



Airborne nanoparticle Concentrations in the Manufacturing of Polytetrafluoroethylene(PTFE) Apparel

(PTFE 의복 제작시 발생하는 나노입자 농도)

출 처 J. Occup. Environ Hyg. Vol. 8: pp 139-146, 2011

저 자 Donna J.H Vosburgh, Dane A. Boysen, Jacob J. Oleson, and Thomas M. Peters

이 논문은 불침투성이지만 숨 쉬는 의복을 제작할 때 사용하는 전통적인 방법으로 재봉질한 솔기를 PTFE막으로 입히는 과정에서 발생하는 나노입자의 농도를 측정 분석한 것이다.

향후 우리나라에서도 나노입자의 특성을 연구할 경우 어떻게 접근할 수 있는지에 대한 방향을 모색하는 데 도움이 될 것으로 보인다.

배경으로 이 연구가 진행된 곳은 불침투성 의류를 만드는 공장으로, 의복에 PTFE 막을 입혀 생산하고 있으며, 이 의류는 의료용 가운, 군용 장구류, 소방관 보호의 등 다양한 분야에 사용되고 있다.

생산 공정에서는 천 조각을 재봉질하여 접합하고 이 접합부분에 PTFE가 함유된 밀봉용 테이프를 600°C의 열을 가한 상태에

서 롤러로 눌러 밀착시킨다. 이 과정에서 나노 입자가 발생하고 있다.

PTFE 나노입자에 노출될 경우, 실험 쥐에서 흡입 독성이 발견되었으며, 인체 영향으로는 고분자흡열(polymer fume fever), 폐부종(pulmonary edema), 그리고 고농도에 노출되었을 때 사망한 사례도 있다.

본 연구의 목적은 2종의 우의용 재킷 생산시 발생하는 입자상 물질의 특성 파악에 있으며, 구체적으로는 시설 내 농도 맵핑, 호흡 영역내 농도 및 작업자 특성과의 관련성, 그리고 후드의 효과 등을 조사하였다.

생산 시설은 사무실, 재봉실, 밀봉실 등 3개의 영역으로 구분되며, 밀봉실에는 41개의 1차 밀봉 작업대와 20개의 2차 겹침용 밀봉 작업대가 있다. 1일 생산량은 1000 재킷을 만들고 있으며, 각 작업대에는 국소배기

장치가 설치되어 있었다.

맵핑에서는 15명의 작업자가 밀봉 작업할 때 발생하는 입자상 물질의 계수 농도와 호흡성분진 농도를 측정하였고, 총 34개 지역을 측정하였다.

측정에는 Condensation Particle Counter(Model 3007, TSI)와 Optical Particle Counter(PDM-1108, Grimm)를 사용하였다.

CPC는 10 nm에서 1 μ m 사이의 분진 개수 농도를 1분 동안 측정하였다. 초기 개수 농도가 CPC 최대농도 측정 범위를 넘어서서 결국 CPC inlet에 0.16 cm의 구멍을 내고 필터(6702-7500, Whatman Inc.)를 장착해 농도를 희석시켜 측정하였다. 이 필터 유무에 따라 입자상물질을 측정하여 희석 계수를 구하였다. OPC는 0.3 μ m에서 20 μ m 사이의 분진에 대해 15개 채널로 개수 농도를 측정하였다.

맵핑에는 Surfer, Golden Software를 사용해 농도를 kriging으로 구한 후 사용하였다.

호흡영역 농도는 9명의 밀봉 작업자에서 측정하였는데, 0.64 mm 내경의 전기전도성 튜브를 국소배기장치 창문 위에 설치하고 공기를 흡입해서 CPC로 1초 간격으로 측정하였다. 튜브의 유입구를 밀봉 작업 중인 근로자의 호흡영역에 위치시켜 측정 시간을

9-26분간 진행하였고, 전체 공정을 포함하도록 조정하였다.

솔기의 밀봉 작업은 밀봉 대상 재킷을 재봉실에서 가져옴, 서류 작성, 밀봉 작업 시작, 그리고 밀봉 작업 후 재킷을 다시 묶어 다른 작업을 위해 옮기는 4가지 업무로 구성되었다.

작업자의 업무 특성을 촬영하여 밀봉 작업 시간과 다른 작업간 비율을 구하였고, 작업군을 3개로 구분하여, >70%, 61-69%, <60% 시간군과 솔기 업무에 따라 장, 중, 단, 및 혼합 군으로 구분하였다.

후드의 효과를 평가하기 위하여, 3개 작업대를 선정하고, 각 작업대를 대상으로 피토 튜브(Series 400 유속측정기, Dwyer) 횡단으로 후드와 덕트 연결부위 밑 80 cm에서 유속을 측정하였다.

입자의 개수 농도는 밀봉 작업자의 호흡영역과 덕트 내부에서 동시에 측정하였다. 입자의 크기분포는 국소배기 장치의 최종 배출구에서 20리터 크기의 용기에 담은 후 튜브를 이용해 입자를 Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS +C model, 5.4 Grimm)에 보낸 후 측정하였다.

통계 분석은 호흡영역과 국소배기 장치내 입자의 개수 농도를 대수 변환 하고, linear mixed-effects model을 사용해 상관성 분

석을 수행하였고, Akaike information criterion(AIC)이 낮으므로 공변량 분석을 수행하였으며, Tukey-Kramer 다중 비교를 사용하였다.

GM 비교는 ANOVA - Duncan 분석을 수행하였고, t-test로 근로자 움직임과 재킷 형태가 호흡영역 농도에 주는 영향을 분석하였다.

연구결과, 입자의 개수 농도는 재봉실보다는 밀봉실에서 높았는데, GM 농도가 사무실은 12,100 개/cm³, 재봉실은 67,000 개/cm³, 밀봉실은 188,000 개/cm³이었다.

호흡성 분진 중량 농도는 재봉실이 0.001 mg/m³, 밀봉실 0.002 mg/m³로서 크게 차이가 나지 않았다. 호흡영역 농도는 밀봉실 작업자가 GM 147,000-798,000 개/cm³ (GSD=1.16-2.27)로서 밀봉 작업 중 평균 GM 농도(394,000개/cm³)는 다른 작업 농도(266,000개/cm³)보다 통계적으로 유의하게 높았다.

솔기 업무별 농도도 통계적인 차이가 있었으며, 중 그룹이 가장 높았다. 밀봉 작업 시간별이나 다른 작업군 간에는 차이가 없

었으며, 다른 활동을 하거나 재킷 종류에 따른 차이도 없었다. 호흡영역의 농도는 점심 시간에는 상대적으로 낮은 농도를 유지하다가 오후 작업 시작 후에 급격하게 높아지고 변이도 커졌다.

후드의 입자 포집 효과를 검정한 결과, 후드의 입자 저감률은 56%로 낮게 나타났다. 이때 유속은 11.5-12.3m³/min으로 제작사의 설정 기준 이내에 있었다. 국소배기장치로 포집되는 입자상물질의 크기별 개수 농도를 분석한 결과(개수 직경이 25 nm, GSD=1.39) 대부분 나노 크기 입자로 판명되었다.

결론적으로 본 연구에서는 의류 접합하는 공정에서도 높은 농도의 나노입자가 존재함이 밝혀졌고, 특히 근로자의 호흡영역에서 가장 높은 농도가 측정되어 근로자 노출이 높을 수 있음을 보여주었다.

그리고 이런 입자를 제어하는데 사용되고 있는 캐노피형 후드는 입자 포집률이 매우 낮아 효과적인 대책이 되지 않기 때문에 이에 대한 대책이 필요할 것으로 제안하고 있다. 🙏

☉ 참고 문헌

1. Tsai PY, Guo J Chen et al. An integrated approach to initiative preventive strategies for workers exposed to teflon pyrolytic gases in a plastic industry. J Occup. Hlth 42:297-303, 2000
2. Peters, TM, WA Heitbrink, DE Evans et al. The mapping of fine and ultrafine particle concentrations in an engine machining and assembly facility. Ann. Occup. Hyg. 50:249-257, 2006
3. Elihn K, and P. Berg. Ultrafine particle characteristics in seven industrial plants. Ann. Occup. Hyg. 53:475-484, 2009
4. Hameri, K, IK Kopoene, PP Aalto et al. The particle detection efficiency of the TSI-3007 condensation particle counter. J. Aerosol Sci. 33:1463-1469, 2002