

## 기존 공동주택의 실내 유해화학물질 오염발생원에 대한 특성 분석

### An Analysis on Characteristics of the Pollutants and the Real Condition State of the Indoor Air Pollution in Occupied Apartment Units

유복희\*  
Yoo, Bok-Hee

#### Abstract

The aims of this study were to grasp the real condition state and clarify the characteristics and influence of pollutants on the indoor air pollution in occupied apartment units. The research method was to measure the pollution levels of indoor air pollution, and investigate characteristics of the pollutants such as the outdoor environment, elapsed time after construction, finished materials, temperature, relative humidity, space extension, purchase with furniture and electric appliances, built-in closets, and method for cleaning the air. And these were made a comparison between industrial and residential area. The VOCs and formaldehyde concentration in indoor air were measured the 6 household in residential area and 5 household in industrial area. In conclusion, the concentration such as benzene, ethylbenzene, toluene, xylene, styrene showed the pollution state within permissible levels, however formaldehyde concentration has need a lot of attention as ever. And it turned out that the influence with reference to emission from building materials on indoor air pollution lessened under 18 months elapsed time after construction.

Keywords : Indoor Air Pollution, Pollutants, Volatile Organic Compounds, Formaldehyde

주요어 : 실내공기오염, 오염발생원, VOC, 폼알데하이드

#### 1. 서론

실내·외공기의 다양한 오염물질에 의한 건강장해는 크게 천식으로 대표되는 호흡기 질환, 알러지, 아직 연구가 많이 진행되지 않은 화학물질중후군으로 대별될 수 있다(김영환, 2008). 외부공기의 오염상태는 실내공기오염에 영향을 미치는 중요 요인이 되며 계절, 생활행태, 주택형태에 따라 외부의 대기환경이 실내로 유입되는 양의 차이가 발생하게 되고, 이는 실내공기오염에 영향을 미친다.

주택내 실내공기 오염물질은 외부공기의 현황과 함께 실내의 다양한 오염발생원의 특성에 따른 영향을 받게 된다. 실내의 오염발생원은 건축자재의 종류 및 특성, 경과년수, 실내 미기후환경, 생활행태 특성 등으로 대별되며, 특히 신축주택에서는 건축자재의 유해화학물질 발생이 실내공기오염의 주요한 요인으로 보고되고 있다(유복희 외, 2006; 조완제 외, 2008).

건축자재의 VOC방출은 자재의 종류 및 자재 내부에 포함되어 있는 VOC총량(경과년수) 등의 내적 특성의 영향 뿐 아니라, 자재에 노출되어 있는 환경조건에 영향을 받고 있어(김선숙, 2008), 실내의 온도 및 습도에 대한 영

향은 많은 발생량의 차이를 가져오는 것으로 보고되고 있다(이윤규 외, 2003; 조현 외, 2006). 그러나 이것은 엄격히 환경 조건이 통제 가능한 실험에 의한 결과가 대부분이며, 실제로 실내의 생활환경에서의 화학물질의 방출은 더 많은 영향 요인이 존재한다.

주택실내의 실내공기오염은 매우 많은 영향 요인 즉, 가구 등과 같은 오염원의 종류 및 특성, 온도 및 습도, 환기율, 내부 생활활동, 흡착 효과 등의 복합적인 영향을 받아(유복희, 2010), 단일자재에서 보였던 방출량의 특성보다 복잡한 방출 메카니즘을 갖고 있다.

주택을 대상으로 한 유해화학물질에 대한 연구는 대부분 주거생활이 시작되기 전(입주전) 상태에 대한 보고가 대부분이며, 거주상태에서의 실내공기질의 평가 및 특성에 대한 연구는 많지 않다.

거주중인 건물의 실내공기질 실태조사는 다중이용시설이나 학교 등을 중심으로 수행되고 있고, 하루 중 가장 긴 거주시간을 보내는 주택에서의 조사는 상대적으로 적은 연구만이 있다(심현숙 외, 2008). 특히 VOC 및 폼알데하이드와 같은 유해화학물질에 대한 실태조사 및 평가를 실시한 연구(전정운 외, 2005; 심현숙 외, 2008; 이윤규 외, 2004)는 극히 제한적으로 이루어지고 있다.

따라서 본 연구에서는 지역적으로 특성을 달리하는 기존 공동주택을 대상으로 실내 유해화학물질의 농도를 측정하여 기본적 데이터를 확보하고, 이에 영향을 미치는

\*정회원(주저자, 교신저자), 울산대학교 생활과학대학 조교수, 학술박사이 논문은 2009년 울산지역환경기술개발센터의 연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

외부 및 내부 오염발생원에 대한 특성을 규명하고자 한다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 대상지역 및 공동주택의 선정

조사대상 지역 및 공동주택은 울산광역시(이하 울산시) 전 지역을 대상으로 점오염원<sup>1)</sup>의 발생 정도에 따라 공단 인근주거지역(이하 공업지역)과 일반내륙주거지역(이하 주거지역)으로 구분하여 선정하였다. 조사대상 공동주택은 선정된 지역 내에서 조사당시(2009년)에 가장 최근 신축된 공동주택 단지를 대상으로 ○○동 A아파트(주거지역)와 ○○동 B아파트(공업지역)로 선정하였다. A아파트는 주거지역내의 작은 규모의 매곡산업단지와 근접하여 있으며, B아파트의 경우 공업지역내의 울산·미포국가산업단지지와 온산국가산업단지의 중심에 위치하고 있다.

표 1. 대상지역 및 주택의 개요

공동주택	지역 구분	지역 특성	입주시기
A아파트 (주거지역)	일반내륙주거지역	매곡산업단지	2007.12
B아파트 (공업지역)	공업지역인근주거지역	울산·미포국가산업단지 온산국가산업단지	2007.06

### 2. 공동주택의 오염발생원 조사

공동주택의 실내 또는 외부에 존재하는 오염물질의 발생원을 조사하기 위하여 실내·외 환경의 특성에 대한 조사를 실시하였다. 조사한 내용은 외부환경의 특성, 내부환경에서의 실 확장, 이사시에 구입한 전자제품 및 가구, 불박이 가구, 공기청정 방법 및 입주 전 개선행위 등에 대한 내용을 조사하였다.

오염발생원의 조사대상 공동주택은 실내 유해화학물질을 측정하는 대상주택과 동일하게 선정하고, 인터뷰 및 관찰, 사진촬영 등의 방법을 이용하였다. 조사는 공업지역 5세대, 주거지역 6세대인 총 11세대에 대하여 2009년도 6월 18일~29일에 걸쳐 실시하였다.

### 3. 실내 화학물질 포집 및 분석방법

실내공기의 유해화학물질 중 벤젠, 톨루엔, 자일렌, 스티렌, 에틸벤젠, 폼알데하이드의 총 6개의 화학물질에 대하여 실내농도를 측정하였다.

실내공기의 포집 및 분석은 실내공기질 공정시험기준(환경부고시 제2008-73호)에 준하여 실시하였으며, 농도를 측정하기 30분전 환기를 실시하였고, 문을 폐쇄하고 5시간이 경과한 후에 거실의 중앙에서 시료공기를 채취하였다.

1) 점오염원은 발전소, 도시폐기물 소각로, 대규모 공장 등과 같이 하나의 시설이 다량의 오염물질을 배출하는 것을 말한다. 울산시의 점오염원은 2007년 12월 31일 현재, 대기 배출업소 수는 총 858개소로 울산·미포국가산업단지 내에 276개, 온산국가산업단지 내에 140개, 매곡지방산업단지내에 9개소와 산업단지외의 배출업소 433개소가 있다. 울산광역시, 환경백서(2009).

시료채취는 각 측정점마다 2회 반복 측정을 실시하였다 <그림 1>.



그림 1. 실내공기 포집

VOC 포집은 Tenax TA 200 mg을 충전한 스테인레스 튜브 흡착관을 유량시료 채취용 펌프에 연결하여 100 mL/min으로 30분간 총 3.0 L을 포집하였다. VOC의 분석에는 자동 열탈착장치(Terbomatrix ATD, Perkin Elmer, UK)가 부착된 GC/MS(Gas Chromatography/Mass Spectrometer, HP6890/5973N)을 사용하였다.

폼알데하이드의 포집은 LpDNPHS10L 카트리지가(Supelco Inc. USA)에 유량조절장치가 부착된 유량시료 채취용 펌프를 사용하여, 실내 공기를 700 mL/min으로 30분간 총 21.0 L을 포집하였다. 시료의 추출은 DNPH-카르보닐 유도체는 HPLC등급인 아세트니트릴 5 mL로 추출하였으며, 추출 후 바로 분석을 수행하였다. 추출된 DNPH 유도체로부터의 폼알데하이드의 분석은 HPLC(High Performance Liquid Chromatography, Varian230)를 이용하였다.

## III. 조사 결과 및 분석

### 1. 오염발생원 조사

조사대상 주택의 내·외부환경에 대한 오염발생원(이하 오염원) 조사는 크게 조사대상 아파트를 둘러싼 외부환경과 실내에서의 오염원 조사로 나누어서 실시하였다.

#### 1) 지역별 외부환경의 오염원 조사

본 조사대상 지역의 외부환경에 대한 실태 및 오염물질 상황에 대해서는 선행연구<sup>2)</sup>결과를 토대로 정리하였다. 조사당시 연구대상 주택 중 주거지역 주택의 거주자에게 가장 큰 영향을 미친 것은 주변의 신축공동주택 공사현장인 것으로 나타났다. 2007년 12월에 입주를 하였으며, 입주 초기에는 청정한 환경으로 만족도가 높았으나, 여름철 조사 당시인 2009년 6월에는 <그림 2>와 같이 주변에 아파트 신축공사가 진행됨에 따라 발생하는 소음 및 먼지로 인해 입주 초기와는 다른 공사에 의한 오염원이

2) 유복희(2010). 대기오염 환경이 거주자의 실내환경에 대한 평가 및 인식에 미치는 영향. 한국주거학회논문집, 21(3), 87-94.

발생한 것으로 조사되었다.

공업지역 양정동 B아파트는 6차선 도로가에 위치해 있으며, <그림 3>과 같이 아파트 전면에 자동차공장을 마주하고 있다. 또한 뒤에는 산이 있고 주변에 있는 공장의 가동 일정에 따라 외부환경에 대한 소음과 냄새가 발생하고 있음이 조사되었다. 또한 거주자가 가장 큰 불편으로 생각하는 것은 공장의 소음과 차량의 통행으로 인한 도로의 먼지와 소음인 것으로 나타났다.



그림 2. 주거지역의 외부환경

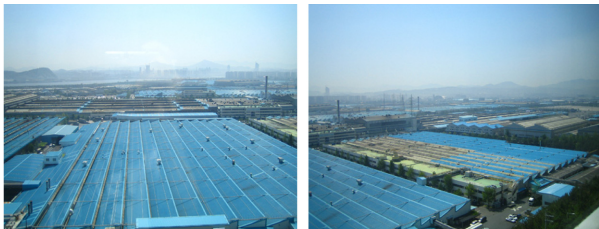


그림 3. 공업지역의 외부환경

또한 외부공기의 오염물질 현황은 아황산가스 및 이산화질소는 두 지역에 의미있는 차이는 없었고, 주거지역에서는 오존이 공업지역에서는 일산화탄소, 미세먼지가 비교적 높게 나타났음을 보고하였다(유복희, 2010).

2) 실내환경의 오염원 조사

(1) 주거지역

주거지역 A아파트에서는 100 m<sup>2</sup> 미만 2세대, 100 m<sup>2</sup> 이상 4세대인 총 6세대에 대하여 실내 오염원에 대한 조사를 실시하였다. 실내 오염원은 각 주택별 새로 구입한 가구와 전자제품의 구입 현황, 실의 확장 여부, 공기청정 방법 등을 조사하였다<sup>3)</sup>.

주거지역의 A세대(이하 주거-A세대)는 112.2 m<sup>2</sup>의 규모이며 2009년 6월 18일에 조사하였다. 베란다 확장이 미시행된 세대이고, 입주 시에 구입한 전자제품은 TV, 냉장고, 컴퓨터, 세탁기 등 4개이고, 구입 가구는 장롱, 책상, 의자, 식탁, 장식장, 서랍장, 침대, 협탁 등 8개이다. 붙박이 가구는 옷장, 신발장, 장식장 등이다. 이밖에 구입한 것으로는 카펫, 커튼, 이불, 베게, 쿠션 등이 있다.

주거-B세대는 112.2 m<sup>2</sup>의 규모로 2009년 6월 19일에 조사하였다. 거실 및 방2를 베란다와 확장하였으며, 구입한 전자제품은 TV, 오븐렌지, 냉장고 등 3개이고, 구입 가구는 장롱, 책상, 식탁, 화장대, 소파, 책상, 침대 서랍장 등 8개이다. 붙박이 가구는 옷장, 신발장, 장식장이고 직물류의 구입은 커튼, 이불, 베게, 쿠션을 구입하였다.

주거-C세대는 92.4 m<sup>2</sup>이며 조사는 2009년 6월 19일에 실시되었다. 거실 및 방2를 베란다와 확장하였으며, 입주 1주일 전에 베이킹아웃을 실시하였다. 구입한 전자제품은 TV, DVD, 컴퓨터, 세탁기 등 4개이고, 구입 가구는 소파, 장식장 2개이다. 붙박이 가구는 신발장, 장식장 2개로 조사되었으며, 기타 이불과 베게 등을 구입하였다.

주거-D세대는 92.4 m<sup>2</sup>의 규모이며 조사일은 2009년 6월 19일이다. 거실 및 방1을 베란다와 확장하였으며, 구입한 전자제품은 TV, 컴퓨터, 세탁기 등 3개이다. 구입한 가구는 장롱, 책상, 의자, 식탁, 화장대, 소파, 책상, 장식장 등 8개이며, 붙박이 가구는 장식장과 신발장이고, 기타 전기장판을 구입하여 사용한 것으로 나타났다.

다음은 주거-E세대로 112.2 m<sup>2</sup>의 규모이며 조사일은 2009년 06월 20일이다. 베란다 확장이 미시행된 세대이다. 입주 시에 새로 구입한 전자제품은 없으며 구입 가구는 책상, 의자, 소파, 책상, 서랍장, 협탁 등 6개이다. 붙박이 가구는 옷장, 장식장, 신발장이다.

주거-F세대는 112.2 m<sup>2</sup>의 규모를 가지고 있으며, 조사일은 2009년 6월 20일이다. 방3와 베란다를 확장하여 다른 베란다 확장 세대보다 상대적으로 면적이 적다. 입주 전 전문업체에 의한 청소를 실시하였으며, 구입한 전자제품은 TV, 냉장고, DVD 등 3개이고, 구입 가구는 장롱, 책상, 의자, 식탁, 소파, 책상, 장식장, 침대, 협탁 등 9개이다. 붙박이 가구는 옷장, 장식장, 신발장이고, 이밖에 구입한 직물류는 커튼, 이불, 베게, 쿠션 등이 있다.

주거지역의 조사대상들은 특별히 공기정화를 위하여 A세대는 문을 개방하는 환기 그리고 나머지 5세대는 모두 환기와 화분 설치 등의 조치를 하고 있는 것으로 조사되었다.

(2) 공업지역

공업지역에서의 실내환경에 대한 현황조사는 100 m<sup>2</sup> 미만 2세대, 100 m<sup>2</sup> 이상이 3세대로 총 5세대를 대상으로 실시되었다<sup>4)</sup>.

공업지역의 A세대(이하 공업-A세대)는 85.8 m<sup>2</sup>의 규모이며 조사일은 2009년 6월 26일이다. 방2와 베란다의 확장이 일어난 세대이다. 구입한 전자제품은 TV, 오븐렌지, 냉장고, 컴퓨터, 세탁기 등 5개이며, 구입 가구는 장롱, 소파, 책상, 서랍장이다. 붙박이 가구는 옷장, 신발장이며 목재 블라인드를 구입하였다.

3) 유복희(2010). 공동주택에서의 VOC 및 폼알데하이드 실내농도 예측을 통한 건축자재의 영향 검증에 관한 연구. 대한건축학회논문집, 26(9), p. 269에서 주거지역의 B세대, A세대의 구입한 전자제품 및 가구 개수, 붙박이가구 개수, 기타 구입한 물품의 개수, 베란다 확장여부에 대하여 보고하였다.

4) 유복희(2010). 공동주택에서의 VOC 및 폼알데하이드 실내농도 예측을 통한 건축자재의 영향 검증에 관한 연구. 대한건축학회논문집, 26(9), p. 269에서 공업지역의 A세대, D세대, F세대에 대하여 구입한 전자제품 및 가구 개수, 붙박이가구 개수, 기타 구입한 물품 개수, 베란다 확장여부에 대하여 보고하였다.

공업-B세대는 105.6 m<sup>2</sup>의 규모이며 조사업은 2009년 6월 27일이다. 각 실과 베란다와의 확장이 실시되지 않은 세대이며, 입주 전 바이오로 마감 시공을 한 세대이다. 구입 가구는 소파이며 불박이 가구로는 옷장, 신발장이 있으며, 구입한 직물류는 커튼이 있다.

공업-C세대는 85.8 m<sup>2</sup>의 규모이며, 방2와 베란다 확장을 실시한 세대이다. 구입한 전자제품은 TV, 오븐렌지, 냉장고, DVD, 컴퓨터, 세탁기 등 6개이다. 구입 가구는 장롱, 책장, 의자, 식탁, 소파, 책상, 장식장, 침대, 협탁 등 9개이다. 불박이 가구는 옷장(작은방)과 신발장이며, 구입한 직물류는 커튼이 있다.

공업-D세대는 105.6 m<sup>2</sup>의 규모로 조사는 2009년 6월 29일에 실시하였다. 베란다 확장은 실시되지 않은 세대이며 입주 전에 참춧액 마감 시공을 실시하였다. 구입한 전자제품은 TV, 오븐렌지, 냉장고, DVD, 컴퓨터, 세탁기 등 6개이고, 구입 가구는 장롱, 책장, 의자, 식탁, 화장대, 소파, 책장, 장식장 등 8개이다. 불박이 가구는 옷장과 신발장이고, 이밖에 구입한 것은 커튼이다.

공업-E세대는 112.2 m<sup>2</sup>이며 2009년 6월 29일에 조사되었다. 베란다 확장은 실시되지 않은 세대이며, 참춧액 마감시공을 실시한 세대이다. 구입한 전자제품은 TV, 오븐렌지, 냉장고, DVD, 세탁기 등 5개이고, 구입한 가구는 소파, 협탁 등 2개이다. 불박이 가구는 옷장, 신발장이며, 기타 구입한 직물류는 커튼이다.

공업지역의 전 세대는 공기청정을 위하여 택한 방법은 환기와 화분으로 나타나 주거지역과 동일한 양상을 보이는 것으로 조사되었다.

### 3) 결과분석 요약

조사대상 주택을 중심으로 내·외부환경의 오염발생원의 현황조사 결과를 정리하면 다음과 같다.

조사대상 아파트의 외부환경은 주거지역의 경우 주변의 공사로 인한 임시적 공사오염의 발생이 있는 상태이며, 공업지역은 상시적인 공장오염원이 있는 상태임이 조사되었다.

실내의 유해화학물질 발생에 영향을 미칠 것으로 예상되는 입주 후 내부확장의 현황은 주거지역에서는 총 7사례가 발생한 반면, 공업지역에서는 총 2사례가 발생하여 주거지역의 아파트에서 확장에 의한 오염 가능성이 상대적으로 큼을 확인하였다.

구입한 전자제품의 건수는 평균적으로 주거지역에서는 각 세대당 2.8개, 공업지역에서는 4.4개로 나타나, 공업지역에서의 구입 건수가 다수 발생하였다. 또한 지속적인 유해물질의 발생원으로 인지되고 있는 가구 및 직물류의 평균 구입 건수에서는 주거지역이 세대당 6.8개, 공업지역이 4.8개로 나타났으며, 또한 시공 시에 제공되는 불박이 가구의 수도 주거지역은 세대당 2.6개, 공업지역은 세대당 2.0개로 나타났다. 또한 카펫, 커튼 등과 같은 직물류의 구입 건수도 주거지역에서는 1세대당 평균 2.6개를 구입한 것으로 나타났으며, 공업지역에서는 세대당 평균 1.0개로 나타났다.

입주 전의 개선조치에서는 주거지역의 2세대에서 베이 크아웃과 청소를 실시한 것으로 나타났으며, 공업지역에서는 바이오 마감과 참춧액 시공과 같은 마감 시공의 조치를 실시한 세대가 3세대로 나타났다.

즉, 주거지역의 주택에서는 공업지역과 비교하여 외부 환경에 대한 공사로 인한 먼지 및 소음에 대한 임시 오염원과 내부 환경에서의 가구 구입, 실의 확장, 불박이 가구 등과 같은 지속적으로 방산되는 오염 발생원의 측면에서 실내 오염물질이 상대적으로 높게 존재하고 있는 개연성을 확인하였다.

## 2. 실내농도 측정 결과 분석

실내공기의 유해화학물질에 대한 분포 실태를 파악하기 위하여 주거지역 6세대, 공업지역 5세대인 총 11세대에 대하여 실내 유해물질의 농도를 측정하였다. 분석대상이 된 물질은 폼알데하이드, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌으로 총 6개 물질이다<sup>5)</sup>.

### 1) 각 화학물질의 실태 및 지역별 농도 비교 분석

#### (1) 벤젠

모든 조사주택에서 벤젠의 농도는 공동주택의 실내공기질 권고기준<sup>6)</sup>인 30 µg/m<sup>3</sup> 이하로 나타났다. 주거지역과 공업지역 주택에서의 벤젠의 농도를 비교한 결과, <표 2>에서 제시한 바와 같이 주거지역 주택의 경우 최소농도가 11.07 µg/m<sup>3</sup>, 최대농도가 19.67 µg/m<sup>3</sup>로 나타났으며, 공업지역 최소농도는 7.99 µg/m<sup>3</sup>, 최대농도는 14.50 µg/m<sup>3</sup>로 나타났다. 또한 평균농도는 주거지역 주택에서 13.76 µg/m<sup>3</sup>, 공업지역 주택에서 10.54 µg/m<sup>3</sup>로 나타나 주거지역 주택에서 다소 높은 농도를 나타냈으나, 이는 두 지역간 벤젠의 농도차이는 허용 유의수준 0.05에서 유의수준 0.118로 나타나 의미있는 차이는 없는 것으로 분석되었다.

#### (2) 톨루엔

톨루엔의 농도는 조사주택 모두에서 실내공기질 권고기준인 1000 µg/m<sup>3</sup>보다 낮은 것으로 나타났다. 주거지역의 최소농도는 272.32 µg/m<sup>3</sup>로 공업지역 주택의 최소농도 273.24 µg/m<sup>3</sup>와 큰 차이를 보이지 않았으나, 최대농도의 경우 951.37 µg/m<sup>3</sup>로 공업지역 주택의 최대농도 566.89 µg/m<sup>3</sup>보다 1.7배 높은 수치를 나타냈다. 각 지역별 주택의 평균농도는 주거지역 주택이 542.00 µg/m<sup>3</sup>, 공업지역 주택은 389.58 µg/m<sup>3</sup>로 주거지역 주택이 다소 높은 것으로 나타났으나, 두 지역의 측정세대간의 톨루엔 평균농도 차이는 허용 유의수준 0.05에서 유의수준 0.237로 나타나 의미있는 차이가 없는 것으로 나타났다.

5) 유복희(2010). 공동주택에서의 VOC 및 폼알데하이드 실내농도 예측을 통한 건축자재의 영향 검증에 관한 연구. 대한건축학회논문집, 26(9), p. 272에서 주거지역의 B주택과 C주택, 공업지역의 A세대, D세대, E세대의 톨루엔과 폼알데하이드의 측정치를 일부 보고 하였다.

6) 신축공동주택 실내공기질 권고기준(환경부)은 폼알데하이드 210 µg/m<sup>3</sup>, 벤젠 30 µg/m<sup>3</sup>, 톨루엔 1000 µg/m<sup>3</sup>, 에틸벤젠 360 µg/m<sup>3</sup>, 자일렌 700 µg/m<sup>3</sup>, 스티렌 300 µg/m<sup>3</sup>이다.

표 2. 지역별 실내 평균농도의 차이검증(t-test) 결과표

단위: (µg/m³)

구 분	주거지역						공업지역					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	
벤젠	농도(2회측정평균)	14.15	14.35	11.19	12.15	11.07	19.67	12.03	10.61	7.59	14.50	7.99
	평균	13.76						10.54				
	t-value(유의수준)	1.730(0.118)										
톨루엔	농도(2회측정평균)	272.32	683.96	479.15	951.37	463.44	428.81	279.44	566.89	290.49	273.24	537.84
	평균	545.79						389.58				
	t-value(유의수준)	1.268(0.237)										
에틸벤젠	농도(2회측정평균)	35.34	68.07	63.60	78.05	44.11	50.59	51.55	88.97	55.44	43.50	104.03
	평균	56.62						68.6				
	t-value(유의수준)	-0.940(0.372)										
자일렌	농도(2회측정평균)	31.89	63.16	61.42	59.04	47.82	44.27	96.16	132.01	67.98	44.03	97.99
	평균	51.26						87.65				
	t-value(유의수준)	-2.507(0.033)										
스티렌	농도(2회측정평균)	24.53	15.60	17.78	17.14	12.86	38.91	24.53	17.78	17.14	34.47	15.60
	평균	21.13						21.90				
	t-value(유의수준)	-1.144(0.889)										
폼알데하이드	농도(2회측정평균)	139.39	100.26	106.06	123.97	77.24	94.11	119.74	108.44	207.67	252.62	147.61
	평균	106.83						167.21				
	t-value(유의수준)	-2.093(0.092)										

(3) 에틸벤젠

에틸벤젠의 실내공기질 권고기준은 350 µg/m³로 제시되어 있으며 주거지역과 공업지역 주택 모두 권고기준 이하의 수준을 나타냈다. 주거지역 주택의 최소농도는 35.34 µg/m³, 최대농도는 78.05 µg/m³로 나타났으며, 공업지역 주택의 경우 최소농도는 43.50 µg/m³, 최대농도는 104.03 µg/m³로 공업지역의 주택에서 약 1.2~2.9배 높은 수치가 나타났다. 평균농도는 주거지역 주택에서 56.67 µg/m³, 공업지역 주택에서 68.70 µg/m³로 나타나 공업지역에서 다소 높은 것을 확인할 수 있었으나, 두 지역간의 에틸벤젠의 평균농도는 허용 유의수준 0.05에서 유의수준 0.372로 나타나 유의한 차이는 없는 것으로 분석되었다.

(4) 자일렌

자일렌의 경우, 조사주택 모두에서 실내공기질의 권고기준인 700 µg/m³ 이하의 농도를 나타냈다. 주거지역 주택의 최소농도는 31.89 µg/m³, 최대농도는 63.16 µg/m³로 나타났으며, 공업지역 주택의 경우 최소농도 44.13 µg/m³, 최대농도 132.01 µg/m³로 나타나, 공업지역 주택이 약 1.4~2.2배로 높게 나타났다. 자일렌의 평균농도는 주거지역 주택에서 51.26 µg/m³, 공업지역 주택에서 87.65 µg/m³로, 공업지역 주택이 높은 것으로 나타났으며, 이러한 차이는 허용 유의수준 0.05에서 유의수준 0.033로 나타나 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다.

(5) 스티렌

스티렌의 경우 주거지역 주택과 공업지역 주택에서 모두 권고기준인 300 µg/m³ 이하의 농도로, 주거지역 주택은 최소농도 12.86 µg/m³, 최대농도 38.91 µg/m³로 나타났다. 공업지역 주택의 경우 최소농도 15.60 µg/m³, 최대농

도 34.47 µg/m³로 나타나 최소농도와 최대농도의 큰 차이는 보이지 않았다. 각 지역별 평균농도는 주거지역 주택이 21.13 µg/m³, 공업지역 주택에서 21.90 µg/m³로 평균농도의 차는 거의 없으며 유의수준 0.889로 허용 유의수준 0.05에서 의미있는 차이는 보이지 않는 것으로 확인되었다.

(6) 폼알데하이드

폼알데하이드 농도는 주거지역 주택에서는 실내공기질 권고기준인 210 µg/m³에 모두 미달하는 것으로 나타났다. 반면 공업지역의 경우 측정대상 중 D세대는 권고기준을 초과하는 252.62 µg/m³로 나타났으며, C세대에서는 권고기준을 초과하지 않으나 207.67 µg/m³의 높은 농도로 나타났다. 폼알데하이드의 평균농도는 주거지역 주택에서 106.84 µg/m³, 공업지역 주택에서 167.22 µg/m³로 나타나, 공업지역 주택이 주거지역 주택보다 약 1.6배 높은 것을 알 수 있다. 이러한 두 지역간의 농도는 통계적으로 허용 유의수준 0.1에서 유의수준 0.092로 의미있는 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

2) 실내농도와 물리적 영향요인과의 관계 분석

본고에서는 실내농도에 영향을 미치는 물리적 요인 중 온도 및 습도, 경과년수, 건축자재 사양, 주택 규모 등의 요소와 실내농도와의 관계를 검토하였다.

(1) 온도 및 습도

각 대상주택의 측정일에 대한 온도 및 습도의 분포는 <표 3>에서 제시된 바와 같다. 주거지역의 6세대는 측정시의 실내온도가 27.8~28.8°C의 범위에 있고 평균온도는 28.3°C로 나타났으며, 습도는 56.8~64.0%의 범위에 평균 습도는 61.6%로 나타났다. 공업지역의 5세대는 실내온도 28.2~31.1°C의 범위로, 평균온도는 29.6°C로 나타났으며,



표 3. 조사대상 주택의 온습도 및 규모의 분포

지역	세대	물리적 특성 요소		
		온도(°C)	습도(%)	규모(m <sup>2</sup> )
주거 지역	A	27.8	56.8	112.2
	B	28.1	61.5	112.2
	C	28.5	63.9	92.4
	D	28.2	60.6	92.4
	E	28.4	64.0	112.2
	F	28.8	62.5	112.2
공업 지역	A	31.0	45.0	85.8
	B	29.1	60.8	105.6
	C	30.1	63.2	85.8
	D	29.6	70.0	105.6
	E	28.2	73.5	112.2

습도의 분포는 45.0~73.5%로 평균습도는 62.5%로 나타났다. 두 지역의 측정대상 주택의 온도 및 습도의 차이는 미세한 것으로 나타났다.

일반적으로 화학물질의 방산에 많은 영향을 미치는 온도 및 습도의 조건에 대하여 각 조사주택의 실내농도에 대한 영향 정도를 검토하였다. <그림 4>는 각 세대에 대한 폼알데하이드 농도와 온도와의 선형적 관계를 나타내고 있으며, 비례 정도를 나타내는 R<sup>2</sup>의 값이 0.15로 낮은 관계 정도를 나타냈다. 이러한 경향은 모든 화학물질에서 동일하게 나타났는데, <표 4>에 나타난 바와 같이 벤젠의 경우 R<sup>2</sup>의 값이 0.03, 톨루엔 0.27, 에틸벤젠 0.05, 자일렌 0.12, 스티렌은 0.07로 낮은 선형적 관계 정도를 나타냈고, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠은 음적 비례관계를 나타내는 등 일관성을 보이지 않았다.

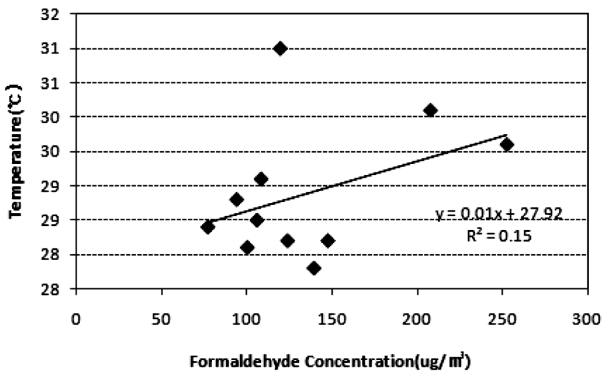


그림 4. 폼알데하이드 농도와 온도와의 관계

또, <그림 5>는 각 조사주택에서의 폼알데하이드 농도와 습도와의 관계를 나타낸 것이다. 선형적 관계 정도인 R<sup>2</sup>은 <표 4>에 제시한 바와 같이 폼알데하이드는 0.11로 나타났으며, 벤젠은 0.03, 톨루엔 0.02, 에틸벤젠 0.13, 자일렌 0.02, 스티렌 0.00로 약한 선형적 관계를 나타냈다. 이중 벤젠, 자일렌, 스티렌은 음적 선형관계를 나타냈다.

선행연구(조완제 외, 2008; 조현 외, 2006)에서는 입주 전 신축주택의 화학물질 측정에서 화학물질별 차이는 있

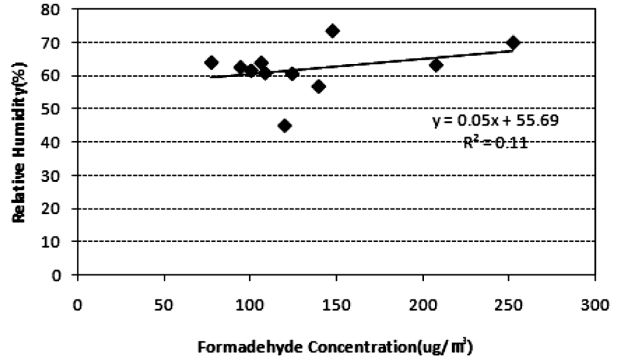


그림 5. 폼알데하이드 농도와 습도와의 관계

표 4. 각 화학물질 농도와 온도 및 습도와의 선형 관계

구분	온도		습도	
	관계식	R <sup>2</sup>	관계식	R <sup>2</sup>
폼알데하이드	관계식	y=0.01X+27.92	y=0.05X+55.69	0.11
	R <sup>2</sup>	0.15	0.11	
벤젠	관계식	y=-0.05X+29.46	y=-0.37X+66.58	0.03
	R <sup>2</sup>	0.03	0.03	
톨루엔	관계식	y=-0.01X+30.05	y=0.01X+59.44	0.27
	R <sup>2</sup>	0.27	0.02	
에틸벤젠	관계식	y=-0.01X+29.51	y=0.12X+54.33	0.05
	R <sup>2</sup>	0.05	0.13	
자일렌	관계식	y=0.01X+28.13	y=-0.03X+64.02	0.12
	R <sup>2</sup>	0.12	0.02	
스티렌	관계식	y=0.03X+28.21	y=-0.06X+63.17	0.07
	R <sup>2</sup>	0.07	0.00	

으나 온도 및 습도에 대한 의존 성향을 보고하였다. 또, 유복희(2010)는 신축 공동주택을 대상으로 한 온도와 습도의 영향 분석에서 습도는 물질별 차이는 있으나 의존성이 있음을 보고하였으며, 온도에 대해서는 의존 경향을 발견하지 못하였음을 보고하였다. 이와 같이 화학물질의 함유량이 상대적으로 많은 입주 전 신축주택의 경우에서도 온도와 습도에 대한 일관적 강한 의존성을 보고되지 않으며, 본 연구에서와 같이 일정 시간이 경과된 주택에서는 각 화학물질의 농도와 온도 및 습도와 같은 물리적 환경요인의 영향 정도는 매우 약화되어 있음을 알 수 있다.

(2) 건축자재와 주택의 경과연수

두 지역의 측정주택에 대하여 시공 시에 사용된 건축자재의 사양을 조사<sup>7)</sup>하였다. 두 아파트의 시공사는 각 방 및 거실에 사용되어지는 벽지 및 바닥재(온돌마루)는 HB마크<sup>8)</sup>의 최우수등급의 자재를 적용하고 있는 것으로 조사되었으며, 두 아파트간의 실내 마감재의 차이에 대한 근본적인 발생량의 차이는 없는 것으로 전체할 수 있다.

7) 마감자재의 사양은 거주자의 응답 및 실내 관찰로 판단이 불가능한 항목이어서, 시공사의 담당부서와의 직접 전화 인터뷰를 통해 각 실의 마감재에 대한 제품의 모델명과 그 방출기준에 대한 사항을 조사하였다.

8) 한국공기청정협회에서 인증하는 친환경 건축자재 단체품질 인증 제도로 HB마크(Healthy Building)를 부여하는 제도이다.

주거지역의 A아파트는 입주 시작일이 2007년 12월로 측정 당시는 입주 후 18개월이 경과되고, 공업지역 B아파트의 경우 입주일은 2007년 6월로 측정일까지의 경과 시간은 24개월이 경과된 시점이었다. 입주 후부터 측정 시까지의 경과년수가 긴 경우가 화학물질의 자연방산이 이루어지는 시간이 길어지므로 건축자재에서의 발생량이 작아진다는 일반론에서, 본 공업지역 주택의 경우가 건축 마감재에서의 유해물질의 자연방산이 이루어지는 시간이 많은 상태임을 알 수 있다. 따라서 두 지역의 측정세대에서는 경과년수에 의한 발생량의 차이는 존재할 수 있을 것으로 판단되며, 경과년수가 상대적으로 짧은 주거지역의 경우가 실내농도가 상대적으로 높게 나타날 개연성을 확인하였다.

그러나 <표 2>에 의하면 두 지역별 화학물질의 평균농도의 의미있는 차이를 나타내는 것은 자일렌과 폼알데하이드뿐이고, 이 또한 모두 공업지역의 주택에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다. 즉, 최소 입주후 18개월 이상이 경과된 기존주택의 경우 건축자재등에서의 자연방산에 의한 영향력은 약화되는 것으로 판단된다.

(3) 주택의 규모

주택의 규모 차이 즉, 마감재의 적용 면적의 차이로 인한 방출량 분석 차이를 검토하기 위하여 각 측정 대상주택의 규모를 비교하였다. 각 측정대상 주택의 규모는 <표 3>에 나타난 바와 같이 주거지역이 평균 105.6 m<sup>2</sup>, 공업지역이 99.0 m<sup>2</sup>로 나타나 미세한 차이를 보이는 것으로 나타났다. <그림 6>은 각 조사주택의 규모와 폼알데하이드의 농도와의 선형관계를 나타낸다. 선형적 관계성을 나타내는 R<sup>2</sup>의 값이 0.06로 낮은 음적 선형관계 정도를 나타내고, 벤젠은 0.17, 톨루엔 0.00, 에틸벤젠 0.00, 자일렌 0.05, 스티렌은 0.02로 나타나, 전 화학물질에서 매우 낮은 관계정도를 보이는 것을 확인하였다.

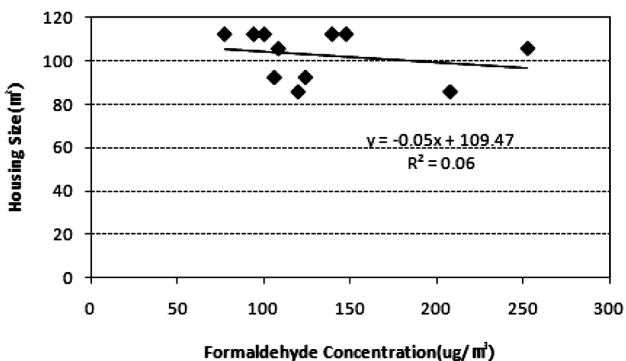


그림 6. 폼알데하이드 농도와 주택규모와의 관계

3) 결과분석 요약

본 절에서는 두 지역의 주택내 유해화학물질에 대한 분포 실태를 파악하기 위하여 폼알데하이드, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌을 측정·분석하고, 이에 대한 오염발생원에 대한 영향을 분석하였다.

표 5. 각 화학물질 농도와 주택규모와의 선형 관계

구분	관계식	주택의 규모
폼알데하이드	관계식	y=-0.05X+109.47
	R <sup>2</sup>	0.06
벤젠	관계식	y=1.35X+85.98
	R <sup>2</sup>	0.17
톨루엔	관계식	y=-0.00X+101.23
	R <sup>2</sup>	0.00
에틸벤젠	관계식	y=-0.01X+101.82
	R <sup>2</sup>	0.00
자일렌	관계식	y=-0.08X+108.16
	R <sup>2</sup>	0.05
스티렌	관계식	y=0.19X+98.53
	R <sup>2</sup>	0.02

측정대상 주택의 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌의 농도는 지역과 관계없이 전 조사대상 주택에서 실내공기질 권고기준에 미달되는 수준으로 나타났다. 그러나 폼알데하이드의 경우 권고기준을 초과하거나 근접한 세대가 공업지역의 경우 조사대상 5세대 중 2세대로 나타났다.

한길원 외(2006)는 2005년 3월~8월까지의 입주 전 공동주택으로 서울·수도권의 389세대를 대상으로 실태를 조사하여 벤젠은 초과하는 세대가 없고, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌이 초과율이 약 10% 미만임을 보고하고, 톨루엔은 약 30%, 폼알데하이드는 약 40%의 초과율을 보고하면서 이에 대한 관리의 필요성을 강조하였다. 또, 환경부 보도자료<sup>9)</sup>에 의하면 2006년도 조사에서 2005년에 비해 폼알데하이드, 톨루엔 등 6개 물질에 대해 평균 오염도가 2005년도 대비 26~71% 저감되고 항목별 기준초과율도 3% 미만으로 보고하였다. 이러한 저감 효과는 시공자로 하여금 친환경 건축자재의 사용 등 유해물질 방출 저감 노력을 유도한 것으로 평가하고 있다. 그러나 이것은 입주 전 신축공동주택을 대상으로 하고 있어, 어느정도 시간이 경과된 기존 주택에 대한 양상과는 구별된다. 본 연구에서는 2년 이상의 신축 후 시간이 경과되었음에도 불구하고 지속적으로 폼알데하이드가 높게 검출되고 있음을 확인하였다.

지역적인 비교에서는 톨루엔, 벤젠의 평균농도는 공업지역의 주택보다 주거지역 주택이 다소 높게 나타났으나, 이는 통계적으로 의미있는 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었다. 스티렌은 지역간의 농도차이는 거의 나타나지 않았으며, 자일렌과 폼알데하이드는 공업지역의 농도가 높게 나타내는데, 이것은 통계적으로도 의미있는 유의한 차이를 나타냈다.

또한 실내 물리적 영향 요인과 실내농도와의 관계를 분석한 결과, 온도 및 습도, 건축자재 사양, 주택의 규모 등에서의 지역별로 조사대상 주택에 차별적 영향요인은 없는 것으로 조사되었다. 단, 주택의 경과년수에서 공업주택

9) 환경부 보도자료 「'06년도 실내공기질 점검 결과」

의 경과년수가 24개월로 주거지역에 비해 상대적으로 길었던 공업지역에서 높게 나타났다. 이것은 건축자재에 대한 자연방산량의 영향 정도는 약화되고 다른 영향 요소가 관여하였음을 판단할 수 있다. 즉, 18개월이상 경과된 주택에서는 온도 및 습도, 건축자재, 주택규모 등과 같은 건축자재에서의 방출량과 관계된 요인의 영향력은 약화되는 것으로 판단된다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구는 외기의 오염물질 농도가 다른 두 지역(공업지역, 주거지역)에 위치한 거주중인 공동주택의 실내농도를 측정하여 그 실태를 파악하였다. 또한 외부환경, 주택의 규모, 경과년수, 건축자재 특성, 실내 온·습도와 같은 주택의 물리적 사항과 내부적 요인인 공간 확장, 가구 및 전자제품의 구입 건수 등에 대한 발생원의 조사를 통하여, 주택내 유해물질 발생에 대한 영향 정도를 규명하고자 하였다. 이에 대한 조사 및 결과 분석을 바탕으로 한 결론 및 제언은 다음과 같다.

1) 신축 후 18개월 이상이 경과된 공동주택의 경우 벤젠, 에틸벤젠, 톨루엔, 자일린, 스티렌에 대해서는 실내공기질 기준에 안정적인 수준임을 확인하였다. 그러나 폼알데하이드의 경우 기준에 초과하거나 근접한 사례가 발견되어 장기적인 주의가 필요한 것으로 나타났다.

2) 대상 공동주택의 실내 화학물질의 발생은 주택의 크기, 측정시의 온도 및 습도, 사용된 건축자재의 사양 등에서 주거지역 및 공업지역 간의 차이는 미세한 것으로 나타났다. 그러나 경과년수의 경우 주거지역의 주택이 더 짧아(약 6개월정도), 건축자재 등의 오염물질 발생량이 상대적으로 주거지역이 더 높을 것으로 판단되었으며, 가구 및 전자제품의 구입, 불박이 형태, 확장, 개선조치 등에 대한 내부 오염원 조사에서도 주거지역의 주택에서 더 많은 오염발생원에 노출되어 있을 가능성을 확인하였다. 그러나 실제 대상주택의 실내오염물질의 농도 차이를 살펴본 결과, 벤젠, 에틸벤젠, 톨루엔, 스티렌은 통계적으로 의미있는 지역간의 차이는 없었으나, 자일렌과 폼알데하이드는 공업지역에서 통계적으로 의미있게 높은 농도를 나타냈음을 확인하였다.

이와 같이 두 지역간의 농도차이가 없거나 공업지역의 주택에서 더 높은 농도를 나타낸다는 것은 신축 후 18개월 이상이 경과된 거주중인 주택의 경우, 건축자재에서의 유해화학물질 방출 특성 요인에 기인하는 경과년수, 주택규모, 온도 및 습도, 목재가구 및 불박이 가구, 확장, 개선 조치등과 같은 실내 오염원에 의한 영향력이 약화되었음을 확인하였다.

3) 기존의 공동주택의 경우, 실내 공기오염의 영향 요소는 건축자재와 관련된 특성의 약화와 함께 외부 대기오염 정도, 생활상의 유입 등이 주요 영향 요인으로 거론될 수 있을 것이며, 추후 연구를 통한 규명이 이루어질 필요성이 있다.

#### 참 고 문 헌

1. 김선숙·여명석·김광우 (2008). 온도 변화에 따른 건축자재의 VOC 방출 및 실내공기질 해석. 대한건축학회논문집, 24(3), 233-240.
2. 김영환 (2008). 가족단위 환자대조군 연구 방법 및 면역학적 방법을 이용한 실내 및 대기오염에 의한 천식, 알러지 및 화학물질 증후군 인체건강영향 모니터링 체계 개발(환경부 연구보고서 No. GOVP1200822149). 서울: 환경부.
3. 심현숙·최윤정 (2008). 리모델링후 거주중인 아파트 단위 주거의 실내공기질 평가. 대한건축학회논문집, 24(12), 303-312.
4. 울산광역시 (2009). 환경백서. 울산: 울산광역시.
5. 유복희·박용승 (2006). 현장실험을 통한 친환경건축자재의 VOCs 및 포름알데하이드 방출 특성. 대한건축학회논문집, 22(8), 233-240.
6. 유복희 (2010). 대기오염 환경이 거주자의 실내환경에 대한 평가 및 인식에 미치는 영향. 한국주거학회논문집, 21(3), 87-94.
7. 유복희 (2010). 공동주택에서의 VOC 및 폼알데하이드 실내농도 예측을 통한 건축자재의 영향 검증에 관한 연구. 대한건축학회논문집, 26(9), 267-274.
8. 유복희 (2010). 신축 공동주택에서의 온도 및 습도 변화에 따른 VOC 및 포름알데하이드 방산 관계성 규명. 대한건축학회논문집, 26(5), 383-391.
9. 이윤규·한길원 (2003). 공동주택의 포름알데하이드 농도특성 분석에 관한 연구. 대한건축학회논문집, 19(10), 153-160.
10. 이윤규·김창남 (2004). 기존 공동주택의 실내공기질 실태에 관한 측정 연구. 대한건축학회논문집, 20(11), 327-334.
11. 진정윤·박준석·손장열 (2005). 서울시 주택내 휘발성 유기화합물 공기오염농도의 계절변화에 관한 연구. 대한건축학회논문집, 21(3), 125-132.
12. 조완제·손장열 (2008). 한국 신축 공동주택의 실내공기질 실태 및 인자별 오염물질 발생특성 평가. 대한건축학회논문집, 27(7), 231-238.
13. 조완제·손장열 (2008). 친환경자재 및 흡착제 적용에 따른 실내공기 오염농도 변화. 대한건축학회논문집, 24(4), 227-234.
14. 조현·최종문·김우재 (2006). 신축공동주택의 실내 휘발성유기화합물(VOCs) 실태조사 및 습도 변화에 따른 발생 특성 평가. 한국생활환경학회지, 13(4), 283-289.
15. 한길원·김현진·정창현·김윤덕·이윤규 (2006). 신축 공동주택의 실내공기질 실태에 관한 연구. 대한건축학회논문집, 22(9), 267-274.

접수일(2010. 7. 17)

수정일(1차: 2010. 10. 9)

게재확정일자(2010. 11. 3)