

부유미립자 측정

Airborne Particulate Measurements

김 광 영

K. Y. Kim

(주) 신성기연 기술연구소



- 1956년생
- 클린룸, 오염제어, 실내공기오염, 환경개선, 환경시험장치 등의 공조 및 환경관련 기술개발에 관심을 가지고 있다.

1. 머릿말

공기중의 부유미립자(분진)의 측정은 실내의 공기오염의 심각성에 대한 인식제고와 함께 일반 건물에서 뿐만 아니라, 초청정설비인 클린룸이 채용되고 있는 반도체, 정밀기계, 정밀화학, 광학, 유전공학, 의료, 제약, 식품, 농축산 분야에 있어서 환경측정과 성능평가, 유지관리상에 있어서 매우 중요하다.

대기 및 실내에서의 부유미립자 측정은 최근 사람의 폐기관지와 폐세포에 있어서 직경 $5\mu\text{m}$ 이하의 미립자의 침착율이 매우 높다는 사실과 부유미립자의 상당한 부분이 대기중의 가스로부터 2차적으로 생성되며, 그에 따른 화학적 성분의 인체에의 영향 등에 관한 연구보고와 함께 그 관심이 증대되고 있다. 일반적으로 대기와 실내에 있어서는 부유미립자농도가 상당히 높기 때문에 여과형, 충돌형, 정전형등의 에어 샘플러(Air Sampler)을 사용하여 질량농도와 계수법에 의한 갯수농도를 측정한다.

초청정시설인 클린룸에 있어서는, 부유미립자의 기준 직경이 $0.5\mu\text{m}$ 이하인 점과 갯수농도가 $10^6 \sim 10^9 / \text{ft}^3$ 인 점에 따라 일반적으로 광산란원리를 이용한 광산란식 입자계수기와 초미소

입자를 핵으로 하여 증기의 응축현상에 의해 입자를 크게 생성시켜 측정하는 응축핵측정기가 이용되고 있다. 최근 반도체분야의 클린룸에서는 제어대상의 입경이 $0.05\mu\text{m}$, 농도가 $1\text{개} / \text{ft}^3$ 이하라고 하는 극한조건이 요구됨에 따라 부유미립자의 계측은 더욱 중요하며, 그에 따른 계측기의 신뢰성과 성능향상의 필요성이 절실히 요구되고 있다.

현재, 국내에서 사용되고 있는 부유미립자의 측정기는 대부분 미국, 일본으로 부터 무역상을 통해서 수입되어 보급되고 있으나, 관련기술에 대한 공급자나 사용자의 이해부족과 A/S기술의 부재때문에 측정기의 데이터를 맹목적으로 신뢰하는 Black Box의 인식수준을 탈피하지 못하고 있는 실정으로서 이에 대한 홍보 및 교육이 절실히 필요하다.

따라서 본고에서는, 측정기에 대한 사용자의 취급과 유지관리면에 있어서 일익이 되도록 부유미립자의 측정원리와 사용상에 있어서의 문제점에 관해 기술한다.

2. 일반적인 부유미립자 측정

실내 및 대기중에 부유하고 있는 입자를 농

도로서 나타낼 경우 다음과 같은 3종류의 방법이 있다.

① 물질농도(g/m^3) : 전체 부유미립자의 총 중량(시료를 채취할때 입경의 상한을 규정)

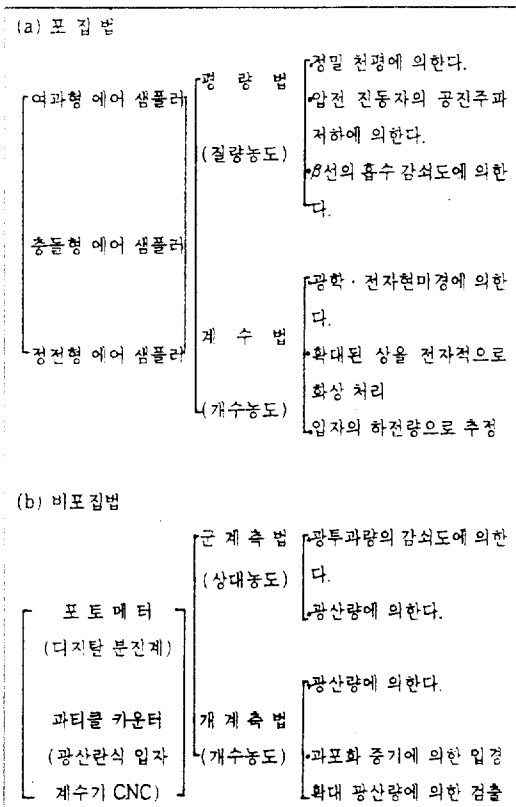
② 갯수농도(개/ℓ, 개/ m^3 , 개/ ft^3) 부유미립자의 총 갯수(계수할때 입경의 하한치 규정)

③ 상대농도 : 질량 혹은 갯수농도에 대응하는 적당한 물리량에 의하는 상대적인 수치

표 1에 일반적인 부유입자의 측정법을 나타낸다. 부유미립자의 측정은 크게 입자를 공기 중에 부유시킨 상태에서 측정하는 방법과, 공기중에서 입자를 분리시켜서 즉 입자를 포집해서 측정하는 방법으로 나눌 수 있다.

포집법의 특징으로서는 입자의 조성 분석이 가능, 입경과 질량의 직접 계측이 가능, 형상의 직접 확인, 입자의 상(고체, 액체등)에 관한 판정이 가능한 점을 들수 있다. 비포집법의 특징

표 1. 일반적인 부유미립자의 측정법



으로서는 파쇄나 응집에 의한 입자의 상태변화가 없으며, 측정결과를 즉시 알수 있으며, 자동으로 연속측정이 가능한 점을 들수 있다.

부유미립자의 입경측정에는 측정법에 의해

① 현미경 관찰에 의한 규격계측(입자의 최대경)

② 공기의 동력학 상당경(공기중의 입자의 운동특성에 의한)

③ 광산란 상당경(특정 굴절율을 가지는 입자의 광산란량)

등의 3종류의 상당경이 사용되고 있으며, 그것들이 가지는 측정원리에 근거한 상대적인 입경임에 주의해야 한다. 즉, 같은 부유미립자를 측정했을때에 그 결과(입경분포등)가 일치하지 않는다는 의미를 가지며, 같은 측정법으로 측정된 결과만이 상대적으로 비교될 수 있다.

측정방법은 목적과 장소에 따라, 입자를 개별로 검출해야 되는지, 전체적으로 측정해야 하는가에 따라 결정되어야 하지만, 일반적으로 입자의 농도에 의해 결정된다. 예를 들면, 클린룸과 같은 초청정 조건에서는 개별측정법이, 일반실내나 회의실등의 담배연기가 층만된 조건에서는 전체적인 방법이 적합하다. 개별측정은 여과지등의 평판상에 포집된 입자를 현미경으로 계수하는 것으로 오래전부터 이용되고 있으며 현재에도 직접적이면서 정확한 갯수농도 측정의 기준방법으로서 정립되어 있다. 그러나, 현미경을 통한 육안으로 입자 한개한개를 측정하는 것은 매우 힘든 작업이여서 개인에 따른 측정치의 편차가 크다는 단점이 있다. 그리고 입경이 1.0 μm 이하가 되면 광학현미경으로는 측정이 곤란하며, 다른 특수한 수단이나 전자현미경을 사용해야 하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 개선하고 측정효율을 높이기 위해 개발된 것이 광산란방식의 Particle Counter이다. 이것에 관해서는 클린룸의 부유미립자 측정에서 상세하게 기술한다. 전체적인 측정법으로서는 질량농도측정과 투과빛의 감쇠, 산란광에 의한 방법등이 있다. 질량농도측정법으로서는, 부유미립자가 함유된 공기를 펌프로 일정량 흡인하면서 미립자를 여지위에 포집시켜 정밀천평에

의해 질량을 측정하는 방법이 종래에 사용되었으나, 평량가능한 미립자양을 포집하는데 장시간이 소요되는 문제점이 있어서, 최근에는 압전진동자의 진동수 변화에 따른 입자질량을 구하는 방법이나, 방사선(β선)의 투과 감소량이 입자질량에 비례하는 원리를 이용한 새로운 자동측정기가 개발되어 널리 활용되고 있다. 부유미립자에 의한 빛의 투과량의 감소와 전체산란광량을 광전자증배관으로 측정하여 전류나 전압으로 측정하는 Photometer가 있으나, 이것은 일반적으로 굴뚝의 배출분진농도 측정을 위한 환경모니터링이나 종래의 중성능필터의 포집효율시험용으로 사용되어 왔다.

3. 클린룸에 있어서의 부유미립자 측정

클린룸 내의 미립자계측에 있어서는, 대상입경이 매우 작으며 그 농도가 매우 낮은 이유때문에, 정밀한 계측기술이 요구되며, 계측치의 신뢰성에 관해서도 충분한 배려가 필요하다. 현재, 일반적으로 클린룸에서 사용되고 있는 계측기로서는 광산란식 입자계수기와 응축핵 측정기를 들 수 있다.

응축핵 측정기는 0.1μm이하의 미소 입경 범위에서도 계측이 가능하므로 유용하지만, Sampling Volume이 적은 것, 입경분포의 정보를 얻기 위해서는 적당한 입경분급장치와의 병용이 따라야 하는 결점이 있으며, 아직까지 입경분급치의 신뢰성에 관해서는 분명하게 밝혀지지 않고 있다. 광산란식 입자계수기는 입자수와 입경분포가 동시에 측정이 되며, 매분 2ft³정도의 Sampling Volume을 갖는것도 개발되어 시판되고 있다. 이러한 장점 때문에 현재 클린룸의 감시용으로 많이 사용되고 있으며 앞으로도 그 사용이 증대되리라 생각된다.

(1) 광산란식 입자계수기

현재, 가장 많이 사용되고 있으며, 개개의 입자로부터의 산란광을 측정해서 입자수 및 입자경을 측정하는 것으로서, 광원의 종류 및 산란광의 수광방식에 따라 많은 기종이 발표되어 있다.

구형입자로 부터의 산란광은, 다음과 같다.¹⁾²⁾³⁾

$$I_{\lambda} = I_{0\lambda} \frac{1}{K^2 R^2} \frac{i_1(a, m, \theta) + i_2(a, m, \theta)}{2}$$

$$= I_{0\lambda} \frac{\lambda^2}{8\pi^2 R^2} (i_1 + i_2) \dots\dots\dots (1)$$

여기서 I_{λ} 는 산란광 강도, $I_{0\lambda}$ 입사광 강도, λ 는 입사광의 파장, $K = \frac{2\pi}{\lambda}$, R 은 입자로 부터의 거리, $a = 2\pi r/\lambda$ 로서 Size Parameter로 불려지고 있다. r 은 입자반경, m 은 매질에 대한 입자의 굴절율, θ 는 입사광과 산란광과의 각도 ($\theta=0$ 는 전방 산란을 의미한다.) 무차원량의 i_1 , i_2 는 Intensity Function으로 불리우며, 각각의 진동방향이 관측면에 수직 또는 수평 직선편광 성분을 나타내는 량이다.

중요한 것은, 산란광 강도가 식(1)과 같이 빛의

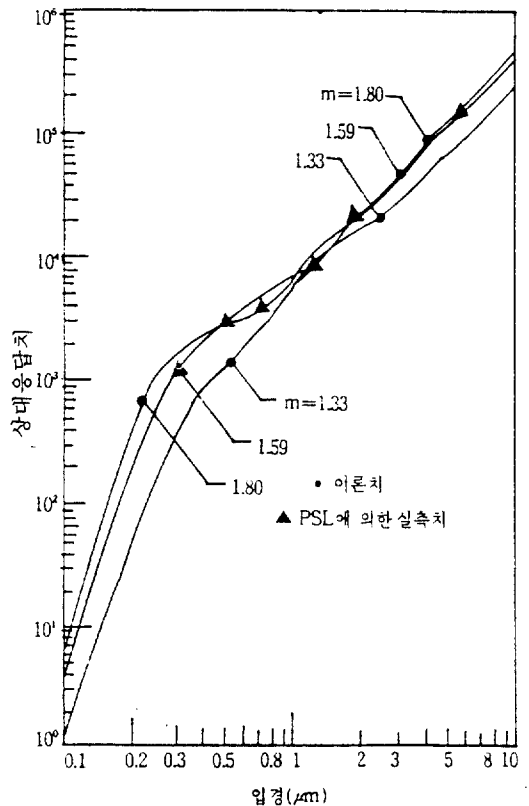


Fig. 1 입경, 굴절율과 응답치와의 관계¹⁾²⁾

파장(λ), 입자경(r), 입자의 굴절율(m), 산란각(θ)에 관계하고 있는 것이다. 따라서 입경이 같아도, 다른 Factor가 다르면 산란광 수평면에서의 응답이 달라지게 된다. Fig.1은 입경, 굴절율과 응답치와의 관계를 나타낸다.

실제의 전구를 광원으로 한 광산란식 입자계수기는 Fig.2와 같이 시료공기를 청정공기로 붓뚜껑처럼 쌓아서 조사광과 교차시키는 구조로 되어 있다. Fig.3에 Particle Counter의 측면산란 방식에 의한 입자 검출부의 구조를 나타낸다. 조사영역을 통과하는 시료공기중의 입자에 의하여 산란된 빛은 렌즈로 모아져 포토멀티프라이어(광전자증배관)로 보내진다. 여기에서 산

란광은 Fig.4와 같이 전기 신호로 변환된다.

입자에 의한 산란광의 양과 입자의 직경에는 일정한 관계가 있으며, 실제의 입경은 전자 현미경으로 측정하여 알 수 있다. 크기가 일정한 표준입자를 검출부로 보내 포토멀티프라이어의 출력에 나타난 Pulse 신호의 높이를 읽어서 Particle Counter의 입경 분별기능을 초과하는 값을 결정할 수 있다. 그러나 광원의 강도가 변화하면 동일직경입자에 의한 산란광의 양도 변하여 정확한 입경 측정이 불가능해 진다. 이를 위하여 Particle Counter는 입자 검출부에 자동 감도 조정기능을 갖추고 있다.

Fig.3에 의해 이 감도 조정 기능을 설명하면 조사영역을 통과한 조사광은 Trap(광을 흡수하는 기구)에 도달하여 이곳에서 소멸되는데 Trap에는 작은 창이 있어 조사광의 일부를 받아서 내보내도록 되어 있다. 이 빛은 광Fiber로 집광계(산란광을 검출하는 광학계)의 광축으로 보내진다. 입자 측정중의 빛은 Shutter에 의하여 차단되어 집광계로는 들어가지 않지만 입자 검출부의 감도조정 시간에는 Shutter가 단시간 동안 열려 집광계로 직접 들어간다. 이 집광계에 대하여 입자 검출부의 전기적 반응의 크기를 판정하여 그 값이 일정하게 하도록 포토멀티프라이어의 감도를 조정한다. 예를 들면 광원의 강도가 저하된 경우에는 광 Fiber를 통해 포토멀티프라이어에 도달한 빛의 양도 감소되어서 멀티프라이어의 출력도 저하된다. 이 출력신호의 크기가 기준 Level(광원의 최초 강도 수준)이 되도록 포토멀티프라이어의 감도를 증가시켜 광원의 강도 저하를 보정한다.

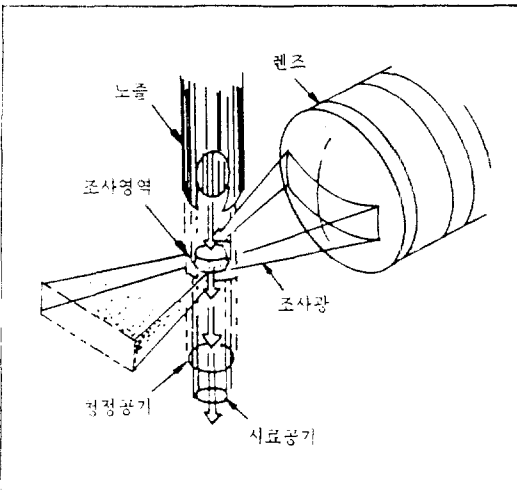


Fig. 2 시료공기 기류와 조사광의 교차²⁾

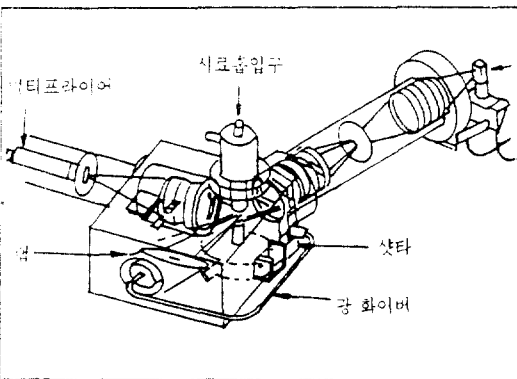


Fig. 3 입자검출부의 구조²⁾

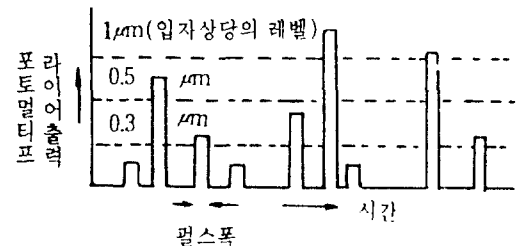


Fig. 4 광전자 증배관의 출력신호¹²⁾

광원 전구의 수명 도래나 절선에 의하여 교환할 경우에는 광량이 변하지만 자동 감도 조정 기능에 의하여 어느 정도 범위내의 오차를 허용한다면 본래의 입경판별 감도에 가깝게는 할 수 있다. 그러나 전구마다의 차이 때문에 본래와 같은 상태가 된다고 보증할 수 없다. 따라서 전

구를 교환한 경우에는 꼭 표준입자에 의한 입경판별기능의 기본 교정을 해야 한다.

이상의 내용은 레이저를 광원으로 사용하고 있는 입자계수기에서도 동일하게 해당된다.

Fig. 5, 6에 Sampling Volume이 1cfm인 입자계수기의 광학계와 Airflow의 개요를 나타낸다. 본

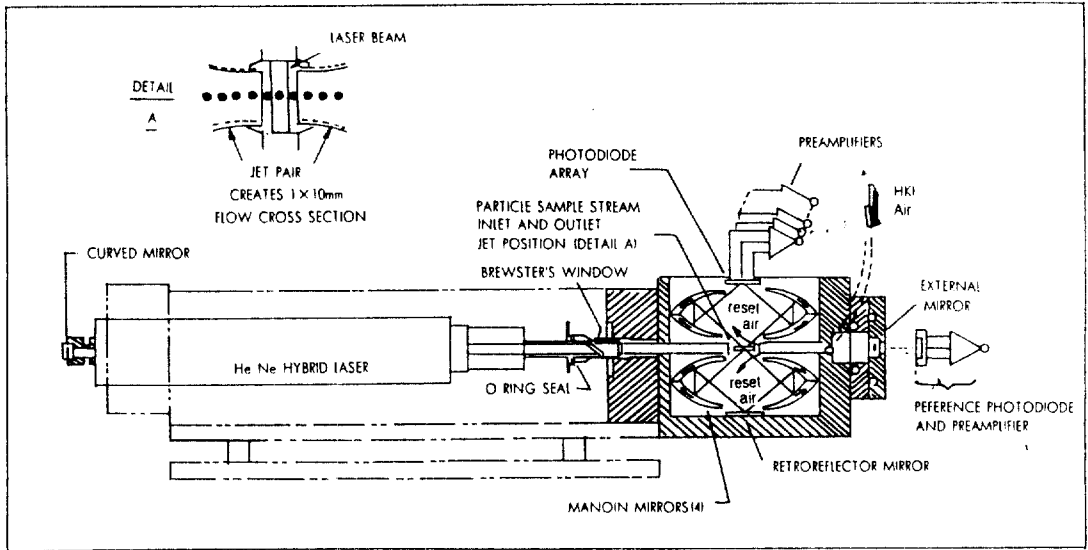


Fig. 5 Sampling Volume 1cfm의 Particle Counter의 광학계

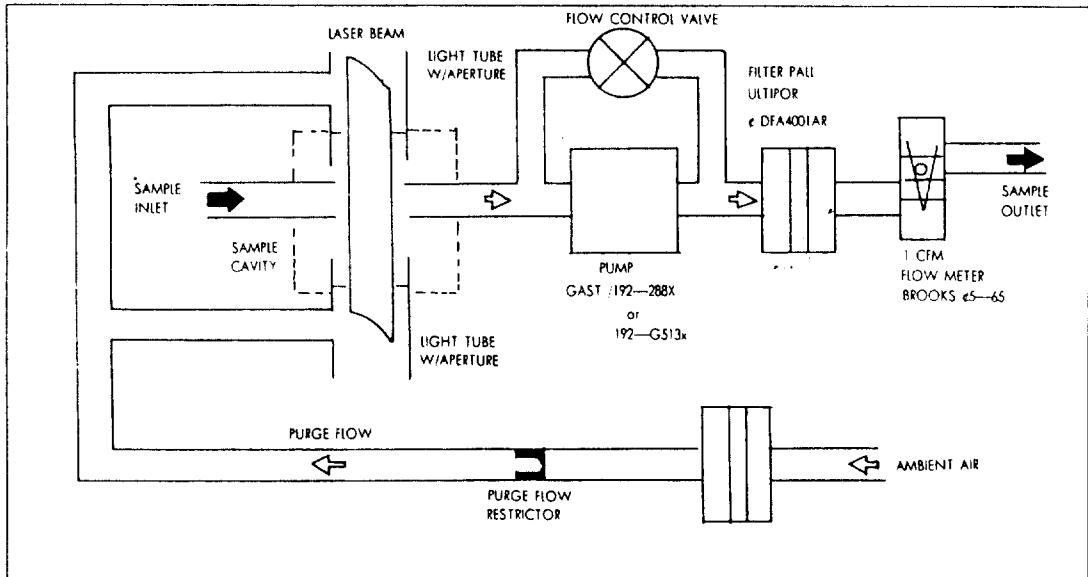


Fig. 6 Sampling Volume 1cfm의 Particle Counter의 Airflow Diagram

계수기는 직경 1.0mm이하의 시료공기유입의 노즐을 사용한 종래의 레이저 광원의 입자계수가 갖는 소유량의 Sampling Volume(최대 수 l/min 이하)의 문제점을 독창적인 노즐과 광학계를 사용하여 성능을 향상시킨 것으로 최근의 고정정도 클린룸에 이용되고 있다. 또, 최근에는 Laser Diode의 광원과 고정집적도의 Microprocessor를 채용하여 Fig.7과 같이 손바닥크기만큼의 소형화와 가격의 저렴화가 이뤄지고 있어서 일반실내 및 초청정공간등의 다양한 분야에의 적용이 기대되고 있다.

(2) 응축핵 측정기(CNC)

상기의 광산란식 Particle Counter에서는, 광원과 Noise등에 주의하면 입경 $0.1\mu m$ 까지 계측 가능한 것도 있지만, 그 이하의 미소입자의 계측은 곤란하다. 현재, 그와 같은 미소입자계측



Fig. 7 소형화된 최근의 Particle Counter의 일례

에는 CNC가 사용되고 있다.

직경 d 의 액적이, 성장할 것인가 증발할 것인가는 입경과 증기의 포화도에 의한다. 성장할 것인가 증발할 것인가의 한계입자경 d^* 는, 일반적으로 다음의 Kelvins Equation에 의한다.⁵⁾

$$\ln \frac{P}{P_{\infty}(T)} = \frac{4M}{\rho RTd^*} \dots\dots\dots (2)$$

여기에서, $P_{\infty}(T)$ 는 온도 T 에서의 포화증기압, $P/P_{\infty}(T)=S$ 는 포화비, M 은 액체의 분자량, ρ 는 밀도, R 은 가스정수이다. 이 관계를 Fig.8에 나타내며, 포화비를 높여서 증기의 과포화상태를 만들면 미소입자도 성장을 계속해서 관찰할 수 있게 된다. A, B 를 정수로 하면, 포화 증기압은 일반적으로

$$\ln P_{\infty}(T) = A - \frac{B}{T} \dots\dots\dots (3)$$

이며, 온도만의 함수로 되기 때문에, 계의 온도를 일시적으로 변화시키면서, 기체는 열에 대해서 전도율이 낮기 때문에, 과포화상태를 만들 수 있게 된다. 단열팽창에 의해서 온도를 변화시켜 과포화상태를 만들어, 입자를 크게 만드는 것이 Aitken Counter와 Pollak Counter라고 불리우는 것이며,⁶⁾⁷⁾ 가스류중에서 온도변화를 시켜 입자를 성장시키는 것이 Particle Size Magnifier, Flow Reactor로 불리워지고 있는 것이 있다.⁸⁾⁹⁾

Fig.8에 나타나 있는 바와 같이 입경 $0.01\mu m$ 이하의 범위에서는, 입자의 성장에 높은 포화비를 필요로 하지만, 입자가 전기를 띄고 있는 경우에는 표면장력을 약하게 하기 때문에 보다 낮은 포화비에서 입자성장이 된다. 또 증기성분에 대해 용해성의 응축핵이 존재하는 경우에는, Raoult의 법칙에 의해 용해물질을 함유하는 액적의 평형증기압이 감소하기 때문에, 낮은 과포화도에서 입자는 성장한다. 이와 같이 CNC는, 과포화도를 높이면, 증기의 자기응축핵이 생길 가능성이 있어서 주의할 필요가 있다.

현재 이 방법으로, 단열팽창형, 가열냉각형, 증기혼합형의 3종류가 실용화되어 있다.

- ① 단열팽창형은, 입자의 도입 · 단열팽창 ·

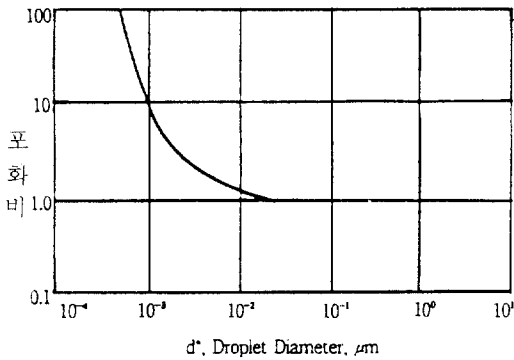


Fig. 8 Kelvin식에 의한 한계 입자경과 포화비와의 관계

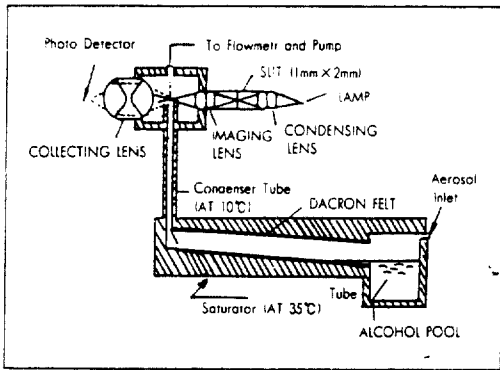


Fig. 9 가열냉각형 CNC(TSI사)

입자농도의 측정·입자의 배기라는 일련의 동작으로 구성되어서, 단속적인 샘플링이 되지 않을 수 없다. 또한 입자농도의 측정은, 광투과식이어서, 클린룸등의 저농도의 환경하에서의 측정에는 적합치 않다.

② 가열냉각형은, 고온의 물 또는 알코올증기등에 입자를 도입하여, 이 포화증기를 냉각함으로 인해 입자를 핵으로 하여 응축 성장시키는 것이다. 단열팽창형과 비교하여, 연속적인 샘플링이 가능한 점에서 유효하지만 샘플링의 유량을 크게할 수가 없는 것이 결점이다. 가열냉각형의 원리도를 Fig.9에 나타낸다.

③ 증기혼합형은, 최근 개발된 것으로, 각 고온과 저온의 포화증기중에 입자를 통과시켜, 이를 일정한 비율로 혼합하여, 이때 형성되는 과포화에 의해 입자를 응축성장시키는 것이다.

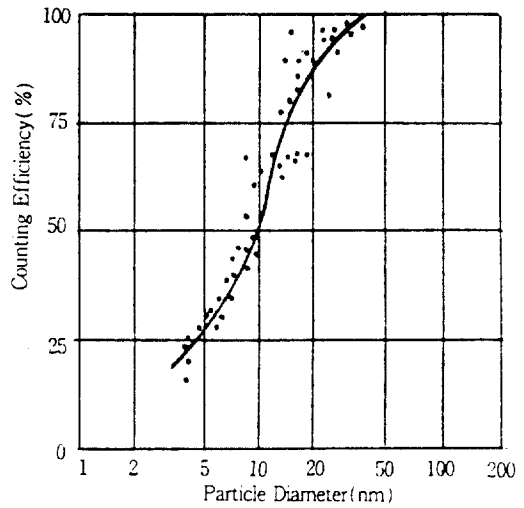


Fig. 10 가열냉각형 CNC의 계수효율¹²⁾

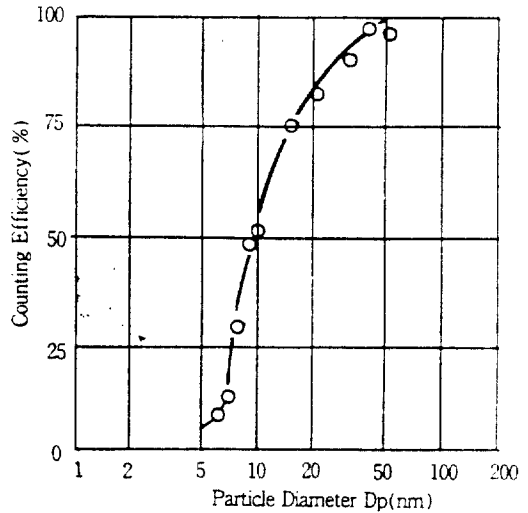


Fig. 11 증기혼합형 CNC의 계수효율¹²⁾

CNC의 계측가능한 최소입경은 제작사에 의하면 일반적으로 0.003 μ m라고 이야기 하지만, 100%의 계수효율을 고려하면 0.05 μ m정도가 된다. Fig.10,11 가열냉각형 증기혼합형의 계수효율을 나타낸다. 실제 사용시에는 이러한 문제점들을 고려하여 기종의 선정과 사용에 유의하여야 한다.

CNC에 있어서의 입경분류는 과포화도를 계통적으로 변화시키지 않는 한 불가능하다. 따

라서, 실제로는 미리 입경을 분류해 놓고, 그 수를 CNC로 측정해서 입경분포의 정보를 얻을 수 있게끔, 미분형이동도 Analyzer¹⁰⁾ 또는 확산 Battery가 병행해서 사용되고 있다. 전자는 입자의 전기적 이동도(K)가 구해지면,

$$K = \frac{PeEC_c}{6\pi\eta r} \dots\dots\dots (4)$$

의 관계로 부터 입자반경 r이 구해지기 때문에 입자의 이동도 분포로부터 입경분포를 알 수 있다.

여기에서, e : 전기소량, p : 소전하수, E : 전계강도, C_c : Cunningham 보정계수, η : 기체점성이다.

후자의 확산 Battery에 의한 방법은, 예를 들면 입자를 원통형Tube(반경R)를 통과시켜, 입구농도를 n₀, 출구농도를 n로 하면, 그 농도비¹¹⁾

$$\frac{n}{n_0} = 0.819\exp(-3.675_\mu) + 0.097\exp(-22.3_\mu) + 0.032\exp(-57_\mu) \text{ (단, } \mu > 0.04) \dots (5)$$

여기에서 $\mu = D\ell / R^2V$ 이며, ℓ : tube길이, V : 평균유속, D : 입자의 확산계수이며, 결국 n/n₀은 D의 함수관계이다. 따라서, 실험 Parameter를 변화시켜, D분포를 얻으면,

$$D = kTB, B = \frac{C_c}{6\pi\eta r} \dots\dots\dots (6)$$

의 관계로 부터, 입경분포를 알 수 있다. 이 경우에 K : Boltzmann정수, T : 절대온도이다. 이러한 수법으로 미소입자를 분급해서, 입자수를 CNC로 측정하면 입경분포를 측정할 수 있다.

4. 광산란식 입자계수기의 문제점¹³⁾¹⁴⁾

광산란식 입자계수기의 문제점은 광산란원리상의 것과 장치의 설계, 제조, 교정상의 것으로 대별할 수 있다.

종래의 현미경에 의한 포집 관찰법 사이에 생기는 측정원리상의 오차를 열거하면 다음과 같다.

- (a) 입자 형상의 영향
- (b) 입자의 광학적 성질(굴절률, 흡광도)의 영향

(c) 2개 이상의 입자가 동시에 검출역에 들어감에 의한 차이(동시 통과 손실이라고 함)

(d) 입경 판별 능력의 낮음(감도 교차의 크기)에 의한 영향(일반적으로 숫자에 한함)

이 4항목 중에 a), b)는 공업량으로서의 계측상의 약속에 관한 것으로 c), d)의 함은 장치의 설계에 의하여 어느 정도 경감이 가능하며, 본질적으로 제로가 되기에는 불가능하다. 또한, 인위적인 원인에 의한 오차로서는

- ① 장치 자체의 설계, 제조, 조정상의 문제
- ② 장치의 취급이나 기종의 선정상의 문제 등이 있다. 이것은 본래 정상으로 작동하는 파티클카운터라면 계수치 N이어야 하는데 n으로 표시되어 오차라고 해도 좋다. 우선 장치 자체의 설계, 조정이 안되어 생기는 오차는
- (e) 미주 입자에 의한 오계수
- (f) 자발 내부 잡음에 의한 오계수
- (g) 외래 전기 잡음에 의한 오계수
- (h) 입경 판별치의 설정 오차
- (i) 입자의 조사광 불통과, 검출 시야 협착에 의한 계측 불완전

우선 (e)의 미주입자는 시료 공기의 흐름이 흐트러졌기 때문에 한번 조사영역을 통과한 입자 중에 일부의 입자가 다시 조사 영역속으로 들어와, 정상이면 Fig.12와 같은 모양이 되어야 할 응답 신호가 Fig.13과 같은 이상한 펄스 폭이 긴 포물선을 그린다. Fig.14는 입자의 미주가 일어나고 있는 장치의 실제의 응답신호파형으로 미주 입자에 의한 긴 펄스에 자체 잡음이 중복되기 때문에 파익 계수치는 1개의 입자에 대하여 여러번 카운트되는 경우도 있다. (f)의 자체 내부 잡음에 의한 거짓 계수는 잡음의 제일 높은 파고치가 그대로 입경 판별기의 제일 낮은 설정치를 넘어서 발생하는 한편 Fig.15에 나타난 것과 같이 입자의 응답 펄스에 잡음이 중복되어 1개의 펄스를 여러번 (그림의 예로는 A-A', B-B', C-C'로 3회) 계수하는 현상으로 장치의 적절한 신호처리가 실시되지 않는 경우에 나타난다.

(g) 전기잡음에 의한 오계수는 파티클 카운터를

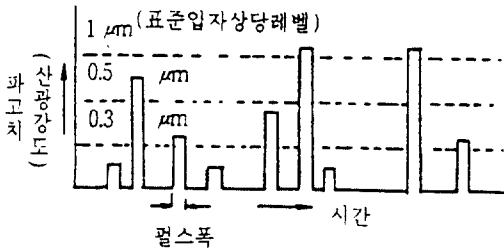


Fig. 12 정상적인 OPC의 응답신호파형(모식도)

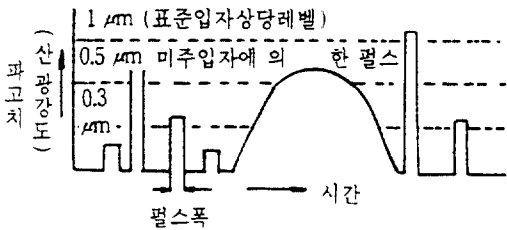


Fig. 13 입자의 미주가 일어나고 있는 OPC의 응답신호파형

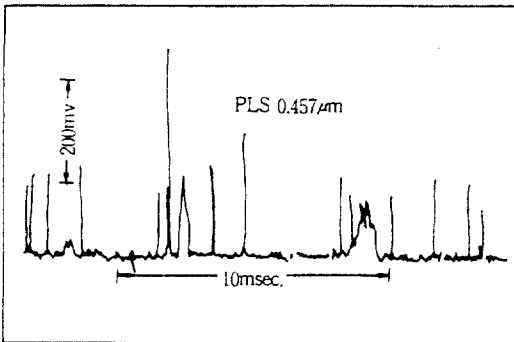


Fig. 14 입자의 미주가 일어나고 있는 OPC의 응답신호파형

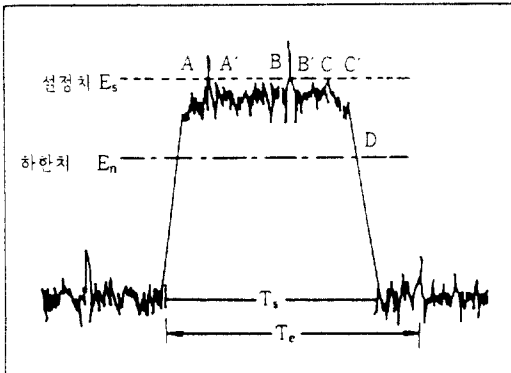


Fig. 15 신호펄스에 중복된 잡음파형의 영향

사용하는 환경이 변화거나(공장의 레이 아웃의 변경 등)새로운 제조 설비 (초음파 가공기, 세척기 혹은 고주파나 방전을 이용한 대형장치 등)를 도입한 직후에 빈번히 나타난 예가 많다. 고청정 구역에 놓인 카운터는 돌연 이유 불명한 계수를 나타낼 때가 있어 장치의 고장으로 오해한다. 한도를 초과한 강력한 외래 잡음에 대하여 튜닝을 없앤 AM라디오(포터블)를 써서 발생원을 찾아 내 잡음 자체의 발생을 억제하는 것이 바람직하다.

(h), (i)는 장치에 대하여 전문적인 지식이 필요하여 사용자의 입장에서 이 항목에 해당하는 오차의 발생 여부를 판정하는 것이 불가능에 가깝다. 따라서 판정 능력이 있는 기관에 의하여 장치의 성능이나 기능에 대하여 점검을 실시하여 사용자가 안심하고 파티클카운터를 사용하도록 하는 시스템이 확립되는 것이 바람직하다.

다음은 사용자측에 책임이 있는, 취급이나 장치의 기종 선정이 잘못된 원인으로 발생하는 오차로서는

(j) 샘플링관의 입자 침착

(k) 시료 공기량의 계량실수

(l) 계수치가 너무 적어서 오는 통계학적인 오차

부유미립자는 Colloid상태의 분산계로서 그 특성의 내용은 시간적이나 공간적으로는 항상 변동하고 있는 불안정한 존재이다. 특히 가는 공간이나 관을 통과시키면 예외없이 그 특성은 변화한다. 측정을 할 경우 가능한 한 샘플링관은 사용하지 않는 것이 이상적이지만, 할 수 없는 경우에는 가능한 한 짧게 할 필요가 있다. 특히 1~5μm정도의 입자는 중력에 따라 침강하는 속도가 빠르기 때문에 수평으로 놓인 내경 5mm의 관 속을 10초 정도 걸려서 대기가 통과할 경우, 입자수는 1/2이하가 되어 정확한 입경 분포를 알 수가 없다.

다음으로 시료 공기 흡입량이 계속하려 하는 청정도와 맞지 않는 장치로 계속할 경우, 1회 측정으로 얻어진 계수치가 실제와 많은 차이가 나는 경우가 많다. 예를 들어 용적이 283m³(10,000ft³)의 클린룸에 100만개의 입자가 부유하고 있는 경우, 이 실내의 1ft³당 평균계수는 100개

이며 10,000으로 등분된 각각의 영역중에 거의 6,830개의 영역에 대하여 $100 \pm \sqrt{100}$, 즉 90~110개의 범위 내에 있는 것이 통계학적으로 해석 가능하다. 같은 클린룸내에서 파티클 카운터로 0.1ft³만 샘플링하여 입자수를 계수하면 약 68%의 확률로서 7~13개를 나타내게 된다. 이 예와 같이 계수치가 너무 적은 경우, 측정 시간을 연장하는 수단에 의하여 적어도 3자리수의 계수치를 얻어야 한다.(장시간 측정하는 방법에서는 농도변동에 대한 정보는 모두 평균화되어 소멸한다. 정확한 측정을 위하여는 시료 공기의 입자갯수 농도에 맞는 Sampling Rate를 갖춘 장치를 사용하는 이외의 방법은 없다.)

5. 맺음말

이상, 대기 및 실내, 초청정공간등에 있어서의 부유미립자 측정에 관해 측정치의 신뢰성 확보와 적절한 취급상의 측면에서 부유미립자의 측정원리와 문제점에 관해 기술했다.

향후, 부유미립자 측정은 일반 빌딩, 공공장소, 대기등의 환경관리상에 있어서 더욱 보편화 일반화 되는 추세에 있으며, 초LSI 반도체산업등의 특수분야에서는 극한조건에서의 기술적 대응이 요구되고 있어서 계속적인 측정기술의 고도화가 절대적으로 중요하다. 현재, 전량 외국제품에 의존하고 있는 국내실정을 감안하면 일반환경조건에서의 측정기술의 국내자립이 무엇보다도 긴급요하며, 관련기술의 교육과 문제점에 대한 사용자의 인식제고가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 高橋幹二, 基礎エアロゾル工學, 養賢堂(1972)
2. 中江茂, サブミクロン粒子の計測技術, 空氣清淨 Vol. 20. No. 6.
3. H.C. Hulst, Light Scattering by small particles, John Wiley and Sons(1957)
4. D.M. Garvey and R.G. Pinnick, Aerosol Sci. Tech., Vol. 2(1983)
5. P.C. Reist, Introduction to Aerosol Science, Macmillan Pub. Co.(1984)
6. L.W. Pollak and A.L. Metnieks, Geof. Purae Appl., Vol. 43.(1959)
7. P.J. Nolan, Proc. Roy. Dublin Soc. Ser. A, Vol. 4, No. 2.(1972)
8. Y.I. Kogan, et al., Zh, fiz. Khin., Vol. 34(1960)
9. J.K. Agarwal, et al., J. Aerosol Sci., Vol. 11 (1980)
10. B.Y.H. Lin and D.Y.H. Pui, J. Colloid Interf. Sci., Vol. 47(1974)
11. J.W. Thomas, J. Colloid Sci., Vol. 10(1955)
12. 空氣清淨, 日本空氣清淨協會, Vol. 26, No. 6. P.45-48 (1989. 6)
13. 星名民雄, 光散亂によるエアロゾルの測定, 空氣清淨, Vol. 22, No. 4, P.1-19(1985)
14. 星名民雄, 市販パテイクルカウソタの問題について, 第3回 エアロゾル科學技術研究討論會要旨集, P.183-185(1985)