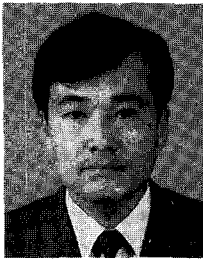


클린룸 기술의 개요

글/오명도 <공학박사·생산기술연구원 기계기술실용화센터>

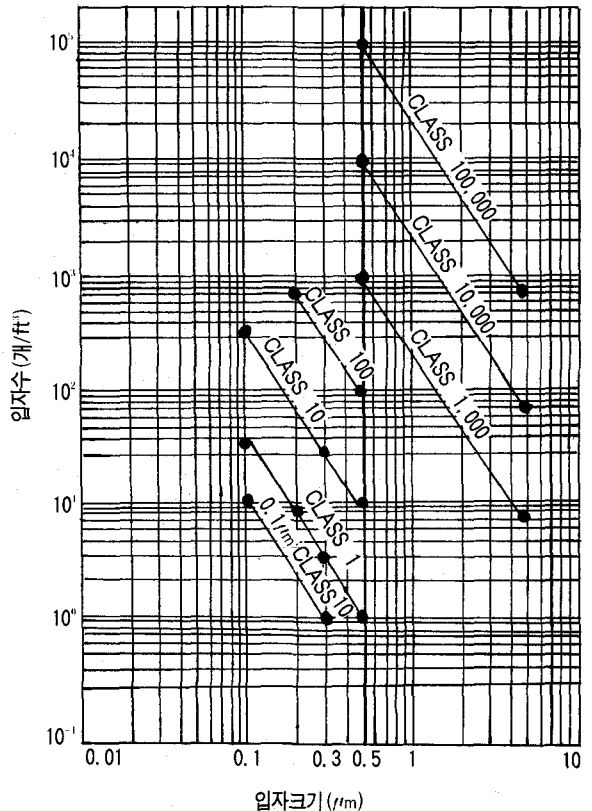


현대는 과학산업, 첨단기술 산업의 시대로 그 첨단 기술의 초정밀화, 고순도화, 고도화 무균화 추세에 맞추어 첨단 제품의 생산 수율과 성능향상을 위하여 클린룸을 필요로 하는 산업분야도 날로 넓어지고 있으며, 초정정 기술은 필수적인 핵심요소 기술이며 생산기본 기술로 중요성이 강조되고 있다.

클린룸은 실내 공기중의 부유 미립자나 미생물, 공기의 온도, 습도, 공기압, 기류의 분포, 속도등을 각각의 목적에 맞게 요구되는 기준치로 유지하는, 완전히 인위적으로 제어된 공간을 지칭한다. 이러한 클린룸의 역사는 19세기 세균이 발견되고 오염물질이 제거된 청정공간의 필요성이 인식되기 시작한 이래 20세기의 급속한 산업발달과 함께 그 수요가 급증하게 되었다. 특히 2차대전 중 항공기나 레이더의 주요 고장원인이 기계나 전자부품의 생산시 부품에 부착되는 오염입자에 의한 것으로 밝혀져 미국 국방성의 주도로 클린룸 연구가 본격화되었고 원자폭탄 개발과 함께 방사성 미소입자의 제거가 문제로 등장하고 AEC(원자력위원회) 필터, HEPA(고성능) 필터 등의 개발과 함께 전자기기, 정밀기기, 광학, 자기테이프 등 산업계와 유전공학, 의료, 제약, 식품업계에까지 파급되어 그 응용범위가 점점 다양화되고 고도화되고 있다.

생산하는 제품의 품질향상과 신뢰성 확보를 위해서

는 제조공정 중 제어해야 할 오염입자의 크기와 수에 따라 클린룸의 청정도를 설정하여야 한다. 클린룸의 청정도 등급을 표시할 때 클래스(class)라는 단위를 사용하는 데 예를 들어 전세계적으로 통용되고 있는 미국의 연방규격인 FS 209D(<그림 1> 참조)를 기준으로 설명하면 클래스 100이라는 것은 단위 입방피트



<그림 1> 입자크기별 단위 ft³당의 입자수 상한치

당 입경이 $0.5\mu\text{m}$ 보다 큰 입자들이 100개이내로 제어되는 공간을 의미하고 클래스 숫자가 작아질수록 청정도가 높은 클린룸이 된다.

대기중 부유하는 입자들의 크기는 $0.01\mu\text{m}$ - $100\mu\text{m}$ 정도가 되는데 보통의 실내공간의 청정도를 클래스로 표시하면 클래스 500, 000-1, 000, 000 정도가 된다. 대기 부유 입자는 생성특성과 크기에 따라서 크게 3가지 모드(mode)로 구분할 수 있다.

(1) Nuclei 모드 입자($0.1\mu\text{m}$ 보다 작은 입자들)

주로 증발, 응축현상이나 연소에 의해 생성되는 것으로 클린룸내에서의 발생원인은 로, 오븐, 히터등의 가열공정과 조명장치, 과열모터, 베어링 구동중에서도 발생된다. 이러한 크기의 입자들은 응축과 미소입자들의 결합 현상으로 더 큰 입자들로 성장할 수 있다.

(2) Accumulation 모드 입자(0.1 - $1.0\mu\text{m}$ 크기의 입자들)

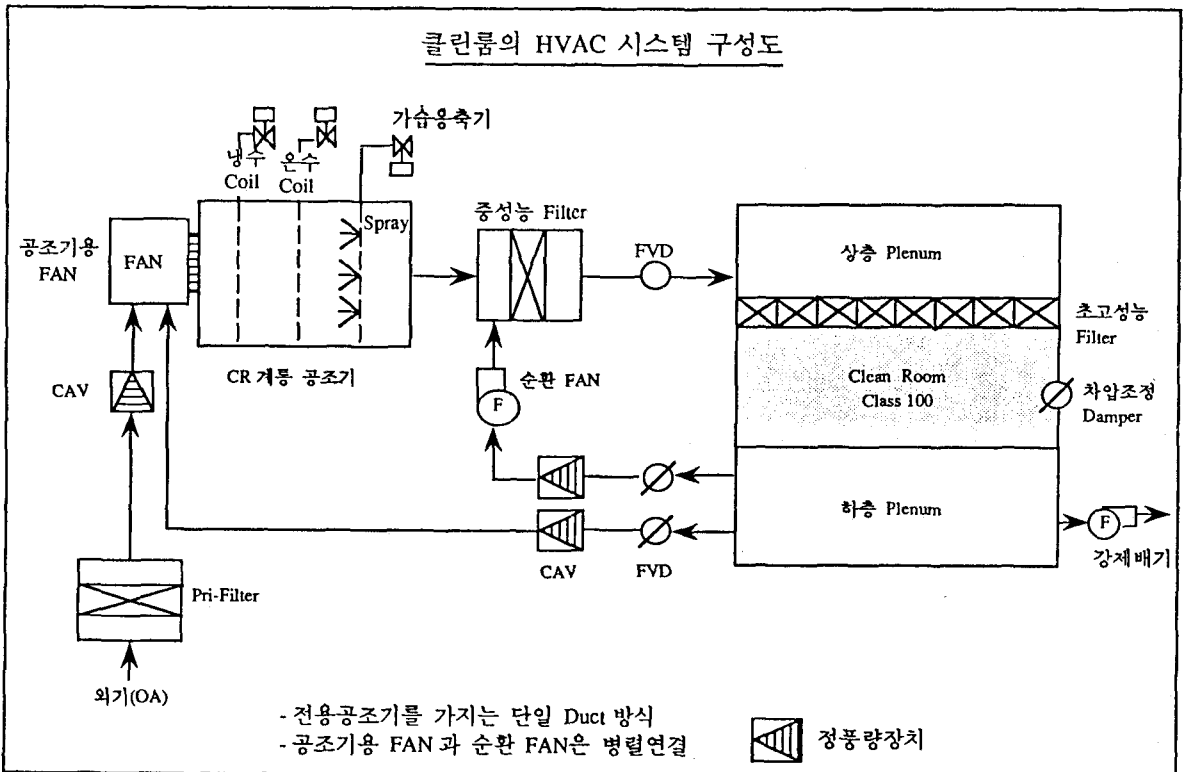
보통 처음 생성되는 입자들은 앞서 설명한 Nuclei 모드 범위에 속한것이 대부분이나 이렇게 작은 입자들은 주변공간의 습분에 의해 응축현상(coudensation)이나 결합현상(coagulation)에 의해 이 모드의 입자들로 성장하게 된다.

(3) Coarse 모드 입자($1\mu\text{m}$ 보다 큰 입자들)

이 모드 입자들의 주된 생성 원인은 기계적인 마모 등에 의한 물리적인 메카니즘에 의한다. 따라서 클린룸에서는 기계적인 마찰 및 마모가 있을 수 있는 모든 부분에서 이러한 크기의 입자들이 발생할 수 있다.

결국 클린룸 기술이란 클린룸 공조를 위해 필요한 외기공기나 실내에서 발생할 수 있는 이러한 여러 모드의 오염입자를 가장 신속하게 제거시키거나 배출시켜 특정생산 제품이나 공정의 분위기를 오염 입자로부터 보호 유지하는 모든 기술을 포함하는 종합기술이라 할 수 있다.

이러한 인위적인 환경조건을 조성하기 위해서는 클

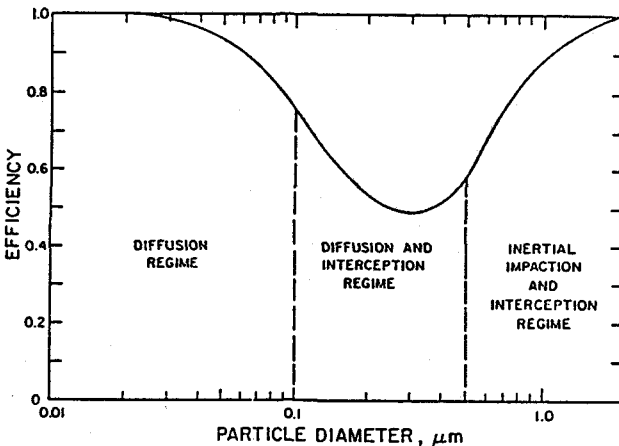


〈그림 2〉 클린룸에서의 전형적인 공조시스템 구성도

린룸이란 특수설비가 필요한 데 클린룸은 연속운전이 되어야하고 연간 냉방부하가 크며 고성능필터와 정교한 온도도 제어가 필요하므로 많은 송풍량이 필요하고 그로 인해 전력 및 열에너지의 사용량이 크다. 예를들면 상업용 건물의 공조설비비에 비해 층류형 클린룸의 경우 10배 이상의 설비비가 소요된다. <그림 2>는 이와같은 목적을 달성하기 위한 대표적인 클린룸 공조시스템의 예를 보여주고 있다.

클린룸에서의 입자제거는 주로 고성능필터(HEPA 또는 ULPA필터)를 통해서 이루어지는데 필터의 포집효율은 필터여재 (filter fiber)와 공기중을 타고 들어오는 입자들과의 상호작용인 입자의 관성, 확산, 차단효과에 의해 결정된다.

<그림 3>은 입자크기에 따른 전형적인 필터의 포집 성능을 나타내는 것으로 0.1 μ m보다 작은 입자들은 입자의 브라운 운동이 커서 여재에 쉽게 포집되고 1 μ m보다 큰 입자들은 주로 관성에 의해 유선을 쉽게 이탈하여 여재에 부딪쳐 포집이 쉬워져 효율이 높고 0.1 μ m~1 μ m 크기의 입자들은 포집효율이 상대적으로 떨어진다.



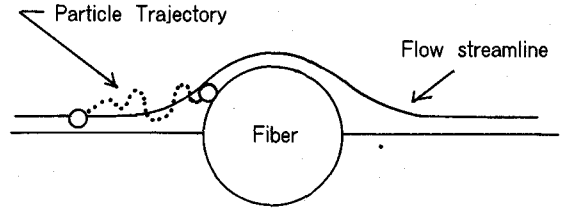
<그림 3> 입자크기에 따른 전형적인 필터의 포집효율

이러한 필터에서의 입자들의 포집원리를 간략히 설명하면 다음과 같다.

(1) 확산효과 (BROWNIAN DIFFUSION)

작은 입자는 공기의 흐름과 관계없이 BROWN 운동을 하고 있다. 따라서 기류를 타고 여재사이를 통과

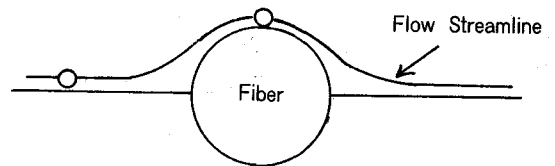
하는 큰 입자까지도 여재사이에서의 이동거리가 길고 방향성이 없기 때문에 섬유에 걸려 포집된다. 입경, 여과속도가 작을때 효과가 크다.



(a) Brownian diffusion

(2) 차단효과 (INTERCEPTION)

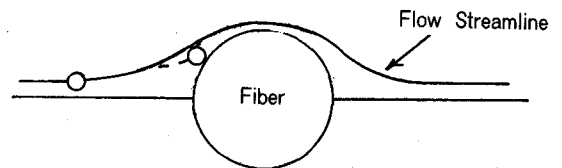
입자가 공기의 흐름을 타고 운동을 하고 있어도 입자에는 크기가 있기 때문에 FILTER의 섬유에 부딪혀 포집된다. 입경과 섬유경의 차가 클때 이 효과는 나타난다.



(b) Direct Interception

(3) 관성효과 (INERTIA)

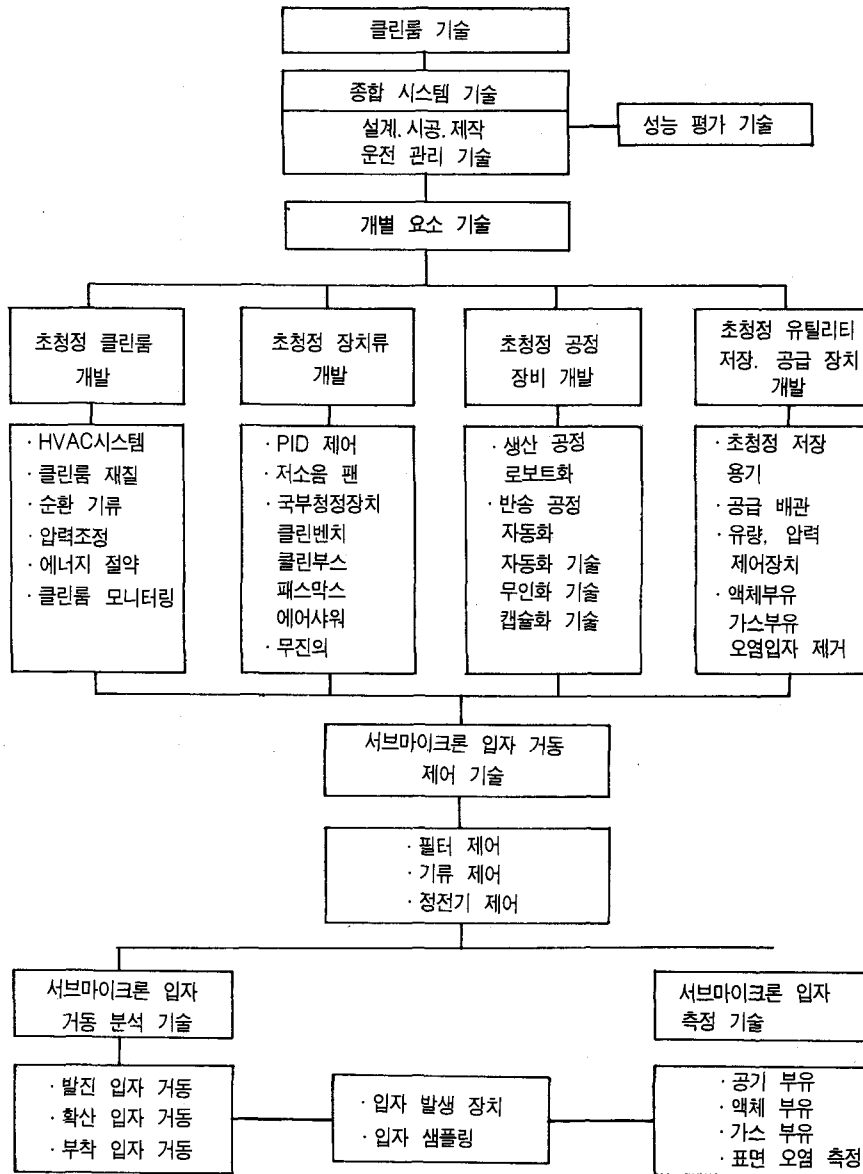
공기의 흐름을 타고 섬유에 접근한 입자는 자신의 관성에 의해 기류로부터 벗어나 FILTER의 섬유에 충돌되어 포집된다. 입경, 여과속도가 클때 이 효과는 나타난다.



(c) Inertial Impaction

이와같이 클린룸 기술이란 서브마이크론 입자들을 제어하는 기술이므로 단순히 건축 및 기계설비적인 관점에서의 시스템 엔지니어링 기술만이 아니라 입자의 발생, 확산, 부착 등의 거동을 제어해야 하는 고도의 사이언스가 접목된 첨단설비분야라고 할 수 있다. 이러한 관점에서 클린룸 관련 기술을 도해 분석하여 요

소기술을 체계화하면 <그림 4>와 같이 도식화할 수 있다. 따라서 진정한 초청정 기술인 클린룸 기술을 국산화하기 위해서는 설비업체, 사용자, 과학기술계가 유기적으로 연관되어 기술개발에 힘써야 할 것으로 생각된다.



<그림 4> 클린룸의 요소기술 체계도