



국내 주거건물의 실내공기환경 오염실태 조사 연구

박진철

경민대학 건축과 (jcpark@kyungmin.ac.kr)

서론

최근 우리 사회는 새천년을 맞이함과 동시에 새로운 환경문제에 직결해 있다. 즉, 급속한 경제발전에 따른 에너지의 무분별한 사용은 자원의 고갈을 초래하였고 더욱이 기후변화 및 산성비 등 지구환경을 급속도로 오염시키고 있다. 이에 세계각국에서는 1992년 리우회의를 시작으로 1995년 베를린 1차 회의에서는 온실가스 저감목표를 설정하였고, 1997년 교토 3차 회의에서는 2012년까지 지구온실배출 총량을 1990년 수준보다 5% 감축하자는 의제를 제시하였으며, 2002년의 남아공의 요하네스버그의 회의에서는 이러한 교토의정서에 대한 구체적인 행동 작업에 들어가기 시작하는 등 지구환경을 보존하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있는 상황이다.

한편, 건물분야에서는 건축기술의 급속한 발전에 따라 지속적인 환경개선이 이루어지고 있지만, 건물의 실내공기환경은 단열강화에 따른 환기부족현상과 일부 검증되지 않은 각종 건축마감재들의 무분별한 사용이 증가되면서 실내공기환경은 날로 악화되어 재실자들의 건강을 위협하고 있는 실정이다.

이와같이 전 세계적으로 관심이 되고 있는 환경오염의 문제와 결부되어 건축물 내에서의 실내공기환경(IAQ)문제는 현대인이 하루 중 90% 이상을 건물 내에서 생활하고 있음을 감안할 때 국민건강과 복지의 측면에서 무엇보다도 먼저 고려되어야 하며 특히, 매우 중요하게 다루어져야 한다.

선진 외국에서는 실내공기환경의 질(IAQ)에 관한 연구가 과거 20여년간 활발히 진행되어 오고 있으나 우리나라에서는 아직까지 기초적 연구단계의 수준으

로서, 일부 건물의 실내공기 오염실태와 단지 문제점에 대한 제기가 있는 정도이고, 다양한 건축물과 각종 건축재료 등으로부터 방출되는 구체적인 실내공기 오염실태에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다

따라서 본 고에서는 실내공기환경의 특성을 고찰하고 무엇보다도 국내 주거건물을 대상으로 수년간에 걸쳐 실내공기환경의 오염실태를 파악함으로써 그 오염현황을 국내 최초로 밝혀내었다. 또한, 실태조사 를 통하여 밝혀낸 자료를 분석하여 비교적 오염물질이 많이 방출 되는 건축재료들을 대상으로 실험실에서 그 방출강도를 파악하였다. 즉, 이와 같은 국내 주거건축물에서의 실내공기환경의 오염실태와 건축재료에서 발생하는 각종 오염물질의 방사량에 대한 실측자료 제시 등의 연구결과는 그동안 국내 실내공기 환경연구의 선도적 역할을 주도하였을 뿐만 아니라 나아가 21세기의 쾌적한 실내공기환경 조성에 크게 기여할 것으로 확신하는 바이다.

실내공기환경 특성

실내공기오염이란 다양한 실내공간(주택, 학교, 사무실, 공공건물, 병원, 지하 시설물, 교통 수단 등)에서 공기가 오염된 상태를 말하는데, 그 원인은 내부와 외부로부터의 매우 복합적인 오염원에 의해 야기되며, 또한 그 영향은 실내 거주자들의 생명을 위협할 정도는 아니더라도 분명히 건강에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

최근 연구에 의하면 실내공기의 오염물질에는 흡연, 연소가스 등으로부터는 부유분진(TSP), 이산화질소(NO₂), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂) 그



국내 주거건물의 실내공기환경 오염실태 조사 연구

리고 자연방사능 물질로 흙, 시멘트, 콘크리트, 대리석, 모래, 진흙, 벽돌, 석고보드 등과 같은 건축자재 및 우물, 동굴, 천연가스 등에 존재하며 공기 중으로 방출되고 있는 라돈가스는 인체 흡입시 폐암의 원인이 되고 있다. 또한, 목재와 고무류, 페인트와 접착제, 플라스틱류와 합성수지 등 천연재료나 복합재료와 단열재 등으로부터는 포름알데히드(HCHO)와 휘발성유기성분(VOCs)의 오염물질이 방출되고 있다고 한다. 한편, 최근 생활의 질 향상과 제품기술의 발달 등으로 건축바닥재에는 폴리에스테르계, 우레탄계 등 PVC 계통의 바닥재가 많이 사용되고 있는데 이와 같은 제품들은 대부분이 석유화학제품으로 화재시 유독가스 발생뿐만 아니라 한정된 실내에서 재실자에게 불쾌한 냄새나, 호흡기자극, 피로감, 메스꺼움 또는 집중력 감소 등을 불러 일으키는 휘발성유기용제(VOCs)와 환경호르몬(DEHP, diethylhexyl phthalate) 등의 오염물질을 방출하는 것으로 알려져 있다.

이와같이 실내공기 중에 존재하는 대부분의 오염물질은 주로 건축자재, 연소연료, 생활용품 및 흡연 등으로부터 방출되는 것으로 알려져 있고, 그 오염물질의 농도는 오염물질을 다량으로 다루는 공장이나 작업장의 환경보다 낮은 상태로 나타나지만 외부공기의 농도보다는 훨씬 높은 상태를 유지하고 있다고 보고되고 있다. 특히, 신축건물인 경우는 최고 100배까지 높은 농도분포를 보이고 있다고 하는데, 사용되고 있는 건축재료의 종류가 다양하고 광범위하여 오염물질

의 방출특성을 파악하기가 쉽지 않은 실정이다.

공기환경기준은 각각의 환경적 특성에 따라 오염물질의 발생과 재실자에게 미치는 영향정도가 다르기 때문에 그 대상을 일반실내환경, 대기(외기) 그리고 작업환경으로 구분하여 설정하고 있다. 외국의 실내공기환경(IAQ) 기준은 유럽의 경우, WHO를 중심으로 이미 1987년에 Air Quality Guidelines for Europe을 설정하여 실내공기환경과 건강 측면의 여러 연구결과를 축적해 오고 있다. 또한, 미국에서는 EPA와 ASHRAE를 중심으로 재실자를 위한 온열환경조건과 실내공기질을 고려한 실내공기환경 유지를 위한 환기규정 등을 제시하고 있다. 이와같이, 대부분의 선진외국에서는 이미 실내공간에서의 오염물질 방출에 대한 세부적 규제를 실시하고 있는 상황이지만, 국내의 실내공기환경 관련기준은 현재 보건복지부(위생관리법), 건설교통부(건축법) 및 노동부(산업안전보건법)에서 주로 일산화탄소, 이산화탄소, 분진 등의 일부 오염물질에 대해서만 규정하고 있고, 세부오염물질은 작업환경을 대상으로 설정되어 있는 형편이다.

실내공기환경의 실태조사

실태조사 개요

본 연구에서는 주거건물의 실내공기환경 오염실태 현황을 조사하기 위하여 지난 1994년부터 2000년까지 수년간에 걸쳐 국내의 신축공동주택, 기존공동주택, 다세대주택, 단독주택 등 다양한 주거건축물을 대상으로 실내공기환경의 오염실태를 측정하였다. 즉, 지난 1994년 이후 2000년까지 약 6년에 걸쳐 전국 8개 지역의 신축공동주택, 경인지역의 기존 및

<표 1> 실내공기환경기준

| 오염물질 | 실내환경 (Indoor Air) |
|--------------------------|--|
| 이산화탄소 CO ₂ | 1,000 ppm(일본 건축기준법) 1,000 ppm(ASHRAE) |
| 일산화탄소 CO | 10 ppm(일본건축기준법및빌딩위생관리법) 20 ppm(일본학교위생기준) 8.6 ppm(WHO Europe: 8시간 평균) 9 ppm(NAAQS: 8시간 평균) |
| 포름알데히드 HCHO | 0.1 ppm(ASHRAE) 0.08 ppm(WHO Europe) |
| 이산화질소 NO _x | 0.21 ppm(WHO Europe: 1시간 평균) 0.075 ppm(WHO Europe: 24시간 평균) 0.053 ppm(NAAQS: 24시간 평균) |
| 라돈 Radon | 4.0 pCi/ℓ (EPA) 2.0 pCi/ℓ (ASHRAE) |
| 부유먼진 TSP | 0.15 mg/m ³ (일본 빌딩위생관리법/건축기준법) 0.1-0.12 mg/m ³ (WHO, 8시간 평균) |
| 휘발성 유기화합물 VOCs | 0.2~0.6mg/m ³ (핀란드 FISIAQ) 0.057 -0.172 ppm |

*NAAQS : National Ambient Air Quality Standards

<표 2> 라돈가스 농도 분포

| 건물유형 | 라돈농도(pCi/L) | | 실내외 농도비 |
|--------------------------------|--------------------------|------|------------|
| | 실내평균 | 실외평균 | |
| 신축공동주택 전국 15개소 | R.C 1.47 (최대 4.57) | 0.12 | 12.25 |
| | P.C 0.33 | 0.24 | 1.38 |
| 기존공동주택(R.C) 서울경기 7개소 | 0.80 (최대 2.7) | 0.46 | 1.74 |
| 기존 다세대주택 반지하세대 서울경기 15개소 | 2.56 (최대 6.64) | 0.59 | 4.33 |
| 신축 황토주택 2개소 | 3.4(최대 12.3) | 1.1 | 3.1 |
| 모델하우스 | 0.03 | 0.02 | 1.5 |

*R.C : Rein-forced Concrete, P.C: Pre-cast concrete



집 중 기 획 건물에서의 실내공기질 문제

다세대 주택과 단독주택 등을 대상으로 실내공기환경의 오염정도를 측정하였다.

측정은 라돈가스, 휘발성유기용제(VOCs), 포름알데히드(HCHO), 이산화질소(NO₂), 이산화탄소(CO₂) 및 분진(TSP) 등의 공기환경오염물질의 항목을 대상으로 각각의 측정기자재를 이용하여 실시하였다.

실태조사결과

• 라돈가스

표 2에서 라돈가스의 평균 오염농도분포는 신축황토주택이 3.4 pCi/L(최대 12.3), 기존 다세대의 반지하세대가 2.56 pCi/L 그리고 신축공동주택 1.47 pCi/L, 기존 공동주택 0.80 pCi/L, 모델하우스 0.03 pCi/L의 순으로 나타났다. 즉, 라돈의 발생량이 많은 진흙을 원료로 한 황토주택에서 가장 높은 농도분포를 보였고, 환기량이 부족하고 토양과 인접해 있는 반지하세대 그리고 라돈가스의 반감기가 짧은 신축 건물에서도 높은 오염농도를 보이고 있었다. 특히, 황토주택과 반지하세대에서의 라돈오염농도 값은 모두 기준치(ASHRAE : 2 pCi/L)를 훨씬 초과하고 있었으며, 신축공동주택인 경우 실외보다 약 12배정도 높은 오염농도 분포를 나타내고 있었다.

• 휘발성유기용제(VOCs) 및 포름알데히드(HCHO) 휘발성유기용제(VOCs)와 포름알데히드(HCHO)

〈표 3〉 휘발성유기용제(VOCs)의 농도분포

| 건물유형 | TVOC 농도(ppm) | | 실내외 농도비 |
|----------------|--------------|--------|---------|
| | 실내 | 실외 | |
| 신축공동주택 | 0.4025 | 0.0402 | 10.0 |
| 기존공동주택 | 0.1152 | N.D | - |
| 기존다세대주택의 반지하세대 | 0.0656 | 0.0122 | 5.4 |
| 모델하우스 | 2.997 | 0.038 | 78.9 |

N.D : Not Detected (미검출)

〈표 4〉 포름알데히드(HCHO) 농도분포

| 건물유형 | 포름알데히드 농도(ppb) | | 실내외 농도비 |
|----------------|----------------|-------|---------|
| | 실내 | 실외 | |
| 신축공동주택 | 308.2 | 63.0 | 4.9 |
| 기존공동주택 | 95.1 | 53.1 | 1.8 |
| 기존다세대주택의 반지하세대 | 93.7 | 23.2 | 4.0 |
| 모델하우스 | 421.2 | 121.5 | 3.5 |

의 오염실태 측정결과에서는 주로 라텍스 페인트 및 코킹제, 칩보드, 합판, 접착제 등의 건축다감재로 축조된 모델하우스에서 가장 높은 농도로 검출되었고 특히, 마감재 시공이후 오염농도의 발산 기간이 짧은 신축주택에서도 높은 오염분포도를 보이고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 값들은 모두 기준치를 초과하는 것으로 나타났으며, 특히 신축공동주택의 휘발성유기용제는 실내농도가 실외보다 약 10배 이상의 높은 값으로 검출되고 있었다.

• 이산화질소(NO₂)

주로 일반가정에서의 조리용 가스기구 등에서 발생하는 이산화질소(NO₂)의 오염농도측정은 재실자들이 거주하는 기존주택만을 대상으로 실시하였다. 즉, 기존공동주택에서의 조리중 일때의 이산화질소(NO₂) 오염물질의 평균 농도는 36.9 ppb, 최고 60.9ppb의 농도분포를 나타내고 있었으나, 이와 같은 값은 기준치를 초과하지 않는 것으로 밝혀졌다.

• 이산화탄소(CO₂) 및 분진(TSP)

실내환경에서 주로 연소기구와 인체호흡에 의해 발생하는 이산화탄소(CO₂)의 오염물질은 그 자체에 의해 중독과 신체장애를 일으키지는 않으나 다른 오염농도가 증가할 때 비례하여 증가하므로 실내환경 평가의 지표로 이용되고 있다. 이와 같은 이산화탄소(CO₂)의 오염농도는 특히 환기량이 절대 부족한 기존 다세대의 반지하공간에서 평균 3002.9 ppm의 매우 높은 농도분포값을 나타내고 있었고, 분진(TSP)의 오염물질 또한 반 지하주거에서 179μg/m³의 높은 농도분포를 가지고 있음을 밝혀내었으며 이와같은 값은 모두 각각의 기준치(1000ppm, 150 μg/m³)를 크게 초과하는 것임

〈표 5〉 이산화질소(NO₂) 농도분포도

| | 실내농도(ppb) | | 실내외 농도비 | 실내외 농도비 |
|------------|-----------|----------------|---------|---------|
| | 조리전 | 조리중 | | |
| 기존공동주택 6개소 | N.D | 36.9 (최고 60.9) | 22.7 | 1.6 |

〈표 6〉 이산화탄소(CO₂) 및 분진(TSP)의 농도분포도

| | CO ₂ (ppm) | | | 분진(μg/m ³) | | |
|-------------|-----------------------|-----|-------|------------------------|----|-------|
| | 실내 | 실외 | 실내/실외 | 실내 | 실외 | 실내/실외 |
| 기존공동주택 | 816 | 331 | 2.5 | 45 | 20 | 2.3 |
| 기존다세대 반지하주거 | 3002.9 | 633 | 4.7 | 179 | 28 | 6.4 |



을 알 수 있었다.

실내공기오염농도의 실험실 측정

실험실측정개요

앞장의 실내공기오염 현장실태 조사에서 밝혀낸 자료를 근거로 즉, 현장측정 결과 비교적 오염물질의 발생이 많은 건축재료를 대상으로 실험실에서 오염물질이 단위면적당 방출되는 실험을 실시하였다. 특히, 실태조사결과 건물의 실내공기오염의 농도는 건물의 구조 즉, 마감재의 재료구성 그리고 건물의 환기상태 등에 따라 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있었다.

따라서, 실험실측정에서는 흙, 시멘트, 콘크리트, 대리석, 모래, 진흙, 벽돌, 석고보드 등에서 주로 방출되는 라돈가스 그리고 목재, 고무류, 페인트와 접착제, 플라스틱류와 합성수지 등으로부터의 발생되는 휘발성유기용제(VOCs) 또한, 폴리에스테르계, 우레탄계 등 PVC 계통의 건축바닥재 등에서 발생될 수 있는 환경 호르몬(DEHP, diethylhexylphtalate) 등의 오염물질을 대상으로 실시하였다.

한편, 실험실측정은 건축재료의 종류에 따른 오염물질의 발생농도를 정량적으로 파악하고자 한것으로 크기 0.14m³(직경 0.5m, 높이 0.7m)인 스텐레스철재 및 유리로 구성된 밀폐형 원통형의 모델시스템을 각각 2개 제작(기준실 및 측정실)하여 실시하였다.

측정결과

건축재료에서의 라돈방사량 측정결과는 황토, 석고보드, 콘크리트, 운모 등의 순으로 황토에서 가장 높게 검출(일반콘크리트의 5.2배) 되었으며, 석고보드

<표 7> 재료별 라돈가스 방사량의 실험실 측정결과

| | 평균입력차 | 라돈농도 (pCi/m ³ h) | | 평균 |
|------|----------------|-----------------------------|--------|------|
| | | 재료별 | 평균 | |
| 콘크리트 | R.C(일반콘크리트) | N.E | 600 | 515 |
| | P.C(중기양생콘크리트) | N.E | 430 | |
| 운모 | 원석 | N.E | 387 | 410 |
| | 쇄석 | N.E | 433 | |
| 석고보드 | 일반제품 | 0.005 | 2180.1 | 1820 |
| | 중기양생제품 | 0.004 | 1459.9 | |
| 황토벽 | 순수황토 | 0.045 | 2814.8 | 3105 |
| | 순수황토+세라믹(50%) | 0.042 | 3200 | |
| | 순수황토+세라믹(100%) | 0.044 | 4450.3 | |
| | 순수황토+특수마감 | 0.044 | 1955.7 | |

N.D : Not Detected (미검출)

에서도 높은 농도를(일반콘크리트의 3.6배) 보이고 있었다. 특히, 세라믹을 혼합한 황토에서 일반 황토보다 약 1.6배 정도(일반콘크리트의 7.2배)의 높은 방사량을 보임으로써 세라믹자체에서도 라돈가스가 높게 방사되고 있음을 확인 하였다.

그러나, 라돈가스가 방출되고 있는 콘크리트, 석고보드 및 황토 등의 재료에 증기양생을 한 경우 라돈의 방사량은 현저히 줄어들고 있었고 특히, 황토인 경우 표면을 다른 재료로 마감했을 경우 라돈의 방사량은 줄어들고 있음을 확인함으로써, 벽체의 구성성분과 표면처리정도에 따라 라돈가스의 방사량을 일정수준까지 줄일 수 있다는 사실을 밝혀 내었다.

표 8은 페인트에서의 휘발성유기용제(VOCs) 오염물질의 방사량을 측정 한 값이다. 이 때 사용된 페인트재료는 국내의 일반석유화학제품과 최근 외국의 천연소재를 원료로 한 제품의 두가지를 비교분석하였다. 특히, 오염물질의 온도차에 따른 방사량을 파악하기 위하여 실험실온도를 난방시와 비난방시로 구분하여 측정하였다.

그 결과 국내석유화학제품의 페인트에서 휘발성유

<표 8> 페인트에서의 휘발성유기용제(VOCs) 방사량의 실험실 측정결과

| 1) 국내석유화학제품 단위:ppm/m ³ | | | | |
|-----------------------------------|------------|-----------|----------|---------|
| 유성페인트 | 비난방시 평균 | 난방시 평균 | 전체 평균 | |
| | | | VOCs | benzene |
| | toluene | 1.1 | 4.2 | 2.650 |
| | Xylene | 23.700 | 34.500 | 29.100 |
| TVOC | | 24.800 | 38.700 | 31.750 |
| 수성페인트 | 비난방시 평균 | 난방시 평균 | 전체 평균 | |
| | | | VOCs | benzene |
| | toluene | 0.925 | 2.200 | 1.563 |
| | Xylene | N.D | N.D | N.D |
| TVOC | | 1.625 | 1.010 | 1.629 |
| 2) 외국천연원료제품 단위:ppm/m ³ | | | | |
| 유성페인트 | 비난방시 평균 | 난방시 평균 | 전체 평균 | |
| | | | VOCs | benzene |
| | toluene | 1.000 | 2.500 | 1.750 |
| | Xylene | N.D | N.D | N.D |
| TVOC | | 1.000 | 2.945 | 1.973 |
| 수성페인트 | 비난방시 평균 | 난방시 평균 | 전체 평균 | |
| | | | VOCs | benzene |
| | toluene | N.D | N.D | N.D |
| | Xylene | N.D | N.D | N.D |
| TVOC | | N.D | 0.103 | 0.052 |

* N.E : Not Examined(미측정)

* 비난방시의 평균온도는 5.8℃, 난방시의 평균온도는 25.5℃



기용제(VOCs) 오염물질이 높게 검출되고 있음을 밝혀 내었다. 특히, 유성페인트에서는 수성보다 약 30배정도의 높은 방사량 값을 보이고 있음을 알 수 있었고 또한, 온도차에 따른 방사량에서는 온도상승에 따라 오염물질의 방사량이 훨씬 증가하고 있음을 확인하였다.

표 9는 국내 PVC바닥장판재의 대표적인 제품 3종류(Pet, Non UV, UV)를 대상으로 밀폐된 실험실에서 단위표면적당 방출되는 휘발성유기용제 오염물질의 방사량을 측정하였다. 특히, PVC바닥장판재가 국내의 온돌바닥에 시공되는 것을 고려하여 바닥 온도 상승에 따른 오염물질 방사량의 변화도 동시에 측정하였다.

측정결과 국내 PVC바닥장판재에서는 휘발성유기용제 오염물질이 모두 검출되고 있었으며 특히, Non UV - Pet - UV의 순으로 UV 제품이 가장 낮은 방사량을 보이고 있었다. 여기서 UV(Ultra Violet)의 제품은 기존의 PVC제품(Pet, Non-UV)에 내오염성, 내긋힘성 등을 부가하여 표면처리를 함으로써 품질이 향상된 제품을 말한다.

또한, 바닥온도를 비가열시의 평균온도 25℃를 기준으로 35℃ 및 50℃로 가열했을 경우 오염물질의 방사량은 최고 14.8배까지 상승하는 등 높은 방사량의 값을 보이고 있음을 밝혀내었다.

따라서, 국내 PVC 바닥장판재에서는 휘발성유기용제의 오염물질이 검출되고 있었고 특히, 바닥온도 상승시에 최고 14.8배까지 높은 방사량을 보이고 있음을 밝혀 내었다. 그러나, 제품의 표면처리 상태에 따라 오염방사량이 줄어들고 있음도 확인하였다.

한편, 바닥장판재가 함유하고 있는 물질 중 최근 환

<표 9> 실험실의 바닥장판재에서의 휘발성유기용제(VOCs) 방사량 측정결과

| | | 벤젠 | 톨루엔 | 에틸벤젠 | 크실렌 | TVOC |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| PET | 비가열(25℃) | N.D. | 1.58 | 0.41 | 1.189 | 3.179 |
| | 가열1(35℃) | N.D. | 1.87 | 0.480 | 1.87 | 4.22 |
| | 가열2(51℃) | 0.47 | 15.43 | 2.19 | 3.89 | 21.98 (6.9배) |
| NON UV | 비가열(26℃) | 1.51 | 1.42 | 1.03 | 0.75 | 4.71 |
| | 가열1(34℃) | 10.05 | 2.65 | 1.69 | 1.24 | 15.63 |
| UV | 가열2(50℃) | 10.33 | 7.03 | 2.57 | 2.13 | 22.06 (4.7배) |
| | 비가열(24℃) | N.D. | 0.13 | 0.14 | 0.13 | 0.4 |
| UV | 가열1(36℃) | 0.24 | 0.44 | 0.76 | 0.67 | 2.11 |
| | 가열2(51℃) | 2.02 | 0.89 | 1.31 | 1.71 | 5.93 (14.8배) |

N.D : Not Detected

경호르몬 물질로 알려진 DOP(DEHP)오염물질의 측정결과는 다음과 같다(표 10. 11 참조).

먼저 표 10은 국내 PVC바닥장판재에서의 DOP(DEHP)의 함유량을 나타낸 것으로 평균 22.76%의 농도를 함유하고 있는 것으로 밝혀졌다. 이는 국내 PVC 바닥장판재는 제조시 가소제로 환경호르몬인 DOP(DEHP)의 오염물질이 약 22.76% 정도가 제품 자체내에 보유하고 있는 것임을 알 수 있었다. 이와같은 분석결과는 SAS(Statistical Analysis System) 통계 Package의 LSD를 사용하여 유의차 검증을 한 결과 유의도 $\alpha = 0.05$ 내에서 $Pr = 0.0001$ 로 유의함으로써 자료의 타당성을 확인 할 수 있었다.

따라서, DOP(DEHP)의 오염물질이 약 22.76% 정도가 함유된 국내의 PVC 바닥장판재를 크기 약 3평 정도의 실내공간에 시공하여 실내공기중에 방출되는 DOP(DEHP)의 오염농도 측정결과는 표 11과 같다. 즉, 비록 바닥장판재 제품자체에 DOP(DEHP) 오염물질이 함유되어 있을지라도 실내공기중에서는 환경호르몬인 DOP(DEHP) 오염물질이 검출되지 않았다. 그 이유는 DOP(DEHP)가 휘발성이 매우 강하여 공기 중에서는 검출되지 않는 것으로 판단되었다.

맺은말

본 고에서는 실내공기오염물질에 대한 이론적 고찰과 다양한 국내 주거건물을 대상으로 오염실태를 조사함으로써 국내 최초로 실내공기환경의 오염현황을 밝혀내었다. 또한, 비교적 오염물질이 많이 방출되는

<표 10> PVC 바닥장판재의 DOP(DEHP) 함유량 분석 결과

| | 검량선결과값 (μ l/ml) | | | 최종 결과 (μ g/g) | 최종 결과 (%) | 평균 (%) |
|--------|----------------------|-------|---------|--------------------|-----------|--------|
| | 1회 | 2회 | 평균 | | | |
| PET | 66.76 | 66.42 | 66.59 a | 196817.73 | 19.68 | 22.76 |
| NON-UV | 79.80 | 79.29 | 79.55 b | 236272.28 | 23.63 | |
| UV | 84.91 | 84.20 | 84.56 c | 249670.28 | 24.97 | |

*a, b, c : Means with the different letter are significantly different($\alpha = 0.05$)

<표 11> PVC바닥장판재가 설치된 공간에서의 실내공기 중 DOP(DEHP) 농도측정 결과

| 평균농도 | 장판재종류 | PET제품 | NON-UV제품 | UV제품 |
|------------|------------|------------|----------|----------|
| | | 가열시(51℃) | 가열시(51℃) | 가열시(53℃) |
| | | 포집시간: 25시간 | | |
| DOP (DEHP) | μ g/ml | N.D. | N.D. | N.D. |
| | ppm | N.D. | N.D. | N.D. |

* N.D: Not Detected



국내 주거건물의 실내공기환경 오염실태 조사 연구

건축재료들을 대상으로 실험실에서 그 방출강도를 파악하였다.

그 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 국내 전국 8개 지역의 다양한 주거건축물을 대상으로 실시한 실내공기환경의 오염실태는 다음과 같다.

즉, 신축황토주택에서는 라돈가스가 매우 높게 검출(최고 기준치의 6배)되고 있었고, 반지하 다세대주택과 신축공동주택에서도 기준치를 초과하거나 상회하는 농도값을 나타냈는데 특히, 실외보다 약 12배 정도 높은 분포를 보이고 있어 이에 대한 대책이 필요한 것으로 밝혀졌다. 또한, 건축재료에서의 라돈방사량 측정결과에서도 황토, 석고보드, 콘크리트, 운모 등의 순으로 황토에서 가장 높게 검출(일반콘크리트의 5.2배)되었고 그리고 석고보드와 세라믹에서도 높은 농도를(일반콘크리트의 3.6배-7.2배) 보이고 있음을 확인하였다. 그러나, 비록 라돈가스가 방출되고 있는 재료라 할지라도 벽체의 구성성분과 표면처리정도를 적절히 조절함으로써 라돈오염가스의 방사량을 일정수준까지 줄일 수 있다는 사실을 밝혀 내었다.

그리고, 페인트, 칩보드, 합판, 접착제 등의 건축 마감재로 축조된 모델하우스와 마감재 시공이후 오염농도의 발산 기간이 짧은 신축공동주택에서 휘발성 유기용제(VOCs)와 포름알데히드(HCHO)의 오염물질이 검출되고 있었으며 특히, 실내농도가 실외보다 약 10배 이상의 높은 오염농도 값을 보이고 있었다. 또한, 페인트재료에서의 휘발성 유기용제(VOCs) 오염물질의 방사량의 결과는 일반석유화학제품 특히 유성제품에서 주로 검출되고 있었으나 천연소재를 원료로 한 제품에서는 거의 검출되지 않음으로써 검증안된 무분별한 제품의 사용은 충분히 재고되어야 할 것으로 판단되었다. 또한, 온도상승에 따라 오염물질의 방사량이 훨씬 증가하고 있음이 확인되었으므로 이에 대한 대책이 마련되어야 할 것이다.

그리고, 환기량이 절대부족한 반지하 및 지하세대에서는 이산화탄소(CO₂)와 분진(TSP)의 오염물질이 매우 높은 값으로 모두 기준치를 크게 초과하고

있음을 확인하였고 특히, 이산화탄소(CO₂)의 오염물질인 경우 그 농도의 증가는 다른 오염농도의 비례증가를 나타내는 실내환경 평가지표 임을 고려할 때 반지하 및 지하세대에서의 이에 대한 대응책이 시급한 것으로 밝혀졌다.

한편, 국내 PVC바닥장판재에서는 휘발성 유기용제 오염물질이 검출되고 있었으나 제품의 표면처리 상태에 따라 그 방사량이 줄어들고 있음을 확인하였다. 또한, 마찬가지로 온도상승에 따라 오염물질의 방사량이 최고 14.8배까지 상승되는 것으로 나타나 이에 대한 대책이 마련되어야 할 것이다. 그러나, 환경호르몬인 DOP(DEHP)의 오염물질은 공기 중에서는 검출되지 않는 것으로 나타났다.

그러므로 지금까지의 내용을 종합해 볼 때, 국내 주거건물의 실내공기환경은 신축주택에서는 라돈가스 및 휘발성 유기용제(VOCs) 등의 오염물질이 기준치를 초과하여 검출되는 것으로 밝혀졌고 특히 건축구조재 및 마감재의 사용에 따라 그 오염의 농도가 달라지고 있음을 고려할 때 건축재료의 선택에 무엇보다도 신중을 기해야 할 것 이며 특히, 건축재료제조업체는 제품에 대한 오염방출을 인식하고 이에 대한 적극적인 대책이 뒤따라야 할 것이다.

또한, 지하 및 반지하세대에서는 이산화탄소(CO₂)와 분진(TSP)의 오염물질이 매우 높은 값으로 모두 기준치를 크게 초과하고 있음을 밝혀내었는데, 이는 지하 및 반지하공간이 구조적 특성상 환기량이 절대부족한 것이 주원인임을 고려할 때, 발생된 오염농도를 억제하기 위하여 보다 효과적인 환기대책이 강구되어야 한다.

그러나, 무엇보다도 보다 근본적인 해결책을 위해서는 다양한 실내공간에 대응할 수 있는 기준의 개선 및 재정립이 설정되어야 한다. 또한, 각종 건축재료의 합리적인 선택을 통하여 실내공기환경의 오염원을 조절하는 방법 즉, 모든 건축재료는 실내공기오염의 발생을 최대한으로 줄일 수 있도록 설계 및 시공되어야 하고 특히, 오염물질 발생이 많은 재료는 가능한 적게 사용되어야 할 것이다. ☻