대한건축학회 창립60주년기념 학술발표대회논문집
제25권 제1호(통권 제49집) 2005년 10월 24일~25일

마감재 선정에 따른 주거건물의 실내 오염물질 농도 예측에 관한 연구

A Prediction of Indoor Air Quality in Residential Buildings depending on the Selection of Finishing Materials

고 은 희* 유 형 규** 이 언 구***
Ko, Eun Hee Yu, Hyung Kyu Rhee, Eon Ku

Abstract

Poorness of indoor air quality by contaminants emitted from Finishing Materials have a negative effect to occupant's health and comfort. As interests about this problem have raised up, concern and improvement on indoor air quality have increased.

Main cause of indoor air contaminants are TVOC and formaldehyde from finishing materials and insufficiency of the ventilation rate caused from high insulation and air tightness of building for energy saving. TVOC and formaldehyde emits much from Finishing Materials, and certification grade of a Finishing Materials is enforced as the one of alternative to reduce problem on health from contaminant that emit in the latest Finishing Materials.

Therefore, this research aims to make prediction data of contaminant emission concentration for each levels of certification grade of building material, and supply prediction data applicatively to construction specialists for choice of Finishing Materials and reasonable construction throughout the architectural design and construction process.

키워드 : 실내공기질, 마감재, 총휘발성유기화합물, 폼알데하이드, 인증등급
Keywords : Indoor Air Quality, Finishing Materials, TVOC, Formaldehyde, Certification Grade

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

1974년 필라델피아 벨뷰스트라스포트 호텔에서 냉각탑을 통해 레지오넬라 균이 실내로 수송되어 많은 사람들이 사망하는 사건이 일어나면서 새집증후군(Sick Building Syndrome)이 하나의 센세이션을 일으켰다[1]. 최근에는 새집증후군이 신축공동주택에 입주 후 뚜렷한 병명 없이 눈, 목, 코에서의 통증이 생기며, 두통, 구토 등의 증상으로 나타나고 있다. 또한, 최근 건축시공기술의 발전으로 인한 건물의 고기밀화, 고단열화로 거주자가 충분한 환기가 이루어지지 않은 실내공간에서 오염물질에 장기간 노출되어 있어 거주자의 건강 및 쾌적감에 악영향을 미치고 있다[2].

이에 관한 문제가 이슈화 되면서 실내공기질에 대한 관심과 개선 요구가 증대되고 있다. 2004년 5월부터 시행되고 있는 "다중이용시설의 실내공기질 관리법"에 따라 실내로 방출되는 오염물질의 양을 권고 수준 이하로 유지하도록 하고 있으나, 신축공동주택에서의 측정대상 오염물질에 대한 기준이 미흡하다.

실내 공기오염의 주된 원인은 공동주택에 시공된 실내 마감재, 가구, 생활용품과 사무용품등에서 발생하는 폼알데하이드(HCHO)와 휘발성유기화합물으로 나타나고 있다. 언급한 두 오염물질은 건축 자재에서 많은 양이 방출되며, 이러한 오염물질로 인한 건강상의 문제점을 줄이기 위한 건축자재의 인증등급이 시행되어, 친환경인증등급을 받은 건축자재를 건물에 적용할 것을 권고하고 있다.

* 중앙대 대학원 석사과정
** 중앙대 대학원 공학박사
*** 중앙대 건축학부 교수, 건축학박사
이 연구는 2005년도 환경부 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호: 2004-01003-0035-2

1) 池田耕一, 실내공기오염의 메커니즘, 동아기술, 2001

2) 이윤규, 김창남, 기존 공동주택의 실내공기질 실태에 관한 측정연구, 대한건축학회 논문집 2004년

본 연구에서는 앞서 언급한 건축자재 인증등급 수준에 따른 오염물질 방출농도를 예측하여, 건축설계와 시공과정에서 건축 재료의 선정과 합리적인 시공을 위해 건축전문가들에게 실용적으로 적용이 가능한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 실내 마감재에 의해 방출되는 오염물질을 총휘발성유기화합물(TVOC)로 한정하였다. 실내공기질 공정시험방법 중 건축자재 오염물질 방출강도 계산식을 건축자재 인증등급을 기준에 적용하여 오염물질 방출농도를 예측하였다. 실내 마감재(벽지, 바닥재, 바닥접착제)의 조합에 따라 오염물질 농도를 살펴보고, 이 결과를 통해 오염물질 저방출 자재와 고방출 자재를 선정하여 Mock-Up Test를 실시하여 오염물질 농도를 측정하였다. 또한, 공동주택의 평형별 오염물질 방출농도를 거실과 침실에 따라 예측하였다.

2. 실내 오염물질 농도 평가 방법

오염물질 농도를 예측하는 방법으로 실험실 측정, 챔버실험, 현장 측정과 같은 측정에 의한 평가 방법과 경험적 모델, 물질전달 모델을 이용하는 모델링을 이용하는 시뮬레이션 방법이 있다[3]. 오염물질 농도는 측정시 실내의 다양한 변수에 의해 달라질 수 있으므로, 측정에 의한 평가가 오염물질의 방출특성을 가장 정확하게 확인 할 수 있다.

3. 실내오염물질 농도 예측

3.1 실내 마감재 인증등급

한국공기청정협회는 국내외에서 생산되는 건축자재의 오염물질 방출강도를 시험한 후 그 결과에 따라 제품에 인증등급을 부여하고 있다. 그러나 건축전문가와 건축주가 건축자재의 인증등급을 통해 실내 오염물질 방출량을 예측하는 것은 어려울 뿐만 아니라, 실제 건축자재를 적용하여 시공하였을 때, 자재의 오염물질 방출농도가 달라지기 때문에 이를 확인할 수 있는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 건축자재의 오염물질 방출강도에 따라 인증등급을 결정하기 위해 사용하는 식 (1)을 변형하여 실내에서의 오염물질 방출량을 계산 할 수 있는 식 (2)[4]를 유도하였다. 식(2)에 표1에서 정리한 HB마크의 오염물질 방출강도 범위 중 최대값을 적용하여 계산하였으며, 여기에서 산출되는 오염물질 농도는 해당 등급의 최대 한계값을 나타낸다.

$$EFa = \frac{(Ct - Ctb,t) \times n V}{A} \quad \cdots\cdots (1)$$

$$Ct = \frac{EFa \cdot A}{n \cdot V} + Ctb,t \quad \cdots\cdots (2)$$

여기서,

A : 실내표면적(㎡)
Ct : 실내 TVOC, 폼알데하이드 방출량(㎎/㎥)
Ctb,t : 외기 TVOC, 폼알데하이드 농도(㎎/㎥)
EFa : 단위면적당 방출량(㎎/㎡h)
n : 환기횟수(회/h)
V : 실체적(㎥)

표 1. HB 건축자재의 인증등급 중 TVOC등급

구분 (㎎/㎡ · h)	일반자재	페인트	접착제
최우수 ❀❀❀❀❀	0.10 미만	0.10 미만	0.25 미만
우수 ❀❀❀❀	0.10 이상 ~ 0.20 미만	0.10 이상 ~ 0.20 미만	0.25 이상 ~ 0.50 미만
양호 ❀❀❀	0.20 이상 ~ 0.40 미만	0.20 이상 ~ 0.40 미만	0.50 이상 ~ 1.50 미만
일반 I ❀❀	0.40 이상 ~ 2.00 미만	0.40 이상 ~ 2.00 미만	1.50 이상 ~ 5.00 미만
일반 II ❀	2.00 이상 ~ 4.00 미만	2.00 이상 ~ 4.00 미만	5.00 이상 ~ 10.00 미만

3.2 오염물질 방출 농도 예측

본 장에서는 건축자재 인증등급에 따라 실내로 방출되는 오염물질 농도를 예측하였다. 그림 1은 TVOC 방출농도를 예측할 실험실의 평면도를 나타내며, 표 2는 TVOC 방출 농도 예측시 오염물질 방출강도 계산식에 적용하기 위한 실내 마감재의 면적을 나타낸다.

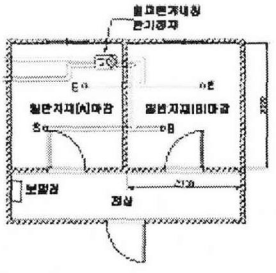

그림 1. 실험실 평면도

표 2. Mock-Up 실험실 TVOC 방출량 예측 변수

변수		입력값
외기농도		101.90㎍/㎥
환기횟수		0.5회/h
실험실 건축 변수	가로	2.7m
	세로	3m
	높이	2.3m
	체적	19.44㎥
	벽 및 천장 면적	33.52㎡
	바닥 면적	8.10㎡
	창면적	0.32㎡
	문면적	1.62㎡

실험실의 실내 마감재의 종류는 벽과 천장에 시공되는 벽지는 동일한 것으로 가정하여 실내 오염물질 농도를 예측하였다.

다음 표3은 TVOC의 오염물질 방출농도를 예측한 데이터 중 일부이며, 마감재에 조합에 따른 오염물질 예측농도가 낮은 순으로 나타냈다. 선행연구를 통해 마감 구성재 및 개별 구성제품 크로마토그램을 비교해 본 결과, 벽체는 가장 실내에 면하고 있는 벽지의 방출강도, 바닥은

3) 강동화(2005). 바닥난방 공간의 베이크 아웃에 의한 VOCS방출에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교 대학원 건축학과 건축환경전공

4) 유형규(2005), 신축공동주택 실내공기오염물질의 발생원인 및 방출특성에 관한 실험 연구, 박사학위논문, 중앙대학교 대학원 건축학과 건축환경전공

바닥 접착제의 방출강도가 영향을 미치는 것을 확인하여 오염물질 농도를 예측하였다.

표 3. TVOC의 방출 농도 예측 (일부)

벽지	바닥재	바닥 접착제	계산식에 따른 예측 농도($\mu g/m^3$)
최우수	최우수	최우수	543.46
최우수	우수	최우수	576.80
최우수	최우수	우수	626.80
최우수	양호	최우수	643.46
최우수	우수	우수	660.13
우수	최우수	최우수	868.36
우수	최우수	우수	951.69
최우수	최우수	양호	960.13
우수	우수	우수	985.03
우수	우수	최우수	1001.69
우수	양호	우수	1051.69
최우수	양호	양호	1060.13
최우수	일반1	최우수	1176.80
우수	우수	양호	1318.36
우수	양호	양호	1385.03
양호	최우수	최우수	1518.16

방출식에 따른 오염물질 예측 농도는 다중이용시설 권고 기준인 500$\mu g/m^3$를 모두 초과하고 있다. 그러나 건축자재 인증등급의 시험 건축마감재는 시험 챔버에서 7일 보관 후 채취한 데이터이므로 초기 농도가 높게 나타나며, 시간 경과에 따라 그 농도가 줄어들 것으로 판단된다. HB건축자재 인증등급이 양호 이후 등급으로 갈수록 오염물질 방출 범위가 커지기 때문에 방출농도가 급증하는 것으로 나타났다. 오염물질 방출 농도는 오피스 건물보다 주거용 건물의 경우가 실내에 적용되는 마감재의 양이 많아지기 때문에 높게 나타날 것으로 예상된다.

4. 마감재 선정에 따른 오염물질 농도 예측

4.1 Mock-Up Test를 통한 오염물질 농도

오염물질 방출강도 계산식에 의한 오염물질 예측 농도와 실제 시공시 방출되는 오염물질 농도의 차이를 파악하고 이에 대한 원인을 파악하기 위한 Mock-Up Test를 실시하였다. 본 연구의 3장 데이터를 바탕으로 Mock-Up Test를 행할 마감재는 오염물질 저방출 자재와 고방출 자재 중에서 선정하여 시공하였다. 두 실험실에 적용된 건축 마감재는 다음 표 4와 같다.

표 4. 실험실 A실과 B실에 시공된 건축마감재 TVOC 등급

A실		B실		공통적용	
마감재	등급	마감재	등급	마감재	등급
종이 벽지	우수	실크 벽지	등급외	도배풀	최우수
온돌 마루	최우수	HJ-8250	등급외	석고보드	우수
접착제	최우수	바인더	일반1	석고퍼터	최우수
		마모륨	양호	레미탈	최우수

표 5. 실험실 A실과 B실의 TVOC 농도

($\mu g/m^3$)	A실	B실
예측치	506.63	18029.87
실험치	857.80	6410.10

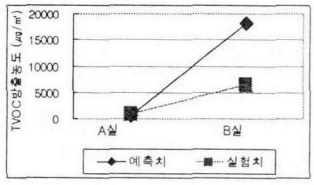

그림 2. TVOC 농도 결과

실험실 A실과 B실의 TVOC의 예측치와 실험치는 다음 표 5와 그림 2와 같다. A실의 경우 실험치가 예측치보다 약 170%높게, B실의 경우 실험치가 예측치보다 약 64% 낮은 농도로 나타났다. 예측치와 실험치의 차는 실제 실험시의 환기횟수, 마감재의 시공방법, 외기 농도에 따른 A,B실의 영향정도, 온도 및 습도 등이 영향을 미친 것으로 예상된다. 특히, B실의 경우 적용된 벽지가 오염물질 고방출 자재였던 관계로 농도가 높게 예측됨에 따라 실험치와의 차이가 크게 나타났다.

4.2 실험치에 따른 오염물질 방출 농도 예측

Mock-Up Test의 실험치를 이용하여 함수식을 만들고, 이를 통해 건축자재의 인증등급에 따른 오염물질 농도를 예측하였다. 다음 표 6은 TVOC의 오염물질 방출농도를 예측한 데이터 중 일부이며, Mock-Up Test를 통해 예측한 방출농도와 표 3의 방출농도 사이의 증감율을 오염물질 예측 농도가 낮은 순으로 나타냈다.

표 6. TVOC의 방출 농도 예측 (일부)

벽지	바닥재	바닥 접착제	계산식에 따른 예측 농도($\mu g/m^3$)	증감율 (%)
최우수	최우수	최우수	315.90	-41.872
최우수	우수	최우수	424.28	-26.442
최우수	최우수	우수	532.66	-15.018
최우수	양호	최우수	641.04	-0.376
최우수	우수	우수	749.42	13.526
우수	최우수	최우수	857.80	-1.216
우수	최우수	우수	966.18	1.522
최우수	최우수	양호	1074.56	11.918
우수	우수	우수	1182.94	20.092
우수	우수	최우수	1291.32	28.913
우수	양호	우수	1399.70	33.090
최우수	양호	양호	1508.08	42.254
최우수	일반1	최우수	1616.46	37.361
우수	우수	양호	1724.83	30.832
우수	양호	양호	1833.21	32.359
양호	최우수	최우수	1941.59	27.892

최우수 벽지와 바닥재와 접착제가 최우수, 우수, 최우수인 조합의 경우 방출식에 따른 오염물질 예측 농도가 다중이용시설 권고 기준인 500$\mu g/m^3$를 모두 만족하고 있으나, 이외의 모든 조합은 권고 기준을 초과하고 있다.

다양한 변수가 영향을 미치는 실험실의 오염물질 방출 데이터를 통해 함수식을 만든 결과, 증감율이 큰 폭으로 차이를 보이고 있다.

4.3 평형별 오염물질 방출 농도 예측

본 장에서는 오염물질 예측 농도를 실험실뿐만 아니라 주거건물에 적용 가능한 기초데이터를 구축하기 위해 공동주택 평면의 일반화가 이루어진 선행 연구[5]를 통해 오염물질 방출농도를 예측 하였다.

4.3.1 평형별 공동주택 TVOC방출농도 예측

일반화가 이루어진 25평과 35평의 공동주택 평면도는 다음 그림 3, 4와 같고, 거실과 침실의 오염물질 예측 방출농도는 다음 표 7과 같다.

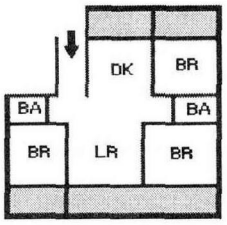

그림 3. 25평 일반화 평면

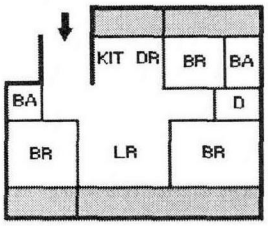

그림 4 35평 일반화 평면

표 7. TVOC의 방출 농도 예측 (일부)

벽지	바닥재	바닥 접착제	25평형		35평형	
			거실 예측 농도 ($\mu g/m^3$)	침실 예측 농도 ($\mu g/m^3$)	거실 예측 농도 ($\mu g/m^3$)	침실 예측 농도 ($\mu g/m^3$)
최우수	최우수	최우수	286.066	340.137	279.481	295.766
최우수	우수	최우수	386.525	454.959	378.192	398.798
최우수	최우수	우수	489.042	568.117	479.413	503.218
최우수	양호	최우수	589.907	682.611	578.617	606.523
최우수	우수	우수	691.151	796.799	678.284	710.084
우수	최우수	최우수	756.383	940.126	734.010	789.362
우수	최우수	우수	861.954	1050.818	838.956	895.840
최우수	최우수	양호	1017.125	1121.388	1004.423	1035.762
우수	우수	우수	1059.650	1283.073	1032.443	1099.730
우수	우수	최우수	1158.974	1398.815	1129.767	1201.997
우수	양호	우수	1263.068	1510.701	1232.912	1307.479
최우수	양호	양호	1435.080	1567.650	1418.927	1458.756
최우수	일반1	최우수	1545.975	1674.039	1530.370	1568.824
우수	우수	양호	1590.535	1834.083	1560.872	1634.163
우수	양호	양호	1697.349	1943.770	1667.335	1741.479
양호	최우수	최우수	1678.988	2154.707	1621.065	1764.393

평형별 오염물질 예측 방출농도는 25평과 35평의 거실에서 벽지, 바닥재와 접착재가 최우수, 최우수, 우수인 조합일 때 다중이용시설 권고 기준인 500$\mu g/m^3$를 모두 만족하고 있으나, 이외의 모든 조합은 권고 기준을 초과하고 있다. 25평의 경우, 침실의 농도가 거실의 농도보다 약 17%높게 나타나고 있으며, 35평의 경우, 침실의 농도가 거실의 농도보다 약 5% 높게 나타났다. 이는 침실이 거실보다 S/V비가 커졌기 때문으로 판단된다.

5) 김기훈, 공동주택의 환기효율 향상을 위한 환기계획에 관한 연구, 박사학위논문, 중앙대학교 대학원 건축학과 건축환경전공, 2004

5. 결 론

본 연구는 실내에 건축자재 인증등급을 받은 제품을 시공하였을 때, 오염물질 농도를 예측하고, 이를 통해 건축전문가가 합리적으로 실내 마감재를 선정할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한 것으로 그 연구결과는 다음과 같다.

(1) 건축자재 인증등급의 TVOC 농도 기준을 등급별로 오염물질 방출강도 계산식을 이용하여 계산해 본 결과, 실내 마감재가 모두 최우수인 경우에도 다중이용시설의 권고기준을 초과하고 있다.

바닥재와 접착제와 같이 단일 건축 마감재의 방출강도가 높더라도, 바닥면적이 벽체면적 보다 작기 때문에 오히려 방출강도가 낮은 벽지에 의한 오염물질 방출 농도가 높게 나타난다.

(2) Mock-Up Test를 통해 오염물질 방출농도를 살펴본 결과, 최우수, 우수, 최우수인 조합의 경우만, 다중이용시설 권고 기준을 만족하고 있으나, 이는 인증등급의 최대값이므로, 이보다 방출농도가 높은 마감재 조합에서도 다중이용시설 권고 기준을 만족할 것으로 예상된다.

(3) 평형별 오염물질 예측 방출농도를 살펴본 결과, 25평과 35평의 거실에서 벽지, 바닥재와 접착재가 최우수, 최우수, 우수인 조합인 경우만, 다중이용시설 권고 기준을 만족하고 있으나, 이는 인증등급의 최대값이므로, 이보다 방출농도가 높은 마감재 조합에서도 다중이용시설 권고 기준을 만족할 것으로 예상된다. 실내의 S/V비가 커질수록 실내 마감재 시공 면적이 증가하기 때문에 마감재 시공시 오염물질 저방출 마감재의 선정이 선행되어야 한다.

건축자재 인증등급에 따라 단일 건축 자재를 실내에 시공하였을 때, 실내로 방출되는 오염물질 농도는 자재특성에 따라 달라지므로 단일 자재에 대한 데이터베이스 구축과 함께 다양한 변수가 고려된 오염물질 농도 예측식의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 池田耕一, 실내공기오염의 메커니즘, 동아기술, 2001
2. 이윤규, 김창남, 기존 공동주택의 실내공기질 실태에 관한 측정연구, 대한건축학회 논문집 20권 11호, 2004
3. 강동화, 바닥난방 공간의 베이크 아웃에 의한 VOCS 방출에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교 대학원 건축학과 건축환경전공, 2005
4. 유형규, 신축공동주택 실내공기오염물질의 발생원인 및 방출특성에 관한 실험 연구, 박사학위논문, 중앙대학교 대학원 건축학과 건축환경전공, 2005
5. 김기훈, 공동주택의 환기효율 향상을 위한 환기계획에 관한 연구, 박사학위논문, 중앙대학교 대학원 건축학과 건축환경전공, 2004
6. 윤동원, 건축자재에서 발생하는 오염물질과 특성, 설비/공조냉동,위생 2004년 1월호
7. J. L. Niu, Setting up the criteria and credit-awarding scheme for building interior material selection to achieve better in door air quality, Environment International, 2001