

Indoor Air '96 Nagoya 국제학술회의

윤 동 원
대전 산업 대학교
건축 공 학 과 / 교 수

1. 서 론

지난 7월 21~26일에 일본 나고야에서 제7회 International Conference on Indoor Air Quality and Climate)이 개최되었다. 나고야시의 국제회의장에서 일주일간 진행된 국제학술회의는 ISIAQ(International Society of Indoor Air Quality and Climate)의 주최로 3년마다 개최되는 세계적인 최고 수준의 학술대회이며, 관련분야의 기술, 산업전시회도 함께 개최되고 있다. 본 학술회의에는 세계 51개국의 956명의 학자들이 참가하였으며, 실내 공기환경에 관한 총 627편의 연구논문이 발표되었다. 이번 국제학술회의는 유럽이나 미주 지역으로부터 거리 상으로 멀리 떨어진 극동 지역에서 개최되었음에도 불구하고 지난 '93년의 제6회 Finland의 Helsinki의 경우보다 참가자와 논문편수, 논문의 질적인 면에서 많은 발전이 있었다고 평가되고 있다. 우리나라에서도 20여명이 참가하여 10여 편의 연구 논문을 발표하였다.

4권으로 분리된 논문집은 총 3857 페이지에 달하며, 전체 49 sessions으로 나누어져

분야별 논문들이 게재되었다. 그림 1은 참가자의 지역별 분포와 발표논문의 분야별 구분을 나타낸 것이며, 표 1은 주요 분야별로 발표된 논문들을 구분하여 나타낸 것이다.

2. 실내 공기의 오염물질(Indoor Air Pollution)

실내 공기의 오염 원인에는 건물 주변의 대기오염에 의한 영향과 실내에서 발생하는 오염물질로 구분할 수 있다. 대기오염은 주로 자동차 매연, 난방용 연소가스, 공장, 발전소에서 배출하는 폐가스가 원인이 되며, 특히 자동차 배출가스(자동차 매연)에는 다량의 CO, NO_x(질소화합물), 분진, 납(Pb)화합물 등 여러가지 유독물질을 포함하고 있다. 한편, 건물의 실내 오염 발생원은 재실자로부터 방출되는 탄산가스(CO₂), 수증기, 체취 등이 있으며, 담배연기에 의한 오염, 실내의 각종 작업에 의해 발생하는 분진, 각종 연소 장치의 연소가스나 수증기 등이 있다. 실내의 공기오염을 방지하기 위해서는 실내 오염물

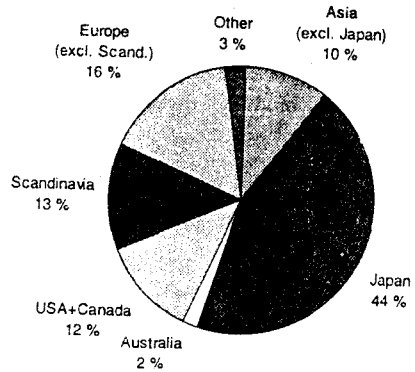
질의 발생을 억제하는 것과 대기오염을 방지하는 것이 효과적이다. 또한, 필요에 따라 적절한 공기 청정장치를 계획하여 효율적으로 실내 공기의 질(I.A.Q: indoor air quality)을 양호하게 유지할 수 있는 것이 바람직하다. 최근, 외부공기 환경이 악화되면서 실내 공기 환경에 대한 관심이 높아지고 있다. 건축물이 적절하게 설계, 시공되지 않거나 실내의 환경 관리가 부적절한 상태로 유지된다면 실내 공기의 질이 악화되어 건물 내부에서 생활하는 사람들의 건강에 나쁜 영향을 미치게 되며, 쾌적성도 저하되고 있음을 의심할 수 없는 사실로 받아들여지고 있다.

실내의 공기질을 정확하게 파악하기 위하여서는 실내 오염물질의 발생량의 특성 및 오염발생원을 정확하게 파악하는 것이 필요하다. 대표적인 실내 오염원으로는 조리 및 난방용의 각종 기구, 담배연기, 건축자재, 가구, 사무기기, 공기정화장치, 인체 등을 들 수 있으며, 오염물질도 발생원에 따라 수십 종류에 달하고 있다. 특히, 실내 공기환경을 좌우하는 각종인자 중에는 최근 세계적으로 문제가 되고 있는 아스베스토(석면)와 각종 건축자재, 내장재에서 발생되고 있는 휘발성 유기용매(VOCs; Volatile Organic Compounds)와 포름알데히드(HCHO), 일반인들이 느끼지 못하고 있는 라돈 등이 관심을 모으고 있다.

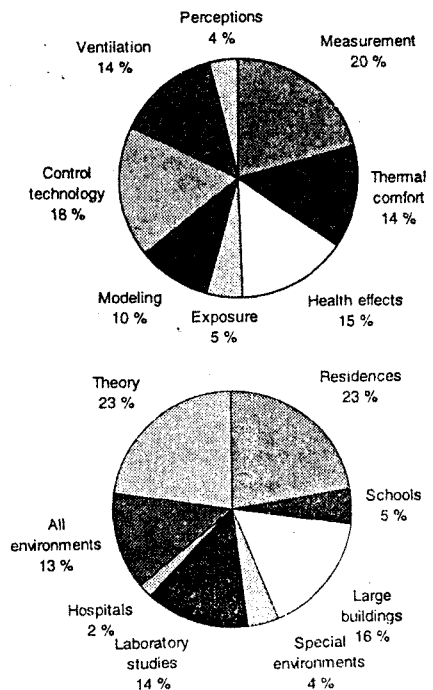
표 2는 일반적으로 나타나는 실내오염 물질의 농도와 세계보건기구의 지침을 표시한 것이다.

세계보건기구(WHO)에서는 어떤 특정한 증세나 원인이 없이 건물 내부의 재실자가 빈번히 느끼는 실내 환경에 대한 불만족감으

로 그 건물의 실내를 벗어나며 이러한 증상들이 사라지는 상태를 건물병 증후군(SBS; Sick Building Syndrome)이라 정의하고 있



(a) 참가자의 지역별 분포



(b) 발표논문의 분야별 구분

그림 1 Indoor Air '96 참가자의 지역별 분포와 분야별 발표논문

표 1. 분야별 발표 논문 편수

구 분		Oral Presentation	Poster Presentation	Total
Indoor Air Pollutant	Randon & ETS	12	14	26
	VOC	25	26	51
	SPM	12	7	19
	Aerosol	11	17	28
	Odor	10	18	27
	소 계	70	81	151
HVAC System for Improving IAQ		33	46	79
Healt Effect	Respiratory	5	3	8
	Allergy	6	8	14
	Epidemiology	12	18	30
Microbes		15	31	46
Science & Engineering		23	24	47
Metrology		10	20	30
Maintenance		10	18	28
Environment and Occupant Hygeine		12	12	24
Psychological Problems		13	12	25

표 2. 실내 공기중의 오염물질의 농도와 세계보건기구(WHO)의 지침

구 분	실내 공기중의 오염농도	WHO Guides
호흡성분진(RSP)	10~150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	70(24h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂	20~40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	200(1h), 40 - 50(1year) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CO ₂	1000~11.000 ppm	1,000(8h) ppm
SO ₂	10 ~ 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	125(24h), 50(1year) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
O ₃	10 ~ 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	120(8h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
HCHO	20 ~ 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100(0.5h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
벤젠	2 ~ 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
라돈	3 ~ 75 Bq/m ³	100 Bq/m ³
석면(Asbestos)	102~104 F/m ³	발암성 물질
섬유상 분진(mmmF)	102~104 F/m ³	발암성 물질

다. 일반적으로 코, 인후, 눈, 피부 등에서 증상이 나타나고, 기력이 없고 두통을 느끼는 경우가 빈번히 발생한다. 실내환경이 나쁜 경우에 이러한 증상이 빈번히 나타나게 된다.

이러한 증상과 원인을 조사할 경우에 가장 일반적인 것인가를 찾는 것조차 어려운 상태다. 실내환경을 조사할 때 재실자의 20% 이상이 적어도 2주 동안에 이러한 증세를 느끼는 경우에 대하여 건물증후군이 발생하는 것으로 판단되며, 이러한 상태에서 일반적으로 실내의 특정한 오염물질의 원인이 규명되지 않는 것이 특징이다. 의학적인 관점에서 건물병 증후군은 실내환경으로 인한 감염, 알레르기, 곰팡이나 유독물질로 인한 질병 등을 제외하고도 진단의 대상이 되지 않는 것을 의미한다. 아직까지도 건물병 증후군에 대한 특별한 기준은 설정되어 있지 않았으며 일반적으로 설문서에 의해 조사하고 평가하게 된다. 주로 신체적 증상이나 화학적 반응, 생물학적, 심리적인 요인 등에 의한 증상 등이 나타날 수 있으며, 건물병 증후군은 세계 어느 나라에서든 일어날 수 있는 증상이며, 실내공기 중에 VOCs와 같은 미량의 오염물질이 증가할 경우에 발생 빈도가 높은 것으로 보고되고 있다.

1) 연소물질에 의한 실내공기오염

① 흡연에 의한 오염물질(ETS ; Anvironmental Tobacco Smoking)

흡연과정에서 발생하는 각종 입자상 물질과 가스상 물질은 실내공기를 오염시키게 되며, 실내에서 생활하는 재실자의 건강에 영향을 미치게 되어 각종 호흡기질환, 심장질환,

폐암 등을 유발시키는 것으로 보고되고 있다. 최근에는 흡연자(Active Smoker)뿐만 아니라, 담배를 피우지 않고 주위에 있는 사람에게도 흡연의 영향이 있는가에 대한 연구, 즉 간접흡연(Passive Smoking) 또는 환경흡연(Environmental Tobacco Smoking : ETS)의 유해성에 관한 논란이 제기되고 있다. 흡연에 의해서 발생된 오염물질은 매우 작은 입자의 형태로 공기 중에 오래 부유하기 때문에 담배를 직접 피우는 흡연자 뿐만 아니라 주변에 있는 사람들에게도 피해를 주는 것으로 나타났다. 담배연기 속에는 니코틴(Nicotine) 뿐만 아니라 카드뮴(Cd), Bap(Benzo-Alphapyrene : 연소가스의 성분), 페놀 등과 같은 여러가지 독성물질이 들어 있다.

Indoor Air '96에서는 총 9편의 ETS 관련 논문이 발표되었으며, 이중에서 미국의 담배회사(Reynolds Tobacco Co.)에서 4편의 연구결과를 발표하였다. 담배연기에 노출된 비흡연자를 대상으로 혈액, 소변, 타액 중에 함유된 니코틴 성분을 분석하여 환경흡연의 영향을 평가하였고, 담배의 종류별 환경흡연 영향, 실내 상대습도 변화와 환경흡연의 영향에 대한 평가 논문 등이 발표되었다. 또한, 실제 사무소공간에서 환기량과 흡연에 의한 오염물질의 농도(니코틴, CO, CO₂, TVOC 등) 변화 특성을 보고하고 있다. 그 외에도 미국 버클리대학에서 주거용 건물에서 실별 담배연기의 거동과 흡연에 의한 VOCs 농도의 변화에 대한 연구 결과를 발표하였고, 일본의 가나자와 대학에서 실내의 담배연기 제거 장치(Crona Discharge)에 대한 성능평가의 연구결과를 발표하였다. 실내의 흡연은 실내 공기 오염의 주된 요인으로 작용하고 있으며,

실내 공기중의 분진, 방향족 탄화수소, 니트로스 아민, 니코틴의 농도가 높게 측정되며, 환경 흡연의 영향과 제거방법, 건강에의 영향 등에 관한 연구결과들이 발표되었다.

② 연소에 의한 오염물질

일반가정에서는 가스나 석유를 연료로 하는 취사나 급탕으로 인하여 각종 오염물질을 배출한다. 이때 연료가 완전 연소한다면 CO_2 와 H_2O 가 발생하지만, 어떠한 경우에는 불완전 연소가 일어날 수 있고, 연료 중에는 불순물이 포함되어 있으므로 CO , NO , HC , 분진(TSP)등의 오염물질이 배출될 수밖에 없다. 대부분 취사용 렌지 위에는 국소배기를 하도록 되어 있으나 실내에서 난방 기기나 석유콘로 등을 사용할 경우에는 일정시간 간격으로 환기에 의한 신선한 외부공기의 공급이 절대로 필요하다.

연소가스는 주로 호흡기질환의 발생과 폐기능 저하현상을 가져온다. 특히 일산화탄소는 인체내 혈중 헤모글로빈과의 친화력으로 산소공급을 차단시켜 호흡곤란, 질식, 사망에 이르는 맹독성 오염물질이며, 또한 석유난로 또는 나무나 석탄을 이용한 벽난로의 사용시 아황산가스, 알데히드, 부유분진등을 발생시켜 실내공기오염을 가중시킬 수 있다.

선진국을 제외한 개발도상국이나 미 개발국가에서는 실내에서 난방이나 취사의 수단으로 석탄과 천연목재를 연료로 사용하고 있으며, 실내에서 이러한 연료의 직접적인 연소에 의하여 실내 오염물질의 농도가 증가하고 있다. 네팔의 Hessen등은 네팔의 교외지역에 대한 주택 내부의 CO , NO_2 , 호흡성 분진 등 연소물질의 측정된 결과(Vol. 4, p. 113)를 발표하였으며, 중국, 남아프리카 공화국, 과

테말라 등에서는 실내 연소물질에 의한 오염물질로 인하여 거주자의 건강에 영향을 주는 것으로 보고되고 있다. 또한 선진 국가에서도 가스를 연료로 사용한 취사나 조리과정과 연통이 없는 난방기구를 사용할 경우엔 이산화질소의 농도가 높게 측정된 것으로 보고되고 있다. 질소산화물에 장시간 노출될 경우 인체의 호흡기 계통과 폐에 직접적인 피해를 주며, 심한 경우에 맹독성인 질산의 작용으로 눈에 염증이 발생하는 것으로 보고되고 있다.

연소물질은 실내 공기의 오염원으로 작용하며, 저개발 국가에서는 주거용 건물에서 환기장치가 없는 실내 조리기구나 난방기구에서 석탄이나 나무 등을 연소하여 실내 공기를 오염시키며, 이러한 경우에 단순한 연통이나 조리용 환기장치를 설치함으로써 실내 환경을 개선할 수 있다. 선진국가에서는 실내의 연통과 환기 장치가 없는 가스 기구나 등유용 난방장치를 사용함으로써 실내의 NO_2 , CO , CO_2 농도를 증가시키는 것으로 조사되었다. 또한 나무장작을 사용한 벽난로로부터 방향족 탄화수소의 농도가 증가하고 있는 것으로 보고되고 있다.

대도시의 경우에 자동차의 매연이나 난방장치에 의한 화석 연료의 연소 가스가 외부 공기를 오염시키며, 환기 장치에 의해 실내 공간으로 유입되어 실내 공기를 오염시키는 원인이 된다. 실내 공기 환경을 평가하기 위하여 측정할 때에는 일반적으로 외부 공기의 오염 농도를 동시에 측정 조사하여 그 영향을 평가하게 된다. 일본의 Matsuki(Vol. 4 p. 95)등은 실내 벽난로에서 천연목재가 연소될 때 방출되는 실내의 오염물질을 측정하여 평가한 결과를 발표하였다.

필자(윤동원) 등은 미국 Harvard 대학의 Spengler 교수와 공동으로 세계 13개국 17개 주요도시에 대한 공기오염물질에 대한 개인별 노출특성과 실내환경특성을 조사한 결과를 발표하였다(Vol., p. 931). 본 연구에서는 NO₂ Passive Sampler를 이용하여 세계 주요도시의 사무소 근무자를 대상으로 실내외 오염물질의 영향을 평가하기 위한 공동연구이며, 유럽, 스칸디나비아 국가, 미국 등의 경우에 비교적 낮은 오염농도로 평가되고 있으나 우리나라의 서울을 비롯한, 일본, 인디아 등에서 높은 오염농도의 영향을 받는 것으로 평가되었다.

2) 휘발성 유기용매(VOCs)

휘발성 유기용매는 실내공기 중에서 냄새와 인체에 자극을 유발하는 오염물질로 판단되고 있다. 후각의 자극과 신경계통의 자극은 엄밀히 다른 신경계통에 의해 유발되며, VOCs 농도가 높아질수록 눈과 점막을 자극하게 된다. 포름알데하이드는 합판이나 파티클 보오드 등에서 방출되어 건강에 영향을 주는 물질이며, 농도가 높은 실내에서 장시간 생활하게 되면 호흡기질병의 원인으로 작용한다.

VOCs 물질의 특성 : 실내공기 중에는 외부 공기나, 토양오염 등 외부 오염원으로부터 유입되거나 실내 내장재료로부터 방출된 오염물질, 공기조화설비나 실내의 흡연, 조리, 청소작업 등에 의해 방출되며, 또한 재실자의 활동에 의해서도 유기화학물질이 방출된다. 이러한 유기화학물질의 농도는 공기조화설비나 환기설비에 의해 적절한 외기량을 도입하

여 실내의 오염농도를 희석하거나 제거하여야 한다. 유기화학물질로 인하여 문제가 발생하고 있는 실내환경에 대한 평가는 일반적으로 실내에서의 오염특성을 측정조사하고, 이러한 물질로 인한 생산성 저하나 쾌적성에 미치는 영향 등을 평가하고자 하는 연구들이 진행되고 있다. 유기화학물질에 대한 연구는 VOCs에 대한 개개의 오염농도를 측정 평가하거나 실내공기의 쾌적성이나 불만족을 고려한 총 TVOCs량을 평가하려는 시도가 진행되고 있다. 실내 공기환경에 대한 평가는 사무소 건물, 학교, 병원, 주거용 건물등 다양한 장소에 대하여 측정되고 있으며, VOCs의 개별적인 농도나 TVOCs 총 농도를 측정하는 연구들이 진행되고 있으며, 또한 실내와 외부에서 사용된 살충제로부터 방출되는 SVOCs(Semi Volatile Organic compounds)에 대한 연구도 진행되고 있다. 유기화학물질의 평가는 실내의 오염농도를 외부 공기의 오염농도와의 비율(I/O ratio)로 나타내고 있으며, 보통 I/O비 1.3~1.5 정도에서 변화하는 것으로 보고되고 있다.

한편 실내공기 중 습도가 높은 경우나 건물 구조체가 습윤 상태인 경우에는 실내에서 미생물의 서식이 증가되며, 이러한 환경에서 곰팡이의 포자, 세균 등을 통한 미생물에서 방출된 Microbial Volatile Organic Compounds(MVOCs)의 농도가 증가하는 것으로 조사되고 있다. 실내의 VOCs 농도가 증가할 경우에 실내 공기환경에 대한 불만족도가 현저하게 증가하는 것으로 보고되고 있으며, MVOCs 물질이 증가할 수록 냄새의 강도가 크게 나타나고 있다. 신축건물이나, 보수공사를 마친 건물에서 특히 VOCs 농도가 높게

측정되고 있으며 환기량이 많은 공공건물이나 업무용 건물에서는 환기량이 적은 건물보다 오염농도가 낮게 측정되고 있다.

측정 및 분석방법 : VOCs 물질의 발생원은 건축자재, 실내의 가구, 사무용품, 재실자의 활동등 매우 다양하며, VOCs 물질의 오염농도는 적합한 측정방법과 분석방법이 요구된다. 실내 공기중의 유기화학물질의 총량을 나타내는 지표로써 TVOCs 농도가 사용되며, 실내 공기환경의 오염정도를 나타내는 지표로 활용되고 있다. TVOCs 농도는 GC-FID에 의해 톨루엔이나 헥산 등으로 환산되어 크로마토그램 상에 나타난 전체 면적으로부터 TVOCs 농도를 산출하는 방법이 있다. 또한 VOCs 계열의 개별적인 물질의 농도를 측정하여 각각의 물질의 농도의 합으로 표시하는 방법도 이용되고 있다. 이 방법은 측정비용이 많이 소요되는 단점이 있으나 VOCs 물질에 대한 다양한 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다. VOCs 물질은 고형 흡착제에 흡착하는 Active Sampler과 Passive Sampler에 의해 측정하여 농도를 분석하는 방법이 보편적으로 이용되며, 비교적 저렴한 가격으로 측정이 가능하다. VOCs 물질을 연속 측정하는 방법에는 NDIR법과 FTIR법등이 있으며 공기중의 VOCs 농도의 변화를 측정할 수 있다.

실내공기 중에서 VOss 오염물질에 대한 연구로써 WHO 유럽 사무국과 유럽 11개국(EU)의 14개 연구기관에서 공동으로 추진 중인 “Indoor Air Quality and its Impact on Man”의 연구과제가 소개(Vol. 2, p. 639, Vol. 3, p. 83)되었다. 실내 오염물질의 발생원을 파악하기 위하여 건축자재의 VOCs 방출강도와 HVAC 시스템, 인체 등으로부터

방출되는 특성을 피험자의 관능검사에 의한 실험 및 연구 내용을 기술하고 있다. 그림 2는 건축자재와 실내 공기중의 오염물질 평가방법의 흐름도를 나타내고 있으며, 바닥재료, 벽구성재료, 천장재, 구조재, 페인트 등의 마감 재료에 대한 오염물질 방출 특성을 평가하고 있다. 또한 실내 공기중의 휘발성 유기용매에 대한 오염농도의 측정결과와 건축재료로부터 방출되는 특성(Vol. 2, P. 651, Vol. 3, p. 53)들이 발표되었으며(Vol. 2, p. 645), 상대습도에 따른 VOCs 물질의 방출 특성의 상관성을 보여주는 연구(Vol. 2, p. 659)도 발표되었다. 그림 3은 2개의 신축 건물에 대한 HCHO 농도의 경년 변화를 나타내 것으로 신축건물에서 실내 공기 중의 VOCs 오염물질의 측정결과(Vol. 3, p. 47)에 관한 논문과 일본의 기밀성능이 높은 건물에 대한 HCHO의 농도 변화를 보여주고 있다.

건축자재로 부터 방출되는 VOCs 농도와 인체가 느끼는 반응에 대하여 건축자재 종류에 따라 평가하고 있으며(Vol. 3, p. 551), 그림 4는 건축자재의 종류별 오염물질 방출농도와 인체가 느끼는 불만족도의 상관관계를 나타내고 있다. 그 외에도 실내가구의 방출특성, 유치원, 병원, 창고 등의 실내 공기중의 VOCs 농도를 측정 평가한 논문과 공기조화설비와 환기설비의 운전 에 따른 VOCs 물질 방출특성과 유지관리를 위한 청소용제와 살충제에서 방출되는 VOCs 농도를 평가한 논문들이 발표되었다.

포름알데히드는 주로 실내에서 발생하는 오염물질로서 건축자재, 단열재, 가구, 가정용품 등이 주요 발생원이다. 포름알데히드 성분은 건축자재에 광범위하게 쓰이는 페놀, 아

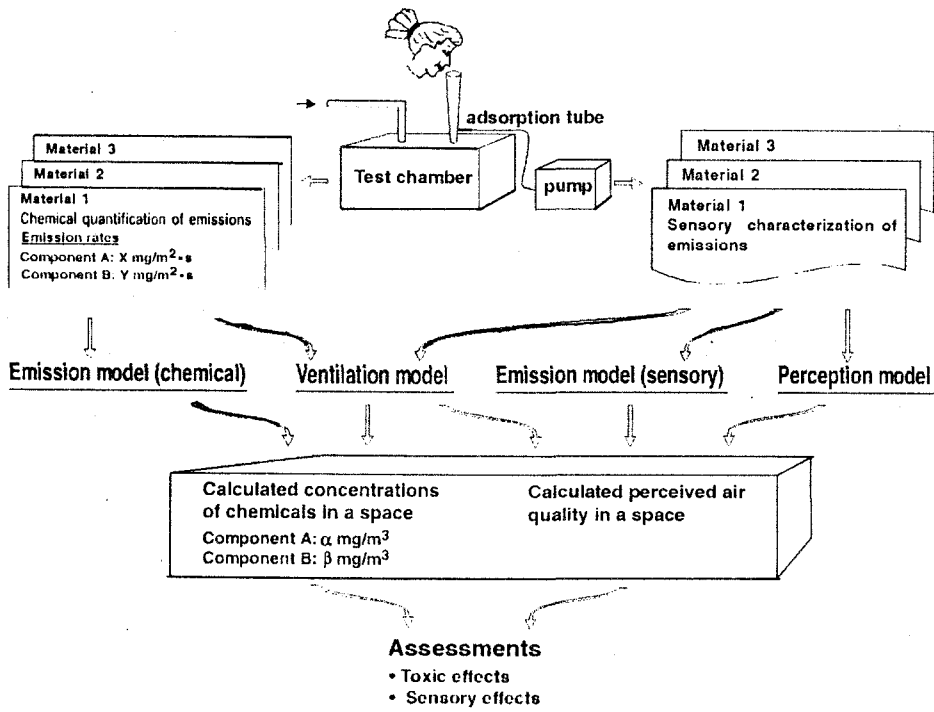


그림 2 건축자재와 실내공기의 오염물질 평가 방법

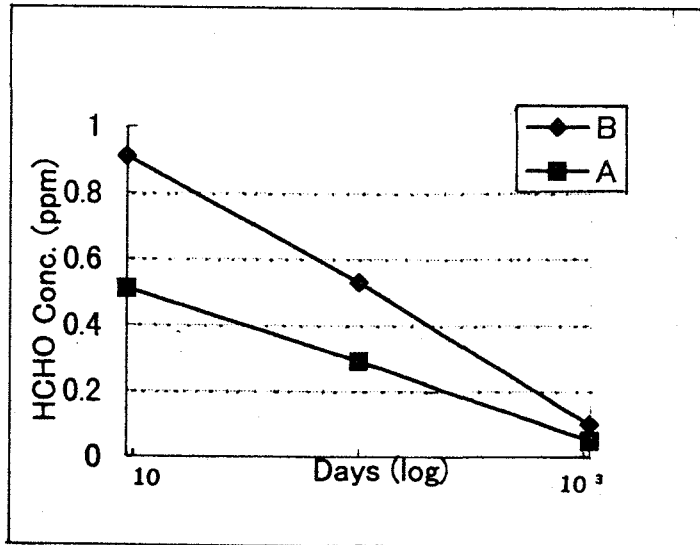


그림 3 신축주택의 경년변화에 따른 HCHO 농도 변화

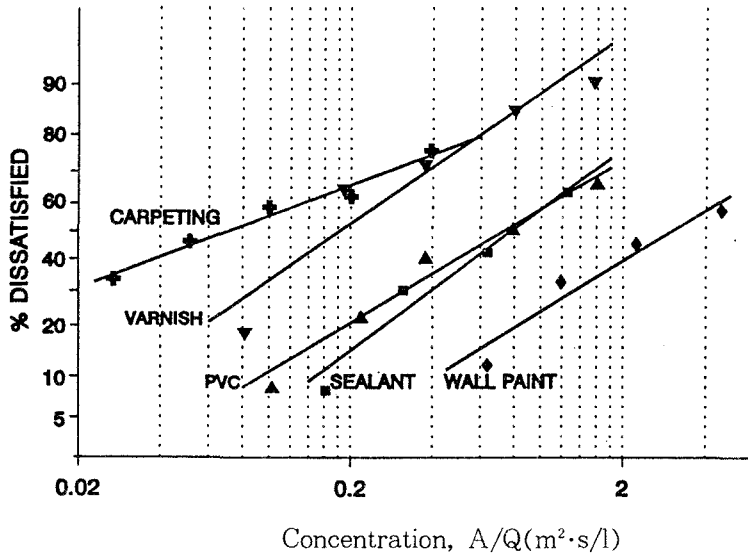


그림 4 건축자재 종류별 오염물질 방출농도와 불쾌감의 상관관계

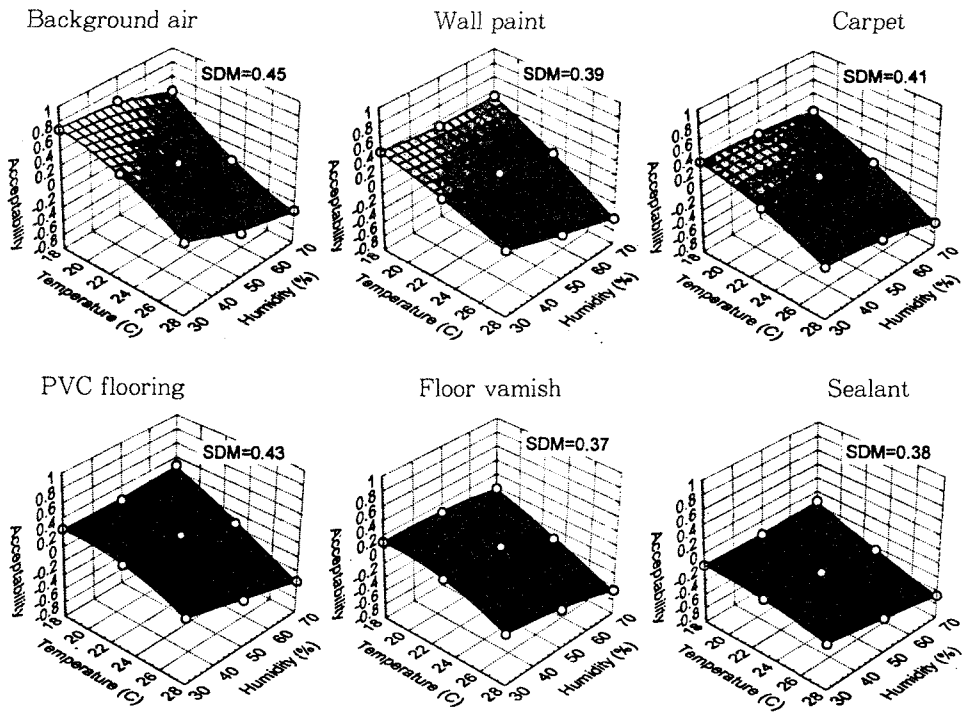


그림 5 건축자재 종류별 온도, 습도, 공기질 평가 모델

표 3. 건축자재 종류별 TVOC 방출 강도

Product Class	No. of Samples	Maximum EF _{TVOC} (μg/m ² ·h)	Minimum EF _{TVOC} (μg/m ² ·h)	Average EF _{TVOC} (μg/m ² ·h)
Carpet	7	56223	18	14896
Vinyl Flooring	5	9408	948	3425
Particleboard with Coatings	1	—	—	114
Composite Wood Product Assemblies	4	1378	459	737
Low Emitting Paint @ 120hr	2	42	9	26
Conventional Paing @ 120 hr	2	308	243	276
Cellualr Plastic Insulation	2	68	45	57
Structural Composite Wood Products	3	386	55	228
Interior Plywood (Coated)	1	—	—	170
Carpet Underpad	2	856	33	445
MDF with Coatings	4	835	57	340
General Interior Finishing Materials	4	479	21	219

세테이트계 단열재, 합판, 섬유, 가구 등의 접착제에 주로 사용된다. 포름알데히드가 함유된 건축자재는 수년동안 지속적으로 포름알데히드 기체를 실내로 방출하며, 방출량은 시간에 비례하여 서서히 감소하고 특히 습도가 높을 때 방출량이 증가하는 특성을 지닌다. 일반적으로 포름알데히드는 낮은 습도에 단시간 노출되었을 경우에 눈, 코, 목 등에 가려움을 느끼고 장기간 노출되었을 경우는 기침, 구토, 어지러움, 두통, 불면증, 피부질환 등을 유발한다.

3) 냄새(Odor)

실내공기에 대한 불쾌감을 경험적 지표로 표현할 수 있는 방법으로 냄새(Odor)의 강도

가 제시되고 있으며, 실내공기 중의 오염레벨을 평가할 수 있는 또 하나의 지표로 연구되고 있다. 덴마크 공대의 P.O. Fanger 교수는 Olf와 Decipol이라는 단위를 사용하여 실내 오염레벨을 지각할 수 있는 지표를 제안하고 있다.

실내공기 중의 냄새는 훈련된 전문인력을 활용하여 관능검사에 의해 그 특성을 평가하게 된다. 실내공기 중의 냄새를 측정함으로써 실내 오염물질로부터 방출되는 냄새의 발생원을 조사할 수 있다. 몇가지 연구에서 냄새와 인체가 느끼는 자극 사이의 상관관계를 규명하고 있으며, 특히 실내의 CO₂ 농도와 채취 사이에는 높은 상관성이 나타나고 있으나, 실내의 CO 농도와 담배 냄새의 사이에는 상관관계가 크게 나타나지 않고 있다. 실내의

부유분진의 농도와 냄새사이에는 특히 오래된 건물에서 상관관계가 뚜렷하게 나타났다.

덴마크의 Fanger 등(Vol. 4, p. 307)은 실내 공기질과 냄새강도의 상관성을 조사하여 환기횟수, 오염원의 종류(건축자재, 채취, ETS 등)와의 상관성을 제시하였으며, 오염원으로부터 방출되는 오염물질과 온도, 습도와의 상관성을 조사한 연구결과(Vol. 4, p. 349)를 발표하였다. 네델란드의 Walpot는 페인트와 카펫트 등에서 냄새의 방출을 최소화하는 방법 등을 제시하고 있다. 스웨덴의 Bornehag(Vol. 4, p. 324)는 콘크리트 바닥에서 방출되는 냄새와 습도와의 관계를 평가한 논문을 발표하였다. 그외에도 건축자재로부터 방출되는 각종 오염물질(주로 VOCs 물질)과 냄새의 상관성, 시공후 경년변화와 냄새의 강도와의 상관성 등에 관한 연구결과를 발표하였다.

4) 부유분진과 섬유상 분진(SPM : Suspended Particulate Matters)

실내 공기중의 부유분진은 입경이 $150\mu\text{m}$ 이하이며, 외부로부터 유입되는 자동차 매연이나 실내의 흡연, 연소가스 등으로 발생된 물질에 의해 분진의 농도가 증가한다. 부유분진은 실내의 재실자의 호흡기 계통을 통하여 인체에 영향을 미치며, 이때 분진의 입경에 따라 인체의 피해 정도가 다르게 평가된다. 입경 $3\mu\text{m}$ 의 미세한 분진은 내부 공간의 표면에서 발생된 분진이라 할 수 있다. 미세한 먼지는 표면에 침착되지 않고 부유하며, 비교적 입경이 큰 분진은 바닥에 침강되었다가 재비산하게 된다. 이 때 재비산하는 특성

은 주변의 기류와 전자기장의 영향에 의해 달라지게 된다.

호주의 Kemp(vol. 1, p. 571) 등은 사무소 건물을 대상으로 실내 부유분진의 농도를 조사하였으며, 분진의 농도는 PM 10 (호흡성 분진)의 경우에 $12-192\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM 2.5는 $14-230\mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위에서 변화하고 있다. 또한 Dingle 등은 주택의 카펫트에서 방출되는 분진을 분석하여 납성분(최고 $11,900\mu\text{g}/\text{m}^3$), 카드뮴($22\mu\text{g}/\text{m}^3$) 등의 중금속이 검출되고 있는 것으로 보고하고 있다. 우리나라의 김운신 등은 사무소 건물의 실내와 외부의 분진에 대하여 입경별 분진에 포함된 중금속에 대한 분석결과를 발표하였다. 일본의 Nakai 등은 부유분진에 흡착된 세균의 특성을 계절별로 분석한 결과를 제시하였다.

또한 실내의 부유분진 중에는 VOCs나 SVOCs가 흡착되어 인체에 영향을 미칠 수 있다. 실내 부유분진에서 200종류 이상의 유기화합물질이 검출되었으며, 건물병 중후군을 조사하는 과정에서 VOCs 물질의 농도는 냄새의 강도보다 낮은 범위에서 측정되고 있다.

석면(Asbestos) : 아스베스토(Asbestos)는 단축과 장축의 비가 1 : 3이상인 선형의 분진이며, 건축자재 중에서 주로 단열재로 쓰이던 석면 속에 많이 포함되어 있다. 일반적으로 아스베스토라 함은 석면을 의미하며, 강한 침상구조로 되어있고 절연성, 내화성, 내열성, 단열성, 흡음성이 높아서 주로 단열재나 흡음재 또는 내부 마감재료로 많은 사용되어 왔다.

석면분말을 흡입하면 석면섬유의 대부분은 가래와 함께 몸밖으로 배출되지만 폐 속에 남은 것 중 25% 정도의 석면은 폐포의 대식

세포에 섭취된다. 대식세포에 먹힌 석면섬유의 일부는 대식세포와 함께 폐내부를 이동하며, 대식세포가 죽게 되면 석면섬유는 석면소체(Asbestosbody)를 형성한다. 석면섬유는 인체내의 침착장소에서 병을 발생시켜 세포를 잠식해 간다. 석면에 의한 질환은 크게 2가지 계통으로 구분할 수 있다. 즉, 공기를 통한 호흡기 계통의 질환과 음식물과 함께 섭취된 석면에 의한 소화기 계통의 질환을 유발한다. 폐에 침착된 석면은 석면폐, 폐암, 악성중피종을 야기하고 소화기 계통에 남겨진 석면은 위암, 결장암, 방광암, 췌장암 등을 일으킨다.

석면은 60년대와 70년대 건물에 많이 사용되었으며, 80년대 이후에는 석면 대용으로 Man-Made Mineral Fiber(mmmF)를 사용하였다. 독일의 Spurny는 실내의 섬유상 분진에 대하여 Asbestos와 mmmF에 대한 연구 결과를 발표하였다. Asbestos를 사용한 건물에서 공기중에 $10^2 \sim 10^6$ Fibers/m³의 농도로 검출되고 있으며, 독일과 네델란드에서 mmmF 농도는 400~1000 Fibers/m³ 범위에서 검출된 것으로 보고되었다. 미국의 Spengler 등은 섬유상 분진에 대하여 길이와 형상, 장단비로 분류하여 평가한 연구결과를 제시하고 있다.

5) 미생물에 의한 오염(Microbes)

실내 공기환경 중에서 미생물의 오염은 특수한 분야로 취급되고 있다. 다양한 종류의 미생물에 대하여 증식 또는 성장 조건과 인체의 건강에 미치는 영향들이 취급되어야 하므로 실질적으로 미생물에 의한 오염특성을

평가하기는 매우 까다롭고 어려운 분야라 할 수 있다. 실내 공간에서 공기 중에 부유하는 세균이나 바이러스 등의 오염농도를 측정하는 것만으로는 미생물의 특성을 파악하기에 불충분하며, 각종 표면과 건축자재에 서식하는 것까지 포함하여 그 특성을 평가하여야 한다. 예를 들어 곰팡이는 실내 표면의 페인트 층 밑에 서식할 수도 있으므로 공기중의 오염상태나 표면의 오염 상태만을 측정할 경우에 그 특성을 충분히 파악할 수 없게 된다. 또한 미생물에 의한 오염특성을 평가하는 것은 측정방법과 인큐베이터에 의한 증식방법에 따라 다른 결과가 도출될 수 있으므로 주의하여야 한다. 건물 내부가 습윤상태이거나 습기가 증가할 경우에 공기중의 부유세균이나 곰팡이가 증가하게 되며, 인체의 건강에 영향을 주고 습윤상태로 오염된 건물에서 건물병 증후군 현상을 증가하는 것이 보편화되어 있는 연구결과로 제시되고 있다. 또한 오래된 건물일수록 미생물에 의한 오염농도가 증가되고 있다.

습기는 각종 곰팡이나 세균이 서식하기 위한 필수조건으로 인식되고 있으며, 건축재료가 습윤 상태로 오염되면 이곳에서 미생물이 서식하게 된다. 또한 실내 공기중에 습도가 상승한 경우에 효모균이나 세균이 증식하게 되며, 이때 곰팡이 포자나 MVOCs 물질을 공기 중으로 방출하게 되며, 공기중의 냄새나 불만족도의 증가 요인으로 작용한다. 다음은 공기중의 미생물을 제어할 수 있는 방법을 정리한 것이다.

○ 실내 습기의 제거 : 방수나 급배수 배관의 누수에 의해 습윤 상태가 되었던 건축자재는 신속히 건조시키며, 건축 표면의 결

로를 방지한다. 또한 여름철 외부 공기의 상대 습도가 높은 경우에 제습장치로 가동하여 실내의 상대습도를 적정한 수준으로 유지하여야 한다.

- 공기 여과 장치의 운전 : 고성능 에어필터를 이용하여 먼지와 함께 서식하는 세균이나 곰팡이균의 포자를 여과시킨다.
- 습윤 상태의 건축 자재의 제거 : 습윤 상태로 인하여 곰팡이가 서식하는 건축자재는 신속히 제거하며, 제거시 곰팡이균의 포자가 실내 공기중으로 비산되지 않도록 주의한다.

Indoor Air '96에서 미생물관련 논문은 총 47편이 발표되었으며, 주로 실내 부유 세균류의 계절별 분포와 특성을 평가하고 있으며, 측정 대상공간으로는 사무소건물, 주거용 건물, 지하공간, 학교, 전시장 및 박물관, 식품가공공장 등 다양한 건물에 대한 세균, 곰팡이 등의 오염특성에 대한 조사결과를 발표하고 있다. 세균이나 미생물의 샘플링 방법으로 공기중의 부유세균, 표면 성장세균, 냉난방공조시스템 내의 세균과 곰팡이의 오염특성을 조사하는 방법과 측정결과 등을 발표하였다. 특히 HVAC 시스템의 Air Filter나 Duct내에서 성장하는 세균류와 곰팡이류의 특성에 관한 연구논문이 많이 발표되었다. 표 4는 독일의 Neumeister등에 의해 Air Filter에서 서식하는 미생물에 대한 특성을 조사한 예(Vol. 3, p. 125)를 보여준다. 또한 프랑스의 Derangere 등은 건축자재(Vol. 3, p. 143)에서 증식하는 세균류의 평가방법을 제시하고 있다. 일본의 Wadanabe는 동경의 도심지 건물의 냉각탑을 대상으로 측정조사된 레지오넬라균의 오염 특성을 발표하였으

며, 그 외에도 알레르기의 원인 물질인 실내의 Dust Mite의 오염특성을 조사한 논문들이 발표되었다.

6) 라돈(Radon)

최근 문제가 되고 있는 라돈은 방사선인 α 붕괴에 의하여 라듐의 낭핵종(Radon Daughter)을 생성하며, 이 낭핵종은 기체가 아닌 미세한 입자로 폐에 흡입되어 폐포나 기관지에 부착해 α 선을 방출하기 때문에 폐질환의 발생을 높이는 것으로 보고되어 있으며, 최근 미국이나 유럽 등에서 이에 대한 실내의 공기오염이 관심을 집중시키고 있다. 라돈 가스는 공기보다 9배나 무겁기 때문에 지표 가까이 존재하며, 지하공간이나 주택의 지하실에 있는 흙의 정체된 공기 속으로 방출되어 실내로 확산된다.

실내 공기중의 라돈 농도는 국가별로 지리적 특성에 따라 다르게 나타난다. 특히 주거용 건물의 실내에서 라돈 농도가 높게 측정되는 국가에서는 적절한 제거방법을 수립하여야 한다. 주로 지층으로부터 방출된 라돈에 의해 실내 공기중의 라돈 농도에 영향을 미치며, 그 외에도 건축자재로부터 방출되는 경우도 무시할 수 없다. 지층으로부터 방출되는 라돈 농도는 지층에 우라늄이나 라듐이 많이 함유될수록 높게 나타나며, 최고 수백만 Bq/m³까지도 방출될 수 있다. 일반적으로 건축자재에서는 30 Bq/m³ 정도의 라돈 농도를 방출하게 되며, 라듐 농도가 높은 플라이 애쉬와 같은 폐자재에도 함유되어 있다. 또한 실내 공기 중의 농도 변화에는 큰 영향을 미치지 않지만 라듐 광을 포함한 지

층을 통과한 지하수에서도 라돈 농도가 검출되고 있다.

Radon에 대한 논문은 총 17편이 발표되었으며, 대부분 주택, 지하공간, 병원 등에서의 Radon 오염농도의 분포를 측정, 조사한 결과가 보고되었으며, 실내공간에서 주간과 야간, 여름철과 겨울철의 오염특성을 조사한 연구논문 등이 발표되었다. 홍콩의 Chao 등이 조사한 주택 실내의 Radon 농도는 15~424Bq/m³ 정도로 나타나고 있다. 미국의 Pugh(Vol. 1, p. 135) 등은 콘크리트 슬래브

의 틈새를 통하여 실내로 방출되는 Radon의 특성과 방출 후에 감소되는 정도를 이론적으로 예측할 수 있는 기법을 발표하였다. 중국의 Tian, 일본의 Yamanishi 등은 환기량과 실내 Radon 농도의 변화에 관하여 발표하였고, 핀란드의 Kokotti 등은 주택내부로 유입되는 Radon의 경로를 추적 조사하였다. 영국의 Woolliscroft, 미국의 Grimsrud 등은 주택의 지하실에 대하여 오염농도의 효과적인 제거방법과 이에 관한 제거효과를 측정, 조사하여 발표하였다.

표 4. 에어필터 전과 후의 세균 농도 변화

In the air (n=30)	Bacteria	Moulds	Yeasts
Before the prefilters	1143 CFU/m ³	555CFU/m ³	759CFU/m ³
After the prefilters	158 CFU/m ³	87CFU/m ³	161CFU/m ³
Difference	985 CFU/m ³	468CFU/m ³	598CFU/m ³
Air flow intake of the HVAC system	120,000m ³ /h(mean utilization 60%)		
Number of air filters in the HVAC system	30 air filters		
Service life of the filters	2860 hours		
On the air filters	CFU/air filter		
1) Expected value ¹⁾	6.7 × 10 ⁹	3.2 × 10 ⁹	4.1 × 10 ⁹
2) Real value			
a) Fiberglass cassette filter (17m ²)	9.3 × 10 ⁹	3.9 × 10 ⁹	6.8 × 10 ⁵
b) Synthetic fiber pocket filter (5.6m ²)	9.2 × 10 ⁹	3.0 × 10 ⁷	2.2 × 10 ⁵
c) Cellulose fiber cassette filter (16m ²)	15.2 × 10 ⁹	3.0 × 10 ⁷	1.6 × 10 ⁵
Mean value	11.3 × 10 ⁹	3.3 × 10 ⁷	3.5 × 10 ⁵
Ratio (1 to 2 ²⁾)	1 : 600	1 : 100	1 : 11,550

¹⁾ Calculated from the Difference of the Concentration of Air-Borne Organisms for a 13-month Service Life

²⁾ Mean Value from 2 a-c