

# CPVC(Chlorinated polyvinyl chloride)와 ODDMAC(Octadecyldimethyl (3-triethoxy silylpropyl) ammonium chloride) 첨가한 필름의 항균 특성

## A Study on the Antibacterial Properties of CPVC(Chlorinated polyvinyl chloride) Film treated with ODDMAC(Octadecyldimethyl (3-triethoxy silylpropyl) ammonium chloride)

### \*Corresponding author

Jaewoong Lee  
(jaewlee@yu.ac.kr)

김지연, 이상오<sup>1</sup>, 이재웅\*

영남대학교 파이버시스템공학과, <sup>1</sup>영남대학교 의류패션학과

Jiyeon Kim, Sang Oh Lee<sup>1</sup>, and Jaewoong Lee\*

Department of Fiber System Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

<sup>1</sup>Department of Clothing and Fashion, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

Received\_June 04, 2021

Revised\_June 18, 2021

Accepted\_June 24, 2021

**Abstract** The purpose of this study, the purpose of this study is to activate the antibacterial effect on the Chlorinated polyvinyl chloride film by using Octadecyldimethyl (3-triethoxy silylpropyl) ammonium chloride antibacterial agent with Chlorinated polyvinyl chloride polymer, which is inexpensive and has excellent properties such as heat resistance and chemical resistance. The Chlorinated polyvinyl chloride polymer was dissolved in a dimethylacetamide solvent, and film samples were prepared by varying the ratio of Octadecyldimethyl (3-triethoxy silylpropyl) ammonium chloride to study the antibacterial performance. A Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectrometer and X-ray photoelectron spectroscopy were employed to confirm the elements in the samples. According to the initial decomposition temperature of the Chlorinated polyvinyl chloride film and the Chlorinated polyvinyl chloride/Octadecyldimethyl (3-triethoxy silylpropyl) ammonium chloride(10%) film using a Thermogravimetric analyzer(TA-DTA), it was confirmed that the initial decomposition temperature was lowered due to the influence of Octadecyldimethyl (3-triethoxy silylpropyl) ammonium chloride. In addition, in order to measure the mechanical properties, Universal testing machine was used and the result showed that a strength of Chlorinated polyvinyl chloride/Octadecyldimethyl (3-triethoxy silylpropyl) ammonium chloride(10%) was 36.8 MPa. The antimicrobial properties of the Chlorinated polyvinyl chloride/Octadecyldimethyl (3-triethoxy silylpropyl) ammonium chloride(10%) film showed 99.9% antimicrobial properties.

### Textile Coloration and Finishing

TCF 33-2/2021-06/72-78

© 2021 The Korean Society of Dyers and Finishers

**Keywords** chlorinated polyvinyl chloride, quaternary ammonium, antimicrobial, escherichia coli, staphylococcus aureus

## 1. 서 론

현대사회의 생활수준이 상승함에 따라 박테리아 억제, 질병

및 오염에 관련한 위생 의식이 높아지고 있으며, 이에 따른 항균에 관련 기능성 제품들이 다양하게 개발되고 있다. 이러한 항균 기능성 제품은 의료용, 가정용 및 산업용 제품에 항균 성능을 접목시켜 박테리아 증식을 억제시키고, 질병예방에 도움

을 준다. 또한 일상생활에 사용되는 여러 일상 제품들 중에 상당수가 플라스틱 제품임을 고려한다면, 플라스틱에 항균 특성을 부여하는 기술 개발이 많이 요구된다<sup>1-5)</sup>.

항균은 인체에 유해한 박테리아의 증식을 억제 또는 사멸시키는 작용을 말한다. 이러한 항균작용을 하는 항균제로는 키토산, TiO<sub>2</sub>, Ag, Zn, Cu, N-Halamine계 및 4급 암모늄 화합물 등이 있다. 그 중 4급 암모늄 화합물은 양이온 계면활성제형으로 살균소독제로 쓰이며 뛰어난 항균성을 가지고 있다<sup>6-9)</sup>.

Quaternary ammonium salt와 alkoxy silane group으로 구성된 화합물로 quaternary ammonium salt가 박테리아 억제 또는 파괴를 시키는 영역으로 작용하여 항균 활성 효과를 나타낸다고 알려져 있다<sup>10-17)</sup>.

한편, 범용 플라스틱 재료인 PVC는 배수관, 수도관 소재로 사용되고 있으며, 이러한 산업 환경에 의해 PVC 배관 내의 세균 증식 우려가 있다. 이러한 PVC소재에 항균성을 부여하기 위한 연구가 일부 진행되어 왔다<sup>18-22)</sup>.

PVC의 일종인 CPVC(chlorinated polyvinyl chloride)는 PVC 고분자에 염소화반응을 시켜 Cl의 함량을 10%정도 증가된 terpolymer로 vinyl chloride(-CH<sub>2</sub>CHCl-), 1,1,-dichloroethylene(-CH<sub>2</sub>CCl<sub>2</sub>-) 및 1,2-dichloroethylene(-CHClCHCl-) 구성된다. PVC보다 뛰어난 내열성, 내화학성, 내압축성 등이 우수하며, 적용 분야로 파이프, 배수관, 수도관, 의료기기, 케이블, 바닥재, 접착 필름, 신발, 의자, 책상 등 의료용, 가정용 및 산업용에 다양하게 쓰인다<sup>23-25)</sup>.

본 논문에서 4급 암모늄 염 항균제인 ODDMAC(Octadecyldimethyl (3-triethoxysilylpropyl) ammonium chloride)를 배수관, 수도관, 의료기기 등에 적용되는 CPVC에 항균성을 첨가하여 항균 특성을 발현하는지에 대한 연구를 진행하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료

(주)한화케미칼에서 Cl 함량 67.3%(H-17)인 Chlorinated polyvinyl chloride(CPVC)는 Cl 함량 67.3%(H-17)을 제공받으며, 항균제는 경인양행(KISCO, Korea)에 Octadecyldimethyl (3-triethoxysilylpropyl) ammonium chloride(ODDMAC, 72% in ethanol, Biosafe, SIO 6619.2) 제공받아 사용하였다. CPVC와 ODDMAC를 용해시키기 위한 용매로는 N,N-dimethylacetamide(DMAc, Sigma Aldrich Korea, 99.5%, Korea) 사용하였다.

### 2.2 실험방법

CPVC/ODDMAC(블렌드 비 3:1) 필름을 제조하기 위해 CPVC 농도를 30wt.%로 설정하였고, ODDMAC(72% in ethanol, Biosafe SIO 6619.2) 농도를 1%, 5% 및 10% 조건으로 설정하였다. 혼합된 용액을 상온에서 12시간동안 교반 시켰다. 용액의 잔류 기포를 제거하기 위해 상온에서 2h 동안 방치하여 탈포 후, film maker(Baker applicator, Japan)를 사용하여 유리판에 용액을 부어 1mm의 두께로 필름을 제조하였다. 그리고 용

매인 DMAc를 제거하기 위해 85°C에서 12시간 진공 건조기(JSVO-60T, JS Research, Korea)를 사용하여 DMAc를 증발시켰다.

## 2.3 분석

### 2.3.1 열적 특성 분석

TG-DTA(SDT Q600, TA Instruments, USA)를 사용하여 질소 분위기하에서 승온 속도 10°C/min, 최대 온도 800°C로 설정하여 CPVC 필름 및 CPVC/ODDMAC(10%) 필름의 열적 특성을 확인하였다.

### 2.3.2 형태학적 분석

CPVC 필름과 CPVC/ODDMAC(10%) 필름을 비교하기 위해, 주사전자현미경(SEM, S-4800, Hitachi Co. Ltd, Japan)을 사용하였다. 시료를 백금 처리 후, 필름의 표면 이미지를 촬영하였고, SEM-EDS를 사용하여 표면에 있는 원소를 분석하였다.

### 2.3.3 표면 분석

X-선 광전자 분광기(K-Alpha, thermoscientific, UK) 사용하여 CPVC 필름과 CPVC/ODDMAC(10%) 필름의 C, Cl, N, Si 각각의 원소를 비교 및 분석하였다.

### 2.3.4 기계적 분석

UTM(Instron 2710-105, Instron, USA)을 사용하여 CPVC 필름과 ODDMAC가 1%, 5% 및 10%를 첨가한 CPVC/ODDMAC 필름을 인장강도 및 파단 신율을 측정하였다.

### 2.3.5 항균테스트

CPVC 필름과 CPVC/ODDMAC(10%) 필름의 항균 특성을 알아보기 위하여 각각 대장균인 *Escherichia coli*(ATCC 43895, Gram-negative bacteria)와 황색포도상구균인 *Staphylococcus aureus*(ATCC 6538, Gram-positive bacteria)를 사용하여 균의 저항성을 분석하였다. 대장균과 황색포도상구균을 접종시키고 18시간 후의 생존 박테리아 수를 측정하여 CFUs(colony forming units)로 계산하였으며, 정균 감소율(Antibacterial rate(%))은 다음 식(1)과 같은 측정법으로 계산하여 결과를 도출하였다<sup>25)</sup>.

$$\text{Antibacterial rate}(\%) = (B - C) / B \times 100 \quad (1)$$

where,

B : Initial number of bacteria

C : Number of bacteria after incubation for 18 hours

대장균과 황색포도상구균을 CPVC 필름과 CPVC/ODDMAC(10%) 필름에 각각 접종 시킨 후, LB(Luria-Bertani broth) 고체 배지에 도말하여 37°C에서 18h 동안 배양시켰다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 CPVC 필름과 CPVC/ODDMAC 필름의 열적 특성 분석

CPVC 필름과 CPVC/ODDMAC(10%) 필름의 열적 특성을 측정하기 위해 TA-DTA를 사용하여 그 결과를 Figure 1에 나타내었다.

두 시료의 열적 특성을 확인하기 위하여 Initial degradation temperature(IDT)를 비교하여 분석하였다.

CPVC 필름의 IDT는 282°C이며, CPVC/ODDMAC(10%) 필름은 245°C로 ODDMAC가 첨가되었을 때, IDT가 37°C정도 감소하였다. 그리고 두 시료의 800°C에서 Weight(%)를 보면 CPVC 필름의 경우 32.7%, CPVC/ODDMAC(10%) 필름의 경우 20.9%로 잔여물들이 남아있는 것으로 예측된다. TA-DTA에서 CPVC 필름과 CPVC/ODDMAC 필름을 비교했을 때, ODDMAC가 가소제 역할을 하여 그 영향으로 인해 열적 안정성이 감소하는 경향을 보였다<sup>26)</sup>.

#### 3.2 CPVC 필름과 CPVC/ODDMAC 필름의 표면 및 원소분석(SEM-EDS/XPS)

##### 3.2.1 SEM-EDS

CPVC 필름과 CPVC/ODDMAC(10%) 필름을 주사전자현미경으로 사용하여 표면을 관찰하여 Figure 2에 나타내었다. (a)는 CPVC 필름의 표면이 매끈한 이미지로 균일한 표면을 가지며, (b)는 ODDMAC가 첨가된 필름의 표면으로 약간의 불균일한 표면을 관찰하였다. 즉, CPVC 필름은 용액을 제조하면서 기포를 2시간 동안 탈포 시켜 매끈한 표면이 만들어져 최적의 필름 제조 조건을 확인하였고, CPVC/ODDMAC(10%) 필름에서 ODDMAC가 첨가되어 용해성이 떨어져 불균일한 표면을 관찰할 수 있었다.

CPVC 필름의 ODDMAC 함량에 따라 CPVC/ODDMAC(10%) 필름 표면에 원소분석 및 함량을 측정하여 Figure 3에 나타내었다. CPVC 필름의 SEM-EDS 분석 결과로, 필름 표면의 매끈한 것을 확인하였고 C, Cl 원소를 관찰하였다. 각각의 원소

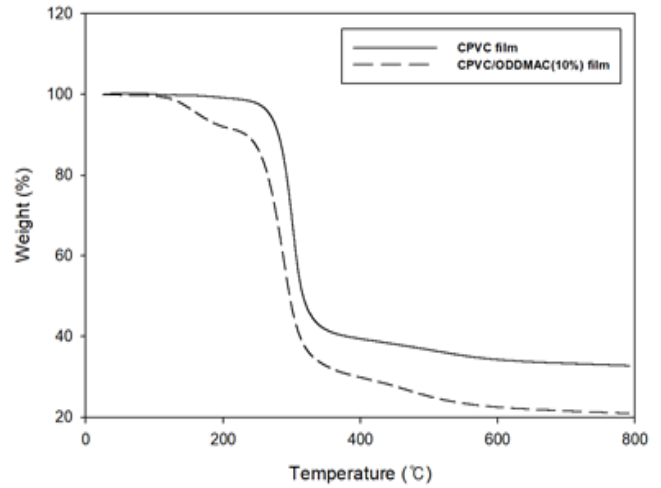


Figure 1. TGA graph of CPVC film, CPVC/ODDMAC(10%) film.

Atomic(%)는 C(29.9%) 및 Cl(75.0%)로 확인하였다.

CPVC/ODDMAC 필름은 ODDMAC 10% 함량이 첨가된 것이며, 기존의 CPVC 필름에 없었던 Si원소를 관찰하였고, 각각의 원소 Atomic(%)는 C(59.7%), Cl(37.0%) 및 Si(3.1%)로 나타내었다. 또한 CPVC/ODDMAC 필름에 Si 원소를 확인함으로써 ODDMAC가 처리된 것을 확인할 수 있었다.

##### 3.2.2 CPVC 필름 및 CPVC/ODDMAC(10%) 필름의 심층적 원소분석

CPVC 필름과 CPVC/ODDMAC(10%) 필름을 광전자 분광기(XPS)를 사용하여 시료의 표면 원소를 Figure 4에 나타내었다.

Figure 4를 살펴보면 CPVC 필름 표면의 구성 원소는 C 1s과 Cl 2s 및 Cl 2p가 관찰되었고, CPVC/ODDMAC(10%) 필름의 표면의 구성 원소는 C 1s, Cl 2s, Cl 2p, Si 2p 및 N 1s 원소들을 확인할 수 있었다. 두 개의 시료를 비교하였을 때, CPVC/ODDMAC(10%) 필름에서 ODDMAC의 구성 원소인 Si와 N을 나타냈고, 기존의 CPVC 필름과 비교하였을 때, CPVC

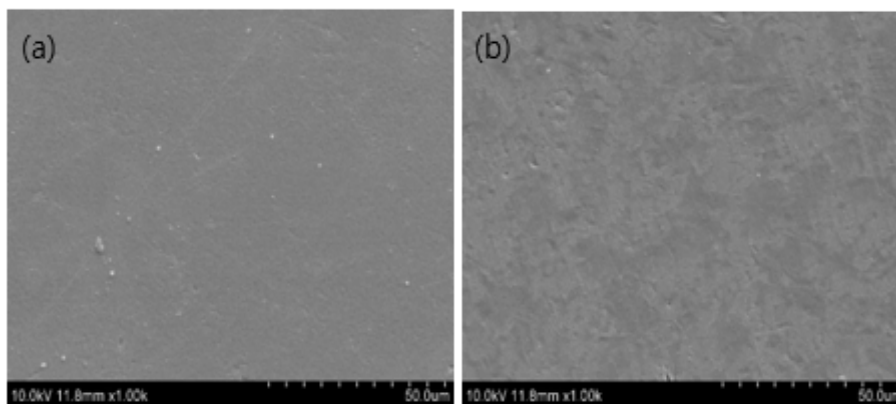


Figure 2. SEM images of (a) CPVC film and (b) CPVC/ODDMAC film containing 10wt.% of ODDMAC.

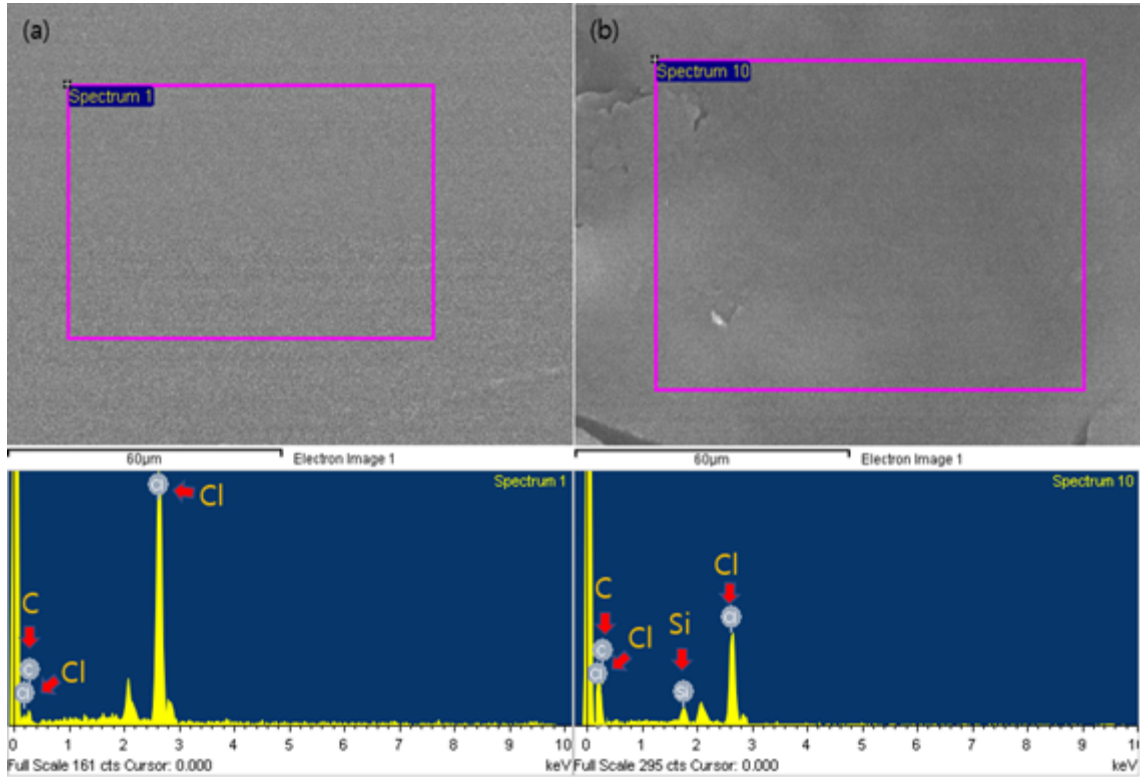


Figure 3. SEM-EDS images of (a) CPVC film (b) CPVC/ODDMAC(10%) film.

와 ODDMAC를 3:1 비율로 제조하였고, ODDMAC의 함량이 증가되며 CPVC의 함량이 감소하여 Cl 2s, Cl 2p의 피크가 감소하는 경향을 보였다. 즉 CPVC/ODDMAC(10%) 필름은 SEM-EDS에서 볼 수 없었던 N 원소를 관찰되었고, XPS에서 Si와 N 원소를 확인함으로써 ODDMAC가 처리된 것을 확인할 수 있었다<sup>27)</sup>.

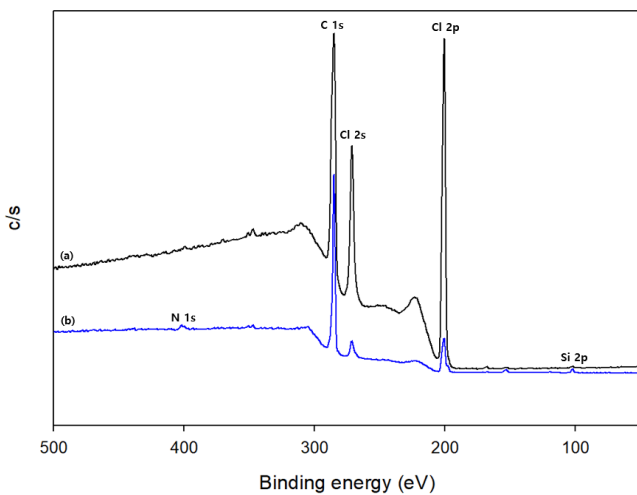


Figure 4. XPS spectra of (a) CPVC film (b) CPVC/ODDMAC(10%) film.

### 3.3 CPVC 필름 및 CPVC/ODDMAC 필름 물성 측정

CPVC 필름과 ODDMAC를 1%, 5% 및 10% 첨가한 CPVC/ODDMAC 필름의 인장강도와 파단 신율의 변화를 알아보기 위해 Figure 5에 나타내었다.

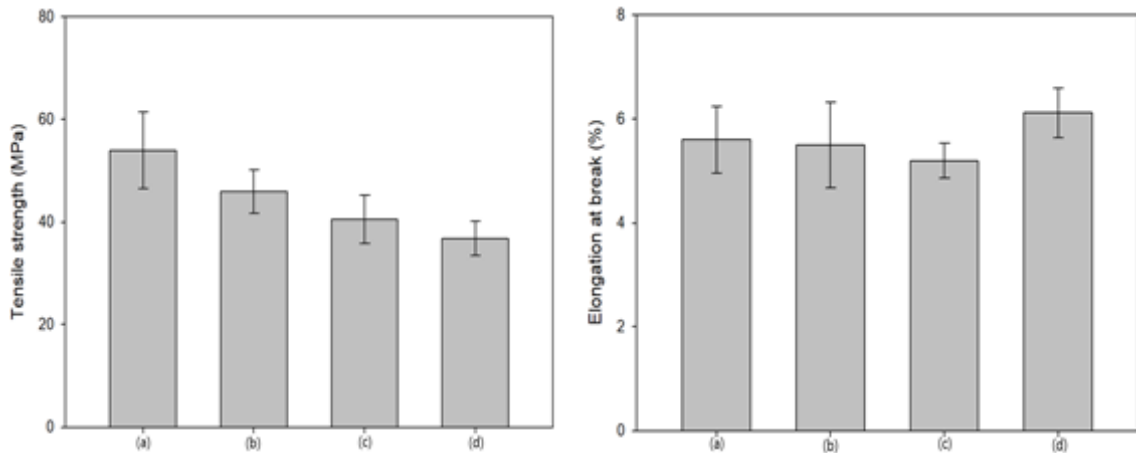
CPVC 필름은 53.9 MPa이고, ODDMAC 1%, 5% 및 10% 각각은 45.9 MPa, 40.4 MPa 및 36.8 MPa의 인장강도를 가진다. CPVC/ODDMAC 필름의 최대 인장강도는 ODDMAC 1%로 첨가된 필름으로 45.9 MPa이다. CPVC 필름과 ODDMAC를 1%, 5% 및 10% 첨가한 CPVC/ODDMAC 필름의 파단 신율은 각각 5.6%, 5.5%, 5.2% 및 6.1%로 ODDMAC의 농도에 따른 파단 신율의 변화는 거의 없었으며, ODDMAC으로 인해 파단 신율에 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다.

따라서 Octadecyldimethyl (3-triethoxy silylpropyl) ammonium chloride 비율이 따라 인장강도는 떨어지는 경향을 보이며, 파단 신율은 큰 변화가 없는 것을 확인하였다. 그 이유로 ODDMAC가 CPVC에 첨가됨으로써 탄성영역에서는 영향을 주지만 소성영역에서는 영향이 거의 없으므로 인장강도는 감소하고 파단 신율은 큰 변화가 없는 결과로 나타났다.

### 3.4 항균 특성

CPVC 필름 및 CPVC/ODDMAC(10%) 필름의 항균성 테스트 결과를 Figure 6에 나타내었다.

CPVC 필름과 CPVC/ODDMAC(10%) 필름의 정균 감소법을

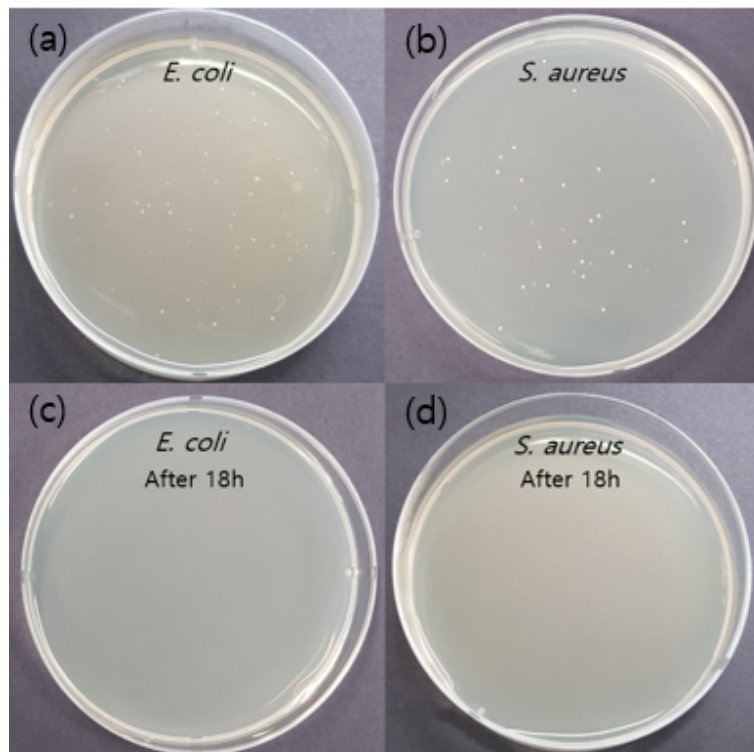


**Figure 5.** Tensile strength and elongation at break of (a) CPVC film, (b) CPVC/ODDMAC(1%) film, (c) CPVC/ODDMAC(5%) film, (d) CPVC/ODDMAC(10%) film.

통해 박테리아 수를 측정하여 정균 감소율 결과를 Table 1에 나타내었다. CPVC 필름에서 그람 음성균인 대장균(*E. coli*)과 그람 양성균인 황색 포도상 구균(*S. aureus*)균주에 대하여 각각  $9.1 \times 10^7$ CFU/ml,  $5.3 \times 10^8$ CFU/ml 균주를 나타내었다.

CPVC/ODDMAC 1%, 5%에서는 대장균 및 황색 포도상 구균에 대한 항균성이 발휘되지 않았다.

하지만 CPVC/ODDMAC(10%) 필름에 두 균주를 접종시켜, 37°C에서 18h동안 활성화하여 그람 음성균인 대장균(*E. coli*)과 그람 양성균인 황색 포도상 구균(*S. aureus*)에서 99.9%의 항균성을 확인 할 수 있었고, CPVC/ODDMAC(10%) 필름의 ODDMAC의 구성성분인 4급 암모늄 염의 효과로 우수한 항균성을 가지는 것을 입증하였다. 또한 CPVC/ODDMAC(10%) 필



**Figure 6.** Antimicrobial test results of (a) CPVC film inoculated with *E. coli*, (b) CPVC film inoculated with *S. aureus*, (c) After 18 hours of CPVC film inoculated with *E. coli*, (d) After 18 hours of CPVC film inoculated with *S. aureus*.

**Table 1.** Antimicrobial rate results of CPVC/ODDMAC(10%) film

Sample	Antibacterial rate(%)	
	<i>E. coli</i> (ATCC 43895)	<i>S. aureus</i> (ATCC 6538)
CPVC/ODDMAC(10%) film	99.9	99.9

름은 그람 음성균인 대장균(*E. coli*)에서 더 뛰어난 항균성을 가진 것을 확인할 수 있었다<sup>10-12)</sup>.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 CPVC 고분자를 DMAc 용매에 녹여 항균제인 ODDMAC를 1%, 5% 및 10% 조건을 달리하여 CPVC/ODDMAC 필름을 제조하였다. 이러한 CPVC 필름 및 CPVC/ODDMAC (10%) 필름의 물리·화학적 특성 분석을 진행하였다.

CPVC 필름과 CPVC/ODDMAC(10%) 필름의 비교 결과로 CPVC 필름은 C 원소와 Cl 원소를 확인하였고, CPVC/ODDMAC(10%) 필름에서도 C 원소, Cl 원소 및 Si 원소를 관찰되었다. 또한 XPS 분석 기기를 통해 ODDMAC가 CPVC 용액에 혼합된 것을 확인할 수 있었다.

항균 테스트에서는 CPVC 필름 및 CPVC/ODDMAC(10%) 필름에 그람 음성균인 대장균(*E. coli*)과 그람 양성균 황색 포도상 구균(*S. aureus*)을 접종시켰고, 그 결과로 ODDMAC 10% 첨가한 CPVC/ODDMAC 필름에서 2개의 균주에서 99.9% 항균성을 발휘하는 것을 확인하였다.

이를 근거로 CPVC/ODDMAC 필름은 가정용, 의료용, 산업용 등 다양한 분야에서 우수한 항균성을 가진 제품에 폭 넓게 적용될 것으로 예상된다.

#### References

1. N. R. James and A. Jayakrishnan, Surface Thiocyanation of Plasticized Poly(vinyl chloride) and its Effect on Bacterial Adhesion, *Biomaterials*, **24**, 2205(2003).
2. A. Asadinezhad, I. Novak, M. Lehocky, F. Bilek, A. Vesel, I. Junkar, P. Saha, and A. Popelka, Polysaccharides Coatings on Medical-Grade PVC: A Probe into Surface Characteristics and the Extent of Bacterial Adhesion, *Molecules*, **15**, 1007(2010).
3. G. Seyfriedsberger, K. Rametsteiner, and W. Kern, Polyethylene Compounds with Antimicrobial Surface Properties, *Science Direct*, **42**, 3383(2006).
4. S. Park, J. Lee, J. Choi, T. Park, S. Moon, H. Lee, D. Bang, S. Yang, and K. H. Jhee, Antimicrobial Activity and

- Mechanism of Polyvinyl Chloride Composite Containing Inorganic Bactericide, *Elastomers and Composites*, **3**, 223(2015).
5. V. Swarup, J. Ghosh, S. Ghosh, A. Saxena, and A. Basu, Antiviral and Anti-Inflammatory Effects of Rosmarinic Acid in an Experimental Murine Model of *Japanese Encephalitis*, *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, **51**, 3367(2007).
6. W. Deng, S. Ning, Q. Lin, H. Zhang, T. Zhou, H. Lin, J. Long, Q. Lin, and X. Wang, I-TiO<sub>2</sub>/PVC Film with Highly Photocatalytic Antibacterial Activity under Visible Light, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **144**, 196(2016).
7. B. Gayatri, B. Lomate, and S. Dandi, Development of Antimicrobial LDPE/Cu Nanocomposite Food Packaging Film for Extended Shelf Life of Peda, *Food Packaging and Shelf Life*, **16**, 211(2018).
8. P. Elena and K. Miri, Formation of Contact Active Antimicrobial Surfaces by Covalent Grafting of Quaternary Ammonium Compounds, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **169**, 195(2018).
9. X. Li, Y. Xing, Y. Jiang, Y. Ding, and W. Li, Antimicrobial Activities of ZnO Powder-coated PVC Film to Inactivate Food Pathogens, *Food Science and Technology*, **44**, 2161(2009).
10. G. Wang, J. Wang, D. Wang, Y. Yuan, L. Wang, Z. Zhao, and J. Qiu, Contact-active Antimicrobial Graphene Oxide Electrodes by Covalent Grafting of Alkoxysilane Octadecyldimethyl (3-trimethoxysilylpropyl)ammonium chloride (ODDMAC) for Capacitive Deionization Disinfection, *Materials Letters*, **272**, 1278769(2020).
11. S. B. Bataillon, P. Tattevin, M. B. Mallet, and A. J. Gougeon, Emergence of Resistance to Antibacterial Agent : the Role of Quaternary Ammonium Compounds-a Critical Review, *International Journal of Antimicrobial Agents*, **39**, 381(2012).
12. B. Rukmanikrishnan, C. Jo, S. Choi, S. Ramalingam, and J. Lee, Flexible Ternary Combination of Gellan Gum, Sodium Carboxymethyl Cellulose, and Silicon Dioxide Nanocomposites Fabricated by Quaternary Ammonium Silane: Rheological and Antimicrobial Properties, *ACS OMEGA*, **5**(44), 28767(2020).
13. M. Andresen, P. Stenstad, T. Moretro, S. Langsrud, K. Syverud, L. S. Johansson, and P. Stenius, Nonleaching Antimicrobial Films Prepared from Surface-Modified Microfibrillated Cellulose, *Biomacromolecules*, **8**, 2149(2007).
14. P. Chahan, A. Kumar, and B. Bhushan, Self-Cleaning, Stain-resistant and Anti-bacterial Superhydrophobic Cotton Fabric Prepared by Simple Immersion Technique, *Journal of Colloid and Interface Science*, **535**, 66(2019).
15. S. Mallakpour and M. Javadpour, Antimicrobial, Mechanical, Optical and Thermalproperties of PVC/ZnO-EDTA Nanocomposite Films, *Polymers Advanced Technologies*, **28**,

- 393(2017).
16. P. Sophonvachiraporn, R. Rujiravanit, T. Sreethawong, S. Tokura, and S. Chavadej, Surface Characterization and Antimicrobial Activity of Chitosan-Deposited DBD Plasma-Modified Woven PET Surface, *Plasma Chem Plasma Process*, **31**, 233(2011).
  17. F. Santos, C. Machado, C. G. Tachinski, J. F. Junior, R. Piletti, M. Peterson, and M. A. Fiori, Application of Glass Particles Doped by Zn<sup>2+</sup> as an Antimicrobial and Atoxic Compound in LLDPE and HDPE, *Materials Science and Engineering C*, **39**, 403(2014).
  18. Z. Huang, H. Dong, N. Yang, H. Li, N. He, X. Lu, J. Wen, and X. Wang, Bifunctional Phosphorylcholine-Modified Adsorbent with Enhanced Selectivity and Antibacterial Property for Recovering Uranium from Seawater, *ACS APPLIED MATERIALS and INTERFACES*, **12**, 16959(2020).
  19. M. Mulla, J. Ahmed, H. A. Attar, E. C. Aguirre, Y. A. Arfat, and R. Auras, Antimicrobial Efficacy of Clove Essential Oil infused into Chemically Modified LLDPE Film for Chicken Meat Packaging, *Food Control*, **73**, 663(2017).
  20. W. Zhang, Y. H. Zhang, J. Ji, J. Zhao, Q. Yan, and P. K. Chu, Antimicrobial Properties of Copper Plasma-modified Polyethylene, *Science Direct*, **47**, 7441(2006).
  21. C. R. Proctor, M. Gachter, S. Kotzsch, F. Rolli, R. Sigrist, J. C. Walser, and F. Hammes, Biofilms in Shower Hoses-choice of Pipe Material Influences Bacterial Growth and Communities, *Environmental Science: Water Research and Technology*, **2**, 670(2016).
  22. W. Lu, T. Cao, O. Wang, and Y. Cheng, Plasma-Assisted Synthesis of Chlorinated Polyvinyl Chloride(CPVC) Using a Gas-Solid Contacting Process, *Plasma Processes and Polymers*, **8**, 94(2011).
  23. J. Liu, H. Shimanoe, S. Ko, H. Lee, C. Jo, J. Lee, S. Hong, H. Lee, Y. Jeon, K. Nakabayashi, J. Miyawaki, and S. Yoon, Highly Chlorinated Polyvinyl Chloride as a Novel Precursor for Fibrous Carbon Material, *Polymers*, **12**, 328(2020).
  24. J. Kim, J. Lee, C. Jo, and C. Kang, Development of Low Cost Carbon Fibers based on Chlorinated Polyvinyl Chloride(CPVC) for Automotive Application, *Materials and Design*, **204**, 109682(2021).
  25. L. Nan, W. Yang, and Y. Liu, Antibacterial Mechanism of Copper-bearing Antibacterial Stainless Steel against *E. Coli*, *J. Mater. Sci.*, **24**, 2(2008).
  26. O. Esmail, T. Elakesh, H. Richard, P. Dennis, and C. Peter, Effect of Stabilisers and Lubricant on the Thermal Decomposition of Chlorinated Poly(vinyl chloride) (CPVC), *Polymer Degradation and Stability*, **88**, 41(2005).
  27. Z. Jiang, K. Chen, Y. Zhang, Y. Wang, F. Wang, G. Zhang, and D. D. Dionysiou, Magnetically Recoverable MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/

Conjugated Polyvinyl Chloride Dderivative Nanocomposite with Higher Visible-light Photocatalytic Activity for Treating Cr(VI)-polluted Water, *Separation and Purification Technology*, **236**, 116272(2020).

## Authors

- 김지연** 영남대학교 파이버시스템공학과 석사과정 학생  
**이상오** 영남대학교 의류패션학과 교수  
**이재웅** 영남대학교 파이버시스템공학과 교수