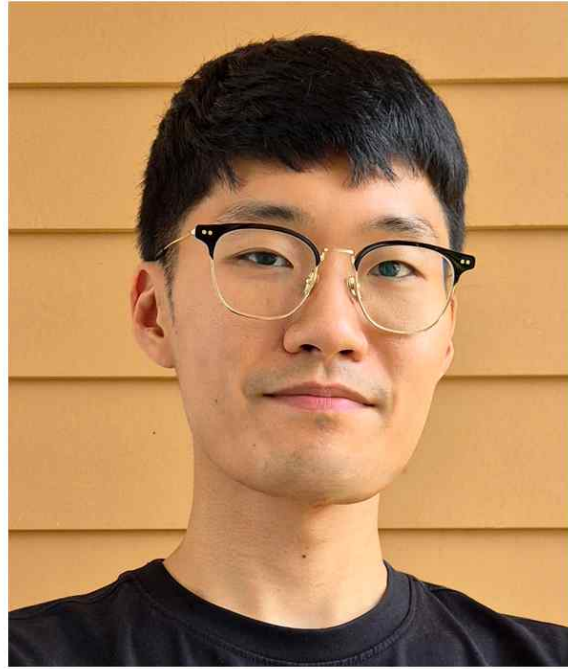
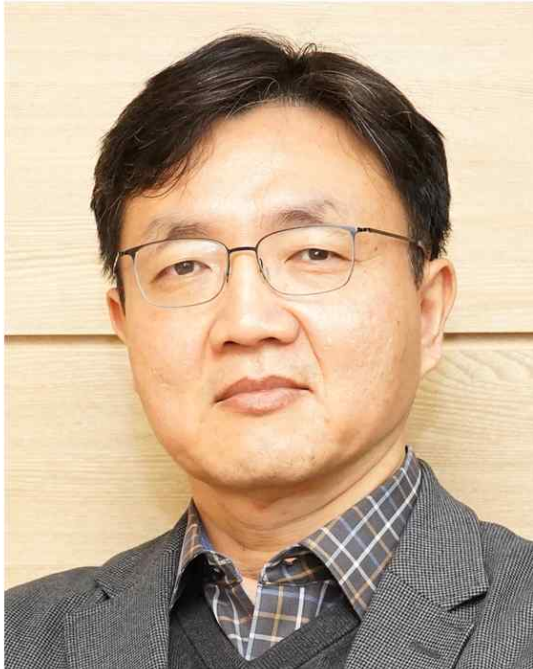


“버려진 일회용 마스크, 땅 속 생명까지 위협”

GIST, 폐마스크 미세플라스틱·첨가제의 토양 생물 독성 규명

- 환경·에너지공학과 김태영 교수팀, 독일·브라질 연구팀과의 공동연구 통해 폐마스크 유래 미세플라스틱과 화학 첨가제가 토양 생물의 생식력 및 대사를 교란함을 밝혀
- 방진 마스크에서 검출된 미세플라스틱, 토양 선충 번식력 최대 46% 저하시켜 “마스크 폐기물에 대한 장기적 환경영향 평가 및 친환경적 소재 개발, 처리 방안 마련 시급”
- 국제학술지 《Ecotoxicology and Environmental Safety》 게재



▲ (왼쪽부터) 환경·에너지공학과 김태영 교수, 김종현 박사후연구원

코로나19 팬데믹 기간 중 전 세계에서 사용되고 버려진 수십억 개의 일회용 마스크가 토양 생태계에도 심각한 영향을 미칠 수 있다는 연구 결과가 발표됐다.

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 환경·에너지공학과 김태영 교수 연구팀이 독일 베를린자유대학교(Freie Universität Berlin) 등과 수행한 국제 공동연구를 통해, 버려진 일회용 마스크가 토양 생태계에 심각한 영향을 미칠 수 있음을 과학적으로 규명했다고 밝혔다.

연구 결과에 따르면, 폐기된 마스크에서 유래한 미세플라스틱*과 화학 첨가제가 토양 생물인 예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis elegans*)*의 생식력과 대사 체계를 교란시키는 것으로 나타났다.

* **미세플라스틱(Microplastic)**: 플라스틱 제품이 분해되어 만들어지거나, 상업 및 공업 용도로 생산된 크기가 5 mm 이하이고, 1 nm 이상인 고체형 플라스틱 알갱이를 말함.

* **예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis elegans*)**: 토양에 널리 서식하는 약 1 mm 길이의 작은 생물로, 농작물에 영양을 공급하고 토양 생태계를 유지하는 데 매우 중요한 역할을 맡고 있음.

팬데믹 기간 동안 전 세계적으로 사용된 일회용 마스크는 연간 수백억 개에 달하며, 이로 인해 막대한 폐기물이 발생했다.

대부분 폴리프로필렌(PP) 등 합성 섬유로 제작되는 마스크는 미세플라스틱을 배출할 수 있으며, 이는 수질뿐 아니라 토양 생태계에도 잠재적 영향을 미칠 수 있음에도 불구하고 이에 대한 연구는 매우 제한적이었다.

연구팀은 이번 연구를 통해 폐마스크에서 나온 미세플라스틱이 단순한 플라스틱 입자가 아닌, **제조 과정에서 첨가된 특정 화학물질과 결합해 생물학적 독성을 유발할 수 있다는 사실을 분자 수준에서 최초로 입증했다.**

특히, 예쁜꼬마선충과 같은 **토양 생물의 번식 기능 저하는 생태계 전체의 구조적 안정성을 위협할 수 있어, 폐마스크의 생태계 위해성에 대한 종합적 평가가 시급하다**는 점을 시사한다.

연구팀은 세 종류의 일회용 마스크(KF94, 의료용, 방진용)와 비교용 폴리프로필렌(PP) 원료를 각각 표준 토양에 혼합하여 예쁜꼬마선충의 생식력과 대사에 미치는 영향을 실험했다.



▲ **일회용 마스크 유래 미세플라스틱의 토양 독성.** 연구팀은 일회용 마스크에서 발생하는 미세플라스틱이 예쁜꼬마선충에게 번식력 저하를 유발하며, 그 원인 물질이 미세플라스틱에서 유출되는 첨가제임을 밝혀냈다.

실험 농도(토양 중 미세플라스틱의 비율)는 0.1%와 0.3%로 설정했으며, 각 그룹의 꼬마선충 번식 능력(부화한 유충 수)을 정량 측정했다. 이후 액체 크로마토그래피-질량분석법(LC-MS)*을 통해 선충의 대사 변화와 마스크에서 검출된 화학 첨가제를 정밀 분석했다.

* **액체 크로마토그래피-질량분석법(LC-MS):** 복잡한 혼합물에서 각각의 화학물질을 분리한 뒤, 그 분자의 무게를 정확히 측정해 어떤 물질인지 밝혀내는 정밀 분석 기술.

실험 결과, 0.3% 농도에서 KF94 및 방진용 마스크의 미세플라스틱에 노출된 선충의 번식력이 각각 33%, 46%까지 감소하는 유의미한 결과가 확인됐다.

반면, 의료용 마스크와 폴리프로필렌(PP) 원료 섬유는 생식 독성 면에서 유의미한 영향을 보이지 않았다.

더불어, 대사체 분석(metabolomics)을 통해 선충의 대사 경로에 변화가 생긴 사실도 확인했다.

KF94 마스크와 방진용 마스크의 미세플라스틱은 공통적으로 폴리아민(polyamine)* 생합성 경로를 교란시켰으며, 각각 다른 첨가제가 사용된 것으로 추정되는 만큼 대사물질에 미치는 영향 역시 차이를 보였다.

* **폴리아민(Polyamines):** 아민은 질소 원자를 가진 염기성 작용기와 화합물을 말하며, 폴리아민은 생물의 세포 안에서 성장과 생식에 중요한 역할을 하는 작은 분자로, 세포 대사와 유전자 조절에도 관여함.

고해상도 질량 분석 결과, **마스크에서 프탈레이트(phthalates)* 등의 화학 첨가제가 검출되었으며, 이 물질은 생식 독성을 유발하는 내분비 교란물질로 알려져 있다.**

연구팀은 이러한 첨가제가 대사 교란과 생식력 저하의 주요 원인일 가능성이 높다고 분석했다.

* **프탈레이트(Phthalate):** 플라스틱을 부드럽고 유연하게 만들기 위해 사용하는 화학물질로, 일부 종류는 인체에 해로운 내분비 교란 물질로 알려져 있음.

김태영 교수는 “이번 연구는 일회용 마스크에서 배출된 미세플라스틱과 마스크 제조 과정에서 사용된 화학 첨가제가 **토양 생물에 미치는 복합적인 생물학적 독성을 과학적으로 규명한 것**”이라며 “마스크 폐기물의 장기적인 환경영향을 평가하고, **친환경적 마스크 소재 개발과 처리 방안을 마련하는 것이 시급하다**”고 강조했다.

이번 연구는 한국연구재단 기초연구사업(중견연구)의 지원을 받아 수행됐으며, GIST 환경·에너지공학과 김태영 교수와 김종현 박사후연구원이 주도했다.

공동연구자로서 베를린자유대학교 김신웅 박사후연구원, 마티아스 C. 릴리히(Matthias C. Rillig) 교수, 브라질 상카를로스 연방대학교(Universidade Federal de São Carlos) 왈터 R. 왈드만(Walter R. Waldman) 교수, 그리고 경북대학교 김성환 교수 연구팀이 참여했다.

연구 결과는 독성학 분야 국제학술지 《생태독성학과 환경 안전(Ecotoxicology and Environmental Safety)》에 2025년 6월 3일(화) 온라인으로 게재됐다.

논문 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Ecotoxicology and Environmental Safety (IF: 6.1, 2024년 기준, 독성학 상위 9%)
- 논문명 : Toxicological effects of microplastic fibers from different disposable face masks on *Caenorhabditis elegans*
- 저자 정보 : 김종현(공동제1저자, GIST 환경·에너지공학과, 박사후연구원, 현재 Oak Ridge National Laboratory, 박사후연구원), 김신웅(공동제1저자, 독일 베를린자유대학교 생물학과, 박사후연구원, 현재 국가독성과학연구소 미래환경영향연구센터, 선임연구원), Walter R. Waldman(공동저자, 브라질 상카를로스 연방대학교, 교수), Felix Bredendiek(공동저자, 독일 베를린자유대학교 약대, 박사후연구원), 손승우(공동저자, 경북대학교 화학과, 박사후연구원), 김성환(공동저자, 경북대학교 화학과, 교수), Maria K. Parr(공동저자, 독일 베를린자유대학교 약대, 교수), Matthias C. Rillig(공동교신저자, 독일 베를린자유대학교 생물학과, 교수), 김태영(공동교신저자, GIST 환경·에너지공학과, 교수)