

3D 프린팅용 무기바인더의 Z-value에 따른 토출 가능성

배민아*, 김경호*, 이만식***, 백재호*+

*한국생산기술연구원

**과학기술연합대학원대학교 청정공정 및 시스템공학

e-mail:jhbaek@kitech.re.kr

Jetting properties of inorganic binder for 3D printing according to Z-value

Min A Bae*, Kyeong Ho Kim*, Man Sig Lee***, Jae Ho Bae*+

*Korea Institute of Industrial Technology

**Department of Green process and System Engineering, University of Science and Technology

요약

본 연구는 3D printing 방식 중 하나인 바인더 젯팅(Binder jetting) 프린팅에 적용 가능한 친환경 무기바인더 합성을 진행하였으며, 무기바인더 점도, 표면장력, 밀도 변화에 따른 z 값의 변화와 바인더 토출 가능성을 확인하였다. 무기바인더 합성 시 humectant를 포함한 solvent를 첨가하여 무기바인더 점도와 표면장력을 제어하였으며, 이때 변화되는 z 값을 계산하여 토출이 가능한 무기바인더 물성범위를 파악하였다. 그 결과 3D 프린팅용 무기바인더는 2.85~4.27 cps의 점도와 45.4~47.6 mN/m의 표면장력을 가지며 Z 값이 8.71~11.63 일 때 binder jetting용으로 사용이 가능함을 확인하였다.

1. 서론

3D 프린팅은 제품의 시장 출시 속도를 높이고 제작 비용을 낮추며 특수한 부품의 맞춤형 제작이 가능하다는 장점으로 항공, 자동차, 의료, 구조 등 여러 분야에서 활용되고 있다. 3D 프린팅 방법 중 모래와 같은 분말 재료 위에 액상 접착제를 뿌려서 적층하는 바인더젯팅(Binder jetting) 방식은 작은 노즐에서 잉크방울을 토출시켜 이미지를 형성하는 비충격적 방식으로 액상 접착제가 파우더 간의 가교제로 작용하여 구조물을 형성하며 조형 후 후처리 공정을 통해서 접착제의 침투 및 경화에 의해 제품이 생산된다. Binder jetting 방식은 3D 프린팅 기술 중 상대적으로 빠른 조형이 가능하고 분말형태의 다양한 재료를 사용할 수 있기에 그 활용범위가 높다.

3D 프린팅으로 생산된 최종 제품의 특성은 사용되는 재료의 성질과 밀접한 관련이 있으며, 무엇보다 분말을 결합시켜 원하는 형상을 제작할 수 있게 하는 접착제의 점도, 표면장력, 적층소재(powder)의 화학적 상호작용이 주형의 강도와 치수 정밀도에 큰 영향을 미친다[1-3]. 그러나 현재 3D 프린팅에 사용되는 풀란 및 폐쇄계 유기바인더는 구조 과정에서 휘발성 유기화합물 및 다량의 발암 물질을 발생시키기 때문에 친환경 무기바인더에 대한 수요가 증가하고 있다[3].

본 연구에서는 잉크젯 프린터에서 토출이 가능한 silicate

기반의 친환경 무기바인더를 합성하여 3D 프린팅용 접착제로써의 사용가능성을 확인하고자 하였다. 기존의 silicate 기반 무기바인더는 높은 점도와 표면장력으로 인해 프린트 헤드에서 토출이 원활하지 않으며, 헤드 표면에서 무기바인더 내의 수분이 공기 중에 증발되어 얇은 피막이 형성되고 이로 인해 헤드가 막히는 문제를 발생한다. 이런 문제점을 해결하기 위해 무기바인더 합성 시 humectant를 포함한 solvent를 첨가하여 무기바인더 점도와 표면장력을 제어하였으며, 실제 토출 시험을 진행하여 토출여부를 확인하였다. 또한 액체 물성에 따른 토출 액적 거동을 예측할 수 있는 오네수지 수(Ohnesorge number)의 역수인 Z 값(Z value)을 계산하여 토출이 가능한 무기바인더의 물성범위를 확인하였다.

2. 실험 방법

무기바인더의 원재료는 SILIFOG SS 3종 (ACENANOCHEM. Co.Lrd, Korea)의 silicate solution을 사용하였다. 또한 Ethylene glycol(EG, Purity: >99.5%, Daejung Chemicals & Metals Co. Ltd., Korea)과 Glycerol(Purity: >99.0%, Daejung Chemicals & Metals Co. Ltd., Korea), DI water을 2:1:7의 비율로 제조하여 이를 humectant를 포함한 solvent로 명명하였다. 3D 프린팅용 무

기바인더를 합성할 시 이 humectant를 포함한 solvent를 비율을 달리하여 첨가하였으며, 합성비율은 표1에 나타내었다. 합성된 3D 프린팅용 무기바인더는 점도계(viscometer, DV2T Viscometer, Brookfield, USA)와 표면장력 측정기(Surface tensin, K20, KRUSS, Germany)로 특성분석을 진행하였으며, 무기바인더의 토출성 평가는 피에조 방식의 프린터 헤드(SG1024, FUJIFILM Dimatix Inc., USA)를 3D 프린터(self-production, SFS, Korea)에 장착하여 토출 및 적층평가를 진행하였다. 또한 오네지수 수의 역수인 Z 값(Z value)을 측정하여 바인더의 물성에 따른 토출 여부를 확인하였다 [4].

[표 1] 3D 프린팅용 무기바인더 합성 비율(wt%)

No.	Silicate binder	Humectant+solvent
Sample.1	25	75
Sample.2	30	70
Sample.3	45	55
Sample.4	55	45

3. 결과 및 고찰

3D 프린팅에 사용되는 파우더의 경우 입자의 사이즈(Particle size), 유동성(Powder flow ability), 충전률(Particle pack), 젖음성(Wetability) 등이 3D 구조물의 강도와 치수정밀도에 영향을 미친다. 반면 바인더는 점도 및 표면장력과 같은 유변학적 특성과 파우더와의 화학적 상호작용이 조형물의 품질에 영향을 미친다. 그렇기에 합성된 3D 프린팅용 무기바인더의 점도, 표면장력, 비중을 측정하여 변화되는 무기바인더의 특성을 표 2에 나타내었으며, 이 측정치를 대입하여 Z 값을 구하였다.

Z 값은 오네수지의 역수로 액체의 물성에 따른 토출 액적의 거동을 수치적으로 예측할 수 있다. Z 값이 낮을수록 액적의 형태에 액체의 점도가 지배적으로 작용하여 토출이 어렵고 노즐로부터 액적의 꼬리가 늘어지는 경향이 있고, Z 값이 높을수록 액적의 형태에 액체의 표면장력이 지배적으로 작용하여 토출되는 주액적 외 추가적인 위성 액적을 수반하게 되기에, Z 값이 $1 < Z < 10$ 사이일 때 안정한 단일 액적을 형성한다고 보고되어 있다[4-7]. Z 값을 구하는 식은 아래와 같다.

$$Oh = \frac{\mu}{\sqrt{\rho\gamma L}} = \frac{\sqrt{We}}{Re} = 1/Z$$

μ : The dynamic viscosity of the liquid (cP)

γ : The surface tension (mN/m)

ρ : The density of the liquid (g/mL)

L : The nozzle diameter (μm)

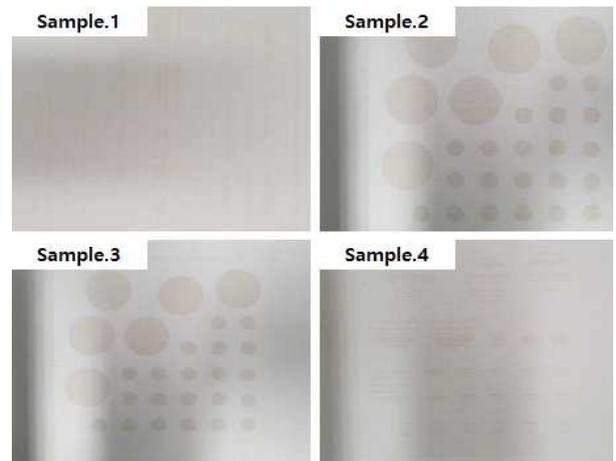
Re : The Reynolds number

We : The weber number

무기바인더 합성 시 사용된 Ethylene glycol과 Glycerol은 점도 조절과 더불어 습윤제 기능도 함께 하는데, 습윤제는 강한 수소 결합을 형성함으로 용매 증발을 최소화시켜 바인더의 건조를 늦추는 것으로 알려져 있다[8]. 표 2를 보면 humectant를 포함한 solvent의 함량이 증가할수록 바인더의 점도는 3.3 cps에서 4.95 cps로 증가하고, 표면장력 또한 30.4 mN/m에서 48.7 mN/m로 증가하였다. 반면 밀도는 1.261 g/mL에서 1.015 g/mL로 감소하였다. 이는 solvent 내의 H₂O의 함량이 증가함에 따른 영향으로 판단된다. 표면장력과 점도, 밀도 값을 대입하여 계산된 Z 값을 살펴보면 점도와 표면장력의 영향으로 6.59~11.63 사이 값을 나타내었다.

[표 2] 합성된 무기바인더의 특성 및 Z 값

No.	Viscosity (cps)	Surface tension (mN/m)	Density (g/mL)	Z value	Jetting
Sample.1	4.95	48.7	1.015	6.59	불가
Sample.2	3.84	47.6	1.094	8.71	가능
Sample.3	2.85	45.4	1.125	11.63	가능
Sample.4	3.3	30.4	1.261	8.69	불가



[그림 1] 합성된 무기바인더를 이용한 프린팅 테스트

합성된 무기바인더를 프린팅 헤드에 장착하여 파우더 위에 프린팅 시험을 진행하였으며, 프린팅 결과를 그림 1에 나타내었다. 토출 액적의 안정성은 3D 프린팅 방식으로 제조된 주형의 치수정밀도(Dimensional accuracy) 및 기계적 특성에 영향을 미치는 중요한 요인이 되기 때문에 안정적인 액적이 형성될 수 있는 조건에 대한 최적화가 요구된다.

Sample.1과 sample.4 무기바인더의 경우 무기바인더가 토출되지 않아 프린팅이 이뤄지지 않았고 sample.2와 sample.3의 경우 정상적인 토출이 이루어져 원형 모양으로 프린팅이 된 것을 확인하였다. 특히 sample.1 무기바인더의 경우 sample.4와 비교하여도 토출이 거의 일어나지 않았는데 이는 무기바인더의 높은 점도와 표면장력이 무기바인더 토출에 악영향을 미친다고 할 수 있다. 또한 밀도가 높아 질수록 토출이 불가능함을 확인하였다. Z 값을 비교해보면, 토출이 가능한 sample.2의 경우 8.71, sample.3는 11.63의 Z 값을 나타내었다.

이 결과를 통해 3DP용 무기바인더는 2.85~4.27 cps의 점도와 45.4~47.6 mN/m의 표면장력을 가짐과 동시에 Z 값이 8.71~11.63 사이에서 binder jetting용으로 사용이 가능함을 확인하였다.

4. 결론

본 연구는 binder jetting 방식에 적용 가능한 친환경 무기바인더를 개발하기 위해 humectant를 포함한 solvent의 비율에 따라 변화되는 무기바인더의 특성과 함께 변화되는 Z값을 확인하여 토출가능 여부를 검토하였다. Silicate binder가 30~45 wt%, humectant를 포함한 solvent가 55~70 wt%일 때 토출이 가능한 무기바인더가 합성 되었으며, 이때 무기바인더는 2.85~4.27 cps의 점도와 45.4~47.6 mN/m의 표면장력, 그리고 8.71~11.63 사이의 Z 값을 가지는 것을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Fahimeh Dini, Seyed Amir Ghaffari, Javadpour Jafar, Rezaie Hamidreza, Shiri Marjan, "A review of binder jet process parameters; powder, binder, printing and sintering condition", *Metal Powder Report*, 75, 2, pp.95-100, 3, 2020
- [2] 이환중, 양정직, 현효진, "3D 프린팅 주형의 표면품질 향상을 위한 도형제 적용 기술 연구" *J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.* 제27권, 6호, pp.485-491, 2018
- [3] 배민아, 김경호, 이만식, 백재호, "무기바인더 내수강도 발현에 미치는 식물성 왁스의 영향", *산학기술학회논문지*, 제 21권, 10호, pp. 574-580, 2020
- [4] Fromm, J. E. Numerical, "Calculation of the Fluid Dynamics of Drop-on-Demand Jets", *IBM J. Res. Dev.*, 28, pp. 322-333, 1984
- [5] Anas Bin Aqeel, Muhammad Mohasan, Pengyu Lv, Yantao Yang, Huiling Duan, "Effects of the actuation waveform on the drop size reduction in drop-on-demand inkjet printing" *Acta Mechanica Sinica*, 9, 2020
- [6] Derby. B., "Inkjet Printing of Functional and Structural Materials: Fluid Property Requirements, Feature Stability, and Resolution" *Annu. Rev. Mater. Res.* 40, pp. 395-414, 2010
- [7] G. H. McKinley, M. Renardy, "Wolfgang von Ohnesorge", *Phys. Fluids* 23, 177101 pp. 1271011-6, 2011
- [8] S. D. Hoath, "Fundamentals of inkjet printing : the science of inkjet and drolpets", wiley, 2016