실내 폼알데하이드 발생원 특성 및 방출량 분석법

이 은 택 | 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소
수석연구원
E-mail : leeet@samsung.com

1. 머리말

현대인들은 약 80% 이상의 시간을 실내에서 생활하고 있으나, 건축 마감자재의 기능성 향상에 따른 화학물질 사용량 증가와 에너지 절약을 위한 실내공간의 고단열·고기밀화로 인하여 자연환기량이 줄어 실내 공기오염이 심화되고 있다. 최근 국민들의 참살이(Well-Being)의식 확대로 "새집증후군(Sick House Syndrome)"등 실내공기 오염에 대한 불안감을 가지고 있으며 체계적인 실내공기질 관리대책 추진을 요구하는 여론이 고조되고 있다.

환경부는 현행 '다중이용시설 등의 실내공기질 관리법'에 공동주택의 시공자가 시공이 완료된 신축 공동주택의 실내공기질을 측정하여 공고토록 하며, 시공자의 친환경건축자재 사용을 유도하기 위하여 2005년 말까지 '신축 공동주택 실내공기질 권고기준'을 최종 확정할 예정이다. 또한, 다중이용시설 등의 건물은 유지기준 및 권고기준을 정하여 실내공기질이 알맞게 유지 관리될 수 있도록 규정하고 있다.

화학물질에 의한 실내 공기오염물질의 일종인 폼알데하이드는 건축자재, 흡연, 각종 생활용품과 밀폐된 공간에서 등유 등의 불완전 연소시 발생되며, 아교와 접착제, 일부 도료와 코팅제품의 방부제, 주름방지 직물류 제작시 첨가되는 성분이다. 특히, MDF, 파티클보드, 합판 등 요소수지(UF resins) 함유 접착제를 사용한 압착형 목가구는 주요 발생원이다.

폼알데하이드는 상온에서 자극적인 냄새가 강한 무색의 기체이며, 인체의 반응은 민감도에 따라 상이한데, 눈, 코, 인후 등의 자극, 메스커움, 기침을 하거나, 가슴이 답답하여 호흡이 거칠어 질 수 있고 피부발진과 알러지 반응을 일으키기도 한다. 일반적인 노출농도는 발암유발 농도에 비해 훨씬 낮은 수준이어서 발암의 위험성은 적은 것으로 알려져 있다.

이와 같은 배경에서 재실자에게 보다 쾌적하고 건강한 실내환경을 제공하기 위해서는 화학물질에 대해 정확한 원인 파악과 대책이 중요하므로, 유해화학물질인 폼알데하이드의 특성을 파악하고 오염물질 분석방법을 본 지면을 통하여 소개하고자 한다.

2. 폼알데하이드 발생원 특성

(1) 폼알데하이드의 물리화학적 성질

폼알데하이드는 1859년 러시아 유기화학자인 A.M. Butlerov에 의해 최초로 화학적으로 합성되었다. 화학식은 HCHO이며 분자량은 30.03, 녹는점 -92℃, 끓는점 -21℃, 비중 1.083로서 강한 자극적인 냄새를 가진 무색의 가연성 기체이다. 공기와 거

의 동일한 중량으로 공기중에 확산되기 쉽고, 다른 물질과 손쉽게 반응하는 특징을 가진다. 가장 일반적인 상업적 활용형태는 30~50% 포르말린을 들 수 있다. 폼알데하이드는 물과 알콜에 쉽게 녹으며, 일반적으로 다른 화학물질에 대해 높은 반응성을 가지므로, 고유의 중합체를 감소시키기 위한 안정제로서 첨가된다.

폼알데하이드의 제조는 銅을 촉매로 하여, 메탄올을 산화시켜 만든다. 메탄올은 천연가스로부터 만들어 지며 제조시의 화학반응식은 이하와 같다.

$CH_3OH + 1/2\ O_2 \rightarrow HCHO + H_2O$

메탄올 산소 폼알데하이드 물

(2) 폼알데하이드의 발생원 및 용도

폼알데하이드는 인공 또는 천연물에서 방출되므로 대기중에도 존재하며, 탄산수소의 산화에 의해 만들어 진다. 천연 발생원인 식물의 잔류물 분해를 포함하여, 알콜이 산화하여 알데히드가 되며, 알데히드가 더욱 산화하여 유기물(카르본산)이 생성된다. 따라서 자연대기중에도 폼알데하이드는 존재하게 된다. 예를 들어 목재를 건조처리하면, 수종에 차이는 있으나 목질을 구성하는 섬유소 및 리그린(목질소) 등으로부터 폼알데하이드가 생성된다. 주요 발생원을 건자재와 생활재로 구분하면 다음과 같다.

○ 건자재: 목재류 보드(합판, 섬유판, MDF, 파티클보드, 집성재 등)의 접착제,벽지용 접착제의 방부제, 단열재(Glass Wool)의 바인더

○ 생활재: 가구류, 서적, 의류, 연소 배기가스, 담배연기

폼알데하이드의 용도는 일반적으로 공업제품에 사용되며, 접착제 및 방부제 등의 수지원료(페놀수지, 멜라민 수지, 요소수지), 방부·보존제(포르말린 표본), 소독·살균제에 폭넓게 사용된다. 주택에 사용되는 건축자재로는 목재류 건자재의 접착제에 사용되는 것과 섬유용 접착제의 항곰팡이를 목적으로 혼입 사용된다. 또한, 카펫·커튼 등(방염/방수 가공제), 도료(아미노알키드 수지)에 존재하며, 생활재에서는 가구 및 인쇄잉크에 의한 서적, 의류, 연소 배기가스, 담배연기도 주요 발생원에 포함된다.

현재, 일반 목재 건축자재의 소재는 천연목 보다 합판 등의 기본재 표면에 나무무늬를 인쇄한 수지류 쉬트 또는 얇은 무늬목을 붙이는 사양이 대부분으로 기본재에서의 장기적인 오염물질 방출이 염려되고 있다. 기본재로는 합판과 MDF가 일반적이며 표면부착 무늬목으로는 0.3~1.0 mm 두께가 사용된다. 또한, 합판 제조시 사용되는 접착제는 표 1과 같이 분류된다.

표 1. 목재류 접착제의 분류

접착제 종류	사용부위	규격구분	규격구분의 실험방법과 합격기준
요소(Urea)수지 접착제	주로 내장·가구 등에 사용됨	2종류	60도 온수에 3시간 침수후, 정해진 인장강도를 유지한 제품
요소/멜라민수지 접착제	옥외에도 사용가능한 내수성이 높은 접착제	1종류	끓는물에 4시간 넣은후, 60도에서 20시간 건조시켜, 다시 4시간 끓인 다음, 정해진 인장강도를 유지한 제품
페놀수지 접착제	구조물 등과 같이 내수/내구성이 높은 접착제	특수	끓는물에 72시간 연속 가열후, 정해진 인장강도를 유지한 제품

폼알데하이드는 요소수지 등과 화학적으로 합성하여 목재류 건자재의 접착제로 사용된다. 접착제에는 적정 접착강도의 확보가 요구되므로, 이를 달성하기 위해서는 고분자 접착제를 사용하게 되고, 요소/멜라민/페놀 등의 수지는 폼알데하이드와 반응하여 고분자물질이 된다. 이와 같이 폼알데하이드가 핵이 되어 안정된 구조로 열경화성 수지를 이루므로, 목재류 건축자재에 이상적인 접착제로 사용되는 이유가 된다. 또한, 목질재료의 경우 접착제 분자가 재료표면 분자와 충분히 접촉하기 위해서는 액체상태로 재료표면을 유지하는 기술이 필요하며, 목재의 친수성 분자구조와 수지접착제도 친수적인 특징을 가지므로 목재에 적합한 접착제라고 말할 수 있다.

따라서, 폼알데하이드의 문제를 해결하기 위해서는 대체할 수 있는 접착제 개발이 필요하나, 이를 위한 제조설비 교체 등의 추가비용 발생에 따른 제품가격 상승 문제로 인하여 적용에 어려움을 겪고 있다. 또한, 폼알데하이드는 목재류의 방충 기능을 가지고 있으므로 이에 대한 대책도 병행 검토할 필요가 있다.

(3) 폼알데하이드 농도와 생물에 미치는 영향

대기중의 폼알데하이드 농도는, 산과 바다연안 등 청정지역에서 0.1~2.7 ㎍/㎥, 인공환경 하에서 7~12 ㎍/㎥(최대농도는 60~90) 정도로 나타나며, 일반적인 건물내 실내농도는 10~4,000 ㎍/㎥, 병원의 소독된 실에서는 20,000 ㎍/㎥ , 흡연 공간에서는 약 100 ㎍/㎥ 정도로 측정된다.

폼알데하이드는 저농에서도 강한 냄새를 가지며, 기체와 수용액은 사람의 피부와 눈에 자극을 주는 것으로 알려져 있다. 폼알데하이드 폭로에 따른 일반적인 영향은 눈과 기관지 점막의 자극에 의해 다양한 증상을 유발시킨다. 단기폭로에서는 0.08 ppm (약 100 ㎍/㎥) 정도를 냄새감지의 경계치로 보며, 0.4 ppm 정도에서 눈에 자극, 0.5 ppm에서는 목에 자극을 느끼는 경계치로 보고 있다. 3 ppm에서는 문과 코에 자극을 일으키고, 4~5 ppm에서는 눈물이 나며 호흡기에 불쾌감이 생긴다. 31 ppm정도에서는 중독증상이 발생하며, 104 ppm 정도면 사망하게 된다. 국제암 연구센터(IARC)에서 “인간에 암을 일으킬 개연성 있음(2A)"로 분류되어 있으나, 어느 정도 이상의 폭로가 아니면 암의 발생 가능성은 없는 것으로 보고 있다.

(4) 폼알데하이드 농도에 관한 규제

WHO의 폼알데하이드 실내농도 지침치는, “현재 입수가능한 과학적 지식에 근거하여, 인간이 그 화학물질에 지시된 농도이하로 평생 폭로되어도, 건강에 유해한 영향을 주지 않을 것이라는 판단에

표 2. 폼알데하이드의 국내외 실내농도 지침 또는 기준

구 분	지침 또는 기준	비고
국 내	다중이용시설 120 ㎍/㎥, (신축공동주택 권고기준안 210㎍/㎥)*	
W H O	100 ㎍/㎥	
미 국	30분 평균 100 ㎍/㎥(0.081 ppm)	
캐나다	120 ㎍/㎥(0.1 ppm)	
일 본	100 ㎍/㎥(0.08 ppm)	
독 일	120 ㎍/㎥(0.1 ppm)	
싱가포르	8시간 평균 120 ㎍/㎥(0.1 ppm)	
노르웨이	30분 평균 100 ㎍/㎥	
핀란드	30 ㎍/㎥	
호 주	120 ㎍/㎥	
홍 콩	100 ㎍/㎥(80 ppb)	
중 국	100 ㎍/㎥	

* 환경부에서(2005.10.14 입법예고) 제시한 권고기준으로, WHO 및 외국기준은 기존건물에 대해 환기상태에서 측정시 적용되는 값이며, 신축공동주택의 권고기준(안)은 5시간 밀폐조건에서 신축건물에 적용하는 값임(일반적으로 5시간 밀폐조건은 환기상태보다 2배 이상 농도가 높게 나타남)

따라 설정된 값이다"라고 정의 되어있다.

국내외 폼알데하이드의 실내농도 지침 또는 기준은 표 2와 같다.

3. 화학물질의 방출량 분석법

화학물질의 공기오염문제는 인간의 건강에 영향을 주는 문제이기도 하므로, 화학물질에 의한 실내 공기오염 관련 연구는, 건강에 영향이 없는 수준의 실내농도 연구가 주로 이루어 졌으며, 실내농도와 이에 영향을 주는 요소의 관련성 파악이 필요하게 된다. 일반적으로 건강에 미치는 영향은 개인이 폭로된 농도와 시간의 적분치로 나타낼 수 있다. 폭로농도는 화학물질 방출량과 환기에 의한 물질 희석에 의해 결정되므로, 실내 화학물질 방출량은 재료로 부터의 방출량과 재흡착 탈착 그리고 공간내에서의 화학 변화량으로 구할 수 있으며, 이러한 요소는 온습도 등의 주변환경에 영향을 받게 되므로 문제가 되고 있다. 특히, 폼알데하이드는 물에 쉽게 녹으며 온도에 의한 영향이 크므로, 방출량 측정 데이타에 근거하여 실내농도를 정확히 파악하려면 반드시 고려해야 한다.

(1) 화학물질 방출량 측정법 구분

건축자재로 부터의 화학물질 방출은, 방출 형상의 차이에 따라 크게 "증발(蒸發) 지배형"과 "내부확산(擴散) 지배형"으로 나뉜다. 증발지배형은 니스·왁스 등과 같이 젖은 도료가 건조와 더불어 방출되는 타입으로 초기 방출량이 많으며 감쇄가 빠른데 비해, 내부확산 지배형은 석고보드·MDF 등과 같이 건재내부에 존재하는 화학물질이 공기중 농도차에 따라 방출되는 것으로 장기간 방출되는 특징이 있다.

화학물질의 방출량을 평가하는 방법은, 밀폐공간에서의 농도측정법과 환기를 하며 측정하는 챔버법으로 구별된다. 밀폐환경 상태의 실험방법은 필요한 장비가 단순하고 실험상 간편하게 측정이 가능하므로 부재의 방출능력의 파악을 위한 실험방법으로 적합하다. 예를 들면 목재류의 폼알데하이드 방출량을 평가하는 데시케이터법이 이에 속하며, KS·JIS 등에 규정되어 있다.

한편, 실제 거주공간의 실내농도를 추정하기 위해서는 공기중 농도와 재료시험에 의한 방출량과의 상관성 파악이 필요하게 되므로, 방출강도 개념의 챔버법이 필요하게 된다.

표 3. 화학물질 방출량 실험방법

환경구분	설 치 조 건		실험방법
밀폐 환경	밀폐 직후부터 측정	물에 흡수된 폼알데하이드 水중 농도	데시케이터법(폼알데하이드)
		밀폐공간에 방출된 폼알데하이드 량	ADSEC*
	일정시간 밀폐후 공기중 농도측정		테트라백 안의 평형 공기중농도 측정
환기 환경	소형사이즈 대상	부재를 챔버 안에 설치하여 측정	소형챔버법
		부재표면에 붙여 측정	FLEC**
	판넬 전체 및 복합재료를 대상		대형챔버법

* ADSEC (패시브 플럭스 측정장치의 일종): Advanced Diffusive Sampling Emission Cell
** FLEC (액티브 플럭스 측정장치의 일종): Field and Laboratory Emission Cell

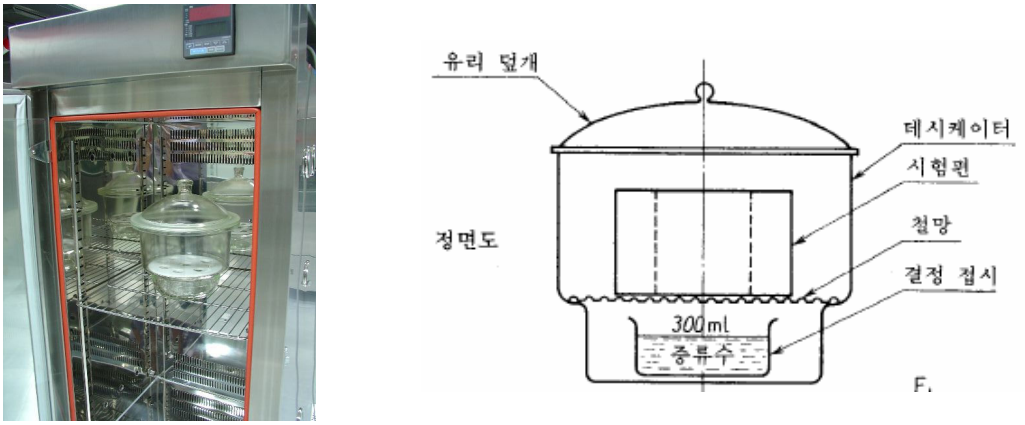

그림 1. 데시케이터법

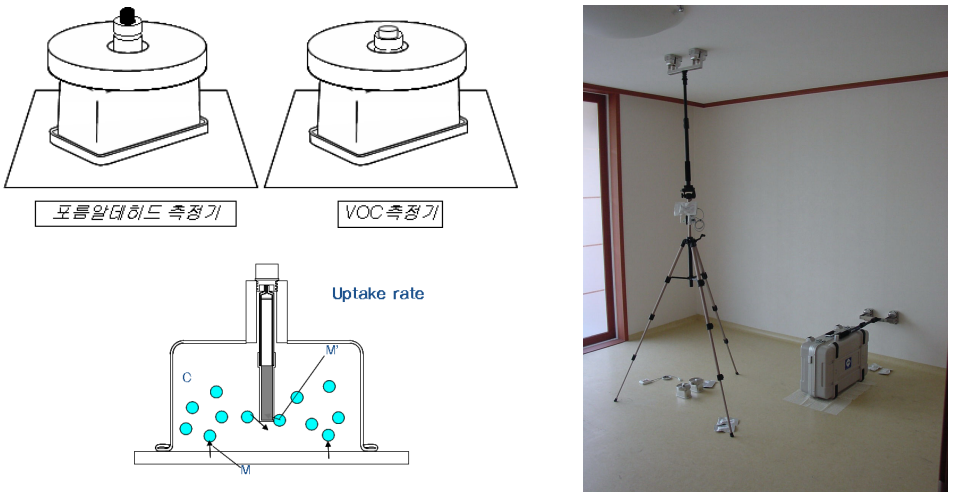

그림 2. 패시브 플럭스 측정장치의 일종인 ADSEC

(2) 밀폐환경의 방출량 측정법

일반적으로 화학물질 방출량의 평가법으로는, 환기상태에서 측정하는 챔버법이 적합하나 과대한 설비가 필요하게 되는 것과 실험 평형조건에 도달하는 시간이 길어 보다 간편한 실험방법으로 이러한 밀폐환경에서의 방출량 측정법이 검토되어 사용되고 있다. 밀폐환경에 있어 방출량 측정은, 화학물질의 채취방법에 따라 ①밀폐직후부터 공간내 채취용 매체를 설치하는 방법과 ②밀폐후 평형상태에 도달 후 농도 채취 방법으로 분류된다.

① 밀폐후 공간내 채취용 매체를 설치하는 방법으로 가장 대표적인 실험방법은, 폼알데하이드의 방출량을 측정하는 데시케이터법이 있으며, 이를 근거로 목재류 건자재에서의 폼알데히드 방출량을

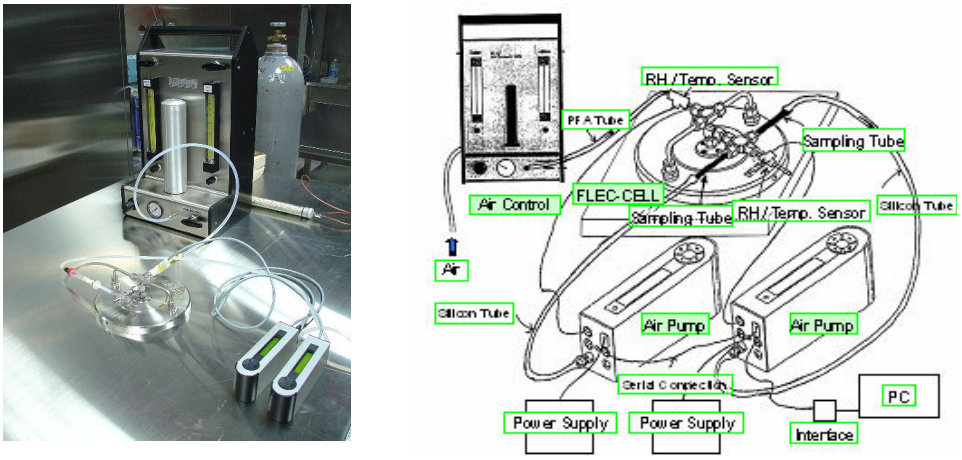

그림 3. 액티브 플럭스 측정장치의 일종인 FLEC

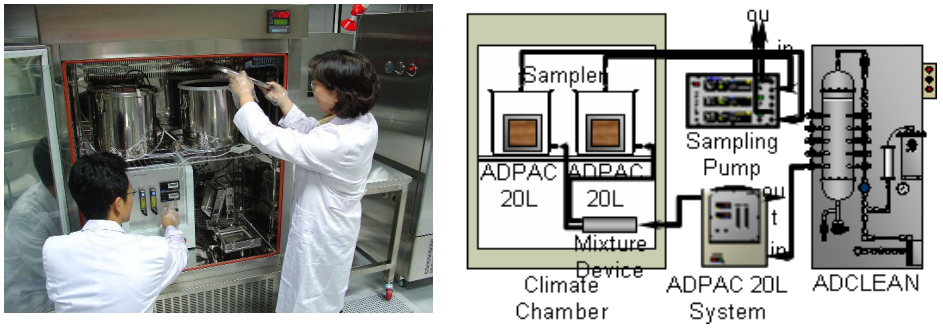

그림 4. 소형챔버법

구분하고 있다.

데시케이터법은, 용적 9~11ℓ의 데시케이터(유리 용기)에 시험체와 300 ㎖의 증류수가 들어있는 샤알레(직경 12cm, 깊이 6cm)를 넣고, 20℃ 환경에서 24시간 방치하여 측정한다. 시험체로부터 방출된 폼알데하이드는 증류수에 흡수되며, 증류수중의 폼알데하이드 농도를 화학적으로 정량화 한 것을 데시케이터 값(단위 mg/ℓ)이라 한다.

또한, 日와세다대학 타나베교수는 ADSEC(패시브 플럭스법의 일종)라고 하는 소형 스텐레스 상자를 건자재표면에 설치하여, 상자내의 농도를 패시브형 채취장치를 이용하여 폼알데하이드 방출량을 분석하는 방법을 제안하였으며, 설치표면적 및 채취시간(24시간)을 바탕으로 방출강도(단위 mg/㎡h)를 구할 수 있다.

② 밀폐후 평형상태에 도달후 측정법으로는 수납내부의 평형농도를 측정하는 것을 목적으로 테트라백을 이용한 평형농도 실험방법이 있다. 이것은 테

트라백 내부에 건자재를 봉입한 후에 청정공기를 넣고 일정시간 경과 후의 공기중 농도를 측정하는 방법이다. 대략 5시간 경과되면 테트라백 내부의 농도는 평형상태에 도달하게 되며, 건자재의 방출량 차이에 따라 공기중 평형농도가 다르게 나타난다.

(3) 환기환경의 방출량 측정법

데시케이터법은 물에 용해되는 폼알데하이드 만을 대상으로 하기 때문에, VOC 등의 비수용성 화학물질의 방출량은 측정할 수 없다. 유럽 및 북미에서는 건자재로부터의 화학물질의 방출량을 측정하기 위하여, 예전부터 챔버법이라 불리는 환기를 하면서 채취하는 화학물질 방출량 측정법이 사용되었으며, 다양한 건자재 및 화학물질에 대한 평가가 가능하도록 되어 있다.

대표적인 것이 덴마크의 P.Wolkoff 박사가 개발한 FLEC 시스템으로, 측정방법은 FLEC이라 불리는 컵 형상의 챔버를 부재표면에 밀착시켜, FLEC 내에 발생한 오염물질 방출량에서 방출강도를 구하는 방법이다. FLEC은 내부 용적이 작기 때문에 빠르게 정상농도에 도달하는 특징이 있다. P.Wolkoff는 이것을 이용하여 카페트·PVC·실런트·바닥용 니스·벽체용 도료의 5개 건축재료에 대해 약 250일에 달하는 측정을 하였다. 환경요소는 풍속(1, 2, 5 및 9 m/s)·온도(23, 35, 60℃)·상대습도(0, 50%)·캐리어가스(N_2)가 방출량에 미치는 영향을 파악하였으며, 측정실험결과의 재현·반복성을 확인하였다. 그 결과 실런트는 모든 환경요소에 따라 방출량이 영향을 받으며, 다른 자재는 5 m/s 이하의 면풍속 하에서는 방출량에 영향이 없는 것으로 밝혀졌다.

이 외 ISO, JIS 등에서 규정하고 있는 소형챔버법은, 챔버에 유입하는 공기의 배경농도와 교반에 따른 방출강도 영향이 확인되어, 유효한 환기환경에서의 화학물질 방출량 측정이 가능하게 되었다. 또한 데시케이터법과의 비교를 통하여, 온습도·풍속·외기유입의 유무·기밀성·공기교환 효율·흡탈착 성능 등의 기본적인 물성치를 파악한 후에, 시간경과에 따른 변화와 데시케이터법과의 비교 및 저감화 대책에 따른 발생량 변화를 측정하였다. 그 결과, 면풍속을 변화시키면 폼알데하이드의 측정값은 거의 동일하게 나타났으나, 온습도를 증가시키면 발생량이 증가하는 경향을 보였다. 시간경과에 따른 방출강도의 변화는 1개월째에서 급격하게 저하된 후, 2개월째에서 약 1/2수준으로 방출량이 줄어들며, 이 후에는 거의 평형상태로 완만하게 감소하는 것이 파악되었다. 챔버법과 데시케이터법과의 비교는, 건자재의 종류별 높은 상관성을 보였으나, 모든 건자재에 공통적인 환산식은 얻을 수 없는 것으로 나타났다.

4. 폼알데하이드 방출강도와 실내농도와의 관계

폼알데하이드의 실내농도는, 화학적인 변화가 없다고 가정하면 ① 건자재에서의 방출량 ② 흡착 및 탈착량 ③ 환기에 의한 유출입량에 영향을 받는다. 따라서 폼알데하이드의 실내농도를 알기 위해서는 ①~③ 각각의 요소를 복합적으로 고려할 필요가 있다.

① 건자재에서의 방출량은 다양한 환경요소와 관련성에 대한 설명이 필요하며, 예를 들어 계절변화에 의한 하절기 농도 재상승 및 이에 따른 외형상 방출량 저하 등의 설명이 요구된다. 또한 ② 흡착 및 탈착량을 알기 위해서는 건자재의 흡탈착 특성을 파악할 필요가 있다. 흡착은 일반적으로 실내농도에 비례하기 때문에 공기중농도와는 상호간에 영향을 준다. 이러한 ①~③을 복합적으로 고려한 이

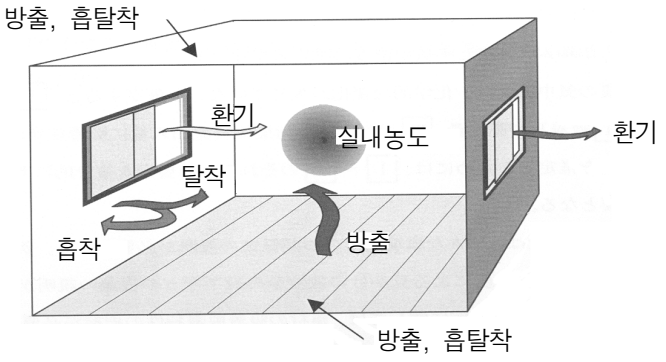

그림 5. 실내농도에의 영향

상적인 실내농도 추이 파악을 위해서는, 공간내 물질이동 및 재료 내면의 이동까지 고려한 수치모델이 필요하게 되나, 실용적인 변화량 파악 방법을 고려할 때, 소형챔버법으로 얻어진 기초데이터에 근거하여 계산하는 것이 효율적이라 할 수 있다.

(1) 실내농도에 영향을 주는 환경요소

폼알데하이드의 실내농도는, 실내에서 화학적 변화가 없는 경우 그림5와 같이 방출량 및 흡착·탈착량, 환기량으로 결정된다.

실내농도는 시간경과에 따라 감소하는 경향을 보이나, 동절기 및 하절기에 준공된 모든 건물에서 하절기에 농도가 상승하는 현상이 나타난다. 이것은 온도 상승과 함께 재료 내부의 물질이동이 촉진되어 방출량 증대가 원인으로 판단되며, 온도보정후의 실내농도는 시간경과와 함께 감소하여, 1년 정도 경과하면 50%정도의 농도레벨이 되는 것으로 나타났다.

소형챔버를 이용한 건자재에서의 폼알데하이드 방출특성의 측정결과를 살펴보면, 목재류 건자재 및 가구류로 부터의 폼알데하이드 방출량은 실내농도가 높아짐에 따라 감소하는 경향을 보인다. 이는 건자재 근방의 폼알데히드 농도와 공기중 농도의 차가 폼알데하이드 물질이동의 구동력이 되므로 실내농도의 증가와 더불어 폼알데하이드 방출강도는 감소하는 것으로 보인다.

(2) 건자재의 방출량 변화 추이

시간경과에 따른 건자재의 방출량 변화는, 초기자재 방출량에 대한 감소율 변수로 설명되며 폼알데하이드는 1차 감쇄 모델을 사용하여 설명할 수 있다. 그러나 실제 거주환경에서의 방출량 변화를 고려하는 것은 어려움이 많으며 다양한 수치 모델이 필요하게 된다.

따라서, 시간 경과에 의한 방출량 감소는 오염물질 방출과 더불어 오염물질 함유량의 감소로 볼 수 있으므로, 방출량의 변화에 의해 일정 시간이 경과한 후의 방출강도는 다르다고 볼 수 있다. 예를 들어, 동일 건자재라도 환기량이 많은 실에 설치된 자재의 방출량은 실내농도 저하에 따라 방출량이 늘어나, 자재에서의 화학물질 유출이 촉진되어 방출강도의 감소가 커진다. 한 편 환기량이 거의 없는 곳의 자재는 화학물질 방출이 적으므로 장시간에 걸쳐 방출강도가 유지될 가능성이 있다.

건자재의 주변 환경에 따른 방출강도가 다른 경우의 개념도는 그림 6과 같다. 폼알데히드의 실내

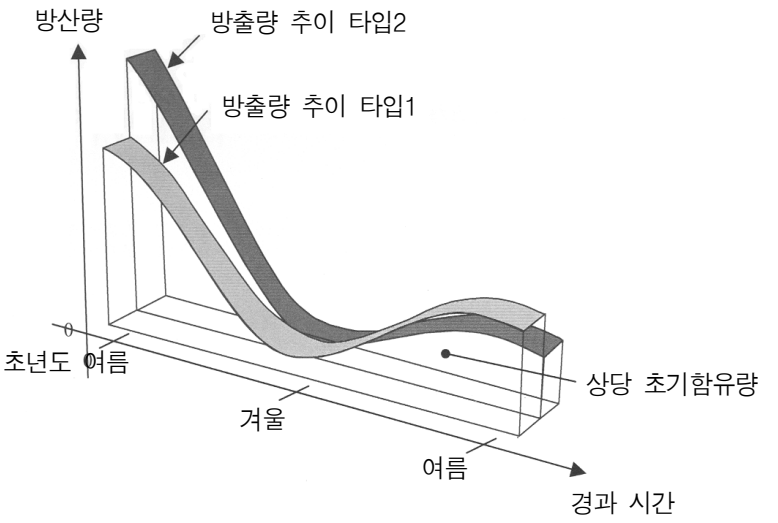

그림 6. 시간경과에 따른 방출능력의 감쇄 변화

농도 추이는 온도 의존성이 강하기 때문에, 하절기에 준공한 건물에서는 완만하게 방출량이 감소하나 차년도가 되면 다시 방출량이 늘어난다. 이럴 때, 많은 환기량이 확보된 실에서는 실내농도의 영향보다 초기 방출량이 크며(그림 6의 방출량 추이 타입2), 반대로 환기량이 작은 실에서는 실내농도가 높음과 동시에 방출량 자체는 초년도에 낮은 값을 보인다 (그림 6의 방출량 추이 타입1)

초년도 하절기 이후에 시간경과에 따라 기온이 낮아지므로 방출량은 저하되나, 차년도 하절기 온도 상승과 더불어 방출량은 다시 증가한다. 방출량 추이 타입2와 같이 초기에 많이 방출되면, 초기에 적은 타입1과 비교하여 차년도 방출강도가 감소함을 알 수 있다.

(3) 온습도 영향

폼알데하이드는 온습도 상승과 더불어 방출량이 증가하므로, 온습도에 따른 영향은 실험에 의한 경험적 법칙으로 규정하여, 일본의 이노우에 등은 데시케이터 실험과 공기중 농도와의 상관성 연구로부터 온습도가 방출량에 미치는 영향을 다음 식으로 나타내고 있다. 이는 온도 1℃ 상승함에 따라 약 1.09의 방출량이 상승하는 것으로 본다.

$$C = C_{23,45} \times 1.09^{(\Theta-23)} \times (55+rh)/100$$

C : 공기중 농도 [㎍/㎥]

$C_{23,45}$: 온도 23℃ 상대습도 45% 조건의 공기중 농도 [㎍/㎥]

rh : 상대습도 [%]

Θ : 온도 [℃]

폼알데하이드의 온도의존 계수로 1.09를 제시하고 있으나, 이는 합판을 이용한 실험에 의해 도출한 값으로 재료 고유의 방출강도 및 표면형상에 따라 조금씩 다르게 되므로 참고용으로 활용하며, 향후 건자재별 장기적인 실험을 통해 보완해 나갈 필요

가 있다.

온도변화에 따른 폼알데하이드 농도 변화로서 신축공동주택의 실측사례는 그림 7과 같다. 측정최대치를 기준으로 농도비를 산정하여 측정시기는 계절별로 분류하였다. 하절기인 6~9월의 경우, 상대적으로 방출량이 많은'일반자재(일부 개선자재 적용)'와 방출량이 적은'개선자재'를 적용한 현장으로 세분하였다.

고온다습한 하절기의 실내농도는 동절기에 비해 약 5배 높은 수준이었고, 중간기와 하절기의 경우

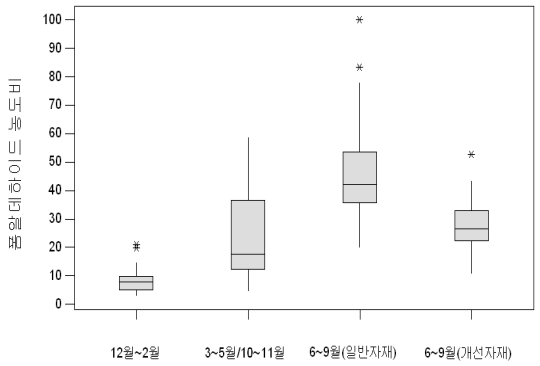

그림 7. 계절별 적용자재에 따른 실내공기 중 폼알데하이드 농도비

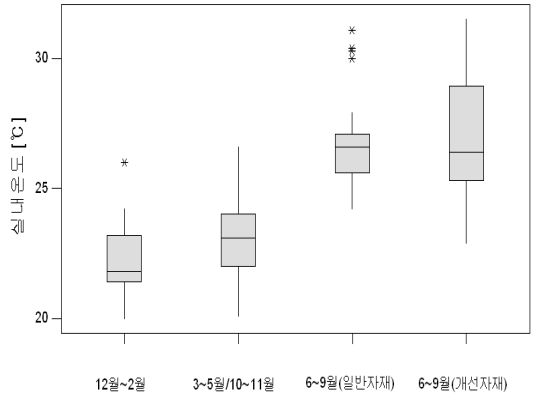

그림 8. 측정시기에 따른 실내온도 분포

측정치의 산포가 넓게 나타난다. 하지만 방출량이 적은 개선자재를 적용한 하절기의 경우, 기존자재 시공현장에 비해 60% 수준으로 저감되었고 표준편차도 절반 수준으로 감소하였다.

그림 8은 측정시기에 따른 실내온도 분포를 나타내며, 현장 측정은 실내공기질 공정시험방법에 근거하여 실내온도를 20℃ 이상으로 유지하였다. 중간기와 동절기(난방실시)의 실내온도 범위는 21~24℃ 이고, 하절기에는 평균 26.8℃이나 부분적으로 30℃를 초과하는 경우도 나타났다.

(4) 공동주택의 폼알데하이드 농도저감을 위한 기술

화학물질에 의한 실내 공기오염을 줄이기 위해서는, 건자재의 방출량 저감과 함께 환기량 증대 및 흡착 등의 대응기술 적용이 필요하다. 건물에 사용되는 다양한 건자재 및 설비와 더불어 거주자가 반입하는 가구류와 생활용품에서의 화학물질 방출까지 고려한다면, 건물 신축시의 건자재 방출량 저감만으로는 실내농도 유지에 한계가 있다. 따라서, 환기 등을 통한 실내농도 저감수법이 반드시 필요하게 된다.

화학물질 농도저감 수법은 흡착과 환기수법으로 나뉘며, 흡착은 효율적인 저감기술이라 할 수 있으나 다양하게 존재하는 화학물질에 대한 유효성 확인과 장기적인 저감효과 검증에 어려움이 있다. 한편, 환기는 청정공기에 의한 오염물질을 희석하는 것으로 모든 화학물질의 농도저감에 효과적인 방법이다.

기계환기 시스템이 없는 공동주택의 경우에도, 동절기 열손실(에너지낭비)을 고려하여 생활환경에서 발생하는 오염물질 제거를 위한 환기회수 약 0.5 回/h 수준의 자연 또는 기계 환기량 확보가 필요하다. 환기량을 늘려서 실내농도 저감을 도모하는 경우에는 화학물질 방출특성과 거주자의 생활환경을 종합적으로 검토하여야 한다.

화학물질 방출특성에 영향을 주는 요소로서 외기

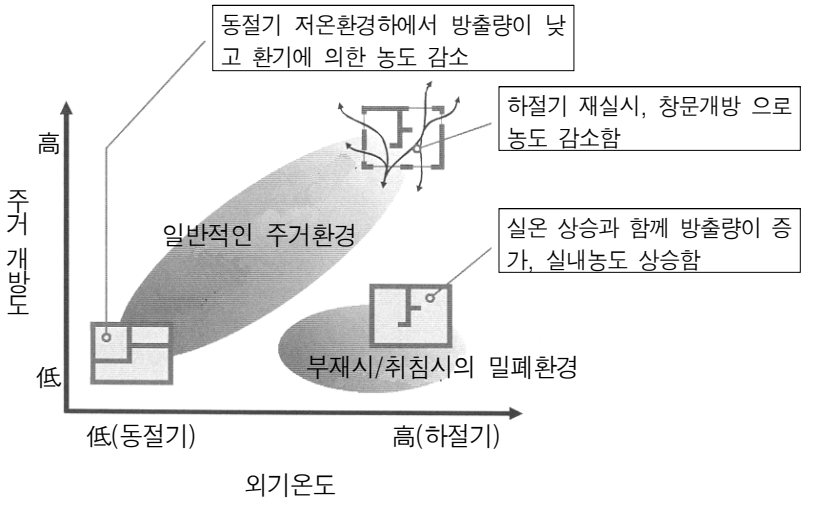

그림 9. 계절별 주거 개방도와 폼알데하이드 실내농도

온도, 거주자의 생활패턴 및 주거 개방도를 고려할 때 실내농도와의 관계는 그림 9와 같다.

동절기는 자연·기계 환기량이 확보될 경우, 건자재에서의 폼알데하이드 방출량이 적으므로 하절기와 비교하여 낮은 실내농도가 된다. 중간기(봄·가을)의 재실시(취침시 제외)는 건자재로부터 방출량은 증가하나 창문을 개방하는 생활환경이 되므로 화학물질 농도는 낮은 상태를 보인다. 그러나, 부재시 및 취침시에는 방범상 밀폐공간이 되므로 화학물질의 실내농도 상승을 초래하게 된다. 따라서, 중간기 및 하절기의 부재시와 취침시 밀폐될 때를 고려하여 자연환기와 기계환기를 효과적으로 활용하여 실내 공기환경을 향상시키는 기술이 필요하다.

5. 맺음말

폼알데하이드는 목재류 건축자재에 일반적으로 사용되고 건강에 미치는 영향이 크므로, 화학물질에 의한 실내 공기오염 문제 해결을 위해서는 우선적으로 대응할 필요가 있다. 따라서 본 고에서는 폼알데하이드의 특성에 대해 설명하였으며, 건자재로부터의 방출량 측정방법 및 방출강도와 실내농도와의 상관성에 대해 소개하였다.

폼알데하이드의 공기중 농도는, 온도환경과 경과시간 및 실 용도에 따라 다르게 나타나며, 가장 영향을 주는 요인은 실내온도로서 동절기와 하절기의 농도변화에서 잘 파악할 수 있었다.

화학물질에 의한 실내공기오염 문제를 해결하고 쾌적한 공기환경 확보를 위해서는, 발생 화학물질의 특성을 파악하여 근본적인 오염원에 대한 제어와 적정 환기량 확보가 우선시 되어야 하며, 이 후에 필터링 및 흡착 등의 부가적인 방법으로 접근해 나가는 것이 실내공기질 목표 달성에 도움이 된다고 본다.

– 참고문헌 –

1. 山田 裕巳, 2003, “住宅における建材からのホルムアルデヒド放散に関する研究”, 2003年3月, 早稲田大学 博士論文.

2. 井上 明生, 1997, “ホルムアルデヒド気中濃度のガイドライン対策”, 木材工業 Vol.52, No.1.
3. 田辺新一, 200,4 “シックハウス対策に役立つ小形チャンバー法”, 日本規格協会.
4. U.S.EPA, 2005,“Sources of Indoor Air Pollution-Formaldehyde”, U.S. EPA Toxic Substance Control Act., http://www.epa.gov/iaq/formalde.html.
5. U.S.CPSC, 1997,“An Update on Formaldehyde -1997 Revision”, U.S. Consumer Product Safety Commission(CPSC), 1-11.
6. 국립환경과학원/한국건설기술연구원/실내환경학회, 2005.9, “신축공동주택의 실내공기질 권고기준 설정연구 용역사업 결과에 대한 공청회”, 환경부.
7. 이승민 성민기 민유선 장흠 이은택 김광직 강영길, 2005.10,“입주전 신축공동주택의 폼알데하이드 농도 특성 및 저감방안”, 한국실내환경학회 학술대회 논문집.