

# ADRIGE 트리즈 알고리즘과 실험계획법을 이용한 인공지지체 3D프린팅의 제작문제 해결에 관한 연구

이승연\*·허용정\*\*†

\*한국기술교육대학교대학원 메카트로닉스공학과,

\*\*† 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

## A Study on Problem Solving of 3D Printing Production of Scaffold Using ADRIGE TRIZ Algorithm and DOE

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 investigated the problems and solutions in the production of scaffolds using commercially available FDM 3D printers. We used ADRIGE TRIZ algorithm to systematically analyze the problems and suggest solutions. We printed scaffolds using suggested solutions. We measured the pore size and printing time of the scaffolds. We have confirmed that the printing precision is greater than 99% and the printing time is decreased by half. The suggested solutions proved its validity through experiments and showed satisfactory results.

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

## 1. 서 론

반도체 분야에서의 3D프린터는 많은 연구가 진행되고 있다. 생체센서가 대표적인 분야이다. 그 중 생체적합성 열가소성 고분자(Polymer)를 이용해 체액의 원활한 흐름이 가능하도록 일정한 기공 크기를 갖는 인공지지체를 제작하는 연구가 다양하게 진행되고 있다. 연구를 진행하기 위해서는 많은 수량의 인공지지체가 필요하다. 그러나 대부분의 인공지지체 제작이 3D프린터 1대를 이용하여 제작하는 환경이다. 이러한 환경에서는 인공지지체를 제작하는데 출력 시간이 많이 소요된다. 그리고 인공지지체의 가장 중요한 속성인 기공 크기에 영향을 미치는 인자에 대한 연구가 진행되지 않았다[1]. 따라서 다양한 조건과 다양한 요소를 변경하여 인공지지체를 제작해야 한다. 인

공지지체를 제작함에 있어서 환경, 장비, 재료 등 다양한 요소가 있는데, 요소들을 모두 변경하여 실험하기 위해서는 시간, 공간적인 문제가 있다.

본 논문에서는 상용화된 FDM방식의 3D프린터를 이용하여 인공지지체를 제작할 때 발생하는 문제를 도출하고 TRIZ 알고리즘의 하나인 ADRIGE 알고리즘을 이용하여 해결방안을 제안하였다. 도출된 해결방안을 검증하기 위하여 실험을 수행하였다.

## 2. 연구 목적 및 방법

### 2.1 연구 목적

실험을 하기 위해서는 인공지지체가 100개 이상 필요하다. 이를 모두 제작하려면 1주일 이상의 시간이 필요하다. 이 경우 최소한의 3D프린터로 최대한 빨리 많은 양의 인공지지체를 제작할 수 있어야 하기 때문에 목표 인공

†E-mail: yjhuh@koreatech.ac.kr

지지체의 제조사양을 Table 1으로 정리하였다.

Table 1. Output target.

No	Item	Unit
1	Pore size	400 $\mu\text{m}$ ( $\pm 1\%$ )
2	3D printer	1 ea
3	Printing time	$\leq 50\%$

**2.2 재료와 장비**

인공지지체를 제작하기 위하여 생체적합성 재료를 사용해야 한다. PLGA(Poly Lactic-Co-Glycolic Acid)라는 생체적합성 고분자를 사용하였다.

인공지지체를 제작하기 위하여 FDM 방식의 3D프린터를 사용하였다. 사용된 모델은 S3D라는 업체의 Tower이다. Fig 1은 실험에 사용된 3D프린터를 도시하였다.

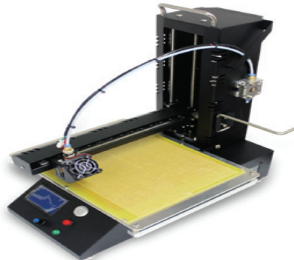


Fig. 1. 3D printer used in the experiment.

**2.3 제작 모델**

세포배양 실험에 사용되는 24 플레이트에 일치하는 규격으로 설계되었다. 지름 20 mm, 두께 2 mm의 원판모양이다. Fig 2는 실험에 사용된 인공지지체의 모습을 도시하였다.

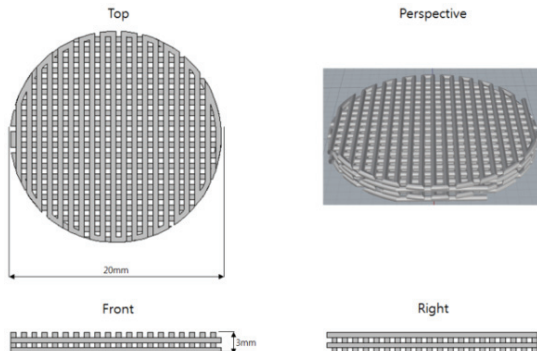


Fig. 2. Scaffold design used in the experiment.

**2.4 측정 방법**

인공지지체의 기공 크기는 MH Tech에서 제작된 1,000

배울 USB현미경인 MH1000X라는 제품을 사용하였다. Fig 3은 사용된 USB 현미경을 도시하였다.



Fig. 3. USB microscope in the experiment.

**3. ADRIGE를 이용한 문제 해결**

**3.1 ADRIGE**

ADRIGE는 기존의 TRIZ 알고리즘에서 현대적이며 더욱 간략하게 문제를 해결하기 위해 필요한 부분만 요약된 알고리즘이다. 문제분석(Analysis), 과제정의(Define), 자원탐색(Resource), 이상해결책(IFR), 아이디어 도출(Generate), 아이디어 평가(Evaluate)의 단계로 이루어져있다. 문제를 단계적이며 명확하게 분석하여 인공지지체 제작에 발생하는 시간, 공간이 갖는 문제점의 해결방안을 빠르게 도출할 수 있는 장점이 있다. Fig 4는 ADRIGE의 문제해결 단계를 도시하였다.

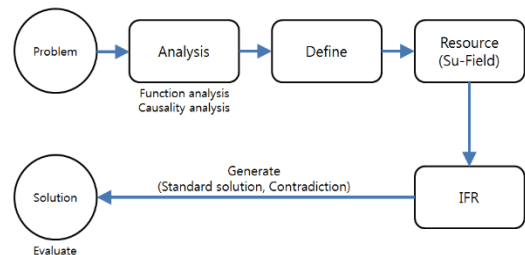


Fig. 4. ADRIGE procedure.

**3.2 문제 분석**

문제가 되는 시스템 기능을 과거, 현재, 미래의 시점에서 상위 시스템, 시스템, 하위시스템으로 구분한다[2]. 각각 3가지의 시점에서 보면 9가지의 시스템을 분석할 수 있다. 이러한 체계적인 분석법을 9-Window라고 부른다[3]. 현재 인공지지체를 제작할 때의 3D프린팅 시스템은 모터, 기어, 벨트, 스크류, 히터, 노즐등의 다양한 하위 시스템으로 구성되어 있다.

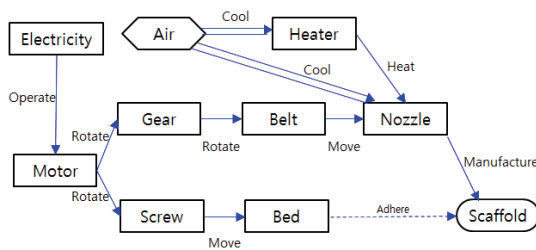
Table 2는 인공지지체를 제작하는 시스템을 분석하여 정

리한 9-Window를 도시하였다.

**Table 2.** 9-Window of 3D printer.

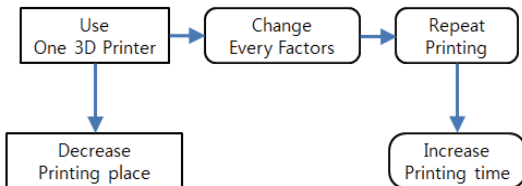
	Past	Present	Future
Super system	Subtractive machining	Additive manufacturing	AI Manufacturing
System	CNC	3D printer	Auto Printing
Sub system	Motor, Gear, Belt, Tap, Drill	Motor, Gear, Belt, Heater, Nozzle	AI, Motor, Gear, Belt, Heater, Nozzle

그리고 인공지능체를 제작하는 3D프린터 시스템의 기능 분석을 한다[4]. Fig. 5는 인공지능체를 제작할 때 다양한 출력 요소와 상호관계로 구성된 3D프린터의 시스템 기능 분석도를 도시하였다.



**Fig. 5.** Function analysis of 3D printing.

문제를 발생시킨 다양한 요소들을 파악해서 인과관계 분석도를 그린다[5]. 1대의 3D프린터를 사용하여 다양한 인공지능체를 제작하면 출력 공간은 감소한다. 하지만 각각의 모든 출력요인을 변경해야 하기 때문에 생산 속도가 감소하여 출력 시간이 증가하는 문제가 발생한다. Fig. 6은 인공지능체 제작에 대한 인과관계 분석도를 도시하였다.



**Fig. 6.** Causality analysis of scaffold printing.

**3.3 과제 정의**

인과관계분석을 통하여 문제를 발생시킨 근본 원인 및

다양한 원인들을 파악하여 어떤 원인을 제거할 지 결정하는 단계이다. 출력 시간이 증가되는 문제를 해결하기 위한 다양한 과제를 도출할 수 있다.

**과제1** : 1대의 3D프린터를 사용해도 모든 출력요인을 각각 변경하지 않도록 한다.

**과제2** : 모든 출력요인을 각각 변경하여도 반복해서 출력하지 않는다.

**과제3** : 반복하여 출력해도 출력 시간이 증가하지 않도록 한다.

**3.4 자원 분석**

자원을 물질, 장 측면에서 분석한다. 자원을 분석할 때 시스템 안에 있는 자원을 고려한 뒤 주위 환경의 자원을 고려한다. 도출된 문제 영역의 자원을 분석하여 변경시킬 부분을 찾아 핵심적인 해결 방안을 찾아내는 단계이다.

인공지능체를 제작하는 3D 프린터 시스템에서 노즐을 Tool, 제작하는 것을 Action, 인공지능체를 Object로 설정하였고 각 속성을 Table3으로 정리하였다.

**Table 3.** Resource analysis of scaffold printing.

	Attribute
Tool : Nozzle	Speed
	Size
	Material
	Quantity
Action : Extrude	Printing time
	Printing method
Object : Scaffold	Shape
	Size
	Density
	Quantity

**3.5 이상해결책**

가장 이상적으로 문제가 해결되는 방향을 올바르게 진행되도록 문장으로 정리를 한다[6]. 현재 상태는 다양한 요소를 변경하여 출력을 하기에 출력 시간이 많이 소요된다. 다음과 같이 이상해결책을 문장으로 정리하였다.

**과제1** : 1대의 3D프린터를 사용해도 모든 출력요인을 각각 변경하지 않도록 한다.

**이상해결책** : 자원의 속성을 활용하여 모든 출력요인을 각각 변경하지 않도록 한다.

**과제2** : 모든 출력요인을 변경하여도 반복 출력하지 않는다.

**이상해결책** : 자원의 속성을 활용하여 반복 출력하지 않도록 한다.

**과제3** : 반복하여 출력해도 출력 시간이 증가하지 않도록 한다.

**이상해결책** : 자원의 속성을 활용하여 출력 시간이 증가하지 않게 한다.

**3.6 아이디어 도출**

아이디어를 도출하는 방법은 과제별로 이상해결책과 표준 해 그리고 모순 해결 3가지로 나누어 도출한다.

**3.6.1 이상해결책을 이용한 아이디어도출**

**과제2** : 모든 출력요인을 변경하여도 반복 출력하지 않는다. 가장 이상적인 것은 출력 시간이 증가하지 않도록 속도를 높이는 방안을 찾는다. 가장 이상적인 것은 자원의 속성을 활용하여 반복 출력하지 않도록 한다.

**아이디어1** : 1개의 노즐로 1회에 1개의 인공지능체만 제작하면 반복하여 출력해야 한다. 인공지능체의 수량이라는 속성을 이용한다. 같은 조건을 갖는 여러 개의 인공지능체를 1개의 노즐로 한꺼번에 출력한다.

**과제3** : 반복하여 출력해도 출력 시간이 증가하지 않도록 한다. 가장 이상적인 것은 출력 시간이 증가하지 않도록 속도를 높이는 방안을 찾는다.

**아이디어2** : 노즐의 속도라는 속성을 이용한다. 3D프린터의 설정 값을 조절한 뒤, 노즐의 이동속도를 증가하여 인공지능체를 제작한다.

**3.6.2 표준해를 이용한 아이디어도출**

**과제2** : 반복하여 출력해도 출력 시간이 증가하지 않도록 한다. 1개의 노즐은 계속해서 다른 조건의 인공지능체를 반복 출력해야 하기 때문에 인공지능체 제작속도를 증가시키기에 부족하다.

**표준해2** : 물질에 첨가물을 도입하여 인공지능체의 노즐에 대한 영향을 강화시킨다.

**아이디어3** : 기계장을 이용하여 한 개의 노즐에 다른 노즐을 추가하여 동시에 제작하는 방안을 Fig 7에 도시하였다.

과제1과 과제2, 과제3, 과제4는 모순을 가지고 있지 않기에 생략한다.

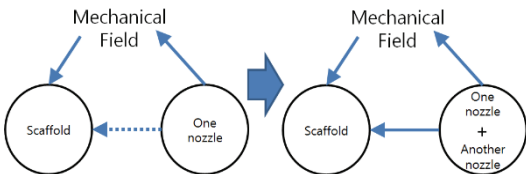


Fig. 7. Standard solution of scaffold printing.

**3.7 아이디어 평가**

도출된 3개의 아이디어를 적용할 때 발생하는 문제를 검토한다.

아이디어1인 같은 속성을 갖는 여러 개의 인공지능체를 1개의 노즐로 한꺼번에 출력하는 방안은 3D프린터의 기계적 구조 변경이 필요하지 않고 출력을 반복하지 않아도 되는 장점이 있다.

아이디어2인 3D프린터의 설정 값을 조절한 뒤, 노즐의 이동속도를 증가하여 인공지능체를 제작하는 방법도 기계적 구조 변경이 필요하지 않고 출력 속도가 증가하는 장점이 있다.

아이디어3인 1개의 노즐에 또 다른 노즐을 추가하여 멀티 노즐로 인공지능체를 출력하는 방안은 출력을 반복하지 않아도 되는 장점이 있으나 기계적 구조 변경 때문에 시스템적으로 새로운 문제의 가능성과 비용이 추가되는 단점이 있다.

**3.8 최종 해결안 선정**

아이디어를 시스템적인 장단점을 비교하여 가장 실용적이면서 경제적인 방안을 선택하여 최종 해결안을 도출한다. 아이디어1과 아이디어2는 기계적 구조 변경이 없고 속성만 변화시켜 제작하기 때문에 선택된 최종 해결방안은 아이디어1과 아이디어2를 혼합한 노즐의 속도를 증가시켜 1개의 노즐로 인공지능체를 한꺼번에 출력하는 방안을 최종해결안으로 선정하였다. 최종해결안으로 실험을 진행한다. 출력 속도 향상을 위해서 모든 요인을 변경하여 실험하기 어렵기 때문에 실험계획법으로 실험의 수를 축소하여 실험한다.

**4. 실험계획법을 이용한 실험**

**4.1 실험의 인자와 수준**

인공지능체를 제작할 때의 인자는 노즐온도, 베드온도, 출력속도, 채움 밀도가 있다[6]. 각 인자의 3가지 수준에 각 수준의 중간 값과 토출량이라는 인자를 추가하였다. 따라서 5가지 인자의 5수준으로 설정하였다. Table 4는 기공 크기에 영향을 미치는 인자와 수준을 정리하였다.

Table 4. Factor and level.

	1Level	2Level	3Level	4Level	5Level
Nozzle temperature	180 °C	183 °C	185 °C	188 °C	190 °C
Bed temperature	40 °C	43 °C	45 °C	48 °C	50 °C
Output speed	3 mm/s	4 mm/s	5 mm/s	6 mm/s	7 mm/s
Fill density	75 %	78 %	80 %	83 %	85 %
Discharge amount	96%	97%	98%	99%	100%

### 4.2 주 효과도

기공 크기에 대한 각 출력인자의 주 효과도를 비교하였다. 주 효과도는 기울기가 클수록 반응 요소에 많은 영향을 미친다는 것을 나타낸다.

Fig 8은 기공 크기에 대한 5가지 출력 인자의 주 효과도를 도시하였다.

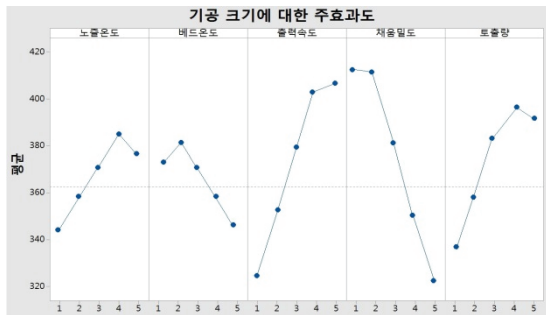


Fig. 8. Main effect plot for pore size.

출력 속도와 채움 밀도의 기울기가 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 따라서 기공 크기에 많은 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

주 효과도를 통하여 도출된 중요 인자만 변경하여 인공지지체를 제작하는 실험을 한다. 모든 인자들을 변경하여 실험을 하려면 5<sup>5</sup>인 3125회를 실행하여야 한다. 하지만 기공 크기에 가장 영향을 미치는 인자만 변경하여 출력하면 실험 횟수가 3125회에서 25회로 감소한다. 기공 크기에 영향을 미치는 인자만 변경하여 감소된 25회의 실험을 진행하였다.

### 5. 실험결과

주 효과도로 기공크기에 영향을 가장 많이 미치는 인자를 도출하였다. 출력을 할 때 노즐온도는 180 °C, 베드온도는 40 °C, 토출량은 100%로 고정시켰다. 출력 속도와 채움 밀도를 변경하여 제작하였을 때 기공 크기는 400 µm으로 제작됨을 측정하여 목표 사양에 일치함을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통해 적용된 해결방안을 이용하면 5개의 인공지지체를 제작하는 시간이 20분에서 10분으로 단축됨을 확인하였다. Table 5는 본 연구에서 제안된 해결방안을 활용하여 실험한 결과를 비교한 것을 정리하였다.

### 6. 결 론

본 논문에서 FDM 방식의 3D프린터를 이용하여 인공

Table 5. Comparison before and after.

	Before	After
Printing time	20 min	10 min
Printing precision	87%	99%

지지체를 제작할 때 발생하는 시간적 문제를 도출하고 트리즈 ADRIGE 알고리즘을 이용하여 체계적으로 해결방안을 제시하였다. 제시된 방안을 이용하여 실험을 하였다. 실험 결과 따라서 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 인공지지체를 제작할 때 발생하는 시간적 문제를 도출하고 트리즈 ADRIGE 알고리즘을 이용하여 체계적으로 문제를 분석하여 노즐이동 속도 증가와 여러 개의 인공지지체를 한꺼번에 출력하는 해결방안을 제안할 수 있었다.
2. 본 연구에서 제안된 해결방안을 활용하여 실험을 진행하여 1대의 3D 프린터로 목표한 400 µm의 기공 크기에 적합하면서 제작 시간이 50% 감소함을 정량적으로 확인할 수 있었다.

### 감사의 글

이 논문은 2019년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.

### 참고문헌

1. Min-Woo Sa, Hae-Ri Shim and Jong-Yeong Kim, "Experimental Research of ZrO<sub>2</sub>/BCP/PCL Scaffold with Complex Pore Pattern for Bone Tissue", J. of Korean Society of Mechanical Engineering, Vol. 39, pp. 1153-1159, 2015.
2. Sa-Hwan Lim and Yong-Jeong Huh, "Solving for Missing Link of Exhaust Tube at the Household Gas Boiler Using TRIZ", J. of Transactions of the Society of CAD/CAM Engineering, Vol. 12, pp. 461-465, 2007.
3. Sa-Hwan Lim, Seong-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, pp. 19-23, 2011.
4. Seong-Do Hong and Yong-Jeong Huh, "A Study on TRIZ Applied Design for Photovoltaic System with Reversal Tracking Reflector", J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol.11, pp. 27-31, 2012.
5. Hai-Sung Jeong, "The Solution of Reliability Problem

- for the Actuator Latch Device of Hard Disk Drive Using TRIZ”, J. of the applied reliability, Vol. 14, pp.147-151, 2014.
6. Song-Yeon Lee and Yong-Jeong Huh, “A Study on Manufacturing Condition of PLGA Scaffold Using 3SC Practical TRIZ and Design of Experiment”, J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol.17, pp. 70-75, 2018.
- 
- 접수일: 2019년 6월 20일, 심사일: 2019년 6월 24일,  
게재확정일: 2019년 6월 25일