

산재예방 연구브리프

OSH Research Brief

2020년 제15호

발행일 2020년 10월 7일
발행인 고재철
주 소 44429 울산광역시 중구 종가로 400
산업안전보건연구원
자료문의 연구기획부 052-703-0813
발간번호 2020-산업안전보건연구원-599

제15호

산화아연 나노물질 가공 시 발생하는 입자 특성 연구

나노복합체란 고분자 재료에 제조나노물질을 분산시켜 재료의 물리·화학적 특성을 강화시킨 신소재로, 나노복합체 제품 생산을 위한 사포질 등 기계가공 과정에서는 제조나노물질과 제조나노물질이 함유된 입자가 공기 중으로 방출되어 작업자가 호흡기를 통해 비산된 입자에 노출될 수 있다. 본 연구는 산화아연 나노복합체를 기계적으로 가공 시 공기 중에 방출되는 입자에서 기인되는 잠재적 위험성으로부터 작업자를 보호하기 위해, 산화아연이 함유된 나노복합체의 사포질 시 나노입자의 비산 가능성과 그 특성을 평가하였다.

보고서 제목 나노복합체의 가공 시 공기 중에 발생하는 입자의 특성 연구(2019)
연구책임자 산업안전보건연구원 권지운 연구위원



I. 서론

제조나노물질이란 나노물질의 독특한 특성을 이용하기 위해 인위적으로 만들어진 나노물질이다. 제조나노물질은 재료의 물리적 화학적 특성을 강화시킬 목적으로 주로 고분자 매질에 첨가되어 신소재의 제조에 사용되며, 다양한 분야에서 신소재와 기구를 생산하기 위한 재료로서 적용범위와 사용량이 확대되고 있다.

여러 가지 제조나노물질 중에서도 산화아연은 질량대비 넓은 표면적에서 기인하는 우수한 향균, 자외선 차단, 휘발성 유기화합물(VOCs)의 분해, 높은 촉매 효율, 광전도성, 발광성 등의 특징을 보여 각종 향균 및 탈취 제품, 자외선 차단제, 화장품, 가황제, 반도체와 가스센서 등 전자소재 및 광학장치 등에 활용되고 있다. 산화아연 나노물질은 세계적으로도 이산화규소, 이산화티타늄에 이어 세 번째로 많이 생산, 사용되는 제조나노물질이다. 작업 환경에서 산화아연 나노물질의 제조 및 제조된 산화아연 나노물질이 원료로 활용된 제품 제조 및 가공 공정 등에서 호흡기를 통해 노출될 수 있으나,

아직까지 산화아연 제조나노물질의 인체에 독성에 대해서는 명확하게 밝혀지지 않았다.

나노복합체는 제조나노물질이 첨가된 물질로, 나노복합체의 라이프사이클은 제조나노물질 원료를 고분자 수지에 투입하고 분산시켜 복합체를 만든 후 원하는 모양으로 성형하기 위해 복합체를 절단하거나 연마하는 등의 물리적 가공을 동반한다. 이러한 과정에서 작업자가 공기 중에 비산되는 제조나노물질을 흡입할 가능성이 있다.

본 연구는 산화아연 나노물질이 함유된 폴리프로필렌 복합체의 사포질 가공 시 공기 중에 방출되는 입자의 발생 농도, 크기, 성분 특성과 사포의 거칠기 및 산화아연 나노물질의 함유율과의 관계를 규명하였다.

II. 연구내용

1. 입자의 수 농도와 호흡성 분진의 농도

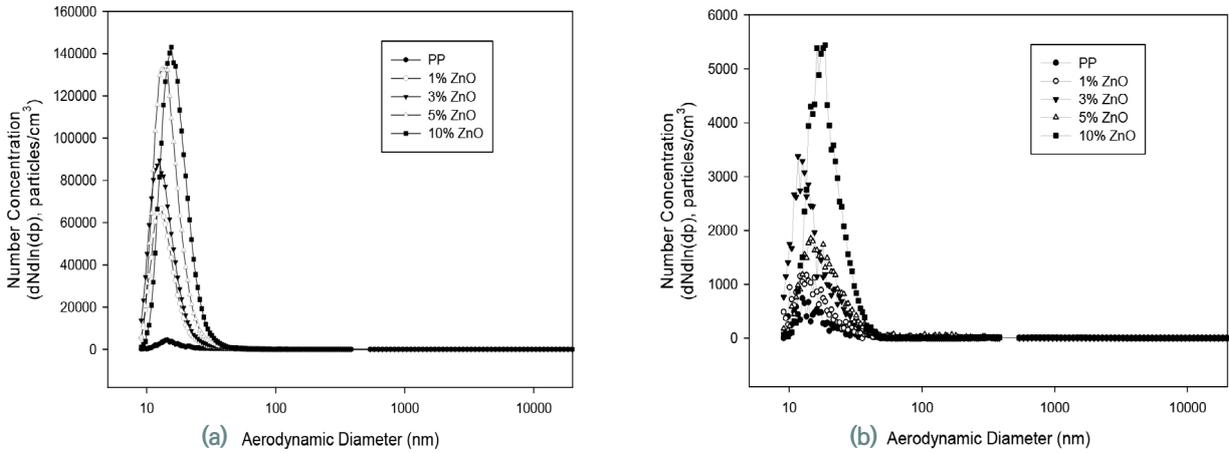
두 가지 거칠기(P80, P180)의 사포로 폴리프로필렌 베이스 물질과 산화아연 제조나노물질이 네

[표 1] 사포의 거칠기와 산화아연 함유율에 따른 수 농도와 호흡성분진 농도

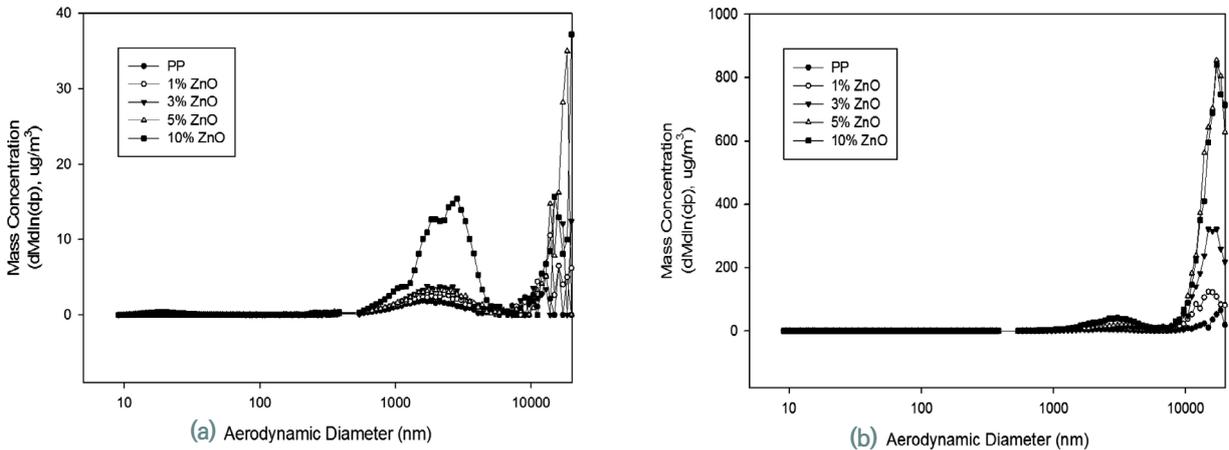
나노복합체	사포거칠기	자료 수(개)	수 농도(표준편차) (particles/cm ³)	호흡성분진질량농도 (표준편차)(μg/m ³)
Polypropylene (PP)	P80	21	58449 (7979)	0.94 (0.18)
	P180	21	17487 (1598)	2.44 (1.07)
1% ZnO-PP	P80	21	92574 (11444)	1.44 (0.35)
	P180	21	25299 (1029)	3.70 (0.51)
3% ZnO-PP	P80	21	92259 (5449)	1.99 (0.38)
	P180	21	20676 (2231)	4.93 (1.65)
5% ZnO-PP	P80	21	141989 (15068)	1.76 (0.37)
	P180	21	31065 (2371)	7.56 (1.36)
10% ZnO-PP	P80	21	184646 (26943)	6.00 (1.09)
	P180	21	47242 (3498)	14.07 (2.96)

※ 수 농도와 호흡성분진 질량농도의 사포의 거칠기에 따른 차이의 통계적 검정 결과 모든 함유율의 p<0.001

[그림 1] 사포의 거칠기와 산화아연 함유율에 따른 수 농도의 입경 분포; (a) P80, (b) P180



[그림 2] 사포의 거칠기와 산화아연 함유율에 따른 질량 농도의 입경 분포; (a) P80, (b) P180



가지 농도 수준(1, 3, 5, 10%)으로 함유된 복합체를 챔버 내에서 일정한 실험 조건 하에서 자동화된 밸트샌더를 이용하여 사포질하였다. 공기 중에 방출된 입자의 수 농도와 질량 농도 및 크기 분포를 직독식 장치를 이용하여 측정하고, 입자의 형태와 성분을 투과전자현미경을 이용하여 분석하였다.

분석 결과, 거친 사포로 사포질 시 고운 사포에 비해 높은 수 농도와 낮은 호흡성분진의 농도를 보였다. 실험 결과 산화아연 나노물질이 함유된 복합체는 베이스 물질에 비해 유의미하게 높은 입자의 수 농도와 호흡성분진 농도를 보였으며, 산화아연 나노물질의 함유율이 증가할수록 입자의 수 농도

와 호흡성분진의 농도는 증가하는 경향을 보였다.

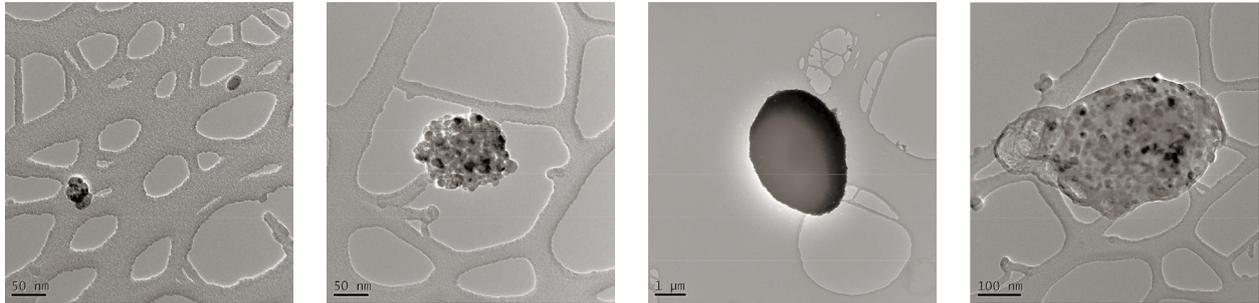
2. 입자의 크기 분포

사포의 거칠기와 산화아연 나노물질의 함유율에 따른 수 농도와 질량 농도의 입자 크기 분포는 눈에 띄는 차이를 보이지 않았다. 수 농도의 증가는 40 nm 이하의 나노 크기 입자 피크의 증가와 관련이 있었고, 질량 농도의 증가는 1 μm 이상의 큰 입자의 증가와 관련이 있었다.

3. 입자의 성분

산화아연-폴리프로필렌 복합체 시료를 사포질 시 비산된 입자에서 베이스 물질에 묻혀 있지 않은

[그림 3] 공기 중에서 채취된 산화아연과 복합체 입자의 대표적인 투과전자현미경 사진



산화아연의 나노입자가 단량체부터 $10\mu\text{m}$ 이상의 집합체 까지 다양한 크기로 관찰되었다. 10% 산화아연 나노물질을 함유한 폴리프로필렌 복합체에서는 공기 중 입자 수 농도와 관련이 높은 100nm 미만 크기의 나노 입자 중 절반이 산화아연 나노입자인 것으로 나타났으며, 산화아연 나노입자가 분산되어 묻혀 있는 복합체 입자는 100nm 이상부터 마이크로미터 크기의 큰 입자로 존재하였다.

III. 결론 및 정책제언

연구결과 거친 사포를 이용하여 산화아연 나노입자가 많이 첨가된 물질을 가공할수록 보다 높은 수 농도의 나노 입자에 노출되고, 산화아연의 나노입자를 흡입할 수 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 폴리프로필렌 고분자에 산화아연 나노입자를 첨가하

면 소재의 특성이 변화되어 작업자가 복합체를 기계적으로 가공할 때 산화아연 나노입자가 많이 첨가된 물질을 취급할수록 보다 높은 농도 수준의 나노 크기 입자에 노출될 수 있으며, 작업자가 복합체 입자와 베이스 물질로부터 분리된 산화아연의 나노입자를 흡입할 수 있음을 보여준다.

산화아연 나노복합체의 기계 가공 시에는 산화아연 나노입자와 복합체 입자가 공기 중에 비산될 수 있으므로, 제조나노물질에 대한 사전예방주의 원칙을 적용하여 작업자의 호흡기 보호를 위한 작업관리 조치를 취하는 것이 바람직하다. 본 연구의 결과물은 나노복합체를 물리적으로 가공하는 작업자의 에어로졸화된 제조나노물질 노출에 대한 위험성을 밝히기 위한 기초자료로 활용이 될 수 있을 것이다.