

# 금속 3D 프린터 공정을 위한 산소 레벨 모니터링 및 제어 시스템

김재우, Kevin Putra Dirgantoro, 김동성\*

ICT융합특성화연구센터, 금오공과대학교, \*ICT융합특성화연구센터

jaewookim@kumoh.ac.kr, keyvdir@gmail.com, \*dskim@kumoh.ac.kr

## Oxygen Level Monitoring and Controlling System for Metal Additive Manufacturing of 3D Printing

Jae-Woo Kim, Kevin Putra Dirgantoro, Dong-Seong Kim\*

ICT Convergence Research Center, Kumoh National Institute of Technology, \*ICT Convergence Research Center

### 요 약

본 논문은 금속 3D 프린터 공정에서 최적결과물을 얻기 위한 산소농도의 모니터링 및 제어 시스템에 관한 것이다. 산소 농도를 모니터링 하기 위해 고효율 산소 센서를 이용하였고 모니터링된 데이터를 바탕으로 머신러닝 알고리즘을 적용하여 산소농도를 제어하였다. 금속 3D 프린터 공정에서 산소농도관리는 결과물의 품질에 큰 영향을 준다. 산소농도 관리를 위해 금속 3D 프린터의 적층 제조 과정에서 서로 다른 산소농도를 Support Vector Machine(SVM)을 사용하여 분류하였다. 분류결과는 3D 프린팅 공정에서 산소농도를 유지하기 위해 주입해야 할 아르곤의 양과 시기를 결정한다. 본 논문은 성능검증을 위해 과도한 산소농도를 감지하고 복구되는 시간을 측정하였다.

### I. 서 론

금속 3D프린터는 고품질의 금속 부품 또는 의료용 부품을 제조하는데 활용된다. 3D 금속 프린팅 공정은 두 가지 종류로 나눌 수 있다. 첫째는 금속 분말(파우더) 소재를 파우더 베드에 아주 얇은 층으로 수평으로 도포한뒤 고출력의 산업용 레이저를 이용하여 일고자 하는 모델제작을 위해 선택적으로 특정 영역을 조사함으로써 파우더를 용융시켜 적층하는 PBF(Powder Bed Fusion)방식과, 고출력 레이저 빔을 금속 표면에 조사하면서 순간적으로 용융지가 생성되는 동시에 금속분말도 공급되어 실시간으로 적층하는 방식인 DED(Directed Energy Deposition)방식이 있다. 두 방식 모두 3D 프린팅 공정이 프린터라는 챔버 안에서 이뤄지고 공정중에는 소량의 산소가 발생한다. 고품질의 프린팅 결과를 얻기 위해서 프린팅 공정중에 산소농도를 제어하는 것이 매우 중요하다. 산소농도를 제어의 결과에 따라 다공성, 잔류응력, 뒤틀림, 균열, 표면 불량 등의 문제가 발생할 수 있다. 일반적으로 산소농도 제어를 위해 불활성 gas와 함께 산소를 공급하여 산소농도 제어한다.

3D 금속 프린팅 공정 중 최적의 결과물을 얻기 위해 산소 레벨을 약 0ppm에서 50ppm 사이로 유지하는 해야 한다. [1]은 DMLS(Direct Metal Laser Singterfing) 공정을 통해 티타늄 합금의 산소와 질소 농도를 분석하였다. 제품 제조 시 DMLS 공정을 사용하는 3D 프린터는 산소를 1% 이하로 유지하거나 전체 범위 산소 검출기를 사용할 경우 0~25% 영역 안에서 유지될 수 있도록 해야 한다. 금속 3D프린터의 공정과정에서 금속분말의 용융과정에서 산소농도는 증가하거나 감소할 수 있기 때문에 산소농도는 3D 프린터에 설치된 산소 센서에 의해 제어되어야 한다.

[2]에서는 SVM과 같은 머신러닝 기술을 이용하여 금속 부품을 제작하는 동안 발생하는 모든 다른 산소농도에 대한 분류하였다. 분류된 산소농도 레벨은 3D 프린팅 공정의 제어 시스템에 사용하였다. 산소농도는 아르곤의 비율에 따라 그 농도가 분류될 수 있다. 산소 레벨은 3D 프린팅 공정에서 퍼징(purging)해야할 아르곤양을 결정한다.

본 논문에서는 일정한 산소농도를 유지할 위한 아르곤 또는 질소의 양을 조절하기 위해 산소농도 모니터링 시스템을 제안한다. 산소농도관리를 위해 SVM 머신러닝 알고리즘을 사용하여 산소농도 상태를 분류한다. 만일 산소농도가 나쁜 수준으로 검출되면 아르곤을 퍼징하여 산소농도를 감소시킨다. 시스템의 성능검증을 위해 3D 프린팅 공정 중 과도한 산소농도를 감지하고 복구되는 시스템의 시간을 테스트하였다.

### II. 본론

#### 1. 시스템 설계

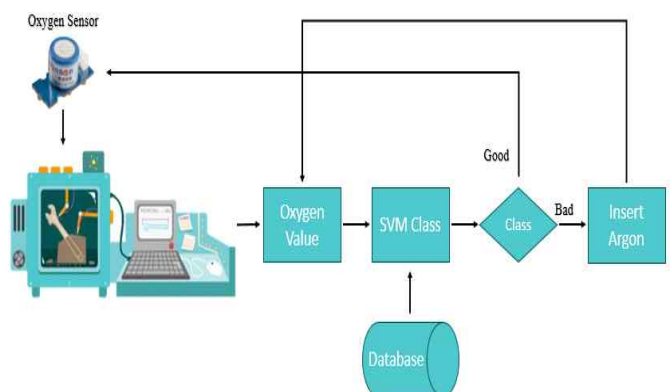


그림 1 제안하는 산소농도 제어 시스템

그림 1은 본 논문에서 제안하는 산소농도 제어 시스템이다. 본 논문에서 사용되는 산소 센서는 0 ~ 25% 범위의 산소농도를 검출 및 분석 가능한 Grove O2 센서를 선정하였다. Grove O2센서는 산소농도를 검출해 분석하는 아날로그 가스 센서의 일종으로, 전기화학세포의 원리를 바탕으로

하는 고효율 센서이다. 산소센서는 3D 프린터 내부에 부착되고, 센서로부터 모니터링 된 값은 로 전송되어 SVM을 이용하여 머신러닝 분류에 사용된다. SVM은 초평면을 찾는 기술을 기반으로 하는 일반적인 머신러닝 기법중 하나이다. 두 카테고리 중 어느 하나에 속한 데이터의 집합이 주어졌을 때, SVM 알고리즘은 주어진 데이터 집합을 바탕으로 새로운 데이터가 어느 카테고리에 속할지 판단하는 비확률적 이진 선형 분류 모델을 만든다[3]. SVM의 장점으로선 벡터 데이터간의 거리를 이용하여 빠른속도로 분류를 할 수 있으므로 범주나 수치 예측 문제해결에 있어서 복잡한 신경망보다 더 좋은 성능을 확보할 수 있으며 구현도 용이하다.

본 논문에서는 각각 0%, 5%, 10%, 21%로 산소농도 레벨을 분석하였다. 대부분의 경우 산소농도는 21% 미만으로 유지된다. 그러나 3D 프린터 결과물의 품질을 향상시키기 위해서는 다양한 산소농도에서 테스트가 요구된다. 금속 3D 프린팅 공정의 경우 강력한 레이저가 물 분자와 결합하여 산소를 배출하기 때문에 챔버안의 산소농도가 공정 중에 이상적으로 변화될 수 있다. 이는 결국 인쇄물을 손상시킬 수 있고 경우에 따라 챔버안의 금속 분말에 까지 영향을 줄 수 있다. 산소는 금속과 민감히 반응하는 경향이 있어 표면 품질에 영향을 줄 수 있다[4]. 일정한 수준의 산소농도를 유지하기 위해서는 질소나 아르곤과 같은 불활성 가스를 챔버에 강제로 주입하여 산소가 함유된 정상 공기를 대체하는 것이다.

## 2. 시뮬레이션 및 분석

본 논문에서는 SVM 알고리즘을 사용하여 시뮬레이션하기 위하여 MATLAB 소프트웨어를 사용하였다. 시뮬레이션을 위해 금속 3D 프린터 출력중에 모니터링한 산소농도 데이터를 이용하여 각 클래스당 3000개의 데이터를 이용하여 트레이닝을 수행하였다. SVM 구조로 분류된 데이터 집합은 .mat 파일의 형태로 MATLAB 데이터베이스 저장되며, 테스트 프로세스에 사용된다. 본 논문에서는 산소농도의 수준을 양호와 불량으로 두 가지 상태로만 사용하여 분류한다. 양호한 수준은 산소 레벨의 농도가 10% 미만인 경우 표시된다. 만일 산소농도가 21% 이상일 경우 산소를 제거하기가 매우 어려워지므로 10% 마진을 두고 분류기준을 정하였다. 테스트 진행은 금속 3D 프린터 공정을 시작하기 위해 우선 산소농도를 8% 이하로 떨어뜨린 후 프린터 출력공정을 시작하면서 제안하는 시스템을 가동하였다. 본 논문에서는 질소 대신 아르곤을 사용하였다. 아르곤은 질소보다 질량이 높기 때문에 퍼짐속도가 더 빠른 장점이 있다[5].

그림 2는 금속 3D 프린터 공정을 진행할 때 경과된 시간에 대한 산소농도 수준을 백분율로 나타낸 테스트 결과이다. 파란색 그래프는 산소 모니터링 및 제어 시스템이 없는 산소농도를 나타낸다. 공정이 진행되는 동안 시간이 지날수록 금속 3D 프린터 내부에서도 산소농도 수준이 높아지는 것을 보여준다. 한편, 주황색 그래프는 본 논문에서 제안하는 SVM 기법에 근거한 산소 모니터링 및 제어 시스템을 사용하여 산소농도 제어를 적용한 그래프이다. 산소농도 수준이 10%에 도달하면 수치가 나쁜 상태임을 나타낼 것이다. 이 경우 아르곤 가스가 금속 3D 프린터 내부로 방출되 산소농도를 떨어뜨린다. 산소농도 수준이 10% 유지되는 것을 확인하였다.

## III. 결론

본 논문에서 제안하는 금속 3D 프린터 공정용 산소 감시 및 제어 시스템은 챔버 내부의 산소농도를 낮추고 안정적으로 유지하는 결과를 보여준다. SVM 분류로, 불량 산소 수준과 양호 산소 수준의 두 가지 다른 등급을 분류하고 분리하였다. 금속 3D 프린터 내부의 산소농도를 낮추는 것 외에도 아르곤 가스가 대기로 누출되는 것도 나쁜 영향을 미치기 때문에 고려해야 한다. 향후 연구로는 더 많은 데이터셋을 이용하여 최적의 결과물을 얻기 위하여 동적으로 산소농도를 제어하도록 테스트가 필요하다.

그리고 금속 3D 프린터 외부의 산소농도 모니터링도 고려할 수 있다. 실제로 금속 3D 프린터 공정이 진행되는 동안 시간이 지날수록 산소농도 수준이 20% 이상으로 이를 수 있다. 그러나 아르곤과 같은 단순한 퍼짐은 실제로 구현하기가 쉽지않다. 또 다른 방법은 불활성 가스를 도입하고 공정을 시작하기 전에 금속 3D 프린터 내부의 모든 가스를 진공상태로 하는 것이다.

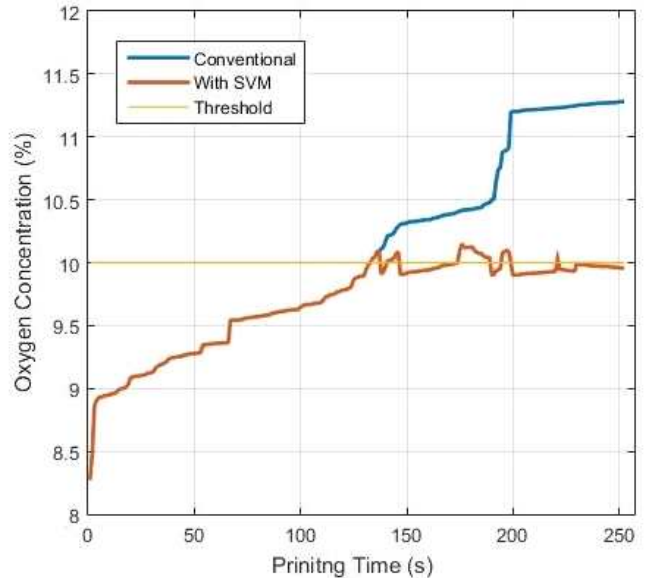


그림 2 시뮬레이션 결과

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업과 기초연구사업으로 수행된 연구임 (2018R1A6A1A03024003, 2019R1H1A1A01063895).

## 참 고 문 헌

- [1] N. Kaxantseva, P. Krakhmalev, I. Yadroitsev, A. Fefeev, A. Merkushev, M. Ilyinikh, N. Vinogradova, I. Ezhov, and T. Kurennykh, "Oxygen and nitrogen concentration in the Ti-6Al-4V alloy manufactured by direct metal laser sintering(DMLS) process" Materials Letters, Vol. 209, pp. 311-314.
- [2] D. Martin, Y. Cui, T. Saha, N. Lelekakis, and J. Wijaya, "Life estimation techniques for transformer insulation", 2013 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), September 2013, Australia
- [3] D. J. Sebald and J. A. Buklew, "Support vector machine techniques for nonlinear equalization", IEEE Trans. Signal Process., vol. 48, no. 11, pp. 3217-3227, Nov. 2000.
- [4] Brennan, Martin D. Rexus-Hall, Megan L. Eddington, David T, "A 3D-Printed Oxygen Control Insert for a 24-Well Plate", PLOS ONE, Vol. 10, pp 1-9, 09 2015
- [5] C. Pauzon, E. Hryha, P. Foret, and L. Nyborg, "Effect of argon and nitrogen atmospheres on the properties of stainless steel 316 L parts produced by laser-powder bed fusion", Materials & Design, Vol. 179, p. 107873, 2019