creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000322170

2020년 8월
석사학위 논문

FDM방식 3D프린팅 출력물의 표면 개선후 강도 평가

조선대학교 대학원

용접 · 접합과학공학과

소 순 권

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

FDM방식 3D프린팅 출력물의 표면 개선후 강도 평가

Improvement of surface strength in printed part manufactured by FDM 3D printer

2020년 8월 28일

조선대학교 대학원

용접 · 접합과학공학과

소 순 권

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

FDM방식 3D프린팅 출력물의 표면 개선후 강도 평가

지도교수 방 희 선

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2020년 5월

조선대학교 대학원

용접 · 접합과학공학과

소 순 권

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

소순권의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 조교수 손윤철 (인)

위 원 조선대학교 교수 방희선 (인)

위 원 조선대학교 특임교수 방한서 (인)

2020년 6월

조선대학교 대학원

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

CONTENTS

List of Figures ····· III
List of Tables ····· V
Abstract ····· VI

1장. 서 론 ····· 1
1.1 연구 배경 ····· 1
1.2 연구 동향 ····· 3
1.2.1 국내 기술 동향 ····· 3
1.2.2 국외 기술 동향 ····· 5
1.3 관련 이론 ····· 7
1.3.1 3D프린팅 ····· 7
1.3.2 FDM방식 3D프린팅 ····· 12
1.4 연구 목적 및 방법 ····· 14

2장. 3D프린팅 출력물 표면 개선후 강도 실험 ····· 15
2.1 실험재료와 방법 ····· 15
2.1.1 FDM방식 3D프린팅 출력물 소재 및 적층 조건 ····· 15
2.1.2 열풍열처리 조건 ····· 18
2.1.3 인장시험 ····· 21

2.2 강도 특성 ····· 23

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2.1 FDM방식 3D프린팅 출력물 치수 오차 ····· 23
2.2.2 열풍열처리 후 치수 변화 ····· 26
2.2.3 열풍열처리 전·후 인장시험 결과 ····· 32

3장. 3D프린팅 출력물의 변형에 대한 구조해석 ····· 34
3.1 구조해석 방법 ····· 34
3.1.1 유동 해석 ····· 34
3.2 사출성형 해석 모델 및 조건 ····· 37
3.3 강도 특성 ····· 39
3.3.1 충진 해석 결과 ····· 39
3.3.2 보압 해석 결과 ····· 43
3.3.3 냉각 해석 결과 ····· 44
3.3.4 변형 해석 결과 ····· 45

4 장. 결 론 ····· 46

참고문헌 ····· 47

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Figures

Fig. 1.1 3D프린팅 프로세스 ····· 2
Fig. 1.2 3D프린팅 출력물 ····· 2
Fig. 1.3 3D프린팅 세계 시장 전망 ····· 5
Fig. 1.4 SLA 3D프린팅 방식 ····· 8
Fig. 1.5 SLS 3D프린팅 방식 ····· 9
Fig. 1.6 Polyjet 3D프린팅 원리 ····· 10
Fig. 1.7 FDM 3D프린팅 원리 ····· 13
Fig. 2.1 FDM방식 3D프린터 ····· 17
Fig. 2.2 열풍열처리 원리 ····· 18
Fig. 2.3 열풍열처리후 시험편의 변형 정도 ····· 19
Fig. 2.4 열풍열처리 장비 ····· 19
Fig. 2.5 인장 시험기 ····· 21
Fig. 2.6 인장실험 시험편 (ASTM D638 TYPE 1) ····· 22
Fig. 2.7 적층 방향에 따른 인장강도 ····· 22
Fig. 2.8 출력물의 길이 변화량 비교 ····· 24
Fig. 2.9 출력물의 폭 변화량 비교 ····· 24
Fig. 2.10출력물의 두께 변화량 비교 ····· 25
Fig. 2.11 열풍열처리 150℃시 시험편 변화 ····· 27
Fig. 2.12 열풍열처리 200℃시 시험편 변화 ····· 27
Fig. 2.13 열풍열처리 250℃시 시험편 변화 ····· 28
Fig. 2.14 열풍열처리 300℃시 시험편 변화 ····· 28
Fig. 2.15 열풍열처리 전.후 길이 변화량 ····· 30
Fig. 2.16 열풍열처리 전.후 폭 화량 ····· 30
Fig. 2.17 열풍열처리 전.후 두께 변화량 ····· 31
Fig. 2.18 열풍열처리 전.후 PLA 시험편 인장강도 ····· 32
Fig. 2.19 열풍열처리 전.후 ABS 시험편 인장강도 ····· 32
Fig. 2.20 인장실험 완료 시험편 ····· 33
Fig. 3.1 솔리드 메쉬 ····· 37

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 3.2 시간경과에 따른 충진율 ····· 40
Fig. 3.3 충진 압력 ····· 41
Fig. 3.4 충진 최대 전단 응력 ····· 41
Fig. 3.5 충진 밀도 ····· 42
Fig. 3.6 보압 압력 ····· 43
Fig. 3.7 냉각 평균 온도 ····· 44
Fig. 3.8 뒤틀림 변형량 ····· 45

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Table

Table. 1.1 국내 3D프린팅 시장 규모 ····· 4
Table. 1.2 3D프린팅 방식 및 재료 ····· 7
Table. 2.1 실험 소재 물성치 ····· 16
Table. 2.2 FDM방식 3D프린팅 출력 설정 ····· 16
Table. 2.3 열풍열처리 조건 ····· 20
Table. 2.4 FDM방식 3D프린팅 출력물 측정값 ····· 23
Table. 2.5 열풍열처리 온도별 시험편 변화량 ····· 26
Table. 2.6 열풍열처리 200℃ 시험편 치수 변화량 ····· 29
Table. 2.7 열풍열처리 전.후 인장강도 비교 ····· 33
Table. 3.1 사출성형해석 조건 ····· 38

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Improvement of surface strength in printed part manufactured by FDM 3D printer

So Sun Kwon
Advisor : Prof. Bang, Hee-Seon, Ph.D.
Department of Welding and Joining Science Engineering,
Graduate School of Chosun University

In the 3D printing technologyies, FDM 3D printers have a high proportion in the world. However, it is less useful because of the strength and surface roughness of the printed product. As a way to improve the strength of the FDM 3D printer output, the surface is improved by applying acetone or fumigation on the surface of the output.

In this study, the surface of 3D printer output was evaluated as the main focus with the comparison of before and after surface improvement and strength improvement using hot air heat source. In addition, filling analysis, pressure analysis, cooling analysis, and deformation analysis were performed with injection molding analysis.

it is confirmed that the deformation of the 3D printer output is less than 1% in 165mm of the design data value being 0.3% of the PLA output and 0.6% of the ABS output. Also, it is proved that injection molding analysis showed a difference of

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

0.3% to 0.1% between 3D printer output with 0.5% ABS output and injection molding analysis with 0.6% PLA output.

When exposed with 150mm distance between nozzle and output at 200° C of heat treatment for 15 seconds, the value of the product deformation was less than 1%. There were no changes in dimensions and surfaces at 100° C to 150° C, however, the output started to be twisted and bent at 250° C to 300° C.

The average tensile strength value before heat treatment of PLA output was 9.67 N/㎟, and the average tensile strength value after heat treatment was 24.17 N/㎟, which improved tensile strength by 14.5/㎟. The average tensile strength value before heat treatment of the ABS output was 8.36 N/㎟, and the average tensile strength value after heat treatment was 19.11 N/㎟, indicating that the tensile strength was improved by 10.75/㎟.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1장. 서 론

1.1 연구 배경

3D프린팅에 대해 국내에서는 “3차원 형상의 제품을 높이에 따른 2차원 단면 데이터로 분할하여 각각의 단면을 제작하고 이를 적층함으로써 원하는 형상의 제품을 생산하는 방식”으로 정의 하였으며 국제적인 ASTM에서는 “3D CAD 데이터를 바탕으로 재료를 적층하여 물체를 제조하는 방법”, Gartner는 “연속적인 계층의 물질을 뿌리면서 3차원 물체를 만들어내는 부가 제조 기술의 일종” 그리고 MRI는 “3D CAD 데이터를 바탕으로 컴퓨터에서 얇은 단면의 형상을 계산하여 그 결과를 바탕으로 재료를 적층하여 3차원 조형물을 제조하는 기술”이라고 각각 정의하고 있다.[1]
몇 년 전까지 만 해도 3D프린팅 기술은 특정 분야에서만 사용되던 제한적인 부분 있었지만 현재는 가정에서 개인용으로 소장되어 가고 있다. 프린팅 기술도 하루가 다르게 발전 되어 설계자나 디자이너가 디자인한 모델을 출력하여 형상만 확인 하던 부분에서, 현재는 프린팅 출력물을 생활용품, 기계부품, 금형부품, 또는 프린팅 후 실 제품으로 사용 되고 있다.
프린팅 소재로는 필라멘트, 분말, 액체, 시트 등이 다양하게 사용되고 있다. 3D프린터는 건설, 전자, 기계, 음식점, 의료, 항공, 보석 등 전 산업 분야에서는 반드시 필요한 기술로 발전 되어 가고 있다.
특히 NASA에서는 우주공간에서 보급품이 보급되지 못한 경우를 고려하여 소재를 부품으로 제작할 수 있는 3D프린터를 준비하고 있으며, 한국 최초 우주인 후보였던 고산는 무중력상태에서 3D프린팅이 가능한 원천기술 확보를 목표로 연구가 진행되고 있다.

3D프린팅 방식 중 FDM방식(Fused Deposition Modeling) 프린팅 보급률은 세계적으로 가장 높은 비율을 차지하고 있으나, 사출기에서 생산되는 제품에 비하여 출력물의 강도와 표면이 거칠다는 이유로 활용도가 떨어지는 실정이다. FDM방식 3D프린팅 출력물의 강도 개선 방법으로 출력물 표면에 아세톤을 칠하거나 훈증처리 등을 하여 표면을 개선하고는 있으나 인체에 유해하고 보호 장비도 반드시 필요하다. 따라서 친환경적인 표면강도 개선방법이 요구되고 있는 실정이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

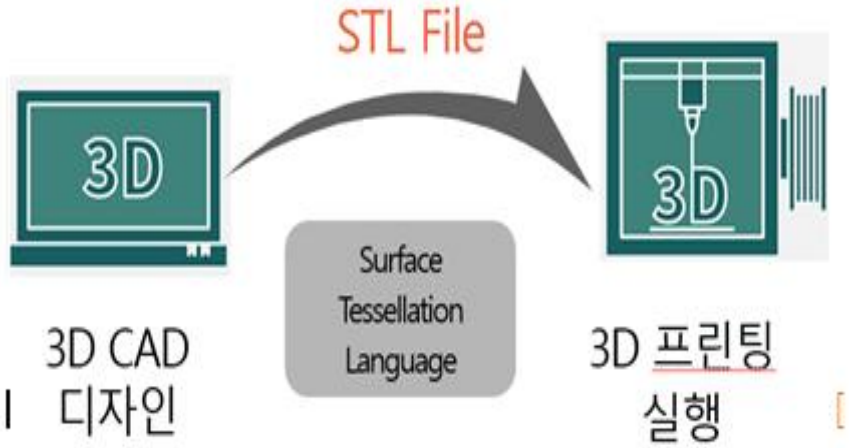


Fig. 1.1 3D프린팅 프로세스

Fig. 1.2 3D프린팅 출력물

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1.2 연구 동향

1.2.1 국내 기술 동향

국내 3D프린팅 제조 및 판매업체로는 로킷, 대건테크, 코봇, 신도리코, 캐리마, (주)스텔라무브, 큐비콘, (주)쓰리디아이템즈 등이 있다. 캐리마 DLP(Digital Light Processing)는 수조에 있는 액상 소재를 쌓는 방식으로 보청기, 보석, 장난감, 등에 맞도록 개발 되였다. 로킷은 오픈소스 기술을 기반으로 노즐을 2개 이상 사용할 수 있는 데스크탑 타입의 3D프린팅을 출시하였다. 인스텍은 DMT기술을 바탕으로 레이저와 금속 분말을 활용한 프린팅을 개발하고 관련된 원천 기술을 확보하였다.

2018년 기준 대한민국은 3D프린팅 산업에 약 450억 원의 비용을 투자했지만, 앞으로 제조 산업의 혁신 기술인 점을 감안하면 매우 미비한 금액이다. 정보통신산업진흥원의 '2018년 3D프린팅 산업실태조사'로 보면 대한민국은 3D프린팅 시장 규모는 3,958억 원으로 2017년 대비 16.3% , 관련기업 수 351사로 16.2% 증가한 것으로 볼 수는 있으나 3D프린팅 관련기업의 82.3%, 141개사의 연간 매출은 10억 원 미만이며, 종사자 인원도 10인 미만이 68.1%, 239개사 이다. 3D프린팅 최고 기술국인 미국의 비해 3D프린팅 기술은 3.3년의 기술 격차가 나고 있다.

FDM 3D프링팅 출력물에 대한 국내 연구 자료로써는
연구자 김상영는 "FDM 방식 3D프린팅 출력물의 화학적 후처리 공정 연구"를 통하여 ABS시편을 아세톤에 담그는 방식의 후처리를 통하여, 시작 5초 동안에 시편의 표면조도가 개선되는 결과를 획득 하였다.[2]

연구자 김성수는 "FDM방식 3D Printer 출력물의 치수 오차에 관한 연구"통하여 출력된 출력물을 분석하여 FDM 방식의 3D Printer가 가진 한계 및 이에 대한 기초적인 가이드라인을 제공하였다.[3]

FDM방식 3D프링팅 출력물의 표면 개선에 따른 연구로써는
연구자 박병윤는 "강도개선를 위한 FFF방식 3D 프린팅의 후처리 연구"에서는 출력물

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

의 기계적 강도 향상을 목적으로 열화상 센서를 이용하여 3D 프린팅 출력물에 열전달 과정에 대한 연구가 이루어졌다.[4]

FDM방식 3D 출력물의 강도 개선을 위해 적층 방향 변경, 내부 채움 변화, 외벽두께 변경 등 다양한 방법으로 실험을 진행하고 있으나 열풍열처리를 통한 표면 개선에 대한 연구는 미비한 실정이다.

Table. 1.1 국내 3D프린팅 시장 규모

(단위: 백만 원)

구분	2016	2017	2018	2019(f)	2020(f)	2022(f)	CAGR (2016~2018)
장비	142,237	147,885	178,412	215,165	259,489	312,944	17.1%
소재	27,057	37,047	43,741	51,658	61,008	72,051	21.6%
S/W	79,099	87,474	94,131	101,285	108,983	117,265	8.2%
서비스	48,752	68,016	79,561	93,086	108,911	127,426	21.2%
합계	297,145	340,423	395,845	461,194	538,391	629,685	16.2%

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1.2.2 국외 기술 동향

Fig. 1.3는 2017년 기준 국가별 시장 점유율로 보면 3D프린팅 신기술을 많이 보유한 미국이 36% 1위, 독일 11.2% 2위, 일본 8.3% 3위, 중국 8.3% 4위이며 한국은 4.8% 8위이다.

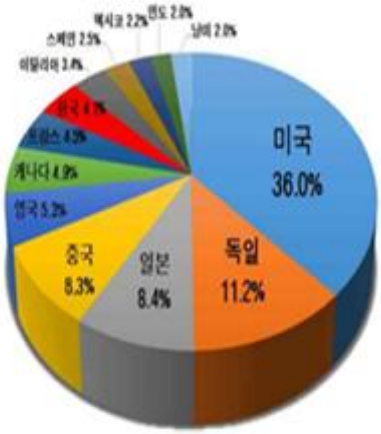


Fig. 1.3 3D프린팅 국가별 시장 점유율

세계적인 3D프린팅 시장 규모로는 2017년 기준 73.4억 달러로 전년대비 21% 성장 하였으며 2023년까지 273억 달러로 전망 하고 있다. 3D프린팅 산업 활용분야에서 기계부야에서 20.0%, 항공·우주분야 18.9%, 자동차 16%, 가전 11.7%, 의료 11.3% 순으로 활용 되고 있으며, 미국의 3D Systems사는 Vertex사, INUS, Z corp.등 40여 개 사를 인수합병 등을 통한 3D프린팅 시장을 확대 하였으며, HP사는 기존 산업용 고분자 3D프린팅 장비 대비 출력 속도가 10배 이상 빠른 장비를 출시하였다. GE사는 LEAP엔진용 금속연료노즐을 2020년까지 12만개 생산 계획으로 기업 간 기술선점 경쟁이 가속되고 있다. 이에 3차원 모델링 및 시뮬레이션, 콘트롤러 등의 하드웨어 및 소프트웨어가 융합 발전을 하고 있다.

3D프린팅 관련 2017년 기준 세계 특허는 998건으로 2016년 대비 29.3% 증가되었으며, 소프트웨어·장비·소재가 35%, 산업 활용 특허가 65% 차지하고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

최근 세계 3D프린팅 기술 방향은 플라스틱 계열 출력물에서 금속 3D프린팅 출력 방식으로 변화되고 있으며 Boeing사는 공기 공급배관, GE사는 터빈 블라이드, 미국의 UTC사는 항공기 엔진 등의 제작을 금속 프린터를 이용하여 출력하고 있다.

FDM방식 3D프링팅 출력물의 표면 개선에 따른 국외 연구로써는
연구자 Alsoufi는 “FDM 3D 프린터로 제조한 인쇄 부품의 표면 거칠기 성능”에 대한 연구을 통하여 PLA 수지의 적층방향에 따른 강도 변화를 실험하였다.[5]

연구자 Azhar Equbal, Anoop Kumar Sood는 “FDM 출력물에 화학적 증착 기술을 이용한 금속화”대하여 연구하였으며, ABS 수지에 무전해 구리 증착법과 크롬산을 이용하여 황산과 과산화수소를 혼합하여 증착시키는 방법으로 제품 표면 및 강도 개선에 대한 실험을 실시하였다.[6]

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1.3 관련 이론

1.3.1 3D프린팅

1987년 3D System 사에서 개발된 3D프린터는 SLA방식(Stereo Lithography Apparatus)으로 RP장비(Rapid Prototyping)라고 불려졌다. 이후 미국 ASTM에서 AM가공(Additive Manufacturing)이라는 명칭으로 사용 하였으며, 현재는 3D프린팅(Three- Dimensional Printing)으로 많이 알려지면서 두 명칭 모두 사용하고 있다.[7]
적층 제조(Additive Manufacturing)라고도 불리며, 장점으로는 수정과 공유가 쉽다.
3D프린팅 공정은 디자인SW를 이용한 도면 제작을 하는 모델링, 프린팅, 지지대 제거 및 연마 공정으로 3단계로 구분할 수 있다.
3D프린팅 종류는 동작 및 출력 방식으로 나뉘는데 대표적으로는 FDM 방식이다.
FDM 방식 이외에 SLA방식 (Stereo Lithography Apparatus), SLS방식 (Selective Laser Sintering), 폴리젯방식, DLP방식(Digital Light Processing) 등으로 구분된다.

Table. 1.2 3D프린팅 방식 및 재료

방 식		재 료
소재 압출 방식	FFF (FDM)	점토, 식품,금 속, 고무, 실리콘, 열가소성 수지
광 조형 방식	SLA, DLP	광 경화성 수지
재료 분사 방식	MJM	광 경화성 수지
접착제 분사 방식	PBIH	플라스틱
파우더 방식	SLS	메탈 파우더r
시트 적층 방식	LOM	종이, 금속 호일, 플라스틱 필림
고 에너지직접조사 방식	LMD	금속

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 1.4는 SLA방식 3D프린팅은 광 조형 방식의 가장 대표적인 것은 SLA(StereoLithography Apparatus) 기술이다. 에폭시계열의 광경화성 수지나 아크릴 수지가 들어 있는 수조에 자외선(Ultra Violet,UV) 레이저를 주사하여 수지 표면에 층을 형성하고 이를 반복하여 적층함으로써 3차원 모델을 만든다. 다른 3차원 프린팅 방식에 비해 치수 정밀도가 높고 프린팅 속도가 빠르며 표면 조도가 매우 우수 하다. 하지만 3D프린팅 재료 가격이 고가 이며, 재료의 색상에 제한이 따르는 문제점이 있다. 이전에 경화되어 만들어진 층 위에 새로이 광경화성 수지를 도포하기 위해서는 플랫폼을 아래로 이송시켜 새로운 광경화성 수지가 덮이게 하거나, 또는 수조 내부에 층 높이만큼 광경화성 수지가 채워지도록 추가하는 방법이 있다.

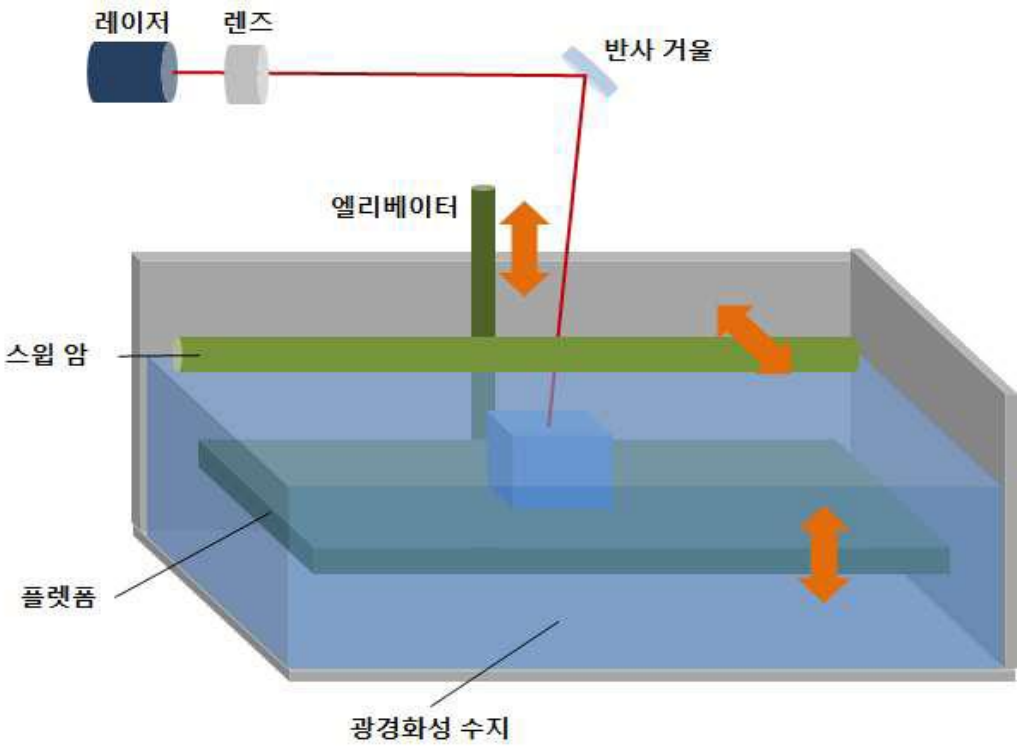


Fig. 1.4 SLA 3D프린팅 방식

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 1.5은 SLS방식은 레이저 빛을 이용하여 고체상태의 작은 분말 입자를 녹여 적층 조형방식으로 가장 많이 사용되는 소재는 플라스틱 분말이 사용된다. 플라스틱 소재는 가격이 저렴하며, 핸드폰 케이스, 의류 등 다양한 분야에 적용 되고 있다. 나일론소재, 모래, 세라믹분말, 금속등 다양한 재료가 사용되고 있으며 분말재료 속에서 소결 적층 조형이 이루어지므로 형상에 따른 별도의 지지대는 필요 없다. 하지만 후가공 작업 시 표면처리 작업이 필요하며 재료비가 고가이다.

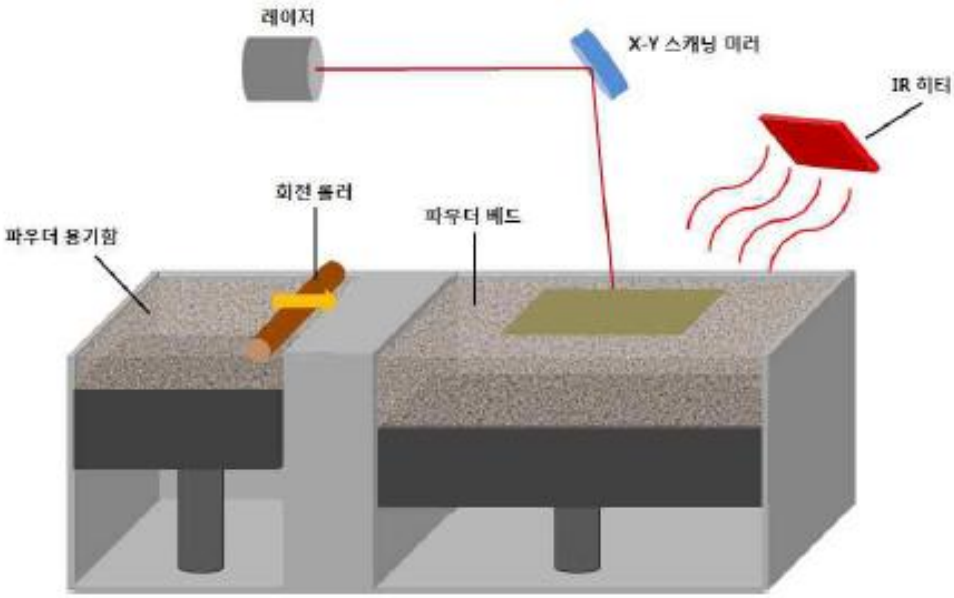


Fig. 1.5 SLS 3D프린팅 방식

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 1.6는 Polyjet방식은 출력물의 정밀도가 요구되는 제품에 많이 사용된다. 출력 소재는 광경화성 수지로 액체 상태이다. 출력재료를 다수의 노즐을 이용하여 액상의 광경화성수지를 단면에 뿌리며, 동시에 자외선 불빛으로 수지를 경화시키며 출력물을 적층하는 방식이다. 작동 방법은 출력노즐과 램프가 조형베드와 평행한 면에서 이동되는 헤드에 부착되어 작동한다. 한 레이어가 조형이 되고 나면, 조형베드가 Z축으로 레이어 두께만큼 이송되며 적층한다. 출력 시 노즐을 통해 제품 재료와 지지대 재료가 구분되며 출력된다. 출력물이 완료되면 조형베드의 제품을 얇은 도구로 떼어 낸다. 장비는 항온 항습이 유지되어야 하기 때문에 장비가 설치된 장소는 20℃ ~ 25℃의 온도를 유지하며, 습도는 50% 이하로 유지해야 한다. Polyjet방식의 출력재료로 사용되는 광경화성 수지는 자외선에서 경화되며 아크릴 계열의 플라스틱으로 조형하는 방법이며 재료 보관은 밀폐 상자에 보관해야 하며 빛에 노출을 피해야 한다.

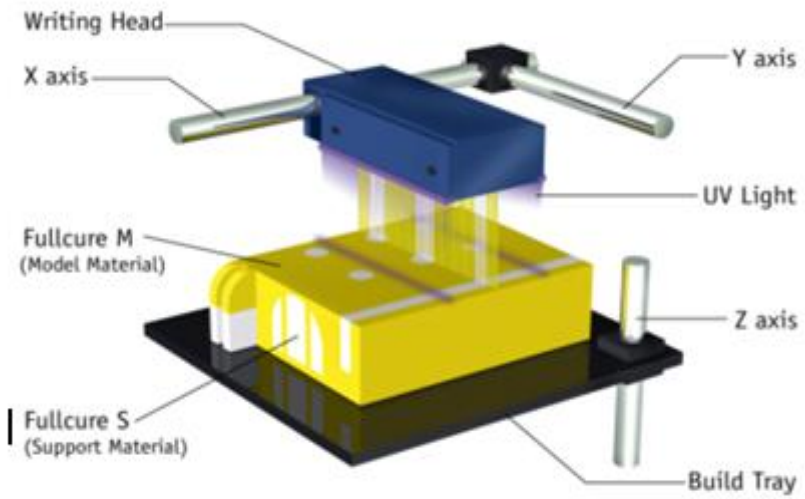


Fig. 1.6 Polyjet 3D프린팅 원리

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3D프린팅 장점은 다품종 소량생산, 제조 공정 단순화, 인건비 절감, 시제품 제작비용 절감 등 시간과 장소에 대하여 구애를 받지 않는다.
소재를 머시닝센터나 주조방법으로는 기하학적인 형상을 자유롭게 제작 할 수 없는 부분이나, 다양한 형상으로 구성된 부품들을 나누어 제작하고 재조립해야 하는 부분에는 활용도가 높다. 출력 자유도도 높기 때문에 다수의 소형부품으로 조합된 제품을 단 하나의 출력물로 프린팅 할 수도 있다. 조립 시 발생 되는 조립누적 공차와 관련하여 설계자는 공차부분에 대한 대안을 세울 필요가 없다. 부품 간 체결을 목적으로 사용되는 리벳이나 볼트, 너트 등을 생략 하여 출력물의 중량을 경량화 할 수 있다. 프레스 제품이나 사출 제품을 소량 생산할 경우 현재는 반드시 금형이 필요 하였으나 3D 프링팅 방식으로 제작 한다면 금형을 제작할 필요가 없이 제품을 생산 할 수 있어 비용 측면이나 생산시간을 절감할 수 있다.또한 설계자가 3D 모델링한 형상을 목업 제품으로 바로 만들 수도 있다. 머시닝센터에서 절삭가공 시 제품과 플랫폼을 연결할 클램핑 작업을 하지 않아도 된다. 제품에 대한 전문 지식 및 기술이 없어도 3D프린팅은 할 수 있다.

3D프린팅 단점은 X,Y,Z축을 이용하여 소재를 미세하게 적층하여 쌓아 올리는 방식이므로 하나의 제품 기준으로 본다면 오랜 시간이 걸린다. 일부 고가의 3D프린팅 소재 역시 특수한 원료를 사용하기에 유지비용이 많이 드는 부분도 있다. FDM 방식 중 ABS 필라멘트는 수축이 심하며 출력 시 플랫폼의 온도가 맞지 않을 경우 바닥부가 플랫폼에 접착이 안 되거나 또는 출력 도중에 플랫폼에서 떨어지거나 밀려 출력을 실패하는 경우가 있다. 정밀 부품 제작 시 가정용으로 제작된 저가형 3D프린팅 기술로는 제품 제작에 어려움이 있고, 출력 후 연마 등 후 가공 공정을 진행 하여야 한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1.3.2 FDM방식 3D프린팅

Fig. 1.7는 FDM방식 3D프린팅이며 플라스틱 소재의 필라멘트 재료를 용융 압출 헤드를 통하여 적층시키는 방식으로서 X, Y축으로 이동하고 플레이트는 Z축으로 이동하면서 제품을 적층한다. 가장 보편적인 기술이다. FDM기술의 특징으로는 재료 압출 방식 중 가장 대표적으로 플라스틱 재료인 필라멘트를 노즐에 투입 하여 노즐의 온도를 이용하여 투입된 필라멘트 소재를 압출 하는 방식이기 때문에 열가소성(Thermoplastic) 재료만을 사용해야 한다.

SLA방식과 비교해서 제작된 제품의 표면 조도나 치수 정밀도가 매우 낮다. 하지만 열가소성 플라스틱 재료로 가격이 저렴하며 인체에 해가 거의 없는 재료로 사용이 되고 있다. 크기가 큰 대형의 제품을 쉽게 제작할 수도 있으며, 다양한 색상의 재료 사용이 가능하다. 사용되는 플라스틱 재료에 따라서 기계적 강도가 높고 내습성이 뛰어난 제품의 제작도 가능하다.

FDM 기술의 원리는 작은 노즐을 통해서 수지를 압출시킨다. 따라서 재료가 압출되는 노즐의 크기가 작을수록 만들어지는 형상의 해상도가 높게 된다. 하지만 노즐의 크기가 작게 되면, 재료가 가지는 점성 등의 특성에 의해서 재료를 압출하기 위해 보다 높은 압력을 가해야 한다. 또한 노즐의 크기가 매우 작으면 재료가 압출되지 않게 되므로 노즐 크기를 작게 만드는 것은 한계가 있다.

재료로 사용되는 열가소성 수지는 노즐에서 토출된 후 바로 굳는 특성이 있다. 주위 온도가 너무 낮게 되면 굳는 속도가 빨라지게 되어 이전 층 위에 접착되지 않는 현상이 발생하기도 한다. 낮은 온도에서 성형되면 노즐에서 토출된 재료가 급격히 냉각되기 때문에, 만들어진 구조물은 잔류 응력을 가지게 되어 추후 변형이 발생할 수도 있다. 따라서 이를 방지하기 위해서 적정한 온도가 유지되는 밀폐된 공간 내부에서 성형하거나, 플랫폼을 가열시켜 온도를 유지하기도 한다.

후 가공이 필요한 대부분의 FDM 장비의 출력물인 경우, 제품 출력 시 표면 정밀도를 크게 높이는 것은 불가능하다. 이에 제품 표면에 후 가공을 하여 표면 거칠기 및 강도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

를 개선시키는 방법으로서 아세톤 등을 이용하여 붓으로 발라 주거나 또는 훈증기 등을 이용 한다.

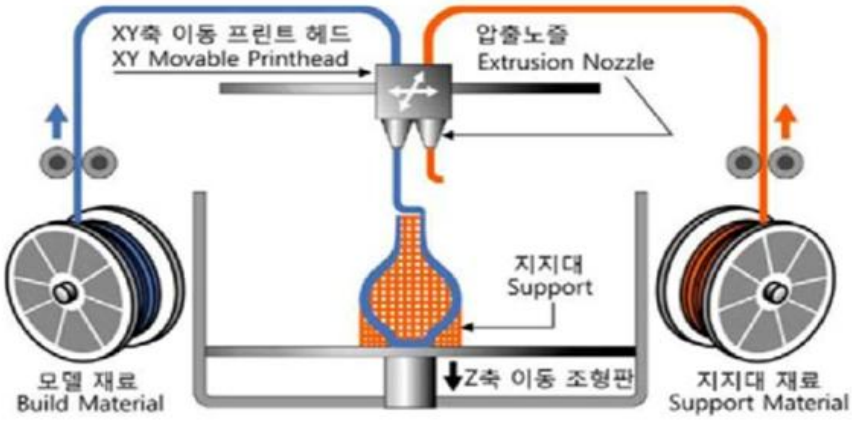


Fig. 1.7 FDM 3D프린팅 원리

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1.4 연구 목적 및 방법

FDM방식 3D프린팅은 70% 이상의 세계 시장을 점유하고 있다. 이는 FDM 방식의 3D프린팅 장비와 소모되는 재료비용이 다른 출력방식과 비교하여 월등히 저렴하다는 이유이다. 그러나 적층 방식의 3D프린팅 특성상 적층 방향 따라 수직면과 수평면 강도의 이방성을 보이며 표면이 매끄럽지 못하고 강도가 약하다는 단점을 갖는다. 이는 사출품, 목업(MOCK UP), 시제품 제작, 기타 구조물 제작 시 위와 같은 이유로 특정 이상의 강도가 요구되는 경우에는 활용하기 어려우며, 또한 프린팅 출력물에 대한 후가공 공정은 반드시 필요한 실정이다. 이에 강도 및 표면 상태를 개선하기 위해 에탄올 훈증법 등을 사용 하고 있었으나 유해 가스 발생으로 인한 사용자의 안전에 영향을 미칠 수 있다.

본 연구에서는 이러한 점에 고려하여 기존 방식과는 달리 3D프린팅 출력물 표면을 열풍열원을 이용하여 표면 개선 전·후 치수변화 및 강도 개선을 주안점으로 평가 하였고 사출성형 해석을 통한 시험편의 충진 해석, 보압 해석, 냉각 해석, 변형 해석을 진행하여 사출성형 과정 및 사출제품의 변형량을 예측 하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2장. 3D프린팅 출력물 표면 개선후 강도 실험

2.1 실험재료와 방법

2.1.1 FDM방식 3D프린팅 출력물 소재 및 적층 조건

본 연구에서 사용한 소재는 E사의 PLA 및 ABS 필라멘트를 사용하였다. 직경은 1.75mm이며 소재의 물성은 Table 2.1과 같다.

Table 2.2는 본 실험의 3D프린팅 출력 설정값이다. PLA 소재의 노즐 온도는 일반적으로 180~230℃를 권장한다. 본 실험에서 노즐 온도 210℃, 플랫폼 온도 70℃, 출력 속도는 40mm/min로 조건을 설정 하였다.ABS 소재 경우 노즐 온도는 220~250℃를 권장하나 본 실험에서는 노즐 온도 230℃, 플랫폼 온도 90℃, 출력 속도는 PLA 소재 속도와 동일하게 40mm/min로 설정 하였다.
또한 적층방향이 직각 방향으로 제작되는 제품이 외력에 대해 표면강도가 낮아지는 이방성의 문제점 해결을 하고자 실험 조건을 적층 직각 방향으로 진행 하였다.

시험편 제작은 Fig. 2.1의 FDM 출력방식의 3D프린팅으로 B사의 VIS-MEGA를 사용했다. VIS-MEGA의 경우 제작할 수 있는 출력물의 조형 사이즈는 최대 300×350×400 mm 이며, X·Y축 고정밀도(resolution)는 6.25μm, Z축 방향은 1.25μm이다. 조형 속도는 Max 300 mm/s이며, 적층 레이어 높이는 50~300microns 이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 2.1 실험 소재 물성치

기계적 성질	PLA	ABS
인장 강도	65 MPa	43 MPa
인장 탄성률	2,300 MPa	4,300 MPa
인성	16.2 KJ/m2	3.3 KJ/m2
항복 인장 강도	35.9 MPa	35.9 MPa
신율	4%	8%

Table. 2.2 FDM방식 3D프린팅 출력 설정

프린팅 공정 조건	PLA	ABS
노즐 온도	210℃	230℃
플랫폼 온도	70℃	90℃
출력 속도	40mm/min	40mm/min
내부 채우기	15 %	15 %

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 2.1 FDM방식 3D프린터

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.1.2 열풍열처리 조건

열풍열처리 실험에서는 FDM방식 3D프린팅 출력물의 표면 강도를 개선 목적으로 실험을 진행 하였다. 열원을 이용한 열처리 작업 전 출력물의 변형량에 대한 조건 설정이 필요했다. 이는 열풍으로 인한 출력물의 변형이 제품의 고유 기능 손실과 소재의 물성 변화가 일어나지 않는 범위가 필요하기 때문이다. 열풍노즐과 시험편과 거리, 열풍온도, 열풍노출 시간의 조건을 설정 하여 열풍열처리 후 출력물의 변형량이 Fig. 2.3의 1% 범위 내 구간의 시험편 제작이 필요했다.

3D프린팅 출력물에 열풍열처리 설정값을 도출 할 필요가 있어 Table. 2.3와 같이 실험을 진행 하였다. 이때 열풍열처리 온도는 100℃에서 시작 하여 50℃씩 상승하여 최대 300℃내로 설정 하였으며, 열풍노즐과 제품거리는 열풍 테이블의 크기 및 열풍기의 형상과 제품 크기를 고려하여 150mm 설정 하였다. 열풍에 제품을 노출하는 시간은 15초로 진행하였으며 열풍열처리 후 시험편의 변형량은 ±1% 이내로 설정 하였다.

Fig. 2.4의 열풍열처리는 C사의 장비를 이용하였으며 구조 형태는 열풍 시 외부 온도로 인한 열손실을 막기 위해 육면이 막힌 챔버 형태이다. 열풍이 제품에 균일하게 전달 할 수 있도록 열풍 노즐은 Z축으로 이동되며, 턴테이블이 360° 회전된다. 내부 온도는 센서가 챔버 내 온도를 감지하여 설정온도가 유지된다.

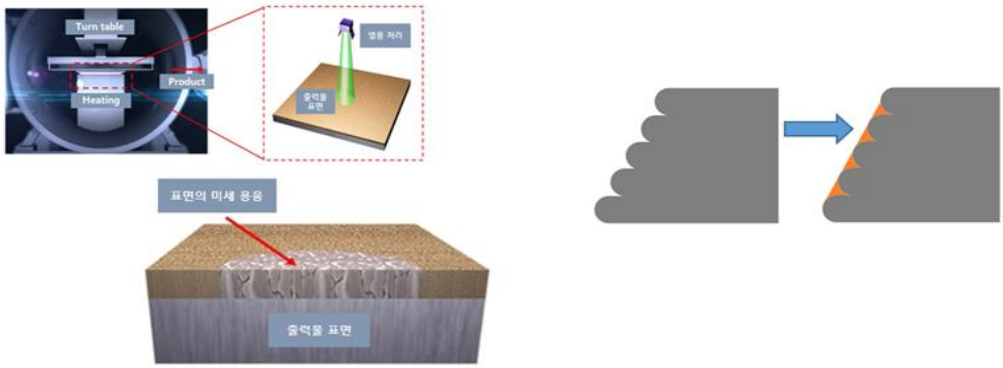


Fig. 2.2 열풍열처리 원리

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(a) 5% 이상 변형량 (b) 1% 미만 변형량

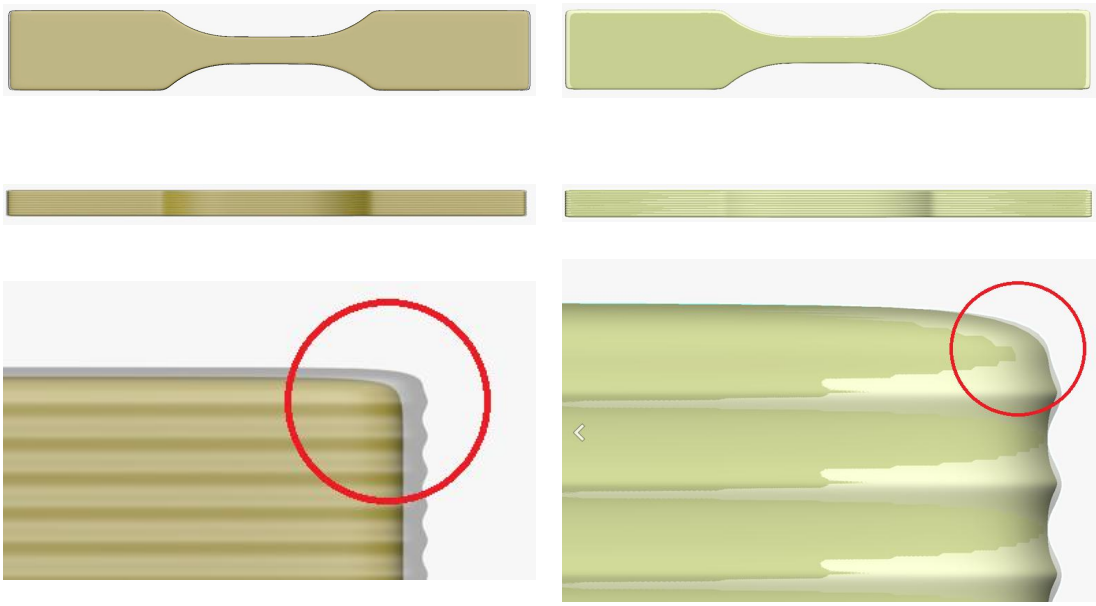


Fig. 2.3 열풍열처리후 시험편의 변형 정도

Fig. 2.4 열풍열처리 장비

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 2.3 열풍열처리 조건

열풍시험 조건	조건 값
열풍 노즐과 제품거리	150㎜
열풍 노출시간	15초
온도 기준	열풍제어센스 기준
열풍 온도	100℃ ~ 300℃ 이내
열풍 승온 온도	50℃

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.1.3 인장시험

인장시험(Tensile Test)은 인장시험편을 제작하여 인장시험기에 클램핑 하여 재료가 가진 인장강도, 신장, 항복점, 내력 등의 여러 가지 성질을 측정하는 시험기로 외력에 대한 저항력 값을 알 수 있는 장비이다. ASTM D638 Type 1 기준으로 시험편을 제작하여 Fig. 2.5와 같이 인장시험을 진행 하였으며 본 시험에서는 인장강도 값만을 확인하였다.

Fig. 2.6의 시험편은 ASTM D638 Type 1 기준으로 3D CAD 프로그램을 사용하여 3D 모델링 하였으며 슬라이스 프로그램은 큐라를 이용 하였다.

Fig. 2.7은 FDM방식 3D프린팅은 소재를 노즐의 열원에 의한 용융 적층하는 방식을 나타낸 것으로 적층방식에 따라 표면 강도가 달라진다. 강도가 요구되는 출력물은 적층직각 방향으로 적층 진행시 강도는 낮아진다. 이는 노즐에서 용융되어 공급된 융착물의 층간 강도가 원 소재보다 낮기 때문이다. 따라서 사출된 제품에 비하여 강도가 낮은 이유이다.

Fig. 2.5 인장 시험기

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

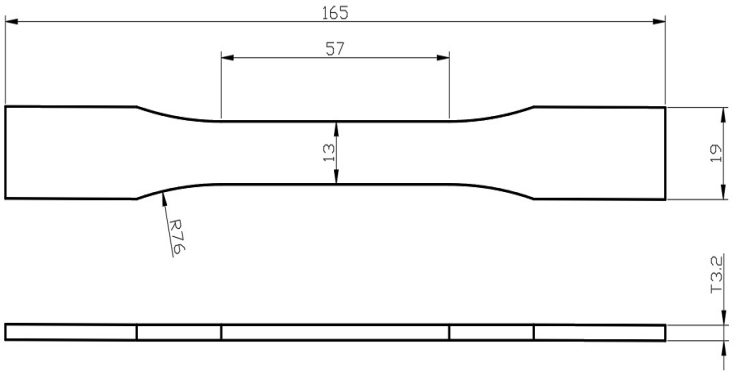


Fig. 2.6 인장실험 시험편 (ASTM D638 TYPE 1)

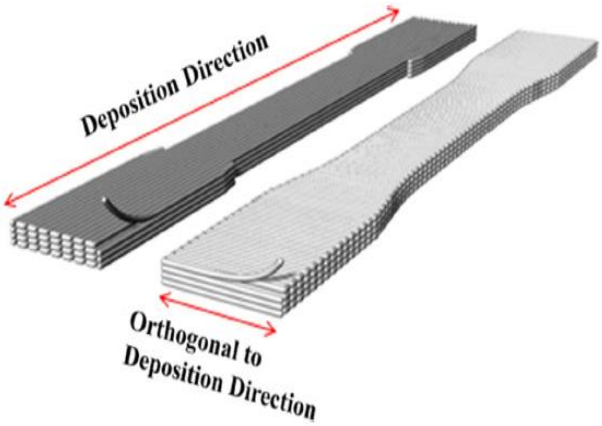


Fig. 2.7 적층 방향에 따른 인장강도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2 강도 특성

2.2.1 FDM방식 3D프린팅 출력물 치수 오차

Table. 2.4은 FDM방식 3D프린팅으로 출력된 시험편 5개를 내·외측마이크로미터를 이용하여 측정한 값이다. ASTM D638 Type1. 기준으로 길이, 폭, 두께부의 수축 변화를 관찰 할 수 있었다.

Table. 2.4 FDM방식 3D프린팅 출력물 측정값

구분		길이	폭 (mm)			두께 (mm)		
			1	2	3	1	2	3
PLA 재료	#1	164.42	18.96	13.04	18.92	3.13	3.23	3.26
	#2	164.44	19.00	13.06	18.88	3.18	3.25	3.27
	#3	164.40	18.92	13.08	18.93	3.13	3.22	3.22
	#4	164.51	18.97	12.99	18.94	3.13	3.13	3.12
	#5	164.72	18.92	13.04	18.94	3.22	3.20	3.10
ABS 재료	#1	163.85	18.74	12.82	18.77	3.14	3.20	3.13
	#2	163.94	18.75	12.86	18.77	3.14	3.21	3.14
	#3	163.85	18.88	12.80	18.73	3.14	3.20	3.11
	#4	163.98	18.77	12.85	18.79	3.08	3.17	3.10
	#5	163.94	18.88	12.85	18.80	3.03	3.10	3.04

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 2.4기준 3D프린팅 출력 시험편의 각 부의별 변형량이 다름에 3D프린팅 출력 시 적층방향에 따라 변형량이 달라 질수 있어 확인이 필요 하였다. 따라서 길이, 폭, 두께부 3개소를 도면과 비교 관찰 하였다.

Fig. 2.8는 길이 부분의 시험편 변형량을 그래프로 나타냈으며 PLA 시험편의 수축량은 평균 164.5mm로 모델링 데이터 대비 평균 0.3%와 ABS 시험편은 평균 163.91mm로 0.66% 의 수축 변화가 관찰 되었다.

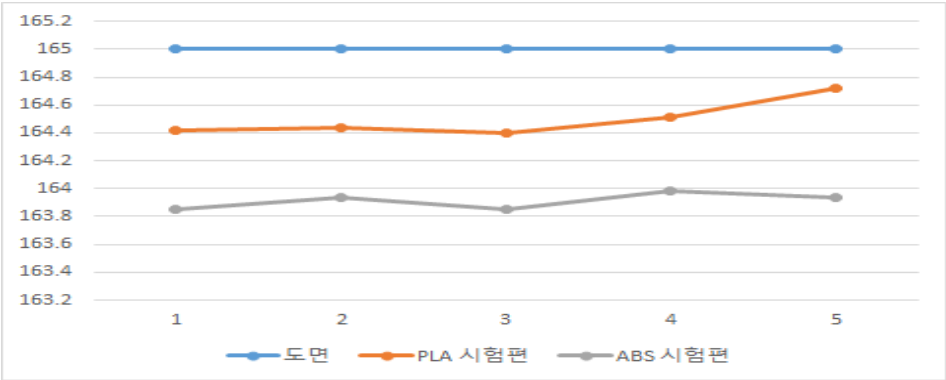


Fig. 2.8 출력물의 길이 변화량 비교

Fig. 2.9는 폭 부분을 그래프로 나타냈으며 PLA 시험편의 평균 18.93mm로 모델링 데이터 대비 평균 0.33% 수축변화가 있었으며, ABS 시험편 평균치수 값은 18.79mm로 1.11% 의 수축 변화가 관찰 되었다.

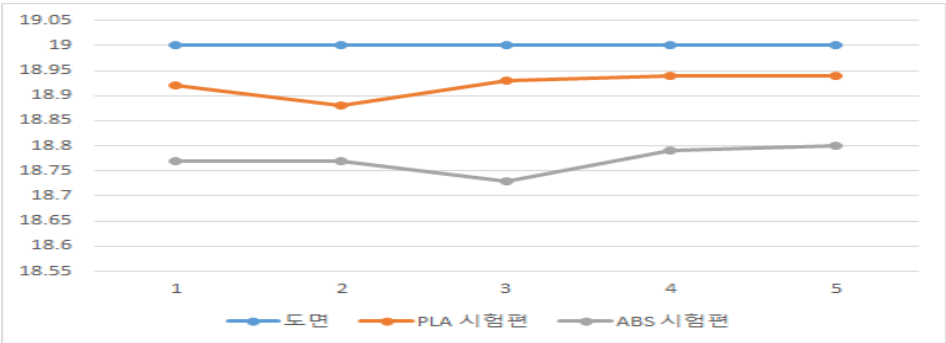


Fig. 2.9 출력물의 폭 변화량 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 2.10는 두께 부분의 변형량을 그래프로 나타냈으며 PLA 시험편 변화량은 평균 3.18mm, 0.44%, ABS 시험편은 평균 3.13mm로 2.23% 수축 변화가 관찰 되었다.

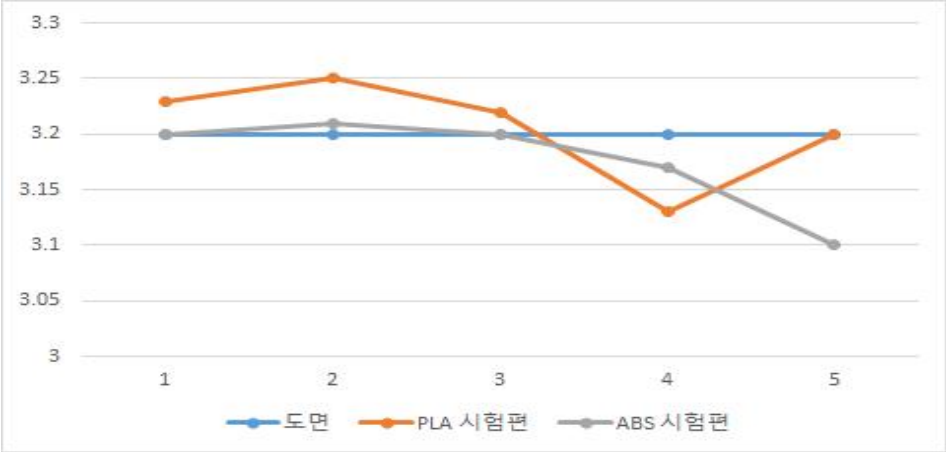


Fig. 2.10 출력물의 두께 변화량 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2.2 열풍열처리 후 치수 변화

1) 열풍열처리 온도 영향

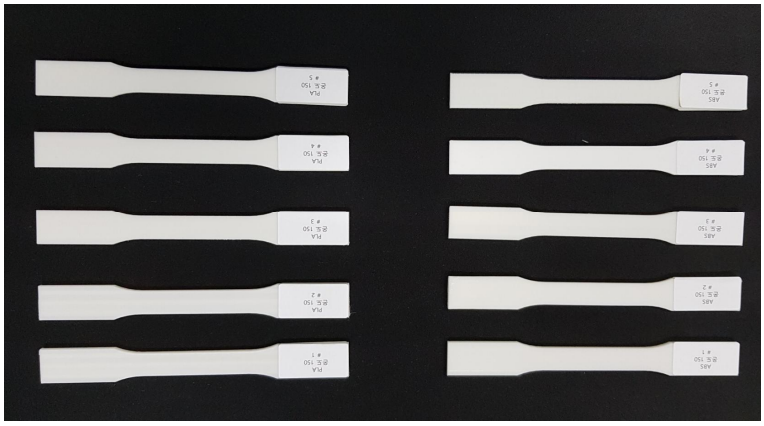
챔버 내 열풍 온도를 변경하여 PLA, ABS 시험편의 변화량을 확인 하였다. 3D 모델링 도면 치수와 3D프린팅 출력된 시험편의 치수 차이가 있어 Table. 2.5에는 열풍열처리 전·후 평균 편차 값을 적용 하였다. 시험편 수량은 온도별 각각 5개씩 실험을 진행·관찰 하였다.

Table. 2.5 열풍열처리 온도별 시험편 변화량

열풍온도	도면치수 값	PLA	ABS
100℃	165㎜	변화 없음	변화 없음
	19㎜	변화 없음	변화 없음
	3.2t	변화 없음	변화 없음
150℃	165㎜	변화 없음	변화 없음
	19㎜	변화 없음	변화 없음
	3.2t	변화 없음	변화 없음
200℃	165㎜	0.03%	0%
	19㎜	0%	0.1%
	3.2t	0.3%	0.3%
250℃	165㎜	측정불가	0%
	19㎜	측정불가	0.15%
	3.2t	측정불가	0.4%
300℃	165㎜	측정불가	측정불가
	19㎜	측정불가	측정불가
	3.2t	측정불가	측정불가

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

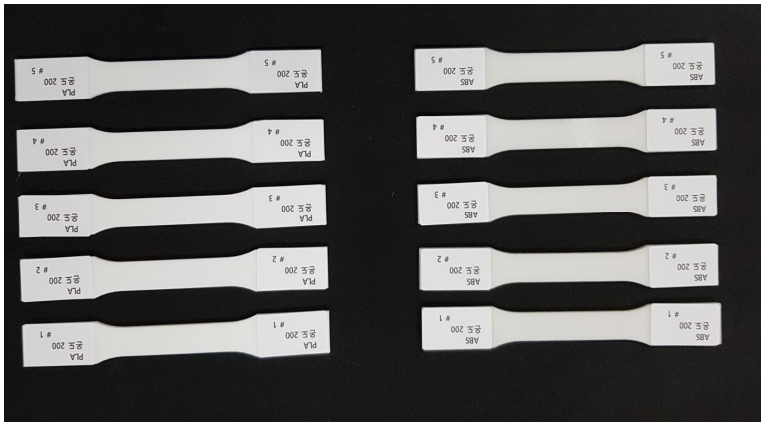
열풍열처리온도 100℃ 및 150℃에서는 Fig. 2.11처럼 PLA, ABS 시험편 모두 치수 및 형상에 변화가 발생되지 않았다.



(a) PLA 시험편 (b) ABS 시험편

Fig. 2.11 열풍열처리 150℃시 시험편 변화

열풍열처리온도 200℃에서는 Fig. 2.12처럼 시험편의 치수변화와 함께 형상 변화가 관찰 되었다. 치수 변형량은 PLA, ABS 소재 모두 1% 이내로 관찰 하였다.

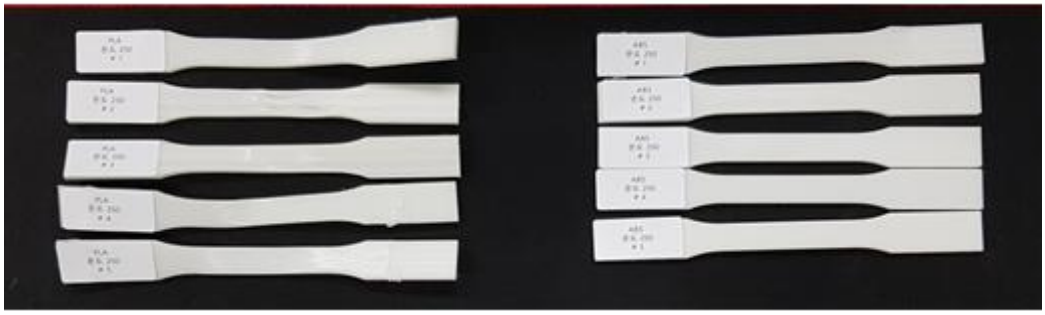


(a) PLA 시험편 (b) ABS 시험편

Fig. 2.12 열풍열처리 200℃시 시험편 변화

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

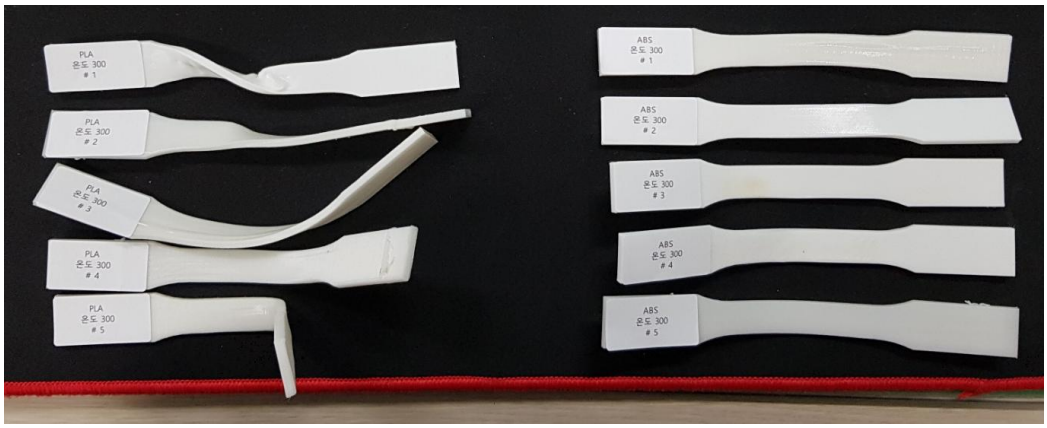
열풍열처리온도 250℃ 온도에서는 Fig. 2.13처럼 PLA 시험편의 형상이 급격하게 변형되어 실험 조건 1%이내 범위를 벗어났다. 하지만 ABS 시험편의 치수 변형량은 1% 이내로 관찰 되었다.



(a) PLA 시험편 (b) ABS 시험편

Fig. 2.13 열풍열처리 250℃시 시험편 변화

열풍온도 300℃ 온도에서는 Fig. 2.14처럼 PLA, ABS 시험편의 모두 형상 변형이 발생되었다.



(a) PLA 시험편 (b) ABS 시험편

Fig. 2.14 열풍열처리 300℃시 시험편 변화

열풍열처리 시험온도는 PLA, ABS 시험편 모두 200℃, 열풍노즐과 제품 간 거리 150mm, 열풍 시 유지 시간 15초로 동일한 조건으로 실험 조건을 도출 하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) 열풍열처리 200℃ 시험편 치수 변화

Table. 2.6은 출력된 시험편을 200℃로 열풍열처리 된 출력물을 측정한 값이다. 열풍열처리 적용 후 치수 변화가 관찰 되었다.

Table. 2.6 열풍열처리 200℃ 시험편 치수 변화량

구분		길이	폭 (mm)			두께 (mm)		
			1	2	3	1	2	3
PLA 시험편	#1	164.48	18.99	13.01	18.90	3.14	3.25	3.26
	#2	164.53	19.00	13.00	18.92	3.19	3.26	3.28
	#3	164.48	18.93	13.02	18.87	3.15	3.28	3.27
	#4	164.51	18.95	12.99	18.95	3.14	3.14	3.11
	#5	164.77	18.97	13.05	18.96	3.22	3.16	3.08
ABS 시험편	#1	163.88	18.75	12.80	18.81	3.15	3.22	3.16
	#2	163.90	18.78	12.82	18.79	3.16	3.23	3.14
	#3	163.83	18.74	12.80	18.73	3.15	3.22	3.13
	#4	163.98	18.78	12.86	18.82	3.08	3.17	3.12
	#5	163.95	18.79	12.85	18.85	3.01	3.10	3.05

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 2.15는 길이 부분의 열풍열처리 전·후 시험편의 변화량을 그래프로 나타냈으며 변형량은 PLA 시험편 열처리 전 평균 164.5㎜, 열처리 후 평균 164.55㎜로 열처리 전 대비 평균 0.03%로 시험편이 팽창되었고, ABS 시험편은 열처리 전 평균 163.9㎜, 열처리 후 평균 163.9㎜로 변화가 없음을 관찰 하였다.

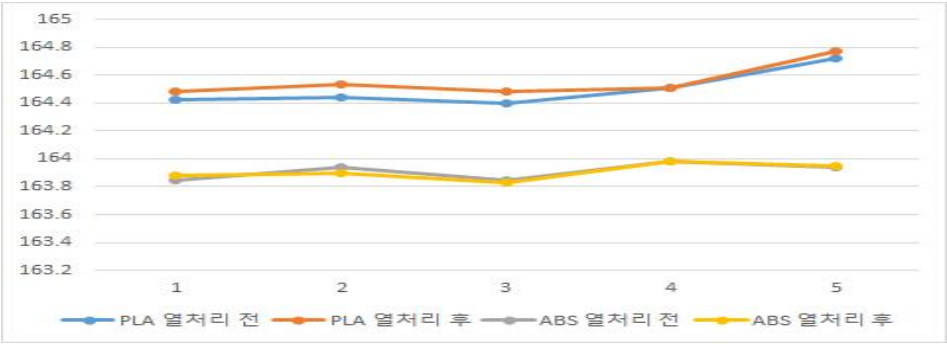


Fig. 2.15 열풍열처리 전.후 길이 변화량

Fig. 2.16는 폭 부분의 열풍열처리 전·후 시험편의 변화량을 그래프로 나타냈으며 변형량은 PLA 시험편 열처리 전 평균 18.93㎜, 열처리 후 평균 18.93㎜로 변화가 없었으며, ABS 시험편은 열처리 전 평균 18.79㎜, 열처리 후 평균 18.8㎜로 0.1% 팽창 변화가 관찰 되었다.

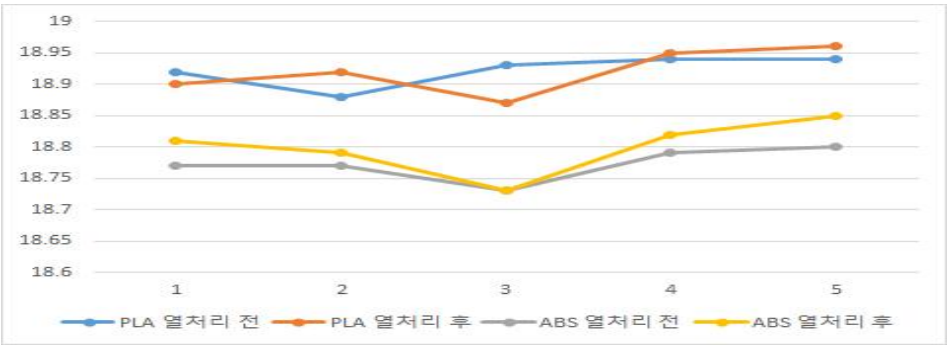


Fig. 2.16 열풍열처리 전.후 폭 변화량

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 2.17는 두께 부분의 열풍열처리 전·후 시험편의 변화량을 그래프로 나타냈으며 PLA 시험편의 변형량은 열처리 전 평균 3.18mm, 열처리 후 평균 3.2mm로 열처리 전 대비 평균 0.3% 팽창 변화가 있었으며, ABS 시험편 경우 변형량은 열처리 전 평균 3.13mm, 열처리 후 평균 3.14mm로 열처리 전 대비 평균 0.3% 팽창이 관찰 되었다.

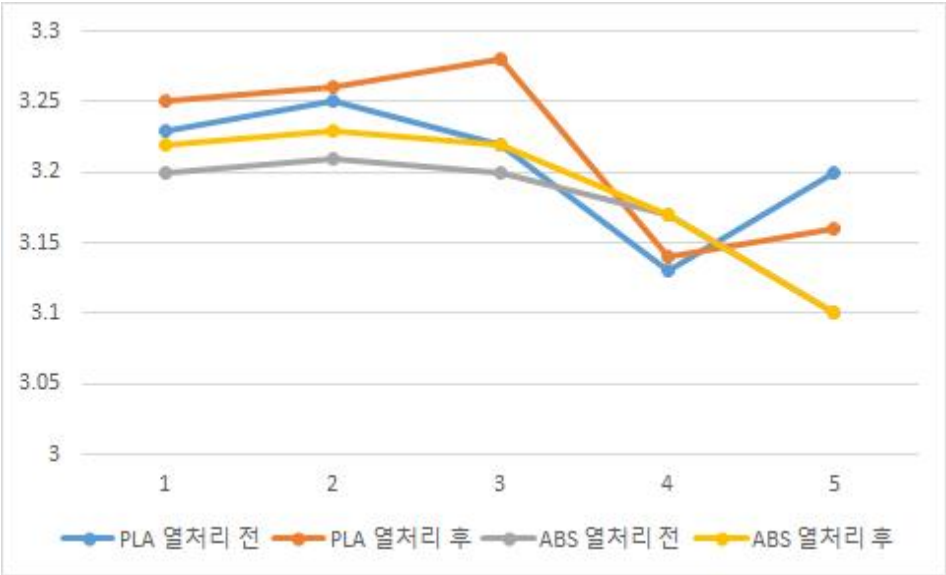


Fig. 2.17 열풍열처리 전.후 두께 변화량

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2.3 열풍열처리 전·후 인장시험 결과

Table. 2.7은 열풍열처리 전·후 시험편 인장강도 시험 값이다. Fig. 2.18의 차트는 PLA 시험편, Fig. 2.19의 차트는 ABS 시험편의 열처리 전·후 값을 비교 하였다.

PLA 시험편 열풍열처리 전 시험편의 인장 강도는 최대 10.6N/㎟, 최소 8.3N/㎟이며 2.3N/㎟의 편차가 있었다. 열풍열처리 전, 후의 강도 편차는 전 평균 9.67N/㎟, 후 평균 24.17N/㎟로 열풍열처리 전 강도 대비 14.5N/㎟ 강도가 향상 되었다. 강도 변화가 가장 높은 데이터로 시험편 #2으로 전 8.3N/㎟, 후 24.9N/㎟로 비교 관찰 되었다.

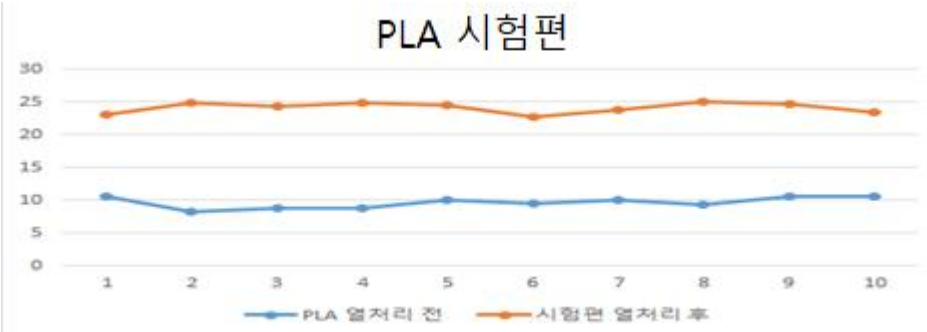


Fig. 2.18 열풍열처리 전.후 PLA 시험편 인장강도

ABS 시험편 열풍열처리 전 시험편의 인장 강도는 최대 8.9N/㎟, 최소 7.9N/㎟이며 1.0N/㎟의 편차가 있었다. 열풍열처리 전, 후의 강도 편차는 전 평균 8.36N/㎟, 후 평균 19.11/㎟로 열풍열처리 전 강도 대비 10.75N/㎟ 강도가 향상이 관찰 되었다.

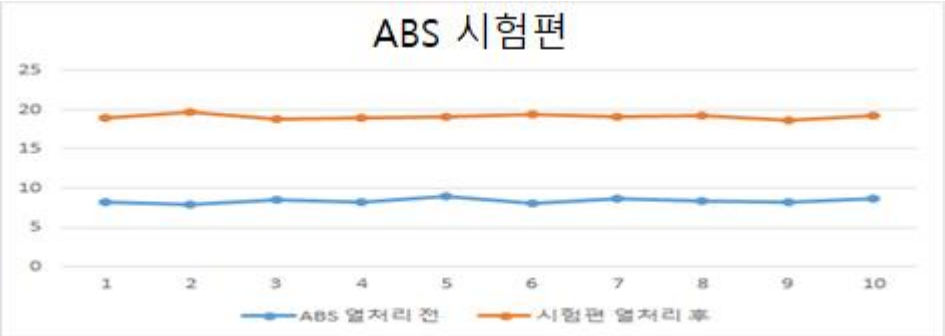


Fig. 2.19 열풍열처리 전.후 ABS 시험편 인장강도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 2.7 열풍열처리 전.후 인장강도 비교

구분		인장 강도 (N/㎟)									
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
PLA 시험편	열처리 전	10.5	8.3	8.8	8.8	10.1	9.5	10.1	9.4	10.6	10.6
	열처리 후	23.1	24.9	24.3	24.9	24.6	22.8	23.9	25.0	24.7	23.5
ABS 시험편	열처리 전	8.2	7.9	8.5	8.2	8.9	8.1	8.7	8.3	8.2	8.6
	열처리 후	19	19.7	18.8	18.9	19.1	19.4	19.1	19.3	18.6	19.2

Fig. 2.20 인장실험 완료 시험편

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3장. 3D프린팅 출력물의 변형에 대한 구조해석

3.1 구조해석 방법

본 연구에서 FDM 3D프린팅 출력물의 수축 변화량을 사출성형 해석으로 평가 분석 하였다. 연구 방법으로 재질별 금형 조건에 따른 충진, 보압, 냉각, 변형에 대하여 사출성형 해석을 하였다.

3.1.1 유동 해석

금형 내 수지의 흐름을 컴퓨터로 수치해석하기 위해서는 금형에서 수지의 속도뿐만 아니라, 수지가 지니고 있는 특성에 대하여 정확히 계산할 수 있어야 한다. 하지만 수지의 유동해석은 Navier-Stokes식을 적용하는데 금형 내 수지가 충진 되는 과정에서 변화하는 수지 위치와 형상을 인식하고 열전달현상을 해석하기는 어려운 부분이다.

형상을 수치적으로 확인하기 위해서는 고정좌표와 이동좌표를 사용 하는데, 이때 수지는 이동좌표 표현방법으로 이론적으로는 간단하나 수지를 미세한 요소로 나누어 세분화된 수지 요소을 각각 시간상 같은 단위의 유체 요소로 구분되기 때문이다.[8]

따라서 이 방법에 따라 각 수지요소의 유동반응을 확인 할 수 있다. 하지만 고정좌표는 수지격자가 지정되어 수지의 유체 요소를 판별하기는 어렵다. 그러므로 발생되는 문제를 고려한다면 이동 및 고정좌표를 혼합시켜 이용해야 한다.[9]

계산영역을 고정좌표로서 나누어 수지 이동에 구분 없이 메쉬 구조로 고정하고, 각 계산식에서도 수지의 속도를 계산하고, 이동좌표를 적용한 기하학적표면 추적법을 사용하여 기하학적표면의 형상과 위치를 확인 하여야 한다.[10]

성형분야의 기하학적인 형상을 가진 2차원적 흐름을 해석하기 위해 이동좌표와 고정좌표계를 혼용하여 합리적인 수식인 SMAC, MAC, SOLA-VOF 등과 같은 수치해석 방법들을

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

적용하고 있으나, 수치해석에서 사출성형시 수지의 충전압력에 사용하기에는 문제가 많이 발생되며, 또한 기하학적인 형태의 금형과 주입구가 다수인 경우 종합적인 결과를 적용하여야 할 필요성이 있다.[11]

따라서 이러한 수치해석법을 성형문제에 적용하기 위해서는 성형시 수지 유동의 특성을 고려함과 동시에 다양한 사출방안의 해석이 가능하도록 재료에 대한 물성을 이해하고 적용해야 한다. 수치해석을 하기 위하여 선형 구획법, 높이 함수법, VOF법, Marker법, 등을 사용하고 있다. 이중에서 선형 구획법, 높이 함수법은 불규칙한 형상의 표면해석을 계산하기에는 한계가 있다.

Marker수식은 기하학적인 표면을 수학식으로 정의하지 않고 수지전역을 Marker입자로 세분화시킨 다음 수지속도 흐름에 따라 Marker입자 을 이동시키는 방법으로 Marker입자의 표현에 따라 계산법을 기하학적인 표면영역, 수지영역 및 수지가 없는 영역으로 나눌 수 있다.[8]

1) 지배방정식

SOLA-VOF는 금형 내 수지의 흐름을 3차원 자유흐름도와 비정상적인 상태의 점도를 가진 유동으로 예상하고 직교좌표의 비선형을 같이 적용한 연속방정식,Navier-Stokes방정식, 열전달방정식을 원 변수의 형태로 적용 하였다.[8]

연속방정식(Continuity equation) :

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \qquad \text{(식 3.1)}$$

Navier-stokes 방정식

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial uu}{\partial x}+\frac{\partial uv}{\partial y}+\frac{\partial uw}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\nu\vec{\nabla}^2 u+g_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial uv}{\partial x}+\frac{\partial vv}{\partial y}+\frac{\partial vw}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+\nu\vec{\nabla}^2 v+g_y \qquad \text{(식 3.2)}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t}+\frac{\partial uw}{\partial x}+\frac{\partial vw}{\partial y}+\frac{\partial ww}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial w}+\nu\vec{\nabla}^2 w+g_z$$

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

에너지 방정식

$$\rho c\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}(K\frac{\partial T}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(K\frac{\partial T}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(K\frac{\partial T}{\partial z}) \qquad \text{(식 3.3)}$$

Volume of Fluid

$$\frac{\partial F}{\partial t}=\frac{\partial uF}{\partial x}+\frac{\partial vF}{\partial y}+\frac{\partial wF}{\partial z} \qquad \text{(식 3.4)}$$

여기서 ρ는 유체의 밀도, v는 동점성 계수, P는 압력, F는 유체부피분율, g_x g_y, g_z는 x,y,z 방향의 중력가속도 을 나타낸다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2 사출성형 해석 모델 및 조건

본 해석 연구에서 사용된 유한요소해석 모델은 Fig. 3.1과 같고, PLA 수지는 N사, ABS 수지는 C사의 물성값을 사용 하였다.
Fig. 3.1처럼 2가지 소재에 동일하게 솔리드 메쉬 1,126,422개, 금형크기는 400mm X 400mmX 300mm 으로 설정 하였다.
또한 해석은 Table. 3.1과 같이 충진, 보압, 냉각 조건에 따라 사출성형해석을 실시하였다.

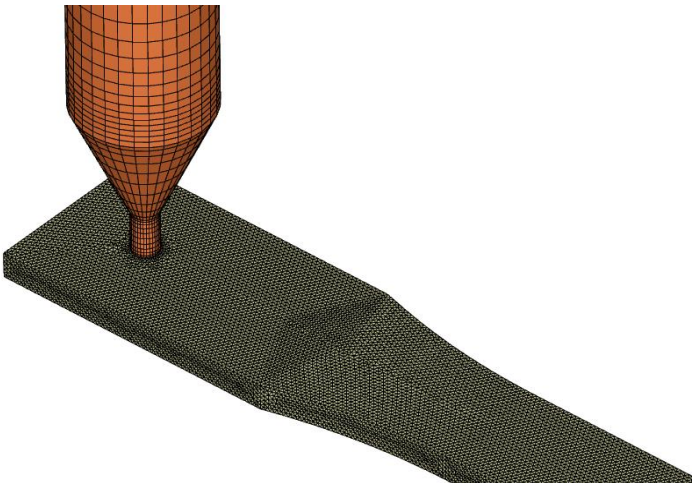


Fig. 3.1 솔리드 메쉬

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 3.1 사출성형해석 조건

구분	항목	PLA	ABS
충진	충진시간(sec)	0.42	0.42
	용융온도(℃)	210	230
	최대사출압력(MPa)	250	250
보압	보압시간(sec)	6.73	7.67
	최대보압압력(MPa)	250	250
냉각	냉각시간(sec)	17	17
	금형오픈타입(sec)	5	5
	취출온도(℃)	80	94.85
	에어온도(℃)	25	25
	싸이클타임(sec)	29.15	30.09

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3 강도 특성

3.3.1 충진 해석 결과

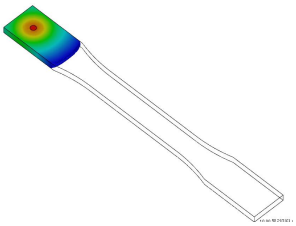
충진시 사출 속도로 재료가 캐비티 내부에 충전하는데 요구되는 압력으로써 사출압력이 충분하지 못하면 미충진이 발생할 수 있다. 캐비티 각 부분의 압력분포를 통해 과압이 걸리는 부분을 고찰 하였다.

Table. 3.1에서 제시하였던 사출압력에 영향을 주는 요소는 수지 자체의 유동성, 사출속도, 유동거리, 제품 두께로 이러한 불량을 발생시키는 요소를 최소화하기 위하여 캐비티 내부 압력, 설계상 충진 균형과 과압 살생 위치들에 대한 모든 부분에 문제점이 없는 것을 고찰 하였다.

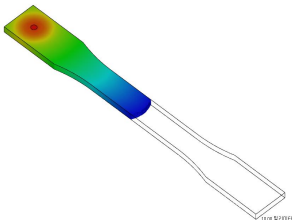
Fig. 3.2는 시간 경과에 따른 충진 패턴을 나타낸 것이다. 수지가 캐비티 끝단까지 성형됨을 알 수 있고, 미 충진 부분은 발생 되지 않음을 알 수 있었다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

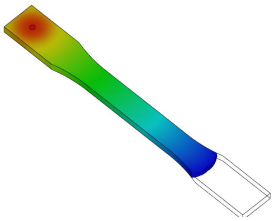
PLA 시험편



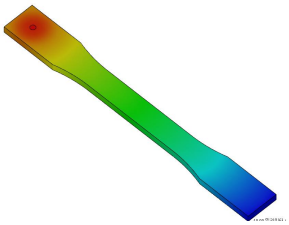
(a) 25% 충진 (0.11sec)



(b) 50% 충진 (0.21sec)

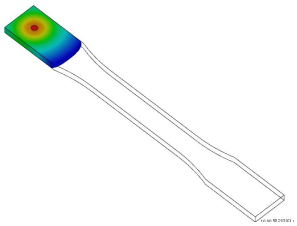


(c) 75% 충진 (0.32sec)

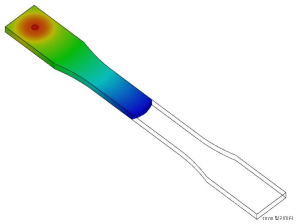


(d) 100% 충진 (0.43sec)

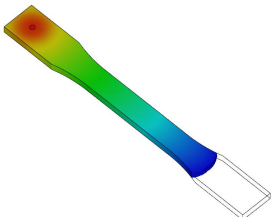
ABS 시험편



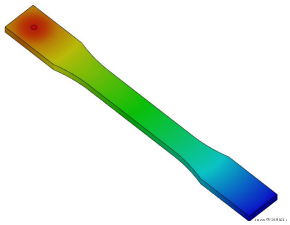
(a) 25% 충진 (0.11sec)



(b) 50% 충진 (0.21sec)



(c) 75% 충진 (0.32sec)

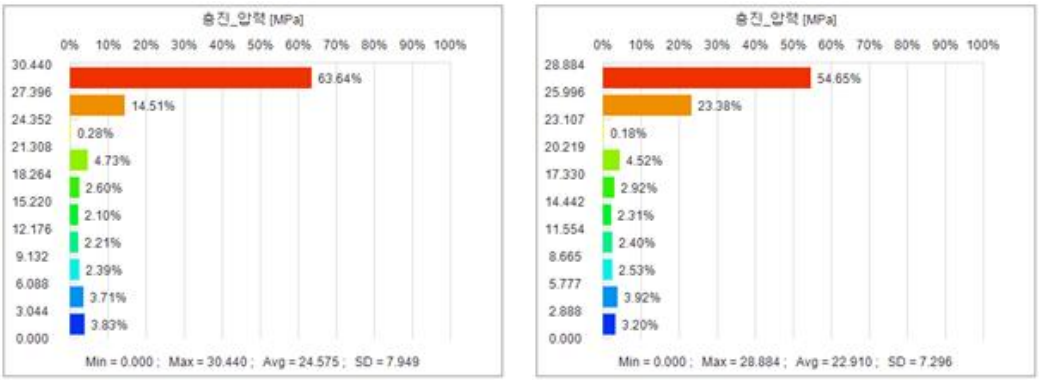


(d) 100% 충진 (0.43sec)

Fig. 3.2 시간경과에 따른 충진율

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

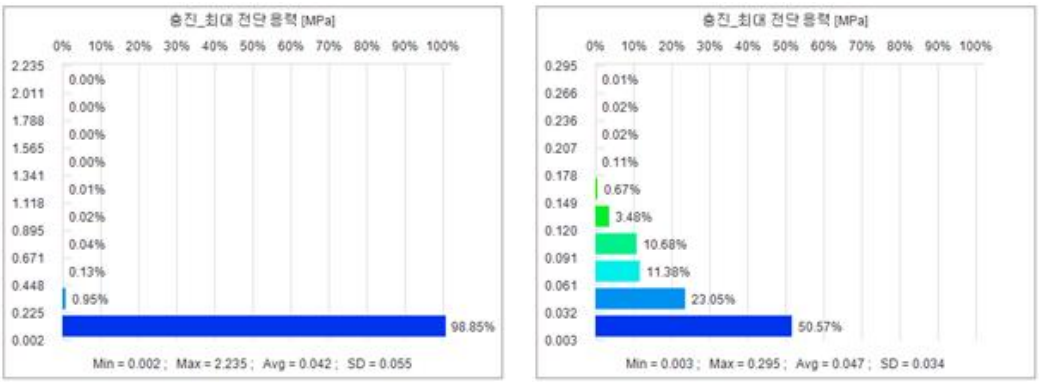
Fig. 3.3는 충진 압력을 나타낸 것으로 PLA 시험편은 30.4MPa부분에서 63.6%로 가장 높았으며, ABS시험편은 28.8MPa부분에서 54.6%로 고찰 되었다. 이에 PLA 시험편이 ABS 시험편에 비해 9%높은 수치를 확인 할 수 있었다. 충진 압력 손실과 분포를 근거로 압력 전반의 상황을 체크 할 수 있었으며, 런너 부의 압력손실, 유동 밸런스에 문제가 발생되지 않았음을 고찰 할 수 있었다.



(a) PLA 시험편 (b) ABS 시험편

Fig. 3.3 충진 압력

Fig. 3.4는 충진 최대 전단 응력을 나타낸 것으로 각 엘리먼트가 유동 중 발생되는 최대값을 나타낸 것이다. PLA 시험편은 2.23MPa 부분에서 98.8% 발생됨을 고찰할 수 있었으며, ABS시험편은 0.29MPa 부분에서 50.5%가 발생됨을 확인 할 수 있었다.



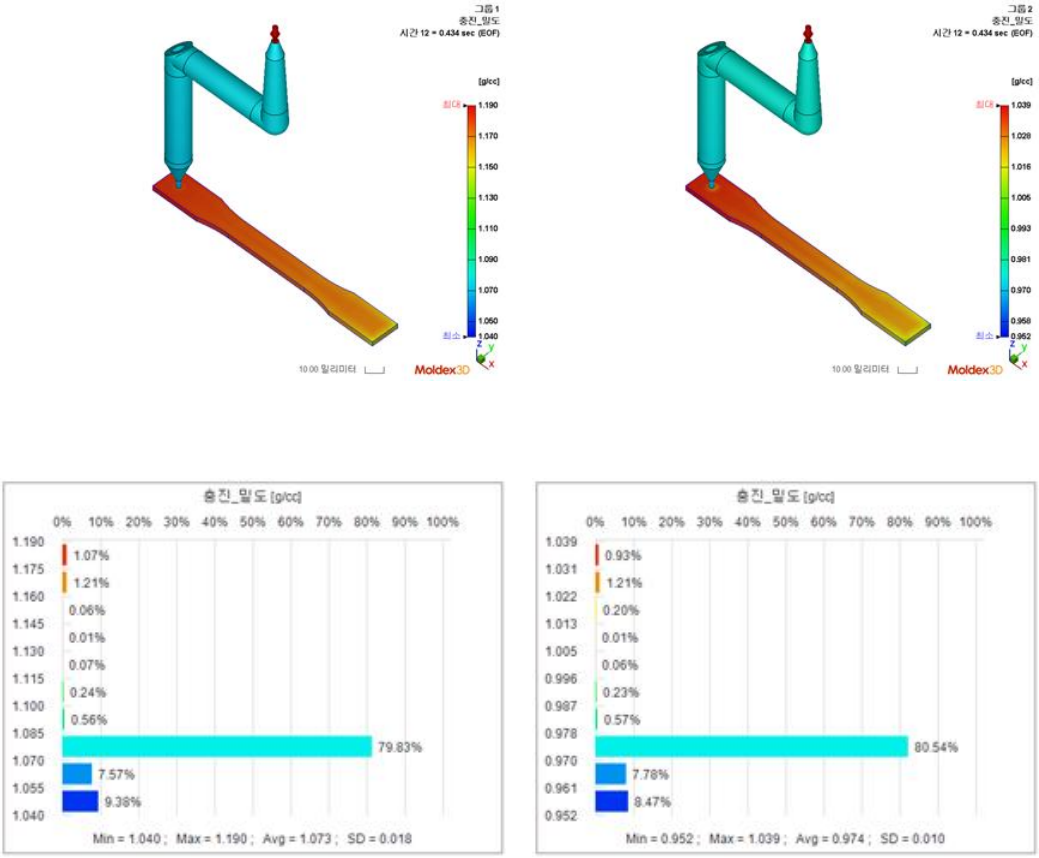
(a) PLA 시험편 (b) ABS 시험편

Fig. 3.4 충진 최대 전단 응력

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 3.5는 충진 완료 후 밀도를 나타낸 것이다. 일반적으로, 밀도는 성형후 고체화 되는 영역에서 큰 수치를 나타내며, 용해 상태 영역에서는 밀도가 낮게 나타난다. 밀도가 불균일 할 경우는 제품에 휨변형이 발생 될 수 있다.

두 해석 결과 런너 부분에서 밀도가 높게 나타난 것을 알 수 있었으며, 제품에는 1g/cc 부분에서 1%미만의 균일한 밀도 분포를 고찰 할 수 있었다.



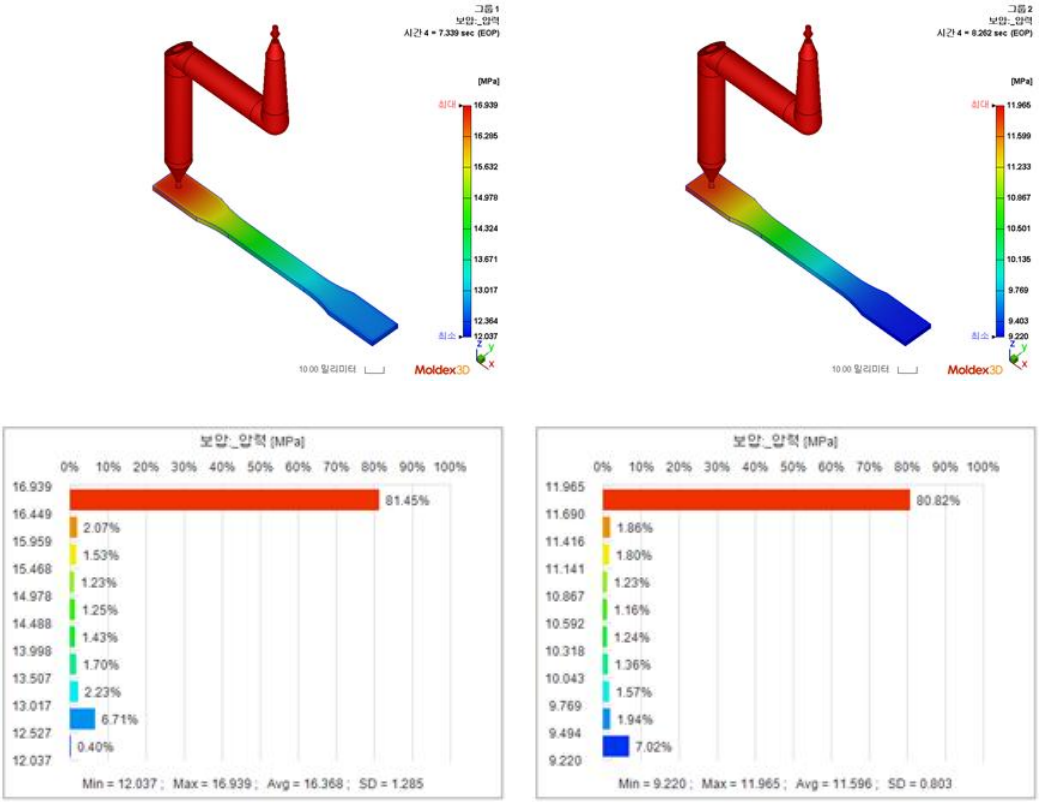
(a) PLA 시험편 (b) ABS 시험편

Fig. 3.5 충진 밀도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3.2 보압 해석 결과

Fig. 3.6는 캐비티 내부에 보압 시간 동안 압력의 분포와 크기를 보여준다. 압력의 분포가 균일 할수록 수축률이 일정해서 변형 발생 가능성이 작아진다. 일반적으로 게이트에서 가까운 부분은 높은 압력, 멀어질수록 충분한 압력이 전달되지 못하기 때문에 수축률 편차가 발생한다. 시험편에 이런 부분을 최소화하기 위해서는 다단 보압, 게이트 위치 최적화 등을 통해 제품 곳곳에 균일한 압력이 전달될 수 있도록 하였다. 보압 해석 결과 PLA 시험편은 16.9MPa부분이 런너 부위에서 81%로 발생 및 캐비티 끝단부의 압력은 12.8MPa 발생 되었다. ABS시험편 역시 런너 부분에서 11.9MPa 압력이 80% 확인 할 수 있었으며 캐비티 끝단부 압력은 9.3MPa이 관찰 되었다.



(a) PLA 시험편 (b) ABS 시험편

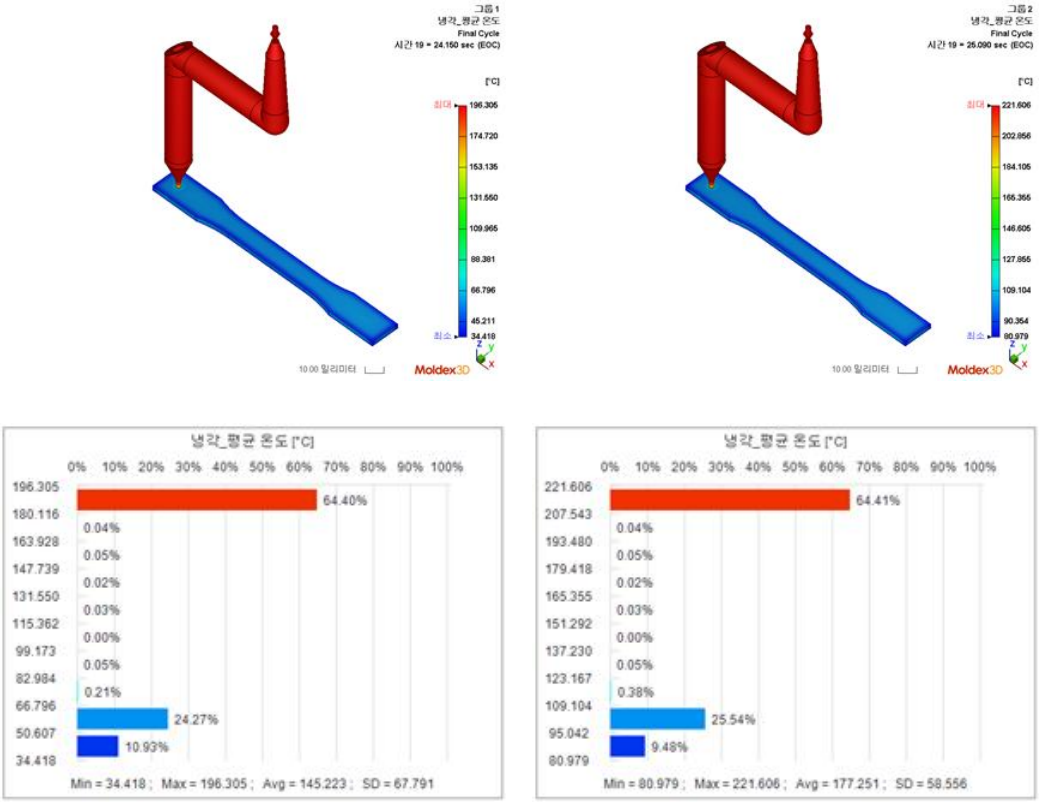
Fig. 3.6 보압 압력

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3.3 냉각 해석 결과

Fig. 3.7는 냉각 평균온도를 나타낸 것이다. 사출 성형시 제품의 추출 시간을 단축하기 위해 금형내 냉각수 온도 및 용해수지의 발열을 고려해야 한다. 따라서 해석에서 얻어지는 데이터는 수지의 전단 발열과 금형냉수 온도을 복합적으로 적용 할 수 있다.

냉각 평균 결과 PLA 시험편은 런너 부에서 196℃, 캐비티 부분에서 66℃ 이하로 확인 할수 있었으며, ABS시험편은 런너 부에서 221℃, 캐비티 부분에서 109℃ 이하로 PLA 시험편의 캐비티 부분 온도가 43℃ 낮음을 확인 할 수 있었다.



(a) PLA 시험편 (b) ABS 시험편

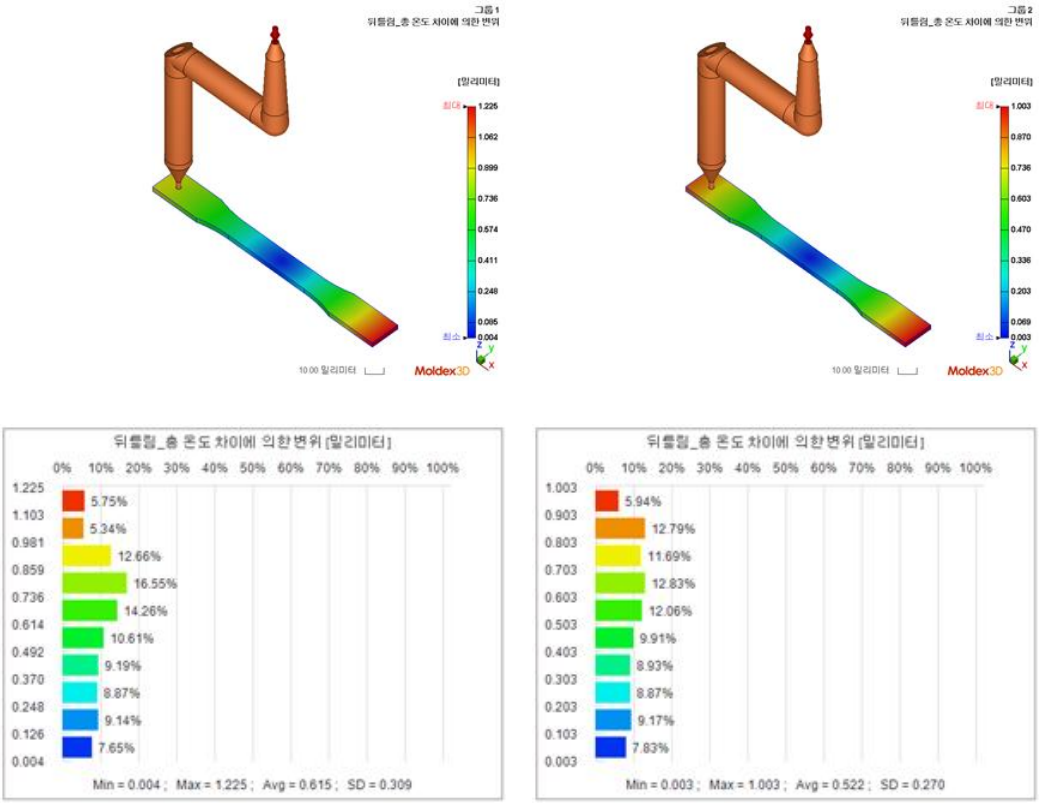
Fig. 3.7 냉각 평균 온도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3.4 변형 해석 결과

Fig. 3.8는 사출 성형 완료 후 실온에서 냉각 진행시 변형량을 예측 할 수 있다.

뒤틀림 변형 결과 PLA 시험편은 최대 1.2mm, ABS시험편은 최대 1mm로 PLA 시험편이 0.2mm 더 뒤틀림 변형을 알 수 있었다. 또한 뒤뚤림 평균 변형량은 PLA 시험편 0.6%, ABS 시험편 0.5%을 확인 할 수 있었다.



(a) PLA 시험편 (b) ABS 시험편

Fig. 3.8 뒤틀림 변형량

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4장. 결 론

본 연구는 3D프린팅 방식 중 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 FDM방식 3D프린팅 출력물의 표면를 개선후 강도를 평가 하였다. 이를 통해 다음과 같은 결과를 확인 할 수 있었다.

1) 3D프린팅 출력물의 변형량은 설계 데이터 값 대비 시험편 165㎜부분을 기준으로 PLA 시험편은 0.3%, ABS 시험편은 0.6%로 두 소재 모두 1%미만의 변형을 확인 하였다. 사출성형 해석결과 PLA 시험편은 0.6%, ABS 시험편은 0.5%로 3D프린팅 출력물과 사출성형 해석차는 0.3%~0.1% 차를 알 수 있었다.

2) 열풍열처리 변화량은 열풍노즐과 시험편 거리를 150㎜, 열풍노출 시간 15초 동일 조건으로 열풍온도 200℃에서 제품의 변형률 ±1%이내 값을 도출 할 수 있었다.
100℃~150℃ 에서는 치수 및 표면에 변화가 발생되지 않았으며, 250℃~300℃ 부근에서는 시험편이 비틀리거나 휨 변형이 발생됨을 알 수 있었다.

3) 열풍열처리 전·후 시험편의 인장 강도는 PLA 시험편 열처리 전 평균 인장강도 값은 9.67N/㎟, 열처리 후 평균 인장강도 값은 24.17N/㎟로 인장강도가 14.5/㎟ 향상되었다. ABS 시험편 열처리 전 평균 인장강도 값은 8.36N/㎟, 열처리 후 평균 인장강도 값은 19.11N/㎟로 인장강도가 10.75/㎟ 향상됨을 알 수 있었다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고문헌

[1] 길광수 (2014) “3D 프린팅 기술혁신과 해운항만물류 분야 대응 방향”

[2] 김상영 (2017) “FDM 방식 3D프린팅 출력물의 화학적 후처리 공정 연구”,Vol.41, no.9, pp. 839-844

[3] 김성수 (2017) “FDM방식 3D Printer 출력물의 치수 오차에 관한 연구”, 금오공과대학교 대학원, 2017.2

[4] 박병윤 (2019) “강도개선를 위한 FFF방식 3D 프린팅의 후처리 연구”

[5] Alsoufi, M.S. and A.E. Elsayed, How Surface Roughness Performance of Printed Parts Manufactured by Desktop FDM 3D Printer
with PLA+ is Influenced by Measuring Direction. American Journal of Mechanical Engineering, 2017. 5(5): p. 211-222.

[6] Azhar Equbal, Anoop Kumar Sood, "Metallization on FDM parts using the chemical deposition technique", Journal of coatings, 4, 2014, 574 - 586

[7] Choi J W (2015) “3D printing Technologies A review”,pp.1-8

[8] 천진호 (2012) “선박용 주조품의 FDM/FEM 연계 수치해석 및 특성 연구”, 부산대학교

[9] 정승원 (2010) “고압펌프 크랭크 케이싱 최적 주조방안에 관한 연구”, 조선대학교 일반대학원, 2010.

[10] 오민주 (2011) “절연슬리브가 A356 알루미늄 합금의 응고과정에 미치는 영향에 대

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

한 연구”, 인하대학교 대학원, 2011.

[11] 김정대 (2007) “선박 건조용 곡블록 압축하중 지지대 핀지그 성형해석에 관한 연구”, 조선대학교 대학원, 2007.

[12] Kochesfahani, S.K., Abler, C., Crepin-Leblond, J., Jouffret, F., “Maximizing Talc Benefits in Durable PLA Applications with Luzenac HAR”, Proceeding of 2012 SPE ANTEC Conference, 1258171-150-File00256

[13] 안동규, 3D Printing 기술의 금형산업분야 응용, The Korean Society of Mechanical Engineers, 46-51, 2014

[14] LEE,Hyung Kyu, Yonn, Jiyoung, A Study on the Jewelry Design by Utilizing the 3D CAD/CAM system - Centered on the utilization CNC and RP equipment, Korea Design Knowledge Society, 145-154, 2014

[15] Kim,Jin yong, Method for manufacturing metal pattern for precision casting of precious metal ornaments using natural materials, 10-0764237

[16] Min-Hyung Guen, He-Chan Kim, Suk Lee, Seok-Hee Lee, The Technology Development of Investment Casting Using 3D Printer Pattern, Korean Society of Precision Engineering, 566-569, 2002

[17] http://www.vistech.co.kr/

[18] https://www.creaform3d.com/ko

[19] https://www.diyelectronics.co.za/s

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감사의 글

본 논문이 작성되기까지 아낌없는 지도와 격려를 해 주신 방희선 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 본 논문을 심사하고 지도하여 주신 방한서 교수님, 손윤철 교수님 그리고 용접.접합과학공학과 교수님들께도 깊은 감사를 드립니다. 오늘의 이 영광된 날이 있기까지 낳아주시고 길러주신 부모님께 감사드립니다. 힘들어할 때 함께 하면서 사랑과 이해로 가정의 따뜻함과 평안함을 다해주는 사랑하는 아내 김정인에게 끝없는 감사와 고마움을 전하며, 장래 꿈이 설탕공예가인 딸 연우, 과학자인 아들 예준이와 함께 이작은 결실의 기쁨을 함께 나누고자 합니다.

또한 기공시스템(주) 문병기 대표님. 인생에 어려운 일이 생기면 항상 옆에서 지켜주고 응원해주시는 동지이자 친형 같은 대표님. 정말 감사합니다.

마무리를 같이 진행한 정용주 와 고범수 정말 수고 많았습니다.

수업 시간에 자신만의 history를 써야 한다 하시던 방한서 교수님의 말씀이 논문을 마무리 하는 시점에서 다시금 뇌리를 스쳐 지나갑니다.

교수님 감사합니다.