

3D 프린팅 방식의 적층방향에 따른 시제품의 기계적 특성 비교에 관한 연구박찬^a, 김명훈^b, 홍성무^c 고정상^d, 신보성^{a,c*}**A Study on the Comparison Mechanical Properties of 3D Printing Prototypes with Laminating Direction**Chan Park^a, Myung Hun Kim^b, Sung Moo Hong^c, Jeung Sang Go^d, Bo Sung Shin^{a,c*}^a Department of Cogno-mechatronics Engineering, Pusan National University,
2, Busandaehak-ro, 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan 609-836, Korea^b Korea Institute of Footwear & Leather Technology,
152, Danggamseo-ro Busanjin-gu, Busan 614-100, Korea^c ERC-NSDM, Pusan National University

2, Busandaehak-ro, 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan 609-836, Korea

^d Department of Mechanical Engineering, Pusan National University,

2, Busandaehak-ro, 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan 609-836, Korea

ARTICLE INFO*Article history:*

Received	6	January	2015
Revised	2	March	2015
Accepted	26	May	2015

Keywords:

3D printing
Modeling information
Process parameter
Surface roughness
Surface hardness
Average elongation

ABSTRACT

This paper summarizes the results of an investigation into the environmental factors that have an indirect impact on parts quality, as well as those process variables and modeling information that have a direct impact. The effects of strength, surface hardness, roughness, and accuracy of shape, that is, qualities that users generally need to know, were evaluated with laminating direction experimentally. The 3D printing methods used in this experiment were fused deposition modeling (FDM), stereolithography apparatus (SLA), selective laser sintering (SLS), 3D printing (3DP) and laminated object manufacturing (LOM). The goal was to achieve a high standard of quality control and product quality by optimizing the fabrication process.

1. 서론

3D 프린팅(printing) 기술은 기존의 기술과 비교했을 때 필요한 양만큼 소량생산이 가능하며, 금형 없이 제품생산이 가능하기 때문에 응용 분야가 확대 되고 있다^[1]. 이러한 기술로 3차원 시제품 제작 등에 이용되고 있으며, 구체적으로는 전기 전자분야, 건축분야, 자동차산업, 조직공학 및 항공·우주분야 등에 활용되고 있다^[2-4].

3D 프린팅의 대표적인 방식에는 SLA (stereolithography apparatus), FDM (fused deposition modeling), SLS (selective laser sintering)가 있으며 이외에도 3DP (three dimensional printing), LOM (laminated object manufacturing), 잉크젯 (inkjet) 등 다양한 종류가 현재 개발 중이다^[1,5,6]. 이를 이용한 출력을 위해서는 우선적으로 CAD/CAM (computer aided design/computer aided manufacturing) 시스템을 이용하여 3차원 모델

* Corresponding author. Tel.: +82-51-510-2787

Fax: +82-51-512-1722

E-mail address: bosung@pusan.ac.kr (Bo Sung Shin)

링을 해야 하며 G-code로 변환해야 하는데 이때 사용되는 상용프로그램은 Cura, Slic3r, KISSlicer 등 다양하게 있다⁷⁾. 3D 프린터의 종류가 다양한 만큼 각 장비별로 출력 방식이 다르며 적층방향에 따라 경도, 강도 등의 기계적 특성이 달라진다.

본 논문에서는 다양한 3D 프린팅 장비를 이용하여 동일한 형상의 상대적인 특성을 비교하였고, 특히 곡면형상의 오차를 비교하기 위한 자유곡면시편을 고안하여 곡면오차를 비교평가 하였다.

또한, 3D 출력물 제작시 요구되는 여러 가지 조형정보 및 공정변수에 대해 설명하고, 그 중 소프트웨어 변수인 적층방향이라는 3D 프린팅 정보(3D printing information)를 가지고 국내외에서 가장 많이 사용되는 SLA, FDM, SLS, 3DP 및 LOM의 5가지 방식의 3D 프린터 장비⁸⁾를 이용하여 제조사에서 추천하는 표준설정으로 시편을 제작하였으며 실험을 통하여 기계적 물성치의 정성적인 비교를 통해 특성을 파악하고자 한다.

2. 조형정보 및 공정변수

조형정보란 3D 프린팅 머시인에서 시제품을 제작하기 위해 3차원 모델을 가공하는 각종 정보를 말한다. 주로 소프트웨어(software)적 변수들을 의미하며, 이에 포함되는 것은 slice 두께, 제품의 성형방향, 서포트(support)의 구성, 제품 내부의 채움 방식 등 수많은 요소들이 시제품 제작에 크고 작은 영향을 미치게 된다. 공정변수란 3D 프린팅 머시인을 이용하여 시제품을 제작하는 제작프로세스에서 나타날 수 있는 변수이며, 주로 하드웨어(hardware)적인 변수를 말하며 스케일링 에러(scaling error), 스캐너(scanner)상태, 팁 상태 및 절단용 툴(tool)의 상태 등이 있으며 장비의 제조방법에 따른 형상오차요인을 Table 1에 정리하였다.

2.1 환경 변수

대부분의 3D 프린팅 장비에 있어서 필수적으로 갖추어져야 할 중요한 공정의 변수는 온도, 습도이다(필수필요부대장비 : 항온항습기). 장비 및 사용하는 재료에 따라 필요로 하는 온도 및 습도가

있으므로, 이 조건이 맞지 않을 경우 시제품 성형 시에 나타나는 문제들의 원인을 판단하기가 매우 어렵다. 그러므로 공정변수 및 조형정보의 설정에 앞서 장비가 요구하는 온도와 습도를 유지하는 것이 매우 중요하다.

3D 프린팅 장비는 매우 정밀한 제어와 가공을 전제로 하고 있다. 이러한 장비는 전기적으로 많은 영향을 받게 되는데 전기가 일정하지 않고 교란(noise)이 발생하면 SLA나 SLS의 경우 레이저 강도의 출력이 일정하지 않게 되고, 수십 마이크로미터의 정밀도를 가지는 각종 센서와 액추에이터들의 작동에 영향을 줄 가능성이 높다. 따라서 장비의 사양에 맞는 전기가 장비에 일정하게 공급되어야 하고 거기에 맞는 그라운드(ground)도 적당히 잡혀야지만 안정적인 장비 운용이 된다. 전압은 220~240 VAC, 절연 저항 값은 그라운드와 각종 새시(chassis)를 체크 하였을 때 1옴 이하로 측정되도록 유지하는 것이 좋다. 이러한 전기 사양을 바탕으로 장비에 필요한 무정전 전원장치(UPS)를 설치하여 갑작스런 정전 시에 장비에 영향을 주지 않도록 주의해야 한다.

2.2 하드웨어 변수

사용되는 재료에 따라 시제품의 특성이 달라진다. 최근 수많은 급속조형용 재료들이 개발되고 있으며 각 시제품의 사용목적에 맞는 특성을 가진 재료들을 대부분 3D 프린터 제조사가 제공하고 있다.

같은 공정에서 제작된 제품일지라도 어떠한 재료를 사용하는가에 따라 표면조도, 강도, 치수정확도 등 기계적 특성이 다르다.

3D 프린터 장비가 발생시키는 오차 중에 대표적인 것 중 하나가 스케일링 에러(scaling error)이다. SLA, SLS, FDM, 등의 조형장비는 고온에서 시작품을 만들어 내기 때문에, 상온으로 냉각된 후에, 수축현상이 일어나는 경우가 발생한다. 이를 위해서 파트제작 전에 스케일링 에러를 보정하기 위한 조치가 필요하다. 이러한 스케일링 에러는 레이저 빔(laser beam) 조사방식 및 제작경로에 의해서 크게 영향을 받을 수 있으며 x, y, z 각각의 방향에서 수축률이 다르게 나타나는 현상이 발생한다. 일반적으로 이를 보정하기 위해 샘플 파트를 조형하여 환산 계수(scaling factor)를 입력함으로써 오차를 줄인다. 모든 장비는 공통적으로 환경적 요인과 소프트웨어적 에러요인을 가질 수 있고, 각 장비별로 스케일링 에러 및 노즐의 컨디션(tip condition), 칼날의 컨디션(tool condition)이 에러요인이 될 수 있다.

2.3 소프트웨어(software)

대표적인 소프트웨어 변수로서 STL파일 품질, 조형방향의 결정 및 서포트의 생성이 있다. 첫번째로, STL은 부품의 실제 면을 수많은 삼각형 면들로 근사화하여 나타낸 것이다. 각각의 삼각형은 X,

Table 1 Equipment factors according to quality effect

Equipment	Environmental factors	Hardware factors	Software factors
SLA	Temperature, Humidity, Electricity	Scaling error	Modeling -direction, Quality of STL file, Formation of support
SLS		Scaling error Scanner condition	
FDM		Scaling error Tip condition	
3DP		-	
LOM		Tool condition	

Y, Z 공간상의 세 점과 하나의 법선 벡터(vector)로 표현한 것이다.

STL 파일에서 삼각형의 크기는 CAD 시스템 내에 설정된 분해능을 기준으로 하여 생성되며, 원하는 크기로 크거나 작게 할 수 있다.

두번째로, 조형 방향을 결정 하기 위해 모델의 성형 방향을 결정하는 것은 제품의 품질과 제작 시간에 직결되는 매우 중요한 변수이다. 얇은 층으로 절단된 단면을 적층해가는 3D 프린팅의 성형 특징에 의해 제작 속도, 제품 표면조도, 구조강도, 및 고립체적 등 3D 프린팅 제품 특성의 대부분에 영향을 미치게 된다. 조형 방향의 결정문제는 공정의 특성에 의해 결과는 다를 수 있으나 기본적으로 모델의 단면적층을 바탕으로 하는 모든 3D 프린팅 공정에서 가장 중요한 조형변수 중 하나이다.

또한, 제품의 적층방향에 의해 표면조도가 영향을 받게 된다. 적층방향에 수직한 면과 적층방향에 수평한 면의 표면의 조도가 다르며 적층방향의 수직한 면 또한 앞면과 배면의 품질이 다르다.

이에 따라 제품의 외관과 필요한 목적에 따라 제품의 조형방향을 결정하여야 한다.

마지막으로, 조형방향의 결정에 따라 서포트의 생성량이 달라지게 되며, 이로 인해 동일한 모델을 제작하는데 있어서 제품의 품질이 크게 달라진다. 일반적으로 서포트가 필요한 공정으로는 SLA, FDM, SLS 등 대부분의 3D 프린팅 장비들이 해당되며 서포트는 제품의 성형이 안정적으로 진행될 수 있도록 제품을 지지해주는 역할을 한다. 그러나 대부분은 45도 이상의 언더컷(under cut)이나 오버행(over hang)이 발생하는 경우에 서포트가 생성되지만, 현재 Kisslicer, Cura 등의 프로그램의 셋팅 값 수정을 통해 원하는 각도 이상에 서포트가 생성되게 설정 할 수 있다. 그러나 이러한 서포트가 생성된 부분은 성형 후 가공 작업을 거쳐야 하며 이때 제품의 치수정밀도 및 표면조도에 나쁜 영향을 미치게 된다. 그러므로 가능한 서포트가 적게 생성되는 방향으로 결정하여야 한다.

3. 시제품 제작을 위한 조형정보의 영향 평가

실험에 사용된 장비는 3D systems사의 SLA5000 (SLA)^[9], EOS사의 EOS-P (SLS)^[10], Stratsys사의 Dimension SST (FDM)^[11], 3D systems사의 Z402 (3DP)^[9], Kira Corporation사의 KIRA (LOM)^[12]이며 사용된 소재는 Somos11120 (SLA), PA2200 (SLS), ABS (FDM), ZP100 (3DP), Paper (LOM)가 사용되었다. Fig. 1와 Fig. 2는 아래의 실험에서 지칭된 적층방향과 적층면에 대해서 명명한 것으로 적층방향은 ‘두께방향’, ‘폭방향’, ‘길이방향’으로 표현하고, 적층면에 대해서는 ‘적층상면’, ‘적층측면’으로 표현하였다.

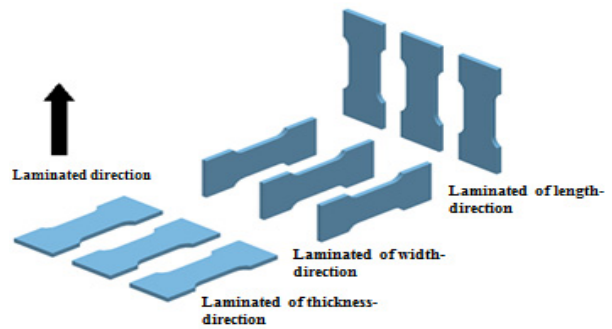


Fig. 1 Laminate-direction of the specimen

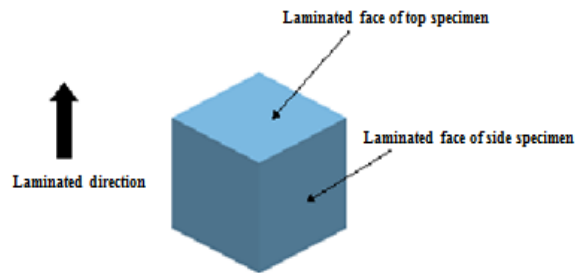


Fig. 2 Laminate face of specimen

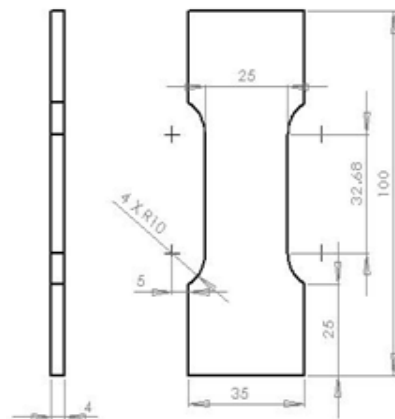


Fig. 3 Dimensions of the tensile test were prepared using a 3D printer

3.1 적층방향에 따른 제품의 강도

적층에 의한 성형방법을 사용하는 3D 프린터의 경우 적층방향에 따라 제품의 강도가 달라지게 된다. 이는 제품의 적층방향 단면층간의 접합강도와 제품의 단면이 연속적으로 고화되는 수직면간의 수지분자의 결합력차이로 발생한다. 이 때문에 제품의 사용목적과 부과되는 하중방향을 고려하여 조형방향을 결정하여야 한다.

본 논문에서는 이러한 제품의 적층방향별 강도를 각 장비별로 측정하여 적층방향에 따른 강도변화를 정리하여 파트의 제작 및 장비의 선택에 있어 참고할 수 있는 데이터를 제시하기 위해 실험을 실시하였다. 실험은 각 장비별로 X, Y, Z 세 방향으로 인장시험용 시편을 제작하여 각 시편 당 세 번의 실험을 하여 측정하였다. Fig. 3은 제작된 인장시편의 치수를 나타낸 것이다. 단, 본 실험에 사용된

인장시험기 및 시편의 특성상 연신율계를 사용하지 못해 정확한 연신율의 측정이 불가능하였다. 그러므로 절대적인 연신율 값의 비교가 아닌 각 장비별, 각 적층방향별로 상대적인 비교가 가능하다.

실험결과 각 장비를 이용하여 제작한 여러 가지 시편들의 인장강도를 Table 2에 정리하였으며 연신율을 Table 3에 정리하였다.

SLA방식의 SLA5000 장비를 이용하여 Somos11120 소재를 사용하여 제작한 시편의 경우 폭 방향 인장강도는 54.94 MPa, 두께방향 인장강도 56.44 MPa, 길이방향 인장강도 54.69 MPa 로 측정되었다. 폭 방향 연신율은 0.125 %, 두께방향 연신율은 0.143 %, 길이방향 연신율은 0.064 % 의 값이 계산되었다. 이를 통해 실제로 적층방향과 무관하게 거의 일정한 인장강도가 측정되는 것을 알 수 있다.

SLS방식의 EOS-P 장비를 이용하여 PA2200 소재를 사용한 시편에서는 폭 방향 인장강도는 48.69 MPa, 두께방향 인장강도 52.15 MPa, 길이방향 인장강도 12.10 MPa 로 측정되었다. 폭 방향연신율은 0.311%, 두께방향 연신율은 0.235%, 길이방향 연신율은 0.027%의 값이 계산되었다. 길이방향 적층이 확연히 낮은 기계적 특성을 보이고 있으며 이는 액체수지를 사용하는 SLA와 같은 경우보다 층간 결합력이 많이 떨어지는 것을 알 수 있다.

FDM방식의 Dimension SST장비를 이용하여 ABS 소재를 사용한 시편에서는 폭 방향 인장강도는 22.5 MPa, 두께방향 인장강도 20.31 MPa, 길이방향 인장강도 7.77 MPa 로 측정되었다. 폭 방향 연신율은 0.076%, 두께방향 연신율은 0.076%, 길이방향 연신율은 0.019%의 값이 계산되었다. 이 장비는 두께방향과 길이방향 적층이 거의 같은 인장강도와 연신율을 보이고 있으나 길이방향 적층의 경우 상대적으로 매우 낮은 인장강도와 연신율을 보이고 있다. 와이어 형태의 재료를 사용하여 파단시의 형상 또한 각 와이어들이 분리되는 형태로 나타났으며 그 결합도가 ABS인 재질 자체의 강성에 크게 미치지 못하는 결과를 보여주었다. 특히 길이방

향 적층이 매우 낮게 측정되어 각 필라멘트간의 결합력이 약하다는 것 측정되어 각 필라멘트간의 결합력이 약하다는 것을 보여준다. 연신율은 다른 장비들에 비해 매우 낮게 계산되었는데 이것 역시 ABS 재질의 강성에 비해 매우 낮은 필라멘트간의 결합력에 기인한다고 판단된다.

3DP방식의 Z402 장비를 이용하여 ZP100 소재를 사용한 시편에서는 폭 방향 인장강도는 8.21 MPa, 두께방향 인장강도 6.12 MPa, 길이방향 인장강도는 인장시험기에 시편 설치과정에서 파손되어 측정이 불가능 하였다. 제품의 연신율을 제품의 강도가 너무 약하고 쉽게 파단 되어 유의한 연신율을 계산하는 것이 불가능 하였다. 이는 기타 후처리를 하지 않은 기본상태의 파트만으로 기계적인 강도를 요구하는 부분에 사용하지 못한다는 것을 의미한다.

LOM방식의 KIRA 장비를 이용하여 paper소재로 제작한 시편에서는 폭 방향 인장강도는 69.80 MPa, 두께방향 인장강도 66.67 MPa로 측정되었고, 길이방향 인장강도는 시험시작과 동시에 종이의 접착 면이 파단되어 측정이 불가능 하였다. 폭 방향 연신율은

Table 3 Average elongation of each piece of equipment (%)

	Laminated of width-direction	Laminated of thickness-direction	Laminated of length-direction
SLA5000 (Somos11120)	0.125	0.143	0.064
EOS-P (PA2200)	0.311	0.235	0.027
Dimension SST(ABS)	0.076	0.076	0.019
Z402 (ZP100)	-	-	-
KIRA (Paper)	0.117	0.118	-

Table 2 Tensile strength of each piece of equipment (MPa)

	Laminated of width-direction			Laminated of thickness-direction			Laminated of length-direction		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
SLA5000 (Somos11120)	54.76	55.27	54.78	55.89	54.88	58.56	55.37	54.54	54.15
	54.94			56.44			54.69		
EOS-P (PA2200)	48.71	48.85	48.51	51.49	52.58	52.38	12.13	12.25	11.91
	48.69			52.15			12.10		
Dimension SST (ABS)	22.55	21.0	22.0	20.31	21.0	20.55	7.77	8.00	7.45
	21.85			20.65			7.74		
Z402 (ZP100)	9.21	7.86	7.29	6.20	5.35	6.83	-	-	-
	8.12			6.12			-		
KIRA (Paper)	70.27	69.29	69.87	66.90	69.58	62.92	-	-	-
	69.80			66.67			-		

0.117%, 두께방향 연신율은 0.118%로 계산되었고, 길이방향 연신율은 같은 이유로 계산할 수 없다. 이는 층간 결합이 접착제를 이용하였기 때문에 폭 방향이나 두께방향의 경우처럼 여러 겹의 종이조직의 강도와는 결합방식이 근본적으로 다르기 때문이다.

3.2 적층면에 따른 표면경도의 측정

적층방향에 따라 표면의 경도가 달라진다. 그 이유는 인장시험의 결과와 마찬가지로 적층단면의 경화방식과 각 층을 결합하는 결합방식의 차이로 인해 연속적인 성형공정에 의해 만들어지는 각 층의 수평면과 이러한 각 층을 각 3D 프린팅 기술의 메카니즘에 의해 결합하는 공정의 차이에서 주로 기인한다. 기본적으로 연속적인 성형이 이루어지는 적층 상면과 층과 층이 결합되는 적층 측면이 경도의 차이를 보일 것으로 예상할 수 있다. Fig. 4와 같이 표면경도 측정용 시편으로 변의 길이가 15 mm인 사각 기둥형상으로 각 장비를 이용하여 제작하였으며 표면경도 측정을 위해서 일반적인 플라스틱 등의 연성재료를 측정하는 로크웰 경도시험기를 사용하였다.

실험결과, 예상과 다르게 Table 4에서 보이는 것과 같이 적층

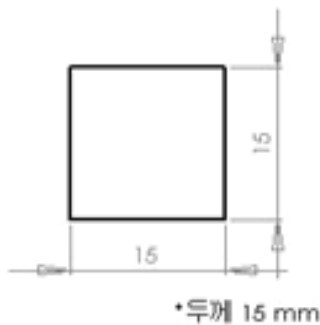


Fig. 4 Dimensions of the surface hardness test were prepared using a 3D printer

Table 4 Surface hardness of each piece of equipment (HRR)

	Laminated face of side specimen			Laminated face of top specimen		
	1	2	3	1	2	3
SLA5000 (Somos11120)	109.7	109.1	109.5	116.7	115.0	116.2
	109.4			116.0		
EOS-P (PA2200)	74.0	73.9	74.5	76.5	77.0	76.1
	74.1			76.5		
Dimension SST(ABS)	72.6	76.9	71.7	66.8	68.7	66.7
	73.7			67.4		
Z402 (ZP100)	-	-	-	-	-	-
	-			-		
KIRA (Paper)	-	-	-	13.3	13.0	13.1
	-			13.1		

상면과 적층 측면의 경도차이가 크게 나지 않는 것을 볼 수 있다.

SLA의 경우 적층 측면의 경도가 116.0로 적층 상면의 경도인 109.4에 비해 높게 측정되었다. SLS의 경우에서도 적층 측면이 76.5로 74.1 인적측상 면에 비해 더 높은 경도를 나타내었다. LOM의 경우는 적층 상면은 13.1의 경도를 나타내었으나, 인장시험과 마찬가지로 적층 측면의 경우 접착면의 분리로 인해 로크웰 R 스케일로도 경도의 측정이 불가능 하였다.

3.3 적층면에 따른 표면조도의 측정

제품의 적층 면에 따라 표면경도와 표면조도가 다르다. 표면 조도의 경우, 적층 상면은 재료가 연속적인 고화를 하기 때문에 비교적 좋은 표면조도를 가지게 되나 적층공정의 특성에 의해 곡면에서는 적층에 의한 단차가 발생하게 된다. 그에 반해 적층 측면의 경우 미세하게 적층된 층이 겹을 이룬 무늬가 나타나게 된다. 또한 적층 배면의 경우 서포트가 생성된 자국이 남게 되어 표면조도가 상면과 다른 형태를 보인다. 이는 적층수평면, 수직면, 전면, 배면이 틀리며 서포트의 유무에 따라 또한 달라지게 된다. 그리고 장비 및 공정에 따라서도 표면조도의 차이가 각 기준면들에서 다르게 나타날 것이다.

표면조도는 작은 간격을 두고 교대로 생긴 요철을 말하며, 이 요철의 크기가 작을수록 표면의 가공 및 성형 정밀도가 높은 것이 된다. 표면조도를 수치로 나타내는 방법으로는 중심선 평균 조도 (Ra), 10점 평균 조도(Rz), 최대높이(Rmax, Ry)의 3종류가 있다.

본 연구에서는 각 공정별로 제품의 상면 및 측면의 표면조도를 측정하여 Table 5와 같이 나타내었으며 그 차이를 정리하여 제품 성격에 맞는 장비 및 공정을 선택할 수 있도록 하였다. 실험은 장비별, 적층방향별로 중심선 평균조도(Ra)를 측정하여 적층방향에 따른 장비별 표면조도의 영향을 정량화 하였다.

Table 5에서 측정된 바와 같이 적층측면에서 ZP100 재료를 사용한 Z402장비를 사용한 ZP100 재료의 시편인 경우 파우더와 접착제를 이용한 물리적 적층 방법이기 때문에 추가적인 압착과정이 없어 표면의 파우더입자가 충분히 일체화되지 못하고 일부 분리되어 아주 높은 표면조도를 보이는 것으로 판단되며 적층상면에서는 paper와 somos11120를 가지고 출력한 시편에서는 재료의 특성 때문에 현저히 낮은 표면조도를 보인다.

3.4 적층방향에 따른 치수정확도

적층에 의한 오차로 인해 형상의 정확도가 떨어지게 된다. 제품 단면을 생성하는 공정에서는 STL파일의 품질에 의해 곡면재현의 오차가 발생하게 되나 적층방향으로 발생하는 오차는 제품의 단면을 적층하는 과정에서 층의 두께에 의해 발생한다.

일반적으로 적층두께가 얇을수록 적층방향 형상오차를 줄일 수

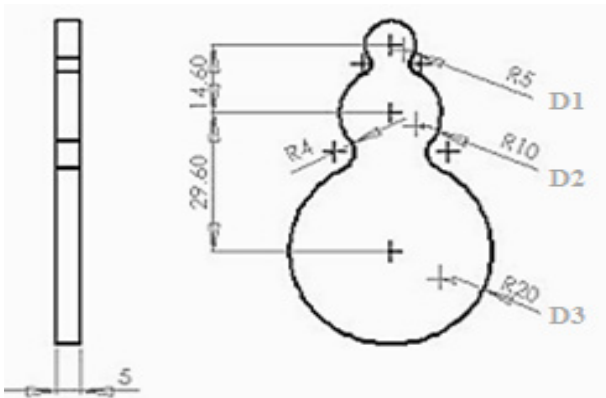


Fig. 5 Sample used to measure dimensional accuracy of the width direction of laminated specimens

Table 5 Surface roughness of each piece of equipment (Ra, μm)

	Laminated face of side specimen		Laminated face of top specimen	
	1	2	1	2
SLA5000 (Somos11120)	6.64	6.58	0.30	0.26
	6.61		0.280	
EOS-P (PA2200)	7.20	7.19	8.82	7.78
	3.25		8.30	
Dimension SST(ABS)	3.24	3.25	17.58	15.88
	3.25		16.73	
Z402 (ZP100)	33.3	25.84	9.21	7.00
	29.6		8.11	
KIRA (Paper)	3.33	3.33	1.69	1.59
	3.33		1.640	

Table 6 Dimensional accuracy of the SLA equipment by laminate direction

		Laminated of width-direction	Laminated of thickness-direction	Laminated of length-direction
D1 (10 mm)	Measurement (mm)	10.257	10.027	10.079
	Error (%)	2.57%	0.270%	0.791%
D2 (20 mm)	Measurement (mm)	20.346	19.992	20.068
	Error (%)	1.730%	0.040%	0.341%
D3 (40 mm)	Measurement (mm)	40.208	39.989	40.091
	Error (%)	0.521%	0.028%	0.228%

있는 장점이 있으나 제작 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 그러므로 형상오차를 사용자가 원하는 정도 이하로 유지하기 위해서 제작 형상에 따라 어느 정도의 slicing 두께를 설정하는 가가 중요하다.

Table 7 Dimensional accuracy of the SLS equipment by laminate direction

		Laminated of width-direction	Laminated of thickness-direction	Laminated of length-direction
D1 (10 mm)	Measurement (mm)	9.644	9.620	9.556
	Error (%)	3.56%	3.80%	4.44%
D2 (20 mm)	Measurement (mm)	19.468	18.991	19.166
	Error (%)	2.66%	5.04%	4.17%
D3 (40 mm)	Measurement (mm)	38.922	38.195	38.653
	Error (%)	2.70%	4.51%	3.37%

Table 8 Dimensional accuracy of the FDM equipment by laminate direction

		Laminated of width-direction	Laminated of thickness-direction	Laminated of length-direction
D1 (10 mm)	Measurement (mm)	9.983	9.886	9.922
	Error(%)	0.170%	1.140%	0.781%
D2 (20 mm)	Measurement (mm)	20.101	19.923	19.941
	Error(%)	0.505%	0.385%	0.295%
D3 (40 mm)	Measurement (mm)	40.024	39.989	39.977
	Error(%)	0.060%	0.0275%	0.0575%

Table 9 Dimensional accuracy of the 3DP equipment by laminate direction

		Laminated of width-direction	Laminated of thickness-direction	Laminated of length-direction
D1 (10 mm)	Measurement (mm)	10.203	10.320	10.088
	Error(%)	2.032%	3.25%	0.883%
D2 (20 mm)	Measurement (mm)	20.087	20.115	20.069
	Error(%)	0.431%	0.570%	0.340%
D3 (40 mm)	Measurement (mm)	39.921	39.999	39.866
	Error(%)	0.200%	0.001%	0.340%

그러나 장비 및 공정별로 적층 및 고화하는 프로세스가 틀려 일괄적으로 설정하기에 무리가 있다.

본 연구에서는 5가지 다른 3D 프린팅 장비로 Fig. 5와 같은 자유곡면형상의 시편을 만든 후, 각각 다른 치수의 위치에서의 3가지

Table 10 Dimensional accuracy of the LOM equipment by laminate direction

		Laminated of width-direction	Laminated of thickness-direction	Laminated of length-direction
D1 (10 mm)	Measurement (mm)	10.144	10.093	10.109
	Error(%)	1.440%	0.930%	1.090%
D2 (20 mm)	Measurement (mm)	20.327	20.090	20.157
	Error(%)	1.635%	0.450%	0.785%
D3 (40 mm)	Measurement (mm)	40.603	40.006	40.257
	Error(%)	1.508%	0.015%	0.643%

적층방향에 따른 치수정확도 및 형상오차를 측정하여 Table 6에서 Table 10와 같이 참고 할 수 있도록 하였다.

4. 결론

본 논문에서는 3D 프린팅 기술을 이용하여 파트를 제작하는데 영향을 미치는 요소들에 대하여 정리하였다. 즉, 파트의 품질에 간접적인 영향을 미치는 환경적 요인과 직접적인 영향을 미치는 공정 변수 및 조형정보에 대해 정리하였다. 또한 파트의 조형에 직접적 영향을 미치는 조형정보에 대해 실제 일반적으로 사용자가 요구하는 품질기준(강도, 표면경도, 표면조도 및 치수정확도)에 준해 실험을 통해 그 영향을 평가하였다. 조형정보에 대해 각 적층방향별로 여러 가지 3D 프린터 장비들을 이용하여 시편을 제작하였으며 인장시험과 경도측정을 수행하여 각 장비별로 상이한 방향별 강도 및 경도에 대하여 평가하였다. 그리고 장비별, 소재별로 파트의 표면조도를 각 방향에 대하여 측정하여 장비별 표면특성을 구하였다. 또한 장비별 형상의 정밀도를 전용시편을 제작하여 3차원 스캐닝하여 치수의 정밀도 및 정확도를 평가하였고, 동일한 장비에서도 제작 방향에 따른 치수의 정확도를 평가하였다.

실험에 사용된 장비는 SLA5000, EOS-P, Dimension SST, Z402 그리고 KIRA이다. 인장강도인 경우 폭, 두께방향 적층에서는 KIRA장비를 이용한 Paper 시편이 가장 크며, 길이방향 적층에서는 SLA5000이 가장 크다, 반면 연실울을 이용한 Paper 시편이 가장 크며, 길이방향 적층에서는 SLA5000장비를 사용한 Comos11120 시편이 가장 크다. 반면 연실울인 경우 EOS-P장비의 PA2200이 폭, 두께방향 적층에 가장 크며, 길이방향 적층에서는 SLA5000의 Comos11120이 가장 크다. 그리고 SLA5000장비를 이용하여 Somos11120 소재로 출력한 시편에서 적층 측면과 적층 상면에 가장 큰 표면경도를 가지는 반면 적층 측면상

Z402장비를 이용한 ZP100시편에서 가장 큰 표면조도를 적층 상면에서는 Dimension SST장비로 이용한 ABS 시편에서 가장 큰 표면조도를 가진다. 마지막으로 치수정확도 측면에서는 FDM방식을 사용하는 Dimension SST장비의 ABS시편의 폭방향, 두께방향, 길이방향 적층의 치수정확도 오차가 가장 낮은 것을 알 수 있다.

STL파일 품질, 조형방향 결정 및 서포트 유무 결정과 같은 소프트웨어 변수를 통해 고품질의 파트를 출력하기 위한 각 장비별로 적층방향에 따른 최적의 방법을 알아보았으며, 조형정보의 영향정도를 정성적 비교를 통해 특성을 파악하였다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Park, J. H., Park, S. H., Kang, J. J., Lee, H. J., Lee, J. K., Lee, N. K., 2013, Trend of Rapid Prototyping and Usage Reverse Engineering, Proceedings of the KSMTE Autumn Conference, 343.
- [2] Kim, N. Y., Kim, M. A., Chae, B. H., Park, J. B., Lee, S. H., 2014, The Current State of 3D Printer and It's Application Plan, Proceedings of the KSMTE Spring Conference, 277.
- [3] Pfister, A., Landers, R., Laib, A., Hubner, U., Schmelzeisen, R., Mulhaupt, R., 2004, Biofunctional Rapid Prototyping for Tissue-engineering Applications: 3D Bioplotting versus 3D Printing, Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry, 42:3 624-638.
- [4] Jung, H. J., Kim, J. H., 2014, Fabrication of Piezo-riven Micro-positioning Stage using 3D Printer, Journal of Korean Society Precision Engineering, 31:3 277-283.
- [5] Utela, B., Storti, D., Anderson, R., Ganter, M., 2008, A Review of Process Development Steps for New Material Systems in Three Dimensional Printing (3DP), Journal of Manufacturing Processes, 10:2 96-104.
- [6] Olszewski, R., Szymor, P., Kozakiewicz, M., 2014, Accuracy of Three-dimensional, Paper-based Models Generated using a Low-cost, Three-dimensional Printer, Journal of Cranio-maxillofacial Surgery, 42:8 1847-1852.
- [7] Moon, H. J., 2014, 3D Printing of the Wind Instruments, Journal of Music Education Science, 18 105-118.
- [8] Kim, G. D., Kim, J. Y., 2006, Benchmark Study on Surface Roughness

- and Mechanical Properties of Rapid Prototypes, Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 15:4 56-62.
- [9] 3D Systems, viewed 3 January 2015, <<http://www.multistation.com/3D-SYSTEMS-SLA-5000-550>>
- [10] EOS-P, viewed 12 December 2014, <http://www.eos.info/systems_solutions/plastic/systems_equipment/eosint_p_800>
- [11] Stratasys, viewed 12 December 2014, <<http://engatech.com/print-3d/fdm-3d-printers/dimension-sst-1200es-3d-printer/>>
- [12] Kira, viewed 18 November 2014, <<http://www.kiracorp.co.jp/?lang=en>>