

주거건물에서 복합마감재의 VOCs 및 HCHO 방출에 관한 실험적 연구

박 혜 원, 강 동 화, 최 동 회, 김 선 숙*, 여 명 석**, 김 광 우***
서울대학교 대학원 건축학과, *서울대학교 공학연구소 연구원, **서울대학교 건축학과

An Experimental Study on VOCs and HCHO Emission from Composite Finishing Materials in Residential Buildings

Hye-Won Park, Dong-Hwa Kang, Dong-Hee Choi,
Sun-Sook Kim*, Myoung-Souk Yeo**, Kwang-Woo Kim***

Department of Architecture, Graduate School, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

**Engineering Research Institute, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea*

***Department of Architecture, College of Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea*

ABSTRACT: Interior finishing materials are known as main VOCs and formaldehyde emission sources in residential buildings. The interior finishing materials are usually comprised of several layers with different emission properties, which complicates the emission patterns of the finishing materials. Thus, experiments on composite finishing materials and each of layers are needed to understand the emission characteristics of interior finishing materials. Results indicate that composite finishing materials have the various emission characteristics according to compositions of the materials and kinds of contaminants. Mostly, the emission rates of composite materials are higher than that of the single layer materials. The main reason is assumed to be rapid diffusion of contaminants from the bottom layer material into the top layer material.

Key words: Composite finishing materials(복합마감재), VOCs emission(VOCs 방출), HCHO emission(폼알데하이드 방출), Residential building(주거건물),

1. 서 론

최근 신축주거건물 실내공기의 위해성에 대한 인식이 널리 확산됨에 따라, 입주 전 실내공기질 제어에 대한 요구가 증대되고 있다. 이에 따라

제어방법으로 자재가 시공된 후 이미 발생한 오염물질에 대하여 환기하는 희석제어와 광촉매로 분해하거나 필터로 제거하는 제거제어 등이 제시되고 있지만 무엇보다도 설계 시 오염물질의 발생을 제어하는 발생제어가 가장 효과적이다. 발생제어의 적용을 위해서는 우선적으로 주거건물에 시공되는 건축자재의 오염물질 방출현상 파악이 필요하다.

주거건물의 실내공기질에 주된 영향을 미치는

†Corresponding author

Tel.: +82-2-880-7065; fax: +82-2-885-8057

E-mail address: snukkw@snu.ac.kr

벽 및 바닥의 건축마감재는 벽지와 벽지풀, 온돌마루와 온돌마루접착제와 같이 대부분 복합으로 시공되고 있다. 이 복합마감재에서 하부자재는 실내오염물질의 함유량 및 방출량이 높은 접착제류이므로 복합마감재의 방출현상을 파악하는데 있어 하부자재의 영향을 무시할 수 없다. 현재 복합마감재를 이루는 단일자재의 방출과 관련하여 복합마감재의 방출을 설명하는 데이터가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 주거건물에서 사용되는 다양한 방출현상을 보이는 단일자재의 조합이 복합마감재의 오염물질 방출에 미치는 영향을 소형챔버 방출실험을 통하여 알아보려고 한다. 이를 위해 복합마감재를 구성하는 단일자재와 복합마감재의 시간에 따른 오염물질 방출률 변화를 측정하여 결과를 분석하였다.

2. 예비적 고찰

국내외 복합마감재의 오염물질 방출에 관하여 시뮬레이션, 소형챔버실험 및 Mock-up 실험을 통하여 연구가 진행되어 왔다. 국외에서는 방출모형을 기반으로 한 시뮬레이션과 검증실험이 수행되고 있으며, 국내에서는 근래에 와서 국내 주거건물에서 사용되는 복합마감재를 대상으로 시뮬레이션과 기초적인 방출실험이 수행되고 있다.

Haghighat¹⁾과 Huang²⁾은 물질전달모형을 사용한 복합마감재의 방출에 관한 시뮬레이션 결과를 바탕으로, 복합마감재가 방출 초반부에는 상부자재와 유사한 방출률과 감쇠율을 보이지만 시간이 흐를수록 하부자재의 오염물질이 상부자재로 확산이 일어나 상부단일자재보다 복합마감재의 방출률은 증가하고 감쇠율은 감소한다고 분석하였다. Park³⁾은 물질전달모형을 이용한 수치해석 결과를 통하여 자재 내부 오염물질의 시간에 따른 농도분포를 연구하였고, 복합마감재를 구성하는 단일자재의 초기농도 분포에 따라 시간대별 톨루엔의 방출량에 큰 변화가 있다고 보고하였다.

Kim⁴⁾과 Kim⁵⁾은 벽지, 벽지풀, 초배지 단일자재를 조합하여 단일자재 1종과 복합자재 3종에 대하여 벽마감재 방출실험을 수행하였다. 하지만 복합마감재를 구성하는 단일자재에 대한 방출실험은 상부자재로부터 1개의 단일자재로 이루어진 벽지에 대해서만 수행되었으므로, 여러 구성의

벽마감복합자재 실험결과를 바탕으로 복합마감재의 방출에 관한 해석을 위해 추가적인 실험이 필요할 것으로 판단된다.

따라서 복합마감재의 오염물질 방출률과 시간에 따른 방출률 변화를 분석하기 위해서는, 우선적으로 복합마감재와 그것을 이루는 단일자재의 방출실험 결과 비교를 통하여 복합마감재의 방출 실태부터 파악해야 할 것이다.

3. 복합마감재의 오염물질 방출실험

3.1 실험개요

복합마감재의 오염물질 방출량 측정은 실내공기질공정시험방법에 따라 소형챔버법으로 수행하였으며, 소형챔버 방출실험 조건은 Table 1에서 보는 바와 같다. 분석물질은 환경부 다중이용시설의 실내공기질 관리법상에 측정하도록 명시되어 있는 실내공기질 측정항목의 폼알데하이드, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌과 추가적으로 TVOC로 하였다.

측정대상자재는 국내 주거건물에서 주로 사용하는 벽 및 바닥마감재의 상부단일자재, 접착제류인 하부단일자재와 그 두 자재로 구성된 가장 간단한 복합마감재로 선정하였다. 측정에 있어서 벽 및 바닥마감재의 자재두께에 따라 실험기간을 달리 적용하였으며, 포집시간간격 또한 예상되는

Table 1 Emission test condition

	Condition
Temperature	25±1.0℃
Relative humidity	50±5%
Air exchange rate	0.5 ACH
Loading factor	1.8 m ³ /m ²

Table 2 Experiment cases

	Cases
Wall finishing materials	Case 1 Wall paper : Single layer
	Case 2 Glue : Single-layer adhesive
	Case 3 Wall paper + Glue : Composite (Top + Bottom layer)
Floor finishing materials	Case 4 Laminate Flooring : Single layer
	Case 5 Floor Adhesive : Single-layer adhesive
	Case 6 Laminate Flooring + Floor Adhesive : Composite (Top + Bottom layer)

방출률의 변화폭에 따라 달리 하였다.

3.2 실험 Case 및 방법

실험 Case는 Table 2에서 보는 바와 같다. 벽 및 바닥감재의 외부 두 자재인 벽지 및 벽지풀과 온돌마루 및 온돌마루접착제의 단일자재 4종과 각각의 조합인 벽지+벽지풀, 온돌마루+접착제의 복합마감재 2종에 대하여 방출률 변화 추이를 측정하였다.

방출률의 변화가 심한 초반은 측정시간간격을 8시간 또는 12시간으로 조밀하게 하였으나, 실험이 진행될수록 방출률의 변화 정도가 감소할 것으로 예상되어 측정시간간격을 3~5일 간격으로

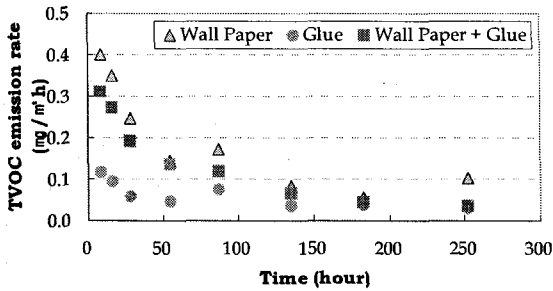


Fig. 1 TVOC emission rate of wall finishing materials

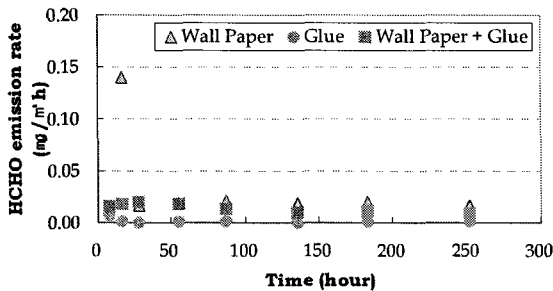


Fig. 2 HCHO emission rate of wall finishing materials

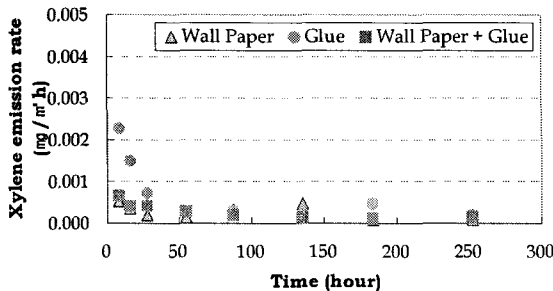


Fig. 4 Xylene emission rate of wall finishing materials

조정하였다. 실험기간은 자재의 두께가 상대적으로 얇은 벽지 및 벽지풀에 대해서는 11일, 자재의 두께가 두꺼운 온돌마루와 온돌마루접착제에 대해서는 33일로 하였다.

4. 방출실험의 결과 및 고찰

4.1 복합마감재의 방출실험 결과

4.1.1 벽마감재

Fig. 1~5는 벽마감재(Case 1, 2, 3)로부터 방출된 TVOC, 폼알데하이드와 개별 VOCs인 톨루엔, 자일렌, 스티렌의 시간에 따른 방출률 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 분석물질 중 5개 개별 VOCs 물질에서 벤젠의 피크는 검출한계치 이하였고 에틸벤젠 피크의 정량값은 검량한계치 이하였으므로 제외하였다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 TVOC의 경우는 벽지가 벽지풀보다 높은 방출률을 나타내며, 벽지+벽지풀 방출률은 벽지와 벽지풀의 사이값을 갖지만 벽지풀에 비하여 방출률이 급격히 감소하는 벽지와 방출률 변화 추이가 유사하다. Fig. 2는 폼알데하이드의 방출률을 그래프로 표현한 것으로 TVOC와 마찬가지로 각 시간대별로 벽지가

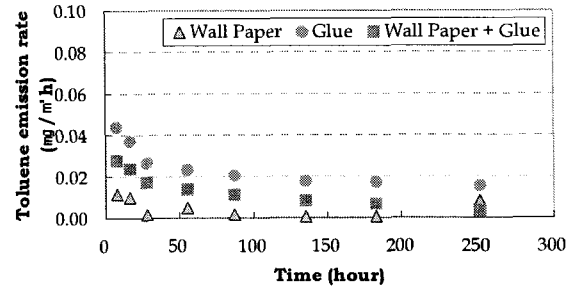


Fig. 3 Toluene emission rate of wall finishing materials

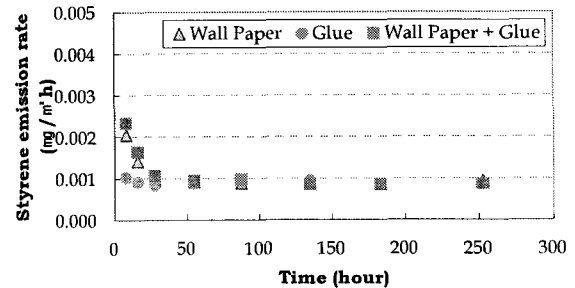


Fig. 5 Styrene emission rate of wall finishing materials

대체로 가장 높은 값을 가지며, 벽지풀이 가장 낮은 값을 갖는다. 벽지+벽지풀의 경우 초반에는 벽지풀보다 약간 높은 방출률을 나타내지만, 일반적으로 벽지와 벽지풀의 사이값을 가지며 방출률과 방출률 변화는 벽지와 유사하다.

Fig. 3은 개별 VOCs 중에서도 보통 가장 높은 값을 나타내는 톨루엔의 방출률로, TVOC나 폼알데하이드와는 달리 벽지풀의 방출률이 가장 높게 나타나고, 벽지의 방출률이 가장 낮다. 벽지+벽지풀은 벽지와 벽지풀 방출률의 중간값을 갖는다. Fig. 4는 자일렌의 방출률 그래프로, 역시 벽지풀의 방출률이 높고 벽지의 방출률이 낮다. 벽지+벽지풀의 방출률은 초반부에는 벽지와 벽지풀의 방출률의 사이값을 갖지만 시간이 흐를수록

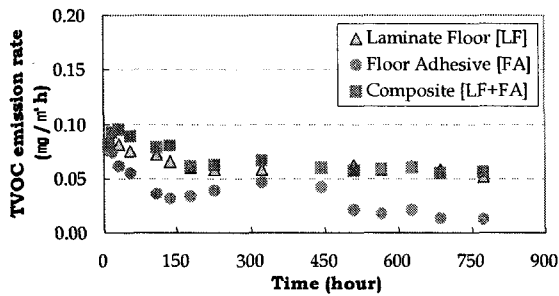


Fig. 6 TVOC emission rate of floor finishing materials

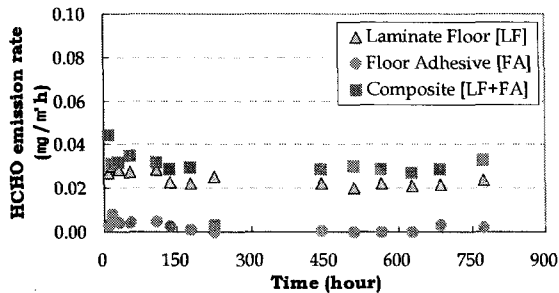


Fig. 7 HCHO emission rate of floor finishing materials

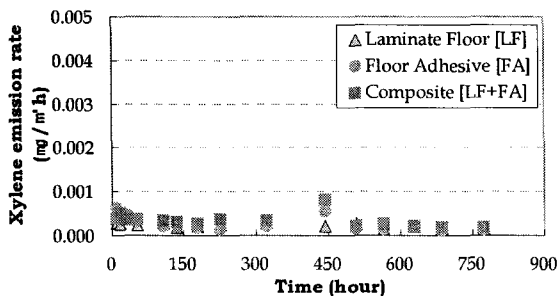


Fig. 9 Xylene emission rate of floor finishing materials

모두 비슷한 값으로 줄어든다. Fig. 5는 스티렌의 방출률 그래프로, 앞의 다른 네 오염물질의 결과와는 달리 벽지+벽지풀의 방출률이 가장 높은 값을 나타내나 벽지의 방출률과 유사하며, 벽지풀의 방출률은 가장 낮다.

4.1.2 바닥마감재

바닥마감재(Case 4, 5, 6)로부터 방출된 TVOC, 폼알데하이드와 3가지 개별 VOCs의 시간에 따른 방출률 변화를 Fig. 6~10의 그래프로 나타내었다. 벽마감재의 경우와 같은 이유로 벤젠과 에틸벤젠은 제외하였다.

Fig. 6은 바닥마감재의 TVOC 방출률 그래프로 온돌마루+접착제의 값이 대부분의 측정에서 최고치를 나타내지만, 방출률과 방출률 변화에 있어 온돌마루와 유사한 결과를 보인다. 온돌마루접착제는 다른 Case와 비슷한 초기 방출률값을 나타내지만 시간에 따른 방출률의 감쇠율이 커서, 가장 낮은 값을 갖는다. Fig. 7은 바닥마감재의 폼알데하이드 방출률을 나타낸 것으로, 시간에 따라 방출률 변화가 적어 전체적으로 안정적인 방출 형태를 보인다. 온돌마루접착제는 친환경 접착제를 사용하여 방출률이 매우 낮으며, 온돌마루+접착제가 가장 높은 방출률을 보이고, 온

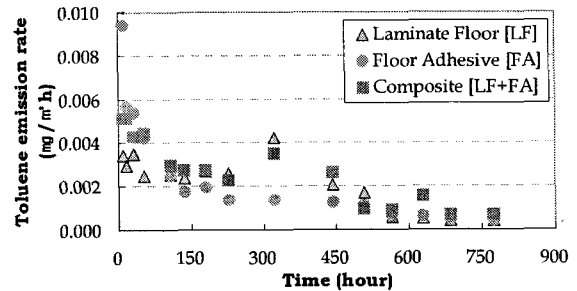


Fig. 8 Toluene emission rate of floor finishing materials

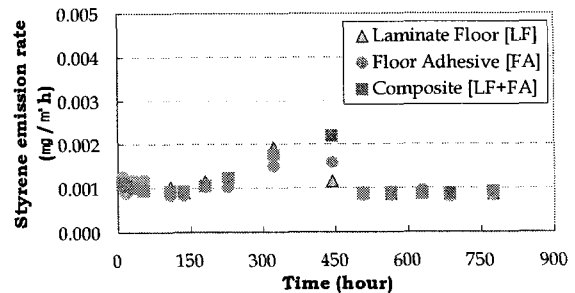


Fig. 10 Styrene emission rate of floor finishing materials

돌마루가 접착제와 온돌마루+ 접착제 복합자재의 사이값을 갖는다.

Fig. 8은 개별 VOCs 중 톨루엔의 방출률 그래프로, 온돌마루접착제는 초반에 높은 방출률을 갖지만 이후 급격한 감쇠를 보이고, 온돌마루의 방출률은 대체로 가장 낮다. 온돌마루+ 접착제 복합자재 방출률은 온돌마루와 온돌마루접착제나 사이값을 가지고, 방출률 변화는 온돌마루접착제와 유사하다. Fig. 9와 Fig. 10은 자일렌과 스티렌의 시간에 따른 방출률 변화 그래프로, 방출률이 매우 낮고 실험 Case간의 차이도 뚜렷하지 않아 논의에서 제외하였다.

4.2 실험 결과 고찰

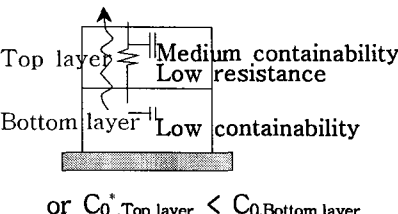
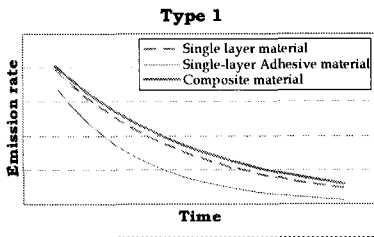
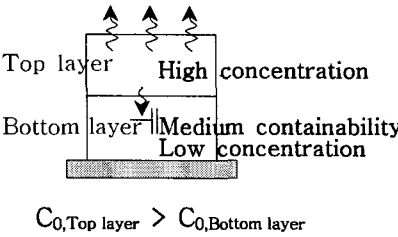
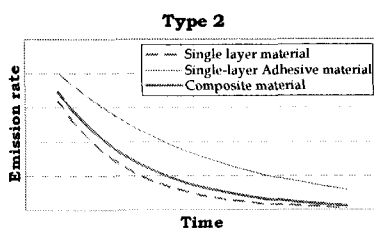
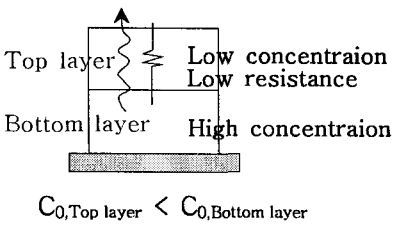
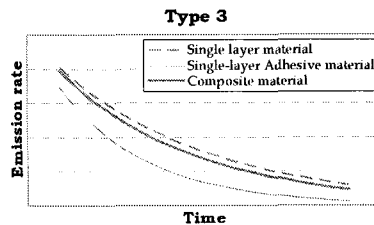
4.1절의 벽마감재와 바닥마감재의 실험결과에서 각 실험 Case 간에 방출률의 차이가 두드러지지 않는 경우가 있다. 비록 Case 3, 6의 복합마감재에 사용된 상하부자재(top and bottom layer)와 Case 1, 4의 상부단일자재(single layer) 및

Case 2, 5의 하부단일자재(single-layer adhesive)는 인접 부위의 자재를 사용하여 동일한 방출률을 갖도록 설정하였으나, 실험결과에 나타난 방출률의 차이가 자재 취득 부위에 따른 방출률 오차 범위에 들 가능성도 존재한다.

그러나 방출률 오차에 대한 가능성을 배제한다면 4.1절의 실험결과와는 복합마감재의 자재구성과 오염물질의 종류에 따라 복합마감재와 개별자재 사이에 다양한 방출률 관계를 가진다는 것을 보여준다. 다음 Table 3은 복합마감재(composite)를 구성하는 상부단일자재(single layer)와 하부단일자재(single-layer adhesive)의 방출률의 대소 관계를 기준으로 벽마감재와 바닥마감재의 방출률 실험결과를 개념적으로 분류한 것이다.

상부단일자재(single layer)의 방출률이 하부단일자재(single-layer adhesive)의 방출률보다 높은 경우는 복합마감재(composite)의 방출률이 상부단일자재보다 높은 Type 1과 상부단일자재보다 낮은 Type 2로 나눌 수 있다. Type 1은 복합마감재 내 하부자재(bottom layer)가 오염물질의

Table 3 Concept of composite materials classification

comparison of emission rate	Characteristics of each layer	Conceptual emission pattern	Referred results
$ER_{SL}^* > ER_{AM}^*$	 <p>Top layer Medium containability Low resistance</p> <p>Bottom layer Low containability</p> <p>or $C_{0,Top\ layer} < C_{0,Bottom\ layer}$</p>	 <p>Type 1</p> <p>— Single layer material - - Single-layer Adhesive material ... Composite material</p> <p>Emission rate</p> <p>Time</p>	Fig. 5 Fig. 6 Fig. 7
	 <p>Top layer High concentration</p> <p>Bottom layer Medium containability Low concentration</p> <p>$C_{0,Top\ layer} > C_{0,Bottom\ layer}$</p>	 <p>Type 2</p> <p>— Single layer material - - Single-layer Adhesive material ... Composite material</p> <p>Emission rate</p> <p>Time</p>	Fig. 1 Fig. 2
$ER_{SL} < ER_{AM}$	 <p>Top layer Low concentraion Low resistance</p> <p>Bottom layer High concentraion</p> <p>$C_{0,Top\ layer} < C_{0,Bottom\ layer}$</p>	 <p>Type 3</p> <p>— Single layer material - - Single-layer Adhesive material ... Composite material</p> <p>Emission rate</p> <p>Time</p>	Fig. 3 Fig. 4 Fig. 8

* ER_{SL} : Emission rate of single layer material / * ER_{AM} : Emission rate of single-layer adhesive material / * C_0 : Initial concentration

농도가 낮지만 오염물질을 함유할 수 있는 능력도 낮아서 하부자재의 함유능력보다 높은 상부자재(top layer)로 이동한 오염물질이 상부자재 내에서 빨리 확산되어 상부단일자재보다 복합마감재의 방출률이 높게 나타나는 것으로 추정된다. 또는 오염물질의 방출률이 낮다는 것이 자재 내 오염물질의 농도가 낮다는 의미는 아니므로 하부자재의 방출률은 상부자재보다 낮지만 자재 내 오염물질의 농도는 더 높아 하부자재의 오염물질이 상부자재로 이동하는 경우도 Type 1과 같은 방출 형태를 보일 것으로 예상할 수 있다. 반면, Type 2는 상대적으로 하부자재(bottom layer)의 오염물질의 농도가 상부자재(top layer)보다 낮아 상부자재에 속해 있던 오염물질이 공기 중과 하부자재, 두 방향으로 확산이 일어나서 복합마감재(composite)의 방출률이 상부단일자재(single layer)보다 낮아지는 경우로 볼 수 있다.

하부단일자재(single-layer adhesive)의 오염물질 방출률이 상부단일자재(single layer)보다 높으며, 복합마감재(composite)의 방출률이 상부단일자재보다 높게 나타나는 Type 3은 상대적으로 오염물질의 양이 많을 것으로 예상되는 하부자재(bottom layer)에서 상부자재(top layer)로 오염물질이 이동하여 일어나는 경우로 추측된다.

이외에도 복합마감재의 구성 및 오염물질별, 구성자재별 물리화학적 특성이 자재로부터의 오염물질 이동에 영향을 미칠 것으로 예상되므로 추후 고려되어야 할 사항으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 복합마감재의 방출에 대한 실태를 파악하기 위하여 주거건물에서 주로 사용되는 벽 및 바닥마감재를 대상으로 소형챔버실험을 수행하였으며, 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 복합마감재의 하부자재가 상부자재보다 오염물질의 농도가 높으면 하부자재의 오염물질이 상부자재로 신속히 이동하여 상부단일자재보다 복합마감재의 방출률이 높아지는 것으로 사료된다.

(2) 만약 하부자재의 오염물질 농도가 상부자재보다 낮지만 상부단일자재보다 복합마감재의 방출률이 높으면 이는 하부자재가 방출률이 낮지

만 오염물질을 함유능력도 낮아 하부자재로부터 상부자재로의 오염물질 이동이 이루어졌기 때문으로 추측된다.

(3) 상부단일자재보다 복합마감재의 방출률이 낮은 경우는 상부자재의 오염물질이 농도가 상대적으로 낮은 하부자재 및 공기 중 양방향으로 이동하거나 하부자재가 오염물질이 공기 중으로 방출되는 것을 방해하는 등의 경우에 발생하는 것으로 추정된다.

본 연구를 바탕으로 향후 자재 간 방출률 오차의 이유로 유사한 실험 데이터가 많이 필요할 것으로 사료되며, 복합마감재 내에서의 오염물질 이동에 대한 연구도 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 환경부 2006년도 차세대 핵심환경기술개발사업(O13-061-035)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Haghghat, F. and Huang, H., 2003, Integrated IAQ model for prediction of VOC emissions from building material, Building and Environment, Vol. 38, pp. 1007-1017.
2. Huang, H., 2003, Modeling of volatile organic compounds emissions and sinks from building materials, Ph.D Thesis, The Concordia University.
3. Park, J. S., Yoon, C. H. and Kwon, K. W., 2005, Prediction of VOCs emissions from multi-layers materials, Proceedings of the SAREK, pp. 9-14.
4. Kim, J. H., Choi, I. C., Sohn, J. R. and Kim, H. S., 2005, A Study on the prediction of indoor volatile organic compound and Formaldehyde considering the emission characteristics of interior finishing materials, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 12, pp. 255-262.
5. Kim, I. H., Kwun, O. Y., Kang, C. H., Choi, I. C. and Kim, H. S., 2005, A study on the prediction of VOCs & HCHO in new apartment, Proceedings of the SAREK, pp. 57-62.