

클린룸 청정도 클래스 기준에 관한 제안

On Korean Cleanroom Standard

이 춘 식
C. S. Lee

KIST 공조·환경제어 연구실



- 1936 년생
- 초청정 클린룸, 공장 환기시스템 등의 공조 및 환경제어 분야에 관심을 가지고 있다.

명 현 국
H. K. Myong

KIST 공조·환경제어 연구실



- 1957 년생
- 공기조화 시스템, 난류모델링, 클린룸, 전열 촉진 등의 분야에 관심을 가지고 있다.

1. 서 론

클린룸(청정실)은 반도체, 전자, 정밀 기계, 광학 기계, 신소재 산업 등의 첨단 산업의 발달과 함께 빠른 속도로 발전되어 왔으며, 최근에는 식품, 의약, 생명 공학, 병원의 수술실 등 거의 모든 산업 분야에서 필수적으로 요구되고 있다. 따라서, 미국 등 선진국에서는 클린룸 산업을 발전시키고 활성화하며, 청정실 사용자와 제작자간의 이해와 의사소통을 위한 기반으로 자국에 적합한 청정실에 필요한 기준들을 각각 제정하여, 새로 개발되는 시스템, 관련 기기 등의 성능 시험, 측정 기술 등을 정립하고 표준화하여 기업 등에서 널리 사용할 수 있도록 권장하고 있다.

국내에서도 1980년대 이후 반도체 산업이

급속히 성장함에 따라 클린룸 산업이 활성화되기 시작하여 시공 기술 등에 있어서는 상당한 수준에 이르고 있다. 그러나, 우리나라 자체의 기준이 없어서 클린룸에 사용되는 기본 용어의 정의조차 아직 규정해 두지 못하고, 미국 연방 규격(Federal Standard) 209D¹⁾(Fed. Std. 209D)과 같은 외국의 기준에 전적으로 의존하여 왔다.

국내의 클린룸 관련 산업의 발전을 위해서는 사용자와 제작자 간의 원활한 이해를 위하여 독자적인 클린룸 기술 기준을 제정할 필요성이 깊이 인식되고 있다. 또한, 클린룸 기술 기준이 제정되면, 국내 관련 제품의 국산화 및 해외시장개척을 촉진시키는 효과가 있으며, 관련 기술의 수준 향상도 급속히 향상될 수 있게 된다. 따라서, 이러한 인식하에 한국과

학기술연구원에서는 1988년부터 한국공기청정연구조합과 공동으로 '클린룸 기술 기준에 관한 연구'를 과학기술처의 연구자금의 지원을 받아 국가 특정과제로 수행하고 있다.

본고에서는, 클린룸 기술 기준 중에서도 가장 핵심이 되는 청정도 클래스(Class, 등급) 기준 및 최소 샘플링 공기량에 관해 국제적인 추세에 부응함과 동시에 국내에서의 사용에도 적합한 새로운 청정도 클래스 기준 및 최소 샘플링 공기량을 제안하고자 한다. 이에 앞서 우선 미국을 비롯하여 기존하는 외국 기준에서 제시되고 있는 청정도 클래스 기준들의 특징 및 장단점을 고찰해 보기로 한다.

2. 각국의 청정도 클래스 기준의 특징 및 장단점

최초로 클린룸에 관련된 기준은 1963년에 미국에서 제정된 미국연방 규격(Federal Standard) 209로 이 기준(Fed. Std. 209)에서는 청정도 클래스(Class)를 공기 1ft³당 0.5 μm 이상 부유 미립자의 수로 규정하였다. 이 기준은 그후 수 차례의 개정 작업을 거쳐 수정·보완되었으나, 청정도 등급(클래스) 규정을 이해하기 쉬운 단위 체적당의 입자수, 즉 입자 농도로 나타내는 방법은 개정되지 않고 그대로 유지되고 있으며, 현재 국제적으로 널리 이용되고 있다. 한편, 프랑스, 영국, 호주, 독일 및 일본 등 다른 나라들도 각국의 실정에 맞게 청정도 클래스의 명칭 및 평가 기준을 제정하였는데, 대부분 미국 연방 규격 209에서 사용하고 있는 부유 미립자의 입경 분포에 기초하고 있으나, 청정도 등급의 명칭 및 각 등급 당 오염입자의 농도에 관해서는 약간씩 상이하며, 단위로는 모두 미터법을 사용하고 있다는 것이 특징이다. 표 1은 청정도 클래스 기준이 포함된 대표적인 클린룸 규격을 국명, 제정기관 및 개정년도와 함께 나타내고 있으며, 표 2에는 대표적인 각국의 청정도 클래스의 명명법을 클래스별로 비교해서 나타내고 있다.

2.1 미 국

청정도 클래스를 최초로 규정한 것은 앞에서 설명한 대로 1963년에 공표된 미국 연방 규격 209로, 클린룸의 청정도 Class를 클린룸 내 공기 1ft³당 0.5 μm 이상의 부유 미립자의 수로 정하고 있다. 즉, 이 기준에 따르면 1ft³당 0.5 μm 이상의 부유 미립자의 수가 100개인 클린룸은 "Class 100"이 된다. 이 기준은 그후 4차례 개정되어, 현재 미국 연방 규격 209D(1988)가 공표되어 있으며, 국제적으로 널리 통용되고 있는 것은 Fed. Std. 209B(1976)와 Fed. Std. 209D(1988)이다. 미국 연방 규격 209D에는 급속히 성장하고 있는 반도체 산업에 대응할 수 있도록 0.5 μm 이던 209B에서의 측정 대상 입경에 0.1, 0.2, 0.3 μm 까지 추가하고, 초청정 영역까지 정의할 수 있도록 "Class 1"과 "Class 10"을 등급에 추가하여 청정도 클래스를 6가지로 분류하였다.

이 기준에서 청정도 클래스를 명명하는 방법은 일정 체적 내에 들어 있는 일정한 크기 이상의 입자의 수를 직접 클래스의 명칭으로 사용하므로 등급의 청정도를 이해하기가 쉽다는 장

표 1 청정도 클래스 기준이 포함된 대표적인 클린룸 규격

분류	국 명	번 호	제정기관	개정 년도
규격	U. S. A	Fed. Std. 209D	GSA	1988
	Japan	JIS B 9920	JSA	1989
	Australia	AS 1386	SAA	1989
	U. K.	BS 5295	BSI	1989
	France	NF X 44101	AFNOR	1981
지침	Germany	VDI 2083	VDI	1990

약어: AFNOR; Association Francaise de Normalisation

BSI; British Standards Institute
 GSA; General Service Administration
 JSA; Japan Standard Association
 SAA; Standards Association of Australia
 VDI; Verein Deutscher Ingenieure

표2 각국 규격의 청정도 클래스 비교

Fed. Std. 209D	JIS B 9920	AS 1386	BS 5295	NF X44101	VDI 2083	Korea
1988	1989	1989	1989	1981	1990	1991
	1					1
	2				0	10
1	3	0.035	C		1	100
10	4	0.35	D		2	1,000
100	5	3.5	E or F	4,000	3	10,000
1,000	6	35	G or H		4	100,000
10,000	7	350	J	400,000	5	1,000,000
100,000	8	3,500	K	4,000,000	6	10,000,000
			L			
			M		7	

점이 있어, 현재 국제적으로 널리 인정되어 사용되고 있다. 그러나, 이 기준의 단점은 기준 체적을 입방 ft로 하여 다른 나라의 기준에서와 같이 현재 국제적인 단위인 미터법(SI 단위)을 사용하고 있지 않다는 점과 현재 반도체 산업 등에서 절실한 필요에 의해 비공식적으로 규정하여 사용하고 있는 $0.1\mu\text{m}$ 기준 Class 1과 같은 고청정도의 등급을 규정할 수 없다는 점이다.

이러한 단점의 해결을 위하여, 미국 연방 규격 209D 개정작업분회(IES)에서 SI 단위 즉 미터법의 채용 및 현재의 Class 1보다 더 청정한 청정도 Class의 제정을 검토하고 있으며²⁾, 이미 1991년 1월 Fed. Std. 209D가 가까운 시일내에 개정·공포될 것이라고 공고되어 있다.

2.2 프랑스

프랑스 기준 NF X44101³⁾(1981)의 청정도 클래스 분류는 기본적으로 미국 연방 규격 209B에 기초하고 있으며, 공기 1m^3 당 $0.5\mu\text{m}$ 이상의 부유 미립자수로 청정도 클래스를 규정하고 있다. 그러나, 미터법으로 단위 환산한 수에서 끝수를 올림한 부유 미립자수로 정의하였다. 예를 들어 미국 연방 규격 209B의 Class 100은 공기 1m^3 당 3,500개에 상당하나, 끝수를 올림으로서 프랑스 기준에서는

"Class 4000"이 되며, 표2에서 보는 바와 같이 3단계의 등급만을 규정하고 있다.

이 기준 역시 일정 체적내에 들어 있는 일정한 크기 이상의 입자의 수를 직접 클래스의 명칭으로 사용하므로 등급의 청정도를 이해하기가 쉽고, 기준 체적으로 미터법(SI 단위)을 사용하고 있다는 장점이 있으나, 클래스를 나타내는 숫자가 크며, 공식적으로 정의되어 있는 기준 클래스가 십진수가 아니기 때문에 미국 연방 규격의 명명법과 혼동을 일으킬 우려가 있다. 또한, 이 기준은 Fed. Std. 209B에 기초하고 있어, 표2에서 보는 바와 같이 청정도가 높은 클래스에 대한 규정이 마련되어 있지 않다.

2.3 영국

영국 기준 BS 5295⁴⁾는 1976년에 처음 발표되었다. 이 기준의 등급 규정도 역시 미국 연방 규격 209B에 기초하나, 프랑스 기준과 같이 공기 1m^3 당 $0.5\mu\text{m}$ 이상의 부유 미립자수로 청정도 클래스를 규정하고 있었다. 그러나, 프랑스 기준과 달리 미터법으로 단위 환산 후 끝수를 내림한 부유 미립자수로 정의하였다. 그후 1989년에 미국 연방 규격 209D의 개정에 따라 이 기준에 기초하여 개정되어 재공표되었으며, 이때에는 미터법으로 단위 환산한 수치를 그대로 사용하고 있다. 그러나 클래스의 명칭으로는 표2에서 보는 바와 같

이 alphabet 문자를 사용하고 있다. 따라서, 미국 연방 규격 290D의 "Class 100"에 해당하는 영국 기준은 "Class E"(또는 F)로 1 m³당 0.5 μm 이상의 부유 미립자수를 3,500 개/m³로 정하였으며, 미국 연방 규격 "Class 10,000"은 "Class J"에 해당한다(표 2).

BS기준은 청정도 클래스의 명칭으로 alphabet 문자를 사용하고 있어서 비슷하게 alphabet 문자로 청정도 클래스를 명명하는 의약품산업 등에서 사용되는 GMP 기준과 혼동할 우려가 있으며, 또한 클래스 명칭으로부터 청정도를 유추하는 것이 용이하지 않아 사용상 불편하다는 단점이 있다.

2.4 호 주

최근에 개정되어 공표된 호주 기준 AS 1386⁵⁾ (1989)은 다른 나라의 기준과 마찬가지로 미국 연방 규격 209D에 기초하고 있으나, 청정도 클래스를 1dm³, 즉 공기 1liter 당의 0.5 μm 이상의 부유 미립자 수로 정의하고 있다. 예를 들어, 미국 연방 규격의 "Class 100"의 경우 dm³당 0.5 μm 이상의 부유 미립자 수가 35 개가 되므로, "Class 3.5"로 부르고 있으며, "Class 1"의 경우 "Class 0.035"로 부르고 있다(표 2). 따라서 이 기준은 십진수에 기초하고 있는 미국 연방 규격의 명명법과 혼동을 일으키기 쉽고, 또한 고정정도의 클래스를 나타낼 때 소수를 사용하게 되는 불합리한 점이 있다.

2.5 독 일

1990년 공표된 독일 기준 VDI 2083⁶⁾은 청정도 클래스를 공기 1m³당 1μm 이상의 부유 미립자 수의 상용 대수 값으로 규정하고 있다. 예를 들어, 미국 연방 규격의 "Class 100"의 경우 1m³당 1μm 이상의 부유 미립자 수가 약 1,000(10³)개이므로, VDI클래스는 "3"이다(표 2).

1m³당 1μm 이상의 부유 미립자 수를 클래스의 명칭으로 사용하는 장점으로는, 각 Class에 대해 1m³당 1μm 이상의 부유 미립자 수가 미국 연방 규격의 Class에 대해 주어진 Class 한계 입경 분포선의 연장선 상에 있으므로, 미국 연방 규격 209D의 각각의 Class와 쉽게 대응시킬 수 있다는 점이다(표 3 참조).

이 기준에서는 클래스의 명칭으로 Class 1, 2, 3와 같이 단순한 수를 사용하고 있으므로, 공식적으로 정의되어 있는 등급의 청정도를 이해하는 데는 큰 어려움은 없다고 생각된다. 그러나, 중간적인 비공식적 기준을 규정하는 경우에는, 예를 들어 미국 연방 규격의 클래스 기준을 근거로 한 중간 등급 "Class 500" 등을 생각해 보면 "Class 2.7" 등으로 되어 그 의미가 명확하지 않게 된다.

2.6 일 본

일본에서는 미국 연방 규격 209B를 번역하여, 기준으로 널리 사용하여 왔으나, 1989년

표 3 미국 연방 규격 209D Class 10의 입자 농도 클래스 한계 및 이에 상당하는 JIS B 9920, VDI 2083 및 새로 제안한 청정도 클래스의 비교

입 경 (μm)	입 자 수				
	Fed. Std. 209D 클래스 10 (개/ft ³)	Fed. Std. 209D 클래스 10 (개/m ³)	JIS B 9920 클래스 4 (개/m ³)	VDI 2083 클래스 2 (개/m ³)	Korea 클래스 1000 (개/m ³)
0.1	350	12,360	10 ⁴	15,000	
0.2	75	2,649	2,360	3,300	
0.3	30	1,059	1,010	1,400	
0.5	10	353	350	450	
1.0	...	...	...	10 ²	
5.0	NA	NA	NA	NA	

NA= Not applicable

일본 기준 JIS B 9920²⁾이 제정, 공표되었다. 일본 기준의 Class 규정 방법은 VDI 2083과 비슷하게 지수를 사용하고 있으나, 기준 입자 직경을 $1\mu\text{m}$ 대신 $0.1\mu\text{m}$ 를 사용하고 있다는 점이 다르다. 즉, 1m^3 당 $0.1\mu\text{m}$ 이상의 부유 미립자 수의 상용대수 값을 청정도 클래스로 규정하고 있는데, 예를 들어, 1m^3 당 $0.1\mu\text{m}$ 이상의 부유 미립자 수가 $10,000(10^4)$ 개인 경우, JIS 클래스는 4가 되며, 이것은 미국 연방 규격 209D의 Class 10에 대해서 등급 한계 농도보다 약간 작은 값이지만 거의 동일하다고 볼 수 있을 것이다(표2와 표3참조).

이 기준의 가장 큰 특징은 시대적 요청에 대응하여 고청정도를 나타낼 수 있는 청정도 클래스를 규정한 점이다. 즉, 최근의 전자공업, 특히 집적도가 높은 VLSI의 제조공장에서는, 급속히 고청정도가 요구되어져 현재에는 $0.1\mu\text{m}$ 기준 Class 1($0.5\mu\text{m}$ 가 아니고 $0.1\mu\text{m}$ 이상의 입자가 1ft^3 중에 1개 이하)이라는 미국 연방 규격 209D로는 규정할 수 없는 고청정도까지 필요하게 되었으며, JIS 기준으로는 이 청정도를 규정할 수 있다. 그러나 이 등급에서도 독일의 VDI 기준과 마찬가지로 클래스의 명칭을 지수로 나타내므로, 중간적인 비공식적 클래스를 규정하는 경우, 동일한 문제가 발생됨을 알 수 있다.

3. 청정도 클래스 기준에 관한 제안

지금까지 검토한 바와 같이 각국의 청정도 클래스 기준들은 각각 장단점을 가지고 있다. 즉, 미국 연방 규격 기준은 각국 기준의 기초가 되고 있으나, 미터법을 사용하지 않고 있다. 또한 클래스의 명칭으로 **alphabet** 문자를 사용하는 영국의 BS 기준은 클린룸의 상태(질)에 대해 쉽게 이해될 수 있는 방법을 선정한다는 면에서 합리적이지 못하다. 프랑스와 호주 기준은 보다 청정한 청정도로 가는 현재의 추세를 고려할 때 불합리하며, 널리 인식되어져 미국 연방 규격 기준의 명명법을 크게 침해하는 문제가 있다. 따라서, 가장 좋은 개선 방법은 현재 존재하는 미국 연

방 규격의 체계를 약간 수정하면서 미터법으로 하는 것이며, 일본과 독일에서 채택한 방법이 이러한 체계의 기초가 될 수 있을 것이다. 특히, 급속한 성장을 하고 있는 반도체 산업 등에서 절실히 요구되는 초청정도 등급을 규정하는 데는 일본의 기준이 기초가 될 수 있다. 그러나, 이 두 기준은 클래스의 명칭을 지수로 나타내므로, 중간적인 비공식적 클래스를 규정하는 경우, 위에서 설명한 바와 같이 불합리한 문제가 발생됨을 알 수 있다.

위에서 검토된 개선책에 대한 생각은 가까운 시일내에 공표될 미국 연방 규격 209D의 개정 작업²⁾과도 대체로 일치하고 있다. 따라서, 새로 규정될 청정도 클래스 기준은 아래와 같은 조건을 모두 만족하여야 할 것으로 생각된다.

(1) 미국 연방 규격 209D의 청정도 클래스의 기준 체계를 크게 벗어나지 않으며, 또한 병행하여 사용할 수 있을 것.

(2) 기준 체제의 단위는 현재의 국제적 추세인 미터법을 사용할 것.

(3) 국내 실정을 고려해, 급속한 성장을 하고 있는 반도체 산업 등의 첨단 산업 분야에서 요구되는 초청정 클린룸의 청정도 규정이 가능하고, 동시에 날로 확대되고 있는 의료, 제약 등의 일반 산업 분야에서 사용되는 클린룸에도 적용할 수 있을 것.

(4) 한국 기준으로서의 독자성을 가질 것.

(5) 장기간 기준으로서 사용될 수 있을 것.

위의 요구조건중 (1), (2) 및 (5)는 국제적인 클래스 기준을 고려해서 앞으로 공표될 미국 연방 규격 209D의 개정 과정에 목표로 하고 있는 사항이기도 하다.²⁾

본고에서는 위의 요구조건을 모두 만족하는 청정도 클래스 기준으로, 청정도 등급을 클린룸 내 공기 공기 1m^3 당 포함되어 있는 $0.3\mu\text{m}$ 이상의 부유 미립자의 수로 정의할 것을 제안한다. $0.3\mu\text{m}$ 를 기준 입경으로 정한 가장 중요한 이유는, $0.3\mu\text{m}$ 가 미국 연방 규격 209D에서 기준으로 하는 $0.5\mu\text{m}$ 와 크게 차이가 나지 않으며, 현재 클린룸에 널리 사용되는 HEPA 필터 시험시의 기준 입경이라는 점이

다. 또한, 바이오 클린룸에서 문제가 되는 세균, 바이러스 등은 0.3 μm대에서 대부분 제거될 수 있으며, 또한 계측 방법 면에서도 현재 0.1 μm 이하까지 측정할 수 있는 계측기가 개발되어 있으나, 실제로 0.3 μm 이하는 아직 계측상의 문제가 남아있고 계측기기의 가격이 비싸다는 점도 기준 입경으로 0.3 μm을 선택한 이유이다.

본고에서 새로이 제안하는 청정도 클래스의 상한 농도는 표4 및 그림1과 같으며, 이들 값은 다음과 같은 방법으로 구해졌다. 즉, 표3에서 개/ft³ 으로부터 개/m³ 으로 변환된 미국 연방 규격 209D의 "Class 10"에 대한 입경 한계를 그래프상에 그려보면, 이들 점들을 통과한 선은 m³ 당 10,000, 1,000, 100 및 10의 입자농도에서 각각 0.1, 0.3, 1 및 2.5 μm에 가까운 입자의 상당 경을 준다. Fed. Std.의 그

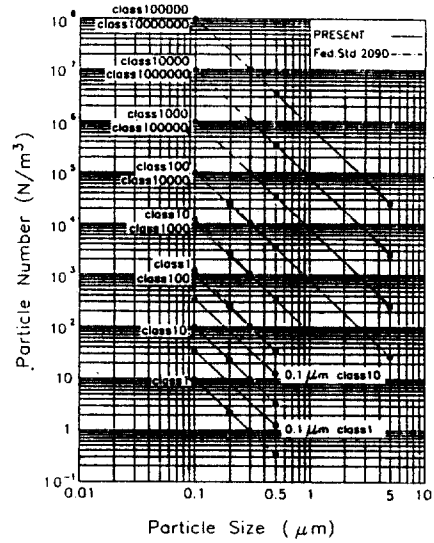


그림 1 청정도 클래스의 상한농도(개/m³)

표 4 새로 제안한 청정도 클래스의 상한농도 (개/m³)

입 경 (μm)	청 정 도 클 래 스							
	1	10	100	1,000	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000
0.1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	(10 ⁵)	(10 ⁶)	(10 ⁷)	(10 ⁸)
0.2	2	23	234	2,340	23,400	...	...	...
0.3	1	10	100	1,000	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000
0.5	(0.34)	(3.4)	34	340	3,400	34,000	340,000	3,400,000
1.0	...	...	...	80	800	8,000	80,000	800,000
5.0	...	...	...	...	27	270	2,700	27,000
청정도등급 입경 범위	0.1~0.3		0.1~0.5	0.1~1.0	0.2~5.0	0.3~5.0		

- 비고 : 1. 클래스 100, 클래스 1,000, 클래스 10,000, 클래스 100,000, 클래스 1,000,000, 및 클래스 10,000,000 은, 각각 Federal Standard 209D의 Class 1, Class 10, Class 100, Class 1,000, Class 10,000 및 Class 100,000에 상당하는 것이다.
2. 상한농도는 대상입경 이상의 입자농도를 나타낸다.
3. 표에 나타난 상한농도는, 클래스 분류를 위해 정의한 것으로, 반드시 어떤 특정 상황에서도 발견되어야 하는 입경 분포를 나타내는 것은 아니다.
4. 괄호내의 수치는, 청정도 클래스를 평가하기 위한 대상 입경 이외의 입경에 대한 값으로, 참고 값이다.
5. 표에 나타내지 않은 청정도 등급 입경 범위내의 상한농도는 다음 식으로 구한다.

$$N_c = N \times \left(\frac{0.3}{D} \right)^{2.10}$$

여기서, N_c : 입경 이상의 상한 농도(개/m³)
 N : 청정도 클래스(등급)
 D : 입경(μm)

래프상 선의 기울기 및 절편은 절대적인 것이 아니므로, 표3에서 보는 바와 같이 선이 정확하게 특별한 의미를 가지는 점(JIS의 경우는 $0.1\mu\text{m}$, VDI의 경우는 $1\mu\text{m}$)을 통과하도록 약간 변경될 수 있다. 따라서, 본고에서도 이와 같은 방법으로 표4에 주어진 정확한 값으로 $0.1\mu\text{m}$ 와 $0.3\mu\text{m}$ 를 통과하도록 선이 그려져 있으며, 다른 입경에 대해서도 표의 값들이 얻어진다.

한편, 클린룸의 등급 구분은 일반적으로 요구 청정도에 따라 적절한 입경을 측정하므로서 결정되어 지므로, 초청정 반도체용 클린룸에 대해서는 $0.1\mu\text{m}$ 정도의 입자를 측정하는 것이 타당하며, 일반적인 클린룸에 대해서는 $0.3\mu\text{m}$ 이거나 이보다 큰 입자를 기준으로 입자 수를 측정하여도 충분할 것이다. 따라서 본 기준에서는 미국 연방 규격, JIS 및 VDI 기준을 참고하고, 또한 뒤에서 고찰하는 계측시의 최소 샘플링 공기량도 고려하여 표4에서와 같이 청정도 클래스 평가시의 측정 입경 범위를 몇 가지로 구분하였다.

여기서 제안하는 청정도 클래스 기준의 특징을 기존의 대표적인 기준인 미국 연방 규격 209D, JIS B 9920 및 VDI 2083과 비교하면 다음과 같다.

(1) JIS 및 VDI 기준은 앞서 설명하였듯이 청정도 클래스의 명칭으로 Class 1, 2, 3과 같은 지수를 사용하고 있으므로, 중간적인 비공식적인 청정도 클래스를 규정하는 경우 의미가 명확하지 않을 우려가 있다. 그러나, 본 기준에서는 미국 연방 규격 209D와 같이 기준 청정도 클래스를 단위 체적당의 입자 수로 직접 나타내고 있으며, 또한 표2와 표4에서 보는 바와 같이 공식적으로 정의되어 있는 청정도 클래스 명명법으로 십진수를 사용하고 있어 이해가 용이하다.

(2) 미국 연방 규격 209D 및 VDI 기준은, 현재 반도체 산업 등에서 필요로 하는 $0.1\mu\text{m}$ 기준 Class 1($0.1\mu\text{m}$ 이상의 입자가 1ft^3 중에 1개 이하)과 같은 고청정도 등급이 포함되어 있지 않다. 그러나, 본 기준은 표4와 표5 또는 그림2에서 보는 바와 같이 청정도 클래스

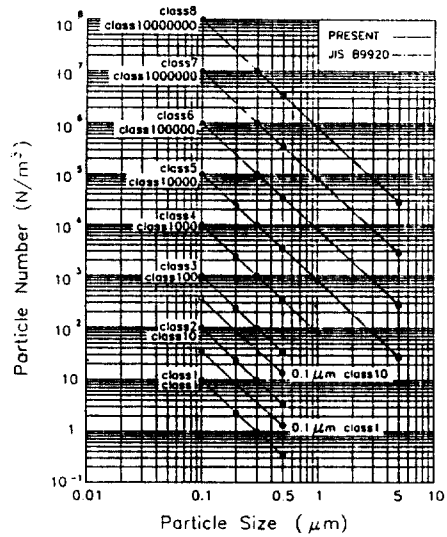


그림2 청정도 클래스의 상한농도 (개/㎥)

의 상한 농도에 있어서 JIS 기준과 상당히 유사하며, 따라서 JIS 기준과 마찬가지로 이러한 고청정도까지를 클래스내에 포함할 수 있다. 예를들어, 그림1에서 보는 바와 같이 미국 연방 규격 형태로 $0.1\mu\text{m}$ 기준 Class 1은 본 기준에서는 클래스1과 클래스10 사이에 해당된다.

(3) 종래의 청정도 등급과 쉽게 병용할 수 있다. 즉, 표2에서 보는 바와 같이 미국 연방 규격 209D의 "Class 10^n " ($n=1\sim5$)과 JIS B 9920의 "클래스 N" ($N=1\sim8$)은 본고에서 제안한 청정도 클래스 10^{n+2} 및 10^{n-1} 에 각각 상당한다. 즉, 본 기준의 클래스100, 1,000, 10,000은 미국 연방 규격 209D의 Class 1, 10 및 100에 해당하며, JIS B 9920의 Class 3, 4 및 5에 해당한다. 또한 미국 연방 규격 209D에서는 해당 클래스를 규정할 수 없는 JIS B 9920의 Class 1 및 2는 본 기준의 청정도 클래스 1 및 10과 거의 일치한다(그림2).

다만, 본 기준에서의 각 청정도 클래스의 상한 농도는, 표3에서 보는 바와 같이 입경 $5.0\mu\text{m}$ 이상의 비교적 큰 입자에 대해서는 본 기준의 값이 미국 연방 규격 209D에 비해 다소 크고, 입경 $0.3\mu\text{m}$ 이하의 입자에 있어서는 반대로 다소 작은 값을 나타내고 있

표5 JIS B 9920의 청정도 클래스의 상한농도(개/m³)

입 경 (μm)	청 정 도 클 래 스							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.1	10	10^2	10^3	10^4	10^5	(10^6)	(10^7)	(10^8)
0.2	2	24	236	2,360	23,600	...	...	...
0.3	1	10	101	1,010	10,100	101,000	1,010,000	10,100,000
0.5	(0.35)	(3.5)	35	350	3,500	35,000	350,000	3,500,000
5.0	...	...	...	...	29	290	2,900	29,000
청정도등급 입경 범위	0.1~0.3		0.1~0.5		0.1~5.0		0.3~5.0	

- 비고: 1. 클래스 3, 클래스 4, 클래스 5, 클래스 6, 클래스 7 및 클래스 8은, 각각 **Federal Standard 209D**의 Class 1, Class 10, Class 100, Class 1,000, Class 10,000 및 Class 100,000에 상당하는 것이다.
2. 상한농도는 대상 입경 이상의 입자 농도를 나타낸다.
3. 표에 나타난 상한농도는, 등급 분류를 위해 정의한 것으로, 반드시 어떤 특정 상황에서도 발견되어야 하는 입경 분포를 나타내는 것은 아니다.
4. 괄호내의 수치는, 청정도 등급을 평가하기 위한 대상 입경 이외의 입경에 대한 값으로, 참고 값이다.
5. 표에 나타내지 않은 청정도 등급 입경 범위내의 상한농도는 다음 식으로 구한다.

$$N_c = 10^N \times \left(\frac{0.1}{D}\right)^{2.08}$$

여기서, N_c : 입경 이상의 상한 농도(개/m³)

N : 청정도 등급(클래스)

D : 입경(μm)

표6 미국 연방 규격 209D의 청정도 Class의 상한농도(개/ft³)

입 경 (μm)	청 정 도 Class					
	1	10	100	1,000	10,000	100,000
0.1	35 (1,236)	350 (12,360)	NA	NA	NA	NA
0.2	7.5 (265)	75 (2,649)	750 (26,486)	NA	NA	NA
0.3	3 (106)	30 (1,059)	300 (10,594)	NA	NA	NA
0.5	1 (35)	10 (353)	100 (3,531)	1,000 (35,315)	10,000 (353,147)	100,000 (3,531,470)
5.0	NA	NA	NA	7 (247)	70 (2,472)	700 (24,720)

*(NA...해당 없음)

*()는 개/m³의 단위로 환산한 것임.

으나, 이러한 경향은 JIS 기준도 마찬가지이다.

(4) 미국 연방 규격 209D의 Class 및 VDI 등급에서는 각각의 기준 표에 규정된 입경에 대해서만 상한 농도를 규정하고 있으나, 본 기준에서는 JIS 기준과 유사하게 표 4에 나타나지 않은 청정도 클래스 입경범위내의 상한 농도를 아래 식으로 구할 수 있게 하였다.

$$N_c = N \times \left(\frac{0.3}{D}\right)^{2.10}$$

이 식에서 N_c 는 기준 측정 입경 이상 입자의 상한 농도(개/㎥), N 은 청정도 클래스, D 는 측정 기준 입경(μm)을 나타낸다.

(5) 본 기준에서는 미국 연방 규격 209D 및 VDI 기준과 동일하게 클래스를 정의할 때 기준으로 정한 입경(본 기준에서는 $0.3 \mu\text{m}$, Fed. Std.에서는 $0.5 \mu\text{m}$, VDI 기준에서는 $1.0 \mu\text{m}$)이 규정된 모든 클래스 범위내에서 클래스 평가를 위한 입경으로 사용되어진다(표 4와 표 6 참조). 이에 반해 $0.1 \mu\text{m}$ 를 기준 입경으로 한 JIS 기준에서는 표 5에서 보는 바와 같이 "클래스 5" (Fed. Std. 209D의 "Class 100"에 상당)보다 고청정도를 가진 경우에만 등급 평가를 위한 기준 입경으로 $0.1 \mu\text{m}$ 를 사용하고 있다.

(6) 본 기준에서는 미국 연방 규격 209D 및 JIS 기준과는 달리, VDI 기준에서 기준 입경으로 선택한 $1 \mu\text{m}$ 를 대상 입경으로 추가하였다. 이것은 국내에서 날로 확대되고 있는 의료, 제약 등의 일반 산업 분야에서 사용되는 클린룸에의 적용을 고려한 것으로, 위에서 언

급한 새로 규정될 청정도 클래스 기준의 조건(3)을 만족시키고 있다.

4. 최소 샘플링 공기량

기존의 청정도 기준에서 요구되는 청정도 클래스를 평가하기 위해 필요한 최소 샘플링 공기량에 관한 기준은, 기본적으로 아래의 두 조건을 모두 만족시키도록 정해진 것이 일반적이다.

- (1) 최소한 $0.1\text{ft}^3(0.003\text{m}^3)$ 이상일 것.
- (2) 적어도 20개 이상의 입자수를 셀 수 있는 양일 것.

위의 두 조건은 이론에 근거하여 결정된 조건이 아니라 경험에 의한 것이나, 실제로 미국 연방 규격 209D 및 JIS B 9920을 비롯해 기존의 대다수의 외국 기준에서 채용하고 있는 조건이다.

본고에서는, 위의 조건을 만족하며 앞에서 제안한 새로운 청정도 클래스 기준과 상응하는 최소 샘플링 공기량으로 표 7과 같이 제안한다. 이 기준은 표 8 및 표 9에 보인 미국 연방 규격 209D 및 JIS B 9920의 값들과 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

참고로, 본 고에서 정한 최소 샘플링 공기량에 대해서 클래스 1과 같은 고청정도를 평가할 때 필요한 흡입 공기량이 상당히 크게 되어 현재의 측정기기를 사용할 때 다소 문제가 될 여지가 있으므로, JIS 기준에서와 같이 요구되는 흡입 공기량이 $300 \times 10^{-3}\text{m}^3$ 보다 큰 경우에는 클린룸 사용자와 시공자 간에

표 7 새로 제안한 최소 샘플링 공기량($\times 10^{-3} \text{m}^3$)

입 경 (μm)	청 정 도 클 래 스							
	1	10	100	1,000	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000
0.1	2,000	200	20	3	...	...	...	...
0.2	9,000	900	90	9	3	...	...	...
0.3	20,000	2,000	200	20	3	3	3	3
0.5	(60,000)	(6,000)	600	60	6	3	3	3
1.0	...	...	...	300	30	3	3	3
5.0	...	...	...	...	800	80	8	3

협의하여 정하는 것이 보다 합리적이라고 여겨진다.

표 8 미국 연방 규격 209D의 최소 샘플링 공기량(ft³)

입경 (μm)	청 정 도 클 래 스					
	1	10	100	1,000	10,000	100,000
0.1	0.6 (18)	0.1 (3)	NA	NA	NA	NA
0.2	3.0 (90)	0.3 (9)	0.1 (3)	NA	NA	NA
0.3	7.0 (210)	0.7 (21)	0.1 (3)	NA	NA	NA
0.5	20.0 (600)	2.0 (60)	0.2 (6)	0.1 (3)	0.1 (3)	0.1 (3)
5.0	NA	NA	NA	3.0 (90)	0.3 (9)	0.3 (9)

* (NA=해당 없음)

* ()는 $\times 10^{-3} \text{ m}^3$ 단위로 환산한 값을 나타낸다.

표 9 JIS B 9920의 최소 샘플링 공기량 ($\times 10^{-3} \text{ m}^3$)

입경 (μm)	청 정 도 클 래 스							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.1	2,000	200	20	3	3	...	...	...
0.2	10,000	1,000	100	10	3	...	...	...
0.3	20,000	2,000	200	20	3	3	3	3
0.5	(60,000)	(6,000)	600	60	6	3	3	3
5.0	...	...	...	...	600	60	6	3

5. 맺 음 말

본고에서는 클린룸 기술 기준 중에서 가장 핵심이라고 할 수 있으며, 클린룸 평가 기준에 사용되는 청정도 클래스 기준에 관해 외국 기준들의 장단점을 고찰한 후, 새로운 청정도 클래스 기준 및 최소 샘플링 공기량을 제안하였다.

본고에서 제안한 청정도 클래스 기준은, 독자성을 가지면서도 국제적으로 널리 통용되고 있는 미국 연방 규격 209D의 기준 체계와 혼동을 일으키지 않으면서 기준 체계의 단위로

미터법을 사용할 수 있도록 하였으며, 현재 반도체 산업 등에서 필요로 하는 $0.1 \mu\text{m}$ 기준 Class 1($0.1 \mu\text{m}$ 이상의 입자가 1 ft^3 중에 1개 이하)과 같은 정도의 고청정도 등급이 포함되어 있을 뿐만 아니라 일반 산업에서 사용되는 청정도 등급을 모두 규정할 수 있다는 점이 가장 중요한 특징이다. 또한, 본 기준에서는 미국 연방 규격 209D와 같이 기준 청정도 클래스를 단위 체적당의 입자 수로 직접 나타내며, 공식적으로 정의되어 있는 클래스의 청정도를 십진수로 나타내므로 이해가 용이하고, 종래의 청정도 등급과 쉽게 병용할 수 있다. 따라서, 본고에서 제안한 청정도 클래스 기준 및 최소 샘플링 공기량은 현재 국내에서 추진중인 클린룸 기술 기준 제정에 반영될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Federal Standard 209D: Clean Room and Work Station Requirements, Controlled Environment; June 15, 1988. Institute of Environmental Sciences, 940 East Northwestern Highway, Mt Prospect, Illinois, USA.
2. R. L. Mielke, Revision of FED-STD-209 D and MIL-STD-1246 B and Development of IES Contamination Control Recommended Practices in the United States of America, pp. 289~292, 10th ISCC(1990).
3. Norme Francaise NF X 44101(1981): Definition et classification de la propreté particulaire de l'air et d'autres gaz; AFNOR, Paris.
4. British Standard 5295(1989): In five parts, Parts 0, 1, 2, 3, 4: British Standards Institution, 2 Park Street, London, W1 A 2 BS.
5. Australian Standard 1386(1989): Cleanrooms and Work Stations; Standards Association of Australia, Standards

House, 80 Arthur Street, North Sydney,
NSW, Australia.

6. German Standard VDI 2083 : Part 1 ;
VDI Verlag, P. O. Box 1139, D-4000
Dusseldorf, Germany.
7. JIS B 9920(1989) : Measuring Methods
for Airborn Particles in Clean Room
and Evaluating Methods for Air Clea-
nliness of Clean Room ; Japan Institute
of Standards.