

지하상가의 공기환경 측정 및 환기성능 평가에 관한 연구

윤 동 원
대전공업대학교
건축공학과 / 교수

1. 서론

도시의 인구 집중과 지가의 양등으로 도시 공간의 입체적인 이용이 확대되면서 건물의 대형화, 고밀도화 되고 있으며, 이와 더불어 지하상가, 지하철, 지하주차장, 지하창고와 안전시설, 지하공장 등과 같은 지하공간의 활용이 불가피하게 되었다.

지하공간은 지상공간에 비하여 환기, 채광, 습도 등의 환경적인 측면에서 다소 문제는 있으나 인간에게 심리적인 안정감과 온열 쾌적감을 제공할 수 있는 큰 장점을 지니고 있다. 각종 안전설비나 환기시설의 미비, 또는 불량으로 인하여 밀폐된 공간에 유독가스나 부유분진 등이 정체될 경우에 재실자에게 충분한 안전성을 확보할 수 없게 된다.

지하 상가는 한정된 공간에서 장시간 생활하는 재실자를 비롯하여 고객, 보행자등 불특정 다수가 이용하며, 용도가 다양하기 때문에 실내의 환경을 효과적으로 관리하기는 쉽지 않다. 특히 대부분의 지하상가는 도심지의 도로와 접하게 되므로 자동차 매연이나 먼지등에 쉽게 노출될 수 있다. 이러한 관점에서 지하상가내의 공기오염은 심각한 사회문제로

대두되고 있으며, 쾌적한 실내 환경을 유지하기 위해서는 효율적인 환기장치의 설계와 시공, 효과적인 유지관리가 요구된다. 지하공간의 이용이 확대됨에 따라 외국에서는 지하공간에 대한 엄격한 환경 규제방법과 개선방안이 마련되어 보건 위생적으로 안전하고 쾌적한 거주공간으로서의 설계지침은 물론 효과적인 유지관리를 위한 환경기준이 제시되고 있다. 그러나 국내에서는 아직도 지하공간의 환경설계를 위한 기술자료의 축적이 미흡하고, 시공 후의 합리적인 유지관리나 성능평가를 위한 관련기술도 부족한 실정이어서 지하공간의 활용과 양질의 환경을 유지하기 위한 적극적인 노력이 요구되고 있다.

본 稿에서는 지하상가를 대상으로 실내의 공기오염 실태와 공조설비의 특성을 조사분석하고, 공기청정장치의 성능평가, 환기설비의 적정설계 및 효율적인 유지관리에 대한 고찰을 통하여 지하공간에서 양질의 공기환경을 유지할 수 있는 방안을 제시한다.

2. 지하공간의 환경특성

지하공간의 환경은 지중의 자연환경과 지

하공간에 포함된 설비에 의한 인공환경의 2가지로 구분하여 생각할 수 있다. 자연환경은 지하공간을 설계, 시공하는 과정에서 외부조건과 차단되어 여러가지 환경문제가 발생될 수 있다. 인공환경이란 지하공간을 자연환경에만 의존하지 않고 인공적인 수단으로 인간의 쾌적성, 안전성, 편의성을 위하여 창출하는 것을 의미한다. 지하공간의 이용은 자연환경의 측면에서 여러가지 장점과 단점을 내포하고 있지만, 환경의 유지와 안전성의 확보를 위한 노력으로 지하공간의 환경측면의 악영향을 경감시킬 수 있다면, 인간의 활동과 생활영역을 확대한다는 적극적인 관점에서 충분히 검토할 필요가 있다.

지하공간의 실내공기에는 인간의 생활이나 활동으로부터 각종 오염물질이 발생되고, 내부의 발생열 등이 축적될 수 있으며, 오염물질의 제거나 회색을 위한 적절한 환기설비가 요구된다. 일반 건물에서는 실내공기의 적절한 온도를 유지시키기 위하여 공기조화설비와 병행하여 필요환기량을 도입하는 것이 보통이다. 그러나 지하공간은 열의 유출입이 적으므로 실내 공기온도의 변화가 크지 않기에 공기에 온도를 유지하기 위한 공조방법으로는 적절한 환기량을 확보할 수 없다. 그러므로 지하공간의 환기설비는 일정한 오염물질의 농도를 기준으로 적절한 필요환기량을 확보할 수 있도록 설계되어야 한다.

재실자에 영향을 미치는 환경인자로서의 공기의 온도습도와 빛, 음, 진동, 정전기 등 재실자가 직접 느낄 수 있는 인자와 직접 느낄 수 없는 병원균이나 유해물질, 이온, 방사성 물질 등이 있다. 이러한 환경인자 중에서 특히 공기환경(I.A.Q: indoor air quality)에 큰 영향을 미치는 것은 다음과 같다.

- ① 공기의 온도, 습도, 기류
- ② 기체상태의 오염물질: CO₂, CO, NO_x, SO_x, 오존, 포름알데히드, 탄화수소, 라돈 등
- ③ 유기물: 스티렌, 톨루엔, 키시렌, 에틸벤젠 등
- ④ 입자형태의 오염물질: 각종 미립자(먼지 세균, 미생물입자, 담배연기 등)

실내의 공기환경을 제어하기 위해서는 근본적으로 대기오염을 방지하고, 실내 오염물질의 발생을 억제하는 것이지만 이것은 그다지 현실적인 방법은 못된다. 따라서, 실내의 오염물질을 효과적으로 제어하기 위해서는 필요에 따라 적절한 환기설비와 공기청정장치를 계획하고 효율적인 운전을 통하여 실내공기의 질을 양호하게 유지관리하는 것이 바람직하다. 공기오염물질의 측정 및 평가는 그 목적에 따라 다음같이 구분할 수 있다.

① 정밀측정에 의한 공기환경 평가

어떤 공간에 작용하는 각종 환경조건들이 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 실시하는 정밀 측정을 의미한다. 이것은 측정 대상공간이나 공기조화설비, 환기설비 등에 대하여 구체적이고 상세한 측정을 실시하며, 실내 오염물질의 시간적, 공간적인 변화특성을 정밀하게 측정평가할 목적으로 실시된다.

② 일상적인 측정에 의한 공기 평가

어떤 환경에 대하여 요구되는 조건과 일치하는가를 확인하기 위한 것으로 일상적으로 실시하는 최소한의 측정을 의미한다. 예를 들어 실내의 대표적인 측정점을 선정하여 1일 또는 1주 단위로 주기적인 측정을 실시하고 평균치를 산출하면 공기환경의 질을 평가하는 판단 근거로 활용할 수 있다.

③ 특수목적을 위한 공기환경 평가

특수한 목적으로 실시되는 측정 평가방법이며, 측정항목이나 방법 등의 측정계획은 그 목적에 적합하도록 설정할 필요가 있다.

④ 지하공간의 공기오염에 관한 평가 요소

실내의 공기오염에 영향을 주는 요소들은 매우 다양하며 상호 복잡하게 작용한다. 따라서 측정의 목적에 따라 그 특성들이 파악되어야 하며, 일반적으로 다음 사항들을 고려할 수 있다.

- 외부공기의 오염정도의 파악(대기오염)
- 실내 오염발생원의 상황파악
- 공기조화, 환기설비의 상황
- 건물 또는 실내의 자연환기 특성
- 실내의 온도, 습도, 기류분포

3. 측정개요

1) 측정대상 건물

지하 상가의 공기오염 특성을 평가하고, 공기환경 개선대책을 마련하기 위하여 대전시의 중심가에 위치한 C지하상가를 측정대상 공간으로 선정하였다. C 지하상가는 1990년 12월에 신축 완공되었으며, 건물의 지하 1층에는 각종 점포부분과 통로부분, 편의시설로 구성되어 있으며, 지하 2층에는 기계실과 전기실 등의 설비전용 공간으로 계획되었다. 지하상가의 공기조화설비는 중앙공급식 단일덕트방식이며, 지하 2층 기계실에 냉동기(2대)와 보일러(2대)등 열원 기기가 설치 되어있고, 지하상가 전체의 총 18대의 공기조화기(AHU)가 배치되어 있다. 점포부분에는 공급덕트와 취출구(각 점포당 2-4개)가 계획되었으며, 통로부분에는 순환덕트와 흡입구가 계획되었다.

본 연구에서는 정밀측정을 위하여 지하상가의 광장부분을 중심으로 동쪽존(대전역 방향)과 중앙광장 부분, 서쪽존(도청 방향)으로 구분되어 측정대상 공간으로 설정하였으며, 각 구간에는 각각 공기조화기 AHU

표 1. 측정 대상건물인 중앙 지하상가의 개요

항 목	개 요		항 목	개 요	
구 조	철근 콘크리트 (R.C조)		공조방식	중앙집중식	단일덕트 방식 (AHU-총18조)
층수및 용 도	지하1층-점포, 통로 지하2층-기계실			점포부분	공급덕트+취출구
	점포부분	9,686㎡		통로부분	리턴덕트+흡입구
연면적	통로부분	10,772㎡	측정대상 공간의 개요	동쪽존	(대전역 방향) -AHU #13 면적 : 1320㎡
	편의시설	5,772㎡			프라자존
	지하 주차장			서쪽존	
	층 고	지하1층			3.65m
천장고	통로부분	3.00m			
	점포부분	2.70m			

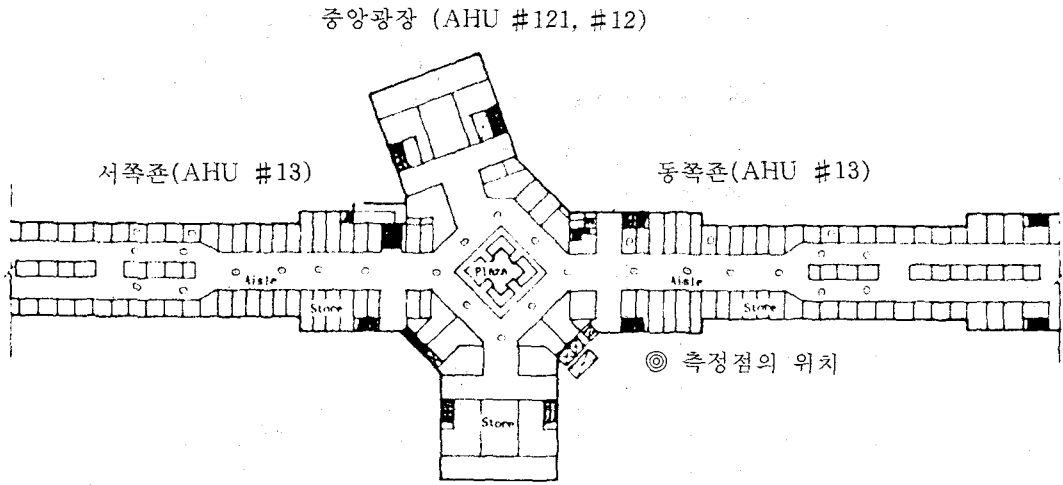


그림1 측정 대상공간의 평면도와 주요 측정점 위치

#13(동쪽), AHU #11-#12(중앙), AHU #10(서쪽)에 의해 공기조화가 실시되고 있다.

표 1은 중앙지하상가의 개요를 표시한 것이며, 그림 1은 측정대상 공간의 평면도와 주요 측정점 위치를 나타낸 것이다.

2) 측정내용 및 방법

측정은 여름철 냉방기간인 1991년 8월 8일-8월 11일, (중간휴가), 8월 21일에 실시되었고, 겨울철 난방기간에는 1992년 2월 20일-1992년 2월 25일에 실시되었다.

지하상가 내부와 외부공기의 오염농도로써 부유분진, CO₂가스, CO가스, 세균, 온도, 습도, 기류속도 등을 측정하였고, 공기조화설비의 운전특성을 평가하기 위해서 공조기(AHU)내부의 온도, 풍량, 분진등을 측정대상으로 하였다. 또한 측정기간에 상가 및 통로 부분의 재실인원수를 조사하였다. 주요 측정위치는 실내부분(점포내부, 통로부분), 외기부분(외기도입구 부근), 공기조화

기 내부로 구분하였고, 낮 시간대 (8:00-21:00)에 수동방법에 의해 2시간 간격으로 측정하였다.

공조기 내부의 (공급공기온도, 순환공기온도, 도입외기온도)는 C-C열전대를 테이타로거에 연결하여 매 30분 간격으로 자동기록하였다.

4. 결과분석 및 고찰

1) 공기조화설비의 운전특성

가) 공기조화기의 풍량

측정대상 공간인 서쪽존(AHU #10호기)과 동쪽존(AHU #13호기)에 대하여 공조기 부근의 덕트내부의 풍량을 측정하였으며, 그 결과는 그림 2와 같다.

급기덕트, 환기덕트, 외기덕트, 배기덕트의 설계풍량은 각각 25,360 CMH로 동일한 공기량에 의해 외기냉방이 가능하도록 설계되었다.

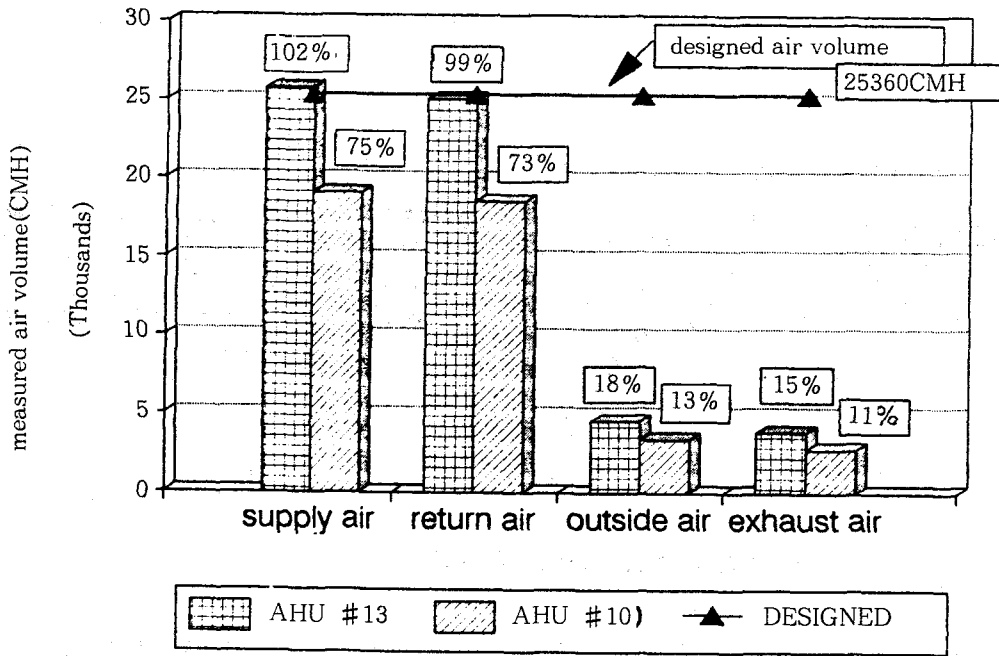


그림2 공기조화기(AHU)주변의 덕트내부 측정풍량과 설계풍량

AHU #13(동쪽존)의 공급공기량과 재순환 공기량은 각각 25,870 CMH와 25,110 CMH로 설계치와 비슷한 풍량으로 측정되었다. 그러나 AHU #10(서쪽존)의 급기덕트와 환기덕트의 통과풍량은 각각 19,020 CMH와 18,510 CMH로 설계치의 75와 73% 정도의 풍량을 보였다. 이것은 급기용 송풍기와 환기용 송풍기의 용량이 작기 때문으로 판단 된다.

나) 공기조화기 주변의 온도분포

그림 3은 여름철 AHU #10(서쪽존)에 대한 주요 온도분포를 나타낸 것으로 각각 공급공기온도, 순환공기온도, 혼합공기온도, 외기온도의 변화를 보여준다. 공기조화기로부터 공급공기(S.A)의 온도는 냉동기의 대수제어에 의한 ON-OFF 조건에 따라 변화

하며, 최소 12.2°C까지 낮아진다.

지하상가로부터 순환되는 공기(R.A)의 온도는 측정일에 따라 다르지만 대개 22°C - 27°C의 분포를 보이고 있으며, 이때 외기온도의 변화는 25°C - 34.2°C의 분포를 보이고 있다.

다) 지하상가내의 재실인원수

지하상가의 재실인원은 통행을 위한 단순 보행자, 상품을 구입하기 위한 고객, 점포및 상가근무자 등으로 구성되며, 단순 보행자나 고객은 단시간 체류인원, 점포나 지하상가 근무자는 장기간 체류인원으로 구분할 수 있다.

표 2는 측정기간의 시간당 재실인원수와 단위면적당 재실인원 밀도의 최대치와 평균치를 나타낸다.

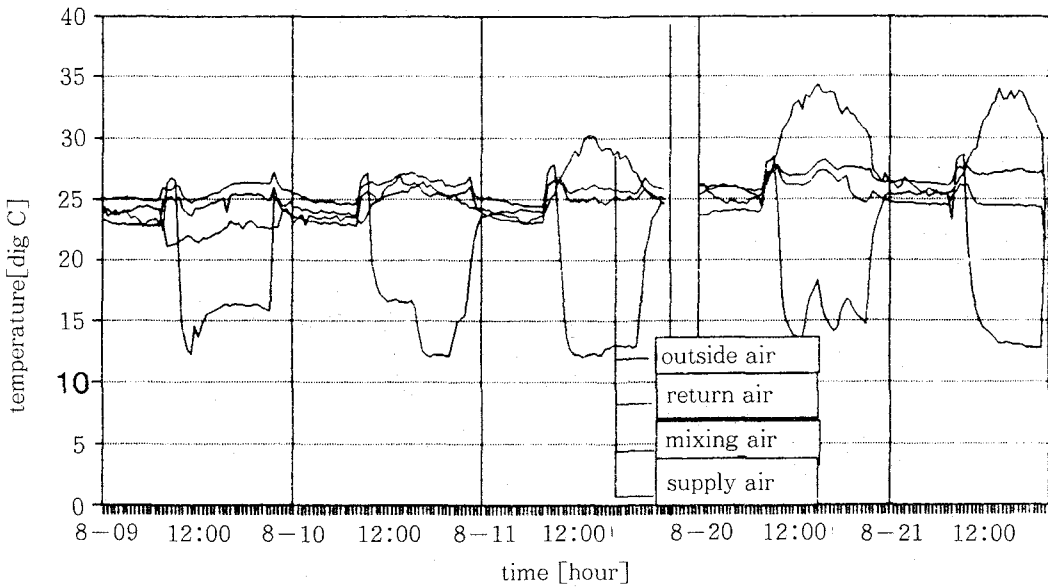


그림3 공기조화기(AHU #10호기)에 대한 주변의 온도분포

표 2. 시간당 재실인원수와 단위면적당 재실인원 밀도

구 분		점포내부		동 쪽 존		중앙광장		서 쪽 편	
		인원수	밀 도	인원수	밀 도	인원수	밀 도	인원수	밀 도
여름철	최대	92	0.05	264	0.35	310	0.24	212	0.28
	평균	56	0.03	162	0.22	183	0.14	121	0.16
겨울철	최대	116	0.07	342	0.46	401	0.31	278	0.37
	평균	77	0.04	212	0.28	274	0.21	188	0.25

단위 : 인원수[인/h], 재실밀도[인/㎡.H]

여름철 점포부분의 시간당 최대 재실인원수는 82 [인/h]~169 [인/h]의 분포로 나타나 단위 면적당 최대 재실밀도는 0.04[인/㎡ h]~0.09 [인/㎡ h]정도를 보여 여름철 보다 증가한 것으로 나타났다. 통로부분의 겨울철 시간당 최대 재실인원은 843 [인/h]~1,142 [인/h], 단위면적당 최대 재실밀도는 0.24 [인/㎡ h]~0.57 [인/㎡ h]로 조사되었고, 겨울철 통로의 시간당 평균 재실

밀도는 0.25 [인/㎡ h]정도로 나타났다.

2) 지하상가 내부의 공기환경 특성

가) 부유분진 농도

그림 4는 여름철 지하상가 통로부분에 대한 분진농도는 「최고-최저」(high-low) 분포를 1일중 시간의 경과에 따라 나타낸 것이다.

최대 분진농도는 0.084 [mg/㎡³]~0.107 [mg/㎡³]로 나타났으며, 평균적으로 0.045[mg/

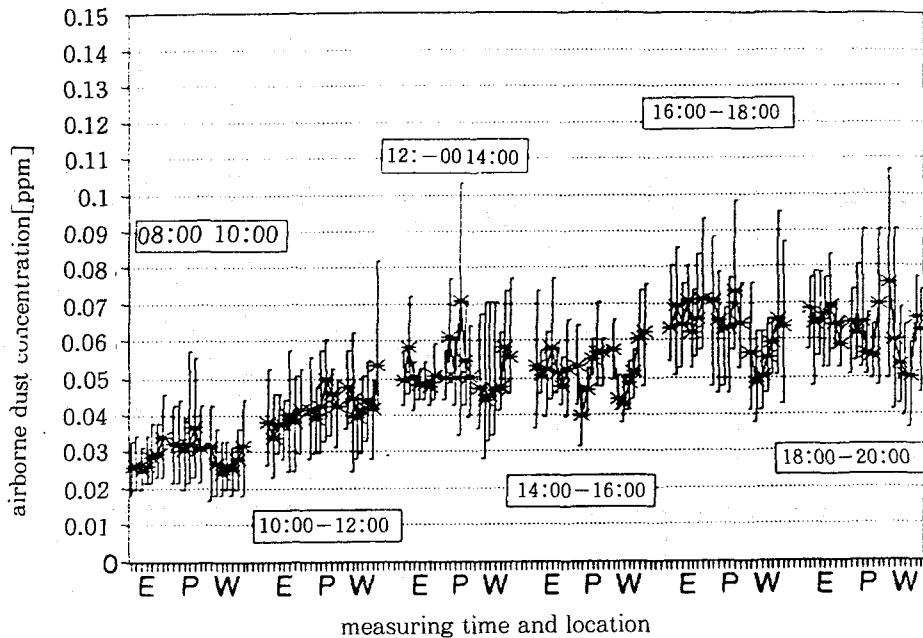


그림4 여름철 지하상가의 통로부분에 대한 분진농도의 「최고-최저」분포

m^3]-0.054[mg/m^3]의 범위로 조사되었다. 점포내부의 분진농도는 최대농도가 0.072 [mg/m^3]에서 0.157 [mg/m^3]까지 비교적 높게 나타났으며, 이것은 점포내 근무자의 흡연으로 인하여 분진농도가 높아진 것으로 파악되었다.

그림 5는 겨울철 통로부분에 대한 분진농도의 「최고-최저」(high-low)분포를 나타낸 것이다. 분진의 측정치는 외기도입이 차단되고 난방이 개시되는 09:00시 전후에서 큰 변화를 보이며, 분진의 농도가 증가하고 있다.

통로부분의 일별 최대 분진농도는 0.099[mg/m^3]-0.169[mg/m^3]로 나타났으며, 평균농도의 분포는 0.060[mg/m^3]-0.085[mg/m^3]의 범위로 조사되었다. 또한, 점포 내부의 일일 분진농도의 변화는 최대농도가 0.080 [$mg/$

m^3]-0.130 [mg/m^3]로 나타났다.

나) CO₂가스 농도

그림 6은 여름철 통로부분에 대한 CO₂가스농도의 「최고-최저」(high-low)분포를 나타낸 것이다. CO₂의 일별 최고농도는 지하상가내의 통로부분에서 990[ppm]-1280 [ppm]사이로 비교적 높게 나타났으며, 평균 CO₂농도는 지하사이가 내부에서 680 [ppm]-750[ppm]의 분포를 보이고 있다. 이때, 외기의 평균 CO₂농도는 420[ppm]-460[ppm]사이의 분포로 조사되었다. 상가 내부의 CO₂가스의 최고농도는 실내농도의 기준치인 1000[ppm]을 초과하는 것으로 조사되었다. 오전 10:00시경에 CO₂가스 농도는 400[ppm]-550[ppm]정도로 외기의 농도와 비슷하게 나타났지만 시간이 경과함에 따라 CO₂농도도 점차로 증가하여 16:00

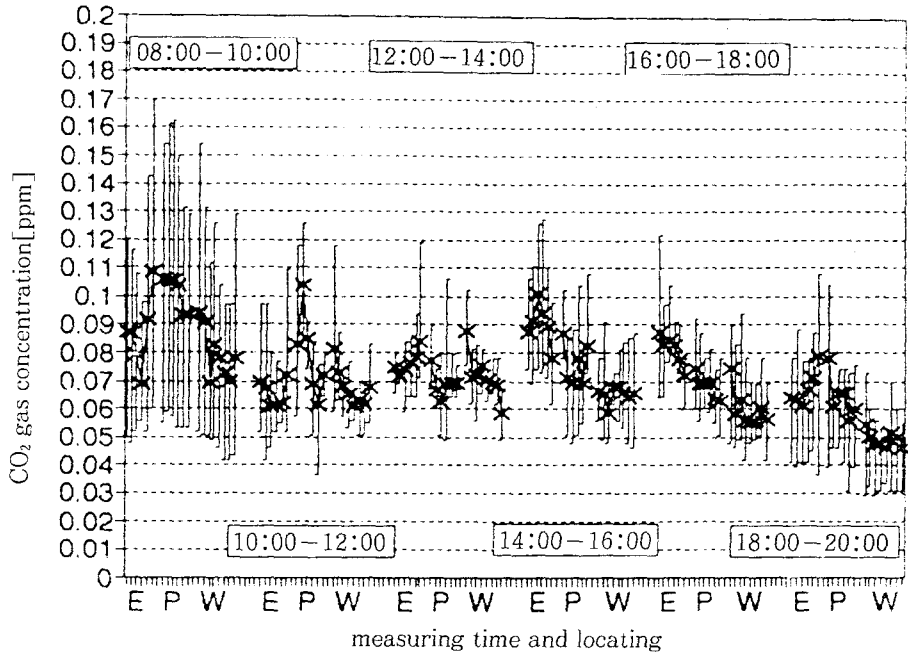


그림5 겨울철 지하상가의 통로부분에 대한 분진농도의 「최고-최저」분포

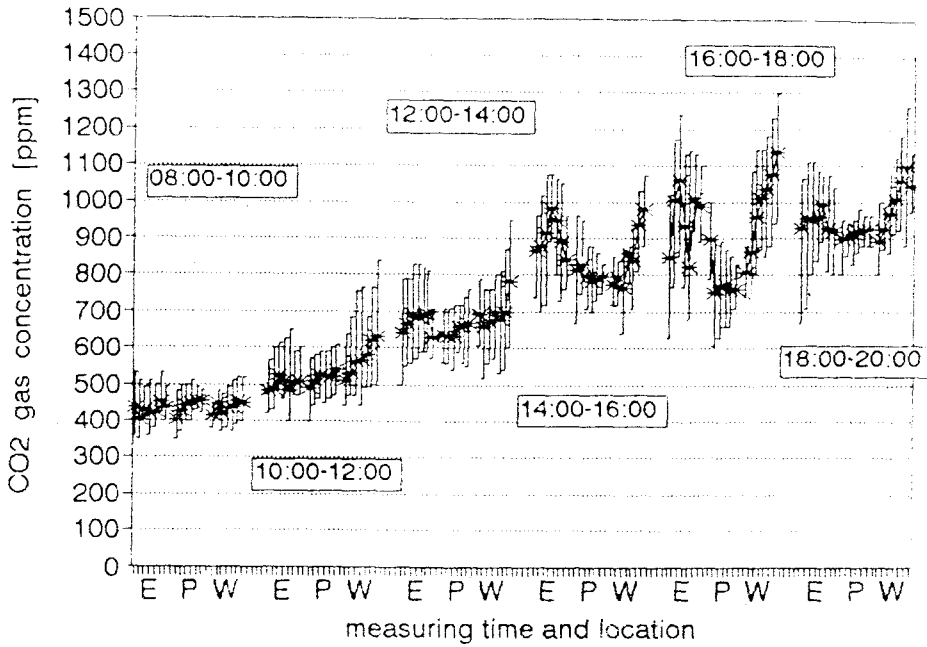


그림6 여름철 지하상가의 통로부분에 대한 CO₂농도의 「최고-최저」분포

-20:00시 사이에는 1000[ppm]을 넘는 경우가 번번히 발생하고 있다.

실내의 CO₂가스의 농도를 공기조화설비의 환기량에 대한 척도로 볼때, 측정 대상 지하상가는 필요환기량의 확보를 위하여 추가적인 외기도입이 필요하다고 판단된다.

그림 7은 겨울철 통로부분에 대한 CO₂가스농도의 「최고-최저」(high-low)분포를 나타낸 것이다. 일별 CO₂가스의 최고농도 분포는 1010[ppm]으로 높게 나타났으며, 일별 CO₂가스의 평균농도 분포는 770-910으로 나타나 여름철 일별 평균농도 보다 약 100[ppm]-200[ppm]정도 높게 조사되었다. 오전 09:00시경에 CO₂가스 농도는 최고치와 평균치 모두 기준치인 1000[ppm]을 초과하고 있으며, 그 이후 서서히 감소되었고, 16:00시 이후에는 다시 증가하는 경향

을 보인다.

다) 일산화탄소(CO가스)농도

일산화탄소는 맹독성의 유해가스로 주로 자동차의 배기가스, 연구기구의 사용, 실내에서는 흡연 등에 의하여 방출되는 것으로 생각할 수 있으며, 건축법규에서는 실내의 CO농도는 10[ppm]이하로 강력히 규제하고 있다. 일별 CO가스의 평균농도는 4.1[ppm]-4.7[ppm]으로 나타나 모두 기준치인 10[ppm]이내로 조사되었다.

라) 공기중의 부유세균 분포

지하상가의 부유세균은 측정용 배지를 일반세균과 포도상구균용을 사용하였으며, 측정위치는 지하상가 내부의 통로부분(3점), 점포부분(1점)과 외부공기(1점)로 구분하여 바닥에서부터 1.5m높이에서 포집하였다. 여름철과 겨울철 각각 2일 동안에 5점의

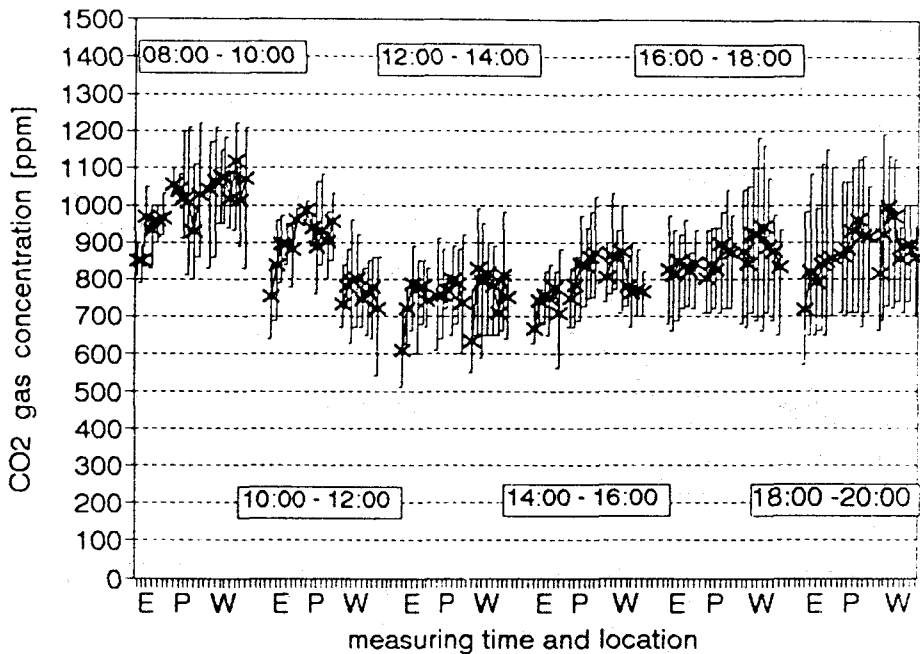


그림7 겨울철 지하상가의 통로부분에 대한 CO₂농도의 「최고-최저」분포

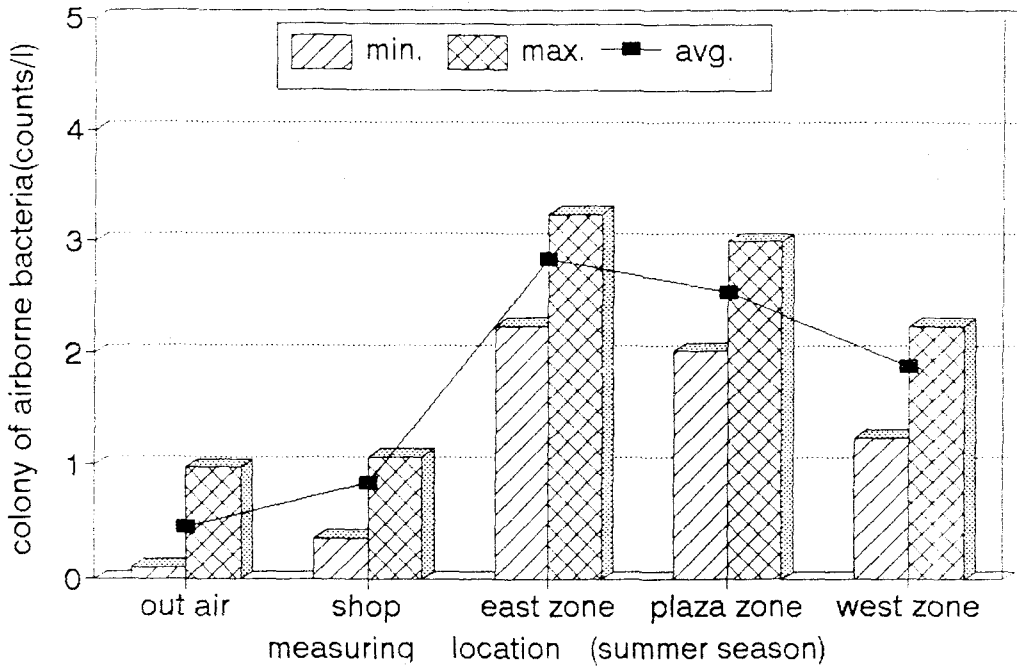


그림8 여름철 일반세균의 측정위치에 따른 농도분포

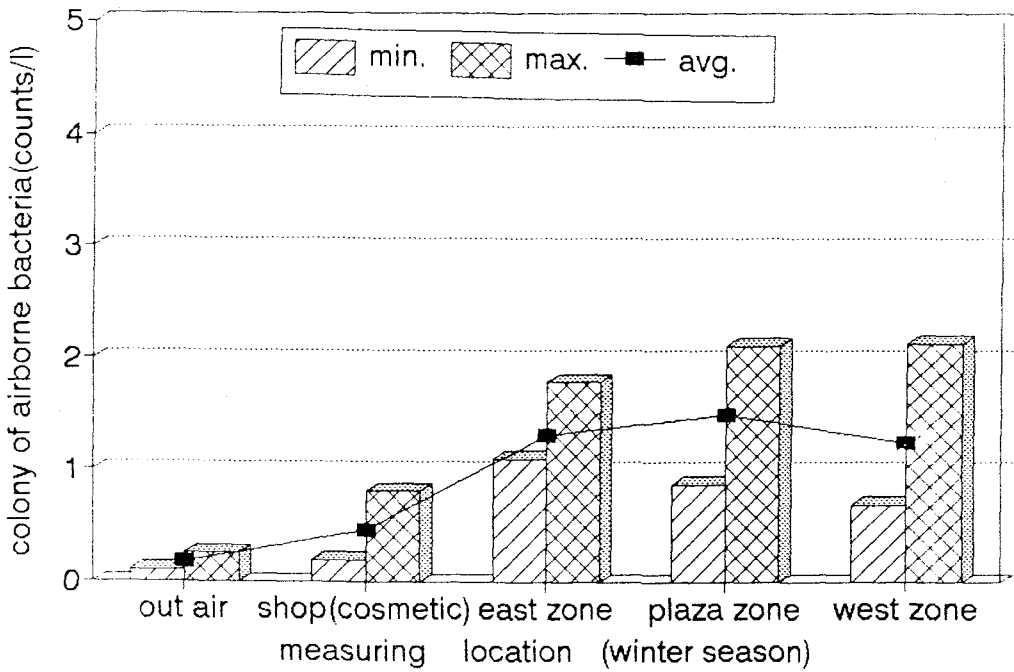


그림9 겨울철 일반세균의 측정위치에 따른 농도분포

측정위치에서 하루 2회(오전, 오후)총 20점씩을 측정조사하였다.

그림 8 및 그림 9는 공기중의 부유세균의 측정결과를 각 측정위치에 따른 농도분포를 나타냈다. 여름철 세균수는 실내의 점포에서 최대농도 1.4[개/ℓ]-3.3[개/ℓ], 평균 콜로니수 1.9[개/ℓ]-2.8[개/ℓ]로 조사되어 통행인이 많은 통로부분에서 세균의 농도가 증가하고 있다. 또한, 겨울철에는 점포에서 최대 0.8[개/ℓ], 평균0.5[개/ℓ]로 나타나 여름철보다 다소 낮게 나타났고, 통로부분에서는 최대 콜로니수 1.8[개/ℓ]-2.1[개/ℓ], 평균 콜로니수 1.2[개/ℓ]-1.5[개/ℓ]로 조사되어 여름철보다 세균농도가 낮은 것으로 나타났다.

5. 공기청정장치의 성능평가

실내공기의 정화 특히, 부유분진의 제어는 공기조화설비의 중요한 기능의 하나이지만 재실자의 쾌적감에는 민감한 영향을 주지 않으므로 일반적으로 거주공간에서 무시되는 경향이 있다. 실내의 공기청정도는 주로 CO₂가스, 냄새 등으로 평가되었고, 오염물질을 제거하기 위해서는 외기도입에 의해 실내공기를 희석하거나 오염원을 제거한다. 그러나 분진농도의 제어에 대해서는 합리적인 계획과 설계가 이루어 지지 않고 있는 실정이다. 최근에는 분진농도의 측정기술 발달과 더불어 실내분진의 거동특성을 이해하고 합리적인 대책이 가능하게 되었다. 특별히 클린룸같은 청정도를 목표로 하는 설비를 제외하면, 공기청정장치는 단독의 독자적인 설비가 아니라 공기조화설비나 환기설비의 일부 기능으로 계획되고 있다. 따라서

공조설비의 온습도 조절을 위한 풍량과 송풍기의 정압범위에서 공기중의 분진을 제거할 수 있도록 설계되어야 한다.

1) 공기여과기의 효율

공기 청정장치의 성능평가는 공기여과기(air filter)의 부유분진의 포집율, 정격처리 풍량, 최종압력손실, 분진포집용량 등으로 표시된다. 일반적으로 공기여과기의 분진의 포집효율(=제진율)은 부유분진을 포집할 수 있는 성능으로 표시되며, 다음 식과 같이 나타낸다.

$$\eta = \{1 - (C/C_1)\} \times 100[\%] \dots\dots\dots(\text{식 } 1)$$

η : 제진효율(포집율)

C : 상류측(여과전)의 부유분진 농도

C₁ : 하류측(여과후)의 부유분진 농도

지하상가의 공조기 내부에 설치된 공기여과기의 분진제거 성능을 분석하기 위하여 측정대상 존의 공조기 AHU #10, AHU #13에 대한 분진농도를 측정하였다. 공조기의 에어필터 전·후에 분진계를 설치하고 분진농도를 측정하였다. 대상공간의 공조기에는 입구부분에 유성롤타입 필터를 설치하고, 그 이후에 고성능 유니트필터를 설치하도록 계획하였다. 그러나 유니트형 필터는 정압손실이 크게 발생하여 운전중에 적절한 풍량을 확보할 수 없다는 이유로 제거된 상태에서 운전이 실시되고 있다. 따라서 본 측정에서는 유니트형 고성능 에어필터가 제거되고 롤타입 필터만 설치된 상태에서 필터 전·후의 분진농도를 측정하여 필터의 제진효율을 분석하였다.

그림 10은 겨울철 서쪽 존의 공조기(AHU #10)의 에어필터를 중심으로 전과 후에 분진농도와 제진효율을 나타낸 것이

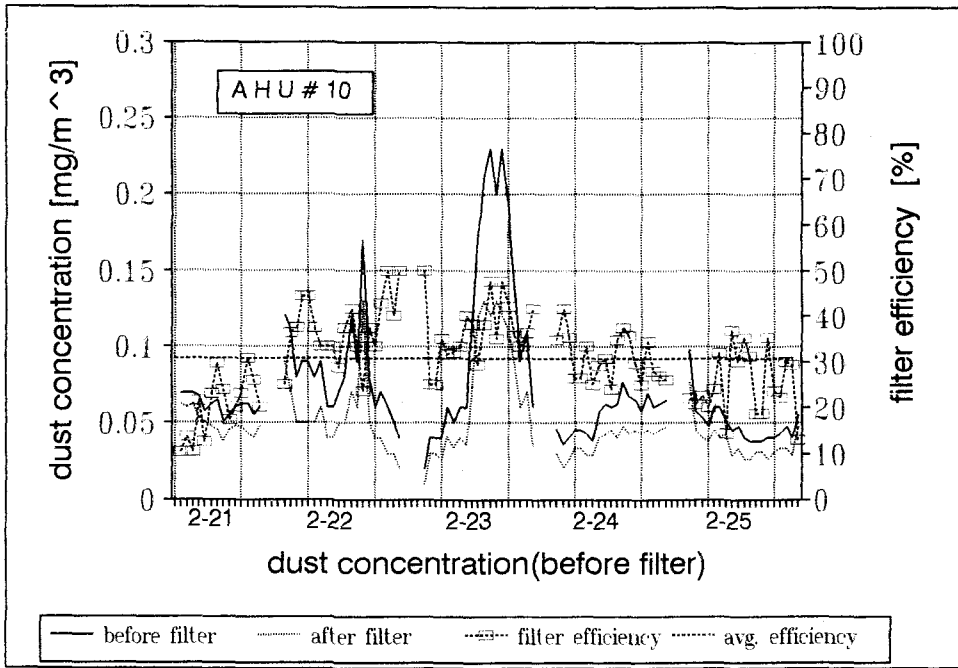


그림10 겨울철 서쪽 존의 공조기(AHU #10)의 분진농도와 제진효율

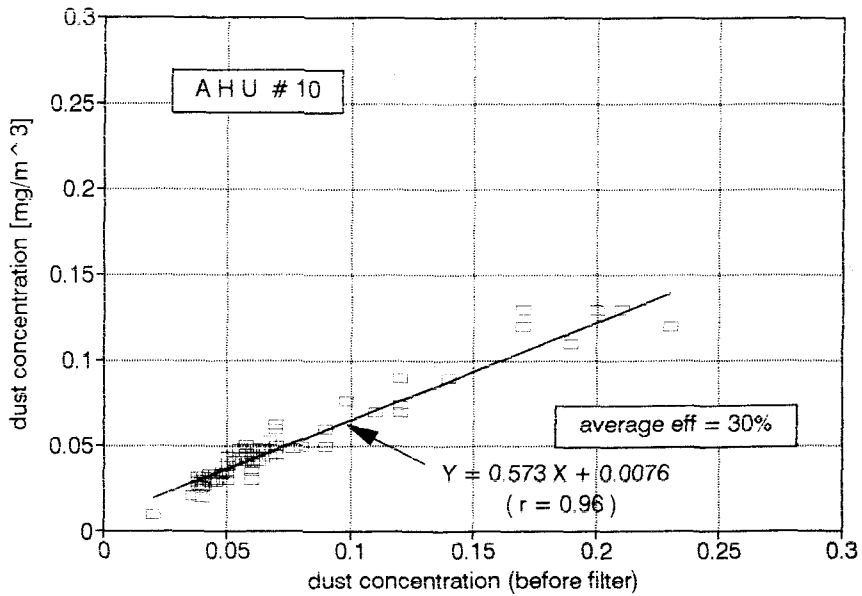


그림11 공조기 (AHU #10)의 에어필터 전후의 분진농도 변화의 상관도

다. 분진의 농도는 측정일에 따라 다소 차이가 있으며, 2월 23일에 특히 높은 분진농도를 나타내고 있다. 분진의 농도가 높은 경우에 에어필터에 의한 분진 제거량도 크게 나타나고 있으며, 측정기간 중의 제진효율은 20% - 50% 범위에서 변화하고, 평균 제진효율은 30% 정도를 보이고 있다. 공조기 AHU #13에 대한 에어필터의 제진효율은 평균 27%로 나타났다. 그림 11은 공조기(AHU #10)의 에어필터 전후의 분진농도 변화를 XY그래프로 나타낸 것이다.

2) 공기청정장치의 선정

건물의 일반적인 공조방식은 취입외기와 순환공기를 혼합하여 공조기의 공기여과기에서 분진을 제거하며, 공기청정 장치의 성능은 공조방식에 따라 평가할 수 있다. 여기서 공기청정장치를 중심으로 공기의 흐름과 실내의 발진량을 종합적으로 고려하면, 실내공기의 질은 재실자의 활동과 외부공기, 또는 기타오염원 등으로 인하여 매우 복잡한 요소들이 상호작용으로 나타난다. 이러한 경우에 계산이 어려워지므로 그림 12와 같은 단순한 조건으로 공기청정 모델

을 구성하는 것이 바람직하다.

공기청정장치의 제진효율은 다음의 기본식으로 고려할 수 있다.

$$C_i \cdot Q_i \cdot (1 - \eta) + C \cdot Q_r \cdot (1 - \eta) + G = C \cdot Q_i + C \cdot Q_r \dots\dots\dots(\text{식 } 2)$$

여기서,

C : 실내의 부유분진 농도 [kg/m³]

C_i : 취입외기의 부유분진 농도 [kg/m³]

Q_i : 취입외기량 [m³/h]

Q_r : R.A의 공기량 [m³/h]

η : 공기여과기의 제진효율 [%]

G : 실내 발진량

분진유입량은 외기로부터의 유입량 C_i·Q_i(1-η)와 순환공기(R.A)로부터의 재유입량 C·Q_r·(1-η)의 합이 되며, 실내발진량은 부유분진 발생량 G, 또한 분진유출량은 배기 분진량 C·Q_e와 순환공기(R.A)의 분진량 C·Q_r의 합이 된다.

실내의 부유분진 농도는 C, 공기여과기의 제진효율 η, 취입외기량 Q_i, 순환공기량 (R.A) Q_r을 산출하면 다음과 같다.

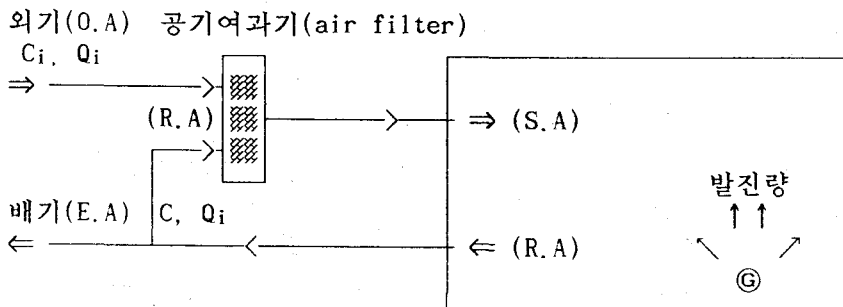


그림12 공기청정장치의 공기 흐름과 실내의 발진량을 고려한 예

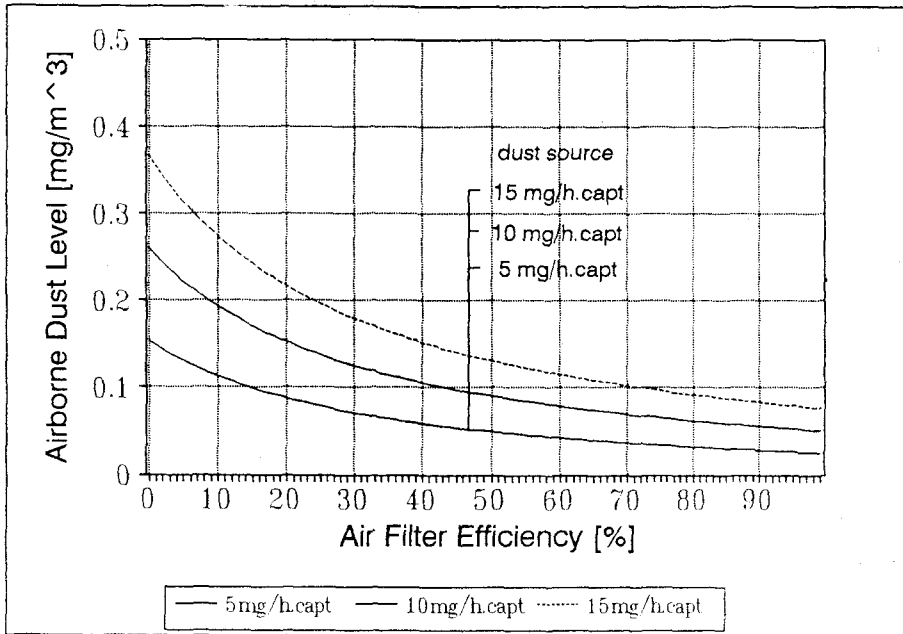


그림13 실내 부유분진 농도와 제진효율의 관계

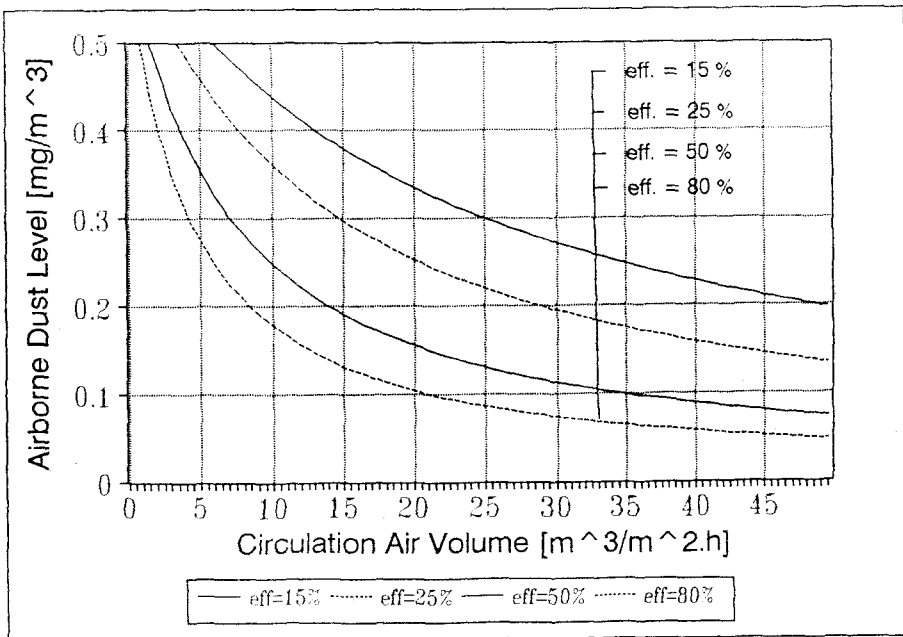


그림14 실내 부유분진 농도와 환기량의 관계

$$C = \{G + C_1 \cdot Q_1 \cdot (1 - \eta)\} / (Q_1 + Q_r \cdot \eta)$$

$$\eta = (G + C_1 \cdot Q_1 - C \cdot Q_1) / (C \cdot Q_r + C_1 \cdot Q_1)$$

$$Q_1 = (G - C \cdot Q_r \cdot \eta) / \{C - C_1 \cdot (1 - \eta)\}$$

$$Q_r = \{G + C_1 \cdot Q_1 \cdot (1 - \eta)\} / (C \cdot Q)$$

이때, 여러가지 형태의 실내 부유분진농도, 제진효율을 산출할 수 있으며, 또한 환기량을 변화할 때, 실내의 적정 분진농도를 유지하기 위하여 얼마만큼의 외기도입이 필요하며, 얼마만큼 순환공기량(R.A.)을 확보하여야 하는 것을 결정할 수 있다.

그림 13은 지하상가의 AHU #13 존에 대하여 실내 발진량을 15 [mg/h.인], 10[mg/h.인], 5 [mg/h.인]일때, 실내의 부유분진농도를 목표치 이하로 유지하는데 필요한 에어필터의 제진효율과의 관계를 표시하여 편리하게 이용할 수 있도록 구성한 것이다. 계산조건은 측정조사된 자료를 활용하였다. (외기의 부유분진 농도 $C_1=0.05$ [mg/m³], 취입외기량 $Q_1=4560$ [m³/h], 순환공기량 (R.A) $Q_r=Q_s=15, 100$ [m³/h.])

그림 14는 에어필터의 제진효율을 각각 15%, 25%, 50%, 80%로 할때, 실내 분진농도의 설정 목표치를 유지하기 위하여 필요로하는 순환공기량을 파악할 수 있도록 구성된 도표이다.

이러한 관계도를 활용하면 공기조화설비의 분진제어와 에어필터의 계획과 설계만이 아니라 유지관리의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 제안된 도표는 특정조건에 의한 것이지만, 이들 조건에 여러가지 설계용 기초자료를 대입하여 작성한다면 보다 일반화된 도표를 작성할 수 있으며, 실내환경의 설계 및 운전조건에 할 수 있다.

6. 맺음말

각종 지하시설물의 이용이 증가함에 따라 쾌적한 공기환경의 유지와 환기설비의 개선 방안에 관한 관심이 높아지고 있다. 본 연구에서는 지하상가를 대상으로 공기환경의 실태와 공조설비의 운전특성을 조사 분석하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 공기조화기(AHU)부근의 공기환경을 측정 조사한 결과 AHU #13의 경우에 공급공기(supply air)풍량과 재순환공기(return air)풍량은 설계된 풍량과 비슷하게 유지되고 있으나, AHU #10의 경우에 공급풍량과 재순환풍량은 설계풍량의 75%정도로 운전되고 있어, 공기조화설비의 적정한 풍량을 유지하기 위하여 송풍기의 용량을 증가시켜야 할 것으로 판단된다.

2) 지하상가 내부의 평균온도 분포는 여름철에 점포부분이 24.0°C - 25.5°C 사이에서 유지되고 있으며, 통로부분은 25.5°C - 19.0°C로 나타나 여름철 쾌적온도 범위인 26°C전후의 분포를 보이고 있다. 겨울철에는 15°C - 18°C의 범위로 다소 낮은 온도분포를 나타냈으며, 이는 출입구 계단실을 통한 외기의 영향으로 판단되며, 계단실로 부터 열손실이 크게 발생하고 있다.

3) 지하상가의 부유분진 농도는 여름철의 경우에 통로부분에서 최대농도 0.084[mg/m³], -0.107[mg/m³]로 나타났으며, 점포내부의 분진농도의 변화는 최대농도가 0.072[mg/m³] - 0.157[mg/m³]까지 높게 나타났다. 겨울철 부유분진 농도는 통로부분의 최대 0.099[mg/m³], -0.169[mg/m³]로 나타났으며, 점포내부의 분진농도 변화는 최대 0.080[mg/m³] - 0.130[mg/m³]로 나타났다.

4) 지하상가의 이산화탄소 (CO_2)의 농도는 여름철에 평균 680 [ppm]-750[ppm] 최고 1,000[ppm]-1,300[ppm]으로 비교적 높게 나타났다. 겨울철에는 평균 770[ppm]-910[ppm], 최고 1010[ppm]-1220[ppm]으로 높게 나타났다.

여름철과 겨울철 모두 CO_2 가스의 최고농도는 기준치인 1000[ppm]을 초과하고 있어 외기도입비율을 증가시킬 필요가 있다.

5) 여름철과 겨울철의 CO가스의 농도는 4.5[ppm]-5.1[ppm]으로 나타났으며, 지하상가 내부에 CO가스의 발생원이 거의 존재하지 않으므로 비교적 낮은 농도분포를 보이고 있다.

공기중의 부유세균은 여름철에 점포내부에서 평균농도 0.9[개/ℓ]로 비교적 세균의 오염정도가 낮은 상태로 나타났으나 통행인이 많은 통로부분에서 평균 1.9 [개/ℓ]-2.8 [개/ℓ]로 조사되었다. 겨울철에는 점포내부의 평균 0.5[개/ℓ], 통로부분의 평균 1.2[개/ℓ] -1.5[개/ℓ]로 조사되어 여름철 보다 낮은 세균수를 보이고 있다.

6) 공조기의 필터 전·후에서 분진농도를 추정하여 필터의 제진효율을 분석하였으며, 필터의 제진효율은 30% 정도로 평가되었다. 또한, 실내의 부유분진농도를 목표치 이하

로 유지하는데 필요한 에어필터의 제진효율의 관계를 도표로 제시하였다. 이를 이용하여 실내의 발진량에 따른 실내의 분진농도를 측정할 수 있으며, 실내의 분진농도는 목표치에 따라 에어필터의 선정이나 환기량 등을 적절하게 조절할 수 있을 것으로 기대된다.

- 참고 문헌 -

1. 윤동원, 이시용 : 대전시 중앙 지하상가의 공기환경 평가 및 개선방안에 관한 연구, 중간 보고서, 1991년
2. D.W. Yoon, J.Y. Sohn, S. W, Lee : "Investigation of the Indoor Air Quality on the Underground Shopping Center In Summer", the 3rd International Symposium, on Building and Urban Environmental Engineering and Management, Kanazawa, Japan
3. 中門孝 : 地下室住における 空調システムについて, 空気が調和 冷凍, pp, 58-65, 1987年
4. 中村, 猛, 荒川一郎 : 地下街の換気空調について, 榮動衛生工學, 製14號, pp. 9-14
5. 呂 俊民 : 大氣汚染と 室内環境, 空気が調和 衛生工學, 製54卷 製4號, pp. 327-331, 1980年