

포름알데히드(HCHO)와 휘발성유기화합물(VOCs)이 산업현장 작업자에게 미치는 유해성 고찰



서 종 원
신홍대학환경위생과 교수

1. 서론

각종 산업현장에서의 작업자에 대한 유해물질(Hazardous Substances)의 폭로는 작업의 형태와 목적에 따라 그 유형이 다양하기 때문에 이 유해물질들로부터 작업자의 건강을 보호하기 위하여 산업환기장치가 사용되고 있으며 그 수요 또한 증가되고 있는 실정이다.

또한 일반 실내생활공간에서도 각종 건축 및 설비 자재가 고급화됨에 따라 제조과정에서 유입된 유해물질들이 증기 및 가스의 형태로 장기간 지속적으로 실내공기를 오염시키고 있다. 이러한 유해물질들은 크게 입자상물질, 중금속의 Fume, Mist, Gas상물질, VOCs(Volatile Organic Compounds) 등으로 구분되며, 특히 이들 중 VOCs와 포름알데히드는 최근 작업현장과 실내공간에서 인체에 노출될 경우 발암성물질로 알려지면서 관심의 대상이 되고 있다. 따라서 각 작업장에서는 이러한 유해물질들의 배출을 목적으로 산업환기시스템을 적용하고 있으며 대부분 산업환기장치는 공기정화장치에 입자상물질을 포집하기 위하

여 물리적방법의 Filter를 사용하거나 유기용제 및 Gas의 처리를 목적으로 통합된 Gas처리장치를 사용하고있는 실정이다.

선진국에서는 수백종의 VOCs 및 유해가스를 규제 대상으로 하고 있으며 이와 같은 유해물질 취급시 유해물질의 특성에 맞는 적절한 산업환기장치를 설치하고있다.

본 고에서는 작업장과 실내생활공간에서 실내공기를 오염시키는 유해물질 중 포름알데히드(HCHO)와 휘발성유기화합물(VOCs)의 유해성에 관하여 기술하고자한다.

2. 휘발성 유기화합물(VOCs)의 분류

일반적으로 작업장 및 건설현장, 일상생활에서 주원료 및 제품 첨가제로 사용되고 있는 휘발성 유기화합물(VOCs)의 종류는 매우 다양하다. 이러한 VOCs는 크게 방향족탄화수소(Aromatic Compound)와 불포화탄화수소(Olefin Compound)의 두가지 형태로 분류할 수 있으며, Benzene C₆H₆계열의 유기용제가 대표적인 방향족탄화수소인데 이 물질들의 휘발된 증기가 공기중에 확산되어 인체에 직접 작용하면 유해성이 매우 크다.

이러한 VOCs는 산업체에서 많이 사용되고있는 용매와 화학 및 제약공장, 플라스틱의 건조공정에서 배출되는 유기가스 등 그 쓰임이 매우 다양하며 저비점 액체연료, 파라핀, 올레핀, 방향족화합물 등 우리 생활 주변에서 흔하게 사용되는 탄화수소류들이 거의 VOCs이다. VOCs는 독성화학물질이고(특히 방향족 화합물 및 할로겐화 탄화수소물질), 광화학산화물의

작용물질(Olefin류의 탄화수소가 광화학반응성이 큼)로서 성층권의 오존층 파괴물질이기도 하며, 지구온난화에도 영향을 주고 있다.

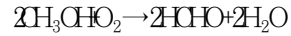
그러나 통상 넓은 의미에서 대기압, 상온에서 기체 상태로 존재하는 유기화합물들도 VOCs에 포함시키고 있다. 표 1은 OECD에서 규정한 VOCs의 인위적인 배출원을 나타낸 것이다.

표 1. VOCs의 인위적 배출 분류표(OECD)

VOCs sources	details	
Mobile Sources	Road traffic	Passenger cars, Light-duty trucks, Heavy-duty trucks, Motor cycles
	Other mobile sources	Gasoline, Diesel, Other fuels (LPG, etc.)
Power Plant		Shipping, Railroad, Air traffic, Off-high(tractors, etc.)
Non-industrial combustion	Residential and commercial heating, District heating, Internal combustion engines	
	Combustion Processes, Storage and handling	
Industrial	Petroleum industry	Refineries, Gas and oil production, Gasoline marketing
	Chemical and Petrochemical industry	Combustion Process, Storage, transfer, handling
	Iron and steel industry	Combustion Process
	Non-ferrous metal industry	Combustion Process
	Pulp and paper industry	Combustion Process
	Other industry	Combustion Process
Organic solvent evaporation	Industrial solvent use, Flat wood panelling manufacture	Metal surface coating, Degreasing (metal cleaning), Printing and fabric coating
	Other	
Waste and wastewater treatment	Non-industrial solvent use	Dry cleaning, Commercial and domestic painting, Other domestic solvent use
	Incineration, Storage and landfill, Waste and wastewater treatment	
Agriculture and food industry	Food industry	Fermentation process, Vegetable oil extraction, Other
	Agriculture	Open burning, Fertilizers, Animal farming (manure)
Natural sources	Forests	

3. 포름알데히드(HCHO)의 성상

포름알데히드는 물에 잘 용해되는 무색의 자극성 기체상태의 물질로 250℃~300℃ 상태에서 공기와 메탄올(CH₃OH)을 Cu 또는 Ag 망 촉매에 통과시킴으로써 제조된다.



이때 생성되는 기체상태의 생성물이 물에 용해된 40% 수용액을 포르말린(Formalin)이라고 한다. 이러한 포름알데히드는 하드보드, 합판, 접착제, 장식용 판, 테이블탑, 벽판, 몰딩, 전화기 및 주방용품 등의 생산에 사용되고 있으며 그 외에도 고무, 사진필름, 가죽, 폭발물, 염료, 화장품, 부식방지제, 방부제 등으로 이용되고 있다.

4. HCHO의 발생원에 대한 오염정도

포름알데히드는 요소계나 페놀계의 포름알데히드 합성수지의 생산에 이용되는 중요한 화학물질이다. 이들의 합성수지는 파티클보드, 섬유판, 합판 등을 생산할 때 접착제로 사용되며 농축한 요소 포름알데히드는 코팅이나 종이의 생산과정에도 사용된다. 또한 가구, 건축자재, 포름알데히드 수지를 포함하는 텍스타일에서도 발생한다.

미국의 경우 에너지 절약의 대책으로서 사용된 단열재 UFF(요소포름알데히드 발포수지)에 의한 오염이 매우 심각하다. 과거 UFF는 미국에서 50만 가구, 캐나다에서 10만 가구의 주택에 사용되었으나(Turiel)이 부분에 관해서는 에너지 절약대책에 따른 환기량 감소와 HCHO 발생량의 증가라는 2가지 문제점이 제시되었다.

표2는 일본에서 측정된 각종 건축자재의 HCHO 발생량을 나타내었다(長田)

표2. 자재별 HCHO의 발생량

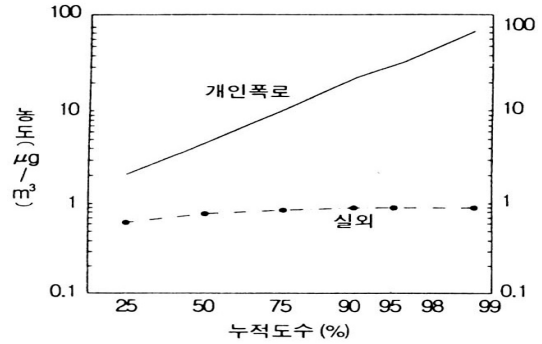
시 료	발생량
책(두께 2cm)	1.1 $\mu\text{g}/\text{책}/\text{hr}$
샌들	1.1 $\mu\text{g}/\text{족}/\text{hr}$
아동용 운동화	1.6 $\mu\text{g}/\text{족}/\text{hr}$
사무실 카펫	0.2 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{hr}$
천정재(불연성)	0.3 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{hr}$
베니아합판	18.0 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{hr}$
보통합판	8.3/100 cm^2/hr
천연목화 합판	10.7 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{hr}$
특수가공 합판	3.9 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{hr}$
특수가공 폴리에스텔 합판	10.7 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{hr}$
담배	107 $\mu\text{g}/\text{개피}$

5. 인체에 미치는 영향

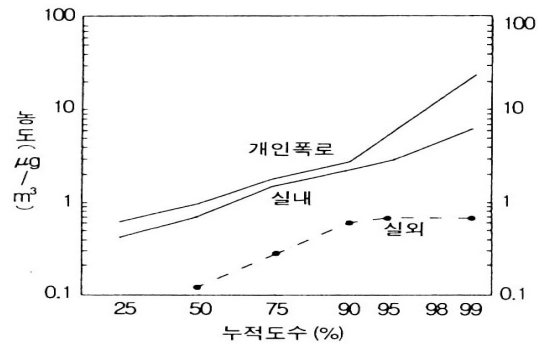
가. HCHO의 영향

포름알데히드 수치에서 발생된 포름알데히드 증기는 일반인에게 발생하는 중요한 노출인자 중의 하나이다. 사람이 포름알데히드에 단기간 노출되면 눈, 코, 기관지에 심한 자극을 느끼며 두통, 어지러움, 눈물을 흘리게 되고 장기간 노출된 경우는 피부에 알레르기 성 접촉성 피부염 및 습진을, 호흡기계에는 기침, 가래, 천식, 만성 기관지염 등의 폐쇄성 폐 증상을 일으키며, 생식기에 대한 영향으로는 자연유산과 저체중아 출산, 임신중독증 등을 유발하게 된다. 또한 동물실험 결과 발암성을 지니고 있다고 밝혀졌으며, 만성적으로 포름알데히드에 노출된 사람은 구강암과 다발성골수종, 비강암과 부비강암의 이환율이 높다고 보고된 바 있다. 이러한 포름알데히드를 실내에서 완전히 제거하는 방법은 현재 개발되지 않았으며 주로 환기장치를 이용하여 배출시키는 방법이 작업장을 중심으로 사용되고 있다. 그러나 최근에는 일반 주거환경에서도 포름알데히드의 발생량이 증가하고 있으며 이에 대한 대책마련이 시급한 실정이다.

나. VOCs의 영향



(a)



(b)

그림 1. 주택 및 건물실내에서 VOCs의 개인 폭로농도

많은 종류의 VOCs가 실내공기 중에 확인되고 있으며 그 종류로는 지방족이나 방향족의 탄화수소, 염화탄화수소, 케톤류, 알데히드류 등이 포함된다. 이들 중 벤젠, 테트라크로로에틸렌 등은 발암성물질로 구분되며 최근 구미에서는 VOCs가 SBS(빌딩증후군)의 주요 원인물질로 판명되는 상당수의 연구결과가 보고되고 있으나, 여러형태의 실내공간에 존재하는 VOCs의 인체에 미치는 건강영향에 관해서는 현재까지도 잘알려져 있지 않다.

그림1은 미국의 단독주택과 고층빌딩을 대상으로 실내 거주자의 VOCs에 대한 개인폭로농도의 누적도수분포를 측정한 예이다. (Wallace 1990)

6. VOCs와 HCHO의 발생량 및 규제

(1) VOCs

미국 EPA에서는 VOCs를 다음과 같이 정의하여 규제하고 있다.

VOCs는 대기 중에서 태양광선에 의해 질소산화물(NOx)과 광화학 산화반응을 일으켜 지표면의 오존농도를 증가시키고 스모그현상을 일으키는 휘발성 유기화합물이다. 대표적인 물질들로서 벤젠, 톨루엔, 프로판, 부탄, 헥산 등 318종의 물질과 이들 물질이 포함된 진증기압(True Vapor Pressure :TVP)이 15psia 이상인 석유화학제품 및 유기용제 등으로 정의한다. 단 메탄, 에탄, 메틸클로라이드, 메틸클로르포름, 클로르플로르탄소류 및 퍼플로르탄소류 등의 화합물은 제외한다.

유럽의 경우는 레이드증기압(Reid Vapor Pressure)이 27.6kPa(4.01 psia) 이상인 석유류 제품을 VOCs로 규정하고 있으며 액화석유가스는 제외하고 있다.

독일에서 수집된 VOCs의 주요 발생원을 보면 표 3과 같다.

표 3. 사무실내의 VOCs 발생원과 종류

발생원	성분
나무바닥 왁스	1,4-디에틸벤젠, 부틸벤젠, 데칸, 1,2,5-트리메틸벤젠
카페트세제	1-노넨, 에틸벤젠, 자일렌, 리오넨
천정세제	방향성을 가지는 수용액
세라믹바닥의 세제	리모넨, P-시멘, 운데칸, α-피넨
돌바닥의 세제	리모넨, P-시멘

이들은 미국과 거의 같은 기준을 규정하고 있으며 유해화학물질 중 메탄을 제외하고 있다. 특히 일본의 경우 1980년대 초반부터 현재까지 많은 연구자들이 VOCs에 대한 배출량 기초조사를 하여 실내 및 작업장의 VOCs 농도를 관리하고 있다.

표 4. 접착제 사용 작업장의 VOCs 농도변화

조 건		작 업 중		작업후			
작업자 위치 (책상위 0.3m)	사이클로헥산ppm	-	2 2	<1	<1	1 2 <1	
	아세톤ppm	-	1 8	9	12	1 7 2	
	초산 n부틸ppm	-	-	-	-	- - -	
	메틸소부틸케톤ppm	-	-	3 6	<1	- 3 -	
	톨루엔ppm	-	-	-	-	- - -	
작업자 1m후방 (바닥위 1.2m)	사이클로헥산ppm	-	2 3	2	- 3	<1 2	
	아세톤ppm	-	-	2	-	10 2 7	
	초산 n부틸ppm	-	-	-	-	- - -	
	메틸소부틸케톤ppm	-	-	-	3	- - -	
	톨루엔ppm	-	-	-	-	- - -	
작업자 2m후방 (바닥위 1.2m)	사이클로헥산ppm	-	-	2 3	<1	2 3 2	
	아세톤ppm	-	-	8 1	8	8 2 10	
	초산 n부틸ppm	< 환기 기동 >					
	메틸소부틸케톤ppm	-	-	-	-	- - -	
	톨루엔ppm	-	-	-	-	- - -	

조 건		작 업 중		작업후					
작업자 위치 (책상위 0.3m)	사이클로헥산ppm	3	3	4	5	5	5	6	4
	아세톤ppm	9	13	12	15	16	19	20	16
	초산 n부틸ppm	-	-	-	-	-	-	-	-
	메틸소부틸케톤ppm	-	-	4	3	5	5	5	4
	톨루엔ppm	-	-	-	-	-	-	-	-
작업자 1m후방 (바닥위 1.2m)	사이클로헥산ppm	2	3	5	6	5	5	7	5
	아세톤ppm	8	12	17	21	16	18	24	17
	초산 n부틸ppm	-	-	-	-	-	-	-	-
	메틸소부틸케톤ppm	-	-	6	4	5	6	8	6
	톨루엔ppm	-	-	-	-	-	-	-	-
작업자 2m후방 (바닥위 1.2m)	사이클로헥산ppm	<1	3	4	5	4	5	6	5
	아세톤ppm	2	11	15	16	12	19	22	18
	초산 n부틸ppm	< 환기 기동 >							
	메틸소부틸케톤ppm	-	-	-	-	-	-	-	-
	톨루엔ppm	-	-	-	-	-	-	-	-

표 4는 일본의 한 폐기물 도색 작업장에서 발생되는 VOCs 농도 변화를 환기 시설 가동 유무에 따라 측정 한 예이다.

현재 국내 환경부에서 규제대상 VOCs로 고시하고 있는 물질(환경부고시, '98.7.1)은 레이드증기압, 광화학반응성, 물질사용량, 발암성 등 유해성을 감안하여 31개를 선정하여 규제하고 있으며 앞으로 규제대상 물질을 점차로 확대하여 나갈 계획으로 있다. 표 5는 국내에서 규제하고 있는 31종의 VOCs 물질들이다.

나. HCHO(포름알데히드)

건축마감재, 접착제용도로 사용되는 포름알데히드에 오랜 시간 노출되면 두통, 빈혈, 기침, 천식, 신경장애 등을 유발시키는 것으로 알려져 있다. 그럼에도 불구하고 신축건물증가로 인하여 본 물질에 대한 사용에 대한 수요치가 현저히 증가하고 있는 현실이다.

표 5. 국내의 규제대상 VOCs 물질 (31종)

Acetaldehyde	Acetylene	Acetylene dichloride	Acrolein
Acrylonitrile	Benzene	1,3-butadiene	Butane
1-butene, 2-butene	Carbon tetrachloride	Chloroform	Cyclohexane
1,2-dichloroethane	Diethylamine	Dimethylamine	Ethylalcohol
Ethylene	Formaldehyde	n-Hexane	Isopropyl alcohol
Methane	Methyl ketone	Methylene Chloride	Methyl tertiary butylether
Propylene	Propylene oxide	1,1,1-Trichloroethane	Trichloroethylene

이러한 규제조치에도 불구하고 밀폐된 작업장과 실내 생활공간에서의 포름알데히드에 대한 노출이 빈번히 발생되고 있다.

한편 미국정부의 산업위생전문가협의회(AACPH)의 TLM(Threshold Limit Value)위원회에서는 포름알데히드를 1981년 발암성 추정 물질 (Suspected Carcinogen, A2)로 제안한 이래 계속 그 기준을 낮추어 왔으며, 1989년 동물실험과 역학조사를 기초로 발암성 추정물질로 규정하고 극한값(Ceiling)을 0.3ppm으로 하여 현재에 이르고 있다.

또 미국산업안전보건연구원(NIOSH)에서는 잠재적 발암성 추정물질로 시간가중 평균치(Time Weighted Average, TWA)는 0.016ppm, 극한값은 0.1ppm으로 더 낮게 권고(NIOSH, 1994)하고 있으며, 1992년 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서는 허용기준을 시간가중 평균치 0.75 ppm, 단시간 노출 허용농도(Short Term Exposure Limit, STEL) 2 ppm(OSHA, 1989)으로 낮추었다. 우리 나라에서는 산업안전보건법상 발암성 추정물질로 되어 있으며, 특정화학물질 제3류로 TLV-TWA 1ppm, TLV-STEL 2ppm, TLV-C 2ppm으로 규제하고 있다.

표 6은 HCHO에 대한 각국의 규제기준이다. 특히 국내에서는 실내생활공간에 대한 규제기준이 없으며 여러 형태의 건물내에서의 실측자료가 전무한 실태이므로 이에 대한 연구가 시급하다고 볼 수 있다.

표 6은 HCHO에 대한 각국의 규제기준이다. 특히 국내에서는 실내생활공간에 대한 규제기준이 없으며 여러 형태의 건물내에서의 실측자료가 전무한 실태이므로 이에 대한 연구가 시급하다고 볼 수 있다.

표 6. HCHO의 각국기준

국 가	기준값(ppm)	
한 국	2이하	
미 국	캘리포니아	0.2
	미네소타	0.5
	위스콘신	0.2
덴 마 크	0.12	
네 덜 란 드	0.1	
스 웨 덴	0.4~0.7	
독 일	0.1	
미 국 (CSHA) 작업환경기준	3.0(TLV-TWA)	
	5.0(TLV-C)	

7. 맺음말

국내의 작업장과 건축물의 실내공기에 배출되는 특정 유해물질 중 VOCs와 포름알데히드의 농도는 기준값에 비해 3-5배 가량 높을 것으로 추정되며 지속적으로 발생하는 이들 유해물질의 농도는 최소 1-2년 이상이 경과되어야 저농도 상태가 되는 것으로 외국 학계에 보고되고 있다.

또한 VOCs와 포름알데히드에 대한 유해성이 매우 큰 것으로 밝혀짐에 따라 이 물질들의 실내농도의 분포현황을 파악하는 것이 우선적인 과제이다.

따라서 VOCs와 포름알데히드를 제거할 수 있는 복합적인 환기시스템을 적용할 경우 작업장과 대다수 실내공간에서 생활하는 거주자들의 건강을 발암성 물질인 VOCs나 포름알데히드로부터 보호할 수 있고, 작업장과 실내생활공간에서 VOCs와 포름알데히드의 발생과 거동에 관한 기초조사가 전무한 국내의 사정으로 불매이에 대한 연구와 기술적인 측정 DB의 구축이 절실히 요구되고 있다.

또한 이러한 유해물질 제거용 환기시스템 설계 및 제어 운용기술을 개발하여 작업장 및 실내공간에서 발생하는 발암성 유해물질이 제거된 쾌적한 공간을

제공함으로써 국민보건건강 증진에 크게 기여할 것이며 그 결과 발생하는 경제적 가치는 대단히 클 것으로 예측 판단된다.

새집 증후군이란?

새집 증후군(Sick House)은 신축아파트나 리폼한 집 등에서 많이 발생하는데 신축건물에 사용되는 전자재, 접착제 등으로 이상세를 일으킨다. 그 인자는 현재로서 다음과 같이 정의된다. 특히 화학적 인자 중 하나인 포름알데히드 등의 화학물질이 주목받고 있다.

▶ 물리적 인자

- 고열
- 습도(점막 건조)
- 소리(소음)
- 전자파(저주파자장)
- 스트레스
- 빛
- 전리방사선(타돈)

▶ 생리적 인자

- 세균(곰팡이, 바이러스, 균류, 박테리아)
- 원생동물(기생충)
- 진드기
- 쥐
- 식물화분
- 벌레
- 애원동물(피부, 털)

▶ 화학적 인자

- 이산화탄소
- 질소산화물
- 오존
- 광물섬유
- 입자상물질(매연, 담배연기)
- 휘발성유기 화합물(포름알데히드, 유기용제, 살충제 등)
- 일산화탄소
- 이황화수화물
- 염소
- (수돗물)납분진

새집 증후군과 환기

신축시 건축자재 등에서 실내온도가 올라가면서 그 휘발량이 매우 많아지므로 무엇보다 환기가 중요하다.

환기가 제대로 안되면 요즘 건축물의 고기밀성 만큼이나 건축자재속의 포름알데히드 등이 외부로 배출되지 않는 경우가 있다. 이는 아토피와 천식의 원인이 되기도 하며, 동물실험 결과에서와 같이 암에 걸릴 위험도 커진다.

