〈 Contents 〉

1. Outline of Research and Development ····· 1
2. Current Status of R&D in Domestic and Overseas ····· 5
3. Contents of Research and its Outcome ····· 7
4. Achievements and Expected Contributions ····· 274
5. Application Planning of Research Results ····· 307
6. Scientific and Technical Information Obtained during Research ····· 308
7. Security Degree of Research Results ····· 308
8. Registered Research Facilities and Equipments in the National Science and Technology Information System ····· 308
9. Records of Safety Treatment at the Lab. in the Course of Research ····· 308
10. Representing Research Results ····· 309
11. Miscellaneous Items ····· 311
12. References ····· 312

Appendix: Firmware Source-Program for the Developed 3D Printer ····· 313

〈 목 차 〉

제1장. 연구개발과제의 개요 ····· 1
1. 연구개발 목적 ····· 1
2. 연구개발의 필요성 ····· 1
3. 연구개발의 범위 ····· 3
제2장. 국내외 기술 개발 현황 ····· 5
제3장. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 7
1. 콘크리트 면의 조형미관 창출용 디자인 ····· 7
2. 20μm 적층정밀도로 대형부재 제작 가능한 맞춤형 3D프린터 개발 ····· 68
3. 입체조형 콘크리트 폼라이너의 3D프린팅 제작과 현장 시험시공 ····· 214
4. 입체조형 콘크리트 보호외피의 3D프린팅 제작과 현장 시험시공 ····· 274
제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 303
1. 목표 달성도 ····· 303
2. 관련분야 기여도 ····· 306
제5장. 연구개발성과의 활용계획 ····· 307
제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 308
제7장. 연구개발성과의 보안등급 ····· 308
제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황 ····· 308
제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 308
제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 309
제11장. 기타 사항 ····· 311
제12장. 참고 문헌 ····· 312

부록: 개발한 3D프린터의 펌웨어 소스프로그램 ····· 313

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

○ ICT를 활용한 융합기술 개발의 국가 시책에 부응하여 근래에 미래 제조산업의 총아로 각광받고 있는 3D프린터를 활용한 미래주도 글로벌 건설 신기술의 개발이 필요하다.

○ 본 연구개발과제의 추진목적은 외관이 빼어난 조형적인 미관을 갖춘 구조물을 건설하여 환경 친화적인 도시미관과 도로·철로 변의 미관을 창출하고, 부가적으로 콘크리트의 열화방지 수단을 겸비하여 구조물의 수명을 연장시켜 생애주기비용을 절감하는 3D프린터를 활용한 첨단 콘크리트 면처리 기술을 개발하는 것이다. 본 과제의 기술은 당장의 국내 수요를 창출할 수 있는 실용화 기술인 동시에 고부가가치의 첨단기술이고, 해외에도 다수의 수요가 예상되는 글로벌 신기술로 평가되는 기술이며, 국내의 침체된 건설산업의 활성화에도 일조할 수 있는 국가의 융합기술 시책에 부응하는 매우 시의적절한 과제로 인지된다.

○ 또한 2013년 개정된 경관법에서 도로, 철도 등 사회기반시설과 건축물에 대한 경관조성이 강화됨에 따라, 본 과제의 콘크리트 구조물에 대한 미관창출은 경관조성에 대한 국가시책에도 적극 부응하는 과제이다.

○ 현재 토목·건축 구조물을 건설할 때는 다른 재료에 비해 경제적이면서도 구조적으로 안전하고 많은 기술경험이 축적된 콘크리트를 주로 사용하고 있다. 이러한 콘크리트 구조물은 분명한 이점이 있지만, 투박하고 외관의 조형적인 미관을 살리기가 쉽지 않으며, 시간이 지나면서 콘크리트의 노화가 진행되고 철근이 부식되면서 수명이 단축되고 외관이 매우 흉하게 변하게 된다. 본 과제에서는 콘크리트 구조물의 이 두 가지 단점을 첨단기술을 활용하여 획기적으로 보완·개선 하고자 하는데 목적이 있다.

○ 현재 3D프린터의 기술로는 대부분 작은 치수의 입체물을 제작하고 있으나, 3D프린팅 제조물을 건설분야에 적용하기 위해서는 큰 부재를 만들 수 있도록 별도의 맞춤형 3D프린터를 개발해야 한다. 본 연구에서는 건설분야에 적용할 상당히 큰 부재를 제작할 수 있는 3D프린터를 개발하여 디자인기술과 건설기술을 융합한 새로운 분야의 개척을 통해서 창의적인 연구결과를 도출하고자 한다. 본 과제의 3D프린팅 기술에 대한 1차 테스트단계, 2차 실용화단계를 거쳐 3차 현장적용단계에서 시장의 반응과 함께 실질적인 검증이 이루어진다면 앞으로 건설분야 뿐만 아니라 다양한 분야에서 돌발적인 가치가 예상된다.

○ 3D프린터는 기존의 값비싼 몰드 제작과정을 생략하고 디지털 데이터를 이용하여 입체구조의 제품을 다양한 소재를 사용하여 매우 경제적으로 제작할 수 있는 첨단 제조도구이다. 본 과제에서 개발할 콘크리트 보호외피의 제조 재료로는 플라스틱, 폴리에스터, 비닐에스터, 에폭시, 폴리케톤 등의 다양한 합성수지 레진과 유리섬유, 탄소섬유 등의 강화섬유를 사용한 건설 신소재인 복합소재가 활용될 것이다. 이러한 관점에서 본 융합연구의 건설분야 연구팀은 복합소재 구조물에 대한 연구개발과 연구결과물의 현장 적용에서 선도적인 연구력과 축적된 기술력을 보유하고 있어 성공적으로 과제를 수행할 수 있다고 본다.

2. 연구개발의 필요성

○ 기술적 경제산업적 측면의 기술개발 필요성과 창의성 및 차별성: 기존의 콘크리트 면은 특별한 미관처리를 하지 않거나 단순하고 조악한 패턴으로 처리하는 수준이다. 건설, 디자인, 3D프린터 기술들을 융합하여 콘크리트 면을 입체적·예술적 수준으로 조형처리하는 기법은 기존에는 없는 차별화된 매우 창의적인 기술이므로 기술적 측면에서 매우 중요한 기술이며 연구개발의 필요성이 크게 인지된다. 그림 1.1과 1.2에는 콘크리트나 석재로 만든 벽면 또는 기둥을 미관처리한 해외 사례들을 보여주고 있으며, 이러한 형상들은 본 과제에

서 개발할 3D프린터를 활용한 방법을 이용하면 보다 경제적이며 효과적으로 구현이 가능하다. 또한 별다른 보호조치를 하지 않은 기존의 콘크리트 면은 풍화, 침식 등의 열화에 직접 노출되고 있지만, 본 연구에서와 같이 콘크리트 면에 보호외피를 처리하면 콘크리트의 열화와 손상을 저감시키므로 콘크리트 내구성을 증대시켜 구조물의 수명은 연장시키고 유지관리비는 절감시켜 생애주기비용(LCC)을 감소시켜준다. 그림 1.3~1.9에는 콘크리트의 각종 열화 사례와 저감방안들을 보여 주고 있으며, 본 과제에서 개발하는 콘크리트 보호외피를 적용하여 이러한 열화를 미연에 방지시켜 주고 구조물의 내구수명을 연장시킬 수 있다. 구조물의 내구수명을 증대시키는 기술은 장기적으로 국가인프라 투자효율을 극대화시켜 줄 수 있어 경제산업적 측면에서 매우 중요한 기술이므로 본 연구개발은 절대적으로 필요하다. 본 기술은 국내외적으로 당장에 활용 가능한 기술이므로 경제산업적 측면의 파급효과도 매우 클 것으로 예상된다. 본 연구의 이러한 기술은 세계적으로도 아직 개척되지 않은 매우 창의적이고 차별성이 있는 새로운 미래주도의 글로벌 신기술이다.

○ 사회문화적 측면의 기술개발 필요성: 도시 및 노변 공공시설물과 건축물의 외관이 주변경관과 잘 어울리는 아름답고 예술적인 미관을 창출하면 국민들에게 심리적 안정을 도모하고 여유를 되찾아 주는 복지효과도 기대되며, 노변 구조물의 교통안전표시나 안내표시를 부가해 줄 경우, 교통안전에도 일조할 수 있는 효과가 기대되므로 사회문화적인 측면에서도 기술개발의 필요성이 인지된다.



그림 1.1. 석재부조를 이용한 빌딩 외벽의 미관처리 해외사례



그림 1.2. 폼라이너를 이용한 콘크리트 면 미관처리 해외 사례 (USA)



그림 1.3. 콘크리트 노화와 철근부식



그림 1.4. 교량하부 콘크리트 열화와 철근 부식



그림 1.5. 항만의 중력식 안벽 침식



그림 1.6. 시험시공된 유리섬유 복합소재 침식방지막(2002년 군산항)



그림 1.7. 하수 암거 콘크리트의 노화 탈락 모습(싱크홀 유발)



그림 1.8. 콘크리트 노후 열화를 가속시키는 폐수처리장 구조물

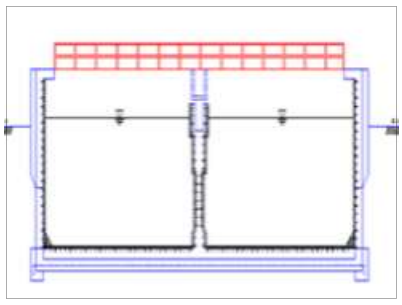


그림 1.9. 수처리 구조물의 열화저감 보호외피 안(검은 굵은 실선)

○ 융합기술 개발의 필요성: 본 연구에서는 콘크리트 면에 대한 조형미관 조성을 위해 맞춤형 3D프린터로 제작한 제품을 사용한다. 이러한 종합기술을 개발하기 위해서는 콘크리트 구조물과 신소재로 제작된 콘크리트 보호외피의 구조적인 특성에 대한 지식을 갖춘 건설기술, 예술적인 미관을 창출할 수 있는 조형디자인 기술, 디자인 디지털 데이터의 가공 IT기술, 3D프린터를 본 용도에 맞도록 개발할 수 있는 하드웨어 및 소프트웨어 기술들이 반드시 복합적으로 필요하다. 따라서 본 연구의 콘크리트 면처리용 입체조형 폼라이너 및 보호외피의 신제품 개발과 이를 적용할 수 있는 신기술 및 신공법의 개발을 위해서는 본 연구진과 같이 건설, 디자인, IT, 3D프린터 기술들을 융합한 기술을 보유한 복합 연구팀이 절대적으로 필요하다.

○ 최종성과물의 수요자 연계가능성: 콘크리트 면의 미관창출 기법은 콘크리트로 건설하는 각종 건축물, 도로・철로 변 시설물에 친환경적인 분위기를 창출하고 미관을 증진시키므로, 건축물인 경우 미관조성에 관심 있는 건축주가 본 개발기술의 수요자가 되고, 공공시설물인 경우 미관조성에 관심을 가진 국가 또는 지방자치단체가 수요자가 되므로 본 개발기술을 바로 연계 적용할 수 있다고 사료된다. 특히 2013년에 개정된 경관법에는 건축물 및 기반시설물에 대한 경관조성이 법적으로 요구되며 강화되고 있다. 따라서 본 개발기술을 이용하여 콘크리트 구조물의 미관을 창출함으로써 확대되는 경관조성 수요에 직접적으로 연계 적용시킬 수 있으므로 연구개발의 중요성과 필요성이 인지된다.

○ 기술 개발의 시의성: 1970년대부터 국가가 급속하게 성장하면서 지금까지 건설된 콘크리트 구조물들은 주로 기능성을 위주로 하고 미관은 크게 고려되지 않은 경제적인 구조로만 건설되었다. 그러나 지금은 우리나라가 경제적으로 상당한 수준에 도달해 있어 기능성뿐만 아니라 구조물의 미관도 반드시 고려해야 되는 시점에 와 있으므로, 각종 콘크리트 구조물 외관의 예술적 조형미를 창출하기 위한 본 과제의 융합기술 개발은 매우 시의 적절하다. 또한 본 과제는 건축 및 공공시설물의 경관조성을 법적으로 요구한 2013년에 개정된 경관법 정책과 ICT를 활용한 융합기술 개발의 국가시책에도 잘 부응하는 매우 시의 적절한 연구과제이다. 한편 본 과제에서 폐플라스틱 재활용 가능성을 연구하는 것도 자원 재활용과 환경문제를 해소하는데 일조할 수 있는 큰 시의성을 갖추고 있으므로 기술개발의 필요성이 인지된다.

○ 기술 개발의 시급성: 최근 제조업의 혁명을 주도할 3D프린터 기술이 날로 발전되고 있어 세계적으로 이 기술의 건설분야 활용에 대한 관심이 급증되고 있는 추세이다. 이러한 시대적 요구에 부응하고 건설분야 신기술의 글로벌 경쟁력을 선제적으로 확보하기 위해서는 본 과제의 건설분야 활용 맞춤형 3D프린터 개발에 대한 기술개발이 시급히 요구된다. 본 과제의 입체조형 디자인된 콘크리트 폼라이너 및 보호외피 제품을 3D프린터로 제작하는 기법은 세계적으로 아직 미개척 분야이므로 우리나라가 글로벌 기술을 선도하기 위해서는 본 과제의 기술개발이 시급히 요구된다. 또한 2013년 개정된 경관법에 의해 경관심의가 강화됨에 따라 이러한 시책에 당장에 부응하는 본 과제의 미관증진용 제품개발의 시급성이 인지된다.

3. 연구개발 범위

○ 건설, 조형디자인, 3D프린터, IT분야의 기술을 융복합하여 첨단 콘크리트 면처리 기술을 개발하기 위해 환경친화적인 조형미관 창출을 위한 다양한 디자인 패턴을 개발하고, 콘크리트 면처리용 폼라이너 및 보호외피의 제작에 대한 재료 선정과 구조설계를 수행한다. 아울러 대형부재를 제조할 수 있는 맞춤형 3D프린터를 개발하며, 개발된 3D프린터를 이용하여 예술적인 입체 미관의 콘크리트 폼라이너와 보호외피를 제작하여 실제 콘크리트 벽체에

시험시공하고, 그 기능성, 심미성, 실용성을 종합적으로 검증한다.

○ 조형디자인 분야의 주요 연구내용 및 범위는 콘크리트 구조물의 미관 현황 조사, 콘크리트 구조물의 조형 디자인 사례 분석, 실내 디자인용 입체조형 면처리 기법 개발, 환경 친화적 입체조형 디지털 디자인, 유형 별 VR(가상현실) 디자인 개발, 조형 모델의 초소형 축소와 반복패턴 기법 개발, 지역 및 구역 특성이 현시된 서비스 조형 디자인 개발, 특정목적 구현의 디자인 유형 개발, 사진 효과의 단색 명암 조형 처리기법 개발, 사진형상의 입체화 기법 연구, 구조물의 입체조형 디자인을 위한 디지털 사진 자료의 적용 기법 개발, 디지털 영상의 입체형 부조처리 응용기술 연구, 디자인 적용효과의 시뮬레이션 및 평가, 대상사례의 미관 및 특정목적 증진효과 분석, 원거리 인지 거대 스케일 조형처리 기법 개발, 디자인 모델 고해상 확대 및 모자이크 조합 기법 연구이다.

○ 3D프린터 분야의 주요 연구내용 및 범위는 국내외 3D프린터 연구개발 동향 조사분석, 콘크리트 면처리 제품용 맞춤형 3D프린터의 제작성능목표 설정, 제품 제작용 재료의 조사분석, 콘크리트 면처리 적용 대상 분류, 적용 대상별 활용 재료의 적합도 분석 및 선정, 하드웨어의 맞춤화 설계 및 제작, 대형치수 제작용 펌웨어 및 소프트웨어 개발, 프린터헤드 조합의 설계 및 제작, 프린터헤드 열화상분포도 분석과 헤드 적정성 평가, 3D프린터 헤드의 반복 개선 설계 및 제작, 사진 효과의 입체조형 모델 제작기법 연구, 명암 인식 3D프린팅 기능 개발, 대형치수 제조용으로 개발된 3D프린터의 제작성 및 완성도 평가이다.

○ 건설 분야의 주요 연구내용 및 범위는 폼라이너 및 보호외피의 국내외 현황 조사 및 분석, 최종 3D프린팅 제품의 성능목표 설정, 폼라이너 필러 설계, 폼라이너 및 보호외피의 구조설계 및 해석, 거푸집-탈부착 상세 및 상호 이음구조 상세 설계, 콘크리트-외피 부착구조 상세설계, 설계된 제품의 축소모형 3D프린팅 제작, 시험제작품의 품질 평가 및 개선, 폼라이너 적용을 위한 최적 콘크리트 및 혼화제 선정, 콘크리트 면 하니콤 방지기법 연구, 축소모형 콘크리트 벽체 시험제작, 실물크기 시제품의 3D프린팅 제작, 제작된 시제품의 실내 구조성능 시험, 폼라이너 및 보호외피 적용 실물크기 콘크리트 벽체 시험시공에 대한 종합평가이다.

제2장. 국내외 기술 개발 현황

○ 그림 2.1과 2.1에 보인 바와 같이, 현재 국내에서는 대부분 콘크리트 구조물에 경제적 기술적 이유로 특별한 미관처리를 하지 않고 있다. 그나마 일부 활용되고 있는 콘크리트 면의 미관처리 기술은 그림 2.3과 같이 매우 초보적이고 조악한 정도이다. 그러나 그림 2.4, 2.5에 보인 바와 같이 선진국에서는 콘크리트 면에 대한 미관처리를 상당히 정교한 수준으로 하고 있다. 이 경우 상당한 비용이 요구되는 음각처리된 강재거푸집을 사용하기 때문에 아직은 널리 활용되지 못하고 있는 실정이다. 본 과제에서 개발하는 맞춤형 3D프린터를 활용하면 높은 예술적 조형처리가 경제적으로 가능하기 때문에, 이러한 경제적 기술적 한계는 간단히 극복될 수 있을 것으로 전망된다.



그림 2.1. 기존 콘크리트 옹벽의 노후화와 미관 저해 모습



그림 2.2. 기존 아파트 외벽의 균열, 누수 및 콘크리트 노화 모습



그림 2.3. 국내 옹벽/벽체의 조악한 미관 처리 모습

○ 본 과제에서는 도시의 구역이나 자치지역의 특성, 도로・철로 변의 주변 경관, 통과 차량의 속도 등을 다각도로 고려하여 자연과 인공물을 예술적으로 디자인하는 소프트웨어적 기술도 필연적으로 요구된다. 건설분야에 활용될 수 있는 조형 디자인 유형은 정적조형과 동적조형 또는 자연물과 인공물로 각각 구분할 수 있다. 정적조형으로는 풀, 나무, 수풀 등의 식물이나 바위, 산, 퇴적암, 강, 산수 등의 무생물이 자연물 대상이 될 수 있고, 사람, 집단모임, 태극기, 자동차, 열차, 비행기, 선박 등이 인공물 대상이 될 수 있다. 한편 동적조형으로는 호랑이의 도약, 치타의 쾌속 질주, 말 경주, 새(기러기 이동, 갈매기), 가창오리의 군무, 개미떼, 벌떼 등의 동물이나 물결, 파도, 폭포, 흐르는 계곡물 등의 무생물이 자연물 대상이 될 수 있다.

○ 어떤 조형을 할 것인가는 주변 경관과 어떻게 어울리는지를 검토하여 결정해야 한다. 또한 지역이나 구역의 홍보를 위해 지역 특성이나 고적, 도시 구역의 특성 등도 대상이 될 수 있다. 야간의 표식이나, 홍보, 미관 등을 위해서는 야광을 활용하는 방법도 있다. 미관을 더욱 증진시키기 위해서는 채색처리를 구현할 수 있는 3D프린터의 응용 개발도 필요하다. 본 과제의 조형디자인분야 연구팀은 자연과 인공물에 대한 정적인 풍경이나 움직이는 물체에 대한 동적인 묘사에 대한 평면 또는 입체 형상의 예술적인 디자인, 컴퓨터 그래픽 기술, 디지털 디자인 자료생산 기술에 대한 풍부한 경험과 축적된 지식을 갖추고 있어 디자인과 융합된 새로운 첨단기술을 도출할 수 있는 것으로 전망된다. 그림 2.6~2.7에는 본 과제에 활용될 수 있는 조형디자인 예들을 보여주고 있다.

○ 3D프린터 장비는 이미 여러 유형이 상용화되고 있으나, 본 융합연구의 건설분야 제품은 대형 치수와 연속적인 부조(浮彫, relief)기술 결합이 요구되므로 이에 적합한 맞춤형 3D프린터 장비에 대한 응용개발과 제작용 재료의 합성 제조공법에 대한 하드웨어적 응용개발이 필수적이다. 그림 2.9에는 3D프린터로 건물모형을 제작하는 해외사례를 보여주고 있으며

이와 유사한 응용개발을 본 과제에서 추진하고자 한다. 본 과제의 맞춤형 3D프린터를 개발하기 위해서는 장비의 여러 부분에서 새로운 설계와 제작이 요구된다. 그림 2.10~2.12에는 이러한 맞춤형 3D프린터 개발과 연관하여 수정 개발해야 할 분야들의 일부를 보여준다.

○ 본 융합연구 과제를 수행하는 조형디자인 연구팀은 3D프린터 장비의 하드웨어적 응용개발 및 적용기술에 대한 축적된 연구력과 기술력을 보유하고 있으며, 동시에 예술적 디자인 기법과 컴퓨터 그래픽 및 디지털 디자인에 대한 복합적인 연구력과 기술력도 함께 구비하고 있으므로 융합과제의 성공적인 수행이 전망된다.



그림 2.4. 콘크리트 벽체 미관처리 미국 사례 (Highway 161, USA)



그림 2.5. 수족관 입구 콘크리트 벽면 미관처리 일본 사례



그림 2.6. 부조 형태의 디자인 사례

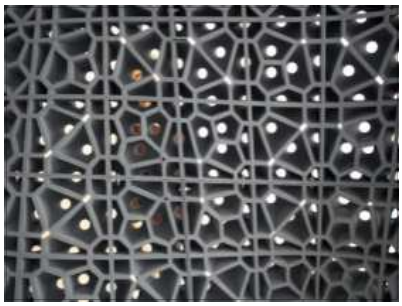


그림 2.7. 단순반복 조형미

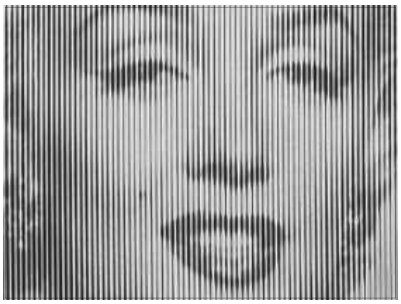


그림 2.8. 스테레오 비젼형 디자인

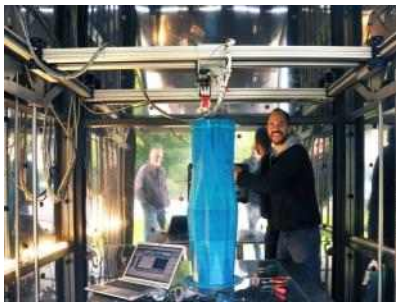


그림 2.9. 3D프린팅 건물모형 제작 (DUS Architects, 네덜란드)



그림 2.10. 대형 3D프린터 헤드



그림 2.11. 3D프린터 헤드 노즐

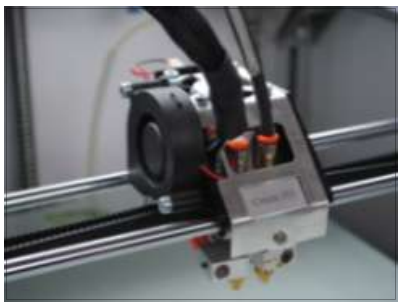


그림 2.12. 3D프린터 FDM 헤드

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 콘크리트 면의 조형미관 창출용 디자인

가. 조형미관 창출용 디자인 관련 국내외 현황 조사 및 분석

(1) 콘크리트 구조물의 미관 현황 조사연구

○ 2013년 개정된 경관법에서 도로, 철도 등 사회기반시설과 건축물에 대한 경관조성이 강화됨

○ 현재 토목·건축 구조물을 건설할 때는 다른 재료에 비해 경제적이면서도 구조적으로 안전하고 많은 기술경험이 축적된 콘크리트를 주로 사용. 이러한 콘크리트 구조물은 분명한 이점이 있지만, 투박하고 외관의 조형적인 미관을 살리기가 쉽지 않으며, 시간이 지나면서 콘크리트의 노화가 진행되고 철근이 부식되면서 수명이 단축되고 외관이 매우 흉하게 변하게 됨

○ 그림 2.1과 2.2에 보인 바와 같이, 현재 국내에서는 대부분 콘크리트 구조물에 특별한 미관처리를 하지 않고 있으며, 그나마 일부 활용되고 있는 콘크리트 면의 미관처리 기술은 그림 2.3과 같이 매우 초보적이고 조악한 수준임

○ 국외 선진국에서는 콘크리트 면에 대한 미관처리가 상당히 정교한 수준임(그림 2.4~2.6). 하지만 상당한 비용이 요구되는 음각처리된 강재거푸집을 사용하기 때문에 아직은 널리 활용되지 못하고 있는 실정임

(2) 콘크리트 구조물의 조형디자인 사례 조사분석

(가) 국내 현황

◯ 저채도의 색상 구성

◯ 동, 식물의 형상을 활용한 패턴 구성

◯ 저부조, 중부조 위주의 대비

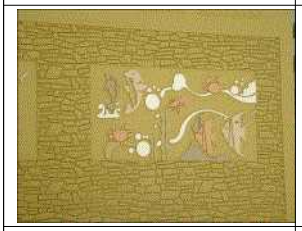
			
Art Form	Art Form	Art Form	mrcns
			
mrcns	mrcns	경은건축	노래방
			
미술관	불교	송원자원환경센터	올림픽공원
			
올림픽공원	외벽	전시장	파주
			
패널	패널	평화의댐좌안고아장	포니정홀

그림 3.1.1 국내 콘크리트 구조물 조형미관 창출 예

(나) 국외 현황

① 미국

○ 중부조, 고부조 위주의 대비

○ 직선의 반복이 많음

○ 다양한 소재의 활용

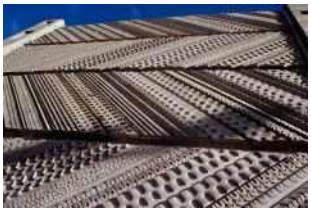
		
daytonesuperior	fitzgerald	fitzgerald
		
fitzgerald	scottsystem	scottsystem

그림 3.1.2 미국의 콘크리트 구조물 조형미관 창출 예

② 아시아

○ 자유곡선 위주의 구성

○ 고채도의 색상 배합

○ 단일 모듈 구성

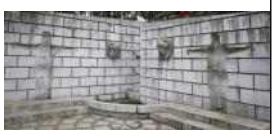
			
단순반복	만리장성	우산공원_1	우산공원_2

그림 3.1.3 아시아의 콘크리트 구조물 조형미관 창출 예

③ 유럽

○ 독특한 형태의 틀을 반복하여 벽체를 구성

○ 타일 내의 패턴이 다른 타일의 패턴과 연결되어 경계가 없는 디자인을 연출

○ 리소페인 등 독특한 기법으로 벽면에 이미지를 표현함

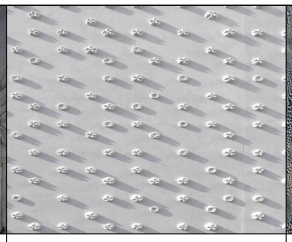
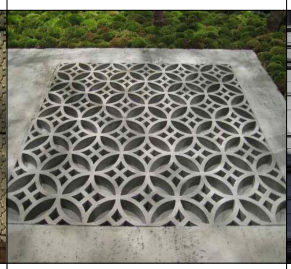
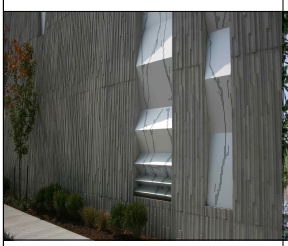
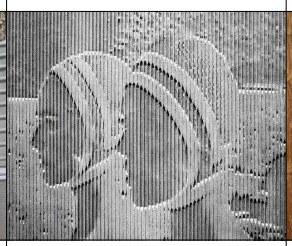
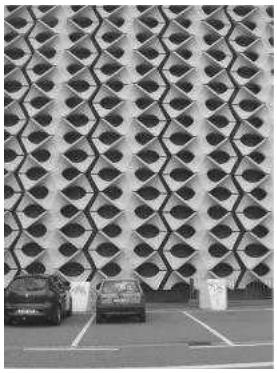
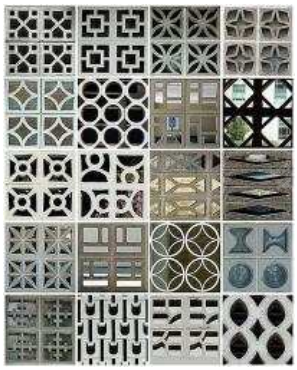
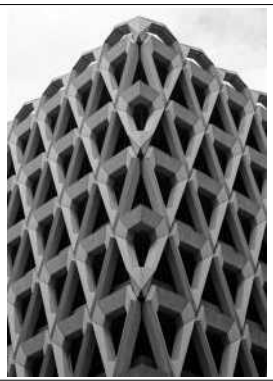
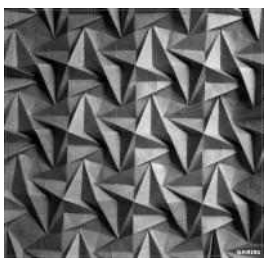
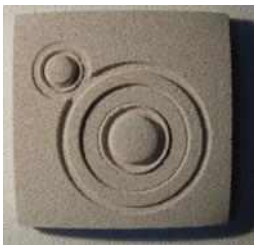
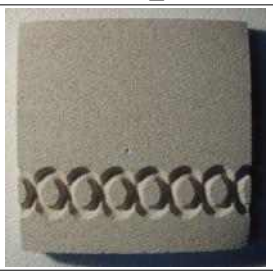
			
Atelier	K-archi	Reckli	Reckli
			
Reckli	Reckli	Reckli	Reckli
			
Reckli	Reckli	Reckli	Reid
			
Reid	Reid	Roland Popensieker	Romegialli
			
HGR Arquitectos	Nieto Sobejano Arquitectos	Nihal Demirel	

그림 3.1.4 유럽의 콘크리트 구조물 조형미관 창출 예

④ 기타사례

			
curtainwall-1	curtainwall-2	curtainwall-3	curtainwall-4
			
curtainwall-5	elijah porter-1	elijah porter-2	ella doran-1
			
ex-1	ex-2	ex-3	ex-4
			
ex-5	ex-6	ex-7	ex-8
			
ilan garibi-1	pauline gorelov-1	tile-1	tile-2

			
tile-3	tile-4	tile-5	벽
			
보드	외벽_1	외벽_2	외벽_3
			
외벽_4	외벽_5	외벽_6	외벽_7
			
외벽_8	외벽_9	외벽_10	외벽_12
			
외벽_13	외벽_14	외벽_15	외벽_16
			
외벽_17	패너	패널_1	패널_2

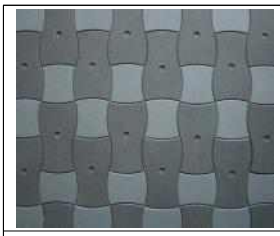
	
패턴	패턴_2

그림 3.1.5 기타 사례

나. 실내 디자인형 입체조형 면처리 기법 개발

(1) 콘크리트 내벽면의 실내 디자인 효과 유발기법 연구

(가) 실내벽 사례

○ 고채도의 색상 구성

○ 음영을 활용한 미관 창출

○ 고부조 위주의 구성

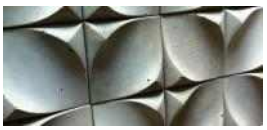
			
KAZA-1	Matsys-1	republic-1	romegialli-1
			
urbanproduct-1	실내	실내인테리어_1	실내인테리어_2
			
실내인테리어_3	실내인테리어_4	실내인테리어_5	실내인테리어_6
			
실내인테리어_7	실내인테리어_8	실내인테리어_9	실내인테리어_10
			
실내인테리어_11	실내인테리어_12		

그림 3.1.6 실내벽 사례

(나) 표현적 특성

<표 3.1.1> 질감에 의한 벽의 표현특성

패턴에 의한 표현특성	표현양상	양감에 의한 표현특성	표현양상
수평적 패턴	대지의 삽입에 의한 무거움	돌출된 형식	시각적인 운동감의 표현
수직적 패턴	자유로움과 가벼움	부착된 형식	과거 표상적 기능
추상적 패턴	비물질화를 통한 가벼움	후퇴된 형식	시각적인 운동감의 표현
구상적 패턴	가벼움과 시각적인 깊이감		

<표 3.1.2> 재료에 의한 벽의 표현특성

표현특성	재료의 종류	표현양상
투명한 재료	투명한 유리	-빛의 투과, 반사 -내, 외부 결합과 동시에 색, 빛과 결합되어 변형
	불투명한 유리	-반사의 효과 -반사에 의한 공간의 확장
불투명한 재료	페인트	-벽을 다른 성질로 변화 -반사에 의한 공간의 확장
	금속	-혼성적이면서 현대적인 표현
	콘크리트	-빛의 내포와 반사 -콘크리트 고유의 성질과 다른 재료와의 혼합 -즉물적인 질감의 표현
혼성된 재료	인공적인 재료와 전통적인 재료의 혼성	-이미지 변형과 혼성적 느낌 -완벽한 디테일, 스케일의 극소화 -하이테크적인 표현과 자연적인 느낌의 혼합

(다) 기하학적 표현 양식

- 기하학적 단위형태의 반복은 각 단위 형태가 어떤 리듬 박자와 같아 크고 적은 수가 사용될 때의 디자인은 단순하면서 힘차게 나타남
- 반면 크기가 현저히 작고 많은 수의 단위 형태가 사용될 때는 미립자적인 요소로 구성된 질이 균등한 작품으로 나타남
- 즉, 시선의 이동으로 상대적으로 동적인 느낌을 줌으로써 리듬감이 나타나게 하는 것으로 시각적인 힘의 강약 효과라 볼 수 있음

(라) 벽면장식의 기하학적 표현

- 기하학적 표현을 중심으로 한 실내 벽면은 생동감과 율동성을 효과적으로 느낄 수 있음
- 실내 공간을 더욱 명쾌하고 아름답게 장식할 수 있는 역할을 함
- 무미건조한 현대인의 결핍된 정서를 충족시켜 줄 수 있음

(마) 실내공간을 장식할 때 유의할 점

- 실내 분위기의 질서와 균형을 유지하여야 함
- 형태 혹은 색상에 있어서 통일성을 가져야함
- 장식이 강조되어 공간 자체의 연출이 방해되지 않는 범위 안에서 벽면 장식을 이용해야 함

(바) 벽면의 부조장식이 실내공간에 미치는 영향

- 환경 조형 대상의 다양화를 꾀할 수 있음
- 실내 공간에 안락함과 편안함을 제공할 수 있음
- 대형화된 콘크리트 건물의 획일화된 평면의 공허한 실내 벽면에 입체적 장식을 설치함으로서 인간의 생활 장소를 조형적으로 아름답게 하고 정서적 안정감과 시각적 즐거움을

주는 기능적 성격을 하는 것임
- 2차원적인 평면에서와는 다른 독특한 표현요소가 일반적인 조형요소와 함께 나타남
- 물리적 공간과 작품에 표현되어 있는 운동감, 촉감, 색, 빛, 형태 등의 조형적 공간이 함께 하며, 빛의 조건에 따라 무한한 공간감을 느낄 수 있음

(사) 고/저 부조의 차이

○ 고부조
- 표면의 볼륨감이 높은 부조로서 입체감이 매우 뚜렷한 경우를 말함
- 시각적 역동감을 잘 표현해 주면 뚜렷한 입체감으로 인해 보는 사람으로 하여금 심리적 활기와 약동감을 느끼게 함

○ 저부조
- 표면 볼륨의 높이가 보통이거나 낮은 것으로 입체감이 심하지 않아 잔잔하고 편안한 분위기를 자아냄
- 빛을 받았을 때 빛의 각도에 따라 생동감, 율동감, 변화감을 나타낼 수 있음

(아) 실내 벽면에 예술적 조형성을 표출시킴으로써 장식이 가져다주는 효과

○ 심리적 측면
- 공간에 대한 공포감 제거
- 시각적 즐거움
- 인간의 사고와 인격형성에의 영향

○ 문화적 측면
- 인간 형태에 따른 삶의 방식을 나름대로 이해해야 함
- 인간에게 적합한 생활공간을 쾌적하게 이룰 수 있어야 함
- 실내 공간의 기능적 요소와 감성적인 요소들의 밀도를 높여 문화적인 공간을 구축하는 작업

○ 심미적 측면
- 소극적인 장식의 연출에서 벗어나 적극적인 참여로 기능을 유도하는 측면
- 유동하는 시선에 흥미를 부여, 힘의 변화를 주어 유기적인 공간을 형성하는 것은 심미적 욕구를 충족시킴
- 다양한 형태, 인간 생활의 철학적 심리적인 면을 반영

(자) 디자인 개념으로서의 실내조경
- 실내 환경 속에서 식물은 살아있는 미적 혹은 디자인적인 요소일 뿐 아니라 건강한 실내 환경을 만드는데 기여함
- 하나의 공간이 기획되는 단계에서 식물에 대한 절대적 인식이 없어서는 이를 위한 공간적 배려도 없으며 실내공간이 구성되는 단계에서는 더욱 살아있는 식물을 도입할 수 있는 공간형성이 어려워짐
- 효율적인 도시공간의 구축 및 도시경관과 환경문제의 해결이라는 두 가지 측면에서 21세기 토지의 한계성을 극복할 수 있는 새로운 영역으로 부각되고 있음

(차) 실내식물의 심리적 기능 연구
- 대부분의 사람들이 식물과의 시각적 접촉이 가능한 실내 공간이나 실내 조경이 설치된 공간에서 스트레스를 덜 받는다고 많은 연구에서 입증되고 있음
- 주의회복 이론을 뒷받침할 만한 실험을 통하여 회복환경으로의 노출이 집중력을 향상시

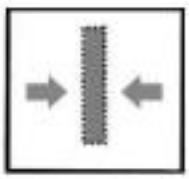
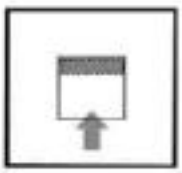
키거나 유지시키는 데 기여한다고 함

- 오피스에서 생활하는 근무자들의 각종 스트레스로 인한 건강 악화를 방지하는 차원에서 근무자들의 건강을 가장 우선시하여 심리적 건강효과를 극대화할 수 있는 시지각적 특성들과 환경 조절적 요소들을 추출하여, 오피스 휴게공간에 적용할 수 있는 방법에 대해 이론적 연구가 수행되고 있음

(카) 벽면 녹화

- 벽면녹화를 적용할 수 있는 건축 요소는 크게 벽면, 천장 면, 기둥, 코어, 계단 등이 있음
- 벽면은 실내공간의 건축 벽면(구조벽)을 그대로 이용하는 방법과 새로이 가벽을 생성해서 벽면녹화를 하는 방법이 있음
- 식물 자체와 배치로 동선의 유도, 방향성 등 공간의 흐름을 조절하는 구획 명료화의 기능과 식물을 이용해서 불필요한 시선을 차단하는 차단 및 은폐 기능이 포함됨
- 벽면에 녹화를 계획 시, 벽면녹화의 크기와 면적에 따라 시각적 효과가 있음
- 벽면녹화를 설치할 경우 식물이 가지는 효과인 산소의 공급, 이산화탄소의 흡수의 환경적 효과로 실내 공기의 질을 향상
- 실내 소음을 감소시키는 기능
- 자동관수시스템과 벽면녹화의 플랜터의 재질과 보드, 흙의 함수량 등에 의하여 실내공간의 습도 조절이 가능

〈표 3.1.3〉 벽면녹화 해외사례 분류표

KLUUVI, Finland			CBG MEB, The Netherlands			Clariant, Beijing		
로비공간	사진		로비공간	사진		로비공간	사진	
	기능	인포메이션		기능	휴게공간		기능	코어공간
벽면녹화	유형		벽면녹화	유형		벽면녹화	유형	
	형태	수평형		형태	수직형		형태	수직형
	설치형태	구조벽		설치형태	가벽생성		설치형태	구조벽
	효과	기업이미지		효과	심리적		효과	시각적
	설치년도	2012		설치년도	2012		설치년도	2010

(타) 자연 공조

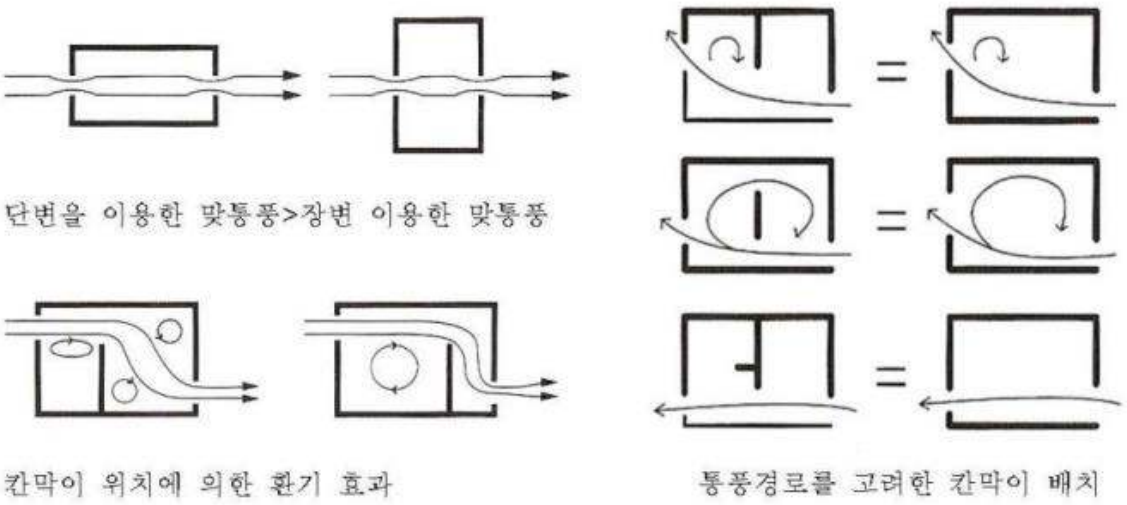


그림 3.1.7 실내 칸막이에 따른 기류 흐름

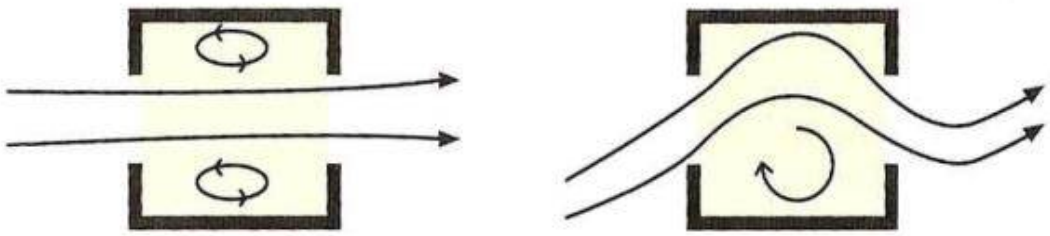


그림 3.1.8 개구부와 바람방향

(파) 식물벽정원 하이드 버티칼가든TM의 효과

- 식물벽정원은 도시녹화 면적의 증대, 건물의 개성과 환경에 어울리는 마감재
- 도시 열섬현상 저감, 건물 단열성 향상, 대기정화, 소음저감, 도시의 수경 효과

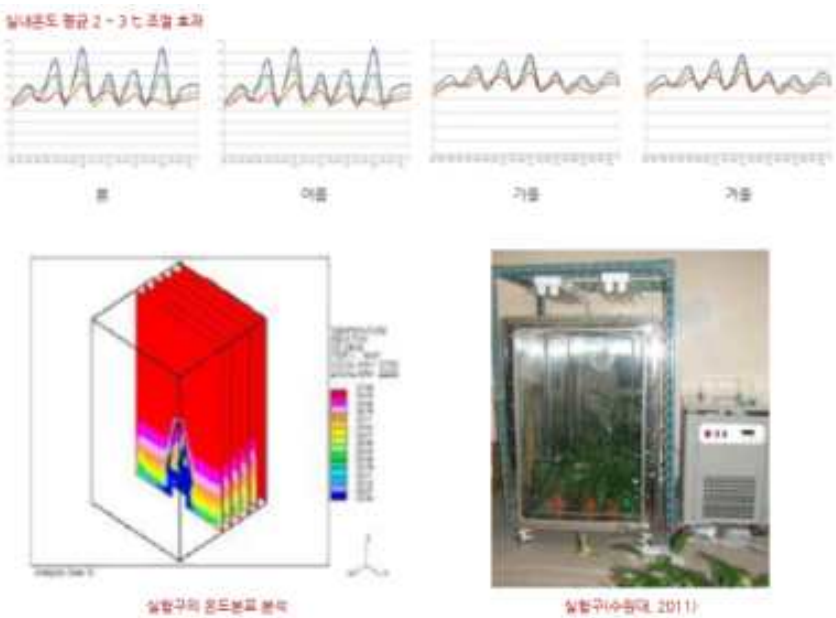


그림 3.1.9 실내 온도 조절 및 인테리어 효과

(2) 실내 벽 입체조형 디자인 패턴 개발

(가) square 패턴

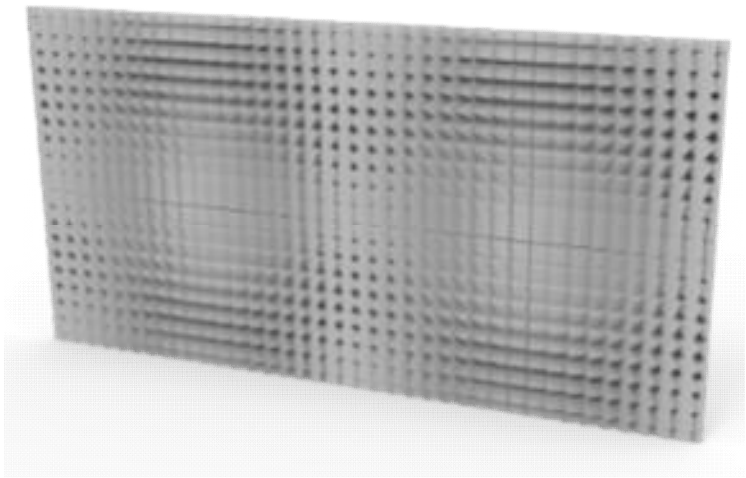


그림 3.1.10 square 패턴

1. Alias Autostudio를 이용해 제작함 2. 25*25*25 정육면체를 배치하고 [Edit]메뉴 - Duplicate 기능 실행 3. X number 20, Y number 1, Z number 1로 입력하고, Translation을 X축 25, Rotation을 Y축 4.5로 입력 4. X축 방향으로 만들어진 모델을 Duplicate 기능, X number 1, Y number 20, Z number 1, Translation을 Y축 25, Rotation을 X축 4.5로 입력 5. 제작된 모델의 네거티브 면의 커브를 Z축 방향으로 [Extrude]하여 서포터가 필요한 부분을 없앰 6. 겹치는 Surface를 [Intersect] - [Trim]하여 정리함 결과물을 Duplicate하여 1000*500*50 규격으로 완성함

(나) waffle 패턴

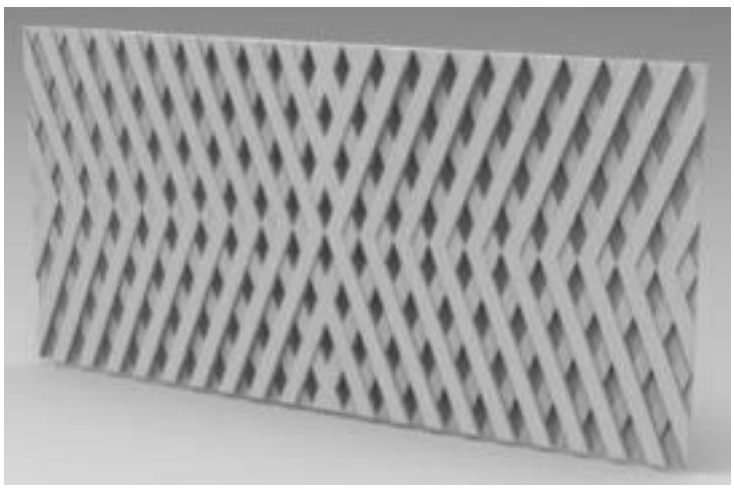


그림 3.1.11 waffle 패턴

1. Alias Autostudio를 이용해 제작함
2. 제작 규격인 1000*500*50mm를 4등분하여 Base surface 제작
3. [Object] - [Square], [Non-proportional Scale]을 이용해 기초 도형 A, B 제작
4. A를 [Edit] - [Duplicate], X number 10, translation X 50, Z 4로 입력
5. B를 [Edit] - [Duplicate], X number 10, translation X 50로 입력
6. Base surface의 Curve를 이용해 [Project] - [Trim]으로 불필요한 부분을 삭제
7. [Edit] - [Mirror]로 제작 규격에 맞게 패턴을 반전하여 연결

(다) wave 패턴

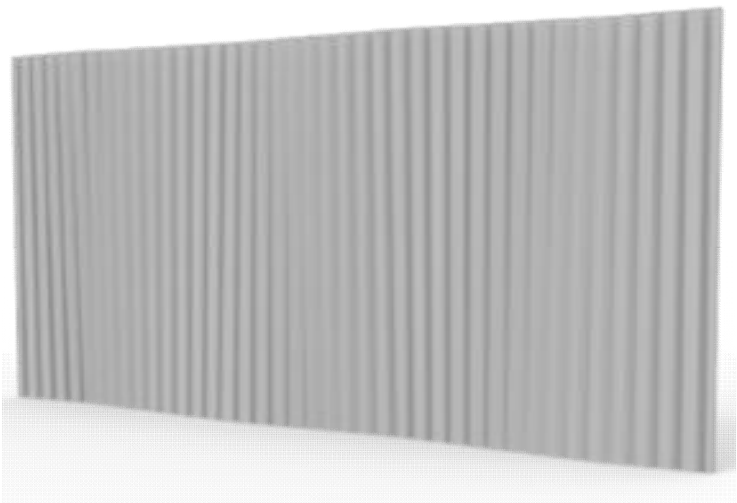


그림 3.1.12 wave 패턴

1. Alias Autostudio를 이용해 제작함
2. [object] - [square] - [Non-proportional scale]를 이용해 기초 도형 제작
3. [Edit] - [duplicate], X number 10, Translation X 25, Rotation 9 입력
4. Seamless 패턴을 위해 양 끝 모델의 각도가 동일하도록 제작
5. [edit] - [mirror]로 제작 규격이 되도록 반전, 복제함
6. 겹치는 Surface를 [Intersect] - [Trim] 하여 면 정리 후 평평한 후면을 제작해 출력 가능한 형태로 수정

(라) SOFA 패턴

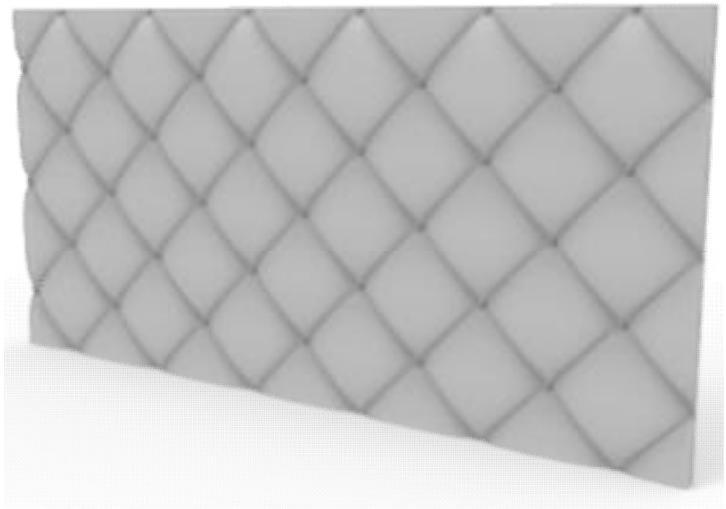


그림 3.1.13 SOFA 패턴

1. 제작 3D TOOL : RHINO 2. Line툴을 통해 가로 5CM, 세로 5CM 정사각형을 제작한다 3. Control point curve 툴을 통해 볼륨감 있는 호를 그린다 4. surface from network of curves 툴로 그려진 커브를 선택하여 면을 제작한다 5. 완성된 면을 알맞은 수로 복사 붙여넣기 하여 Rotate 한 후. 알맞은 사이즈로 Split하여 완성한다

다. 환경 친화적 조형 미관 창출을 위한 디자인 패턴 연구

(1) 3D프린팅 제작을 위한 입체조형 디지털 디자인 기법 연구

(가) Rhino Grasshopper를 이용한 비정형 건물 외벽 패턴 디자인

○ Parametric Design의 개요

- 컴퓨터의 계산에 의해 정의되어진 디자인으로 수학적 공식에 의해 생성되는 일련의 규칙을 가지는 조형 방법.
- 주로 동일한 형태의 반복이 아닌 각 피스마다 증식적 알고리즘을 통해 변화를 가지는 디자인에 사용
- 대량생산 체제에 연결될 수 없으나 3D프린팅 기술의 발전에 따라 다른 각도로 재조명

(나) Grasshopper의 개요

- Rhinoceros 3D 모델링 프로그램에 plug-in되어 사용하는 툴
- 모든 명령어를 시각화 하여 나타내며 각각의 아이콘을 연결하여 연산
- 모든 과정의 History를 실시간으로 변경
- 수동으로 작업할 수 없는 많은 양의 모델링을 빠르게 처리

(다) Grasshopper 예시

○ Image sampler

- 이미지의 명암을 0에서 1까지의 숫자로 변환하여 오브젝트 변형 값과 매칭 시키기 위해 Image Sampler를 사용하는 방법

○ Square Grid

- 그리드를 형성하기 위해 Square grid크기에 슬라이더로 값을 입력하고 Extent X,Y에 마

찬가지로 슬라이더 값을 입력. 생성된 포인트에 Cylinder를 연결하여 각 포인트마다 배치하고 Radius에 슬라이더로 값을 설정. 또는, 이후에 생성할 Graph Mapper의 연산 값을 연결하여 Image Sampler의 수치에 따라 Cylinder의 반경이 결정되도록 함. 생성된 Cylinder에 Cap holes를 연결하여 솔리드로 만듦

○ Image Sampler

- Image Sampler가 적용될 X, Y 도메인을 지정하기 위해 Rhino툴바에서 값을 추출. 이때 높이가 "0" 인 Cylinder를 생성할 수 없기 때문에 Image Sampler와 Larger Than을 연결. 0.1보다 큰 좌표를 True로 보내고 Cull Pattern으로 0.1보다 작은 좌표를 무시. Image Sampler의 최대 값인 "1" 이 사용하기에 너무 작기 때문에 multiplication을 사용하여 증폭시킴

○ Graph Mapper

- Image Sampler가 적용될 X, Y 도메인을 지정하기 위해 Rhino툴바에서 값을 추출. 이때 높이가 "0" 인 Cylinder를 생성할 수 없기 때문에 Image Sampler와 Larger Than을 연결. 0.1보다 큰 좌표를 True로 보내고 Cull Pattern으로 0.1보다 작은 좌표를 무시. Image Sampler의 최대 값인 "1" 이 사용하기에 너무 작기 때문에 multiplication을 사용하여 증폭시킴
- 완만한 곡면을 만들기 위해 Graph Mapper를 사용한다. 그래프 유형은 "Beizer" 로 함

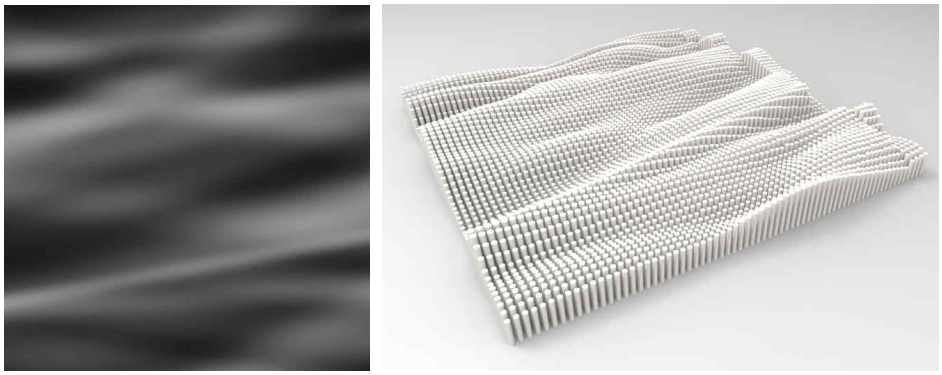


그림 3.1.14 곡면의 패턴디자인

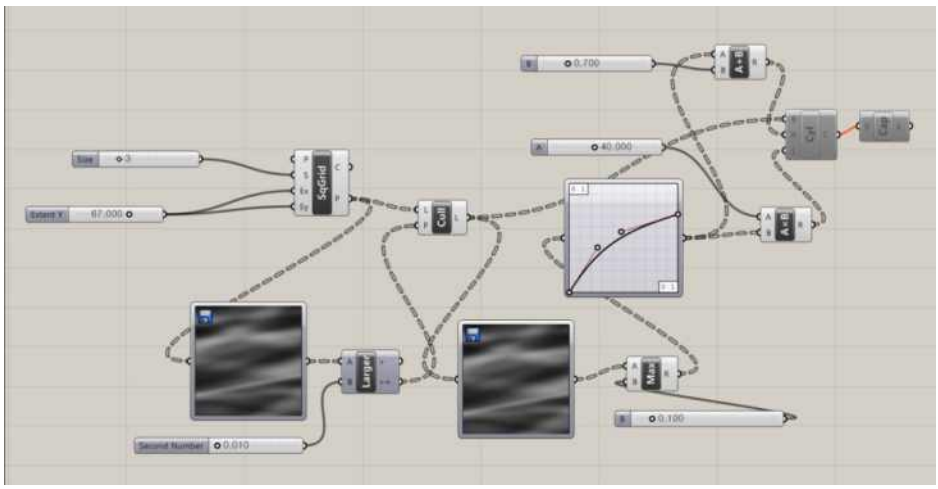


그림 3.1.15 Grass hopper를 이용한 곡면 디자인

○ Surface Closest point

- 면을 UV좌표로 분할하여 다른 개체와의 거리에 따라 변형 값을 설정하는 방법
- 예시에서는 커브의 형상에 따라 각 모듈이 회전하는 형태를 표현 함

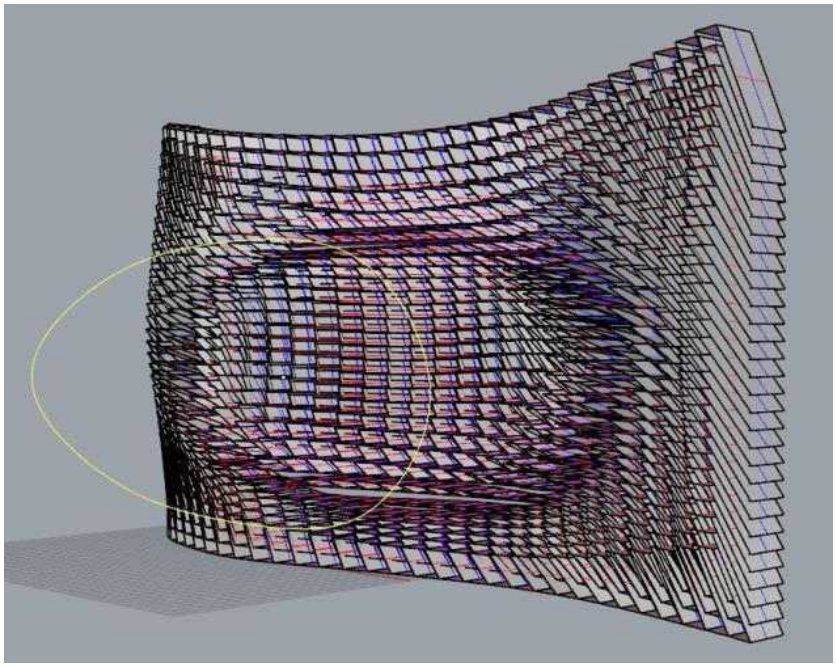


그림 3.1.16 곡면 surface

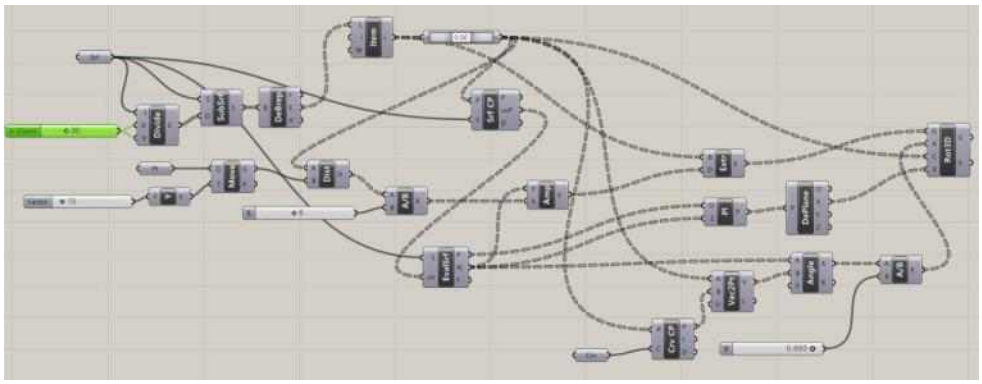


그림 3.1.17 Grass hopper를 이용한 곡면 디자인 (2)

- Surface를 생성하고 Devide Domain으로 연결한다. U, V 값에 슬라이더를 연결하여 나누는 개수를 설정
- Devide Domain으로 생성된 결과와 원래의 Surface를 각각 Isotrim의 Domain과 Surface에 입력하여 나온 결과 값을 Deconstruct Brep을 통해 면, 선, 점으로 분리
- Brep의 결과 중 Edge를 List item 시키고 그 결과를 Surface Closet Point(이하 srf CP)의 Point 값으로 입력한다. Srf CP의 Surface는 1번에서 만든 Original Surface를 사용
- Srf CP의 UV Point 결과값을 Evaluate Surface의 uv Point 값으로 입력하고 마찬가지로 Surface는 Original Surface를 사용
- Evaluate Surface의 Point값을 Plane Normal의 Origin 값으로 입력하고 Normal값을 Z-Axis에 입력하여 각각의 포인트마다 노말 값을 생성
- Amplitude를 생성하여 Vector값은 Evaluate Surface의 Normal값을, Amplitude에는 Brep의 Edge item list와 임의의 Point사이의 거리(Distance)값을 입력한다. 이때 필요 여부에 따라 Division등의 연산도구를 사용하여 값을 조정
- Extrude를 사용하여 각각의 유닛을 솔리드로 만든다. Amplitude에서 생성된 Vector값과 Brep의 Edge Item list를 각각 Direction과 Base로 사용
- Rotate3D를 생성하여 각각의 유닛을 회전
- Geometry값 - 7번 Extrude의 결과

- Angle값 - Angle을 생성하여 5번의 Evaluate Surface의 Normal값과 3번의 List item의 item을 각각 Vector B와 Vector A로 입력한다. 산출된 값을 Division과 같은 연산도구를 이용해 조정하여 사용

○ Center값-List Item의 Center Edge

- Axis값 - 5번의 Plane Normal의 결과를 Deconstruct Plane으로 쪼개서 나온 결과 중 X-Axis를 사용
- Graph Mapper를 사용하여 Bar형태 유닛들의 시작, 끝, 중간점을 결정하여 패턴을 생성하는 방법
- Graph의 개수와 형태 그리고 Series의 값을 조절하여 패턴을 변형

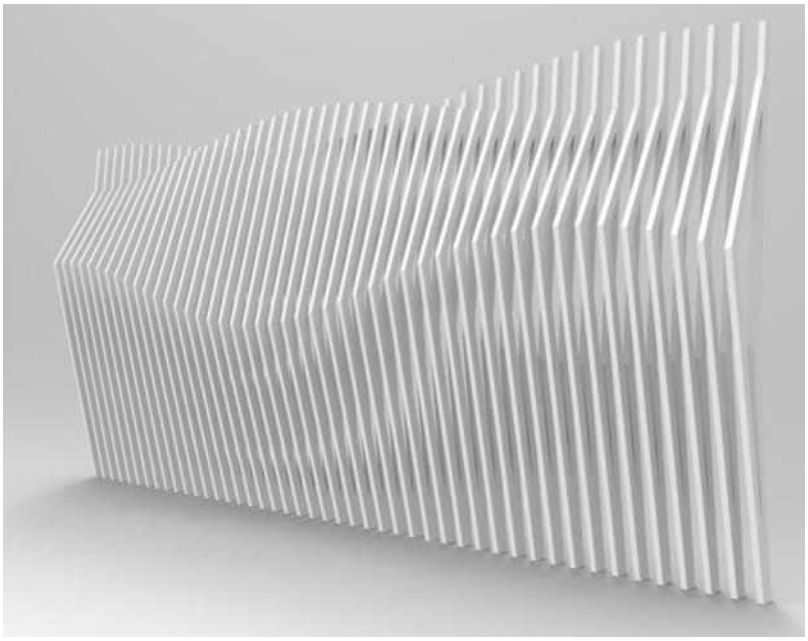


그림 3.1.18 디자인 패턴 변형 전

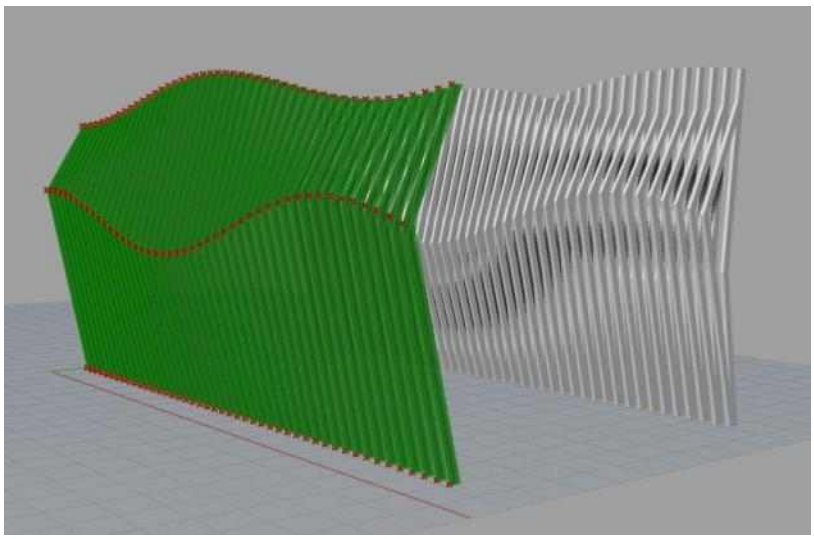


그림 3.1.19 디자인 패턴 변형 후

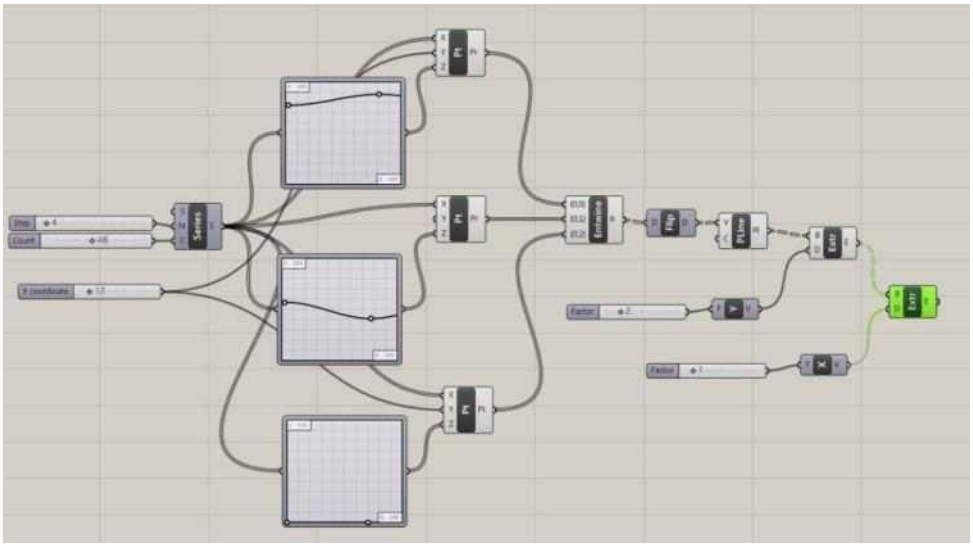


그림 3.1.20 Grass hopper를 이용한 디자인 패턴 변형

- Series를 생성하여 연속되는 숫자를 만듦
- Step과 Count에 각각 슬라이더 값을 입력
- Graph Mapper를 생성
- 예시에서의 type은 Sinc로 설정
- Construct Point를 생성하여 연속성을 가지는 Point들을 생성
- X, Y, Z cordinate는 각각 1번 Series의 결과값, 넘버 슬라이드, Graph Mapper의 결과값을 입력
- 3번의 과정을 반복하여 두 개의 Point 그룹을 더 만듦
- Entwine을 생성하여 4번에서 만들어진 세 개의 그룹 리스트를 묶어줌
- 각각의 Point그룹을 선으로 연결하기 위해 Poly Line을 생성하여 Entwine의 결과 값을 Vertices list의 값으로 입력
- Extrude로 6번 Poly Line의 결과 값을 솔리드로 만듦

(2) 콘크리트 면 입체조형의 유형별 VR(가상현실) 디자인 개발

○ 콘크리트 면 입체조형의 실 제작에 앞서 디지털 시각화 소프트웨어를 사용하여 가상현실 안에서 시뮬레이션을 진행한다

○ 그 이유로는 첫째, 휴먼스케일 기반의 시점의 변화에 따른 조형의도의 발현이 이루어지는지 검토한다. 둘째, 시점의 이동 속도에 따라 변화하는 패턴의 모습을 시뮬레이션 하여 그 효용성을 검토한다. 셋째, 보호필름이나 도색과 같은 표면처리에 따라 변화하는 콘크리트면의 모습을 검토한다

○ 아래는 본 연구에 활용도가 높은 소프트웨어와 그 특징이다

(가) Luxion의 Keyshot을 활용한 Animation rendering

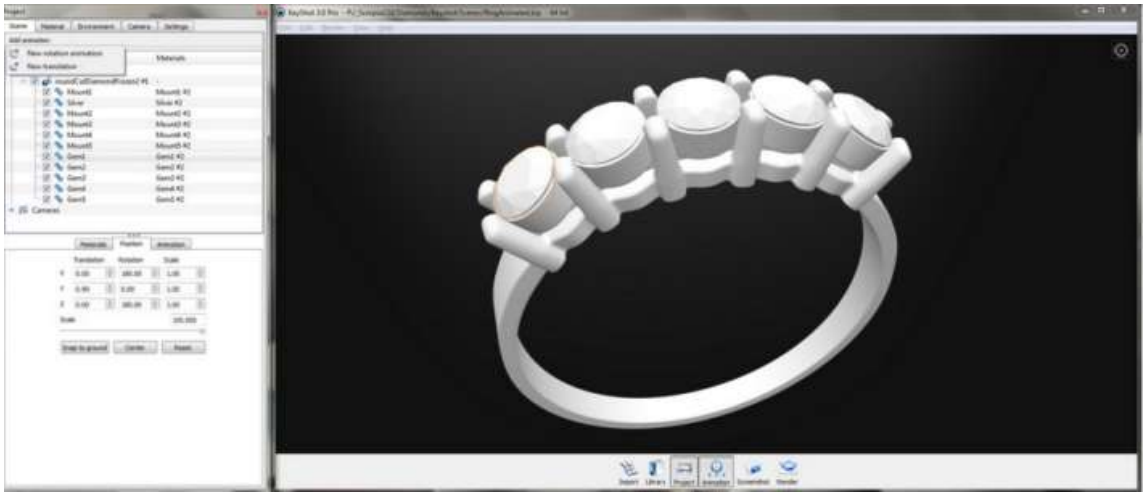


그림 3.1.21 Luxion사 의 Keyshot animation setup 화면

- Keyshot은 Luxion에서 개발한 Rendering tool로써 높은 사용성과 강력한 퍼포먼스로 모든 산업 분야에서 폭넓게 쓰임.
- 애니메이션 기능이 추가되어 카메라의 이동경로를 설정하여 설정된 frame수 만큼 렌더링, 동영상의 제작이 가능함.
- 레이어로 구분되는 각 오브젝트의 transform이 가능하게 되었다.

(나) Lumion의 Lumion5를 활용한 조감도 동영상 제작



그림 3.1.22 Lumion5의 영상편집 화면

- Lumion은 접근성이 뛰어난 CG Rendering 소프트웨어로 3D 설계의 시각화를 통한 조감도와 투시도 제작에 특화됨.
- 배경을 구성하는 오브젝트가 스틸이미지가 아닌 모델링 데이터로 각각의 요소가 바람, 물결, 날씨에 따라서 반응하기 때문에 자연스러운 영상 제작이 가능함.

(다) 개발 패턴 시각화 사례

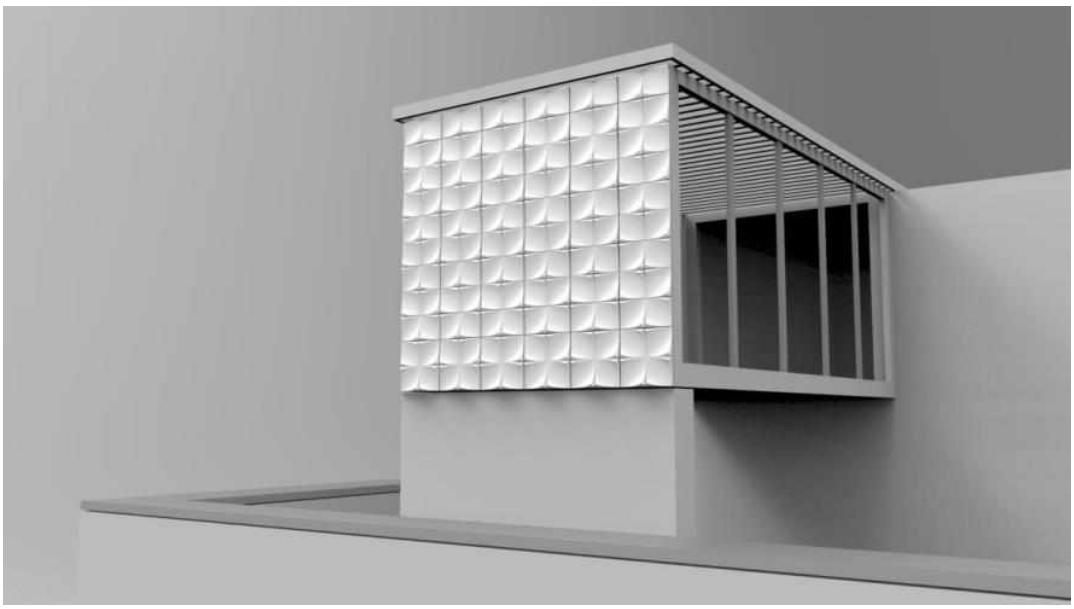


그림 3.1.23 개발 패턴 적용 모습_01

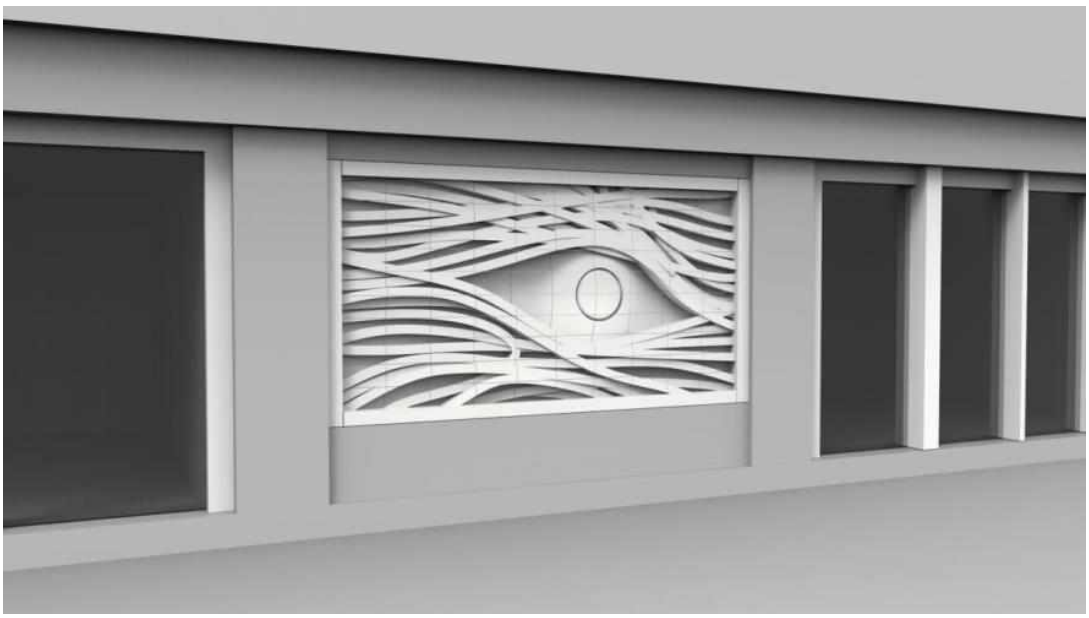


그림 3.1.24 개발 패턴 적용 모습_02

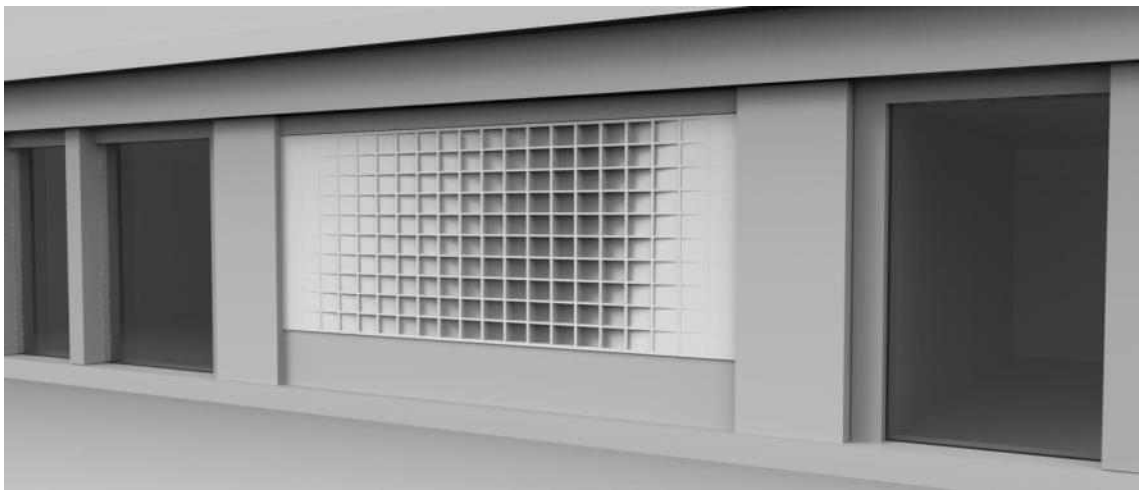


그림 3.1.25 개발 패턴 적용 모습_03



그림 3.1.26 개발 패턴 적용 모습_04

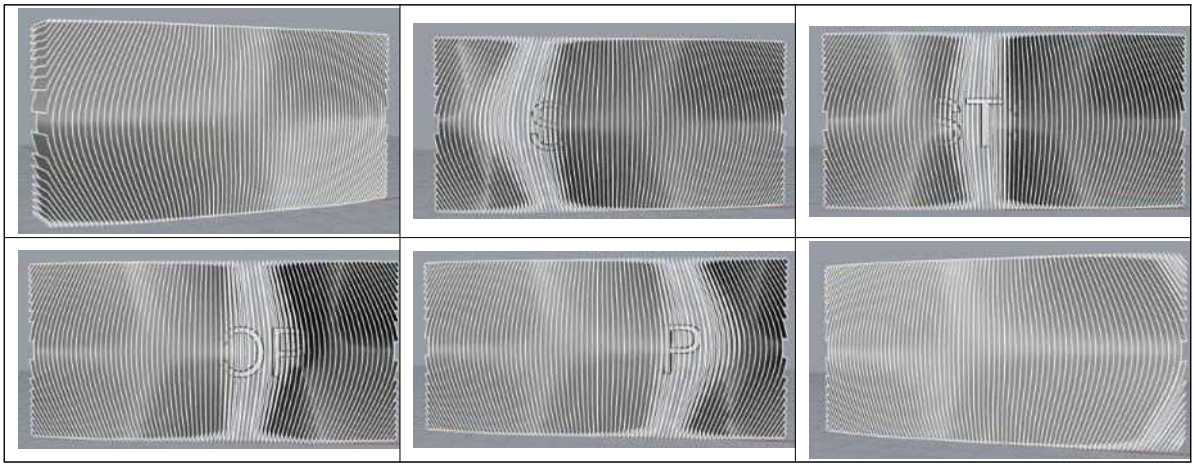


그림 3.1.27 개발패턴 적용모습_05 (각도에 따른 사인 표시방법)

라. 조형 모델의 초소형 축소와 반복패턴 기법 연구

(1) 자연물 및 인공물의 입체 디자인 모델을 초소형으로 축소

(가) 자연 모티브 표현의 활용 경향에 따른 표현 기법

○ 디자인요소의 적용

- 인위적인 직선요소를 사용하기 보다는 자연스러운 자연 요소의 유기적인 곡선을 디자인 모티브로써 공간에 활용하는 방법.
- 유기적인 곡선 형태를 실내공간에 사용하면 시각적, 심리적으로 편안한 분위기를 연출.
- 자연 요소의 유기체 형태의 패턴화 표현 기법은 식물의 잎과 줄기의 유기적 패턴으로 차용하거나 잎사귀의 모양이나 꽃의 형태를 패턴화하여 규칙적으로 반복하는 표현방법으로 공간에 표현하는 기법.
- 예시

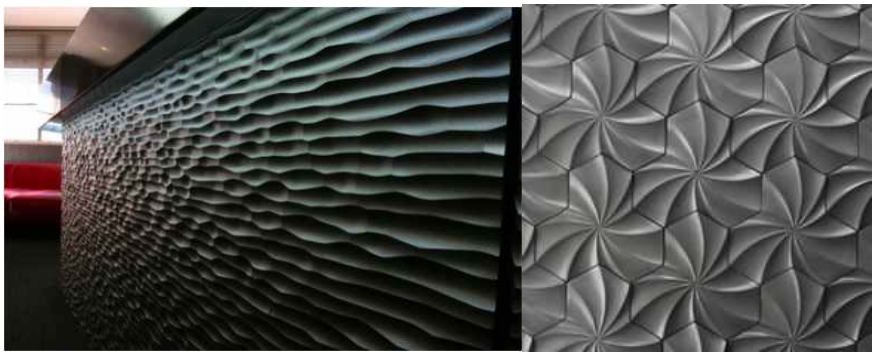


그림 3.1.28 유기적 곡선 및 자연물 형태를 활용한 실내 패턴적용

(2) 축소 모델의 반복, 중첩, 분산, 결집, 문양, 모자이크 처리

(가) 모자이크 기법

- 작은 조각을 함께 모아 붙여서 그림이나 모양을 나타내는 장식 미술의 기법.
- 돌, 타일, 조개, 나무 등이 사용되며 건축물의 마루나 벽면 혹은 공예품의 장식을 위해 사용.
- 실내 장식을 위해 고대 세계 각지에서 사용.
- 주요기법은 직접기법, 간접기법, 이중간접기법 3가지가 있음.

- 예시

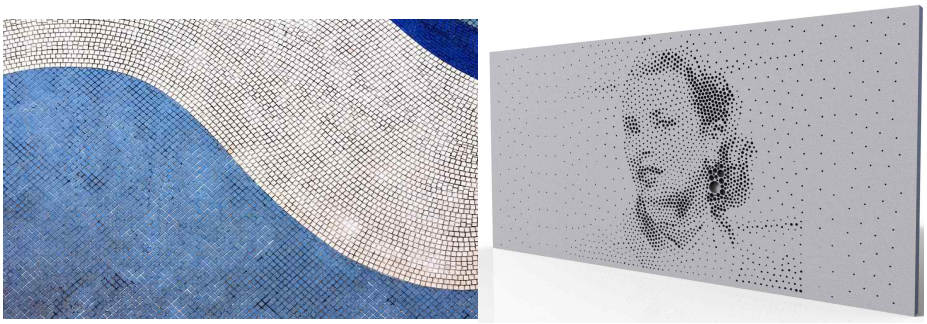


그림 3.1.29 모자이크 기법을 활용한 장식

(나) 반복 기법

- 반복에 의해 형성된 표면은 익숙한 형태를 낯설게 인식시킴.
- 익숙한 오브제의 기계적 반복은 건축의 구축에 있어 흔한 기법임.
- 예시



그림 3.1.30 반복 기법을 활용한 장식

(3) 재처리된 초소형 모델들의 결합과 새로운 조형 디자인 패턴 개발

- 초소형 모델들의 결합으로 새로운 조형 제안
- 모델의 양각 및 음각을 통한 이중 오브제 제안
- 예시

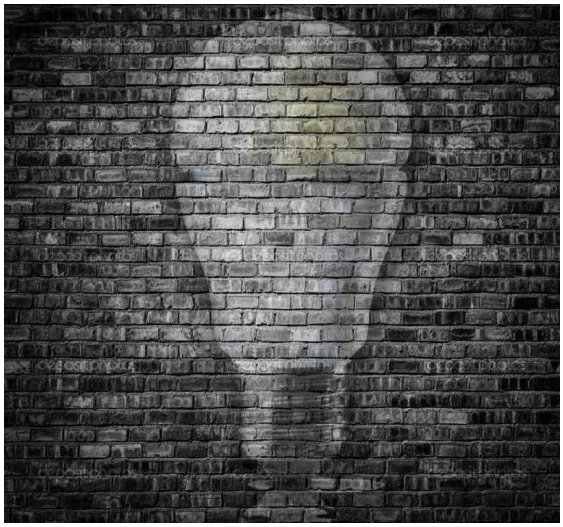


그림 3.1.31 양각 음각을 통한 이중오브제 예시

마. 콘크리트 벽면 입체조형 미관의 종합디자인 개발

(1) 벽면 적용 입체조형을 위한 VR(가상현실) 디자인의 구현

○ 디지털 시각화 소프트웨어를 사용하여 가상현실 안에서 시뮬레이션을 진행한다.

○ 목적: 첫째, 휴먼스케일 기반의 시점의 변화에 따른 조형의도의 발현이 이루어지는지 검토한다. 둘째, 시점의 이동 속도에 따라 변화하는 패턴의 모습을 시뮬레이션 하여 그 효용성을 검토한다. 셋째, 보호필름이나 도색과 같은 표면처리에 따라 변화하는 콘크리트면의 모습을 검토한다.

○ 아래는 본 연구에 활용도가 높은 소프트웨어와 그 특징이다.

(가) Luxion의 Keyshot을 활용한 Animation rendering



그림 3.1.32 Luxion사 의 Keyshot animation setup 화면

- Keyshot은 Luxion에서 개발한 Rendering tool로써 높은 사용성과 강력한 퍼포먼스로 모든 산업 분야에서 폭넓게 쓰임.
- 애니메이션 기능이 추가되어 카메라의 이동경로를 설정하여 설정된 frame 수 만큼 렌더링, 동영상의 제작이 가능함.

- 레이어로 구분되는 각 오브젝트의 transform이 가능하게 되었다.

(나) Lumion의 Lumion5를 활용한 조감도 동영상 제작



그림 3.1.33 Lumion5의 영상편집 화면

- Lumion은 접근성이 뛰어난 CG Rendering 소프트웨어로 3D 설계의 시각화를 통한 조감도와 투시도 제작에 특화됨.
- 배경을 구성하는 오브젝트가 스틸이미지가 아닌 모델링 데이터로 각각의 요소가 바람, 물결, 날씨에 따라서 반응하기 때문에 자연스러운 영상 제작이 가능함.

(다) 개발 패턴 시각화 사례



그림 3.1.34 코뿔소의 모습을 line art로 형상화 하여 만든 보호외피



그림 3.1.35 코끼리의 모습을 line art로 형상화 하여 만든 보호외피

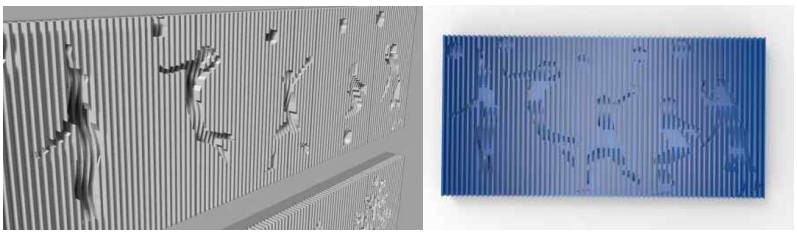




그림 3.1.36 올림픽 등의 체육시설 활성화 지역 적용 예시

- 플립북 효과를 사용하여 이미지가 움직이는 기존의 애니메이션과 달리, 차량이 이동하면서 이미지가 연속적으로 보이며 움직이는 듯한 효과를 주는 컨셉.
- 효과적인 광고 효과 및 간단한 스토리를 담을 수 있을 것으로 기대.
- 보다 직접적인 입체적 이미지 표현으로 운전자에게 생동감 있는 메시지 전달
- 평면적인 이미지보다 주목성이 높음

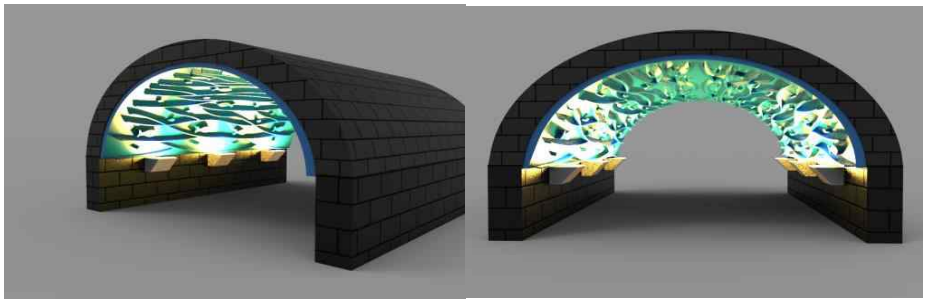




그림 3.1.37 아쿠아리움 형상화 패턴

- 물고기가 헤엄치는 모습을 연상시킬 수 있는 패턴
- 터널 내벽에 적용 시 아쿠아리움을 형상화하는 디자인
- 터널 열화 방지를 위한 보호외피로 입체적 패턴과 조명을 적용하여 분위기 있는 효과 연출
- 패턴과 조명을 이용하여 벽면 자체를 작품화
- 3D 프린트를 이용하여 다양한 색채나 이미지 연출 가능
- 아쿠아리움과 유사한 형태를 이용한 연출

(2) 개별 VR 디자인을 조합한 경관창출 미관 종합디자인 개발

○ 개별 VR 디자인을 조합한 경관창출 미관 디자인 개발 시 미술 기법 중 ‘모자이크’ 라는 기법을 응용하여 작업하였다. 모자이크의 정의는 여러 가지 빛깔의 돌이나 유리, 금속, 조개껍데기, 타일 따위를 조각조각 붙여 무늬나 회화를 만드는 기법을 말한다. 건축과 공예 및 작품 활용에 널리 쓰이고 있다. 현대에 들어와서는 다양한 재료로 모자이크 기법을 시도하고 있다.

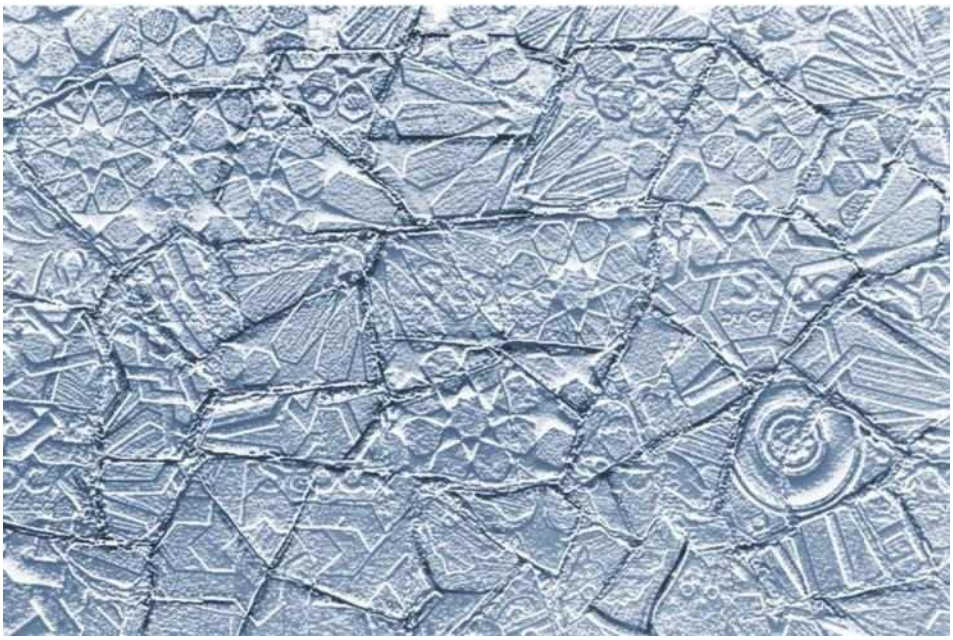


그림 3.1.38 VR디자인 패턴을 조합한 콘크리트 외벽

- 위 그림은 여러 가지 패턴을 조합한 폼라이너를 사용하여 완성한 콘크리트 외벽의 적용 모습이다. 모자이크 작품으로 다양한 패턴과 디자인이 공존하며, 복잡하면서도 다채로운 미술적 효과를 표현할 수 있다.

바. 지역 및 구역 특성이 현시된 서비스 조형 디자인 개발

(1) 지역별 광고 및 홍보를 위한 공익용 입체디자인 연구 개발

(가) 지역별 광고 및 홍보를 위한 공익용 입체 디자인 연구

- 지역의 콘텐츠를 활용한 광고 및 홍보용으로서의 3D 입체디자인 제작
- 관광객과 사람들의 관심도를 끌어올릴 수 있는 입체디자인을 적용하고 3D프린트 기술을 융합하여 고급스럽고 독특한 홍보 도구로 제작
- 개발된 입체디자인은 가공을 통해 지역정보 및 지역기업의 홍보 콘텐츠로 재이용이 가능
- 새로운 패러다임을 창출하고 차별화된 광고로 국내외에 맞춤 이미지를 홍보하기 위해 스케치단계부터 제작 단계까지 적용

(나) 남한산성 홍보를 위한 공익용 입체디자인



그림 3.1.39 남한산성 이미지 사진효과 적용

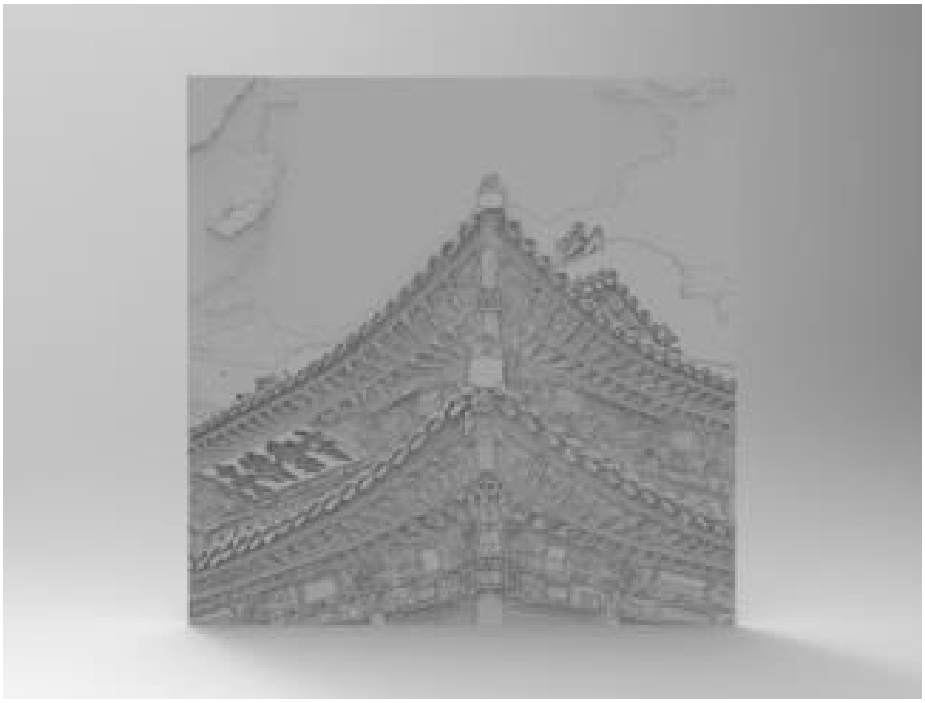


그림 3.1.40 사진을 이용한 부조화

1. Art Cam을 이용해 제작함. 2. 500*500 이미지를 배치하고 릴리프 레이어(Relief Layer) 기능을 적용. 3. BMP, JPG, DXF 등의 이미지 파일이나 스케치, 사진, 실물 등의 소스를 가진 2차원의 설계도면을 불러와 3차원 릴리프 모델링을 하여 복잡한 형상을 쉽게 구현. 4. CNC 가공이나 RP 작업을 거쳐 수작업을 한 것 이상의 섬세하고 고급스러운 디자인의 부조를 완성.

- 남한산성의 사진 이미지를 명암 위주의 무채색의 이미지로 바꿔 부조화.
- 남한산성(南漢山城)은 대한민국 경기도 광주시, 성남시, 하남시에 걸쳐 있는 남한산을 중심으로 하는 산성이다.
- 1963년 1월 21일 남한산성의 성벽이 국가 사적 제57호로 지정되었고, 1971년 3월 17일 남한산성은 경기도립공원으로 지정되어(제158호), 5년 후인 1976년 7월 1일 관리사무소가 개소되었다. 1999년에는 남한산성 역사관이 개장하고, 2014년에는 세계문화유산에 등재되면서 현재에 이르고 있다.
- 3D 프린터만의 장점을 살려 사진의 섬세한 부분까지 표현 가능

(다) 하회탈을 이미지로 안동 지역 광고를 위한 공익용 입체디자인



그림 3.1.41 안동 하회탈 이미지 사진효과 적용



그림 3.1.42 사진을 이용한 부조화

1. Art Cam을 이용해 제작함. 2. 500*500 이미지를 배치하고 릴리프 레이어(Relief Layer) 기능을 적용. 3. BMP, JPG, DXF 등의 이미지 파일이나 스케치, 사진, 실물 등의 소스를 가진 2차원의 설계도면을 불러와 3차원 릴리프 모델링을 하여 복잡한 형상을 쉽게 구현. 4. CNC 가공이나 RP 작업을 거쳐 수작업을 한 것 이상의 섬세하고 고급스러운 디자인의 부조를 완성.

- 안동 하회탈의 사진 이미지를 명암 위주의 무채색의 이미지로 바꿔 부조화.
- 하회탈은 경북 안동군 풍천면 하회리에서 성황신(토지수호신)에게 마을의 안전을 비는 동제때 의례적으로 행해져 온 별신굿에 사용되어 온 것으로 고려중엽(서기 11세기)에 제작된 것으로 추정된다.
- 하회탈은 양반, 선비, 중, 각시, 부네, 할미, 백정, 초랭이(양반의 하인), 이매(선비의 하인), 떡달이, 별체, 총각 등 총 12개의 탈로 되어 있었으나 떡달이, 별체, 총각 등 3개는 유실되고, 9개만 전해지고 있다.
- 고정된 표정을 가진 탈이 이렇게 사변(思邊)의 폭을 가졌다는 점에서 깊고 높은 화회탈의 예술성이 인정(認定)돼 국보 제121호로 보호되고 있다.
- 3D 프린터 만의 장점을 살려 사진의 섬세한 부분까지 표현 가능

(2) 특정목적(안전, 환경, 경관 등의 현시) 구현을 위한 디자인 유형 개발

(가) 안전을 목적으로 한 디자인

① 심리적 착시 효과

- 외벽에 자동차들과 경주하는 듯한 모션을 시각적으로 연출
- 특히 사고다발 구간이나 과속방지 구간에 적용하였을 때 추월하는 듯한 모션 을 연출하여 운전자에게 심리적 속도감 제공하여 과속방지 효과 기대 가능
- 심리적 추월감으로 운전자의 스트레스 해소

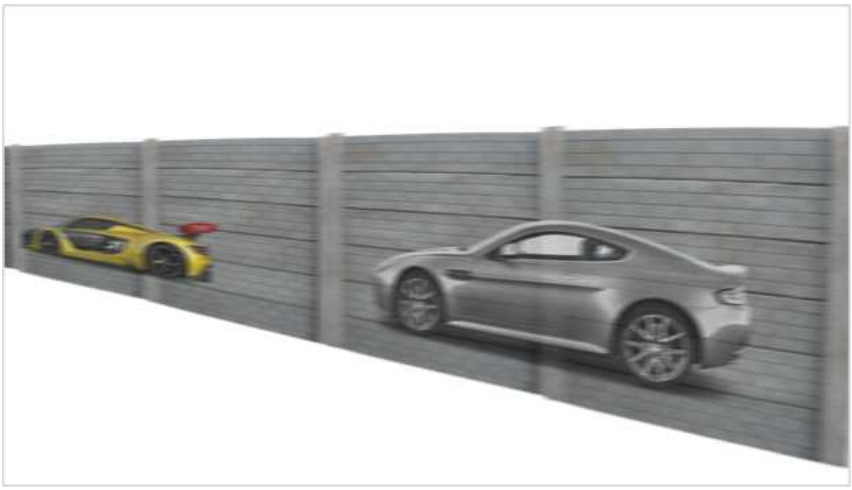


그림 3.1.43 경주하는 자동차 시각적 연출

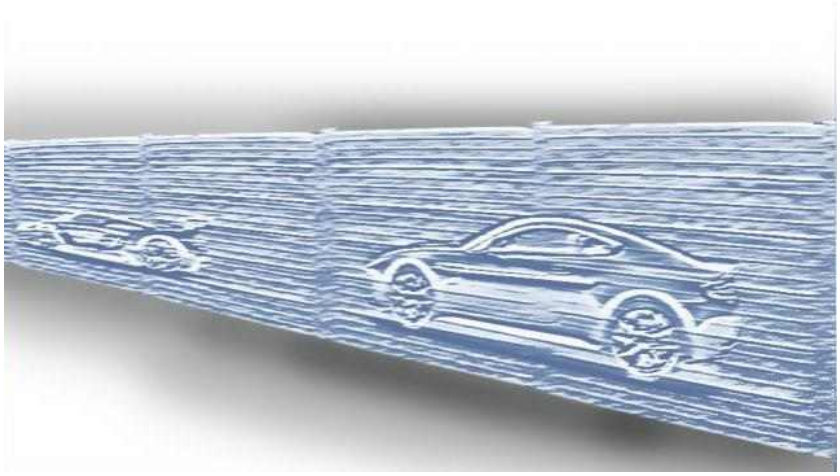


그림 3.1.44 경주하는 자동차 외벽 적용 모습

② 심리적 착시 효과-2

- 외벽에 사슴이 지나가는 듯한 모션을 시각적으로 연출
- 특히 사고다발 구간이나 과속방지 구간에 적용하였을 때 사슴이 지나가는 듯한 모습을 연출하여 운전자가 속도를 감속하는 효과 기대 가능
- 운전자에게 자연스러운 경고 효과를 주어 속도를 감속

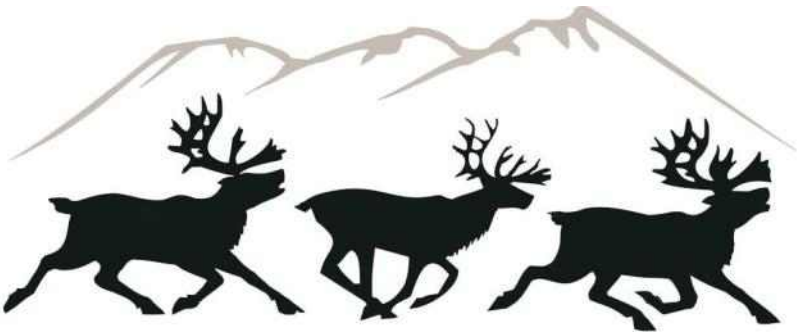


그림 3.1.45 사슴을 이용한 일러스트



그림 3.1.46 사슴 일러스트 외벽 적용 모습

(나) 경관을 목적으로 한 디자인

- 설치 지역의 자연적, 문화적 특성을 반영하여 주변 경관과 조화롭게 어울리는 디자인이다. 시인성, 주목성등의 가시적인 효과를 최소화하고 주변 경관과 적절하고 자연스럽게 어울릴 수 있도록 고려하였다.



그림 3.1.47 기와 처마 끝 이미지를 활용한 폼라이너 예시



그림 3.1.48 호랑이 민화 이미지를 활용한 폼라이너 예시

(다) 환경을 목적으로 한 디자인

- 환경에 대한 예시로 식물이 성장하여 열매가 맺히는 과정의 모습을 형상화 하였다. 빠르게 지나가는 상황에서는 이미지가 마치 움직이는 듯한 '플립북 효과' 가 연출될 것을 의도하였으며 움직이는 이미지로 다양한 스토리를 삽입하여 활용 할 수 있을 것으로 기대한다.

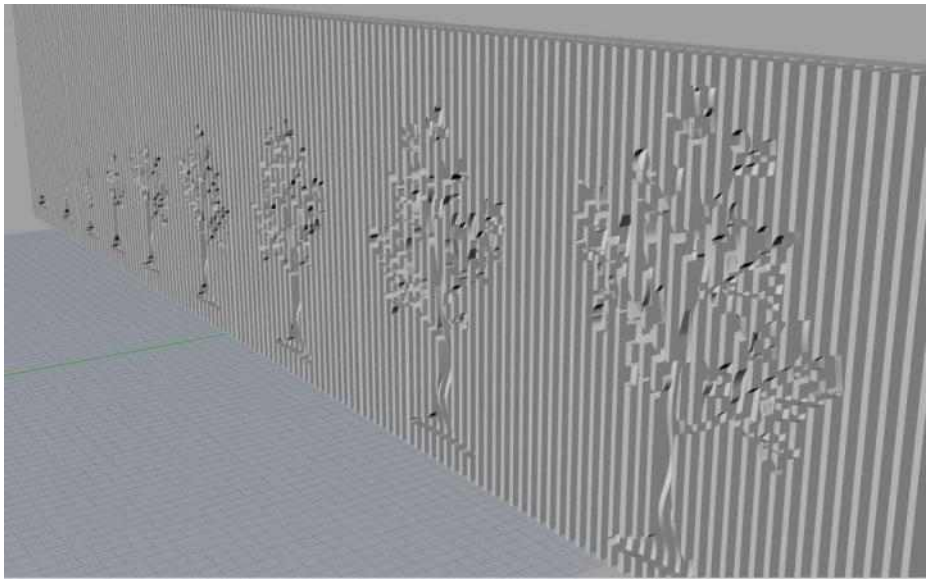


그림 3.1.49 식물이 성장하는 과정의 콘크리트 형상화 예시

사. 사진 효과의 단색 명암 조형 처리기법 연구

(1) 사진 형상의 입체화 기법 연구

- 콘크리트의 미관처리에 관한 사례분석에 앞서 사진형상의 입체화 기법의 특성에 따라 사용자와의 돌출된 벽의 높낮이를 이용하여 입체적인 이미지를 보여주는 부조형의 국내외 콘크리트 미관처리의 현황을 살펴보고 사례를 분석하였다. 다음의 표는 부조형으로 제작된 디자인 형태들을 정리한 표이다.

(가) 국내 사례

- 콘크리트는 건설재료로 가장 많은 비중을 차지하는 재료로 목재나 강재보다 내구성이 뛰어난 재료로, 반영구적인 건축물 축조에 주로 사용된다. 그러나 대부분 전문기술자나 기능공 부족에 따란 기술수준의 저하, 입지환경이나 사용조건의 열악 등의 이유로 경제적, 사회적인 문제로 제기되고 있다.[1] 그나마 일부 활용되고 있는 콘크리트 면의 미관처리 기술은 아래 표와 같이 매우 초보적이고 단순한 패턴을 반복한 디자인이 주를 이룬다. 기존의 콘크리트를 이용한 미관처리 현황은 건축외벽에 조각을 하는 것과 같은 방법으로 단순한 문양을 만들고 있지만, 문양이 획일적인 면이 많다.[2]

1) 송진홍, 콘크리트 성능개선을 위한 탈수거푸집공법의 실용화 연구, 동양대학교, 2001.12. p.6

2) 오중근 외 5명, 건축물 벽체용 문양거푸집 개발을 통한 의장콘크리트의 표면광택 특성, 한국건축시공학회 논문집 제3권 1호(통권7호, 2003년 3월), p.131

〈표 3.1.4〉 국내 콘크리트 미관처리 사례

구분	사진	기업명 및 장소	설명
부조형		현대 / 2012 여수 엑스포 전시	Hyper-matrix cube wall
		원주 현진에버빌 / 현진건설(주)	물결리브 무늬 /대유산업개발(주)
		충북 음성 삼성 제일모직	옹벽담장 문양 노출콘크리트
		부산 장전동 벽산블루밍/ 벽산건설(주)	사각나뭇결무늬 /대유산업개발(주)
		부산 사하 협성엠파이어/ 협성건설(주)	송학도, 전통 그래픽 문양
		순천 신대 중흥S클래스 / 중흥건설(주)	창호살 무늬 / 문양거푸집
		상도동 I’ PARK / 현대산업개발(주)	기하학무늬 / 문양거푸집
		화성동탄 태영데시앙 / 태영건설(주)	기와무늬 / 문양거푸집
		부산 엄궁중학교	바닷가 풍경 / 문양거푸집
		용인 마북 현대 아파트 / 현대건설(주)	십장생도 / 문양거푸집
		청주교육청 체육관 / 하승건설(주)	탈춤 / 전통그래픽

(나) 국외 사례

- 국외의 경우 콘크리트 면에 대한 미관처리를 상당히 정교한 수준으로 하고 있다. 이 경우 상당한 비용이 요구되는 음각 처리된 강재거푸집을 사용하기 때문에 심미성과 조형성이 높다. 또한 정형화된 단순한 패턴의 반복에서 오는 지루함을 탈피하기 위하여 비정형적 패턴을 통해 다양하며 역동적인 디자인을 하였다. 그라비아 인쇄기법, 미디어 등 다양한 방법을 활용하여 홍보성과 주목성을 중점으로 디자인하였다.

<표 3.1.5> 국외 콘크리트 미관처리 사례

구분	사진	국가	기업명 및 장소	설명
부조형		미국	Oklahoma / North Carolina.	applications in exterior wall systems
		미국	INTERLAM	CNC Form Liner
		미국	Scott System	CNC 조각을 통한 월아트 폼 라이너
		미국	RECKLI®-Formliners	Formliners 1/138 Alsace
		미국	modularArts® InterlockingRock®	Wall Panels
		미국	INTERLAM	Pattern No: COU001
		미국	RECKLI®-Formliners	Formliners 2/602 Saone
		독일	Reckli	RECKLI2 / 188
		미국	SURECAST WEST	Wall Panels
		미국	CNC /	아티스트 협업, 시공 사례
		미국	RECKLI®-Formliners	Photo-Engraving Form liners

(2) 단색 명암 조절로 조형 이미지 표현 처리

(가) Image To STL Converter를 이용한 사진 효과의 조형 처리 모델 디자인

○ Image To STL Converter는 2차원의 이미지 파일을 3차원의 부조 형상으로

○ 변환하여 이를 STL파일로 생성하는 소프트웨어이다. 2차원 이미지를 흑백으로 변환한 후 명도에 따라 입체를 부여하는 방식으로, 특히 모델링으로 구현하기 어려운 사진과 같은 실제 이미지를 쉽게 3차원의 형상으로 제작할 수 있다.

(나) Image To STL Converter의 개요

○ Image To STL Converter는 'thingivers' 에서 무료 배포되는 프로그램으로 jpg, gif, png, bmp, tif, tiff의 확장자를 가진 이미지 파일을 입체파일인 STL파일로 변환

○ 해당 이미지 파일을 흑백으로 자체 변환한 후, 흑백 이미지의 음영을 인식하여 돌출함. 돌출의 정도는 음영의 강도에 비례, 어두운 부분일수록 강하게 돌출되는 조형 처리 수행

○ Image To STL Converter의 주요 기능 : 사이즈 설정 기능 (Target Size) / 음영의 두께 및 깊이 설정 기능 (Target Height) / 음영 반전 기능 (Invert Output)

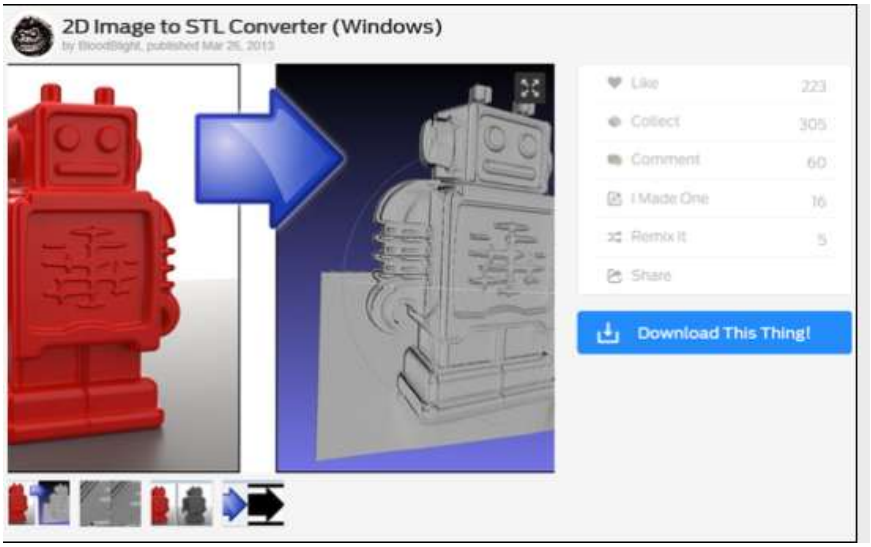


그림 3.1.50 thingivers에서 제공하는 프로그램의 모습

(다) Image To STL Converter를 이용한 조형 처리 예시

○ 본 연구에서는 해태, 이순신 등의 한국적 조형 디자인의 경우, 위 프로그램을 이용하여 조형 처리를 진행하였다.



그림 3.1.51 Image To STL Converter의 해태 이미지 조형 처리 변환 모습

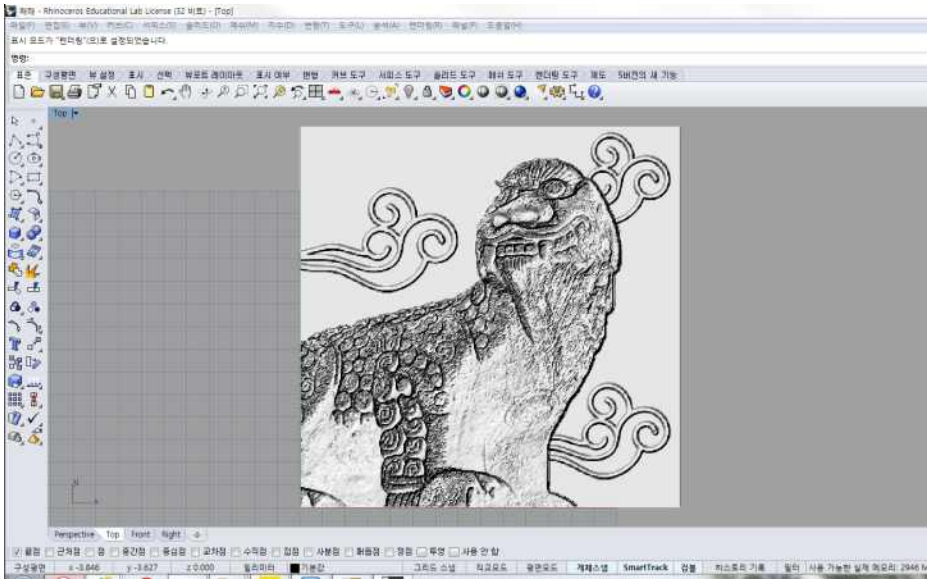


그림 3.1.52 조형 처리 된 해태 이미지의 모습

(3) 사진 효과의 조형처리 기법 개발

(가) Art Cam을 이용한 사진 효과의 조형 처리 모델 디자인

○ 아트캠은 디자이너가 디자인한 2차원 그림 파일을 3차원 부조 형상으로 쉽게 변환하여 모델링하고 CNC 또는 RP 장비를 이용하여 금형 및 실물 형상을 제작하는 소프트웨어이다. 특히 일반 3D CAD의 3차원 모델링 기법으로는 구현하기 어려운 예술적인 형상을 다양한 모델링 기법을 통해 자유롭게 표현하고 제작할 수 있다.

(나) Art Cam의 개요

○ 가장 일반적이고 기본적인 라우팅 및 조각가공을 쉽게 작업할 수 있는 환경을 제공

○ 2D 또는 3D 모델을 쉽게 불러들여 원하고자 하는 툴 패스를 생성

○ 아트캠은 기존의 서피스나 솔리드를 이용한 모델링이 아닌 픽셀(Pixel)을 기반으로 하는 포인트(Point)의 결합을 이용한 모델링 방식을 이용하여 벡터 기반의 모델러에서는 구현할 수 없는 복잡하고 다양한 곡률 변화를 갖는 모델을 보다 정밀하게 구현

○ 그림파일의 비트맵과 캐드 벡터(CAD Vector) 데이터를 사용하여 빠르게 3차원 모델을 생성

○ 아트캠은 부조, 환조 등의 복잡한 형상의 디자인을 단시간에 손쉽고 빠르게 할 수 있으며, RP 작업 시 다양한 장비와 데이터 호환이 가능

○ 아트캠의 주요 기능 : 릴리프 레이어 (Relief Layer) 기능 / 3D 텍스처(Texture) 도입 기능 / 쉐이프 에디터 기능 (Shape Editor) / 조각 기능(Sculpting) / 3D 클립아트 기능(3D Clipart) / 페이스 위저드 기능 (Face Wizard)

(다) Art Cam 예시



그림 3.1.53 장승을 이용한 Art Cam 예시

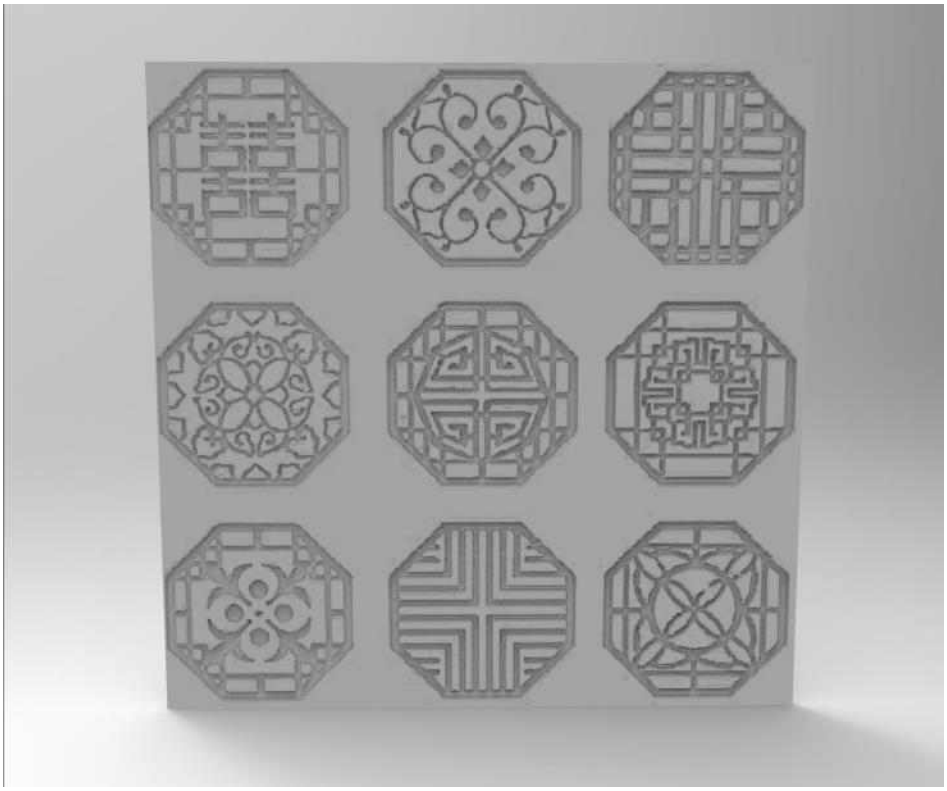


그림 3.1.54 전통문양을 이용한 Art Cam 예시



그림 3.1.55 해태를 이용한 Art Cam 예시

아. 디지털 사진 데이터를 가공 활용한 입체조형 디자인 기법 연구

(1) 디지털 사진 데이터 가공 기법

(가) 디지털 사진 데이터 가공을 위한 이미지 분석

○ 디지털 사진 데이터는 원본 데이터가 이미지 센서를 통하여 표준 이미지 파일 포맷의 색깔 수정 이미지로 변환하는 과정에서 나타나는 이미지를 말한다. 디지털 사진 데이터는 컴퓨터상에서 이미지는 래스터 그래픽 형태의 픽셀 단위의 정보를 갖는 특성이 있다.

○ 디지털 사진 데이터는 빛(명암), 색, 구성(구도), 프레임 등으로 구성되어 있으며, 직접 촬영한 사진뿐만 아니라 컴퓨터를 통해 편집, 수정된 이미지도 디지털 사진 데이터에 포함할 수 있다.



그림 3.1.56 직접 촬영한 이미지 예



그림 3.1.57 퓨터로 편집 수정된 이미지 예

○ 디지털 사진 데이터를 가공하여 입체 조형에 적용하는 경우, 색상 데이터는 입체 조형으로 표현할 수 없어 의미를 잃는다. 따라서 명암과 구성을 통한 입체조형 제작이 가능하다.

○ 본 연구개발에서 다루는 디지털 사진 데이터 가공은 콘크리트 면의 조형미관 창출을 위한 디자인을 전제로 하며, 따라서 가공된 데이터를 입체 조형에 적용하기 위함에 목적이 있다.

(나) 디지털 사진 데이터 가공을 위한 이미지 편집

○ 디지털 사진 데이터 가공을 위한 소프트웨어로는 주로 2D 이미지를 편집하는데 사용되는

프로그램을 사용한다. 가장 널리 알려진 소프트웨어는 Adobe Photoshop으로 2D 디지털 이미지의 색상, 명도, 구성 등을 편집할 수 있다.

○ 디지털 사진 데이터를 가공하기 위해서는 먼저 이미지를 단순화하는 과정을 거쳐야 한다. 이미지 단순화는 다양한 정보가 담긴 디지털 사진 데이터를 입체 조형으로 가공 가능한 데이터로 변형하는 과정이다.

○ 이미지 단순화를 위한 대상 이미지를 선정할 때는 다음과 같은 경우를 주의하여 선정해야 한다.

- 배경이 복잡한 경우
- 이미지의 초점이 흐린 경우 (Pin out)
- 이미지 전반의 명도 차가 비슷한 수준인 경우

(다) 망점(Halftone)을 통한 디지털 사진 데이터의 가공

○ 망점(Halftone)은 점을 사용하여 크기나 간격에 따라 연속 색조의 상을 따라 만들거나 점으로 그라디언트와 같은 효과를 내는 기법이다. 윌리엄 폭스 탤벗의 사진 요판 가공에서 출발하였으며 레이저 프린터의 개발을 통해 디지털 망점으로 적용되었다. 망점으로 표현된 이미지를 충분한 거리를 두고 보면 시각적으로 하나의 연속된 이미지로 보이는 것이 특징이다.

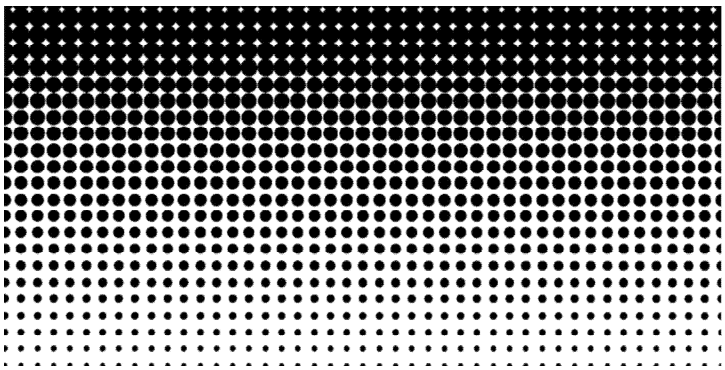


그림 3.1.58 망점(Halftone)의 개념

○ 망점의 크기와 간격 등의 배치를 통하여 하나의 이미지를 표현할 수 있으며, 반대로 이미지를 망점으로 표현하는 것도 다양한 툴을 통하여 가능하다. 망점을 이용한 편집이 입체 조형의 제작에 적용 가능한 이유는 흑색 망점과 백색 배경 두 가지 요소로 이미지를 표현할 수 있기 때문이다.

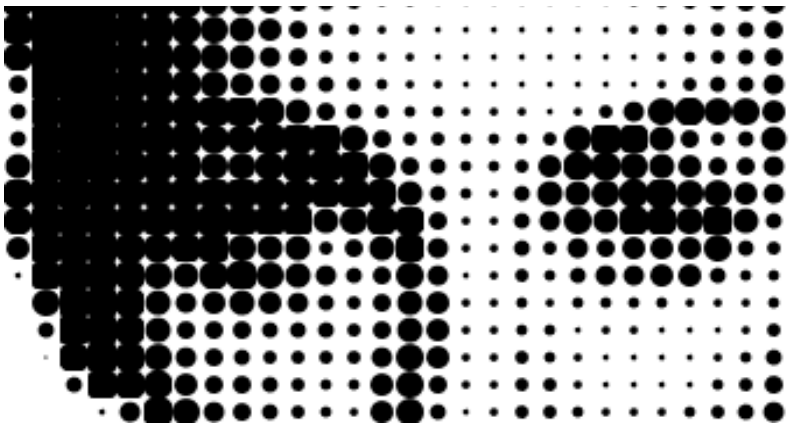


그림 3.1.59 점(Halftone)을 통한 이미지 표현

○ 망점(Halftone)을 통한 디지털 사진 데이터 가공 방법

- Step 1. 이미지 선정

망점을 통한 디지털 사진 데이터 가공을 위해서는 먼저 적절한 이미지를 선정하는 것이 중요하다. 선정한 이미지의 배경의 명도차가 크지 않을수록, 배경과 피사체의 명도차가 클수록 가공에 적합하다.

- Step 2. 색상 값 소거 (Desaturate)

디지털 사진 데이터의 색상을 소거하는 과정을 통해 이미지를 Grayscale로 변환한다. Adobe Photoshop의 경우, Image 탭의 [Mode] - [Grayscale]을 선택하여 변환할 수 있다. 다른 방법으로는 [Adjustment] - [Desaturate]를 선택할 수 있다.

- Step 3. 이미지의 Level 조정

이미지를 구성하는 명도를 조정하는 과정을 통하여 흑백의 대비를 심화할 필요가 있다. 표현하고자 하는 이미지의 명도보다 배경의 명도가 더 높을 경우에는 인버트(Invert) 기능을 통한 반전으로 레벨 조정을 할 수 있다.

- Step 4. Halftone 필터 적용

Level을 통하여 조정된 이미지에 Halftone 필터를 적용하여 이미지를 가공한다. Adobe Photoshop의 경우, Filter 탭의 [Pixelate] - [Color Halftone]을 선택하여 적용할 수 있다.



그림 3.1.60 이미지 선정 예



그림 3.1.61 색상 값 소거



그림 3.1.62 Level 조정

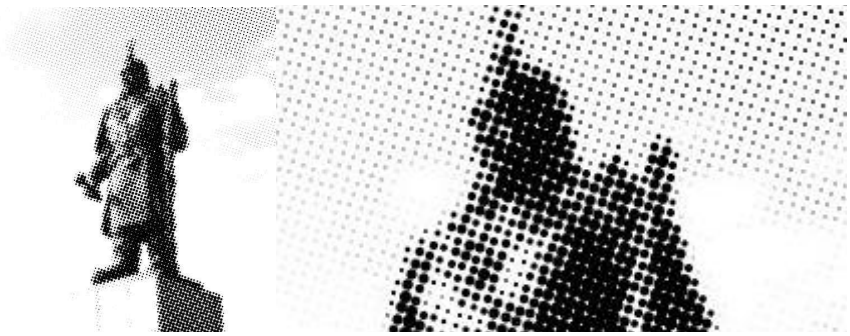


그림 3.1.63 Halftone이 적용된 최종 이미지

(라) 모자이크 평균(Mosaic Average)을 통한 디지털 사진 데이터의 가공

○ 모자이크 평균은 하나의 이미지를 균등한 가로, 세로의 사각형으로 나누어 각 구역의 색상 값에 대한 평균치로 해당 구역을 채워 표현하는 것을 말한다.

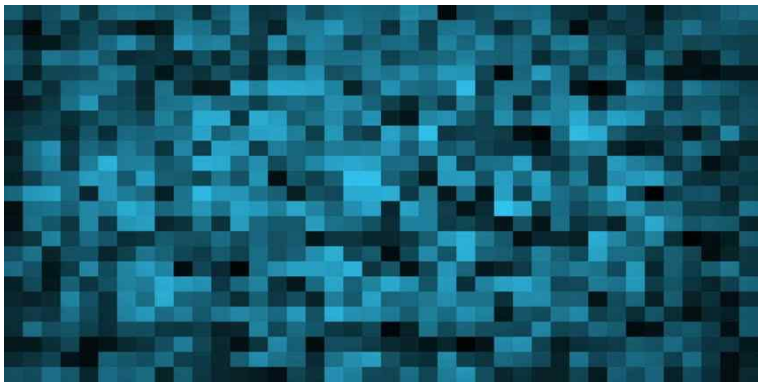


그림 3.1.64 모자이크 평균의 개념

○ 모자이크 평균을 통해 가공된 디지털 사진 데이터는 구역 별 색상과 명도의 차이를 통하여 하나의 이미지를 형성하게 된다. 가까이에서 보면 작은 사각형의 집합이지만, 충분한 거리를 두고 보면 하나의 형상을 나타낸다.



그림 3.1.65 모자이크를 통한 이미지 표현 (작가 Anne Moran)

○ 모자이크 평균을 통한 디지털 사진 데이터 가공 방법

- Step 1. 이미지 선정

모자이크 평균을 통한 디지털 사진 데이터 가공을 위해서도 또한 가공에 적절한 이미지를 선정하는 것이 중요하다. 모자이크 평균의 경우 선정한 이미지의 영역 별 명도의 대비가 클수록 가공에 적합하다.

- Step 2. 색상 값 소거 (Desaturate)

망점을 통한 이미지 가공과 마찬가지로 디지털 사진 데이터의 색상을 소거하는 과정을 통해 이미지를 Grayscale로 변환한다.

- Step 3. Mosaic Average 적용

이미지에 Mosaic 필터를 적용하여 그리드 이미지를 제작한다. Adobe Photoshop의 경우, Filter 탭의 [Pixelate] - [Mosaic]을 선택하여 적용할 수 있다.



그림 3.1.66 모자이크 평균을 통한 디지털 사진 데이터 가공

(마) 모자이크 로우 폴리곤 구조 제작을 통한 디지털 사진 데이터의 가공

○ 폴리곤 구조의 이해



그림 3.1.67 로우 폴리곤 이미지의 개념 (BobHonorsPhoto)



그림 3.1.68 로우 폴리곤 구조 이미지 제작

○ 폴리곤 구조 제작을 통한 디지털 사진 데이터 가공 방법

- Step 1. 이미지 선정: 폴리곤 구조 제작을 통한 디지털 사진 데이터 가공을 위해서는 가공에 적합한 이미지를 선정하는 것이 중요하다. 폴리곤 구조를 제작하는 경우, 기하학적인 형태의 조합으로 구성되기 때문에 이미지의 영역 별 명도의 대비가 클수록 가공에 적합하다.

- Step 2 영역 나누기 (Triangulate): 디지털 사진 데이터에서 명도가 비슷한 영역끼리 묶어

닫힌 벡터를 만들어준다. 삼각형으로 면을 구성해나가는 경우를 특히 Triangulate이라고 부른다. 인접한 벡터는 한 변을 공유하고 있어야 한다.

- Step 3 색상 채우기 (Fill Color): 각각의 영역으로 구분된 공간을 그레이스케일 색상으로 채우는 과정이다. 색상을 채울 때에는 인접한 영역과 구분이 잘 되어야 하며, 원본 이미지의 명도를 유지하며 채워나가야 한다.

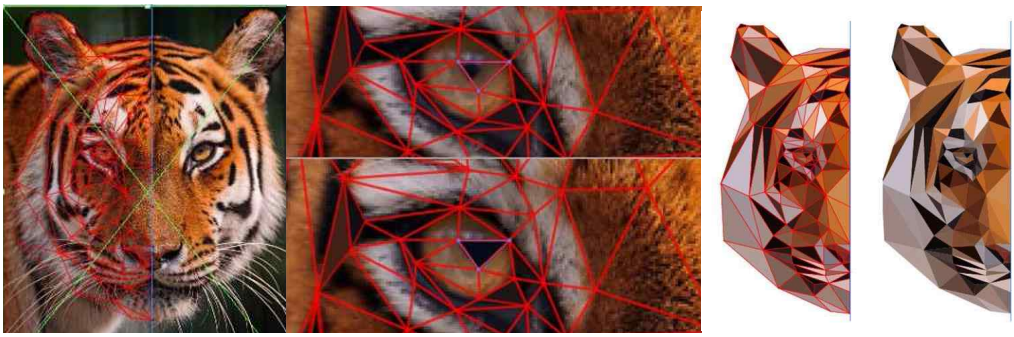


그림 3.1.69 폴리곤 구조 제작 과정



그림 3.1.70 폴리곤 구조 제작 결과물

(2) 가공된 디지털 사진 데이터를 활용한 입체조형 제작 기법

○ 입체조형 제작의 개요

- 3D는 ‘3 Dimension’의 약자로 3차원의 입체를 의미한다. 현실세계에서 인간의 시야에서 지각하고 경험하는 것들은 3차원에 해당된다고 할 수 있으며, 그러한 이유로 사용자는 2d 보다 3d 정보를 보다 현실적이며 생동하는 것으로 인지한다. 이러한 인지적 특성과 기술의 발달에 따라 단면의 구조물이나 영상 매체에서 2d 정보를 3d 데이터로 변환하고 이를 효과적으로 구현하고자 하는 흐름이 나타나고 있다. 따라서 스캐너를 활용하여 물체 형상의 좌표값을 추출하는 3차원 스캐너(3d scanner), 서로 다른 위치에서 디지털 카메라로 촬영한 다수의 사진에서 양안시차를 측정하는 영상기반 모델링(Image-Based Modeling), 가상의 3차원 공간에 재현가능한 수학적 모델을 만들어가는 3차원 모델링(3d modeling) 등 2d 정보를 3d로 변환하는 다양한 방법들이 개발되고 있다.

○ 입체조형 자동화 알고리즘 소프트웨어 종류별 특성 설명

① 2D Image to STL Converter



그림 3.1.71 2D Image to STL Converter 파일

- 해당 프로그램은 2013년에 오픈소스 형태로 출시된 것으로 Thingiverse 홈페이지(www.thingiverse.com/thing:66115)에서 다운로드가 가능하다. 변환 가능한 이미지 파일의 확장자로는 jpg, gif, png, bmp, tif, tiff가 지원되며, 우측 상단의 'Open Image' 버튼을 클릭하여 원하는 이미지를 프로그램에 첨부한 후 상세 조건을 설정하고 우측 하단의 'Create STL' 버튼을 클릭하면 stl 파일로 변환이 완료된다.

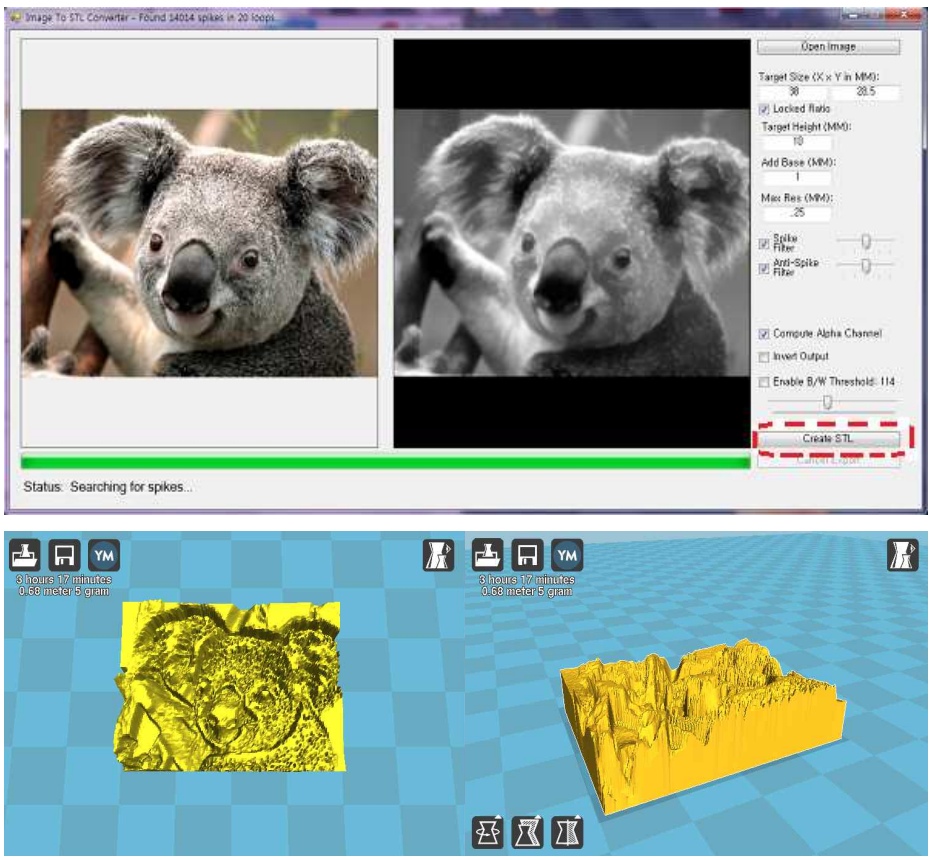


그림 3.1.72 Create STL 결과

- 코코아팹(2015)에서 언급한 내용을 토대로 변환 결과를 분석하면 위의 그림과 같다. 코알

라의 컬러 이미지를 첨부하고 변환하면 그 과정에서 자동으로 흑백으로 전환되고 픽셀 또한 단순화되어 우측에 화면에 나타난다. 변환된 STL파일은 그 픽셀에 따라 거친 모델링 데이터로 생성되는데 이는 형상을 분명하게 이해하기에 어려움이 있는 것으로 판단된다. 또한 프로그램 내에는 별도의 수정기능이 없어 수정이 불가하다.

② eXtrudy

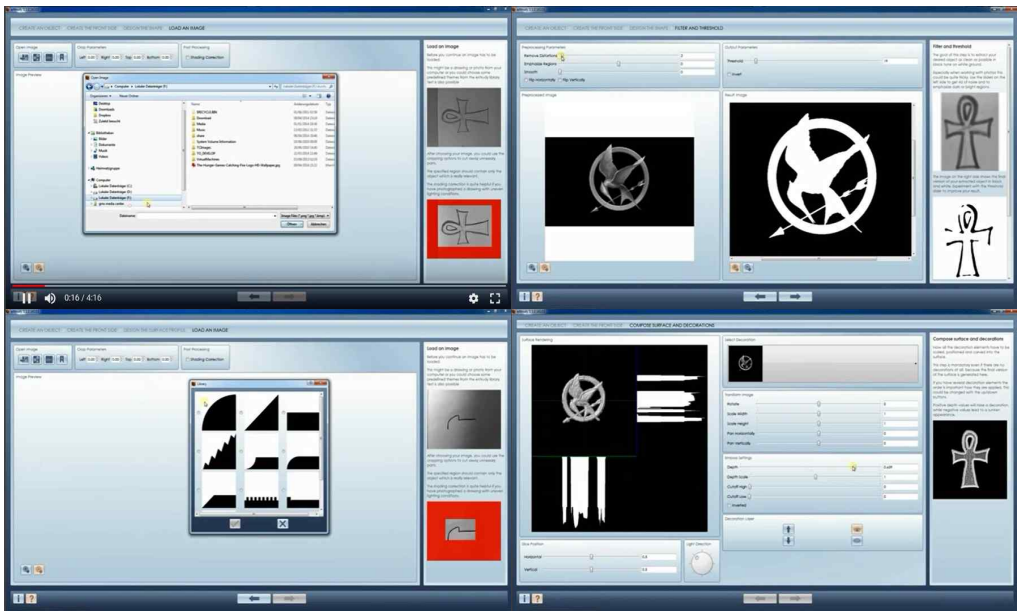


그림 3.1.73 eXtrudy 실행 화면

- eXtrudy는 사용자가 사진이나 그림을 통해 3d 프린터로 출력가능한 간단한 3D 물체를 제작하는 무료 프로그램으로 PC뿐 아니라 어플리케이션을 통해 모바일 환경에서도 사용가능하다. 별도의 3차원 모델링 기술이나 지식 없이도 누구나 자유롭게 활용할 수 있도록 무료로 제공되며 obj, stl 파일로 변환된다. 위의 이미지는 홈페이지에서 제공하는 튜토리얼 영상의 일부로, eXtrudy가 사진의 변환과 동시에 변환된 모델링 데이터에 개별 개체의 추가, 크기 조절, 요철의 형태 선택, 텍스트 입력 등 사용자가 원하는 형태의 삽입 기능도 추가적으로 제공하는 것을 보여준다. 거대구조물에 적용하기에는 범위가 넓어 세밀하게 작업을 하기에는 다소 복잡한 프로그램으로 소규모의 디자인 작품으로 작업하기에는 좋은 프로그램이다.

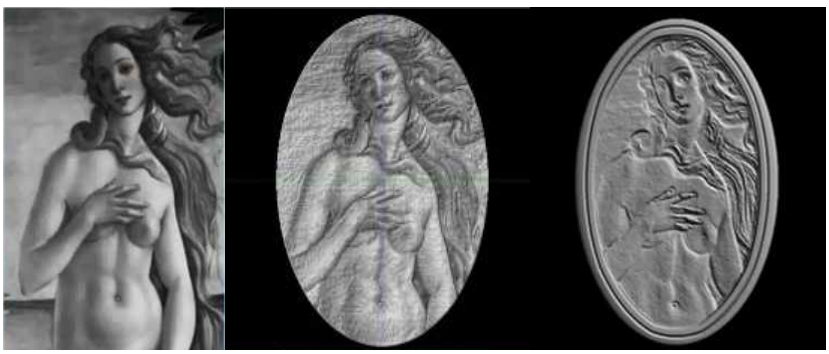


그림 3.1.74 비너스코인

- 그러나 위와 같이 물체와 배경이 비교적 복잡한 사진의 경우, 변환과정에서 표면에 요철이 발생하며 모델링 파일로 변환하였을 때에도 물체와 배경을 분리하여 구조적인 공간과

깊이를 표현하는 데 어려움이 있다.

③ Autodesk Photofly

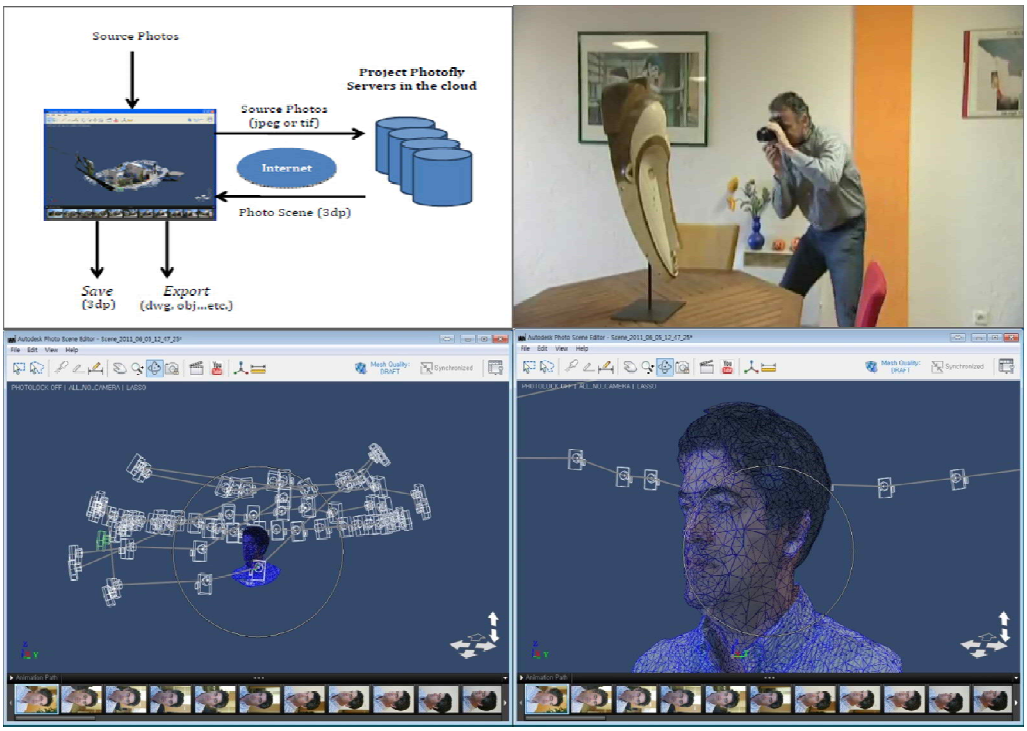


그림 3.1.75 Autodesk Photofly 실행 화면

- Autodesk Photofly는 스냅샷 형태의 여러 사진들을 3D프린터로 출력 가능한 3D 물체로 변환시켜주는 프로그램으로 다수의 360도 스냅사진을 기초로 오버랩핑 되어 세분화된 3D 모델 데이터를 추출할 수 있어 사실적인 재현을 할 수 있다는 것에 의의를 둔다. 또한 무료로 프로그램을 다운 받을 수 있다는 장점이 있다. 이것은 일련의 사진데이터를 삼각화하여 각각의 사진 데이터를 통해 위치 데이터들을 계산하고 카메라 포지션이 결정되면 보다 세분화된 삼각화 작업을 수행할 수 있다. 매우 사실적인 삼각화로 엄청난 작업시간을 단축시킬 수 있다는 장점이 있다. 아래 그림은 어떻게 2D이미지가 3D물체로 변환되는지의 과정을 표현한 것이며 이 프로그램에서 삼각화하는 것을 잘 보여주고 있는 그림이다.

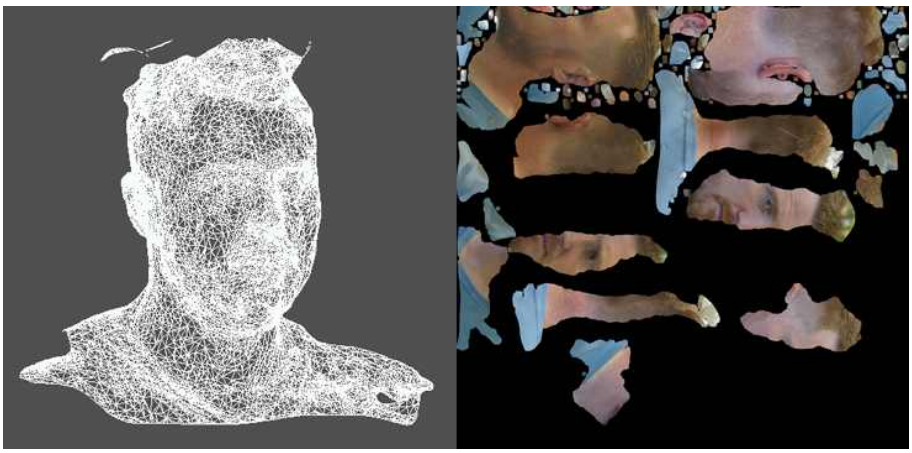


그림 3.1.763 D 데이터 추출

- 또한 텍스처까지 추출할 수 있다는 장점이 있지만, 3D 프린터로 출력할 경우 질감표현에 어려움이 있다.

④ PhotoSculpt

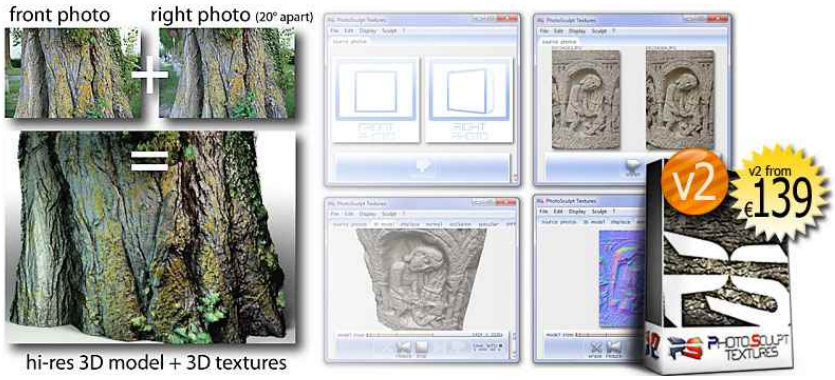


그림 3.1.77 PhotoSculpt

- PhotoSculpt는 각도가 다른 두 장의 이미지만으로 사실적인 3D 모델과 고해상도의 원활한 3D 텍스쳐를 쉽게 만들 수 있는 무료 프로그램이다. 3D프린팅을 하기 위해 프로그램을 다루는데 쓰이는 인터페이스는 비교적 쉬워 누구나 사용할 수 있고, 텍스처가 살아있고 매우 높은 해상도의 메시를 만들 수 있다는 것에 의미를 둔다. 또한 복잡한 자연물이나 부서진 벽 같은 직접 모델링하기 어려운 작업물을 추출해 내어 3D 프린팅 출력 프로그램에서 바로 출력하면 된다. 하지만 다른 프로그램과 비교하였을 때 각도가 다른 하나의 이미지가 꼭 있어야 좋은 결과물이 나오는 번거로움이 있다.

⑤ Autodesk 123D Catch



그림 3.1.78 Autodesk 123D Catch

- Image Base 3D Modeling 프로그램인 123D Catch는 위 그림과 같이 카메라로 360도로 돌아가면서 찍은 사진들을 읽어 들여서 3D로 만들어주고 텍스쳐까지 생성해준다. 하지만 클라우드로 업로드하여 모델링되는 방식이므로 작업속도가 매우 느리고, 텍스쳐 저장파일이 JPG만 허용된다는 단점이 있다. 하지만 실제 찍은 사진을 기반으로 하는 만큼 텍스쳐 해상도는 매우 잘나오며 모델링의 경우 무료 소프트웨어라는 점이 있다. 현재 360도로 돌아가며 찍을 수 있는 사물이 한정되어 있기 때문에 뜻하지 않은 결과물이 나올 수도 있다. 그 외에 높은 해상도의 모델링을 얻을 수 있는 크기는 사방 1m 수준이며, 피사체의 윗부분을 제대로 찍어야하기 때문에 사람의 키보다 큰 것은 좋은 결과물이 나오기 어렵다.

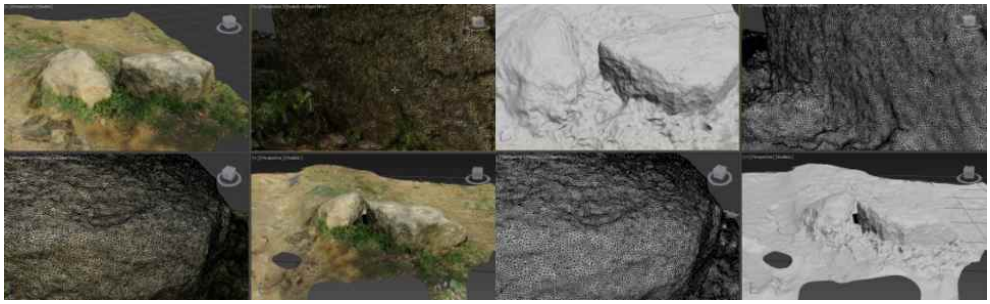


그림 3.1.79 Autodesk 123D Catch 적용사례

- 위의 그림은 360도로 찍은 여러 사진들을 종합하여 3D화 한 결과물이다. 이미지를 클라우드에 업로드하여 외부 서버에서 연산하기 때문에 약 2시간에 걸쳐 제작된 것이다. 이 프로그램은 보통 영화 그래픽, CG쪽에 사실적인 장소 구현이나 실제로 구현해내기 힘든 곳의 사진으로 나타내기에 좋다.

(가) 자동화 알고리즘을 통한 입체조형 제작

○ 자동화 알고리즘을 통한 입체조형 제작 방법

- 사진을 자연물과 인공물 두 분류로 나눈 다음, 변환 후 기능성이 높은 두 프로그램 툴을 선정해 2D데이터를 3D로 변환시켜보았다. 2D Image to STL Converter 프로그램은 조작방법이 간편했고, 직접 사용해 보았을 때 부담이 없었다. 하지만 프로그램 내에서 수정이 불가능하여 디자이너가 다른 프로그램을 통해 수작업이 필요하다. eXtrudy는 앞의 프로그램보다 조작방법이 힘들었고, 복잡한 단점이 있었지만 결과물은 깔끔했다. 또한, 프로그램 내에서 단순화 작업(불필요한 선 지우기 가능) 및 명암과 선 굵기 등을 조정 가능하다는 장점이 있었다. 두 프로그램에 배경이 없고 단일한 패턴형 자연물 새 사진을 적용해보았을 때, 깔끔하고 디자이너가 다른 수작업이 필요하지 않았다.

① 2D Image To STL Converter

▶ 자연물

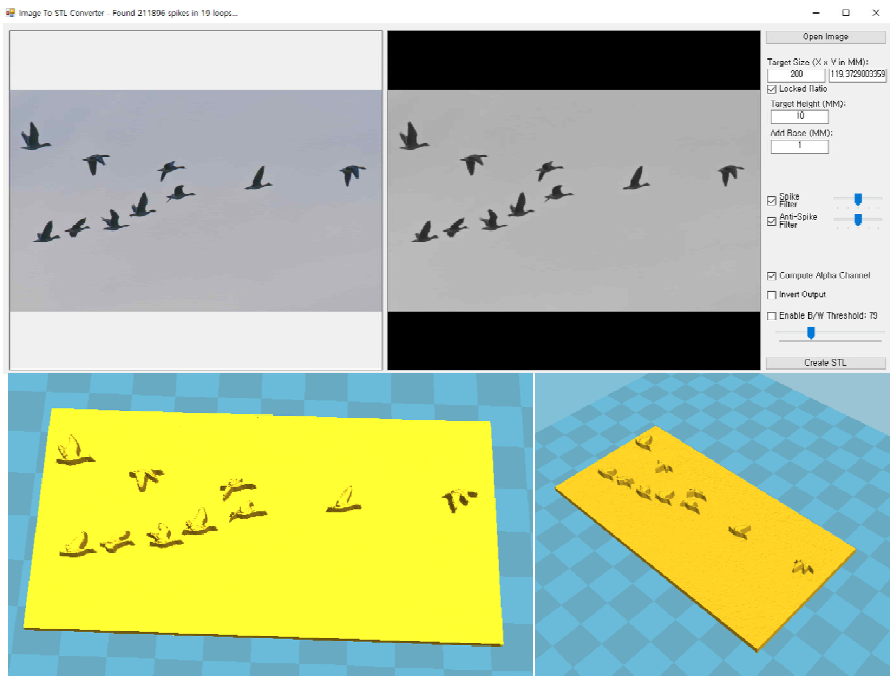


그림 3.1.80 2D Image To STL Converter 적용사례 - 자연물

- 위의 그림은 자연물 사진을 3D로 변환한 결과이다. 사진 한 장으로 3D로 빠르게 변환시켜준다는 것에 장점이 있다.

▶ 인공물

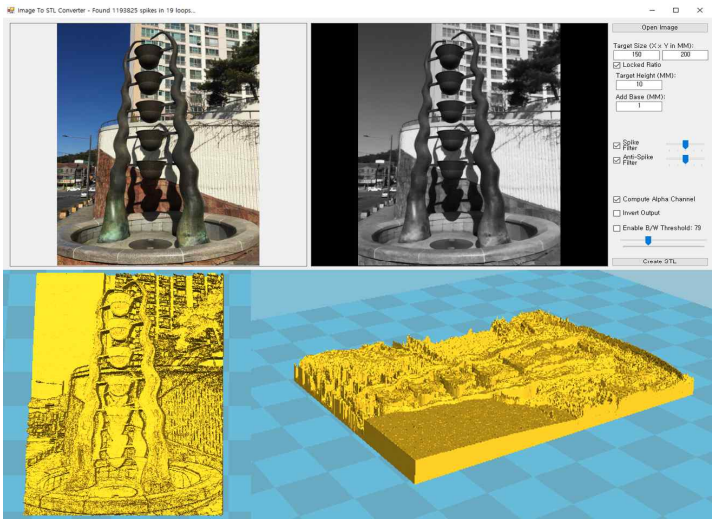


그림 3.1.81 2D Image To STL Converter 적용사례 - 인공물

- 위의 그림은 인공물 사진을 3D로 변환한 결과이다. 섬세하게 표현된다는 장점이 있다. 하지만 인공물은 자연물보다 수정이 힘들다는 불편함이 있다.

② eXtrudy

▶ 자연물

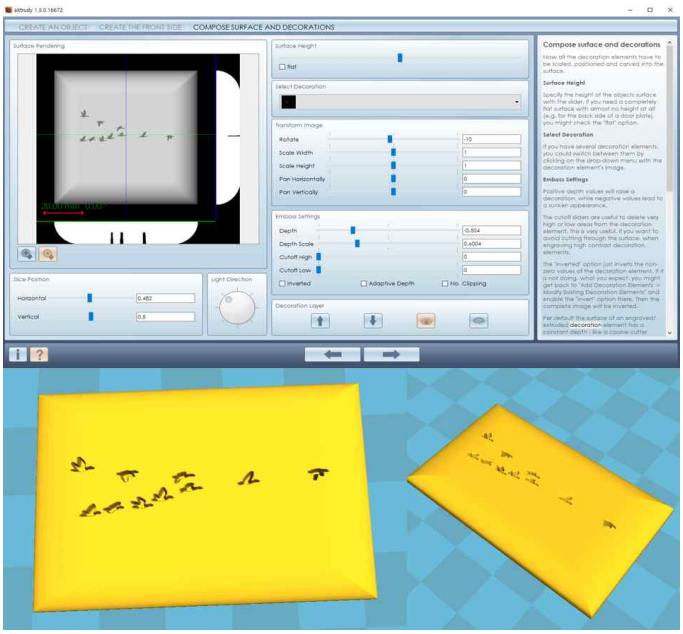


그림 3.1.82 eXtrudy 적용사례 - 자연물 사진 3D 변환

- 위의 그림은 eXtrudy 프로그램을 통한 자연물 사진을 3D로 변환한 결과이다. 자연물은 첫 번째로 사용한 프로그램이다.

▶ 인공물

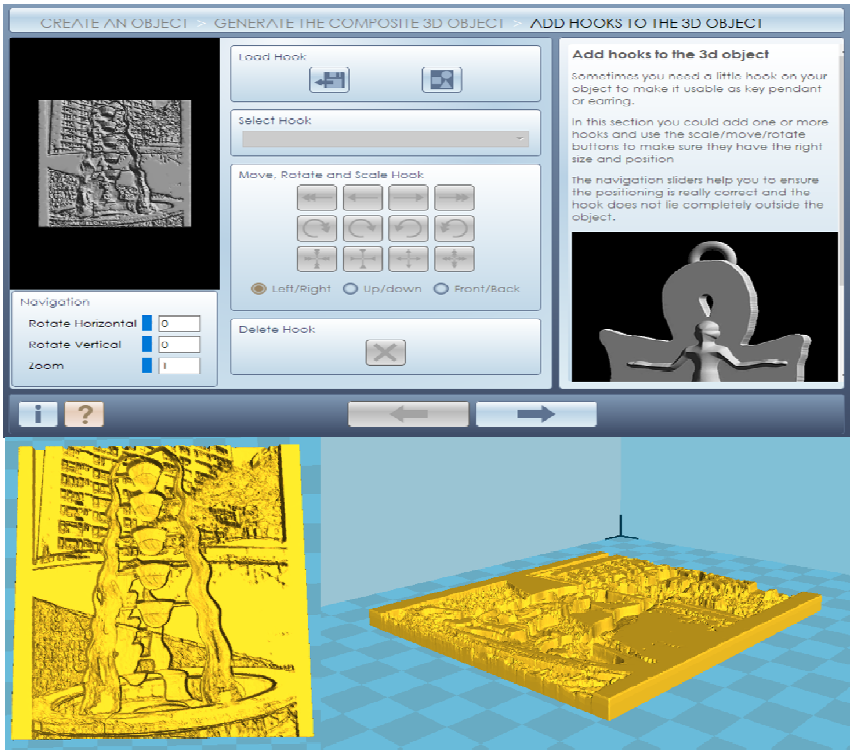


그림 3.1.83 eXtrudy 적용사례 - 인공물 사진 3D 변환

- 위의 그림은 인공물 사진을 3D로 변환한 결과이다.

(나) 직접 모델링을 통한 입체조형 제작

- Step 1. 이미지 선정: 직접 모델링을 위한 이미지 선정에는 특별한 제약은 없다. 디지털 사진 데이터를 바탕으로 원하는 영역에 대한 사진 데이터를 가공하기 때문에 모델링 작업의 소스 이미지로 사용되기 적합한 이미지를 선정하면 된다. 이미지에서 나타나는 형태적 특징이 분명하고 이미지의 해상도가 높을수록 작업이 수월해지는 경향이 있다.



그림 3.1.84 직접 모델링을 위한 추출 대상 이미지 선정

- Step 2. 2D 스케치 라인 추출: 2D 디지털 이미지를 바탕으로 3D로 변형할 수 있는 스케치 라인을 추출한다. 배경에 이미지를 고정시킨 후, Curve 툴을 사용하여 제작하고자 하는 이미지의 외곽선을 직접 그려 추출한다.

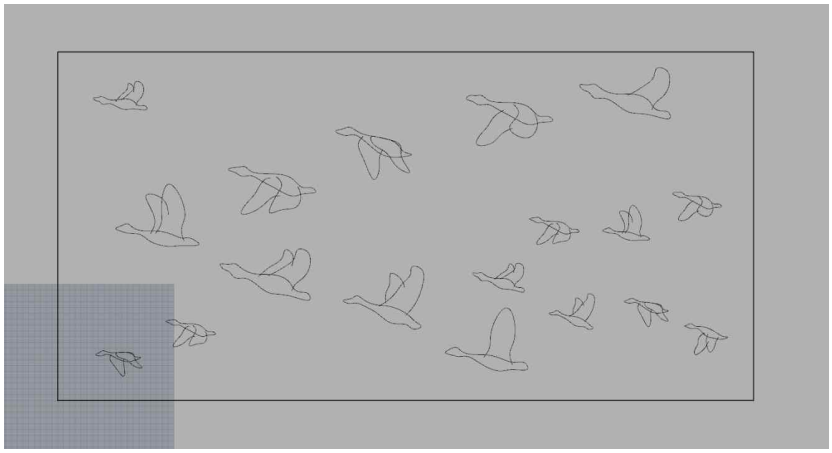


그림 3.1.85 선정된 이미지에서 스케치 라인 추출

- Step 3. 3D 형상 제작: 추출된 외곽선과 3D 형상의 깊이를 표현하기 위한 스케치를 이용하여 입체 면을 형성한다. Network Surface 등의 기능을 활용하여 제작하고자 하는 면의 깊이와 형상을 조절한다.

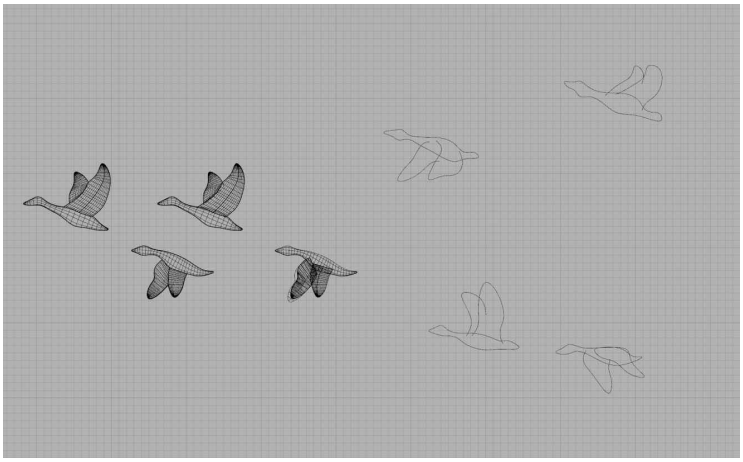


그림 3.1.86 추출된 스케치 라인으로 3D 형상 제작

- Step 4. 출력면 완성

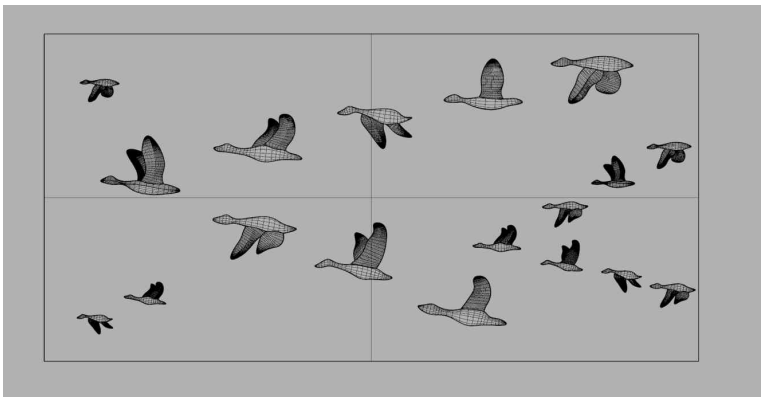
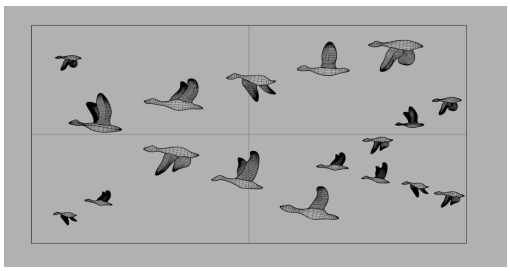


그림 3.1.87 완성된 출력면

(3) 디지털 사진 데이터 활용 입체조형 디자인 기법 비교

<표 3.1.6> 디지털 사진 데이터 활용 기법 비교표

구분	이미지	특징
망점 (Halftone)		추상적 표현 원의 높이 차이에 따른 3D 표현
컬러 평균값 (Mosaic)		다양한 이미지의 추상적 표현 가능 안티알리아스(Anti-alias) 사각형의 높이 차이에 따른 3D 표현
폴리곤 (Low Poly)		다양한 이미지의 추상적 표현 가능 2D 이미지 편집이 까다로움
직접 모델링		직접적 표현 어색한 부분에 대한 수정 가능

자. 입체조형의 면 처리된 대상의 시뮬레이션 평가

(1) 입체조형 면 처리 시뮬레이션 개요

○ 키샷, 스케치업, 3d max 등 다양한 디자인 프로그램을 활용하여 면처리 시뮬레이션을 진행할 수 있다.

○ 본 시뮬레이션 평가에서는 대형 입체조형의 면 처리를 대상으로 렌더링을 진행하였다. 교각이나 공사현장의 옆면에 적용될 거대조형 면 처리 시뮬레이션에는 콘크리트 표면을 표현하거나 노출 콘크리트 양식을 사용해, 보호외피 만의 차별화된 장점을 보여주는 것을 목적으로 진행하였다. 아래 사진들은 입체조형 면 처리 시뮬레이션 사례를 퍼스펙티브 뷰와 사이드 뷰로 렌더링 진행한 것이다. 자동차와 실제 벽으로 제작될 입체조형물의 스케일을 고려해 진행되었다. 현재 철새를 모티브로한 디자인이 적용된 상태이다.

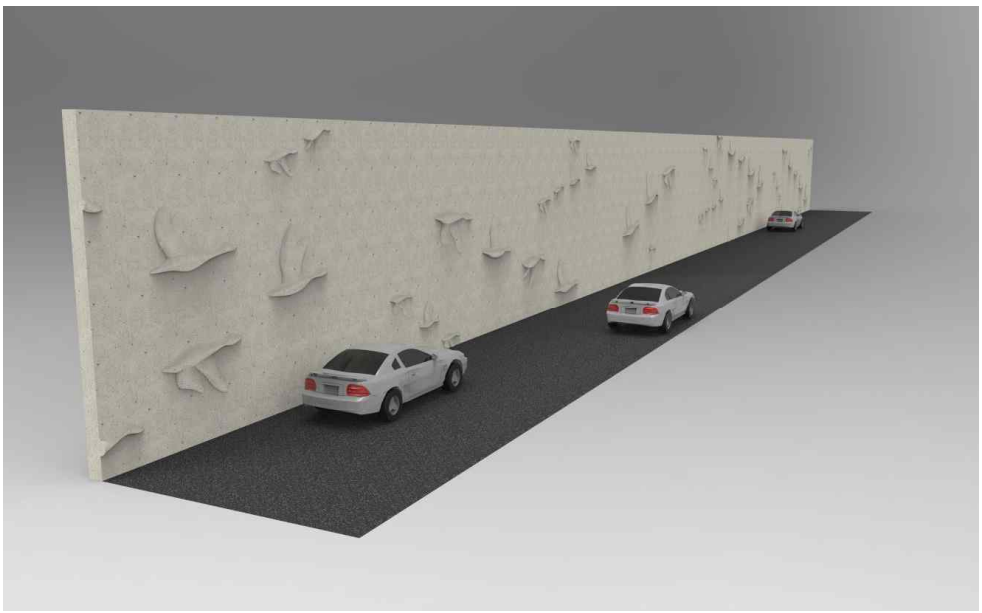


그림 3.1.88 입체조형 면 처리 시뮬레이션 - 도로 옹벽 (1)

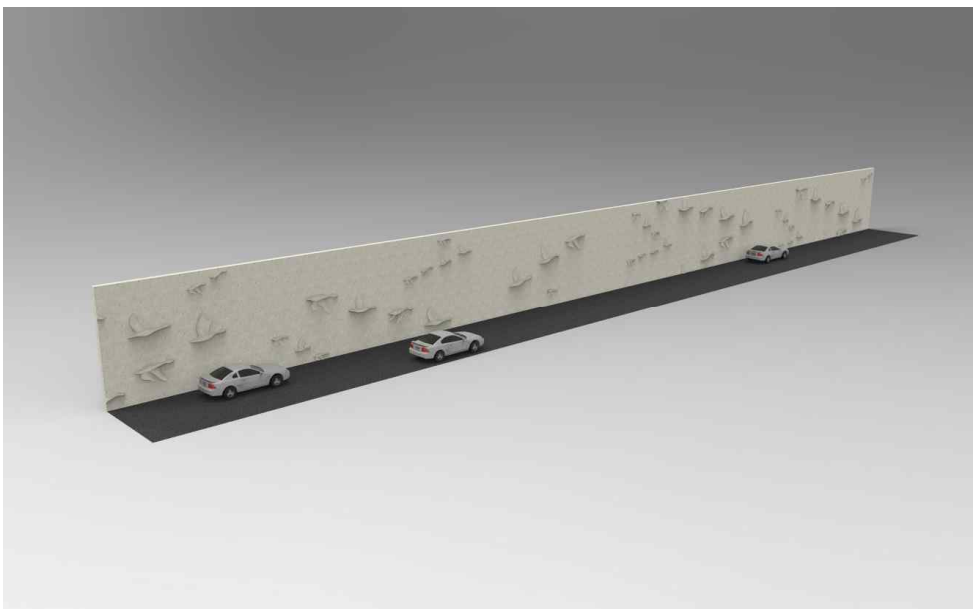


그림 3.1.89 입체조형 면 처리 시뮬레이션 - 도로 옹벽 (2)



그림 3.1.90 입체조형 면 처리 시뮬레이션 – 도로 옹벽 (3)

(2) 입체조형 면 처리 대상 시뮬레이션 평가

○ 모델링은 3D MAX와 라이노로 진행되었으며, 렌더링은 키샷 프로그램을 선정하여 진행되었다. 시뮬레이션을 보았을 때, 벽면은 3m 이상의 높이로 대형 공사현장(ex: 창경궁 일대 공사현장)에 어울리는 사이즈로 하나하나의 디테일 보다는 전체적인 그림의 흐름을 볼 수 있다. 새 형상 하나의 크기가 자동차 이상의 크기로 1m 이상의 형상보다는 그보다 작은 40~50cm의 사이즈로 형상을 적용하는 것이 바람직하다는 결과를 도출하였다. 자동차는 일반 세단을 기준으로 시뮬레이션을 진행하였는데, 면처리 상에 빛에 따른 색상 변화를 확인하기가 다소 어려웠다. 원인은 거대한 사이즈 때문인데, 실제 제작될 입체조형 면의 경우 이보다 고르고 부드럽게 표현될 것이며, 벽면은 총 2400mm의 높이를 기준으로 한 판단 1200 x 600의 사이즈로 제작 시에는 모듈형으로 제작하면 적당하고 시공 시 유로폼 등 시공규격과 맞는 사이즈로 1200 x 600 한 판 출력을 기준으로 진행해야 한다는 결과가 도출되었다. 사진상으로 스케일 감을 주기 위해서는 좀 더 디테일한 모델링과 렌더링이 필요할 것이라 판단된다.

차. 거대 스케일 조형처리 기법 연구

(1) 거대 스케일 조형의 범위와 국내외 사례

(가) 거대 스케일 조형의 의의

○ 기원전부터 경외심을 불러일으킬 기술적 한계를 넘어선 조각품들이 만들어 졌다. 기념비적인 규모의 작업이 현재까지 그 형태를 보존해 올 만큼 수명이 긴 조형물들이다. 고대 세계 곳곳에서 상징적인 예시가 발견되었는데, 기원전 1000 년경 거대학 Olmec 헤드가 그 예시 중 하나이다. 현재 멕시코에서 기원전 9 세기의 인간 날개 달린 사자 (Lamassi) 가 있다. 이렇게 기원전부터 이어져온 거대 신화 및 추상적 조각상들은 16세기에 미켈란젤로에 의해, 그리고 다시 금 19새기에 오거스 로댕에 의해 재조명되었다. 지난 세기 동안 다양한 범위의 대규모 조각들은 현재 기념비적 의미를 가진 거대 조형물이나 엔지니어링 및 옥외 설치 광고 등 다양한 분야에서 대두되고 있다. 이렇게 기원전부터 지속적으로 우리에게 보여진 가장 큰 상징성을 띄고 있는 것이 바로 거대 스케일 조형이라고 정의할 수 있다.

(나) 거대 스케일 조형의 범위

○ 본 연구에서 의미하는 거대 스케일 조형은, 콘크리트 벽채나 교각 등의 외부 면의 미관처

리를 위해 원근감을 활용하여 이미지를 표현하는 것을 말한다. 가까운 거리에서는 전체 이미지의 형상을 파악할 수 없지만, 충분한 거리를 두고 바라보았을 때에는 부분의 조형 요소가 하나의 이미지로 표현되는 것이 특징이다. 거대 스케일 조형은 상징물의 표현, 홍보, 전시, 광고 등의 목적으로 원거리에서 인지할 수 있는 조형처리의 목적을 띈다. 거대 스케일 조형은 원거리에서 인식 가능한 조형뿐만 아니라 구글 맵, 항공사진 등 공중에서도 인식할 수 있는 옥상 조형도 포함할 수 있다.



그림 3.1.91 거대 스케일 조형 예시

(다) 거대 스케일 조형 제작 사례

○ 거대 스케일 조형은 다양한 형태와 스케일을 가지고 있다. 자유의 여신상, 에펠탑, 피사의 사탑 등의 거대 스케일 조형물들은 겉으로 보기에는 조형물이지만 내부에 계단과 엘리베이터 밑 공간을 이용하며 조형물에서 건축물의 요소를 동시에 가지고 있는 랜드마크로 성장하게 되었다. 이런 거대 건축물들은 현대에 들어서 장소에 맞는 크기와 형태의 적용을 바탕으로 활용되고 있다. 그 방식으로는 아래와 같은 예시를 볼 수 있다.

○ 먼저, 거대 스케일 조형 제작 사례로 Photo Engrave 방식이 있다. 이 방식은 사진 데이터를 선형 이미지로 변형한 뒤 콘크리트 폼라이너에 적용하여 시공하는 방식이다. 두께의 변화가 있는 선 요소들이 모여 하나의 사진 이미지가 나타나는 효과를 통해 사진, 일러스트, 문양 등을 거대 스케일로 표현하게 된다.



그림 3.1.92 Photo Engraved Formliner 조형 예시 (1)

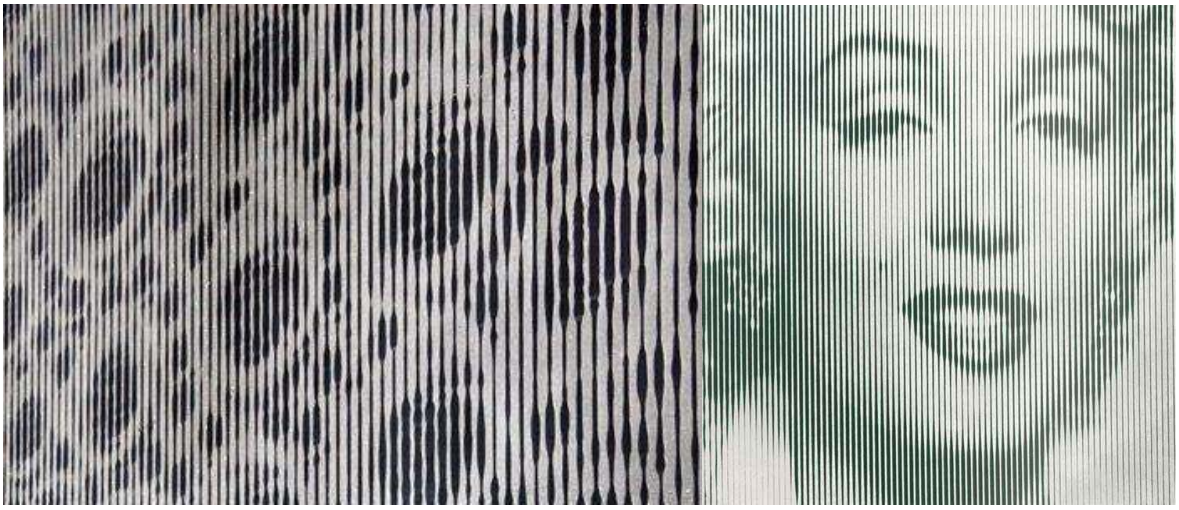


그림 3.1.93 Photo Engraved Formliner 조형 예시 (2)



그림 3.1.94 Photo engraved 콘크리트 벽채 제작 사례

○ 거대 스케일 조형의 착시 효과를 이용한 다른 예로는 남아프리카 공화국 요하네스버그 Apartheid Museum의 넬슨 만델라 추모비가 있다.



그림 3.1.95 Nelson Mandela Memorial, Apartheid Museum

(2) 거대 스케일로 제작 가능한 조형 요소의 범위

◯ 거대 스케일로 제작 가능한 조형 요소는 조형 요소의 범주에 속하며, 조형 요소로는 점, 선, 면, 공간으로 나뉜다. 여기서 공간은 3차원 입체 영역을 말하며, 입체는 면의 궤적이며, 공간은 입체가 규정하는 영역이다. 하지만, 공간은 3차원 자체로써 시공 가능한 거대 스케일 자체를 나타내며, 점, 선, 면을 활용한 입체조형이 가능하기 때문에 생략하도록 한다. 점, 선, 면의 사전적 의미는 아래의 표와 같다. 이런 점, 선, 면의 특징을 극대화시킨 조형 기법들이 있다.

<표 3.1.7> 조형 요소

조형 요소	설명
점	- 점은 가장 단순하고 원칙적인 디자인의 요소이다. - 실제의 점은 존재하지 않지만, 개념적으로 지정하는 위치를 점으로 인식한다.
선	- 선은 디자인의 가장 기본적인 요소이다. - 선은 길이와 공간이 없이 길이만 있는 1차원이다.
면	- 면은 선의 궤적이다. - 면은 선으로 표현되는 도형이다. - 면은 두께를 가지지 않고 넓이를 가지는 2차원이다.

(3) 거대 스케일 조형처리 기법

(가) 점묘 표현의 거대 스케일 조형처리

◯ 점묘화는 점을 찍어 그림을 그리는 화법으로 프랑스의 화가 조르주 쇠라가 개발한 독특한 화법이다. 이를 바탕으로한 그림을 점묘화라 하며, 픽셀이라는 개념의 시초이기도 하다.

◯ 점묘화는 형태에 따라 다시 한 번 나눌 수 있는데, 대표적으로 원형의 점을 이용한 점묘법과 화면의 픽셀단위를 적용한 픽셀아트가 있다. 이 외 삼각형이나 폴리곤 아트 등이 있다. 점묘 표현의 장점은 적은 색으로 효율적인 명암을 나타낼 수 있다는 것이다. 따라서, 한정적인 색상을 가진 콘크리트를 활용하기 적합한 기법이라 할 수 있다. 아래 그림은 대표적인 점묘법 활용사례와 픽셀아트의 이해를 돕기 위한 사진이다.



그림 3.1.96 점묘 표현의 활용사례와 픽셀아트

<표 3.1.8> 디지털 조형 처리 기법의 종류

구분	이미지	특징
원형 (Halftone)		- 비교적 디테일한 표현이 가능하며 곡면을 표현할 수 있다. - 크기의 차이만으로 다양한 표현이 가능하다.
픽셀 (Mosaic)		- 전체적인 그림을 보기 전에 형상이 어떤부분에 소속되는지 알기 매우 어렵다. - 비교적 다양한 색상이 필요하다.
삼각형 혹은 다각형		- 형상이 이어지지 않으면, 구별하기 어렵다. - 비교적 많은 파트가 필요하다. - 장소에 따라 명암의 차이가 표현되지 않을 수 있다. - 형상이 무엇인지 알아보기 쉽다. - 디테일한 표현이 가능하다.

(나) 선형 표현의 거대 스케일 조형처리

○ 선형 표현의 거대 스케일 조형처리 기법으로는 라인아트가 있다. 라인아트의 경우 2차원 또는 3차원의 물체를 표현하기 위해 음영 또는 색상의 그라데이션이 없는 배경에 배치 된

뚜렷한 직선 또는 곡선으로 구성된 이미지를 의미한다. 라인아트는 일반적으로 단색이지만, 다양한 색의 사용도 가능하다. 라인 아트의 선은 일정한 폭, 몇 개의 일정한 폭 또는 자유롭게 변화하는 너비가 모두 있을 수 있어 자유도가 높은 편이다. 라인 아트는 리얼리즘을 향하는 경향이 있거나 풍자, 만화, 표의 문자 또는 글리프일 수 도 있다. 점묘법보다 비교적 디테일한 표현이 가능하며, 방향성을 가지고 있어, 디테일한 마감 또한 가능하다.

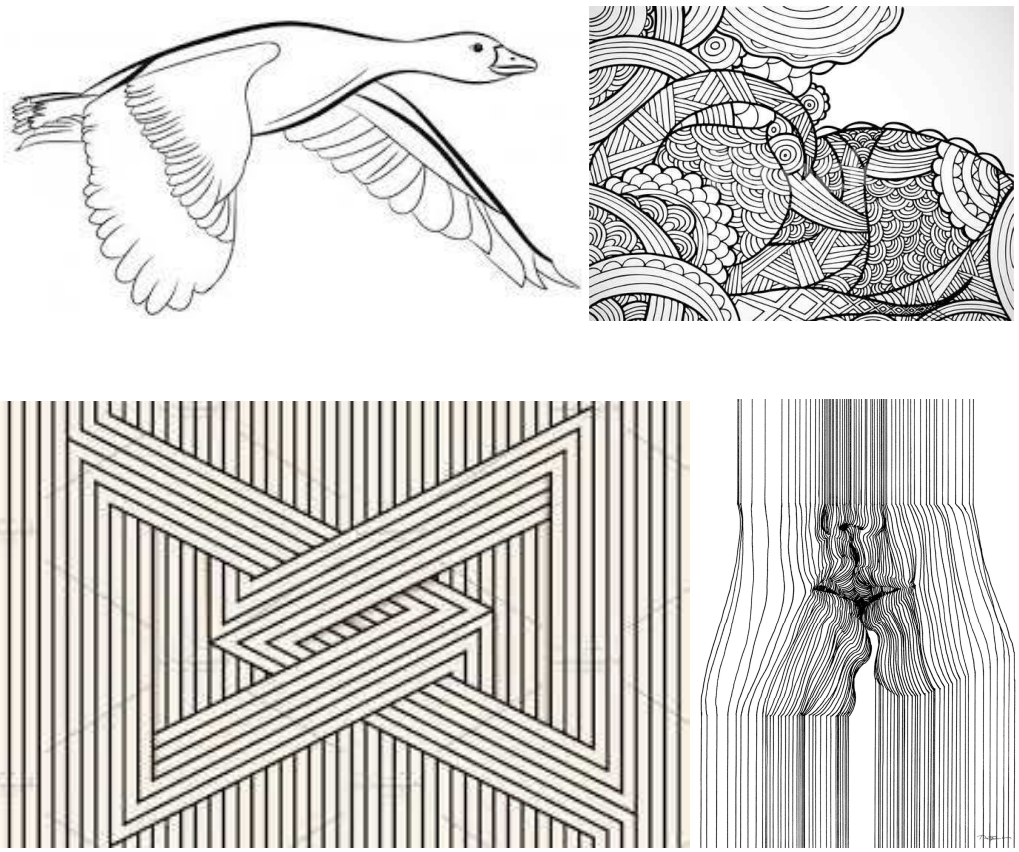


그림 3.1.97 선을 활용한 조형사례

(다) 면 표현의 거대 스케일 조형처리

○ 점묘법의 확장이라 볼 수 있으며, 점이 모여 선이되고 선이 모여 면이 되는 기본적인 조형원리를 따른다. 면의 경우 다양한 형태를 표현할 수 있으며, 크기와 각도에 따른 다양한 적용이 가능하다. 원하는 형태를 구성할 때, 가장 디테일한 표현이 가능하며, 적용 가능성이 가장 큰 기법이다.



그림 3.1.98 면을 활용한 조형사례

(4) 대형 3D프린터를 활용한 거대 스케일 조형처리 기법의 적용

○ 기존의 거대 스케일 조형물에서 3D프린터의 활용은 다양한 시도이자 가능성을 보여준다.

○ 평면적 한계를 뛰어 넘어 다양한 곡률적인 형태의 제작 및 입체적 형상이 모두 가능해진다는 것이다. 건축양식이나 재질이 이제 인테리어인 실내에 까지 적용되면서 다양한 디자인이 가능해 졌다. 예를 들어 콘크리트나 3D프린팅 PLA 재질을 사용하여 벽지가 아닌 새로운 내부 벽면을 만들거나, 고층 빌딩에 법규를 위해 제작해야하는 대형 조형물 등은 이제 공예가가 몇 달, 몇 년이 걸려 하나를 제작하는 것이 아니라, 좀 더 쉬운 방법으로 많은 디자인을 비교적 단 시간에 해결할 수 있게 된다. 타일 하나하나를 붙일 필요 없이 최대사이즈의 대형 3D 프린터로 인테리어 벽면 전체를 출력하거나, 동상 하나를 3D 프린팅 조형물로 한 번에 인쇄하는 등 혁신적인 변화를 이끌어 낼 수 있다. 아래 사진들은 그런 변화 중, 가장 실현가능성이 높으며 당장 출력이 가능한 양식을 기반으로 선정한 사진들이다. 앞서 살펴본 조형 기법을 기반으로 한 형태들이며, 3D 프린터를 활용한다면, 더 이상 구분 없이 모든 출력이 가능하다. 아래 그림의 사례를 통해 거대 스케일 조형 처리 기법의 적용 가능 이미지를 확인 할 수 있다.



그림 3.1.99 면 조형 사례(1)

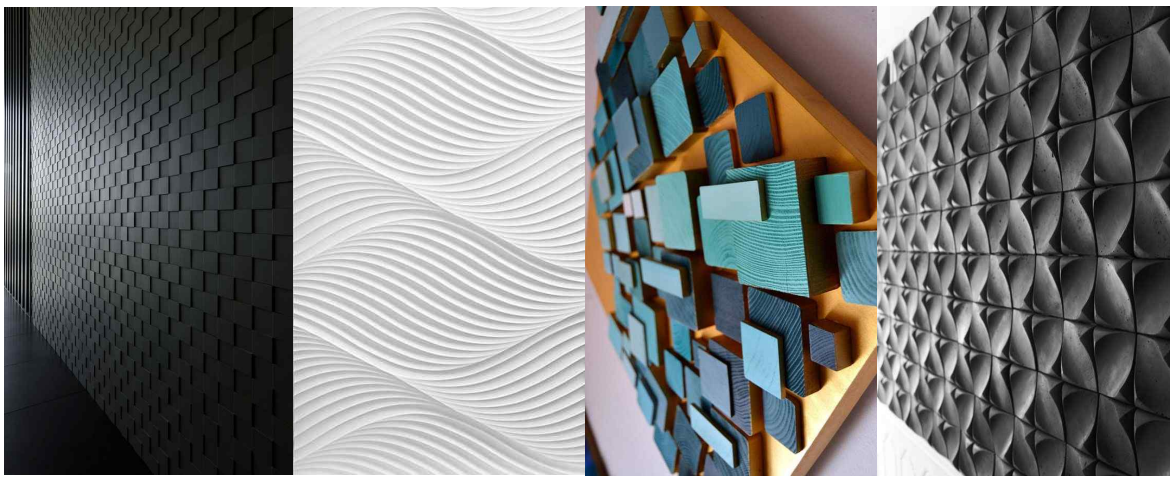


그림 3.1.100 벽면 조형 사례(2)



그림 3.1.101 벽면 입체 조형 사례

○ 특히, 이런 조형적 접근 이 외에 사진 데이터 출력 기법을 활용한다면, 집안에 나이아가라 폭포를 옮겨 놓는 것은 더 이상 꿈이 아니라 현실이 될 것이다. 아래 그림이 본 연구로 인해 앞으로 실현 가능해질 거대 스케일 조형 이미지 중 하나가 될 수 있다.



그림 3.1.102 벽면 조형 적용 가능성 사진

2. 20㎛ 적층정밀도로 대형부재 제작 가능한 맞춤형 3D프린터 개발

가. 국내외 3D프린터 연구개발 동향 조사 및 분석

(1) 국내외 3D프린터 기술현황 조사 및 분석

(가) 3D 프린터의 역사

○ 1860년대 프랑스 예술가 프랑수아 윌리엄이 PhotoSculpture 개발

- 조각하고자 하는 피사체를 특수 제작된 스튜디오의 여러 각도에서 동시 촬영
- 촬영된 사진 기반으로 소재의 외곽선을 따 돌려가면서 가공



그림 3.2.1 PhotoSculpture의 진행 과정

○ ~1950년대

- 피사체에게 빛나는 직선을 비추어 외각선을 나타내며, 피사체를 회전시킴과 동시에 이를 필름으로 촬영
- 촬영된 필름에서 외곽선을 추출, 이를 톱날을 이용해 대략적으로 깎아냄
- 수작업을 통한 추가 가공



그림 3.2.2 영화 촬영 기법과 자동 톱날을 이용한 자동화 PhotoSculpture

○ 1960~80년대

- 1968년 Swainson의 레이저를 이용한 PhotoSculpture
- 1972년 Ciraud의 분말살포 후 레이저 경화식 물체 제작
- 1972년 Mitsubishi Motor의 감광성 수지를 이용한 물체제작용 몰드의 제작법
- 1980년 Hideo Kodama의 광경화성 수지에 적외선을 조사하는 방식의 광 조형법 개발

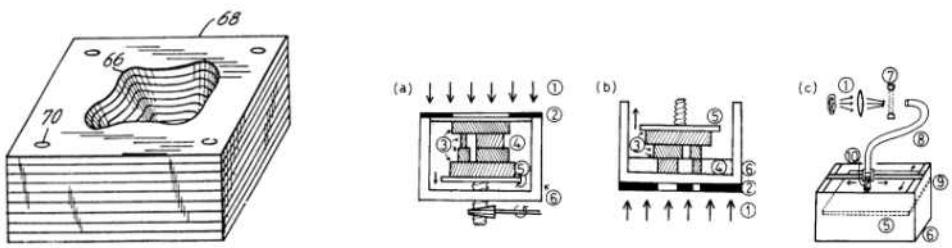


그림 3.2.3 Mitsubishi Motors의 몰드제작법과 Hideo Kodama의 광 조형법

(나) 조형법 별 3D 프린팅 산업의 시작

○ SLA법

- 1983년 Charles W. Hull 이 가구회사에서 재직중 플라스틱 판의 자외선 경화공정을 보고 사업 아이디어를 얻음.
- 1984년 8월 “Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography” 특허출원, 1986년 특허 등록
- 1986년 3D systems 창업
- 1987년 최초의 SLA 3D printer, SLA-1 개발
- 1988년 물체의 3D 정보를 보관하기 위한 파일 포맷, STL(STereoLithography, Standard Triangle Language, Standard Tessellation Language) 개발

○ SLS법

- 1981년 Carl R. Deckard가 오일업계를 위해 부품을 만드던 시설에서 일하던 중 cad 도면 기반의 자동화된 패턴주조법에 대한 아이디어를 얻음
- 텍사스 어스틴 주립대에서 석박사 과정을 밟으며 다양한 특허 출원 및 등록
- DTM에서 일하며 Bambi, Mod-A, SinterStation2000 등의 개발을 주도함

○ FDM법

- 1989년 S. Scott Crump가 딸에게 글루건으로 장난감을 만들어주던 중 사업 아이디어 획득. 부인과 함께 Stratasys 창업
- 1989년 “Apparatus and Method for Creating Three-Dimensional Objects” 특허 출원, 1992 특허 등록

(다) 3D프린팅 산업의 심화

○ 1990년대

- Stratasys, 3D systems, DTM 모두 자사의 첫 상업용 모델 출시 및 판매
- Sanders Prototype, Z corporation, Arcam, MCP technology 등 다양한 후발주자들의 등장
- 3D 프린팅 기업들이 기업들을 위한 시제품 생산 서비스 시작
- 수많은 기업들이 동시에 출현했지만, 3D 프린팅의 역사는 이 세 기업이 주도하였음



그림 3.2.4 Stratasys, 3D systems, DTM의 첫 상업용 모델들

○ 2000년대

- 자기 자신을 스스로 복제할 수 있는 3D 프린터라는 목표 하에 Reprap 프로젝트가 시작되었고(2005), 2008년 자신의 부품 50%를 생산할 수 있는 darwin이 만들어짐
- 3D systems에서 최초의 1만달러 이하 제품을 선보임
- Reprap 프로젝트 기반의 최초의 3D printer Kit, BfB RapMan 3D printer 가 발매됨
- Mega-Scale, Automated Contruction 이라는 이름하에 3D 프린팅 기술을 건축분야에 사용하는 것에 대한 연구가 이전부터 지속되어져 논문이 발표되기 시작하였으나, 기술력, 재료 등의 한계점으로 인해 실제 건축에 적용된 예는 극히 드물며, 적용되었다고 하더라도 그 효율 및 코스트가 과도하여 적용되지 못함

○ 2010년대~ 현재

- 3D 프린팅 시장이 소비자들에게 본격적으로 열리게 됨에 따라 엄청난 부가가치를 가진 시장이 되었음
- Stratasys가 Objet, Makerbot을 인수, 3D systems가 Z corporation을 인수하면서 시각각 세계 점유율 53%, 22% 올라섬
- HP(hewlett packard)가 2016년 Multi jet fusion 기술을 가지고 시장진입
- FDM 기법에 시멘트와 첨가물을 을 이용하는 건축용 3D 프린팅이 발표되었음
- 건축물의 일부분을 제작하기 위한 3D 프린팅도 선보이기 시작

(라) 프린팅 기술 현황

○ FDM (Fused Deposition Modeling)

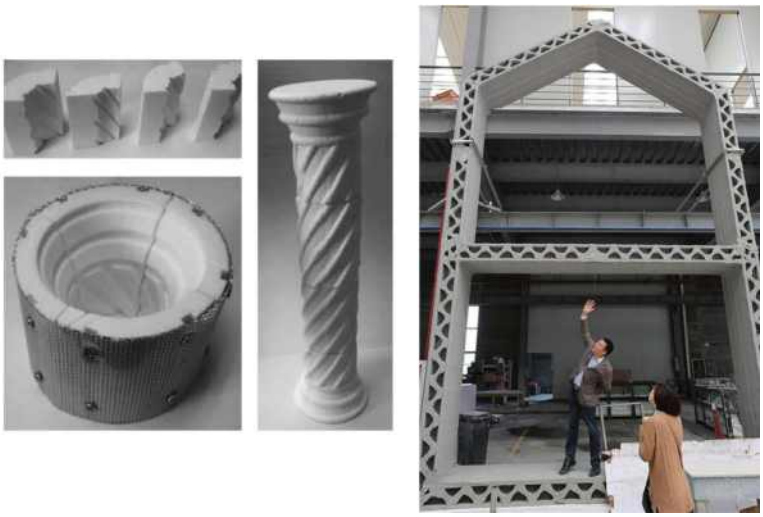


그림 3.2.5 건축물의 3D프린팅 예

- 필라멘트 타입의 재료를 헤드를 통해 분출시켜 적층시키는 방식
- 현재 개인용 3D 프린터에 가장 많이 사용되고 있음
- 가장 많은 제조사들이 적용하고 있는 기술이며, Reprap 프로젝트에도 채용된 예
- 높은 내열성과 강도를 가지고 있으나, 조형물의 표면이 비교적 거침

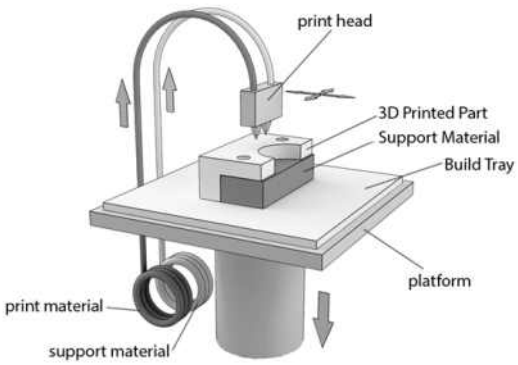


그림 3.2.6 FDM 방식 개념도



그림 3.2.7 FDM 3D printer

○ SLA (Sterio Lithography Apparatus)

- 액상수지의 재료를 레이저를 사용하여 경화시키는 방식
- 조형물의 정밀도가 상당히 좋은 편

- 장비가 고가이며 유지보수비용이 많이 들어가기 때문에 특정 산업군에서만 제한적으로 이용되고 있음
- 주로 아크릴 계열의 소재가 사용되고 있으며, 다양한 소재가 출시되고 있지만, 광 경화성 재료만 가능하다는 단점 때문에 FDM 에 비해 재료의 폭이 넓지 않음

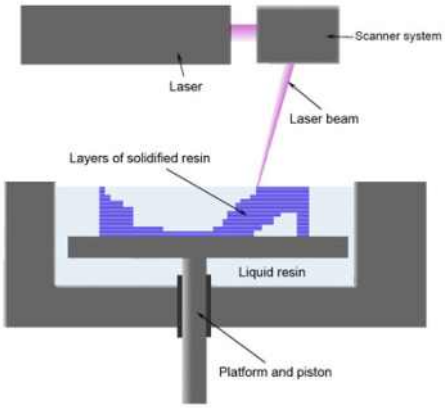


그림 3.2.8 SLA 방식 개념도

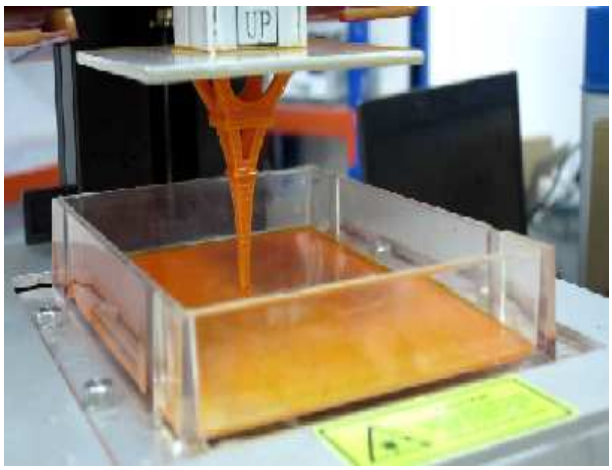


그림 3.2.9 SLA 3D printer

○ SLS (Selective Laser Sintering)
- 분말 재료를 사용하고, Laser를 재료 위에 주사하여 제품을 제작하는 방식
- 금속분말, 나일론 등의 재료를 사용하기 때문에 강성이 강한 제품의 시제품 제작에 이용되며, 다른 조형 방식에 비해 제작과정중의 온도가 매우 높다
- 제작 속도가 빠르며, 대량생산이 가능한 반면, 예열 작업과 냉각 과정이 반드시 필요하다

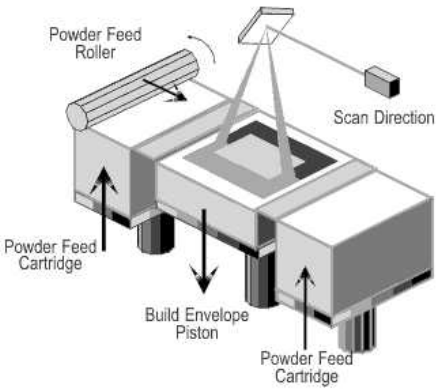


그림 3.2.10 SLS 방식 개념도

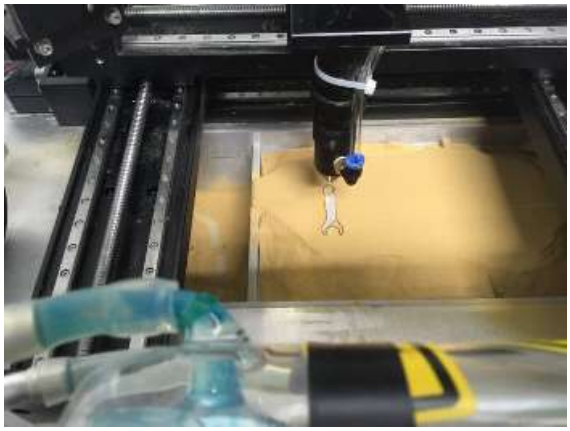


그림 3.2.11 SLS 3D printer

○ DMLS (Direct Metal Laser Sintering, DML, DMT)
- 일반 산업용 금속 분말을 제작 과정중에 실시간으로 뿌리면서 제작하는 방식
- 고출력 레이저 빔을 이용하여 금속분말을 녹여 붙이는 방식
- 손상된 금속제품의 재생 및 보수, 다소재 금속 제품의 조형, 금속 제품의 리모델링, 특수 코팅, 합금 설계 등 SLS 방식이 할 수 없는 일들을 할 수 있음
- 별도의 열처리 없이도 단조제품과 유사하거나 뛰어난 물성을 보임

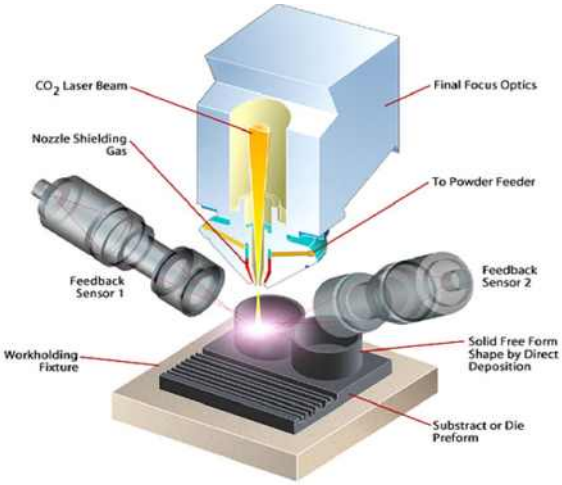


그림 3.2.12 DMT 방식 개념도



그림 3.2.13 DMT 3D printer

○ PolyJet

- 잉크젯 프린팅과 유사한 방식으로, 잉크 대신 액상 광경화성 수지를 분사하고 자외선으로 굳히는 방식을 통해 조형물을 생성한다
- 표면 디테일과 제작속도, 정밀도가 뛰어나다
- 다양한 재료 및 색상을 표현할 수 있다
- 내구성이 타 방식에 비해 조금 약한 경향이 있음
-

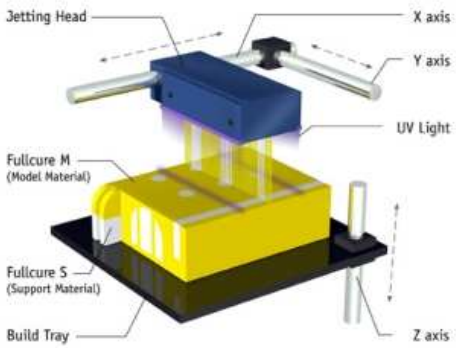


그림 3.2.14 PolyJet 방식 개념도



그림 3.2.15 PolyJet 3D printer

○ LOM (Laminated object manufacturing)

- 칼이나 레이저로 절단된 종이, 플라스틱, 금속 층 등을 접합하여 조형하는 방식
- 종이도 사용 가능하여 제작비용을 크게 절감 가능
- 실제 물체와 같은 색상을 프린팅 할 수 있음

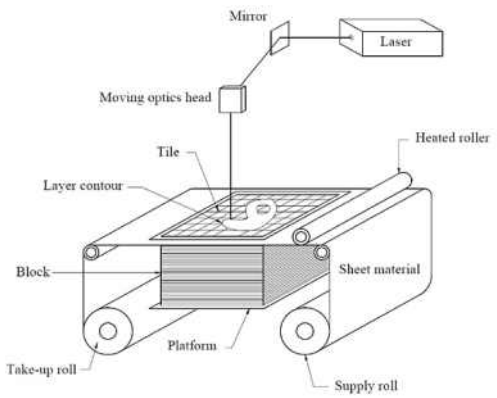


그림 3.2.16 LOM 방식 개념도



그림 3.2.17 LOM 방식을 사용한 출력물

○ EBM (Electron Beam Melting)

- SLS, DMLS 과 비슷한 방식으로, 전자빔을 금속 분말에 쏴서 이를 용해한 후, 이를 굳혀 물체를 만드는 방식이다
- 위에서 내려오는 분말이 균일하지 못할 경우 물체의 정밀도에 문제가 생기기 때문에 진공 챔버 내에서 물체를 제작한다
- 티타늄, 코발트크롬 등의 고가, 고성능 재료를 이용한 제작에 많이 이용된다

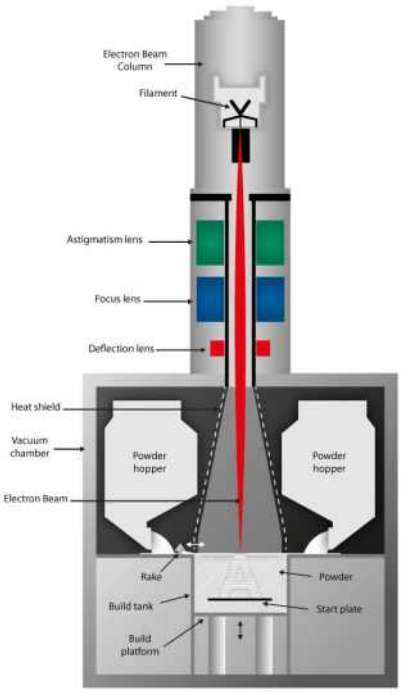


그림 3.2.18 EBM 방식 개념도



그림 3.2.19 EBAM 3D printer

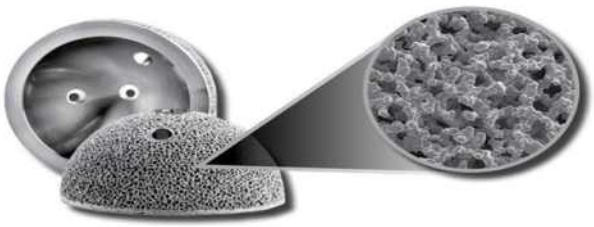


그림 3.2.20 EBM 방식을 이용한 사출물

(마) 3D프린터 활용분야 및 특징

<표 3.2.1> 3D 프린터 활용분야 및 특징

분야	주요 활용 예시	특징
제조업 및 연구분야	디자인 및 기능검증	활용 증가추세 시제품 제조회사로부터의 수요 多
건축	건물의 모형(목업)	도색 및 낮은 운용비용 필요 복잡한 형상에 대응할 수 있는 방법 필요 문화재, 유적 등의 복제에도 사용됨
의료복지	치아, 인체, 의료보조 기구 등의 모형	소비자 제품에 많이 활용됨 강도, 마감, 비용 등의 최적화 필요
교육	제품제조, 교육용 기구	개인용 저가프린터 사용 사출 제품이 복잡하지 않음 판매 방법 및 유지보수 방안 필요
소비자 단계	취미, 벤처	



그림 3.2.21 3D 프린팅 기술로 복구된 중국 문화재



그림 3.2.22 3D 프린팅 기술을 이용한 건물 짓기



그림 3.2.23 3D 프린팅 기술을 이용한 관절 보형물



그림 3.2.24 3D 프린팅 기술을 이용한 두개골 보조물

(바) 3D프린팅의 장점

<표 3.2.2> 3D 프린팅의 장점

장점	단점
- 시제품의 제작비용 및 시간절감 - 다품종 소량생산·손쉬운 맞춤형 제작 - 복잡한 형상제작 및 재료비 절감에 기여 - 인건비·조립비용 절감 - 기존 절삭방식에서는 절삭 불가능하였던 복잡한 내부 형상도 조형 가능 - 복수의 제품을 한 번에 여러 개 만들 수 있음 - 조작자·생산자의 기술력에 크게 의존하지 않음	- 조형속도가 매우 느림 -> 조형기술의 개발로 조형시간은 계속해서 빨라지고 있음 - 규모가 큰 물체의 프린팅에 한계 - 표면 해상도가 아직 높지 않음 - 적층방식제조로 단층방향의 힘에 약하고 조형물 강도가 약함 - 광경화성 수지, 레이저 소결 수지, ABS 필라멘트 및 금속소재 일부만 활용 가능. 가공재료에 한계 - 재료비가 비쌈 -> 소재에 대한 활발한 연구가 진행되고 있어 점차 싸지고 있음 - 소재와 공정에 대한 규격이나 표준이 정립되어 있지 않아 다양한 형태의 소규모 시도가 빈발함

(사) 해외 원천기술(특허) 보유기업 현황

○ 대부분의 기업들이 가지고 있는 원천특허가 만료되어가는 중이나, 해당 기업들이 원천기술에 기반한 연구를 통해 신규, 개량, 주변특허를 내면서 특허장벽을 구축해 가는 중으로, 시장 진입은 가능하나 이러한 특허에 대한 주의가 필요함

<표 3.2.3> 해외 특허 보유기업 현황

기술유형 분류	보유기업
Stereo Lithography(SLA)	3D systems
Selective Laser Sintering(SLS)	3D systems, EOS
Fused Deposition Modeling(FDM)	stratasys
Direct Metal Laser Sintering(DMLS)	EOS
Laminated Object Manufacturing(LOM)	Cubic Technology
Electron Beam Melting(EBM)	Arcam

(아) 국내 원천기술 보유기업 현황

<표 3.2.4> 국내 원천기술 보유기업 현황

기술유형 분류	보유기업
DMT (direct metal tooling)	인스택

○ 원천기술을 보유한 기업은 인스택이 유일하며, 국내 전자,의료, 연구소 등에 장비를 납품하고 있으며, 단순 생산기술만 가진 기업으로는 DLP 기술을 이용하는 캐리마, FDM의 로킷, 3D프린터 재료의 착색재료를 생산하는 엔피케이 등이 있음

(자) 해외 주요국가 기술개발 지원 현황

○ 미국 : 정부차원의 R&D 진행 중
- 해외로 나간 제조업 공장을 국내로 되돌리는 reshoring과 연계하여 시제품 제작과 비용을 줄이는 Making in America 사업 진행 중
- 국가제조혁신허브 “NAMII“를 설립완료(2012) 및 해당 기관을 통한 R&D 진행 중
- 추가적인 제조혁신허브 “AMII“를 여러개 더 설립할 계획을 가지고 있음
- ORNL 국립연구소 내의 MDF 설립을 통한 산업계의 3D 프린팅 생산기술 개발지원 진행 중

○ 영국
- 다수의 대학 및 조직에 연구조직 설립 및 R&D 자금 지원 중
- 무인비행기 날개 개발 등의 가시적인 성과가 나오고 있음

○ 독일
- 3D 프린팅 기술을 이용한 인공혈관 제작 성공
- 의료분야에서 지속적인 연구 진행 중

○ 일본 : 정부주도, 민간참여 개발계획 진행 중
- AIST, Cmet, 닛산자동차의 민간업체가 역할분담하여 개발 진행 중
- 2017년까지 2000만엔 이하 시제품 개발 예정

○ 중국 : 정부차원의 R&D 진행 중
- “국가 과학기술 제조영역”이라는 당차원 프로젝트에 3D 프린터 분야 포함
- 3D 프린터 산업 육성을 위한 표준 수립 진행 중
- 3D 프린터 기술 산업연맹 설립 및 산관학 협력 가속화 중
- 지방정부 차원에서의 3D 프린터 산업 및 R&D 단지 구축 중

(차) 국내 기술개발 지원 현황

○ 미래창조과학부-산업통상자원부 연계의 “3D 프린팅 산업 발전전략”

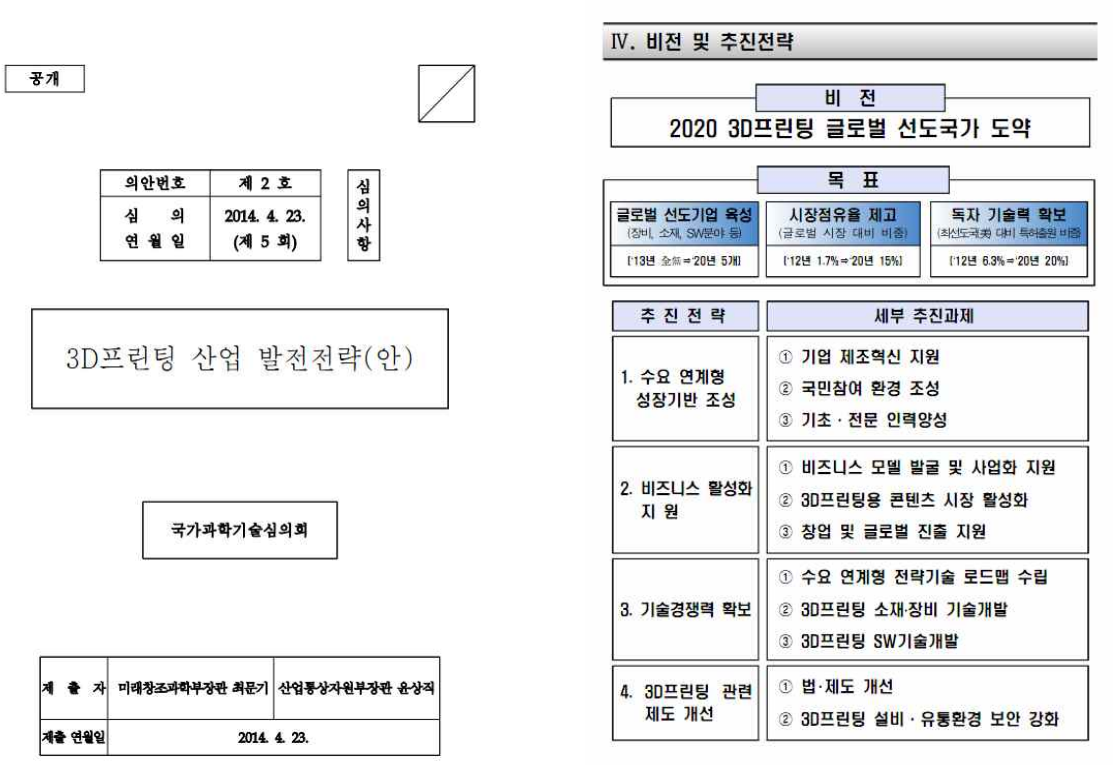


그림 3.2.25 3D프린팅 산업 발전 전략

○ 2020년 기준 글로벌 선도기업 5개, 시장 점유율 15%, 독자 기술력 20% 라는 목표 (2012년 기준 글로벌 선도기업 전무, 시장 점유율 1.7%, 독자 기술력 6.3%)

○ 추진전략

- 수요 연계형 성장기반 조성
- 기업 제조혁신 지원
- 국민참여 환경 조성
- 기초,전문 인력양성
- 비즈니스 활성화 지원
- 비즈니스 모델 발굴 및 사업화 지원
- 3D 프린팅용 콘텐츠 시장 활성화
- 창업 및 글로벌 진출 지원
- 기술경쟁력 확보
- 수요 연계형 전략기술 로드맵 수립
- 3D 프린팅 소재,장비 기술개발
- 3D 프린팅 SW기술개발
- 3D 프린팅 관련 제도 개선
- 법, 제도 개선
- 3D 프린팅 설비, 유통환경 보안 강화

<표 3.2.5> 조형물이 100cm 이상인 3D 프린터 개발 현황

기업	제품명	제작크기 (cm)	조형방식
TU eindhoven - 네덜란드	3DCP		
Canal House - 네덜란드	KamerMaker	220 x 220 x 350	FDM
Winsun - 중국	3D printing Contruction	4000 x 1000 x 670	FDM
BetAbram - 슬로베니아	BetAbram P1	1600 x 900 x 200	FDM
WASP - 이탈리아	Big Delta 12m	200 x 200 x 600	FDM
Cincinnati Incorporated -미국	BAAM	600 x 230 x 180	FDM
Andrey Rudenko	totalkustom		FDM
Voxeljet - 독일	VX4000	400 x 200 x 100	SLS
ExOne - 미국	Exerial	220 x 120 x 70	SLS
Materialise - 벨기에	Mammoth	210 x 70 x 80	SLA
Sciaky - 미국	EBAM	579 x 122 x 122	EBM
Fabrisonic - 미국	SonicLayer 7200	200 x 200 x 150	LOM
Stratasys - 미국	Objet 1000 Plus	100 x 80 x 50	PolyJet
BigRep - 독일	BigRep One v3	98 x 105 x 110	FDM
Fouche 3D Printing - 남아공	Cheetah 3.1	300 x 100 x 150	FDM
German RepRap - 독일	X1000	1000 x 800 x 600	FDM

(2) 국내외 건설분야의 3D프린터 적용현황 조사 및 분석

(가) 3DCP - 네덜란드 TU Eindhoven (아인트호벤 공과대학)

- FDM 기술을 사용, 특수 제작한 콘크리트를 필라멘트로 사용
- 배(pear) 정도 크기의 정밀도로 사출 가능하다고 함



그림 3.2.26 3D 프린터 전경



그림 3.2.27 사출부와 적층단면의 모습

(나) KarmerMaker - 네덜란드 Canan House 社

- FFF (FDM의 자유 저작권 형태) 기술을 이용하여 PLA 재질의 집을 짓겠다는 목표를 가지고 프로젝트를 진행 중.
- 2년간 집을 짓고 있지만 아직 완성하지 못한 상태임.
- 기존의 기기보다 두 배 큰 두 번째 KarmerMaker을 제작 중



그림 3.2.28 KarmerMaker 내부



그림 3.2.29 KarmerMaker 외관

(다) 3D printing Contruction Service - 중국 Winsun 社

- FDM 기술을 사용, PLA 대신 시멘트와 건축폐기물을 섞은 재료를 필라멘트로 사용.
- 24시간 내에 10채의 집을 5000달러 이하의 비용으로 지어서 보인 적이 있음.
- 건축물의 외벽등의 제조실적이 있으며, 최근에는 5층 건물을 짓기도 하였음
- 건축 폐기물을 이용한 필라멘트 원재료 제조 능력에 강한 기술력을 가지고 있음
- 국내 중견기업 케이디씨와 MOU 체결



그림 3.2.30 24시간 이내에 지은 건물의 예



그림 3.2.31 3D 프린팅 기술을 이용하여 지은 5층 건물

(라) BetAbram P1 - 슬로베니아 BetAbram 社

- FDM 기술을 사용하며, 시멘트 재료를 이용하여 물체를 제작하는 P1, P2, P3를 판매 중
- P3를 이용한 7칸 계단제작을 보였음



그림 3.2.32 BetAbram P3



그림 3.2.33 P3를 이용한 계단제작

(마) Big Delta 12m - 이탈리아 WASP 社

- FDM 기술을 사용하며, 흙재료를 이용하여 집을 만들겠다는 목표를 가지고 있음



그림 3.2.34 Big Delta 런칭행사

(바) totalkustom - Andrey Rudenko

- FDM 기술을 사용하며, 시멘트 재료를 이용하여 건축물 제작을 진행하고 있음
- ContourCraft 기술을 이용하여 장난감 성, 호텔건축물의 일부를 짓기도 하였음



그림 3.2.35 시멘트 재료를 이용한 성 제작



그림 3.2.36 필리핀에 짓고 있는 호텔의 일부분

(사) contour crafting - University of Southern California

- 나사, 일본 등과 함께 화성 기지건설에 3D 프린팅을 구현하기 위한 연구 진행 중.



그림 3.2.37 화성 기지건설 컨셉아트



그림 3.2.38 연구 기술을 이용한 사출 결과물

〈표 3.2.6〉 건설 분야 3D프린터 개발 현황

기업	제품명	제작크기 (cm)	조형방식
TU eindhoven - 네덜란드	3DCP		FDM
Canal House - 네덜란드	KamerMaker	220 x 220 x 350	FDM
Winsun - 중국	3D printing construction	4000 x 1000 x 670	FDM
BetAbram - 슬로베니아	BetAbram P1	1600 x 900 x 200	FDM
WASP - 이탈리아	Big Delta 12m	200 x 200 x 600	FDM
Cincinnati Incorporated -미국	BAAM	600 x 230 x 180	FDM
Andrey Rudenko	totalkustom		FDM
USC - 미국	Contour Craft		FDM

(3) 콘크리트 면 처리 맞춤형 3D프린터 개발을 위한 목표 설정

○ 제작방식: FFF(Fused Filament Fabrication, FDM®)

○ 제작크기: 폭 1.5m, 높이 1m, 길이 1m

○ 정밀도: 20㎛ 해상도

○ 재료: ABS, PLA 등

나. 3D프린터 제품 제작용 소재의 조사분석 및 선정

(1) 3D프린팅용 소재 조사분석(ABS, HDE, POK 등 각종의 플라스틱류, 합성수지, 강화재, 재활용 재료 등)

(가) 특수한 형태의 신규 프린터 소재 조사

○ 특수 고무

- JSR과 미쓰비시화학은 유연성이나 강도를 높인 고무와 같은 부드러운 신소재를 이용하여 의족, 보청기 등을 만들 수 있는 신물질을 개발하였다고 함
- 주문형 다품종 소량생산에 데이터를 입력해 개인에 맞춘 부품을 개발할 수 있고 저렴함

○ 천

- 미국 디즈니 연구소가 양털 등의 소재로 만든 펠트재료로 인형을 만드는데 성공.
- 기존 플라스틱, 금속의 재료 한계성을 극복한 사례

○ 필라멘트

- 금속성 필라멘트를 이용하여 금속의 광택을 재현하여 공예품이나 조각상등에 이용

○ 콘크리트

- 건설업자 Andrey Rudenko는 콘크리트 믹스개발로 콘크리트 프린터를 개발하여 건물을 짓는데 성공

○ 그 외

- 고부가가치로 활용분야가 다양화 되고 있으나 국내의 경우 개발이 미미
-

〈표 3.2.7〉 조형 재료 기반 3D 프린터의 분류

재료형태	재료종류	조형방식
액체기반	액체형태의 재료	레이저나 강한 자외선을 이용하여 재료를 순간적으로 경화시켜 형상 제작
파우더기반	미세한 플라스틱 분말, 모래, 금속성분의 가루 등	분말형태의 재료를 가열한 후 결합하여 조형, 재료형태에 따라 접착제를 사용하거나 레이저를 사용하는 프린터가 있음
고체기반	와이어 또는 필라멘트형태의 재료	필라멘트 등의 열가소성 재료를 열을 가해 녹인 수 노즐을 거쳐 압출되는 재료를 적층하여 조형
	왁스성질을 가진 패럿(작고 둥근 알 또는 공 모양의 알갱이)	재료를 헤드에서 녹여 노즐을 통해 분사
	얇은 플라스틱 시트나 필름형태의 재료	플라스틱 시트를 접착하면서 칼을 사용해 절단 후 적층하여 조형

<표 3.2.8> 기술유형에 따른 사용가능한 재료와 특징 및 장점

기술유형 분류	재료 분류	주요 특징 및 장점
Selective Laser Sintering(SLS)	-Thermoplastic -Metals powder -Ceramic powder	레이저로 재료를 가열하여 응고시키는 방식으로 높은 정밀성을 가짐
Fused Deposition Modeling(FDM)	-Thermoplastics -Eutectic Metals	고제수지 재료를 녹여 쌓아 만드는 방식으로 제작비용과 시간 면에서 효율적임
Direct Metal Laser Sintering(DMLS)	-Almost any alloy metal	금속 파우더를 레이저로 소결시켜 생산사며 강도 높은 제품 등에 사용됨
Stereo Lithography(SLA)	-Photopolymer	레이저광을 선택적으로 방출하는 방식으로 얇고 미세한 형상 제작
Laminated Object Manufacturing(LOM)	-Paper -Foil -Plasticflim	종이와 같이 층으로 된 물질을 겹겹이 쌓아 만들며 재료 물질이 가장 저렴함
Electron Beam Melting(EBM)	-Titanimmalloys	전자빔을 통해 금속파우더를 용해하여 티타늄 같은 고강도 부품을 제조
Power bed & Plaster based(PP)	-Plaster -Color Plaster	파우더 베드로 고분자화합물과 금속물질이 이용가능하며 금속 제작방식으로 보편적

<표 3.2.9> 3D 프린팅 방식별 특징 비교

1=Excellent 2=Very Good 3=Good 4=Average 5=YES PartialFair 6=Poor							
방식 3D Printing Process	정밀도 Accurac y	표면 마감 Surface Finish	제작 속도 Speed	재료 강도 Material Strong	재료 컬러 Material Colors	투명도 Semi-Tran sparent	재료 유연성 Flexible Materials
(1)SLA	2	2	4	3-4	YES Partial	YES	Partial
(2)FDM	5	5	6	2	YES Partial	YES	NO
(3)SLS	3	2	4-5	1	NO	NO	NO
(4)DLP	1	1	3	4-5	YES Partial	YES	YES
(5)3DP	5	5	1	5-6	YES Full Color	NO	NO
(6)LOM	5	5-6	3	2	NO	NO	NO
(7)Polyjet	2-3	2	3	3-4	YES Partial	YES	YES
(8)MM	1	2	5	5-6	NO	NO	NO
(9)MJM	1	2	3	4-5	YES Partial	YES	YES

<표 3.2.10> 3D 프린팅 소재

소재	종류
합성수지	PLA, ABS, Nylon, Polyamide, PVA, PC, HIPS, HDPE, LDPE, PVC, PP UV레진, 필름 형태의 플라스틱 등
금속	Titanium, Aluminium, Cobalt, Stainless Steel Gold/Silver 등
목재	Paper, Laywood
기타	왁스, 고무, 식재료, 의료용 특수소재, 세라믹, 시멘트

<표 3.2.11> 자동차 산업과 항공산업의 3D 프린팅 소재 특허

자동차 산업		항공 산업	
소재	특허 수	소재	특허 수
Ceramic	35	Aluminum	38
Thermoplastic	34	Ceramic	34
PC	27	Thermoplastic	29
Aluminum	26	Nickel	28
Paper	25	PC	28
Epoxy	22	ABS	20
PET	21	PA	11
ABS	18	Epoxy	11
PA	17	PET	11
Nickel	17		
Titanium	15		
PP	14		
PE	14		
Rubber	14		
Silver	11		

<표 3.2.12> 3D프린팅 주요 소재

소재형태	3D프린팅소재	비고
Thermoplastic	PLA	국내서 FDM용으로 가장 많이 사용하는재료. 용융시 프린터를 끈적끈적하게 하여 작업하기 어렵고, 자연분해되는 친환경 소재이나 재순환이 어려운 소재, 흡습이 높아 재료보관 주의
	ABS	세계적으로 가장 많이 사용하는 소재, 용융시 냄새 문제큼.
	PVA, HIPS	출력 후 물과 Oil에 녹여내는 supporter로 주로 사용됨
	Polycarbonate, Nylon, Polyphenylsulfone	열변형온도(HDT)가 100~150℃인 기능성고분자로 열수축 주의 필요.
	ULTEM, PEEK와PAEK 등의 엔지니어링 플라스틱	열변형온도 150℃이상인 고강도 엔지니어링재료. Utem 상용화
Powder	Polyamide	Nylon 12가 많이 사용되는 소재
	Alumide	회색의 aluminum powder와 polyamide의 blend
	Multi-color	미세 그래뉼 분말로 제조
Resin(액체)	고정밀 UV 레진	Photo-polymer 액체
	페인트형 레진	매끈한 표면과 미관 형성
	투명레진	경화 가능한 액체 (광경화 아님)
금속	Titanium	경량 & 최고 강도 3DP 소재, 분말을 레이저로 소결시킴
	Stainless steel	동 함침 분말, 가장 저렴한 금속, 고강도
	동(Bronze)	분말
	Brass, Silver, Gold	-
세라믹	유리, 알루미나, 실리카 분말 등	열저항성, 재순환 가능, 음식물 안전

<표 3.2.13> 3D 프린팅 소재의 개발 동향

기업	소재 개발 동향
LomikoMetals & American Graphite's Ventures	graphene 소재
Lawrence Livermore	항공, 자동차와 우주선용 초경량, 초경도, 고강도 소재
Windform	카본섬유, 유리 강화 polyamide 소재
DSM	365nm 포함 높은 파장대에서 사용 가능한 photo-polymer 소재, 항공과 자동차산업의 열안정성과 정밀성, 신속성 작업에 적합
EOS	Titanium Ti64ELI와 Stainless Steel 316L 소재
ExOne	청동 함유 316 stainless steel, 청동 함유 420 stainless steel, 동 함유 철과 접합된 텅스텐 소재
Madesolid	레진 출시, 점성이 작아 프린터, 잉크통의 세척 용이
Metalysis	자동차 부품용 저렴한 titanium 분말
Texas Tech	플라스틱과 카본나노튜브 복합 소재

<표 3.2.14> 3D프린팅 소재의 적용

소 재	종 류	적용 제품	비 고
수지	폴리스티렌, 나일론, ABS 등	패션, 완구, 시제품	기술개발 완성단계
금속	티타늄, 알루미늄, 코발트, 철 등	금형, 기계부품, 의료	기술개발 초기단계
기타	종이, 목재, 식재료, 고무 등	건축, 음식	-

<표 3.2.15> 3D 프린팅 기술 분류와 소재

적층방식	기술명	소재	장점	단점
압출형	FDM	수지(열가소성플라스틱), 금속, 세라믹등의 고체	유지보수 및 장비가격 저렴	제작시간느림
분사형	Polyjet	수지(광경화형 플라스틱)	치수정밀도부품 제작가능	비용이 높음
광조형	SLA, DLP	수지(광경화형 플라스틱)	제작비용저렴 실사와 같은 색상	내구성 약함
소결형	SLS	수지(열가소성 플라스틱), 금속, 세라믹, 유리등의 분말	정밀성우수 강도우수	유지보수 비용 높음
고에너지형	DMT, DMD	금속	레이저를 이용하여 정밀한 금속층 제작	-
층층형	LOM	수지필름, 종이	재료가격 저렴	후처리 공정 필요

<표 3.2.16> 건축분야 3D프린팅 적용사례

사례 분야	내용	수행기관
건축 모형	용산 지구 전체 개발 지역을 축적 모형으로 출력	모델지움
건축 자재	복잡한 형상의 콘크리트를 타설하기 위한 형틀(거푸집)출력, 후엔 외장재로 사용	다케나카 공무점
조립식 건축물	조립식 주거 제안을 위한 블록들을 출력 후 건축물로 조립	DUS Architects
건축물 구조	건축의 기본 구조체를 콘크리트로 출력	WINSUN

(2) 콘크리트 면처리 적용 대상의 분류(미관창출, 노화방지, 손상방지, 내식, 내화, 내화학 등)

(가) 조형미관의 콘크리트 폼라이너 적용 대상: 미관창출

○ 콘크리트는 투박한 외관으로 인해 조형적 미관을 살리기 쉽지 않으며 시간이 지나면서 노화가 진행되어 수명이 단축되고 외관이 흉하게 변한다. 특히 2013년 개정된 경관법에서는 경관강화가 법제화되어 조형미관 창출의 콘크리트 면 조성에 대한 요구가 급증할 것으로 기대되며, 1970년대부터 국가가 급속하게 성장하면서 지금까지 기능성 위주로 건설된 콘크리트 구조물의 미관도 반드시 고려해야 하는 시점이 도래했다. 본 과제에서 3D프린터로 제작한 콘크리트 폼라이너를 콘크리트 구조물의 조형미관을 개선하도록 적용하고자 한다.

(나) 콘크리트 보호외피 적용 대상

○ 해양・항만 구조물에서는 침식, 세굴, 마모 등과 같은 물리적 피해와 탄산화, 수분, 염해 등과 같은 피해가 많이 발생하여 콘크리트의 내구도가 급격하게 떨어지므로 잦은 보수가 필요하다. 콘크리트 보호외피를 사용하여 이와 같은 피해를 방지하고 내구수명을 연장시킬 수 있다.

○ 수처리시설에서는 각종 화학물질에 콘크리트가 노출 되어 화학작용에 의한 콘크리트 부식이 발생한다. 노출 약품에 따라 적절히 선택된 재료의 콘크리트 보호외피를 사용하여 이와 같은 화학적 피해를 방지하고 내구수명을 연장시킬 수 있다.

(3) 적용 대상 별 활용 소재의 요구성능기준 설정 및 적합도 분석

(가) 미관창출용 폼라이너

○ 소재의 요구성능기준:
- 콘크리트 타설 시의 압력을 충분히 견뎌야 함,
- 콘크리트 타설 시 변형이 적절한 수준 이하여야 함.

○ 적용가능한 적합소재: ABS, PLA

(나) 해양・항만 시설용 보호외피

○ 소재의 요구성능기준:
- 콘크리트 양생 전의 압력을 충분히 견뎌야 함
- 공용 중 염해를 견뎌야 함
- 공용 중 온도에 따른 변형으로 인해 외부로부터 이물질 침투가 최소화되어야 함

○ 적용가능한 적합소재: ABS, PLA, 폴리에스터 및 비닐에스터와 결합한 유리섬유강화복합소재(GFRP) 등의 내염수지

(다) 수처리 시설용 보호외피

○ 소재의 요구성능기준:

- 콘크리트 양생 전의 압력을 충분히 견뎌야 함
- 강산성 또는 강알칼리성에 대해 충분한 내화학성이 있어야 함
- 공용 중 온도에 따른 변형으로 인해 외부로부터 이물질 침투가 최소화되어야 함

○ 적용가능한 적합소재: ABS, PLA, 폴리에스터 및 비닐에스터와 결합한 유리섬유강화복합소재(GFRP), 내화학수지(아래 표 참고)

(라) 내화학성수지

- 아래 표에서 테스트된 소재는 일반적으로 고온에서 사용이 가능한 수지 및 유리섬유 강화 수지다. 이러한 소재들은 고온 강도가 우수하고, 용융점이 높아 일반적으로 고온에서 안정성이 뛰어나며 내화학성이 강한 경향을 보인다.
- 비교를 위해 모든 샘플(ASTM D638 인장 시편)을 실온에서 7일 간 액체 상태의 화학물질에 침지시켰다. 변형을 가하지 않은 샘플과 0.25% 휨 변형을 가한 샘플 두 가지를 사용하였다. 인장 강도의 손실률이 3% 이하인 소재는 우수, 3-10%인 소재는 적합, 10-25%인 소재는 보통(가공 또는 기타 일회적 작업과 같은 단기 노출에 적합)으로 판정되었고, 인장 강도의 손실률이 25% 이상인 소재는 침지 시간에 관계없이 해당 환경에서 사용하기 부적합 하다고 판정되었다.
- 대부분의 유리 섬유 강화 열가소성 수지는 상온에서 사용되므로 인장 강도 손실률에 대한 상온(23° C) 데이터는 일반적으로 “표준” 상태의 내화학성을 평가하는 기준을 제공한다.
- 불소화 수지는 여러 소재 중 내가수분해성이 가장 우수하여 약품에 대해서도 안정적이다. 그러나 나일론과 폴리에스테르는 전체적으로 수용성 약품 환경에는 취약하다. 나일론과 같은 폴리아미드는 전체적으로 내화학성이 좋은 편이지만 수용성 염기나 고온 조건에서는 방향족 유기 용매에 취약하다. 폴리설폰은 내가수분해성이 우수하지만 유기 용매, 특히 방향족 유기 용매에는 취약하다. 황화 폴리페닐렌은 전체적으로는 내가수분해성이 우수하지만 이 소재를 질산과 같은 산화제나 응력 균열을 발생시키는 트리클로로에틸렌, 염화 벤젠 같은 염소계 용매에는 취약하다.

<표 3.2.17> 유리 섬유 강화 열가소성 수지의 내화학성(23° C에서 7일간)

기본 수지	유리충전제 함양	평가 조건	염산 (10%)	황산 (10%)	질산 (10%)	초산 (10%)	물	수산화암모늄 (10%)
폴리아미드	30	비변형	F	F	X	A	F	F
		0.25%변형	F	X	X	A	F	F
ETFE	20	비변형	E	F	F	E	E	E
		0.25%변형	E	F	F	E	E	E
FEP	20	비변형	E	A	A	E	E	E
		0.25%변형	E	F	F	E	E	E
PPS	40	비변형	E	F	F	E	E	E
		0.25%변형	E	F	F	E	E	E
PES	40	비변형	A	A	F	E	E	A
		0.25%변형	A	F	F	A	E	F
나일론6/6	50	비변형	F	F	X	F	F	F
		0.25%변형	X	F	X	X	F	X
폴리에스테르	40	비변형	A	F	F	A	F	X
		0.25%변형	A	X	X	F	F	X
폴리설폰	40	비변형	A	A	F	A	E	F
		0.25%변형	F	F	F	F	A	F
폴리아릴설폰	0	비변형	A	A	E	E	E	A
		0.25%변형	F	A	A	A	E	F
폴리파라옥시벤초에이트	0	비변형	F	F	F	F	F	X
폴리아미드-아미드	0	비변형	A	E	E	E	E	X

※ 기호설명 :

E	우수	(인장강도손실률	: 0 ~ 3 %)
A	적합	(인장강도손실률	: 3 ~ 5 %)
F	보통	(인장강도손실률	: 10 ~ 25 %)
X	권장하지 않음	(인장강도손실률	: 25 % 이상)

<표 3.2.18> 유리 섬유 강화 열가소성 수지의 내화학성(23° C에서 7일간)

기본 수지	유리충전제 함양	평가 조건	에틸렌 글리콜	원유	톨루엔	트리클로로 에틸렌	프레온
폴리아미드	30	비변형	E	E	F	F	A
		0.25%변형	E	A	F	X	A
ETFE	20	비변형	E	E	F	E	E
		0.25%변형	E	E	F	E	E
FEP	20	비변형	E	E	E	E	E
		0.25%변형	E	E	E	E	E
PPS	40	비변형	A	E	A	F	F
		0.25%변형	A	E	F	X	F
PES	40	비변형	E	E	F	F	A
		0.25%변형	E	E	X	F	F
나일론6/6	50	비변형	A	A	E	E	E
		0.25%변형	F	A	E	A	A
폴리에스테르	40	비변형	A	A	F	F	F
		0.25%변형	A	A	F	F	X
폴리설폰	40	비변형	E	A	X	X	A
		0.25%변형	E	A	X	X	F
폴리아릴설폰	0	비변형	E	E	F	A	E
		0.25%변형	A	E	F	A	A
폴리파라옥시벤초에이트	0	비변형	X	F	X	F	F
폴리아미드-아미드	0	비변형	E	E	E	E	E

(4) 폼라이너 및 보호외피의 적용 대상 별 적합 소재 선정

○ 미관창출용 폼라이너 적합소재: ABS, PLA

○ 해양・항만 시설용 보호외피 적합소재: ABS, PLA, 폴리에스터 및 비닐에스터와 결합한 유리섬유강화복합소재(GFRP)

○ 수처리 시설용 보호외피 적합소재: ABS, PLA, 폴리에스터 및 비닐에스터와 결합한 유리섬유강화복합소재(GFRP), 내화학수지는 앞 절에 소개된 표를 참고하여 주어진 환경에 따라 적절한 재료를 선택하여야 한다.

(5) 환경문제 해결을 위한 재활용 재료와 친환경 합성 재료의 적용 가능성 평가

(가) 친환경 소재의 필요성.

- 오염, 폐기물 등 환경문제로 인해 전 세계적으로 1회용 포장 등 비분해성 플라스틱의 사용 규제를 강화하는 추세
- 바이오플라스틱, 재생플라스틱 등 다양한 친환경 플라스틱 생산 기술이 개발됨.
- 현재 플라스틱 폼라이너는 제작, 사용 과정에서 부산물, 폐기물이 다량 발생함.
- 콘크리트용 폼라이너의 경우 1회용의 경우 스티로폼 등 폴리스티렌, 다회용의 경우 우레탄 및 다양한 플라스틱 등 대부분 비분해성 플라스틱을 사용
- Photo-Engraving 기법 등 특수한 미관창출 기법이 적용된 폼라이너는 특수한 디자인을 포함한 경우가 많아 재사용되기 어려움.

- 폼라이너 제작에 있어 친환경 소재(생분해성 플라스틱, 플라스틱 재활용 기술 등)를 활용할 필요가 있음

<표 3.2.19> 콘크리트 폼라이너의 주요 재료

재료	사용 횟수	제작방식	사례
스티로폼	1회	CNC, 조각	
플라스틱 (HIPS, ABS 등)	1-15회	CNC, 진공성형	
우레탄	100회 이상	캐스팅	

(나) 친환경 3D프린터 소재 개발의 필요성

- 최근 국내외에서 3D 프린팅이 인체와 환경에 악영향을 미친다는 연구결과가 발표됨
- FDM 조형 과정에서 발생하는 초미세먼지, 폐기 후 자연분해 대한 문제가 제기되었고, 광경화수지에 포함된 발암물질에 대한 연구결과가 발표
- 국내외 소재 개발사들은 인체 및 환경에 친화적인 소재 개발을 진행함
- 현재 3D프린팅으로 제조된 물품에 대한 폐기물 처리 규정이 없어 폐기되는 물품과 부산물 모두 산업폐기물로 분류됨
- 미래창조과학부, 산업통상자원부, 산업기술평가원 등 주도로 3D 프린팅 관련 품질 평가 기준 및 환경에 대한 영향을 파악할 규정이 개발 중
- 이 규정은 인체 안정성과 환경 유해성을 포함한 의무조항을 마련할 것으로 알려져 있고, 이 같은 변화를 바탕으로 친환경 소재 및 재활용 기법에 대한 연구가 지속적으로 이루어질 것으로 보임

(다) FDM 3D프린팅 소재 재활용 기술의 개발 사례

- 3D 프린팅 소재의 재활용 기술은 폐플라스틱을 필라멘트로 재생하는 기술 중심으로 개발
- 플라스틱 펠릿 필라멘트로 제조하는 방식의 장비가 소형화 되면서 가정용으로도 보급됨
- 그라인더로 플라스틱을 분쇄하여 펠릿과 같은 형태로 가공하는 장비가 추가되어 3D프린팅 실패 후 결과물이나 출력 부산물 등을 필라멘트로 재가공할 수 있는 장비가 개발됨

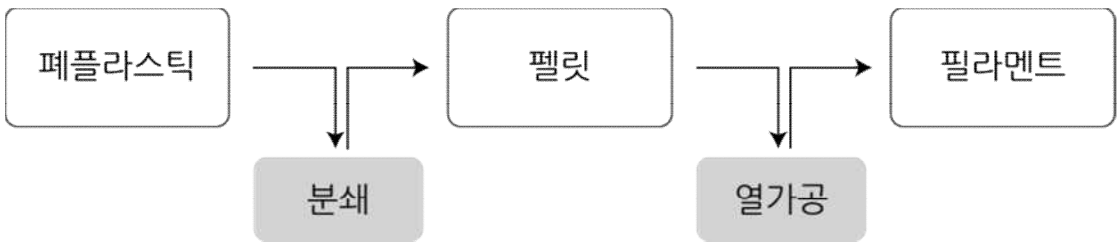
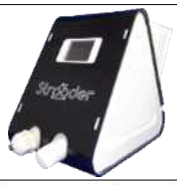


그림 3.2.39 폐플라스틱의 필라멘트 재가공 과정

<표 3.2.20> 플라스틱 필라멘트 소형 압출기 개발 사례

제품명	업체명	사진	재료	폐플라스틱 재활용 여부
Filastruder	Filastruder		PLA, ABS	불가능
Cruncher	ExtrusionBot		PLA, ABS	가능
Strooder	Omnidynamics		PLA, ABS	가능
Noztek PRO	Noztek		PLA, ABS	불가능
Protocycler	RedeTec		PLA, ABS	가능

- 열가소성을 가진 모든 플라스틱은 이와 같은 방식으로 필라멘트로 재가공이 가능함
- 해외의 3D 프린팅 관련 포럼에서 다양한 재료의 재가공 결과를 확인할 수 있음
- 일반 사용자들의 PMMA, PVA 등 기타 플라스틱의 필라멘트 가공 성공사례 보면, FDM방식으로 출력한 조형물이 열가공을 통해 필라멘트로 재가공 될 수 있음

<표 3.2.21> 일반 사용자의 필라멘트 가공 결과(soliforum.com)

재료	오차(mm)	가공 온도	평균 직경(mm)
ABS	±0.02	186℃	1.64
PLA	±0.03	138-145℃	1.75
Nylon	±0.02	210℃	1.65
Polycarbonate	±0.04	270℃	1.71
Pet	±0.05	205℃	1.72
Acrylic	±0.05	205℃	1.60
Polypropylene	±0.03	190℃	1.30

- PP, PE, HDPE, LDPE 등 다양한 플라스틱이 펠릿으로 재생되어 유통되고 있음
- 자동차 및 냉장고의 내장재를 분쇄, 필라멘트 형태로 재가공하여 시판중인 업체 등의 사례를 통해, 기타 플라스틱의 경우에도 적정 온도, 노즐 직경 등을 규정한 후 재활용할 수 있음

<표 3.2.22> 재활용 필라멘트 개발 및 시판 사례

제품 사진	업체명	재료	가공 온도	재활용 대상
	Refil	ABS	220-240℃	자동차 내장 부품
		PET	220-240℃	PET 병
		HIPS	230~250℃	냉장고 내장 부품
	Dimension Polymers	Not Reported	270℃	Not Reported
	B-pet	PET	205℃	PET 병

(라) 건설 분야에서 재활용 플라스틱의 사용 가능성

○ 재활용 플라스틱 콘크리트 거푸집용 판넬 기술표준(KS I 3233), 재활용 플라스틱 판넬 기술표준(KS M 3847)에서는 재생플라스틱소재를 원료의 60% 이상 사용하도록 규정함

○ 콘크리트용 폼라이너는 비구조체로써, 하중에 대한 부하를 고려할 필요성이 적어 재료 특성이 결과물에 미치는 영향이 적음

○ 3D프린터를 이용한 다운사이클링(Downcycling)으로 플라스틱 폐기물 혹은 사용한 폼라이너를 새로운 폼라이너로 재생산할 수 있음

○ 최근 필라멘트 재생을 위한 장비가 Kickstarter, Indiegogo 등 다양한 플랫폼을 통해 크라우드 펀딩으로 개발되고 있음을 봤을 때, 폐플라스틱을 재가공하여 사용하는 재활용 방식은 활성화될 것으로 보임

다. Mock-up 모형 제작을 위한 맞춤형 3D프린터의 설계 및 제작

○ 당초 계획에는 Mock-up 모형 제작을 위한 소형 3D프린터의 설계 및 제작을 계획하였으나, 대형 3D프린터를 제작할 수 있는 기본 기술이 이미 축적되어, 소형 3D프린터 제작 단계를 생략하고 곧바로 대형 3D프린터의 설계 및 제작을 진행하여 다음 “라” 항에 그 내용을 기술하였음

라. 실물크기 시험제품 제작을 위한 맞춤형 3D프린터의 설계 및 제작

(1) 하드웨어의 실물크기 맞춤화 설계 및 제작

(가) 설계 제원

○ 본 연구의 실물크기 폼라이너 및 보호외피 시험제품 제작을 위한 3D프린터는 출력대상 시험제품의 크기를 고려하고, 제작효율성과 경제성을 고려하여 오픈소스 기반의 FFF(Fused Filament Fabrication)방식으로 설계하였음. 아래 표에서는 실물크기 폼라이너 및 보호외피 시험제품 제작을 위해 설계된 맞춤형 3D프린터의 제원을 보여주고 있음

<표 3.2.23> 실물크기 시험제품 제작을 위한 3D프린터의 제원

항 목		제 원
방 식		FFF(Fused Filament Fabrication)
외형 크기(프레임)		2,680mm×1,460mm×1,660mm
최대 조형 크기		1,830mm×960mm×960mm
해상도	X축	0.009mm
	Y축	0.01mm
	Z축	0.0006mm
사용 필라멘트		1.75mm (노즐직경 0.9mm)

(나) 3D프린터의 구성

○ 아래 그림에서 보여주는 바와 같이, FFF방식의 3D프린터는 크게 하드웨어와 소프트웨어로 구성되며, 하드웨어는 프린터의 전체 외형을 형성하고 안정적인 구동을 가능케 하는 구조 프레임(frame)과 기구부(mechanics), 전기제어부(electronics) 및 압출부(extruder)로 이루어지고, 소프트웨어는 CAD, CAM 및 펌웨어로 이루어짐

○ 본 연구의 3D프린터 제작을 위해서는 기존 오픈소스 기반의 FFF방식의 3D프린터의 대형화를 위해 각종 부품의 대형화와 기존 벨트형 구동을 LM 가이드와 블록 방식으로 변경하여 설계하였음

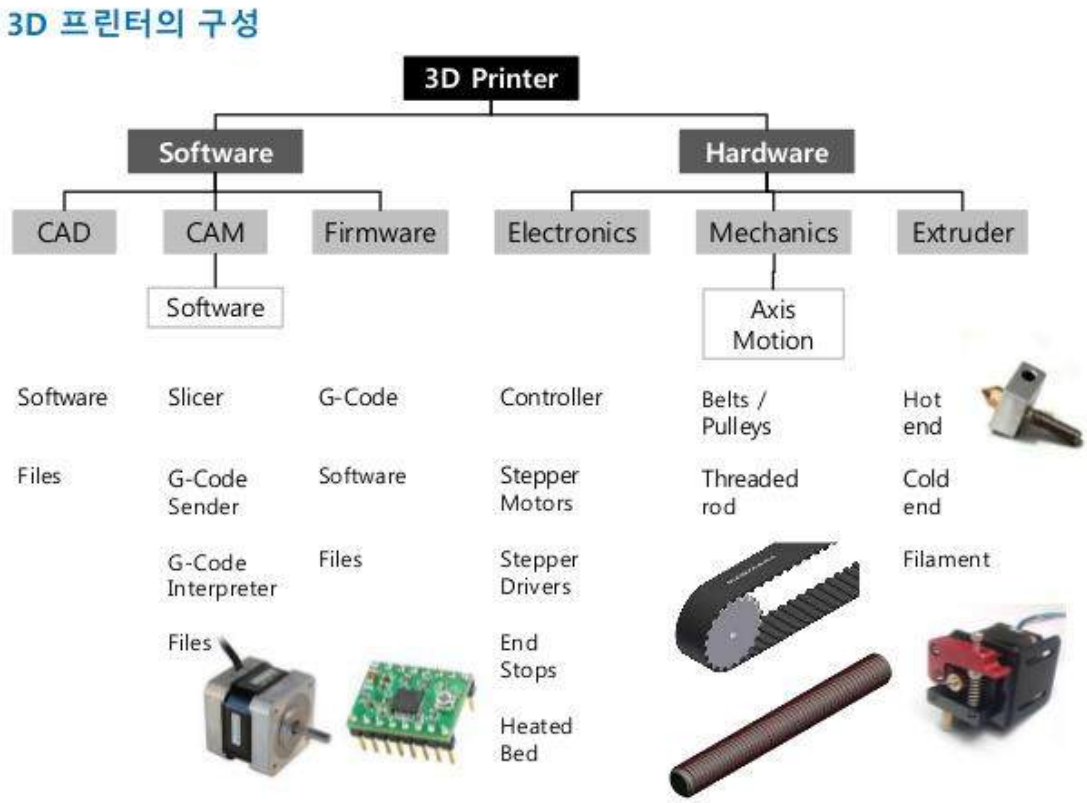


그림 3.2.40 FFF방식의 일반적인 3D프린터의 구성

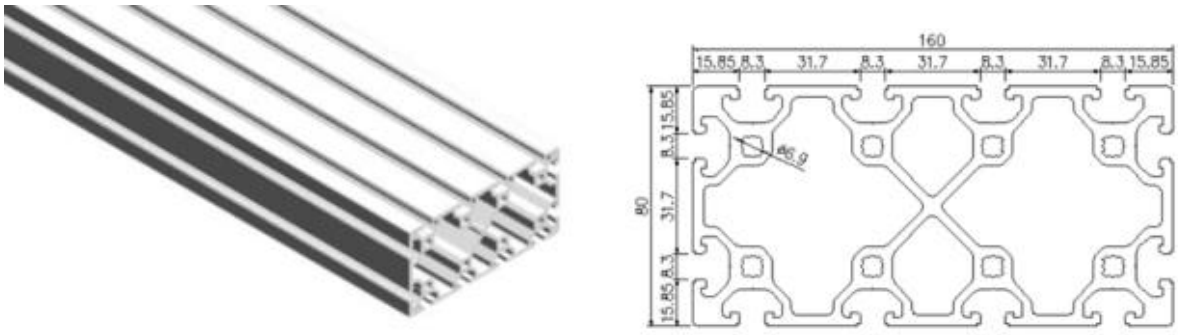
(다) 하드웨어

○ 구조 프레임

- 본 연구의 대형 3D프린터는 기존 CNC, 레이저커팅 장비와 같은 수치제어형 공작기계와 같이 제작 정밀도를 안정적으로 확보하는 것이 관건이므로 전체적인 구조 프레임의 강성

을 우수하도록 재질 및 단면이 설계되어야 하고, 정밀한 제작이 이루어져야 함

- 구조 프레임은 본 연구의 맞춤형 3D프린터의 전체 외형을 구성하며 안정적인 구동을 위한 충분한 강성을 확보하도록 대형 단면의 알루미늄 프로파일을 이용하여 박스형의 프레임을 구성하였으며, 외형크기는 폭 1,460mm(X방향), 길이 2,680mm(Y방향), 높이 1,660mm(Z방향)로 남선 프로파일에서 생산된 중하중용 구조물 프레임 부재를 사용
- 다양한 프린터 헤드 및 공구의 교체가 가능한 하이브리드형 3D프린터로의 활용이 가능하도록 설계
- 장축인 Y방향으로는 160mm×80mm 알루미늄 프로파일을 상하부에 총 4개를 배치 설계하였으며, 단축인 X방향으로는 160mm×40mm 알루미늄 프로파일 두 개를 겹친 단면을 Y축과 동일한 배치로 설계하였고, Z축으로는 XY평면에 직각이 되도록 160mm×40mm 알루미늄 프로파일에 하단부 리브를 보강하여 설치함으로써 구동축의 고속이동에도 안정적인 구동이 가능함
- 1차년도에 제작된 맞춤형 대형 3D프린터는 실물크기 폼라이너 및 보호외피 시험제품 제작성능 확보를 목표로 구조 프레임, 기구부, 전기제어부 및 소프트웨어 설계 및 제작에 국한하였으며, 2차년도에는 개발장비의 안전성과 사용성을 개선하여 1차년도에 설계제작된 장비의 스플래쉬 가드를 적용하여 장비개발을 완료하고자 함



(1) 알루미늄 프로파일 (2) 단면도

그림 3.2.41 구조 프레임에 사용된 알루미늄 프로파일 도면

<표 3.2.24> 구조 프레임용 알루미늄 프로파일의 규격

구 분		내 용
형번		NPE 0805-03
재질		A6NO1S-T5
단면적		37.164㎠
단위 길이 중량		10.034kg/m
단면 2차 모멘트	lx	288.45cm4
	ly	1006.44cm4
표면처리		ANODIZING+SEALING

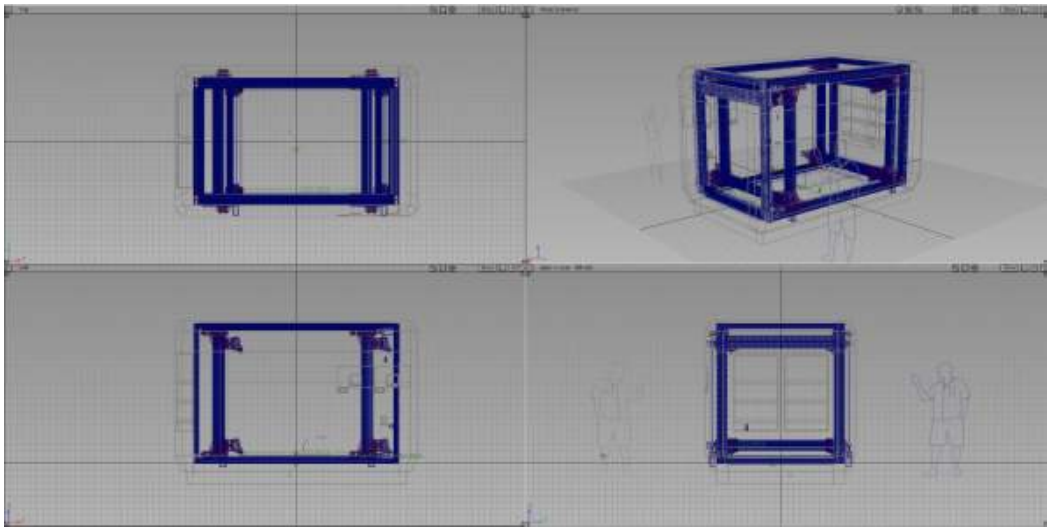


그림 3.2.42 실물크기 시험제품 제작용 3D프린터의 설계도면

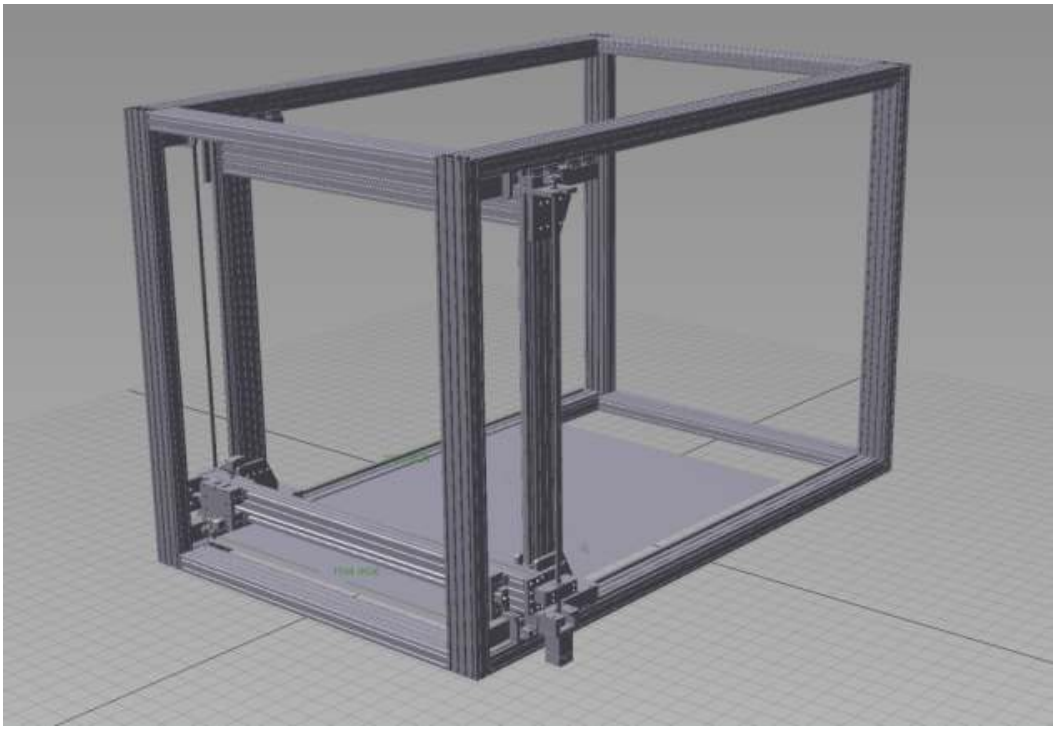


그림 3.2.43 실물크기 시험제품 제작용 3D프린터의 구조 프레임 사시도

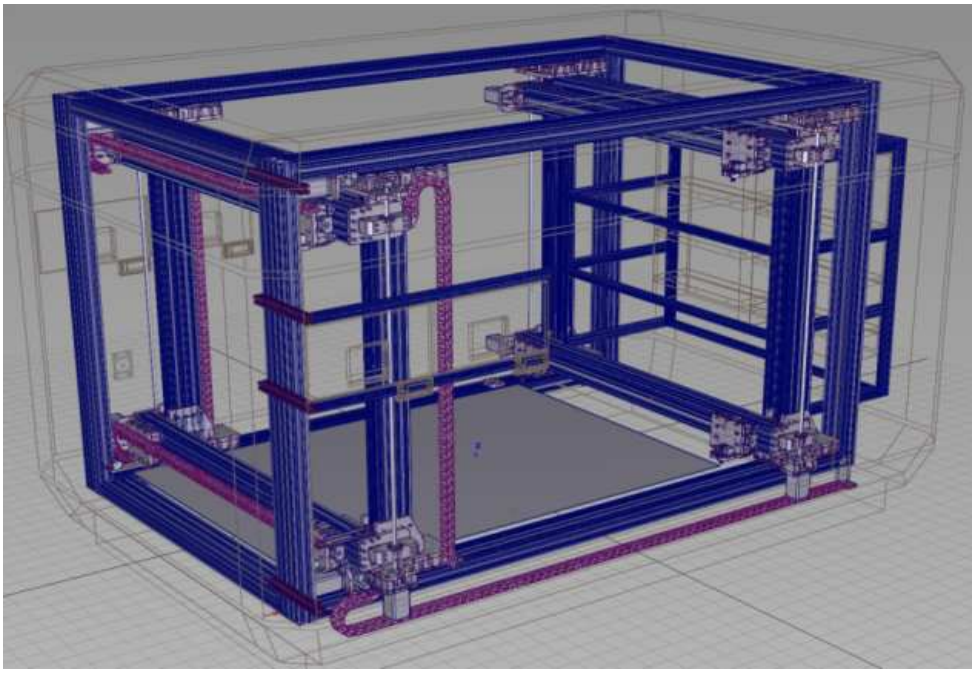


그림 3.2.44 실물크기 시험제품 제작용 맞춤형 대형 3D프린터의 완성도면(1)

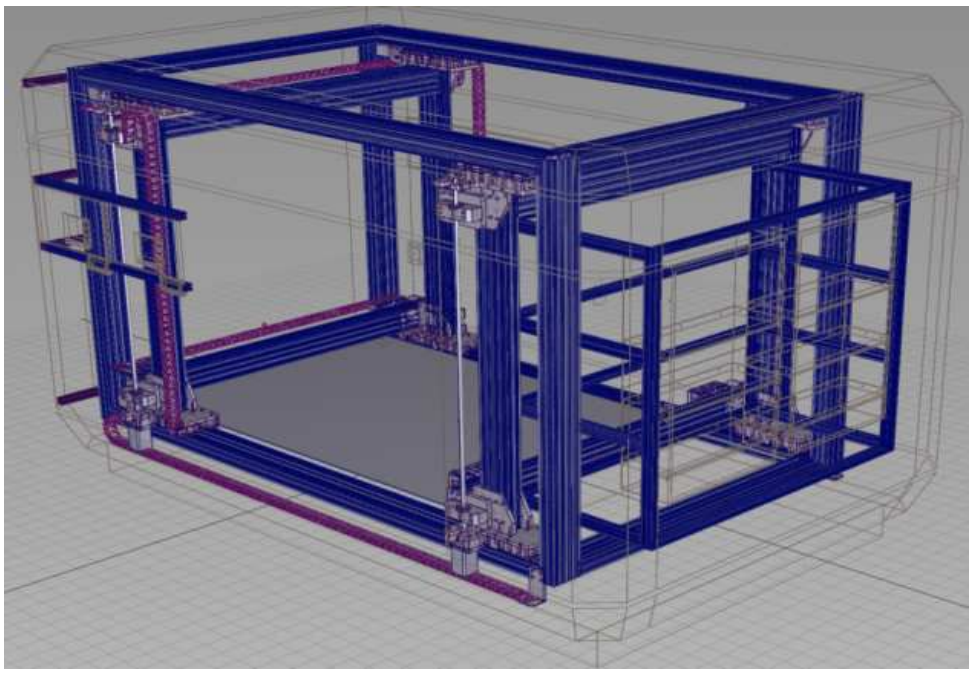


그림 3.2.45 실물크기 시험제품 제작용 맞춤형 대형 3D프린터의 완성도면(2)

○ 기구부

- LM가이드 & 블록: 프린터 헤드의 X, Y, Z축 이동을 위해 고정밀도의 CNC와 정밀가공기기에 이용되는 플랜지 날개형 LM가이드와 블록을 설계에 적용. 아래 표에서는 부품의 설정치를 보여주고 있으며, 아래 그림에서는 LM가이드의 도면을 보여주고 있고, 그 다음 표에서는 LM가이드와 블록의 제원을 보여주고 있음

<표 3.2.25> LM가이드의 설정치

구 분	설정치
X축	TRH25FN(1788-2)
Y축	TRH25FN(2680-4)
Z축	TRH25FN(1745-2)

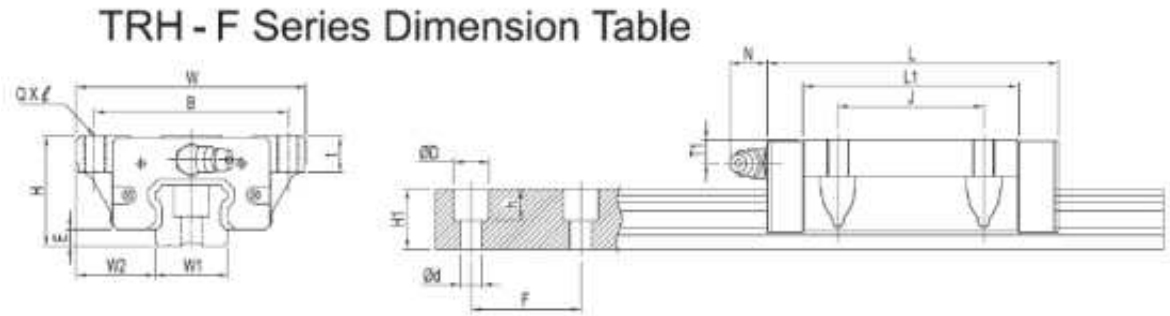
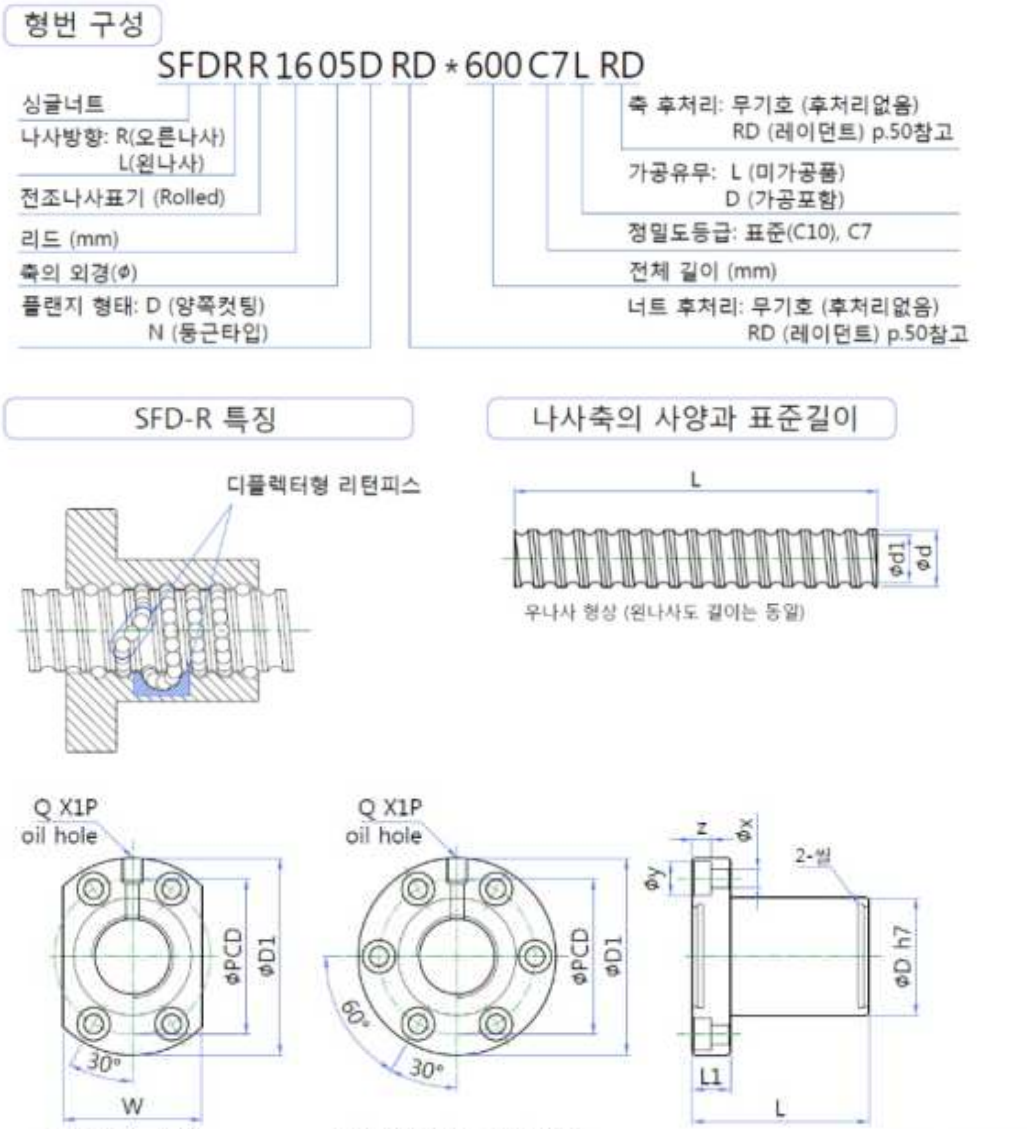


그림 2.46 LM가이드 도면

<표 3.2.26> LM가이드와 블록의 제원

Model No.	Assembly(mm)			Block(mm)										Rail(mm)					
	H	W2	E	W	B	J	t	L	L1	QX	T1	Oil Hole	N	W1	H1	ΦD	h	Φd	F
TRH25FN	36	23.5	5.8	70	57	45	12	80	59	M8X12	7.5	M6X1	14	23	20	11	9	7	60
								92	71										
								109	88										

- 직동시스템: 동력원인 스텝모터에 연결되는 직동시스템으로는 SFDRR2005 볼스크류, 전조 볼스크류 및 볼베어링을 사용하여 정밀한 구동제어가 가능하도록 설계



(unit : mm)

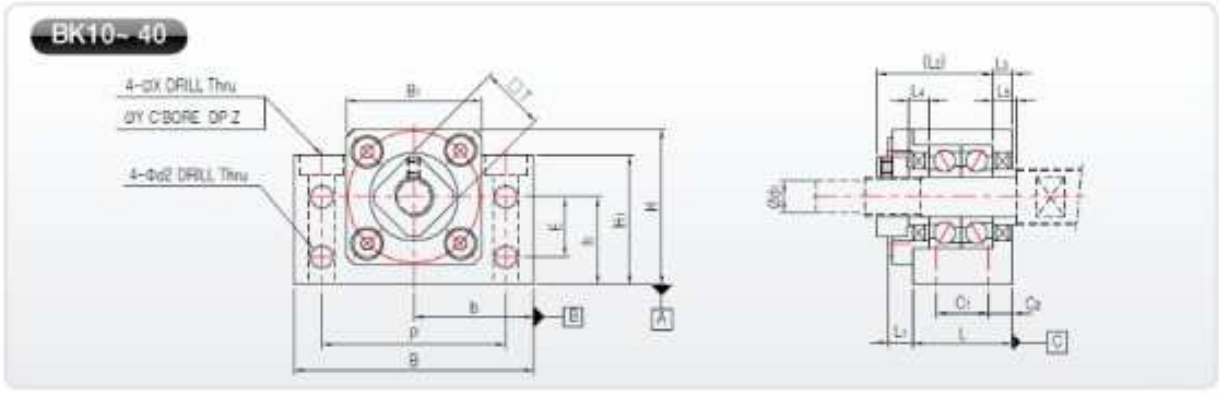
축경 (φ)	형번			리드	φD	φD1	L	L1	W	PCD	φx	φy	z	Q	물경	Ca (kgf)	Coa (kgf)	강성
20	SFDRR / SFDLR	2005	D	5	34	57	51	11	40	45	5.5	9.5	5.5	M6	1/8"	1130	2380	25

그림 3.2.47 볼스크류의 제원과 도면

- 볼스크류 서포트 유닛: 직동시스템 볼스크류의 서포트 유닛으로 고정축 각형의 BK15(530)과 BK15(310)을 적용하여 설계



그림 3.2.48 볼스크류 서포트 유닛



단위 : mm

호칭·형번	d_1	L	L_1	L_2	L_3	B	H	b±0.02	h±0.02	B_1	H_1	E	P	C_1	C_2	d_3	X	Y	Z	볼리지수 L_4	볼리지수 L_5	ΔT	질량(g)
BK15	15	27	6	32	6	70	48	35	28	40	36	18	54	15	6	5.5	6.6	10.8	6	6	6	22	530

그림 3.2.49 볼스크류 서포트 유닛의 도면과 제원

- 클램프 타입 커플링: 동력원인 스텝모터와 볼베어링간의 동력을 전달하는 커플링 재료로 DJC30CRD (8*12), DJC30CRD (14*12)를 적용하여 설계. 클램프 타입 커플링은 슬리브를 양측 허브에 삽입하여 조합된 구조로서 저 토크시 경도와 신축성, 편심, 편각 비틀림 진동도 흡수하는 장점이 있음



제품번호 Product	표준내경 Stock Bores D1 - D2																						
	3	4	4.5	5	6	6.35	7	8	9.525	10	11	12	14	15	16	18	19	20	25	26	28	30	35
DJC-30					●	●	●	●	●	●	●	●	●										

제품번호 Product Number	A	L	W	B	C	F	M	Wrench Torque (N.m)	상용 토오크 Rated Torque (N.m)	최대 토오크 Max Torque (N.m)	최고 회전 수 Max RPM (m:n)	관성 모멘트 Moment of intertia (kg.m)	정적 비틀림 정수 Static Torsional stiffness (N.m/rad)	허용 편심 Errors of Eccenttricity (mm)	허용 편각 Errors of ANqularity (°)	허용엔드 프레이 Errors of Shaft End (mm)
DJC-30 RD	30	11	35	10	1.5	5.5	M4	1.7	7.5	15	13000	5.9•10	73	0.15	1.0	+1.0

그림 3.2.50 클램프 타입 커플링(DJC30CRD, DJC30CRD)의 도면과 제원

○ 전기제어부

- 본 연구의 대형 3D프린터의 메인보드로는 범용적인 MKS Gen V1.4를 적용하여 와이어링 하였으며, 하드웨어 컨트롤을 위한 3D프린팅 보드로는 Arduino Mega2560 보드와 LCD모듈(12864LCD)를 조합하여 설계
- 설계된 3D프린터는 국내에서 제작된 가장 큰 크기로 전체적인 모터의 토크출력을 고려하고 하이브리드형에 맞도록 적용하여 X, Y, Z축의 스텝모터로는 Nema34 적용
- 압출부의 스텝모터로는 Nema17을 사용하였고, 스텝모터 드라이버로는 Long Motor사의 DM860A드라이버를 적용하였음
- 펌웨어는 대표적인 오픈소스형 펌웨어인 마린 펌웨어를 수정 재편집하여 기기의 셋팅을 하였으며, 2차년도에 펌웨어를 자체개발하여 창작하고 각종 터치모니터를 기반으로 컴퓨터를 복합적으로 활용한 특수한 장비 펌웨어로 개발

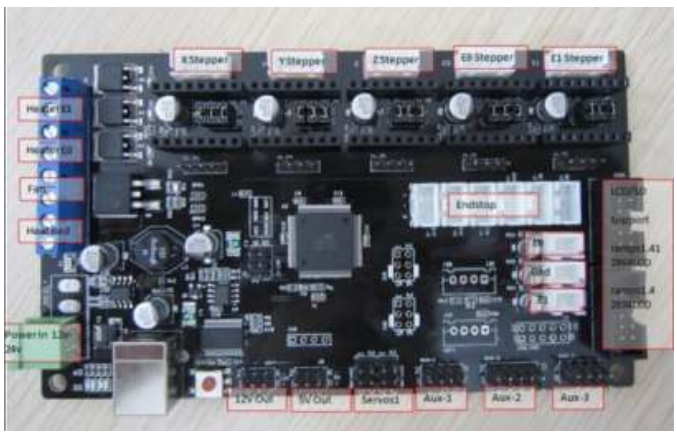


그림 2.51 메인보드(MKS GEN V1.4)

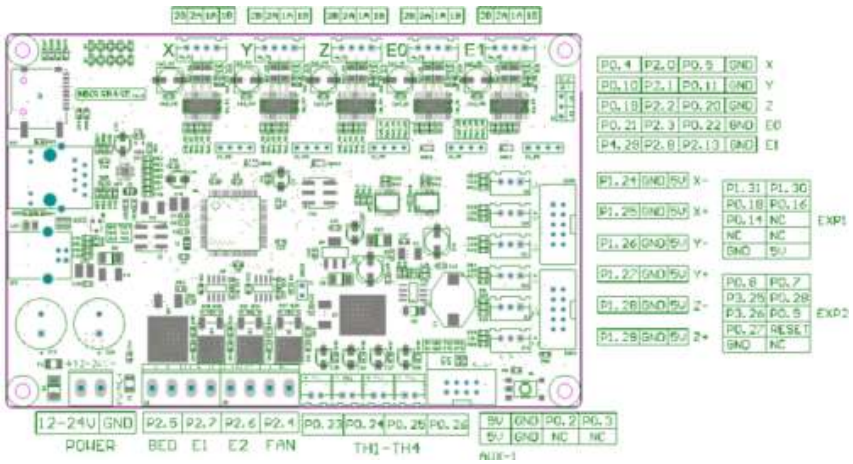


그림 3.2.52 메인보드(MKS GEN V1.4)의 회로도

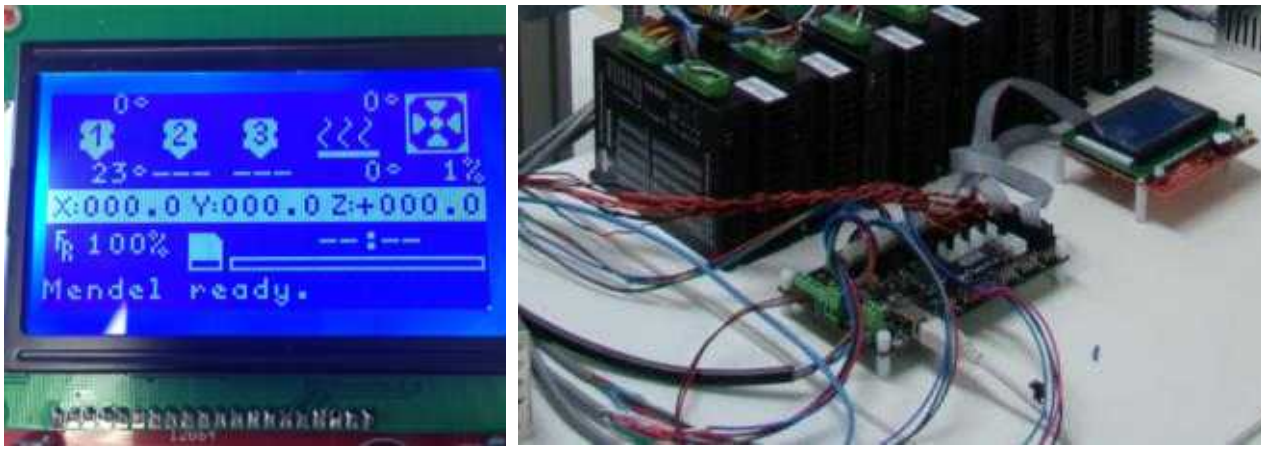


그림 3.2.53 3D프린팅 보드의 Arduino Mega2560보드와 LCD모듈

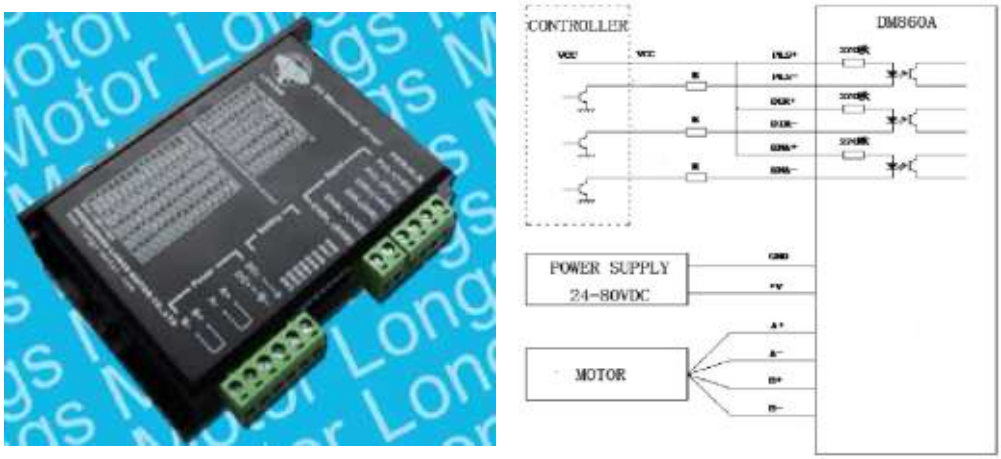
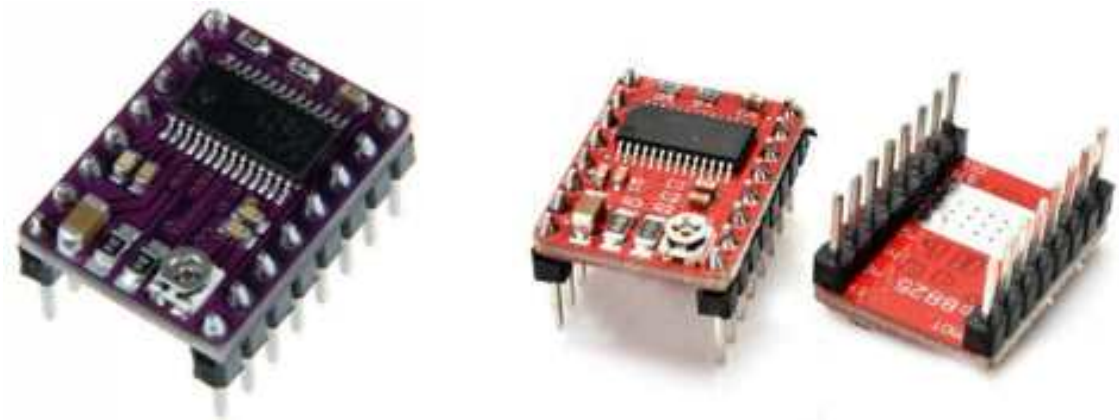


그림 3.2.54 스텝모터 드라이버(DM860A)



(1) 주축(X,Y,Z) 모터 드라이버 (DRV8824)

(2) Extruder 모터 드라이버 (A4988)

그림 3.2.54 주축 및 Extruder 모터 드라이버

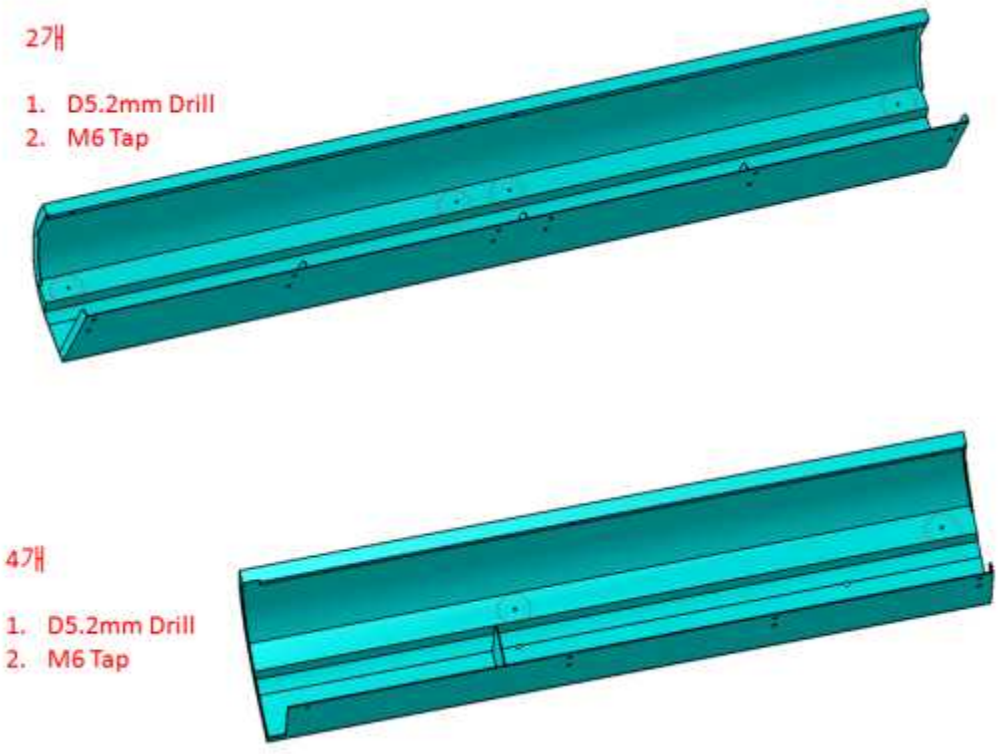
(라) 맞춤형 3D프린터의 케이스 제작

○ 맞춤형 3D프린터의 설계 및 조립은 1차년도에 완료되어 1차년도 보고서에 수록되어 있으므로 본 년도에서는 맞춤형 3D프린터 보호용 케이스 제작 및 조립을 실시하였다.

제작내용	맞춤형 3D프린터 케이스 제작(1)



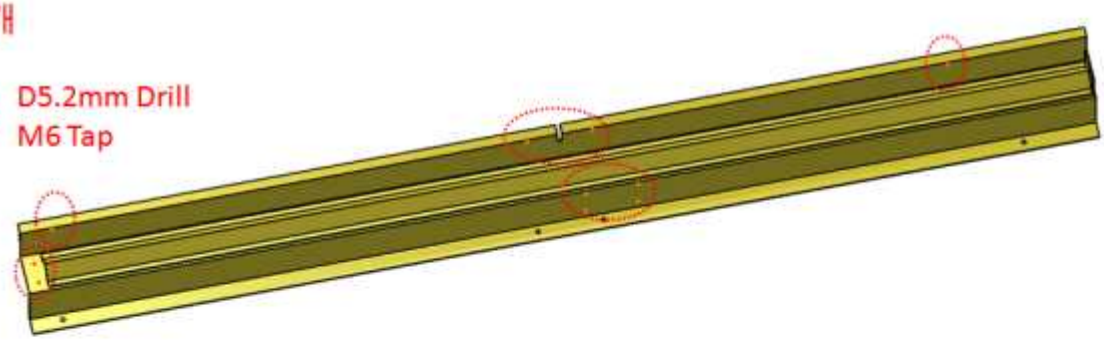
제작내용	맞춤형 3D프린터 케이스 제작(2)



제작내용	맞춤형 3D프린터 케이스 제작(3)

4개

1. D5.2mm Drill
2. M6 Tap



4개

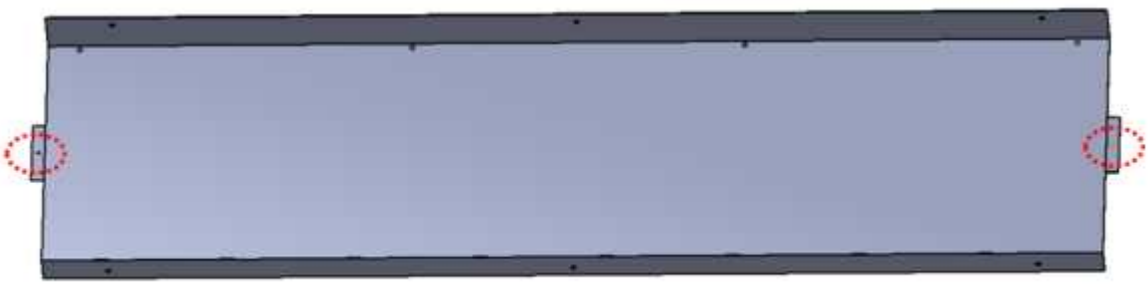
1. D5.2mm Drill
2. M6 Tap



제작내용	맞춤형 3D프린터 케이스 제작(4)

1개

1. D5.2mm Drill
2. M6 Tap

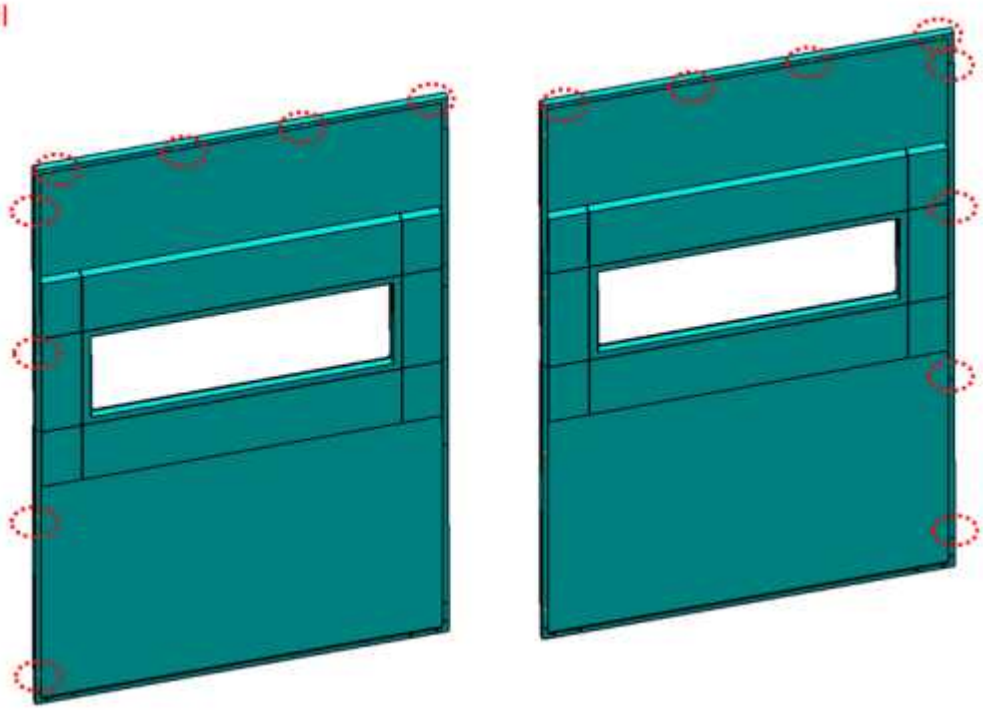


제작내용	맞춤형 3D프린터 케이스 제작(5)

4개 유사품 대상

1. D5.2mm Drill
2. M6 Tap

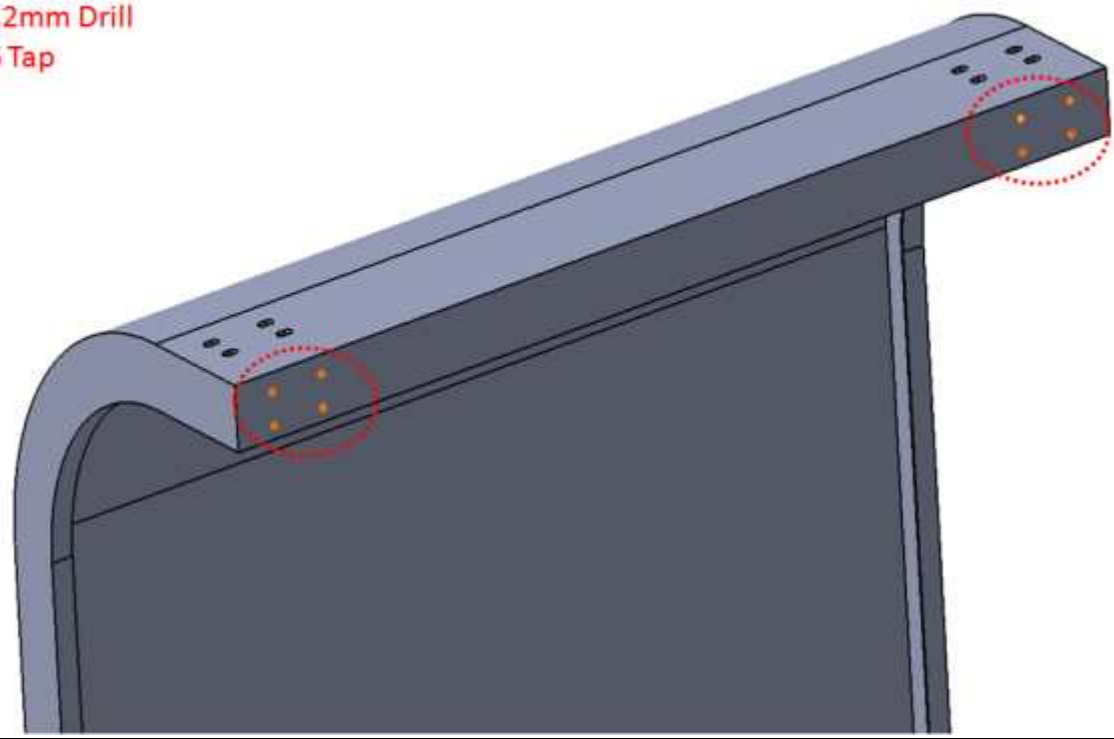
* 대칭 형상



제작내용	맞춤형 3D프린터 케이스 제작 (6)

4개 유사품 대상

1. D5.2mm Drill
2. M6 Tap



제작내용	맞춤형 3D프린터 케이스 제작 (7)

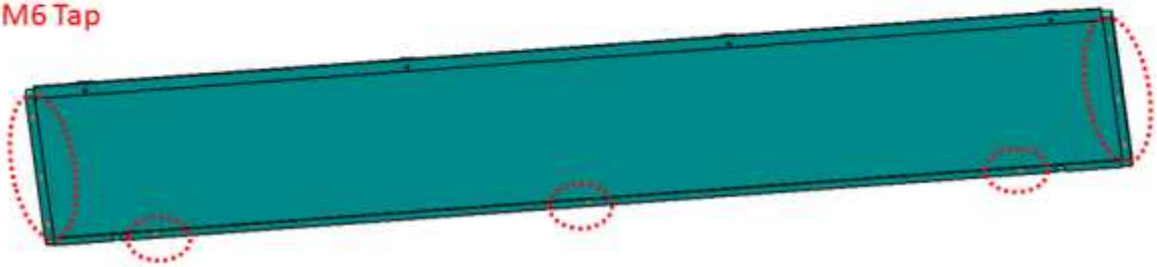
4개 유사품 대상

1. D5.2mm Drill
2. M6 Tap



4개 유사품 대상

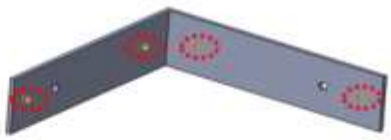
1. D5.2mm Drill
2. M6 Tap



제작내용	맞춤형 3D프린터 케이스 제작 (8)

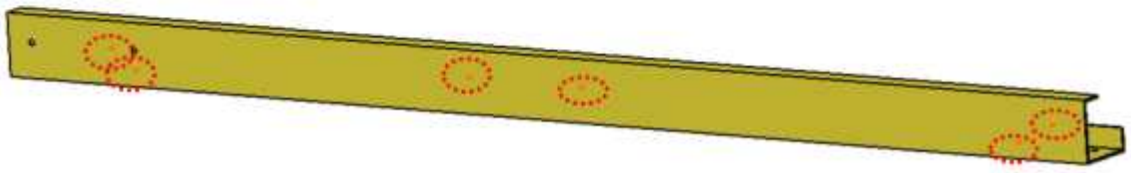
4개 대상

1. D5.2mm Drill
2. M6 Tap



4개 유사품 대상

1. D5.2mm Drill
2. M6 Tap



제작내용	맞춤형 3D프린터 케이스 제작 (9)

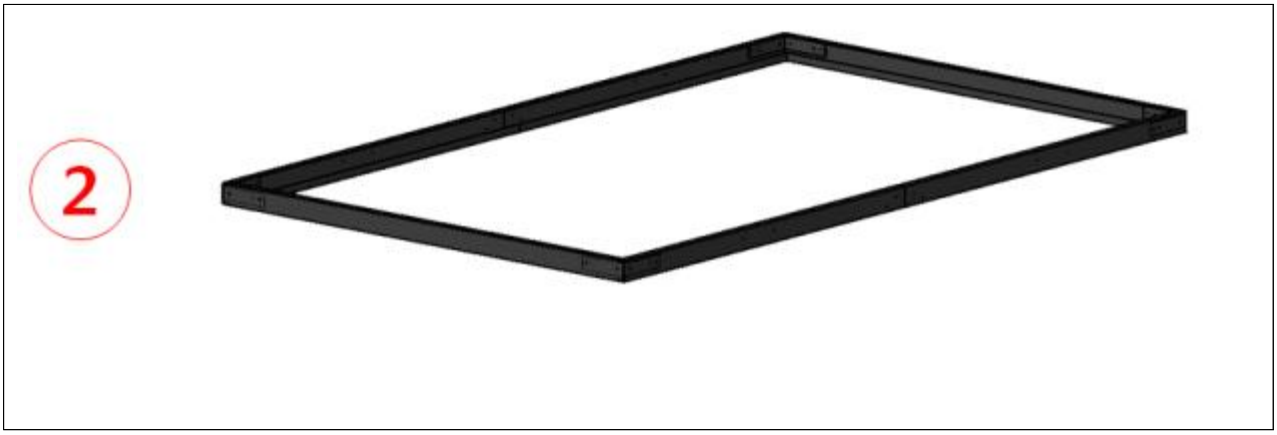


(마) 맞춤형 3D프린터의 케이스 조립

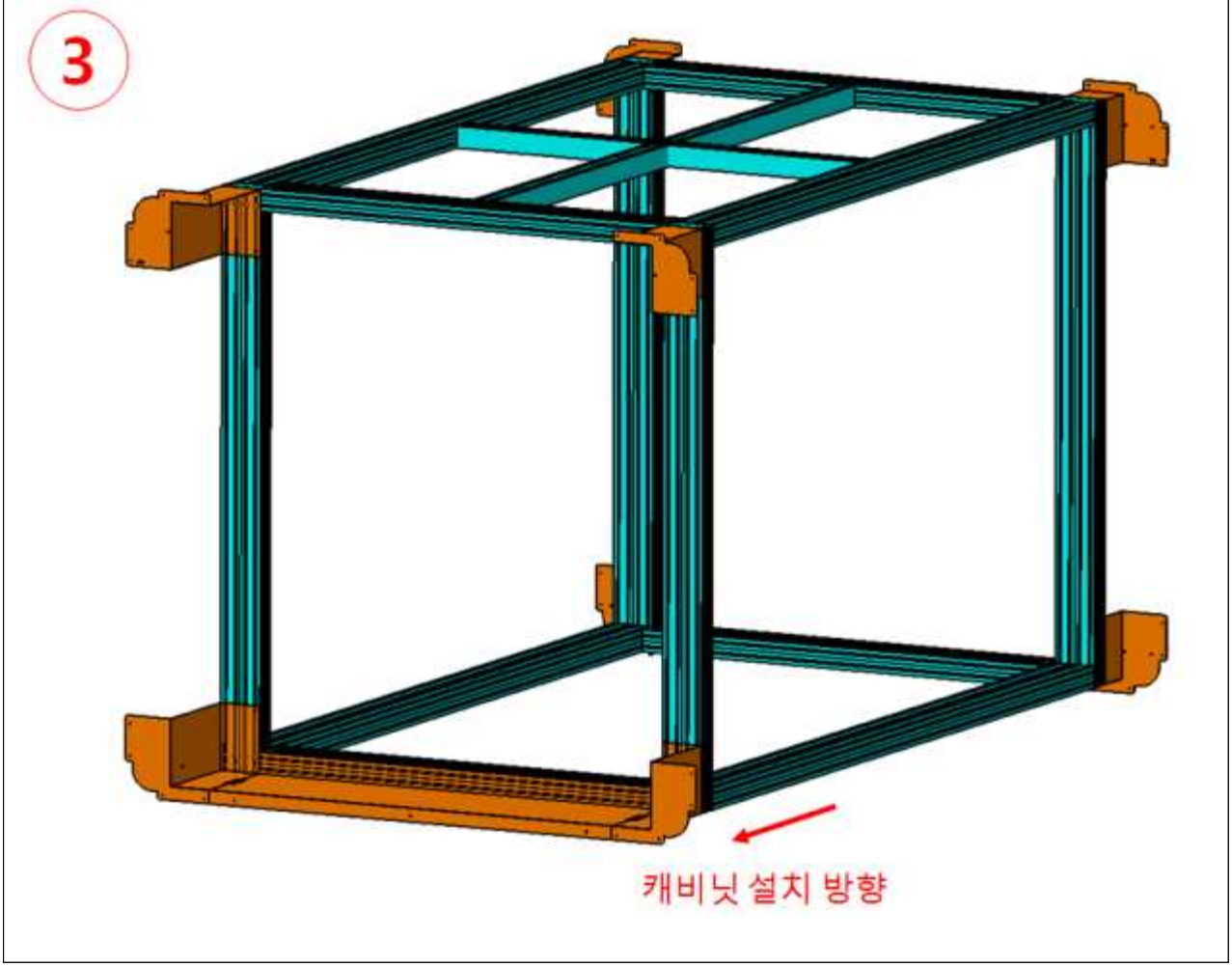
조립내용	조립 순서 (1)



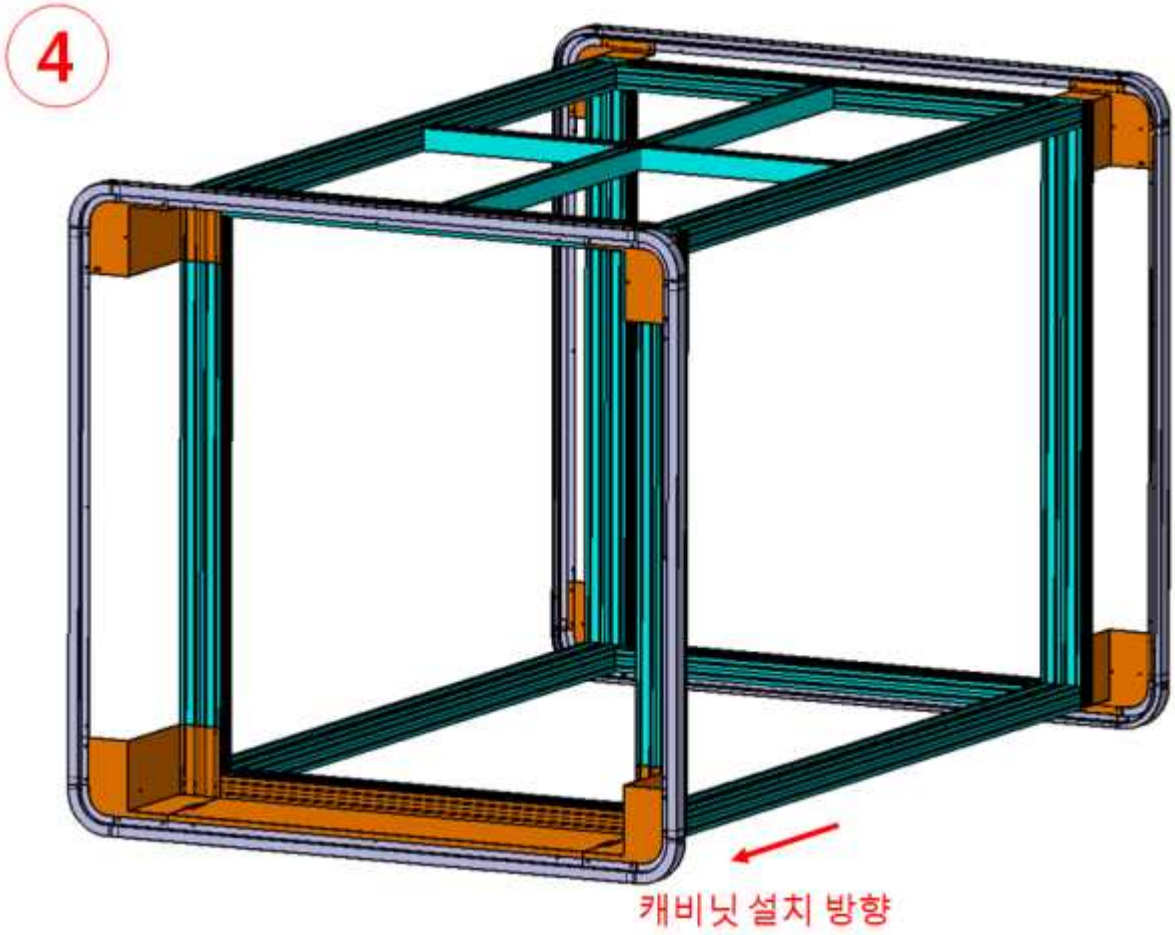
조립내용	조립 순서 (2)



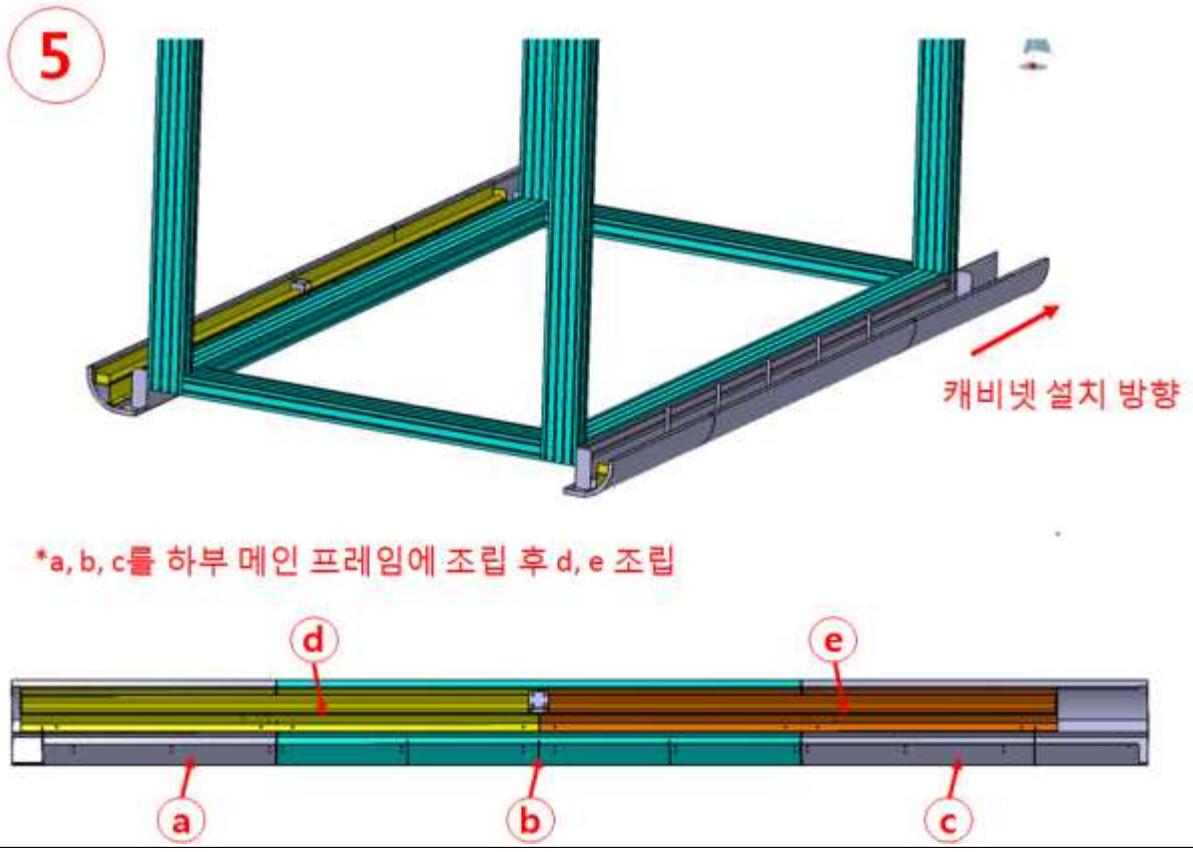
조립내용	조립 순서 (3)



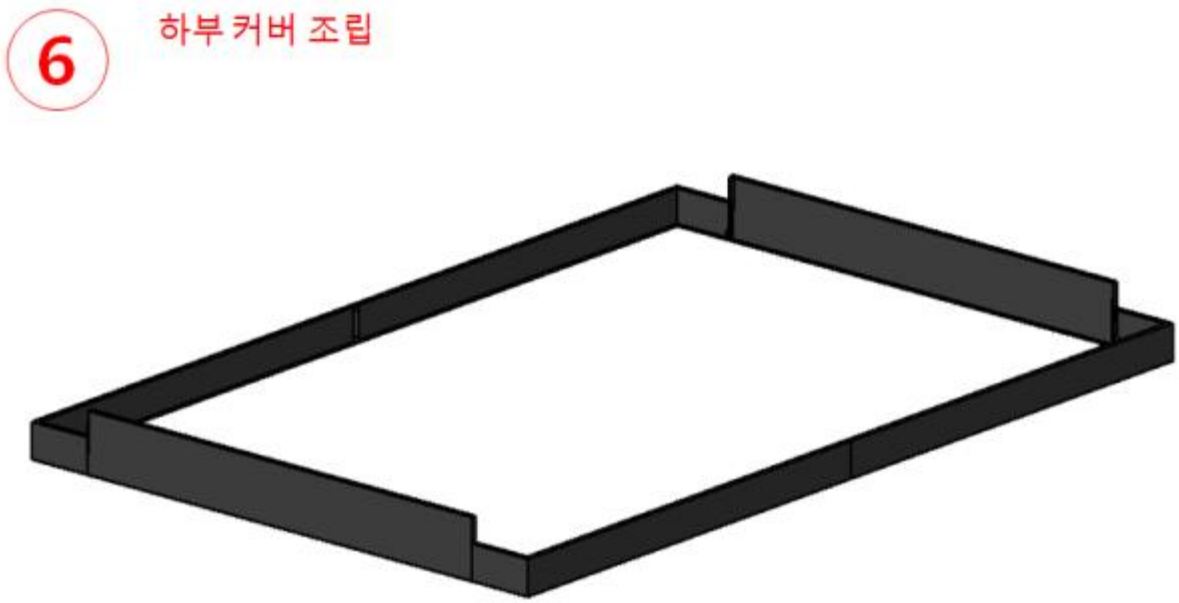
조립내용	조립 순서 (4)



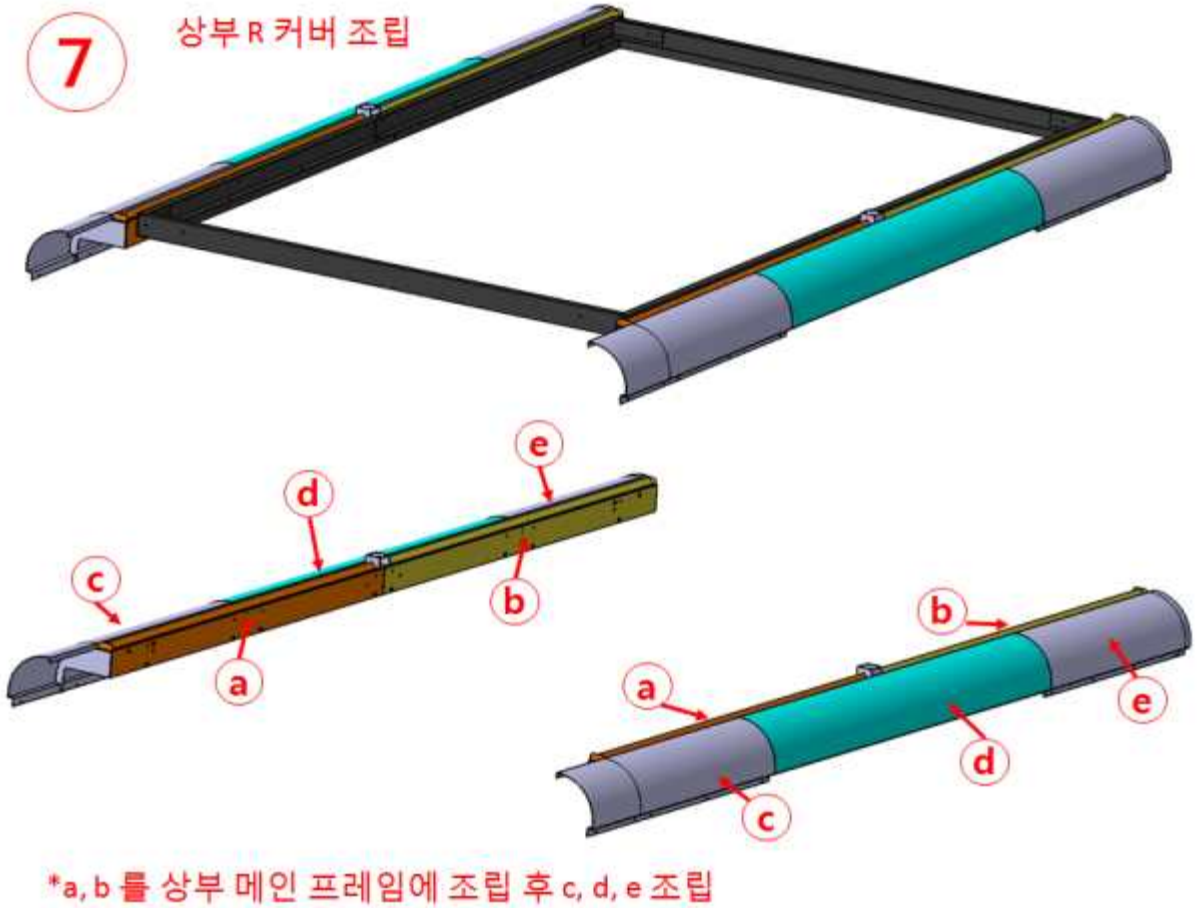
조립내용	조립 순서 (5)



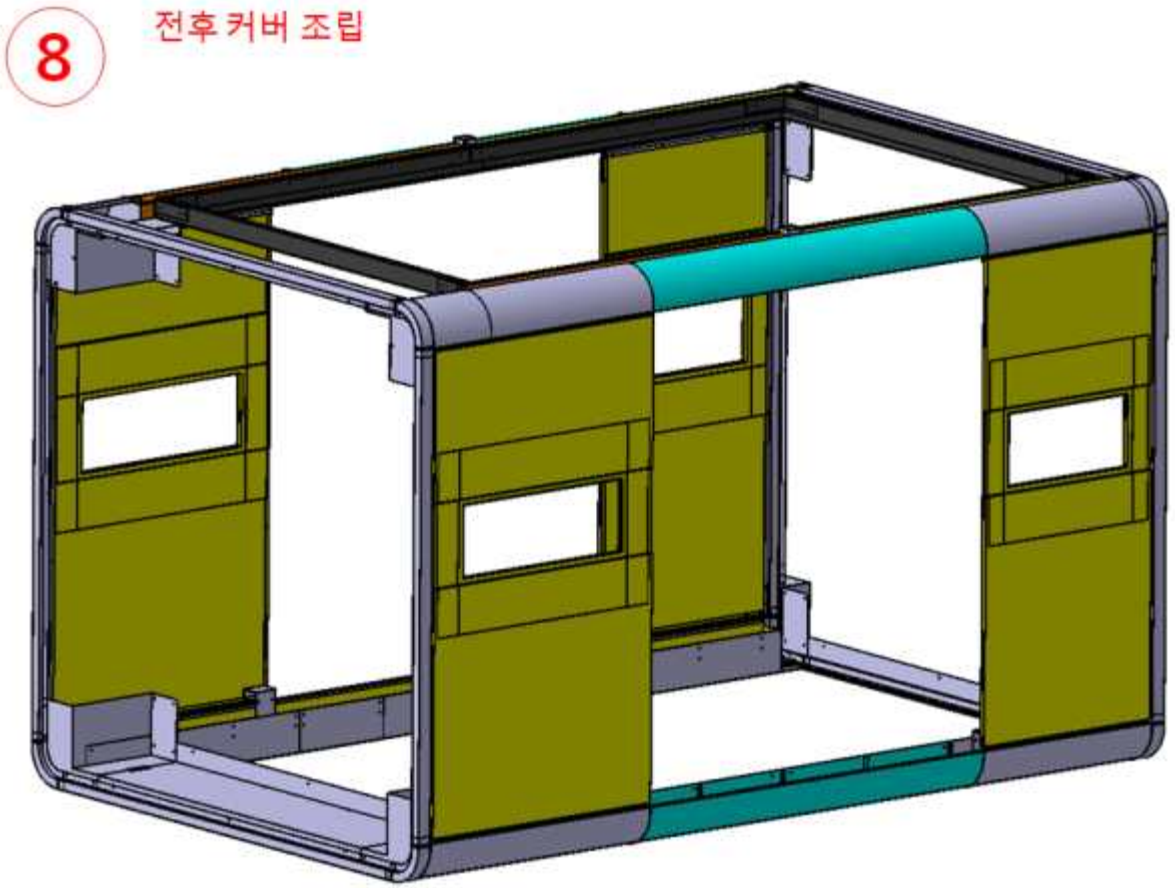
조립내용	조립 순서 (6)



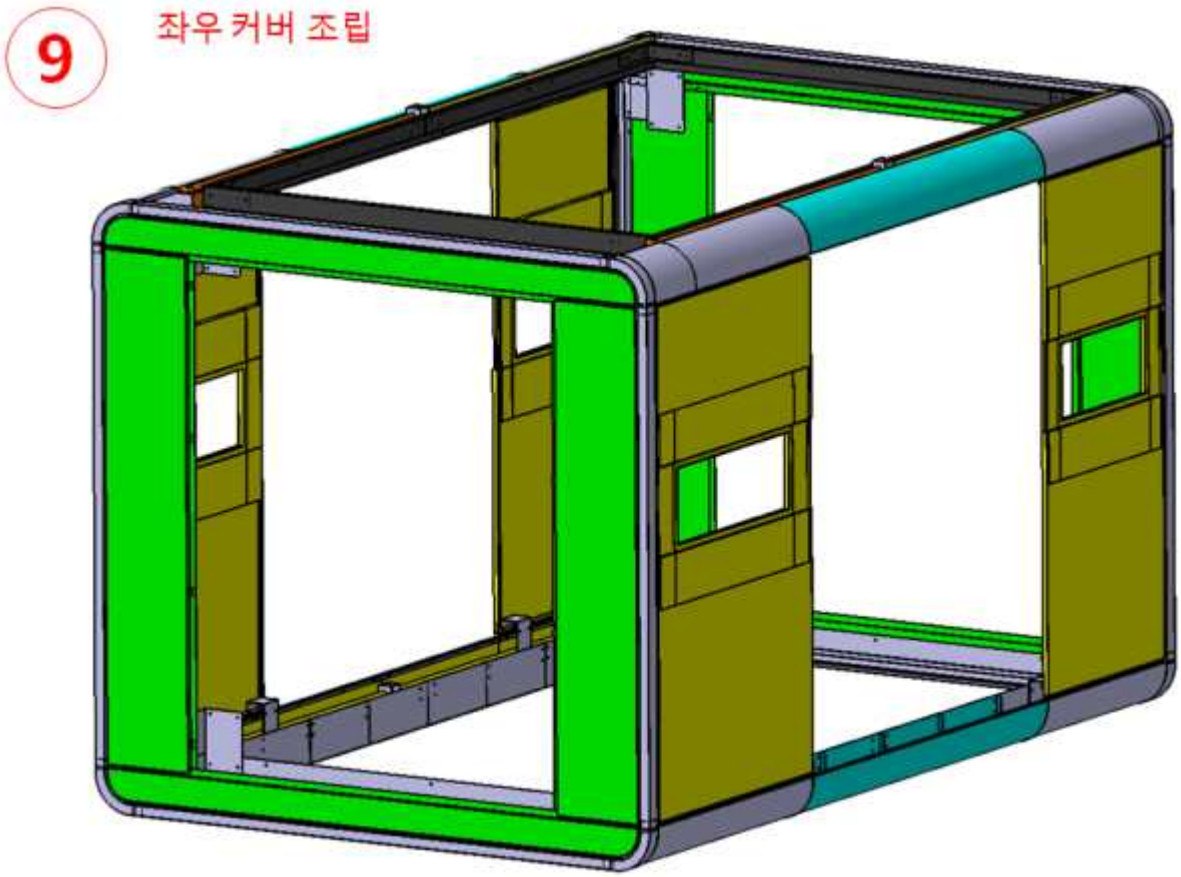
조립내용	조립 순서 (7)



조립내용	조립 순서 (8)

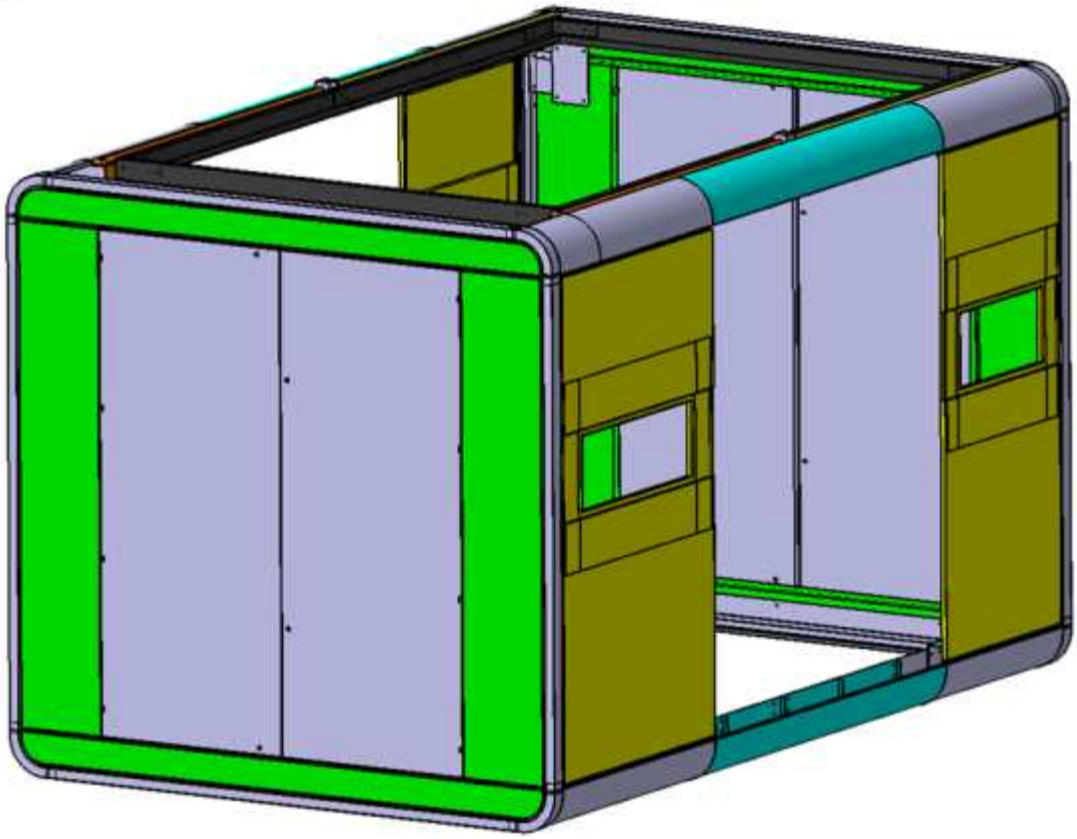


조립내용	조립 순서 (9)



조립내용	조립 순서 (10)

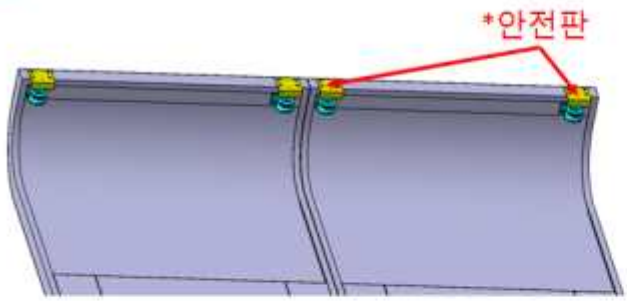
10 좌우 도어 장착

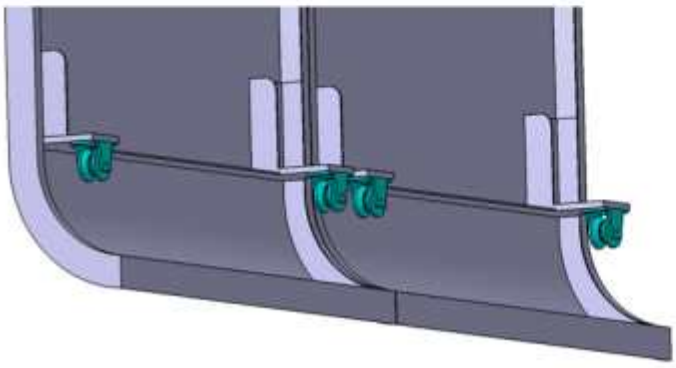


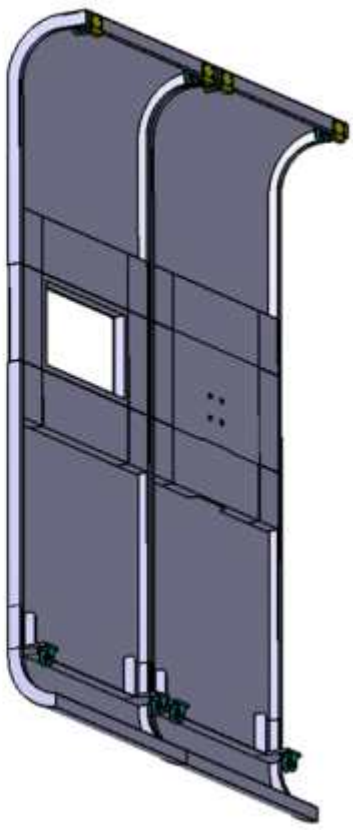
조립내용	조립완성 (11)

11

1. 도어 캐스터를 조립함
2. 도어를 본체에 조립함
3. **안전판을 조립함**



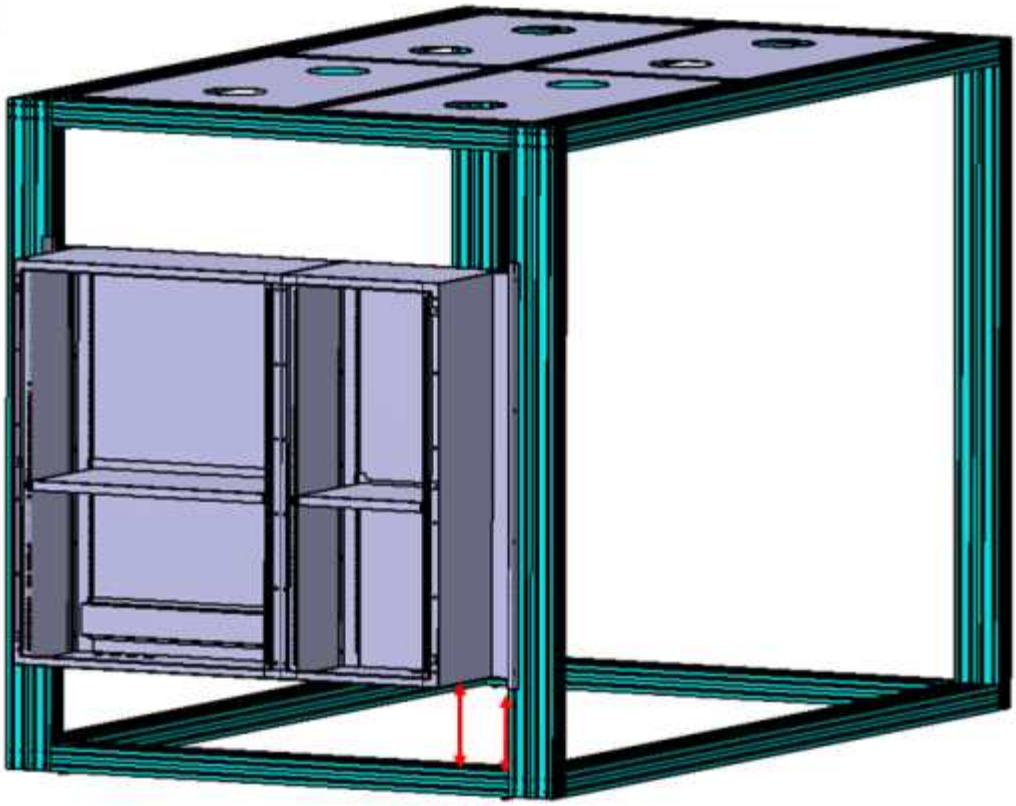




조립내용	조립 순서 (12)

12

*최우선 조립 가능함.



300(265)

조립내용	조립완성 (1)



조립내용	조립완성 (2)



조립내용	조립완성 (3)



(2) 제작 소프트웨어의 실물크기 맞춤화 개발

(가) 3D모델링

○ 현행 3D 모델링을 위해서 초기에는 2D데이터를 일러스트레이터 CS6 64bite버전에서 작업을 진행하여 그림의 원형을 제작

○ 라이노를 중심으로 디자인한 결과물를 제작하였으며, 라이노의 플러그인인 Grasshopper로

모듈과 패턴에 패러매트릭 디자인을 진행하고 결과물을 진행함

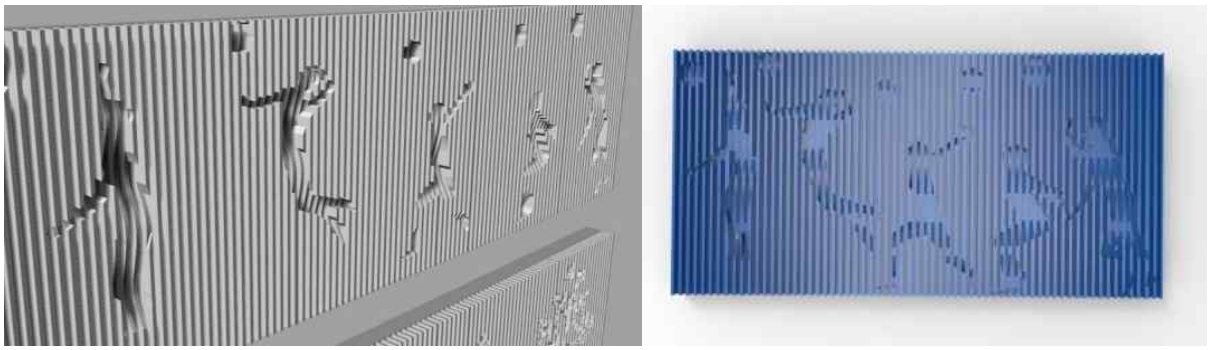


그림 3.2.55 애니메이션 효과의 콘크리트 폼라이너 디자인

(나) 모델링 소프트웨어

○ 3D프린터에서는 일반적으로 STL(StereoLithography) 파일을 이용하여 출력모델을 생성함. 3D프린팅 데이터는 Mesh데이터를 적용해야하므로 Rhinoceros의 경우, 기본 모델을 제작한 후에 모델을 선택한 후 File 메뉴 - Export Selected 메뉴를 선택하여 STL로 변환함(이때 STL File Type을 Binary로 설정). 변환된 STL파일을 필요에 따라 Mesh Data Fix과정을 거침

○ 아래 표는 오픈소스를 바탕으로 개발 프로그램으로 Mesh 데이터 수정이 가능한 프로그램의 사례를 보여줌

<표 3.2.27> Mesh 데이터 수정이 가능한 프로그램 사례

프로그램명	업체명	특징
Meshlab	Sourceforge	프리웨어 채색, 3D스캐닝 등 다양한 기능 제공
Meshmixer	Autodesk	프리웨어 간단한 3D 모델링 가능
Netfabb Basic	Autodesk	프리웨어 Microsoft를 통해 웹 솔루션 제공

(다) 프린터 구동 소프트웨어

○ 대형 3D프린터에 적합한 Cura프로그램을 기반으로 데이터를 Import하고 Slice 데이터를 제작하고 기기를 구동하였으며, 아래 표에서는 3D프린터를 구동하기 위한 프로그램을 보여줌

<표 3.2.28> 3D프린터용 Slicer software 사례

Software	Developer	Print Preparation	Slicing
Ultimaker Cura	Ultimaker	Yes	Yes
Craftware	Craftware	Yes	Yes
KISSlicer	KISSlicer	Limited	Yes
Repetier Host	Hot-World GmbH & Co. KG	Yes	Yes
ReplicatorG	ReplicatorG	Yes	Yes
Simplify3D	Simplify3D	Yes	Yes
Slic3r	Slic3r	Yes	Yes
Skeinforge	Skeinforge	No	Yes
DPrinterOS	3D Control Systems Ltd.	Yes	Yes

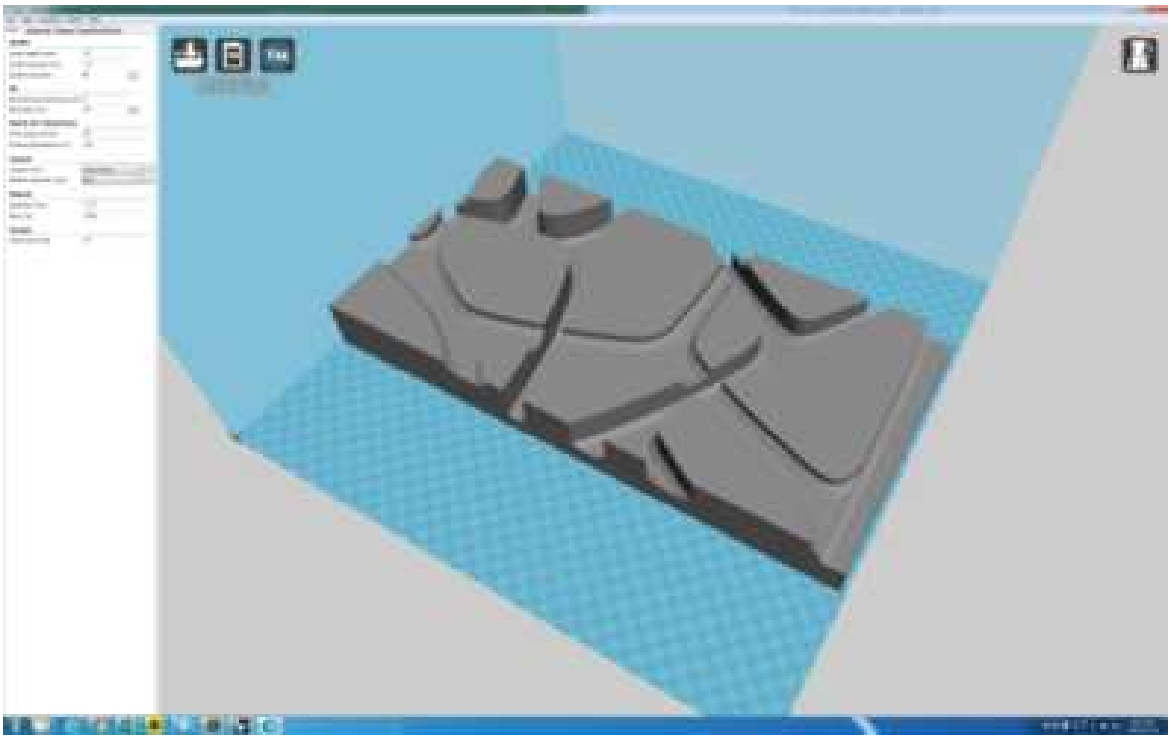


그림 3.2.56 Cura로 Import한 Mesh Data

(라) 펌웨어(firmware)

○ 펌웨어는 대표적인 오픈소스형 펌웨어인 마린 펌웨어를 수정 재편집하여 기기의 셋팅을 수행하였음

○ 2차년도에는 펌웨어를 자체 개발 프로그램으로 창작하고 각종 터치모니터를 기반으로 컴퓨터를 복합적으로 활용한 특수한 장비 펌웨어로 개발.

○ 개발한 3D프린터의 펌웨어 프로그램 소스는 최종보고서 ‘부록’에 수록하였음

(3) 실물크기 제작용 펌웨어 S/W 중점 개발

○ 현행 3D 모델링을 위해서 초기에는 2D데이터를 일러스트레이터 CS6 64bite버전에서 작업을 진행하여 그림의 원형을 제작

○ 라이노를 중심으로 디자인한 결과물를 제작하였으며, 라이노의 플러그인인 Grasshopper로 모듈과 패턴에 패러매트릭 디자인을 진행하고 결과물을 진행함

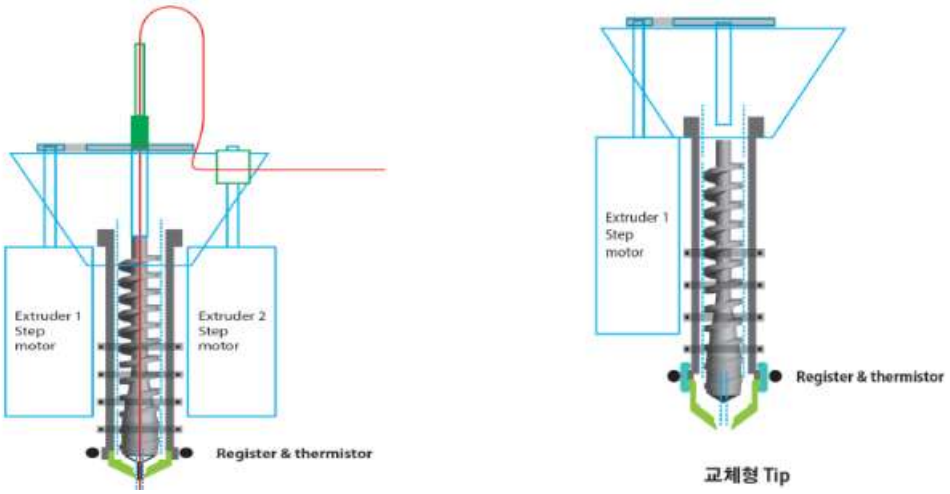
마. 3D프린터 헤드의 반복적 피드백을 통한 설계 및 제작

(1) 프린터헤드 조합의 설계 및 제작과 시험제품 제조

(가) 1차 모델

○ 다중 3D프린트 헤드(Hot End)

- 하나의 프린트 헤드 내부에 두 개 이상의 상이한 재료가 출력 가능하도록 구성하여, 필라멘트와 고체 펠릿이 동시에 프린팅 가능함
- 다양한 형태의 단면을 입체적으로 출력하도록 다양한 형상의 노즐 구멍을 갖는 교체형 팁을 개발



다중 3D프린트 헤드 내부 교체형 팁의 도면

그림 3.2.57 프리터 헤드 내부 및 도면

- 본 기술은 ‘다중 조형 용융액을 토출하는 3차원 프린터 헤드 및 이를 포함하는 3차원 프린터’ 명칭으로 특허출원함(10-2016-0058334)

○ 3D프린팅용 Filament maker & Hot End 개발

- 다중 펠릿형 혼합형 특수 산업용 헤드를 개발
- 펠릿 형태의 재료를 다양하게 혼합하여 원하는 조형을 출력할 수 있음

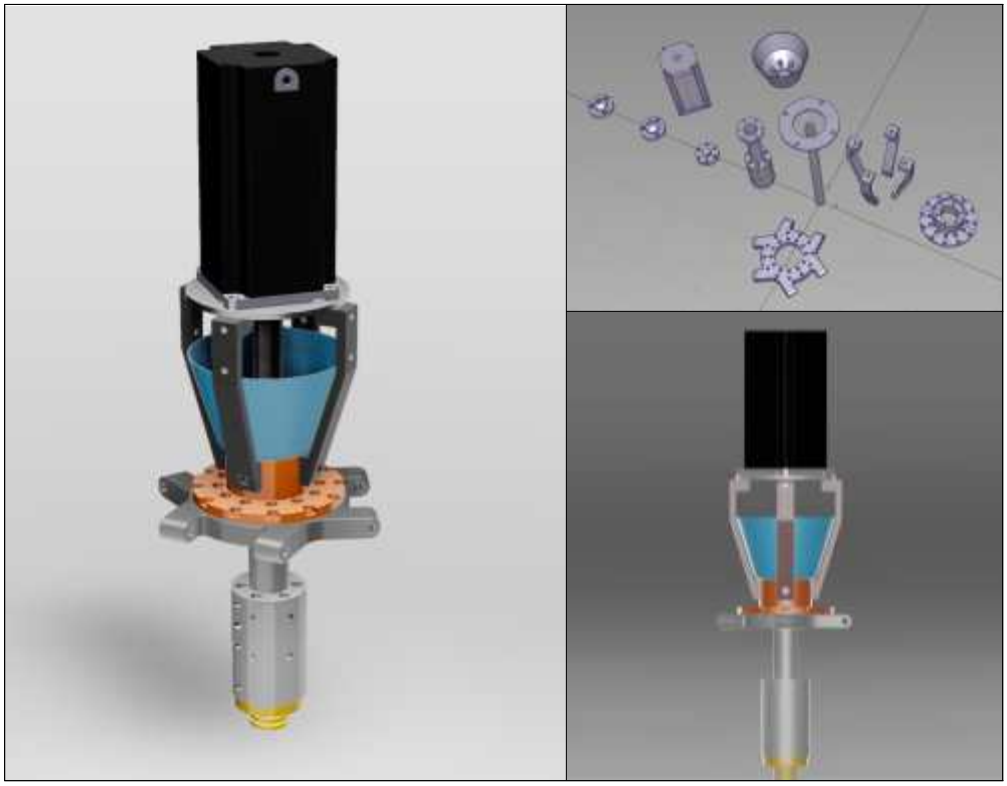


그림 3.2.58 다중 펠릿 혼합용 헤드 개발

(나) 2차 모델

○ 2차 모델로는 1차에서 개발된 헤드의 선두부위에 온도조절상에 문제점을 시험결과 열화상 카메라를 통해서 확인 하였으며 이를 다음 그림과 같이 새로운 방식으로 재설계하고 디자인하였음. 예측으로는 일반적인 배럴은 다음 그림과 같이 필라멘트의 두께에 따라서 적정한 재질인 스테인레스 스틸로 가공하여 탭핑을 하여 제작함. 그러나 현재 본 연구진이 개발한 펠릿을 사용하는 방식으로는 펠릿 입자의 크기에 따라서 다양한 방법이 나타날 수 있으나 복합소재를 사용할 경우에는 그 용도에 따라서 스크류방식의 길이와 스크류의 스파이어럴 패턴이 달라져야만 하는 난제가 있었음.



그림 3.2.59 현재 기성품으로 공급되는 배럴(Barrel) E3D V6 Nozzle Throat

○ 그러나 본 연구진의 무수히 많은 반복적인 테스트를 진행함과 여러 노하우를 살려서 새롭

게 설계한 2차 모델이 그 역할을 수행하게 됨. 중반에 온도의 전이로 인하여 난제를 해결하기위하여 레지스터의 열전도율을 차단시키기 로 결정하였으며 이를 위해서 배럴(Barrel) 부위를 케미컬 우드로 제작하였음. 일부 추출되는 스피드와 녹이는 용융점 또한 적절하였음. 다만 하루가 지나고 나서 온도를 재가열 시키기 위하여 2시간 이후 온도를 충분히 상승시킨 후에 스크류의 회전을 위해서 모터를 구동시켰으나 모터는 돌아가지 않는 상태가 됨. 이는 내부 열전도가 되지 않는 부위인 케미컬 우드성분 때문인 것으로 추정하고 모터를 돌리려는 데 좀더 많은 시간적인 안배를 했으나 캐미컬우드의 특성상 탭핑을 낸 피치가 낮아서인지 탭핑 부위가 파손되어 사용할수 없는 상태가 됨. 다만 케미컬우드로 사용 시에는 그 성분에 따라서 적절한 우드를 선별하는 것이 적절하다는 것을 이해하게 되었음



그림 3.2.60 2차 모델 부품 세부

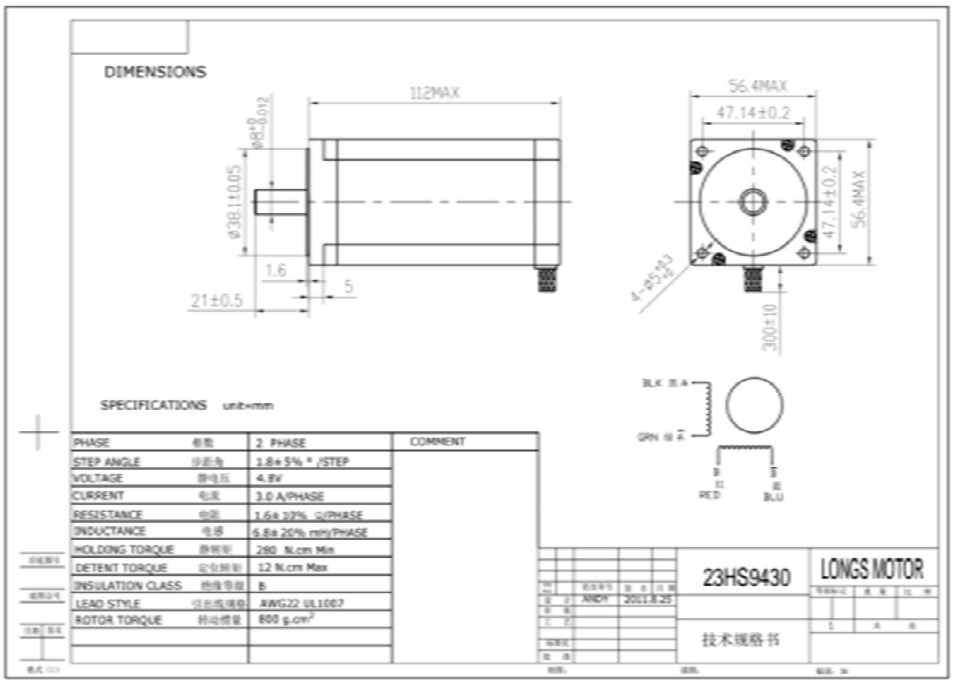


그림 3.2.61 2차 모델 도면

(다) 3차 모델



그림 3.2.62 3차 모델 부품 세부

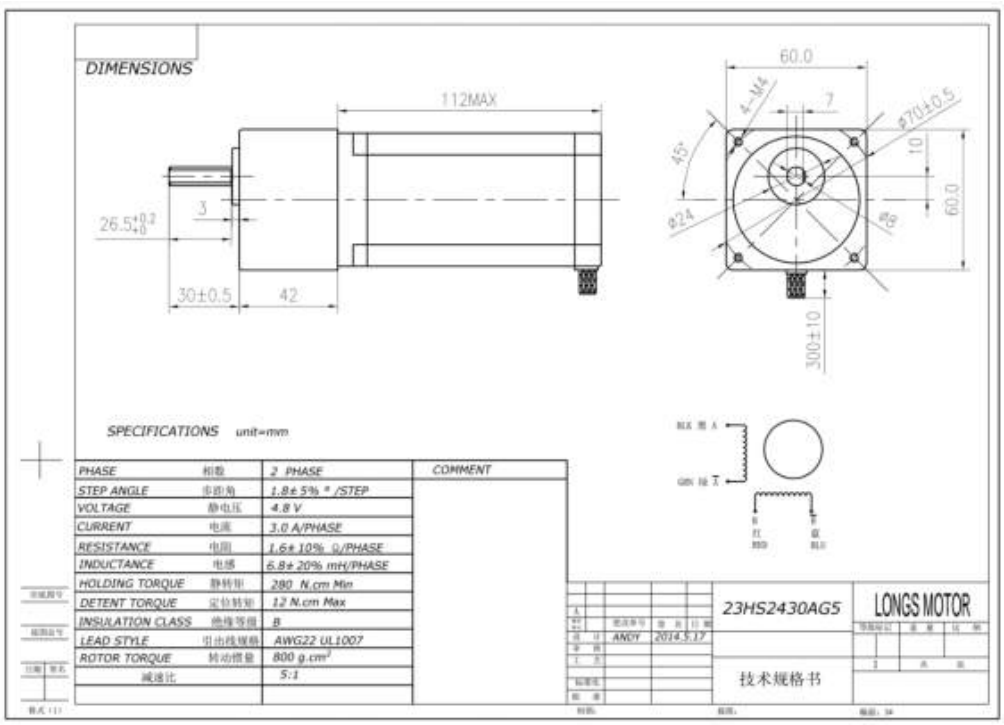


그림 3.2.63 3차 모델 도면

○ Filament maker & 스마트 헤드 기술

- 어떠한 재료가 헤드에 투입되더라도 자동으로 적정토출 용량이 깔끔하게 나올 수 있도록 온도를 제어하여 노즐 막힘 현상을 개선
- 필라멘트를 직접 토출하여 바로 인쇄가 가능

<표 3.2.29> 3차 모델을 토대로 해외 특허출원

발명의 제목	국가	출원번호
다중 조형 용융액을 토출하는 3차원 프린터 헤드 및 이를 포함하는 3차원프린터(Three dimensional printer head for discharging multi printing materialsand three dimensional printer having the same)	PCT	PCT/KR2016/011334

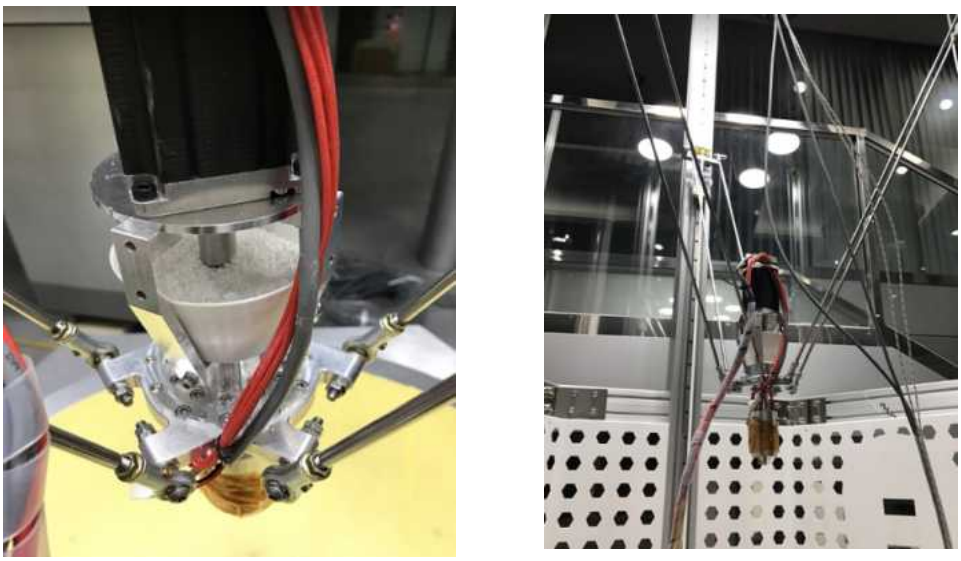


그림 3.2.64 Filament maker-헤드 기술 적용사례

(2) 제품제조 시의 프린터헤드 열화상분포도 분석과 헤드적정성 평가(Test 1)

○ 열화상카메라측정시험으로는 Fluke Thermography 의 Fluke Ti090_9hz Thermal Imager로 측정분석하였다. 그 시험장비의 전체 제원은 Accuracy : ±2℃ or 2% of Reading, Measurement Temp Range : -20℃ to + 250 ℃ 이다. 전체적인 열분포 시험 프로세스는 총 3번의 프로토제작 이후 나타난 용융점의 변화를 측정 분석하여 해당 열분포의 내용을 과학적으로 증명하였으며 3단계에 걸쳐 시험에 성공하였다.

○ Test 1에서는 기존 필라멘트를 직접 넣을 수 있는 방식에 대해 온도의 변화를 시험 검증하였다. 이는 기존 3D프린터 헤드에 일반 필라멘트를 직접 넣어서 사용할 수 있는 다이렉트(Direct) 방식을 기반으로 하였다. 우선 적정온도를 설정하고 이후 온도변화를 체크하였다. 기존 방식으로 사용 시 기존 제작된 대형 프린터에는 테스트용으로 제작되었으며 다만 3D프린팅하게 된 면적이 상당히 커서 효율적인 측면에서는 기존 헤드를 사용하는 것은 의미가 없다.



그림 3.2.65 펠릿사용이 가능한 이종배합 대형 3D프린팅 헤드

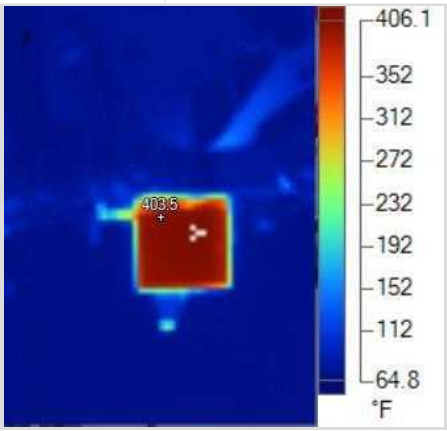


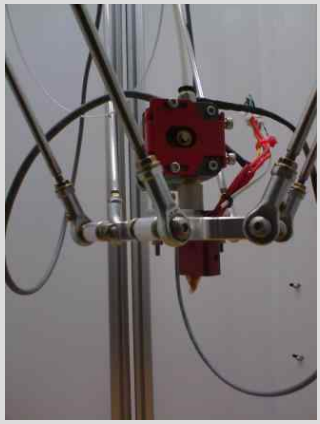
그림 3.2.66 이종 재료의 혼합을 통한 출력 성공 모델

○ Test 1

<표 3.2.30> TEST 1

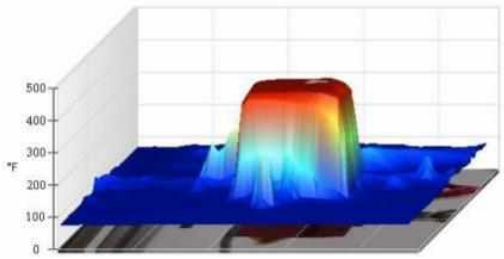
IR000019.IS2			
검사 날짜:	2016-11-12 오전 3:36:58	**위치**	3D프린팅디자인혁신센터
방사율:	0.95	**반사 온도:**	71.6 ° F
카메라 제조업체	Fluke Thermography	**카메라:**	Ti90-14100451





IR000019.IS2 | 가시광선 이미지

3D IR



이미지 정보	
투과	1.00
평균 온도	96.9°F
이미지 범위	64.8°F - 406.1°F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2016-11-12 오전 3:36:58
파일 위치	C:₩ Users₩ k3dp₩ Desktop₩ DCIM₩ 100FLUKE₩ IR000019.IS2
보정 범위	14.0°F - 482.0°F

기본 이미지 마커

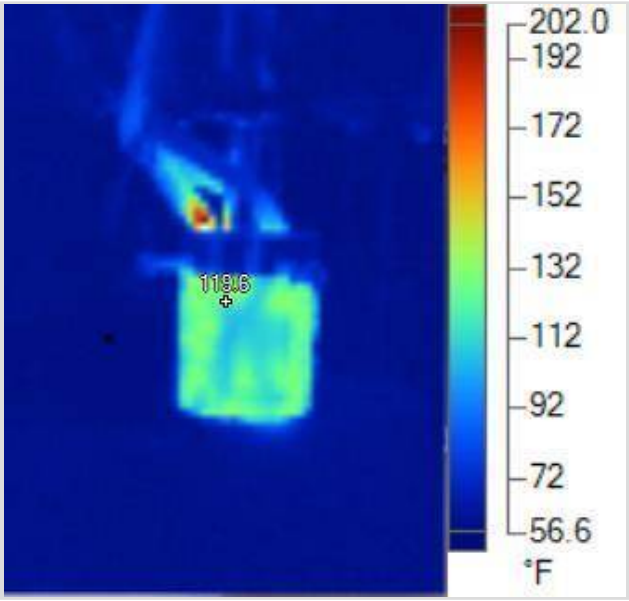
이름	온도	방사율	배경
가운데 지점	403.5°F	0.95	71.6°F

(3) 평가 결과에 따른 프린터헤드의 반복 개선 설계와 제작(Test 2)

○ Test 2에서는 기존 1.75mm 일반필라멘트의 크기가 작아 이를 해결하고자 좀 더 많은 재료 사용과 재사용이 가능한 디자인을 위해서 핫엔드를 스크류방식으로 재설계하였다. 스크류는 기존의 목공용 드릴을 제일 먼저 테스트했으며 또한 기존 익스트루더의 방식과 유사하지만 토출되는 부위에 방열판을 중심으로 열의 분산 구조를 반영하여 시험을 진행하였다. 시험결과 표의 일부는 부록에 수록되었다.

<표 3.2.31> TEST 2

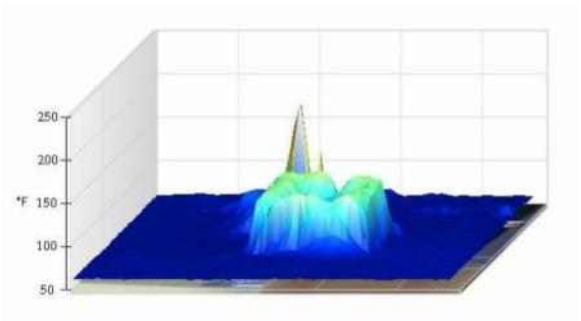
IR000024.IS2			
검사 날짜:	2016-12-09 오후 11:50:07	**위치**	3D프린팅디자인혁신센터
방사율:	0.95	**반사 온도:**	71.6 ° F
카메라 제조업체	Fluke Thermography	**카메라:**	Ti90-14100451





IR000024.IS2 가시광선 이미지

3D IR



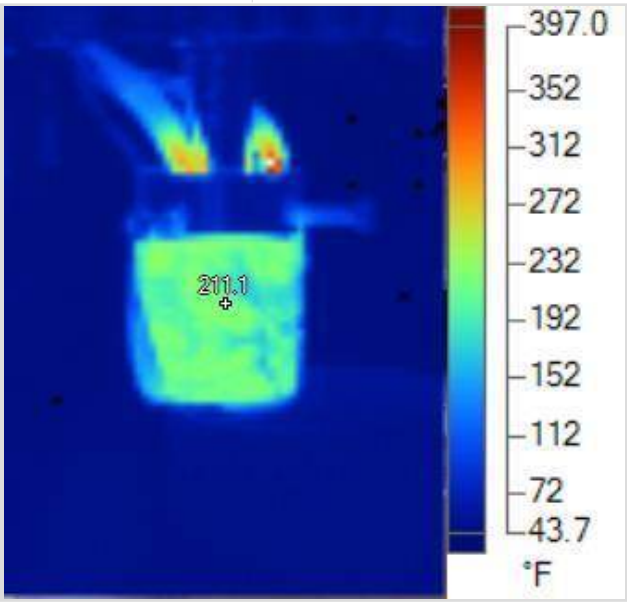
이미지 정보	
투과	1.00
평균 온도	66.1°F
이미지 범위	56.6°F - 202.0°F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2016-12-09 오후 11:50:07
파일 위치	C:₩ Users₩ k3dp₩ Desktop₩ DCIM₩ 100FLUKE₩ IR000024.IS2
보정 범위	14.0°F - 482.0°F

기본 이미지 마커

이름	온도	방사율	배경
가운데 지점	119.6°F	0.95	71.6°F

<표 3.2.32> TEST 3

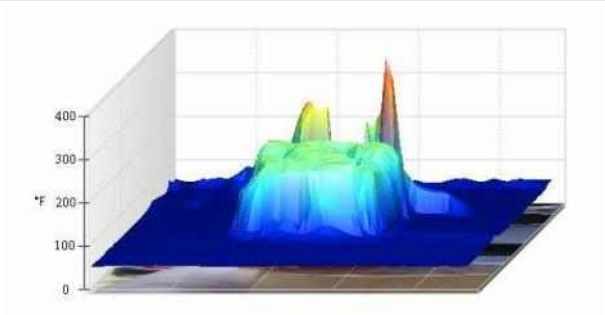
IR000025.IS2			
검사 날짜:	2016-12-09 오후 11:55:15	**위치**	3D프린팅디자인혁신센터
방사율:	0.95	**반사 온도:**	71.6 ° F
카메라 제조업체	Fluke Thermography	**카메라:**	Ti90-14100451





IR000025.IS2 | 가시광선 이미지

3D IR



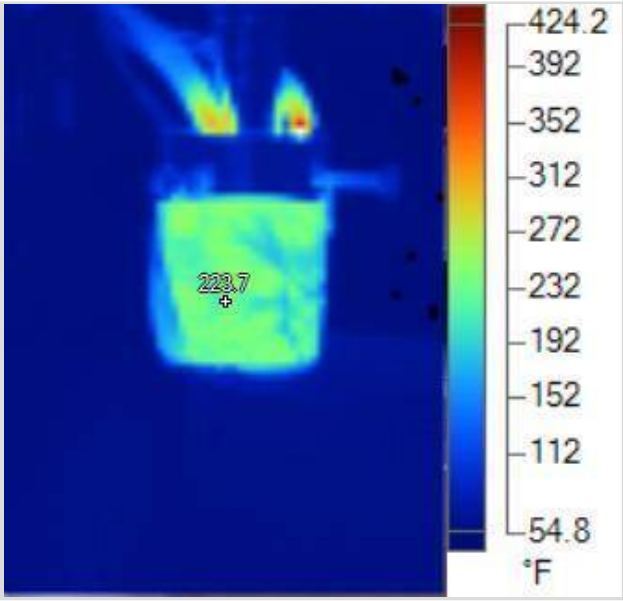
이미지 정보	
투과	1.00
평균 온도	71.7°F
이미지 범위	43.7°F - 397.0°F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2016-12-09 오후 11:55:15
파일 위치	C:₩ Users₩ k3dp₩ Desktop₩ DCIM₩ 100FLUKE₩ IR000025.IS2
보정 범위	14.0°F - 482.0°F

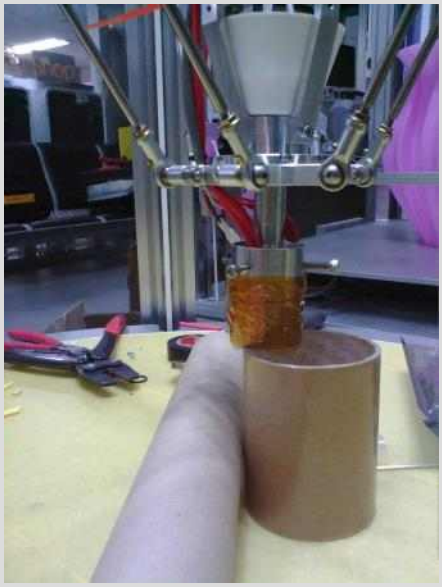
기본 이미지 마커

이름	온도	방사율	배경
가운데 지점	211.1°F	0.95	71.6°F

<표 3.2.33> TEST 4

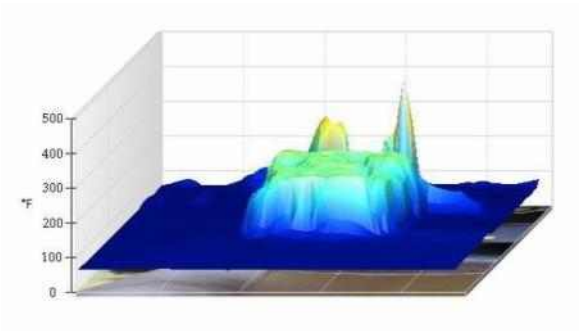
IR000026.IS2			
검사 날짜:	2016-12-09 오후 11:55:59	**위치**	3D프린팅디자인혁신센터
방사율:	0.95	**반사 온도:**	71.6 ° F
카메라 제조업체	Fluke Thermography	**카메라:**	Ti90-14100451





IR000026.IS2 | 가시광선 이미지

3D IR



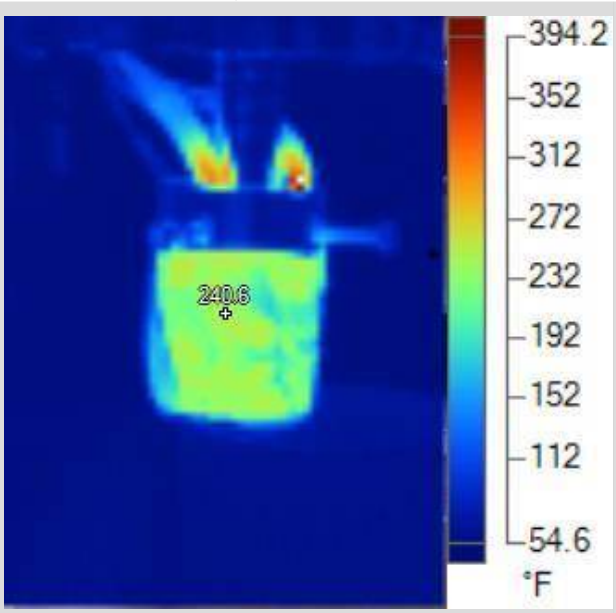
이미지 정보	
투과	1.00
평균 온도	83.7°F
이미지 범위	54.8°F - 424.2°F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2016-12-09 오후 11:55:59
파일 위치	C:₩ Users₩ k3dp₩ Desktop₩ DCIM₩ 100FLUKE₩ IR000026.IS2
보정 범위	14.0°F - 482.0°F

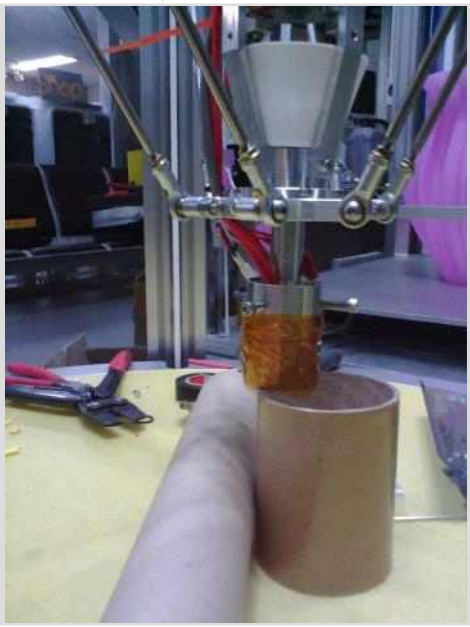
기본 이미지 마커

이름	온도	방사율	배경
가운데 지점	223.7°F	0.95	71.6°F

<표 3.2.34> TEST 5

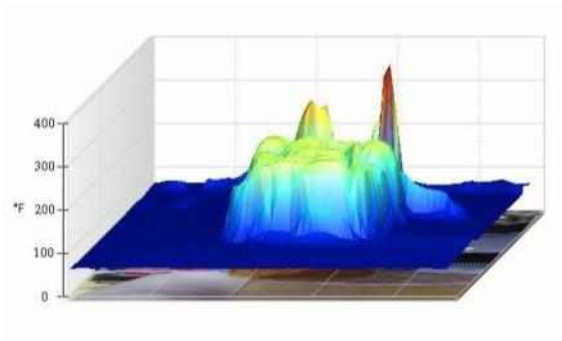
IR000027.IS2			
검사 날짜:	2016-12-09 오후 11:56:22	위치	3D프린팅디자인혁신센터
방사율:	0.95	반사 온도:	71.6 ° F
카메라 제조업체	Fluke Thermography	카메라:	Ti90-14100451





IR000027.IS2 | 가시광선 이미지

3D IR



이미지 정보	
투과	1.00
평균 온도	84.3°F
이미지 범위	54.6°F - 394.2°F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2016-12-09 오후 11:56:22
파일 위치	C:₩ Users₩ k3dp₩ Desktop₩ DCIM₩ 100FLUKE₩ IR000027.IS2
보정 범위	14.0°F - 482.0°F

기본 이미지 마커

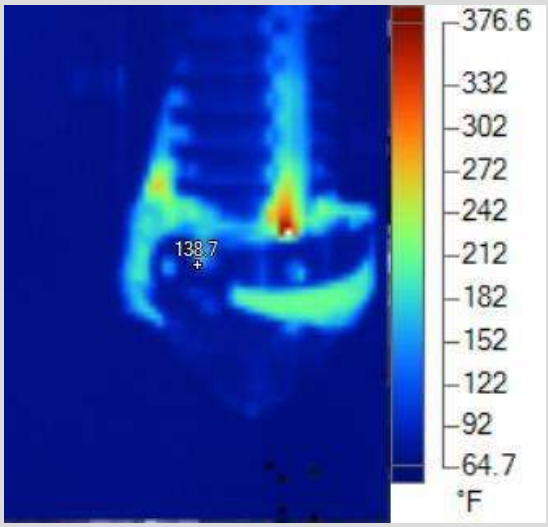
이름	온도	방사율	배경
가운데 지점	240.6°F	0.95	71.6°F

(4) 반복적 피드백을 통한 프린터헤드의 최종 설계 및 제작(Test 3)

○ Test3에서는 Test 2에서 제작된 방열판이 그 역할을 수행하지 못하여 재설계 하였으며 온도변화에 민감한 외부온도와 내부온도 x, y, z Axis 움직임 속도(Feed) 그리고 외부 내부의 기류변화에 따른 온도의 변화를 측정 분석 하여 재설계반영하게 되었으며 마침내 일반 펠릿을 사용하여 출력하는 Hot End를 출력하고 물건을 제작하는 것에 성공하였다. 시험결과 표의 일부는 부록에 수록되었다.

<표 3.2.35> TEST 6

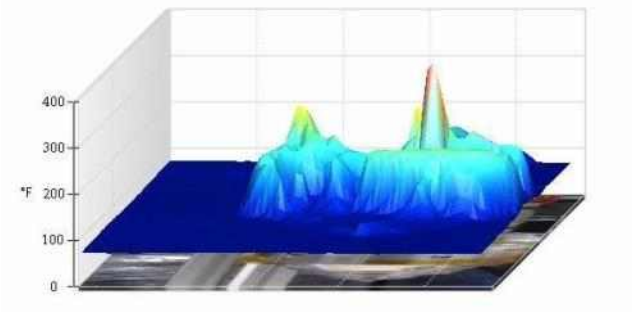
IR000069.IS2			
검사 날짜:	2017-03-04 오후 10:12:03	**위치**	3D프린팅디자인혁신센터
방사율:	0.95	**반사 온도:**	71.6 ° F
카메라 제조업체	Fluke Thermography	**카메라:**	Ti90-14100451





IR000069.IS2 가시광선 이미지

3D IR



이미지 정보

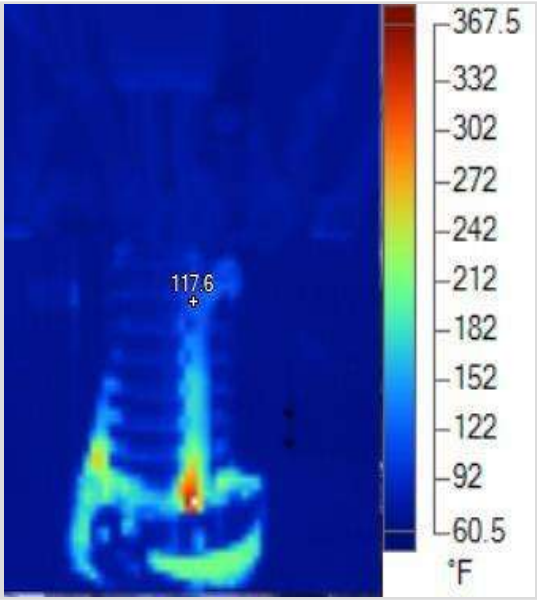
투과	1.00
평균 온도	88.0° F
이미지 범위	64.7° F - 376.6° F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2017-03-04 오후 10:12:03
파일 위치	C:W UsersW k3dpW DesktopW DCIMW 100FLUKEW IR000069.IS2
보정 범위	14.0° F - 482.0° F

기본 이미지 마커

이름	온도	방사율	배경
가운데 지점	138.7° F	0.95	71.6° F

<표 3.2.36> TEST 7

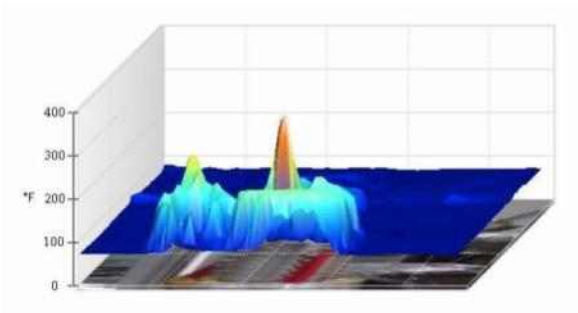
IR000070.IS2			
검사 날짜:	2017-03-04 오후 10:12:13	**위치**	3D프린팅디자인혁신센터
방사율:	0.95	**반사 온도:**	71.6 ° F
카메라 제조업체	Fluke Thermography	**카메라:**	Ti90-14100451





IR000070.IS2 | 가시광선 이미지

3D IR



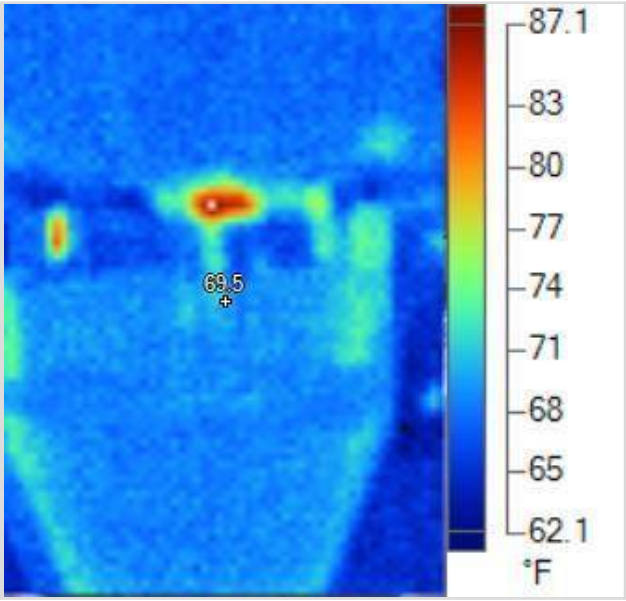
이미지 정보	
투과	1.00
평균 온도	81.5°F
이미지 범위	60.5°F - 367.5°F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2017-03-04 오후 10:12:13
파일 위치	C:₩ Users₩ k3dp₩ Desktop₩ DCIM₩ 100FLUKE₩ IR000070.IS2
보정 범위	14.0°F - 482.0°F

기본 이미지 마커

이름	온도	방사율	배경
가운데 지점	117.6°F	0.95	71.6°F

<표 3.2.37> TEST 8

IR000071.IS2			
검사 날짜:	2017-03-04 오후 10:12:36	**위치**	3D프린팅디자인혁신센터
방사율:	0.95	**반사 온도:**	71.6 ° F
카메라 제조업체	Fluke Thermography	**카메라:**	Ti90-14100451

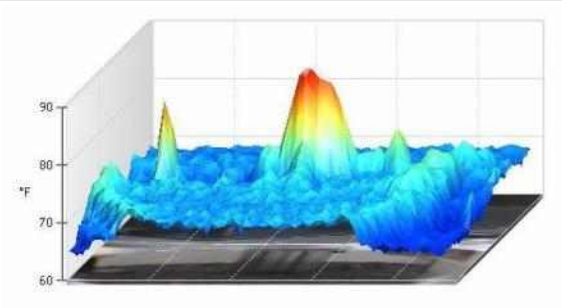


IR000071.IS2



가시광선 이미지

3D IR



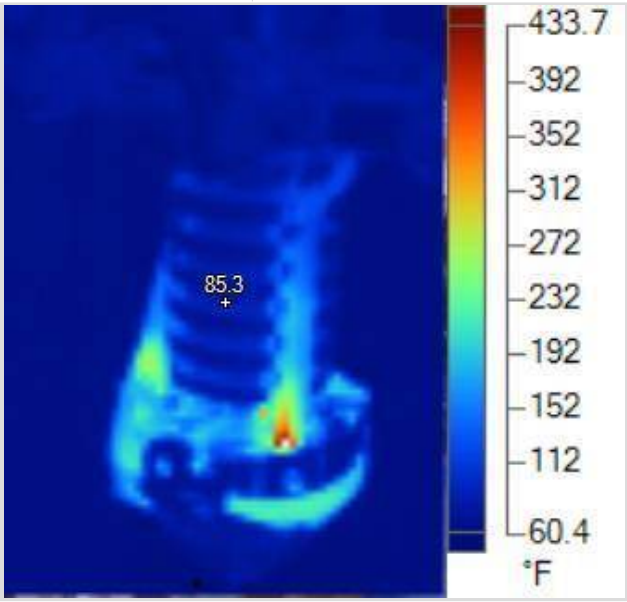
이미지 정보	
투과	1.00
평균 온도	68.5°F
이미지 범위	62.1°F - 87.1°F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2017-03-04 오후 10:12:36
파일 위치	C:₩ Users₩ k3dp₩ Desktop₩ DCIM₩ 100FLUKE₩ IR000071.IS2
보정 범위	14.0°F - 482.0°F

기본 이미지 마커

이름	온도	방사율	배경
가운데 지점	69.5°F	0.95	71.6°F

<표 3.2.38> TEST 9

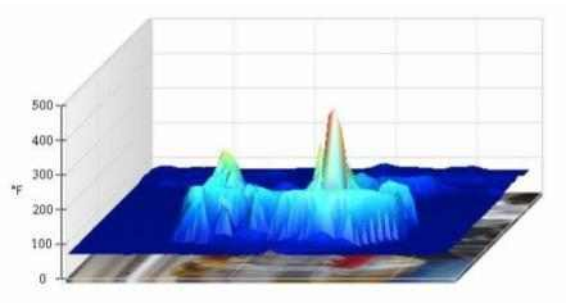
IR000072.IS2			
검사 날짜:	2017-03-04 오후 10:12:55	**위치**	3D프린팅디자인혁신센터
방사율:	0.95	**반사 온도:**	71.6 ° F
카메라 제조업체	Fluke Thermography	**카메라:**	Ti90-14100451





IR000072.IS2 가시광선 이미지

3D IR



이미지 정보

투과	1.00
평균 온도	84.6°F
이미지 범위	60.4°F - 433.7°F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2017-03-04 오후 10:12:55
파일 위치	C:₩ Users₩ k3dp₩ Desktop₩ DCIM₩ 100FLUKE₩ IR000072.IS2
보정 범위	14.0°F - 482.0°F

기본 이미지 마커

이름	온도	방사율	배경
가운데 지점	85.3°F	0.95	71.6°F

<표 3.2.39> 반복 피드백을 통한 헤드 개발

1차 모델			
2차 모델			
3차 모델			

○ 3차에 거친 반복 피드백을 통해 개발에 성공한 헤드 도면 및 최종 헤드의 모습은 다음과 같다.



그림 3.2.67 Test 3 신규헤드 성공 모델

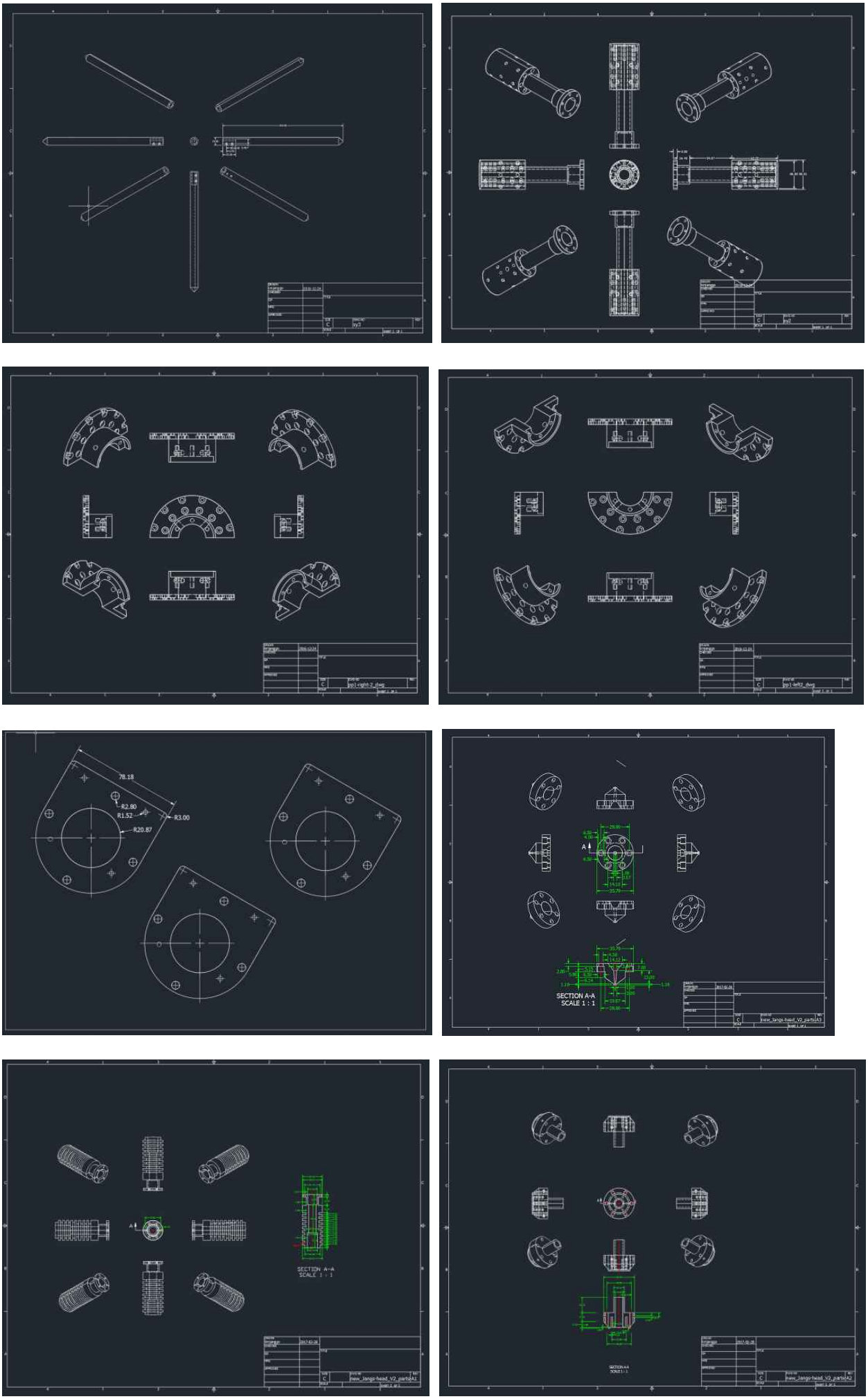


그림 3.2.68 최종 헤드 도면

바. 사진 효과의 입체조형 모델 제작기법 연구

(1) 사진 모델 제작 기능의 3D프린터 헤드 개발

○ 위에서 개발된 다중 3D프린트 헤드(Hot End)를 통해 하나의 프린트 헤드 내부에서 두 개 이상의 상이한 재료가 출력 가능하여 사진모델을 다양한 재료 혹은 색상으로 출력 가능한 3D프린터 헤드 개발을 완료했다.

(2) 명암 인식 재료 공급 및 3D프린팅 제작 기능 개발

○ 위에서 개발된 다중 3D프린트 헤드(Hot End)를 통해 하나의 프린트 헤드 내부에서 두 개 이상의 상이한 재료가 출력 가능하여 명암 인식 재료 공급이 가능한 3D프린터 헤드 개발을 완료했다.

(3) 입체조형 보호외피의 시험 제작 및 평가

○ 전면은 평면으로 후면은 허니컴을 배치한 축소모형을 제작하여 제작성능을 검토하였다. 매끄러운 전면과 후면의 허니컴이 적절하게 제작되었음을 확인하였다.



그림 3.2.69 설계된 보호외피 축소 모형의 전면부

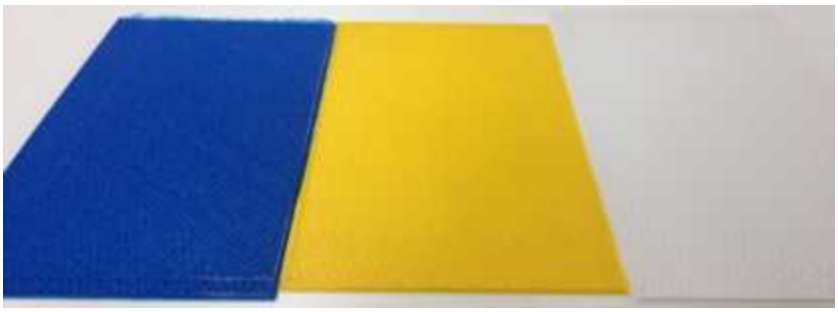


그림 3.2.70 설계된 보호외피 축소 모형의 무작위 형상앵커 후면부

○ 보호외피에 음각 내지는 양각을 적용하여 콘크리트를 감싸도록 하여 미관을 창출할 수 있으나, 우선은 앵커로 인한 콘크리트와의 부착성능을 검토하는 것이 보호외피로서의 기능에 더욱 중요하므로 전면은 평면으로 후면은 앵커들을 배치하여 실제크기 보호외피를 제작하여 제작성능을 검토하였다. 아래 그림은 후면 앵커를 배치하여 제작한 보호외피 사례이다.

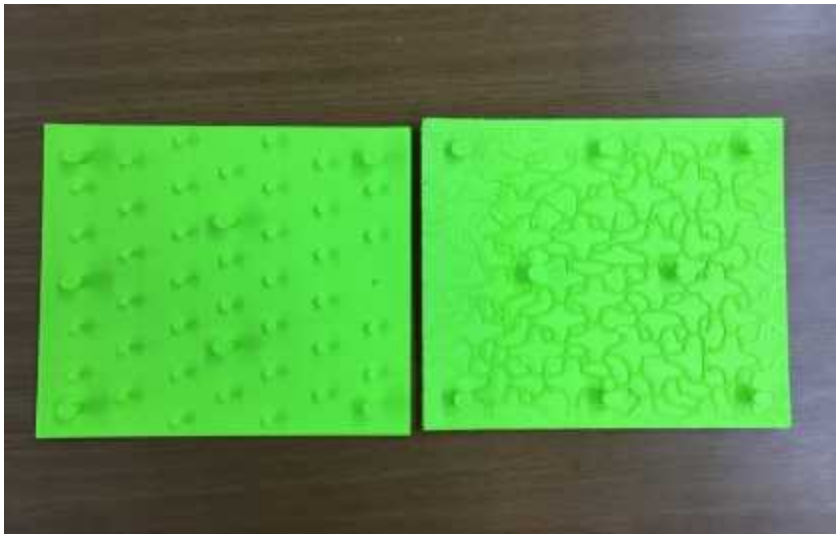


그림 3.2.71 앵커를 사용하여 프린팅한 보호외피 출력물

사. 3D프린터 사용지침 작성

(1) 대형 3D프린팅 프로세스

(가) 3D 모델링 작업, STL 확장자 저장

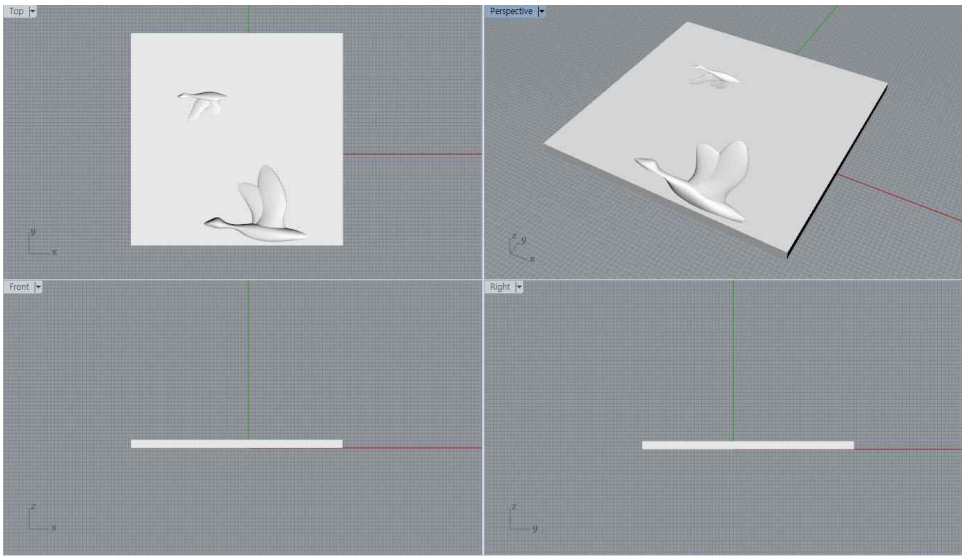


그림 3.2.72 3D모델링 프로그램을 활용한 3D 모델링 작업

(나) 슬라이서 프로그램에서 데이터 불러오기 후 G-Code로 변환, SD카드 저장

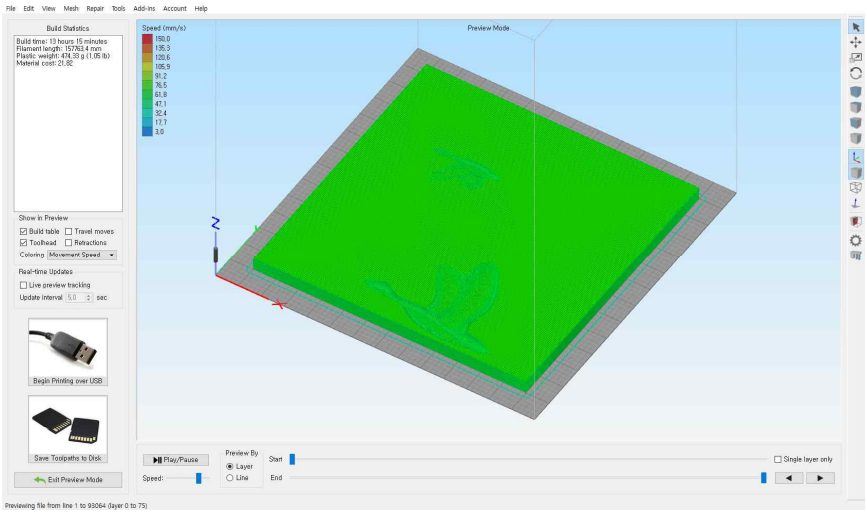


그림 3.2.73 슬라이서 프로그램을 활용한 G-Code 변환 작업

(다) 프린터 전원 ON, SD카드 삽입

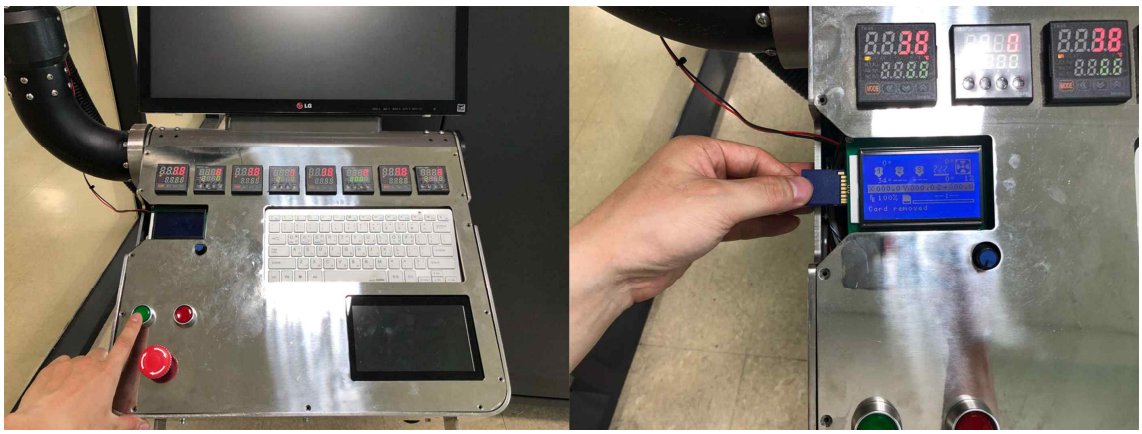


그림 3.2.74 개발된 대형 프린터의 전원 On 및 SD카드 삽입

(라) Auto Home 설정, 노즐의 위치 홈(0,0)으로 이동



그림 3.2.75 Auto Home 설정 및 노즐의 위치 이동

(마) 베드 테이핑 작업, 베드 높이(Bed Leveling) 조절

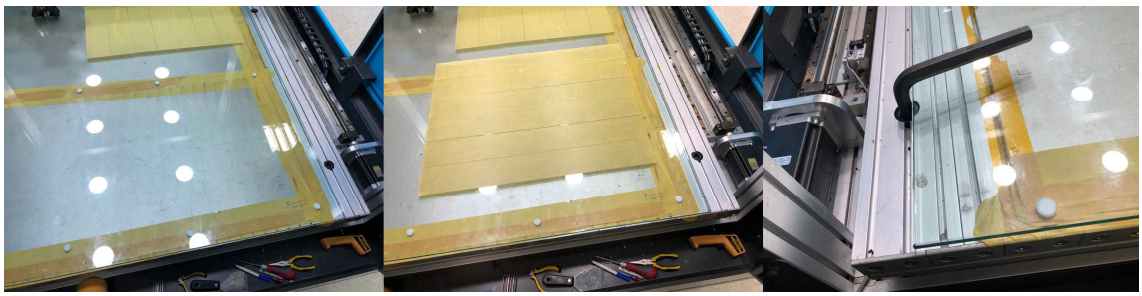


그림 3.2.76 베드 테이핑 및 베드 높이 조절

(바) SD카드에 저장된 파일 실행, 노즐 온도 상승



그림 3.2.77 SD카드에 저장된 데이터 실행 및 노즐 온도 확인

(사) 프린팅 진행

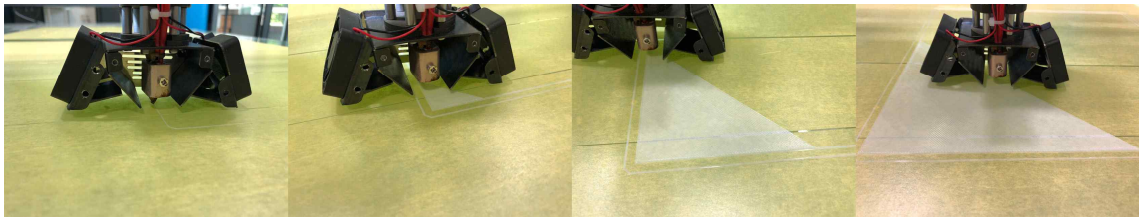


그림 3.2.78 프린팅 진행

(2) G-code생성용 Simplify 프로그램

○ 다음은 대형 3D프린팅을 위해서 제작해야 하는 G-Code생성을 위해서 슬라이서 프로그램 중 Simplify 프로그램으로 제작된 G-code 생성방법에 대한 설명이다.

(가) Extruder

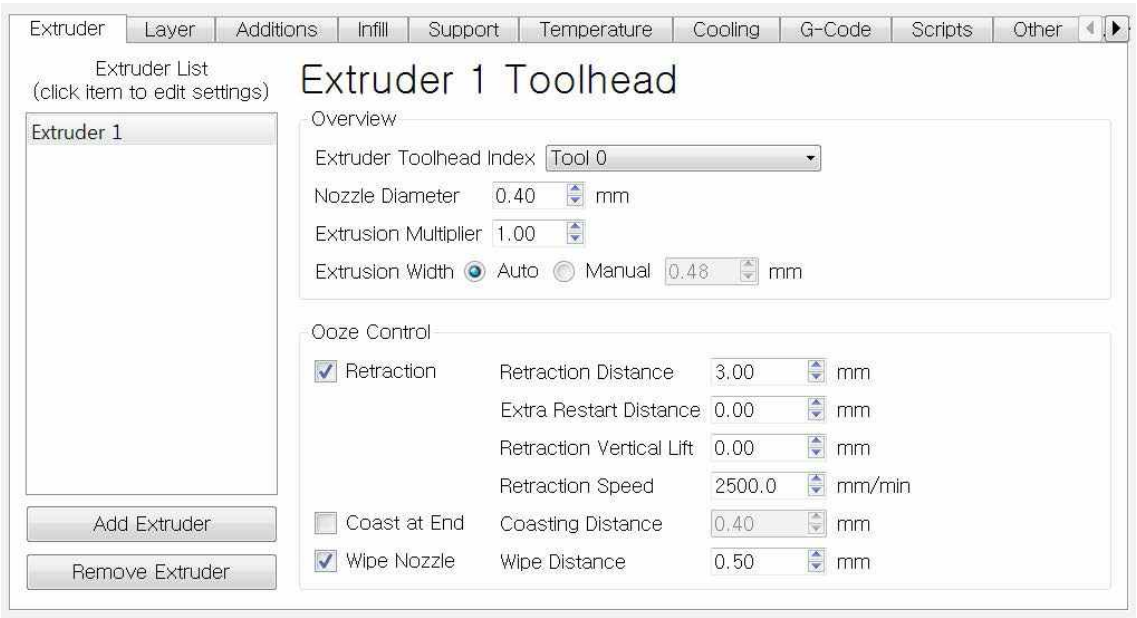


그림 3.2.79 Extruder 설정 창

• **Extrusion Multiplier** : 해당 메뉴에서는 전체적인 출력에 있어 노즐에서 압출되는 필라멘트의 양을 조절. 스커트(Skirt), 라프트(Raft), 서포트(Support), 채우기(Infill) 등 모든 파트의 출력에 적용 되며, 기본 값은 1.0으로 설정되어 있다.

• **Extrusion Width** : 프로그램이 형상을 슬라이싱하는 과정에서 물체의 최소 두께를 인식하는 수치.

• **Retraction Distance** : 리트랙션 기능을 실행할 때 적용되는 거리를 조절하는 메뉴.
* 리트렉션 : 한 레이어를 출력한 후 다음 레이어로 이동할 때, 노즐 끝에서 필라멘트가 새어 나오는 것을 방지하고자 노즐 내부에서 필라멘트를 위로 잡아당기는 기능. 해당 기능을 통해 필라멘트가 새어나와 조그만 방울 형태로 출력물 외부에 나타나는 것을 방지할 수 있다.

• **Extra Restart Distance** : 리트랙션 후 다음 필라멘트 압출을 시작하는 과정에서 노즐은 필라멘트를 잡아당긴 만큼 다시 압출하게 된다. 하지만 Extra Restart Distance를 마이너스 값으로 설정하게 되면 이 거리를 줄일 수 있다.

• Retraction Vertical Lift : 노즐에서 리트랙션을 할 때마다 순간적으로 베드를 아래-위로 움직여 노즐이 다음 출력물로 이동하기 전 기존 출력물에 닿지 않게 하는 기능.

• Coast at End : 한 레이어의 출력이 끝나는 점에 노즐이 도달하기 전, 입력된 수치만큼의 거리부터 필라멘트 압출을 줄인다. 다음 레이어를 출력하기 전 노즐 내부에서 필라멘트가 새어 나오는 것을 방지한다.

• Wipe Nozzle : 와이프 기능은 한 레이어를 출력한 직후 노즐 끝에 남은 필라멘트를 지나온 자리에 다시 흘러나오게 하는 역할을 한다. Coast at End와 같은 목적으로 사용되는 기능이지만, Coast at End는 설정된 구간만큼 필라 멘트가 압출되지 않기 때문에 출력물 외부에 예상치 않은 틈이 생길 수 있다. 반면 Wipe Nozzle은 모든 구간이 100% 채워지기 때문에 보다 완성된 출력물을 기대할 수 있다.

(나) Layer

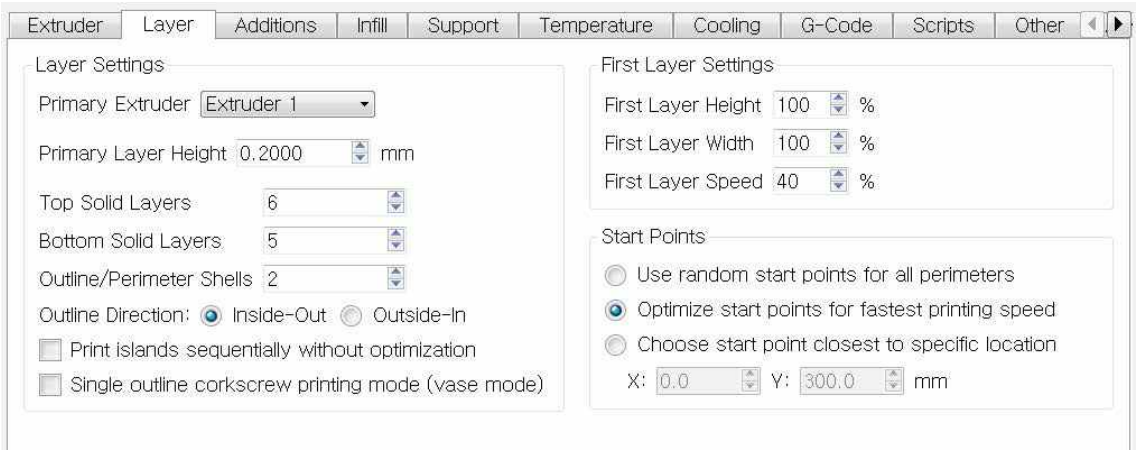


그림 3.2.80 Layer 설정 창

• Primary Extruder : 출력 시 사용하는 노즐.

• Primary Layer Height : 레이어 두께 설정. 값이 작을수록 높은 품질의 출력물이, 값이 높을수록 낮은 품질의 출력물이 완성되지만, 높은 품질의 출력물의 경우 출력 시간이 크게 증가한다.

• Top Solid Layers : 물체의 마지막 윗면은 100% 채우기로 출력된다. 이 때 100%로 출력될 면의 개수를 조정한다.

• Bottom Solid Layers : 물체의 윗면과 마찬가지로 바닥면도 100% 채우기로 출력된다. 100% 채우기로 출력할 레이어의 수를 조정한다.

• Outline/Perimeter Shells : 외벽 두께 설정.

• Outline Direction/Inside-Out : 해당 메뉴에 체크할 경우, 외벽을 그릴 때 안쪽 외벽을 그린 후 바깥쪽 외벽을 그린다. 이는 물체의 형상 중 공중으로 돌출된 파트, 즉 오버행 파트를 출력할 때 유용하다.

• Outline Direction/Outside-In : 외벽을 그릴 때 바깥쪽 외벽을 그린 후 안쪽 외벽을 그린다.

• Print Islands Sequentially without optimization : 각 각 다른 기둥 A, B, C를 같이 출력 할 경우, 한 기둥씩 차례대로 출력이 진행된다.

• First Layer Height : 첫 레이어의 두께를 설정하는 메뉴.

• First Layer Width : 첫 레이어의 압출량을 설정하는 메뉴.

• First Layer Speed : 물체의 첫 레이어를 기본 설정된 출력 속도보다 천천히 출력하기 위한 메뉴.

• Use Random Start Points for all perimeters : 레이어의 출력 시작점을 일정한 지점으로 설정하지 않고 임의로 설정하는 기능.

• Optimize Start points for fastest printing speed : 한 파트의 레이어 출력이 완료된 후 노즐이 다음 파트로 이동할 때, 자동으로 가장 가까운 지점을 찾아 출력을 진행하는 기능.

• Choose start points closest to specific location : 레이어 출력 시 시작점을 특정 위치로 고정시키는 기능.

(다) Additions

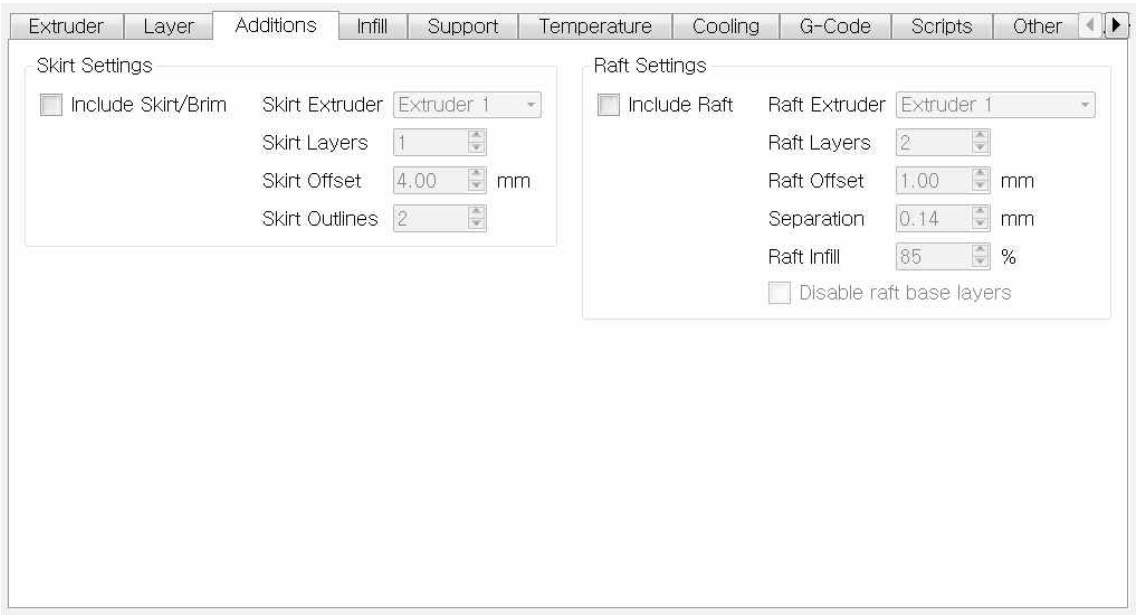


그림 3.2.81 Additions 설정 창

• Skirt : 출력이 시작하기 전에 출력물 주위에 선을 그려, 노즐 안에 남아있거나 주위에 붙어있는 필라멘트를 제거한 후 출력을 시작한다.

• Skirt Layers : 스커트의 높이를 설정하는 메뉴.

• Skirt Offset : 스커트와 물체의 간격을 조정하는 메뉴.

• Skirt Outlines : 스커트를 그릴 때 외벽의 개수를 설정하는 기능.

• Raft : 라프트 기능은 물체의 바닥면과 베드 사이에 임의의 출력물을 출력함으로써 물체가 정상적으로 베드에 안착되는 것을 도와주는 기능.

• Raft Layers : 라프트의 레이어 수를 조절하는 메뉴.

• Raft Offset : 라프트가 출력물 주위 어느 정도의 거리까지 생성될 지 조절하는 메뉴.

• Separation : 출력물 바닥면과 라프트 사이의 거리를 조절하는 기능.

• Raft Infill : : 라프트 마지막 레이어의 채우기 정도.

• Disable Base Layers : 라프트 첫 레이어 출력 시에도 보통 양의 필라멘트를 압출해 출력 완료 후 라프트를 보다 쉽게 베드에서 떼어낼 수 있다.

(라) Infill

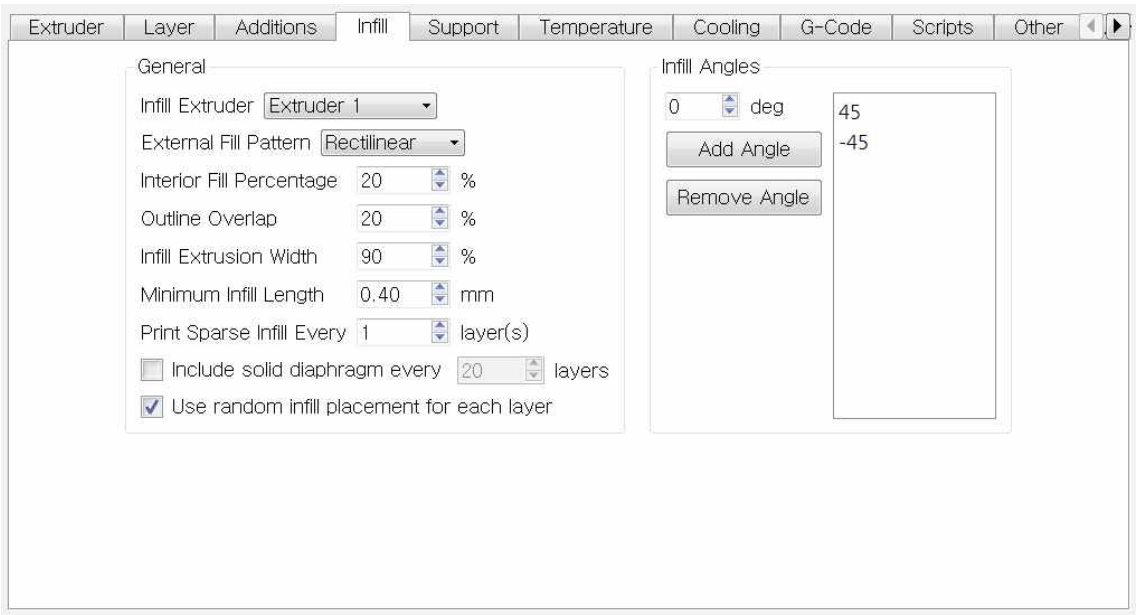


그림 3.2.82 Infill 설정 창

• External Infill Pattern : 물체의 첫 레이어와 마지막 레이어 채우기가 어떤 모양으로 그려질 지 선택하는 메뉴.

• Interior Fill Percentage : 물체의 내부 채우기 정도.

• Outline Overlap : 내부를 채우는 필라멘트가 외벽과 얼마만큼 겹쳐질 지 조정하는 메뉴.

• Infill Extrusion Width : 물체의 내부를 채울 때 압출되는 필라멘트 두께를 조정하는 메뉴.

• Minimum Infill Length : 해당 수치 이상의 공간에만 채우기가 진행.

• Print Sparse Infill Every _ layer(s) : 설정된 숫자만큼의 레이어마다 채우기가 진행.

• Infill Angles : 채우기의 각도를 설정하는 메뉴.

(마) Support

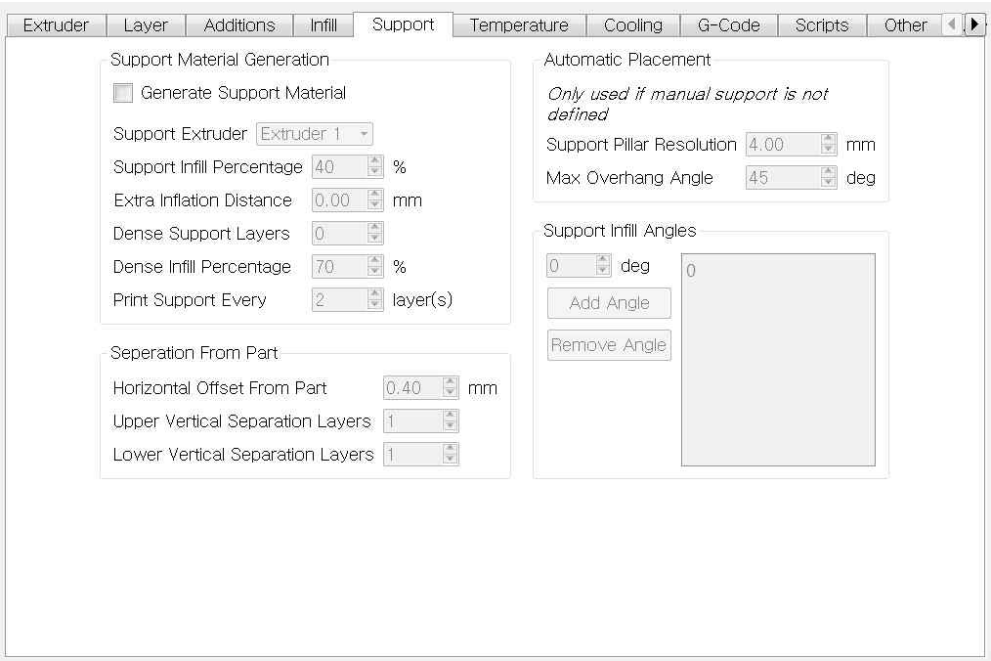


그림 3.2.83 Support 설정 창

• Support Infill Percentage : 서포트의 내부 채우기 정도를 설정하는 메뉴.

• Extra Inflation Distance : 물체의 외벽 바깥으로 추가적인 서포트를 생성하는 기능.

• Dense Support Layers : 서포트가 물체와 직접 닿는 부분의 두 레이어는 기본 설정 보다 더 높은 밀도로 출력된다.

• Dense Infill Percentage : 물체에 닿는 부분의 서포트가 얼마만큼의 채우기로 출력될 지 설정하는 메뉴.

• Print Support Every __ Layers : 몇 레이어마다 서포트를 출력할지 설정하는 메뉴.

• Horizontal Offset From Part : 물체와 서포트가 닿는 공간의 거리를 설정하는 메뉴.

• Support Pillar Resolution : 생성될 서포트의 두께를 설정하는 메뉴.

• Max Overhang Angle : 프로그램이 자동으로 서포트를 생성할 때 기준으로 삼게 되는 각도.

(바) Temperature

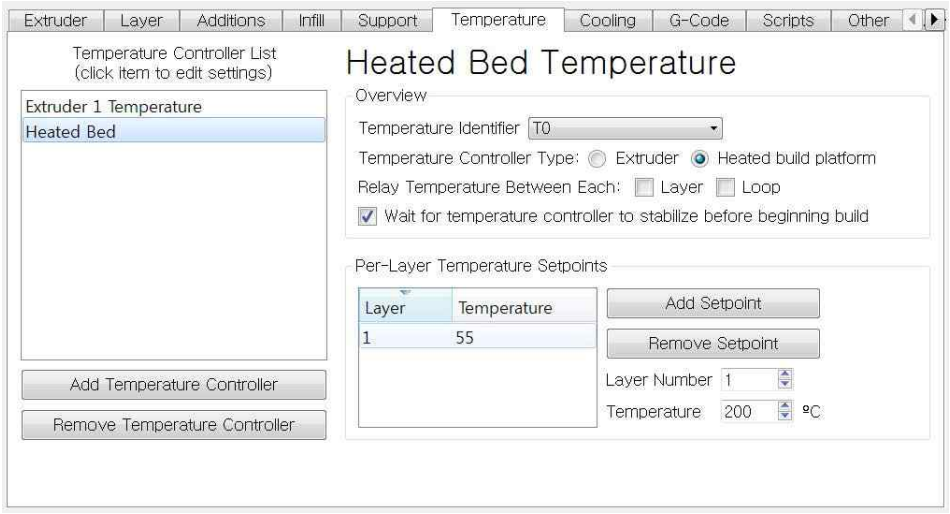


그림 3.2.84 Temperature 설정 창

• **Temperature Controller List** : 노즐과 베드의 온도를 설정하는 메뉴.

• **Per-Layer Temperature Setpoints** : 좌측 Temperature Controller List에서 변경하고자 하는 대상을 선택 후 온도를 설정하는 메뉴.

(사) Cooling

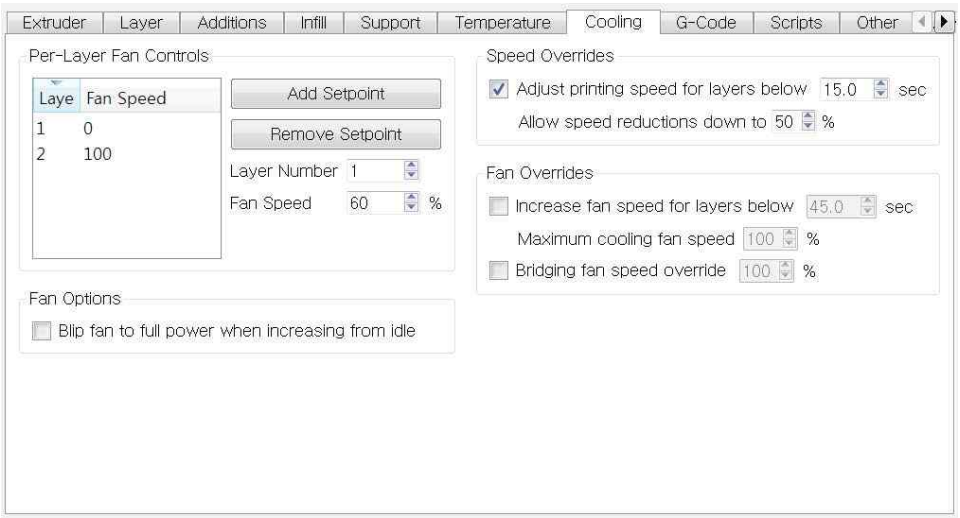


그림 3.2.85 Cooling 설정 창

• **Per-Layer Fan Controls** : 쿨링팬 작동을 조정하는 메뉴

• **Adjust Printing Speed for Layers below ___ Seconds,**
Allow speed reductions to ___ % : 물체의 형태에 따라 출력 속도를 조절하는 기능.

• **Increase fan speed for layers below ___ Seconds,**
Maximum Cooling fan speed ___% : 형태에 따른 출력 속도 조정과 같은 원리로 팬 가동률을 조정하는 기능.

• **Bridging fan speed override** : 브릿지 시 팬 가동률을 조정하는 메뉴.

(아) G-code

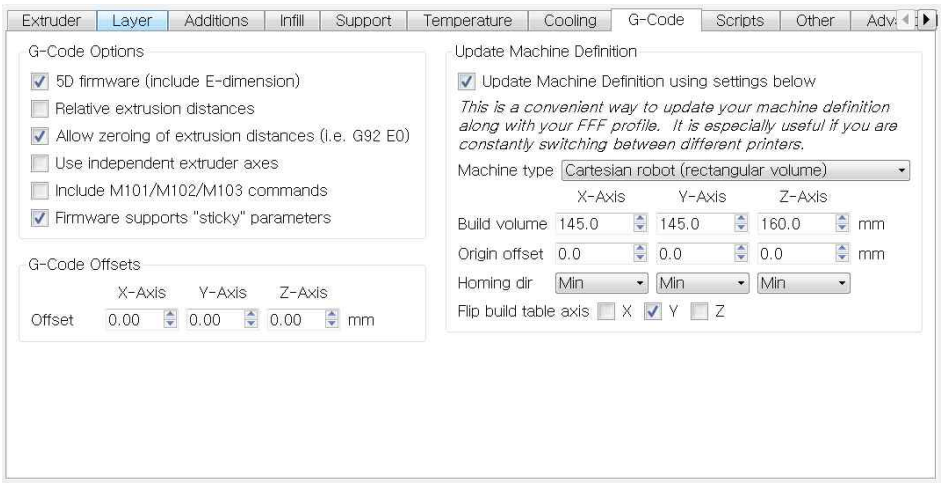


그림 3.2.86 G-Code 설정 창

(자) Scripts

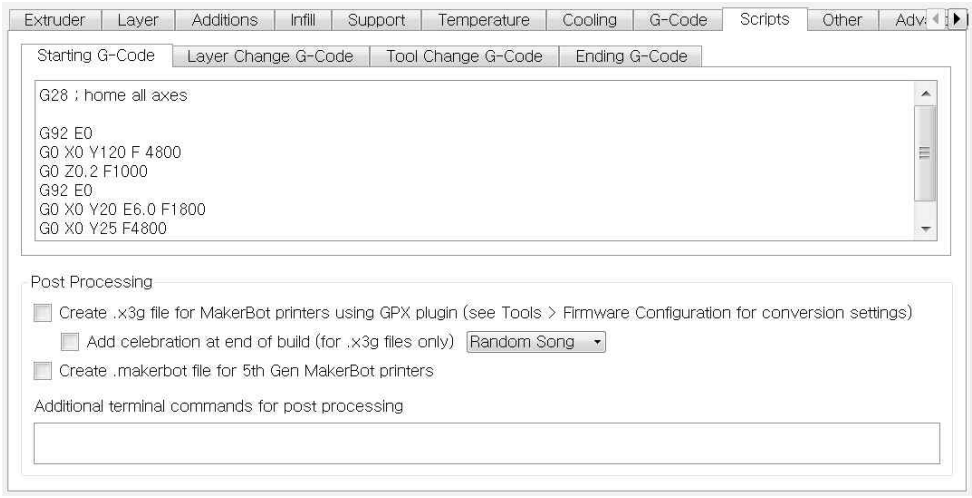


그림 3.2.87 Scripts 설정 창

(차) Other

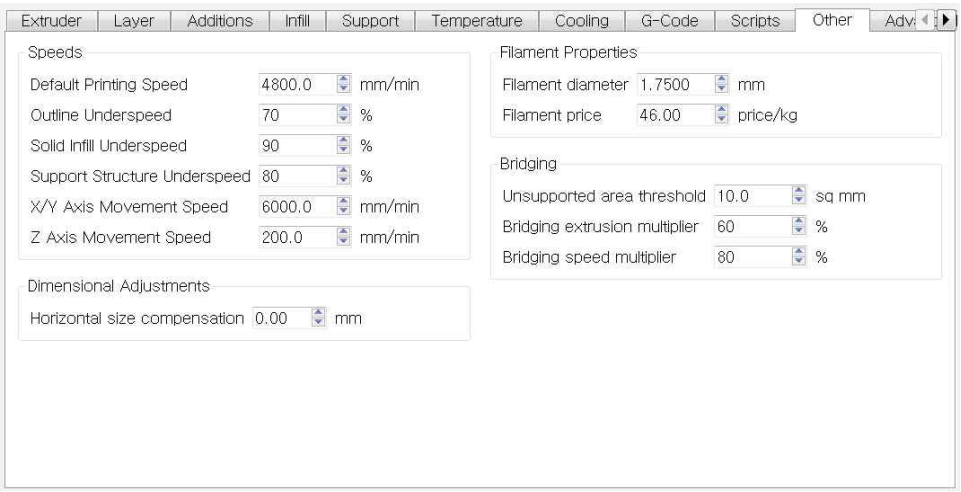


그림 3.2.88 Other 설정 창

• **Default Printing Speed** : 기본 출력 속도로써, 1분당 헤드의 움직임 속도를 의미.

• **Outline Underspeed** : 물체 외벽의 출력 속도를 조정하는 메뉴.

• Solid Infill Underspeed : 물체의 처음 혹은 마지막 레이어처럼 100%로 채워지는 레이어를 기본 속도보다 더 낮은 속도로 출력하기 위한 메뉴.

• Support Structure Underspeed : 서포트 출력 시 적용되는 속도를 조정하는 메뉴.

• X/Y Axis Movement Speed : 필라멘트가 압출되지 않을 때, 즉 헤드가 출력을 하지 않고 다음 파트로 단순히 이동만 하는 경우 헤드의 움직임 속도.

• Z Axis Movement Speed : Z 축 움직임 속도.

• Filament Diameter : 사용하는 필라멘트의 두께를 입력하는 메뉴.

• Filament Price : 사용하는 필라멘트의 가격을 설정하는 메뉴.

• Unsupported area threshold : 브릿지 설정이 적용되는 최소 면적.

• Bridging extrusion multiplier : 브릿지의 경우 압출되는 필라멘트 양을 조정하는 메뉴.

• Bridging Speed multiplier : 브릿지에 적용되는 출력 속도를 조정하는 메뉴.

(카) Advanced

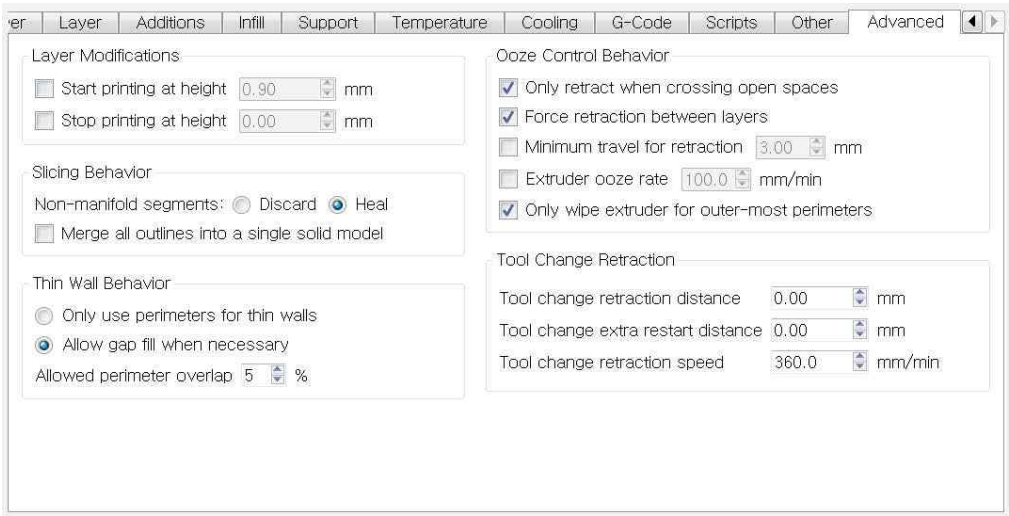


그림 3.2.89 Advanced 설정 창

• Start Printing at Height : 현재 사용하는 설정 값을 출력물의 특정 지점부터 적용하고자 할 때 사용하는 메뉴.

• Stop Printing at Height : 현재 사용하는 설정 값을 출력물의 특정 지점까지 적용하고자 할 때 사용하는 메뉴.

• Non-manifold segments : 물체를 이루는 메쉬(3D 형상을 이루는 촘촘한 그물망 형태)에 오류가 있거나 파일 깨짐 현상이 나타날 때 이를 자동으로 보완하는 기능.

• Merge all outlines into a single solid model : 물체의 외형을 하나의 형태로 인식하는 기능.

• Only use perimeters for thin walls : 얇은 파트의 내부에는 채우기를 진행하지 않게 되고 내부에 조금의 공간이 있을 경우, 채우기 대신 외벽을 내부에 한 번 더 그린다.

• Allow gap fill when necessary : 얇은 파트의 외벽을 그린 후 내부에 얼마만큼의 공간을 설정할지 조정하는 메뉴.

• Only retract when crossing open spaces : 리트랙션이 물체와 물체 사이 같은 빈 공간으로 이동할 때만 적용되게 설정하는 메뉴.

• Force retraction between layers : 한 레이어 출력 후 다음 레이어로 이동할 때 리트랙션을 실행하기 위한 기능.

• Minimum travel for retraction : 리트랙션을 실행하기 위한 최소 거리 설정.

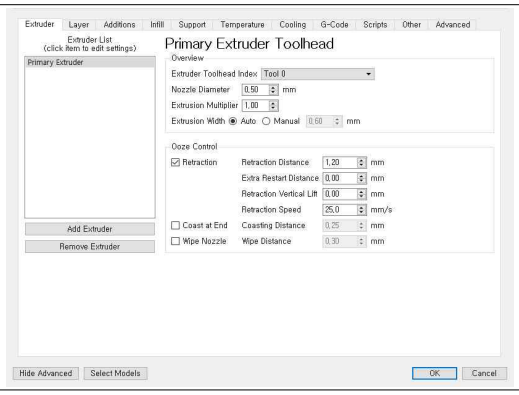
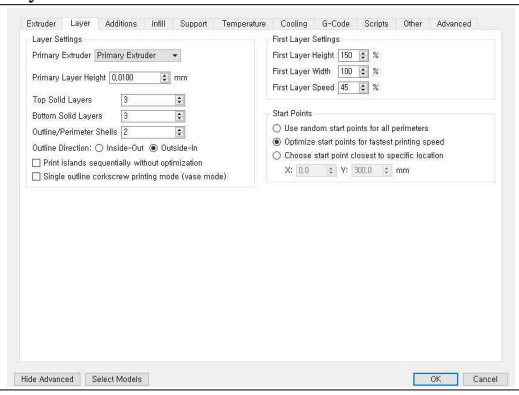
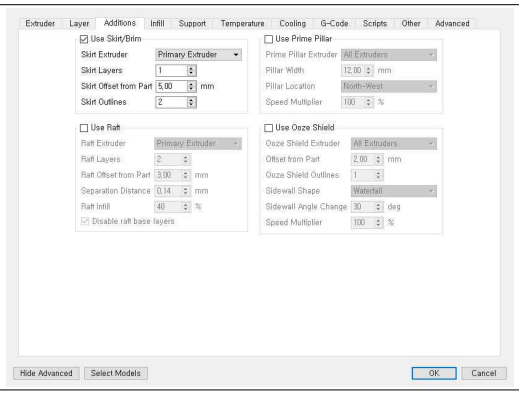
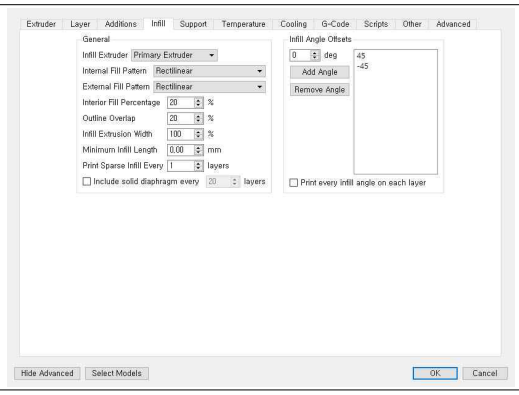
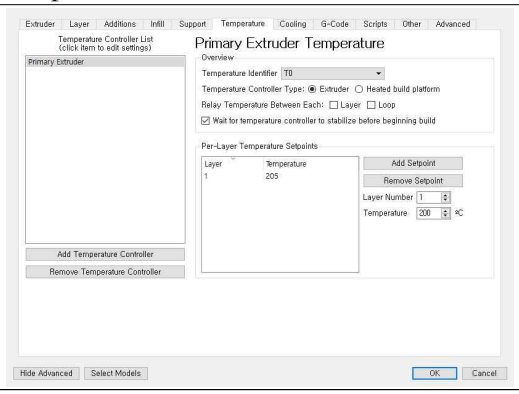
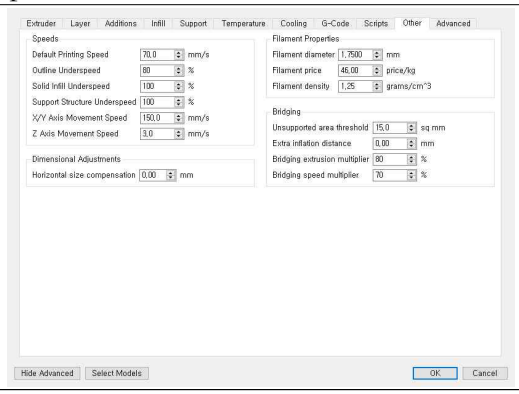
• Extruder ooze rate : 와이프 기능이 작동한 후 노즐에서 흘러나오는 필라멘트 양을 측정하는 기능.

• Only wipe extruder for outer-most perimeters : 와이프 기능을 외벽 출력 시에만 사용하기 위한 메뉴.

(3) Simplify 프로그램 환경 설정

○ 다음과 같은 설정 값으로 데이터 G-Code 변환 후, 프린팅을 진행하였다.

<표 3.2.40> 설정 창 목록

Extruder	Layer
	
Skirt / Brim	**Infill**
	
Temperature	**Speed**
	

- Nozzle Diameter : 0.5mm
- Layer Height : 0.1 / 0.05 / 0.04 / 0.03 / 0.02 / 0.01mm
- Infill : 20%
- Nozzle Temperature : 205℃
- Printing Speed : 70mm/s

(4) 3D프린팅 G-code 생성 예제

(가) 300*300 mm 제작, 레이어 적층 정밀도 0.1mm

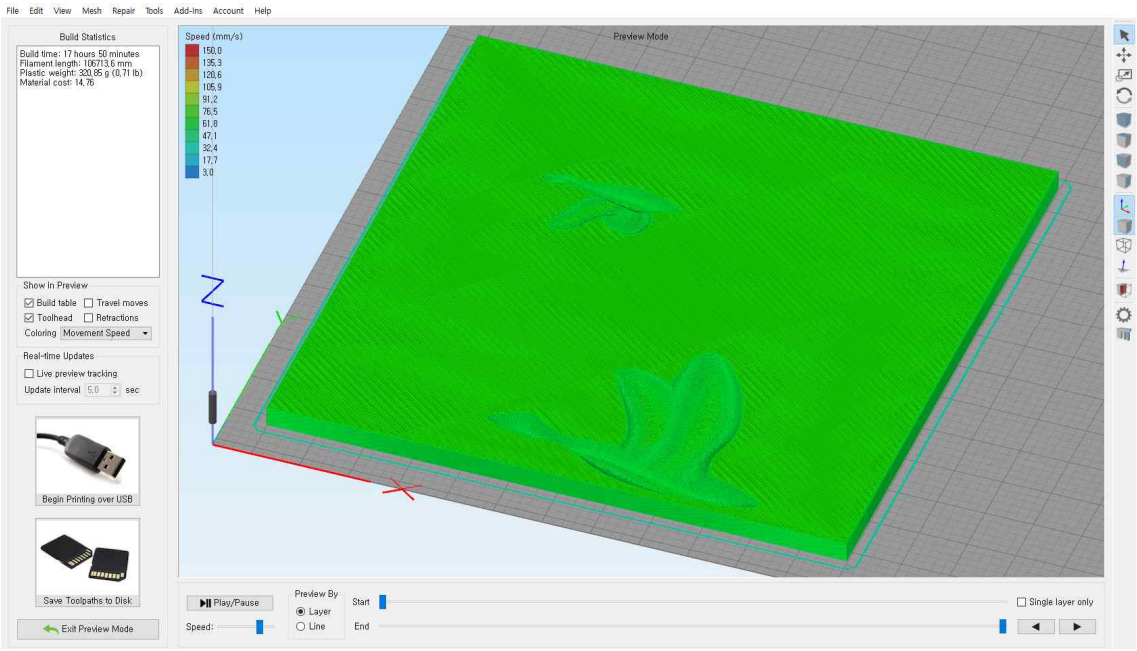


그림 3.2.90 슬라이싱 프로그램에 300*300mm 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.41> 300*300mm 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
17h 50m	0.5mm	0.1mm	20%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 300*300mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.1mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 30센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.1mm 그리고 내부 채움의 정도를 20% 그리고 재료가 PLA라서 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 17시간으로 나타났다.

(나) 600*1200mm Relief 제작, 레이어 적층 정밀도 0.1mm

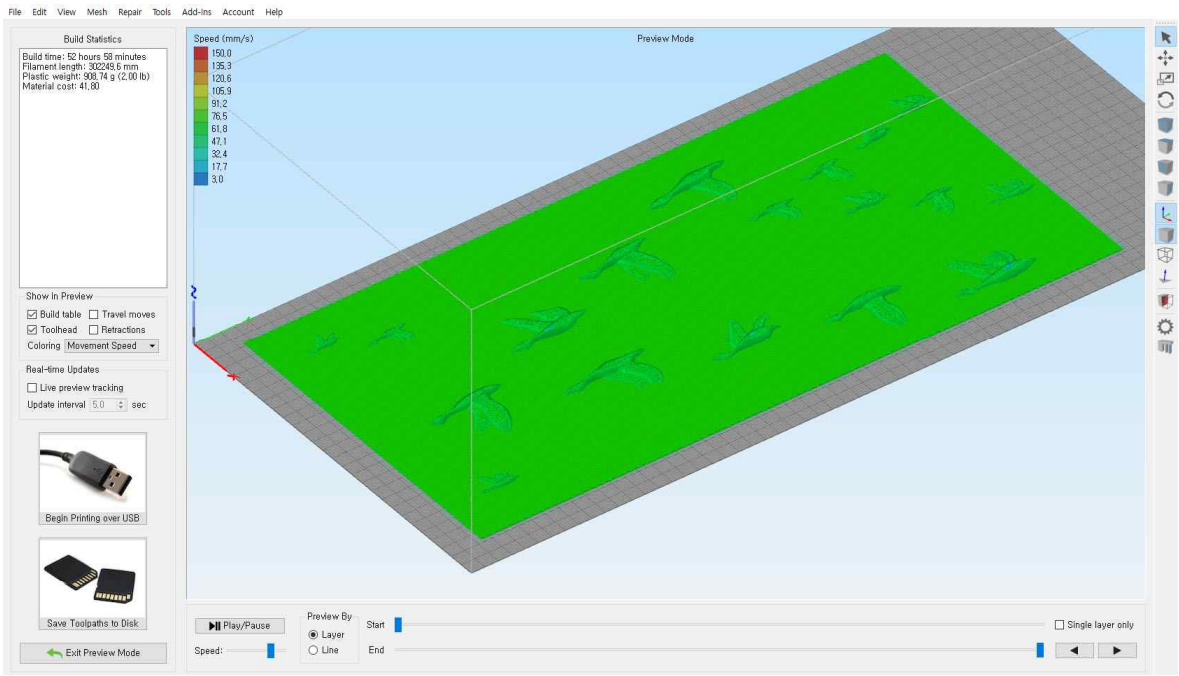


그림 3.2.91 슬라이싱 프로그램에 600*1200mm 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.42> 600*1200mm 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
52h 58m	0.5mm	0.1mm	20%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 600*1200mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.1mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 60센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.1mm 그리고 내부 채움의 정도를 20% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 52시간으로 나타났다.

(다) 600*1200mm Relief 제작, 레이어 적층 정밀도 0.1mm

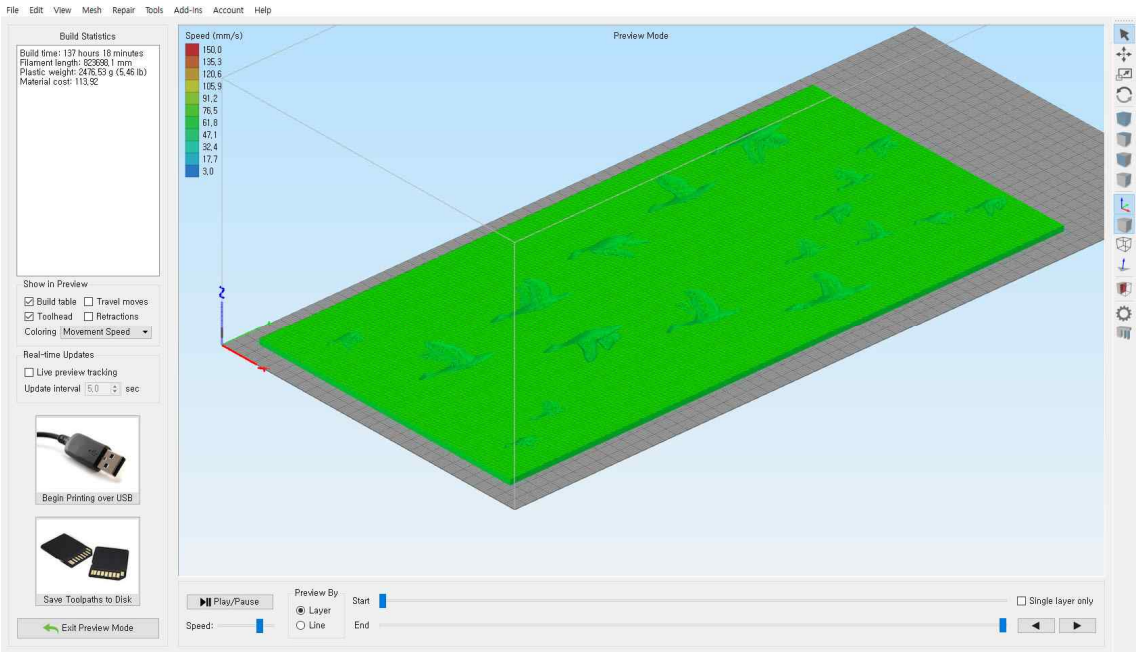


그림 3.2.92 슬라이싱 프로그램에 600*1200mm Relief 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.43> 600*1200mm Relief 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
137h 18m	0.5mm	0.1mm	20%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 600*1200mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.1mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 60센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.1mm 그리고 내부 채움의 정도를 20% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 137시간으로 나타났다.

(라) 160*45mm 제작, 레이어 적층 정밀도 0.1mm

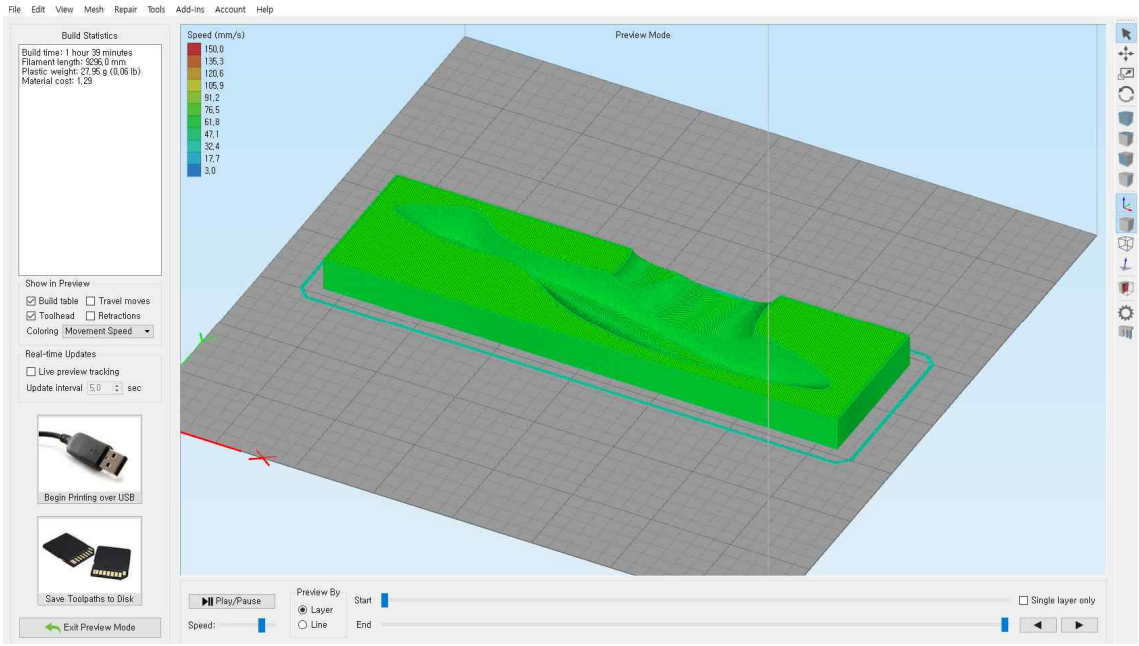


그림 3.2.93 슬라이싱 프로그램에 160*45mm 0.1mm 적층 정밀도 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.44> 160*45 0.1mm 적층 정밀도 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
1h 39m	0.5mm	0.1mm	20%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 160*45mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.1mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 16센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.1mm 그리고 내부 채움의 정도를 20% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 1시간으로 나타났다.

(마) 160*45mm 제작, 레이어 적층 정밀도 0.05mm

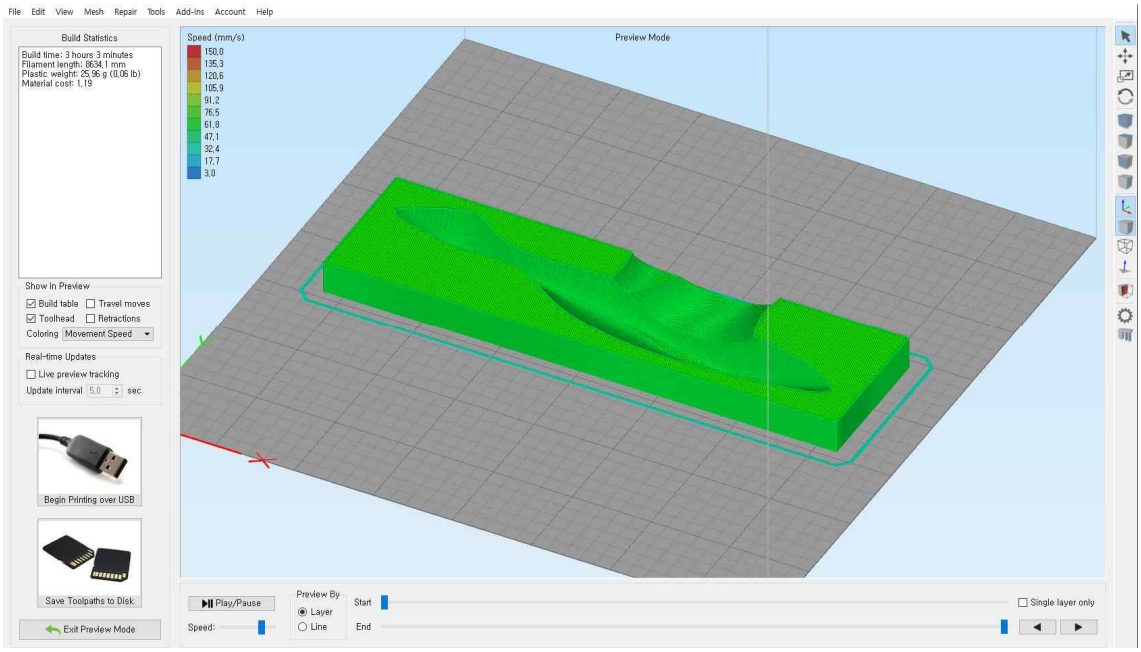


그림 3.2.94 슬라이싱 프로그램에 160*45mm 0.05mm 적층 정밀도 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.45> 160*45mm 0.05mm 적층 정밀도 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
3h 3m	0.5mm	0.05mm	20%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 160*45mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.05mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 16센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.05mm 그리고 내부 채움의 정도를 20% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 3시간으로 나타났다.

(바) 160*45mm 제작, 레이어 적층 정밀도 0.04mm

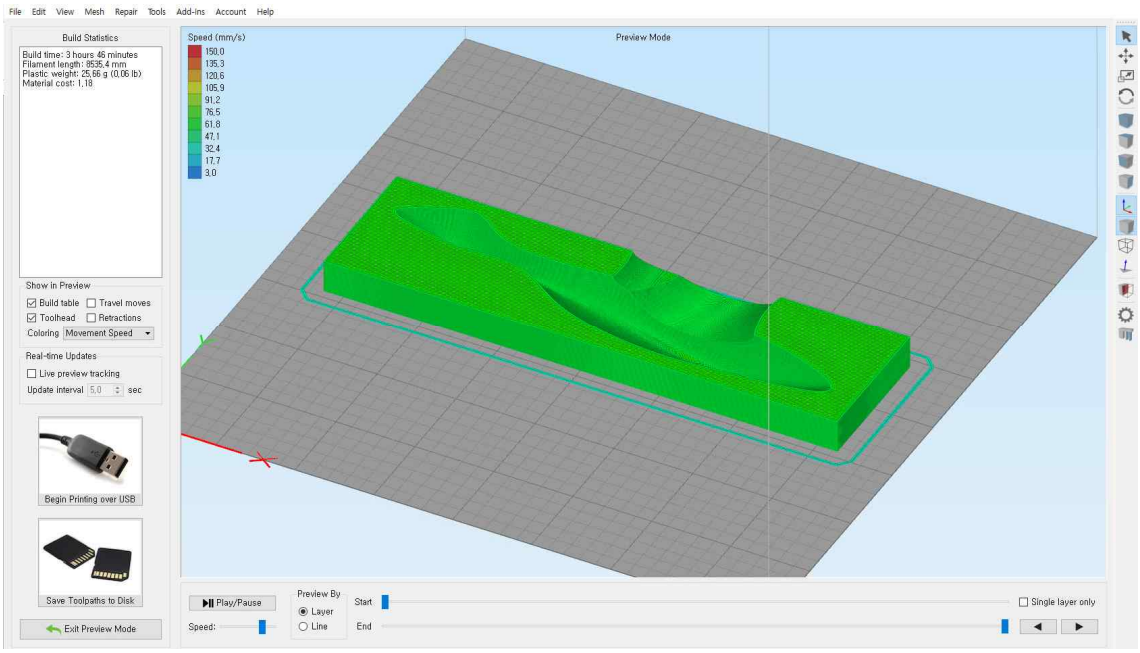


그림 3.2.95 슬라이싱 프로그램에 160*45mm 0.04mm 적층 정밀도 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.46> 160*45mm 0.04mm 적층 정밀도 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
3h 46m	0.5mm	0.04mm	20%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 160*45mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.04mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 16센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.04mm 그리고 내부 채움의 정도를 20% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 3시간으로 나타났다.

(사) 160*45mm 제작, 레이어 적층 정밀도 0.03mm

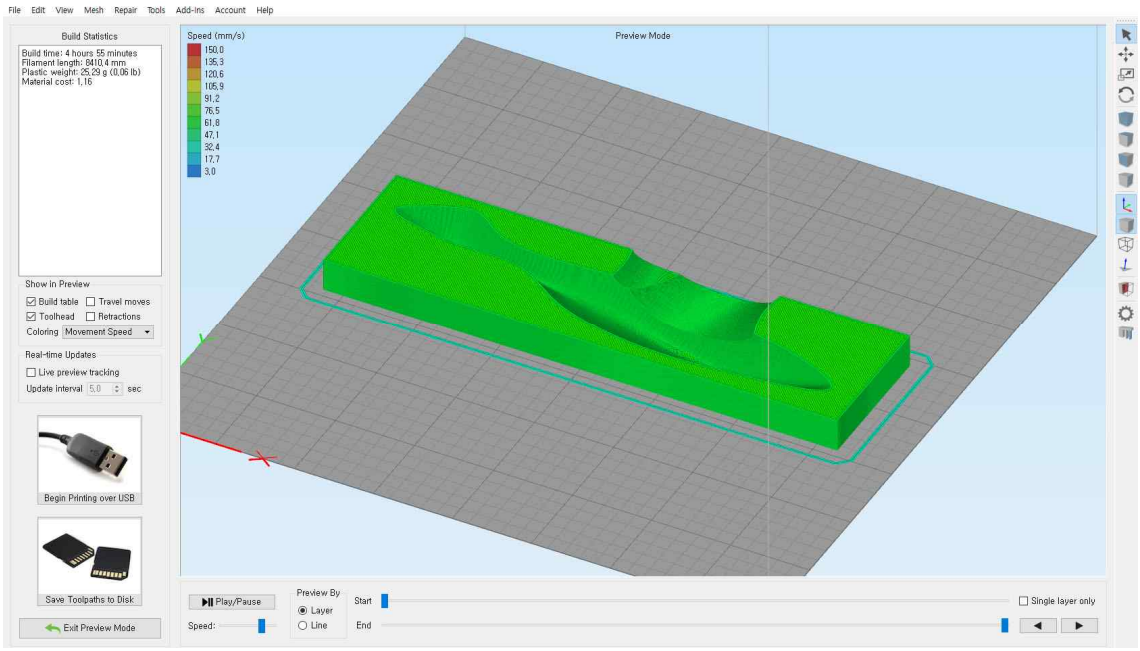


그림 3.2.96 슬라이싱 프로그램에 160*45mm 0.03mm 적층 정밀도 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.47> 160*45mm 0.03mm 적층 정밀도 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
4h 55m	0.5mm	0.03mm	20%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 160*45mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.03mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 16센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.03mm 그리고 내부 채움의 정도를 20% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 4시간으로 나타났다.

(아) 160*45mm 제작, 레이어 적층 정밀도 0.02mm

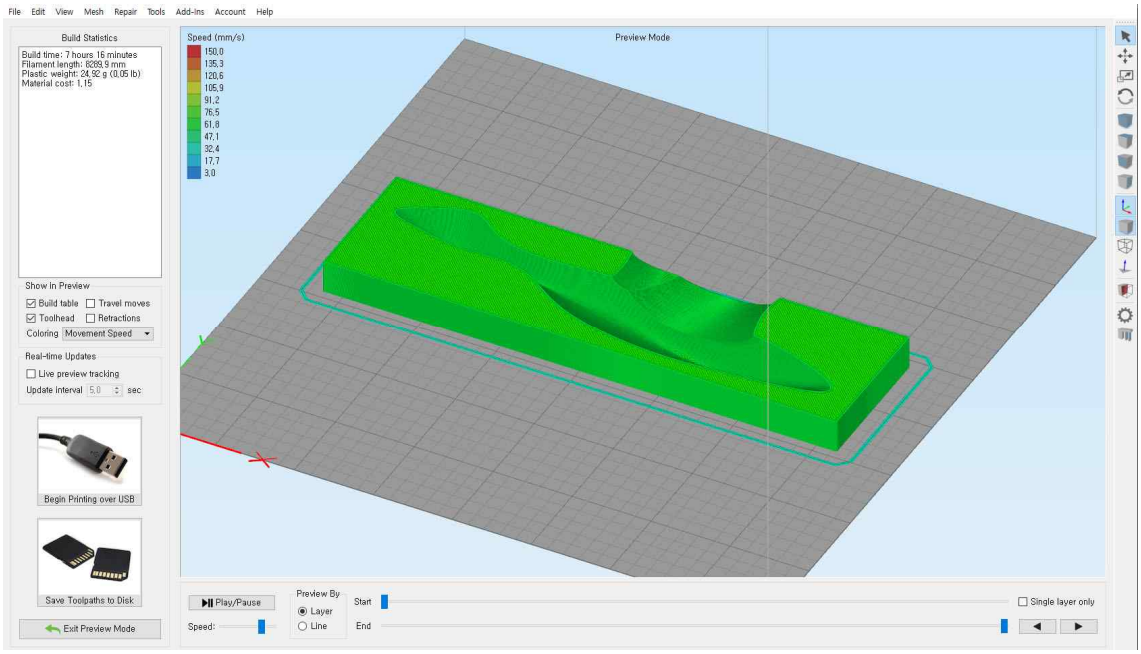


그림 3.2.97 슬라이싱 프로그램에 160*45mm 0.02mm 적층 정밀도 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.48> 160*45mm 0.02mm 적층 정밀도 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
7h 16m	0.5mm	0.02mm	20%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 160*45mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.02mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 16센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.02mm 그리고 내부 채움의 정도를 20% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 7시간으로 나타났다.

(자) 160*45mm 제작, 레이어 적층 정밀도 0.01mm

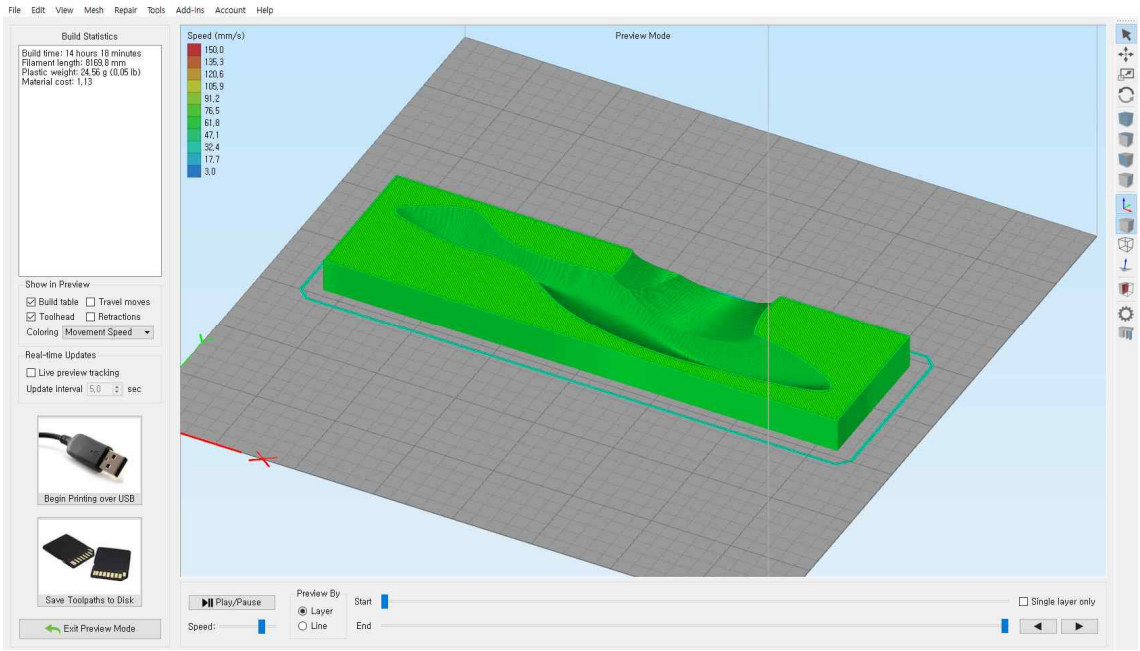


그림 3.2.97 슬라이싱 프로그램에 160*45mm 0.01mm 적층 정밀도 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.49> 160*45mm 0.01mm 적층 정밀도 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
14h 18m	0.5mm	0.01mm	20%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 160*45mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.01mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 16센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.01mm 그리고 내부 채움의 정도를 20% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 14시간으로 나타났다.

(차) 200*200*300mm 제작, 레이어 적층 정밀도 0.1mm

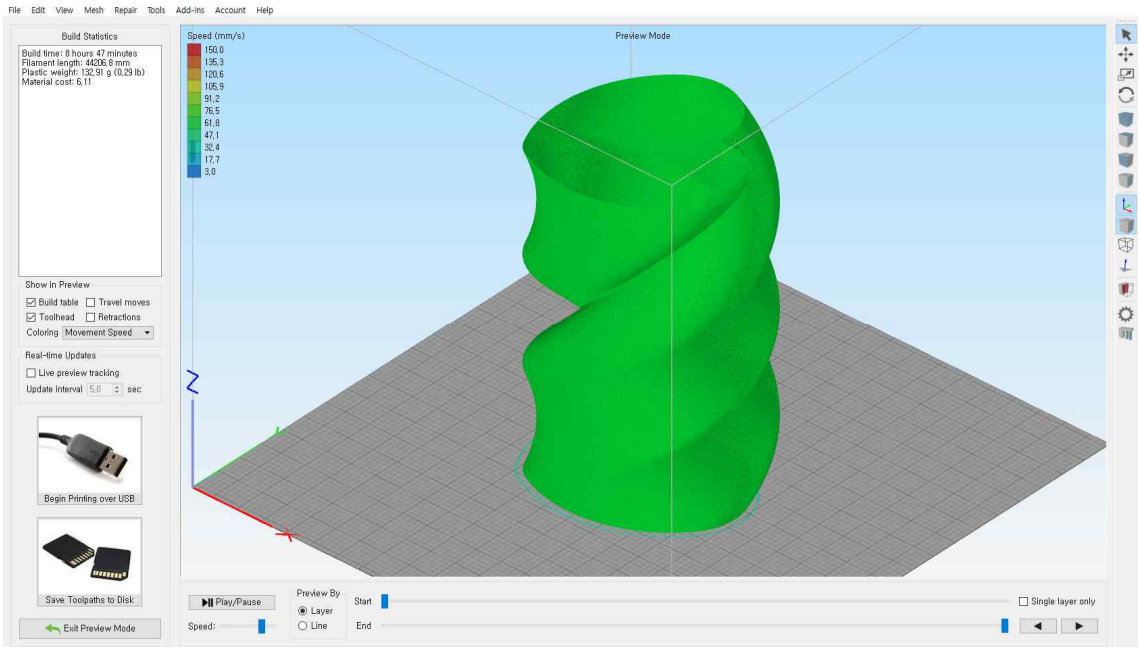


그림 3.2.98 슬라이싱 프로그램에 200*200*300mm 0.1mm 적층 정밀도 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.50> 200*200*300mm 0.1mm 적층 정밀도 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
8h 47m	0.5mm	0.1mm	0%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 200*200*300mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.1mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 높이 300센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.1mm 그리고 내부 채움의 정도를 0% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 8시간으로 나타났다.

(카) 200*200*300mm 제작, 레이어 적층 정밀도 0.05mm

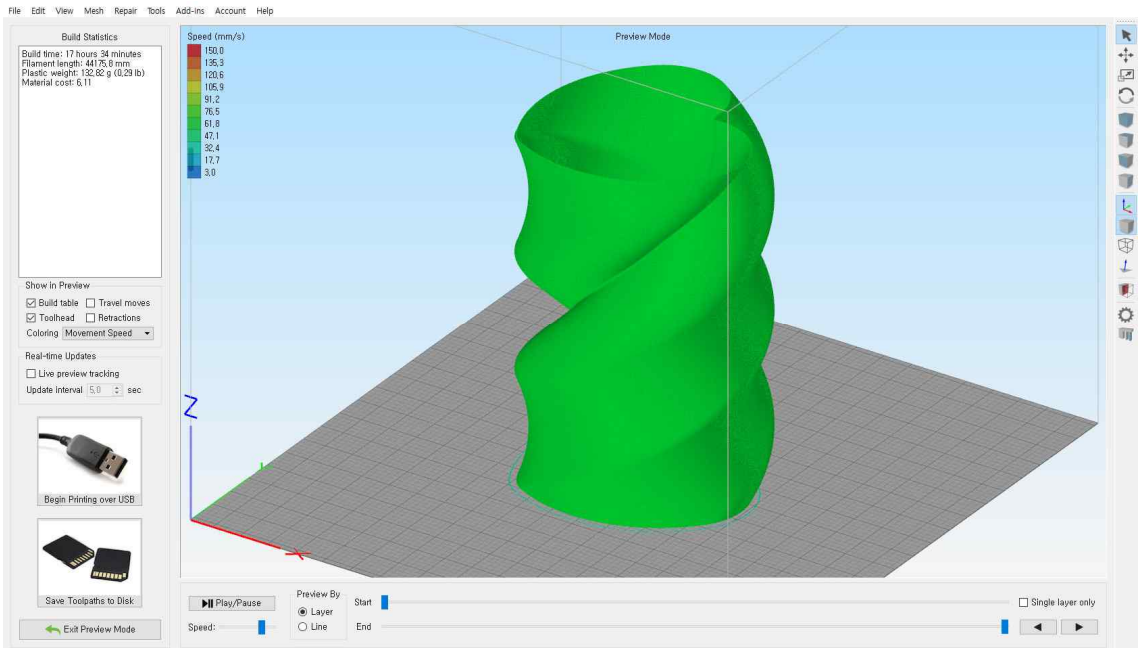


그림 3.2.99 슬라이싱 프로그램에 200*200*300mm 0.05mm 적층 정밀도 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.51> 200*200*300mm 0.05mm 적층 정밀도 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
17h 34m	0.5mm	0.05mm	0%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 200*200*300mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.05mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 높이 300센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.05mm 그리고 내부 채움의 정도를 0% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 17시간으로 나타났다.

(타) 200*200*300mm 제작, 레이어 적층 정밀도 0.04mm

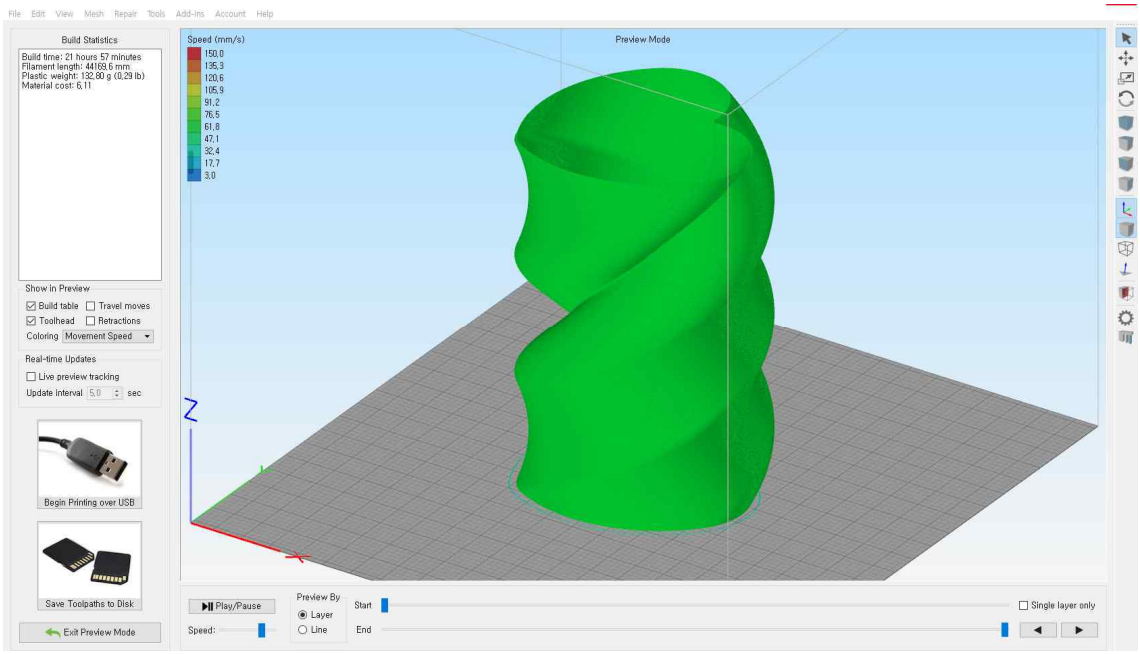


그림 3.2.100 슬라이싱 프로그램에 200*200*300mm 0.04mm 적층 정밀도 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.52> 200*200*300mm 0.04mm 적층 정밀도 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
21h 57m	0.5mm	0.04mm	0%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 200*200*300mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.04mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 높이 300센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.04mm 그리고 내부 채움의 정도를 0% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 21시간으로 나타났다.

(파) 200*200*300mm 제작, 레이어 적층 정밀도 0.03mm

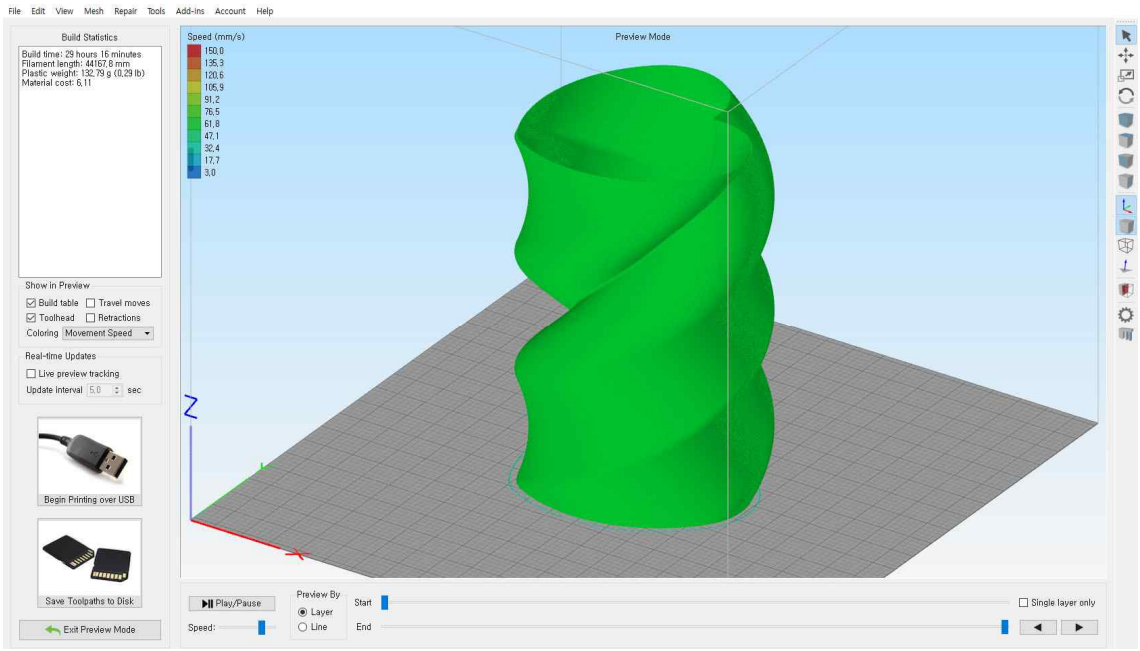


그림 3.2.101 슬라이싱 프로그램에 200*200*300mm 0.03mm 적층 정밀도 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.51> 200*200*300mm 0.03mm 적층 정밀도 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
29h 16m	0.5mm	0.03mm	0%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 200*200*300mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.03mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 높이 300센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.03mm 그리고 내부 채움의 정도를 0% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 29시간으로 나타났다.

(하) 200*200*300mm 제작, 레이어 적층 정밀도 0.02mm

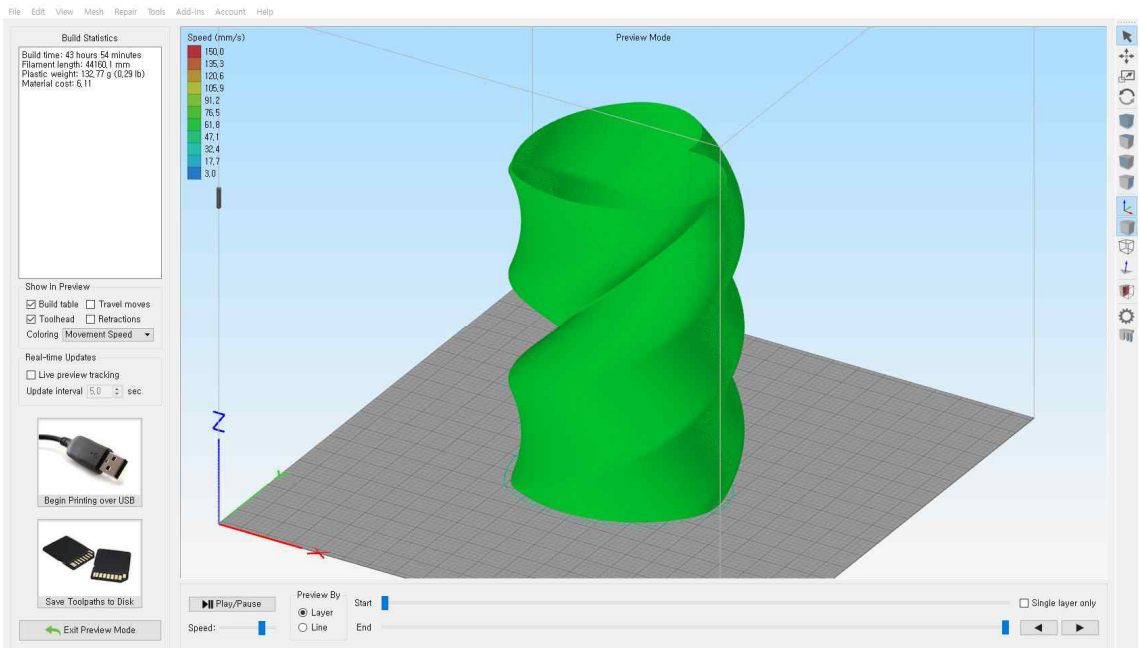


그림 3.2.102 슬라이싱 프로그램에 200*200*300mm 0.02mm 적층 정밀도 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.52> 200*200*300mm 0.02mm 적층 정밀도 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
43h 54m	0.5mm	0.02mm	0%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 200*200*300mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.02mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 높이 300센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.02mm 그리고 내부 채움의 정도를 0% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 43시간으로 나타났다.

(거) 200*200*300mm 제작, 레이어 적층 정밀도 0.01mm

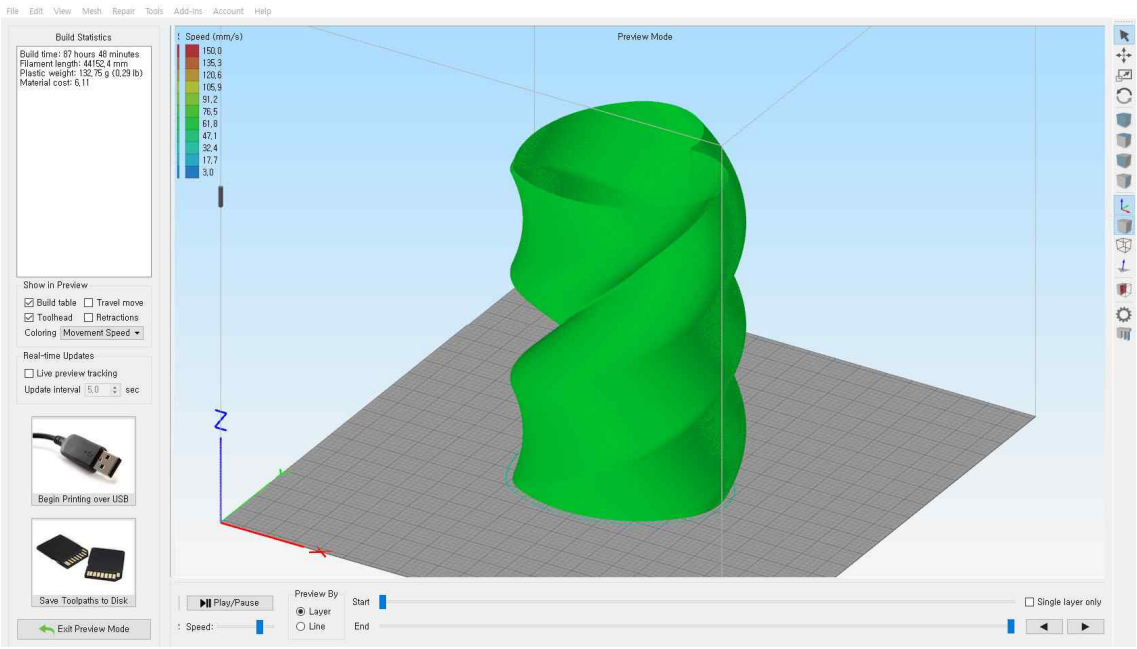


그림 3.2.103 슬라이싱 프로그램에 200*200*300mm 0.01mm 적층 정밀도 제작 파일을 불러오기

<표 3.2.53> 200*200*300mm 0.01mm 적층 정밀도 슬라이싱 프로그램 상의 세팅 값

Build Time	Nozzle Diameter	Layer Height	Infill	Nozzle Temperature	Printing Speed
87h 48m	0.5mm	0.01mm	0%	205℃	70mm/s

○ 상단 그림은 200*200*300mm의 샘플제작을 위한 데이터이다. 레이어 적층 정밀도 0.01mm를 설정하는 화면으로 현재 연구 개발된 장비의 노즐의 지름은 0.5 미리로 설정되어 있다. 높이 300센티의 모델을 불러들여서 노즐 0.5mm와 레이어 높이는 0.01mm 그리고 내부 채움의 정도를 0% 그리고 재료는 PLA로 현재 노즐의 온도는 205℃를 주어서 프린팅을 시행하였다. 전체 시뮬레이션 되는 상황은 87시간으로 나타났다.

아. 20㎛ 3D Printing Slice Setting

(1) 20마이크론 슬라이서 설정을 위해서 Simplify3d를 사용하여 다음과 같이 설정을 하였다.

(가) 폼라이너 모델 불러오기

- 다음 그림처럼 모델에서 Import를 설정하고 제작된 폼라이너 데이터를 선택하고 모델을 불러왔다.

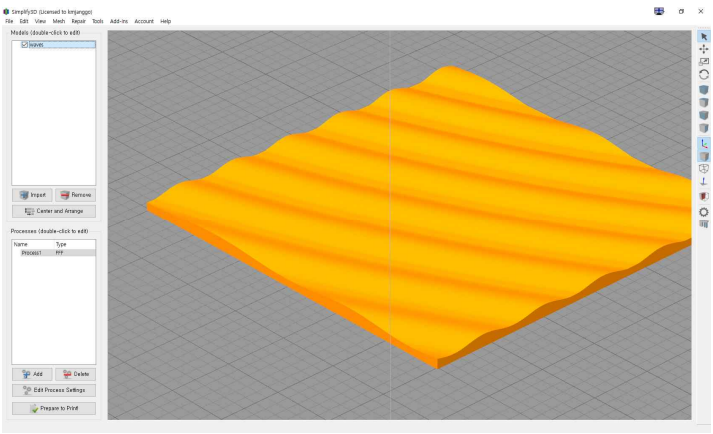


그림 3.2.104 모델링 분리 과정

(나) Edit Process Settings을 선택

○ Extruder Setting

- Extruder화면 설정으로 전체 노들의 경우 0.7mm의 노즐을 설정하였으며 Retraction 설정에서 1.2정도를 설정하였다. 아래 사진은 프로그램 상에서 확인할 수 있는 설정창 Extruder Setting 창이다.

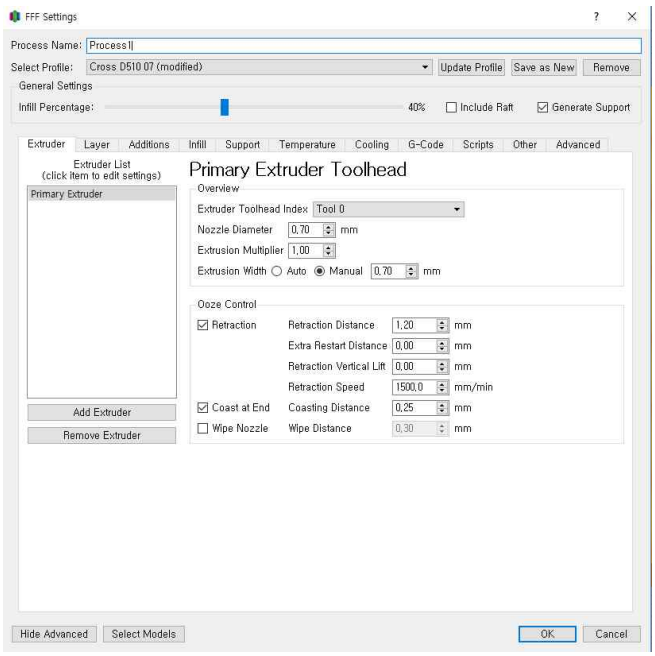


그림 3.2.105 FFF Setting

○ Layer 설정

- 현재 3D프린팅 설정하고자 하는 Layer의 두께는 0.02 미리로 20마이크론에 해당하므로 0.02를 입력하고 상단(Top Solid layer)은 3, 하단 (Buttom Solid Layer)은 2, 전체적인 물체의 두께 (Outline/Perimeter Shells) 4를 설정하였다. 아래의 사진은 프로그램 설청 창 내의 Layer 설정 창이다.

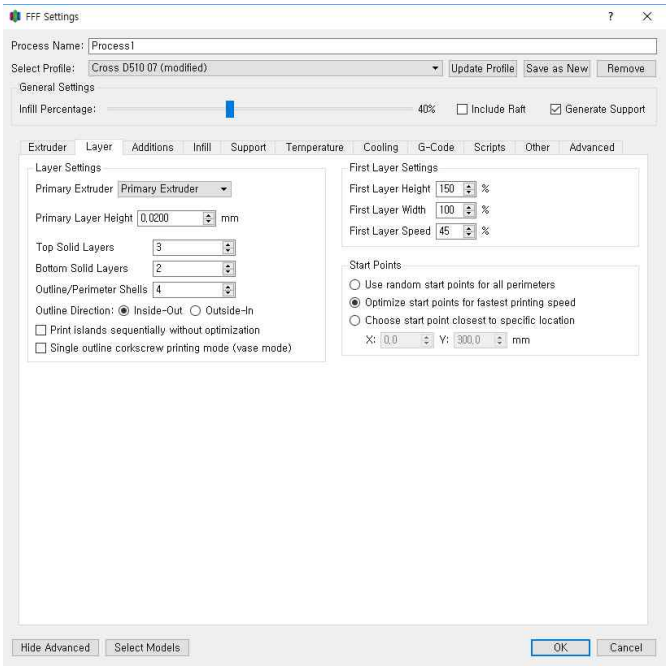


그림 3.2.106 Layer Setting

◯ Infill 설정

- 인필이란 솔리드 오브젝트에 내부채움의 정도를 의미하는 것으로 현재 40%정도로 설정하였으며 Full Honeycomb을 설정하였다. 아래의 사진과 같이 다양한 형태의 인필을 직접 설정하여 내부 골밀도를 조절할 수 있다. 밑에서 첫 번째 사진은 프로그램 설정 창의 Infill 설정 창이다.

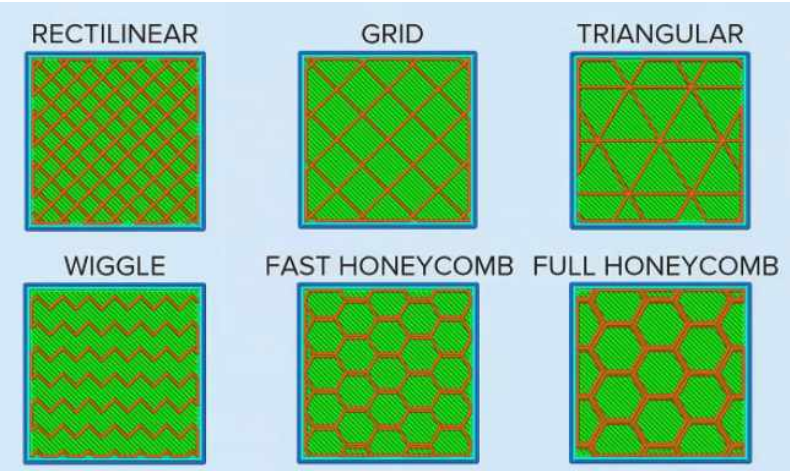


그림 3.2.107 Full Honeycomb Style

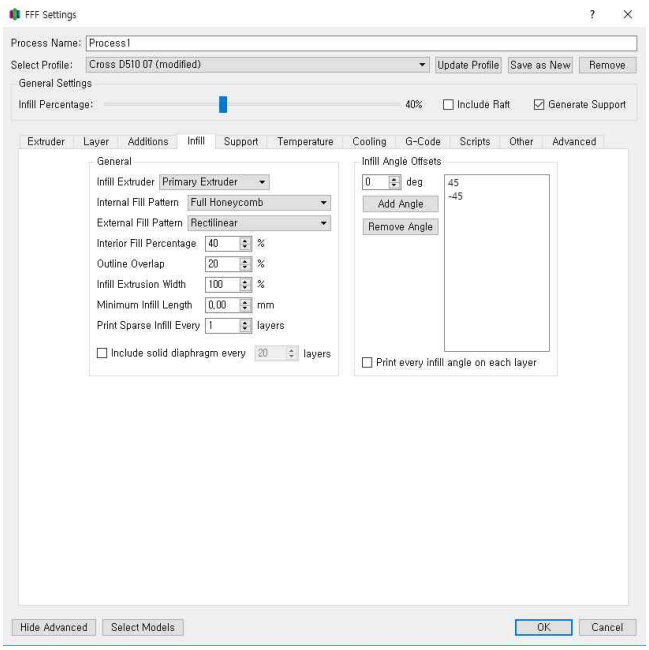


그림 3.2.108 Infull Setting

○ Support Setting

- 서포트의 설정은 물체의 형상에 따라서 물체를 지지하는 구조로서 상당히 중요한 역할을 하게된다. 현재는 큰 의미가 없는 물체의 현상을 가졌지만 Support를 만드는 것을 기본을 설정하였다. 아래의 사진은 프로그램 설청 창 내의 Support Setting 창이다.

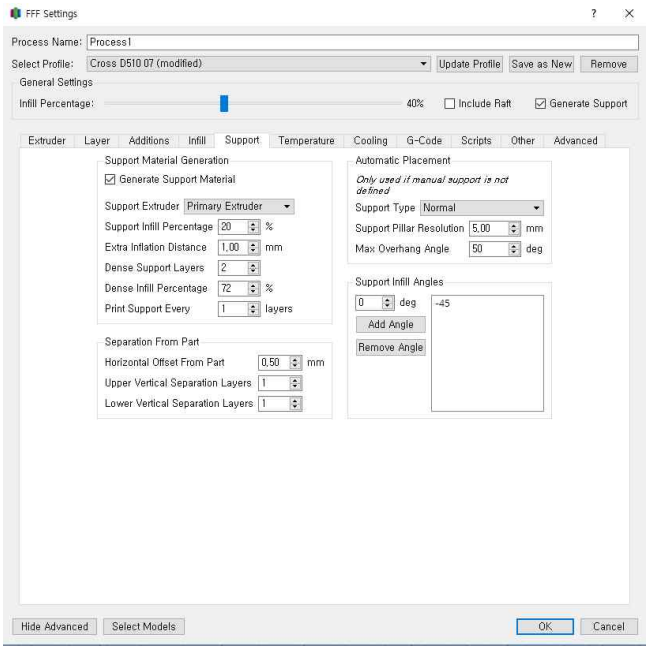


그림 3.2.109 Support Setting

○ Temperature

- 온도설정으로는 재료의 종류와 주변환경의 상온도에 따라서 다음과 같이 상당히 큰 변수가 된다. 이를 일반적으로는 다음과 같이 설정하는데 본 실험에서는 PLA를 사용하여 235도를 설정하였다. 아래의 사진은 프로그램 설정 창 내의 Temperature 설정 창이다.

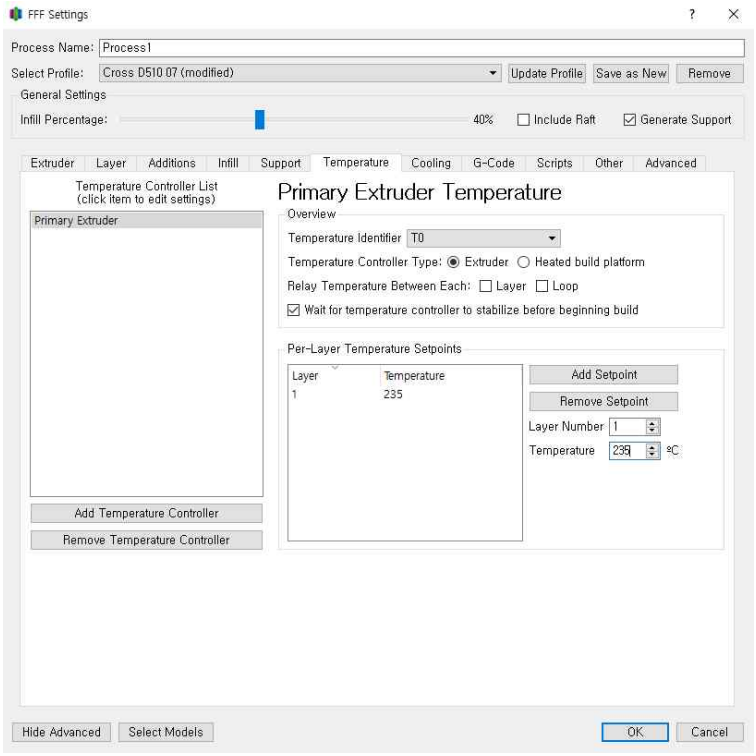


그림 3.2.110 Temperature Setting

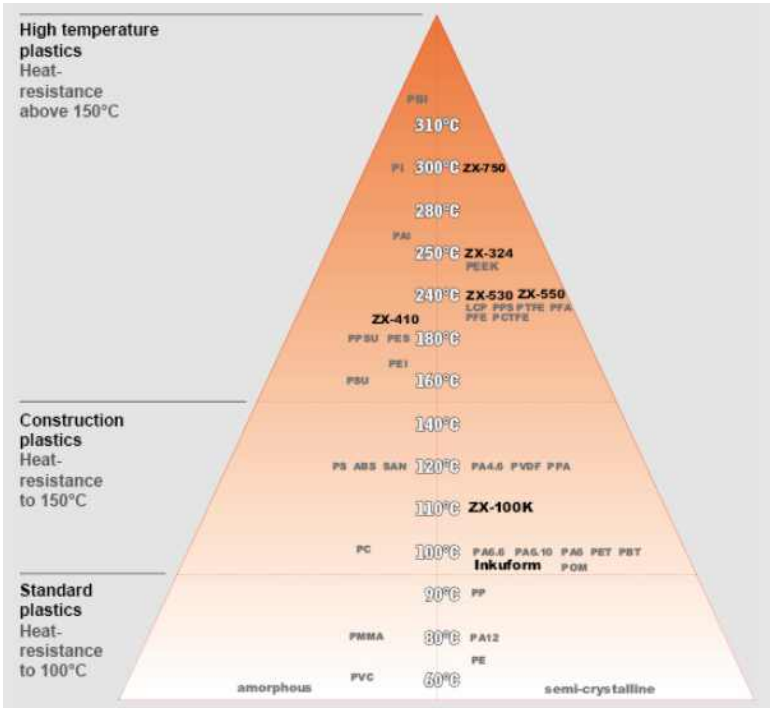


그림 3.2.111 Plastic 제품의 전체적인 용융점 분포

- 위 사진에서는 플라스틱 제품의 전체적인 용융점 분포를 확인 할 수 있으며, 아래의 표에서 다양한 재료별 프린팅 온도, 재료의 두께, 프린팅 조절 오차범위, 색상 개수, 필라멘트 무게 등 다양한 재료의 특성을 확인할 수 있다.

<표 3.2.54> 재질 종류 별 프로파일 (1)

Item	ABS	PLA	HIPS	PA/Nylon	PC
Printing Temperature (℃)	230-240	220-230	220-240	230-270	240-260
Diameter	1.75mm 3.00mm	1.75mm 3.00mm	1.75mm 3.00mm	1.75mm 3.00mm	1.75mm 3.00mm
Diameter Tolerance	± 0.05mm	± 0.05mm	± 0.05mm	± 0.05mm	± 0.05mm
Color	15	20	2	3	3
Net weight	1kg	1kg	1kg	1kg	1kg

<표 3.2.55> 재질 종류 별 프로파일 (2)

Item	POM	TPE/TPU	PETG/PET	WOOD	PVA
Printing Temperature (℃)	230-270	220-240	240-260	220-260	160-180
Diameter	1.75mm 3.00mm	1.75mm 3.00mm	1.75mm 3.00mm	1.75mm 3.00mm	1.75mm 3.00mm
Diameter Tolerance	± 0.05mm	± 0.05mm	± 0.05mm	± 0.05mm	± 0.05mm
Color	1	3	1	1	1
Net weight	1kg	0.5kg	1kg	1kg	0.5kg

(다) Prepare Printing

○ 3D 프린팅을 위한 준비버튼을 선택하면 다음과 같은 1번째 레이어 모습을 확인할 수 있다. 또한 하단의 시작과 끝부분의 슬라이더를 움직이면 전체적인 공정의 슬라이싱 화면을 시뮬레이션을 통해서 볼 수 있으며 큰 문제가 없으면 G Code를 생성하고 SD카드에 데이터를 저장 후 장비에서 출력을 한다. 아래 이미지는 20마이크론 레이어 정밀도 시뮬레이션 장면이며, 아래 그림에서는 중간부분의 내부 레이어 솔리드 패턴까지 확인이 가능하다.

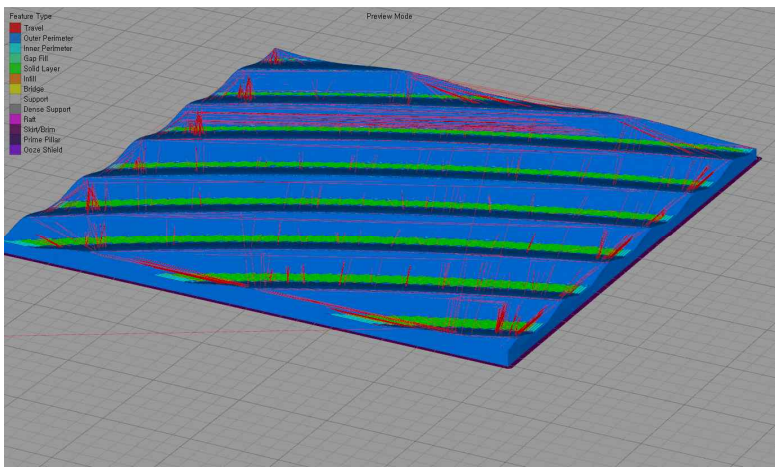


그림 3.2.111 전체 20마이크론 레이어 정밀도 시뮬레이션 모습

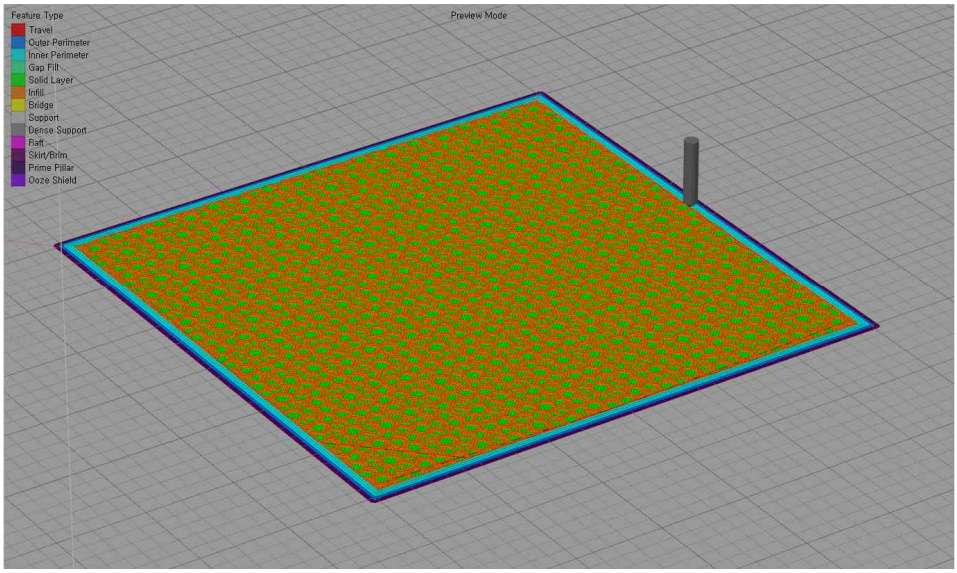


그림 3.2.112 중간부분의 레이어 솔리드 패턴 확인

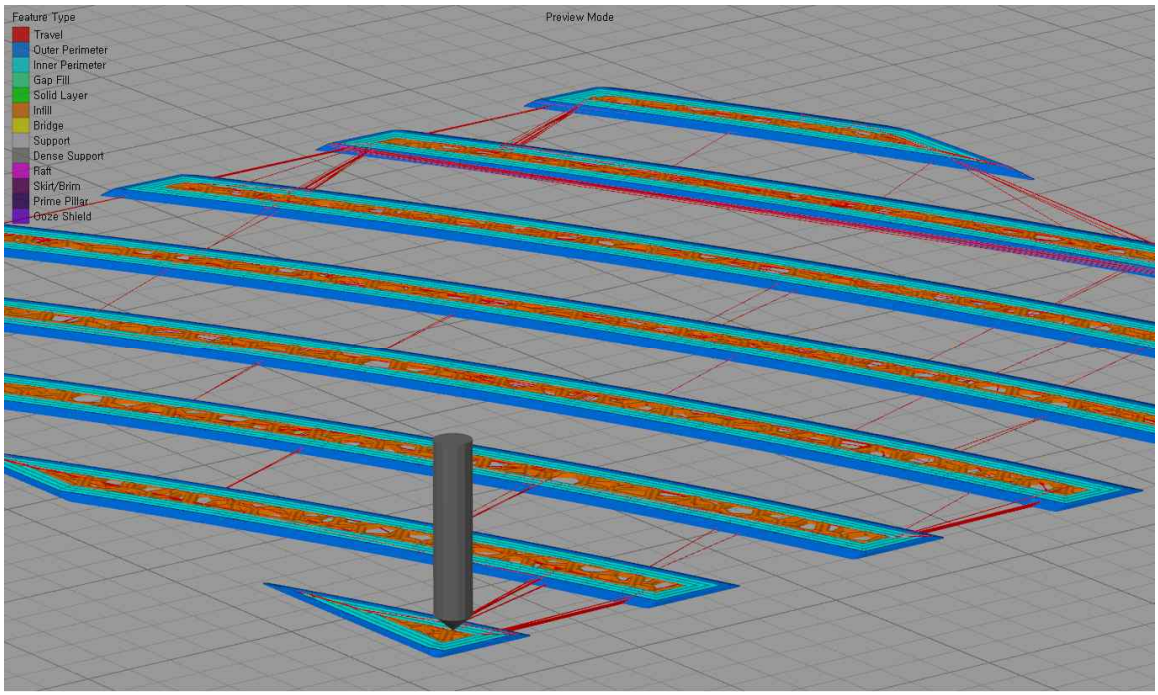


그림 3.2.113 상단부분 레이어 시뮬레이션

○ 위 그림에서는 상단부분의 레이어 적층 과정을 시뮬레이션할 수 있음을 보여준다.

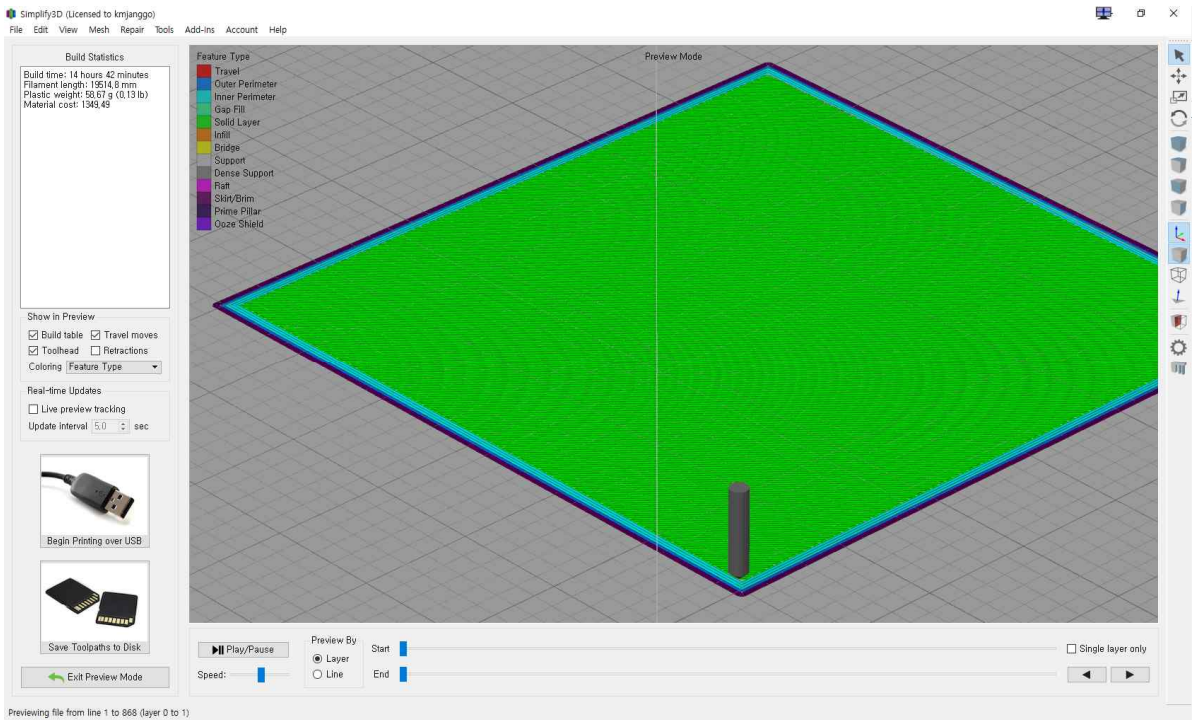


그림 3.2.114 1번 레이어 슬라이싱 경로

○ 위 그림에서 첫 번째 적층 레이어를 확인하며 슬라이싱 적층경로와 첫 면의 안정성 등을 확인할 수 있다.

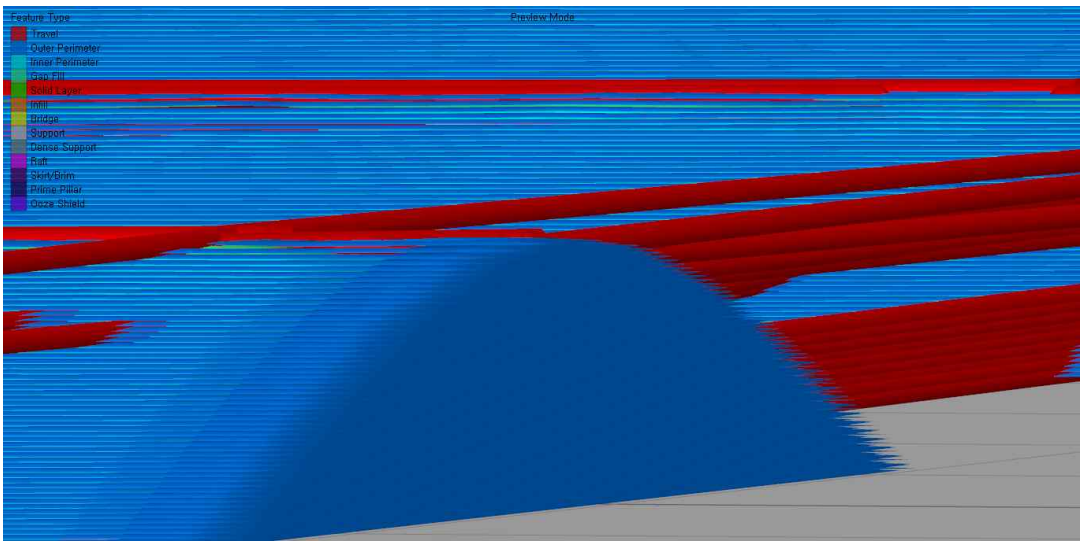


그림 3.2.115 20마이크론 레이어 적층 정밀도 시뮬레이션 및 레이어 두께 확인 시뮬레이션 화면

○ 위 그림은 20마이크론 레이어 적층 정밀도 시뮬레이션 밑 레이어 두께를 확인하기 위한 시뮬레이션 과정의 캡쳐사진이다. 두께나 적층되는 레이어의 높이나 형태에 따라 다른 결과가 있기 때문에 중요한 시뮬레이션 과정이다.

○ 다음 그림은 슬라이싱 파일의 단면을 확인하는 뷰이다.

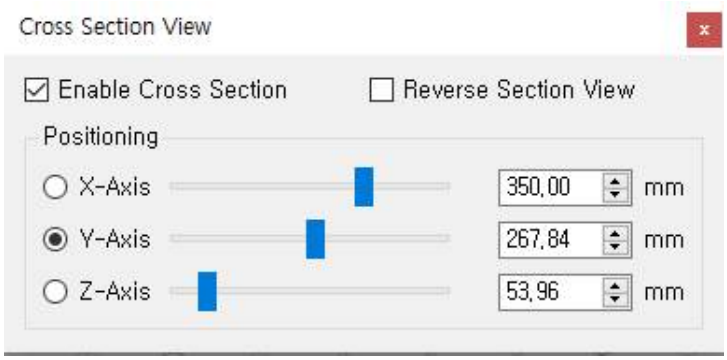


그림 3.2.116 Slicing Cross Section View

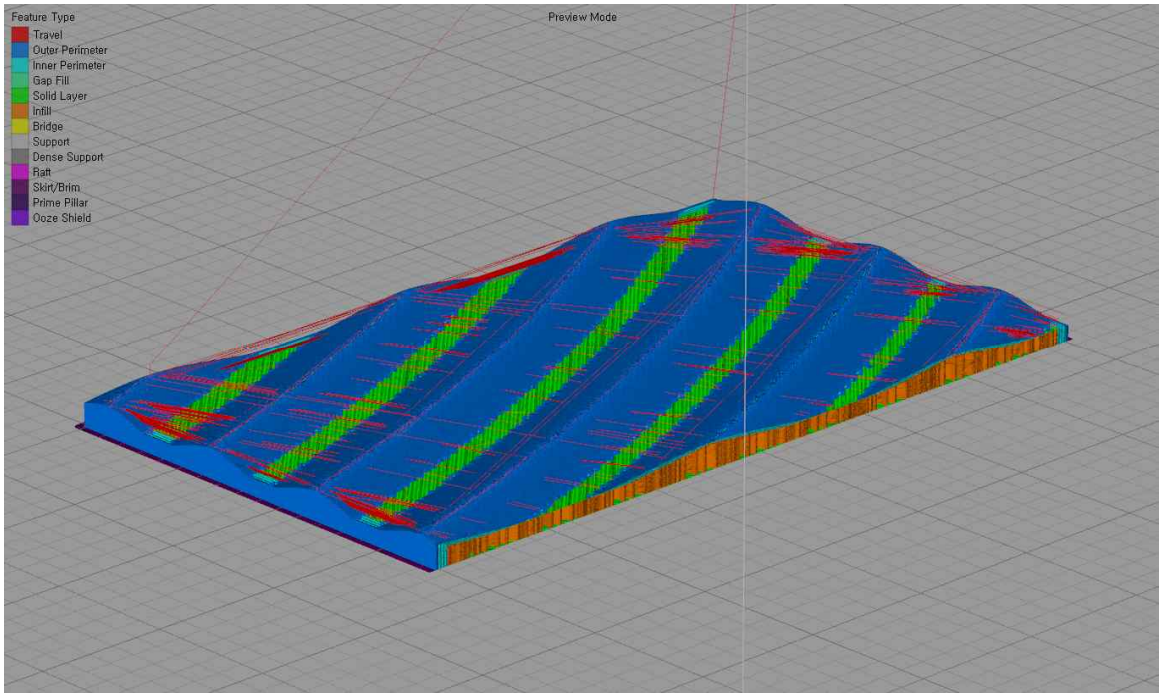


그림 3.2.117 Slicing File Y Cross Section View

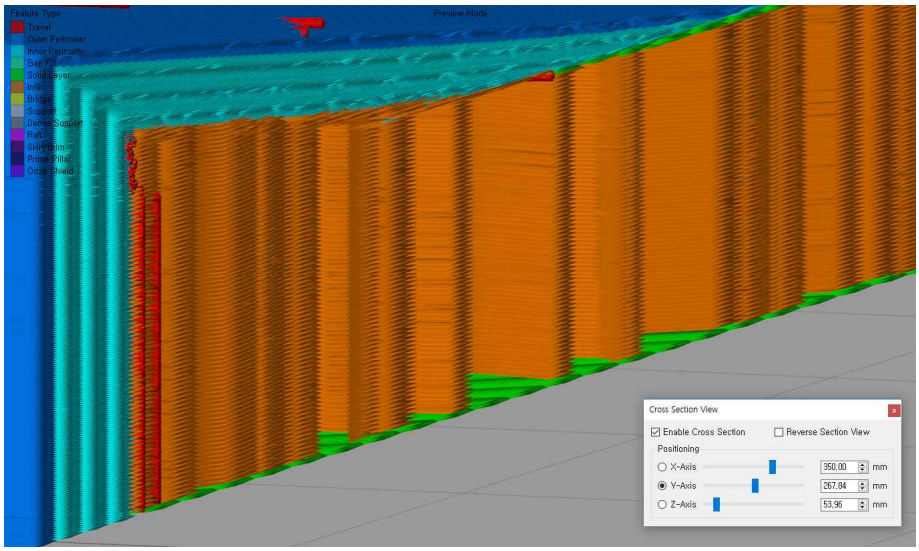


그림 3.2.118 Slicing Detail View

○ 단면에 나타나는 레이어별 20마이큰 슬라이싱 상황을 빌드와 내부 40프로 Full Honeycomb 구조물로 채워진 모습을 확인 할 수 있다. 위의 그림들은 단면이나 적층면을 확인할 수 있는 센션 시뮬레이션 뷰 사진이다.

(2) 20㎛(0.02mm) 마이크론 적층정밀도 측정

○ 다음 그림은 레이어 적층 정밀도 20㎛(0.02mm)를 측정하기 위하여 작은 박스형태를 두 번째 레이어까지 출력하고 mitutoyo 20마이크론 적층 정밀도 측정한 그림이다. 정확하게 해당 두께 만큼 토출용량을 출력 하고 있었음을 확인하였다. 다만 다양한 환경 조건 즉, 주변 내부온도, 노즐의 온도, 팬의 스피드, 소재의 특성과 출력하고자 하는 디자인 유형에 따라서 노즐의 두께를 테스트 출력을 통해서 설정하여야만 한다. 이는 온도 설정에 따라서 그리고 주변 온도와 팬의 스피드에 따라서 토출되는 용량과 고착화 되는 과정에 영향을 주기 때문이다.



그림 3.2.119 마이크로미터 정모습

(3) 20㎛(0.02mm) 마이크론 물결무늬 출력 테스트

○ 다음 그림은 20㎛(0.02mm) 마이크론 레이어 적층두께로 출력한 1번과 2번의 상황을 보여주고 있다.

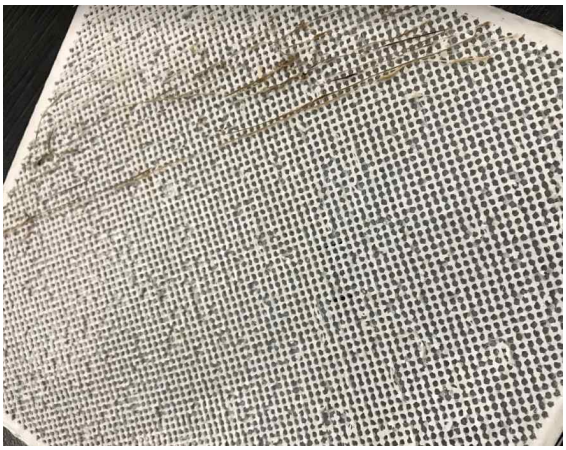


그림 3.2.120 20㎛ 적층 두께로 출력한 레이어

○ 아주 얇은 상태의 적층두께로 올라간 면 위에 두 번째 올라간 면에 있어서 적절한 익스트루더 토출 용량을 설정하지 않으면 실패하기 쉬운 상태였다. 그러나 여러 가지 스피드와 베드온도 그리고 노즐의 온도를 적절하게 설정하고 Z Calibration을 적절하게 설정한 이후 다음과 같이 20㎛(0.02mm) 마이크론 적층정밀도를 출력할 수 있는 상황이 되었다. 상당히 많은 시도 끝에 성공하게 되었다.

○ 다음 그림은 20㎛ 적층 두께로 출력한 그림이다. 설정된 그림과 같이 실제 물리적으로 출력을 할 때 다음 상단의 그림처럼 리트렉션을 하면서 이물질이 미량 생겨나서 실제 3D프린팅 물체 표면에 달라붙어 있었다. 또한 출력물에 있어서 표면이 상당히 매끄럽게 출력됨

을 확인하였다.

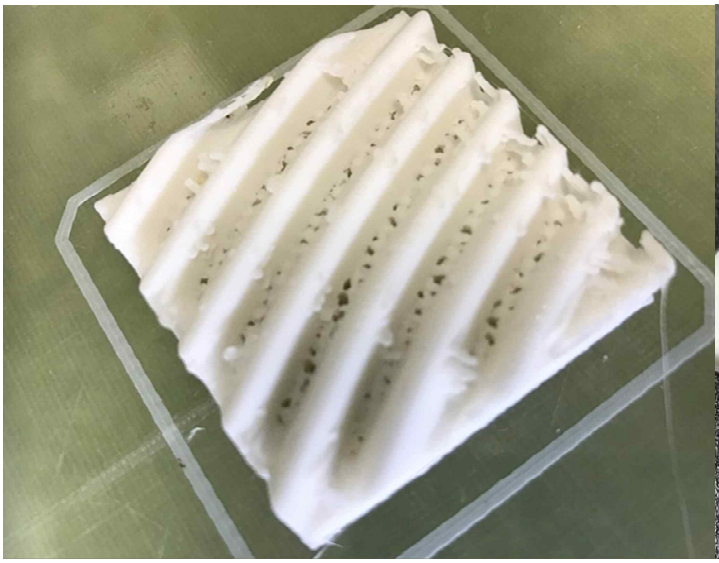


그림 3.2.121 20㎛ 적층 두께로 출력한 폼라이너

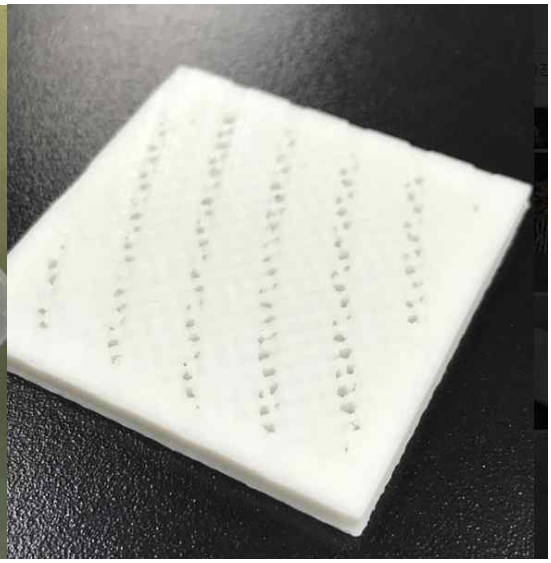


그림 3.2.122 20㎛ 적층 두께로 출력한 폼라이너

○ 다음 단계로 실제 폼라이너의 일부인 새모양 디자인 부분만을 20미리 정도를 출력해서 본 결과물이다.

○ 레이어 적측 두께는 0.05로 날개부분의 경우 너무 완만한 경사각을 가지고 있어서 계단 현상이 보여지는 상황이 나타났다.

○ 중요한 점은 전체적인 해상도를 높이기 위해서 레이어 적층 두께를 높이는 것은 질적 측면에서 좋은 결과를 나타낼 수 있지만 상당한 시간이 요구되기 때문에 이를 감안하여 폼라이너를 디자인하고 출력하는 것이 좋다.

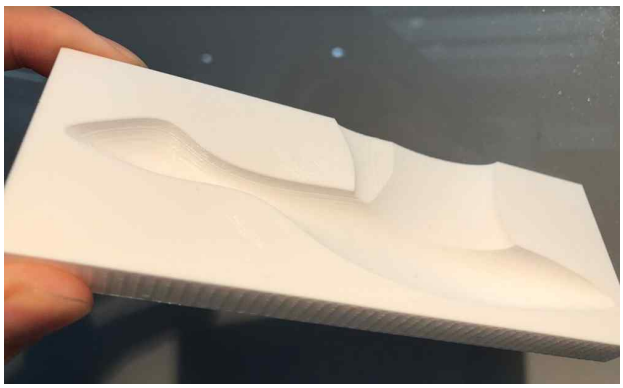


그림 3.2.123 폼라이너 일부 파트 출력 샘플 화면 Ⅰ



그림 3.2.124 폼라이너 일부 파트 출력 샘플 화면 Ⅱ

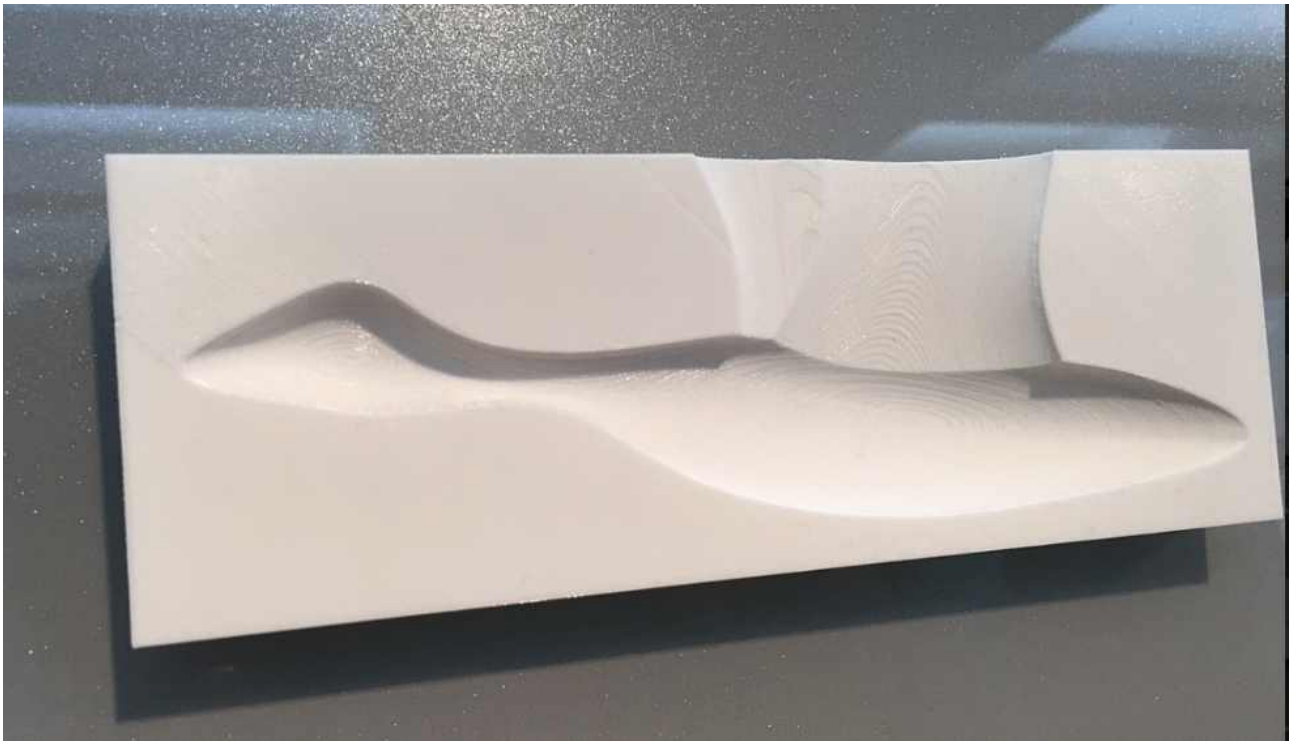


그림 3.2.125 폼라이너 일부 파트 출력 샘플 화면 Ⅲ

(5) 20㎛ 마이크론 전자현미경 측정 결과

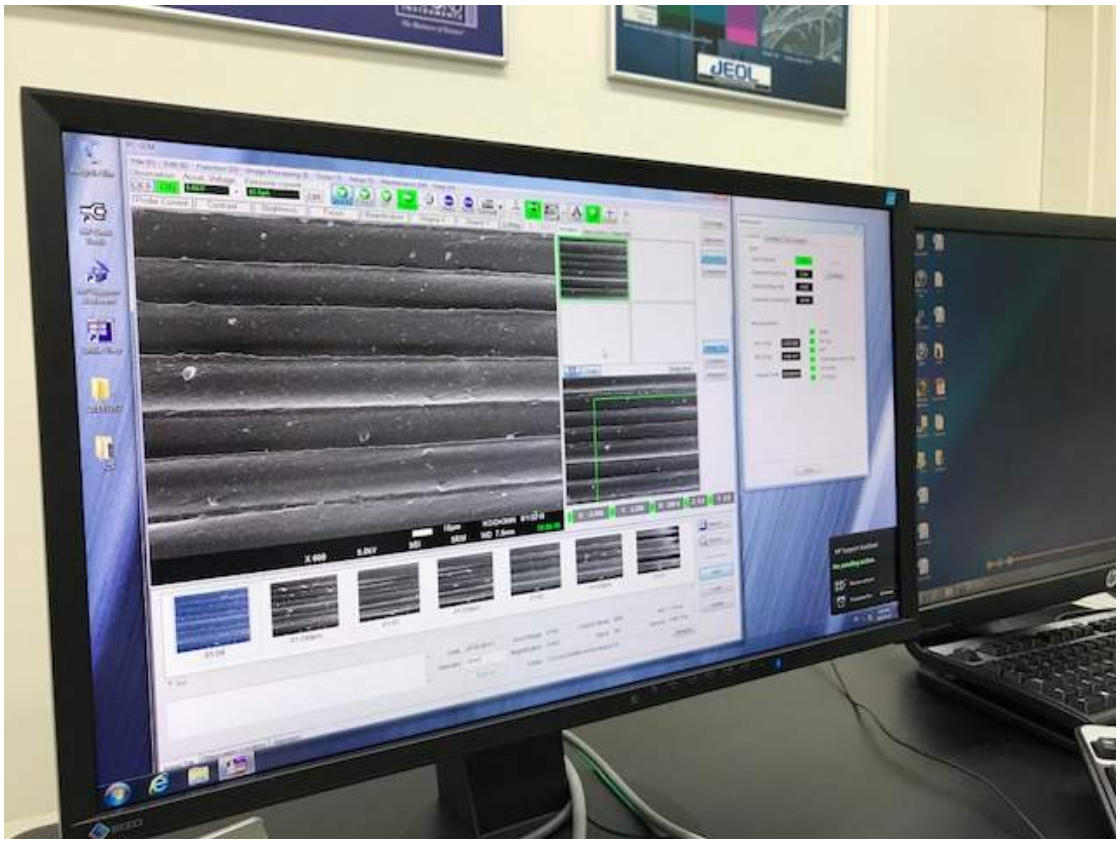


그림 3.2.126 20㎛ 출력물 전자현미경 측정 화면

○ 현미경 측정 장소는 국민대학교 산학협력단 소재의 KMU 공동실험기기센터이며, 장비는 SEM을 사용하였다.

○ 최종 현미경 측정을 위해 정밀도가 낮은 펠릿 출력방식의 스마트헤드가 아닌, 필라멘트 방

식의 신규 헤드를 개발 적용하였다. 300mm x 300mm의 본 폼 라이너 1/8 사이즈로 출력한 결과 다음과 같은 정밀도 측정이 시행 되었다.

○ PLA수지 Cross-section의 SEM 측정분석결과 평균 16~20의 단면두께의 morphology를 보여주고 있으며, 전체적으로 큰 유의차는 존재하지 않고 uniform한 interface edge effect 가 지속적으로 관찰되었다.

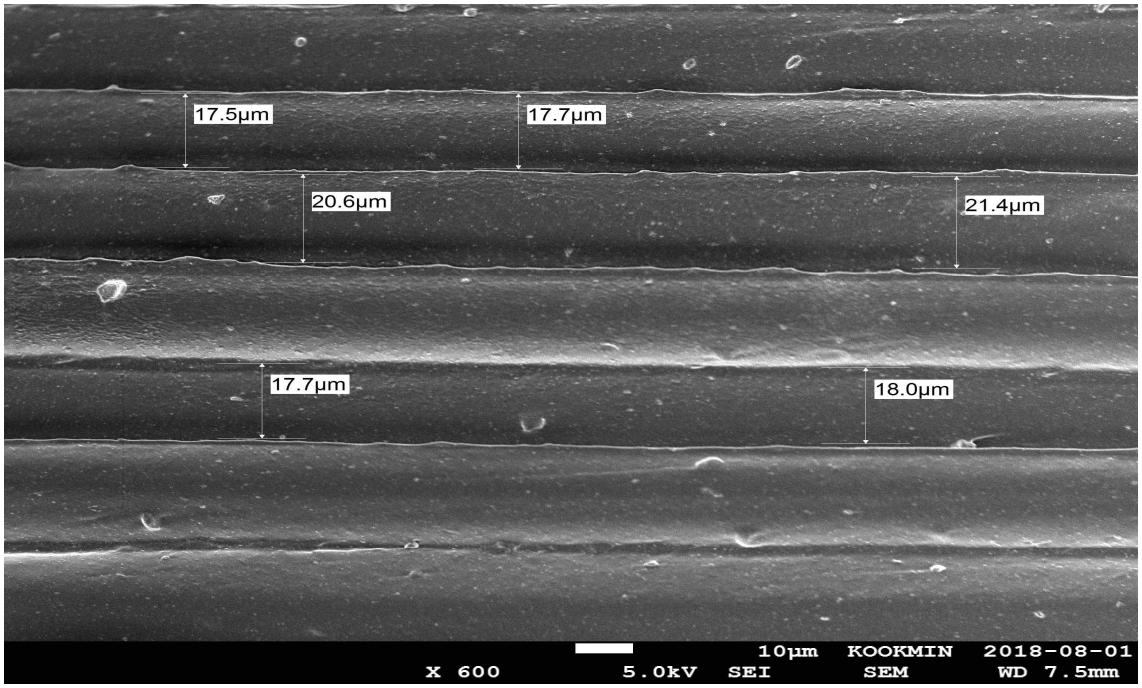


그림 3.2.127 20㎛ 출력물 옆면 전자현미경 측정결과 (1)

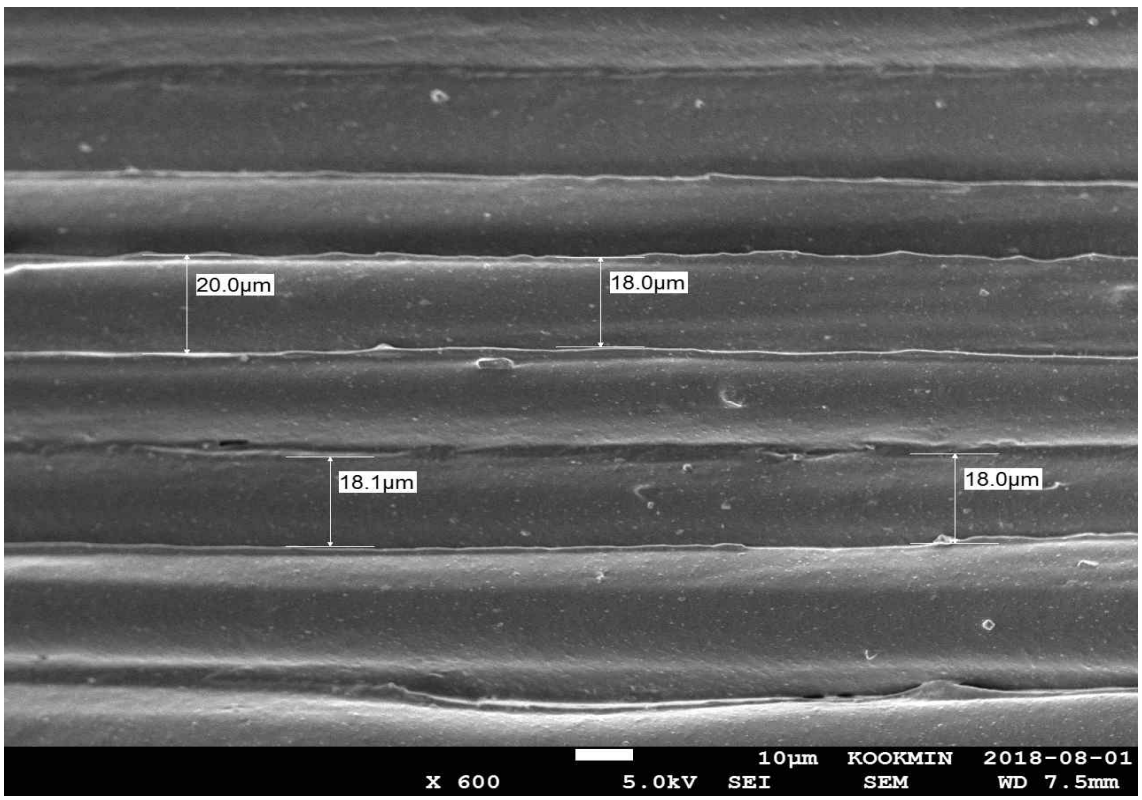


그림 3.2.128 20㎛ 출력물 옆면 전자현미경 측정결과 (2)

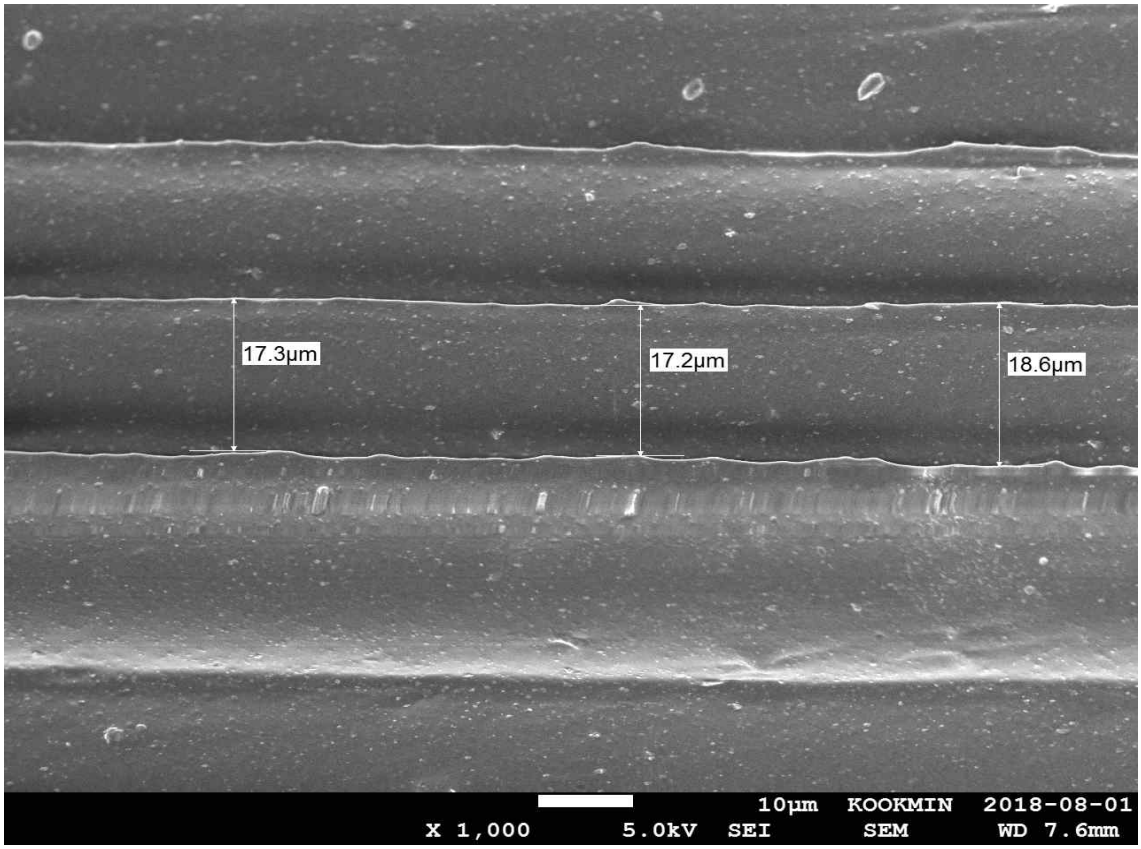


그림 3.2.129 20㎛ 출력물 옆면 전자현미경 측정결과 (3)

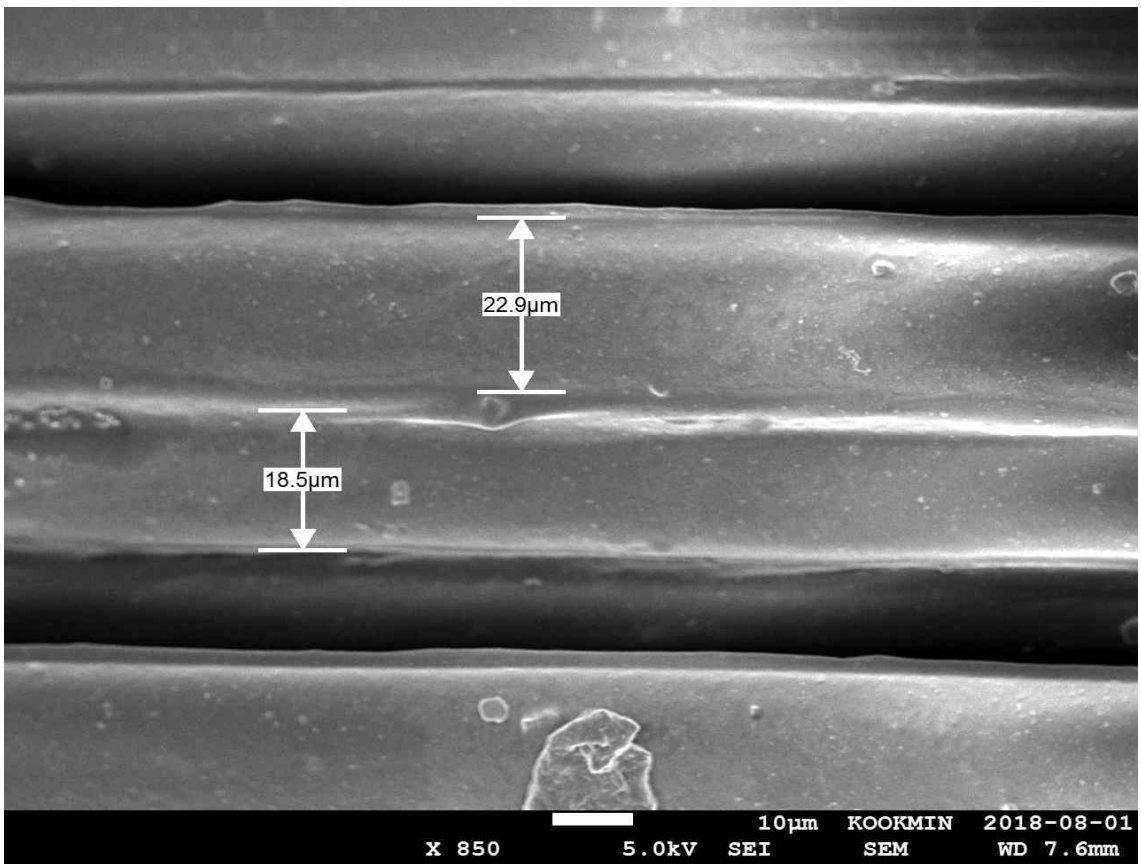


그림 3.2.130 20㎛ 출력물 옆면 전자현미경 측정결과 (4)

자. 다색상구현 가능 맞춤형 3D프린터 시제작 및 평가

(1) 스마트 헤드 연구개발

○ 아래 그림에서는 단면에 나타나는 레이어별 20마이크로 슬라이싱을 빌드와 내부 40프로 Full Honeycomb 구조물로 채워진 모습을 확인할 수 있다. 출력 시 위부 출력물의 온도를 낮춰, 출력 퀄리티의 유지를 위한 쿨러가 좌우 2개 씩 적용된 것을 확인할 수 있으며, 호퍼에 다량의 펠릿을 담아 관리의 편의성을 올린 디자인으로 제작되었다.

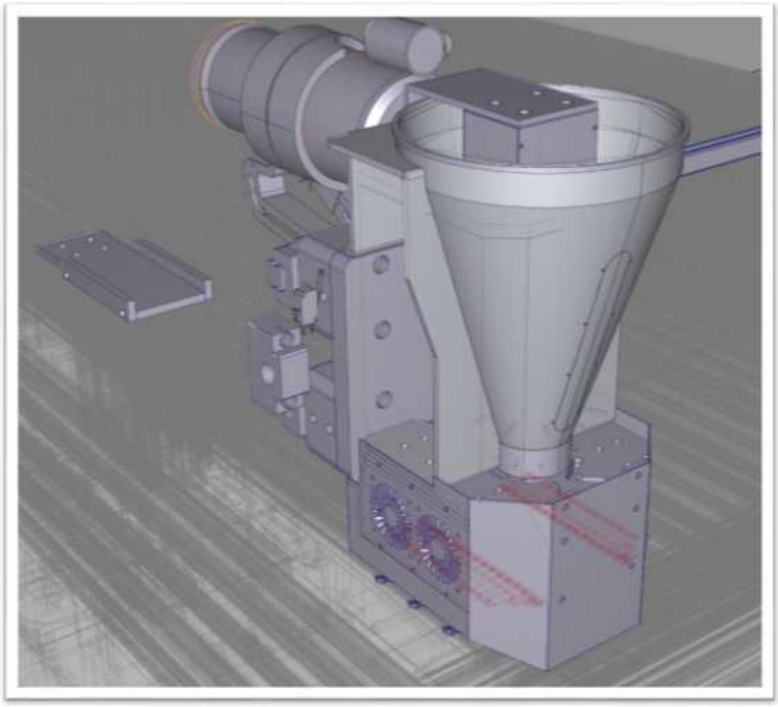


그림 3.2.131 Smart Head 3D View

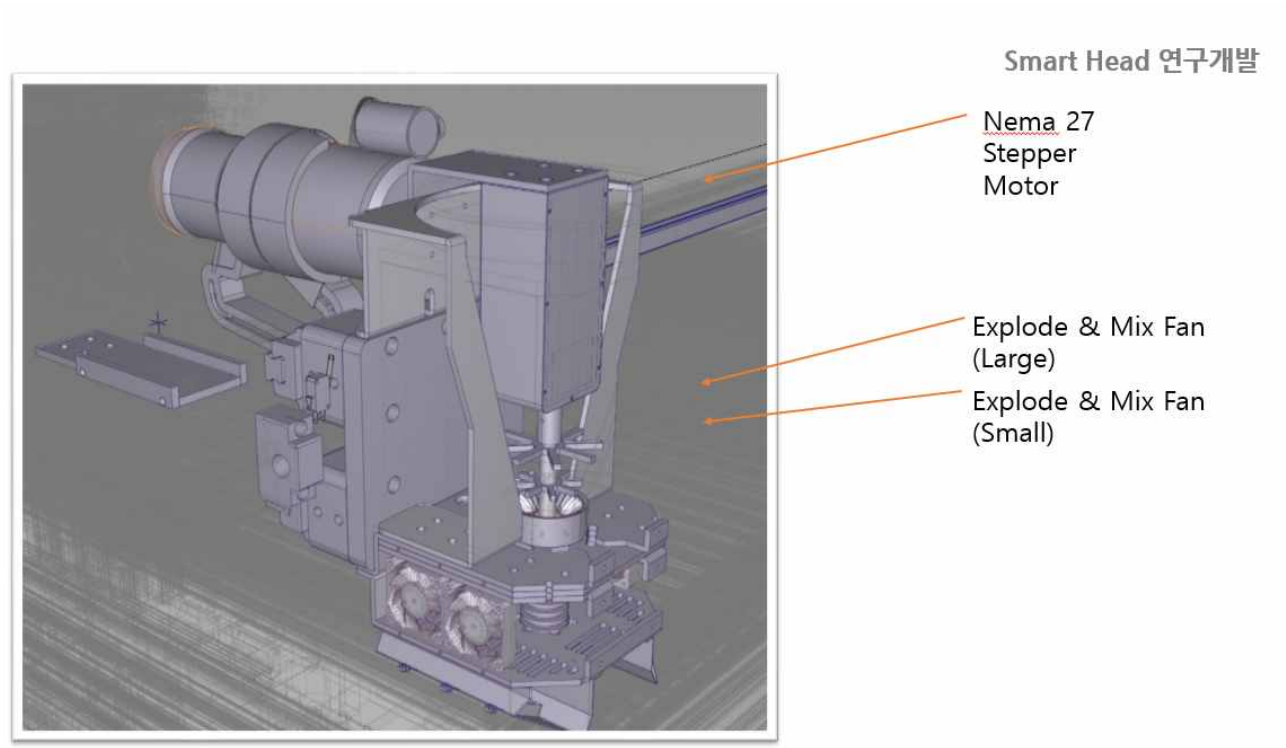


그림 3.2.132 Smart Head 호퍼 내부 View

○ 위 사진에서는 호퍼의 내부 모터와 스크류를 연결할 수 있게 조인트 부분이 있으며, 믹스 펜이 달려 있어, 펠릿을 좀 더 부드럽게 압출할 수 있는 구조로 설계된 것을 확인할 수 있다.

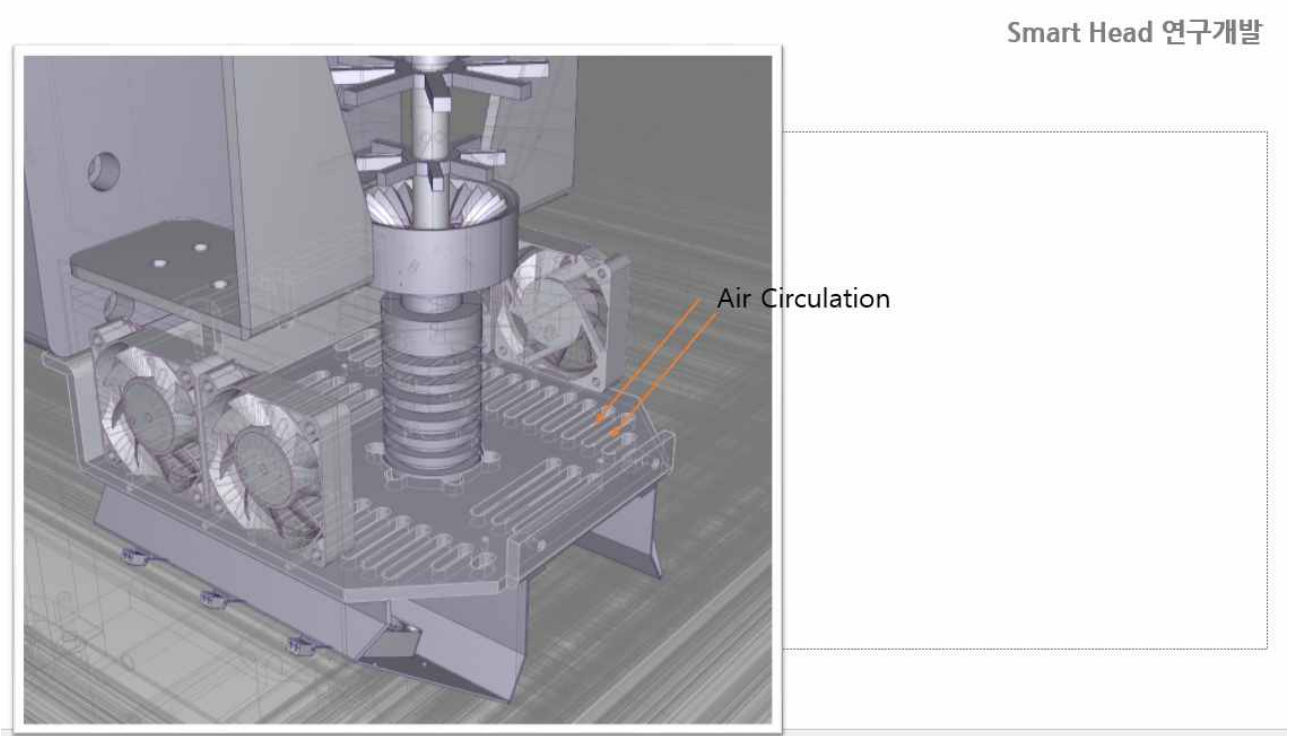


그림 3.2.133 Smart Head Air Circulation

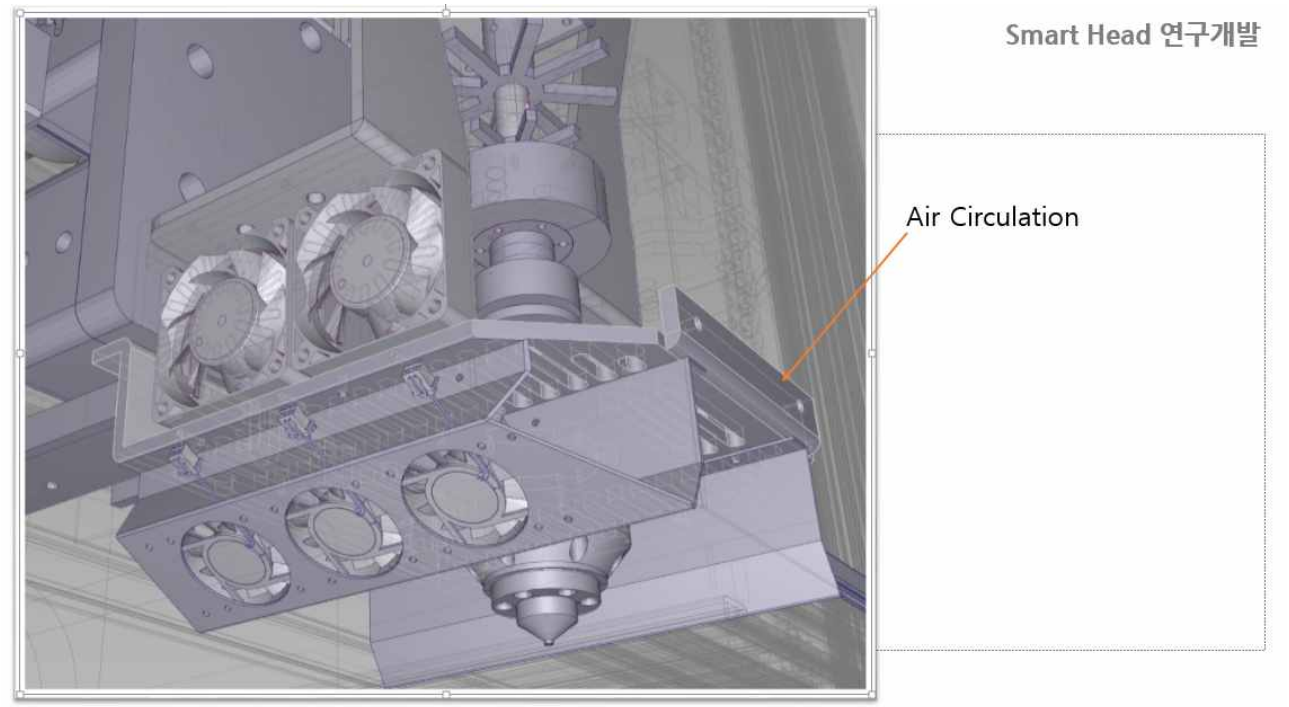


그림 3.2.133 Smart Head 하단 View

○ 에어 서큘레이션(Air Circulation)이 정면과 바닥면에 적용되어, 노즐 아래와 호퍼 부분의 쿨링효과를 극대화 할 수 있으며, 디자인적 요소를 가미해 단조로운 디자인에 활력을 더했다. 위 사진에서는 한쪽면의 5개의 쿨링 펜과 에어 서큘레이션을 확인할 수 있다.

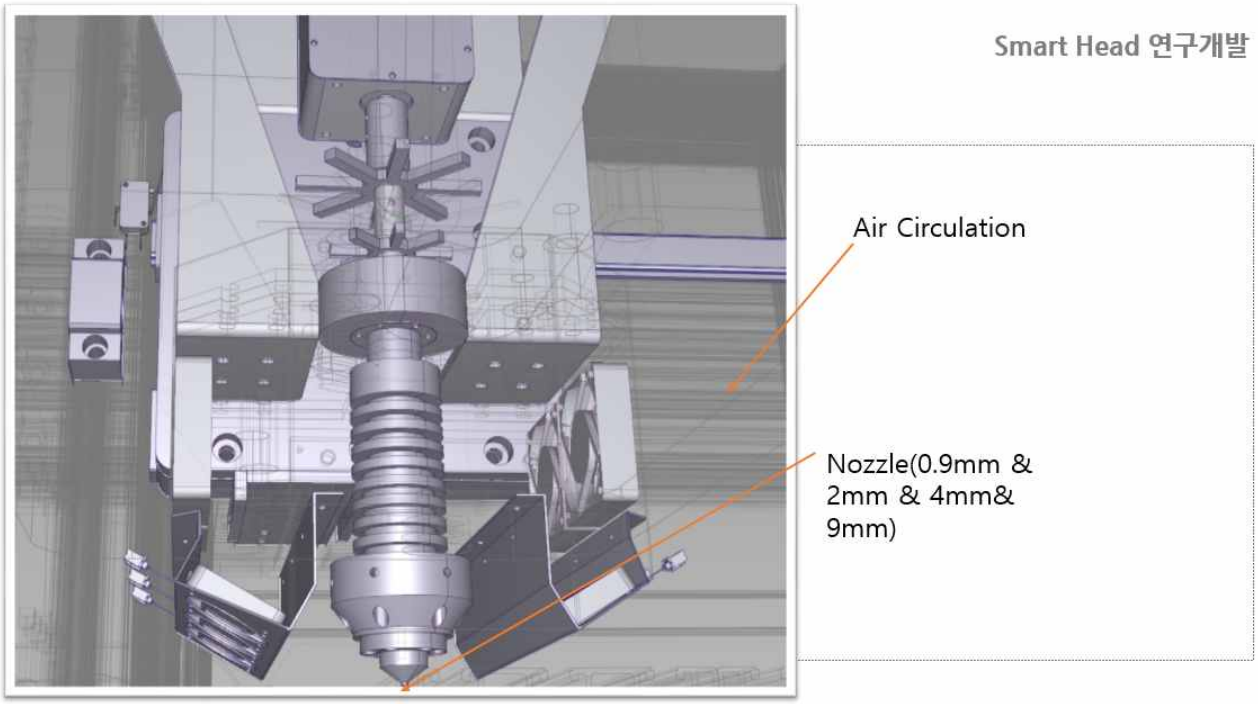


그림 3.2.134 Smart Head Nozzle 및 스크류 View

○ 위의 그림을 보면, 탈부착이 가능한 노즐로써, 0.9mm, 2mm, 4mm, 9mm 등 출력물의 속성에 따라, 납품기일에 따라 알맞은 노즐 사이즈를 선택하여 사용할 수 있게 설계되었음을 알 수 있다.

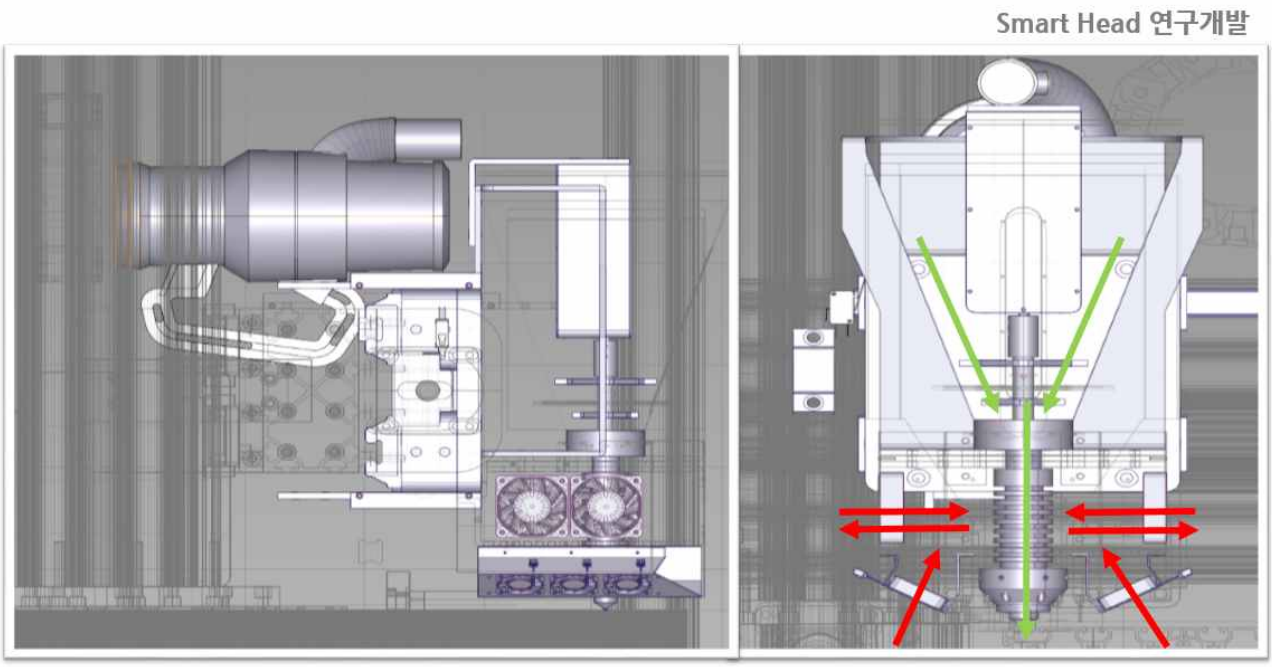


그림 3.2.135 Smart Head Nozzle 단면 View

○ 위 그림의 오른쪽 도면을 보면, 연두색 화살표는 펠릿의 압출 경로를 확인할 수 있으며, 빨간색 화살표는 열 배출 및 쿨링을 통한 바람의 경로를 알 수 있다.

(2) 스마트 헤드 연구개발 장착

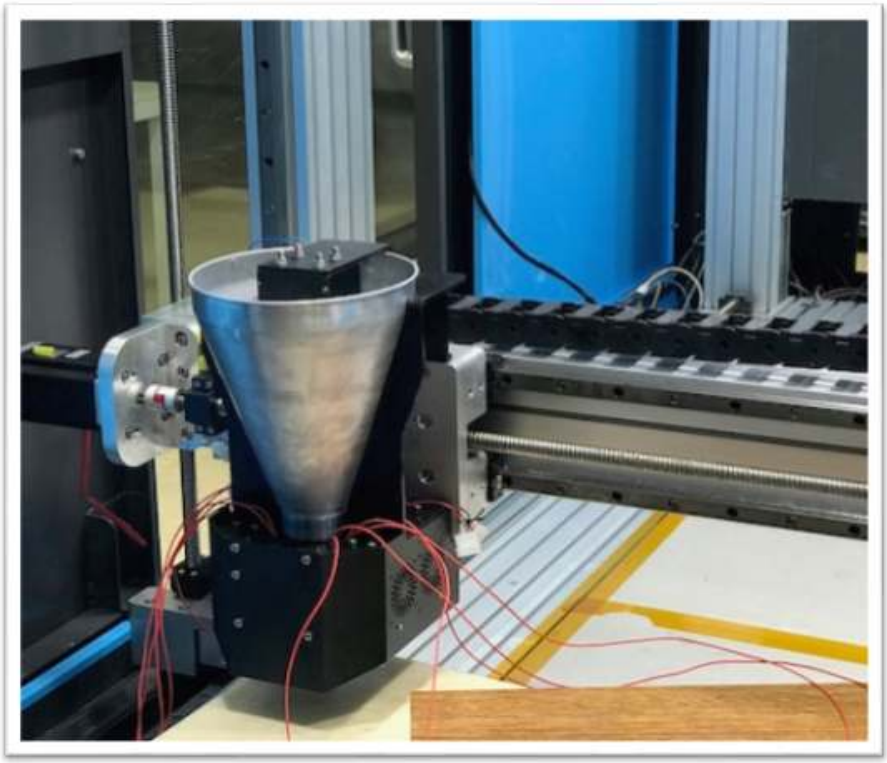


그림 3.2.136 Smart Head Nozzle 장착 View

○ 장착에 꽤 오랜 시간이 걸렸는데, 펜, LED, 서이스터, 모터 등 스마트 헤드에 장착된 모든 기능을 제어할 수 있기에 다양한 배선이 진행되었다. 위 사진은 배선 작업현장을 캡처한 장면이다.

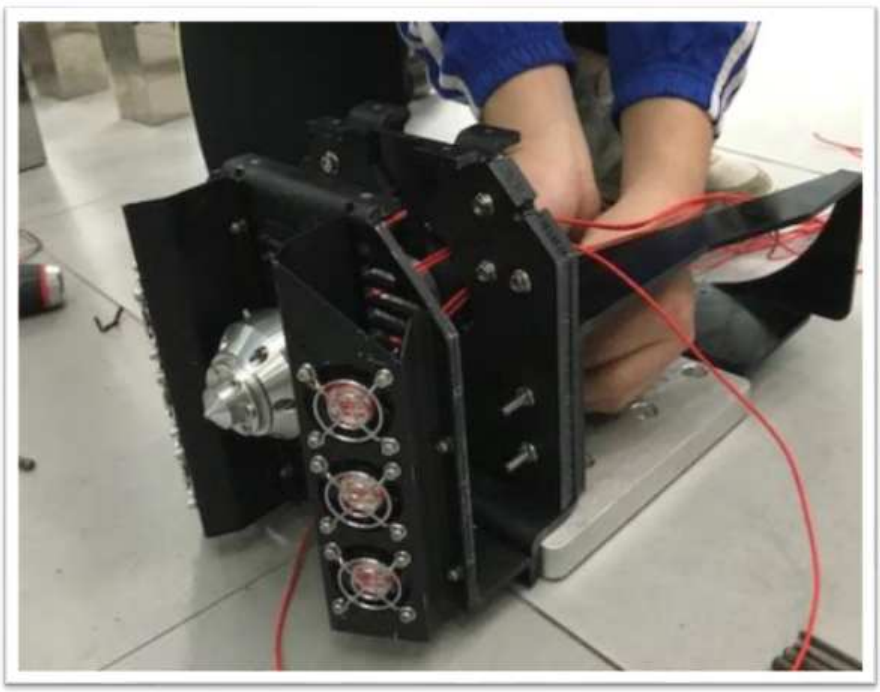


그림 3.2.137 Smart Head Nozzle 배선하는 모습

○ WK 구조의 설계로 뒤쪽에 있는 Z축과 바로 부착이 가능하게 설계하여 부착이 용의했다. 또한, 에어 서큘레이션 이 외에 배선에 맞게 타공이 되어있어, 배선 시 누전이 없게 부착을 진행하였다. 위 사진은 부착 직전의 최종 배선확인 장면이다.

(3) 펠릿형 스크류 방식 노즐 온도 측정

<표 3.2.56> 펠릿형 스크류 방식 노즐 온도 측정

검사 날짜	2017-12-05	영역	노즐, 스크류
위치	국민대학교 공학관 대형3D프린터 연구소	나침반	-
설명	온도의 전도 및 센서연결 확인	날씨 조건	무관
내부 공기 온도	상온	외부 공기 온도	무관
내부 상대 습도	10% 미만	실외 상대 습도	무관
이슬점(내부)	무관	풍속	무관
문제점	전도의 측정	수리 우선순위	온도 센서의 접촉 및 스크류 삽입 구조
방사율:	0.95	반사 온도	71.6 ° F
카메라 제조업체	Fluke Thermography	카메라	Ti90-14100451

(가) 1차 측정

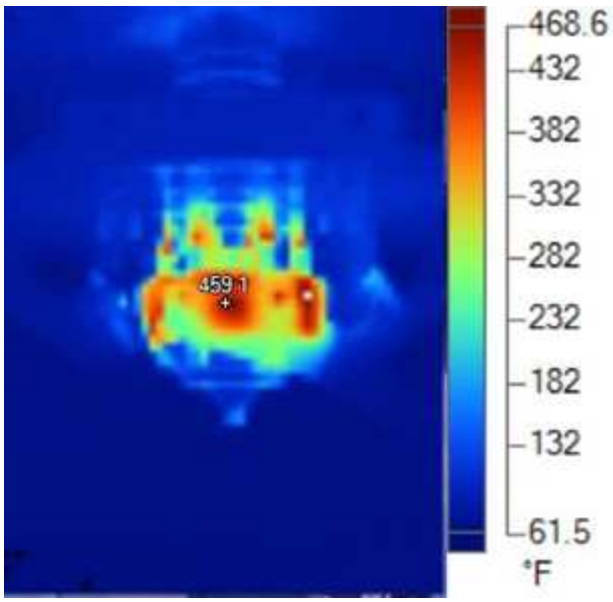


그림 3.2.138 Smart Head Nozzle 1차 측정



그림 3.2.139 Smart Head Nozzle 1차 가시광선 이미지

○ 1차는 위와 같이 측정되었다. 가시광선의 경우 LED 조명으로 인한 전도를 확인하였다. 하지만, 출력에 지정을 주지 않으며, 온도 상승의 주된 원인이 아니기 때문에 배제해도 무방한 것으로 측정되었다. 위 사진에서 온도 측정 장면 확인이 가능하다.

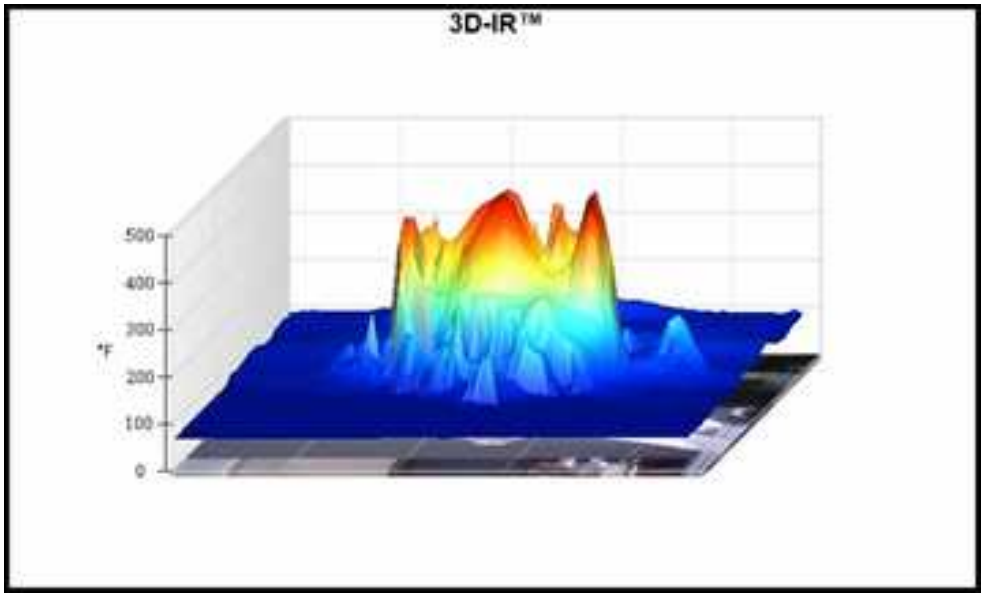


그림 3.2.140 Smart Head Nozzle 3D-IR 1차 측정 그래프

<표 3.2.57> 1차 측정 실험결과 (1)

투과	1.00
평균 온도	105.6° F
이미지 범위	61.5° F - 468.6° F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2010-11-01 오전 6:32:35
파일 위치	F:\ DCIM\ 100FLUKE\ IR000104.IS2
보정 범위	14.0° F - 482.0° F
습도 조정	0 RH % 0 거리(m)

<표 3.2.58> 1차 측정 실험결과 (2)

위치	온도	방사율	배경
가운데 지점	459.1° F	0.95	71.6° F

○ 위 표를 보면 1차 측정 시의 투과, 평균 온도, 이미지 범위, 카메라 모델, IR 센서 크기, DSP 버전, 이미지 신간, 파일 위치, 보정 범위, 습도 조정을 확인할 수 있다.

(나) 2차 측정

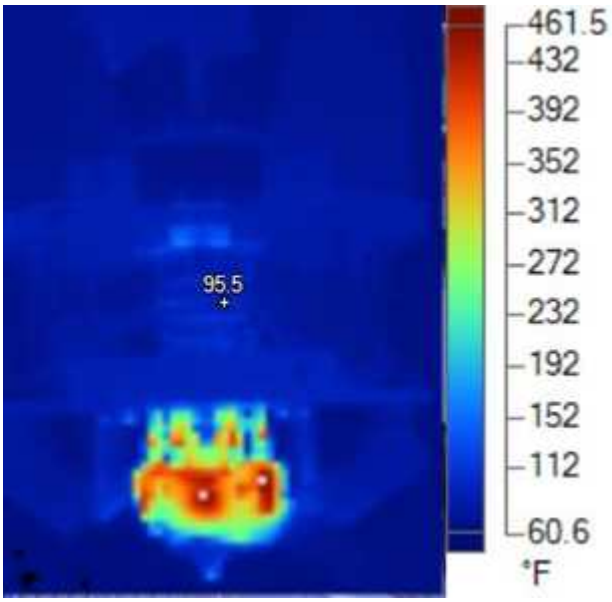


그림 3.2.141 Smart Head Nozzle 2차 측정



그림 3.2.142 Smart Head Nozzle 2차 가시광선 이미지

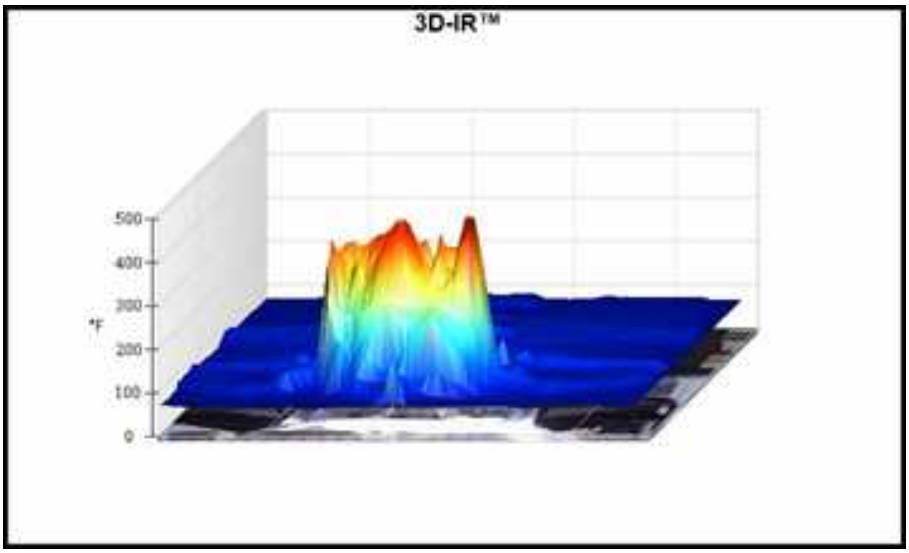


그림 3.2.143 Smart Head Nozzle 3D-IR 2차 측정 그래프

<표 3.2.59> 2차 측정 실험결과 (1)

투과	1.00
평균 온도	105.6° F
이미지 범위	61.5° F - 468.6° F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2010-11-01 오전 6:32:35
파일 위치	F:\ DCIM\ 100FLUKE\ IR000104.IS2
보정 범위	14.0° F - 482.0° F
습도 조정	0 RH % 0 거리(m)

<표 3.2.60> 2차 측정 실험결과 (2)

위치	온도	방사율	배경
가운데 지점	459.1° F	0.95	71.6° F

○ 위 표를 보면 2차 측정 시의 투과, 평균 온도, 이미지 범위, 카메라 모델, IR 센서 크기, DSP 버전, 이미지 신간, 파일 위치, 보정 범위, 습도 조정을 확인할 수 있다.

(다) 3차 측정

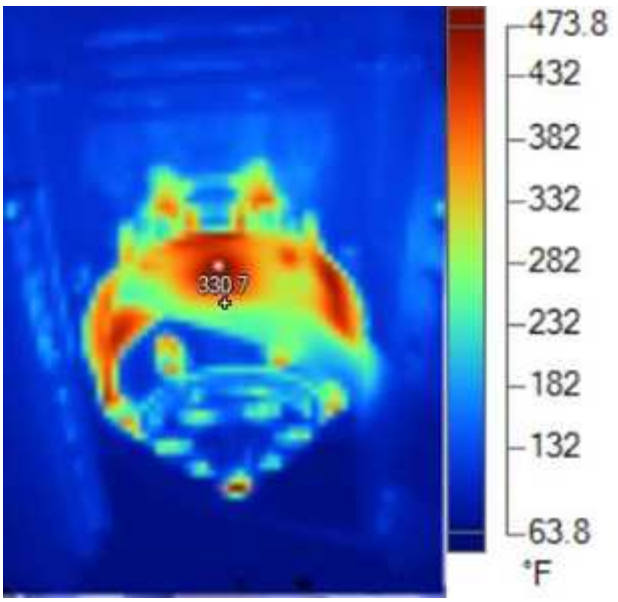


그림 3.2.143 Smart Head Nozzle 3차 측정



그림 3.2.143 Smart Head Nozzle 3차 가시광선 이미지

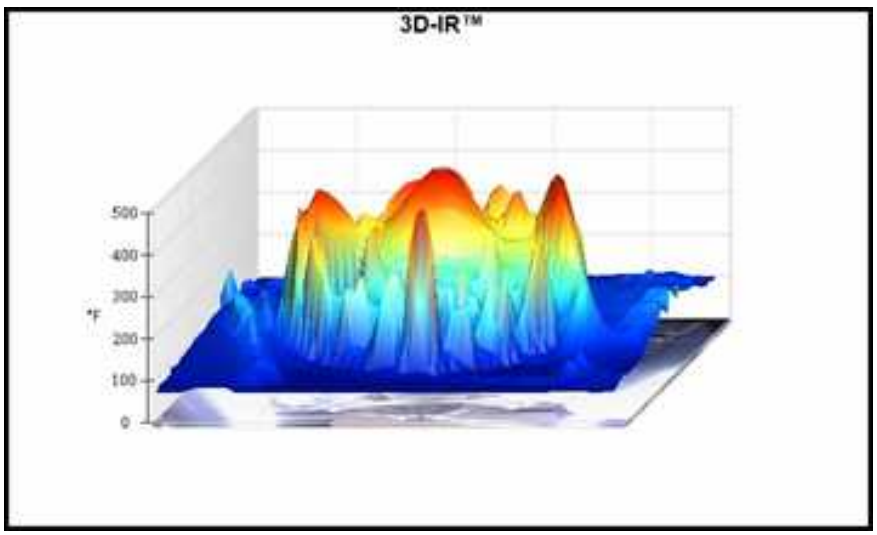


그림 3.2.143 Smart Head Nozzle 3D-IR 3차 측정 그래프

<표 3.2.61> 3차 측정 실험결과 (1)

투과	1.00
평균 온도	105.6° F
이미지 범위	61.5° F - 468.6° F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2010-11-01 오전 6:32:35
파일 위치	F:\ DCIM\ 100FLUKE\ IR000106.IS2
보정 범위	14.0° F - 482.0° F
습도 조정	0 RH % 0 거리(m)

<표 3.2.62> 3차 측정 실험결과 (2)

위치	온도	방사율	배경
가운데 지점	330.7° F	0.95	71.6° F

○ 위 표를 보면 3차 측정 시의 투과, 평균 온도, 이미지 범위, 카메라 모델, IR 센서 크기, DSP 버전, 이미지 신간, 파일 위치, 보정 범위, 습도 조정을 확인할 수 있다.

(라) 4차 측정

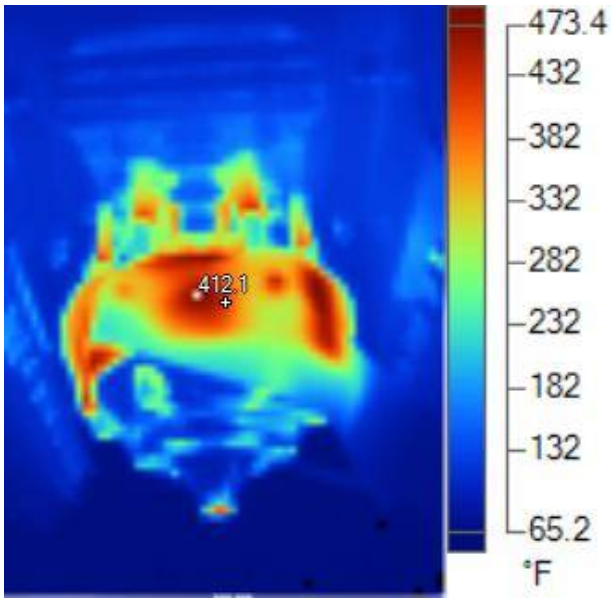


그림 3.2.144 Smart Head Nozzle 4차 측정

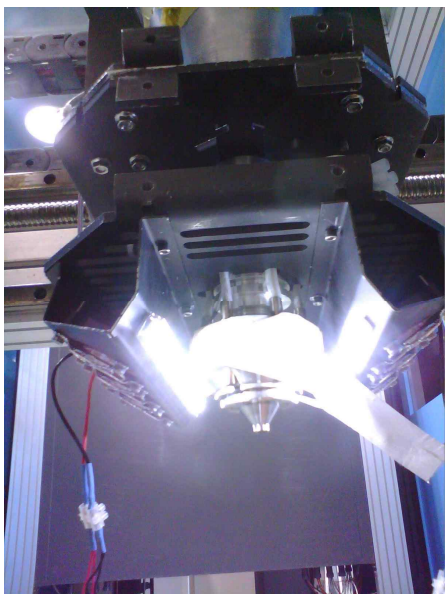


그림 3.2.145 Smart Head Nozzle 4차 가시광선 이미지

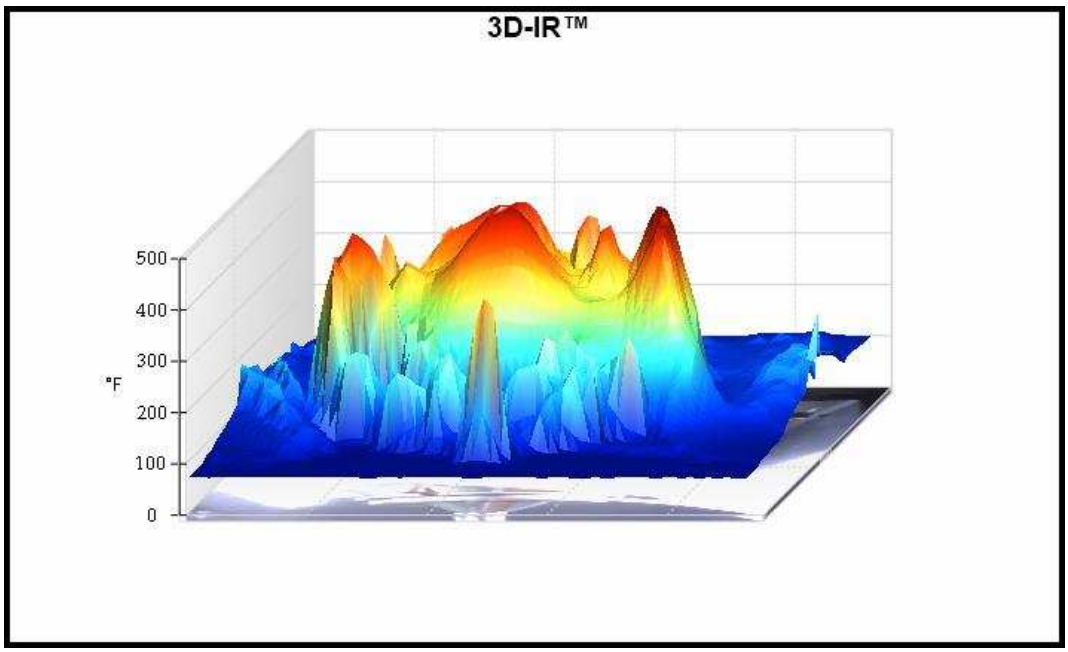


그림 3.2.146 Smart Head Nozzle 3D-IR 4차 측정 그래프

<표 3.2.63> 4차 측정 실험결과 (1)

투과	1.00
평균 온도	150.3° F
이미지 범위	65.2° F - 473.4° F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2010-11-01 오전 6:32:35
파일 위치	F:\ DCIM\ 100FLUKE\ IR000107.IS2
보정 범위	14.0° F - 482.0° F
습도 조정	0 RH % 0 거리(m)

<표 3.2.64> 4차 측정 실험결과 (2)

위치	온도	방사율	배경
가운데 지점	412.1° F	0.95	71.6° F

○ 위 표를 보면 4차 측정 시의 투과, 평균 온도, 이미지 범위, 카메라 모델, IR 센서 크기, DSP 버전, 이미지 신간, 파일 위치, 보정 범위, 습도 조정을 확인할 수 있다.

(마) 5차 측정

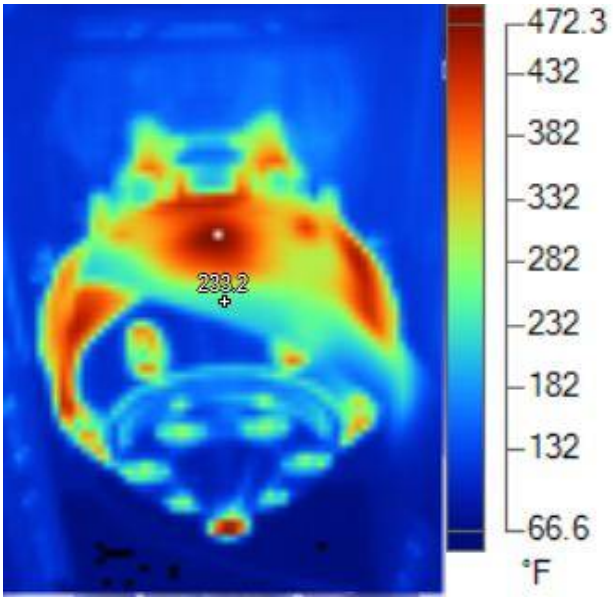


그림 3.2.147 Smart Head Nozzle 5차 측정

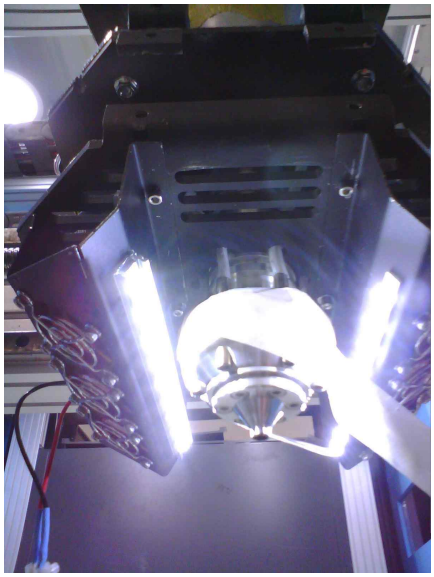


그림 3.2.148 Smart Head Nozzle 5차 가시광선 이미지

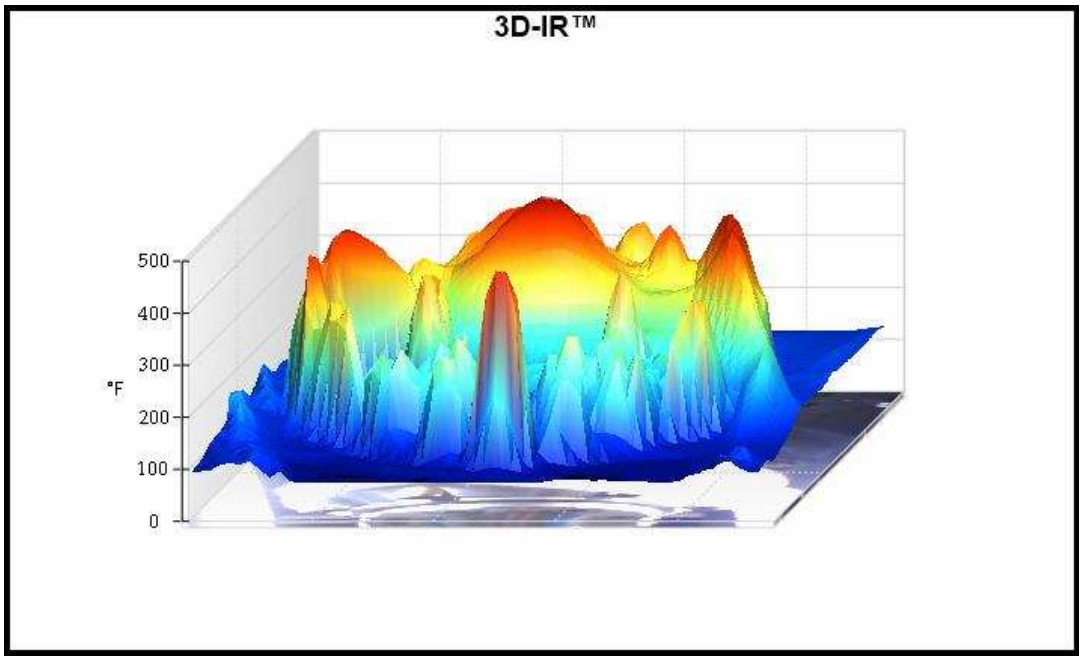


그림 3.2.149 Smart Head Nozzle 3D-IR 5차 측정 그래프

<표 3.2.65> 5차 측정 실험결과 (1)

투과	1.00
평균 온도	171.4° F
이미지 범위	66.6° F - 472.3° F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2010-11-01 오전 6:33:26
파일 위치	F:\ DCIM\ 100FLUKE\ IR000108.IS2
보정 범위	14.0° F - 482.0° F
습도 조정	0 RH % 0 거리(m)

<표 3.2.66> 5차 측정 실험결과 (2)

위치	온도	방사율	배경
가운데 지점	233.2° F	0.95	71.6° F

○ 위 표를 보면 5차 측정 시의 투과, 평균 온도, 이미지 범위, 카메라 모델, IR 센서 크기, DSP 버전, 이미지 신간, 파일 위치, 보정 범위, 습도 조정을 확인할 수 있다.

(바) 6차 측정

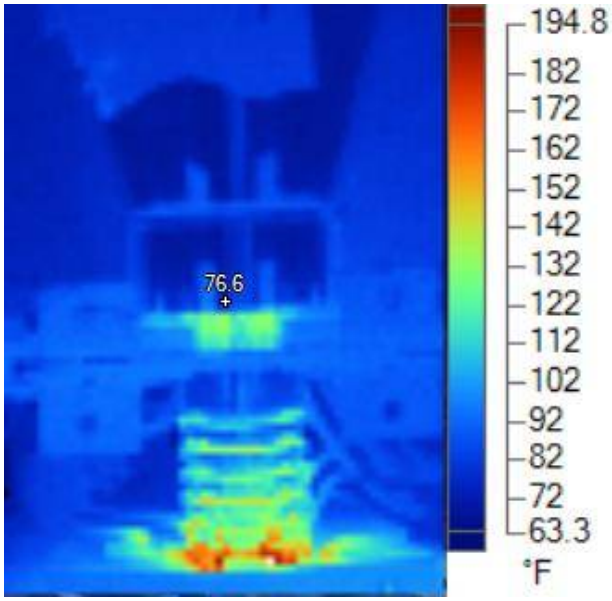


그림 3.2.150 Smart Head Nozzle 6차 측정

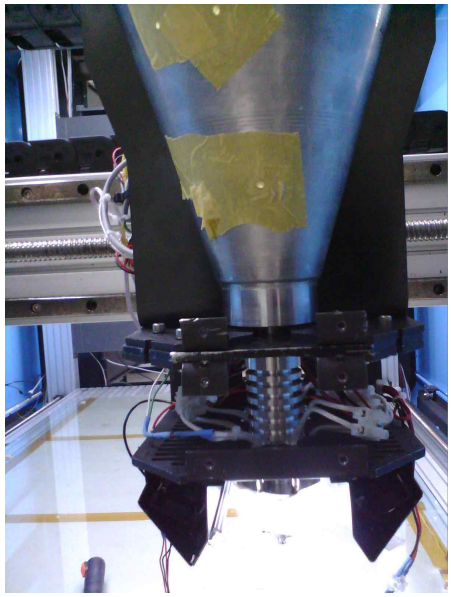


그림 3.2.151 Smart Head Nozzle 6차 가시광선 이미지

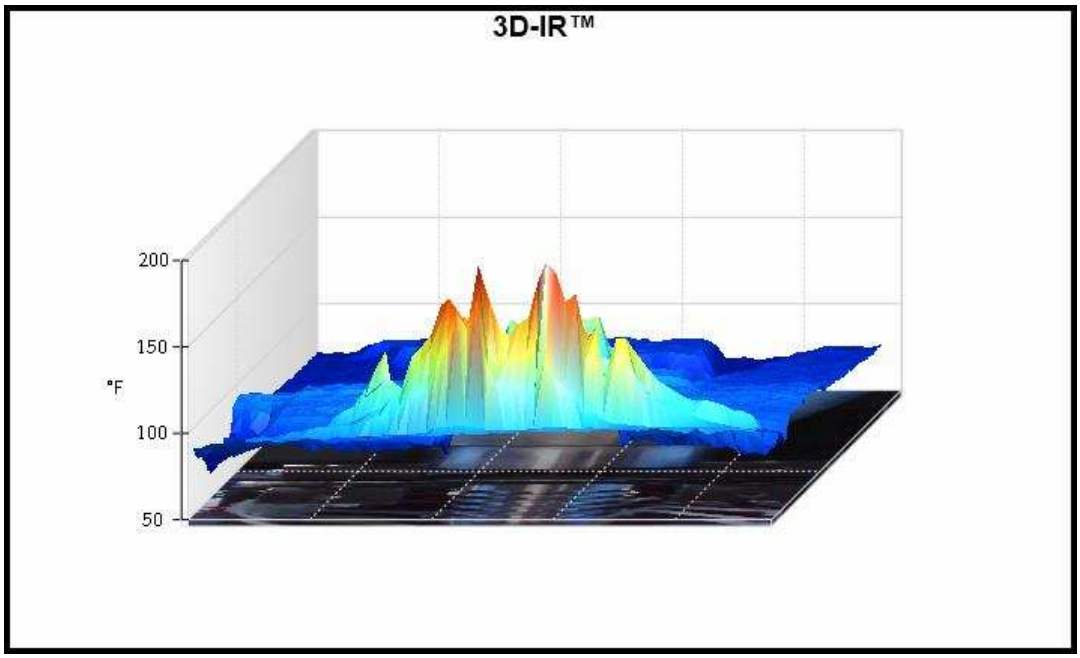


그림 3.2.152 Smart Head Nozzle 3D-IR 6차 측정 그래프

<표 3.2.67> 6차 측정 실험결과 (1)

투과	1.00
평균 온도	86.5° F
이미지 범위	63.3° F - 194.8° F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2010-11-01 오전 6:33:38
파일 위치	F:\ DCIM\ 100FLUKE\ IR000109.IS2
보정 범위	14.0° F - 482.0° F
습도 조정	0 RH % 0 거리(m)

<표 3.2.68> 6차 측정 실험결과 (2)

위치	온도	방사율	배경
가운데 지점	76.6° F	0.95	71.6° F

○ 위 표를 보면 6차 측정 시의 투과, 평균 온도, 이미지 범위, 카메라 모델, IR 센서 크기, DSP 버전, 이미지 신간, 파일 위치, 보정 범위, 습도 조정을 확인할 수 있다.

(사) 7차 측정

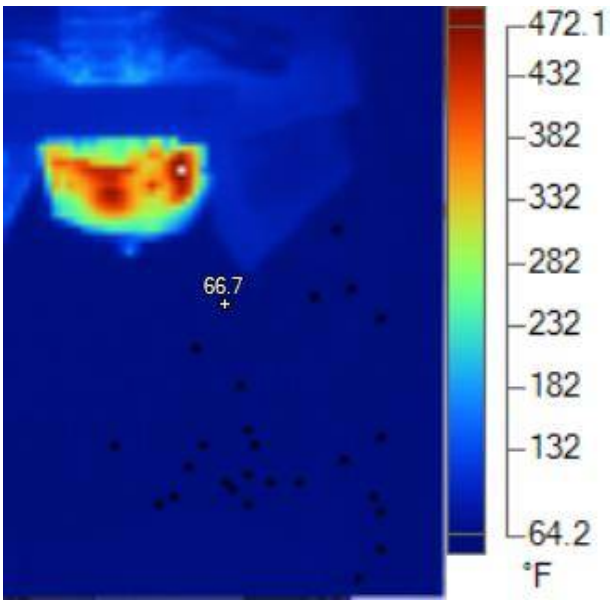


그림 3.2.153 Smart Head Nozzle 7차 측정

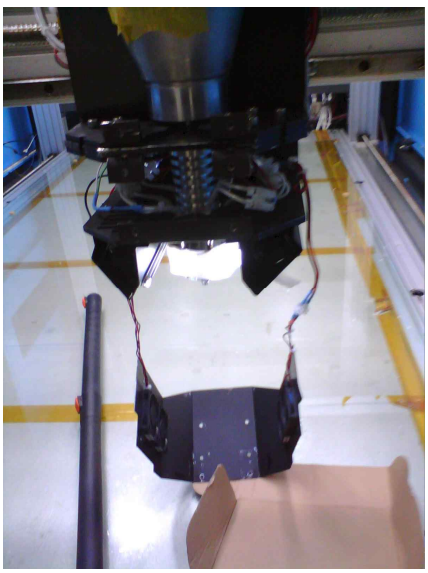


그림 3.2.154 Smart Head Nozzle 7차 가시광선 이미지

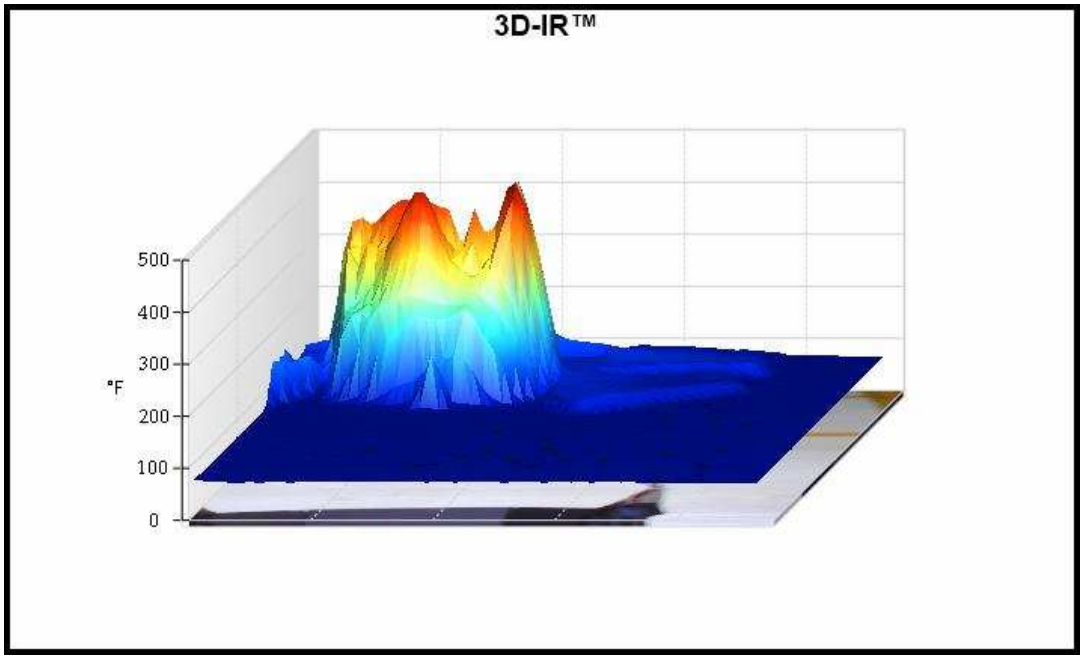


그림 3.2.155 Smart Head Nozzle 3D-IR 7차 측정 그래프

<표 3.2.69> 7차 측정 실험결과 (1)

투과	1.00
평균 온도	88.9° F
이미지 범위	64.2° F - 472.1° F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2010-11-01 오전 6:33:48
파일 위치	F:\ DCIM\ 100FLUKE\ IR000110.IS2
보정 범위	14.0° F - 482.0° F
습도 조정	0 RH % 0 거리(m)

<표 3.2.70> 7차 측정 실험결과 (2)

위치	온도	방사율	배경
가운데 지점	66.7° F	0.95	71.6° F

○ 위 표를 보면 7차 측정 시의 투과, 평균 온도, 이미지 범위, 카메라 모델, IR 센서 크기, DSP 버전, 이미지 신간, 파일 위치, 보정 범위, 습도 조정을 확인할 수 있다.

(아) 8차 측정

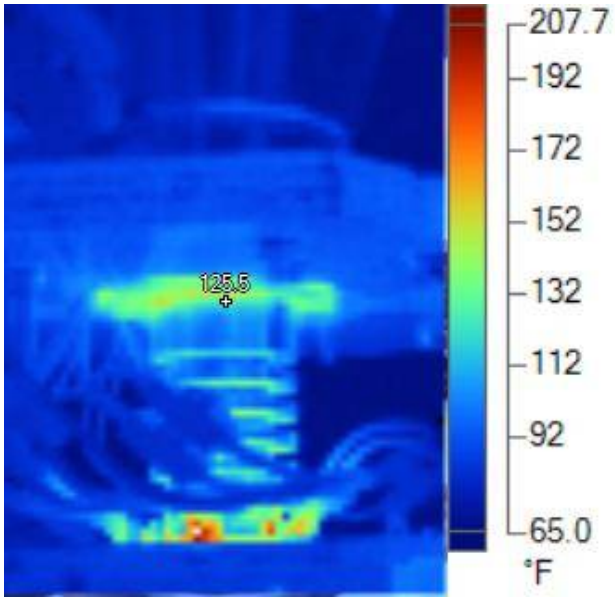


그림 3.2.156 Smart Head Nozzle 8차 측정

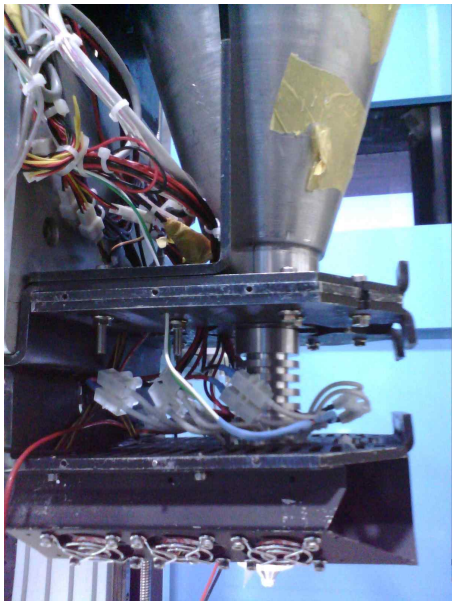


그림 3.2.157 Smart Head Nozzle 8차 가시광선 이미지

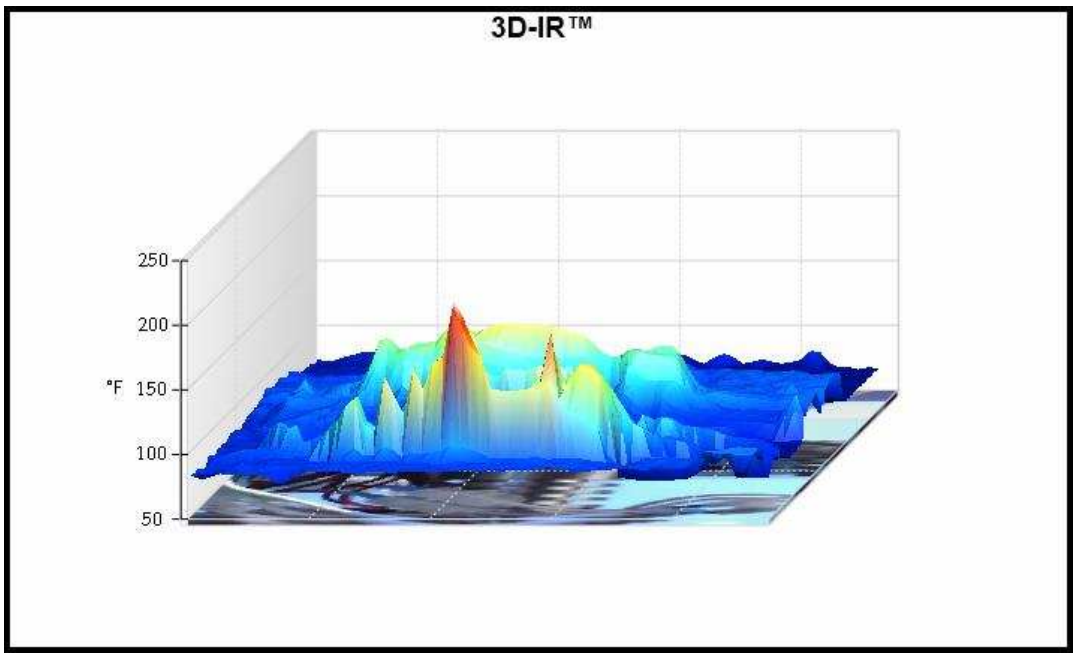


그림 3.2.158 Smart Head Nozzle 3D-IR 8차 측정 그래프

<표 3.2.71> 8차 측정 실험결과 (1)

투과	1.00
평균 온도	86.8° F
이미지 범위	65.0° F - 207.7° F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2010-11-01 오전 6:34:00
파일 위치	F:\ DCIM\ 100FLUKE\ IR000111.IS2
보정 범위	14.0° F - 482.0° F
습도 조정	0 RH % 0 거리(m)

<표 3.2.72> 8차 측정 실험결과 (2)

위치	온도	방사율	배경
가운데 지점	125.5° F	0.95	71.6° F

○ 위 표를 보면 8차 측정 시의 투과, 평균 온도, 이미지 범위, 카메라 모델, IR 센서 크기, DSP 버전, 이미지 신간, 파일 위치, 보정 범위, 습도 조정을 확인할 수 있다.

(자) 9차 측정

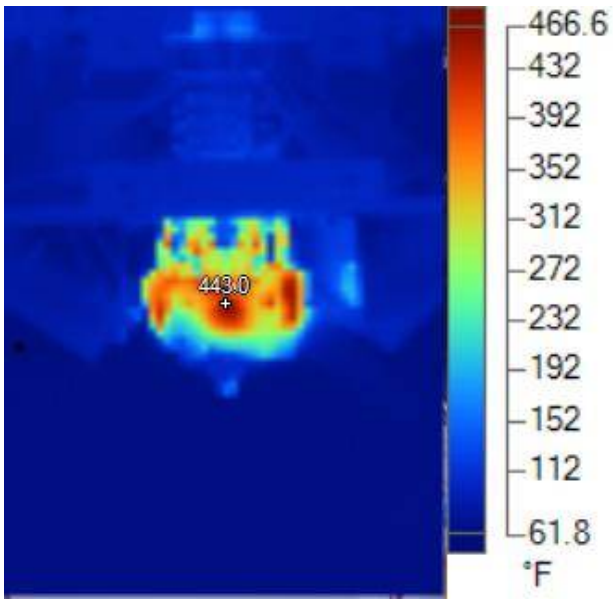


그림 3.2.159 Smart Head Nozzle 9차 측정

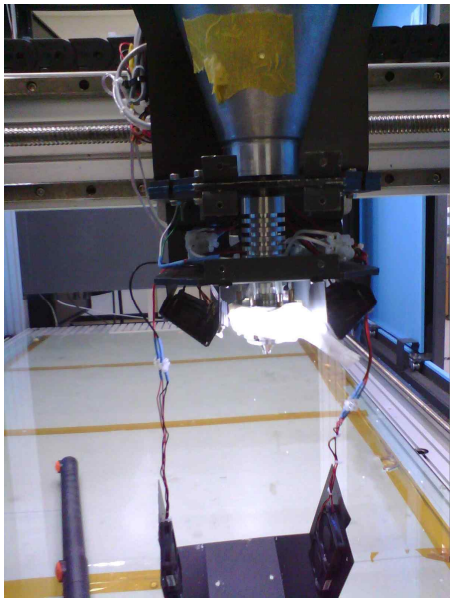


그림 3.2.160 Smart Head Nozzle 9차 가시광선 이미지

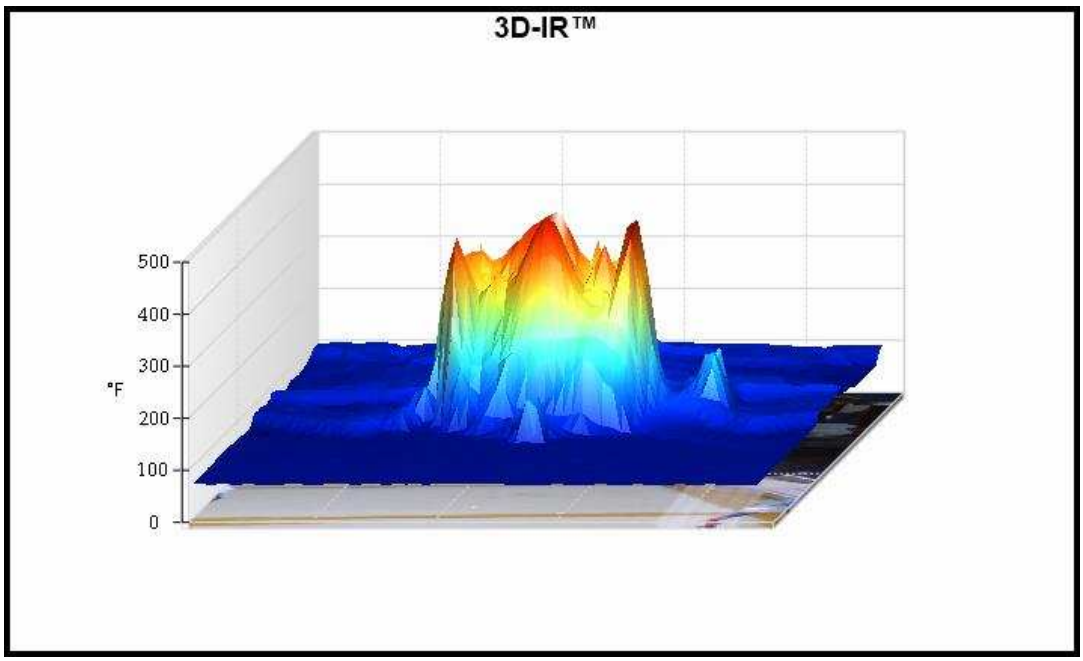


그림 3.2.161 Smart Head Nozzle 3D-IR 9차 측정 그래프

<표 3.2.73> 8차 측정 실험결과 (1)

투과	1.00
평균 온도	96.2° F
이미지 범위	61.8° F - 466.6° F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2010-11-01 오전 6:34:22
파일 위치	F:\ DCIM\ 100FLUKE\ IR000112.IS2
보정 범위	14.0° F - 482.0° F
습도 조정	0 RH % 0 거리(m)

<표 3.2.74> 8차 측정 실험결과 (2)

위치	온도	방사율	배경
가운데 지점	443.0° F	0.95	71.6° F

○ 위 표를 보면 9차 측정 시의 투과, 평균 온도, 이미지 범위, 카메라 모델, IR 센서 크기, DSP 버전, 이미지 신간, 파일 위치, 보정 범위, 습도 조정을 확인할 수 있다.

(차) 10차 측정

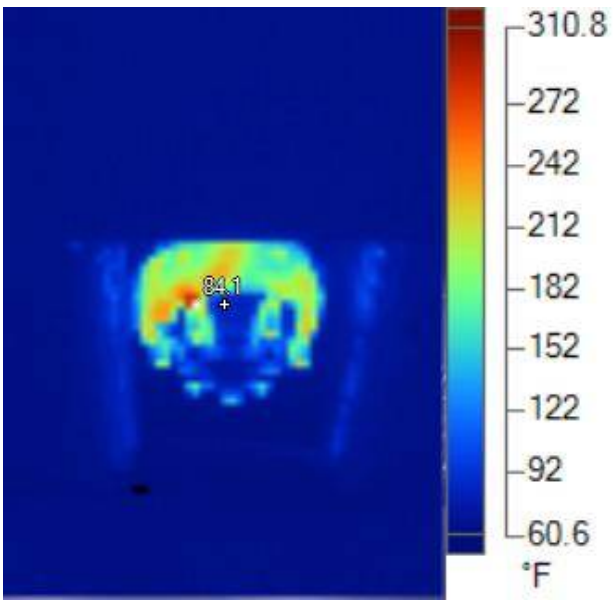


그림 3.2.162 Smart Head Nozzle 10차 측정



그림 3.2.163 Smart Head Nozzle 10차 가시광선 이미지

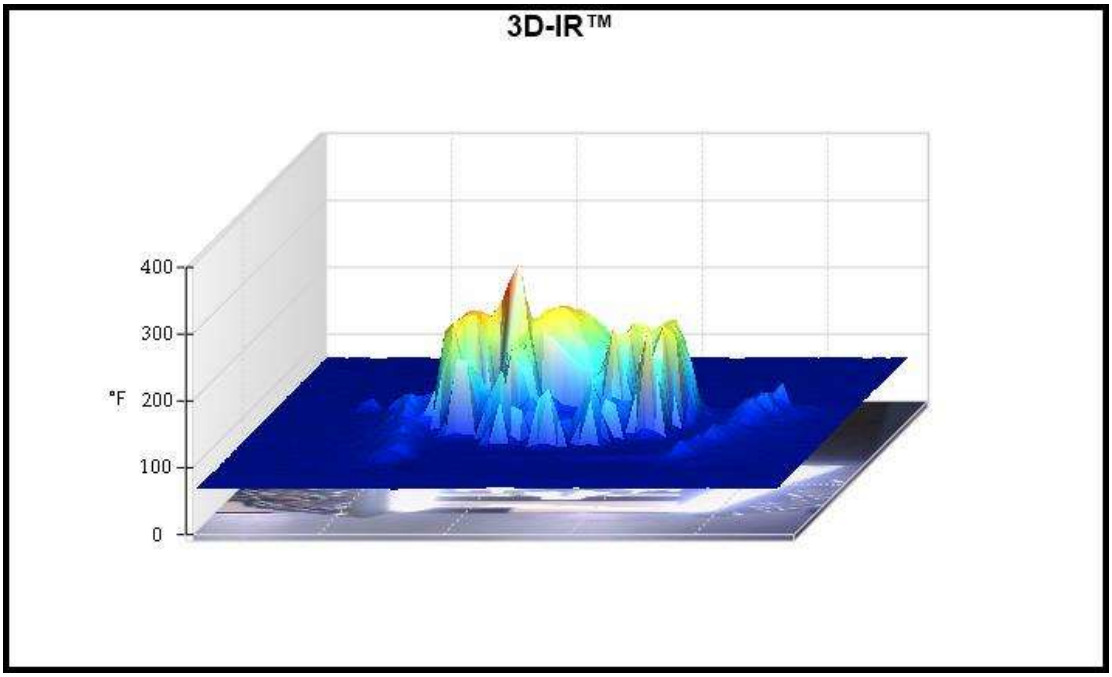


그림 3.2.164 Smart Head Nozzle 3D-IR 10차 측정 그래프

<표 3.2.75> 10차 측정 실험결과 (1)

투과	1.00
평균 온도	74.4° F
이미지 범위	60.6° F - 310.8° F
카메라 모델	Ti90
IR 센서 크기	60 x 80
DSP 버전	1.1.96
이미지 시간	2010-11-01 오전 5:00:24
파일 위치	F:\ DCIM\ 100FLUKE\ IR000113.IS2
보정 범위	14.0° F - 482.0° F
습도 조정	0 RH % 0 거리(m)

<표 3.2.76> 10차 측정 실험결과 (2)

위치	온도	방사율	배경
가운데 지점	84.1° F	0.95	71.6° F

○ 위 표를 보면 10차 측정 시의 투과, 평균 온도, 이미지 범위, 카메라 모델, IR 센서 크기, DSP 버전, 이미지 신간, 파일 위치, 보정 범위, 습도 조정을 확인할 수 있다.



그림 3.2.165 스마트헤드 실제 적용 사진

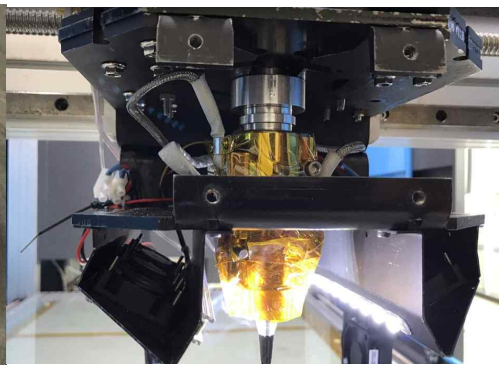


그림 3.2.166 대형 3D프린터 적용한 스마트헤드

○ 위의 왼쪽 사진은 스마트헤드에 실제 펠릿을 투입한 사진이며, 위의 오른쪽 사진의 경우 대형 3D프린터에 스마트 헤드를 부착한 사진이다.

(6) 스마트헤드를 활용한 다색상 구현 시험 출력

○ 본 다색상 구현의 범위는 ABS와 PLA 소재를 활용한 시험 출력 과정이다. 다양한 종류의 펠릿형태의 플라스틱 소재를 활용하여 White and Black 색상을 혼용해 다양한 그라데이션을 적용해본 사례이다.

(가) 1차 Black ABS 펠릿을 활용한 출력

○ Black 컬러의 ABS 컬러의 경우 형태적으로 보았을 때, 입자가 크기 때문에 고른 정밀 도 출력에 적합하지 않음을 확인할 수 있었다. 5mm의 대형 노즐을 적용해 출력했지만, 용융 시점과 이동거리 별 토출량이 다르기 때문에, 위와 같은 낮은 정밀도의 출력물이 출력된 것으로 평가한다. 또한, ABS의 특성 상 유광을 띄는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 밑면을 보았을 때, ABS 소재 특성상 수축이 크게 일어나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 Black ABS소재의 경우 단일 펠릿으로 출력하는 것을 자제하여 혼용 출력 시 사용하는 것이 적합하다.

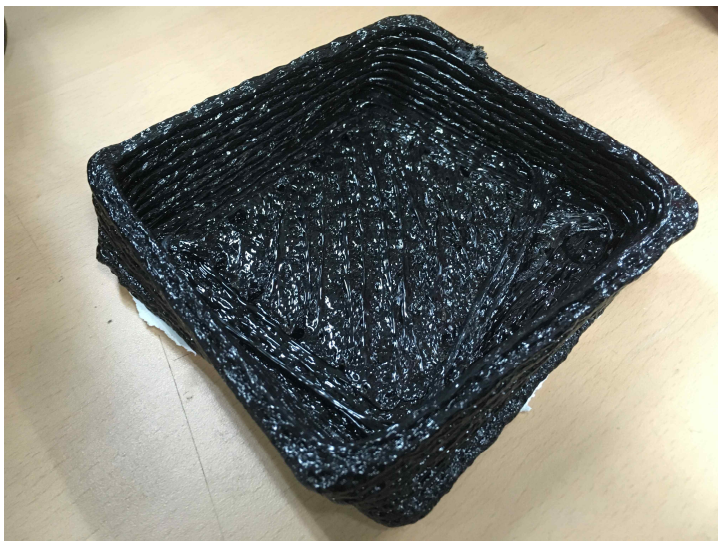


그림 3.2.167 Black ABS 펠릿을 활용한 색상 구현 실험

(나) 2차 White ABS 펠릿을 활용한 출력

○ White ABS의 경우, 입자크기는 상대적으로 Black ABS 펠릿에 비해 작다. 하지만, 아래 그림에서 확인할 수 있듯이 다소 용융된 상태에서 빠른 냉각이 필요하다. 또한, Black ABS 소재에 비해 좀 더 수축이 심한 것을 확인할 수 있다. 기존의 다른 재질에 비해 용융된 상태로 안착하여 녹아서 출력된 것을 확인할 수 있지만, Black ABS에 비해 정밀도가 올라간 것을 확인할 수 있다. 따라서 두 색상의 조합을 통해, 유광 광택정도와 정밀도, 용융정도의 개선이 가능할 것으로 평가한다.

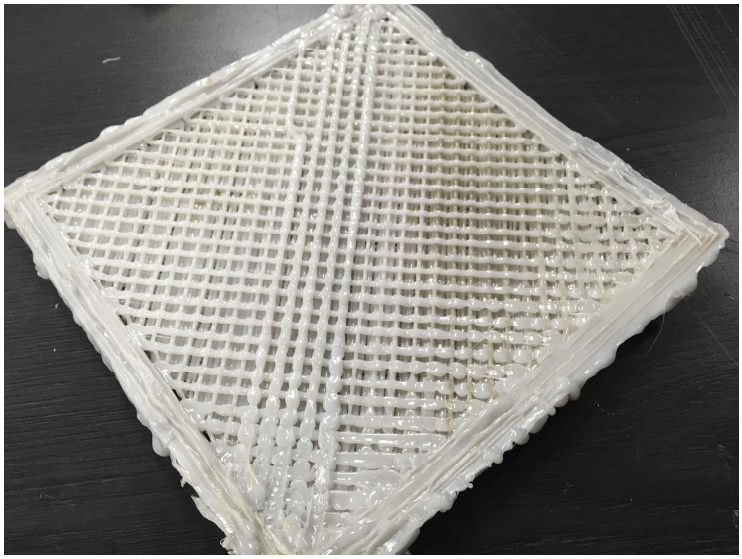


그림 3.2.168 White ABS 펠릿을 활용한 색상 구현 실험

(다) 3차 반투명 PLA 펠릿과 White PLA 펠릿을 혼용한 출력

○ White PLA 소재는 White ABS 소재보다 수축이 적다. 이는 PLA와 ABS의 재료 성질 차이이며, 대형프린터의 출력시 ABS보다 PLA 소재가 적합하다는 결과를 도출할 수 있다.

○ 또한, 반투명 PLA의 경우 재료 상의 이점이 적어 White PLA 소재와 혼용하기 적합하다. 따라서 반투명 PLA 펠릿과 White PLA를 혼용하여 출력해 보았다. 아래 사진을 보면 적층 정밀도와 용융 정도가 좋아진 것을 육안으로 확인할 수 있다. 내부 적층은 베드레벨링에 의해 다소 불안정 하지만. 외부 라인의 경우 수축이 2차까지의 실험에 비해 상대적으로 깔끔히 출력된 것을 확인할 수 있다.



그림 3.2.169 반투명 PLA 펠릿과 White PLA 펠릿을 혼용한 색상 구현 실험

(라) 4차 반투명 PLA 펠릿을 활용한 색상 구현 출력

○ 반투명 PLA 소재와 소량의 White PLA를 활용한 출력과 반투명 PLA 펠릿만을 사용해 비교 출력을 진행하였다. 아래 사진을 보면, 좌측에서부터 오른쪽으로 갈수록 탁도가 떨어지며, 투명도가 높고 안정적인 압출이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 바깥 라인과 내부 출력이 일정한 것을 확인할 수 있으며, 원하는 형상으로의 출력까지 컬러 별 소재에 따라 출력이 가능한 것을 알 수 있다.

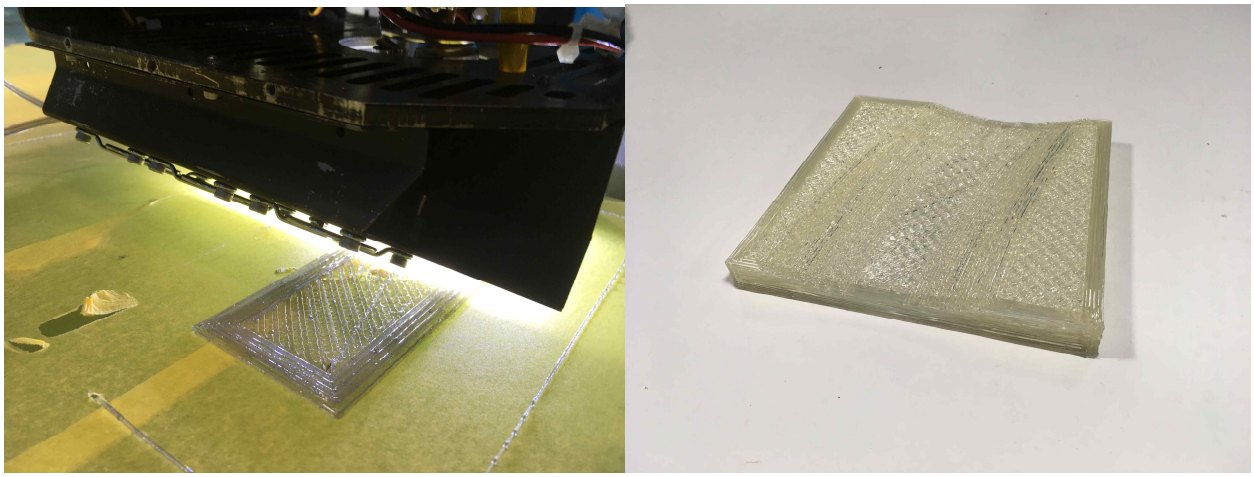


그림 3.2.170 반투명 PLA 펠릿을 활용한 색상 구현 출력 (1) (좌: 화이트 W_20% 반투명 T_80% 우: 화이트W_10% 반투명 T_90%)



그림 3.2.171 반투명 PLA 펠릿을 활용한 색상 구현 출력 (2) (화이트W_0% 반투명 T_100%)

(7) 신규헤드

(가) 신규헤드 개발

○ 1차개발된 호퍼에 펠릿을 넣어서 3D프린팅하는 방식이 아닌 필라멘트를 넣어서 제작하는 방식을 마지막으로 개발하였다.

○ 이를 위해서 개발되고 수정보완된 사항은 크게 3가지가 된다.

- 첫째, Z Limits 스위치 조절자 제작: 정밀한 Z Calibration조절을 위한 조절자를 Z리미트 스위치와 함께 외부로 돌출 시켰으며 상부에 M4볼트와 너트로 체결하고 고정시켜 정밀한 조절이 되도록 설계 적용하였다.



그림 3.2.172 Z Limits 스위치 조절자 제작

- 둘째, Z Calibration을 위한 터치 프로브 제작: 전체적인 작업면 크기가 커서 이를 정밀하게 터치프로브 (게이지)를 통해서 수치적인 측정이 가능하도록 적용하였다. 대형 가공 시 높이 조절볼트로 조절하여 Z축의 높이 정밀도를 일정하게 조절하면서 해당 게이지의 수치를 측정분석하게 된다. 현재 대형 부재 출력에 실제 적용한 결과 초기 3D프린팅 출력 성공률이 거의 100%에 달하는 상황이다.

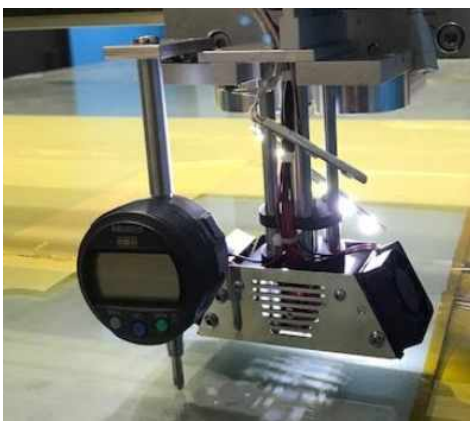


그림 3.2.173 Z Calibration을 위한 터치 프로브 제작

- 셋째, 필라멘트 사용 스마트 헤드 개발: 다음 그림은 신규 스마트 헤드이다. 이는 전체적으로 상부에 익스트루터 모터가 설정되어 기어에 의해서 필라멘트를 강압적으로 밀어내는 방식이다.하부에는 황동으로 150미리가 관으로 제작되어졌으며 헤드 끝부분에 알루미늄에 12볼트 히트봉이 MKS-Gen V1.4 회로물에 직접 연결되어 있다. 연결되어 있다.

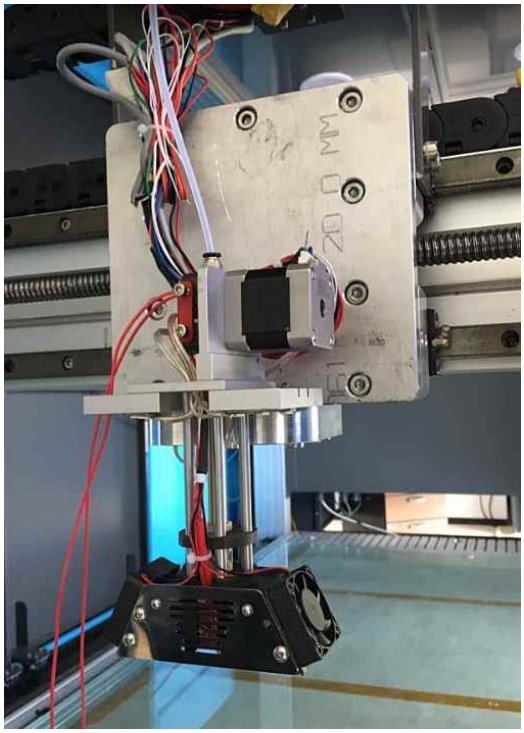


그림 3.2.174 필라멘트 사용 스마트 헤드

(나) 신규헤드 적용 3D프린팅 테스트

○ 다음은 개발된 신규 필라멘트 방식의 헤드를 적용하고 PLA필라멘트를 적용한 3D프린팅 출력 진행한 단계별 화면이다.

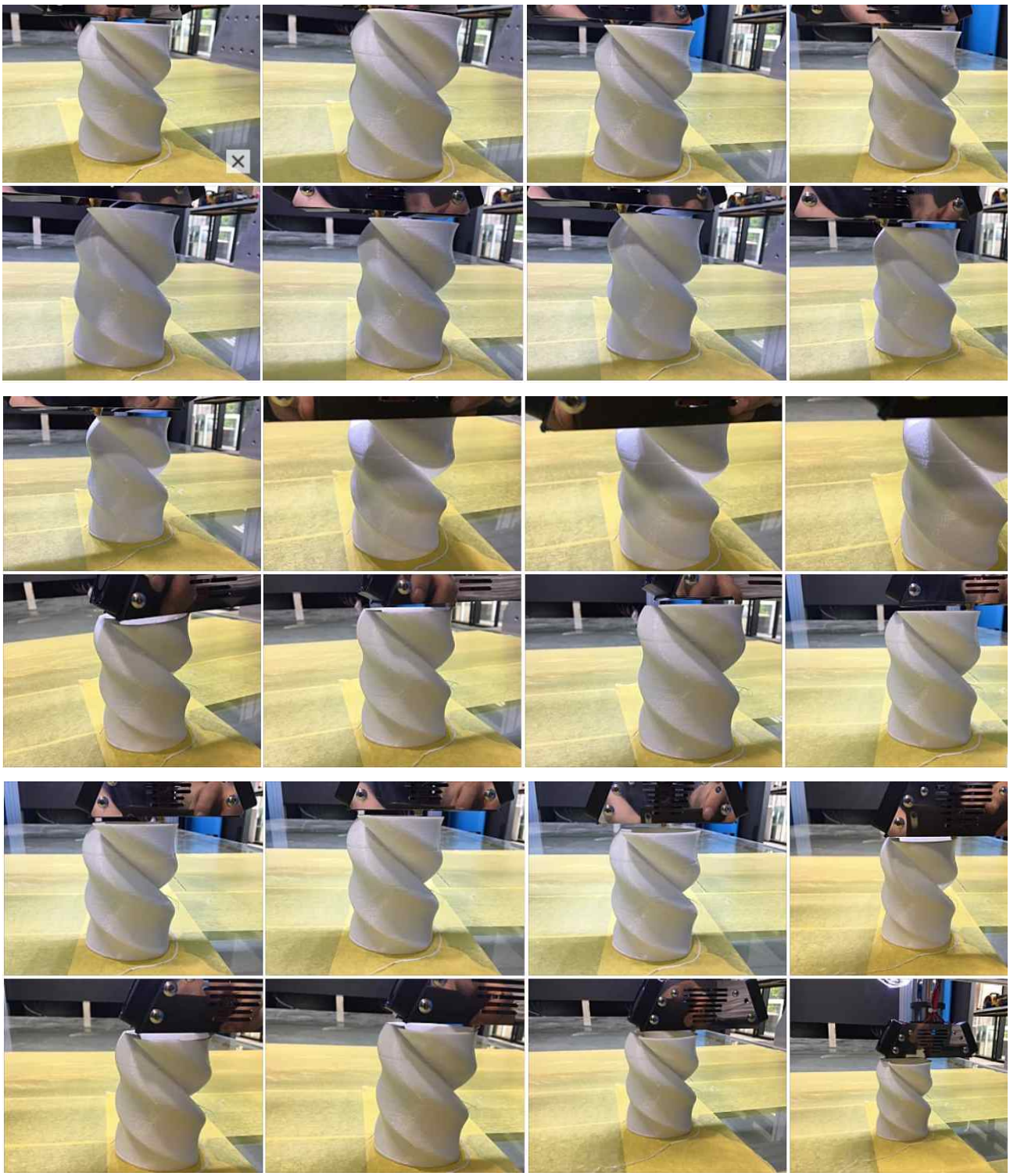


그림 3.2.175 신규헤드 PLA 필라멘트 적용 단계별 출력



그림 3.2.176 출력 구동 이미지

차. 연잎효과의 나노소재 활용 입체조형 외피제작 가능성 연구

(1) 연잎효과의 이해

○ 습윤성은 어떤 표면에 물이 젖는 정도에 따라 친소성, 소수성, 초소수성으로 나눌 수 있으며, 연잎은 초소수성에 해당한다. 초소수성은 연잎의 여러 잎사귀가 물에 젖지 않고 깨끗한 상태를 유지하는 자기정화 현상을 근본이다. 이를 “연잎 효과”라고 하며 이러한 효과의 핵심적인 요소는 연잎에 있는 ‘나노 돌기’이다. 연잎의 표면에는 수 억 개의 돌기가 자리하고 있는데, 그 돌기는 나노크기로 연잎의 표면장력을 높여 연잎효과를 발생시킨다. 연잎효과를 처음 발견한 사람은 독일의 빌헬름 바르트로트이며, 1994년 ‘연잎효과’에 대해 특허신청을 진행하였으며, ‘연잎효과’가 여러 제품 및 실험에 응용되어 사용되는 실정이다. 아래의 사진은 ‘연잎효과’의 이해를 돕기 위한 사진으로 ‘연잎효과’가 액체 상체의 물질에 어떻게 작용하는지 간단하게 확인할 수 있다.

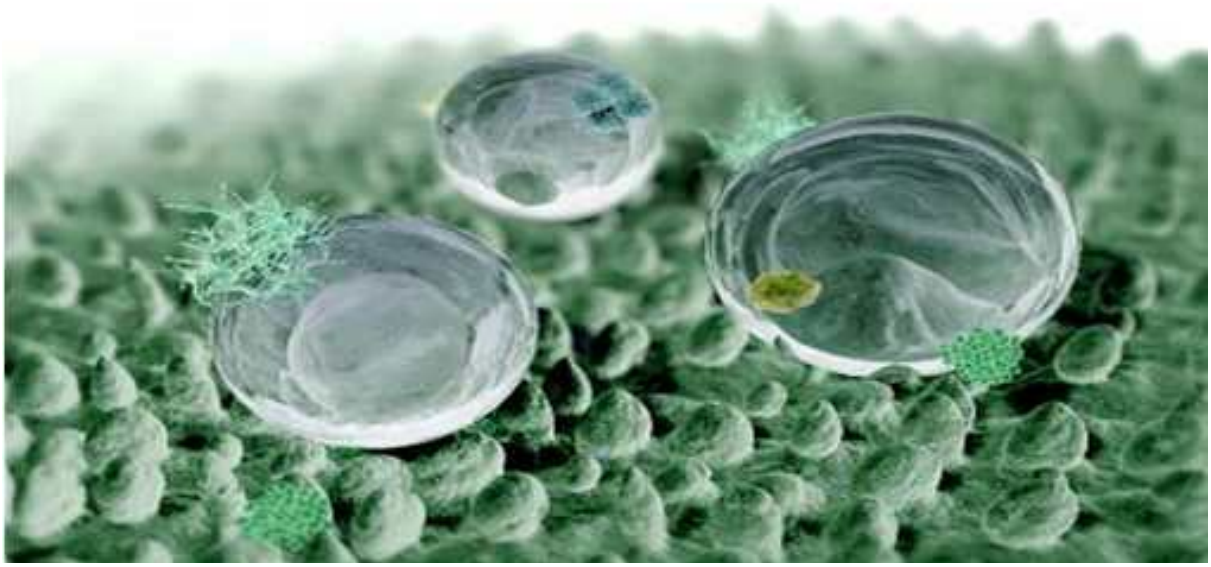


그림 3.2.177 연잎효과

(2) 나노과학의 이해

○ 나노기술은(Nanotechnology)는 일반적으로 100nm 이하의 크기를 갖는 물질의 이해를 바탕으로 이들을 제어하여 독특한 물리, 화학적 현상을 응용하는 기술을 말한다.

○ 나노기술의 핵심은 고품질의 나노소재를 제조하는데 있으며, 고품질의 나노소재를 제조하는 대부분의 기술은 화학적 방법에 기반한다. 특히, 나노기술의 궁극적인 목적이 실질적 응용인 인류 번영에 이바지 한다는 점에 있어 현실적 접근 및 경제성을 고려하는 공학적 요

소가 반드시 요구된다. 현재 나노기술은 화학공학을 바탕으로 다양한 분야, 물리, 화학, 전자공학, 기계공학, 의학 등 자연과학 및 공학분야를 넘어 공동연구에 기반하고 있다.

○ 나노소재는 일반적으로 소재공학이 갖는 의미처럼 분야에 제한되지 않고 다양한 분야에 제한되지 않고 다양한 분야에 응용되고 있다. 나노소재의 특징은 기존의 벌크(bulk) 스케일의 소재와는 차별화 되는데, 독특한 성질의 소재의 제조로 기존 기술의 한계를 극복하거나, 기존에는 불가능했던 새로운 성질에 기반한 융합기술을 제시하고 있다는 것이다. 현재, 에너지, 환경, IT, 생명, 의학 등 다양한 분야와의 적극적인 융합연구가 진행되고 있다. 아래 사진은 나노소재의 다양한 방향성과 융합기술을 바탕으로한 나노의 학제적 관점의 분석의 가능성을 보여주는 인포그래픽이다.

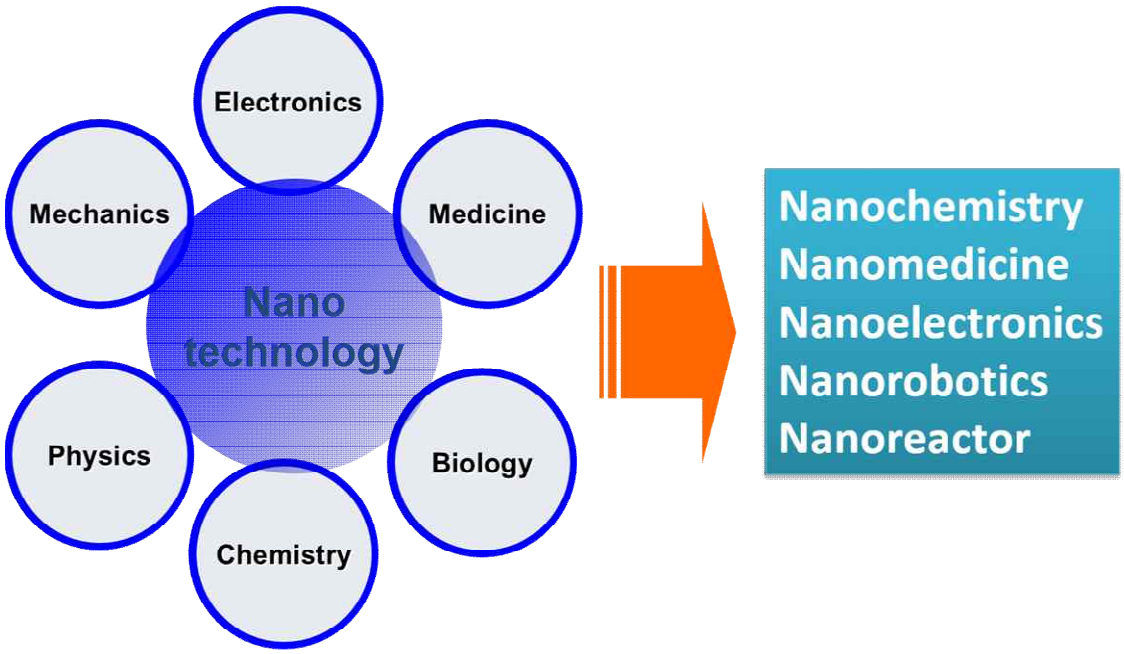


그림 3.2.178 학제적 관점의 나노기술

(3) TPX소재의 이해

(가) TPX의 일반 물성

○ TPX는 4 methylpentene-1을 주원료로 하는 결정성 올레핀 계통 폴리머이다. 현재, 이미 개발된 재질로써, 3D 프린터의 적용에 적합하다. 그 특징은 아래와 같다.

① 융점이 200℃~240℃의 내열성이 우수한 폴리머이다.

② 가시광선의 투과율이 90%이상의 양호한 폴리머이다. 가시광선 뿐만 아니라 자외선 영역(300~400nm)에서도 우소한 광선 투과율을 가지고 있다.

③ 분자 구조상 극성구조를 갖지 않아 내양품성이 우수하며, 내유성도 우수하다.

④ 열적성질의 장점을 가지고 있어 내열노화성, 내스팀성(끓는 물)성이 우수하다.

⑤ 플라스틱 중에서 최고 저밀도의 폴리머로서 경량화에 적합한 재료이다.

⑥ 전기절연성이 우수하며, 저유전율의 전기 특성을 가지고 있다.

⑦ 표면장력이 24dyne/cm으로 작기 때문에 이형성 및 내피오염성이 우수하다.

(나) TPX의 사출 그레이드

○ TPX는 모든 그레이드에서 사출성형이 가능하다. 그 대표적인 그레이드는 아래의 표와 같다.

<표 3.2.77> TPX의 대표적인 그레이드

GRADE		RT18	RT31	DX820	MX001	MX002
MFR (g/10min)		26	26	180	20	20
특징		고강성	고강성, 저취	고강성	중강성	저강성
용도	공업용	○	○	○	○	○
	식품용	○	○	○		

(다) 사출 성형기

○ 사출 성형기의 선정

- 통상 TPX는 300℃ 부근의 고온에서 사출 성형되기 때문에 그 온도를 충분히 만족시킬 수 있는 가열용량과 온도제어를 준비하여 L/D=20~24, 압축비율이 2.0~30의 스크류가 적당하다. 스크류 끝에는 역류 방지 RING의 설치가 필요하다.

○ 사출용량

- TPX는 열가소성 수지 중에서도 밀도가 가장 작아서 0.83g/㎤ 이고, 비중으로 환산하면 폴리스틸렌의 70%의 중량이 가소화 가능하게 된다. 일반적으로 사출용량은 제품용량의 1.3~1.5배가 적당하다.

○ 노즐

- TPX의 사출성형에는 OPEN, NOZZLE, SHOT, OF NOZZLE 어떤 것이든 사용이 가능하다.

○ 형체 압력

- 형체 압력은 제품 투영 면적 X250kg/㎠(3700psi) 이상이 필요하다.

(라) TPX의 성형조건

○ 실린더 온도

- 실린더 온도는 290~310℃가 정당하다.

○ 사출 압력

- TPX는290~310℃의 온도 범위에서 양호한 성형성을 보여준다. 이런 온도 범위 안에서는 저압에서의 사출성형이가능하다. 제품에 성형 왜곡을 남기지 않기 위해서는 가능하면 저압에 의한 사출성형을 추천한다.

○ 사출 속도

- TPX는 성형성이 우수하기 때문에 저속에서의 성형이 가능하다.

○ 사출 시간

- 사출시간은 제품의 크기에 의해 다르지만, 7~17초에 성형이 된다. 그러나 사출 2차 압력은 게이트 부분의 왜곡의 원인이 되므로 2초 이하로 하는 것이 바람직하다.

○ 쿠숀 양

- 쿠숀 성형은 바리의 원인이 되기 쉽다. 때문에 최대한 피하는 것을 권장한다.

○ Drooling

- TPX의 사출성형의 경우, 노즐 끝부분에서 용융된 수지가 흐르는 현상이 일어날 수 있는데, 이런 경우 SUCK BACK를 1~2mm 실시해 주도록 한다.

○ 금형온도

- 금형온도는 20~60℃가 적당하다.

○ TPX의 대표적인 사출 성형 조건의 예

<표 3.2.78> TPX 대표 사출 성형 조건의 예

실린더 온도	300℃	사출기: MEIKI M-100 성형품 형상 게이트: film gate 촌법: 120x130x2 mmt
사출압력 (1차/2차)	500/470 kg/cm	
사출속도	10/100	
사출시간 (1차/2차)	4/2초	
냉각시간	23초	
금형온도	60℃	

○ 사출기가 정지할 경우의 처치

- 사출성형기를 30초 이상 정지할 경우에는 수지의 분해를 최소한으로 억제하기 위해 실린더 온도를 일단 260~280℃로 정지해야 한다. 또한, 1시간 이상 정지한 뒤 재가동할 경우에는 퍼징 수지가 비산되는 경우가 있으므로 충분히 주의해야 한다.

○ TPX의 수지 교체

- TPX의 사출 성형에는 실린더 내부에 다른 수지가 소량만 남아 있어도 TPX의 투명성이 현저하게 저하된다. 그렇기 때문에 투명성이 요구되는 제품의 경우네는 실린더 내부에 남아 있는 다른 수지를 완전히 치환할 필요가 있다. TPX는 용융시의 점도가 낮아서 용융점도가 높은 수지로부터 수지를 교체하려면 다량의 수지가 필요하게 된다. 효과적인 수지교체를 위해서는 우선 저MFR의 PP로 치환한 다음 TPX로 수지 교체하는 것이 좋다.

(마) 제품의 디자인

○ 안정된 생선성을 확보하기 위해서는 TPX에 적합한 제품 디자인을 고려하는 것이 포인트이다. 제품 디자인의 체크 포인트에 대한 내용은 아래와 같다.

- 리브(RIB)의 부착: 리브의 베이스 부분의 R은 0.5mm 이상이 되게한다. 이 R이 클수록 미크로 크랙(micro crack)이나 깨지는 현상을 방지하는 것을 가능하게 하며, 제품의 강도가 향상된다
- 제품 바닥 부분의 형상: 용기 형태의 제품의 바닥 부분의 R은 되도록 크게 하는 것이 좋다.
- 이음매 부분의 디자인: 제품에 이음매 부분이 있는 디자인에는 이음매 부분의 살 두께는 제품의 가장자리 벽 부분의 살 두께와 같도록 해야 한다. 특히, 이음매 부분의 살 두께가 제품의 가장 자리 벽의 살 두께보다 얇은 경우에는 살 부분의 냉각을 충분히 해야 한다.
- 게이트 부분의 강도 향상: 게이트 부분의 강도를 향상시키기 위해서 게이트 주변에 리브의 설계를 하면 게이트로의 직접적인 충격을 피하는 것이 가능하다.
- 웰드 라인: 게이트 부근 및 가장자리 부분에 구멍이 있는 듯한 디자인의 경우에는 웰드 라인을 발생시킬 수 있으므로 주의가 필요하다. 구멍의 디자인으로는 게이트 부분부터 충진이 되도록 수지가 천천히 흐를 수 있는 디자인이 되면 웰드 라인이 눈에 띄지 안헤 된다. 또한, 이형성을 양호하게 하기 위해서는 2도 이상으로 해야 한다.
- 제품의 살 두께: TPX는 유동성이 뛰어나서 소형 제품의 경우에는 제품 살 두께가 1mm 이하에서도 성형이 가능하다. 일반적으로 유동성이 나쁜 수지의 경우에는 게이트 부분의 살 두께를 두껍게 하는 경우가 있으나, TPX는 거꾸로 게이트 부분에 잔류 왜곡이 발생하여 게이트 크랙이나 그을림 현상이 발생할 우려가 있다.
- 리브의 그을림: 리브가 있는 제품에서 그 반대쪽에 그을림 현상이 눈에 띄게 되면 R을 붙여서 그을림이 눈에 띄지 않게 하는 방법도 있다.
- 내부 휨 현상: 각이 있는 용기 형태의 제품의 바닥의 R은 디자인 상 가능하면 크게 하여 주는 것이 좋다. 20mm이상 높이의 용기에서는 가장자리 벽 부분의 안쪽 휨 현상을 방지하는데 도움이 된다. 또한, 벽 부분의 디자인에 큰 R을 만드는 것으로 내부 휨 현상이 개

선되기도 한다.

(4) 연잎효과 나노소재의 활용 입체 조형 외피제작 가능성

○ 대형 3D 프린터 활용면에서 TPX 소재를 기반으로 한 연잎효과 나노소재 도입이 가능할 것으로 예성 된다. 또한, 온도와 형태에 따라, 외피 설치 환경에 맞는 소재적 접근은 연잎 효과를 통한, 벽체 방수를 이끌어 낼 수 있어, 외벽이나 외피의 부식을 최소화하여 지속가능한 디자인으로써의 가치가 향상되며, 자연 재해로 인한 파손을 최대한 줄일 수 있다. 투명 TPX의 적용의 경우 외벽을 유리가 아닌 새로운 토명 재질의 도입으로써, 이제 공사현장 내부를 가리지 않거나, 내부 공사현장과의 간격 사이에 또 다른 디자인적 삽입이 가능해 진다. 따라서, 대형 3D프린터를 활용한 연잎효과와 나노소재의 활용은 입체 조형 외피 제작에 있어 무한한 가능성을 보여주며, 실현될 경우 토목 건축 시장에서 독창적 가치를 확보하기 때문에 사업성이 매우 우수하다고 판단할 수 있다.

카. 폐플라스틱 재활용 소재 이용 입체조형 폼라이너

(1) 폐플라스틱 재활용 개요

○ 다음 내용은 3D프린터용 필라멘트 제작기 디자인에 관한 연구결과를 바탕으로 2017년도에 연구개발된 내용을 적용하여 실행한 사례를 중심으로 자체 연구개발하여 실험 진행하였음을 밝힌다.[3] 현재 플라스틱 소재는 오션 플라스틱과 관련된 미세 플라스틱이 생태계 교란과 함께 환경문제를 일으키는 주요원인으로 대두되고 있는 실정이며 이를 해결하기 위한 방안모색이 대두되고 있다. 3D프린팅의 가장 큰 장점으로는 플라스틱을 개인적으로 재사용이 가능한 상황이 된다는 것이다. 현재 주된 개인용 3D 프린터 방식으로 널리 이용되는 FDM 방식의 경우를 보면 PLA재료의 단가는 적게는1kg 19,000원에서 시작하여 고온 고강도 카본나이론 필라멘트의 경우는 1Kg에 79,000원에 달한다. 개인 차원에서 1개의 재료를 구매할 경우에는 구입비용에 있어 큰 체감을 못할수 있으나 산업용 대형 3D프린터의 경우에는 대용량의 소재가 소비되기 때문에 3D프린팅 시 소모성 재료의 비용이 큰부담으로 작용한다. 또한 최근 3D프린팅이 적용되는 분야가 다양화되면서 PLA, PVA, Wood, HIPS, PC, NYLON, Conductive, Flexible, Carbon등과 같은 새로운 혼합소재개발과 상용화가 빠르게 이루어지고 있어 새로운 소재의 적용을 위한 비용 또한 크게 증가하고 있다. 또한, 원하는 품질의 성공적인 3D프린팅 출력을 위해서는 다수의 시행착오가 필요한 실정이며, 다양한 소재의 신속한적용이 3D 프린팅에 있어 매우 중요한 사항이므로 해외에서도 필라멘트를 제작하는 필라멘트 익스트루더에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이에 본 연구에서는 생활용플라스틱 쓰레기의 재활용과 더불어 출력 실패로 인한 폐기용 3D프린팅 필라멘트를 재활용하여 3D프린팅 필라멘트로 다시 재생산이 가능한 폐플라스틱 재활용에 관한 연구를 진행하고자 하였다.

(2) 환경문제

○ 최근 해안가와 해양오염의 원인으로는 플라스틱류 쓰레기로 극심한 문제를 안고 있는 상황에 있다. 일명 오션 플라스틱[4]과 같은 상당량의 해양 쓰레기 류가 전체적으로 해양생태계에도 문제가 진행되고 있는 것이다. 이는 다른 환경보다도 플라스틱은 10~100만배 높은 화학물질수치를 보이기 때문이다. 이렇듯 플라스틱이 해조류의 생태계 문제에 주요 원인이기 때문에 전체 생태계에 영향을 줄 수 있는 오염원이 될 가능성이 높아 단순한 환경 문제

3) Journal of Industrial Design 2017 Mar; 11(01) 147-155, 3D프린터용 필라멘트 제작기 디자인에 관한 연구, 장중식

4) 오션 플라스틱 : 인간에 의해 버려져 태평양, 대서양, 인도양 등 공해상에 떠도는 해양 쓰레기 일부 (이시진, 한국환경공단, 세계 플라스틱 재활용의 전망과 동향, 해양의 플라스틱 잔해 및 바이오 플라스틱에 관하여, 2014 국제환경정보 동향자료집 12page)

만은 아니다.



그림 3.2.179 플라스틱

○ 마이크로 플라스틱이라 불리는 작게 분해된 플라스틱류는 심지어 플랑크톤까지 먹을 수 있는 수준으로 그 원인이 심각하다 하겠다. 이에 다양한 기업에서도 이 문제를 해결하기 위한 방안을 제품디자인 개발 시에도 반영하는 것이 중요한 이슈로 자리매김하고 있으며, 크게 재사용이 가능한 부품개발과 사용 할 수 없는 부품만 재활용하는 연구와 실행도 동시에 진행되고 있다. 또한 최근에 메소드사[5]의 재활용 리사이클링 컨셉 세계최초 오션플라스틱으로 만든 재활용 세제용기가 화제로 나타나고 있다.

○ 경각심 부각과 함께 또 다른 예술계의 노력으로 해양쓰레기를 활용하여 예술 작품을 재탄생시키는 일명 업사이클링(Up-Cycling) 페스티벌 행사를 전남여수에서 처음 개최되어 화제가 되기도 했다.[6]

(3) 리사이클 & 업사이클 플라스틱

(가) 3D프린팅 업사이클

○ 최근 원료의 재활용을 의미하는 3D프린팅 관련 기술을 활용한 운동 즉, 3D프린팅 업사이클링 운동 대거 나타나고 있다. 현재 가장 관심을 가지고 개발되고 있는 방식으로는 용융압출(Fused Extrusion[7])방식으로 열에 녹는 가소성 플라스틱을 활용하는 방식이다. 이는 기존 전자제품의 원재료중 플라스틱류의 제품을 분쇄하여 펠릿[8]으로 가공하여 이를 필라멘트 익스트루더라는 리사이클 필라멘트를 가능하게 해주는 기기가 있기 때문이며, 현재 유럽에서 대량으로 가정에 까지 보급되고 있는 실정에 있다.

○ 또한 3D프린팅 업사이클 운동으로 버려진 컴퓨터 및 가전제품을 재가공하는 프로젝트가 활발하게 전 세계적으로 나타나고 있다. 근본적인 것은 환경문제를 해결하면서 버려진 자원을 재활용하자는 취지이다.

(나) Recycled Plastic Product

○ 미국의 마이크 비들의 폐플라스틱 재활용에 대해서 관심을 가지면서 일명 황금쓰레기라고 지칭 할 정도로 버려지는 플라스틱을 재활용하여 현재 엄청난 규모의 프로젝트가 진행 중이다.

○ 최근 아디다스는 해양환경보호단체(Parley for the Oceans)와 파트너쉽을 체결하며 해양 오염을 막기 위한 프로젝트로 해양 플라스틱 쓰레기를 재활용 유명 축구클럽 바이에른 뮌휀, 레알 마드리드의 유니폼을 제작했다.[9]

○ 또한 소중한 플라스틱(Precious Plastic) [10]은 연구개발자 Dave Hakkens의 2013년 디자인 아카데미 졸업 작품 시작하여 실제 폐플라스틱의 이동경로를 추적, 현장 문제를 직면하고

5) http://methodhome.com/beyond-the-bottle/ocean-plastic/
6) 2016. 2. 119호 이코노미플러스 조션, 연중기획, 바닷 속 떠돌아다니는 해양 오염 물질의 공포
7) 압출방식(Fused Extrusion)(FFF, FDM, PJP, FLEX)
8) 펠릿(Pellet): 필라멘트로 가공하기 전의 플라스틱 알갱
9) http://www.allthatboots.com/news
10) https://preciousplastic.com/en/creations/

연구에 동참하는 여러 전문인을 중심으로 환경 문제 해결을 위하여 그림과 같은 기기 디자인을 하고 실제 재사용을 할 수 있는 방법을 개발하여 관심대상이 되고 있다.



그림 3.2.180 Precious Plastic (사진자료: 웹사이트참고)

○ 또한 호주의 Full Circle Textiles이라고 하는 프로젝트는 플라스틱의 사용증대로 바다에 나타나는 산호초와 관련된 생태 문제해결 프로젝트다. 버려진 플라스틱 제품을 지속적으로 재사용 할 수 있는 개념으로 zoomviewbag과 같은 원형고리들을 디자인하고, 3D프린팅 익스트루더를 통해서 리사이클 플라스틱으로 제품을 디자인하여 관심을 받고 있다.[11]



그림 3.2.181 The Full Circle Plastic Bag

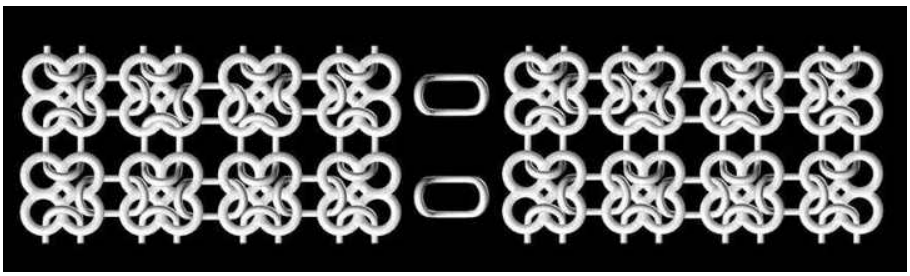


그림 3.2.182 원형 고리 이미지 패턴 디자인
[justified_image_grid ids=" 36572,36571,36573″]

(4) Recycle Material Product

(가) 오픈소스 보드 & 필라멘트 메이커

○ 필라멘트 제작은 다음과 같은 공정이 있다. Extruder에서 호퍼를 통해서 원재료를 공급하고 스크류를 따라 강압적으로 원재료인 펠릿을 모터의 구동력으로 밀어 넣으면서 히팅구간을 통과하면서 전체 용융점에 의해 원재료가 녹아서 해당 압력과 함께 노즐에서 필라멘트가 나오게 된다. 이후 필라멘트를 냉각시켜서 전체 필라멘트의 직경을 체크하고 이후 물탱크를 통과시켜 필라멘트를 식히게 된다. 이후 스풀링을 위해서 Puller에 감게 되며 해당 공정에서 먼지나 기타 이물질이 첨가되지 않도록 별도의 클리닝시스템을 부여한다. 이후 롤러에 전체적으로 다 감기게 되면 커팅을 하고 해당 제품을 패키지를 하고 필라멘트 물건을 출하한다.

11) http://fullcircletextiles.businesscatalyst.com/3d-printing.html

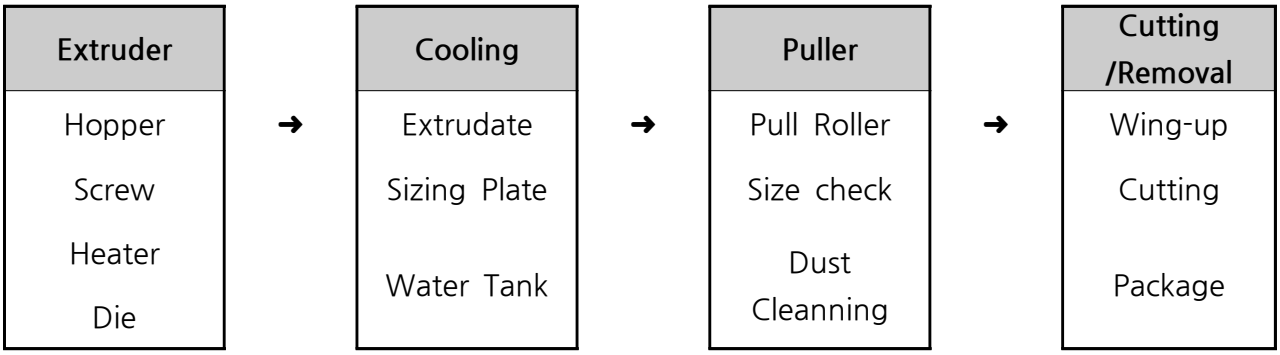


그림 3.2.183 필라멘트 제작 프로세스

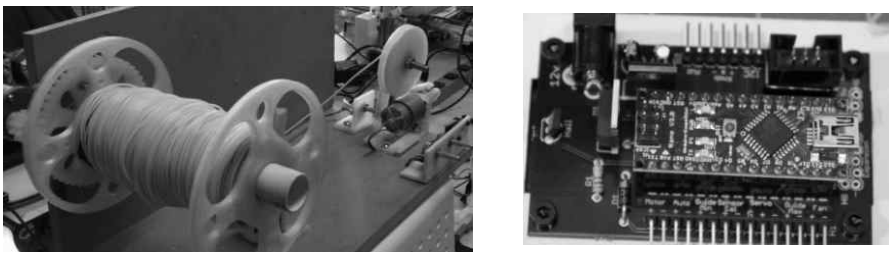


그림 3.2.184 3D Printer Filament Spooler & Open Source PCB(그림출처 : https://solidoodletips.wordpress.com/)

○ 이 단계에서 여러 연구진들이 공유해서 개인 제작할 수 있는 오픈소스가 존재해서 용이하다 하겠다. 3D프린터와 마찬가지로 스풀링 시에 중요한 꼬임현상이 없이 그리고 일정한 두께를 유지해야하는 점과 전체적으로 스풀링시 처음과 마지막 부위의 필라멘트가 일정해야 한다는 점이 초기 개발자에게는 힘든 부분이겠지만 현재는 여러 오픈소스와 보드가 판매되고 있어서 해당 내용을 적용하여 손쉽게 개발적용이 가능하다.

(나) 오픈소스 필라멘트 메이커 개발 판매 사례

○ 최근 이태리의 Felfil Evo의 경우 기존 Arduino 보드를 사용하여 전체 필라멘트를 제작하는 것을 컨트롤하고 개인 생산할 수 있게 하는 제품이 인기이다. 이는 1~2년 전과는 완전 다른 개념으로 산업체의 경우 금형과 사출기를 활용하여 제품을 생산하는 방식과 유사하게 실제 레지스터와 서미스터를 활용하여 용융온도를 제어하여 사출용 원재료 펠릿을 녹여서 필라멘트를 제작하고 있다. 이 또한 오픈소스로서 아두이노에 개발된 펌웨어를 업로딩하여 나 자신에게 맞는 제품과 공정 및 기타 기능을 부여하여 남다른 용도에 맞는 독보적인 가치를 창출시킬 수 있는 기회가 된다.

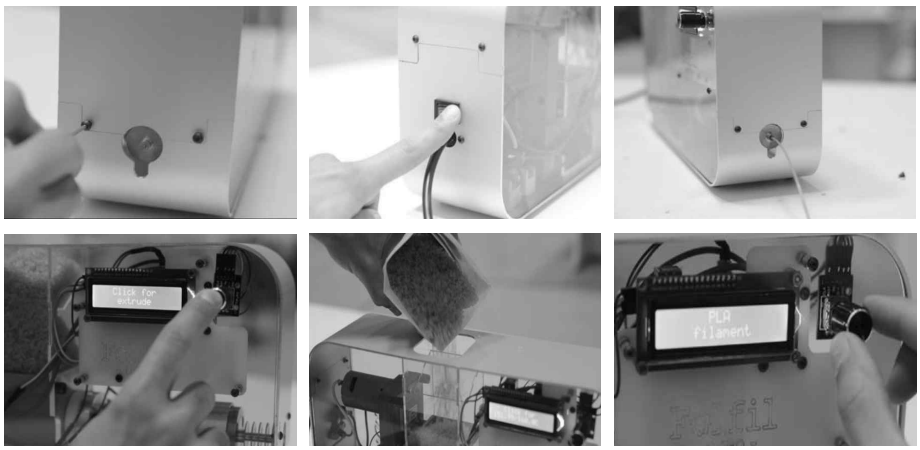


그림 3.2.185 Felfil Evo 오픈 소스 3D 프린터 필라멘트 압출기

○ 필라멘트 메이커 개발 사례

- FilaFab[12]: 영국의 Edward Clifford는 한때 디자인 엔지니어이면서 프로젝트 매니저로 역할을 수행하였다. 또한 D3D Innovations Ltd에서 FilaFab Extruder 및 FilaFab Filament Winder라고 불리는 EX350을 3년간의 연구 끝에 전문가용 필라멘트 제작기를 개발하였다. 특징으로는 일반적인 필라멘트 노즐 1.75mm 및 2.85mm를 선택 가능하며 적외선 센서가 자동 속도를 제어하고, 필라멘트가 압출 될 때 2 개의 적외선 센서를 통과하여 일정 속도를 제어하게 된다. 광학 마이크로미터는 압출된 필라멘트의 실시간 폭 측정을 제공하며, 원하는 필라멘트 폭은 기계의 제어 장치 또는 조만간 출시 될 스마트 폰 응용 프로그램에 의해 설정된다.[13]



그림 3.2.186 FilaFab EX350

- EWE Filament Extruder: EWE Industries사는 3d print Ewe 필라멘트 압출기로서는 최초로 상업용 필라멘트 압출기를 소비자의 요구사항을 수렴하여 개발했다. 이미 Starter Kit은 Arduino 플랫폼을 기반으로 제작되었으며 40 ° C~ 230 ° C 사이로 개인 설정해야하며 압출속도는 분당 25 ~ 50 cm이다. 특징으로는 ewe 압출기 3D 인쇄 LCD를 통해서 서로 다른 색상과 재질을 혼합하여 각 압출 필라멘트에 설정을 할 수 있다는 장점이 있다.



그림 3.2.187 EWE Filament Extruder

- ExtrusionBot: ExtrusionBot은 실제사용자들의 불편함을 위한 독특한 디자인스타일로 디자인되어 있다. 일반적인 필라멘트 제조사의 대부분은 수평 형으로 많은 공간을 차지하지만 직립형으로 협소한 공간에서도 빠른 필라멘트 제작이 가능하다. 또한 상부에서 하부로 토출되는 필라멘트는 자연스러운 구부러짐을 피할 수 있는 최적의 설계라 볼 수 있겠

12) http://d3dinnovations.com/filafab/
13) https://3dprint.com/59722/filafab-filament-extruder/

다. 특징으로는 자동 스풀링 메커니즘이 포함되어 필라멘트가 바닥에 얽히는 문제점을 개선한 것이며, 다양한 필라멘트 직경을 교체가 가능하도록 디자인 되었으며, 문제가 감지되면 자동으로 멈추는 온도 센서와 필라멘트를 제작 시에 직접 색상을 조절할 수 있다는 점이다.



그림 3.2.188 ExtrisionBot

- Felfil EVO: 이태리 Collettivo Cocomeri 디자이너 개발한 Filfil EVO는 오픈소스 데스크톱 압출기를 개발하여 Kickster, Indegogo에 판매하고 있다. 이 시스템의 강점은 콤팩트하다는 것이며 초기 개발시에 출력 시 에러가 발생하여 나타나는 필라멘트를 재사용하기 위한 방안으로 개인용 익스트루더를 작게 제작하게 되었다. Arduino기반의 콘트롤러를 활용하며 제어판을 사용하여 사용자는 원하는 설정을 할 수 있으며, 전체적인 외관디자인이 알루미늄 다이캐스팅으로 현재는 원하는 칼라 흑색과 은색을, 필라멘트의 직경 1.75mm, 2.85mm를 제공하고 있다.

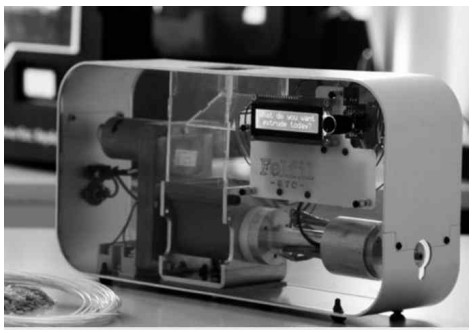


그림 3.2.189 felfil EVO

- Ecoset: Ecoset은 개인용 3D프린터 필라멘트 제작기로 플라스틱을 재활용하여 저렴한 비용으로 개별 품질의 생산이 가능한 필라멘트 제작기이다. 2014년도 에코 프로젝트에서 3D프린팅 필라멘트 제작으로 HDPE, PE 즉, 식품 플라스틱류를 재활용하여 가정용 플라스틱 쓰레기를 줄이자는 것에서 시작하였다. 특징으로는 압출시 분쇄기가 포함되어 있어서 각종 플라스틱을 분쇄하여 펠릿으로 가공하고 이를 바로 호퍼에 투입하여 필라멘트를 제작할 수 있다. 필라멘트는 Ø 3mm, Ø 1.75mm를 제공하고 있다.



그림 3.2.190 Ecoset

- 3devo NEXT 10: 네덜란드의 기계엔지니어링 회사로 Devoteq는 신규 벤처 창업기업으로 설립된 3devo는 고품질의 필라멘트를 생산하기 위해서 소비자에게 요구되는 진화적인 필라멘트 압출기를 개발하였다. ABS, PLA 및 재생 플라스틱 폐기물 또는 다양한 색상 필라멘트를 포함한 맞춤 필라멘트 용 익스트루더이다. 특징으로는 산업디자인과 엔지니어링이 같이 융합된 차원에서 개발하여 무엇보다도 책상위에 설치를 해도 손색이 없을 만큼 디자인 외장을 갖추고 있으며 인터페이스도 사용자에게 맞는 사항을 디자인 한 제품이다.



그림 3.2.191 3devo NEXT 10

(다) 폐플라스틱과 재활용

○ 생활용품 플라스틱 재활용

- 유럽의 분리수거 표시는 표와 같이 번호와 성분표시로 분리수거를 하고 재활용하고 있다. PETE(Polyethylene terephthalate)는 흔히 pet(페트)라고 부르는 폴리에틸렌 테레프탈레이트로 주로 음요 및 음식 포장용기로 사용되며 샴프와 주방 세제 용기통으로 사용된다. hdpe, ldpe는 폴리에틸렌 계열의 재질로 HD(High Density) 즉 고밀도를 의미하며 LD(Low Density)저밀도를 의미한다. PP와 유사하게 사용되며 주로 우유포장용기로 사용된다. V는 비닐(Vinyl)을 의미하며 폴리염화비닐 PVC(Polyvinyl Chloride)을 통칭한다. 주로 인조가죽, 수용배관, 포장재, 전기절연체, 바닥재로 사용된다. PP(Polypropylene)는 폴리스타이렌의 약자로 흔히 요구르트병, 대용량 아이스크림통으로 활용된다. Other(other plastics, Including acrylic, Polycarbonate, pokyatic fibers, nylon, fiberglass)의 경우는 전체적으로 포함되지 않은 모든 비닐류와 플라스틱이 해당되며 커피믹스포장재, 라면 포장재 등이다. 즉 단일재질 및 2이상의 플라스틱 재질이 복합재질로 된 것이다. 다른 재질 금속 및 기타 재료들이 도포 첨부된 것을 의미한다.
- 유럽의 경우에는 재활용 프로세스가 법으로 제정되어 있어 기업의 경우 생산제품에 관련 내용 중 재활용하는 것을 엄격하게 관리한다. 만일 이행되지 않는 상태가 발생되면 엄청난 세금을 부여하는 공정으로 관리운영하고 있었다.



그림 3.2.192 유럽의 분리수거 표시

- 한국의 경우 한국환경관리공단에서 전체적인 내용을 관장하며 분리배출표시 가이드북[14] 을 제작하여 실제 현재 실생활에서 사용되는 물품에 다음 그림과 같은 표시를 하도록 하고 있다. 그 분류내용으로는 외국과 마찬가지 이지만 다른 점은 플라스틱류와 비닐류를 리사이클 마크내부에 한글로 명시하고 있었으며 하부에 실제 소재를 알 수 있도록 명기하고 있었다.



그림 3.2.193 한국의 분리수거 표시

○ 재활용 프로세스

- 전체적인 폐플라스틱의 재활용 프로세스는 그림처럼 재활용될 폐플라스틱을 분리하여 분쇄기에서 분쇄를 해서 펠릿으로 제작한다. 이후 필라멘트 익스트루더의 호퍼에 투입하고 해당 플라스틱의 용융점 즉, PLA[15] 160° ~ 220° , ABS[16] 220° ~ 260° , PS[17] 235° ~ 250° , PP[18] 170° ~ 180, LDPE[19] 150° ~ 170° 에 설정 후 헤드부위에서 필라멘트를 토출하게 된다. 이때 일반적이지는 않지만 물이 담겨있는 수조를 통과시켜 냉각을 시키게 된다. 또는 팬을 이용하여 뜨거운 상태를 냉각시키는 경우도 있다. 이후 건조된 필라멘트의 굵기를 일정하게 하기 위하여 센서를 통해서 그 크기를 측정하고 클리닝을 시키면서 롤러를 따라 필라멘트를 이동시키면서 이후 최종 롤러에 감기게 된다. 이후 마지막 단계로는 패키지를 하여 운송 및 판매를 하게 된다. VINYL, PVC는 일반적으로 재사용을 권장하지 않고 있다.

14) 한국환경공단 : 분리배출가이드북
15) PLA (polylactic acid)
16) ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene)
17) PS (polystyrene)
18) PP (polypropylene)
19) LDPE (polyethylene foam at low intensity)

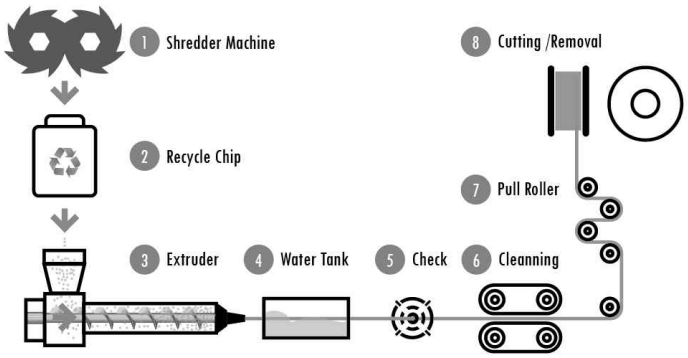


그림 3.2.194 폐플라스틱의 재활용 필라멘트 제작 프로세스

(5) 필라멘트 메이커 디자인 개발

(가) 자체 필라멘트 메이커 개발 개요

- 본 연구는 2017년 국민대학교 실용화 지원사업의 지원사업비를 바탕으로 개발되었으며 이를 적용 및 활용에 이번 연구대상중 폐플라스틱의 재활용에 있다.
- 3D프린팅용 Filament Maker디자인 연구개발의 목적은 중대형 3D프린터에서 대용량의 플라스틱 펠릿을 사용가능하게 할 수 있는 기반을 마련하고자 함이었다. 이에 본 연구에서는 FDM, FFF(Fused Filament Fabrication)방식의 3D프린터에서 사용되는 필라멘트를 재사용하거나, 플라스틱 원재료 펠릿을 사용하여 재가공할 수 있는 3D프린팅 전용 Filament Maker를 디자인 연구개발 하였다.
- 그림과 같이 본 연구에서 개발한 산업용 대형 3D프린터의 경우 대형이라는 문제로 관련 소재도 많이 소모되며 크기로 인한 소재의 강성이 요구되는 것이 현실적인 문제가 있다. 이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 개발된 필라멘트 분쇄기와 메이커를 중심으로 펠릿을 직접 공급하여 경제성도 좋아지면서 관련 소재 즉, 폐플라스틱 분쇄후 재사용 및 기존 사출용 원재료 펠릿을 혼합하여 사용할 수 있어 소재의 특성을 살린 제품을 개발할 수 있으므로 현재 3D프린팅 시장에서는 상당한 경쟁력이 있다고 하겠다.

(나) 연구 내용

○ 폐플라스틱 재활용을 위한 분쇄기 및 3D프린팅용 필라멘트 메이커

- 본 연구자가 선행연구에서 개발한 필라멘트메이커는 재사용을 할 수 있는 개념으로 페트병이나 분리 수거시 플라스틱 용기 등과 같은 소재를 1차로 분쇄기에 분쇄한 후 작은 칩으로 제작하고 이후 적정온도를 컨트롤하여 원재료를 재사용하여 필라멘트를 제작하고 헤드를 탈착식으로 개발하여 직접 헤드를 활용하여 그 효용가치를 높이는 디자인을 하였다.

○ 3D프린터 필라멘트 메이커

- 다음은 필라멘트 메이커와 핫엔드용 개념도로 전체 회로물 설계도와 자체 개발 Extruder_ K3dp EX250 디자인이다. 상부에 호퍼가 있으며 정면에 보이는 투명한 창으로 해당 호퍼내부의 상황을 살펴 볼 수 있다. 또한 정면에 콘트롤러는 간단하게 설계하였다. 우선 산업전용 마그네틱 On과 Off스위치로 전원을 공급 차단 시킬 수 있으며, 응급 스위치로 응급시 전원을 차단할수 있다. 또한 다이얼스위치로 내부 스크류를 회전 및 역회전 그리고 속도조절을 시킬 수 있도록 설계 적용하였다.

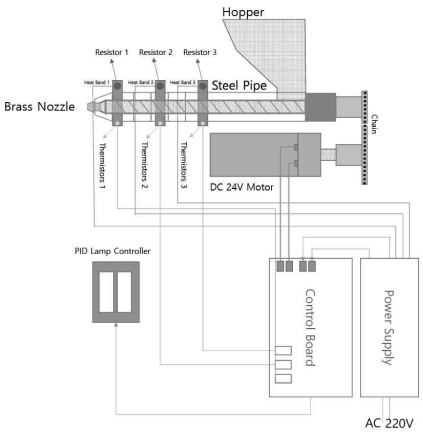


그림 3.2.195 필라멘트 메이커 HotEnd 개념도



그림 3.2.196 자체 개발 Extruder_ K3dp EX250

○ 폐플라스틱 분쇄기

- 다음은 분쇄기 디자인 전면부와 분쇄를 위한 내부 설계를 보여주고 있다. 자체 개발 분쇄기 K3dp Schredder EX500 디자인이다. 상부에 폐플라스틱및 재사용 플라스틱을 넣을 수 잇는 호퍼가 있으며 정면하단에 위치한 서랍으로 분쇄된 플라스틱이 상단부와 하단부로 굵기 별로 쌓이 도록 하였다. 투명한 창으로 해당 호퍼내부의 상황을 살펴 볼 수 있다. 또한 정면에 콘트롤러는 다음 과 같이 간단하게 설계하였다. 우선 산업전용 마그네틱 On과 Off스위치로 전원을 공급 차단 시킬 수 있으며, 응급 스위치로 응급시 전원을 차단할수 있다. 또한 다이얼스위치로 내부 스크류를 회전 및 역회전 그리고 속도조절을 시킬 수 있도록 설계 적용하였다.



그림 3.2.197 자체 개발 분쇄기

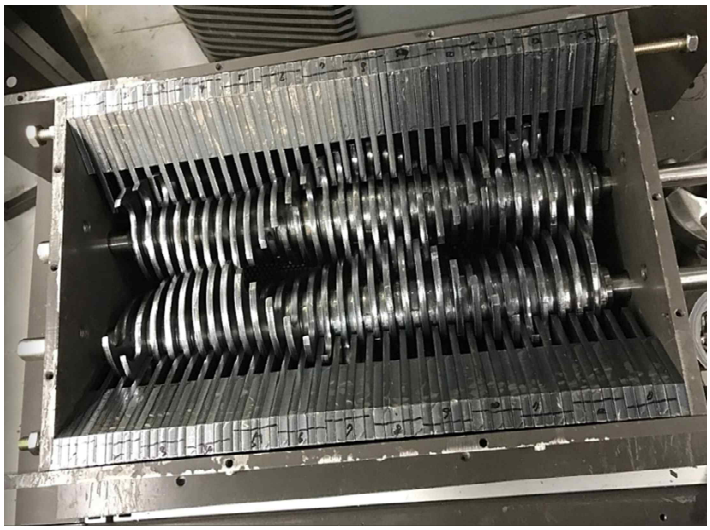


그림 3.2.198 분쇄기 내부모습

- 또한 강점으로는 리사이클 소재의 적용 가능성이 높아 최근 문제가 되고 있는 환경문제의 해결을 위해서라도 재사용가능한 개념의 필라메이커를 중대형 3D프린터에 부착하여 폐플라스틱을 재사용하여 경제성도 해결하면서 환경문제도 해결 가능한 지속가능한 디자인(Sustainable Design)을 적용하려하였다.

○ 폐플라스틱 재활용을 위한 분쇄기 및 3D프린팅용 필라멘트 제작

		
PLA폐플라스틱	분쇄기	분쇄기 내부 모습

그림 3.2.199 선행연구 자체 개발 분쇄(Schredder) 단계별 모습

			
필라멘트 메이커	콘트롤러	호퍼내부 스크류 모습	초기 필라멘트 제작기 헤드 모습
			
재활용 PLA 필라멘트 제작모습	재활용 PLA 필라멘트 제작 모습(확대)	필라멘트 제작 샘플 모습	제작된PLA필라멘트

그림 3.2.200 선행연구 자체개발 필라멘트 메이커 제작 단계별 모습

○ PLA 폐플라스틱을 이용한 필라멘트 활용한 3D프린팅 제작

- 다음 그림은 제작된 필라멘트로 샘플 제작을 위한 공정으로 크기가 작은 것에서 대형에 이르기 까지 제작한 사례이다. 첫째로는 맘모스의 뼈를 제작한 모습이며 성공적으로 출력의 품질이 나타나고 있음을 확인 하였으며 나타난 결과물은 다양한 공정처리에 의해서 제작한다면 환경 문제에 좋은 사례가 되리라 기대한다.



그림 3.2.201 높이 1미터 대형 맘모스 뼈 제작 모습



그림 3.2.202 비행기 날개 부위 테스트 출력



그림 3.2.203 DIY Kits 파츠 제작 모습



그림 3.2.204 RC모형 비행기 돌체 출력 모습

(6) 결론 및 기대효과

○ 미국의 언론인인 헤더 로저스의 사라진 내일의 책에서는 미국의 가정쓰레기의 경로를 살펴보면서 리사이클이 진실인지 허구인지를 보여주고 있다. 물론 우리나라 대부분의 시민들은 분리배출 불편함도 잊은 채 실제 분리수거로 인해서 재사용될 것이라는 믿음을 가지고 철저하게 가정생활에서 분리수거에 동참하게 된다. 그러나 저자의 내용에 따르면 해외로 실

려 가는 플라스틱의 50%정도가 부적절한 혼합물질이 많다는 이유로 거의 소각 매립되는 것이 많다는 지적이다. 여기서 우리는 중요한 점을 인식해야 한다. 누구도 사용되고 버려지고 재사용하는 공정에 이르기까지 전체적인 공정을 생각해서 디자인한 사례가 드물기 때문이다. 그러나 최근 이를 문제로 인식해서 사회적인 활동을 하는 기업들이 많이 있다. 코카콜라 리사이클 3D프린터, 그리고 HP의 프린터 리사이클 프로젝트가 이에 해당된다. 물론 기업의 사회적인 활동은 기업의 이미지에도 상당히 중요하다. 그러나 마케팅의 일환으로 이용되는 경우도 적지 않다. 근본적으로 해결할 수 있는 실마리가 필요하다. 이에 본 연구를 통해서 개발된 리사이클 연구내용을 기반으로 실제 적용될 수 있도록, 선진국의 폐플라스틱류를 수입하는 개발도상국이나 일반 시민들이 사용하는 플라스틱류를 재사용할 수 있는 개념의 제품을 출시하면 환경보호에 대한 상당한 파급효과가 있을 것이다.

3. 입체조형 콘크리트 폼라이너의 3D프린팅 제작과 현장 시험시공

가. 폼라이너 국내외 현황 조사 및 분석

(1) 폼라이너에 대한 기술현황 조사 및 분석

(다) 국내 폼라이너(문양 거푸집) 기술 개발 현황

○ 문양 거푸집이란 건축, 토목용 콘크리트 벽면에 밋밋한 단순함에서 탈피하여 여러 가지 형태(자연석, 나뭇결 , 그래픽 등)의 문양을 입체적으로 표현하기 위해 만든 가설재

○ 한쪽 면에는 다양한 형태의 문양이 조각되어 있으며 이러한 문양거푸집을 거푸집(합판, 유로폼, 갱폼)에 부착한 후 콘크리트를 타설하면 콘크리트 면에 음각, 양각으로 다양한 형태의 문양을 입체적으로 표현 가능

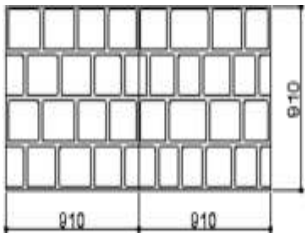


그림 3.3.1 설계 도면
(대유 아트앤 폼)

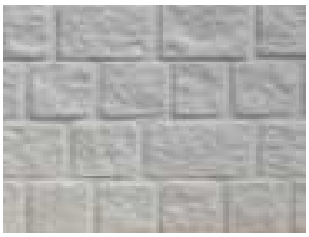


그림 3.3.2 무늬 디자인
(대유 아트앤 폼)



그림 3.3.3 시공 완료 모습
(부안 영상 테마파크, KBS)

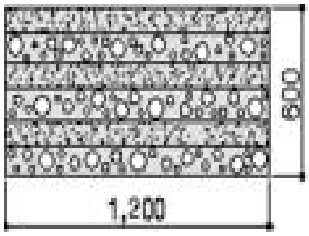


그림 3.3.4 설계 도면
(대유 아트앤 폼)

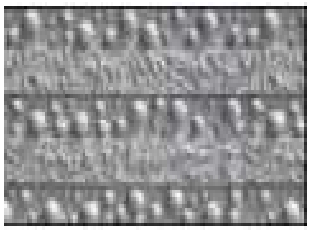


그림 3.3.5 무늬 디자인
(대유 아트앤 폼)



그림 3.3.6 시공 완료 모습
(경기 안양 부림 중학교, 명원 E&C)

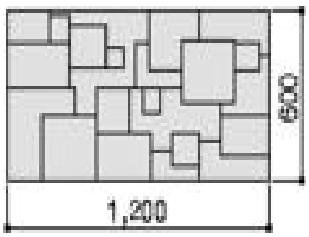


그림 3.3.7 설계 도면
(대유 아트앤 폼)

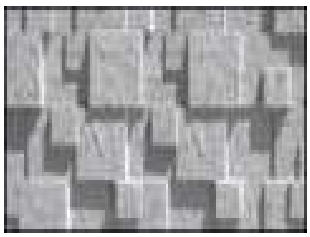


그림 3.3.8 무늬 디자인
(대유 아트앤 폼)



그림 3.3.9 시공 완료 모습
(함안 추모공원, 에스디건설(주))



그림 3.3.10 기존 콘크리트
옹벽의 노후화와 미관 저해 모습



그림 3.3.11 국내 옹벽/벽체의
조악한 미관 처리 모습



그림 3.3.12 기존 아파트 외벽의 균열,
누수 및 콘크리트 노화 모습

○ 그림 3.3.1~9는 현재 국내에서 사용되고 있는 문양거푸집(폼라이너)의 현황임

○ 그림 3.3.1, 4와 7은 각 문양들의 설계도면을 나타낸 것이며 그림 3.3.2, 5와 8은 그것을 토

대로 무늬 디자인을 제작한 것임. 또한 그림 3.3.3, 6과 9는 이 디자인들을 바탕으로 하여 실제 벽 외부에 타설한 모양임

○ 그림 3.3.10과 11은 도심에서 찾을 수 있는 흔한 콘크리트 벽면 처리 모습임. 설계도면의 규격이 일정하다는 것과 반복적인 패턴 디자인만 가능하다는 점을 보았을 때 아직 많은 한계점을 가지고 있음

○ 그림 3.3.12는 아파트 콘크리트 외벽의 균열, 노화로 인해 미관이 손상된 모습임. 이를 개선하기 위해 잘 관리된 시공이 필요함

○ 아래 표에 국내에 적용되고 있는 폼라이너를 종류별로 구분하여 장단점을 설명함.

<표 3.3.3.1> 기존 문양거푸집(폼라이너) 비교

구분	EPS 문양거푸집	ABS 문양거푸집	우레탄 문양거푸집	플라스틱 문양거푸집
재질	EPS(발포 폴리스틸렌)	ABS(부타디엔 스틸렌)	우레탄	재생강화플라스틱
가격	원자재가가 높고 생산성이 낮아 가격이 높음.	원자재가가 낮고 생산성이 높아 가격이 낮음.	원자재가가 높고 생산성이 낮아 가격이 높음.	원자재가가 낮고 생산성이 높아 가격이 낮음.
폐기물 처리	EPS폐기물 처리 불가능.	ABS폐기물 처리 가능.	우레탄폐기물 처리 가능.	폐기물 처리 가능.
작업성	인장강도가 약해 탈형 시 잘 부러짐	진공 성형제품이므로 인장강도가 높아 대부분 잘 떨어짐.	갱폼이나 시스템폼에 보드로 부착하고 핀으로 고정하기에 시공 후 표면이 매끄럽고 흠결이 없어 견출이 쉬움.	갱폼이나 시스템폼에 피스로 고정만 하기에 층고가 높을수록 부착력이 떨어지고 피스자국이 표면에 남을 수 있음.
미관	 시공 시 밀림현상이 없어 표현하고자 하는 입체문양이 일그러짐 없이 잘 나타나기 때문에 자연미가 뛰어남.	 시공 시 문양의 뒷면이 비어 콘크리트 타설시 압력에 의한 밀림현상 때문에 문양이 일그러져 자연미가 떨어짐.	 우레탄 제품은 표면질감이 매끄러워 흠결이 없어 아름다운 면을 표현하기에 용이함.	 재생 강화 플라스틱의 경우 재생폼이고 딱딱하여 문양의 표면의 질감이 거칠어 비교적 정교함이 떨어짐.

(2) 입체조형 폼라이너의 목표성능 정의

○ 미관창출용 폼라이너의 요구성능에 대한 목표성능은 아래와 같이 정할 수 있다.

- 안전성 기준: 콘크리트 타설 시의 압력을 충분히 견디게 하기 위해, 안전율 3.0을 고려하여 최대응력이 허용응력보다 작아야 한다.
- 사용성 기준: 콘크리트 타설 시 변형이 적절한 수준 이하가 되도록 하기 위해, 타설 시 콘크리트 압력의 의한 최대변위가 사용하고자 하는 유로폼 폭의 1/360과 3mm 중 작은

값보다 작아야 함. 이는 가설공사 표준시방서(2014)에 따라 정한 것이다.

(3) 입체조형 폼라이너의 기본 설계

(가) 기존 콘크리트 거푸집을 이용한 입체조형 폼라이너의 설계

○ 아래 그림 3.3.13과 같은 기존 콘크리트 거푸집(또는 euroform)을 사용하는 것 대신에, 그림 3.3.14처럼 신설 콘크리트면에 조형미관을 부조처리하기 위해 거푸집 표면에 부조처리용 음각을 포함하는 폼라이너를 장착하여 콘크리트 양생 후 거푸집 탈형 시 폼라이너를 거푸집과 함께 탈형하도록 한다. 조형을 위해 음각으로 처리된 3차원 반 입체구조의 폼라이너를 설계하고 3D프린터로 제작한다.

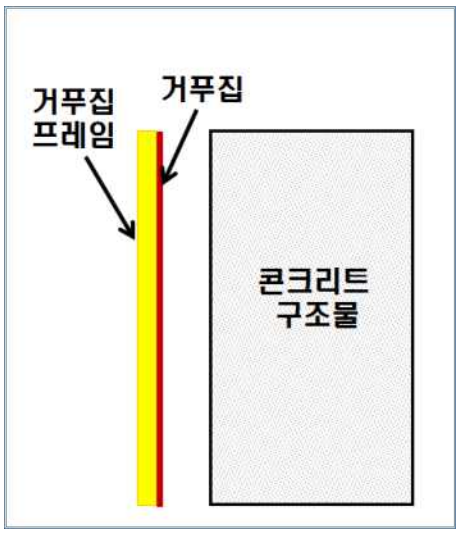


그림 3.3.13 일반 거푸집의 적용

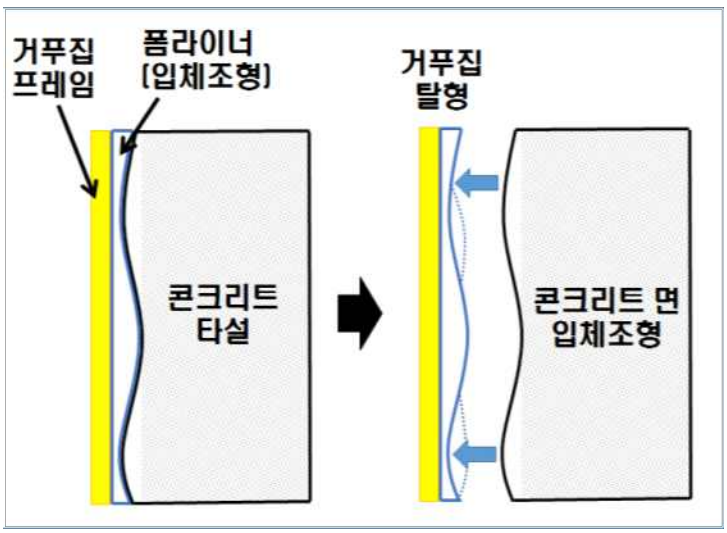


그림 3.3.14 입체조형 폼라이너와 거푸집 적용 개념도

나. 콘크리트 면 처리용 폼라이너 구조해석 및 설계

(1) 콘크리트 폼라이너 및 필러 설계

(가) 폼라이너 설계

○ 거푸집의 크기는 기본 유로폼의 크기인 $600mm \times 1200mm$를 사용(그림 3.3.15)

○ 폼라이너를 거푸집에 결합하기 위해 유로폼과 같은 크기를 사용

(나) 필러 설계

○ 필러(충전제)란 강도나 내구성 등의 모든 성질을 개선하기 위해 기초재료에 가해지는 물질, 또는 증량, 증용, 제품의 재료비 절감 등을 목적으로 첨가하는 물질

○ 필러(충전제)의 종류에는 여러 가지(중탄, 경탄, 천연실리카, 산화티타늄 등)가 있으나 3D프린터로 제작 시에 필요한 내부 인필(서포트)를 필러로 사용

○ 3D프린터에서 인필(서포트)이란, 제작 시 충분한 강성은 유지하면서 내부를 비워 제작시간을 줄임과 동시에 원료절감 효과를 주는 내부 채움을 말함(그림 3.3.20, 21, 22)

○ 필러의 모양에는 여러 가지가 있으나 가장 대중적인 모델은 사각 격자모델과 정육각형인 허니컴모델이 있음

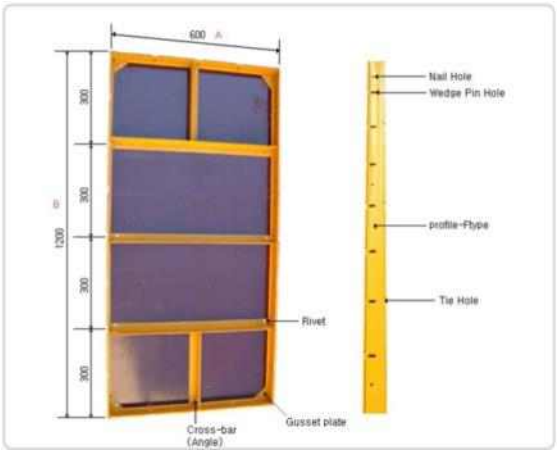


그림 3.3.15 기본적인 유로폼의 형태 ((주)협동)

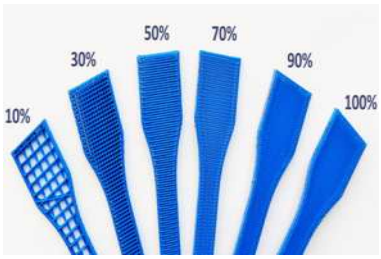


그림 3.3.16 퍼센트에 따른 인필
(3D matter website)

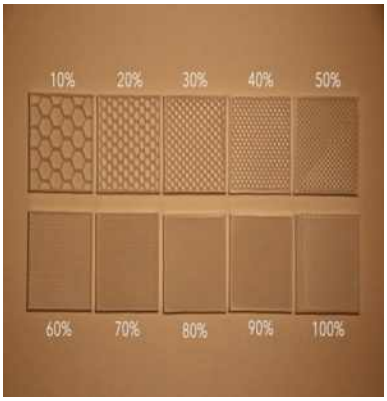


그림 3.3.17 퍼센트에 따른 인필
(enabling the future website)

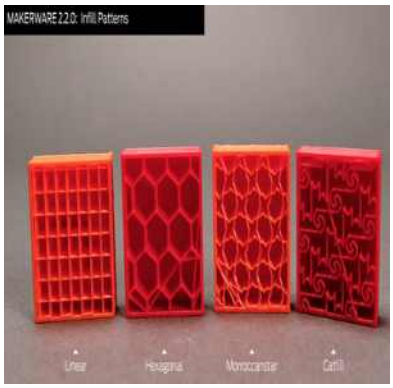


그림 3.3.18 인필 패턴
(makerware 2.2.0)

(2) 콘크리트 폼라이너의 구조해석을 통한 사용성 및 안전성 평가

(가) 폼라이너의 재료 물성치

○ 폼라이너가 콘크리트의 측압을 받기 때문에 안전성 검토가 필요(그림 3.3.19)

○ 폼라이너의 소재는 FDM 3D프린터에서 가장 대중적인 ABS플라스틱으로 가정

○ ABS플라스틱의 제원은 표 3.3.2에 표시

○ ABS플라스틱의 프아송비는 ‘PC 및 PC/ABS소재의 진응력-변형률 거동 연구(2009)’에서 0.33으로 가정

○ 3D프린터의 출력물의 경우 적층형으로 제작되므로, 3D프린터 출력물과 ABS플라스틱 모재의 재료특성은 다를 것임.

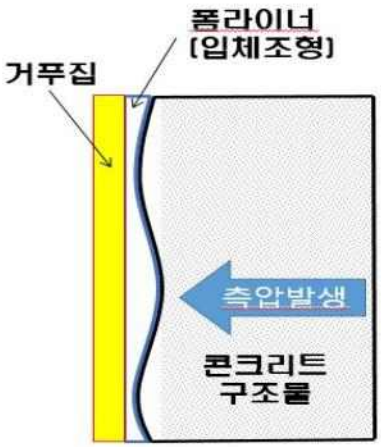


그림 3.3.19 폼라이너에 발생하는
콘크리트 측압

<표 3.3.2> ABS플라스틱의 제원((주)남일엔프라)

인장강도	ISO 527	MPa	41
항복점	ISO 527	%	4
파단점	ISO 527	%	45
IZOD충격강도	ISO 179	kJ/m2	37
ROCKWEU 경도	ISO 2039-1	MPa	84
굴곡강도	DIN 53505	MPa	70
탄성율	ISO 178	MPa	2100

(나) 폼라이너의 허용변형기준

○ 가설공사표준시방서에 나오는 거푸집 변형기준과 동일하게 적용(아래 표 3.3.3)

○ 가설공사표준시방서의 변형기준

- 거푸집 널의 변형기준은 공사시방서에 따르며, 달리 명시가 없는 경우는 표면의 평탄하기 등급에 따라 순 간격(I_n) 1.5m 이내의 변형이 아래 표의 상대변형과 절대변형 중 작은 값 이하가 되어야 한다.

<표 3.3.3> 거푸집 널의 변형기준

표면의 등급	상대변형	절대변형
A급	$I_n/360$	3mm
B급	$I_n/270$	6mm
C급	$I_n/180$	13mm

비고 A급 : 미관상 중요한 노출콘크리트 면
B급 : 마감이 있는 콘크리트 면
C급 : 미관상 중요하지 않은 노출콘크리트 면

○ 미관창출용이므로 A급으로 표면등급 선택

○ 폼라이너의 순간격을 보수적으로 단변길이 600mm로 가정하면, 상대변형 600/360= 1.6667mm와 절대변형은 3mm 중 작은 값 이하가 되어야 하므로 폼라이너의 허용변형기준은 1.6667mm 이하여야 함

○ 폼라이너의 정밀한 미관창출을 위해 폼라이너 인필 간격을 순간격으로 취급한 사용성 기준을 적용할 수 있음

(다) 측압의 크기

○ 콘크리트 표준시방서(2009)의 콘크리트 측압 공식을 사용하고 콘크리트 타설 높이는 유로폼 1개의 높이인 1.2m로 가정

○ 콘크리트는 일반콘크리트의 단위중량인 $24kN/m^3$를 대입하여 0.0288MPa을 측압으로 적용

$$p = WH$$

p : 콘크리트의 측압(kN/m^2)
W: 생콘크리트의 단위 중량(kN/m^3)
H: 콘크리트의 타설 높이(m)

(라) 경계조건

○ 그림 3.3.20에 표시한 바와 같이 유로폼에 고정되는 부분은 x, y, z방향의 움직임을 고정하고 모든 회전은 풀어준다.

○ 그림 3.3.21에 표시한 바와 같이 폼라이너들 끼리 맞닿는 부분은 폼라이너의 면내 방향인 x, y방향의 움직임만을 고정한다.

○ U1은 x축을 U2는 y축을 U3는 z축을 의미

(마) 결과

○ 해석결과 최대응력이 0.0146MPa가 나왔고 변위는 1.46×10^{-18}mm

○ ABS플라스틱의 강도인 49MPa((주)렉산코리아)에 비해서 측압의 최대응력값은 0.03%이고 허용변위에 대한 최대변위 값은 8.76×10^{-17}%이므로 폼라이너가 구조적으로 안전

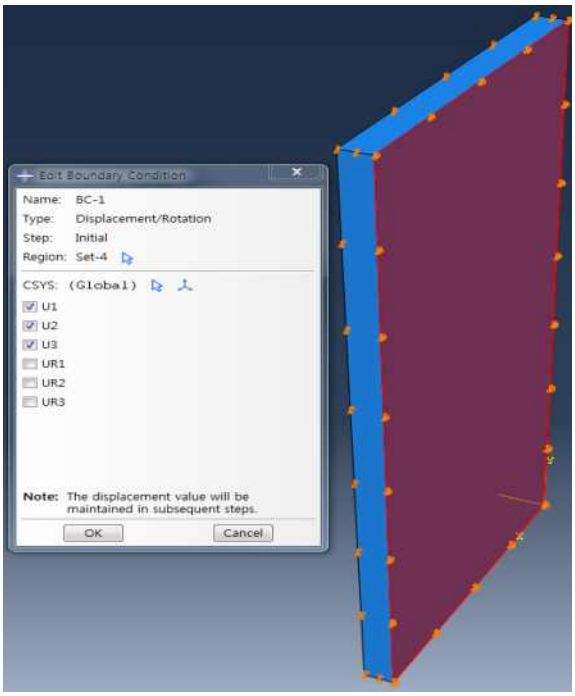


그림 3.3.20 유로폼과 만나는 부분의 경계조건

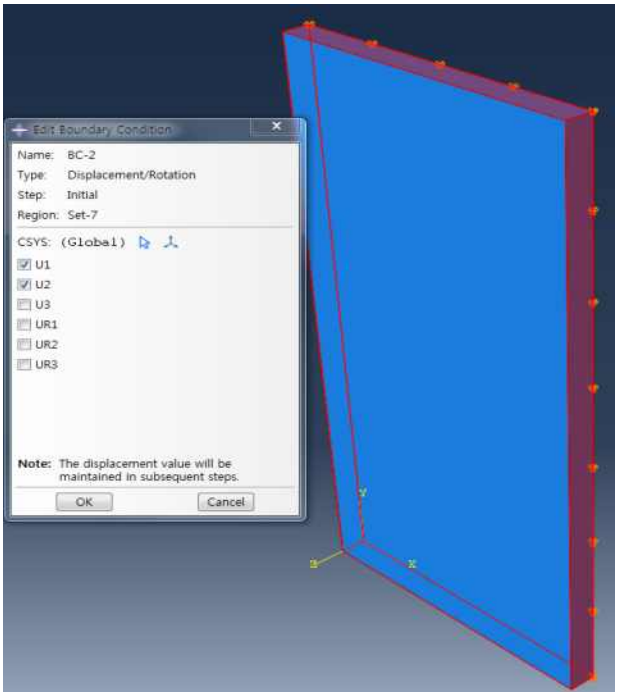


그림 3.3.21 다른 폼라이너들과 만나는 부분의 경계조건

(3) 평가 결과에 따른 피드백 설계

○ 해석결과 강도에 비해서 최대응력이 0.03%, 허용변위에 대한 최대변위가 8.76×10^{-17}%밖에 안 되기 때문에 과다설계라고 볼 수 있다 따라서 경제적설계를 다시 해야 함

(가) 두께의 축소

○ 두께를 줄여서 경제성을 더 좋게 하고자 함

○ 두께에 따른 응력변형을 알기 위해 기존 60mm 두께에서부터 10mm씩 두께를 줄여가며 해석을 수행

○ 수행 결과는 아래 표와 같음

○ 두께가 줄어들어도 최대 응력은 변하지 않음

○ 변위는 두께의 감소에 따라서 감소했으나 가장 큰 변위도 허용변위의 8.76×10^{-17}%이므로 큰 의미는 없음

○ 따라서 두께에 대한 응력 감소는 없고, 변위의 변화는 있으나 허용변위보다 적으므로 폼라이너 역할을 수행할 수 있음

<표 3.3.4> 두께 별 응력, 변위 값

두께 t (mm)	60	50	40	30	20
최대응력(MPa)	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142
최대변위(mm)	1.45E-18	1.10E-18	6.50E-19	5.98E-18	1.26E-19

(나) 타설 높이 증가

○ 콘크리트의 타설높이를 일반적인 벽체 타설높이인 3m로 가정하여 해석을 수행

○ 타설 높이가 3m 이므로 콘크리트 측압공식에 의해 측압의 응력은 0.072MPa사용

○ 앞선 피드백과 같이 두께에 따른 응력값도 포함해서 수행

○ 수행 결과는 표 3.4와 같다. 타설 높이에 따른 측압의 증가로 인한 응력 증가만 있었을 뿐 앞선 피드백 해석과 같이 두께에 따른 응력 변형은 없었다. 변위 또한 측압의 증가로 인한 증가만 있었을 뿐 허용변위에 $2.244\times10^{-16}\%$이므로 의미가 없음

<표 3.3.5> 타설 높이 증가 후 두께에 따른 최대응력, 최대변위

두께t(mm)	60	50	40	30	20
최대응력(MPa)	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354
최대변위(mm)	3.74E-18	3.03E-18	1.52E-18	1.62E-18	3.25E-19

(다) 인필을 사용한 경우

○ 강도는 만족했으므로 경제성을 높이기 위해서 내부 재료를 줄이기 위하여 인필을 설치한 모델

○ 가장 대중적인 모델인 사각격자를 사용하여 인필을 설계

○ 인필의 최대간격은 폼라이너가 유지되기 위한 간격인 5mm로 가정

○ 인필의 두께는 시공성을 위해서 노즐의 두께인 7mm로 가정

○ 모델링은 측압을 받는 면과 바닥면의 두께를 5mm로 가정(그림 3.22 왼쪽 그림)

○ 해석수행 결과는 아래 표와 같음.

○ 내부 채움을 한 결과에 비해서 두께에 따라 응력이 바뀌는 것을 볼 수 있음

○ 변위는 앞선 모델들과 달리 매우 커진 것을 확인

○ 최대응력은 내부 채움을 한 결과에 비해 최대 5배(두께 60)에서 최소 4.2배 까지 차이가 나는 것을 볼 수 있고 변위의 경우에는 앞선 결과에 비해 최대 10^{14}배 증가함

○ 내부를 인필로 채울 경우 응력보단 변위에 의한 사용성 기준이 지배

○ 두께가 줄어들수록 최대응력이 감소하는 것을 보면 인필높이가 줄어들수록 더 큰 응력을 버팀

○ 내부를 인필로 채운 경우, 최대응력이 재료의 강도의 0.36%이고, 최대변위가 재료의 허용변위의 0.0198%이므로 기준을 만족함. 더 경제적인 설계가 가능함.

<표 3.3.6> 인필을 대입한 모델의 두께에 따른 최대 응력, 최대 변위

두께t(mm)	60	50	40	30	20
최대응력(MPa)	0.1776	0.1755	0.1715	0.1638	0.1499
최대변위(mm)	0.00068	0.00064	0.000582	0.00049	0.00033

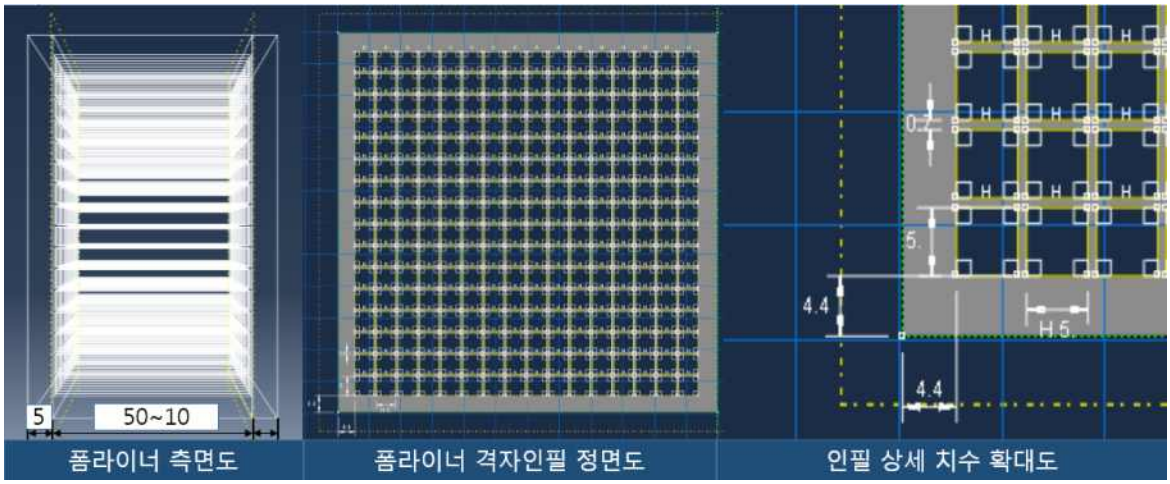


그림 3.3.22 격자 인필을 대입한 모델의 상세 설계도

(라) 인필을 사용한 경우 두께 축소

○ 인필을 사용한 경우 경제성을 높이기 위하여 60mm에서 20mm까지였던 폼라이너 두께를 20mm에서 5mm까지 5mm씩 두께를 더 줄여가며 해석을 수행

○ 인필의 모양은 사각격자로 동일하며 인필 최대간격 5mm와 인필 두께 0.7mm는 동일하게 적용

○ 폼라이너의 측압을 받는 면과 거푸집과 맞닿는 면, 인접한 폼라이너와 맞닿는 면 모두 경제성을 위해서 1mm로 두께 축소 (그림 3.3.23 왼쪽 그림)

○ 해석수행 결과는 아래 표와 같다. 사용된 재료가 많이 줄어든 대신 폼라이너가 받는 응력은 3배 가량 늘어남

○ 20mm부터 5mm까지 폼라이너의 두께를 줄여갈 때, 두께에 따라 응력과 변위의 차이는 거의 없음

○ 시공성이 보장되는 한 가장 작은 폼라이너 두께를 사용하는 것이 경제적임

○ 응력이 3배가량 늘어났지만 재료 강도의 0.83%이므로 안전성을 만족함

○ 더욱 경제적인 설계가 가능함.

〈표 3.3.7〉 축소된 두께에서의 최대응력, 최대변위

두께t(mm)	20	15	10	5
최대응력(MPa)	0.4094	0.4096	0.4040	0.4070
최대변위(mm)	0.01	0.01	0.00996	0.0097

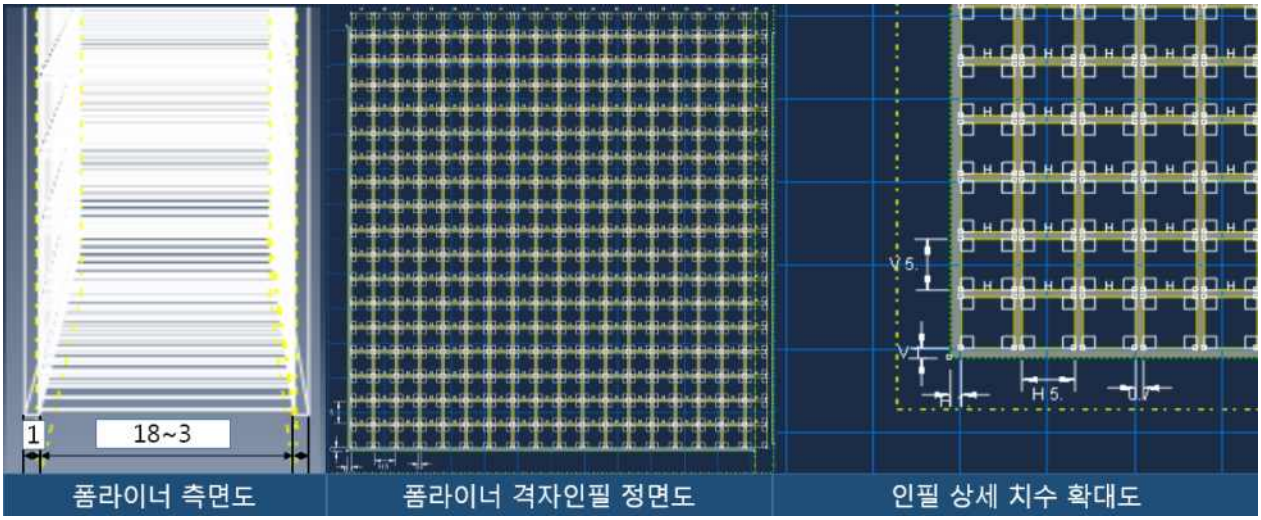


그림 3.3.23 축소된 두께의 격자 인필 모델 상세 설계도

(마) 허니컴 격자 모델

○ 격자 모델에 따른 해석 결과를 보기 위하여 사각 격자가 아닌 육각형인 허니컴 모델로 만들고 앞선 사각격자의 경우처럼 해석을 수행

○ 허니컴 격자 모델의 경우 해석시간이 오래 걸리기 때문에 사각격자 해석모델(100mm X 100mm)의 1/4 크기인 50mm X 50mm 크기에 대해 해석을 수행

○ 인필의 모양은 허니컴모양(그림 3.3.24)으로 하고 허니컴의 최대간격 5mm인 정육각형으로 설계

○ 인필의 두께를 0.7mm로 가정(그림 3.3.25)

○ 해석수행 결과는 아래 표와 같음

○ 사각 격자 모델과 같은 두께로 해석을 실시한 경우 두 모델의 응력은 상당한 차이가 있음

○ 허니컴 모델이 사각격자 모델보다 응력을 18%가량 덜 받음

○ 허니컴 모델의 변위가 사각격자 모델보다 1.95배~2.5배 가량 작음

○ 같은 두께에서 허니컴 모델이 사각격자 모델보다 더 큰 안전성을 확보함

○ 허니컴 모델의 응력이 재료강도의 0.6%이고 변위는 허용변위의 0.23%이므로, 안전성과 사용성을 모두 만족

○ 허니컴 모델이 안전성은 더 높으나 부피가 1.05배에서 1.12배 더 크기 때문에 사각격자보다 재료가 많이 들어가 경제성이 떨어짐

○ 응력과 변위가 각각 재료강도와 허용변위에 비해 1%도 안 될 정도로 작으므로, 사각격자 모델 사용하여 경제성을 높이는 것이 바람직함

<표 3.3.8> 허니컴 격자 모델의 두께 별 최대응력, 최대변위

두께(mm)	20	15	10	5
최대응력(MPa)	0.3296	0.3336	0.3399	0.3538
최대변위(mm)	0.003914	0.00507	0.005045	0.00497

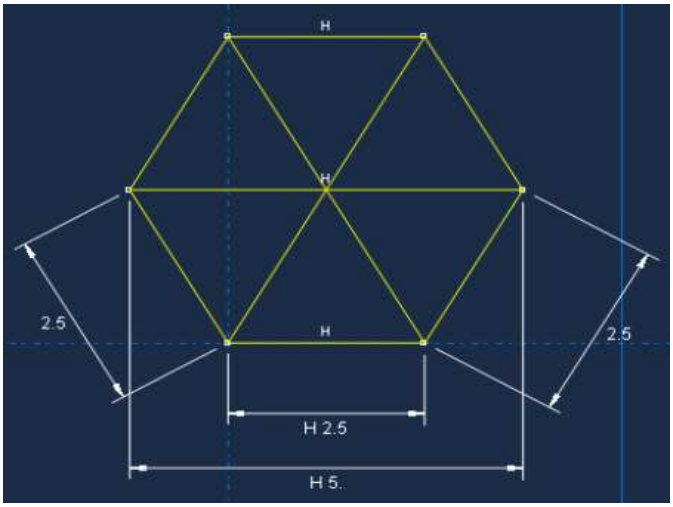


그림 3.3.24 최대 길이가 5mm인 정육각형 설계

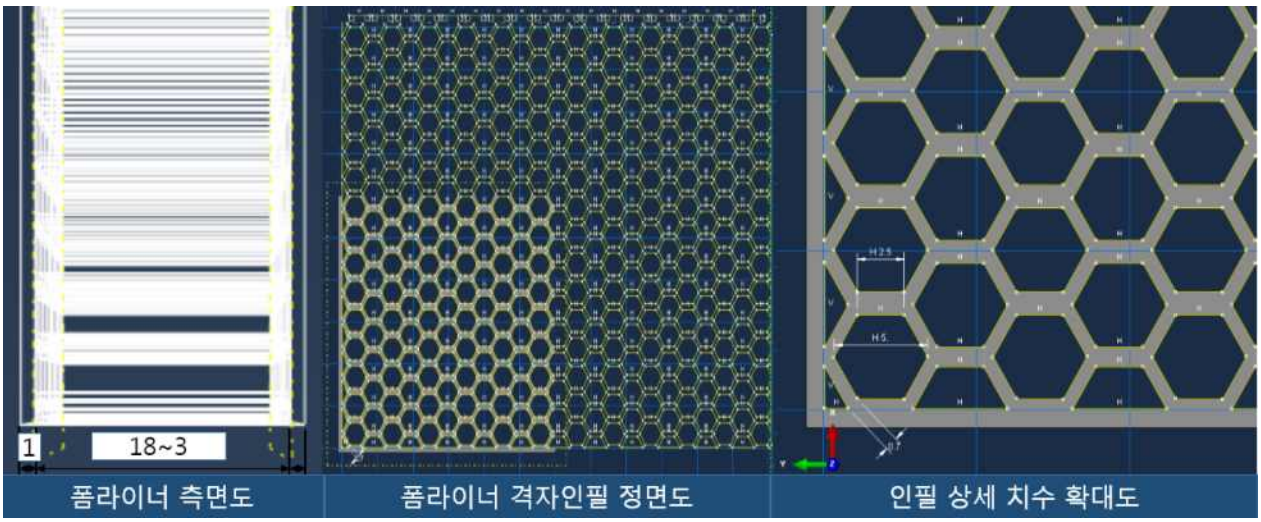


그림 3.3.25 허니컴 격자 인필 모델 상세 설계도

(바) 인필 최대 간격 변화

◯ 재료비를 줄이기 위해 인필간격을 변화시켜 안전성과 사용성을 검토함

◯ 3D프린터 제작에 문제가 생기지 않게 하는 인필 최대간격을 알아보기 위해 시험을 실시(그림 3.3.26과 3.3.27)

◯ 시험 시의 속도는 최고속도로 실시했고 5mm부터 17mm까지 0.5mm간격으로 실시했음

◯ 모든 간격에 대해 제작성을 만족

◯ 사각격자와 허니컴모델 모두 격자간격을 15mm부터 35mm까지 늘려가며 해석 수행

◯ 외피면 두께를 0.7mm로 모델링했고, 인필두께 또한 0.7mm로 모델링해서 해석을 수행(그림 3.3.28, 29)

◯ 해석결과는 아래 표와 같음

◯ 그림 3.3.30에서 응력은 사각격자와 허니컴격자 모델 모두 30mm간격까지 허용응력을 만족

◯ 그림 3.3.31에서 사각격자는 20mm간격까지 허니컴격자의 경우 25mm간격까지 허용변위를 만족

◯ <표 3.3.10>에서 동일한 격자간격을 사용하는 경우 사각격자를 사용하는 것이 경제적임.

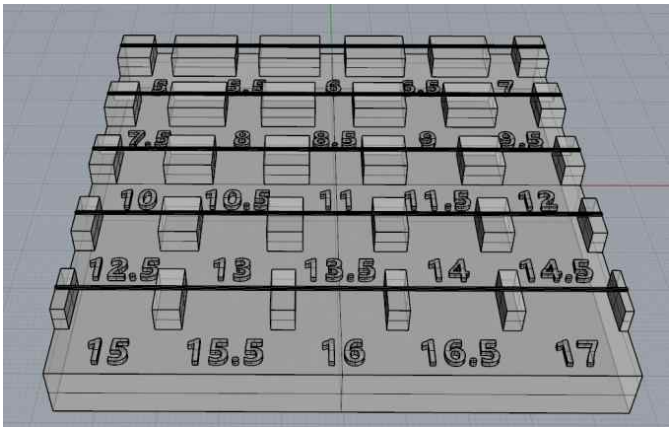


그림 3.3.26 최대간격을 구하기 위한 모델링



그림 3.3.27 완벽히 출력된 최대간격을 구하기 위한 모델

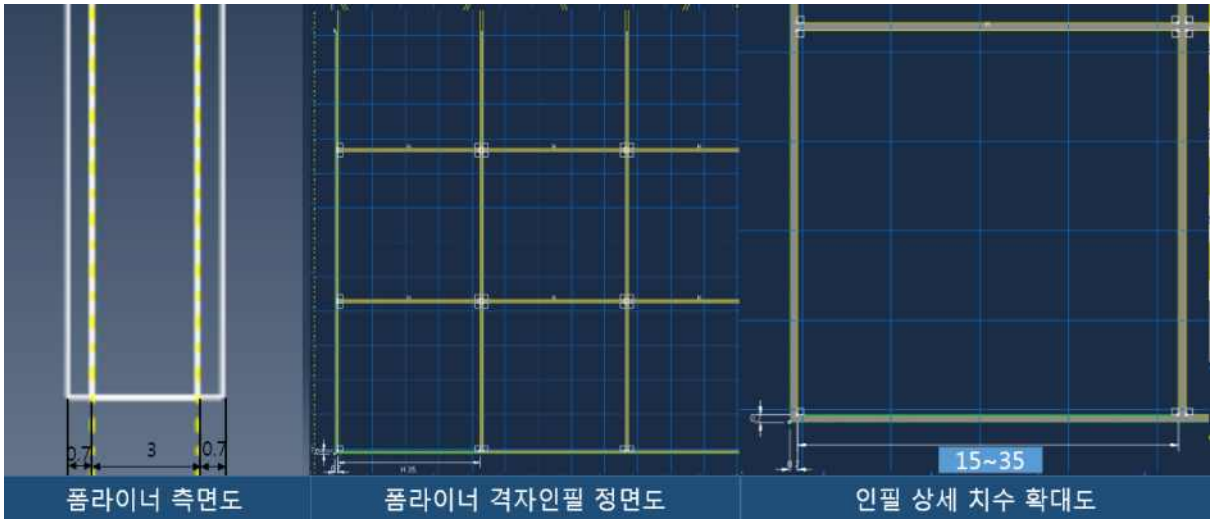


그림 3.3.28 15~35mm까지 간격을 넓힌 사각격자 모델의 상세도

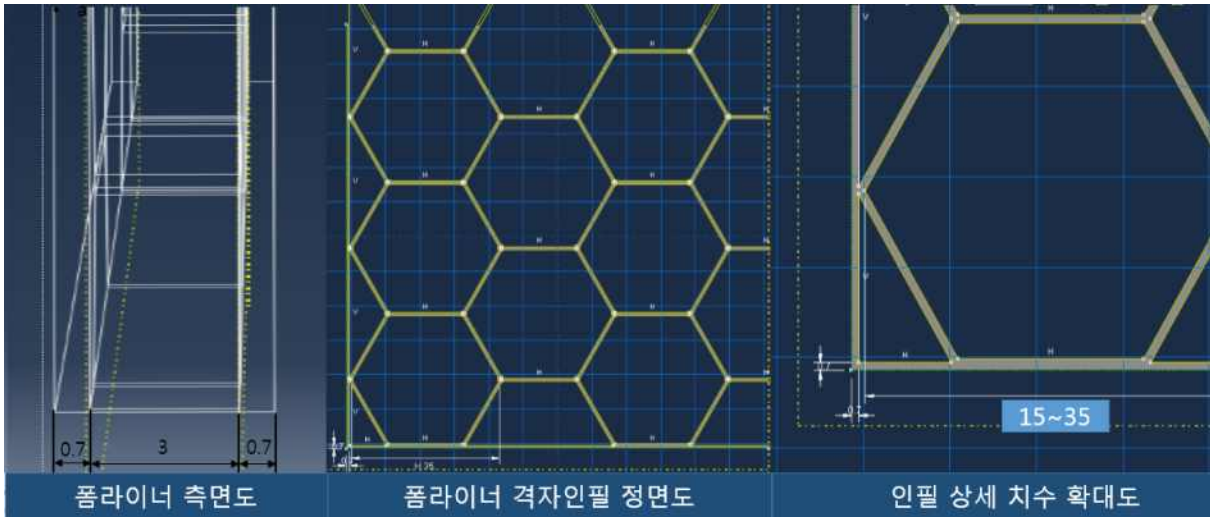


그림 3.3.29 15~35mm까지 간격을 넓힌 허니컴격자 모델의 상세도

<표 3.3.9> 사각격자와 허니컴격자 모델의 두께 별 최대응력, 최대변위

인필간격(mm)		15	20	25	30	35
사각격자	최대응력(MPa)	3.9454	6.746	11.2697	15.3625	20.5829
	최대변위(mm)	0.3836	0.8741	1.6954	3.0121	4.6445
허니컴격자	최대응력(MPa)	3.8453	10.826	12.1284	12.4923	28.9751
	최대변위(mm)	0.234	0.613	1.2080	2.1356	2.6013

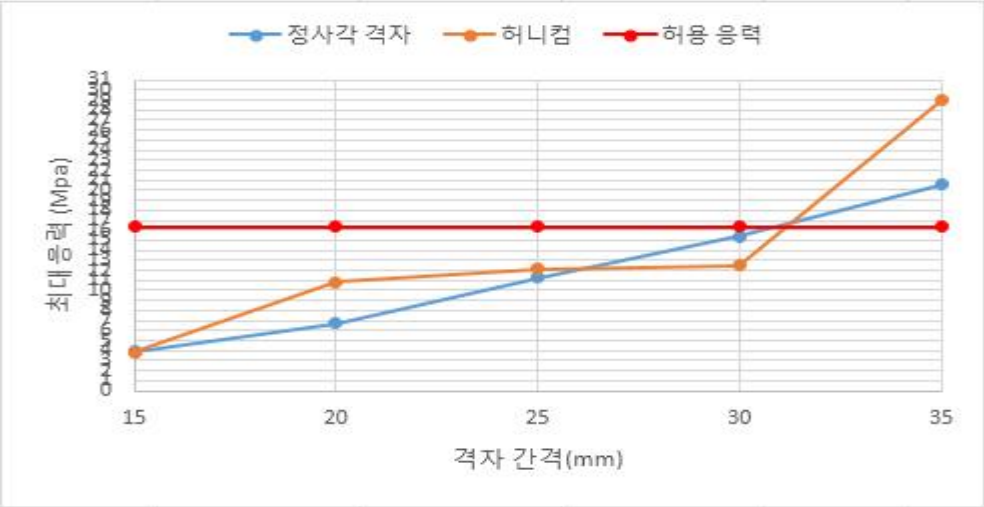


그림 3.3.30 정사각격자와 허니컴격자 모델의 안전성 검토

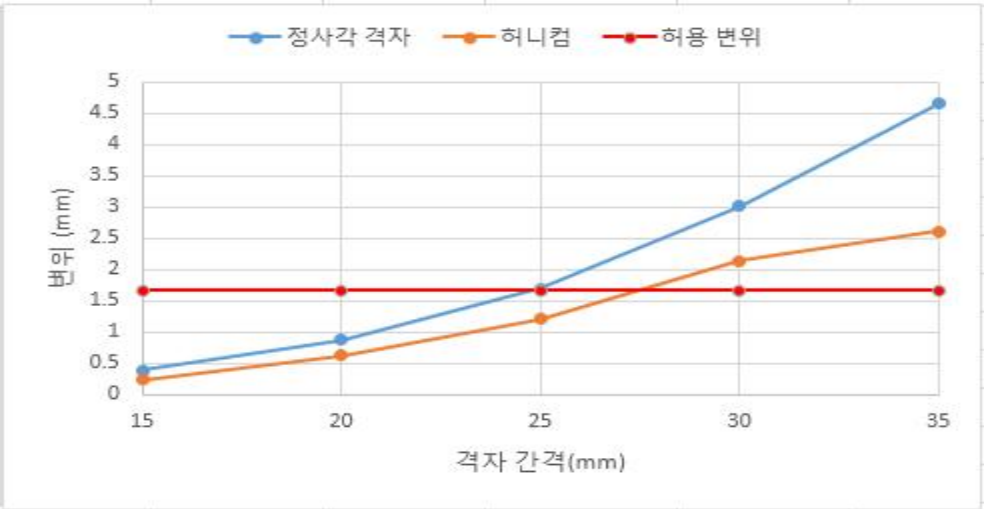


그림 3.3.31 정사각격자와 허니컴격자 모델의 사용성 검토

<표 3.3.10> 사각격자와 허니컴격자 폼라이너의 재료량(부피)

인필간격(mm)	15	20	25	30	35
사각격자(mm^3)	16867.97	16063.25	15656.35	15656.48	15246.77
허니컴격자(mm^3)	17471.91	16797.03	16265.69	16060.43	15806.1

(사) 결론

○ ABS로 3D프린터 출력물을 만들어서 폼라이너로 사용하는 경우 두께를 0.7mm(노즐의 두께) 내부 인필을 20mm이하의 간격으로 배치할 경우 3m의 콘크리트 측압으로부터 안전하고 충분한 사용성을 확보하고 있음

○ 해석결과 허니컴격자가 정사각 격자에 비해 같은 간격에서는 변위가 더 적음

○ 동일한 간격인 경우, 허니컴격자보다는 정사각격자로 만드는 것이 경제적임

○ 이상의 해석결과는 abs플라스틱 모재 물성치를 사용한 해석결과임.

○ 3D프린터 출력물의 경우 적층형으로 만들어지기 때문에 직교이방성 물성치를 갖게 됨

○ 정확한 물성치를 얻기 위해 재료시험 필요

(4) 콘크리트 폼라이너의 거푸집 탈부착 상세설계

(가) 끼움식 결합

○ 그림 3.3.32, 34와 같이 폼라이너 옆면에 다리를 4개 만듦
○ 그림 3.3.33, 35와 같이 폼라이너와 거푸집 결합 시 4개의 다리가 거푸집의 옆면 볼트 구멍과 일치
○ 그림 3.3.36, 37, 38과 같이 거푸집 결합할 때 거푸집에 결합된 폼라이너도 같이 고정
○ 장점: 폼라이너와 거푸집을 따로 결합할 필요가 없음
○ 단점: 폼라이너가 거푸집의 크기보다 다리의 두께만큼 커지기 때문에 시공오차가 생길 수 있음

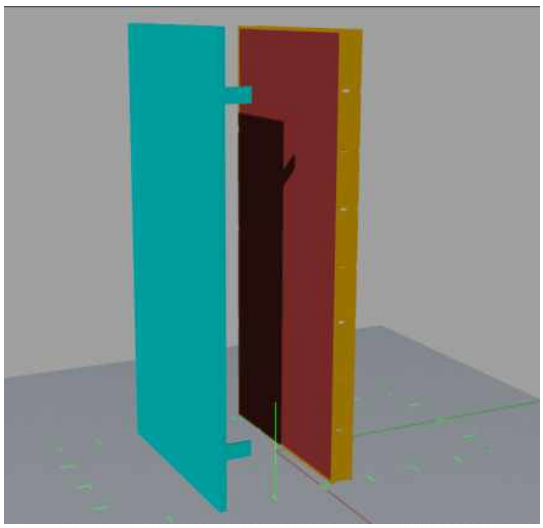


그림 3.3.32 끼움식 폼라이너와 거푸집 결합 전 모습 1

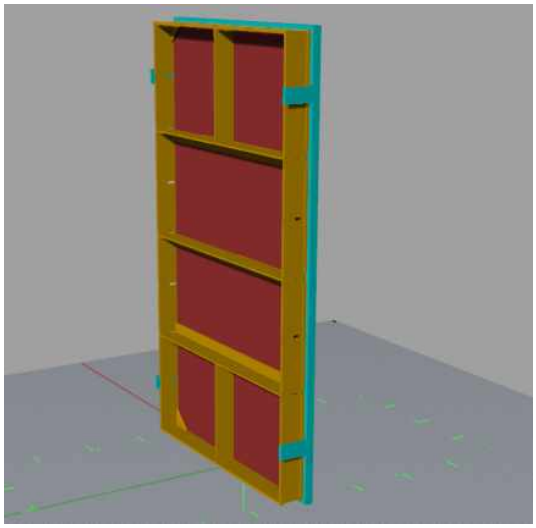


그림 3.3.33 끼움식 폼라이너와 거푸집 결합 후 모습 1

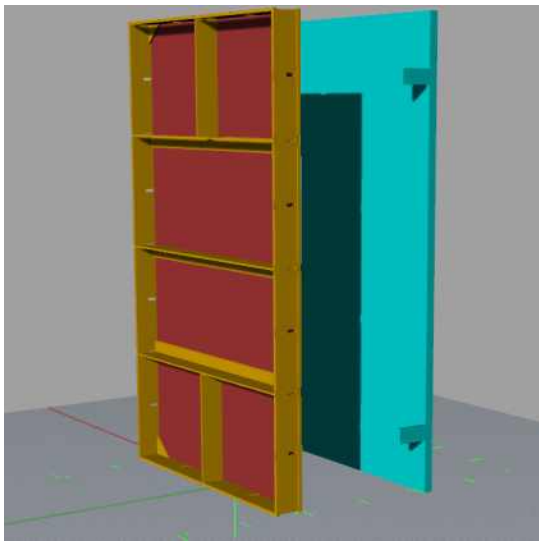


그림 3.3.34 끼움식 폼라이너와 거푸집 결합 전 모습 2

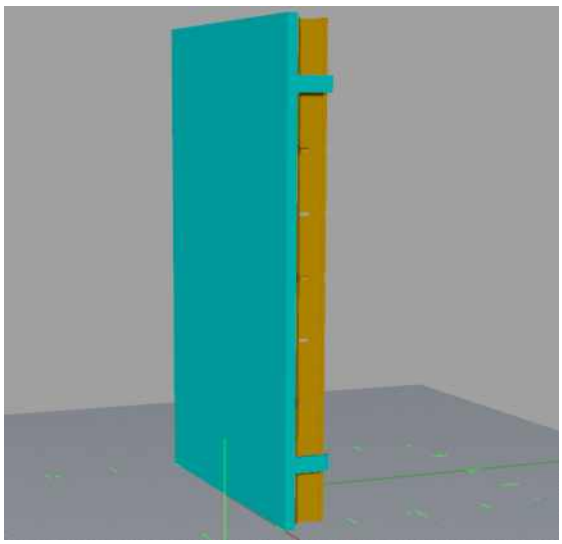


그림 3.3.35 끼움식 폼라이너와 거푸집 결합 후 모습 2

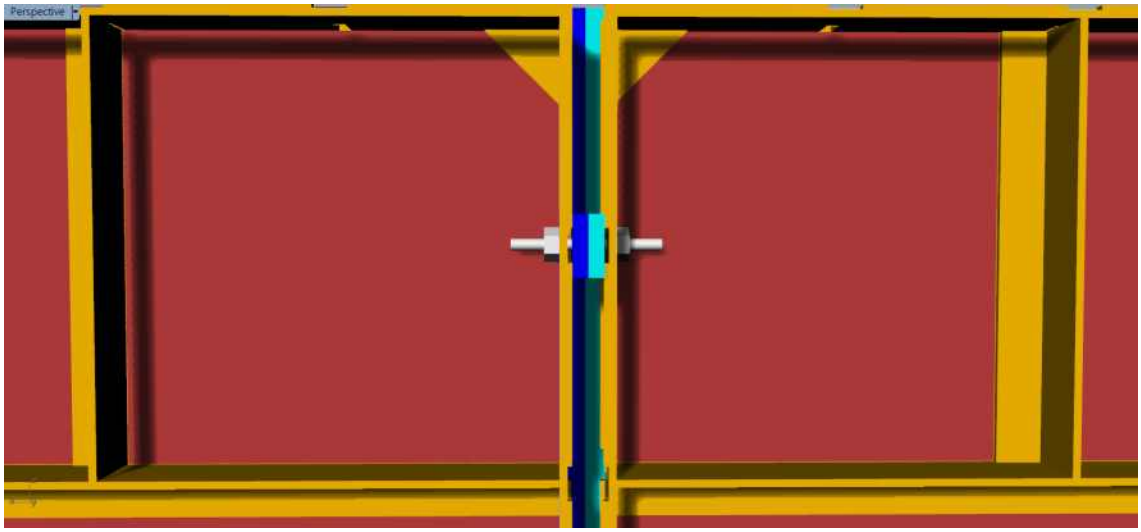


그림 3.3.36 끼움식 폼라이너 거푸집 결합 확대도 1

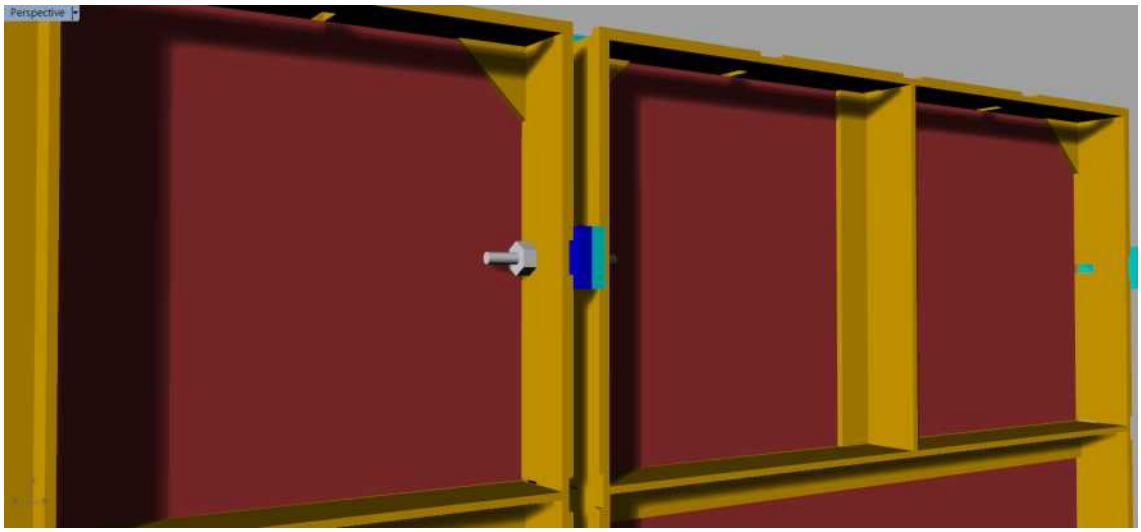


그림 3.3.37 끼움식 폼라이너 거푸집 결합 확대도 2

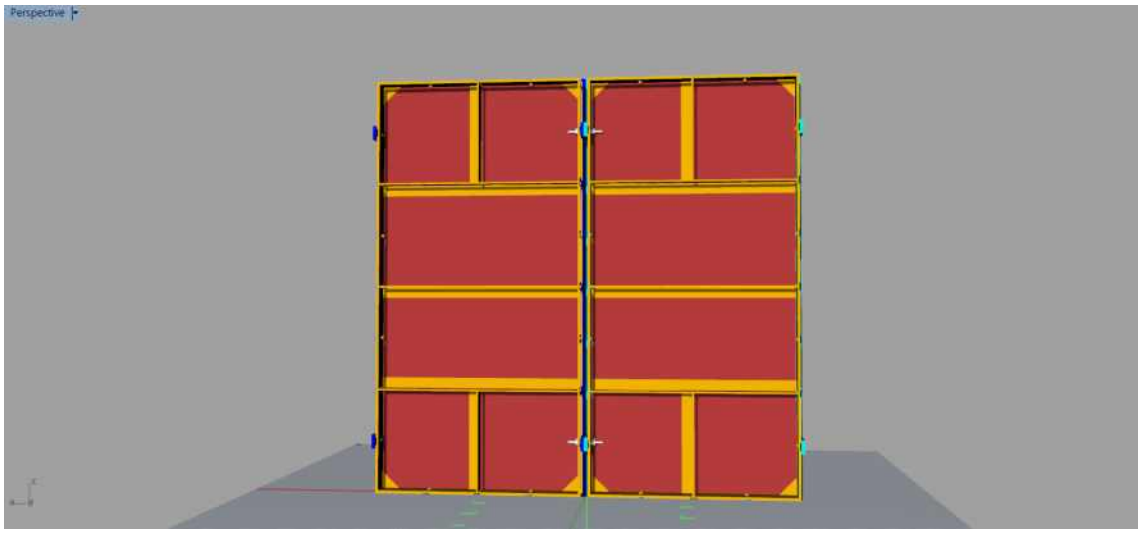


그림 3.3.38 끼움식 폼라이너 거푸집 결합도

(나) 웨지식 결합

○ 그림 3.3.39와 같이, 폼라이너에 웨지걸이 형상을 포함하여 제작

○ 그림 3.3.41과 같이, 거푸집에 웨지걸이가 들어갈 구멍 천공

○ 그림 3.3.40, 42와 같이, 거푸집 구멍에 웨지걸이를 넣고 웨지걸이를 채워서 거푸집과 폼라이너를 결합

○ 장점: 거푸집과 폼라이너의 크기가 일치하기 시공 상 오차가 작음

○ 단점: 거푸집에 구멍을 뚫어야 하므로 공정이 늘어남

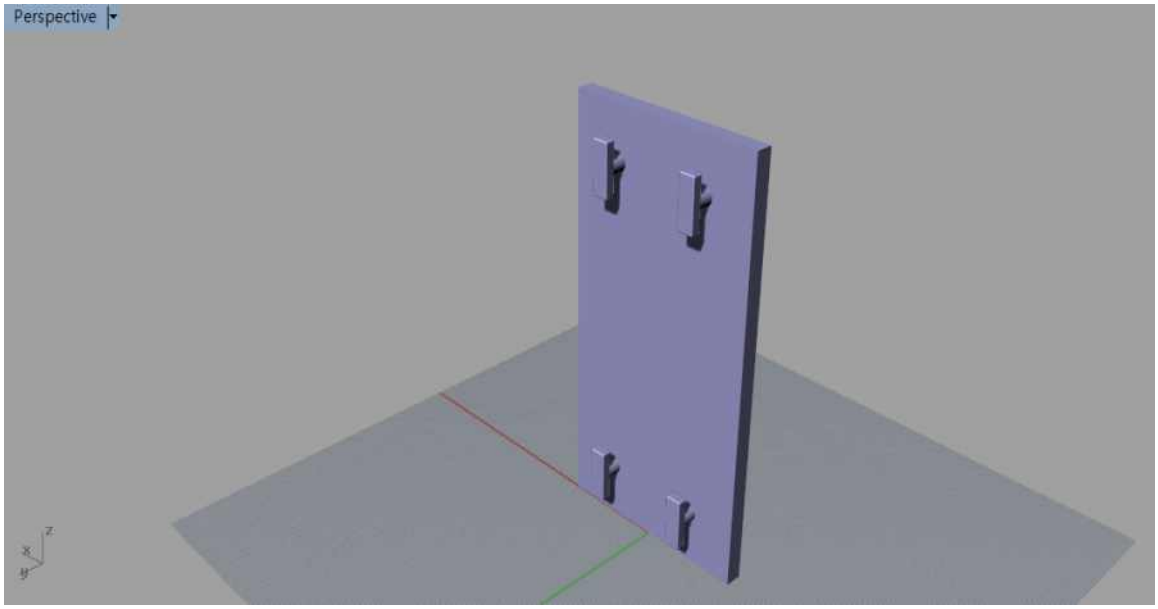


그림 3.3.39 웨지식 폼라이너

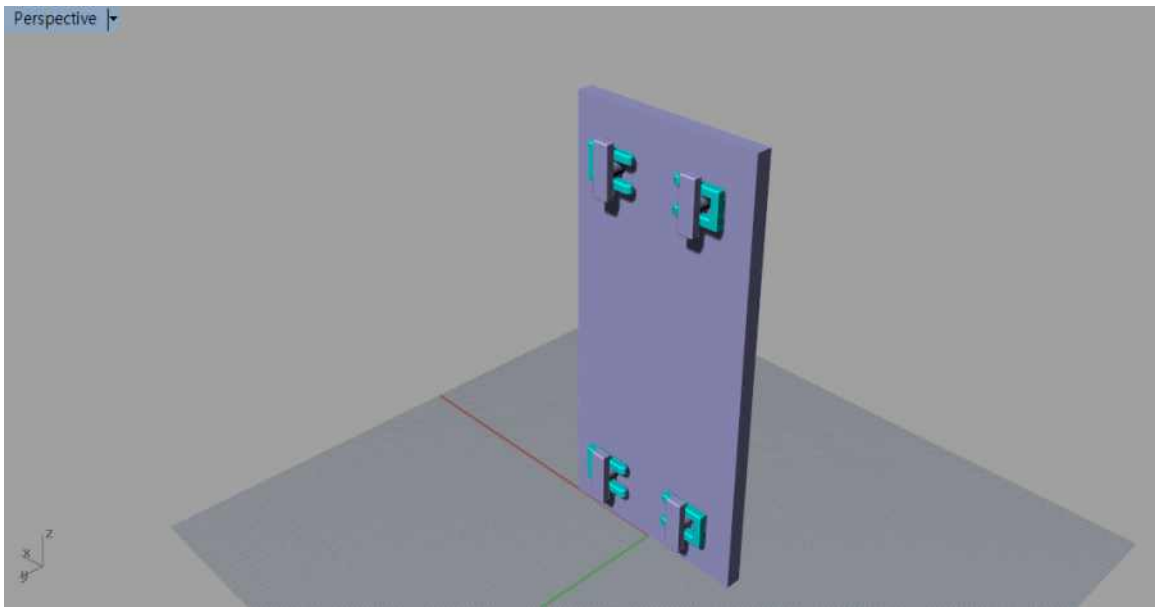


그림 3.3.40 웨지로 결합된 폼라이너

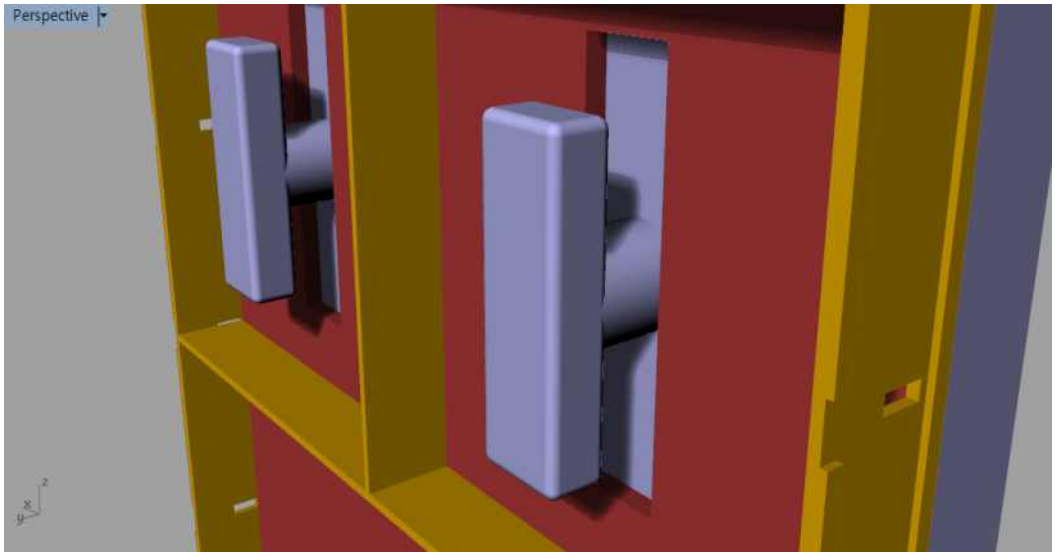


그림 3.3.41 웨지식 폼라이너와 거푸집 연결도

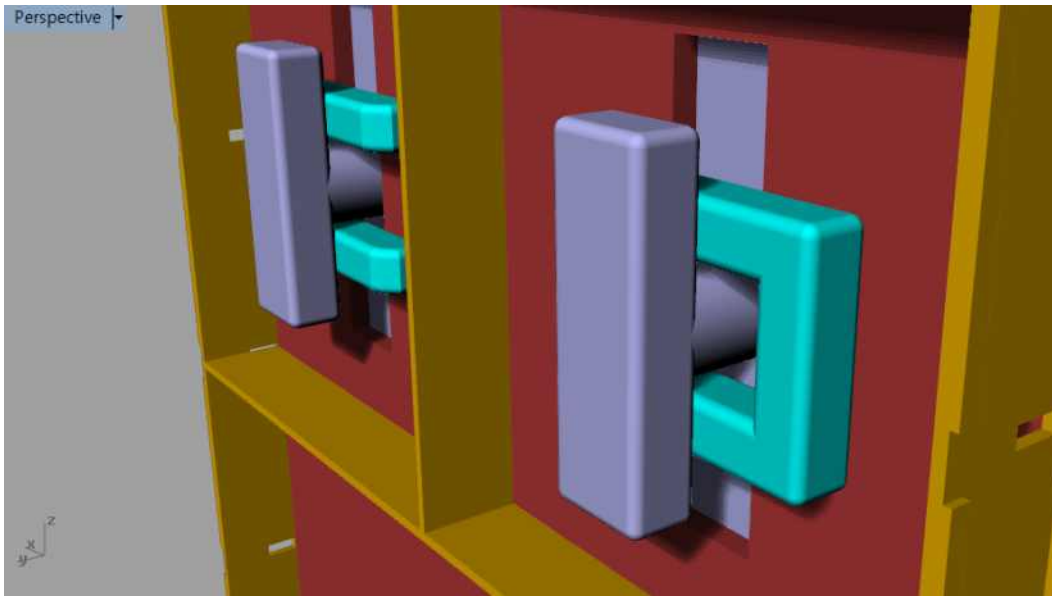


그림 3.3.42 웨지식 폼라이너와 거푸집을 웨지로 결합

(5) 인접 폼라이너 간 이음상세 설계

○ 끼움식의 경우 인접하는 거푸집이 결합될 때 폼라이너 또한 결합되기 때문에 인접 폼라이너 간 이음도 해결(그림 3.3.43, 44)

○ 웨지식의 경우 폼라이너가 거푸집과 결합되기 때문에 인접 거푸집과 결합시 폼라이너 또한 이음이 해결(그림 3.3.45, 46)

○ 폼라이너가 서로 연결되는 부위에 틈이 생기는 경우, 채움재로 처리가 필요할 수 있음

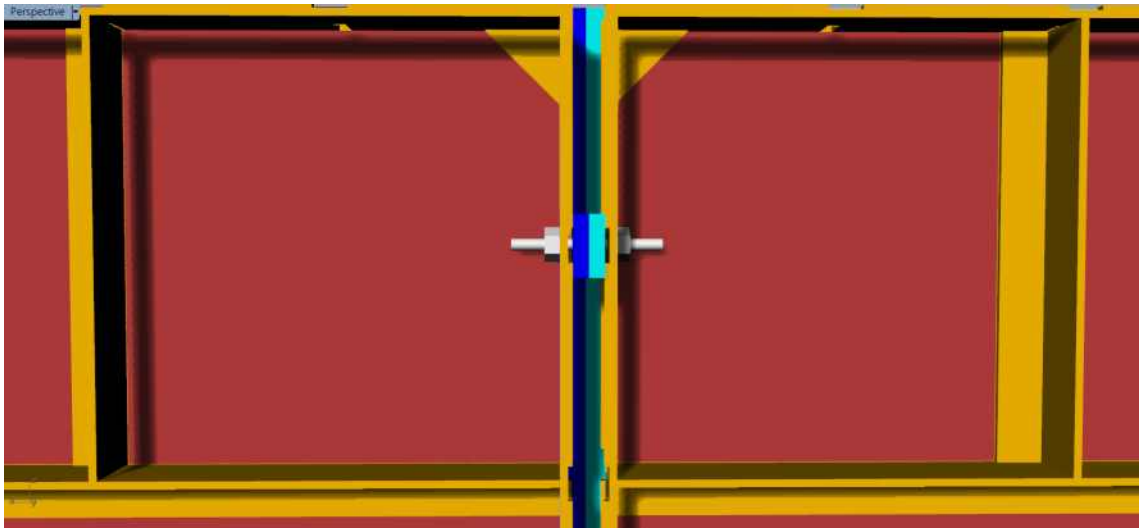


그림 3.3.43 끼움식 폼라이너 거푸집 결합 확대도

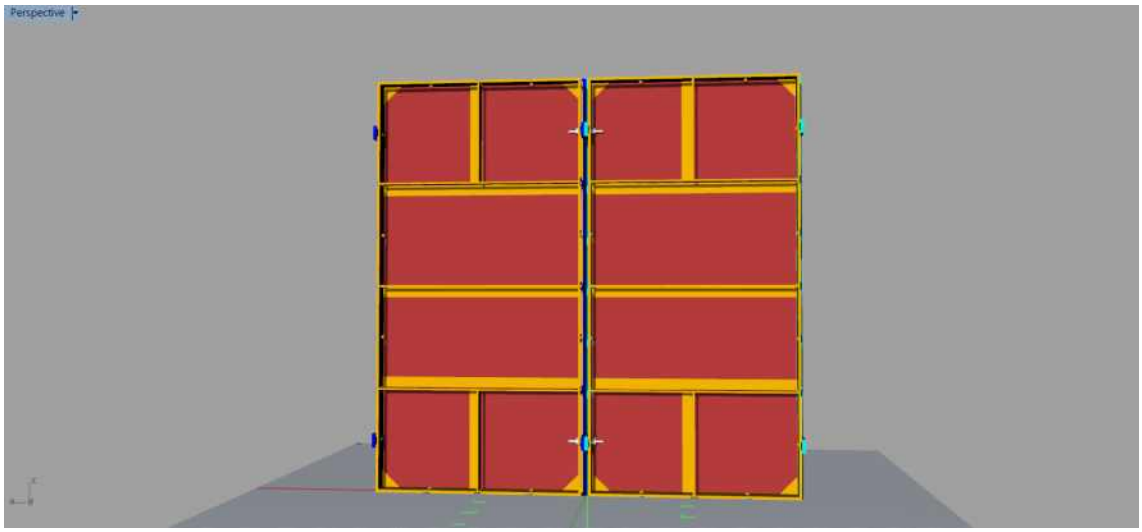


그림 3.3.44 끼움식 폼라이너 거푸집 결합

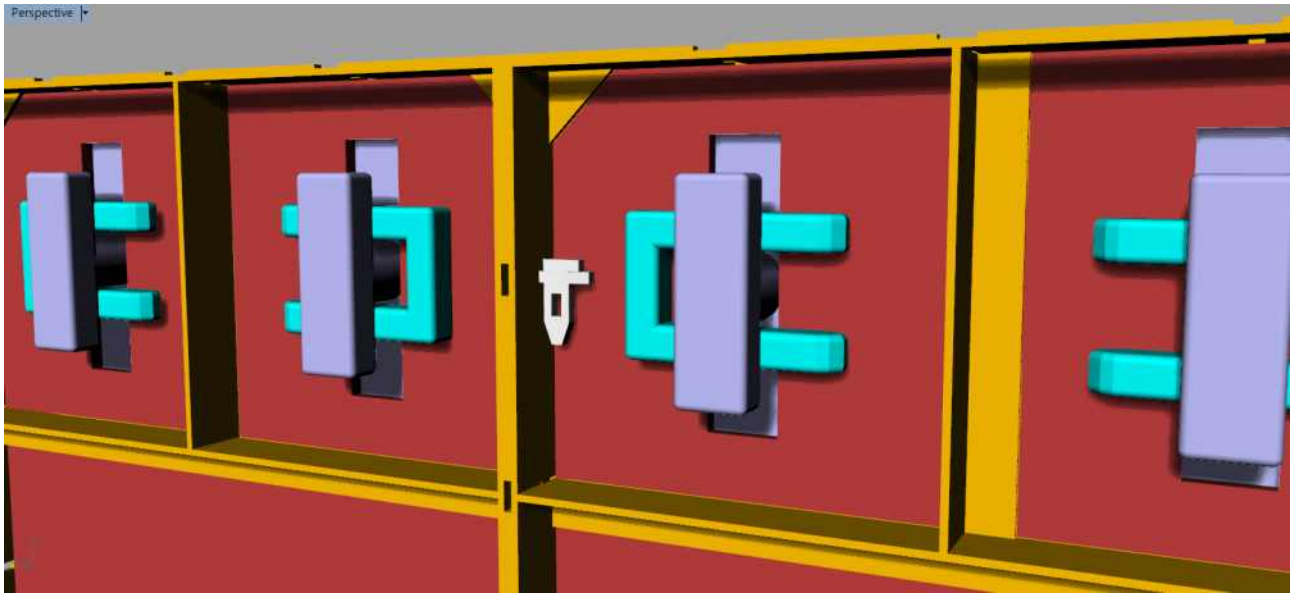


그림 3.3.45 웨지식 폼라이너 거푸집 결합 확대도

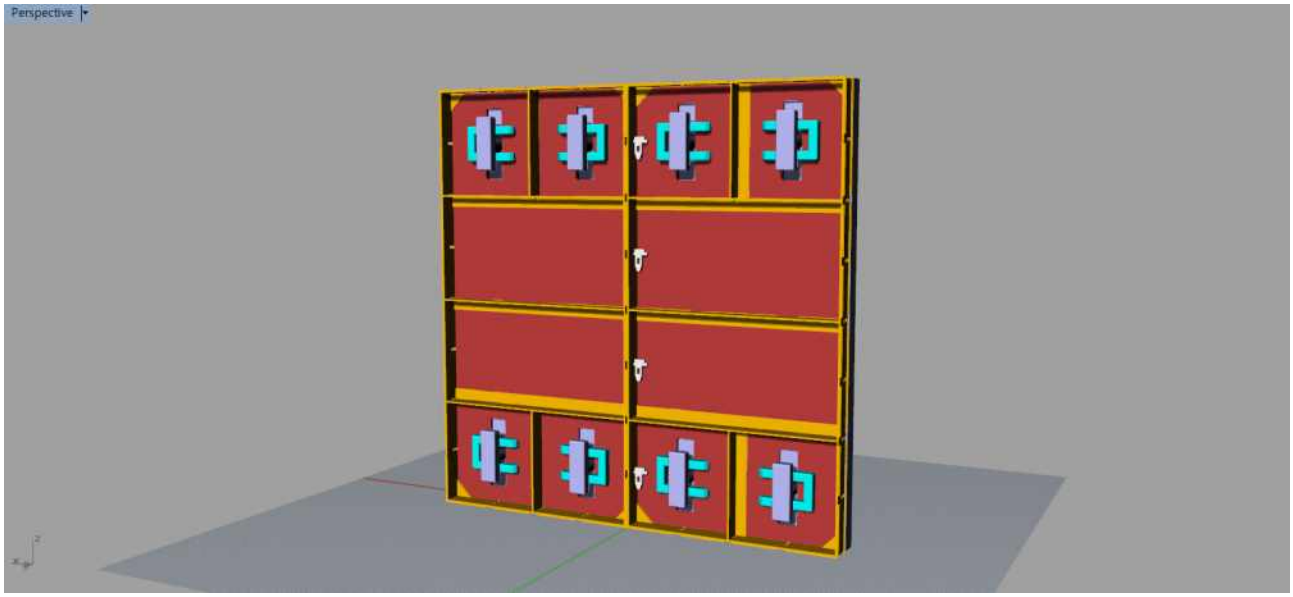


그림 3.3.46 웨지식 폼라이너 거푸집 결합도

다. 축소 모형 폼라이너의 제작 및 콘크리트 벽체 시험제작

(1) 3D프린팅 제작

(가) 모델링 데이터 관리

○ 출력 규격의 설정

- 디자인 안 선정 후 실제 크기의 모델링 데이터 제작
- 디자인 안을 조형 벽면 크기에 맞춰 모델링 데이터를 제작
- Overhang, Supporter, 모서리의 Rounding 값 등의 요소를 고려해 FDM 3D 프린팅 적층 방식에 알맞은 형태로 제작
- 음양각 형태를 반전하여 Formliner용 데이터를 완성
- 제작된 모델링 데이터를 3D 프린터 Bed 크기에 맞춰 분할

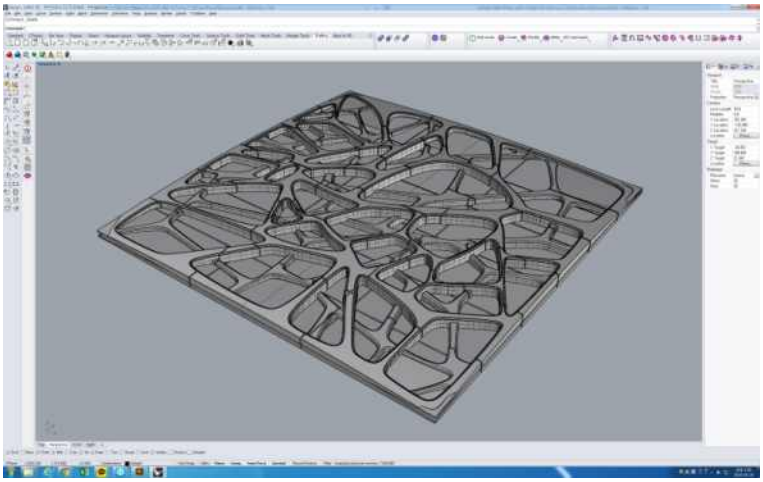


그림 3.3.47 Bed 사이즈로 분할된 전체 모델링 데이터

- 3D프린터의 Bed 규격에 맞춰 분할한다. 시험제작용 3D 프린터의 Bed 규격은 500*500mm 임으로 600*1200의 본 모델을 250*500으로 축소 제작함.
- 출력하고자 하는 파트의 모델 정리
- 분할한 모델링 중 시험 출력할 대상을 선택하고, 나머지 파트는 Hide명령어로 숨김

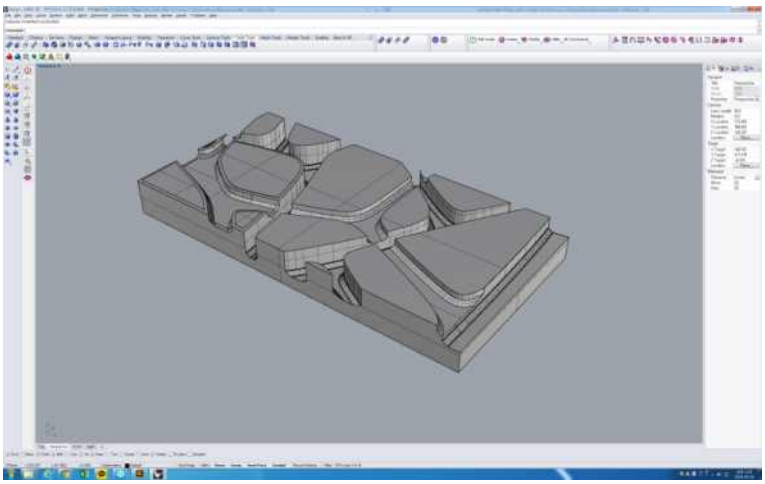


그림 3.3.48 출력 대상 파트를 추출한 결과

- 추출한 모델을 올바른 3D 프린팅용 데이터로 변환하기 위해 다음과 같은 절차를 통해 모델이 출력에 적합한지 확인
- 모든 면의 법선벡터(Normal Vector)가 외부를 향해야 한다. Console command [DIR] 입력 후 전체 면을 선택하여 법선벡터를 출력
- 이후 각 면의 Vector 방향을 확인, 잘못된 면을 선택하여 Flip Normal로 면의 방향을 수정

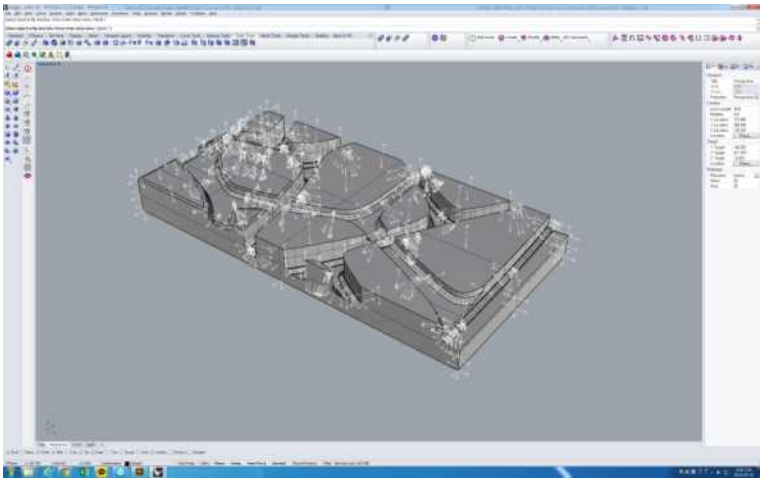


그림 3.3.49 표면 방향 검사 결과

- 전체 표면 Edge가 맞물려 Closed Polysurface를 형성하고 있는지 확인해야 한다. 전체 오브젝트 선택 후 [ctrl+j]를 입력해 각 Open polysurface를 join하여 Closed Polysurface로 만든다.

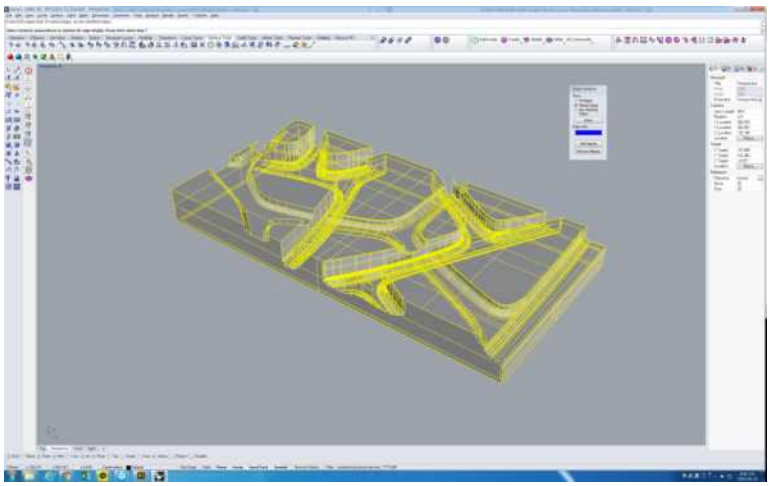


그림 3.3.50 문제가 발생한 단부 확인

- Join 된 상태에서 Console command [Showedges]를 입력
- 출력된 대화상자에서 Show 탭의 Naked Edges를 선택하고, 색상을 설정한 후 Add Objects를 클릭
- 선택한 색상의 Point와 Edge로 오브젝트가 Open된 구간 출력
- 이 지점 모델링에서 각 면이 만나는 Edge가 정확히 같은 위치에서 만나도록 수정

○ 모델링 데이터의 변환 - STL(StereoLithography) Export 파일

- 3D프린팅 데이터는 Mesh 방식을 이용해야 한다. Rhinoceros의 경우, 모델을 선택한 후 File 메뉴 - Export Selected 메뉴를 선택하여 STL로 변환
- STL File Type을 Binary로 설정한다.
- 변환된 STL파일을 필요에 따라 Mesh Data Fix과정을 거칠 수 있다.

<표 3.3.11> Mesh 데이터 수정이 가능한 프로그램 사례

프로그램명	업체명	특징
Meshlab	Sourceforge	프리웨어 채색, 3D스캐닝 등 다양한 기능 제공
Meshmixer	Autodesk	프리웨어 간단한 3D 모델링 가능
Netfabb Basic	Autodesk	프리웨어 Microsoft를 통해 웹 솔루션 제공

<표 3.3.12> 3D프린터용 Slicer software 사례

Software	Developer	Print Preparation	Slicing
Ultimaker Cura	Ultimaker	Yes	Yes
Craftware	Craftware	Yes	Yes
KISSlicer	KISSlicer	Limited	Yes
Repetier Host	Hot-World GmbH & Co. KG	Yes	Yes
ReplicatorG	ReplicatorG	Yes	Yes
Simplify3D	Simplify3D	Yes	Yes
Slic3r	Slic3r	Yes	Yes
Skeinforge	Skeinforge	No	Yes
3DPrinterOS	3D Control Systems Ltd.	Yes	Yes

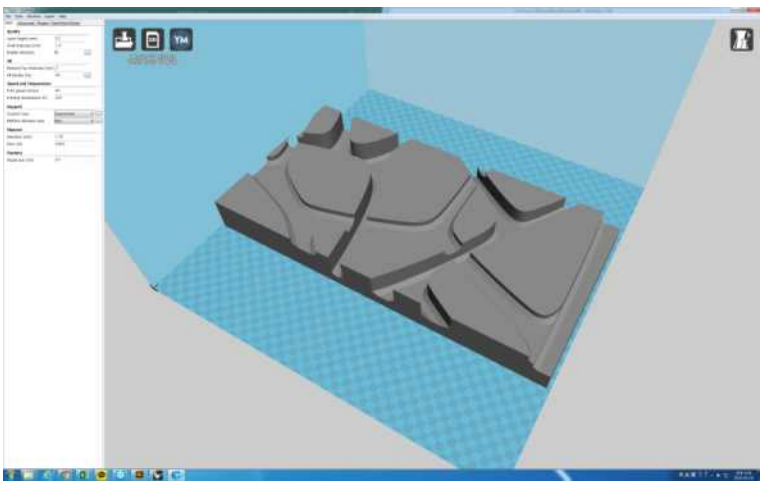


그림 3.3.51 Cura로 Import한 Mesh Data

○ G-Code 작성 - Machine Setting

- 시험 출력할 3D 프린터의 규격과 맞게 Cura의 machine setting을 조정
- Machine 메뉴, Machine Setting...을 선택

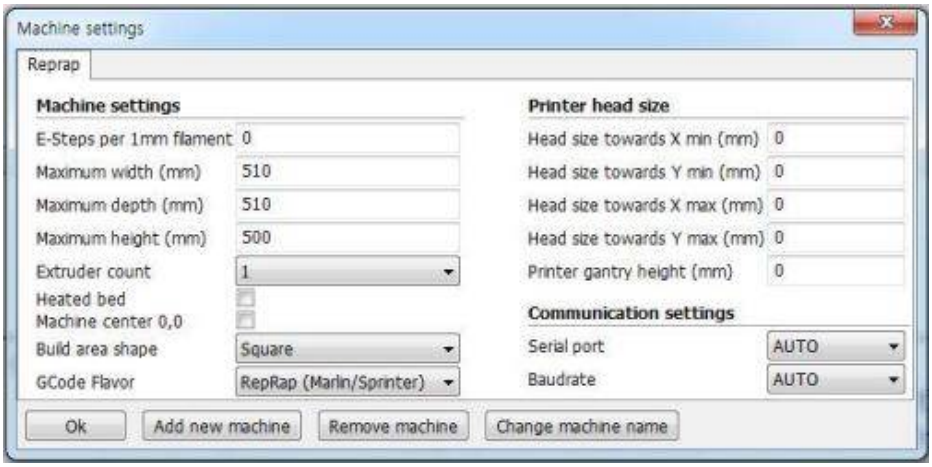


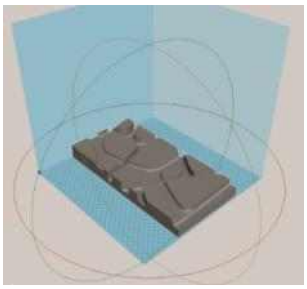
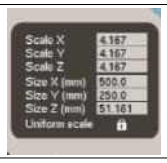
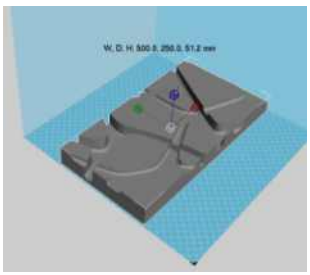
그림 3.3.52 Cura의 Machine Setting 창

- Machine Setting의 Maximum width, Maximum depth, Maximum height을 프린터 규격에 맞게 입력
- 프린터의 익스트루더 개수를 Extruder count에 입력
- Heated bed가 3D프린터의 펌웨어로 조정될 경우 Heated bed에 체크
- 이외의 설정은 프린터의 매뉴얼을 따름

○ G-Code 작성 - Model Setting

- 조정된 규격에 맞춰 모델의 크기, 각도 등을 확인
- 뷰포트 좌하단의 아이콘을 클릭해 원하는 기능을 활성화

<표 3.3.13> Cura의 모델 수정 기능

기능	아이콘	세부기능		뷰포트
Rotate		 Rotate	뷰포트에 출력된 Gumball로 모델의 X, Y, Z축 각도를 직접 설정함	
		 Lay Flat	모델의 평평한 바닥면을 베드와 수평으로 배치하는 기능	
		 Reset	모델을 Import한 초기 각도로 되돌림	
Scale		 Scale	모델의 크기를 배수 혹은 실제 사이즈 단위로 조절	
		 To Max	프린터 규격 최대 크기로 모델을 확대함	
		 Reset	모델을 Import한 초기 크기로 되돌림	
Mirror		 Mirror Z	Z축 방향으로 반전	뷰포트 변동 없음
		 Mirror Y	Y축 방향으로 반전	
		 Mirror X	X축 방향으로 반전	

- 수정 완료 후 모델이 출력 적합할 시 모델의 색상이 노랑으로 바뀜.
- Scale 등 조정된 수치를 바탕으로 본 Rhinoceros 모델을 수정.

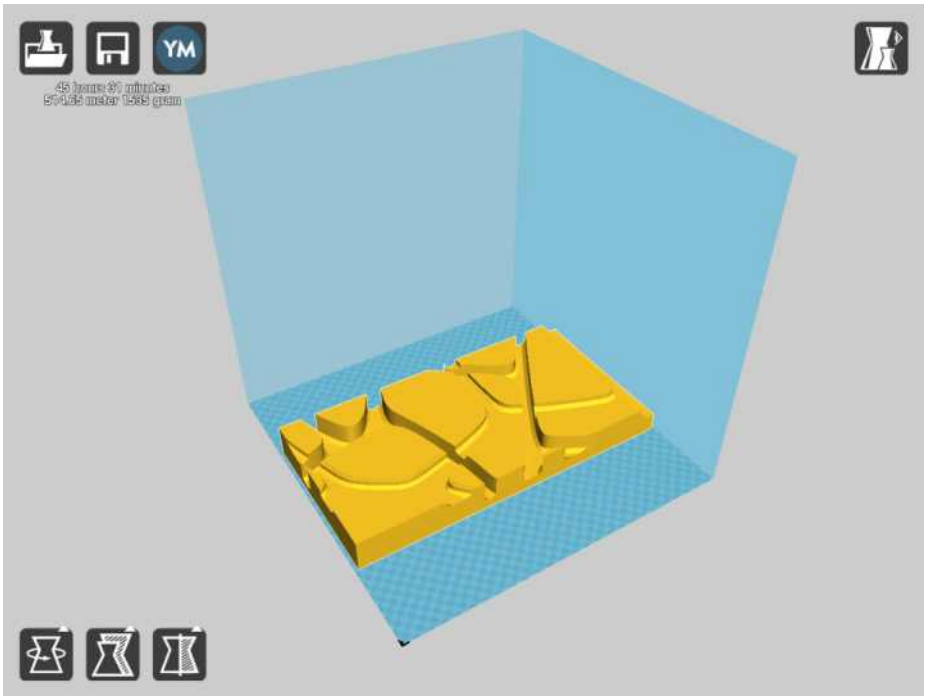


그림 3.3.53 출력 적합하도록 조정된 모델

○ G-Code Setting

- 모델 수정 후 좌측의 출력 데이터를 수정

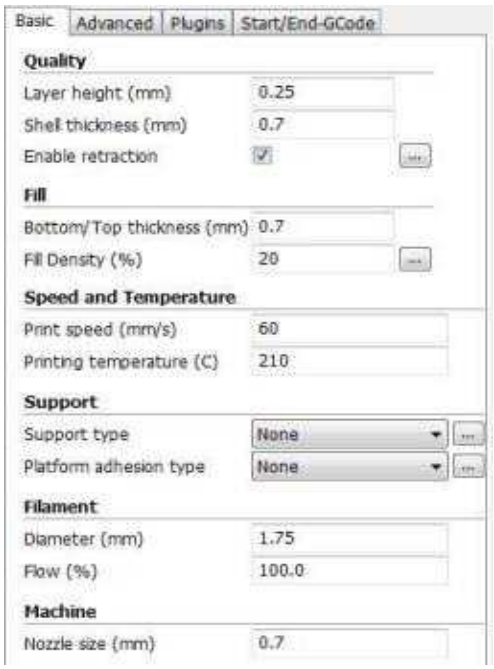


그림 3.54 Cura의 출력속성 입력 탭

- [Basic]탭의 각 항목에 적정 값을 입력한다. 이는 프린터에 따라 값이 다름으로, 매뉴얼을 참고
- [Advanced]탭 등 세부 설정은 Preset 설정값을 따름
- Support의 Platform adhension type 중 필요한 platform을 선택

○ Export

- 뷰포트 우측 상단 [View mode]를 클릭
- [Overhang]을 선택해 서포터가 필요한 네거티브 면이 있는지 확인

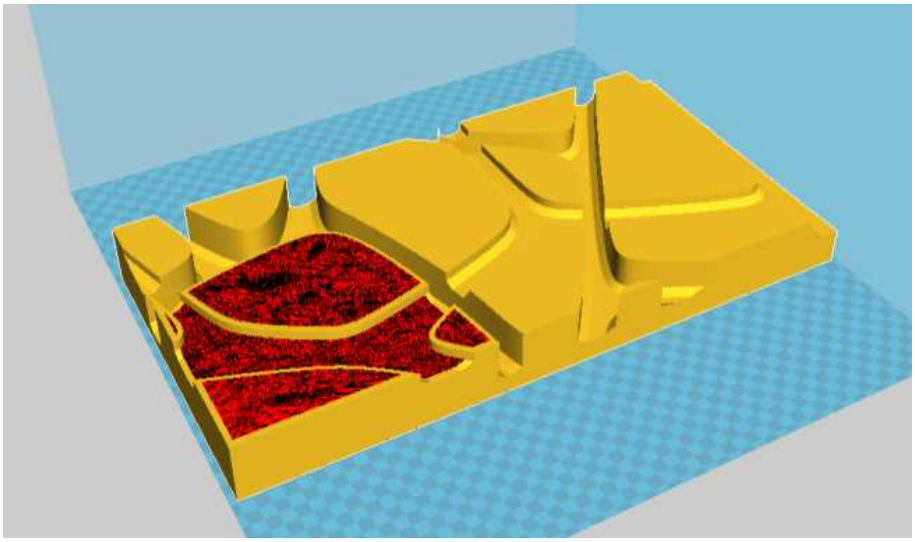


그림 3.3.55 [View mode]-[Overhang]으로 확인한 오류

- 확인한 오류를 모델링 프로그램에서 수정
- [Layers]를 선택해 변환한 툴패스가 오류가 없는지 확인

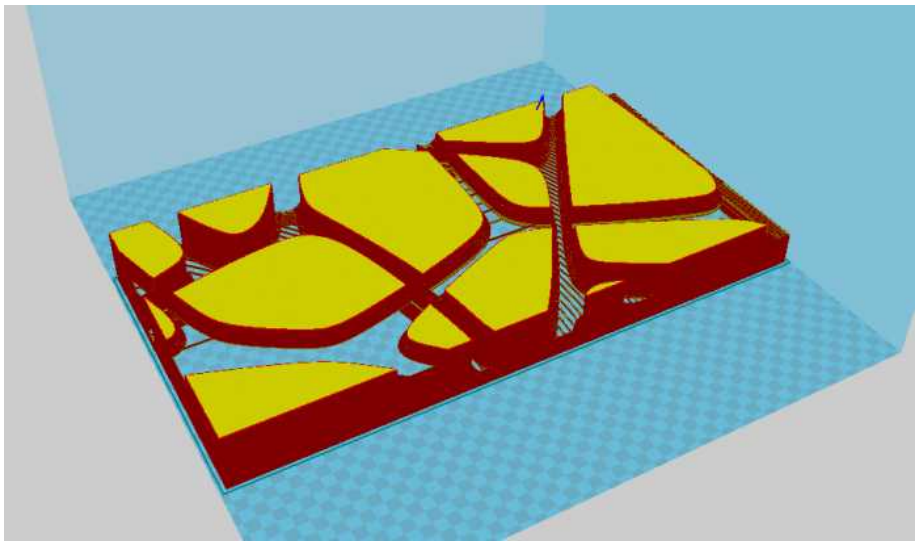


그림 3.3.56 [View mode]-[Layers]로 확인한 툴패스

- 이상이 없을 경우 [Save Toolpath]를 선택해 G-code로 Export한다.

○ 시험 출력

- 완성된 G-code 데이터를 SD카드로 3D프린터에 입력
- 필라멘트 종류에 따라 조형 온도를 190~210도로 설정
- 출력을 시작하고 노즐과 Bed간의 간격, 압출량을 확인하면서 베드 레벨링, 조형 속도 등을 조정

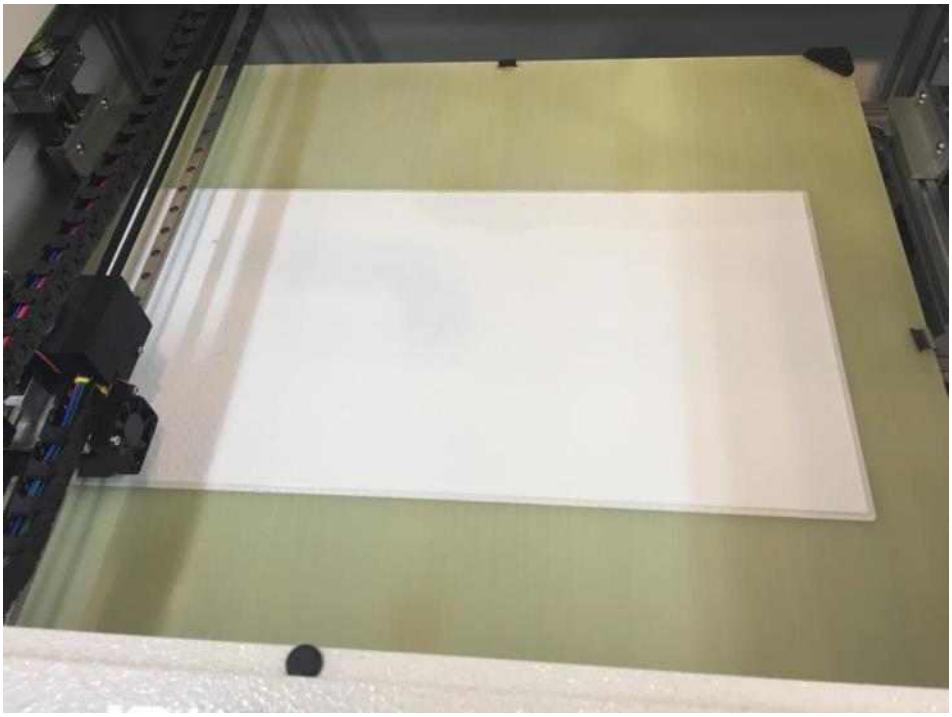


그림 3.3.57 출력 중인 폼라이너



그림 3.3.58 출력 완료된 폼라이너

(나) 3D프린팅 제품

○ 시험타설용 폼라이너 제작: 50cm X 30cm (원뿔형상 2EA, 사각뿔형상 2EA)

- 원뿔형상: 1) 가로방향 지름을 50mm에서 5mm까지 5mm씩 감소(10개 경우 고려), 2) 세로방향 깊이를 5mm에서 50mm까지 5mm씩 증가(10개 경우 고려)
- 정사각뿔형상: 1) 가로방향: 한 변 길이 50mm에서 5mm까지 5mm씩 감소(10개 경우 고려), 2) 세로방향 깊이를 5mm에서 50mm까지 5mm씩 증가(10개 경우 고려)

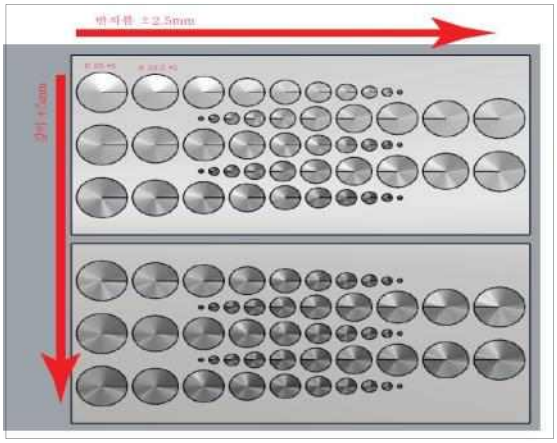


그림 3.3.59 원뿔형상 폼라이너 설계



그림 3.3.60 제작된 원뿔형상 폼라이너

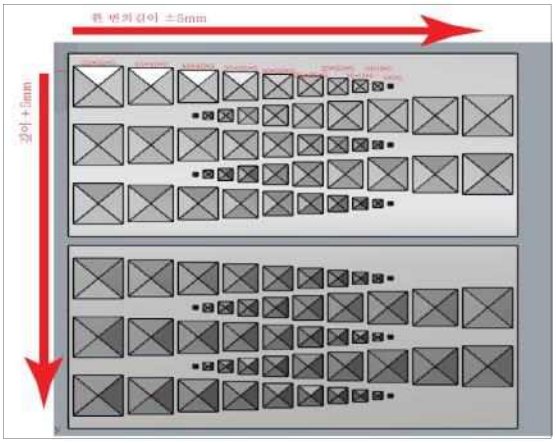


그림 3.3.61 정사각뿔형상 폼라이너 설계



그림 3.3.62 제작된 정사각뿔형상 폼라이너

(2) 폼라이너-거푸집 연결구조 성능평가 및 개선

○ 콘크리트 구조물 시공 시 폼라이너는 거푸집에 부착되어 시공 중 분리되지 않도록 고정되어야 하며, 콘크리트 타설 및 양생 후 거푸집과 함께 분리될 수 있도록 하여야 함. 또한, 거푸집의 재사용을 위해 폼라이너의 분리가 용이한 구조로 설계되어야 함

○ 폼라이너-거푸집 연결구조에 대한 성능평가는 시험제작된 실물크기 폼라이너의 현장시공을 통한 실증검증을 통한 성능평가가 요구됨

○ 일반적인 콘크리트 구조물의 거푸집 시공 시 사용되는 강철선을 이용한 폼라이너-거푸집간 고정구조를 이용할 수 있으나, 복합소재 피복판의 설치시공 경험으로부터 거푸집 및 폼라이너의 손상이 발생하고 강철선을 이용한 연결작업이 용이하지 못한 단점이 있는 것으로 평가됨(그림 3.3.63 및 그림 3.3.64). 따라서 폼라이너-거푸집 계면의 접착, 벨크로를 이용한 연결구조 또는 기계적 착탈구조를 이용한 연결구조로의 개선설계가 필요함



그림 3.3.63 복합소재 피복판의 거푸집 연결을 위한 타공 모습



그림 3.3.64 복합소재 피복판-거푸집간 연결을 위한 강철선 체결 모습

(3) 시험 제작품의 품질평가 및 개선

◯ 제작된 축소모형 폼라이너의 재료, 표면 등 출력품질에 대한 외관조사를 실시하였음

◯ 축소모형 폼라이너의 외관상 출력품질은 매우 우수한 것으로 평가되나 제작 후 온도변화에 의해 폼라이너 간 접합이 이루어지는 측면의 요철이 발생하게 되어 적절한 재료의 검토가 필요한 것으로 판단됨



그림 3.3.65 맞춤형 3D 프린터로 제작된 폼라이너

(4) 포틀랜드, 세라믹 콘크리트 등 폼라이너 적용 최적 콘크리트 및 혼화제 선정

(가) 일반적 타설 자재 비교

◯ 무수축 그라우트 모르타르: 규사#5~6호사의 잔골재로 작은 문양 및 두께가 깊은 면적에서의 타설용이, 내구성이 좋으나 일반적으로 사용되는 보수자재들과 비교 시 고가임

◯ 레미탈: 모르타르 보수자재로 많이 사용되고, 건자재 판매점에서 손쉽게 구매 가능한 장점이 있으나 강도가 20MPa 전후로 상대적으로 작음.

◯ 레미콘: 위 2가지 자재에 비해 가장 저렴하고 현재 일반적으로 사용되는 콘크리트 보수재이나 굵은 골재(25mm이하)로 인해 작은 문양 또는 섬세한 문양에 사용하기에는 부적합. 문

양크기 및 두께에 따라 잔골재로 변경하여 사용가능한 용도를 찾으면 가장 경제적일 수도 있을 것으로 사료됨.

(나) 폼라이너 적용 최적 자재의 선정

○ 위 3가지 재료 중 무수축 그라우트 모르타르를 선정함

○ 유동성을 높임: 유동성을 높여 Self level이 원활하고 조형이 원활하도록 배합설계

○ 유화시간을 짧게 함: 유화시간을 비교적 짧게 맞추어 면적이 작고 깊이가 깊은 면적에서도 주입이 빠르고 밀실하게 채워질 수 있도록 함

○ 고압축강도: 좁고 깊이가 깊은 형상을 만들기 위해, 타설/양생 후 폼라이너 탈형 시 최소한의 충격에도 견딜 수 있도록 고강도(약 50MPa)로 배합설계

○ 친환경자재: 자재의 물성뿐만 아니라 요즘 많이 이슈가 되는 환경문제 해결에 부합하고자 시멘트만이 아닌 고로슬래그를 배합함으로써 친환경적인 요소를 갖추었음.

(다) 주요자재성분

<표 3.3.14> 콘크리트 배합비

자 재 명	함 유 량	비 고
시멘트 및 고로슬래그	40%	
실리카흄	1.5%	
CAS	3%	
유동화재	0.5%	
알루미나분말	0.1%미만	
규사 #5호사	20%	
규사 #6호사	35%	

(5) 콘크리트 면 하니콤(기포자국) 방지 기법 연구

○ 콘크리트 타설시 콜드조인트를 발생시키면 콘크리트 면의 질감이 손상될 뿐만 아니라 구조체로서도 내구성이 저하됨. 그러므로 이어치기 간격을 단축하거나 레이턴스의 충분한 제거가 필요함.

○ 허니컴을 방지하기 위해, 설계단계에서 충분한 피복두께를 확보하고, 콘크리트 타설 속도를 적절히 제어하여 콘크리트가 확실히 충진되도록 한다.

(6) 축소 모형 콘크리트 벽체 시험제작 및 시공성 평가

(가) 무수축 그라우트 모르타르 타설



그림 3.3.66 무수축 그라우트 모르타르자재



그림 3.3.67 물과 교반 후 무수축 그라우트



그림 3.3.68 무수축 그라우트 타설 後



그림 3.3.69 무수축 그라우트제 양생 後

(나) 거푸집제거 후 상태확인



그림 3.3.70 사각형 폼라이너탈형 後

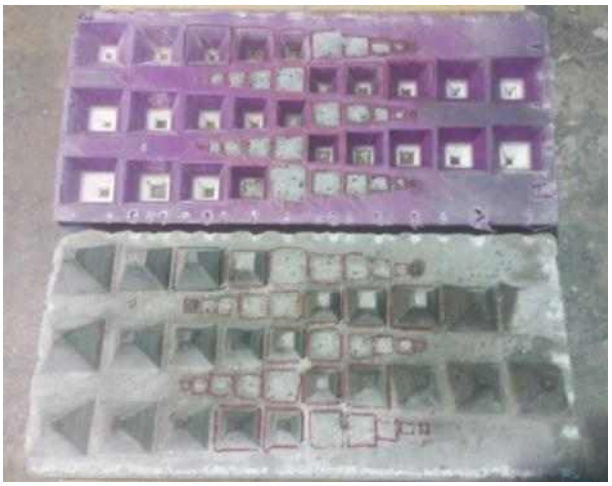


그림 3.3.71 사각형 폼라이너탈형 後

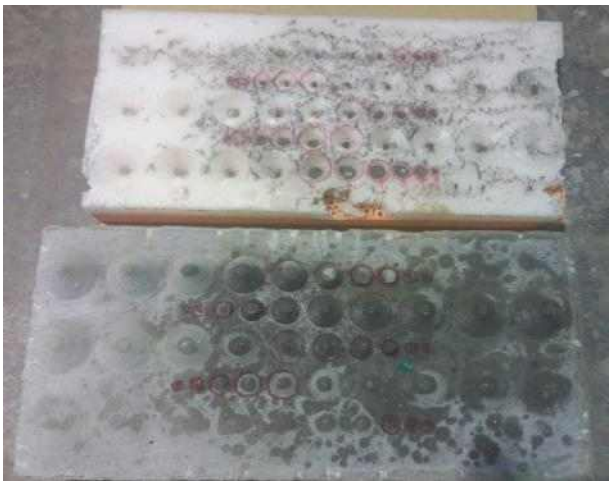


그림 3.3.72 원형 폼라이너탈형 後

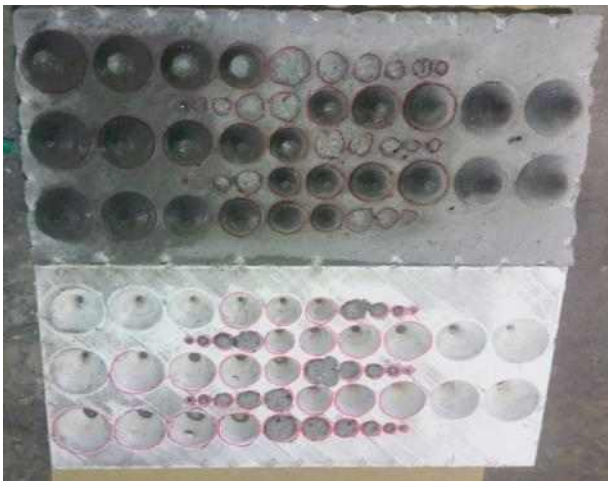


그림 3.3.73 원형 폼라이너탈형 後

(다) 상세분석

○ 정사각뿔형상: 1) 가로방향: 한 변 길이 50mm에서 5mm까지 5mm씩 감소(10개 경우 고려), 2) 세로방향 깊이를 5mm에서 50mm까지 5mm씩 증가(10개 경우 고려)

- 형상이 좁고 깊을수록 콘크리트의 탈형이 제대로 되지 않고 콘크리트가 본체에서 탈락되는 양상을 보임. 특히, 깊이 30mm 이상부터는 표면탈락 양상이 심해짐
- 아래 표에 콘크리트 탈락이 일어난 경우 깊이/최대변 비를 정리하였음. 깊이/최대변 > 1.0인 경우 콘크리트 탈락이 발생하므로 폼라이너 형상을 완만하게 제작하도록 권장함.



깊이, mm	변, mm	탈락 개소
25	5, 10	2
20	5, 10	2
15	5	1
10	5	1
5	5	1

그림 3.3.74 정사각뿔 형상의 시공성 (깊이 5, 10, 15, 20, 25mm)



깊이, mm	변, mm	탈락 개소
50	5~30	6
45	5~25	5
40	5~25	5
35	5~25	5
30	5~25	5

그림 3.3.75 정사각뿔 형상의 시공성 (깊이 30, 35, 40, 45, 50mm)

<표 3.3.15> 정사각뿔 형상 탈락한 경우 깊이/최대변

깊이(mm)	최대변(mm)	깊이/최대변
5	5	1.0
10	5	2.0
15	5	3.0
20	10	2.0
25	10	2.5
30	25	1.2
35	25	1.4
40	25	1.6
45	25	1.8
50	30	1.67

○ 원형 비교 (반지름 R=25mm ~ 2.5mm, 10Type & 두께T = 5mm ~ 50mm)

- 형상이 좁고 깊을수록 콘크리트의 탈형이 제대로 되지 않고 콘크리트가 본체에서 탈락되는 양상을 보임. 특히, 깊이 30mm 이상부터는 표면탈락 양상이 심해짐
- 아래 표에 콘크리트 탈락이 일어난 경우 깊이/최대변 비를 정리하였음. 깊이/최대변 > 1.0인 경우 콘크리트 탈락이 발생하므로 폼라이너 형상을 완만하게 제작하도록 권장함.



깊이, mm	변, mm	탈락 개소
25	5, 10	2
20	5, 10	2
15	5	1
10	5	1
5	5	1

그림 3.3.76 원뿔 형상의 시공성 (깊이 5, 10, 15, 20, 25mm)



깊이, mm	변, mm	탈락 개소
50	5~30	6
45	5~25	5
40	5~25	5
35	5~20	4
30	5~20	4

그림 3.3.77 원뿔 형상의 시공성 (깊이 30, 35, 40, 45, 50mm)

<표 3.3.16> 원뿔 형상 탈락한 경우 깊이/최대변

깊이(mm)	최대변(mm)	깊이/최대변
5	5	1.0
10	5	2.0
15	5	3.0
20	10	2.0
25	10	2.5
30	20	1.5
35	20	1.75
40	25	1.6
45	25	1.8
50	30	1.67

(라) 시험제작품의 품질 평가 및 개선

○ 폼라이너

- 품질평가: 폼라이너 재질은 친환경 소재인 PLA(Poly Lactic Acid)로 하였음. 저렴하고 내구성이 좋은 ABS(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymer)에 비해 PLA는 고가이나 열변형에 의한 수축이 적으며 보다 정밀한 출력이 가능함.



그림 3.3.78 폼라이너의 불량 상태

○ 개선방법 :우려했던 FDM방식의 단점인 요철이나 구멍이 문양 및 크기 깊이에 따라 부분적 또는 전반적으로 발생되었고 이에 대한 개선방법들은 아래와 같으며. 차후 제작 시 이 방법들을 고려하면 개선가능 할 것으로 사료됨.

- 프린트 설정값 조절
- 노즐온도 및 이동 속도조절
- 필라멘트 압출량 조절

○ 모르타르

- 품질평가: 폼라이너 탈형 시 폼라이너와 콘크리트의 마찰력에 의해 콘크리트가 떨어여 나가는 현상이 발생함



그림 3.3.79 탈형 후 탈락된 콘크리트와 폼라이너

○ 개선방법: 폼라이너 형상을 완만하게 제작하여 탈형 시 마찰력이 적게 발생하도록 해야함.

라. 실물크기 폼라이너 시제품 제작

(1) 실물크기 폼라이너 제작

○ 디자인 그래픽 프로그램을 활용하여 파도, 새, 꽃, 풀과 같은 실물크기 폼라이너 디자인을 양각, 음각으로 각각 제작한 뒤에 실제로 대형 3D프린터를 활용하여 각 디자인의 폼라이너를 제작할 수 있음

○ 실제 3D프린팅 폼라이너는 실물크기 벽체에서 일부분(그림 3.3.88의 빨간 박스구간)을 출력하여 폼라이너로 제작함(그림 3.3.89)

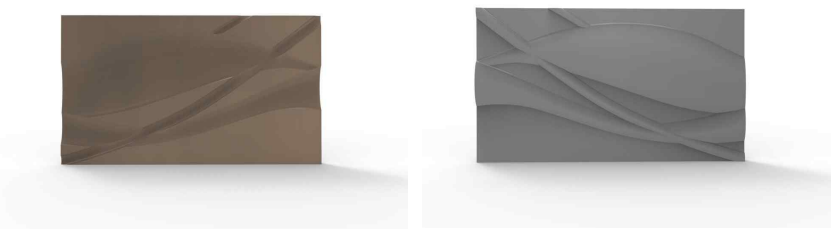


그림 3.3.80 파도 모양의 폼라이너 디자인 (음각, 양각)

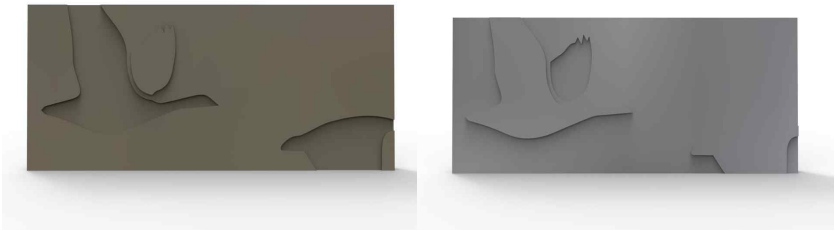


그림 3.3.81 날아가는 새 모양의 폼라이너 디자인 (음각, 양각)



그림 3.3.82 꽃과 풀 모양의 폼라이너 디자인 (음각, 양각)

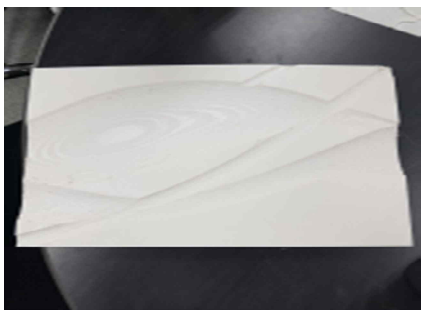


그림 3.3.83 3D프린터로 출력된
파도 모양 폼라이너



그림 3.3.84 3D프린터로 출력된 새
모양 폼라이너



그림 3.3.85 3D프린터로 출력된 꽃과 풀 모양의 폼라이너 (음각, 양각)



그림 3.3.86 꽃과 풀 모양 폼라이너로 만들어진 실제 벽체 디자인



그림 3.3.87 파도 모양 폼라이너로 만들어진 실제 벽체 디자인



그림 3.3.88 새 모양 폼라이너로 만들어진 실제 벽체 디자인



그림 3.3.89 유로폼 크기로 출력한 새 모양 폼라이너

(2) 폼라이너 시험 제작품의 품질 평가 및 개선

○ 처음 제작된 폼라이너(그림 3.3.90~92)의 경우 확대해보면 세밀한 디자인의 표현이 잘되지 않아 구멍이 생기거나 노이즈가 생기는 문제가 있다(그림 3.3.93~95). 따라서 세밀한 디자인은 삭제하고 간소한 모양의 음, 양각 폼라이너로 만듦(그림 3.3.96, 97).



그림 3.3.90 새 모양의 초기 제작품



그림 3.3.91 한옥 모양 초기 제작품



그림 3.3.92 탈 모양의 초기 제작품



그림 3.3.93 새 모양 초기 제작품의 확대형상



그림 3.3.94 한옥모양 초기 제작품의 확대형상



그림 3.3.95 탈 모양의 초기 제작품의 확대형상



그림 3.3.96 간소한 음, 양각으로 표현한 폼라이너 디자인



그림 3.3.97 간소한 음, 양각 폼라이너 출력물

마. 폼라이너 시제품 시험검증

(1) 폼라이너 시제품의 실내 구조성능 시험 방법 및 최소기준 설정

(가) 시험 목적

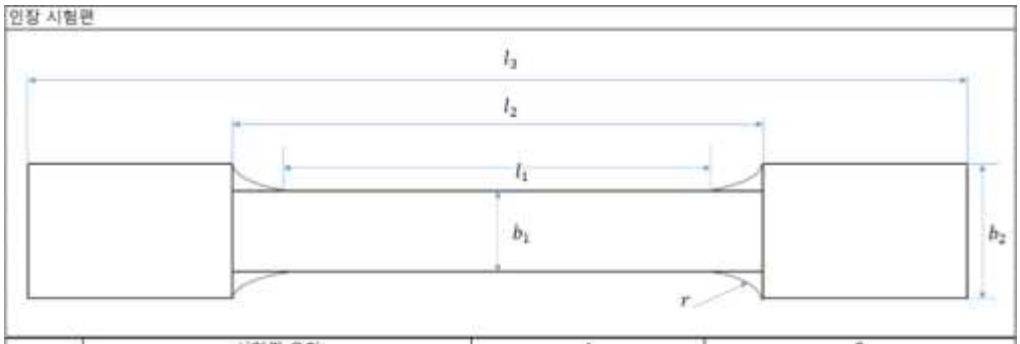
◯ 적층 제작 방식 때문에 제작된 폼라이너의 물성치는 사용된 모재의 물성치와는 다름

◯ 적층제작된 폼라이너 재료는 in-layer와 out-layer 방향의 거동이 서로 다른 직교이등방성 성질을 가짐

○ 각 방향에 대해 시편시험을 수행하여 직교이등방성 물성치를 구함
○ 이렇게 정한 직교이등방성 물성치를 구조해석에 반영하여 해석결과의 신뢰도를 높임

(나) 시험 상세설계
○ 압축/인장 시험을 위해 국가표준규격 KS M ISO 3167 다목적용 시험편에 의해 압축시편과 인장시편의 치수를 결정
○ 시험과 시편의 불확실성을 고려하기 위하여 각각 인장/압축 시편을 5개씩 시험했으며, ABS와 PLA 두 개 재료 시편에 대해 수행하여 총 20개의 시편시험을 수행

○ 시편 치수 상세
- 아래 그림에서 압축시편과 인장시편의 형태와 치수를 mm 단위로 오차범위와 함께 표시
- 인장시편의 경우 권장 값을 사용하여 시편을 출력
- 압축시편의 경우 권장 값은 50mm X 10mm X 4mm이지만 좌굴발생을 막기 위해 두께를 10mm로 증가

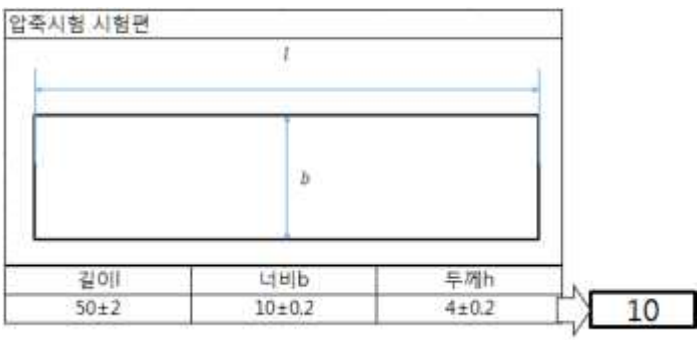


	시험편 유형	A	B
l3	전체 길이	≥150 권장값 170	≥150
l1	폭이 좁은 평행 측면 부분의 길이	80±2	60±0.5
r	반지름	20에서 25 권장 값 24±1	≥60 권장 값 60±0.5
l2	폭이 넓은 평행 측면 부분 사이의 거리	104에서 113	106에서 120 권장 값 106에서 110
b2	끝부분의 너비	20±0.2	
b1	폭이 좁은 부분의 너비	10±0.2	
h	두께	4±0.2	

A형에 대한 권장 전체 길이 170mm는 ISO 294 -1 및 KS M ISO 10724-1과 일치하는 것이다. 일부 재료에 있어, 탭 부분의 길이는 시험기 집게 안에서 미끄러지거나 파괴되는 것을 방지하기 위해 연장되어야 할 수도 있다.
권장 값 및 범위는 이 표준의 다음 판에서 의무 사항이 될 수도 있다. 반지름의 가장 작은 허용 오차는 폭이 좁은 평행 측면 부분과 둥근 부분 사이에서 이행되는 부분에서 발견되는 응력의 집중 범위를 줄여준다. B형에서 폭 넓은 평행 측면 부분 사이의 거리가 더 작은 허용 오차를 갖는다면 인장 시험에 있어 집게 사이의 초기 거리에 대한 일반값을 사용할 수 있다.

$$r = \frac{(l_2 - l_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}{4(b_2 - b_1)}$$

그림 3.3.98 인장시험편 치수



길이l	너비b	두께h
50±2	10±0.2	4±0.2

10

그림 3.3.99 압축시험편 치수

(다) 시편제작방식
○ 본 연구에서는 3D프린터 기술 중 하나인 압출적층방식(FDM)을 사용

○ 압출적층방식은 얇은 실(필라멘트) 형태의 열가소성 물질을 노즐 안에서 녹여 박막필름 형태로 출력
○ in-layer 시편은 대각선방향으로 사출하면서 제작되고 바로 위층에서는 또 다른 대각선 방향으로 제작
○ out-layer 시편은 시편의 out-layer 방향으로 적층을 하면서 제작한다.

(라) 시험 및 결과
○ 시험방법
- 최대하중 500kN인 재하장치를 사용하여 시험을 수행
- 인장시험: 지그에 인장시편을 물린 뒤 변위를 in-layer의 경우 0.1mm/min으로 제어하고, out-layer의 경우 1mm/min으로 제어하여 시험을 수행
- 압축시험: 지그를 물린 뒤 그 위에 압축시편을 올려놓고 변위를 2mm/min으로 제어하여 시험을 수행
- 휨 시험: 길이 40mm인 휨 시편을 단순지지하고 중앙부 하중변위를 2mm/min으로 제어하여 시험을 수행

○ 시험기기



그림 3.3.100 500kN 시험장비 (MTS 500kN Fatigue Testing System)



그림 3.3.101 압축측정용 지그 또는 가압판



그림 3.3.102 휨시험용 지그

○ 시험사진 및 시험결과 시편사진

- 각 시편의 인덱스는 다음과 같은 방식으로 표시. 인덱스의 첫 글자 I 또는 O는 각각 면내(In-layer) 또는 면외(Out-layer) 방향 시편을 의미하고, 두 번째 글자 C, T 또는 B는 각각 압축, 인장 또는 휨 시편임을 의미. 밑첨자에는 재료 종류인 ABS 또는 PLA를 표시.



그림 3.3.103 압축시험 사진



그림 3.3.104 휨 시험 사진



그림 3.3.105 인장시험 사진

1) 압축시편 파괴형상



그림 3.3.106 ABS의 면외압축시편(OC_{ABS}) 파괴



그림 3.3.107 ABS의 면내압축시편(IC_{ABS}) 파괴



그림 3.3.108 PLA의 면내압축시편(IC_{PLA}) 파괴



그림 3.3.109 PLA의 면외압축시편(OC_{PLA}) 파괴

2) 휨시편 파괴형상



그림 3.3.110 ABS의
면내휨시편(IB_{ABS}) 파괴



그림 3.3.111 ABS의
면외휨시편(OB_{ABS}) 파괴



그림 3.3.112 PLA의
면내휨시편(IB_{PLA}) 파괴



그림 3.3.113 PLA의
면외휨시편(OB_{PLA}) 파괴

3) 인장시편 파괴형상



그림 3.3.114 ABS의
면내인장시편(IT_{ABS}) 파괴



그림 3.3.115 ABS의
면외인장시편(OT_{ABS}) 파괴



그림 3.3.116 PLA의
면내인장시편(IT_{PLA}) 파괴



그림 3.3.117 PLA의
면외인장시편(OT_{PLA}) 파괴

(2) 폼라이너 시제품의 실내 구조성능 시험 및 평가

(가) 시험 결과

○ 그림 3.3.118~121은 ABS로 적층제작된 재질의 적층면내 압축, 적층면내 인장, 적층면외 압축, 적층면외 인장에 대한 시편시험결과를 각각 차례대로 보여준다.

○ 그림 3.3.122~125은 PLA로 적층제작된 재질에 대해 역시 같은 순서의 시편시험 결과를 보여준다.

○ 선형거동을 보이는 구간의 기울기를 통하여 적층면내 시편의 탄성계수(E_x, E_y, E_z)를 계산하고, 항복하중을 시편 단면적(압축시편의 경우 100mm^2, 인장시편의 경우 40mm^2)으로 나누어 항복응력($(f_y)_x, (f_y)_y, (f_y)_z$)을 구하여 표 3.3.17~24에 정리하였다.

○ 이들 시편시험 결과의 평균값으로, ABS와 PLA시편의 적층면내(x, y방향)와 면외(z방향)의 탄성계수와 항복응력을 압축 및 인장에 대해 나누어서 차례대로 표 3.3.25에 정리하였다.

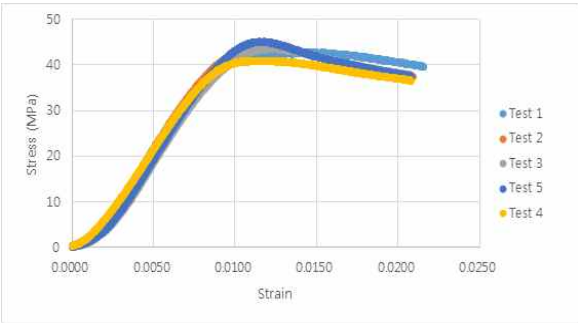


그림 3.3.118 ABS시편의 적층면내 압축시험 결과

<표 3.3.17> ABS시편의 적층면내 압축시험 결과

시험차수	항복응력		탄성계수	
1	35.0	MPa	5941	MPa
2	35.1	MPa	5217	MPa
3	35.1	MPa	5310	MPa
4	35.0	MPa	4918	MPa
5	34.8	MPa	5263	MPa
평균	35.0	MPa	5329.8	MPa

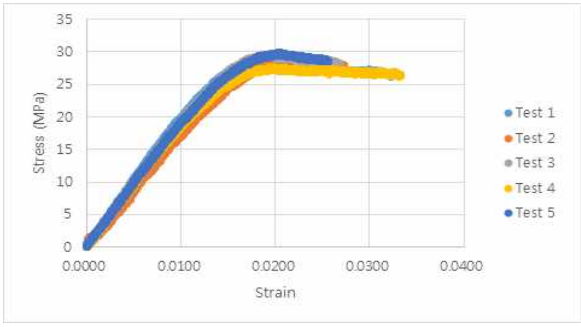


그림 3.3.119 ABS시편의 적층면내 인장시험 결과

<표 3.3.18> ABS시편의 적층면내 인장시험 결과

시험차수	항복응력		탄성계수	
1	24.9	MPa	1818	MPa
2	25.0	MPa	1329	MPa
3	25.0	MPa	1770	MPa
4	24.7	MPa	1695	MPa
5	25.0	MPa	1754	MPa
평균	24.9	MPa	1673.2	MPa

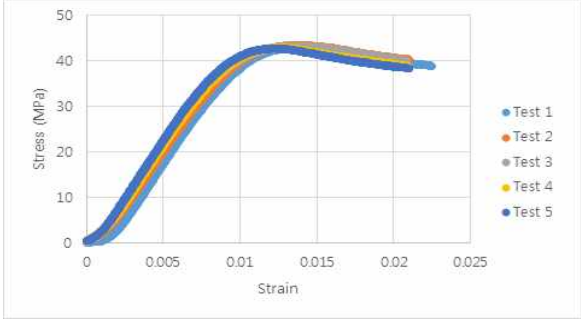


그림 3.3.120 ABS시편의 적층면외 압축시험 결과

<표 3.3.19> ABS시편의 적층면외 압축시험 결과

시험차수	항복응력	탄성계수
1	36.0 MPa	4918 MPa
2	35.0 MPa	4580 MPa
3	35.0 MPa	4918 MPa
4	34.8 MPa	4918 MPa
5	35.4 MPa	4545 MPa
평균	35.2 MPa	4775.8 MPa

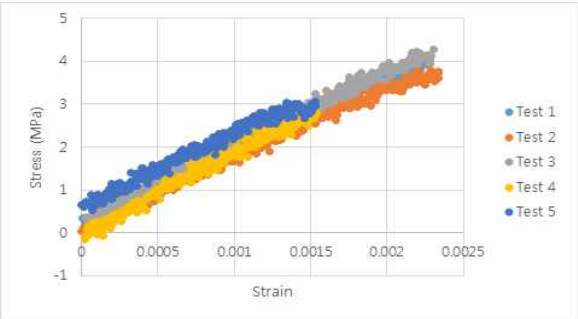


그림 3.121 ABS시편의 적층면외 인장시험 결과

<표 3.3.20> ABS시편의 적층면외 인장시험 결과

시험차수	항복응력	탄성계수
1	3.8 MPa	1818 MPa
2	3.7 MPa	1609 MPa
3	4.1 MPa	1739 MPa
4	x MPa	x MPa
5	2.8 MPa	2000 MPa
평균	3.6 MPa	1791.5 MPa

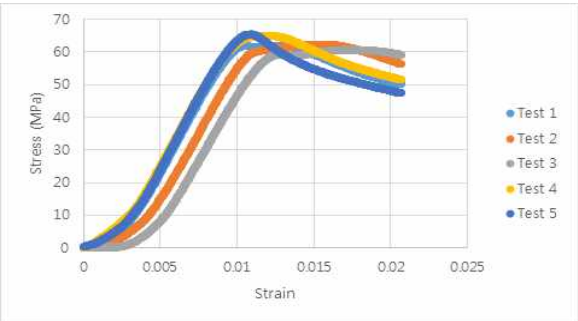


그림 3.3.122 PLA시편의 적층면내 압축시험 결과

<표 3.3.21> PLA시편의 적층면내 압축시험 결과

시험차수	항복응력	탄성계수
1	55.0 MPa	8491 MPa
2	54.0 MPa	8491 MPa
3	53.0 MPa	7895 MPa
4	56.4 MPa	7759 MPa
5	55.1 MPa	8571 MPa
평균	54.7 MPa	8241.4 MPa

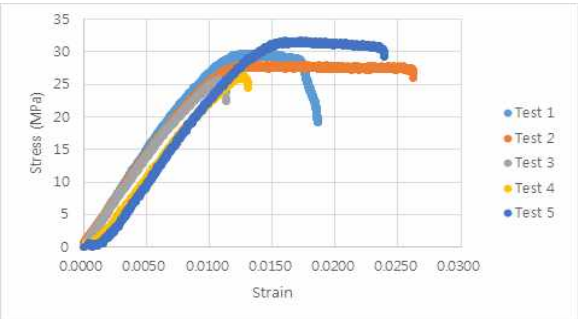


그림 3.3.123 PLA시편의 적층면내 인장시험 결과

<표 3.3.22> PLA시편의 적층면내 인장시험 결과

시험차수	항복응력	탄성계수
1	36.0 MPa	4918 MPa
2	35.0 MPa	4580 MPa
3	35.0 MPa	4918 MPa
4	34.8 MPa	4918 MPa
5	35.4 MPa	4545 MPa
평균	35.2 MPa	4775.8 MPa

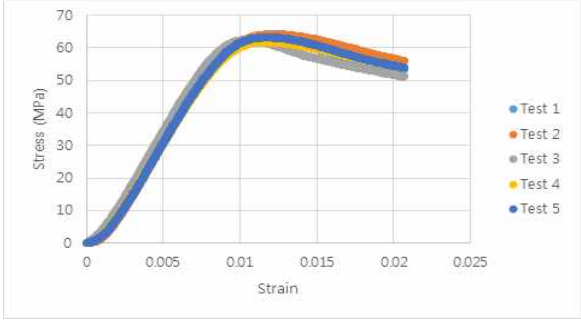


그림 3.3.124 PLA시편의 적층면외 압축시험 결과

<표 3.3.23> PLA시편의 적층면외 압축시험 결과

시험차수	항복응력		탄성계수	
1	50.0	MPa	7692	MPa
2	50.0	MPa	7692	MPa
3	50.0	MPa	7692	MPa
4	50.0	MPa	7547	MPa
5	50.0	MPa	7339	MPa
평균	50.0	MPa	7592.4	MPa

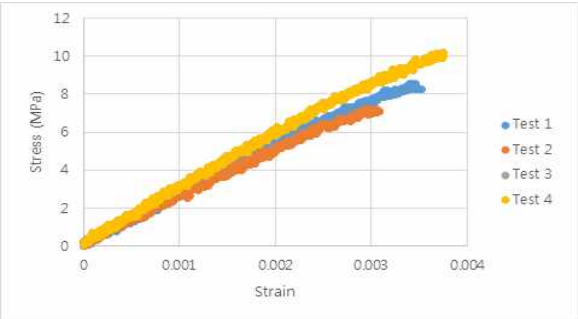


그림 3.3.125 PLA시편의 적층면외 인장시험 결과

<표 3.3.24> PLA시편의 적층면외 인장시험 결과

시험차수	항복응력		탄성계수	
1	6.0	MPa	2727	MPa
2	6.0	MPa	2500	MPa
3	8.0	MPa	3200	MPa
4	8.0	MPa	2909	MPa
5	x	MPa	x	MPa
평균	7.0	MPa	2834	MPa

<표 3.3.25> 적층출력된 재료의 물성치

(MPa)	ABS		PLA	
	압축	인장	압축	인장
E_x	5329.8	1673.2	8241.4	2539.8
$(f_v)_x$	35.0	24.9	54.7	35.2
E_y	5329.8	1673.2	8241.4	2539.8
$(f_v)_y$	35.0	24.9	54.7	35.2
E_z	4775.8	1791.5	7592.4	2727
$(f_v)_z$	35.2	3.6	50.0	7.0

○ ABS와 PLA로 적층출력된 시편에 대한 인장과 압축시험은 수행되었으나, 전단시험은 정교한 지그제작과 측정이 필요하므로 시험수행에 상당한 어려움이 있음.

○ 기존에 수행한 시편시험을 토대로 전단탄성계수를 가정하여 해석에 적용함. 폼라이너 하중에 의한 최대 응력은 휨 또는 압축에 의한 것이므로 전단탄성계수의 영향을 거의 받지 않을 것으로 보임.

○ 등방성 모재의 경우 전단탄성계수($G=E/\{2(1+\nu)\}$)는 축방향탄성계수에 비례함. 각 방향 포아송비 간 차이가 크지 않다고 가정한다면, 적층출력된 재료의 전단탄성계수는 탄성계수와 같은 비율로 모재에 비해 증감할 것으로 예상됨. 이러한 가정을 토대로 전단탄성계수 G값을 아래 표와 같이 가정하고 해석을 수행.

○ ABS와 PLA로 적층출력된 시편에 대해 압축을 받을 때와 인장을 받을 때의 전단탄성계수가 다르게 계산되므로, 압축을 주로 받는 인필요소에는 압축탄성계수의 증감비로 계산한 전단탄성계수를 적용한다. 반면, 휨에 의한 인장과 압축을 동시에 받는 표면요소는 인장탄성계수의 증감비로 계산한 전단탄성계수를 적용하여 보수적인 해석을 수행한다.

<표 3.3.26> 적층출력된 재료의 전단탄성계수 (MPa)

	ABS		PLA	
	압축	인장	압축	인장
G_{xy}	1148.7	628.6	1743.6	934.2
G_{yz}	940.0	673.1	1504.3	1002.4
G_{zx}	940.0	673.1	1504.3	1002.4

(나) 시험 결과에 기초한 유한요소해석

○ 시험에서 구한 직교이등방성 적층재료의 물성치를 사용하고, 양생 전 콘크리트에 의해 작용하는 압력하중을 적용시켜 폼라이너의 안전성과 사용성을 검토함

○ 폼라이너에 작용하는 측압의 크기를 구하기 위해서, 일반콘크리트의 단위중량 $24kN/m^3$이 3m의 깊이로 작용한다고 가정하였다.

○ 유한요소는 판요소를 사용하였음.

○ 출력 시 소요시간을 단축하기 위해서 인필 생성 시 노즐이 한번만 지나가도록 가정하였으므로 판요소의 두께는 노즐 두께인 0.7mm로 하였다.

○ 폼라이너 유한요소해석모델(그림 3.3.126)에서 표면요소와 인필요소의 요소좌표를 고려하여 앞서 적층출력한 비등방성재료의 물성치결과를 사용

○

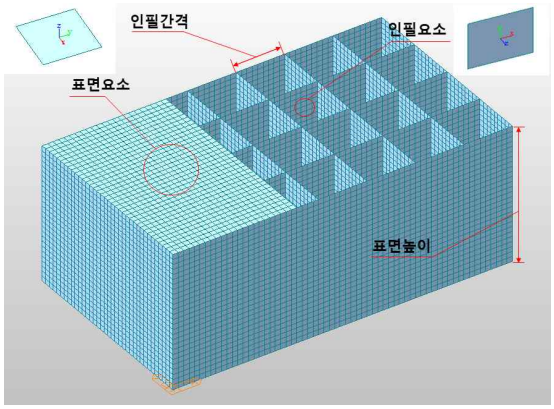


그림 3.3.126 유한요소해석 폼라이너 모델

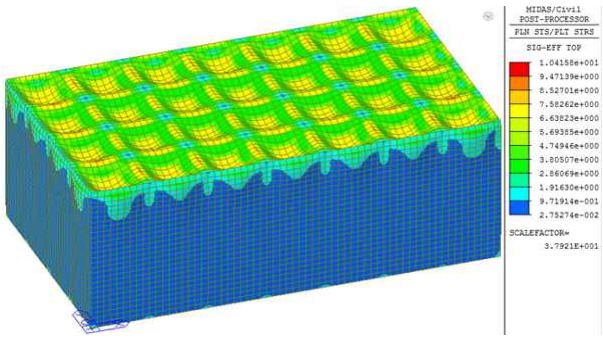


그림 3.3.127 인필간격 18mm인 PLA 폼라이너

○ 3D프린터를 사용한 출력물은 내부 채움의 정도(%) 혹은 인필의 간격(mm)으로 사용자가 필요한 강도와 경제성을 조절할 수 있다. 인필간격은 6mm부터 3mm씩 증가시켜서 18mm까지 모델링

○ 유로폼 지지부로부터 폼라이너 표면까지의 높이는 문양의 굴곡에 따라서 최대 50mm로 가정하여 해석

○ 그림 3.3.127은 해석 결과 중 PLA재료의 인필간격 18mm인 모델에 대한 응력해석결과이다.

(다) 사용성 및 안전성 검토

○ 가설공사표준시방서에 나오는 거푸집 변형기준을 폼라이너의 변형기준으로 적용(표 3.3.27).

<표 3.3.27> 가설공사표준시방서의 거푸집 변형기준

표면의 등급	상대변형	절대변형
A	ln / 360	3 mm
B	ln / 270	6 mm
C	ln / 180	13 mm

비고
A급 : 미관상 중요한 노출콘크리트 면
B급 : 마감이 있는 콘크리트 면
C급 : 미관상 중요하지 않은 노출콘크리트 면

○ 가설공사표준시방서에서 제시되는 거푸집변형 기준에는 미관의 중요도에 따라서 표면의 등급을 A, B, C 등급으로 나누고 있다. 폼라이너는 정교한 미관을 창출하기 위한 목적상 표면의 변형을 최소화해야 하기 때문에, A등급 기준을 폼라이너의 변형기준으로 적용

○ 즉, 순 간격 1.5m 이내의 변형이 상대변형(ln/360)과 절대변형(3mm) 중 작은 값 이하가 되어야 함

○ 가설공사표준시방서에서 ln은 거푸집 경간의 길이이다. 폼라이너에서 거푸집 경간 길이를 그대로 사용하면 상대변형 기준 값은 1.5m 경간에 대해 4.2mm이지만, 적층제작된 폼라이너에서는 인필간격을 경간 ln으로 취급하여 더욱 정교한 미관을 만들 수 있도록 함.

○ 이 경우, 폼라이너의 상대변형은 절대변형보다 언제나 작게 되어, 사용성 검토 시 상대변형 기준이 지배

○ 사용성을 검토하기 위해, 인필간격의 크기를 바꾸어 가며 폼라이너 표면의 최대변형을 유한요소해석을 통해 계산하여 그림 3.3.128과 3.3.129에서 보여주고 있다. 유한요소해석 결과는 두 경우로 나누어 수행하였다. 첫 번째 경우는 표 3.3.26에 준하여, 인장과 압축을 받는 부재를 구분하여 전단탄성계수를 다르게 가정하여 계산한 것이고(FEM 경우 1), 두 번째 경우는 보수적인 계산을 위해 제일 작은 전단탄성계수(ABS 적층재료 전단탄성계수 628.6MPa과 PLA 적층재료 전단탄성계수 934.2MPa)를 모든 부재에 적용하여 계산한 것이다(FEM 경우 2).

○ 그림 3.3.128 ABS 폼라이너의 경우, FEM 경우 1과 2의 해석결과 인필간격 12mm에서 변형기준을 초과하기 시작함을 알 수 있다. FEM 경우 1과 2에 대해 계산된 변형의 차이는 크지 않으므로, 전단탄성계수의 사용성에 대한 영향은 크지 않음을 알 수 있다. 이는 폼라이너 표면의 변형은 주로 휨에 의해 발생하고 있기 때문이다. 이러한 결과는 앞에 가정한 전단탄성계수가 실제값과 어느 정도 차이가 있어도 사용성 검토하는 결과에는 별다른 영향을 끼치지 않을 것임을 알 수 있다. 그림 3.3.129 PLA 폼라이너의 경우도 유사한 결과를 보인다.

○ 그림 3.3.130와 3.3.131은 ABS 폼라이너의 인필요소와 표면요소의 안전성을 검토하기 위해 계산된 최대응력과 항복응력을 비교한다. 인필요소와 표면요소 모두 최대응력이 항복응력보다 매우 작으므로 안전성에는 충분한 안전율을 확보하고 있음을 알 수 있다. 즉, 인필간격을 결정함에 있어서 안전성보다는 사용성이 지배적임을 알 수 있다. 또한, FEM 경우 1과 2의 계산된 최대응력이 서로 유사하게 나타남을 알 수 있다. 인필요소에서의 최대응력은 압축력에 의해 발생하고 표면요소에서의 최대응력은 휨에 의해 발생하므로 가정한 폼라이너의 전단탄성계수가 최대응력 계산에 미치는 영향은 작게 됨을 알 수 있다. 그림 3.3.132와 3.3.133은 PLA 폼라이너의 인필요소와 표면요소의 안전성을 검토하기 위해 계산된 최대응력과 항복응력을 비교한다. 이들은 앞의 그림 3.3.130과 3.3.131에서 보인 것과 유사한 결과를 보여준다.

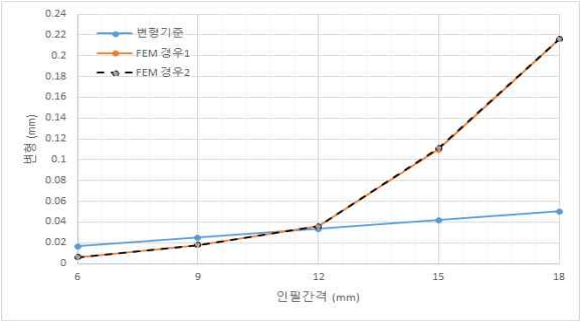


그림 3.3.128 ABS 폼라이너의 사용성 검토

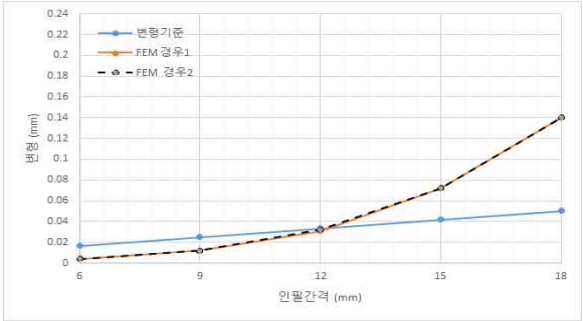


그림 3.3.129 PLA 폼라이너의 사용성 검토

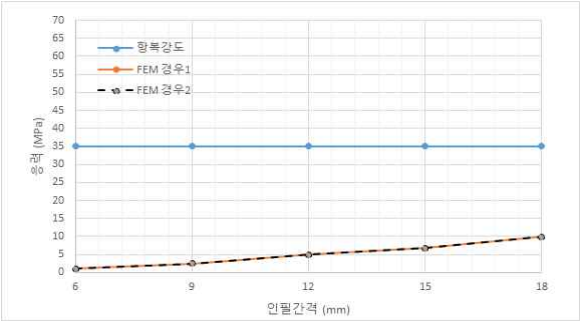


그림 3.3.130 ABS 폼라이너 인필요소의 안전성 검토

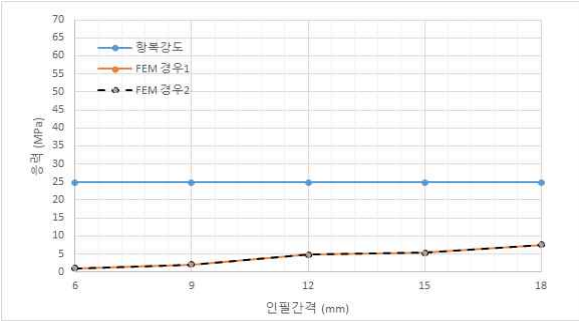


그림 3.3.131 ABS 폼라이너 표면요소의 안전성 검토

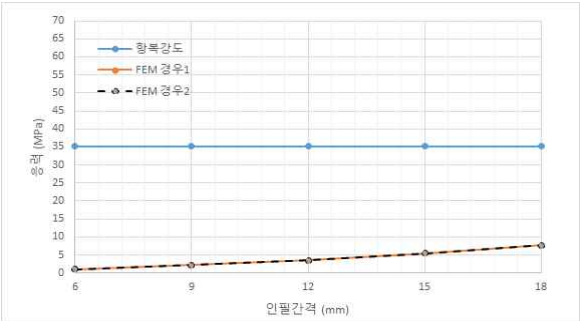


그림 3.3.132 PLA 폼라이너 표면요소의 안전성 검토

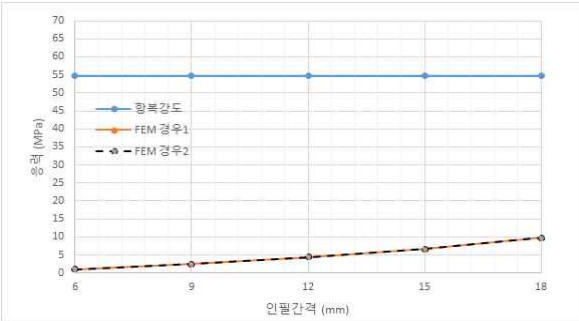


그림 3.3.133 PLA 폼라이너 인필요소의 안전성 검토

바. 폼라이너 적용 실물크기 콘크리트 벽체 시험제작

(1) 폼라이너-거푸집 연결구조 성능 평가

(가) 콘크리트 폼라이너와 거푸집 간 끼움식 연결

○ 그림 3.3.134와 같이 폼라이너에 4개의 끼움용 다리를 만들어서 그 사이에 거푸집을 끼워 넣어 서로 연결한 후, 폼라이너와 연결된 거푸집들 사이는 웨지핀을 사용하여 그림 3.3.135와 같이 서로 결합한다.

○ 그림 3.3.134와 같이 폼라이너의 끼움 다리에 구멍을 뚫어, 거푸집 간 결합 시 이 구멍에 거푸집의 웨지핀이 관통할 수 있도록 제작한다. 이러한 방식의 거푸집 간 결합을 통해, 추가 고정장치 또는 공정을 사용하지 않아도 폼라이너를 거푸집에 단단하게 고정할 수 있다.

○ 인접한 폼라이너 끼리의 연결은 따로 필요하지 않게 된다. 이러한 방식은 기존에 쓰이는 거푸집과 거푸집 설치공정을 그대로 사용하기 때문에 새로 준비해야할 작업에 대한 교육이나 재료의 가공과정이 필요 없으므로 당장 대중화 할 수 있다는 장점이 있다. 반면, 폼라이너 끼움 다리의 두께만큼 거푸집보다 폼라이너 크기가 커지기 때문에 이에 의한 시공오차를 막기 위한 주의가 필요하다.

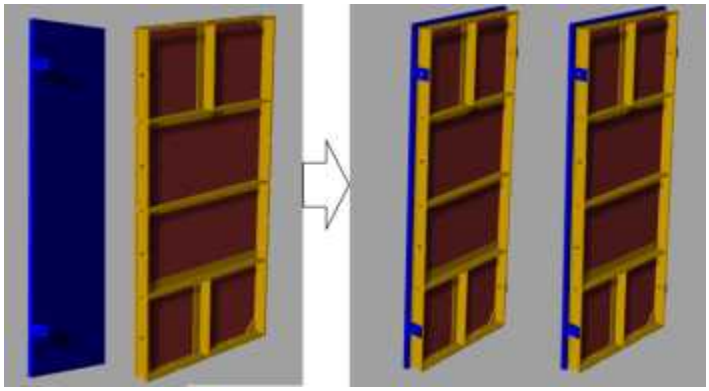


그림 3.3.134 폼라이너와 거푸집 간 끼움식 연결

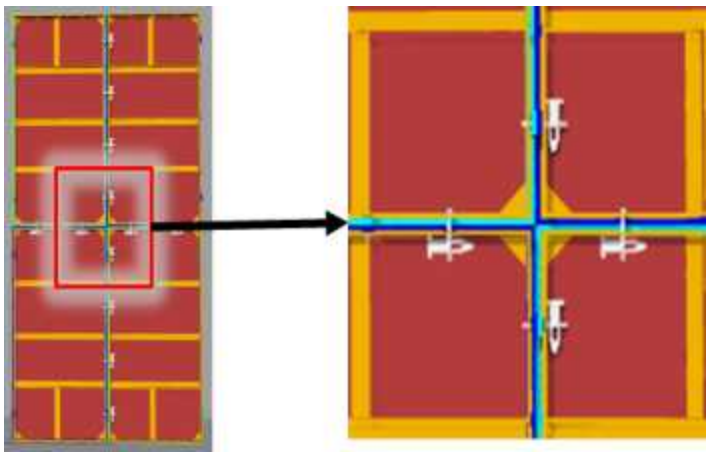


그림 3.3.135 끼움식 연결의 거푸집 간 결합

(나) 콘크리트 폼라이너와 거푸집 간 웨지식 연결

○ 웨지를 고정할 수 있는 일반형(그림 3.3.136) 또는 ㄷ자형(그림 3.3.137) 연결부를 폼라이너에 제작한다. 폼라이너 연결부 정도 크기의 구멍들을 거푸집에 뚫어, 폼라이너 연결부를 이 구멍들에 삽입하여 폼라이너와 거푸집을 포갠다. 거푸집의 반대면에 관통하여 나온 폼라이너 연결부에 웨지를 끼워 폼라이너와 거푸집을 단단히 연결시킨다.

○ 기존에 사용하는 웨지를 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있으며, 인접한 폼라이너 끼리의 연결은 따로 필요하지 않게 된다. 이러한 방식은 기존에 쓰이는 거푸집과 거푸집 설치공정을 그대로 사용하기 때문에 새로 준비해야할 작업에 대한 교육이나 재료의 가공과정이 필요 없으므로 당장 대중화 할 수 있다는 장점이 있다.

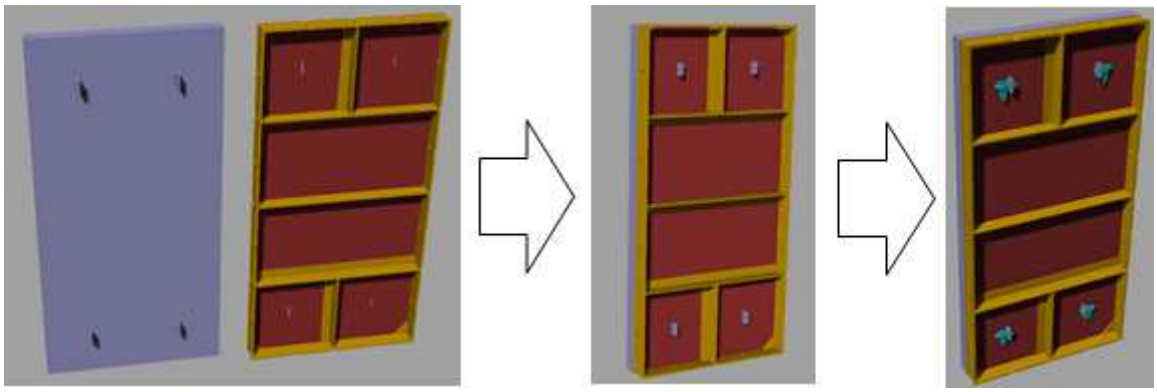


그림 3.3.136 폼라이너와 거푸집 간 일반형 웨지 연결

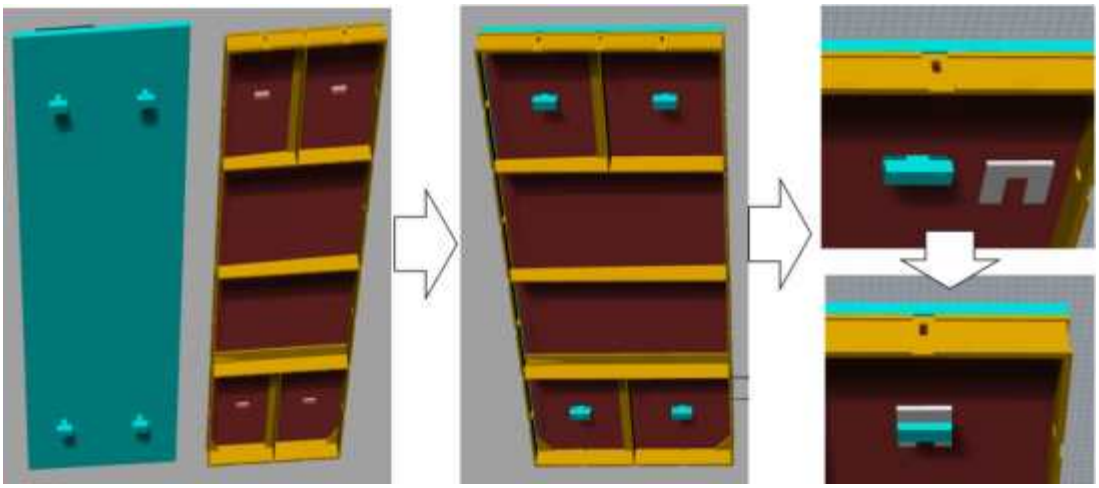


그림 3.3.137 폼라이너와 거푸집 간 ㄷ자형 웨지 연결

(2) 폼라이너-거푸집 연결구조 개선

○ 거푸집 간 웨지핀 연결: 그림 3.3.138과 같이 서로 인접한 두 개의 거푸집을 연결할 때는 두 거푸집의 접촉 측면에 구멍을 뚫어 수평으로 웨지핀을 관통시킨 후, 수직으로 웨지핀을 꽂아 고정한다. 위와 아래로 인접한 두 개의 거푸집을 연결할 때는 두 거푸집의 접촉면에 구멍을 뚫어 수직으로 웨지핀을 관통시킨 후, 수평으로 웨지핀을 꽂아 고정한다.

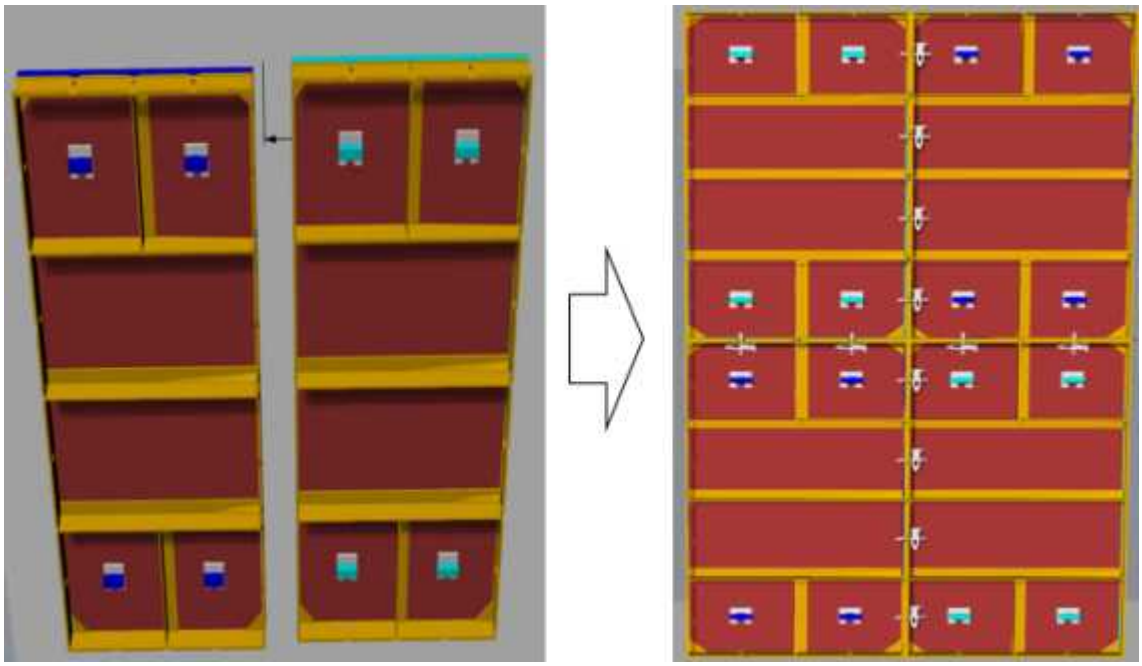


그림 3.3.138 웨지식 연결의 거푸집 간 결합

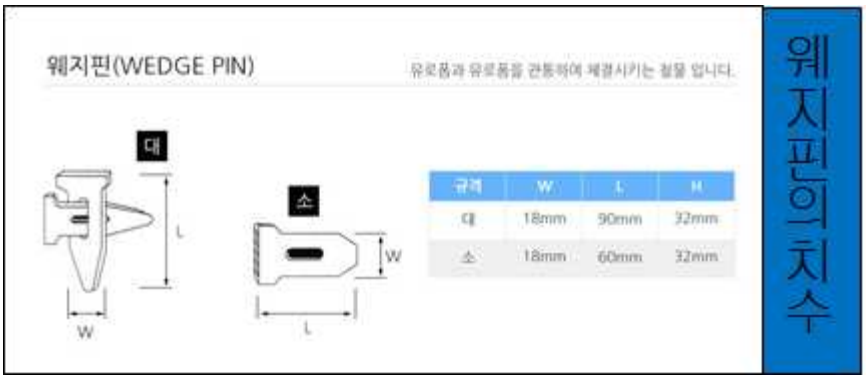


그림 3.3.139 웨지핀 상세 치수 예

(3) 벽체 시험 제작품의 품질 평가 및 개선

○ 폼라이너를 3d프린터로 제작하여 전체 벽체의 일부분을 시험시공하였다. 인공물 및 자연물 형상의 상세한 형상 구현을 위해 폼라이너에 모르타르를 타설하여 벽체를 시험시공한다.

(4) 다양한 인공물 및 자연물 형상디자인을 고려한 실물크기 벽체 제작

○ 아래 그림들은 파도, 새, 꽃, 풀과 같은 형상이 적용된 폼라이너를 실제로 대형 3D프린터로 제작하고, 이를 활용하여 모르타르 벽체를 시험시공한 사진들임



그림 3.3.140 파도 모양 폼라이너로 시공한 모르타르 벽체



그림 3.3.141 새 모양 폼라이너로 시공한 모르타르 벽체



그림 3.3.142 풀과 꽃 모양 폼라이너로 시공한 모르타르 벽체

(5) 제작 시공성 평가 및 개선, 내구성 검토

○ 평가 결과 파도모양의 폼라이너로 제작한 벽체는 그 형상이 제대로 표현된 것을 확인할 수 있으나, 새 모양 폼라이너와 꽃·풀모양 폼라이너로 제작한 벽체는 날개 끝부분이나 풀 끝부분 같은 첨단부분의 형상이 제대로 구현되지 않은 것을 확인할 수 있다. 따라서 미관용 폼라이너를 제작할 때 전체적으로 완만하고 첨단부분이 없는 디자인을 설계하여 폼라이너를 제작하는 것이 시공에 유리하다.

사. 콘크리트 벽체 현장 시험시공

(1) 시험시공 및 성능평가

○ 콘크리트 면의 상세한 형상 구현을 위해 무수축 모르타르인 “한일시멘트 REMIGROUT GP400” (아래 그림)을 이용하였다. 배합비는 “한일 시멘트 기술자료”에 있는 아래 표에 따라 반죽하였다. 또, 콘크리트와 폼라이너의 분리가 원활하도록 박리제를 사용하였다.



그림 3.3.143 무수축 모르타르 ‘한일시멘트 REMIGROUT GP400’

<표 3.3.28> 레미그라우트재의 적정 단위수량 [한일시멘트 기술자료-그라우트용 레미탈 기술자료(TC Grout. 0811.001.)]

재료명	작업성 기준 (Flow/%)	제품 1대(25kg) 당		1m³ 당 사용량	
		수량 (liter)	반죽된 량	그라우트재	물
GP400 GP600 QP600 HP800	150% 이상 (Flow cone test)	3.75~4.25	약 13 liter	1,900~1,950kg	285~332kg

(2) 30cm×30cm 폼라이너 시험시공

○ 적정량의 배합비와 타설의 적합성을 확인해보기 위해서 30cm×30cm 크기의 벽체를 먼저 시험시공 하였다. <표 3.3.28>에 따라 제품 무수축 모르타르 12.5kg에 물 2liter를 사용하였다(그림 3.3.144, 145). 폼라이너와 보호외피를 함께 시험시공 하였다(그림 3.3.146, 147).



그림 3.3.144 무수축 모르타르 무게 측정



그림 3.3.145 무수축 모르타르 무게 측정

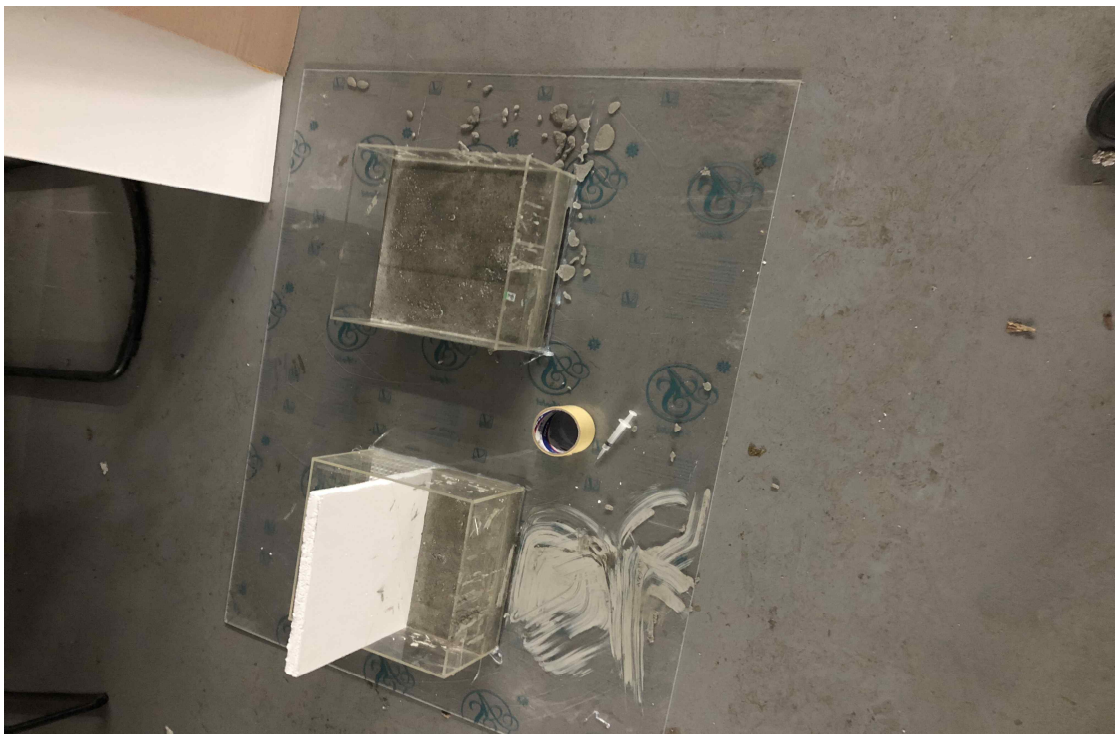


그림 3.3.146 시험시공중인 폼라이너와 보호외피



그림 3.3.147 시공을 완료한 폼라이너와 모르타르

(3) 유로폼 크기(120cm×60cm) 폼라이너 시험시공

○ 위에서 확인한 결과 폼라이너의 형상이 잘 표현되어 30cm×30cm 폼라이너 8개를 각각 제작(그림 3.3.147)하여 조립하여 유로폼과 같은 크기(60cm×120cm)로 실리콘을 이용하여 이어 붙였다(그림 3.3.148). 유로폼과 폼라이너도 실리콘으로 붙여서 시험시공을 진행하였다(그림 3.3.149, 150). 배합비는 무수축 모르타르 50kg에 물 8liter를 사용하였다.

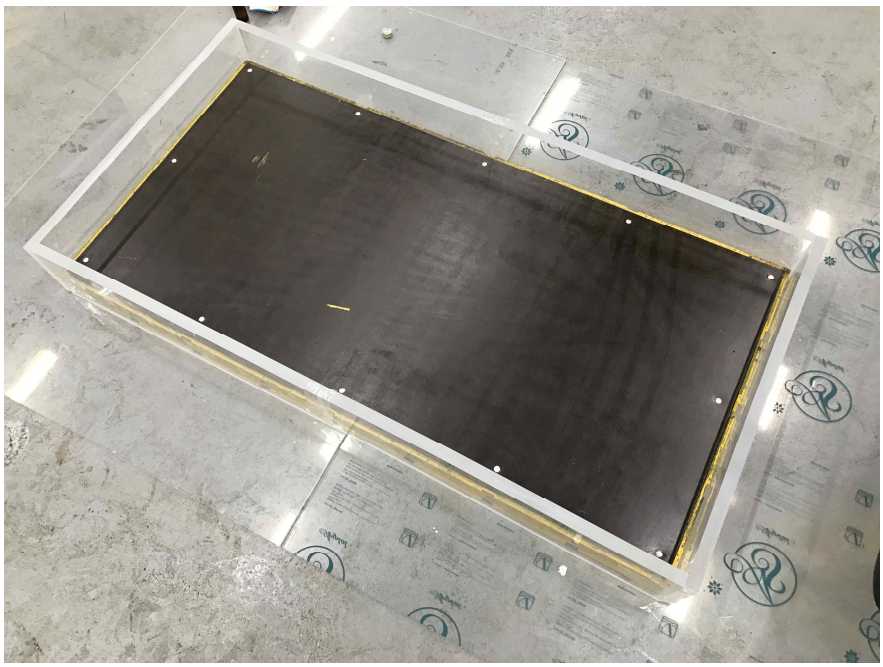


그림 3.3.148 아크릴 틀과 유로폼



그림 3.3.149 유로폼과 접착시킨 폼라이너



그림 3.3.150 시험시공 중인 폼라이너



그림 3.3.151 콘크리트가 굳은 후 아크릴 틀을 제거한 폼라이너

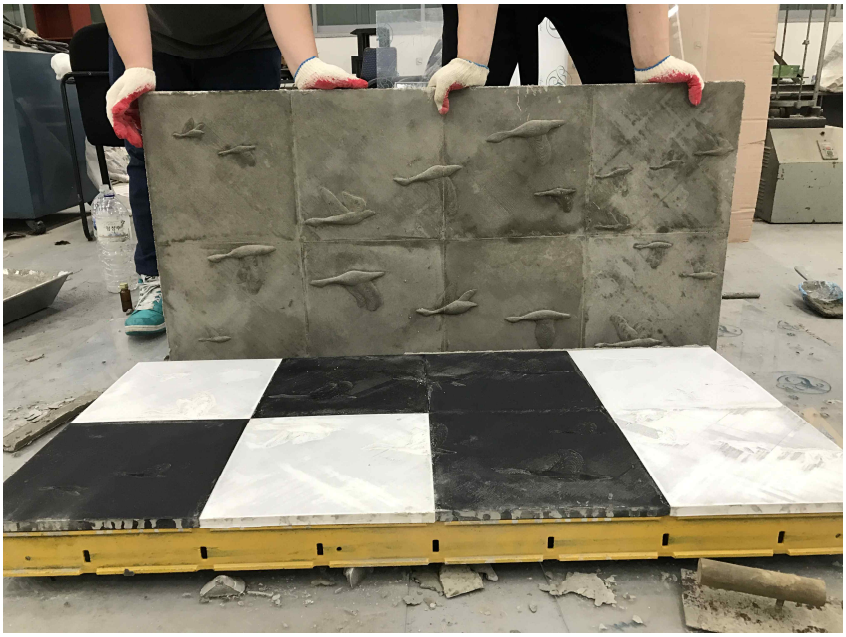


그림 3.3.152 시공 후 폼라이너1



그림 3.3.153 시공 후 폼라이너2

(4) 시공성 평가

○ 2차년도에서 수행했던 소형벽체 시공 시 첨단부분의 형상이 제대로 구현되지 않았었다. 하지만, 3차년도 시험시공에서는 무수축 모르타르를 사용하고 박리제로 인해 콘크리트와 폼라이너의 분리가 원활하게 되어 벽체의 형상이 잘 구현되었다. 또한, 실리콘으로 폼라이너 간에 접착하고 유로폼-폼라이너도 접착하여 시공을 하였는데, 시공 상에 문제점이 발견되지 않아 실제 제작 및 콘크리트 타설 시에 적용 가능할 것으로 보인다.

(5) 시공지침

○ 콘크리트의 수축으로 인해 콘크리트 입자간 간격이 벌어져 타설 시 균열이 생길 수 있다. 따라서 일반 시멘트를 사용하는 것보다 강도가 세고 수축이 적은 무수축 모르타르를 사용하는 것을 권장한다.

○ 무수축 모르타르는 빠르게 굳기 때문에 반죽 후 즉시 타설하여야 한다.

○ [한일시멘트 기술자료-그라우트용 레미탈 기술자료(TC Grout. 0811.001)]에 따르면, 무수축 모르타르 25kg당 3.75~4.25liter의 물을 사용하여 반죽을 하라고 하지만, 25kg당 4liter를 넘기지 않는 것이 좋다.

○ 콘크리트와 폼라이너의 원활한 분리를 위해 박리제를 바른 후 타설하는 것이 좋다.
○ 콘크리트 타설시 기포가 생기면 형상에 구멍이 생겨 좋지 않으므로, 다짐봉 등으로 다짐을 잘 해주어야 한다.
○ 허니컴을 방지하기 위해, 설계단계에서 충분한 피복두께를 확보하고, 콘크리트 타설 속도를 적절히 제어하여 콘크리트가 확실히 충진되도록 한다.

아. 경제성 및 시공성 분석

○ 본 과제에서 개발한 콘크리트 폼라이너를 사용한 공법과 기존 공법을 아래 표와 같이 비교 정리하였다.

<표 3.3.29> 3D프린팅 콘크리트 폼라이너 사용 공법과 기존 공법 비교

구분	본 과제에서 개발된 3D프린팅 폼라이너	기존공법		
		EPS문양 폼라이너	일반 플라스틱 폼라이너	강재 폼라이너
미관성	○ 다양하고 다채로운 조형미관 창출의 디자인 가능 ○ 디지털 디자인이므로 원디자인의 축소, 확대, 복합 등 다양한 조합 가능 ○ 미관창출 예술성의 가치는 비용으로 따질 수 없는 그 자체로 고부가 가치임	○ 매우 간단한 문양만 가능 ○ EPS면이 정밀하지 못하여 문양 자체가 조악하고 미관성이 떨어짐 ○ 시공 시 강도가 거의 없는 EPS면이 파손될 수 있어 미관이 더욱 떨어질 수 있음	○ 대부분 진공성형 제품으로 정교한 미관디자인을 반영할 수 없음 ○ 디지털 디자인이 아니므로 축소, 확대 등 다양한 조합 불가능	○ 다양한 미관창출이 가능하나 정교한 면제작이 어려움 ○ 따라서 수려한 미관면 창출이 어려움 ○ 디지털 디자인이 아니므로 축소, 확대 등 다양한 조합 불가능
경제성	○ ABS, PLA 등 플라스틱 재료를 사용하므로 원자재 가격은 저렴 ○ 예술적 디자인인 경우 3D프린팅 제작비가 다소 들더라도 예술성의 가치를 보유함 ○ 기존공법 대비 초기에는 가격이 다소 높을 수 있으나 양산시에는 가격이 낮아질 수 있다고 봄	○ EPS(발포폴리스틸렌)는 원자재 가격 매우 저렴 ○ 제작비용 저렴 ○ 조악한 미관 처리로 경제성만 비교할 수 없음	○ 원자재 가격 저렴 ○ 진공성형 제작비는 3D프린팅 보다 저렴하다고 볼 수 없음 ○ 예술성있는 디자인 불가로 경제성 비교할 수 없음	○ 스테인리스 스틸을 사용함으로 원자재 가격 고가 ○ 정교한 미관면은 절삭가공이 필요하므로 제작비 고가 ○ 예술성 있는 정밀한 디자인 불가로 경제성 비교할 수 없음
시공성	○ 3D프린팅 폼라이너를 유로폼 등 기존 거푸집 면에 탈부착하여 사용하므로 시공 용이 ○ 3D프린팅 제품의 표면질감이 우수하여 유려한 조형미관 창출 ○ 수차례 재사용 가능	○ EPS의 인장강도가 약해 탈형시 쉽게 파손 ○ 재사용이 어려움 ○ 미관은 좋지 못하나 시공은 용이함	○ 시공시 문양 뒷면이 비어 콘크리트 타설 시 압력에 의한 밀림현상으로 문양이 일그러짐 ○ 예술적으로 디자인된 미관을 창출하기 어려움	○ 강재 거푸집의 시공은 용이 ○ 강재 거푸집은 무게가 무거우므로 거푸집 탈부착 시 인력으로 불가능하고 작업 장비 필요

4. 입체조형 콘크리트 보호외피의 3D프린팅 제작과 현장 시험시공

가. 보호외피 국내외 현황 조사 및 분석

(1) 국내외 보호외피에 대한 기술현황 조사 및 분석

(가) 국내 노출콘크리트 피해사례

○ 현재 국내에 건설되는 대부분의 콘크리트 구조물은 콘크리트면이 외부에 노출된 형태로 대기가스, 염해 등 유해환경에 의한 손상 및 열화로 인한 내구수명 단축 일어나기 쉬우므로 이에 대한 대책이 필요

○ 별다른 보호조치를 하지 않은 기존의 콘크리트 면은 풍화, 침식 등의 열화에 직접 노출되고 있지만, 본 연구에서와 같이 콘크리트 면에 보호외피를 처리하면 콘크리트의 열화와 손상을 저감시키므로 콘크리트 내구성을 증대시켜 구조물의 수명을 연장시키고 유지관리비를 절감시켜 생애주기비용(LCC)을 감소시킴

○ 아래 그림은 콘크리트의 각종 열화 사례를 보여 주고 있으며, 본 과제에서 개발하는 콘크리트 보호외피를 적용하여 이러한 열화를 미연에 방지시켜 주고 구조물의 내구수명을 연장시킬 수 있음

○ 구조물의 내구수명을 증대시키는 기술은 장기적으로 국가인프라 투자효율을 극대화시켜 줄 수 있어 경제·산업적 측면에서 매우 중요한 기술임



그림 3.4.1 잔교식 안벽 바닥 보의 콘크리트 박리 (염해로 인한 철근 부식)



그림 3.4.2 잔교식 안벽 슬래브의 콘크리트 박리 (염해로 인한 철근 부식)



그림 3.4.3 폐수로 인해 콘크리트 부식 촉진 (경남 양산시 유산공단 염색업체)



그림 3.4.4 오폐수로 인해 콘크리트 부식 (TBS, 1984년 만들어진 영등포동 주민센터 앞 노후 하수관)

○ 콘크리트 보호외피는 침식, 세굴, 마모 등과 같은 물리적 피해와 탄산화, 수분, 염해 등과 같은 화학적 피해를 방지하여 콘크리트의 내구성을 증가시키기 위해 설치

○ 탄산화란 콘크리트가 강우에 포함되어 있는 탄산에 의해서 화학적 반응을 하여 부식되는 것을 뜻함

○ 염해란 콘크리트 양성 시 사용된 해사(海沙)나 해안지대 공기 중의 비례염분에 의해 내부

에 축적-된 염분이 철근의 부식을 촉진시켜 구조의 균열, 박락 등의 손상을 입히는 현상

○ 콘크리트에 틈이 생기거나 철근이 수분에 노출되면 철근과 콘크리트가 쉽게 부식

○ 콘크리트의 틈사이로 수분과 산소가 스며들어 철근의 부식을 가속시키며 해수가 스며들면 염분과 철근이 이온화 되어 부식이 더욱 가속화됨

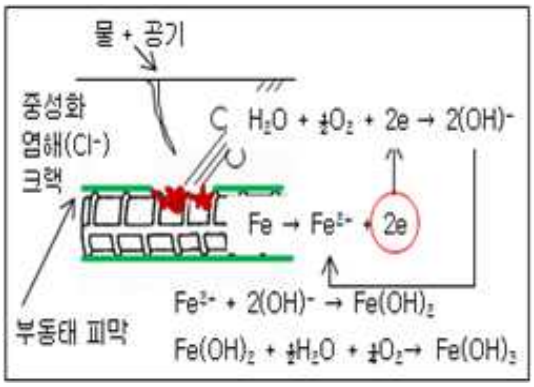


그림 3.4.5. 철근부식 메카니즘

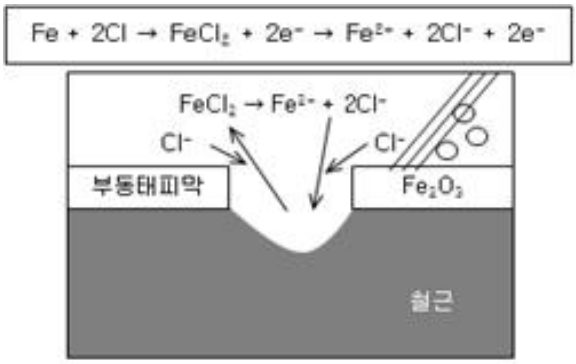


그림 3.4.6. 염화이온(Cl-)에 의한 부동태막 파괴

(나) 노출콘크리트 면처리 국내사례

○ 항만구조물의 침식방지를 위한 섬유강화 복합소재 피복판항만구조물의 침식방지를 위해 손상방지 외피로서 섬유강화 복합소재 피복판을 이용한 구조물 보호공법개발이 개발된 바 있음

○ 콘크리트 보호외피로 콘크리트 면을 보호하여 열화를 저감하는 연구개발은 아래 그림에서 보여주는 바와 같이 본 연구진에서 2002년에 이미 수행하여 군산항 시설에 시험시공(그림 3.4.7과 8)

○ 13년이 지난 지금까지 그 기능을 발휘하고 있으므로 보호외피의 보호성능이 검증된 상태임(이성우, 2000)

○ 유리섬유 복합소재 침식방지 피복의 후면에는 콘크리트와 일체구조화 될 수 있도록 튀어나온 정착앵커가 있음

○ 3차원적인 형상의 피복판은 제작이 복잡하고 제작비용이 많이 드는 단점이 있어, 보호외피의 열화 저감 기능의 장점에도 불구하고 경제성 문제로 아직 실용화가 이루어지지는 못하고 있음

○ 본 과제에서 개발하는 3D프린터로 보호외피를 제작한다면 경제성을 확보하여 신속한 실용화가 이루어질 수 있을 것으로 보임



그림 3.4.7 거푸집 내면 복합소재 피복판 설치



그림 3.4.8 복합소재 피복판이 설치된 군장 신항만 구조물 케이슨 안벽

(다) 콘크리트 보호용 라이너 시스템(concrete protective liner system) 적용 사례

○ AGRU사의 콘크리트 보호용 라이너 시스템 (concrete protective liner system)

- 오스트리아의 AGRU사는 보호외피를 사업화하고 있음
- AGRU사의 보호외피의 장점은 다음과 같음
- 다양한 구조물에 적용 가능하고, 설치하기 쉽고 안전
- 콘크리트와의 접착성이 우수한 SureGrip® 접착앵커를 사용하여 균열을 잘 잡아줌
- 고성능 내충격성과 우수한 전단저항성으로 인해 외부의 물리적 충격에도 내구성이 좋음
- 반응성이 낮아 자외선, 온도변화 또는 화학물질에 대한 내구성도 우수
- 단, 제작비용이 높아 특수한 환경이 아닌 구조물에 사용하기에는 비경제적이라는 단점



그림 3.4.9 AGRU사의 SureGrip® 접착앵커



그림 3.4.10 AGRU사의 보호외피 시공현장

○ AKS사의 콘크리트 보호용 라이너 시스템 (concrete protective liner system)
- AKS사 보호외피를 사업화하고 있음
- 아래 그림은 AKS사 보호외피의 실물 사진
- AKS사의 보호외피의 장점은 다음과 같음
- 다양한 구조물에 적용 가능하고, 설치하기 쉽고 안전
- 콘크리트의 균열을 잘 잡아줌
- 반응성이 낮아 자외선, 온도변화 또는 화학물질에 대한 내구성도 우수
- AKS사도 AGRU사와 마찬가지로 제작비용이 크다는 단점

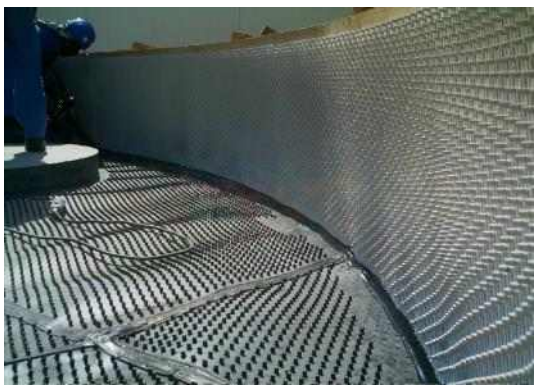


그림 3.4.11 AKS Concrete-Grey (UV-stabilised)
- AKS사의 저장탱크 보호외피 시공



그림 3.4.12 AKS사의 보호외피
다양한 색상의 제품으로 자유로운 표현 가능

○ 국내 희양건설사의 콘크리트 보호용 라이너 시스템 (concrete protective liner system)
- 국내에도 보호외피를 사업화한 회사가 있으며, 아래 그림은 희양건설사의 STUD GRIP SHEETS
- 콘크리트 표면의 부식방지와 물질의 저장안정성을 위해 PVC, PE, PP 등의 재료를 사용하고 있음
- 희양건설은 국내 특허를 보유한 보호외피 제작 회사이며, 해외 보호외피와 같은 장점

- 다양한 구조물에 적용 가능
- 콘크리트의 균열을 잘 잡아줌
- 반응성이 낮아 자외선, 온도변화 또는 화학물질에 대한 내구성도 우수
- 설치하기 쉽고 안전
- 해외 사례와 마찬가지로 제작비용이 크다는 단점

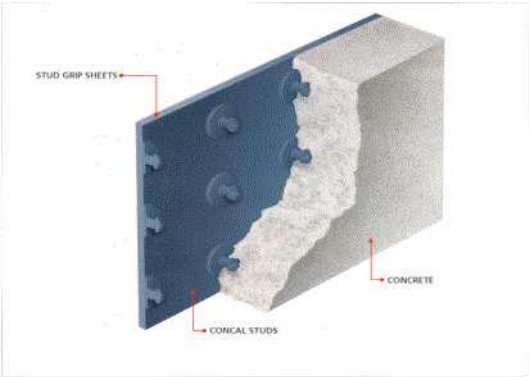


그림 3.4.13 STUD GRIP SHEETS의 개념도



그림 3.4.14 희양건설 STUD Grip Sheet
- 유로폼에 부착하여 시공

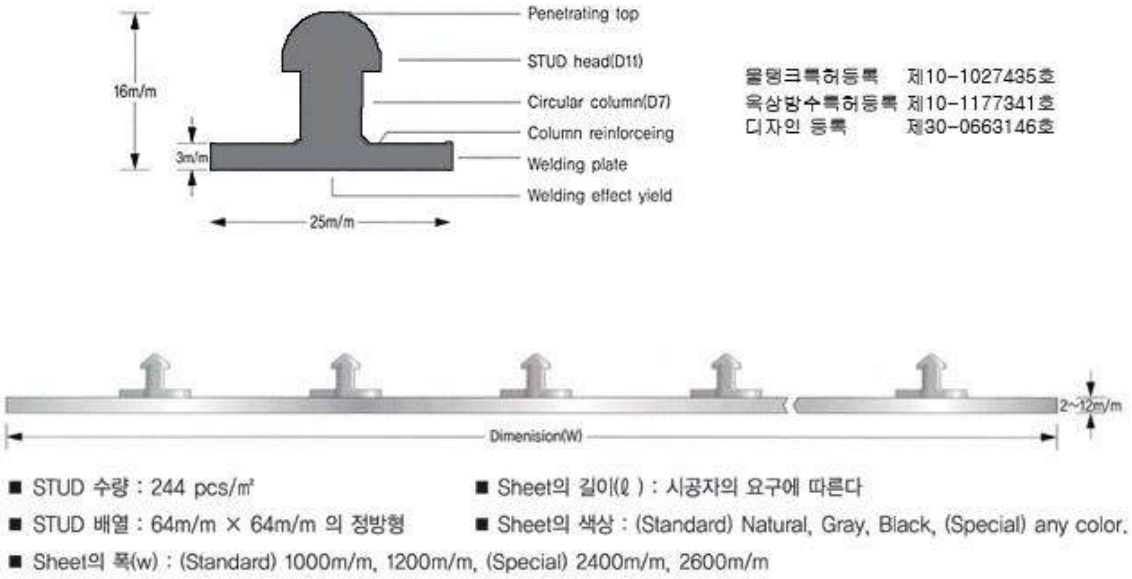


그림 3.4.15 STUD GRIP SHEETS 제원

(2) 입체조형 보호외피의 목표성능 정의

(가) 입체조형 보호외피의 목표성능 정의

○ 대형 3D프린터로 제작된 보호외피는 제 기능을 발휘하기 위해 적층 후 냉각 시 갈라짐이 없어야 하고, 미세구멍이 생성되지 않도록 조밀하게 제작

○ 보호외피의 기계적/화학적 내구성 향상 및 강도 목표성능 확보 방안 수립

○ 국내 보호외피 제작회사 희양건설은 보호외피(STUD GRIP SHEETS)의 특성을 다음과 같이 검사

<표 3.4.1> STUD GRIP SHEETS의 특성

물성항목	검사방법	단위	High density polyethylene (HDPE)		Polypropylene (PP)	
수지등급	ISO 1262	class	80	100	homo	random
비중	ASTM D-125	g/㎤	0.952	0.950	0.90	0.90
용융지수	ASTM D-1238	g/10min	0.15	0.950	0.90	0.90
인장강도 (항복점)	ASTM D-683	kgf/㎟	240	250	300	280
신율 (파단점)	ASTM D-638	%	600	600	500	600
굴곡 탄성률	ASTM D-790	kgf/㎟	8000	9000	15000	8500
충격강도	ASTM D-256	kgfm/m	50	50	7	NB
융점	ASTM D-3418	℃	133	124	162	139
영변형온도	ASTM D-648	℃	65	65	105	90
저온취하온도	ASTM D-746	℃	-70	-70	-5	-5
선팽창계수	ASTM D-696	㎝/㎝℃	1.5×10-6	1.5×10-6	1.1×10-5	1.1×10-5
체적 고유저항	ASTM D-257	10 170hmf·㎝	1	1	1	1
용접온도	hot air	℃	320	320	300	300

○ 3D프린터로 제작하는 보호외피 또한 이와 같은 기준으로 특성을 측정·평가해야 하며, 기존 보호외피의 장점인 다양한 구조물에 적용 가능한 범용성, 콘크리트와의 우수한 접착성, 내충격성, 우수한 전단저항성, 내열성, 내화성, 그리고 뛰어난 자외선 차단성 등의 장점을 두루 갖추어야 함

○ 더불어, 기존 보호외피의 높은 제작비용을 절감할 수 있어야 함

○ 현재 보호외피는 해양·항만구조물에 초점을 맞춰서 계획

○ 그러므로 해수에 대한 저항성능을 강화시켜야 하므로 콘크리트와의 접착성, 방수성 등의 성능에서 우수한 성능을 보이도록 제작해야 함

○ 콘크리트가 온도변화에 의해 팽창 또는 수축하면 보호외피도 같은 거동을 해야 콘크리트와 보호외피가 장기간동안 안정한 상태로 결합하여 그 내구성이 높아짐

○ 보호외피에 사용될 재료의 특성뿐만 아니라 인접 앵커간의 간격과 각 앵커의 모양, 크기 등에도 좌우됨

○ 콘크리트와 같은 거동을 하며, 해수에 대한 저항이 높고, 방수성이 뛰어난 재료를 택하고 그에 맞는 맞춤형 앵커를 3D프린터로 제작할 필요 있음

(3) 입체조형 보호외피의 기본 설계

(가) 입체조형 보호외피의 기본 설계

○ 현재 여러 건설 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 600㎜×1200㎜ 사이즈의 유로폼에 폼라이너를 설치할 수 있도록 600㎜×1200㎜ 사이즈로 제작

○ 폼라이너에 의해 제작되는 조형은 매우 큰 규모이므로 전체 조형을 600㎜×1200㎜ 사이즈로 나눠서 각 부분별로 유로폼에 설치할 수 있도록 제작

○ 보호외피의 경우 콘크리트 타설시 폼라이너와 같이 설치할 수 있도록 600㎜×1200㎜로 제작하는 방안을 고려

○ 거푸집 패널(유로폼)을 이용한 보호외피의 구조물 영구부착 개념설계

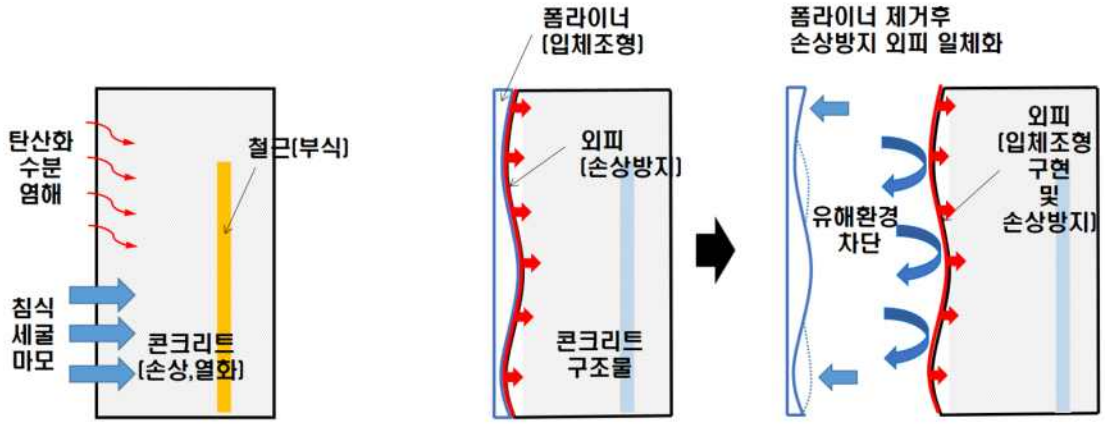


그림 3.4.16 보호외피의 기본 개념

○ 보호외피의 구조물 일체화 구조 설계는 위와 같이 콘크리트 보호외피를 거푸집에 장착시키고 콘크리트 타설 후 탈형 시 보호외피는 콘크리트면에 부착되어 있게 놓아두면서 거푸집만 탈형하는 방법

○ 이 경우 보호외피가 콘크리트 면에 반영구적으로 붙어 있게 됨

○ 보호외피는 콘크리트 타설 시 양생전의 굳지 않은 상태의 압력을 견딜 수 있게 구조적으로 설계

○ 콘크리트와 일체화되어야 하므로, 보호외피 내면에는 콘크리트에 영구 정착될 별도의 앵커 구조를 가지도록 설계 제작

○ 노출콘크리트에 보호외피를 시공하면 보의 단면크기를 줄일 수 있기 때문에 보 자체에 대한 무게(사하중)를 줄임과 동시에 재료를 절감하여 경제적인 이득

○ 아래는 보호외피 사용의 한 예시며, 철근콘크리트 단순보에서 보호외피를 사용하여 인장철근을 감싸고 있는 콘크리트 피복두께를 감소시키고 이로 인해 전체 단면적이 감소하는 효과가 있음

○ 보호외피가 콘크리트에 잘 정착될 수 있기 위한 충분한 콘크리트 피복두께와 보호외피 정착앵커에 대한 설계가 필요

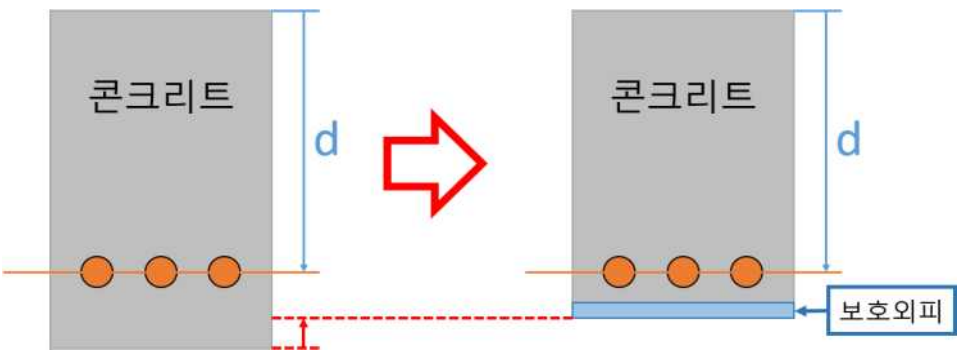


그림 3.4.17 보호외피를 사용하여 콘크리트의 단면을 축소

(나) 보호외피 간 시공이음 기본설계

○ 보호외피 간 시공이음기법 국내사례 (희양건설 STUD Grip Sheet)

- 보호외피 간 이음 시 용접으로 시공하며 용접장비와 재료는 아래 그림과 같음

- 아래 그림과 같이, 콘크리트 타설 전 미리 보호외피의 연결부를 모두 용접하여 시공하며 이는 모두 수작업으로 진행



그림 3.4.18 보호외피 간 용접 시공



그림 3.4.19 보호외피 간 용접 시공



그림 3.4.20 STUD Grip Sheet 보호외피 간 용접장비 및 재료

(다) 보호외피 정착앵커 기본설계

○ 자연환경에서 파도나 비바람처럼 물리적·화학적 염해를 방지하기 위해 보호외피를 설치할 때, 콘크리트와 보호외피 사이에 틈이 생기지 않도록 보호외피 정착앵커를 적절한 모양과 간격으로 설치

○ 요철이 많은 부분에서도 접착력이 좋아야 함

○ 보호외피가 휘어졌을 때, 정착앵커는 보호외피가 휘어지는 것을 방해하지 않고 곡면에 따라 보호외피가 콘크리트와 밀착될 수 있도록 접착성을 유지할 수 있어야 함

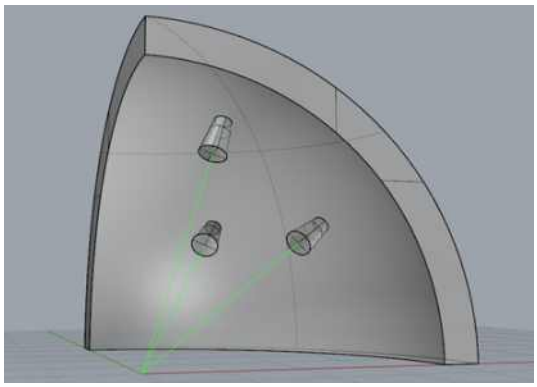


그림 3.4.21 곡면에서 보호외피의 휘어짐과 정착앵커의 구조 예상도(원기둥형)

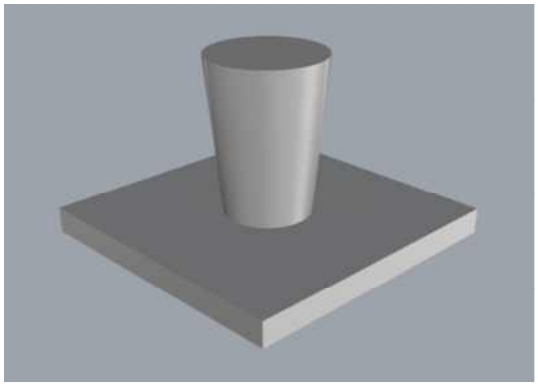


그림 3.4.22 보호외피가 잘 구부려지면서도 콘크리트와의 접착력이 좋은 앵커 예상도 (원기둥형)

○ 기존의 보호외피에서는 콘크리트와의 접착력을 최대화하기 위해서 아래 그림과 같은 모양의 정착앵커를 사용

○ 복잡한 폼라이너의 윤곽대로 보호외피를 부착시키기 위해서는 보호외피가 콘크리트와 폼라이너에 유연하게 접착되어야 하고, 곡면에서도 콘크리트와의 접착력을 유지시키기 위한 특수한 디자인의 정착앵커가 필요

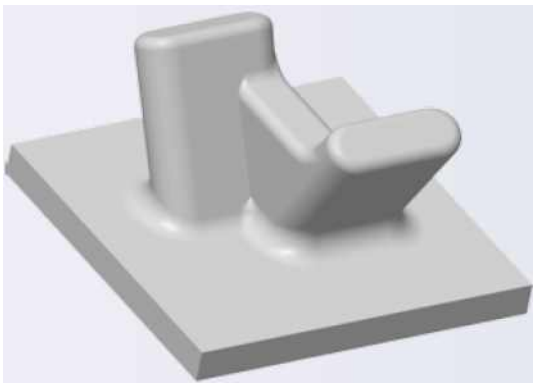


그림 3.4.23 AGRU사의 Concrete Protective Liner System 정착앵커 (Y형)



그림 3.4.24 AKS사의 Concrete Protective Liner System 정착앵커 (쐐기형)

○ 현재 상용화되고 있는 보호외피의 정착앵커는 아래와 같이 크게 4종류로 구분

○ 많은 종류의 정착앵커가 있으며, 그 모양은 제작회사마다 다름

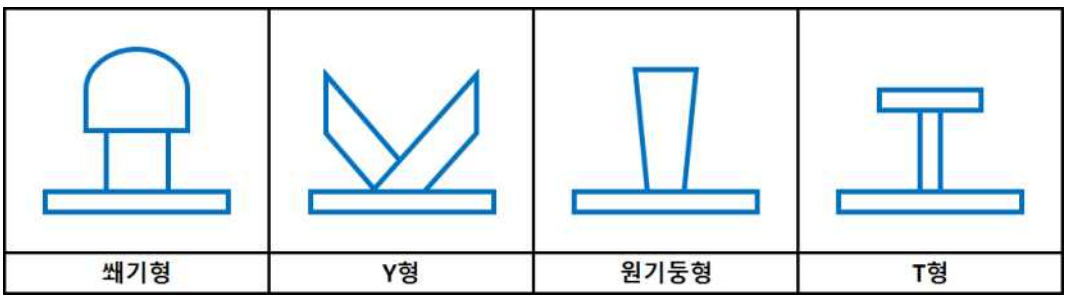


그림 3.4.25 정착앵커의 형상

○ 각각의 앵커는 보호외피와 콘크리트가 일체화될 수 있도록 한 앵커 당 붙잡고 있을 수 있는 면적을 계산하여 정착앵커의 종류와 크기, 정착앵커간의 간격을 설정

○ 같은 회사의 제품이라도 보호외피의 성능에 따라 정착앵커의 크기와 간격 등을 다르게 하여 사용

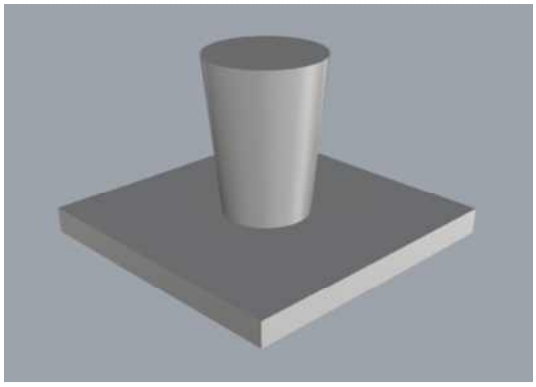


그림 3.4.26 원기둥형 정착앵커의 개념도
(원기둥형)

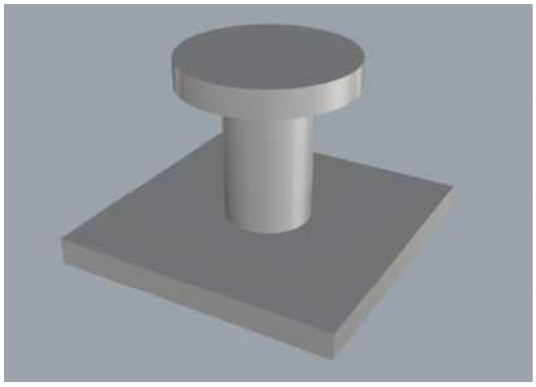


그림 3.4.27 T형 정착앵커 개념도
(T형)

○ 3D프린팅 입체조형 보호외피는 입체조형이 잘 살아날 수 있고 콘크리트와의 접착성도 유지시킬 수 있는 정착앵커를 사용하기 위해 여러 종류의 정착앵커를 개발하는 중
○ 현재 사용되고 있는 보호외피의 정착앵커 뿐만 아니라 다양한 아이디어를 통해 구상된 각 정착앵커 마다 시험을 통해 콘크리트와의 접착력, 전단강도, 충격강도 등을 측정하여 3D프린팅 입체조형 보호외피에 가장 적합한 정착앵커를 찾고 있음
○ 보호외피는 콘크리트 외벽에 대한 수직응력과 전단응력을 잘 견뎌야 함
○ 정착앵커의 재료와 하중작용면적에 대한 기본설계가 이루어져야 함
○ 하중작용 면적을 설계하기 위해서 T형 정착앵커를 예를 들어 확인할 수 있음

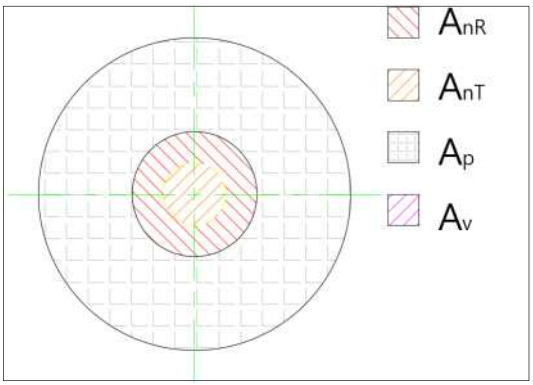


그림 3.4.28 T형 정착앵커 평면도

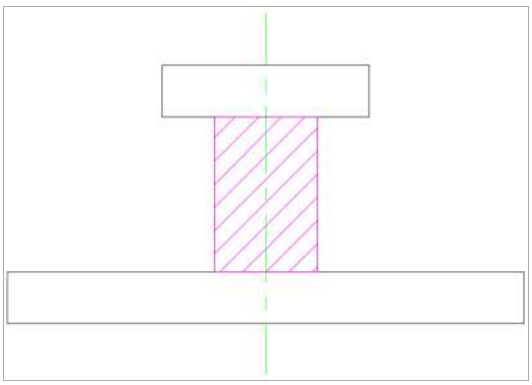


그림 3.4.29 T형 정착앵커 측면도

나. 콘크리트 면 처리용 보호외피의 구조 설계 및 해석

(1) 보호외피 부착 콘크리트 벽체의 하중조건 설정(충격, 파랑, 침식, 세굴, 풍화 등)

(가) 해수에 의한 구조물의 영향

○ 파도에 의한 충격 하중

- 해양·항만 구조물에서 보호외피가 콘크리트를 잘 보호하기 위해서는 파도에 의한 충격에 잘 견뎌야 함
- 파도의 충격에 의한 단위 면적당 하중을 구하기 위해서는 파도의 진폭(파고), 주기, 파도의 속도를 알아야 함
- 파도가 콘크리트 구조물에 작용하는 상황을 다음 그림과 같이 단순화
- 이 모델을 통해서 1주기 동안 파도에 의한 단위면적당 충격 하중은 파도의 1주기의 질량 유량과 파도 속도의 곱으로 나타낼 수 있다.

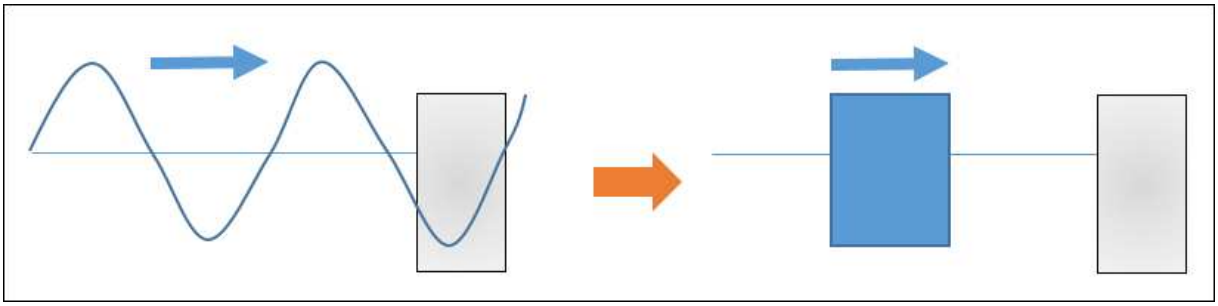


그림 3.4.30 콘크리트 구조물에 작용하는 파도의 영향 단순화

- 파도에 의한 충격하중을 구하기 위해서는 파도의 진폭(파고), 속도, 주기, 바람의 세기 등을 구해야 하고 이러한 자료들은 해당지역의 통계자료를 통해서 확인할 수 있다.

(나) 해수에 의한 침식과 세굴작용

○ 해수에 의한 침식

- 침식은 유수에 의한 모래 등의 이동, 바람에 의한 모래의 날림, 유수의 충격 및 캐비테이션 등에 의한 콘크리트 표면의 손상을 뜻하며 이러한 해수의 영양을 확인하기 위해서는 해당지역의 통계자료를 통해 확인할 수 있고, 설계 시 그에 따른 하중조건을 설정할 수 있다. 보호외피의 경우 시험을 통해서 해수에 의한 침식의 정도를 파악할 수 있고 이를 설계에 반영할 수 있다.
- 해양·항만 구조물의 경우 수중에서는 구조물에 접하는 토사가 세굴 되어 콘크리트 구조물을 침하(沈下)시킨다.
- 해당 지역의 통계자료를 통해 환경조건을 설정할 수 있고 설계 시 해당지역의 통계자료를 토대로 설계해야 한다.

(2) 보호외피 부착 콘크리트 벽체의 환경조건 설정(자외선, 수분, 내식, 내화학, 내화 등)

(가) 설계에 적용하기 위한 최악의 조건 설정

○ 보호외피에 작용하는 최악의 자외선 조건 설정

- 해양·항만 구조물의 경우 햇빛에 그대로 노출되어 있으므로 자외선의 영향을 그대로 받는다. 이때 최악의 자외선 조건을 설정하기 위해서는 해당지역에서 맑은 날 하루 중 가장 자외선 수치가 높은 시간대인 오전 11시에서 오후 1시 사이의 자외선 량을 측정하여 구조물이 받는 자외선에 대한 환경조건을 설정할 수 있다. 해당지역의 자외선 정보를 알아보기 위해서는 해당지역의 기상자료를 통해 확인하고 설계 시 환경조건에 적용할 수 있다.
- 화학약품 저장탱크나 하수처리시설 등과 같은 구조물에서는 별도로 자외선이 작용하는 환경조건이 아니면 자외선에 대한 영향을 고려하지 않아도 된다. 단, 정수처리시설에서 자외선 소독 시설을 갖춘 경우 해당 처리시설에서 사용하고 있는 자외선에 대한 정보를 확인해서 설계 시 환경조건에 적용해야 한다.

○ 콘크리트의 수분 조건

- 해양·항만 구조물의 경우에는 해수의 높이가 밀물과 썰물에 의해서 자주 변하므로 콘크리트가 건조수축과 수분에 의한 팽창을 반복하여 구조물의 내구수명이 급격하게 감소될 수 있다. 이 경우 해당 지역의 해양통계자료를 통해 콘크리트가 건조수축과 수분에 의한 팽창에 대해 받는 영향을 확인할 수 있고, 설계 시 이를 환경조건에 반영할 수 있다.

○ 보호외피의 내식·내화·내화학 조건

- 해양·항만 구조물의 경우 해수의 염해 작용에 의해 콘크리트의 피복이 벗겨져 구조물의 수명이 감소하므로 보호외피를 통해 이를 방지하려고 한다. 때문에 보호외피는 내염성이

우수한 재질을 사용해야 한다.

- 단, 해양·항만 구조물의 경우 해수와 인접해 있으므로 화재의 발생우려가 매우 낮다. 때문에 해양·항만 구조물에서는 내화성을 고려할 필요는 없지만, 유조선과 같은 폭발위험성이 높은 화물을 적제하고 있는 선박의 경우 폭발을 대비할 수 있도록 적재화물별 특성자료를 미리 확보하여 설계 시 환경조건에 적용할 수 있도록 해야 한다.
- 화학물질 저장탱크와 같이 반응성이 높은 화학물질을 다루는 구조물의 보호외피의 경우 화학물질과 보호외피 간 화학작용을 최소화 할 수 있는 재료를 선정하고, 화재 발생 시 화학물질을 보호하기기 위해서 내화성이 뛰어난 재질을 선정해야 한다. 해당 화학물질의 특성자료를 미리 확보하고 그 자료를 설계 시 환경조건에 반영한다.
- 수처리시설의 경우 오폐수와 보호외피의 반응을 최소화하기 위해서 해당 수처리시설이 처리하고 있는 오폐수의 특성자료를 미리 확보하여 설계 시 환경조건에 반영해야 한다.

(3) 하중 및 환경 조건에 대한 보호외피의 구조상세설계, 적층설계 및 재료설계와 해석적 검증

(가) 구조상세설계

○ 앵커형상설계

- 자연환경에서 파도나 비바람처럼 물리적•화학적 염해를 방지하기 위해 보호외피를 설치할 때, 콘크리트와 보호외피 사이에 틈이 생기지 않도록 보호외피 정착앵커를 적절한 모양과 간격으로 설치
- 요철이 많은 부분에서도 접착력이 좋아야 함
- 보호외피가 휘어졌을 때, 정착앵커는 보호외피가 휘어지는 것을 방해하지 않고 곡면에 따라 보호외피가 콘크리트와 밀착될 수 있도록 접착성을 유지할 수 있어야 함
- 기존의 보호외피에서는 콘크리트와의 접착력을 최대화하기 위해서 그림 3.4.23, 24와 같은 모양의 정착앵커를 사용
- 현재 상용화되고 있는 보호외피의 정착앵커는 그림 3.4.25와 같이 크게 4종류로 구분

○ 보호외피 앵커간격 설계

- 콘크리트에 보호외피를 설치했을 경우 콘크리트와 외부의 온도차에 의해 보호외피와 콘크리트 사이에 공간이 생길 가능성이 있음
- 공간이 생길 경우 불순물이 침투해서 보호외피의 기능상실 우려
- 온도차에 의한 보호외피 휨변형에 의해 보호외피와 콘크리트 사이 공간이 발생할 수 있으며, 이를 최소화하도록 설계 필요.
- 아래 그림처럼 평면에 배치되어 있는 앵커 중 일렬로 늘어선 세 개의 앵커는 빨간 사각형으로 표시된 보호외피의 지점부로 작용한다고 생각할 수 있음
- 보호외피를 1차 부정정 연속보로 취급하여 온도에 의한 보 변형을 보수적으로 계산할 수 있음. 이는 판거동에 의한 변형보다 크게 계산될 것임



그림 3.4.31 앵커 3개가 달린 보호외피를 1차 부정정 연속보로 가정

(나) 적층설계

FDM(용융 압출 적층 조형 방식)에 대한 설명(그림 3.4.32)

① 익스트루더가 원료 필라멘트를 끌어당김

② 필라멘트 스풀의 필라멘트가 당겨짐

③ 고체 필라멘트를 녹일 수 있는 온도로 달궈진 노즐에서 원료를 압출

④ 압출된 원료는 설정된 값만큼 한 층 씩 적층되며 조형

- 사용하는 헤더의 노즐 크기에 따라 적층의 두께가 결정됨
- 재료특성, 제작온도, 노즐이동속도에 따라 적층사이의 결합력이 결정됨.

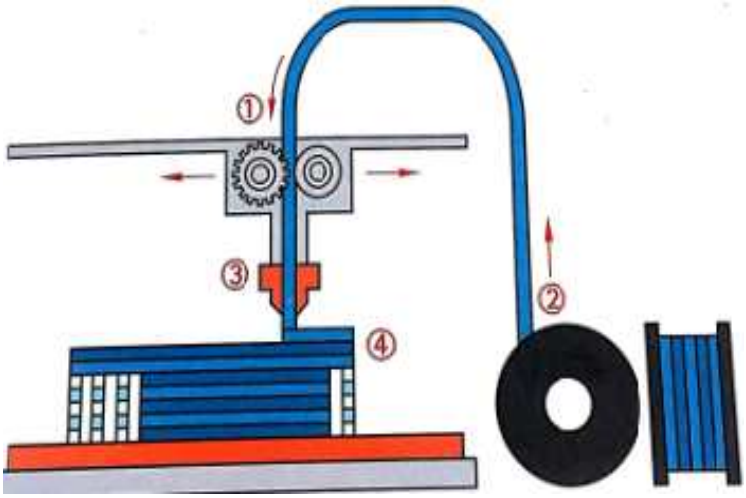


그림 3.4.32 FDM 방식의 개념도(http://xyzist.com)

(다) 재료설계

○ FDM제작 방식에 일반적으로 많이 사용되는 ABS나 PLA의 물성치(아래 표 3.4.2 참고) 이상의 재료를 사용하는 것을 권장하며, 그 대략적인 기준이 되는 값을 아래와 같이 제시한다.

- 인장강도: 20MPa 이상
- 탄성계수: 1,000MPa 이상
- 열팽창계수: 50μm/m-℃ 이하
- 수분흡수율: 0.2% 이하
- 경도(Hardness, Rockwell R): 100 이상

<표 3.4.2> ABS의 물성치

구분		단위	측정값	평균값
물리적 특성	Water Absorption(수분 흡수율)	%	0.25 - 2.3	0.421
	Melt Temperature(녹는 온도)	° C	149 - 274	217
	Drying Temperature(건조온도)	° C	70.0 - 95.0	81.5
	Mold Temperature(금형온도)	° C	10.0 - 90.0	57.2
기계적특성	Hardness, Rockwell R	-	90.0 - 119	107
	Hardness, H358/30	-	85.0 - 104	93.1
	Tensile Strength, yield	MPa	16.0 - 73.1	38.3
	Tensile Strength, Ultimate	MPa	20.0 - 73.1	43.4
	Modulus of Elasticity	MPa	778 - 6100	2320
	Izod Impact, Notched(ISO)	kJ/cm2	2.00 - 48.0	18.1
	Izod Impact, Unnotched(ISO)	kJ/cm2	39.2 - NB	87.4
	Charpy Impact, Notched	kJ/cm2	500 - 1400	1910
	Charpy Impact, Unnotched	kJ/cm2	2000 - NB	1160
	Elongation at Break	%	1.10 - 110	24.8
	Elongation at Yield	%	1.70 - 20.0	3.39
	Flexural Yield Strength	MPa	10.3 - 111	67.6
열적 특성	CTE(열팽창계수)	μm/m-° C	0.800 - 139	78.7
	Thermal Conductivity(열전도도)	W/m-K	0.128 - 0.200	0.176
	Deflection Temperature at 0.46 MPa(0.46 MPa에서 열변형온도)	° C	68.0 - 120	94.7
	Deflection Temperature at 1.8 MPa(1.8 MPa에서 열변형온도)	° C	65.0 - 220	89.0
	Specific Heat Capacity(비열)	J/g-° C	1.96 - 2.13	2.05
	Heat Distortion Temperature (가열 변형 온도)	° C	85.0 - 86.1	85.4
	Softening Point(연화점)	° C	45.0 - 135	99.8
	Flammability, UL94(인화점)	° C	HB - 5VA	-

<표 3.4.3> PLA의 물성치

		단위	측정값	평균값
물리적 특성	Water Absorption(수분 흡수율)	%	0.13 - 2.0	0.877
	Melting point(녹는점)	° C	110 - 170	156
	Drying Temperature(건조온도)	° C	40.0 - 100	61.1
	Mold Temperature(금형온도)	° C	10.0 - 110	51.9
기계적 특성	Hardness, Shore D	-	59.0 - 77.0	63.5
	Tensile Strength, yield	MPa	16.0 - 103	44.7
	Tensile Strength, Ultimate	MPa	16.0 - 114	50.1
	Modulus of Elasticity	MPa	230 - 13800	3760
	Izod Impact, Notched(ISO)	kJ/cm2	3.00 - 59.8	31.8
	Izod Impact, Unnotched(ISO)	kJ/cm2	7.35 - 28.6	17.0
	Charpy Impact, Notched	kJ/cm2	100 - 1,000,000	754
	Charpy Impact, Unnotched	kJ/cm2	500 - NB	2940
	Elongation at Break	%	0.500 - 430	23.1
	Elongation at Yield	%	2.00 - 400	68.2
	Flexural Yield Strength	MPa	6.00 - 145	79.2
열적 특성	Deflection Temperature at 0.46 MPa(0.46 MPa에서 열변형온도)	° C	50.0 - 160	81.2
	Deflection Temperature at 1.8 MPa(1.8 MPa에서 열변형온도)	° C	50.0 - 149	85.4
	Softening Point(연화점)	° C	44.0 - 130	71.8
	Flammability, UL94(인화점)	° C	HB - V-0	-

(4) 인접 보호외피 간 이음상세 설계

(가) 실리콘 실링

○ 콘크리트면에 설치된 보호외피간 이음부는 수밀구조로 설계되어 보호외피-콘크리트간 계면 및 콘크리트내 수분, 부식환경의 접촉을 최소화 하도록 설계함

○ 수밀구조의 보호외피간 이음상세는 실리콘을 이용한 연결부의 실링처리로 구현할 수 있으며, 복합소재 피복판의 시공 시 그 적용성이 검증된 바 있음



그림 3.4.33 복합소재 피복판 사이의 연결부 실리콘 실링 모습



그림 3.4.34 복합소재 피복판 연결부 외곽의 실리콘 실링 모습

(나) 용접 시공

○ 콘크리트 타설 전 미리 보호외피의 연결부를 모두 용접하여 시공

○ 모든 작업을 수작업으로 진행하며 현재 희양건설에서 시공



그림 3.4.35 보호외피 간 용접 시공



그림 3.4.36 보호외피 간 용접 시공

(5) 거푸집-외피 탈부착 상세 설계

○ 거푸집-외피간 탈부착을 위한 상세는 시공 전 거푸집-폼라이너-외피를 일체로 고정하고 시공 후 폼라이너와 외피간 계면을 용이하게 분리할 수 있는 구조로 설계

○ 폼라이너-거푸집간 탈부착 설계와 같이 강철선을 이용하여 거푸집-폼라이너-외피를 함께 고정하고, 콘크리트 타설 및 양생 완료 후 강철선을 절단하여 거푸집-폼라이너만을 구조물로부터 분리하는 상세를 설계

○ 강철선이 아닌 플라스틱계열의 선을 이용하면 부식의 위험을 줄일 수 있음.

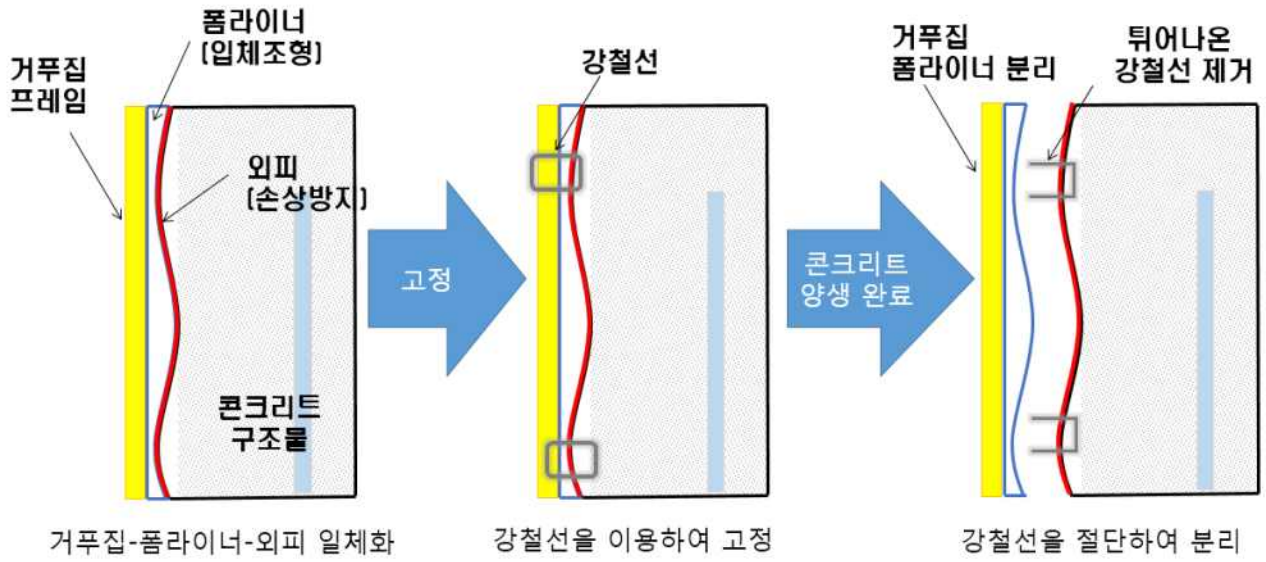


그림 3.4.37 거푸집-보호외피 탈부착 절차도

(6) 콘크리트-외피 일체화 구조를 위한 정착앵커의 구조설계 및 배치설계와 해석적 검증

(가) 문제정의

○ 콘크리트에 보호외피를 설치했을 경우 콘크리트와 외부의 온도차에 의해 보호외피와 콘크리트 사이에 공간이 생길 가능성이 있음

○ 공간이 생길 경우 불순물이 침투해서 보호외피의 기능상실 우려

○ 보호외피가 제 역할을 할 수 있도록 온도차에 의한 보호외피 휨처짐으로 인해 보호외피와 콘크리트 사이에 공간 발생이 최소화하도록 설계 필요

(나) 가정

○ 보호외피를 전체적으로 해석하기 어려우므로, 앞서 그림 3.4.31에서 언급하였듯이 앵커 3개가 달린 보호외피를 1차 부정정 연속보로 취급하여 구조해석을 실시

○ 연속보 지점의 간격은 앵커의 간격과 같고, 연속보의 폭은 앵커의 연직방향 간격인 100mm로 가정

○ 앵커의 간격은 100mm로 가정, 보호외피의 두께는 1mm로 가정.

○ 그림 3.4.38과 같이, 콘크리트 면은 10도, 외부온도는 40도로 가정하여 온도차에 따른 휨변형을 계산. 보호외피 내외부의 온도차이가 30도이므로 상당히 극한의 온도조건에 해당함

○ 보호외피 내외부의 온도차에 의한 휨변형이 축방향 온도변형보다 상당히 클 것으로 예상되므로 축변형의 효과는 무시함

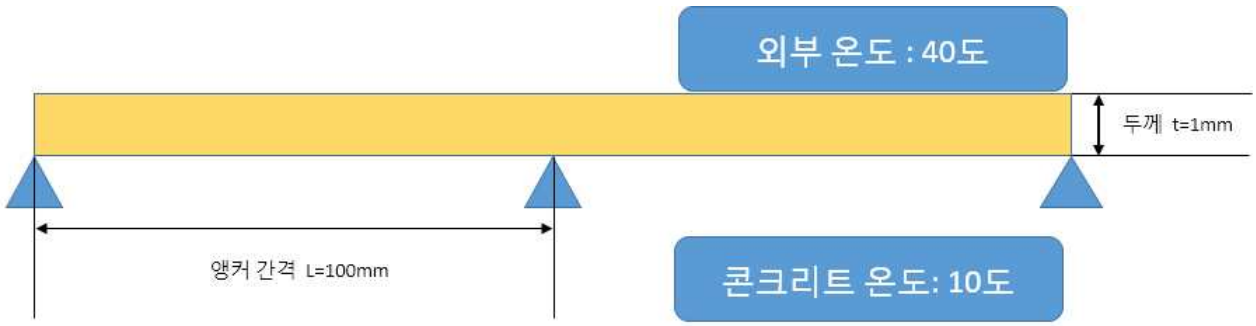


그림 3.4.38 1차 부정정 연속보의 온도하중

(다) 구조해석

○ 해석 방법

- 부정정 연속보를 해석하기 위하여 변위일치법을 사용
- 부정정력을 구하기 위하여 그림 3.4.38과 같이 연속보를 부정정력이 제거된 기본구조물과 부정정력이 작용하는 기본구조물로 분리
- 온도에 의해 기본구조물의 b절점에 생기는 변위 Δ_b를 구함
- 부정정력 R_b에 의해 기본구조물의 b절점에 생기는 변위 $R_b\delta_{bb}$를 구함
- 변위일치조건식 $0=\Delta_b+R_b\delta_{bb}$으로부터 부정정력 R_b를 구함
- 부정정력을 구한 뒤에 온도에 의해 생기는 κ_0와 부정정력에 의해 생기는 $\kappa_b R_b$를 통해 연속보의 실제 곡률 $\kappa=\kappa_0+\kappa_b R_b$를 구할 수 있다
- 가상단위하중법($\Delta=\int_0^L \frac{Mm}{EI}dx$)을 적용하여 보호외피 연속보의 휨처짐을 계산
- 처짐 계산식에서 실제곡률에 해당하는 $\frac{M}{EI}$ 대신 온도에 의한 기본구조물의 실제곡률 κ_0를 대입하여 $\Delta_b=\int_0^L \kappa_0 m_b dx$로 b 지점의 기본구조물 변위를 구한다
- 연속보의 각 부분의 처짐 값이 허용처짐보다 작을 경우($\Delta \le \Delta_{allow}$) 정착앵커의 간격이 충분히 작게 된다.
- 허용처짐(Δ_{allow})을 정하는 기준이 없으므로, 폼라이너에서 사용하였던 가설공사표준시방서의 거푸집 변형기준 ln/360보다 더 강화된 ln/400을 적용한다. 앵커의 간격을 100mm라고 가정하였으므로 허용처짐은 0.25mm가 된다.

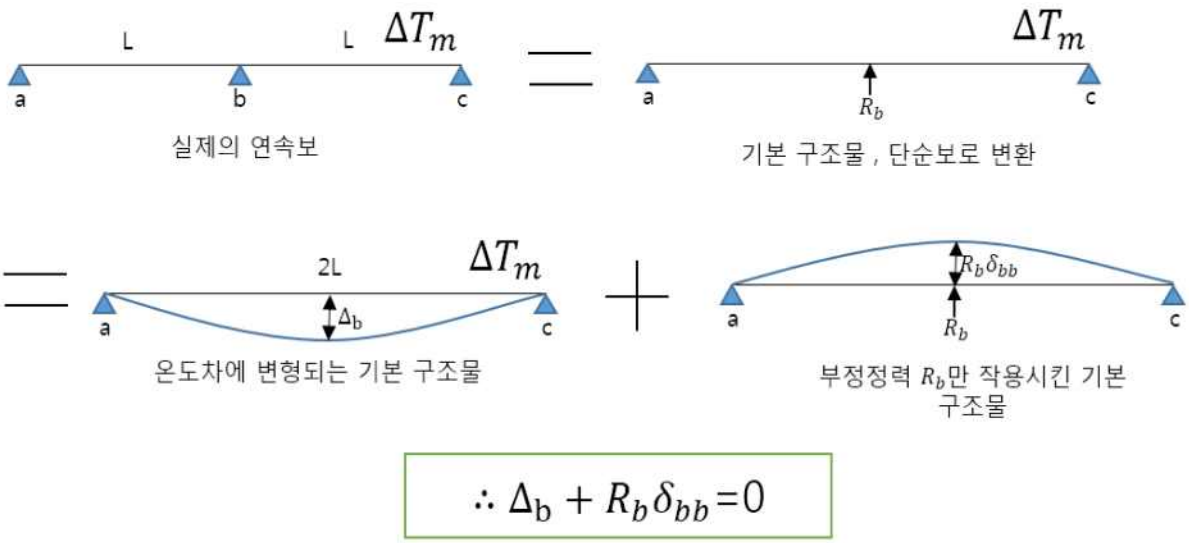


그림 3.4.39 1차 부정정보의 변위일치법

○ 해석 결과

- ABS 플라스틱의 열팽창계수 $\alpha=10^{-4}/℃$와 보 단면중심에서부터 상하단부까지의 온도차 $\Delta T_m=T-(\frac{T_T+T_B}{2})=15℃$, 보호외피의 중심점에서 외부까지의 거리 C=0.5mm를 이용하여 부정정력 R_b와 온도에 의해 기본구조물에 생기는 곡률 κ_0를 구한다.
- 처짐을 구하고자 하는 지점에 가상단위하중을 적용하여 구하는 m값과 b점에 가상단위하

중을 대입하여 구한 m_b를 각 구간별로 적분하여 휨처짐을 구할 수 있다.

$$0 = \Delta_b + R_b\delta_{bb}$$

$$\Delta_b = 2\int_0^L m_b \frac{\alpha \times \Delta T_m}{c} dx = 0.0015L^2$$

$$\delta_{bb} = 2\int_0^L \frac{m_b \times m_b}{EI} dx = \frac{L^3}{6EI}$$

$$\therefore R_b = -0.009\frac{EI}{L}$$

$$\kappa_0 = \frac{\alpha \times \Delta T_m}{c} = 0.003 \ , \ \kappa_b = \frac{m_b}{EI}$$

$$\therefore \kappa = 0.003 - 0.009\frac{m_b}{L}$$

$$\therefore \Delta(\bar{x}) = \int_0^{2L} (0.003 - 0.009\frac{m_b}{L}) \times m \, dx$$

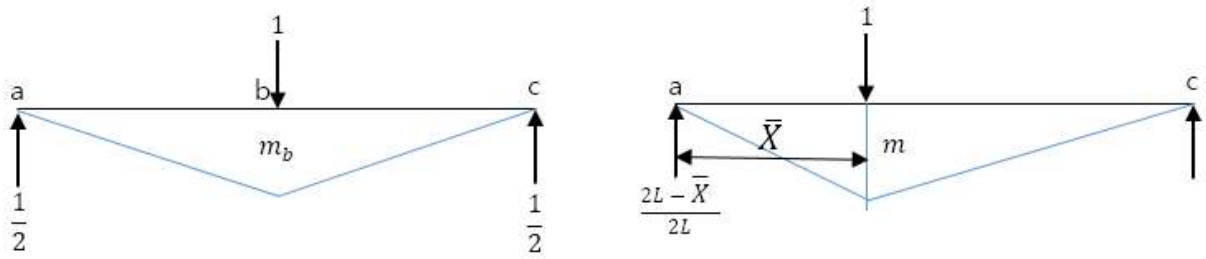


그림 3.4.40 b점 가상단위하중에 의한 m_b와 임의점 가상단위하중에 의한 m

- $\bar{x} \le L$인 경우, $\bar{x}$에서의 처짐은

$$\Delta(\bar{x}) = \int_0^{2L} (0.003 - 0.009\frac{m_b}{L}) \times m \, dx$$

$$= \int_0^{\bar{x}} \left(0.003 - 0.009\frac{0.5x}{L}\right) \times \frac{2L-\bar{x}}{2L} x \, dx$$

$$+ \int_{\bar{x}}^{L} \left(0.003 - 0.009\frac{0.5x}{L}\right) \times \left\{\frac{2L-\bar{x}}{2L} x - 1(x-\bar{x})\right\} dx$$

$$+ \int_{L}^{2L} \left(0.003 - 0.009\frac{0.5x - 1(x-L)}{L}\right) \times \left\{\frac{2L-\bar{x}}{2L} x - 1(x-\bar{x})\right\} dx$$

- 구조물이 대칭이기 때문에 $L < \bar{x} \le 2L$때도 같은 값을 가진다.
- 그림 4.41에 계산된 처짐형상을 그려 보이고 있다.

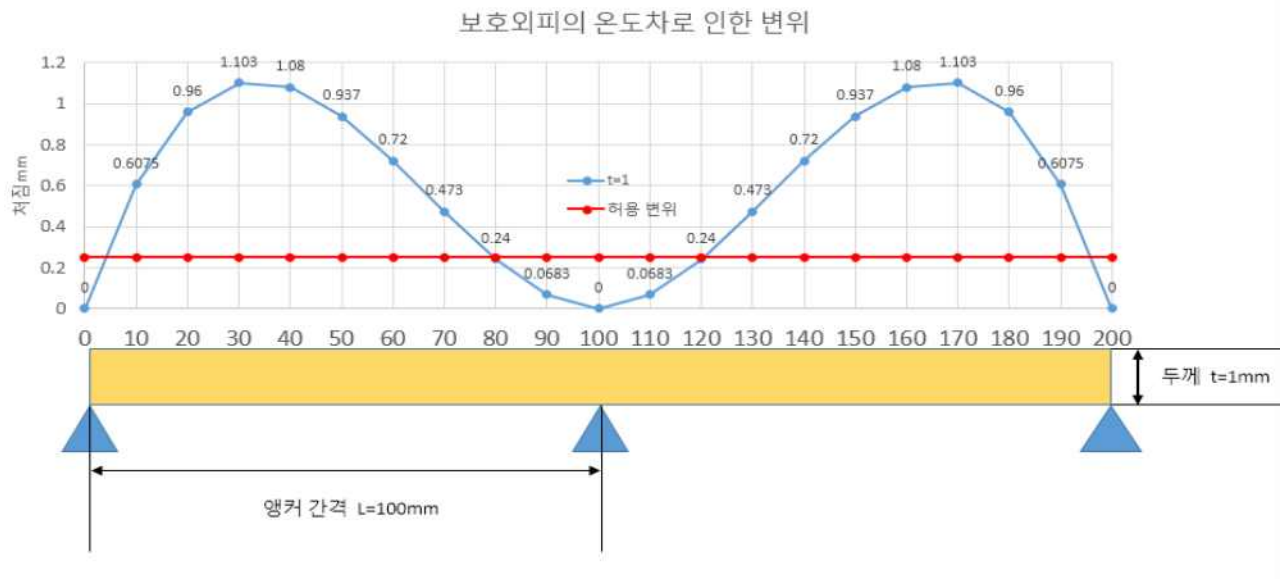


그림 3.4.41 두께 1mm 보호외피의 온도차로 인한 휨처짐

○ 정착부 주변을 제외한 대부분의 구간에서 허용변위 0.25mm를 넘어서기 때문에 재설계가 필요하다.

○ 보호외피의 두께를 늘리거나, 앵커(지점)의 간격을 줄이는 방법으로 온도에 의한 보호외피 휨처짐을 줄일 수 있다.

(7) 평가 결과에 따른 피드백 설계

○ 휨처짐을 줄이기 위하여 보호외피의 두께를 5mm로 증가시켜 해석을 수행

○ ABS플라스틱의 열팽창계수 $\alpha = 10^{-4}/℃$와 온도차 $\Delta T_m = T - (\frac{T_T + T_B}{2}) = 15℃$, 보호외피의 중심점에서 외부까지의 거리 C=2.5mm를 이용하여 κ_0와 부정정력 R_b를 구한다.

$$0 = \Delta_b + R_b \delta_{bb}$$

$$\Delta_b = 2\int_0^L m_0 \frac{\alpha \times \Delta T_m}{c} dx = 0.0003L^2$$

$$\delta_{bb} = 2\int_0^L \frac{m_b \times m_b}{EI} dx = \frac{L^3}{6EI}$$

$$\therefore R_b = -0.0018\frac{EI}{L}$$

$$\kappa_0 = \frac{\alpha \times \Delta T_m}{c} = 0.0006 \ , \ \kappa_b = \frac{m_b}{EI}$$

$$\therefore \kappa = 0.0006 - 0.0018\frac{m_b}{L}$$

$$\therefore \Delta(\overline{x}) = \int_0^L (0.0006 - 0.0018\frac{m_b}{L}) \times m \, dx$$

- $\overline{x} \le L$인 경우, $\overline{x}$에서의 처짐은

$$\Delta(\bar{x}) = \int_0^{2L} (0.0006 - 0.0018\frac{m_b}{L}) \times m\, dx$$
$$= \int_0^{\bar{x}} \left(0.0006 - 0.0018\frac{0.5x}{L}\right) \times \frac{2L-\bar{x}}{2L} x\, dx$$
$$+ \int_{\bar{x}}^{L} \left(0.0006 - 0.0018\frac{0.5x}{L}\right) \times \left\{\frac{2L-\bar{x}}{2L} x - 1(x-\bar{x})\right\} dx$$
$$+ \int_{L}^{2L} \left(0.0006 - 0.0018\frac{0.5x - 1(x-L)}{L}\right) \times \left\{\frac{2L-\bar{x}}{2L} x - 1(x-\bar{x})\right\} dx$$

- 구조물이 대칭이기 때문에 $L < \bar{x} \leq 2L$ 때도 같은 값을 가진다.
- 그림 4.42에 계산된 처짐형상을 그려 보이고 있다.

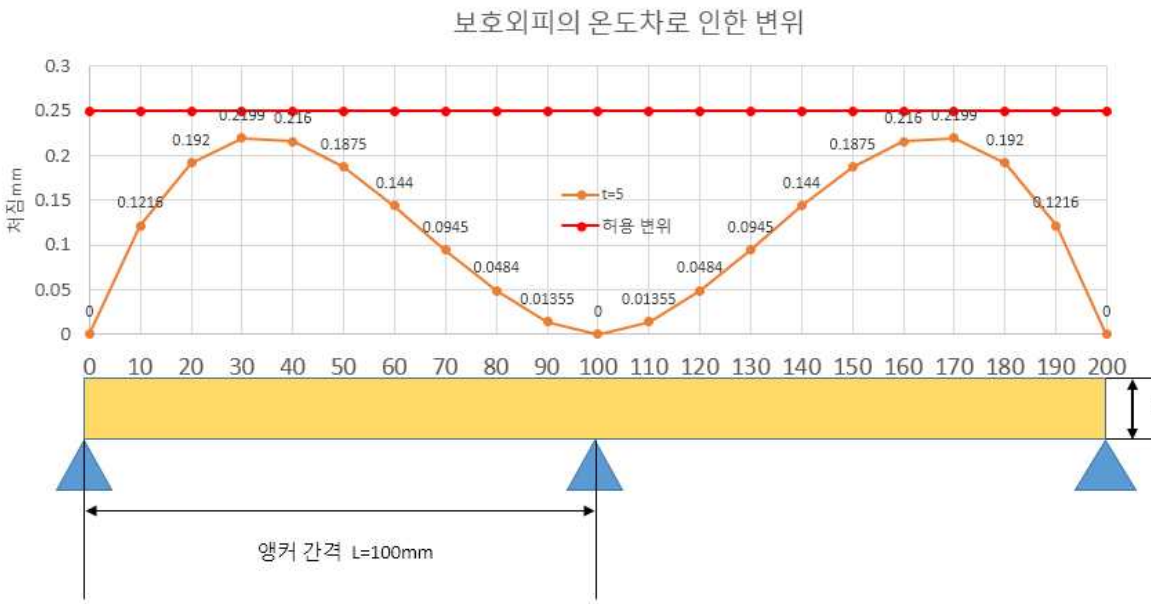


그림 3.4.42 두께 5mm 보호외피의 온도차로 인한 휨처짐

○ 보호외피의 두께를 5mm로 증가시킨 결과 모든 구간에서 허용변위 0.25mm를 만족하는 것을 알 수 있다.

○ 보호외피 앵커 설계 시 앵커 간 간격을 100mm이내 보호외피의 두께를 5mm이상으로 할 경우 허용변위를 만족한다.

다. 보호외피의 제작 및 콘크리트 벽체 시험제작

(1) 설계된 보호외피의 3D프린팅 제작

○ 전면은 평면으로 후면은 허니컴을 배치한 축소모형을 제작하여 제작성능을 검토하였다. 매끄러운 전면과 후면의 허니컴이 적절하게 제작되었음을 확인하였다.



그림 3.4.43 설계된 보호외피 축소 모형의 전면부

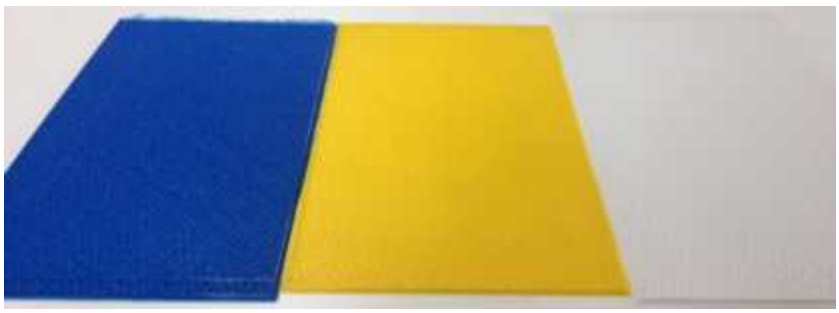


그림 3.4.44 설계된 보호외피 축소 모형의 후면부

(2) 다양한 인공물 및 자연물 형상디자인을 고려한 제작

◯ 보호외피에 음각 내지는 양각을 적용하여 콘크리트를 감싸도록 하여 미관을 창출할 수 있으나, 우선은 앵커로 인한 콘크리트와의 부착성능을 검토하는 것이 보호외피로서의 기능에 더욱 중요하므로 전면은 평면으로 후면은 앵커들을 배치하여 실제크기 보호외피를 제작하여 제작성능을 검토하였다. 아래 그림은 후면 앵커를 배치하여 제작한 보호외피 사례이다.

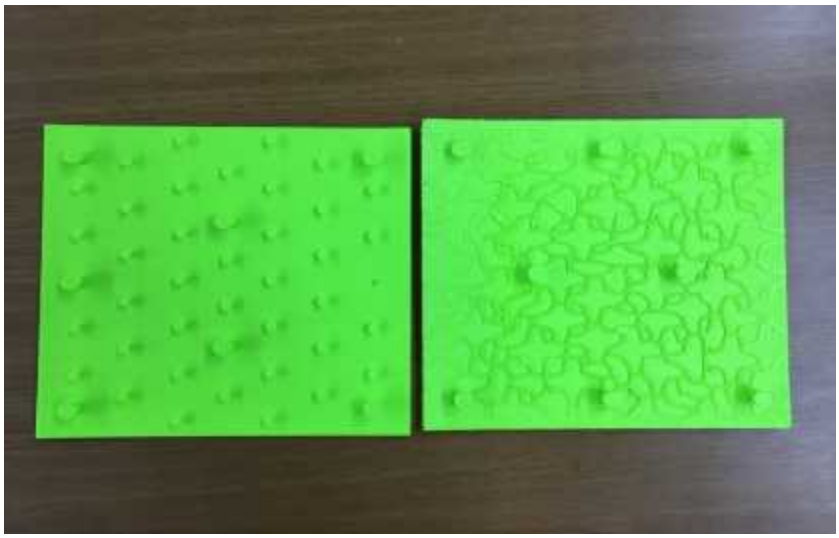


그림 3.4.45 프린팅된 보호외피와 앵커

(3) 시험 제작품의 품질 평가 및 개선

◯ 축소 모형으로 처음 제작된 보호외피(그림 3.4.43과 44)의 경우 후면의 앵커를 따로 설계하지 않고 보호외피를 지지하는 서포트를 허니컴 모양으로 하여 접착성을 늘리려고 하였다. 하지만 모르타르에 잘 부착되지 않고 움직임이 발생하는 문제가 생겼다. 이를 개선하기 위하여 앵커가 부착된 보호외피를 설계 및 제작하였다(그림 3.4.45). 이 경우 부착성이 증대되고 움직임이 없어졌으나 적층방식 제작으로 인해 깊이방향 최대인장응력이 작아 앵커가 깊이방향으로 파괴될 확률이 높다. 이러한 문제점을 개선하기 위해, 후면의 앵커를 기울어지게 출력했다(그림 3.4.46과 47).

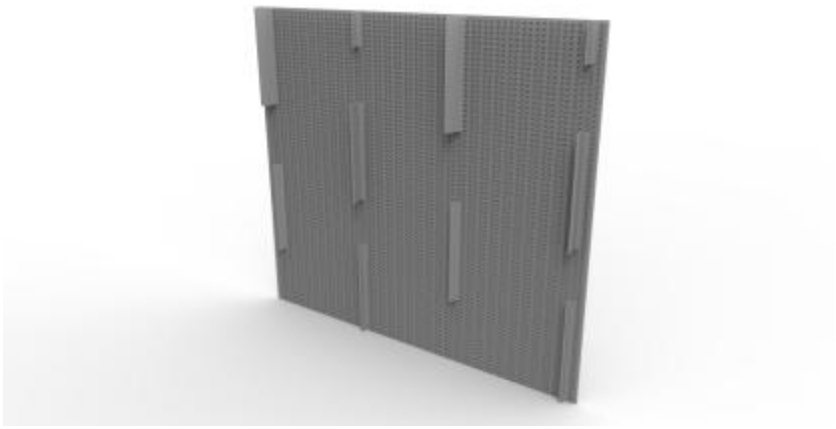


그림 3.4.46 기울어지게 앵커를 설계한 보호외피의 디자인



그림 3.4.47 실제 출력된 기울어진 앵커와 보호외피

(4) 보호외피 적용 효용성 증대를 위한 콘크리트 혼화제 선정

○ 앵커부가 콘크리트 속에 충분한 강도로 고정되기 위해서는 콘크리트가 앵커들 사이에 밀실하여 스며들 수 있도록 충분한 유동성과 강도를 확보하도록 감수제 또는 유동화제를 사용하는 것을 권장한다. 강도의 손실을 최소화하면서 유동성을 확보하기 위한 배합비를 선정해야 한다. 고성능 감수제의 종류는 폴리알킬아릴 슬폰산염계(나프탈렌슬폰산염계)와 멜라민 포르말린수지 슬폰산염계로 구분하며, 전자는 나프랄렌계, 후자는 멜라민계로 약칭한다. 나프탈렌계는 분산성이 우수하고, 화학적으로 매우 안정되고, 고강도 발현이 용이하고, 자체 공기포를 함유하지 않으며, 용해도 저장성이 우수하고, 첨가제 활용이 용이하다. 멜라민계는 화학적으로 매우 안정되고, 분산성이 우수하고, 응결시간이 약간 빠르고, 자체 공기포를 함유하지 않는다.

(5) 콘크리트 벽체 보호외피 부착 면 하니콤(기포자국) 방지 기법 연구

○ 허니컴을 방지하기 위해, 설계단계에서 충분한 피복두께를 확보하고, 콘크리트 타설 속도를 적절히 제어하여 콘크리트가 확실히 충진되도록 한다.

(6) 콘크리트 벽체 시험제작

○ 앞서 제작한 보호외피를 모르타르 벽체에 적용하여 벽체를 시험제작한다. 아래 그림은 보호외피와 일체화 된 벽체의 모습이다. 앵커 형상의 확인이 용이하도록 벽체의 일부만 타설하여 보호외피의 후면을 노출시켰다.



그림 3.4.48 모르타르 타설 후 보호외피의 형상 1



그림 3.4.49 모르타르 타설 후 보호외피의 형상 2

(7) 제작 시공성 평가 및 개선

○ 그림 3.4.47과 같이 앵커의 높이를 높은 것과 보통인 것을 혼합하여 앵커면이 동해 등으로 이탈 될 시에도 동일한 콘크리트 파단면에서 보호외피가 떨어져 나가지 않도록 효과적으로 일체화하게 된다.

○ 3D프린팅 제작 결과, 보호외피의 제작 시공성능은 무리가 없이 양호한 것으로 판단된다. 또한 모르타르 벽체에 대해 시험시공해 본 결과, 보호외피와 콘크리트가 상당히 단단하게 일체화되어 있는 것으로 보인다. 따라서 염해 등 유해환경으로 부터 철근 부식과 콘크리트의 열화를 효과적으로 저감시켜 콘크리트의 내구 수명을 증대시킬 수 있을 것으로 평가된다.

라. 실물크기 보호외피 시제품 시험검증

(1) 보호외피 시제품의 실내 구조성능 시험 방법 및 최소기준 설정

○ 3D프린팅 보호외피의 구조성능 최소기준설정을 위하여 보호외피의 열팽창계수와 자외선노출을 알기위한 시험을 수행하여야 한다. 여름철 콘크리트 온도와 공기 온도의 차이로 인해 보호외피 앵커 사이에 휨처짐이 발생하여 보호외피와 콘크리트 사이에 공극이 발생할 수 있다. 이러한 거동을 정확히 평가하기 위하여 보호외피에 대한 열팽창시험이 필요하다. 또한, ABS플라스틱 재료의 열팽창계수 값인 $10^{-4}/℃$를 통해서 온도처짐을 계산할 수 있으나, 3D프린팅 제작된 보호외피의 경우 ABS플라스틱 모재의 열팽창계수와 다를 수 있기 때문에 추후 확인이 필요하다.

○ 콘크리트에 부착된 보호외피가 자외선에 노출되는 경우, 균열 여부나 물성변화를 확인하여야 최소 성능기준을 설정할 수 있기 때문에 자외선 노출시험을 수행할 필요가 있다.

(2) 보호외피 시제품의 실내 구조성능 시험 및 평가

○ 폼라이너 제작에서와 동일한 재료와 제작방식을 사용하기 때문에 폼라이너 시편시험 결과를 적용할 수 있다.

마. 보호외피 시제품 제작

(1) 입체형 외피 시제품 시험검증

○ 보호외피의 디자인은 3D프린팅 제작성에 문제가 없어야 하고, 앵커 부분과 콘크리트가 잘 밀착하여 일체화될 수 있는 것으로 해야 한다. 또한 콘크리트 타설 방향으로 앵커가 사선으로, 그 옆줄은 서로 교차하여 배치되게 하고, 높이가 낮은 앵커도 좌우를 $5^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 각도로 촘촘히 배치하여 보호외피 전체가 콘크리트와 일체화 되게 만들었다. 그림 4.50과 같이, 3차년도에는 2차년도와 달리 기존에 2mm였던 낮은 앵커의 높이를 약 4mm가 되도록 제작하였고, 간격이 15cm였던 높은 앵커를 10.5cm 간격으로 좁혀서 부착력을 더 향상시켰다.

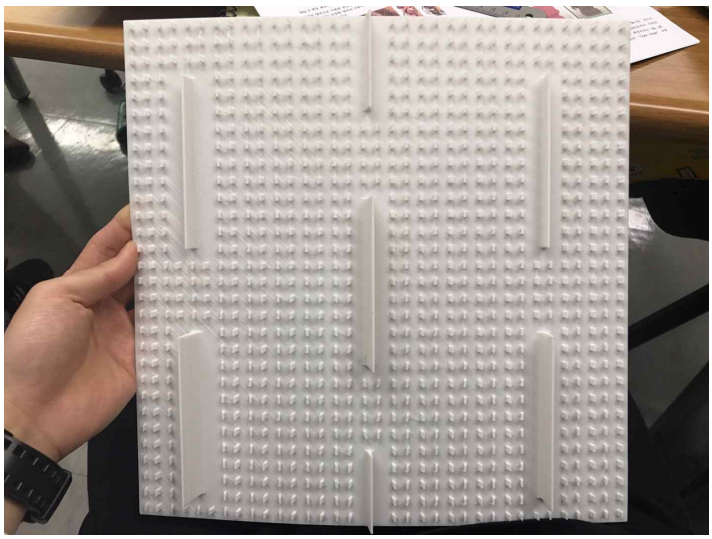


그림 3.4.50 출력한 기울어진 앵커와 보호외피

(2) 외피 적용 조형처리 콘크리트 벽체 시범 시공

○ 3D 프린터로 제작한 보호외피를 이용하여 무수축 모르타르를 가지고 벽체를 시험・제작한다. 앵커 형상이 눈에 잘 도드라지도록 보호외피 위에 벽체의 일부만 타설하여 보호외피의 일부와 후면을 노출시킨다.

(가) 보호외피 타설 재료

① 보호외피 출력물 1 piece (그림 3.4.50)
② 한일시멘트 REMIGROUT GP400 (그림 3.4.51)
③ 배합수 (그림 3.4.51)
④ 아크릴 ($30cm \times 30cm \times 15cm$ 콘크리트 타설 틀 제작) (그림 3.4.52)



그림 3.4.51 시멘트와 배합수

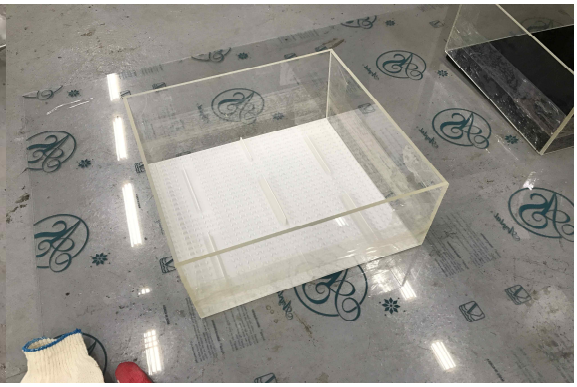


그림 3.4.52 아크릴판으로 만든 틀과 보호외피

(나) 콘크리트 배합비

○ 한일 시멘트의 무수축 그라우트를 사용하였기 때문에 (표 3.4.4) "한일 시멘트 기술자료"를 참고하면 제품 25kg당 수량 3.75~4.25liter, 즉 평균 4liter가 필요하다. 본 콘크리트 타설 시험에서는 (그림 3.4.53과 54)에서 보는 바와 같이 12.5kg의 무수축 그라우트를 사용하였기 때문에 배합수의 용량을 2liter로 정했다.

〈표 3.4.4〉 한일시멘트 기술자료-그라우트용 레미탈 기술자료(TC Grout. 0811.001.)

재료명	작업성 기준 (Flow/%)	제품1대(25kg) 당		$1m^3$당 사용량	
		수량(l)	반죽된 량	그라우트재	물
GP400 GP600 QP600 HP800	150%이상 (Flow cone test)	3.75~4.25	약 13 l	$1,900 \sim 1,950kg$	$285 \sim 332kg$



그림 3.4.53 무수축 모르타르 무게 측정



그림 3.4.54 무수축 모르타르 무게 측정

○ 보호외피 시험시공에는 앵커와 콘크리트의 부착 여부를 쉽게 확인하기 위해, 그림 3.4.55와

56과 같이 절반에만 콘크리트 타설을 실시하였다. 그 결과 잘 부착된 콘크리트 시험시공 벽체를 얻었다. (그림 3.4.57~60)

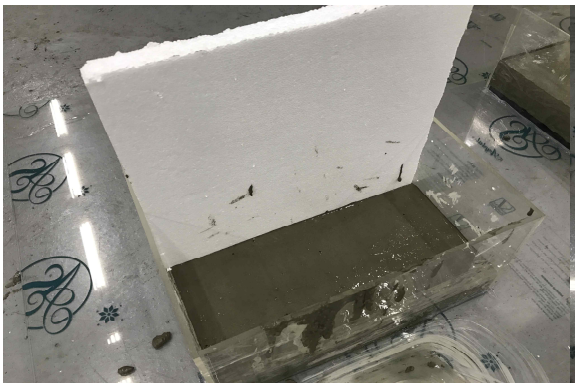


그림 3.4.55 콘크리트 타설 부분

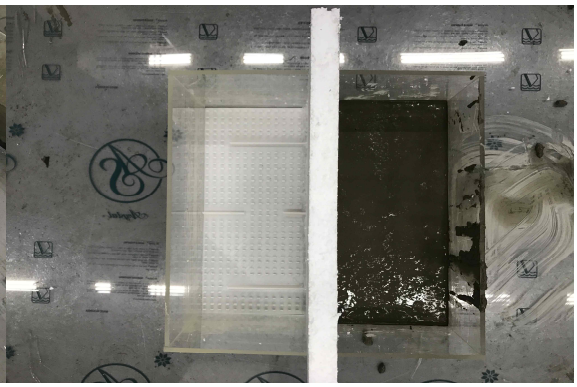


그림 3.4.56 콘크리트 타설 부분(우) 및 미타설 부분(좌)

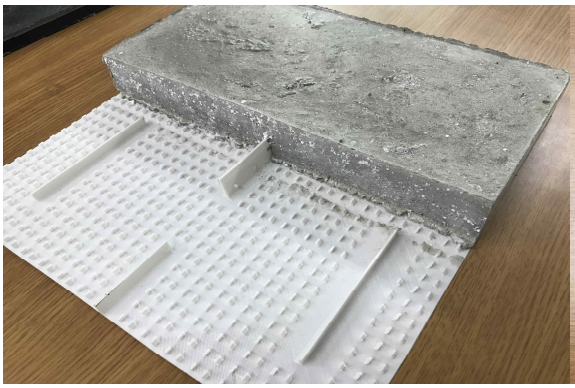


그림 3.4.57 완성된 콘크리트 벽 시험체



그림 3.4.58 완성된 콘크리트 벽 시험체



그림 3.4.59 완성된 콘크리트 벽 시험체

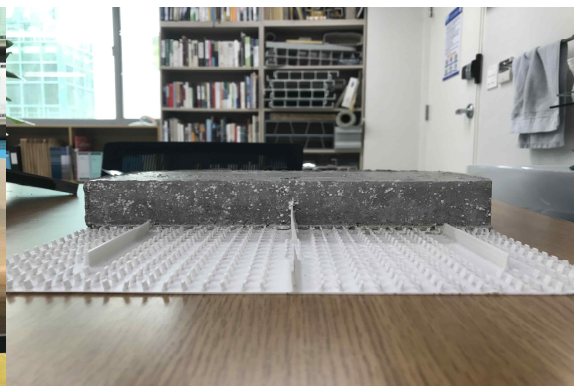


그림 3.4.60 완성된 콘크리트 벽 시험체

(3) 보호외피 시공성 분석

(가) 시험시공 성능평가 시험 - 물 투수 시험

○ 보호외피의 목적은 콘크리트의 표면과 잘 부착하여 염분이나 유해물질이 그 틈으로 들어가지 못하도록 하는 것이다. 따라서 시험시공 후에 투수시험을 통해 보호외피면과 콘크리트면 사이에 물이 통과하는 지 확인하여 시공성능을 평가할 필요가 있다.

○ 본 시험은 그림 3.4.61과 같이 시공한 콘크리트 벽체의 양옆을 막고 기울인 후, 보호외피와 접하는 부분에 물을 붓고 24시간 유지하여 물이 통과하였는지 확인하는 것으로 실시한다. (그림 3.4.62)

○ 그림 3.4.63과 같이 시험을 통해 보호외피와 콘크리트면이 잘 부착하여 물이 스며들지 않는

것으로 보인다. 이는 실제 구조물에서 콘크리트의 표면을 염해와 유해한 환경으로부터 철근의 부식과 콘크리트의 열화를 효과적으로 방지하고 구조물의 평균수명 증대를 불러올 것으로 예상된다.

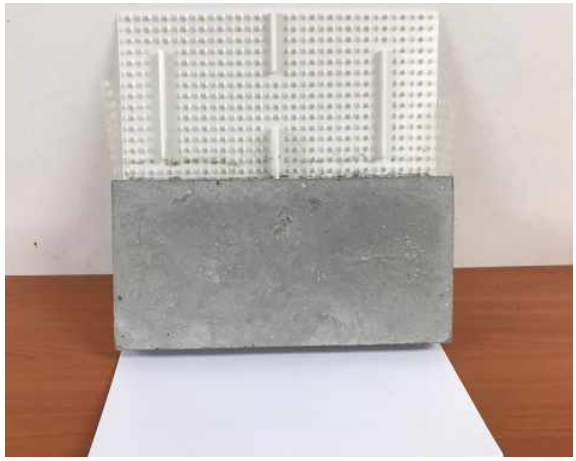


그림 3.4.61 콘크리트 벽체에 물을 붓기 전



그림 3.4.62 콘크리트 벽체에 물을 부은 직후

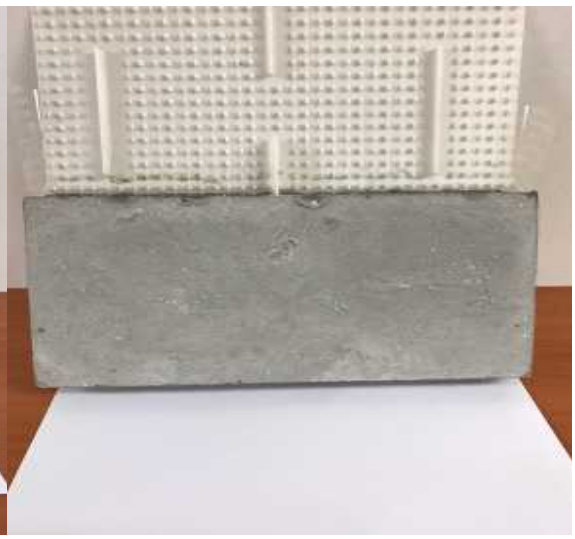


그림 3.4.63 24시간 후 물이 통과하지 못한 모습

(나) 2차 시공성능 평가

○ 보호외피 타설 결과 3D 프린터로 제작한 보호외피가 콘크리트 벽체와 잘 부착된 것으로 보인다. 특히 앵커의 각도를 5~6°로 한 것과 2차년도에서 제작한 보호외피와 달리 높이가 높은 앵커를 촘촘히 배치하고 낮은 앵커의 높이를 높인 것은 콘크리트와 보호외피 사이의 부착력을 높이는데 도움이 된 것으로 보인다. 이러한 보호외피가 콘크리트 면에 부착된다면 구조물의 부식을 잘 방지할 것으로 예상된다.

○ 본 시험시공에서는 무수축 레미그라우트를 사용하였다. 하지만 실제 현장에서 콘크리트 타설 시, 골재를 사용할 때는 주의가 필요하다. 큰 골재를 사용하면 보호외피와 콘크리트 면 사이에 큰 공극이 발생하게 되고, 이는 앵커 부착력을 저하시키는 원인이 된다. 또한, 골재 자체가 보호외피의 앵커를 손상시킬 가능성도 고려해야 한다.

바. 보호외피 설계예제 작성

○ 앵커의 간격은 100mm로 가정, 보호외피의 두께는 5mm로 가정.

○ 그림 3.4.38과 같이, 콘크리트 면은 10도, 외부온도는 40도로 가정하여 온도차에 따른 휨변형을 계산. 보호외피 내외부의 온도차이가 30도이므로 상당히 극한의 온도조건에 해당함

○ 허용처짐(Δ_{allow})을 정하는 기준이 없으므로, 폼라이너에서 사용하였던 가설공사표준시방서의 거푸집 변형기준 ln/360보다 더 강화된 ln/400을 적용한다. 앵커의 간격을 100mm라고 가정하였으므로 허용처짐은 0.25mm가 된다.

○ ABS플라스틱의 열팽창계수 $\alpha = 10^{-4}/℃$와 온도차 $\Delta T_m = T - (\frac{T_T + T_B}{2}) = 15℃$, 보호외피의 중심점에서 외부까지의 거리 C=2.5mm를 이용하여 κ_0와 부정정력 R_b를 구한다.

$$0 = \Delta_b + R_b \delta_{bb}$$
$$\Delta_b = 2\int_0^L m_0 \frac{\alpha \times \Delta T_m}{c} dx = 0.0003L^2$$
$$\delta_{bb} = 2\int_0^L \frac{m_b \times m_b}{EI} dx = \frac{L^3}{6EI}$$
$$\therefore R_b = -0.0018\frac{EI}{L}$$

$$\kappa_0 = \frac{\alpha \times \Delta T_m}{c} = 0.0006 \ , \ \kappa_b = \frac{m_b}{EI}$$
$$\therefore \kappa = 0.0006 - 0.0018\frac{m_b}{L}$$
$$\therefore \Delta(\bar{x}) = \int_0^L (0.0006 - 0.0018\frac{m_b}{L}) \times m \, dx$$

- $\bar{x} \le L$인 경우, $\bar{x}$에서의 처짐은

$$\Delta(\bar{x}) = \int_0^{2L} (0.0006 - 0.0018\frac{m_b}{L}) \times m \, dx$$
$$= \int_0^{\bar{x}} \left(0.0006 - 0.0018\frac{0.5x}{L}\right) \times \frac{2L - \bar{x}}{2L} x \, dx$$
$$+ \int_{\bar{x}}^{L} \left(0.0006 - 0.0018\frac{0.5x}{L}\right) \times \left\{\frac{2L - \bar{x}}{2L} x - 1(x - \bar{x})\right\} dx$$
$$+ \int_{L}^{2L} \left(0.0006 - 0.0018\frac{0.5x - 1(x - L)}{L}\right) \times \left\{\frac{2L - \bar{x}}{2L} x - 1(x - \bar{x})\right\} dx$$

- 구조물이 대칭이기 때문에 $L < \bar{x} \le 2L$때도 같은 값을 가진다.
- 그림 3.4.42에 계산된 처짐형상을 그려 보이고 있다.

○ 보호외피 두께가 5mm인 경우 모든 구간에서 허용변위 0.25mm를 만족하는 것을 알 수 있다.

○ 보호외피 앵커 설계 시 앵커 간 간격을 100mm이내 보호외피의 두께를 5mm이상으로 할 경우 허용변위를 만족한다.

사. 보호외피 시공지침 작성

○ 보호외피에 타설 후, 블리딩 현상 방지를 위해 다짐봉으로 다짐을 잘 해준다.

○ 앵커 간격에 맞는 골재크기를 사용하여 앵커의 부착력이 저하되지 않도록 한다.

○ 앵커 손상을 방지하기 위해, 타설 시 충격하중이 발생하지 않도록 한다.

○ 허니컴을 방지하기 위해, 설계단계에서 충분한 피복두께를 확보하고, 콘크리트 타설 속도를 적절히 제어하여 콘크리트가 확실히 충진되도록 한다.

아. 경제성 및 시공성 분석

○ 본 과제에서 개발한 콘크리트 보호외피를 사용한 공법과 기존 공법을 아래 표와 같이 비교 정리하였다.

<표 3.4.5> 3D프린팅 콘크리트 보호외피 사용 공법과 기존 공법 비교

구분	본 과제에서 개발된 3D프린팅 보호외피	기존공법 AGRU사(해외) / AKS사(해외) / 희양건설(국내)
기능성	○ 해수, 폐수 등 유해환경에 대해 콘크리트 면 보호로 콘크리트의 노후·열화 저감 ○ 항만 구조물, 수변구조물, 폐수처리장, 화학반응조 등에 활용 ○ 콘크리트 면에 일체화될 수 있고, 우수한 보호외피 기능 발휘 ○ 유해환경에 저항할 수 있는 다양한 재료로 제작 가능	○ 콘크리트 면의 유해환경 보호 기능 ○ 보호외피의 후면 앵커는 대부분 돌출형 앵커로 앵커 주변에 콘크리트 공극 발생 우려 ○ 돌출형 앵커는 보호외피와 콘크리트의 완전 일체화가 어려움 ○ 3D프린팅 제작처럼 콘크리트 구조체 형상에 알맞게 제조될 수 없음
경제성	○ 콘크리트 구조체 공사비 대비 아주 적은 비용의 보호외피 공사비로 콘크리트 내구수명 증대 효과를 볼 수 있으므로 투자비 대비 효과 극대화 ○ 플라스틱 재료를 사용하므로 원자재 가격 저렴 ○ 3D프린팅 제작에는 경비가 다소 들더라도 콘크리트 구조물의 내구성 증대 효과로 구조물의 수명이 늘어날 수 있으므로 경제성 효과가 매우 큼	○ 플라스틱 재료를 사용하므로 원자재 가격 저렴 ○ 해외 수입 제품은 비용이 고가임 ○ 콘크리트 구조체가 벽면이 아닌 다양한 형상인 경우 제품사용에 어려움이 있어 경제성으로 따질 수 없음
시공성	○ 3D프린팅 보호외피를 유로폼 등 기존 거푸집 면에 결속하여 사용하므로 시공 용이 ○ 3D프린팅 제품의 표면질감이 우수하여 시공면이 유려함 ○ 콘크리트 구조체의 다양한 형상에 적합하도록 3D프린팅으로 제작한 보호외피는 콘크리트 구조체 제작에 용이 ○ 사용기간 중 콘크리트 면의 균열이나 철근 부식으로 인한 녹 흐름 자국 등이 없으므로 콘크리트 면이 깨끗하게 유지되어 미관이 우수하며 유지관리비를 절감 ○ 부분 연속의 경사형 앵커 구조를 연직 방향으로 배치하여 콘크리트 타설 시 시공성이 우수하고, 콘크리트 면과 완전 일체화를 시킬 수 있는 우수한 보호외피 기능 발휘	○ 기존 제품인 경우 대부분 벽체용으로 콘크리트 벽체 면의 시공에는 용이 ○ 콘크리트 구조체가 보, 슬래브, 기둥 등 다양한 형상인 경우, 시공하기 매우 어려움 ○ 돌출형 앵커는 콘크리트 타설 시 콘크리트가 위에서 흘러내려 돌출형 앵커 하면에는 공극이 발생할 수 있어 콘크리트와 일체화가 보장 안됨

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도 (다음의 모든 연구내용 항목에 대해 100% 목표를 달성함)

가) 콘크리트 면의 조형미관 창출용 디자인

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	조형미관 창출용 디자인 관련 국내외 현황 조사 및 분석	- 콘크리트 구조물의 미관 현황 조사연구 - 콘크리트 구조물의 조형디자인 사례 조사분석
	실내 디자인형 입체조형 면처리 기법 개발	- 콘크리트 내벽면의 실내 디자인 효과 유발 기법 연구 - 실내벽 입체조형 디자인 패턴 개발
	환경 친화적 조형 미관 창출을 위한 디자인 패턴연구	- 3D프린팅 제작을 위한 입체조형 디지털 디자인 기법 연구
		- 콘크리트 면 입체조형의 유형 별 VR(가상현실) 디자인 개발
	조형 모델의 초소형 축소와 반복패턴 기법 연구	- 자연물 및 인공물의 입체 디자인 모델을 초소형으로 축소 - 축소 모델의 반복, 중첩, 분산, 결집, 문양, 모자이크 처리 - 재처리된 초소형 모델들의 결합과 새로운 조형 디자인 패턴 개발
2차년도	콘크리트 벽면 입체조형 미관의 종합디자인 개발	- 벽면 적용 입체조형을 위한 VR(가상현실) 디자인의 구현
		- 개별 VR 디자인을 조합한 경관창출 미관 종합디자인 개발
	지역 및 구역 특성이 현시된 서비스 조형 디자인 개발	- 지역별 광고 및 홍보를 위한 공익용 입체디자인 연구개발 - 특정목적(안전, 환경, 경관 등의 현시) 구현을 위한 디자인 유형 개발
	사진 효과의 단색 명암 조형 처리기법 연구	- 사진 형상의 입체화 기법 연구
		- 단색 명암 조절로 조형 이미지 표현 처리 - 사진 효과의 조형처리 모델 개발
3차년도	디지털 사진 데이터를 가공 활용한 입체조형 디자인 기법 연구	- 구조물의 입체조형 디자인을 위한 디지털 사진 자료의 적용 기법 연구
		- 콘크리트 면 처리를 위한 디지털 영상의 입체형 부조처리 응용기술 연구
	입체조형으로 면 처리된 대상의 시뮬레이션 평가	- 입체조형으로 면 처리된 사례의 적용효과 시뮬레이션 - 대상 사례의 미관 및 특정목적의 증진효과 평가
	거대 스케일 조형처리 기법 연구	- 상징, 홍보, 광고 용도의 원거리 인지 거대 스케일 조형처리 기법 개발 - 디자인 모델의 배수별 고해상 확대 및 구역별 분리와 분리 모델의 모자이크 조합

나) 20㎛ 적층정밀도로 대형부재 제작 가능한 맞춤형 3D프린터 개발

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	국내외 3D프린터 연구개발 동향 조사 및 분석	- 국내외 3D프린터 기술현황 조사 및 분석 - 국내외 건설분야의 3D프린터 적용현황 조사 및 분석 - 콘크리트 면 처리 맞춤형 3D프린터 개발을 위한 목표 설정
	3D프린터 제품 제작용 소재의 조사분석 및 선정	- 3D프린팅용 소재 조사분석 (ABS, HDPE, POK 등 각종의 플 라스틱류, 합성수지, 강화재, 재활용 재료 등) - 콘크리트 면처리 적용 대상의 분류 (미관창출, 노화방지, 손상방지, 내식, 내화, 내화학 등) - 적용 대상 별 활용 소재의 요구성능기준 설정 및 적합도 분석 - 폼라이너 및 보호외피의 적용 대상 별 적합 소재 선정 - 환경문제 해결을 위한 재활용 재료와 친환경 합성 재료의 적용 가능성 평가
	Mock-up 모형 제작을 위한 맞춤형	- 하드웨어의 맞춤화 설계 및 제작 (PCB기판, 프린터헤드, 프린터베드, 기어, 벨트, 센서, 전원공급장치 등)

연차	연구목표	주요연구내용
	3D프린터의 설계 및 제작	- 제작 소프트웨어의 맞춤화 개발 (프린터구동 S/W, 모델링 S/W, 펌웨어 S/W)
2차년도	실물크기 시험제품 제작을 위한 맞춤형 3D프린터의 설계 및 제작	- 하드웨어의 실물크기 맞춤화 설계 및 제작 - 제작 소프트웨어의 실물크기 맞춤화 개발 - 실물크기 제작용 펌웨어 S/W 중점 개발
	3D프린터 헤드의 반복적 피드백을 통한 설계 및 제작	- 프린터헤드 조합의 설계 및 제작과 시험제품 제조 - 제품제조 시의 프린터헤드 열화상분포도 분석과 헤드적정성 평가 - 평가 결과에 따른 프린터헤드의 반복 개선 설계와 제작 - 반복적 피드백을 통한 프린터헤드의 최종 설계 및 제작
	사진 효과의 입체조형 모델 제작기법 연구	- 사진 모델 제작 기능의 3D프린터 헤드 개발 - 명암 인식 재료 공급 및 3D프린팅 제작 기능 개발 - 입체조형 보호외피의 시험 제작 및 평가
	3D프린터 사용지침 작성	- 제작된 3D프린터 사용지침 작성
3차년도	디지털 사진 데이터 적용 3D프린팅 정보 생성 기법 연구	- 파노라마 사진 Raster자료의 3D모델 벡터화 기법 구축
		- 3D벡터 Cloud 정보의 다각형 정보화 기법 구축 - 다각형정보의 3D프린팅 적용 기법 구축
	다색상구현 가능 맞춤형 3D프린터 시제작 및 평가	- 다색상 3D프린터 헤드의 설계 및 시제작 - 다색상 재료 공급장치 설계 및 시제작 - 다색상구현 시험제품 제작 및 평가
	폐플라스틱 재활용 소재 이용 입체조형 폼라이너 제작 가능성 연구	- 폐플라스틱 소재의 3D프린터 재료공급 및 제반 요구기술 연구 - 폐플라스틱 소재 활용 샘플 폼라이너 시험 제작 및 사용 가능성 평가

다) 입체조형 콘크리트 폼라이너의 3D프린팅 제작과 현장 시험시공

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	폼라이너 국내외 현황 조사 및 분석	- 국내외 폼라이너에 대한 기술현황 조사 및 분석 - 입체조형 폼라이너의 목표성능 정의 - 입체조형 폼라이너의 기초 설계
	콘크리트 면 처리용 폼라이너 구조설계 및 해석	- 콘크리트 폼라이너 및 필러 설계 - 콘크리트 폼라이너의 구조해석 및 안전성 평가 - 평가 결과에 따른 피드백 설계 - 콘크리트 폼라이너의 거푸집 탈부착상세 설계 - 인접 폼라이너 간 이음상세 설계
	축소 모형 폼라이너의 제작 및 콘크리트 벽체 시험제작	- 설계된 폼라이너의 축소 모형 3D프린팅 제작 - 다양한 인공물 및 자연물 형상디자인을 고려한 제작 - 폼라이너-거푸집 연결구조 성능 평가 및 개선 - 시험 제작품의 품질 평가 및 개선
		- 포틀랜드, 세라믹 콘크리트 등 폼라이너 적용 최적 콘크리트 및 혼화제 선정 - 콘크리트 면 하니콤(기포자국) 방지 기법 연구 - 축소 모형 콘크리트 벽체 시험제작 - 제작 시공성 평가 및 개선
2차년도	실물크기 폼라이너 시제품 제작	- 설계된 폼라이너의 실물크기 3D프린팅 제작 - 다양한 인공물 및 자연물 형상디자인을 고려한 실물크기 폼라이너 제작 - 폼라이너 시험 제작품의 품질 평가 및 개선
	폼라이너 시제품 시험검증	- 폼라이너 시제품의 실내 구조성능 시험 방법 및 최소기준 설정 - 폼라이너 시제품의 실내 구조성능 시험 및 평가 (인장, 압축, 휨, 전단 성능 등)
	폼라이너 적용 실물크기 콘크리트 벽체 시험제작	- 폼라이너-거푸집 연결구조 성능 평가 및 개선 - 인접 구간 폼라이너 이음부 평가 및 개선 - 벽체 시험 제작품의 품질 평가 및 개선
		- 실물크기 벽체 시험제작

연차	연구목표	주요연구내용
		- 다양한 인공물 및 자연물 형상디자인을 고려한 실물크기 벽체 제작 - 제작 시공성 평가 및 개선
3차년도	폼라이너 적용 조형처리 콘크리트 벽체 현장 시험시공	- 입체조형 면 처리의 완성도 및 심미성 평가 - 개선점 도출 및 추가연구 방향
		- 입체조형 폼라이너의 콘크리트 벽체 현장 시험 적용 - 폼라이너 거푸집 장착, 콘크리트 타설, 탈형 등 시공성 평가
	폼라이너 제품화 준비	- 설계 예제 작성 - 시공지침 작성 - 경제성 및 시공성 분석

라) 입체조형 콘크리트 보호외피의 3D프린팅 제작과 현장 시험시공

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	보호외피 국내외 현황 조사 및 분석	- 국내외 보호외피에 대한 기술현황 조사 및 분석 - 입체조형 보호외피의 목표성능 정의 - 입체조형 보호외피의 기초 설계
	콘크리트 면 처리용 보호외피의 구조 설계 및 해석	- 보호외피 부착 콘크리트 벽체의 하중조건 설정 (충격, 파랑, 침식, 세굴, 풍화 등) - 보호외피 부착 콘크리트 벽체의 환경조건 설정 (자외선, 수분, 내식, 내화학, 내화 등) - 하중 및 환경 조건에 대한 보호외피의 구조상세설계, 적층설계 및 재료설계와 해석적 검증 - 콘크리트-외피 면 부착구조 상세설계 - 인접 보호외피 간 이음상세 설계 - 거푸집-외피 탈부착 상세 설계 - 콘크리트-외피 일체화 구조를 위한 정착앵커의 구조설계 및 배치설계와 해석적 검증 - 평가 결과에 따른 피드백 설계
2차년도	축소 모형 보호외피의 제작 및 콘크리트 벽체 시험제작	- 설계된 보호외피의 축소 모형 3D프린팅 제작 - 다양한 인공물 및 자연물 형상디자인을 고려한 제작 - 시험 제작품의 품질 평가 및 개선
		- 보호외피 적용 효용성 증대를 위한 콘크리트 혼화제 선정 - 콘크리트 벽체 보호외피 부착 면 하니콤(기포자국) 방지 기법 연구 - 축소 모형 콘크리트 벽체 시험제작 - 제작 시공성 평가 및 개선
	실물크기 보호외피 시제품 제작	- 설계된 보호외피의 실물크기 3D프린팅 제작 - 다양한 인공물 및 자연물 형상디자인을 고려한 실물크기 보호외피 제작 - 보호외피 시험 제작품의 품질 평가 및 개선
	실물크기 보호외피 시제품 시험검증	- 보호외피 시제품의 실내 구조성능 시험 방법 및 최소기준 설정 - 보호외피 시제품의 실내 구조성능 시험 및 평가 (인장, 압축, 휨, 전단, 온도, 자외선 등)
3차년도	보호외피 적용 실물크기 콘크리트 벽체 시험제작	- 거푸집-외피 탈부착구조 성능 평가 및 개선 - 인접 구간 보호외피 이음부 평가 및 개선
		- 실물크기 벽체 시험제작 - 다양한 인공물 및 자연물 형상디자인을 고려한 실물크기 벽체 제작 - 제작 시공성 평가 및 개선
	디지털 사진 데이터 적용 실물크기 입체형 벽체 시험제작	- 디지털 사진 데이터 적용 실물크기 입체형 보호외피 제작 - 디지털 사진 필터효과 적용 실물크기 입체형 보호외피 제작 - 다양한 인공물 및 자연물 형상디자인을 고려한 실물크기 보호외피 제작
		- 디지털 사진 데이터의 입체형 보호외피를 적용한 벽체 시험제작

연차	연구목표	주요연구내용
		- 제작 시공성 평가 및 개선
	외피 적용 조형처리 콘크리트 벽체 현장 시험시공	- 보호외피의 콘크리트 일체구조화 평가 - 거푸집-외피 탈부착구조 성능 평가 및 개선 - 입체조형 면 처리의 완성도 및 심미성 평가 - 콘크리트 손상·열화 보호 기능 및 균열 방지 기능 평가 - 개선점 도출 및 추가연구 방향
		- 입체조형 보호외피의 콘크리트 벽체 현장 시험 적용 - 제작 시공성 평가 및 개선
	보호외피 제품화 준비	- 설계 예제 작성 - 시공지침 작성 - 경제성 및 시공성 분석

2. 관련 분야 기여도

관련 분야	기여도
콘크리트 면의 조형미관 창출용 디자인	○ 다음과 같은 예술적 조형 디자인 개발로 미관창출 콘크리트 폼라이너 디자인 라이브러리 구축에 기여 - 실내 디자인형 입체조형 면처리 기법 개발 - 환경 친화적 조형 미관 창출을 위한 디자인 패턴연구 - 지역 및 구역 특성이 현시된 서비스 조형 디자인 개발 - 디지털 사진 데이터를 가공 활용한 입체조형 디자인 기법 개발
20㎛ 적층정밀도로 대형부재 제작 가능한 맞춤형 3D프린터 개발	○ 대형 FDM 3D프린터 개발로 건설용 대형 비구조 및 구조부재 제작 기술 구축에 기여 ○ 조형미관 창출용 대형 콘크리트 폼라이너 3D프린팅 시제작에 기여 ○ 콘크리트 열화저감용 대형 콘크리트 보호외피 3D프린팅 시제작에 기여
입체조형 콘크리트 폼라이너의 3D프린팅 제작과 현장 시험시공	○ 조형미관의 콘크리트 폼라이너 3D프린팅 시제작과 이를 이용한 콘크리트 벽체 시험타설로 각종 기반시설물이나 건축구조물 중 콘크리트로 건설된 구조물에 환경 친화적인 조형미관을 창출할 수 있는 첨단 콘크리트 면처리 기술 구축에 기여
콘크리트 보호외피의 3D프린팅 제작과 현장 시험시공	○ 콘크리트 보호외피 3D프린팅 시제작과 이를 이용한 콘크리트 벽체 시험타설로 수변구조물(항만구조물, 교각, 하수처리구조물, 하수관거 등)의 염해, 침식, 세굴 등 유해환경에 대해 콘크리트 외면을 보호하여 열화를 저지하고 내구성을 향상시켜 콘크리트 구조물의 수명 연장을 도모하는 첨단 콘크리트 면처리 기술 구축에 기여

제5장. 연구개발성과의 활용계획

○ 각종 기반시설물이나 건축구조물 중 콘크리트로 건설된 구조물에 환경 친화적인 조형미관을 창출하고, 보호외피를 시공할 경우 콘크리트 열화를 저감할 수 있게 되므로 다음과 같은 콘크리트 구조물이 적용 대상이 된다.

- 토목 구조물: 옹벽, 사면, 도로변시설, 철로변시설, 교량, 터널, 항만시설, 수처리시설 등
- 건축 구조물: 아파트 외벽, 건물 외벽, 옥외 건축물 등

○ 콘크리트 구조물 시공 시 기존의 거푸집 시스템을 그대로 이용하므로 현장적용이 용이하며, 다양한 용도와 형태의 콘크리트 구조물에 활용이 가능하다.

○ 주변경관과 어울릴 수 있는 자연물 및 인공물을 디자인한 예술적인 조형미관의 콘크리트 면은 아름답고 환경친화적인 분위기를 조성할 수 있으므로, 국가, 지방자치단체나 건축주가 본 기술의 수요처가 되며 이러한 수요처에서 적극적인 활용이 예상된다.

○ 특히 2013년 개정된 경관법에서 경관강화가 법제화된 점을 고려하면 조형미관 창출의 콘크리트 면 건설에 대한 요구가 급증할 것으로 예상된다.

○ 국내 적용이 성공적으로 이루어지면 막대한 규모의 해외건설 시장에도 즉시 적용 가능하여 기술 수출의 길도 용이하게 열릴 수 있다.

○ 3D프린팅의 산업분야 적용 활성화를 위한 제조장비의 설계, 제작 및 운용 기술 인력 및 건설분야 적용기술 인력이 필요하므로 새로운 전문인력 고용시장 창출이 예상된다.

○ 지역 특성 및 지방자치단체의 특성을 홍보할 수 있는 내용이 담긴 조형디자인을 포함할 수 있어 홍보, 광고 분야에도 활용 가능하다.

○ 건설분야에 적용될 대형 부재를 효율적으로 제작할 수 있는 맞춤형 3D프린터 개발로 크기의 제한 없이 각종 비구조 및 구조용 건설자재를 3D프린터로 제조할 수 있는 미래 원천기술을 확보한다.

○ 3D프린터를 이용한 비구조분야 적용이 성공적으로 이루어지면 본격적인 구조재 생산에도 확장 적용될 수 있다. 개발된 맞춤형 3D프린터 기술을 플랜트, 자동차, 기계, 선박 등에 쓰이는 구조재와 비구조재 대형 제품을 제작하도록 확대 적용할 수 있는 신산업을 창출한다.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 세계적인 3D프린터 최신 제작 기술 정보 수집
   ○ FDM(Fused Deposition Modeling) 방식 3D프린터 제작 기술
   ○ SLA (Sterio Lithography Apparatus) 방식 3D프린터 제작 기술
   ○ SLS (Selective Laser Sintering) 방식 3D프린터 제작 기술
   ○ DMLS (Direct Metal Laser Sintering, DML, DMT) 방식 3D프린터 제작 기술
   ○ PolyJet 방식 3D프린터 제작 기술
   ○ LOM (Laminated object manufacturing) 방식 3D프린터 제작 기술
   ○ EBM (Electron Beam Melting) 방식 3D프린터 제작 기술
2. FDM 3D프린터 헤드 제작 기술 정보 수집
   ○ 필라멘트 공급 방식 3D프린터 헤드 제작 기술
   ○ 필렛 공급 방식 3D프린터 헤드 제작 기술
3. 건설분야 3D프린터 기술 개발 정보 수집

기업	제품명	제작크기 (cm)	조형방식
TU eindhoven - 네덜란드	3DCP		FDM
Canal House - 네덜란드	KamerMaker	220 x 220 x 350	FDM
Winsun - 중국	3D printing construction	4000 x 1000 x 670	FDM
BetAbram - 슬로베니아	BetAbram P1	1600 x 900 x 200	FDM
WASP - 이탈리아	Big Delta 12m	200 x 200 x 600	FDM
Cincinnati Incorporated -미국	BAAM	600 x 230 x 180	FDM
Andrey Rudenko	totalkustom		FDM
USC - 미국	Contour Craft		FDM

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		○
결정 사유	건설용 기술에 대한 일반적인 개발 내용이므로 특별한 보안 유지가 요구되지 않으나, 입체조형으로 디자인한 콘크리트 폼라이너 및 보호외피 제품을 3D프린터로 제작하는 본 과제의 기법은 세계적으로도 아직 초기 분야의 원천기술이므로 본 과제 종료시점까지는 보안을 유지하는 것이 바람직함.	

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

가. 연구실 안전조치 이행계획
   ○ 연구실 안전점검(일상)

시기	대상	주관	점검사항
일일 1회 이상	실험실습실	소속 연구활동종사자	정리정돈, 가스, 화학약품, 폐기물, 소화기 등 체크리스트 점검

○ 연구실 안전점검(정기)

시기	대상	주관	점검사항
연간 1회 이상	실험실습실	안전관리팀	안전진단 실시 후 반드시 진단결과에 의거 가스, 전기시설 등 보완

○ 연구실 정밀안전진단(정기)

시기	대상	주관	점검사항
연간 1회 이상	실험실습실	안전관리팀	안전진단 실시 후 반드시 진단결과에 안전시설 등 보완

○ 연구활동종사자 건강검진

시기	대상	주관	점검사항
연간 1회	상시연구활동종사자	안전관리팀	연구활동종사자 건강검진

○ 연구실 안전규정 제정 배부 및 안전수칙 게시판 의무 부착 :
안전수칙 게시판을 제작하여 실험실 부착 및 안전관리규정 배부

○ 실험실 폐시약 등 오염성 폐기물 처리

○ ‘연구실 안전관리 매뉴얼’ 제작・배포

나. 유전자변형생물체(LMO) 연구시설 및 수입 신고 현황(해당사항 없음)

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	콘크리트 미관창출과 열화저감을 위한 3D프린팅 폼라이너 디자인 연구	국민대학교		디자인융복합학회 /한국		2017	단독 사사	비SCI
2	논문	제품디자인을 위한 적층정밀도 20미크론 3D프린터 스마트 헤드 디자인에 관한 연구	국민대학교		산업디자이너협회		2018	단독 사사	비SCI
3	논문	콘크리트 구조의 폼라이너 및 보호외피 제작을 위한 대형 3D프린터 개발	국민대학교		산업디자이너협회		2018	단독 사사	비SCI
4	논문	FDM 3D프린터로 제작한 폼라이너의 안전성 및 사용성	국민대학교		한국복합신소재구조학회		2018	단독 사사	비SCI
5	특허	콘크리트 문양 형성 유닛 및	국민대학교산		한국		2017.05.18	단독 사사	출원번호: 10-2017-006

		콘크리트 문양 형성 거푸집	학협력단						1839
6	특허	콘크리트 문양 형성 유닛 및 콘크리트 문양 형성 거푸집	국민대학교산학협력단		한국		2017.05.18	단독 사사	출원번호: 10-2016-006 1840
7	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016-11-30	단독 사사	등록번호: 30-0918650
8	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016-11-30	단독 사사	등록번호: 30-0903885
9	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016-11-30	단독 사사	등록번호: 30-0903886
10	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016-11-30	단독 사사	등록번호: 30-0903887
11	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016-11-30	단독 사사	등록번호: 30-0903888
12	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2017-04-05	단독 사사	등록번호: 30-0927806
13	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016-11-30	단독 사사	등록번호: 30-0903889
14	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016-11-30	단독 사사	등록번호: 30-0903890
15	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016-11-30	단독 사사	등록번호: 30-0903891
16	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016-11-30	단독 사사	등록번호: 30-0918648
17	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016-11-30	단독 사사	등록번호: 30-0918649
18	특허	다중 조형 용융액을 토출하는 3차원 프린터 헤드 및 이를 포함하는 3차원 프린터	국민대학교산학협력단		한국	-	2016.05.12	단독 사사	등록번호: 10-1807794
19	특허	콘크리트 인쇄용 3차원 프린터 헤드 및 콘크리트 인쇄용 3차원 프린터	국민대학교산학협력단		한국	-	2016.05.04	단독 사사	등록번호: 10-1854331
20	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016.05.13	단독 사사	등록번호: 30-0881071
21	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016.05.13	단독 사사	등록번호: 30-0881067
22	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016.05.13	단독 사사	등록번호: 30-0881066
23	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016.05.13	단독 사사	등록번호: 30-0881065
24	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016.05.13	단독 사사	등록번호: 30-0881063

25	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016.05.13	단독 사사	등록번호:30-0881061
26	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016.05.13	단독 사사	등록번호:30-0881062
27	특허	디자인심사등록출원	국민대학교산학협력단		한국	-	2016.05.13	단독 사사	등록번호:30-0881060
28	특허	3D PRINTER HEAD FOR EJECTING MULTI-MOLDING MELT AND 3D PRINTER INCLUDING THE SAME	국민대학교산학협력단		PCT		2016-10-11	단독 사사	출원번호:PCT/KR2016/011334
29	특허	3D PRINTER HEAD FOR EJECTING MULTI-MOLDING MELT AND 3D PRINTER INCLUDING THE SAME	국민대학교산학협력단		미국		2017-11-16	단독 사사	출원번호:15/574.522
30	특허	3D PRINTER HEAD FOR EJECTING MULTI-MOLDING MELT AND 3D PRINTER INCLUDING THE SAME	국민대학교산학협력단		유럽		2017-11-17	단독 사사	출원번호:16901165.7

제11장. 기타 사항

제12장. 참고 문헌

1. 이성우외 (2000). "군장신항만 남측안벽 2공구 케이슨의 시험시공용 침식방지 합소재 박판제작", 국민대학교 구조안전연구소 연구보고서, KMU/SSRC-00/01
2. 이성우외 (2000). "복합소재 구조물 제작을 위한 VARTM 제조공정 도입 및 건설 분야 활용기술 연구개발", 국민대학교 구조안전연구소 연구보 고서, KMU/SSRC-00/02
3. 이성우외 (2002). "고내구성 신소재 해상파일 개발 연구", 해양수산부
4. 이성우, 홍기증 (2003). "신속시공 경량 고내구성 복합소재 교량 바닥판 산업화 연구", 건설교통부
5. 이성우, 홍기증 (2007). "신소재 보도교 데크패널과 전통목구조 결구방식의 연결부 개발', 한국과학재단
6. 이성우, 홍기증 (2007). "유전개발용 리그매트및 교량바닥판용 착탈조립식 경량 복합소재 데크 개발", 건설기술 평가원
7. 이시진 (2014) “오션 플라스틱 : 인간에 의해 버려져 태평양, 대서양, 인도양 등 공해상에 떠도는해양 쓰레기 일부”, 국제환경정보 동향자료집 12page, 한국환경공단, 세계 플라스틱 재활용의 전망과 동향, 해양의 플라스틱 잔해 및 바이오 플라스틱에 관하여,
8. 장중식 (2017) “3D프린터용 필라멘트 제작기 디자인에 관한 연구”, Journal of Industrial Design 2017 Mar; 11(01) 147-155
9. homeshop3dprinting.com (2014). "3D Printing process and How FDM technology works Video". June 2014
10. Martin, Robert C. (2000). "Design Principles and Design Patterns"
11. Stephens, Brent; Parham Azimia; Zeineb El Orcha; Tiffanie Ramos (2013). "Ultrafine Particle Emissions from Desktop 3D Printers". Atmospheric Environment 79:334–339. August 2013.
12. THRE3D.com (2014). "How Fused Deposition Modeling Works". February 2014.

그림출처

한국환경공단: 분리배출가이드북
https://preciousplastic.com/en/creations/
http://fullcircletextiles.businesscatalyst.com/3d-printing.html
http://eweindustries.com/ewe-filament-extruder/
http://www.xn--coset-9ra.com/
http://3devo.eu/products/
http://d3dinnovations.com/filafab/
https://3dprint.com/59722/filafab-filament-extruder/
http://eweindustries.com/ewe-filament-extruder/
http://www.xn--coset-9ra.com/
http://3devo.eu/products/

부록: 개발한 3D프린터의 펌웨어 소스프로그램

```
#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H


// This configuration file contains the basic settings.
// Advanced settings can be found in Configuration_adv.h
// BASIC SETTINGS: select your board type, temperature sensor type, axis scaling, and endstop configuration


//===========================================================================
//============================= DELTA Printer ===============================
//===========================================================================
// For a Delta printer replace the configuration files with the files in the
// example_configurations/delta directory.
//


//===========================================================================
//============================= SCARA Printer ===============================
//===========================================================================
// For a Delta printer replace the configuration files with the files in the
// example_configurations/SCARA directory.
//


// User-specified version info of this build to display in [Pronterface, etc] terminal window during
// startup. Implementation of an idea by Prof Braino to inform user that any changes made to this
// build by the user have been successfully uploaded into firmware.
#define STRING_VERSION_CONFIG_H __DATE__ " " __TIME__ // build date and time
#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(K3dp, default config)" // Who made the changes.


// SERIAL_PORT selects which serial port should be used for communication with the host.
// This allows the connection of wireless adapters (for instance) to non-default port pins.
// Serial port 0 is still used by the Arduino bootloader regardless of this setting.
#define SERIAL_PORT 0


// This determines the communication speed of the printer
#define BAUDRATE 250000


// This enables the serial port associated to the Bluetooth interface
//#define BTENABLED              // Enable BT interface on AT90USB devices
```

//// The following define selects which electronics board you have. Please choose the one that matches your setup

// 10 = Gen7 custom (Alfons3 Version) "https://github.com/Alfons3/Generation_7_Electronics"

// 11 = Gen7 v1.1, v1.2 = 11

// 12 = Gen7 v1.3

// 13 = Gen7 v1.4

// 2 = Cheaptronic v1.0

// 20 = Sethi 3D_1

// 3 = MEGA/RAMPS up to 1.2 = 3

// 33 = RAMPS 1.3 / 1.4 (Power outputs: Extruder, Fan, Bed)

// 34 = RAMPS 1.3 / 1.4 (Power outputs: Extruder0, Extruder1, Bed)

// 35 = RAMPS 1.3 / 1.4 (Power outputs: Extruder, Fan, Fan)

// 36 = RAMPS 1.3 / 1.4 (Power outputs: Extruder0, Extruder1, Fan)

// 4 = Duemilanove w/ ATMega328P pin assignment

// 5 = Gen6

// 51 = Gen6 deluxe

// 6 = Sanguinololu < 1.2

// 62 = Sanguinololu 1.2 and above

// 63 = Melzi

// 64 = STB V1.1

// 65 = Azteeg X1

// 66 = Melzi with ATmega1284 (MaKr3d version)

// 67 = Azteeg X3

// 68 = Azteeg X3 Pro

// 7 = Ultimaker

// 71 = Ultimaker (Older electronics. Pre 1.5.4. This is rare)

// 72 = Ultimainboard 2.x (Uses TEMP_SENSOR 20)

// 77 = 3Drag Controller

// 8 = Teensylu

// 80 = Rumba

// 81 = Printrboard (AT90USB1286)

// 82 = Brainwave (AT90USB646)

// 83 = SAV Mk-I (AT90USB1286)

// 84 = Teensy++2.0 (AT90USB1286) // CLI compile: DEFINES=AT90USBxx_TEENSYPP_ASSIGNMENTS HARDWARE_MOTHERBOARD=84 make

// 9 = Gen3+

// 70 = Megatronics

// 701= Megatronics v2.0

// 702= Minitronics v1.0

// 90 = Alpha OMCA board

// 91 = Final OMCA board

```
// 301= Rambo

// 21 = Elefu Ra Board (v3)

// 88 = 5DPrint D8 Driver Board

// 999 = Leapfrog


#ifndef MOTHERBOARD

#define MOTHERBOARD 33

#endif


// Define this to set a custom name for your generic Mendel,

// #define CUSTOM_MENDEL_NAME "Big 3DP"


// Define this to set a unique identifier for this printer, (Used by some programs to differentiate between machines)

// You can use an online service to generate a random UUID. (eg http://www.uuidgenerator.net/version4)

// #define MACHINE_UUID "00000000-0000-0000-0000-000000000000"


// This defines the number of extruders

#define EXTRUDERS 1


//// The following define selects which power supply you have. Please choose the one that matches your setup

// 1 = ATX

// 2 = X-Box 360 203Watts (the blue wire connected to PS_ON and the red wire to VCC)


#define POWER_SUPPLY 1


// Define this to have the electronics keep the power supply off on startup. If you don't know what this is leave it.

// #define PS_DEFAULT_OFF


//===========================================================================

//=============================Thermal Settings  ============================

//===========================================================================

//

//--NORMAL IS 4.7kohm PULLUP!-- 1kohm pullup can be used on hotend sensor, using correct resistor and table

//

//// Temperature sensor settings:

// -2 is thermocouple with MAX6675 (only for sensor 0)

// -1 is thermocouple with AD595

// 0 is not used

// 1 is 100k thermistor - best choice for EPCOS 100k (4.7k pullup)
```

```
// 2 is 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (4.7k pullup)
// 3 is Mendel-parts thermistor (4.7k pullup)
// 4 is 10k thermistor !! do not use it for a hotend. It gives bad resolution at high temp. !!
// 5 is 100K thermistor - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-Head) (4.7k pullup)
// 6 is 100k EPCOS - Not as accurate as table 1 (created using a fluke thermocouple) (4.7k pullup)
// 7 is 100k Honeywell thermistor 135-104LAG-J01 (4.7k pullup)
// 71 is 100k Honeywell thermistor 135-104LAF-J01 (4.7k pullup)
// 8 is 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (4.7k pullup)
// 9 is 100k GE Sensing AL03006-58.2K-97-G1 (4.7k pullup)
// 10 is 100k RS thermistor 198-961 (4.7k pullup)
// 11 is 100k beta 3950 1% thermistor (4.7k pullup)
// 12 is 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (4.7k pullup) (calibrated for Makibox hot bed)
// 13 is 100k Hisens 3950  1% up to 300°C for hotend "Simple ONE " & "Hotend "All In ONE"
// 20 is the PT100 circuit found in the Ultimainboard V2.x
// 60 is 100k Maker's Tool Works Kapton Bed Thermistor beta=3950
//
//    1k ohm pullup tables - This is not normal, you would have to have changed out your 4.7k for 1k
//                          (but gives greater accuracy and more stable PID)
// 51 is 100k thermistor - EPCOS (1k pullup)
// 52 is 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (1k pullup)
// 55 is 100k thermistor - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-Head) (1k pullup)
//
// 1047 is Pt1000 with 4k7 pullup
// 1010 is Pt1000 with 1k pullup (non standard)
// 147 is Pt100 with 4k7 pullup
// 110 is Pt100 with 1k pullup (non standard)


#define TEMP_SENSOR_0 5
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_BED 0


// This makes temp sensor 1 a redundant sensor for sensor 0. If the temperatures difference between these sensors is to high the print will be aborted.
//#define TEMP_SENSOR_1_AS_REDUNDANT
#define MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF 10


// Actual temperature must be close to target for this long before M109 returns success
#define TEMP_RESIDENCY_TIME 10  // (seconds)
#define TEMP_HYSTERESIS 3         // (degC) range of +/- temperatures considered "close" to the target one
#define TEMP_WINDOW     1       // (degC) Window around target to start the residency timer x degC early.
```

```
// The minimal temperature defines the temperature below which the heater will not be enabled It is used

// to check that the wiring to the thermistor is not broken.

// Otherwise this would lead to the heater being powered on all the time.

#define HEATER_0_MINTEMP 5

#define HEATER_1_MINTEMP 5

#define HEATER_2_MINTEMP 5

#define BED_MINTEMP 5


// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.

// This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally, but *NOT* from thermistor short/failure!

// You should use MINTEMP for thermistor short/failure protection.

#define HEATER_0_MAXTEMP 275

#define HEATER_1_MAXTEMP 275

#define HEATER_2_MAXTEMP 275

#define BED_MAXTEMP 150


// If your bed has low resistance e.g. .6 ohm and throws the fuse you can duty cycle it to reduce the

// average current. The value should be an integer and the heat bed will be turned on for 1 interval of

// HEATER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER intervals.

//#define HEATER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER 4


// If you want the M105 heater power reported in watts, define the BED_WATTS, and (shared for all extruders) EXTRUDER_WATTS

//#define EXTRUDER_WATTS (12.0*12.0/6.7) //  P=I^2/R

//#define BED_WATTS (12.0*12.0/1.1)      // P=I^2/R


// PID settings:

// Comment the following line to disable PID and enable bang-bang.

#define PIDTEMP

#define BANG_MAX 255 // limits current to nozzle while in bang-bang mode; 255=full current

#define PID_MAX 255 // limits current to nozzle while PID is active (see PID_FUNCTIONAL_RANGE below); 255=full current

#ifdef PIDTEMP

//#define PID_DEBUG // Sends debug data to the serial port.

//#define PID_OPENLOOP 1 // Puts PID in open loop. M104/M140 sets the output power from 0 to PID_MAX

#define PID_FUNCTIONAL_RANGE 10 // If the temperature difference between the target temperature and the actual temperature

// is more then PID_FUNCTIONAL_RANGE then the PID will be shut off and the heater will be set to min/max.

#define PID_INTEGRAL_DRIVE_MAX 255  //limit for the integral term
```

```
#define K1 0.95 //smoothing factor within the PID

#define PID_dT ((OVERSAMPLENR * 10.0)/(F_CPU / 64.0 / 256.0)) //sampling period of the temperature routine


// If you are using a pre-configured hotend then you can use one of the value sets by uncommenting it

// Ultimaker

#define  DEFAULT_Kp 22.2

#define  DEFAULT_Ki 1.08

#define  DEFAULT_Kd 114


// MakerGear

//    #define  DEFAULT_Kp 7.0

//    #define  DEFAULT_Ki 0.1

//    #define  DEFAULT_Kd 12


// Mendel Parts V9 on 12V

//    #define  DEFAULT_Kp 63.0

//    #define  DEFAULT_Ki 2.25

//    #define  DEFAULT_Kd 440

#endif // PIDTEMP


// Bed Temperature Control

// Select PID or bang-bang with PIDTEMPBED. If bang-bang, BED_LIMIT_SWITCHING will enable hysteresis

//

// Uncomment this to enable PID on the bed. It uses the same frequency PWM as the extruder.

// If your PID_dT above is the default, and correct for your hardware/configuration, that means 7.689Hz,

// which is fine for driving a square wave into a resistive load and does not significantly impact you FET heating.

// This also works fine on a Fotek SSR-10DA Solid State Relay into a 250W heater.

// If your configuration is significantly different than this and you don't understand the issues involved, you probably

// shouldn't use bed PID until someone else verifies your hardware works.

// If this is enabled, find your own PID constants below.

//#define PIDTEMPBED

//

//#define BED_LIMIT_SWITCHING


// This sets the max power delivered to the bed, and replaces the HEATER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER option.

// all forms of bed control obey this (PID, bang-bang, bang-bang with hysteresis)

// setting this to anything other than 255 enables a form of PWM to the bed just like HEATER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER did,
```

```
// so you shouldn't use it unless you are OK with PWM on your bed.  (see the comment on enabling PIDTEMPBED)
#define MAX_BED_POWER 255 // limits duty cycle to bed; 255=full current

#ifdef PIDTEMPBED
//120v 250W silicone heater into 4mm borosilicate (MendelMax 1.5+)
//from FOPDT model - kp=.39 Tp=405 Tdead=66, Tc set to 79.2, aggressive factor of .15 (vs .1, 1, 10)
#define  DEFAULT_bedKp 10.00
#define  DEFAULT_bedKi .023
#define  DEFAULT_bedKd 305.4

//120v 250W silicone heater into 4mm borosilicate (MendelMax 1.5+)
//from pidautotune
//    #define  DEFAULT_bedKp 97.1
//    #define  DEFAULT_bedKi 1.41
//    #define  DEFAULT_bedKd 1675.16

// FIND YOUR OWN: "M303 E-1 C8 S90" to run autotune on the bed at 90 degreesC for 8 cycles.
#endif // PIDTEMPBED



//this prevents dangerous Extruder moves, i.e. if the temperature is under the limit
//can be software-disabled for whatever purposes by
#define PREVENT_DANGEROUS_EXTRUDE
//if PREVENT_DANGEROUS_EXTRUDE is on, you can still disable (uncomment) very long bits of extrusion separately.
#define PREVENT_LENGTHY_EXTRUDE

#define EXTRUDE_MINTEMP 170
#define EXTRUDE_MAXLENGTH (X_MAX_LENGTH+Y_MAX_LENGTH) //prevent extrusion of very large distances.

/*================== Thermal Runaway Protection ==============================
 This is a feature to protect your printer from burn up in flames if it has
 a thermistor coming off place (this happened to a friend of mine recently and
 motivated me writing this feature).

 The issue: If a thermistor come off, it will read a lower temperature than actual.
 The system will turn the heater on forever, burning up the filament and anything
 else around.

 After the temperature reaches the target for the first time, this feature will
```

```
 start measuring for how long the current temperature stays below the target
 minus _HYSTERESIS (set_temperature - THERMAL_RUNAWAY_PROTECTION_HYSTERESIS).

 If it stays longer than _PERIOD, it means the thermistor temperature
 cannot catch up with the target, so something *may be* wrong. Then, to be on the
 safe side, the system will he halt.

 Bear in mind the count down will just start AFTER the first time the
 thermistor temperature is over the target, so you will have no problem if
 your extruder heater takes 2 minutes to hit the target on heating.

 */
// If you want to enable this feature for all your extruder heaters,
// uncomment the 2 defines below:

// Parameters for all extruder heaters
//#define THERMAL_RUNAWAY_PROTECTION_PERIOD 40 //in seconds
//#define THERMAL_RUNAWAY_PROTECTION_HYSTERESIS 4 // in degree Celsius

// If you want to enable this feature for your bed heater,
// uncomment the 2 defines below:

// Parameters for the bed heater
//#define THERMAL_RUNAWAY_PROTECTION_BED_PERIOD 20 //in seconds
//#define THERMAL_RUNAWAY_PROTECTION_BED_HYSTERESIS 2 // in degree Celsius
//===========================================================================



//===========================================================================
//=============================Mechanical Settings===========================
//===========================================================================

// Uncomment the following line to enable CoreXY kinematics
// #define COREXY

// coarse Endstop Settings
#define ENDSTOPPULLUPS // Comment this out (using // at the start of the line) to disable the
endstop pullup resistors

#ifndef ENDSTOPPULLUPS
// fine endstop settings: Individual pullups. will be ignored if ENDSTOPPULLUPS is defined
// #define ENDSTOPPULLUP_XMAX
```

```
// #define ENDSTOPPULLUP_YMAX
// #define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
// #define ENDSTOPPULLUP_XMIN
// #define ENDSTOPPULLUP_YMIN
// #define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
#endif

#ifdef ENDSTOPPULLUPS
#define ENDSTOPPULLUP_XMAX
#define ENDSTOPPULLUP_YMAX
#define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
#define ENDSTOPPULLUP_XMIN
#define ENDSTOPPULLUP_YMIN
#define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
#endif

// The pullups are needed if you directly connect a mechanical endswitch between the signal and ground pins.
const bool X_MIN_ENDSTOP_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool X_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
#define DISABLE_MAX_ENDSTOPS
//#define DISABLE_MIN_ENDSTOPS

// Disable max endstops for compatibility with endstop checking routine
#if defined(COREXY) && !defined(DISABLE_MAX_ENDSTOPS)
#define DISABLE_MAX_ENDSTOPS
#endif

// For Inverting Stepper Enable Pins (Active Low) use 0, Non Inverting (Active High) use 1
#define X_ENABLE_ON 0
#define Y_ENABLE_ON 0
#define Z_ENABLE_ON 0
#define E_ENABLE_ON 0 // For all extruders

// Disables axis when it's not being used.
#define DISABLE_X true
#define DISABLE_Y false
#define DISABLE_Z false
```

```
#define DISABLE_E false // For all extruders
#define DISABLE_INACTIVE_EXTRUDER true //disable only inactive extruders and keep active extruder enabled


#define INVERT_X_DIR true    // for Mendel set to false, for Orca set to true
#define INVERT_Y_DIR true    // for Mendel set to true, for Orca set to false
#define INVERT_Z_DIR true     // for Mendel set to false, for Orca set to true
#define INVERT_E0_DIR false   // for direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false
#define INVERT_E1_DIR false    // for direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false
#define INVERT_E2_DIR false   // for direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false


// ENDSTOP SETTINGS:
// Sets direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
#define X_HOME_DIR -1
#define Y_HOME_DIR -1
#define Z_HOME_DIR -1


#define min_software_endstops true // If true, axis won't move to coordinates less than HOME_POS.
#define max_software_endstops true  // If true, axis won't move to coordinates greater than the defined lengths below.


// Travel limits after homing
#define X_MAX_POS 1500
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MAX_POS 2200
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MAX_POS 1400
#define Z_MIN_POS 0


#define X_MAX_LENGTH (X_MAX_POS - X_MIN_POS)
#define Y_MAX_LENGTH (Y_MAX_POS - Y_MIN_POS)
#define Z_MAX_LENGTH (Z_MAX_POS - Z_MIN_POS)
//============================ Bed Auto Leveling ============================


//#define ENABLE_AUTO_BED_LEVELING // Delete the comment to enable (remove // at the start of the line)
#define Z_PROBE_REPEATABILITY_TEST  // If not commented out, Z-Probe Repeatability test will be included if Auto Bed Leveling is Enabled.


#ifdef ENABLE_AUTO_BED_LEVELING


// There are 2 different ways to pick the X and Y locations to probe:
```

```
//  - "grid" mode
//    Probe every point in a rectangular grid
//    You must specify the rectangle, and the density of sample points
//    This mode is preferred because there are more measurements.
//    It used to be called ACCURATE_BED_LEVELING but "grid" is more descriptive

//  - "3-point" mode
//    Probe 3 arbitrary points on the bed (that aren't colinear)
//    You must specify the X & Y coordinates of all 3 points

#define AUTO_BED_LEVELING_GRID
// with AUTO_BED_LEVELING_GRID, the bed is sampled in a
// AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTSxAUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS grid
// and least squares solution is calculated
// Note: this feature occupies 10'206 byte
#ifdef AUTO_BED_LEVELING_GRID

// set the rectangle in which to probe
#define LEFT_PROBE_BED_POSITION 15
#define RIGHT_PROBE_BED_POSITION 170
#define BACK_PROBE_BED_POSITION 180
#define FRONT_PROBE_BED_POSITION 20

// set the number of grid points per dimension
// I wouldn't see a reason to go above 3 (=9 probing points on the bed)
#define AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS 2



#else  // not AUTO_BED_LEVELING_GRID
// with no grid, just probe 3 arbitrary points.  A simple cross-product
// is used to esimate the plane of the print bed

#define ABL_PROBE_PT_1_X 15
#define ABL_PROBE_PT_1_Y 180
#define ABL_PROBE_PT_2_X 15
#define ABL_PROBE_PT_2_Y 20
#define ABL_PROBE_PT_3_X 170
#define ABL_PROBE_PT_3_Y 20

#endif // AUTO_BED_LEVELING_GRID
```

```
// these are the offsets to the probe relative to the extruder tip (Hotend - Probe)
#define X_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER -25
#define Y_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER -29
#define Z_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER -12.35

#define Z_RAISE_BEFORE_HOMING 4       // (in mm) Raise Z before homing (G28) for Probe Clearance.
// Be sure you have this distance over your Z_MAX_POS in case

#define XY_TRAVEL_SPEED 150         // X and Y axis travel speed between probes, in mm/min

#define Z_RAISE_BEFORE_PROBING 15    //How much the extruder will be raised before traveling to the first probing point.
#define Z_RAISE_BETWEEN_PROBINGS 5   //How much the extruder will be raised when traveling from between next probing points

//#define Z_PROBE_SLED // turn on if you have a z-probe mounted on a sled like those designed by Charles Bell
//#define SLED_DOCKING_OFFSET 5 // the extra distance the X axis must travel to pickup the sled. 0 should be fine but you can push it further if you'd like.

//If defined, the Probe servo will be turned on only during movement and then turned off to avoid jerk
//The value is the delay to turn the servo off after powered on - depends on the servo speed; 300ms is good value, but you can try lower it.
// You MUST HAVE the SERVO_ENDSTOPS defined to use here a value higher than zero otherwise your code will not compile.

//  #define PROBE_SERVO_DEACTIVATION_DELAY 300


//If you have enabled the Bed Auto Leveling and are using the same Z Probe for Z Homing,
//it is highly recommended you let this Z_SAFE_HOMING enabled!!!

#define Z_SAFE_HOMING   // This feature is meant to avoid Z homing with probe outside the bed area.
// When defined, it will:
// - Allow Z homing only after X and Y homing AND stepper drivers still enabled
// - If stepper drivers timeout, it will need X and Y homing again before Z homing
// - Position the probe in a defined XY point before Z Homing when homing all axis (G28)
// - Block Z homing only when the probe is outside bed area.

#ifdef Z_SAFE_HOMING

#define Z_SAFE_HOMING_X_POINT (X_MAX_LENGTH/2)     // X point for Z homing when homing all axis (G28)
```

```
#define Z_SAFE_HOMING_Y_POINT (Y_MAX_LENGTH/2)     // Y point for Z homing when homing all axis (G28)


#endif


#endif // ENABLE_AUTO_BED_LEVELING



// The position of the homing switches
//#define MANUAL_HOME_POSITIONS  // If defined, MANUAL_*_HOME_POS below will be used
//#define BED_CENTER_AT_0_0  // If defined, the center of the bed is at (X=0, Y=0)


//Manual homing switch locations:
// For deltabots this means top and center of the Cartesian print volume.
#define MANUAL_X_HOME_POS 0
#define MANUAL_Y_HOME_POS 0
#define MANUAL_Z_HOME_POS 0
//#define MANUAL_Z_HOME_POS 402 // For delta: Distance between nozzle and print surface after homing.


//// MOVEMENT SETTINGS
#define NUM_AXIS 4 // The axis order in all axis related arrays is X, Y, Z, E
#define HOMING_FEEDRATE {70*60, 70*60, 70*60, 0}  // set the homing speeds (mm/min)


// default settings


#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT   {160,160,160,113.28}  // default steps per unit for Ultimaker
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE          {10, 10, 5, 45}    // (mm/sec)
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION      {9000,9000,100,10000}     // X, Y, Z, E maximum start speed for accelerated moves. E default values are good for Skeinforge 40+, for older versions raise them a lot.


#define DEFAULT_ACCELERATION          3000     // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for printing moves
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION  3000     // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for retracts


// Offset of the extruders (uncomment if using more than one and relying on firmware to position when changing).
// The offset has to be X=0, Y=0 for the extruder 0 hotend (default extruder).
// For the other hotends it is their distance from the extruder 0 hotend.
// #define EXTRUDER_OFFSET_X {0.0, 20.00} // (in mm) for each extruder, offset of the hotend on the X axis
// #define EXTRUDER_OFFSET_Y {0.0, 5.00}  // (in mm) for each extruder, offset of the hotend on the Y axis
```

```
// The speed change that does not require acceleration (i.e. the software might assume it can be done instantaneously)
#define DEFAULT_XYJERK                20.0    // (mm/sec)
#define DEFAULT_ZJERK                 0.8     // (mm/sec)
#define DEFAULT_EJERK                 5.0    // (mm/sec)


//===========================================================================
//=============================Additional Features===========================
//===========================================================================


// Custom M code points
#define CUSTOM_M_CODES
#ifdef CUSTOM_M_CODES
#define CUSTOM_M_CODE_SET_Z_PROBE_OFFSET 851
#define Z_PROBE_OFFSET_RANGE_MIN -15
#define Z_PROBE_OFFSET_RANGE_MAX -5
#endif



// EEPROM
// The microcontroller can store settings in the EEPROM, e.g. max velocity...
// M500 - stores parameters in EEPROM
// M501 - reads parameters from EEPROM (if you need reset them after you changed them temporarily).
// M502 - reverts to the default "factory settings".  You still need to store them in EEPROM afterwards if you want to.
//define this to enable EEPROM support
//#define EEPROM_SETTINGS
//to disable EEPROM Serial responses and decrease program space by ~1700 byte: comment this out:
// please keep turned on if you can.
//#define EEPROM_CHITCHAT


// Preheat Constants
#define PLA_PREHEAT_HOTEND_TEMP 190
#define PLA_PREHEAT_HPB_TEMP 0
#define PLA_PREHEAT_FAN_SPEED 100   // Insert Value between 0 and 255

#define ABS_PREHEAT_HOTEND_TEMP 220
#define ABS_PREHEAT_HPB_TEMP 0
#define ABS_PREHEAT_FAN_SPEED 100   // Insert Value between 0 and 255


//LCD and SD support
//#define ULTRA_LCD  //general LCD support, also 16x2
//#define DOGLCD  // Support for SPI LCD 128x64 (Controller ST7565R graphic Display Family)
```

```
//#define SDSUPPORT // Enable SD Card Support in Hardware Console

//#define SDSLOW // Use slower SD transfer mode (not normally needed - uncomment if you're getting volume init error)

//#define SD_CHECK_AND_RETRY // Use CRC checks and retries on the SD communication

//#define ENCODER_PULSES_PER_STEP 1 // Increase if you have a high resolution encoder

//#define ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM 5 // Set according to ENCODER_PULSES_PER_STEP or your liking

//#define ULTIMAKERCONTROLLER //as available from the Ultimaker online store.

//#define ULTIPANEL  //the UltiPanel as on Thingiverse

//#define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_HZ 1000        // this is the tone frequency the buzzer plays when on UI feedback. ie Screen Click

//#define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_DURATION_MS 100 // the duration the buzzer plays the UI feedback sound. ie Screen Click


// The MaKr3d Makr-Panel with graphic controller and SD support

// http://reprap.org/wiki/MaKr3d_MaKrPanel

//#define MAKRPANEL


// The RepRapDiscount Smart Controller (white PCB)

// http://reprap.org/wiki/RepRapDiscount_Smart_Controller

//#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER


// The GADGETS3D G3D LCD/SD Controller (blue PCB)

// http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.3/1.4_GADGETS3D_Shield_with_Panel

//#define G3D_PANEL


// The RepRapDiscount FULL GRAPHIC Smart Controller (quadratic white PCB)

// http://reprap.org/wiki/RepRapDiscount_Full_Graphic_Smart_Controller

//

//    ==>    REMEMBER    TO    INSTALL    U8glib    to    your    ARDUINO    library    folder: http://code.google.com/p/u8glib/wiki/u8glib

#define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER


// The RepRapWorld REPRAPWORLD_KEYPAD v1.1

// http://reprapworld.com/?products_details&products_id=202&cPath=1591_1626

//#define REPRAPWORLD_KEYPAD

//#define REPRAPWORLD_KEYPAD_MOVE_STEP 10.0 // how much should be moved when a key is pressed, eg 10.0 means 10mm per click


// The Elefu RA Board Control Panel

// http://www.elefu.com/index.php?route=product/product&product_id=53

//    REMEMBER    TO    INSTALL    LiquidCrystal_I2C.h    in    your    ARUDINO    library    folder: https://github.com/kiyoshigawa/LiquidCrystal_I2C

//#define RA_CONTROL_PANEL
```

```
//automatic expansion
#if defined (MAKRPANEL)
#define DOGLCD
#define SDSUPPORT
#define ULTIPANEL
#define NEWPANEL
#define DEFAULT_LCD_CONTRAST 17
#endif

#if defined (REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER)
#define DOGLCD
#define U8GLIB_ST7920
#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER
#endif

#if defined(ULTIMAKERCONTROLLER) || defined(REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER) || defined(G3D_PANEL)
#define ULTIPANEL
#define NEWPANEL
#endif

#if defined(REPRAPWORLD_KEYPAD)
#define NEWPANEL
#define ULTIPANEL
#endif
#if defined(RA_CONTROL_PANEL)
#define ULTIPANEL
#define NEWPANEL
#define LCD_I2C_TYPE_PCA8574
#define LCD_I2C_ADDRESS 0x27   // I2C Address of the port expander
#endif

//I2C PANELS

//#define LCD_I2C_SAINSMART_YWROBOT
#ifdef LCD_I2C_SAINSMART_YWROBOT
//          This          uses          the          LiquidCrystal_I2C          library          (
https://bitbucket.org/fmalpartida/new-liquidcrystal/wiki/Home )
// Make sure it is placed in the Arduino libraries directory.
#define LCD_I2C_TYPE_PCF8575
#define LCD_I2C_ADDRESS 0x27   // I2C Address of the port expander
#define NEWPANEL
#define ULTIPANEL
```

```
#endif

// PANELOLU2 LCD with status LEDs, separate encoder and click inputs
//#define LCD_I2C_PANELOLU2
#ifdef LCD_I2C_PANELOLU2
// This uses the LiquidTWI2 library v1.2.3 or later ( https://github.com/lincomatic/LiquidTWI2 )
// Make sure the LiquidTWI2 directory is placed in the Arduino or Sketchbook libraries subdirectory.
// (v1.2.3 no longer requires you to define PANELOLU in the LiquidTWI2.h library header file)
// Note: The PANELOLU2 encoder click input can either be directly connected to a pin
//       (if BTN_ENC defined to != -1) or read through I2C (when BTN_ENC == -1).
#define LCD_I2C_TYPE_MCP23017
#define LCD_I2C_ADDRESS 0x20 // I2C Address of the port expander
#define LCD_USE_I2C_BUZZER //comment out to disable buzzer on LCD
#define NEWPANEL
#define ULTIPANEL

#ifndef ENCODER_PULSES_PER_STEP
#define ENCODER_PULSES_PER_STEP 4
#endif

#ifndef ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM
#define ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM 1
#endif



#ifdef LCD_USE_I2C_BUZZER
#define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_HZ 1000
#define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_DURATION_MS 100
#endif

#endif


// Panucatt VIKI LCD with status LEDs, integrated click & L/R/U/P buttons, separate encoder inputs
//#define LCD_I2C_VIKI
#ifdef LCD_I2C_VIKI
// This uses the LiquidTWI2 library v1.2.3 or later ( https://github.com/lincomatic/LiquidTWI2 )
// Make sure the LiquidTWI2 directory is placed in the Arduino or Sketchbook libraries subdirectory.
// Note: The pause/stop/resume LCD button pin should be connected to the Arduino
//       BTN_ENC pin (or set BTN_ENC to -1 if not used)
#define LCD_I2C_TYPE_MCP23017
#define LCD_I2C_ADDRESS 0x20 // I2C Address of the port expander
```

```
#define LCD_USE_I2C_BUZZER //comment out to disable buzzer on LCD (requires LiquidTWI2 v1.2.3 or later)
#define NEWPANEL
#define ULTIPANEL
#endif


// Shift register panels
// ----------------------
// 2 wire Non-latching LCD SR from:
// https://bitbucket.org/fmalpartida/new-liquidcrystal/wiki/schematics#!shiftregister-connection
//#define SR_LCD
#ifdef SR_LCD
#define SR_LCD_2W_NL    // Non latching 2 wire shift register
//#define NEWPANEL
#endif



#ifdef ULTIPANEL
//  #define NEWPANEL  //enable this if you have a click-encoder panel
#define SDSUPPORT
#define ULTRA_LCD
#ifdef DOGLCD // Change number of lines to match the DOG graphic display
#define LCD_WIDTH 20
#define LCD_HEIGHT 5
#else
#define LCD_WIDTH 20
#define LCD_HEIGHT 4
#endif
#else //no panel but just LCD
#ifdef ULTRA_LCD
#ifdef DOGLCD // Change number of lines to match the 128x64 graphics display
#define LCD_WIDTH 20
#define LCD_HEIGHT 5
#else
#define LCD_WIDTH 16
#define LCD_HEIGHT 2
#endif
#endif
#endif


// default LCD contrast for dogm-like LCD displays
#ifdef DOGLCD
```

```
# ifndef DEFAULT_LCD_CONTRAST
#  define DEFAULT_LCD_CONTRAST 32
# endif
#endif

// Increase the FAN pwm frequency. Removes the PWM noise but increases heating in the FET/Arduino
//#define FAST_PWM_FAN

// Temperature status LEDs that display the hotend and bet temperature.
// If all hotends and bed temperature and temperature setpoint are < 54C then the BLUE led is on.
// Otherwise the RED led is on. There is 1C hysteresis.
//#define TEMP_STAT_LEDS

// Use software PWM to drive the fan, as for the heaters. This uses a very low frequency
// which is not ass annoying as with the hardware PWM. On the other hand, if this frequency
// is too low, you should also increment SOFT_PWM_SCALE.
//#define FAN_SOFT_PWM

// Incrementing this by 1 will double the software PWM frequency,
// affecting heaters, and the fan if FAN_SOFT_PWM is enabled.
// However, control resolution will be halved for each increment;
// at zero value, there are 128 effective control positions.
#define SOFT_PWM_SCALE 0

// M240  Triggers a camera by emulating a Canon RC-1 Remote
// Data from: http://www.doc-diy.net/photo/rc-1_hacked/
// #define PHOTOGRAPH_PIN     23

// SF send wrong arc g-codes when using Arc Point as fillet procedure
//#define SF_ARC_FIX

// Support for the BariCUDA Paste Extruder.
//#define BARICUDA

//define BlinkM/CyzRgb Support
//#define BLINKM

/*********************************************************************W
 * R/C SERVO support
 * Sponsored by TrinityLabs, Reworked by codexmas
 **********************************************************************/
```

```
// Number of servos
//
// If you select a configuration below, this will receive a default value and does not need to be set manually
// set it manually if you have more servos than extruders and wish to manually control some
// leaving it undefined or defining as 0 will disable the servo subsystem
// If unsure, leave commented / disabled
//
//#define NUM_SERVOS 3 // Servo index starts with 0 for M280 command


// Servo Endstops
//
// This allows for servo actuated endstops, primary usage is for the Z Axis to eliminate calibration or bed height changes.
// Use M206 command to correct for switch height offset to actual nozzle height. Store that setting with M500.
//
//#define SERVO_ENDSTOPS {-1, -1, 0} // Servo index for X, Y, Z. Disable with -1
//#define SERVO_ENDSTOP_ANGLES {0,0, 0,0, 70,0} // X,Y,Z Axis Extend and Retract angles


/**********************************************************************W
 * Support for a filament diameter sensor
 * Also allows adjustment of diameter at print time (vs  at slicing)
 * Single extruder only at this point (extruder 0)
 *
 * Motherboards
 * 34 - RAMPS1.4 - uses Analog input 5 on the AUX2 connector
 * 81 - Printrboard - Uses Analog input 2 on the Aux 2 connector
 * 301 - Rambo  - uses Analog input 3
 * Note may require analog pins to be defined for different motherboards
 **********************************************************************/
#define FILAMENT_SENSOR
#define FILAMENT_SENSOR_EXTRUDER_NUM    0   //The number of the extruder that has the filament sensor (0,1,2)
#define MEASUREMENT_DELAY_CM    14  //measurement delay in cm.  This is the distance from filament sensor to middle of barrel


#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA  3.0  //Enter the diameter (in mm) of the filament generally used (3.0 mm or 1.75 mm) - this is then used in the slicer software.  Used for sensor reading validation
#define MEASURED_UPPER_LIMIT          3.30  //upper limit factor used for sensor reading validation in mm
#define MEASURED_LOWER_LIMIT           1.90  //lower limit factor for sensor reading validation in mm
#define MAX_MEASUREMENT_DELAY   20  //delay buffer size in bytes (1 byte = 1cm)- limits maximum measurement delay allowable (must be larger than MEASUREMENT_DELAY_CM  and lower number saves RAM)
```

```
//defines used in the code

#define DEFAULT_MEASURED_FILAMENT_DIA   DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA   //set measured to nominal initially

#include "Configuration_adv.h"

#include "thermistortables.h"


#endif //__CONFIGURATION_H
```

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발 성과임을 밝혀야 합니다.

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