Polymer(Korea), Vol. 42, No. 2, pp. 249-256 (2018)
https://doi.org/10.7317/pk.2018.42.2.249

ISSN 0379-153X(Print)
ISSN 2234-8077(Online)

무기항균제 및 난연제를 함유한 PVC 복합소재의 항균 및 난연 특성

박세호 · 이형수 · 이재열 · 최주환 · 박태희 · 양선아* · 방대석† · 지광환†

금오공과대학교 화학소재융합공학부, *계명대학교 식품가공학전공

(2017년 8월 11일 접수, 2017년 9월 18일 수정, 2017년 9월 26일 채택)

Antimicrobial Activity and Flame Retardancy of Polyvinyl Chloride Composite Containing Inorganic Bacteriocide and Aluminum Trihydroxide

Se-Ho Park, Hyeongsu Lee, Jae-Yeul Lee, Ju-Hwan Choi, Tae-Hee Park, Seun-Ah Yang*, Daesuk Bang†, and Kwang-Hwan Jhee†

School of Science and Engineering of Chemical Materials, Kumoh National Institute of Technology, Gumi 39177, Korea
**Department of Food Science and Technology, Keimyung University, Sindang-dong, Daegu 42601, Korea*

(Received August 11, 2017; Revised September 18, 2017; Accepted September 26, 2017)

초록: 본 연구는 세균에 대한 항균효과와 난연 특성을 갖는 신소재의 개발이 목표이다. 제올라이트의 기공에 은과 아연을 포함한 무기항균제(inorganic bacteriocide, IB)와 친환경 무기계 난연제인 aluminum trihydroxide(ATH)를 함유한 PVC 복합소재인 PVC/IB/ATH를 제조하였다. 두 종류의 세균으로 탁도 분석법, 진탕 배양법, drop-test, 이중 염색법을 사용하여 PVC/IB/ATH 복합소재의 항균효과 실험결과 99%의 항균효과를 확인하였다. 또한 한계산소농도 지수와 열중량 분석으로 PVC/IB/ATH 복합소재의 난연 특성을 확인한 바, ATH와 무기항균제의 알루미늄 성분에 의존적으로 증가하였다. 또한 PVC/IB/ATH 복합소재의 열적 특성은 소폭 증가하였다. 결론적으로, PVC/IB/ATH의 응용은 의료 산업, 항균 시스템 그리고 난연 물질과 같은 다양한 분야에 이용될 것으로 기대한다.

Abstract: The aim of this study is to develop new materials with antimicrobial effect and flame-retardant properties. PVC/IB/ATH, a PVC composite material containing inorganic bacteriocide (IB) with silver and zinc in the zeolite pores, and aluminum trihydroxide (ATH), an environmentally friendly inorganic flame-retardant, was prepared. The antimicrobial effect of PVC/IB/ATH composite material was confirmed to be 99% as a result of turbidity analysis, shaking culture, drop-test, and double staining test using two kinds of bacteria. The flame-retardant properties of PVC/IB/ATH composites were investigated by limiting oxygen concentration index and thermogravimetric analysis, and they were increased depending on the aluminum content of ATH and IB agent. Also, the thermal properties of PVC/IB/ATH composites were slightly increased. In conclusion, the application of PVC/IB/ATH is expected in various fields such as medical industry, antibacterial system and flame-retardant materials.

Keywords: antimicrobial activity, flame-retardant, inorganic bacteriocide, aluminum trihydroxide.

서 론

산업 및 과학기술의 발전으로 현대인은 건강과 삶의 질 향상에 관심을 갖게 되었으며, 이에 부응하는 과학기술을 이용한 신소재 개발을 요구하고 있다. 따라서 현재 바이오 산업, 의학 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 소재 분야에서는 나노, 바이오 기술을 접목함으로써 복합적인 특성을 가지는 신소재 개발에 집중하고 있다.[1] 이에, 우리는 가격이 저렴하고 다루기 쉬운 poly(vinyl chloride)(PVC)를 이용하여 질병과 균에 대한 감염에 취약하고 화재의 위험에 노출되어 있는 산업 기반에 접목할 수 있는 복합소재를 개발하고자 한다.

최근 여러 연구를 토대로 은과 아연이 함유된 물질을 사용함으로써 고분자 물질에 항균성을 부여하는 연구가 활발히 진행되고 있다.[2-5] 은(silver, Ag)은 인체에는 독성이 없다고 알려져 있으며, 미생물의 신진대사를 저해하여 유해 세균을 죽이는 것으로 알려져 있다. 아연(zinc, Zn)은 면역 조절과 항균효과 등을 나타내어 현재 항균제로써 응용이 되고 있다.[6,7] Aluminum trihydroxide(ATH)는 무할로젠 난연제로써 다른 난연제에 비하여 가격이 저렴하고 무독성이여서 친환경적 난연제로 평가되고 있다. 또한 매트릭스의 기계적 물성

†To whom correspondence should be addressed.
dsbang@kumoh.ac.kr, ORCID 0000-0001-8406-2652
khjhee@kumoh.ac.kr, ORCID 0000-0002-0192-3523
©2018 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

을 유지할 수 있다는 장점을 가지고 있다.[8,9]

따라서 본 연구에서는 제올라이트(zeolite)의 미세한 기공에 은과 아연을 흡착한 IB(무기항균제, 크기 1.04~1.10 μm)와 무기계 난연제로 알려진 ATH를 PVC 소재에 배합하여 항균 효과 및 난연 특성 그리고 열적 안정성을 증대시킨 소재를 개발하고자 한다. 시편 제조는 이축압출기와 압축성형프레스를 사용하여 제조하였다. 또한 inorganic bacteriocide와 ATH를 배합한 PVC 복합소재(PVC/IB/ATH)의 항균력은 탁도 분석법, 진탕 배양법, drop-test, 이중 염색법을 사용하였으며, 난연 특성 및 열적 안정성 측정은 한계산소지수(limiting oxygen index, LOI), 그리고 열중량분석(thermogravimetric analysis, TGA)을 사용하였다.

실 험

시약 및 재료. PVC 복합소재 제조를 위해 PVC는 (주)청송산업(Jeonju-si, Korea), IB는 (주)씨엔드씨(Goryeong-gun, Korea)에서 구입하였으며, 난연성을 부여하기 위해 무기계 난연제인 ATH(Yongin-si, Korea)를 구입하여 사용하였다. Agar powder(Daejung, Korea), nutrient broth(BD, USA), peptone(Daejung, Korea)은 미생물 배양에 사용하였으며, calcein-AM(Sigma-Aldrich, USA)과 propidium iodide(Sigma-Aldrich, USA)는 이중 염색법 실험에 사용하였다. Phosphate buffer saline 용액 제조에는 potassium diphosphate(Daejung, Korea), dipotassium phosphate(Daejung, Korea), chloric acid(Daejung, Korea)를 사용하였다.

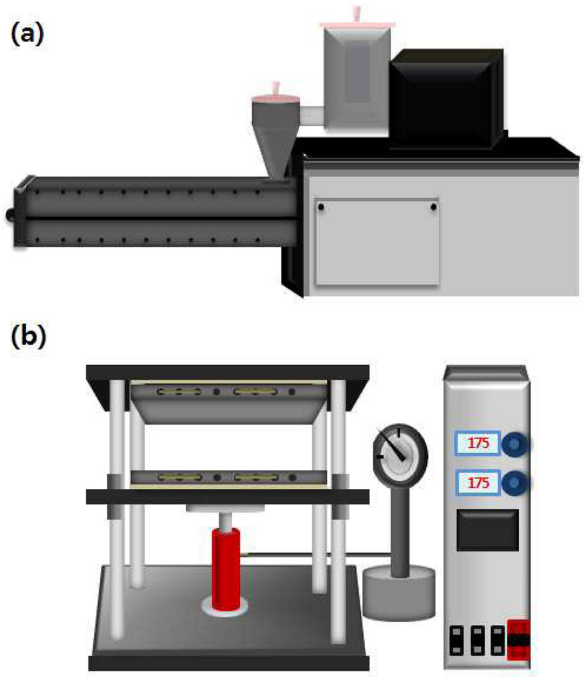

Figure 1. Twin screw extruder and compression molding press used in this study.

Table 1. Condition of Extrusion and Compression Molding Press Processing

Extrusion			
Temperature (°C)		Screw speed	150 rpm
*CY1	50		
CY2	140	Feed	30 kg/h
CY3	150		
CY4	160	Screw configuration	3-kneading block
CY5	170		
Header	180		

*CY: Cylinder

Compression Molding Press			
Temperature (°C)		First pressure	500 psi
Top plate	175		
Bottom plate	175	Second pressure	1000 psi

미생물. 본 연구에 사용한 미생물은 그램 양성균인 *Staphylococcus aureus*(*S. aureus*, ATCC 6548, USA)와 그램 음성균인 *Klebsiella pneumoniae*(*K. pneumoniae*, ATCC 4352, USA)이며, 미생물자원센터(http://kctc.kribb.re.kr)에서 분양받아 사용하였다.

PVC/IB/ATH 복합소재 제조. Inorganic bacteriocide, ATH와 PVC 분말을 80 °C 오븐에서 12시간 건조한 후 3개의 kneading zone을 가진 intermeshing 공회전이축압출기(LG Machinery, MT-30-S2-42C, Φ30, L/D=42)를 사용하여 PVC (PVC/IB/ATH) 복합소재를 제조하였다(Figure 1). 압출 및 시편 제조 조건은 Table 1과 같으며 압출된 PVC/IB/ATH 복합소재는 수냉 공정을 거쳐 펠렛타이저를 통해 펠렛으로 제조하였다. 또한 항균력 측정과 난연성 측정을 위한 시편은 압축성형프레스(GE-122S, (주)국제싸이엔)를 통해 제작하였으며 항균력 측정 시편은 가로 1 cm, 세로 1 cm, 두께 0.2 cm로 성형되었고, 난연성 측정 시편은 가로 1 cm, 세로 8 cm, 두께 0.3±0.005 mm로 제작하였다.[10] PVC, ATH를 배합한 PVC(PVC/ATH), IB를 배합한 PVC(PVC/IB) 복합소재는 동일한 조건과 공정으로 제조하였으며, PVC 관련 복합소재의 조성은 Table 2에 나타내었다.

전계방출형 주사전자현미경. PVC/IB/ATH 복합소재의 표면 형태와 성분 분석은 전계방출형 주사전자현미경(FE-SEM, JSM-6500F, JEOL)을 사용하였다. 이온 증착기(ion sputter, E-1020, HITACHI)를 이용하여 아르곤 가스 존재 하에서 PVC/IB/ATH 복합소재 표면을 백금 코팅하고, 교류전압(ACC

Table 2. Formulations of PVC, PVC/ATH, PVC/IB, and PVC/IB/ATH Composites

Samples	PVC (wt%)	Aluminum trihydroxide (wt%)	Silver/Zinc/Zeolite composite (wt%)
PVC	100	-	-
PVC/ATH	95.2	4.8	-
PVC/IB	82.6	-	17.4
PVC/IB/ATH	79.1	4.2	16.7

voltage) 15 kV에서 100 배율로 관찰하였다.

PVC/IB/ATH 복합소재의 IB, ATH의 성분 분석은 energy dispersive spectroscopy(EDS) 분석법을 사용하였다.

PVC/IB/ATH 복합소재의 항균 특성.

진탕 배양법: PVC/IB/ATH 복합소재의 항균력 측정은 shaking flask method를 사용하였다. *S. aureus*와 *K. pneumoniae*는 UV-visible 분광기를 이용하여 $OD_{660\ nm}$ 값이 0.5일 때, NB 매질로 5000배 희석하여, 시험관에 2 mL씩 분취한 후, 시험관에 PVC/IB/ATH 복합소재를 넣고 shaking incubator에서 배양하였다. 4시간 배양 후, 균액 100 μL를 NB 매질로 10^5배 희석하여 NB agar medium에 희석된 균액 100 μL를 spreading하였다. Incubator(SH-701, LABOTECH, Korea)에서 37 ºC, 16시간 배양 후, 생성된 코로니 수를 측정하였다.

탁도 분석법: PVC/IB/ATH 복합소재에 의한 *S. aureus* 및 *K. pneumoniae*의 생균수를 측정하기 위해서 탁도 분석법(turbidity assay)을 사용하였다.[11] 압출 공정 시 PVC/IB/ATH 복합소재에 접착된 이물질을 제거하기 위해 증류수로 5회 세척 후, 80 ºC 오븐(OF-21E, JEIOTECH, Korea)에서 3시간 건조 후 사용하였다. 박테리아의 배양액은 nutrient broth(NB) 매질을 사용하였으며, *S. aureus*, *K. pneumoniae*는 shaking incubator(SH-802F, LABOTECH, Korea)에서 37 ºC, 200 rpm 조건 하에서 12시간 배양하였다. 이후, UV-visible 분광기(Agilent 8453, Agilent Technologies, USA)를 이용하여 660 nm 파장에서의 균의 탁도(optical density, OD) 값이 0.5인 시료를 채취하여, NB 매질로 5000배 희석하였으며, 시험관에 2 mL씩 분취하였다(2×10^5 cfu/2 mL). 시험관에 PVC/IB/ATH 복합소재를 넣고 shaking incubator에서 37 ºC, 200 rpm 조건 하에서 4시간 배양하였으며 UV-visible 분광기를 이용하여 $OD_{660\ nm}$의 변화를 측정하였다. 대조군으로 PVC, PVC/IB, 그리고 PVC/ATH 복합소재를 사용하였다(Table 2).

Drop-Test: PVC/IB/ATH 복합소재 표면 위에서의 항균력 측정은 drop-test를 사용하였다.[12-16] *S. aureus*와 *K. pneumoniae*는 UV-visible 분광기를 이용하여 $OD_{660\ nm}$ 값이 0.5일 때, NB 매질로 5000배 희석하였다. PVC/IB/ATH 복합소재를 24 well 세포배양플레이트에 위치시킨 후, 복합소재 표면 위에 균액 100 μL를 떨어뜨리고 incubator에서 37 ºC, 4시간 배양하였다. 습도를 유지하기 위해 40 ºC의 증류수를 incubator 내에 비치하였다. 배양 후, phosphate buffer saline(pH 7.3) 900 μL로 PVC/IB/ATH 복합소재 표면 위의 균을 채취한 후, NB agar medium에 균액 100 μL를 spreading하였다. Incubator에서 37 ºC, 16시간 배양 후, 생성된 코로니 수를 측정하였다.

이중 염색법: PVC/IB/ATH 복합소재의 정성적인 항균력 측정은 double staining assay를 사용하였다.[17] *S. aureus*와 *K. pneumoniae*는 UV-visible 분광기로 $OD_{660\ nm}$ 값이 0.5일 때, NB 매질을 이용하여 5000배 희석하였으며, 각 시험관에 2 mL씩 분취하였다. PVC/IB/ATH 복합소재를 넣고 shaking incubator에서 37 ºC, 200 rpm 조건 하에서 4시간 배양 후, 원심분리기(combi-514R, Hanil Science Industrial Co. Ltd.)를 사용하여 4000 rpm, 4 ºC 조건 하에서 15분 동안 원심분리하였다. 상층액을 제거하고 phosphate buffer saline(pH 7.3) 용액 50 μL로 하층액을 재현탁하고, calcein-AM과 propidium iodide를 혼합한 용액 50 μL를 사용하여 균액에 혼합시킨 후, 상온, 빛 차단 조건 하에서 20분 동안 반응시켰다. 염색된 균액 5 μL를 슬라이드글래스에 떨어뜨리고 형광현미경(Ti-S/L100, Nikon, Japan)을 사용하여 200배율로 확대하여 생균과 사균을 관찰하였다. 이중 염색 시약은 1 M calcein-AM을 10 μL, propidium iodide(1 mg/mL)을 15 μL, 그리고 phosphate buffer saline(pH 7.3) 50 μL를 혼합하여 사용하였다.

PVC/IB/ATH 복합소재의 난연 특성 및 열적 안정성 측정.

한계산소농도지수: PVC/IB/ATH 복합소재의 난연 특성 분석은 LOI 분석법을 통하여 측정하였다. 산소지수(oxygen index)는 산소-질소 혼합 공기에서 재료가 연소를 지속하는 데 필요한 산소의 양을 부피비(volume percent)로 표현되는 지수로써 식(1)을 통해 구할 수 있다.

$$OI = \frac{O_2}{O_2 + N_2} \times 100 \quad (1)$$

Vertical type의 시험기 OI(oxygen index, Fire Testing Technology, U.K)를 사용하였고, 시편 규격은 가로 1 cm, 세로 8 cm, 두께 0.3±0.005 mm로 고정하여 제작하였으며, 각 함량 당 시편 5개씩 ISO 4589에 의거하여 측정하였다.[18]

열중량분석법. 각각의 필러의 함량에 따른 PVC/IB/ATH 복합소재의 열적 특성의 분석은 열중량분석기(Auto-TGA Q502, TA Instruments, Korea)를 통하여 측정하였다. 온도 변화에 따라 재료가 분해되어 열중량이 감소함으로써 열안정성 및 열적 변화를 알아보는 분석법이다. 상온으로부터 700 ºC까지의 온도범위에서 20 ºC/min의 승온속도로 측정하였으며, 모든 시편은 15±0.5 mg의 무게로 측정하였다.[19]

결과 및 토론

PVC/IB/ATH 복합소재의 표면 형태 및 성분 분석. PVC/

IB/ATH 복합소재의 표면 변화를 Figure 2에 나타내었으며, 대조군과 비교 시 PVC/IB/ATH 복합소재의 표면 변화는 미미함을 알 수 있다.

PVC/IB/ATH 복합소재의 성분은 EDS에 의해 확인하였다(Figure 3). 그리고 EDS 성분 분석을 Table 3에 나타내었다. C와 Cl은 PVC의 성분이고, Si, Al, O는 제올라이트 성분이며, Ag와 Zn는 제올라이트에 흡착된 성분으로 항균성을 나타낸다. 그리고 Al은 inorganic bacteriocide의 제올라이트와 ATH에 공통적으로 함유되어 있는 성분으로 PVC/IB/ATH 복합소재의 제조를 확인하였다. PVC/IB/ATH 복합소재의 구성 성분 중, Ag, Si, Zn은 PVC/IB 복합소재의 EDS 결과와 일치하며, Al은 PVC/IB, PVC/ATH 복합소재의 Al 함량 합계와 동일하며, O는 PVC와 PVC/ATH 복합소재의 O 함량 합계와 유사하였다.[20] 위 결과로, PVC에 ATH와 IB가 고르게 함유된 PVC/IB/ATH 복합소재를 성공적으로 제조하였다.

PVC/IB/ATH 복합소재의 생균 측정. PVC/IB/ATH 복합소재의 첨가 시 코로니 생성 변화는 진탕 배양법으로 확인하였다(Figure 4). 본 실험에서 *S. aureus*와 *K. pneumoniae* 두

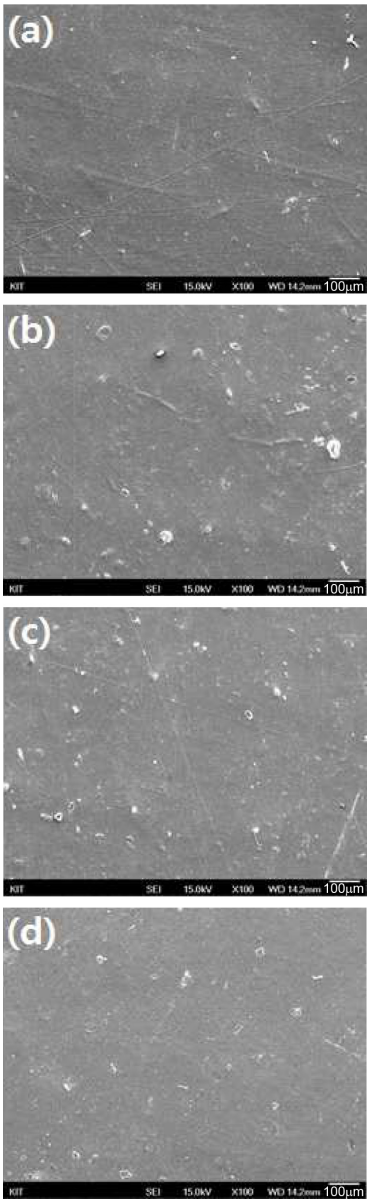

Figure 2. FE-SEM microphotographs of different types of PVC composites: (a) PVC; (b) PVC/ATH; (c) PVC/IB; (d) PVC/IB/ATH composites.

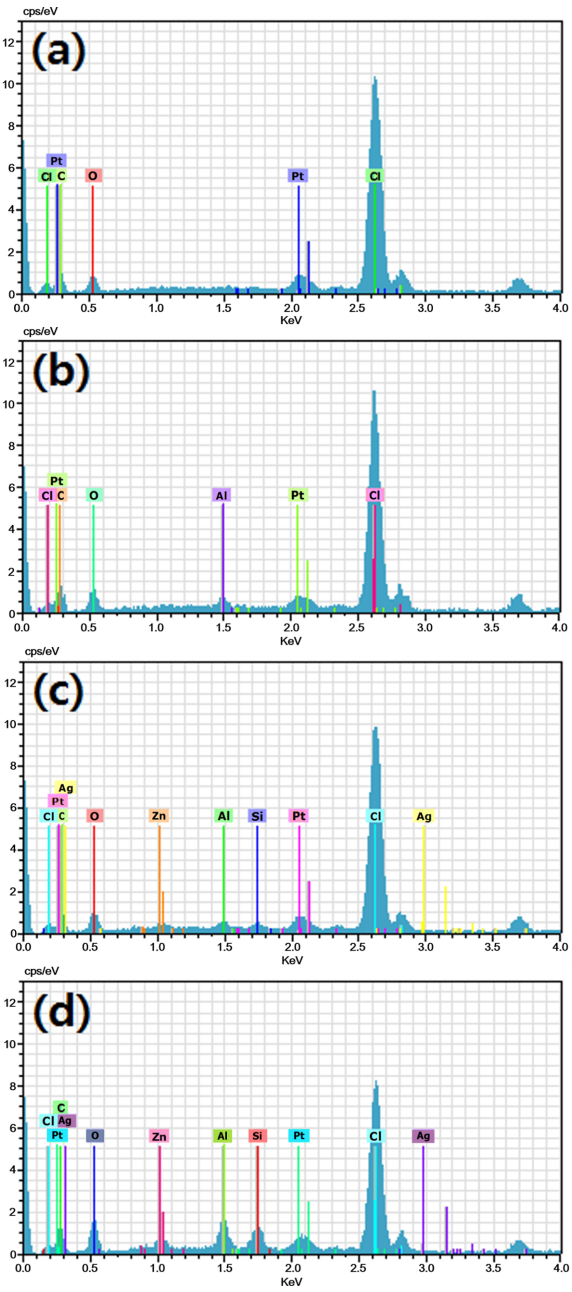

Figure 3. EDS data of different types of PVC composites: (a) PVC; (b) PVC/ATH; (c) PVC/IB; (d) PVC/IB/ATH composites.

Table 3. Composition Ratio of PVC, PVC/ATH, PVC/IB, and PVC/IB/ATH Composites

Samples	Composition ratio of PVC composite						
	C	Cl	Si	Al	O	Ag	Zn
PVC	43.99	42.78	*N.A.	N.A.	13.22	N.A.	N.A.
PVC/ATH	42.40	40.50	N.A.	0.88	16.22	N.A.	N.A.
PVC/IB	41.33	40.99	0.56	0.56	16.11	0.02	0.43
PVC/IB/ATH	39.13	39.67	0.52	1.75	18.51	0.03	0.39

*N.A.: Not available.

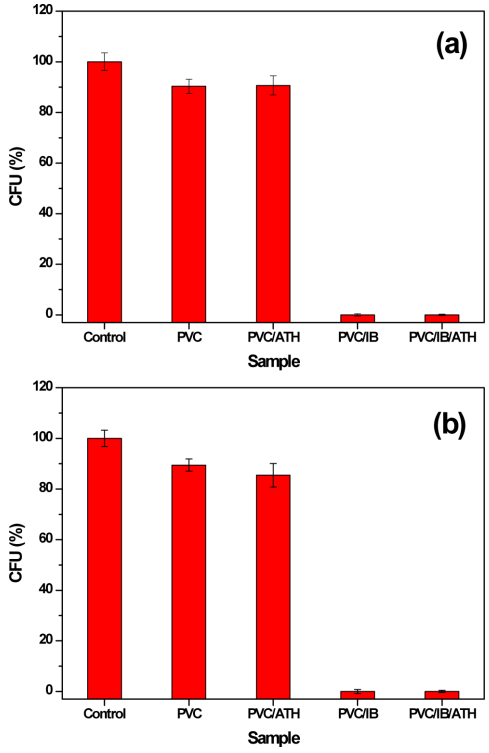

Figure 4. CFU analysis of different types of PVC composites: (a) *S. aureus*; (b) *K. pneumoniae*.

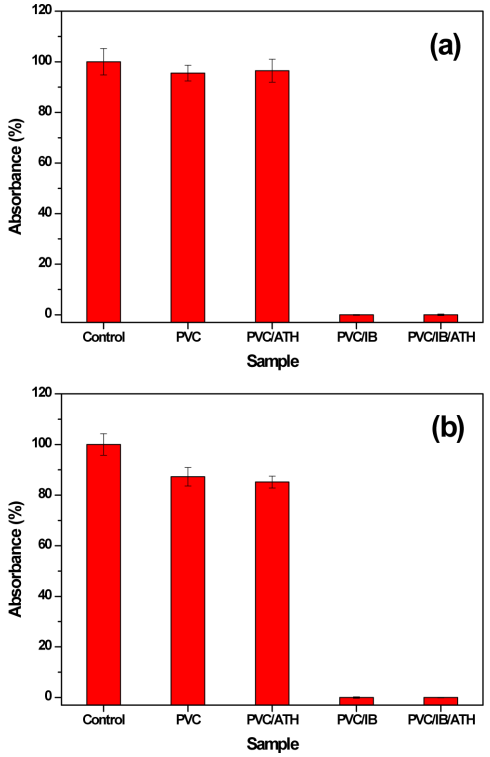

Figure 5. Turbidity of different types of PVC composites: (a) *S. aureus*; (b) *K. pneumoniae*.

균 모두 PVC/IB/ATH 복합소재의 첨가 시, 코로니의 수가 1% 미만으로 검출되었다. 이는 PVC/IB/ATH 복합소재 표면에 존재하는 IB가 그램 양성균인 *S. aureus*, 그램 음성균인 *K. pneumoniae* 모두에게 균의 성장 둔화를 유도하여 항균성을 나타냄을 알 수 있으며, PVC/IB/ATH 복합소재의 항균 효용성을 입증한다. 특히, PVC, PVC/ATH 복합소재 첨가 시 15% 미만의 항균성을 나타냄을 확인하였으며, PVC/IB 복합소재 첨가 시에는 99.9% 이상의 항균력을 나타내었다. 위 결과는 ATH는 박테리아에 대한 항균력이 미미함을 의미한다. Table 3에서 PVC/IB, PVC/IB/ATH 복합소재의 Ag, Zn의 함량이 거의 일치함을 확인하였으며, 이는 PVC/IB/ATH 복합소재 표면의 IB의 Ag, Zn이 박테리아를 사멸시키는 주요 요인임을 시사한다.[21-24]

PVC/IB/ATH 복합소재의 균의 생장 측정. PVC/IB/ATH 복합소재의 첨가 후 균의 수 변화를 탁도 분석하여 Figure 5에 나타내었다. 탁도분석 결과 PVC/IB 복합소재와 PVC/IB/ATH 복합소재의 $OD_{660\ nm}$의 값이 99.9% 이상 감소함을 확인하였다. PVC/ATH 복합소재의 탁도 변화가 미미한 이유는 박테리아에 대한 ATH의 독성이 미미하기 때문이다. 본 결과로 PVC/IB/ATH 복합소재의 항균력이 입증되었으며, 그램 양성균인 *S. aureus* 및 그램 음성균인 *K. pneumoniae* 모두에게 항균력을 나타내었다.

PVC/IB/ATH 복합소재 표면에서의 균의 생존율 측정. PVC/IB/ATH 복합소재 표면에서의 항균력 변화는 drop-test를 사용하였다(Figure 6). 동일한 PVC 복합소재의 표면적(가로, 세로, 높이: 1×1×0.2 cm^3)에 노출된 균의 수 변화를 측

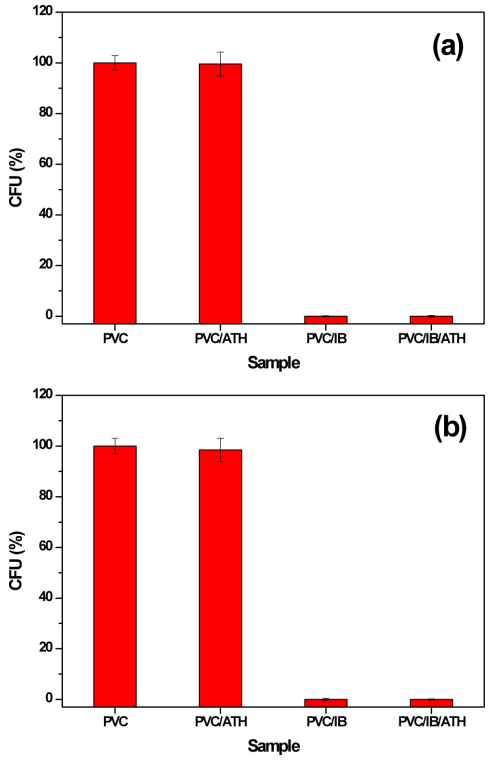

Figure 6. The drop-test of different types of PVC composite: (a) *S. aureus*; (b) *K. pneumoniae*.

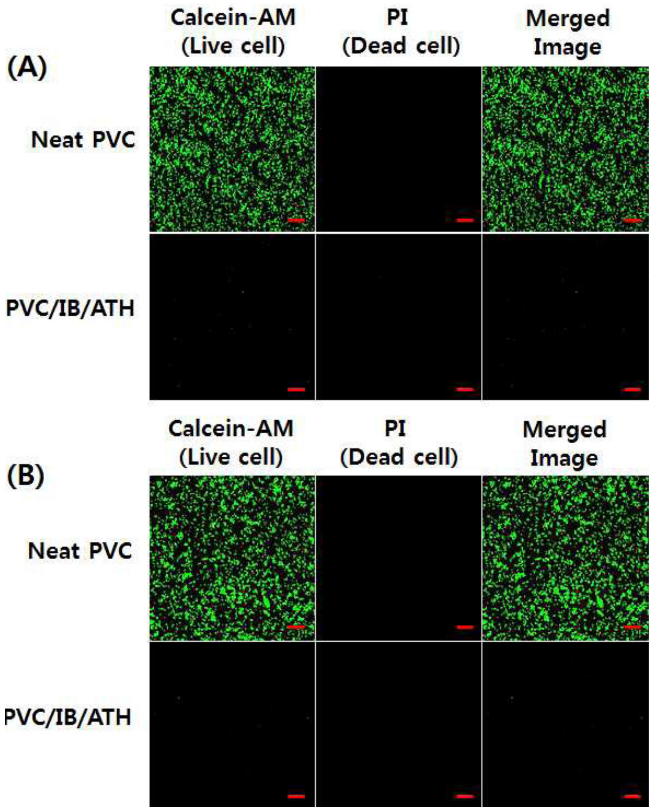

Figure 7. The double staining images of different types of PVC composites: (a) *S. aureus*; (b) *K. pneumoniae.* All scale bars represent 10 μm.

정한 결과, PVC/IB/ATH 복합소재 표면 위에서 *S. aureus*와 *K. pneumoniae*가 동일하게 99.9% 이상의 항균력을 나타내었다. 이는 PVC/IB/ATH 복합소재 표면에 존재하는 Ag, Zn가 표면 위에 존재하는 균을 분열억제시킴을 나타낸다.

PVC/IB/ATH 복합소재에 의한 생균과 사균의 관찰. PVC/IB/ATH 복합소재에 의한 생균 및 사균의 변화는 형광현미경으로 확인하였다(Figure 7). PVC/IB/ATH 복합소재에 노출된 *S. aureus*와 *K. pneumoniae* 모두 생균의 수가 크게 감소하고, 사균 수는 변화는 거의 없었다. 이는 PVC/IB/ATH 복합소재에 배합된 IB의 Ag와 Zn 성분에 의해 균의 생장이 억제됨을 나타낸다.

한계산소농도지수. LOI를 통하여 복합소재의 난연성을 확인하였다(Table 4). PVC의 LOI 값은 알려진 문헌 값 40과 비슷한 40.39를 나타내었고 IB를 함유한 시편과 난연제를 함유한 시편은 각각 44.31과 44.71의 LOI 값을 가졌다. 또한 IB와 ATH를 포함한 복합소재의 LOI는 47.15로 가장 높게 나타났다. LOI는 고분자 재료의 난연성을 평가하는 지수로서 재료가 연소를 지속하는데 필요한 최소한의 산소의 양을 의미하며, LOI 값이 25-30 이상일 경우 난연성이 있는 자기소화성 물질로 분류한다.[25] IB가 들어간 복합소재 또한 난연성의 향상을 가져오는데, 이는 IB 내에 있는 제올라이트의 Al에 의한 영향으로 Al의 양을 비교하면 PVC/IB/ATH의 Al

Table 4. Limiting Oxygen Index Test of PVC, PVC/ATH, PVC/IB, and PVC/IB/ATH Composites

Samples	Limiting oxygen index value
PVC	40.39
PVC/ATH	44.31
PVC/IB	44.71
PVC/IB/ATH	47.15

의 양이 PVC/ATH 복합소재의 양보다 많으며 Al 코팅층 형성을 도와 난연 특성의 시너지 효과를 유발시킨다고 사료된다.[26]

열중량분석법. PVC/IB/ATH 복합소재에 대한 열적 특성 변화는 TGA로 확인하였다(Figure 8). 첨가된 필러의 종류에 따른 열적 특성의 변화는 Table 5에 나타내었으며 복합소재의 특성에 큰 변화가 없었다. 초기 분해 온도 구간을 5, 10, 20% 세 구간으로 나누어 살펴보면, neat PVC가 가장 늦게 5% 중량감소가 이루어졌다. 그러나 10, 20% 중량이 감소되었을 때의 온도는 모든 샘플에서 비슷하게 측정되었다. 또한 650 °C 구간에서 복합소재 각각의 잔존량을 비교하면, 첨가된 필러의 함량에 비례하여 PVC/IB/ATH 복합소재의 잔존

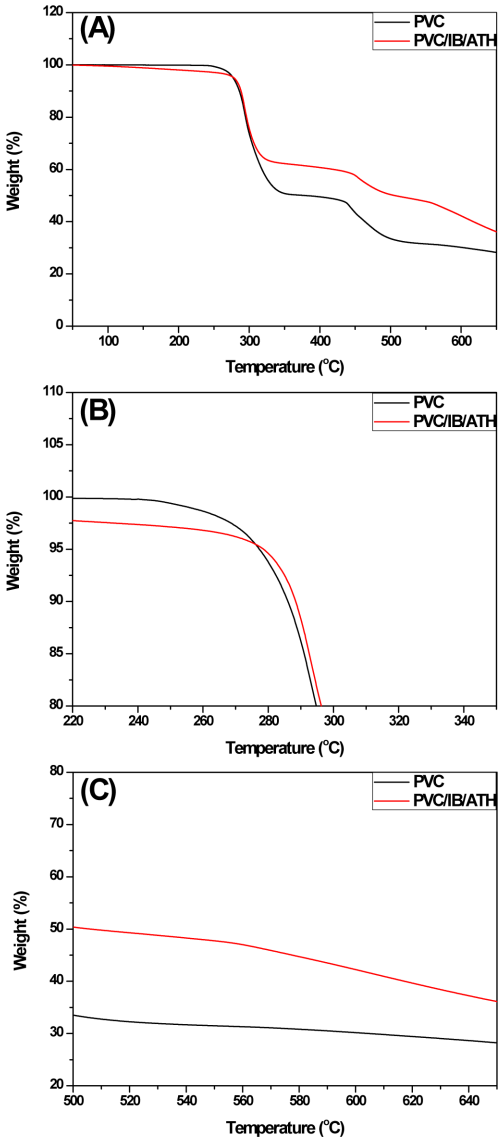

Figure 8. Thermogravimetric analysis of different types of PVC composites: (a) thermo diagram; (b) initial degradation temperature; (c) residue at 650 °C.

량이 제일 많이 측정되었다. 이는 ATH의 Al과 IB의 Ag 성분들이 높은 온도에서 분해되지 않고 잔존해 있음을 나타낸다.

결 론

본 연구에서는 PVC 소재에 IB(silver/zinc/zeolite)와 ATH를 접목하여 PVC 소재에 항균성과 난연 특성을 부여하여 세균의 감염과 화재에 취약한 산업 기반에 응용할 수 있는 신소재 개발 연구를 수행하였다. 16.7 wt%의 IB와 4.8 wt%의 ATH를 PVC 소재에 배합하였으며, intermeshing 공회전이축 압출기를 사용하여 가로 1 cm, 세로 1 cm, 두께 0.2 cm 크기

Table 5. Thermogravimetric Analysis of PVC, PVC/ATH, PVC/IB, and PVC/IB/ATH Composites

Samples	Initial degradation temperature (T_i, °C)	Residue at 650 °C (wt%)
Weight loss(%)	5%	
Neat PVC	280.90	28.80
PVC/ATH	278.98	29.75
PVC/IB	271.11	36.86
PVC/IB/ATH	275.41	40.03

의 항균력 측정 시편과 가로 1 cm, 세로 8 cm, 두께 0.3±0.005 mm의 난연성 측정 시편을 제조하였다. PVC/IB/ATH 복합소재 표면 및 성분 분석은 FE-SEM과 EDS를 통해 확인하였다. PVC/IB/ATH 복합소재의 항균력은 탁도 분석법, 진탕 배양법, drop-test로 측정하였으며, 박테리아의 생균 및 사균의 변화는 이중 염색법을 이용하여 확인하였다. FE-SEM으로 IB와 ATH의 배합에도 PVC/IB/ATH 복합소재의 표면 변화는 미미함을 확인하였다. 이는 PVC/IB/ATH 복합소재 표면의 거칠기(roughness)가 항균과 난연 특성에 영향을 끼치지 않음을 의미한다. PVC 소재에 배합된 IB와 ATH의 함량은 Al, O 성분으로 확인하였다. PVC/IB/ATH 복합소재의 경우, Al의 함량이 PVC/IB, PVC/ATH 복합소재의 Al 함량 합계와 일치함을 확인하였으며, Ag, Zn의 함량은 PVC/IB 복합소재 성분비와 일치함을 확인하였다. PVC/IB/ATH 복합소재의 항균 실험 결과, 99.9% 이상의 항균력을 나타냄을 탁도 분석법, 진탕 배양법, drop-test를 통해 확인하였으며, 이중 염색법을 이용하여 정성적인 항균 결과를 도출하였다. 한계 산소농도지수 측정을 통하여 PVC/IB/ATH 복합소재의 난연성을 측정할 수 있었으며, ATH의 난연 거동으로 물과 수증기 발생이 일어나고, 더불어 ATH, IB 내에 있는 Al의 영향으로 난연성이 증가하는 경향을 확인하였다. 복합소재의 열적 특성의 변화는 TGA를 통해 측정하였으며 열적특성에 큰 변화가 없음을 확인하였다.

본 연구 결과, 압출가공에 의한 PVC/IB/ATH 복합소재 제조가 가능하고, PVC 소재에 항균력과 난연 특성을 부여할 수 있음을 확인하였다. 본 연구를 통하여 PVC 복합소재의 항균 증대 및 난연 효과를 확인하여 위생적인 환경, 화재에 취약성을 나타내는 산업 기반 조성에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

추후 본 연구에 사용한 IB와 ATH를 이용하여 PVC 복합소재가 아닌 고분자 소재의 재활용이 가능하며, 생분해성이 우수하여 친환경적인 PLA 소재에 확대 접목시키고자 한다.

감사의 글: 본 연구는 금오공과대학교 연구비에 의하여 연구된 논문이므로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. G. Seyfriedsberger, K. Rametsteiner, and W. Kern, *Eur. Polym. J.*, **42**, 3383 (2006).
2. D. R. Monterio, L. F. Gorup, A. S. Takamiya, A. C. Ruvollo-Filho, E. R. de Camarogo, and D. B. Barbosa, *Int. J. Antimicrob. Agents*, **34**, 103 (2009).
3. P. Spacciapoli, D. Buxton, D. Rothstein, and P. Friden, *J. Periodont. Res.*, **36**, 108 (2001).
4. S. H. Park, J. Y. Lee, J. H. Choi, T. H Park, S. B. Moon, H. S. Lee, D. S. Bang, S. A. Yang, and K. H. Jhee, *Elastom. Compos.*, **50**, 223 (2015).
5. N. W. Choi, Y. J. Jo, and C. K. Kim, *Polym. Korea*, **40**, 245 (2016).
6. J. T. Seil and T. J. Webster, *Acta Biomater.*, **7**, 2579 (2011).
7. B. A. Sevinc and L. Hanley, *J. Biomed. Mater. Res. Part B*, **94**, 22 (2010).
8. H. S. Lee, S. H. Park, J. Y. Lee, Y. R. Park, H. B Jeong, K. H. Jhee, and D. S. Bang, *Elastom. Compos.*, **51**, 147 (2016).
9. T. R. Hull, A. Witkowski, and L. Hollingbery, *Polym. Degrad. Stab.*, **96**, 1462 (2011).
10. Z. X. Xin, Z. X. Zhang, K. Pal, J. U. Byeon, S. H. Lee, and J. K. Kim, *Mater. Des.*, **31**, 589 (2010).
11. J. Ji and W. Zhang, *J. Biomed. Mater. Res. Part A*, **88**, 448 (2008).
12. J. Vartiainen, M. Ratto, and S. Paulussen, *Packag. Technol. Sci.*, **18**, 243 (2005).
13. O. Akhavan, R. Azimirad, S. Safa, and E. Hasani, *J. Mater. Chem.*, **21**, 9634 (2011).
14. T. Mondal, A. K. Bhowmick, and R. Krishnamoorti, *J. Mater. Chem.*, **22**, 22481 (2012).
15. O. Akhavan and E. Ghaderi, *ACS Nano*, **4**, 5731 (2010).
16. O. Akhavan and E. Ghaderi, *Carbon*, **50**, 1853 (2012).
17. P. Daewon, W. Jun, and A. M. Klibanov, *Biotechnol. Prog.*, **22**, 584 (2006).
18. ISO 4589 2, Plastic – Determination of burning behavior by Oxygen index: Part 2: Ambient-temperature test.
19. Y. H. Zhao, Y. F. Zhang, Z. K. Wu, and S. L. Bai, *Composites Part B*, **84**, 52 (2016).
20. J. Husheng, H. Wensheng, W. Liqiao, X. Bingshe, and L. Xuguang, *Dent. Mater.*, **24**, 244 (2008).
21. D. Zampono, T. Ferreri, C. Puglisi, M. Mancuso, R. Zaccone, R. Scaffoaro, and D. Bennardo, *J. Mater. Sci.*, **46**, 6734 (2011).
22. B. Galeano, E. Korff, and W. L. Nicholson, *Appl. Environ. Microbiol.*, **69**, 4329 (2003).
23. L. A. Casemiro, C. H. G. martins, F. C. Panzeri, P. Souza, and H. Panzeri, *Gerodontology*, **25**, 187 (2008).
24. M. M. Cowan, K. Z. Abshire, S. L. Houk, and S. M. Evans, *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, **30**, 102 (2003).
25. F. Laoutid, L. Bonnaud, M. Alexandre, J. M. Lopez-Cuesta, and Ph. Dubois, *Mater. Sci. Eng. Rep.*, **63**, 100 (2009).
26. W. Wang, W. Zhang, H. Chen, S. Zhang, and J. Li, *Constr. Build. Mater.*, **79**, 337 (2015).