

신축 공동주택의 실내공기질 향상을 위한 연구경향

최근 문제가 되고 있는 신축 공동주택의 실내공기질 관련 연구 결과 및 추후 연구 아이টে이 라지체버를 소개한다. 아울러 폐열회수 환기유닛에 관한 측정 결과를 소개한다.

이 상 형

현대건설(주)기술개발원 기술연구소(hdshlee@hdec.co.kr)

김 상 민

현대건설(주)기술개발원 기술연구소(smkim@hdec.co.kr)

박 명 식

현대건설(주)기술개발원 기술연구소(mspark@hdec.co.kr)

머리말

환경에 대한 인식의 제고와 더불어 웰빙(well-being)에 대한 국민적 관심이 증폭되면서, 거주공간에서 실내공기질(IAQ : indoor air ffquality)에 대한 관심과 우려도 날로 커지고 있다. 건물의 실내공기 환경은 다른 어떠한 단일 환경보다도 복잡한 문제이다. 실내의 특정 장소에서 이루어지는 특정 작업과 행위에 따라 수백 종류 이상의 서로 다른 오염물질들이 존재한다고 보고되고 있으며, 이들은 건축자재, 연소연료, 생활용품, 접착제, 의약품, 화장품 및 흡연 등에서 방출되는 것으로 알려져 있다. 즉, 시공 과정에서 투입된 각종 건축재료, 표면활성제 및 접착제 등으로부터 방출되는 실내공기 오염물질과 입주 후 새로운 가구와 생활용품의 설치 및 재실자의 행태에 따라 발생하는 오염물질은 재실자의 건강을 악화시킬 수 있다. 본 연구에서는 신축 공동주택의 실내 마감 이후 시간 경과에 따른 실내공기 오염물질 중 포름알데히드 농도의 감쇄 정도를 파악하고, 기존 마감자재와 대비하여 친환경자재 및 접착제의 적용과 환기설비의 설치에 따른 오염물질 농도 변화의 차이를 파악하고자 하였다. 아울러 고농도에 관한 대처 방안에 관한 제안과 환기장치인 폐열회수 환기유닛의 아파트 적용시 에너지 관계의 계측 내용을 소개하고자 한다.

가구, 친환경자재 그리고 환기 효과

신축 공동주택의 실내 마감 직후부터 비교적 장기간(8월 12일 ~ 10월 7일)에 걸쳐 실내공기 오염물질의 거동 파악을 위하여, 공사가 진행 중에 있었던 00현장의 30평형대 아파트 6개 세대를 대상으로 마감 공사를 먼저 완료한 후 일주일 간격으로 총 9회에 걸쳐 실내 오염물질인 포름알데히드의 농도를 측정하였다. 또한 대상 세대의 마감 조건을 표 1과 같이 구

<표 1> 측정대상 세대의 마감 조건

대상 세대	유형	시공 내용
301호	기존 마감 자재+ 가구 미설치	가구를 제외한 현장 본공사와 동일하게 시공
302호	기존 마감 자재+가구 미설치+친환경 접착제 사용	301호와 동일하며, 도배지 및 바닥재 설치시 친환경 접착제 사용
303호	기존 마감 자재+가구 설치	가구를 포함한 현장 본공사와 동일하게 시공
304호	기존 마감 자재+가구 설치 +환기설비(노출형) 추가	303호와 동일하며, 마감 완료 후 환기설비 설치
401호	친환경 건축자재+가구 설치	페인트, 도배, 마루판, 바닥재, 가구류, 접착제 등 마감재에 대한 친환경 건축자재로 구성
402호	친환경 건축자재+가구 설치 +환기설비(노출형) 추가	401호와 동일하며, 마감 완료 후 환기설비 설치



성하여 마감자재의 종류와 환기설비의 설치에 따른 실내공기 오염물질의 농도 차이를 파악하였다. 측정 대상 세대 중 환기설비 미설치 세대(301호, 302호, 303호 및 401호)의 경우, 측정 당일을 제외하고 오전(07:30~09:00)과 오후(16:30~18:00)에 각각 자연 환기를 실시하였으며, 환기설비를 설치한 세대(304호와 402호)의 경우에는 일 2회(오전, 오후)에 걸쳐 총 3시간 동안의 자연 환기와 더불어 전일 동안(07:30~18:00) 환기설비를 가동하였다. 환기설비는 거실과 안방에 설치하였으며 풍량은 각각 45 CMH와 20 CMH로 설정하였다. 측정기간 중 환기를 병행함으로써 환기에 의한 실내공기 오염물질의 감소 경향을 파악할 수 있을 뿐만 아니라, 마감자재 시공 직후 고농도의 오염물질이 마감자재로 다시 스며드는 'Sink' 효과를 배제하고자 하였다. 현장에서 포집된 시료는 당 연구소에 마련된 IAQ 실험실에서 분석을 실시하였다. 포름알데히드는 고성능 액체 크로마토그래프(HPLC : high performance liquid chromatograph, Waters社)를 이용하여 정량 및 정성 분석을 실시하였다.

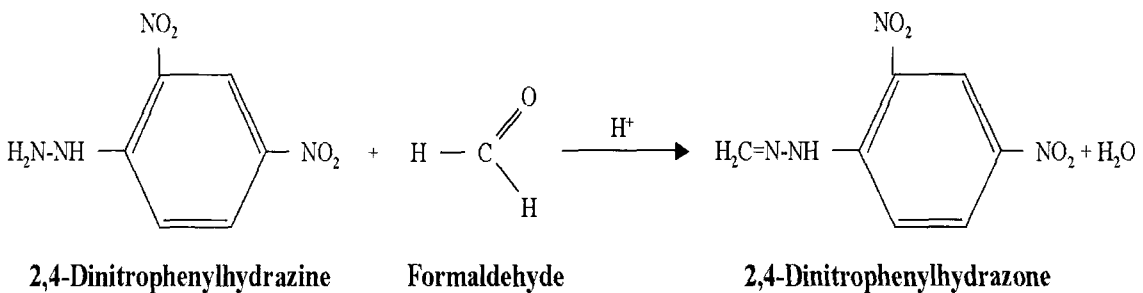
측정 기기

측정대상 공동주택에서의 오염물질 농도측정을 위한 실내공기 시료의 포집은 현 '실내공기질관리법'상 공정시험방법(환경부고시 제2004-80호, 2004.6.5)에 의거하여 실시하였다. 공정시험방법에 따르면, 외부에 면한 모든 개구부(창호, 출입문, 환기구 등)와 실내출입문, 수납가구의 문 등을 개방하

고 이 상태를 30분 이상 지속한 다음, 외부 공기와 면하는 개구부를 5시간 이상 밀폐하여 실내의 공기의 이동을 방지하게 된다. 이후 30분간 2회의 실내 공기 시료를 포집하게 된다. 시료포집에 이용된 채취기는 일본 시바타(Sibata)社에서 제작된 에어 샘플러(air sampler MP-2300)를 이용하였으며, 포집 유량은 700 ml/min이다. 포름알데히드 포집에는 DNPH 카트리지를 오존 스크루버(ozone scrubber)에 연결하여 사용하였다.

분석기기

시료의 분석은 포집방법과 마찬가지로 공정시험방법에 의거하여 포름알데히드는 DNPH 유도체화 분석법을 이용하였다. 오염물질별 분석 조건 및 장비는 각각 아래와 같다. 여기서 DNPH 유도체화 분석법이란, 2,4-디니트로페닐히드라진(2,4-DNPH; 2,4-Dinitro phenylhydrazine)으로 코팅된 실리카겔을 포함하고 있는 카트리지를 이용하여 실내공기 중의 포름알데히드를 채취하여 고성능 액체 크로마토그래피 분석방법으로 포름알데히드의 농도를 측정하는 방법을 가리킨다. 측정대상 실내 공기의 일정량을 채취하여 2,4-디니트로페닐히드라진으로 유도체화한 후, 이 2,4-DNPH 유도체를 고성능 액체 크로마토그래프(HPLC)에 주입하여 자외선 흡광검출기의 흡수파장 360nm에서 검출되는 크로마토그램의 높이 또는 면적 등으로 포름알데히드의 농도를 구한다. 이러한 과정을 화학 반응식으로 나타내면 그림 1과 같으며, 분석에 이용된 HPLC의 조건 및 장비 사



[그림 1] 포름알데히드의 반응식

진은 각각 표 2와 그림 2에 각각 나타나있다.

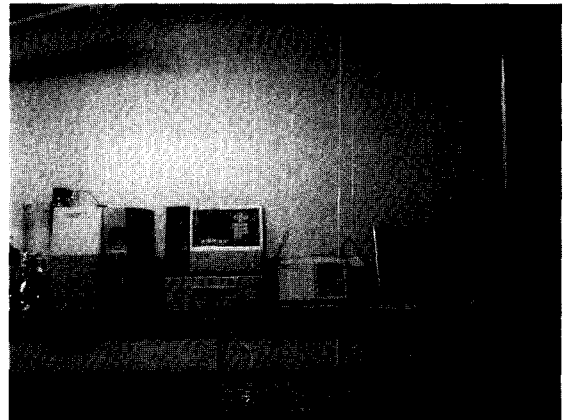
측정결과를 위한 검량선 작성

전체 시스템을 작동시켜 유속을 1~2 ml/min으로 고정시킨 다음 이동상 용매를 흘려보내면서 펌프의 압력 및 검출기의 신호가 일정하게 유지될 때까지 기다린다. 펌프의 압력이 일정하게 유지되고 기록계의 바탕선이 안정화되면 적당히 희석된 분석하고자 하

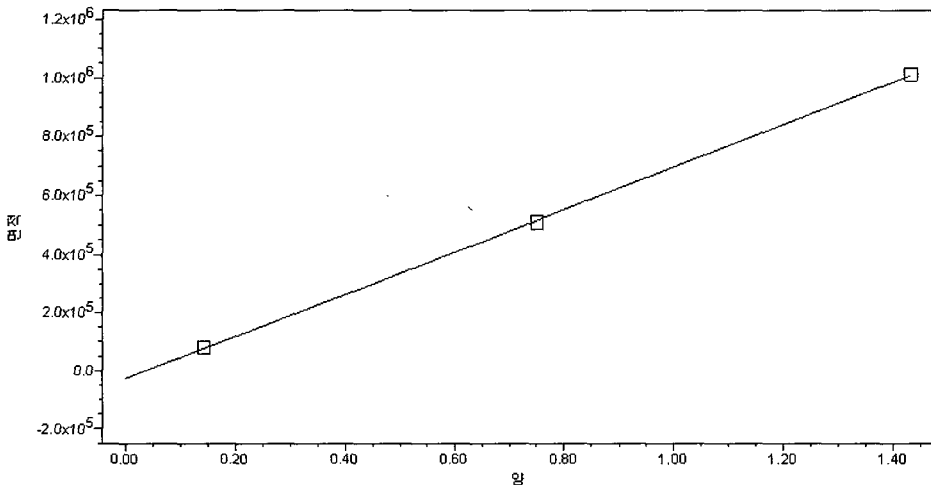
는 물질을 각각 주입하여 크로마토그램을 작성하고 해당 물질의 머무름 시간을 확인한다. 다음에 표준액을 적어도 세 종류의 각기 다른 농도로 준비하여 각각의 크로마토그램을 작성하고 그 결과로부터 각 농도에 대한 피크 높이 또는 피크 면적을 그래프 용지에 출력하여 직선성을 확인한다. 직선성이 확인되면 미리 준비된 검량선 작성용 혼합 표준액을 주입하여 크로마토그램을 작성하고 크로마토그램상의 피크 높이 또는 피크 면적에 대한 검량선을 작성하게 된다.

<표 2> HPLC의 인자별 조건

운 전 인 자	조 건
컬럼	Symmetry C-18 컬럼 (150 mm)
이동상	아세트니트릴/물 = 60/40 (v/v)
자외선 검출기	360 nm
유량	1.0 ml/min
시료 주입량	20 μ l



[그림 2] 포름알데히드 분석 장비(HPLC)



이를 formaldehyde; 시간 2.717; 맞춤 타입 선형(1차 차수); 검량선 ID 1182; R 0.999904; R² 0.999809; 질량 측정 없음; 방정식 Y = 7.25e+005 X - 2.71e+004

[그림 3] 포름알데히드의 검량선



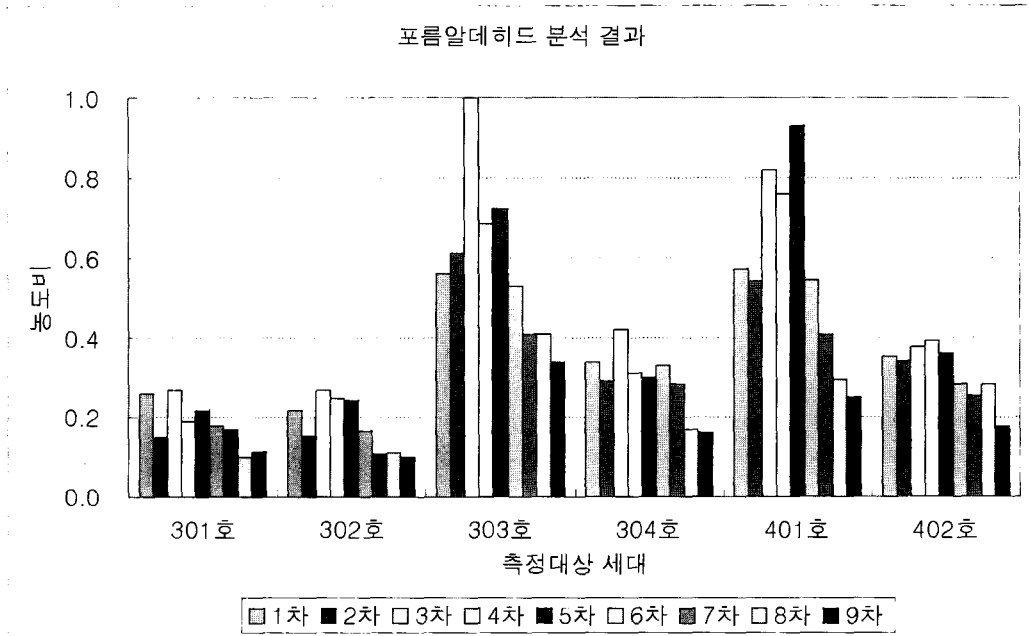
포름알데이드 분석 결과

분석 대상 오염물질 중 일본 후생노동성의 권고치 (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 가장 낮은 포름알데히드를 분석한 결과는 다음과 같다. 그림 4는 각 세대에서 측정된 각각의 결과를 최대치 농도로 나누어서 무차원화 한 결과이다. 전반적인 경향은 3주 혹은 4주 정도에서 모든 농도는 최고치에 도달하고 그 이후에는 감소하는 경향을 보인다. 가구를 설치하지 아니한 세대 (301호와 302호)를 비교해 보면 실내에 사용된 접착제가 다른 경우인데 접착제로 인한 효과는 크게 보이지 않는다. 단지 두 경우 모두 실내에 가구가 설치되지 아니한 경우이므로 가구의 효과가 전체 실내농도에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 가구를 설치한 세대 중 자연 환기만을 실시한 세대 (303호와 401호)의 경우에는 전체 측정 기간 동안 실내 농도가 최고치에 도달하고 있음을 알 수 있는데 303호와 401호의 경우에 차이가 국내에서 생산되는 친환경 자재임을 감안할 때 아직도 국내 생산 친환경 자재의 효과가 그다지 크지는 않은 것으로 생

각된다. 오히려 두 경우와 여타 조건은 동일하고 강제 환기를 실시하고 있는 세대(304호와 402호)의 경우에는 304호와 402호와 비교하여 실내 오염농도가 절반 정도 감소되는 것을 알 수 있다. 즉, 현시점에서 국내 실내 오염농도를 만족하기 위해서는 가구에서 방출되는 오염을 제어하는 것이 우선적이고 아울러 국산용 친환경 자재의 적극적인 개발과 주택내 환기를 실시하는 것이 유리한 것으로 판단된다.

가구용 오염물질 방출강도 측정용 라지챔버

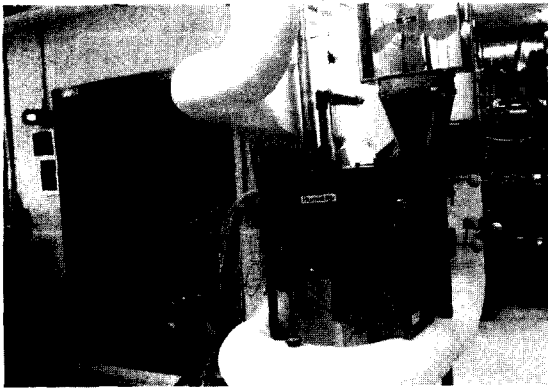
가구는 생산체계가 도료, 접착제, 원자재 등의 하도급에 하도급의 연결 고리를 갖는 복잡한 체계를 갖고 있으며 건설사에서 이들 가구의 재료로 들어가는 도료나 접착제를 직접 확인하는 것은 무척 힘든 일이다. 이러한 작업이 수행되기 위해서는 가구 자체에서 방출되는 오염 물질에 관한 측정 시스템이 구축되어야 하는데 캐나다, 덴마크, 일본 등 전세계적으로 라지챔버에 관한 연구는 아직도 계속 진행 중인 것으로 알고 있다. 캐나다의 NRC에서 수년전



[그림 4] 각 세대에서 방출되는 포름알데히드의 시간에 따른 농도비 변화

에 라지챔버를 개발하여 운영 중이고 생산시부터 측정시까지의 조정과 시간에 따른 방출 강도의 이력을 Power Law에 의한 회귀식으로 구현하는 것을 원칙으로 하고 있다.(그림 5) 덴마크에서도 연구 사례를 살펴보면 1의 챔버를 사용하여 세계 각지에서 수출하는 PC(Personal Computer)로부터 방출되는 화학 물질을 계측한 사례가 있다.(그림 6)

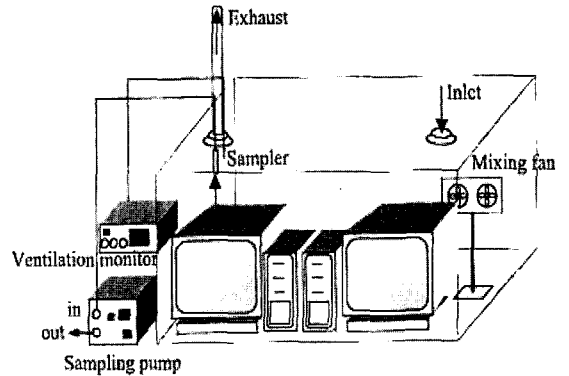
국내에서는 법규를 만족시키기 위해서 선진국의 연구 자취를 단시간 내에 따라가야만 하는 문제점이 있다. 하지만 희망적인 것은 이러한 선진국의 연구 실적을 뒤따라 가다 보면 우리도 머지않은 장래에 선진국 수준으로 실내농도를 만족시킬 수 있을 것을 생각된다.



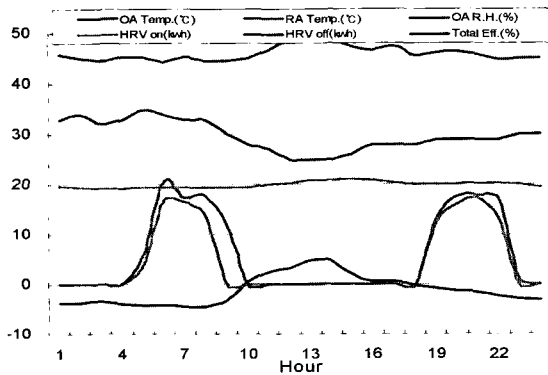
[그림 5] 캐나다 NRC에 설치된 라지챔버

외기조건에 따른 폐열회수 환기유닛(HRV)의 열교환 효율 특성 (대표일)

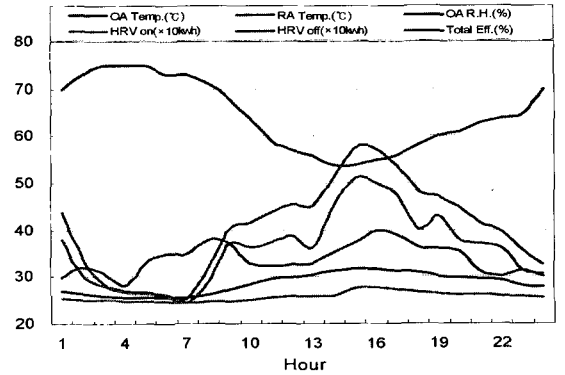
일반적으로 폐열회수 환기유닛에 관해서 건설업계에서는 부정적인 시각도 약간 있는 편이다. 그 이유는 소비자들이 6개월 정도 사용하다가 전기료 관계도 있고 유지 관리가 귀찮아서 아예 작동을 안 시키는 경우가 가끔 보이기 때문이다. 그림 7과 그림 8에는 폐열회수 환기유닛이 설치된 하절기, 동절기 대표일의 시간별 온습도, 전열교환 효율을 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 냉난방 에너지소비량 측정결과 폐열회수 환기유닛(HRV)의 사용 유무에 따라 B건물에서 난방에너지는 약 21% 정도가 절



[그림 6] 덴마크에서 실험한 라지챔버



[그림 7] 폐열회수 환기유닛이 설치된 A 아파트 하절기 측정 결과



[그림 8] 폐열회수 환기유닛이 설치된 B 아파트 동절기 측정 결과

약되고 A 건물에서 냉방에너지는 약 11% 절약되는 것으로 나타났다. 국가적으로 볼 때 환기를 실시하면서 열교환을 하는 경우와 하지 않은 경우를 비교하여 보면 동절기에는 각 주택별 난방에너지의 약 20% 절감을, 하절기에는 냉방에너지의 약 11% 절감이 가능하다는 결론에 도달한다.

맺음말

현시점에서 국내 실내 오염농도를 만족하기 위해서는 가구에서 방출되는 오염을 제어하는 것이 우선적이고 아울러 국산용 친환경 자재의 적극적인 개발과 주택 내 환기를 실시하는 것이 유리한 것으로 판단된다. 가구는 생산 체계가 도료, 접착제, 원자재 등의 하도급에 하도급의 연결 고리를 갖는 복잡한 체계를 갖고 있으며 건설사에서 이들 가구의 재료로 들어가는 도료나 접착제를 직접 확인하는 것은 무척 힘든 일이다. 이러한 작업이 수행되기 위해서는 가구 자체에서 방출되는 오염 물질에 관한 측정 시스템이 구축되어야 한다. 아울러 아파트에서 폐열회수 환기유닛(HRV)을 모든 가구에 설치할 경우에 국가적으로 볼 때 전체 가구가 웰빙을 위하여 환기를 실시한다는 가정 하에서 동절기에는 각 아파트별 난방에너지의 약 20% 절감과 하절기에는 냉방에너지의 약 11% 절감이 가능하다는 결론에 도달한다.

참고문헌

1. 환경부, 실내공기질공정시험방법, 고시 제 2004-80호, 2004.
2. 환경부, 다중이용시설등의 실내공기질관리법, 법률 제6911호, 2003.
3. 대한주택공사 주택도시연구원, 공동주택의 실내공기환경 개선방안연구(II), 2003.
4. (사)한국공기청정협회, 오염물질 방출 건축자재 선정관련 연구, 환경부, 2003.

5. 서울시립대학교 도시과학연구원, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구, 환경부, 2002.
6. 대한주택공사 주택도시연구원, 공동주택의 실내공기환경 개선방안연구(I), 2001.
7. 한양대학교 환경 및 산업의학연구소, 실내공기질 관리방안에 관한 연구, 환경부, 1999.
8. Burroughs, H. E. et al., Managing Indoor Air Quality (third edition), The Fairmont Press, Inc., Georgia, 2004.
9. Yuanhui Zhang, Indoor Air Quality Engineering, CRC Press, Florida, 2004.
10. John D. Spengler, et al., Indoor Air Quality Handbook, McGraw-Hill, New York, 2001.
11. Hays, S. M. et al., Indoor Air Quality : Solutions and Strategies, McGraw-Hill, Inc., New York, 1995.
12. Leslie, G. B. et al., Indoor Air Pollution : Problems and Priorities, Cambridge University Press, Cambridge, 1994
13. Hines, L. A. et al., Indoor Air : Quality and Control, PTR Prentice Hall, New Jersey, 1993.
14. Godish, T., Indoor Air Pollution Control, Lewis Publishers, Inc., Michigan, 1991.
15. Samet, J. M. et al., Indoor Air Pollution : a health perspective, The Jones Hopkins Press, London, 1991.
16. Wadden, A. R. et al., Indoor Air Pollution : Characterization, Prediction, and Control, A Willey-Interscience Publication, Maryland, 1991.
17. Baechler, M. C. et al., Sick Building Syndrome : Source, Health Effects, Mitigation, Noyes Data Corporation, New Jersey, 1991. 