

초청정 클린룸 기술의 현황과 전망

Status and Future Trend of Clean Room Technology

오 명 도*
Myung - Do Oh

1. 서 론

반도체, 정밀공업, 광학, 유전공학, 의약등의 모든 첨단 산업 분야에서 청정실(Clean Room, 이후 CR 이라 칭함)의 필요성은 계속 증대되고 특히 반도체 분야에서는 1 MD-RAM 이상의 초집적회로(VLSI)의 반도체 칩을 생산하기 위하여 제어 대상 입자의 크기가 $0.1\mu\text{m}$ 이하가 되고 입자 농도도 10개/ ft^3 이하로 되는 초청정실이 요구되고 있다(표 1 참조). 초청정 공간은 청정실과 같이 미립자만을 대상으로 하는 것으로부터 미생물, 유해가스도 포함하는 초청정공간에 이르기까지 모든 하이테크 산업에서 요구되고 있다. 이러한 공간을 창조하는 것을 Super Fine System이라 부른다. 즉 Super Fine System이란 미립자외에 미생물과 유해가스 오염을 포함한 모든 오염물질이 거의 존재하지 않는 환경을 만드는 시스템이다. 현실적으로는 특정공간의 청정화를 실시하는 것에 한정되며 그 극단의 예로 반도체 공업과 유전자 교체 등에 요구되는 초청정공간을 말한다. 이것을 폐쇄형 Fine Space 로 부른다. 그러나 사회 전반에 대해서 생각하면 건물전체의 청정화, 지역의 청정화 등 개방된 형태의 Fine Space 도 필요하며 이것은 산업화된 인간의 생활에

서 필요 불가결하다고 할 수 있다. 이러한 형태를 개방형 Fine Space 라 부른다. 향후의 산업사회 고도화는 이러한 개방형 Fine Space 의 필요성을 더욱 증대 시킬 것이다.

현재 CR의 이용분야는 확대일로의 상태이며 앞으로 이용분야는 다양화되고 확대될 것이 확실하다. 급속히 발전되고 있는 첨단 생산물의 청정화, 고순도화, 무균화, 고신뢰성화를 위해서는 초청정기술이 필수 기술이며 이러한 첨단분야의 빠른 산업 발전을 위해 필수 기술의 개발은 시급한 일이다. 또한 민생분야에서도 흡연문제, 의료, 병원내 감염 등 청정기술을 이용한 개방형의 공기청정 시스템의 개발이 요망되고 있다. 따라서 미립자, 미생물, 유해가스 분자 등의 오염물질을 전기적, 기계적, 화학적 방법에 의하여 제거하는 기술을 이용하여 최첨단 공장으로부터 민생분야까지 광범위하게 이용가능한 폐쇄형 또는 개방형의 공기청정장치 개발이 진행되고 있다. 특별히 현재 거론되고 있는 Super Clean Room 이란 그 오염대상이 $0.1\mu\text{m}$ 에 이르는 미립자로서 이러한 특정공간의 Super Fine을 실현하기 위해서는 제조장치의 청정화, 무인 운전화 기술, 각종 측정 및 평가장치, 환경기기의 관리와 에너지 절약 기술의 개발 등 극한 환경을 대상으로 전체 시스템 개발이 필요하다.

* 정회원, 한국과학기술원 기계공학부

이러한 기술이 이용되고 있거나 이용이 예상되는 분야는 반도체, 생명공학, 제약, 병원, 식품, 정밀기계, 신소재산업, 화학, 사진, 광학, 인쇄, 전자공업, 원자력산업, 가정, 일반 집무공간 등이며 더욱 개방 및 폐쇄형의 공기청정시스템의 개발성과는 앞으로 완전밀폐의 우주 스테이션이나 반밀폐의 지하공간에 까지 확대될 전망이다.

실제 반도체 공장에서 제품의 생산수율을 감소시키는 요인으로는 Wafer 공정장치와 관련된 오염원이 50% 이상을 차지하고 있으므로 이제는 CR내에서 특정 작업이 행해지는 국소공간에서의 오염입자제어와 청정도 유지가 중요한 문제로 대두되고 있다. 따라서 초청정공간 생성기술도 종래의 단순한 청정작업공간 확보와 유지를 위한 CR 설계개념에서 국소오염제어를 위한 설계개념으로 전환되고 있다. 이와함께 최근에는 막대한 건설비용과 유지비용이 요구되는 CR 자체를 배제하고 Wafer 공정이 일어나는 국소영역에서만 오염입자를 제어하는 기술인 OASIS(Open-Area SMIF Isolation Site)기술이 제안되어 검토되고 있고 이와같은 신기술이 확립되면 궁극적으로 사람과 주변공간의 영향을 차단한 즉 CR이 필요없는 국소청정기술이 생산에 활용될 것으로 여겨진다. 그러나 이러한 기술개발에는 아직도 해결되지 않은 많은 문제점이 제시되고 있어서 실제 CR을 배제하는 청정기술의 확립에는 앞으로도 많은 시일이 요구될 것으로 판단된다. 따라서 기존의 CR내에서 국소적으로 청정공간을 유지하는 기술은 계속 연구대상이 될 것이고 현재 이에 대한 연구가 선진국에서는 활발히 진행되고 있다. 이와같은 국소오염제어를 위해서는 오염입자의 발진과 발진된 입자가 주변의 유동장을 타고 확산되는 특성에 대한 연구가 필요하다. 또한 현재 CR 설계에서는 일종의 국소청정개념인 클린턴널형(CT형)CR을 도입하여 활용하고 있고 가능하면 제품의 생산수율에 영향을 미치지 않는 범위에서 순환기류속도를 최소화하여 막대한 운전에너지의 절감을 꾀하고 있다. 이와같은

초청정기술을 실현하기 위해서는 연구소, 청정실 제조업체 및 반도체 회사 모두를 포함하는 공동연구 개발 체제가 시급히 요망되며 이러한 공동연구를 통해서만이 실제 생산수율을 향상시키며 차세대 초청정공간 창조를 국산화 하기 위한 한계 기술의 돌파가 가능할 것이다.

표 1. DRAM에 대한 선폭, 임계입자크기 및 요구청정도

Chlp크기	선 폭 (μm)	임계입자크기 (μm)	요구청정도
64 K	3	0.3 - 0.6	100
256 K	1.5	0.15 - 0.3	100
1 M	1	0.1 - 0.2	10
4 M	0.5	0.05 - 0.1	1

2. CR의 보급 및 관리현황

우리나라에서는 1980년대에 중화학 공업과 더불어 첨단산업이 시작되는 시기로 컴퓨터 관련기기인 반도체, 신소재, 생명공학 분야 등 하이테크 분야에 광범위하게 재벌그룹이 경쟁적으로 참여함에 따라 CR 시장이 갑자기 부상하게 되었고 향온향습장치, 공기조화설비를 해오던 군소 중소기업이 이 시장에 뛰어들어 현재 국내에 연간 매출 10억 이상의 업체가 20여개사 기타 관련업체가 30여개사 이상에 이르고 있다. 이러한 하이테크산업은 투자에 모험이 따르고 우선 막대한 연구개발 지원 없이는 안되므로 정부의 과감한 정책으로 대덕단지의 각종 연구소 및 정부출연연구소에 대량투자가 되고 있으며 민간기업에서도 경쟁적으로 각종 하이테크 분야에 기업부설연구소를 건설하여 관련 투자는 증가일로에 있다. 이러한 하이테크 분야의 연구시설이나 생산공정에는 필히 그 환경의 초청정공간 생성기술이 수반되지 않으면 안되므로 바로 하이테크 산업이 고도의 CR 기술 발전을 주도하고 있다. 이미 반도체의 경우 삼성, 금성, 현대, 아남 등이 85년 말까지 약 8,000억원을 투자했으며 1988년 금성 1천 8백억원,

삼성 1천4백억원, 현대 5백10억원, 대우 2백억원 등 기존 4개사의 반도체 부문 투자 외에 신규로 반도체 부문에 진출한 삼미와 한일 그룹이 각각 4백60억원과 2백억원을 투자해 갈륨비소 반도체생산에 나설 계획이고 한국전자, 아남산업, 럭키소재 등 기존 반도체 관련회사들도 각기 1백억 - 2백억원을 투자할 계획이어서 올해 10여개 반도체 관련사들의 총 투자규모는 4천7백억원에 이를 전망이다. 일본 반도체 업체들도 1988년에 그전해보다 38% 늘어난 4천1백54억엔을 반도체 설비분야에 투자할 계획이다. 이와같은 전자 반도체분야의 기술발전이 상상할 수 없이 빠른 속도로 전개되어 감에 따라 부수되는 환경설비인 CR 장치산업도 급속히 발전할 것으로 예상된다. 그림 1은 일본의 경우 CR 관련 제품의 매상고를 보여주고 있다. 1985년에는 약 2,500억엔으로 지속적인 증가를 보여주고 있으나 그 증가율은 다소 둔화되고 있음을 알 수 있다. 이중 1985년 CR만의 매상액은 1,457억엔에 이르고 세부 항목별 매상액은 표 2에 나와 있다. 미국의 경우는 1986년 CR 매상고가 5억달러 정도이고 1990년대는 12-19억달러에 달할 것으로 추정되며 CR 관련 제조업체는 200여개사에 이르고 있다. 우리나라의 경우는 지금의 반도체 및 전자산업의 확장규모로 미루어 볼때 당분간 매년 40% 이상씩 시장 규모가 늘어날 것으로 전망된다. 표 3에는 1987년 한국공기청정연구조합에서 집계한 우리나라의 CR 시장의 규모를 보여주고 있다.

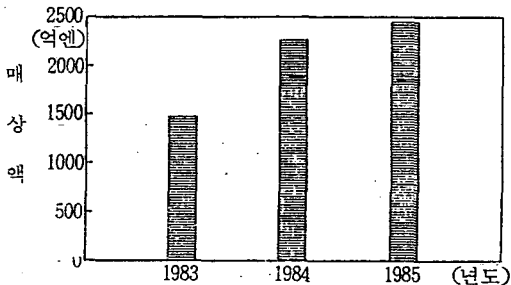


그림 1. 일본경우 클린룸 관련제품 매상액

표 2. CR 관련 매상액(일본, 1985년도)

세 부 항 목	매 상 액(억엔)
클 린 룸	1,457
클린벤치·부스	109
에어샤워·패스박스	58
바이오해자드기기	66
순 수 장 치	33
가 스 장 치	28
반 송 장 치	26
세 정 장 치	52
진 공 장 치	96
방 화 장 치	3
제 해 장 치	11
계 측 장 치	9
기 타	49

표 3. 우리나라의 CR 시장규모(한국공기청정연구조합통계자료, 1987년도)

구 분	금 액(억원)
반 도 체 · 전 자	400
약 품 화 학	300
정 밀 기 계	150
식 품	100
기 타	50
계	1,000

최근들어 반도체 공업을 중심으로한 각종분야에 있어서 초정정공간이 필요시되고 Contamination Control의 관점에서 현재의 CR의 관리와 운영이 중요한 문제로 대두되고 있다. 그러나 CR의 관리와 운영은 각각 현장마다 다르고 명확한 관리법에 기준하여 실시되고 있지 못한 실정이다. 특별히 우리나라에서는 CR 장치산업의 보급현황을 통계적으로 파악하기가 실제적으로 매우 어려운 형편이므로 우리나라와 산업구조가 비슷한 일본과 중국의 발표 자료를 주로 소개한다. 그림 2-4는 우리나라와 일본, 중국의 CR 보급현황을 나타내고 있다. 우리나라의 경우 반도체와 전자산업이 40%, 약품과 의학이 30%, 정밀기계 15%, 식품 10% 등이며, 일본의 경우는 반도체와 전자공업이 50%이고 그 다음 의학

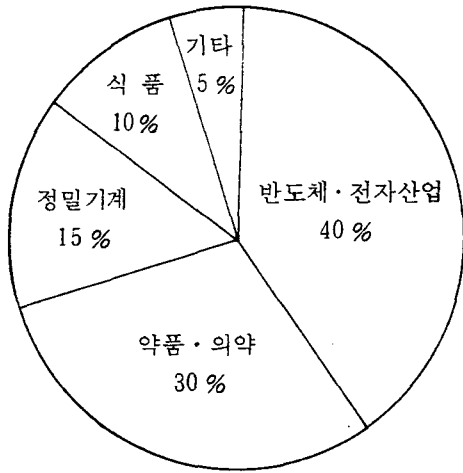


그림 2. 우리나라의 클린룸 보급현황 (1987)

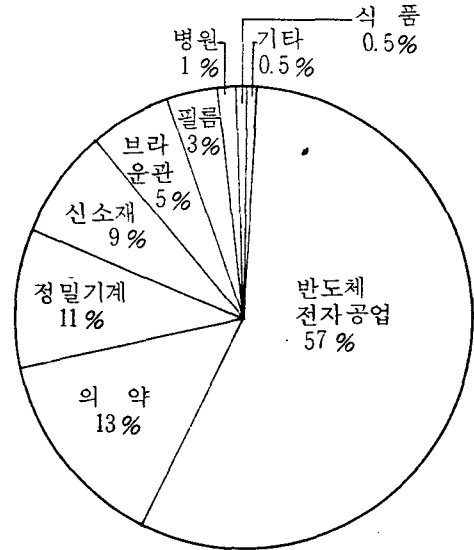


그림 4. 중공의 클린룸 보급현황 (1985)

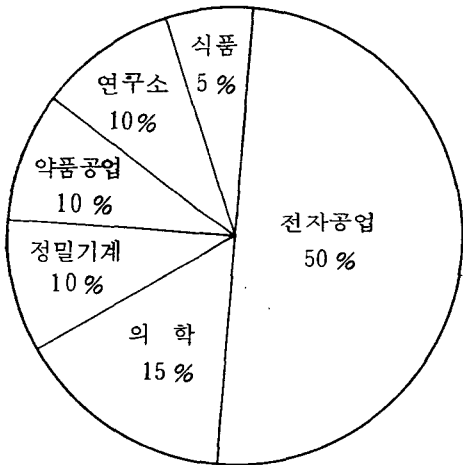


그림 3. 일본의 클린룸 보급현황 (1985)

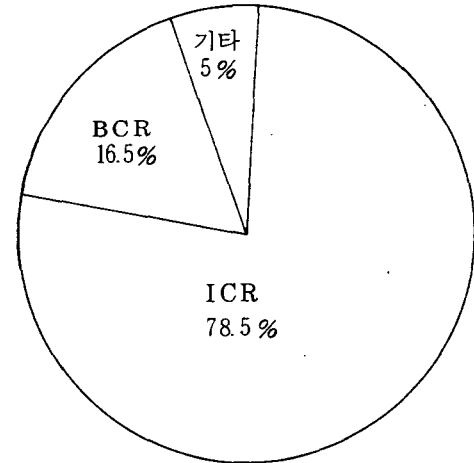


그림 5. 일본의 클린룸 형태별 분류 (1985)

15%, 약품 10%, 정밀기기공업 10%, 연구소 10%, 식품 5% 등으로 전자산업에 치중되어 보급되고 있는 것으로 보여주고 있다. 또한 일본의 경우 1987년 252개사를 대상으로 한 통계 조사에 의하면 CR 형태별로는 공업용 CR(ICR)이 77.5%를 차지하고 있으며 바이오 CR(BCR)이 16.5%로 되어 있다(그림 5 참조). 또한 청정도 별로는 클래스 100이 30%, 클래스 1000이 22%, 클래스 10 이상의 수퍼 클린룸이 10% 정도 차지하고 있다(그림 6 참조).

그림 7은 CR 클래스별 제작면적으로 1984년에는 클래스 100 이상의 CR이 많이 건설되

었고 특히 클래스 1,000 정도의 중간급 CR이 많이 건설되었다. 1985년에는 전체적인 건설면적 규모가 약간 줄어들고 있음을 보여주고 있다. 그림 8과 9는 ICR과 BCR의 대상업종에서 청정도 클래스에 따른 시공 면적을 나타내고 있다. ICR은 반도체, 전자, 정밀, 인쇄, 도장 등에 보급되고 있으며 특히 CR시장을 주도하고 있는 반도체 산업에서는 모든 클래스의 CR이 요구되고 있음을 보여주고 있다. BCR은 식품, 제약, 의료, 농림축산 등에 보급되고 있으며 대부분 클래스

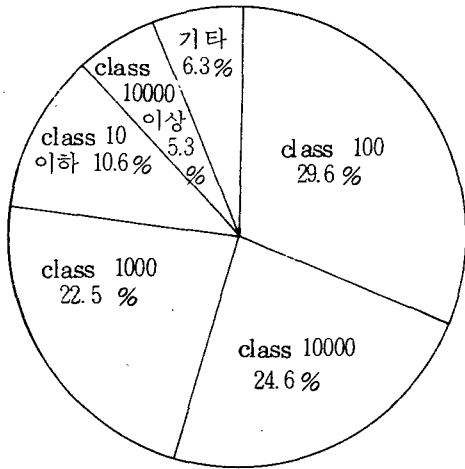


그림 6. 일본의 클린룸 청정도별 분류 (1985)

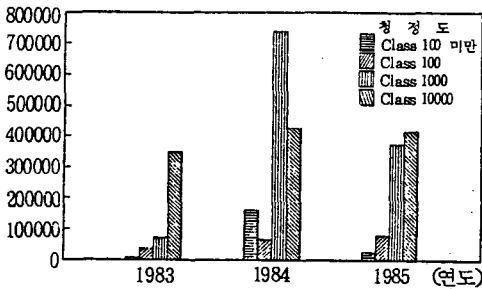
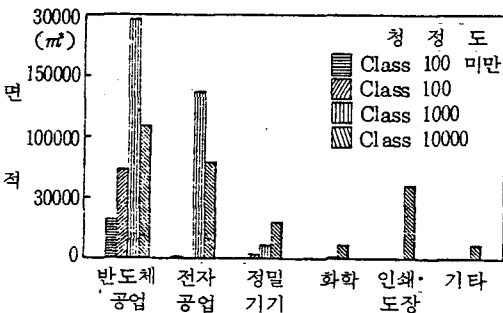


그림 7. 클린룸 클래스별 제작변화

10,000 정도의 청정도가 요구되고 있다. 현재 일본에서 샘플된 63개 CR 관련 업체에 조사하고 있는 인력만도 사무직 561명, 기술직 2,724 명으로 조사되었으며 우리나라의 경우는 CR 관련 업체 총 인력은 600여명 정도로 추산된다. 표 4는 1987년 한국 공기청정연구조합의 통계자료로 우리나라의 CR 관련업체의 종목별 분포 현황을 보여주고 있다.



(a) ICR 청정도별 보급현황

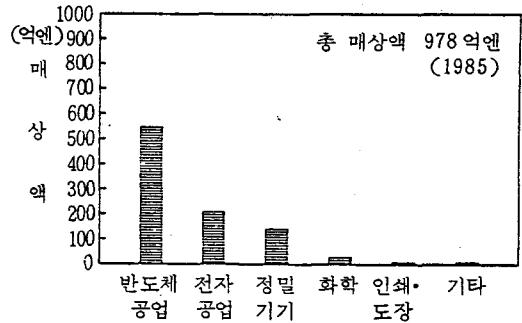
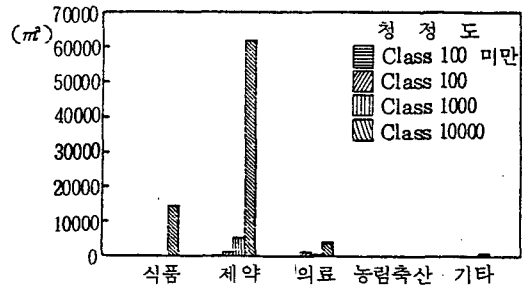


그림 8. 공업용 클린룸(ICR)의 보급 및 판매 현황 (1985)



(a) BCR 청정도별 보급현황

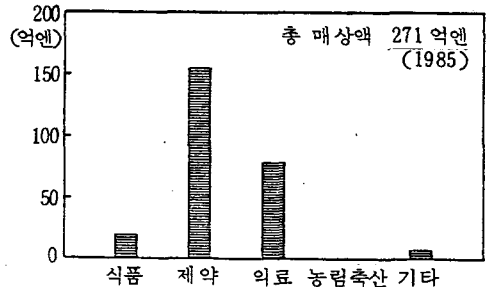


그림 9. 바이오 클린룸(BCR)의 보급 및 판매 현황 (1985)

최근 CR은 제작설치된 후의 유지 및 관리 운영이 중요한 문제로 대두되고 있다. 그림 10은 일본에서 CR이 설치된 공장, 연구소 등 162개소의 관리 운영 현황을 나타낸다. CR의 청정도 유지를 위해서 전체의 약 90%는 운전시의 청정도 관리를 하고 있으며 정기적으로 청정도 측정을 하는 곳이 56.3%로 가장 많고 연속측정하는 곳도 7.7%에 이르고 있다. 특히 ICR에서는 연속 및 정기적 측정

표 4. (a) 국내 CR 주요 산업체 분포

종 목	CR 관련 산업체
설계 및 감리	15 (대기업 10, 중소기업 5)
시 공	20 (중소기업)
판 널	10 (중소기업)
필 터	8 (중소기업)
덕트 및 배관	25 (중소기업)
자동 제어	15 (대기업: 3, 중소기업: 12)
기기 제작	20 (대기업: 5, 중소기업: 15)
계	113 (대기업: 18, 중소기업: 95)

(1987년도 한국 공기청정 연구조합 자료)

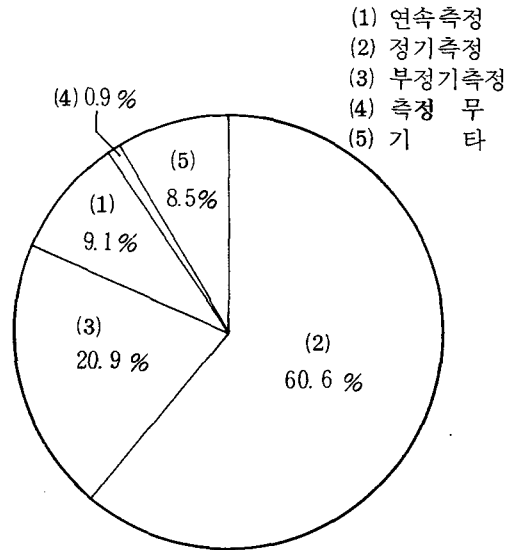
표 4. (b) 국내 CR 업체 및 업종

업 체	업 종
신성엔지니어링(주)	CR 제작
삼우내장	CR 판넬제작
한국산업플랜트(주)	CR 제작
삼원엔지니어링(주)	CR 제작
천호기계(주)	CR 제작, 고성능 필터제작
한국캠브리지필터	고성능필터 제작
한국필타산업(주)	CR 제작 및 필터제작
코리아에어텍	고성능 필터제작
럭키엔지니어링(주)	CR 및 Engineering
코리아엔지니어링(주)	CR 및 Engineering
에너콘엔지니어링(주)	TAB, CR 기기
경원기계(주)	송풍기
삼원중력	송풍기
삼정기계	송풍기

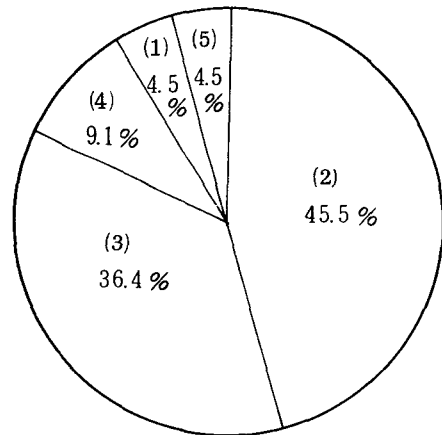
(1987년도 한국 공기청정 연구조합 자료)

이 70%를 차지하고 있고 BCR에서는 50% 정도를 차지하고 있다. 그림 11은 정기적 측정 및 부정기적 측정의 주기를 보여주고 있다. 1주간 이내의 측정주기가 34.5%로 가장 많았으며 전체의 66%가 1개월 이내를 주기로 점검을 실시하고 있다.

그림 12는 CR의 관리항목을 나타내는데 온도, 습도, 실내압력차 등은 ICR, BCR 모든 형태의 CR에서 중점사항으로 측정하고 있으며 실내기류속도, 특정가스 존재 등도 그 다음 항목으로 점검하고 있고 정전기나 진동 등의 점검은 약 10% 미만의 미비한 정도를 나타내고 있다. 특별히 BCR에서는 micro



(a) ICR 관리운영 현황



(b) BCR 관리운영 현황

그림 10. 클린룸 관리운영 현황

organism의 점검이 온도, 습도, 실내압력차와 함께 중요 점검항목으로 실시되고 있다. 그림 13는 CR에 사용되는 HEPA나 ULPA 필터의 교환주기를 나타낸 것으로 1년 미만 이 23.2%, 1년-2년 사이가 17.6%, 2-3년 사이가 19.0%, 3-5년 사이가 10.6%로 나타나고 있다. CR용 무진의 관리 는 전체의 75.4% 정도에서 무진의 전용 로커를 사용하고 있고 무진의의 교환주기는, 1주간 이내가 52.1%로 가장 높다.

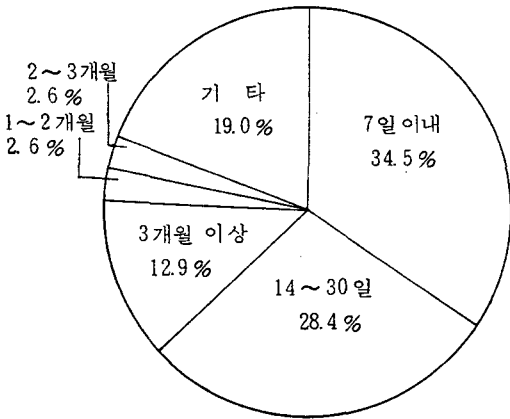


그림 11. 클린룸 관리를 위한 측정주기

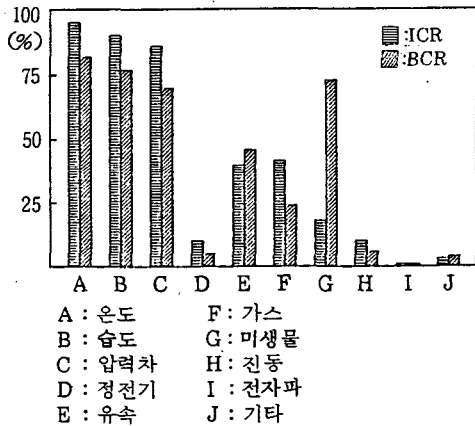


그림 12. 클린룸 관리 항목

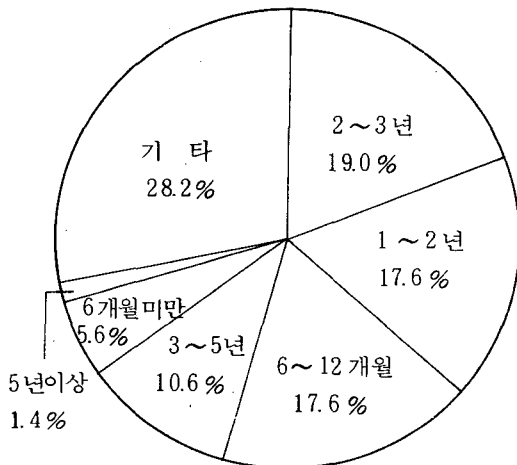


그림 13. 클린룸 필터의 교환주기

3. 초청정공간 생성 및 제어기술

3.1 청정화 기술의 개발

가. 에너지 절약형 청정기술의 개발

Super Fine 을 실현하기 위해서는 초미세입자의 제거를 위해 필터를 몇단으로 중첩시켜 강력한 팬에 의해 송풍하도록 함으로써 엄청난 전력을 소비한다. Super Clean Room 에서의 운전비는 전력소비가 대부분을 차지하고 있다. 전력요금이 미국에 비해 우리나라의 경우는 수배 비싸므로 이 운전비의 차가 제품가격에 반영되어서 국제적 경쟁력의 저하를 초래할 것이 명백하다. 이를 위해서는 에너지 절약형 저압손 필터의 개발, 저속유동 기류 제어, 클린룸 HVAC 시스템 최적 열부하산정기술, 청정공기 배기 순환방식의 개발 등이 필요하다.

나. 전기적, 자기적, 열적, 기계적, 화학적 방법에 의한 공기 청정기술

종래의 필터는 0.1 μm ~0.2 μm 에서 최대 투과율을 갖고 있다. 이러한 결점을 극복한 소형이며 고성능의 전기집진기를 개발한다. 미립자를 포함한 공기를 과냉각시킴으로써 이 미립자를 핵으로 응축에 의한 비대입자로 성장시켜 전술한 전기집진기등에 조합시켜 고효율의 제거장치를 개발한다. 가스 선택투막 등을 사용하고 수십 응스트롱 단위의 미립자를 제거하며 필요에 따라 불활성의 N₂가스만을 공급가능한 시스템을 개발한다. 미립자 중에서 상자성입자는 자기구배를 갖는 섬유층에 의해 고효율로 제거할 수 있다는 것이 알려져 있다. 금속면의 마찰등에 의해 발생하는 미립자를 저압, 고효율로 제거할 수 있는 청정시스템을 개발한다. CR내표면의 벽, 바닥의 일부를 필터 등과 조합시켜 집진면으로 이용하는 것도 가능하며 간이로 에너지 절약의 청정 시스템을 개발한다.

다. 미립자, 유해가스 제거기술의 개발

표면적을 크게하기 위해 안상과 같은 형태의 초미립자를 필터 여재로 한 필터를 개발한다. 필터 소재 표면 분자와 가스(공기) 중의 입자와의 이온교환 반응에 의한 흡착현상에

의해 필터에 입자와 유독가스 분자를 고효율로 흡착하고 제거한다. 초미립자 필터의 소재로는 알루미늄, 실리카겔 등이 고려되고 있다.

라. 이온에 의한 청정화 기술의 개발

방전처리 등에 의해 공기중의 활성화 이온양을 대폭 증가시킨다. 이러한 이온을 공기중의 유독가스분자에 접촉시켜 무해가스로 변환시키거나 부유미립자를 대전시켜 정전부착 효과에 의해 청정도 향상을 피하는 기술을 개발한다. 본 기술은 주거환경에서의 무취화, 쾌적성 향상에 응용하여 발전시키는 것도 가능하다. 또한 Ionizer를 사용하여 대전되어 있는 부유미립자의 전하를 중화시켜서 반도체 Wafer 표면과 같이 정전기에 의한 입자의 부착을 방지하는 기술이 개발되고 있다. 이와함께 정전기를 띠지 않는 CR내장재의 개발이나 무정전 도료의 개발도 진행되고 있다.

마. 무발전 로봇 및 기기의 개발

(1) 기계부품 구동요소

베어링, 기어 등 발전이 일어날 수 있는 기계 부품 요소의 해석, 자성유체 Seal

(2) 무선 자율 로버트

자기 베어링을 사용한 비접촉형 간접기구, 원격조정

(3) 원격 제어기술

μm 단위로 자유도가 큰 미세 작동을 하고 원격제어 기능을 갖춘 로봇트

(4) 배관계통 청정화 기술

액체의 박막필터, 한계 파막시스템, 배관 유로내의 재순환 영역이나 정체부를 제거 하여 미립자의 발생방지, 배관계 Sealing

(5) 배관요소의 내표면 거칠기 개선

Piping, Fitting, Valve 류 내면의 초경면 마무리, 에너지 절약을 고려한 유체 마찰 손실

(6) 저증기압 윤활유

저증기압유와 요동부재의 적합성

(7) 발전원의 물성과 조성의 측정

(8) 고온, 고습에서의 초미립자 제거기술

3.2 공기청정 시스템과 유니트의 개발

가. 폐쇄형 시스템

외부로부터의 오염의 진입을 막는 Air lock 기능을 갖는 폐쇄공간 구성설비를 개발한다. 주요한 오염 발생원인 작업자를 폐쇄공간으로부터 배제하기 위해 폐쇄공간 안에서의 작업은 무인자동화 시킨다. 로봇트를 외부로부터 조정하는 원격조정장치나 그것에 적합한 방법을 개발한다.

나. 개방형 시스템

외부로부터의 오염의 진입을 막는 Air lock 기능 대신에 Air curtain, Water curtain 등을 사용한 개방공간 구성설비를 개발한다. 이 커튼에서 외부 유입공기중의 미립자와 미생물, 유해가스분자를 간이적으로 저에너지로 제거한다. 공간 내부에서는 오염물 제거기능을 갖는 내장재의 개발, 이온에 의한 청정화, 국소역에서 발생한 오염을 확산하지 않게 고정화하여 국한된 장소에서 배제하는 기술을 개발한다.

3.3 계측관리 및 지원기술

가. 미립자 계측기술 개발

공기의 청정도를 평가하기 위한 계측기 및 그 기능을 교정하기 위해 사용하는 표준미립자의 입경을 정확히 측정하기 위한 계측기술의 개발을 한다. 종래의 청정도의 평가는 공기중 미립자의 최소입경이 $0.3\sim 0.1\mu\text{m}$ 정도, 농도가 $1,000\sim 100\text{개}/\text{m}^3$ 정도까지를 대상으로 하고 있으나 현재는 최소입경 $0.1\mu\text{m}$ 이하, 농도 $10\text{개}/\text{m}^3$ 정도 이하까지 청정화 되어서 이것에 대응한 계측기술을 개발한다.

(1) 초미립자 계측장치의 개발

청정도의 평가에는 미립자의 입경분포와 농도를 계측하는 것이 필요하다. 현재 실용성이 높은 것으로 광산란식 계수기가 널리 사용되고 있으나 현상태로는 측정가능 최소입경이 $0.1\mu\text{m}$ 에 머무르고 있다. 따라서 더욱 작은 미립자의 계측이 가능한 계측기를 개발한다.

(2) 표준 미립자 입경 계측기술의 개발

종래로부터 미립자 계측기에는 커다란 오차가 발생하며, 이것을 교정하기 위해 표준미립자를 사용한 감도의 교정이 행해진다. 그러나 표준미립자의 입경치의 신뢰성이 충분하지는

않다. 따라서 0.1 μm 이하의 입자에 대해서도 충분한 정도가 얻어지는 계측기술을 개발한다.

나. 유동의 가시화 및 저유속계에 관한 연구

청정도가 높은 CR은 발생하는 오염입자를 효율 좋게 흘려보내도록 대량의 청정공기를 순환시키고 있다. 이 유동을 발생시키기 위해 사용하는 송풍기는 연관을 통해 정지되는 경우가 없고, CR에 필요한 에너지의 대부분은 이 송풍기에서 소비된다. 따라서 CR내의 유동을 저유속으로 함으로써 절약되는 운전에너지는 대단히 크다. 한편 유동은 느려지는 만큼 불안정하게 되며 와류영역은 넓어지고 오염입자가 유동의 정체부위에 집적되며 이에 따라 제품의 수율(원료에서 제품이 만들어지는 비율)은 떨어지게 된다. 따라서 CR내의 유동을 가시화하여 저속의 유동에서도 가능한 유로의 와류영역이나 정체부가 발생하지 않는 구조로 한다. 형광등, 스프링 쿨러등의 공기의 흡출구가 없는 곳의 아래, 방의 구석, 작업대 등의 각이 있는 구조물 근처에서는 반드시 와류가 발생한다. 저유속계를 개발하고 클린룸내의 유속측정을 하여 Computer에 의한 수치 Simulation을 가능하게 한다. 저유속계는 감도가 대단히 높게 되므로 사용전에 바른 교정을 해야한다. 유속측정은 클린룸 완성후의 인도시에도 중요한 사항이 되므로 간이교정법의 개발과 규칙화도 필요하게 된다. CR내의 기기배치는 일정하지 않으므로 유동이 정체되지 않는 효율 좋은 배치를 위해서는 가변성 있는 수치 Simulation이 필요하게 된다. 이를 위한 Simulation 프로그램의 개발에는 유속측정 실험에 의한 검증이 필요하다.

다. 고정도 미립자 계측

극초단파 X선의 산란효과의 이용, High Power Laser를 사용한 고정도 미립자 계측법을 개발한다.

3.4 기술향상의 파급효과

가. 사용전력량의 대폭적인 절감

현재의 CR은 청정도를 높이기 위해 필터

를 넓은 면적에 여러겹으로 겹쳐 강력한 송풍기에 의해 흡배기한다. 또한 온습도의 조절이 엄밀하게 되며 이러한 고정도의 환경유지와 운전에는 많은 전력이 소비된다. 그렇지만 CR은 청정도를 유지하기 위해 실내의 제조장치 등이 서있을 때에도 24시간의 연속운전이 필요하다. 따라서 실내 작업의 유무에 따라서 청정공기 순환 속도를 가변할 수 있는 송풍기의 범용화가 필요하다. 더욱이 우리나라는 운전비의 대부분을 차지하는 전력비가 미국, 일본 등에 비해 훨씬 비싸므로 청정도가 증가할수록 운전에너지의 절감이 가격경쟁에 미치는 영향이 증대될 것이다.

나. 총합적인 공기 청정기화의 실현

현재의 CR의 청정화는 입자수에 의해 평가되고 있으나 하이테크 산업이 필요로하고 있는 것은 공기의 질도 문제가 되며 따라서 외부 유입공기중의 세균, 유독가스등의 처리가 불가피하다. 즉 총합적인 공기의 초청정화의 실현이 목표가 될 것이다.

다. 종래 기술로 부터의 탈피

현재의 CR은 기존의 기술을 완전히 구사하고 실현하고 있는 것이나 기존의 기술로는 청정화를 높이는데 한계에 이르고 있다. 따라서 종래와 다른 새로운 개념으로 신기술을 개발하여 Total Fine을 목표로 한 극한화 기술을 구사하는 총합기술로 Device에 이르기까지 Super Fine System을 실현한다. 이것의 실현으로 생명공학 산업뿐 아니라 관련 하이테크 산업분야 기술은 비약적인 수준향상에 도달할 것이다.

라. 평가를 위한 계측기술의 개발

기술개발의 기본이 되는 것은 개발기술의 성능평가이다. 효율적인 성능평가를 위해서는 미국, 일본 등에 비해 뒤쳐진 계측 기술의 개발이 시급히 요구된다.

마. Clean 장치로 Total 기술의 개발

이제는 CR을 단순한 건물적 발상으로 대응하는 것 자체가 잘못되었으며 Clean 장치로 Total 기술의 개발이 필요하다. 그 주요 항목은 다음과 같다.

(1) 에너지 절약화 기술의 개발

표 5. Contamination Control 에 요구되는 연구과제(IBM'S T. J. Watson Research Center, 1987).

1. 액체내에서의 $0.01\mu\text{m}$ 이하 입자의 농도와 크기 분포 측정 방법
2. 표면에서의 $0.01\mu\text{m}$ 이상 입자의 탐지방법
3. Wet Cleaning 원리 개발 및 응용
4. 가스에서 $0.01\mu\text{m}$ 이상의 입자 측정방법 개선
5. 부유입자에서 Magnetic 또는 Non-magnetic 입자를 구분하는 기기개발
6. 표면에서의 입자부착 현상이해 및그 응용
7. 표면입자오염 및 부유입자오염 측정기기들의 손쉬운 Calibration 방법개발
8. 표면에서의 입자 Deposition을 순간적으로 측정할 수 있는 방법개발
9. 고체, 액체, 기체등을 오염없이 용기에 저장하는 방법개발
10. Microchemical 기술을 이용한 Co-contamination Source 측정방법 개발 (Source-Receptor Modelling)

(2) 미립자, 유해가스분자, 세균류 등의 제거를 위한 총합청정화 기술의 개발

(3) 청정공기 배관계의 발전 방지 기술의 개발

(4) 무발전 기계, 무발전 로버트 등의 개발

(5) 내부구성 재료, 의복등의 방진화 기술의 개발

(6) 청정공기의 유동가시화 기술과 최적풍속, 풍량 등의 제어기술의 확립

(7) 초순수 liquid, gas 등의 제조와 공급기술의 개발

(8) 에너지 절약형 신재료에 의한 고성능필터의 개발

(9) 정전기 제거 기술

(10) 진동 방지 기술

(11) 고정도 미립자 계측 기술

(12) 저유속계 개발

표 5는 1987년 미국 IBM사의 오염입자 제어 연구실에서 반도체 수율향상을 위한 연구과제로 제시한 것이다.

바. 건물, 지역등의 광역공간의 청정화 이상의 기술을 종합하여 건물, 지역등의 환경 청정기술을 개발한다.