

일본의 실내공기질 현황과 대응방안

박준석 | 한양대학교 건축대학 교수
E-Mail : junpark@hanyang.ac.kr

1. 머리말

최근, 우리나라에서도 일명 새집증후군으로 일컫어지는 각종 건축자재 및 실내마감재에서 발생하는 휘발성유기화합물질(VOCs/VVOCs)에 따른 실내공기오염이 사회적 문제로 지적되고 있다. 실내공기 중에는 적게는 수백에서 많게는 수만의 미량 유해오염물질이 존재하고 있으며, 이러한 미량의 오염물질은 외기에서는 물론이며 실내에 사용하는 마감자재 및 생활용품 등 다양한 실내의 오염원에서 방출되고 있다.

미량의 오염물질에 따른 공기오염을 개선하기 위해서는, 이러한 다양한 오염물질 및 오염원에 대한 체계적이고 효율적인 관리 기술이 필요하나, 국내에서는 아직 그에 대한 연구가 미비한 실정이다. 환경부에서는 각종 건축자재에서 발생하고 있는 휘발성유기화합물질과 실내공기오염을 규제하는 것을 목적으로 2003년에 “다중이용시설 등의 실내공기질관리법령”을 공포 하였으며 건강에 대한 관심증가와 함께 쾌적한 실내공기질(IAQ)에 대한 요구는 앞으로 더욱 늘어날 것이다. 국내에서도 건강한 실내공기(Healthy Indoor Air)를 위한 각 분야에서의 활발한 연구가 요구 되고 있는 상황이며 여기에서는 일본의 연구사례를 통하여 향후 국내의 연구 과제 및 방향을 알아보려고 한다.

2. SBS(Sick Building Syndrome)와 SHS(Sick House Syndrome)

1980년대 유럽과 북미에서는 SBS(Sick Building Syndrome)에 대한 피해사례가 보고 되면서 그에 대한 원인 규명과 대책에 관한 활발한 연구가 진행되었다. WHO(Working Group on Indoor Air Research, 1984 and 1986)에서는 원인불명의 두통과 피로, 집중곤란, 신경계의 이상 등 그 밖의 다양한 증상들이 일부 건물의 거주자들에게서 나타나고 있으며 이러한 증상들이 건물을 나가면 완화되는 증상을 SBS라고 정의하였다. 그 후 SBS의 원인에 대한 다양한 연구가 진행되었고, 실내공기 중에 존재하는 미량의 휘발성유기화합물질(VVOCs/VOCs)이 그 원인의 하나로 주목되었다. 유럽의 각국에서는 관련 정보의 통합과 함께 각종 오염물질에 따른 건강영향 및 발생원에 대한 다양한 연구와 조사가 진행되었다.

일본에서는 1980년대 후반에서야 SBS에 대한 연구가 시작되었으며, 1996년에는 건설성, 통산성, 후생성 등 정부의 각 기관이 중심이 되어 “건강주택연구회”를 조직하고 SBS에 대한 본격적인 연구를 진행하였다. 건강주택연구회에서는 조사 및 연구 결과를 바탕으로 주택에서의 SBS의 개선을 위한 지침서를 작성하였다. 첫번째는 거주자를 위한

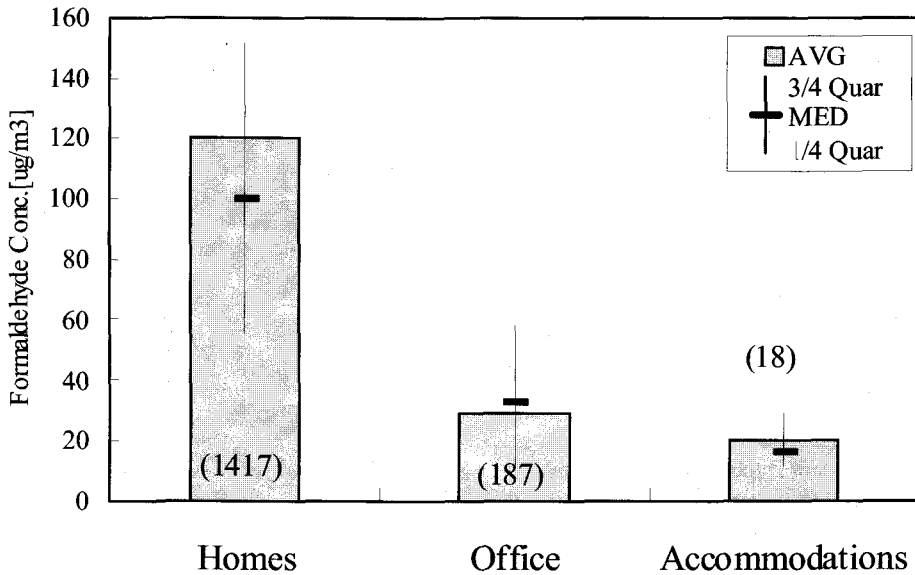


그림 1. 건축물용도별 포름알데히드 농도분포

“User’s Manual”로 오염원 대책 및 환기 등에 대한 지침이었고, 둘째로는 설계 및 시공자를 위한 “설계, 시공 Manual”이었다.

일본의 경우 사무소 건물이나 공공건물보다는 일반주택에서 SBS가 많이 보고 되었으며 그 원인의 하나로 주거용 주택의 실내환경에 대한 인식의 부족이 있었다. 그림 1은 건축물의 용도에 따른 실내 공기중의 포름알데히드 농도분포를 나타낸다. 사무소 건물과 숙박시설의 경우 “건축물에서의 위생적 환경관리에 관한 법률(숙칭 빌딩관리법)”의 규정에 따라 미국과 유럽보다 엄격한 필요환기량 기준이 적용되고 있었으나, 일반 주거용 건축물에서는 합리적인 환기계획이 고려되어 있지 않았다. 그 결과 주택에서의 실내 공기중의 VVOCs와 VOCs농도는 일반사무소 건물에 비하여 상당히 높은 수치를 나타냈으며, 이러한 오염물질 농도에 장기간 또는

단기간 폭로되어 온 거주자들에게서 주로 많은 건강피해가 보고 되었다.

3. 오염실태조사 및 가이드 라인

일본에서는 SBS가 사회적 문제로 부각됨에 따라 정부산하 연구기관 및 각 대학에서 연구위원회를 조직하고 실내공기오염을 개선하기 위한 많은 연구들을 진행하였다. 여기서는 대표적인 연구조직인 “IAPOC(실내화학물질공기오염조사연구위원회)”와 후생노동성에서 조직된 “SHS(실내공기오염)문제에 관한 검토회”를 중심으로 실내공기질의 개선을 위한 연구프로세스를 소개하고자 한다.

IAPOC에서는 그림 2에서와 같은 5개의 태스크 위원회를 설치하였다. 제 1 태스크에서는 실내공기오염의 실태조사와 이를 통한 건강의 위해성 분석

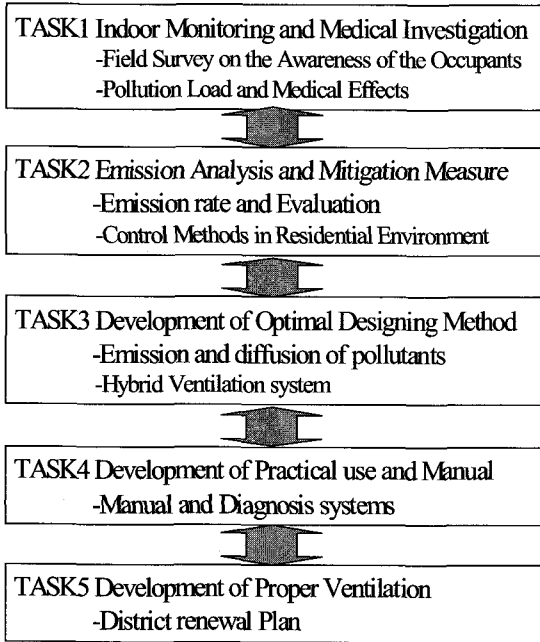


그림 2. IAPOC의 태스크 구성도

을 실시하였고, 제 2 태스크에서는 오염원에 대한 측정방법과 농도저감방안에 관한 연구를 진행하였다. 제 3 태스크에서는 오염방지를 위한 실내환경의 최적화 설계기법에 대한 연구를, 제 4 태스크에서는 각 연구의 성과를 보급하기 위한 지침서 및 매뉴얼을 개발하였다. IAPOC의 연구는 1998년에서 2001년까지 제 1기의 연구기간을 마치고 2002년부터 제 2기의 연구가 시작되었다. 그림 3과 그림 4는 IAPOC의 실태조사 결과의 일부를 나타낸다. IAPOC의 오염실태조사에서는 일본 전국에서 약 5,000 주택을 대상으로 3년간 연속모니터링을 실시하였다. 연구성과로는 실내공기 중에 존재하는 미량오염물질의 검출빈도와 농도분포, 신축주택에서의 장기적 농도변화 특성을 정량화하였고, 이러한 연구결과를 바탕으로 유해성평가가 이루어졌다.

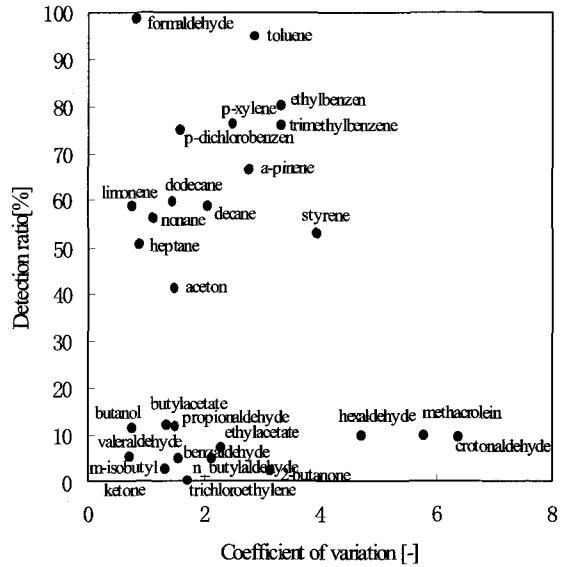


그림 3. 일본 주택에서의 WOCs/VOCs 검출빈도

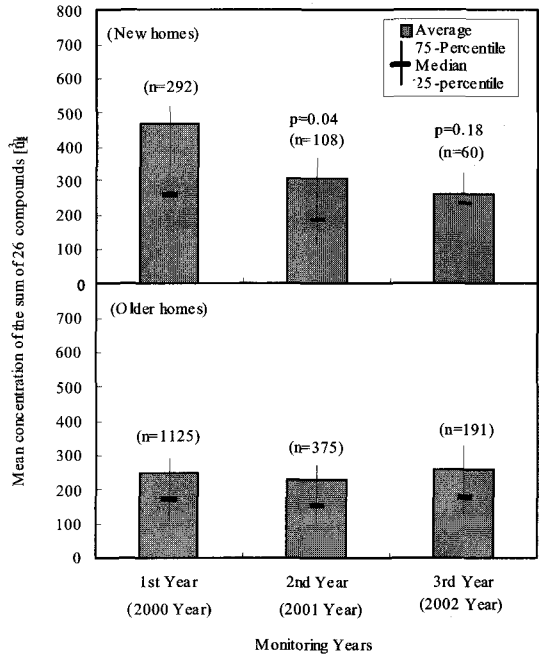


그림 4. 일본의 주택에서의 WOCs/VOCs의 장기농도변화

표 1. 일본에서의 개별물질의 가이드라인

Compounds	Reference	Concentration	Year
Formaldehyde	Irritation of mucous membranes of eyes, nose & upper respiratory tract	100 ug/m ³	1997
Toluene	Reversible effects upon liver, renal, nervous systems and reproduction	260 ug/m ³	2000
Xylene	Effects on liver and kidney of pregnancy rats	870 ug/m ³	2000
p-dichlorobenzene	Effects on liver and kidney of beagle hounds	240 ug/m ³	2000
Ethylbenzene	Effects on liver, kidney, nervous systems of mouse and rats	3,800 ug/m ³	2000
Styrene	Effects on brain, nervous systems and liver of rats	230 ug/m ³	2000
Chlorpyrifos	Effects on nervous system of infant rats in exposure of pregnant female rats, morphological influence on infant rats of brain	1 ug/m ³ (Infant 0.1 ug/m ³)	2000
DBP	Influence on genital organ structural malfunction of infant rats in female rats	220 ug/m ³	2000
Tetradecane	Effects on liver by oral exposure in rats	330 ug/m ³	2001
DOP	Effects on testis by oral administering in male rats	120 ug/m ³	2001
Diazinon	Effects on red blood corpuscle colineesterase revitalization in rat's inhalation	0.29 ug/m ³	2001
Nonanal	Toxic academic influence by oral exposure of rat	41 ug/m ³	2001
Acetaldehyde	Effects in rats on nasal cavity sense of smell cuticle	48 ug/m ³	2001

각 조사기관의 연구결과를 토대로 후생노동성의 “SHS(실내공기오염)문제에 관한 검토회”에서는 거주자들의 건강영향을 고려하여 개별물질에 대한 실내허용농도의 가이드라인(표 1 참조)을 설정하였다. 1997년 발암성이 있는 포름알데히드에 대한 가이드라인 설정되었으며, 2000년에는 톨루엔을 포함한 7개 물질이, 2001년에는 가역제 성분인 DOP를

포함한 5개 물질에 대한 가이드라인을 설정하였다. TVOCs에 대해서는 장기간의 논란 끝에 잠정적 목표치로써 400 ug/m³을 설정하였다.

4. 라벨링 및 환기설비 기준

실내 공기중의 포름알데히드의 주요 발생원인 합

표 2. 목재의 라벨링 제도

Building Materials	JAS		JIS	
	Class.	Emission Value**	Class.	Emission Value**
Plywood normal use for structure for flooring	Fc0	Ave. < 5.0mg/L, Max. < 7.0mg/L		None
	Fc1	Ave. < 1.5mg/L, Max. < 2.1mg/L		
	Fc2	Ave. < 0.5mg/L, Max. < 0.7mg/L		
MDF Particleboard	None		E0	Ave. < 0.5mg/L
			E1	Ave. < 1.5mg/L
			E2	Ave. < 5.0mg/L

* : Each material (1800cm²) is installed in a glass desiccator (volume: 9-11 Liter, temperature: 20 Deg C) during 24 hours. Emission value is calculated from the amount of formaldehyde, which is solved in distilled water (300ml) of glass dish (diameter: 12cm, depth: 6cm). Glass dish is exposed to air for 24 hours at the bottom of glass desiccator.

판, MDF 등의 목재에 대하여 JAS 및 JIS에서는 2000년 5월에 Glass Desiccator에 따른 방출량 측정법 및 등급을 표 2와 같이 개정하였다. 개정된 방출량표기 법에 따라 설계자, 시공자 및 거주자들은 저방출량 자재를 선정하게 되었고, 이러한 영향으로 2000년도에 생산된 합판의 약 70%가 Fc0레벨 이하의 제품으로 대체되었다. 2003년 5월에는 기존의 Fc0 등급에 추가 등급과 함께 라벨링 표시도 개정되었다.

Glass Desiccator을 이용한 등급제의 경우 수용성의 포름알데히드를 대상으로 하고 있으며 개별 재료의 발생량 평가에 문제가 있어 JIS에서는 2003년에 소형챔버법에 따른 방출량 평가 방법(JIS A 1901)을 도입하였다. 소형챔버법은 ISO 16000-3, ISO/DIS 1600-6 그리고 유럽규격인 ENV13419을 참고하여 작성되었으며 발생량 평가에서는 용적 20L 이상의 챔버를 사용하여 기존의 목재뿐 아니라

벽지, 접착제 등의 각종 건축재료의 VOCs방출량을 측정하도록 하였다.

실내허용 농도에 대한 가이드라인과 오염발생원에 대한 기초적인 제도들이 정비되고 난 2003년 7월에는 “건축기준법”을 개정하였다. 개정된 건축기준법에서는 포름알데히드의 발생원에 대한 사용규제와 주거공간의 환기대책을 규정하고 있다. 오염원 대책으로써는 내장 마감에 사용되는 자재의 경우, 포름알데히드의 방출량에 따라 사용면적이 제한되었고, 방출량이 가장 적은 F☆☆☆☆등급만이 사용에 대한 제한이 없다. 기존의 Fc2 또는 E2 등급의 자재의 경우 내장에 사용되는 것이 금지되었다. 대상 건축자재로서는 내장에 사용되는 목재(합판, 바닥재, MDF 등), 벽지, 단열재, 도료 등이 포함되었다. 환기의 경우 단독주택 및 공동주택 모두 주거공간에서는 24시간 환기시스템을 도입하여 0.5회 이상의 환기 횟수를 확보하도록 하였다.

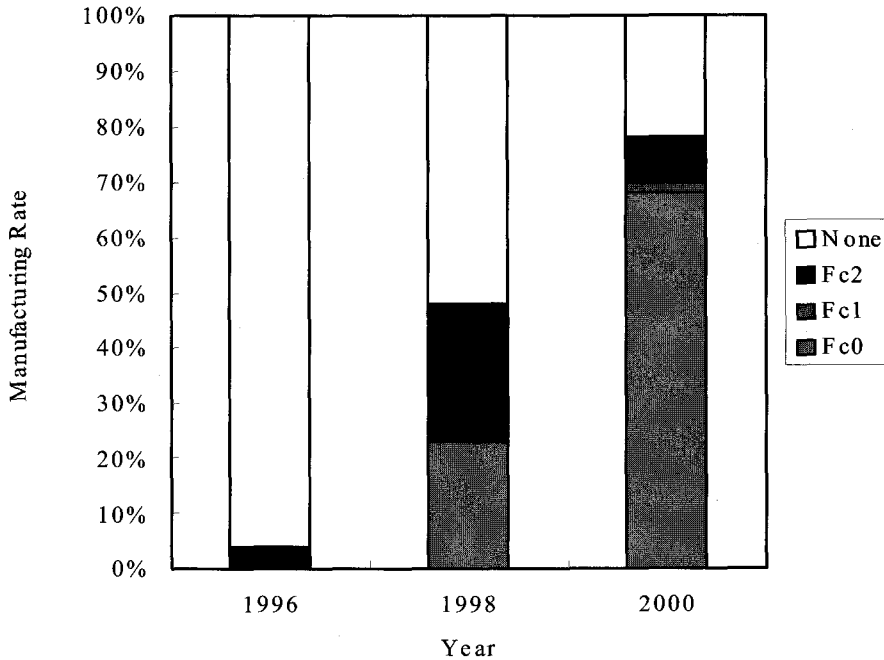


그림 5. 라벨링 제도의 도입에 따른 합판 생산량의 변화

5. 맺음말

국내에서도 현재 새집증후군과 관련된 다양한 연구가 진행되고 있으며 여기서 소개된 일본의 실내 공기질태 및 대응방안은 향후 우리나라에서의 오염 대책의 수립에 있어 중요한 기초자료로서 활용할 수 있을 것이다. 실내공기오염의 발생배경으로부터 살펴보면, 휘발성유기화학물질에 따른 실내공기 오염대책은 크게 세가지로 요약 할 수 있다. 첫째는 다양한 오염물질 및 발생원에 대한 체계적이고 효율적인 관리이며, 이러한 관리를 위해서는 각종 오염원에 대한 데이터베이스의 구축이 필요하다. 둘째로는 장단기적 건강영향을 바탕으로 오염물질의 방출량이 많은 건축자재 또는 마감재의 사용을 제한하기 위한 제도적 장치의 마련이라 할 수 있다.

셋째로는 실내로 배출된 오염물질을 원활히 실외로 배출하기 위한 적절한 환기계획의 수립이라 할 수 있으며, 주거공간에서의 쾌적한 실내환경을 유지하기 위한 환기시스템의 개발이 필요하다.

- 참고문헌 -

1. J.S.Park and K.Ikeda (2003), Database system, AFoDAS/AVODAS, on indoor air organic Compounds in Japan, Indoor Air, International Journal of Indoor Air Quality and Climate, Vol.13, pp.35-41
2. J.S.Park and S.Fujii (2000), Characteristics of Volatile Organic Compounds Emissions from Solid Building Materials, study on the

- effect of environmental conditions on emissions from materials Part 1, No.536, pp.49-54
3. Tanabe S. (1999), Measurements of Aldehydes and VOCs Emission rates in Two New constructed Houses, Proceeding of Indoor air 1999, Vol.5, pp.117-122
 4. Wolkoff P., Kjar U. D., Knudsen H. N. and Nielsen P. A. (1996), Characterization of emissions from building products: Long-term chemical evaluation. The impact of air velocity and concentration, Proceedings of Indoor Air 1996, Vol. 4, pp.337-342
 5. Wallace, L., Nelson, W. and Ziegenfus, R. (1991), "The Los Angeles Team Study: Personal Exposures, Indoor-Outdoor Air Concentrations, and Breath Concentrations of 25 Volatile Organic Compounds", Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, Vol.1 (No.2), pp.157-192
 6. Seifert B., Mailahn W., Schulz C. and Ullrich D. (1989), Seasonal variation of concentrations of volatile organic compounds in selected German homes, Environmental International Vol.15, pp.397-403
 7. World Health Organization's Regional Office for Europe Reports (1984 and 1986), Working Group on Indoor Air Research