

챔버 내부의 질소 농도에 따른 3D프린팅 출력물의 인장 강도에 관한 연구

이송연*·허용정**†

*한국기술교육대학교 대학원 메카트로닉스공학과,
**†한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

A Study on Tensile Strength of the 3D Printing Product According to the Nitrogen Concentration of Chamber Inside

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 are the structures that safely protect sensors in various parts of the body. Because of scaffolds must protect sensors from load, the tensile strength of the scaffolds must be higher than 750 kgf/cm². Currently, the tensile strength of scaffolds made with the 3d printer is 714 kgf/cm². We confirm that the tensile strength of the scaffolds increase using air with high nitrogen concentration. In this study, we conducted experiments to find nitrogen concentrations in which the tensile strength of the specimen is higher than 750 kgf/cm². The nitrogen control device and the nitrogen concentration sensor were installed in the chamber type 3d printer. The nitrogen concentration inside the 3d printer was changed by 5 % from 80 % to 100 %. Specimens of ASTM D 638 standard were produced under changed nitrogen concentration. We measured the tensile strength of specimens. We compared the tensile strength of specimens produced under each nitrogen concentration. We confirmed that when air with nitrogen concentration of 90 % was used, the tensile strength of scaffolds were 762 kgf/cm².

Key Words : Nitrogen concentration control, Stress-strain curve, Scaffold tensile strength , Tensile specimen, Tensile strength improvement

1. 서 론

현재 반도체 분야는 의공학 분야와 함께 체온, 맥박 등의 생체 신호를 감지할 수 있는 생체 센서를 연구하고 있다. 생체 센서는 센서를 부착하고 있는 사람의 생체 신호를 실시간으로 탐지한다. 생체 센서는 신호를 탐지하는 센서와 외부 충격으로부터 센서를 안정적으로 보호하기 위한 인공지지체로 구성되어있다[1]. 센서는 1~2mm의 얇

은 금속으로만 구성되어 있기 때문에 외부 충격에 매우 취약하다. 신체의 다양한 부분에 부착되어 여러 종류의 충격으로부터 센서를 보호하기 위해서 인장 강도, 굽힘 강도와 같은 기계적 물성이 높아야 한다. 인공지지체는 습도, 온도, 충격에 강한 고분자로 제작된다.

현재 인공지지체를 제작할 때 제작 비용이 높은 사출 성형 공정보다 제작 비용이 사출에 비해 매우 낮은 3D프린팅 공정을 이용한다.

3D프린터는 기온, 습도, 제작 속도, 노즐 온도,베드(Bed) 온도와 같이 출력 인자들의 속성을 조절할 수 있다. 출력

†E-mail: yjihuh@koreatech.ac.kr

인자의 속성을 조절하여 출력물의 밀도, 기계적 강도를 변경할 수 있다. 따라서 3D프린터는 인공지지체 제작에 적합하다. 인공지지체는 신체의 다양한 부분에 부착된다. 다양한 크기의 장력이 인공지지체에 가해지기 때문에 인공지지체는 높은 인장 강도를 가져야 한다. 고분자 제품의 인장 강도를 높이기 위해서 공기 중의 습도 조건을 달리하여 ASTM(America Society for Testing and Materials) D 638 규격의 인장강도 시편을 제작한 뒤, 각 습도 조건으로 제작된 시편의 인장 강도를 비교한 연구가 있다[2]. 이 연구에서는 공기 중의 습도를 10%부터 70%까지 10%씩 변경하여 시편을 제작하였고 각 시편의 인장 강도를 측정하고 결과 공기중의 습도가 10%일 때, 시편의 인장 강도는 714 kgf/cm^2 로 가장 높았고 기존의 사출 성형으로 제작된 시편의 인장 강도보다 약 28% 높음을 확인하였다. 신체 부위 중에서 가장 큰 하중을 받는 대퇴부에 인공지지체가 사용되기 위해서는 750 kgf/cm^2 이상의 인장 강도를 가져야 한다[3]. 제품의 인장 강도를 높이기 위한 3D프린터의 외부 출력 요인은 공기의 성분과 기압이 있다[4]. 제조 공정 중에 질소 압력에 대한 에폭시(Epoxy) 복합 제품의 기계적 물성을 확인하는 연구가 있다. 질소는 안정성이 높으며 다양한 성분으로 제조된 제품의 기계적 강도를 높이기 위해 사용된다[5]. 해당 연구에서는 질소 압력을 0, 2, 3, 5기압으로 하여 에폭시 복합 소재로 ASTM D 638 규격의 인장 시편을 제작한 뒤, 시편의 인장강도를 측정하였다. 질소가 3기압인 조건에서 제작된 시편의 인장 강도가 917 kgf/cm^2 로 가장 높음을 확인하였다. 질소가 0기압인 조건에서 제작된 시편의 인장 강도는 764 kgf/cm^2 로 0기압인 조건보다 인장 강도가 약 20% 높아짐을 확인하였다. 시중에 판매되는 3D프린터는 챔버 형태이지만 기압을 조절하는 기능이 없기 때문에 3D프린터로 기압을 변경하여 제품을 제작하기 매우 어렵다[6]. 따라서 질소의 압력외에 공기중의 질소 농도가 증가할 수록 제품의 인장 강도가 얼마나 높아지는지 확인한다.

본 연구에서는 750 kgf/cm^2 이상의 인장 강도를 갖는 3D프린터의 질소 농도 조건을 찾기 위한 실험을 수행하였다. 챔버형 3D프린터에 질소 조절 장치와 질소 농도 센서를 설치하여 3D프린터 내부의 질소 농도를 80%부터 100%까지 5%씩 변경하였다. 변경된 질소 농도 조건에서 STM D 638 규격의 시편을 제작하였고 인장 강도를 측정하였다. 각 질소 농도 조건으로 제작된 시편의 인장 강도를 확인하였고 인장 강도가 750 kgf/cm^2 이상인 3D프린팅 질소 농도 조건을 확인하였다.

2. 실험 장비

2.1 시편 제작 장비

고분자 소재를 이용하여 시편을 제작하기 위해 FDM 방식의 3D프린터를 사용하였다. FDM 방식의 3D프린터는 챔버(Chamber)가 없는 개방형 구조와 챔버가 있는 폐쇄형 구조로 나뉜다. 질소 농도가 균일하게 유지된 상태로 시편이 제작될 수 있도록 폐쇄형 구조의 3D프린터를 사용하였다. 여러 종류의 3D프린터 중에서 큐비콘사의 싱글 플러스(Single plus)라는 모델을 사용하여 인장 시험 시편을 제작하였다. 해당 3D프린터는 공기 온도, 베드 온도를 1°C 단위로 제어할 수 있고 X축, Y축 제어 정밀도가 $10 \mu\text{m}$, Z축 제어 정밀도가 $2.5 \mu\text{m}$ 로 매우 높기 때문에 인장 시험 시편 제작에 적합하다[7]. 싱글 플러스라는 모델은 질소 농도 조절 및 측정 기능이 없는 장비이기 때문에 질소 탱크, 가스 조절 밸브, 질소 농도 측정기를 추가로 설치하여 3D프린팅 공정 중에 질소 농도를 측정할 수 있도록 개선하였다. Fig. 1에 시편 제작에 사용된 챔버형 3D프린터를 도시하였다.



Fig. 1. Chamber type 3d printer used to test specimen Printing.

질소 농도 측정기는 3D프린터 노즐 옆에 고정시켜 시편이 제작되는 3D프린터 내부의 질소 농도를 측정할 수 있도록 하였다. 질소 가스 투입량을 변경하면서 질소 가스 농도를 조절하는 실험을 직접 수행하였다.

일반적인 공기 중의 질소 농도는 약 78%이다. 질소 투입량에 따른 3D프린터 챔버 내부의 질소 농도 변화를 확인하기 위해 질소 조절 밸브와 질소 공급 튜브를 추가한 뒤, 질소 농도를 측정하였다. 질소 가스 투입량이 일정하면 질소 농도가 일정하게 유지됨을 확인하였다.

Table 1에 질소 가스 투입량에 따른 챔버 내부의 질소 농도를 나타내었다.

질소 투입량이 높을수록 챔버 내부의 질소 농도가 증가함을 확인하였다. 각 질소 투입량에 따른 챔버 내부의 기압을 확인한 결과 기압은 1기압이 유지됨을 확인하였다. 챔버 내부의 습도 역시 10%임을 확인하였다.

Table 1. The nitrogen concentration of chamber inside according to nitrogen gas injection volume

No	Nitrogen gas injection volume (mL/min)	Nitrogen concentration (%)
1	0	78
2	43	80
3	102	85
4	207	90
5	309	95
6	414	100

2.2 인장 강도 측정 장비

여러 질소 농도 조건으로 3D프린팅된 시편의 인장 강도를 측정하기 위하여 만능 재료 시험기(Universal Testing Machine, UTM)를 사용하였다. 사용된 만능 재료 시험기는 시마쓰사의 AGS-X라는 장비이다.

해당 장비는 고분자 제품의 인장 강도 측정이 가능하다. AGS-X는 최대 측정 범위가 1톤이며 측정 정확도는 0.5%로 매우 높다.

3. 인장 강도 시편 제작

3.1 시편 규격

생체 센서에 사용되는 인공지지체의 크기는 가로, 세로, 높이가 모두 20 mm이다[8]. 측정하려는 제품의 크기가 작기 때문에 인장 강도를 측정하기 매우 어렵다. 인장 강도를 측정하여도 측정 결과에 응력-변형률 곡선이 없기 때문에 측정된 데이터가 정확한 인장 강도인지 신뢰하기 어렵다. 따라서 인공지지체의 정확한 인장 강도를 측정하기 위해 인공지지체 제작과 동일한 공정 조건으로 인장 시편을 제작하였다. 시편은 인장 강도 측정 규격인 ASTM D 638을 참고하여 제작하였다[9]. 시편의 형태는 아령형으로 전체 길이는 165mm이며 높이는 19mm이고 두께는 3.2 mm이다.

Fig 2에 ASTM D 638 규격의 인장 시험 시편을 도시하였다.

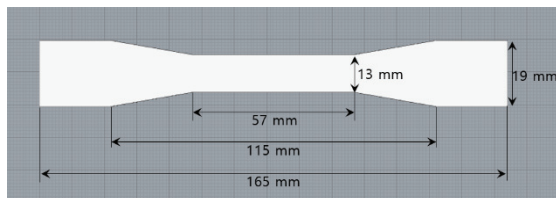


Fig. 2. The test specimen of the ASTM D 638 standards.

인장 강도 시편은 국제적으로 승인된 의료용 소재인 PLGA(Poly Lactic co Glycolic Acid)로 제작되었다[10]. Corbion (Amsterdam, Netherland)의 PLGA를 사용하였다. Lactic과 Glycolic의 비율이 80:20인 고분자로 용융 온도는 150~190°C이며 유리 전이 온도는 60~80°C이다.

3.2 시편 제작

3D프린터를 사용하여 각 질소 농도 조건에서 인장 강도 시편을 제작하였다.

시편을 제작하기 위하여 질소 농도를 제외한 모든 3D 프린터 출력 요인은 설정 값(Setting value)을 고정시켰다. 3D프린터 부품들의 공정 조건인 노즐 온도, 베드 온도, 이동 속도, 채움 밀도, 압출 속도는 고정시켰다. 3D프린터의 출력 환경 조건인 기압과 습도도 고정시켰다.

인장 강도 시편을 제작하기 위한 3D프린팅 공정 조건은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. 3D printing condition for print test specimen

No	Specification	Value
1	Nozzle temperature	190 °C
2	Bed temperature	50 °C
3	Infill density	80 %
4	Print speed	600 mm/min
5	Extrusion speed	550 mm/min
6	Air humidity	10 %
7	Air pressure	1 bar

노즐 온도는 190 °C, 베드 온도는 50 °C, 채움 밀도는 80 %, 출력 속도는 600 mm/min, 압출 속도는 550mm/min 로 고정시켰다.

공기의 습도는 10 %로 고정시켰고 기압은 1기압으로 고정시켰다. 시편의 인장 강도 평균을 도출하기 위해 동일한 조건으로 시편을 10 개씩 제작하였다. 질소 농도가 78%인 일반적인 공기에서 시편 10 개를 제작하였다.

질소 농도를 80 %에서 100 %까지 5 %씩 변경하여 각 조건 별로 시편을 10 개씩 제작하였다. 일반적인 공기 조건인 78 %의 질소 농도에서 제작된 시편 10개와 5개의 농도 조건으로 제작된 시편 50개, 총 60 개의 시편을 제작하였다.

Fig 3에 3D프린터로 제작된 인장 강도 시편을 도시하였다.



Fig. 3. The tensile strength test specimen made 3D Printing.

각 질소 농도 조건에서 제작된 인장 강도 시편의 치수를 측정한 결과 모든 시편의 오차는 1% 미만임을 확인하였다.

4. 인장 강도 측정 및 비교

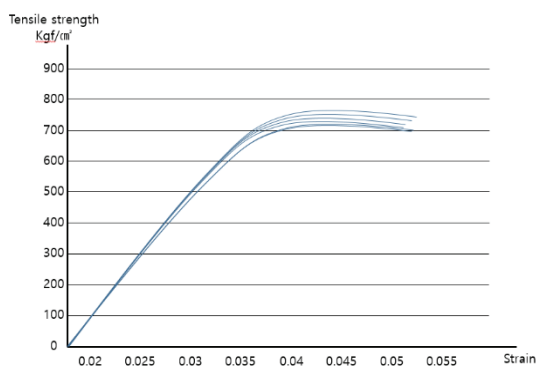
4.1 인장 강도 측정

시편의 인장 강도는 ASTM D 638 규격으로 측정하였다. ASTM D 638 규격의 인장 강도 시험은 인장 강도 측정 장비의 고정 축에 시편의 한쪽 면을 고정시킨다. 인장 강도 측정 장비의 이동 축에 시편의 반대쪽 면을 고정시킨다. 이동 축이 50 mm/min의 속도로 고정 축의 반대 방향으로 이동하면서 시편의 인장 강도를 측정한다.

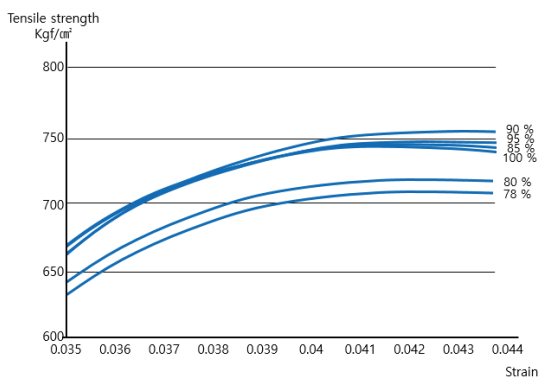
질소 농도가 78%인 일반적인 공기에서 제작된 시편 10개의 인장 강도를 측정하였다. 80%에서 100%까지 5%씩 변경하여 각 조건 별로 제작된 시편 10개씩 총 50개의 인장 강도를 측정하였다. 일반적인 공기에서 제작된 시편 10개와 질소 농도를 조절하여 제작된 시편 50개, 총 60개 시편의 인장 강도를 측정하였다.

4.2 측정 결과

각 질소 농도 조건에서 제작된 시편의 인장 강도를 측정하였다. 측정된 모든 시편의 응력-변형을 곡선은 항복점을 보인 뒤 응력이 감소하였다. Fig. 4(a)에 각 질소 농도 조건으로 제작된 시편의 응력-변형을 곡선 전체를 도시하였다. Fig. 4(b)에 각 시편마다 응력-변형을 곡선에 차이가 나타나는 부분을 확대하여 도시하였다.



(a) Stress-strain curve of the test specimen (full scale)



(b) Stress-strain curve of the test specimen (0.035-0.044)

Fig. 4. The stress-strain curve of the test specimen according to nitrogen concentration.

일반적인 공기 조건에서 제작된 시편의 인장 강도는 714 kgf/cm²임을 확인하였다. 질소 농도가 80%일 때는 729 kgf/cm², 85%일 때는 746 kgf/cm², 90%일 때는 762 kgf/cm², 95%일 때는 749 kgf/cm², 100%일 때는 743 kgf/cm²임을 확인하였다. 일반적인 공기 조건에서 질소 농도가 증가할수록 시편의 인장강도가 높아지는 것을 확인하였다. 질소 농도가 90%일 때 시편의 인장 강도가 가장 높았음을 확인하였다. 질소 농도가 90%를 넘어가면 인장 강도가 감소하는 것을 확인하였다. Table 3에 질소 농도에 따른 시편의 인장 강도를 나타내었다.

Table 3. The tensile strength according to the nitrogen concentration

No	Nitrogen concentration (%)	Tensile strength kgf/cm ²
1	78	714 kgf/cm ²
2	80	729 kgf/cm ²
3	85	746 kgf/cm ²
4	90	762 kgf/cm ²
5	95	749 kgf/cm ²
6	100	743 kgf/cm ²

각 질소 농도 조건별로 시편을 10개씩 제작한 뒤, 측정 한 결과를 평균으로 도출하였다.

변경된 질소 조건에서 제작된 시편의 평균 인장 강도를 비교하였을 때, 질소 농도가 80%일 때 제작된 시편의 평균 인장 강도는 729 kgf/cm²로 가장 낮음을 확인하였다. 질소 농도가 90%일 때 제작된 시편의 평균 인장 강도는 762 kgf/cm²로 가장 높음을 확인하였다.

질소 농도가 80 %부터 90 %까지 5 %씩 증가할 때마다 시편의 인장 강도는 평균 16 kgf/cm²씩 높아지는 것을 확인하였다. 질소 농도가 90 %일 때 시편의 인장강도는 762 kgf/cm²로 가장 높았다.

질소 농도가 90 %에서 100 %로 5 %씩 증가할 때, 시편의 인장 강도는 감소하였다. 공정 중의 공기 질소 농도와 시편의 인장 강도는 비례 관계가 아닌 것을 확인하였다. 질소 농도가 높아지면 인장 강도도 높아지다가 질소 농도가 일정 수준일 때 시편의 인장 강도는 최고 수준에 도달하였고 질소 농도가 90 %를 넘어가면 인장 강도가 낮아지는 특성을 확인하였다.

시편의 원료인 PLGA의 인장 강도는 질소 농도에 대해서 망대 특성이 아닌 망목 특성을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 원인으로서는 PLGA는 공중합체(Copolymer)로 용융되었을 때, 챔버 내부의 질소 분자에 의해 시편의 표면이 코팅되며 질소 분자로만 코팅 되는 것이 아닌 90 %의 질소와 10 %내외의 산소 및 기타 분자로 코팅 되었을 때, 인장 강도가 가장 높다고 고찰하였다.

제조 공정 중 공기의 질소 농도가 고분자 제품의 인장 강도에 미치는 영향을 확인할 수 있었고 추후에는 질소 외의 가스 또는 혼합 가스를 이용하여 제품의 인장 강도를 개선할 수 있는 제조 공정 환경에 대한 연구가 수행될 수 있음을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구에서 챔버형의 FDM 3D프린터를 이용하여 공기 중의 질소 농도가 3D프린팅 출력물의 인장 강도에 미치는 영향을 확인하였다.

제조 공정 중 공기의 질소 농도가 출력물에 미치는 영향을 비교하기 위하여 일반적인 공기에서 시편을 제작하였고 질소 농도를 80 %부터 100 %까지 5%씩 변경한 환경에서 시편을 제작하였다. 일반적인 공기에서 제작된 시편의 인장 강도는 714 kgf/cm²였고 질소 농도가 90 %인 환경에서 제작된 시편의 인장 강도는 762 kgf/cm²로 가장 높음을 확인하였다. 질소 농도가 80 %인 환경에서 제작된 시편의 인장 강도는 729 kgf/cm²로 가장 낮음을 확인하여 제조 공정 중 공기의 질소 농도는 출력물의 인장 강도에 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

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. Song-Yeon Lee and Yong-Jeong Huh, "A Study on Tensile Strength of the Product According to Humidity During 3D Printing Process", J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol.20, pp. 177-181, 2021.

3. Ho-Seon Choi, "Finite Element Analysis of Pressure Distribution by Ultrasound in Human Thigh Model," J.of The Information Technology, Vol. 8, pp. 43-50, 2005.

4. Sung-Yoen Kim, Eun-Chan Kim, Hee-Chan Kim, Jae-Wook Nam, Sang-Woo Lee and Soo-Whang Baek, "A Study on the Improvement of Convenience through Reduction of Printing Time and Material Consumption of 3D Printer," J. of The Korea Institute of Electronic Communication Science, Vol. 16, pp.909-915, 2021.

5. Bu-An Kim, Hyun-Young Hwang, Suk-Jun Kang and Chang-Kwon Moon, "Effect of Nitrogen Gas Pressure on the Mechanical Properties of Polymer Composite Materials", J. of The Korean Society for Power System Engineering, Vol.20, pp. 14-19, 2016.

6. Eun-Young Oh, Jin-Woo Lee and Jong-Hwan Suhr, "3D Printable Composite Materials : A Review and Prospective," J. of The Korean Society for Composite Materials, Vol. 31, pp. 192-201, 2018.

7. Song-Yeon Lee and Yong-Jeong Huh, "A Study on Square Pore Shape Discrimination Model of Scaffold Using Machine Learning Based Multiple Linear Regression", J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol.19, pp. 59-64, 2020.

8. Song-Yeon Lee and Yong-Jeong Huh, "A Study on Pore Shape Discrimination Model of Scaffold Using Machine Learning Based Multiple Linear Regression", J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol.19, pp. 59-64, 2020.

9. 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.

10. IRS Global, "The Entire 3D Printing(Printer, Material) that will Lead the New Industrial Revolution," IRS Global, 1st Edition, pp.310-551, 2016.

접수일: 2022년 3월 4일, 심사일: 2022년 3월 18일,
 게재확정일: 2022년 3월 25일