

Clean Room의 안전대책

이 형 섭 <본 협회 방재시험소 기술지원부>

1. Clean Room이란

Clean Room(無塵室, 이하 'CR'이라 한다)이란 공기 중에 부유되어 있는 먼지입자의 농도, 온도, 기압 및 기류 등이 정밀하게 제어되는 공간(clean space) 또는 건물을 지칭하며, 엄밀하게 말하면 먼지입자의 입도와 갯수농도(개/부피)로 정의된다. 예를들면, 반도체를 취급하는 작업장 내에서는 공기의 단위부피당 $0.5\mu\text{m}$ (미국 규격) 또는 $0.3\mu\text{m}$ (일본규격)보다 큰 입자의 수를 어느 수준이하로 유지하도록 공기를 특별히 여과시킨 작업공간을 CR이라고 정의한다. 예를들면, class 10의 CR이라 함은 $0.3\mu\text{m}$ 이하의 입자가 "10개/ft³의 공기"로 들어 있는 공간이다.

CR내 공기의 청정도(淸淨度: cleanliness)를 나타내는 class 10, 100 또는 1,000 등의 분류는 <표 1>과 같이 먼지입자의 입도와 갯수의 누적입도분포곡선으로 표시되며, 미립자의 측정방법은 <표 1>과 같이 나눌 수 있다.

CR은 반도체 공업, 컴퓨터 조립 공장, 제약공장, 원자력, 병원 수술실, 식품공장, 유전공학실험실(Bio-Clean Room: BCR) 등 일반적인 공기조화 공정이 필요한 공간에 모두 적용된다.

반도체 생산공정 중 전사장치(lithographic-equipment) 공정에서는 반드시 고등급 CR이 필요하다.

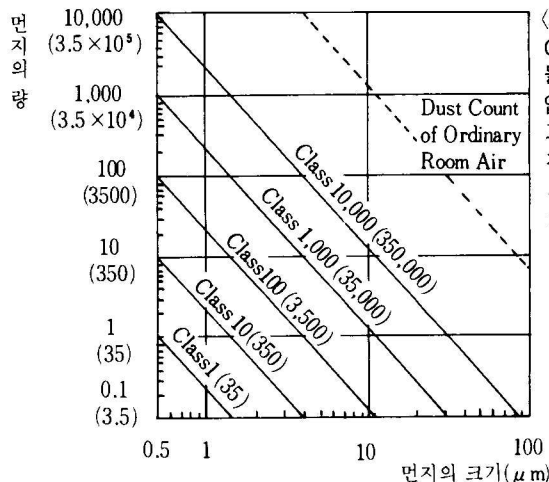
CR 내의 공기 중 먼지입자는 반도체 wafer나 lithographic mask 위에 침강, 부착하면 반도체 부품에 결함을 초래하여 전체 회로를 못쓰게 한다. 먼지입자의 개수는 입도가 작을수록 많아지기 때문에 반도체의 크기가 작을수록, 즉 IC소자의 집적도가 16Kbit(IC) → 64Kbit(LSI) → 256Kbit(VLSI) 순으로 증가 할수록, class $10^4 \rightarrow 10^2 \rightarrow 10^1$ 등으로 더욱 엄격한 CR의 먼지입자 제어가 필요하게 된다. 특히 MOS 다이내믹 RAM의 집적도(bit/chip)가 4, 16, 64, 25K, 1M, 4M으로 증가할수록 pattern 길이는 $8\mu\text{m} \rightarrow 0.6\mu\text{m}$ 로 짧아지기 때문에 허용되는 먼지입자의 입도는 $0.8\mu\text{m} \rightarrow 0.06\mu\text{m}$ 등으로 더욱 작아지고 CR등급도 낮아진다.

CR의 등급과 관계되는 일반적인 규격은 미국 연방규격(Federal standard) 209B, 미국 공군규격(

Technical Order) T.O-00-25-203 및 미국 항공우주국 규격(NASA NHB) 5340. 2 등이 있다. 이들 규격은 먼지입자의 갯수누적 입도분포가 거의 동일하나 온도, 습도, 압력차이, 기류의 환기회수 등에서 약간씩 차이가 있게 규정되어 있다.

2. Clean Room의 구조

CR의 구조는 입자가 제거된 공기의 순환 또는 흐름상태에 따라서 난류형(turbulent-flow Type), 수직층류형(Vertical laminar-flow Type) 및 부분층류형(Conventional laminar-flow Type) 등으로 구분된다. CR을 구성하는 주요 기기설비는 Air Shower(AS), Boots Box, High Efficiency Particulate Air(HEPA) filter, system의 천정, Air Handling Unit, 각종 측정센서 및 제어기기로



<그림 1>
CR 내의 공기 중에 들어있는 먼지의 입도분포누적곡선과 등급규정(1m³당 갯수로 환산하기 위해서는 수치에 35를 곱한다)."

〈표1〉 공기중에 부유하는 미립자의 측정방법 분류

측정대상의 분류	측정법	장 치	원 리	비 고
CR	자동식 입자계수기	광산란식 장치	입자의 광산란에 의한 산란광의 세기와 입자갯수 측정	JIS B 9920
	현미경법	현미경	현미경에서 입도와 갯수 측정	영상해석 장치에 대한 규격은 아직 없다.
일반환경 (노동작업장)	자동계측 기법	piezo 분진계	압전식 결정소자의 공진주파수가 부착되는 미세입자의 질량에 비례하여 감쇄하는 원리로 질량 농도 결정	부유입자상 물질의 측정방법
		β 선 분진계	필터에 포집된 미세입자에 β 선을 조사하여 투과흡수 광량으로부터 입자농도를 결정	
		digital 분진계	미세입자에 의한 광산란량을 측정하여 질량상당농도를 결정	KS A 0080 정전식분진샘플러
대기오염(굴뚝)	질량법	입자포집 장치와 천칭	필터에 포집된 미세입자의 질량을 천칭으로 측정	JIS Z 8808 KS A 0077

구성된다.〈그림2〉 참조)

가. As의 효과 및 역할

1) 먼지없는 특수작업복(無塵衣)의 표면 및 공기에 노출된 인체 표면에 부착된 먼지입자를 제거한다.

2) 차폐된 각 등급의 CR을 연결하는 출입문을 열고 닫을 때 침입하는 오염공기를 정화한다.

3) CR 전체에 대한 air-lock 효과를 준다.

4) 종사자들이 AS에 들어설 때 CR에 들어가고 있다는 주의의식을 환기시킨다.

Boots Box는 일반작업 공간과 CR을 연결하는 통로 공간으로써 CR의 오염을 막는 완충효과가 있다.

HEPA filter는 입도 0.3 μ m 이상의 입자를 99.97% 이상 제거할 수 있는 특수 filter를 말한다. 또 입도 0.1 μ m인 입자를 99.999% 이상 제거할 수 있는 필터를 Ultra Low

Penetration Air(ULPA) filter라고 부른다.

나. CR의 기능

1) 먼지입자의 등급으로 결정하는 공기 청정도

2) 온도 및 습도제어

3) 건설비와 에너지절약에 의한 비용 절감

4) 제조 품목에 따른 CR환경의 변경이 용이한 설비의 융통성

5) 종사자의 안전확보와 쾌적한 환경의 유지 등이다

3. 안전 기준

가. 구조와 위치

1) 기존 건물내에 설치할 경우 CR 등급에 따라 조업능력을 고려하여 여러개의 구역(zone)으로 배열하고, 가능한 내화력을 가지거나 불연성 건물이어야 하며, CR부분은 다른 부분과 내화력이 있는 벽으로 구획되어야 한다.

2) CR, 배기다트 및 장치들은

불연성 재료로 건축하고 CR의 간막이 및 벽은 최소 1시간 이상의 내화도를 가진 것으로 한다.

3) CR은 화재나 기타 위험으로부터 노출이 최소화 될 수 있는 위치로 하고 CR의 직상층 바닥은 방수조치가 되어 있어야 한다.

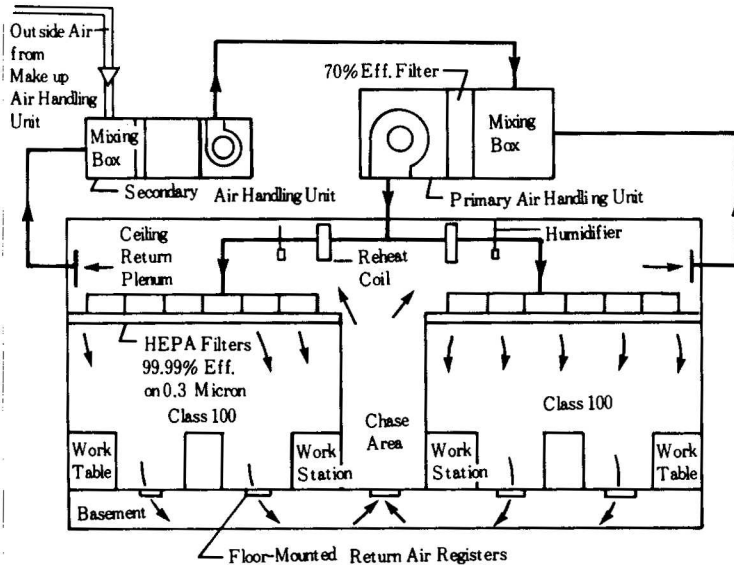
4) 간막이 등으로 판넬을 사용할 경우에는 발연(發煙) 등을 고려하여 방염플라스틱판넬 대신에 불연성 판넬을 사용한다.

나. 수용품

1) CR은 가능한 최소한의 크기로 하고, 무진지역(Clean area)의 구분은 화재 또는 기타 위험의 손실로부터 최소화 할 수 있게 한다.

2) Air-lock은 무진지역과 인접한 화재실 또는 기타 위험으로부터 손실(오염 등)을 최소화하기 위해 설치할 수 있다. 차폐공간을 따라 설치한다면, CR의 밑바닥이나 서비스 복도(boots box)에 설치한다.

3) 일반 연소성(또는 가연성)



(그림 2) 총류형 Clean Room

액체를 CR내에서 저장할 경우 최소의 양을 적절한 불연성 용기에 저장하여야 하고, 가연성 증기를 발생하는 것의 용기는 증기 배출설비를 갖추어야 한다.

4) 가연성 가스를 CR내에서 사용할 경우에는 실린더(고압용기)나 bulk 탱크를 무진지역 외부의 불연성으로 구획된 곳에 보관하고 먼거리에서도 수동조작이나 가스탐지기 또는 화재 경보설비의 조작에 의하여 자동으로 차단(압축 공기에 의해 열릴 수 있는 것)할 수 있는 차단밸브를 설치한다. 반도체 공장 등에서 많이 사용하는 수소는 bulk 냉동탱크에 저장한다.

5) 공정중에 가연성 가스를 사용할 경우에는 공정 위 천정에 가스 탐지기를 설치하여 고농도에서

또는 비상시에 차단할 수 있게 한다.

6) 전기설비는 관련법규에 의거해 설치하고, 무정전장치와 비상전원장치를 설치한다.

7) 대기실(bench station)에서 가연성, 부식성있는 물질이나 기타 오염물질을 사용할 경우에는 다음과 같이 취급한다.

ㄱ. fume(증기, 발연 등)은 물질별로 배출하거나 유사 물질 별로 배출하고, 가연성 증기와 산(酸)은 정상 가동시에 다른 공정의 위험성을 줄이기 위해 일반 fume 배출설비로 배출시키지 말아야 한다.

ㄴ. 사용하고 남은 위험물이나 누설된 위험물은 각기 공정장치와 작업장 별로 연결된 산과 용제

(溶劑)의 배출장치로 경유하여 배수시키고, 가연성 위험물은 trap(U자관) 배수관을 통하여 배수시킨다.

ㄷ. 산, 용제 등의 위험물은 CR 건물로 부터 멀리 떨어진 장소에 개별 수집탱크로 이송하고, 건물내에는 위험물이 축적되는 것을 방지한다.

다. 환경제어

1) 온도, 습도, 압력변화 및 부유물(airborne particale count)의 제어수치는 setting하여 기록하고 정기적으로 검토한다.

ㄱ. CR의 등급에 맞는 청정도를 유지하기 위해 먼지입자 측정기기를 비치하고, 부분별로 정기 측정한다.

ㄴ. 세균과 방사능 등은 오염허용농도 이하로 항상 유지 한다.

2) 가연성 또는 화염성(pyrophoric) 가스가 CR로 부터 배출할 때에는 질소가스를 주입하여 연소범위 외에 농도가 있게 한다.

라. 환기(배연)설비

1) 환기설비는 난방, 냉방, 습도 등을 조절할 수 있어야 하며, 별도로 위험물과 불순물의 포집 및 배출설비를 설치한다.

2) 환기설비가 동시에 여러개의 CR등급에 대하여 운전할 때 공기흐름 방향은 오염 위험성이 적은 구역에서 점차 높은 구역으로 흐르게 한다.

3) 환기설비는 CR을 통하여 연기

나 부식성 가스의 확산 수단이 될 수 있으므로 유사시 이들을 별도로 제어할 수 있게 설계한다.

4) fume배출설비는 배연에도 사용할 수 있어야 하므로 부식성 가스등을 방출할 수 있기 때문에 금속제 닥트 대신에 플라스틱제 닥트를 사용한다. 이 설비는 화재 장소보다 기타장소가 최저 0.2in H₂O 높게되면 배출설비가 작동될 수 있도록 설계하여야 한다.

5) 배연설비로 금속제 닥트를 사용할 경우에는 부식성에 강한 스테인레스 스틸로 한다.

다. 소화설비

1) CR 전체에 실용성이 있는 방화설비를 설치할 수 없을 경우에는 개별적으로 할론1301 소화설비를 설치한다. 대상물로는 등급 1, 10, 100, 또는 1,000 내의 작업장과 대기실이며, CR내에 있는 가연성 액체 또는 인화성 물질, 가열로 및 고전압장치 등이다. 모든 할론 설비용 배관은 시설전에 오염물질을 깨끗하게 세척하여야 한다.

2) 스프링클러 설비는 등급과 관계없이 모든 CR에 설치하며, 조기작동방식(표시온도 57℃)으로 한다.

3) CR이 있는 건물의 가연성 내장물이나 구조물에도 스프링클러 설비를 설치한다.

4) 대기실과 후드에는 자동식의 스프링클러설비를 시설하거나 불연성 재질로 설치한다.

5) 환기설비의 닥트가 가연성 재질인 경우에는 연기와 화염확산을 방지하기 위해 3.7m 이내마다 스프링클러헤드를 설치한다.

6) CR의 출입구에는 CR 내부 전체를 포용할 수 있는 spray / stream 노즐이 결합된 소화전(40mm)을 설치한다.

7) 이동식 소화기는 B급 및 C급화재에 적용되는 Halon1211 또는 CO₂ 소화기를 비치한다.

바. 진동방지

1) 보일러 및 환기설비 등은 CR에서 격리하여 설치하고, 진동을 줄이기 위해 팽창금구(Expansion joint)를 사용한다.

2) 기계설비는 CR에 전달되는 진동을 줄이기 위해 감쇠기(attenuator)를 설치한다.

3) CR 내의 소음은 65dB이하로 유지한다.

사. 유지관리

스프링클러설비 뿐만 아니라 기타 소화설비의 양호한 작동조건을 유지하기 위해 정기적인 외관검사와 시험을 실시하여야 한다.

1) 부식성 주위에 노출되어 있는 열·연기 감지기, 전기·열·온도 조절장치, 화재·연기 담과, 방화문 및 스프링클러헤드는 6개월마다 검사하고, 열·연기 감지기는 6개월마다 전문검사기관에서 시험을 실시하여야 한다.

2) 종사자들은 비상시를 대비하여 소화설비의 작동방법을 숙지하

여야 하고 관련 설비의 시험방법과 유지관리방법에 관한 책자를 비치하여야 한다.

3) Air filter(HEPA 등)는 정기적으로 청소와 교체를 하고, HEPA filter는 화재 방지에 역효과를 낼 수 있으므로 수선하여 사용하지 말고 교체하여 사용하는 것이 좋다.

4) CR에는 비상시 행동요령을 위한 표지판을 게시하고, 종사자들은 비상시를 대비한 훈련을 실시하여야 한다.

4. 이색사례

가. 배연설비의 불충분으로 인한 오염 물질의 확산

플라스틱 배기닥트(닥트내에 스프링클러설비가 설치됨)에서 화재가 발생하여 CR을 통하여 연기와 soot(매연)가 재순환되어 피해가 확대되었다. 이 건물 CR에는 자동 스프링클러소화설비가 되어있었고, 6~12m 높이의 중앙에 유리섬유강화플라스틱닥트가 설치되어 있는 단층의 컴퓨터 조립공장이었다. 화재는 유리섬유강화플라스틱닥트의 실란(공기 중에서 화염을 내며 탐)과 수소에 의해 점화되어 발생하였다. 조업자가 화재를 발견하여 소화기로 화재를 진압하려 했으나 실패하였다. 즉시 소화전과 닥트내에 있는 3개 스프링클러헤드로 화재를 진압하여 닥트를 통한 화재의 확산을 방지하였다. 그러나

연기와 soot는 CR를 통하여 확산되어 HEPA filter와 공정장치에 피해를 입혔으며, 손해액은 \$2,500,000이었다.(79년도)

나. 오염물질의 제어 부족으로 인한 연기의 확산과 침수

반도체 제조공장의 세척욕조에서 전기로 인해 일어난 화재를 자동 스프링클러설비로 진압하여 막대한 손실을 방지하였으나, 스프링클러설비가 설치되지 않은 유리강화플라스틱다트와 알루미늄다트는 열에 노출되어 붕괴되었으며, 연기와 물에 의해 상당한 피해를 입었다. 화재에 의한 직접 피해는 금형준비실과 욕조실 주변이었다. 2층 바닥은 바닥면적의 40%가 20.3cm 두께로 침수되었고, 물이 바닥 틈새로 침투하여 1층에 있는 Diode 조립line, 식당 및 공장실에 피해를 입혔다. 연기는 배기다트가 붕괴될 때 금형준비실 전체에 축적된 후 이온주입실로 확산되어 손실이 확대되었다. 총 피해액은 \$3,500,000이었다.

다. 스프링클러설비와 배연설비로 피해를 경감

CR의 전기화재로 층류실과 대기실 및 많은 마이크로칩에 피해를 입혔다. 그러나, 스프링클러설비와 배연설비를 초기에 작동시켜, 포장작업장과 검사실에 한하여 피해를 입혀 손실을 최소화 하였다. 총 피해액은 \$100,000이었다.(84년도)

라. 비상조작이 막대한 오염손실을 경감

반도체 제조공장에서 부식성 유체의 흐름을 조절하는 밸브가 잘못 조절되어 전사장치, 조립line 및 부식가스 배관에 피해를 입혔다. 조업자가 환기설비로 제순환되는 것을 차단시키고, fume 배출설비를 작동시켜 fume의 확산을 방지하였다. 누설된 액체는 NH₄OH액과 잘 중화시켜 닦아 내었다. 총 피해액은 \$90,000이었다.(83년도)

마. 오염물질제어부족으로 손실 확대

반도체 제조공장의 전기순환펌프와 열침적 가열기가 장치된 폴리프로필렌 바탕탱크에서 전기로 인한 화재가 2개의 자동스프링클러헤드에 의해 진압되었다. 그러나, CR 지역에서 연기와 침수로 인하여 피해가 확대되었다. 총 피해액은 \$1,800,000이었다.(84년도)

바. 스프링클러설비의 부족으로 피해 증가

대규모 IC 제조공장으로 사용하는 신축 건물에서 화재가 발생하였다. 연면적이 7,100m²인 RC 구조의 건물은 확산(Diffusion), 인쇄(masking), 전사실(photolithography) 및 식각실 등 여러개의 실로 구성되어 있었으며 소화전 설비가 설치되어 있었으나, 스프링클러설비는 설치되지 않았었다. 정상 조업중인 오전 8시 30분경 화재가 발생하였다. 운전자는 타는 냄새를 맡을

수가 있었으며, 가스 배출다트에서 적은 양의 연기가 누설되는 것을 감지할 수 있었다. 다트는 화학증기 축적장치의 상부에 폴리프로필렌제 조 천정내에 시설되었었다. 운전자는 할론 1211 소화기로 화재를 진압하려 하였으나, 화재가 천정다트를 통하여 확산되어 진압에 실패하였다. 화학소방펌프를 포함한 35대의 소방펌프차를 현장에 급파하였으나, 물로 인한 제품의 손상을 우려하여 초기에는 물을 사용하지 않았으며(폼 소화기를 사용) 진압에 실패하자 소화전을 사용하여 오전 10시경 진압에 성공하였다.

연기와 독성가스의 막대한 양이 천정에서 생성되어 건물의 구조가 폐쇄적이기 때문에 실내온도를 급격히 증가시켰다. 화염, 연기 및 매연은 최종적으로 확산실로 확대되어 공정장치 등에 피해를 증가시켰으며, 또한 실란과 암모니아를 누출케 하였다. 총 피해액은 \$60,000,000이었다.

사. 유지관리 소홀로 손실 확대
기계 고장으로 인하여 실린더로부터 CCl₄의 부식성 가스가 누출되어 공정상의 제품을 손상시켰으며, 이로 인하여 사업상 큰 손실을 내게 하였다. 총 피해액은 \$2,300,000이었다. ☹