

디메틸포름아미드

대한산업보건협회 산업보건환경연구원 / 최아름, 임성국, 이귀영

서론

생활수준의 향상에 따라 편리함을 추구하는 인간의 욕구는 지속적으로 증대되고 있으며, 이러한 욕구를 충족시키기 위하여 새로운 용도의 화학물질을 끊임없이 개발하여 생산하고 있다. 그러나 이러한 화학제품은 여러 가지 사용상의 이점에도 불구하고 각종 직업병과 안전사고의 발생 및 환경오염으로 사람이나 환경에 유해·위험한 영향을 일으키기도 한다.¹⁾ 이에 우리나라에서는 여러 부처에서 화학물질을 규제하고 있으며, 고용노동부에서는 1983년 노동부 고시 제1호로 작업환경측정방법 고시 내에 분진과 유기용제를 비롯한 화학물질 등의 노출기준을 설정하였고, 지속적인 제개정을 통해 현재 699여종의 분진 및 화학물질에 대해 관리를 하고 있다.

특히 고용노동부는 발암성 물질 등 특히 유해성이 강한 물질로 인한 사고를 예방하기 위하여 '허용기준'제도를 도입하여 관리하고 있다. 산업안전보건법 제 81조의 4에 규정된 허용기준대상물질은 총 13종으로써, 납 및 그 무기화합물, 니켈(불용성 무기화합물), 디메틸포름아미드, 벤젠, 2-브로모프로판, 석면, 6가크롬화합물(불용성, 수용성), 이황화탄소, 카드뮴 및 그 화합물, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 노말hex산이 선정되어 있다. 허용기준대상물질은, 사업장 자체적으로 관리하고 노출기준초과 시 시정조치를 하도록 되어있는 노출기준설정물질과는 달리, 허용기준 초과 시 과태료를 내야 한다는 점에서 차이가 있다.

디메틸포름아미드(Cas No. 68-12-2, MW=73.09, BP=153 °C)는 허용기준대상물질 13종에 포함되는 물질로 무색 내지 담황색의 액체이며 암모니아와 비슷한 냄새가 약간 난다.²⁾ 사용량은 연간 약 7만

톤이며, 노출 가능한 근로자 수는 약 1,200여 명이다. 화학산업에서 용제나 첨가제 등으로 사용되었으며, 주로 인조피혁제조와 섬유코팅가공업, 우레탄이나 아크릴 섬유의 방사 등에서 수지나 폴리머를 녹이는 용제로 사용되고 있다. 또한 접착, 필름, 보호코팅, 프린트 잉크 등의 보조용제나 촉진제로 이용되기도 하며, 페인트 제거제의 성분으로도 사용되고 있다.³⁾

공기 중 노출기준은 우리나라 고용노동부와 ACGIH를 비롯하여, 독일, 일본, 유럽국가 등 모두 10 ppm(30 mg/m³)으로 규정되어 있으며, 피부표기를 하고 있다. 또한, 랫트에서 경구 및 경피투여 후 107주까지 종양발생이 없다는 연구에 근거하여 인간 발암물질로서 분류할 수 없는 물질(A4)로 분류되어 있다.⁴⁾

디메틸포름아미드에 의한 건강영향부위는 주로 간이지만, 혈액과 피부에도 영향을 줄 수 있으며 동물실험에 의하면 콩팥과 심혈관계에도 영향을 줄 수 있다. 급성 폭로 시, 복통과 식욕부진, 황달, 오심, 구토, 설사, 전격성 간염(대량 음용시) 등 소화기에 영향을 주며, 코와 눈 등 신체의 점막부위 및 피부자극을 유발한다. 또한, 안면, 목, 팔, 손, 가슴 부위 피부홍조나 협조운동의 어려움, 수면장애 등의 증상을 일으킬 수 있다.⁵⁾ 작업 중에 메스꺼움이나 복통 등의 소화기 증상은 용량이 증가함에 따라 호소율이 증가하며, 남자에서 알코올 불내성의 발생빈도도 디메틸포름아미드의 양이 증가함에 따라 증가한다.

디메틸포름아미드의 과다 노출에 따른 소견은, 간기능 장애 이외에도 이 물질이 인체 내에 축적되는 양에 따라 혈액응고와 혈소판에 영향을 주어 지혈장애를 일으킨다. 또한 아직 동물실험 연구에서 발암성에 대한 연관성은 미흡하나 디메틸포름아미드에 노출된 경우 고환암, 구강암, 인두암, 악성흑색종의 발생 빈도가 증가한다는 보고가 있다.

우리나라 직업병 발생사례를 살펴보면, 1995년과 2006년에 인조피혁가공공장서서 간염, 간경화로 인한 사망, 간독성이 보고되었고, 2007년에 특수용 코팅장갑 제조업 및 인조(합성)피혁 제조업체의 배합·세척작업에서 급성간염이 발생하였으며, 최근 2011~2012년에는 핫멜트 제조업 중 혼합 및 코팅공정에서 직업병 유소견자가 발생하였고, 잉크 제조업체의 배합 및 균질화 작업에서 급성 간질환이 발생하였다.⁶⁻⁷⁾

본 연구에서는 허용기준 대상물질 13종 중 디메틸포름아미드의 노출빈도(업종별, 공정별)와 높은 농도에 노출되는 업종·공정을 파악하고 국내외 관련 문헌을 고찰하여 노출현황을 파악함으로써 근로자의 직업환경개선을 위한 근거자료로 활용하고자 한다.

연구 방법

1. 조사 대상 및 항목

본 연구의 자료 출처는 2004~2011년까지 대한산업보건협회 작업환경측정 자료이며, 측정 대상의 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. 통계적 분석

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 디메틸포름아미드의 연도별 업종 분포를 10순위로 나타내었다. 노출빈도가 가장 높은 업종은 섬유제품 제조업(의복 제외)이었으며, 다음으로 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외), 고무제품 및 플라스틱 제품 제조업, 가죽·가방 및 신발 제조업 등의 순으로 조사되었다.

2004년도 제조업체 작업환경 실태조사에 따르면, 화합물 및 화학제품 제조업>섬유제품 제조업(봉제의복 제외)>고무 및 플라스틱 제조업 등의 순으로 디메틸포름아미드를 취급하였으며,⁸⁾ 윤충식 등(2007)의 연구에서도 디메틸포름아미드를 취급하는 196개 사업장을 대상으로 업종별(중분류) 분포를 조사한 결과, 화합물 및 화학제품 제조업이 가장 많았고, 다음으로 섬유제품 제조업(봉제의복 제외), 가죽·가방 및 신발 제조업, 고무 및 플라스틱 제조업 등의 순으로, 본 연구와 순위는 차이가 있었지만 공통된 업종의 빈도가 높은 것으로 나타났다.⁹⁾

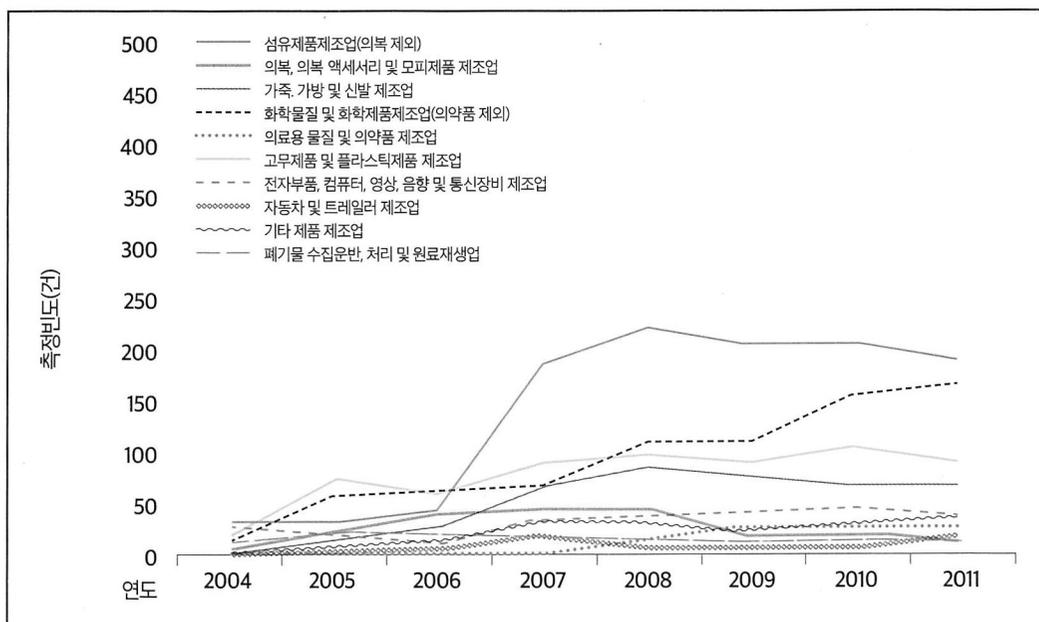
이 연구들은 사업장 수를 기준으로 업종분류를 한 것으로서, 측정시료의 건수를 기준으로 분류한 본 연구결과와는 차이가 있을 수 있고, 자료의 범위나 시기 등에 의한 차이도 있을 것으로 사료된다.

<표 1> 디메틸포름아미드의 노출빈도가 높은 업종

순위	업종명
1	섬유제품 제조업(의복 제외)
2	화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)
3	고무제품 및 플라스틱 제품 제조업
4	가죽, 가방 및 신발 제조업
5	의복, 의복 액세서리 및 모피제품 제조업
6	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업
7	기타 제품 제조업
8	폐기물 수집운반, 처리 및 원료재생업
9	의료용 물질 및 의약품 제조업
10	자동차 및 트레일러 제조업

디메틸포름아미드를 취급하는 주요 업종(10종)의 연도별 빈도를 살펴보면, 대부분 2004년도부터 2008년도까지 증가하다가 그 이후로는 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 특히, 섬유제품 제조업(의복 제외)은 2007년의 빈도가 2006년에 비해 매우 크게 증가한 것으로 나타났다.

이는 특정지역에서 2007년부터 큰 규모(약 700명)의 섬유공장에 대해 디메틸포름아미드의 측정을 실시했기 때문이며, 2006년 이전보다 10배 이상 높은 수준이었다. 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)은 2011년까지 지속적으로 증가하는 추세를 보였으며, 다른 물질에 비해 큰 폭으로 증가하였다(그림 1). 대부분의 업종들은 1~10개의 공정에서 디메틸포름아미드가 사용되고 있었으나, 화학물질 및 화학제품 제조업은 50개 이상의 많은 공정에서 취급하기 때문에 노출빈도가 높은 것으로 사료된다.



<그림 1> 디메틸포름아미드의 연도별·업종별 노출빈도

2. 공정별 노출 빈도 현황

디메틸포름아미드의 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, 금속, 직물, 종이 등을 공기, 물, 약품 등으로부터 보호하기 위하여 차단하는 코팅공정에서 디메틸포름아미드의 노출빈도가 가장 높았다. 코팅공정은 배합된 코팅제를 도포하는 작업으로, 수세와 응고과정의 유무에 따라 습식과 건식으로 구분할 수 있다. 코팅제로 사용되는 디메틸포름아미드는 용제의 보충작업이나 코팅기 및 작업점검, 청소, 수시 출입 등으로 인해 근로자가 노출될 수 있으며, 주로 합성피혁 제조업과 섬유코팅가공업에서 많이 사용된다.⁹⁾

다음으로 디메틸포름아미드의 노출빈도가 높은 공정은 혼합공정(중분류)으로, 세분류 공정은 두 가지 이상의 것을 한데 섞거나 일정한 비율로 알맞게 섞어 합치는 혼합공정이 많았고, 이어 준비>반응>정제>접착 등의 순으로 나타났다<표 2>.

준비공정에는 도장준비와 마킹, 원료입고, 실험실, 청소 등의 세부공정 등으로 구분되며, 그 중에서도 실험실 공정의 노출빈도가 높았다. 화학실험실에 있어 유기용제와 특정화학물질이 근로자의 건강에 영향을 주며, 유기용제는 실험실 작업 중 용해, 추출, 합성, 세정 등에서 노출되어 단시간 또는 장시간 반복하여 비교적 고농도로 폭로될 수 있다.¹⁰⁾

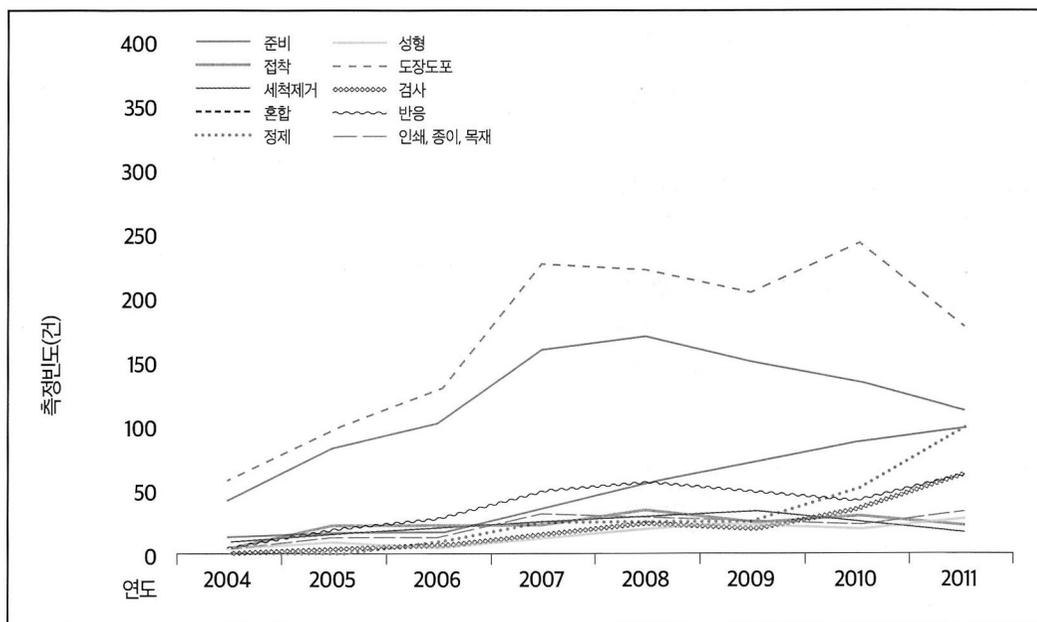
<표 2> 디메틸포름아미드의 노출빈도가 높은 공정

순위	공정명
1	도장도포
2	혼합
3	준비
4	반응
5	정제
6	접착
7	검사
8	인쇄, 종이, 목재
9	세척제거
10	성형

<그림 2>는 디메틸포름아미드를 취급하는 주요공정(10종)의 연도별 빈도를 나타낸 결과이다. 접착과 도장도포, 세척제거, 반응공정은 2004년부터 2008년까지 증가하다가 그 이후로 감소하는 경향을

보였으며, 성형 및 반응, 인쇄, 종이, 목재공정은 조금씩 증가하다가 2009~2010년에 감소하였으나, 2011년에는 다시 증가하였다. 그러나 준비나 도장도포 등에 비해서는 낮은 빈도였다. 준비공정과 정제공정은 2004년부터 2011년까지 꾸준히 증가하였고, 특히, 정제공정은 2011년에 매우 큰 폭으로 빈도가 증가하여 2010년에 비해 2배 이상 높은 것으로 나타났다.

한편, 도장도포와 혼합공정은 2008년 이후로 조금씩 감소하였지만, 다른 공정보다 3~5배 이상 높은 빈도를 차지하고 있었다. 두 공정에서의 디메틸포름아미드 노출에 대하여 2007년의 빈도가 2006년에 비해 매우 크게 증가하였으며, 2010년의 경우, 혼합공정은 감소한 데 반해, 도장도포공정은 연도 중 가장 높은 빈도를 나타내었다(그림 2). 도장도포공정과 혼합공정은 2007년에 급격히 증가한 섬유제품 제조업의 영향으로 크게 증가된 것으로 생각된다.



<그림 2> 디메틸포름아미드의 연도별·공정별 노출빈도

3. 노출농도가 높은 업종 및 공정

디메틸포름아미드에 높은 농도로 노출되는 업종 및 공정을 조사한 결과, 대부분 제조업에서 많이 발생하였으며, 도장도포 및 혼합공정에서 주로 노출되었다. 기타제품 제조업에서의 도장도포 공정이 가장 많았으며, 가죽, 가방 및 신발 제조업 중 도장도포, 기타 제품 제조업 중 혼합공정 등의 순으로 나타났다. 도장도포와 혼합공정에서 고농도로 노출되는 기타 제품 제조업 모두 인조피혁 등을 생산하는 합성피혁 생산업체들이었다.

본 연구는 세 분류의 공정을 포함한 중분류를 결과로 나타내었으며, 도장도포에 해당하는 세부공정은 모두 코팅공정이었고, 혼합공정은 조색 및 안료혼합, 고상믹스 등을 포함하였다.

하권철 등(2008)은 디메틸포름아미드를 취급하는 업종별 공정 중 봉제의복 및 모피제품 제조업의 코팅공정, 섬유제품 제조업의 가공, 배합, 실험실, 코팅 공정 등을 가장 위험한 공정으로 평가하여,³⁾ 본 연구에서 노출농도가 높은 일부 업종 및 공정과 관련이 있는 것으로 조사되었다.

한편, 잉크 생산업체와 피혁코팅업체를 대상으로 한 연구에서 공기 중 디메틸포름아미드의 농도는 잉크 생산이 피혁코팅보다 높았으며, 공정별로는 잉크생산>코팅>합지>배합 등의 순으로 나타나,¹¹⁾ 코팅 및 혼합(배합) 공정에서의 노출농도가 공통적으로 높은 수준임을 보여주었다. 디메틸포름아미드의 노출은 코팅제를 보관하고 있는 용기의 밀폐상태에 따라 노출정도가 달라지고 코팅제를 도포하는 과정에서도 노출될 가능성이 있으며, 배합공정에서는 배합이나 근로자가 직접 비율확인 및 염료를 투입하는 작업에서 고농도에 노출될 가능성이 있다.⁹⁾

<표 3> 디메틸포름아미드의 노출농도가 높은 업종 및 공정

순위	업종	공정
1	기타 제품 제조업(합성피혁)	도장도포(코팅)
2	가죽, 가방 및 신발 제조업	도장도포(코팅)
3	기타 제품 제조업(합성피혁)	혼합
4	고무제품 및 플라스틱제품 제조업	도장도포(코팅)
5	의복, 의복액세서리 및 모피제품 제조업	도장도포(코팅)
6	비금속 광물제품 제조업	혼합

4. 관련 문헌 고찰

국내문헌에서 조사된 공기 중 디메틸포름아미드의 평균노출농도는 1.56~15.05 ppm의 범위로 나타났다. 대부분 합성피혁 제조 사업장을 대상으로 하였으며, 주로 코팅공정과 혼합공정에서의 노출평가를 실시하였다(표 4).

도장도포 공정의 일부분인 습식 코팅공정(합성피혁)에서는 기하평균농도가 15.05 ppm(노출기준의 0.31배), 건식 코팅공정 5.58 ppm(노출기준의 0.11배)으로 습식이 건식보다 높은 농도를 보였으며, 혼합공정의 경우도 습식혼합(합성피혁)에서의 기하평균농도가 8.81 ppm(노출기준의 0.18배), 건식혼합(합성피혁) 6.03 ppm(노출기준의 0.12배)으로 습식이 건식보다 높은 농도 수준을 보였다.¹²⁾ 합성피혁 제조업 중 배합공정에서 건식은 주로 톨루엔과 메틸에틸케톤을, 습식공정은 주로

디메틸포름아미드를 용제로 첨가하며, 건식은 열풍건조과정에서 증발되지만 습식은 수세과정에서 디메틸포름아미드가 수세조 물속으로 녹아나오게 된다. 따라서 습식공정은 천연피혁의 구조와 유사한 미세구조를 생산할 수는 있지만, 근로자가 디메틸포름아미드에 과노출될 가능성이 커진다.¹³⁾

<표 4> 디메틸포름아미드와 관련된 문헌

업종/공정	대상자	농도(ppm)				참고 문헌
		AM±SD	평균 노출 지수*	GM(GSD)	평균 노출 지수*	
습식 코팅 (합성피혁)	37			15.05(2.97) (1.00-179.0)	0.31	12)
건식 코팅 (합성피혁)	21			5.58(3.22) (0.09-53.0)	0.11	12)
코팅 (합성피혁)	15			1.56 (1.12-1.90)	0.16	14)
코팅	4	12.17±6.89 (4.56-18.35)	1.22			3)
습식 혼합 (합성피혁)	22			8.81(2.51) (1.00-33.0)	0.18	12)
건식 혼합 (합성피혁)	9			6.03(1.78) (1.89-14.0)	0.12	12)
혼합 (합성피혁)	20			5.24 (2.9-10.22)	0.52	14)
혼합	3	4.96±0.86 (4.05-5.77)	0.50			3)
합성피혁	268			4.68 (0.02-20.26)	0.47	14)

AM : Arithmetic mean, SD : Standard deviation, GM : Geometric mean, GSD : Geometric Standard deviation

* : 평균노출지수 = 평균측정농도/노출기준

결론

본 연구는 허용기준 대상물질 13종 중 디메틸포름아미드의 노출빈도(업종별, 공정별)와 높은 농도에 노출되는 업종 및 공정을 파악하고 국내 관련문헌을 고찰하여 노출현황을 파악함으로써 근로자의 작업환경개선을 위한 근거자료로 활용하고자 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 노출빈도가 가장 높은 업종은 섬유제품 제조업(의복 제외)이었으며, 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외), 고무제품 및 플라스틱 제품 제조업, 가죽·가방 및 신발 제조업 등의 순이었다.
2. 디메틸포름아미드를 취급하는 주요업종(10종)의 연도별 빈도분석 결과, 대부분 2004년도부터 2008년도까지 증가하다가 그 이후로는 조금씩 감소하는 경향을 보였고, 섬유제품 제조업(의복 제외)은 2007년의 빈도가 2006년에 비해 매우 크게 증가하였다.
3. 디메틸포름아미드의 공정별 분포를 조사한 결과, 도장도포가 가장 높았고, 혼합<준비>반응<정제>접착 등의 순으로 나타났다.
4. 연도별 공정분포는 접착과 도장도포, 세척제거, 반응공정은 2004년부터 2008년까지 증가하다가 그 이후로 감소하는 경향을 보였으며, 성형 및 반응, 인쇄, 종이, 목재공정은 조금씩 증가하다가 2009~2010년에 감소하였으나, 2011년에는 다시 증가하였다. 도장도포와 혼합공정은 2008년 이후로 조금씩 감소하였지만, 다른 공정보다 3~5배 이상 높은 빈도를 차지하고 있었다.
5. 디메틸포름아미드에 높은 농도로 노출되는 업종 및 공정을 조사한 결과, 기타제품 제조업(합성피혁)에서의 도장도포 공정이 가장 많았으며, 가죽, 가방 및 신발 제조업 중 도장도포, 기타제품 제조업(합성피혁) 중 혼합공정 등의 순이었다.
6. 국내 연구에서 공기 중 디메틸포름아미드의 평균노출농도는 1.56~15.05 ppm의 범위로 나타났다. 대부분 합성피혁 제조 사업장을 대상으로 주로 코팅공정과 혼합공정에서의 노출평가를 실시하였으며, 코팅 및 혼합공정에서 습식이 건식보다 노출농도가 높은 경향을 보였다.

이상의 연구결과로 디메틸포름아미드의 노출 빈도가 높고, 높은 농도에 노출되는 업종 및 공정을 파악하여 관리함으로써 향후 작업환경개선 및 근로자 건강관리에 보다 효율적으로 활용될 수 있을 것이다. ☺

참고문헌

1. 이권섭, 임청홍, 이종한, 이혜진, 양정선, 노영만, 국원근, GHS 화학물질 분류기준과 분류결과의 비교 및 화학물질 정보자료의 활용방법 연구, 한국산업위생학회지, 18(1):62-71, 2008
2. 정규철. 산업중독편람. 신광출판사. 474-478, 1995
3. 하권철, 박동욱, 윤충식, 최상준, 이광용, 백도현, 남택형, 이재환, 이종근, 정은교, DMF 취급 사업장에 대한 매트릭스 적용 및 위험성 평가연구, 한국산업위생학회지, 18(4):303-309, 2008
4. American Conference Governmental Industrial Hygienists(ACGIH), Documentation for Dimethylformamide, Cincinnati, OH, 2001
5. 안전보건공단, N,N-디메틸포름아미드(을) 취급 근로자의 건강관리지침, KOSHA CODE H-34, 2004
6. 노영만, 김치년 등. 작업환경 허용기준 도입을 위한 유해물질 선정 및 허용기준수준에 관한 연구. 안전보건공단 2006
7. 안전보건공단, DMF에 의한 건강장해예방, 직업건강-526, 2012
8. 한국산업안전공단, 화학물질 유통·사용 실태조사 결과보고서: 디메틸포름아미드, 한국산업안전보건공단 산업보건국, 2007
9. 윤충식, 하권철, 이상만 등, 디메틸포름아미드 취급 근로자의 급성 중독 예방 및 관리대책 연구, 안전보건공단 산업안전보건연구원, 2007
10. 이광목, 염용태, 박정일, 노재훈, 작업공정별 보건관리매뉴얼, 대한산업보건협회, 1992
11. 황양인, 이미영, 정윤경, 김은아, 국내 합성피혁제조업 근로자에 대한 디메틸포름아미드의 공기 중 농도와 생물학적 노출지표간의 상관성 평가, 한국분석과학회지, 26(5):315-325, 2013
12. 최호춘, 김강윤, 안선희, 이영자, 정규철, 일부 합성피혁 근로자들의 Dimethylformamide, Methyl Ethyl Keton, Toluene 노출에 따른 요중 대사물질, 한국산업위생학회지, 11(2): 135-144, 2001
13. 안전보건공단 산업안전보건연구원, 유해인자에 의한 건강영향과 관리-디메틸포름아미드-, 2002
14. 이선우, 김태형, 김정만, 디메틸포름아미드(DMF)에 대한 단시간 노출기준 설정의 필요성에 관한 연구-합성피혁사업장 중심으로, 한국산업위생학회지, 18(1); 80-90, 2008