

# 실내 환경 규제

## Indoor Air Quality

한 화택

H. T. Han

국민대학교 기계설계학과



- 1957년생
- 건축설비 및 실내환경에 관련된 유체유동 및 열전달 문제에 관심이 있음.

### 1. 서론

쾌적한 실내환경에 대한 갈망은 인류의 주거 역사와 더불어 시작되었다고 볼 수 있으나 실내 환경에 관한 연구는 그리 오랜 역사를 갖고 있지 않다. 실내환경에 관한 첫 실험은 1860년대 B. Franklin이 행한 실내공간의 밀폐 실험이었다.<sup>1)</sup> 그는 외기를 실내공기오염의 주범으로 看做하고 외부로부터 단절된 건강한 실내공기를 유지하기 위하여 실험실의 모든 틈새를 철저히 밀폐하여 외기에 섞여 침투할 수 있는 박테리아나 병원균 등의 유입을 억제하려 하였다. 그는 이 실험을 통해 실내환경에 관한 그의 가정이 잘못되었다는 것을 깨닫고, 환기되지 않고 밀폐된 실내공기가 오히려 건강하지 못하다는 사실을 인식하게 되었다. 그는 병원균 등이 다량 포함되어 있는 실외 공기라 할지라도 인체의 건강에 직접적으로 유해하지 않다는 것이 적어도 다음 세기에는 증명되기를 희망하였다.

최근 에너지자원의 보존과 환경보호 측면에서 건축물에서의 에너지 절약이 강조되고 건축 자재 및 건축 시공 기술이 발달하여 건축물은 점점 밀폐되어 왔다. 밀폐된 건축물은 "Sick Building Syndrome"이라는 새로운 질병아닌 질병을 만들

어 냈다. 많은 시간을 실내에서 보내는 현대인들의 40% 이상이 두통, 메스꺼움, 무기력함 등 밀폐건물 증후군의 증상을 경험한 바 있다고 한다.<sup>2)</sup>

실내 환경의 질은 유해성 측면과 쾌적성 측면에서 고려되어야 한다. 유해성 측면이란 실내에 존재하는 유해한 화학성분이 단기간 또는 장기간의 환경기준 오염농도 이하로 유지되어 직접적으로 인체의 건강에 유해한 영향을 미치지 않도록 하여야 함을 말하며 쾌적성 측면이란 직접적으로 건강에는 유해하지 않더라도 악취, 텁텁함 등에 의한 불쾌감을 유발하지 않도록 하여야 함을 말한다. 본고에서는 실내공기내에 존재하는 각종 유해물질의 종류와 발생원, 그리고 감지공기질에 관하여 논하고 실내공기오염농도의 제어방법인 오염원의 발생제어, 환기에 의한 희석제어, 그리고 공기정화기에 등에 의한 오염물질의 제거제어 등에 관한 일반적인 사항을 고찰하고자 한다.

### 2. 실내환경오염

#### 2.1 오염물질 및 오염원

실내의 공기의 오염원은 여러가지가 있으나

크게 나누어 연소시 발생하는 연소부산물, 건축 자재로부터 발생하는 포름 알데히드나 석면, 라돈등의 방사선 원소, 각종 미생물, 그리고 사람의 행동 양식에 의한 담배연기나 기타 생활용품에 의한 유기화합물, 그리고 각종 粉塵이 있다.

### 2.1.1 연소 부산물

연료의 실내 연소에 의하여 일산화탄소, 이산화탄소, 황산가스, 탄화수소, 이산화질소 그리고 각종 분진들이 발생한다. 잘 환기되지 않은 실내에서 NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> 등의 농도가 실외농도보다 훨씬 높은 수준에 머무를 수 있다는 것이 여러 연구에서 보고되었다. 이 중 실내환경오염에서 특히 주목하여야 할 것은 일산화탄소와 이산화질소이다.

일산화탄소(CO)는 연료의 불완전연소에 의하여 발생하며 무색 무취의 가스이다. 석탄난로 석유난로 가스오븐등의 사용에 의하여 주로 발생하며 일반 가정에서 보통 단기적으로 최고 농도가 5~10ppm에 이른다. 전통적인 온돌 가옥에서 연탄가스가 방안으로 유입되거나 차고에 인접한 곳에서 자동차 배기가스 등이 실내로 유입되어 25~50ppm 정도의 높은 농도에 이르는 경우도 있다. 일산화탄소는 혈액내의 헤모글로빈과 반응하여 酸素의 섭취를 방해하고 심한 경우 중독되어 사망하게 된다. 국내의 빌딩 위생 관리법(건축물의 위생적 환경의 확보에 관한 법률)은 실내공기의 일산화 탄소 농도를 10ppm이하로 규제하고 있다.<sup>3)</sup>

이산화질소(NO<sub>2</sub>)는 고온에서 화석연료를 연소할때 발생하며 무색, 무취, 무미의 기체로서 폐질환이나 시각 및 신경장애를 일으킬 수 있으며 높은 농도에서 인체에 치명적이다. 발생 정도와 환기율에 따라 다르나 실내 NO<sub>2</sub> 농도가 환경기준치인 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (50ppb)보다 높은 경우가 많다. 주방의 가스 오븐사용시 최고 농도는 200~700  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도에 이르는 것으로 측정되고 있다.<sup>4)</sup> 이와 같은 연소시 발생하는 가스는 강제 배기 시스템이 설치되어 실내에 부압이 걸리는 경우에도 연소덕트를 통하여 역유입되는 경우도 있다.

### 2.1.2 포름 알데히드와 석면

포름 알데히드는 가장 간단한 알데히드로서

인조 수지등의 제조에 많이 사용된다. 우레아 포름 알데히드 단열재나 접착제등을 이용한 합판등에 많이 포함되어 있어 실내로 방출된다. 특히 의류나 가정 잡화등을 취급하는 공장이나 상점에서는 실내공기중에 다량 함유되어 있는 경우가 많다. 포름 알데히드에 의하여 건강에 미치는 영향은 눈과 호흡기 계통에 따가움을 유발하며 오랜기간 노출되었을때 후두 상피에 종양을 발생시킬 수 있다.

또 천정이나 바닥타일과 管 단열재 등에 많이 사용되어 왔던 석면이나 글라스울은 피부에 접촉시 피부 가려움증이나 심한 경우 피부암을 유발하는 것으로 알려져 왔다. 1978년 미국에서는 EPA에 의하여 석면함유물질의 사용이 전면 금지되었다.

### 2.1.3 라돈과 방사성물질

라돈 222은 라듐226의 방사성 동위원소로 반감기가 3.8 일이며 바위나 토양등에 일부 함유되어 있고 이들로 만들어진 시멘트 등 건축자재에서도 발견된다. 환기가 잘 이루어지지 않는 지하통로나 지하공간 등에서 라돈의 농도가 일반적으로 높다. 보통 0.01~4pCi/l 정도의 농도를 갖으나 지역에 따라 상당한 차이를 보인다. 우라늄 광부들의 폐암발병율이 높게 집계된 것으로 미루어 라돈에 의한 영향으로 판단되고 있다.<sup>4)</sup> 일반 가정이나 사무실등에서 라돈에의 노출은 그리 크지 않다고 생각할 수 있으나 라돈에 노출되는 사람이 많고 시간이 길수록 비례하여 확률적으로 위험성은 커진다고 말할 수 있다.

### 2.1.4 담배연기

담배 환기는 수천종의 화학물질로 이루어져 있다. 담배연기에 의하여 주로 눈, 코, 목의 점막에 자극을 받는다. 일반적으로 담배연기에 의한 화학성분의 농도는 환경기준치 이하인 경우가 대부분이나 실내공기의 환기율과 흡연정도 등에 따라 변한다. 일반적으로 술집, 식당, 항공기, 사무실 등의 담배연기에 의한 CO농도와 부유 粉塵농도는 각각 2~35ppm, 70~1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 달한다.<sup>4)</sup> 흡연이 건강에 미치는 영향에 관한 연구가 많이 진행되어온 반면 흡연에 의한 담배연기가 비흡연자의 건강과 실내환경에 미치는 영향에

관해서 상대적으로 주목을 덜 받아왔다. 또 담배연기에 의한 악취는 오랜시간동안 불쾌감을 유발하며, 담배연기 자체의 제거시 필요한 환기량의 10배이상의 환기를 요한다.<sup>6)</sup> 이는 벽체나 실내 다공성 물질의 표면에 침투하여 확산되었다가 오랜시간 다시 공기 중으로 재확산되는 과정을 거치기 때문이다.

2.15 미생물

실내공기중에는 수많은 미생물과 병원균이 존재한다. 사람과 동물의 호흡시 배출되는 병원균에 의하여 병원이나 학교에서 폐염, 홍역, 천연두 등의 공기 전염병을 전염시킨다. 공기 조화기, 초음파 가습기, 필터 등을 통해서도 박테리아가 배양되고 실내로 전파된다. 잘 알려진 Legionnaire 病, 가습기 열병 등이 이와같은 박테리아에 의한 것이다. 그 밖에 곰팡이, 이끼, 포자, 곤충 등도

Table 1 Summary of indoor pollutants, emission source, and concentrations

	Major emission sources	Typical Indoor	US Standard (ASHRAE 62-1989)	국내환경기준	In/Out Ratio
SO <sub>2</sub>	Fuel combustion	0-15µg/m <sup>3</sup> (0-5ppb)	80µg/m <sup>3</sup> (yr) 365µg/m <sup>3</sup> (24hr)	0.15ppm 0.05(장기)	<1
O <sub>3</sub>	Photochemical reactions	0-0.01ppm	0.12ppm(1hr)	0.1ppm 0.02(장기)	<<1
CO	Fuel burning	5-50mg/m <sup>3</sup> (5-50ppm)	10mg/m <sup>3</sup> (8hr) 40mg/m <sup>3</sup> (1hr)	20ppm 10(장기)	>>1
CO <sub>2</sub>	Metabolic activity	2000-3000ppm	4500mg/m <sup>3</sup> (2500ppm)	-	>>1
NO	Fuel burning	-	500µg/m <sup>3</sup> (24hr) 1000µg/m <sup>3</sup> (30min)	-	>>1
NO <sub>2</sub>	Fuel burning	10-120µg/m <sup>3</sup>	100µg/m <sup>3</sup> (yr) (50ppb)	0.15ppm 0.05(장기)	>>1
Radon	Building construction materials, Water	0.01-4 pCi/ℓ	0.01WL	-	>>1
Formaldehyde	Particleboard Insulation, Smoking	0.01-0.5ppm	-	-	>1
Asbestos	Fire retardant water materials	0-1 fiber/mℓ	-	-	>1
Micro-organisms	People, Animal, Plants	-	-	-	>1
Aerosols	Consumer products	-	-	-	>>1
Particulates	Combustion, Human activity	10-1000µg/m <sup>3</sup>	300µg/m <sup>3</sup> (yr) 260µg/m <sup>3</sup> (24hr)	300µg/m <sup>3</sup> 150(장기)	<>1

주) ppm ×  $\frac{\text{molecular weight}}{24.450}$  × 10<sup>3</sup> = mg/m<sup>3</sup> WL=Working level of Radon

실내의 알레르기 유발 물질이다. 이들에게는 온도와 습도 조건이 매우 중요하며 약 25°C, 45% RH 이상의 고온 다습한 곳에서 잘 번식한다.<sup>5)</sup>

2.1.6 기타 오염물질

기타 일상생활에서 사용되고 있는 각종살포제, 플라스틱제품, 페인트, 악취제거제, 접착제 등의 사용으로 염소화합물, 아세톤, 암모니아, 톨루엔, 벤젠 등의 유기화합물들이 발생한다. 최근 이와 같은 제품의 사용이 급증하여 실내오염에 큰 영향을 미치고 있다. 또 연소나 인체의 활동에 의한 여러가지 종류의 분진이 발생하는데 공기중 부유분진이 많이 존재하면 불쾌감을 유발할 뿐 아니라, 이 중 0.3μm 이하의 미세입자들은 호흡기에 깊이 침투하며 다량 인체에 유입될 경우 각종 폐질환을 유발할 수 있다. 표 1은 각종 실내오염물질의 주된 발생원과 환경기준치, 그리고 실내외의 농도비 등을 보여준다.<sup>4,7)</sup>

2.2 감지 공기 질

실내공기의 질은 실내공기에 포함되어 있는 건강에 유해한 화학성분이나 미생물과 더불어 인체에는 유해하지 않으나 쾌적성에 영향을 미치는 즉 감지되는 공기의 질에 관하여도 고려되어야 한다. 사람은 주위 공기를 두가지 감각으로 감지한다. 냄새에 관한 감각은 후두내에 존재하며 공기중의 수십만 종의 냄새에 반응하고 일반 화학성분에 대한 감각은 코와 눈의 점막 전반에 걸쳐 있으며 공기중의 자극적 화학 성분을 감지한다. 주위공기가 신선하고 쾌적한지, 불쾌하고 자극적인지는 이 두가지 감각의 조합에 의하여 감지된다. 냄새에 관한 정도를 표시하는 것으로 Yaglou는 단위가 있으나 감지되는 공기의 질을 악취의 정도 만으로는 표시할 수 없고 감지되는 공기에 의하여 불쾌감을 표시하는 사람의 통계적 퍼센트인 불만도(Percent of Dissatisfaction)로 표시한다.<sup>8)</sup> 실내에 오래 머물러 있는 경우에는 감각이 주어진 상태에 적응하여 감각이 무뎠기 때문에 불만도(PD)는 처음 실내로 들어왔을 때 감지되는 공기의 질로 표시한다. 그림 1은 표준 성인(열적으로 평형상태에 있고 앉아있는 평균 성인)이 있을 때 환기량에 따른 실내공기에 대한

불만을 표시하는 사람의 퍼센트를 나타낸다. 인체로부터 여러가지의 배출물들이 발생하는데 이 배출물의 복합적인 강도를 Olf라는 단위로 표시하고 표준 성인으로부터의 배출율을 1 Olf로 정의한다. 인체이외로부터의 배출물의 오염원 강도는 표준 인체 배출물에 상당하는 양으로 표시한다. 예를 들면 담배를 피우는 사람의 오염원의 강도는 약 6 Olf에 해당된다고 한다.

이산화탄소는 인체로부터의 주된 생체학적 배출물이고 이는 사람의 신진대사량(Met)에 비례한다. 따라서 오염부하도 사람의 운동상태에 따른 신진대사량에 따라 변하고 흡연등에 의한 활동상태에도 의존한다. 일반적으로 실내공간에

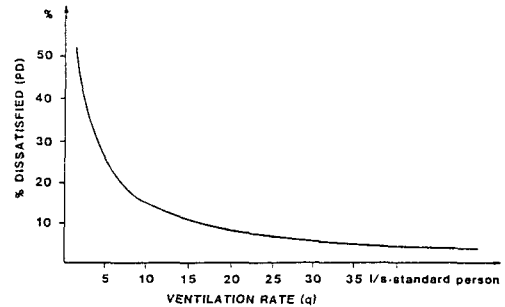


Fig.1 PD(percent of dissatisfaction) of a standard person (1 olf) at different ventilation rates.<sup>8)</sup>

$$PD = 395 \exp(-1.83 q^{0.25})$$

for  $q \leq 0.32 \text{ l/s} \cdot \text{olf}$   
 $PD = 100$  for  $q < 0.32 \text{ l/s} \cdot \text{olf}$

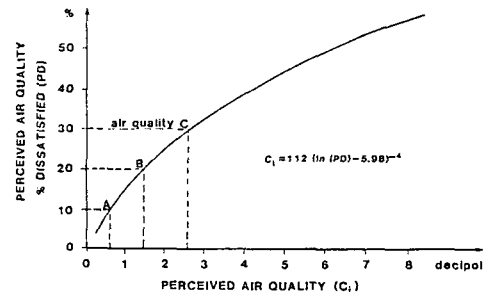


Fig.2 Relation between decipol and perceived air quality in PD.<sup>8)</sup>

함유되어 있는 낮은 농도의 이산화탄소는 전혀 감지되지 않으며 인체에도 무해하다. 강의실, 집회장, 극장등과 같이 사람이 밀집되어 인체의 배출물이 주된 오염원인 공간에서 신선외기의 환기량을 실제로 결정하고 실내환경을 제어하는데에 이산화탄소가 주요 계측 및 제어 지표로 채용되어 왔다.

또 감지공기의 질을 표시하는 단위로 1 Olf의 발생원에 대하여 10 l/s의 신선공기로 환기 되고 있을 때를 1 Decipol(0.1 Olf/l/s)로 정의한다. 그림 2는 Decipol에 대한 불만도(PD)와의 상관관계를 표시한다.<sup>8)</sup> 쾌적성 측면에서 환기율을 결정하기 위해서는 원하는 공간의 PD레벨을 우선 설정하여야 하는데 보통 A, B, C로 구분하여 10%, 20%, 30%의 세가지 레벨로 PD를 설정한다. 그러나 이러한 감지 공기질의 표시방법은 유독 오염물에 대한 영향은 포함되지 않으며 유해정도와는 정량적으로 연관성은 없기 때문에 쾌적성의 관점에서만 사용되어야 한다.

실내공기의 질 자체에 관한 고려와 별도로 인체에 미치는 영향은 총 인체 노출량을 고려하여야 한다. 총 인체 노출량은 실내농도 실외농도 그 사람의 행동양식에 의하여 결정된다. 최근의 연구 결과에 의하면 총 인체 노출량은 실외 농도보다는 실내 농도와 깊은 상관관계가 있다는 것이 보고되었다.<sup>10)</sup>

### 3. 실내 환경 제어

실내에 존재하는 각종 화학성분의 농도는 ppm 등의 단위로 표시하며 쾌적도를 나타내는 감지 공기질은 Olf의 단위로 표시할 수 있다. 실내의 화학성분의 농도나 감지공기 질 등 실내오염정도는 아래식에서와 같이 발생량, 환기량, 제거량 등 세가지 항에 의하여 결정된다고 할 수 있다.

$$V \frac{dC}{dt} = N + Q(C - C_{\infty}) - E$$

여기서 V는 실내체적, C는 농도, 그리고  $C_{\infty}$ 는 실외 농도를 표시한다. 또 N는 실내의 오염물질

발생율이고 Q는 환기율, 그리고 E는 공기정화기나 필터 등 오염물질 제거장치에 의한 제거율을 나타낸다. 따라서 실내공기 오염의 제어도 오염원의 발생 제어, 환기에 의한 희석 제어, 그리고 공기정화기 등에 의한 오염물질의 제거 제어등으로 나누어 생각할 수 있으며 이들 각각에 관한 일반적인 사항을 고찰하고자 한다.

#### 3.1 발생량의 제어

발생원의 오염물질 배출량 자체를 줄이도록 노력하는 것이 실내 오염제어에 가장 효과적인 방법이다. 발생원 자체에 의한 실내환경을 제어하기 위해서는 실내오염의 주된 물질을 파악하고 오염발생원을 정확히 이해하여야 한다. 또 실내 오염 농도를 예측하기 위해서는 각 발생원의 배출량을 정량화하여야 하는데 이에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 발생제어방식에는 발생을 제어 뿐만 아니라 오염원의 격리나 밀폐 그리고 국부배기 등이 있다. 토양이나 지하공간으로 부터 유입될 수 있는 라돈이나 포름알데히드를 지하 틈새등을 밀봉한다든지 또는 공공건물에서 흡연실을 별도 운영하고 생산공정에서 오염원이나 분진등의 발생원을 격리시킴으로서 오염물질이 전 실내공간으로 확산되는 것을 막는 방법이다. 또 조리기구나 난방기 주변에 배기 팬을 설치하여 국부배기를 함으로써 격리된 오염원에 의한 냄새나 그을음, 일산화탄소, 질산화물 등을 효과적으로 제거할 수 있다.

#### 3.2 희석 또는 환기량의 제어

실내 공기 제어에 가장 보편적으로 사용되는 방법으로 희석이나 환기에 의한 방법이 있다. 국부적으로 오염원이 침체되는 것을 방지하기 위하여 실내 기류를 형성하여 오염물질을 희석시키거나 창문이나 문, 그리고 굴뚝 등을 통하여 건물 내외의 온도차 또는 바람에 의한 압력차 등에 의한 자연 환기와 환기팬에 의한 강제 환기에 의하여 실내의 오염농도를 제어한다. 일단 오염원이 전 실내공간에 확산되면 환기에 의한 효과는 환기량을 증가시킴으로서 실내의 농도를 규제치 이하로 유지시킬 수 있다. 그러나 환기

Table 2 Outdoor levels of air quality

	Perceived air quality	CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CO(mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> )
At Sea	0	680	0-0.2	2	1
In Towns (Good)	<0.1	700	1-2	5-20	5-20
(Poor)	>0.5	700-800	4-6	50-80	50-100

량에 비례하여 냉방비용이나 난방에 필요한 에너지가 증가하기 때문에 보다 효과적인 환기를 위해서는 급기구나 배기구의 위치에 따른 실내 기류의 적절한 유도를 통하여 같은 환기량으로도 환기효율을 증가시킬 수 있도록 하여야 한다. 최근 송풍전력과 냉난방 에너지 절감을 위한 혼합효율이나 환기효율에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>11)</sup> 또 실외로 배기되는 공기로부터의 열회수를 위하여 공기대 공기 열교환기를 설치하기도 한다. 환기 시스템에 필터 등 제거장치를 설치하여 운용할 수도 있으며 환기효과는 실외 공기질에 크게 의존한다. 표 2는 대표적인 실외의 공기상태를 보여준다.<sup>8)</sup> 각 오염물질의 주된 발생위치와 제거장치 유무에 따라 실내의 농도가 실외의 농도보다 더 높을 수도 있고 낮을 수도 있다. 각 오염물질의 실내외의 농도비는 앞서 언급한 표 1에 잘 나타나 있다. 일반적으로 주 오염원이 실외에 있는 SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> 등은 실내농도가 실외보다 낮으며, 실내에 주 오염원이 있는 일산화탄소, 이산화질소, 포름알데히드와 부유입자 등은 실외보다 높게 나타난다. 건축물의 표면이나 기타 자재의 표면에서의 화학 반응이나 확산에 의하여 실내에 능동적 오염제거가 이루어지지 않는 경우에도 실내 농도가 낮은 경우가 있다.

### 3.3 제거항의 제어

에어클리닝 시스템을 이용하여 실내의 분진이나 화학물질 등을 제거하거나 제습기에 의하여 제습을 하는 등 오염물질 제거 장치에 의한 실내환경 제어 방법이다. 필터는 배기구 덕트에 설치하거나 중앙 급기방식에는 공기조화기에 설

치하여 주로 입자형태의 오염물을 제거한다. 필터에는 섬유질로 이루어진 필터와 고효율(HEPA) 필터, 그리고 전기 필터가 있다. 활성화탄소를 이용한 필터는 입자 이외에도 냄새나 일산화탄소나 유기물을 제거하는데 이용된다. 또 금속필터는 주방에서 발생하는 그리스 형태의 입자를 제거하는데 효율적이다. 이와같은 오염물 제거장치이외에도 건축물의 벽체나 가구등의 표면도 일시적 제거원으로 작용을 한다. 오염물질의 농도가 높을 때 다공성 물체의 표면을 통하여 확산되었다가 실내농도가 낮아지면 오랜시간에 걸쳐 벽면으로 부터 재확산(Offgassing) 된다. 벽체와의 화학반응이 있는 경우도 있으며 주로 오염물질의 순간적인 고농도를 시간적으로 평준화하여 주는 역할을 한다. 물체의 표면에서의 확산과 재확산에 의한 실내농도에 미치는 영향과 정량화에 관한 연구는 아직 미미한 실정이다.

## 4. 결 론

실내환경은 유해물질의 농도가 기준치 이하로 유지되어야 함은 물론 쾌적성 측면에서도 고려되어야 한다. 건축물의 용도에 따라 주된 실내 오염물질이 상이하기 때문에 발생 오염원을 찾아 주 오염원의 제거에 주목하여야 하고 사람이 많이 모이는 장소에서는 주로 쾌적성의 측면에서 실내환경이 고려되어야 한다. 격리나 국부환기에 의한 방법이 매우 우수한 실내오염제어 방법이며 필요한 경우 오염물질의 제거장치를 설치하여야 한다. 가장 보편적인 실내오염 제어 방법인 환기는 유해측면과 쾌적측면을 만족시키는 환기량

중 더 큰 쪽을 사용하여야 하고, 실내 기류 및 외기 유입구의 적절한 선정을 통하여 환기효율을 극대화하고 신선외기를 유입하도록 하여야 한다.

실외환경에 대한 인식과 더불어 80% 이상의 생활을 영위하는 실내환경에 대한 인식을 보다 새롭게 하여야 하겠다. 냉난방에 의한 열적 부하 뿐만 아니라 실내 오염부하에 대한 대책도 고려하여 건축설계가 이루어져야 할 것이고 오염원의 발생과 제어에 관한 보다 정량적인 연구가 지속되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. Leeds L. W, 1868, "Lectures on Ventilation at Franklin Institute, 1866-67", New York, John Wiley and Sons, pp.8-9.
2. 오명도, 1990, "실내공기질(IAQ) 유지를 위한 오염제어 및 Air Cleaning 시스템", 공기조화·냉동공학회지, 제19권, 제6호, pp.342-351.
3. 에너콘 엔지니어링, 1989, "환경계측", 냉동공조기술, 제6권, 제5호, pp.80-87.
4. Spengler, J. D. and Sexton K., 1983, "Indoor Air Pollution: A Public Health Perspective", Science Vol.221, pp.9-17.
5. Woods, J. E, 1983 "Sources of Indoor Air Contaminants", ASHRAE Trans., Vol.89, Pt, 1b, pp. 462-497.
6. 이광수, 장태준, 1990, "쾌적환경과 담배연기", 공기조화·냉동공학회지, 제19권, 제6호, pp. 337-341.
7. ASHRAE, 1989, ASHRAE Standard 62-1989, "Ventilation for Acceptable Air Quality", Atlanta, American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
8. Commission of the European Communities, 1992, "Indoor Air Quality and Its Impact on Man", Report No 11: 'Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings'.
9. 홍석남, 1992, "실내공기 오염대책", 공기조화 냉동공학회지, 제21권, 제5호, pp.374-377.
10. Dockery, D. W. and Spengler, J. D., 1981, J. Air Pollut. Control Assoc. Vol.31, p.153.
11. 한화택, 1992, "환기효율의 수치해석적 접근", 공기조화·냉동공학회지, 제21권, 제4호, pp. 271-281.
12. 김윤신, 1990, "우리나라의 실내공기오염현황과 대책", 공기조화·냉동공학회지, 제19권, 제6호, pp.331-336.
13. 방규원, 1989, "실내환경오염과 제어방법", 냉동공조기술, 제6권, 제5호, pp.38-43.