

★ 2026년 5월 29일(금) 조간 (온라인 5.28.(목), 낮 12:00 이후) 보도해 주시기 바랍니다.

보도자료	 한국연구재단 National Research Foundation of Korea
청렴한 연구지원 신뢰받는 NRF	<대외홍보실> 김윤숙 팀장, 고흥숙 연구원 ☎ 042-869-6119

<자료문의> 중앙대학교 화학공학과 우상혁 교수(02-820-5401)

미세먼지 삼키는 고성능 ‘초접착 에어필터’ 개발 - 필터효율 극대·수명 2배...공기청정기부터 반도체 클린룸까지 혁신 -

- 국내 연구진이 에어필터의 고질적 한계인 미세먼지 재비산 문제를 해결하고, 포집된 먼지를 스스로 흡수해 필터 수명을 2배 이상 늘린 차세대 에어필터 기술을 개발했다. 전력 소비와 필터 폐기물을 획기적으로 줄일 친환경 공기 정화 패러다임이 열릴 전망이다.
- 한국연구재단(이사장 홍원화)은 중앙대학교 우상혁 교수 연구팀 및 부산대학교 김채빈 교수 연구팀이 동적 결합 고분자* 특성을 활용해 미세먼지를 강력하게 고정하고 자발적으로 흡수하는 새로운 방식의 초접착 에어필터 소재를 개발했다고 밝혔다.
* 동적 결합 고분자: 내부의 화학 결합이 고정되지 않고 자발적으로 끊어짐과 재결합을 반복하는 고분자 물질.
- 이번 연구성과는 과학기술정보통신부와 한국연구재단이 추진하는 핵심연구와 기초연구 지원사업으로 수행됐으며, 재료 분야 국제학술지 ‘어드밴스드 머티리얼즈(Advanced Materials)’에 2026년 4월 22일 게재됐다.
- 기존 에어필터는 약한 반데르발스 힘*에 의존해 먼지를 포집하므로, 풍속이 빨라지면 먼지가 다시 떨어지는 문제가 있었다. 이를

막으려 기공을 촘촘하게 만들면 공기 흐름을 막아 압력 손실이 커지고 에너지 소비가 늘어나는 한계가 존재했다.

* 반데르발스 힘(van der Waals force): 분자 간에 작용하는 물리적인 인력으로, 화학 결합에 비해 힘의 크기가 매우 약함.

- 연구팀은 물 분자를 매개로 상온에서 자발적으로 액체처럼 흐를 수 있는 ‘동적 이민 결합 접착제’* 소재를 개발해 문제를 해결했다. 이 소재는 기존 고체 기판 대비 70배 이상 강력한 접착력(약 2000 nN)으로 미세먼지가 닿는 순간 입자를 감싸 강력하게 붙잡는다.
* 동적 이민 결합 접착제(DIBA:dynamic imine bond adhesive): 물 분자를 매개로 한 가역적 결합교환 메커니즘을 통해 소재 내 미량의 물이 결합의 재배열을 도와 상온에서도 액체와 같은 점탄성을 갖도록 설계된 소재.
- 특히 포집된 먼지를 소재 내부로 자발적으로 흡수하는 메커니즘을 가져, 필터 표면에는 항상 깨끗한 접착면이 유지된다. 먼지가 내부에서 조밀하게 쌓여 기공을 막지 않으므로 공기 흐름이 원활하고, 필터 수명도 2배 이상 연장된다.
- 개발된 필터는 추가 설비 없이 기존 시스템에 도입 가능하다. 미세먼지 필터링 효율이 10~30% 향상돼 산업표준필터등급(MERV)을 6등급에서 11등급으로 향상시켰다. 20 m/s의 강풍에서도 먼지를 안정적으로 제거해 무전원 정화 필터로도 활용할 수 있으며, 일상 공기청정기부터 반도체 클린룸까지 적용 범위가 넓다.
- 우상혁 교수는 “입자를 자발적으로 흡수하는 신기술로 에어필터 시장의 주도권을 확보했다”라며, “대규모 필터 폐기물을 줄이고 전력 소비를 낮춰 탄소 배출 저감에 기여할 것”이라고 밝혔다. 이어 “향후 소재의 화학적 안정성을 강화해 가혹한 산업 환경에서도 내구성을 유지하도록 후속 연구를 진행할 계획”이라고 덧붙였다.

주요 내용 설명

<작성 : 중앙대학교 우상혁 교수>

논문명	A Super-Adhesive Air Filter With Capillarity-Mediated Spontaneous Particle Absorption via Dynamic Bond Exchange
저널명	Advanced Materials
키워드	Air filter(에어필터), Capillary force(모세관력), Dynamic bond polymer (동적 결합 고분자), Particle adhesion(입자흡착), viscoelasticity(점탄성)
DOI	10.1002/adma.202600006
저자	박준용 (제1저자/중앙대학교), 전혜리 (공동 제1저자/중앙대학교), 박현웅 (중앙대학교), 이지민 (중앙대학교), 윤여명 (부산대학교), 최경환 (부산대학교), 사자둘 라하트 (Sazadul A. Rahat, 신시내티대학교), 이동욱 (동의대학교), 정소담 교수 (동의대), 조나단 팜(Jonathan T. Pham, 신시내티대학교), 김채빈 교수 (교신저자/부산대학교), 우상혁 교수(교신저자/중앙대학교)

1. 연구의 필요성

- 현재 사용되는 대부분의 에어필터는 미세먼지를 붙잡기 위해 나노뉴턴(nano-Newton) 수준의 약한 반데르발스 힘(van der Waals force)에 의존하고 있다. 이러한 미세한 접착력은 공기 흐름이 빨라지거나 외부 충격이 가해질 경우 먼지를 안정적으로 붙잡아두지 못하고 다시 공기 중으로 흩어지는 재비산(resuspension)을 일으키며 필터 성능을 저해하는 고질적인 원인으로 작용해 왔다.
- 이러한 낮은 접착력의 한계를 극복하기 위해 필터 여재를 촘촘하게 만들어 체를 이용해 고은 입자를 거르는 원리처럼 미세먼지를 제거하는 방법이 활용되어 왔다. 하지만 이러한 방식은 공기가 필터를 통과할 때 발생하는 저항인 차압(pressure drop)을 급격히 상승하며, 바람이 통과하기 위해 공기정화장치는 더 많은 에너지를 소모한다.

2. 연구내용

- 연구팀은 고분자 사슬을 그물망처럼 가교하여 소재가 고체 형태를 유지하면서도, 내부의 화학 결합이 상온에서 자발적으로 끊어짐과 재결합을 반복하여 액체처럼 흐를 수 있는 동적 이민 결합 접착제(DIBA, dynamic imine bond adhesive) 소재를 개발하였다. 이 소재의 핵심은 물 분자를 매개로 한 가역적 결합교환 메커니즘에 있으며, 소재 내부에 잔류하는 미량의 물이 결합의 재배열을 도와 상온에서도 액체와 같은 점탄성(viscoelasticity) 거동을 보이도록 설계하였다.
- 콜로이드탐침 원자힘 현미경 분석 결과, DIBA 소재는 미세먼지 입자에 대해 약 2000 nN의 접착력을 보였다. 이는 일반 고체 기관(약 30 nN) 대비 70배 이상 강력한 수치로, 미세먼지를 강력하게 고정할 수 있음을 의미한다.
- 포집된 입자는 모세관력*에 의해 소재 내부로 자발적으로 흡수된다. 소재는 포집된 입자를 흡수하며, 표면에는 다시 입자를 포집할 수 있는 깨끗한 접착면이 지속적으로 노출되는 효과가 있다. 또한, 흡수된 먼지는 소재 내부에서 조밀하게 쌓여 필터의 기공을 막지 않으므로, 더 많은 먼지를 포집하면서도 공기의 흐름을 원활하게 유지한다.

* 모세관력(capillary force): 액체 표면이 미세한 틈을 따라 이동하거나 입자를 끌어당기는 힘. 본 연구에서는 액체 상태의 고분자가 먼지 입자를 감싸 안는 구동력으로 작용함.

- 기존 에어필터에 DIBA를 500 nm 수준으로 얇게 코팅한 결과, 공기 투과성은 유지하면서도 미세먼지 필터링 효율이 10-30% 향상되었다. 특히, 산업용 필터 등급(MERV)을 6등급에서 11등급 수준으로 향상시켰으며, 필터의 운영 수명을 결정하는 차압 상승 속도를 지연시켜 사용 기간을 약 2배 연장하였다.

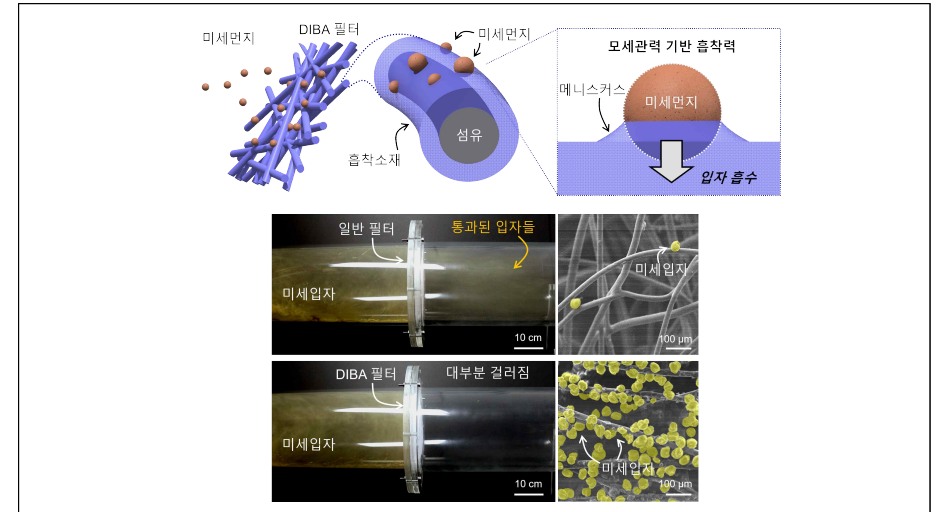
3. 연구성과/기대효과

- 본 연구는 기존의 약한 흡착 메커니즘에서 벗어나 입자를 자발적으로 흡수하는 새로운 패러다임을 제시함으로써 세계 에어필터 시장에서

흡착강화 필터라는 새로운 기술적 주도권을 확보할 수 있는 계기를 마련했다. 에어필터의 사용 수명을 2배 이상 연장하여 매년 발생하는 대규모 필터 폐기물을 절반 수준으로 줄이고, 먼지를 포집한 후에도 차압을 낮게 유지할 수 있어 대형 건물이나 공장의 공조시스템 운영에 드는 전력 소비를 획기적으로 절감하며 탄소 배출량을 낮추는 환경적 대안을 제시했다.

- 일상적인 공기청정기뿐만 아니라 미세한 입자 제어가 필수적인 반도체 클린룸이나 바이오 실험실 등 고도의 청정 환경이 요구되는 첨단 산업 현장으로 적용 범위를 넓힐 수 있다. 또한, 전원 공급이 어려운 야외 환경에서도 자연풍을 이용해 미세먼지를 제거하는 무전원 정화의 새로운 필터링 메커니즘을 통해 실내외 모든 공간의 공기질을 획기적으로 개선할 것으로 기대된다.

그림 설명



(그림1) 초접착성 필터소개 및 필터 성능 검증

초접착성 필터의 구조와 먼지 포집에 따른 모세관력 기반 강력한 흡착력 메커니즘 설명(위) 및 일반필터(중간)와 초접착성 필터(아래)가 설치된 원통에 미세입자를 불어줌으로서 필터 성능을 검증한 이미지와 먼지 포집 후 전자현미경이미지(중간 및 아래 오른쪽). 미세입자는 노란색으로 색칠하였음.

그림설명 및 그림제공 : 중앙대학교 우상혁 교수

연구 이야기

<작성 : 중앙대학교 우상혁 교수>

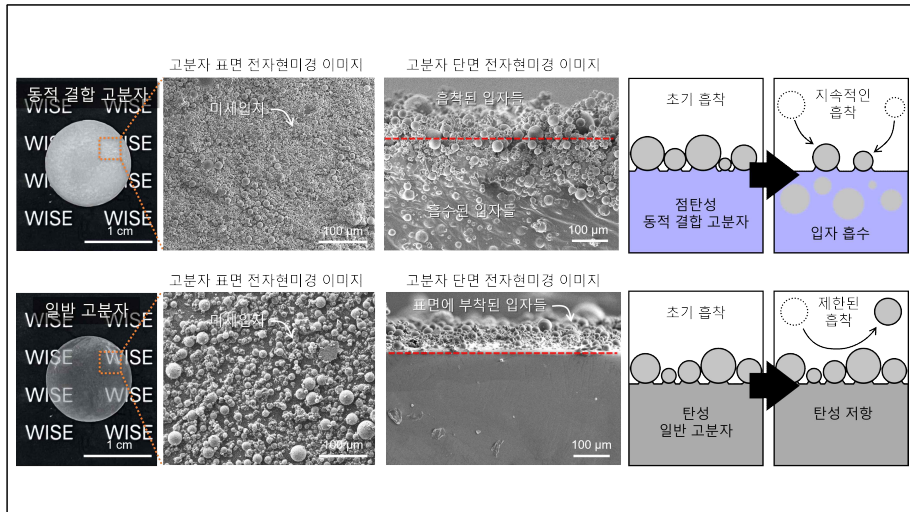
□ 연구를 시작한 계기나 배경은?

저희 연구실은 계면/표면 공학 연구실로서 다양한 소재의 표면에서 발생하는 물리적·화학적 현상을 깊이 있게 탐구해 왔습니다. 특히 윤활제가 도입된 발수성 표면에 대한 연구를 진행하던 중, 이러한 표면이 액체를 밀어내는 일반적인 특성 외에도 수직 방향으로 매우 강력한 접착력을 유도한다는 새로운 물리적 사실을 발견하였습니다. 이러한 발견을 필터 기술에 접목하여 2025년 사람의 비강 속 코털과 점액층이 효과적으로 먼지를 잡는 방법을 생체모사한 액상막 기반 흡착강화 필터를 개발하였으며, 기존 필터의 한계를 극복한 성과를 인정받아 Nature지에 게재하였습니다. 하지만 이후 대학, 복합문화시설 등 실제 환경에서 실증 연구를 진행하면서 액체 상태의 흡착층은 외부의 물리적 접촉이나 강한 바람에 의해 코팅이 변형되는 기계적 안정성의 한계를 확인했습니다. 이에 따라 기존 액체 코팅 필터가 가진 접착 성능은 유지하면서도 높은 기계적 안정성을 갖춘 소재를 개발하고자 하였습니다.

□ 연구 전개 과정에 대한 소개

물리적으로 안정한 고체가 일반적으로 에어필터가 사용되는 상온·상압 환경에서 별도의 외부 자극 없이 액체처럼 흐른다는 것은 역설적인 거동입니다. 이처럼 상충하는 특성을 하나의 소재에 구현하기 위해 동적 결합 고분자 기술에 주목하였습니다. 일반적인 가교고분자는 화학 결합이 그물망처럼 단단히 고정되어 있어 형태가 변하지 않는 탄성을 가집니다. 하지만 이 그물망을 이루는 결합이 끊어지고 다시 결합하는 과정을 반복할 수 있다면, 고체로서의 형태 안정성을 유지하면서도 액체와 같은 유동성을 가질 수 있습니다.

우리는 이러한 동적 결합 중에서도 이민 결합에 집중하였습니다. 이민 결합은 주로 높은 온도를 가했을 때 결합 교환 반응이 일어나기 때문에, 지금까지는 주로 열을 이용한 고분자 재활용이나 자가 치유 소재 분야에서 연구되어 왔습니다. 또한, 이 결합은 물 분자에 의해서도 반응이 일어나는데, 반응을 조절하기가 까다롭기 때문에 전통적인 화학 합성에서는 물 분자를 제거하고 사용하는 것이 일반적이었습니다. 하지만 우리는 이러한 일반적인 통념과 반대로, 소재 내부에 잔류하는 미량의 물 분자를 결합의 움직임을 돕는 촉매제로 활용하는 발상의 전환을 시도했습니다. 이를 통해 소재의 형태를 지탱하는 탄성 네트워크를 유지하면서도, 상온에서 물 분자가 결합의 해리와 재결합을 유도하는 메커니즘을 완성했습니다. 이를 바탕으로 평소에는 안정한 고체막으로 존재하지만, 미세먼지와 접촉하면 액체처럼 입자를 감싸 안으며 강력한 모세관력을 발휘하는 차세대 에어필터 소재의 원천 기술을 확보하였습니다.



(그림2) 동적 결합 고분자와 일반 고분자의 입자 흡착 이미지 및 그림

동적 결합 고분자(위)와 일반 고분자(아래)에 미세입자 포집 후 광학이미지와 표면과 단면 전자현미경 이미지, 동적 결합 고분자(위)와 일반 고분자(아래)의 입자 흡착 및 흡수에 따른 지속적인 흡착과 제한된 흡착 그림.

그림설명 및 그림제공: 중앙대학교 우상혁 교수

□ 이번 성과, 무엇이 다른가?

이번 성과는 기존 공기 필터 기술의 한계를 소재 자체의 혁신을 통해 해결했다는 점에서 차별화됩니다. 소재의 관점에서 고체와 액체의 장점을 동시에 갖춘 차세대 입자 흡착 소재의 동적 이진 결합 접착제(DIBA)를 개발했습니다. DIBA는 안정한 고체막을 형성하면서도 내부의 동적 결합 교환을 통해 액체처럼 흐르며 강력한 모세관력을 발휘합니다.

이러한 안정적인 특성 덕분에 20 m/s에 달하는 초고속 기류에서도 미세먼지를 효율적으로 포집하는 초고속 집진이 가능합니다. 이는 기존 필터가 풍속이 빨라질수록 포집 효율이 급격히 떨어지던 한계를 극복한 성과로 극한의 환경에서도 신뢰할 수 있는 정화 성능을 제공합니다.

또한, 미세먼지를 표면에만 붙여두는 것이 아니라 소재 내부로 자발적으로 흡수하여 완전히 포집합니다. 입자가 강력히 고정되기 때문에, 강한 역풍이나 물리적 충격이 가해져도 포집된 먼지가 다시 떨어져 나가는 재비산 현상을 효과적으로 억제합니다.

입자가 흡수되며 소재 내부에서 조밀하게 쌓이는 원리를 통해 필터 수명을 약 2배 연장했습니다.

이러한 수명 증가는 필터 교체 주기 연장으로 이어져 플라스틱 필터 폐기물 발생을 획기적으로 줄여줍니다. 동시에 차압 상승이 지연되며 공기 정화 장치의 에너지 소비량을 절감함으로써 탄소 배출 저감 효과를 기대할 수 있습니다.

□ 실용화된다면 어떻게 활용될 수 있나? 실용화를 위한 과제는?

본 기술의 장점은 특별한 설비 교체나 추가 장치 없이도 기존 공기 정화 시스템에 즉시 적용할 수 있다는 점입니다. 실제 에어필터에 DIBA를 적용하여 국가표준기관에 필터 성능을 측정한 결과, 산업 표준 필터 등급(MERV)이 기존 6등급에서 11등급으로 대폭 상향되는 결과를 확인했습니다. 그에 따라 실용화될 경우 대형 건물의 공조시스템, 가정용 공기청정기 등 실내 공기질 관리 분야와 반도체 클린룸, 데이터 센터, 바이오 실험실 등 고도의 청정 환경 유지가 필수적인 첨단 산업 현장 등 다양한 곳에 즉시 적용이 가능할 것으로 예상합니다.