

# 아민기로 관능화된 마그네슘-층상규산염을 이용한 섬유유연제 제조

김성열 · 최유성<sup>†</sup>

(주)럭키산업 연구개발팀  
(2019년 7월 25일 접수, 2019년 8월 6일 심사, 2019년 8월 19일 채택)

## Preparation of Fabric Softener Product by using Amine-functionalized Magnesium-phyllsilicates

Seong Yeol Kim and Yoo-Sung Choi<sup>†</sup>

Lucky Research and Development Center (LRDC), Lucky Industry Co., Ltd., Gwangsan-gu, Gwangju 62230, Korea  
(Received July 25, 2019; Revised August 6, 2019; Accepted August 19, 2019)

### 초 록

본 연구에서는 (3-aminopropyl)triethoxysilane을 사용하여 표면을 아민기로 관능화함과 동시에 팔면체와 사면체 구조를 가지는 마그네슘-층상규산염(AF-MgP)을 합성하였다. FT-IR과 XRD 분석을 통해 AF-MgP가 성공적으로 합성되었음과, 입자 표면의 아민기 및 1 : 2 비율의 팔면체와 사면체 구조를 확인하였다. HR-SEM와 EDX 분석을 통해 면섬유 표면에 AF-MgP가 고루 흡착되어 섬유를 코팅하고 있음을 확인하였다. KS 규격에 따른 섬유의 항균력 시험 결과 AF-MgP 입자가 코팅된 면섬유는 피부 상재균에 대해 매우 우수한 항균 활성을 나타내는 것을 확인하였다. 이상의 결과들은 AF-MgP가 섬유에 항균성을 부여해주는 기능성 나노 소재로서 적용될 뿐만 아니라, 화장품이나 의료 소재 분야에서 응용이 가능함을 시사한다.

### Abstract

In this study, we synthesized amine-functionalized magnesium-phyllsilicates (AF-MgP) with an octahedral and tetrahedral structure using (3-aminopropyl)triethoxysilane. The synthesis of AF-MgP, surface functionalization of amine and 1 : 2 ratio of the octahedral and tetrahedral structure were confirmed by FT-IR and XRD analysis. In addition, it was confirmed that AF-MgP was absorbed evenly on the surface of cotton fibers and coated on the cotton fibers from HR-SEM and EDX analysis. The antimicrobial activity test of cotton fibers according to KS confirmed that cotton fibers coated with AF-MgP particles show an enhanced antimicrobial activity against cutaneous microorganisms. Our results suggest that AF-MgP is not only applied as a functional nanomaterial that gives the cotton fiber antimicrobiality, but also can be used in the field of cosmetic and biomedical materials.

**Keywords:** Mg-phyllsilicate, Amine-functionalization, One-pot synthesis, Antimicrobial, Fabric softener

## 1. 서 론

급속한 사회발전과 함께 생활수준이 향상됨에 따라 의류의 기능성, 쾌적성에 대한 수요도 증가하고 있다. 특히 면섬유는 생산이 간편하고 가격이 저렴할 뿐 아니라, 착용 시 편안함을 제공하기 때문에 의류 분야에 있어 폭넓게 사용되어 왔으나, 천연에서 유래된 셀룰로스, 케라틴, 피브린 등의 소재이기 때문에 균이 자라기 쉽다는 고질적인 단점이 있다[1]. 특히 사람의 땀은 피부 위에 축적되어 있던 다양한 유기

물질과[2], 체내에서 배출되는 노폐물들이 함유되어 있어 균이 성장하기에 적합한 환경을 갖추고 있다. 이와 같은 이유로 면섬유에 항균성을 부여하기 위해 다양한 연구들이 수행되고 있다. 합성 또는 천연 항균제를 원면에 함유시켜 가공하거나[3-5], 가공된 섬유의 표면에 은나노입자와 같은 항균제를 증착시키는[6-8] 등 항균 섬유 소재에 대한 연구 범위가 확대되고 있는 추세이다. 하지만 섬유에 항균성을 부여하기 위해서 복잡한 공정이 필요하며 다회 사용 후에는 항균 활성이 저하되어, 간단하면서도 계속적으로 항균 활성을 섬유에 유지시킬 수 있는 방법이 요구된다.

섬유유연제는 팜 오일 유도체로부터 합성된 양이온성 계면활성제가 함유된 수용액 기반의 제형이며, 세탁 후 섬유를 부드럽고, 구겨지지 않고, 좋은 향을 내게 하기 위해 1960년대부터 사용되었다. 피부에 자극적이지 않고 천연에서 유래된 물질들을 가공한 계면활성제 연구가 지속적으로 수행되고 있으며[9], 최근에는 수생환경에 대한 독성가

<sup>†</sup> Corresponding Author: Lucky Industry Co., Ltd.  
Lucky Research and Development Center (LRDC), Gwangsan-gu, Gwangju 62230, Korea  
Tel: +82-62-951-7881 e-mail: usung12@luckyind.com

지 고려한 연구가 진행되고 있다. 이를 위해 섬유유연제의 주 함유 성분인 양이온성 계면활성제에 대한 연구는 꾸준히 수행되고 있지만 [10,11], 그 외에 필수적으로 함유되는 향균제에 대한 연구는 아직까지 미비한 실정이다. 특히 용해도 및 혼화성 때문에 섬유유연제에 사용되는 향균제는 주로 유기 향균제이며, 독성이 매우 강하다고 알려져 있어 제품의 방부 효과를 위해서만 극소량 사용되고 있다.

합성 향균제는 주로 은 나노입자 등의 무기계와 제4급 암모늄계, 페놀계 등의 유기계 향균제가 사용되고 있으며, 향균성이 우수하고 섬유 제조 시 간편하게 함유시킬 수 있으나, 피부에 대한 독성을 가지고 있어 피부 알레르기와 같은 부작용을 유발하며, 환경에 대한 부정적인 영향 때문에 점차 사용량을 제한하는 추세이다. 천연 향균제는 주로 천연물을 열수 추출법[12]이나 에탄올 추출법[13]을 통한 천연물 추출물을 사용하며, 합성 향균제보다 안전성이 높고 독성이 없다는 장점이 있다[14]. 하지만 천연물마다 고유의 색과 향이 있어 섬유에 향균성만을 부여하기 어렵고, 원하지 않아도 염색과 향취가 부여된다는 단점이 있다[15-17].

유·무기 복합 재료는 다양한 기능을 제공하며, 합성 조건과 그 과정이 복잡하지 않아 다양한 연구자들 및 산업계에 흥미를 불러일으키고 있다. 그 중에서도, 금속 이온과 유기실란화합물로 합성이 가능한 이중 층상 수산화물은 합성 시 사용되는 유기실란화합물에 따라 표면의 작용기를 다양하게 선택하여 적용할 수 있으며[18], 층간에 다양한 기능성 화합물을 적용함으로써 부가적인 기능들을 탑재할 수 있다[19]. 다른 무기재료에 비해 상대적으로 가벼우며 표면적이 넓은 특성을 가지고 있으며[20], 특히 아민기로 관능화된 마그네슘-층상규산염(AF-MgP)은 마그네슘염과 (3-aminopropyl)triethoxysilane (APTES)을 사용하여 합성되며, 다른 유기실란화합물을 사용하는 이중 층상 수산화물과는 달리 촉매가 필요하지 않아 간단하게 합성이 가능하다[18,21]. 또한 AF-MgP는 montmorillonite, vermiculate 등과 같은 천연 점토와 동일한 화학적 구조를 가지고 있어 환경에 대해 유해한 영향을 주지 않으며, 인체에 대한 독성이 없을 뿐만 아니라[22], 표면의 아민기가 균의 세포막에 탈분극을 가해 균의 표면 모폴로지를 변화시켜 결과적으로 균을 사멸에 이르게 한다고 알려져 있다[23].

선행 연구에서 AF-MgP의 화학적 구조 및 그 향균성을 연구한 바 있다[24,25]. 이들 연구에서 AF-MgP가 합성이 매우 간단해 산업용으로 사용하기에 용이하며, 다양한 균주에 대해 향균성이 우수하다는 결과를 얻었다. 따라서 본 연구의 목적은 이들 연구를 토대로 섬유유연제에서 AF-MgP의 천연 향균제로서의 적용 가능성을 검토하는 것이다. 본 연구에서는 아민기로 관능화된 마그네슘-층상규산염(AF-MgP) 나노입자를 마그네슘염과 (3-Aminopropyl)triethoxysilane (APTES)을 사용하여 one-pot으로 대량 합성하였고, SEM, FT-IR 및 XRD를 통해 그 합성을 확인하였다. 또한, 이를 섬유유연제에 적용하여 제조하였으며, 균이 발생하기 쉬운 천연 섬유 중 하나인 면섬유의 향균성을 검토하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험 재료

아민기로 관능화된 마그네슘-층상규산염(AF-MgP)을 합성하기 위해 magnesium chloride hexahydrate ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ )는 Duksan Pure Chemicals사의 시약을 사용하였으며, (3-aminopropyl)triethoxysilane (APTES)는 Sigma-Aldrich사의 제품을 사용하였다. 에탄올은 AF-MgP의 합성 및 세척 용매로서 Duksan Pure Chemicals사의 제품을 사용하였다.

Table 1. Composition of Materials used in Fabric Softener

Component	Content (%)
Water	92.845
AF-MgP	1.0
Cationic surfactant	4.6
Dispersing agent	0.9
Antifoaming agent	0.025
Fragrance	0.23
Thickener	0.4

AF-MgP를 적용하기 위한 섬유유연제 제조를 위해서는 양이온성 계면활성제(cationic surfactant; TEQ90, Sunjin Beauty Science), 유화제(dispersing agent; LTAC 20KC, KCI), 소포제(antifoaming agent; KAF-220, Keumkang Silicone Technology), 향료(Fragrance; RA11365, Aromaline), 점증제(thickener; Flosoft FS 222, SNF Floerger)는 모두 알레르겐이 없는 산업 등급(allergen-free industrial grade)을 사용하였다.

섬유유연제의 특성을 확인하기 위한 실험에 사용한 섬유는 ISO-F02에 규정되어 있는 천연 섬유인 면섬유를 사용하였다.

### 2.2. 아민기로 관능화된 마그네슘-층상규산염(AF-MgP)의 합성

에탄올 8 L에  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  610 g (3.0 mol)을 녹인 후, APTES 884 g (4.0 mol)을 넣고 24 h 동안 100 rpm으로 교반하여 합성하였다. 합성된 AF-MgP는 원심 분리하고 에탄올을 사용하여 세척을 3회 반복한 후, 동결건조하여 수득하였다.

### 2.3. AF-MgP가 함유된 섬유유연제의 제조

AF-MgP가 함유된 섬유유연제는 간단한 배합 방법을 통해 제조하였으며, 그 성분비는 Table 1에서 확인할 수 있다. 섬유유연제의 제조 방법은 크게 3단계로, 우선 25 °C의 물에 AF-MgP (1.0%)를 넣고 10 min 간 교반하여 녹인다. AF-MgP 수용액을 70 °C까지 가온 후 양이온성 계면활성제(4.6%)와 유화제(0.9%)를 순차적으로 천천히 넣고 100 rpm으로 30 min 간 교반시킨다. 마지막으로 42 °C까지 혼합액을 냉각시켜 소포제(0.025%), 향료(0.23%) 및 점증제(0.4%)를 순차적으로 넣고 40 min 간 교반시킨 후 상온까지 냉각시켜 수득하였다. AF-MgP가 함유되지 않은 섬유유연제는 AF-MgP 대신 물의 비율을 1.0% 증가하여 동일한 방법으로 제조하였다.

### 2.4. AF-MgP가 함유된 섬유유연제를 사용한 섬유의 세탁

실험에 사용된 면섬유는 ISO 105-F02에 규정된 섬유를 사용하였으며, 상세한 특성을 Table 2에서 확인할 수 있다. 세탁 방법은 KS K ISO 6330에 준하여 세탁하였다. 약 25 °C의 물에 세탁 후 행균, 탈수하였으며 행균 과정에서 AF-MgP가 함유된 섬유유연제를 처리하였고, 세탁 후 자연 건조하였다.

### 2.5. 분석

합성한 AF-MgP의 모폴로지와 세탁 후 섬유 표면의 AF-MgP 관찰은 high-resolution scanning electron microscope (HR-SEM; JSM-7800F Prime, JEOL)을 사용하여 확인하였으며, energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX; EDAX, AMETEK)을 사용하여 AF-MgP의 화학 구조 모식도와 동일한 원소를 가지고 있음을 확인하였다. AF-MgP의 작용

Table 2. Characteristic Profiles of Cotton Fabric

Fabric	Thickness (mm)	Count		Density		Weight (g/m <sup>2</sup> )
		Warp	Weft	Warp	Weft	
Cotton	0.27	14	16.5	31	35	115

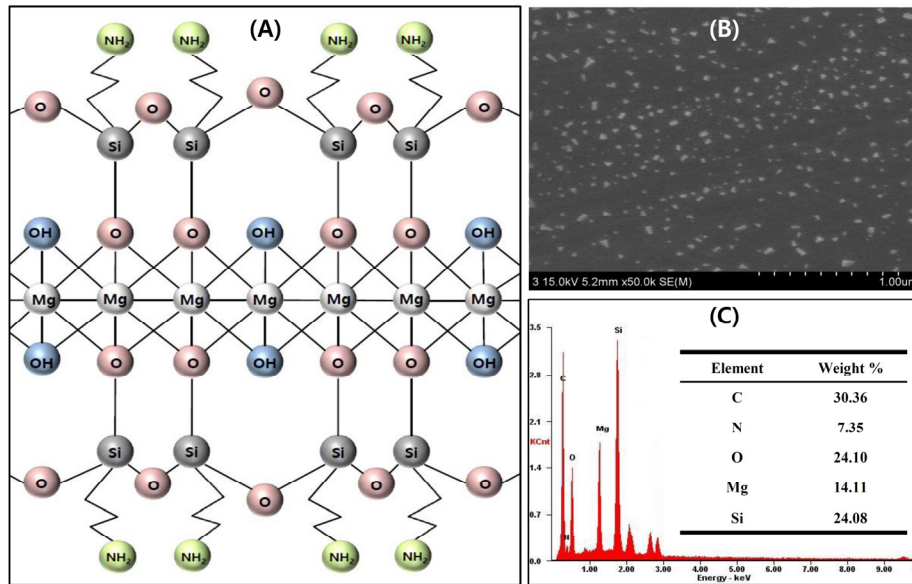


Figure 1. (A) Schematic chemical structure, (B) SEM image and (C) EDX spectra of AF-MgP nanoparticles.

기 분석을 위해 fourier-transform infrared spectrometer (FT-IR; Nicolet iS10, Thermo)를 사용하여 800~4,000 cm<sup>-1</sup>의 범위를 32번의 스캔 (resolution = 4 cm<sup>-1</sup>)을 통해 분석하였으며, AF-MgP의 결정 구조를 분석하기 위해서 X-ray diffractometer (XRD, X'Pert<sup>3</sup> Powder, PANalytical)를 사용하였고, nickel-filtered Cu K $\alpha$  ( $\lambda$  = 0.154 nm) 광원을 사용하여 0~70 °/2theta의 주사 범위를 4.0 °/min의 스캔 속도로 분석하였다.

세탁 후 섬유의 항균성을 확인하기 위해 국내 섬유재료의 항균력 시험방법인 KS K 0693에 준하여 대장균(*Escherichia coli*, KCTC 2571) 및 포도상구균(*Staphylococcus aureus*, KCTC 3881)을 사용하여 실시하였다. 두 가지 시험균주를 각각의 배지에 접종해 16 h 동안 37 °C incubator에서 150 rpm으로 진탕 배양 후 OD<sub>660</sub>에서 흡광도를 측정하여 1 × 10<sup>6</sup> CFU/mL이 되도록 희석을 하였다. 항균성 시험은 섬유유연제를 처리하지 않은 면섬유, AF-MgP가 함유되지 않은 섬유유연제로 세탁한 면섬유와 AF-MgP가 함유된 섬유유연제로 세탁한 면섬유로 총 3가지 시료를 사용하였으며 섬유유연제를 처리하지 않은 섬유를 대조군(control)으로 하였다. 0.4 g의 각각의 섬유를 상기의 초기 농도로 맞춘 시험균주 액 0.2 mL를 접종한 후 16 h 동안 37 °C incubator에서 150 rpm으로 진탕 배양한 후 고체배지에 도말하여 형성된 콜로니를 비교하여 결과를 도출하였다. 여기서 정균 감소 비율(bacteriostatic reduction rate)은 아래 식으로 계산하였다.

$$\text{정균 감소 비율(\%)} = [(A - B) / A] \times 100$$

이 때, A는 섬유유연제를 처리하지 않은 섬유의, B는 섬유유연제를 사용한 세탁 후 섬유의 배양 후 균수(CFU/mL)이며, 항균성 시험은 3회 반복하여 평균값을 기술하였다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 아민기로 관능화된 마그네슘-층상규산염(AF-MgP) 나노입자를 합성하였으며 합성된 물질의 화학적 구조 모식도를 Figure 1(A)에 나타내었다. AF-MgP는 마그네슘을 기반으로 하는 팔면체 골격과 사면체로 이루어진 층상 수산화물이 1 : 2 비율로 이루어져 있는 이중 층상 수산화물로서[18], MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O와 APTES만을 사용하여 silylation 반응을 통해 합성이 이루어지며 층상 구조가 합성됨과 동시에 반데르발스 인력에 의해 겹겹이 쌓여 나노 크기의 입자를 형성한다. 또한 아민기를 가진 단일 유기실란 화합물을 사용하기 때문에 그 표면이 매우 높은 밀도의 아민기를 가지고 있다. AF-MgP 입자를 SEM을 통해 관찰한 결과[Figure 1(B)], 입자의 크기는 약 50 nm이며 균일하게 합성되었음을 확인하였다. 또한 Figure 1(C)에서의 EDX를 통한 원소 분석 결과 또한 Figure 1(A)의 화학적 구조 모식도에 묘사되어 있는 C, N, O, Mg 및 Si 원소를 확인하였다.

표면에 관능화된 아민기를 포함해서 AF-MgP가 성공적으로 합성되었음을 확인하기 위해, FT-IR 및 XRD를 통해 AF-MgP를 분석하였다. Figure 2(A)는 합성된 AF-MgP의 FT-IR 스펙트럼으로, 3,500~3,700 cm<sup>-1</sup>에서 표면의 아민기를 나타내는 N-H stretch 피크와 2,850~3,000 cm<sup>-1</sup>에서 C-H stretch 피크를 확인하였다. 또한 3,300~3,400 cm<sup>-1</sup>에서의 O-H stretch 피크와 1,110 cm<sup>-1</sup>의 Si-C stretch 피크 및 1,040 cm<sup>-1</sup>의 Si-O-Si bend 피크를 통해 AF-MgP 내의 이중 층상 수산화물의 합성을 확인하였다. Figure 2(B)는 AF-MgP의 XRD 구조 분석 스펙트럼으로, 팔면체와 사면체가 1 : 2 비율로 구성된 마그네슘-층상규산염의 참조 피크[21]와 동일한 피크로 각각 5.04°에서 d<sub>001</sub>, 11.22°에서 d<sub>003</sub>, 23.12°에서 d<sub>020,110</sub>, 35.19°에서 d<sub>130,200</sub> 및 59.69°에서 d<sub>060,330</sub> 부분이 일

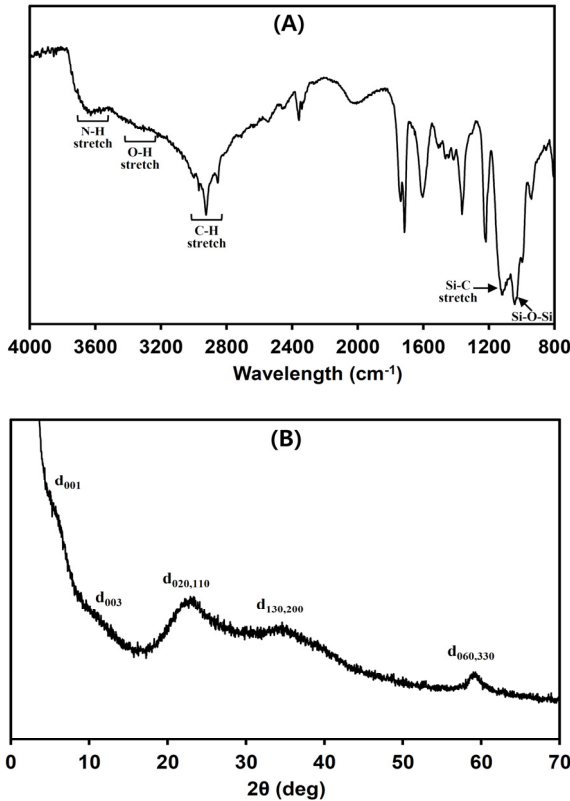


Figure 2. Characterizations of AF-MgP by (A) FT-IR and (B) XRD.

치해 동일한 화학적 구조를 가진 것을 확인하였다.

AF-MgP가 함유된 섬유유연제를 사용해서 세탁 후의 면섬유의 표면에 AF-MgP가 흡착되었는지를 확인하기 위해 HR-SEM을 통해 관찰하였다. Figure 3(A), (B)는 섬유유연제를 처리하지 않은 섬유의 표면을 관찰한 이미지로, 섬유 표면에서 AF-MgP 나노입자를 전혀 찾아볼 수 없으며, 이는 AF-MgP가 함유되지 않은 섬유유연제를 사용해 세탁한 면섬유의 표면[Figure 3(C), (D)]에서도 마찬가지로 관찰할 수 없었다. Figure 3(E), (F)는 AF-MgP가 1.0% 함유된 섬유유연제를 사용해 면섬유를 세탁 후 관찰한 이미지로, 섬유의 표면에 AF-MgP 나노입자가 매우 고르게 흡착되어 있는 것을 확인하였다. 천연 면섬유는 88.0~96.5%가  $\alpha$ -cellulose로 이루어져 있으며[26],  $\alpha$ -cellulose는 관능기가 하이드록시기로만 이루어진 대표적인 오탄당(pentose) 중 하나이다. 즉, 섬유 표면이 부분적인 음전하를 띠고 있으며, 반대로 AF-MgP는 입자 표면이 아민기로만 구성되어 있어 부분적으로 양전하를 띠고 있기 때문에 면섬유 표면에 AF-MgP가 흡착되기 쉬운 것으로 사료된다. AF-MgP 입자가 흡착된 섬유의 표면을 EDX를 통해 분석한 결과에서도, AF-MgP 특유의 N, Mg, Si와 같은 원소들이 확인되었다[Figure 3(G)].

본 연구에서는 AF-MgP가 함유된 섬유유연제를 제조하여 면섬유를 세탁하고, 세탁 후 섬유에 AF-MgP 나노입자가 흡착되어 섬유 표면에 코팅되었다. AF-MgP 나노입자가 코팅된 섬유에 대한 항균 활성은 보통 산업에서 흔하게 사용되는 대장균(*E. Coli*)과 피부 상재균인 포도상구균(*S. Aureus*)을 사용해 국내 섬유재료의 항균력 시험방법인 KS K 0693에 준하여 검토하였으며 평균 감소 비율(bacteriostatic reduction rate, %)로서 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 섬유유연제를 처리하지 않은 섬유에 대한 대장균과 포도상구균의 평균 감소 비율은 모두

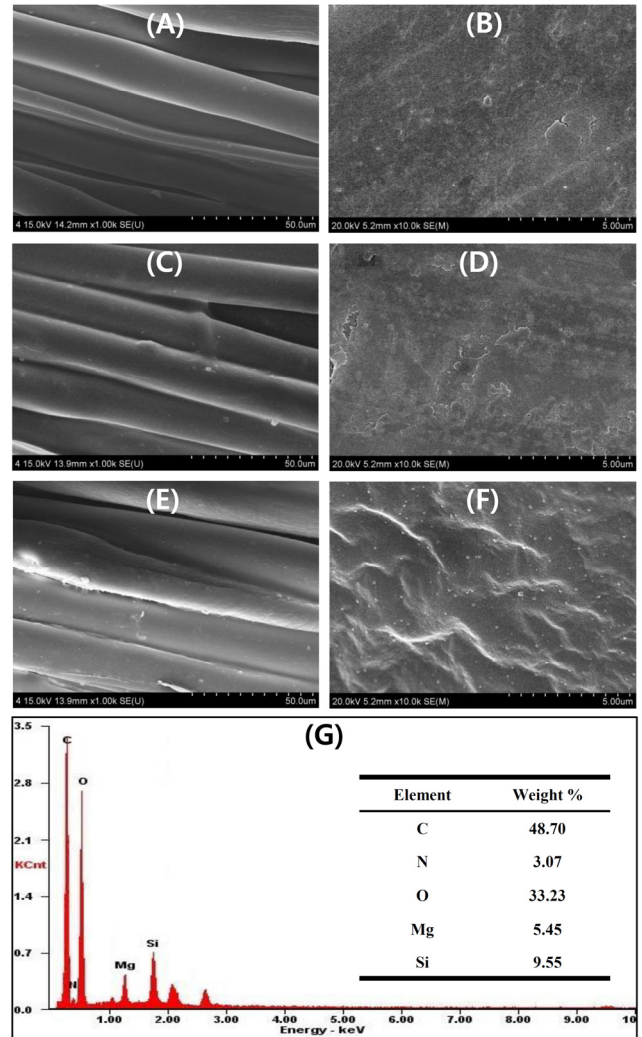


Figure 3. SEM images of (A, B) fabric softener untreated cotton fabrics, (C, D) fabric softener (without AF-MgP) treated cotton fabrics and (E, F) fabric softener (with AF-MgP) treated cotton fabrics. EDX spectra of fabric softener (with AF-MgP) treated cotton fabrics (G).

0.0%로 나타났으며, 섬유유연제를 처리하지 않은 면섬유는 항균성을 전혀 가지고 있지 않은 것을 확인할 수 있다. AF-MgP가 함유되지 않은 섬유유연제를 세탁과정에 처리한 섬유는 대장균과 포도상구균에 대해 각각 29.2, 36.8%로 확인되었으며, 이는 세탁 후 섬유 표면에 잔존해 섬유를 유연하게 하는 양이온성 계면활성제의 영향으로 미약한 항균성을 가지는 것으로 사료된다. AF-MgP가 함유된 섬유유연제로 처리한 섬유는 대장균과 포도상구균에 대한 평균 감소 비율이 모두 99.9%로 나타났다. 은 나노 입자를 섬유 표면에 흡착시켜 섬유에 항균성을 부여하는 기존 연구 결과들은 섬유 표면에 은 나노 입자를 고르게 흡착시키지 못해, 대장균과 포도상구균에 대한 항균성이 28.73~99.93%로 균일하지 못한 항균성을 보여준다[27].

이러한 결과는 세탁하지 않은 미처리 섬유가 항균성이 전혀 없는 것에 반해, AF-MgP가 함유된 섬유유연제를 처리한 섬유는 섬유의 표면에 코팅된 AF-MgP에 의해 월등히 우수한 항균 활성을 가지고 있는 것을 알 수 있었다. AF-MgP는 표면의 아민기가 균의 세포막에 탈분극을 가해 균 표면의 모폴로지를 변화시켜 결과적으로 균을 사멸시키는

**Table 3. The Antimicrobial Efficiency (Bacteriostatic Reduction Rate, %) of Control and Softener Treated Cotton Fabrics against *Escherichia Coli* and *Staphylococcus Aureus***

Fabric (CFU/mL)	Microorganism	<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
		KCTC 2571	KCTC 3881S
Control		$2.4 \times 10^6$ (0.0)	$1.9 \times 10^6$ (0.0)
		$1.9 \times 10^6$ (20.8)	$1.4 \times 10^6$ (26.3)
	expt.	$1.6 \times 10^6$ (33.3)	$1.3 \times 10^6$ (31.6)
Softener (without AF-MgP) treated cotton fabric		$1.6 \times 10^6$ (33.3)	$0.9 \times 10^6$ (52.6)
	avg.	$1.7 \times 10^6$ (29.2)	$1.2 \times 10^6$ (36.8)
Softener (with AF-MgP) treated cotton fabric		< 100 (99.9)	< 100 (99.9)
	expt.	< 100 (99.9)	< 100 (99.9)
		< 100 (99.9)	< 100 (99.9)
		< 100 (99.9)	< 100 (99.9)
	avg.	< 100 (99.9)	< 100 (99.9)

강한 항균력을 가진 소재 중 하나로 알려진 바 있다[23].

#### 4. 결 론

본 연구에서는 아민기로 관능화된 마그네슘-층상규산염(AF-MgP)의 세탁 보조제 소재로의 응용 가능성을 확인하기 위해 one-pot으로 간단히 합성하였으며, AF-MgP를 항균제로서 섬유유연제에 적용해 세탁 후 섬유의 피부 상재균에 대한 항균성을 확인하였다.

합성된 AF-MgP의 작용기를 FT-IR을 통해 확인한 결과 AF-MgP의 아민기와 이중 층상 수산화물을 확인하였으며, XRD를 통한 결정 구조 분석 결과 core 물질인 마그네슘을 기반으로 하는 팔면체 구조의 골격과 사면체로 이루어진 이중 층상 수산화물 구조가 합성된 것을 확인하였다. 또한 ISO 105-F02에 규정된 면섬유를 사용하여 KS K ISO 6330에 준한 세탁 방법을 통해 AF-MgP가 함유된 섬유유연제를 처리하여 세탁한 결과, HR-SEM과 EDX를 통해 섬유 표면에 AF-MgP 나노입자가 매우 고르게 흡착되어 있는 것을 확인하였다. AF-MgP가 흡착된 섬유에 대해 섬유재료의 항균력 시험법인 KS K 0693에 준하여 대장균(*E. coli*) 및 포도상구균(*S. aureus*)에 대한 항균 활성을 검토한 결과, 섬유 표면에 흡착되어 있는 AF-MgP의 항균 활성 메커니즘에 의해 정균 감소 비율이 99.9%로 매우 우수한 항균 활성을 보였다.

세탁 후 섬유에 흡착되어 잔존하며 피부 상재균에 대해 매우 우수한 항균 활성을 고려할 때, 섬유에 항균성을 부여해 주는 기능성 소재로서 응용 가능할 것으로 보인다. 또한 항균성 이외에도 항산화, 항염 활성 등의 다양한 기능성을 가진 물질들을 사용해 AF-MgP의 층간에 탑재시킨다면, 화장품 소재 및 의료용 소재 등의 다양한 분야로 적용이 가능하다고 사료된다.

#### References

- 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*, **79**, 5-18 (2010).
- E. A. Grice and J. A. Segre, The skin microbiome, *Nat. Rev. Microbiol.*, **9**, 244-253 (2011).
- J. Lin, X. Chen, C. Chen, J. Hu, C. Zhou, X. Cai, W. Wang, C. Zheng, P. Zhang, J. Cheng, Z. Guo, and H. Liu, Durably anti-

- bacterial and bacterially antiadhesive cotton fabrics coated by cationic fluorinated polymers, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **10**, 6124-6136 (2018).
- T. Mao, Y. Wei, C. Zheng, W. Cheng, Z. Zhang, Y. Zhu, R. Wang, and Z. Zeng, Antibacterial cotton fabrics coated by biodegradable cationic silicone softeners, *J. Surfactants Deterg.*, DOI:10.1002/jsde.12316 (2019).
- Y. H. Lee, S. G. Lee, E. K. Hwang, Y. M. Baek, S. Cho, J. S. Kim, and H. D. Kim, Deodorizing performance and antibacterial properties of fabric treated with pomegranate and gallnut extracts compared with properties of commercial deodorizing and antibacterial agents, *J. Text. Sci. Eng.*, **53**, 45-54 (2016).
- M. Wu, B. Ma, T. Pan, S. Chen, and J. Sun, Silver-nanoparticle-colored cotton fabrics with tunable colors and durable antibacterial and self-healing superhydrophobic properties, *Adv. Func. Mater.*, **26**, 569-576 (2016).
- T. I. Shaheen, M. E. El-Naggar, A. M. Abdelgawad, and A. Hebeish, Durable antibacterial and UV protections of *in situ* synthesized zinc oxide nanoparticles onto cotton fabrics, *Int. J. Biol. Macromol.*, **83**, 426-432 (2016).
- M. E. El-Naggar, T. I. Shaheen, S. Zaghoul, M. H. El-Rafie, and A. Hebeish, Antibacterial activities and UV protection of the *in situ* synthesized titanium oxide nanoparticles on cotton fabrics, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **55**, 2661-2668 (2016).
- J. H. A. Rosalind and C. Anderson, Respiratory toxicity of fabric softener emissions, *J. Toxicol. Environ. Health*, **60**, 121-136 (2000).
- E. K. Oikonomou, N. Christov, G. Cristobal, C. Bourgaux, L. Heux, I. Boucenna, and J. F. Berret, Design of eco-friendly fabric softeners: Structure, rheology and interaction with cellulose nanocrystals, *J. Colloid Interface Sci.*, **525**, 206-215 (2018).
- N. Calero, J. Santos, M. Barjano, and J. Munos, Shear-induced structural transitions in a model fabric softener containing an esterquat surfactant, *J. Surfactants Deterg.*, **19**, 609-617 (2016).
- V. Ravichandran, S. Vasanthi, S. Shalini, S. A. A. Shah, and R. Harish, Green synthesis of silver nanoparticles using *Atrocarpus altilis* leaf extract and the study of their antimicrobial and antioxidant activity, *Mater. Lett.*, **180**, 264-267 (2016).
- J. Bonilla and P. J. A. Sobral, Investigation of the physicochemical, antimicrobial and antioxidant properties of gelatin-chitosan edible film mixed with plant ethanolic extracts, *Food Biosci.*, **16**, 17-25 (2016).
- L. Mpala, G. Chikowe, and I. E. Cock, *Piper novae-hollandiae* miq. leaf extracts lack antibacterial activity and are non-toxic *in vitro*, *Pharmacogn. Commun.*, **9**, 75-79 (2019).
- P. Velmurugan, J. I. Kim, K. Kim, J. H. Park, K. J. Lee, W. S. Chang, Y. J. Park, M. Cho, and B. T. Oh, Extraction of natural colorant from purple sweet potato and dyeing of fabrics with silver nanoparticles for augmented antibacterial activity against skin pathogens, *J. Photochem. Photobiol.*, **173**, 571-579 (2017).
- S. M. Ghoreishian, L. Maleknia, H. Mirzapour, and M. Norouzi, Antibacterial properties and color fastness of silk fabric dyed with turmeric extract, *Fiber. Polym.*, **14**, 201-207 (2013).
- G. Ke, W. Yu, and W. Xu, Color evaluation of wool fabric dyed with *Rhizoma coptidis* extract, *J. Appl. Polym. Sci.*, **101**, 3376-3380 (2006).
- Y. Lee, Y. Choi, M. Choi, H. Yang, K. Liu, and H. Shin, Dual-end functionalized magnesium organo-(phyllo)silicates via co-condensation and its antimicrobial activity, *Appl. Clay Sci.*, **83**, 474-485

- (2013).
19. S. Y. Kim and Y. S. Choi, Preparation of magnesium-based two-dimensional phyllosilicate materials and simultaneous antioxidant drug intercalation, *Colloids Surf. A*, **569**, 164-170 (2019).
  20. Z. Bian and S. Kawi, Preparation, characterization and catalytic application of phyllosilicate: A review, *Catal. Today*, DOI:10.1016/j.cattod.2018.12.030.
  21. K. K. R. Datta, A. Achari, and M. Eswaramoorthy, Aminoclay: A functional layered material with multifaceted applications, *J. Mater. Chem. A*, **1**, 6707-6718 (2013).
  22. H. K. Han, Y. C. Lee, M. Y. Lee, A. J. Patil, and H. J. Shin, Magnesium and calcium organophyllosilicates: Synthesis and *in vitro* cytotoxicity study, *ACS Appl. Mater.*, **3**, 2564-2572 (2011).
  23. G. Chandrasekaran, H. K. Han, G. J. Kim, and H. J. Shin, Antimicrobial activity of delaminated aminopropyl functionalized magnesium phyllosilicates, *Appl. Clay Sci.*, **53**, 729-736 (2011).
  24. S. Y. Kim and Y. S. Choi, Study on synthesis of pine leaf extract intercalated Mg-phyllosilicate sandwich nanoparticles and antimicrobial activity against cutaneous microorganisms, *Appl. Chem. Eng.*, **30**, 254-259 (2019).
  25. S. Y. Kim and Y. S. Choi, Preparation of natural chemicals intercalated aminoclay via one-pot synthesis and its antimicrobial property, *Appl. Chem. Eng.*, **28**, 495-500 (2017).
  26. S. Gordon and Y. L. Hsieh, *Cotton: Science and Technology*, 3-5, Woodhead Publishing, Cambridge, UK (2006).
  27. K. Kulthong, S. Srisung, K. Boonpavanitchakul, W. Kangwansupamonkon, and R. Maniratanachote, Determination of silver nanoparticle release from antibacterial fabrics into artificial sweat, *Part. Fibre Toxicol.*, **7**(8) (2010).