

제 3 회 실내 공기청정기술 국제 심포지움

The 3rd International Symposium on Indoor Air Cleaning Technology

손 장 열

J. Y. Shon

한양대학교 건축공학부 교수

제 3 회 실내 공기청정기술

국제 심포지움 추진위원회 위원장



· 1945년생

· 온열환경, I.A.Q.

클린룸에 관심을 가지고 있다.

본 학회와 대한건축학회가 공동으로 주최하고 삼성건설주식회사와 (주)삼우설계가 공동으로 후원하는 「제 3 회 실내 공기청정기술 국제 심포지움」이 김영호 회장, 이명호 대한건축학회장을 비롯, 양 학회 회원, 국내외 학계, 연구소, 산업계의 전문가 150여 명이 참석한 가운데 10월 6일 오전 9시에 건설회관 중회의실에서 열렸다.

본 심포지움은 최근 해외의 선진 클린룸 기술의 현황을 파악하고, 국내 클린룸의 설계·시공, 시험측정, 유지관리 기술을 향상시킬 수 있는 신기술을 소개하여 국내 클린룸 기술 발전을 도모하고자 1990년에 제 1 회를 개최한 후부터 격년으로 개최되어 이번이 3회째로 해를 거듭할수록 내용이 질적으로 향상되고 보다 전문화 되고 있다.

이번 심포지움은 3명의 외국인 강사와 1명의 국내강사의 5과제 발표로 진행되었는데 초청강사, 강연주제, 발표내용은 다음과 같다.

1) The Forthcoming World Standards on Clean Room Technology, -A Harmonized

Effort Involving ISO, CEN and ICCCS, Hans H. Schicht (Dr. Hans Schicht AG Contamination Control Consulting, Swiss)

클린룸에 있어서 국제기준은 용어의 통일과 기술의 조화 그리고 자유무역으로 인한 기술 이전의 용이를 위해 필요하다. 이러한 국제기준의 제정을 위한 단체로 ISO (International Organization for Standardisation)와 CEN (European Committee for Standardisation) 이 있다. 1947년에 설립된 ISO는 제네바에 본부를 두고 있는 기술 협력을 위한 비정치 민간 단체로서 국제 기준의 표준화를 목표로 하고 있다. 한편, 1975년 설립된 CEN은 EU (European Union)의 EFTA (European Free Trade Association)로 구성되어 있으며, 유럽내 자유무역을 위해 표준화를 추진하고 있는 단체이다.

이들 단체의 공통점으로는 의견의 수렴에 있어 만장일치제를 채택하고 있으며 특히, CEN의 경우 투표권은 선진국의 일부 국가에

제한되어 있지만 기준의 적용은 자국의 의사에 따라 결정된다.

자유무역의 필수조건인 국제 표준화를 위해 7개의 주제를 갖고 1990년 CEN/TC 243가 구성되었다. 그 주제는 다음과 같다.

- ① 오염물질에 따른 클린룸의 분류
- ② 클린룸 설계, 시공, 운전, 설비에 대한 기준
- ③ 미생물 오염 제어 1 : 기본 개념과 정의
- ④ 미생물 오염 제어 2 : 부유 오염 물질의 분석 방법
- ⑤ 미생물 오염 제어 3 : 표면상 미생물 오염 물질의 분석 방법
- ⑥ 미생물 오염 제어 4 : 직물(Textile)상 미생물 오염 물질의 분석 방법
- ⑦ 용어와 정의

한편, 1993년 ISO/TC 209가 14개의 P-Member (Participating Member)와 15개의 O-Member (Observing Member)로 구성되어 클린룸 관계 산업의 공정과 운전, 테스트 방법 그리고 분류에 관한 표준화 작업을 진행 중이다. 이 조직의 기본 이념은 일의 해결책보다는 목적과 진행을 우선하며, 기술에 대한 자유 교역 장벽을 제거하는 것이다.

업무는 5개의 WG (Working Group) 및 2개의 보조 단체에서 행해지고 있는데 각각의 업무와 담당 국가를 보면 다음과 같다.

- ① WG 1 : 미립자 청정도 등급 (미국)
- ② WG 2 : 미생물 오염 (프랑스)
- ③ WG 3 : 측정 및 검사 방법 (일본)
- ④ WG 4 : 설계 및 시공 (독일)
- ⑤ WG 5 : 클린룸 운전 (미국)

한편, 보조 단체에서는 용어의 정의 및 통일에 대한 업무를 행하고 있는데, 최종보고서는 1999년에 제출하게 된다.

지금까지 살펴 본 바와 같이 클린룸에 있어 국제 기준의 제정은 범세계적인 기준의 수용과 적용, 표준화된 교육의 실시 그리고 규제기관에서의 표준화 수용을 목표로 하고 있는데 ISO/TC 209에서는 이에 대한 역할 담당을 기대하고 있다.

2) State of the Art of Cleanroom Industry and Research Activities in Korea, 이춘식 (한국과학기술연구원)

클린룸의 보급에 대하여 정확한 국내현황은 파악되지 않았으나, 한국공기청정연구조합이 1989년과 1992년에 실시한 2차례의 설문조사 자료를 근거로 하여 국내 클린룸 보급현황을 살펴보면, 전자산업 56.4%, 의약품 15.8%, 기계, 금속, 화학 13.5%, 식품 3.0%, 기타 11.3% 등을 차지하고 있고, 바이오 클린룸의 경우 의약품 업체는 물론 식품업체에도 보급되고 있음을 알 수 있다.

현재 우리나라 클린룸의 주류를 이루고 있는 산업용 클린룸에 대한 공기 청정도 분포 및 청정공간의 면적분포에 대한 1992년 설문조사 결과, 세계적인 수준에 있는 국내 반도체 산업의 영향으로 공기 청정도 등급 10 이상의 초청정 공간이 40% 이상을 차지하고 있다.

클린룸 관련 기술개발 동향을 알아보면, 과학기술처와 상공자원부의 재원으로 정부출연연구소 (한국과학기술연구원, 한국기계연구원, 생산기술연구원, 한국표준과학연구원)와 한국공기청정연구조합이 중심이 되어 클린룸 관련 연구를 수행하여 왔으며, 최근에 일부대학에서도 관심을 갖고 연구를 수행하고 있다. 또한 산학연구단체로 삼성건설, 삼우설계, 한양대학교가 참여한 ROCA (Research of Clean Air)가 조직되어 있어, 산학간의 협동연구를 수행하고 있다.

향후의 기술개발 방향으로는 인간에게 보다 쾌적한 관점에서 설계를 하려고 하며, 비용이 적게 드는 설계를 계획하고 있다. 이러한 2가지 목적에 부합되어 집중적으로 연구개발되고 있는 것이 초청정구역용 제조공정이 이루어지는 제조장비 부근으로 국소화시키는 SMIF (Standard Mechanical Interface) 시스템, Clean Tube 시스템과 같은 국부초청정 장치를 말할 수 있다.

3) Contamination Control in the Present Cleanroom, 呂俊民 ((株)竹中工務店 기술 연구소, 일본)

최근 클린룸의 추세는 제어 대상 입자의 축소화 및 화학성 입자의 제어 필요성이라 할 수 있다. 이에 따라 클린룸의 제어 대상으로는 청정도, 온도, 습도, 진동 뿐만 아니라 알카리 이온 및 정전기가 되며 이에 대한 대책이 필요하다.

또 한가지는 제조 장비의 대형화로 클린룸의 유연성(flexibility)이 문제가 되고 있으며, 클린룸 공간의 대형화로 환경유지 비용이 커짐에 따라 비용 절감을 위해 클린룸 공간의 축소가 필요하며, 유해가스의 사용에 따른 안전성 문제에 대해서는 클린룸 공장의 오염물질 중 배출되는 폐가스, 물 등에 대한 제어 필요성이 대두된다.

최근 클린룸의 방식으로는 막대한 비용이 소모되므로 이러한 단점을 보완하기 위해서 다음의 그림 1과 같은 방식을 제안할 수 있다. 기존의 (1)방식과는 달리 (2)의 FU방식 및 (3)의 FFU방식은 필요 부분의 fan만을 작동시켜 국부적인 청정공간을 구현하는 방식이며, (4)의 방식은 장비주변에 가류를 형성시켜 유연성(flexibility)을 개선시킨 방식이다.

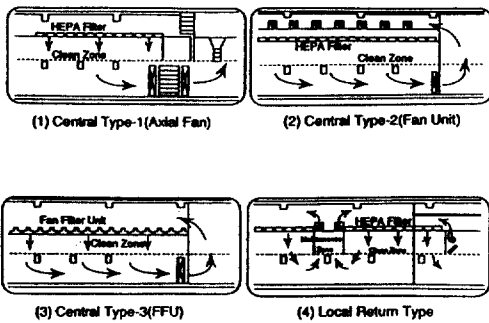


그림 1 클린룸의 방식

클린룸내의 화학성 오염을 측정하기 위해서는 그림 2와 같은 4가지 공기 채집 방법을 사

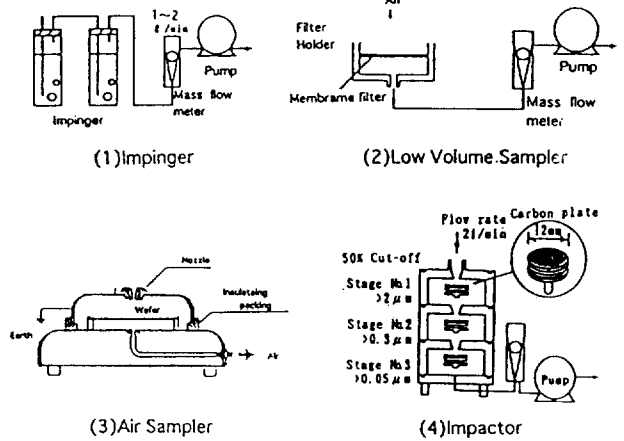


그림 2 공기 채집 방법

용할 수 있다. 공기의 채집후에 실시되는 분석방법에는 분자의 성분을 조사하여 오염 원인을 분석하는 방법과 wafer상의 분자 침착 형태로 분석하는 두가지 방법이 있다.

클린룸에서 특히 문제가 되고 있는 나트륨(Na)의 경우 작업자에 의해 오염되는 경우가 많은데 이는 작업자의 땀농도를 예측함으로써 클린룸의 오염농도를 예측할 수 있다. 작업자 이외에도 공조기의 가습시 오염되는 경우가 있는데 습식세정기가 주요 오염원이 된다.

결론적으로 장비의 변화 없이는 현재의 클린룸 방식이 유지될 것으로 예상되며, 가장 중요한 수율의 향상을 위해서는 제조장비의 제작자, 반도체 제품의 생산자 그리고 클린룸의 설계자가 조화를 이루는 것이 중요하다.

4) Isolator Systems for Aseptic Processing, Hans. H. Schicht (Dr. Hans Schicht AG Conamination Control Consulting, Swiss)

최근 제약회사에서 무균공정인 Isolator system에 대한 개념이 주목 받고 있다. Isolator system은 Minienvironment 개념의 일종으로 Minienvironment란 오염원으로부터 분리된 밀폐된 공간을 말한다. 이 Minienviron-

ment 개념은 ICR 및 BCR에서 작업자와 공정의 완전한 분리를 의미함에 있어서는 같으나 특히, 제약회사에서는 내부가 완전히 멸균된 상태를 의미한다. 이러한 Isolator system이 현재까지 사용되지 않은 이유는 장비에 대한 신뢰도 문제와 법률적 제도상 문제 때문이었는데 행정부의 규제 사항에서는 제품 생산의 최종공정에서 멸균을 강요하고 있는 실정이다.

Isolator system의 구성은 그림 3과 같이 장갑과 상반신 옷, 특수 물품 반입구 그리고 HEPA filter로 되어 있으며 여기서 가장 중요한 부분은 7번의 물품 반입구이다. 벽체는 유연한(flexible) 플라스틱으로 제작된 soft wall 방식의 경우와 강철 프레임과 투명한 hard 판넬로 제작된 hard wall 방식이 있다. 기류는 보통의 클린룸과 동일하게 층류형과 난류형이 있다. 그러나 다른 장비와 조합되거나 연속공정으로 다른 공정과 조합되었을 때에는 상당히 복잡해지는데, 이 때는 내부를 고압으로 유지하거나 Supply-Air를 멸균해서 공급하는 방법이 있다.

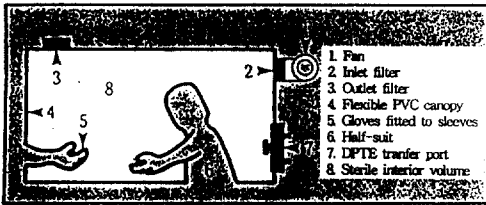


그림 3 Isolator system의 기본 구성

현재 FDA와 GMP에서는 각각 기준을 정해 놓고 있는데 FDA의 경우 critical area는 class 100 및 미생물 3.5 cfu/m³, control area는 class 100,000 및 미생물 80 cfu/m³을 기준으로 하고 있으며, GMP의 경우 작업영역에 따라 A등급에서 D등급까지 구분하였는데 A등급 class 100으로부터 D등급 class 100,000까지를 규정하고 있다. 그러나 이의 적

용에는 구분 적용이 필요하다. 즉, 최종작업단계에 멸균작업이 가능할 경우에는 작업영역은 A등급, 주위는 C등급으로 해야 하며, 최종에 멸균작업이 불가능 할 경우에는 작업영역은 A등급, 주위는 B등급으로 하는 것이 바람직하다.

Isolator system의 경우 위의 규정이 그다지 문제가 되지 않으며 Isolator system을 적용했을 경우에는 위에서 언급한 작업영역 A등급, 주위 C등급의 규정에서 주위의 등급을 D등급으로 해도 문제가 되지 않는다. 또한, 환기량의 감소가 가능해져 초기 투자비 및 운전비가 절감되며, 작업자의 복장이 완화되는 장점이 있다.

Isolator system에서는 멸균과정이 중요한 작업이다. 멸균에는 과산화수소 또는 초산을 이용하는 방법이 있는데 과산화수소를 이용하는 과정은 우선 밀폐된 공간에서 공기를 순환시켜 상대습도 30%까지 낮춘후 과산화수소를 증발시켜 공기중에 비산시켜 포화상태에 이르게 하여 이 과정의 반복으로 멸균을 하게된다. 멸균제의 제거는 촉매를 사용해 물과 산소로 분리하면 된다.

한국의 경우 이와 같이 간단하지만 숙련된 기술이 필요한 Isolator system의 채택이 유리하리라 판단된다.

5) Common Factors and Differences in Cleanroom Requirements for Individual Applicatios, Franc Sodec (Krantz-TKT BDAG gruppe baicke-Durr, AG, Germany)

클린룸은 적용 분야별로 그 목적이 다른데 전자 산업의 경우 분진의 제어, 제약산업의 경우 분진 및 미생물로부터 생산품, 생산자, 소비자의 보호, 병원의 경우 환자를 병원균으로부터 보호하는 등이 그 예라 할 수 있다. 그림 각 분야별 특성을 세부적으로 살펴보기로 한다.

전자산업의 경우 과거에는 class 100이었으나 현재는 class 1 심지어 class 0.1까지도 요

구하고 있다. 이렇게 청정도가 높아질 경우 여러 변수의 고려가 필요하다. 최종 필터, 필터 cell을 받쳐주는 구조물, 공기 뿐아니라 물과 가스, 벽체의 표면 상태, 내부 설비의 종류, 진동 방지, 작업자의 정확한 근무 상태 등에 대한 고려가 필요하다.

필터의 경우 최근 문제가 되고 있는 가스에 대하여는 흡착매체인 탄화물질을 이용하여 filtering하는 방법이 있으며, 진동은 제거 또는 최소화시켜야 하는데 계획과 시공단계에서 전문가의 참여로 해결해야 한다. 필터 cell을 지지하는 구조물은 청정도에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 특히, 2중 천정구조, 구조물의 교차점, 필터와 벽체의 연결부분에 대한 주의가 필요하며, 조명기구 또는 스프링 쿨러가 설치되어 있을 경우에도 주의를 요한다. 구조물의 두께는 얇을수록 좋는데 이것은 구조물이 난류를 형성할 수 있기 때문인데 난류는 오염발생을 유발한다. 그림 4에 나타나 있듯이 난류형성 길이는 구조물 폭의 약 5배에 달하게 된다. 열원이 있을 경우에도 난류를 형성하는데 열원의 배치시에는 벽에서 일정거리를 유지하여 반사 기류를 감소시켜야 한다.

제약분야에서는 분진과 미생물로부터 제품, 생산자, 소비자를 보호해야 하는데 미생물은 주로 분진에 부착하게 되며, 미생물의 주 오염원은 인체라 할 수 있다.

청정실의 유연성을 위해 clean bench 등의 국소 작업공간을 사용할 수 있으며 작업자와 공정의 완전한 분리를 위해 air-shower를 이용한다. 제약 분야에서는 2중 바닥을 사용하지 않으므로해서 공기의 균일한 배기가 곤란하게 된다. 난류 형성의 방지를 위해서는 실내에 열원이 많을 경우 30% 이상을 천정으로 배기하는 것이 필요하고 토출구는 천정에서 돌출되게 설치해야 한다. 또한, 가열된 벽체의 경우 그림 5와 같이 1m 정도 폭의 문제 기류를 형성하므로 가열면의 1m 내에는 장비의 설치를 피하는 것이 좋다.

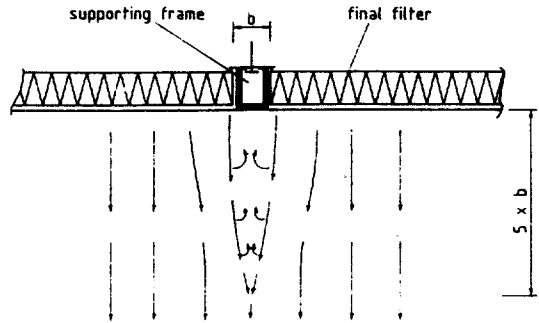


그림 4 장애물 하층의 난류 지역

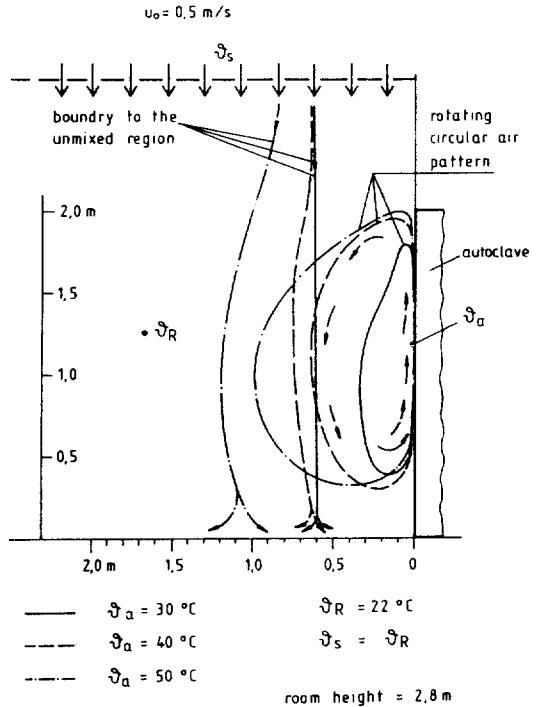


그림 5 고온 벽체에서의 기류 성상