



Ag 또는 CuO를 코팅한 평판형 ZnO 분말의 합성 및 항균성 평가

홍다희^a, 곽지유^a, 전덕성^a, 조동현^b, 이건설^b, 이정환^b, 이희철^{a,*}

^a한국산업기술대학교 신소재공학과, ^b(주)덕진 에너지사업부 연구소

Preparation and Antibacterial Properties of the Planar-Type ZnO Powder Coated with Ag or CuO

Da-Hee Hong^a, Ji-Yoo Gwack^a, Deock-Seong Jeon^a, Dong-Hyeon Jo^b, Gun-Sub Lee^b, Jung-Hwan Lee^b and Hee-Chul Lee^{a,*}

^aDepartment of advanced Materials Engineering, Korea Polytechnic University, Siheung 15073, Korea

^bEnergy Business Unit, Duckjin Co., Siheung 15078, Korea

(Received 16 June, 2021 ; revised 26 June, 2021 ; accepted 28 June, 2021)

Abstract

In the present work, planar-type ZnO powder of [0001] plane with a high aspect ratio range of 20:1 to 50:1 was synthesized. Ag or CuO could be coated on the planar-type ZnO powder by wet methods such as centrifugation or ball milling. During the coating, the average size of the powder was slightly increased while maintaining the shape and XRD pattern of ZnO. When Ag or CuO was coated, the absolute value of the zeta potential, as well as the concentration of oxygen vacancy, was increased. Ag or CuO coated planar-type ZnO powder exhibited excellent antibacterial performance, which seems to be related to their high electrostatic attraction force. They could be made into a masterbatch by mixing with ABS resin, and their applicability to antibacterial substances was confirmed by manufacturing the caps of a keyboard.

Keywords : Planar-type ZnO, Wet coating, Centrifugation, Ball milling, Antibacterial

1. 서 론

코로나 19 바이러스의 전 세계적인 대유행이 장기화 되고 개인의 철저한 위생관리가 중요해지면서 플라스틱과 금속 소재 시장에서 항균 기능을 가진 소재들이 관심을 받고 있다. 업체들 중에서 동국제강은 코로나 선별 진료소에 사용이 가능한 항균 컬러강판인 렉스틸 바이오를 생산하고 있으며, 재스퍼는 항균 동으로 만든 바이러스 캐처 카드를 개발하였다. 또한 롯데케미

칼은 항균 플라스틱 에버모인이 적용된 출입문 손잡이를 출시하고 있어서 국내 기업들의 항균 및 항바이러스에 대한 관심이 크게 증가하고 있음을 알 수 있다. 글로벌 시장 조사 기관인 MarketsandMarkets는 항균 플라스틱 시장 규모가 2020년 369억 달러에서 2025년에는 598억 달러로 연평균 10.1%의 성장률로 증가할 것으로 예측하고 있다[1].

세균의 증식을 억제하는 항균제에는 유기물을 기반으로 한 유기 항균제와 무기물을 기반으로 한 무기 항균제가 존재한다. 종래에 보편적으로 사용하던 유기 항균제의 기본 특성상 내성의 증가 및 인체에 대한 유해성이 존재하여 TiO₂ 및 ZnO와 같은 무기 항균제가 주목받고 있다. 하지만 무기 항

*Corresponding Author: Hee-Chul Lee
Department of Advanced Materials Engineering, Korea Polytechnic University
Tel: +82-31-8041-0589 ; Fax: +82-31-8041-0599
E-mail: eechul@kpu.ac.kr

균제는 유기 항균제보다 상대적으로 저렴하지만 제품에 첨가하였을 때, 항균 효과를 얻기 위해서는 제품 원자재에 많은 양을 첨가해야 한다는 문제점이 존재한다[2]. 따라서 본 연구에서는 무기 항균제인 ZnO[3] 중에서도 높은 종횡비를 갖는 평판형 ZnO[4,5]에 항균 특성을 갖는 금속 나노 입자인 Ag[6,7] 또는 CuO[8,9]를 각각 코팅 첨가하여 소량의 분말로도 우수한 항균성을 얻고자 하였다.

무기 항균제인 ZnO의 항균 메커니즘은 명확하게 특정할 수 없으나 세 가지 메커니즘으로 추측되고 있다. 추측되고 있는 세 가지 메커니즘들은 다음과 같다. 첫 번째는 ZnO가 이온화되어 Zn 이온이 생성되고 균의 내부로 흡수되어 균 내부 Zn 이온 농도 증가에 의한 중독 반응이 일어나 균의 사멸을 일으킨다는 것이다[10,11]. 두 번째는 산소 원자 결합에 전자가 간히게 되고 결합에서 산화-환원 반응이 일어나 활성 산소종이 발생하게 되어 산화 스트레스 증가로 인하여 균의 사멸이 일어난다는 것이다[11,12]. 마지막은 음전하를 띠는 균 표면에 양전하인 Zn 이온이 정전기적 인력에 의하여 흡착되고 막 수송 운반이 저해되어 균이 사멸된다는 것이다[10,13,14].

본 연구에서는 우선 높은 종횡비를 갖는 [0001]면의 판형 ZnO 세라믹 분말 소재를 합성하여 이를 일반적인 나노 사이즈의 상용 ZnO의 특성과 비교하였다. 이후 높은 항균성을 갖는다고 알려진 Ag과 CuO 입자를 평판형 ZnO 위에 첨가하여 합성하고 항균성을 평가하였다. PL 및 제타 전위 분석 등을 통하여 이들의 항균 메커니즘을 규명하고자 노력하였다. 마지막으로, 합성한 분말의 응용성을 확인하기 위하여 이를 ABS 수지[15]에 10wt% 비율로 마스터배치를 제작하였고 이를 사출하여 항균 플라스틱 키캡을 얻었다.

2. 실험방법

본 연구에서 주로 사용한 평판형 ZnO, Ag를 ZnO에 첨가한 Ag-ZnO와 CuO를 ZnO에 첨가한 CuO-ZnO 분말을 그림 1과 같은 진행 순서로 제조하였다. 우선 음극을 Zn 금속, 양극을 이산화망간 촉매를 갖는 Ni 전극으로 공기 아연 전지 시스템에서 45%의 KOH 수용액 전해질을 순환시키면서 전력을 충분히 생산한 후에 전해액을

취한다. 이렇게 회수한 전해액을 물에 20 대 1의 비율로 희석시킨 후에 아연 아세테이트(Zinc acetate, ReoPark, 99.85%) 및 구연산나트륨(Sodium citrate, DAEJUNG, 99%)을 각각 1M 및 0.15mM 추가한다. 출발 물질로서 아연 공기 전지 시스템으로부터 회수된 전해액을 사용한 이유는 전해액에 포함된 $Zn(OH)_4^{2-}$ 음이온들의 영향으로 높은 극성을 갖는 [0001]면 위에서 수직 성장을 억제시켜서 높은 종횡비를 얻기 위함이다. 이 후에 95°C의 온도에서 중화 반응을 진행시켜 ZnO 결정을 석출시키는데 이들 결정을 필터링을 통해 칼륨아세테이트의 용액과 분리하며, 물에 충분히 세척한 후에 120°C에서 건조시켜 최종적으로 평판형 ZnO 분말을 얻었다.[16] 평판형 ZnO를 기반으로 Ag-ZnO 분말을 얻기 위해서 산화-환원 반응을 이용하였으며 증류수에 평판형 ZnO와 환원제인 $NaBH_4$ (Sodium borohydride, KANTO, 98%)를 2:1 물 비로 혼합하였다. 증류수 10mL에 $AgNO_3$ (Silver(I) nitrate, DAEJUNG, 99.8%) 1mM을 분산시켜 스포이드를 이용하여 한 방울 씩 ZnO와 $NaBH_4$ 혼합물에 첨가하였다. 원심분리기(HA-12)를 이용하여 1500rpm에서 15분 동안 원심으로 반응물을 가라앉히고 반응물을 세척해주었다. 세척한 반응물은 120°C에서 건조시켜 Ag-ZnO 분말을 얻었다. CuO-ZnO 분말 합성은 습식 볼 밀 방법을 사용하였으며, ZnO 분말과 CuO 분말을 10 대 1의 무게 비율로 볼밀통에 넣어주고 전체 분말의 양과 지르코니아 볼의 무게 비율을 1 대 5의 무게 비율로 조절하였다. 증류수 100mL를 넣고, 400rpm의 속도로 24시간동안 볼 밀링한 후에 110°C에서 건조하여 CuO-ZnO 분말을 얻었다. Ag와 CuO의 코팅은 기존 연구 중에서 ZnO의 평판 형상을 유지하면서 조성 조절이 용이한 방법을 선택하였으며, 혼합 조성 비율은 우수한 항균성 또는 광촉매 특성을 얻는 실험 결과를 참조하여 정하였다[17, 18].

합성한 분말의 미세 형상 및 결정학적 구조는 SEM (Scanning Electron Microscope, NOVA NANO 450, FEI Co.) 및 XRD (X-ray Diffractometer, SmartLab, Rigaku Co.)로 확인하였다. 또한 입도 분포, 화학적 결합 상태, 및 조성을 확인하기 위하여 각각 PSA (Particle Size

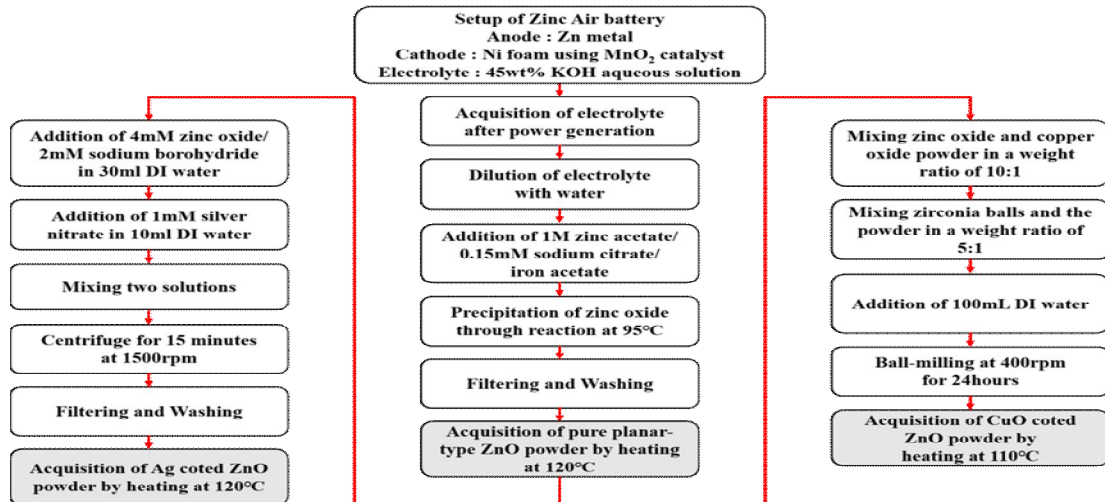


Fig. 1 Schematic of the synthesis of planar-type ZnO, Ag-ZnO and CuO-ZnO powder in this study.

Analyzer, Bettersize S3, Bettersize), XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy, ESCA LAB-2201XL, Thermo Scientific), 및 EDS (Energy Dispersive Spectroscopy, NOVA NANO 450, FEI Co.)를 사용하였다. 합성한 분말의 격자와 산소원자 결합의 상대적인 비율은 PL (Photo Luminescence)로 측정하였는데, 200 nm의 자외선부터 800 nm의 근적외선 파장 범위에서 측정 가능한 Laser Raman Spectrometer System (SPEX1403, HORIBA)을 이용하였다. 또한, 제타 전위 (Zeta-potential & Particle size Analyzer ELSZ-2000ZS, Photal OTSUKA ELECTRONICS)를 측정하여 각 분말의 전기역학적인 전위를 측정하였다. 항균성을 평가하기 위해서는 대장균(*Escherichia coli* ATCC 25922)을 사용하여 pH 7.2의 phosphate buffer 완충 용액 50mL에 초기 균 수 1.8×10^5 조건에서 진탕 플라스크법 (ASTM E2149-13a)으로 1시간 시료 노출 진행한 후에 균의 사멸 정도를 계측하였다.

최종적으로 제작한 분말의 응용성을 확인하기 위하여 ABS 수지와 섞어서 플라스틱 마스터배치를 제작하였으며, 일상생활에 활용 가능한 키보드 키캡의 형태로 사출하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 상업적으로 판매되는 30 nm 이하의 크기를 기본적으로 갖는 무정형 ZnO 나노분말 (SBC 30N, SBC Co.)과 이 위에 그림 1의 제조 방법을 이용하여 ZnO 나노분말에 Ag 및 CuO를

첨가한 분말들의 SEM 사진들과 XRD 패턴들을 보여준다. SEM 사진에서 분말들은 크게 뭉쳐있는 형태로 일부 확인되었으며, Ag 입자가 첨가된 ZnO 나노분말의 경우 서로 다른 이종의 분말 형태가 섞여있는 형상으로 존재함을 확인할 수 있었다. XRD 패턴을 보면 순수한 ZnO 나노분말의 경우 ZnO 피크가 강한 강도로 존재하지만, Ag 입자 및 CuO 입자를 첨가한 ZnO 나노분말의 경우 ZnO의 피크가 약해지면서 Ag 및 CuO가 함께 존재하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 CuO-ZnO의 XRD 패턴에서 Cu_2O 피크가 관찰되는데 이는 습식 볼밀을 진행한 후 물을 건조하는 과정에서 높은 온도로 오래 유지되면서 형성된 것으로 보인다.

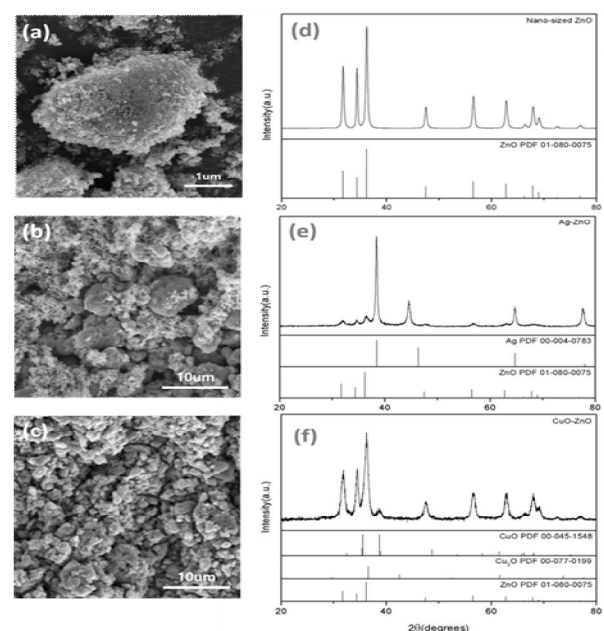


Fig. 2 SEM images and XRD patterns of (a, d) commercial nano-sized ZnO, (b, e) Ag-coated and (c, f) CuO-coated ZnO powder.

그림 3은 그림 1의 제조 방법에 의해 준비된 평판형 ZnO 분말과 이 위에 Ag 및 CuO를 첨가한 분말들의 SEM 사진들과 XRD 패턴들을 보여준다. SEM 사진에서 보듯이 제조된 평판형 ZnO 분말은 20:1에서 50:1의 높은 종횡비를 가지며 육각형 형태의 형상을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 이 위에 Ag 및 CuO 분말을 첨가한 샘플들의 경우에도 평판형 ZnO의 형상이 약간은 바뀌었으나 크게 변화하지 않은 것으로 보아 상당량이 ZnO의 평면 위에 코팅되는 형태로 존재하고 있음을 알 수 있었다. 평판형 ZnO 형상의 일부 변화는 원심분리나 볼밀링 과정의 물리적인 충격에 의한 것으로 유추할 수 있다. XRD 패턴을 보면 순수한 ZnO 평판형 분말의 경우는 앞선 그림2의 나노분말의 경우와 마찬가지로 강한 ZnO 피크를 나타낸다. 하지만, 평판형 ZnO 분말에 Ag 및 CuO 입자를 각각 첨가한 Ag-ZnO와 CuO-ZnO의 XRD 패턴은 ZnO의 피크가 크게 변하지 않으면서 Ag 및 CuO 상에 해당하는 피크가 추가되는 형태로 존재하였다.

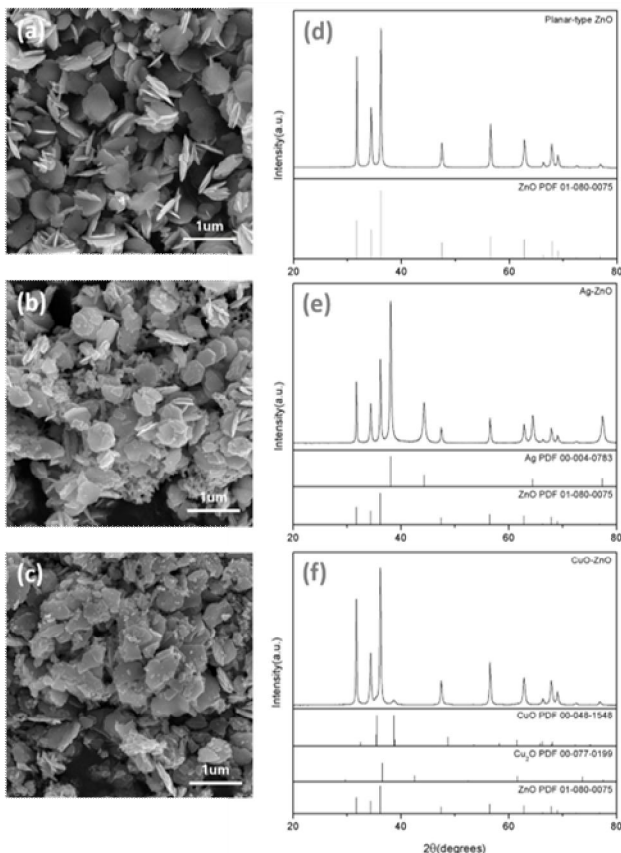


Fig. 3 SEM images and XRD patterns of (a, c) planar-type ZnO, (b, e) Ag-coated and (c, f) CuO-coated ZnO powder.

그림 4는 상업용 ZnO 나노분말, 본 연구에서 제조한 평판형 ZnO 분말, 그 위에 Ag 및 CuO를 코팅한 ZnO 분말의 입도 분포(막대 그래프)와 누

적 입도(실선)를 나타낸다. 이제부터 Ag-ZnO 및 CuO-ZnO는 평판형 ZnO 분말에 각각 Ag 및 CuO를 코팅한 경우를 의미한다. 상업용 ZnO 나노분말은 두 개의 입도 피크가 나타나는데 이는 원래 분말의 크기와 그림 2에서 관찰한 나노분말들이 응축된 크기에 해당한다. 이와 비교하여 본 연구에서 제조한 평판형 ZnO 분말의 경우는 세 개의 입도 피크가 존재하는데 입자의 종방향 크기, 횡방향 크기, 그리고 응축에 의한 크기에 해당한다. 순수한 ZnO 분말의 경우 모두 d_{50} (누적 입도가 50%에 해당하는 평균 입자 크기)값이 1 μm 내외이었다. Ag-ZnO 및 CuO-ZnO 분말의 경우 모두 피크의 수가 많아졌는데, 이는 원심 분리 및 볼 밀링에 의한 기계적인 충격에 의한 분말의 파쇄 및 응축이 복합적으로 발생하기 때문으로 생각된다. 이 경우 모두 d_{50} (누적 입도가 50%에 해당하는 평균 입자 크기)값이 증가하여 3~5 μm 정도이었다.

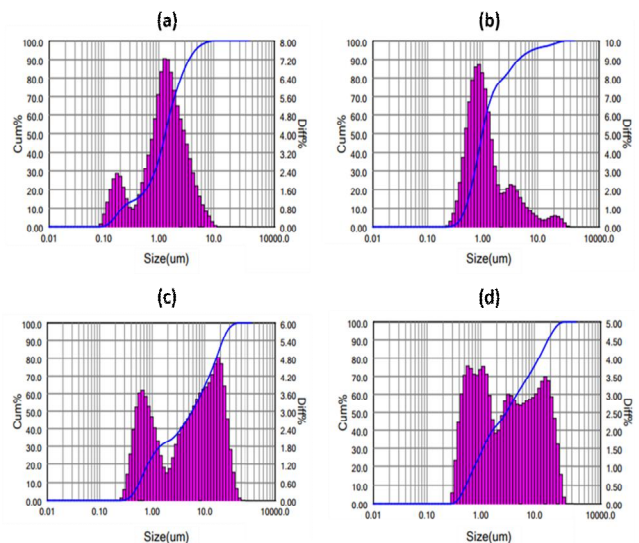


Fig. 4 Particle size distribution of (a) commercial nano-sized ZnO, (b) planar-type ZnO, (c) Ag-ZnO, and (d) CuO-ZnO powder.

표 1은 평판형 ZnO 분말에 각각 Ag 및 CuO를 코팅한 Ag-ZnO 및 CuO-ZnO 분말의 원소 조성비를 EDS를 통해서 측정한 구성하는 원소들의 atom%를 정리한 도표이다. Ag-ZnO 분말의 경우 Ag와 Zn의 첨가 원자 조성 비율을 약 2:5로 첨가하여 Ag-ZnO 분말을 합성하였다. 합성한 Ag-ZnO 분말의 Ag 및 Zn의 atom%는 각각 18.29atom%와 34.11atom%로 분말 합성 과정에서 Ag의 상대적 비율이 증가하였다. 또한, CuO-ZnO 분말의 경우 Cu와 Zn의 첨가 원자 조성 비율이 약 1:10으로 첨가되었다. 합성한 CuO-ZnO 분말의 Cu 및 Zn의 atom%는 각각

5.20atom%와 43.24atom%로, 분말 합성 과정에서 첨가한 Cu의 상대적 비율이 증가하였다. 이는 각 성분들의 물에 대한 용해도의 차이 때문으로 생각된다.

Table. 1 Elemental composition ratio of the synthesized Ag-ZnO and CuO-ZnO powder in this study.

	Element Line	Atom%
Ag-ZnO	Ag L	18.29
	Zn L	34.11
	O K	47.61
	Total	100.00
CuO-ZnO	Cu L	5.20
	Zn L	43.24
	O K	51.56
	Total	100.00

그림 5는 평판형 ZnO 분말과 Ag-ZnO 및 Cu-ZnO 분말 내의 산소의 화학적 결합 상태를 확인하기 위해 측정된 O 1s narrow scan한 XPS 그래프를 각각 보여준다. 분말 형태의 산화물에서 존재할 수 있는 O 1s 피크로는 결합 에너지가 큰 순서로 표면에 흡착된 해리 산소(O_{chem}), 산소 공공 주위 산소(O_v), 결정 격자 내 산소(O_L)에 의한 피크들이 있을 수 있다[19]. 순수한 평판형 ZnO 분말의 경우 두 개의 피크만 관찰되었는데 꼭 있어야 할 산소 공공과 결정 격자 산소에 의한 피크로 생각된다. Ag-ZnO 및 CuO-ZnO 분말의 경우는 세 개의 피크가 관찰되는 것으로 보아 표면에 흡착된 해리 산소가 상당량 존재함을 알 수 있는데 이는 ZnO 표면에 코팅시킨 Ag 및 CuO 입자에 의해서 생성된 것으로 추측된다.

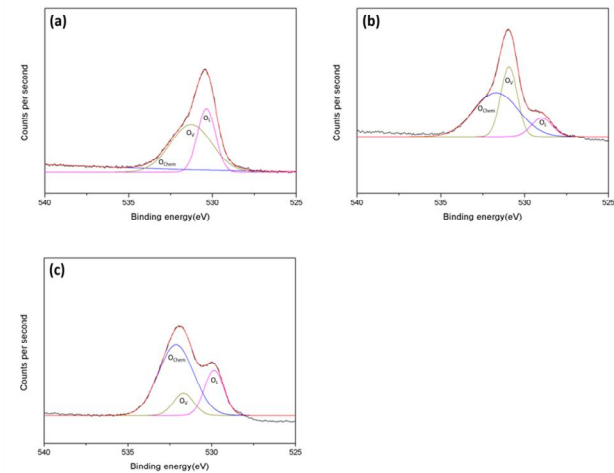


Fig. 5 XPS O 1s narrow scan graphs of (a) planar-type ZnO and (b) Ag-ZnO (c) CuO-ZnO powder.

그림 6은 상업형 ZnO 나노분말, 평판형 ZnO 분말, Ag-ZnO 및 CuO-ZnO 분말의 ZnO 격자 대비 산소 공공의 상대적인 비율을 확인하기 위해 측정하여 정리한 PL 그래프를 보여준다. 300nm 후반의 파장에서 발생하는 피크인 FEE(Free Excitonic Emission)는 ZnO 밴드갭 전이에 의한 자유 엑시토닉 발광으로 ZnO의 결정성이 클수록 피크가 강하게 나타나며, 약 600nm의 파장 근처에서 발생하는 완만한 피크는 GE(Green Emission)으로 Zn 틸새 준위(Zn_i)에서 산소 공공 준위(O_v)로의 전자 전이에 의한 녹색 발광으로 산소 공공이 많을수록 피크가 강하게 나타난다[20]. 상업용 ZnO 나노분말의 경우 상대적으로 가장 높은 산소 공공 피크를 나타내었으며, 평판형 ZnO 분말의 경우는 가장 높은 ZnO 결정 격자 피크를 나타내었다. 합성한 Ag-ZnO와 CuO-ZnO 분말은 상업용 ZnO 나노분말보다는 높은 격자성을 나타냈지만, 평판형 ZnO 분말보다는 높은 산소 공공 농도를 가지는 것으로 분석되었다.

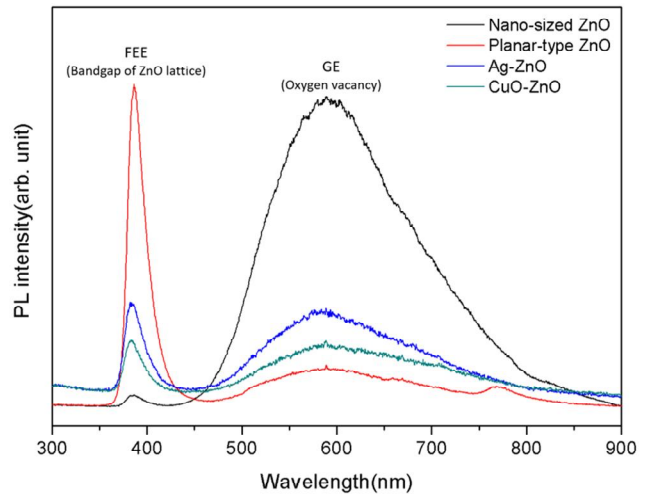


Fig. 6 Photoluminescence spectra of (a) commercial nano-sized ZnO, (b) planar-type ZnO, (c) Ag-ZnO, and (d) CuO-ZnO powder.

그림 7은 상업형 ZnO 나노분말, 평판형 ZnO 분말, Ag-ZnO 및 CuO-ZnO 분말의 제타전위를 측정하여 비교한 그래프이다. 모든 분말들이 수중에 콜로이드 입자 상태로 존재하였을 때, 음의 전위 값을 갖는 것으로 보아 양의 전위값을 갖고 있음을 알 수 있었다. 제타전위값은 CuO-ZnO 및 Ag-ZnO가 가장 큰 절대값을 나타냈으며, 평판형 ZnO, 상업형 나노 ZnO 분말의 순으로 절대값이 감소하였다. 가장 큰 제타전위 절대값을 나타낸

CuO-ZnO 및 Ag-ZnO 분말의 경우 정전기력이 크므로 입자간 반발력이 또한 커져서 플라스틱 사출 및 크립 제형 등의 첨가 공정에서 더 고르게 분산될 수 있음을 의미한다.

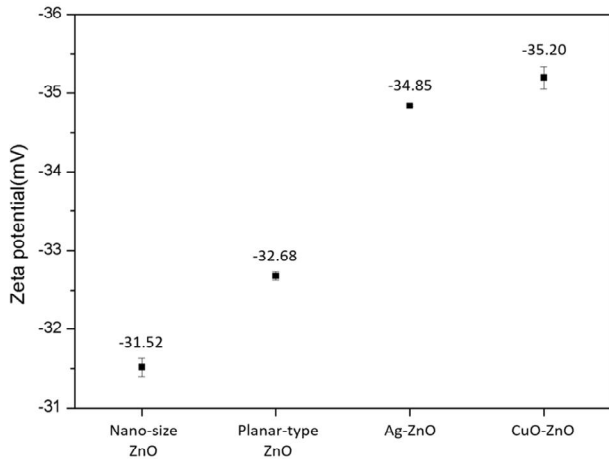


Fig. 7 Graph showing zeta potential value of commercial nano-sized ZnO, planar-type ZnO, Ag-ZnO, and CuO-ZnO powder.

그림 8의 (a)에서 (e)는 각각 무첨가, 나노 ZnO, 평판형 ZnO, Ag-ZnO, 및 CuO-ZnO를 첨가한 후 항균 시험을 진행한 후에 생존한 균의 분포 사진이며, (f)는 항균 시험 전후의 생존 대장균의 숫자를 로그 스케일로 도식한 그래프이다. 어떠한 분말도 첨가하지 않은 경우에는 균이 개체 수 변화가 거의 없었으나, 상업용 ZnO 나노분말 및 평판형 ZnO 분말을 첨가하고 1 시간 후에 대장균의 개체 수를 조사한 결과 각각 89.4%, 97.2%의 세균 감소율을 나타내었다. 평판형 ZnO 분말이 상업용 ZnO 나노분말에 비해 항균성이 높음을 알 수 있었다. 합성한 Ag-ZnO 및 CuO-ZnO 분말은 모두 초기 세균수 $1.8 \times 10^{15}/\text{mL}$ 에서 생존 세균수가 30 이하인 99.9% 이상의 매우 우수한 세균 감소율을 보였다. 앞서 언급하였듯이 ZnO 분말에 의한 항균성은 Zn 이온 용존에 의한 중독, 산소 공공에 의한 활성종 발생, 및 정전기적 인력에 의한 세균 흡착 등으로 생각할 수 있다[10-14]. Ag-ZnO 및 CuO-ZnO는 순수한 ZnO 분말들보다 Zn 이온 용존이 낮을 것으로 예상되며, PL 결과 산소 공공 농도가 ZnO 나노분말에 비해 상대적으로 크게 낮았다. 따라서, Ag-ZnO 및 CuO-ZnO의 높은 항균성은 Ag 및 CuO에 의한 중독 또는 높은 정전기적 인력에 의한 세균 흡착의 메커니즘으로 균의 사멸이 촉진된 것으로 판단된다.

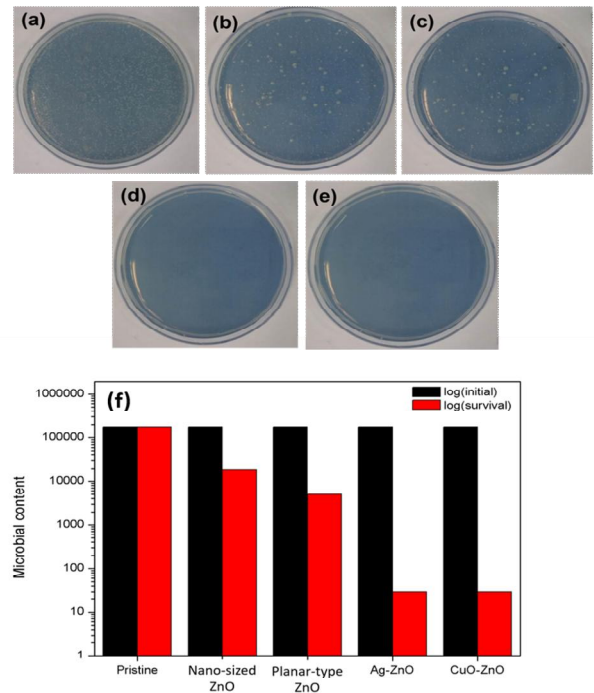


Fig. 8 Images of survival bacteria after the exposure to (a) pristine, (b) nano-sized ZnO, (c) planar-type ZnO, (d) Ag-ZnO, and (e) CuO-ZnO surroundings. (f) log scale histogram of bacterial number before and after exposure to each surroundings.

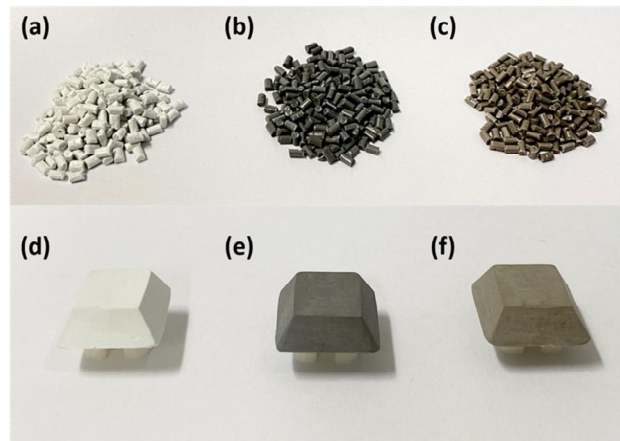


Fig. 9 Photographs of masterbatches and ejected key caps using (a, d) planar-type ZnO, (b, e) Ag-coated and (c, f) CuO-coated ZnO powder.

합성한 분말의 플라스틱 응용을 확인하기 위하여 평판형 ZnO, Ag-ZnO, 및 CuO-ZnO 분말을 ABS 수지에 10wt% 혼합하여 고농도로 분산 및 압축시켜 펠렛 형태로 제작한 플라스틱 마스터배치의 사진을 그림 9(a)~(c)에 각각 나타내었다[21]. 모두 균질한 분말 고유 색깔을 잘 나타내고 있는 것으로 보아 분산이 균일하게 일어났음을 알 수 있었다. 이렇게 제작한 마스터배치를 소재로 활용하여 사출을 통해서 얻은 키보드의 키캡 모양의 구조물의 사진을 그림 9(d)-(f)에 나타내었다. 이러한 과정을 보면 본 연구에서 개발한 평판형 ZnO 분

말과 표면 코팅한 ZnO 분말들은 플라스틱을 사용하는 다양한 일상생활용품에서 응용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후 연구에서는 최적화 과정을 통해 얻은 플라스틱 소재의 항균성 및 항바이러스 특성을 평가하고 메커니즘을 규명하는 연구를 이어나갈 계획이다.

4. 결 론

본 연구에서는 항균성 성능 향상을 위하여 높은 종횡비를 갖는 평판형 ZnO 분말과 이 위에 Ag 및 CuO 입자를 각각 첨가한 Ag-ZnO 및 CuO-ZnO 분말을 합성하였다. 평판형 ZnO 분말의 경우 20:1에서 50:1의 높은 종횡비를 나타냈으며, Ag-ZnO 및 CuO-ZnO 분말의 경우 평판형 ZnO 분말의 결정성을 유지하면서 표면에 코팅되는 형태로 첨가됨을 확인할 수 있었다. 다만, 코팅 과정에서 코팅층의 형성 또는 분말 입자의 성장으로 분말의 평균 크기가 증가하였다. Ag-ZnO 및 CuO-ZnO 분말은 1시간의 진탕 노출로 대장균을 대부분 사멸시켰는데 이러한 높은 항균성은 분석 결과 높은 정전기력과 관련된 것으로 유추된다. 이렇게 합성한 분말의 응용 가능성을 확인하기 위해서 성형성 및 가공성이 우수한 ABS 수지와 혼합하여 마스터 배치 형태로 제작하였는데 균질의 색깔을 나타내는 것으로 보아 분산성이 우수한 것으로 추측된다. 이를 이용하여 손의 접촉이 많은 키보드 키캡의 형태로 사출하여 제조하였으며, 합성한 플라스틱 소재의 항균성 및 항바이러스성은 향후 연구에서 확인할 계획을 하고 있다.

Acknowledgment

본 연구는 보건복지부의 재원으로 한국보건산업진흥원(피부과학응용소재·선도기술개발사업 HP20C0227) 그리고 교육부의 재원으로 한국연구재단(NRF)(중점연구지원사업 No. NRF-2017R1A6A1A03015562)의 지원을 받아 수행한 연구 과제으로써 이에 감사드립니다

References

- [1] Markets and Markets, Antimicrobial Plastics Market by Type (commodity Plastics, Engineering Plastics, and High Performance plastics), Application (Packaging, Automotive, Consumer Goods, Medical and Healthcare, and Building & Construction), Region - Global Forecast to 2025 (2020)
- [2] Sang-Hong Chang, Antimicrobial Additives for Plastics, Polymer Science and Technology Vol. 6, No. 2 (1995) 145-150
- [3] Priyanka Singh, Antimicrobial and antifungal potential of zinc oxide nanoparticles in comparison to conventional zinc oxide particles, Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, Vol. 5, No. 11 (2013) 457-463
- [4] Eue-Soon Jang, Recent Progress in Synthesis of Plate-like ZnO and its Applications: A Review, Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 54, No. 3 (2017) 167-183
- [5] Julia Pasquet, The contribution of zinc ions to the antimicrobial activity of zinc oxide, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 457 (2014) 263-274
- [6] Trilok K. Pathak, Influence of Ag, Au and Pd noble metals doping on structural, optical and antimicrobial properties of zinc oxide and titanium dioxide nanomaterials, Heliyon 5 (2019)
- [7] Jee-Yeon Kim, Antimicrobial Activity and Mechanism of Silver, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 20, No. 3 (2009) 251-257
- [8] Guy Applerot, Understanding the antibacterial mechanism of CuO nanoparticles: revealing the route of induced oxidative stress, Small, Vol. 8, No. 21 (2012) 3326-37
- [9] Kaja Kasemets, Toxicity of nanoparticles of ZnO, CuO and TiO₂ to yeast *Saccharomyces*

- cerevisiae, *Toxicology in Vitro*, 23 (2009) 1116-1122
- [10] Amna Sirelkhatim, Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism, *Nano-Micro Letters*, Vol. 7, No. 3 (2015) 219-242
- [11] Guy Applerot, Enhanced Antibacterial Activity of Nanocrystalline ZnO Due to Increased ROS-Mediated Cell injury, *Advanced Functional Materials*, Vol. 19, No. 6 (2009), 842-852
- [12] Anat Lipovsky, Antifungal activity of ZnO nanoparticles—the role of ROS mediated cell injury, *Nanotechnology*, Vol. 22, No. 10 (2011)
- [13] Lingling Zhang, Mechanistic investigation into antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles against E.coli, *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 12, No. 5 (2010) 1625-1636
- [14] Eva de Lucas-Gil, ZnO Nanoporous Spheres with Broad-Spectrum Antimicrobial Activity by Physicochemical Interactions, *ACS Applied Nano Materials* Vol. 1 (2018) 3214-3225
- [15] S.K. Selvamani, Preliminary investigation of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) properties, *AIP Conference Proceedings* 2059 (2019)
- [16] Jung-Hwan Lee, Preparation and Characterization of Planar-Type ZnO Powder with High Aspect Ratio for Application in Ultraviolet-and Heat-Shield Cosmetics, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* Vol. 21 (2021) 1897-1903
- [17] Ara Joe, Antimicrobial activity of ZnO nanoplated and its Ag nanocomposites: insight into an ROS-mediated antibacterial mechanism under UV light, *Journal of Solid State Chemistry*, 267 (2018) 124-133
- [18] B. B. Sapkota, A Simple Ball Milling Method for the Preparation of p-CuO/n-ZnO Nanocomposite Photocatalysts with High Photocatalytic Activity, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 13 (2013) 1-9
- [19] Irshad Ahmad, The excellent photocatalytic performances of silver doped ZnO nanoparticles for hydrogen evolution, *SN Applied Sciences* Vol. 1:327 (2019)
- [20] Da-Jung Kim, Large-Scale Synthesis of Plate-Type ZnO Crystal with High Photocatalytic Activity, *Journal of the Korean Chemical Society*, Vol. 59, No. 2 (2015) 148-155
- [21] Heon-Su Park, Preparation of Silver/Polystyrene Nanocomposites by Radical Polymerization Using Silver Carbamate Complex, *The Polymer Society of Korea*, Vol. 34, No. 2 (2010) 144-149