

## 커피찌꺼기를 활용한 미세방충망 연구

이유경\* · 김규리\* · 우민지\* · 조가인\* · 이동현\*\* · 김만태\*\*\*† · 권동준\*\*\*†

### A Study on Micro-insect Screens Using Coffee Grounds

Yu Kyung Lee\*, Gyuri Kim\*, Min Ji Woo\*, Ga In Cho\*, Donghyeon Lee\*\*,  
Mantae Kim\*\*\*†, Dong-Jun Kwon\*\*\*†

**ABSTRACT:** Due to the increase in coffee consumption, the amount of coffee grounds is also increasing, which leads to environmental problems. In order to solve these problems, this study proposes the utilisation of coffee grounds. In particular, the porous structure of coffee grounds was utilised to optimise a micro insect screen for filtering fine dust. To realize the porous structure of coffee grounds, a polar/non-polar separation method using KOH and n-hexane was applied to obtain coffee grounds with increased porosity. In addition, the composition of an eco-friendly adhesive was identified to fix the coffee grounds to the screen, and the conditions for homogeneous adhesion of the coffee grounds to the screen were optimised. As a result, we confirmed the effect of the number of coatings of coffee grounds on the filtering effect of fine dust, and found that two coatings of coffee grounds increased the filtering.

**초 록:** 커피 소비의 증가로 인해 커피 찌꺼기의 양도 증가하고 있으며, 이는 환경 문제로 이어지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 커피 찌꺼기의 활용 방안을 제시하였다. 특히, 커피 찌꺼기의 다공성 구조를 활용하여 미세먼지 필터링을 위한 미세 방충망 최적화 연구를 수행하였다. 커피 찌꺼기의 다공성 구조를 구현하기 위해 KOH와 헥세인을 사용한 극성/비극성 분리법을 적용하여 다공성을 높인 커피 찌꺼기를 확보하였다. 또한, 커피 찌꺼기를 방충망에 고정하기 위해 친환경 접착제의 조성을 확인하고, 커피 찌꺼기가 균질하게 방충망에 접착되는 조건을 최적화하였다. 결과적으로, 커피 찌꺼기의 코팅 횟수가 미세먼지 필터링 효과에 미치는 영향을 확인하였고, 커피 찌꺼기를 두 번 코팅한 경우 일반 방충망에 비해 90% 증가된 필터링 성능을 나타냄을 확인하였다.

**Key Words:** 커피찌꺼기(Coffee ground), 복합재료(Composite materials), 방충망(Insect screen), 접착제(Glue), 미세먼지(Fine dust)

## 1. 서 론

지구온난화의 심각성이 커짐에 따라 폐자원 재활용에 대한 다양한 활용 방안이 연구되고 있다. 폐자원은 크게 산업 폐기물과 일상 폐기물로 구분할 수 있는데, 그중에서도 커피

찌꺼기 수요량 증가에 따라 커피 찌꺼기 발생이 크게 늘어나고 있다. 커피 찌꺼기는 ‘커피박’이라고도 불리며, 이는 커피 음료를 추출하고 남은 폐기물을 의미한다[1,2]. 일반적으로 한 잔의 커피를 만들 때 원두의 90% 이상이 커피 찌꺼기로 남는다[3].

Received 9 August 2024, received in revised form 19 August 2024, accepted 28 August 2024

\*Department of Polymer Science and Engineering, Gyeongsang National University

\*\*Department of Materials Science and Convergence Technology, Research Research Institute for Green Energy Convergence Technology, Gyeongsang National University

\*\*\*Aerospace Convergence Materials Center, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology

†Corresponding author (E-mail: [djkwon@gnu.ac.kr](mailto:djkwon@gnu.ac.kr), [ginggisca@kicet.re.kr](mailto:ginggisca@kicet.re.kr))

커피 찌꺼기는 생두에 존재하는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 단백질 등으로 인해 많은 산소와 질소 원자를 포함하고 있다[4,5]. 이러한 원자 구조를 활용하면 기능성 재료의 강화재 및 첨가제로 유용하게 사용할 수 있다. 그러나 커피 찌꺼기를 단순히 매립하거나 소각할 경우 토양, 수질, 대기에 환경 오염을 초래할 수 있다[6,7]. 특히 질소를 효율적으로 고정하지 않으면 방출된 NH<sub>3</sub>와 HCN이 대기 중 NO<sub>x</sub>의 전구체 물질이 될 수 있다[8].

따라서 폐기물에 대한 활용 방안을 확대하는 것이 필수적이다. 커피 찌꺼기에는 약 13.5%의 단백질이 포함되어 있어 이를 활용한 폴리페놀 추출, 바이오 숯 제조 등 에너지 용도로 사용이 가능하다[9,10]. 또한, 커피 찌꺼기는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌이 주체가 된 다공성 구조를 가지고 있어 다양한 연구와 활용이 활발히 진행 중이다[11, 12]. 특히, 커피 찌꺼기의 다공성 특성을 이용하여 입자 강화 고분자 복합재료로의 연구가 가능하다[13]. 에폭시와 같은 고분자 결정성이 높은 경우에는 강화 효과가 낮지만, 폴리프로필렌과 같은 열가소성 고분자의 경우 강화 효과가 입증되어 그 활용 가능성이 널리 알려지고 있다[14,15].

본 연구에서는 다공성을 지닌 커피 찌꺼기의 흡착 성능을 활용하여 미세먼지를 걸러줄 수 있는 미세 방충망으로의 활용 가능성을 탐구하였다. 실험에는 미세면지와 유사한 송화가루를 사용하였다. 유기물을 완벽히 제거하기 위해 커피 찌꺼기를 KOH와 헥산을 이용하여 다공성을 형성하였고, 이를 방충망에 적용하였다. 친환경 접착제의 조성 차이에 따른 커피 찌꺼기 접착 효과를 확인하고 최적 조건을 도출하였다. 커피 찌꺼기가 방충망에 고정됨에 따라 망의 격자 축소 정도와 풍속과의 상관관계를 분석하였다. 결과적으로, 커피 찌꺼기를 활용한 미세 방충망의 최적 조건에 따른 미세면지 필터링 효과를 입증하였다. 본 연구를 통해 커피 찌꺼기의 재활용 방안을 제시하고, 이를 통해 환경 문제 해결에 기여할 수 있음을 확인하였다.

## 2. 실험

### 2.1 재료

본 실험을 위해 일반적인 창문에 사용되는 격자 너비 1.53 mm의 방충망(스테인레스 미세방충망, 다운, 한국)을 활용하였다. 미세면지를 모사하는 재료로 송화가루를 사용하였으며, 송화가루의 형태를 가진 재료의 평균 직경은 49.3 μm 였다(Fig. 1 참조). 미세 방충망 제조에 사용한 친환경 접착제는 해초풀(SG, Seaweed Glue), 고려풀(KG, Korea Glue), 해초풀과 고려풀을 1:1 중량비로 혼합한 접착제(MG, Mix Glue) 였다. 고려풀(친환경 가루풀, 고려씨엠씨, 한국)은 천연 감자 전분이 주 원료로 가루 형태로 되어 있어 물과 혼합해야 하며, 가루 200 g과 물 3 L의 비율로 제작하여 실험에 이용하였다. 해초풀(천연 해초풀, 바른황토, 한국)은 편백과 우

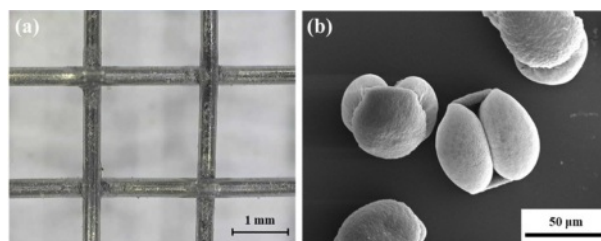


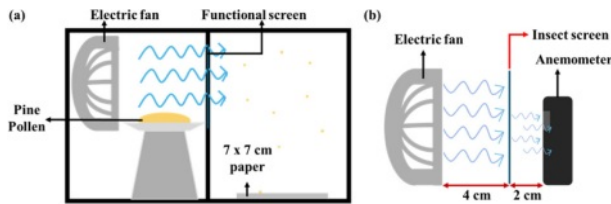
Fig. 1. (a) Photograph of neat insect screen, (b) FE-SEM of pine pollen

뭇가사리 등 해초를 사용한 접착제로, 액상으로 존재하기에 바로 활용하였다. 이렇게 세 가지 친환경 접착제 조성을 설정하였다. 최적의 접착제를 선정하기 위해 접착제 자체의 특성과 커피 찌꺼기와의 친화도를 확인하였다. 또한, 친환경 접착제의 조성에 따른 접착제의 인장 강도를 분석하기 위해 ASTM D 638 기준에 따라 비교 평가를 실시하였다. 시편은 5개를 이용하였으며, 고분자 조성 차이에 따른 강도 변화를 관찰하여 접착제의 기계적 특성을 조사하였다.

### 2.2 커피찌꺼기가 코팅된 미세방충망 제조

실험에 필요한 미세 방충망을 제조하기 위해 유기물을 최대한 제거한 상태의 다공성 커피 찌꺼기를 준비하였다. 유기물 제거는 KOH와 n-Hexane 두 가지 방식으로 수행하였다. KOH만 사용하는 경우, n-Hexane만 사용하는 경우, 그리고 KOH와 n-Hexane을 모두 사용하는 경우로 나누어 세척 효과를 분석하였다. KOH만 사용한 경우: 커피 찌꺼기 100 g당 KOH 70 g과 증류수 930 g을 혼합하여 100°C, 200 RPM으로 열교반기에서 1시간 교반하였다. 이후 용매를 제거하고, 증류수로 중성이 될 때까지 중화시킨 후 건조하였다. n-Hexane만 사용한 경우는 커피 찌꺼기 100 g당 n-Hexane 200 g을 혼합하여 50°C, 200 RPM으로 열교반기에서 30분 교반하였다. 아스피레이터를 이용해 용매를 제거한 후 건조하였다. KOH와 n-Hexane을 함께 사용한 경우에는 KOH만 사용한 과정과 동일하게 세척한 후, 수득한 커피 찌꺼기의 중량 두 배만큼 n-Hexane을 혼합하여 50°C, 200 RPM으로 30분 교반하였다. 필터를 통하여 용매를 제거하고, 샘플을 수득하였다.

접착제에 방충망을 딥코팅하여 방충망 표면에 접착제를 형성시키고, 방충망을 바닥에 둔 뒤 0.3 mm 간극을 가지는 재를 이용하여 커피 찌꺼기 5 g을 거르는 과정을 1회의 커피 찌꺼기 코팅 과정이라 정의하였다. 코팅 횟수에 따른 영향을 관찰하기 위해 0, 1, 2, 3, 4회 코팅 후의 차이를 분석하였다. 이후 오븐에서 60°C로 1시간 건조시킨 뒤 유압프레스를 이용하여 10 MPa의 압력을 가해 커피 찌꺼기가 방충망에 안정적으로 정착되도록 하였다. 하루 동안 상온에서 건조한 후 실험에 이용하였다.



**Fig. 2.** (a) Schematic diagram of the performance evaluation of the pine pollen filter of the insect screen, (b) Schematic diagram of the wind speed change measurement of the insect screen

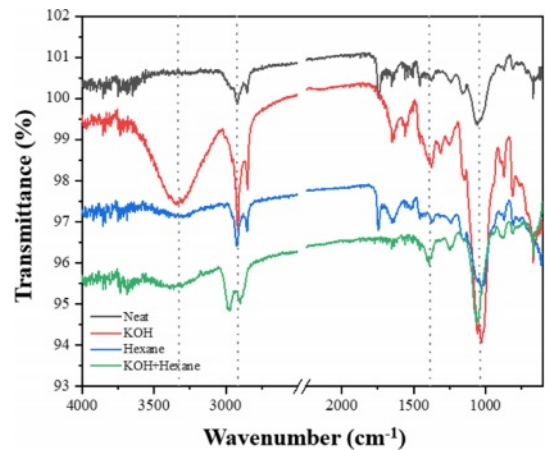
### 2.3 미세방충망의 풍속 및 미세먼지 필터링 평가

제조된 미세방충망을 이용하여 Fig. 2와 같이 방충망의 조성이 다른 환경에서의 풍속 변화와 미세먼지 필터링 특성을 검증하였다. 일반 방충망에 비해 변화된 풍속과 격자 구조의 조성 간 상관관계를 확인하였다. 실험에는 스티로폼으로 구성된 박스(210 × 210 × 143 mm)를 사용하였으며, 중앙에 벽면과 동일한 두께의 스티로폼을 고정한 뒤, 벽면 중앙에 90 × 90 mm의 구멍을 내어 제조한 미세방충망(90 × 90 mm)을 고정할 수 있도록 하였다. 송화가루 10 g이 소형 선풍기에 의해 미세방충망을 통과하여 반대편으로 넘어가는 정도를 확인하기 위해 시험 공간의 바닥에 70 × 70 mm 종이를 고정하였다. 2.7 m/s의 풍속으로 2분 동안 송화가루가 미세방충망을 통과한 후, 종이 위에 남은 송화가루의 무게를 측정하여 필터링 성능을 평가하였다. 이 값을 “weight of passed pine pollen” 인자로 정의하고, 단위는  $\text{mg}/\text{cm}^2$ 로 하여 필터링 성능 평가 인자로 사용하였다.

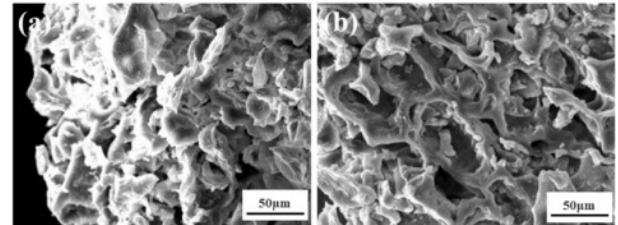
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 커피찌꺼기를 활용한 미세방충망의 최적화

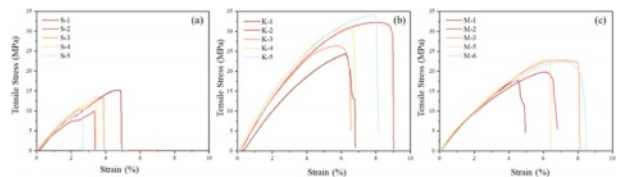
Fig. 3에서는 커피 찌꺼기에 잔존하는 유기물을 제거하기 위해 KOH와 헥세인을 사용한 후 FT-IR을 측정하여 변화된 화학 구조를 관찰하였다. 일반 커피 찌꺼기는 neat 조건으로 표기했으며, 유기물과 커피 찌꺼기가 모두 존재하는 상태로 확인되었다. 커피 찌꺼기는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌, 유기물로 인해 주요 피크가 1000, 1350, 1500, 1750, 2900~3100, 3400  $\text{cm}^{-1}$  구간에서 확인된다[16]. 이 중 1045, 3000  $\text{cm}^{-1}$  영역대는 셀룰로오스를 나타내며, C-C와 C=C 결합을 의미하는 피크가 두드러지게 확인된다[17]. 수분의 영향으로 인해 C-O, C=O, -OH 결합을 나타내는 1750  $\text{cm}^{-1}$ 과 3400  $\text{cm}^{-1}$  피크의 크기가 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다. KOH 처리만 할 경우 커피 찌꺼기 표면에 수산화기가 다량 존재함을 확인할 수 있었고, 헥세인 처리를 할 경우 수산화기의 영향을 감소시키는 결과를 관찰하였다. KOH와 헥세인을 함께 사용할 경우 1300~1800  $\text{cm}^{-1}$  영역대의 다양한 피크가 제거되었고 대부분 셀룰로오스 기



**Fig. 3.** FT-IR results of coffee grounds as a chemical function of cleaning conditions



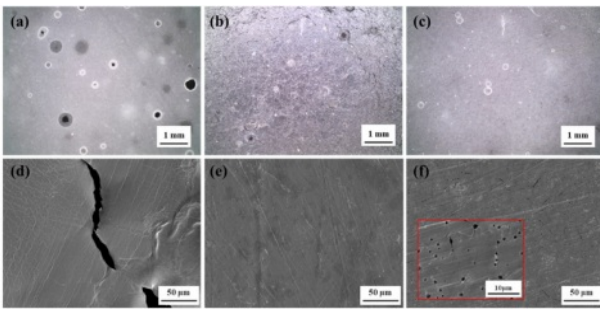
**Fig. 4.** FE-SEM results of coffee grounds with the KOH and hexane cleaning: (a) neat; (b) after cleaning



**Fig. 5.** Tensile test results of glue surfaces: (a) SG; (b) KG; and (c) MG

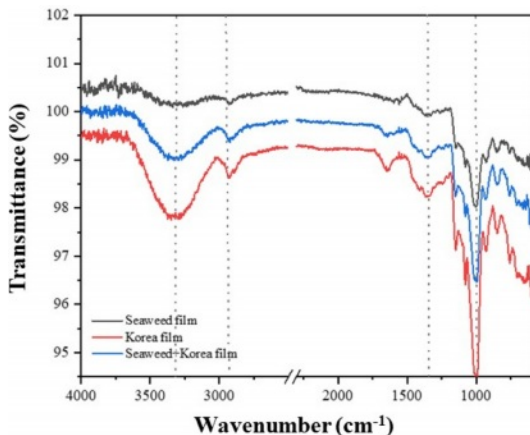
반의 피크만 남게 되는 것을 확인하였다. Fig. 4에서는 FE-SEM을 통해 neat 조건과 KOH과 헥세인 처리 후 커피 찌꺼기의 차이를 비교하였다. 일반적인 커피 찌꺼기는 많은 다공성을 가지지만, 유기물 층으로 인해 표면이 매끄러운 상태를 확인할 수 있었다. 이에 비해 Fig. 4b와 같이 화학적 처리를 한 경우 다공성이 크게 형성되었고, 유기물 층이 대거 제거된 것을 관찰할 수 있었다.

접착제의 조성에 따른 기계적 물성을 분석하기 위해 Fig. 5에 인장 실험 결과를 정리하였다. 해초풀(SG)의 결과인 Fig. 5a는 가장 낮은 인장 강도를 나타내었으며, 초기 인장 강성은 유사하지만 인장 강도가 낮은 재료임을 확인할 수 있었다. 고려풀(KG)의 경우 Fig. 5b에서 확인할 수 있듯이, 가장 높은 인장 강도와 강성을 보였으며 가장 밀도가 높은 접착제 조성으로 추정되었다. Fig. 5c는 해초풀과 고려풀을 1:1 무

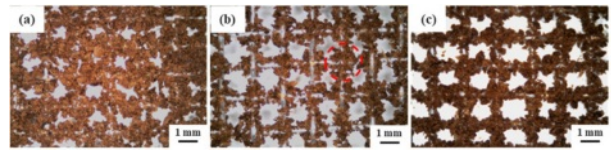


**Fig. 6.** Photograph and FE-SEM results of glue surfaces: (a), (d) SG; (b), (e) KG; and (c), (f) MG

계비로 혼합한 조성으로, 해초풀과 고려풀의 중간 특성을 보였으나 가장 균질한 인장 강성을 나타내어 재료 특성이 균일한 접착제임을 의미한다. Fig. 6에서는 친환경 접착제 3종의 고형화된 상태의 표면을 관찰하였다. SG의 경우, 육안으로 확인 가능한 300 μm 크기의 기공이 관찰되었고, FE-SEM으로 확인했을 때 50 μm 이상의 수직 균열이 발생하였다. 이는 SG를 구성하는 다당류의 분자간 결합을 이루는데, 응집이 잘되고, 내부에 보이드 형성이 쉽게 이루어져 고형 상태에서 균열이 균질하게 발생하는 접착제임을 확인하였다[18]. 이러한 균열은 구성 성분 간의 수소 결합력이 높아 발생하는 것으로 예상된다[19]. Fig. 6b와 6e에서 확인할 수 있듯이, KG는 균열이 없는 표면을 보였다. 마지막으로, Fig. 6c와 6f에서 볼 수 있듯이, MG는 해초풀로 인해 발생한 미세 균열과 고려풀로 인해 형성된 밀도 높은 표면 특성을 동시에 보였으며, 표면에는 3 μm 이하의 기공이 발생하였다. 이는 MG가 고려풀의 밀도 높은 접착제 특성과 해초풀의 수소 결합력을 동시에 활용하여 접착력을 향상시킬 수 있는 조성임을 나타낸다. Fig. 7은 접착제에 대한 FT-IR 결과이다. KG의 경우 가장 높은 수산화기와 수소결합을 유도할 수 있는 구조를 가지고 있고, SG의 경우 다른 접착제 조성에 비해 낮은 -OH 피크를 보유하고 있었다. 즉 재료간의 응



**Fig. 7.** FT-IR results of glue as a chemical function



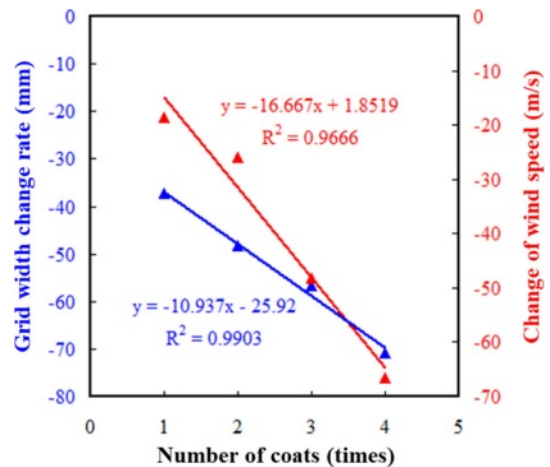
**Fig. 8.** Photograph results of micro-insert screens with different condition: (a) SG; (b) KG; and (c) MG

집이 더 발생되어 기공이 쉽게 발생된 SG보다, 커피찌꺼기나 다른 재료와의 접착을 유도할 수 있는 수산화기를 보유하고 있는 KG나 MG가 타당한 조건임을 확인하였다.

이러한 결과는 커피 찌꺼기 1회 코팅 결과인 Fig. 8과 비교할 수 있었다. Fig. 8a는 SG를 이용한 미세 방충망의 표면 상태를 나타낸다. 커피 찌꺼기를 코팅하였으나, 커피 찌꺼기가 과도하게 방충망에 접착된 상태를 관찰할 수 있었다. 이로 인해 방충망의 기공이 너무 작아져 미세 방충망으로의 활용이 제한되었다. KG의 경우, Fig. 8b의 결과와 같이 밀도 높은 표면을 구현하였지만, 접착제 간의 응집이 강하게 이루어져 방충망과 접착제 간의 계면이 불안정하였다. KG는 방충망을 이루는 와이어가 겹치는 구간에 응집된 상태로 접착층이 형성되어, 커피 찌꺼기가 특정 구간에만 접착되는 결과를 유발하였다. Fig. 8c에서 볼 수 있듯이, MG를 이용한 경우 방충망에 가장 안정적인 커피 찌꺼기 코팅이 이루어졌다. 따라서 커피 찌꺼기를 이용한 미세 방충망 제조에 최적의 친환경 접착제는 MG이었다.

### 3.2 커피찌꺼기의 코팅 횟수에 따른 미세방충망의 필터링 성능

Fig. 9은 MG를 활용하여 커피 찌꺼기를 방충망에 코팅한 미세 방충망의 풍속과 격자 너비 변화를 코팅 횟수에 따라 정리한 결과를 보여준다. 동일한 양의 커피 찌꺼기를 코팅



**Fig. 9.** Change rate in the grid width of the micro-insert screens and wind speed according to the number of coatings of coffee grounds

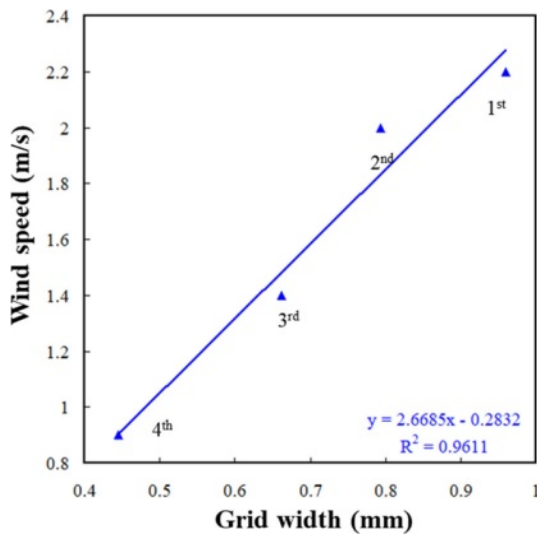


Fig. 10. Correlation between grid width and wind speed

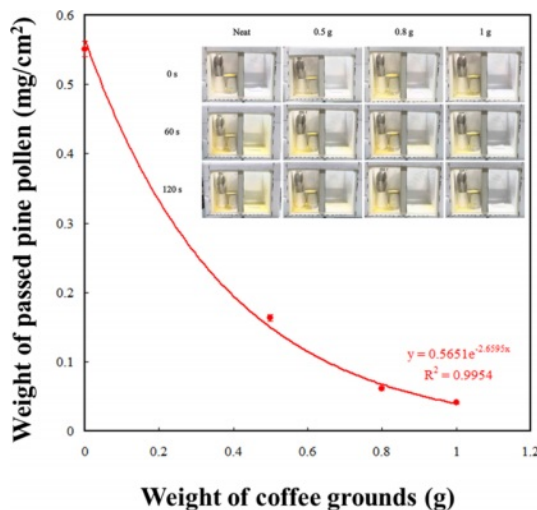


Fig. 11. Increased pine pollen filtering performance due to increased weight of coffee grounds coated on fine insect screens

하였으나, 코팅 횟수가 증가함에 따라 각각 0.5 g, 0.3 g, 0.2 g, 0.1 g씩 무게가 추가로 증가하였다. 코팅 횟수에 따른 변화는 주로 격자 너비의 축소에서 두드러지게 나타났다. 1회 코팅만으로도 초기 1.53 mm의 폭을 가지는 방충망이 37% 축소되었다. 이후 코팅 횟수가 증가함에 따라 격자 너비는 지속적으로 감소하여, 4회 코팅 시 70%의 축소가 일어났다. 풍속의 경우, 초기 코팅 2회까지는 각각 18%, 26% 정도로 소폭 감소하였으나, 꾸준한 풍속 저하가 발생하였다. 이는 코팅 횟수가 증가함에 따라 격자 너비가 급격히 축소되었기 때문으로 판단된다. 따라서 적절한 커피 찌꺼기 코팅 횟수는 2회, 즉 0.8 g의 커피 찌꺼기를 90 × 90 mm<sup>2</sup> 방충망에 고정하는 것이 적합하다고 판단하였다. Fig. 10는 격자 너비와 풍속 간의 상관관계를 정리한 것으로, 일차적인 비

례 관계를 보여주는 미세 방충망의 상태를 확인할 수 있다.

마지막으로, Fig. 11에서는 커피 찌꺼기를 활용한 미세 방충망의 필터링 효과를 검증하였다. 미세 방충망에 커피 찌꺼기를 코팅할수록, 1회에 0.5 g, 2회에 0.8 g, 3회에 1 g, 4회에 1.1 g이 방충망에 고정된다. 본 실험에서는 3회 코팅한 방충망까지 필터링 실험을 실시하였다. 일반 방충망은 0.55 mg/cm<sup>2</sup> 수준의 필터링 성능을 가지지만, 1회 커피 찌꺼기 코팅을 통해 0.16 mg/cm<sup>2</sup>로 필터링 성능을 개선할 수 있었다. 코팅 횟수가 증가함에 따라 필터링 성능은 더욱 향상되는 경향을 보였다. 2회 코팅만으로도 미세 방충망은 초기 단계보다 90% 개선된 필터링 성능을 보여 미세 방충망으로서의 효과가 높음을 확인하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 커피 찌꺼기 폐기물의 재활용 방안을 모색하고자 미세먼지 차단을 위한 미세 방충망 최적화 연구를 수행하였다. 커피 찌꺼기의 다공성을 확보하기 위해 KOH와 핵산을 이용한 세척 방법을 최적이었다. 커피 찌꺼기를 방충망에 고정시키기 위해 고려풀과 해초풀을 1:1로 혼합한 친환경 접착제가 최적의 격자 구조와 풍속 저하 결과를 도출함을 확인하였다. 궁극적으로, 미세 방충망의 필터링 효과를 검증하기 위해 송화가루를 미세먼지로 모사하여 실험한 결과, 커피 찌꺼기를 방충망에 2회 코팅한 경우 초기 방충망 대비 미세먼지를 90%까지 필터링할 수 있는 성능을 갖추었음을 확인하였다. 나아가 이러한 커피찌꺼기를 활용하여 향균, 탈취, 제습과 같은 기능성 박막으로의 활용을 기대할 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술정보통신부, 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다. 지원에 대해 진심으로 감사드립니다 (RS-2023-00211944, 2020R1A6A1A03038697, 1345356213 (LINC3.0-2022-11)).

#### REFERENCES

1. Pesheva, D., Mitev, D., Peevac, L., and Peev, G., "Valorization of Spent Coffee Grounds—A New Approach." *Separation and Purification Technology*, Vol. 192, 2018, pp. 271-277.
2. Garcia, C.V., and Kim, Y.T., "Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin as Potential Materials for Packaging: A Review," *Journal of Polymers and the Environment*, Vol. 29, 2021, pp. 2732-2384.
3. Ramos-Andrés, M., Andrés-Iglesias, C., and García-Serna, J., "Production of Molecular Weight Fractionated Hemicelluloses Hydrolyzates from Spent Coffee Grounds Combining Hydro-

- thermal Extraction and a Multistep Ultrafiltration/Diafiltration,” *Bioresource Technology*, Vol. 292, 2019, pp. 121940.
- Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., Vergara-Castañeda, H.A., and Oomah, B.D., “Spent Coffee Grounds: A Review on Current Research and Future Prospects,” *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 45, 2015, pp. 24-36.
  - Ballesteros, L.F., Teixeira, J.A., and Mussatto, S.I., “Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin,” *Food Bioprocess Technology*, Vol. 7, 2014, pp. 3493-3503.
  - Gomes, T., Pereira, J.A., Ramalhosa, E., Casal, S., and Baptista, P., “Effect of Fresh and Composted Spent Coffee Grounds on Lettuce Growth, Photosynthetic Pigments and Mineral Composition,” *Environmental Science, Agricultural and Food Sciences*, 2013.
  - Stylianou, M., Agapiou, A., Omirou, M., Vyrides, I., Ioannides, I. M., Maratheftis, G., and Fasoula, D., “Converting Environmental Risks to Benefits by Using Spent Coffee Grounds (SCG) as a Valuable Resource,” *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 25, 2018, pp. 35776-35790.
  - Gou, S., Liu, T., Hui, J., Che, D., Li, X., Sun, B., and Li, S., “Effects of Calcium Oxide on Nitrogen Oxide Precursor Formation during Sludge Protein Pyrolysis,” *Energy*, Vol. 189, 2019, pp. 116217.
  - Kim, B.R., Park, J.H., Baik, S.Y., and Lee, J.W., “Spent Coffee Derived Hierarchical Porous Carbon and Its Application for Energy Storage,” *Journal of Porous Materials*, Vol. 27, 2020, pp. 451-463.
  - Okur, I., Soyler, B., Sezer, P., Oztop, M.H., and Alpas, H., “Improving the Recovery of Phenolic Compounds from Spent Coffee Grounds (SCG) by Environmentally Friendly Extraction Techniques,” *Molecules*, Vol. 26, 2021, pp. 613.
  - Yun, Y.S., Park, M.H., Hong, S.J., Lee, M.E., Park, Y.W., and Jin, H.J., “Hierarchically Porous Carbon Nanosheets from Waste Coffee Grounds for Supercapacitors,” *Applied Materials & Interfaces*, Vol. 7, 2015, pp.3684-3690.
  - Mukherjee, A., Borugadda, V.B., Dynes, J.J., Niu, C., and Dalai, A.K., “Carbon Dioxide Capture from Flue Gas in Biochar Produced from Spent Coffee Grounds: Effect of Surface Chemistry and Porous Structure,” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 9, 2021, pp. 106049.
  - Bomfim, A.S.C.D., Oliveira, D.M.D., Voorwald, H.J.C., Benini, K.C.C.D.C., Dumont, M.J., and Rodrigue, D., “Valorization of Spent Coffee Grounds as Precursors for Biopolymers and Composite Production,” *Polymers*, Vol. 14, 2022, pp. 437.
  - García-García, D., Carbonell, A., Samper, M.D., García-Sanoguera, D., and Balart, R., “Green Composites Based on Polypropylene Matrix and Hydrophobized Spent Coffee Ground (SCG) Powder,” *Composite Part B: Engineering*, Vol. 78, 2015, pp. 256-265.
  - Chanthavong, V., Prabhakar, M.N., Lee D.W., and Song, J.I., “Effect of Coffee Grounds on Mechanical Behavior of Poly Propylene Composites,” *Composite Research*, Vol. 36, 2023, pp. 246-269.
  - Atabani, A.E., Shobana, S., Mohammed, M.N., Uğuz, G., Kumar, G., Sundaram, A., Muhammad A., and Ala’a H.A., “Integrated Valorization of Waste Cooking Oil and Spent Coffee Grounds for Biodiesel Production: Blending with Higher Alcohols, FT-IR, TGA, DSC and NMR Characterizations,” *Fuel*, Vol. 244, 2019, pp. 419-430.
  - Olsson, A.M., and Salmen, L., “The Association of Water to Cellulose and Hemicellulose in Paper Examined by FTIR Spectroscopy,” *Carbohydrate Research*, Vol. 339, 2004, pp. 813-818.
  - Formosa-Dague, C., Feuillie, C., Beaussart, A., Derclaye, S., Kucharíková, S., Lasa, I., Van Dijck, P., and Dufrêne, Y.F., “Sticky Matrix: Adhesion Mechanism of the Staphylococcal Polysaccharide Intercellular Adhesin,” *ACS Nano*, Vol. 10, 2016, pp. 3443-3452.
  - Han, W.S., Oh, S.J., Lee, Y.J., Kim, Y.J., Park, M.S., and Wi, K.C., “Base Study Related with Development of Natural Bio-Adhesives Using Seaweeds,” *Journal of Conservation Science*, Vol. 34, 2018, pp. 595-604.