

사무소 건물의 실내 공기환경 실태

임 태 빈
삼성건설 ROCA T/F 팀
선임연구원 / 공학박사

1. 머리말

최근 산업화, 정보화의 진전에 따라 고도의 복합적인 기능을 갖는 인텔리전트빌딩 및 대형 건축물의 신축이 증가일로에 있다. 그러나 에너지파동 이후 에너지절약을 위한 조치로서 건물내의 열손실 및 열취득 방지를 위한 기밀성 및 단열성 확보와 도입외기량의 감소 기타 오염발생원의 증가에 따라 실내공기가 오염되어 재실자들이 불쾌감을 느끼는 소위 빌딩형 증후군(Sick Building Syndrom : SBS)이 나타나고 있다.

현대인은 하루 중 거의 80% 이상을 실내에서 생활하고 있는 것으로 조사되고 있으므로 실내환경이 인체에 미치는 영향은 상당히 큰 것으로 알려져 있다. 특히 실내환경요소중 공기오염은 작업자가 장시간 폭로되어 있을 경우 직접적으로 인체에 영향을 미칠 수 있다. 이에 따라 실내 공기질(Indoor Air Quality : IAQ)의 개선에 대한 요구는 점차 증가하고 있는 실정으로 신축 인텔리전트빌딩 등에서는 실내 작업자들의 업무효율 증진 등을 위하여 쾌적한 실내환경의 조성이 절실히 필

요시 되고 있다.

현재 쾌적한 실내환경 조성을 위한 실내 공기질에 관한 연구는 건축환경공학, 의학 등 여러분야에서 연구되고 있으나, 아직은 초기 단계로 실내 오염발생원에 대한 측정평가 및 실태파악과 구체적인 기준설정이 선행되어야 하고 추후 그에 따른 오염제어대책이 수립되어야 할 것이다. 본고에서는 이와 같은 관점에서 실내 오염발생 물질과 인체에의 영향을 고찰함과 아울러 사무소 건물의 실내 공기질 측정사례를 통하여 실내 공기환경실태의 일단을 파악함으로써 향후 공기청정계획시의 참고자료를 제공코져 한다.

2. 실내 공기오염물질과 인체의 영향

실내 공기오염 물질의 발생원으로는 인체 및 사람의 활동, 건축자재, 유지관리 작업, 살충제류 등이 있으며 이들로 부터 발생하는 오염물질은 표 1에 나타내듯이 각종 유해가스, 미생물, 포름알데히드, 아스베스토 등 여러가지가 있다. 그중에 인체에 큰 영향을 미치는 오염물질을 요약 정리하면 다음과 같다.

표 1 실내에서 발생하는 주요 오염물질

발생원		실내오염물질
인체	호흡 채채기, 기침, 대화 피부의류 화장품	CO ₂ 수증기, 냄새 세균입자 피부조각, 비듬, NH ₃ , 냄새 섬유, 모래먼지, 세균, 곰팡이 냄새, 각종 미량물질
사람의 활동	흡연 보행 등의 동작 연소기기 사무기기	분진, 타아르, 니코틴, 각종발암물질 모래먼지, 섬유류, 세균, 먼지 CO ₂ , CO, NO, NO ₂ , SO ₂ , C _x H _y , 매연, 냄새 NH ₃ , O ₃ , 용제류
건축자재	합판류, 내화재 단열재, 시공	HCHO, Asbestos, 유리섬유 Rn, 접착제, 용제
유지관리	작업, 재료	모래먼지, 분진, 세제, 용제, 곰팡이, 세균
살충제류	직접 재비산	분사제, 살충제, 소독제, 방향제 살충제, 살균제

(1) 이산화탄소(CO₂)

- 일반적으로 실내공기의 환기상태를 평가하는 지표로 이용
- 고농도시 두통이나 현기증 발생
- CO₂ 자체만으로는 중독 또는 신체장애 일으키지 않음

(2) 일산화탄소(CO)

- 연료가 불완전 연소됨으로써 발생(가정의 취사, 난방, 흡연 등)
- 혈액중의 헤모글로빈과 결합력이 높아서 혈액의 산소운반 기능 저해 → 질식 유발

(3) 이산화질소(NO₂)

- 취사, 난방용 기구사용, 흡연, 실내 건축자재 및 외부유입 오염물질 등으로 발생

- 일산화탄소보다 독성이 4배정도 강함, 500ppm이상의 고농도시 사망

(4) 아황산가스(SO₂)

- LPG나 도시가스의 연소에 의해 발생
- 고농도에 폭로되었을 경우 호흡불능 또는 피부염증을 유발
- 식물에 대한 성장변화나 결실감소

(5) 담배연기

- 실내에서 배출되는 오염물질중에 가장 큰 비중을 차지함
- 미립자 성분 : 타르, 니코틴, 톨루엔, 페놀 등
- 기체성분 : 일산화탄소, 이산화탄소, 암모니아, 메탄 등
- 폐 및 심장질환과 폐암을 유발, 감염저항성의 감소

- 비흡연자에 대한 환경흡연 (Environmental Tobacco Smoke) 문제유발

(6) 부유분진

- 기관지, 폐 등에 흡착하여 염증성, 알레르기성 변화 진폐증 유발
- 분진입경 0.5~5.0 μ m 정도가 침착성이 가장 높다.

(7) 석면(아스베스토스)

- 광물섬유로서 단열재로 사용되는 석면에서 석면 섬유형태의 미세한 가루로 방출
- 피부질환 호흡기질환 유발, 직업병(석면증) 유발

(8) 라돈

- 토양, 시멘트 등의 건축자재, 우물, 동굴 등에서 방출
- 공기보다 9배 무거워서 지표면에서 존재
- 낭핵종으로 붕괴되어 인체에 흡입되어 암의 발생율을 증가시킴

(9) 포름알데히드

- 건축자재와 섬유옷감에서 발생
- 단기간 폭로되었을 때 기침, 설사, 구토, 피부질환 등 유발(발암성)

(10) 미생물

- 세균, 곰팡이, 각종 알레르기성 물질, 화분, 식물의 흙씨 등
- 알레르기성 질환, 호흡기질환 유발
- 레지오날레균 (Legionnaire's disease)

(11) 냄새(악취)

- 인체 또는 각종기기 사용과 같은 인위적 활동에 기인
- Masking 제도 : 재실자에게 좋은 냄새를 적극적으로 부가

3. 사무소 건물의 공기환경 측정평가

3.1 실측개요

1) 실측 대상건물

측정대상 건물은 표 2에 나타내듯이 1993년에 신축된 서울시 강남구 소재 사무소 전용 건물로 지상 21층, 지하 7층, 바닥면적 1,094m², 재실자 정원 130명인 SRC구조건물이며 공조방식은 그림 1과 같이 각층 UNIT VAV+FPU(Fan Power Unit)방식을 채용하고 있다. 냉방기의 측정은 15층 난방기의 측정은 14층에서 실시하였다.

표 2. 측정 대상건물의 개요

위 치	서울시 강남구
준 공 년 도	1993년
연 면 적	36,541m ²
건 물 구 조	SRC 구조
층 수	지상 21F/지하 7F
HVAC 시 스템	각층 UNIT VAV+FPU
측 정 층	15F(냉방기) 14F(난방기)
사무실 바닥면적	1094m ²
재 실 자 정 원	130 명

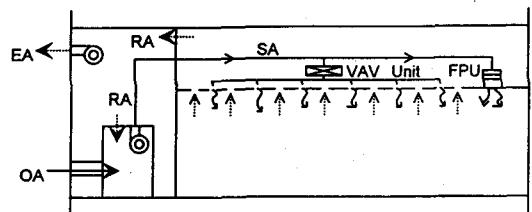


그림 1 측정대상건물의 공조방식

2) 실측 방법

- (1) 측정시기 : 냉방기는 1994년 8월 8일~12일, 난방기는 1995년 2월 21일~25일로 각 5일간 매일 06:30~16:30 사이에 실시하였다.
- (2) 측정항목 및 측정기기 : 실내환경 요소별 측정항목과 측정기기를 표 3에 나타낸다. 측정항목으로는 온도, 상대습도, 부유분진농도, 일산화탄소농도, 이산화탄소농도, 오존농도 및 부유미생물

농도이며, 측정시의 실내상태를 파악하기 위하여 실내환기량, 재실자수, 흡연율 등을 조사하였다.

- (3) 측정점의 위치 : 측정점의 위치는 그림 2에 나타내듯이 사무실내 10개의 대표점을 선정하여 작업시의 높이인 110cm 높이에서 측정을 실시하였으며 ●는 매시간별 측정점을 ▲는 공기환경요소의 수평분포를 파악하기 위한 측정점을 나타낸다.

표 3 측정항목 및 측정기기

구 분	측정항목	측 정 기 기	측정위치
온 열 환 경	건 구 온 도	아스만 건습계	<ul style="list-style-type: none"> • 측정실 대표점 (10점) • 측정점 높이 바닥위 110cm
	상 대 습 도	아스만 건습계	
	글 로 브 온 도	글로브 온도계	
	기 류 속 도	Anemometer(Rion)	
가 스 상 물 질	CO 가 스	Multi-gas 분석기 - Type 1302(B & K)	<ul style="list-style-type: none"> • 측정점 높이 바닥위 110cm
	CO ₂ 가 스	Multi-gas 분석기 - Type 1302(B & K)	
	O ₃ 가 스	O ₃ monitor - 1003AH (DASIBI)	
입 자 상 물 질	부 유 분 진	디지털 분진계 - P-5H형 (SIBATA)	
환 기 량	SF ₆ 농 도	Multi-gas 분석기 - Type 1302(B & K)	
미 생 물	부 유 미 생 물	MG-Sampler(SUMILON)	• 대표점 (2점)
냄 새	재실자 설문조사	설문지	
실 상 황	재실자수·흡연율·용적	Counter, 줄자	• 측정실

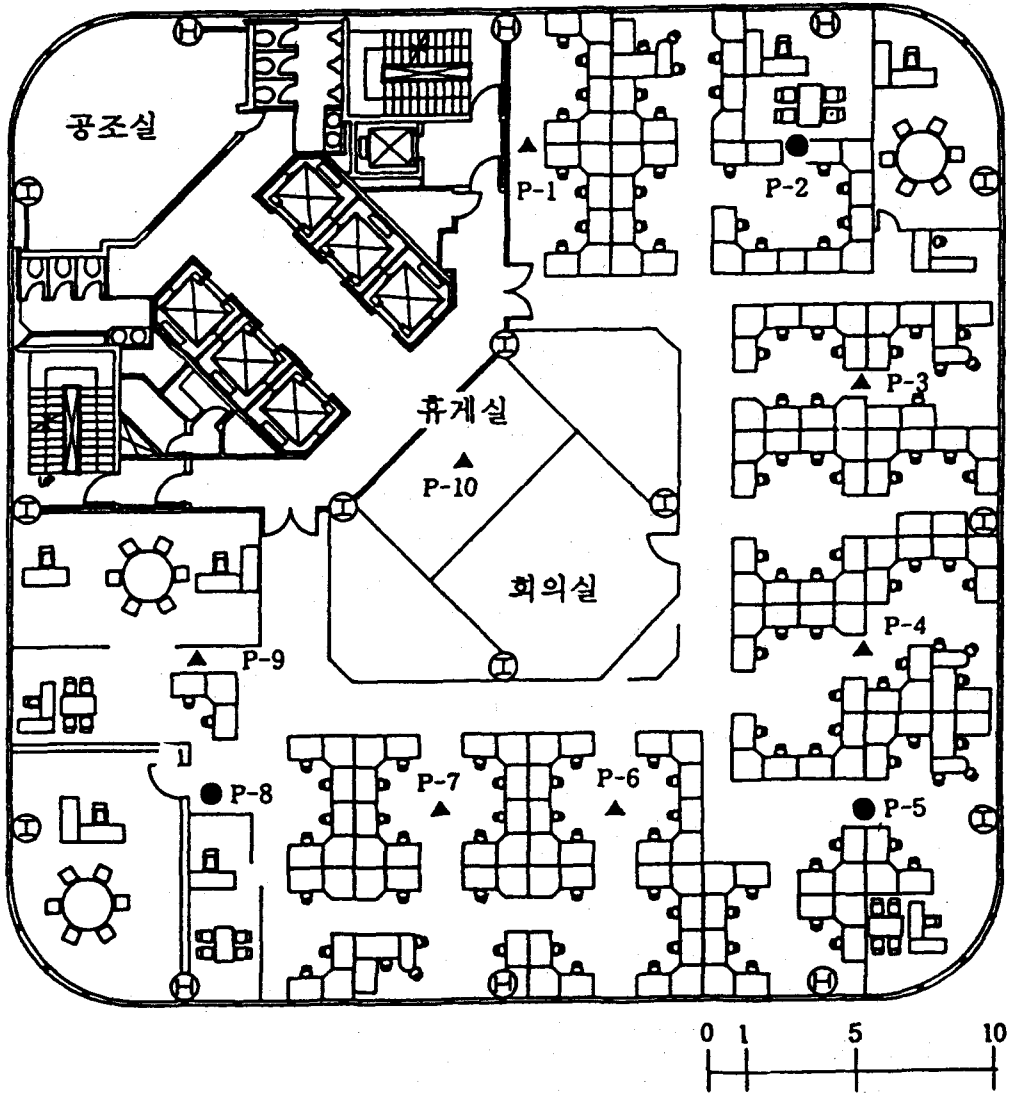


그림 2 측정점의 위치

(4) 측정방법 : 외기환경요소는 옥상에서 측정하였으며 측정시간은 재실자의 출근전 30분부터 퇴근후 30분까지 매 1시간간격으로 실시하였다. 부유세균은 MG-Sampler를 사용하여 실내의 대표점 2곳을 선정하여 오전(09:30)과 오

후(14:30)에 각 1회씩 1시간동안 연속 측정하였다. 또한 실내의 환기회수는 SF₆가스를 tracer gas로 이용하여 “농도감소법(Concentration-Decay Method)”에 준해 1일 3~4회 측정하였다.

3.2 실내 공기환경 측정결과

실내환경요소별 측정결과를 표 4에 나타낸다. 환기회수는 냉방기에 1.3회/h, 난방기에 1.4회/h로 조사되었으며 1인당 외기도입량은 냉방기 30m³/h·p, 난방기 50m³/h·p 정도로 계산되었다. 또한 실내공기환경요소의 대부분은 건축법규 기준치 이내로 유지되고 있으

나, 난방기의 실내 상대습도는 평균 22% 정도로 낮게 나타나고 있어 겨울철에 공조기에 의한 가슴이 충분히 이루어 지지 않고 있음을 알 수 있다. 실내공기환경을 구체적으로 파악하기 위하여 시간경과에 따른 환경요소의 변화(공기환경요소의 경시변화)를 고찰하면 다음과 같다.

표 4. 실내환경요소별 측정결과

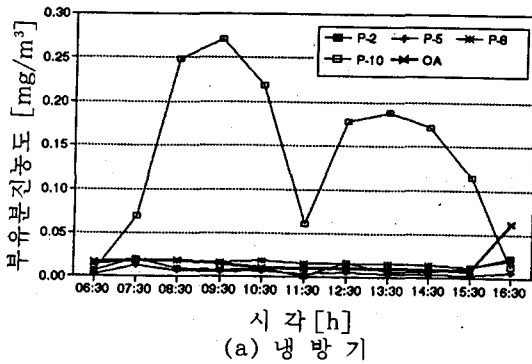
()은 최소치와 최대치

구 분	냉 방 기 8. 12		난 방 기 2. 12		건축법규 기준 (국내) ⁽¹⁾
	실 내	외 기	실 내	외 기	
온 도 [°C]	26.4 (24.9~28.6)	32.3 (30.1~34.8)	23.9 (21.9~25.2)	2.8 (-1.2~5.8)	.
상대습도[%]	53.3 (48.0~68)	57.6 (49.0~63.0)	21.6 (14.0~38.0)	55.3 (43.0~66.0)	40~70
글로벌 온도 [°C]	26.6 (26.2~27.5)	.	24.2 (22.4~25.4)	.	.
기류속도[m/s]	0.07 (0.01~0.20)	.	0.10 (0.01~0.41)	.	0.5 이하
부 유 분 진 [mg/m ³]	0.012 (0.001~0.023)	0.012 (0.006~0.019)	0.009 (0.001~0.020)	0.030 (0.015~0.043)	0.15 이하
CO 가 스 [ppm]	1.24 (0.60~1.80)	1.11 (0.70~1.60)	2.40 (1.7~3.95)	1.94 (1.09~3.78)	10 이하
CO ₂ 가 스 [ppm]	772.5 (480.0~1000.0)	427.9 (385.0~453.0)	838.5 (586.5~1050.0)	558.1 (483.3~701.7)	1,000 이하
CO ₃ 가 스 [ppm]	.	.	0.029 (0.020~0.040)	0.022 (0.017~0.030)	.
부 유 세 균 [CFU/h]	874.3 (140~1,210)	412	76.5 (20~145)	111	.
환 기 회 수 [회/h]	1.3	.	14	.	.

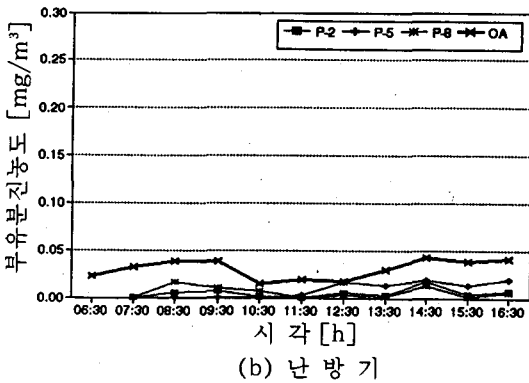
(1) 일본의 실내공기환경 기준과 국내의 건축법규기준은 동일함.

1) 부유분진농도

그림 3은 시간경과에 따른 실내외의 부유분진농도 변화를 나타낸 것으로 그림에서 P-2, P-5, P-8, P-10은 실내에서의 부유분진(Total Suspended Particle : TSP)농도를 나타내고 OA는 도입외기(Out Air)의 부유분진농도를 나타낸다. 실내의 부유분진농도는 냉난방기 전 시간대에 걸쳐 0.02mg/m³ 이하로 유지되고 있으며, 외기의 부유분진농도와 유사하거나 낮은 값을 나타내고 있다. 휴게실인 P-10의 부유분진농도는 금연을 실시하고 있는 사무실내의 농도와 많은 차이를 나타내고 있으며 특히 재실자가 많은 08:



(a) 냉 방 기



(b) 난 방 기

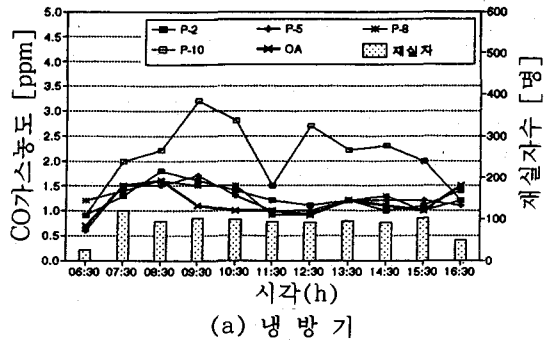
그림 3 부유분진농도의 경시변화

30~10:30과 12:30~14:30 사이에 최대 0.27mg/m³으로 기준치를 초과하는 농도를 나타내고 있다. 이는 재실자들의 활동에 의한 먼지의 비산과 휴게실에서의 흡연에 의한 영향이라 생각된다.

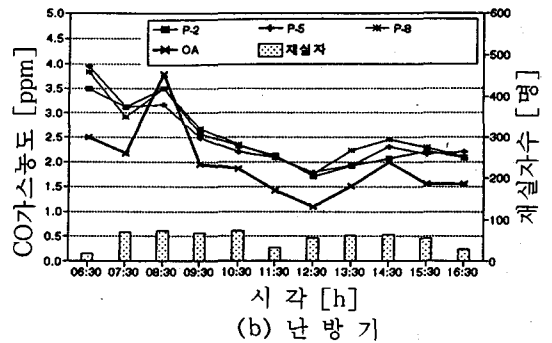
(b)의 그림은 휴게실에도 금연이 확대 실시된 후인 난방기의 부유분진농도를 나타낸 것으로 실내의 부유분진농도는 외기농도보다 낮게 나타나 필터에 의한 부유분진의 제거가 어느 정도 이루어지고 있는 것을 알 수 있다.

2) CO가스 농도(일산화탄소농도)

실내외의 CO가스농도의 변화와 재실자수의 변동을 그림 4에 나타낸다. 외기의 CO가



(a) 냉 방 기



(b) 난 방 기

그림 4 CO가스농도의 경시변화

스농도는 냉방기에 0.7~1.6ppm, 난방기에는 1.2~3.8ppm으로 난방기가 다소 높은 경향을 보이며 각각의 실내가스농도는 외기와 유사한 변화패턴을 보이고 있다. 또한 냉방기에 휴게실(P-10)에서는 외기농도보다 0.5~2ppm정도 높게 나타내고 있으나 이는 재실자수와 유사한 패턴을 보이고 있어 휴게실내의 흡연에 의한 CO가스발생이 원인으로 판단된다.

3) CO₂가스 농도(이산화탄소 농도)

그림 5는 실내의 CO₂가스 농도와 재실자수의 변화를 나타내고 있다. 외기의 CO₂가스

농도는 냉방기에는 400ppm 전후로 유지되고 있고 난방기에는 500~700ppm으로 높은 경향을 나타내고 있다. 실내의 CO₂가스 농도는 재실자들의 출근시간 전인 06:30에는 외기농도와 비슷한 경향을 보이나 재실자가 증가하면서 점차 농도가 높아지고 중식시간인 12:00전후 재실자의 감소에 따라 농도가 감소되었다가 다시 상승하는 패턴을 나타내고 있다. 냉방기에는 휴게실(P-10)의 농도가 가장 높으며 측정점별로 가스농도 분포가 실내에서 불균등하게 나타나고 있다. 이는 장소에 따른 오염발생량과 가스농도의 불균등 확산에 의한 것으로 재실자의 분포와 급배기구의 위치를 적정히 선정함으로써 오염물질의 급기에 의해 빨리 희석시키거나 배출될 수 있도록 설계상의 세심한 배려가 필요하다.

4) 부유미생물수

측정일별 부유미생물수의 평균치와 최대치, 최소치를 그림 6에 나타낸다. 외기의 부유미생물수는 냉방기의 경우 412CFU/h(Colony Forming Unit per hour)이며, 난방기에는 111CFU/h로 나타났는데 이는 외기의 온도나 습도에 따라 차이를 보이는 것으로 생각된다. 실내 부유미생물수는 냉방기의 경우 측정기간동안 140~1210CFU/h로 나타났으며, 난방기의 경우는 20~145CFU/h로 측정되어 실내의 부유미생물수도 외기와 마찬가지로 난방기의 경우가 상대적으로 매우 낮은 수치를 보이고 있다.

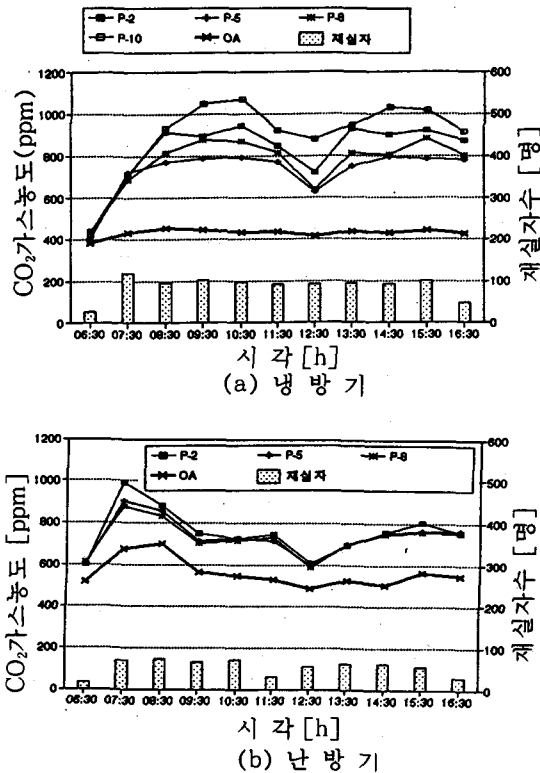


그림 5 CO₂가스농도의 경시변화

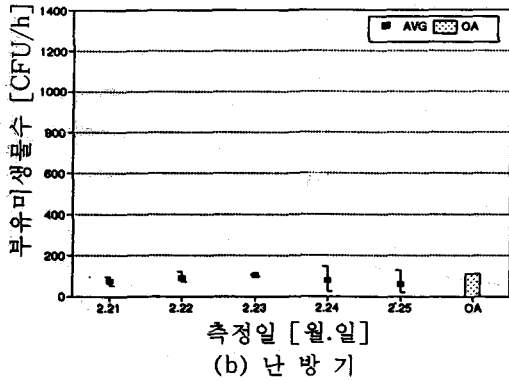
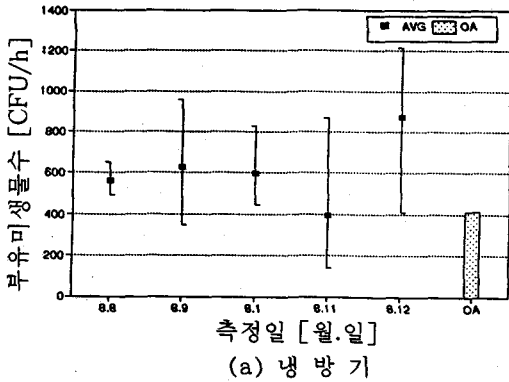


그림 6 측정일별 부유미생물수

3.3 급배기에서의 공기오염물질

급배기의 공기오염물질 측정평가는 실내공기환경의 문제점에 대한 원인 및 발생경로를 파악하여 대책을 수립하는데 반드시 필요하다. 측정방법으로는 외기도입구에서들어오는 외기농도, 공조기를 통해 필터링되어 실내로 취출되는 급기의 농도, 실내로부터 환기되어 나가는 배기의 농도를 동시에 측정하여야 한다. 측정위치별 공기환경요소를 살펴보면 다음과 같다.

1) 급배기의 부유분진농도

그림 7은 급기덕트와 환기덕트에서 측정된 결과를 실내 부유분진농도 평균치와 비교한 것이다. 냉난방기 전 시간대에 걸쳐 급기의 부유분진농도는 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 이하로 유지되고 있으며 배기가 급기에 비하여 다소 높은 농도를 나타내고 있다. 또한 급기덕트내의 부유분진농도는 외기농도보다 낮게 나타나고 있는데 이는 공조기내에 설치되어 있는 프리 필터(NBS 85%) 등에 의해 입경이 큰 분진 등이 제거되고 있는 것으로 판단된다. 또한 환기덕트내의 부유분진농도는 실내농도보다 낮거나 유사한 분포를 나타내고 있는데 이는 환기덕트내에서의 관내침착 등에 의한 것으로 사려된다.

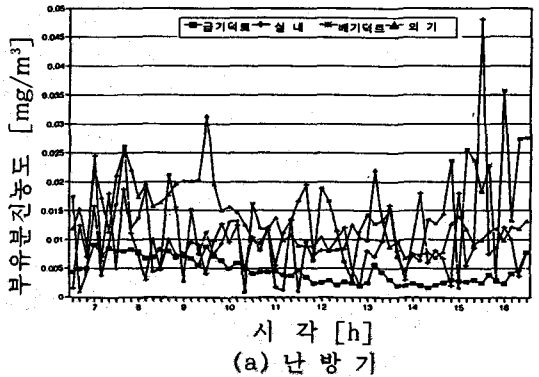
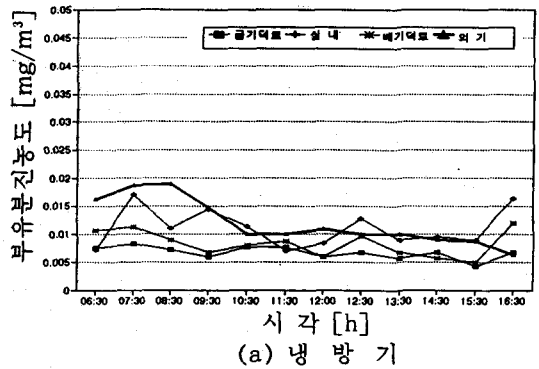


그림 7 측정위치별 부유분진농도

2) 급배기의 CO가스 농도

급기 및 환기덕트내에서 CO가스 측정된 결과를 그림 8에 나타낸다. 급배기 및 실내의 CO가스 농도는 모두 큰 차이없이 외기의 농도변화와 유사한 패턴을 나타내고 있어 외기농도에 큰 영향을 받고 있는 것으로 생각된다. 또한 급기덕트내의 CO가스 농도는 외기농도보다 다소 높게 나타나고 있는데 이는 부유분진의 경우와 달리 외기 도입과정에서 CO가스를 제어하지 못하고 실내에서 발생한 CO가스가 환기덕트를 통하여 공조기내에 흡입되기 때문이라 판단된다. 난방기의 CO가스농도 분포는 냉방기에 비해 상당히 높게 나타나고 있는데 이는 출근시간대인 07:00

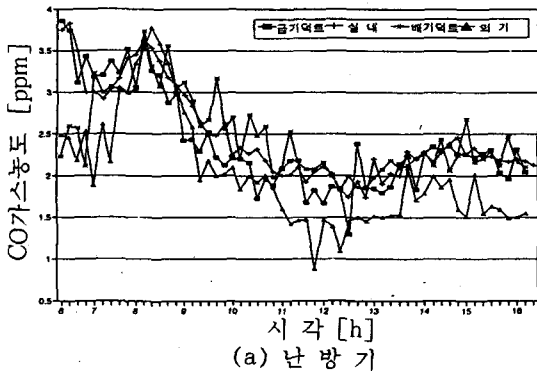
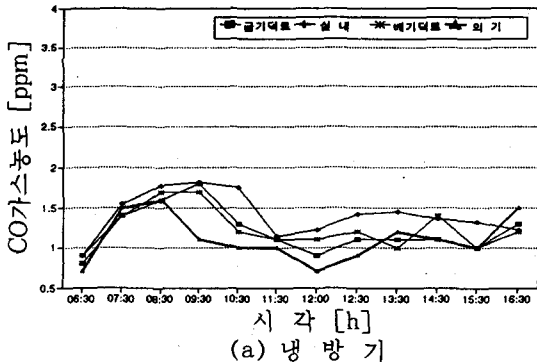


그림 8 측정위치별 CO가스농도

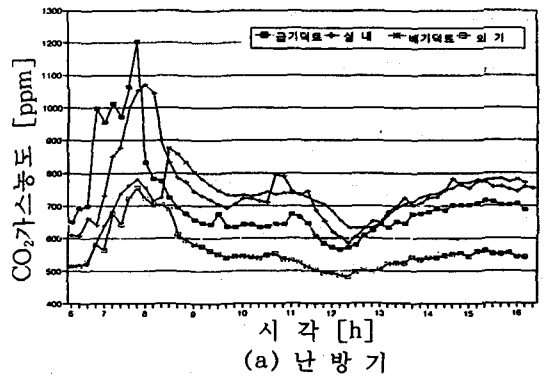
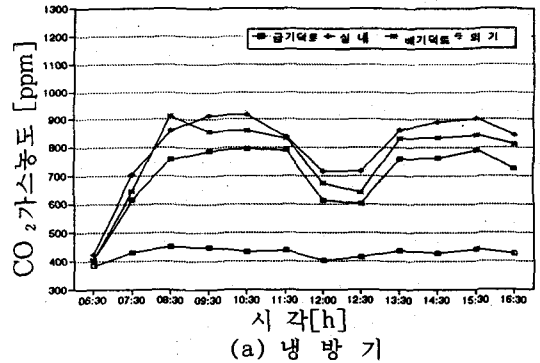


그림 9 측정위치별 CO₂가스농도

~09:00까지 계속 농도가 증가한 외기의 CO가스가 제어되지 않고 실내로 유입되기 때문이다.

3) 급배기의 CO₂가스 농도

그림 9는 급기덕트와 환기덕트내에서 측정된 CO₂가스농도를 비교하여 나타낸 것이다. 냉난방기 모두 급배기 및 실내의 CO₂가스농도는 전 시간대에 걸쳐 유사한 변화패턴을 보이고 있다. 냉방기의 경우, 각각의 농도는 실내가 424~916ppm, 급배기가 401~795ppm, 배기가 406~860ppm의 농도로 나타났다. 따라서 실내의 농도와 배기의 농도는 유사한 값을 나타내 실내에서 발생한 CO₂

가스가 환기에 의해 배출되고 있는것을 알 수 있다. 또한 급기의 농도는 공조기내에서 외기와 혼합되어 실내의 농도보다 낮은 값을 유지하는 것으로 조사되었다.

난방기의 경우, 출근시간대에 급격히 높아진 외기 CO₂가스 농도의 영향을 받아 실내 CO₂가스 농도도 높아지지만 시간이 경과함에 따라 점차 안정되는 경향을 보이고 있다.

4. 맺음말

본고에서는 최근 신축된 사무소 전용건물의 실내 공기환경실태를 중심으로 실내 공기오염물질이 인체에 미치는 영향에 관하여 고찰하였다. 실내 공기환경실태를 파악한 결과, 각 실내 환경요소가 법적기준을 만족하고 있는 것으로 나타나고 있다. 그러나 법적기준 그 자체는 공기환경을 계획함에 있어 지켜야 할 필요 최소한의 것이지 이 상태를 양호한 환경이라 평가하기에는 무리가 있다. 좀더

정확한 평가를 위해서는 실내 공기환경에 대한 재실자의 설문조사 방법을 병행 실시함으로써 인간이 느낀 감각량과 측정장치에 의해 측정된 물리량을 종합적으로 검토하는 것이 바람직할 것이다. 그리고 이와같은 자료의 축적과 인체에 대한 정확한 영향 파악을 통하여 관련기준에 대한 검토가 행해져야만 할 것이다. 끝으로 본고에서는 지면관계로 실내 공기환경 기준에 대한 검토를 못한 아쉬움이 있으나 다음 기회로 미루고져 한다.

- 참고 문헌 -

1. 삼성건설, 한양대 산학연구보고서, "건축물의 실내공기환경 (IAQ) 평가에 관한 연구(I)", 1995. 7.
2. 임태빈, "공기조화설비에서의 공기청정기술", 공기청정기술, Vol. 7, No. 1, pp. 29~41, 1994. 3.

투고 환영

계간 「공기청정기술」지는 클린룸 업계의 발전을 위하여 보다 많은 클린룸 관련 기술자 여러분의 투고를 기다리고 있습니다.

각종 기술자료를 보내주시면 엄선하여 본 연구조합 기술지에 게재하여 드리고 소정의 고료를 보내드리겠습니다. 또한 본 기술지는 95년도부터는 "업계동정"란을 신설하여 업계의 단신을 수시로 접수, 게재코저하오니 우리 모두의 업계를 가꾼다는 마음으로 사소한 소식이라도 송부하여 주시기 바랍니다.