



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](#)

2024년 2월
석사학위 논문

FDM 3D프린터 제품의 후열처리를 위한
온도 보정 알고리즘 개발

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

김 세 현

FDM 3D프린터 제품의 후열처리를 위한
온도 보정 알고리즘 개발

A Temperature Calibration Algorithm
for Post-Heat Treatment of FDM 3D Printer Products

2024년 2월 23일

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

김 세 현

FDM 3D프린터 제품의 후열처리를 위한 온도 보정 알고리즘 개발

지도교수 강 문 수

이 논문을 컴퓨터공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2023년 10월

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

김 세 현

김세현의 석사학위논문을 인준함

위원장 신 석 주 (인)

위 원 이 총 규 (인)

위 원 강 문 수 (인)

2023년 12월

조선대학교 대학원

목 차

그림 목 차 i

표 목 차 ii

ABSTRACT iii

제1장 서 론 1

제2장 3D프린팅 기술 및 연구사례 3

제 1 절 3D프린터 출력 방식 및 특징점 3

제 2 절 FDM 기술 4

제 3 절 FDM방식의 후처리에 대한 연구사례 5

1. FDM프린터 출력물 표면 처리 기술 분석 5

2. FDM 3D프린팅 출력물의 화학적 후처리 6

3. 후열처리를 통한 FDM 방식 3D 프린팅 제품의 강도향상에 대한 연구 7

제3장 문제점 및 해결방법 8

제 1 절 본 논문에서 다루고자 하는 문제점 8

제 2 절 제안하고자 하는 해결 방법 10

제 3 절 제안하고자 하는 후열처리 시스템 구성 12

제4장 표면온도 감지 정확성 시험 장치 구성 13

제1절 열화상 센서부 3

1. 열화상 센서(FLIR사 Lepton 2.5) 13

2. 라즈베리파이 3B+ - 열 감지 및 처리 14

제2절 열화상 센서 온도 정확성 검증 장치 구성 15

1. Multi-Channel Temperature Meter	15
2. SMD HOT PLATE(BK-500)	16
제3절 제어부와 센서부 연동 시스템 구성	18
제5장 시험 방법	20
제6장 시험 결과	21
제1절 센서부의 온도 보정 포인트에 대한 측정 결과	21
1. 측정 결과	21
2. 측정시험 결과분석	22
제2절 센서부의 열변형 온도 감지에 따른 제어부 통신	27
제7장 결론 및 향후 연구과제	28
Reference	29

그림 목 차

- [그림 1] FDM 방식의 제조 구조 4
- [그림 2] ASTM D638 인장시험 시편 모델링 이미지 6
- [그림 3] Picture of test specimen and tensile test 7
- [그림 4] 3D프린터 출력옵션 설정 창(큐비콘사 Cubicreator v4.5.1) 8
- [그림 5] FDM출력방식 결과물의 표면 층간 갈라짐 9
- [그림 6] FDM출력방식 결과물의 얇은 구조 형상 예시 9
- [그림 7] 열화상카메라의 재질의 방사율에 따른 동일온도 인식 화면 10
- [그림 8] 열화상 센서를 통한 FDM가공물 후열처리 구성도 12
- [그림 9] FLIR사 Lepton 2.5 module 13
- [그림 10] 라즈베리파이 3B+ 14
- [그림 11] 다대역 온도 이력기(AT4208) 16
- [그림 12] SMD HOT PLATE (BK-500) 16
- [그림 13] HOT PLATE 온도 측정 POINT에 대한 방사율 보정 측정 처리 전(좌)후(우) 17
- [그림 14] 방사율 보정 측정 처리 환경의 열화상 이미지 17
- [그림 15] 실시간 온도 인식 처리를 통한 제어부 송신 구성도 18
- [그림 16] 실시간 온도 인식 처리를 통한 열처리 가공장치 실 구성 18
- [그림 17] 열화상센서의 데이터 보정 처리를 위한 시험장치 구성 20
- [그림 18] 각 온도 측정 포인트에 대한 온도 변화 22
- [그림 19] FDM방식 출력물의 열 가공 처리 실시간 이미지 27

표 목 차

- [표 1] 3D프린터 출력방식별 특징 및 장단점 비교 3
- [표 2] 표면처리 기술 분류표 5
- [표 3] 열화상 카메라 재질 방사율 값 11
- [표 4] Lepton 2.5 Specifications 12
- [표 5] 라즈베리파이3B+ Specifications 13
- [표 6] 다대역 온도 이력기(AT4208) Specifications 14
- [표 7] BK-500 Specifications 15
- [표 8] FDM 출력물 열가공 제어 순서도 18
- [표 9] 발열장치 H/P 설정 온도에 따른 측정 온도 DATA 20
- [표 10] 발열장치 온도 설정 값에 따른 각 POINT별 측정온도 오차율 22
- [표 11] 1~5번 POINT에 대한 온도 합산 평균 및 오차 23
- [표 12] 측정포인트에 따른 온도 보정 적용 오차율 결과 24
- [표 13] 보정결과에 대한 측정온도 신뢰성 시험 결과 26

ABSTRACT

A Temperature Calibration Algorithm for Post-Heat Treatment of FDM 3D Printer Products

Kim, SeHyun

Advisor : Prof. Moonsoo Kang, Ph.D.

Dept. of Computer Engineering,

Graduate School of Chosun University

In this thesis, I propose a thermal curing method to increase the usability of FDM (Fuse Deposition Modeling) output among 3D printer manufacturing methods.

FDM-type output is a method of laminating thermoplastic resin in the form of a string, interlayer fusion is not sufficient, making it vulnerable to impacts perpendicular to the stacking direction. This problem can be solved depending on the operator's know-how, but depending on the type, it is not easy to solve. In some cases, the problem is solved through other methods such as coating, acetone treatment, or heat treatment.

As mentioned above, this thesis seeks to solve the problem through heat curing. However, since the human eye cannot perceive the surface temperature of the processing object during thermal processing, the problem is solved using a thermal imaging sensor. First, the real-time surface temperature of the processing object is recognized through the thermal imaging sensor of the sensor unit, the surface temperature is displayed through a separate calibrated temperature analysis, and an operation signal is sent to the MCU of the control unit to enable thermal processing at a constant speed without thermal deformation.

In thermal image temperature recognition using a thermal imaging sensor, the perceived temperature varies due to environmental factors such as the emissivity of the object, measurement distance, and surrounding temperature and humidity. Depending on the shape of FDM output, the distance to the measurement area varies, resulting in a large error range in thermal deformation temperature detection. To solve this problem, this paper proposes a method to increase temperature detection accuracy for a specific temperature zone within the processing range.

제 1 장 서 론

3D프린터는 최초 개발 이후로부터 핵심기술들의 특허들이 만료되면서 관련 기술 및 소재의 개발에 대한 연구가 활성화 되어 저가형 3D프린터 및 소재가 개발됨에 따라 높은 가격대이기 때문에 쉽게 도입하지 못한 기업뿐만이 아닌 일반인까지도 쉽게 접할 수 있게 되었으며, 특히 제조업 이외에도 아닌 예술, 사회문제 등 우리 일상에서 사용자들의 아이디어 및 문제점들을 해결해주는 사례들은 어렵지 않게 접할 수 있다 [1][2]. 제조업에서 3D프린터를 활용한 경우 기존의 금형을 통해 압출 및 사출성형을 통해 제품을 만들기에 앞서 그 형상을 참고하거나, 3D프린터 결과물 그 자체를 사용하여 연구 및 사업화에 사용 되고 있으며, 예술계에서는 기존의 제작 방법들로는 제작이 어려워 구현하지 못한 형상을 제조함으로써 그 활용 범위가 매우 넓다[3][4].

이러한 3D프린터 출력물은 제조 방법에 따라 그 활용의 효율이 매우 다르다. 3D프린터 출력방법으로 FDM(Fuse Deposition Modeling), SLA(Stereo Lithography Apparatus), DLP(Digital Light Processing), SLS(Selective Laser Sintering) 등 여러 출력 방법들이 있다. 가장 활용이 많이 되고 있는 출력방법은 FDM방식이며, 장비와 그 소모품이 가장 저렴하여 규모를 떠나 여러 기업 및 연구단체 그리고 일반인까지도 비용에 대한 부담이 적어 가장 많이 사용하고 있다. FDM방식은 노즐(Fuse)에 열을 가하여 Line형태의 열가소성 소재(ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene), PLA(Poly Lactic Acid) 등)를 녹여 3D모델링의 형상에 대해 설정되어진 값만큼의 층 두께로 슬라이싱 하여 한층 씩 그려 쌓아 제작한다[5].

각 3D프린팅 방법은 장·단점이 있는데 FDM방식의 경우 위에서 언급한 것처럼 가장 저렴하여 비용적인 면에서 큰 장점이 있는 반면에, 소재를 녹여 노즐을 통해 층마다 라인으로 그려나가는 특성 때문에, X, Y축의 크기가 클수록 제조 시간이 오래 걸리며, 형상에 따라 그려지는 패턴이 달라지고, 소재에 따른 녹는점 등 장비를 사용하는 오퍼레이터의 숙련도 및 노하우에 따라 3D프린터 결과물의 퀄리티 차이가 많이 난다. 이때 단순한 형상 참고만을 목적으로 하는 경우에는 높은 퀄리티를 요구하지 않을 수도 있지만 강도, 조립성, 시제품을 통한 제품 시연 등을 목적으로 하는 경우에는 출력되어진 제조물을 그대로 사용하기에는 어려움이 있다[6].

이러한 문제요소로는 한층 씩 쌓아 출력되면서 생기는 층간 표면의 거침과, 소재가 적층되어질 때 충분히 붙지 않아 사출성형물과 비교하였을 때 강도가 충분하지 않은

점이 있다. 표면의 거침에 대한 문제를 해결하기 위해 기존에는 샌딩(사포) 및 표면연마기를 사용하는 연마 가공과, 퍼티와 같은 재료를 통해 도포가공을 하여 해결하는 경우가 일반적이며, 결과물의 용도가 조립성을 요구하는 경우가 아닐 때에는 아세톤을 사용한 화학적 표면가공을 통해 표면처리를 하는 경우도 있다.

표면처리 방법 중 연마가공은 3D모델링 목적으로 조립구조 형상이 있는 경우 가장 많이 쓰이는데 앞서 언급된 표면의 문제뿐만 아닌, 층간 소재가 충분히 접합되지 않은 문제로 인해 연마가공 중에 층이 갈라지는 현상이 발생하여 재출력 하거나, 별도의 보수작업을 통해 해결하는 일이 발생한다. 층이 갈라지는 현상은 열가소성 소재의 보관 상태, 장비의 제작설정(출력속도, 노즐 온도 등), 주변 환경 온·습도에 따라 영향을 받기도 하며, 출력물의 크기가 클수록 이러한 현상은 쉽게 발생한다[7].

FDM출력 결과물의 표면강도를 해결하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있으며, 방법으로는 아세톤을 활용한 표면처리와 열처리, 도포 등을 통한 연구가 진행되고 있다. 이때, 아세톤 및 도포를 통한 표면가공의 경우 별도의 재료와 안전한 가공환경을 구축하여 전문적으로 표면가공을 하는 전문성을 갖추지 않고서는 힘든 작업이다. 열처리 방법은 아세톤 및 도포와 비교하였을 때 별도의 재료 및 환경구축에 비교적 자유로우나, 소재의 열 변형 온도에 도달하였을 때 3D프린터 출력 결과물의 표면온도를 인지하여 변형을 최소화 하는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 FDM방식의 3D출력 결과물에 대해 별도의 재료 및 복잡한 환경구축에서 비교적 자유로운 열처리를 통하여 열 변형을 최소한으로 하기위해 열화상센서를 사용하여 가공물의 후열처리 data 보정 방법을 제안하고자 한다.

제2장 3D프린팅 기술 및 연구사례

제 1 절 3D프린터 출력 방식 및 특징점

3D출력 방식은 1980년대에 기술에 대한 개념이 나온 이래로 다양한 제조 방법에 대한 연구가 진행되면서 현재 상용화 되어진 방법으로는 FDM, SLA, DLP등의 출력 방법들이 있다. 이러한 출력방법들은 적층되어 제조되어 진다는 공통점이 있는 반면에 사용되는 소재 및 적층방법이 달라 출력 방식에 따른 특징이 다르다.

구 분	FDM	SLA	DLP
출력방식	열가소성 수지를 녹여 압출 후 쌓음	광경화성 수지에 레이저를 조사하여 경화	광경화성 수지에 빛을 조사하여 경화
소 재	PLA, ABS등	레진(광경화성 수지)	레진(광경화성 수지)
장 점	다양한 소재 사용 가능 비교적 저렴한 소재 치수 정확성 간편한 서포트제거 내구성 출력크기가 큼	정밀도가 매우 높음 출력속도가 빠름 후처리가 적음	출력물의 표면 마감 출력속도가 빠름 견고하고 유연한 재료 부품 강도
단 점	출력물의 품질이 낮음 출력속도가 느림 후처리가 필요함 강도(층간 강도 약함)	소재가 고가 소재가 한정적임 UV에 민감 사용 환경 고려 장비 사용난이도가 높음	소재가 고가 소재가 한정적임 출력 크기 작음 사용 환경 고려 장비 사용난이도가 높음
가 격	비교적 저렴함	높 음	높 음

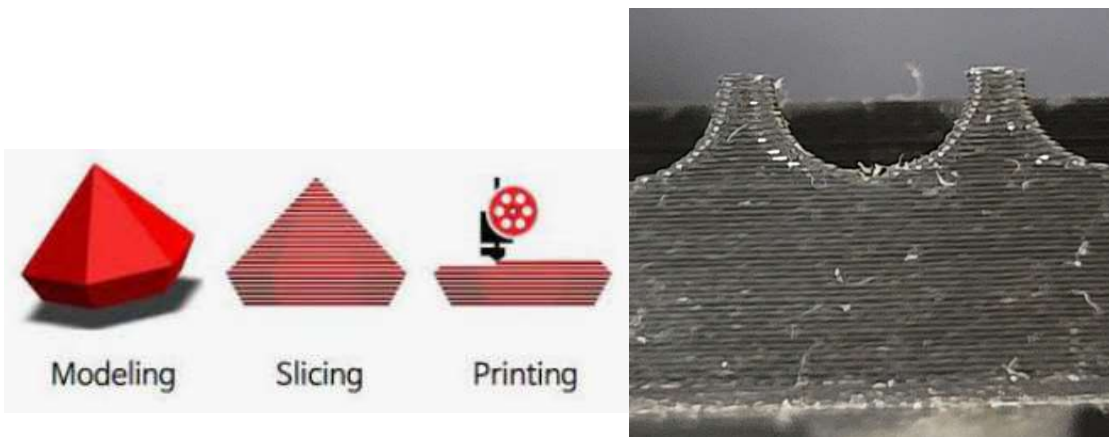
[표 1] 3D프린터 출력방식별 특징 및 장단점 비교

위 [표 1] 과 같이 FDM은 다른 가장 많이 사용되어지는 3D출력방법들 중 다양한 소재를 활용성, 제조크기, 내구성, 가격 등의 이점으로 인해 다양한 영역에서 활용성이 높게 사용되어 지고 있다. SLA와 DLP의 경우 광경화를 통해 제작되는 점은 같지만 출력방향 및 경화 방법에서 차이를 보이며, 장비와 소재의 가격이 높다.

제 2 절 FDM 기술

3D프린터 출력 방법중 FDM방식은 1.75mm 두께의 실 형태의 열가소성 소재를 녹여 노즐을 통해 압출 하여 3D 모델링 파일에 대해 Z축 방향으로 슬라이싱 하여 층별로 라인을 그려가며 한층 씩 쌓아가는 제조 방법이다[8].

위와 같은 제조방식을 가지는 FDM은 [표 1] 에서 나타나듯이 제품의 검증, 검토등의 목적으로 사용자가 경제적으로 쉽게 접하기 쉬운 요소 들이 있지만 단점으로는 다른 출력 방식과 비교하였을 때 출력속도가 느리며, 후처리가 필요하고, 내구성은 높지만 Z축 방향으로 쌓이는 3D프린터 출력물의 층간 접합성이 약한 단점이 있다.



[그림 1] FDM 방식의 제조 구조

3D프린터를 사용하는 목적으로는 대부분 모델링 및 제작하고자 하는 형태의 검토 및 조립성 확인과 시제품의 외관 사용을 목적으로 사용하지만 [그림 1] 과 같이 FDM출력 결과물의 경우 쌓이는 적층의 형태로 인해 표면이 거칠어 외관을 중요시 하는 시제품 구성을 함에 있어 적합하지 않기 때문에 별도의 표면가공을 통해 사용을 하고 있다.

FDM출력 방법의 가장 큰 문제점은 제작이후 표면의 후처리로 꼽히고 있으며, 이를 해결하기 위해 연마가공, 도포가공, 화학가공 등의 방법이 활용되어지고 있으며, 해당 방법들에 대한 강도 및 변형에 대한 연구도 이뤄지고 있다[9][10][11][12].

제 3 절 FDM방식의 후처리에 대한 연구사례

1. 3D프린터 출력물의 상용화를 위한 표면처리 기술연구[9]

해당 연구에서는 FDM출력 방식의 오픈소스 형태로 대중화됨으로서 그 활용성 및 사용 방법이 다양해졌으나, FDM출력방식의 표면처리에 대한 문제에 대해 표면의 거침을 해결하는 방법에 대해 제안은 하고자 아래 [표 2] 와 같이 연마가공, 정밀가공, 도포 가공, 아세톤 가공, 기타 가공을 통해 각 표면처리의 방법과 특징 등을 소개하였다.

연마가공	정밀가공	도포가공	아세톤가공	기타가공
샌딩	헨디조각기	수작업퍼티	칠하기	인두기
연마기		스프레이퍼티	분사하기	마감 마커
			담그기	
			훈증하기	

[표 2] 표면처리 기술 분류표¹⁾

각 표면 처리방법에 대해 사용하는 도구 및 재료와 후처리 순서를 나타내었으며, 각 처리 방법에 대한 후가공 방식의 선호도 조사를 통해 사용자가 원하는 분야에서의 후처리 방식에 대한 결과로 사용자는 고를 표면을 요구하는 작업을 진행할 때 도포 가공 및 연마가공을 선호하며, 부품제작을 목적으로 할 경우에는 정밀가공을 선호, 생활용품 및 장식품들을 목적으로 할 경우에는 아세톤 가공을 선호한다고 확인하였다.

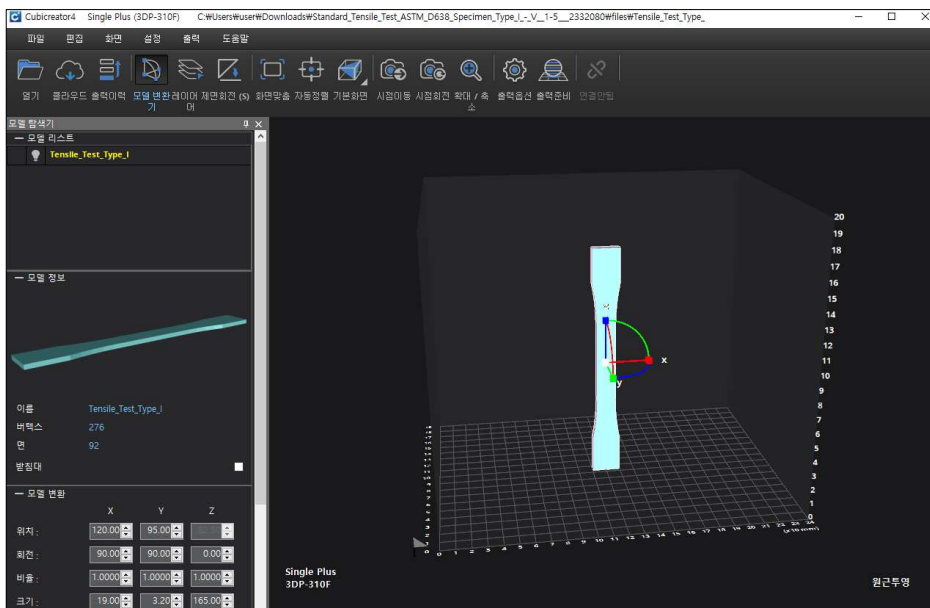
해당 연구의 결론으로서 FDM방식 출력결과물의 활용성을 높이고자 요구하는 이용자들의 니즈는 객관적으로 확인을 하였지만 이를 해결하기 위한 연구 사례 및 기술이 부족하며 이를 위한 연구가 활성화 되어야 한다고 개선과제를 도출하였다.

1) [표 2]는 Reference [9] 에서 발취함

2. FDM 3D프린팅 출력물의 화학적 후처리[10]

해당 연구에서는 FDM출력방식은 쾌속조형에 사용되는 가장 대중적인 방식임에도 불구하고 열에 취약하며 표면의 거침에 대한 문제를 확인하여 이를 해결하기 위한 방법으로 아세톤 훈증 처리를 통한 방법으로 문제를 해결하는 실험을 진행 하였다.

3D프린터 결과물은 코팅, 도금, 열처리 등의 후처리가 필요하며, 표면조도 및 강성을 높이는 과정이 필요함을 강조하였으며, 아세톤 훈증 처리 방식의 표면조도 및 강성의 확인 방법으로 [그림 2] 와 같은 형태의 ASTM D638에 준하는 표준시편을 제작하여 후처리를 통해 실험을 진행하였으며, 표면조도의 개선정도와 기계적 물성의 인장강도 및 변형율을 확인하였다.



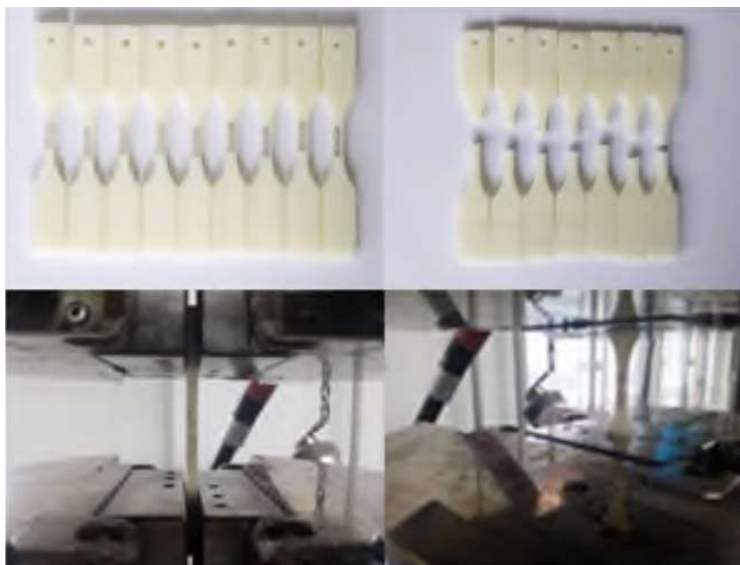
[그림 2] ASTM D638 인장시험 시편 모델링 이미지

해당 연구를 통해 FDM출력 방식의 3D프린터 출력 결과물의 ABS소재에 대한 아세톤 후처리 결과로서 시편의 표면물성 및 기계적 물성을 확인하였으며, 아세톤에 담금 처리를 하여 후처리를 하여도 형태의 변형이 큰 차이를 보이지는 않았으며, 특정시간이상이 되었을 때 변형이 급격하게 일어남을 확인하였다고 결론을 내었으며, 강도는 특정시간이상 가장 강도가 오름을 확인하였지만 그 이상으로 하였을 때 감소함을 확인하였다고 결론을 내었다.

3. 후열처리를 통한 FDM 방식 3D 프린팅 제품의 강도향상에 대한 연구[11]

해당 연구에서는 FDM방식의 3D프린터를 이용한 ABS재질의 시편을 제작하고 강도향상을 위한 최적의 열처리 조건을 찾고자 하였음.

시험 방법으로는 ASTM D638 에 따른 시편을 제작하여 열 처리 공정에 따른 인장 시험을 수행 하였으며, 열처리 공정변수는 온도와 시간으로 하여 온도300℃일 때 3종(20초, 30초, 40초), 온도 400℃일 때 3종(10초, 15초, 20초)으로 6가지의 경우에 대하여 열처리를 하지 않은 경우와 비교하였다. 시편의 열처리는 특정온도로 유지 되는 환경챔버를 활용하였다.



[그림 3] Picture of test specimen and tensile test²⁾

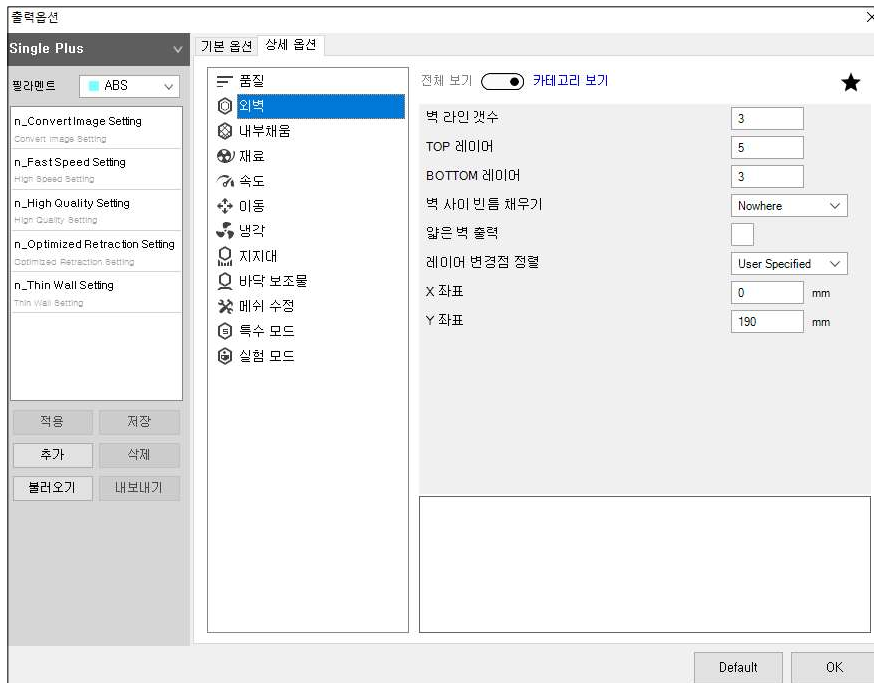
해당 실험을 통해서 열처리 공정변수에 따른 열 변형율과 인장강도를 확인하였으며 결과적으로 열처리를 통해 FDM방식의 제작된 시편의 강도를 강화할 수 있음을 확인함. 해당 논문의 저자는 형상의 변형을 최소화하고 강도를 향상시키기 위해서 더 많은 공정변수를 이용한 연구가 필요하다고 결론을 내었음.

2) [그림 3]은 Reference [11]에서 발취함

제3장 문제점 및 해결방법

제 1 절 본 논문에서 다루고자 하는 문제점

본 논문에서는 제 2장에서 언급된 문제점들 중에서 표면의 거침을 해결하기 위하여 연마가공을 진행하는데, 연마가공도중 FDM출력 결과물이 층간 접합이 충분히 되지 못하여 표면이 갈라지거나 층이 분리되어버리는 현상이 있다. 이러한 현상은 사출성형과 같이 안정적인 제조방식으로 보편화되어 있는 일상속의 상용화 제품 제조 방식과는 다르게 성형되는 모델링 사이즈에 따라 같은 X, Y좌표에 대한 Z축 이동 제작까지 시간이 걸리기 때문에 층간 온도가 달라 충분히 접합하지 못함으로서 Z축에 대한 층간 강도가 약한 특징이 있다.



[그림 4] 3D프린터 출력옵션 설정 창(큐비콘사 Cubicreator v4.5.1)

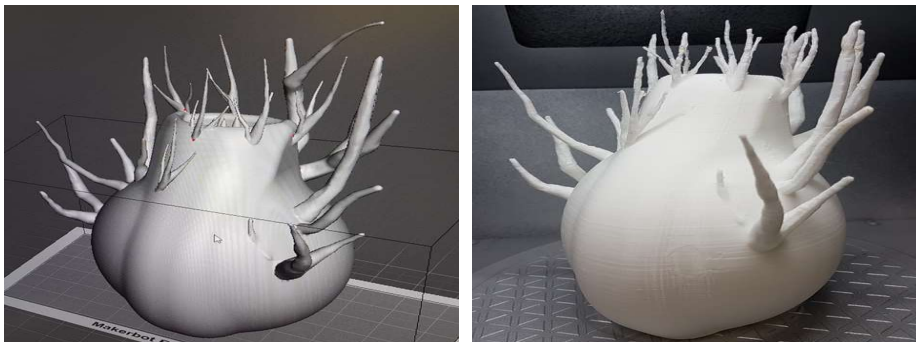
이러한 문제를 해결하기 위해 강도가 필요한 제작물의 경우 [그림 4] 과 같이 3D프린터 출력설정에서 외벽 및 내부 채움의 설정 값을 높여 제작을 하여 강도를 올리는 방법도 있지만 이러한 방법은 적절한 설정 값 이상이 되었을 때 재료를 많이 소모하며

출력시간이 매우 높아지고 가공시간이 증가함에 따라 형상물의 플라스틱 수축현상이 발생하여 외관 형상의 불량을 일으킬 확률이 올라간다.



[그림 5] FDM출력방식 결과물의 표면 층간 갈라짐

[그림 5] 와 같이 표면의 층간 갈라짐 현상이 생기면 연마가공을 진행하기 어려움이 있으며, 이를 해결하기 위하여 재 출력을 진행하거나 별도의 보수작업을 통해 접합 후 후처리 작업을 이어 진행 하여야 한다.



[그림 6] FDM출력방식 결과물의 얇은 구조 형상 예시

연마가공을 위해서는 FDM출력 결과물의 표면강도가 일정이상 되어 주어야 가공처리가 원활하게 진행이 되어 지지만 연마가공 특성상 샌딩(사포)와 표면연마기 등을 통해 가공을 진행하기 때문에 [그림 6] 와 같이 얇은 구조 형상을 하고 있는 형상물에 대해서는 강도의 문제로 처리함에 있어 어려움이 있다.

제 2 절 제안하고자 하는 해결방법



[그림 7] 열화상카메라의 재질의 방사율에 따른 동일온도 인식 화면[15]

본 논문에서는 FDM출력물의 활용성(연마가공을 통한 활용 및 제품의 강도 문제)을 올리기 위하여 후열처리를 통해 강도를 향상시켜 해결하고자 하였으며, 이때 후열처리 과정에서 열변형을 최소한으로 하여 열처리를 하기 위해 열화상센서를 사용하여 문제를 해결하고자 함.

열화상 센서는 접촉방식의 온도계와 달리 원격측정이 가능하며, 움직이는 물체에 대해서 표면온도를 측정하기 적합하고 별도의 설치가 필요하지 않아 사용이 편리한 장점이 있지만, 측정값의 오차 요인으로는 물체의 방사율, 측정거리, 주변 온 습도, 센서의 측정 해상도, 센서의 정확도 등이 있다. [그림 7] 에서 보이는 바와 같이 방사율에 따른 동일온도에 대한 열화상 센서의 온도 인식의 차이가 있다. 측정 대상의 표면온도를 정확하게 측정하고자 한다면 [표 3] 처럼 물체의 재질에 맞는 방사율을 적용하여 측정하여야 한다. 또한 측정거리에 따라 주변의 온도가 일정하지 않거나 대상의 위치, 각도에 따라 온도의 오차가 발생 할 수 있다.

이러한 오차요소로 인한 온도 신뢰성 문제는 고가형 열화상 측정 장비들에는 자체적인 하드웨어 성능과, 보정해주는 소프트웨어를 통해 보다 신뢰성을 확보하여 다양한

산업군에서 많이 사용되어지고 있다. 그러나 이런 고가의 열화상 카메라 장비도 접촉식 온도계와 비교하였을 때 온도 오차의 범위가 크다.

재료	열방사율	재료	열방사율
역청(Bitumen)	0.90~0.98	검은천	0.98
콘크리트	0.94	인간의 피부	0.98
시멘트	0.96	거품	0.75~0.80
모래	0.90	숯 가루	0.96
땅	0.92~0.96	페인트	0.80~0.95
물	0.92~0.96	매트 페인트	0.97
얼음	0.96~0.98	검은 고무	0.94
물	0.83	플라스틱	0.85~0.95
유리	0.90~0.95	목재	0.90
세라믹	0.90~0.94	종이	0.70~0.94
대리석	0.94	크롬 산화물	0.81
석고	0.80~0.90	산화동	0.78
모르타르	0.89~0.91	산화 제2철	0.78~0.82
벽돌	0.93~0.96	섬유	0.90

[표 3] 열화상 카메라 재질 방사율 값[16]

3D프린팅 출력물의 열변형이 일어나는 온도 구간에 대한 온도영역에 대해 정확하게 인식하고 제어하기 위해 인식되는 온도의 오차율이 적을수록 좋다.

FDM방식 제품의 경우 다른 출력방식에 비해 저렴한 것이 장점이지만 FDM출력물의 후가공 장치의 가격이 고가 3D프린터장비와 비슷하면 FDM방식을 사용할 이유 중 하나가 없어지기 때문에 고가의 열화상 장치를 구성하기 어려움이 있어 저가형 열화상센서를 이용하면서 접촉식 온도계와 비교하였을 때 열 변형 지점 감지의 오차율이 적은 연구가 필요하다.

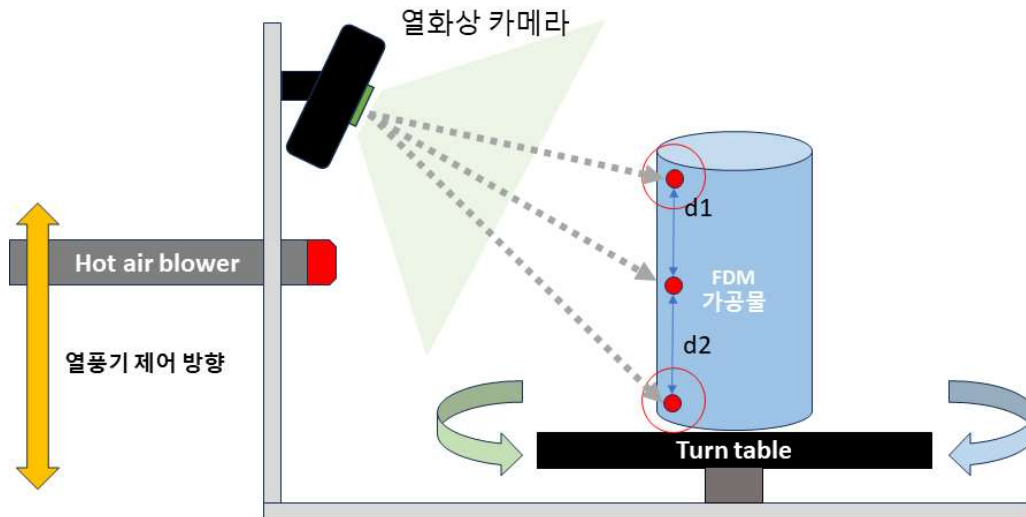
본 논문에서는 3D프린팅 출력물의 표면 열 가공을 통해 변형을 최소화 하고 층간 결합성을 올려 표면의 강도를 올리기 위한 가공장치를 구축하기 위해 저가형 열화상센서를 사용하면서 접촉식 온도계와 비교하였을 때 오차율이 적고, FDM출력 결과물의 형상에 따른 측정거리를 감안한 DATA보정을 통해 열 변형 온도지점을 감지하고 제어장치에 신호를 주어 자동으로 열 가공을 하는 방법을 제안하고자 한다.

제 3 절 제안하고자 하는 후열처리 시스템 구성

기존의 열처리 방법으로는 열풍으로 표면을 가공하거나 인두기 등을 통해 표면을 녹여 가공하는 방법이 있는데 본 논문에서는 열풍을 통한 후열처리 방법을 제안하며, 이때 열풍 가공 중 FDM출력물의 표면온도는 사람이 인지하여 가공이 힘들기 때문에 열화상 센서를 사용하여 해결한다. 열화상 센서는 다양한 산업군에서 사용이 되어 지고 있으며, 사람이 인지하지 못하는 표면의 온도를 인식하여 실시간으로 표시 함 으로서 실시간 처리 상황을 사용자가 쉽게 인지할 수가 있다[13][14].

열화상 센서를 사용하여 표면온도를 감지를 할 때 [그림 8] 과같이 FDM가공물의 온도 감지면의 거리에 따른 오차가 발생하는데 이러한 오차는 과도한 열 가공을 통해 FDM가공물의 열 변형을 야기할 수 있어 오차를 최소한으로 할 필요성이 있다.

해당 논문에서는 이러한 오차를 해결하기 위하여 열화상센서에서 감지하는 data를 통해 거리 및 방사율에 따른 온도를 교정하고, FDM 3D프린터 결과물의 후열처리 장치에 적합한 온도를 감지하는 열화상 보정 방법을 제안한다.

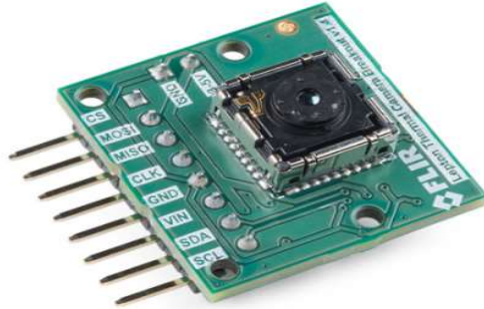


[그림 8] 열화상 센서를 통한 FDM가공물 후열처리 구성도

제4장 표면온도 감지 정확성 시험 장치 구성

제1절 열화상 센서부

1. 열화상 센서(FLIR사 Lepton 2.5)



[그림 9] FLIR사 Lepton 2.5 module

Spectral range	Longwave infrared, 8 μm to 14 μm
Array format	80 \times 60 progressive scan
Pixel size	17 μm
Effective frame rate	8.6 Hz
Thermal sensitivity	<50 mK (0.050°C)
Scene dynamic range	High Gain Mode: -10°C to 140°C, typical* Low Gain Mode: -10°C to 450°C, typical*
Radiometric accuracy	High gain: Greater of $\pm 5^\circ\text{C}$ or 5% (typical) Low gain: Greater of $\pm 10^\circ\text{C}$ or 10% (typical)
Video data interface	Video over SPI
Control port	CCI (I2C-like), CMOS IO Voltage Levels

[표 4] Lepton 2.5 Specifications[17]

FDM방식 결과물의 열변형 온도 범위 50~70도 이내를 감지 할 수 있고, 저가형 가공 장비로 개발하기 위하여 적합한 [그림 9]의 제품을 선정하였으며, 실시간으로 가공 현황을 육안으로 확인하기 위해 적합한 frame rate를 [표 4] 에서 확인하였다.

2. 라즈베리파이 3B+ - 열 감지 및 처리



[그림 10] 라즈베리파이 3B+

CPU 속도	1.4 GHz
CPU 형태	64-bit quad-core ARM Cortex-A53 CPU
RAM	1GB LPDDR2 SDRAM
INPUT POWER	5V / 2.5A DC via micro USB connector 5V / DC via GPIO header Powe over Ethernet(PoE)- enabled(requires separate PoE HAT)
GPIO PIN	40PIN
Connectivity	4 x USB 2.0 Ports
Environment	Operating temperature, 0-50°C

[표 5] 라즈베리파이3B+ Specifications

열화상 센서부에서는 열화상센서를 통해 RAWDATA를 읽어 처리하는 장치로 [그림 10]의 라즈베리파이3B+를 선정하였다. 해당 개발보드를 통해 FDM출력 결과물의 열 변형 온도를 정확하게 감지하고 감지한 정보를 제어부(별도구성)에 보내줌으로서 실시간으로 열화상 처리 과정을 확인하고 자동으로 열 가공 처리가 가능한 장치 구성을 하고자 한다. 해당 장비의 스펙은 [표 5]와 같다.

제2절 열화상 센서 온도 정확성 검증 장치 구성

1. Multi-Channel Temperature Meter



[그림 11] 다대역 온도 이력기(AT4208)

측정채널	8CH
정확도	0.2% +1°C
측정범위	-200°C~1300°C
분해능	0.1°C
측정속도	고속 : 100ms/ch
KOLAS교정유효 여부	여

[표 6] 다대역 온도 이력기(AT4208) Specifications

[그림 11]의 접촉식 온도(K-type) 이력기를 사용하여 열발생 장치의 표면온도를 측정하고, 열화상 센서부에서 측정하는 온도 RAWDATA를 가공하여 보정하여 온도를 확인하며, [표 6]에서 표시된 범위 내의 온도 구역대별 측정되는 정확성을 및 오차율을 확인 할 수 있도록 구성하였다.

2. SMD HOT PLATE(BK-500)



[그림 12] SMD HOT PLATE (BK-500)

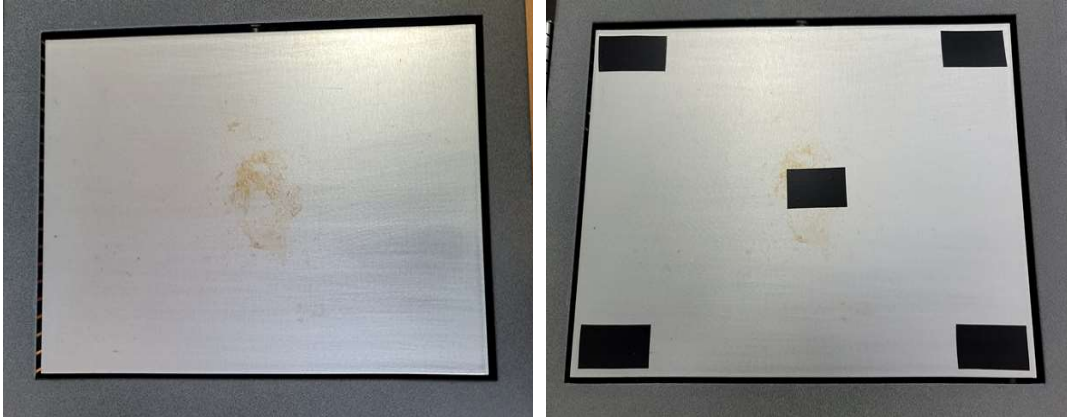
PLATE SIZE	W243 x L163 x H12mm
POWER	220VAC
HEATER	1,000W
TEMP	0~400°C
TEMP, PRECISION	DIP/DIGITAL SETTING ±1°C
START-UP TIME	6MINUTES(20°C ~ 200°C)
DIMENSIONS	W300 x L320 x H130mm
WEIGHT	7.5Kg

[표 7] BK-500 Specifications

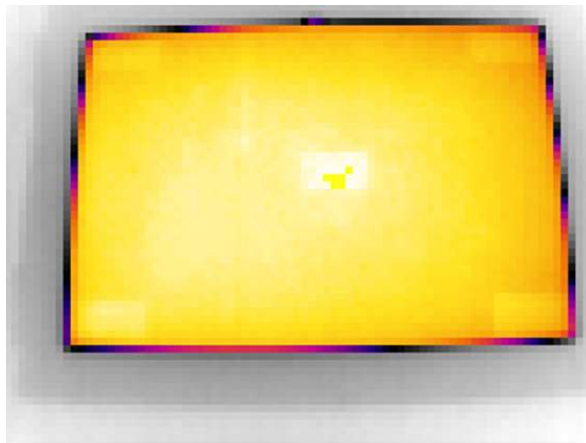
[그림 12] 의 HOT PLATE는 본 연구에서 측정하고자하는 온도 범위에 대해 [표 7] 에서 나타난 것과 같이 1°C의 오차율내로 온도 조절이 가능하며 PLATE범위가 본 연구과제에서 제안하고자 하는 열 가공 범위 적합하여 선정하였으며, KOLAS 교정을 확인한 [그림 11] 의 다대역 온도측정기를 통해 HOT PLATE의 온도 설정에 따른 정확성을 확인하였다.

HOT PLATE의 경우 열이 발생하는 PLATE의 표면이 알루미늄-아노다이징 처리(방사율 0.65)로 인해 본 연구에서 열감지하고자 하는 플라스틱의 방사율(0.85~0.95)와 차이가

있어 열화상센서로 인지하는 온도에서 차이가 있기 때문에 이를 감안하여 HOT PLATE의 온도 센싱을 하는 위치 5POINT에 절연테이프(방사율 0.95)를 붙여 방사율을 근접하게 맞추어 열화상센서의 온도와 접촉식 온도측정기의 DATA를 보정 하였다.



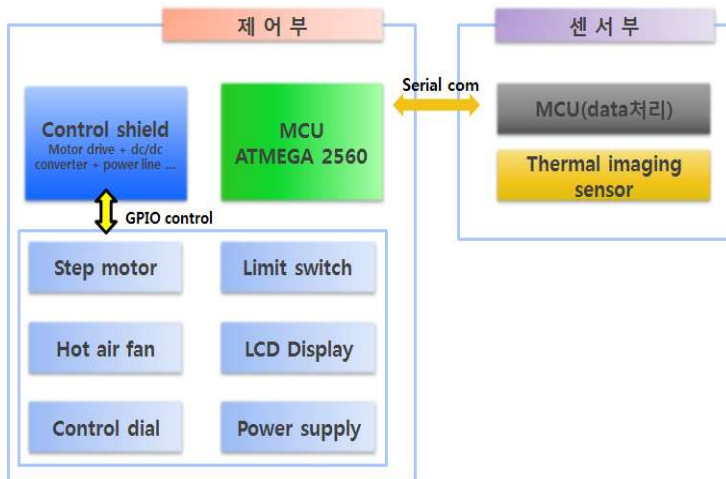
[그림 13] HOT PLATE 온도 측정 POINT에 대한 방사율 보정 측정 처리 전(좌)후(우)



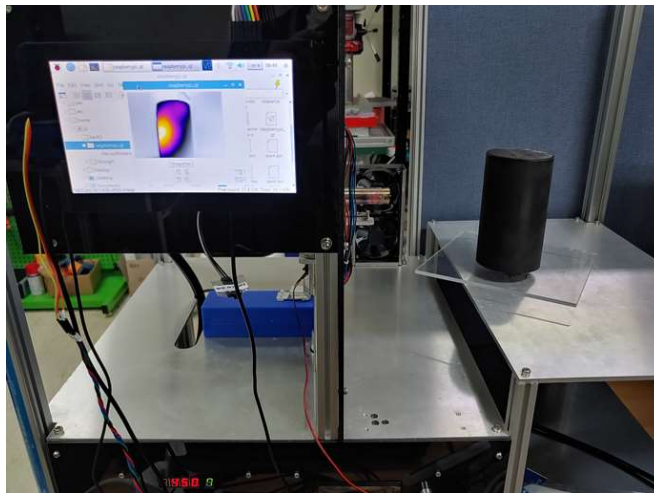
[그림 14] 방사율 보정 측정 처리 환경의 열화상 이미지

위 [그림 13] 와 같이 절연테이프를 붙인 부분에 대해서 가장 열이 많이 가해지는 POINT에 대해 [그림 14] 에서 보이는 것처럼 밝게 나왔으며, 각 모서리 끝부분의 포인트 또한 마찬가지로 주변보다 밝게 표시되어 인식됨을 확인 하였다.

제3절 제어부와 센서부 연동 시스템 구성

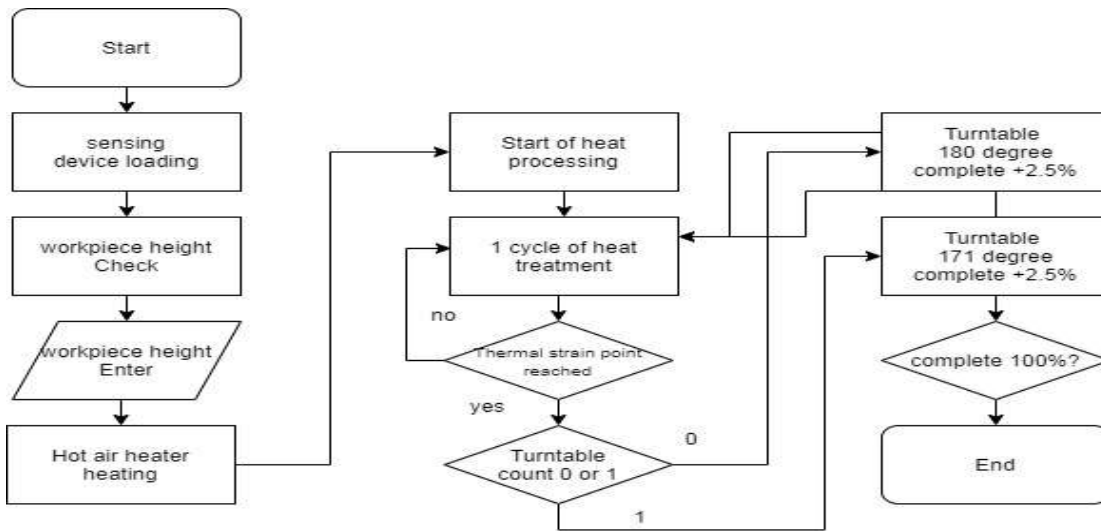


[그림 15] 실시간 온도 인식 처리를 통한 제어부 송신 구성도



[그림 16] 실시간 온도 인식 처리를 통한 열처리 가공장치 실 구성

FDM출력 결과물의 열 변형 표면온도를 센서부가 정확히 감지하였을 때 제어부로 정보를 전달하여 제어를 정확하게 하는지에 대한 시험을 하기 위하여 기능 확인할 수 있도록 [그림 15] 와 같이 구성을 설계하였으며, [그림 16] 에서 보이는 것처럼 실제 구성을 하였다. 수신 받은 열 변형 온도와 상황에 맞게 FDM출력 결과물을 최소한의 열 변형으로 강화 할 수 있도록 턴테이블을 구성하였다.

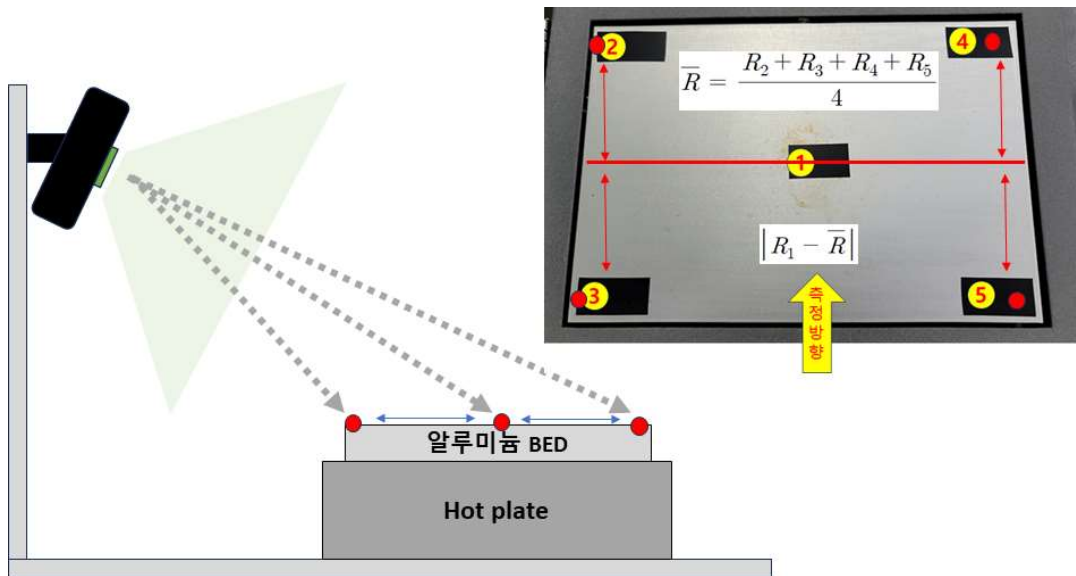


[표 8] FDM 출력물 열가공 제어 순서도

위 [표 8]의 순서도의 프로세스를 통해 센서부의 온도 감지를 통한 제어부의 동작 테스트를 구성할 수 있도록 하였으며, 제어의 정확성을 확인하기 위함이기 때문에 동작의 완료에 대해 FDM출력 결과물의 열 변형 지점 감지를 총 40회 수행 후 완료하도록 구성하였다.

제5장 실험 진행 및 측정 결과 분석

본 연구에서는 실시간으로 3D프린터의 표면 온도를 인식하기 위하여 사진 2.의 열화상 센서를 사용하였다. 해당 연구에서는 열화상 센서를 통해 3D프린터 출력물의 열 변형점으로 감지하는 점을 인지하고 제어보드로 신호를 보내어 변형이 일어나지 않게 열 처리를 하는 장치이기 때문에 실제 표면온도와 정확성이 아닌 센서에서의 인지하는 온도의 정확성을 확인하기 위함이기 때문에 열화상에 대한 정확성 판단 요소에서 별도의 방사율 측정을 통한 보정과 주변 온 습도는 고려하지 않았다.



[그림 17] 열화상센서의 데이터 보정 처리를 위한 시험장치 구성

[그림 17] 와 같이 HOT PLATE에 5부분의 위치에 대해 열화상센서를 통해 측정하였으며, 설정한 온도에서 Hot plate의 각 끝의 측정 지점 2~5를 통한 rawdata를 평균화하여 가운데 측정포인트 1번과 비교하여 오차 범위 내에 들었을 때 온도를 맞추는 보정 방법을 구현하였다. 오차 범위를 벗어날 경우 예외 처리를 하여 추가 가공을 하거나, 별도의 처리를 통해 열 변형을 최소한으로 할 수 있도록 하였다.

제6장 시험 결과

제1절 센서부의 온도 보정 포인트에 대한 측정 결과

1. 측정 결과

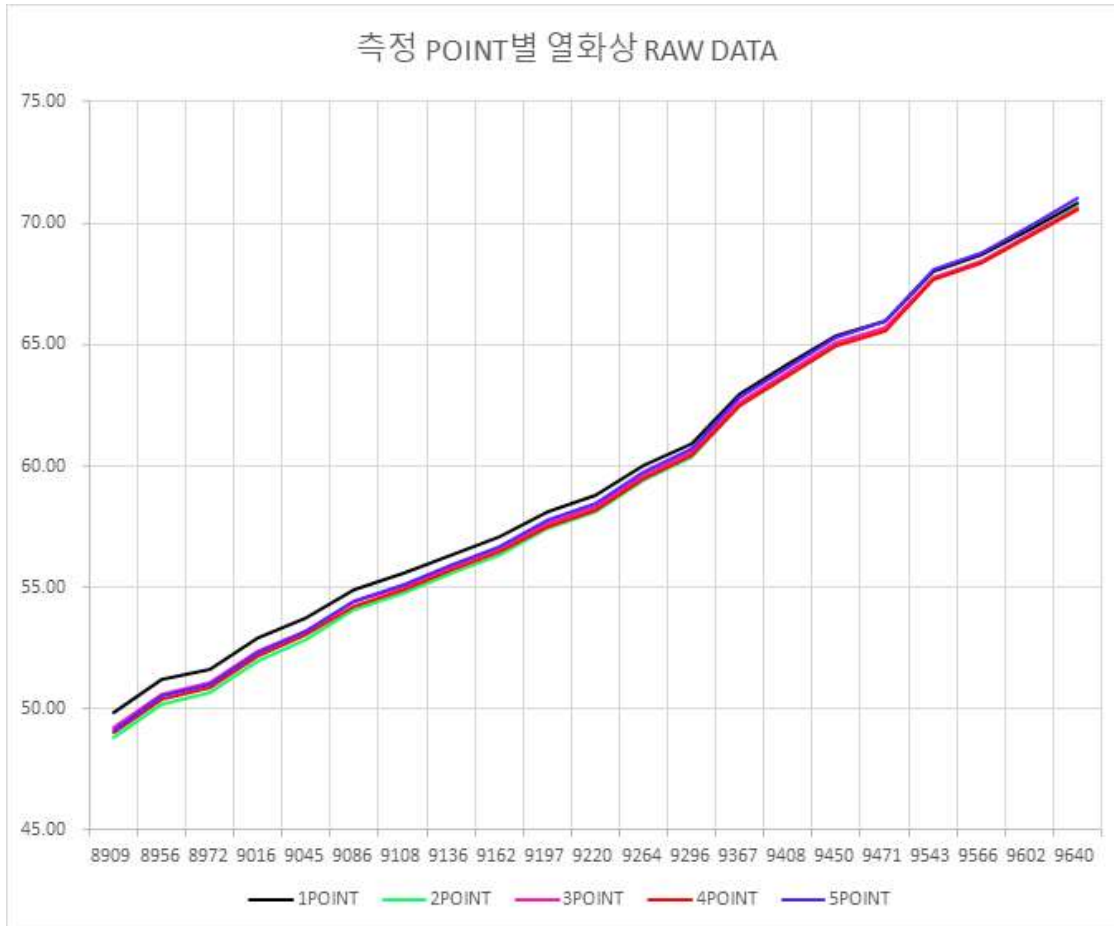
H/P	열화상 RAW DATA	1POINT	2POINT	3POINT	4POINT	5POINT
50	8909	49.85	48.79	49.22	49.04	49.13
51	8956	51.19	50.20	50.60	50.42	50.53
52	8972	51.65	50.68	51.07	50.89	51.01
53	9016	52.92	52.00	52.35	52.19	52.33
54	9045	53.75	52.86	53.20	53.04	53.20
55	9086	54.93	54.09	54.40	54.25	54.42
56	9108	55.56	54.75	55.05	54.90	55.08
57	9136	56.36	55.59	55.87	55.72	55.92
58	9162	57.11	56.36	56.63	56.49	56.70
59	9197	58.11	57.41	57.65	57.52	57.74
60	9220	58.77	58.10	58.32	58.19	58.43
61	9264	60.04	59.41	59.61	59.49	59.75
62	9296	60.95	60.37	60.55	60.43	60.71
63	9367	62.99	62.50	62.63	62.52	62.83
64	9408	64.17	63.72	63.83	63.73	64.06
65	9450	65.37	64.98	65.06	64.96	65.31
66	9471	65.98	65.61	65.67	65.58	65.94
67	9543	68.04	67.76	67.78	67.70	68.10
68	9566	68.70	68.45	68.45	68.38	68.79
69	9602	70.22	70.03	70.00	69.94	70.37
70	9640	70.83	70.66	70.62	70.56	71.00

[표 9. 발열장치 H/P 설정 온도에 따른 측정 온도 DATA]

시험 결과 HOT PLATE의 설정 온도 50~70℃(21개온도 구역)에 대한 열화상 센서의 RAWDATA와 각 온도 측정포인트에 대한 센서부를 통한 열화상 온도측정을 진행 하였으며 결과는 표 9.와 같다.

2. 측정시험 결과분석

각 포인트별 온도측정 데이터를 그래프로 표현 하였을 때 다음과 같다.



[그림 18] 각 온도 측정 포인트에 대한 온도 변화

[그림 18] 에서 보이는 것과 같이 온도 변화에 대한 변화 경향성은 일정하나 HOT PLATE 에서 열이 가해지는 POINT인 1번이 가장 높았으며, 2~5번 POINT에 대해서는 비교적 낮은 온도대에서 위치에 따른 온도의 차이가 있었으며, 온도가 올라가면서 그 차이가 낮아졌다.

HOT PLATE의 온도 설정값과 각 측정 포인트에 대한 온도의 오차율은 아래 다음 [표 10] 과 같다.

H/P	열화상 RAW DATA	1오차율	2오차율	3오차율	4오차율	5오차율
50	8909	-0.31%	-2.47%	-1.58%	-1.96%	-1.78%
51	8956	0.38%	-1.59%	-0.80%	-1.15%	-0.92%
52	8972	-0.67%	-2.61%	-1.83%	-2.18%	-1.94%
53	9016	-0.16%	-1.93%	-1.24%	-1.56%	-1.28%
54	9045	-0.47%	-2.15%	-1.50%	-1.81%	-1.51%
55	9086	-0.13%	-1.68%	-1.10%	-1.38%	-1.06%
56	9108	-0.80%	-2.29%	-1.73%	-2.01%	-1.67%
57	9136	-1.13%	-2.55%	-2.03%	-2.30%	-1.93%
58	9162	-1.56%	-2.90%	-2.42%	-2.68%	-2.30%
59	9197	-1.53%	-2.77%	-2.34%	-2.58%	-2.17%
60	9220	-2.09%	-3.27%	-2.87%	-3.10%	-2.68%
61	9264	-1.61%	-2.67%	-2.33%	-2.54%	-2.09%
62	9296	-1.72%	-2.70%	-2.40%	-2.60%	-2.13%
63	9367	-0.01%	-0.81%	-0.59%	-0.77%	-0.27%
64	9408	0.26%	-0.44%	-0.27%	-0.43%	0.09%
65	9450	0.57%	-0.03%	0.09%	-0.05%	0.48%
66	9471	-0.04%	-0.60%	-0.50%	-0.64%	-0.09%
67	9543	1.53%	1.12%	1.15%	1.04%	1.61%
68	9566	1.02%	0.65%	0.66%	0.56%	1.14%
69	9602	1.06%	0.76%	0.73%	0.63%	1.24%
70	9640	1.17%	0.94%	0.88%	0.79%	1.41%

[표 10] 발열장치 온도 설정 값에 따른 각 POINT별 측정온도 오차율

[표 10] 에서 보이는 것처럼 각 포인트별 오차율을 확인하였을 때 62도 이하의 온도에서 오차율이 큼을 확인할 수 있었다.

H/P	1~5평균	평균오차
50	49.21	-1.6%
51	50.59	-0.8%
52	51.06	-1.8%
53	52.36	-1.2%
54	53.21	-1.5%
55	54.42	-1.1%
56	55.07	-1.7%
57	55.89	-2.0%
58	56.66	-2.4%
59	57.69	-2.3%
60	58.36	-2.8%
61	59.66	-2.2%
62	60.60	-2.3%
63	62.69	-0.5%
64	63.90	-0.2%
65	65.14	0.2%
66	65.76	-0.4%
67	67.88	1.3%
68	68.55	0.8%
69	69.61	0.9%
70	70.73	1.0%

[표 11] 1~5번 POINT에 대한 온도 합산 평균 및 오차

위 [표 11] 과 같이 5구역에 대한 합산을 통한 평균을 내었을 때 58~62℃범위의 온도에 대한 오차율을 좁히지 못하였다. 본 연구에서는 열 가공을 위해 3D프린팅 출력물의 열 가공을 위해 열 가공 후 열 변형지점 온도를 감지하였을 때 턴테이블을 통해 가공을 하기 때문에 접촉식 온도 측정기의 사용이 용이하지 않아 적외선 센서를 사용하기 때문에 접촉식 온도계와 최대한 비슷한 온도를 감지하고자 2.0% 이내의 오차율이 필요하다.

H/P	보정 결과	보정 오차율
50	50.00	0.0%
51	51.35	-0.7%
52	51.81	0.4%
53	53.07	-0.1%
54	53.91	0.2%
55	55.08	-0.2%
56	55.72	0.5%
57	56.52	0.8%
58	57.27	1.3%
59	58.27	1.2%
60	58.93	1.8%
61	60.20	1.3%
62	61.12	1.4%
63	63.16	-0.2%
64	64.34	-0.5%
65	65.54	-0.8%
66	66.15	-0.2%
67	68.21	-1.8%
68	68.87	-1.3%
69	69.91	-1.3%
70	71.00	-1.4%

[표 12] 측정포인트에 따른 온도 보정 적용 오차율 결과

위의 [표 12] 와 같이 보정을 통해 가공범위의 50~70℃에 대한 온도의 인식 오차율을 2.0%이하로 인식함을 확인하였다.

열화상 센서의 온도 인식의 신뢰성을 확인하기 위하여 상용화 열화상센서인 [그림 9]의 제품을 사용하고, 특정온도 정밀 제어를 통해 온도 인식 시험을 위하여 HOT PLATE를 통해 온도 보정범위 50~70도에 대하여 1도 간격으로 변동을 주어 열화상 센서의 온도 인식 정확성을 확인할 수 있도록 구성하였으며, HOT PLATE의 온도 제어 신뢰성을 확인하기 위해 KOLAS교정을 받은 장비인 다대역 온도 이력기를 사용하여 접촉식 K-TYPE 써모커플을 통한 HOT PLATE의 설정 온도에 따른 PLATE의 발열 온도를 측정하고, 측정 결과를 열화상센서를 통한 온도 측정값과 비교하여 온도 인식 정확성을 확인하였다.

H/P	보정 결과	온도 측정기	오차율	정확도
50	50	50.17	0.34%	99.66%
51	51.35	51.47	0.23%	99.77%
52	51.81	52.43	1.18%	98.82%
53	53.07	53.51	0.82%	99.18%
54	53.91	54.2	0.54%	99.46%
55	55.08	55.12	0.07%	99.93%
56	55.72	55.95	0.41%	99.59%
57	56.52	57.1	1.02%	98.98%
58	57.27	57.83	0.97%	99.03%
59	58.27	58.98	1.20%	98.80%
60	58.93	59.87	1.57%	98.43%
61	60.2	60.94	1.21%	98.79%
62	61.12	62.24	1.80%	98.20%
63	63.16	63.28	0.19%	99.81%
64	64.34	64.26	-0.12%	99.88%
65	65.54	65.44	-0.15%	99.85%
66	66.15	65.93	-0.33%	99.67%
67	68.21	67.24	-1.44%	98.58%
68	68.87	68.82	-0.07%	99.93%
69	69.91	69.78	-0.19%	99.81%
70	71	70.89	-0.16%	99.85%

[표 13] 보정결과에 대한 측정온도 신뢰성 시험 결과

열화상 측정DATA보정 값에 대해 신뢰성평가를 받은 접촉식 온도계와 비교하여 위 표 13.과 같이 오차율 및 정확도를 확인하였다.

시험결과 열화상센서를 통한 가공영역에서의 보정온도측정은 접촉식온도계를 통해 ±2%이내의 오차율을 확인하였으며 열 변형 온도감지 영역인 50~70℃사이에 대해 충분히 감지하여 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

제2절 센서부의 열변형 온도 감지에 따른 제어부 통신

표 13.의 시험 결과에 따른 방사율, 측정거리를 고려한 보정 DATA를 통해 각 측정 포인트의 오차율 2%를 확인함으로써 FDM출력물의 열 변형점을 감지하여 제어부로 제어 신호를 보내 정확하게 동작하는지 확인을 진행하였다.



[그림 19. FDM방식 출력물의 열 가공 처리 실시간 이미지]

구성된 터치 디스플레이를 통해 열가공 상태에 대해 실시간으로 가공 상태를 [그림 19]에서 보이는 것과 같이 화면상으로 확인이 가능하였으며, 표면의 온도를 측정 하고 설정된 열변형 온도 범위를 넘었을 때 턴테이블을 통해 반대면의 열 가공 작업을 확인하였다.

시험설비 구성에서 언급된 것처럼 정확한 온도를 측정하여 신속하고 정확한 제어가 가능한지에 대한 동작 테스트를 하는 것이기 때문에 총 40회에 대해 각 2.5%씩을 부여하여 100%가 되었을 때 가공을 완료하게 구성하여 에러동작 없이 동작함을 확인하였다.

제7장 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 3D프린터의 제조방법 중 FDM방식의 결과물에 대한 주된 문제점으로 지목 되고 있는 표면의 거칠 및 Z축 방향으로 적층된 부족한 층간의 접합성으로 인해 활용성이 떨어지는 문제점을 해결하기 위하여 표면을 강화하는 방법으로서 후열처리 방법을 제안하며, 자동화 시스템화 하기 위하여 열 감지 방법으로 열화상 센서를 통해 FDM출력 결과물의 열변형 온도를 정확하게 감지하는 방법에 대해 기술하였다.

열화상 센서의 온도에 대한 영향요소로 측정 대상의 방사율, 거리, 온 습도, 각도 등이 있으며, 본 논문에서는 방사율, 거리에 대하여 실험을 하였으며, 한정되어진 크기와 소재의 FDM방식 결과물의 측정이 목표이기 때문에 특정 영역, 특정 온도 범위를 고려하여 실험을 진행하였다.

앞에서의 시험을 통해 특정범위 내에서의 온도 측정 정확도에 대해 98% 이상을 확인 하였으며, 해당 정확도에 대한 신뢰성 확인 방법을 위해 FDM방식의 결과물에 접촉식 온도 센서를 부착한 상태로 열풍을 통한 가공 상태의 표면온도 정확성을 측정할 수 없기 때문에 별도의 발열 장치를 통해 그 신뢰성을 비교하여 확인하였다.

열 측정의 정확도 확인을 통해 센서부에서 인지한 FDM방식의 결과물의 소재를 고려한 설정된 열 변형 온도를 감지하고, 제어부로 신호를 보내어 제어부에 제어하는 턴 테이블을 동작시키는 구조로 구성을 하였으며, 이러한 과정을 반복하여 최소한의 열 변형으로 표면의 강도를 강화하는 열 강화 방법을 제안한다.

본 논문에서는 ABS, PLA소재에 대해서만 고려하여 특정 온도 범위를 지정하여 측정 온도의 정확성을 확인 하였으나, 향후에는 해당 기술을 활용하여 FDM출력 방식에서 가능한 다양한 소재들에 대한 적합한 열 가공 온도를 확인하며, 형상 및 크기에 따른 가공시간 및 제어방법에 대한 연구가 필요하다.

Reference

- [1] 이상수, 4차 산업혁명, 3D프린팅이란?, 시민의소리(2018)
- [2] 권영일, 3D프린팅 시장 전망 및 산업 활성화 방안, 신소재 경제(2022)
- [3] 3D프린팅이 ‘출력’ 하는 예술 세계, 한국문화예술위원회(2020)
- [4] 전해원, 창의성 개발을 위한 예술과 기술 융 복합교육 실행 연구, 홍익대학교 대학원(2018)
- [5] 3D프린터의 종류에 따른 출력물의 차이점, BON SYSTEMS
- [6] 3D프린팅 기술 비교:FDM 대 SLA 대 SLS, formlabs GUIDES
- [7] G.Hong, 3D프린터의 출력물의 품질의 문제와 해결책 24가지(2023)
- [8] 3D프린팅의 흐름을 바꾼 오픈소스 프로젝트,
OSS 정보통신산업진흥원 3월 월간브리핑(2023)
- [9] 이동훈, 박광철, 3D프린터 출력물의 상용화를 위한 표면처리(후가공) 기술연구,
동의대학교 산업문화대학원(2016)
- [10] Sang-Young Kim. Study of Chemical Post-processing Method for Fused
Deposition Modeled Three-Dimensional Printing Materials Trans. Korean Soc.
Mech. Eng. A, Vol. 41, No. 9, pp. 839~844(2017)
- [11] 박주동, Study on Strengthening Methods through Heat Treatments of a
Material Fabricated by FDM type 3-Dimensional Printer, 한국정밀공학회
2015년도 추계학술대회논문집(PP398)
- [12] 정연성, Fused Deposition Modeling기법에서 제작된 구조물의 후처리, 학위논문
부산대학교 대학원(2016)
- [13] Priest PC Duncan AR Jennings LC Baker MG, Thermal image scanning for
influenza border screening: Results of an airport screening study, PLoS
One.2011;6:e14490-10.1371/journal.pone.0014490.
- [14] E.F.J. Ring J.B. Mercer, Fever screening and infrared thermal - 34 -
imaging: concerns and guidelines, Thermol. Int., 19 (3) (2009), pp. 67-69
- [15] TELEDYNE FLIR KOREA, 방사율이 열화상에 미치는 영향은?(2019)
- [16] FLIR사 HT-18 열화상카메라 [재질 방사율 값]
- [17] FLIR사 Lepton 2.5 제품정보
<https://lepton.flir.com/wp-content/uploads/2015/06/lepton-2pt5-datasheet-04195.pdf>

본 연구는 2018년 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임[S2674944]