

황금추출물 담지 제올라이트 마이크로입자를 함유한 고밀도 폴리에틸렌 원단의 항균 특성

Antimicrobial Activity of High Density Polyethylene Fabric Containing *Scutellaria Baicalensis* Extract-Loaded Zeolite Microparticles

*Corresponding author

Jun Sik Son
(json@textile.or.kr)

이숙영^{1†}, 조미래¹, 김현진^{2†}, 권태엽³, 한현정⁴, 윤영일, 손준식*
한국섬유개발연구원, ¹조선대학교 치과용정밀장비 및 부품지역혁신센터,
²경북대학교 생체재료연구소, ³경북대학교 치과재료학교실, ⁴울산대학교 의류학과

† These two authors
contributed equally
to this work.

**Sook-Young Lee¹, Mi-Rae Jo¹, Hyun-Jin Kim², Tae-Yub Kwon³, Hyunjung Han⁴,
Young Il Yoon and Jun Sik Son***

Korea Textile Development Institute, Daegu, Korea

¹Regional Innovation Center for Dental Science and Engineering, Chosun University, Gwangju, Korea

²Institute for Biomaterials Research and Development, Kyungpook National University, Daegu, Korea

³Department Dental Biomaterials, Kyungpook National University, Daegu, Korea

⁴Department of Clothing and Textile, University of Ulsan, Ulsan, Korea

Received_December 05, 2017

Revised_December 18, 2017

Accepted_December 19, 2017

Abstract *Scutellaria Baicalensis*(SB) is widely used in traditional and modern oriental medicine. It possesses several biology activities such as anti-oxidative, anti-inflammatory, antimicrobial and antiviral activities. In this study, a functional high density polyethylene (HDPE) fabric with antimicrobial properties was developed using zeolite microparticles as a SB extract delivery carrier. Zeolites loaded with SB extract were prepared by immersing in an SB extract aqueous solution. The average size of the SB extract-loaded zeolites was about 0.1 to 2.0 μ m, and the morphology of the zeolites was not altered after SB extract binding. The resulting SB extract-loaded zeolites were then immobilized homogeneously onto the HDPE fabric using acrylic binder. The encapsulation efficiency of SB extract to the zeolite was more than 45%. The in vitro release test of SB extract-loaded zeolites containing HDPE fabrics showed release of 35% of the total SB extract by day 1 in a 24-hours immersion study. Moreover, the SB extract-loaded zeolites containing HDPE fabrics showed effective antimicrobial activity against *Streptococcus mutans*, *Staphylococcus aureus*, and *Klebsiella pneumoniae*, indicating that this innovative delivery platform potently imparted antimicrobial activity to the HDPE fabric. In conclusion, the current study suggests that the HDPE fabric containing the SB extract-loaded zeolites microparticle carrier system has potential as an effective antimicrobial textile such as safety gloves, protective gloves etc.

Textile Coloration and Finishing

TCF 29-4/2017-12/247-255

©2017 The Korean Society of
Dyers and Finishers

Keywords *scutellaria baicalensis*, *zeolites*, *antimicrobial activity*, *high density polyethylene*, *safety gloves*

1. 서 론

외부 환경으로부터 인체를 보호하고 피부를 쾌적하

고 편안한 상태로 유지하기 위하여, 흡한속건, 스트레치, 초경량, 살균·탈취 및 자외선 차단, 전자파 차폐 등과 같은 다양한 기능성을 지닌 섬유들이 개발되어 시

판되고 있다. 또한 축열 방열 소재, 형상기억 소재와 같은 각종 인텔리전트 소재들이 개발되면서 섬유소재가 무한하게 진보하고 있으며, 최근 들어 인체에 안전한 천연물질을 섬유에 적용하여 미용과 건강을 지향하는 인체친화적인 섬유들의 개발이 진행되고 있다^{1,2)}.

한편 고밀도 폴리에틸렌(high density polyethylene, HDPE) 섬유는 인장 및 굴곡 피로, 자외선 및 내화학성, 경량성 등이 우수하여 전기, 전자, 자동차, 항공, 우주, 생활 및 보호용 등 다양한 산업분야에서 사용되고 있다. 네덜란드의 DSM사에서 1990년대 초 고분자량 폴리에틸렌 섬유가 Dyneema 상품명으로 생산되면서 일본, 미국 등에서도 초고강도 및 고탄성율을 갖는 폴리에틸렌 섬유개발을 꾸준히 진행하고 있다. 최근 들어, HDPE 섬유의 뛰어난 내절단성과 내화학성을 이용하여 산업용 안전장갑 및 방탄복 등으로 활용하고자 하는 시도들이 이루어지고 있다³⁾. 특히 산업용 안전장갑은 손을 보호하기 위해 착용하는 의류의 일종으로 산업현장에 반드시 필요한 보호구이다. 현재까지 개발된 산업용 안전장갑은 손을 보호하기 위한 물리적 및 화학적 특성은 우수한 반면 생물학적 특성이 취약한 단점이 있다. 즉, 손의 땀과 오염물질에 대한 항균성이 결여된 제품들이 대부분이다.

황금(*Scutellaria baicalensis*, SB)은 한국, 중국, 몽골 및 시베리아 동부지역에 분포하는 쌍떡잎식물 통화식물목 꿀풀과에 속하는 여러해살이풀로 뿌리에는 baicalein, baicalin, wogonin, wogonoside, neobaicalein이 함유되어 있어 항균작용, 항염증 효과가 우수한 것으로 알려져 있다⁴⁻⁶⁾. 이러한 황금의 뿌리는 주로 약용으로 이용되어 왔으며 최근에는 화장품, 식품포장지, 구강용 치약 등 다양한 분야로 그 용도가 확대되고 있다. 황금추출물의 항균효과에 대한 연구로 Leung 등은 황금추출물을 담지한 다공성 실리카 나노입자가 구강균인 *Streptococcus mutans*(*S. mutans*), *Fusobacterium nucleatum*(*F. nucleatum*), *Porphyromonas gingivalis*(*P. gingivalis*)에 대해 항균성이 있음을 보고하였고, Duan 등은 황금추출물이 구강충치 박테리아에 대해 항박테리아 효과가 있음을 보고하였다^{7,8)}. 그리고 Lee와 Choi 등은 *Staphylococcus aureus*(*S. aureus*), *Bacillus cereus*(*B. cereus*), *Pseudomonas aeruginosa*(*P. aeruginosa*)에 대해서도 항균효과가 있음을 보고하였고, Shin 등은

*ex vivo*와 *in vivo* 동물모델을 통해 황금추출물의 wogonin인 항알레르기에 효과가 있음을 보고하였다⁹⁻¹¹⁾.

제올라이트는 분자 크기가 균일한 결정 내에 미세기공을 가지고 있어 흡착제, 이온교환체, 촉매, 담체로 활용될 수 있는 높은 기능성을 가진 재료로서 최근 많은 연구가 진행되고 있다. Primo-Yufera 등은 제올라이트를 개질하여 pheromone dispenser로 활용하고자 하였고, Perez 등은 기능성 물질인 α -Tocopheryl acetate를 제올라이트에 담지 시킨 다음 용융 방사 시나일론 섬유에 함유시켜 기능성 물질의 세탁내구성을 향상시켰다^{12,13)}.

본 연구는 인체에 안전한 천연물질을 이용하여 항균성을 갖는 산업용 안전장갑을 개발하기 위하여 황금추출물을 담지한 제올라이트 마이크로입자를 제조한 다음 후가공을 통해 제올라이트를 HDPE 원단에 함유시켰다. 이때 황금추출물이 항균활성을 나타내는 농도와 제올라이트에 함유되는 황금추출물의 담지효율 및 방출거동을 분석하였고, 제조된 제올라이트 함유 HDPE 원단의 항균 활성 또한 분석하였다.

2. 실험

2.1 황금추출물 담지 제올라이트 제조

황금추출물은 한국한의학연구원 한의기술응용센터에서 제공받아 사용하였으며, 황금추출물 담지체로 사용된 제올라이트(H-bate, SiO₂:Al₂O₃=98:2wt%)는 Cosmo Catalysts사에서 구입하여 사용하였다. 먼저 황금추출물 담지체로 사용된 제올라이트 입자(입자크기 0.1-2 μ m)는 300 $^{\circ}$ C에서 24시간 동안 열처리하여 제올라이트에 존재할 수 있는 수분을 제거하고 사용하였다. 이어서 황금추출물 2mg을 증류수 10mL에 완전히 용해시키고 제올라이트 25mg을 서서히 투입한 다음 상온에서 24시간 동안 교반하여 황금추출물을 제올라이트에 담지 시켰다. 교반 종료 후 원심분리기를 이용하여 3,000rpm에서 5분 동안 원심분리 하여 미흡착 황금추출물을 제거하고 동결건조를 통해 황금추출물이 담지된 제올라이트 입자를 제조하였다.

2.2 황금추출물 담지 HDPE 원단 제조

산업용 안전장갑으로 사용되는 HDPE 원단은 (주)형

제인터네셔널에서 제공받아 사용하였고 바인더로는 아크릴계 수지를 사용하였다. 먼저 HDPE 원단을 가로 5cm × 세로 5cm 크기로 준비한 다음 3% 바인더가 함유된 10mL 수용액에 황금추출물이 담지된 제올라이트 25mg을 분산시켰다. 이때 수용액에 제올라이트의 분산을 용이하게 하기 위해 소니케이션을 5분 동안 수행하였다. 이어서 준비된 원단에 제올라이트가 분산된 수용액을 처리하고 120℃에서 5분 동안 열처리 하였다.

2.3 제올라이트의 황금추출물 담지율 및 방출거동 분석

제올라이트에 담지되는 황금추출물의 담지율은 UV-vis spectrometer를 이용하여 간접법으로 분석하였다¹⁴⁾. 먼저 황금추출물 수용액을 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4mg/mL로 제조하고 황금추출물에 함유되어 있는 baicalin의 흡광도(275nm)를 UV로 측정하여 검량선을 만들었다. 이어서 황금추출물 2mg을 증류수 10mL에 용해시키고 제올라이트 25mg을 서서히 투입한 다음 상온에서 24시간 동안 교반하였다. 황금추출물의 담지율은 제올라이트와 교반 전·후 황금추출물 수용액을 취하여 UV를 측정하여 다음 baicalin의 흡광도를 분석하여 측정하였다.

황금추출물 담지 제올라이트가 함유된 HDPE 원단으로부터 황금추출물의 방출거동은 하기와 같은 방법으로 분석하였다. 상기에서 제조된 황금추출물 담지 제올라이트가 처리된 HDPE 원단(가로 5cm × 세로 5cm)을 10mL 증류수에 침지한 다음 37℃에서 24시간 동안 동적인 상태로 방치하였다. 이어서 원단이 침지된 용출액을 취하여 275nm의 baicalin의 흡광도를 분석하여 계산하였다.

2.4 항균성 시험

황금추출물 및 황금추출물 담지 제올라이트가 함유된 원단의 항균성 시험은 *S. aureus*(ATCC 6538), *Escherichia coli*(*E. coli*, ATCC 8739)와 *Klebsiella pneumoniae*(*K. pneumoniae*, ATCC 4352)을 이용하여 시험하였다. 세균의 증식은 Brain heart infusion(BHI, Difco, USA)에서 1-2차 계대배양 후 같은 배지에 식균하여 5% CO₂인큐베이터(37℃)에서 배양하였다. 항균활성용 배지는 Tryptic soy agar (Difco, USA)와 Nutrient agar(Difco, USA) 배지를 사용하였다.

황금 추출물의 항균 효과를 측정하기 위해 한천배지

확산법을 사용하였다. *S. aureus*와 *E. coli* 균주를 Tryptic soy broth와 Nutrient broth 배지에서 24시간 배양한 후, 멸균된 면봉으로 Tryptic soy agar와 LB agar plate에 균일하게 균을 도말해 주었다.

황금 추출물의 항균 효과를 확인하기 위해 paper disc(8mm x 1.5mm, Adventec, USA)를 균주가 접종된 agar plate 표면 위에 올려놓고 황금 추출물을 농도 별로 희석하여(0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4mg/mL) 50 μL씩 흡수시켰다. 시료가 처리된 plate를 37℃ 인큐베이터에서 24시간 배양한 후 disc 주위의 inhibition zone을 digital calliper(Mitutoyo Co., Japan)로 측정하여 황금 추출물의 농도에 따른 항균 효과를 확인하였다.

황금 추출물 담지 제올라이트를 함유한 원단은 1×1cm의 크기로 잘라 UV light 하에서 24시간 멸균시킨 후 실온에 보관하였고 일부는 Phosphate-buffered saline(PBS)에 침지하여 24시간 동안 37℃ 오븐에서 보관하였다. 제조된 원단의 항균 효과 측정은 황금 추출물과 동일한 균주를 사용하였으며 각 균주가 도말된 agar plate에 위에 제조된 원단과 용출된 용액을 흡수시킨 paper disc를 올린 후 37℃ 인큐베이터에서 24시간 배양하여 시료 주위의 inhibition zone을 관찰하였다.

황금 추출물 담지 제올라이트를 함유한 원단의 항균 활성 정도의 평가는 직물의 항균도 시험 방법인 KS K 0693 : 2011에 준하여 공시균인 *S. aureus*와 *K. pneumoniae*를 사용하여 18시간 배양 후 시험에 의한 균 감소율(%)을 다음 식(1)과 같이 계산하였다.

$$\text{Bacteria reduction rate(\%)} = (A-B)/A \times 100 \dots (1)$$

where,

A: The number of bacteria in the control group after 18hour incubation

B: The number of bacteria in the experimental group after 18hour incubation

3. 결과 및 고찰

3.1 황금추출물의 항균특성

황금의 지표물질로 알려진 baicalin, baicalein,

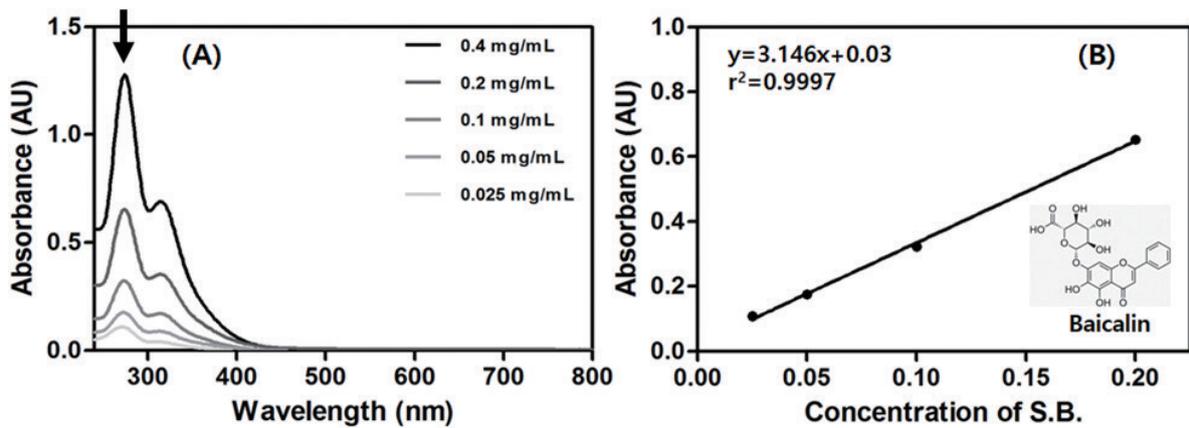


Figure 1. UV spectrometer results of SB extract concentration (A) and Calibration curve (B).

wogonin 등은 강력한 항산화 활성으로 활성산소 소거 능력이 탁월하고 우수한 항균성을 가진다고 알려져 있다¹⁵⁾.

본 연구에서는 황금추출물의 농도별 항균성을 분석하기 위하여 0.025–0.4mg/mL의 범위로 황금추출물 수용액을 제조하여 240–800nm 파장범위로 UV를 측정하여 Figure 1에 나타내었다. 황금추출물의 농도가 증가할수록 275nm의 파장에서 bicalin의 흡광도가 증가하는 것을 확인하였고, 이를 이용하여 황금추출물의 양을 계산할 수 있는 검정선을 얻을 수 있었다.

Figure 2는 황금추출물 농도별 *E. coli* 및 *S. aureus*에 대한 agar diffusion 실험을 통한 inhibition zone을 나타낸 것이다. 먼저 *E. coli*의 경우 모든 시료에서 inhibition zone이 관찰되었고 황금추출물의 농도가 증가할수록 inhibition zone의 크기가 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 *S. aureus*의 경우도 *E. coli*와 유사한 경향을 나타내었고 소량의 황금추출물

(0.025 mg/mL)에서도 항균활성이 나타나는 것을 확인하였다. 선행연구에 의하면 baicalein의 균에 대한 최소저지농도(Minimum inhibitory concentration, MIC)가 70–100 μ g/mL이고, 이러한 억제활성은 baicalein 분자구조의 하이드록시(-OH) 그룹에 의한 것으로 보고되고 있다¹⁶⁾. 그러나 본 실험에서는 낮은 황금추출물 농도(0.025mg/mL)에서도 항균활성이 나타났으며, 이는 본 실험에 사용된 황금추출물은 조추출물로서 baicalein뿐만 아니라 baicalin, wogonin 등 항균활성을 나타내는 물질들을 다량 포함하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 황금추출물 담지 제올라이트 및 HDPE 원단의 특성

Figure 3은 황금추출물 담지 전과 담지 후의 제올라이트를 분석한 SEM 사진이다.

고배율 SEM 사진을 통해서 황금추출물 담지 전·후

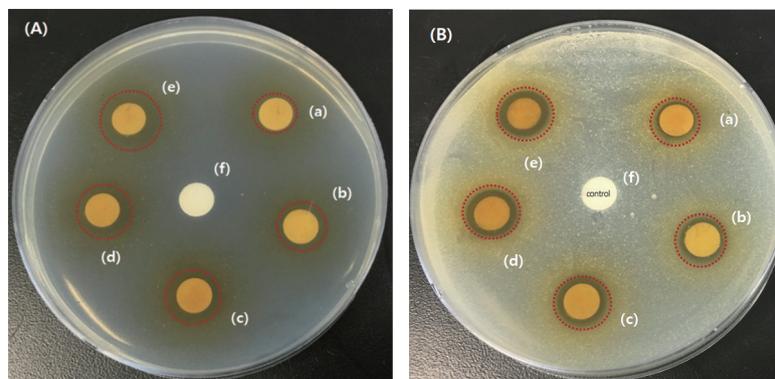


Figure 2. Agar diffusion test results of SB extract using *E. coli* (A) and *S. aureus* (B); (a) 0.025, (b) 0.05, (c) 0.1, (d) 0.2, (e) 0.4 mg/mL, (f) EtOH.

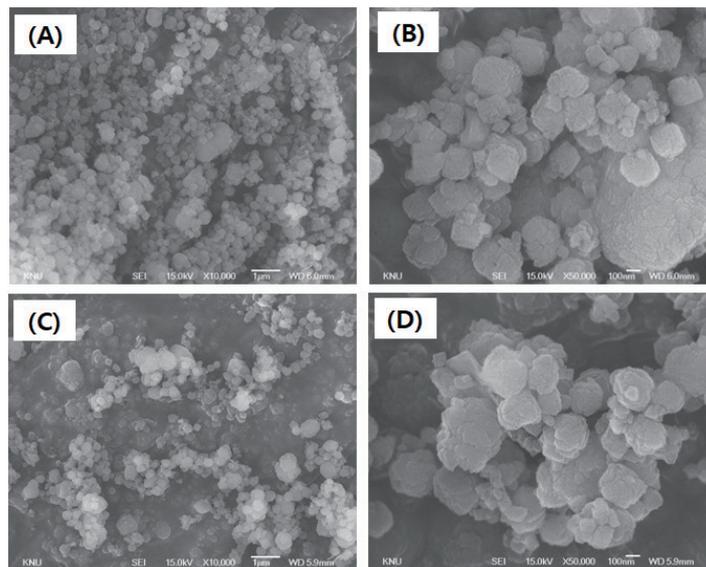


Figure 3. SEM images of control zeolite(A ×10,000, B ×50,000) and SB extract-loaded zeolite(C ×10,000, D ×50,000).

의 제올라이트에 큰 변화가 없음을 관찰하였다.

즉, 황금추출물 덩어리 또는 기타 이물질과 같은 흔적이 관찰되지 않아 황금추출물이 제올라이트 표면 또는 기공에 잘 담지된 것을 확인하였다.

Figure 4는 황금추출물 담지 제올라이트를 바인더 수용액과 함께 직물에 처리한 후 열처리에 의해 제올라이트를 섬유표면에 고정화시킨 HDPE 원단의 SEM 사진을 나타낸 것이다. 황금추출물 담지 제올라이트가 섬유 표면에 분산되어 고정화된 것을 관찰하였고, HDPE 원단의 부분적인 부분에 제올라이트들이 소량으로 응집되어 있는 현상이 나타났으나 전반적으로 직물표면에 제올라이트가 잘 고정화된 것을 확인하였다.

제올라이트에 담지 되는 황금추출물의 양을 알아보

기 위하여 황금추출물 수용액에 제올라이트를 투입하고 24시간 동안 교반한 뒤 제올라이트에 담지 되는 양은 황금추출물 수용액을 UV로 분석하였다.

Figure 5(A)에서 담지 전과 담지 후의 흡광도를 비교분석한 결과 제올라이트에 황금추출물이 45.7%가 담지 되는 것을 확인하였다.

Figure 5(B)는 황금추출물 담지 제올라이트를 처리한 HDPE 원단을 37℃에서 24시간 동안 침지한 용출액을 UV로 측정된 결과이다. UV의 흡광도를 분석한 결과 원단으로부터 방출된 황금추출물의 양은 35.6%임을 확인하였다. 초기 제올라이트에 담지된 황금추출물의 농도 대비 HDPE 원단처리 후 방출되는 황금추출물의 농도가 다소 낮은 값을 나타내었다. 이는 황금추

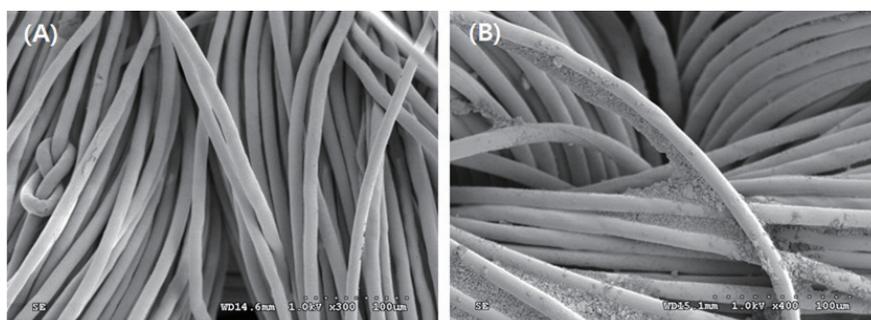


Figure 4. SEM images of control HDPE fabric(A ×300) and SB extract-loaded zeolite containing HDPE fabric (B ×300).

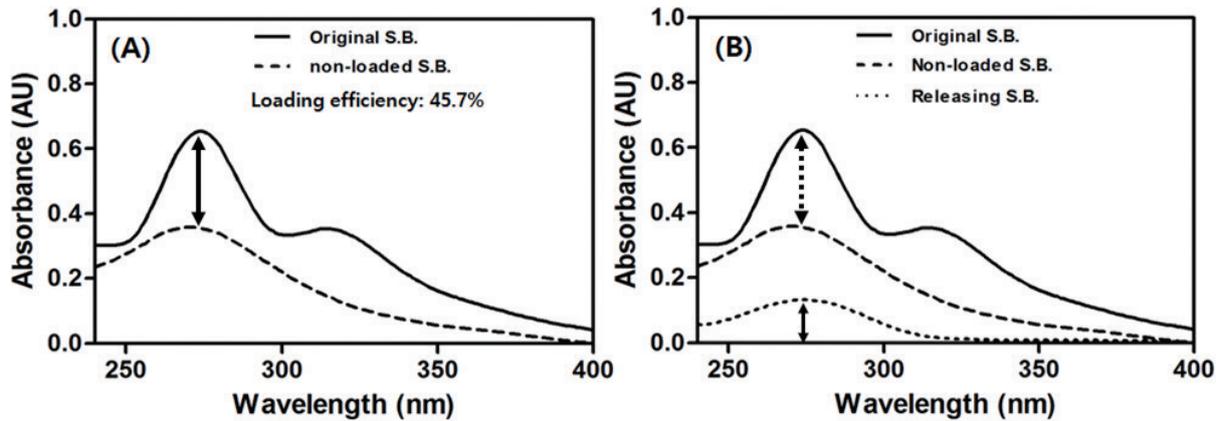


Figure 5. UV spectrometer results of SB extract loaded with zeolite (A) and release of SB extract from zeolite containing HDPE fabric.

출물 담지 제올라이트를 원단에 적용할 때 바인더를 사용하여 제올라이트가 물과 접촉하는 것을 방해하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 1회용이 아닌 산업용 안전장갑의 경우 여러 번 세탁하여 재사용하는 것을 고려하면 어느 정도의 세탁내구성을 확보하는 것이 오히려 바람직할 것으로 사료된다.

한편 미세기공을 갖는 다공성 무기입자는 흡착제, 이온교환체, 촉매, 담체 등으로 사용범위가 넓으며, 특히 제올라이트의 경우 기능성 물질을 전달하기 위한 담체

로 폭 넓게 활용되고 있다.

기존 연구로서 김 등은 제올라이트 나노입자에 항균제인 클로록헥시딘을 담지 하여 항균성을 갖는 치과용 시멘트를 개발하고자 하였으며 제올라이트를 사용할 경우 항균제의 방출기간을 지속시킬 수 있다고 보고하였다¹⁷⁾. 또한 제올라이트 자체의 항균성이 존재하지만 시너지효과를 얻기 위해 항균제인 azalide계를 동시에 처리하여 면섬유의 항균성을 증대시키고자 하는 연구도 보고되고 있다¹⁸⁾.

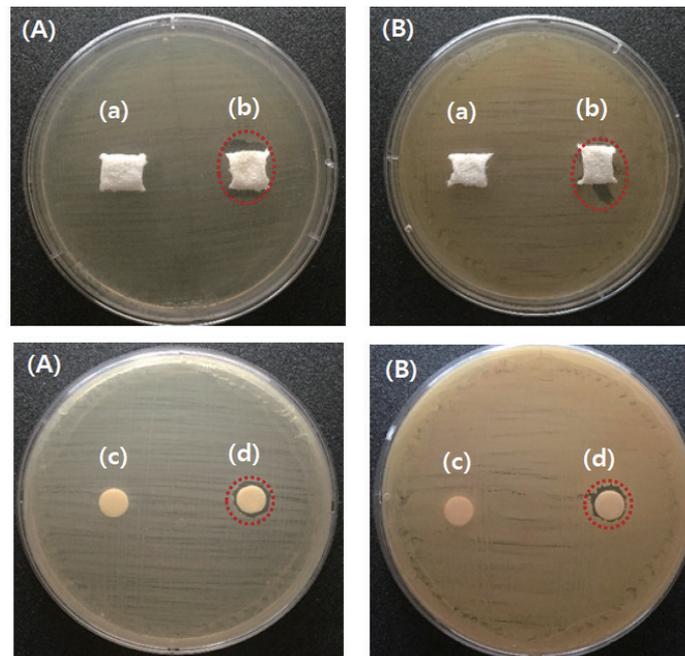


Figure 6. Agar diffusion test results of SB extract-loaded HDPE fabric using *E. coli* (A) and *S. aureus* (B); (a) control HDPE, (b) SB extract-loaded HDPE fabric, (c) control paper dice, (d) SB extract-loaded paper dice.

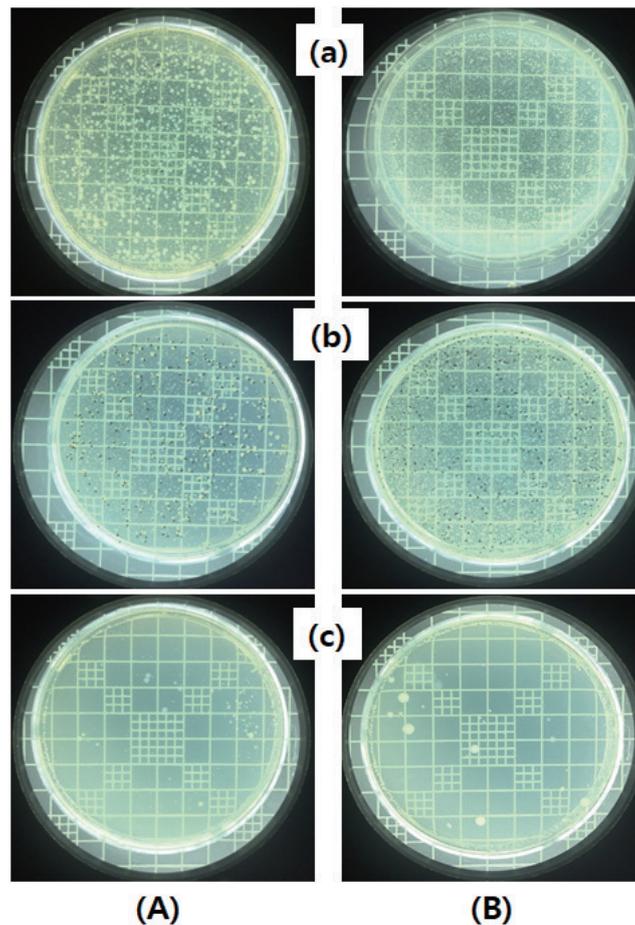


Figure 7. Antimicrobial activity of blank (a), extract from control HDPE fabric (b), and extract from SB extract-loaded HDPE fabric (c); *S. aureus* (A), *K. pneumoniae* (B).

따라서 다양한 기능성을 발휘할 수 있는 제올라이트를 약물전달용 담체로 활용하여 산업현장에 필수적으로 사용되는 안전장갑에 적용한다면 항균 효과의 지속성이 확보된 우수한 안전장갑 개발이 가능할 것으로 판단된다.

3.3 황금추출물 담지 제올라이트를 함유한 HDPE 원단의 항균성

황금추출물 담지 제올라이트를 함유한 HDPE 원단의 항균효과는 agar diffusion 실험으로 평가하고 그 결과를 Figure 6에 나타내었다.

Figure 6의 (a)인 control HDPE는 *E. coli*와 *S. aureus*에 대해 항균효과가 없는 것으로 나타났다. 그러나 Figure 6의 (b)인 황금추출물 담지 제올라이트를 함유한 HDPE 원단은 *E. coli*와 *S. aureus*에 대해 미약한 inhibition zone이 나타나는 것을 관찰하였다. 그리고 황금추출물 담지 제올라이트를 함유한 HDPE 원단을 PBS에서 24시간 동안 침지 한 후 그 용

출액을 paper disc에 흡착시켜 agar diffusion 실험을 진행한 결과 control HDPE는 inhibition zone은 관찰되지 않았으나 황금추출물 담지 제올라이트를 함유한 HDPE 원단은 inhibition zone이 나타나는 것을 Figure 6 (c)와 (d)에 관찰하였다.

항균활성 정도를 분석하기 위하여 *S. aureus*와 *K. pneumoniae*을 이용하여 균 감소율을 측정하여 Figure 7 및 Table 1에 나타내었다.

먼저 control HDPE 원단의 경우 *S. aureus*에 대해

Table 1. Antimicrobial activity of HDPE fabrics

Samples	Antimicrobial activity(%)	
	<i>S. aureus</i>	<i>K. pneumoniae</i>
Control HDPE fabric	80.5	98.5
SB extract-loaded HDPE fabric	99.9	99.9

서는 80.5% 및 *K. pneumoniae*에 대해서는 98.5%의 항균성을 보였다. 그리고 황금추출물 담지 제올라이트를 함유한 HDPE 원단은 *S. aureus*와 *K. pneumoniae*에 대해 모두 99.9%의 항균성을 나타내었다.

이상의 결과로 황금추출물 담지 제올라이트를 함유한 HDPE 원단이 우수한 항균효과가 있다는 것을 확인하였다. 그리고 본 연구에서 사용한 천연항균제로서 황금추출물과 이러한 추출물을 제올라이트에 담지 시켜 HDPE 원단에 적용하는 방법이 항균효과의 발현 및 지속성에 유리하다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 천연약용재로 사용되고 있는 황금추출물을 산업용 안전장갑으로 사용되고 있는 HDPE 원단에 처리하여 항균성을 갖는 안전장갑을 개발하고자 하였다. 이를 위해 무기물 담체로서 미세기공을 함유한 제올라이트 입자에 황금추출물을 담지 시키고 바인더를 이용하여 HDPE 원단에 처리한 다음 황금추출물의 방출거동 및 항균효과를 분석하였다.

황금추출물의 농도가 0.025%에서 *S. aureus*와 *E. coli*에 대해 항균효과가 나타나는 것을 확인하였고, 황금추출물의 농도가 0.4%로 증가할수록 inhibition zone이 증가하는 것을 확인하였다. 약물전달체로 사용된 제올라이트 마이크로입자는 45%의 황금추출물 담지율을 나타내었고 바인더를 통해 HDPE 원단 표면에 균일하게 고정화시킬 수 있었다. 황금추출물 담지 제올라이트가 함유된 HDPE 원단으로부터 황금추출물의 방출이 잘 이루어지는 것을 확인하였고, agar diffusion 분석 및 균 감소율을 통해 *S. aureus*와 *E. coli* 및 *K. pneumoniae*에 대해서도 99.9%의 항균성이 있음을 확인하였다. 결론적으로 황금추출물을 담지한 제올라이트는 산업용 안전장갑으로 사용되는 HDPE 원단에 항균성을 부여할 수 있는 좋은 방법이며, 이렇게 제조된 안전장갑은 극대화된 항균성의 발현 및 효과 지속성에 유리하다는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력권산업육성사업(비즈니스협력형

R&D)으로 수행된 연구결과입니다(R0005645).

References

1. M. K. Singh, V. K. Varun, and B. K. Behera, Cosmeto-textile: State of Art, *Fibers and Textiles in Eastern Europe*, **19**(4), 27(2011).
2. T. Kim, N. Cho, H. Ma, C. W. Yang, and Y. H. Rho, A Study on the Effect of Gallotannin Treatment of Ceramid-containing Fibers on Atopic Skin Diseases, *Textile Coloration and Finishing*, **25**(4), 271(2013).
3. K. S. Kim, S. S. Park, and J. H. Cha, Super Fiber, Ultra-light and Ultra-high Strength Polyethylene Fiber, *Fiber Technology and Industry*, **15**(1), 16(2011).
4. J. Y. Paek, Y. H. Kim, H. J. Kwon, E. N. Kim, W. J. Kim, and M. D. Han, Effects of Antibacteria and Adhesive Inhibition of *Scutellaria baicalensis* Extract on *Streptococcus mutans*, *J. of Dental Hygiene Science*, **8**(4), 367(2008).
5. J. S. Rhee, E. R. Woo, N. H. Kim, E. J. Lee, D. K. An, J. H. Lee, S. K. Park, and H. K. Park, A Study on Qualitative and Quantitative Analysis of Major Ingredients in *Scutellariae radix*, *Analytical Science and Technology*, **10**(2), 91(1997).
6. J. H. Bae, M. J. Lee, and S. M. Lee, Antimicrobial Effect of *Cutellaria Baicalensis* George Extracts on Food-Borne Pathogens, *Microbiology and Biotechnology Letters*, **33**(1), 35(2005).
7. K. C. Leung, C. J. Senevirtne, X. Li, P. C. Leung, C. B. S. Lau, C. H. Wong, K. Y. Pang, C. W. Wong, E. Wat, and L. Jin, Synergistic Antibacterial Effects of Nanoparticles Encapsulated with *Scutellaria baicalensis* and Pure Chlorhexidine on Oral Bacterial Biofilms, *Nanomaterials*, **6**, 61(2016).
8. C. Duan, S. Matsumura, N. Kariya, M. Nishimura, and T. Shimono, In Vitro Antibacterials Activities of *Scutellaria Baicalensis* Georgi against Cariogenic Bacterials, *J. of Pediatric Dentistry*, **17**, 58(2007).
9. C. K. Lee and J. J. Seo, Antimicrobial Aactivity of Whangkumtang Extract and *Scutellariae Radix* Extract on the Food-Borne Pathogens, *J. of the Korean Societh*

- of Food Science and Nutrition*, **34**(10), 1606(2005).
10. O. K. Choi, Y. S. Kim, G. S. Cho, and C. K. Sung, Screening for Antimicrobial Activity from Korean Plants, *J. of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, **25**(4), 300(2002).
 11. H. S. Shin, M. J. Bae, D. W. Choi, and D. H. Shon, Skullcap(*Scutellaria baicalensis*) Extract and Its Active Compoun, Wogonin, Inhibit Ovalbumin-Induced Th2-Mediated Response, *Molecules*, **19**(2), 2536(2014).
 12. J. Munoz-Pallares, A. Corma, J. Primo, and E. Primo-Yufer, Zeolites as Pheromone Dispensers, *J. of Agricultural and Food Chemistry*, **49**, 4801(2001).
 13. E. Perez, L. Martin, C. Rubio, J. S. Urieta, E. Piera, M. A. Caballero, C. Tellez, and J. Coronas, Encapsulation of α -Tocopheryl Acetate into Zeolite Y for Textile Application, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, **49**, 8495(2010).
 14. K. Kawahara, K. Tsuruda, M. Morishita, and M. Uchida, Antibacterial Effect of Silver-Zeolite on Oral Bacterial under Anaerobic Conditions, *Dental Materials*, **16**(6), 452(2000).
 15. J. Xing, X. Chen, Y. Sun, Y. Luan, and D. Zhong, Interaction of Baicalein with Antibiotics in the Gastrointestinal Tract, *J. of Pharmacy and Pharmacology*, **57**(6), 743(2005).
 16. Z. Blach-Olszewska and E. Lamer-Zarawska, Come Back to Root -Therapeutic Acitvites of *Scutellaria baicalensis* Root in Aspect of Innate Immunity Regulation- Part 1, *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, **17**, 337(2008).
 17. H. J. Kim, J. S. Son, K. H. Kim, and T. Y. Kwon, Antimicrobial Activity of Glass Ionomer Cement Incorporated with Chlorhexidine-Loaded Zeolite Nanoparticles, *J. of Nanoscience and Nanotechnology*, **16**, 1450(2016).
 18. A. M. Grancaric, A. Tarbuk, and I. Kovacek, Nanoparticles of Activated Natural Zeolite on Textiles for Protection and Therapy, *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, **15**(4), 203(2009).