

3D 프린팅 휘어짐 현상 최소화를 위한 설계

최성욱* · 황석승**

3D Printing Design for Minimizing Flecion Phenomenon

Seong-Ook Choi* · Suk-Seung Hwang**

요 약

3D 프린터는 3D도면을 입력받아 적층가공 방식으로 재료를 쌓아 원하는 제품을 제작하는 프린터이다. 3D 프린터는 다양한 입체 제품을 출력할 수 있고, 짧은 시간 내에 제품 출력이 가능하여 다양한 분야에서 사용되고 있다. 이러한 3D 프린터는 다양한 종류의 출력방식과 재료가 있는데 본 논문에서는 이중 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)수지를 녹여 쌓는 FDM(Fused Deposition Modeling)방식을 고려한다. 이 방식을 사용한 3D 프린터는 고온에서 제품을 출력하여 짧은 시간 내에 냉각이 진행되는데, 이 과정에서 출력물의 크기나 주변 환경의 상태에 따라서 휘어짐 현상이 발생한다. 이러한 휘어짐 현상을 최소화하기 위해 현재 사용되고 있는 방법은 온도를 적정선으로 유지해주는 방식이다. 이 방식은 온도 유지를 위한 추가적인 장비가 필요하여 본 논문에서는 휘어짐 현상을 최소화하기 위한 3D 프린팅 기법을 제안한다. 제안된 방식은 제품의 최초설계 시 휘어짐 위치를 고려하여 적당한 구멍(홈)을 생성시켜 출력하는 방법을 기반으로 한다. 제안된 방법에 대한 수학적 모델을 제시하고, 성능평가를 위해 일반적인 방식을 사용한 출력물과 제안된 방법으로 설계한 출력물을 측정하고 분석한다.

ABSTRACT

3D printer is based on an additive manufacturing technology, which helps in creating the three-dimensional object using a 3D drawing. It is used in various fields, because it prints out a variety of three-dimensional products in a short period of time. In this paper, we consider a technique using the FDM(Fused Deposition Modeling) method by dissolving the ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) resin among a diversity of printing technique and materials. This kind of the 3D printer prints out a product in high temperature and cools down it. In this process, a flecion phenomenon is occurred according to the size of the printing product and the surrounding environment. Conventional methods for mitigating this phenomenon maintain the temperature at the optimum level, but they require using additional devices. In order to minimize the flecion phenomenon in 3D printing products without additional devices, in this paper, we propose a noble technique, which creates holes on suitable positions when they are designed by 3D drawing tools. Also, we suggest mathematical model for the proposed method, and measure and analyse a printing output using a proposed technique.

키워드

3D Printer, Flecion Phenomenon, FDM, ABS
3D 프린터, 휘어짐 현상, FDM, ABS

* 조선대학교 전자공학과(sochoi@chosun.kr)
접수일자 : 2014. 11. 25

** 교신저자 : 조선대학교 전자공학과(hwangss@chosun.ac.kr)
심사(수정)일자 : 2014. 12. 01

게재확정일자 : 2014. 12. 15

1. 서론

3D 프린터는 입력받은 3D 도면을 기반으로 x축, y축, z축의 각 방향으로 노즐을 이동하여 재료를 쌓는 적층가공 방식으로 제품을 제작한다[1]. 최근 3D 프린터의 기술 특허가 만료됨에 따라 이전보다 저렴한 가격으로 대중에게 보급되고, 다양한 제품을 출력할 수 있다[2]. 3D 프린터는 다양한 종류의 제품에 대한 복잡한 도면을 입력받아 짧은 시간 내에 출력이 가능하다. 이러한 장점을 바탕으로 기계뿐만 아니라 의료, 건축, 의상 디자인, 우주 항공, 요리 등 여러 분야에서 사용이 증가하고 있다[3].

3D 프린터는 짧은 시간 내에 고온에서 출력하므로 출력물의 주변 환경의 상태에 따라 휘어짐이 발생한다. 휘어짐 현상은 출력물의 두께가 두껍고 길이가 긴 곳, 열 변화가 많은 곳에서 주로 발생한다. 이러한 현상은 사출 성형에서도 발생하는데, 이 경우에 금형표면 청소, 게이트 위치 변경, 사출압력 증가, 수지온도 상승 등의 방법으로 휘어짐 현상을 완화시킨다[4]. 또한, 시작점을 맞추고, 바닥 접착력의 증가, 실내온도와 습도 유지, 온풍기의 사용, 출력 후 베드 온도 유지 등의 방법으로 휘어짐 현상을 줄일 수 있다. 이와 같은 방법은 온도를 적정선으로 유지시켜 냉각 시 온도 변화를 최소화하는 방식으로 추가적인 장치가 필요하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 3D 프린터의 출력 시 휘어짐 현상을 최소화하기 위해 최초설계 시 출력물의 휘어짐 위치를 고려해 구멍(홈)을 설계하는 방법을 제안한다. 이와 관련된 수식을 제시하였고, 성능평가를 위해 일반적인 방식의 출력물과 제안된 방식의 출력물을 비교 분석한다.

2장에서는 3D 프린터의 휘어짐 현상 최소화를 위한 3D 프린팅 기법을 제시하였고, 3장에서는 제안된 방식을 이용해 출력된 3D 프린터의 출력물과 기존의 일반적인 방식의 출력물을 비교하고, 4장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 휘어짐 현상 최소화를 위한 3D 프린팅 기법

2.1. 3D 프린팅

3D 프린터는 다양한 방식의 출력방식과 재료가 있다. 3D 프린팅 방식에는 재료를 한 층씩 쌓는 FDM, UV 경화성 수지를 굳히는 DLP(Digital Light Processing), 분말로된 입자를 레이저로 녹여 소결하는 SLS(Selective laser sintering) 등이 있다.

3D 프린터의 재료는 모양의 기본 틀을 만들어 주는 지지대 재료와 실제 출력물의 재료가 되는 모델 재료가 있다. 모델 재료로는 PLA(Poly Lactic Acid) 수지와 ABS 수지를 많이 사용한다[5]. PLA수지는 친환경적이고, 열가공성이 좋다. 하지만 내구성이 떨어지고, 가격이 비싸다는 단점이 있다. ABS 수지는 아크리로나이트릴, 브타디엔, 스티렌의 세 가지 성분으로 되어 있고, 성형성과 착색 등이 뛰어나 가공하기에 좋고, 충격과 약품에 강하며, 가격이 저렴하다. 본 논문에서는 가격이 저렴하고 대중적으로 사용되는 ABS수지를 녹여 쌓는 FDM 방식을 사용한다[6].

2.2. 휘어짐 현상 완화를 위한 3D 프린팅 기법

본 장에서는 3D 프린터 출력 시 휘어짐현상을 최소화하기 위한 프린팅 기법을 제안한다. 재료의 온도에 의한 변형률은 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\epsilon = \alpha(t - t_0) \quad (1)$$

식 (1)에서 α 는 열팽창계수이고, t 는 현재 온도, t_0 는 초기 온도다[7]. 열팽창계수는 재료마다 각각의 값을 가지고 있다. 본 논문에서 사용하는 ABS 수지의 열팽창계수(Thermal Expansion Ratio)는 $8.82 \times 10^{-5} m/m^\circ C$ 이다. ϵ 은 변형률이고, 재료마다 열팽창계수는 일정하기 때문에 온도차에 의해서만 값이 결정된다.

$$\Delta L = \epsilon \times l \quad (2)$$

식 (2)는 변화량을 나타낸 식이다, 식 (2)에서 l 은 재료의 길이를 나타낸다. 식 (2)의 l 이 증가하게 되면 변화량은 증가하고, 이로 인해 휘어짐 현상이 발생한다. 변화량을 줄이는 방법으로 변형률의 온도차를 줄이는 것과 길이를 줄이는 두 가지 방법이 있다. 온도차를 줄이는 방법은 추가적인 장비가 요구되기에 l 을 줄이는 방법을 선택하였다. 본 논문에서는 3D 프린팅 출력물에 적당한 다수개의 홈을 만들어, 제품을 여러



그림 1. 일반적인 방식의 3D 프린터 출력물 1
Fig. 1 3D printer output 1 of conventional method

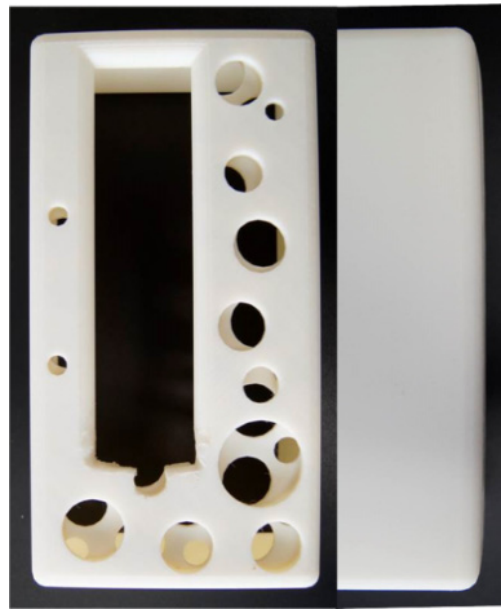


그림 3. 제안된 방식을 기반으로 한 3D 프린터 출력물 1
Fig. 3 3D printer output 1 of the proposed method

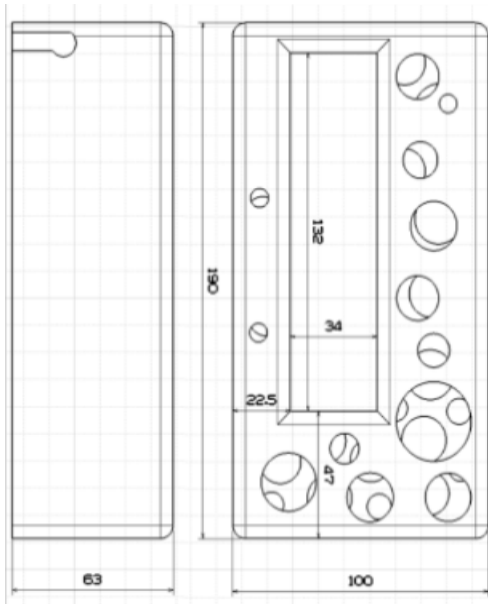


그림 2. 제안된 방식을 기반으로 한 설계도면
Fig. 2 Design drawings based on the proposed method

개의 구간으로 나눔으로서 각 구간별 l 을 감소시켜 열작용에 의한 휘어짐 현상을 완화 시키게 된다.

3D 프린터 출력 시 기존의 방식을 사용한 출력물의 결과는 그림 1과 같다. 3D 프린터는 출력 시 고온(280°C)으로 재료를 녹여 쌓고, 프린터의 실내온도(75°C)까지 급격히 냉각시키므로 열작용에 의한 휘어짐 현상이 발생하는 것을 그림으로 확인 할 수 있다. 즉, 출력물의 우측 측면이 휘어져 있다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 적당한 홈을 추가하여 휘어짐 현상을 최소화하기 위한 설계도면이고, 이를 기반으로 한 3D 프린팅 출력물이 그림 3에 제시되어 있다. 일반적인 방식은 의도된 홈이 존재하지 않으므로, l 은 출력물의 전체 길이가 되고, 제안된 방식은 다수의 홈이 존재하므로 기존의 l 에 비하여 현저히 짧은 여러 개의 l 을 생성한다. 각 구간의 l 이 짧아질수록 열작용에 의한 휘어짐 현상은 현저히 완화되므로, 그림 3의 출력물 우측 측면에 의도하지 않은 휘어짐 현상이 줄어든 것을 확인할 수 있다.

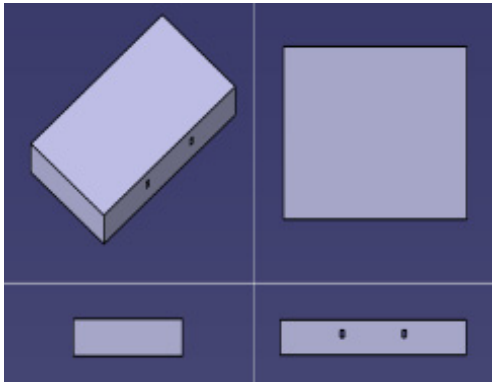


그림 4. 성능 평가를 위한 추가 3D 설계도면
Fig. 4 3D design drawings for the additional performance test

III. 제안된 3D 프린팅 기법의 성능평가

그림 3을 통해 휘어짐이 줄어드는 것을 확인 하였지만, 좀 더 명확한 성능 확인을 위해 그림 4와 같은 두 번째 제품을 설계하였다. 제품 설계는 3D 설계가 가능한 Dassault Systems의 CATIA를 사용한다[8-9]. 제품은 $50 \times 90 \times 10 \text{mm}^3$ 의 크기의 정육면체이고, 제안된 방식으로 설계된 제품은 그림 2와 다르게 두 개의 일정한 간격을 가지는 홈을 추가한다. 홈의 크기는 $50 \times 2 \times 2 \text{mm}^3$ 로 두 홈 모두 동일하다.

그림 5는 제안된 방식과 일반적인 방식을 사용하여 출력된 제품의 3D 프린터 출력물이다. 그림에서 두 출력물 중 위쪽은 제안된 방식을 사용하여 출력한 출력물이고, 아래쪽은 일반적인 방식을 사용하여 출력한 출력물이다. 두 개의 출력물은 위에서 본 경우 휘어짐 현상을 확인하기 어렵다. 하지만 그림 6에서 두 방식을 비교하면 휘어짐 현상이 현저히 완화 된 것을 확인 할 수 있다. 그림 6의 아래쪽 출력물은 일반적인 방식을 사용하여 3D 프린팅 한 출력물이다. 출력물은 오른쪽 아랫부분에서 휘어짐 현상이 발생된 것을 확인할 수 있다. 그림 6의 위쪽 출력물은 제안된 방식을 기반으로 3D 프린팅 한 출력물이다. 출력물은 중앙에 일정한 간격의 홈이 추가 되었고, 아래쪽 출력물과 비교하여 휘어짐 현상이 줄어든 것을 확인할 수 있다.



그림 5. 제안된 방식과 일반적인 방식의 3D 프린터 출력물 평면도

Fig. 5 Plans of 3D printer outputs for the proposed and conventional methods



그림 6. 제안된 방식과 일반적인 방식의 3D 프린터 출력물 측면도

Fig. 6 Side views of 3D printer outputs for the proposed and conventional methods

제안된 3D 프린팅 기법의 성능 평가를 위해 디지털 버니어 캘리퍼스로 측정된 수치를 그림 7에 나타내었다. 제안된 3D 프린터의 제품 출력 시 온도 280°C 에서 프린터의 실내온도 75°C 까지 냉각시키므로 205°C 의 온도차가 발생하게 된다. 모델 재료 ABS 열팽창계수는 $8.82 \times 10^{-5} \text{m/m}^\circ\text{C}$ 로 ABS의 변형률은

$1.808 \times 10^{-2} m/m$ 가 된다. 기존의 방식으로 출력한 그림 5의 가로 $50mm$ 에 대해 변화량 ΔL_{50} 은 $0.904 mm$ 이고, 세로 $90mm$ 에 대해 변화량 ΔL_{90} 은 $1.627 mm$ 이다.

디지털 버니어캘리퍼스를 사용하여 출력물의 휘어짐 현상이 가장 심한 모서리 부분을 측정하였다. 디지털 버니어캘리퍼스는 다양한 형태의 길이를 $0.01mm$ 까지 정확하게 측정할 수 있는 공구다. 일반적인 3D 프린팅 출력물의 측정 결과 $2.21mm$ 의 변형이 발생하였고, 제안된 방식의 출력물의 측정결과 $0.1mm$ 의 변형이 발생하여 휘어짐 현상이 현저히 줄어들었다. 결과로부터 제안된 3D 프린팅 기법을 사용하여 열작용에 의한 출력물의 휘어짐 현상을 효과적으로 완화시킨 것을 확인할 수 있다. 또한, 일반적인 방식의 3D 프린팅 출력 시 휘어짐 현상이 발생하면서 표면이 거칠어지는 현상이 발생한다. 하지만 제안된 방식의 3D 프린팅 방식은 휘어짐 현상이 완화되어 표면이 거칠어지는 현상이 발생하지 않는다.

IV. 결론

3D 프린터의 특허 만료로 수 천만원을 호가하던 3D 프린터의 가격이 저렴해지면서 산업현장부터 일



그림 7. 디지털 버니어캘리퍼스 측정
Fig. 7 Measurement using digital vernier caliper

반 가정에 이르기 까지 다양한 분야에서 3D 프린터의 사용이 증가하고 있다. 하지만 일반적인 3D 프린터를 이용하여 제품을 출력할 경우 열작용에 의한 출력물의 휘어짐 현상이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 프린터 내부의 온도를 적정선으로 유지하는 장치가 필요한데, 본 논문에서는 보다 효율적으로 휘어짐 현상을 완화시키는 방법을 제안하였다. 제안된 기법은 3D 프린터 출력물에 적당한 홈을 만들어 재료의 l 을 여러 개의 구간으로 나누고, 각 구간 별 l 값을 줄임으로서, 휘어짐 현상을 완화시키는 방식이다. 제안된 방법의 성능 확인을 위해 두 가지 제품을 설계/제작 하여 기존의 일반적인 방법과 제안된 방법을 디지털 버니어캘리퍼스를 사용하여 측정하고 비교하였다. 본 논문에서 제안한 방식은 열작용에 의한 휘어짐 현상을 최소화시킬 뿐만 아니라, 출력물에 필요한 재료량을 줄여 제품의 무게도 감소시킬 수 있고, 출력물의 표면이 거칠어지는 현상을 감소시킬 수 있는 장점을 가진다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 사업지원을 받아 수행된 것임(No. 2014-044260).

이 논문은 2014학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

본 논문은 2014년도 한국전자통신학회 봄철 종합학술대회 우수논문의 확장본입니다.

References

- [1] H.-C. Kim, S.-L. Lee, and S.-H. Lee, "Rapid Tooling Technology for Producing Functional Prototypes using Ceramic Shell Investment Casting and Patterns Produced Directly from ThermoJet 3D Printer," *J. of the Korean Society of Precision Engineering*, vol. 23, no. 8, Aug. 2006, pp. 203-210.

- [2] H.-B. Jung and M.-K. Lee, "The Factors that determine the Symbolism of the Future Trendsetter Industrial Designers in 3D Printing Revolution," *J. of Digital Design*, vol. 14, no. 1, Jan. 2014, pp. 663-672.
- [3] K. Kim, "Building a 3D Printer for In-Situ Fault-Tolerant Robots," *Conf. of Human Computer Interaction Korea*, Pyeongchang, Korea, Jan. 2012, pp. 298-300.
- [4] J.-T. Jung and B.-K. Lee, "Coupled numerical analysis of polymer melt filling and mold deformation in injection molding process," *Conf. of The Korean Society for Precision Engineering*, Busan, Korea, Oct. 2013, pp. 861-862.
- [5] H.-J. Moon, "3D Printing of the wind instruments," *J. of Music Education Science*, no. 18, Jan. 2014, pp. 105-118.
- [6] J.-C. Shin and S.-S. Hwang, "Design of RFID Packaging for Construction Materials," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 6, June. 2013, pp. 923-931.
- [7] H.-G. Yang and J.-W. Joo, "Measurement of Thermal Expansion Coefficient Using Strain Gage," *In Proc. The Korean Society of Mechanical Engineers*, Daegu, Korea, Nov. 2011, pp. 404-409.
- [8] N.-N. Sun and S. Park, "Hull Structure Design of a small scale Oceanographic Buoy," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 1, Feb. 2013, pp. 123-128.
- [9] W. Lee and S. Park, "A study on the Automatic ocean wave observation buoy system," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 2, Apr. 2011, pp. 268-273.

저자 소개



최성욱(Seong-Ook Choi)

2014년 2월 조선대학교 메카트로닉스공학과 졸업
2014년 3월 조선대학교 대학원 전자공학과(석사과정)

※ 관심분야 : 간섭제거, RFID, 위치추정



황석승(Suk-Seung Hwang)

1997년 2월 광운대학교 제어계측공학과 졸업
2001년 6월 University of California, Santa Barbara, Dept. of Electrical & Computer Engineering 대학원 졸업(공학석사)

2006년 University of California, Santa Barbara, Dept. of Electrical & Computer Engineering 대학원 졸업(공학박사)

2006. 5~2008. 3 삼성전자 통신연구소 책임연구원
2008. 3~2014. 1 조선대학교 메카트로닉스공학과 교수
2014. 2~현재 조선대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 적응신호처리, 위치추정, 채널추정, 이동로봇용 위치추정, 간섭제거, RFID