

# 포름알데히드

대한산업보건협회 산업보건환경연구원 / 최아름, 임성국, 이귀영

## 서론

포름알데히드(Cas No.50-00-0, MW=30.03, BP=-19.5 °C)는 숨이 막힐듯한 자극성 냄새가 나는 무색의 기체로서 무게가 37~50%인 용액을 포르말린이라 부른다.<sup>1)</sup> 화학적으로 반응성에 매우 강한 환원제로서, 살균제나 방부제로 사용되고 물에 잘 녹는 특징이 있으며, 많은 물질들(젤라틴, 아교 등과 같은 단백질)과 쉽게 결합하여 중합체를 형성한다.<sup>2)</sup> 상업적으로 포르말린으로 판매되고 있으며, 주로 우레아-포름알데히드, 페놀-포름알데히드와 멜라민, 폴리아세탈 수지의 생산에 사용된다. 또한 에틸렌글리콜, 펜타에리스리톨, 헥사메틸렌 테트라민의 생산에 포함되거나, 비료, 염료, 소독 및 살균제로 사용되어 샴푸, 컨디셔너, 수성페인트, 보존제, 경화제, 부식 방지제 등으로 사용된다.<sup>3)</sup>

포름알데히드는 인체 내에서 포름산염으로 대사되어 소변으로 배출되고 인체 내 반감기는 1~1.5분이다. 포름알데히드에 단기 노출시에는 코, 인후, 눈에 급성 자극이 있으며, 두통, 메스꺼움, 구토, 설사, 어지러움, 기억상실, 수면 장애 등이 발생하고, 장기 노출 시에는 눈 자극과 눈꺼풀에 염증, 피부 알레르기 반진, 눈에 화상, 호흡기 질환 등이 발생한다. 대부분의 역학연구에서 포름알데히드 노출과 호흡기계 암의 연관성에 관한 연구가 이루어졌으며, 다발성골수종이나 악성흑생종과 같은 비호흡기계 암의 위험도가 증가하는 등 주로 호흡기계에 암을 일으키는 것으로 보고되고 있다.<sup>2), 4)</sup>

국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서 Group 1(사람에 대해서 발암성이 있음)로 분류하고 있는 포름알데히드의 공기중 노출기준은 우리나라 고용노동부는 TWA 0.5 ppm(0.75 mg/m<sup>3</sup>), STEL 1 ppm(1.5 mg/m<sup>3</sup>), ACGIH에서는 TLV-CEILING 0.3 ppm(0.37 mg/m<sup>3</sup>)으로 권고하고 있으며, 각각 발암성 1A(사람에게 충분한 발암성 증거가 있는 물질), A2(사람에 대하여 발암성이 의심되는 물질)로

규정하고 있다.<sup>3),5)</sup>

안전보건공단에서 보고된 우리나라 직업병 발생사례를 살펴보면, 최근 2013년에 가구제조업 무늬목부착 작업자에게서 골수이형성증후군이 발생하였으며, 2000~2004년에 3명의 근로자에게서 비강암(호흡기계장해) 발병이 보고되었다.

본 연구에서는 허용기준 대상물질 13종 중 포름알데히드의 노출빈도(업종별, 공정별)와 노출기준을 초과하는 업종·공정을 분석하고, 국내외 관련문헌을 고찰하여 노출현황을 파악함으로써 근로자의 작업환경개선을 위한 근거자료로 활용하고자 한다.

## 연구 방법

### 1. 조사 대상 및 항목

본 연구는 2004~2011년까지 대한산업보건협회 작업환경측정 자료를 대상으로 하였으며, 포름알데히드가 측정된 업종 및 공정에 대해 조사를 실시하였다.

### 2. 업종 및 공정 분류

업종의 분류는 한국표준산업분류를 기준으로 중분류로 구분하였으며, 61개의 업종으로 분류하여 평가를 실시하였다. 공정의 분류는 안전보건공단에서 제공하는 표준공정분류표를 기본으로 하였으며, 공정은 35개종으로 나누어 평가하였다.

### 3. 통계분석

통계분석은 Microsoft Excel 2010, IBM SPSS 21.0을 이용하여 빈도분석 및 교차분석을 실시하였다.

## 연구 결과 및 고찰

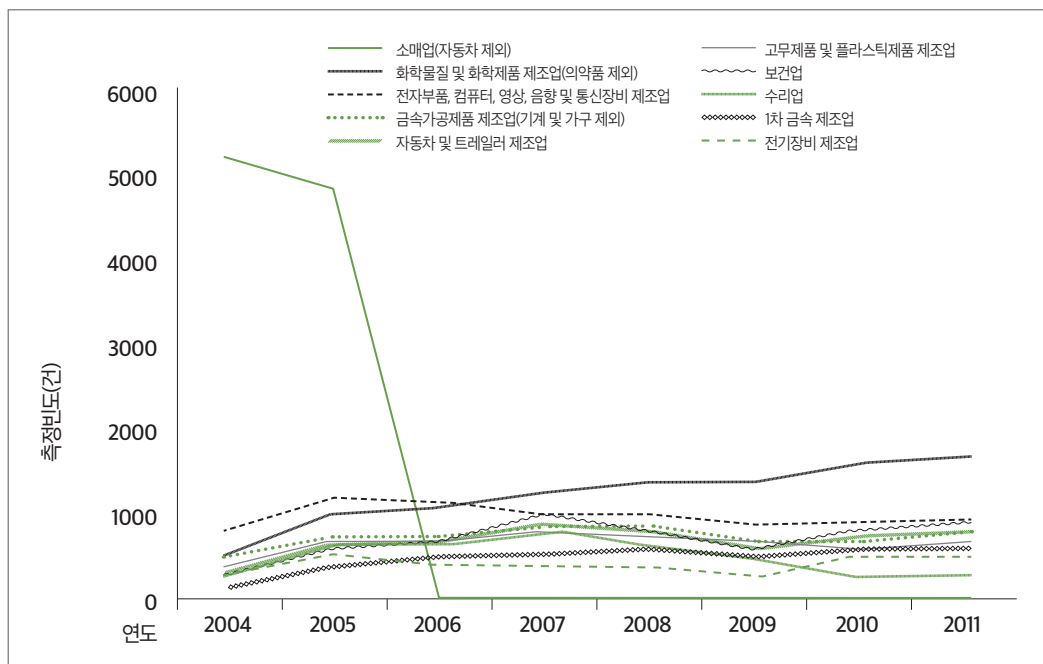
### 1. 업종별 노출 빈도 현황

〈표 1〉에서는 포름알데히드의 빈도를 많이 차지하는 주요업종별 분포를 10순위로 나타내었다. 노출빈도가 가장 높은 업종은 소매업(자동차 제외)이었으며, 다음으로 화학물질 및 화학제품

제조업(의약품 제외), 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업, 금속가공제품 제조업(기계 및 가구 제외) 등의 순으로 조사되었다. 소매업(자동차 제외)의 95%가 주유소였으며, 포름알데히드의 주요 발생원은 포르말린 제조, 합판제조, 합성수지 및 화학제품 제조, 소각로, 석유정제, 유류 및 천연가스 연소시설 등에서 광범위하게 나타난다.<sup>9)</sup>

<표 1> 포름알데히드의 노출빈도가 높은 업종

순위	업종명
1	소매업(자동차 제외)
2	화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)
3	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업
4	금속가공제품 제조업(기계 및 가구 제외)
5	자동차 및 트레일러 제조업
6	고무제품 및 플라스틱제품 제조업
7	보건업
8	수리업
9	1차 금속 제조업
10	전기장비 제조업



<그림 1> 포름알데히드의 연도별·업종별 노출빈도

포름알데히드를 취급하는 주요업종(10종)의 연도별 빈도를 조사한 결과, 2004~2005년에 소매업(자동차 제외)의 빈도가 다른 업종에 비해 6~16배 이상 많은 것으로 나타났으며, 이 시기에 일시적으로 시행된 주유소 측정으로 인해 소매업에서 포름알데히드 노출이 많았다. 이후 2006년부터 소매업의 빈도는 급격하게 감소하여 평균 20건 미만의 낮은 빈도를 나타냈다.

대부분의 업종에 뚜렷한 변화는 없었으나, 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)과 보건업은 꾸준히 증가하고 있는 추세를 보였고, 특히, 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)은 2007년 이후부터 가장 많은 빈도를 차지하고 있었다(그림 1).

## 2. 공정별 노출 빈도 현황

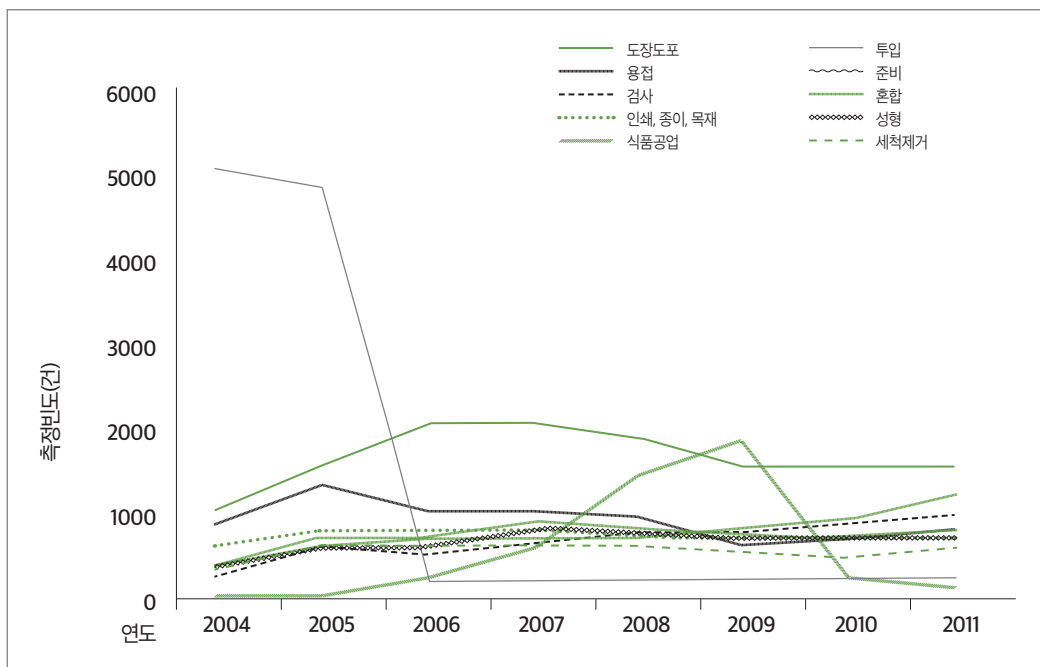
포름알데히드의 공정별 분포를 조사한 결과, 노출빈도가 가장 높은 공정(중분류)은 도장도포 공정이었다. 도장도포에는 여러 종류의 도장(분무도장, 액체도장, 스프레이도장 등)과 도포(바니쉬도포, 고무도포 등), 코팅(오일코팅, 왁스코팅, 코팅 등) 등의 세부공정이 포함되는데, 압축공기를 써서 도료를 안개모양으로 분무하여 물품을 도장하는 방법인 분무도장과 및 스프레이도장 등의 도장공정에서 포름알데히드의 노출빈도가 가장 높았다.

다음으로 노출빈도가 높은 공정은 투입공정(중분류)으로, 세분류 공정의 90%가 주유공정이었는데, 이는 특정업종(주유소)에서의 주유시 측정했던 포름알데히드 빈도가 특이적으로 높았기 때문이다. 공정별 분포는 투입공정에 이어 용접>준비>검사>혼합 등의 순으로 나타났으며, 준비, 혼합, 반응 등의 공정은 화학물질 및 화학제품 제조업에서 가장 많이 노출된 공정이었다(표 2).

<표 2> 포름알데히드의 노출빈도가 높은 공정

순위	공정명
1	도장도포
2	투입
3	용접
4	준비
5	검사
6	혼합
7	인쇄, 종이, 목재
8	성형
9	식품공업
10	세척제거

〈그림 2〉는 포름알데히드를 취급하는 주요공정(10종)의 연도별 빈도를 나타낸 결과이다. 투입공정은 2004~2005년에 다른 공정에 비해 3~100배 이상 높은 빈도를 차지하였으나, 2006년 이후로는 큰 폭으로 감소하여 측정빈도가 가장 적었다. 이는 소매업(자동차 제외)의 연도별 경향과 일치하며, 소매업(주유소)에서의 주요공정이 투입공정(주유공정)이므로 두 업종과 공정간에 같은 양상을 보인 것으로 사료된다.



〈그림 2〉 포름알데히드의 연도별·공정별 노출빈도

대부분의 공정은 2006~2007년까지 증가하다가 조금씩 감소하였으며, 2009년 이후로 다시 증가하는 경향을 보였다. 또한, 점점 증가하는 추세를 보이고 있는 화학물질 및 화학제품 제조업과 함께 이 업종의 주요 공정인 준비, 검사공정 등의 측정빈도 역시 증가하는 것으로 조사되었다. 그러나 식품공업의 경우, 2009년까지 크게 증가하였다가 이후 급격하게 감소하였는데, 2008~2009년에 특정업체(해체전문)에서 많은 측정이 실시되었기 때문이다. 투입공정을 제외하고 2004~2011년까지 가장 많은 빈도를 차지한 공정은 도장도포공정으로써, 수리업에서 가장 많이 노출되는 것으로 나타났다.

### 3. 노출기준 초과 업종 및 공정

포름알데히드의 노출기준을 초과하는 업종 및 공정을 조사한 결과, 목재 및 나무제품 제조업(가구 제외)의 접착공정에서 가장 많이 초과되었으며, 보건업의 살균과 검사공정에서도 높은 농도의

포름알데히드가 발생하였다.

다음으로 목재 및 나무제품 제조업(가구 제외) 중 정제과정, 비금속 광물제품 제조업 중 도장도포와 혼합과정, 자동차 및 트레일러 제조업의 주조주물 공정 등의 순으로 나타났다<표 3>. 포름알데히드는 의료기관에서 조직 보존 및 고정제, 방부제, 기타 검사·분석 등의 목적으로 많이 취급하는 물질이며, 2002~2004년에 종합병원에서 노출기준을 초과하기도 하였다.<sup>7)</sup>

<표 3> 포름알데히드의 노출기준 초과 사업장 특징(업종, 공정, 센터)

순위	업종	공정
1	목재 및 나무제품 제조업(가구 제외)	접착
2	보건업	살균
3	보건업	검사
4	목재 및 나무제품 제조업(가구 제외)	정제
5	비금속 광물제품 제조업	도장도포
6	비금속 광물제품 제조업	혼합
7	자동차 및 트레일러 제조업	주조주물

#### 4. 관련 문헌 고찰

<표4>에서는 국내 문헌에서 조사된 업종별 공기 중 포름알데히드의 평균노출농도를 나타냈다. 목재 및 나무제품 제조업과 관련된 문헌에서의 노출농도의 기하평균은 각각 0.324 ppm(노출기준의 0.65배), 0.41 ppm(노출기준의 0.82배)으로 나타났으며, 측정 시 주로 포집병(Impinger)을 사용하였다.<sup>8), 9)</sup> 종합병원(보건업)의 경우 평균농도는 0.054±0.095 ppm으로 노출기준의 0.11배에 해당되는 수준으로 나타났다. 포름알데히드는 보건업 중 주로 병원에서 많이 사용되며, 검사실에서의 기하평균농도는 0.31 ppm(노출기준의 0.62배), 내시경실 0.056 ppm(노출기준의 0.11배)으로 나타났다.<sup>10), 11)</sup> 목재 및 나무제품 제조업과 보건업은 본 연구에서도 노출기준을 가장 많이 초과하는 업종으로 특별한 관리가 필요하다고 사료된다.

<표 4> 포름알데히드와 관련된 문헌

업종/공정	N	농도(ppm)		참고 문헌
		GM±GSD (Range)	평균 노출지수*	
목재 및 나무제품 제조업	93	Impinger: 0.324±2.132 (0.025-0.960) Passive: 0.324±1.822 (0.017-0.77)	0.65	8)

목재 및 나무제품 제조업(가구 제외)	58	Impinger: 0.41±2.63	0.82	9)
종합병원(검사실)	19	0.31 (0.02~3.86)	0.62	10)
종합병원(내시경실)	48	Passive :0.056±3.88 (0.003~0.923)	0.11	11)

GM : Geometric mean, GSD : Geometric Standard deviation

\* : 평균노출지수 = 평균측정농도/노출기준

## 요약 및 결론

본 연구는 허용기준 대상물질 13종 중 포름알데히드의 노출빈도(업종별, 공정별)와 노출기준을 초과하는 업종 및 공정을 파악하고 국내 관련문헌을 고찰하여 노출현황을 파악함으로써 근로자의 작업환경개선을 위한 근거자료를 제공하고자 하였다.

1. 노출빈도가 가장 높은 업종은 소매업이었으며, 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외) 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업>금속가공제품 제조업(기계 및 가구 제외) 등의 순으로 나타났다.
2. 포름알데히드를 취급하는 주요업종(10종)의 연도별 빈도분석 결과, 일시적으로 실행된 주유소 측정으로 인해 2004~2005년에는 소매업의 빈도가 크게 증가하였고, 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)과 보건업은 꾸준히 증가하는 경향을 보였다.
3. 포름알데히드의 공정별 분포를 조사한 결과, 도장도포가 가장 높았고, 투입>용접>준비>검사 등의 순으로 나타났다.
4. 연도별 공정분포는 도장도포가 다른 공정에 비해 높은 빈도를 차지하였으며, 일시적으로 수행된 주유소 측정으로 인해 2004~2005년에는 투입공정의 빈도가 크게 증가하였다.
5. 목재 및 나무제품 제조업(가구 제외)의 접착공정에서 포름알데히드의 노출기준을 초과하는 빈도가 가장 많았으며, 보건업의 살균과 검사공정에서도 노출기준을 초과하였다.
6. 국내 문헌에서 공기 중 포름알데히드의 평균노출농도지수가 목재 및 나무제품 제조업에서는 0.65~0.82로서 사업장의 관리가 필요한 수준(Action Level)이었으며, 종합병원(보건업)에서의 평균노출지수는 0.11~0.61 수준으로 나타났다.

이상의 연구 결과로 포름알데히드의 노출 빈도가 높고, 높은 농도에 노출되는 업종 및 공정을 중점적으로 관리함으로써 향후 작업환경개선 및 근로자 건강관리에 보다 효율적으로 활용될 수 있을 것이다. 🍷

#### 참고문헌

1. 정규철. 산업중독편람. 신광출판사. 442-445, 1995.
2. 김태형, 김정만, 원정일, 하현철, 정은교. 직업병 다발 화학물질 취급업종 표준환기 방안연구(보건분야-연구자료 연구원 2008-10-11). 산업안전보건연구원, 2008.
3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Documentation of Formaldehyde, 7th Edition. Cincinnati, OH; 2011
4. 노영만, 김치년 등. 작업환경 허용기준 도입을 위한 유해물질 선정 및 허용기준수준에 관한 연구. 산업안전보건연구원, 2006.
5. 고용노동부, 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준, 고용노동부고시 제 2013-38호.
6. 문경식. 신축 공동주택의 실내 공기질에 관한 기초연구. 동명대학교. 2005.
7. 노재훈 등. 보건의료기관 화학물질 사용실태 파악 및 관리방안 마련을 위한 연구(보건분야-연구자료 연구원 2006-56-732). 산업안전보건연구원, 2006.
8. 함성애, 문덕환. 능동포집법과 확산포집법에 의한 작업환경 중 포름알데히드 농도 비교. 한국산업위생학회지, 16(4), 346-355, 2006.
9. 박준제, 선병관, 손병철, 문덕환. 부산지역 일부 제조업 산업장의 작업공정별 공기중 특정 화학물질의 농도. 20(1), 401-417, 1999.
10. 박지영, 정문식. 일부 종합병원 조직검사실에서의 포름알데히드 노출에 관한 연구. 한국산업위생학회지, 8(1), 95-104, 1998.
11. 김정훈, 김대중, 김현욱. 일부 종합병원 내시경실 근무자의 포름알데히드 노출에 관한 연구. 한국산업위생학회지, 19(3), 195-201, 2009.