

꿀벌의 꽃가루 운반 메커니즘의 내습성 접착 거동 분석

문찬식 · 김현진 · 우상혁 | 중앙대학교 화학신소재공학부 (E-mail: woohsh@cau.ac.kr)

최근 Georgia Institute of Technology의 J. Carson Meredith 교수 연구팀은 꿀벌의 꽃가루 운반 메커니즘으로부터 생체 접착제의 구조를 발견 및 분석하여 *Nature Communications*지에 보고하였다. 이는 수상(water phase)인 중심부의 표면을 유상(oily phase)으로 코팅함으로써 다양한 상대습도에도 접착제의 접착력이 크게 변하지 않는 것을 밝혀낸 것이며, 생체모방 내습성 접착제의 개발에 기여할 것으로 전망된다.

생체 접착제(bioadhesives)는 높은 생체 적합성을 토대로 생물학적 조직에 응용 가능하고 다양한 환경에서 강한 접착력을 유지할 수 있는 장점으로 인해, 이를 합성 접착제에 적용하여 성능을 개선하려는 다양한 연구가 수행되고 있다. 꿀벌의 꽃가루 운반에 이용되는 접착성 물질은 생체 접착제의 대표적 사례이다. 꽃가루는 꿀벌에 의해 펠렛으로 만들어져 꿀벌의 뒷다리에 있는 꽃가루 바구니로 운반된다. 이 때 꿀벌의 분비물과 꿀벌이 채취한 꿀로 이루어진 접착제로 꽃가루 펠렛을 꽃가루 바구니에 접착시킨다. 꽃가루 펠렛 두 개의 무게는 평균 벌의 무게보다 약 25% 무겁기 때문에, 벌의 뒷다리와 꽃가루 펠렛 간의 접착력이 꽃가루 운반의 중요한 요소로 작용한다. 그러나 자연 환경에서 시시각각 변하는 상대 습도는 접착제의 수분 손실 또는 흡수를 야기시키기 때문에 펠렛 내의 액체 접착제는 다양한 습도 조건에서 꽃가루를 운반하기 위한 내습 메커니즘을 가지고 있다.

Georgia Institute of Technology의 Meredith 교수 연구팀은 이러한 꿀벌이 이용하는 생체 접착제의 내습 메커니즘을 합성 접착제에 적용하여 상대습도에 따른 접착성 손실을 줄이는 연구를 수행하였다. 꽃가루 바구니의 접착제는 (i) 꿀에서 생성된 접착성 분비물로 구성된 중심부의 수상 물질과

(ii) 식물로부터 만들어진 주변부의 유상 코팅의 두 액상으로 존재한다. 이러한 구조가 상대습도의 변화에 어떻게 대응하는지 확인하기 위해 콜로이드 프로브 현미경(colloidal probe microscope)의 캔틸레버(cantilever)에 꽃가루를 부착하여 접착제 방울의 중심부와 주변부에 각각 캔틸레버를 접촉 후 후퇴시켜 습식 접착력을 측정하였다. 그 결과, 중심부에서의 접착력은 $5 \mu\text{m/s}$ 이상의 캔틸레버 후퇴 속도에서 속도에 의해 증가하는 속도 의존적 특성을 보여주었지만, 주변부에서는 속도 의존성을 찾지 못하였다. 따라서 수상의 중심부가 유체역학적 힘에 기인한 접착성의 주요 요인이라고 할 수 있다. 이러한 속도 의존적 접착 특성은 마이크로 또는 나노 스케일 분야에서의 접착제의 접착 거동을 보다 더 쉽게 제어하는 데 영감을 제공할 수 있다.

또한 다양한 상대 습도 조건(15, 35, 57, 75%)에서 유상 코팅의 유무에 따른 접착력 실험을 진행한 결과, 유상 코팅이 존재하는 경우가 그렇지 않은 경우보다 상대습도에 의한 접착력 변동이 크지 않음을 확인하였으며, 또한 중심부에서 상대습도가 57%일 때 접착력이 최대임을 확인하였다. 이는 57%를 기준으로 이보다 높은 상대습도에서는 수분흡수로 인해 접착제의 점도가 감소하고, 반대로 낮은 상대습도에서는 수분손실로 인해 점도가 높아져 접착제의 퍼짐률(spreading rate)이 감소하여 접착성이 손실됨을 의미하며, 결과적으로 유상 코팅이 접착제의 수분 흡수 또는 손실에 따른 변화를 감소시키는 것을 확인하였다.

본 연구결과는 꽃가루 운반 메커니즘에서 두 가지 액상에 기인한 접착제의 내습효과를 분석하여, 새로운 내습성 접착제의 개발에 이바지할 것으로 기대된다.

본 연구결과는 저널 *Nature Communications*에 "Humidity-tolerant rate-dependent capillary viscous adhesion of bee-collected pollen fluids"이라는 제목으로 2019년 3월에 게재되었다 (DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09372-x>).

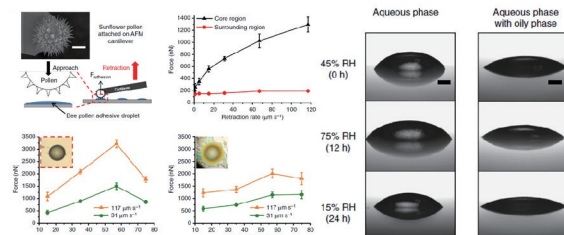


그림 1. 접착력 측정을 위한 콜로이드 프로브 현미경 모식도와 접착제의 속도 의존적 내습성 접착 특성.