

건축자재의 오염물질 방출 데이터베이스 개발; 휘발성유기화합물, 폼알데하이드 방출강도 및 화학조성

유영재 · 이철원 · 김만구★

강원대학교 자연과학대학 환경과학과
(2008. 9. 22. 접수. 2009. 2. 16. 승인)

Development of a building materials database; Volatile organic compounds, formaldehyde emission rates and chemical compositions

Young-Jae Yu, Chul-Won Lee and Man-Goo Kim★

*Department of Environmental Science, Kangwon National University, 193-1, Hyoja-dong,
Chunchon-shi, Kangwon-do 200-701, Korea*

(Received September 22, 2008; Accepted February 16, 2009)

요약: 이 연구에서는 건축자재로부터 방출되는 휘발성유기화합물과 폼알데하이드의 오염물질 방출강도를 포함하는 데이터베이스를 개발하였다. 건축자재 분류체계는 환경부와 한국공기청정협회에서 사용하는 분류체계와 연계하여 세분류하여 정립하였다. 개발된 데이터베이스는 각 건축자재로부터 방출되는 총휘발성유기화합물과 5가지 휘발성유기화합물, 그리고 폼알데하이드의 방출강도를 포함하며 화학적 성분 및 일반적인 정보를 함께 포함하기 때문에 평가 모델링을 통한 실내공기질 예측에 입력변수로 사용 가능하다. 건축자재 분류별 폼알데하이드와 총휘발성유기화합물의 방출강도를 box plot을 이용해 통계적 분석을 하였다. 또한 각 분류별 오염물질의 방출특성을 확인함으로써, 실내공기질을 악화시키는 주된 원인이 되는 건축자재를 확인 할 수 있었다.

Abstract: A material database has been developed for VOCs and formaldehyde emitted from building materials in this study. New classification system has been made by correlating the classification methods used in Korean Air Cleaning and Environmental Protection Agency. The developed databases include emission rates of TVOC, 5VOC and formaldehyde emitted from each building material. In addition, the databases can be used as an input variable to estimate indoor air quality (IAQ) using computer simulation since they also contain chemical component and general information. Box plot was used to do statistical analysis for emission rates of formaldehyde and TVOCs from different types of building materials. Also we confirmed the building materials worsening IAQ by categorizing the emission characteristic of different types of pollutants.

Key words : building materials, TVOC, 5VOC, formaldehyde, database

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)33-250-8576 Fax : +82-(0)33-251-3991

E-mail : mgkim@kangwon.ac.kr

1. 서 론

최근 실내 공기질에 관한 문제가 사회적 이슈가 되고 있다. 실내 공기질은 주로 건축내장재와 가구로부터 방출되는 휘발성유기화합물과 폼알데하이드와 같은 오염물질로 인해 악화된다.¹ 이와 관련하여 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법,² 학교보건법의 교사 안에서의 공기질에 대한 유지관리기준,³ 건축법의 건축물 내부 마감재료 사용규정⁴ 등의 제정을 통해 건축자재의 오염물질 방출량과 실내 공기질을 규제하고 있으며 한국공기청정협회에서는 오염물질의 방출량이 적은 친환경건축자재에 대해 등급을 부여함으로써 친환경 건축자재의 생산과 사용을 유도하고 있다.

이러한 다양한 법규와 기준의 제정 및 시행을 통해 실내 공기질 향상을 위한 오염물질을 다량 방출하는 건축자재의 사용제한과 친환경 건축자재의 생산 및 유통, 소비자의 접근을 원활하게 하기 위해서는 법규의 시행만으로는 부족하며 체계적인 시험방법을 통한 데이터들을 일괄적으로 관리할 수 있는 데이터베이스의 구축이 필요하다.⁵ 또한 데이터베이스의 구축은 시뮬레이션을 통한 실내 공기질 예측에 중요한 변수로 적용될 수 있으며 실내 공기질을 악화시키는 주된 원인을 밝히는데 사용될 수 있다.

미국의 NIST (National Institute of Standards and Technology)에서는 실내 공기질 예측 시뮬레이션 모델 구축을 위하여 건축자재에서 방출되는 오염물질 방출 데이터베이스를 구축하였다(IAQ Model Input Database).⁵ 이 데이터베이스는 U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency)의 SIAE (Sources of Indoor Air Emissions)와 Canada NRC (National Research Council)의 MEDB-IAQ (Material Emission Database and Indoor Air Quality Program)의 방출데이터를 총괄하여 구성이 되어있다. 건축자재를 방출강도별(CATEGORY)로 분류하고 이를 다시 건축자재의 유형(TYPE)으로 분류하는 분류체계를 사용하였으며 추가적으로 참고문헌(REFERENCE), 건축자재 속성(MATERIAL), 오염물질 속성(PROPERTY), 환경 실험 조건(TESTCOND), 자재 시험 조건(ETEST), 방출 모델식(EQUATION), 오염물질 방출속도(CONTAMINANT)의 정보를 포함하여 건축자재를 총 9개의 테이블로 나누어 관리하고 있다.⁶

Canada NRC의 MEDB-IAQ의 방출 데이터베이스는 69종의 건축자재에 대한 90종의 VOCs의 방출특

성을 포함하고 있다. 각 건축자재는 7개의 분류로 나누고 있으며 90종의 개별 VOCs는 10개의 화학적 그룹으로 나누고 각 물질의 실내 농도기준에 대한 참고치를 함께 포함하고 있다. 90종의 개별 VOCs는 Canada의 국내외 자료를 바탕으로 우선 선정된 120종의 개별 VOCs를 대상으로 건강의료분야의 자문 위원회가 검토하여 선별된 것들이다. 또한 데이터베이스는 각 건축자재의 방출시험시의 시험정보, 시험 조건, 90여종의 VOCs의 방출정보를 모두 포함하고 있다.⁷

U.S. EPA의 SIAE는 실내 공기질 모델링을 사용하는 사용자에게 이용가능한 방출강도 데이터를 제공하는 것을 목적으로 작성이 되었다. 이 데이터베이스는 Excel의 spreadsheet로 작성되어있으며 72개의 참고자료로부터 8490개의 방출강도 자료를 포함하고 있다(SIAE_599 version). 포함된 건축자재는 17개의 source category로 분류하고 있으며 약 78개의 종류(Type)로 구성 되어있다. 개별 건축자재에 포함된 정보는 방출원 분류, 방출시험조건, 오염물질 정보, 분석방법, 방출강도, 방출 모델링의 계수 등을 포함하고 있다.⁶

한국공기청정협회에서는 오염물질 다량 방출 자재 사용금지와 함께 친환경 건축자재에 대한 정보를 소비자에게 제공함으로써 시장에서 자발적 사용을 유도하기 위하여 친환경 건축자재 인증제도를 도입하여 2004년 2월부터 시행하고 있다. 건축자재에 대한 오염물질 방출시험을 통해 총휘발성유기화합물, 폼알데하이드 및 개별 VOCs의 방출강도를 기준으로 인증 등급을 부여하고 있다. 그리고 건축자재를 7가지로 분류하여 제품군별로 건축자재들의 인증등급에 관한 정보 및 제조회사, 제품특징 등 일반적인 정보를 함께 제공하고 있다.

캐나다와 미국의 데이터베이스는 실내공기질 예측 시뮬레이션에 이용가능하고 구체적인 정보를 포함하여 데이터베이스를 구축하였다. 그러나 한국의 경우 다양하게 활용될 수 있는 통합적인 데이터베이스의 구축이 아직 이루어지지 않았다. 따라서 이 연구에서는 데이터베이스 구축에 있어 가장 기본이 되는 건축자재 분류체계를 정립하고 건축자재로부터 방출되는 오염물질 방출량 등의 정보를 포함시켜 실내 공기질 예측에 이용가능하고 소비자의 접근이 용이한 다양한 활용성을 갖는 데이터베이스를 Excel의 spreadsheet형태로 구축하였다. 또한 건축자재 분류별로 오염물질의 방출 특성을 알아보았다.

2. 실험방법

2.1. 국외의 건축자재 분류체계

미국의 NIST에서 개발한 데이터베이스는 건축자재를 15개의 Category로 구분하고 다시 Type으로 세분류하여 분류체계를 구성하였다.

Canada NRC의 MEDB-IAQ에서는 건축자재를 Solid and Engineered Wood Materials, Installation Materials, Flooring, Walls, Ceilings, Interior Finishing, Furnishings의 7개의 Category로 분류하고 있으며 다시 Phase I Materials와 Phase II Materials로 나누어 세분류하고 있다.

2.2. 건설업체의 건축자재 분류체계

강동화 등은 <Fig. 1>에 나타낸 것과 같이 건축자재를 분류하였다. 분류체계 1순위로 적용위치별로 크게 분류하고 분류체계 2순위로 종류, 분류체계 3순위로 용도 및 성분으로 분류하고 있으며 더 나아가 분류체계 4순위로 세분류하는 방법을 사용하거나 분류체계 1순위로 공중에 따라 크게 분류하고 분류체계 2순위로 종류에 따라 분류하는 방법을 사용하고 있다.

2.3. 한국공기청정협회의 건축자재 분류체계

한국공기청정협회에서는 <Fig. 2>와 같이 일반자재와 접착제, 페인트로 분류하고 있으며 일반자재는 벽지, 바닥재, 판넬, 기타로 분류하고 있다. 이 분류체계는 다중이용시설등의실내공기질관리법 제 11조의 오염물질 방출 건축자재의 사용 제한과 관련된 기준에서 사용하는 분류체계와 유사하다. 이 기준에서는 건축자재를 접착제와 일반자재로 구분하고 있으며 일반자재는 벽지, 도장재, 바닥재, 목재 및 그 밖에 건축물 내부에 사용되는 건축자재로 규정하고 있다.

2.4. 건축자재 분류체계의 정립

이 연구에서는 <Fig. 3>과 같이 분류체계를 정립하였다. 분류체계 1순위로 환경부의 기준에 사용된

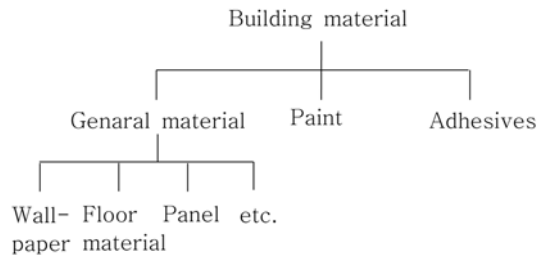


Fig. 2. Classification system used in Korea Air Cleaning/Researching Association.

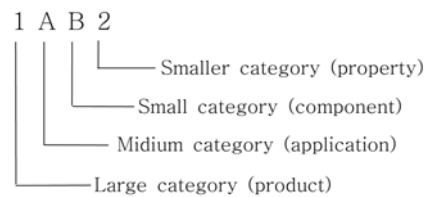


Fig. 3. The classification system code used in this study.

분류체계에 기초하여 바닥재, 벽지, 판넬, 페인트, 접착제, 기타의 6가지(Product)로 분류하고 1~6의 아라비아 숫자를 이용하여 코드번호를 부여하였다. 분류체계 2순위로는 각 자재의 용도(Applicaption)에 따라 분류하였다. 페인트의 경우 벽체용, 천체용, 목재용, 비철금속용, 가구용, 기타로 분류하여 A~F의 알파벳을 사용하여 코드번호를 부여하였다. 분류체계 3순위로는 각 건축자재의 성분(Component)에 따라 분류하였다. 각 용도별 페인트의 경우 천연수지, 알키드수지, 우레탄수지, 에폭시수지, 아크릴수지, 비닐수지, 실리콘변성수지계, 락카계, 불포화폴리에스테르수지, 페놀수지, 기타로 분류하여 A~K의 알파벳을 사용하여 코드번호를 부여하였다. 분류체계 4순위로는 각 건축자재의 특성(Property)에 따라 분류하였다. 각 성분별로 분류된 페인트는 수성과 유성으로 분류하였으며 1과 2의 아라비아 숫자를 이용하여 코드번호를 부여하였다. 페인트를 제외한 건축자재에 대해서는 분류체계 4순위에 미분류를 의미하는 아라비아 숫자 0을 사용하여 코드번호를 부여하였다. 새롭게 정립한

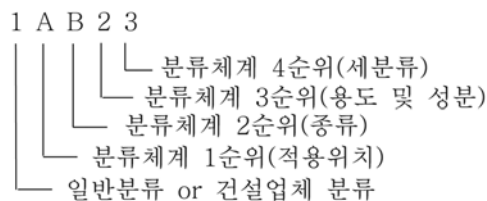


Fig. 1. Classification system used in the building industry.⁵

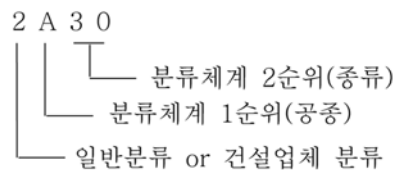


Table 1. The classification system table used in this study

Large category	Medium category	Small category		Smaller category			
Product	Application	Component		Property			
Floor material	Floor (1A)	Solid wood floor (1AA) Ply-wood floor (1AC)	Laminate Floor (1AB) etc. (1AD)	0			
	synthetic resin (1B)	Rubber tile (1BA) PVC-Tile (1BC)	PVC-Sheet (1BB) etc. (1BD)	0			
	Fabric (1C)	Carpet tile (1CA)		0			
	Stone (1D)	Granite (1DA)	marble (1DB) etc. (1DC)	0			
Wallpaper (2)	lining paper (2A)	Paper (2AA)	Natural (2AB)	0			
	PVC (2B)	Silk wallpaper (2BA) Non-flaming paper (2BC) etc. (2BE)	Foaming wallpaper(2BB) Fluorescent wallpaper (2BD)	0			
	NON-PVC (2C)	Laminated paper (2CA) Textile (2CC) etc. (2CE)	Natural paper (2CB) Inorganic matter (2CD)	0			
Panel (3)	Board (3A)	Gypsum (3AA) Mineral wool (3AC) Thermosetting resin	Cement (3AB) Aluminium board (3AD) (3AE) etc. (3AF)	0			
		synthetic resin (3B)	Polyester (3BA) Phenolic resin (3BC) Deco sheet (3BE) etc. (3BG)	Melamine floor (3BB) Polyvinyl chloride (3BD) Interior film (3BF)	0		
		Insulating material (3C)	Glass wool (3CA) Ceramic wool (3CC) Isopink (3CE) Urethane (3CG)	Mineral wool (3CB) Rock wool(3CD) Styrofoam (3CF) etc. (3CH)	0		
	Sound-absorbing material (3D)	Polyester (3DA) etc. (3DC)	Polyurethane (3DB)	0			
	Timber (3E)	Raw timber (3EA)		Ply-wood (3EB)	0		
	Steel material (3F)	Aluminum (3FA)		Stainless steel (FB)	0		
Adhesives (4)	furniture/wood (4A) floor/ply-wood (4B) floor material/tile (4C) insulating material (4D) building stone (4E) wallpapering (4F) etc. (4G)	Epoxy (4AA) PVAc(polyvinyl acetate) (4AC) Urea formaldehyde resin (4AD) Melamine formaldehyde resin (4AE)	Phenolic (4AB)	0			
		Silicone (4AF)	Acrylic (4AG)				
		Urethane (4AH)	Chloroprene rubber(4AI)				
		Gypsum (4AJ)	Starch (4AK)				
		Cement(4AL)	Sodium silicate (4AM) etc. (4AO)				
		Paint (5)	Wall (5A)		Natural paint (5AA)	Alkyd resin (5AB)	Water (5AA1)
			Steel (5B)		Urethane resin (5AC)	Epoxy resin (5AD)	
			Wooden product (5C)		Acrylic resin (5AE)	Vinyl resin (5AF)	
etc. (6)	Nonferrous steel (5D)	silicone modifide (5AG)	Lacquer (5AH)	Oil (5AA2)			
	Furniture (5E) etc. (5F)	Unsaturated polyester (5AI) Phenolic resin (5AJ)	etc. (5AK)				
etc. (6)	Plastic clay mixture (6A)	Tiles (6AA)	Brick (6AB) Hardner (6AC)	0			
	Catalyzer (6B)	Photocatalyst (6BA) etc. (6BB)		0			
	Waterproof material (6C)	Polyurethane (6CA)		Inorganic matter (6CB)	0		
		Epoxy (6CC) Surface adhesion (6CE)	Acrylic (6CD) etc. (6CF)				

1	A	B	C	D	F	J	K	L	M	N	O	P	Q	S	T	U	V
2	코드번호				제품명	HCHO (mg/m ³ ·h)	TVOC (mg/m ³ ·h)	5VOC(mg/m ³ ·h)						유료명1	CAS NO.	유료명2	CAS NO.
3	1	A	A	0	대나무 합목아무	0.125	0.173										
4	1	A	A	0	세간 돌이문아무	0.002	0.092	0.000	1.700	0.000	0.000	0.000	1.100				
5	1	A	A	0	에이클라스 안무	0.004	0.000	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	Polyester-acrylate emulsion 40~80%		물 5~20%	7732-18-5
6	1	A	A	0	유도리프로(플로어팅 보드)	0.032	0.061										
7	1	A	A	0	합목아무-이르본	0.003	0.040							멜라민-요소 포름알데하이드수지 52~57%		포름알데하이드 0.0501만	50-00-0
8	1	A	A	0	le-2en합목아무	0.006	0.075							에폭시계			
9	1	A	A	0	HAR0 고강도아무	0.012	0.037							에폭시계			
10	1	A	A	0	HAR0 합목아무	0.007	0.074							에폭시계			
11	1	A	A	0	Mase WPC	0.002	0.031										
12	1	A	A	0	Wood Life	0.063	0.220	0.010	0.021	0.041	0.001	0.037	0.060	수용성 아크릭 폴리메스테르 60~80%		3관용 모노머 2~7%	
13	1	A	B	0	포레스트	0.012	0.082										
14	1	A	B	0	한울 삼나무 레보	0.009	0.042							멜라민(100)	108-78-1		
15	1	A	B	0	2차 열가 유물(Euro)	0.001	0.023	0.000	0.011	0.000	0.000	0.002	0.003	Pigments		Catalyst	
16	1	A	C	0	구스름합판(18T)	0.003	0.135	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002	목재 95%			48114-49-8 117520-84-9
17	1	A	C	0	코우남벽	0.001	0.001							Naphthenic 65~75%		ISO-paraffin 20~30%	
18	1	A	C	0	공백그린 상목	0.002	0.001							SiO2 17%	7631-86-9	Al2O3 10% - a2e3	1344-28-1
19	1	A	C	0	대합아무-크로노	0.006	0.037							멜라민-요소 포름알데하이드수지 52~57%		포름알데하이드 0.0501만	50-00-0
20	1	A	C	0	토살 바이오 나무	0.000	0.029	0.000	0.012	0.004	0.000	0.003	0.012	석탄산수지 합판		우레탄	
21	1	A	C	0	엑스트루루드(EV)	0.003	0.187							Plasticizer 0.28%		PVC, 16.40%	3002-86-2
22	1	A	C	0	온돌아무 대인(8T)	0.006	0.161	0.000	0.005	0.002	0.000	0.001	0.003	목재 95%		멜라민우레탄수지 5%	
23	1	A	C	0	유리사우	0.001	0.019	0.003	0.008	0.004	0.002	0.000	0.003	urethane acrylate resin(55~65)		3-functional monomer(5~15)	
24	1	A	C	0	권이온합판합성물로어 열보드	0.029	0.048										
25	1	A	C	0	권이온합판합성물로어 열보드	0.010	0.094										
26	1	A	C	0	합목아무	0.007	0.167	0.003	0.216	0.010	0.161	0.000	0.028				
27	1	A	C	0	견리무	0.002	0.048										
28	1	A	C	0	합목나타 열가	(0.001)	0.013							탄산합물	471-34-1	Diethyl Phthalate	117-81-7 117-84-0
29	1	A	C	0	합목아무(2)	0.004	0.021							폴리우레탄 디스피션 55~60%		9-에틸 글리콜 아크릴레이트 5~10%	
30	1	A	C	0	합판PLUS아무	0.004	0.075							폴리우레탄 디스피션 55~60%		9-에틸 글리콜 아크릴레이트 5~10%	
31	1	A	C	0	성슬아무	0.000	0.122							pvc(80~85)	9002-86-2	기2제(0-1)	

Fig. 4. A part of developed database.

분류체계는 <Table 1>에 나타났다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 데이터베이스의 구축

<Fig. 4>는 구축된 데이터베이스의 일부를 보여준다. 데이터베이스는 EXCEL의 spreadsheet의 형태로 작성되어 있다. 방출강도 자료는 한국공기청정협회에서 시험한 자료이며 각 건축자재는 20 L 소형 챔버법으로 시험되었다. 상기 분류표를 총 476개의 건축자재에 대하여 적용하여 건축자재를 분류하였으며 데이터베이스는 코드번호, 업체명, 제품명, 연락처, 홈페이지와 HCHO, TVOC, 5VOC의 방출강도, MSDS(물질보건안전자료)중의 구성 성분 명칭 및 함유량, CAS NO.를 포함시켜 구축하였다. 업체명, 연락처, 홈페이지에 대한 column은 숨기기를 하였기 때문에 Fig. 4에는 나타나지 않았지만 언제든지 사용가능하다.

제품군별로 폼알데하이드와 TVOC의 방출강도 자료를 갖는 건축자재의 수는 바닥재 74개, 벽지 43개, 판넬 83개, 접착제 179개, 페인트 93개, 기타 4개로 총 건축자재의 수는 476개이고, 5VOC의 방출강도 자료를 갖는 건축자재의수는 바닥재 39개, 벽지 24개, 판넬 45개, 접착제 92개, 페인트 43개, 기타 3개로 총

건축자재의 수가 246개이다.

이와 같이 이 데이터베이스에는 많은 수의 건축자재에 대하여 각각의 건축자재를 분류하는 분류코드와 폼알데하이드, TVOC, 5VOC에 대한 방출강도 자료를 포함하고 있기 때문에 분류코드를 이용한 각 분류에 따른 방출특성을 비교할 수 있다. 더 나아가 종류, 성분에 따른 분류체계는 오염물질을 다량 방출하는 건축자재가 어떤 종류이고, 어떤 성분을 갖는지를 추정할 수 있으며 건축자재의 방출강도 자료는 실제 건축자재의 적용에 따른 실내 공기질을 예측하는 시뮬레이션의 입력 변수로서의 활용가치도 지니고 있다. 또한 EXCEL의 spreadsheet의 형태로 작성되었기 때문에 빠른 자료의 검색이 가능하며 MSDS는 건축자재를 만드는데 사용된 원료명과 함량에 대한 근본적인 자료도 제공한다. 부가적으로 제조회사와 제품명, 연락처, 홈페이지를 포함하기 때문에 추가적인 정보의 접근성이 편리하다.

3.2. 데이터베이스의 활용 예

3.2.1. 폼알데하이드의 방출특성 비교

구축된 데이터베이스를 통해 건축자재 제품군별 폼알데하이드의 방출특성을 비교하여 보았다. 폼알데하이드의 방출특성에 관한 결과는 <Fig. 5>에 상자그

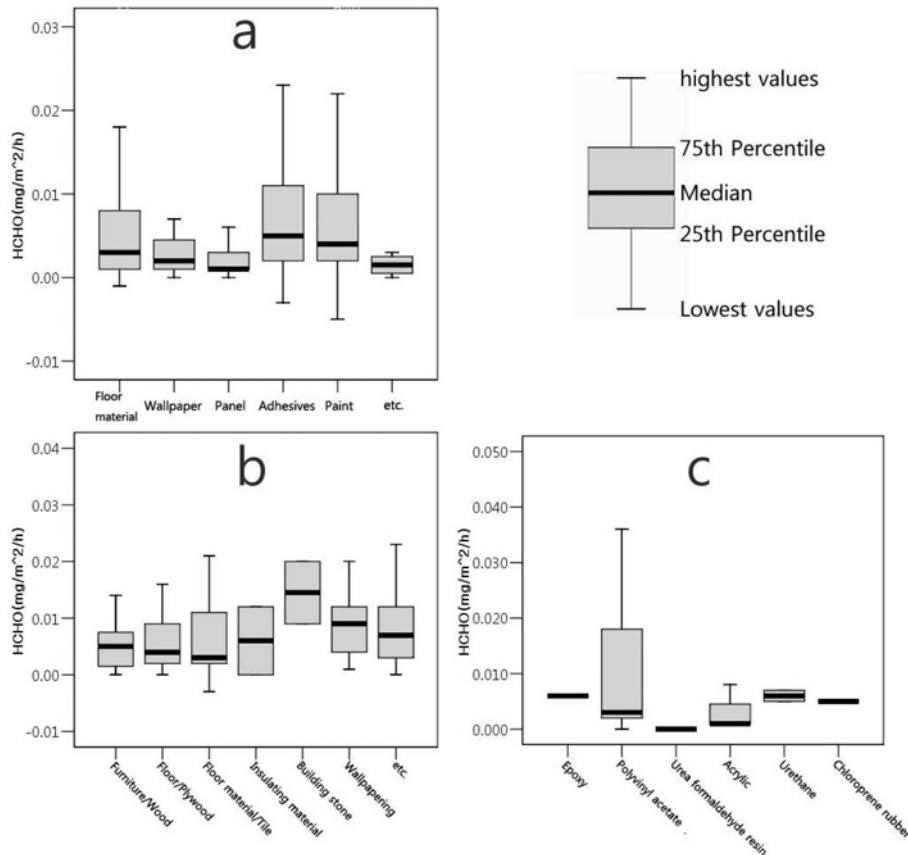


Fig. 5. The box plot of formaldehyde emission rate for building materials. highest and lowest values that are not outliers or extreme values. a) The emission rate of formaldehyde for building materials, b) The emission rate of formaldehyde for adhesives, c) The emission rate of formaldehyde for adhesives applicable to furniture/wood

림을 이용하여 나타냈다. 각 건축자재의 폼알데하이드 방출강도의 중앙값은 바닥재가 $0.003 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 벽지가 $0.002 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 판넬이 $0.001 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 접착제가 $0.005 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 페인트가 $0.004 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 기타가 $0.0015 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$ 로 역시 접착제가 가장 높은 방출강도를 나타냈다(Fig. 5a). 그러나 현행 방출시험 조건은 접착제의 차폐율을 고려하지 않고 있어 실제 접착제를 사용한 경우 방출강도는 더 낮게 나타날 수도 있다. 장미옥은 실내 공기질에 대한 접착제의 기여도 평가시 차폐율을 적용하고 있다.⁸

폼알데하이드의 방출강도가 가장 높았던 접착제에 대하여 용도별 폼알데하이드의 방출강도를 알아본 결과는 중앙값으로 가구/목재용이 $0.005 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 마루/합판용이 $0.004 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 바닥재/타일용이 $0.003 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 단열재용이 $0.006 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 석재용이 $0.0145 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 벽지/도배용이 $0.009 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 기타가 0.007

$\text{mg/m}^2\cdot\text{h}$ 이다(Fig. 5b). 폼알데하이드의 방출강도가 높은 순서는 석재용, 벽지/도배용, 기타용도 접착제 순서로 높게 나타났다.

실내건축에 주로 사용되는 가구/목재용, 마루/합판용, 바닥재/타일용 중에서 가장 높은 방출강도를 나타낸 가구/목재용에 대하여 성분에 따른 폼알데하이드 방출특성은 중앙값으로 에폭시수지계가 $0.006 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 초산비닐수지계가 $0.003 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 요소수지계가 $0.000 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 아크릴수지계가 $0.001 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 우레탄수지계가 $0.006 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$, 고무계가 $0.005 \text{ mg/m}^2\cdot\text{h}$ 로 나타났다(Fig. 5c).

3.2.2. TVOC의 방출특성 비교

구축된 데이터베이스를 사용해 건축자재 제품군별 TVOC의 방출특성에 대한 결과는 <Fig. 6>에 나타났다. 각 건축자재에서 방출되는 TVOC의 중앙값은 바

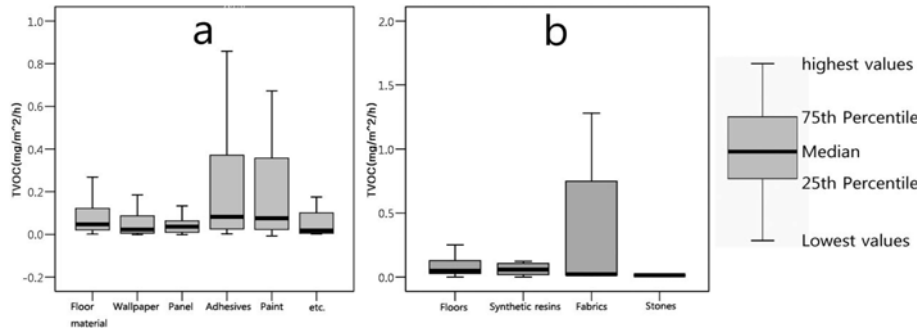


Fig. 6. The box plot of TVOC emission rate for building materials. a) The emission rate of TVOC for building material, b) The emission rate of TVOC for floor material

Table 2. Average of 5VOCs emission rate for building materials (Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)

Product	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	Styrene	<i>o</i> -Xylene	<i>m,p</i> -Xylene
Floor material	0.077	0.853	0.210	0.051	0.139	0.316
Wallpaper	0.009	0.118	0.005	0.008	0.008	0.060
Panel	0.527	1.541	0.379	7.538	0.245	0.756
Adhesives	0.871	5.043	0.537	0.123	0.399	1.657
Paint	0.253	1.055	0.391	0.196	0.283	2.764
etc.	0.001	0.054	0.000	0.001	0.000	0.066

Table 3. Average of 5VOCs emission rate for panel and adhesive and paint (Unit : $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)

Product	Application	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	Styrene	<i>o</i> -Xylene	<i>m,p</i> -Xylene
Panel	Board	1.010	3.662	0.667	19.330	0.715	1.242
	Synthetic	0.546	0.130	0.061	0.053	0.001	0.586
	Insulating material	0.053	0.671	0.656	6.612	0.087	0.695
	Sound-absorbing material	0.075	2.320	0.045	0.408	0.040	0.083
	Timber	0.000	0.015	0.000	0.009	0.000	0.000
Adhesives	Furniture/Wood	0.057	0.047	0.000	0.115	0.000	0.444
	Floor/Ply-wood	0.789	17.193	1.553	0.208	0.922	2.908
	Floor material/Tile	3.290	4.228	0.641	0.200	0.561	3.502
	Insulating material	0.000	1.183	0.562	0.000	0.924	1.960
	Building stone	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	Wallpapering	0.001	0.219	0.002	0.001	0.001	0.004
	etc.	0.103	0.632	0.122	0.068	0.167	0.612
Paint	Wall	0.216	0.939	0.396	0.086	0.126	2.887
	Steel	0.001	0.038	0.025	0.000	0.012	0.009
	Wooden product	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	etc.	0.335	1.338	0.426	0.373	0.535	2.916

닥재가 0.048 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$, 벽지가 0.027 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$, 판넬이 0.036 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$, 접착제가 0.083, 페인트가 0.076 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$, 기타가 0.0175 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 로 방출강도가 높은 건축자재는 접착제, 페인트, 바닥재 순으로 높게 나타났다(Fig. 6a).

접착제의 방출량은 차폐율을 고려할 경우 낮아 질

가능성이 있고, 페인트의 경우 비교적 단기간에 방출량이 안정한 상태에 도달하므로 TVOC 방출강도의 중앙값이 높았던 건축자재 중 바닥재에 대하여 바닥재 종류에 따른 방출특성 알아본 결과 TVOC방출강도의 중앙값은 마루 0.048 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$, 합성수지계 0.0575 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$, 페브릭 0.023 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$, 석재 0.014 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 로 합

성수지계에서 가장 높은 값을 나타냈다 (Fig. 6b).

3.2.3. 건축자재 분류별 5VOC의 방출특성 비교

구축한 데이터베이스를 통해 건축자재 제품군별 5VOC (benzene, toluene, ethylbenzene, styrene, *o*-xylene, *m,p*-xylene)의 방출특성을 알아보았으며 각 제품군별 5VOC 방출강도의 평균을 <Table 2>에 나타냈다. 5VOC의 대부분은 판넬 접착제 페인트에서 주로 높은 방출강도를 갖는 것을 알 수 있으며 벽지와 기타 건축자재는 5VOC의 방출강도가 상대적으로 매우 낮음을 알 수 있다. 상대적으로 높은 방출강도를 나타내는 VOC는 판넬의 스타이렌($7.533 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$), 접착제의 톨루엔($5.043 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$), 페인트의 *m,p*-자일렌($2.764 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$) 순으로 높게 나타났다. 이는 스타이렌, 톨루엔, *m,p*-xylene의 경우 각각 판넬, 접착제, 페인트로부터 주로 방출된다는 것을 의미한다. 그 밖의 VOC는 접착제에서 가장 높은 방출강도로 나타났으며 그 중 *o*-xylene은 평균값이 $0.399 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 이하로 대부분의 자재에서 낮은 방출강도를 나타냈다.

5VOC 중 높은 방출강도를 나타내는 스타이렌, 톨루엔, *m,p*-xylene을 많이 방출하는 판넬, 접착제, 페인트에 대하여 용도에 따른 5VOC의 방출 특성을 알아보았으며 결과는 <Table 3>에 나타냈다.

건축자재 제품군에서 높은 방출강도를 나타냈던 스타이렌은 판넬의 보드($19.330 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)에서 높은 방출강도를 갖는 것으로 나타났으며 톨루엔은 접착제의 마루/합판용($17.193 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)에서 가장 높은 방출강도를 나타냈다. 그리고 페인트에서 가장 높은 방출강도를 나타냈던 *m,p*-xylene은 벽체용($2.887 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)과 기타($2.916 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)에서 높은 방출강도를 나타냈으며 그 밖에 접착제의 바닥재/타일용($3.502 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)과 마루/합판용($2.908 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)에서도 비슷한 수준의 방출강도를 나타냈다.

4. 결 론

이 연구에서 구축한 데이터베이스에 사용된 새롭게 정립한 분류체계는 환경부와 한국공기청정협회에서 사용하는 분류체계를 대분류로 사용했기 때문에 현행 법규와 건축자재 인증에 대해 높은 연관성을 지

니며 세분화된 분류체계의 접목은 건축자재에 대한 일반적인 정보를 비롯한 실내 오염물질의 원인이 되는 건축자재 등 추가적인 정보를 제공한다. 또한 실내 공기질을 예측하는 모델링의 입력 자료로 사용 가능하다. 추가적으로 더욱 양질의 정보를 제공하는 데이터베이스가 되기 위해서는 건축자재별 주요검출물질에 관련된 더 많은 양의 휘발성유기화합물에 관한 자료가 포함되어야 하며 앞으로의 연구에서 얻어지는 자료를 지속적으로 업데이트 해주어야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 산업자원부에서 시행한 산업기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다. 또한 BK21 웰빙환경사업팀의 일부 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Korea National Housing Corporation, 'A study on improvement of indoor air environment for collective housing (II)' (2003).
2. Ministry of Environment, Republic of Korea, 'Act on Indoor Air Quality Control in Public Facilities, etc.' (2004).
3. Ministry of Education & Human Resources Development, Republic of Korea, 'School Health Act' (2005).
4. Ministry of Construction & Transportation, Republic of Korea, 'Building Act' (2007).
5. D. H. Kang, M. S. Yeo and K. W. Kim, *J. of SAREK*, **35**(12), 33-40(2006).
6. C. Howard-Reed, B. Polidoro and W. S. Dols, *Proceeding of the A & WMA Conference*, 1-14 (2003).
7. D. Won, R. J. Magee, W. Yang, E. Luszytky, G. Nong and C. Y. Shaw, *Proceedings of The 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, 1-6 (2005).
8. M. O. Jang, 'Development of analytical method and evaluation for pollutants emitted from car interiors', Master Thesis, Kangwon National University (2008).