

# 3SC 실용트리즈와 실험계획법을 이용한 PLGA인공지지체 제작조건에 관한 연구

이승연\*·허용정\*\*†

\*† 한국기술교육대학교대학원 메카트로닉스공학과

\*\*한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

## A Study on Manufacturing Condition of PLGA Scaffold Using 3SC Practical TRIZ and Design of Experiments

Song-Yeon Lee\* and Yong Jeong Huh\*\*†

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

\*\*Department of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

### ABSTRACT

In this paper, we have studied the deformation problem of the scaffold caused by the FDM type 3D printer. The DOE (Design of experiment) and 3SC was used to solve the deformation problem of the scaffold generated from the adhesion surface between the scaffold and the bed. The methodology was used to derive the solution and the experiment was conducted on the derived solution. As a result of evaluating the experimental results obtained for the solution, it was found that the deformation of the scaffold was much improved. By using the DOE, We were possible to derive the output condition of scaffold

**Key Words** : 3D Printer, DOE, FDM, Scaffold, TRIZ

## 1. 서 론

현재 반도체 산업은 3D프린터와 함께 다양한 분야로 발전되고 있다. 생체적합성 재료와 미세전자제어기술(MEMS) 센서를 합쳐 생체신호를 감지하는 기술이 많은 연구가 진행되고 있다[1]. 이 중에서도 열가소성 고분자(Polymer)를 이용해 체액의 원활한 흐름이 가능하도록 일정한 기공 크기와 기계적 강도를 갖기 위하여 레이어 굽기를 갖는 인공지지체 제작 연구가 진행되고 있다[2]. 그 중에 일정한 기공 크기와 레이어 굽기를 갖는 인공지지체를 다양한 재료와 방법으로 제작하는 연구가 진행되었[3]. 그러나 생분해성 재료를 이용하여 인공지지체를 제작할 때 발생하는 변형문제에 대하여 연구가 진행되지

않았다[4]. 그리고 3D프린터를 이용하여 인공지지체의 출력조건에 대한 연구가 진행되지 않았다.

따라서 본 논문에서는 상용 3D프린터를 이용하여 생분해성 PLGA로 인공지지체를 제작할 때 발생하는 변형문제를 3SC(3 Step creativity) 실용트리즈를 이용하여 해결방안을 도출하였다. 도출된 해결방안을 이용하여 출력을 진행하였고 개선방안에서 정밀도가 증가함을 정량적으로 확인할 수 있었다. 또한 도출된 인자와 레벨을 실험계획법에 적용하여 목표한 조건에 가장 근접하는 제작조건을 도출하였다.

## 2. 출력 목표 및 방법

### 2.1 출력 목표

인공지지체에서 체액이 원활히 흐르기 위해서는 기공

†E-mail: yjhuh@koreatech.ac.kr

크기가 400  $\mu\text{m}$ 이 되어야 하며 레이어 굽기는 500  $\mu\text{m}$ 이 되어야 한다. 이러한 구조를 가지면 인공지지체는 안정적인 기계적 강도를 갖고 또한 체액이 원활히 통과할 수 있다 [5]. 인공지지체의 출력 목표를 Table 1으로 정리하였다.

**Table 1.** Item and unit of output target

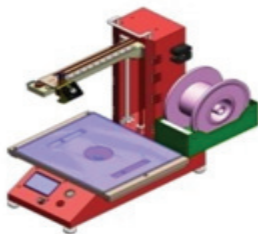
	Item	Unit
1	Pore size	400 $\mu\text{m}$
2	Layer thickness	500 $\mu\text{m}$

## 2.2 출력 재료

인공 지지체를 제작하기 위하여 PLGA(Poly Lactide-Co-Glycolic Acid)를 사용하였다. PLGA의 분자량은 Mw는 300,000이며 Mp는 270,000이다. 녹는점은 175°C이다.

## 2.3 제작 방법

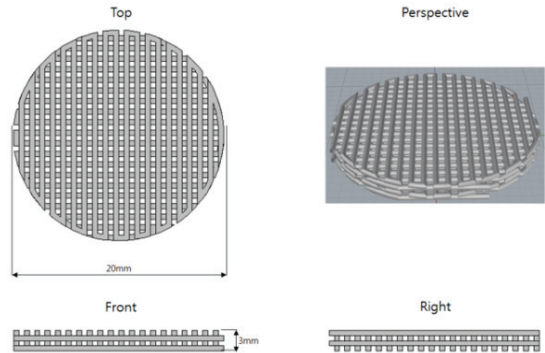
인공 지지체를 제작하기 위하여 FDM 방식의 3D프린터를 사용하였다. 제조사는 S3D이며 모델명은 Tower이다. 해당 프린터는 베드온도, 노즐온도, 출력속도, 토출 압력, 적층 높이를 조절할 수 있으며 최소 적층 높이는 120  $\mu\text{m}$ 이다. 그리고 x축의 위치제어 정밀도는 12  $\mu\text{m}$ , y축의 위치제어 정밀도는 12  $\mu\text{m}$ 이고 z축의 위치제어 정밀도는 3  $\mu\text{m}$ 로써 정밀한 기공과 레이어를 제작하는데 해당 장비가 사양을 만족하여 사용되었다. Fig. 1은 실험에 사용된 S3D라는 회사의 3D프린터인 Tower를 도시하였다.



**Fig. 1.** S3D Tower using experiment.

## 2.4 제작 모델

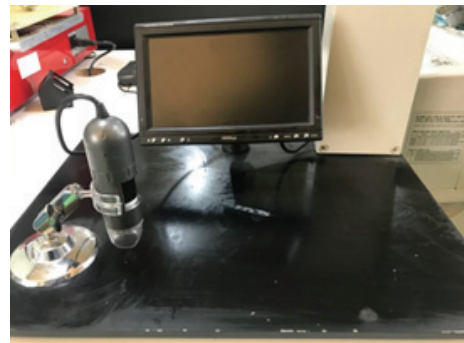
바이오 센서를 제작하기 위한 생분해성 인공지지체는 실험실에서 사용되는 24 Well Plate에 적용되는 규격과 일치하여 세포 배양실험을 진행할 수 있는 규격으로 설계되었다. 모양은 원판모양을 가져야 하며 크기는 지름 20 mm, 두께 2 mm가 되어야 한다. 그리고 세포가 성장하기 위하여 체액이 원활히 이동할 수 있도록 기공을 갖는 구조로 이루어져 있어야 한다. Fig. 2는 원판모양으로 설계된 인공 지지체의 모양을 도시하였다.



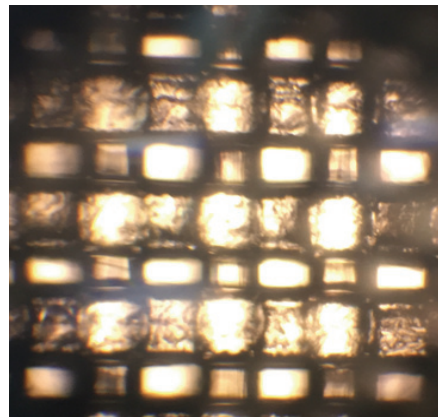
**Fig. 2.** Designed scaffold.

## 2.5 측정 장비 및 측정 방법

바이오 센서를 제작하기 위한 생분해성 인공지지체의 기공과 레이어의 규격을 측정하기 위하여 디지털 USB 현미경을 사용하였다. MH Tech에서 제작된 MH1000X라는 제품을 사용하였고 최대 배율은 1,000배이다. Fig. 3은 측정에 사용된 USB 현미경을 도시하였다.



**Fig. 3.** Measuring equipment of absorbable scaffold.



**Fig. 4.** Measured layer and pore.

Fig. 4는 USB현미경을 이용하여 측정된 인공지지체의 기공 크기와 레이어 굽기의 모습을 도시하였다. 불투명한 격자무늬가 레이어이며 밝은 부분이 기공이다.

불균일한 기공 크기와 레이어 굽기를 확인할 수 있다.

### 3. 3SC 실용트리즈를 이용한 문제 해결

#### 3.1 3SC 실용트리즈

3SC 실용트리즈는 기존 6SC 실용트리즈에서 더욱 간략하게 문제를 해결하기 위해 필요한 부분만 요약된 실용트리즈의 한 부분이다. 시스템 기능분석, 자원분석 그리고 해결방안과 평가로 이루어져 있어 간단한 시스템의 문제해결방안을 빠르게 도출할 수 있다는 장점이 있다.

#### 3.2 시스템 기능분석

인공지지체를 제작할 때 발생하는 3D프린터의 시스템 기능과 상관관계를 분석한다. Fig. 5는 인공지지체를 제작할 때의 시스템의 기능분석도를 도시하였다.

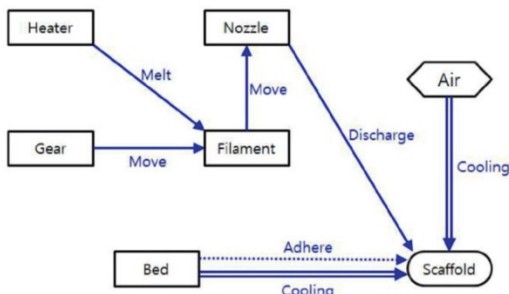


Fig. 5. Function analysis of 3D printer system.

#### 3.3 자원분석

도출된 문제 영역의 자원을 분석하여 변경시킬 부분을 찾아 핵심적인 해결 방안을 찾아내는 단계이다. 자원분석을 하여 정리된 내용을 Table 2로 나타내었다.

Table 2. Resource analysis of 3D printer

System	Attribute
Tool : Bed	Surface roughness
	Temperature
	Shape
Action : Adhere	Action time
	Action method
Object : Scaffold	Weight
	Material
	Temperature
	Width
	Flexibility

#### 3.4 해결방안과 평가

3SC 실용트리즈를 이용하여 도출된 해결방안은 베드의 표면거칠기와 온도를 증가시켜 인공지지체와 베드의 접착력을 강화시키는 방안을 선택하였다. Fig. 6은 기존방안의 정밀도와 개선방안의 정밀도를 그래프로 도시하였다.

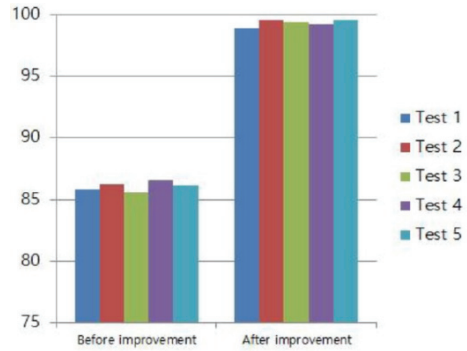


Fig. 6. Graph comparison of before and after.

측정결과 정밀도가 85 %에서 99 %이상 개선됨을 확인할 수 있었다.

### 4. 실험계획법을 적용한 목표 출력조건 도출

#### 4.1 인자와 수준

인공지지체를 제작할 때 기공 크기와 레이어 굽기에 가장 중요한 요소를 확인한다면 노즐온도, 베드온도, 출력속도, 채움밀도를 선택할 수 있다. 따라서 4가지 인자에 대한 수준을 3수준으로 정리 하였다. 노즐온도와 베드온도는 원료의 물리적 특성을 참고하여 정하였다. 그리고 출력속도와 채움밀도는 3D프린터의 사양을 참고하여 정하였다. Table 2는 기공 크기와 레이어 굽기에 영향을 미치는 인자와 수준을 표로 정리하였다.

Table 3. Factor and level

	Minimum	Median	Maximum
Nozzle temperature	180 °C	185 °C	190 °C
Bed temperature	40 °C	45 °C	50 °C
Output speed	3 mm/s	5 mm/s	7 mm/s
Fill density	75 %	80 %	85 %

#### 4.2 실험 순서

출력조건인 노즐온도는 A, 베드온도는 B, 출력속도는 C, 채움밀도는 D로 표기하였다. Table 4는 각 출력 조건에

따른 기공 크기와 레이어 굽기를 목표 사양에 만족하는 정도를 %로 정리하였다.

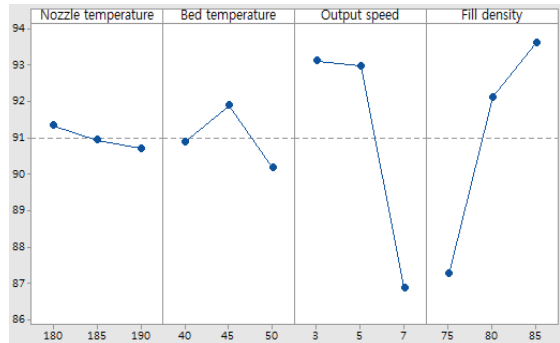
**Table 4.** Output result of output condition

Run order	A	B	C	D	Layer thickness(%)	Pore size(%)
1	85	50	3	80	89	86
2	80	40	5	80	87	89
3	85	40	7	80	85	90
4	90	50	5	80	84	85
5	80	45	3	80	85	84
6	85	40	5	75	86	86
7	80	45	7	80	81	81
8	85	45	5	80	80	87
9	85	50	5	75	80	82
10	85	45	3	85	81	81
11	85	45	3	75	83	84
12	85	50	5	85	86	88
13	90	45	5	85	89	88
14	85	45	5	80	99	98
15	85	40	5	85	97	96
16	85	45	7	85	95	97
17	85	40	3	80	97	96
18	90	45	7	80	91	92
19	80	45	5	85	89	88
20	90	40	5	80	86	87
21	90	45	3	80	91	93
22	85	45	7	75	95	96
23	85	50	7	80	96	97
24	85	45	5	80	97	98
25	80	45	5	75	96	96
26	90	45	5	75	95	94
27	80	50	5	80	91	92
28	80	45	7	80	87	88
29	85	45	5	80	86	84
30	85	50	5	75	82	83

### 5. 출력결과 분석

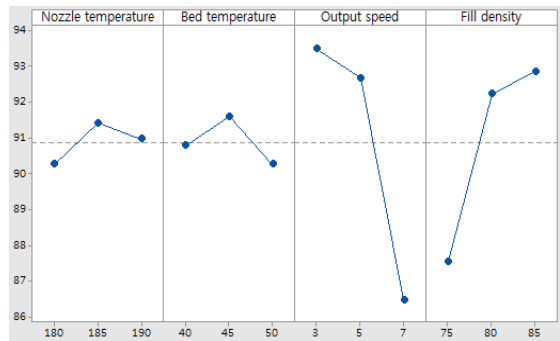
#### 5.1 주 효과도

기공크기에 대한 각 출력인자의 주 효과도를 비교하였다. 주 효과도는 기울기가 클수록 반응 요소에 많은 영향을 미친다는 것을 나타낸다. Fig. 7은 반응요소인 기공 크기에 대한 각 출력인자의 주효과도를 도시하였다.



**Fig. 7.** Main effect plot for pore size.

Output speed와 Fill density의 기울기가 큰 것을 알 수 있다. 따라서 기공 크기에 많은 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다. Fig. 8은 레이어 굽기에 대한 각 출력인자의 주요과도를 도시하였다.



**Fig. 8.** Main effect plot for layer thickness.

Output speed와 Fill density의 기울기가 큰 것을 알 수 있다. 따라서 레이어 굽기에 많은 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

#### 5.2 교호작용도

교호작용도는 각 인자간의 거리가 클수록 반응요소에 많은 영향을 미친다는 것을 나타낸다. 반응요소인 기공크기에 대한 각 출력인자의 교호작용도를 비교하였다. Fig. 9는 각 인자에 대한 기공 크기의 교호 작용도를 도시하였다.

Output speed와 Fill density의 교호작용에서 각 인자간의 거리가 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 기공 크기에 많은 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다. Fig. 10은 레이어 굽기에 대한 각 출력인자의 교호작용도를 도시하였다.

Output speed와 Fill density의 교호작용에서 각 인자간의 거리가 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 레이어 굽기에 많은 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

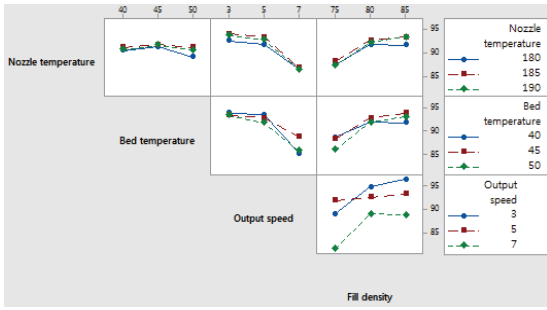


Fig. 9. Interaction plot for pore size.

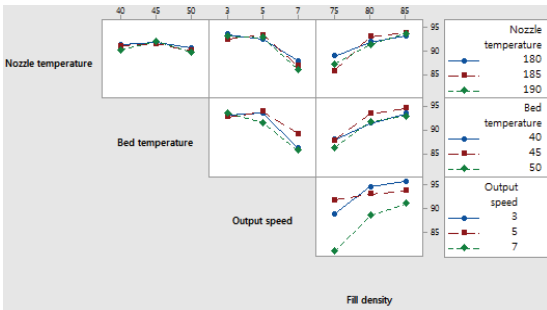


Fig. 10. Interaction plot for layer thickness.

5.3 반응 최적화

반응최적화는 주 효과도, 교호작용도를 토대로 목표한 값에 각 인자들의 최적화된 데이터를 도출하는 단계이다. Fig 11은 기공 크기에 대한 각 출력인자의 반응최적화 결과를 도시하였다.

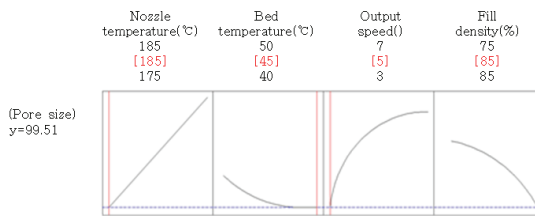


Fig. 11. Response optimizer for pore size.

Fig 12는 레이어 굵기에 대한 각 출력인자의 반응 최적화 결과를 도시하였다.

주 효과도와 교호작용도를 정리하여 반응 최적화 결과 노즐온도는 185 ℃, 베드온도는 45 ℃, 출력속도는 3 mm/s, 채움밀도는 85 %로 출력하였을 때 레이어 굵기는 500 μm 기공 크기는 400 μm으로 제작됨을 확인할 수 있었다. 반응 최적화를 통하여 도출된 인자를 이용하여 인공지지체를 제작하였을 때 목표 정밀도인 99 %를 초과하여 기공 크

기는 99.51 %의 정밀도를 확인하였고 레이어 굵기는 99.78 %의 정밀도를 확인할 수 있었다.

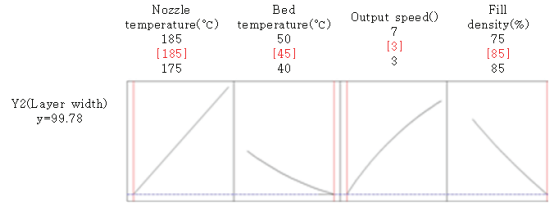


Fig. 12. Response optimizer for layer width.

6. 결론

본 논문에서 FDM 방식의 3D프린터를 이용하여 생분해성 인공지지체를 제작할 때 목표한 조건에 가장 근접한 조건을 실험계획법을 이용하여 도출 할 수 있었고 실제 측정된 결과를 비교하여 최종적으로 확인할 수 있었다. 따라서 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 실험계획법을 이용하여 인공지지체를 제작할 때 가장 중요한 출력 인자를 파악할 수 있었고 각 인자들의 수준을 결정하고 실험을 진행하면서 설정된 목표에 가장 근사한 값을 갖는 조건을 도출할 수 있었다.
2. 도출된 결과를 통하여 목표한 기공 크기와 레이어 굵기에 99 % 이상 만족하는 출력조건을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Dong-Woo Cho and Seung-Jae Lee, “Scaffold Technic Trend of Tissue Engineering,” *J. of Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineering*, Vol. 18, No. 5, pp. 32-38, (2005).
2. Min-Woo Sa, Seon-Woong Choi, Jae-Wook Lee and Jong-Yeong Kim, “Fabrication of PCL Scaffolds According to Various Pore Patterns Using Polymer Deposition System and Design of Experiments,” *J. of Korean Society of Mechanical Engineering*, Vol. 41, No. 7, pp. 645-653, (2017).
3. Min-Woo Sa, Hae-Ri Shim and Jong-Yeong Kim, “Experimental Research of ZrO2/BCP/PCL Scaffold

- with Complex Pore Pattern for Bone Tissue,” *J. of Korean Society of Mechanical Engineering*, Vol. 39, No. 11, pp. 1153-1159, (2015).
4. Sung-Woo Ha and Jong-Yeong Kim, “Fabrication and Evaluation of Hybrid Scaffold by Nano-Micro Precision Deposition System,” *J. of Korean Society of Mechanical Engineering*, Vol. 38, No. 8, pp. 875-880, (2014).
5. Min-Woo Sa, Hae-Ri Shim and Jong-Yeong Kim, “A Study on Fabrication of 3D Porous Scaffold Combined with Polymer Deposition System and a Salt Leaching Method,” *J. of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 15, No. 5, pp. 86-92, (2016).
- 
- 접수일: 2018년 12월 10일, 심사일: 2018년 12월 20일,  
게재확정일: 2018년 12월 22일