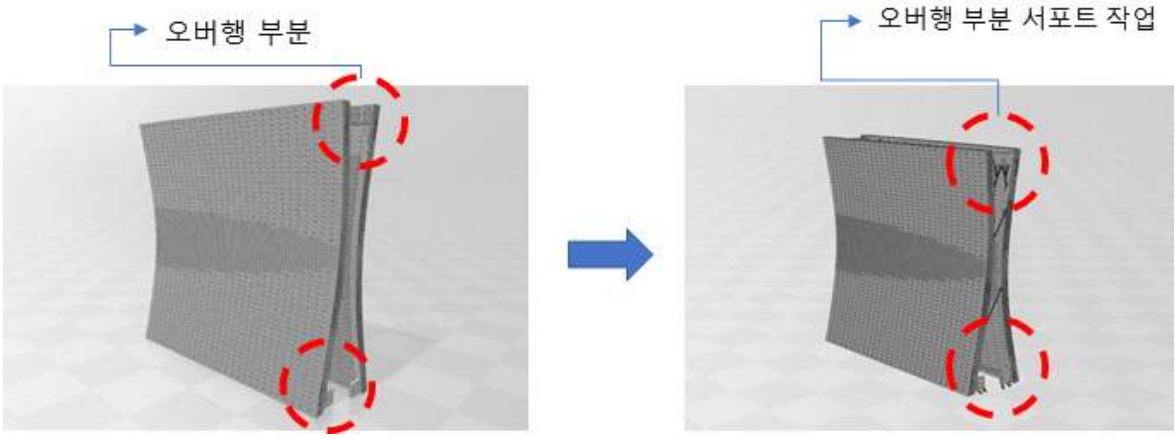
② 보조 출력물 제거 방식에 따른 후처리 시간 감소

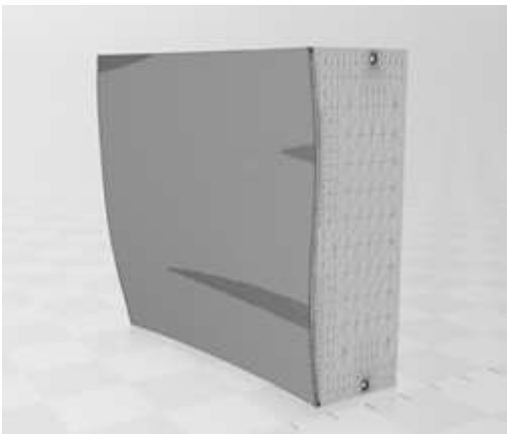
초기 개발 모델 (1차년도)	최종 개발 모델 (2차년도)
	

- 1차년도 개발 비정형 패널(마감재)의 형태는 3D프린팅 출력 시 오버행 발생으로 패널 품질 불량(처짐 발생)을 최소화하기 위해 서포트 생성
- 이후, 2차년도 개발 비정형 패널(마감재)의 형태는 서포트가 없는 형태로 디자인 면에 구조와 접합부가 동시에 이루어진 날개 구조로 서포트 생성 없이 바로 출력가능
- 따라서 프린팅 진동을 해결하기 위한 래프트만 생성하여 출력 후 서포트 제거 시간은 소요되지 않음
- 보조 출력물 제거 소요 시간 95% 감소하는 결과 도출

A03	**비정형 마감재 고급 품질화를 위한 기술 연구 진행사항 및 결과 _보조출력물 제거방식에 따른 후처리 시간 감소**

개요	- 보조 출력물 제거 방식에 따른 후처리 시간 감소 - 3D프린팅 방식 및 형태 변형을 통한 해결 방안 - 2차년도 개발 디자인 후처리 방식 - 보조 출력물 제거 시간 감소율에 관한 결론	
내용	**1차년도 디자인(접합형)**	
		**규격** - W 400 * H 400 * T 10(디자인 면 3T) **디자인 공정** - 면 디자인 + 사각 구조 + 접합부 + 서포팅 **3D 프린팅 개요** - 프린팅 시간 : 평균 24H(2장 기준) - 재료 소모량 : 평균 1,000g(2장 기준)

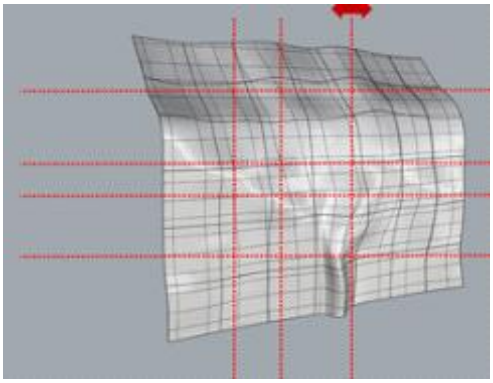
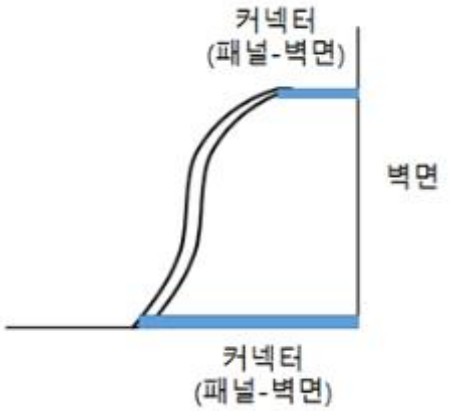
	형태 - 일반 벽에 설치할 굴곡진 Test 형태의 비정형 패널(마감재) - 일반적인 수직 벽에 시공하기 위해 비정형 패널(마감재) 부분에 구조 틀을 설계 결합한 형태 - 3D프린팅 출려 과정 시 오버행 발생으로 패널 품질 불량(처짐 발생)을 최소화하기 위해 서포트 생성 보조 출력물 - 서포트
서포트 작업	

내용	**2차년도 디자인(날개구조 Ver.2)**	
		**규격** - W 400 * H 400 * T 2.2(디자인 면 2.2T, 날개 5T) **디자인 공정** - 면 디자인 + 날개 구조 **3D 프린팅 개요** - 프린팅 시간 : 평균 18H(1장 기준) - 재료 소모량 : 평균 800g(1장 기준)
	형태 - 일반 벽에 설치할 굴곡진 Test 형태의 비정형 패널(마감재)	

	- 디자인 면에 구조와 접합부가 동시에 이루어진 날개 구조를 접합한 형태 - 디자인 면에 구조와 접합부가 동시에 이루어진 날개 구조로 서포트 생성 없이 바로 출력 가능 - 3D 프린팅 출력 과정 시 프린팅 진동에 의한 탈조 및 베드 탈락 문제를 해결하기 위해 래프트생성 보조 출력물 - 래프트
래프트 작업	
결론	- 보조 출력물의 형태 및 방식이 달라짐 - 2차년도 개발 비정형 패널(마감재)의 형태는 서포트가 없는 형태로 프린팅 진동을 해결하기 위한 래프트만 생성 - 2차년도 비정형 패널(마감재) 출력 후 서포트 제거 소요 시간 X - 보조 출력물 후처리 소요 시간 **95% 감소**

- 3D프린팅 제조과정은 세 가지 단계에 의해 진행되며 모델링(MoDeling), 프린팅(Printing), 후처리 작업(Finishing)의 순으로 진행된다. 후처리 작업을 해야 하는 이유는 3D프린터로 인쇄된 출력물 대부분의 표면이 거칠기 때문임.
- 현재 3D모델링 작업에 대한 사례는 많이 증가하여 점차 품질이 개선되고 있지만 아직은 마감 상태가 기존 제품에 비해 다소 부족하여 기존의 제조업을 단시간 내 대체하는 것은 어려울 것으로 판단함.
- 하지만 이를 해결하기 위해 **보조출력물 제거방식을 변경하였고 또한 우레탄 및 후처리용 화학용품, 샌딩 작업 등을 통해 고급품질화 가능.**
- 따라서 제조과정을 효율적으로 수행하는 전략이 필요하며, 일반적인 제조 방법에서 착안하여 3D 프린팅 건축 생산 전략 필요.
- 건물을 시공하는 주요 기술로 3D프린팅을 활용하는 데는 3가지 제조방법, 즉 금형을 이용하거나, 절삭을 하거나, 적층하는 방법을 모두 고려하여 적절한 시공법을 혼용하는 것을 고려할 필요가 있음.
- 3D프린팅으로 완성된 결과물은 대부분 후처리 작업을 필요로 하는데 혼용할 경우 후처리 작업이 대폭 축소될 것으로 판단.
- 설계한 마감재와 출력된 마감재의 오차율을 측정하여 3D 프린팅 품질 기술 중 하나인 오차율을 감소시켜 생산 및 시공 시 발생하는 품질 저하 문제 해결.

○ 3D 마감재 최적 품질 설계 기술을 통한 3D프린팅 출력 불가 패널 저감

2차년도 최적분할 알고리즘	
	

- 비정형 마감재의 최적화 분할 알고리즘을 통한 품질 및 생산속도 향상
- 1차년도와 달리 분할면적을 다르게 하여 보조 출력물(서포터)의 수와 커넥터의 길이 최소화
- 따라서, 설정된 패널 개수, 크기, 좌표점 추출을 통해 비정형 월을 벽면 패널을 출력할 프린터에 맞게 분할하는 알고리즘 개발
- 오버행 각도는 50°이상 제한하여 보조 출력물(서포트) 최소화를 통해 품질 향상
- 보조 출력물(서포트) 최소화 및 커넥터의 거리 계산을 통한 생산속도 향상
- 3D프린팅 출력 불가 패널 저감율 8% 달성

○ 3D 마감재 시험 시공 개발을 통한 시공 시간 단축, 품질 향상, 비용 절감

초기 개발 모델(1차년도)	최종 개발 모델(2차년도)

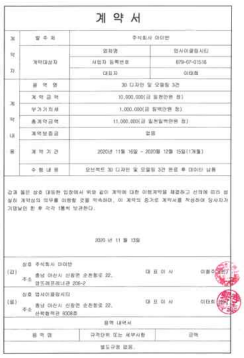
- 1차년도 패널, 접합부 체결 방식은 2차년도 구조, 패널 접합부 통합 체결 방식으로 변경
- 별도의 프로파일 철물 제작 과정 삭제
- 3D프린팅 활용 각관 간 조인트 구성
- 시공 결과 1차년도 대비 2차년도 25.87% 시공 시간 단축, 마감재 품질은 12.4%에서 13.9% 향상, 시공품질은 12%에서 14.1% 향상, 10.4%의 비용절감 효과

2.4.2. 경제적 성과

○ 품질향상과 재생자재 사용을 통한 자원의 낭비 및 자재비용 저감
- 마감재의 오차 및 하자감소로 자원낭비 및 유지보수 비용 감소
- 재생 플라스틱 사용으로 자재가공비용 및 폐기물처리 비용 감소

○ 공공시설물 가치증가 및 도시경쟁력 확보
- 공공시설물의 마감품질 향상으로 인한 시설물의 심미성 및 경제적 가치 증대
- 비정형 공공시설물로 새로운 공간을 제공하여 도시경쟁력 상승에 기여

○ 연구 사업을 통한 Up-Cycling City(업사이클링 시티)창업 후 용역 계약 및 매출



계 약 서

계약자	발 주 처	주식회사 아이반	
	계약대상자	상호(명칭)	업사이클링시티
		사업자 등록번호	870-07-01046
		대표자	이창희
계약내용	용 역 명	3D 디자인 및 모델링 3건	
	계 약 금 액	10,000,000원 (일천만원 정)	
	부가가치세	1,000,000원 (일백만원 정)	
	총계약금액	11,000,000원 (일천일백만원 정)	
	계약보증금	없음	
	계 약 기 간	2020년 11월 16일 ~ 2020월 12월 15일(1개월)	
	수 행 내 용	오브젝트 3D 디자인 및 모델링 3건 완료 후 데이터 납품	

상호 붙은 상호 (대표한 인장)에서 위와 같이 계약에 대한 이행계약을 체결하고 신의에 따라 성실 계약상의 의무를 이행할 것을 약속하며, 이 계약의 증거로 계약서를 작성하여 당사자가 기명날인 한 후 각자 1통씩 보관한다.

2020 년 11 월 13일

(갑)	상호 주식회사 아이반 주소 통남 아이시 신동면 순천항로 22, 성진파크빌시큐 208-2	대 표 이 사	이창희 (인)
(을)	상호 업사이클링시티 주소 통남 아이시 신동면 순천항로 22, 아쉬탑아파트 600동	대 표 이 사	이다희 (인)

첨부 내역서

용 역 명	유적인쇄 또는 세부사항	금액
별도규정 없음.		

- 주식회사 아이반과 3D 디자인 및 모델링에 대한 이행계약을 체결
- 오브젝트 3D 디자인 및 모델링 3건 완료 후 데이터를 납품 예정
- 11,000,000원의 매출 실적

○ 비정형 패널 생산 및 시공 방법에 따른 경제성 평가

- 기존 비정형 패널 제작비용(Standard) 분석
2방향 비정형 패널을 기준으로 기존 방식(CNC, Press)에 대한 패널 제작비용을 분석함. ㎡당 현장 기본 제작비를 기준으로 가격을 책정함.
비정형 패널 제작비용은 재료비(알루미늄), 장비사용료(CNC, Press), 노무비로 나누어 책정함. 재료비는 비정형 패널과 구조재료 까지를 포함함.

(단위 : 원/㎡)

구분	재료비	장비사용료	노무비	합계
A 업체	600,000	870,000	130,000	1,600,000
B 업체	570,000	750,000	127,000	1,447,000
C 업체	600,000	830,000	130,000	1,560,000

00디자인 회사의 기본 비정형 디자인 의뢰이며, ㎡당 금액을 말함.

위 표에 따르면 재료비를 제외하고 장비 사용료 및 노무비의 합계가 ㎡당 평균 945,666원정도인 것으로 확인된다. 여기서 3D 프린팅 기술 활용 비정형 패널 제작비용으로는 재료비(PLA), 3D 프린터 사용료, 노무비로 나누어 책정함.

(단위 : 원/㎡)

구분	재료비	장비사용료	노무비	합계
A 업체	50,000	324,000	30,000	296,000
A 업체	57,000	360,000	35,000	342,000
A 업체	62,000	367,000	60,000	266,000

00디자인 회사의 기본 비정형 디자인 의뢰이며, ㎡당 금액을 말함.

3D 프린터를 활용한 ㎡당 비정형 패널 제작은 재료비를 제외하고 평균 392,000원으로 제작 시 장비 사용료 및 노무비에서 553,666원의 차이가 발생하는 것을 볼 수 있음. 이는 본 연구에서 활용하는 적층 방식으로 3개의 업체를 통해 금액을 책정함. 3D 프린터를 통해 금속 적층을 하는 부분은 상용화가 되지 않아 금액으로의 책정이 어려움이 있으며, 재료비, 노무비 부분에서 큰 차이가 있을 것으로 보이며, 현재 PLA 적층 3D프린터 정도의 상용화가 이루어진다면 장비 사용료에서는 큰 차이가 없을 것으로 판단됨. 이는 재료비를 제외한 제작비용을 비교한 결과, 기존 비정형 패널 제작 방식 대비 약 59.5% 비용 절감 효과가 있는 것으로 나타남. 또한, PLA 또는 플라스틱의 활용으로 기존 방식인 금형, 사출 방식의 비정형 패널 제작인 경우에는 각각의 패널의 형상이 다르기 때문에 천문학적인 비용 산출이 예상됨.

○ 비정형 벽체 시공 경제성 분석

- 시공방법 개선

프로세스	기존방식	3D프린팅 방식
순서	1. 각 부분 Point 추출 2. 스페이스 프레임 제작 3. 조인트 설치 4. 패널 결합	1. 각 부분 Point 추출 2. 구조 및 조인트 설치 3. 패널 결합

기존방식 대비 시공 프로세스는 25% 단축됨. 기존 방식에서 스페이스 프레임 제작 부분은 곡면의 형상과 비슷한 구조를 제작하고 이에 비정형 패널을 접합하는 형태로 대부분 비정형 건축물의 내-외장재 시공 방식임.
스페이스 프레임 방식은 설계변경, 비정형 패널 제작 오차, 시공 노하우에 큰 영향을 받고 이를 통한 재시공 비용이 상당함. 비정형 건축물 외장 공사비용에 대한 국내외 선행 연구는 실시된 바가 없으며, 비정형 건축물 시공 수행 기업에서 건설비용의 상세 정보 비공개로 인한 공사비에 대한 자료 확보가 어려움. 기존 연구(곡면 최적화 알고리즘을 활용한 비정형 건축물 외장 공사비 개산견적에 관한 연구, 임장식, 2014. 07.)를 토대로 분석한 결과, 비정형 건축물의 외장 공사 비용은 총 15-20% 정도를 차지함.
본 연구를 통해 개발된 3D 프린팅 방식 비정형 벽체 시공 방법은 일반 수직 내력, 비내력 벽에 시공 가능하며, 별도의 구조가 필요 없고, 패널과 구조를 연결하는 조인트를 제작하여 패널을 설치함. 이는 1-2군데의 오차로 인해 상당 부분을 변경하여야 하는 스페이스 프레임 방식에 대비하여 1-2군데의 오차는 1-2군데의 조인트 또는 패널의 형상을 변경시키면 품질을 맞출 수 있음.

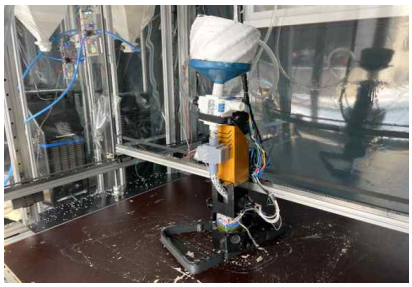
- 투입인력 절감 및 공기단축

시공 방법 개선을 통해 시공 용이성을 확보함. 이에 투입 인력이 절감됨.

기존 연구(비정형 건축물 공사의 생산성 분석 및 향상 방안, 이은영, 2014.)에 따르면 비정형 2차 곡면 마감재 시공 시 1인이 1일 작업 기준 1.7㎡임. 100㎡을 기준으로 했을 때 1인이 58.82일이 소요됨. 본 연구를 통해 개선된 시공 방법 및 시공 용이성을 토대로 시공 생산성을 분석하면 본 연구에서는 1인기준 1일 2.88㎡이 작업 가능한 것으로 나타남. 이는 100㎡을 기준으로 했을 때 34.72일이 소요됨. 분석결과 본 연구를 통해 시공 방법 및 용이성을 확보하여 기존 방식 대비 공사기간 약 41% 단축함. 이는 투입인력 절감과 인건비 절감으로 이어진다고 볼 수 있음.

2.4.3. 기타 성과

○ Up-Cycling City (업사이클링 시티) 창업 및 U-Box(업사이클링 개념을 적용한 이동식 메이커스페이스) 구축

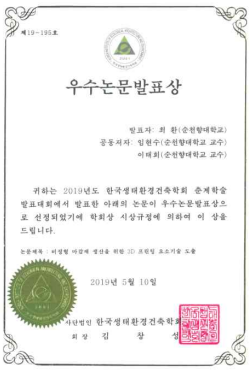


- 마감재의 품질과 속도를 사업화 단계까지 도달하도록 장비와 재료의 최적모델을 개발하였으며 기술적 성과를 기반으로 Up-Cycling City(업사이클링 시티)라는 전문기업을 설립
- 또한 이동식 메이커스페이스인 U-Box(유박스)를 제작하여 3D프린터 및 재활용 공정 시설 구축
- 현재 시제품 제작과 마케팅을 진행하고 있으며 추가창업과 분야 확장 모델을 준비 중에 있음

○ 국제3D프린팅코리아 엑스포 참가 (7회 : 경진대회 / 8회 : 전시, 운영)

- 기존 연구 성과와 현재 연구 결과물인 3D프린팅 활용 건축 마감재 생산에 대하여 대중 홍보
- 3D프린팅 기술에 대한 관심 고취

○ 3D프린팅 분야 다수 수상



- 한국생태환경건축학회 우수논문발표상(2019), 국제 3D프린팅 경진대회 우수상(2019), 과학기술정보통신부 장관상(2020), 한국생태환경건축학회 녹색찬란 Smart Life 학생창업 아이디어 공모전 우수상(2020) 등 수상

○ 국토교통기술촉진연구사업 성과 발표

- 건축 분야 3D프린팅 기술 활용 홍보 및 기술촉진사업에 대한 성과 발표회를 성대하게 마무리
- 향후 3D프린팅 건축 분야의 지속 가능한 발전 방향 및 실용성 제고
- 순천향대 총장, 충남문화산업진흥원장, 충청남도·아산시 공무원 등 다수 방문

○ 언론 매체를 통한 연구 실적 홍보

- 파빌리온 형태의 3D프린팅 비정형 공공시설물의 방향성 제시 및 성과물 홍보
- 26건 이상의 뉴스 및 기사 보도[11)]
- 폐플라스틱 재생과 3D프린팅 기술을 적용한 건축 및 시설물을 제작한 성과를 선보이며 환경문제에서 건축의 역할을 제시

○ 성과물 및 지역연계 세미나 개최

- 충남 지자체 연구원 3명 초청
- 충남 사업 발전 모델로서 구현할 방향 모색
- 3D프린팅 및 재활용 재료를 활용한 추진 전략과 지자체 발전 방향에 대한 협의

11) http://www.tjb.co.kr/sub0301/bodo/view/id/45438/version/1

○ 음봉도서관 벽면 비정형 마감재 디자인 및 시공 계획 협업·협의

- 충남 아산시 음봉도서관 신축현장에 비정형월 설계 및 제안 진행 중
- 지인디자인㈜ : 아산시 제안 및 시공
- ㈜종합건축사사무소 디에스그룹 : 디자인 · 설계
- 순천향대학교 : 비정형 마감재 제작

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3.1 성과 목표

○ 최종 성과 목표

재생플라스틱용 3D 프린팅 기술을 통한 비정형 공공시설물의 품질평가 20% 향상

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		총 성과목표			
						질적목표(측정방법)	목표치/달성치	검증 방법
주관	A	3D마감재 최적품질 프린팅 기술	A-1	3D마감재용 프린팅 재료	①	마감재 강도 (기존:100)	100	측정성적서
					②	마감재 오차율	5%	보고서
			A-2	마감재용 3D 프린터	①	생산속도 향상	10%	보고서
			A-3	마감재용 3D 프린팅 품질 기술	①	불량률	3%이내	보고서
					②	오차율	1%이내	보고서
			A-4	후처리 기술	①	보조 출력물 제거 소요 시간 (기존방식 비교)	30% 단축	보고서
공동	B	3D마감재 최적모델링 기술	B-1	최적분할 알고리즘	①	형상정보 변환	10%	설계도
					②	3D 마감재 비출력 경로 최소화	20%	보고서
			B-2	비정형 마감재 최적 분할 알고리즘	①	3D프린팅 출력 불가 패널 저감율	10%	보고서
			B-3	마감재 시공 도면	②	shop-modeling 작성	샵도면 작성	설계도
공동	C	3D마감재 고속시공 기술	C-1	마감재 접합기술	①	시공용이성 향상률	10%	보고서
					②	시공속도 향상률	10%	보고서
			C-2	3D 마감재 시험시공	①	시공 시간	20% 단축	보고서
					②	시공 품질	품질향상	비교분석 보고서
					③	시공 비용	20% 저감	보고서
계								

3.2 목표 달성여부

○ 총괄

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준								양적성과 현황
						질적 성과지표	목표치 / 달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	해당 기관	예산 (백만원)	목표치
주관	A	3D마감재 최적품질 프린팅 기술	A-1	3D 마감재용 프린팅 재료	①	마감재 강도 (기존:100)	100/110 달성	자체 기관 측정	측정성 적서	10	순천 향대 학교	25	논문(SCI) : 1건 논문(비SCI) : 1건 시제품 : 1 건 특허 : 출원 1건 특허 : 등록 1건 인력양성 : 1건
					②	마감재 오차율	5%/2차년도 달성	시험	보고서	15		35	
			A-2	마감재용 3D 프린터	①	생산속도 향상	10% /10%	시험	보고서	20		37	
			A-3	마감재용 3D 프린팅 품질 기술	①	불량률	3%이내 /2.85%	생산 마감재 불량률 측정	보고서	30		73	
					②	오차율	1%이내 /0.98%	생산 마감재 오차율 측정	보고서				
			A-4	후처리 기술	①	보조 출력물 제거 소요 시간 (기존방식 비교)	30%단축/ 95%단축	기존 방식 비교	보고서	20		50	
공동	B	3D마감재 최적모델링 기술	B-1	최적분할 알고리즘	①	형상정보 변환	10% /오차 없음	기존 모델링 비교	설계도	15	DS 그룹	25	특허 : 출원 1건 논문(비SCI) : 1건
					②	3D 마감재 비출력 경로 최소화	20% /20%	기존 방식 비교	보고서	15		28.6	
			B-2	비정형 마감재 최적 분할 알고리즘	①	3D프린팅 출력 불가 패널 저감율	10% /8%	기존 분할 방식 비교	보고서	10		40	
			B-3	마감재 시공 도면	②	shop-modeling 작성	샵도면 작성 /작성	시공 도면	설계도	10		34.4	
공동	C	3D마감재 고속시공 기술	C-1	마감재 접합기술	①	시공용이성 향상률	10% /2차년도 40%	시뮬레이션	보고서	15	지인 디자인	35	특허 : 출원 1건 특허 : 등록 1건 시제품 : 1 건
					②	시공속도 향상률	10% /2차년도 추가달성	시뮬레이션	보고서	10		32.4	
			C-2	3D 마감재 시험시공	①	시공 시간	20% 단축 /1차대비25.8%	시공시간 측정	보고서	10		21.3	
					②	시공 품질	품질향상 /품질향상	사용자 만족도 평가	비교분석 보고서	10		31.7	
					③	시공 비용	20% 저감 /1차년도 대비 12.07% 단축	비용 비교 분석	보고서	10		22.8	
계										200		491.2	특허 : 출원 3건 등록 2건 논문(SCI) : 1건 논문(비SCI) : 2건 시제품 : 2건 인력양성 : 1건

○ 1차년도

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		당해단계 성과목표					해당 기관	예산 (백만원)	실적목표/달성치
						질적목표(측정방법)	목표치/달성치	검증 방법	가중치			
주관	A	마감재용 재료 및 3D 프린팅 기술	A-1	3D마감재용 프린팅 재료	①	마감재 강도 (기존:100)	100 /미달성	측정 보고서	10	순천향 대학교	25	특허 : 출원 1건 논문(비SCI) : 1건
					②	마감재 오차율	5% /10%	보고서	15		35	
			A-2	마감재용 3D 프린터	①	생산속도 향상	10% /10%	보고서	20		37	
공동	B	3D 마감재 최적분할 기술	B-1	최적분할 알고리즘	①	형상정보 변환효율 향상률	10% /오차 없음	설계도	15	디에스 그룹	25	특허 : 출원 1건
					②	3D 마감재 비출력 경로 최소화	20% /20%	보고서	15		28.6	
공동	C	3D 마감재 접합기술	C-1	마감재 접합기술	①	시공용이성 향상률	10% /30%	보고서	15	지인 디자인	35	특허 : 출원 1건
					②	시공속도 향상률	10% /20%	보고서	10		32.4	
계							1		100		218	특허 : 출원 3건 논문(비SCI) : 1건

○ 2차년도

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		당해단계 성과목표					해당 기관	예산 (백만원)	실적목표/달성치
						질적목표(측정방법)	목표치/달성치	검증 방법	가중치			
주관	A	3D 마감재 품질 향상 기술	A-1	마감재용 3D 프린팅 품질 기술	①	불량률	3%이내 /2.85%	보고서	30	순천향 대학교	73	논문(비SCI) : 1건 논문(SCI) : 2건 시제품 : 1 건 특허 : 등록 1건 인력양성 : 1건
					②	오차율	1%이내 /0.98%					
			A-2	후처리 기술	①	보조 출력물 제거 소요 시간 (기존방식 비교)	30%단축 /95%단축	보고서	20		50	
공동	B	3D 마감재 최적설계 기술	B-1	비정형 마감재 최적 분할 알고리즘	①	3D프린팅 출력 불가 패널 저감율	10% /8%	보고서	10	디에스 그룹	40	논문(비SCI) : 1건
				마감재 시공 도면	②	shop-modeling 작성	샵도면 작성 /작성	설계도	10		34.4	
공동	C	3D 마감재 시험시공	C-1	3D 마감재 시험시공	①	시공 시간	20% 단축 /1차대비 25.87%	보고서	10	지인 디자인	21.3	특허 : 등록 1건 시제품 : 1 건
					②	시공 품질	품질 향상 /품질 향상	비교 분석 보고서	10		31.7	
					③	시공 비용	20% 저감 /1차대비 12.07%	보고서	10		22.8	
계									100		218	특허 : 등록 2건 논문(SCI) : 2건 논문(비SCI) : 2건 시제품 : 2건 인력양성 : 1건

3.3 관련 분야 기여도

3.3.1. 핵심 연구성과

연번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과 유형	연구기관	해당 연차	TRL
1	3D마감재 최적품질 프린팅 기술	- 마감재용 재료 설정/활용 기술 - 마감재용 3D프린터 설정기술 - 3D프린터 마감재 후처리 기술 - 3D프린터 마감재 생산기술	장비·장치	순천향대학교	2	4
2	3D마감재 최적모델링 기술	- 최적분할 알고리즘 기술 - 비정형 마감재 품질 설정 기술	시스템	디에스그룹	2	4
3	3D마감재 고속시공 기술	- 3D마감재 고속 접합기술 - 3D마감재 고속 시공 기술	공법·기법	지인디자인	2	4

3.3.2. 핵심 연구성과별 설명

핵심성과1		
정의	3D마감재 최적품질 프린팅 기술 개발	
목적	3D마감재용 프린팅 재료를 활용한 마감재용 3D프린터 설정 기술 개발 및 3D마감재 생산, 후처리 기술 연구	
성능목표	(연구 시작 시 기술 수준) TRL 1 (연구 종료 시 기술 수준) TRL 4	
성과달성 책임자 (소속기관)	이태희 (순천향대학교 산학협력단)	
소요기간	2019.04 - 2020.12 (2년, 2년차)	
성과달성 확인방법	- 마감재의 적합 재료 비교 시험을 통한 품질 유지 - 마감재의 기존대비 강도 검증 - 마감재용 3D프린팅 불량률, 오차율 테스트 - 보조 출력물 제거 소요 시간 자체 평가 - 3D프린팅 비정형 패널 생산 시스템 구축을 통한 특허 출원 및 등록 예정	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	등록(예정) : 1건
	논문	비SCI : 1건 / SCI : 1건
	시제품	1건

핵심성과2		
정의	3D마감재 최적모델링 기술 개발	
목적	비정형 입면을 생산과 원가를 고려하여 최적 크기 및 형상으로 분할하여 모델링, 출력방식 설정 기술 연구	
성능목표	(연구 시작 시 기술 수준) TRL 1 (연구 종료 시 기술 수준) TRL 4	
성과달성 책임자 (소속기관)	조진만 (㈜종합건축사사무소 디에스그룹)	
소요기간	2019.04 - 2020.12 (2년, 2년차)	
성과달성 확인방법	- 기존 모델링 설계도 비교 분석을 통한 검증 실시 - 마감재 최적 출력배치 및 순서를 도출하여 생산성 · 효율성을 높일 수 있는 최적화 알고리즘 제안 - 불량 패널 저감을 위한 기존 분할 방식 비교 평가 후 검증 - 3D프린팅을 이용한 비정형 패널 생산 및 시공 시스템 특허 출원 및 등록 예정	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	등록(예정) : 1건
	논문	비SCI : 1건, SCI : 1건
	사업화	1건

핵심성과3		
정의	3D마감재 고속시공 기술	
목적	시공품질과 속도향상을 위한 최적시공 방식에 관한 연구를 통하여 시공 용이한 프레임구조와 마감재 접합방식 개발	
성능목표	(연구 시작 시 기술 수준) TRL 1 (연구 종료 시 기술 수준) TRL 4	
성과달성 책임자 (소속기관)	박지윤 (지인디자인㈜)	
소요기간	2019.04 - 2020.12 (2년, 2년차)	
성과달성 확인방법	- 개발 시공 프로세스의 시공 시간 단축 측정 평가 후 분석 및 검증 - 기존 접합 시간과 자체 개발 접합 시간 비교 - 비정형 마감재의 시공 품질 향상 사용자 만족도 평가 후 비교 분석 검증 - 시공 비용 저감 비교 분석 후 검증 - 특허 출원 및 등록과 시제품화 달성	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원(예정) : 1건 / 등록(예정) : 1건
	논문	-
	시제품	1건

3.4 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 연구의 성과 및 진행단계에 비해 정략적 성과는 기간 내 등록되거나 게재되지 못하고 예정으로 작성되었음.

- 논문과 특허가 연구목표에 맞게 진행(투고 및 출원)되었지만 소요시간이 많이 걸려 연구 종료시점에 게제 및 등록을 맞추지 못하고 이후에 확정될 예정

- 등록 예정인 특허는 [3D프린터용 필라멘트 연속 공급 장치],[3D프린팅을 이용한 비정형 패널 생산 및 시공 시스템],[3D프린팅을 이용한 비정형 패널 생산방법] 이며, 출원 예정인 특허는 [재활용 플라스틱 활용 조립형 블록 건축물]임.

- 피치 못할 코로나 상황에 투입 인력 조절로 인하여 논문과 특허 등은 지연되었으나, 실용화 및 사업화 단계에 초점을 맞추에 진행하였음.

- 이에, 추가 창업과 분야 확장 모델을 준비하여 연구 개발 결과를 상용화 할 수 있도록 적극 추진할 예정이며, 정량적 성과(논문, 특허 등)의 게재와 등록을 마무리할 예정에 있음.

- 비정형 마감재 시공시 개별 이형 패널의 조달-설치-시공-검사 과정을 효율화하기 위해, 향후 BIM 설계, 3D 스캔 등과 연계한 3D 프린팅 생산관리 기술 연구 필요

- BIM 설계를 적용하여 기존 2D 설계보다 공간 자각을 쉽게 함으로써 설계를 현실 조건에 맞게 구현할 수 있도록 하고 설계 과정에서 비정형 마감재, 조인트, 프레임 등 건축 자재와 원가 같은 기타 정보를 같이 다룰 수 있어 더욱 효율적인 설계 가능
- 이를 통해 전체적으로 시공 시간을 단축하고 불필요한 자재 사용이나 기타 에너지 낭비 방지
- 비정형 마감재 3D 프린팅 기술과 BIM 설계의 적용은 원가 절감과 동시에 에너지 효율을 높여 보다 친환경적인 건설·시공이 가능
- 또한 BIM 기술을 활용하여 시공 후 비정형 마감재의 유지관리 목적으로 활용하는 방안으로써 비정형 마감재의 생애 주기를 파악하여 시기별 보완 내용을 알려주고 건축물의 단열과 에너지 소비량 등을 스마트폰과 같은 전자기기를 통해 정보 제공 시스템 구축
- 이를 통해 안전진단, 방화, 방재 등을 더 쉽게 할 수 있고 건축물의 유지 기간을 늘려 사회적 비용 감소와 친환경적 요소를 높일 수 있음
- 기존 공장 제조방식이 아닌 현장 직접 투입 방식으로 건설 현장에 대형 3D프린터를 설치하여 현장에서 직접 3D프린팅 출력 및 제작을 하여 생산 후 조달을 위한 공정과정이 제외되며 이로 인한 경제성 또한 늘어남
- 패널의 설치, 시공까지 한 번에 가능하며 조인트의 개발로 프레임과 비정형 3D프린팅 패널의 설치 공정 및 시공시간이 크게 줄어들어 시공 시간 및 비용이 감소함.
- 비정형 패널, 프레임 조인트 등과 같이 작은 부분을 프린팅 하는 것은 전체를 프린팅 하는 방법보다 더 다양한 재료와 디자인, 조립방법으로 시도 가능.
- 3D 스캐닝을 활용하여 비정형 마감재 곡률형상오차, 수축 및 불량 패널 생산, 프레임과 조인트의 결합 오차, 패널과 프레임의 결합 오차 등 시공 현장 검증을 진행하여 비정형 패널 시공 오차를 최소화 할 수 있으며 오차 발생 시 현장에서 즉시 대응 가능.

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

4.1 활용 계획

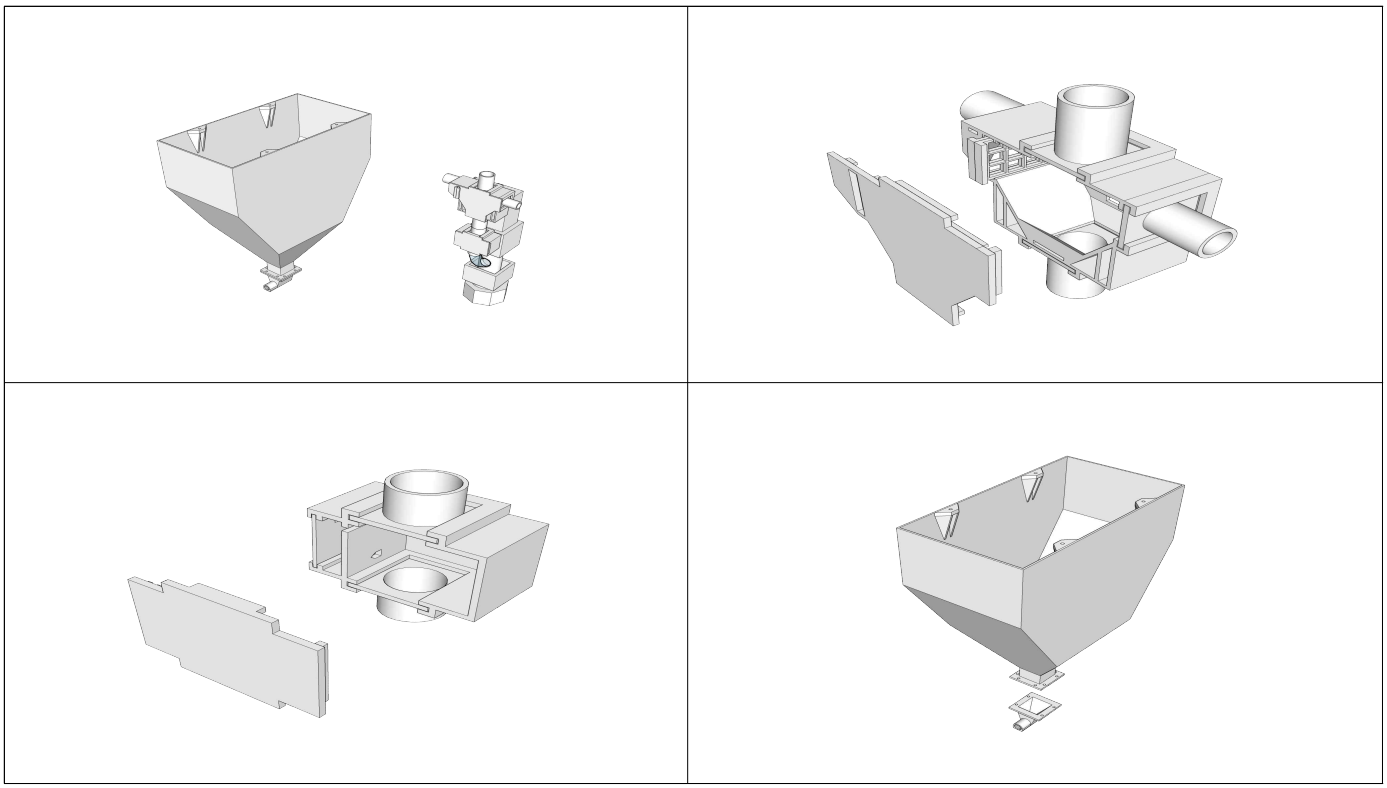
○ 향후 경제성 및 실용화 제고를 위해 대량생산을 위한 장비개발, 모듈화 연구 진행 계획

- 대량생산의 제조업은 공장에서 공정에 따라 진행되는 방식이며, 부품생산-부품조립-완성품 제공이라는 프로세스를 거치며 건축물 시공에 제조업 프로세스를 도입할 경우 부분생산(공장)-부품조립(공장 및 현장)-완성품 제공의 프로세스임.
- 3D 프린팅 기술 적용 시 기존 공정 과정과 차별화된 제조업 프로세스로 3D 프린팅 기술의 적용은 현장 설치 후 생산-조립 및 시공-완성품의 모든 프로세스를 현장에서 바로 적용이 가능.
- 또한 설계 변경 및 시공 불량 시 현장에서 바로 수정·보완이 가능하여 시공 시간 및 비용 등 경제성을 극대화 시킬 수 있음.
- 대량 생산을 위한 모듈러 건축은 타 공법에 비해 공장 생산 비율이 높고 전체 공정의 50~90%까지 공장에서 이루어지며[12], 대량 생산의 효과로 재료비는 5~10%, 노무비는 50%, 이외에도 경비, 운반비 등을 절감할 수 있다.[13]
- 모듈러 건축은 제작되는 조형방식 면에서 3D프린팅과 유사하며 기존 모듈러 건축방법과 3D 프린팅 조형방식이 상호보완적인 방법으로 결합 시 비정형 건축의 시공성을 크게 향상시킬 수 있다고 판단함.
- 이러한 기존 모듈러 건축의 생산체계를 개선하며 기술 융합의 시공공법을 활용하기 위해서는 장비, 소재, 디자인 등의 개발이 필요.
- 이를 선도적으로 이끌기 위해 본 연구에서는 재생 플라스틱이 활용가능하며 비정형 마감재를 생산하기 위한 대형 펠릿 3D 프린터 장비 개발과 대량생산을 위한 재료 자동화 공급 시스템을 개발함.
- 재료 자동화 공급 시스템은 센서를 통해 재료의 유·무를 인식하여 원활한 재료 공급이 가능하며 이로 인해 수동 공급 시스템에서 발생한 문제들을 해결함.
- 또한 대량 생산을 위한 장비의 가동성도 높아졌으며 대형 펠릿 3D프린터의 무인 작동 시스템도 가능해짐.

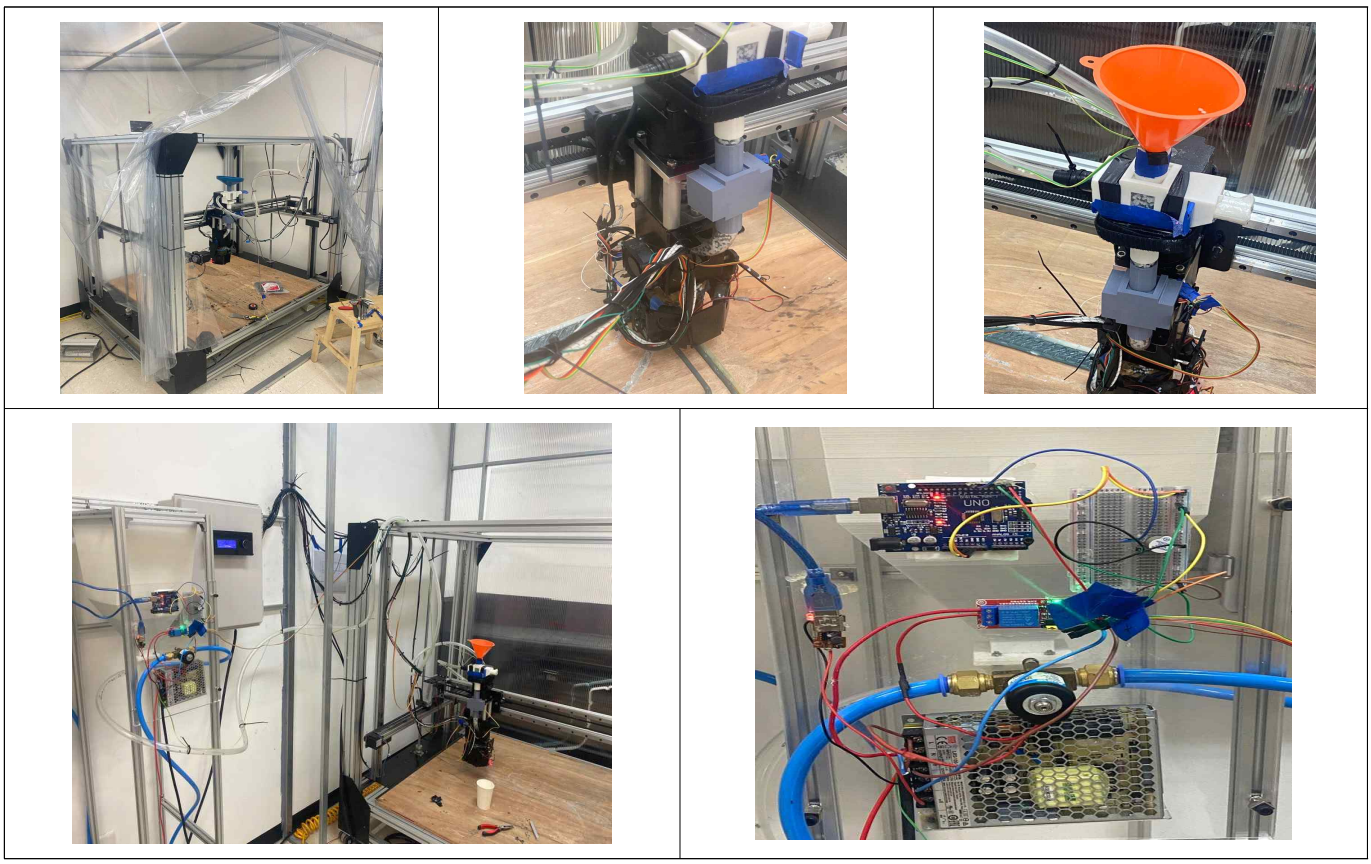
---

12) 배병윤·김경래·차희성·신동우(2012), “모듈러 공장생산 프로세스 개선을 위한 컨베이어시스템 적용방안 : 공장생산을 중심으로”, 한국건설관리학회 논문집

13) 김학철·황영규·김경래(2014), “모듈러 경제성 확보를 위한 공장생산 프로세스의 다기능공 적용 방안”, 한국건설관리학회 논문집



< 재료 자동화 공급 시스템 모델 >



< 재료 자동화 공급 시스템 모델 구현 >

○ 시험시공 (2차)
본 연구는 최종결과물을 통해 아산시립도서관 어린이자료실의 한쪽 벽면에 시험시공을 하여 성능을 검증하고 시설물의 유지를 통해 내구성을 검토하려함

○ 상용화 (아이템 확장)
본 연구는 비정형 공공시설물의 마감재를 대상으로 하지만 마감재의 특성상 어떤 건물이나 시설물에도 적용할 수 있는 범용성과 확장성을 가짐. 본 연구의 결과물을 통해 후속과제를 진행하여 아트월, 커튼월 부재, 지붕재 등의 마감재로 확대시켜 상용화 모델을 구축할 계획임

○ 사업화
- (사업화) 연구결과를 활용한 사업화 성과로 3개의 연구기관이 협의하여 회사(업사이클링시티)를 설립(창업)하였고 주관기관 연구책임자가 대표로 취임. 1.1천만원의 시제품 설계용역을 시작으로 사업화가 진행 중이고 추가용역, 인력고용(2명) 및 기술이전(1건)을 예정하고 법인화 및 투자유치를 준비하고 있음

- (추진계획)개발된 기술과 인프라를 기반으로 세 기관의 협업으로 충남 아산시 음봉 도서관 신축현장에 비정형 월 설계 및 시공을 제안 중이며, 수주 시 공동연구기관 ㈜종합건축사사무소 디에스그룹은 설계, 주관연구기관 순천향대학교는 생산, 공동연구기관 지인디자인㈜는 시공을 수행할 예정

4.2 기대 효과

특수한 경우에만 시도되는 비정형 월을 기업이 일반공사에 사용가능한 방식으로 인식하고 시도하여 미래기술 적용한 건설(설계, 자재, 시공)분야의 새로운 사업영역을 생성함.

○ 건축 및 환경분야 기대효과
- 본 연구 정보를 활용한 관련 분야 창업, 새로운 사업 영역 창출
- 비정형 공공시설물 마감품질 및 시공능력 향상
- 건축 및 환경 분야 3D 프린팅 기술 활성화
- 공공시설물 가치 증가 및 도시 경쟁력 확보

○ 사업화 기대효과
- 비정형 공공시설물 마감품질 및 시공능력 향상
- 지속적 관련 분야 연구를 통한 비정형 마감재 품질 향상

○ 사회적 기대효과
- 도시 및 지자체의 정체성 강화 및 심미적 공간 제공
- 폐플라스틱 저감으로 환경문제 해결
- 건축분야 첨단 및 친환경 이미지 제고

붙임. 참고문헌

1) 이지윤, 김영주, 건설폐기물의 재활용에 관한 국내 연구동향 분석 1995-2016, 한국콘텐츠학회, 2017

2) 환경부, 제3차 건설폐기물 재활용 기본계획 수립을 위한 연구, 2016

3) 유지예 외 2명, 국내외 바이오 플라스틱 규제 현황, 인증마크 및 식별 표시 동향, 한국포장학회, 2018

뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.