

신축공동주택에서의 실내공기 오염물질 방출 저감 프로세스에 관한 연구

유형규[†], 박진철^{*}, 이연구^{*}

중앙대학교 건축학과 대학원, ^{*}중앙대학교 건축학과

A Study on a Proper Reduction Process of Indoor Air Pollutants in Newly-Constructed Multi-Family Houses

Hyung-Ku Yu[†], Jin-Chul Park^{*}, Eon-Ku Rhee^{*}

Graduate School of Architecture, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

^{*}Department of Architecture, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

(Received August 9, 2004; revision received March 23, 2005)

ABSTRACT: The purpose of this study is to investigate actual air quality in newly-constructed multi-family houses and to improve Indoor Air Quality (IAQ). The field measurement was conducted in four different newly-constructed multi-family house complexes in Seoul and one existing multi-family house complex in Kyong-gi province. The result of the measurement shows that indoor concentrations of Formaldehyde and TVOC in newly-constructed multi-family houses are much higher than the foreign standards. To establish a proper process for reducing indoor air pollutants, various experiments have been conducted; application of natural materials, bake-out practice, closure of all openings without ventilation, and use of mechanical ventilation system. The result indicates that three practices (natural materials, bake-out, mechanical ventilation) can reduce the level of indoor air pollutants almost in half during the experiments. However, each practice has its limitation and is insufficient to satisfy IAQ standards. Therefore, the study proposes a proper reduction process of indoor air pollutants which combines four different practices in time sequence.

Key words: Multi-family houses(공동주택), Formaldehyde(포름알데히드), Total volatile organic compounds(TVOC, 총휘발성 유기화합물), Reduction process(저감방안)

기 호 설 명

DB : 온도 [℃]

RH : 상대습도 [%]

1. 서 론

1.1 연구의 배경

1970년대 이후 우리 사회는 급속한 산업화 및 경제발전 등을 이루었으나, 다른 한편으로는 환경오염이라는 심각한 문제를 불러일으켰다. 특히, 최근 관심이 모아지고 있는 건축물 내부의 공기 환경은 문제가 더욱 심각하다.⁽¹⁾

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-827-0124; fax: +82-2-827-0124

E-mail address: kenon4@cricmail.net

현대인은 하루 중 대부분의 시간을 건물 내에서 생활하고 있음을 고려할 때 실내공기환경은 재실자의 건강과 직결되어 있다. 그럼에도 불구하고, 실내공기환경은 그동안 에너지절약 설계 및 시공에 따른 건물의 기밀화와 2001년 신축건축물에 대한 단열기준을 30% 이상 대폭 강화된 단열기준에 따라 환기부족 현상이 생겨 날로 악화되어 가고 있다. 그나마 환기용 외기는 대기오염이 심각한 지역에서는 정화되지 않은 채 그대로 실내로 도입되고 있는 상황이므로 현대인의 건강을 해치는 가장 중요한 요인이 되고 있다.⁽¹⁻⁵⁾

최근 신축공동주택 입주자들 중에는 두통, 현기증, 메스꺼움, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감퇴, 아토피성 피부염, 두통 등 각종 질환을 호소하는 건물병증후군(Sick Building Syndrome, SBS) 및 새집증후군(Sick House Syndrome, SHS) 등의 문제를 일으켜 건강을 크게 위협하고 있는 실정이다. 이는 공동주택에 사용되는 각종 마감재료, 표면활성제 및 접착제 등의 건축자재에서 방출되는 포름알데히드와 TVOC가 원인으로 알려져 있으며, 실내가 실외보다 2~4배 높은 것으로 알려져 있다.⁽²⁾

최근 정부기관에서 이와 같은 문제의 심각성을 인식하기 시작하여 2003년 4월에 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”을 제정하여 공표하였고, 2004년 5월 30일부터 시행하고 있다. 이에 따라, 100세대 이상의 신축공동주택에서는 휘발성 유기화합물 및 포름알데히드 등의 오염물질을 측정하여 그 결과를 입주자 등에게 의무적으로 알려야 한다.⁽⁶⁾

선진 외국에서는 실내공기환경의 질에 관한 연

구가 과거 20여 년간 활발히 진행되어 오고 있으나, 우리나라에서는 아직까지 초보적인 기초자료의 수집단계를 벗어나지 못하고 있으며, 에너지절약이라는 단순 목표 아래 거주자의 건강에 미치는 영향에 대해서는 거의 고려되지 않은 환기설계와 함께 주거환경의 실내공기 오염실태와 문제점에 대해 일부 논의가 있을 뿐, 근본적이고도 종합적인 해결책을 제시하는 수준의 연구는 아직까지 매우 미미한 실정이다.⁽¹⁾

따라서, 본 연구는 신축아파트와 신축오피스텔 및 기존아파트를 대상으로 실내공기 오염물질 농도를 측정하여 국내 실태를 파악하고, 실내공기환경 개선안을 강구하기 위한 실험을 실시하여 신축공동주택에서의 구체적인 실내공기 오염물질 저감 방안을 제시하였다.

1.2 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 국내 신축 아파트 및 오피스텔에서 발생 가능한 실내공기환경 오염물질 중 포름알데히드와 TVOC를 중심으로 발생원과 인체에 미치는 영향, 그리고 기준치 등을 분석 및 고찰하였다. 또한 신축 아파트와 오피스텔, 그리고 기존 아파트를 대상으로 실내공기오염 현황을 실측하였다. 이와 함께 자연소재 건축자재적용, 베이크 아웃 전후의 오염농도변화, 시간경과에 따른 실내오염농도 변화, 기계환기설비 가동시의 오염농도 변화, 등의 실험을 통하여 신축건물에서의 실내공기오염 방출을 저감시킬 수 있는 방안을 제시하였다. 연구의 흐름은 Fig. 1과 같다.

2. 실내공기 오염물질의 특성 및 측정방법

2.1 포름알데히드(HCHO)

포름알데히드의 실내 발생원으로는 주로 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 우레아수지폼 단열재(Urea formaldehyde foam insulation, UFFI)나 섬유옷감, 실내가구의 도장, 난방연료의 연소과정, 흡연, 생활용품, 의약품, 접착제 등을 들 수 있다. 건축자재에서 발생된 포름알데히드는 건축자재의 수명, 실내온도 및 습도에 따라 영향을 받는다. 또한, 100 ppb 또는 그 이하에서 눈, 코, 목의 자극 증상을 보이며, 동물실험에서는 발암성(비암)이 있는 것으로 나타났다.

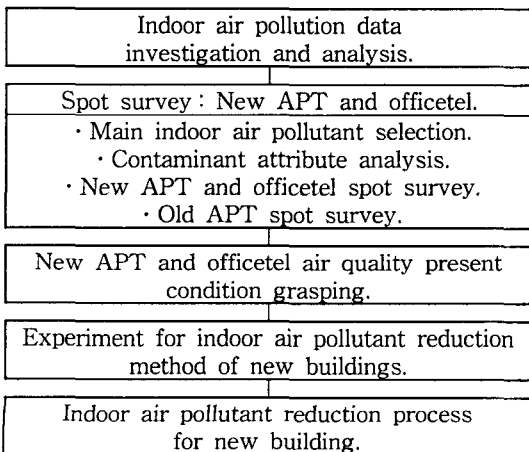


Fig. 1 Flow chart of study.

2.2 총휘발성 유기화합물(TVOC)

휘발성 유기화합물(Volatile organic compounds)은 수많은 유기화합물의 총칭으로 발생원이 매우 다양하다.⁽²⁾ 실내에서 VOCs의 농도가 증가하는 주요 원인은 복합화합물질을 이용한 새로운 건축 자재의 보급, 시공과정에서의 노무비 절감, 숙련 공의 부족으로 인한 공법의 변화로 많은 양의 접착제 사용을 들 수 있다. 대부분의 건축자재에서는 시공 후 초기단계에 다량의 오염물질을 방출하게 되며, 시간경과에 따라 방출량이 점차로 감소된다.

2.3 실내공기 오염물질 기준

국내에서는 2004년 5월 이후부터 공사허가를 받은 공동주택의 시공자는 주민이 입주하기 전에 실내오염물질을 측정하여 그 결과를 관할 시장·군수·구청장에게 제출하고 입주민에게 공고하도록 되어 있다. 공고 대상오염물질은 포름알데히드와 6종의 VOCs 물질(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, 1,4-Dichlorobenzene, Styrene)이다.⁽⁶⁾ 그러나 신축공동주택에서의 각각 오염물질에 대한 기준값은 마련하지 못한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 포름알데히드 기준은 ASHRAE

의 100 ppb를 적용하였고, TVOC 기준은 SCAN-VAC AQ2 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 적용하였다.⁽¹⁾ Table 1에 국외의 실내환경기준을 나타내었다.

2.4 측정 및 분석방법

포름알데히드 측정은 현재 ISO 16000-3, EPA METHOD TO-11, 그리고 국내의 실내공기질 공정시험방법에 명시되어 있는 2,4-DNPH 카트리지를 이용하는 DNPH 유도체화 방법을 사용하였다. 이때 포름알데히드를 비롯하여 카르보닐 화합물 측정시 방해요인으로 작용하는 오존(O_3)을 제거하기 위하여 DNPH-Silica 카트리지 전단부에 KI 결정이 채워진 오존 Scrubber(Waters, U.S.A)를 장착하였다.⁽⁸⁾

TVOC의 측정방법으로는 미국 EPA Method TO-14, TO-17, ASTM 5116-90 등에 명시되어 있는 바와 같이, Canister를 이용하는 용기포집법, 흡착제나 흡수액을 이용하여 시료를 포집하는 고체흡착법이나 용매추출법 등으로 구분할 수 있다. 이중 고체흡착에 의한 열탈착법이 실내공기질 공정시험방법의 주시험법으로 명시되어 있다. 이 때의 고체흡착은 Tenax-TA(60/80 mesh, Supelco, U.S.A)를 사용하였다.⁽⁷⁾

현장에서의 측정은 포름알데히드의 경우, 디지털 미량펌프(Sibata MP- Σ 100)를 이용하여 700 mL/min으로 30분 동안 총 21 L의 공기를 채취하였으며, TVOC는 200 mL/min으로 30분 동안 총 6 L의 공기를 채취하였다.

측정위치는 공동주택의 고층, 중층, 저층에서 실시하였으며, 거실 바닥으로부터 1.2~1.5 m 높에서 측정하였다. 측정시 현장조건은 실내공기

Table 1 HCHO and TVOC standard

HCHO	100 ppb (ASHRAE) 0.08 ppm (WHO Europe)
TVOC	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (SCANVAC AQ2) 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Japan)

Table 2 Analysis method

HPLC	<ul style="list-style-type: none"> • Formaldehyde • Vacuum elution rack (Supelco, U.S.A) • HPLC-grade acetonitrile (JTBaker, U.S.A) 5 mL • HPLC-360 nm (UV Detector) • Symmetry TM C18 (5×250 nm waters, U.S.A) • HPLC-grade acetonitrile : Water (70 : 30) • 20 μL, 25°C, 1.3 mL/min
GC/MSD/TDS	<ul style="list-style-type: none"> • TVOC • ATD-400 (Perkinelmer, U.K), thermal desorption and conditioning • GC/MSD (Perkinelmer, U.K) • BP-1and PLTO colum • 1~10 min : 40°C (5°C/min), 190°C 2 min hold, analysis time 42 min

질 공정시험방법에 따라 30분간 실내를 환기시키고, 5시간 이상 밀폐한 후 30분간 측정하였다.⁽⁶⁾

샘플링이 끝난 DNPH 카트리지와 Tenax 튜브는 각각 HPLC와 GC/MSD TDS를 이용하여 분석하였다. Table 2에 분석장비와 분석방법을 요약하였다.

3. 신축공동주택 현장측정 결과

본 연구에서 측정한 신축아파트, 신축오피스텔 및 기존아파트의 개요는 Table 3과 같으며, 2003년 12월에서 2004년 6월까지 7개월 동안 6개 단지를 대상으로 측정 분석하였다.

3.1 신축아파트 측정 결과

Fig. 2와 Fig. 3에서 보는 바와 같이 A의 포름알데히드 평균 농도는 103.2 ppb, TVOC 평균 농도는 1,416.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타냈으며, B의 포름알데

Table 3 Summary of measurement buildings

Type		Name	Py	DB (°C)	RH (%)
APT	New	A	42	27.8	20.1
		B	32	31.0	20.0
		C	47	12.3	54.4
	Old	-	33	22.4	32.5
Officetel	New	A	12	28.2	15.3
		B	12	21.4	50.2

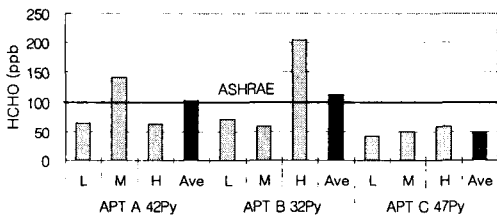


Fig. 2 New APT HCHO measurement result.

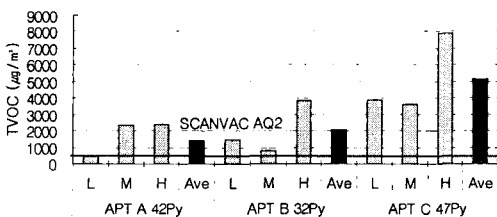


Fig. 3 New APT TVOC measurement result.

히드 평균 농도는 111.8 ppb, TVOC 평균 농도는 2,036.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 이와 같은 수치는 포름알데히드의 경우, 미국 ASHRAE 기준 100 ppb를 초과하는 것이고, TVOC의 경우, 유럽 SCANVAC AQ2 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 기준치를 약 3~4배를 초과하는 것이다. C의 거실 평균 포름알데히드 농도는 50.2 ppb로 비교적 낮게 나타났으나, TVOC는 평균 5,147.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준의 10배 이상 초과하였다.

3.2 신축오피스텔 측정결과

Fig. 4와 Fig. 5에서 보는 바와 같이 A의 포름알데히드 평균 농도는 128.9 ppb로 기준치를 초과하였으며, TVOC 평균 농도는 1,842.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준치를 약 3.6배 초과하였다. B의 포름알데히드 평균 농도는 204.1 ppb로서 기준치의 약 2배 정도의 분포도를 보이고 있었다. 또한, 평균 TVOC 농도는 6,481.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 기준치의 약 13배 정도 높은 농도분포를 보이고 있었다.

3.3 기존아파트 측정결과

기존아파트 5년 이상 경과된 아파트 중, 벽지, 바닥, 천정 등의 내부 건축 마감재가 입주 당시 대로 사용하고 있는 세대를 선정하였다.

Fig. 6과 Fig. 7에서 보는 바와 같이 기존아파트의 포름알데히드 평균 농도는 21.5 ppb, TVOC 평

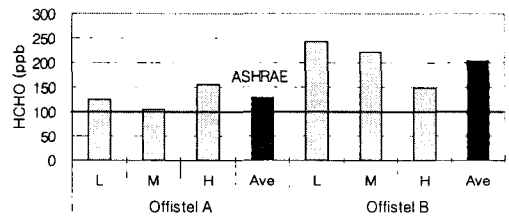


Fig. 4 New officetel HCHO measurement result.

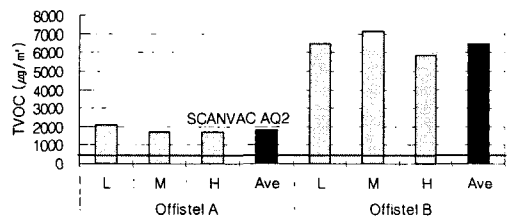


Fig. 5 New officetel TVOC measurement result.

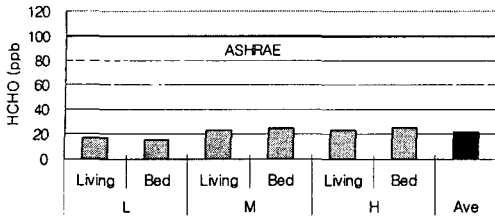


Fig. 6 Old APT HCHO measurement result.

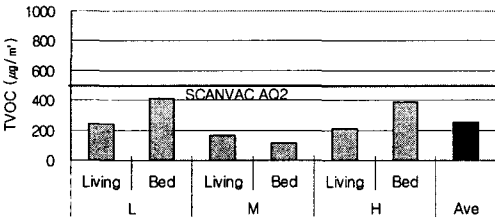


Fig. 7 Old APT TVOC measurement result.

평균 농도는 257.3 µg/m³으로 모두 외국 기준치를 만족하였다.

3.4 신축 및 기존건물의 실내공기환경 측정결과 비교

Fig. 8과 Fig. 9는 신축 및 기존건물의 측정 분석한 결과를 비교한 것이다. 포름알데히드 농도는 신축아파트 평균 98.6 ppb, 기존아파트 평균 21.5 ppb, 신축오피스텔 평균 166.5 ppb의 농도분포

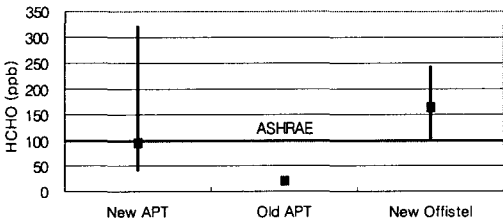


Fig. 8 Comparison of HCHO.

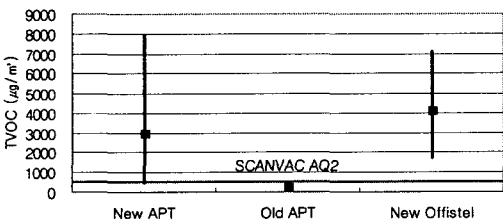


Fig. 9 Comparison of TVOC.

를 보이고 있으며, TVOC 농도는 신축아파트 평균 3,001.9 µg/m³, 기존아파트 평균 2,57.3 µg/m³, 신축오피스텔 평균 4,162.4 µg/m³로 나타났다.

포름알데히드와 TVOC 농도는 신축건물에서 발생량이 매우 큰 것을 확인하였으며, 기존건물에서는 발생량이 매우 적음을 알 수 있다. 이는 건축자재에서 발생하는 오염물질은 시간이 경과함에 따라 감소하였기 때문인 것으로 판단된다.

특히, 신축건물 중에서도 비교적 평형이 작고 다양한 마감자재가 사용된 오피스텔에서 외국 기준치를 크게 초과하였다. 이는 표면적 대 공간의 비율(S/V 비율)이 오피스텔에서 더욱 크기 때문인 것으로 판단된다.

4. 실내공기환경 개선방안 도출을 위한 실험 및 프로세스 제안

본 연구에서는 신축건물의 실내공기환경 개선 방안 마련을 위하여 Table 4와 같이 5회의 실험을 실시하였다. 각각의 실험들, 즉 자연소재 건축자재와 기계환기 실험은 조건이 동일한 두 실을 같은 날 같은 시각에 동시에 측정하였고, 베이커아웃 실험과 시간경과에 따른 실험은 동일한실에서 시간간격을 두고 측정하여 비교하였다. 자연소재 건축자재 적용 실험의 경우, 현장측정 실험에 포함되지 않은 별도의 신축오피스텔에서 실시하였다.

4.1 자연소재 건축자재 적용

Fig. 10은 자연소재 건축자재와 일반자재를 적용한 세대의 포름알데히드 및 TVOC 농도를 나타낸 것이다. 포름알데히드 농도의 경우, 자연소재 건축자재를 적용한 세대는 100.9 ppb, 일반자재를 적용한 세대는 184.8 ppb로 자연소재 건축자재를 적용한 세대가 약 55% 적게 나타났다. TVOC 농

Table 4 Experiment content

Experiment content	Experiment building
Natural materials	New officetel C
Bake-out	New officetel B
Time variation (30 day)	New officetel B
Time variation (1 day)	New officetel A, B
Ventilation system	New APT C

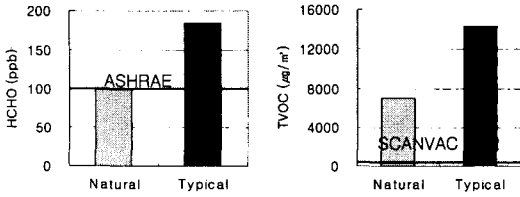


Fig. 10 HCHO, TVOC measurement result.

도의 경우, 자연소재 건축자재를 적용한 세대는 6,999.6 µg/m³, 일반자재를 적용한 세대는 1,439.0 µg/m³로, 자연소재 건축자재를 적용한 세대가 약 49% 적게 나타났다. 그러나 자연소재 건축자재를 적용한 세대에서도 포름알데히드는 101 ppb로 기준치를 약간 초과하였으며, TVOC는 기준치를 매우 크게 초과하여 자연소재 건축자재 사용만으로는 만족할 만한 실내공기환경 개선을 기대하기 어려울 것으로 판단된다.

4.2 베이크 아웃 실시

베이크 아웃은 실내공기 오염물질을 신속하게 제거할 수 있는 방법 중의 하나로, 비거주상태에서 건물을 적절히 환기시키면서 실내를 수일 동안 35~39℃로 가열한 후, 최대한의 환기량으로 오염물질을 배출하는 것으로, 실내공기 오염물질 방출을 인위적으로 가속화하여 건축자재 및 재료 등을 노후화시키는 것이다.

본 연구에서는 오피스텔 B를 대상으로 3일간 난방보일러를 가동시켜 베이크 아웃을 실시하였다. 베이크 아웃 실시 전 측정은 공정시험법을 준용하여 초기오염농도상태를 파악하였다. 이후 베이크 아웃 기간 동안 오염물질이 실내에 쌓이지 않도록 창을 약간 열어 두어 베이크 아웃을 하였다. Fig. 11은 베이크 아웃 기간 동안의 온습도를 기록한 것으로 실내 평균 온도는 35℃, 최고온도는 37.9℃로 나타났다. 난방 종료 후, 베이크 아

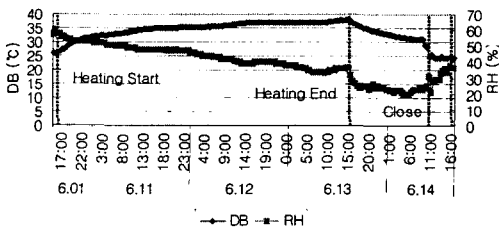


Fig. 11 Temperature and humidity variation.

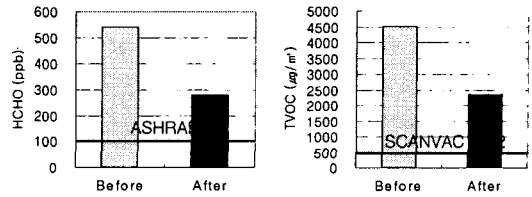


Fig. 12 HCHO, TVOC measurement result.

아웃 기간 동안 실내에 쌓여 있는 오염물질의 제거와 높아진 실의 온도를 정상상태로 되돌리기 위해서 일정시간 동안 환기를 하여, 실내의 온도가 약 25℃로 내려간 것을 확인한 후 2차 측정하였다.

Fig. 12는 베이크 아웃 전후의 포름알데히드와 TVOC 농도변화로, 베이크 아웃 실시 후 포름알데히드와 TVOC 농도 모두 약 48% 줄어들고 있음을 확인하였다. 그러나, 베이크 아웃을 실시한 후에도 포름알데히드 및 TVOC 모두 기준치를 초과하였다.

4.3 실내 밀폐시 장기시간경과(30일)

건물 준공 후 입주 전까지 시설품의 도난 및 훼손방지를 위하여 실내를 밀폐된 상태로 두는 것이 일반적이다. 이런 경우, 실내가 충분히 환기되지 못하여, 시간이 경과함에도 실내의 오염물질이 제거되지 못하고 남아 있을 가능성이 있다. 본 연구에서 측정한 오피스텔 B 또한 현장 관리인과 을 통해 외부와 면한 모든 창을 닫은 채로 관리

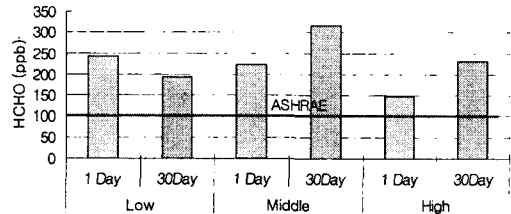


Fig. 13 HCHO measurement result.

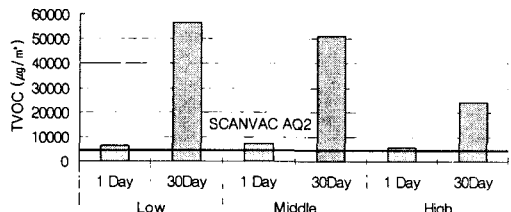


Fig. 14 TVOC measurement result.

하고 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 오피스텔 B를 대상으로 실내 밀폐시 시간경과에 따른 실내공기 오염물질 농도를 측정하였다. 1차 측정은 실내 마감공사 완료 후, 2차 측정은 1차 측정 30일 후 실시하였다. 1차와 2차 측정은 동일세대로 하였다.

Fig. 13과 Fig. 14는 실내 밀폐시 시간경과에 따른 포름알데히드와 TVOC 농도를 나타낸 것으로 2차 측정에서 오염농도가 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 건축자재에서 발생한 오염물질이 환기에 의해 제거되지 못하고 실내에 쌓여 있었기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 시공 후 입주 전까지 잦은 환기를 통하여 실내에 오염물질이 쌓이지 않도록 관리해야 할 것으로 판단된다.

4.4 실내 밀폐시 단기시간경과(1일)

현대인들은 실내에 머무는 동안 개인의 프라이버시 보호, 오염된 외기침입 방지, 그리고 실내 냉난방 등의 이유로 외부로 면한 창과 문을 닫아둔 채로 생활한다. 이로 인한 환기부족은 본 연구의 본문 4.3절의 결과에서 보는 바와 같이 실내공기환경을 더욱 악화시키는 원인으로 작용할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 하루 중 실내가 밀폐되는 동안 시간경과에 따른 실내공기 오염물질 농도변화를 살펴보기 위하여 두 개의 오피스텔을 대상으로 Fig. 15와 같이 시간경과에 따른 실험을 실시하였다. 측정세대는 두 오피스텔 모두 중간층으로 선정하였으며, 시간간격에 따라 약 8시간 동안 총 5차례에 걸쳐 실시하였다.

Fig. 16과 Fig. 17은 각각 두 오피스텔에서의 시간경과에 따른 포름알데히드와 TVOC 농도변화이다. 포름알데히드의 경우, 1차 측정에서는 두 오피스텔 모두 기준치를 넘지 않았으나, 2차 측정부터는 오피스텔 B가 기준치의 1.7배를 초과하였다. TVOC의 경우, 1차 측정에서 두 오피스텔의

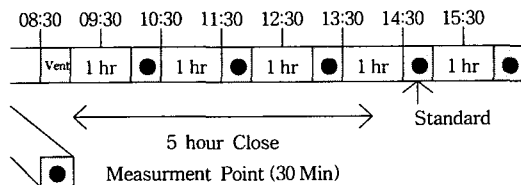


Fig. 15 Method.

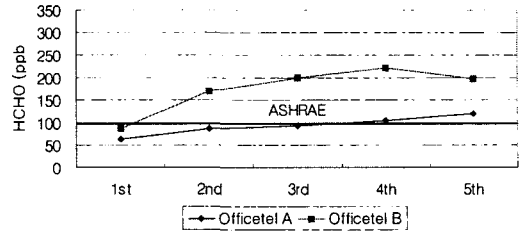


Fig. 16 HCHO measurement result.

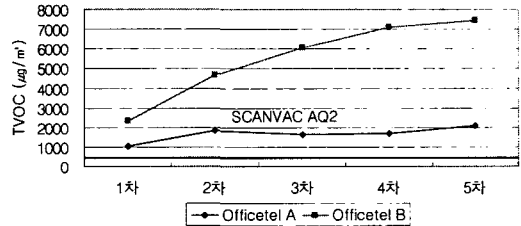


Fig. 17 TVOC measurement result.

농도가 기준치를 초과하였다. 오피스텔 A는 1차 측정 결과와 비교하여 2차 측정에서 2배에 가까운 농도가 증가하였으며, 이후 시간변화에 따른 농도 증감은 크지 않았다. 그러나 오피스텔 B는 시간이 경과함에 따라 농도변화가 매우 큰 폭으로 상승하였다.

포름알데히드와 TVOC 모두 시간이 경과함에 따라 지속적으로 증가하는 경향이 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로, 생활하는 동안의 잦은 환기가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

4.5 기계환기설비 가동

채실자에게 창과 문을 열고 환기를 권장하는 것은 현대인의 생활패턴을 감안할 때, 매우 소극적인 대처라고 할 수 있으며, 개인의 프라이버시 침해, 오염된 외기침입, 그리고 냉난방비용 증가 등과 같은 문제가 뒤따른다. 이에 대한 방안으로 실내에 기계환기설비를 도입하여 실내를 환기시키는 방법이 바람직하다.

본 연구에서는 기계환기설비의 가동 유무에 따른 실내공기 오염물질 농도변화를 실험하기 위하여 환기설비가 설치되어 있는 신축아파트 C의 침실을 대상으로 실시하였다. 중층의 인접한 위아래 세대를 선정하여 본문 4.4절 Fig. 15와 동일한 조건으로 밀폐된 침실에서 실시하였다. 실험대상 침실에 설치된 환기장치의 조건은 Table 5와 같다.

Table 5 Ventilation equipment specification

Use	CMH		Bed room size	Ventilation rate
	Sup	Ex		
Bed room	25	25	3.5×3×2.4 m	1 ACH

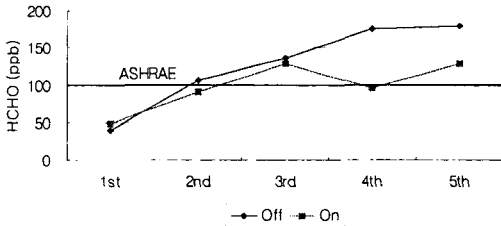


Fig. 18 HCHO measurement result.

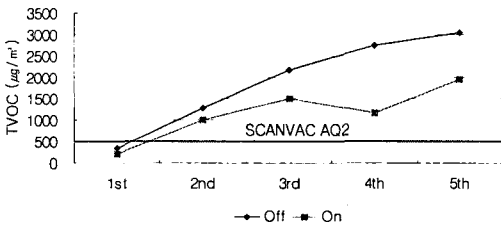


Fig. 19 TVOC measurement result.

Fig. 18과 Fig. 19는 환기설비 가동 및 미가동시의 포름알데히드와 TVOC 농도변화를 나타낸 것이다. 포름알데히드의 경우, 2차 측정(2시간 경과) 이후부터는 환기설비를 가동한 세대가 가동하지 않은 세대에 비해 약 80 ppb 이상 감소하는 것으로 나타났다. TVOC의 경우, 환기장치 가동에 따라 포름알데히드보다 큰 폭으로 감소하여, 3차 측정시 $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 4차 측정시 $1,400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 감소하였다. 그러나, 환기장치가 가동되더라도 오염농도가 기준치 이하로 감소되지 않아 오염농도에 따른 적정 환기량이 제시되어야 할 것으로 판단된다.

4.6 신축공동주택 실내공기 오염물질 방출 저감 프로세스

이상 각각의 실험결과, 포름알데히드 및 TVOC 농도는 자연소재 건축자재를 적용한 세대가 일반 자재를 적용한 세대에 비하여 각각 약 55%와 49%, 베이크 아웃 실시 후 모두 48% 감소하였다. 또한 1 ACH로 가동되는 환기설비를 가동하였을

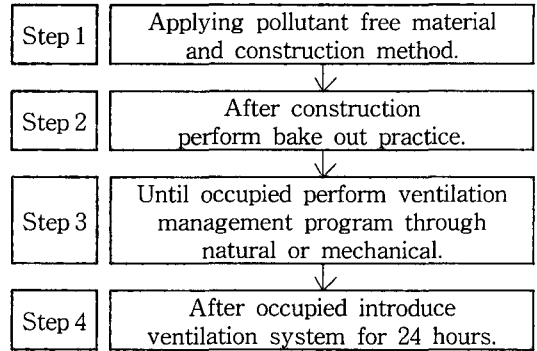


Fig. 20 Reduction process of indoor air pollutant.

경우, 가동하지 않은 경우에 비해 포름알데히드와 TVOC 농도는 각각 46%, 58% 감소하였다. 그러나 각각의 방법들만으로는 외국 기준치와 비교하였을 때, 만족할 만한 수준의 실내공기환경 개선이 이루어지지 않았다.

따라서 실내공기 오염물질을 효과적으로 제거하기 위해서는 위의 방법들을 병행하여 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, Fig. 20과 같이 단계별로 시행할 것을 제안한다.

포름알데히드와 TVOC는 초기 발생강도가 매우 크기 때문에, 초기에 방출량을 줄여 주는 것이 바람직하며, 이를 위해 오염물질이 적게 나오는 건축자재의 사용이 우선 선행되어야 할 것이며, 시공방법의 개선 또한 이루어져야 할 것이다.

베이크 아웃 실시시기는 실내에 발생하는 오염물질을 초기에 제거하기 위하여, 실내 마감공사 후 보양이 끝난 시점에서 실시하여 신속히 제거하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

베이크 아웃 실시 이후에는 건축자재에 남아 있는 오염물질이 실내에 쌓이지 않도록 입주 전까지 잦은 환기를 통하여 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

입주 후에는 실내의 잦은 환기를 통해 실내의 공기를 관리하는 것이 필요하며, 이를 위해 세대내에 기계환기설비를 도입하여 환기시켜 주는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 포름알데히드와 TVOC는 오랜 시간 동안 꾸준히 방출되기 때문에, 사람이 재실하지 않을 때에도 지속적으로 환기가 이루어질 수 있는 상시 환기시스템이 바람직할 것으로 판단된다.

그러나 실내공기환경을 더욱 효과적으로 개선

하기 위해서는 오염물질이 적게 발생하는 건축자재 및 시공방법의 개발, 적절한 베이크 아웃 방법에 대한 연구, 입주 전까지의 환기관리 프로그램 개발, 그리고 오염물질 농도에 따른 기계환기설비의 적정 환기량이 산정에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 현재 신축공동주택에서 큰 문제가 되고 있는 실내오염물질 중 포름알데히드와 TVOC를 중심으로 신축아파트와 오피스텔, 그리고 기존아파트를 대상으로 실내공기 오염현황을 실측하였다. 이와 함께 실내공기 환경개선을 위하여 자연소재 건축자재 적용, 베이크 아웃 실시, 시간경과에 따른 실내오염농도, 기계환기설비 가동 등의 실험을 실시하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 현장측정 결과, 포름알데히드 농도는 신축아파트의 경우 평균 98.63 ppb, 기존아파트는 평균 21.46 ppb, 신축오피스텔은 평균 166.47 ppb의 농도분포를 보이고 있으며, TVOC 농도는 신축아파트의 경우 평균 $3,001.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 기존아파트는 평균 $25.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 신축오피스텔은 평균 $4,162.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 각각 나타나, 국내 신축공동주택의 실내공기환경이 매우 열악한 상황임을 알 수 있었다. 그러나, 상대적으로 기간이 오래 경과한 공동주택의 경우, 매우 양호한 상태임을 알 수 있었다.

(2) 자연소재 건축자재를 적용한 세대가 일반자재를 적용한 세대에 비하여 포름알데히드 및 TVOC 농도에서 각각 약 55%와 49% 감소하였다.

(3) 베이크 아웃 실시 후 포름알데히드와 TVOC 농도 모두 약 48% 줄어들었다.

(4) 1일 및 30일 등 시간경과에 따른 측정결과, 실내에서의 포름알데히드 및 TVOC 농도는 시간이 경과함에 따라 지속적으로 증가하여, 입주 전후의 환기관리가 필요한 것을 알 수 있었다.

(5) 환기설비를 가동하였을 경우, 가동하지 않은 경우에 비해 포름알데히드와 TVOC 농도 모두 큰 폭으로 감소하여 기계환기설비가 실내 포름알데히드 및 TVOC 저감에 효과가 있는 것으로 나타났다.

(6) 실내공기환경 개선을 위하여, 실내공기 오염물질 방출 저감방안을 위한 실험 등의 결과를 종합하여 실내공기 오염물질 방출 저감 프로세스를 제안하였다.

후 기

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연 C103A1040001-03A0204-00310)에 의한 것임.

참고문헌

1. Rhee, E. K., 2004, A Study on the Proper Reduction Method of Indoor Air Pollutant in Buildings (APT, Officetel), Chung-Ang University, p. 1.
2. Park, J. C., et al., 2004, A measurement of formaldehyde and volatile organic compounds (VOC's) in apartment houses, Journal of Architectural Institute of Korea Proceedings, Vol. 24, No. 1, pp. 601-604.
3. Kim, Y. S., et al., 1999, Research on the indoor air quality management, Ministry of Environment, p. 10.
4. Kim, S. D., et al., 2002, Research on the indoor air pollution characteristic and management method, Ministry of Environment, p. 1.
5. Park, J. C., 2003, A study on the improvement of indoor air quality in residential buildings, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 19, No. 6, pp. 129-137.
6. Indoor Air Quality Testing Method, 2004, Ministry of Environment.
7. Compendium Method TO-17, 1999, Determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes.
8. KS M ISO 16000-3, 2003, Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds - Active sampling method.