반도체디스플레이기술학회지 제15권 제2호(2016년 6월)
Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 15, No. 2. June 2016.

TRIZ 기법을 이용한 FDM방식 3D프린터 출력물의 휨 현상 개선에 관한 연구

이송연* · 허용정† · 박종순**

*한국기술교육대학교대학원 메카트로닉스공학과,
†한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부, **(주)글로원

A Study on Warpage Reduction of FDM 3D Printer Output Using TRIZ Method

Song-Yeon Lee*, Yong Jeong Huh† and Jong Soon Park**

*Department of Mechatronics Engineering, Graduate School of Korea University of Technology and Education
†School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education,
**Glo-One Incorporation

ABSTRACT

3D printer is the equipment of the system for sequentially layer laminated in the materials. Now 3D printer used in various fields such as, semiconductor, electricity automobile, medical and various types of output method and material. In this paper, we studied about the improvement on warpage due to shrinkage of product from 3D printer of FDM(Fused Deposition Modeling) type, we proposed measures systematically to solve warpage problem using of 6SC(6 Step Creativity) method of practical TRIZ. After experimented with product prototypes experiment, we verified effect about solution

Key Words : 3D Printer, ABS, FDM, TRIZ, 6SC, Shrinkage, Contraction, Warpage

1. 서 론

3D프린팅 기술은 마이크로, 나노미터 수준의 정밀도를 필요로 하는 많은 산업들에 맞춰 발전을 하고 있다. 그 중 반도체 산업은 3D프린팅 기술과 같이 융합하면서 기계, 전자, 항공, 우주 등 여러 분야에서 핵심적인 역할을 하고 있다. 최근 반도체 장비 분야에 3D프린터를 이용하여 반도체 장비용 정밀스테이지를 시제품 제작을 하여 연구한 사례가 있다[1].

FDM방식의3D프린터는 특허의 만료와 기술의 공개로 인하여 현재 기술 개발이 가장 활발하게 이루어지고 있으며, 많은 관심이 집중되고 있다[2]. FDM방식 3D프린터는 필라멘트화된 열가소성 고분자를 용융 후 적층하는 방식으로 광원을 이용하는 타 방식에 비해 표면조도와 치수 정밀도가 떨어진다. Fig. 1은 FDM 방식의 구조와 문제점이 발생하는 원리를 도시하였다.

필라멘트는 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)를 주로 사용한다. ABS는 240°C 이상에서 가공되기 때문에, 용융된 소재가 토출되면서 공기 중에 의해 빠르게 냉각이 진행된다. 이 과정에서 소재가 수축으로 인해 휘는 현상이 발생하고, 휜 부분으로 인하여 베드와 출력물이 고정이 잘 되지 않아, 적층 중에 출력물이 흔들리면서 출력이 불안정한 상태로 진행되는 문제점을 가진다[2].

본 논문에서는 ABS를 사용하여 FDM 방식의 3D프린터로 제품을 출력할 때 발생하는 문제점인 출력물의 수축으로 인한 휨 현상을 TRIZ의 문제 해결 방법 중 하나인 6SC를 활용하여 해결할 수 있는 방안들을 제안하였다.

제안된 여러 방안 중에 시스템적인 추가 요소가 없

†E-mail : yjhuh@koreatech.ac.kr

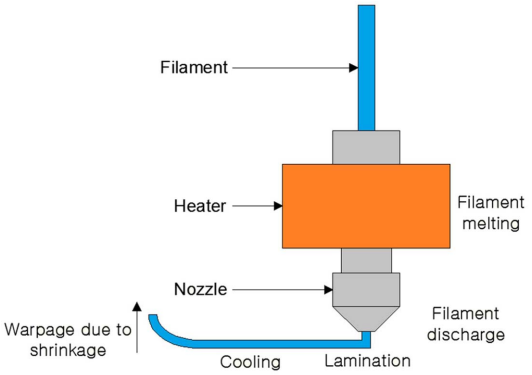

Fig. 1. Mechanism of FDM production method.

고, 비용적으로 소비되는 부분이 적은 방안을 선택하여 시제품 제작을 하며 실험한 후, 해결책에 대한 효과를 정량적으로 검증하였다.

2. 문제해결 접근 방안

실용TRIZ방식인 6SC 기법은 고전 TRIZ를 현장에서 빠르게 적용하는데 공헌하였고 빠르고 쉽게 모순을 해결하는데 활용하고 있다. 6SC 기법은 문제해결 단계를 6단계로 하여 단계별로 창의적 문제를 해결하는 해결책을 찾을 수 있도록 고안되었다. 6SC 기법의 해결책 도출 절차를 Fig. 2에 도시하였다[3].

6SC 기법은 그림으로 표현하기, 시스템 기능분석, 이상해결책(Ideal Final Results), 모순과 분리원리, 요소-상호작용, 해결책과 평가의 총 6단계를 거치면서 창의성을 하나씩 적용하여, 문제점을 분석하고 정의하여 정형화된 최종 해결책을 찾는 기법이다[4].

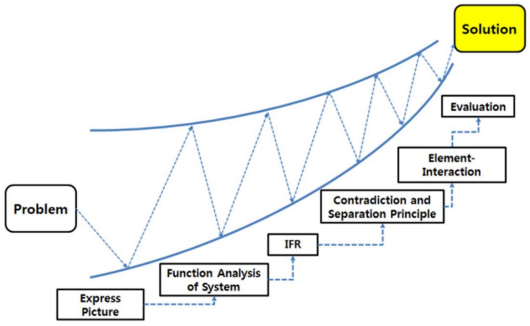

Fig. 2. Procedure of 6 step creativity.

3. 적용 및 평가

3.1. 그림으로 표현

이 단계는 그림으로 문제상황을 도시하고 문제를 정의하는 단계이다. ABS 필라멘트를 사용하여 출력물을 적층할 때, 가열된 수지가 냉각되면서 발생하는 문제점인 수축으로 인한 휨 현상을 그림으로 표현하여 문제를 도시한다.

Fig. 3(a)는 정육면체를 설계하였을 때, 수축으로 인한 휨 현상이 일어난 출력물의 모양이며, (b)는 정상적으로 제조가 되어야 할 출력물의 모양을 나타내었다.

3.2. 시스템 기능 분석

시스템 기능 분석은 풀어야 할 기술이 복잡하거나 문제가 명확한 경우가 아닐 때 아주 중요 하게 작용하며, 기술 시스템 및 목표로 하는 대상, 환경요소로 구성된다. 시스템의 구성요소들과 환경요소들의 상호관계를 나열하여 시스템 내에서의 유용한 기능(Useful Function), 유해한 기능(Harmful Function), 과도한 기능(Excessive Function), 부족한 기능(Insufficient Function)을 정의한다[5].

3D프린터 시스템은 주요 부분이 노즐과 베드로 구성되어 있으며 노즐로부터 토출된 출력물이 베드에 의해 지지된다. 베드는 아크릴(Acrylic) 소재와 같이 거칠기가 거의 존재하지 않는 상태의 판(Plate)이기 때문에 이러한 구조의 판 위에 용융된 소재가 적층되고 냉각이 진행되면 베드와 출력물 사이의 접착력이 약해 출력물의 수축으로 인한 휨 현상이 발생한다.

시스템 기능분석을 통해 분석한 결과 유익한 기능으로 노즐은 출력물을 생성하고, 베드는 출력물을 지지하는 것이며 유해한 기능은 공기(Air)가 출력물과 베드를 냉각시키는 것이고 부족한 기능은 베드와 출력물 사이의 접착력이라는 결론이 도출되었다. 출력물과 베드 사이의 접착력은 접착압력과 접착면적에 비례한다. 만약 베드의 거칠기를 증가시킬 경우 출력물과 베드 사이의 접착 면적이 증가하여 접착력이 증가한다.

출력 중에는 안정적인 적층을 위해 강한 접착력이

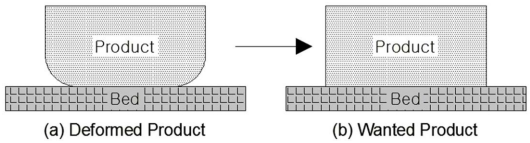

Fig. 3. Deformed product and wanted product.

요구되고 출력완료 후에는 쉬운 분리를 위해 약한 접착력이 요구되는 모순이 발생한다. 베드의 거칠기와 관련된 모순을 해결하여 시스템의 유용한 기능을 증진시키고 유해한 기능을 감소시켜 휨 현상에 대한 해결책을 도출할 수 있다.

3.3. 이상해결책

이상해결책은 유용한 기능이 다른 기능의 삭제,저하 없이 작동하거나, 유해한 기능이 다른 유해 기능의 생성 없이 제거되는 것이다. 3.2의 시스템 기능 분석에서 도출된 유용한 기능과 유해한 기능을 적용해 보았다. 출력물이 출력 중에 수축으로 인한 휨 현상이 발생하지 않도록 출력물과 베드가 강하게 고정되어야 하며, 출력이 완료된 뒤에는 베드로부터 출력물이 쉽게 분리될 수 있도록 약한 접착력을 가져야 한다.

3.4. 모순과 분리원리

3.4.1 모순

모순은 TRIZ의 개념 중에서 중요한 부분으로, 기술적 모순, 물리적 모순이 있다. 기술적 모순은 서로 다른 두 가지의 기술 특징이 충돌하는 것으로 TRIZ에서는 이러한 충돌을 40가지 발명 원리 등을 이용하여 해결하도록 제안하고 있다.

출력물이 적층될 때 냉각에 의한 수축이 발생한다. 이 결과로 휨이 발생하는데, 휨 현상을 감소시키기 위해서 기계적인 장치가 필요하다. 기계적인 장치의 추가는 동력이 추가되고 회로가 복잡해진다. 물리적 모순은 한 개의 물리적 변수가 서로 다른 성질을 동시에 가져야 한다. 3.3의 이상해결책을 만족하기 위해서는 베드가 강한 접착력과 약한 접착력 두 가지 모두를 가지고 있어야 한다.

3.4.2 분리 원리

물리적 모순을 해결하기 위한 방안으로는 시간에 의한 분리, 공간에 의한 분리, 조건에 의한 분리, 전체와 부분에 의한 분리 등이 있다.

시간에 의한 분리원리를 활용하여 문제를 해결하기 위한 방안을 도출한다면 출력이 진행 중일 때는 출력물과 베드 사이의 접착력이 증가하도록 하고, 출력이 완료되어 베드로부터 출력물을 분리할 때는 접착력이 감소하도록 한다. 접착력을 높이는 요인 중 하나는 출력물과 베드의 접착면적 거칠기의 증가로 거칠기가 증가하면 출력물과 베드 사이의 접착표면적이 증가하고, 접착력이 높아져 유용함이 증가하는 것이다. 거칠기 증가로 인하여 접착력이 증대될 경우 출력 중에는 안정적인 적층에 유용한 반면 출력 완료 후에는 쉬운 분리를 어렵게 한다. 이 문제를 해결하기 위해 강한 접착력이 필요한 부분만 거칠기를 증가 시키는 공간 분리 원리를 적용하였다. 본 논문에서는 강한 접착력과 약한 접착력 모두를 갖기 위해 공간에 의한 분리원리를 활용하여 시스템 내부의 공간을 분리하여 문제 해결을 시도하였다.

Fig. 5(a)는 출력물이 베드에 접착하는 면적 전체를 나타내고 있으며, (b)는 접착면적 중 수축으로 인한 휨 현상이 강하게 일어나는 부분을 도시한 것이다. 공간분리의 원리를 활용하여 휨 현상이 강하게 높은 부분은 거칠기를 크게, 나머지 부분은 거칠기를 작게 적용하는 방안을 제시하였다.

3.5. 요소 상호작용

문제의 원인이 되는 근본적 요소를 심도 있게 분석하여 파악한다면 해결방법을 빠르고 여러 방면으로 찾을 수 있다. 접착력에 영향을 미치는 베드와 출력물의 요소를 Fig. 6에 도시하였다.

3.6. 해결책과 평가

실용TRIZ방식인 6SC기법을 이용하여 각 단계에서 분석하고 도출한 여러 개선방안에 대하여 가장 효율적

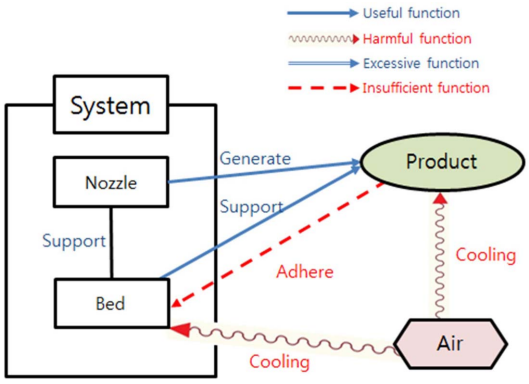

Fig. 4. Function analysis of system.

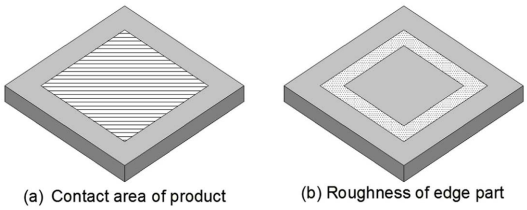

Fig. 5. Contact area of bed and product.

인 방안을 선택하고 평가하는 단계로서 도출된 방안을 나열해 보고 평가해보았다.

1. 시간 분리의 원리를 이용하여 토출되는 원료에 자성을 띄는 물질을 혼합하고, 베드에 전자석 기능을 추가한다. 그리고 출력물이 베드 위에 적층중 일 때는 전자석 기능이 작동하여 출력물과 베드 사이의 접착력을 높여주고, 출력이 완료 되어 베드로부터 출력물을 분리할 때는 전자석 기능이 꺼져서 접착력이 낮아져서, 접착력에 대한 모순을 해결한다.

2. 공간에 의한 분리를 사용하여 수축으로 인한 휨 현상이 발생하는 구간에 접착력을 높이는 요소를 추가한다. 출력물의 수축으로 인한 휨 현상이 발생하는 부분에 국한하여 표면 거칠기를 조절하기 위해 본 연구에서 고안하여 제작한 장치를 Fig. 7에 도시하였다.

시간 분리 원리를 사용한 개선책은 공기를 냉각시키기 위한 시스템이 추가되어 회로가 더 복잡해지며 시스템적인 추가요소가 필요하기 때문에 많은 비용이 요구된다. 반면에 공간 분리 원리를 사용한 개선책은 시스템적인 추가가 적고 비용이 최소화될 수 있으므로 공간 분리 원리를 이용한 개선책을 우선적으로 이용하여 시제품 제작 및 실험을 수행하였다.

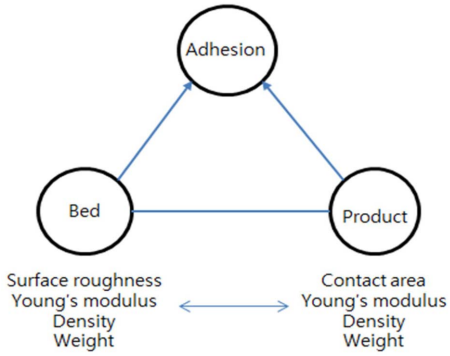

Fig. 6. Element-interaction analysis.

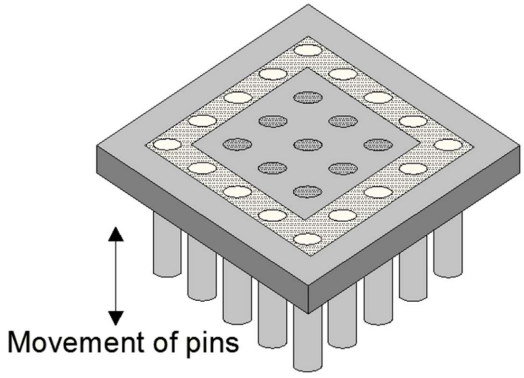

Fig. 7. Equipment for surface roughness control.

4. 실험 및 논의

4.1. 제품 모델 설계

두께가 얇고 면적이 넓을수록 가열된 사물의 냉각이 쉽게 일어난다. 3D프린터에서 자주 출력되는 크기이며 실험 시 관찰이 용이하고 측정할 수 있는 최소 두께인 폭, 너비가 각각 50 mm이며 두께는 2 mm인 정사각형의 판 모형을 설계하였다.

Rhinoceroes 5 [6]라는 설계프로그램을 이용하여 설계한 시제품 모형을 Fig. 8에 도시하였다. 본 제품의 변형 허용범위는 10% 이내로 목표를 설정하였다.

4.2. 제품 출력 및 측정

Fig. 9(a)는 표면 거칠기 조절장치를 사용하지 않고 출력한 출력물의 사진이며, (b)는 표면 거칠기 조절장치를 사용하여 출력한 출력물의 사진이다.

출력 중 수축으로 인한 휨 현상이 발생하는 구간에 베드의 표면 거칠기가 주어지지 않았을 경우와 주어졌을 경우 출력물의 수축을 비교하기 위해 표면 거칠기 외에 다른 조건은 동일하게 하여 각 5회씩 출력하였다.

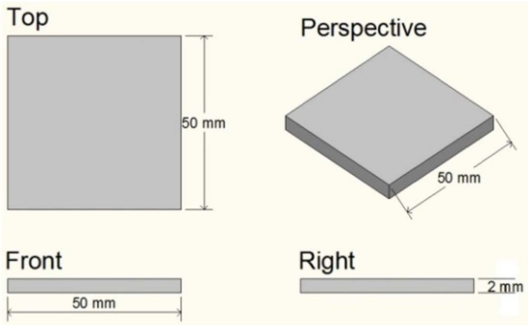

Fig. 8. Product Design.

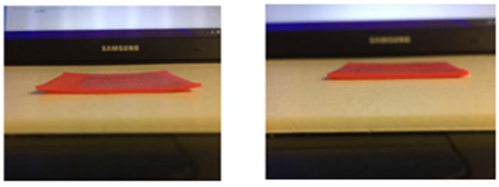

Fig. 9. Picture of product warpage without surface roughness and with surface roughness.

Table 1. Analysis of shrinkage percentage.

		(a) Without surface roughness	(b) With surface roughness
Shrinkage	Test 1	20.13%	6.88%
	Test 2	19.92%	7.02%
	Test 3	19.89%	7.07%
	Test 4	20.08%	6.91%
	Test 5	19.98%	7.02%
Average		20%	6.98%

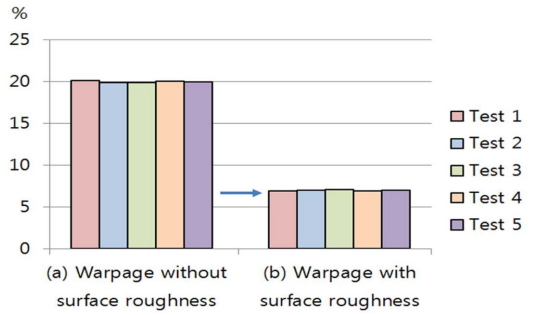

Fig. 10. Comparison of warpage without surface roughness and warpage with surface roughness.

거칠기가 주어지지 않았을 때의 휨에 대한 실험값은 Table 1(a)에 수록되어 있고, 거칠기를 주었을 때의 휨에 대한 실험값은 (b)에 수록되어 있다.

출력물과 베드의 수축으로 인한 휨 현상이 발생하는 부분에 거칠기가 존재하지 않을 때 수축률의 평균은 20%로 나타났다. 반면에 공간분리의 원리를 적용하여 수축으로 인한 휨 현상이 일어나는 출력물의 접착 면 모서리 부분에 거칠기를 주었을 경우, 수축으로 인한 휨이 평균적으로 6.98%로 감소하였다. 원래 목표하였던 변형 허용범위 10% 이내로 수축이 감소함을 확인하였다. 거칠기가 주어지지 않았을 때의 휨에 대한 실험값을 Fig. 10(a)에, 거칠기를 주었을 때의 휨에 대한 실험값을 (b)에 그래프로 도시하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 ABS필라멘트를 사용하여 FDM방식 3D프린터로 제품을 적층할 경우, 발생하는 수축으로 인한 휨 현상 문제를 개선할 수 있는 방안을 TRIZ의 6SC기법을 적용하여 개선안을 제시하였고 실험을 통하여 검증한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 출력물과 베드가 출력 중에는 안정되도록 접착력을 증가하면서 출력이 완료되었을 경우 쉬운 분리가 가능하도록 하는 효과적인 방안을 시간분리의 원리와 공간분리의 원리를 이용하여 성공적으로 도출할 수 있었다.

2. 공간 분리 원리를 이용하여 접착력 증가를 위한 표면 거칠기 조절 장치를 고안하고 제작하였다.

제작된 표면 거칠기 조절장치와 3D프린터를 사용하여 시제품 제작을 하였으며, 실험한 결과 거칠기를 적용하지 않고 출력을 하였을 때 출력물의 수축으로 인한 휨은 평균 20%였지만, 공간분리의 원리를 이용한 거칠기를 적용한 후 출력하였을 때 출력물의 수축으로 인한 휨은 평균 6.98%로 약 13%가 감소하는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 한국기술교육대학교 교수교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Ho-Je Jung, Jung-Hyun Kim, “Fabrication of Piezo-Driven Micropositioning Stage using 3D Printer,” J. of Korean Society for Precision Engineering, Vol. 31, No. 3, pp. 227-283, 2014.
2. Seong-Ook Choi, Suk-Seung Hwang, “3D Printing Design for Minimizing Flection Phenomenon,”, J. of Korea Institute of Electronic Communication Science, Vol. 9, No. 12, pp. 1415-1420, 2014.
3. Sa-Hwan Leem, Sung-Do Hong and Yong-Jeong Huh, “A Study on the Creative Design of Solar Flower using TRIZ(6SC),” J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol. 10, No. 2, 2011.
4. Yong-Jeong Huh, Sung-Do Hong and Jae-Min Kim, “A Study on TRIZ Applied Design for contamination Preventation System of Solar Battery with Wind Amplifier,” J. of the Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol. 12, No. 2, pp. 7-11, 2013.
5. Hyo-Jun Kim, Theory of Inventive Problem Solving TRIZ, JIHYE Pub, pp. 57, pp. 233, 2004.
6. Jung-Hang Hwang, Rhino 3D 5, Sungandang, pp 344, 2016.

접수일: 2016년 4월 25일, 심사일: 2016년 5월 23일,
게재확정일: 2016년 5월 31일