Elastomers and Composites
Vol. 51, No. 3, pp. 226~232 (September 2016)

Print ISSN 2092-9676/Online ISSN 2288-7725
DOI: http://dx.doi.org/10.7473/EC.2016.51.3.226

A Development of Polyester-based Non-woven Fabric Filter for Air Purifier Treated with Self-actuated Photocatalyst

Sei Young Choi†

Department of Applied Chemistry, Cheongju University, 298 Daeseongro, Cheongwon-gu, Cheongju 28503, Korea

(Received August 29, 2016, Revised September 20, 2016, Accepted September 20, 2016)

Abstract: We studied the photocatalytic functionality such as deodorant, antibacterial, fine dust collection efficiency of polyester-based non-woven fabric filter treated with self-actuated photocatalyst. According to UV/visible result, the UV-visible peak of visible-light responsive photocatalyst was found to be red shift at 420 nm sensitive in the visible light region. The deodorizing performance was shown to be reduced more than 80% even without dark conditions. Fine dust particles collection efficiency was shown to be excellent at the size of not only 2.5 μm~10.0 μm but also less than 2.5 μm. Also antimicrobial and antifungus was shown to be reduced more than 99.9%.

Keywords: self-actuated photocatalyst, polyester fabric filter, VOCs, deodorization, antibacterial

Introduction

현대인은 대부분의 시간을 실내의 한정된 공간에서 생활하기 때문에 최근 실내공기질에 대한 중요성이 크게 부각되고 있다. 최근에 와서 실내생활공간은 실내에서 발생되는 오염물질과 외부에서 유입되는 대기오염물질의 영향으로 실내공기질이 급속도로 악화되고 있다. 주 오염원으로는 담배연기, 알레르겐, 휘발성 유기화합물, 배기가스 등을 예로 들 수 있다. 담배연기 및 알레르겐은 입자상이며, 냄새, 휘발성 유기화합물 및 자동차 배기가스 등은 가스상 오염물질이다. 따라서 실내공기질을 쾌적하게 하기 위해서는 가스상 오염물질의 분해와 입자상 오염물질을 걸러주는 기능을 동시에 갖는 공기정화장치가 요구되고 있다.[1,2]

따라서 친환경적이면서 항균, 소취 등의 기능을 갖춘 기능성섬유필터의 개발이 요구되고 있다.[3-5] 그러한 상품들 중의 하나로서 화학 항균제 등을 사용한 항균섬유필터를 들 수 있으며, 최근에 와서는 인체에 유해할 수 있는 화학 항균제 대신 인체 독성이 낮은 무기소재를 복합하여 섬유제품에 항균성을 부여하는 연구가 활발히 진행되고 있다.[6-9] 이러한 관심으로 다양한 시도가 이루어지고 있는 가운데 최근에는 광촉매의 특성을 활용하는 연구도 활발히 진행되고 있다.[10]

광촉매는 1972년 Nature지에 소개된 Honda-Fujishima effect[11]의 연구를 시작으로 본격적으로 학계에 관심을 받게 되었으며, 소취, 항균, 각종 유기물질을 분해하는 장점을 가지고 있어 여러 방면으로 연구가 진행되고 있다. 이러한 장점에도 불구하고 광촉매는 400 nm 이하의 파장을 갖는 자외선이 조사되어야만 활성을 나타내는 단점을 갖고 있어 많은 연구자들이 바나듐, 크롬, 철과 같은 전이금속을 이산화티타늄에 도핑하여, 자외선뿐만 아니라 가시광 영역에서도 활성을 나타내는 가시광촉매 제조기술을 소개하고 있다. 또한 산소의 2p궤도보다 높은 에너지를 갖고 있는 2종 이상의 전이금속을 도핑시켜 전이금속이 가전대보다 위의 준위에 들어가 가전자대 상단의 레벨이 상승되도록 하고, 이산화티타늄으로부터 밴드갭 에너지를 극복하여 전자가 생성되는 과정의 깁스자유에너지변화(△G) 값을 음수(△G<0)가 되게 함으로써 빛의 유무와 관계없이 전자가 자발적으로 이산화티타늄의 표면으로 계속 이행하여 광촉매 작용을 하도록 하는 연구도 수행하고 있고 그 결과에 의한 상품화도 이루어지고 있다.[12-19]

본 연구에서는 빛의 조사가 있거나 또는 빛이 없는 암상태에서도 전도대와 가전대에서 전자와 정공이 생성되어 광촉매 작용을 하는 자기구동형 무광촉매 Weltouch®를 공기청정기용 polyester계 부직포필터에 처리한 다음 VOCs제거, 탈취, 미세먼지제거, 항균 및 항곰팡이효과를 확인하고 자기구동형 무광촉매의 에어필터에의 활용가능성을 살펴보고자 한다.

Experimental[20]

1. 실험재료 및 시약

본 연구에서 사용된 시료는 국내 O사의 공기청정기용 Poly-

†Corresponding author E-mail: sychoi@cju.ac.kr

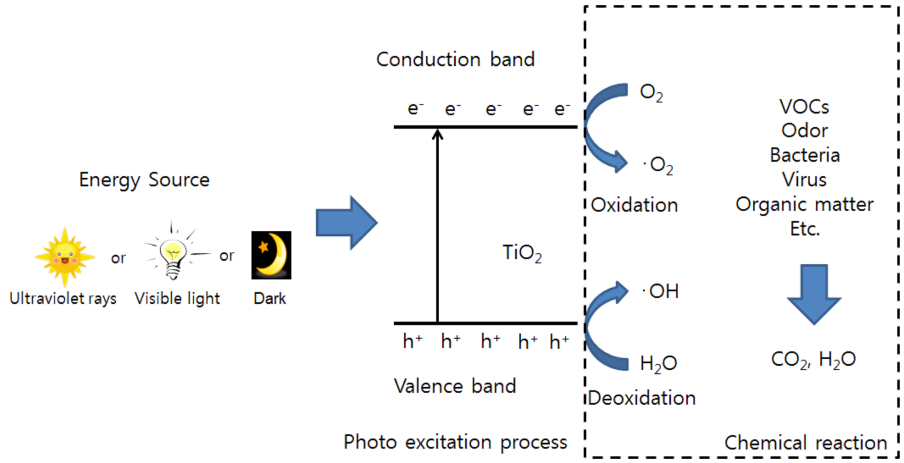

Figure 1. Self-actuated photocatalyst mechanism.

ester계 부직포필터를 선택하였고, 공기청정기용 Polyester계 부직포필터에 VOCs제거, 탈취효과, 미세먼지제거, 항균 및 항곰팡이 특성을 부여하기 위한 자기구동형 무광촉매는 Nexchem사(Korea)에서 제조, 판매하고 있는 Weltouch®를 그대로 사용하였다. 사용된 자기구동형 무광촉매의 원리는 Figure 1에 나타내었다.

2. 공기청정기용 Polyester계 부직포필터에의 자기구동형 무광촉매 처리

공기청정기용 Polyester계 부직포필터에 자기구동형 무광촉매 Weltouch®를 HVLP(high volume low pressure)방식의 스프레이 코팅장비(Q3 PRO, FUJI사)를 이용하여 15 g/m^{2}의 사용량으로 스프레이코팅한 후, 상온(25±2°C)에서 30분 건조시켰다.

3. 측정 및 분석

3.1. UV-visible spectrum 분석

공기청정기용 Polyester계 부직포필터에 처리되는 자기구동형 무광촉매 Weltouch®에 대하여 UV-visible spectrum 분석을 실시하고 band gap 에너지를 구하여 Weltouch®의 광활성을 시판중인 일반 광촉매(G사, W제품, Japan)와 비교 · 확인하였다. UV-visible spectrum 분석은 UV/visible spectrophotometer(Optizen 2120UV, IM Technology사, Korea)를 사용하였으며, 파장 300~700 nm에서 광촉매의 흡광도를 측정한 다음 아래와 같이 에너지와 파장과의 관계식[21,22]을 이용하여 band gap 에너지를 구하였다.

$$E_g = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240}{\lambda}$$

여기에서, E_g : band gap 에너지

ν: 진동수

h : 플랑크 상수, 6.6260755×10^{-34} J·S

c : 빛의 속도, 2.907925×10^{8} m/s

3.2. VOCs 제거효율, 탈취 및 효과지속성[20]

자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 공기청정기용 polyester계 부직포 필터에 대한 탈취성능은 가스텍 검지관법으로 측정하여 비교하였다. 측정대상가스는 암모니아, 트리메틸아민, 포름알데히드 및 톨루엔을 사용하였으며, Gastec사의 암모니아 검지관(No. 3L), 트리메틸아민 검지관(No. 180L), 포름알데히드 검지관(No. 91L) 및 톨루엔 검지관(No. 122L)으로 측정하였다. 시험은 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 공기청정기용 polyester계 부직포 필터를 100 mm×100 mm 크기로 잘라 각각의 테들러백에 넣고 측정대상가스와 신선한 공기를 주입, 밀봉한 후 형광등(FT5001-21w, Shangyu Fortune Electric Co. Ltd, China)과 빛이 없는 조건하에서 120분간 방치시킨 다음 각각의 대상가스 검지관으로 측정하였다.

또한 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 시험편의 효과지속성능은 상기에서 테스트한 시험편을 그대로 사용하여 가스

Figure 2. Illustration for gas removal test with dark chamber.

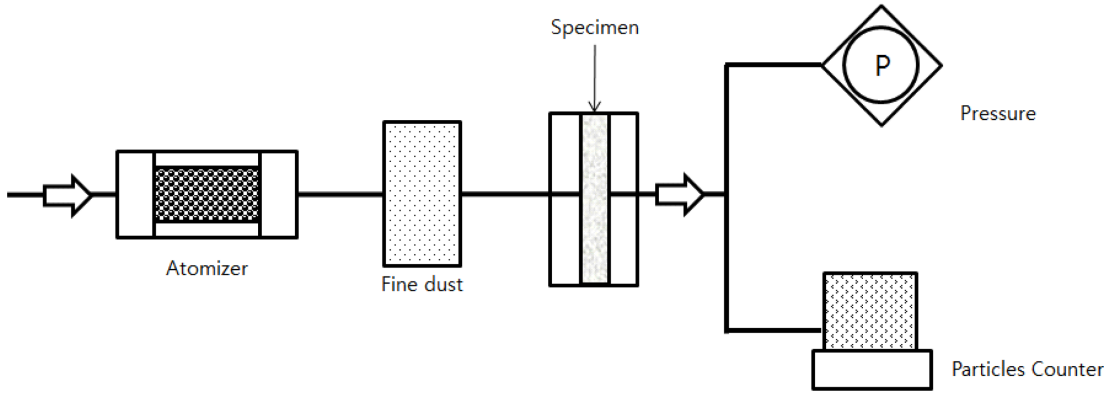

Figure 3. Schematic diagram of fine dust filtration test system.

텍검지관법으로 10회 반복 시험을 진행하였다.

3.3. 미세먼지 입자포집효율

자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 시험편의 미세먼지 입자별 포집효율을 측정하기 위해 Figure 3와 같이 장치를 하였다. Particle counter는 CEM사의 DT-9880을 이용하여 0.3 μm, 0.5 μm, 1.0 μm, 2.5 μm, 5.0 μm 및 10.0 μm의 입자크기를 측정하였고, 사용된 미세먼지는 담배연기를 입자시료로 하여 측정하였다. 또한 자기구동형 무광촉매가 코팅된 시험편의 자기구동형 무광촉매 코팅에 의한 압력손실 정도를 확인하기 위해서 압력측정기 AXD620(ALNOR, USA)를 이용하여 압력손실율을 측정하였다.

3.4. 항균성[20,23]

자기구동형 무광촉매를 코팅처리하지 않은 시험편과 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 시험편을, 각각 70 mm×70 mm크기로 잘라 0.4 g씩 채취하여 KS규격 K-0693-2011의 방법으로 무광조건하에서 항균성측정을 실시하였다. 공시균은 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*)으로 하였으며, 이때 사용된 균주는 37±1°C에서 18시간 배양으로 31.6배 이상 균주 배양이 되어지는 활성을 가진 것으로 하였다. 시험에 의한 균 감소율(%)은 정균율로서, 자기구동형 무광촉매를 코팅처리하지 않은 시험편과 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 시험편의 18시간 후의 생균수의 상대적 감소율인 균수 측정을 다음 식과 같이 계산하였다.

$$\text{Bacteriostatic ratio } (\%) = \frac{M_b - M_c}{M_b} \times 100$$

여기에서, M_b: 18시간 배양 후 대조편의 박테리아 수
M_c: 18시간 배양 후 시험편의 박테리아 수

3.5. 항곰팡이성[24]

자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 시험편에 대한 항곰팡이성 측정은, ASTM-G-21-2009의 방법으로 하였으며 시험편은 50 mm×50 mm의 크기로 하였다. 시험에 사용된 곰팡이 균주는 *Aspergillus niger* ATCC 9642, *Penicilium pinophilum* ATCC 11797, *Chaetomium globosum* ATCC 6205, *Gliocladium virens* ATCC 9645, *Aureobasidium pullulans* ATCC 15233의 혼합균주로 포자수가 1,000,000±200,000 spore/ml인 곰팡이 현탁액 30 ml를 접종한 다음, 27±2°C, 자외선이 아닌 무광조건하의 조건에서 28일간 배양하였고 1주일 간격으로 곰팡이 포자수를 측정하고 그 결과는 Table 1에 따라 평가하였다.

Table 1. The Rating System.

Observed Growth on Specimens Rating	Rating
None	0
Traces of Growth (less than 10%)	1
Light Growth (10~30%)	2
Medium Growth (30~60%)	3
Heavy Growth (60% to complete coverage)	4

Results and Discussion

1. UV-visible spectrum 분석

본 연구에서 공기청정기용 polyester계 부직포필터에 처리되는 자기구동형 무광촉매 Weltouch®에 대하여 UV-visible spectrum 분석을 실시하고 band gap 에너지를 구하여 시판중인 일반 광촉매(G사, W제품, Japan)와 광활성을 비교 · 확인하였으며, 그 결과를 Figure 4에 나타냈다.

일반적인 광촉매는 3.2 eV 이상의 band gap 에너지, 즉 자외선영역에서 활성화을 나타내는 것으로 알려져 있다.[25] 그러나 본 연구에 사용된 Weltouch®는 Figure 4에서 보는바와 같이 약 420 nm의 파장영역에서 흡수피크가 나타났다. 이것은 자외선 영역에서 가시광 영역으로 red shift[26]된 것으로 본래의 파장에서 장파장, 즉 적외선쪽으로 흡수 띠가 이동하는 현

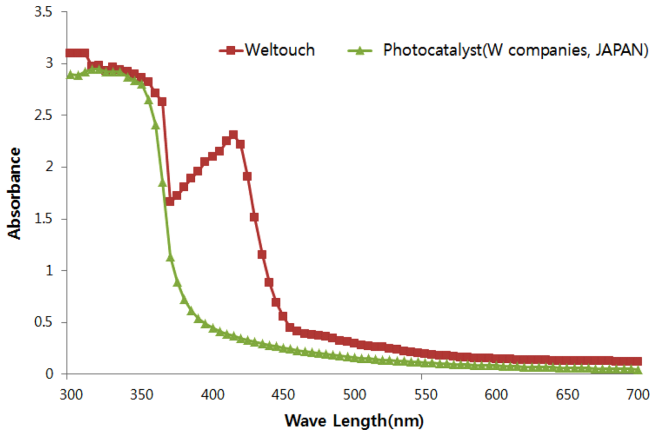

Figure 4. Absorbance pattern of selt-actuated photocatalyst Weltouch®.

상을 말한다. 따라서 Weltouch®는 약 420 nm의 파장을 갖는 빛이 내는 에너지, 즉 2.8 eV 이상의 band gap 에너지를 갖는 가시광 영역에서도 효과적으로 광활성을 나타낸다는 것을 확인 할 수 있었다.

2. VOCs제거, 탈취 및 지속성능

자기구동형 무광촉매가 코팅처리되지 않은 polyester계 부직포와 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 polyester계 부직포에 대한 VOCs제거와 탈취성능은 가스텍 검지관법으로 측정하고 비교하여 Table 2에 나타냈다. Table 2(a)에 나타낸 바와 같이 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 polyester계 부직포가 무처리 polyester계 부직포보다 가시광선 조사하에서 현저한 포름알데히드의 감소효과를 나타냈으며, 암모니아, 트리메틸아민 및 톨루엔도 현저한 감소효과를 나타냈다. Table 2 (b)에 나타낸 바와 같이 무광조건에서의 VOCs제거 및 탈취효과는 약간의 감소를 보였지만 80% 이상의 감소효과를 보였다. 또한 테스트한 시험편을 10회 반복 시험하여 지속성능을 확인한 결과 10회 반복 시험하여도 VOCs제거 및 탈취효과를 유지하는 것으로 나타냈다. 이는 무광조건에서 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 polyester계 부직포의 표면에서 생성된 hydroxy radical(·OH)과 superoxide anion radical($\cdot O_2^-$)에 의해 다음과 같은 mechanism으로 분해 · 제거된 것으로 사료된다.[27]

$NH_3 + \cdot OH, \cdot O_2^- \rightarrow H_2O, NO_2, N_2,$
$(CH_3)_3N + \cdot OH, \cdot O_2^- \rightarrow H_2O, CO_2, N_2,$
$HCHO + \cdot OH, \cdot O_2^- \rightarrow H_2O, CO_2,$
$C_6H_5CH_3 + \cdot OH, \cdot O_2^- \rightarrow H_2O, CO_2$

이 결과로 볼 때 자기구동형 무광촉매가 코팅되었을때 자외선 및 가시광선이 아닌 무광조건에서도 효과적인 탈취성능을 발휘하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 일반광촉매는 광원이 필요하지만, 본 연구에서 사용된 자기구동형 무광촉매는 무광에서도 발휘하여 공기청정기 등에 광원없이 우수한 탈취성능을 발현할 것으로 사료된다. 광원이 없어도 되므로 공기청정기 제조공정이 간편해지고 제조 비용 절감 뿐아니라 사용시 에너지절감효과도 크게 기대될 것으로 사료된다.

Table 2. Reduction Effect of VOCs (Formaldehyde, Ammonia, Trimethylamine and Toluene) of Weltouch® Treated Polyester-based Non-woven Fabric Filter for Air Purifier in the Dark and Visible Light Conditions.

(a) Visible light conditions (Unit : ppm)

Gas \ Time / Samples		Start conc.	1	2	5	10
Formaldehyde	Non-treated	80	80	78	78	79
	Treated	80	4.8	0	0	1
Ammonia	Non-treated	78	76.7	75.4	76.7	76.7
	Treated	78	0	0	2.6	1.3
Trimethylamine	Non-treated	60	60	60	59	59
	Treated	60	2	2	3	2
Toluene	Non-treated	50	50	49	50	49
	Treated	50	5	7	5	6

(b) In the dark conditions (Unit : ppm)

Gas \ Time / Samples		Start conc.	1	2	5	10
Formaldehyde	Non-treated	80	80	78.4	78.4	80
	Treated	80	12.8	11.2	12.8	12.8
Ammonia	Non-treated	78	76.7	75.4	76.7	76.7
	Treated	78	10.4	10.4	13	11.7
Trimethylamine	Non-treated	60	60	60	59	59
	Treated	60	9	9	10	10
Toluene	Non-treated	50	50	49	50	49
	Treated	50	10	11	10	11

3. 미세먼지 입자포집효율

자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 polyester계 부직포와 무처리 polyester계 부직포의 입자별 포집효율은 Figure 5에 나타냈다. 이 그림에서 나타낸 바와 같이 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 polyester계 부직포가 무처리 polyester계 부직포보다 미세먼지 입자별 포집효율이 우수하게 나타났다. 5.0 μm~10.0 μm의 입자크기에서는 무처리와 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 polyester계 부직포 모두 포집효율이 좋았으나, 0.3 μm~2.5 μm의 입자크기는 각각 9%에서 56%, 39%에서 89%, 78%에서 97%, 85%에서 99%로 입자의 크기가 미세해질수록 확연하게 포집효율이 뚜렷하게 향상된 것으로 나타났다.

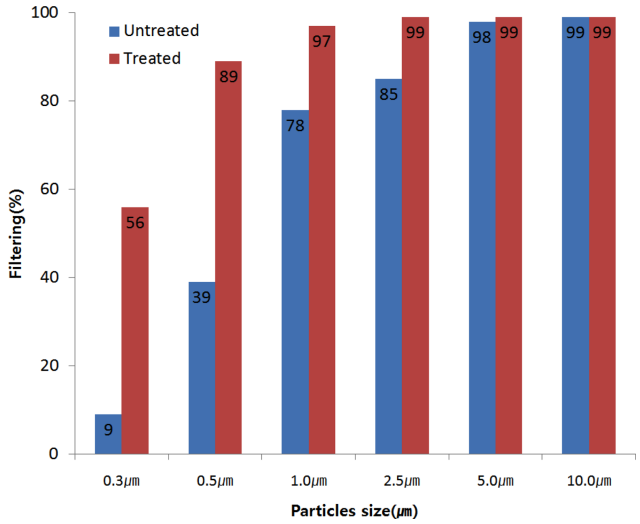

Figure 5. Fine particles removal effect of Weltouch® treated polyester-based non-woven fabric filter for air purifier.

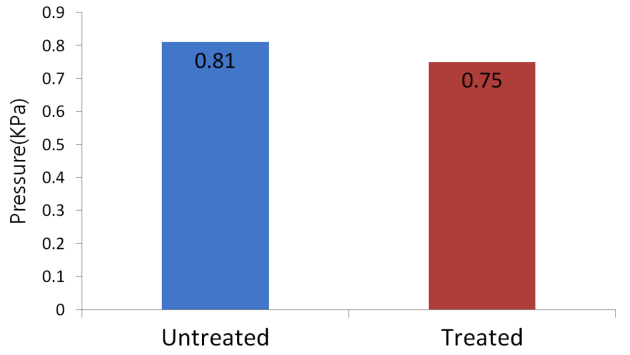

Figure 6. Pressure drop of Weltouch® treated polyester-based non-woven fabric filter for air purifier.

또한 Figure 6에 나타낸 바와 같이 무처리 polyester계 부직포와 자기구동형 무광촉매를 코팅처리한 polyester계 부직포의 압력손실은 각각 0.81 KPa, 0.75 KPa으로 7%p의 감소로 자기구동형 무광촉매를 코팅처리하더라도 압력손실이 크지 않음을 확인할 수 있었다.

4. 항균성

자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 공기청정기용 polyester계 부직포와 무처리 공기청정기용 polyester계 부직포를 각각 70 mm×70 mm크기로 잘라 0.4g씩 채취하여 KS규격 K-0693-2011의 방법으로 항균성시험을 실시한 결과를 Table 3에 나타냈다. 이 표에서 나타낸 바와 같이 자기구동형 무광촉매를 코팅처리하지 않은 시험편은 황색포도상구균이 1.3×10^5 cells/ml에서 4.8×10^6 cells/ml로 현저하게 증가하였지만, 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 polyester계 부직포는 항균 효과가 1.3×10^5cells/ml에서 <10 cells/ml로 99.9% 이상으로 저감되는 것으로 나타냈다. 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 polyester계 부직포 표면의 전자와 정공에 의해 활발하게 생성된 hydroxy radical(·OH)과 superoxide anion radical($\cdot O_2^-$)이 박테리아와 접촉하여 박테리아세포막을 파괴 · 분해함으로서 뛰어난 항균효과를 보이는 것으로 사료된다.[28]

Table 3. Antibacterial Activity of Weltouch® Treated Polyester-based Non-woven Fabric Filter for Air Purifier

(Unit : cells/ml)

Polyester filter	Early	After 24h	Reduction ratio (%)
None-treated	1.3×10^5	4.8×10^6	–
Treated	1.3×10^5	<10	99.9

공기청정기용 polyester계 부직포에 코팅처리된 자기구동형 무광촉매는 빛의 조사가 있거나 또는 암상태에서도 전도대와 가전대에서 전자와 정공이 생성되어 광촉매 작용을 하기 때문에 항균성이 우수하게 나타난 것으로 생각된다. 실생활에서 자기구동형 무광촉매를 코팅처리한 필터를 사용한다면, 사용자들의 세균에 의한 감염 예방뿐만 아니라 필터에서 발생하는 퀘퀘한 냄새도 제거할 수 있어 최근 논란이 되고 있는 방균제 OIT(옥틸이소티아졸린)의 유해성문제로부터 소비자를 보호할 수 있을 것으로 생각된다.

5. 항곰팡이성

자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 시험편에 대한 항곰팡이 특성을 ASTM-G-21-2009의 방법으로 시험한 결과를 Table 4에 나타냈다. 이 표에 나타낸 바와 같이 자기구동형 무광촉매를 코팅처리하지 않은 시험편은, 곰팡이포자가 1주일만에 균사 발육부분의 면적이 전체면적의 60%로 나타났으며, 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 시험편은, 4주 후에도 시험편의 접종한 부분에 균사의 발육이 전혀 인지되지 않았다. 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 시험편 표면의 전자와 정공에 의해 활발하게 생성된 hydroxy radical(·OH)과 superoxide anion radical($\cdot O_2^-$)이 곰팡이포자와 접촉하여 포자의 세포막

Table 4. Antifungal Activity of Weltouch® Treated Polyester-based Non-woven Fabric Filter for Air Purifier

(unit : cells/ml)

	After 1 weeks	After 2 weeks	After 3 weeks	After 4 weeks
None-coated	4	4	4	4
Coated	0	0	0	0

을 파괴 · 분해함으로서 뛰어난 항곰팡이 효과를 보이는 것으로 사료된다.[28]

Conclusion

빛의 조사가 있거나 또는 빛이 없는 암상태에서도 전도대와 가전대에서 전자와 정공이 생성되어 광촉매 작용을 하는 자기구동형 무광촉매를 polyester계 부직포 필터에 코팅처리하여 VOCs제거, 탈취성능, 미세먼지 입자포집효율, 항균성 및 항곰팡이성 등의 광촉매 특성을 평가하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 자기구동형 무광촉매를 코팅처리한 공기정청기용 polyester계 부직포필터의 탈취성능은 포름알데히드, 암모니아 및 트리메틸아민 모두 무광조건에서도 90% 이상의 가스제거율을 나타내었다.

2. 자기구동형 무광촉매를 코팅처리한 공기청정기용 polyester계 부직포필터의 입자포집효율은 0.3 μm, 0.5 μm, 1.0 μm, 2.5 μm, 5.0 μm 및 10.0 μm 입자크기에서 각각 56%, 89%, 97%, 99%, 99%로 미세입자포집효율이 확연하게 향상된 것으로 나타내었다. 또한 자기구동형 무광촉매를 코팅처리하여도 필터의 압력손실을 크지 않음을 확인하였다.

3. 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 polyester계 부직포필터는 99.9% 이상의 균수저감효과로 우수한 항균성을 나타냈으며 또한 자기구동형 무광촉매가 코팅처리된 공기청정기용 polyester계 부직포필터에서 균사의 발육이 전혀 인지되지 않는 우수한 항곰팡이성을 나타냈다.

4. 이상의 결과로서, 자기구동형 무광촉매를 공기청정기용 polyester계 부직포필터 나아가서는 HEPA필터에 적용한다면, 미세먼지제거 기능만을 갖는 이러한 filter류가 VOCs제거, 항균, 항곰팡이, 항바이러스효과를 동시에 갖는 복합기능의 우수한 공기청정기 필터로 탈바꿈하게 되어, 공기청정기 구조의 단순화에 기여하고 그 기능 또한 향상될 것으로 기대된다.

Acknowledgments

이 논문 및 저서는 2016학년도 청주대학교 산업과학연구소가 지원한 학술연구조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었음.

References

1. S. Y. Shin, M. C. Cho, K. W. Lee, and S. H. Lee, “A Study on the Performance of Photocatalyst Plasma air Cleaning Filter”, *The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, **7**, 382 (2001).
2. S. W. Yang, “[집중기획: 산업유해물질제어기술] 산업환기용 에어필터의 특성비교 및 시험방법소개”, *The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, **31**, 6 (2002).
3. S. W. Jin and J. H. Jang, “The UV/Ozone Stability of PET and Nylon 6 Nanocomposite Films Containing TiO_2 Photocatalysts”, *Textile Coloration and Finishing*, **26**, 2 (2014).
4. S. M, Park, “Textile Finishing Using the Sol-Gel Process”, *Dyeing & Finishing*, **2**, 11 (2007).
5. J. Jang, “Textile Finishing Technology Using Ultraviolet Curing”, *Fiber Technol Ind.*, **7**, 303 (2003).
6. H. C. Cha and Y. H. Kim, “Dyeing Properties and Anti-Bacterial Activities of Sulfadiazine Type Reactive Dyes”, *Text Sci. Eng.*, **45**, 4 (2008).
7. D. S. Dimitrov, “Interactions of Antibody-Conjugated Nanoparticles with Biological Surfaces”, *Colloids Surf. A Physicochem Eng. Asp.*, **282**, 8 (2006).
8. R. Dastjerdi and M. Montazer, “A Review on the Application of Inorganic Nano-Structured Materials in the Modification Of Textiles: Focus on Anti-Microbial Properties”, *Colloids Surf. B Biointerfaces*, **79**, 5 (2010).
9. S. M. Jo, K. H. Jhee, J. H. Kim, O. K. Kwon, S. K. Lim, and B. G. Min, “Antimicrobial Properties of PET/(nano-TiO_2) Composite Films Prepared by Photocatalytic Deposition of Silver”, *Text Sci. Eng.*, **49**, 9 (2012).
10. M. G. Lim, B. J. Jung, E. Y. Lee, N. Y. Lee, H. G. Park, W. J. Nam, and Harold H. Schobert, “Emmission Characteristics of VOCs and Formaldehyde Discharged from Car Sheet Cover Using Small Emission Chamber”, *Korean J. of Odor Research and Eng.*, **7**(3), 147 (2008).
11. M. J. Fedoruk and B. D. Kerger, “Measurement of Volatile Organic Compounds inside Automobiles”, *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.*, **13**, 31 (2003).
12. S. Martin, C. L. Morrison, and M. R. Hoffmann, “Photochemical Mechanism of Size-Quantized Vanadium-Doped TiO_2 Particles”, *J. Phys. Chem.*, **98**, 13695 (1994).
13. L. Palmisano, V. Augugliaro, A. Sclafani, and M. Schiavello, “Activity of Chromium-Ion-Doped Titania for the Dinitrogen Photoreduction to Ammonia and for the Phenol Photodegradation”, *J. Phys. Chem.*, **92**, 6710 (1988).
14. J. Zhu, W. Zheng, B. He, J. Zhang, and M. Anpo, “Characterization of Fe-TiO_2 Photocatalysts Synthesized by Hydrothermal Method and Their Photocatalytic Reactivity for Photodegradation of XRG Dye Diluted In Water Original”, *J. Mol. Catal. A*, **216**, 35 (2004).
15. P. V. Kamat, “Photochemistry on Nonreactive and Reactive (semiconductor) Surfaces”, *Chem. Rev.*, **93**, 267 (1993).
16. L. Brus, “Quantum Crystallites and Nonlinear Optics”, *Appl. Phys. A.*, **53**, 465 (1991).
17. S. S. Lee, “Preparation of Transition Metal Ion (Fe^{3+}, W^{5+}) Doped TiO_2 and Acetaladehyde Decomposition”, Yonse Univ.,

2001.
18. J. K. Kim, “Preparation and Characterization of Transition Metal-doped TiO_2 Photocatalysts by Sol-Gel Process”, Inha Univ., 2004.
19. O. K. Kwon, J. G. Moon, B. H. Son, and Y. H. Choi, “The Functional Properties of Cellulose Fabric Treated with TiO_2 - Focusing on Antibacterial activity, Deodorization & UV cut ability-”, *J. Kor. Soc. Cloth. Ind*., **5**, 4 (2003).
20. S. Y. Choi, “A Study on the Functional Properties of Polyester Fiber Treated Titanium Dioxide Photocatalytst”, *Elastomers and Composites*, **49**, 4 (2014).
21. Y. B. Lee and J. H. Kwon, “The property of TiO_2 Powder Made with a 1000 rpm MA Machine”, *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, **22**, 349 (2011).
22. C. R. Yoon, Mohamad Qamar, H. J. Oh, J. S. Hwang, and S. J. Kim, “A Study the Band Gap Energy Measurement of Liquid Phase Photocatalytic Sols”, *Proceeding of the KIEEME Annual Autumn Conference 2006*, **19**, 23 (2006).
23. KS-K-0693, Test method for antibacteial activity of textile materials, 2011.
24. ASTM-G-21, Standard Practice for Determining Resistance of Synthetic Polymeric Materials to Fungi, 2009.
25. W. Y. Choi, “Studies on TiO_2 Photocatalytic Reactions”, *J. Korean Ind. Eng. Chem*., **14**, 1011 (2003).
26. S. Y. Choi and S. G. Yang, “A Study on the Reduction of VOCs Generated from Vehicle Interior Parts and Materials Using Visible-light Responsive Photocatalyst”, *Elastomers and Composites*, **48**, 209 (2013).
27. S. Y. Choi, “Photocatalyst Effect of Polyester Fabrics Treated with Visible-Light Responsive Photocatalyst”, *Eastomers and Composites*, **51**, 31 (2016).
28. K. Sunada *et al*., *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **156**, 227 (2003).