

SLA 3D 프린팅 소재의 후처리에 따른 표면특성 변화 연구

배서준 · 임도진[†]

국립부경대학교 화학공학과
48547 부산광역시 남구 신선로 365
(2021년 8월 6일 접수, 2021년 9월 2일 수정본 접수, 2021년 9월 2일 채택)

A Study on the Changes in Surface Properties According to Post-treatment of SLA 3D Printing Materials

Seo Jun Bae and Do Jin Im[†]

Department of Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan, 48547, Korea
(Received 6 August 2021; Received in revised form 2 September 2021; Accepted 2 September 2021)

요 약

본 연구에서는 광경화 3D 프린팅 방식인 SLA (Stereo Lithography Apparatus) 방식 출력물의 후처리 방법에 따른 표면 특성의 변화를 체계적으로 비교하고, 용도에 맞는 후처리 방법에 대한 정보를 제공하기 위한 기초 연구를 수행하였다. SLA 방식 출력물은 연마를 통해 표면의 불규칙한 미세구조를 규칙적으로 변화시켜 투명도를 일부 개선할 수는 있었으나, 유리와의 충분한 투명도를 확보하기는 어려웠다. 연마에 따른 접촉각 특성 변화는 연마 시간이 증가할수록 그리고 사용된 사포의 입도가 작을수록 다소 증가하는 경향을 보였으나 샘플 간 편차가 크고 평균 77~90°의 접촉각을 나타내어 대부분 통계적으로 유의미한 차이를 보이지는 않았다. 연마 이외 다양한 방법을 통한 표면처리 방법이 시도되었으며, 시판되는 차량용 흠집제거제나 실리콘 오일 등을 도포하여 쉽고 간단하게 투명도를 개선하는 것이 가능함을 확인하였다. 또한, 입도 사이즈를 줄이며 순차적으로 연마한 후 흠집제거제를 사용함으로써 유리와의 높은 투명도를 확보할 수 있는 방법을 제안하였다. 마지막으로 연마와 다양한 방법을 통해 표면처리를 하더라도 접촉각은 90° 이상을 확보하기 어려웠으며 소수성의 특성을 필요로 하는 경우, 본 연구에서 사용된 다양한 방법 외 소수성 코팅과 같은 추가적인 처리가 필요함을 확인하였다.

Abstract – In this study, a basic study was performed to systematically compare the changes in surface properties according to the post-processing method of the stereolithography (SLA) printing method, which is a photocuring 3D printing method, and to provide information on the post-processing method suitable for the application. Although it was possible to improve some of the transparency of the SLA-type output by regularly changing the irregular microstructure of the surface through polishing, it was difficult to secure sufficient transparency like glass. The change in contact angle characteristics due to grinding showed a tendency to slightly increase as the grinding time increased and the particle size of the sandpaper used was small, but the variation between samples was large and the average contact angle was 77~90°, showing no statistically significant difference. Surface treatment methods other than polishing were tried, and it was confirmed that it was possible to easily and simply improve the transparency by applying a commercially available vehicle scratch remover or silicone oil. In addition, a method for securing high transparency such as glass by using a scratch remover after sequential grinding while reducing the particle size of the sandpaper was proposed. Finally, even after surface treatment through polishing and various methods, it was difficult to secure a contact angle of 90° or more.

Key words: 3D printing, Stereo lithography apparatus (SLA), Surface property, Transparency, Post-treatment

1. 서 론

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: dj-im@pknu.ac.kr

*이 논문은 포항공과대학교 강인석 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

3D 프린팅 기술은 3차원 모델 데이터를 이용해 복잡한 3차원 구조물을 제작하는 기술로 현재는 제품의 디자인 평가 및 시제품 제작 기계, 건축 등 산업 현장에서도 활용되고 있다[1-3]. 산업 현장뿐만 아니라 생명공학 분야에서도 3D 프린팅 기술을 활용하여 3D 바

이오 프린팅, 3D 프린팅 대체육 개발 등의 연구가 이루어지고 있으며[4-7] 미세유체 시스템 제작 분야에서도 기존 미세유체 시스템이 가진 한계를 3D 프린팅 기술을 이용해 극복하기 위한 연구가 활발하다[8-10]. 이러한 3D 프린팅 기술에는 FDM (Fused Deposition Modeling) 방식과 SLA (Stereo Lithography Apparatus) 방식이 대표적이다. FDM 방식은 열가소성 플라스틱인 필라멘트를 고온의 노즐을 통과시키며 용융하여 3차원 구조물을 적층 하는 방식으로 작동원리가 단순하며 장비 및 소재의 가격 경쟁력이 우수하다는 장점이 있지만 표면이 매끄럽지 못하다는 단점이 있다[2,11]. SLA 방식은 광경화성 레진을 레이저를 이용하여 경화, 적층 하는 방식으로 FDM 방식에 비해 해상도가 높고 장비의 고장 가능성이 낮다[11,12]. FDM 방식의 출력물은 일반적으로 다양한 후처리를 통해 표면 품질을 향상시킨 후 사용하며, SLA 방식의 출력물은 출력 후 표면의 잔여 레진을 세척한 후 사용한다.

3D 프린팅 출력물의 후처리 방법에는 대표적으로 물리적으로 표면을 처리하는 연마와 화학적으로 표면을 처리하는 아세톤 훈증 방법이 있다[13]. 선행된 연구에서 3D 프린팅 방식에 따른 출력물의 표면 특성을 비교하고 FDM 방식의 출력물에 대한 아세톤 훈증 전후의 표면 특성을 비교하였다[14]. FDM 방식의 출력물은 아세톤 훈증 후에는 후처리 전 표면에서 확인된 결 구조가 제거되었으며 접촉각은 후처리 전과 비교하여 증가하는 경향을 보였지만 소재에 따라서 차이가 있었다. 미세유체 시스템 제작에 활용을 위한 투명도 비교에서는 투명한 소재를 사용하더라도 FDM 방식으로는 충분한 투명도를 확보하기 어려웠으며, 특히 일부 소재는 후처리 과정에서 흰색으로 색 변화를 보였다. 반면, SLA 방식 출력물은 FDM 방식 대비 높은 투명도를 확보할 수 있었으며, 시연을 통해 미세유체 시스템의 제작에 활용 가능성을 확인하였다.

일반적으로 SLA 방식은 후처리 없이 사용하지만 출력물 표면의 연마를 통해 더 높은 투명도를 확보하고 표면 품질의 향상을 기대할 수 있다. 프린터 장비 제작사에서는 출력물의 투명도를 향상시키기 위한 방법으로 연마와 아크릴 도료를 사용하는 방법을 제공하

고 있다. 제공된 방법에서는 #800 ~ #1200으로 사포의 입도크기를 순차적으로 변화시켜 연마하는 방법을 추천하고 있으며, 아크릴 도료 등을 표면에 도포하는 방법을 추천한다. 하지만 연마 시간과 각 연마 과정에서 표면 특성의 변화, 아크릴 도료와 같은 추가 처리 전후의 표면 변화와 같은 구체적인 정보는 제공되지 않는다. 더욱이, 제공된 방법으로 출력물 표면을 후처리 하더라도 유리 또는 아크릴과 같은 충분한 투명도를 확보하기 어려우며, 후처리 방법에 대한 구체적인 정보가 없어 사용자에게 따른 편차가 발생할 수 있어서 동일한 표면 품질을 확보하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 SLA 방식의 시편에 연마와 연마 이외의 추가 처리 후의 표면 특성의 변화를 체계적으로 비교하여 구체적인 후처리 방법론을 제공하고 용도에 맞는 후처리 방법의 선정에 대한 정보를 제공할 수 있는 기초 연구를 수행하였다. 먼저, 연마 시간과 연마에 사용된 사포의 입도 크기에 따른 투명도와 접촉각을 비교하였다. 얻어진 실험 결과를 설명하기 위해 각 조건에 따른 표면의 미세구조 변화를 SEM (Scanning Electron Microscope) 이미지를 통해 분석하였다. 추가로 표면 특성을 더욱 향상시키기 위해 오일 도포, 흡집제거제 사용 등 다양한 방법을 시도하여 보다 효율적으로 투명도를 향상시킬 수 있는 방법론들을 제안하였다.

2. 실험

2-1. 실험 장치 및 재료

3D 프린터는 레이저를 이용해 레진을 경화하여 적층하는 방식인 SLA 방식 중 Formlabs사의 Form 2를 사용하였으며 Fig. 1의 좌측 그림과 같이 digital scanning mirror를 조절하여 레이저가 조사되는 위치를 옮겨가며 프린팅 하는 방식이다. 후처리 전 후의 투명도와 접촉각 변화를 비교하기 위해 Formlabs사에서 제공하는 우레탄 다이메타크릴레이트(urethane dimethacrylate)기반의 일반 레진 중 투명 레진(Formlabs standard resin clear)을 사용하여 시편을 제작하였으며 출력 후 출력물은 세척 장비(Formlabs Form wash)와 경화

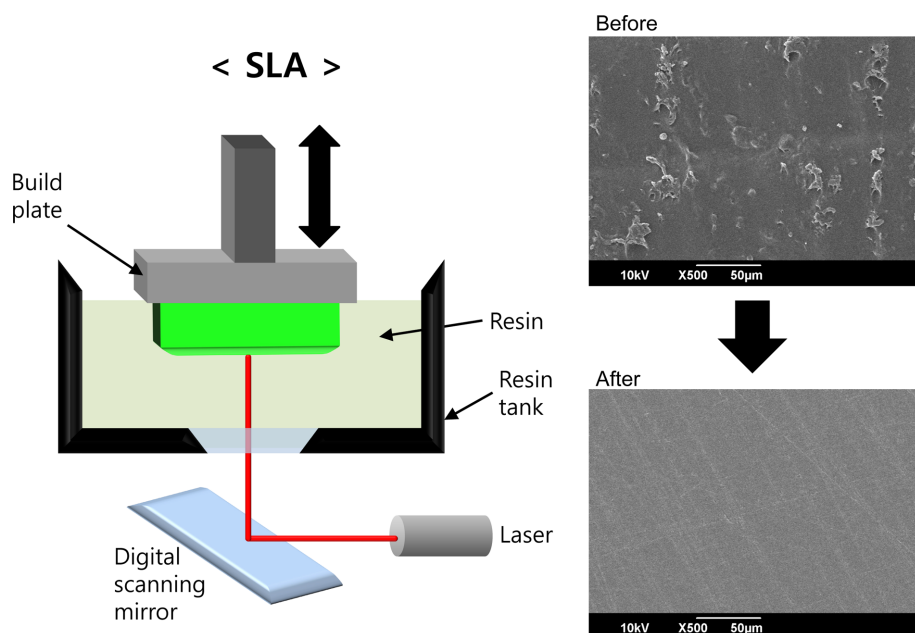


Fig. 1. Schematics of SLA method (left) and SEM image of surface microstructure change before and after post-treatment (right).

장비(Formlabs Form cure)를 이용해 잔여 레진을 세척하고 추가 경화하였다. SLA 방식 출력물의 후처리를 위한 연마에는 연마 장비를 사용하였으며, #400 (28-40 μm), #1000 (14-20 μm), #2000 (5-7 μm), #20000 (0.05 μm) 사포를 사용하여 출력물을 연마하였다. 연마된 출력물의 다양한 후처리에는 시판되는 차량용 흡집제거제와 광택 복원제, 그리고 실리콘 오일(KF-96-1000CS, Shin-Etsu)을 사용하였다. Fig. 1의 우측의 사진은 SEM 이미지 결과로 후처리 전 후 표면 미세구조의 차이를 보여준다.

2-2. 실험 방법

SLA 프린팅 출력물의 표면특성 비교를 위해 폭 20 mm, 길이 50 mm, 두께 10 mm의 직육면체 모양의 시편을 제작하였다. 모든 출력물은 출력 후 세척 장비를 사용하여 IPA (Isopropyl alcohol)로 20분간 세척하였고 경화 장비를 사용해 60 °C에서 15분간 UV를 조사하여 경화 후 후처리를 수행하였다. 시편마다 사포를 교체하여 이전 실험에 의한 영향을 최소화하였다.

SLA방식 출력물의 표면특성 중 투명도는 후처리 전 후의 시편을 'PKNU'라고 적힌 글자 위에 올려두고 시편을 통해 글자가 보이는 정도를 이용해 비교하였다. 글자는 광학테이블의 스테이지 위에 고정되었으며, 조명 장치(Luxpad22, NanGuang)를 이용해 일정한 조명을 유지하여 사진을 촬영하였다. 접촉각 측정은 선행된 연구[14]에서와 마찬가지로 각각의 시편 위에 2 mL의 물방울을 올려 사진을 촬영한 후 이미지 처리 프로그램(image J)를 사용해 측정하였다. Fig. 2의 그림과 같이 시편은 광학테이블에 배치된 스테이지에 고정시켰으며 카메라(캐논 EOS 100D) 역시 광학테이블에 고정시켜 초점을 조정 후 사진을 촬영하였다. 이때 물방울의 윤곽 관찰을 위해 시편 뒤쪽에 조명을 위치하여 실험을 수행하였다. Fig. 2의 사진은

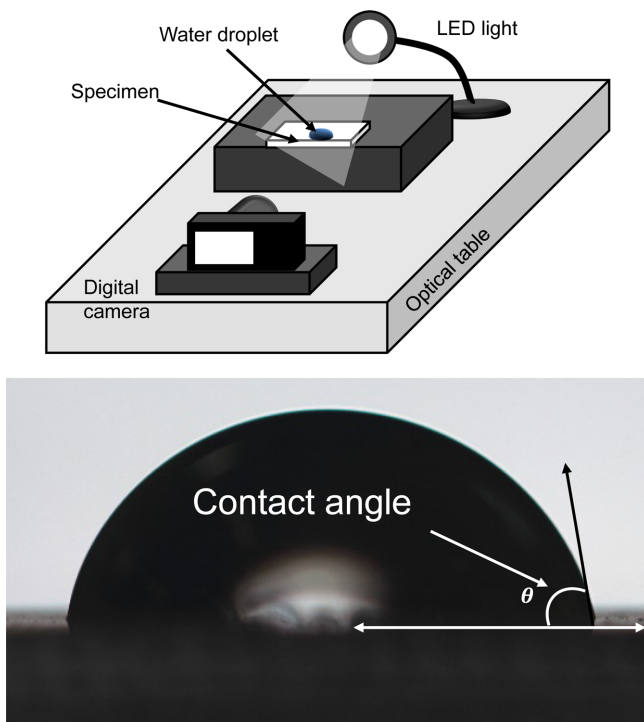


Fig. 2. A schematic diagram of the experimental setup for measuring contact angle (top) and an example of contact angle measurement using a photograph of a water droplet (bottom).

접촉각 측정을 위해 시편 위에 올려진 물방울을 촬영한 사진으로 사진에서 θ 로 표시된 각도를 측정하였다. 촬영된 사진에서 접촉각의 측정은 물방울의 좌, 우측에서 각각 3회씩 측정하였으며, SLA 방식은 프린팅 과정에서 레진의 적층에 의한 결 무늬가 생성되기 때문에 결 무늬의 수직, 수평 방향에 대해 모두 접촉각을 측정하였다. 또한, SLA 시편의 표면 위치에 따른 편차를 고려하기 위해 임의의 5군데 지점에 물방울을 올려 접촉각을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 연마 시간에 따른 표면 특성 변화

연마 시간에 따른 SLA 방식 출력물의 표면 특성을 비교하기 위해 #1000의 입도 크기 사포로 1, 3, 5, 10, 15분동안 표면을 연마 한 시편을 연마 전의 시편과 비교하였다. 연마한 시편의 투명도 비교를 위해 시편 양쪽 면 모두를 각각 동일 조건으로 연마하였으며, 시편을 통해 뒷면의 'PKNU' 글자가 보이는 정도를 이용해 투명도를 비교하였다. Fig. 3에는 각 조건 하에서 투명도, 표면 미세구조, 그리고 접촉각 특성을 비교한 결과가 나타나 있다. Fig. 3(a)의 사진에서와 같이 연마 전의 시편에서는 프린팅 과정에 레진의 적층에 의해 형성된 결 구조가 뚜렷하게 보였으며, 이 결 구조로 인해 시편이 충분히 투명하지 않았다. 연마 시간에 비례하여 시편의 투명도는 다소 증가하는 경향을 보였지만 1~5분 연마한 시편은 오히려 연마 전의 시편보다 낮은 투명도를 보였다. 반면, 10분이상 연마한 시편에서 뒷면의 글자를 뚜렷하게 관찰할 수 있었지만, 연마 과정에서 사포에 의한 무늬로 인해 유리 또는 아크릴과 같은 높은 투명도를 기대하기는 어려웠으며, 연마에 의해 시편의 크기가 줄어드는 문제가 있었다.

Fig. 3(b)의 연마시간에 따른 표면 미세구조를 촬영한 SEM 이미지에서와 같이 연마 전의시편은 표면에 불규칙적으로 돌기 모양의 구조가 돌출 되어 있었다. 사진에서와 같이 연마 시간에 비례하여 표면 미세구조가 규칙적으로 변화하였는데, 1분의 연마에서는 부분적으로 돌출되어 있는 돌기 모양의 구조를 제거하며 시편의 전체 표면에 연마에 의한 무늬가 생성되는 과정으로 전반적으로 불규칙한 표면을 나타냈다. 또한 5분의 연마에서는 연마에 의한 무늬가 규칙적으로 생성되어 SEM 사진 상으로는 규칙적인 표면을 갖는 것으로 보였으나, 더욱 작은 미세구조에서 충분히 규칙적인 표면이 만들어지지 못해 Fig. 3(a)의 투명도 사진에서와 같이 낮은 투명도를 가진 것으로 예상된다. 이와 달리 15분 연마한 시편은 충분한 시간 연마하였기 때문에 규칙적인 표면 구조를 가졌고, 그 결과 다른 연마시간과 비교하여 투명한 시편을 확보할 수 있었던 것으로 판단 된다. 이처럼 SLA 방식 출력물은 표면 미세구조가 규칙적일수록 투명도가 증가하는 경향을 보이지만, 연마 시간을 증가시켜 규칙적인 표면을 만드는 것은 연마에 의해 생성되는 무늬로 인해 한계가 있을 것으로 판단된다.

Fig. 3(c)의 물방울 사진과 접촉각 그래프에서와 같이 5분 연마한 시편에서 접촉각이 최대가(90.7°) 되어 물방울이 가장 구형에 가까웠으며, 다른 연마시간의 조건에서는 연마 전의 시편과 비교하여 접촉각 특성이 큰 차이가 없었다. 또한, 5분까지는 연마 시간에 비례하여 접촉각 특성이 증가하는 경향을 보였다. 1~5분에서는 표면의 결 무늬를 제거하는 과정 중 불규칙해진 표면이 지속적인 연마에 의해 규칙적으로 변화하는 과정이므로 연마 시간에 비례하여 접촉

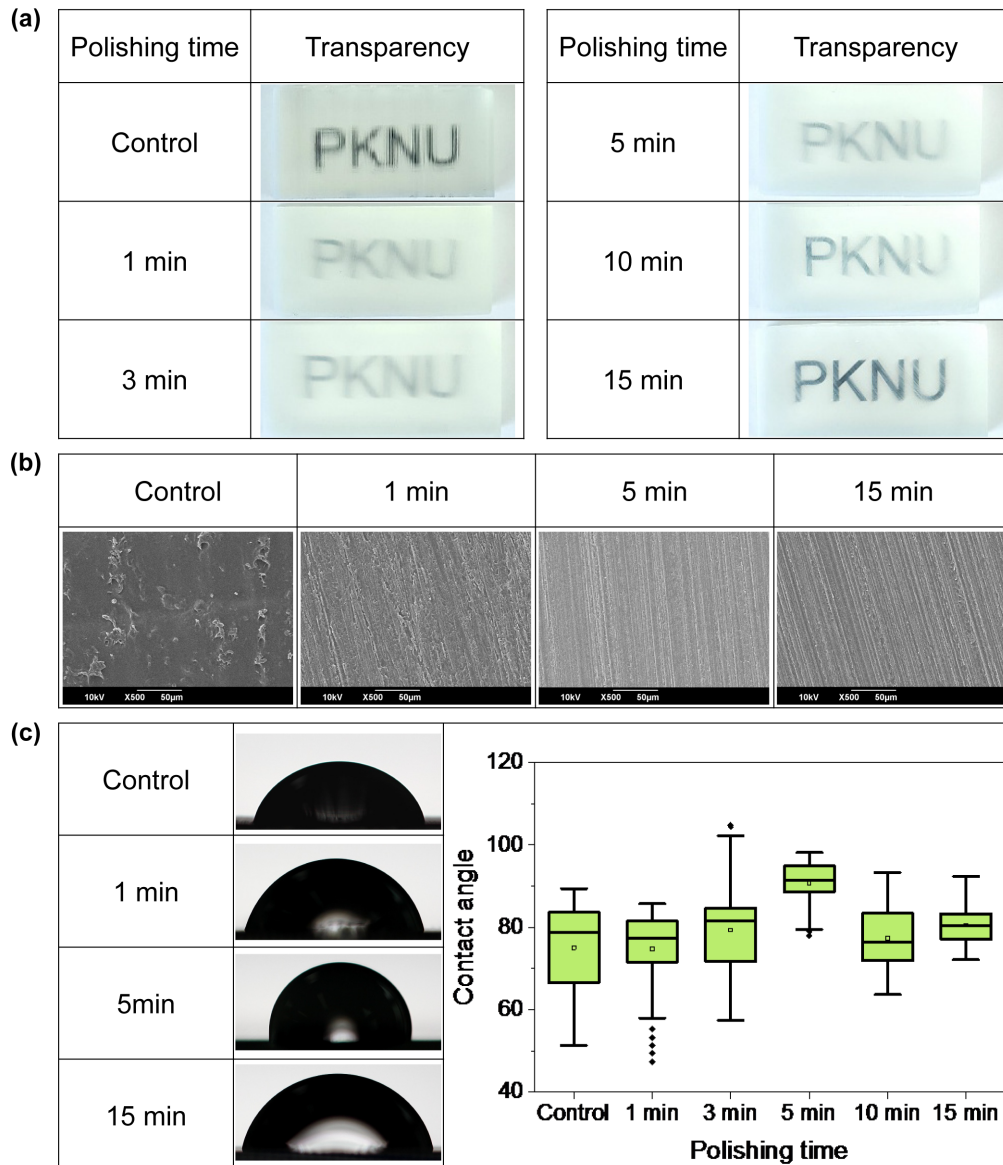


Fig. 3. Changes in surface properties with polishing time. (a) A picture comparing the degree of visibility through post-treatment specimens. (b) The result of photographing the microstructure of the surface using SEM after polishing at 1 min, 5 min, and 15 min. (c) The contact angle of the specimen after post-treatment.

각이 증가하는 경향을 보인 것으로 판단된다. 반면, 10분이상 연마한 시편의 접촉각은 오히려 5분 보다 낮아지는 경향을 보였는데 이는 5분보다 연마시간이 길기 때문에 표면은 충분히 규칙적으로 변화하였지만, 시편의 소재 자체의 친수성 특성이 접촉각에 영향을 주어 접촉각이 낮아진 것으로 예상된다. 하지만, 접촉각은 최대값을 가진 5분에서도 약 90° 였으므로, 연마 시간의 변화를 통해서도 충분한 소수성 특성을 갖는 SLA 출력물을 확보하는 것은 어려웠다.

3-2. 사포 입도 크기에 따른 표면 특성의 변화

입도 크기에 따른 표면 특성의 비교를 위해 #400 (28 mm) ~ #20000 (0.05 mm)의 입도 크기로 연마 후 시편의 투명도와 접촉각을 비교하였다. Fig. 4에는 각 입도 크기 조건에 따라 연마한 시편의 투명도와 접촉각이 나타나 있다. 연마시간은 앞선 연마시간에 따른 표면 특성의 변화에서 시편의 투명도가 확보되기 시작한 10분으로

결정하였다. Fig. 4(a)는 입도 크기에 따른 시편의 투명도를 비교한 사진으로 입도 크기가 #400과 #1000인 사포를 사용한 경우에는 시편을 통해 흐릿하게 글자가 확인되는 반면, #2000을 사용한 경우에는 시편을 통해 글자가 뚜렷하게 보였다. 하지만 가장 작은 입도 크기인 #20000에서는 10분간 연마하여도 연마 전의 시편과 큰 차이를 보이지 않았는데 이는 시편의 표면 구조를 제거하기에는 사포의 입도 크기가 너무 작아 충분히 연마가 되지 않았기 때문으로 생각된다. #400 ~ #1000 사포는 비교적 큰 입도크기에 의해 시편의 표면에 연마에 의해 생성된 무늬에 의해 빛이 산란되고, 그 결과 글자가 흐릿하게 보인 것으로 생각되어 투명도의 확보 측면에서는 #2000의 입도 크기를 갖는 사포를 사용하는 것이 가장 적합한 것으로 판단된다.

Fig. 4(b)는 입도 크기에 따른 접촉각을 사진과 그래프로 나타낸 것으로 입도 크기에 따른 접촉각의 변화는 연마 시간에 따른 접촉

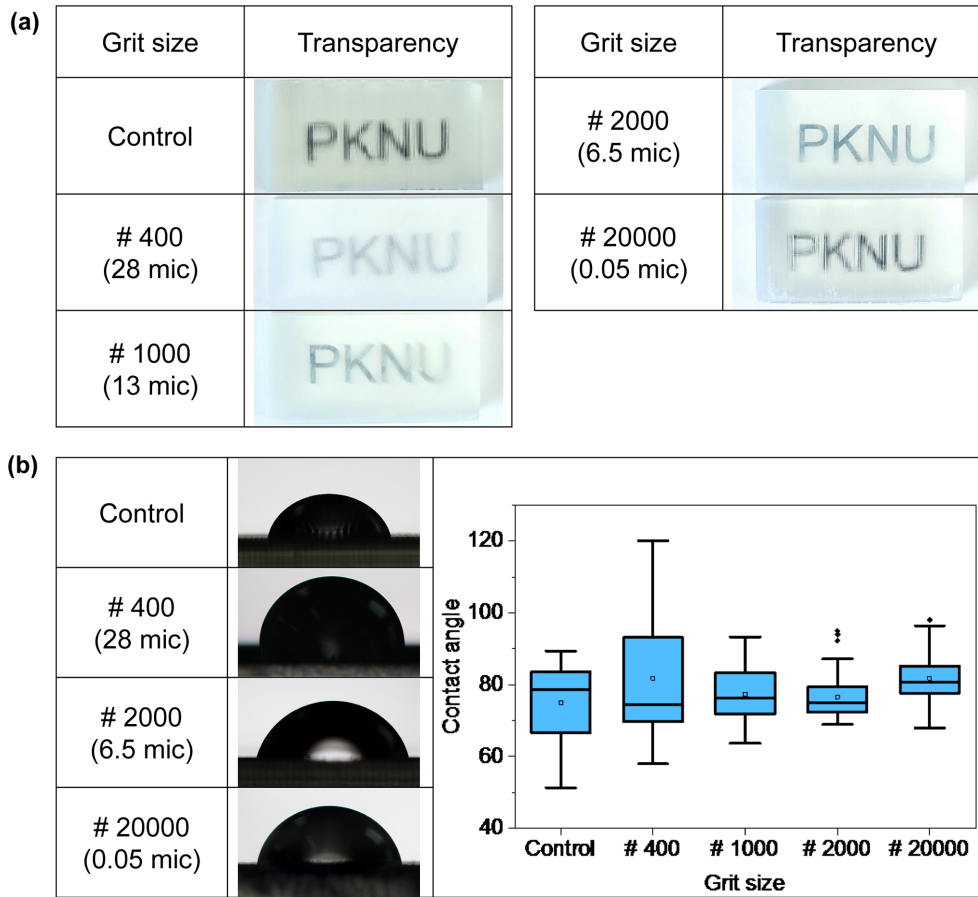


Fig. 4. Changes in surface properties according to the grit size of sandpaper. (a) A photograph comparing the transparency qualitatively using the degree to which the letters on the back are visible through the specimen. (b) A picture of a water droplet placed on the post-treated specimen and a box plot measuring the contact angle.

각의 변화와 달리 큰 차이가 없었지만 #400의 입도 크기의 접촉각이 다른 경우보다 조금 높았다. 하지만 #400의 사포로 연마한 경우, 연마 과정에서 생성된 무늬가 육안으로 관찰할 수 있을 정도로 뚜렷했기 때문에 접촉각 측정의 편차로 인해 평균값이 조금 증가한 것으로 판단된다. 그리고 입도 크기 #1000과 #2000의 사포를 사용한 경우에는 표면 미세구조를 제거하기에 충분한 시간과 입도 크기로 연마하여 규칙적인 표면 구조를 가지게 되었으나 소재 자체의 특성에 의해 접촉각 평균이 약 80°로 측정된 것으로 생각된다. 또한, 입도 크기가 가장 작은 #20000은 입도 크기가 작아 10분의 시간은 표면의 미세구조가 제거되는 과정 중으로 그 결과 연마 전 시편보다 다소 높은 약 80°의 접촉각 평균을 갖는 것으로 판단된다.

연마 시간에 따른 표면 특성의 비교와 사포 입도 크기에 따른 표면 특성의 비교에서 연마 전의 시편과 비교하여 높은 투명도를 확보할 수 있는 연마 조건을 찾을 수 있었지만, 하나의 입도 크기의 사포로 연마하는 것으로는 유리와 같은 충분한 투명도를 확보하기는 어려웠다. 따라서 충분한 투명도의 확보를 위해 다양한 후처리 방법을 사용하여 투명도를 개선하기 위한 방법을 추가로 찾아보았다.

3-3. 다양한 후처리에 따른 표면 특성 변화

앞선 결과에서 연마 만으로는 SLA 방식 출력물의 투명도를 충

분히 확보하는 것이 어려운 것을 확인하였으므로 SLA방식 출력물의 투명도 개선을 위해 다양한 방법의 후처리에 대한 표면 특성을 비교하였다. Fig. 5는 다양한 방법으로 표면 처리를 한 후의 시편 투명도를 비교한 사진과 가장 투명한 시편의 접촉각 그래프이다. 후처리를 위한 다양한 방법으로는 사포 입도 크기를 바꾸며 순차적으로 연마(Polishing), 시판되는 흠집제거제와 광택복원제를 사용(Compound), 고점도 오일로 표면 도포(Oil), 그리고 입도 크기를 바꾸며 순차적으로 연마 후 시판되는 흠집제거제와 광택복원제를 사용한 방법(Polishing + Compound) 사용하였다.

사포 입도 크기를 #400 ~ #20000 순차적으로 줄여가며 각각 2.5분씩 총 10분 연마한 경우는 Fig. 5(a)의 왼쪽 가운데 사진과 같이 (Polishing) 연마 전의 시편보다 뒷편의 글자가 잘 보이기는 하지만 여전히 흐릿하였다. 이는 연마를 통해 표면 결 구조가 제거되어 뒷면의 글자는 보이지만 사포 입도 크기에 따라 생성된 무늬가 다르고 이 무늬에 의해 빛이 산란되었기 때문에 글자가 흐릿하게 보이게 된 것으로 생각된다. Fig. 5(a)의 왼쪽 아래 사진은 시판되는 차량용 흠집제거제와 광택복원제를 사용한 경우로(Compound), 흠집제거제와 광택복원제를 시편에 도포하여 닦아주는 것만으로 사진과 같이 충분한 투명도를 확보할 수 있었다. 하지만, 실제 시편에는 사진에서는 확인이 되지 않는 프린팅 과정 중 형성된 결 무늬가 여전히 남아있어 유리와 같은 높은 투명도가 필요한 경우에는 적합하지 않다. 고점도 오일을 도포하는 방법 역시 간단한 방법으로 투명한 시

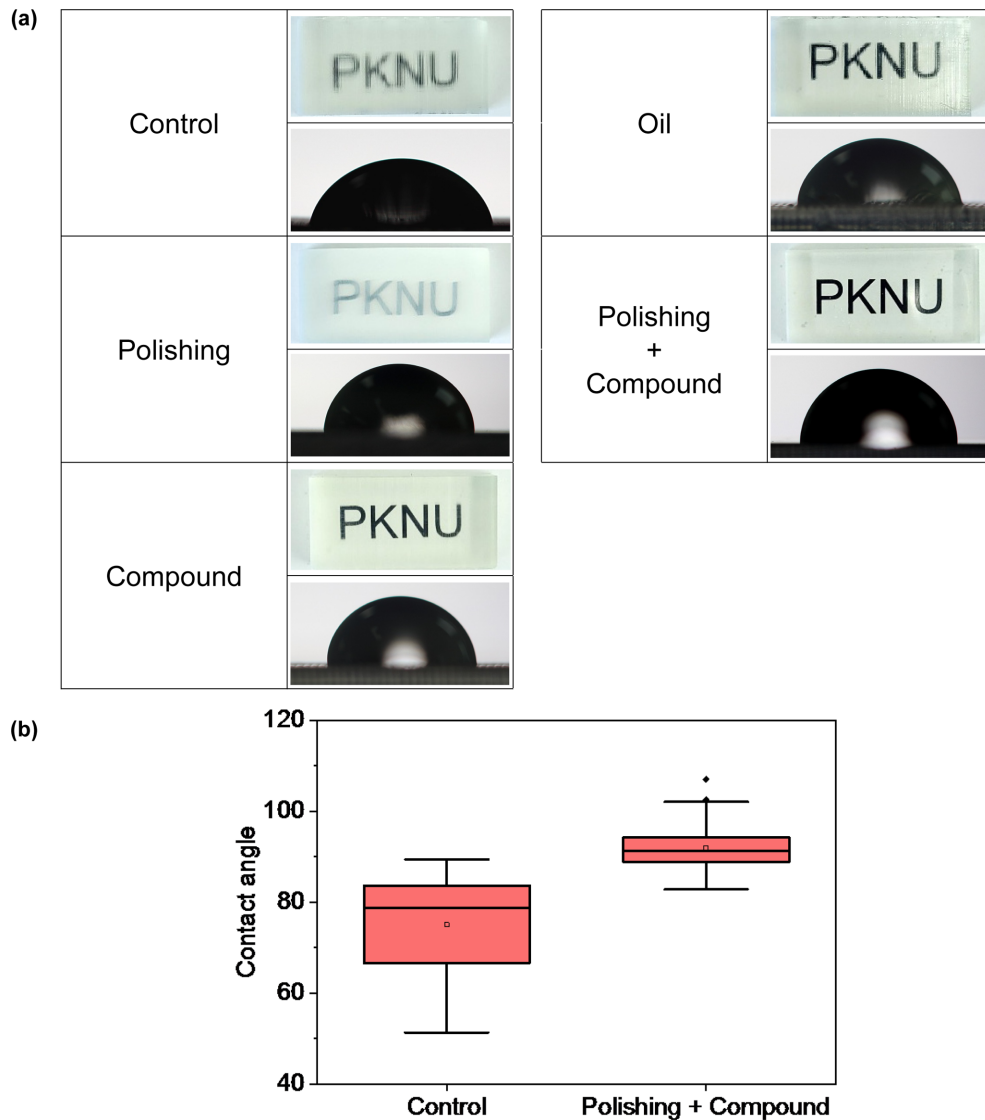


Fig. 5. (a) Comparison photos of the transparency and shape of water droplets on the specimen according to various post-treatment methods. (b) A box plot of the contact angle measurement results when polishing and compound were used together, which is the methods for securing the most transparent specimen.

편을 확보할 수 있었는데, Fig. 5(a)의 오른쪽 위의 사진에서와 (Oil) 같이 물리적으로 표면의 결 무늬를 제거하는 방법이 아니기 때문에 여전히 무늬가 남아있었다. 또한, 다른 방법과 달리 오일을 표면에 도포한 한 상태이므로 사용함에 따라 오일이 제거되어 투명도가 저하될 수 있는 문제가 있었다. Fig. 5(a)의 오른쪽 아래 사진은 사포 입도 크기를 바꿔가며 연마 후 시판되는 차량용 흠집제제와 광택복원제를 사용한 경우로(Polishing + Compound), 가장 투명한 시편을 확보할 수 있었다. 연마에 의해 표면 결 무늬가 제거되었으며 흠집제제와 광택복원제로 추가적인 미세 연마로 매끄러운 표면을 만들어(Fig. 1 하단 SEM 이미지) 높은 투명도의 확보가 가능했던 것으로 판단되며, 이 방법은 시편을 수 개월 사용하더라도 투명도가 계속 유지되었다.

접촉각 역시 후처리 방법에 따라 차이를 보였는데, Fig. 5(a)의 물방울 사진과 같이 대부분의 방법에서 후처리 전 보다 접촉각이 증가하여 물방울이 구형에 가까워지는 형태를 보였다. 하지만 고점

도 오일을 도포한 경우에는 물방울이 시간이 지남에 따라 시편의 표면에 젖어 접촉각이 작아지는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 시편의 결 무늬 틈에 있던 오일이 물에 의해 밀려나면서 아래쪽으로 물이 침투해 나타난 현상임을 확인하였다. 오일 도포에서 결 무늬가 남았던 것과 같이 시판되는 흠집제제와 광택복원제만을 사용한 경우에도 결 무늬가 남았지만 물방울은 더 구형에 가까웠는데 이는 광택복원제가 결 무늬에 들어가 틈을 채우고 물에 의해 밀려나지 않기 때문에 물이 침투하지 못한 것으로 판단된다. Fig. 5(b)에서와 같이 입도 크기를 바꿔가며 연마 후 흠집제제와 광택복원제를 사용한 경우는 후처리 전의 시편과 비교하여 접촉각이 증가되었으며 연마만을 수행했던 다른 샘플 대비 편차 역시 매우 적게 나타났다. 하지만, 접촉각이 증가하더라도 90° 이상의 충분한 소수성의 특성을 확보하기는 어려웠으며 SLA 방식 출력물을 소수성의 특성이 필요한 용도로 사용하기 위해서는 소수성 코팅 등 추가적인 소수성 처리가 필요할 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 3D 프린팅 방식 중 SLA 방식 출력물의 후처리에 따른 표면 특성의 변화에 대한 체계적인 정보를 제공하고 용도에 맞는 후처리 방법을 제안하기 위해 다양한 방법의 후처리에 따른 표면 특성을 비교하는 연구를 수행하였다. 먼저, 연마 시간에 따른 표면 특성의 변화에서 연마 시간에 비례하여 투명도가 증가하는 경향을 보였는데, 연마 시간이 증가될수록 표면의 불규칙한 구조가 규칙적으로 변화하기 때문에 투명도가 연마 시간에 비례하여 증가하는 것으로 판단된다. 투명도 확보를 위해 사포의 입도는 #1000 ~ #2000 사이가 적절하였으며 너무 크거나 작은 경우 오히려 투명도가 낮아졌다. 연마에 따른 접촉각 특성 변화는 연마 시간이 증가할수록 그리고 사용된 사포의 입도가 작을수록 다소 증가하는 경향을 보였으나 샘플 간 편차가 크고 평균 77~90°의 접촉각을 나타내어 대부분 통계적으로 유의미한 차이를 보이지는 않았다.

연마만으로는 충분한 투명도를 확보하는 것이 어려웠기 때문에 투명한 시편을 확보하기 위해 다양한 방법을 시도하였다. 입도 크기를 바꿔가며 순차적으로 연마한 경우는 다양한 입도 크기에 의해 생성된 무늬가 빛을 산란시켜 충분한 투명도를 확보하기 어려웠다. 차량용 흡집제거제를 사용하거나 고점도 오일을 사용하는 경우에는 간단하게 투명한 시편을 확보할 수 있었으나, 두 방법 모두 프린팅 과정 중 형성된 결 무늬가 남아있었으며, 특히 오일 도포는 사용함에 따라 오일이 제거되는 문제가 있었다. 입도 크기를 바꿔가며 연마 후 흡집제거제와 광택복원제를 모두 사용한 경우 가장 투명한 시편을 확보할 수 있었으며, 이 방법은 그 효과가 수개월 지속됨을 확인하였다. 따라서 표면의 결 무늬가 남아도 사용하는데 문제가 없으며, 간단하게 투명도를 확보하기 위한 방법으로는 차량용 흡집제거제와 광택복원제를 사용하는 방법이 적합할 것으로 판단되며 유리나 같은 높은 투명도를 요구하는 경우에는 입도 크기를 #400에서 #2000으로 순차적으로 바꿔가며 연마 후 차량용 흡집제거제와 광택복원제를 사용하는 방법이 적합하다. 하지만, 다양한 방법으로 후처리를 하더라도 소수성의 특성을 가진 시편을 확보하는 것은 어렵기 때문에 소수성의 특성을 요구하는 용도에 SLA방식 출력물을 사용하기 위해서는 소수성 코팅과 같은 추가적인 처리가 필요하다.

감 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2021년)에 의하여 연구되었습니다.

References

1. Duballet, R., Baverel, O. and Dirrenberger, J., "Classification of Building Systems for Concrete 3D Printing," *Autom. Constr.*, **83**, 247-258(2017).

2. Gross, B. C., Erkal, J. L., Lockwood, S. Y., Chen, C. and Spence, D. M., "Evaluation of 3D Printing and Its Potential Impact on Biotechnology and the Chemical Sciences," *Anal. Chem.*, **86**, 3240-3253(2014).
3. Bhatia, S. N. and Ingber, D. E., "Microfluidic Organs-on-chips," *Nat. Biotechnol.*, **32**, 760-772(2014).
4. He, Y., Wu, Y., Fu, J.-z., Gao, Q. and Qiu, J.-J., "Developments of 3D Printing Microfluidics and Applications in Chemistry and Biology: a Review," *Electroanalysis*, **28**, 1658-1678(2016).
5. Lee, J.-Y., An, J. and Chua, C. K., "Fundamentals and Applications of 3D Printing for Novel Materials," *Applied Materials Today*, **7**, 120-133(2017).
6. Murphy, S. V. and Atala, A., "3D Bioprinting of Tissues and Organs," *Nat. Biotechnol.*, **32**, 773-785(2014).
7. Eom, T. Y., "3D Bioprinting Technology in Biochemical Engineering," *Korean Chem. Eng. Res.*, **54**, 285-292(2016).
8. Rupal, B. S., Garcia, E. A., Ayranci, C. and Qureshi, A. J., "3D Printed 3D-Microfluidics: Recent Developments and Design Challenges," *J. Intergr. Design & Process Sci.*, **22**, 5-20(2018).
9. Waheed, S., Cabot, J. M., Macdonald, N. P., Lewis, T., Guijt, R. M., Paull, B. and Breadmore, M. C., "3D Printed Microfluidic Devices: Enablers and Barriers," *Lab Chip*, **16**, 1993-2013(2016).
10. Chen, C., Mehl, B. T., Munshi, A. S., Townsend, A. D., Spence, D. M. and Martin, R. S., "3D-printed Microfluidic Devices: Fabrication, Advantages and Limitations—a Mini Review," *Anal. Methods*, **8**, 6005-6012(2016).
11. Au, A. K., Huynh, W., Horowitz, L. F. and Folch, A., "3D-Printed Microfluidics," *Angew. Chem. Int. Ed.*, **55**, 3862-3881(2016).
12. Ho, C. M. B., Ng, S. H., Li, K. H. H. and Yoon, Y.-J., "3D Printed Microfluidics for Biological Applications," *Lab Chip*, **15**, 3627-3637(2015).
13. Gao, H., Kaweesa, D. V., Moore, J. and Meisel, N. A., "Investigating the Impact of Acetone Vapor Smoothing on the Strength and Elongation of Printed ABS Parts," *JOM*, **69**, 580-585(2017).
14. Bae, S. J. and Im, D. J., "Comparison of Surface Characteristics According to 3D Printing Methods and Materials for the Fabrication of Microfluidic Systems," *Korean Chem. Eng. Res.*, **57**, 706-713(2019).

Authors

Seo Jun Bae: Graduate student, Department of Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan, 48547, Korea

Do Jin Im: Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan, 48547, Korea