

3D 프린터의 챔버 내부온도 변화에 대한 연구

신근식*, 권현규**,#, 강용구***

*금오공과대학교 대학원 기계설계공학과, **금오공과대학교 기계시스템공학과,
***금오공과대학교 기계설계공학과

The Basic Study of Internal Temperature Variation in a 3D Printer(FDM-type) Chamber

Geun-Sik Shin*, Hyun-ku Kweon**,#, Yong-Goo Kang***

*Department of Mechanical Design Eng., Graduate School KIT UNIV.,

**Department of Mechanical System Eng., KIT UNIV.,

***Department of Mechanical Design Eng., KIT UNIV.

(Received 27 September 2018; received in revised form 21 November 2018; accepted 5 December 2018)

ABSTRACT

FDM 3D printers have become widespread, and investment in the 3D printer industry is increasing. Therefore, many 3D printers are released and the functions of products are emphasized. However, to lower unit prices, open-type 3D printers are sold in kit form, and their performance is very low. If the 3D printer has many heat sources and is sealed, there is the possibility that the main accessories (the main board, power supply, and motor) will be damaged by trapped heat. At the same time, if the ambient temperature is low due to the properties of the material, the output quality deteriorates. In this study, we analyzed the temperature rise of the main accessories and the quality of the output by the heat bed when a chamber was added to an open-type 3D printer. We also compared the quality of the output due to the air flow with the temperature rise of the main accessories. Moreover, we found the optimal value. As a result of the quality analysis, it was finally confirmed that the case with the chamber at 95°C was the best for the printing condition. In addition, in the absence of the chamber, the bending of the specimen was found to be large, and in the case of the chamber, the degree of bending was slightly decreased by 0.05 mm.

Key Words : 3D Printer(3차원 프린터), Chamber(밀폐형 방), Fused Deposition Modeling(FDM), Air Flow(공기 유동)

1. 서 론

현재 각종 언론에서 이슈화되고 있는 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식의 3D 프린터의 경우 해

외 기업뿐만 아니라 국내 기업들 또한 뛰어들어 판매에 열을 올리고 있다. 이러한 쾌속 조형은 과거에도 있었지만 이처럼 집중적으로 주목받고 있는 이유는 최근 만료된 국제특허권 때문이다.

또한 3D 프린터는 4 차 산업혁명의 근간인 소비자 맞춤형 생산과 유통, 물류 서비스의 기반 같은

Corresponding Author : hyunkyu125@gmail.com

Tel: 054-478-7347, Fax: 054-478-7319

특징을 갖춘 대표적인 기술이며, 현재 업계에선 Prototyping 제품들 중 3D 프린터로 출력한 것들이 23%에 이르는 것으로 추산하고 있다^[1].

일반적으로 시중에 판매되고 있는 3D 프린터 메이커사로 3D SYSTEMS사와 STRATASYS사가 있고, MakerBot이나 오픈크리에이터와 같은 해외 및 국내 FDM 전문 프린터 판매 업체부터 RepRap 프로젝트에 의해 개발된 저가형 3D 프린터까지 다양한 제품들이 나오고 있다^[2].

저가형 프린터 중 Kit형 제품과 같이 조립식인 프린터는 내부가 열려있는 개방형 3D 프린터이다. 이를 제외한 STRATASYS나 중소기업 제품들은 밀폐형이 많은데 프린터 자체에 열원이 많고 밀폐시킬 시 유동되지 않는 열로 인해 주요 부속품에 이상이 발생할 수도 있으며, 제품 단가가 올라가기 때문에 밀폐를 생각하는 경우가 많다. 또한 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) 수지와 같이 온도에 따른 성형수축^[3]이 존재할 경우 주변 온도를 일정하게 유지시켜야 하지만 주위 온도가 내려가게 되면 출력물이 냉각되면서 수축되는 현상을 볼 수 있다.

본 논문은 개방형 프린터에 Chamber를 설치하여 내부 온도를 일정하게 유지시키고 주 열원인 Bed부의 온도를 측정하여 Chamber 내 Main Board와 Motor 및 Power Supply 위치에서의 온도상승과 각 외부조건에 의한 출력물의 품질과의 관계를 분석하고자한다.

2. 3D 프린터와 열화상 카메라

2.1 FDM 방식 3D 프린터

FDM(Fused Deposition Modeling) 3D 프린터는 열가소성 물질을 노즐 안에서 녹여 얇은 필름 형태로 출력하여 적층하는 방식인 용융적층조형술^[4]로 비교적 구하기 쉽고 프린터 자체나 사용재료가 값이 비싸지 않아 일반인들이 쉽게 구할 수 있다. 다만 단조로운 색상과 적층이 보여서 후가공이 필요하고 플라스틱을 녹여서 만들다보니 노즐이 막히거나 외부온도에 민감하여 Model이 비정상적으로 제작될 수 있기 때문에 Park 등의 정밀 제작이 가능한 FDM방식의 3D 프린터 개발^[5]과 Seol 등의 FDM 방

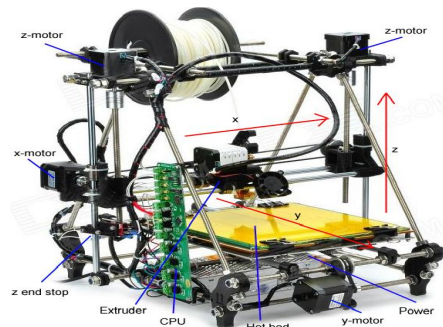


Fig. 1 3D Printer Model(Mendel i2)^[7]



Fig. 2 Thermometer Camera

식으로 제작된 ABS 재료의 피로 특성평가^[6]와 같이 출력물에 대한 정밀도와 성형성 향상 및 프린터물의 문제점을 해결하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 이러한 FDM 3D 프린터는 타 프린터와 비교했을 때 출력물 강도와 내구도가 높고, 제품에 대한 수정이 가능하여 출력 오류를 빠르게 찾을 수 있는 장점을 가진다.

사용 방법도 간단해 국내의 경우 3D 프린터 강사들이 많아지고 있고, 일반 미취학 아동이나 성인을 대상으로 교육을 목적으로 사용하기에 알맞다. Fig. 1은 이런 FDM 방식의 초기 모델인 Direct Mendel방식 3D 프린터이다^[7].

2.2 열화상 카메라

열화상 카메라는 적외선을 이용한 영상 온도계로 적외선 영역은 전자 스펙트럼 상에서 0.7 - 300 μm 이나 열적외선 영상 획득에 이용되는 부분은 3 - 14 μm 의 범위에 한한다. 열적외선 사진은 비가시역 에너지를 이용하는 방법 중 하나로써 특히 물체로부터 방사되는 열에너지를 탐사하거나 기록하고자 할 때 우수한 성능을 발휘한다.

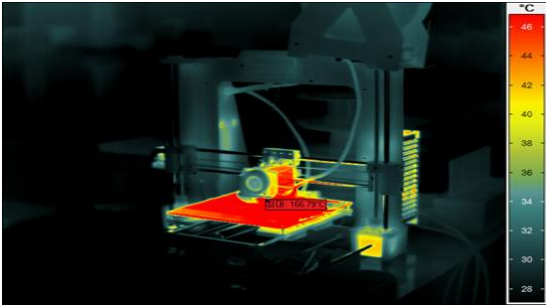


Fig. 3 Temperature distribution of 3D Printer

하지만 유리나 빛이 반사되는 물체의 경우 비치는 대상의 열을 측정하므로 주의가 필요하다. 또한 물체 표면의 온도를 측정하므로 열원의 전도에 의한 온도 측정은 가능하나 열대류를 직접적으로 볼 수 없으며 장애물이 있을 경우, 뒤에 열원이 있어도 가려져서 볼 수 없다.

본 실험에서 사용한 장비는 메르스 고열감지용 (160×120 pixels) EasIR 4로 뉴텍계기 사의 제품이며 온도 범위는 -20℃에서 250℃ 사이이다. 0.1℃의 정밀한 온도 분해능으로 수동 초점 기능이 탑재되어 있다.

3. Chamber 내 공기 유동 해석

3.1 평판 위 Reynolds 수 결정

출력물 정밀도 향상을 위하여 출력 공간 하부에 Heat Bed^[8] 부를 설치하지만 Bed의 열원에 의해 정체된 공기의 온도 상승으로 주요 부속품들의 열화현상이 발생할 수 있다. 이에 Chamber 및 Fan (SST-AP182 Model)을 통해 공기를 강제로 움직였을 때의 공기 유동 장을 파악하여 주요 부속품들의 위치를 선정할 수 있어야 한다.

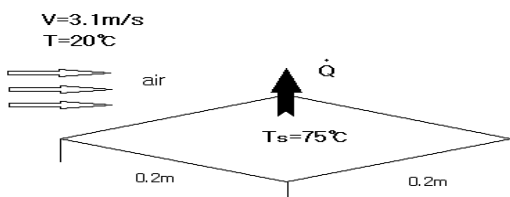


Fig. 4 Boundary condition(Heat Bed)

구조가 복잡하여 단순한 이론식으로 구하기 힘든 3D 프린터 내 공기 유동을 확인하기 위하여 ANSYS Workbench를 통해 결과를 도출하고자 한다. 이 때 필요로 하는 Chamber 내 유입 조건인 Reynolds 수를 결정하기 위해 정상상태에서의 이상기체라 할 때, 1 기압에서 물성 치 막 온도를 T_f 라 정의한다면 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_f = (T_s + T_\infty) / 2 \quad (1)$$

$T_f = 47.5^\circ\text{C}$ 에서 동점성 계수 $\nu = 1.83 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $V = 3.1 \text{ m/s}$, $L = 0.2 \text{ m}$ 라 하면, 한 면이 $0.2 \times 0.2 \text{ m}^2$ 인 Bed 위 Reynolds 수는 다음과 같다.

$$Re_L = \frac{VL}{\nu} \quad (2)$$

평판 위 유동에서 층류로부터 난류로 천이되는 $Re_{th} \cong 1 \times 10^5$ 로 식 (2)처럼 $Re_L = 0.338 \times 10^5 < Re_{th}$ 이므로 공기는 층류로 움직이며 이를 통해 3.2절의 해석조건을 층류로 두고 계산해야 한다^[9].

3.2 공기 유동 해석

Kang 등의 극한 환경 시험을 위한 극저온 챔버의 CFD 해석 및 에너지 효율 평가에 관한 연구^[10]를 보면 Fig. 5와 같이 밀폐계 내 장애물로 인한 내부 유동을 벡터로 표시해 확인할 수 있다. 이와 동일하게 공기 유동을 위해 Fan의 위치를 선정하여 Chamber를 설계하고, Main Board 및 Power Supply, Motor와 같이 온도 상승에 따라 영향을 받는 요소의 위치를 확인하여 Chamber 내 공기 유동 장을 확인한다.

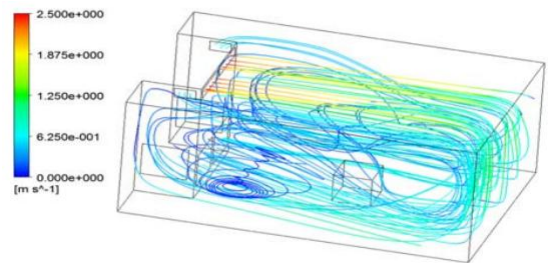


Fig. 5 Analysis of Air Flow on a Wall^[10]

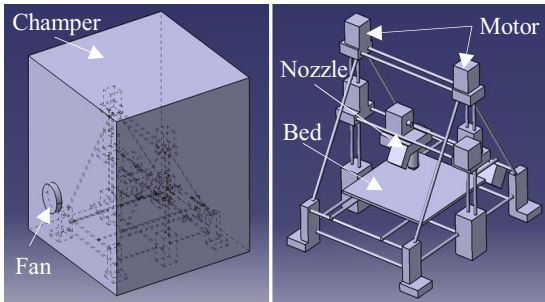


Fig. 6 Chamber(L) & 3D Printer(R) of 3D Model

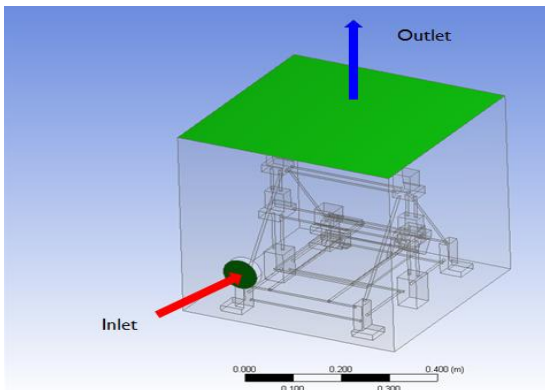


Fig. 7 Boundary condition(Inlet & Outlet)

다음 Fig. 6은 Mendel i2의 Modeling 및 Chamber를 통해 해석할 영역에 대한 간략한 모식도이다. Chamber 내 프린터가 존재하며 해석을 위해 유동 범위를 지정하고자 프린터 체적 외의 영역만을 해석범위로 잡는다. 또한 유동 입구인 Fan을 Inlet으로, Chamber 상단 부를 Outlet으로 지정한다.

실험 장비와 유사하게 Chamber($0.5 \times 0.5 \times 0.5 \text{ m}^3$) 및 3D 프린터를 설계하고 Inlet에 들어가는 Fan (SST-AP182 Model) 공기 유속인 3.1 m/s 를 입력한다. 해석 결과 Fig. 8과 같이 온도에 민감한 Main Board와 Power Supply의 위치 별 공기 유동 장은 Fig. 9와 같으며, Main Board 위치에서는 0.78 m/s , Power Supply 위치에서는 1.5 m/s 로 유속은 Power Supply 위치가 빠르나 유량의 경우 Main Board 위치가 더 많음을 확인할 수 있다. 이를 통해 공기 유동에 의한 냉각 유무를 판단할 수 있다.

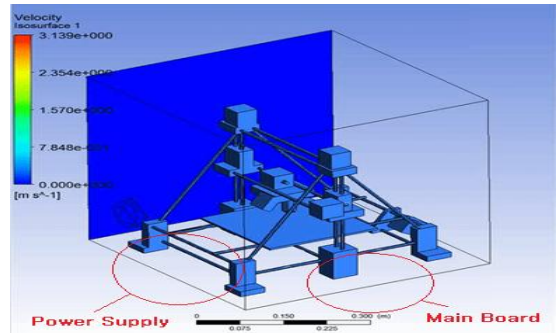


Fig. 8 Main accessory position(Board & Supply)

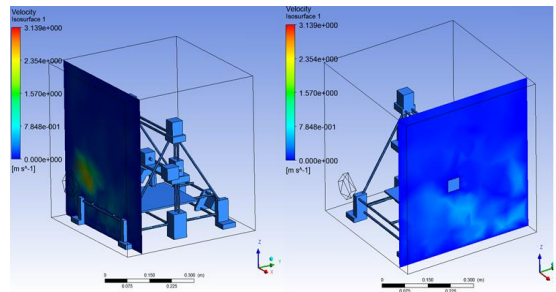


Fig. 9 Air Flow Field Analysis(Board & Supply)

4. 실험방법 및 데이터 분석

4.1 시편 및 실험조건

실험을 위해 FDM 방식 3D 프린터에서 제작할 시편을 Modeling한다. 측정을 위해 $50 \times 50 \text{ mm}^2$ 의 2t 관형을 Printing 한다. 이 때 슬라이스 프로그램에 입력할 입력 값으로는 Table 1과 같다.

Table 1 3D Printing conditions(Slice Program)

Division	Figure
Layer Thickness	0.2 mm
Speed	30 mm/min
Outer wall Thickness	1.2 mm
Infill	100%
Nozzle Temperature	220°C
Bed Temperature	75°C
Fan speed	3.1 m/s

외부 경계조건으로 20°C로 유지된 실내에서 21% 습도로 유지하였을 때 같은 제품(Mendel i2 Model)으로 33 분 동안 Printing한다는 전제로 실험하였다.

4.2 Chamber 유무에 따른 실험방법

실험에 앞서 Chamber의 경계조건을 확립시키기 위해 Chamber의 유무에 따른 외부조건들을 4.1절과 같이 일정하게 유지시켰다. 이후 단순 Chamber와 열 유동을 위한 Chamber 내 Fan이 설치된 Model을 놓고 비교한다.

Fig. 10은 Chamber 내 온도 상승으로 인한 주요 부품들의 온도 확인을 위해 열화상카메라를 배치한 사진이다.

실험을 위해 실험 군을 앞서 설명한 데로 총 3개로 나누는데 Chamber가 없는 경우와 Chamber가 있는 경우, 공기유동이 가능한 Chamber가 있는 경우로 나눈다. 완전 밀폐가 아닌 상단부가 열린 형태에서 열화상 카메라가 내부를 측정할 수 있도록 Fig. 11와 같이 상단이 뚫린 폐쇄계 형상으로 Chamber를 설치한다.

Chamber 유무에 따른 내부온도 분포가 3D 프린터에 어떠한 영향을 미치는지 확인하기 위해 온도에 민감한 Main Board, Power Supply, Motor가 Chamber로 인한 온도의 상승 폭을 열화상 카메라를 통해 측정한다.

Fig. 12는 열화상카메라로 촬영한 화면으로 최대 온도를 85°C로 고정하고 최소 온도를 5°C로 잡



Fig. 10 Temperature measurement method

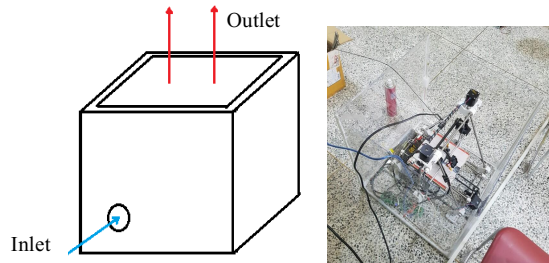


Fig. 11 Chamber structure(Inlet & Outlet)

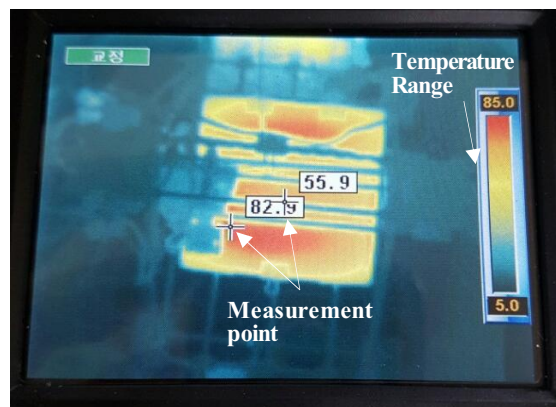


Fig. 12 Temperature range & Measurement point

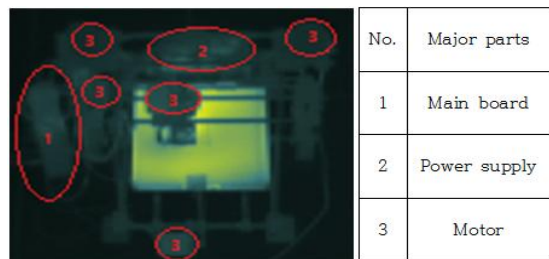


Fig. 13 Temperature distribution of Thermal Camera

아 기준 온도로 놓는다. 열화상카메라로 본 온도 분포도는 Fig. 13와 같고 1번부터 3번까지의 번호는 주요 부품의 위치 및 명칭을 의미한다.

4.3 출력물 및 Chamber 내 데이터 분석

ABS 플라스틱 특성상 제품 성형 시 상온에 그대로 노출되었을 경우 수축으로 인하여 제품이 Fig. 14와 같이 휨이 발생하게 된다.

휨 상태를 측정하기 위해 Table 2와 같이 ABS 재질로 Printing하여 출력된 시편을 각 실험조건 별로 비교하고자 한다. 이 때 시편 번호는 Chamber의 유무를 나타내며 시편1은 Chamber가 없을 경우, 시편2는 Chamber가 있었을 경우를 의미한다. 시편6은 Chamber가 있고 Fan(3.1 m/s)을 통해 정면의 Inlet 지점으로 20℃의 공기가 들어갈 때를 말하며, 시편6-1은 Bed 온도를 95℃로 높였을 때를 의미한다.

Fig. 15을 통해 알 수 있듯이 Chamber 유무에 따른 품질 및 휨 정도가 다름을 확인 할 수 있는데, 이러한 휨 정도를 측정하기 위해 Fig. 16과 같이 상 하단부에 평판을 덧댄 뒤 최대 높이를 측정한다.

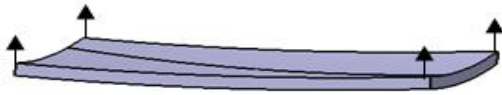


Fig. 14 Bending position of Specimen

Table 2 Mechanical Properties of ABS Resin

Division	Figure
Specific gravity	1.04
Tensile strength	430 kgf/cm ²
Elongation	30%
HDT	84℃
Melting point	210 ~ 240℃

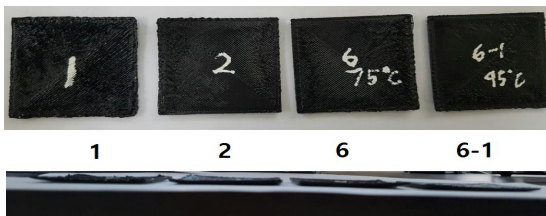


Fig. 15 Output quality(Specimen 1, 2, 6 ,6-1)

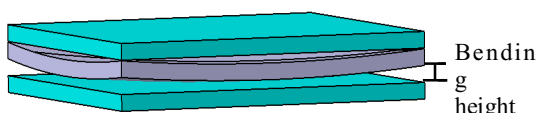


Fig. 16 Bending measurement method

시편의 두께 t가 2 mm일 때 실제 휨은 Table 3과 같으며, 품질의 경우 Stratasys 사의 출력물(Very High)을 기준으로 할 때 정성적으로 나타내었다.

Table 3 Bending measurement value according to chamber condition

No.	Condition	Bed temp.	Bending height	Quality
1	No Chamber	75℃	1.5 mm	Low
2	Chamber	75℃	1.45 mm	Medium
6	Chamber (Fan)	75℃	1.4 mm	High
6-1	Chamber (Fan)	95℃	1.2 mm	High

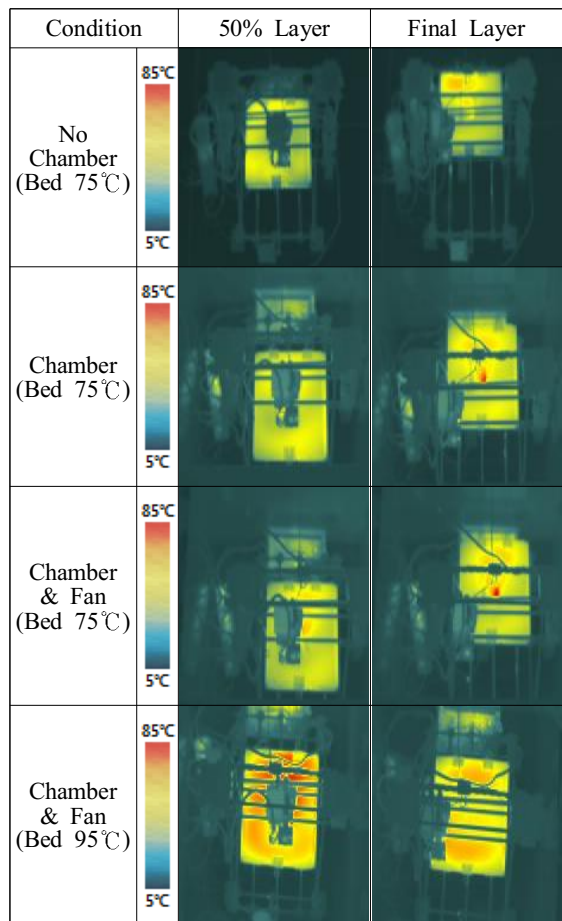


Fig. 17 Temperature distribution in the chamber

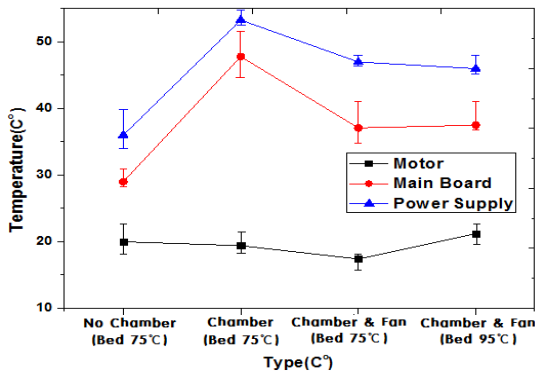


Fig. 18 Relation between Temperature and Chamber type

Fig. 17에서 알 수 있듯이 Chamber가 없었을 시 온도 분포는 대단히 낮지만 Chamber가 있었을 경우 열이 밖으로 빠져나가지 못하고 갇히게 되면서 각 주요 부속품의 온도가 상승하는 것을 볼 수 있다. 특히, Motor에서의 온도 상승의 경우 시작 전과 크게 다르지 않았지만 Main Board와 Power Supply 경우 출력이 시작되는 시점부터 고온으로 측정됨을 알 수 있다. Fan을 사용했을 경우 Main Board와 Power Supply의 일부분이 상승하였으나 큰 폭으로 오르는지는 않았다. 이 후 정확한 온도 상승을 알아보고자 열화상 카메라를 이용하여 각 부속품별 최고 온도를 Fig. 18과 같이 정리하였다.

5. 결론

본 연구에서는 개방형 프린터에 Chamber를 추가하였을 때 내부 온도를 일정하게 유지시켰을 경우, 주 열원인 Bed 부로 인해 주요 부속품 온도 상승 및 출력물의 품질 측정을 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Chamber가 없었을 경우, 큰 폭으로 시편의 휨을 알 수 있었고, Chamber가 있었을 시 출력한 시편의 경우 0.05 mm 차로 휨 정도가 약간 떨어짐을 알 수 있다. 이 때 Chamber 내로 강제 대류를 위해 Fan을 사용한 결과, Bed 온도를 달리한 75°C와 95°C의 경우 Bed 온도가 높은 95°C에서의 시편의 휨이 Chamber가 없었을 때

보다 20% 덜 휨을 측정을 통해 확인 할 수 있었고, Chamber가 없었을 때의 시편을 육안으로 확인하였을 때 품질 또한 떨어짐을 알 수 있다.

2. 열화상카메라를 통한 4가지 실험 조건에 의해 온도를 확인한 결과 Motor는 Chamber에 관계없이 20°C 이하로 영향을 받지 않는 것으로 보인다. Chamber가 없었을 경우 Main Board와 Power Supply의 온도는 자체적으로 발생하는 열만이 확인되었으며, Table 3과 같이 출력물의 품질이 떨어지므로 Chamber가 있는 상태에서의 결과 값들로 비교해야 한다. Fan을 달았을 경우 일반 Chamber와 비교하였을 때 Main Board에서는 21.9%로 낮아졌으며, Power Supply는 12.7%로 덜 낮아짐을 알 수 있다. 이는 유동 해석을 통해 각 영역에서 0.78 m/s 및 1.5 m/s의 공기 유동으로 인한 온도 하락을 의미하며, Power Supply의 경우 유량이 Main Board에 비해 상대적으로 적어 부속품을 충분히 식히지 못한 것으로 보인다.
3. 공기 유동에 의한 주요 부속품의 온도하락을 Fig. 18을 통해 확인하였으며, 이에 따른 품질 비교 값인 Table 3과 함께 분석한 결과, Bed 온도 95°C에서의 Chamber가 있을 경우가 Printing 조건에 가장 적합함을 최종적으로 확인하였다.

후 기

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 지원되었음(2017-104-106)

REFERENCES

1. Jeong, H. J., "Fourth Industrial Revolution, Why 3D printers get attention," ZDNet Korea, March, 2017, from http://www.zdnet.co.kr/news/news_view.asp?article_id=20170315153729
2. Kim, W. S., "Open Source Hardware Design Using 3D Printer," Korea Design Knowledge Society, Vol. 26, pp. 113~124, 2013.
3. Lee, M., Kim, H., Lyu, M. Y., "A Study on the Warpage of Glass Fiber Reinforced Plastics for

- Part Design and Operation Condition: Part 1. Amorphous Plastics,” Polymer(Korea), Vol. 36, No. 5, pp.555~563, 2012.
4. Seoung, Y. H., “A Study of 3D Printing of Self-Customization Cast by Using Fused Deposition Modeling Technique of ABS Resin,” Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 16, No. 9, pp.6019~6026, 2015.
 5. Park, T. J., Kim, B. C., Lee, W. S., Park, S. J., “Development of FDM type 3D Printer Possible of Precision Manufacturing,” Proceedings of the KSMPE Spring Conference, pp. 30~30, 2018.
 6. Seol, K. S., Shin, B. C., Zhang, S. U., “Fatigue Test of 3D-printed ABS Parts Fabricated by Fused Deposition Modeling,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.17, No.3, pp.93~101, 2018.
 7. Kang, Y. G., Lee, T. W., Shin, G. S., “The Influence of Experiment Variables on 3D Printing using ABS Resin,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.16, No.2, pp.94~101, 2017.
 8. Park, S. H., Lee, J. H., Kim, J. M., “Development of Heating System for Ensuring Accuracy of Output for Open 3D Printer,” Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A, Vol. 41, No. 6, pp.477~482, 2017.
 9. Yunus, A. Cengel, “Introduction to HEAT TRANSFER,” McGraw-Hill Korea, 2nd Edition, pp.312~313, 2010.
 10. Kang, Y. H., Kim, M. K., Park, W. G., “A Study on the CFD Analysis and Estimation of the Energy Efficiency of Cryogenic Chamber for Extreme Climate Test,” Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.28, No.2, pp.81~88, 2016.