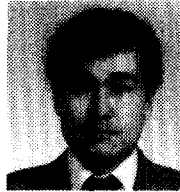


장래의 오염제어에 관한 기술방안

The Future Practice of Contamination Control

오 명 도
M. D. Oh
생산기술연구원



- 1956년생
- 2상 유동 열전달 전공으로 흡수식 냉난방기, 제습장치, 정전식 전기집진기 등 고조 및 환경기기 개발에 관심을 가지고 있다.

명 현 국
H. K.Myong
한국과학기술연구원



- 1957년생
- 난류 및 연소공학을 전공하였으며, 전열촉진 및 환경문제에 관심이 있다.

1. 서 론

1992년 9월 21일부터 25일까지 영국 런던에서 제11회 오염제어학회·국제연합(ICCCS) 심포지움이 개최되었다. 오염제어학회·국제연합은 작년까지 12개국(유럽 8개국, 북미 1개국, 남미 1개국 및 아시아 2개국) 13개 단체로 조직되어 있었으나, 이번에 우리나라 공기조화·냉동공학회가 가입하게 됨으로서 13개국으로 늘어나게 되었다. 이 심포지움은 현재 2년마다 개최되고 있으며, 1994년에는 일본 요코하마에서 개최될 예정이다. 또한, 이 심포지움은 성격상 오염제어에 관한 전 분야에 걸쳐서 학술적인 내용보다는 실용적인 각국의 최신 기술이 발표되고 있는데, 올해는 약 140편에 달하는 논문이 표 1에서와 같이 15개분야로 나뉘어져서 발표되었다.

본 고에서는 저자들이 이 심포지움에 참가하여 관심을 가졌던 분야인 아래의 3가지 분야에서 발표된 논문에 대해 살펴보면, 장래의 오염제어에 관한 기술 방안을 모색하여 보기로 한다.

- (1) 공기오염(airborne contamination-general)
- (2) 격리기술(isolation technology-microelectronics)
- (3) 기술 기준과 방안(standards and practices-future trends)

2. 공기오염(airborne contamination)

제11회 ICCCS 학술대회에서는 공기오염(airborne contamination) 분야로 표 1과 같이 총 14편의 연구논문이 발표되었다. 그 발표논문의 내

표 1 Airborne contamination 분야에서 발표된 논문

1. Particle emissions from production equipment
2. Evaluating air ionization systems
3. Effectiveness of medium efficiency electret filter for contamination control in general buildings
4. Chemical contamination control in cleanroom filter for the removal of trace quantities of acid gas
5. Downward parallel flow system for operating rooms with moderate air volume flows
6. An experimental study of particle increase and natural convection in cleanroom after fan operation is stopped
7. New airflow patterns and energy savement for multi-class clean room systems
8. Microenvironment access mode : effect on interior cleanliness
9. Penetration evaluation of particles in the range of 0.01~0.05 μ m through filter media
10. Contamination control for wet process in cleanrooms
11. A numerical study of air flow turbulence behind pleated air filters
12. The aerodynamics of particle redispersion
13. Submicron particle transport and deposition in a CVD chamber
14. Air ionization system for ultraclean environment

용을 분류해 보면 다음과 같다.

공기이온화 시스템 관련논문	: 3편
필터 관련논문	: 4편
공기유동 관련논문	: 2편
입자유동 관련논문	: 2편
가스확산 관련논문	: 1편
온도확산과 입자농도 관련논문	: 1편
총	: 14편

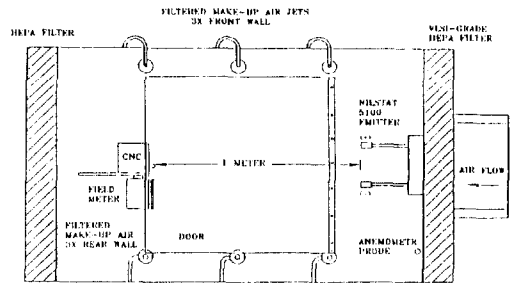


그림 1 입자발진 테스트 챔버

본 장에서는 14편의 발표논문 중 관심있는 6편의 연구논문 내용을 간략하게 설명하고자 한다.

2.1 제조장치로부터의 입자발진-공기이온화 시스템

클린룸 공기 여과기술이 발전함에 따라 제조장비는 오염원이 될 수 있다는 판단아래 연구의 대상이 되어왔다. 이렇게 제조장치로부터 발진되는 입자를 측정하기 위한 테스트 챔버가 설계되고 공기이온화 시스템의 입자발진을 측정하기 위해 사용하였다. 여러 종류의 공기이온화

전극 재료로부터의 입자발진을 측정하고 분석하였다. 그림 1은 제조장치 오염원 측정을 위한 테스트 챔버를 나타내고 있다.

표 2는 공기이온화 전극의 재료, 형태 및 테스트 조건에 따른 입자발진 결과를 보여주고 있다.

본 논문의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) thoriated tungsten 전극은 미국 연방규격 209D 기준의 Class 10을 만족하는 입자발진 특성을 보이고 있다. 그러나 사용중 입자 burst 현상이 있으므로 이에 대한 대책이

표 2 공기이온화 전극의 입자발진 특성

Summary of Electrode Emission Characteristics
(One Negative Point And One Positive Point)

Electrode Material	Type	Test	Particle Avg/Cuft	Std.Dev.	Samples
Tungsten(W/Th)	Wire	Flow	200	331	2086
		Static	1902	1915	4102
Tungsten(W/Th)	Needle	Flow	96	423	2086
		Static	733	1395	1357
Tungsten Alloy	Wire	Flow	54	109	2087
		Static	963	1996	2072
Titanium	Needle	Flow	21	102	6656
		Static	291	697	15858
Non-Metallic	Needle	Flow	5	17	36600
		Static	130	508	24723

필요하다.

2) titanium needle이나 non-metallic 전극은 미국연방규격 209D 기준의 Class 1을 만족하는 입자발진 특성을 보이고 있다.

2.2 초청정 환경을 위한 공기이온화 시스템

본 논문에서는 입자발생을 방지할 수 있도록 새로 개발된 이온화 시스템의 성능을 다루고 있다. 공기이온화 시스템의 전극으로부터의 입자발생은 크게 두가지 이유를 들 수 있는데 첫째는 전극재료로부터의 입자발진이고 둘째는 이온화 전극에 입자가 침착되었다가 클린룸 공간으로 이탈되는 것에 의한 것이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 전극재료로 x-material이라는 것을 사용하였고, 또한 이온화 전극 주위에 특수한 전기 집진기를 통과시켜 만든 아주 청정한 공기를 불어넣어 클린룸 공기로부터의 입자가 전극에 침착되는 것을 막았다.

그림 2는 새로 개발된 공기이온화 시스템의 개략도를 나타내고 있고 그림 3은 재래식 공기이온화 시스템과 새로 개발된 시스템의 전극 needle로부터 발진되는 0.01 μ m보다 큰 입자농도를 시간에 따라 비교한 결과이다. 새로 개발된 공기이온화 시스템은 pulsed-DC 타입으로 양

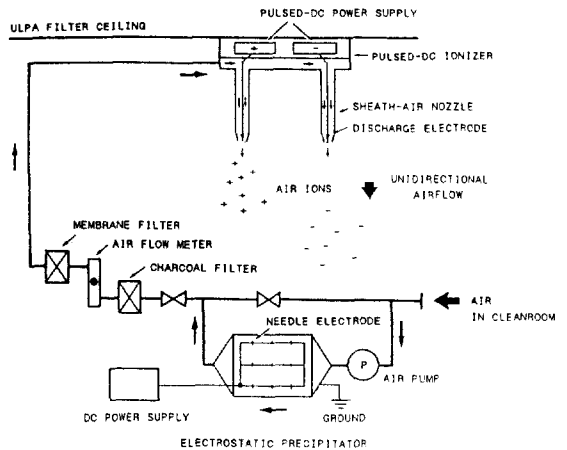


그림 2 새로운 공기이온화 시스템의 개략도

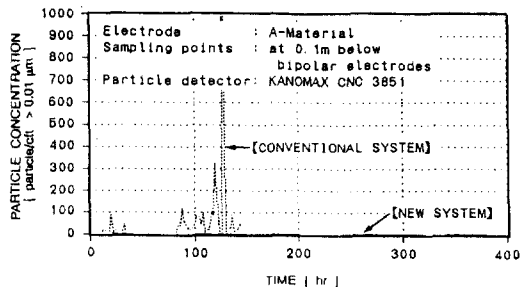


그림 3 재래식 시스템과 새로운 시스템의 전극 needle로부터 발진되는 입자농도의 비교

극에 19kVDC, 음극에 16.3kVDC의 전압을 인가하였고 방전전류는 2.45 μ A이다. 이때의 전극주위의 청정공기(sheath air)의 유속은 0.85m/s이다. 청정공기 생성용 전기집진기에 가해진 전압은 -7.0kVDC이다. 새로운 시스템은 기존 시스템이 가진 사용시간이 지남에 따라 발생하는 입자 burst 현상이 없는 것을 보여주고 있다.

2.3 일반 건물의 오염제어를 위한 중진용 electret 필터의 효과

현재 정전식 여재(electrified media)로 만든 electret 필터의 여러 종류가 시판되고 있다. 이러한 필터의 장점은 기존의 필터에 비해서 저압손과 고성능 집진효율을 갖는 것으로 알려져

있다.

본 논문에서는 3종류의 중진용 electret 필터와 2종류의 기존 필터를 시험·비교하였다. 시험방법은 ASHRAE Standard 52-76의 요구조건에 따라 수행하였다. 그림 4는 시바우라 기술연구소에 설치된 기존필터 및 electret 필터의 성능시험 장치의 개략도를 보여주고 있다. 표 3은 5가지 종류의 필터의 초기저항, 분진보유능력, 초기효율, 평균효율 등의 항목에 따른 시험결과를 비교한 것이다.

시험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

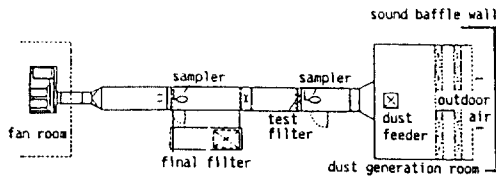
- 1) electret 필터는 기존 필터에 비해서 압손이 30~50% 정도 감소하였다.
- 2) electret 필터는 일반적으로 분진량에 따라

표 4 시험필터들의 각 유니트별 시험결과

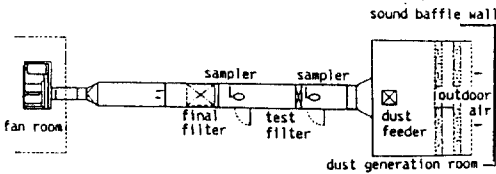
No.	Initial Resistance (kPa)	Dust-Holding Capacity		Initial Efficiency ^{*1} (%)	Average Efficiency ^{*1} (%)	Average Arrestance ^{*2} (%)
		(g/unit)	(g/m ²)			
1-(1)	84.1	400	48.8	82.1	92.9	100.0
1-(2)	86.4	373	45.5	89.8	97.6	100.0
1-(3)	83.9	310	37.8	93.0	96.6	99.3
Average	84.8	361	44.0	88.3	95.7	99.8
2-(1)	90.0	465	40.4	72.0	88.1	98.3
2-(2)	88.9	487	42.3	49.4	73.3	99.4
2-(3)	86.5	470	40.8	69.4	86.9	99.6
Average	88.5	474	41.1	63.6	82.8	99.1
3-(1)	60.0	348	35.2	81.9	86.9	100.0
3-(2)	60.7	352	35.6	79.8	85.2	100.0
3-(3)	61.2	431	41.6	85.4	89.4	98.5
Average	60.6	377	37.5	82.4	87.2	99.5
4-(1)	114.0	230	18.7	64.8	86.4	98.7
4-(2)	116.5	237	19.2	64.0	86.8	99.5
4-(3)	113.4	233	18.9	70.9	88.0	99.2
Average	114.7	233	18.9	66.6	87.1	99.1
5-(1)	113.4	222	21.6	69.5	87.8	98.7
5-(2)	109.1	243	23.6	71.5	87.6	99.6
5-(3)	112.2	230	22.3	65.2	87.6	98.8
Average	111.5	232	22.5	68.7	87.7	99.0

*1 Atmospheric Dust Spot Efficiency

* 2 Synthetic Dust Weight Arrestance



(a) Condition of regular test



(b) Condition of replaced for our testing purpose

그림 4 시비우라 기술연구소의 에어필터 시험 장치

집진 효율의 편차가 크게 나타나고 있는데 이것은 필터 여재에 하전되는 하전 전하량의 차이에 기인하는 것으로 여겨진다.

- 3) electret 필터의 압손 증가율이 기존 필터에 비해 완만하고 분진 보유 능력도 2배 정도 크다.
- 4) electret 필터에서 고체 입자의 경우는 효율이 증가하고 액체 입자의 경우는 효율이 떨어진다.

2.4 Acid gas 제거를 위한 클린룸 필터에서의 화학오염 제어

본 논문은 클린룸내에서 발생하는 acid gas인 HF(Hydrofluoric Acid)와 HCl(Hydrochloric Acid)의 제거를 위해 사용되는 필터에 대한 것이다. 이 필터는 유동저항이 낮은 하니콤 구조에 흡착제를 사용한다. 흡착재료는 활성탄소(activated carbon)을 사용하고 있고 이 활성탄소에 alkaline chemical이 추가되어 있어 acid gas의 흡착성능을 높이고 있다.

그림 5와 6은 이러한 화학필터의 구조와 압력손실을 보여주고 있다.

그림 7과 8은 HF와 HCl이 서로 다른 농도와 혼합된 가스상태로 있을 때의 실험결과와 각각

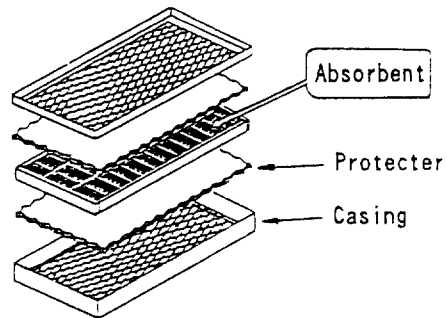


그림 5 화학필터(chemical filter)의 구조도

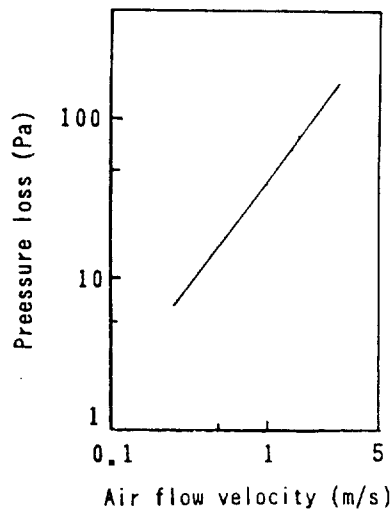


그림 6 화학필터의 압력손실

Concentrations of gases passed :
 HF 780 ng/ℓ , HCl 1450 ng/ℓ
 Gas flow velocity : 1.2 m/s

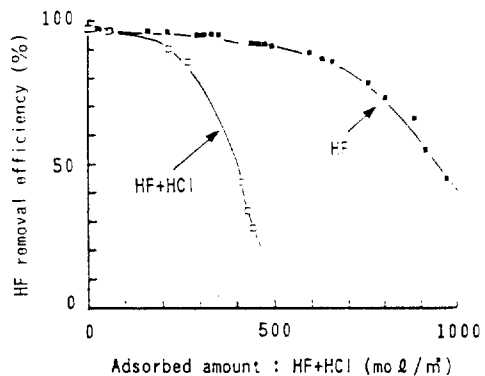


그림 7 HF에 HCl이 혼합되었을 때의 제거효율에 미치는 효과

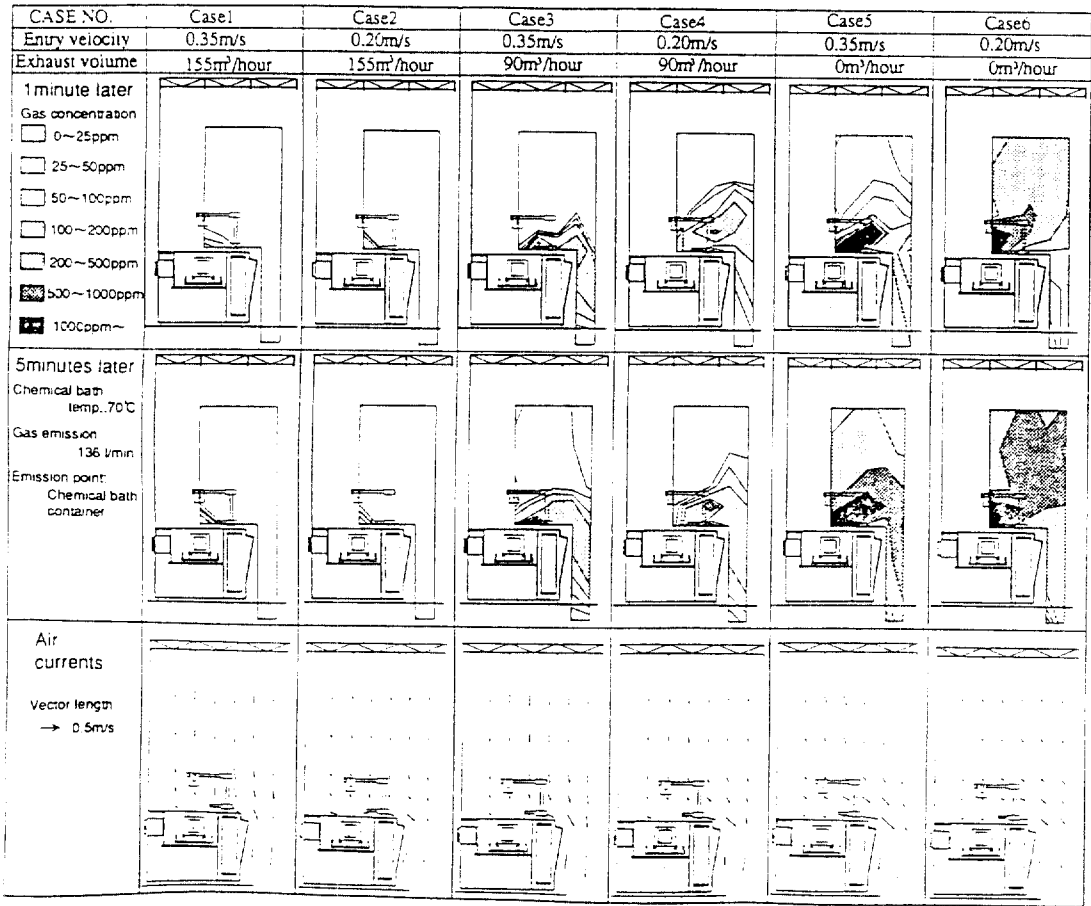


그림 10 wet cleaning 장치 주위의 가스농도 및 공기유동 특성

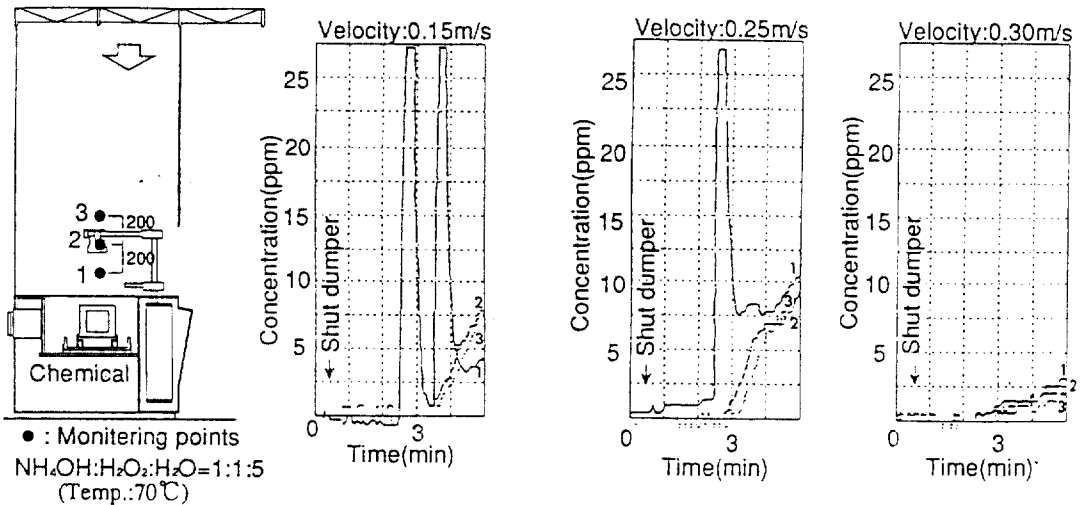


그림 11 배출기등 정지시 클린룸 풍속에 따른 증발 화학가스의 확산농도 변화

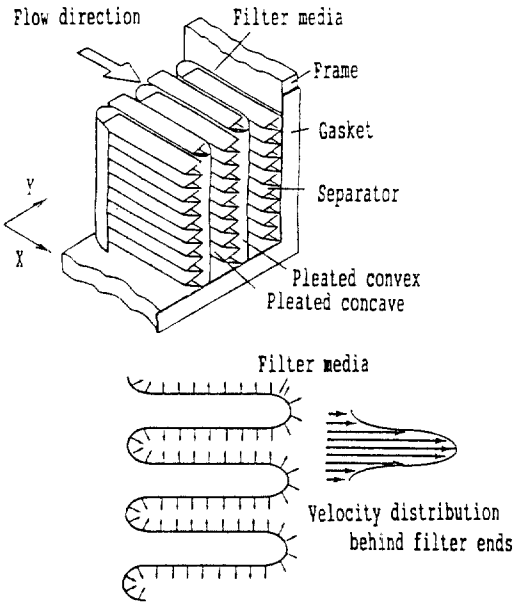


그림 12 pleated 에어필터의 전형적인 구조

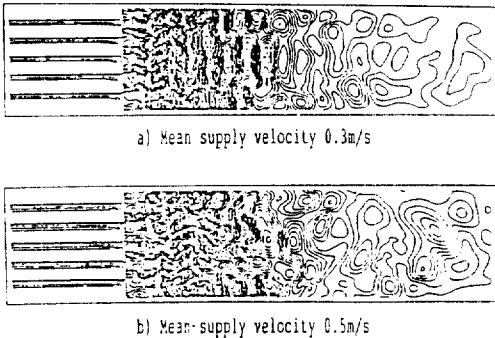


그림 13 필터후류의 vortex 구조

피크가 나타나는 요동형태를 보여주고 있다.

그림 14는 0.3 μ m 크기의 오염입자가 교란된 필터후류를 통해 확산되는 분포를 풍속 변화에 따라 보여주고 있다. 이러한 입자 확산거동을 속도가 커질수록 넓은 범위로 분포되고 주기적 형태는 난류유동장에서의 주기적인 난류특성에 의해 지배되는 것으로 여겨진다.

3. 격리기술(isolation technology—microelectronics)

이 분야에 대해서는 표 5에 보인바와 같이 8개의 논문이 발표되었으며, 전체적으로 볼 때 미국 및 유럽을 중심으로 한 “미소환경 및 SMIF

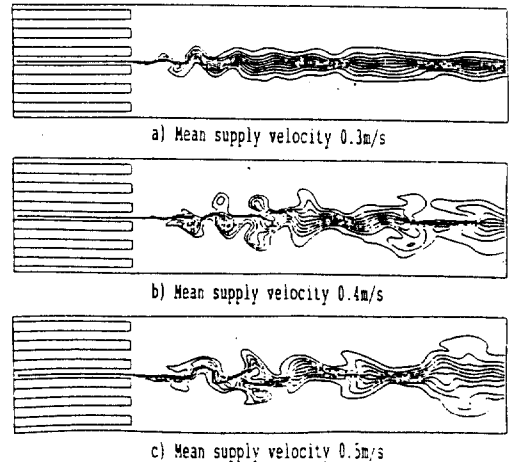


그림 14 필터후류의 난류특성에 의한 입자 확산 거동

표 5 Isolation technology(microelectronics)분야에서 발표된 논문

1. Methodology for obtaining a clean advanced packaging facility and clean tools
2. Closing manufacturing system for advanced semiconductor technology native oxide free processing
3. wafer transportation through a tunnel filled with nitrogen gas
4. Mini-environments and SMIF part I : aerosol and environmental particles
5. Mini-environments and SMIF part II : pod cleanliness
6. Neutralization of wafer charging in nitrogen gas
7. Clean workstation integrated conveyor system
8. Isolators : retrofit or rebuild ?

기술”(mini-environment and SMIF technology)과 일본을 중심으로한 “폐쇄 제조시스템”(closed manufacturing system)에 관한 논문으로 구분할 수 있다.

3.1 미소환경 및 SMIF 기술(mini-environment and SMIF technology)

미소환경 및 SMIF 기술은 현재 청정 환경과 기기들간의 자동처리(autohandling between tools)를 성공적으로 제공하면서 여러 설비에 이용되고 있다. 이 기술은 그림 15에서 보는바와 같이 기존의 터널형(tunnel type) 방식과 비교해 볼 때 (1) 생산물의 연속적인 분리, 운전중의 청정도 크레스 보증, 청정한 자동적하, 시스템 불량인 경우 오염제어 등에 의해 오염제어의 최적화 (2) 클린룸 작업자의 인간성 회복, 높은 효율 및 생산성, 단순화된 안전 및 행동 규정 등에 의한 작업조건의 개선 (3) 경제성을 달성할 수 있는 장점을 가지고 있어, 최근에 많은 관심을 끌고 있다.

이번 심포지움에서는 미소환경 및 SMIF기술

과 관련하여, 이 기술의 실제 적용사례에 관한 논문이 3편 발표되었다. 즉, IBM 연구센터의 박막제조를 위한 APF(Advanced Packaging Facilities)와 타이완 반도체 제조회사(TSMC)의 제조설비에 적용한 사례이다. 먼저 IBM의 APF시설을 보면, 이 시설은 원래 라인 통로에 대해서는 Class 100, 중앙은 Class 10,000 그리고 기기는 Class 10의 청정 후드로 덮여지도록 설계되었으나, 도중에 미소환경 및 SMIF 기술을 채용함으로써 사용점(point-of use)에서 Class 1보다 더 나은 미소환경의 달성 및 표 6에서와 같이 평균적으로 침착된 $0.5\mu\text{m}$ 이상의 입자가 1 pass당 0.005개/cm²보다 적은 청정한 자동처리 장비 및 기기를 가질 수 있게 되었다. 또한, 미소 환경 내부에서의 입자의 교차오염(cross-contamination)도 최소화할 수 있었다. 이러한 성공은 IBM에서 새롭게 실행한 청정한 APF를 얻기위한 방법론에서 찾을 수 있을 것이다. 즉, 성공의 첫 번째 비결은 Class 1 공기가 중요한 기기를 사용하는 공간내에서 달성되기 위해서는 제조공정 기기들의 청정화도 청정공기 및 자동처리와 마

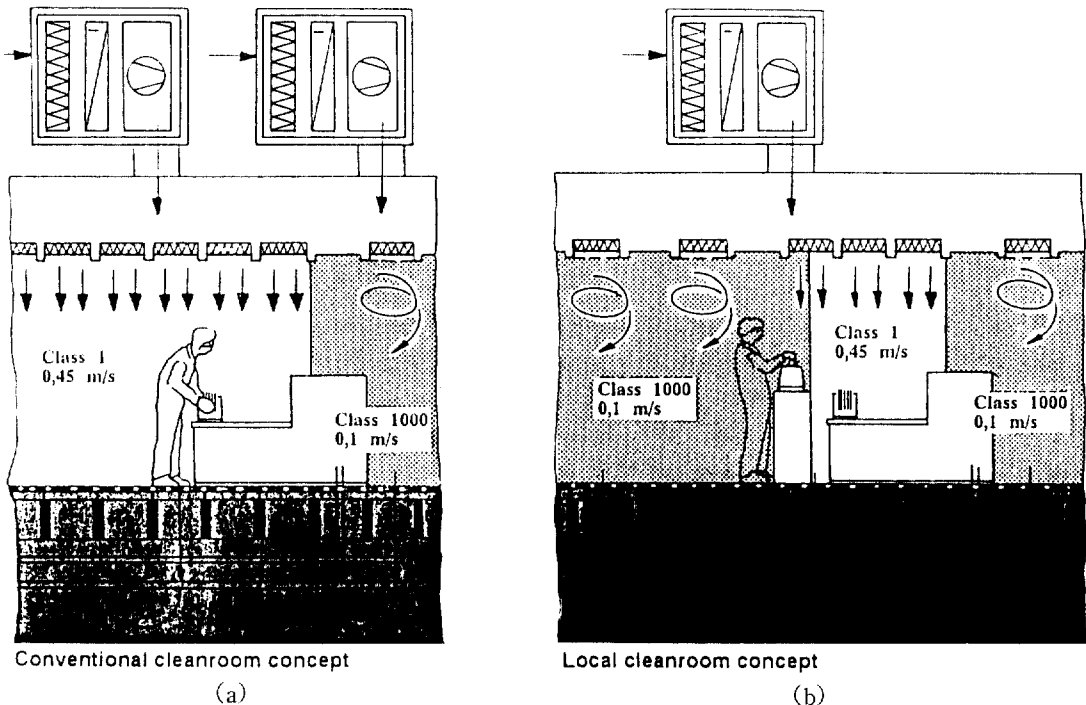


그림 15 재래식 터널형 시스템 a와 새로운 미소환경/SMIF 시스템의 b의 비교

표 6 생산장비에 침착된 크기별 오염입자의 총계

Tool Name	Average Particle adds(Oarticles/cm ² /pass)			No of Substrate Passes*
	≥ 0.3μm (Semiconductor)	≥ 0.5μm (Packaging)	≥ 3μm (Packaging)	
Surface Scanner	0.0022± 0.0002**	0.0018± 0.0002	0.0002± 0.0001	196
Sputter Tool	0.0071± 0.0041	0.0048± 0.0024	0.001± 0.0008	51
Vertical Furnace	0.0039± 0.0030	0.0025± 0.0021	0.0005± 0.0009	100
Spin Coater	0.0076± 0.0048	0.0047± 0.0027	0.0008± 0.0008	90
Batch Robot	0.0027± 0.0022	0.0019± 0.0013	0.0005± 0.0004	60
Partial Developer Wet Station***	0.0028	0.0014	0	10
Partial Special Wet Station***	0.0028	0.0028	0	5
(***+ Vapor drier)	0.005	0.003	0.001	10
Line Width Tool	0.0013± 0.0005	0.0008± 0.0005	0.0001± 0.0003	50

* No. of substrate passes=No. of passes×No. of substrates

** ± is one standard deviation

*** Partial operation included : SMIF ARM, carrier transfer, robot transportation

찬가지로 중요하다는 인식을 바탕으로한 제조 공정 기기, 클린룸 설비업자, 로보트 및 SMIF 판매업자들 사이의 결속된 노력에 기인하며, 둘째로는 기기의 설계 및 제작에 앞서서의 기기의 수정과 보증단계에서의 작은 수정에 기인한다. 또한, 기기들과 미소환경의 설치시에 공동 노력이 효과적이고, 스케줄상의 문제도 없는 것으로 확인되었으며, 가장 다루기 어려운 기기 형태인 웨트스테이션(wet station)을 덮어 싸는 것이 가능하다는 것이 증명되었다. 즉, 기기가 적절히 설계되고 배기가 공급된다면, 화학적 가스의 작업통로로의 유출없이 양압이 걸린 덮개가 Class 1 공기를 유지하기 위해 사용될 수 있었다. 결과적으로, IBM은 박막제조를 위한 APF에 미소환경 및 SMIF기술을 채택함으로써 오염제어 영역을 환경 및 기기들간의 처리로 부터 기기들내에서의 처리(handling within tools) 및 장비 그 자체에까지 확장시킬 수 있었다.

다음으로, 타이완 반도체 제조회사(TSMC)는 미소환경 및 SMIF 기술을 처음으로 제조설비에 적용시킨 회사로, TSMC의 Fab-II 클린룸 시스템에서는 Class 1 환경을 제공하기 위해 미소환경을 채택하였는데, 실제로 이 제조설비에서 클

린룸은 Class 100 이상으로 작동되고 있으며 미소환경은 Class 1 이상의 청정 환경을 제공하고 있다. 또한, 미소환경 및 SMIF 시스템의 채용으로 덮개의 간막이가 적절히 높여졌을 경우 클린룸의 공기가 미소환경안으로 들어가지 않는 것으로 나타났다. TSMC는 이번에 이 제조설비에서의 입자 오염에 대한 환경의 영향 및 SMIF 포트(pod)의 청정도와 웨이퍼에의 분자오염에 관해 보고하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, SMIF 포트와 팔(arm)은 load/unload 사이클동안에 입자 레벨을 잘 제어하고 있는 것으로 나타났다. 즉 load/unload 사이클에 대한 평균 입자 침착은 1pass당 0.003개/cm²이었다.

둘째, 4가지 제조공정 기기, 즉 integrated photo cluster와 3개의 진공 제조공정기기(plasma etch, plasma deposition and sputter deposition)에 대해서 테스트한 결과, 환경으로부터 기기를 통해 사이클된 웨이퍼로의 입자 침착은 1pass당 0.005 개/cm²로 현재 실제로 요구되는 수준보다도 더 청정한 것으로 나타났다. 그러나, 3가지 다른 제조공정 기기, 즉 chemical process station, microscop inspection station 및 critical dimension

measurement station에 대해서 테스트한 결과, 환경으로부터의 입자 침착은 $0.05 \sim 0.07$ 개/cm² 이었다. 이 결과로부터 SMIF 시스템에서는 환경으로부터 웨이퍼에 침착되는 입자의 대부분은 보수작업중에 제조공정 기기내로 들어간 후 제조공정 동안에 웨이퍼로 옮겨진다고 여겨지므로, 이에대한 개선책이 요구된다.

셋째, SMIF 포드 및 카세트는 상업적인 박스 세정기내에서 세정되는 IBM에서 사용되는 표준 웨이퍼 박스에서와 같은 수준의 청정도를 보였다. 또한, 그림 16에서 보는 바와 같이 입자 오염정도가 세정후에도 상당히 높고, 사용과 더불어 오염정도는 더욱 증가하는 것으로 나타났으나, 정상적인 사용중에 있어서 포드 또는 카세트로부터 입자가 웨이퍼로 옮겨가는 것을 확인하지는 못하였다.

넷째, SMIF 포드는 포드 자체로부터의 가스 방출 및 제조공정 화학물 또는 표면 오염물로 채류시킨 후 재방출함으로써 테스트 웨이퍼 표면에 유기물을 흡착시킨다. 그리고, 이 오염량은 시간에 따라 변한다. 또한, 비슷한 오염이 웨이퍼 박스에 저장된 웨이퍼에서도 발생할 수 있을 가능성이 확인되었다.

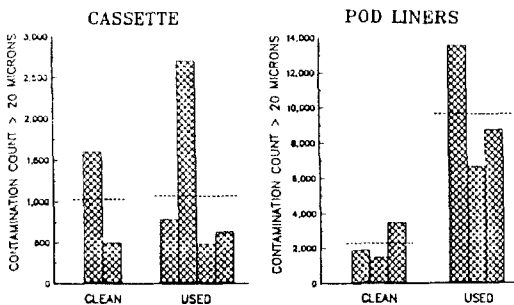


그림 16 SMIF 카세트 및 포드의 세정후와 사용중 입자오염 정도

3.2 폐쇄 제조 시스템(closed manufacturing system)

이 시스템은 본래 일본 동북대학 오미(Ohmi) 교수 그룹에 의해 제안된 것으로, 이들은 높은 신뢰도를 가지는 ULSI제조 라인을 만들기 위해서는 기반 기술인 초청정 기술의 세가지 원칙에

기초한 연구가 선행되어야 한다고 주장하여 왔다. 이 세가지 원칙은 제조공정 환경의 완전한 초청정화(ultra clean processing environment), 웨이퍼 표면의 완전한 초청정화(ultra clean wafer surface) 및 제조공정 매개변수의 완전한 제어(perfect process parameter control)로, 이들 세가지 원칙의 중요성은 지금까지 많은 실험 결과로부터 증명되고 있다. 그러나, 초청정 기술에 대한 상당한 기술적 진보에도 불구하고, 고성능 제조공정을 달성하는데 가장 중요하다고 여겨지는 웨이퍼 표면의 완전한 초청정화를 실현하는 데는 아직까지도 많은 어려움이 있다.

웨이퍼 표면의 완전한 초청정화란 웨이퍼 표면에 입자, 유기물, 금속 불순물, 자연산화가 일체 없고, 표면이 가공면칠층이 없는 거울면(automic level perfect flat)이고, 방출가스가 없는 부동태막을 형성(completely hydrogen-terminated)한 것을 말한다. 일반적으로 오염원으로 잘 인식되고 있는 입자, 유기물 및 금속 불순물은 초청정 기술 및 습식 화학 세정 기술의 진보와 함께 현재는 상당한 수준으로 제어할 수 있다.

한편, 클린룸 공기는 청정한 공기라고하나 이것은 공기중에 오염입자가 없다는 것으로, 일반적으로는 산소, 물 및 다른 불순물 가스분자가 가득차 있기 때문에 시간이 경과함에 따라 자연산화막이 점차 성장하게 되며, 이로 인하여 제조공정상의 질 저하 및 디바이스 특성의 열화를 초래하게 된다. 따라서, 고성능 제조공정에서는 웨이퍼를 클린룸 공기중에 노출시켜서는 안되며, 이 문제는 질소가스가 봉입된 웨이퍼 반송 및 제조공정을 실현하는 폐쇄제조 시스템(CMS, closed manufacturing system)에 의해 해결될 수 있다. 웨이퍼를 클린룸 공기와 격리시키는 CMS의 기본 개념은 에어커튼을 사용하여 웨이퍼를 클린룸 공기로부터 어느정도 차단할 경우 불순물 가스분자가 상당히 적어진다는 결과로부터 확인될 수 있다. 이러한 면에서 볼 때 CMS는 SMIF시스템과 개념상으로 매우 비슷하나, CMS에서는 모든 시스템이 슈퍼 클린룸내에 있는데 반해, SMIF 시스템에서는 시스템이 일반실에서 이루어진다는 점에 큰 차이가 있다.

일반적으로, 제조공정 챔버 내부가 보수 작업중에 클린룸 환경에 노출되면, 오염입자가 챔버내에 축적되고 이것들이 웨이퍼에 가장 치명적인 입자 오염을 야기시키므로, 장비 보수는 초청정 클린룸안에서 행하여야 한다. 따라서 초청정 클린룸은 제조공정장비를 청정하게 유지시키기 위해 필수 불가결하다. 그러나, 이러한 초청정 환경도 웨이퍼 표면에 흡착된 공기분자 및 이로인한 자연산화막 형성이 웨이퍼의 주된 오염원이 되기 때문에 웨이퍼에 대해서 불 때는 충분히 청정하지 않다고 여겨지며, 이것이 완전한 CMS가 필요한 이유라고 할 수 있다.

CMS의 성공적인 작동은 웨이퍼 반송 메카니즘의 신뢰성에 크게 의존하므로, 그림 17에서와 같이 장비간의 카세트 반송을 위한 청정한 질소가스가 봉입된 터널(tunnel) 및 초고진공(UHV, ultra high vacuum) 멀티 챔버내에서의 에칭을 포함한 축차침착(sequential deposition)을 위한 반송시스템의 두가지 다른 형태의 웨이퍼 반송시스템이 요구된다.

질소 터널 반송을 위해 가장 적당한 것을 질소가스에 의해 부유하는 웨이퍼 반송 시스템으로, 이 시스템에서 웨이퍼는 질소가스의 취출(blowing)에 의해 들어올려져, 거의 마찰력 없이 웨이퍼 트랙을 따라서 움직인다. 또한, 트랙을 따라서 웨이퍼의 방향전환도 질소가스의 취출에 의해 제어된다. 이러한 웨이퍼처리 시스템은 약 15년전 이미 IBM에서 개발되었으나, 높은 운전비용과 반송되는 웨이퍼의 정확한 위치 작동 및 안정된 반송에 어려움이 있어 실용화되지 못하였으나, 최근 이것을 개량한 새로운 웨이퍼 반송 시스템인 "UCFT(Ultra Clean Floating Traffic) 시스템"의 시제품이 일본에서 개발되었다. 이 시스템의 개요는 그림 18과 같으며, 기본적으로 두가지 유니트로 구성되어 있다. 즉, 하나는 웨이퍼의 추진 및 위치 작동을 위한 유니트로, 질소가스에 의해 지지된 웨이퍼가 충돌제트에 의해서 이 유니트로부터 임의로 4개의 다른 방향으로 배출되게 되며, 다른 하나의 유니트의 배출된 웨이퍼가 지지되고 관성적으로 움직이기 위한 질소 가스막만을 만든다. 이와 같이 함으

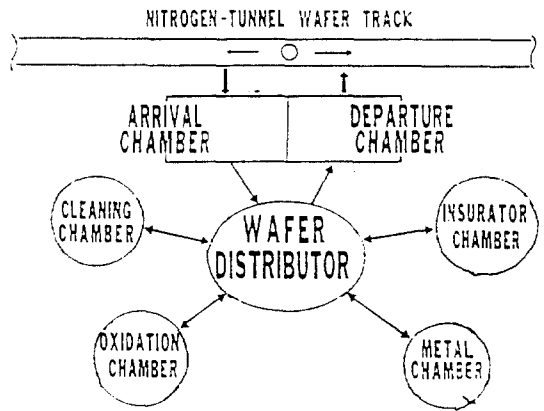


그림 17 웨이퍼 카세트 반송용 질소가스 봉입 터널에 연결된 멀티챔버 시스템

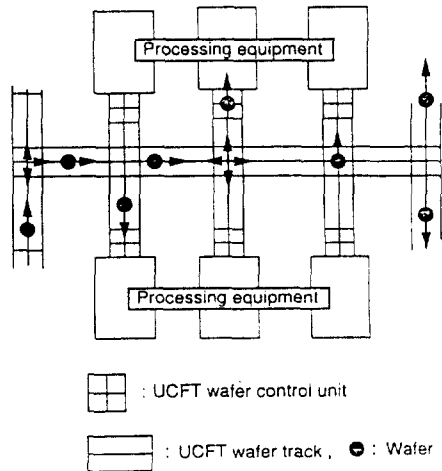


그림 18 새로운 웨이퍼 반송 시스템의 개념도

로써 웨이퍼는 마찰력 없이 원활하게 반송될 수 있다.

다음으로, 한개의 멀티 챔버 유니트에는 표 7에서 보듯이 최고 4개까지의 챔버가 필요하게 되며, 질소터널 웨이퍼 트랙과 접속된 멀티챔버 시스템의 배열은 그림 17과 같다. 또한, 멀티챔버 시스템에 사용된 웨이퍼 반송 메카니즘에 대한 요구조건은 표 8에서 보는 바와 같이 초고진공 및 무진이어야 한다.

한편, CMS에서 질소가스가 웨이퍼와 접촉될 때 웨이퍼는 보통 수 kV정도로 정전기를 띄게

표 7 첨단 Device Fabrication에서의 연속 공정 모듈의 예

MOSFET	IN-SITU CLEANING→OXIDATION→METAL-1→METAL-2
DRAM MEMORY CELL	IN-SITU CLEANING→METAL-1→OXIDATION→METAL-2
NON-VOLATILE MEMORY CELL	IN-SITU CLEANING→OXIDATION→FEPRO ELECTRIC FILM DEPOSITION→METAL
SIDE-WALL SPACER FORMATION	IN-SITU CLEANING→SiO ₂ DEPOSITION→BLANKET RIE

표 8 초고진공 상태 웨이퍼 반송시스템의 요구조건

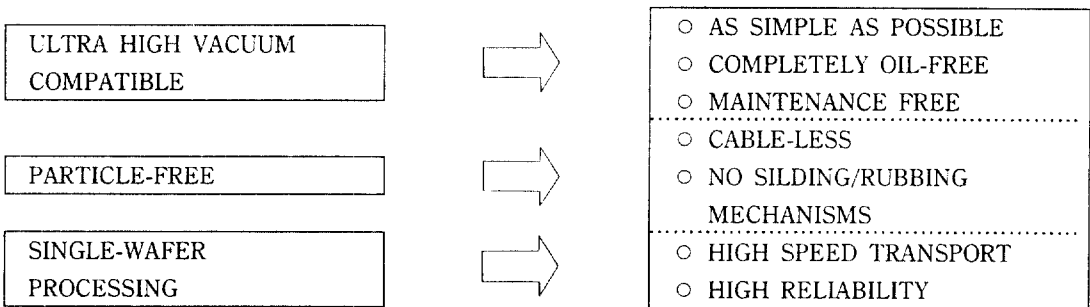


표 9 Standards and practices-future trends 분야에서 발표된 논문

1. The work of CEN TC 243 during 1990~92 for European CC-standards
2. The status and future of FED-STD-209E of the United States of America
3. Contamination control standards of Australia : today and tomorrow
4. On Korean cleanroom standard
5. New Chineses aerospace industrial standards for cleanrooms/clean zones
6. Cleanroom environments established for implementing total ozone mapping spectrometer (TOMS) contamination control requirements on the joint US/USSR TOMS/Meteor-3 mission
7. Present status of the European 209-WG 1 of TC 243
8. Cleanroom standards for advanced equipment and material qualification

되어 문제가 되고 있는데, 이 문제는 질소 분자가 자외선을 흡수 할때 이온화 된다는 원리를 이용하여 자외선을 조사시켜 중성화하는 방법으로 해결될 수 있다.

논문이 발표되었으며, 전체적으로 호주, 한국, 중국, 미국의 새로운 Fed. Std. 209E 및 유럽의 CEN TC243 기준이 소개되었다. 여기서는 이것을 크게 2가지로 분류하여 기술한다.

4. 기술 기준과 방안(standards and practices-future trends)

4.1 호주, 한국 및 중국의 기준

호주는 지난 25년동안 호주 표준협회(Standards Association of Australia)를 중심으로 활발하게 환경기준을 독자적으로 개발하여 오고 있

이 분야에서는 표 9에 보인바와 같이 11개의

표 10 한국 Standard에서 규정된 청정도의 상한 농도(입자 갯수/m³)

Particle size (μm)	Cleanliness class							
	M1	M10	M100	M1000	M10000	M100000	M1000000	M10000000
0.1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	(10 ⁵)	(10 ⁶)	(10 ⁷)	(10 ⁸)
0.2	2	23	234	2340	23400	—	—	—
0.3	1	10	100	1000	10000	100000	1000000	10000000
0.5	(0.34)	(3.4)	34	340	3400	34000	340000	3400000
1.0	—	—	—	80	800	8000	80000	800000
5.0	—	—	—	—	27	270	2700	27000
Particle size range of cleanliness	0.1~0.3		0.1~0.5	0.1~1.0	0.2~5.0	0.3~5.0		

으며, 현재 이 분야에 58개의 호주 기준이 있다. 특기할 만한 사항은, 호주는 운전자, 서비스 작업자 및 주위 환경을 보호하기 위한 세포독성(cytotoxic) 의약품 안전 캐비네트에 대한 기준을 전세계에서 유일하게 제정한 나라라는 점이다.

한국에서는 지난해에 각국의 기준을 비교 검토하여 KIST(한국과학기술연구원)에서 새롭게 제안된 한국 기준이 이번 심포지움에서 처음 발표하였다. 이 기준은 표 10에서 보는 바와 같이 국제 단위인 SI 단위를 사용하고 있으며, 클린룸의 청정도 클래스 명명법에서는 미국의 Fed. Std. 209D와 같은 방법을 사용하고 있으나, 기준입자경으로 0.5 μm 대신에 0.3 μm 를 채용하고 있다. 또한, 이 기준은 청정도 클래스 범위를 Fed. Std. 209D의 Class 1 보다도 더 청정한 곳까지 확장시키고 있다.

중국에서는 최근 새로운 중국의 클린룸 기준 QJ2214-91이 제정되었다. 이 기준은 주로 항공 산업을 위한 것이나, 아마도 더 넓은 분야에도 적용될 것이다. 중국 항공 산업은 1977년에 Fed. Std. 209Class 100부터 100,000까지와 비슷한 클래스 5, 50, 500 및 5000의 4가지 클래스를 제정하였으며, 다른 나라에서의 기준이 개정됨과 함께 중국 기준도 개정되었다. 이번에 소개된 새로운 기준은 여러가지 점에서 Fed. Std. 209D와 비슷하나, Class 1보다 더 청정한 클래스들의 측정 및 필터 설치 누설 테스트 등에 관한 사항이

추가되었다.

4.2 미국의 새로운 Fed. Std. 209E 및 유럽의 CEN TC243 기준

지난 30년동안 비록 호주, 프랑스, 일본, 독일, 러시아, 영국 등이 각자의 클린룸 기준을 제정 하였으나, 많은 사람들이 Class 100의 의미를 알고 있을 정도로 미국의 Fed. Std. 209 기준이 클린룸 클래스를 분류하는데 사용되었다. 그러나, 우리는 곧 표 11에 보인바와 같은 새로운 명명법과 기호를 가진 기준을 사용하게 될 것으로 예상된다. 즉, 새롭게 제안된 Fed. Std. 209E가 1992년 4월 공식적인 미국의 기준으로서 승인받기 위해서 IES(Institute of Environmental Sciences)에 의해 GSA(General Services Administration)에 보내졌으며, 또한 유럽에서는 CEN TC243 기준이 정립단계에 있다. 이 두 기준은 1년안에 공식적인 기준으로 될 전망이다. 남은 문제는 IES가 209E를 세계 기준인 ISO 기준으로 받아들여지게 할 것인가 하는 점으로, 여기서 약간 고려해야할 점은 CEN 기준이 유럽에서의 강제 규정인데 반해 ISO 기준은 강제적이 아니라는 점이다.

두 기준은 모두 SI단위를 채택하고 있으며, 새로운 기호의 원리는 양 기준에 공통적으로 상당히 단순한데, 이것은 마치 pH 원리와 같으며 이미 일본과 독일의 국가 기준으로서 사용되어

왔다. 즉, 100,000개/m³ 같이 실제 입자수로 클래스에 대한 입자 농도를 주지않고, 100,000에 대해 단지 5와 같이 10의 지수로 나타낸다. 이렇게 하면 무제한의 스케일이 가능하게 되며, 농도는 단순한 숫자로 표기될 수 있다. 따라서 3은 10³개/m³을 의미하므로 매우 낮은 농도이고, 7은 10⁷개/m³을 나타내고 있으므로 상당히 높은 농도가 된다. 클래스 명명을 위해 선정된 입자 크기는 두 기준 모두 0.5 μ m보다 크며, 각각 0.1 μ m와 1.0 μ m의 입자 크기를 사용하고 있는 독일과 일본 기준과는 무관하다.

기호와 함께 다른 사항들도 바뀌어진다. 제안된 Fed. Std. 209E는 0.1 μ m이하 및 5.0 μ m이상의 입자도 고려하고 있는데 반해, 제안된 CEN 기준은 클래스 3.5와 3.6과 같이 클래스 명기시에 소수점 한자리 숫자를 사용할 것을 제안하고 있으며, Fed. Std. 209E도 이와 비슷한 시스템을 사용하고 있다. 또한 Fed. Std. 209E기준은 등속운동(isokinetic) 측정을 고려하고 있는데 반해, CEN 기준은 이것을 채택하지 않고 있다. 즉, Fed. Std. 209E에서는 0.1 μ m 이하인 입자를 측정할 수 있는 응축핵 계수기(CNC)를 이용하여 미세입자(ultrafine particle)를 측정하여 클린룸 클래스를 나타낼 수 있는 U 부호어를 채용하고 있다. 예를 들어 클래스 U(20)은 0.02 μ m정도 크기인 미세입자가 20개/m³ 이하임을 나타내고 있다.

한편, Fed. Std. 209E는 사용상의 혼란을 피하기 위해서 클래스를 나타내는 숫자앞에 M을 사용할 것을 제안하고 있다. 즉, Class 5 대신에 Class M5를 사용하고 있으며, 기존의 Fed. Std. 209 기준의 English 단위를 SI 단위로 환산할 필요가 있어서 Fed. Std. 209D의 기존 값들이 1.5, 2.5, 3.5와 같이 중간 값으로 주어져 있다. 따라서 Fed. Std. 209D Class 100은 Class M3.5로 된다.

샘플링 방법에 있어서도, Fed. Std. 209E는 Class M2.5와 같거나 더 청정한 구역에 대해서는

선택사항으로 축차 샘플링(sequential sampling) 방법을 사용할 수 있도록 함으로써 샘플링 시간을 크게 줄일 수 있도록 하였다.

그러나, 불행하게도 약사회(Parenteral Drug Association)에서는 최근 M 클래스 및 미생물 클래스를 제안하였다. 즉, 지난 15년간 유럽에서 사용되던 4가지 클래스(A, B, C 및 D) 대신에 M1, M2, M3의 세가지 클래스를 제안하였다. 또한, 영국에서는 유럽에서의 사용을 위한 4가지 새로운 GMP 클래스를 제안하고 있다. 따라서, 미국의 Fed. Std. 209E 및 유럽의 CEN TC243 기준이 앞으로 국제 기준으로 채택되기 위해서는 이러한 문제들을 해결하여야만 할 것이다.

5. 결 론

현대 사회는 산업이 고도화, 정밀화, 첨단화됨에 따라 청정화에 대한 요구가 급증하여 극도로 제어된 청정공간(clean space)의 확보가 제품의 생산수율 향상에 큰 영향을 미치고 있으며 차세대 기술개발의 필수조건이 되고 있다.

이와 함께 산업에서 뿐만 아니라 생활공간, 작업공간, 크기는 지구 공간에 이르기까지 오염 없는 환경대책이 전제가 되어 기존의 모든 생산개념 및 관련기술이 수정되고 있으며 그로 인한 산업계의 변화는 매우 클것으로 예상된다. 따라서 오염제어(contamination control)의 문제는 모든 공간의 환경창조 및 유지라는 것을 사업목표로 하고 있는 공기조화 냉동산업에서는 일차적으로 고려해야 할 가장 중요한 요소가 되고 있다. 이러한 의미에서 급변 환경문제에 대한 국제적인 기구인 ICCS 가입과 더불어 오염제어에 대한 문제가 국내산업에서도 크게 부각되고 이에대한 능동적인 변화와 대응이 모색되는 계기가 되기를 바란다.