

폴리프로필렌 부직포 섬유의 열, 항균 및 원적외선 방사 특성에 미치는 불소화 일라이트 첨가의 영향

김진훈 · 임지선 · 서경원* · 이영석†

충남대학교 공과대학 정밀응용화학과, *(주)효창산업
(2012년 8월 21일 접수, 2012년 9월 18일 수정, 2012년 9월 19일 채택)

Influence of Fluorinated Illite on Thermal, Antibiotic and Far-infrared Emission Properties of Polypropylene Non-woven Fibers

Jinhoon Kim, Ji Sun Im, Kyeong-won Seo*, and Young-Seak Lee†

Department of Fine Chemical Engineering and Applied Chemistry, BK21-E2M,
Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

*Hyochang Corporation, Seosan-city, Chungnam 356-821, Korea

(Received August 21, 2012; Revised September 18, 2012; Accepted September 19, 2012)

초록: 본 연구는 폴리프로필렌 수지에 불소화된 일라이트를 함량별로 첨가하여 제조한 일라이트/폴리프로필렌(PP) 부직포의 열적 특성, 항균성, 원적외선 방사율을 고찰하고자 하였다. 불소화 일라이트 첨가 폴리프로필렌 섬유의 열적 특성은 열중량 분석을 사용하여 조사하였다. 그 항균 특성은 황색포도상구균과 폐렴간균의 균주 실험으로, 원적외선 방사율은 퓨리에 변환 적외분광법을 사용하여 알아보았다. 그 실험결과, 일라이트/PP 부직포 섬유의 열적 특성 및 항균성, 원적외선 방사율은 불소화 일라이트의 함량이 증가할수록 증가하였고, 특히 불소화 일라이트 5 wt% 함유 PP 부직포 섬유의 경우가 일라이트를 함유하지 않은 PP 부직포에 비해 각각 10.3, 41.2 및 9.8%로 크게 증가하였다. 이는 일라이트의 불소화로 인하여 고분자 사슬 분자 사이의 계면결합력의 향상 때문이라 판단된다.

Abstract: In this work, the thermal, antibiotic properties and far-infrared emissivity of fluorinated illite embedded polypropylene non-woven fibers (f-illite/PP fibers) were investigated in the presence of 0, 1, 3, 5 and 7 wt% illite powders. The thermal properties of f-illite/PP fibers were studied by thermogravimetric analysis (TGA). Their antibiotic properties were examined by *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumoniae* test. Their far-infrared emissivity was also investigated by Fourier transform infrared spectroscopy. From the experimental results, thermal, antibiotic properties and far-infrared emissivity of f-illite/PP fibers were improved by increasing fluorinated illite contents and the property values of 5 wt% f-illite/PP fibers were increased remarkably by about 10.3, 41.2 and 9.8% respectively in comparison with PP non-woven fibers having no fluorinated illite additive. This result was interpreted as the development of interfacial adhesion force between the polymer chains due to the fluorination of illite power.

Keywords: illite, polypropylene, fluorination, far-infrared emissivity, antibiotic property.

서 론

최근 친환경성 고분자 복합재료에 대한 관심이 커짐에 따라 천연 물질을 충전제로 활용하여 고분자 복합재료의 다양한 물성을 향상시키는 연구가 활발히 진행되고 있다.¹⁻⁴ 특히 천연 점토광물은 고분자에 충전제로 이용하였을 때, 복합체를 형성하여 난연성, 열 안정성, 기계적 강도 등의 다양한 고분자 물성을 크게 향상시키는 것으로 알려져 있다.⁴⁻⁶ 이러한

점토광물 중 최근 가장 많이 사용되고 있는 것으로는 몬모릴로나이트(montmorillonite, MMT)가 있다.^{7,8} MMT는 각 층의 길이가 약 218 nm, 두께가 약 1 nm, 각 층간 거리가 1 nm인 적층 구조를 가지고 있다. 또한 점토층의 종횡비(aspect ratio)가 200-2000 정도로 매우 커서 다른 충전제에 비해 매우 우수한 보강제로 작용한다.^{9,10} 또한 일라이트(illite, $K_2H_3O(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}((OH)_2,H_2O)$)도 이와 같은 천연 점토광물이며, 실리콘(Si)과 알루미늄(Al)이 주성분으로 구성되고, 한 층의 두께가 약 1 nm인 층상 구조를 가지고 있다. 특히 일라이트는 MMT보다 매장량이 더 풍부하며, MMT에 비하여 종횡비 값이 크기 때문에 고분자와 복합체를 제조시 다양한

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: youngslee@cnu.ac.kr

기능성을 강화시키는 데에 MMT보다 유리할 것으로 기대된다.^{11,12}

하지만, 친환경, 저가의 일라이트 점토광물은 고분자 복합체 제조 시 계면간 친화력이 낮으므로 분산에 있어서 큰 문제점을 가지고 있다.¹³⁻¹⁵ 따라서 소수성의 고분자 물질 내에 친수성의 점토광물의 분산성 향상을 위하여 점토광물을 소수성으로 개질시켜 계면간의 친화력 향상을 위한 연구가 요구된다. 또한 이러한 점토광물-고분자 복합체 제조를 제조하였을 경우에는, 점토광물 첨가로 향상된 고분자 복합체의 열적, 기계적 특성 등 일반적인 물성 외에도 점토광물 자체가 가지는 원적외선 방사나 항균성 등을 이용할 수 있어 일반적인 고분자 복합체보다도 의류용이나 침구류 등 신체에 직접적으로 접촉되는 용도로 이용시 유리하다.¹⁶⁻¹⁹ 그러나 이러한 친환경성, 저가형 일라이트의 고분자 복합체용 충전제로의 활용에 대한 연구는 아직 시작 단계이며, 특히 일라이트 내첨 섬유상 제조가 어려워 섬유상 일라이트-고분자 복합체에 관한 연구는 보고된 바가 없다.

본 연구에서는 폴리프로필렌(PP) 부직포의 기능성을 향상시키고자, 직접불소화 반응을 이용하여 천연 점토광물인 일라이트를 소수화 개질하여 PP 부직포 섬유염의 열, 항균 및 원적외선 방사 특성에 미치는 불소화 일라이트 첨가의 영향에 대하여 고찰하였다.

실 험

시약 및 재료. 본 연구에서 부직포 제조에 사용된 폴리프로필렌(PP)은 (주)엘지화학(LG Chem. Co., Ltd.)의 SEETEC H7810(MFI=6.0 g/min)을 사용하였고, 천연 점토광물 기능성 첨가제로서 일라이트(Illite, (주)용궁일라이트)를 사용하였다. 일라이트와 PP의 계면 친화력을 증가시켜 고분자 내 결합성을 향상시키기 위하여 불소(99.8%, Messer Griesheim GmbH)를 이용하여 일라이트의 표면개질을 실시하였다.

일라이트 불소화 표면개질. 직접불소화 반응은 상온조건에서 일라이트를 니켈보트에 넣은 후 반응기 내에 장착시키고, 질소 분위기에서 안정화한 후 반응기 내부를 진공상태로 유지시켜 진행하였다. 불소화 반응은 상온, 1 bar의 조건에서 불소가스를 사용하여 10분 동안 수행하였다.^{20,21}

일라이트/폴리프로필렌 부직포 제조. 미처리 및 불소화 처리된 일라이트를 PP에 분산시키기 위하여 PP의 총량이 2000 g 총량대비 일라이트의 양이 1, 3, 5, 7 wt%가 되도록 혼합물을 제조하고, 일라이트가 충분히 섞일 수 있도록 이중압출기(twin-screw extruder, 대창정밀)로 1시간 이상 용융 혼합하여 일라이트/PP복합체 펠릿을 제조하고, 직경이 0.3 mm 및 방사구 571개로 이루어져 있는 노즐에서 30 m/min 방사속도의 조건으로 부직포를 제조하였다. Table 1에 복합 부직포의 방사 공정변수 및 가방성 정도를 나타내었다. 미처리 및 불소화 표

Table 1. Processing Conditions of Spinning Process

Sample	Additive	Content(%)	Spinnability
PP	-	-	○
Ri1%-PP	Raw illite	1	×
Ri3%-PP	Raw illite	3	×
Ri5%-PP	Raw illite	5	×
Ri7%-PP	Raw illite	7	×
Fi1%-PP	Fluorinated illite	1	○
Fi3%-PP	Fluorinated illite	3	○
Fi5%-PP	Fluorinated illite	5	○
Fi7%-PP	Fluorinated illite	7	×

면개질된 일라이트의 함량이 7 wt%가 첨가되는 PP 부직포인 경우 응집으로 인한 방사 노즐의 막힘 현상으로 방사가 불가능하였으며, 미처리된 일라이트는 함량에 상관없이 절사 또는 막힘 현상이 발생하여 용이한 방사가 불가능하였다. 불소화 일라이트가 첨가된 PP 부직포의 경우는 절사 및 막힘 현상이 상대적으로 매우 낮아 방사가 우수하였다. 따라서 본 연구에서는 예비실험을 거쳐 미처리된 일라이트 및 함량이 7 wt% 이상의 일라이트가 첨가되는 PP 부직포에 관한 특성 평가는 제외하였다.

복합체 특성 평가. 일라이트의 입도 및 화학적 조성 분석: 불소화 정도에 따른 일라이트의 화학 조성변화를 알아보고자 X-선 광전자분광법(X-ray photoelectron spectroscopy(XPS), Multi Lab 2000 spectrometer(Thermo Electron Co., England))을 이용하여 평가하였다. 샘플의 불순물을 제거하기 위하여 10⁻⁹ mbar의 반응 조건에서 전처리를 실시한 후, 광원으로 Al K α (1485.6 eV) X-선과 14.9 keV 양극 전압, 4.6 A 필라멘트 전류, 20 mA 방출전류를 사용하여 불소화 일라이트의 조성을 분석하였다. 그리고 레이저 회절 입도분석기(Sympatec GmbH Co., HELOS/RODOS)를 이용하여 일라이트의 표면 처리 조건에 따른 평균 입경 및 분포도 확인하였다.

일라이트/PP 부직포의 표면 구조 및 열분석: 일라이트 및 일라이트/PP 부직포의 모폴로지는 주사전자현미경(scanning electron microscope(SEM, Quanta 400F, FEI Co.))과 energy dispersive X-ray spectroscopy(EDS)를 이용하여 관찰하였으며, SEM을 통해 얻어진 섬유의 사진 이미지의 직경 및 분포도는 영상분석기(TDISE V3.1.73, TECHSAN Co., Ltd.) 프로그램을 이용하여 얻어 내었다. 일라이트/PP 부직포의 열안정성을 측정하기 위해서 열중량 분석기(TGA, Mettler-Toledo, TGA/SDTA851, Switzerland)를 사용하여 질소분위기 하에서 상온에서 600 °C까지 5 °C/min의 승온속도를 유지하면서 온도상승에 따른 중량의 감소를 분석하였다.

일라이트/PP 부직포의 항균 및 원적외선 방사 특성: 일라이트/PP 부직포의 항균 특성은 그람양성균을 대표하는 황색

포도사상구균(*Staphylococcus aureus* ATCC 6538)과 그람음성균을 대표하는 폐렴간균(*Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352)의 두 가지의 균주에 대하여 평가하였다. 또한 원적외선 방사율과 방사에너지 측정은 푸리에 변환 적외분광법(Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR), MIDAC Corp., USA)을 사용하였다. 그 시험방법은 KFIA(Korea Far Industry Association)-FI-1005에 준하여 5~20 μm 파장에서 분석하였다.

결과 및 토론

불소화에 의한 일라이트의 화학적 조성 및 구조. 불소화에 따른 일라이트의 화학 조성 변화를 알아보기 위하여 XPS를 이용하여 분석하여 그 결과를 Figure 1에 나타내었다. Figure 1에서 알 수 있듯이, 미처리 일라이트에서는 전혀 나타나지 않던 F1s 피크가 불소화 일라이트 분말에서는 크게 나타나는 것으로 보아 일라이트에 불소 관능기가 도입된 것을 확인할 수 있었다. 일라이트 표면으로의 불소 관능기 도입은 일라이트의 표면 소수성 및 극성을 증가시키므로 PP 고분자 내 일라이트의 분산 및 고분자 사슬 분자 사이의 계면 결합력의 향상 때문으로 판단된다.²² 일라이트의 표면처리 조건에 따른 입자의 입경 변화와 표면형상을 Figure 2에 나타

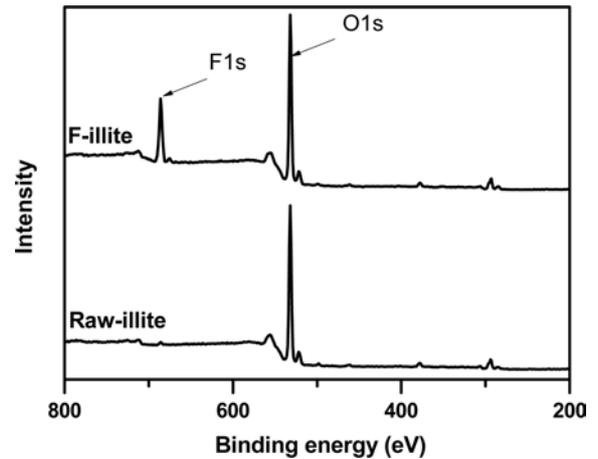


Figure 1. XPS survey spectra of raw and fluorinated illite.

내었다. 일라이트의 표면 그리고 반응에 의하여 색상이 백색에서 어두운 갈색으로 변하는 것으로 보아 표면에 불소 관능기가 도입됨을 알 수 있었다. 그리고 레이저회절 입도분석기를 통하여 얻어진 결과와 같이 처리 전 일라이트의 평균 입경은 $3.38 \pm 0.5 \mu\text{m}$ 크기로 나타났으나, 불소화 표면처리에 의한 평균입경이 $3.27 \pm 0.4 \mu\text{m}$ 로 약 3.2% 감소하였다. 이러한 현상은 SEM 결과에서도 마찬가지로 표면처리에 의하여 일

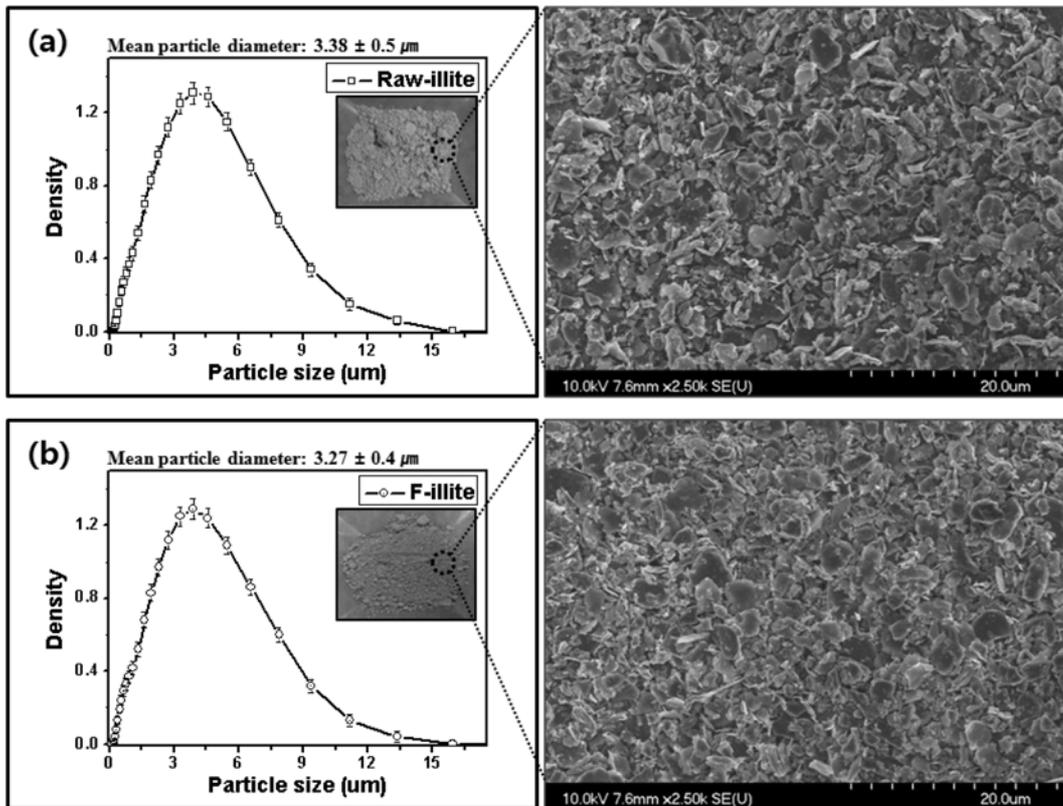


Figure 2. SEM image and particle size distribution: (a) raw illite; (b) fluorinated illite.

는 불소화 반응에 의한 식각되는 형상이라고 여겨진다.^{23,24} 따라서 PP 부직포 제조하는데 있어서 일라이트의 표면 불소화에 따른 표면 관능기 및 입경 감소에 의하여 유리할 것으로 예상된다.

일라이트/PP 부직포의 표면특성. 이렇게 제조된 일라이트/PP 부직포의 표면특성을 Figure 3에 나타내었다. 이 결과에서 PP 섬유 표면에 일라이트가 형성됨과 동시에 일라이트의 첨가에 의하여 섬유 직경이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 순수한 PP와 불소화 일라이트의 농도를 5 wt%를 첨가하여 제조된 부직포의 섬유 크기를 측정하였으며, PP 부직포의 직경분포의 결과를 Figure 4에 나타내었다. 그 결과 일라이트가 첨가되지 않은 순수 PP 부직포의 평균직경은 약 $2.1 \pm 0.5 \mu\text{m}$ 이었고, 불소화 일라이트 5 wt%가 첨가된 PP 부직포의 평균 직경은 이보다 다소 큰 약 $3.2 \pm 1.5 \mu\text{m}$ 으로 나타났다. 이는 무기계 첨가제의 첨가에 의한 입자의 영향으로 섬유 방사 시 섬유 직경이 증가되는 것으로 판단된다.²⁵

또한 EDS mapping을 통하여 일라이트/PP 형성 및 분산성을 평가하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 미처리 일라이트인 경우 부직포 제조가 어렵기 때문에 결과에서 제외되었으며, PP와 불소화 일라이트가 첨가된 부직포 샘플의 Si, Al 성분의 mapping 이미지를 Figure 5에 나타내었다. Figure 5(a)는 PP

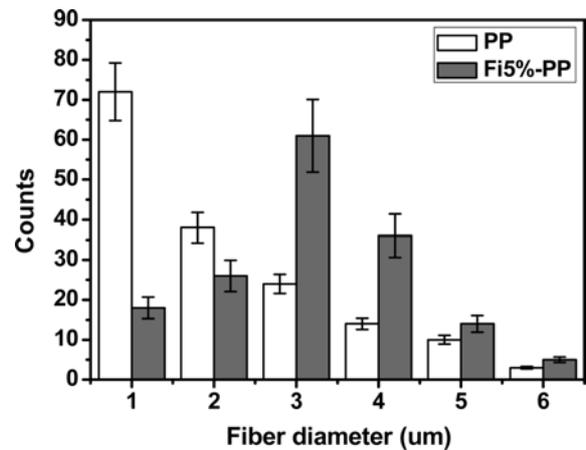


Figure 4. Fiber diameter distribution of the PP and Fi5%-PP.

부직포로 일라이트 입자에서 나타나는 Si와 Al성분이 EDS mapping으로 관찰되지 않는 것을 알 수 있었다. 반면, Figure 5(b)는 불소화된 일라이트가 5 wt% 첨가된 부직포로 샘플 전체에 Si와 Al 성분이 관찰된 것을 확인할 수 있었다. 이 결과에서 부직포 표면 및 내부에 Si와 Al 성분이 나타나는 것으로 보아 일라이트/PP 부직포 형성이 잘 이루어진 것으로 여겨진다. 미처리 일라이트는 PP와의 계면 친화성이 낮아 고분

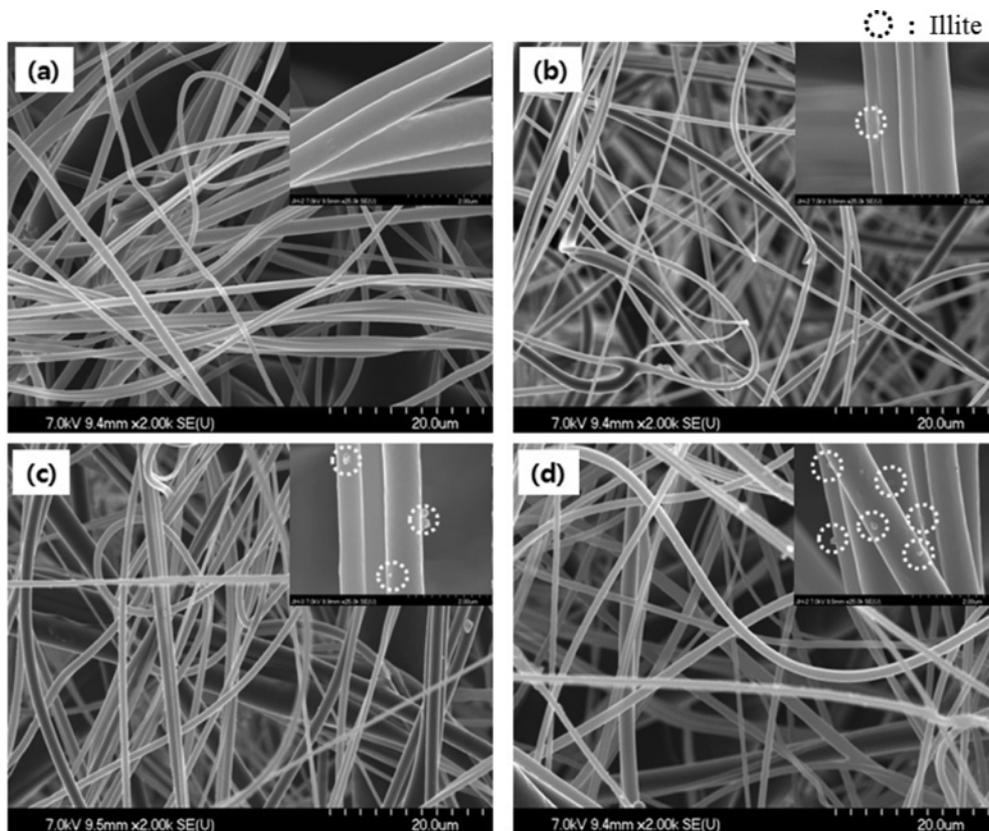


Figure 3. SEM images of samples: (a) PP; (b) Fi1%-PP; (c) Fi3%-PP; (d) Fi5%-PP.

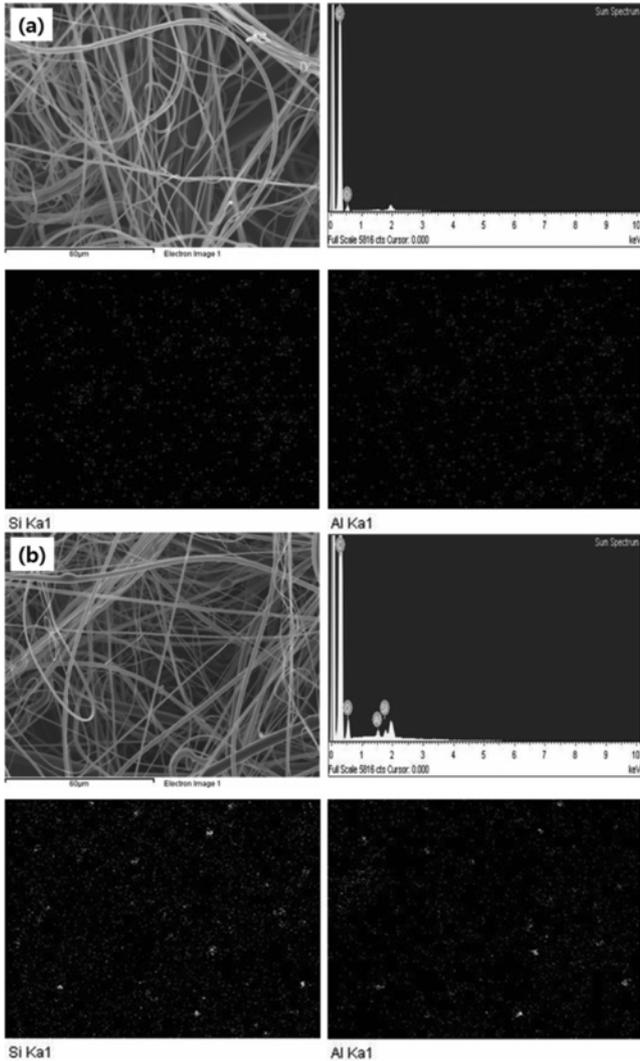


Figure 5. SEM images and EDS mapping of Si and Al: (a) PP; (b) Fi5%-PP.

자 내에서 일라이트 입자가 응집된 상태로 존재하기 때문에 섬유방사가 용이하지 않았다. 이러한 현상은 점토광물뿐만 아니라 나노 분말과의 고분자 복합재료 제조 공정 중에서는 나타나는 일반적인 현상이다.²⁶⁻²⁹ 이는 미처리 일라이트와 PP의 계면 친화력이 약하여 응집된 일라이트 입자가 제조과정 중 그 흐름을 방해하기 때문인 것으로 판단된다. 반면에, 불소화 일라이트가 첨가된 PP 부직포는 가방성이 우수하였는데, 이는 표면 불소화로 인하여 PP와의 계면 결합력이 향상되어 일라이트의 입자가 고분자 내에서 응집되지 않고 분산성이 우수한 현상 때문인 것으로 여겨진다. 이처럼, 일라이트의 불소화 처리는 일라이트의 PP 고분자와의 계면 친화성과 고분자와의 결합성을 크게 향상시키는 것으로 판단되는데, 이로 인하여 제조되는 불소화 일라이트/PP 부직포의 물성도 향상될 것으로 기대된다.

일라이트/PP 부직포의 열적 특성. Figure 6은 일라이트/PP 부직포의 TGA 곡선을 나타낸 것으로써, 불소화 일라이트의 함량이 증가할수록 열안정성은 향상되었다. 이는 불소화 일라이트 점토광물의 우수한 내열특성으로 인해 PP의 내부로 유입되는 열을 흡수하고 열전달 확산을 제어하여 열안정성이 증가되는 것으로 판단된다. 열중량분석은 조성의 분석, 열 안정성 등을 측정할 수 있는 방법으로, 특히 열분해 개시온도 (initial decomposition temperature, IDT), 적분 열분해 온도 (integral procedural decomposition temperature, IPDT)는 열 안정성 측정에 매우 유용한 정량적인 분석기술이다. 이 중에서 적분 열분해 온도와 정량적인 열 안정성에 대하여 Doyle에 의해 제안된 것으로써(식 (1)), TGA에서 얻어진 각 면적 비율로부터 나타내는 정량적인 값이기 때문에 열 안정성에 대해 매우 재현성 있는 유용한 정보를 제공해준다고 알려져 있다.^{30,31}

$$IPDT(°C) = A^* \times K^* \times (T_f - T_i) + T_i \tag{1}$$

여기서, A^* 는 TGA의 전체면적에 대한 곡선의 면적 비율이고, K^* 는 A^* 의 계수, T_i 는 초기 실험온도이고 T_f 는 최종 실험 온도를 나타낸다.

Figure 6과 식 (1)로부터 구해진 불소화 일라이트 함량에 따른 열분해 개시온도, 중점온도(T_{max}) 및 열분해 진행온도, 열 안정성 지수(A^* , K^*) 값을 Table 2에 나타내었다. 본 결과로부터 알 수 있듯이 불소화된 일라이트의 함량이 0에서 5 wt%로 증가함에 따라 IDT가 242에서 259 °C로 7%가 상승되었고, IPDT 값에서는 356에서 395 °C로 10% 향상으로 각 열 안정성 인자들이 증가하는 경향을 알 수 있다. 이는 내열성이 우수한 세라믹 특성을 갖고 있는 일라이트가 부직포 내부로 유입되는 열을 흡수하고 열 전달 확산을 제한하여 열 안정성이 증가되는 것으로 판단된다.³²

폴리프로필렌의 항균 특성. Figure 7과 Figure 8은 다양한

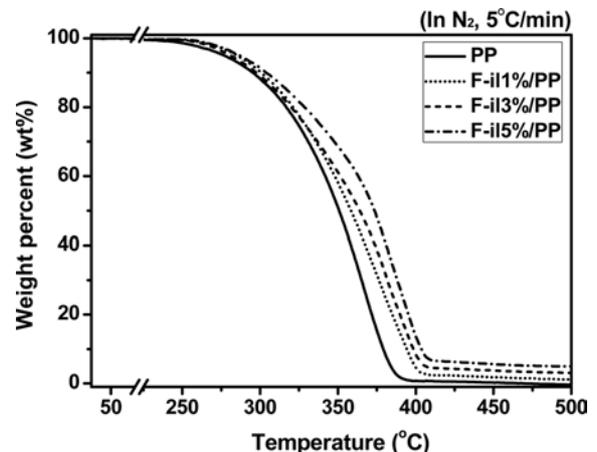


Figure 6. TGA curves of PP nonwoven and fluorinated illite/PP nonwovens.

Table 2. Thermal Parameters of PP and Fluorinated Illite/PP Nonwovens

Sample	IDT(°C)	T _{max} (°C)	A	K	IPDT(°C)
PP	238.5	366.0	0.74	1.00	356.8
Fi1%-PP	250.0	374.5	0.75	1.00	362.3
Fi3%-PP	254.5	380.5	0.75	1.01	372.5
Fi5%-PP	259.5	385.0	0.77	1.04	393.5

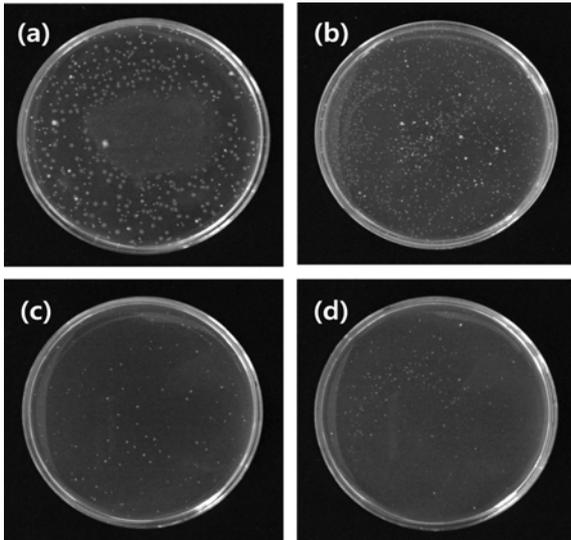


Figure 7. Antimicrobial properties of nonwovens against *Staphylococcus aureus*: (a) PP; (b) Fi1%-PP; (c) Fi3%-PP; (d) Fi5%-PP.

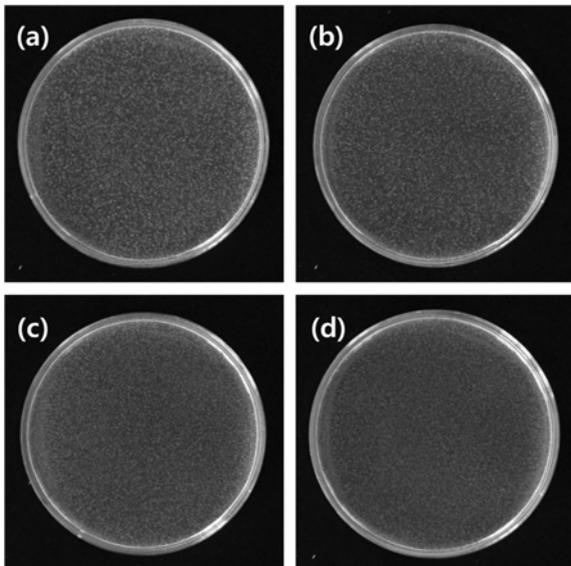


Figure 8. Antimicrobial properties of nonwovens against *Klebsiella pneumoniae*: (a) PP; (b) Fi1%-PP; (c) Fi3%-PP; (d) Fi5%-PP.

조건으로 제조된 부직포의 황색포도상구균, 폐렴간균에 대한 항균 성능을 사진으로 나타낸 결과이다. 불소화 일라이트 첨

Table 3. Antimicrobial Properties of Nonwoven against *Staphylococcus Aureus* and *Klebsiella Pneumonia*

Sample	Reduction rate of bacteria (%)	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
PP	62.5±2.7	9.4±0.8
Fi1%-PP	86.6±1.8	15.6±1.5
Fi3%-PP	95.3±1.2	38.8±2.3
Fi5%-PP	97.6±0.8	56.7±1.1

가에 따른 PP 부직포의 항균 성능을 알아보기 위하여 ASTM E 2149-01 방법에 준하여 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*, ATCC 6538), 폐렴간균(*Klebsiella pneumoniae*, ATCC 4352) 두 가지 균주에 대하여 항균 시험을 실시하였다. 제조된 부직포의 항균특성 시험과정은 시료를 분쇄하여 버퍼용액이 든 삼각플라스크 안에 넣고 고온 및 고압에서 멸균시킨 후 균 배양액을 첨가하여 37±2 °C의 온도에서 19시간 동안 진동배양하고, 항균제 처리시료와 접촉하기 전 균 배양액의 균 수와 진동배양 후 삼각플라스크 내의 균 수를 측정하여 다음 식 (2)에 의해 계산하였다.³³

$$R(\%) = \frac{B-A}{B} \times 100 \quad (2)$$

여기서, R은 균의 평균 감소율, A는 항균제 처리 시료가 일정한 시간 동안 접촉한 후 균의 수 (3검체의 평균값), B는 항균제 처리된 시료와 균이 접촉하기 전 균 배양액 내의 균 수 (3검체의 평균값).

Table 3은 Figure 7과 Figure 8의 실험 결과를 바탕으로 위의 식 (3)에 의하여 도출한 항균 특성 결과이다. Table 3의 결과에서 알 수 있듯이, PP 단독으로 방사된 부직포인 경우 황색포도상구균, 폐렴간균의 항균성이 62.5±2.7, 9.8±2.7%으로 일라이트가 첨가되지 않은 PP 부직포보다 낮게 나타났다. 그러나 불소화된 일라이트를 첨가하면 그 항균력이 첨가량에 따라서 크게 증가하였고, 불소화 일라이트 5 wt%를 첨가하였을 때 순수 PP 부직포의 황색포도상구균 및 폐렴간균의 항균특성이 97.6±0.8, 56.7±1.1%으로 약 35, 47%로 향상시키는 결과를 얻었다. 황색포도상구균에 대한 항균성은 95% 이상으로 우수한 결과가 나타났지만, 폐렴간균은 56%로 항균특성이 낮은 결과값을 보였다. 동일조건에서 폐렴간균에 대

한 항균 성능이 떨어지는 이유는 세포막 구조의 차이에 있을 것으로 사료된다. 그람음성균은 그람양성균에 비해 얇은 세포벽을 가지고 있지만 구조적으로나 화학적으로 복잡한 구조를 가지고 있으며, 그람양성균에는 없는 외막이 존재한다. 이 외막은 딱딱한 막 구조로 이루어져 있고 세균을 둘러싸고 있어, 외부환경으로부터 그람음성균을 보호하는 역할을 한다.³⁴ 이러한 세포막의 유·무로 인하여 항균작용을 갖는 일라이트 입자의 폐렴간균에 대한 항균 성능이 떨어지는 결과를 얻었다.

결론적으로 불소화 일라이트를 PP와 혼합하여 얻어진 부직포가 그람양성균(*Staphylococcus aureus*) 및 그람음성균(*Klebsiella pneumonia*)의 항균특성을 향상시키는 효과는 SEM 결과에서 나타났듯이 항균특성이 우수한 일라이트가 섬유 표면에 돌출되어 있어 항균작용을 향상시키는 것이라고 판단된다. 그리고 불소화 일라이트 첨가 PP 부직포는 그람양성균에 대하여 높은 항균성을 갖는 PP 부직포 섬유가 제조되었지만, 그람음성균의 항균성에 대한 면밀한 연구가 필요하다고 판단된다.

폴리프로필렌의 원적외선 방사 특성. Figures 9와 10은 각각 PP 부직포 섬유의 원적외선 방사율 및 방사에너지에 대한 결과이다. 인체에 가장 흡수율이 높은 5~20 μm의 파장범위에서의 방사율과 방사에너지 모두 불소화 일라이트가 첨가되지 않은 PP 부직포의 수치가 전체적으로 가장 낮게 측정되었다. 한편, 불소화 일라이트를 5 wt% 함유한 PP 부직포가 전체의 파장 구간에서 가장 높은 방사율을 보였으며, 불소화 일라이트 함량이 5 wt%를 함유한 PP 부직포의 방사에너지가 흑체의 수치에 가장 근접하여 시료들 중 가장 높은 원적외선 방사에너지를 방출하는 것을 확인할 수 있었다. PP 부직포 섬유의 원적외선 방출 특성을 좀 더 고찰하기 위하여, 불소화 일라이트에 함량에 따른 PP 부직포 섬유의 원적외선 방사율과 방사에너지를 수치화하여 Table 4에 나타내었다. 원적외선 방사율의 측정방법은 흑체의 온도가 인체의 체온과 비슷한 37 °C일 때 흑체에서 방출되는 양을 측정하고, 장착된 시료의 표면온도가 37 °C일 때 시료에서 방출되는 원적외선의 양을 측정하여 다음 식 (3)에 의하여 원적외선 방사율(emissivity)을 계산하였다.³⁵

$$\text{Emissivity}(\%) = \frac{E_{\text{Sample}}}{E_{\text{Black body}}} \times 100 \quad (3)$$

여기서, E_{Sample} 은 시료의 원적외선 방사량(W/m^2)이며, $E_{\text{Black body}}$ 는 흑체의 원적외선 방사량을 나타낸다. 불소화 일라이트가 첨가되지 않은 PP 부직포는 87.9%의 방사율과 $3.44 \times 10^2 \text{ W}/\text{m}^2$ 의 방사에너지를 값을 나타냈는데, 이는 Park의 선행연구에서 세라믹을 넣지 않은 시료에서 나오는 PP 섬유의 방사율과 유사한 결과를 얻었다.³⁶

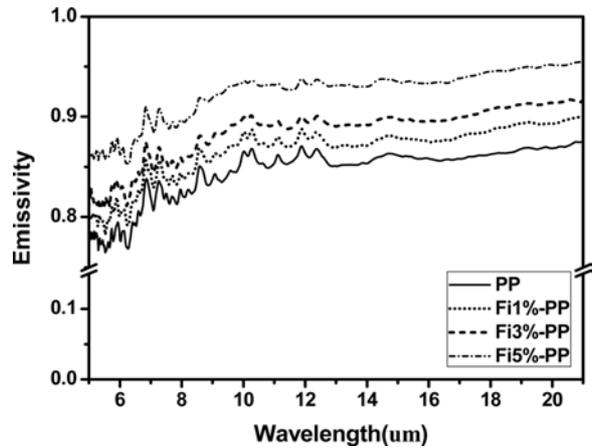


Figure 9. Emissivity of the specimen samples.

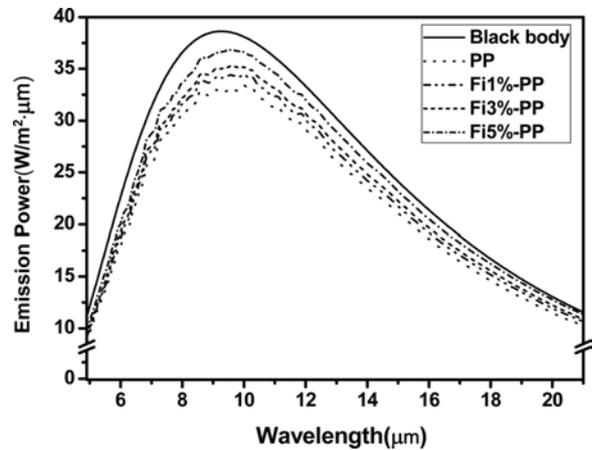


Figure 10. Emission power with wavelength for black body and samples.

Table 4. Emissivity and Emission Power of Samples

Sample	Emissivity (% , 5~20 μm)	Emission power ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$, 37°C)
PP	87.9	3.44×10^2
Ri1%-PP	90.6	3.67×10^2
Ri3%-PP	92.1	3.79×10^2
Ri5%-PP	96.5	3.98×10^2

한편, 불소화된 일라이트가 각 함량별로 첨가되었을 때의 원적외선 방사율과 방사에너지 값을 비교해 보면, 불소화된 일라이트가 첨가됨에 따라 원적외선 방사율 및 방사에너지는 증가하는 결과가 나타났다. Table 4에서 알 수 있듯이, 불소화된 일라이트 5 wt%를 함유한 부직포는 96.5%의 원적외선 방사율과 $3.98 \times 10^2 \text{ W}/\text{m}^2$ 의 방사에너지를 갖고 있으며, 순수 PP 부직포보다 9.8% 향상된 원적외선 방사에너지를 방출하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 일라이트 입자의 농도가 원

적외선 방사성능에 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 일라이트/PP 부직포가 원적외선 방사 기능성 소재로 충분히 활용이 가능할 것으로 기대된다.

결론

본 연구에서는 PP 수지에 불소화된 일라이트를 함량별로 첨가하여 제조한 일라이트/PP 부직포의 열적 특성, 항균성, 원적외선 방사 특성을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 미처리 일라이트는 섬유의 절사로 인하여 부직포 제조가 불가능한 반면, 불소화 일라이트/PP 부직포는 제조가 가능하였다. 불소화된 일라이트의 함량이 증가함에 따라 열적 특성, 항균성, 원적외선 방사율 등이 모두 증가하는 경향을 보여 주었다. 즉, 불소화 일라이트가 5 wt% 첨가된 PP 부직포는 순수 PP보다 열적 특성이 약 10% 향상되었고, 황색포도상구균 및 폐렴간균의 항균특성도 35.1, 47.3%가 향상되었다. 또한 불소화된 일라이트 5 wt%를 함유한 부직포는 96.5%의 원적외선 방사율과 $3.98 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 의 방사에너지를 가지며, 순수 PP 부직포보다 9.8% 향상되어 우수한 원적외선 방사 특성을 보여주었다. 이러한 불소화 일라이트 첨가 PP 부직포의 열적 특성, 항균성, 원적외선 방사율 향상은 점토광물인 일라이트의 불소화로 인하여 고분자 사슬 분자 사이의 계면결합력의 향상때문으로 여겨진다.

감사의 글: 한국기초과학지원연구원 전주센터 배태성 박사님의 SEM 분석 및 평가에 감사드립니다.

참고 문헌

1. S. Kim and A. M. Palomino, *Appl. Clay Sci.*, **51**, 491 (2011).
2. C. R. Reddy, A. P. Sardashti, and L. C. Simon, *Compos. Sci. Technol.*, **70**, 1674 (2010).
3. M. Alexandre and P. Dubois, *Mater. Sci. Eng. R: Reports*, **28**, 1 (2000).
4. L. Besra, D. K. Sengupta, S. K. Roy, and P. Ay, *Sep. Purif. Technol.*, **37**, 231 (2004).
5. M. Li and Z. Wu, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, **16**, 2094 (2012).
6. B. Perret, B. Schartel, K. Stöß, M. Ciesielski, J. Diederichs, M. Döring, J. Krämer, and V. Altstädt, *Eur. Polym. J.*, **47**, 1081 (2010).
7. T. Orhan, N. A. Isitman, J. Hacaloglu, and C. Kaynak, *Polym. Degrad. Stabil.*, **97**, 273 (2012).
8. W. Jincheng, Z. Xiaoyu, H. Wenli, X. Nan, and P. Xingchen, *Powder Technology*, **221**, 80 (2012).
9. A. K. Mishra, S. Allauddin, R. Narayan, T. M. Aminabhavi, and K. V. S. N. Raju, *Ceram. Int.*, **38**, 929 (2012).
10. J. Birkenstock, M. Kleemeier, C. Vogt, M. Wendschuh, A. Hartwig, and R. X. Fischer, *Appl. Clay Sci.*, **54**, 144 (2011).
11. T. Cao, P. D. Fasulo, and W. R. Rodgers, *Appl. Clay Sci.*, **49**, 21 (2010).
12. I. M. Kang, H. S. Moon, Y. J. Kim, Y. G. Song, and W. P. Lee, *Proceedings of the Annual Joint Conference*, Petrological Society of Korea and Mineralogical Society of Korea, Cheongju, Korea, 2004.
13. J. S. Im, I. J. Park, S. J. In, T. J. Kim, and Y. S. Lee, *J. Fluorine Chem.*, **130**, 1111 (2009).
14. E. Jeong, J. W. Lim, K. W. Seo, and Y. S. Lee, *J. Ind. Eng. Chem.*, **17**, 77 (2011).
15. Y. Park and G. A. Ayoko, *J. Colloid Interface Sci.*, **354**, 292 (2011).
16. G. Carja, Y. Kameshima, A. Nakajima, C. Dranca, and K. Okada, *Int. J. Antimicrob. Agents*, **34**, 534 (2009).
17. R. Sothornvit, J. W. Rhim, and S. I. Hong, *J. Food Eng.*, **91**, 468 (2009).
18. V. R. Sastri, *Plastics in Medical Devices*, **5**, 55 (2010).
19. N. Meng, N. L. Zhou, S. Q. Zhang, and J. Shen, *Appl. Clay Sci.*, **42**, 667 (2009).
20. B. C. Bai, J. G. Kim, J. S. Im, S. C. Jung, and Y. S. Lee, *Carbon Lett.*, **12**, 236 (2011).
21. H. R. Yu, J. G. Kim, J. S. Im, T. S. Bae, and Y. S. Lee, *J. Ind. Eng. Chem.*, **18**, 674(2012).
22. H. R. Yu, E. Jeong, J. Kim, and Y. S. Lee, *Polymer(Korea)*, **35**, 47 (2011).
23. M. Cwil, M. Kalisz, and P. Konarski, *Appl. Surf. Sci.*, **255**, 1334 (2008).
24. E. Jeong and Y. S. Lee, *J. Ind. Eng. Chem.*, **22**, 467 (2011).
25. A. Marcinčin, *Prog. Polym. Sci.*, **27**, 853 (2002).
26. S. Xie, E. H. Jones, Y. Shen, P. Hornsby, M. McAfee, T. McNally, R. Patel, H. Benkreira, and P. Coates, *Mater. Lett.*, **64**, 185 (2010).
27. K. S. Santos, S. A. Liberman, M. A. S. Oviedo, and R. S. Mauler, *Composites Part A*, **40**, 1199 (2009).
28. M. Han, J. Yun, H. I. Kim, and Y. S. Lee, *J. Ind. Eng. Chem.*, **18**, 752 (2012).
29. H. C. Kim, S. Jeon, H. I. Kim, Y. S. Lee, and M. H. Hong, *Polymer(Korea)*, **36**, 251 (2012).
30. C. D. Doyle, *J. Appl Polym Sci.*, **5**, 285 (1961).
31. S. J. Park and H. C. Kim, *J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys.*, **39**, 121 (2001).
32. W. H. Kim, J. W. Bae, I. D. Choi, and Y. S. Kim, *Polym. Eng. Sci.*, **39**, 756 (1999).
33. A. Hou, M. Zhou, and X. Wang, *Carbohydr. Polym.*, **75**, 328 (2009).
34. O. Takeuchi, K. Hoshino, T. Kawai, H. Sanjo, H. Takada, T. Ogawa, K. Takeda, and S. Akira, *Immunity*, **11**, 443 (1999).
35. S. Hong, C. Lee, and J. Kim, *Textile Coloration and Finishing*, **22**, 119 (2010).
36. J. H. Park, M. H. Shim, and H. S. Shim, *Key Eng. Mater.*, **321**, 849 (2006).