

# 미생물 입자의 움직임과 진균, 세균의 실내농도에의 영향

(Clean Technology '92년도 1월호 “실내공기복합  
오염방지와 공조설비”특집에서……)

한국공기청정연구조합

자 료 실 제 공

## 1. 서론

여기에서 취급하려는 것은 주로 공기중에 부유하는 일반세균, 일반진균등의 미생물 입자를 대상으로 한다. 현재 공기중의 미생물의 해로움에 대하여는 의학, 제약, 식품가공등에서 문제가 되어왔으며 의학에서는 병원내 감염, 수술후 감염의 원인도 되고, 제약관계에서는 약의 세균오염을 방지 방지하기위해 GMP(Good Manufacturing Practice)가 설정되었다.

공기감염 미생물의 인간에 대한 해는 병원균에 따라 감염증, 카피(Mold)에 의한 알레르기 질환등이 생기며 그 안에 최근 알레루겐이라는 실내의 카피오염이 주목되고 있다. 실내의 공기부유균의 발생 Mechanism은 일반세균에 대해서는 사람과 그의 활동에 따라 발생하고, 공기중의 농도는 재실인원의 많고 적음, 활동량의 많고 적음에 비례한다. 한편 카피에 대해서는 인체로부터 발생되어 건물이나 청소기구등에 증식한 균이 사람의 활동등에 따라 공기중에 비산하여 공기중의 농도

를 구성하는것으로 생각된다. 카피는 겨울철의 건물표면의 온습도에 따라 결로, 여름철의 실내의 고온고습에 따라, 벽, 천정면, 공조 DUCT 내부등에서 증식하는 것으로 알려지고 있다.

균류의 실내농도는 실내의 환경조건과 관련하여 인체에의 건강영향의 지표가 되기도 하고, 감염증의 발생의 경우에는 감염원의 발견이나 대책에 대한 목표가 된다.

여기서 얘기되는 (특정의 屬, 種의 균을 대상으로 하는것은 아님) 모든 균수를 계측하는 방법은 특정의 균의 발생원이 실내에 침입할때의 오염농도의 상승의 가능성(위험도)을 표시하는 것을 고려하는 것이 좋다.

## 2. 미생물 입자의 움직임

### (1) 부유균과 낙하균

공중에 부유하는 세균은 부유분진에 부착하여 부유하고 있다고 말할수 있다. 따라서 부유중의 평균입경은 커서  $6.5\mu\text{m} \sim 7\mu\text{m}$ 의 입경을 갖고 있다.

한편 진균은 그 생체로부터 포자(孢子)가 바람등에 따라 비산하여 증식하므로 단체(單體)의 포자 또는 2~3개로 부터 40~50개의 덩어리로 되어 공중에 부유한다. 따라서 평평(平坪)입경은 세균보다 적어서 3.5 $\mu$ m 전후이다. 그러나 이 크기는 포자 단체(單體)의 입경으로가 아니고 공중에 부유중인 포자의 덩어리가 이 입경에 상당하는 상태로 보다 많이 부유하고 있는 것을 의미한다. 크기는 포자2~3개의 덩어리에 단체 포자가 혼재된 상태이다. 이와같이 진균의 공중부유상태에 대하여는 실험에 의해 입경분포와 포자의 덩어리와의 관계가 확실하게 되어 있지만 세균에 대해서는 실험적으로 명확하게 되어 있지 않다. 그러나 부유분자에 부착되어 부유하고 있는 것을 고려할 때 같은 모양에 몇개의 부유분자에 부착한 덩어리로 하여 부유하고 있는 것으로 생각된다.

현재에는 공기중의 미생물오염은 공기중 농도로 나타나고 공기농도를 측정하는 기기로 일체, 수입품 모두 많이 시판되고 있다. 공기중 균의 측정기기가 사용되기 이전에는 장시간 공기중 균량의 목표로하는 낙하균량의 측정이 행해지고 있다. 낙하균으로는 공기중 부유균이 중력에 의해 낙하되고 있는 것이다. 공기중에 부유입경분포를 갖고 균류의 속에 그 낙하속도에 따라 밀도가 높은 입자, 큰 입자가 짧은 시간에 낙하한다.

이론적으로는 어떤모양의 미립자라도 장시간 후에는 낙하될것이지만 기류등의 방해를 받으므로 일반 환경에서는 환기에 의해 유출되고 낙하균이라는 것은 잡히지 않는것도 많다.

낙하균과 부유균의 관계는 평균 입경이 큰 세균은 일정시간내의 낙하량도 많고 부유균

과 어느정도의 상관관을 갖고 낙하량의 다소로부터 공기중의 농도의 고저의 예측이 가능하다. 이에 반하여 진균은 평균입경이 작기 때문에 일정시간내에 낙하하는 량은 적다. 따라서 낙하량이 적다고 해서 공기중 농도가 낮다고는 할 수 없고 공기중 농도의 고저를 측정한다고 착각한 결과를 초래할 가능성이 있다.

부유균과 낙하균은 상관없다고 보는것이 좋다.

(2) 공중부유균의 농도변동

공중에 부유하는 부유균 농도는 옥내, 옥외 모두 끊임없이 변동하고 있다. 농도측정시 이 변동성의 특징을 잡고 Sampling시간의 고려

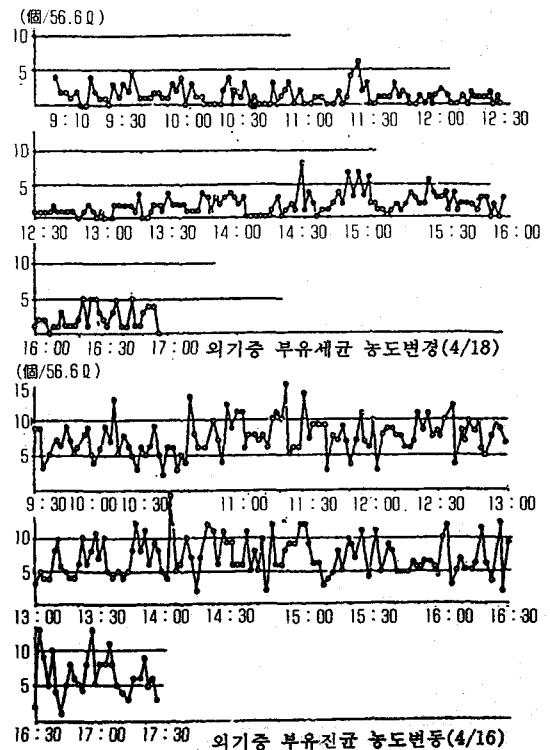


그림1 외기중 부유균 농도변동

가 필요하지만 그를 위해서는 실내외의 장시간 측정을 하고 농도변동의 특징을 알고 있을 필요가 있다. 부유균의 변동에 주는 영향은 옥외에서는 바람, 비 등의 기상변화 및 균의 계절적 생성소멸이 있다. 일반적으로는 풍속이 5m/s를 넘을 때에는 공중균은 풍속과 비례관계를 갖고 공중 농도는 높게 된다. 강우시작때는, 더우기 안개비의 경우는, 공중 농도는 높고, 강우후에는 공중균 농도는 매우 낮게된다. 그림 1은 풍속 2~3m/s의 맑은날 옥외의 농도변동이다. 기상조건의 영향을 받지 않고 일정한 형태로 변동하면서 부유하고

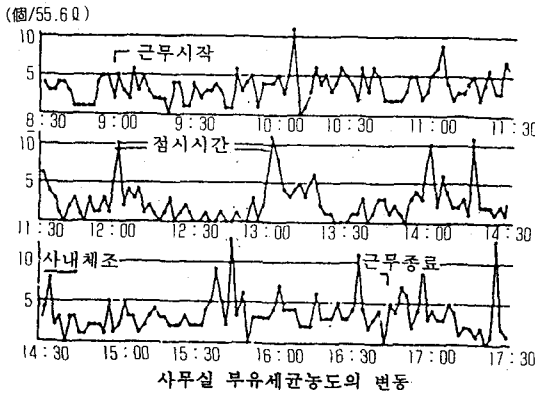
있다는 것을 알고 있다.

옥내의 균류의 농도 변동에 주는 영향은 재실인원 및 사람의 활동이다. 더우기 세균은 발생원이 사람이기 때문에 재실 밀도, 환기량 부족, 활동량이 큰 영향을 준다. 공조 System을 갖추지 않는 Office Bldg 등은 재실인원의 영향이 현저하다. 특수환경이라는 것은 지하철역 구내, 지하상가에는 환기설비가 충분치 못하고 자연환기에 의한 시설이 많다. 통근시간의 보행인의 Peak시에는 다른 환경에서 보지못했던 농도를 보이고 환기량이 적으므로 Peak때를 지나고도 감쇄가 잘 안되고 일반환경과 다른 변동형을 갖고 있다.

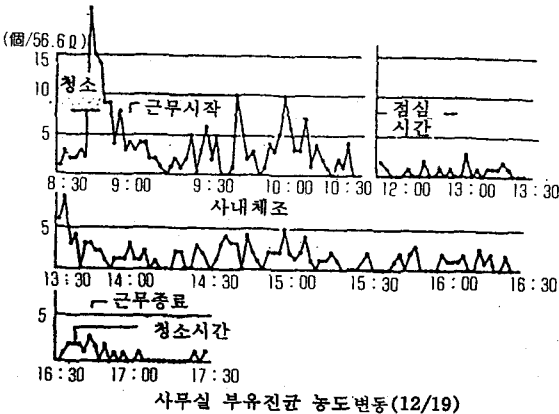
한편 진균 농도는, 사람과 관계없이, 건물에 증식하는 균이 청소 등의 활동에 의해 공중에 부유한다. 그림 2에 옥내의 균류의 농도 변동을 보이지만 세균의 경우 점심시간에 재실인원이 적을때 낮은 농도가 될 때가 종종 있다.

진균에 대해서는 근무 시작전의 MOF 청소에 최고농도를 보이고 청소기구로부터의 진균발생이 예측된다.

진균이 건조물에 증식한다든지 어디에서인지 무언가의 활동을 함으로서 공중에 부유하는 뚜렷한 예를 보이고 지하철역 구내에 부유진균 농도의 여름철의 고농도가 나타난다. 계절적으로 증식기간으로 되는 여름철에 통로내의 습한 장소에서 증식한 진균이 열차의 발차시에 일어나는 열차바람에 의해 공중으로 비산되고 높은 공중 농도를 구성한다. 진균의 계절적 생성 소멸로 통로내의 증식이 감소되고 겨울철에는 옥외농도와 거의 같은 농도로 되는 특징을 갖고, 균의 계절적 생성소멸, 건물에의 증식, 활동에 의한 발생이라는 Mechanism을 잘 표현하고 있다.



사무실 부유세균농도의 변동



사무실 부유진균 농도변동(12/19)

그림2 사무실 부유진균농도변경

(3) 입경분포

공중부유 상태에 의한 균류의 입경분포를 아는 것은 그의 움직임을 예측하고, 공기정화 조화 설비설계등의 공학적 처리의 지표가 된다. 미생물용 Anderson Sampler(안더-센스리ット)을 이용하여 공중부유균의 입경분포를 측정된 결과, 진균의 분포모양은 계절, 옥내외, 장소에 관계없이 항상 대수정규(對數正規)분포에 근사한 결과를 얻는다. 이 경우 분포형태의 Peak와 평균입경은 합치되고  $3.5\mu m$  부근이다.

종래, 균의 크기는 현미경에 의해 시각적인 직경으로 평가된다. 그러나 Slit Sampler(슬리ットンプラ), Anderson Sampler를 시작으로 하는 미생물의 공중균 포집용 Sampler는 공기동력학적 직경으로 포집되는 것이 일반적이다. 실험에 의하면 진균의 공중부유상태는 포자가 덩어리로 단체(單體)의 포자와 섞여서 부유하고 있고 최상단에서는 40~50개의 포자의 덩어리이다. 한 덩어리의 포자의 수는 하단으로 내려가면서 적어지지만 밀도가 적으므로하여 시각적 직경과 공기동력학적 직경과의 차는 매우 크고 Anderson Sampler의 1단계(공기 동력학적 직경  $8\sim 15\mu m$ )로는 시각적 직경이 4.5배, 6단계(똑같이  $0.75\mu m\sim 1.4\mu m$ )로 배(倍)의 크기를 갖고 있고 상단의 포자의 덩어리가 커지므로 그의 배수(倍數)는 크게 된다. 이것은 현미경에 따라 시각적 크기를 확인하면서 덩어리로 되어있는 포자수를 세므로서 포자수가 많을 수록, 무게나 내부의 공기를 포함하고 입자경을 측정하기 때문이라고 생각한다.

부유세균의 공중입경분포는 실험, 다수의 측정결과로부터, 단순한 분포형태를 확정지을 수 없다. 부착되어 부유하고 있는 분진의 발

생기구가, 복잡하게 어우러져서 1개의 분포형을 구성할 수 없는 것으로 생각되지만 이후의 과제의 하나로 들 수 있다.

측정할 때마다 다른 분포 형태를 나타내지만, 대수확률지(對數確率紙)상으로 구한 평균입경은  $6.5\mu m\sim 7\mu m$ 이고 HISTOGRAM의 Peak와는 반드시 일치하지 않는 경우가 많다. 분포형으로는 Anderson Sampler의 최상단이 가장 많은 경우,  $2\mu m$ 와  $5\mu m$ 부근에

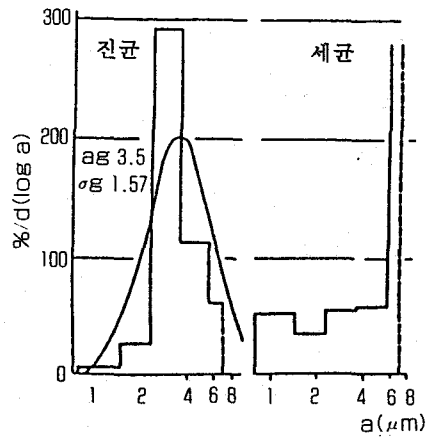


그림3 실내의 입도분포곡선과 HISTOGRAM

Peak를 갖는 2산형(二山型), 진균과 유사한 분포형 등인데 기상조건, 옥외, 옥내 따로 측정 장소의 차등의 어느것이나 관계없고 분포형과 환경조건과의 관계는 아직은 없다.

그림 3에 양쪽균의 입경 분포를 보여준다.

(4) 낙하균이 갖는 의미

공중 부유중의 균은 그의 중력에 따라 낙하하고, 있다는 것은 앞서 말했듯이 일정한 Sampling시간중에 큰 입자만큼 급히 낙하하기 때문에 주로 큰 입자를 포집한다는 것이 된다. 낙하균이 수직으로 낙하한다고 하고, 균을 포집하기 위한 Petry접시를 밀바침으로하

는 기둥을 고려한다면 낙하속도로 생각할때, 일정시간의 공중노출중에 Petry접시에 낙하하는 균량은 큰 입자 정주(程柱)는 높아지고 공중의 높은 범위까지 낙하하고 있는 것이 된다. 공중의 입경 경분포(經分布)와 농도를 알게되면 낙하균량을 예측하는 것이 가능하다.

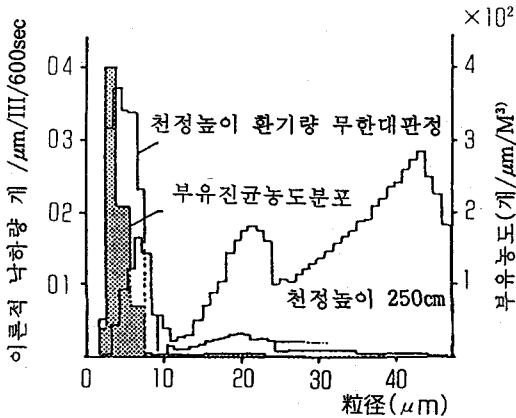


그림4 진균의 입경별 농도와 낙하균량

그러고 보면, 이론적으로 계산한 결과를 그림 4에 표시하지만 큰 입자의 부분으로 낙하량이 많아지는것을 알게 된다. 실제로 낙하균 포집의 측정치와 계산치를 조합한 결과로는 매우 근사한 값을 얻는다.

현재 낙하량으로 공중농도를 예측할 수 없으므로, 낙하균량을 신용하지 않는 풍조도 있지만, 이 이론치를 잘 이해한 뒤에 평가하면 표면오염의 절대측정으로 이용할 수 있다는 가능성이 있다.

(5) 진균의 성장속도

공중에 부유하는 균입자의 최대의 발생원은 실내의 벽등의 표면, 공조 설비에 번식하고 있는 진균류로서 각각 공중에 날아올라

건축물의 표면에 부착, 또는, 낙하하여 증식하는 오염의 원인이 된다. 따라서 균류에 따라 오염의 평가나 방지에는 균류는 어떤 환경 조건에서 증식하고 어떤 Mechanism으로 성장하는가를 명확히 할 필요가 있다. 여기서는 진균의 온습도 조건에 따라 성장속도, 포자가 어떤 과정을 거쳐 성장하고 증식으로 연결되느냐에 대하여의 실험결과를 설명한다. 진균이 최대로 성장하는 온도는 12종류의 균을 이용한 실험결과로부터 25°C가 적당하다는 결과를 얻고 있다. 여기서는 온도25°C에서 습도를 6단계 변화시킨 경우의 성장속도의 실험결과에 대해 설명한다. 사용한 진균은 Cladosporium으로 이것을 얇은 Potato Decstrose 배양지에 포자1개를 심어서 염화칼슘에 의해 습도를 조정한 공기중에 두어 현미경 상부에 부착된 TV 카메라에 의해 균사의 성장속도를 측정하 결과 습도100, 90%에서는 매우 잘 성장하지만 55%에서는 성장은

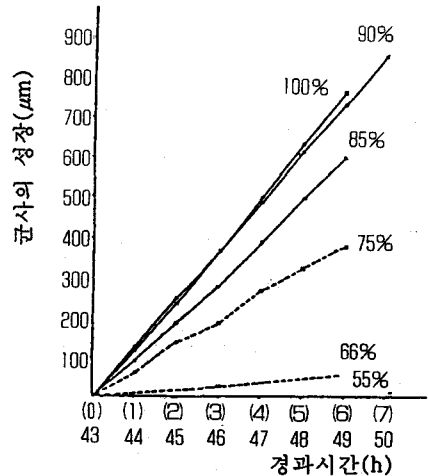


그림5 상대습도의 변화에 따른 균사의 성장곡선

없다는 결과를 얻었다. 그림 5에 습도변화에 의한 균사의 성장곡선을 보여준다.

균사의 성장곡선은 세균의 성장곡선과 달리 직선이다.

그러나 같은 배양지에 포자1개를 심어서 그의 성장을 24시간에 걸쳐서 1시간 마다 관찰, 사진 촬영을 했더니 4시간정도에 성숙이 시작되어 8~12시간에 균사가 생기기 시작하는 것이 관찰되고 시간 경과와 더불어 다방면으로 신장하여 24시간 후에는 균사 덩어리로 되는것이 관찰되었다.

### 3. 진균·세균의 실내농도에의 영향

#### (1) 발생원

앞절에 서술한 것 처럼, 진균과 세균에는 그 발생원에 큰 차이가 있고, 따라서 오염에 방 방법에도 차이가 있다.

즉, 세균의 발생원은 인간이고, 인간의 피부조각, 비듬등에 부착하여 그의 활동에 따라 공중에 비산하기도 하고 공중농도를 구성한다는 것이 알려졌다.

따라서 협소한 실내에 인원이 지나치게 많으면 세균농도는 현저하게 고농도가 된다. 또한 그 정도의 과밀하지 않은 경우도 환기능력이 나쁠때 실내는 고농도로 된다. 공조설비가 완전한 현대식 Office Bldg은 1인당의 면적도 충분히 확보된 공조 System에 의해 환기도 충분히 유지되기 때문에 실내농도는 특히 높은 예는 예상되지 않는다.

한편으로 환기가 충분치 않고 비공조 건물에는 세균농도는 높고, 재실인원이 많은 건물에서도 같은 모양으로 고농도를 나타낸다.

진균의 경우는 세균과 달리, 인간으로부터의 발생은 옷이나 포장등에 부착하여 실내에

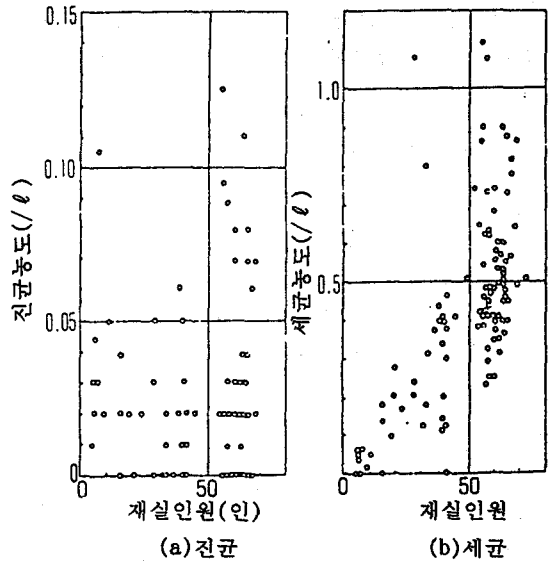


그림6 재실인원과 부유균

유입되는 이외에는 거의 없고 건물의 벽면, 천정, 공조 DUCT등에서 증식한 균이 청소, 사람의 활동에 따라 실내에 비산하여 실내농도를 구성하는 것으로 생각된다. 따라서 실내의 진균 농도는 재실인원과는 관계없이 실내의 상대습도, 벽면, 천정면의 온도저하에 의한 결로등이 원인으로 되는경우가 많다.

실내의 증식을 예방하기 위해서는 실내의 수증기 발생량을 낮게하는 것, 건조하게 유지하는 것, 충분한 적정환기가 필요하다 그림 6에 세균, 진균과 재실인원과의 상관관계를 보여준다.

#### (2) 공조 DUCT로 부터의 미생물 방출

공조 System이 되어있는 Office Bldg의 공조기로부터 미생물이 실내에 방출되는 가능성이 있다는 예측하에 실측을 한다. 일상의 집무중에는 재실인원으로부터의 세균 농도와 구별이 곤란하므로 휴일에 공조설비를 가동시켜 측정한다. 건축연령이 오래된 건물,

비교적 새건물, 겨울철, 여름철로 나누어 실측한다. 여러가지 비교를 시험하지만 특별히 적을만한 차이점은 없고 다만 공조 System 특유의 실내농도에의 영향이 확인되었다.

측정은 공조기의 흡출구의 주변을 비닐커텐으로 막고 측정기의 하부까지 덮어서 커텐의 내부에 측정기를 설치하여 외부로부터의 오염물의 침입을 피하며 취출구로부터의 미생물, 분진을 측정하였다. 미생물용으로는 Anderson Sampler, M/G Air Sampler, 산란광(散亂光)型 분진계를 사용하며 세균, 진균, 분진 농도의 측정을 행하였다.

(3) 세균, 진균의 농도비교

각 빌딩의 비교에는 다소의 차이가 있는것의 개념으로 진균의 농도가 높다. 휴일에 측정하고 있으므로, 재실인원은 측정자만으로 실내의 세균발생량은 적으며, 외기침입의 경우 Filter에 의해 걸러져서 취출구로부터의 방출은 적은것으로 생각하며 Duct 内の 세균 증식은 적은것으로 생각된다.

한편 진균은 Filter, Duct內 부분의 겨울철 가습, 여름철 제습에 의한 수분등 온습도가 적당하게 되므로 Duct 內에서 증식하는 것으로 생각된다.

(4) 미생물 농도의 실내 농도에의 영향

종래에는 필자(筆者)등이 행한 공조 System 을 갖는 Office빌딩內의 공중균의 측정으로부터는, 특히 큰 활동이 없는 경우 세균 0.1~0.2개/l 진균 0.002개/l 전후로 있는 것이 확실해졌다. 이것들의 농도와 공조기기·Duct로부터의 방출량의 측정을 비교해보면 세균으로는 공조기 가동中, 정상일때는 0.001~0.007개/l 정도이며, 일반 근무中の 1/100 정도를 나타내고 재실자의 영향이 큰것을 보여주기도 하고 공조기기내에 세균의 증식이

거의 없이, Duct로부터의 방출량은 실내 농도에 영향을 주지 않는다는 것을 알았다.

한편 진균의 방출농도는 여름철에는 근무中の Office빌딩의 실내 농도에 필적하는 농도를 방출하기도 하고, 실내의 진균농도는 공조취출구로부터 방출되는 것으로 예측되고, Duct內의 청소, 소독, Filter의 소독등이 고려되지만, 약제의 인체영향, 소독방법등 이런것들로 부터의 문제가 남아있다.

(5) 공조기에 Mixing 기능을 줄 경우

가동中の 공조기에 혼합기를 들 경우 방출농도에 대한 영향을 보기 위해서 점검구의 문을 여닫아 보면, 점검구를 열때, 방출농도

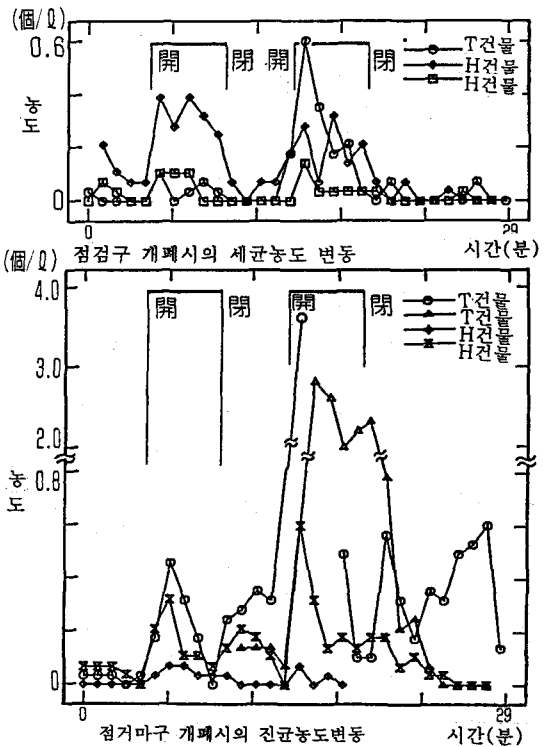


그림7 점검구 개폐시의 농도변동

표 1 공조기 측정의 진균동정결과

	Anderson Sampler		M/G Sampler	
	INTE	PERI	INTE	PERI
Aspergillus	18		38	
Penicillium	3		0	
Scopulariopsis	3		0	
Paecilomyces	1		6	
Acremonium	0		0	
Epicoccum	0		0	
Trichoderma	0		0	
Trichothecium	0		0	
Moniliella	0		0	
Monilia	0		0	
Chaetomium	1		0	
Stachybotrys	0		0	
Cladosporium	7		8	
Phialophora	0		0	
Aureobasidium	0		0	
Sporobolomyces	0		1	
Geotrichum	0		0	
Alternaria	1		0	
yeast	2		32	
others, unknown	3		2	
Sampl	3		2	

표 2 공조기 측정의 세사동정결과

	Anderson Sampler		M/G Sampler	
	INTE	PERI	INTE	PERI
Bacillus	19	11	45	14
Corynebacterium	6	2	15	2
Streptomyces	2	0	7	2
Kurthia	1	0	2	0
Staphylococcus	9	0	8	3
Micrococcus	17	4	15	11
Flavobacterium	0	0	0	0



는 현저하게 높게 되고, 닫았더니 이론적으로는 약 20분만에 정상으로 회복되는 결과를 얻었다.

그림 7에 한 예를 보인다.

이같이, 공조기기에 어떤 혼합기능을 주기도 하고, Filter교환등에 의해 정상상태가 흐트러져서, 취출구로부터 현저하게 고농도의 방출량을 보여 주는 것을 알았다.

#### (6) 채취세균, 진균의 분류

측정기기에 의해 포집된 균의 분류결과의 일부분을 표1, 표2에 보여준다. 세균은 어떤 건물에도 Bacillus, Micrococcus가 많고 진균으로는 Aspergillus, Cladosporium이 많고, 이것들 모두 외기(外氣)중에 많이 부유하기도 하고 건조해도 습기가 있어도 강하게 Duct內的 Filter등에 증식하고 있는 것으로 생각된다.

### 4. 실내의 미생물 농도의 현상과 예측치

여기서 얘기하는 실내로는 공조, System을 갖는 Office Bldg, 비 공조 Bldg, 지하철역 구내 등의 거주환경이며, 최근의 공조 System을 갖고 있는 초 고층 건물에는 미생물은 잘 제어되어 세균 농도는 0.1~0.2개/ℓ 정도이다. 진균농도는 세균농도보다 낮고 0.02개/ℓ 정도이지만 건물내에서의 발생원이 확실치 않다. 한편 공조 Duct로부터의 취출공기중의 미생물 측정에는, 휴일에 재실인원이 없으므로 세

균농도는 현저히 낮지만, 진균 농도는 0.02개/ℓ 정도의 농도를 보이며 실내의 진균 농도는 공조 Duct로 부터 발생하는 농도와 일치하는 결과를 얻고 있다. 비공건물은 겨울철의 난방시나 여름철의 냉방기 사용시에는 환기가 나쁘고 재실인원의 변화의 영향이 현저하다. 부유농도는 세균에 대해서는 공조건물의 2배정도의 농도로되고 최고치는 0.4개/ℓ가 된다. 진균도 같은모양으로 고농도로 평균적으로는 공조건물의 2배정도이지만, 0.2개/ℓ 정도까지 상승하는 예도 있다. 이런식으로 자연환기 건물에는 진균의 발생원은 Duct에 의한 것으로는 없으므로 건물내에 증식하고 있는 것으로 생각된다.

지하철역 구내, 지하상가 등의 폐쇄공조에서는 부족한 환기량, 일조(日照)가 없는것, 통행량이 많은 것 등으로 부터 미생물 농도는 높아진다. 평균농도는, 세균 1.0~2.0개/ℓ 정도가 많고, 지하철역구내에서는 여름철에 보행자의 Peak에는 간균농도가 4개/ℓ 라는 대단히 고농도를 보이는 경우가 있었다. 지하철역 구내에서는 여름철에 진균농도가 높고, 겨울철에 세균농도가 높은 경향이 있고 환기설비를 갖는 시설에서는 농도는 낮게되고, 보행자의 Peak때에도 대단히 높은 농도로 될 것 같은 변동은 보이지 않으나 이같이 폐쇄공간에서의 환기설비의 필요성이 중요하다는 것을 보여준다.