

유기용제를 이용한 세척공정에서의 노출 평가

Exposure Assessment of Cleaning Process using Organic Solvent

대한산업보건협회 산업보건환경연구원
임성국, 최아름

서론

유기용제는 여러 가지 산업에서 도장, 표면처리, 탈지, 세척, 추출, 화학반응, 인쇄 작업 등에 폭넓게 사용되는 화학물질이다(노영만 등, 1993). 유기용제는 화학적으로 비교적 안정적이고 지방질을 녹이고 그에 스며드는 성질이 있으며, 피용해물질의 성질을 변화시키지 않고 용해시키는 성질 때문에 세척용으로 많이 쓰이고 있다(이세훈, 2003).

유기용제를 이용한 세척은 자동차 제조업, 전자, 가구 제조업, 가정용 기기 제조업, 섬유산업, 제지, 플라스틱, 유리 제품 제조업 등과 같은 많은 산업분야에서 필수적인 공정이다. 유기용제 세척제는 페인트 작업, 도금, 수리, 검사, 조립, 열처리 혹은 기계가공과 같은 공정을 하기 전에 표면에 있는 오일, 그리스, 왁스, 카본 퇴적, 타르 등과 같은 불용성 찌꺼기를 제거하기 위해 사용한다. 석유중류물, 염소화탄화수소, 케톤, 알코올 등을 포함하는 다양한 유기용제는 세척 작업 용제로 단독 혹은 혼합하여 사용한다.

유기용제 세척 기구는 기본적으로 오픈형 증기 세척(Open top vapor cleaners, OTVC), 컨베이어 세척(Conveyorized cleaners), 냉각 세척(Cold cleaners)으로 나눌 수 있다. 오픈형 증기 세척의 전형적인 구성은 가열 시스템과 냉각코일로 되어 있다. 탱크 바닥 안쪽에서 액체 용제를 끓이는 가열 시스템은 세척을 위해 필요한 증기를 만들어 낸다. 용제의 증기가 액체형태로 응결하는, 탱크 내부의 윗부분에 있

는 냉각코일은 증기형태로 탱크 외부로 새어나가는 것을 막아준다. 얼룩이 묻은 물체는 여기서 때가 벗겨지고 폐기물은 다시 탱크 안으로 모인다. 연속으로 세척을 하는 컨베이어 세척기기는 냉각 혹은 증기 세척 중 하나인데 대부분은 증기세척을 한다. 증기세척기보다는 큰 스케일이지만 밀폐되었기 때문에 용제가 빠져나가는 양은 다른 기기들에 비해 적다. 냉각세척은 가장 간단하고 저렴한 세척형태이며, 금속 부품을 용제의 용액에 담구거나 용액을 스프레이 하여 물체를 닦는 것이다(Most 등, 1999).

유기용제에 노출되면 피로감, 현기증, 구역질, 두통 및 지각이상 등이 나타나고 식은땀이 나고 가슴이 뛰며, 몸이 화끈거리거나 술에 취한 느낌이 들며 정밀한 작업을 잘하지 못하게 된다. 유기용제에 장기간 노출되면 집중력 장애, 기억력 감소, 정신운동 수행력의 장애, 인격손상 등의 신경학적인 이상을 초래한다(Hänninen 등, 1976).

세척, 탈지제로 쓰이는 가장 대표적인 유기용제인 트리클로로에틸렌은 1908년 상업적으로 합성된 이후 뛰어난 탈지작용으로 인해 사용량의 80% 가량이 자동차 또는 금속 산업에서 금속부품의 탈지(degreasing) 용매로 활용되어 왔으며, 그 외에도 희석제, 세척제 및 다양한 제품의 중간산로도 사용되고 있다(ATSDR, 2014). 트리클로로에틸렌은 중추신경계 억제 작용이 주로 일어나 피로, 현기증 두통, 기억력 저하, 집중력 장애 등의 증상을 유발하며, 고농도에서 시각장애 및 청력의 저하가 나타난다. 심혈관계에 작용하여 부정맥이 발생할 수 있고, 급성 간독성 및 급성신부전, 호흡곤란, 폐부종 등이 나타난다.

생식 독성으로 동물 실험에서 간암과 신장암의 발생을 증가시키며, 여성에서 월경 불순이, 남성에서 성욕감소가 나타난다. 특히 100 ppm 이상의 농도로 장기간 노출되었을 때 근육통, 위장관 장애 등이 초래되며, 피부는 자극 증상으로 인해 트거나 홍반 등이 생길 수 있다(ATSDR, 2014). 발암성 구분은 우리나라 고용노동부 1B, IARC에서는 Group 2A, ACGIH에서는 A2로 구분되어 있다.

우리나라 직업병 발생사례를 살펴보면, 2006년에 조명기구부품 공장에서의 도장과 세척공정에서 스티븐슨존스증후군이 보고되었으며(노영만 등, 2008), 최근에는 자동차 생산 공장에서 트리클로로에틸렌으로 수동 세척 작업한 근로자가 신장암 진단을 받은 사례가 발생하였다(안전보건공단, 2015).

이에 본 연구에서는 모 작업환경측정기관의 데이터베이스를 활용하여 세척공정에서 유기용제를 사용하는 업종에서의 노출특성을 파악하고자 하였다.

연구 방법

2012년 1월부터 12월까지 모 작업환경측정기관의 측정결과 자료를 이용하였으며, 전국의 작업환경측정대상 사업장 중 세척공정에서 유기용제를 사용하는 579개 사업장 측정자료 3,252개를 대상으로 하였다. 업종과 공정 구분은 한국산업표준분류(KSIC)과 안전보건공단에서 제공하는 표준공정분류표를 이용하였다. 데이터의 정규성 검정을 위해 Shapiro-Wilk test를 이용하였고 검정결과 모든 집단은 정규분포를 하지 않는 것으로 나타났다. 이에 따라 평균비교를 위해 비모수적 방법인 Mann-Whitney Utest와 Kruskal-Wallis H test를 이용하였다. 자료의 분석은 Micro Excel 2010, IBM SPSS 21.0을 이용하여 분석을 실시하였다.

연구 결과 및 고찰

국내 작업환경측정대상 사업장 중 세척공정에서 유기용제를 사용하는 사업장의 특성을 살펴보면 5~49인 사업장이 53.0%로 가장 높은 비율을 보였으며, 50~99인 사업장(22.5%), 100~299인 사업장(14.5%), 300~999인 사업장(5.5%), 5인 미만 사업장(3.5%), 1,000인 이상 사업장(1.0%)의 순으로 나타났다. 업종별 분포 특성을 살펴보면, 전자부품·컴퓨터·영상·음향 및 통신장비 제조업 20.0%로 가장 높은 비율을 나타내었고, 다음으로 금속가공제품 제조업(14.9%), 자동차 및 트레일러 제조업(13.5%) 등의 순으로 나타났다. 지역별 분포는 경남과 경기지역이 각각 20.9%, 20.7%로 높은 비율을 나타내었다.

가장 높은 비율을 보인 상위 3개 업종을 중심으로 노출되는 유기용제의 종류를 살펴보면, 전자부품·컴퓨터·영상·음향 및 통신장비 제조업의 경우 이소프로필알코올 > 트리클로로에틸렌·아세톤 > 메탄올 > 톨루엔 > 크실렌 등의 순이었다. 금속가공제품 제조업의 경우 트리클로로에틸렌 > 톨루엔 > 크실렌 > 이소프로필알코올 > 아세톤 등의 순으로 나타났으며, 자동차 및 트레일러 제조업의 경우 이소프로필알코올 > 트리클로로 에틸렌 > 톨루엔 > 크실렌 > 메틸에틸케톤 등의 순으로 나타나 업종마다 노출되는 유기용제 종류의 차이를 보였다.

세척공정에서 가장 많이 쓰이는 유기용제 이소프로필알코올, 트리클로로에틸렌, 톨루엔, 크실렌, 아세톤을 중심으로 업종별 평균농도를 비교한 결과 트리클로로에틸렌의 경우 자동차 및 트레일러 제조업(25.91±28.08 ppm)이 금속가공제품 제조업(6.43±9.35 ppm)보다 통계학적으로 유의하게 높은 평균농도를 나타내었다(p<0.01). 반대로 크실렌의 경우 금속가공제품 제조업(0.81±0.50 ppm)이 자동차 및 트

레일러 제조업(0.40 ± 0.60 ppm)보다 통계학적으로 유의하게 높은 평균농도를 나타내었다($p < 0.01$). 아세톤의 경우 전자부품·컴퓨터·영상·음향 및 통신장비 제조업(43.15 ± 73.32 ppm)이 금속가공제품 제조업(6.52 ± 9.76 ppm)과 자동차 및 트레일러 제조업(1.66 ± 1.36 ppm)보다 통계학적으로 유의하게 높은 평균 농도를 나타내었다($p < 0.01$).

결론

본 연구는 2012년 국내 작업환경측정 대상 중 세척공정에서 유기용제를 사용하는 사업장에서의 노출특성을 파악한 결과 업종에 따라 노출되는 유기용제의 종류와 농도의 차이를 보였다. 이에 따라 근로자의 건강장해를 효과적으로 예방하기 위해서는 유기용제의 사용실태와 노출농도를 파악하는 것이 매우 중요하다.

참고 문헌

1. 노영만, 이세훈, 김현욱, 이광목, 정치경, 이승한. 유기용제의 성분분석과 건강영향에 관한 연구. 대한산업의학회지, 5(1), 88-103, 1993
2. 이세훈. 유기용제. 산업보건학, 수문사, 277, 2003
3. ATSDR(Agency for Toxic Substance and Disease Registry). Trichloroethylene Toxicity : What Is the Biological Fate of Trichloroethylene in the Body. Available : <http://www.atsdr.cdc.gov/csem/csem.asp?csem=15&po=9> [cited December 2014].
4. Most CC, Pope AA. Locating and estimating air emissions from source of perchloroethylene and trichloroethylene (EPA-450/2-89-013). Reserach Triangle Park, NC, Office of Air Quality Planing and Standard. Environmental Protection Agency, 1989.
5. Hänninen H, Eskelinen L, Husman K, Nurmine M. Behavioral effects of long-term exposure to a mixture of organic solvents. Scand J Work Environ & Health, 2(4), 240-255, 1976
6. 안전보건공단. TCE(트리클로로에틸렌) 노출에 의한 신장암 발생 위험 경보 <http://www.kosha.or.kr/www/boardView.do?contentId=358601&menuId=894&boardType=A> [cited January 2015].