

# 클린룸 오염 측정, 분석 및 제어

(주)현대교정인증기술원

Home Page : <http://www.hct.co.kr>

E-Mail : [sensor@hct.co.kr](mailto:sensor@hct.co.kr)

초 고밀도 집적회로나 우주 항공, 유전자 조작 등과 같이 세포 속의 미소한 유전자를 다루는 곳에서는 환경 조건이 품질에 큰 영향을 끼친다. 이러한 곳에서는 환경 조건의 하나로 파티클의 유무가 문제되는데, 눈에 보이지 않을 정도의 미세한 것도 존재해서는 안된다. 이러한 조건을 만족시키기 위해 CLEAN ROOM 기술이 사용된다.

클린룸이란 공기 중 부유 입자의 농도가 제어되고 내부에서 입자의 유입, 발생 및 정체가 최소화되도록 건설되며, 온도, 습도, 압력 등, 관련 인자들이 필요에 따라 제어되는 공간을 뜻한다.

클린룸 관리에서 1단계 공조 시스템 관리, 2단계 청정도 관리가 주기적이고 반복적으로 이루어짐과 동시에 3단계로 클린룸의 오염을 측정하고, 분석하여 제어하는 활동들이 이루어진다.

클린룸의 오염을 측정하는 행위에는 선폭이 0.18  $\mu\text{m}$  제조라인까지는 대부분이 오염입자(Particle)을 측정하는 것이었으나, 미세 회로로 가면서 현재는 음이온, 양이온 및 VOC(Volatile Organic compounds : 유기화합물) 가 크게 부각되어 관리되고 있다. 이 원고에서는 클린룸 관리의 3번째 단계인 클린룸의 오염을 측정하고, 분석하며, 제어하는 것에 관해 이야기 하고자 한다.

## 1. 오염 입자(Particle)측정 및 분석

클린룸내 오염입자를 측정하는 방법에는 일반적

으로 Laser particle counter를 사용하며 실시간으로 오염 입자의 크기 및 계수를 측정하는 방법과 IMPACTOR를 통하여 입자를 포집한 후 크기 및 형상, 성분을 분석하는 방법으로 나누어 진다. 위 두 가지 방법은 병행하여 수행을 하면 오염입자를 분석하는데 효과적이다.

Laser particle counter를 사용하여 측정하는 방법에는 on-line monitoring 방식과 off-line monitoring 방식이 있다.

Off-line방식은 측정하고자 하는 지점에다 particle counter를 설치한 후 예상 문제 지역을 측정하는 방법으로 국부적으로 정밀한 측정이 필요한 장소나 장비 내부 등을 측정하여 문제점을 찾아내고, 개선이 필요한 사항을 찾아내는데 이용된다.

On-line monitoring 방식은 클린룸을 일정한 공간별로 분류해서 Particle probe를 설치하고 샘플링 TUBE를 사용하여 측정하는 방법으로 원거리에서 여러 장소의 CLASS정도를 Monitoring하는데 이용한다.

순회 측정하는데 소요되는 시간과 비용을 절감하는데 효과적인 방법이나 시스템 관리상의 문제로 무용지물이 되는 경우도 많다.

Particle counter를 사용하여 측정했을 경우에 결과가 SPEC OVER인 경우에 근본적으로 문제점을 찾아 개선하기 위해 입자를 포집해서 형상 및 성분을 분석한 후 원인 제거 및 재발 방지 조치를 통해 오염원을 제거한다.

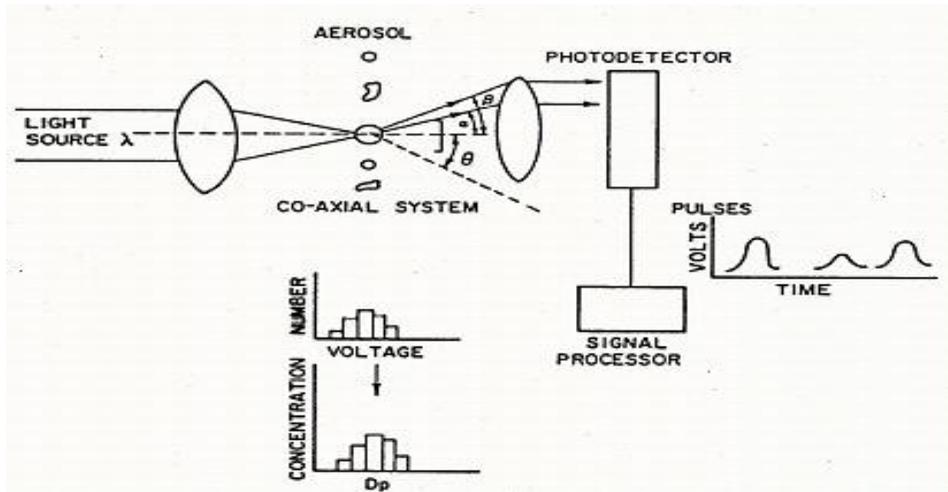


그림 1. PARTICLE COUNTER 원리

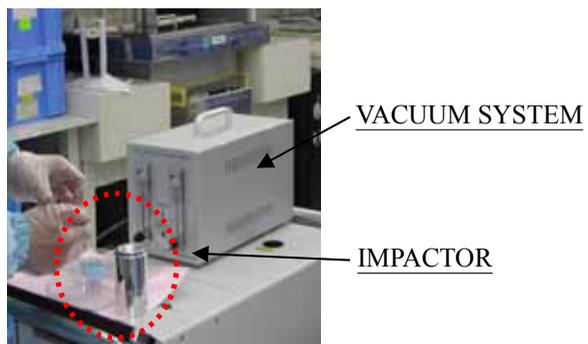
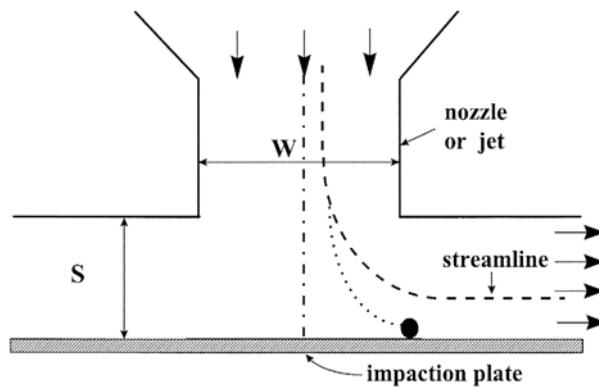


그림 2. 임팩터 포집 원리 설명

입자를 포집하는 장치는 입자의 관성 특성을 이용하여 Plate에 시료를 포집 하는 장치로 원리는 그림 2와 같다.

포집된 입자는 형상을 촬영하기 위해서 SEM 장비를 사용한다.

반도체 라인에서 포집된 입자를 SEM 장비로 촬영하고 EDX 장비로 성분을 분석하면 그림 3과 같은 결과를 얻을 수 있다.

분석 결과를 이용하여 발생 공정, 작업자 또는 기계적인 마모에서 발생된 입자인지를 확인하고 조치를 통해 오염 재발 방지를 하는데 큰 역할을 한다.

포집하는 방법은 입자를 포집 하고자 하는 장소에 IMPACTOR 및 VACUUM SYSTEM을 설치하고 샘플링 시간은 청정도에 따라 다르게 설정하면 된다.

예를 들어 Class 1 환경의 경우 12시간 정도 포

집 한다.

Class 1000환경의 경우에는 샘플링 시간을 1시간 정도로 설정해도 문제없다.

## 2. AMC(Air Molecular Contamination) 관리

### 2.1 화학 오염원의 종류 및 발생원인

반도체 Device가 미세 선폭으로 발전함에 따라 관리의 중심이 Particle control에서 AMC (size : 0.0001~0.01 $\mu$ m) control로 바뀌어 가고 있다.

표 1은 반도체 생산공정 별로 오염 물질 및 영향 정도를 나타내고 있다.

이러한 화학 오염 물질은 외기등에 기인할 수 있지만 청정실 내부의 장비 공정에서 배출되어 순환

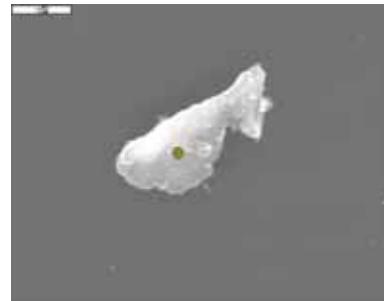
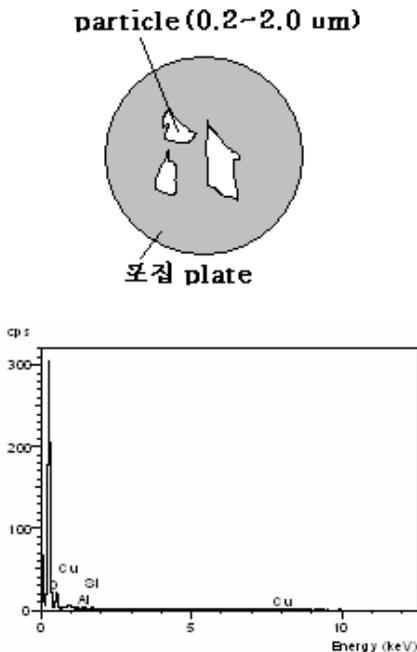


그림 3.

표 1.

PROCESS	CONTAMINANTS	IMPACT
PHOTO	AMMONIA 등의 AMINE류, HMDS	OPTIC HAZING, RESIST 재료와 반응 LITHOGRAPH 불량, T-TOP 현상
ETCHING	ACID류 F, Cl, P, C 화합물	FAB 부식 ACID가 HEPA FILTER의 섬유를 식각하여 BORON 방출
CVD	B2, BF3 SILOXANE Na, Fe, Ni, S, Cl, K	P 반전 이상 막생성 이상 Device 특성 노화
DIFFUSION	P, B, S	DONOR 불순물
WETTING	Fe, Cr, F, Na DOP	세정 잔유물, 내압 불량 세정 효과 저하
SPUTTER	응축가능한 무기물, 유기물, 산	

되는 Air의 오염비중이 큰 것으로 알려져 있다.

반도체 소자에 영향을 주는 요인과 Wafer표면의 오염형태를 다음 그림 4에서 표현하였다.

### 2.2. 시료 포집 및 분석 방법

이러한 AMC를 관리하기 위하여 사용하는 일반적인 방법은 분석하고자 하는 공간에서 시료를 채취하고, 채취된 시료를 IC나 ICP-MS장치를 이용

하여 농도를 분석한다.

시료를 채취하는 장치로는 에어 샘플러를 사용하고 에어 샘플러의 원리는 그림 5와 같다.

포집하고자 하는 시료에 맞게 용액을 선정하고 (일반적으로 DI), 용액이 담긴 임핀저에 OUTLET에 음압을 걸어 임핀저의 Inlet으로 분석하고자 하는 공간의 공기가 끌려 오도록 한다. 끌려온 공기는 용액을 통과하게 되며, 이때 공기 중의 화합물[Gas

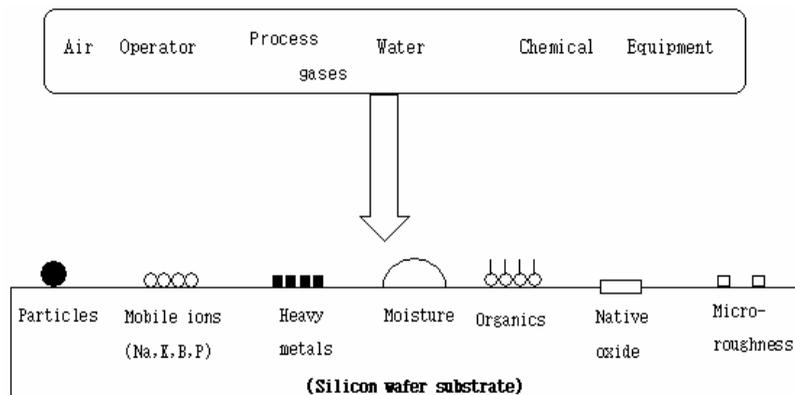


그림 4.

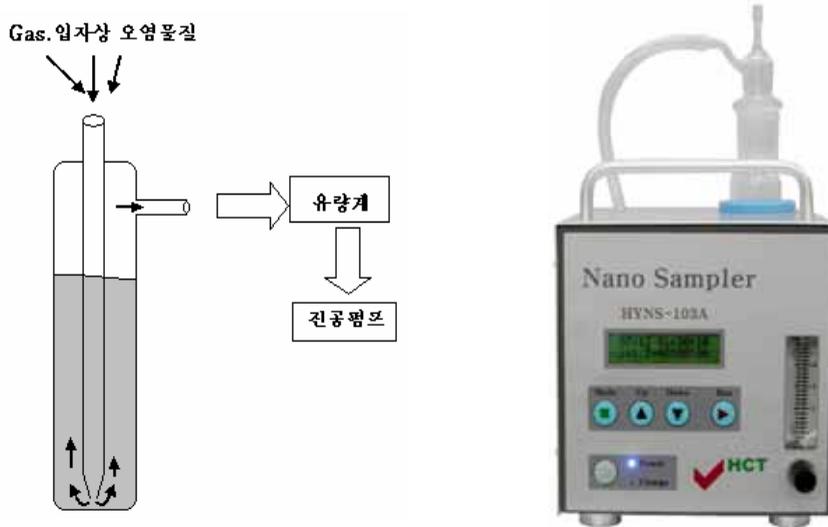


그림 5.

나 입자상 오염물질]은 용액에 녹아 들게 된다.  
 일반적으로 임핀저에 18.3 MΩ/cm DI Water를 50 ml 또는 100 ml를 채우고, 유량은 1~수 l/min으로 설정하고, 시간은 일반적인 경우에는 2시간, 농도가 10 ppvb이하인 경우에는 4시간 이상을 설정한다. 포집된 시료는 IC나 ICP-MS장비를 이용하여 농도를 분석한다.

임핀저를 이용한 Sampling의 특징

- 가스상 오염물질과 입자상 오염물질 동시 포집 가능하다.
- 1회 포집으로 여러 가지 이온 분석 사용 가능하다.
- 99 % 이상의 포집 효율을 가진다.(최적 조건의 경우)
- 습식 샘플링방법 중 대표적 포집 방법
- 저 농도에 대한 샘플링시 장시간 소요된다.
- 포집 가능 물질은 수용성 염기성 가스 NH<sub>3</sub>, Amines류와 산성 가스 HF, HCL, HNO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> 등이 있다.

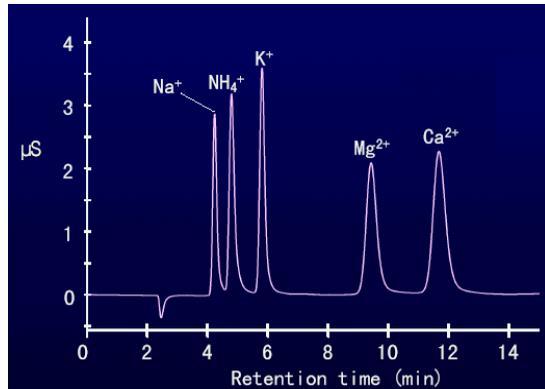


그림 6. 포집된 시료를 IC장비로 분석한 결과의 예

그림 6은 포집된 시료를 IC장비로 분석한 결과의 예이다.

- 다음은 분석의 종류 및 농도 단위에 대한 설명이다.
- 정성분석 : 표준물질과의 검출시간(RT)비교를 통한 성분 분석
  - 정량분석 : 농도를 알고있는 표준물질과의 검출 피크 면적이나 높이 비교를 통한 분석

\* 농도 단위

- $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ppbv : 가장 일반적인 기상농도 표시 단위이며, 샘플링 조건(흡수액 유량, 샘플링 량, 온도등)이 보정된 값으로써 농도 값만으로 다른 데이터들과 비교가능.
- ppb( $\mu\text{g}/\ell$ , 액상농도) : 샘플링 조건에 따라서 값이 다르기 때문에 다른 값과 비교시 반드시 샘플링 조건이 필요함.

$$C(\text{ppbv}) = \frac{C_1 \times 22.4 \times (273+T)}{M.W \times 273}$$

$$C1(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{C_0 \times V_{\text{sol}}}{V_{\text{air}}}$$

\* 농도 환산식

C(ppbv) : Concentration of sampling site

$C_1(\mu\text{g}/\text{m}^3)$  : Concentration of sampling site  
 $C_0(\mu\text{g}/\ell)$  : Concentration by IC  
 M.W(g) : Molecular Weight(M.W of  $\text{F}^-$  : 19g)  
 T( $^{\circ}\text{C}$ ) : Temperature of sampling site  
 $V_{\text{air}}(\ell)$  : Volume of sampling air  
 $V_{\text{sol}}(\text{ml}, \text{g})$  : Volume of absorbing solution (DI water)

위와 같이 임핀저를 이용한 Off-line방식도 많이 활용되고 있지만, 샘플링에서 분석까지 시간이 많이 소요되며, 분석을 통한 결과가 도출 될 때까지 문제가 된 공정은 계속 진행되어 실질적으로 오염도가 확인이 되어도 조치가 늦다는 단점 때문에 클린룸 내부에서 샘플링 및 분석까지 동시에 수행하는 장비가 활용되고 있는 추세다.

그림 7은 국내 기술로 생산, 판매되고 있는 On-line



그림 7.

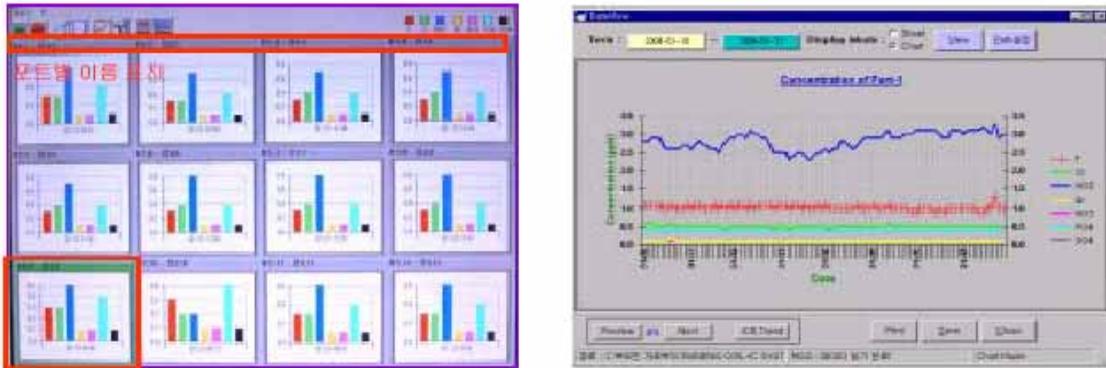


그림 8.

AMC Monitoring system에 대한 사진이다.

\* 샘플링 장소별 오염농도를 일정 시간별로 분석하며, 여러 장소의 Air를 포집하여 분석한다는 것이 장점이다.

### 2.3 AMC 요구 수준 및 극복과제

이상으로 AMC 관리를 위한 시료 포집 방법 및 분석에 대해 살펴보았습니다. 표 2는 AMC 관리에 필요한 AMC 요구 수준 및 극복 과제에 대한 내용이다.

표 2.

현 수 준	요 구 수 준	극 복 과 제
* 공조순환계/생산설비에 NH <sub>3</sub> filter 장착 - DUV stepper/scanner/spinner	* NH <sub>3</sub> 1 ppb * Amine 1 ppb * SOx, NOs 2 ppb	* FAB 환경 base에서의 오염 reduction 활동
* 생산장비에 O <sub>3</sub> filter 장착 - HSG/B-poly 전 Clean - HSG/B-poly depo	* O <sub>3</sub> 5 ppb * THC 1 ppb * B, P 0.05 ppb	* 외기 오염원 제어를 위한 WSS/ Chemical Filter
* 생산 정체시간 관리 - HSG/B-poly	* HF, Cl 0.5 ppb * Metal 0.5 ppb	* 생산설비에서 over exceed되는 오염원 제거를 위한 CAS 도입
* C/R on-line monitoring - SOx, NOx, NH <sub>3</sub>	* FAB Line 오염 reduction	* 생산설비의 오염원 발생원 제거를 위한 개조/개선
* 유기오염 측정 - Bar	* 공정별/Device 막질별 Dominant 오염인자 관리	* 유기오염원 제거를 위한 UV/광 응용기술
* 오염된 관리 Zone에 Chemical filter 장착	* Process zoning 및 cross contamination 방지	* 오염원의 효율적, 경제적 제어를 위한 C/R system
* 배기농도 저감 - NH <sub>3</sub> : 200ppm → 10ppm	* Device 연계오염 level 관리 - Device/Process에 대한 오염 Mechanism 분석	

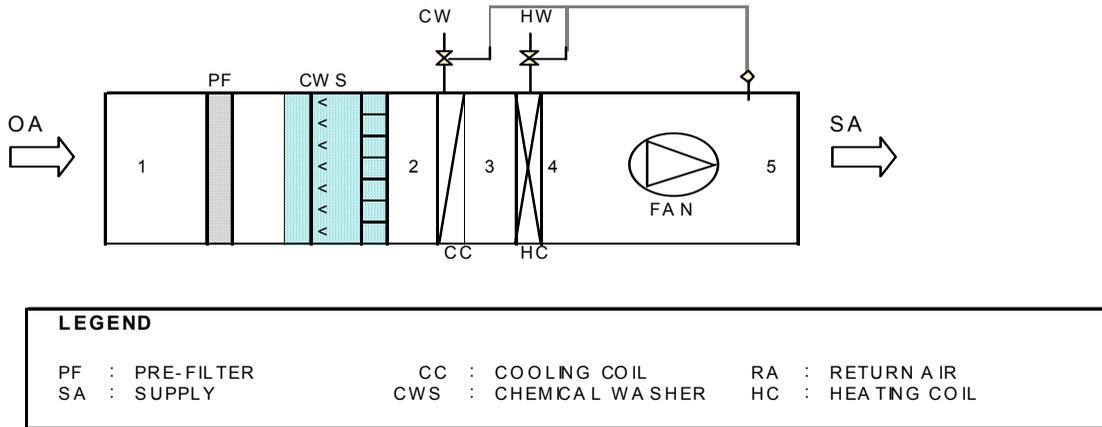


그림 9.

#### 2.4 AMC 제어

외기에 의한 AMC를 CONTROL 하기 위해 Chemical filter를 장착하거나 Air Washing system을 설치한다.

### 3. 청정실 내 AMC CONTROL

청정실 내에서 AMC CONTROL을 위해서는 다음과 같은 방법이 사용되고 있다.

- 중요 공정 장비(예, lithography 공정)에 Chemical filter장착
- AMC를 고려한 장비 및 부품, 비품 선정
- Wafer 보관장소에 Chemical filter장착

등이 있다.

현재 AMC 모니터링 및 관리는 반도체 제조사, LCD 제조사, 전자 재료 업체들에서 지속적으로 이루어지고 있으며, 보다 많은 관련 업계로 확장되어 가는 추세이다.

#### ■ (주)현대교정인증기술원 소개

2000년 6월 1일 설립된 회사로서, 규격인증에서 계측기 교정, 각종 온도 센서 제작 등 측정과 관련한 전 분야에 대해 종합적이고 체계적인 서비스를 제공하고 있는 측정 전문 회사이다.

반도체 관련 사업 분야로는 THERMOCOUPLE, RTD 제작 및 MFC, VACUUM GAUGE, PARTICLE COUNTER 교정, 수리를 하고 있다.

그리고, 클린룸 환경 관리 대행 서비스, 각종 표준 물질 및 에어 샘플러, 임팩터 등 환경 관리에 필요한 장비들을 생산하고 있다.