

ODDMAC를 이용한 항균성 및 발수성 동시 발현이 가능한 기능성 PET 섬유

Antimicrobial and Water Repellency Effect of Functional PET Fibers with ODDMAC(octadecyldimethyl(3-triethoxy silylpropyl) ammonium chloride)

*Corresponding author

Jaewoong Lee
(jaewlee@yu.ac.kr)

양희진, 전해지, 이상오¹, 이재웅*

영남대학교 파이버시스템공학과, ¹영남대학교 의류패션학과

Heejin Yang, Hyeji Jeon, Sang Oh Lee¹ and Jaewoong Lee*

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

¹Department of Clothing and Fashion, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

Received_November 26, 2020

Revised_December 15, 2020

Accepted_December 21, 2020

Abstract In this study, octadecyldimethyl(3-triethoxy silylpropyl)ammonium chloride (ODDMAC) incorporated with Polyethylene terephthalate (PET) fabrics with different environmental conditions such as various temperature and time intervals. First, ODDMAC (15 weight %) was dissolved in ethanol. Then PET fabrics immersed in the ODDMAC solution at 25 °C for 10 minutes and dried at 80 °C for 5 minutes. The dried PET/PDDMAC fabrics carried out for curing process out at 110 °C~190 °C. The treated PET/ODDMAC has examined the surface and side coating properties through SEM analysis and elemental analysis. PET/ODDMAC fabric washed with water up to 50 times and studied the durability of the materials. It was confirmed that the treated PET fabric also exhibited good water repellency. In addition, the antimicrobial activity against the gram-positive bacteria *Staphylococcus aureus* and gram-negative bacteria *Escherichia coli* were studied by the disc diffusion method on the treated fabric.

Keywords PET fibers, antimicrobial, water repellent, antimicrobial activity, quaternary ammonium

Textile Coloration and Finishing

TCF 32-4/2020-12/265-273

© 2020 The Korean Society of Dyers and Finishers

1. 서 론

최근 소비자들의 위생 및 건강에 대한 관심이 높아짐에 따라 각종 세균이나 질병 예방을 위한 기능성 섬유 특히, 항균 섬유 제품에 관한 관심이 증가하고 있다. 이러한 항균 섬유를 제조하기 위한 항균 가공이란 섬유 상의 미생물 또는 균의 증식을 억제하는 가공을 말한다. 항균가공제는 무기계, 금속계, 제4급 암모늄염계, 유기 실리콘 제4급 암모늄염계, 구리 화합물계, 천연물계 등으로 분류된다¹⁻⁴⁾.

아울러 일상생활에서 비나 음식물 또는 비말 등의 액체 물질에 의한 오염을 방지하기 위해 섬유 상에 기능성을 부여하는 기술이 요구되고 있다⁵⁾. 이러한 액체 오염의 방지를 위하여 섬유 상에 적용되는 가공 방법이 발수가공이다⁶⁾.

발수성이란 접촉하는 두 물질의 표면장력 차에 의하여 서로를 밀어내는 성질에 의하여 발현되며, 특히 발수성은 물과의 친화도를 나타내는 성질을 나타낸다⁷⁾. 섬유(고체)상의 물방울과 그와 맞닿은 기체의 접촉면에서 삼상이 만나는 지점을 기준으로 물방울에 대한 접선을 그어 각도를 측정한 것을 접촉각이라 하며⁸⁾, 일반적으로 접촉각이 $\theta < 90^\circ$ 인 경우 고분자의 표면이 친

수성(hydrophilic)을 나타내며, $\theta > 90^\circ$ 인 경우 고분자 표면의 소수성(hydrophobic), $\theta > 110^\circ$ 일 때 초소수성(super-hydrophobic)으로 알려져 있다⁹⁾. 발수 가공제는 크게 실리콘계와 불소계로 분류되는데, 이 중 불소계 발수 가공제는 보통 매우 작은 크기 원자 크기를 갖지만 강한 전기음성도를 지닌 불소 원자와 탄소 간의 결합으로 이루어져 있는 형태로, 이 두 원자 간 강한 결합력과 작은 분극률을 통해 발수, 발유, 발오 성능을 모두 발현하며 아주 효과가 좋다^{9,10)}.

하지만 일부 PFOA(perfluorooctanoic acid; 퍼플루오로옥탄산)를 함유한 불소계 발수제의 안정성의 문제가 제기되며 현재 일본을 비롯한 여러 국가에서는 불소계 발수제에 대한 규제가 강화되어 환경적 대책을 강구하는 실정이다¹¹⁾. 이러한 불소계 발수제의 대안으로 왁스, 파라핀, 폴리우레탄, 덴드리머, 실리콘 등의 비불소계 발수제가 사용되고 있으며, 이 중 실리콘계 발수제는 표면장력이 낮고 주쇄가 유연하며 열 안정성이 우수한 특성으로 인해 폴리디메틸 실록산의 형태로 사용된다^{9,11)}. 상대적으로 저농도로도 높은 발수성을 부여하며 세탁 내구성을 나타내는 장점을 가지므로 불소계 발수제의 대체재로 널리 이용되고 있다¹²⁾.

이와 같이 섬유 제품에 적용할 수 있는 다양한 항균제와 오염방지에 대한 발수 연구가 지속적으로 이루어져왔으나^{13,14)}, 항균 및 발수 특성을 필름이 아닌 단독 가공제로 동시 발현시키는 것에는 한계가 있었다¹⁵⁾.

한편 항균제의 일종인 ODDMAC(octadecyldimethyl(3-triethoxy silylpropyl) ammonium chloride)는 제 4급 암모늄염계 항균제에 해당하며 암모늄에 트리메톡실기를 결합시킨 항균제이다¹⁾. Figure 1에 나타나있는 ODDMAC의 구조식에서 알 수 있듯이 Alkoxy siloxane 골격의 유기 polymer가 서로 중합하여 견고하고 얇은 막을 형성하는 것으로 알려져 있다¹²⁾. 구체적으로 트리메톡실기가 섬유 표면에 있는 수산기와 탈에탄올 반응을 하며 공유결합 혹은 이온 결합을 형성하며 제 4급 암모늄염 항균제를 섬유 표면에 부착시켜¹⁶⁾ 고정시킴과 동시에 유기 실리콘의 그래프트 중합에 의하여 섬유 표면에 얇은 막을 형성시키는 것으로 보고되어 있다¹⁷⁾. 아울러 ODDMAC가 포함되는 유기 실리콘 제 4

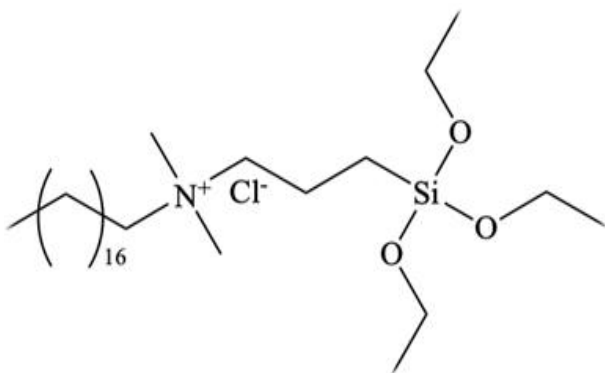


Figure 1. Octadecyldimethyl(3-triethoxy silylpropyl)ammonium chloride(ODDMAC) structure.

Table 1. Properties of fabrics used in this study

Items	Thickness		Density		Unit Wt
	Warp	Weft	Warp	Weft	
PET	150D/2Ply	150D/2Ply	53/in	52/in	212g/yd

급 암모늄염계 항균제는 대사장애를 일으킬 위험이 있는 무기계, 금속계 항균제¹⁸⁻²¹⁾에 비하여 급성 독성, 피부자극성에 대해 안전하며 세탁 내구성 또한 우수한 것으로 여겨지고 있다^{22,23)}.

본 연구에서는 유기 실리콘 제 4급 암모늄염계 물질인 ODDMAC를 Polyethylene terephthalate(PET) 직물 상에 패딩 처리하여 고착시킴으로서 항균성 및 발수성의 동시 발현에 대한 최적 처리 조건을 확립하고, 각 처리 조건에 따른 PET섬유의 특성 변화를 분석하였다.

2. 실험

2.1 시료 및 시약

실험에 사용된 PET 직물은 삼덕섬유에서 제공된 경사 PET 300 Denier(150Denier/2PLY) 53EA, 위사 PET 300 Denier (150Denier/2PLY) 52EA, 폭 65.53, 중량은 212g/yd의 직물을 사용하였으며, 항균 및 발수제로 사용된 Octadecyl-dimethyl (3-trimethoxy silylpropyl)ammonium chloride(72% in ethanol, Biosafe SIO6619.2)는 경인양행(KISCO, Korea)에서 제공받아 추가 정제 없이 사용하였다. 또한 세탁 내구성 측정 시 사용된 비이온계면활성제는 APG(Alkyl polyglucoside, Saero hands, Korea)를 사용하였다. PET 직물 특성은 Table 1에 나타내었다.

2.2 실험방법

PET 직물 상에 항균성 및 발수성을 동시 부여하기 위해 ODDMAC와 에탄올 비율을 다양한 처리 조건으로 적용하여 실험을 진행하였다. 이 때 ODDMAC의 농도(wt%)는 5~25%의 범위에서 진행하였으며, wet-pick up은 100%를 유지시켰다. 건조 조건은 80°C에서 5분간 건조한 후, Curing 온도는 110~190°C로 설정하였다. 또한 Curing 시간을 1min 및 10min으로 실시하였다. 미고착된 가공제를 제거하기 위해 시료를 용매인 에탄올에 2회, 증류수에 2회 수세하여 상온에서 24시간 건조하였다.

2.3 분석

2.3.1 주사전자현미경(Scanning electron microscopy energy dispersive spectroscopy, SEM-EDS)

ODDMAC로 처리된 PET섬유 및 미처리 시료의 표면과 단면

을 비교하기 위해, 주사전자현미경(SEM, S-4800, Hitachi Co. LTD, Japan)을 사용하여 분석하였다. 분석 전 시료에 플라티늄 진공 증착으로 박막 코팅을 하였고, 가속 전압 15kV과 배율 2.20K로 표면 상태 및 배율 600으로 단면 상태를 촬영하였다. 또한 X-ray 분광 분석기(EDS, Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, Hitachi Co. LTD, Japan)를 통해 ODDMAC 처리 및 미처리 PET섬유의 표면 원소 분석을 실시하였다.

2.3.2 적외선 분광기(Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

PET섬유와 ODDMAC의 Curing 처리 조건에 따른 functional group의 변화를 관찰하기 위해 ATR-FTIR(Spectrum 100, Perkin Elmer, USA)을 이용하여 측정하였다. FTIR을 사용하여 resolution 2cm⁻¹, 파장 범위는 600~4000cm⁻¹의 영역에서 24회 scan하여 측정하였다.

2.4 세탁견뢰도 측정

ODDMAC가 처리된 PET섬유의 항균 성능에 관한 세탁 내구성을 관찰하기 위해 세탁 50회 실시하여 접착각 및 항균성 테스트를 측정하였다. 세탁 견뢰도는 KS K ISO 105-C01 방법으로 진행하였으며 세제는 비이온 계면활성제 APG(Alkylpoly

glucoside)를 사용하였다. 세정제의 농도는 5g/L로 제조하여 제조한 비누액을 액비 50:1로 스테인리스 실린더에 넣어 온도 402°C에서 세탁을 실시하였다.

2.5 항균테스트

ODDMAC가 처리된 PET섬유의 항균 활성 측정을 위하여 디스크 확산법을 적용하였다. 사용된 균주는 Gram-negative bacteria로 *Escherichia coli* O157:H7(ATCC 43895)이며, Gram-positive bacteria로 *Staphylococcus aureus*(ATCCBAA 1707)를 사용하였다. 각각의 균 증식에 Luria-Berani(LB; ATCC bioscience, NJ, USA), Nutrient Broth(NB; ATCC Medium, Sigma-Aldrich, USA), Agar(Difco, USA) 배지를 사용하였다. -80°C에서 동결 보존된 글리세롤, 균주 혼합 스톱을 상온에서 1시간 이상 녹여 1~4°C에서 3시간 이상 균인 고체 배지 위에 1ml 접종한 후 121°C에서 20분간 멸균한 면봉을 사용하여 골고루 도말한다. 1cm 지름의 원형으로 자른 시료를 일정한 간격으로 도말한 배지 위에 위치시켜 37°C에서 24시간 동안 방치한다.

2.6 접착각 측정

ODDMAC로 코팅된 PET섬유와 미처리 시료의 발수 성능을

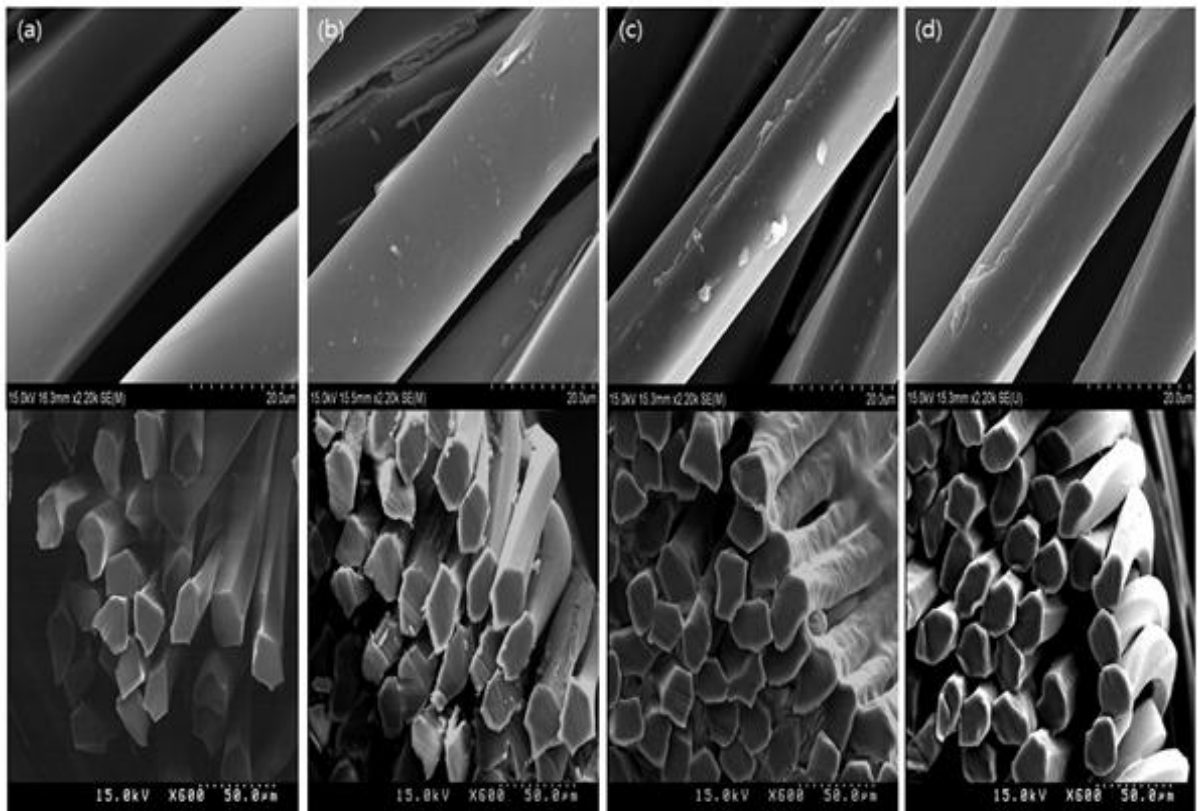


Figure 2. Surface and cross-sectional SEM image of (a) untreated PET, treated PET with ODDMAC at 130°C for (b) 10min, (c) 10min and washed 25 cycles, (d) 10min and washed 50 cycles.

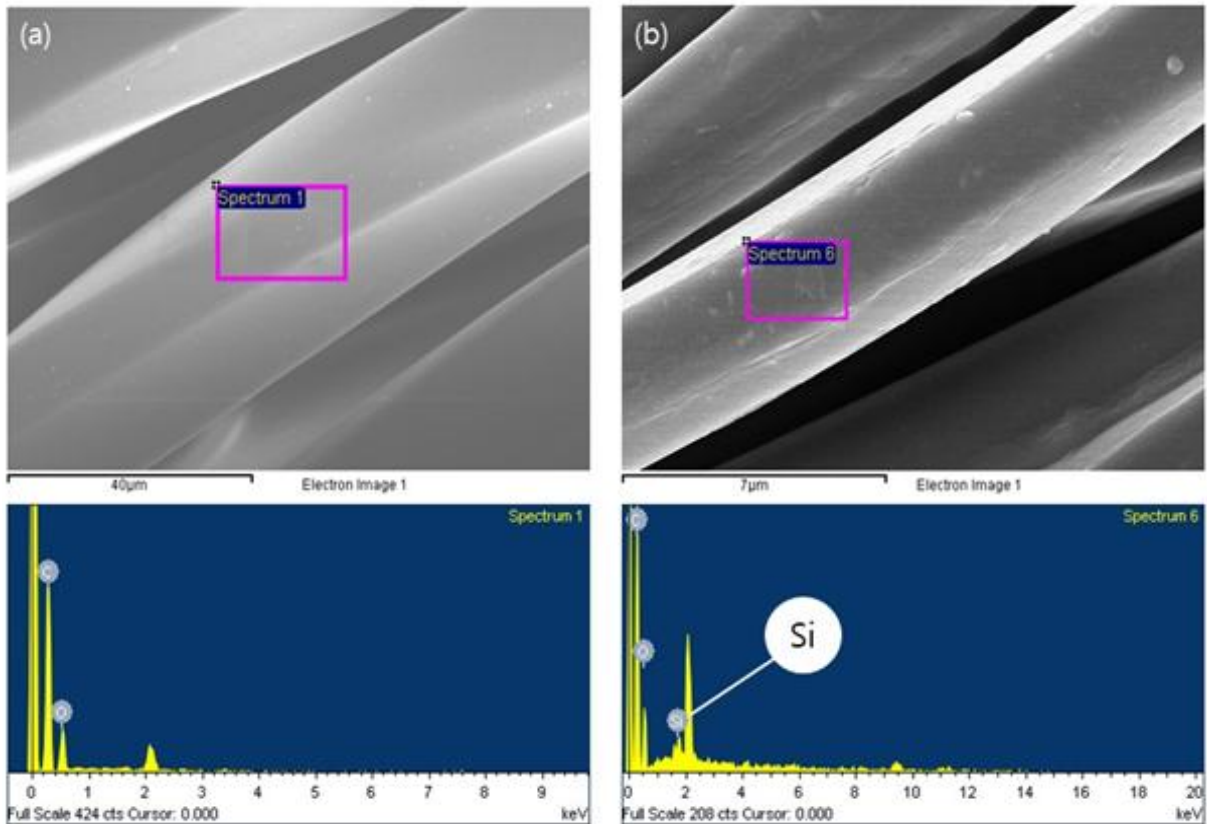


Figure 3. SEM-EDS analysis of (a) untreated PET and (b) treated with ODDMAC(130°C, 10min).

비교하기 위해 접촉각 측정기(Contact angle measurement OCA20, Jin Tech Trading Corp., Korea)를 사용하여 물에 대한 각각의 접촉각을 측정하였다. 각 측정에서 증류수를 초당 0.4ml의 속도로 1초 떨어뜨린 후 측정하였으며 디지털 카메라를 이용하여 사진으로 촬영한 surface energy의 변화를 분석하였다. 동일한 시료를 각 3회 반복 측정한 후 평균값을 계산하여 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 ODDMAC의 고착 특성 분석

3.1.1 시료 표면 관찰 및 원소분석

전자주사현미경으로 ODDMAC 처리 전후와 세탁 전후, PET 섬유 표면 및 단면 구조를 확인하여 Figure 2에 나타내었다. Figure 2를 살펴보면, 미처리 시료 a와 비교하여 ODDMAC가 처리된 PET섬유의 표면 b에서 코팅막으로 추정되는 물질을 볼 수 있다. 이 코팅막은 ODDMAC의 구조 중 Alkoxy Siloxane의 자중합을 통해 형성된 Polymer layer로 추측된다. 이러한 ODDMAC의 Alkoxy Siloxane 고분자 층이 섬유 상에 코팅되어 있는지를 확인하기 위하여 EDS 분석을 통해 표면 원소를

분석한 결과를 Figure 3 및 Table 2에 나타내었다.

그 결과 Table 2의 미처리 PET섬유의 표면(Table 2 a 및 Figure 3 a)에는 C, O의 Polyester고분자를 구성하는 기본 원소를 확인할 수 있었으며, ODDMAC 처리된 PET섬유의 표면(Table 2 b 및 Figure 3 b)에는 C, O를 포함한 Si 원소가 존재하는것을 확인하였다. 다시 말해 ODDMAC가 처리된 PET섬유의 표면에 Si 원소가 부착되었음을 알 수 있었다.

Table 2. Analyzed elements of (a) untreated PET and (b) treated PET with ODDMAC(130°C)

Element	(a)		(b)	
	Weight (%)	Atomic (%)	Weight (%)	Atomic (%)
C	48.46	55.6	64.18	71.11
O	51.54	44.4	33.3	27.7
Si	-	-	2.51	1.19

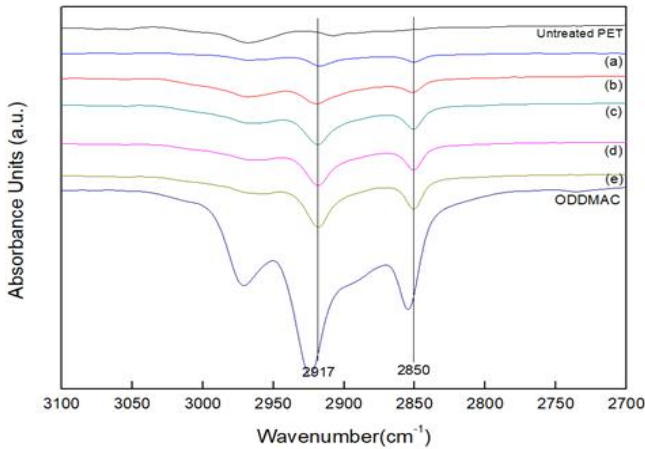


Figure 4. FTIR spectra of untreated PET and treated PET with the ODDMAC of (a) 5%, (b) 10%, (c) 15%, (d) 20%, (e) 25% at 130°C for 10min. The peaks at 2850 and 2917 cm^{-1} reflect the symmetric and asymmetric C-H stretching vibrations.

3.1.2 분자 구조 분석

미처리 PET섬유와 ODDMAC 처리 PET 섬유의 functional group의 변화를 확인하기 위해 FTIR 분석을 실시하여 그 결과를 Figure 4에 나타내었다. FTIR 분석결과 Figure 4를 보면 미처리 PET섬유와 비교하여 130°C, 10분동안 ODDMAC를 각각의 농도 별로 처리한 PET 섬유 그래프에서 2917 cm^{-1} 와

Table 3. Contact angle of water droplets according to treatment concentration

Treatment conc. (% o.w.s)	Contact angle (deg)
Untreated	59.8
5	118.8
10	114.6
20	113.1

2850 cm^{-1} 의 흡수 피크가 관찰되어 새로운 작용기의 형성을 추측할 수 있다. 이는 Figure 5에서 제시한 ODDMAC의 말단에 위치한 alkoxy기와 PET의 수산기가 탈 에탄올 반응을 거치며 공유결합을 형성할 시 생기는 알케인 결합의^{14,17)} 흡수 피크인, 2850 ~ 2960 cm^{-1} 와 일치함을 알 수 있었다.

따라서 ODDMAC 처리된 PET에서 추가 확인된 2917 cm^{-1} 의 FT-IR peak를 근거로 Figure 5에 제시된 매커니즘에 따라 ODDMAC가 PET에 성공적으로 결합되었음을 알 수 있었다.

3.2 발수 특성

ODDMAC를 처리한 PET섬유의 발수성을 확인하기 위해, 접촉각을 측정하여 비교하였으며, 그 결과 값을 Table 3 및

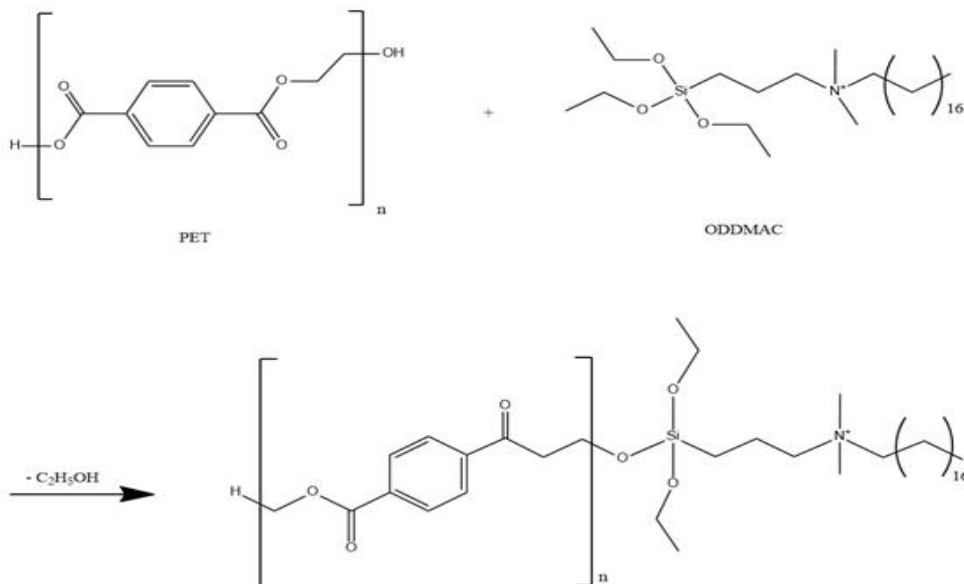


Figure 5. Suggested reaction scheme between ODDMAC and PET fiber.

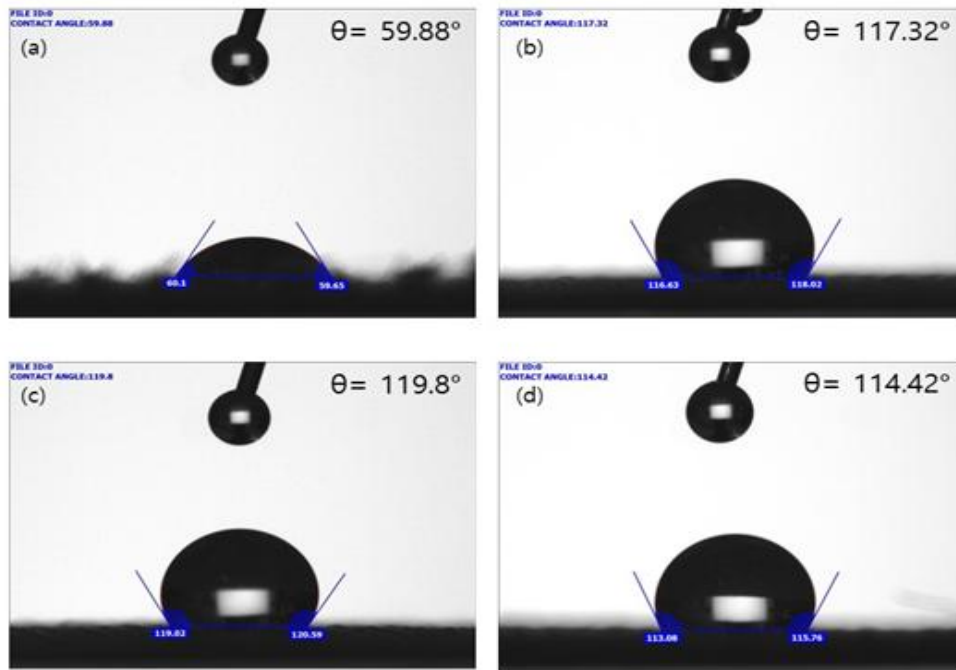


Figure 6. Contact angle of water droplets according to treatment concentration; (a) untreated PET, (b) ODDMAC 5%, (c) ODDMAC 10%, (d) ODDMAC 20% at curing condition 130°C, 5min.

Figure 6에 나타내었다. Figure 6에서 관찰되듯이 ODDMAC 농도에 따라서 접촉각의 차이는 크게 보이지 않고, 처리 조건

의 모든 농도에서 $\theta > 110^\circ$ 로 초소수성 표면을 띄는 것을 확인하였다. 이는 PET첨유 자체의 소수성과 ODDMAC에 존재하는

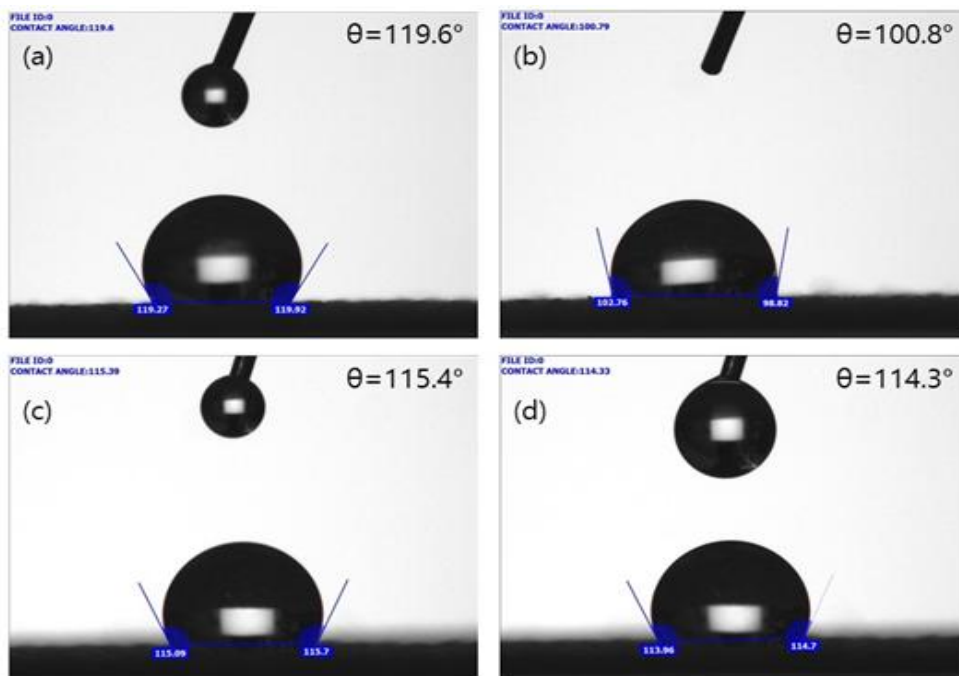


Figure 7. Change after 20 seconds of contact angle according to treatment times; (a) 1 min curing, (b) after 1 min of (a), (c) 10 min curing, (d) after 1 min of (c).

Table 4. Contact angle maintenance according to treatment times

Curing time (minute)	Contact angle(degree)	
	Immediately after contact	after 20 seconds
1	119.0	100.7
5	117.9	116.0
10	115.4	114.3

*ODDMAC concentration: 15%, curing temp.: 130°C

긴 알킬 체인(Long alkyl chain)의 존재로 인하여 발현된 성질이며, ODDMAC에 존재하는 Alkoxy siloxane의 자중합으로 인해 형성된 섬유 표면의 박막으로 인하여 비교적 저농도에서도 초소수성이 발현된 것으로 추측된다.

Figure 7에 발수성의 유지에 대한 Curing 시간의 영향을 알아보기 위해 물방울 접촉 후 1분이 지난 시점의 접촉각을 측정하여 소수성 표면의 유지 조건을 확인하여 나타내었다.

Table 4에 나타낸 것과 같이 Curing처리 시간 5분 이상에서 소수성이 유지되는 것을 알 수 있다. 이는 고온에서 Curing 시 ODDMAC와 PET섬유 간의 교착 시간이 길어지면서 저온에서 처리한 직물보다 상대적으로 더 많은 공유결합을 형성하였다고 추측된다.

이러한 결과를 토대로 볼 때, ODDMAC를 처리한 PET섬유 접촉각이 일정시간이 흐른 후에도 $\theta > 100^\circ$ 로 유지되는 고착 처리 조건이 처리 온도 130°C, 처리 시간 10min에서 최적의 발수성이 발현됨을 알 수 있었다.

3.3 세탁 내구성

세탁 횟수에 따른 발수성의 변화를 살펴보기 위해 일정 횟수의 세탁 후 접촉각을 측정하여 Figure 8에 나타내었다.

Figure 8에서 알 수 있듯이 세탁 수가 증가함에 따라 접촉각이 감소하며 발수성은 저하되는 것으로 나타났다. 구체적으로 ODDMAC 처리 직후 PET섬유 상의 접촉각은 115.39°였으나, 5회 세탁 후 88.15°로 감소하였으며, 10회 세탁 후 88.15°로 감소되었고, 최종 50회 세탁 후 77.07°로 감소하였다. 이는 세탁 도중 발생한 마찰과 외력으로 인해 섬유 표면에 코팅된 ODDMAC의 일부가 섬유 상에서 탈락된 것으로 추정한다.

이러한 결과는 Figure 2의 SEM 이미지에서도 세탁 이전의



Figure 8. Contact angle of water droplets at 15% ODDMAC concentrations, curing(130°C, 10min) according to washing times; (a) untreated PET, (b) treated PET with 15% ODDMAC, (c) 5 times washing, (d) 10 times washing, (e) 25 times washing, (f) 50 times washing.

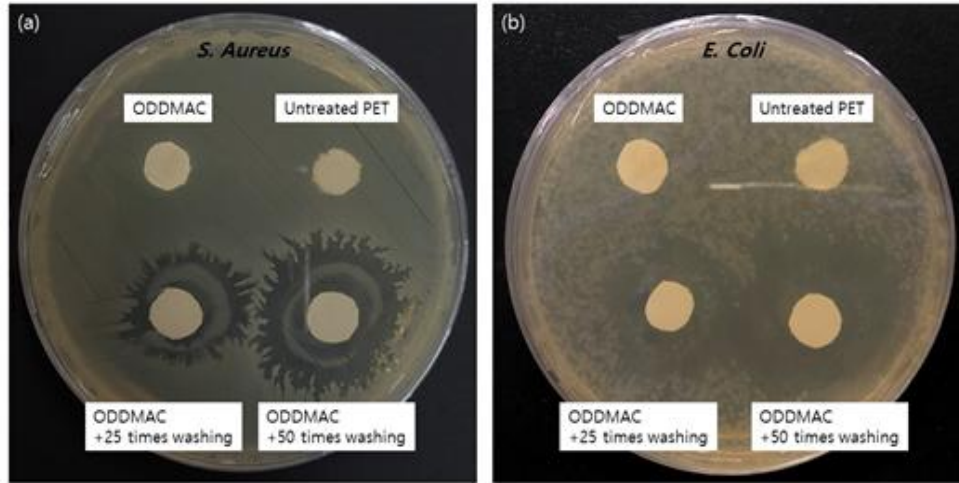


Figure 9. Representative image showing the antimicrobial activity against (a) *S. aureus* and (b) *E. coli* for untreated PET, treated PET with ODDMAC, and the treated fabrics after 25 and 50 washing cycles.

ODDMAC가 처리된 PET섬유의 표면과 50회 세탁 이후 시료의 표면을 비교하였을 때 코팅의 일부가 탈락되었음을 확인할 수 있었다.

3.4 항균 특성

ODDMAC 처리한 PET섬유의 항균성을 확인하기 위하여 실험 균주 그람 양성균인 *S. aureus* 및 그람 음성균인 *E. coli* 를 사용하여 디스크 확산법을 실시한 결과를 Figure 9에 나타내었다. Figure 9에서 확인한 바와 같이, 그람 양성균인 (a) *S. aureus*와 그람 음성균인 (b) *E. coli*에 대하여 ODDMAC 처리 PET의 항균성은 ODDMAC 처리 직후, 그 항균 활성이 상대적으로 약하거나 미미한 수준인 것에 반하여 ODDMAC 처리 PET의 세탁 횟수가 증가함에 따라 그 항균 활성이 증가하는 흥미로운 결과를 확인하였다.

실제 세탁 25회 샘플의 경우 그람 양성균인 *S. aureus*에 대하여 상당한 항균성(inhibition zone)을 형성하였으며, 그람 음성균인 *E. coli*에 대하여도 상대적으로 강하지는 않으나 항균성을 발현하는 것을 확인하였다. 아울러 세탁 50회 샘플의 경우, 그람 양성균인 *S. aureus*에 대한 항균 활성이 25회 세탁 샘플 대비 현저히 증가한 것을 알 수 있었다. 또한 그람 음성균인 *E. coli*에 대한 항균 활성도 그람 양성균인 *S. aureus*에 비해 다소 약하게 나타나지만 여전히 항균활성도가 세탁 25회 샘플에 비해 증가한 것을 확인하였다.

이는 Figure 8에서 확인한 세탁 횟수에 따른 접촉각 변화를 통해 알 수 있듯이, ODDMAC 처리 PET섬유가 세탁 횟수를 거듭할수록 일부 ODDMAC가 섬유로부터 탈락하면서 PET섬유 표면의 소수성이 상대적으로 감소된 것으로 여겨지며 그로 인해 친수성의 특성이 증가하여 PET 표면에 처리된 ODDMAC와 균의 접촉 확률이 증가하고 이에 따라 균에 대한 항균 성능이 상대적으로 더 유리하게 발현된 것으로 추측된다^{4,22)}.

4. 결 론

본 연구에서는 유기 실리콘 제 4급 암모늄계 항균제인 ODDMAC를 PET섬유에 처리하여 한 공정 내에서 항균성 및 발수성의 동시 부여가 가능한 처리 조건과 그에 대한 특성 분석을 진행하였다.

ODDMAC가 처리된 PET섬유의 SEM-EDS측정 결과로 Si 원소를 PET섬유 표면상에서 확인함으로써 ODDMAC와 PET섬유 간의 물리적 결합을 확인하였다. 또한 PET섬유 상에 ODDMAC를 pad-dry-cure한 결과, 접촉각이 $\theta=1105^\circ$ 를 나타내며 super-hydrophobic한 표면특성으로 발수성이 발현되는 것을 확인하였다.

항균성은 ODDMAC가 처리된 PET섬유에 대해, 그람 양성균 *S. aureus* 및 그람 음성균 *E. coli* 균주에 대하여 세탁 수가 증가함에 따라 항균성이 증가하는 흥미로운 양상을 보인다. 15% 농도의 ODDMAC를 처리한 PET섬유에 대해 세탁 50회까지 소수성 발현 및 항균성을 확인하였으며, 이를 통해 ODDMAC와 PET섬유 간의 상호작용을 확인하였다.

본 연구에서 ODDMAC를 PET섬유에 처리한 제품에 대해 발수성을 지님과 동시에 세탁성이 발현됨을 확인하였으며, 이를 근거로 ODDMAC를 이용한 항균 및 발수 가공은 공정 단계를 최소화하여 공정 단가를 절감시킬 수 있을 뿐 아니라, 발수 및 항균 특성에 대한 발현의 가능성을 검증하였으며, 향후 ODDMAC를 이용한 섬유의 항균 및 발수 특성이 섬유의 기능성 분야에 폭넓게 적용될 것으로 기대된다.

References

1. H. J. Jeon and J. W. Lee, Antimicrobial and Water

- Repellency Effect of Functional Cotton Fiber with ODDMAC (octadecyl dimethyl(3-triethoxy silylpropyl) ammonium chloride), *Textile Coloration and Finishing*, **31**, 276(2019).
2. D. K. Kang, S. O. Lee, and J. W. Lee, Antimicrobial Properties and Characteristic Changes of Nylon Treated with Glycidyltrimethylammonium chloride (GTAC) and Silver nanoparticles (AgNPs), *Textile Coloration and Finishing*, **28**, 271(2016).
 3. D. J. Ahn, C. H. Choi, J. W. Lee, and S. O. Lee, Preparation and Properties of Functional PET Textured Yarn Coated with Aromatic Polymer, *Textile Coloration and Finishing*, **29**, 148(2017).
 4. K. Pinar, W. Lynn, E. O. Dennis, and J. W. Kenneth, Highly Effective Contact Antimicrobial Surfaces via Polymer Surface Modifiers, *Langmuir*, **23**, 4719(2007).
 5. D. G. Gao, Y. J. Li, B. Lyu, D. Jin, and J. Z. Ma, Silicone Quaternary Ammonium Salt Based Nanocomposite: A Long-acting Antibacterial Cotton Fabric Finishing Agent with Good Softness and Air Permeability, *Cellulose*, **27**, 1055(2020).
 6. D. G. Kim, B. H. Lee, and K. C. Song, Preparation of Non-Fluorinated Water Repellent Coating Films Using Methyl trimethoxysilane and Trimethylethoxysilane, *Korean Chemical Engineering Research*, **57**, 177(2019).
 7. J. H. Lee, Superhydrophobic and Hydrophobic Anodic Aluminum Anodic Oxide Layer : A Review, *The Korean Institute of Surface Engineering*, **51**, 11(2018).
 8. H. G. Kim, S. S. Kang, E. G. Guak, and Y. W. Kang, A Study on the Performance Evaluation of Double-Layered Catalyst MEA, *The Korean Society for New and Renewable Energy*, **2**, 50(2006).
 9. J. N. Park, Y. S. Shin, and W. G. Lee, Formation of Polypropylene Thin Films with Superhydrophobic Surface, *Applied Chemistry for Engineering*, **25**, 598(2014).
 10. Y. H. Kim, S. K. Hong, S. Y. Lee, S. H. Lee, K. H. Kim, and J. J. Kang, Hydrophobic Characteristics of a Silicone Resin Surface Produced by Replicating an Electric Discharge Machined Surface, *Textile Coloration and Finishing*, **22**, 23(2013).
 11. P. K. Park, B. O. Lee, H. C. Kim, and H. Y. Kim, Flame Retardant and Water Repellent Finishing of Automobile Indoor Fabrics, *Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers*, **11**, 7(1999).
 12. G. S. Cho, J. S. Cho, and M. Y. Sohn, A Study on the Development of Antimicrobial Finished and Water Repellent Nonwoven Fabrics using Organic Silicon Quaternary Ammonium Salt, *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, **14**, 216(1990).
 13. K. Gupta, R. P. Singh, A. Pandey, and A. Pandey, Photocatalytic Antibacterial Performance of TiO₂ and Ag-doped TiO₂ against *S. aureus*, *P. aeruginosa* and *E. coli*, *Beilstein J. Nanotechnology*, **4**, 345(2013).
 14. S. Ivan and S. Branka, Silver Nanoparticles as Antimicrobial Agent: a Case Study on *E. coli* as a Model for Gram-negative Bacteria, *Journal of Colloid and Interface Science*, **275**, 177(2004).
 15. M. S. Park, Post-Corona 19 Textile and Fashion Industry Trends and Corporate Roles, The Korean Fiber Society's Seminar, Jeju, p.19, 2020.
 16. S. S. Kim, J. E. Park, and J. Lee, Properties and Antimicrobial Efficacy of Cellulose Fiber Coated with Silver Nanoparticles and 3-Mercaptopropyltrimethoxysilane(3-MPTMS), *Journal of Applied Polymer Science*, **119**, 2261(2011).
 17. Y. H. Kim, C. W. Nam, J. W. Choi, and J. H. Jang, Durable Antimicrobial Treatment of Cotton Fabrics using N-(hydroxy)propyl-3-trimethylammonium Chitosan Chloride and Polycarboxylic acids, *Journal of Applied Polymer Science*, **88**, 1567(2003).
 18. P. K. Stoimenov, R. L. Klinger, G. L. Marchin, and K. J. Klabunde, Metal Oxide Nanoparticles as Bactericidal Agents, *Langmuir*, **18**, 6679(2002).
 19. R. M. Slawson, M. I. V. Dyke, H. Lee, and J. T. Trevors, Germanium and Silver Resistance, Accumulation and Toxicity in Microorganisms, *Plasmid*, **27**, 72(1992).
 20. G. J. Zhao and S. E. Stevens, Multiple Parameters for the Comprehensive Evaluation of the Susceptibility of *Escherichia coli* to the Silver Ion, *Biomaterials*, **11**, 27(1998).
 21. J. A. Spadaro, T. J. Berger, S. D. Barranco, S. E. Chapin, and R. O. Becker, Antibacterial Effects of Silver Electrodes with Weak Direct Current, *Antimicrob Agents and Chemotherapy*, **6**(5), 637(1974).
 22. H. J. Chae, N. S. Yun, R. Mahmood, G. H. Jo, and M. U. Heo, Antibacterial Processing of PET Using Exhaustive Quaternary Ammonium Salt-based Antibacterial Agent, The Korean Society of Dyers and Finisher's Spring Conference, Seoul, Vol.18, p.191, 2006.
 23. J. Liang, K. Barnes, A. Akdag, S. D. Worley, J. Lee, R. M. Broughton, and T. S. Huang, Improved Antimicrobial Siloxane, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **46**, 1861(2007).

Authors

- 양희진** 영남대학교 파이버시스템공학과 석사과정 학생
전혜지 영남대학교 파이버시스템공학과 석사과정 학생
이상오 영남대학교 의류패션학과 교수
이재웅 영남대학교 파이버시스템공학과 교수