

가구류 제품의 시험방법간 상관성 분석 연구

Development of Correlation Analysis on the Test Methods of Furniture-like Products

김수하(Su Ha Kim)¹, 이윤규(Yun Gyu Lee)^{1*}, 서영민(Young Min Seo)²

¹한국건설기술연구원 그린빌딩연구소실, ²한국건설생활환경시험연구원 안전환경센터

¹Green Building Research Division, KICT, Goyang 411-712, Republic of Korea

²Building Materials Safety Center, KCL, Gunpo 435-010, Republic of Korea

(Received September 6, 2013; revision received November 1, 2013)

Abstract Hazardous chemicals emitted from building materials and furniture have led to social problems such as sick house syndrome. Test methods for the evaluation of pollutant emissions from furniture-like products have been applied using various national and international standards and classifications, but they are not currently unified. This research has been done to organize the various standards and certification methods and to make new classification systems. Proper test methods have been proposed, tested, and analyzed through this research.

Key words Furniture(가구), VOCs(휘발성유기화합물), HCHO(폼알데하이드), Large chamber(대형챔버), Emission(방출)

* Corresponding author, E-mail: yglee@kict.re.kr

1. 서 론

실내공기질이 사회적으로 문제가 됨에 따라, 국내 공동주택에 적용되고 있는 건축자재 및 가구 등으로부터 방출되는 휘발성유기화합물(VOCs) 및 폼알데하이드(HCHO)는 새집증후군 및 화학물질과민증(MCS : Multiple Chemical Sensitivity)의 주요 원인으로 작용하고 있다. 이러한 화학물질은 천식, 알레르기 비염 등 각종 질환을 유발하고 재실자의 쾌적한 거주환경을 저해하고 있는 것으로 알려져 있다. 생활용품 중에서는 특히 가구류 제품이 가전제품, 의류에 비하여 VOCs 및 HCHO를 많이 방출하는 것으로 조사되었다.¹⁾

이에 따라, 소비자들의 친환경제품에 대한 관심도가 점차 증가하고 있으며,²⁾ 제품의 차별성 평가가 확대되는 만큼 가구류 제품에 대한 정확한 시험방법을 확보하고 명확한 평가기준이 시급히 수반되어야 할 것이다.

가구류 제품에 대한 각 부처별 실내공기질 개선정책의 목표는 동일하지만, 기술적 해결방법의 방향성과 규제 적용대상에 다소 차이가 있다. 현재는 건축자재 및 목질판상재의 시험방법인 데시케이터법(Desiccator method)과 소형챔버법(Small chamber method)이 병행·적

용되고 있어 가구류 제품에 대한 안전관리가 이루어지고 있지 않으며, 실제 가구의 오염물질방출량을 객관적으로 측정할 수 있는 대형챔버법(Large chamber method)이 적용되지 못한 실정이다.

본 연구에서는 가구류 제품에 대한 국내외 제반 시험 및 평가 방법의 체계적 분석과 기존 가구분류 체계를 조정 및 보완하였고, 가구류 제품 시험방법의 일원화 방안 제시를 위해 가정용 가구를 대상으로 대형챔버법과 소형챔버법으로 시험하여 시험방법간의 상관성 등을 비교 분석하였다.

2. 실험방법

2.1 가구류 제품의 시험방법

가구의 오염물질방출량 측정 및 평가는 가구의 재료와 가구 완제품에 대한 평가방법으로 구분할 수 있다. 가구 재료의 오염물질방출량을 평가하는 방법은 목질제품의 HCHO를 측정하는 방법인 데시케이터법과 생활 조건을 일부 반영한 소형챔버법이 이용되고 있다. 또한, 완제품을 평가하는 방법으로 건축물 내에 사용되는 것과 동일한 재료 및 제품의 실제 사용조건에서 방출되는 유해물질을 측정하는 방법인 대형챔버법이 있다.

1) 2008년, 국립환경과학원 보도자료.

2) 2007년, 환경부, 친환경상품의 환경·경제적 편익분석 연구(II).

Table 1 Test methods for furniture and building materials

Standards	Products	Substances
ISO 16000-9, Indoor air-Part 9 : Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing-Emission test chamber method	furniture, building materials	VOCs
JIS A 1911, Determination of the emission of formaldehyde for building materials and building related products-Large chamber method	furniture, building materials, application architecture	HCHO
JIS A 1912, Determination of the emission of volatile organic compounds and aldehydes without formaldehyde for building materials and building related products-Large chamber method	furniture, building materials, application architecture	VOCs
ASTM D 5116, Standard guide for small-scale environmental chamber determinations of organic emissions from indoor materials/products	interior material	VOCs
ASTM D6670, Standard practice for full-scale chamber determination of volatile organic emissions from indoor materials/products	large construction materials	VOCs
ANSI/BIFMA-7.1, Proposed-revised standard for formaldehyde and TVOC emissions of low emitting office furniture and seating	furniture, building materials	VOCs, HCHO
EPA RTI1999, Large chamber test protocol for measuring emission of VOCs and aldehyde	furniture, building materials	VOCs, HCHO
RAL-UZ 38, Low-emission wood products and wood-base products	wood products	VOCs, SVOCs, HCHO, CMT substances ³⁾
RAL-UZ 117, Low-emission upholstered furniture	furniture	TVOC, TSVOC, HCHO, Aldehydes, C-substances, ⁴⁾ TVOC without LCI ⁵⁾

2.2 국내 관련 인증제도

국내의 경우, 가구류 제품은 국토교통부에서 붙박이 가구를 대상으로 VOCs 및 HCHO에 대하여 성능인증을 시행하고 있고, 국가통합인증마크인 KC마크와 민간 규격인 HB마크, 환경마크에서도 유해물질에 대한 규제를 시행하고 있다. 국토교통부, 산업통상자원부, 환경부 등 주요 정부부처에서 청정건강주택 건설기준, 녹색건축물 인증제도 등 가구류 제품에서 방출되는 오염물질 평가 기준의 법규 및 제도를 시행하고 있다. 부처별로 시험하는 대상과 시험방법에 차이가 있으나, 관리항목은 TVOC, 톨루엔, HCHO 등으로 유사하다.

2.3 국외 관련규격 및 인증제도

2.3.1 국외 가구류 시험규격

선진국에서는 이미 실내공기질 악화 문제에 대응하

기 위한 규격을 제정하고 있으며, 그 중 국제표준화기구(ISO, International Organization for Standardization)는 챔버법에 대한 표준측정 및 분석방법에 관해 주관하고 있다. 일본의 JIS(Japanese Industrial Standards)는 건축자재와 대형가구를 시험할 수 있는 규격을 제정하여 VOCs 및 HCHO와 기타 알데하이드류를 측정하고 있으며, 그 외에 ASTM, EPA, BIFMA, RAL-UZ 등 다양한 관련 규격을 Table 1에 나타내었다.

2.3.2 국외 가구류 제품 관련 법규 및 제도 분석

미국의 가구제조업 협동조합인 BIFMA에서는 독자적인 가구품질 인증제도를 운영하고 있으며, GREEN-GUARD와 BLUE ANGEL에서도 가구뿐 아니라 실생활에 쓰이는 제품을 대상으로 유해물질을 규정·관리하고, 이를 위한 시험방법을 자체적으로 규정하고 있다.

2.4 가구류 제품의 분류체계 및 시험방법 분석

2.4.1 국내 정부부처별 가구류제품 분류체계

산업통상자원부에서는 KS를 제정하여 건축자재, 수납가구, 대형 건축자재 및 가구에 대한 안전기준을 제

3) CMT substances = carcinogenic, mutagenic and teratogenic substances.

4) C-substances = cancerogenic substances.

5) LCI = Lowest Concentration of Interest.

정하여 관리하고 있으며, KC마크에서는 일반적으로 쓰이는 가구를 항목으로 분류하고 있다. 환경마크의 경우에는 크게 가정용, 사무용, 교육용으로 각 사용처별로 분류하고 있으며, 국토교통부의 경우, 건축자재, 붙박이 가구 등으로 구분하고 있다.

각 부처별 가구분류체계가 일원화 되어있지 않고, 대상품목, 오염물질 항목, 시험방법 또한 상이하다. 가구류 제품은 제품군별로 방출되는 오염물질이 달라지기 때문에 가구분류체계정립 및 이에 따른 통합적인 시험방법을 정립할 필요가 있다. 가구분류체계는 국립국어원 표준국어대사전에 명시된 정의를 바탕으로 하였으며, 초소형 가구나 기술표준원 민원중에서 가구라고 정의하지 않는 항목들은 제외하였다. 최종적으로 소형챔버법, 소형-대형챔버법의 병행, 대형챔버법으로 나누어 Table 2와 같이 분류하였다.

현재 사용되고 있는 KS규격인 대형챔버법과 소형챔버법의 결과(단위)가 다르기 때문에 제품 평가에 대한 결과표현과 산정방법을 통일하기 위한 KS G 2014 총칙(안)과 보완 소형챔버법 KS G 2014(안)을 정립할 예정이다. 적용범위로는 주거용, 사무용 및 교육용 건물 등의 일반적인 환경에서 사용하는 가구류 제품의 VOCs 및 HCHO 방출량을 측정하기 위한 시험방법의 총칙과 가구류 제품의 시험방법에 적합한 소형챔버법이다.

2.4.2 해외인증제도의 가구류 분류체계

BLUE ANGEL에서는 목질제품 및 가구를 크기가 작은 제품은 소형챔버로, 유닛 가구와 시스템 가구는 대형챔버로 실험이 이루어지고 있다.

GREENGUARD에서는 가구 및 시스템 가구의 경우 대형챔버로, 건축재료, 목제의자 등은 소형챔버로 실험하고 있고, BIFMA에서는 개별 가구 및 시스템 가구를 대형챔버로, 제품 노출면에 대한 시험은 소형챔버로 실험하고 있다.

2.5 가구류 제품의 유형별 오염물질방출량 측정 방법 및 분석

2.5.1 기존 소형챔버법과 보완 소형챔버법^(1, 2)

본 연구에서는 제품 전체의 방출량을 직접 측정할 수 있는 대형챔버법과 재료별 방출량을 측정할 수 있는 소형챔버법을 대상으로 비교하였다. 대형챔버법에 적용되는 입체형상 시료인 가구제품은 가구 내·외부 재료부위에 따라 표면 환기 속도가 균일하지 않기 때문에 기존 건축자재의 표면 방출량 측정을 위한 소형챔버법과는 차이점이 발생할 수 있으나 환기량이 적고 농도평형이 빠른 휘발성물질에 대한 측정이기 때문에 지속적인 챔버 배출농도는 평형이 이루어진 상태로 가정하여 이 연구결과에는 고려하지 않았다.

기존 소형챔버법에서는 표면만 노출되는 형태인 반면, 보완 소형챔버법에서는 제품에서 노출되는 표면과 모서리부분을 고려하여 시험편을 제작, 설치하는 것이 다르다. 보완 소형챔버법은 건축자재 시험방법과 해외 라벨링제도(BLUE ANGEL)에서 적용하고 있는 가구 시험방법(RAL-UZ 38) 중 재료시험을 비교하였으며, 제품에서 방출되는 오염물질을 표면뿐 아니라 모서리와 접착제의 영향에 대한 평가의 필요성을 반영한 것이다.

RAL-UZ 38에서는 대형챔버법과 소형챔버법에서 모두 표면환기량이 1.0 m³/(m² · h)이 되도록 챔버의 크기 또는 환기량, 시료의 표면적을 조절하게 되어 있어 시료부하율(시험편의 전체 노출면적) 및 환기량을 동일하게 하였다.

동시 구매한 가구 제품을 대형챔버법으로 시험하고 시간경과별 제품의 오염물질방출량을 확인하여 안정화되는 경향을 파악하였다. 그 후, Fig 1과 같이 분해하여 구성재료별로 종류를 구분하고, Table 3, Table 4와 같이 노출면적, 노출면의 비율 등을 계산하여 시험편을 제작하였다. Fig. 2의 왼쪽부터 기존 소형챔버법,

Table 2 Furniture classification system

Test method	Product	Details		
Small	furniture in simple	wood and wood-based products(table, desk, etc.)		
		home	office	school
Small-Large	desk	desk, tea table, dining table	desk, reception table, workbench, shelves, office table	student desk, reading desk, bench, practical desk, lectern
	chair	table chairs, desk chairs	chairs, armchairs, theater chair	student chair
	cabinet	drawers, dresser, cabinet, dresser, bookshelf	space box, lockers, clean boxes, drawer, cabinet	shoe rack, lockers, clean boxes, locker, cabinet
	bed	cribs, beds	beds, cot	cot
	sofa	sofa	living room sofa	living room sofa
	etc.		counter, lectern	
Large	built-in furniture	built-in cabinets, sink		

Table 3 Estimate of exposed area of products component materials(simplified)

Sample	Plate	Product size(m) Thickness	Plate area(m ²)				Exposed area(m ²)/Rate(%)				Edge/ Surface		
			Plate area	Obscured junction area	Exposed edge area	Exposed area	Surface	Edge	All				
										A		B	C
1	fixed shelf	0.023	0.877	0.000	0.017	0.895	0.877	4.1%	0.017	2.4%	0.895	4.1%	2.0%
	top/bottom/side	0.018	12.422	0.164	0.453	12.711	12.258	57.4%	0.453	62.8%	12.711	57.6%	3.7%
1, 2	back	0.003	3.665	0.029	0.000	3.636	3.636	17.0%	0.000	0.0%	3.636	16.5%	0.0%
	door	0.018	4.569	0.000	0.251	4.820	4.569	21.4%	0.251	34.8%	4.820	21.8%	5.5%
	total		21.534	0.193	0.721	22.062	21.341	100.0%	0.721	100.0%	22.062	100.0%	3.4%

Table 4 Determination of the size of the test specimens(complementary small chamber method(KS G 2014(proposal))

Sample	Plate	Exposed specimen size(m)			Exposed area(m ²)/Rate(%)			Edge/ Surface	Load factor (m ² /m ³)			
		Thickness	Width	Height	Surface	Edge	All					
1	fixed shelf	0.023	0.160	0.120	0.038	-	0.001	-	0.039	-	2.4%	1.97
	top/bottom/side	0.018	0.240	0.080	0.038	-	0.001	-	0.040	-	3.8%	1.99
1, 2	back	0.003	0.240	0.080	0.038	-	0.000	-	0.039	-	0.6%	1.93
	door	0.018	0.160	0.120	0.038	-	0.002	-	0.041	-	5.6%	2.03



Fig. 1 Sample making process.

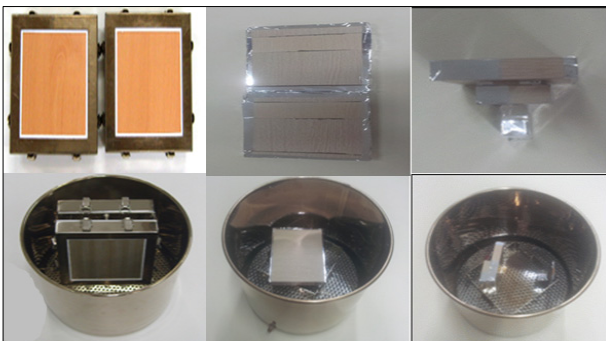


Fig. 2 Installation of samples in small chambers (ISO 16000-9, KS G 2014, mini-furniture).

보완 소형챔버법으로 제작한 시험편이며, 보완 소형챔버법에서는 재료의 제품 위치를 고려하여 외부 노출면

을 아래로 오게 하고, 내부 재료면을 위로 향하게 하여 제품 형태에서 일어나는 표면 환기량의 차이가 발생하도록 시료를 설치하였다.

대형챔버법으로 시험한 제품의 오염물질 방출량의 감소경향에 따른 예측값과 소형챔버법으로 시험한 재료별 방출량을 비교하였다. 시험방법별 측정결과 중 대형챔버법은 산출된 제품방출량으로 구하고, 소형챔버법은 재료별 단위면적당 방출량에 제품에서 차지하는 노출면적을 고려하여 각 구성재료별 방출량을 합산한 값을 제품방출량의 환산값으로 가정하였다.

2.5.2 축소모형을 이용한 방법

가구 제품을 형태 그대로 축소하여 모형을 만들어 함께 시험을 진행하였다. 축소모형의 제작은 구성부분별 노출면적과 모서리/표면의 비율을 고려할 수 있도록 부분별 시험편을 Fig. 2의 오른쪽 그림과 같이 제작하여 소형챔버 안에 설치하였다. 전체 제품과의 노출 표면적 축소비율은 소형챔버법의 시험편 부하율과 동일하게 되는 노출면적을 산정하여 수행하였으며, 시험편의 모든 절단면을 저방출 테이프로 마감하였다. 모서리 면적도 노출면적을 맞추기 위하여 일부 마감 처리를 하였으며, 축소비율(표면적) = 560 : 1(22 m² : 0.039 m²) 과 시료부하율(m²/m³) = 대형챔버 : 소형챔버 = 0.92 : 1.97를 적용하였다.

Table 5 Results of comparison by test methods

Item	Product Unit : mg/(unit · h)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
Species	Built-in furniture					Commercial furniture								
	racks	racks	racks	racks	book-case	racks		locker		racks		wardrobe		
No. of configuration parts	4	4	3	3	3	existing	revised	existing	revised	existing	revised	existing	revised	
Large chamber	TVOC	3.540	5.360	2.425	1.361	0.521	2.560	6.385	0.249	9.22				
	Toluene	3.170	4.980	0.280	0.110	0.425	2.416	6.100	0.197	9.12				
	HCHO	0.330	2.350	0.429	2.291	0.868	1.920	0.194	1.208	0.187				
Small chamber (Combined value)	TVOC	8.349	7.316	1.619	1.487	0.851	3.514	2.376	8.382	5.859	0.212	0.279	9.67	15.63
	Toluene	5.718	5.756	0.355	0.484	0.683	3.254	2.111	7.818	5.437	0.140	0.192	9.26	15.12
	HCHO	0.210	0.508	0.077	0.629	0.444	0.396	0.762	0.067	0.132	0.617	1.051	0.08	0.119
Large/Small	TVOC	2.36	1.36	0.67	1.09	1.63	1.37	0.93	1.31	0.92	0.85	1.12	1.05	1.70
	Toluene	1.80	1.16	1.27	4.40	1.61	1.35	0.87	1.28	0.89	0.71	0.97	1.02	1.45
	HCHO	0.64	0.22	0.18	0.27	0.51	0.21	0.40	0.35	0.68	0.51	0.87	0.43	0.64

3. 실험결과 및 고찰⁽³⁾

시험방법별 비교시험결과를 Table 5에 기존 연구결과를 포함하여 9개 제품에 대한 대형챔버법 시험결과와 소형챔버법 시험결과를 비교하였다.

제품 1~5는 대형챔버법과 기존 소형챔버법만 수행한 결과로 제품 방출량과 재료별 표면방출량의 합에 대한 비교시험이고, 6~9는 제품 방출량과 두 가지 소형챔버법(기존/보완)에 따른 재료별 방출량의 합에 대하여 모두 비교하였다. 제품 1~8은 각 시험방법별 7일 방출량에 대한 비교 결과이다. 제품 9는 대형챔버 시험 시작 28일까지의 경과시간별 방출량으로 예측한 값과 대형챔버 시험 종료 후 소형챔버 시험 시작 7일 후 방출량에 대한 비교결과이다.

소형챔버법(기존/보완)의 시험결과 중 TVOC는 환산한 제품방출량 값이 대형챔버법과 비교하였을 때 높게 나타나는 경향을 보였으며, HCHO는 반대로 낮게 나타났다.

기존 소형챔버법은 시료의 표면만 노출되기 때문에 마감재에 따라 HCHO 방출의 주요 원인인 목질판상재를 감싸 방출량이 감소되는 반면, 제품 전체가 노출되는 대형챔버법은 소형챔버 시험편과 달리 직접 노출되지는 않지만 마감처리가 되지 않는 접합부분과 천공 등 방출면적이 존재한다. TVOC는 표면뿐 아니라, 모서리 및 모서리 접착제 등으로 방출요인이 다양하다.

보완한 소형챔버법 결과는 Fig. 3, Fig. 4와 같이 기존 시험편 제작방법에 비해 대형챔버법 시험결과와 유사한 것을 볼 수 있다. Fig. 5와 같이 TVOC 방출량은 제품 9를 제외하고 기존 소형챔버법의 오차율이(25~45)% 감소되었으며, HCHO 방출량의 오차율은(19~33)% 감소되어, 기존 소형챔버법보다 대형챔버법을 이

용한 제품방출량에 더 가까워지는 것을 볼 수 있다. 소형챔버법에 따른 시험결과는 면적당 방출량이지만, 축소모형을 이용한 방법에서는 제품으로 간주하여 제품당 방출량으로 가정하여 계산하였다. 제품에 대한 비율(축소비율 : ×560, 시료부하율 : ÷1.97×0.92)을 곱하여 제품방출량으로 산출하여, 이 결과를 대형챔버법 및 소형챔버법(기존/보완)의 제품방출량 결과와 비교하였다.

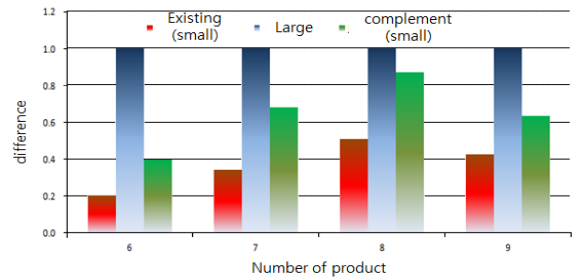


Fig. 3 Comparison of the error rates among the HCHO emission test methods.

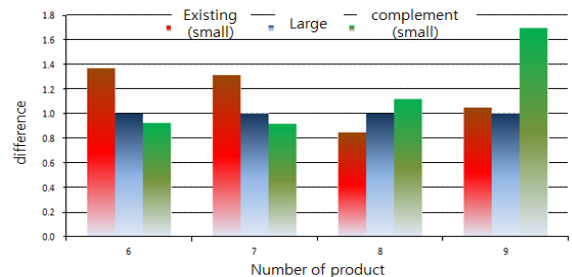


Fig. 4 Comparison of the error rates among the TVOC emission test methods.

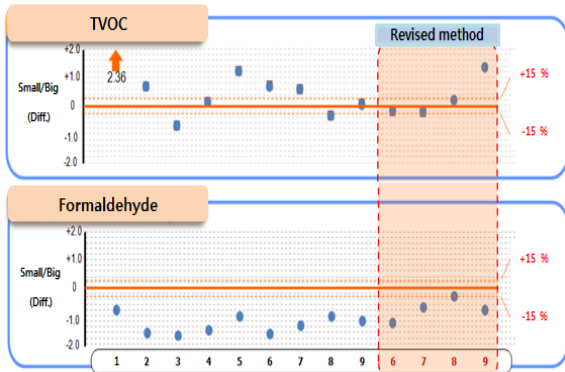


Fig. 5 Correlation analysis between pollutants test method.

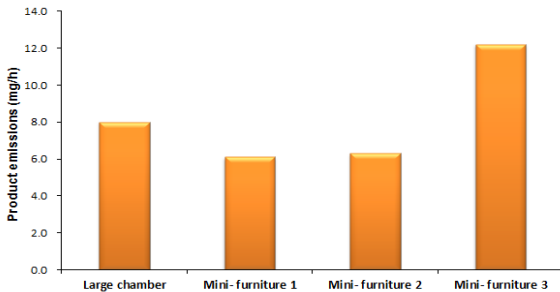


Fig. 6 Comparison of TVOC emissions between large chamber and mini-furniture methods.

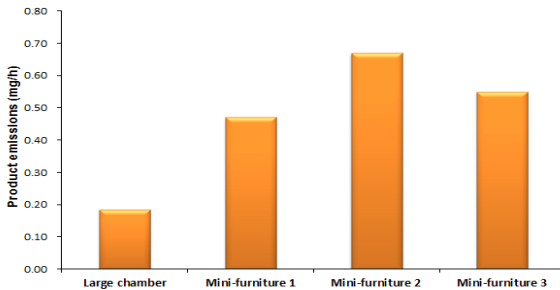


Fig. 7 Comparison of HCHO emissions between large chamber and mini-furniture methods.

Fig. 6, Fig. 7에서 보이는 바와 같이 축소모형 시험결과는 대형챔버법 시험결과의 상관성이 소형챔버법(기존/보완)에 비해 높지 않은 것으로 나타났으며, 반복시험에서도 TVOC, HCHO 모두 시험편 제작에 따라 많은 차이를 보였다. 이는 제품 전체에 대한 오염물질 방출에 일부 시험편의 균질성 확보가 어려운 반면, 시험편의 크기가 작을수록 채취위치에 따라 오차가 발생할 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

시험방법별 시험편 제작 방법에 따라 TVOC 방출량은 대형챔버 > 기존 소형챔버 > 축소모형 > 보완 소형챔

버의 순서로 나타났고, HCHO 방출량은 대형챔버 > 보완 소형챔버 > 기존 소형챔버 > 축소모형 시험의 순서로 나타나 시험방법간 차이를 보였다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 가구류 제품의 오염물질방출량을 평가하는 방법이 상이하기 때문에 시험방법에 적합한 가구분류체계를 새로 정하였다. 가구류 제품의 평가를 위한 소형 챔버 시험방법으로 가구부재별로 시험하여 합산하는 보완 소형챔버법인 KS G 2014(안)을 제시하였다.
- (2) 소형챔버법(기존/보완)을 이용한 결과에서는 대형 챔버법과 비교하였을 때, TVOC는 제품방출량에 비해 높게 나타나고, HCHO는 낮게 나타나는 상관성을 보였다.
- (3) 기존 소형챔버법에 비하여 본 연구에서 제안한 보완 소형챔버법으로 시험하였을 때, 오차율이 약 20% 이상 감소하는 경향을 보임으로써 보완 소형챔버법이 대형챔버법으로 시험한 결과와 상대적으로 유사한 것으로 나타났다.
- (4) 가구류 제품을 축소하여 만든 축소모형을 통한 제품의 오염물질방출량 평가에서는 시험편의 균질성 확보의 어려움 등의 이유로 상관성이 보이지 않는 것으로 나타났다.

향후 더 많은 실험자료를 확보하여 보다 의미있는 결과값을 도출해낼 예정이다.

후 기

본 연구는 2012년도 기술표준원 제품안전기술기반 조성사업의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

Reference

1. Jo, M. G., Seo, J. H., and Kato S., 2007, Study on measurement of mass transfer coefficient and compounds emitted from electrical appliances and furniture using large test chamber method.
2. Lee, Y. G., Kim, H. J., and Choi, J. H., 2008, Emission characteristic of volatile organic compound and formaldehyde emitted from furnitures, Korean Society of Order Research and Engineering.
3. Lim, J. Y., Jang, S. G., Sung, C. H., and Choi, A. R., 2008, The decrease tendency in and characteristics and carbonyls emitted from wood-based furniture, Korean Society for Atmospheric Environment.