

# 대형챔버에 의한 생활제품(가구류) 방출오염물질 특성연구

박재형<sup>†</sup>, 강윤경, 이윤규

한국건설기술연구원

## A study on the chemical emission of furnitures using the large chamber method

Jae Hyoung Park<sup>†</sup>, Yoon-Kyung Knag, Yun Gyu Lee

Building & Urban Environment Research Division

Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

**ABSTRACT:** Formaldehyde(HCHO) and total volatile organic compounds(VOCs) can cause adverse health effects to the building occupants and may contribute to symptoms of 'Sick Building Syndrome'. These chemical contaminants are emitted from furnishings and electronic equipments as well as building materials. The purpose of this study is to measure and analyze VOCs and HCHO emission concentration from furnitures composed of wood materials including various chemicals by the large chamber method. This paper presents experiment results on the emission concentration of TVOCs and HCHO released from furnitures, such as bed, kitchen, sofa and table by a large chamber(24m<sup>3</sup>). The temperature and air humidity in the chamber are controlled to 25±1°C and 50±5% for this experiment. When the air change rate is 0.5hr<sup>-1</sup>, the background concentrations within the large chamber are below 50µg/m<sup>3</sup> for TVOC, 5µg/m<sup>3</sup> for HCHO and individual VOCs.

The study is investigated the characterization of the chemical emission TVOC and HCHO concentrations and unknown VOCs from 6 furnitures.

**Key words:** 24m<sup>3</sup> chamber(24m<sup>3</sup> 챔버), Sick house syndrome(새집 증후군), Furniture(가구), Volatile organic compounds(VOCs: 휘발성유기화합물)

### 1. 서론

최근 에너지 절약과 건축물의 기밀화, 단열화와 실내의 거주시간이 80% 이상을 보내는 현대인들에게 실내공기의 화학물질 농도가 증가하고 있다. 이러한 화학물질들은 실내거주자에게 두통, 집중력 저하 등 건강상 영향을 미치는데 이를 새집 증후군(Sick building syndrome)이라 한다.

이러한 새집증후군의 주요 요인으로 알려진 건축 자재에서 방출되는 휘발성유기화합물과 포름알데히드 등의 방출량보다 신축시에 함께 설치되는 내장가구류 및 창호재 등에서 더 많이 방출될 가능성이 있는 것으로 나타났다. 또한, 2006년 “생활제품에서 방출되는 오염물질 현황 및 관리방안 연구” 결과에 따르면 가구 및 전기 전자제품 등에서 방출되는 유해화학물질도 재실자의 건강에 치명적인 영향을 줄 수도 있는 발암성이 높은 오염물질 등이 높은 농도로 검출되고 있는 것으로 나타나고 있다<sup>(1)</sup>.

이와 같은 새집증후군의 대책으로 주요 선진국

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-9100-782; fax: +82-31-9100-361

E-mail address: roispark@kict.re.kr

인 미국 및 유럽 등에서 운영되고 있는 Green Guard, Blue Angel 등의 친환경 인증제도에서도 대형챔버를 이용한 전기전자제품 및 가구류 등에 대한 오염물질 방출량 평가방법 및 기준치의 제시 등을 통하여 유해 화학물질에 대한 허용 방출 수준(Allowable Emission Levels)을 관리하고 있다. 하지만 국내에는 가구류의 실물크기의 대상 제품에서 방출되는 오염물질을 측정하는 대형챔버법 시험방법이 정립되지 않아 국내 실정에 맞는 대형챔버 시험방법의 마련이 시급한 실정이다. 본 연구에서는 가구를 대상으로 ISO 16000-9<sup>(2)</sup>, ASTM D 6670<sup>(3)</sup>, JIS A 1911<sup>(4)</sup>을 참고하여 24m<sup>3</sup> 챔버에서 TVOC, HCHO, 개별 VOCs, unknown 물질 방출특성을 평가함으로써 대형챔버 시험방법 정립과 가구류 오염물질 저감 방법과 관리를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 대형챔버

가구, 전자제품 또는 대형건축자재 등과 같이 단일 시료의 채취가 어려워 한 개의 단위제품으로 시험해야하는 시험체의 유해오염물질 방산시험이 가능하도록 개발된 20m<sup>3</sup>를 초과하는 용적을 갖는 챔버를 대형챔버라 하며<sup>(2)</sup>, 이러한 챔버를 이용하여 일정한 조건하에서 실제 제품에서 발생하는 오염물질의 방출량을 측정하는 방법을 대형챔버법이라 한다. 본 연구에서 사용한 24m<sup>3</sup> 대형 챔버는 공기청정장치, 공기공급장치, 온·습도 제어장치, 유량조절장치, 교반장치로 구성되어 있으며, 챔버사양은 Table 1과 같다.







Table 1 Outline of Large chamber

Description	
Volume	24m <sup>3</sup>
Temp, Humidity	25±1℃, 50±5%
Flow rate	200L/min

### 2.2 시험체 준비 및 시험방법

챔버테스트 방법은 측정결과가 실제 실내공간에

Table 2 Information of the Furnitures

List	Image	Volume	Loading factor
Double bed		2.68m <sup>3</sup>	0.51m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Sofa		1.38m <sup>3</sup>	0.33m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Kitchen furniture (acupboard)		1.38m <sup>3</sup>	1.21m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Kitchen furniture (a sink)		1.00m <sup>3</sup>	1.09m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Table(workstation)		1.8m <sup>3</sup>	0.48m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Table(student)		1.23m <sup>3</sup>	0.64m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

서 방출되는 것과 같이 변환하여 실제 제품에서 방출되는 오염물질량을 시험하는 것이어서 매우 유용한 자료로 활용할 수 있는 방법이다. 챔버를 이용한 시험 방법은 ASTM D 5116과 ASTM D 6670에 규정되어있다.

실험대상 제품을 챔버 내에 위치시키고 챔버 내부로 정제된 순수공기를 공급하며 배기 측에서 공기를 채취하여 분석하는 방법을 활용하고 있다. 이러한 실험방법은 실제의 실내공간과 동일한 조건으로 공기의 흐름을 형성하고 실내공간을 모사한 실험을 통하여 현실과 상응한 실험결과를 도출할 수 있다. 즉, 챔버 테스트 방법은 실제 주택이나 사무소공간과 같은 조건을 형성하여 각종 제품으로부터 실제 오염물질을 방출하는 동일한 조건을 형성하여 실험한다는 것이다.

본 방출시험에 사용된 가구류는 더블침대, 홑침대, 소파, 주방가구 상단, 주방가구 하단, 학생용 책상, 사무용책상으로 선정하였다. 대상제품에 대한 사양은 Table 2와 같다. 시험체는 최대한 시험일정에 맞추어 보관기관을 최소화하였고, 측정이 시작되기 전까지 포장상태를 유지하여 향온·향습이 가능한 장소에 보관하였다 대형챔버의 배경농도를 확인한 후 제품을 대형챔버 중앙에 설치하였고, 서랍이 있는 가구류의 경우는 모두 개방하여 실험을 진행하였다.

시료채취지점은 모든 시험체가 중앙에 설치됨으로 인하여, 취출구 부분에서 VOCs가 방출되지 않는 테프론 튜브를 통하여 챔버 외부에서 실시

하였다.

샘플링은 시험체를 설치한 후 1,3,5,7일 경과 후에 실시하였고, 대형챔버의 환기횟수는 각각 0.5 회/h이다. 대형챔버를 이용한 가구의 오염물질은 Tenax-TA tube(Supelco, USA)을 이용하여 100mL/min 유량으로 30min을 채취하여 총 3L를 포집하였고, HCHO는 오존스크러버와 2,4-DNPH 카트리지를(Supelco, USA)를 이용하여 500mL/min 유량으로 15L를 포집하였다.

### 2.3 분석방법

VOCs는 시료를 채취한 흡착관을 고체열탈착장치(Turbo matrix400, perkin elmer USA)에 의해 1차 고온탈착(290℃)시키고, 다시 -30℃의 저온 농축관에서 농축 시킨 후, GC/MS(QP2010, shimadzu Japan)의 DB-1 (0.25mm×1.0μm×60m) 컬럼에 도입하여 기체크로마토그래피 원리에 의해 대상성분을 분리한다. 이 때 분리된 성분들은 Quadruple type의 질량분석기에 의해 크로마토그램의 각 성분의 피크별 면적이 계산되고, 미리 작성한 검량선에 의해 농도가 산정된다. VOCs의 검량선 작성을 위해서 각 물질의 농도가 100ppb인 TO-14 표준기체(Rest다, USA)를 사용하였다. Table 3에 GC/MS의 분석조건을 나타내었다.

Table 3 Operation condition of GC/MS

GC/MS	GC/MS-QP2010plus(shimadzu)
Column	DB-1(0.25mm×1.0μm×60m)
Carrier gas	He(99.999%) 1.0mL/min
Oven temp.	35℃(5min)-5℃/min-200℃(20min) -10℃/min-250℃(20min)
Injection temp.	270℃
Ion source temp.	200℃
Electron energy	EI type(70eV)
Mass range	35-300m/z
TD	Turbo matrix 400(PerkinElmer)
Valve temp.	195℃
Desorption temp.	290℃
Desorption	10min, 30mL/min
Cold trap temp.	-30~300℃
Transfer line temp.	240℃
Split ratio	10:1

HCHO는 시료가스의 일정량을 채취하여 시료 중의 카르보닐화합물을 2,4-DNPH로 유도체화한 후 5mL Acetonitrile로 용출한 다음 고성능액체 크로마토그래프(High performance liquid chromatograph, HPLC: Waters, USA)에 도입하여 자외선흡광검출기의 360nm에서 검출되는 크로마토그램의 면적으로 대상물질의 농도를 구하였다. HCHO의 검량선은 카르보닐화합물 표준용액을 Acetonitrile 용액으로 희석해 가면서 검량선 작성에 필요한 표준용액을 제조하고, 각 표준용액을 HPLC를 통하여 검량선을 작성하였다. HPLC 분석조건은 Table 4와 같다.

Table 4 Operation condition of HPLC

HPLC	Waters 1525/717 Plus
Column	Ace5 C-18(150mm×4.6mm)
Eluent	Acetonitrile(ACS grade)/Dewater
Flow rate	1.0mL/min
Gradient elution	ACN/Water(40/60→70/30(28min)→40/60(35min))
Injection volume	20μL
Detector	UV@360nm, Waters 2487

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 가구류의 TVOC 및 HCHO 방출특성 평가

ISO 16000-9, JIS A1911 규격에서는 1, 3, 5, 7, 28일 경과 후의 방출농도를 측정하도록 규정하고 있으며, Greenguard에서는 7일 경과후로 규정하고 있다.

본 연구에서는 가구류에서 방출되는 오염물질은 시험제품을 설치한 후 1일, 3일, 5일, 7일 경과 시점의 공기를 샘플링하여 측정하였다. 먼저, 오염물질 방출량 실험결과의 객관성을 확보하기 위하여 시스템에 공급되는 공기와 준비된 챔버의 청정도를 확인하여야 한다. 배경농도의 측정은 세정된 챔버를 48시간 이상 충분히 환기시킨 후, Tenax-TA와 DNPH cartridge를 이용하여 챔버 내부의 공기를 채취하였다. 분석한 배경농도가

기준치 TVOC  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 개별 VOC  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ , HCHO  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 검출되는지 확인한 후 실험을 진행하였다.

**Table 5 TVOC Concentration of Furnitures**

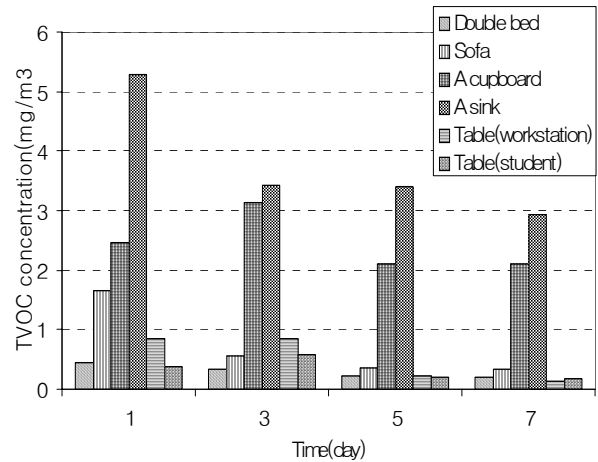
TVOC(mg/m <sup>3</sup> )	day			
	1	3	5	7
Double bed	0.437	0.330	0.231	0.205
Sofa	1.653	0.565	0.367	0.347
Kitchen furniture (a cupboard)	2.463	3.126	2.098	2.111
Kitchen furniture (a sink)	5.290	3.425	3.414	2.943
Table(workstation)	0.853	0.856	0.233	0.145
Table(student)	0.372	0.577	0.195	0.179

Table 5와 Fig. 1에서 침대에서 방출되는 TVOC 농도는 시험제품을 설치(메트리스 포함)하고 1일이 경과한 후의 농도가  $0.437\text{mg}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났고, 7일이 경과한 후의 오염물질 방출농도는  $0.205\text{mg}/\text{m}^3$ 로 나타났다.

소파(천소재)에서 방출되는 TVOC 농도는 시험제품을 설치하고 1일이 경과한 후의 농도가  $1.653\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 높게 나타났고, 7일이 경과한 시점의 오염물질 방출농도가  $0.347\text{mg}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 주방가구 상단부 벽장에서 방출되는 TVOC 농도는 시험제품을 설치하고 3일이 경과한 후의 농도가  $3.126\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 가장 높게 나타났고, 7일 경과후 농도는  $2.111\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 주방가구 하단(대리석포함)에서 방출되는 TVOC 농도는 시험제품을 설치하고 1일이 경과한 후의 농도가 취출부에서  $5.290\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 가장 높게 나타났고, 7일이 경과한 시점의 오염물질 방출농도가  $2.943\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

사무용 책상의 경우 TVOC 농도는 시험제품을 설치하고 3일이 경과한 후의 농도가  $0.853\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 나타났고, 7일이 경과한 시점의 오염물질 방출농도는  $0.145\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

가구류의 TVOC 방출특성은 대부분의 경우 1일 경과 시점에서 높은 방출농도가 측정되었으며, 시간이 지남에 따라 오염물질 농도가 줄어드는 경향을 보이고 있다.



**Fig. 1 TVOC concentration variation of the furnitures**

TVOC 측정결과 중에서 주방가구의 경우, 시간 경과에 따라 줄어드는 경향이 관찰되었지만, 다른 가구류에 비해 높은 방출농도를 보이고 있다. 이는 시료자체의 도장표면이 많은 점, 마감하지 않은 절단면의 노출과 loading factor가 큰 것이 주요 요인으로 판단되며, 7일 이후의 농도변화에 대한 고찰도 필요할 것으로 사료된다.

가구류의 formaldehyde 방출농도 결과는 다음 Table 6과 Fig. 2에 나타내었다.

formaldehyde의 시간 경과에 따른 방출농도는 대부분 큰 변화가 없음을 확인 하였다. 일정한 농도가 지속적으로 유지될 가능성이 있음을 시사한다.

### 3.2 가구류의 개별 VOCs 및 Unknown 물질 방출특성

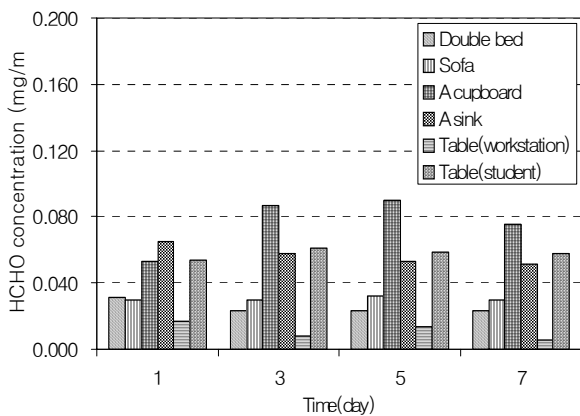
가구류에서 방출되는 개별 VOCs는 “다중이용시설 등의 실내공기질관리법”에 준한 benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, styrene을 측정대상으로 하였고, 7일 경과 후 방출농도를 Table 7에 나타내었다. 7일 경과 후 침대에서는 toluene과 ethylbenzene이  $0.018\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $0.017\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 8.8%와 8.3%의 기여율을 보이고 있다. 천소재의 소파의 경우 개별 VOCs에서는 toluene이 기여도 22.2%로 확인되었다. 이는 천소재, 쿠션부분과 접착제에서 발생한 것으로 사료된다.

**Table 6 Formaldehyde concentration of furnitures**

HCHO(mg/m <sup>3</sup> )	day			
	1	3	5	7
Double bed	0.032	0.023	0.023	0.023
Sofa	0.030	0.029	0.032	0.030
Kitchen furniture (a cupboard)	0.053	0.087	0.090	0.076
Kitchen furniture (a sink)	0.065	0.058	0.053	0.052
Table(workstaion)	0.017	0.008	0.014	0.006
Table(student)	0.054	0.061	0.058	0.058

**Table 7 Concentration of individual VOCs from the furnitures**

Compounds [mg/m <sup>3</sup> ]	benzene	toluene	ethyl benzene	xylene	styrene
Double bed	0.001	0.018	0.017	0.011	0.008
Sofa	0.002	0.077	0.005	0.034	0.010
Kitchen furniture (a cupboard)	0.002	1.332	0.002	0.017	0.001
Kitchen furniture (a sink)	0.002	2.065	0.011	0.032	N.D
Table(work station)	0.001	0.060	0.001	0.006	0.001
Table(student)	0.002	0.039	0.006	0.009	0.004



**Fig. 2 HCHO concentration variation of the furnitures**

가구 찬장과 싱크대에서 toluene이 1.332mg/m<sup>3</sup>, 2.065mg/m<sup>3</sup>으로 63.1%, 70.2%로 개별 VOCs 와 다른 가구보다 높으며, 이는 다른 측정대상 가구 류보다 상대적으로 큰 시료부하율로 기인한 것으로 생각된다. 또한, 주방가구가 대부분 합판으로 구성되어있으며, 광택 마감 및 색감을 내기 위한 페인트 사용과 접착제를 사용하기 때문인 것으로 판단된다.

Unknown 물질의 기여율을 살펴보면 침대 73.2%, 소파 63.1%, 사무용책상 52.4%와 학생용 책상 67.1%로 TVOC중 개별 VOCs의 기여도 보다는 unknown 물질이 차지하고 있는 기여도가 많은 실정이다.

#### 4. 결론

본 연구는 생활용품(가구류)에서 방출되는 오염 물질 특성과 국내 대형챔버의 시험규격 정립에 필요한 기초자료를 확보하기 위한 것이다. 가구 류 6종을 대상으로 24m<sup>3</sup> 대형챔버를 이용하여 시간 변화에 따른 TVOC와 HCHO 방출특성을 파악하였고, 개별 VOCs와 Unknown 물질의 기여도를 파악하였으며, 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 본 연구에서 측정한 가구류는 TVOC 방출 농도가 대부분설치 후 1일에서 높게 방출되어 7일 경과 후 감소하는 경향을 보이고 있다. 가구 류의 HCHO 방출농도는 시간에 따른 변화는 거의 나타나지 않았다. 가구제품에 적용된 자재의 성능 및 종류에 따라 HCHO 방출농도가 영향을 미치는 것으로 판단된다.

(2) 주방가구 찬장과 싱크대의 TVOC 중 개별 VOCs 비율에서 toluene이 63.1%, 70.2%에 높은 기여도를 보였으나, 침대, 소파, 사무용책상과 학생용책상의 경우, TVOC 중 unknown 물질의 비율이 73.2%, 63.1%, 52.4%과 67.1%로 높은 기여율을 차지하는 것으로 확인되었다.

(3) 가구류에서 방출되는 오염물질의 농도는 공동주택의 실내공기질에 영향을 끼칠 가능성이 있으며, 쾌적하고 안전한 실내공기환경을 확보하기 위해서는 건축자재뿐만 아니라 가구류에 대한 고려도 필요할 것으로 판단된다.

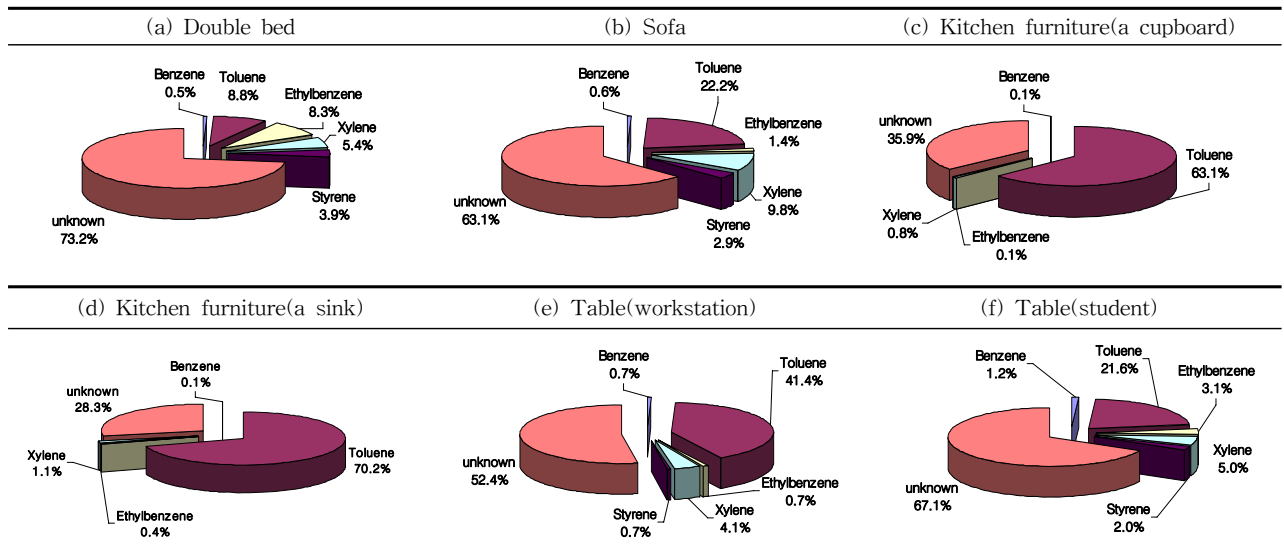


Fig. 3 Relative contribution of individual VOCs to TVOC

가구류의 대상제품의 종류에 따라 측정·분석 방법 중 시료부하율에 따라 오염물질 방출특성이 달라지므로 대형챔버를 이용한 평가방법 및 기준 정립이 필요하다. 현재 국내에는 가구류의 실물크기의 대상제품에서 방출되는 오염물질을 측정하는 대형챔버법 시험방법이 정립되지 않아 국내 실정에 맞는 대형챔버 시험방법의 연구가 선행되어야 하며, 생활제품(가구류)에서 방출되는 유해 화학물질 방출기준을 마련하기 위한 다양한 방출량 실태조사가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 환경부의 "차세대핵심환경기술개발사업(Eco-technopia 21 project)으로 지원받은 과제입니다.

## 참 고 문 헌

1. The Ministry of Environment, 2006, The Study of the present condition and manage plan of the chemical emission from electronic equipment and furnishings
2. 2006, ISO 16000-9, 11 Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing part 9: Emission test chamber method, part 11: Sampling, storage of samples and preparation of test specimens
3. 2001, ASTM D-6670-01 Standard Practice for Full-scale Chamber Determination of Volatile Organic Emissions from Indoor Materials/Products
4. 2006, JIS A 1911 Determination of the emission of formaldehyde for building materials and building related products-Large chamber method