

전통문화재의 3D 프린터 적용을 위한 문화콘텐츠 리빌드 및 저작권 보호 기술 개발

**Traditional Cultural Properties Rebuilt and its
copyright protection technology development for
3D Printer Cultural Contents Services**

2017. 04. 30

한국과학기술연구원

문화체육관광부

제 출 문

문화체육관광부장관 귀하

본 보고서를 ‘2014년도 선정 문화기술 연구개발 지원사업’

전통문화재의 3D 프린터 적용을 위한 문화콘텐츠 리빌드 및 저작권 보호 기술 개발 과제의
최종보고서로 제출합니다.

2017 년 4 월 30 일

주관연구기관명 : 한국과학기술연구원
주관연구책임자 : 문 명 운
공동연구기관명 : 서울대학교
공동연구책임자 : 김 태 완
공동연구기관명 : 고려대학교
공동연구책임자 : 장 민 호
공동연구기관명 : (주) 로켓
공동연구책임자 : 손 동 석



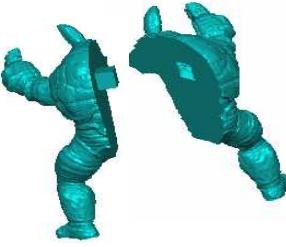
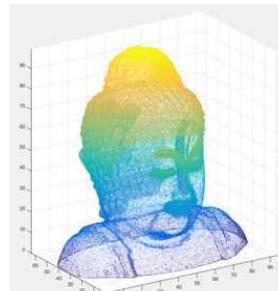
문화체육관광 연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제29조(연구개발결과 공개 등)에
따라 보고서 공개에 동의합니다.

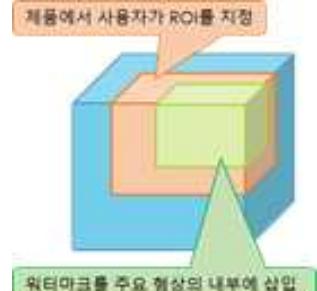
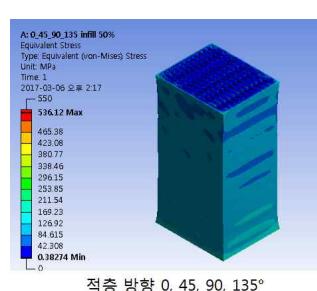
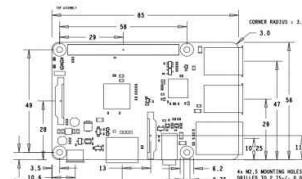
3. 보고서 요약서

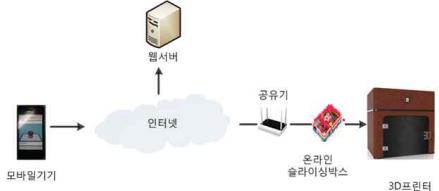
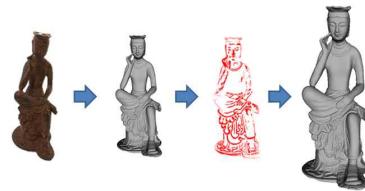
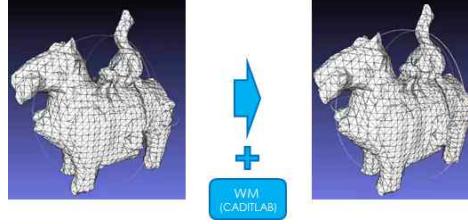
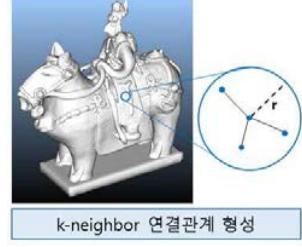
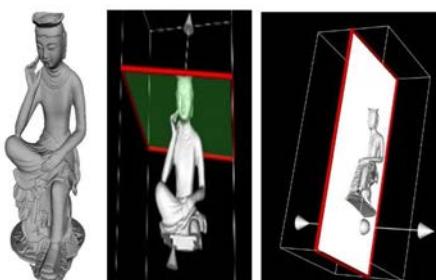
보고서 요약서

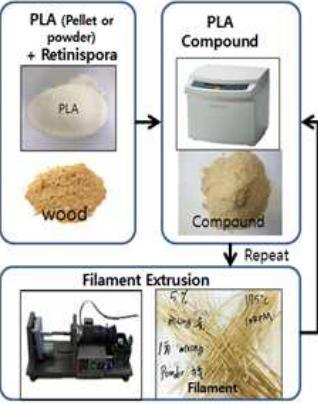
과제 번호	R2014040016					
과제명	국문	전통문화재의 3D 프린터 적용을 위한 문화콘텐츠 리빌드 및 저작권 보호 기술 개발				
	영문	Traditional Cultural Properties Rebuilt and its copyright protection technology development for 3D Printer Cultural Contents Services				
주관연구기관	기관명	한국과학기술연구원	사업자등록번호	209-82-03522		
	기관유형	연구소	법인번호	114422-0000174		
주관연구책임자	성명	문명운	직급(직위)	책임연구원(센터장)		
	전화번호	02-958-5487	전자우편	mwmmon@kist.re.kr		
	휴대전화번호	*****	팩스번호	02-958-5451		
	과학기술인 등록번호	1012 9528	직장주소	서울특별시 성북구 화랑로 14길 5		
	총 연구기간	2014.06.01 ~ 2017.03.31(34개월)				
연구개발비 현황(단위: 천원)						
연도	정부출연금 (A)	자체부담금				
		현금 (B)	현물 (C)	소계 D=(B+C)		
1차 연도	545,000,000원	20,000,000원	180,086,000원	200,086,000원		
2차 연도	660,000,000원	22,000,000원	199,848,545원	221,848,545원		
3차 연도	683,395,000원	23,600,000원	210,138,000원	233,738,000원		
합계	1,888,395,000원	65,600,000원	590,072,000원	655,672,000원		
공동 연구기관	기관명	총 참여기간		책임자 연락처		
	고려대학교	2014.06.01 ~ 2017.03.31(34개월)		장민호 02-3290-3379		
	서울대학교	2014.06.01 ~ 2017.03.31(34개월)		김태완 02-880-1437		
	(주) 로켓	2014.06.01 ~ 2017.03.31(34개월)		손동석 02-867-0182		
위탁연구	온라인 슬라이싱 콘텐츠 웹 서버 구축 및 개발 (크로노미디어, 박종범, 2차 연도)					
요약	<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 연구개발은 3D 프린팅 기술을 이용하여 전통 문화재를 리빌드하고 이를 문화콘텐츠화하는 것과 3D 데이터의 저작권을 보호하는 기술을 개발함 - 본 과제를 위해서는 3D 데이터의 영역 분할-재결합 기술을 개발하고 3D 프린터를 이용하여 제작된 구조체의 구조안정성에 대한 모델링기술을 개발완료하였으며 K-Lego를 위한 시제품을 제작함 - 3D 스캔 데이터의 효과적인 사용을 위한 특징점 추출 및 데이터 보정/간략화 기술을 개발하여 문화 콘텐츠의 보급화가 가능할 수 있는 기술을 개발함 - 3D 데이터의 고급 유사도 측정 기술과 워터마킹 프로그램을 개발하여 저작권을 보호하는 기술을 개발함 - 3D 프린팅을 위한 데이터의 보급을 위한 통합 웹/앱기반 온라인 3D 프린팅 데이터 서비스 환경 및 개발 기술 적용한 3D 프린터를 개발하여 적극적으로 사업화에 적용함 					

가. 연구 개발 결과

구분	연구 개발 목표	연구 개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도	보급형 3D프린터용 문화콘텐츠 변환기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> o 고정밀 3D 스캔 데이터 분석 <ul style="list-style-type: none"> - hole filling 등의 mesh healing 기술 개발 - 데이터 손실을 최소화하는 데시메이션 알고리즘 개발 o 접합 난이도를 고려한 영역 분할 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 3D 프린터를 이용한 문화콘텐츠 출력 시 영역 분할을 통한 파트 출력 필요 - 수치 기반이 아닌 구조 안정성 및 접합 난이도를 고려한 영역 분할 기술 코드 개발 (무게 중심 및 접합부 확보 등의 구조적 인자) - 10분할 이상의 영역 분할 코드 개발고려 	<ul style="list-style-type: none"> - 보급형 3D 프린터용 문화콘텐츠 변환 프로그램 개발 
	전통문화재 콘텐츠에 최적화된 3D프린터용 펌웨어 개발	<ul style="list-style-type: none"> o 온라인 서비스용 3D 프린터 펌웨어 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 재료 개발 및 동시에 적용하여 출력 가능한 환경 구축, 웹서버 접속과 전용 G-Code를 다운로드 및 분석할 수 있는 펌웨어 구현 o 웹 서버 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 전통문화재 콘텐츠 3D 프린터용 펌웨어 웹플랫폼 프로토타입 
	웹 기반 3D 모델 브라우징 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> o 웹 기반 대용량 3D 모델 상세정보 브라우징 기술 	<ul style="list-style-type: none"> - 웹 기반 대용량 3D모델 뷰어
2차 연도	3D 스캔 데이터 저작권 보호 기반기술 개발 (워터마킹)	<ul style="list-style-type: none"> o 3D 스캔 데이터 워터마킹 기법 설계: <ul style="list-style-type: none"> - 점군 기반의 워터마킹 기술 개발 o 3D 스캔 데이터 ROI 분석 기법 설계: <ul style="list-style-type: none"> - 특징점/선 및 세밀도 기반 ROI 분석 기법 개발 o 형태기반 유사도 측정 기술 분석 연구: <ul style="list-style-type: none"> - 관심 영역 추출 및 부분 정합 유사도 측정 	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 스캔 데이터 워터마킹 프로그램 - 3D 스캔 데이터 ROI 분석 프로그램 - 3D 스캔 데이터 형태기반 유사도 측정 프로그램
	구조적으로 안정적인 보급형 3D 문화콘텐츠 변환기술	<ul style="list-style-type: none"> o 고정밀 3D 스캔 데이터 분석 <ul style="list-style-type: none"> - hole filling 등의 mesh healing 기술 개발 - 데이터 손실을 최소화하는 데시메이션 알고리즘 개발 o 접합난이도, 의미기반, 워터마킹 및 구조적 안정성을 고려한 영역 분할 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 분할 기술 코드 세분화 - 구조적 인자 및 의미기반 영역 분할 기술 개발 - 15분할 이상의 영역 분할 코드 개발 - 3D 프린팅 공정을 고려한 영역분할 - 접합을 고려한 견고한 접합부 설계 기술 	<ul style="list-style-type: none"> - 데시메이션 알고리즘 - 안정성을 고려한 보급형 3D 문화콘텐츠 변환 프로그램 
	전통문화재 콘텐츠용 웹플랫폼 핵심	<ul style="list-style-type: none"> o STL 온라인 슬라이싱 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 슬라이싱 프로그램을 웹서버에 이식, 슬라이싱 프로그램이 사용하는 메모리양 	<ul style="list-style-type: none"> - STL 파일 온라인 슬라이싱 웹 프로그램

	<p>기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 최소화, 빠른 슬라이싱 속도를 위한 향상된 알고리즘 개발 및 적용 <ul style="list-style-type: none"> - 암호화된 G-Code 온라인 전송/인식 기술 - 슬라이싱 된 파일은 암호화하여 Stream 방식으로 전송 프린터 OS에서 복호화 후 출력 	<ul style="list-style-type: none"> - 암복화 기술 적용 문화콘텐츠 제공
	<p>3D 프린팅 웹플랫폼 베타서비스</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 3D 프린팅용 문화콘텐츠 제공 시범서비스(웹) 개발 - 3D 프린팅용 문화콘텐츠의 모델링 파일 확보 및 업로드/암호화된 파일 다운로드, 온라인 슬라이싱, 출력 메커니즘 구현과 테스트 가능한 환경 구축 	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 프린팅용 문화콘텐츠 제공 시범서비스(웹) 프로토타입 - 전통문화콘텐츠 기반 웹환경 구축
	<p>복합공격에 강한 저작권 보호기술 (유사도+워터 마킹)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 3D 모델 변형을 유도하는 복합 공격에 견고한 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 영역 변환 기반의 워터마킹 기술 개발 ○ 3D 스캔 데이터 ROI 분석 기법 설계: <ul style="list-style-type: none"> - 특징점/선 및 세밀도 기반 ROI 분석 기법 개발 ○ 3D 스캔 데이터 ROI 분석을 통한 적응적 워터마킹 기술: <ul style="list-style-type: none"> - 세밀도 기반 ROI의 워터마킹 기술 개발 ○ 형태기반/의미기반 유사도 측정 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 특징 벡터 기반 유사도 측정 - 자동 시맨틱 주석 기반 유사도 측정 	<ul style="list-style-type: none"> - 변형 복합공격에 강인한 3D 스캔데이터 워터마킹 프로그램 - 3D 스캔 데이터 ROI 분석 프로그램 - 3D 스캔 데이터 형태 기반 /의미기반 유사도 측정 프로그램 개발 
3차 연 도	<p>출력물의 구조적 안정성을 위한 내·외부 보강 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 3D 프린터 출력물의 구조적 안정성을 위한 내·외부보강 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 출력물 파트 조합시 추가로 고려해야 하는 내·외부 응력 산출 코드 개발 - 최적화된 보강재 위치 및 형상 전산모사 - 20분할 이상의 영역 분할 코드 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 출력물의 구조적 안정성을 위한 내·외부 보강 기술 개발 (관련 프린팅 공정 조건 개발 및 프로그램 등록)  <p>적층 방향 0, 45, 90, 135°</p>
	<p>3D 프린터용 전통문화재 활용 플랫폼 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 호스트웨어 웹 프로그램 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 3D 프린팅 환경을 제공하는 강력한 통합 호스트웨어 웹 프로그램 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 프린팅 적용을 위한 문화 콘텐츠 제공 서비스 사이트 및 문화 콘텐츠 보강 

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 통합 웹플랫폼 서비스 환경에 최적화 된 보급형 3D프린터 개발 <ul style="list-style-type: none"> - FFF(FDM) 방식, STL(stereophotography) 방식 	<ul style="list-style-type: none"> - 온라인 3D 프린팅 통합 웹 플랫폼 통합 웹플랫폼 서비스 환경에 적화된 보급형 3D프린터 
고속 유사도 측정 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 유사 모델 탐지 알고리즘 소요 시간이 1초 이내 기술 개발 - 형태 기반 유사도 비교 분석 알고리즘 탐지율 90% 이상 - 원본 모델과 유사한 변형 모델을 탐지하기 위한 유사도 비교 실험을 10회 이상 수행하여 그 소요 시간을 측정 	<ul style="list-style-type: none"> - 30번의 실험에서 모든 데이터가 유사도를 제대로 판별하였음. 실험 결과 유사 모델 탐지율은 100%로 목표를 초과 달성하였음. 
3D 프린트-스캔 공격에 강인한 저작권 보호 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 프린팅 적용을 위한 문화 콘텐츠 제공 서비스 사이트 - 온라인 3D 프린팅 통합 웹 플랫폼 통합 웹플랫폼 서비스 환경에 최적화된 보급형 3D프린터 	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 프린트-스캔 공격 및 복합 공격 대비용 워터마킹 기술 개발 및 프로그램 등록 - 대용량 데이터 고속 3D 데이터 유사도 측정 프로그램 
전통결구법을 적용한 K-레고 제작 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전통결구법을 적용하여 결구 생성 및 분할이 가능한 프로그램 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 문화재 3D Mesh 분할, 출력 및 결합 	<ul style="list-style-type: none"> 문화콘텐츠 분할 및 결구 프로그램 개발 및 실제 시제품 출력에 적용 - 소형 문화재 10조각 이상 분할 (15cm 미만) - 대형 문화재 20조각 이상 분할 (50cm 이상) - 분할 프린팅 구조체의 강건한 재결합을 위한 결구 구조 다양화 

<p>전통소재를 활용한 텍스처 재현기술</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3D 프린팅이 가능한 형태이며 전통소재가 함유된 친환경 3D 프린팅 소재 개발 - 전통소재가 함유된 3D 프린터용 소재 3군 6종 이상 개발 	<p>- 자연 소재인 편백나무, 편백나무 잎, 쑥, 석고, 계피가 각각 함유된 PLA 기반 필라멘트를 개발하였으며, Screw Extruder 방식 프린터에 사용가능 한 허 기판 소재 개발 완료</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>PLA Pellet or powder + Retinispora</p> <p>Wood</p> <p>PLA Compound</p> <p>Compound</p> <p>Repeat</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Filament Extrusion</p> <p>PLA Pellet Wood Powder Filament</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>< 계피 3 % ></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>< 편백나무 잎 3 % ></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>< 향토 : 물 = 10 : 3 ></p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>석고 3 %</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>6.7% Retinispora 3.3% Wood 100% PLA Powder 33%</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>< 향토 : 물 : 소식회 = 10 : 4.1 : 1 ></p> </div> </div>
---	---	--

나. 연구개발 목표의 달성을

○ 평가항목별 달성도

연구개발 목표	평가항목	단위	개발목표치 대비 실적					
			1차 연도		2차 연도		3차 연도	
			목표	실적	목표	실적	목표	실적
구조안정성 해석 및 영역분할 기술	출력 기반 3D 문화콘텐츠 변환 기술	분할 조각수	10조각 이상	10조각	15조각 이상	15조각 이상	20조각 이상	27조각
고정밀 3D 스캔 데이터의 특징점 추출 및 보정/간략화 기술	특징점 추출 개수	추출 특징점 수 /포인트 수	1%	1%	3%	3%	5%	9%
	오차 분석	정밀도 (%)	90%		95%	99%	99%	99%
웹 기반 대용량 3D 모델 상세정보 브라우징 기술	웹 기반 대용량 3D 모델 뷰어	속도 (fps)	50		-	-	-	-
형태기반, 의미기반 유사도 분석기술	형태 기반 유사도 측정 기술 개발	탐지율 (%)			70 (관심영역 중심 측정)	80 (관심영역 중심 측정)	95 (관심영역 중심 측정)	99
	o 의미 기반 유사도 측정 기술 개발	탐지율 (%)	-		80	90	90	90
	식별자 간략화율				30% 이내	30% 이내	10% 이내	10%
3D 데이터의 워터마킹 기술	3D 스캔 데이터 워터마킹 기법	탐지율 (%)	80		95	95	95 이상	95
	3D 프린트-스캔 공격 및 복합 공격에 강인한 3D 스캔 데이터 워터마킹 기법	탐지율 (%)	-		70		90 (3D 프린트-스캔 공격 대비 탐지율 80%)	90
3D 프린팅 통합 환경 온라인 서비스관련 기술	3D 프린터 펌웨어	인식률 (%)	100		N/A	N/A	N/A	-
	온라인 슬라이싱 웹 프로그램	오차 범위 (mm)	N/A		±0.3	±0.1	±0.1	±0.1
	3D 프린터 호스트 웹 프로그램	구현기술 유형범위	N/A		FFF (압출 방식)	FFF (압출 방식)	DLP / SLA (광경화 방식)	DLP/SLA
	통합 웹플랫폼 서비스 환경에 최적화된 보급형 3D 프린터 시제품	1대	-		-	-	1대 이상	100대 이상 (상용화)

○ 정량적 성과목표별 달성을

구분	논문(건)			지식재산권						표준화 (건)	사업화		고용 창출 (명)		
	SCI	비 SCI		특허출원		특허등록		기타 (프로 그램 등록)	표준 특허		건수(건)				
		국내	국외	국내	국외	국내	국외				기술 이전	직접 사업화			
1차 연도	목표	-	1	1	1	1					-		1,000	50	
	(실적)	()	()	()	(1)	()	()	()	()	()	(0)	()	(93)	(4)	
2차 연도	목표	2	1	2	1	1	1				-		1,500	120	
	(실적)	(2)	()	(2)	(1)	()	()	()	()	()	()	()	(431)	(-)	
3차 연도	목표	3	1	2	1	1	1				-	-	2,500	450	
	(실적)	(1)	()	(3)	(3)	()	()	(4)	()	()	(1*)	()	(1,089)	(6)	
전체 연도	목표	5	3	5	3	3	2						5,000	620	
	(실적)	(3)	(0)	(5)	(5)	()	()	(4)	()	()	(1*)	()	(1,614)	(11)	

*서울대학교-(주)로켓 간 기술이전 구체 협의중

다. 연구 성과

○ 국내외 논문 게재(학술지)

번호	수행기관명	논문명	학술지명	호	주저자명	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일
1	한국과학기술연구원	4D Printing Technology: A Review	3D Printing and Additive Manufacturing	2	Jin Choi	SCI	15, 12
2	한국과학기술연구원	Nanostructures formed on carbon-based materials with different levels of crystallinity using oxygen plasma treatment	Thin Solid Films	590	Tae-Jun Ko	SCI	15, 09, 01
3	한국과학기술연구원	Introduction of 3D Printing Technology in the Classroom for Visually Impaired Students	Journal of Visual Impairment & Blindness	100	Won-Jin Jo	SCI	16, 04, 01
4	서울대학교	On the approximation of generalized T-splines	J Computational and Applied Mathematics	311	C. Bracco	SCI	17. 02

○ 국내외 논문 게재(학술대회)

번호	수행기관명	논문명	학술대회명	개최국	주발표자명	발표일
1	한국과학기술연구원	4D PRINTING structure Design factors and materials FOR rapid shape change	PRO-AM 2016	싱가폴	권오창	16, 05, 16
2	고려대학교	3D Feature Preserving Mesh Decimation Method	ISEAS	미국	임승빈	16. 08. 09
3	고려대학교	Categorization of 3D Mesh Data	2017 ACEIT	일본	송승현	17. 03. 30
4	고려대학교	Geometry based Similarity Measurement of 3D Mesh Data	2016 ACEAIT	일본	임승빈	16, 03, 30

○ 특허 출원

번호	수행기관명	특허명	출원국	출원번호	출원일
1	한국과학기술연구원	3D 프린팅을 위한 적층형 회로 제작 방법, 이를 수행하는 적층형 회로 제작 시스템, 및 이를 저장하는 기록매체	대한민국	10-2016-0115582	16,09,08
2	한국과학기술연구원	물질분사 방식의 3D 프린터의 노즐	대한민국	10-2015-0147783	15,10,23
3	한국과학기술연구원	트러스 구조 내부 적층 구조를 갖는 3D 프린팅 구조물	대한민국	2017-0041933	17,03,31
4	한국과학기술연구원	3D 도면 출력 온라인 서비스 통합적 개인정보 관리 시스템	대한민국	2015-0122139	15,08,28
5	한국과학기술연구원	잉크젯 헤드와 분말 상자기반 3D 프린팅을 위한 접착제	대한민국	2015-0038307	15,03,19

○ 특허 등록

“해당 없음”

○ 기타 지식재산권(프로그램 등록, 실용신안, 디자인, 상표, 서적 등)

번호	수행기관명	구분	명칭	관련번호	등록(출원)일
1	한국과학기술연구원	프로그램 등록	3D 메쉬(mesh) 구조분할 및 결합구조 설계 프로그램	C-2017-002247	17,02,17
2	고려대학교	프로그램 등록	상대적 깊이 정보를 이용한 특징점 추출 프로그램	C-2017-005522	17.02.28
3	고려대학교	프로그램 등록	3차원 Mesh(삼각망) 데이터 유사도 측정 프로그램	C-2017-005523	17.02.28
4	서울대학교	프로그램 등록	3차원 메쉬 기반 워터마킹 프로그램	C-2017-011471	17.05.15

○ 표준특허

“해당 없음”

○ 표준화

“해당 없음”

○ 사업화

- 기술이전(기술실시)

번호	수행기관명	기술실시 계약명	기술실시 대상 기관	기술실시 계약일	기술료(천원)
				YY.MM.DD	

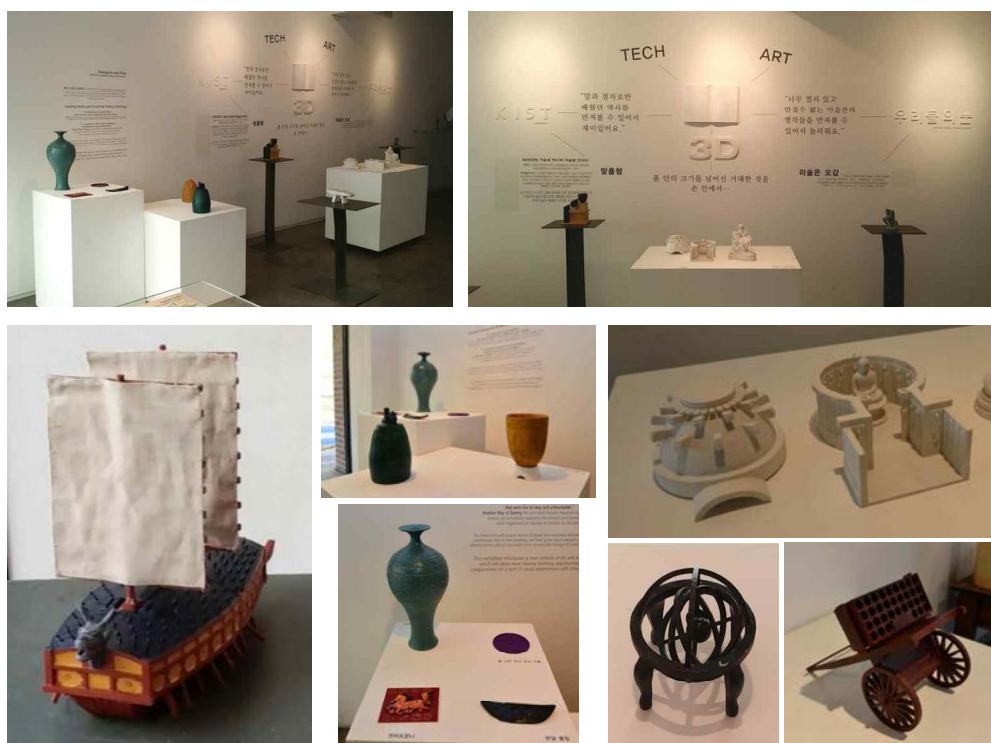
- 제품/서비스 출시, 매출 등

번호	수행기관명	사업화 방식	사업화 내용	사업화 기관	매출 발생 시기	매출 (천원)
1	(주)로켓	직접실시	o스텔스 300 제품 출시	(주)로켓	2016	650,000
2	(주)로켓	직접실시	o스텔스 450 제품 출시	(주)로켓	2017	3,000,000 (2017 사업계획 기준)
		0				

○ 기타 성과

1차 연도

- “우리들의 눈”전시회 작품 출품 (2014.09.23 – 2014.10.25.)



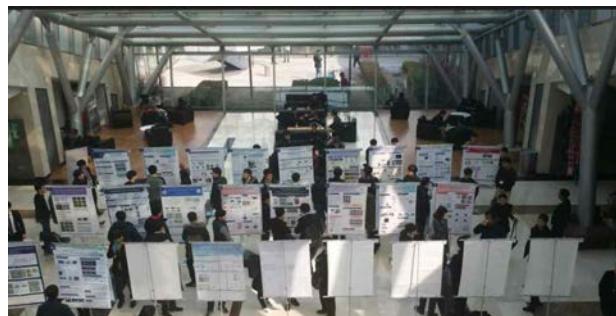
- “과학창의 축전”에 기술 소개 (2014.11.03. – 2014. 11.08)



- “중국 과기부 차관에 과제 소개”(2014. 11. 19)



- “Nano-IMP Conference 2015”에 포스터 발표 및 우수 포스터 상 수상 (2015. 2)



- “3D 프린터의 새로운 기능성을 만나다”인터넷 기사에 본 과제 소개 (2015. 2. 10, 위키트리)

2차 연도

- “ISNIT 2016” 국제 학회 Invited Speaker로 과제 소개 (2016. 01. 25)

- “Nano-IMP Conference 2016”에 포스터 발표 및 BEST Poster 상 수상 (2016. 2. 17)

3차 연도

The screenshot shows a news article from CT지기 (CT Journal) dated 2016.02.24. The title is 'KIST 선임 연구원이 말한 3D프린터의 잠재력' (Potential of 3D printers as mentioned by a senior researcher at KIST). The article discusses the potential of 3D printers in various fields like medicine and architecture. It includes a photo of a KIST researcher and a video link.

- 영주시에서 3D 프린터와 전통문화재의 연관성에 관한 심포지움 개최 (2016. 5.12-13)

- Spin-off 과제 : 전통공예, 건축 소재를 이용한 스마트 3D 프린팅 소재 개발 과제 선정(미래부 2016-2020)

- 전시회 참가 : 2017 한옥 박람회 (초청)

장소: 킨텍스, 제1전시장 3홀 일시: 2017년 2월 9일 (목) ~ 12일 (일)

○ 언론 홍보

• 언론 홍보

The screenshots show three news articles about KIST's work in 3D printing:

- 2016.05.16. 헤럴드경제: '알파고를 넘는다' 한국 청년 7인의 당찬도전
- 2016.06.27. KBS, TV 조선 등: 전통기술에 과학 접목... '세계시장 도전'
- 2016. 11. 22. 머니투데이: '그려려면 4D에 맞는 시뮬레이션 프로그램이라든지 디자인 툴이 개발돼야 합니다'

라. 향후 사업화 계획

o 사업화 계획은 비즈니스 모델을 기반으로 진행될 예정임

- 본 과제를 통해 개발된 소프트웨어 및 하드웨어 기술을 접목할 수 있는 비즈니스 모델을 계획하며 4차 산업혁명관련 아이템으로의 발전시킬 수 있음
- 3D 프린팅 기반 소프트웨어 기술 : 3D 분할/결합 소프트웨어, 암복화 소프트웨어, 3D 스캔 소프트웨어 (데시메이션, 스캔 정밀도 향상 소프트웨어)

비즈니스 모델(BM)	플러그인 형태의 3D 프린팅 요소기술(S/W) 판매
사업화 주체	3D 소프트웨어 업체
시장분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3D 프린팅 시장은 연평균 13.5%의 성장을 지속하여 2017년에는 3억 5,000만 달러로 성장할 것으로 예상됨. 특히 3D imaging, 3D modeling, 3D scanning, 3D rendering, layout and animation and image reconstruction 등 AM(After Market) 시장인 3D 데이터 분야는 2013년 3억 100만 달러에서 연평균 26.7% 성장하여 2018년에는 9억 8,200만 달러에 이를 것으로 예상. 3D 프린팅 글로벌 시장규모는 2012년 13억 달러, 2016년 31억 달러에서 2020년에는 52억 달러 규모의 시장이 형성될 것으로 예상
사업화 전략 및 계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ Word나 Windows와 같은 기본적으로 일반인이 많이 사용하는 소프트웨어에 부가 기능을 갖는 plug-in형태로 소프트웨어로 기간제 조건부 무료 프로그램으로 배포 후 유료화 사용 유도 <ul style="list-style-type: none"> - 2017년도 : 소프트웨어 저작권 확보 - 2018~2019년도 : 소프트웨어 상용화 (로드맵) 과제 기획 및 기술이전

비즈니스 모델(BM)	3D 문화재 콘텐츠의 교육 시장 활용을 통한 문화재 모델시장 확대 (지역 3D 프린팅 특성화 센터와 연계)
사업화 주체	초/중/고등학교
시장분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2016년 CES에서 소비자 분석 전문가들이 뽑은 가장 중요한 3D 프린터 개발 부분이 교육/대형/저작권 보호였음. ○ 급변하는 과학기술의 발전에 맞추어 초/중/고 학생들의 3차원적 사고와 3D 프린팅을 사용한 새로운 제조기술에 대한 교육이 필수적으로 수행 될 것으로 예측 됨
사업화 전략 및 계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초/중/고 맞춤형 교육 프로그램 커리큘럼 작성 및 방과 후 활동이나 동아리 지원을 통한 프로그램 보급 ○ 평생교육원 문화센터뿐 아니라 3D 프린팅 전문가 양성 교육 프로그램 개발/판매 ○ 온라인 스스로 학습 프로그램 제작 및 유료 배포

비즈니스 모델(BM)	3D 통합 서비스 플랫폼 (디자인 대회 개최를 통한 홍보)
사업화 주체	(주) 로킷 (참여업체)
시장분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3D 프린팅 시장은 연평균 13.5%의 성장을 지속하여 2017년에는 3억 5,000만 달러로 성장할 것으로 예상됨. 특히 3D imaging, 3D modeling, 3D scanning, 3D rendering, layout and animation and image reconstruction 등 AM(After

	Market) 시장인 3D 데이터 분야는 2013년 3억 100만 달러에서 연평균 26.7% 성장하여 2018년에는 9억 8,200만 달러에 이를 것으로 예상. 3D 프린팅 글로벌 시장규모는 2012년 13억 달러, 2016년 31억 달러에서 2020년에는 52억 달러 규모의 시장이 형성될 것으로 예상
사업화 전략 및 계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 워터마킹, 영역분할 등의 요소기술을 온라인으로 사용 가능하도록 공개하며, 다양한 서비스를 직접 체험해 볼 수 있도록, 3D 프린팅 출력 회사들과 연계하여 “온라인 서비스 플랫폼” 홍보 <ul style="list-style-type: none"> - 2017년도 : 3D 컨텐츠 디자인에 대한 암복화 기술 서비스 시작 - 2018~2019년도 : 개발 워터마킹/영역분할-결합 기술 온라인 베타버전 활용

비즈니스 모델(BM)	K-레고 “전통이 좋아 ㅋㅋ”
사업화 주체	완구 업체
시장분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 레고시장은 전 세계적으로 2015년 285억여원으로 완구업계에서는 매우 큰 시장 규모를 가진다. 우리나라의 전통 결구법을 이용하여 K-레고라는 제품을 만들어 국내에 배급하고, 특히 친환경 전통소재를 사용하여 3D 프린터로 제작할 경우, 전통문화와 국내자체 개발기술로 탄생한 완구로써 앞으로 국내 완구 시장에 많은 영역을 차지할 것으로 기대된다.
사업화 전략 및 계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시제품 제작을 통한 제품 홍보와 저작권 확보 및 국내 완구업체 기술이전을 통한 사업화를 꾀한다. <ul style="list-style-type: none"> - 2017년도 : 3D 데이터 분할-결합 저작권 확보 - 2018~2020년도 : 전통문화재 데이터 처리를 위한 분할-결합 소프트웨어 베타버전 release 및 사업화 연계

비즈니스 모델(BM)	3D 모델 고속 검색 기능
사업화 주체	웹기반 디자인 업체
시장분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3D 데이터 콘텐츠의 유통을 위한 고속 맞춤형 검색 기술이 요구됨
사업화 전략 및 계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 형태기반 혹은 의미기반 유사도 측정 기술을 도입하여, 소비자가 대략적인 형태를 제시하면 웹상에서 가장 유사한 모델을 찾아주고 제공이 가능하도록 하는 서비스 플랫폼 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 2017년도 : 데이터 유사도 측정 기술 저작권 확보 - 2018~2019년도 : 데이터 유사도 측정 기술 기술 이전

4. 국문 요약문

연구의 목적 및 내용	전통문화재 문화콘텐츠 리빌드 및 저작권 보호 기술 개발을 통해, 국내 전통문화재 및 각종 3D 문화콘텐츠 저작권 보호 기술 개발 및 온라인 환경 조성을 통한 사용성을 극대화하는 것이 목표임					
연구 개발 성과	<ul style="list-style-type: none"> - 복잡하고 큰 크기의 대상 문화재도 출력이 가능하도록 접합 난이도 및 구조의 안정성을 고려한 영역 분할 및 결합을 위한 결구 프로그램을 개발함 - 프린팅 구조체의 기계적 안정성 향상 및 사용 소재의 사용량을 줄일 수 있는 공정 기술을 개발하여, 프린팅 속도, 소재 사용, 강도 향상 기술을 개발함 - 3D 프린터의 발전과 더불어 3D 데이터에 대한 저작권 보호 인식이 요구되고 3D 데이터에 대한 표절 및 도용을 방지하기 위한 데이터 보호기술이 필요함 - 3D 스캔 데이터의 용량을 줄이면서 특징을 그대로 살릴 수 있는 데시메이션 기술을 개발하였으며, 3D 데이터 간의 고속 유사도 측정 기술을 개발함 - 형상을 기반으로 3D 프린트-스캔에 대한 복합 공격으로부터 강인한 워터마킹 프로그램 개발함 - 또한, 일반인들의 3D 문화콘텐츠의 공유와 활성화를 위해 효과적인 콘텐츠 소비가 가능한 통합 환경 온라인 서비스 호스트웨어를 개발함 - 상기 요소기술로 전통문화재 문화콘텐츠 리빌드 및 저작권 보호 기술 개발을 통해, 국내 전통문화재 및 각종 3D 문화콘텐츠 저작권 보호 환경 조성 및 사용성을 극대화함 - 3D 프린트에서 컴퓨터없이 STL파일을 사이트에서 다운받아 프린트하는 기술 및 안드로이드 O/S 기반 컨텐츠 사이트를 통해 원격으로 출력하는 기술을 개발하여 관련 3D 프린터를 시판함 					
연구 개발 성과의 활용 계획 (기대 효과)	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 문화 콘텐츠의 활용도를 높일 수 있는 온라인 기반 서비스 구축으로 신산업 창출과 3D 프린터의 보급화를 통한 일반인을 대상으로 하는 다양한 3D문화콘텐츠 개발을 하려함 - 온라인 기반 다양한 응용 분야의 적용으로 기존에는 없었던 새로운 3D 문화콘텐츠 개발의 밑바탕이 되며, 영역분할 기술, 3D 워터마킹기술, 유사도 측정 기술, 온라인 서비스 기술 등의 요소기술은 다른 분야와 융합하여 전반적인 문화 발전에 기여할 수 있음 					
핵심어 (5개 이내)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">문화 컨텐츠</td> <td style="padding: 5px;">3D 프린팅</td> <td style="padding: 5px;">ROI</td> <td style="padding: 5px;">워터마킹</td> <td style="padding: 5px;">유사도</td> </tr> </table>	문화 컨텐츠	3D 프린팅	ROI	워터마킹	유사도
문화 컨텐츠	3D 프린팅	ROI	워터마킹	유사도		

5. 영문 요약문

< SUMMARY >

Purpose & Contents	<ul style="list-style-type: none"> - The purpose of this project is that through the development of re-building cultural contents and copyright protection for 3D printing technology, we would develop the copyright protection technology for traditional cultural assets and various 3D cultural contents and we finally maximize the online environment for the usability of developed hardware and software for 3D contents. 				
Results	<ul style="list-style-type: none"> - Our project has developed several soft/hardwares to maximize the usage of our cultural heritage and to protect the 3D data and its application. - Development of area segmentation/re-joint and analysis technology considering joint difficulty and structural stability to enable output of large-scale target cultural property - In addition to the development of 3D printing technology, copyright protection of 3D data is also required. Therefore, we need a data protection technology to prevent plagiarism and theft of 3D data, so we developed a robust watermarking program against complex attacks against 3D scan data and 3D print-scan based on the data itself and the 3D shape. - Furthermore, we have developed the integrated environment online service hostware that enables effective consumption of contents for sharing and activation of 3D cultural contents by the general public. - Through the above-mentioned element technology, it is possible to maximize the copyright protection environment of Korean traditional cultural property and various 3D cultural contents through the rebuilding of traditional cultural property contents and the development of copyright protection technology. 				
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> - By building an online-based service that can enhance the utilization of 3D cultural content, we can develop various 3D cultural contents for the general public through creativity with 3D printer and its related technology. - It can be expected that each element technology such as area segmentation/re-joint technology, 3D watermarking technology, similarity measurement technology and online service technology would be integrated with other industrial fields regarding to the 4th industrial evolution. 				
Keywords	Cultural 3D contents	3D print	Region of interest	watermarking	Similarity

6. 영문 목차

< Content >

Chapter 1. Overview of research project	19
Chapter 2. Research activities from domestic and oversea	23
Chapter 3. Research content and result	25
Chapter 4. Achievement of this project and contribution	94
Chapter 5. Future plane for the application of project result	102
Chapter 6. Foreign scientific materials related with this project	103
Chapter 7. Security level for this project	103
Chapter 8. Research facility and device registered	103
Chapter 9. Safety measures during research activity	104
Chapter 10. Representative research for this project	107
Chapter 11. Additional information	108
Chapter 12. References	109

7. 본문 목차

〈 목 차 〉

제1장. 연구 개발 과제의 개요	19
제2장. 국내외 기술 개발 현황	23
제3장. 연구 수행 내용 및 결과	25
제4장. 목표 달성을 및 관련 분야에의 기여도	94
제5장. 연구 결과의 활용 계획 등	102
제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	103
제7장. 연구 개발 성과의 보안 등급	103
제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구 시설·장비 현황	103
제9장. 연구 개발 과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	104
제10장. 연구 개발 과제의 대표적 연구 실적	107
제11장. 기타 사항	108
제12장. 참고 문헌	109

<별첨1> 시험 절차 · 결과서

<별첨2> 자체평가 의견서

8. 본문

제1장. 연구 개발 과제의 개요

1-1. 연구 개발 목적

- **목표:** 전통문화재 문화콘텐츠 리빌드 및 저작권 보호 기술 개발을 통해, 국내 전통문화재 및 각종 3D 문화콘텐츠 저작권 보호 기술 개발 및 온라인 환경 조성을 통한 사용성을 극대화
- **결과물 활용계획:** 3D 문화 콘텐츠의 활용도를 높일 수 있는 온라인 기반 서비스 구축으로 신산업 창출과 3D 프린터의 보급화를 통한 일반인을 대상으로 하는 다양한 3D 문화콘텐츠 개발
- **기대효과:** 온라인 기반 다양한 응용 분야의 적용으로 기존에는 없었던 새로운 3D 문화콘텐츠 개발의 밑바탕이 되며, 영역분할 기술, 3D 워터마킹기술, 유사도 측정기술, 온라인 서비스 기술 등의 요소기술은 다른 분야와 융합하여 전반적인 문화 발전에 기여할 수 있음

1-2. 연구 개발의 필요성

- 3D 프린팅을 위한 3D 모델은 대부분 mesh형태의 클라우드 포인트 정보를 기억하고 있는 stl 파일 형식으로, 일반적인 CAD 소프트웨어나 일반적인 상용 소프트웨어로는 자르거나 붙이는 등의 작업이 불가능하다. 3D 프린팅을 위한 3D 모델(3차원 데이터)의 영역분할 기술이 필요하다. 또한 대형 문화재를 3D 프린터로 출력을 위해서는 3D 데이터의 분할 및 결합 기능을 가진 소프트웨어가 요구되나 현재 3D 데이터 프로세스 프로그램은 단순 분할 기능 중심으로 개발되어 있다.
- 3D 프린팅 시장이 커짐에 따라 3D 모델에 대한 수요가 급격히 증가할 것으로 예상되는 바, 국외 기술이 아닌 국내의 원천기술 개발을 통해, 관련 소프트웨어 시장을 점유해야 할 것이다.
- 고정밀 스캔 데이터에 대한 별도의 카메라 위치정보를 활용한 곡률 기반의 특징점 분석 및 메시 데시메이션을 통한 정밀도 분석기술은 국내외 여러 업체에서 개발하여 이미 3D 스캐너와 함께 많이 사용되고 있다. 또한 형태기반, 의미기반 유사도 분석 기술이 필요하다. (본 제안서는 저작권 보호를 위한 유사 복제 3D 모델 모니터링 시스템 개발에 형태/의미 기반 유사도 측정 기술을 사용할 것임)
- 최근 전문가들 위주의 개별적인 3D 파일 모델링 및 디자인에 편중되어, 국산 상용 온라인 3D 프린팅 서비스가 없으며, 외국의 Thingiverse와 같은 단순한 3D 파일 무료 공유 사이트만 활성화되어 있다. 이러한 사이트를 통해 개인의 3D 모델 데이터를 보호하기 위해서는, 온라인상에서의 직접 슬라이싱하거나 나의 자료가 외부로 유출되지 않도록 암호화 및 복호화 기술이 요구된다. 주민등록등본을 인터넷으로 발급받는 방식처럼, 한 번 출력하고 데이터를 사용자의 컴퓨터에 남겨두지 않도록 하는 온라인 서비스 기술 및 온라인 서버의 구축도 필요하다.

1-3. 연구 개발의 중요성

- 3D 프린팅 기술은 국가적 아젠다인 창조경제를 견인하고 제조업의 글로벌 메가트렌드를 이끌 생산기술로 평가 된다. 그러나, 정작 창조경제의 주체가 될 일반 개개인이 “쉽고 자유자재로 3D 콘텐츠를 생성/저작/출력할 수 있는 서비스 플랫폼”은커녕, 관련 소프트웨어 자체도 없는 실정이다.
- 또한, 개개인의 3D 콘텐츠 창작물의 저작권 보호를 위한 암호화 기술이나 워터마킹 기술 또한 매우 미비한 수준인 것이 현실이다.
- 그러나, 단순 비디오 영상에 대한 공유를 넘어 콘텐츠를 이용한 다양한 분야의 비즈니스를 성공시킨 Youtube의 사례에서 볼 수 있듯이, 본 기술 개발을 통해, 3D 콘텐츠에 있어서도 개인의 창작물을 클라우드 상에 공유하고, 검색, 유통 및 결제가 가능한 3D 프린팅 마켓플레이스의 구축 및 이를 서비스하기 위한 서비스 플랫폼이 갖추어 진다면, 3D 프린팅이 이끌어 낼 산업에 있어, 우리나라가 선점 할 수 있는 기반을 마련해 줄 것이다.

1-4. 연구 개발 범위

가. 1차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(한국과학기술연구원) : 보급형 3D프린터용 문화콘텐츠 변환기술 개발
- 공동연구기관1(고려대학교) : 3D 스캔 데이터 저작권 보호 기반기술 개발 (유사도)
- 공동연구기관2(서울대학교) : 3D 스캔 데이터 저작권 보호 기반기술 개발 (워터마킹)
- 공동연구기관3((주)로켓) : 전통문화재 콘텐츠에 최적화된 3D프린터용 펌웨어 개발, 웹 기반 3D 모델 브라우징 기술 개발

② 개발 내용 및 범위(그림을 이용하여 시스템 구성도, 구조 등을 구체적으로 표현)

- 주관연구기관(한국과학기술연구원) :
 - o 고정밀 3D 스캔 데이터 분석
 - hole filling 등의 mesh healing 기술 개발
 - 데이터 손실을 최소화하는 데시메이션 알고리즘 개발
 - o 접합 난이도를 고려한 영역 분할 기술
 - 3D 프린터를 이용한 문화콘텐츠 출력 시 영역 분할을 통한 파트 출력 필요
 - 수치 기반이 아닌 구조 안정성 및 접합 난이도를 고려한 영역 분할 기술 코드 개발 (무게 중심 및 접합부 확보 등의 구조적 인자)
 - 10분할 이상의 영역 분할 코드 개발고려
- 공동연구기관1(고려대학교) :
 - o 형태기반 유사도 측정 기술 분석 연구:
 - 관심 영역 추출 및 부분 정합 유사도 측정
- 공동연구기관2(서울대학교) :
 - o 3D 스캔 데이터 워터마킹 기법 설계:
 - 점군 기반의 워터마킹 기술 개발
 - o 3D 스캔 데이터 ROI 분석 기법 설계:
 - 특징점/선 및 세밀도 기반 ROI 분석 기법 개발

-
- 공동연구기관3((주)로켓) :
 - o 온라인 서비스용 3D 프린터 펌웨어 개발
 - 다양한 재료 개발 및 동시에 적용하여 출력 가능한 환경 구축, 웹서버 접속과 전용 GCode를 다운로드 및 분석할 수 있는 펌웨어 구현
 - o 웹 서버 개발
 - o 웹 기반 대용량 3D 모델 상세정보 브라우징 기술

나. 2차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(한국과학기술연구원) : 구조적으로 안정적인 보급형 3D 문화콘텐츠 변환기술
- 공동연구기관1(고려대학교) : 복합공격에 강한 저작권 보호기술 (유사도)
- 공동연구기관2(서울대학교) : 복합공격에 강한 저작권 보호기술 (워터마킹)
- 공동연구기관3((주)로켓) : 전통문화재 콘텐츠용 웹플랫폼 핵심 기술 개발, 3D 프린팅 웹플랫폼 베타서비스

② 개발 내용 및 범위(그림을 이용하여 시스템 구성도, 구조 등을 구체적으로 표현)

- 주관연구기관(한국과학기술연구원) :
 - o 고정밀 3D 스캔 데이터 분석
 - hole filling 등의 mesh healing 기술 개발
 - 데이터 손실을 최소화하는 데시메이션 알고리즘 개발
 - o 접합난이도, 의미기반, 워터마킹 및 구조적 안정성을 고려한 영역 분할 기술
 - 분할 기술 코드 세분화
 - 구조적 인자 및 의미기반 영역 분할 기술 개발
 - 15분할 이상의 영역 분할 코드 개발
 - 3D 프린팅 공정을 고려한 영역분할
 - 접합을 고려한 견고한 접합부 설계 기술
- 공동연구기관1(고려대학교) :
 - o 형태기반/의미기반 유사도 측정 기술
 - 특징 벡터 기반 유사도 측정
 - 자동 시맨틱 주석 기반 유사도 측정
- 공동연구기관2(서울대학교) :
 - o 3D 모델 변형을 유도하는 복합 공격에 견고한 기술
 - 영역 변환 기반의 워터마킹 기술 개발
 - o 3D 스캔 데이터 ROI 분석 기법 설계:
 - 특징점/선 및 세밀도 기반 ROI 분석 기법 개발
 - o 3D 스캔 데이터 ROI 분석을 통한 적응적 워터마킹 기술:
 - 세밀도 기반 ROI의 워터마킹 기술 개발
- 공동연구기관3((주)로켓) :
 - o STL 온라인 슬라이싱 기술
 - 슬라이싱 프로그램을 웹서버에 이식, 슬라이싱 프로그램이 사용하는 메모리양 최소화, 빠른 슬라이싱 속도를 위한 향상된 알고리즘 개발 및 적용
 - o 암호화된 G-Code 온라인 전송/인식 기술

-
- 슬라이싱 된 파일은 암호화하여 Stream방식으로 전송
프린터 OS에서 복호화 후 출력

- o 3D 프린팅용 문화콘텐츠 제공 시범서비스(웹) 개발
 - 3D 프린팅용 문화콘텐츠의 모델링 파일 확보 및 업로드/암호화된 파일 다운로드, 온라인 슬라이싱, 출력 메커니즘 구현과 테스트 가능한 환경 구축

다. 3차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(한국과학기술연구원) : 1. 출력물의 구조적 안정성을 위한 내·외부 보강 기술
2. 전통결구법을 적용한 K-레고기술
3. 전통소재를 활용한 텍스쳐 재현기술
4. 전통천연소재를 이용한 3D 프린팅 소재 개발
- 공동연구기관1(고려대학교) : 대용량 데이터 비교를 위한 고속 유사도 측정 기술
- 공동연구기관2(서울대학교) : 3D 프린트-스캔 공격 및 복합공격에 강인한 저작권 보호 기술
- 공동연구기관3((주)로켓) : 3D 프린터용 전통문화재 활용 플랫폼 구축

② 개발 내용 및 범위(그림을 이용하여 시스템 구성도, 구조 등을 구체적으로 표현)

- 주관연구기관(한국과학기술연구원) :
 - o 3D 프린터 출력물의 구조적 안정성을 위한 내·외부 보강 기술
 - 출력물 파트 조합시 추가로 고려해야 하는 내·외부 응력 산출 코드 개발
 - 최적화된 보강재 위치 및 형상 전산모사
 - 20분할 이상의 영역 분할 코드 개발
 - o 전통결구법을 적용한 K-레고기술
 - o 전통소재를 활용한 텍스쳐 재현기술
- 공동연구기관1(고려대학교) :
 - o 대용량 데이터 비교를 위한 고속 유사도 측정 기술
 - GPU 기반 대용량 데이터 유사도 측정 가속화 기술
- 공동연구기관2(서울대학교) :
 - o 3D 프린트-스캔 및 복합 공격에 견고한 기술
 - 곡면 기반의 워터마킹 기술 개발
- 공동연구기관3((주)로켓) :
 - o 호스트웨어 웹 프로그램 개발
 - 다양한 3D 프린팅 환경을 제공하는 강력한 통합 호스트웨어 웹 프로그램 개발
 - o 통합 웹플랫폼 서비스 환경에 최적화 된 보급형 3D 프린터 개발
 - FFF(FDM) 방식, STL(stereophotography) 방식

제2장. 국내외 기술 개발 현황

○ 3D 프린팅을 위한 3D 모델(3차원 데이터)의 영역분할-결합 기술

- 3D 프린팅을 위한 3D 모델은 대부분 mesh형태의 클라우드 포인트 정보를 기억하고 있는 stl 파일 형식으로, 일반적인 CAD 소프트웨어나 일반적인 상용 소프트웨어로는 자르거나 붙이는 등의 작업이 불가능하다.
- 따라서, 숙련된 CAD 디자이너나 특수 stl호환용 소프트웨어를 사용하지 않고서는 일반인이 쉽게 편질할 수 없는 설정이다.
- 또한, 대부분의 영역분할 기술은 수치기반 단순 분할로써, 추후 조립을 위한 구조안정성 및 접합 용이성 등의 3D 프린팅용 데이터의 특이성을 고려하지 않고 있다,

○ 3D 메시 또는 3D 점군 데이터의 워터마킹 기술

- 국내의 3D 워터마킹 연구는 주로 원천 기술 개발보다는 기술 적용에 중점을 두고 있으며, 주로 의상 모델, 3D 애니메이션, 게임 캐릭터 등에 적용 방안들에 대한 연구들이 진행되고 있다.
- 주로 주파수 도메인 변환을 이용한 비은닉 방식의 워터마킹 방식을 사용하는 추세이다.
- 국외의 3D 워터마킹 기술은 주로 하이브리드 워터마킹 기술이라고 불리는, 형상 정보 투영 후 도메인 변환을 통해 워터마킹을 심는 방법을 중심으로 연구되고 있으며, 주파수 도메인 변환 워터마킹 뿐만 아니라, 고유값 도메인 등의 다양한 도메인 변환 방식을 이용한 워터마킹 기술이 개발되고 있다.
- 3D 프린팅 시장이 커짐에 따라 3D 모델에 대한 수요가 급격히 증가할 것으로 예상되는 바, 국외 기술이 아닌 국내의 원천기술 개발을 통해, 관련 소프트웨어 시장을 점유해야 할 것이다.

○ 고정밀 3D 스캔 데이터의 특징점 추출 및 보정/간략화 기술

- 고정밀 스캔 데이터에 대한 별도의 카메라 위치정보를 활용한 곡률 기반의 특징점 분석 및 메시 데시메이션을 통한 정밀도 분석기술은 국내외 여러 업체에서 개발하여 이미 3D 스캐너와 함께 많이 사용되고 있다.
- 그러나, 국산 소프트웨어가 없으며, 대부분 샘플링 해상도에 의존하지 않고 곡률과 모서리 정보를 활용한 정밀한 특징점 추출에 중점을 두며, 메시 데시메이션의 경우 속도를 향상시키는 것에만 연구사 집중되어 있다.
- 본 연구가 제시하는 기술은 Relative depth를 활용한 특징점 추출 및 그 특징점을 이용하여 데이터의 손실을 최소화 할 수 있는 데시메이션 기술로 기존의 스캔데이터 분석 기법과는 차별성을 가진다.

○ 형태기반, 의미기반 유사도 분석 기술(본 제안서는 저작권 보호를 위한 유사 복제 3D 모델 모니터링 시스템 개발에 형태/의미 기반 유사도 측정 기술을 사용할 것임)

- 국내 다양한 형태 기술자에 기반한 유사도 분석 기술이 존재하나, 3차원 모델에 대한 의미기반 유사도 분석 기술은 그 정의 조차도 확립되어 있지 않은 상태이다.
- 시맨틱 주석을 활용한 의미기반 유사도 분석 기술이 프린스턴 대학이나, USMBA에서 연구 중에 있으나, 유사 복제 3D 모델 모니터링을 위한 형태기반/의미기반 유사도 측정 기술은 아직 보고된 바가 없다.

○ 3D 프린팅 통합 환경 온라인 서비스관련 기술

- 전문가들 위주의 개별적인 3D 파일 모델링 및 디자인에 편중되어, 국산 상용 온라인 3D 프린팅 서비스가 없으며, 외국의 Thingiverse와 같은 단순한 3D 파일 무료 공유 사이트만 활성화되어 있다.
 - 모델링한 소스 파일만 공유 가능하여 출력을 위해서 별도의 소프트웨어가 필요하기 때문에, 일반인들은 전문가가 공유한 획일화 된 파일만을 가지고 출력 할 수 있다.
 - 그러나, 개인의 3D 모델 데이터를 보호하기 위해서는, 온라인상에서의 직접 슬라이싱하거나 나의 자료가 외부로 유출되지 않도록 암호화 및 복호화 기술이 요구된다. 주민등록등본을 인터넷으로 발급받는 방식처럼, 한 번 출력하고 데이터를 사용자의 컴퓨터에 남겨두지 않도록 하는 온라인 서비스 기술 및 온라인 서버의 구축도 필요하다.
-

제3장. 연구 수행 내용 및 결과

3.1. 연구 개발 추진 전략 및 방법

- 연구개발 추진전략·방법

[KIST]

- 문화콘텐츠 영역 분할시 문화콘텐츠의 형상 및 구조 안정성 추가 고려. 단순한 수치기반의 영역 분할이 아닌 무게중심 및 연결 접합부 등을 고려한 영역 분할법 제시
- 거대 구조물의 파트 분할 자동화 및 접합 시 추가 응력을 고려한 자동화 모델 코드 개발
- 전통 결구법 모사 결구구조체 프로그래밍을 통한 결구 안전성 확보
- 출력물의 재질 및 미세구조를 고려한 내·외부 보강재 형상 및 재질 모사를 통한 최적화 보강재 제안

[고려대학교]

- 형태기반/의미기반 유사도 측정
- 형태기반/의미기반 유사도 측정 관련 대다수의 선행 특허는 전역 기술자 추출 기법에 집중함
- 본 과제에서 개발하고자 하는 관심 영역 기반 지역(local) 기술자 생성 기법은 선행 지재권과의 충돌 없음
- 본 과제의 연구개발 주제는 세분화된 메쉬에 대한 시맨틱 주석 자동 생성 기법이므로 현행 특허의 영향권 밖에 있음
- 3차원 데이터의 특징점 추출
- 본 과제의 경우 relative depth를 이용한 특징점 추출 기법을 사용하는데, 현행 특허와 무관
- 3차원 데이터 간략화 기술
- 기존의 방법과는 차별화된 특징점을 이용한 메시 데시메이션 기술을 적용

[서울대학교]

- 핵심 기술
- 3D 데이터로부터 재생성된 곡면을 상위 영역(영역)으로 변환하는 기술, 또는 그 역변환 기술
- 변환된 상위 영역 정보에 비은닉 워터마크를 심는 기술, 또는 심어진 비은닉 워터마크를 추출하는 기술, 위 두 기술을 병합한 곡면 기반 도메인 변환을 이용한 3D 데이터 워터마킹 기술
- 주요 선행/유관 특허

순번	등록번호	국가	명칭	관련도
1	US08610709	미국	Method and apparatus for watermarking of 3D mesh model	A
2	US06956568	미국	Shape-intrinsic watermarks for 3-D solids	B
3	PJ25238855	일본	METHODS AND DEVICES FOR PROTECTING GRAPHICAL OBJECT AND METHODS AND DEVICES FOR UNPROTECTING GRAPHICAL OBJECT	B
4	CA2748116	캐나다	WATERMARKING OF A 3D MODELED OBJECT	B

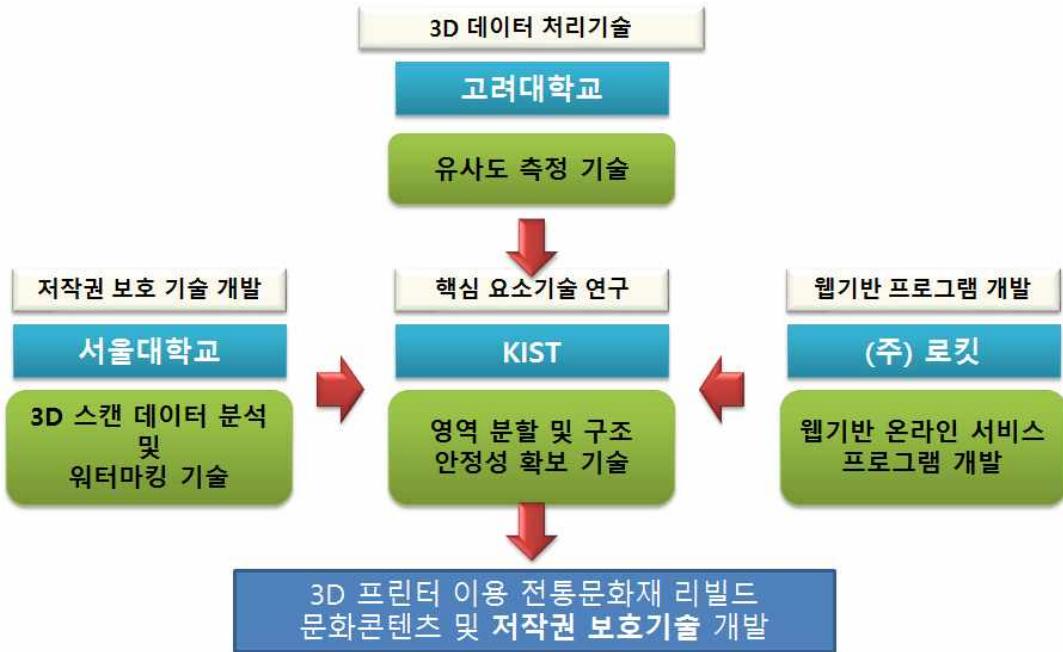
* 관련도: [A: 본 발명과 관련 정도가 높은 특허], [B: 본 발명과 관련 정도가 있는 특허]

- 기존 선행 특허 분석 결과
- 3D 데이터 워터마킹 유관특허의 대부분은 3D 비디오 데이터 또는 CAD 데이터에 집중 되어있음
- 직접 유관 특허로는 국내 M기업이 등록한 US08610709 특허가 있음

-
- 특히 US08610709의 경우 포괄적으로 기술되어 있으므로 특히 전략 수립 시 주의를 요함
 - 3D 메시 또는 3D 프린트용 데이터의 워터마킹 특허(US08610709, US06956568)는 형상 정보에서 도메인 변환 방식을 사용하는 워터마킹 기법임
 - 특허 수립 전략
 - 3D 워터마크 삽입/추출 기술을 위한 영역 변환 또는 확장 기술은 특허 US08610709, US06956568에 기술되어 있으므로 이를 연관특허로 하여 기술료를 지불하거나 해당 기술을 독자적으로 개발할 필요가 있음 (US08610709은 국내기업 특허이므로 특허료를 지불하는 것도 나쁘지 않음)
 - 본 과제를 통해 개발될 워터마킹 기술 중 곡면 기반의 워터마킹 기술은 개발 방향에 따라 특허 CA2748116에서 기술하고 있는 CAD 도면의 특허 기술을 침해할 가능성이 있어 회피할 필요성이 있음
 - 본 과제를 통해 개발될 워터마킹 기술은 3D 스캐너로 스캔된 메시/점군 데이터를 곡면으로 변환한 후 워터마킹을 진행한다는 점에서 기존의 기술/특허들과 차별성을 가짐
 - 3D 데이터의 워터마킹 기법은 3D 프린팅에 대한 관심이 증가함에 따라 빠르게 학계에서 연구되고 있음. 이에 대해 학계의 움직임을 주시하고, 발표되는 논문과 개발되는 기술이 겹치는 내용이 없도록 해야 함.
 - 본 연구팀에서 발표할 논문들의 발표 시기도 조정이 필요

[**(주) 로켓**]

- 온라인 3D 프린팅을 위한 온라인상에서의 직접 슬라이싱과 무선 네트워크 기반의 모델 파일 전송
 - 출력 과정을 거치는 통합 출력 메커니즘은 아직 개발된 바가 없으므로 기존의 지재권 충돌에서 자유로움
 - 기존의 국내외 온라인 출력 서비스 사이트 및 디자인 공유 웹사이트에서는 g-coding 생성 전 소스 파일을 무료로 공유하도록 하여 디자인의 권리 보호 측면에서 약점이 있었으며 개별적으로 사용하는 프로그램을 통해 슬라이싱 과정이 이루어지므로 각자의 프로그램 성능에 따라 출력물의 질이 일정하지 않을 수 있음
 - 본 기술이 적용됨에 따라 단순한 업로드-다운로드 구조에서 벗어나 온라인에서 암호화 시킨 슬라이싱 된 파일을 직접 받거나 소스 파일의 직접 다운로드 대신 파일을 소유하지 않은 채로 온라인에서 바로 슬라이싱을 하는 과정을 통해 디자이너의 권리가 보호될 수 있음
 - 인쇄 시 워터마크를 포함시킨 디자인을 사용함에 따라 쉽고 빠른 암호화가 가능하며 진품/가품을 구별하는 절차가 간소화해지는 효과가 있음
 - 위 내용은 세계 최초로 적용되는 플랫폼이며 기술 개발 후 지재권 확보가 가능함
 - 한 컴퓨터에서 한 사이클의 슬라이싱만 되던 방법에서 벗어나 다중 접속을 통해 여러 대의 컴퓨터에서 같은 파일을 동시에 슬라이싱해서 출력할 수 있는 시스템에 대한 특허 출원 역시 가능할 것으로 예상
-



<기관별 연구 목표 및 연구개발 추진전략>



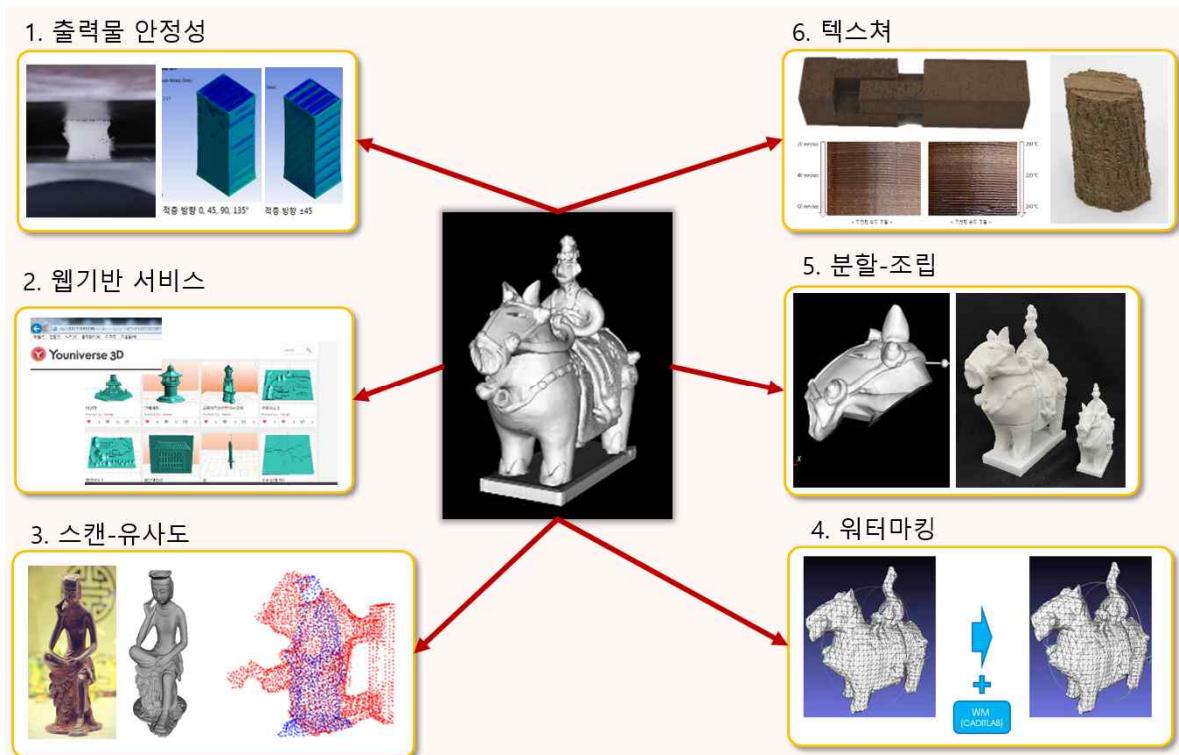
<연구개발 추진 방법>

3.2. 연구 개발 추진 체계

- 연구개발 추진체계



- 연구개발 추진방법



- 연구개발 추진일정

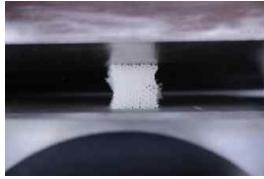
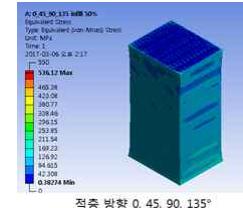
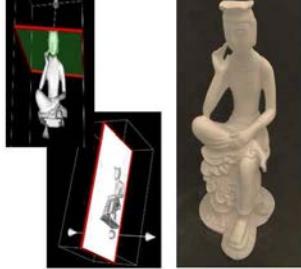
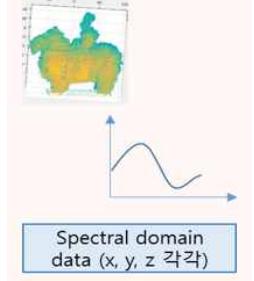
연구내용	1차 연도 월별 추진일정							
	5	6	7	8	9	10	11	12
구조적 안정성을 고려한 영역분할								
곡률 및 에지를 활용한 특징점 추출 기법 개발								
Relative depth를 활용한 특징점 추출 기법 개발								
mesh healing 기술 개발								
데이터 순실을 최소화하는 데시메이션 알고리즘 개발								
변위 맵핑 기반 3D 모델 렌더링								
점군 기반의 워터마킹 기법								
3D 스캔 데이터의 ROI 분석 기법								
전통문화재에 최적화된 프린팅 펌웨어 개발								

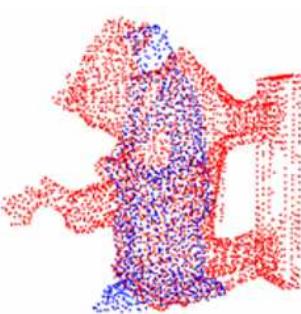
연구내용	2차 연도 월별 추진일정											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
고정밀 3D 스캔 데이터 분석												
워터마킹의 ROI를 고려한 영역분할												
3D 프린팅 장비 및 공정을 고려한 영역분할												
접합난이도 및 접합부를 고려한 영역분할												
3D 스캔 데이터 ROI 분석 기법 설계												
특징 벡터 형태 기반 유사도 측정												
간략화 기반 자동 시맨틱 주석 생성												
복합공격에 강인한 워터마킹												

연구내용	2차 연도 월별 추진일정											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
기법	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
ROI 분석을 통한 적응적 워터마킹 기법												▨
3D 문화콘텐츠 서비스 시범제공	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
웹 플랫폼 프로토타입 개발완료 및 베타버전 출시											▨	▨

연구내용	3차 연도 월별 추진일정											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
구조적 안정성을 위한 내·외부 보강 기술	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
전통결구법을 적용한 K-레고 제작기술												▨
전통소재를 활용한 텍스쳐 재현기술	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
대용량 데이터 비교를 위한 고속 유사도 측정 기술	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
3D 프린트-스캔 공격에 강인한 워터마킹 기법	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
웹 플랫폼 프로토타입 개발완료 및 베타버전 출시	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
서버 안정화 및 문화재 콘텐츠 범위 확장				▨	▨	▨	▨					

- 연구 개발 내용 및 최종 결과

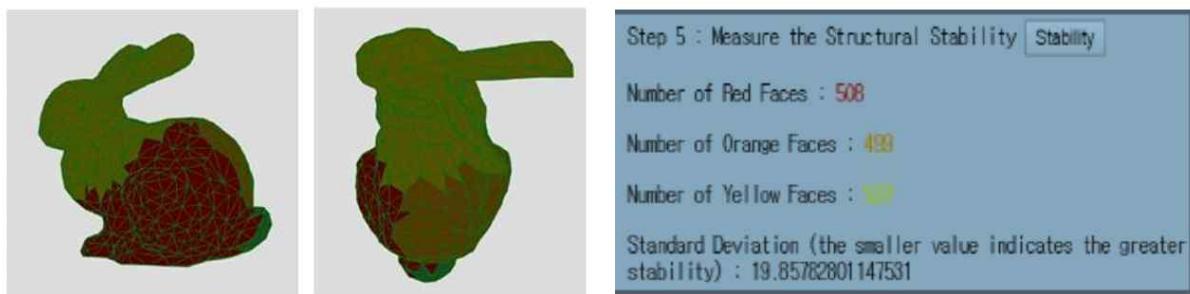
계획		결과	
연구개발 목표	연구개발 내용	개발내용 및 결과	가시적 결과물
구조적 안정성을 위한 내·외부 보강 기술	안정성을 위한 내부 보강 구조 설계	<ul style="list-style-type: none"> • 3D 프린터용 필라멘트 물성 측정 • 내부 구조 형상에 의한 압축 강도 측정 • 내부 변경을 위한 G-Code 제어 모듈 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • PLA, Nylon, Enhanced Nylon 물성 측정 • Negative Poisson's Ratio 구조물 제작 • 적층 방향에 의한 구조 강도 변화 측정 
	구조해석을 통한 최적 보강 구조		 <p>적층 방향 0, 45, 90, 135°</p>
전통결구 법을 적용한 K-레고 제작기술	전통결구 법을 적용한 K-레고 제작 기술	<ul style="list-style-type: none"> • STL, OBJ 파일 Slice 프로그램 개발 • Slice된 STL 파일내 전통 결구 구조 자동 생성 프로그램 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 사용자 편의성이 향상된 전통 결구 메커니즘 착안 분할-결구 프로그램 제작 • 분할-결구 프로그램 등록 및 이를 이용한 대형 전통문화 컨텐츠 리빌드 시제품 제작 
전통소재를 활용한 텍스쳐 재현기술	전통 소재를 활용한 친환경 3D 프린팅 소재 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 프린팅 온도, 속도에 의한 구조물 표면 텍스쳐 변화 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 편백나무, 계피, 편백나무 잎, 석고 가 함유된 PLA 기반 필라멘트 제작
	전통소재를 활용한 텍스쳐 재현 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 천연소재 필라멘트 제작 	<ul style="list-style-type: none"> • 전통 천연 구조물 텍스처 구현을 위한 프린팅 온도, 속도 별 프린팅된 구조물 특성 분석 
3D 프린트 -스캔 공격에 강인한 저작권 보호 기술	곡면 재생성 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 곡면 재생성 프로토타입 모듈 개발 • 곡면의 의미기반 유사도 검정 결과가 MRMS 1.5% 미만, MSDM 0.5 미만 시험 절차서 및 결과서 • 고정밀 스캔데이터의 측정 기술을 미학적 근거에도 	 <p>Spectral domain data (x, y, z 각각)</p>

			바탕을 두어 문화재로서 특장점이 추출되는 기술 보강	
	프린트-스캔 공격에 대한 강인한 워터마킹 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> •곡면에 적용 가능한 워터마킹 프로토타입 모듈 개발 •3D프린트-스캔 공격을 포함한 각종 복합 공격에 대해 탐지율 80% 이상 •곡면 적합 워터마킹 기술보고서 	<ul style="list-style-type: none"> •임의의 3D 데이터의 곡면에 워터마킹 이후 프린트-스캔 공격을 포함한 각종 복합 공격을 수행한 뒤, 해당 공격들에 대해 강인함을 지니는지 여부 검사 (시험 절차서 및 결과서) 	
대용량 데이터 비교를 위한 고속 유사도 측정 기술	대용량 데이터의 형태 기반 데시메이션 기술	<ul style="list-style-type: none"> •형태 기반 데시메이션 알고리즘의 가속화 •GPU를 이용한 데시메이션 기술의 병렬 처리 •수행속도 5초 이내, 오차율 0.1mm 이내 정밀도 데시메이션 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> •대용량 데이터에 대해 한번 데시메이션을 하는데 소요되는 시간을 측정 •원본 데이터와 데시메이션된 데이터의 오차율을 Geomagic을 이용해 분석 	
	대용량 데이터의 형태 기반 유사도 비교 분석 기술	<ul style="list-style-type: none"> •형태 기반 유사도 비교 분석 기술의 가속화 •GPU를 이용한 유사도 분석 기술의 병렬 처리 •수행속도 1초 이내, 탐지율 90% 이상 유사도 측정 프로그램 개발 	<ul style="list-style-type: none"> •대용량 데이터에 대해 한번 유사도를 비교하는데 소요되는 시간을 측정 •원본 모델과 유사한 변형 모델을 탐지하기 위한 유사도 비교 실험을 10회 이상 수행한 후, 그 결과의 성공률을 측정 	
3D 프린터 웹 기반 용 전통문화재 활용 플랫폼 구축	웹 기반 온라인 서비스 실증 여부	<ul style="list-style-type: none"> •3D 프린팅 웹 호스트 웨어/웹사이트 기반 온라인 서비스 실증 및 해당 서비스용 3D 프린터 개발 •온라인 3D 프린팅 콘텐츠 데이터베이스 구축 	<ul style="list-style-type: none"> •3D 콘텐츠 디자인 대회 개최 후 시스템 오류 분석 주간 온라인 서비스 이용자 수 100명 이상 •만족도 설문 조사 결과 •시스템 접속 로그 확인 	

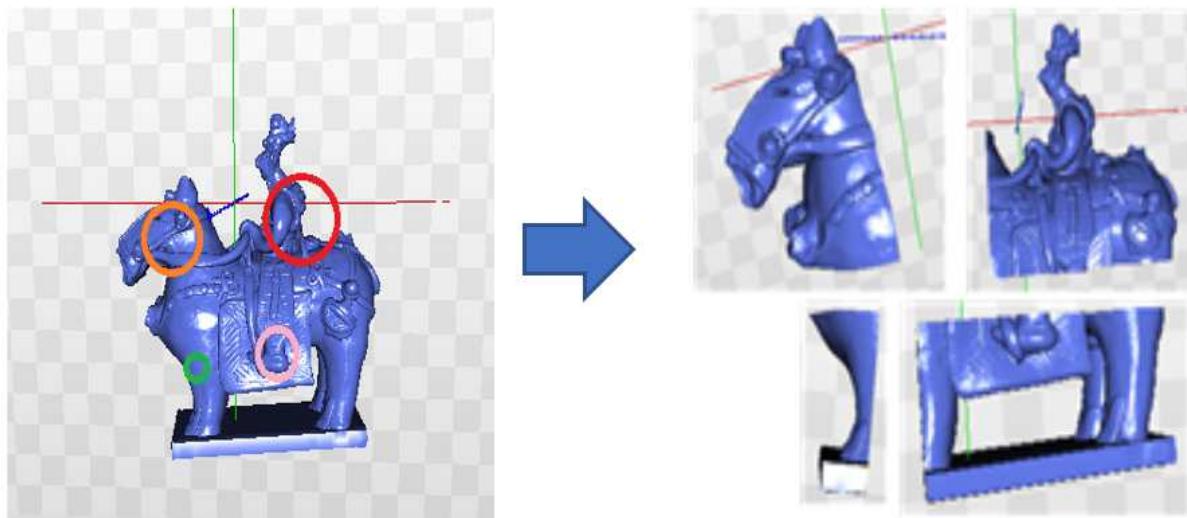
- 핵심 연구 목표별 연구 결과

- 핵심 연구 목표 1 : 구조적 안정성 해석 및 영역 분할 기술

1차 연도 : 무게 중심에 따른 영역 분할



2차 연도 : 개별 영역의 안정성을 고려한 영역 분할 기술

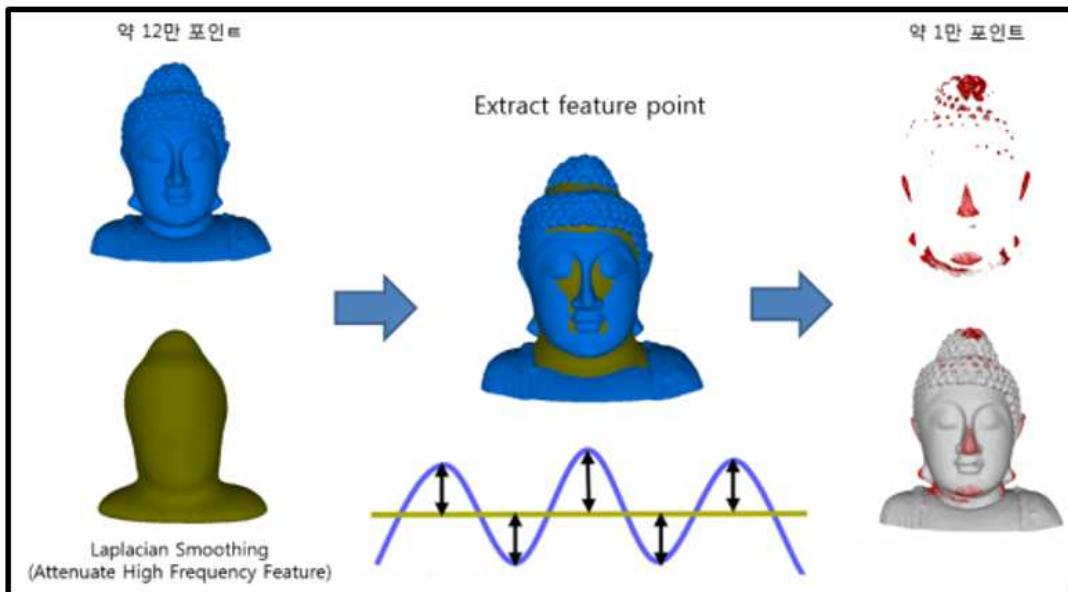


3차 연도 : 분할/결합을 동시에 고려할 수 있는 K-Lego 기술

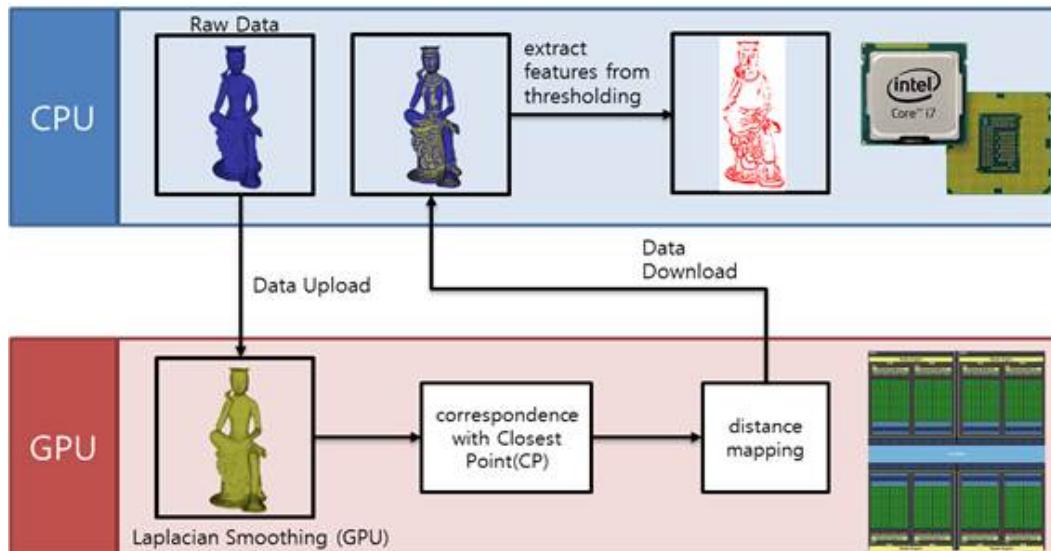


• 핵심 연구 목표 2 : 고정밀 3D 스캔 데이터의 특징점 추출 및 보정/간략화 기술

1,2차 연도 : Relative Depth 기술을 이용한 특징점 축출 기술 개발

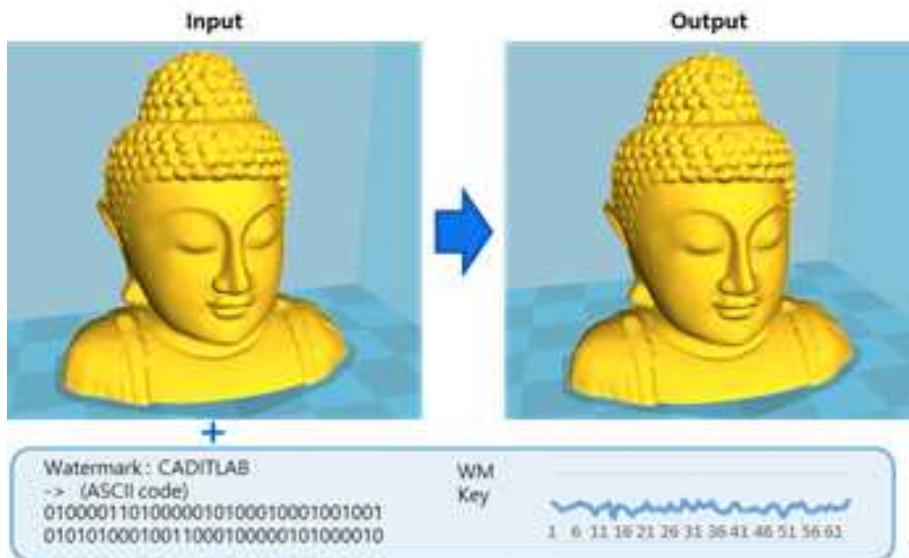


3차 연도 : 알고리즘의 병렬 구조화를 통한 가속화 기술

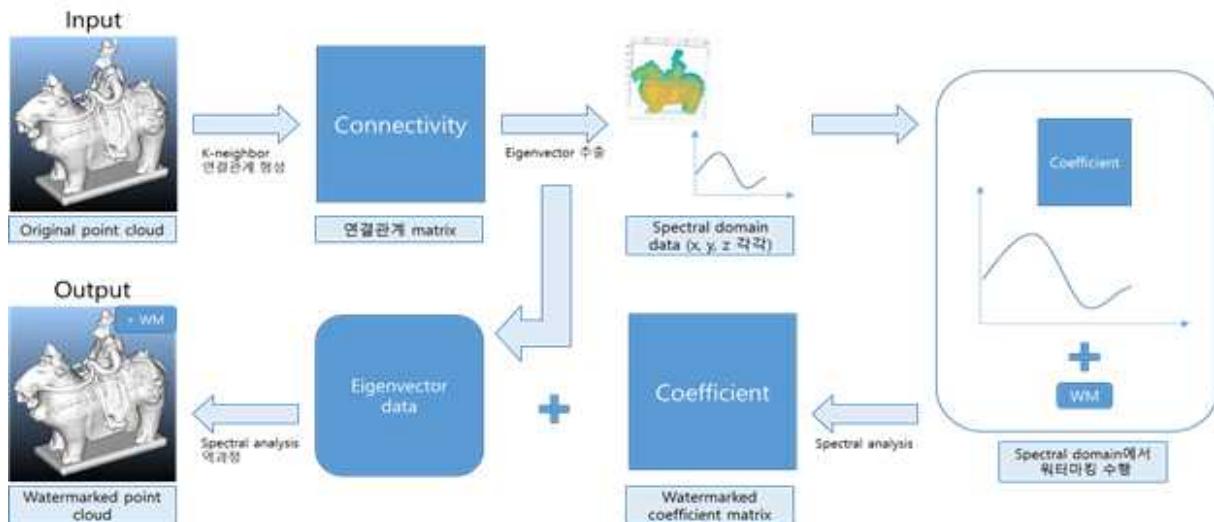


• 핵심 연구 목표 3 : 3D 데이터의 워터마킹 기술

1,2차 연도 : 영역 변환 및 워터 마킹 기술



3차 연도 : 프린트-스캔 공격에 대해 강인한 워터마킹 기술 개발

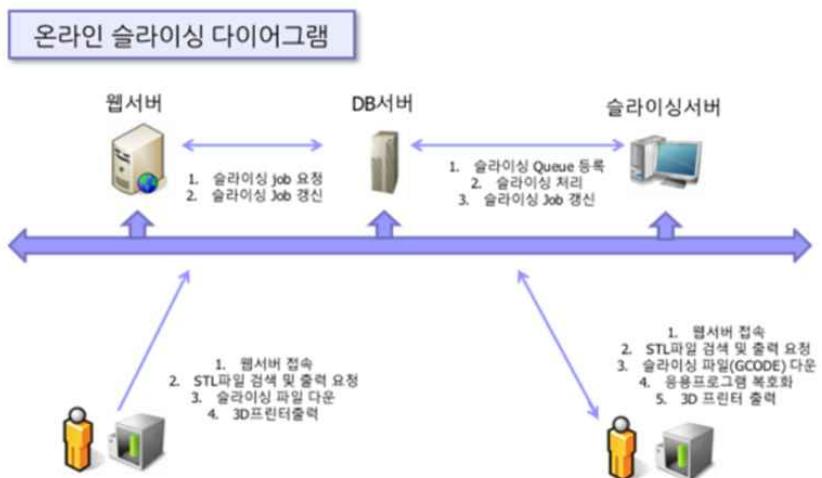


• 핵심 연구 목표 4 : 3D 프린팅 통합 환경 온라인 서비스관련 기술

1차 연도 : 모바일 지원 웹 3D 프린팅 소프트웨어 개발



2차 연도 : 웹기반 온라인 G-Code 프로그램



3차 연도 : 웹 기반 온라인 서비스 적용

웹 기반 온라인 서비스 적용 제품 출시



암호화 키 적용 STL파일 온라인 제공



3.3 마일스톤 체계 및 추진 결과

1) 마일스톤 체계

가. 1차 연도

개발 단계 목표	번호	마일스톤 명	개발기간		기관명 (책임자)
			시작일	종료일	
보급형 3D프린터용 문화콘텐츠 변환기술 개발	1	구조적 안정성을 고려한 영역분할	14.06.01	14.11.30	KIST (이현주)
	1.1	분할영역의 응력계산 프로그램	14.06.01	14.11.30	
	2	특징점을 이용한 데시메이션 프로그램	14.06.01	15.03.31	고려대 (장민호)
	2.1	특징점 추출	14.06.01	14.12.31	
	2.2	데이터 손실을 최소화	15.01.01	15.03.31	
전통문화재 콘텐츠에 최적화된 3D프린터용 펌웨어 개발	3	무선 네트워크를 통한 3D 데이터 입출력 및 처리 시스템 개발	14.06.01	15.03.31	(주) 로켓 (손동석)
	3.1	3D 프린터에 온라인 슬라이싱용 PCB 보드 및 펌웨어 개발	14.06.01	14.12.31	
	3.2	웹 서버 구축	15.01.01	15.03.31	
	4	웹 기반 대용량 3D 모델 상세정보 브라우징 기술	14.06.01	15.03.31	고려대 (한정현)
웹 기반 3D 모델 브라우징 기술 개발	4.1	변위 맵핑 기반 3D 모델 렌더링	14.06.01	15.03.31	
	5	점군 기반의 워터마킹 기술 개발	14.06.01	15.03.31	서울대 (김태완)
	5.1	워터마킹을 위한 영역 변환/역변환 기술 개발	14.06.01	14.12.31	
3D 스캔 데이터 저작권 보호 기반기술 개발 (워터마킹)	5.2	영역 변환 이후의 워터마킹을 위한 data embedding 기술	14.10.01	15.03.31	

나. 2차 연도

개발 단계 목표	번호	마일스톤 명	개발기간		기관명 (책임자)
			시작일	종료일	
구조적으로 안정적인 보급형 3D 문화콘텐츠 변환기술	1	접합난이도, 3D프린팅 공정, 접합부, 워터마킹의 ROI를 고려한 영역분할	15.04.01	16.03.31	KIST (이현주)
	1.1	3D 프린팅 장비 및 공정을 고려한 영역분할	15.04.01	15.12.31	
	1.2	접합난이도 및 접합부를 고려한 영역분할	15.04.01	15.12.31	
	1.3	워터마킹의 ROI를 고려한 영역분할	15.11.01	16.03.31	
전통문화재 콘텐츠용 웹플랫폼 핵심 기술 개발	2	STL 온라인 슬라이싱 기술 및 암호화 기술 개발	15.04.01	16.03.31	(주) 로켓 (손동석)
	2.1	STL 슬라이싱 기술 웹서버 적용	15.04.01	15.09.31	
	2.2	GCode 암호화/복호화 기술 개발	15.10.01	16.03.31	
3D 프린팅 웹플랫폼 베타서비스	3	웹사이트 베타버전 구축 및 시범서비스 시작	16.02.01	16.03.31	(주) 로켓 (손동석)
	3.1	웹사이트 기본틀 구축 및 로드맵 확정	16.02.01	16.08.10	
	3.2	베타버전 완성 및 시범서비스 가동, 에러 확인	16.03.10	16.03.31	
복합공격에 강한 저작권 보호기술 (유사도+워터마킹)	4	영역 기반의 워터마킹 기술	15.04.01	16.01.31	서울대 (김태완)
	4.1	영역 변환 이전의 전처리 기술 개발	15.04.01	15.10.31	
	4.2	발전된 영역 변환 기술 개발	15.08.01	16.01.31	
	5	3D 스캔 데이터 ROI 분석을 통한 적응적 워터마킹 기술	15.11.01	16.03.31	
	5.1	3D 스캔 데이터 ROI 분석 기법 설계	15.04.01	15.10.31	
	5.2	추출된 ROI에 복합공격에 강한 워터마킹 기술 적용	15.11.01	16.03.31	
	6	고정밀 3D 스캔 데이터 분석	15.04.01	15.10.31	
	6.1	고정밀 3D 스캔 데이터 분석	15.04.01	15.10.31	
	7	형태기반/의미기반 유사도 측정 기술	15.04.01	16.03.31	고려대 (장민호)
	7.1	3차원 정합을 이용한 형태기반/의미기반 유사도 측정 기술 개발	15.04.01	15.10.31	
	7.2	GPU를 이용한 형태기반/의미기반 유사도 측정 기술의 최적화	15.09.01	16.03.31	

다. 3차 연도

개발 단계 목표	번호	마일스톤 명	개발기간		기관명 (책임자)
			시작일	종료일	
출력물의 구조적 안정성을 위한 내·외부 보강 기술	1	구조적 안정성을 위한 내·외부 보강 기술	16.04.01	17.03.31	KIST (문명운)
	1.1	안정성을 위한 내부 보강 구조 설계	16.06.01	16.11.30	
	1.2	구조해석을 통한 최적 보강 구조	16.12.01	17.03.31	
3D 프린터용 전통문화재 활용 플랫폼 구축	2	문화재 콘텐츠별 분류 및 3D 프린팅 활용방안 확정	16.04.01	16.10.31	(주) 로켓 (손동석)
	2.1	웹기반 온라인 서비스 실시 여부	16.04.01	16.07.31	
고속 유사도 측정 기술	3	대용량 데이터 비교를 위한 고속 유사도 측정 기술	16.04.01	17.02.28	고려대(장민호)
	3.1	대용량 데이터의 형태 기반 데시메이션 기술	16.04.01	17.10.31	
	3.2	대용량 데이터의 형태 기반 유사도 비교 분석 기술	16.04.01	17.02.28	
3D 프린트-스캔 공격에 강인한 저작권 보호 기술	4	곡면 기반의 워터마킹 기술 개발	16.04.01	17.03.31	서울대 (김태완)
	4.1	곡면 재생성 기술 개발	16.04.01	16.11.30	
	4.2	프린트-스캔 공격에 대한 강인한 워터마킹 기술 개발	16.08.01	17.03.31	
전통결구법을 적용한 K-레고 제작 기술	5	전통결구법을 적용한 K-레고 제작 기술	16.09.01	17.03.31	KIST (문명운)
	5.1	전통 결구법을 적용한 K-레고 제작 ("전통이 좋아 ㅋㅋ")	16.09.01	17.03.31	
전통소재를 활용한 텍스처 재현기술	6	전통소재를 활용한 텍스처 재현기술	16.04.01	17.03.31	KIST (문명운)
	6.1	전통 소재를 활용한 친환경 3D 프린팅 소재 개발	16.04.01	16.11.30	
	6.2	전통 소재를 활용한 텍스처 재현 기술 개발	16.08.01	17.03.31	

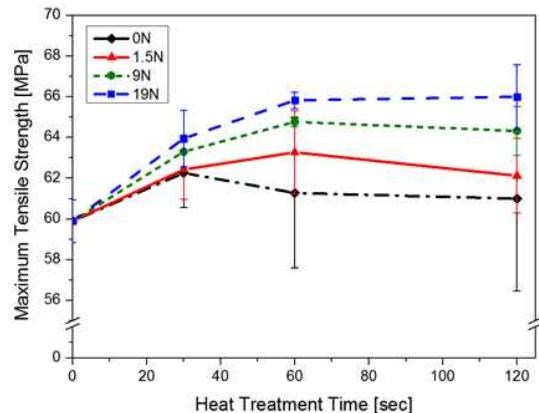
2) 마일스톤 추진 결과

[1차 연도]

[마일스톤1]

	연구개발 목표	구조적 안정성을 고려한 영역분할 기술 개발		
1.1	달성을	100%		
	연구개발 내용	자체 개발한 코드를 이용하여 스캔 데이터의 영역분할 및 상용 구조해석 프로그램 등을 사용하여 구조안정성을 해석하는 <u>연계 프로그램</u> 을 구현		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	분활영역의 응력계산 프로그램	분활 조각 수 (시험 절차서 및 결과서)	구조해석을 위한 영역분할 개수 측정 (10개 이상)	100%
	14.06.01-14.11.30			
2	구조안정성	인장응력 (시험 절차서 및 결과서)	각 영역에 대한 기계적 안정성을 인장실험을 통하여 검증 (소재 인장강도 50MPa 이상)	100%
	14.06.01-14.11.30			

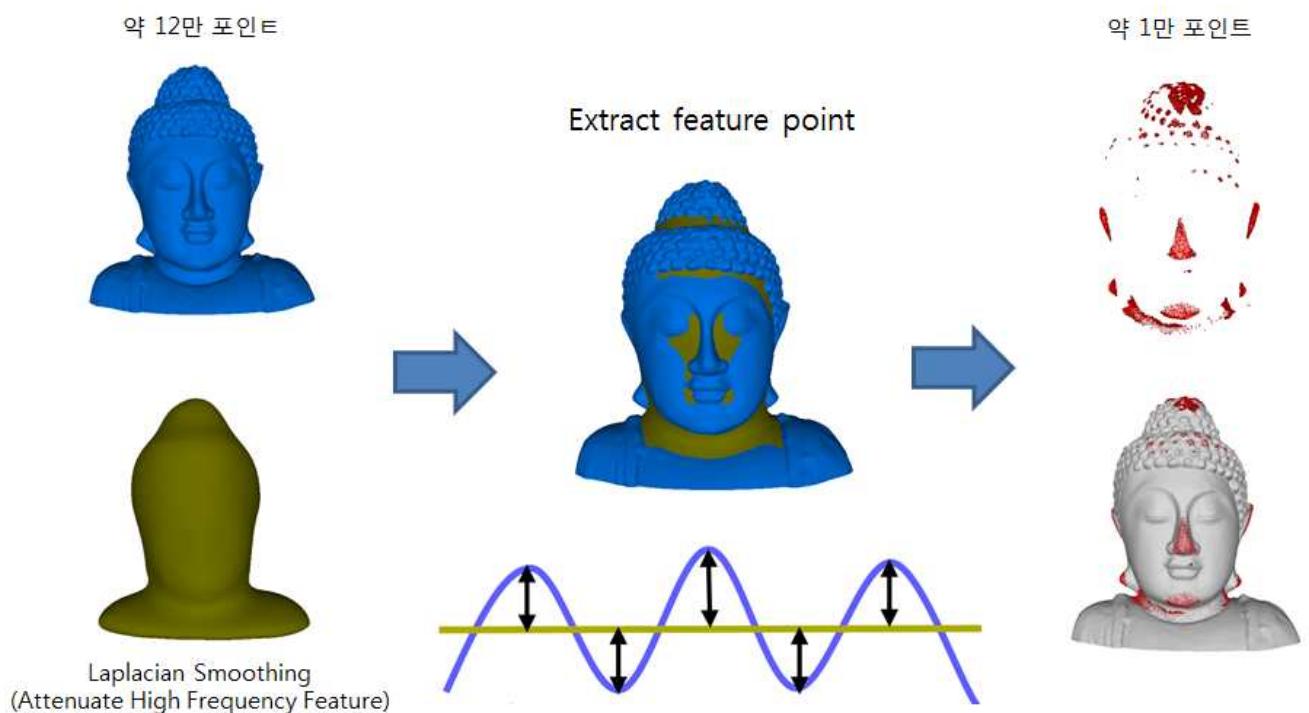
- 인장강도 측정 실험 및 결과



- 무게 중심에 따른 영역분할 시연

[마일스톤 2]

	연구개발 목표	특징점 추출		
2.1	달성도	100%		
	연구개발 내용	- relative depth를 이용한 특징점 추출		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
2.1	고정밀도의 3D 스캔 데이터 특징점 추출 프로그램 구현	특징점 추출률	100,000개의 point 대상, 20초 이내, 1% 이상의 특징점 추출 기술	119,388개의 point에서, 소요시간 1.03초, 11623개(9%)의 특징점 추출
	14.06.01~14.12.31			

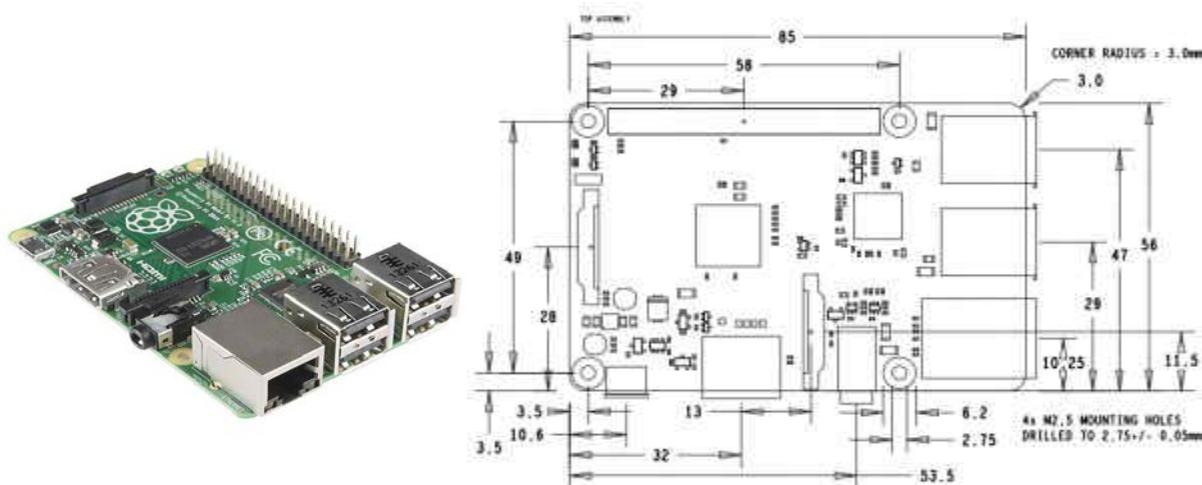


	연구개발 목표	데이터 손실을 최소화			
2.2	달성도	100%			
	연구개발 내용	- 데이터 손실을 최소화하는 데시메이션 알고리즘 개발			
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적	
2.2	추출된 특징점을 활용하는 데시메이션 프로그램	데시메이션 된 3D 데이터의 정밀도	특징점을 추출해 활용하는, 오차 0.1mm 이하의 데시메이션 기술	특징점을 추출해 활용하는, 오차 0.082mm의 데시메이션 기술	
	15.01.01~15.03.31				
<p>(a) 약 12만 포인트 (b) 약 1만2천 포인트 © 약 1천2백 포인트</p>					
<p><특징점을 이용하지 않은 데시메이션></p> <p><특징점을 이용한 데시메이션></p>					

[마일스톤 3]

3.1	연구개발 목표	전통문화재 콘텐츠에 최적화된 3D프린터용 펌웨어 개발		
	달성을도	100%		
	연구개발 내용	온라인 슬라이싱용 PCB 보드 및 펌웨어 개발		
마일스톤(결과물)/기간	점검항목	목표(점검기준)	실적	
1 전통문화재 콘텐츠 3D 프린터용 펌웨어 개발	전통문화재 콘텐 츠 3D 프린터용 PCB 및 펌웨어 개발	WIFI 환경에서 온라인 슬라이싱이 가능한 PCB 및 펌웨어 개발	100 %	

[전통문화재 콘텐츠 3D 프린터용 PCB 및 펌웨어]



Chip : Broadcom BCM2835 SoC

Core Architecture : ARM11

Dimension : 85 x 56 x 17

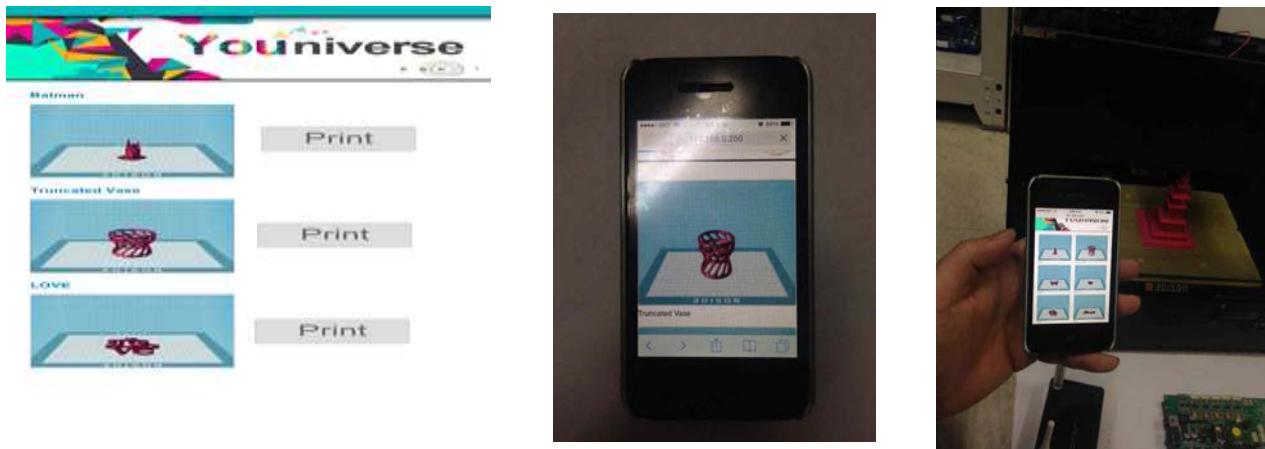
USB : 4 x USB2.0 Connector

POWER : 5V 2A

PCB에 LAN 또는 무선 어댑터를 연결하여 온라인 환경과 연결 가능하도록 하며, USB 포트에 3D 프린터를 연결하여 무선으로 3D 프린터를 제어할 수 있도록 제작

3.2	연구개발 목표	전통문화재 콘텐츠에 최적화된 3D프린터용 펌웨어 개발		
	달성을도	100 %		
	연구개발 내용	온라인 서비스용 웹 서버 프로토타입		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	전통문화재 콘텐츠에 최적화된 웹 서버	파일 저장 및 다운로드 가능 여부	다수의 파일의 업로드/다운로드가 정상적으로 가능한지 점검	90 %

[전통문화재 콘텐츠 3D 프린터용 웹 서버 프로토타입]

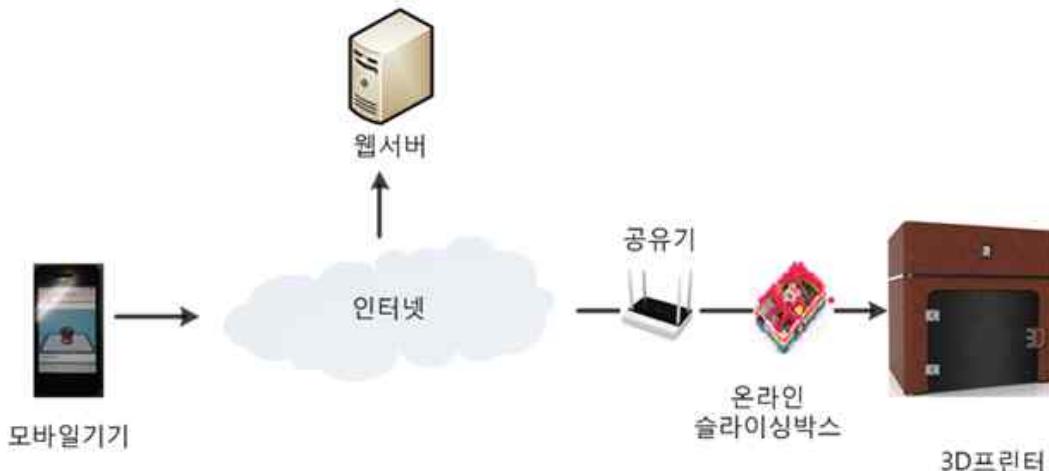


1. 3D 프린팅에 필요한 다수의 STL파일 또는 GCode파일을 업로드
2. WebBrowser에서 확인하기 위한 웹페이지(HTML)를 작성하여 웹서버와 연결
3. 서버에 업로드 된 파일들이 웹페이지의 리스트에 모두 나타나는지 확인
4. 임의의 파일을 선택하여 다운로드
5. 다운로드가 완료된 파일이 정상인지 출력을 통해 확인

3.3	연구개발 목표	전통문화재 콘텐츠에 최적화된 3D프린터용 펌웨어 개발		
	달성을도	100 %		
	연구개발 내용	무선 네트워크를 통한 3D 데이터 입출력 및 처리 시스템 개발		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	3D 데이터 입출력 및 처리 시스템	무선으로 3D 프린터 출력	웹서버에 있는 GCode 파일을 다운로드 하여 출력	90 %

[무선 네트워크를 통한 3D 데이터 입출력 및 처리 시스템 개발]

1. 온라인 슬라이싱용 PCB 보드를 USB Cable로 3D 프린터에 연결
2. PC 또는 스마트폰을 이용하여 웹서버에 접속
3. 웹서버에 있는 여러 파일 중 하나를 선택하여 출력 시도
4. 웹서버에서 해당 GCode를 다운로드 하고, 온라인 슬라이싱용 PCB를 통해 GCode를 3D 프린터로 출력 가능한 형태로 변환
5. 변환과 동시에 3D 프린터와 통신하여 출력
6. 출력물을 확인



[마일스톤 4]

4.1	연구개발 목표	변위 맵핑 기반 3D 모델 렌더링		
	달성을도	100%		
	연구개발 내용	웹을 통한 대용량 3D 모델 정밀 관측 프로그램 개발		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	3D 모델 웹 뷰어	렌더링 속도 (시험 절차서 및 결과 보고서)	50fps	90%
	2014.06.01 ~ 2015.03.31	렌더링 기법의 완성도 100% (시험 절차서 및 결과 보고서)	벡터 변위 맵 및 벡터 변위 맵핑이 수행된 메시 생성률 100%	90%

○ 마일스톤 실적

- 50fps 이상의 안정적인 성능을 보장하는 변위 맵핑 기반 저용량 3D 모델 웹 뷰어 개발

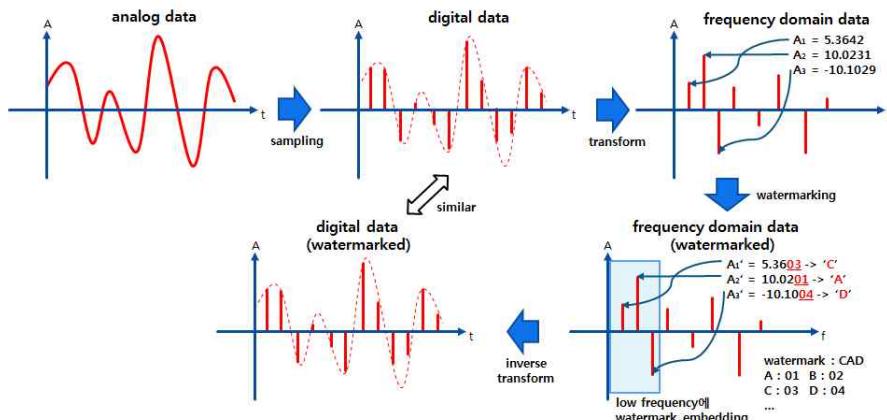


<간략메시 렌더링(왼쪽)과 간략메시+테셀레이션+변위 맵 렌더링(오른쪽) 비교>

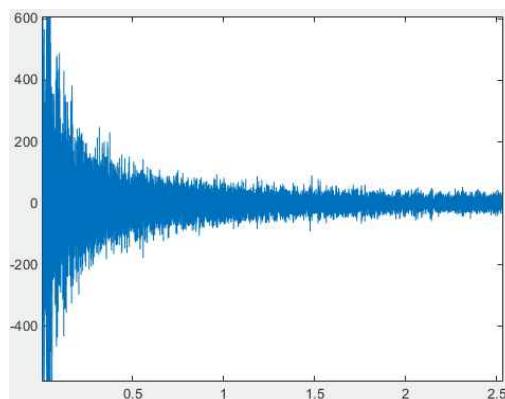
[마일스톤 5]

	연구개발 목표	워터마킹을 위한 영역 변환/역변환 기술 개발		
5.1	달성을	100%		
	연구개발 내용	워터마킹을 위한 영역 변환/역변환 수식/알고리즘 정립		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	메시구조의 독립성 (논문) 14.06.01~14.12.31	영역 변환/역변환 기술이 메시 구조와 독립적인지 여부 영역변환 모듈의 검증 결과	영역 변환 정당성에 대한 수식적 증명 내용 위주로 투고논문이 1편 이상인지 여부로 확인	90%
2	프로토타입의 신뢰성 (논문) 14.06.1~14.12.31			70%

- 3D 스캔 데이터는 점군 데이터로, 메시와 달리 연결 관계를 사용할 수 없으므로 위치 데이터만을 이용하는 영역 변환 기술이 필요
- 따라서, 연결 관계를 사용하지 않고 위치 데이터만을 DCT를 통해 주파수 영역으로 변환함
- 아직 논문 작성 및 투고는 완료하지 못함



<DCT를 이용한 영역 변환 개념도>



<x축 좌표값의 DCT 변환 결과>

5.2	연구개발 목표	영역 변환 이후의 워터마킹을 위한 data embedding 기술					
	달성도	<i>100%</i>					
	연구개발 내용	변환된 영역에 워터마크 정보를 삽입/추출하는 기술 개발					
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적			
1	워터마크 손실률 20% 이하(시험 절차서 및 결과서)	원본 대비 워터마크 삽입 후 추출률 측정하여 손실률이 20% 미만인지 검토	임의의 3D 데이터에 워터마크 코드를 반복적으로 3회 이상 삽입 후 추출 수행, 워터마크의 손실률(20% 미만)을 시험 절차서 및 결과서로 확인	100%			
	15.01.01~15.03.31						
<ul style="list-style-type: none"> - 1회 삽입 후 추출 시 손실률은 0.1% 미만으로, 매우 신뢰성 높은 결과를 보임 - 동일 영역에 서로 다른 워터마크를 연속적으로 3회 삽입 후 처음 삽입한 워터마크를 추출 시 그림과 같아 워터마크 간 충돌로 코드 손실이 발생하나, 전체 워터마크 64개 중 10개 내외의 워터마크만 손실되었음(마지막으로 삽입한 워터마크의 경우, 1회 삽입이므로 그대로 추출됨) 							
<p>원본 / 1회 워터마킹 / 3회 워터마킹 된 stl 파일</p>							
<p>1회 / 3회 워터마크 삽입 후 추출한 watermark</p>							

[2차 연도]

[마일스톤 1]

	연구개발 목표	3D 프린팅 장비 및 공정을 고려한 구조안정적 영역분할 기술 개발		
1. 1	달성을	100 %		
	연구개발 내용	3D 프린팅 장비 및 공정을 고려한 영역분할 자체 코드 및 소프트웨어 개발		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	영역분할 프로그램	분할 조각 수 (시험 절차서 및 결과서)	구조해석을 위한 영역분할 개수 측정 (15개 이상)	Java, C++기반 영역분할 알고리즘 및 프로그램 완성
	15.04.01-15.12.3 1			
2	절단면의 평탄성	분할개수(N)에 따른 수평적/수직적 단면의 개수가 N-10이상 인가 (시험 절차서 및 결과서)	개별 영역이 안정적이면서 수평 혹은 수직적 단면을 구성하고 있는 가	수직/수평 자동 분할 알고리즘 및 프로그램 완성
	15.04.01-15.12.3 1			

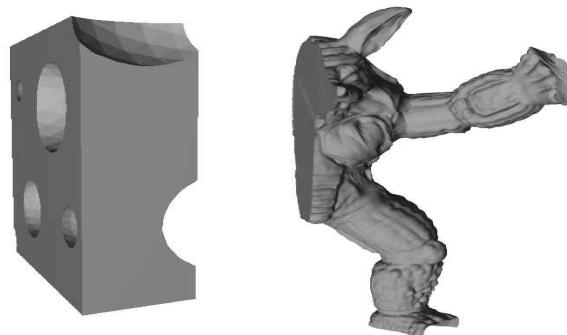
- 영역분할 프로그램 (알고리즘 이미지, Java & C++)

```
// 영역 i : 0은 Y축, 1은 Z축, 2는 X축, 경계면의 좌표, true : 경계 raise 오류여
for(int i = 1; i < 3; i++) {
    SplitMesh(i,user->X,user->uBoolean[i - 1]);
}

switch(user->isCCS){ // Option 1 : 단면 생성 Option 2 : 단면 생성 X
    case 1:
        CreateCrossSection(i);
        if( b != wEdge.size()){ // 예외 처리
            std::cout << "줄기에 오차가 발생할 수 있습니다." << std::endl;
        }
        break;
    case 2:
        std::cout << "사용자는 단면 생성을 하지 않습니다." << std::endl;
        break;
    default: // 예외 처리
        std::cout << "버그 발생." << std::endl;
        break;
}
}

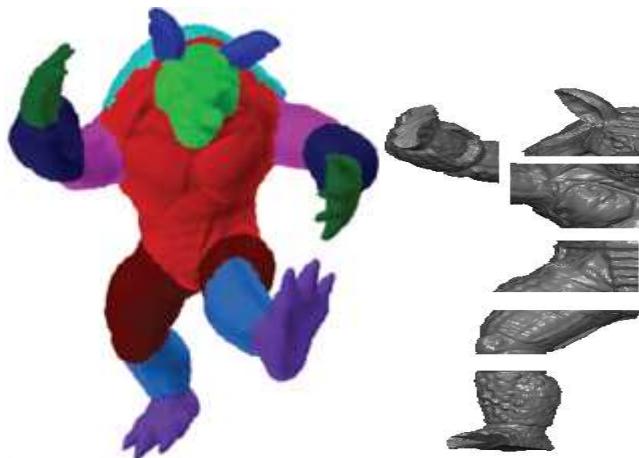
switch(user->isLego){
    case 1:
        CreateLegoBlock(i,uBoolean[i - 1]);
        break;
    case 2:
        std::cout << "사용자는 조립을 하지 않습니다." << std::endl;
        break;
    default: // 예외 처리
        std::cout << "버그 발생." << std::endl;
        break;
}
```

- 절단면의 평탄성 (절단면 이미지-시연 동영상 있음)

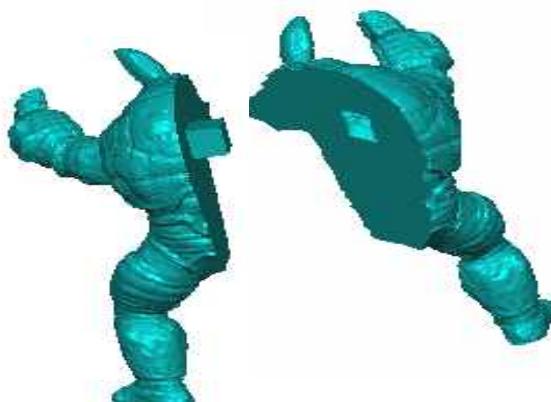


	연구개발 목표	접합난이도 및 접합부를 고려한 구조안정적 영역분할 기술 개발			
1. 2	달성도	100 %			
	연구개발 내용	접합난이도 및 접합부를 고려한 영역분할			
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적	
1	영역분할 프로그램	분할 조각 수 (시험 절차서 및 결과서)	구조해석을 위한 영역분할 개수 측정 (15개 이상)	유사도 분석기법을 이용한 영역분할 알고리즘 개발	
	15.04.01-15.12.3 1				
2	접합부의 견고한 설계 여부	접합부가 단순한 평면이 아닌, 직쏘 형태나 음/양각 형태를 보이며, 접합부 안정적 구조를 유지하는지 (시험 절차서 및 결과서)	각 개별 영역이 인접한 영역과 견고한 접합이 가능하도록 설계되었는지 여부	음/양각 형태의 접합부 자동 생성 프로그램 개발	
15.04.01-15.12.3 1					

— 유사도 분석 기법을 이용한 영역분할 알고리즘

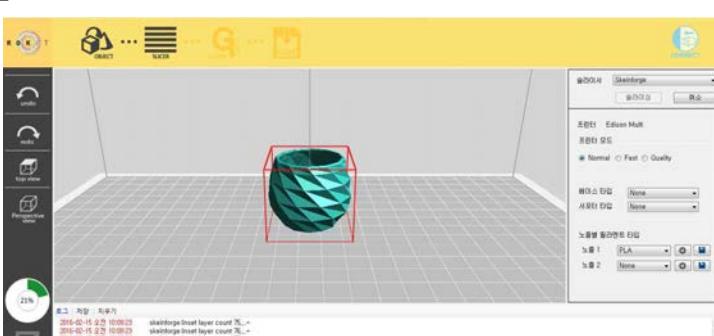


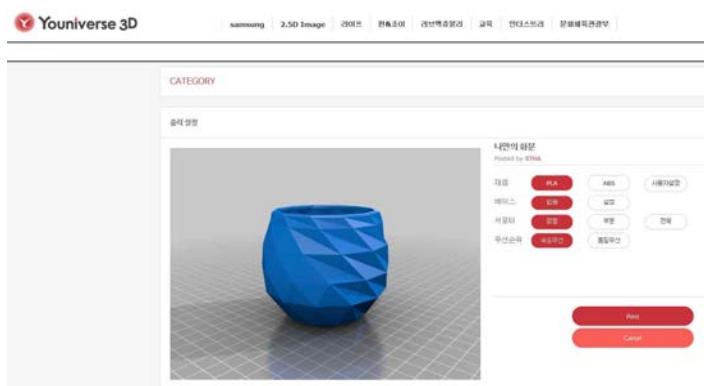
— 접합부의 견고한 설계 여부



1. 3	연구개발 목표	워터마킹의 ROI를 고려한 영역분할 고려한 영역분할		
	달성도	100 %		
	연구개발 내용	워터마킹의 ROI를 고려한 영역분할		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	워터마킹 정보를 포함하는 영역분할 개수 및 분포율	워터마킹 정보를 포함하는 영역분할 개수 및 분포율	개별 영역이 ROI를 포함하여 워터마킹 정보를 균일하게 보유하고 있는가 (시험 절차서 및 결과서)	one-point 기반 수직 수평 분할 알고리즘 개발
	15.11.01~16.03.31			
<ul style="list-style-type: none"> - 워터마킹 정보를 포함하는 영역분할 개수 및 분포율 측정 <p>워터마킹이 된 ROI 영역을 유저가 지정 시, 그 영역을 포함하는 최소면적의 영역분할 알고리즘 개발. 워터마킹이 실제로 분할 뒤에도 살아있는지에 대한 테스트 준비 중이며, 서울대학교의 ROI 워터마킹 프로그램이 완성 후 실 테스트 완료</p>				

[마일스톤 2]

2. 1	연구개발 목표	STL 파일의 안정적인 온라인 직접 슬라이싱 기능 완성 및 웹서버 적용		
	달성도	100%		
	연구개발 내용	STL 슬라이싱 기술 웹서버 적용		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	슬라이싱 속도	슬라이싱에 소요되는 시간	온라인에서 슬라이싱을 시도하여 오프라인과 속도 대비 80% 이상인지 여부를 시험 절차서 및 결과서로 확인	웹 사이트에서 온라인 직접 슬라이싱 기술 개발 완료. 오프라인 대비 슬라이싱 속도 91.6% 달성.
	15.10.01~16.02.10			
<ul style="list-style-type: none"> - 슬라이싱 속도 비교  <p style="text-align: center;"><i><offline program slicing></i></p>				



<online web slicing>

*동일 파일 슬라이싱 테스트 시 오프라인의 경우 1분 5초 30 기록함. (5회 측정 평균)

*온라인 직접 슬라이싱 테스트 시 59초 85 기록함 (5회 측정 평균)

슬라이싱 속도 비율 = 온라인 슬라이싱/ 오프라인 슬라이싱 = 91.6%

2. 2	연구개발 목표	암호화된 GCode로 프린터 출력		
	달성도	100%		
	연구개발 내용	GCode 암호화/복호화 기술 개발		
마일스톤(결과물)/기간	점검 항목	목표(점검기준)		실적
암호화/복호화 후 파일의 오차 1 15.09.01~16.02.05	GCode를 암호화하여 프린터로 전송 후 복호화 과정을 거친 STL 파일의 오차 측정 (시험 절차서 및 결과서로 확인)	암호화된 GCode를 프린터에서 복호화하였을 때 STL 파일의 원본 대비 오차범위 $\pm 0.3\text{mm}$ 이내인지 여부		암호화 및 복호화 프로그램 개발 완료. stl 파일을 다운로드 시 암호화된 gcode 형식으로 다운로드 되며 복호화 프로그램에서 암호를 해제하면 정상 출력 가능함.

* 복호화 과정을 거친 stl 파일의 출력 후 실측 오차 측정:

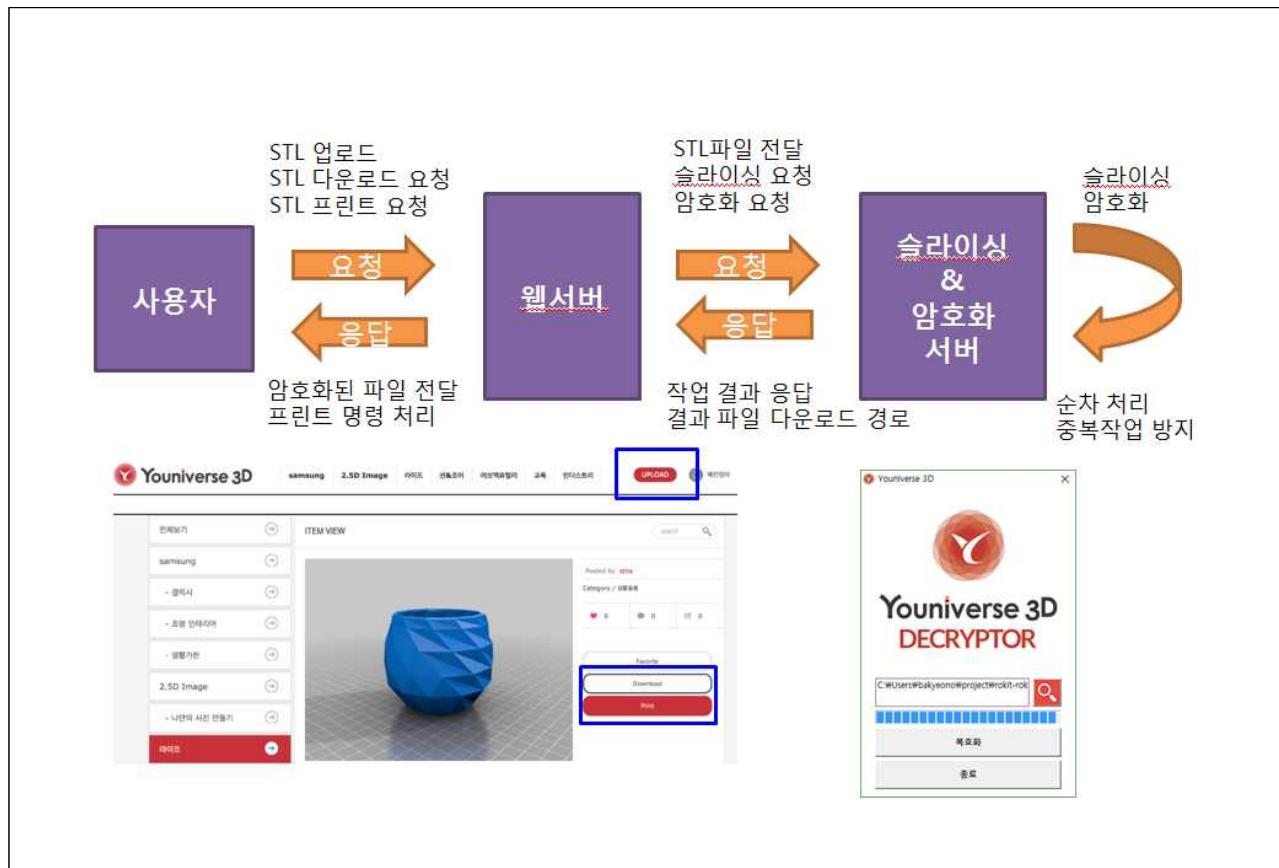
- 평균 수축률 = 0.337% 발생. 65mm 시편 기준 0.219mm 오차 발생.

12.7mm 기준 0.04mm 오차 발생.

- 129.3mm 시편 기준 0.43mm 오차 발생.

- **모델에 따른 오차 발생 평균값 = 0.23mm 발생으로 목표치인 0.3mm 이내에 부합함.**

	unnoched			noched			long			long 2			Dog Bone		
	65	12.7	6.4	65	12.7	6.4	130	12.7	3.2	130	12.7	6.4	218	19	3.2
ps1set	64.35	12.58	6.17	64.62	12.59	6.2	129.3	12.62	3.09	128.95	12.54	6.27	216.5	19.1	3.13
수축률	1.01	0.95	3.73	0.59	0.87	3.23	0.54	0.63	3.56	0.81	1.28	2.07	0.69	-0.52	2.24
ps2set	64.85	12.57	6.2	64.3	12.72	6.22	129.34	12.73	3.11	129.08	12.65	6.23	216	18.86	3.09
수축률	0.23	1.03	3.23	1.09	-0.16	2.89	0.51	-0.24	2.89	0.71	0.40	2.73	0.93	0.74	3.56
수축평균	0.62	0.99	3.48	0.84	0.36	3.06	0.53	0.20	3.23	0.76	0.84	2.40	0.81	0.11	2.90
Cool PLA 1	64.94	12.57	6.24	64.95	12.64	6.21	130.13	12.68	3.07	129.91	12.62	6.24	217.5	18.94	3.02
	0.09	1.03	2.56	0.08	0.47	3.06	-0.10	0.16	4.23	0.07	0.63	2.56	0.23	0.32	5.96
Cool PLA2	64.87	12.6	6.38	64.99	12.59	6.2	129.93	12.56	3.32	129.85	12.65	6.33	217.7	18.87	3.09
normal PLA1	65.06	12.72	6.42	65.1	12.66	6.34	130.37	12.71	3.17	130	12.6	6.4	218	18.72	3.13
수축	-0.09	-0.16	-0.31	-0.15	0.32	0.95	-0.28	-0.08	0.95	0.00	0.79	0.00	0.00	1.50	2.24
normal PLA2	65.05	12.51	6.42	65.16	12.62	6.42	130.37	12.67	3.18	130.11	12.65	6.4	217.8	18.86	3.12



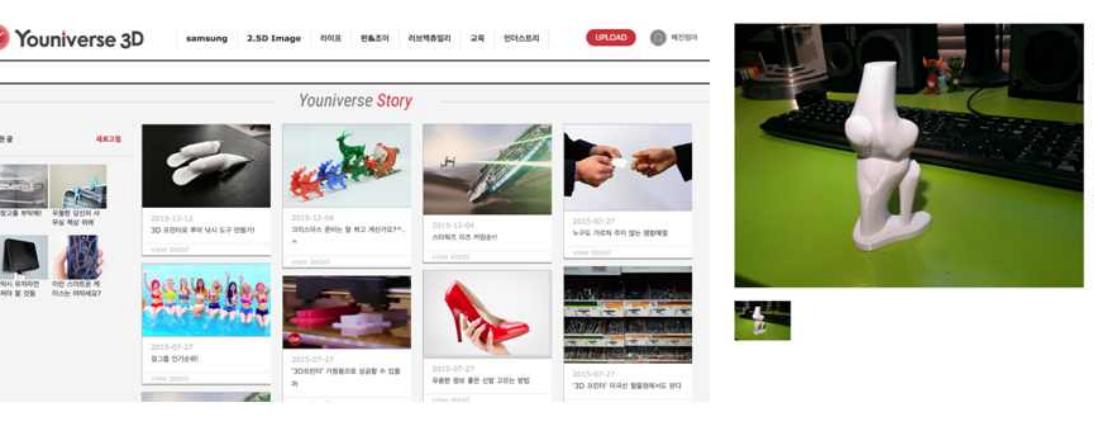
[마일스톤 3]

3. 1	연구개발 목표	3D프린팅용 문화콘텐츠 모델링 파일 확보 및 테스트 가능한 웹 환경 구축		
	달성을도	100%		
	연구개발 내용	웹사이트 기본틀 구축 및 로드맵 확정		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	웹 기능의 에러 발생율 10% 이하	웹사이트의 틀 작성 후 필요한 기능들을 적용, 수행여부 점검 (시험 절차서 및 결과서로 확인)	파일의 업로드 및 다운로드, 온라인 슬라이싱 등의 기능이 웹사이트에서 수행 가능한가	웹사이트 구축 완료. 업로드 및 다운로드 포함한 기능 구현 완료
	2015.05.01~2015 .11.31			

- 웹 기능의 버그 발생 모두 해결하여 현재 에러 발생율 0% 달성. 2차년도 협약완료 시점까지 지속적인 모니터링 예정.



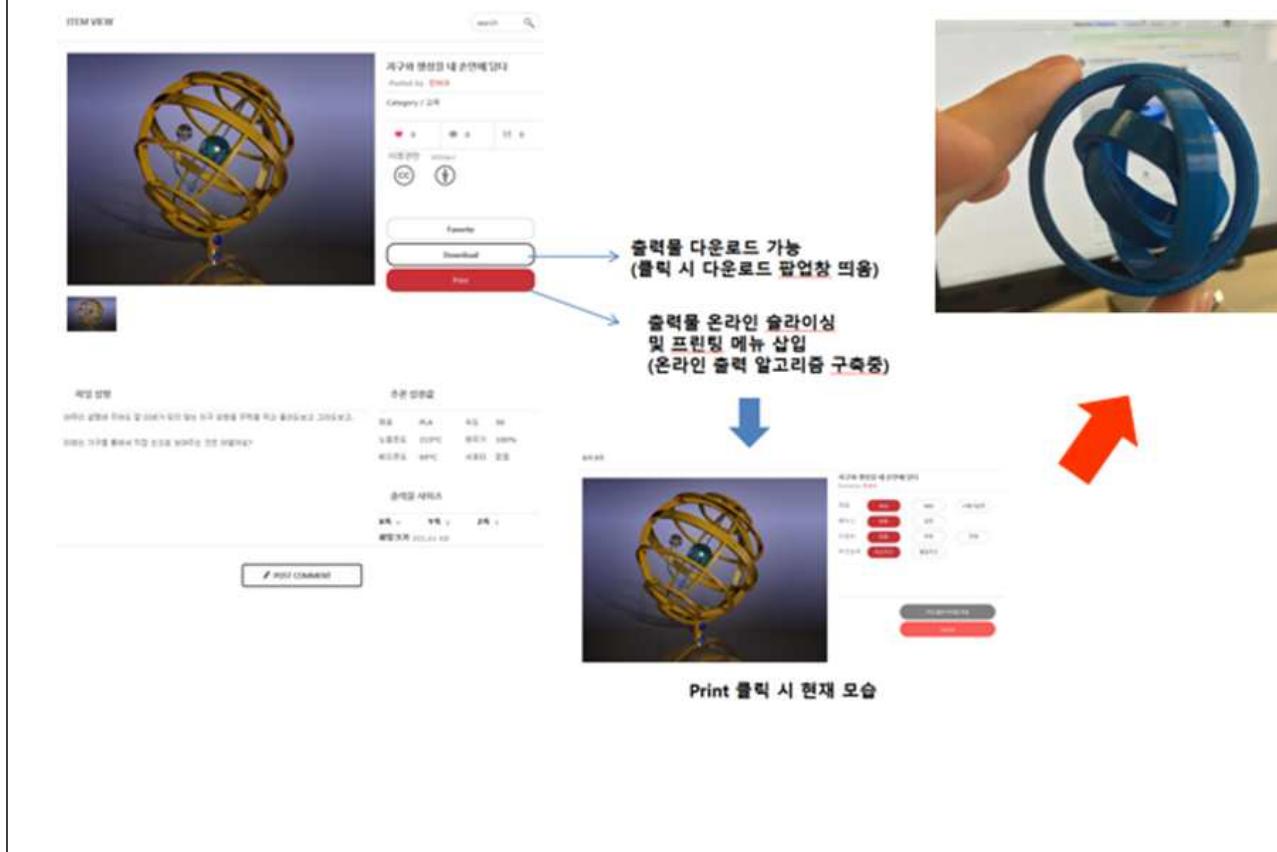
The screenshot shows the Youniverse 3D website homepage. At the top, there's a banner with the text "세상에 없던 2.5D 사진, Youniverse3D에서 경험하라!" (Experience the world's first 2.5D photo at Youniverse3D!). Below the banner, there's a section titled "Youniverse Story" featuring several 3D prints, including a white pen-like object, a reindeer sled, a green and blue model, and two hands holding a small white object. On the left side, there's a sidebar with news items and a large image of a white 3D print of a person's legs standing on a desk next to a laptop.



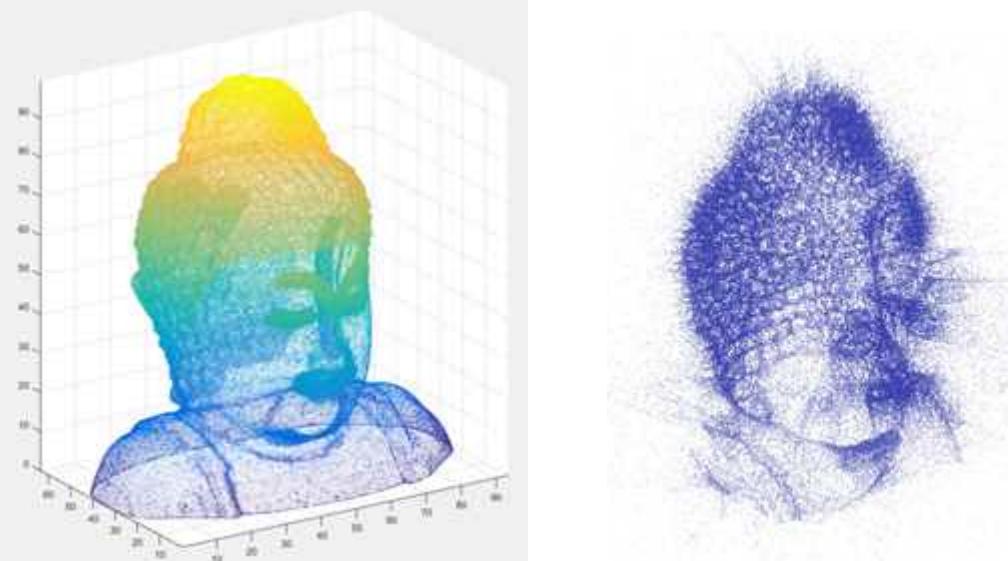
This screenshot shows a detailed view of a 3D print of a person's legs standing on a desk. To the right of the print, there are user interaction options: "Posted by Eddy", "Category / 교육", "Favorite", "Download", and "Print". On the left, there's a sidebar with news items and a large image of a white 3D print of a person's legs standing on a desk next to a laptop.

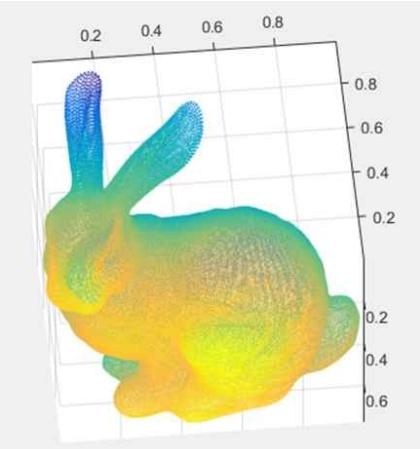
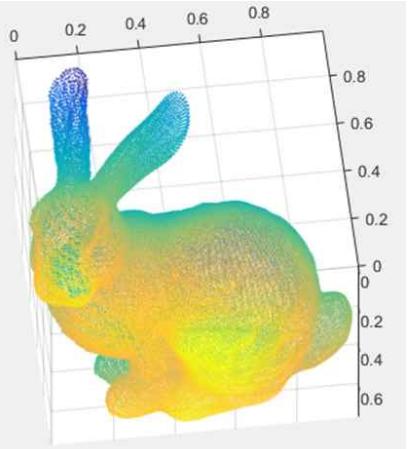
3. 2	연구개발 목표	3D 프린팅용 문화콘텐츠 제공 시범서비스 가동		
	달성도	100%		
	연구개발 내용	베타버전 완성 및 시범서비스 가동, 에러 확인		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	에러 발생율	시범서비스를 제공하며 발생하는 에러 수집 및 분석 (시험 절차서 및 결과서로 확인)	서비스 제공 중에 발생하는 에러	베타 버전 완성함. 시범서비스 시 에러 발생 없음.
	2015.05.01~2016 .02.03			

- 에러 발생 현재 없음. 상용성을 염두에 두고 고용량 파일에 대한 추가 테스트 진행 예정.



[마일스톤 4]

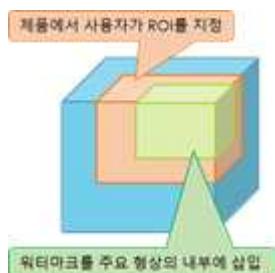
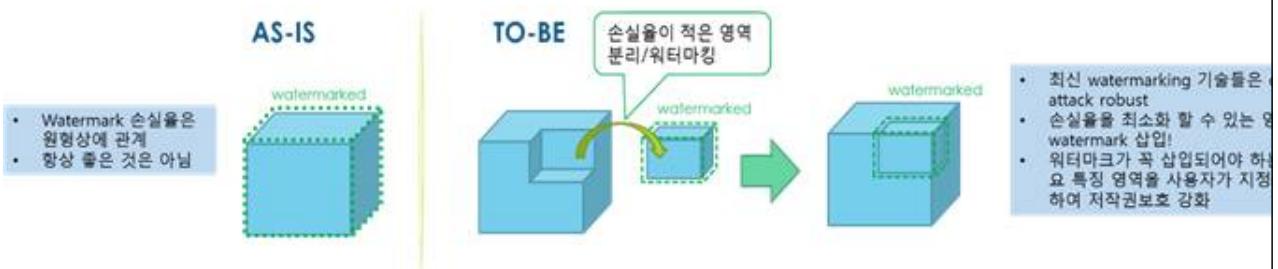
4. 1	연구개발 목표	강인한 워터마킹을 위한 전처리 기술 개발		
	달성을도	100%		
	연구개발 내용	영역 변환 이전의 전처리 기술 개발		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	MRMS 변형율 15.04.01~15.10.3 1	<ul style="list-style-type: none"> - 영역 변환 정당성에 대한 수식적 증명 (수학적 증명 내용 논문 투고 1편 이상) - 모델의 주요 특징(primitive, edge) MRMS 1.5% 이상의 변형여부 검사를 시험 절차서 및 결과서로 확인 	MRMS 변형율 1.5% 이하 변형율	완성된 전처리 모들에서 측정 결과 MRMS 변형율 1% 미만
<p>- MRMS 변형율</p>  <p>모델에 전처리과정을 수행 후 바로 역과정을 수행한 모델과 원본 모델에 대해 수차례 측정한 MRMS값이 1% 미만으로, 점검기준을 100% 달성함.</p>				

	연구개발 목표	기존의 영역 기술과 차별화된 영역 변환 기술 개발		
4. 2	달성도	100%		
	연구개발 내용	발전된 영역 변환 기술 개발		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	출원 건수 (기존 기술과 차별성 검토를 위한 특허 조사)	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 특허 및 논문들을 대상으로 기술 분석 수행 (시험 절차서 및 결과서로 확인) - 임의의 3D 데이터 입력에 대해 영역 변환/역변환 이후 결과가 일치하는지 확인 (시험 절차서 및 결과서로 확인) - 아핀 변환, 국소 수정 공격, 노이즈 추가 공격, 메시 정점의 연결관계 변환 혹은 재인덱싱 공격, 3D 데이터의 일부분만 잘라내는 공격 혹은 위 공격들의 복합적인 공격들에 대해 강인함을 지니는지 여부 검사 (시험 절차서 및 결과서로 확인) - 상기 내용을 포함하는 특허 출원여부 	국내 특허 출원	독자적 원천성을 갖는 영역 변환 모듈 개발 및 완성
	2015.07.01 ~ 2016.01.31			
<ul style="list-style-type: none"> - 출원 건수 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>GIM(geometry images), irregular mesh wavelet 기반의 영역 변환 및 그를 통한 워터마킹 모듈을 완성함. 전처리과정과의 통합 기술을 특허출원</p>				

[마일스톤 5]

5. 1	연구개발 목표	3D 스캔 데이터 ROI 분석 알고리즘 개발		
	달성도	100%		
	연구개발 내용	3D 스캔 데이터 ROI 분석 기법 설계		
마일스톤(결과물)/기간	점검항목	목표(점검기준)	실적	
워터마크 삽입을 위한 ROI 분석 기법 개발여부 (시험 절차서 및 결과서, 논문투고여부) 15.10.01~16.03.31 1	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 ROI분석 기법과의 차별성을 워터마크 삽입 관점에서 진보성이 있는지 여부 (학회 논문 투고 후 출간여부) - ROI 기반의 워터마킹 수행 후 기존 워터마킹에 비해 워터마킹 성능이 개선되었는지 여부 (시험 절차서 및 결과서로 확인) 	기존 ROI 분석 기법에 워터마크 삽입을 위한 차별화 된 알고리즘 확보 여부	개념 확립 및 연구방향 수립	

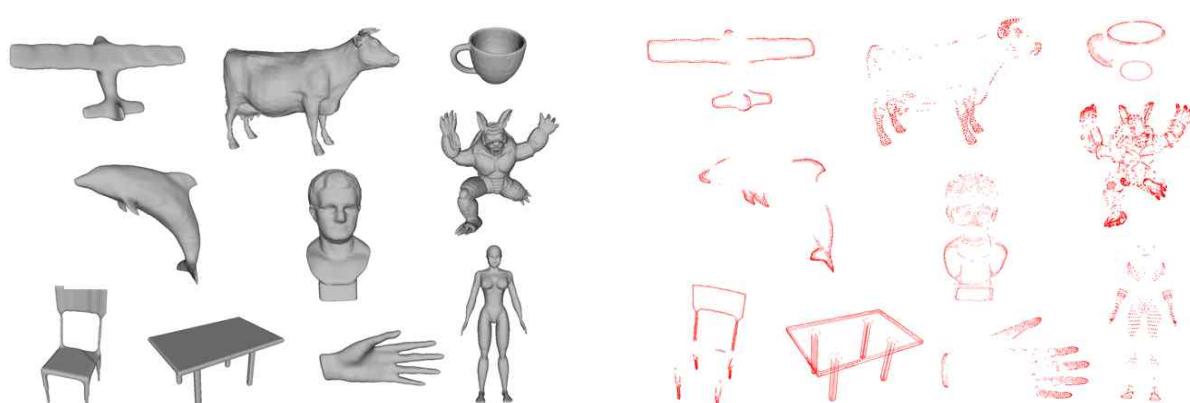
- 워터마크 삽입을 위한 ROI 분석 기법 개발 여부



- 차별화된 워터마킹 알고리즘을 확보하였음.
- ROI에 적용을 위한 유저친화적 구동 소프트웨어 제작 중. 2016.03.31.까지는 모듈 완성 후 테스트 완료

5. 2	연구개발 목표	ROI 분석 기술과 워터마킹 모듈의 합병		
	달성도	100%		
	연구개발 내용	추출된 ROI에 복합공격에 강인한 워터마킹 기술 적용		
마일스톤(결과물)/기간	점검항목	목표(점검기준)	실적	
1 워터마크 손실율 16.12.01~16.03.3 1	원본 대비 워터마크 삽입 후 추출률 측정하여 손실률이 20% 미만인지 검토	워터마크 손실율 15% 미만		일정에 맞추어 진행 예정
<ul style="list-style-type: none"> - 워터마크 손실율 <p>마일스톤 5.1과 함께 ROI 분석 모듈 완성</p>				

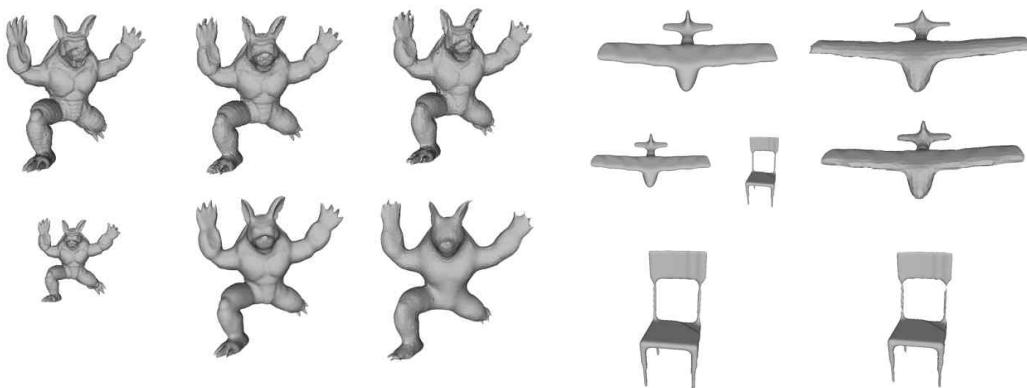
[마일스톤 6]

6. 1	연구개발 목표	Point 10000개 , 20초 이내, 오차범위 0.1mm이내, 5% 이상의 3D 스캔 데이터 특징점 추출 및 분석 기술 개발																																													
	달성도	100%																																													
	연구개발 내용	고정밀 3D 스캔 데이터 분석																																													
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적																																											
1	특징점 추출 속도	알고리즘 연산의 소요시간이 20초 이하인지 시험 절차서 및 결과서로 확인	특징점 추출 연산의 소요 시간	100%																																											
	15.04.01~15.10.3 1																																														
2	특징점 추출 알고리즘	개발된 알고리즘으로 추출된 특징점 수와 그 추출률을 측정하여 포인트 수 대비 추출한 특징점 수 1% 이상인지 시험 절차서 및 결과서로 확인	특징점 추출 알고리즘	100%																																											
	15.10.01~16.03.3 1																																														
<p>- 특징점 추출 알고리즘</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Data</th> <th>original point number</th> <th>feature point number</th> <th>ratio (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Armadillo</td> <td>25273</td> <td>3271</td> <td>12.94</td> </tr> <tr> <td>Chair</td> <td>8499</td> <td>1841</td> <td>21.66</td> </tr> <tr> <td>Cow</td> <td>6938</td> <td>978</td> <td>14.10</td> </tr> <tr> <td>Cup</td> <td>15198</td> <td>2281</td> <td>15.01</td> </tr> <tr> <td>Statue</td> <td>9252</td> <td>1359</td> <td>14.69</td> </tr> <tr> <td>Dolphin</td> <td>7121</td> <td>974</td> <td>13.68</td> </tr> <tr> <td>Hand</td> <td>7242</td> <td>1222</td> <td>16.87</td> </tr> <tr> <td>Human</td> <td>4706</td> <td>583</td> <td>12.39</td> </tr> <tr> <td>Airplane</td> <td>5400</td> <td>969</td> <td>17.94</td> </tr> <tr> <td>Table</td> <td>13926</td> <td>2982</td> <td>21.41</td> </tr> </tbody> </table>	Data	original point number	feature point number	ratio (%)	Armadillo	25273	3271	12.94	Chair	8499	1841	21.66	Cow	6938	978	14.10	Cup	15198	2281	15.01	Statue	9252	1359	14.69	Dolphin	7121	974	13.68	Hand	7242	1222	16.87	Human	4706	583	12.39	Airplane	5400	969	17.94	Table	13926	2982	21.41			
Data	original point number	feature point number	ratio (%)																																												
Armadillo	25273	3271	12.94																																												
Chair	8499	1841	21.66																																												
Cow	6938	978	14.10																																												
Cup	15198	2281	15.01																																												
Statue	9252	1359	14.69																																												
Dolphin	7121	974	13.68																																												
Hand	7242	1222	16.87																																												
Human	4706	583	12.39																																												
Airplane	5400	969	17.94																																												
Table	13926	2982	21.41																																												

[마일스톤 7]

7. 1	연구개발 목표	유사 모델 탐지를 80% 이상		
	달성을	100%		
	연구개발 내용	3차원 정합을 이용한 형태 기반 유사도 측정 기술 개발		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	유사 모델 탐지율 15.01.01~16.03.3 1	원본 모델과 유사한 변형 모델을 탐지하기 위한 유사도 비교 실험을 10회 이상 수행한 후, 그 결과의 성공률을 측정	80 % 이상	100%

- 유사 모델 탐지율

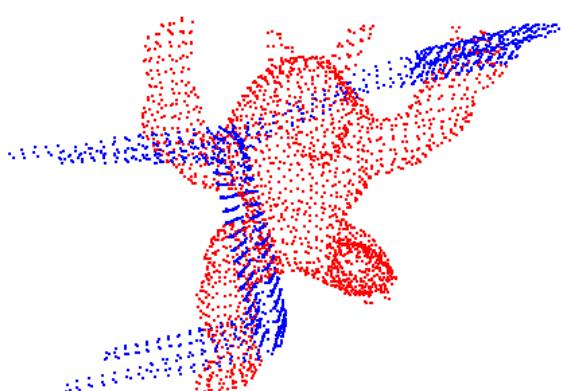


Data1	Data2	Alignment distance	Similarity (%)	Similar Object	Correct
Armadillo	Armadillo_Decimationed(a=2.0)	0.00972	99.02	○	○
	Armadillo_Decimationed(a=4.0)	0.00314	99.69	○	○
	Armadillo_Smoothing	0.00545	99.45	○	○
	Armadillo_Decimationed & Smoothing	0.00171	99.83	○	○
	Armadillo_Scaling(s=0.5)	0.00019	99.98	○	○
	Chair	0.62810	73.61	X	○
	Chair_Decimationed(a=2.0)	0.71402	72.86	X	○
	Chair_Scaling(s=0.5)	0.62859	73.71	X	○
	Airplane	0.02597	80.59	X	○
	Airplane_Decimationed(a=2.0)	0.02569	82.59	X	○
Chair	Chair_Decimationed(a=2.0)	0.00174	99.88	○	○
	Chair_Decimationed(a=4.0)	0.00040	99.96	○	○
	Chair_Smoothing	0.00147	99.85	○	○
	Chair_Decimationed & Smoothing	0.00061	99.95	○	○
	Chair_Scaling(s=0.5)	0.00000	100	○	○
	Airplane	0.13480	86.71	X	○
	Airplane_Decimationed(a=2.0)	0.11220	91.63	X	○
	Airplane_Scaling(s=0.5)	0.13701	84.78	X	○
	Armadillo	0.18982	82.11	X	○
	Armadillo_Decimationed(a=2.0)	0.20984	80.55	X	○
Airplane	Airplane_Decimationed(a=2.0)	0.00214	99.78	○	○
	Airplane_Decimationed(a=4.0)	0.00132	99.88	○	○
	Airplane_Smoothing	0.00263	99.71	○	○
	Airplane_Decimationed & Smoothing	0.00031	99.96	○	○
	Airplane_Scaling(s=0.5)	0.00100	99.98	○	○
	Armadillo	0.14561	83.05	X	○
	Armadillo_Decimationed(a=2.0)	0.19801	80.33	X	○
	Armadillo_Scaling(s=0.5)	0.14561	83.05	X	○
	Chair	0.33725	53.78	X	○
	Chair_Decimationed(a=2.0)	0.25646	74.35	X	○

7. 2	연구개발 목표	고용량 데이터의 유사도 측정 수행 속도 5초 이내		
	달성도	100%		
	연구개발 내용	GPU를 이용한 형태 기반 유사도 측정 기술의 최적화		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1	수행 속도 15.01.01~16.03.31	GPU로 프로그램의 최적화 및 병렬처리를 하여 알고리즘 수행 속도를 극대화 하며, 고용량 데이터에 대해 한번 유사도를 비교하는데 소요되는 시간을 측정	5초 이내	100%

- 위터마크 손실율

1초 이내 (0.86초, 시험질서 및 결과서 참조)



Data1	Data2	Elapsed Time (sec)
Armadillo	Armadillo_Decimationed(a=2.0)	0.666
	Armadillo_Decimationed(a=4.0)	0.833
	Armadillo_Smoothing	1.801
	Armadillo_Decimationed & Smoothing	0.999
	Armadillo_Scaling(s=0.5)	0.697
	Chair	1.643
	Chair_Decimationed(a=2.0)	0.745
	Chair_Scaling(s=0.5)	0.635
Chair	Airplane	1.632
	Airplane_Decimationed(a=2.0)	0.515
	Chair_Decimationed(a=2.0)	0.405
	Chair_Decimationed(a=4.0)	0.895
	Chair_Smoothing	1.67
	Chair_Decimationed & Smoothing	0.246
	Chair_Scaling(s=0.5)	0.284
	Airplane	1.229
Airplane	Airplane_Decimationed(a=2.0)	0.326
	Airplane_Scaling(s=0.5)	0.329
	Armadillo	1.944
	Armadillo_Decimationed(a=2.0)	0.364
	Airplane_Decimationed(a=2.0)	0.191
	Airplane_Decimationed(a=4.0)	0.212
	Airplane_Smoothing	1.228
	Airplane_Decimationed & Smoothing	0.155

[3차 연도]

[마일스톤 1]

1	연구개발 목표	출력물의 구조적 안정성을 위한 내·외부 보강 기술		
	달성을도	100 %		
	연구개발 내용			
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
1.1	안정성을 위한 내부 보강 구조 설계	분할 조각수 및 분할 조각의 인 장응력 측정값 (시험 절차서 및 결과서)	내부 보강구조와 보장구조가 없는 개별 분할영역의 외부응력이 기준 대비 90% 이상인지 시험 절차서 및 결과서로 확인	100 %
	16.06.01 ~ 16.11.30			
1.2	구조해석을 통한 내최적 보강기술	제작 시간 단축율 및 인장응력(시 험 절차서 및 결과서)	내·외부 보강구조의 3D 프린팅 기술과의 생산성(제작시간 50%이상 단축) 및 비용(재료 30%이상 절감)	100 %
	16.12.01 ~ 17.03.31			

[마일스톤 1. 1] 안정성을 위한 내부 보강 구조 설계

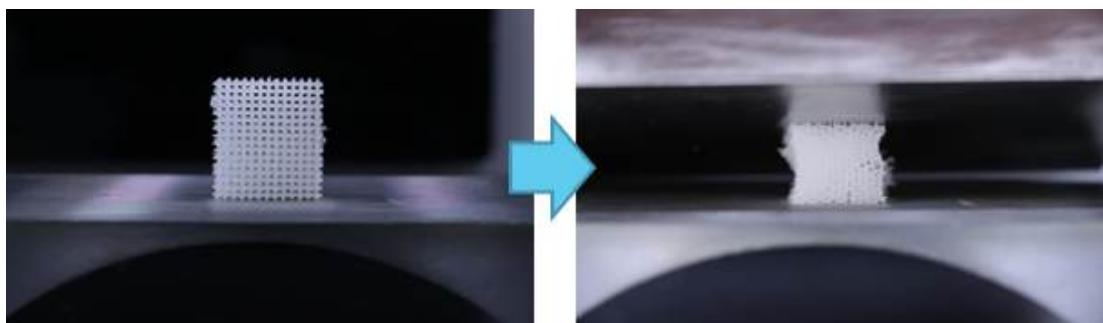


그림 1) Negative Poisson's Ratio 구조를 활용한 고강도/고충격 흡수 구조 평가 구조체 개발

FDM 방식을 사용하여 제작된 구조물의 충격 및 압축강도 향상을 위하여 압축/ 충격 강도 소산에 효율적인 Negative Poisson's 구조 개발 및 Poisson's Ratio 분석

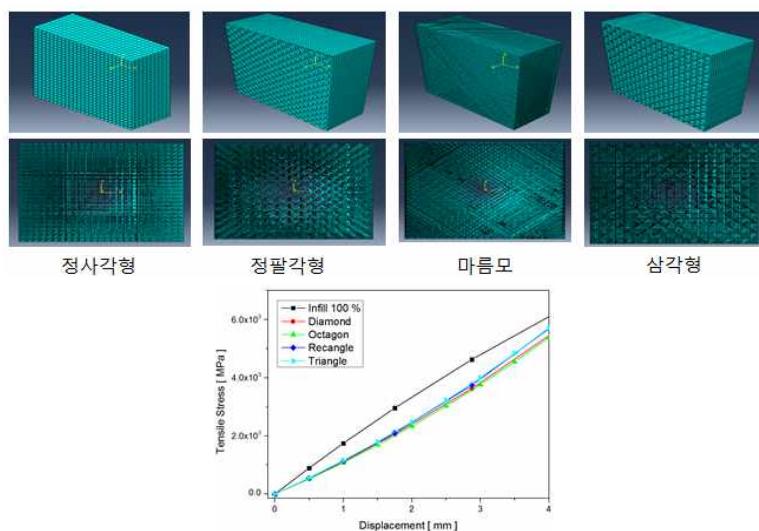


그림2) 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 내부 채움 형상에 의한 입장 강도 변화 분석

- 동일 구조체/ 채움 정도에서 인장강도 향상을 위하여, 내부 채움 형상을 정사각형/정팔각형/마름로/삼각형 형태로 변화시켜 상용해석 프로그램을 사용하여 인장실험을 수행함
- 수행 결과 기준에 가장 빈번하게 사용되는 $\pm 45^\circ$, 0° 90° 구조 대비 삼각형 구조가 인장 강도 향상에 유리한 것을 확인 함.

[마일스톤 1. 2] 제작 시간 단축을 및 인장응력

- 마일스톤 1-1에서 확인한 삼각형 구조물의 인장강도 상승을 확인하기 위하여 상용 해석 프로그램을 활용하여 정밀 분석 수행
- 삼각형 구조물을 제작하기 위한 방법으로 적층 방식을 상용 적층 방식인 $\pm 45^\circ$, 0° 90° 을 제외하고 0° 45° 90° 135° 방식을 채택
- 개선된 방식은 인장하중을 받을 경우 하중이 수직, 수평, $\pm 45^\circ$ 네가지 방향으로 분포가 되기 때문에 응력 집중이 상대적으로 저감되어 기존의 적층 방식에 비하여 하중에 강한 모습을 보이는 것이 확인 됨.
- 응력 분산의 효과로 인하여 개선된 구조물의 경우 기존의 $\pm 45^\circ$ 구조물에 비하여 구조 강도가 약 90 % 향상된 것을 확인 할 수 있음

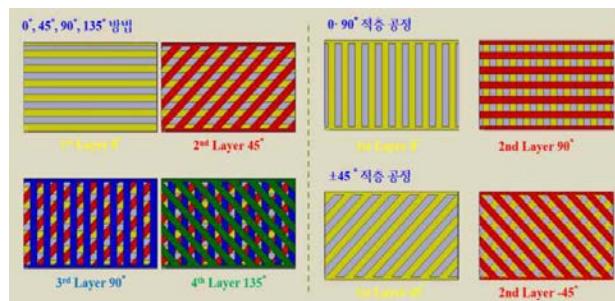


그림3) 개선된 적층 방식으로 설계된 구조물의 내부 형상

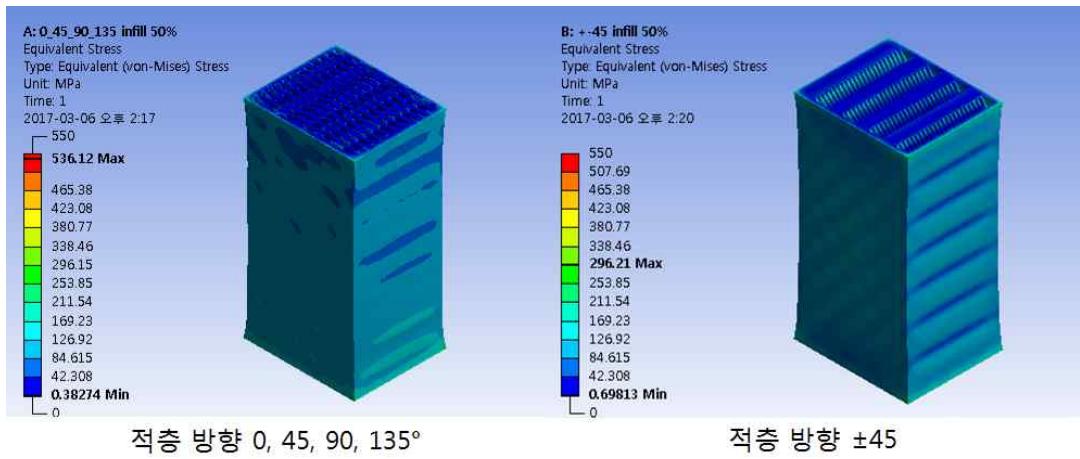
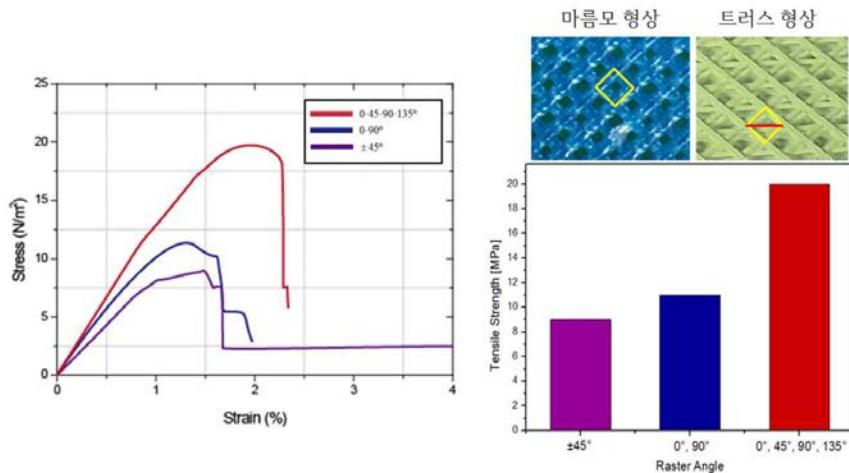


그림4) 적층 구조에 의한 2 mm 인장시 구조물이 받는 하중 변화

- 개선된 적층 방식은 기존의 방식과 비교하였을 때 각 레이어마다 중첩되는 영역이 넓기 때문에 인쇄 속도를 빠르게 할 수 있다. 따라서 $\pm 45^\circ$ 로 인쇄를 할 경우 구조물의 완성도를 높이기 위해서 최대 프린팅 속도를 40 mm/sec 이하로 제한해야 하는 방면에 개선된 방식의 경우 55 mm/sec의 속도로 인쇄가 가능하다.

- 개선된 적층 방식은 0도/90도와+45도/-45도의 이방향 적층 경로 인쇄 방식으로 제작된 삼차원 인쇄 구조체와 비교시 인장강도가 이방향 적층 경로 인쇄 방식에 의한 구조체 대비4방향 적층 경로 인쇄 방식에 의한 삼차원 인쇄 구조체의 인장강도가 80% 이상 향상됨을 알 수 있음



< 그림 5) 적층 방식에 따른 인장강도 실험 결과 >

[표1] 적층방식에 의한 프린팅 조건 변화

적층 방향	0° 45° 90° 135°	$\pm 45^\circ$	비교
내부 채움 밀도	50 %	80 %	-
인쇄 속도	55 mm/sec	40 mm/sec	-
인쇄 시간	50 minute	100 minute	100% 감소
재료 소모량	6 gram	8 gram	33% 감소
프린팅 조건	노즐 온도 220°C, 베드 온도 60°C, 노즐 직경 0.4 mm, 층간 높이 0.1 mm, 외곽선 개수 1		

한국고분자시험연구소 www.polymer.co.kr

연구 보고서

PLA 의 인장시험

최종기관 : 한국과학기술연구원

보고일자: 2017년 3월 21일

시험기관: 국립금속시험기관 한국고분자시험연구소(한국고분자시험연구소)

주의사항:
본 시험보고서는 츠트가기 적용한 시험을 이용한 축정결과입니다.
본 시험보고서는 사용 험로에 신경, 험속 및 험고, 험적수준을 통도로 사용할 수 있습니다.

주의사항: 본 시험보고서는 최종자가 적용한 시험을 이용한 축정결과입니다. 본 시험보고서는 신경 및 험고, 범위수준을 통도로 사용할 수 있습니다.
Kostr-1760796-5보고서는 한국과학기술연구원으로 부터 제작된 것입니다.

표 1-1. 시료명 및 시료사진

제작자가 제공한 시료명	시행에 사용한 시료명	시료사진
T1	Kostr-1760796-1	
T2	Kostr-1760796-2	
T3	Kostr-1760796-3	
T4	Kostr-1760796-4	
T5	Kostr-1760796-5	

Note) AI量測器 Kostr () / 55mm ()

표 1-2. 결과표

시료명	시험항목	단위	시험방법	시험결과
Kostr-1760796-1	인장강도	N/mm ²	ASTM D638 에準拠	11
Kostr-1760796-2	인장강도	N/mm ²	ASTM D638 에準拠	21
Kostr-1760796-3	인장강도	N/mm ²	ASTM D638 에準拠	25
Kostr-1760796-4	인장강도	N/mm ²	ASTM D638 에準拠	9
Kostr-1760796-5	인장강도	N/mm ²	ASTM D638 에準拠	20

Note) 인장시험 속도: 5 mm/min, 표선거리: 65 mm

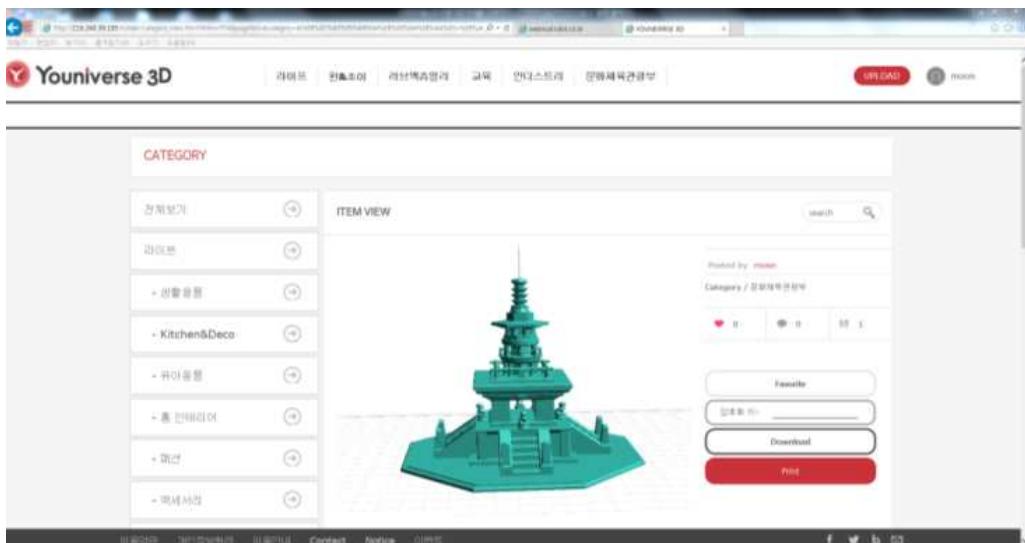
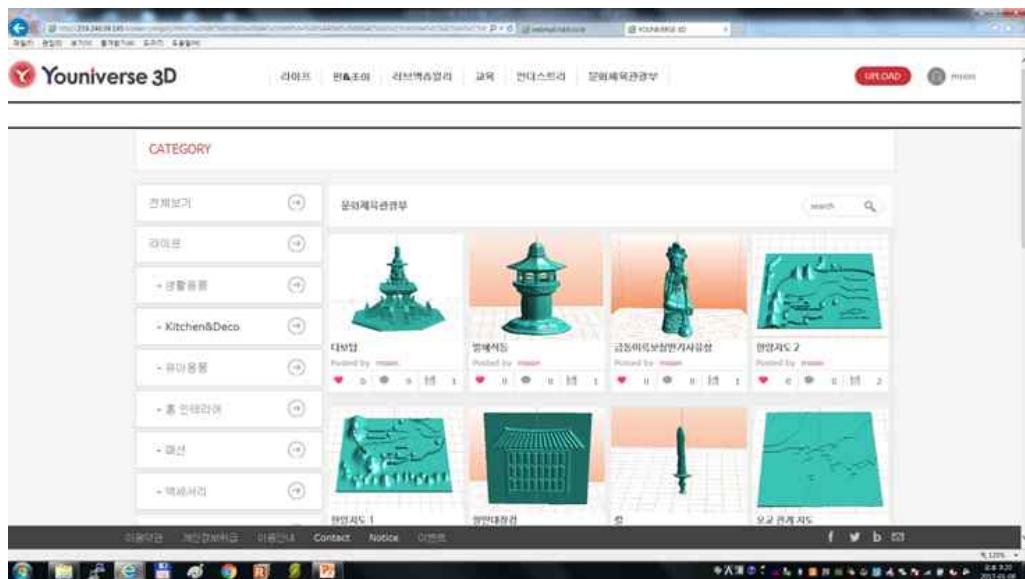
주의사항: 본 시험보고서는 최종자가 적용한 시험을 이용한 축정결과입니다. 본 시험보고서는 신경 및 험고, 범위수준을 통도로 사용할 수 있습니다.
Kostr-1760796-5보고서는 한국과학기술연구원으로 부터 제작된 것입니다.

3/11

[마일스톤 2]

2	연구개발 목표	3D 프린터용 전통문화재 활용 플랫폼 구축 (1)		
	달성도	100(%)		
	연구개발 내용	문화재 콘텐츠별 분류 및 3D 프린팅 활용방안 확정		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
2.1	웹사이트 온라인 서비스	3D 콘텐츠 디자인 대회 개최 후 시스템 오류 분석 주간 온라인서비스 이용자수 100명 이상 서비스만족도 80% 이상		90(%)
	16.04.01 ~ 16.07.31	만족도 설문 조사 결과 및 시스템 접속 로그 확인		

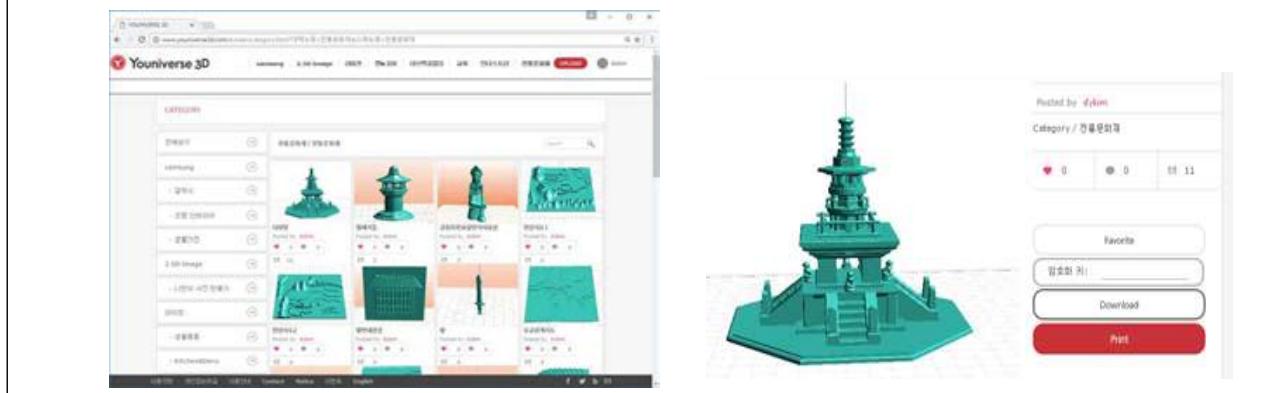
[마일스톤 3. 1] 웹기반 온라인 서비스 실시 여부



가입자 현황 : 372명 (2017년 3월 5일 현재)

2. 1	연구개발 목표	3D 프린터용 전통문화재 활용 플랫폼 구축 (2)		
	달성도	100%		
	연구개발 내용	웹 기반 온라인 서비스 실시		
마일스톤(결과물)/기간		점검 항목	목표(점검기준)	실적
1	온라인 서비스 실시 여부	웹호스트웨어 및 온라인 기반 3D 프린터 시제품 개발 여부	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 프린팅 웹 호스트웨어/웹사이트 기반 온라인 서비스 실시 및 해당 서비스용 3D 프린터 개발 온라인 기반 3D 프린팅용 하드웨어 개발 - 온라인 3D 프린팅 컨텐츠 데이터베이스 구축 (시험 절차서 및 결과서로 확인) 	<ul style="list-style-type: none"> - 웨기반, 앱기반 3D 프린팅 모델링 파일 다운로드 및 직접 프린팅 기술 적용 3D 프린터 시제품 1 - 온라인 서비스 이용자수 100명 이상 만족도 설문 조사 결과 - 시스템 접속 로그 확인
	2016.04.01~2017. 03.31			

- 안정적 웨호스트웨어 기반 3D 프린팅 컨텐츠 온라인 서비스 (전통문화재 데이터 무료 제공 서비스 개시, 암호화 기술 적용을 통한 저작권보호기술 적용)



- 본 과제에서 얻은 기술을 응용하여 2016년 신제품에 적용함

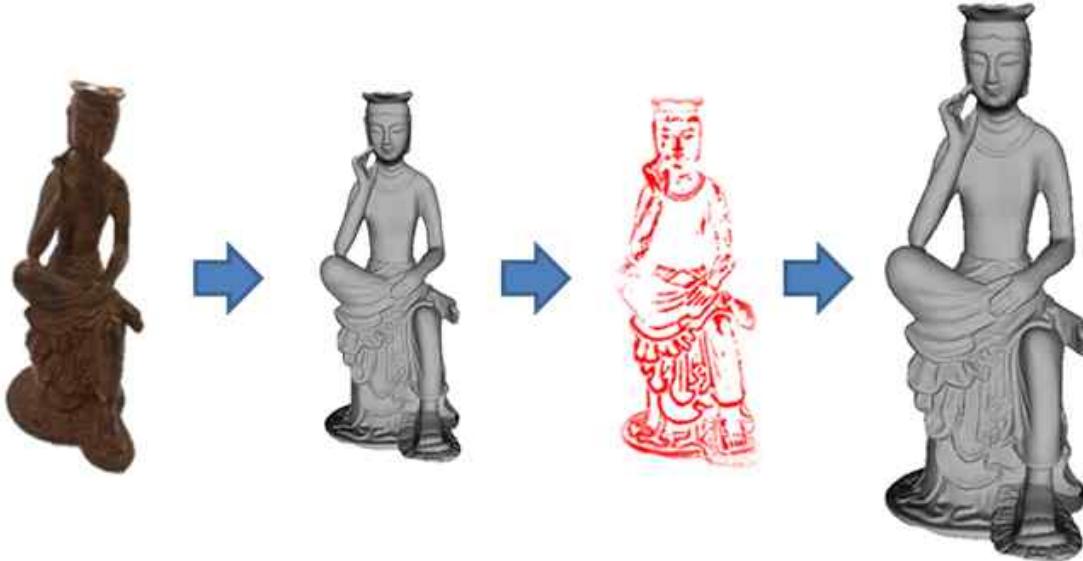
- 1) No 컴퓨터 : 3D프린터에서 컴퓨터없이 STL파일을 사이트에서 다운받는 기술(2016년 웹호스트웨어 기술 활용)
- 2) 원격출력기술 : 3D프린터에 안드로이드 O/S를 적용하여 WIFI를 통해 컨텐츠 사이트를 통해 원격으로 출력하는 기술(2015년 온라인 프린팅기술 활용) www.youniverse3d.com 사이트에 접속하여 전통문화재 및 3D파일을 원격으로 출력
- 3) 적용모델 : 당사 제품에 본과제 기반 개발 소프트웨어 기술 적용
 - 2014년 : 에디슨S, Multi, Pro, H700
 - 2016년 : Stealth 300, INVIVO
 - 2017년 : Stealth 450

개발 기술	적용 기술 내용	제품 이미지	
No 컴퓨터	<ul style="list-style-type: none"> - 3D프린터에서 컴퓨터없이 STL파일을 사이트에서 다운받는 기술(2016년 호스트웨어 웹프로그램 기술 활용) 	2014년 : 에디슨 S, Multi, Pro, H700 2016년 : Stealth 300, INVIVO	 <p>Stealth300</p>
웹기반 원격 출력 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 3D프린터에 안드로이드 O/S를 적용하여 WIFI를 통해 컨텐츠 사이트를 통해 원격으로 출력하는 기술(2015년 온라인 프린팅기술 활용) - www.youniverse3d.com 사이트에 접속하여 전통문화재 및 3D파일을 원격으로 출력 	2016년 : Stealth 300, INVIVO 2017년 : Stealth 450	 <p>INVIVO</p>

[마일스톤 3]

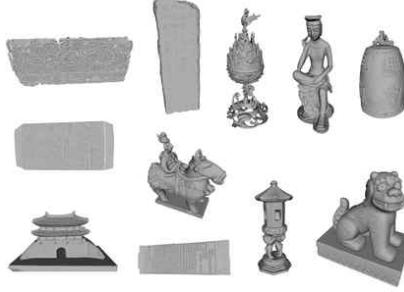
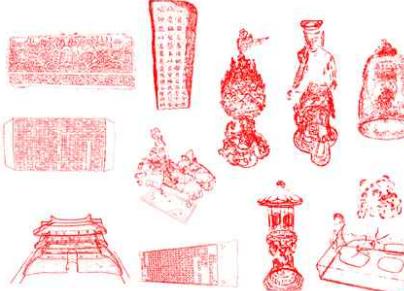
3	연구개발 목표	Point 100,000개 , 수행 속도 5초 이내, 오차범위 0.1mm이내, 특징점을 이용한 데시메이션 기술 개발		
	달성을도	100%		
	연구개발 내용	고정밀 3D 스캔 데이터 분석 기술		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
3.1	GPU를 이용한 형태 기반 데시메이션 프로그램	수행 속도/오차율 (시험절차·결과서)	대용량 데이터를 5초 이내, 오차 0.1mm 이내 정밀도 데시메이션	100%
	16.04.01 - 16.10.31			
3.2	대용량 데이터의 형태기반 유사도 측정 프로그램	수행 속도/오차율 (시험절차·결과서)	대용량 데이터 유사도 측정에 필요한 형태기반 유사도 측정 기술	100%
	16.08.01 - 17.03.31			

[마일스톤 3. 1] 데시메이션 프로그램

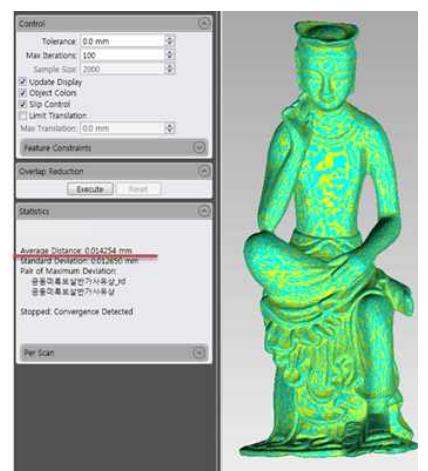


Data	original point number	feature point number	ratio (%)	elapsed time (sec)
쌍사자 석등	1107319	131210	11.84934	3.721117694
선덕대왕 신종	1942674	189541	9.75671	4.26512468
남대문	2054834	195561	9.51712	4.338166468
백제 금동 대향로	561916	60281	10.72776	3.365935715
미륵보살반가사유상	309084	32359	10.46932	3.20128431
광고	1836966	205005	11.15998	4.196284617
목판	2851073	310422	10.88790	4.8567
사택지적비	1006732	104583	10.38837	3.655612573
팔만대장경	985493	99769	10.12377	3.641781131
해태상	1609101	192982	11.99316	4.047892434
			10.54225	3.928989962

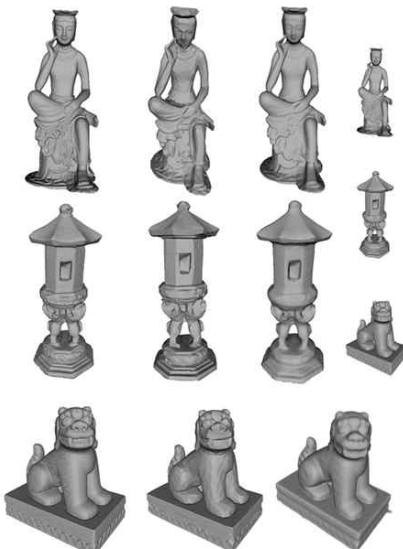
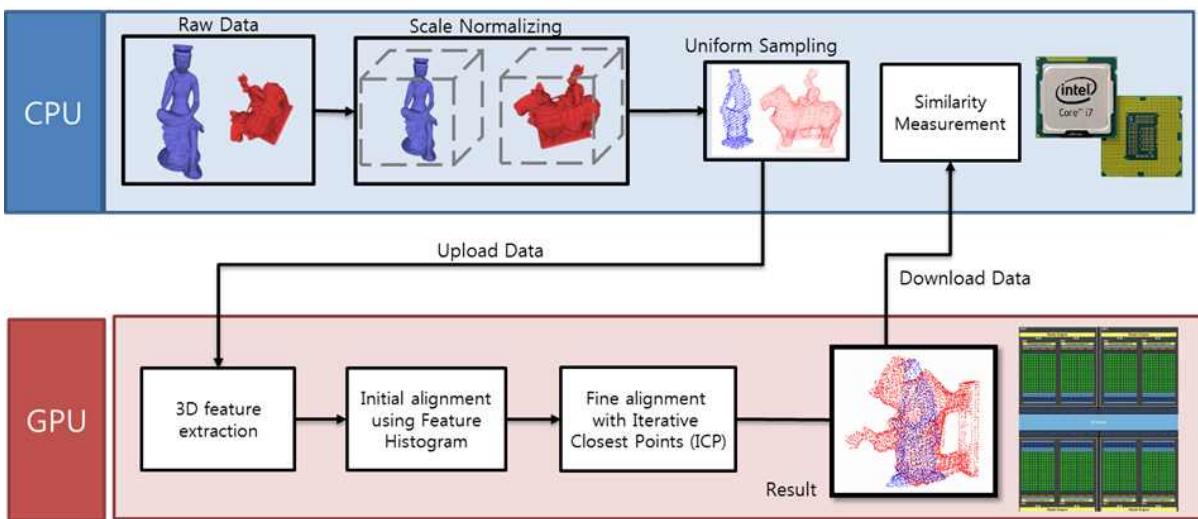
시험 절차 · 결과서

참여자	정석우, 송승현	일시	2016.04.01.~2016.10.31																																				
점검 항목	특징점을 이용한 데시메이션 알고리즘 수행 속도																																						
점검 기준	데시메이션 수행 속도가 5초 이내																																						
점검 방법	3D 메쉬 데이터에서 특징점을 추출하고 데시메이션을 적용하는데 소요되는 시간 총량을 측정함																																						
시험 절차	샘플 제조 방법 또는 프로그램 알고리즘	1. 실험에 사용할 문화재 3D 데이터들을 직접 스캔하여 획득. 2. 본 연구에서 개발한 Relative depth를 활용한 특징점 추출 기법으로 특징점을 추출함. 3. 추출된 특징점을 기반으로 데시메이션을 적용함. VS C++ 언어로 코드를 작성함.	샘플 또는 알고리즘 사진 																																				
	시험 방법 또는 프로그램 설명	11 가지 문화재 데이터에 대해 각각 소요 되는 데시메이션 시간을 측정하여 그 평균값을 구함	실험 또는 프로그램 시연사진 																																				
시험 결과	원본 데이터에 특징점을 추출하고 이를 이용해 데시메이션을 적용하는데 총 소요 시간은 데이터에 따라 3.6~4.89초로 측정되었음. 11회 실험을 통해 구한 알고리즘 평균 소요시간은 3.9 초로 목표를 초과 달성하였음		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Data</th> <th>Points</th> <th>Time(sec)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>쌍사자 석등</td><td>1107319</td><td>3.721118</td></tr> <tr><td>선덕대왕 신종</td><td>1942674</td><td>4.265125</td></tr> <tr><td>남대문</td><td>2054834</td><td>4.338166</td></tr> <tr><td>백제 금동 대향로</td><td>561916</td><td>3.365936</td></tr> <tr><td>미륵보살반가사유상</td><td>309084</td><td>3.201284</td></tr> <tr><td>광교</td><td>1836966</td><td>4.196285</td></tr> <tr><td>목판</td><td>2851073</td><td>4.8567</td></tr> <tr><td>사택지적비</td><td>1006732</td><td>3.655613</td></tr> <tr><td>팔만대장경</td><td>985493</td><td>3.641781</td></tr> <tr><td>해태상</td><td>1609101</td><td>4.047892</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>3.92899</td></tr> </tbody> </table>	Data	Points	Time(sec)	쌍사자 석등	1107319	3.721118	선덕대왕 신종	1942674	4.265125	남대문	2054834	4.338166	백제 금동 대향로	561916	3.365936	미륵보살반가사유상	309084	3.201284	광교	1836966	4.196285	목판	2851073	4.8567	사택지적비	1006732	3.655613	팔만대장경	985493	3.641781	해태상	1609101	4.047892			3.92899
Data	Points	Time(sec)																																					
쌍사자 석등	1107319	3.721118																																					
선덕대왕 신종	1942674	4.265125																																					
남대문	2054834	4.338166																																					
백제 금동 대향로	561916	3.365936																																					
미륵보살반가사유상	309084	3.201284																																					
광교	1836966	4.196285																																					
목판	2851073	4.8567																																					
사택지적비	1006732	3.655613																																					
팔만대장경	985493	3.641781																																					
해태상	1609101	4.047892																																					
		3.92899																																					

시험 절차 · 결과서

참여자	정석우, 송승현	일시	2016.10.01.~2016.12.31
점검 항목	특징점을 이용한 데시메이션 알고리즘의 정밀도		
점검 기준	데시메이션 결과와 원본 데이터의 평균 거리(오차)가 0.1mm 이내		
점검 방법	3D 메쉬 데이터에 데시메이션을 적용하고 그 결과를 원본 데이터와 비교하여 평균 거리를 측정함		
시험 절차	샘플 제조 방법 또는 프로그램 알고리즘	직접 스캔하여 획득한 미륵보살 반가사유상 모형 데이터를 실험 데이터로 활용함. 데이터의 스케일은 93.5 cm로 맞추었고, 309,084 개의 포인트로 이루어져 있음.	샘플 또는 알고리즘 사진 
	시험 방법 또는 프로그램 설명	데이터에서 특징점을 추출하고, 이를 이용한 원본 데이터를 1/10 정도로 간략화하는 데시메이션을 적용함. 원본 데이터와 데시메이션된 데이터를 상용 프로그램 Geomagic을 사용하여 평균 거리(오차) 값을 구함.	실험 또는 프로그램 시연사진 
시험 결과	특징점을 추출하고 이를 이용해 데시메이션을 적용한 데이터와 원본 데이터를 Geomagic으로 평균 오차를 측정함. 실험 결과 평균 오차는 0.014254mm로 목표를 초과 달성하였음		

[마일스톤 3. 2] 유사도 비교 분석 알고리즘



Data1	Data2	Elapsed Time (sec)	Alignment distance	Similarity (%)	Similar Object	Correct
방사자석등	방사자석등_Decomimated(a=2.0)	0.642	0.00965	98.5519	○	○
	방사자석등_Decomimated(a=4.0)	0.874	0.00358	99.4633	○	○
	방사자석등_Smoothing	0.942	0.00675	98.9875	○	○
	방사자석등_Decomimation & Smoothing	0.945	0.00194	99.709	○	○
	정사자석등_Scaling(s=0.5)	0.685	0.00018	99.973	○	○
	미륵보살반가사유상	0.984	0.64870	2.695	X	○
	미륵보살반가사유상_Decomimated(a=2.0)	0.704	0.35984	46.024	X	○
	미륵보살반가사유상_Scaling(s=0.5)	0.585	0.63378	4.933	X	○
	해태상	0.842	0.2498	66.253	X	○
	해태상_Decomimated(a=2.0)	0.502	0.28027	57.9595	X	○
	미륵보살반가사유상_Decomimated(a=2.0)	0.352	0.00198	99.703	○	○
	미륵보살반가사유상_Decomimated(a=4.0)	0.745	0.00030	99.9553	○	○
	미륵보살반가사유상_Smoothing	0.923	0.00126	99.8113	○	○
	반가사유상_Decomimation & Smoothing	0.238	0.00053	99.92095	○	○
	미륵보살반가사유상_Scaling(s=0.5)	0.275	0.00005	99.9925	○	○
	해태상	0.863	0.22850	65.725	X	○
	해태상_Decomimated(a=2.0)	0.319	0.20087	69.8695	X	○
	해태상_Scaling(s=0.5)	0.311	0.19055	71.4175	X	○
	해태상_Scaling(s=0.5)	0.105	0.00015	99.9775	○	○
	방사자석등	0.958	0.17845	73.2325	X	○
	방사자석등_Decomimated(a=2.0)	0.352	0.21257	68.1145	X	○
	해태상_Decomimated(a=2.0)	0.063	0.00355	99.4678	○	○
	해태상_Decomimated(a=4.0)	0.042	0.00158	99.76375	○	○
	해태상_Smoothing	0.895	0.00199	99.70225	○	○
	해태상_Decomimation & Smoothing	0.148	0.00038	99.9424	○	○
	정사자석등_Scaling(s=0.5)	0.105	0.00015	99.9775	○	○
	정사자석등	0.915	0.13885	79.1731555	X	○
	정사자석등_Decomimated(a=2.0)	0.368	0.19752	70.3714	X	○
	정사자석등_Scaling(s=0.5)	0.595	0.13985	79.021825	X	○
	미륵보살반가사유상	0.963	0.30455	54.3178	X	○
	미륵보살반가사유상_Decomimated(a=2.0)	0.338	0.26845	59.7325	X	○

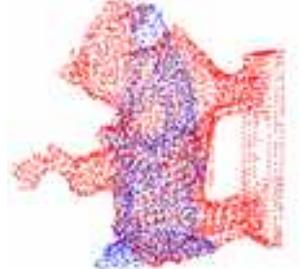
시험 절차 · 결과서

참여자	정석우, 송승현		일시	2016.10.01.~2017.01.31
점검항목	형태 기반 유사도 비교 분석 알고리즘 수행 속도			
점검기준	유사 모델 탐지 알고리즘 소요 시간이 1초 이내			
점검방법	원본 모델과 유사한 변형 모델을 탐지하기 위한 유사도 비교 실험을 10회 이상 수행하여 그 소요 시간을 측정			
시험 절차	샘플 제조 방법 또는	1. 실험에 사용할 문화재 Mesh 데이터들을 직접 스캔하여 획득함 2. 쌍사자석등, 미륵보살반가사	샘플 또는 알고리즘 사진	

프로그램 알고리즘	<p>유상, 해태상의 데이터들에 Scaling, Decimation, Smoothing, Transformation 등 임의의 변형을 준 데이터들을 각각 생성함</p> <p>3. 유사도 비교 분석 프로그램을 VS C++ 언어와 PCL 라이브러리를 토대로 작성함. 가속화를 위해 GPU 기반 코딩을 적용</p>																																																																																											
시험 방법 또는 프로그램 설명	<p>제안하는 알고리즘을 통해 원본 데이터와 변형 모델의 유사도를 측정함. 측정된 형태 기반 유사도 알고리즘의 소요 시간을 기록함. 여러 데이터에 대해 총 30회 적용하여 알고리즘 소요 시간의 평균값을 구함</p>	<p>실험 또는 프로그램 시연사진</p> <pre>maxdist is 2.144886 normalizing source point cloud 0.001000sec maxdist is 2.144886 normalizing target point cloud 0.001000sec Loaded 25273 datasets. Loaded 7782 datasets. leafsize : 0.04 Filtered 553 datasets. Filtered 527 datasets. ---Initial Alignment--- Initial Alignment 0.714000sec ---Fine tuning--- average distance : 0.013453 ICP 0.291000sec similarity rate : 98.654674 two objects are similar objects.</pre>																																																																																										
시험 결과	<p>원본 데이터에 스케일을 맞추어 준 후, Initial Alignment를 통해 방향을 정렬시키고, registration으로 정합하여 최종 fitness score로 similarity rate을 구하였음. 이때 알고리즘의 소요시간을 측정하여 기록하였음. 30번의 실험에서 알고리즘 소요 시간은 0.042~0.984 초로 측정되었음. 평균 소요시간은 0.582초로 목표를 초과 달성하였음.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Data1</th> <th>Data2</th> <th>Elapsed Time (sec)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>원시자석등</td> <td>원시자석등_Decimation(a=2.0)</td> <td>0.642</td> </tr> <tr> <td></td> <td>원시자석등_Decimation(a=4.0)</td> <td>0.874</td> </tr> <tr> <td></td> <td>원시자석등_Decimation & Smoothing</td> <td>0.945</td> </tr> <tr> <td></td> <td>원시자석등_Scaling(=0.5)</td> <td>0.665</td> </tr> <tr> <td></td> <td>미륵보살반가사유상</td> <td>0.984</td> </tr> <tr> <td></td> <td>미륵보살반가사유상_Decimation(a=2.0)</td> <td>0.704</td> </tr> <tr> <td></td> <td>미륵보살반가사유상_Scaling(a=0.5)</td> <td>0.585</td> </tr> <tr> <td></td> <td>해태상</td> <td>0.842</td> </tr> <tr> <td></td> <td>해태상_Decimation(a=2.0)</td> <td>0.502</td> </tr> <tr> <td></td> <td>미륵보살반가사유상_Decimation(a=4.0)</td> <td>0.352</td> </tr> <tr> <td></td> <td>미륵보살반가사유상_Decimation(a=4.0)</td> <td>0.745</td> </tr> <tr> <td></td> <td>원시자석등_Decimation & Smoothing</td> <td>0.92</td> </tr> <tr> <td></td> <td>원시자석등_Decimation & Smoothing</td> <td>0.28</td> </tr> <tr> <td></td> <td>미륵보살반가사유상_Decimation(a=0.5)</td> <td>0.275</td> </tr> <tr> <td></td> <td>해태상</td> <td>0.863</td> </tr> <tr> <td></td> <td>해태상_Decimation(a=2.0)</td> <td>0.319</td> </tr> <tr> <td></td> <td>해태상_Scaling(a=0.5)</td> <td>0.311</td> </tr> <tr> <td></td> <td>원시자석등</td> <td>0.958</td> </tr> <tr> <td></td> <td>원시자석등_Decimation(a=2.0)</td> <td>0.352</td> </tr> <tr> <td></td> <td>해태상_Decimation(a=2.0)</td> <td>0.063</td> </tr> <tr> <td></td> <td>해태상_Decimation(a=4.0)</td> <td>0.042</td> </tr> <tr> <td></td> <td>원시자석등_Decimation</td> <td>0.059</td> </tr> <tr> <td></td> <td>해태상_Decimation & Smoothing</td> <td>0.148</td> </tr> <tr> <td></td> <td>해태상_Scaling(a=0.5)</td> <td>0.105</td> </tr> <tr> <td></td> <td>원시자석등</td> <td>0.915</td> </tr> <tr> <td></td> <td>원시자석등_Decimation(a=2.0)</td> <td>0.368</td> </tr> <tr> <td></td> <td>원시자석등_Scaling(a=0.5)</td> <td>0.595</td> </tr> <tr> <td></td> <td>미륵보살반가사유상</td> <td>0.963</td> </tr> <tr> <td></td> <td>미륵보살반가사유상_Decimation(a=2.0)</td> <td>0.338</td> </tr> </tbody> </table>	Data1	Data2	Elapsed Time (sec)	원시자석등	원시자석등_Decimation(a=2.0)	0.642		원시자석등_Decimation(a=4.0)	0.874		원시자석등_Decimation & Smoothing	0.945		원시자석등_Scaling(=0.5)	0.665		미륵보살반가사유상	0.984		미륵보살반가사유상_Decimation(a=2.0)	0.704		미륵보살반가사유상_Scaling(a=0.5)	0.585		해태상	0.842		해태상_Decimation(a=2.0)	0.502		미륵보살반가사유상_Decimation(a=4.0)	0.352		미륵보살반가사유상_Decimation(a=4.0)	0.745		원시자석등_Decimation & Smoothing	0.92		원시자석등_Decimation & Smoothing	0.28		미륵보살반가사유상_Decimation(a=0.5)	0.275		해태상	0.863		해태상_Decimation(a=2.0)	0.319		해태상_Scaling(a=0.5)	0.311		원시자석등	0.958		원시자석등_Decimation(a=2.0)	0.352		해태상_Decimation(a=2.0)	0.063		해태상_Decimation(a=4.0)	0.042		원시자석등_Decimation	0.059		해태상_Decimation & Smoothing	0.148		해태상_Scaling(a=0.5)	0.105		원시자석등	0.915		원시자석등_Decimation(a=2.0)	0.368		원시자석등_Scaling(a=0.5)	0.595		미륵보살반가사유상	0.963		미륵보살반가사유상_Decimation(a=2.0)	0.338
Data1	Data2	Elapsed Time (sec)																																																																																										
원시자석등	원시자석등_Decimation(a=2.0)	0.642																																																																																										
	원시자석등_Decimation(a=4.0)	0.874																																																																																										
	원시자석등_Decimation & Smoothing	0.945																																																																																										
	원시자석등_Scaling(=0.5)	0.665																																																																																										
	미륵보살반가사유상	0.984																																																																																										
	미륵보살반가사유상_Decimation(a=2.0)	0.704																																																																																										
	미륵보살반가사유상_Scaling(a=0.5)	0.585																																																																																										
	해태상	0.842																																																																																										
	해태상_Decimation(a=2.0)	0.502																																																																																										
	미륵보살반가사유상_Decimation(a=4.0)	0.352																																																																																										
	미륵보살반가사유상_Decimation(a=4.0)	0.745																																																																																										
	원시자석등_Decimation & Smoothing	0.92																																																																																										
	원시자석등_Decimation & Smoothing	0.28																																																																																										
	미륵보살반가사유상_Decimation(a=0.5)	0.275																																																																																										
	해태상	0.863																																																																																										
	해태상_Decimation(a=2.0)	0.319																																																																																										
	해태상_Scaling(a=0.5)	0.311																																																																																										
	원시자석등	0.958																																																																																										
	원시자석등_Decimation(a=2.0)	0.352																																																																																										
	해태상_Decimation(a=2.0)	0.063																																																																																										
	해태상_Decimation(a=4.0)	0.042																																																																																										
	원시자석등_Decimation	0.059																																																																																										
	해태상_Decimation & Smoothing	0.148																																																																																										
	해태상_Scaling(a=0.5)	0.105																																																																																										
	원시자석등	0.915																																																																																										
	원시자석등_Decimation(a=2.0)	0.368																																																																																										
	원시자석등_Scaling(a=0.5)	0.595																																																																																										
	미륵보살반가사유상	0.963																																																																																										
	미륵보살반가사유상_Decimation(a=2.0)	0.338																																																																																										

시험 절차 · 결과서

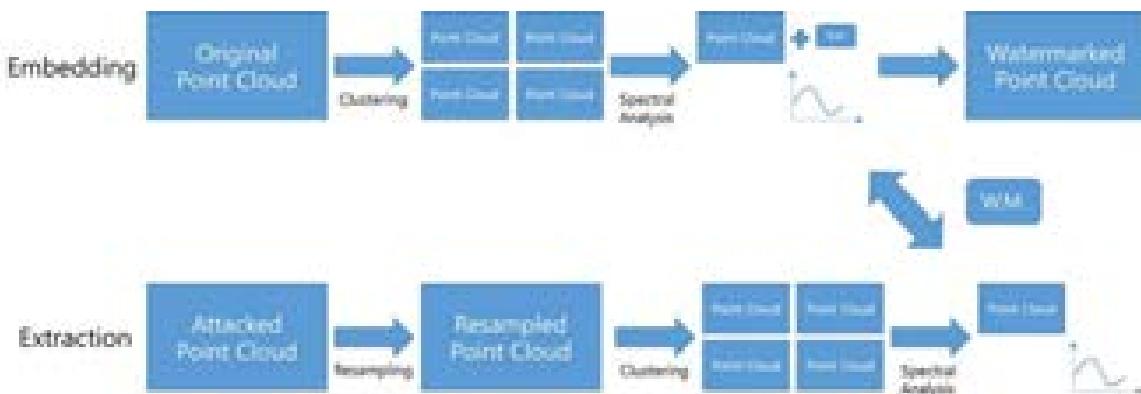
참여자	정석우, 송승현	일시	2016.08.01.~2016.12.31
점검 항목	형태 기반 유사도 비교 분석 알고리즘 탐지율		
점검 기준	유사 모델 탐지율 90% 이상		
점검 방법	원본 모델과 유사한 변형 모델을 탐지하기 위한 유사도 비교 실험을 10회 이상 수행하여 그 결과의 성공률을 측정		
시험 절차	샘플 제조 방법 또는 프로그램	<p>1. 실험에 사용할 문화재 Mesh 데이터들을 직접 스캔하여 획득함</p> <p>2. 쌍사자석등, 미륵보살반가사유상, 해태상의 데이터들에 Scaling, Decimation, Smoothing, Transfo</p>	샘플 또는 알고리즘 사진

	<p>그램 알고리즘</p> <p>rmatiion 등 임의의 변형을 준 데이터들을 각각 생성함</p> <p>3. 유사도 비교 분석 프로그램을 VS C++ 언어와 PCL 라이브러리를 토대로 작성함</p>																																																																																																																																																																					
<p>시험 방법 또는 프로그램 설명</p>	<p>제안하는 알고리즘을 통해 원본 데이터와 변형 모델의 유사도를 측정함. 측정된 형태 기반 유사도 알고리즘의 탐지 성공 여부를 기록함. 여러 데이터에 대해 총 30회 적용하여 유사 모델 탐지 성공의 평균비율을 구함</p>	<p>실험 또는 프로그램 시연사진</p> 																																																																																																																																																																				
<p>시험 결과</p>	<p>여러 가지 데이터들의 유사도를 비교 분석하였음. 원본 데이터와 매칭했을 때 변형 데이터들에 대해서는 유사 물체로 판별하였고, 다른 데이터들에 대해서는 유사하지 않은 물체임을 판별하였다. 30번의 실험에서 모든 데이터가 유사도를 제대로 판별하였음. 실험 결과 유사 모델 탐지율은 100%로 목표를 초과 달성하였음.</p>	<table border="1" data-bbox="960 1076 1372 1401"> <thead> <tr> <th>Data</th> <th>Data2</th> <th>Alignment Distance</th> <th>Similarity (%)</th> <th>Similar Object</th> <th>Correct</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">정사자석 비동</td> <td>정사자석을 Decimation(a=2.0)</td> <td>0.0000</td> <td>94.5118</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>정사자석을 Decimation(a=4.0)</td> <td>0.00158</td> <td>99.4633</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>정사자석을 Smoothing</td> <td>0.00675</td> <td>98.8675</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>정사자석을 Decimation & Smoothing</td> <td>0.00018</td> <td>99.8979</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>정사자석을 Scaling(s=0.5)</td> <td>0.00018</td> <td>99.873</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상</td> <td>0.64870</td> <td>2895</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상 Decimation(a=2.0)</td> <td>0.15984</td> <td>46.024</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상 Scaling(s=0.5)</td> <td>0.15984</td> <td>44.13</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해마상</td> <td>0.22485</td> <td>66.251</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해마상 Decimation(a=2.0)</td> <td>0.28027</td> <td>57.9995</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td rowspan="10">마루보살반가사유상</td> <td>마루보살반가사유상 Decimation(a=2.0)</td> <td>0.0000</td> <td>98.707</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상 Decimation(a=4.0)</td> <td>0.00030</td> <td>99.9553</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상 Smoothing</td> <td>0.00326</td> <td>99.8111</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상 Decimation & Smoothing</td> <td>0.00003</td> <td>99.6209</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상 Scaling(s=0.5)</td> <td>0.00003</td> <td>99.721</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상 Smoothing</td> <td>0.00003</td> <td>99.721</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상 Decimation(a=2.0)</td> <td>0.21850</td> <td>65.725</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상 Decimation(a=4.0)</td> <td>0.20087</td> <td>68.8899</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상 Smoothing</td> <td>0.19905</td> <td>73.5137</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상 Decimation & Smoothing</td> <td>0.17845</td> <td>71.7275</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td rowspan="10">해마상</td> <td>정사자석을 Decimation(a=2.0)</td> <td>0.21717</td> <td>68.1145</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>정사자석을 Decimation(a=4.0)</td> <td>0.00719</td> <td>98.4619</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>정사자석을 Smoothing</td> <td>0.00138</td> <td>79.5457</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>정사자석을 Decimation & Smoothing</td> <td>0.00019</td> <td>99.7027</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해마상 Smoothing</td> <td>0.00019</td> <td>99.9424</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해마상 Decimation(a=2.0)</td> <td>0.21850</td> <td>65.725</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해마상 Decimation(a=4.0)</td> <td>0.18882</td> <td>79.173155</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해마상 Smoothing</td> <td>0.18882</td> <td>79.173155</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해마상 Decimation & Smoothing</td> <td>0.18882</td> <td>79.173155</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상</td> <td>0.30455</td> <td>54.6178</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>마루보살반가사유상 Decimation(a=2.0)</td> <td>0.26645</td> <td>58.7325</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">100%</p>	Data	Data2	Alignment Distance	Similarity (%)	Similar Object	Correct	정사자석 비동	정사자석을 Decimation(a=2.0)	0.0000	94.5118	○	○	정사자석을 Decimation(a=4.0)	0.00158	99.4633	○	○	정사자석을 Smoothing	0.00675	98.8675	○	○	정사자석을 Decimation & Smoothing	0.00018	99.8979	○	○	정사자석을 Scaling(s=0.5)	0.00018	99.873	○	○	마루보살반가사유상	0.64870	2895	X	○	마루보살반가사유상 Decimation(a=2.0)	0.15984	46.024	X	○	마루보살반가사유상 Scaling(s=0.5)	0.15984	44.13	X	○	해마상	0.22485	66.251	X	○	해마상 Decimation(a=2.0)	0.28027	57.9995	X	○	마루보살반가사유상	마루보살반가사유상 Decimation(a=2.0)	0.0000	98.707	○	○	마루보살반가사유상 Decimation(a=4.0)	0.00030	99.9553	○	○	마루보살반가사유상 Smoothing	0.00326	99.8111	○	○	마루보살반가사유상 Decimation & Smoothing	0.00003	99.6209	○	○	마루보살반가사유상 Scaling(s=0.5)	0.00003	99.721	○	○	마루보살반가사유상 Smoothing	0.00003	99.721	○	○	마루보살반가사유상 Decimation(a=2.0)	0.21850	65.725	X	○	마루보살반가사유상 Decimation(a=4.0)	0.20087	68.8899	X	○	마루보살반가사유상 Smoothing	0.19905	73.5137	X	○	마루보살반가사유상 Decimation & Smoothing	0.17845	71.7275	X	○	해마상	정사자석을 Decimation(a=2.0)	0.21717	68.1145	X	○	정사자석을 Decimation(a=4.0)	0.00719	98.4619	○	○	정사자석을 Smoothing	0.00138	79.5457	X	○	정사자석을 Decimation & Smoothing	0.00019	99.7027	○	○	해마상 Smoothing	0.00019	99.9424	○	○	해마상 Decimation(a=2.0)	0.21850	65.725	X	○	해마상 Decimation(a=4.0)	0.18882	79.173155	X	○	해마상 Smoothing	0.18882	79.173155	X	○	해마상 Decimation & Smoothing	0.18882	79.173155	X	○	마루보살반가사유상	0.30455	54.6178	X	○	마루보살반가사유상 Decimation(a=2.0)	0.26645	58.7325	X	○
Data	Data2	Alignment Distance	Similarity (%)	Similar Object	Correct																																																																																																																																																																	
정사자석 비동	정사자석을 Decimation(a=2.0)	0.0000	94.5118	○	○																																																																																																																																																																	
	정사자석을 Decimation(a=4.0)	0.00158	99.4633	○	○																																																																																																																																																																	
	정사자석을 Smoothing	0.00675	98.8675	○	○																																																																																																																																																																	
	정사자석을 Decimation & Smoothing	0.00018	99.8979	○	○																																																																																																																																																																	
	정사자석을 Scaling(s=0.5)	0.00018	99.873	○	○																																																																																																																																																																	
	마루보살반가사유상	0.64870	2895	X	○																																																																																																																																																																	
	마루보살반가사유상 Decimation(a=2.0)	0.15984	46.024	X	○																																																																																																																																																																	
	마루보살반가사유상 Scaling(s=0.5)	0.15984	44.13	X	○																																																																																																																																																																	
	해마상	0.22485	66.251	X	○																																																																																																																																																																	
	해마상 Decimation(a=2.0)	0.28027	57.9995	X	○																																																																																																																																																																	
마루보살반가사유상	마루보살반가사유상 Decimation(a=2.0)	0.0000	98.707	○	○																																																																																																																																																																	
	마루보살반가사유상 Decimation(a=4.0)	0.00030	99.9553	○	○																																																																																																																																																																	
	마루보살반가사유상 Smoothing	0.00326	99.8111	○	○																																																																																																																																																																	
	마루보살반가사유상 Decimation & Smoothing	0.00003	99.6209	○	○																																																																																																																																																																	
	마루보살반가사유상 Scaling(s=0.5)	0.00003	99.721	○	○																																																																																																																																																																	
	마루보살반가사유상 Smoothing	0.00003	99.721	○	○																																																																																																																																																																	
	마루보살반가사유상 Decimation(a=2.0)	0.21850	65.725	X	○																																																																																																																																																																	
	마루보살반가사유상 Decimation(a=4.0)	0.20087	68.8899	X	○																																																																																																																																																																	
	마루보살반가사유상 Smoothing	0.19905	73.5137	X	○																																																																																																																																																																	
	마루보살반가사유상 Decimation & Smoothing	0.17845	71.7275	X	○																																																																																																																																																																	
해마상	정사자석을 Decimation(a=2.0)	0.21717	68.1145	X	○																																																																																																																																																																	
	정사자석을 Decimation(a=4.0)	0.00719	98.4619	○	○																																																																																																																																																																	
	정사자석을 Smoothing	0.00138	79.5457	X	○																																																																																																																																																																	
	정사자석을 Decimation & Smoothing	0.00019	99.7027	○	○																																																																																																																																																																	
	해마상 Smoothing	0.00019	99.9424	○	○																																																																																																																																																																	
	해마상 Decimation(a=2.0)	0.21850	65.725	X	○																																																																																																																																																																	
	해마상 Decimation(a=4.0)	0.18882	79.173155	X	○																																																																																																																																																																	
	해마상 Smoothing	0.18882	79.173155	X	○																																																																																																																																																																	
	해마상 Decimation & Smoothing	0.18882	79.173155	X	○																																																																																																																																																																	
	마루보살반가사유상	0.30455	54.6178	X	○																																																																																																																																																																	
마루보살반가사유상 Decimation(a=2.0)	0.26645	58.7325	X	○																																																																																																																																																																		

[마일스톤 4]

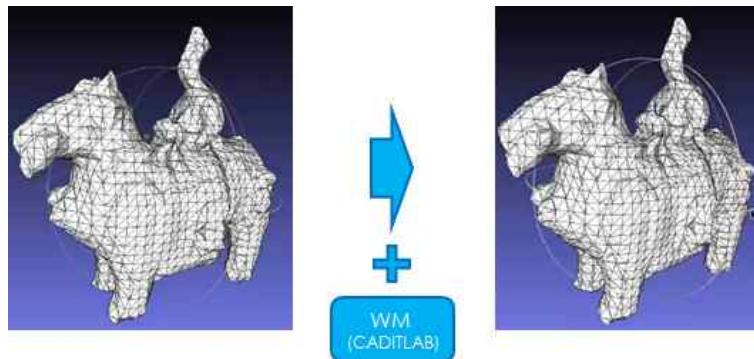
	연구개발 목표	프린트-스캔 공격에 강인한 워터마킹 기술 개발		
4	달성을도	90%		
	연구개발 내용	프린트-스캔 공격에 강인한 워터마킹 기술의 개발		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
4.1	프로토타입 모듈의 검증, 검정	곡면의 의미기반 유사도 검정 결과가 MRMS 1.5% 미만, MSDM 0.5 미만	임의의 점군 데이터에 대해 곡면 재생성 이후 유사도 검정 결과가 MRMS 1.5% 미만, MSDM 0.5 미만인지 시험 절차서 및 결과서로 확인	100%
	16.04.01 – 16.11.31			
4.2	탐지율 (시험 절차서 및 결과서)	3D 프린트-스캔 공격을 포함한 각종 복합 공격에 대해 탐지율 90%(프린트-스캔 공격의 경우 80%) 이상	임의의 3D 데이터의 곡면에 워터마킹 이후 프린트-스캔 공격을 포함한 각종 복합 공격을 수행한 뒤, 해당 공격들에 대해 강인함을 지니는지 여부 검사 (시험 절차서 및 결과서로 확인)	90%
	16.12.01 – 17.03.31			

[마일스톤 4.1] 곡면 재생성 기술 개발



- 곡면 재생성 기반 워터마킹의 한계로 개발방향을 변경하여 point resampling 기반의 워터마킹 모듈 완성

[마일스톤 4.2] 프린트-스캔 공격에 대해 강인한 워터마킹 기술 개발



- 각종 공격 수행 결과 탐지율 기준 만족 확인 [프린트-스캔 공격 미확인]

[마일스톤 5]

5	연구개발 목표	전통결구법을 적용한 K-Lego 기술 제작		
	달성도	100%		
	연구개발 내용	전통결구법을 적용하여 결구 생성 및 분할이 가능한 프로그램 개발		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
5.1	Siouter3D	문화재 3D Mesh 분할, 출력 및 결합	소형 문화재 10조각 이상 분할 (15cm 미만)	100%
	2017.1.27. 개발 완료		대형 문화재 20조각 이상 분할 (15cm 이상)	

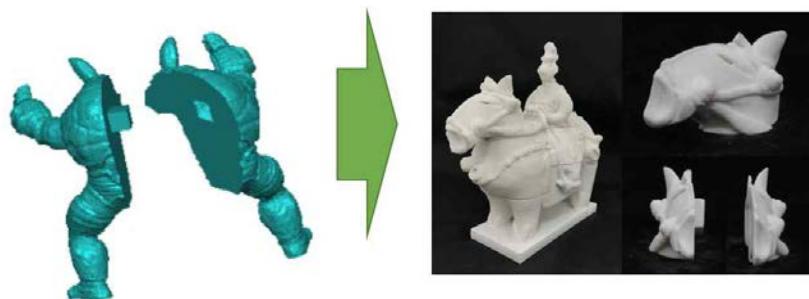
[마일스톤 5. 1] 문화재 3D Mesh 분할, 출력 및 결합

5.1.1 기존 3D Mesh 소프트웨어의 특징

이름	목적	장점	단점
FreeCAD	obj, stl 파일 조작을 위한 CAD Program으로서 사용된다.	새로운 파일을 형성하여 조합가능, 창조적 작업에 다양한 기능제공	기존의 파일을 수정하는 기능 제약, 결구형성을 위한 조각 기법 사용 불가능
SketchUp	3D model을 수정 및 수리를 위한 기초 작업을 지원한다.	쉽고 간편한 인터페이스를 지원하여 일반 유저의 편의를 제공	새로운 object를 형성할 수 없음. 결구를 형성하기 위한 기본적인 기능 제약
Blender	3D Mesh 전문 CAD Program으로 상세한 모델링을 지원한다.	다양한 형태의 새로운 object를 지원한다.	전문 CAD 프로그램으로서 computing power 소모가 많음
3D Builder	3D Print를 위한 기본적인 모델링을 지원한다.	Windows 기본 프로그램, 다양한 포맷을 지원, 3D print에 적합한 기능 지원	stl 파일의 결구형성을 지원하지만 오류, computing power 소모가 많음.
3D Printer Embedded Softwares	3D Printer와 직접 연계되어 기초적인 Mesh 수정을 지원	3D Printer와 직접 연계되어 출력 시 발생할 수 있는 오류를 최소화	3D mesh를 추가하는 작업 및 자르기 등 기초적인 작업을 복합적으로 수행할 수 없음.

- CAD 용이 아닌 3D Print 전문 프로그램의 필요
- 문화재 스캔 파일의 기본 포맷인 stl, obj 파일 자르기 기능 요구
- 결합을 위한 결구를 삽입할 수 있는 기능 요구
- Computing Power가 적고 가벼운 작업을 빠른 시간에 수행할 수 있도록 설계

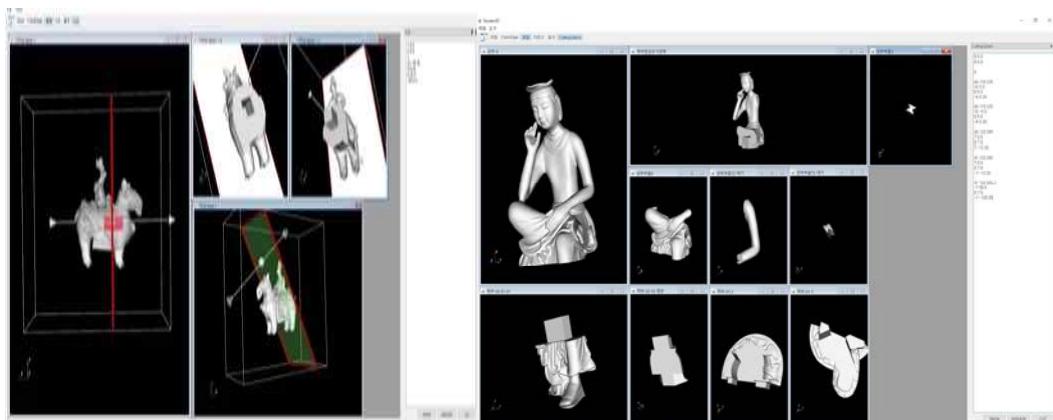
5.1.2 1차 프로그램 개발 후 호환성 및 사용성 개선



<3DPaint 프로그램으로 1회
분할(좌) - Slouter3D 프로그램으로 20회
분할(우)>

3DPaint(2015) 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> - obj 파일 분할 알고리즘 개발 - obj 파일에 한해서 1회 분할 가능
Siouter3D(2016) 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> - obj 파일 및 표준 stl 파일 2회 이상 분할 가능 - 분할 및 결구 생성 가능 - 3D 시각화를 지원하는 Windows Application - 다차례 분할 시 분할 과정 시각화 가능

5.1.3 Siouter3D 프로그램 개발



< Siouter3D 프로그램의 결구 생성 및 분할(좌) - 단계별 설계 과정 시각화(우) >



장부맞춤

십자쌍장부맞춤

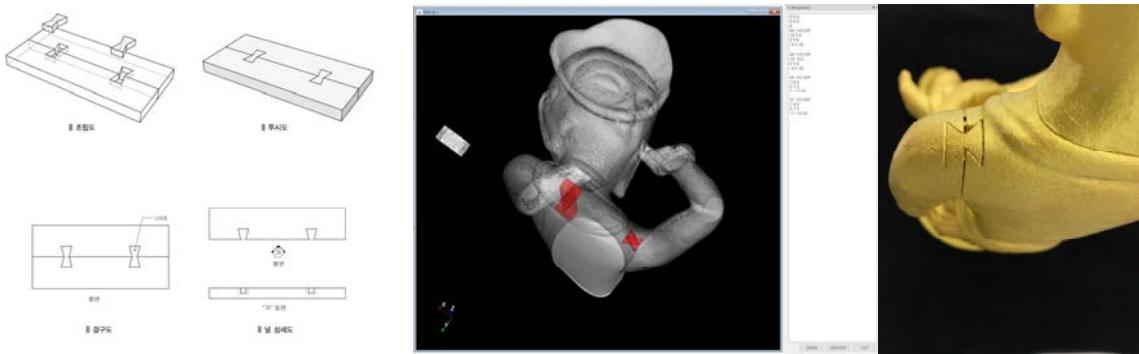
턱술장부맞춤

siOuter 3D 응용 사례



<결구의 다양한 형상을 지원하도록 설계(전통 목조건축 결구법 중 81% 지원)>

5.1.4 (중대형 문화컨텐츠) 금동반가사유상 설계 및 출력



<나비장 쪽매 결구법 응용 사례>

다양한 결구 사용의 이점

- 구조적 안정성을 보완하기 위한 목적
- 결합 후 심미적 아름다움을 위한 목적
- 3D 출력 시 재원의 효율적인 사용을 위한 목적

추후 고려 사항

- 문화재에 대한 분할작업 기술이 수직 수평에서 벗어나, 유물에 대한 특성을 최대한 숙지하고 분할하여야 함
- 추후 연구를 통해 3D 프린팅 구조안정성과 접합난이도에 대한 최적화 알고리즘 연구가 필요함

[마일스톤 6]

연구개발 목표		전통소재를 활용한 텍스쳐 재현기술		
6	달성도	100 %		
	연구개발 내용	전통소재를 활용한 텍스쳐 재현기술 개발		
마일스톤(결과물)/기간		점검항목	목표(점검기준)	실적
6.1	전통 소재를 활용한 친환경 3D 프린팅 소재 개발 16.04.01 - 16.11.30	탐지를 (시험 절차서 및 결과서)	전통소재가 함유된 3D 프린터용 소재 3군 6종 이상 개발 여부	100 %
	전통 소재를 활용한 텍스쳐 재현 기술 개발 16.08.01 - 17.03.31	탐지를 (시험 절차서 및 결과서)	마일스톤 6.1에서 개발 된 소재를 이용하여, 표면질감(텍스쳐)을 구현하는 능력이 기준 기술 대비하여 우수한 한지 여부 파악	100 %

[마일스톤 6. 1] 전통 소재를 활용한 친환경 3D 프린팅 소재 개발

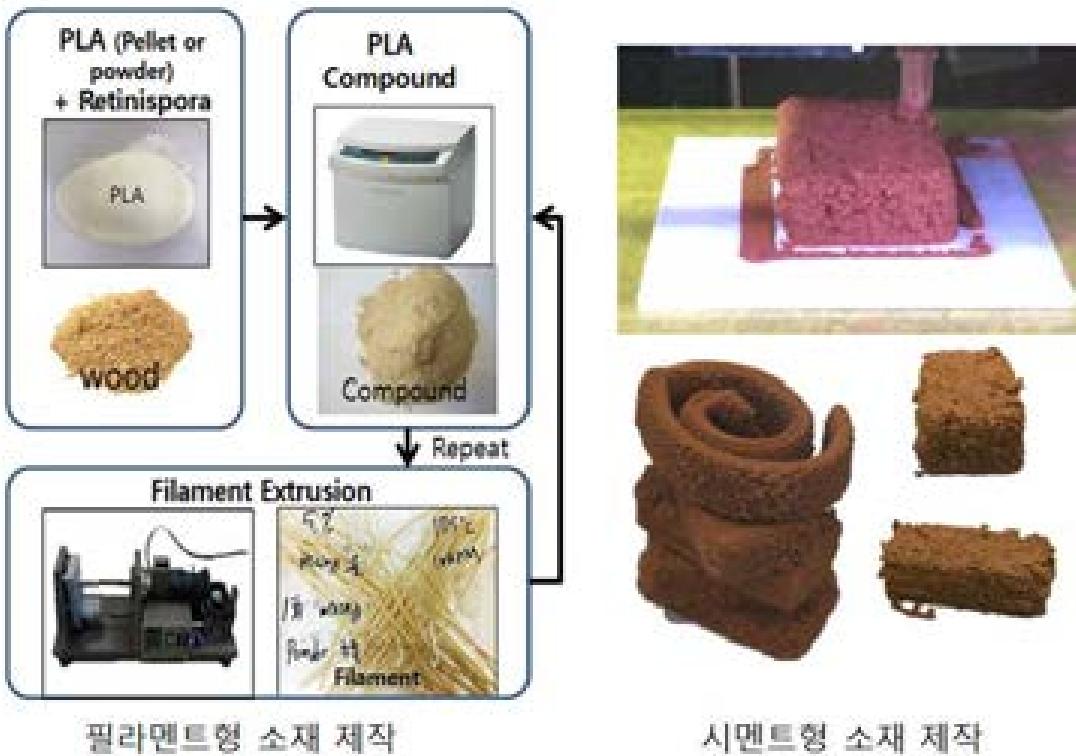


그림 1) 3D 프린터용 전통소재 개발 방법 및 형상

3D 프린팅이 가능한 형태이며 전통소재가 함유된 친환경 3D 프린팅 소재 개발

- 자연 소재인 편백나무, 편백나무 잎, 쑥, 석고, 계피가 각각 함유된 PLA 기반 필라멘트를 개발하였으며, Screw Extruder 방식 프린터에 사용가능 한 흙 기판 소재 개발 완료

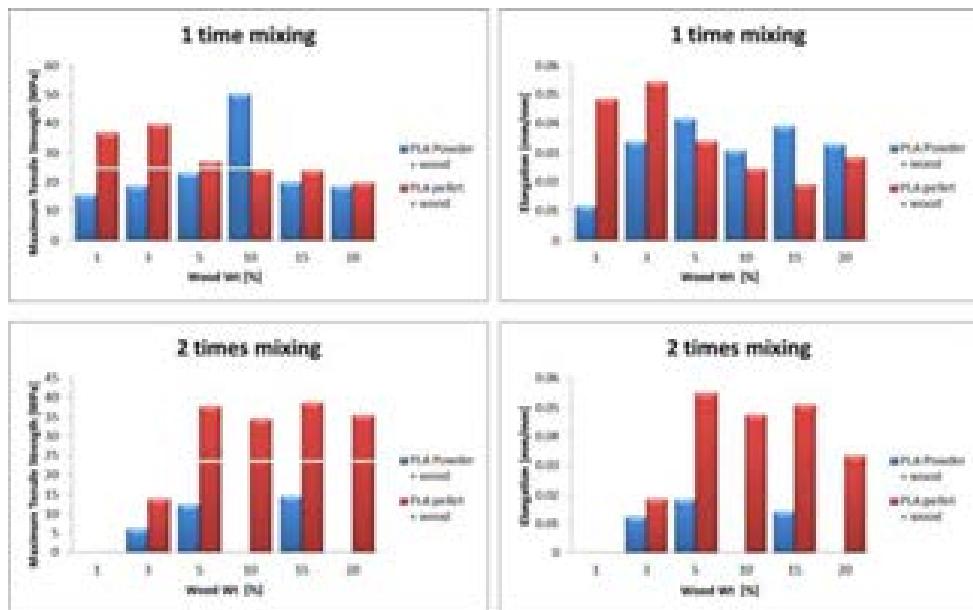


그림2) 편백나무 PLA 필라멘트의 가공 횟수에 의한 강도 변화

- 제작된 천연소재 필라멘트의 사용 가능성 분석을 위하여 일축 인장 실험을 수행 하였음
- 편백 나무 소재가 함유된 PLA의 경우 일반적인 PLA 소재와 유사한 인장 강도를 갖지만, 편백 나무의 함량을 상승 시키기 위하여 다회 믹싱을 수행할 경우, 압출과정에서 발생하는 열과 소모되는 시간으로 인하여 나무 소재가 탄화 되며, PLA 소재 자체가 약해지는 경향을 보이며, 이로인하여 최대인장강도

가 감소하는 것을 확인 할 수 있음

[마일스톤 6. 2] 전통 소재를 활용한 텍스쳐 재현 기술 개발

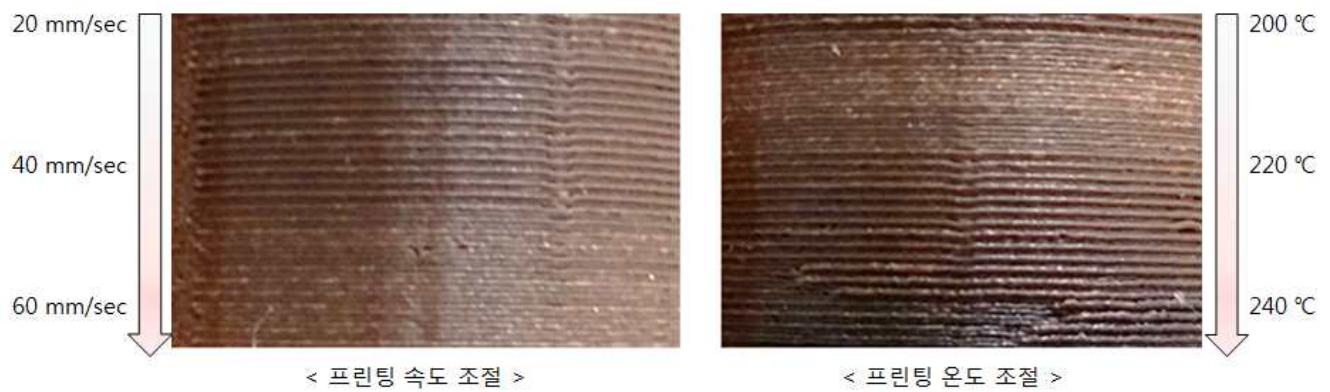


그림3) 프린팅 조건에 의한 표면 질감 변화

- 나무 소재가 함유된 필라멘트를 사용하여 목재 구조를 프린팅 할 경우 3D 프린팅 속도와 온도를 조절하여 실제 나무와 유사한 질감을 같도록 프린팅 조건과 질감의 상관관계 분석
- 나무 소재의 온도에 의한 탄화를 이용하여 프린팅 속도가 빠를수록 표면의 거칠기가 감소하고, 색감이 밝아지는 것을 확인 하였고, 온도가 높아질수록 표면 거칠기가 불균일해지며, 그을린 색감을 갖는 것을 확인하였음.

실험기기 : KMM 흡착기계연구원		실험일자 : 2017. 1. 3.																																																								
시험성적서																																																										
KMM 흡착기계연구원		제작일자 : 2017. 1. 3.																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">1</td> <td style="width: 30%;">시험항</td> <td colspan="2">표면 및 표면 평도 측정</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>표면자형 및 주소</td> <td colspan="2">표면형 [02792] 서울특별시 성북구 동물원14길 5 한국과학기술연구원 개선교학연구센터 (0277)</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>표면자형 및 주소</td> <td colspan="2">표면형 및 표면구조 [02792] 서울특별시 성북구 동물원14길 5 한국과학기술연구원</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">4</td> <td rowspan="2">시험장</td> <td>① 표면모양측정</td> <td>표면상태 구조물구조</td> </tr> <tr> <td>② 시험</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>시험방법</td> <td colspan="2">시료: 표본판 표면 표정</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>시험일자</td> <td colspan="2">2017. 1. 3. ~ 2017. 1. 6.</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>시험환경</td> <td colspan="2">온도: 25 ± 10°C, 습도: 50 ± 30%</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>시험설명</td> <td colspan="2"> 표면 및 표면 평도 측정 방법: 표면 형상 및 표면 평도 측정 - 표면 평도 측정: 표면 평도 측정(특성) 25mm, 측정수 10회, 평균 5.000 μm - 표면 평도 측정: 표면 평도 측정(특성) 25mm, 측정수 10회, 평균 5.000 μm - 표면 평도 측정(표면 평도): 표면 평도 측정 25mm, 평균 평균 5.000 μm, 평균 표면 평도 5.000 μm </td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>설명서 번호</td> <td colspan="2">KMM-16-1312</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>설명서 평도</td> <td colspan="2">표면 평도 측정</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>기록사항</td> <td colspan="2">-</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">12</td> <td>표면 및 보고 :</td> <td colspan="2">표면 및 측정 :</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">체결일자 : 2017. 1. 3.</td> <td colspan="2">체결일자 : 2017. 1. 3.</td> </tr> </table>			1	시험항	표면 및 표면 평도 측정		2	표면자형 및 주소	표면형 [02792] 서울특별시 성북구 동물원14길 5 한국과학기술연구원 개선교학연구센터 (0277)		3	표면자형 및 주소	표면형 및 표면구조 [02792] 서울특별시 성북구 동물원14길 5 한국과학기술연구원		4	시험장	① 표면모양측정	표면상태 구조물구조	② 시험	-	5	시험방법	시료: 표본판 표면 표정		6	시험일자	2017. 1. 3. ~ 2017. 1. 6.		7	시험환경	온도: 25 ± 10°C, 습도: 50 ± 30%		8	시험설명	표면 및 표면 평도 측정 방법: 표면 형상 및 표면 평도 측정 - 표면 평도 측정: 표면 평도 측정(특성) 25mm, 측정수 10회, 평균 5.000 μm - 표면 평도 측정: 표면 평도 측정(특성) 25mm, 측정수 10회, 평균 5.000 μm - 표면 평도 측정(표면 평도): 표면 평도 측정 25mm, 평균 평균 5.000 μm, 평균 표면 평도 5.000 μm		9	설명서 번호	KMM-16-1312		10	설명서 평도	표면 평도 측정		11	기록사항	-		12	표면 및 보고 :	표면 및 측정 :				체결일자 : 2017. 1. 3.		체결일자 : 2017. 1. 3.	
1	시험항	표면 및 표면 평도 측정																																																								
2	표면자형 및 주소	표면형 [02792] 서울특별시 성북구 동물원14길 5 한국과학기술연구원 개선교학연구센터 (0277)																																																								
3	표면자형 및 주소	표면형 및 표면구조 [02792] 서울특별시 성북구 동물원14길 5 한국과학기술연구원																																																								
4	시험장	① 표면모양측정	표면상태 구조물구조																																																							
		② 시험	-																																																							
5	시험방법	시료: 표본판 표면 표정																																																								
6	시험일자	2017. 1. 3. ~ 2017. 1. 6.																																																								
7	시험환경	온도: 25 ± 10°C, 습도: 50 ± 30%																																																								
8	시험설명	표면 및 표면 평도 측정 방법: 표면 형상 및 표면 평도 측정 - 표면 평도 측정: 표면 평도 측정(특성) 25mm, 측정수 10회, 평균 5.000 μm - 표면 평도 측정: 표면 평도 측정(특성) 25mm, 측정수 10회, 평균 5.000 μm - 표면 평도 측정(표면 평도): 표면 평도 측정 25mm, 평균 평균 5.000 μm, 평균 표면 평도 5.000 μm																																																								
9	설명서 번호	KMM-16-1312																																																								
10	설명서 평도	표면 평도 측정																																																								
11	기록사항	-																																																								
12	표면 및 보고 :	표면 및 측정 :																																																								
체결일자 : 2017. 1. 3.		체결일자 : 2017. 1. 3.																																																								

2017. 1. 3.

한국기계연구원

그림4) 특정 프린팅 조건에서 표면 평균 5 μm 시험성적서

연 구 보 고 서

천연분말의 입도분석, 나무 필라멘트 시편의 인장시험

의뢰기관 : 한국과학기술연구원

보고일자: 2016년 12월 12일



시험기관: 국제공인시험기관 한국고분자시험연구소(주)

주의사항)

본 시험보고서는 의뢰자가 제공한 시료를 이용한 측정결과입니다.

본 시험보고서는 사전협의 없이 선전, 방송 및 광고, 법적소송의 용도로 사용할 수 없습니다.

Koptri
Korea Polymer Testing & Research Institute

한국고분자시험연구소 www.polymer.co.kr

1. 시험시료 (10 개)

- (1) 시료이름: 아래 표 참조
- (2) 의뢰기관: 한국과학기술연구원 조원진 님 (wjj@Kist.re.kr)
- (3) 시료형상: Powder, Plate
- (4) 화학구조: Unknown

의뢰자가 제공한 시료명	시험에 사용한 시료명	시료사진
PLA	Koptri-1669393-1	
석회	Koptri-1669393-2	
TIO ₂	Koptri-1669393-3	
황토	Koptri-1669393-4	
거른황토	Koptri-1669393-5	
편백나무	Koptri-1669393-6	
PLA 웰릿 97 % + 편백나무 3%	Koptri-1669393-7	
PLA 웰릿 95 % + 편백나무 5%	Koptri-1669393-8	

(계속)

주의사항) 본 시험보고서는 의뢰자가 제공한 시료를 이용한 촉질결과입니다. 본 시험보고서는 사전협의 없이 넘겨, 반송 및 갖고, 널리 소송의 용도로 사용할 수 없습니다.

2/17

Koptri-1669393_보고서_한국과학기술연구원_조원진 님_현연분말의 일도분석, 나무 물화인트 시료의 인증시험

그림 5) 전통소재를 이용한 3D 프린팅 소재 개발

3.4. 연구 개발 성과

논문 게재 성과

○ 국내외 논문 게재(학술지)

번호	수행기관명	논문명	학술지명	호	주저자명	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일
1	한국과학기술연구원	4D Printing Technology: A Review	3D Printing and Additive Manufacturing	2	Jin Choi	SCI	15, 12
2	한국과학기술연구원	Nanostructures formed on carbon-based materials with different levels of crystallinity using oxygen plasma treatment	Thin Solid Films	590	Tae-Jun Ko	SCI	15, 09, 01
3	한국과학기술연구원	Introduction of 3D Printing Technology in the Classroom for Visually Impaired Students	Journal of Visual Impairment & Blindness	100	Won-Jin Jo	SCI	16, 04, 01
4	서울대학교	On the approximation of generalized T-splines	J Computational and Applied Mathematics	311	C. Bracco	SCI	17. 02

○ 국내외 논문 게재(학술대회)

번호	수행기관명	논문명	학술대회명	개최국	주발표자명	발표일
1	한국과학기술연구원	4D PRINTING structure Design factors and materials FOR rapid shape change	PRO-AM 2016	싱가폴	권오창	16, 05, 16
2	고려대학교	3D Feature Preserving Mesh Decimation Method	ISEAS	미국	임승빈	16. 08. 09
3	고려대학교	Categorization of 3D Mesh Data	ACEIT	일본	송승현	17. 03. 30
4	고려대학교	Geometry based Similarity Measurement of 3D Mesh Data	2016 ACEIT	일본	임승빈	16, 03, 30

지적 재산권 성과

○ 특허 출원

번호	수행기관명	특허명	출원국	출원번호	출원일
1	한국과학기술연구원	3D 프린팅을 위한 적층형 회로 제작 방법, 이를 수행하는 적층형 회로 제작 시스템, 및 이를 저장하는 기록매체	대한민국	10-2016-0115582	16, 09, 08
2	한국과학기술연구원	물질분사 방식의 3D 프린터의 노즐	대한민국	10-2015-0147783	15, 10, 23
3	한국과학기술연구원	트러스 구조 내부 적층 구조를 갖는 3D 프린팅 구조물	대한민국	2017-0041933	17, 03, 31
4	한국과학기술연구원	3D 도면 출력 온라인 서비스 통합적 개인정보 관리 시스템	대한민국	2015-0122139	15, 08, 28
5	한국과학기술연구원	잉크젯 헤드와 분말 상자기반 3D 프린팅을 위한 접착제	대한민국	2015-0038307	15, 03, 19

○ 특허 등록

“해당 없음”

○ 기타 지식재산권(프로그램 등록, 실용신안, 디자인, 상표, 서적 등)

번호	수행기관명	구분	명칭	관련번호	등록(출원)일
1	한국과학기술연구원	프로그램 등록	3D 메쉬(mesh) 구조분할 및 결합구조 설계 프로그램	C-2017-002247	17.02.17
2	고려대학교	프로그램 등록	상대적 깊이 정보를 이용한 특징점 추출 프로그램	C-2017-005522	17.02.28
3	고려대학교	프로그램 등록	3차원 Mesh(삼각망) 데이터 유사도 측정 프로그램	C-2017-005523	17.02.28
4	서울대학교	프로그램 등록	3차원 메쉬 기반 워터마킹 프로그램	C-2017-011471	17.05.15

○ 표준특허

“해당 없음”

○ 표준화

“해당 없음”

사업화 성과

- 기술이전(기술실시)

번호	수행기관명	기술실시 계약명	기술실시 대상 기관	기술실시 계약일	기술료(천원)
				YY.MM.DD	

- 제품/서비스 출시, 매출 등

번호	수행기관명	사업화 방식	사업화 내용	사업화 기관	매출발생 시기	매출 (천원)
1	(주)로켓	직접실시	o스텔스 300 제품 출시	(주)로켓	2016	650,000
2	(주)로켓	직접실시	o스텔스 450 제품 출시	(주)로켓	2017	3,000,000 (2017 사업계획 기준)
		o				

- 제품 실시 및 매출 예상

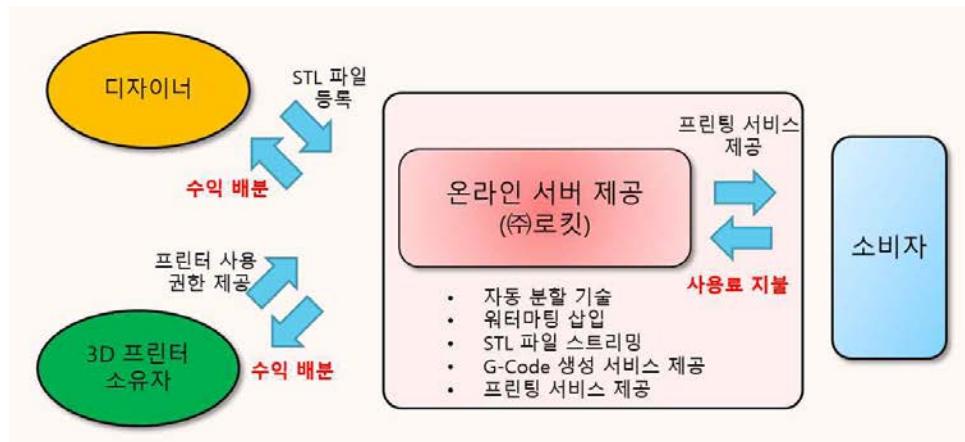
1) 웹기반 모델 출력 기술 및 기능 탑재 3D 프린터 개발

- 핵심 적용 기술 : No computer 기술 – 3D 프린터에서 컴퓨터 없이 STL 파일을 사이트에서 다운 받는 기술, 원격출력 기술 – 안드로이드 O/S 기반 컨텐츠 사이트를 통해 원격 출력 기술
 - 과제목표 대비 사업화 실적은 예상보다 저조하나 향후 기개발 기술을 3D 프린터에 적극 활용하고 미국, 독일 지사 설립을 통한 참여 기업의 매출 증대가 예상됨.
- 특히 2018년도의 사업계획((주)로킷)에 따른 매출액이 달성된다면 사업화 목표는 달성 가능함



그림. (주)로킷의 연차별 매출액 누적 및 예상

2) 3D 프린팅 통합 환경 온라인 서비스



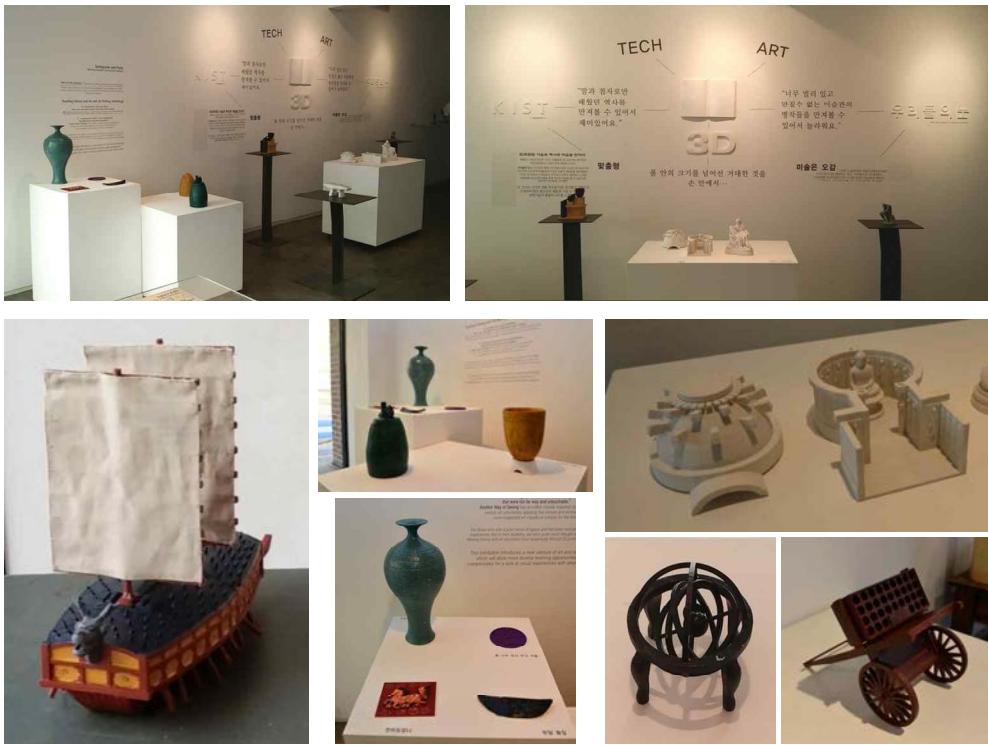
핵심 적용 기술:

- 원터마킹 기술: 3D프린팅 모델의 온라인 서비스 제공을 위한 저작권 기술
- G-Code 생성 서비스 : 안드로이드 O/S 기반 온라인 G-Code 생성 서비스
- 3D Model 디자이너에게 저작권 보호 및 수익 창출 기대.
- 3D 프린터 소유자에게 권한을 제공받고 수익을 배분 함으로써 3D Printer 제작 업체 및 소유자에게 win-win 전략 제공
- 온라인 서버 제공 및 워터 마킹 자동 분할 기술을 제공을 통한 수익 창출 및 인력 고용 기대
- 전통문화컨텐츠 개발 및 보급을 위한 sub-site 운영

○ 기타 성과

1차 연도

- “우리들의 눈”전시회 작품 출품 (2014.09.23 – 2014.10.25.)



- “과학창의 축전”에 기술 소개 (2014.11.03. –2014. 11.08)



○ “중국 과기부 차관에 과제 소개”(2014. 11. 19)



○ “Nano-IMP Conference 2015”에 포스터 발표 및 우수 포스터 상 수상 (2015. 2)

3D printed tactile pattern formation and textbooks to aid the visually impaired students

Introduction

- Why are the tactile textbooks important?
- Lack of tactile materials
- Very difficult to learn complex figures, photographs, and concepts with touch
- Positive effects of 3D printed books
- Development of advanced content
- 3D printing can print the books directly and conveniently during the day
- Books can be printed in different sizes depending on the students' mental and cognitive requirements

3D Printing Technology

- The advantages of 3D printing
- Time shortening of product development
- Multi-functional methods
- Easy and customized methods
- Low cost

3D printing process

- Thermal resin process
- SLA, DLP, LCD, Resin, Resin 3D printer

Thermal resin process

- No Odor / Non-toxic
- PLA

Results

- Tactile patterns using the FDM
- Significant improvement of 3D tactile patterns in surface smoothness, adhesion strength, and durability
- 3D printed textbooks

Conclusion

- The 3D printing technique can help visually impaired students learn better and faster than they can learn various educational materials easily using traditional methods
- The thermal resin can make the patterns smooth and durable
- The 3D printing can provide versatile and cost-effective tactile books material for visually impaired students

Best Poster Award

This is to certify that

Wonjae Jo, Heon Ju Lee, Myoung-Woon Moon (KIST)

have won the above mentioned award for his achievement
of excellent presentation during
The 4th nano Imprint · Molding · Print Forum

Title: 3D printed hierarchical structures functionalized
with TiO₂ nanoparticles: Photo-induced reaction

February 11th, 2015

Organizing Chair

Soo Won Choi



○ “3D 프린터의 새로운 기능성을 만나다”인터넷 기사에 본 과제 소개 (2015. 2. 10, 위키트리)

KIST 선임 연구원이 말한 3D프린터의 잠재력

포토리노출 207,364 | 2016.02.24 16:36

추천 print scrap url

CT자기 Follow @contentkorea

- '길치를 알리고 판국을 알리라'
- 한류의 지속가능한 발전을 위한 팔향표 'K-C...'

스토리 봄운 수정/본문 함께쓰기 함께 쓴 허스토리(2) 관련 스토리 쓰기 OPM 편집하기

3D 프린터의 새로운 가능성을 만나다 2016-02-10 09:16:38 | CT자기

전체자이가 부실해서 일몰타드하버먼(지)
전체자이가 부실해서 일몰타드하버먼(지)

[Interview] (320) 3D 프린터의 새로운 가능성을 만나다

<한국과학기술연구원(KIST) / 이현주 선임연구원>

바야흐로 3D프린팅의 시대가 밝았습니다. 이에 따라 우리의 생활과 산업 전반에서 패러다임의 변화를 일으키며 '제3의 산업혁명'으로 떠오른 3D프린터의 잠재력은 어디까지일까요?

오늘은 우리나라의 콘텐츠산업 경쟁력 강화를 위해 '문화기술 연구개발 지원 사업'을 시작한 문화체육관광부와 한국콘텐츠진흥원의 지원을 받아 <전통문화재의 3D 프린터 적용을 위한 문화 콘텐츠 리빌드(rebuild) 및 저작권 보호 기술>을 개발 중인 한국과학기술연구원(KIST)의 이현주 선임연구원님을 만나 3D프린터의 새로운 활용 가능성에 대해 알아보는 시간을 가겠습니다.

2차 연도

- “ISNIT 2016” 국제 학회 Invited Speaker로 과제 소개 (2016. 01. 25)

- “Nano-IMP Conference 2016”에 포스터 발표 및 BEST Poster 상 수상 (2016. 2. 17)

3차 연도

- 영주시에서 3D 프린터와 전통문화재의 연관성에 관한 심포지움 개최 (2016. 5.12-13)



- Spin-off 과제 : 전통공예, 건축 소재를 이용한 스마트 3D 프린팅 소재 개발 과제 선정(미래부 2016-2020)

라. 향후 사업화 계획

o 사업화 계획은 비즈니스 모델을 기반으로 진행될 예정임

- 본 과제를 통해 개발된 소프트웨어 및 하드웨어 기술을 접목할 수 있는 비즈니스 모델을 계획하며 4차 산업혁명관련 아이템으로의 발전시킬 수 있음
- 3D 프린팅 기반 소프트웨어 기술 : 3D 분할/결합 소프트웨어, 암복화 소프트웨어, 3D 스캔 소프트웨어 (데시메이션, 스캔 정밀도 향상 소프트웨어)

비즈니스 모델(BM)	플러그인 형태의 3D 프린팅 요소기술(S/W) 판매
사업화 주체	3D 소프트웨어 업체
시장분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3D 프린팅 시장은 연평균 13.5%의 성장을 지속하여 2017년에는 3억 5,000만 달러로 성장할 것으로 예상됨. 특히 3D imaging, 3D modeling, 3D scanning, 3D rendering, layout and animation and image reconstruction 등 AM(After Market) 시장인 3D 데이터 분야는 2013년 3억 100만 달러에서 연평균 26.7% 성장하여 2018년에는 9억 8,200만 달러에 이를 것으로 예상. 3D 프린팅 글로벌 시장규모는 2012년 13억 달러, 2016년 31억 달러에서 2020년에는 52억 달러 규모의 시장이 형성될 것으로 예상
사업화 전략 및 계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ Word나 Windows와 같은 기본적으로 일반인이 많이 사용하는 소프트웨어에 부가 기능을 갖는 plug-in형태로 소프트웨어로 기간제 조건부 무료 프로그램으로 배포 후 유료화 사용 유도 <ul style="list-style-type: none"> - 2017년도 : 소프트웨어 저작권 확보 - 2018~2019년도 : 소프트웨어 상용화 (로드맵) 과제 기획 및 기술이전

비즈니스 모델(BM)	3D 문화재 콘텐츠의 교육 시장 활용을 통한 문화재 모델시장 확대 (지역 3D 프린팅 특성화 센터와 연계)
사업화 주체	초/중/고등학교
시장분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2016년 CES에서 소비자 분석 전문가들이 뽑은 가장 중요한 3D 프린터 개발 부분이 교육/대형/저작권 보호였음. ○ 급변하는 과학기술의 발전에 맞추어 초/중/고 학생들의 3차원적 사고와 3D 프린팅을 사용한 새로운 제조기술에 대한 교육이 필수적으로 수행 될 것으로 예측 됨
사업화 전략 및 계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초/중/고 맞춤형 교육 프로그램 커리큘럼 작성 및 방과 후 활동이나 동아리 지원을 통한 프로그램 보급 ○ 평생교육원 문화센터뿐 아니라 3D 프린팅 전문가 양성 교육 프로그램 개발/판매 ○ 온라인 스스로 학습 프로그램 제작 및 유료 배포

비즈니스 모델(BM)	3D 통합 서비스 플랫폼 (디자인 대회 개최를 통한 홍보)
사업화 주체	(주) 로킷 (참여업체)
시장분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3D 프린팅 시장은 연평균 13.5%의 성장을 지속하여 2017년에는 3억 5,000만 달러로 성장할 것으로 예상됨. 특히 3D imaging, 3D modeling, 3D scanning, 3D rendering, layout and animation and image reconstruction 등 AM(After

	Market) 시장인 3D 데이터 분야는 2013년 3억 100만 달러에서 연평균 26.7% 성장하여 2018년에는 9억 8,200만 달러에 이를 것으로 예상. 3D 프린팅 글로벌 시장규모는 2012년 13억 달러, 2016년 31억 달러에서 2020년에는 52억 달러 규모의 시장이 형성될 것으로 예상
사업화 전략 및 계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 워터마킹, 영역분할 등의 요소기술을 온라인으로 사용 가능하도록 공개하며, 다양한 서비스를 직접 체험해 볼 수 있도록, 3D 프린팅 출력 회사들과 연계하여 “온라인 서비스 플랫폼” 홍보 <ul style="list-style-type: none"> - 2017년도 : 3D 컨텐츠 디자인에 대한 암복화 기술 서비스 시작 - 2018~2019년도 : 개발 워터마킹/영역분할-결합 기술 온라인 베타버전 활용

비즈니스 모델(BM)	K-레고 “전통이 좋아 ㅋㅋ”
사업화 주체	완구 업체
시장분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 레고시장은 전 세계적으로 2015년 285억여원으로 완구업계에서는 매우 큰 시장 규모를 가진다. 우리나라의 전통 결구법을 이용하여 K-레고라는 제품을 만들어 국내에 배급하고, 특히 친환경 전통소재를 사용하여 3D 프린터로 제작할 경우, 전통문화와 국내자체 개발기술로 탄생한 완구로써 앞으로 국내 완구 시장에 많은 영역을 차지할 것으로 기대된다.
사업화 전략 및 계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시제품 제작을 통한 제품 홍보와 저작권 확보 및 국내 완구업체 기술이전을 통한 사업화를 꾀한다. <ul style="list-style-type: none"> - 2017년도 : 3D 데이터 분할-결합 저작권 확보 - 2018~2020년도 : 전통문화재 데이터 처리를 위한 분할-결합 소프트웨어 베타버전 release 및 사업화 연계
비즈니스 모델(BM)	3D 모델 고속 검색 기능
사업화 주체	웹기반 디자인 업체
시장분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3D 데이터 콘텐츠의 유통을 위한 고속 맞춤형 검색 기술이 요구됨
사업화 전략 및 계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 형태기반 혹은 의미기반 유사도 측정 기술을 도입하여, 소비자가 대략적인 형태를 제시하면 웹상에서 가장 유사한 모델을 찾아주고 제공이 가능하도록 하는 서비스 플랫폼 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 2017년도 : 데이터 유사도 측정 기술 저작권 확보 - 2018~2019년도 : 데이터 유사도 측정 기술 기술 이전

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4.1. 연구개발 목표의 달성도

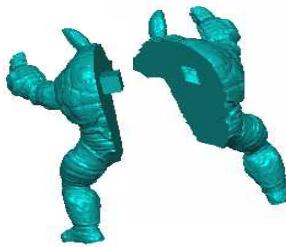
○ 평가항목별 달성도

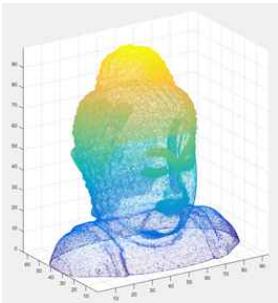
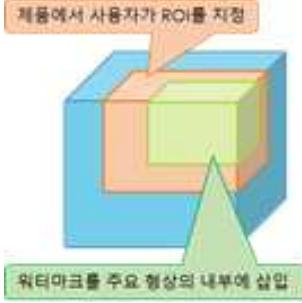
연구개발 목표	평가항목	단위	개발목표치 대비 실적					
			1차 연도		2차 연도		3차 연도	
			목표	실적	목표	실적	목표	실적
구조안정성 해석 및 영역분할 기술	출력 기반 3D 문화콘텐츠 변환 기술	분할 조각수	10조각 이상	10조각	15조각 이상	15조각 이상	20조각 이상	27조각
고정밀 3D 스캔 데이터의 특징점 추출 및 보정/간략화 기술	특징점 추출 개수	추출 특징점 수 /포인트 수	1%	1%	3%	3%	5%	9%
	오차 분석	정밀도 (%)	90%		95%	99%	99%	99%
웹 기반 대용량 3D 모델 상세정보 브라우징 기술	웹 기반 대용량 3D 모델 뷰어	속도 (fps)	50		-	-	-	-
형태기반, 의미기반 유사도 분석기술	형태 기반 유사도 측정 기술 개발	탐지율 (%)			70 (관심영역 중심 측정)	80 (관심영역 중심 측정)	95 (관심영역 중심 측정)	99
	o 의미 기반 유사도 측정 기술 개발	탐지율 (%)	-		80	90	90	90
	식별자 간략화율				30% 이내	30% 이내	10% 이내	10%
3D 데이터의 워터마킹 기술	3D 스캔 데이터 워터마킹 기법	탐지율 (%)	80		95	95	95 이상	95
	3D 프린트-스캔 공격 및 복합 공격에 강인한 3D 스캔 데이터 워터마킹 기법	탐지율 (%)	-		70		90 (3D 프린트-스캔 공격 대비 탐지율 80%)	90
3D 프린팅 통합 환경 온라인 서비스관련 기술	3D 프린터 펌웨어	인식률 (%)	100		N/A	N/A	N/A	-
	온라인 슬라이싱 웹 프로그램	오차 범위 (mm)	N/A		±0.3	±0.1	±0.1	±0.1
	3D 프린터 호스트 웹 프로그램	구현기술 유형범위	N/A		FFF (압출 방식)	FFF (압출 방식)	DLP / SLA (광경화 방식)	DLP/SLA
	통합 웹플랫폼 서비스 환경에 최적화된 보급형 3D 프린터 시제품	1대	-		-	-	1대 이상	100대 이상 (상용화)

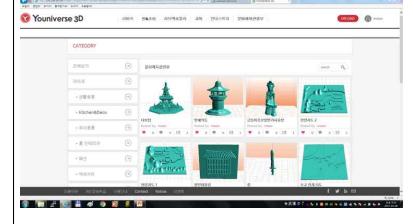
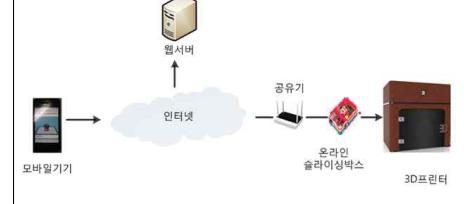
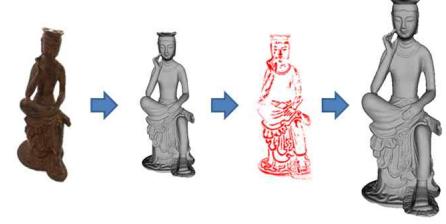
○ 정량적 성과목표별 달성도

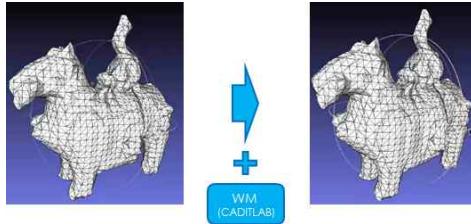
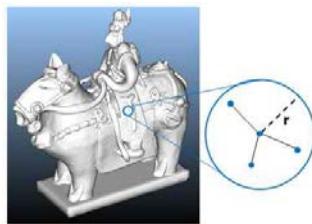
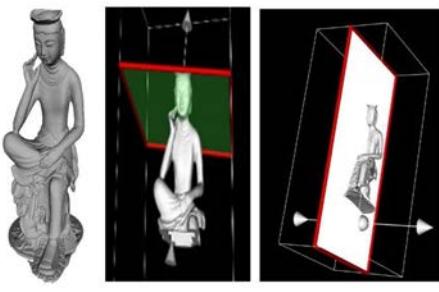
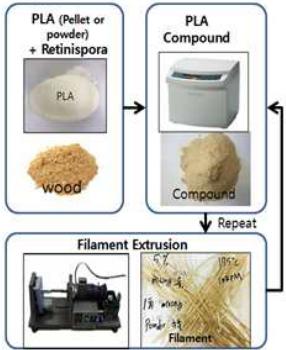
구분	논문(건)			지식재산권						표준화 (건)	사업화		고용 창출 (명)			
	비 SCI		특허출원		특허등록		기타	표준 특허	건수(건)							
	국내	국외	국내	국외	국내	국외			기술 이전	직접 사업화						
1차 연도	목표	-	1	1	1	1					-		1,000	50		
	(실적)	()	()	()	(3)	()	()	()	()	(0)	()	()	(4)			
2차 연도	목표	2	1	2	1	1					-		1,500	120		
	(실적)	(2)	()	(2)	(2)	()	()	()	()	()	()	()	()	()		
3차 연도	목표	3	1	2	2	1	1				-	-	2,500	450		
	(실적)	(1)	()	(3)	(3)	()	()	()	(3)	()	(1*)	()	(3,650)	(6)		
전체 연도	목표	5	3	5	4	3	2						5,000	620		
	(실적)	(3)	(0)	(5)	(8)	()	()	()	(3)	()	(1)	()	(3,650)	(11)		

○ 연구개발 목표별 달성도

구분	연구 개발 목표	연구 개발 수행 내용	연구 결과
1 차 연 도	보급형 3D프린터용 문화콘텐츠 변환기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> o 고정밀 3D 스캔 데이터 분석 <ul style="list-style-type: none"> - hole filling 등의 mesh healing 기술 개발 - 데이터 손실을 최소화하는 데시메이션 알고리즘 개발 o 접합 난이도를 고려한 영역 분할 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 3D 프린터를 이용한 문화콘텐츠 출력 시 영역 분할을 통한 파트 출력 필요 - 수치 기반이 아닌 구조 안정성 및 접합 난이도를 고려한 영역 분할 기술 코드 개발 (무게 중심 및 접합부 확보 등의 구조적 인자 - 10분할 이상의 영역 분할 코드 개발고려 	<ul style="list-style-type: none"> - 보급형 3D 프린터용 문화콘텐츠 변환 프로그램 개발 
	전통문화재 콘텐츠에 최적화된 3D프린터용 펌웨어 개발	<ul style="list-style-type: none"> o 온라인 서비스용 3D 프린터 펌웨어 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 재료 개발 및 동시에 적용하여 출력 가능한 환경 구축, 웹서버 접속과 전용 G-Code를 다운로드 및 분석할 수 있는 펌웨어 구현 o 웹 서버 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 전통문화재 콘텐츠 3D 프린터용 펌웨어 - 웹플랫폼 프로토타입 
	웹 기반 3D 모델 브라우징 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> o 웹 기반 대용량 3D 모델 상세정보 브라우징 기술 	<ul style="list-style-type: none"> - 웹 기반 대용량 3D모델 뷰어
	3D 스캔 데이터 저작권	<ul style="list-style-type: none"> o 3D 스캔 데이터 워터마킹 기법 설계: <ul style="list-style-type: none"> - 점군 기반의 워터마킹 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 스캔 데이터 워터마킹 프로그램 - 3D 스캔 데이터 ROI 분석 프로그램

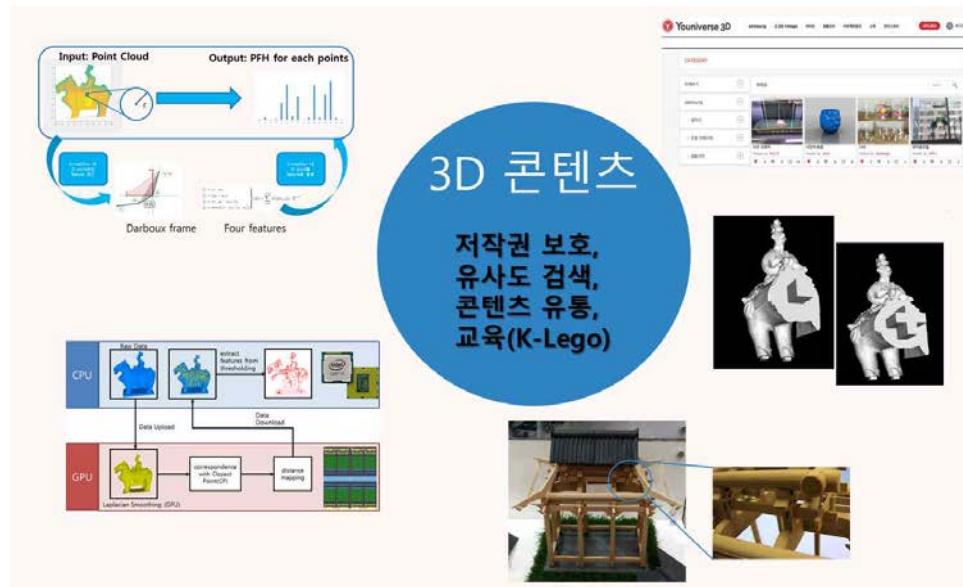
	<p>보호 기반기술 개발 (워터마킹)</p>	<ul style="list-style-type: none"> o 3D 스캔 데이터 ROI 분석 기법 설계: <ul style="list-style-type: none"> - 특징점/선 및 세밀도 기반 ROI 분석 기법 개발 o 형태기반 유사도 측정 기술 분석 연구: <ul style="list-style-type: none"> - 관심 영역 추출 및 부분 정합 유사도 측정 	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 스캔 데이터 형태기반 유사도 측정 프로그램
	<p>구조적으로 안정적인 보급형 3D 문화콘텐츠 변환기술</p>	<ul style="list-style-type: none"> o 고정밀 3D 스캔 데이터 분석 <ul style="list-style-type: none"> - hole filling 등의 mesh healing 기술 개발 - 데이터 손실을 최소화하는 데시메이션 알고리즘 개발 o 접합난이도, 의미기반, 워터마킹 및 구조적 안정성을 고려한 영역 분할 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 분할 기술 코드 세분화 - 구조적 인자 및 의미기반 영역 분할 기술 개발 - 15분할 이상의 영역 분할 코드 개발 - 3D 프린팅 공정을 고려한 영역분할 - 접합을 고려한 견고한 접합부 설계 기술 	<ul style="list-style-type: none"> - 데시메이션 알고리즘 - 안정성을 고려한 보급형 3D 문화콘텐츠 변환 프로그램 
2 차 연 도	<p>전통문화재 콘텐츠용 웹플랫폼 핵심 기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> o STL 온라인 슬라이싱 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 슬라이싱 프로그램을 웹서버에 이식, 슬라이싱 프로그램이 사용하는 메모리양 최소화, 빠른 슬라이싱 속도를 위한 향상된 알고리즘 개발 및 적용 o 암호화된 G-Code 온라인 전송/인식 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 슬라이싱 된 파일은 암호화하여 Stream 방식으로 전송 프린터 OS에서 복호화 후 출력 	<ul style="list-style-type: none"> - STL 파일 온라인 슬라이싱 웹 프로그램 - 암복화 기술 적용 문화콘텐츠 제공
	<p>3D 프린팅 웹플랫폼 베타서비스</p>	<ul style="list-style-type: none"> o 3D 프린팅용 문화콘텐츠 제공 시범서비스(웹) 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 3D 프린팅용 문화콘텐츠의 모델링 파일 확보 및 업로드/암호화된 파일 다운로드, 온라인 슬라이싱, 출력 메커니즘 구현과 테스트 가능한 환경 구축 	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 프린팅용 문화콘텐츠 제공 시범서비스(웹) 프로토타입 - 전통문화컨텐츠 기반 웹환경 구축
	<p>복합공격에 강한 저작권 보호기술 (유사도+워터 마킹)</p>	<ul style="list-style-type: none"> o 3D 모델 변형을 유도하는 복합 공격에 견고한 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 영역 변환 기반의 워터마킹 기술 개발 o 3D 스캔 데이터 ROI 분석 기법 설계: <ul style="list-style-type: none"> - 특징점/선 및 세밀도 기반 ROI 분석 기법 개발 o 3D 스캔 데이터 ROI 분석을 통한 적응적 워터마킹 기술: <ul style="list-style-type: none"> - 세밀도 기반 ROI의 워터마킹 기술 개발 o 형태기반/의미기반 유사도 측정 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 특징 벡터 기반 유사도 측정 - 자동 시맨틱 주석 기반 유사도 측정 	<ul style="list-style-type: none"> - 변형 복합공격에 강인한 3D 스캔데이터 워터마킹 프로그램 - 3D 스캔 데이터 ROI 분석 프로그램 - 3D 스캔 데이터 형태 기반 /의미기반 유사도 측정 프로그램 개발 

	<ul style="list-style-type: none"> o 3D 프린터 출력물의 구조적 안정성을 위한 내·외부 보강 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 출력물 파트 조합시 추가로 고려해야 하는 내·외부 응력 산출 코드 개발 - 최적화된 보강재 위치 및 형상 전산모사 - 20분할 이상의 영역 분할 코드 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 출력물의 구조적 안정성을 위한 내·외부 보강 프로그램
3 차 연 도	<ul style="list-style-type: none"> o 호스트웨어 웹 프로그램 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 3D 프린팅 환경을 제공하는 강력한 통합 호스트웨어 웹 프로그램 개발 o 통합 웹플랫폼 서비스 환경에 최적화 된 보급형 3D프린터 개발 <ul style="list-style-type: none"> - FFF(FDM) 방식, STL(stereophotography) 방식 	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 프린팅 적용을 위한 문화 콘텐츠 제공 서비스 사이트  <ul style="list-style-type: none"> - 온라인 3D 프린팅 통합 웹 플랫폼 통합 웹플랫폼 서비스 환경에 적화된 보급형 3D프린터 
고속 유사도 측정 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 유사 모델 탐지 알고리즘 소요 시간이 1초 이내 기술 개발 - 형태 기반 유사도 비교 분석 알고리즘 탐지를 90% 이상 - 원본 모델과 유사한 변형 모델을 탐지하기 위한 유사도 비교 실험을 10회 이상 수행하여 그 소요 시간을 측정 	<ul style="list-style-type: none"> - 30번의 실험에서 모든 데이터가 유사도를 제대로 판별하였음. 실험 결과 유사 모델 탐지율은 100%로 목표를 초과 달성하였음. 
3D 프린트-스캔 공격에 강인한 저작권 보호 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 프린팅 적용을 위한 문화 콘텐츠 제공 서비스 사이트 - 온라인 3D 프린팅 통합 웹 플랫폼 통합 웹플랫폼 서비스 환경에 최적화된 보급형 3D프린터 	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 프린트-스캔 공격 및 복합 공격 대비용 워터마킹 - 대용량 데이터 고속 3D 데이터 유사도 측정 프로그램

	 	<p>k-neighbor 연결관계 형성</p>
전통결구법을 적용한 K-레고 제작 기술	<ul style="list-style-type: none"> o 전통결구법을 적용하여 결구 생성 및 분할이 가능한 프로그램 개발 - 문화재 3D Mesh 분할, 출력 및 결합 	<ul style="list-style-type: none"> - 소형 문화재 10조각 이상 분할 (15cm 미만) - 대형 문화재 20조각 이상 분할 (50cm 이상) 
전통소재를 활용한 텍스쳐 재현기술	<ul style="list-style-type: none"> o 3D 프린팅이 가능한 형태이며 전통소재가 함유된 친환경 3D 프린팅 소재 개발 - 전통소재가 함유된 3D 프린터용 소재 3군 6종 이상 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 자연 소재인 편백나무 잎, 쑥, 석고, 계피가 각각 함유된 PLA 기반 필라멘트를 개발하였으며, Screw Extruder 방식 프린터에 사용가능 한 흙기판 소재 개발 완료 

2. 관련 분야 기여도

- 3D 프린팅 시장이 꾸준히 증가하고 이와 관련된 문화 콘텐츠의 중요성이 소비자에게 인식되기 시작하면서, 문화콘텐츠의 활용 및 저변 확대를 위한 소프트웨어/하드웨어 기술이 요구며 본인이 제작한 3D 데이터에 대한 권리보호 수요를 충족시킬 수 있는, 원천적 기술인 3D 워터마킹에 대한 필요성이 증대되고 있음



- 전통문화재 문화콘텐츠 리빌드 및 저작권 보호 기술 개발을 통해, 국내 전통문화재의 활용을 통한 온라인 환경 조성을 통한 사용성을 극대화함

- 창의성이 극대화된 혁신제조기술인 3D 프린팅 기술과 전통문화기술의 융합을 통한 전통문화콘텐츠의 리빌드 및 첨단기술과의 접목을 통한 새로운 문화콘텐츠의 창출이 가능함



- 기존의 3D 데이터 프로세스를 위한 소프트웨어는 분할이 가능한 수준이었으나 본 과제에서 개발된 분할-리빌드를 위한 소프트웨어는 데이터의 효과적인 3차원 분할과 전통의 결구 메커니즘을 적용한 재결합이 가능한 리빌드 기능을 가짐으로 k-lego로의 활용가능성이 높음
 - 중대형 출력물의 3차원 분할기술은 3D 프린터의 종류별 특성을 고려한 영역분할 기술로, 분할 출력 시 구조안정성, 체결부 설계를 통한 견고한 결합 등을 고려한 공정 최적화 기술로, 여러 가지 편집 소프트웨어와 연동하여 새로운 3D 모델을 제작할 수 있는 기술임



- 앞으로 생성되는 모든 3차원 데이터에 본인만의 워터마킹을 은밀히 저장할 수 있는 기술에 대한 수요가 매우 증가할 것으로 예상됨
 - 3차원 데이터의 워터마킹 기술은 3D 프린팅 관련 콘텐츠 서비스에 새로운 저작권 보호 방식을 사용하여, 일반인들의 다양한 응용 아이디어를 유통시킬 수 있는 법적 보호방치로써 역할이 기대됨
- 3차원 데이터의 특징점을 이용한 데시메이션 기술은 대용량의 3D 데이터를 저용량, 고해상도의 데이터로 변환할 수 있는 기술임
 - 특징점을 이용한 데시메이션 기술을 적용하여 온라인 업로드가 어려운 대용량 3D mesh data를 원본

특징점을 이용한 데시메이션 기술



대비 1/10 수준의 압축을 통해 온라인 업로드가 가능하며 이를 통해 온라인 공유, 온라인 등록, 온라인 공동 작업 등의 3D 데이터 활용도가 높아질 것으로 기대됨

- 고속 유사도 측정 기술을 적용하여 입력 3D 데이터와 웹 상의 대용량 데이터군의 유사 물체 판별이 가능하며 이를 활용하여 정식 3D 컨텐츠의 무단 도용 품을 탐색 하는 기술로 확장 할 수 있을 것으로 기대 됨

○ 온라인 기반 저작권보호가 가능한 3D 프린팅 서비스 플랫폼을 세계 최초로 기획하고 구성하였음. 추가적인 보완으로 1-2차년도 연구결과인 워터마킹기술을 접목한 3D 프린팅 서비스 플랫폼 2.0이 구축될 경우, Youtube와 같이 세계적인 3D 프린팅 유저커뮤니티로 발전 가능성이 있음

○ 고속 유사도 측정 기술을 적용하여 입력 3D 데이터와 웹 상의 대용량 데이터군의 유사 물체 판별이 가능하며 이를 활용하여 정식 3D 컨텐츠의 무단 도용 품을 탐색 하는 기술로 확장 할 수 있을 것으로 기대 됨

고속 유사도 측정 기술



제5장. 연구 결과의 활용 계획

5-1. 연구개발성과의 활용방안

- 3D 데이터 및 웹/앱기반 데이터 프로세싱 및 3차원 데이터 모델링 기술은 사업화 및 기술이전을 통한 국가경쟁력 확보가 가능하며 나아가서 4차 산업혁명의 핵심 혁신 제조기술인 3D 프린팅 기술의 활용 분야를 다양화 할 수 있음
- 3D 프린팅 통합 서비스 플랫폼에, 영역분할, 워터마킹, 유사도 검색, 웹기반 서비스 등을 plug-in 형태로 제작하여, 3D 콘텐츠를 이용하는 모든 분야에 적용
- 대용량 3D 데이터 처리 기술 및 3D 구조 분할-결합 프로그램 등은 전통문화 컨텐츠 뿐아니라 중대형 건축, 건설 3D 프린팅 분야로의 활용 가능함
- 3차원 데이터와 같은 대용량의 데이터 보호를 위한 워터마킹 기술은 3D 프린팅용 데이터 프로세스 뿐아니라 빅데이터, AI (인공지능) 등의 데이터 보호를 위한 지재권 보호 기술로 활용 가능하며 문화 분야의 빅데이터, AI 기술로써의 적용을 위한 추가 연구의 필요성이 높음

5-2. 기대효과

- 3D 프린팅 시장이 꾸준히 증가하고 이와 관련된 콘텐츠의 중요성이 소비자에게 인식되기 시작하면서, 본인이 제작한 3D 데이터에 대한 권리보호 수요를 충족시킬 수 있는, 원천적 기술인 3D 워터마킹에 대한 필요성을 느끼기 시작함
- 앞으로 생성되는 모든 3차원 데이터에 본인만의 워터마킹을 은밀히 저장할 수 있는 기술에 대한 수요가 매우 증가할 것으로 예상됨
- 3차원 데이터의 워터마킹 기술은 3D 프린팅 관련 콘텐츠 서비스에 새로운 저작권 보호 방식을 사용하여, 일반인들의 다양한 응용 아이디어를 유통시킬 수 있는 법적 보호방치로써 역할이 기대됨



제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보

- 각 년도 별로 한차례씩 총 3회에 걸쳐 해외 워터마킹 관련 학회에 참석해 워터마킹 및 영역변환 활용가능 기술들에 대해 조사함
- 해외 연구주제는 주로 프린트-스캔 공격을 직접적으로 연구하기보다는 타 공격들 중 특수한 몇 개의 공격에 대해 확실하게 강인한 방법들을 개발하는 식으로 이루어졌으며, 그렇기 때문에 특정 공격에는 강인하나 특정 공격들에 대해서는 취약함을 지니는 방식의 워터마킹 기법이 다수 존재함
- 특히 3D 데이터 상에서가 아닌 프린트 과정에서 워터마크를 삽입해(온도조절을 통한 각 부분의 성질변화를 통해서) 출력물의 저작권을 보호하려는 경우도 존재했으며, 본 연구와 동일하게 3D 메시 구조를 고려하지 않고 점군 데이터에 대해서만 워터마크를 삽입하는 연구를 진행한 경우도 존재함

제7장. 연구 개발 결과의 보안 등급

보안등급 분류	보안	일반
	-	0
결정 사유	-	

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구 시설·장비 현황

구입 기관	연구 시설/ 연구 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천 원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
-	-							

제9장. 연구 개발 과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

- 연구개발과제 수행중에 아래와 같은 연구실 안전 조치 이행 계획에 따라 이행함

- 주관기관 (한국과학기술연구원)

연구실 안전환경 조성에 관한 법률; 제 2장 6조에 의거하여, 다음 각호의 사항을 포함한 안전관리규정을 작성하여 각 연구실에 게시 또는 비치하였음.

1. 안전관리조직체계 및 그 직무에 관한 사항
2. 연구실별 안전관리담당자의 지정 및 그 책임과 권한의 부여
3. 주기적 안전교육의 실시에 관한 사항(매달 4일을 안전의 날로 지정하여, 총체적 안전점검을 실시하며, 분기별로 1회씩 사이버 안전교육 이수를 필수로 함.)
4. 연구실 안전표식의 설치 또는 부착
5. 사고발생시 긴급대처방안과 행동요령에 관한 사항
6. 사고조사 및 후속대책수립에 관한 사항

- 참여기관1 (주) 로켓

1) 연구소 안전점검 체계

구 분	세부내용
일일안전점검	<ol style="list-style-type: none">1.점검횟수 : 매일 1회2.점검내용 : 정리정돈상태, 가스용기 관리상태, 유기용제 관리상태3.점검자 : 연구소 책임자
정기점검	<ol style="list-style-type: none">1.점검횟수 : 매월 2회2.점검내용 : 일상설비의 이용상태, 보호구 착용 및 관리상태 안전보건 수칙 이행상태 점검3.점검자 : 안전관리자, 안전보건 대행업체
수시점검	<ol style="list-style-type: none">1.점검횟수 : 연 1회, 필요시2.점검내용 : 유틸리티의 상태, 정기점검 결과에 따른 점검 필요시3.점검자 : 안전관리자, 시설관리자

2) 연구소 안전수칙 및 교육훈련

가. 위험물 취급, 관리 안전수칙

1. Chemical 용기는 주의 깊게 취급할 것.(장난침, 타격, 난폭한 취급 주의)
2. Chemical 뚜껑을 확실히 잠글 것/ 확인 할 것
3. 전기 배선, 코드선 등 전기배선 및 전기기기 주위에 Chemical을 두지 말 것.
4. Chemical의 원통을 공정에 반입 하지 말고 소량의 용기에 담아 출입/취급 할 것
5. 공정 내 임시보관 시 소량의 보관함에 안전하게 둘 것.
6. 사용 하는 목적 외에 사용을 금지 할 것(개인 적인 사용, 취급 등)
7. 장시간 취급하거나 신체에 이상 증상이(현기증, 두통 등) 있을 경우 즉시 중지
8. Chemical은 저장장소 외에 장소에 절대 두지 말 것.
9. 임의적인 Chemical의 구입/취급을 금할 것.

(사용허가/승인이 되지 않은 Chemical의 사용금지)

나. 가스용기 취급 안전수칙

1. 가스 용기는 주의 깊게 취급할 것.(장난침, 타격, 난폭한 취급 주의)
2. 용기를 세워둘 경우 넘어지지 않도록 체인 등으로 체결/고정할 것.
3. 가스용기는 뜨겁거나 직사광선이 비치는 장소에 두지 말 것.
4. 사용 후 가스가 세지 않도록 꽉 잠근다.
5. 가스 사용 시 레귤레이터를 부착/결합 후 취급 한다.
6. 용기 벨브는 갑자기 열지 말고 서서히 연다.
7. 용기를 사용할 때 외에는 CAP을 씌워 둔다.
8. 공정 내 임시 보관 시 아무 곳이나 방치하지 말고 안전한 곳에 보관한다.
9. 용기 운반/이동 시 이동 수레에 체인 등으로 고정 후 이동하며 장난치지 않는다.

다. 교육훈련

1. 개요 : 월1회 안전보건 정기교육 실시 2. 교육시간 : 월 2시간이상
3. 교육대상 : 전임, 직원
4. 교육방법 : 집합교육(시청각 교육)
5. 교육강사 : 사외강사 or 안전관리자

- 참여기관2 (서울대학교)

연구실 안전환경 조성에 관한 법률; 제 2장 6조에 의거하여, 연구소 안전수칙 및 교육훈련하며, 자료제시하였음.

1. 안전관리조직체계 및 그 직무에 관한 사항
2. 연구실별 안전관리담당자의 지정 및 그 책임과 권한의 부여
3. 주기적 안전교육의 실시
4. 연구실 안전표식의 설치 또는 부착
5. 사고발생시 긴급대처방안과 행동요령에 관한 사항
6. 사고조사 및 후속대책수립에 관한 사항

- 참여기관3 (고려대학교)

○ 실험실 안전 점검 체계

1단계: A등급, B등급, C등급	2단계: A등급, B등급, C등급	3단계: A등급, B등급
각 실험·실습실별 안전관리책임자를 지정하여 일일점검표 작성	각 실험·실습실별 연구실 안전관리자 및 위원회에서 분기별 정기점검 실시	2년 1회 외부기관에 의뢰하여 정밀점검 실시 후 미비점 보완

각 실험/실습실별 안전관리책임자를 지정하여 일일점검표 작성

각 실험·실습실별 연구실 안전관리자 및 위원회에서 분기별 정기점검 실시

2년 1회 외부기관에 의뢰하여 정밀점검 실시 후 미비점 보완

○ 실험실 정밀안전진단 실시

- 대상 : 연구개발활동에 유해화학물질 관리법 제2조 7호에 따른 유해화학물질을 취급하는 연구실, 산업안전보건법 제39조에 따른 유해인자를 취급하는 연구실, 과학기술부령이 정하는 독성가스를 취급하는 연구실
- 실시 : 년 2회 외부전문기간에 의뢰하여 정밀점검 실시 후 교육과학기술부에 보고

연구실 안전교육

- 실험실의 안전을 확보하고 종사자의 건강을 보호하여 실험 및 연구활동에 기여하고, 또한 연구실 안전환경조성에 관한 법률에 의거하여 실험실의 환경안전교육이 의무화됨에 따라 이공계열 대학원생 및 관련자 전원은 환경안전교육을 의무적으로 수강

연구활동종사자 상해보험 가입

- 연구실 안전환경조성에 관한 법령에 의거하여, 연구활동종사자의 상해보험을 가입
 - 보상내용 : 상해사망, 후유장해(1억원이상), 상해, 후유정도에 따른 보상(1천만원 이상)
 - 대상 : 연구활동종사자

그 외 안전관리 추진 사항

- 실험실 공기질 관리, 환기
 - 실험실에 별도의 소화설비 설치
 - 실험실 환경안전지침 작성
 - 안전보호장비 시설 보완
-

제10장. 연구 개발 과제의 대표적 연구 실적

번호	내 용
1	논문 게재 : C. Bracco, D. Cho, C. Dagnino, T. Kim, On the approximation of generalized T-splines, Journal of Computational and Applied Mathematics, 2017
2	특허 출원 : 물질분사 방식의 3D 프린터의 노즐, 10-2015-0147783 (출원일 15.10.23)
3	프로그램 등록 : 3D 메쉬(mesh) 구조분할 및 결합구조 설계 프로그램, C-2017-002247 (등록일 17.02.17)
4	프로그램 등록 : 3차원 Mesh(삼각망) 데이터 유사도 측정 프로그램, C-2017-005523 (등록일 17.02.28)
5	사업화-매출 : 웹기반 원격 출력 기술 적용 3D 프린터 (INVIVO, STEALTH 300, 450) 출시 및 매출 (매출 기여액 6.5억원/2016년, 30억원/2017-사업계획 기준)

제11장. 기타 사항

- 해당 없음

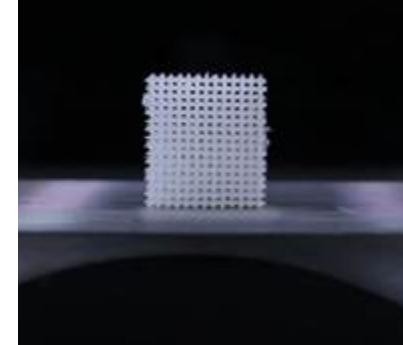
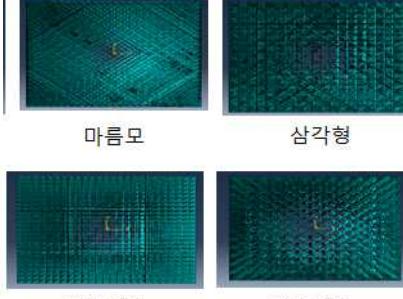
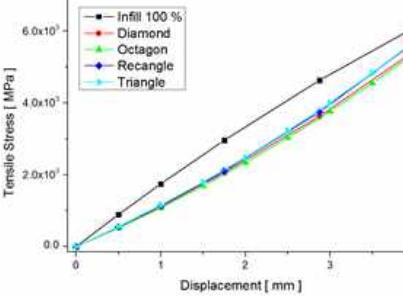
제12장. 참고 문헌

1. M Isenburg, P Lindstrom, S Gumhold, “Large mesh simplification using processing sequences”, Proceedings of the 14th IEEE Visualization, 2003
2. J Van, P Shi, D Zhang, “Mesh simplification with hierarchical shape analysis and iterative edge contraction”, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2004
3. KL Low, TS Tan, “Model simplification using vertex-clustering”, 1997
4. R Shekhar, E Fayyad, R Yagel, JF Cornhill, “Octree-based decimation of marching cubes surface s”, Proceedings of the 7th conference on visualization, 1996
5. M Garland, PS Heckbert, “Surface simplification using quadric error metrics”, Proceeding of the 24 th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 1997
6. C DeCoro, N Tatarchuk, “Real-time mesh simpification using the GPU”, Proceedings of the 2007 s ymposium on Interactive 3D graphics and games, 2007
7. P Chopra, J Meyer, “Tetfusion : an algorithm for rapid tetrahedral mesh simplification”, Proceedin gs of the conference on Visualization, 2002
8. X Chen, A Golovinskiy, T Funkhouser, “A benchmark for 3D mesh segmentation”, SIGGRAPH, 200 9
9. A Shamir, “A survey on mesh segmentation techniques”, Computer Graphics Forum, 2008
10. E Kalogerakis, A Hertzmann, K Singh, “Learning 3D mesh segmentation and labeling”, ACM Transactions on Graphics, 2010
11. Chen, Y. H., Ng, C. T., & Wang, Y. Z. (1999). Generation of an STL File from 3D Measurement Data with User-Controlled Data Reduction. *Int J Adv Manuf Tech*, 15(2), 127-131.
12. Jo, W., Kim, D. H., Lee, J. S., Lee, H. J., & Moon, M.-W. (2014). 3D printed tactile pattern formation on paper with thermal reflow method. *RSC Advances*, 4(60), 31764-31770.
13. Melchels, F. P. W., Feijen, J., & Grijpma, D. W. (2010). A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. *Biomaterials*, 31(24), 6121-6130.
14. Peltola, S. M., Melchels, F. P. W., Grijpma, D. W., & Kellomäki, M. (2008). A review of rapid prototyping techniques for tissue engineering purposes. *Ann Med*, 40(4), 268-280.
15. Pham, D. T., & Gault, R. S. (1998). A comparison of rapid prototyping technologies. *Int J Mach Tool Manu*, 38(10-11), 1257-1287.
16. Social studies textbook 5-1. (2014). Korean Ministry of Education: Chunjae Education Inc.
17. Stangl, A., Kim, J., & Yeh, T. (2014). 3D printed tactile picture books for children with visual impairments: a design probe. Paper presented at the Proceedings of the 2014 conference on Interaction design and children, Aarhus, Denmark.

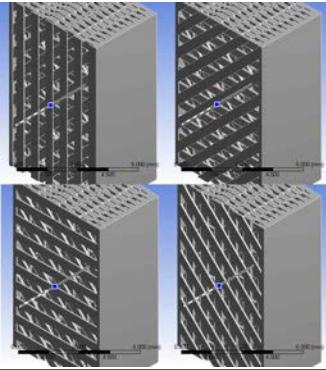
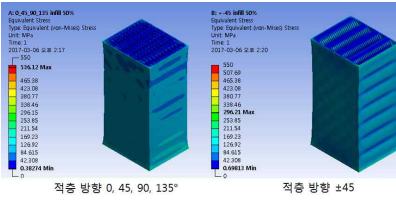
<별첨 자료>

<별첨 1>

시험 절차 · 결과서

참여자	권오창, 엄태산,	일시	16.06.01 – 16.11.30
점검 항목	분할 조각수 및 분할 조각의 인장응력 측정값 (시험 절차서 및 결과서)		
점검 기준	내부 보강구조와 보장구조가 없는 개별 분할영역의 외부응력이 기존 대비 90% 이상인지 시험 절차서 및 결과서로 확인		
점검 방법	실험 기반 Negative Poisson's ratio 측정 및 시뮬레이션 확인		
시험 절차	샘플 제조 방법 또는 프로그램 알고리즘	1. Negative Poisson's Ratio 제작을 위한 3D CAD 모델링 및 G-Code 생성 2. 최적 내부 보강 구조 확인을 위한 다양한 구조의 내부 형상 3D 모델링	샘플 또는 알고리즘 사진 
	시험 방법 또는 프로그램 설명	1. 3D 프린터로 제작된 구조물의 압축 실험 수행 2. 상용 프로그램을 이용한 시뮬레이션 및 응력 분포 평가	실험 또는 프로그램 시연사진 
시험 결과	기존의 100% 채움 구조와 비교하였을 때 80% 내부 채움을 수행한 구조물의 인장강도 감소 폭이 10% 내외로 확인되었음. Negative Poisson's Ratio를 적용한 구조물의 경우 압축 실험 수행 시 구조가 수축되는 현상으로 인하여 외부 충격에 더 강한 특성을 보이는 것으로 확인됨.		

시험 절차 · 결과서

참여자	권오창, 엄태산,	일시	16.12.01 ~ 17.03.31																								
점검 항목	제작 시간 단축율 및 인장응력(시험 절차서 및 결과서)																										
점검 기준	내·외부 보강구조의 3D 프린팅 기술과의 생산성(제작시간 50%이상 단축) 및 비용(재료 30%이상 절감)																										
점검 방법	응력 모델 평가																										
시험 절차	샘플 제조 방법 또는 프로그램 알고리즘	<p>1. 마일스톤 1-1에서 확인한 삼각형 구조물의 인장강도 상승을 확인하기 위하여 상용 해석 프로그램을 활용하여 정밀 분석 수행</p> <p>2. 삼각형 구조물을 제작하기 위한 방법으로 적층 방식을 상용 적층 방식인 $\pm 45^\circ$, 0° 90° 을 제외하고 0° 45° 90° 135° 방식을 채택</p>	<p>샘플 또는 알고리즘 사진</p> 																								
	시험 방법 또는 프로그램 설명	<p>1. 개선된 방식은 인장하중을 받을 경우 하중이 수직, 수평, $\pm 45^\circ$ 네 가지 방향으로 분포가 되기 때문에 응력 집중이 상대적으로 저감되어 기존의 적층 방식에 비하여 하중에 강한 모습을 보이는 것이 확인 됨.</p> <p>2. 응력 분산의 효과로 인하여 개선된 구조물의 경우 기존의 $\pm 45^\circ$ 구조물에 비하여 구조 강도가 약 90 % 향상된 것을 확인 할 수 있음</p>	<p>실험 또는 프로그램 시연사진</p> 																								
시험 결과	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>적층 방향</th> <th>0° 45° 90° 135°</th> <th>$\pm 45^\circ$</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>내부 채움 밀도</td> <td>50 %</td> <td>80 %</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>인쇄 속도</td> <td>55 mm/sec</td> <td>40 mm/sec</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>인쇄 시간</td> <td>50 minute</td> <td>100 minute</td> <td>100% 감소</td> </tr> <tr> <td>재료 소모량</td> <td>6 gram</td> <td>8 gram</td> <td>33% 감소</td> </tr> <tr> <td>프린팅 조건</td> <td colspan="3">노즐 온도 220°C, 베드 온도 60°C, 노즐 직경 0.4 mm, 층간 높이 0.1 mm, 외곽선 개수 1</td></tr> </tbody> </table>			적층 방향	0° 45° 90° 135°	$\pm 45^\circ$	비고	내부 채움 밀도	50 %	80 %	-	인쇄 속도	55 mm/sec	40 mm/sec	-	인쇄 시간	50 minute	100 minute	100% 감소	재료 소모량	6 gram	8 gram	33% 감소	프린팅 조건	노즐 온도 220°C, 베드 온도 60°C, 노즐 직경 0.4 mm, 층간 높이 0.1 mm, 외곽선 개수 1		
적층 방향	0° 45° 90° 135°	$\pm 45^\circ$	비고																								
내부 채움 밀도	50 %	80 %	-																								
인쇄 속도	55 mm/sec	40 mm/sec	-																								
인쇄 시간	50 minute	100 minute	100% 감소																								
재료 소모량	6 gram	8 gram	33% 감소																								
프린팅 조건	노즐 온도 220°C, 베드 온도 60°C, 노즐 직경 0.4 mm, 층간 높이 0.1 mm, 외곽선 개수 1																										

시험 절차 · 결과서

참여자	권오창, 엄태산,	일시	2017.1.27. ~ 2017.03.31																					
점검 항목	문화재 3D Mesh 분할, 출력 및 결합																							
점검 기준	소형 문화재 10조각 이상 분할 (15cm 미만) 대형 문화재 20조각 이상 분할 (15cm 이상)																							
점검 방법	자체 개발 프로그램을 통해 분할 된, 문화재 3D Mesh를 3D 프린터를 통해 출력, 후처리 과정 이후 결합을 통해 점검																							
시험 절차	샘플 제조 방법 또는 프로그램 알고리즘	1. 프린터 출력 가능 크기와 최종 결과물의 크기를 고려하여 분할 2. 분할과정에서 후처리의 용이성, 자원 소모량 감소를 유도하여 분할 3. 최종 결과물 조립의 용이성 및 시각적 아름다움을 보장하는 방향으로 분할	<p>샘플 또는 알고리즘 사진</p> <p>프린트 가능 여부</p> <pre> graph LR A[출력 가능한 크기인가?] --> B[결합 가능한 형태인가?] B --> C[구조적으로 안정적인가?] </pre> <p>생산 효율성 여부</p> <p>유지보수</p> <pre> graph LR D[분할면적이 최소화되었는가?] --> E[재료 소비를 최소화하였는가?] E --> F[의미적으로 분할하였는가?] </pre>																					
	시험 방법 또는 프로그램 설명	1. 자체 개발된 분할 프로그램을 통해 분할 설계 알고리즘을 기준으로 하여 소형, 중형 문화재를 분할 2. 실제 분할된 부품들을 후처리 3. 후처리된 부품들을 결합하여 분할 설계 조건을 만족하였는지 재평가	<p>실험 또는 프로그램 시연사진</p>																					
시험 결과	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>최종 출력 물크기</th> <th>부품 수</th> <th>결합 가능성</th> <th>자원 효율성</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>소형기마상</td> <td>5cm</td> <td>10조각</td> <td>최종결합 가능</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>중형기마상</td> <td>15cm</td> <td>20조각</td> <td>최종결합 가능</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>반가사유상</td> <td>50cm</td> <td>21조각</td> <td>최종결합 가능</td> <td>85%</td> </tr> </tbody> </table>					최종 출력 물크기	부품 수	결합 가능성	자원 효율성	소형기마상	5cm	10조각	최종결합 가능	100%	중형기마상	15cm	20조각	최종결합 가능	100%	반가사유상	50cm	21조각	최종결합 가능	85%
	최종 출력 물크기	부품 수	결합 가능성	자원 효율성																				
소형기마상	5cm	10조각	최종결합 가능	100%																				
중형기마상	15cm	20조각	최종결합 가능	100%																				
반가사유상	50cm	21조각	최종결합 가능	85%																				



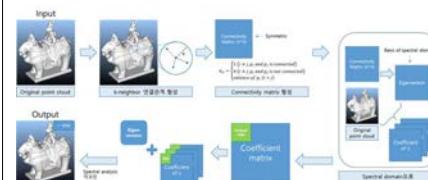
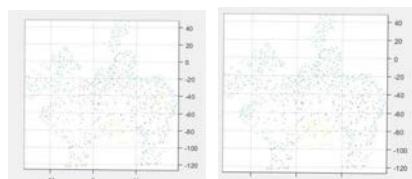
시험 절차 · 결과서

참여자	권오창, 엄태산,	일시	16.04.01 - 16.11.30
점검 항목	전통 소재를 활용한 친환경 3D 프린팅 nm , 소재 개발		
점검 기준	전통소재가 함유된 3D 프린터용 소재 3군 6종 이상 개발 여부		
점검 방법			
시험 절차	샘플 제조 방법 또는 프로	1. 필라멘트형 전통소재가 함유된 3D 프린터용 소재 개발 - 4종 2. 폐이스트형 전통소재가 함유된 3D 프린터용 소재 개발 - 2종	샘플 또는 알고리즘 사진

그램 알고 리즘		<p>필라멘트형 소재 제작</p>
시험 방법 또는 프로그램 설명	<p>1. 1)PLA 파우더와 전통소재를 적정 비율로 혼합 → 2)혼합된 파우더를 압출기를 사용하여 필라멘트 형태로 제작 → 3)제작된 필라멘트를 펠릿 형태로 절단 → 2) - 3) 과정 반복 2. 흙, 물, 소석회를 특정 비율로 혼합 및 상온에서 7일간 건조</p>	<p>실험 또는 프로그램 시연사진</p>
시험 결과	<p>천연소재가 함유된 3D 프린팅이 가능 소재 개발을 완료 하였으며, 각 소재의 강도가 기존 PLA 와 유사한 것을 확인 할 수 있었다.</p>	

시험 절차 · 결과서

참여 자	차상현, 김도환, 최광혁	일시	2016.04.01.~2016.11.30
점검 항목	곡면 재생성 기술 개발		
점검 기준	곡면의 의미기반 유사도 검정 결과가 MRMS 1.5% 미만, MSDM 0.5 미만		
점검 방법	임의의 점군 데이터에 대해 곡면 재생성 이후 유사도 검정 결과가 MRMS 1.5% 미만, MSDM 0.5 미만인지 시험 절차서 및 결과서로 확인		

시험 절차	샘플 제조 방법 또는 프로그램 알고리즘	<p>연구 과정에서 곡면을 기반으로 한 워터마킹보다 point resampling 기술을 이용한 워터마킹이 더 적합하다 판단하여 point resampling 및 spectral analysis를 이용한 domain 변환 기법을 사용</p>  <p>워터마킹 알고리즘 요약</p>
	시험 방법 또는 프로그램 설명	<p>문화재 스캔 데이터에 대해 spectral analysis를 적용한 후 역변환하여 전후의 데이터를 비교분석하여 결과 확인</p> <p>Target model은 point clustering을 생략하기 위해 간략화된 모델인 2046 face 기마상 모델을 사용</p>  <p>재생성 전후의 point cloud data</p>
시험 결과	<p>원본 데이터를 spectral domain으로 변환 후 다른 처리 없이 역변환을 통해 원본 데이터를 다시 계산했을 때 error가 10^{-4} 수준으로, MRMS 및 MSDM 계산 결과 또한 각각 1% 미만, 0.2 미만으로 점검기준을 달성함</p>	

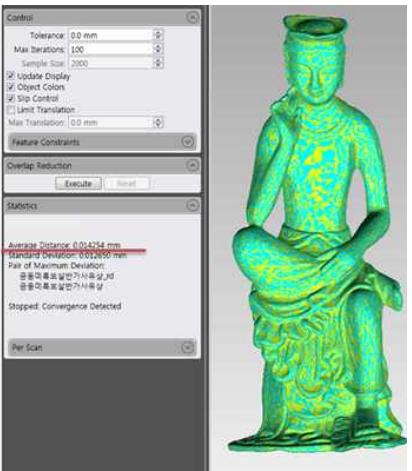
시험 절차 · 결과서

참여자	차상현, 김도환, 최광혁	일시	2016.10.01.~2017.03.31
점검항목	프린트-스캔 공격에 대해 강인한 워터마킹 기술 개발		
점검기준	3D 프린트-스캔 공격을 포함한 각종 복합 공격에 대해 탐지율 90%(프린트-스캔 공격의 경우 80%) 이상		
점검방법	임의의 3D 데이터의 곡면에 워터마킹 이후 프린트-스캔 공격을 포함한 각종 복합 공격을 수행한 뒤, 해당 공격에 대해 강인함을 지니는지 여부 검사		
시험 절차	<p>샘플 제조 방법 또는 프로그램 알고리즘</p> <ul style="list-style-type: none"> - Point data의 정규화를 위하여 point resampling 과정을 point extraction 과정에서 전처리로서 사용함 - Domain transform 방법으로는 spectral analysis를 사용 		<p>샘플 또는 알고리즘 사진</p> <p>워터마킹 전체 과정 도식도</p>
	<p>시험 방법 또는 프로그램 설명</p> <p>문화재 스캔 데이터에 대해 완성된 워터마킹 프로그램을 이용하여 각종 공격을 수행한 뒤, 공격받은 데이터에서 워터마크를 추출하여 탐지율을 분석하여 결과 확인</p>		<p>실험 또는 프로그램 시연사진</p> <p>각 방법으로 워터마킹된 기마상 모델</p>
시험 결과	<p>Noise attack, Affine transformation 등의 공격을 적용한 결과, error가 10^{-2} 이하로 모든 워터마크가 제대로 추출되어 점검기준을 초과 달성함. Print-scan attack의 경우 아직 실제 실험을 수행하지 못함.</p>		<p>각종 공격 후 워터마크 추출 결과</p>

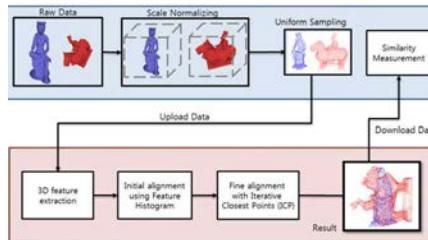
시험 절차 · 결과서

참여자	정석우, 송승현	일시	2016.04.01.~2016.10.31																																				
점검 항목	특징점을 이용한 데시메이션 알고리즘 수행 속도																																						
점검 기준	데시메이션 수행 속도가 5초 이내																																						
점검 방법	3D 메쉬 데이터에서 특징점을 추출하고 데시메이션을 적용하는데 소요되는 시간 총량을 측정함																																						
시험 절차	샘플 제조 방법 또는 프로그램 알고리즘	1. 실험에 사용할 문화재 3D 데이터들을 직접 스캔하여 획득. 2. 본 연구에서 개발한 Relative depth를 활용한 특징점 추출 기법으로 특징점을 추출함. 3. 추출된 특징점을 기반으로 데시메이션을 적용함. VS C++ 언어로 코드를 작성함.	샘플 또는 알고리즘 사진 																																				
	시험 방법 또는 프로그램 설명	11 가지 문화재 데이터에 대해 각각 소요 되는 데시메이션 시간을 측정하여 그 평균값을 구함	실험 또는 프로그램 시연사진 																																				
시험 결과	원본 데이터에 특징점을 추출하고 이를 이용해 데시메이션을 적용하는데 총 소요 시간은 데이터에 따라 3.6~4.89초로 측정되었음. 11회 실험을 통해 구한 알고리즘 평균 소요시간은 3.9 초로 목표를 초과 달성하였음		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Data</th> <th>Points</th> <th>Time(sec)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>쌍사자 석등</td> <td>1107319</td> <td>3.721118</td> </tr> <tr> <td>선덕대왕 신종</td> <td>1942674</td> <td>4.265125</td> </tr> <tr> <td>남대문</td> <td>2054834</td> <td>4.338166</td> </tr> <tr> <td>백제 금동 대향로</td> <td>561916</td> <td>3.365936</td> </tr> <tr> <td>미륵보살반가사유상</td> <td>309084</td> <td>3.201284</td> </tr> <tr> <td>광교</td> <td>1836966</td> <td>4.196285</td> </tr> <tr> <td>목판</td> <td>2851073</td> <td>4.8567</td> </tr> <tr> <td>사택지적비</td> <td>1006732</td> <td>3.655613</td> </tr> <tr> <td>풀만대장경</td> <td>985493</td> <td>3.641781</td> </tr> <tr> <td>해태상</td> <td>1609101</td> <td>4.047892</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>3.92899</td> </tr> </tbody> </table>	Data	Points	Time(sec)	쌍사자 석등	1107319	3.721118	선덕대왕 신종	1942674	4.265125	남대문	2054834	4.338166	백제 금동 대향로	561916	3.365936	미륵보살반가사유상	309084	3.201284	광교	1836966	4.196285	목판	2851073	4.8567	사택지적비	1006732	3.655613	풀만대장경	985493	3.641781	해태상	1609101	4.047892			3.92899
Data	Points	Time(sec)																																					
쌍사자 석등	1107319	3.721118																																					
선덕대왕 신종	1942674	4.265125																																					
남대문	2054834	4.338166																																					
백제 금동 대향로	561916	3.365936																																					
미륵보살반가사유상	309084	3.201284																																					
광교	1836966	4.196285																																					
목판	2851073	4.8567																																					
사택지적비	1006732	3.655613																																					
풀만대장경	985493	3.641781																																					
해태상	1609101	4.047892																																					
		3.92899																																					

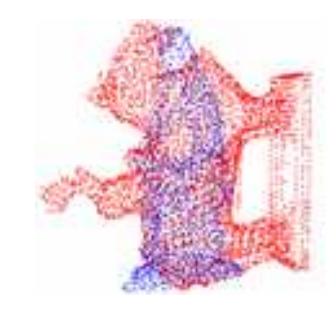
시험 절차 · 결과서

참여자	정석우, 송승현	일시	2016.10.01.~2016.12.31	
점검 항목	특징점을 이용한 데시메이션 알고리즘의 정밀도			
점검 기준	데시메이션 결과와 원본 데이터의 평균 거리(오차)가 0.1mm 이내			
점검 방법	3D 메쉬 데이터에 데시메이션을 적용하고 그 결과를 원본 데이터와 비교하여 평균 거리를 측정함			
시험 절차	샘플 제조 방법 또는 프로그램 알고리즘	<p>직접 스캔하여 획득한 미륵보살 반가사유상 모형 데이터를 실험 데이터로 활용함. 데이터의 스케일은 93.5 cm로 맞추었고, 309,084 개의 포인트로 이루어져 있음.</p>	샘플 또는 알고리즘 사진 	
	시험 방법 또는 프로그램 설명	<p>데이터에서 특징점을 추출하고, 이를 이용한 원본 데이터를 1/10 정도로 간략화하는 데시메이션을 적용함. 원본 데이터와 데시메이션된 데이터를 상용 프로그램 Geomagic을 사용하여 평균 거리(오차) 값을 구함.</p>	실험 또는 프로그램 시연사진 	
시험 결과	<p>특징점을 추출하고 이를 이용해 데시메이션을 적용한 데이터와 원본 데이터를 Geomagic으로 평균 오차를 측정함. 실험 결과 평균 오차는 0.014254mm로 목표를 초과 달성하였음</p>			
				

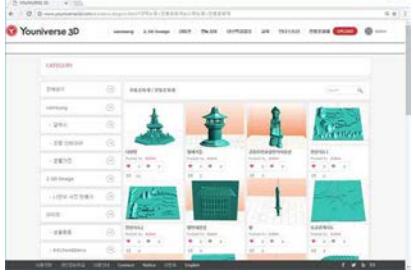
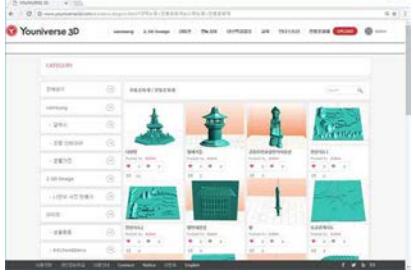
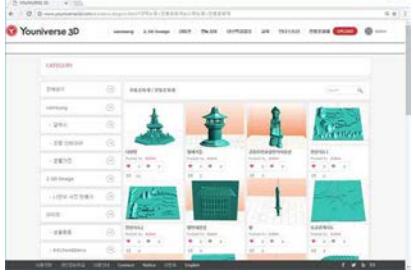
시험 절차 · 결과서

참여자	정석우, 송승현	일시	2016.10.01.~2017.01.31
점검 항목	형태 기반 유사도 비교 분석 알고리즘 수행 속도		
점검 기준	유사 모델 탐지 알고리즘 소요 시간이 1초 이내		
점검 방법	원본 모델과 유사한 변형 모델을 탐지하기 위한 유사도 비교 실험을 10회 이상 수행하여 그 소요 시간을 측정		
시험 절차	샘플 제조 방법 또는 프로그램 알고리즘	<p>1. 실험에 사용할 문화재 Mesh 데이터들을 직접 스캔하여 획득함 2. 쌍사자석등, 미륵보살반가사 유상, 해태상의 데이터들에 Scaling, Decimation, Smoothing, Transformation 등 임의의 변형을 준 데이터들을 각각 생성함 3. 유사도 비교 분석 프로그램을 VS C++ 언어와 PCL 라이브러리를 토대로 작성함. 가속화를 위해 GPU 기반 코딩을 적용</p>	<p>샘플 또는 알고리즘 사진</p> 
	시험 방법 또는 프로그램 설명	<p>제안하는 알고리즘을 통해 원본 데이터와 변형 모델의 유사도를 측정함. 측정된 형태 기반 유사도 알고리즘의 소요 시간을 기록함. 여러 데이터에 대해 총 30회 적용하여 알고리즘 소요 시간의 평균값을 구함</p>	
시험 결과	<p>원본 데이터에 스케일을 맞추어 준 후, Initial Alignment를 통해 방향을 정렬시키고, registration으로 정합하여 최종 fitness score로 similarity rate을 구하였음. 이때 알고리즘의 소요시간을 측정하여 기록하였음. 30번의 실험에서 알고리즘 소요 시간은 0.042~0.984 초로 측정되었음. 평균 소요시간은 0.582초로 목표를 초과 달성하였음.</p>		<p>실험 또는 프로그램 시연사진</p> <pre>maxdist is 2.144886 normalizing source point cloud 0.001000sec maxdist is 2.144886 normalizing target point cloud 0.001000sec Loaded 25273 datasets. Loaded 7782 datasets. leafsize : 0.04 Filtered 553 datasets. Filtered 527 datasets. ---Initial Alignment--- Initial Alignment 0.714000sec ---Fine tuning--- average distance : 0.013453 ICP 0.291000sec similarity rate : 98.654674 two objects are similar objects</pre>

시험 절차 · 결과서

참여자	정석우, 송승현	일시	2016.08.01.~2016.12.31																																																																																																																																																																															
점검항목	형태 기반 유사도 비교 분석 알고리즘 탐지율																																																																																																																																																																																	
점검기준	유사 모델 탐지율 90% 이상																																																																																																																																																																																	
점검방법	원본 모델과 유사한 변형 모델을 탐지하기 위한 유사도 비교 실험을 10회 이상 수행하여 그 결과의 성공률을 측정																																																																																																																																																																																	
시험절차	샘플제조방법 또는 프로그램 알고리즘	1. 실험에 사용할 문화재 Mesh 데이터들을 직접 스캔하여 획득함 2. 쌍사자석등, 미륵보살반가사유상, 해태상의 데이터들에 Scaling Decimation, Smoothing, Transformation 등 임의의 변형을 준 데이터들을 각각 생성함 3. 유사도 비교 분석 프로그램을 VS C++ 언어와 PCL 라이브러리를 토대로 작성함	샘플 또는 알고리즘 사진 																																																																																																																																																																															
	시험방법 또는 프로그램 설명	제안하는 알고리즘을 통해 원본 데이터와 변형 모델의 유사도를 측정함. 측정된 형태 기반 유사도 알고리즘의 탐지 성공 여부를 기록함. 여러 데이터에 대해 총 30회 적용하여 유사 모델 탐지 성공의 평균비율을 구함	실험 또는 프로그램 시연사진 																																																																																																																																																																															
시험결과	여러 가지 데이터들의 유사도를 비교 분석하였음. 원본 데이터와 매칭했을 때 변형 데이터들에 대해서는 유사 물체로 판별하였고, 다른 데이터들에 대해서는 유사하지 않은 물체임을 판별하였음. 30번의 실험에서 모든 데이터가 유사도를 제대로 판별하였음. 실험 결과 유사 모델 탐지율은 100%로 목표를 초과 달성하였음.	<table border="1" data-bbox="820 1540 1245 1805"> <thead> <tr> <th>Data1</th> <th>Data2</th> <th>Alignment distance</th> <th>Similarity (%)</th> <th>Similar Object</th> <th>Correct</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>원사자석등 Decimation(d=2)</td> <td>원사자석등 Decimation(d=4)</td> <td>0.00338</td> <td>99.4613</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>원사자석등 Decimation(d=4)</td> <td>원사자석등 Decimation(d=2)</td> <td>0.00338</td> <td>99.4613</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>원사자석등 Smoothing</td> <td>원사자석등 Decimation & Smoothing</td> <td>0.00675</td> <td>98.9875</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>원사자석등 Decimation & Smoothing</td> <td>원사자석등 Smoothing</td> <td>0.00594</td> <td>99.709</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>원사자석등 Smoothing</td> <td>원사자석등 Decimation & Smoothing</td> <td>0.00594</td> <td>99.709</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>미륵보살반가사유상</td> <td>미륵보살반가사유상</td> <td>0.04870</td> <td>2.691</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>미륵보살반가사유상 Decimation(d=2)</td> <td>미륵보살반가사유상 Decimation(d=4)</td> <td>0.15984</td> <td>46.034</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>미륵보살반가사유상 Scalling(d=5)</td> <td>미륵보살반가사유상 Decimation(d=2)</td> <td>0.00178</td> <td>99.999</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>미륵보살반가사유상</td> <td>미륵보살반가사유상 Scalling(d=5)</td> <td>0.22498</td> <td>66.753</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>미륵보살반가사유상 Decimation(d=2)</td> <td>미륵보살반가사유상 Decimation(d=4)</td> <td>0.28637</td> <td>57.9995</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>미륵보살반가사유상 Decimation(d=4)</td> <td>미륵보살반가사유상 Decimation(d=2)</td> <td>0.00598</td> <td>99.702</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>미륵보살반가사유상 Smoothing</td> <td>미륵보살반가사유상 Decimation & Smoothing</td> <td>0.00536</td> <td>99.812</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>미륵보살반가사유상 Decimation & Smoothing</td> <td>미륵보살반가사유상 Smoothing</td> <td>0.00593</td> <td>99.92995</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>미륵보살반가사유상 Scalling(d=5)</td> <td>미륵보살반가사유상 Decimation & Smoothing</td> <td>0.00593</td> <td>99.92995</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해태상</td> <td>해태상 Decimation(d=2)</td> <td>0.22890</td> <td>65.725</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해태상 Decimation(d=4)</td> <td>해태상 Decimation(d=2)</td> <td>0.20987</td> <td>65.8095</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해태상 Scalling(d=5)</td> <td>해태상 Decimation(d=2)</td> <td>0.19695</td> <td>71.4175</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해태상 Decimation(d=2)</td> <td>해태상 Scalling(d=5)</td> <td>0.21234</td> <td>71.4175</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해태상 Decimation(d=4)</td> <td>해태상 Decimation(d=2)</td> <td>0.21297</td> <td>68.3145</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해태상 Decimation(d=2)</td> <td>해태상 Decimation(d=4)</td> <td>0.00355</td> <td>99.4618</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해태상 Smoothing</td> <td>해태상 Decimation(d=2)</td> <td>0.00359</td> <td>99.4618</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해태상 Decimation & Smoothing</td> <td>해태상 Decimation(d=2)</td> <td>0.00398</td> <td>99.7025</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해태상 Decimation & Smoothing</td> <td>해태상 Smoothing</td> <td>0.00398</td> <td>99.9424</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해태상 Scalling(d=5)</td> <td>해태상 Decimation(d=2)</td> <td>0.12353</td> <td>79.31255</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>해태상 Decimation(d=2)</td> <td>해태상 Scalling(d=5)</td> <td>0.10952</td> <td>70.3714</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>원사자석등 Decimation(d=2)</td> <td>원사자석등 Scalling(d=5)</td> <td>0.10985</td> <td>79.021825</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>원사자석등 Scalling(d=5)</td> <td>원사자석등 Decimation(d=2)</td> <td>0.10495</td> <td>54.725</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>원사자석등 Decimation(d=2)</td> <td>원사자석등 Scalling(d=5)</td> <td>0.10645</td> <td>59.725</td> <td>X</td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table>	Data1	Data2	Alignment distance	Similarity (%)	Similar Object	Correct	원사자석등 Decimation(d=2)	원사자석등 Decimation(d=4)	0.00338	99.4613	○	○	원사자석등 Decimation(d=4)	원사자석등 Decimation(d=2)	0.00338	99.4613	○	○	원사자석등 Smoothing	원사자석등 Decimation & Smoothing	0.00675	98.9875	○	○	원사자석등 Decimation & Smoothing	원사자석등 Smoothing	0.00594	99.709	○	○	원사자석등 Smoothing	원사자석등 Decimation & Smoothing	0.00594	99.709	○	○	미륵보살반가사유상	미륵보살반가사유상	0.04870	2.691	X	○	미륵보살반가사유상 Decimation(d=2)	미륵보살반가사유상 Decimation(d=4)	0.15984	46.034	X	○	미륵보살반가사유상 Scalling(d=5)	미륵보살반가사유상 Decimation(d=2)	0.00178	99.999	○	○	미륵보살반가사유상	미륵보살반가사유상 Scalling(d=5)	0.22498	66.753	X	○	미륵보살반가사유상 Decimation(d=2)	미륵보살반가사유상 Decimation(d=4)	0.28637	57.9995	X	○	미륵보살반가사유상 Decimation(d=4)	미륵보살반가사유상 Decimation(d=2)	0.00598	99.702	○	○	미륵보살반가사유상 Smoothing	미륵보살반가사유상 Decimation & Smoothing	0.00536	99.812	○	○	미륵보살반가사유상 Decimation & Smoothing	미륵보살반가사유상 Smoothing	0.00593	99.92995	○	○	미륵보살반가사유상 Scalling(d=5)	미륵보살반가사유상 Decimation & Smoothing	0.00593	99.92995	○	○	해태상	해태상 Decimation(d=2)	0.22890	65.725	X	○	해태상 Decimation(d=4)	해태상 Decimation(d=2)	0.20987	65.8095	X	○	해태상 Scalling(d=5)	해태상 Decimation(d=2)	0.19695	71.4175	X	○	해태상 Decimation(d=2)	해태상 Scalling(d=5)	0.21234	71.4175	X	○	해태상 Decimation(d=4)	해태상 Decimation(d=2)	0.21297	68.3145	X	○	해태상 Decimation(d=2)	해태상 Decimation(d=4)	0.00355	99.4618	○	○	해태상 Smoothing	해태상 Decimation(d=2)	0.00359	99.4618	○	○	해태상 Decimation & Smoothing	해태상 Decimation(d=2)	0.00398	99.7025	○	○	해태상 Decimation & Smoothing	해태상 Smoothing	0.00398	99.9424	○	○	해태상 Scalling(d=5)	해태상 Decimation(d=2)	0.12353	79.31255	X	○	해태상 Decimation(d=2)	해태상 Scalling(d=5)	0.10952	70.3714	X	○	원사자석등 Decimation(d=2)	원사자석등 Scalling(d=5)	0.10985	79.021825	X	○	원사자석등 Scalling(d=5)	원사자석등 Decimation(d=2)	0.10495	54.725	X	○	원사자석등 Decimation(d=2)	원사자석등 Scalling(d=5)	0.10645	59.725	X	○		
Data1	Data2	Alignment distance	Similarity (%)	Similar Object	Correct																																																																																																																																																																													
원사자석등 Decimation(d=2)	원사자석등 Decimation(d=4)	0.00338	99.4613	○	○																																																																																																																																																																													
원사자석등 Decimation(d=4)	원사자석등 Decimation(d=2)	0.00338	99.4613	○	○																																																																																																																																																																													
원사자석등 Smoothing	원사자석등 Decimation & Smoothing	0.00675	98.9875	○	○																																																																																																																																																																													
원사자석등 Decimation & Smoothing	원사자석등 Smoothing	0.00594	99.709	○	○																																																																																																																																																																													
원사자석등 Smoothing	원사자석등 Decimation & Smoothing	0.00594	99.709	○	○																																																																																																																																																																													
미륵보살반가사유상	미륵보살반가사유상	0.04870	2.691	X	○																																																																																																																																																																													
미륵보살반가사유상 Decimation(d=2)	미륵보살반가사유상 Decimation(d=4)	0.15984	46.034	X	○																																																																																																																																																																													
미륵보살반가사유상 Scalling(d=5)	미륵보살반가사유상 Decimation(d=2)	0.00178	99.999	○	○																																																																																																																																																																													
미륵보살반가사유상	미륵보살반가사유상 Scalling(d=5)	0.22498	66.753	X	○																																																																																																																																																																													
미륵보살반가사유상 Decimation(d=2)	미륵보살반가사유상 Decimation(d=4)	0.28637	57.9995	X	○																																																																																																																																																																													
미륵보살반가사유상 Decimation(d=4)	미륵보살반가사유상 Decimation(d=2)	0.00598	99.702	○	○																																																																																																																																																																													
미륵보살반가사유상 Smoothing	미륵보살반가사유상 Decimation & Smoothing	0.00536	99.812	○	○																																																																																																																																																																													
미륵보살반가사유상 Decimation & Smoothing	미륵보살반가사유상 Smoothing	0.00593	99.92995	○	○																																																																																																																																																																													
미륵보살반가사유상 Scalling(d=5)	미륵보살반가사유상 Decimation & Smoothing	0.00593	99.92995	○	○																																																																																																																																																																													
해태상	해태상 Decimation(d=2)	0.22890	65.725	X	○																																																																																																																																																																													
해태상 Decimation(d=4)	해태상 Decimation(d=2)	0.20987	65.8095	X	○																																																																																																																																																																													
해태상 Scalling(d=5)	해태상 Decimation(d=2)	0.19695	71.4175	X	○																																																																																																																																																																													
해태상 Decimation(d=2)	해태상 Scalling(d=5)	0.21234	71.4175	X	○																																																																																																																																																																													
해태상 Decimation(d=4)	해태상 Decimation(d=2)	0.21297	68.3145	X	○																																																																																																																																																																													
해태상 Decimation(d=2)	해태상 Decimation(d=4)	0.00355	99.4618	○	○																																																																																																																																																																													
해태상 Smoothing	해태상 Decimation(d=2)	0.00359	99.4618	○	○																																																																																																																																																																													
해태상 Decimation & Smoothing	해태상 Decimation(d=2)	0.00398	99.7025	○	○																																																																																																																																																																													
해태상 Decimation & Smoothing	해태상 Smoothing	0.00398	99.9424	○	○																																																																																																																																																																													
해태상 Scalling(d=5)	해태상 Decimation(d=2)	0.12353	79.31255	X	○																																																																																																																																																																													
해태상 Decimation(d=2)	해태상 Scalling(d=5)	0.10952	70.3714	X	○																																																																																																																																																																													
원사자석등 Decimation(d=2)	원사자석등 Scalling(d=5)	0.10985	79.021825	X	○																																																																																																																																																																													
원사자석등 Scalling(d=5)	원사자석등 Decimation(d=2)	0.10495	54.725	X	○																																																																																																																																																																													
원사자석등 Decimation(d=2)	원사자석등 Scalling(d=5)	0.10645	59.725	X	○																																																																																																																																																																													

시험 절차 · 결과서

참여자	손동석, 전창호	일시	2016.08.01.~2017.3.31											
점검항목	3D 프린터용 전통문화재 활용 플랫폼 구축													
점검기준	웹 기반 온라인 서비스 실시 여부													
점검방법	웹기반 온라인 서비스 및 3D 프린팅 기술 적용 여부													
시험 절차	샘플 제조 방법 또는 프로그램 알고리즘	<p>- 안정적 웨호스트웨어 기반 3D 프린팅 컨텐츠 온라인 서비스 (전통문화재 데이터 무료 제공 서비스 개시, 암호화 기술 적용을 통한 저작권보호기술 적용)</p>												
	시험 방법 또는 프로그램 설명	<p>- No 컴퓨터 : 3D프린터에서 컴퓨터없이 STL파일을 사이트에서 다운받는 기술(2016년 웹호스트웨어 기술 활용) - 원격출력기술 : 3D프린터에 안드로이드 O/S를 적용하여 WIFI를 통해 컨텐츠 사이트를 통해 원격으로 출력하는 기술(2015년 온라인 프린팅기술 활용) www.youniverse3d.com 사이트에 접속하여 전통문화재 및 3D파일을 원격으로 출력</p>												
시험 결과	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 5px;">개발 기술</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">적용 기술 내용</th> <th colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">제품 이미지</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 10px;">No 컴퓨터</td> <td style="text-align: center; padding: 10px;"> - 3D프린터에서 컴퓨터없이 STL파일을 사이트에서 다운받는 기술(2016년 호스트웨어 웹프로그램 기술 활용) </td> <td style="text-align: center; padding: 10px;"> 2014년 : 에디슨 S, Multi, Pro, H700 2016년 : Stealth 300, INVIVO </td> <td style="text-align: center; padding: 10px;">    </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 10px;">웹기반 원격 출력 기술</td> <td style="text-align: center; padding: 10px;"> - 3D프린터에 안드로이드 O/S를 적용하여 WIFI를 통해 컨텐츠 사이트를 통해 원격으로 출력하는 기술(2015년 온라인 프린팅기술 활용) www.youniverse3d.com 사이트에 접속하여 전통문화재 및 3D파일을 원격으로 출력 </td> <td style="text-align: center; padding: 10px;"> 2016년 : Stealth 300, INVIVO 2017년 : Stealth 450 </td> <td style="text-align: center; padding: 10px;">  </td> </tr> </tbody> </table>		개발 기술	적용 기술 내용	제품 이미지		No 컴퓨터	- 3D프린터에서 컴퓨터없이 STL파일을 사이트에서 다운받는 기술(2016년 호스트웨어 웹프로그램 기술 활용)	2014년 : 에디슨 S, Multi, Pro, H700 2016년 : Stealth 300, INVIVO	  	웹기반 원격 출력 기술	- 3D프린터에 안드로이드 O/S를 적용하여 WIFI를 통해 컨텐츠 사이트를 통해 원격으로 출력하는 기술(2015년 온라인 프린팅기술 활용) www.youniverse3d.com 사이트에 접속하여 전통문화재 및 3D파일을 원격으로 출력	2016년 : Stealth 300, INVIVO 2017년 : Stealth 450	
개발 기술	적용 기술 내용	제품 이미지												
No 컴퓨터	- 3D프린터에서 컴퓨터없이 STL파일을 사이트에서 다운받는 기술(2016년 호스트웨어 웹프로그램 기술 활용)	2014년 : 에디슨 S, Multi, Pro, H700 2016년 : Stealth 300, INVIVO	  											
웹기반 원격 출력 기술	- 3D프린터에 안드로이드 O/S를 적용하여 WIFI를 통해 컨텐츠 사이트를 통해 원격으로 출력하는 기술(2015년 온라인 프린팅기술 활용) www.youniverse3d.com 사이트에 접속하여 전통문화재 및 3D파일을 원격으로 출력	2016년 : Stealth 300, INVIVO 2017년 : Stealth 450												

9. 뒷면지(주의문)

주 의

1. 이 보고서는 문화체육관광부.한국콘텐츠진흥원에서 시행한 ‘2014년도 문화기술 연구개발 지원사업 사업’의 연구 보고서입니다.
2. 본 연구보고서 내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 문화체육관광부.한국콘텐츠진흥원의 ‘2014년도 문화기술 연구개발 지원사업 사업’의 연구개발 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.