

# 목조주택 내 마감자재에 따른 카르보닐화합물의 방산특성\*1

이 희 영\*2 · 박 상 범\*2† · 강 영 석\*2 · 이 상 민\*2 · 박 종 영\*2

## Emission Characteristics of Carbonyl Compounds Depending on Different Finishing Materials in a Wooden House\*1

Hee-Young Lee\*2 · Sang-Bum Park\*2† · Young-Suk Kang\*2 · Sang-Min Lee\*2 ·  
Jong-Young Park\*2

### 요 약

본 연구는 실내마감자재가 실내공기질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 목조주택 내 친환경 마감자재로 처리한 시험실 내부의 카르보닐화합물의 방산특성을 조사하였다. 실험 결과 포름알데히드, 아세트론 및 헥사알데히드가 카르보닐화합물의 대부분을 차지하였으며, 이 중 포름알데히드가 25.6~30.5%로 가장 높은 비중을 차지하였다. 시험실 R2-2를 제외한 모든 시험실에서 포름알데히드 방산량이 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준치 이하를 나타내었고, 아세트알데히드의 경우 시험실 R1-3을 제외한 나머지 시험실에서 일본 후생노동성에서 제시한 기준( $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )을 초과하는 것으로 나타났다. 황토벽지를 사용한 R1-1에서 상대적으로 높은 방산량을 나타내었고, 대나무숯 패널을 설치한 R2-2에서 모든 카르보닐화합물에 대해 높은 방산량을 나타내었다. 편백으로 치장한 거실인 시험실 R1-3은 나머지 시험실에 비해 아세트론을 제외하고 전반적으로 낮은 포름알데히드와 카르보닐화합물 방산량을 나타내었다.

### ABSTRACT

This study was attempted to investigate indoor air quality of a wooden house. Emission characteristics of carbonyl compounds from indoors whose interiors were finished using eco-friendly materials were detected. From the results of the examination, the carbonyl compounds mostly consisted of formaldehyde, acetaldehyde, and hexaldehyde. Especially, formaldehyde accounted for the largest portion of the compounds at 25.6~30.5%. All the rooms except for R2-2

\* 1 접수 2008년 7월 14일, 채택 2008년 10월 15일

\* 2 국립산림과학원 임산공학부, Department of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul, Korea

† 주저자(corresponding author) : 박상범(e-mail : parksb@forest.go.kr)

contained formaldehyde less than criteria of indoor air quality of newly-constructed houses. In addition, all the rooms except for room R1-3, contained acetaldehyde more than the level of  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$  recommended by Japan's Ministry of Health, Labour and Welfare. As a results of the different wall covering, the room R1-1 of Hwangto emitted relatively higher levels of carbonyl compounds than the room R2-1 of phytoncide. In addition, the room R2-2 of the bamboo charcoal panels emitted more carbonyl compounds than the room R1-2. The living room R1-3 of Japanese cypress (*Cryptomeria Japonica*) emitted lower levels of carbonyl compounds than other rooms.

**Keywords:** wooden house, indoor air quality, finishing material for interior, carbonyl compounds, formaldehyde

## 1. 서 론

카르보닐화합물(aldehyde, ketone)은 눈, 코, 입이나 피부 등에 반복적으로 노출 시 독성을 나타내며, 실외보다 실내에서 높은 농도로 존재 시 실내에서 생활하는 빈도가 높은 현대인들의 건강을 위협하게 된다(Crump, D., 1995). 특히 acetaldehyde나 benzaldehyde에 장기간 노출 시 암을 유발하거나 돌연변이를 일으킬 수 있으며, 고농도로 단기간 노출 시 눈이나 호흡기에 심한 자극을 초래할 수 있다고 보고되었다(Leikauf, 2000). 2-butanone의 경우 장기간 노출 시 신경, 간, 신장 및 호흡기에 다소 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(US EPA, 1990). 대기 중에 존재하는 카르보닐화합물은 일차적으로 식물이나 자동차, 폐기물 소각(fuel, coal, oil), 산업공정 중에서 방출되며, 자연적으로나 인위적으로 생성된 탄화수소의 광산화에 의해 이차적으로 생성된다. 또한 도시 대기 중 주요 카르보닐화합물인 formaldehyde 및 acetaldehyde는 광화학적 스모그 발생을 촉진시키기도 한다(Grosjean *et al.*, 2002).

실내 환경에서 카르보닐화합물은 주로 건축자재, 청소용품, 사무용품, 가구 및 조리나 난방으로 인해 연소되는 동안 주로 발생하며, 오존과의 화학적 반응에 의해서도 생성된다(Uhde *et al.*, 2007). 대표적인 카르보닐화합물인 formaldehyde는 실내에서 가장 많은 함량이 검출되어 실내공기질에 상당한 영향을 주는 것으로 알려져 있다. Formaldehyde는

목질보드 제조 시 사용되는 요소-포름알데히드 수지에 의해 가구나 침대 등 목질제품에서 주로 방출이 일어난다. Acetaldehyde는 식물의 호흡이나 목재의 불완전 연소, 매연, 흡연 및 호흡 등에 의해 생성된다. Acetone은 가장 손쉽게 사용되는 가정용품으로 손톱 광택 제거제나 페인트 시너의 주요 성분으로 사용되며, acrolein은 담배나 가솔린의 연소에 의해 생성되거나 실외의 오염물질의 분해로부터 생성된다. 산업적으로 metacrolein은 합성수지 제조 시 이용되며, 노출 시 눈, 코, 입, 폐에 심각한 자극을 초래한다. 또한 2-butanone은 합성고무산업, 파라핀왁스 생산이나 래커, 니스, 페인트 리무버, 접착제 등과 같은 가정용품에 주로 사용되어진다. 2-butanone은 실내와 실외공기에서 모두 검출되며, 부탄이나 다른 탄화수소와 같은 공기 중 오염물질들의 광산화에 의해 생성될 수 있다고 보고되었다(US EPA, 1990).

이렇게 생성된 실내공기 오염원을 제어하는 방법으로는 환기를 통한 희석제거방법, 기계장치나 화학반응을 이용하여 이미 방산된 오염물질을 제거하는 방법 및 오염물질 저방출자재를 사용하는 방법 등이 있다. 최근 판상형 아파트 구조에서 탑상형 구조로 변화되면서 커튼월과 고정 밀폐형 창호의 사용으로 개구율이 작아지고, 코어형 구조로 환기 시 맞통풍이 불리하여 환기를 통한 공기질 개선에 한계가 있는 것으로 보고되었다(정문영, 2008). 따라서 최근에는 실내공기질 개선을 위한 효과적인 방법으로 국내 건설사들은 시공 당초부터 유해물질 저방출자재



Fig. 1. Test house and places for measuring indoor air quality in a wooden house.

Table 1. List of main finishing materials used in measured rooms

	Temperature & Humidity	Under wall & Under ceiling	Wall& Ceiling	Floor
Bed room (R1-1)	24.7°C, 31.2%	Gypsum board	Hwangto mortar; Hwangto wall covering (152)*	Plywood flooring board overlayed fancy veneer (0.41)
Bed room (R1-2)	27.8°C, 21.2%	Gypsum board	Charcoal mortar; Korean traditional paper (160)	Plywood flooring board overlayed fancy veneer (0.41)
Living room (R1-3)	27.1°C, 22.0%	Gypsum board	<i>Cryptomeria Japonica</i> (0.64); Oil stain	Plywood flooring board overlayed fancy veneer (0.41)
Bed room (R2-1)	23.9°C, 23.2%	Gypsum board	Hwangto mortar; Phytoncide wall covering (152)	Plywood flooring board overlayed fancy veneer (0.41)
Bed room (R2-2)	27.8°C, 28.5%	Gypsum board	Charcoal mortar; Korean traditional paper (160); Bamboo charcoal panel (0.05)	Plywood flooring board overlayed fancy veneer (0.41)

\* Loding factor ( $m^2/m^3$ )

를 사용하여 방출량을 줄이려는 노력을 하고 있으며, 표면적이 넓은 마감재인 벽지나 마루판에 우선적으로 적용하고 있다. 그러나 현재 건설부분의 인테리어 담당자들을 대상으로 친환경마감재의 문제점에 대해 설문조사를 실시한 결과, 사용 시 품질에 대한 신뢰성 검증이 필요하다고 지적되어(박 등, 2008), 친환경자재 사용에 따른 실내공기질에 대한 측정 및 검증이 필요할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 카르보닐화합물 노출에 따른 건강위험에 대한 이해를 개선하기 위해 5개의 구별되는 방으로 축조된 목조주택의 내부를 각 방마다 다른 종류의 벽체 및 천장 마감재를 사용하여 처리한 후, 각 방 내부에서 방산되는 휘발성화합물 중 카

르보닐화합물의 방산량을 측정·비교검토 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 측정 지점

본 연구에서는 친환경 마감자재를 사용한 목조주택의 카르보닐화합물의 방출특성을 살펴보고자, Fig. 1 과 같이 목조주택을 축조하여 마감자재를 달리하여 시공한 5개의 시험실에 대하여 방출거동을 조사하였다. 사용된 마감자재의 종류는 Table 1에 제시하였으며, 측정된 시험실의 면적은 R1-1과 R2-1은 61.2  $m^2$ , R1-2와 R2-2는 69.23  $m^2$  및 R1-3은 141.39  $m^2$

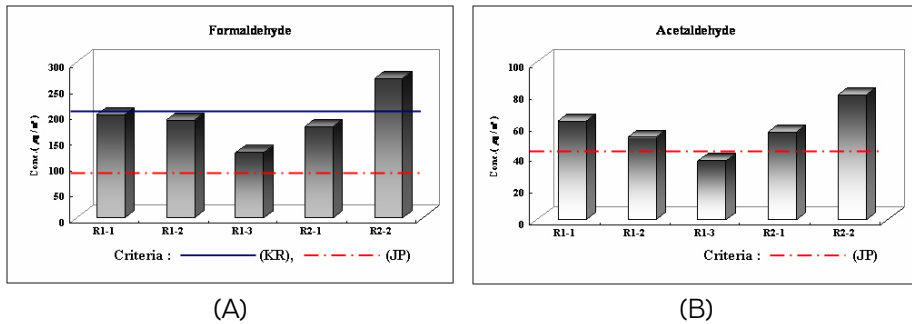


Fig. 2. Emission characteristics of (A) formaldehyde, (B) acetaldehyde in different wooden rooms.

이었다. 구조용재로는 낙엽송 집성체를 사용하였고, 벽지는 친환경 접착제(풀)를 사용하여 시공하였다. 또한 바닥재는 HB마크 최우수 등급을 받은 것으로 모든 시험실에 동일하게 시공하였다. 시험실 R2-2의 대나무숫 패널은 15장(0.35 × 0.35 m/장) 부착하였으며, 부착 시 초산비닐계 수지를 사용하였다.

## 2.2. 시료 채취

목조주택 완공(2006년 12월 29일) 한 달 후 2007년 2월 1일부터 일주일 내에 측정이 이루어졌으며, 시료채취는 공동주택의 실내공기질 측정방법에 준하여 실시하였다. 시료채취 장치는 벽으로부터 1 m 이상 떨어진 위치에서 바닥 면으로부터 1.2~1.5 m 정도 높이의 시험실 중앙에 설치하였다. 창과 문을 모두 개방한 상태에서 30분간 환기 시킨 후, 외부공기가 유입될 수 있는 모든 창문과 문을 닫은 후 5시간 밀폐상태를 유지한 다음, 30분간 시료를 채취하였다. 카르보닐화합물의 측정은 DNPH 유도체화를 방해하는 오존을 제거할 목적으로 오존스크러버(Supelco, USA)를 2,4-DNPH 카트리지(Supelco, USA)에 직렬로 장착한 후 펌프(MP-Σ 100H, Sibata, Japan)에 연결하여 0.5 L/min의 유량으로 30분간 2회 시료를 채취하였다. 한편, 시료는 채취 후 1주일 이내에 분석하였으며, 채취한 시료는 밀봉한 상태에서 분석 전까지 4°C에 냉장 보관하였다.

## 2.3. 시료 분석

카르보닐화합물은 DNPH 카트리지에 포집된 유도체화된 시료를 acetonitrile (J.T Baker co., USA)로 추출 후 분석하였으며, 분석에 사용된 HPLC는 LC-20AD (Shimazu, Japan), column은 Shim-pack VP-ODS (150 mm length × 4.6 mm i.d, 4.6 µm)이며, PDA detector (SPD-M20A, Shimazu, Japan)로 360 nm에서 분석하였다. 이동상으로 acetonitrile과 water를 사용하였으며, flow rate는 1 ml/min으로 주입량은 20 µl로 하였다. 검량선은 Carb Method 1004 DNPH Mix 2 (Supelco, USA)를 5단계로 희석하여 작성하였으며, 표준물질의 retention time과 비교하여 동정 및 정량하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 목조주택의 카르보닐화합물의 방산특성

#### 3.1.1. 포름알데히드의 방산특성

목조주택 내 카르보닐화합물의 방산특성을 분석한 결과는 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 실험 결과, 카르보닐화합물 중 formaldehyde, acetaldehyde, acetone 및 hexaldehyde가 대부분을 차지한다는 보고와 일치하는 결과를 나타내었으며(Wang *et al.*, 2007), formaldehyde가 25.6~30.5%로 가장 높은 비중을 차지하였다. 오존이나 -OH와 관련된 반응에 의해 생성된 formaldehyde는 실내공기질에 상당한

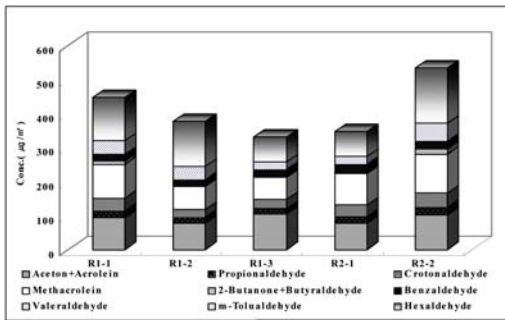


Fig. 3. Emission characteristic of other carbonyl compounds in different wooden rooms.

영향을 주기 때문에 실내오염원으로서의 강도는 formaldehyde가 가장 큰 것으로 나타났고, propionaldehyde, crotonaldehyde 및 benzaldehyde가 가장 약한 것으로 나타났다. 시험실 R2-2를 제외한 모든 시험실에서 formaldehyde 방산량이 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준치( $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 이하를 나타내었다. 특히 거실인 시험실 R1-3에서 측정된 formaldehyde의 농도( $126 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )는 박 등(2007)의 보고와 유사한 범위( $90.82 \pm 45.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 나타내었으며, 120세대의 입주 전 일반주택의 실내오염물질을 조사한 장 등(2007)의 연구결과( $71.68 \pm 35.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )보다는 다소 높게 나타났다. 그러나 모든 시험실에서 일본 후생노동성에서 제시한  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하는 것으로 나타났다.

### 3.1.2. 아세트알데히드의 방산특성

Acetaldehyde의 경우에도 주된 카르보닐화합물로 시험실 R1-3을 제외한 나머지 시험실에서 일본 후생노동성에서 제시한 기준( $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )을 초과하는 것으로 나타났다. 또한 환경부의 악취방지법과 관련한 화합물 중 하나인 acetaldehyde는 나머지 propionaldehyde, butyraldehyde 및 valeraldehyde와 함께 검토해 본 결과, 현 기준농도보다 훨씬 낮은 농도를 나타내었다. Acetaldehyde도 오존이나 -OH와 관련된 반응에 의해 생성되는 화합물 중 하나로 보고되었다. 콘크리트 주택이 대부분인 우리나라에서

는 acetaldehyde의 방산농도가 낮아 규제대상에서 제외하였으나, 일본에서는 13종의 규제대상 화합물 중에 acetaldehyde가 포함되어 있다. Acetaldehyde의 방출은 목조주택과 관련이 있는 것으로 생각되는데, 목재의 acetaldehyde의 방출에 대한 금후 연구가 필요한 것으로 사료된다.

### 3.1.3. 기타 카르보닐화합물의 방산특성

실내공기 중에 존재하는 알데히드류는 linoleic acid, linolenic acid 및 oleic acid 등과 같은 지방산의 산화로 생성된다고 보고되었으며, 특히 linoleic acid는 주로 hexaldehyde를 생성하는 것으로 알려져 있다. 목재에서 방출되는 휘발성 물질의 주성분인  $\alpha$ -pinene은 -OH와 반응하여 formaldehyde, acetaldehyde, acetone, camphorlealdehyde 및 pinonaldehyde 등 다양한 카르보닐화합물을 생성하는 것으로 보고되었고, 일반적으로 사용되는 건축자재인 PB, MDF에서 방산되는 화합물은 hexaldehyde와 benzaldehyde가 우세하다고 보고하였다(Baumann *et al.*, 2000).

본 연구에서 수행한 분석조건으로 acetone과 acrolein은 분리되지 않았다. 그러나 일반적으로 acrolein은 광범위하게 생성되기는 하나 구조상으로 불안정하여 다른 화합물과 쉽게 반응이 일어나며, 기존의 보고에서도 실내공기질 측정 시 acrolein이 검출되지 않은 것으로 보아 주로 아세톤에 의한 함량으로 보여진다(Wang *et al.*, 2007). Acetone은 다른 카르보닐화합물에 비해 높은 농도를 나타내었는데, 이는 광분해나 -OH와의 반응에 의해 분해되기까지의 life-time이 대략 각각 40일, 20일 정도인데 반해, -OH와 반응에서의 formaldehyde 및 acetaldehyde의 life-time이 대략적으로 1.5시간에서 24시간 정도로 짧은 것으로 보고되고 있다(Shepson *et al.*, 1991).

2-butanone+butyraldehyde는 시험실 R1-1과 R2-2에서만 검출되었으며, m-tolualdehyde는 모든 시험실에서 검출되지 않았다. 또한 지방족화합물들이 방향족화합물(benzaldehyde, tolualdehyde)보다 상대적으로 높은 함량을 보였다.

Benzaldehyde와 *m*-tolualdehyde의 전구물질로 각각 toluene과 xylene이 알려져 있으며, benzaldehyde는 여러 단계를 거친 toluene의 산화에 의해 생성되며, benzoic acid로 쉽게 산화된다. 또한 *m*-tolualdehyde는 xylene과 -OH의 반응에 의해 생성되는데, xylene의 메틸기에 H<sub>2</sub>가 제거된 methyl benzyl 라디칼이 형성된 후 O<sub>2</sub> 및 NO의 존재 하에서 추가적인 반응에 의해 *m*-tolualdehyde가 생성된다. 그러나 거의 대부분은 xylene의 aromatic ring에 -OH가 첨가되면서(약 90%) dimethyl hydroxyl cyclohexadienyl 라디칼이 형성된 후 대기조건 하에서 O<sub>2</sub>와 반응하여 primary peroxy radical을 수소제거에 의해 phenolics 화합물이나 aromatic oxide/oxepin이 형성되어 지는 것으로 보고되었다(Calvert *et al.*, 2002). 본 연구에서 함께 수행했던 휘발성 성분 분석에서 검출된 toluene과 benzaldehyde의 함량과의 관계에서 상관성을 찾아보기는 힘들었으며, xylene이 검출되었음에도 불구하고 *m*-tolualdehyde는 모든 시험실에서 검출되지 않아 *m*-tolualdehyde이 생성될 확률은 희박할 것으로 사료된다(이 등, 2007).

### 3.2. 마감자재에 따른 카르보닐화합물의 방산특성

마감자재 중 적용 면적이 40~50%를 차지하는 벽지를 달리하여 치장한 시험실 R1-1 (24.7°C, 31.2%)과 R2-1 (23.9°C, 23.2%)의 카르보닐화합물의 방산특성을 비교해 본 결과, 전반적으로 시험실 R1-1이 R2-1보다 높은 방산특성을 나타내었다. 이는 시험실 R1-1이 방산에 유리한 온·습도 조건으로 방산량이 높게 나타난 것으로 사료된다. 또한 벽지사용에 따른 휘발성유기화합물의 방산특성을 비교한 전보(이 등, 2007)에서 인위적으로 생성된 휘발성유기화합물(Anthropogenic VOCs)인 ethyl benzene 및 xylene의 양이 두드러지게 감소되는 것을 확인할 수 있어 일부 피톤치드 등에 대한 영향으로 추측되었으나, 카르보닐화합물의 경우 큰 차이를 보이지 않았고 propionaldehyde 및 benzaldehyde가 R2-1에서 다소 높은 함량을 나타내는 등, 피톤치드벽지에 대

한 효과를 알기는 어려웠다.

대나무숲 패널을 설치한 R2-2 (27.8°C, 28.5%)에서는 그렇지 않은 시험실 R1-2 (27.8°C, 21.2%)에 비해 모든 카르보닐화합물 대해 높은 방산량을 나타내었다. 대나무숲 패널이 포름알데히드에 대해 높은 탈취능을 가짐에도 불구하고 실제 시험실에 대나무숲 패널 설치하였을 때 일치하는 결과가 나오지 않았다. 이는 시험실 R2-2의 면적 1.84 m<sup>2</sup>에 해당하는 대나무숲 패널 부착 시 사용한 접착제에서 유래된 것으로 추정되며, 그 외에도 포름알데히드 방산량에 직접적으로 영향을 미치는 시험실 내부의 습도가 높았기 때문에 나타난 결과로 보여진다.

천장과 벽면을 편백으로 치장한 거실 R1-3 (27.1°C, 22.0%)은 나머지 시험실(침실)에 비해 전반적으로 낮은 카르보닐화합물 함량을 나타내었으나, 특이적으로 acetone의 함량이 높게 나타났다. 또한 거실은 acetaldehyde의 방산량이 낮고 전체 카르보닐화합물에 대해 acetaldehyde가 차지하는 비율이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 일반주택에 비해 목조주택이, 침실에 비해 거실이 상대적으로 적은 양의 acetaldehyde를 방산한다는 보고와 일치하는 결과이다(樋田, 2007).

## 4. 결 론

본 연구는 신축주택의 실내공기질에 영향을 미치는 실내마감자재의 영향을 평가하기 위하여 동일한 주택내부의 거실과 침실들의 벽면 및 천장의 마감처리를 달리하여 각 공간의 실내공기질 특성을 조사하였고, 본 논문에서는 실내공기질에 영향을 미치는 인자 중에서 카르보닐화합물에 대한 특성을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 카르보닐화합물 중 포름알데히드, 아세트알데히드, 아세톤 및 헥사알데히드가 대부분을 차지한다는 보고와 일치하는 결과를 얻었으며, 포름알데히드가 25.6~30.5%로 가장 높은 비중을 차지하였다.

2) 시험실 R2-2를 제외한 모든 시험실에서 포름알데히드함량이 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준치 이하를 나타내었고, 시험실 R1-3 (거실)에

서 포름알데히드의 농도는 기존의 보고와 유사한 범위를 나타내는 것을 알 수 있었다. 아세트알데히드의 경우 시험실 R1-3을 제외한 나머지 시험실에서 일본 후생노동성에서 제시한 기준(48  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ )을 초과하는 것으로 나타났다.

3) 벽지를 달리하여 치장한 시험실에서 황토벽지를 사용한 R1-1 (24.7°C, 31.2%)이 피톤치드 벽지를 사용한 R2-1 (23.9°C, 23.2%)보다 높은 방산특성을 나타내었으며, 방산에 가장 큰 요인으로 작용하는 온·습도가 가장 큰 영향을 주었을 것으로 보였으며 벽지에 대한 효과는 알기 어려웠다.

4) 천장과 벽면을 편백으로 치장한 시험실 R1-3 (27.1°C, 22.0%)은 나머지 시험실에 비해 전반적으로 낮은 카르보닐화합물 함량을 나타내었으나, 특이적으로 acetone 함량이 높게 나타났다.

5) 목조주택의 포름알데히드의 방산특성은 일반주택과 비교해서 별다른 차이를 나타내지 않았다. 카르보닐화합물의 경우 복합적인 실내오염원으로부터 방출되거나 다른 화합물과의 반응에 의해 생성되기 때문에, 목재 또한 발생원이 될 수 있다고 보인다. 마감자재를 통한 개선과 더불어 2차적인 발생에 영향을 주는 온·습도의 조절에 의해 카르보닐화합물의 방산량을 조절할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 박경호, 김민희, 전정운. 2008. 공동 주택 친환경 실내마감재 적용 현황과 적용 장해 요인의 개선방안에 관한 연구. 한국건축학회 논문집. 24(2): 321~328.
2. 박상은, 김현욱, 심상효, 이세훈, 구정환. 2007. 신축공동주택의 입주 전후 VOCs 및 HCHO 농도. 한국환경보건학회지. 33(2): 98~103.
3. 이희영, 박상범, 박종영, 이상민. 2007. 신축목조주택 내 마감자재에 따른 휘발성유기화합물(VOCs)의 방산특성. 한국목재공학회지. 35(6): 83~90.
4. 장성기, 천재영, 이태형, 임수길, 류정민, 서수연, 임정연. 2007. 신축 공동주택에서 실내공기오염물질(휘발성유기화합물 및 카르보닐화합물) 농도분포 특성. 한국분석과학회지. 20(1): 17~24.
5. 정문영. 2008. 2008년 기술세미나 친환경 건축자재 및 제품의 평가기술 발전방향; 건설현장에서의 친환경건축자재 활용 방안 및 향후 대책. 한국공기청정협회. pp. 79~94.
6. Baumann, M. G. D., L. F. Lorenz, S. A. Batterman, and G. Z. Zhang. 2000. Aldehyde emissions from particleboard and medium density fiberboard products, Forest Products Journal. 50: 75~82.
7. Calvert, J. G., R. Atkinson, K. H. Becker, R. M. Kamens, J. H. Seinfeld, T. J. Wallington, and G. Yarwood. 2002. The mechanism of atmospheric oxidation of aromatic hydrocarbons. Oxford university press. New York. p. 556
8. Crump, D. 1995. Sources of concentrations of volatile organic compounds in the indoor air of UK homes. in: Proceedings of VOCs in the environment, London, pp. 235~246.
9. Grosjean, D., E. Grosjean, L. F. R. Moreira. 2002. Speculated ambient carbonyls in Rio de Janeiro, Brazil. Environmental Science and Technology. 36: 1389~1395.
10. Ingresso, G. 2002. Free radical chemistry and its concern with indoor air quality: an open problem. Microchemical Journal. 73: 221~236.
11. Leikauf, G. D. 2000. Formaldehyde and other aldehydes: Environmental toxicants. Wiley, New York. pp. 409~448.
12. Shepson, P. B., D. R. Hastie, H. I. Schiff, and M. Polizzi. 1991. Atmospheric concentrations and temporal variations of  $\text{C}_1$ · $\text{C}_3$  carbonyl compounds at two rural sites in central Ontario. Atmospheric Environment. 25: 200~2015.
13. U. S. Environmental Protection Agency. 1990. Updated health effects assessment for methyl ethyl ketone. EPA/600/8-89/093. Environmental criteria and assessment office, Office of health and environmental assessment, Office of research and development, Cincinnati.
14. Wang, B, S. C. Lee, and K. F. Ho. 2007. Characteristics of carbonyls: Concentrations and source strengths for indoor and outdoor residential microenvironments in China. Atmospheric Environment. 41: 2851~2861.
15. 樋田淳平, 高塚早紀, 山田雅章, 瀧 欽二, 吉田弥明, 山田誠. 2007. 改正建築基準法に對應した新築住宅における室内空氣質の實態調査(第1報)カルボニル化合物氣中濃度の實態. 木材學會誌. 53(1): 34~39.