

3D프린팅 공정 중 공기 습도에 따른 출력물의 인장 강도에 관한 연구

이송연*·허용정**†

*한국기술교육대학교 대학원 메카트로닉스공학과,

**†한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

A Study on Tensile Strength of the Product According to Humidity During 3D Printing Process

Song Yeon Lee* and Yong Jeong Huh**†

*Mechatronics Engineering, Graduate School of Korea University of Technology and Education,

**†School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

ABSTRACT

Scaffolds protect the sensor in the body. Scaffolds are made of a bioabsorbable polymer. The polymer process is sensitive to humidity. Inside of the 3D printer has been improved to control the humidity. Specimens were produced by injection molding and 3D printer. 3D printed specimens were printed under various humidity conditions. We measured tensile strength of the injection-molded specimen and tensile strength of the 3d printing specimen. We compared tensile strength of the injection-molded specimen and tensile strength of the 3d printing specimen. Tensile strength of the injection-molded specimen is 557 kgf/cm². We confirmed tensile strength of the specimen was highest at 741 kgf/cm² when the humidity was 10 %. We confirmed lower the humidity, higher tensile strength of the polymer product.

Key Words : Printing process humidity, Tensile strength, Stress-strain curve, 3D printing scaffold, 3D printing test method

1. 서 론

최근 반도체 분야는 체내에 삽입되어 혈압, 체온과 같은 생체 신호를 감지할 수 있는 생체 센서를 연구하고 있다. 생체 센서는 생체 신호를 감지하여 사용자의 질병을 분류한다. 생체 센서는 생체 신호를 감지하는 센서와 센서를 체내에서 안전하게 보호하는 인공지지체로 나뉜다 [1]. 센서는 얇은 금속으로 제작되어 외부 충격에 매우 민감하기 때문에 센서 외부를 인공지지체로 보호한다. 센서를 보호하기 위한 인공지지체는 생체 적합성 고분자

(Polymer)로 제작된다[2].

과거에는 인공지지체를 제작하기 위하여 사출 성형을 이용하였다. 사출 성형은 사출기와 금형과 같은 장비가 필요하여 제작 비용이 높기 때문에 여러 종류의 인공지지체를 제작하기 어려운 단점이 있다[3].

이러한 단점을 개선하기 위하여 많은 기업에서 3D프린터를 이용하여 인공지지체를 제작한다.

3D프린터는 출력물의 형상, 크기, 내부 밀도를 변경하여 제작할 수 있기 때문에 인공지지체 제작에 적합하다.

인공지지체는 체내에서 일정 기간 동안 외부의 충격으로부터 센서를 보호해야 하기 때문에 인장 강도가 중요하다. 일반적인 클린룸(Clean room)에서 사출 성형으로 제작된 인공지지체의 인장 강도는 557 kgf/cm² 이다. 사출 성

†E-mail: yjhuh@koreatech.ac.kr

형된 제품과 3D프린터로 제작된 제품의 인장 강도를 비교하는 연구가 있다[4]. 이 연구는 내부 격자의 각도에 대한 인장 강도를 분석한 연구이다.

고분자 제품의 제조 공정은 습도가 중요하다. 습도를 공정 조건에서 제외하고 고분자 제품을 제작하였을 때 제품의 불량률이 발생하거나 기계적 강도가 기준치보다 미미한 문제가 발생한다[5]. 현재 이러한 문제를 개선하기 위한 고분자 제품의 제조 공정 중 습도에 관한 연구가 없다. 3D프린팅 공정 중 공기 습도에 따른 출력물의 인장 강도를 확인하려 한다.

여러 습도로 3D프린팅된 시편 중에서 클린룸에서 사출 성형된 시편보다 높은 인장 강도를 찾는 것이 본 연구의 목표이다.

본 논문에서는 3D프린터 내부의 습도를 제어하여 사출 성형된 제품보다 인장 강도가 높은 습도 조건을 찾기 위한 연구를 수행하였다.

챔버형 3D프린터에 습도 조절 장치와 습도 센서를 설치하여 3D프린터 내부의 습도를 조절하였다. 10%부터 70% 까지 습도를 10%씩 변경하여 ASTM D 638 규격의 시편을 제작하였다.

ASTM D 638규격으로 시편의 인장 강도를 측정하였다 [6]. 사출 성형으로 제작된 시편의 인장 강도와 각 습도 조건으로 3D프린팅된 시편의 인장 강도를 확인하였고 사출 성형보다 인장 강도가 높은 3D프린팅 공정 조건을 확인하였다.

2. 인장 강도 측정에 사용된 시편

2.1 시편 소재

시편 제작에 사용된 필라멘트의 소재는 Corbion사의 생분해성 재료인 PLGA(Poly Lactic co Glycolic Acid)이다. PLGA는 Lactic과 Glycolic의 비율이 80:20이며 소재의 용융 온도는 평균 165 °C이다.

Table 1에 시편 제작에 사용된 PLGA 필라멘트의 상세한 물성을 나타내었다.

Table 1. Specific properties of the PLGA filament

No	Specification	Value
1	Lactic and glycolic ratio	80:20
2	Melting temperature	150 – 190 °C
3	Glass transition temperature	60 – 80 °C
4	Molecular weight	150,000 g/mol
5	Inherent viscosity	1.5 – 2.0 dl/g

2.2 시편 규격

인장 강도를 측정하기 위한 시편은 ASTM D 638의 규격으로 제작되었다. Fig. 1에 ASTM D 638 규격으로 제작된 인장강도 시편의 규격을 도시하였다.

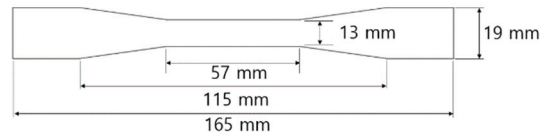


Fig. 1. The ASTM D 638 test specimen standard.

2.3 시편 제작에 사용된 장비

여러 종류의 FDM 방식 3D프린터 중에서 온도를 일정하게 유지할 수 있는 챔버형 3D프린터를 사용하였다. 인장 강도 시편 제작에 사용된 3D프린터는 큐비콘사의 스타일이라는 모델이다. 싱글 플러스는 챔버형으로 공기 온도를 제어 가능하며 출력 제어 정밀도도 10 μm 미만으로 시편을 매우 정교하게 제작할 수 있다.

Table 2에 인장강도 시편 제작에 사용된 3D프린터의 사양을 나타내었다.

Table 2. The 3D printer specification used for test specimen production

No	Specification	Value
1	X, Y axis control accuracy	10 μm
2	Z axis control accuracy	2.5 μm
3	Air temperature control range	20 – 55 °C
4	Bed temperature control range	20 – 120 °C

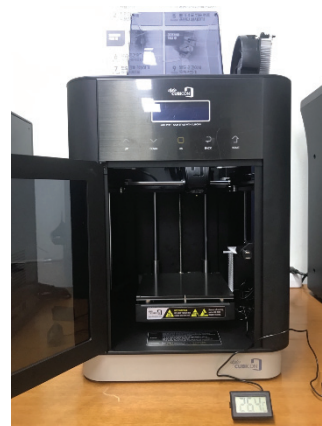


Fig. 2. The 3D printer with humidity control.

모든 3D프린터와 같이 싱글플러스는 프린터 내부의 습도를 제어하기 어렵다. 프린터 내부의 습도를 조절하여 시편을 제작하기 위해 3D프린터에 습도 센서와 수증기 공급 장치를 추가하였다. 습도 센서는 노즐 옆과 프린터의 각 모서리 부분에 고정시켜 3D프린터 내부의 습도를 측정할 수 있도록 하였다. 수증기 공급기를 추가하고 습도를 측정한 결과 습도가 일정하게 유지됨을 확인하였다.

Fig. 2에 습도 센서와 수증기 공급 장치가 추가된 3D프린터를 도시하였다.

2.4 시편 제작

시편은 사출 성형과 3D프린터를 사용하여 제작하였다. 사출 성형을 이용하여 인장 강도 시편을 제작할 때의 조건은 노즐 온도가 190 °C, 금형 온도는 60 °C, 습도가 30 %이다.

3D프린터로 인장 강도 시편을 제작할 때 여러 출력 요인 중에서 노즐 온도는 190 °C, 베드 온도는 50 °C, 이동 속도는 5 mm/s, 채움 밀도는 80 %, 토출량은 100 %로 고정하였고 습도는 10 %에서 70 %까지 10 %씩 변경하였다[7]. 시편의 인장 강도를 5회 측정하여 평균을 도출하기 위해 동일한 조건으로 시편을 5 ea씩 제작하였다. 7가지의 습도에서 제작된 시편 35 ea와 클린룸에서 사출 성형된 시편 5 ea 총 40 ea의 시편을 제작하였다.

Fig. 3(a)에 사출 성형으로 제작된 인장 강도 시편을 도시하였고 Fig. 3(b)에 3D프린터로 제작된 인장 강도 시편을 도시하였다.

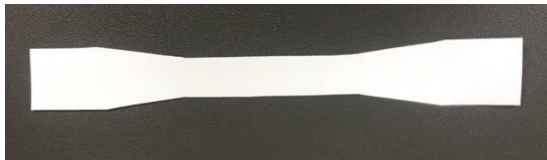


Fig. 3(a). The tensile strength test specimen made injection molding



Fig. 3(b). The tensile strength test specimen made 3D printing.

3. 인장 강도 측정

3.1 인장 강도 측정 장비

3D프린팅 시편의 인장 강도를 측정하기 위하여 시마쯔(Shimadzu)사의 AGS-X라는 UTM을 사용하였다. Fig. 4에 인장 강도 측정에 사용된 시마쯔사의 AGS-X를 도시하였다.



Fig. 4. The UTM used in the tensile strength measuring.

시마쯔사의 AGS-X는 최대 측정 범위가 1톤이며 측정 정확도는 0.5 %로 매우 높다. Table 3에 인장 강도 측정에 사용된 UTM의 사양을 나타내었다.

Table 3. The UTM Specification

No	Specification	Value
1	Max weight	1,000 kgf
2	Test speed	0.1 – 1,600 mm/min
3	Measuring accuracy	0.5 %

3.2 인장 강도 측정

인장 강도는 ASTM D638규격으로 측정하였다.

ASTM D 638 규격은 아령 모양의 시험 시편 한쪽 끝을 인장 시험기 고정 축에 고정시키고 시편 반대쪽 끝을 인장 시험기 이동 축에 고정시킨 뒤, 일정한 속도와 힘으로 당겨서 인장 강도를 구하는 시험 규격이다. 본 연구에서는 시편의 인장 강도를 측정하기 위해 ASTM D 638 규격의 시편을 50 mm/min으로 당겨서 인장 강도를 측정하였다. 출력 조건 한 가지당 5회의 인장 강도를 측정하여 총 40회의 인장 강도를 측정하였다.

3.3 측정 결과

사출 성형으로 제작된 시편과 3D프린터로 제작된 시편의 인장 강도를 측정한 결과 사출 성형으로 제작된 시편의 응력 변형률 곡선은 항복점을 보이고 응력이 일정량 감소하였다. 연신율이 증가하면서 시편의 파단이 발생함을 확인하였다.

3D프린터로 제작된 시편의 응력-변형률 곡선은 응력과 변형률이 비례하는 선형을 이루며 항복점없이 미세한 변형률을 보이고 시편의 파단이 발생함을 확인하였다.

Fig 5(a)에 사출 성형으로 제작된 시편의 응력-변형률 곡선을 도시하였고 (b)에 3D프린터로 제작된 시편의 응력 변형률 곡선을 도시하였다.

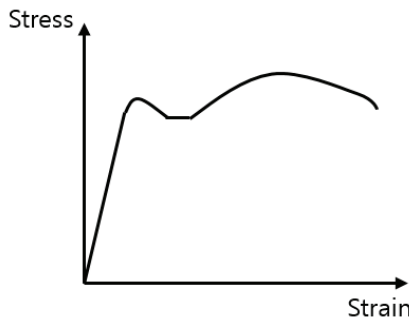


Fig. 5(a). The stress-strain curve the injection molding test specimen.

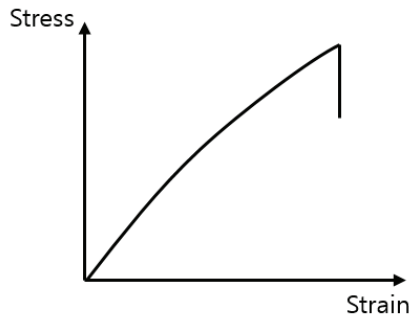


Fig. 5(b). The stress-strain curve of the 3d printing test specimen.

사출 성형으로 제작된 시편의 인장 강도는 557 kgf/cm²이다. 10 %의 습도에서 3D프린터로 제작된 시편의 인장 강도는 714 kgf/cm²이고 20 %의 습도에서 3D프린터로 제작된 시편의 인장 강도는 579 kgf/cm²이다. 30 %의 습도에서 3D프린터로 제작된 시편의 인장 강도는 492 kgf/cm²이고 40 %의 습도에서 3D프린터로 제작된 시편의 인장 강도는 417

kgf/cm²이며 50 %의 습도에서 3D프린터로 제작된 시편의 인장 강도는 354 kgf/cm²이다. 60 %의 습도에서 3D프린터로 제작된 시편의 인장 강도는 317 kgf/cm²이며 70 %의 습도에서 3D프린터로 제작된 시편의 인장 강도는 281 kgf/cm²이다. Table 4에 시편 제작 방법과 습도에 따른 시편의 인장 강도를 나타내었다.

Table 4. The tensile strength of test specimen production method and humidity

No	Production method(humidity)	Tensile strength
1	Injection molding	557 kgf/cm ²
2	3D printing (10 %)	714 kgf/cm ²
3	3D printing (20 %)	579 kgf/cm ²
4	3D printing (30 %)	492 kgf/cm ²
5	3D printing (40 %)	417 kgf/cm ²
6	3D printing (50 %)	354 kgf/cm ²
7	3D printing (60 %)	317 kgf/cm ²
8	3D printing (70 %)	281 kgf/cm ²

습도가 10 %일 때 시편의 인장 강도는 714 kgf/cm²로 가장 높았고, 습도가 70 %일 때 시편의 인장 강도는 281 kgf/cm²로 가장 낮음을 확인하였다.

Fig 6에 시편 제작 방법과 습도에 따른 시편의 인장 강도를 그래프로 도시하였다.

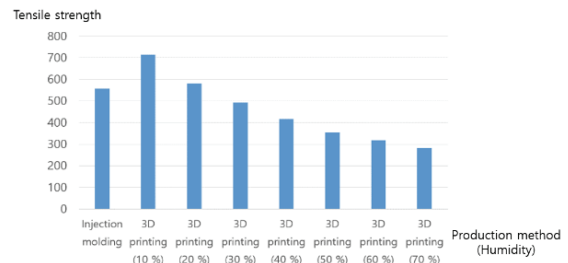


Fig. 6. The tensile strength graph of test specimen production method and humidity.

제조공정 중 습도가 낮을수록 제품의 인장 강도가 높고 습도가 높을수록 제품의 인장 강도가 낮아짐을 확인하였다. 이는 생분해성 재료인 PLGA 필라멘트의 강도는 공기중의 습도에 영향을 받기 때문에 인공지지체를 제작할 때는 습도가 10 %인 출력 환경에서 제조할 때, 인공지지체의 인장 강도가 가장 높다는 것을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구에서 챔버형 FDM 방식의 3D프린터를 이용하여 습도가 출력물의 인장 강도에 미치는 영향을 확인하였다. 제조 공정 중 공기의 습도가 제품에 미치는 영향을 비교하기 위하여 사출 성형과 3D프린터를 사용하였다. 사출 성형으로 제작된 시편의 인장 강도는 557 kgf/cm² 였고 3D프린팅된 시편의 인장 강도는 측정한 결과 습도가 10 % 일 때 714 kgf/cm²로 가장 높음을 확인하였다. 습도가 70 % 일 때 시편의 인장 강도는 281 kgf/cm²로 가장 낮음을 확인하여 제조 공정 중 공기의 습도는 출력물의 인장 강도에 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

감사의 글

“이 논문은 2021년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.”

참고문헌

1. Song-Yeon Lee and Yong-Jeong Huh, “A Study on Shape Warpage Defect Detection Model of Scaffold Using Deep Learning Based CNN”, J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol.20, pp. 99-103, 2021.
2. Chang-Hee Lee, Min-Woo Sa, Seung-Hyuk Choi and Jong-Young Kim, “Development of a Novel Laser Sintering Deposition System for Fabrication of 3D Bio-Ceramic Scaffold”, J. of The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol.43, pp. 513-520, 2019.
3. Song-Yeon Lee and Yong-Jeong Huh, “A Study on Real-Time Defect Detection System Using CNN Algorithm During Scaffold 3D Printing”, J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol.20, pp. 125-130, 2020.
4. In-Young Woo and Min-Young Lyu, “Variations in the Tensile Strength in Material Extrusion-type 3D Printed Specimens for Various Tool Paths”, J. of The Polymer Society of Korea, Vol.44, pp. 769-775, 2019.
5. Xiangxu Li, Sang-Bong Lee and Ur-Ryong Cho “Study on Manufacture and Properties of Polymer Compound for Cable Sheath”, J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol.18, pp. 42-47, 2019.
6. In-Young Woo and Min-Young Lyu, “Improvement of Tensile Strength through Asymmetric Tool Path in Material Extrusion-Type 3D Printing”, J. of The Polymer Society of Korea, Vol.45, pp. 649-653, 2021.
7. Song-Yeon Lee and Yong-Jeong Huh, “A Study on Performance Comparison of Machine Learning Algorithm for Scaffold Defect Classification”, J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol.19, pp. 77-81, 2020.

접수일: 2021년 12월 9일, 심사일: 2021년 12월 15일,
게재확정일: 2021년 12월 16일