

# 챔버실험을 통한 MDF에서의 포름알데히드 방출의 영향인자 평가

## Evaluation of impact factors on emission rate of formaldehyde from MDF based on chamber tests

유복희\*      김기인\*\*  
Yoo, Bok-hee      Kim, Gi-in

### Abstract

The purpose of this study was to evaluation of impact factors, which are temperature and relative humidity on formaldehyde emission from MDF(Medium Density Fiberboard). The test was carried out at 4 specimens that were different of temperature and humidity by using small chamber system. Formaldehyde was sampled and analyzed by HPLC. The results of this study were as follows; 1) When the temperature increased from 25 to 35℃ at 50%, the emission rate of formaldehyde increased 1.0-1.6 times. 2) When the RH increased from 50% to 80% at 25℃, the emission rate of formaldehyde decreased 0.6 times. 3) The enhancement effect of temperature on Formaldehyde under RH of 50% was more significant than under RH of 80%

키워드 : 포름알데히드, MDF, 방출강도, 영향인자

Keyword : Formaldehyde, Medium Density Fiberboard, Emission rate, Impact factor

### I. 서론

#### 1. 연구의 필요성 및 목적

건축자재에서 발생하는 유해화학물질로 대표되어지는 포름알데히드(Formaldehyde : HCHO)는 병든건물증후군(Sick Building Syndrome)과 관계하는 눈 따가움, 기관지염, 냄새 등의 원인이 되는 오염물질로 인식되고 있다. 건축자재에서 발생하는 이런 유해화학물질은 인간의 쾌적성, 건강 활동에 중요한 영향을 미치는 것으로 인식되면서 그들의 방산 특성을 알아보는 것이 필요하게 되었다.

국외의 경우는 건축마감자재에 대한 유해물질의 방산 매카니즘에 대한 규명을 하고자 하는 연구가 주로 이루어지고 있다.(Wolkoff, 1998, 2001; Fang, 1998; Van Nstten, 1989; Andersen, 1975)

국내의 경우는 친환경건축자재의 적용 후 평가 및 관리적인 측면의 연구가 주류를 이루고 있고(유복희, 2006; 유형규, 2006; 이승민, 2005; 정수연, 2007; 조완제, 2008), 건축자재의 물성적 특성과 지배적 영향 요소 규명에 관한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 국내 실정에 맞는 건축자재에 대한 기본적 물성에 대한 데이터의 부족은 모델링 또는 시뮬레이션을 통한 예측모델의 검증 및 개발 등의 연구 발전에 많은 제한을 가져오게 되며 실질적 대책 및 방안을 제시하는데 한계가 있다.

건축자재부터의 유해화학물질의 방출은 자재의 종류 및 자재 내에 포함되어 있는 유해화학물질의 총량 등 자재 내적 특성의 영향 뿐 아니라 자재가 노출되어 있는 환경 조건의 영향을 받게 된다. 특히, 4계절이 존재하는 우리나라의 경우, 계절에 따른 외기온의 변화 및 바닥 난방의 적용 등 실온 및 자재온도의 변화요인이 많은 편이다. 이렇듯 다양한 온도 및 습도, 바람에 노출되어 있는 상황에서 기초적이고 과학적인 건축자재의 영향요인에 대한 유해물질의 방출량의 데이터 축적은 시급한 문제이다.

따라서, 본 연구는 건축의 실내 마감재로 주로 사용되는 MDF를 대상으로 온도와 상대습도에 따른 포름알데히드 방출량 특성을 파악하여 기초적인 데이터를 확보하는 것을 목적으로 한다.

### II. 연구 방법 및 내용

#### 1. 시험편 및 시험조건

본 실험은 실내 건축재료로 일반적으로 쓰이는 MDF(Medium Density Fiberboard)를 대상으로 한다. 실험에 사용된 MDF는 2008년 12월 8일에 제작된 것으로 일반판매점에서 구입(2009년 1월 2일)하여 실험에 이용하였다. 시험편의 크기는 가로 164mm, 세로 164mm이며 시험조건은 온도의 영향을 알아보기 위하여 챔버 내 온도를 25℃(시험편1), 30℃(시험편2), 35℃(시험편3)로 조건을 달리하고, 상대습도 50%, 환기횟수 0.5회/h를 항시 유지하였다.

또한 상대습도(이하 습도)의 영향을 파악하기 위하여 챔버 내 습도를 50%(시험편1), 80%(시험편4)로 달리하고 온도 25℃, 환기횟수 0.5회/h를 항시 유지하였다. 시험조

\* 정희원(주저자), 울산대학교 주거환경학과 조교수

\*\* 정희원(교신저자), 울산대학교 주거환경학과대학원 석사과정

건 및 시료 투입 후 측정시간은 표1과 같다.

시험편	시험 조건	시료 투입후 측정시간(h)
1	25℃, 50%, 0.5회/h	1,4,6,8,21,31,45,68
2	30℃, 50%, 0.5회/h	1,4,6,9,12,24,48,72
3	35℃, 50%, 0.5회/h	1,4,6,9,12,24,32,48,72,120, 168,192,269,312,360,384
4	25℃, 80%, 0.5회/h	1,4,6,19,29,42,50,72,96,120

## 2. 소형챔버시스템 구성 및 공기포집

시험편의 HCHO의 영향인자에 따른 발생량 실험을 위한 소형챔버시스템의 구성은 그림1과 같다.

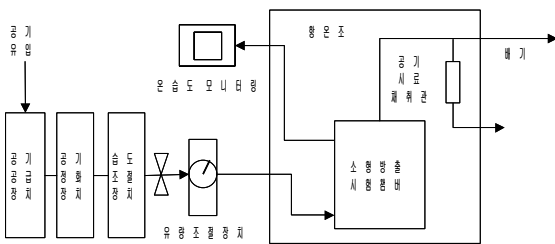


그림1. 소형챔버시스템의 구성예(공정시험방법, 2004)

측정은 챔버내 시료 투입 전 블랭크농도의 측정과 표1에서 나타난 바와 같이 시료 투입 후 시간경과에 따라 측정하였다. 시료 부하율은 2.2m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, 시험편의 면적은 0.044m<sup>2</sup>이며 결과는 공정시험방법(환경부고시 제2004-80호)에 따라 방출강도를 산출하였다. 시험편을 챔버에 넣은 후, 측정을 시작한 시간  $t$ 에서 방출속도  $EFa$ 는 다음 식1에 의해 구해진다. 챔버 내의 농도  $C_t$ 는 시간  $t$ 에서 대상 포름알데히드의 농도를 나타낸다.

$$EFa = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times Q}{A} = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times nV}{A} \quad (\text{식1})$$

$$= (C_t - C_{tb,t}) \times q = (C_t - C_{tb,t}) \times \frac{n}{L}$$

$A$ : 시험편의 표면적(m<sup>2</sup>)

$C_t$ : 시간  $t$ 에서의 방출시험 챔버내의 포름알데히드의 농도(mg/m<sup>3</sup>)

$C_{tb,t}$ : 시간  $t$ 에서의 블랭크 농도(mg/m<sup>3</sup>)

$EFa$ : 단위면적당 방출강도(mg/m<sup>2</sup>·h)

$L$ : 시료부하율(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

$n$ : 환기횟수(회/h)

$Q$ : 방출시험 챔버의 환기량(m<sup>3</sup>/h)

$q$ : 단위면적당 환기량(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h)

$t$ : 시험개시후 경과 시간(시간 또는 일수)

$V$ : 방출시험 챔버의 용적(m<sup>3</sup>)

## 3. 시료의 포집 및 분석방법

시료채취는 LpDNPH S10L 카트리지(Supelco Inc. U.S. A)를 사용하여 카르보닐 화합물을 채취하였다. 이때 유량 조절장치가 부착된 유량시료 채취용 펌프를 사용하여, 소형챔버내 공기를 167mL/min으로 총 7.0L를 포집하였다. 또한 오존에 의한 방해작용을 제거하기 위해 1cm(i.d.)×4

cm (total length)의 폴리프로필렌 튜브에 KI 결정을 채운 오존 스크러버를 LpDNPH S10L 카트리지 앞에 연결하여 시료를 포집하였으며, 채취된 시료는 추출 전 까지 냉암소에 보관하였다.

시료의 추출은 DNPH와 반응하여 형성된 DNPH-카르보닐 유도체는 HPLC 등급 아세토니트릴 5mL로 추출하였으며 추출 후 바로 분석을 수행하였다. 추출된 DNPH 유도체로부터 카르보닐화합물의 분석은 HPLC(High Performance Liquid Chromatography)를 이용하였으며 분석조건은 표2와 같다.

표2. HPLC의 분석 조건

HPLC (Shimadzu)	-UV detector : 360 nm -이동상 ACN : H <sub>2</sub> O = 60 : 40 -추출 Acetonitrile 5 ml
-----------------	---

## III. 실험 결과 및 분석

본 장에서는 MDF에서 방출하는 시간경과에 따른 포름알데히드의 방출특성을 파악하기 위하여 온·습도의 변화에 따른 초기방출강도, 최대방출강도, 제1차 방출감소시기, 제2차 방출감소시기 대한 도달시간 및 방출량을 비교·평가하였다.

초기방출강도는 시료 투입 후 1시간 경과시점의 방출강도를 말하며, 최대방출강도는 시간경과에 대한 방출강도중에 가장 최대 값을 나타낸 것이다. 제1차 감소시기는 최대 점을 지난 뒤, 방출량이 급격하게 감소가 일어난 시점을 말하며 제2차 감소시기는 제1차 감소시기를 지난 뒤, 방출량이 미세한 감소경향 또는 평형상태를 나타낸 시점을 말한다.

### 1. 온도 변화에 따른 포름알데히드 방출특성

MDF에서의 온도의 변화에 따른 포름알데히드 방출강도의 장기간의 경시변화는 그림2와 같다.

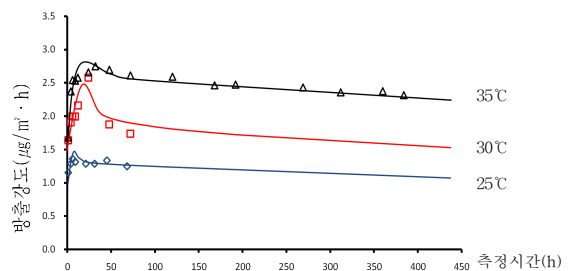


그림2. 온도 변화에 따른 MDF에서의 HCHO 방출강도 경시변화

25℃, 30℃, 35℃의 모든 온도에서 포름알데히드의 방출특성은 시료 투입 후 일정시간 증가하여 최대방출강도에 도달한 후, 빠른 감소를 나타내고 일정시간 경과 후엔 미세한 감소경향 및 평형상태를 보이는 것으로 나타났다. 또한 각 온도별 초기방출강도, 최대방출강도, 제1차 감소시기, 제2차 감소시기의 방출량의 차이를 뚜렷하게 나타

냈으며 온도가 단계적으로 상승 할수록 방출강도는 높게 나타났다.

시료 투입 후 1시간 경과 후인 초기시점의 방출강도는 그림3과 같이 25℃일 때 1.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ 로 나타났다. 30℃일 때 1.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ , 35℃일 때 1.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ 로 나타나 온도가 5℃상승 할수록 초기시점의 방출강도는 1.0-1.4배 증가하는 것으로 나타났다.

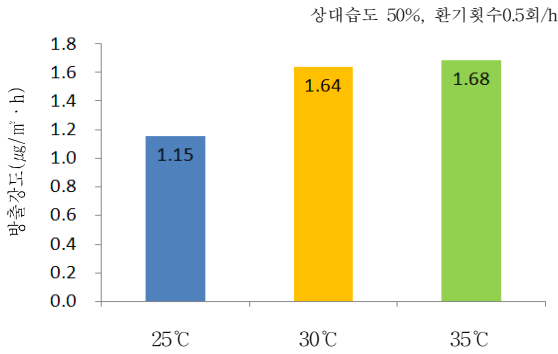


그림3. 온도 변화에 따른 MDF에서의 HCHO 초기방출강도

또한, 최대방출강도의 경우 그림4에서 나타난 바와 같이 온도가 25℃의 경우 방출강도는 1.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ 로 나타났다. 30℃의 경우에는 2.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ 로 나타났고 35℃의 경우는 2.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ 로 나타나 온도가 5℃상승 할수록 최대방출강도는 약 1.1-1.6배 높게 나타났다.

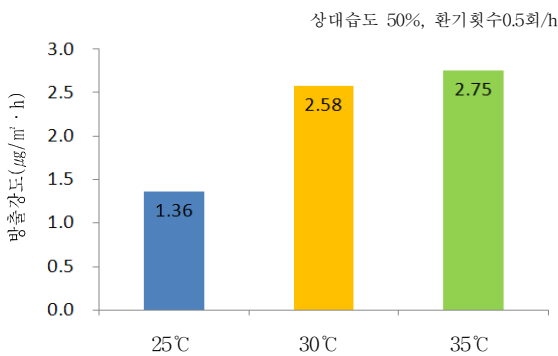


그림4. 온도 변화에 따른 MDF에서의 HCHO 최대방출강도

시료 투입 후 최대방출강도에 도달한 시간은 25℃에서는 약 6시간 경과시점에서, 30℃의 경우는 약 24시간 경과시점에서 나타났다. 또한, 35℃는 약 32시간이 경과 된 시점에서 최대방출강도가 나타나, 온도가 상승할수록 최대방출강도의 도달시간은 길게 나타났다.

또한, 미세한 감소경향 및 평형상태인 제2차 감소시기의 평균 방출강도는 그림5와 같이 25℃일 경우는 1.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ 로 나타났고 30℃의 경우는 1.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ 로 나타났다. 35℃일 경우는 2.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ 로 나타나 온도가 5℃상승 할수록 평형상태의 방출강도는 약 1.4배 높게 나타났으며, 30℃-35℃의 증가 할 때 보다 25℃-30℃에서의 방출강도가 급격히 증가하는 경향을 보였다.

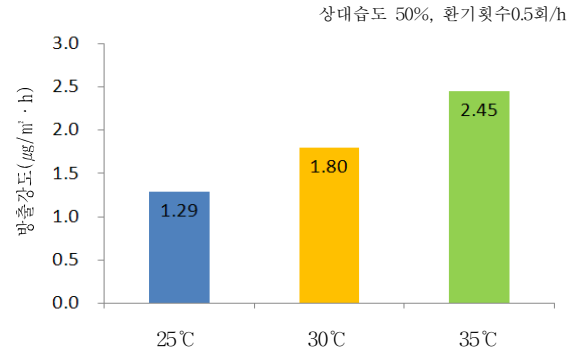


그림5. 온도 변화에 따른 MDF에서의 HCHO 평형상태 방출강도

방출강도의 최대점에서 급격하게 감소가 일어난 제1차 감소시기 이후, 미세한 감소경향 및 평형상태가 나타나는 시작 시점인 제2차 방출시기는 25℃의 경우 시료 투입 후 약 31시간이 경과 된 시점이고, 30℃일 때 약 48시간이었다. 35℃일 때는 약 72시간으로 온도가 상승 할수록 제2차 감소시기에 도달하는 시간은 증가하였다.

이상과 같이, 온도에 따른 포름알데히드의 방출강도 특성은 온도가 5℃상승 할 때, 방출강도는 1.0-1.6배 높게 나타났다. 또한, 온도가 5℃상승 할수록 최고방출강도, 제2차 감소시기에 도달하는 시간도 길게 나타났다.

## 2. 상대습도에 따른 포름알데히드 방출특성

MDF에서의 습도에 따른 포름알데히드 방출강도의 장기간의 경시변화는 그림6과 같다.

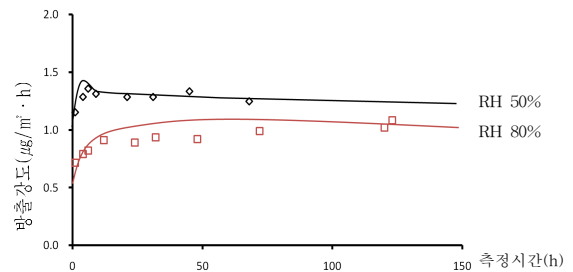


그림6. 상대습도 변화에 따른 MDF에서의 HCHO 방출강도 경시변화

50% 습도에서 포름알데히드의 방출특성은 시료 투입 후 일정시간 증가하여 최대방출강도에 도달한 후, 빠른 감소를 나타내고, 일정기간 경과 후엔 미세한 감소경향 및 평형상태를 보이는 것으로 나타났다. 습도가 80%인 실험 조건에서는 시료 투입 후 120시간이 경과한 뒤에도 계속적으로 방출강도가 증가하는 추세를 보였다.

포름알데히드의 습도의 차이에 따른 초기방출강도는 그림7과 같이 습도가 50%일 때 1.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ , 80%일 때 0.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$  나타나 습도가 낮은 경우에 1.6배 높게 나타났다.

온도 25℃, 환기횟수0.5회/h

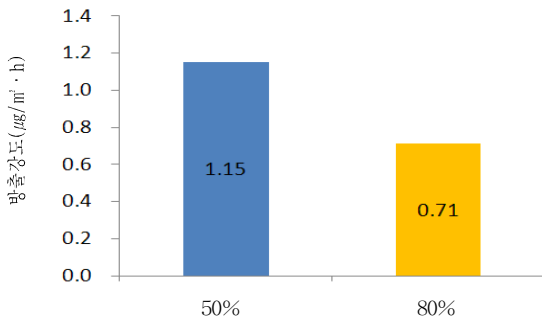


그림7. 습도 변화에 따른 MDF에서의 HCHO 초기방출강도

또한, 습도가 50%일 경우 최대방출강도는 6시간일 때 1.36μg/m³h로 나타났다. 제2차 방출시기 시작점은 시료 투입 후 31시간이 경과한 후에 나타났으며 제2차 방출시기의 평균값은 1.29μg/m³·h로 나타났다.

습도가 높은 경우인 80%인 경우는 시료 투입 후 120시간 경과시에도 계속적으로 증가하는 추세를 보여 각 분석점(최대방출강도, 제1차, 제2차 감소시기)에서의 방출강도와 도달하는 시간을 알아내기 위해서는 120시간 이상의 장시간 측정실험이 필요한 것으로 나타났다.

이상과 같이, 상대습도에 따른 포름알데히드의 방출강도 특성은 습도가 낮은 50%인 경우에 초기방출강도는 1.6배 높게 나타났으며, 120시간 경과시점에서 80%의 경우보다 높은 방출량을 나타냈다.

IV. 결론

본 연구에서는 실내 건축재료로 주로 쓰이는 MDF를 대상으로 온도와 상대습도에 따른 포름알데히드 방출강도의 특성을 알아보았다.

1)온도의 차이에 따른 포름알데히드의 방출강도는 온도가 상승 할수록 높게 나타났음을 확인하였다. 각 분석점(초기방출강도, 최대방출강도, 제1차, 제2차 방출시기)에서의 방출강도는 온도가 5℃상승할수록 1.1-1.6배 증가하였다. 또한, 온도가 증가할수록 각 분석점(최대방출강도, 제2차 방출시기)의 도달시간이 길게 나타나는 것을 확인하였다.

2)상대습도의 차이에 따른 포름알데히드 방출강도는 상대습도가 낮은 경우에 높은 방출강도를 나타났음을 확인하였다.

또한, 챔버내 시료 투입후 120시간이 경과된 시점에서 상대습도가 낮은 50%의 경우는 안정적으로 감소경향을 나타냈으나, 상대적으로 습도가 높은 80%의 경우 계속적으로 증가하는 추세를 보여 좀 더 장기간의 추이경과 조사가 필요한 것으로 판단된다.

3)결론의 신뢰성을 확보하기 위해서 다양한 재료를 대상으로 충분한 경과시점이 확보된 장기간에 걸친 실험이 필요한 것으로 판단된다.

1. 권경우 외(2007), 개별 마감재의 유효확산계수를 이용한 복층 마감 후의 VOCs 방출량 예측에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 23(7), pp 269-276
2. 유복희 외(2004), 건축자재에서 발생하는 VOCs와 HCHO의 방출농도 평가, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집(계획계), 24(1), pp 605-6081
3. 유복희 외(2006), 현장실험을 통한 친환경건축자재의 VOCs 및 포름알데히드의 방출 특성, 대한건축학회 논문집(계획계), 23(7), pp 233-240
4. 유흥규 외(2005), 실내건축자재 폼알데하이드 및 휘발성유기화합물 방출 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 21(7), pp 141-148
5. 유흥규 외(2006), 실물 주거 시공을 통한 실내공기질에 영향을 미치는 주요 건축자재 및 시공방법에 관한 연구, 설비공학논문집 18(3), pp262-269
6. 이승민 외(2006), 신축공동주택 마감재의 폼알데하이드 및 휘발성유기화합물 방출 특성 평가, 대한건축학회 논문집(계획계) 21(10), pp299-306
7. 정수연 외(2007), HB마크 건축자재 마감에 따른 공동주택에서의 폼알데하이드와 VOCs 장기 농도 변화에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계) 23(7), pp277-286
8. 조완제 외(2008), 친환경자재 및 흡착제 적용에 따른 실내공기 오염농도 변화, 대한건축학회 논문집(계획계) 24(4), pp227-234
9. 최은선 외(2008), 온도변화가 건축자재에서의 휘발성유기화합물 유효확산계수에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 24(6), pp 371-378
10. 환경부(2004), 실내공기질공정시험방법
11. Andersen, I., Lundquist, R., Molhave, L.(1975), Indoor air pollution due to chipboard used as a construction material, Atmospheric Environment 9, pp 1121-1127
12. Fang, L., Clausen, G., Fanger, O.(1998), Impact of temperature and humidity on perception of indoor air quality, Indoor Air (8), pp 80-90
13. Lin,C.C., Yu,K.P, Zhao, P., Lee,G.W.M.(2009), Evaluation of impact factors on VOC emissions and concentrations from wooden flooring based on chamber tests, Building and Environment 44, pp525-533
14. Wolkoff, P., Nielsen, G.(2001), Organic compounds in indoor air-their relevance for perceived indoor air quality, Atmospheric Environment 35, pp 4407-4417
15. Wolkoff, P.(1998), Impact of air velocity, temperature, humidity and air on long-term VOC emissions from building product, Atmospheric Environment 32, pp 2659-2668
16. Van Netten, C., Shirliffe, C., Svec, J.(1989), Temperature and humidity dependence of formaldehyde release from selected building materials, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 42, pp 558-565