

청정실 및 청정구역의 공기청정도 클래스구분 및 시험 (ISO14644-1)

번역 / 안강호
한양대학교
기계공학과

머리말

ISO(the International Organization for Standardization : 국제 표준화 기구)는 국제 표준 단체들 (ISO 회원 단체들)의 전세계적인 연맹이다. 국제 표준을 준비하는 일은 보통 ISO 기술 위원회를 통해 수행된다. 각 회원 단체는 기술 위원회의 주제에 대해 관심이 있으면 그 기술 위원회에 참여할 수 있는 권리를 갖는다. ISO와 관련이 있는 국제 기구들, 정부 및 민간단체들도 참여할 수 있다. ISO는 전기 기술 표준화의 모든 문제들에 대한 국제 전기 기술 위원(IEC)과 밀접하게 상호 협력한다.

기술 위원회에 의해 채택된 국제 표준 초안들은 투표를 위해 회원국에 회람되며, 회원국의 75% 이상의 승인을 받으면 국제 표준으로써 출간된다.

국제 표준 ISO 14644-1은 기술 위원회 ISO/TC-209 “청정실 및 관련 제어 환경”에

의해 준비되었다.

부록 B, C 및 F는 이 국제 표준의 일부(integral part)이며, 부록 A, D 및 E는 단지 정보제공을 위한 것이다.

도입

청정실 및 이와 관련된 제어 환경은 오염에 민감한(contamination-sensitive activities)생산 활동에 적절한 수준의 청정도를 유지하기 위한 부유미립자 오염의 제어를 목적으로한다. 공기중 부유 오염물질의 제어를 필요로 하는 산업 및 생산공정은 항공우주, 반도체, 제약, 의료장비 및 보건위생 분야등이 있다.

이 국제 표준은 ISO 분류 단계를 청정실 및 관련 제어 환경들에서의 공기 청정도의 규격을 위해 사용되도록 지정하며, 또한 부유입자의 농도를 결정하기 위한 절차뿐 아니라 표준 테스트 방법을 포함한다.

청정실 청정도 등급분류는 이 국제 표준이

정하는 입자 농도 한계와 입자 크기 범위내로 제한한다. 또한, 이 국제 표준 분류는 등급분류를 위해 명시한 입자 크기 범위보다 크거나 작은 입자 크기 범위의 부유입자 농도에 기반을 두고 있는 청정도 등급의 결정 및 명시를 위한 표준 규약을 제공한다.

이 표준은 청정실과 이와 관련된 여러 부분의 표준들중의 하나이므로, 청정실의 설계 및 운영에 있어 부유입자의 청정도외에 다른 여러 요소들을 고려하여야 한다. 이러한 여러 요소들은 ISO/TC209에서 준비한 다른 국제표준에서 상세히 다루고 있다.

1. 범위

국제 표준 ISO 14644의 이 부분은 청정실 및 청정 공간내의 공기 청정도 분류를 다룬다. 이 표준에 따른 분류는 공기중 입자의 농도에 의하여 포괄적으로 상술, 확정된다. 아울러 분류 목적을 위해 고려된 입자 개체수는 $0.1\mu\text{m}$ 로부터 $5\mu\text{m}$ 까지의 한계사이즈 (하위 한계)에 기초를 둔 누적분포를 가지고 구분한다. 또한, 청정실과 청정구역의 공기 청정도 분류는 청정실의 점유상태를 고려하여 구분된다.

한편, 위에 지정한 입자 크기 한계, 즉 거대입자 크기 범위($5\mu\text{m}$ 이상)와 초미세 입자 크기 범위($0.1\mu\text{m}$ 이하)에서의 입자 농도는 이 표준에 따라 분류될 수 없다. 그러나 이러한 제한 범위의외의 입자 농도는 부록 E에서술된 것처럼 U 부호어(descriptors) 혹은 M 부호어를 사용할 수 있다.

주의: 특정 범위 내의 실제 입자 농도 분포는 보통 예측할 수 없으며 일반적으로 시

간에따라 변한다.

이 표준은 공기중 입자의 물리적, 화학적, 방사선학적, 혹은 생물학적 성질을 나타내기 위해서는 사용할 수 없다.

2. 정의

2.1 일반

2.2.1 청정실(Cleanroom): 부유입자의 농도가 제어되고, 입자 유입, 생성 및 보존을 최소화 하고, 또한 다른 관련 파라미터들, 즉, 온도, 습도, 그리고 압력 등을 필요에 따라 제어할 수 있도록 제작되고 사용되는 방.

2.1.2 청정 구역(Clean zone): 부유입자의 농도가 제어되고 그 구역내 입자들의 유입, 생성, 그리고 보존을 최소화하기 위해 건설되고 시공되는 공간으로 다른 상관 파라미터들, 예를 들면 온도, 습도, 그리고 압력 등이 필요에 따라 제어된다. 이 구역은 개방될 수도 폐쇄될 수도 있으며, 청정실내에 위치할 수도 위치하지 않을 수도 있다.

2.1.3 설치(Installation): 모든 관련 구조물들, 공조 시스템, 서비스, 그리고 유틸리티들을 포함한 하나의 청정실 혹은 하나 또는 그 이상의 청정 구역.

2.1.4 분류(Classification): 청정실 혹은 청정 구역에 적용할 수 있는 부유입자 청정도의 단계(혹은 그 단계를 특성화하고 결정하는 과정). 청정도 단계는 고려된 입자 크기에 대한 최대 허용 농도 (in particles/ m^3 of air)를 나타내는 ISO Class N으로 표시된다. 최대허용농도는 3.2절의 주어진 공식을 사용하여 결정한다.

2.2 부유입자(Airborne particles)

2.2.1 입자(Particle) : 공기 청정도의 분류를 위하여 0.1 μm 으로부터 5 μm 까지의 한계 크기[threshold(lower limit)size]에 기초한 누적분포내에 존재하는 고체 혹은 액체의 물체.

2.2.2 입자 크기(Particle size) : 주어진 입자 측정장비에 의해 측정된 입자에 의해 나타나는 반응과 똑같은 반응을 형성하는 구의 직경(광산란 단일입자 측정장비의 경우 등가 광학적 직경(equivalent optical diameter) 사용)

2.2.3 입자 농도(Particle size distribution) : 공기의 단위 체적당 입자의 개수.

2.2.4 입자 크기 분포(Particle size distribution) : 입자 크기의 함수로서 입자 농도의 누적 분포.

2.2.5 초미세 입자(Ultrafine particle) : 등가 직경이 0.1 μm 보다 작은 입자.

2.2.6 거대 입자(Macroparticle) : 등가 직경이 5 μm 보다 큰 입자.

2.2.7 섬유(Fibre) : 형상비(aspect ratio)가 10 또는 그 이상인 입자.

2.3 부호어(Descriptors)

2.3.1 U 부호어 : 초미세 입자들을 포함한 공기의 단위체적당 측정된 혹은 서술된 입자들의 농도(particles/ m^3).

U 부호어는 청정실 혹은 청정 구역의 청정도를 나타내기 위해 사용된 샘플링 위치의 수에 의존하는 샘플링 위치 평균에 대한 상한 한계(혹은 신뢰 상한선)로서 간주되어질 수 있다. 그러나 U 부호어는 부유입자의 청정도 클래스를 정의하는데 사용될 수 없지만, 독립적으로 인용하거나 혹은 부유입자 청정도 클래스와 연관하여 사용할 수 있다.

립적으로 인용하거나 혹은 부유입자 청정도 클래스와 연관하여 사용할 수 있다.

2.3.2 M 부호어 : 사용된 측정 방법의 특성에 해당하는 등가 직경으로 표시되는 공기의 단위 체적당 측정된 혹은 서술된 거대 입자들의 농도(macroparticles/ m^3).

M 부호어는 청정실 혹은 청정 구역을 특성화하기 위해 사용된 샘플링 위치의 수에 의존하는 샘플링 위치 평균에 대한 상한 한계(혹은 신뢰 상한선)로서 간주되어질 수 있다. M 부호어는 부유입자 청정도 클래스를 정의하는데 사용될 수 없지만, 독립적으로 인용하거나 혹은 부유입자 청정도 클래스와 연관하여 사용할 수 있다.

2.4 운전 상태 (Occupancy State)

2.4.1 시공 완료 상태(As-built) : 모든 연관된 서비스가 완료되고 작동하지만 생산 장비, 재료, 혹은 작업자 등이 없는 상태.

2.4.2 설비 상태(At-rest) : 장비 설치가 완료되고 구매자와 공급자 사이에 동의된 방법으로 작동하지만, 작업자가 없는 상태.

2.4.3 조업 상태(Operational) : 시설물이 상술된 방법으로 작동하고 상술된 수의 작업자가 동의된 방법으로 일하고 있는 상태.

2.5 역할(Roles)

2.5.1 구매자(Customer) : 청정실 혹은 청정 구역의 요구 사항을 지정하는데 책임을 지는 단체나 대리인.

2.5.2 공급자(Supplier) : 청정실 혹은 청정 구역의 상술된 요구 사항을 만족시키기 위하여 노력하는 단체.

3. 분류(Classification)

3.1 운전 상태 (Occupancy state(s))

청정실 혹은 청정 구역에서 부유입자 청정도는 세 가지의 운전 상태 즉, “시공 완료 상태(as-built)”, “설비 상태(at-rest)”, 혹은 “조업 상태(operational)” (참조 2.4절) 중의 하나 혹은 그 이상의 상태로 정의된다.

주의: “시공 완료 상태(as-built)”는 새로 건설된 것이나 새로 개축된 청정실 혹은 청정 구역에 적용된다. 일단 “시공 완료 상태(as-built)”에서 테스트가 완료되면 승인 (compliance)에 대한 더 이상의 테스트는 “설비 상태(at-rest)” 혹은 “조업 상태(operational)”에서 수행되어야 한다.

3.2 Class 분류 등급(Classification number)

공기중 부유입자 청정도는 분류 등급 N에 의해 표시된다. 각각의 입자 크기 D에 대한 입자의 최대 허용 농도 C_n 은 다음 공식에 의해 결정된다.

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

여기서

C_n : 고려된 입자 크기와 같거나 큰 부유입자의 최대 허용 농도(in particles/ m^3 of air)를 나타낸다.

C_n 은 유효숫자 세자리가 되도록 반올림한다.

N : ISO 분류 등급으로 9를 초과해서는 안된다. 이 N은 소수점 첫째자리까지 허용한다.

D : μm 단위의 고려된 입자 크기.

0.1 : μm 의 차원을 갖는 상수.

표 1은 공기중 부유입자의 청정도 등급을 나타내며, 고려된 입자크기와 같거나 보다 큰 입자들에 대한 상응하는 입자농도를 나타낸다.

선택된 부유입자의 청정도 클래스 및 고려 대상 입자크기와 같거나 큰 입자들에 대해 상응하는 입자 농도를 나타낸다. 표 1은 부록 A에 있는 그림 A.1처럼 그래프로 표현되며, 각 클래스에서의 정확한 입자농도는 윗 공식에서 유도된 C_n 값을 표준으로한다.

3.3 명칭(Designation)

청정실 및 청정 구역에 대한 부유입자 청정도의 명칭은 다음과 같은 것을 포함한다.

a) “ISO 클래스 N”으로 표현되는 등급 숫자.

b) 청정도등급 분류시의 운전 상태

c) 0.1 μm 와 5 μm 사이에서 청정도분류 공식 (3.2절)에 의해 결정되어진 것과 같은 입자 크기 및 이와 관련된 농도.

만약 한가지 이상의 입자 크기에 대하여 측정할 경우 큰 입자의 직경(예, D_2)은 이보다 바로 작은 입자 직경(예, D_1)의 1.5배 이상 되어야 한다.

$$\text{예} : D_2 \geq 1.5 \times D_1$$

4. Demonstration of compliance

구매자에 의해 상술된 공기 청정도 (ISO 클래스) 요구 사항들에 대한 승인 (compliance)은 명시된 테스트 절차를 수행함으로써 입증된다. 또한 구매자와 공급자에 의해 동

표 1. 청정실 및 청정 구역에 대한 선정된 입자크기에서의 청정도 클래스

ISO 분류 등급 숫자(N)	고려된 아래의 크기와 같거나 보다 큰 입자에 대한 최대 농도 한계(particles/m ³ of air) (농도 한계는 3.2절에 따라 계산된다)					
	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	1 μm	5 μm
ISO 클래스 1	10	2				
ISO 클래스 2	100	24	10	4		
ISO 클래스 3	1,000	237	102	35	8	
ISO 클래스 4	10,000	2,370	1,020	352	83	
ISO 클래스 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
ISO 클래스 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
ISO 클래스 7				352,000	83,200	2,930
ISO 클래스 8				3,520,000	832,000	29,300
ISO 클래스 9				35,200,000	8,320,000	293,000

주의 : 측정 데이터의 유효숫자 3자리까지만 이용하여 클래스 분류를 한다.

의된 것과 같은 테스트 조건과 결과들을 정
리한 서류를 제공함으로써 입증된다.

4.1 시험 (Testing)

승인(compliance)을 증명하기 위한 테스트
방법은 부록 B에 주어졌다. 본 시험 방법과
비교할 만한 정확도를 갖는 또 다른 방법을
사용할 수 있지만, 만약 어떠한 시험방법도
상술되지 않거나 합의되지 않았다면 본 방법
이 사용되어야 한다.

승인(compliance)을 증명하기 위해 수행되는
테스트는 교정된 장비를 사용하여야만 한다.

4.2 부유입자 농도 한계(Airborne particle
concentration limits)

4.1절에 따라 테스트가 완료되면, 평균 입
자 농도 (C.2 참고)는 고려된 크기에 대해
명시된 것처럼 (3.3C) 3.2절에 있는 공식을
사용하여 결정된 농도 한계를 초과하지 말아

야 한다. 아울러 샘플링 위치의 수는 적어도
2곳 이상에서 9곳 미만이어야 하며, C.3절에
따른 95 % 신뢰 상한선(upper confidence
limit)의 계산은 앞에서 설정한 농도 한계를
초과해서는 안된다.

Class를 결정하기 위해 사용된 입자 농도
측정방법은 고려된 입자 크기에 대하여 똑같
은 방법을 사용해야한다.

4.3 문서화(Documentation)

각각의 청정실 혹은 청정 구역에 대한 시
험결과를 기록하고 보고하여야하며, 그 내용
에는 지정된 부유입자 청정도와 일치하나 혹
은 일치하지 않나에 대한 언급과 함께 보고
서로서 제출되어야 한다.

테스트 결과는 다음 사항을 포함해야 한다.

- a) 시험기관의 이름 및 주소, 그리고 테스
트가 실시된 날짜.
- b) 국제 표준 문서번호와 날짜, 즉 ISO

14644 - 1 : 199X.

c) 테스트한 청정실과 청정 구역의 물리적 위치(필요에 따라 근처 지역에 대한 참고 사항 포함)와 모든 샘플링 위치 좌표에 대하여 명확히 언급할 것.

d) ISO 등급분류를 포함한 청정실과 청정 구역에 대한 관련 운전 상태, 그리고 고려된 입자 크기.

e) 테스트와 관련된 시험방법, 테스트중의 특이 사항들, 테스트 장비명과 가장 최근의 장비교정 증명서

f) 모든 샘플링 위치 좌표에 대한 입자 농도를 포함한 시험 결과.

부록 A (informative)

표 1의 클래스에 대한 도해

그림 A.1은 표 1의 데이터를 단지 도해적 목적을 위해 설명한 것이다. 그림 A.1에 나타난 분류선들은 클래스 한계를 간략화한 것이므로, 정확한 클래스 한계를 정의하는데 사용될 수 없다. 정확한 클래스 한계를 결정하기 위해서는 3.2절에서 주어진 공식을 사용해야한다. 그래프로 나타난 분류선들은 Solid circle symbol(●)을 넘어서는 외삽(extrapolation)할 수 없다. 이 심볼은 각각의 ISO 클래스를 위해 적용할 수 있는 최소·최대 입자 크기를 나타낸다.

이 그래프의 분류선들은 청정실과 청정 구역 내에서 측정되는 실제 입자 크기 분포를 나타내지 않는다.

부록 B (normative)

단일 입자 카운팅, 광산란 측정장비를 사용한 부유입자 청정도 분류를 결정하기 위한 테스트 방법

B.1 원리

단일입자측정 광산란 측정장비는 지정된 샘플링 위치에서 상술된 크기와 같거나 보다 큰 부유입자들의 농도를 측정하기 위해 사용된다.

B.2 장비

B.2.1

단일입자측정 광산란 측정장비는 입자 크기와 개수를 표시할 수 있는 장치나 기록장치, 그리고 적당한 샘플링 시스템을 갖추고 있어야 한다. 또한, 관심있는 클래스 범위 부분에서 입자크기 및 개수에 있어서 주위의 클래스와 구분할 수 있어야 한다.

B.2.2

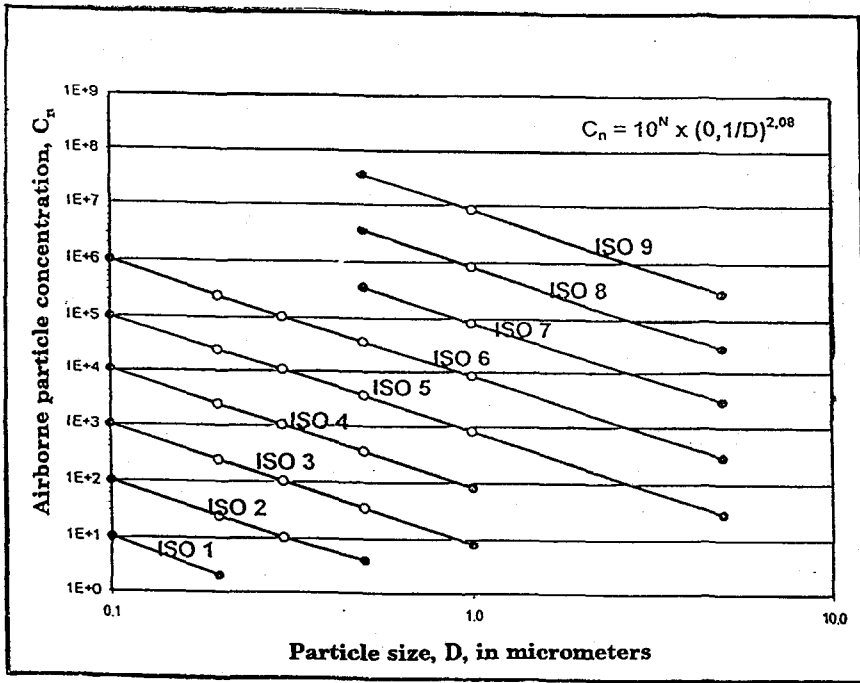
장비는 유효한 교정 증명서가 있어야 한다 : 교정 주기 및 방법은 현재의 업계 관행에 따른다.

B.3 예비 테스트 조건

B.3.1

테스트하기에 앞서 클린룸 작동에 영향을 미치게 되는 모든 것들이 청정실 및 청정구역의 성능특성에 따라 완벽히 작동하는지 확인한다.

예비 테스트는 보통 다음 사항을 포함한다.



주의 : 1. C_n 은 고려된 입자 크기와 같거나 보다 큰 공기중 입자들의 최대 허용 농도 (in particles/ m^3 of air)

2. N은 상술된 ISO 클래스 숫자를 나타낸다.

그림 A.1 - 표1에 나타난 부유입자 청정도 클래스의 도해적 표현

- a) 공기유동량 혹은 속도 테스트,
- b) 차압 테스트,
- c) 청정실 leak 테스트,
- d) 설치된 필터 leak 테스트.

B.4.1.1

다음의 공식으로 부터 샘플링 포인트 위치의 최소 숫자를 구한다.

$$N_L = \sqrt{A}$$

B.3.2

시험장비 제조자의 instruction에 따라 예비 테스트 교정을 한다.

여기서, N_L 은 샘플링 위치의 최소 수 (정수로 반올림한다.)

B.4 샘플링

A는 청정실 또는 청정 구역의 면적, m^2 .

B.4.1 샘플링 위치의 설정

B.4.1.2

샘플링 위치들은 청정실 또는 청정 구역에

균일하게 분포되어야 하며 작업면의 높이에 위치하도록 한다.

주의 : 만약 구매자가 부가적인 샘플링 위치들을 지정한다면, 그 수와 위치를 지정되어야 한다. 이러한 부가적인 위치들은 위험 해석(risk analysis)에 기초하여 고려되어지는 것이다.

B.4.2 위치당 단일 샘플 체적의 설정

B.4.2.1

만약 관련 클래스에 대한 입자 농도가 가장 큰 입자 크기에 대하여 분류한다면 최소 20개 정도의 입자들이 탐지될 수 있도록 각각의 샘플링 위치에서 충분한 체적의 공기를 채취한다.

다음의 공식에서 위치당 단일 샘플 체적 V_s 를 결정한다.

$$V_s = \frac{20}{C_{n,m}} \times 1000$$

여기서, V_s 는 위치당 최소 단일 샘플 체적으로 리터 단위로 표시된다. (예외는 B.4.2.2 참조)

$C_{n,m}$ 은 관련 클래스에 대하여 상술된 가장 큰 입자 사이즈에 대한 클래스 한계 (number of particles/ m^3)

20은 만약 입자 농도가 클래스 한계에 있다면 측정될 수 있는 입자개수.

주의 : V_s 가 매우 클 때, 샘플링 하는데 걸리는 시간은 길어질 수 있다. 축차 샘플링 절차(sequential sampling procedure, 참조 부록 F)를 사용함으로써, 요구되는 샘플 체적과 시간을 줄일 수 있다.

B.4.2.2

각 위치에 있어서 샘플 되어지는 체적은 적어도 2리터가 되어야 하며, 각 위치에 있어서 샘플링 시간은 최소 1분 이상이 되어야 한다.

B.4.3 샘플링 절차

B.4.3.1

제조자의 지시에 따라 그리고 장비 교정 증명서를 준수하여 입자 계수기 (B.2.1)를 설치한다.

B.4.3.2

샘플링 프로브(probe)는 공기 유동 방향을 향하도록 설치되어야 한다. 만약 샘플 되어지는 공기의 유동방향을 제어할 수 없거나 예측할 수 없다면 (즉, 다방향성 공기 유동이라면) 샘플링 프로브의 inlet은 수직 방향으로 위를 향하도록 하여야 한다.

B.4.3.3

B.4.2절에서 결정된 공기의 체적을 각 위치에서 채취한다.

B.4.3.4

만약 샘플링 위치가 한 곳일 경우(B.4.1), 그 위치에서 최소한 세 번의 단일 샘플 체적(B.4.2)을 채집한다.

B.5 결과의 기록

B.5.1 측정 위치당 입자 농도

B.5.1.1

관련된 공기 청정도 분류에 적절한 입자 크기에서의 농도를 매 측정마다 기록한다.

주의 : 95 % 신뢰 상한선 계산을 하기 전에 B.6.1절의 선행 조건에 대한 적절한 고려가 있어야 한다.

3.5.1.2

단 한곳의 샘플링 위치가 사용될 때에는 샘플 데이터 (B.4.3.4)의 평균값을 계산한다.

각 위치에서 한번 이상 샘플링하였을 때는 C.2절에서 주어진 절차에 따라 각각의 샘플 입자 농도(B.5.1.1)로부터 평균 입자 농도를 계산한다.

3.5.2 95% 신뢰 상한선 계산

B.5.2.1

샘플링 위치의 수가 하나 이상이고 열 미만일 때에는, 평균, 표준편차, 표준 오차, 그리고 C.3절에서 서술된 절차에 따라 모든 위치(B.5.1)에 대한 평균 입자 농도로부터 95% 신뢰 상한선을 계산한다.

B.5.2.2

단지 한곳, 혹은 아홉곳 이상의 위치에서 샘플링할 때에는 95% 신뢰 상한선을 계산할 필요가 없다.

B.6 결과 해석

B.6.1

만약 각각의 위치에서 측정된 입자 농도의 평균이 청정분류 범위에 들어가면 그 청정도를 만족한다 할 수 있고, 만약 B.5.2절에 의해 계산하여 95% 신뢰 상한선을 적용할 경우 3.2절에서 정한 농도 한계값을 초과하지 않는다면 그 지역은 상술된 공기 청정도 조건을 충족시키는 것으로 간주한다.

주의: 만약 테스트 결과가 상술된 공기 청정도 분류를 만족시키지 못한다면, 테스트는 부가적으로 고르게 분포된 샘플링 위치에서 실행되어야 할 것이다. 부가된 위치에서의

측정 데이터를 포함하여 다시 계산하면 명확한 결과를 얻을 것이다.

B.6.2

95% 신뢰 상한선(UCL) 계산의 결과는 상술된 ISO 클래스 등급을 만족시키지 못할 수도 있다. 만약 잘못된 측정(절차상의 오류나 장비의 비정상적인 작동등에 기인한)이나 혹은 이상하게 낮은 입자 농도(예외적으로 깨끗한 공기에 기인함)에 의한 정상적이지 못한 한 개의 측정값에 의해 신뢰성계산이 떨어진다면, 그 측정값은 계산에서 제외시킬 수 있으며, 다음과 같은 것을 규정한다.

- a) 계산은 다른 나머지 측정값을 이용하여 재계산한다.
 - b) 최소한 세 개 이상의 측정값이 있어야 한다.
 - c) 한 개 이상의 측정값을 버려서는 안된다.
 - d) 이상한 측정값이나 매우 낮은 입자농도를 측정하였을 경우는 기록하여야하며 고객과 공급자 모두 받아들여 져야한다.
- 주의: 샘플된 위치에 따라 입자의 농도는 매우 넓게 분포할 수 있으며, 경우에 따라서는 용도에 따라 의도적으로 청정실을 이렇게 설계할 수 있다.

부록 C (normative)

입자 농도 데이터의 통계적 처리

C.1 일반

이 통계적 해석은 단지 무작위 에러(정확

성의 결여)만 고려하며, 작위성(즉, 잘못된 교정과 관련된 편차(bias)) 에러는 고려하지 않는다.

C.2 측정 위치에서의 평균 입자 농도(P) 계산을 위한 알고리즘

주의: 이 절차는 샘플링 위치의 수에 상관없이 적용할 수 있다.

$$P = (T_1 + T_2 + \dots + T_x) / X$$

여기서, P 한 위치에서의 평균 입자 농도
 T₁ to T_x 개별 측정시의 입자 농도
 X 한 위치에서 채취한 측정 수

C.3 95% 신뢰 상한선 계산을 위한 알고리즘

주의: 이 절차를 사용하기 위해서는 샘플링 위치 수가 적어도 둘 이상 이어야 하며, 아홉을 넘어서는 안된다. 이러한 조건하에서 C.2절의 절차와 함께 사용하여야 한다.

C.3.1 평균값의 평균(Mean of the averages) (M)

$$M = \frac{(P_1 + P_2 + \dots + P_Y)}{Y}$$

여기서, M 평균값의 평균
 P₁ to P_Y 개개 위치에서의 평균값들
 Y 개개 위치 평균값들의 수

모든 개개 위치에서의 평균값들은 주어진 위치에서 채취한 샘플들의 수에 관계없이 똑같은 가중치가 적용된다.

C.3.2 평균(mean)의 표준 편차 (SD)

$$SD = \sqrt{\frac{(P_1 - M)^2 + (P_2 - M)^2 + \dots + (P_Y - M)^2}{(Y - 1)}}$$

여기서, SD는 평균(mean)의 표준편차

C.3.3 평균(mean)의 표준 오차 (SE)

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{Y}}$$

여기서, SE는 평균(mean)의 표준 오차

C.3.4 95 % 신뢰 상한선(upper confidence limit) (UCL)

$$UCL = M + (t \times SE)$$

여기서, t는 Student's t factor이며 개개 평균값들의 수(Y)에 의존하며 모든 개개 평균값들이 계산된 신뢰 상한선(UCL) 내에 있도록 하는 95 % 신뢰도를 보장한다. (참조: 기초 통계학)

95 % 신뢰 상한선(UCL)에 대한 t factor의 값들은 표 C.1에 주어져 있다.

표 C.1: 95% 신뢰 상한선에 대한 Student's t factor

개개 평균값들의 수(Y)	2	3	4	5-6	7-9
t	6.3	2.9	2.4	2.1	1.9

부록 D (정보 : informative)

등급 계산의 예제

D.1 예제 1

어떤 청정실이 80 m²의 면적(A)을 가지고 있다. 청정실 작동상태에서 공기중의 미립자 청정도 분류방법에 대한 예이다.

D.1.1

상술된 청정실의 공기 청정도 등급은 ISO 클래스 5이다.

D.1.2

고려중인 두 개의 입자 크기는 다음과 같다. : 0.5 μ m(D₂)와 0.3 μ m(D₁).

a) 두 입자 모두 ISO 클래스 5 크기 한계 내에 있음 (참조 3.3c와 표 1) : 0.1 μ m ≤ 0.3 μ m, 0.5 μ m ≤ 5 μ m

b) 입자 크기 비(ratio) 선결 조건의 적용, D₂ ≥ 1.5 × D₁ (참조 3.3c)이 만족됨 : 0.5 μ m ≥ (1.5 × 0.3 μ m = 0.45 μ m).

D.1.3

최대 허용 부유입자 농도는 다음과 같이 계산된다 (3.2) :

$$C_n(D_1) = \left(\frac{0.1}{0.3}\right)^{2.08} \times 10^5 = 10,176$$

반올림하여 10,200 particles/m³

$$C_n(D_2) = \left(\frac{0.1}{0.5}\right)^{2.08} \times 10^5 = 3,517$$

반올림하여 3,520 particles/m³

D.1.4

샘플링 포인트 위치의 수는 다음과 같이 계산된다. (B.4.1.1) :

$$N_L = \sqrt{A} = \sqrt{80} = 8.94 \text{ (반올림하여 9를 택한다.)}$$

최소 샘플링 위치의 수는 9곳 이고 샘플링 위치의 수가 10보다 작으므로 부록 C에 따른 95% 신뢰 상한선의 계산이 적용된다.

D.1.5

단일 샘플 체적은 다음과 같이 계산된다. (B.4.2.1) :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{20}{C_n(D_2)} \times 1000 \\ &= \frac{20}{3,517} \times 1000 \\ &= 5.69 \text{ litres } (> 2 \text{ litres}) \end{aligned}$$

이 결과는 2리터 보다 크며, 샘플 체적은 1분에 28리터였다.

이 선택은 다음과 같은 사실에 기초한다 :

a) V_s > 2 litres (참조 B.4.2.2)

b) C_n(D₂) > 20 (참조 B.4.2.1)

c) 샘플 시간 ≥ 1분 (참조 B.4.2.2)

d) 채취된 샘플 체적은 정확히 28리터로 측정되었다.

D.1.6

각각의 샘플링 위치에서, 단 한번의 단일 샘플 체적이 채취되었다(B.4.2.1). 측정 결과는 아래의 표처럼 기록되었다(B.5.1.1).

샘플링 위치	28리터 안에서의 입자의 수 ($\geq 0.3 \mu\text{m}$)	28리터 안에서의 입자의 수 ($\geq 0.5 \mu\text{m}$)
1	245	21
2	185	24
3	59	0
4	106	7
5	164	22
6	196	25
7	226	23
8	224	37
9	195	19

D.1.7

각 행의 데이터로부터(D.1.6), 단위 체적당 입자수 (number of particles/m³), P가 계산된다.

샘플링 위치	P(D ₁ ≥ 0.3 μm)	P(D ₂ ≥ 0.5 μm)
1	8,750	750
2	6,607	857
3	2,107	0
4	3,786	250
5	5,857	786
6	7,000	893
7	8,071	821
8	8,000	1,321
9	6,964	679

각각 계산된 D₁과 D₂에 대한 농도값은 D.1.3절에서 설정된 한계보다 작다. 이것은 분류의 처음 부분(B.6.1)을 만족시키며 부록 C에 따라 95 % 신뢰 상한선 계산을 할 수 있다.

D.1.8

평균 농도의 계산(C.2)은 채취된 샘플 체적이 단일 체적이기 때문에 적용할 수 없다. 평균값의 평균은 C.3.1절로부터 계산되어 진다.

$$\begin{aligned}
 M(D_1) &= \frac{1}{9}(8,750 + 6,607 + 2,107 + 3,786 \\
 &\quad + 5,857 + 7,000 + 8,071 + 8,000 \\
 &\quad + 6,964) \\
 &= \frac{1}{9} \times 57,142 \\
 &= 6,349.1 \text{ 반올림하여} \\
 &\quad 6,349 \text{ particles/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M(D_2) &= \frac{1}{9}(750 + 857 + 0 + 250 + 786 + 893 \\
 &\quad + 821 + 1,321 + 679) \\
 &= \frac{1}{9} \times 6,357 \\
 &= 706.3 \text{ 반올림하여} \\
 &\quad 706 \text{ particles/m}^3
 \end{aligned}$$

D.1.9

평균의 표준편차는 다음과 같이 계산된다 (C.3.2). :

$$\begin{aligned}
 SD^2(D_1) &= \frac{1}{8}((8,750 - 6,349)^2 + (6,607 \\
 &\quad - 6,349)^2 + (2,107 - 6,349)^2 + \\
 &\quad (3,786 - 6,349)^2 + (5,857 - 6,349)^2 \\
 &\quad + (7,000 - 6,349)^2 + (8,071 - \\
 &\quad 6,349)^2 + (8,000 - 6,349)^2 + (6,964 \\
 &\quad - 6,349)^2) \\
 &= \frac{1}{8} \times 37,130,073 \\
 &= 4,641,259.1 \text{ 반올림하여} \\
 &\quad 4,641,259
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SD(D_1) &= \sqrt{4,641,259} \\
 &= 2,154.4 \text{ 반올림하여 } 2,154 \text{ par-}
 \end{aligned}$$

icles/m³

$$\begin{aligned}
 SD^2(D_2) &= \frac{1}{8}((750-706)^2 + (857-706)^2 \\
 &\quad + (0-706)^2 + (250-706)^2 + (786 \\
 &\quad - 706)^2 + (893-706)^2 + (821- \\
 &\quad 706)^2 + (1,321-706)^2 + (679- \\
 &\quad 706)^2) \\
 &= \frac{1}{8} \times 1,164,657 \\
 &= 145,582.13 \text{ 반올림하여} \\
 &\quad 145,582 \\
 SD(D_2) &= \sqrt{145,582} \\
 &= 381.6 \text{ 반올림하여} \\
 &\quad 382 \text{ particles/m}^3
 \end{aligned}$$

D.1.10

평균의 표준 오차는 다음과 같이 계산된다 (C.3.3) :

$$\begin{aligned}
 SE(D_1) &= \frac{2,154}{\sqrt{9}} = 718 \text{ particles/m}^3 \\
 SE(D_1) &= \frac{382}{\sqrt{9}} = 127.3 \text{ 반올림하여 } 127 \\
 &\quad \text{particles/m}^3
 \end{aligned}$$

D.1.11

95% 신뢰 상한선(UCL)은 다음과 같이 계산된다(C.3.4). 개개의 평균값들의 수 Y가 9가 되므로 표 C.1로부터 t factor 1.9를 택한다.

$$\begin{aligned}
 95\% \text{ UCL } (\geq 0.3\mu\text{m}) &= 6349 + (1.9 \times 718) \\
 &= 7713.2 \text{ 반올림하여} \\
 &\quad 7713 \text{ particles/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 95\% \text{ UCL } (\geq 0.5\mu\text{m}) &= 706 + (1.9 \times 127) \\
 &= 947.3 \text{ 반올림 하여}
 \end{aligned}$$

947 particles/m³

D.1.12

결과의 해석은 B.6.1절에 따라 수행된다. D.1.7절에서 각각의 단일 샘플 체적의 입자 농도는 상술된 클래스 한계보다 작다. D.1.11 절에서는 95 % 신뢰 상한선(UCL)의 계산된 값 역시 D.1.3절에서 설정된 클래스 한계보다 작다.

그러므로 청정실의 부유입자 청정도는 요구된 청정도 등급을 만족시킨다.

D.2 예제 2

이 예제는 95 % 신뢰 상한선(UCL)이 결과에 미치는 영향을 보여주도록 구성되어 있다.

D.2.1

어떤 청정실이 작동 상태에서 ISO 클래스 3의 미립자 청정도이다. 샘플링 위치의 수는 5이다. 이 경우 샘플링 위치의 수가 하나 이상이고 열 미만이므로 부록 C에 의해 95% 신뢰 상한선(UCL)의 계산이 적용된다.

단 하나의 입자 크기(D≥0.1μm)만 고려한다.

D.2.2

≥0.1μm 에서 ISO 클래스 3에 대한 입자 농도는 표 1에서

$$C_n(\geq 0.1 \mu\text{m}) = 1000 \text{ particles/m}^3 \text{ 이다.}$$

D.2.3

각 샘플링 위치에서 단 한번의 샘플 체적

만이 채취된다(B.5.1.1). 단위체적당 입자농도 (particles/m³), P,는 각각의 위치에 대하여 계산되어 지며 아래의 표와 같다.

샘플링 위치	P(D≥0.1μm)
1	926
2	958
3	937
4	963
5	214

D=0.1μm에 대한 각각의 농도 값은 D.2.2 절에서 설정된 한계보다 작다. 이 결과는 분류의 처음 부분 (B.6.1)을 만족하며 부록 C에 따라 95% 신뢰 상한선(UCL)의 계산한다.

D.2.4

평균의 평균(mean)은 다음과 같이 계산된다(C.3.1).:

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{5}(926 + 958 + 937 + 963 + 214) \\ &= \frac{1}{5} \times 3998 \\ &= 799.6 \text{ 반올림하여} \\ &800 \text{ particles/m}^3 \end{aligned}$$

D.2.5

평균(mean)의 표준편차는 다음과 같이 계산된다(C.3.2).:

$$\begin{aligned} SD^2 &= \frac{1}{4}((926 - 800)^2 + (958 - 800)^2 + \\ &(937 - 800)^2 + (963 - 800)^2 + (214 - \\ &800)^2) \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{4} \times 429574$$

$$= 107,393.5 \text{ 반올림하여 } 107,394$$

$$SD = \sqrt{107,394} = 327.7$$

반올림하여 328 particles/m³

D.2.6

평균의 표준 오차는 다음과 같이 계산된다(C.3.3).:

$$SE = \frac{984}{\sqrt{5}} = 146.7$$

반올림하여 147 particles/m³

D.2.7

95% 신뢰 상한선(UCL)은 다음과 같이 계산된다(C.3.4).:

개개 평균값의 수가 5이므로 표 C.1로부터 택한 t factor는 2.1이다.

$$\begin{aligned} 95\% \text{ UCL} &= 800 + (2.1 \times 147) \\ &= 1108.7 \text{ 반올림하여 } 1109 \\ &\text{particles/m}^3 \end{aligned}$$

D.2.8

모든 단일 샘플 체적의 입자 농도는 상술된 분류 한계(D.2.2)보다 작으나, 청정실에서 95% 신뢰 상한선(UCL) 계산 결과는 상술된 분류 한계를 만족시키지 못한다.

이와 같이 본 예제는 95% 신뢰 상한선(UCL) 테스트의 결과에 대한 예외적으로 낮은 한곳의 입자농도(즉, sampling location 5)의 효과를 보여준다.

공기 청정도 등급분류의 비신뢰성(nonconformance)은 95% 신뢰 상한선(UCL)의 적

용에 따라 발생하였으며, 이는 한곳의 낮은 입자 농도 데이터에 의해 발생하였으므로 B. 6.2절에서 서술된 절차를 적용하여 비신뢰성을 제거할 수 있는가를 결정할 수 있다.

부록 E (informative)

등급분류를 위해 적용할 수 있는 크기 범위 밖의 입자들의 카운팅과 크기 측정에 대한 고려 사항

E.1 응용

어떤 경우는 본 등급 분류를 적용할 수 없는 범위의 입자 크기에 대한 입자 농도를 정의해야 하는 특별한 공정들이 있을 수 있다. 이러한 입자크기에서의 최대 허용 농도와 신뢰도를 증명하기 위한 테스트 방법의 선택은 고객과 공급자간의 결정에 따른다. 시험방법에 대한 고려 사항과 규격에 대한 서술된 방법은 E.2절 (M 부호어에 대하여)와 E.3절 (U 부호어에 대하여)에 언급된다.

E.2 5 μ m보다 큰 입자(거대 입자들)의 고려 사항—M 부호어

E.2.1

만약 5 μ m보다 큰 입자에 의해 오염 위험도를 평가하려면 이러한 거대입자의 고유 성질들에 적절한 샘플링 장비와 측정 절차를 적용하여야 한다.

공정환경내에서 발생하는 입자는 일반적으로 부유분진중에서 존재하는 거대입자의 대부분을 차지한다. 적절한 샘플링 장비의 선정과 측정 절차는 적용목적에 적합한 것을

선택하며, 입자의 밀도, 형태, 체적, 그리고 공기역학적 특징등을 고려하여야한다. 경우에 따라 섬유상 입자와 같이 특정한 입자가 전체입자의 농도중에서 차지하는 비율등을 알 필요가 있을 수 있다.

E.2.2

M 부호어는 독립적으로 기술되거나 혹은 부유입자 청정도의 ISO 클래스에 대한 보충자(supplement)로 서술될 수 있다. M 부호어는 “M(a;b);c” 형태로 표현된다.

여기서, a 거대 입자의 최대 허용 농도 (macroparticles/m³ of air로 표현된다.)

b 거대 입자 측정 방법에 의한 등가 직경

c 측정 방법

주의 : 만일 부유입자 중에 섬유(fibres)상 입자에 대한 언급이 필요하면 섬유(fibre)상 입자에 대해 별도로 다음과 같은 형식으로 표시할 수 있다. M_{fibre}(a;b);c.

예 제 :

1) 부유입자의 공기역학적 직경(aerodynamic diameter)을 측정하기 위해 time-of-flight aerosol particle counter를 사용하여 5 μ m 이상의 입자 크기에서 10000 particles/m³의 입자가 측정되어 이를 M 부호어를 사용하여 표현하면 다음과 같다.

“M(10000;>5 μ m);time-of-flight aerosol particle counter”.

2) 다단계 임팩터(cascade impactor)에서 포

집된 입자를 현미경을 사용하여 10에서 20 μm 의 입자 크기 범위에서 1000 particles/ m^3 의 부유입자를 분석하였을때 이를 표현하면 다음과 같다.

“M(1000;10 μm to 20 μm);cascade impactor followed by microscopic sizing and counting”.

주의 1:5 μm 보다 큰 부유입자 농도에 대한 적절한 테스트 방법들은 Institute of Environmental Sciences publication IES-TechPub-1003, Measurement of Airborne Macroparticles에 소개되어 있다.

주의 2:만약 M 부호어가 부유입자 청정도 클래스에 대한 보충자료로 사용된다면 거대 입자 농도(a)는 서술된 ISO 클래스에 대한 5 μm 의 고려된 입자 농도 한계(particles/ m^3) 보다 커서는 안된다.

E.3 0.1 μm (초미세 입자)보다 작은 입자 - U 부호어

샘플링 위치의 수는 B.4.1절에 따라 결정되어야하며 최소 샘플 체적 V_s 는 2리터가 되어야 한다(B.4.2.2).

U 부호어의 초미세 입자 농도는 단독으로 사용하거나 혹은 공기중 미립자 청정도 클래스에 대한 보충자료로서 사용될 수 있다. U 부호어는 다음과 같은 형식으로 표현된다. “U(x;y)”,

여기서, x 초미세 입자의 최대 허용 농도 (Ultrafine particles/ m^3 of air로 표현된다.)

y micrometer 단위이며, 초미세입자의 농도를 측정할 단일입자계수기의 50%계수 효율을 갖는 입자의 크기

예 제 :

0.01 μm 보다 큰 입자 크기 범위에서 140000 particles/ m^3 의 최대 허용 초미세 입자 농도를 표현하기 위해 다음과 같은 명칭이 사용된다. “U(140000 ; 0.01)”.

주의 1: 0.1 μm 보다 작은 부유입자의 농도에 대한 적절한 테스트 방법은 Institute of Environmental Sciences publication IES-TechPub-1002, Determination of the Concentration of Airborne Ultrafine Particles에 소개되어 있다.

주의 2: 만약 U 부호어 명칭이 부유입자 청정도 클래스에 대한 보충자료로 사용된다면, 초미세 입자 농도(x)는 서술된 ISO 클래스 등급에 대한 0.1 μm 의 적절한 입자 농도 한계(particles/ m^3)보다 작아서는 안된다.

부 록 F (normative)

축차 샘플링 절차(Sequential sampling procedure)

F.1 배경과 한계

F.1.1 배경

만약 채취된 공기가 고려된 입자 크기에 대한 상술된 클래스 농도 한계보다 매우 많이 혹은 매우 적게 오염되었다면, 축차 샘플링 절차의 사용은 샘플링 체적과 샘플링 시간을 상당히 단축시킬 수 있다. 측정하고자 하는 농도가 상술된 농도한계에 근접할 경우 도 수고를 아낄 수 있다. 축차 샘플링을 가장 적절히 적용할 수 있는 경우는 공기 청정도가 ISO 클래스 4 혹은 그 보다 청정한 곳

에서 유용하다.

1.2 한계

측차 샘플링의 주요한 한계는 다음과 같다.

- a) 이 절차는 특정 클래스 등급이나 농도 단계에서 고려된 입자크기에서 매 측정마다 0개의 입자계수를 목표로 샘플링할 경우에 적용할 수 있다.
- b) 각각의 샘플 측정은 컴퓨터화된 자동화를 통해야 보다 손쉽게 데이터의 모니터링과 해석을 할 수 있다.
- c) 입자 농도는 샘플링 체적이 적기 때문에 기존의 샘플링절차 만큼 정확하게 농도를 측정할 수 없다.

2 절차에 대한 기초

이 방법은 참고 카운트수(reference count value)에 대한 실시간 누적 입자 카운트(real-time cumulative count)를 비교함으로써 결정한다. 참고가 되는 수치는 상한과 하한 한계 경계값에 대한 공식으로부터 유도된다.

$$\text{상한 한계} : C = 3.96 + 1.03E$$

$$\text{하한 한계} : C = -3.96 + 1.03E$$

여기서 C는 관측된 카운트이며, E는 기대되는 카운트이다.

비교를 쉽게하기 위해 그림 F. 1 과 표 F. 1 에 참고로 제공하였으며 어느 것을 사용해도 무방하다.

각각의 샘플링 위치에서 공기가 샘플 되어 실험에 따라 연속적인 측정중의 입자계수값(running total particle count)은 기대입자계

수한계와 계속 비교한다. 이때 기대입자계수한계는 샘플링하고있는 유량의 함수이다. 만약 측정중의 입자계수값이 샘플링 유량에서 기대하는 입자계수 하한 한계 보다 작으면 그 등급을 만족하였다고 할 수 있고 여기서 샘플링을 중지한다.

그러나 만약 측정중의 입자계수값이 기대입자계수 상한 한계 보다 커지면 그 등급을 만족하지 못한 것으로 판정되며 여기서 샘플링을 중지한다. 만약 측정중의 입자계수값이 상한과 하한 사이에 있으면 샘플링은 계속한다.

그림 F.1의 그래프는 측정된 입자계수의 값 C와 고려되는 청정등급 및 입자크기에서 예상되는 입자의 개수를 나타내었다.

표 F. 1은 앞과 동일한 방법으로써, 표에서 보여주는 것과 같이 하나의 완전한 샘플링을 하는데 걸리는 시간의 부분으로써 표시하여 측정된 입자계수값과 비교하는 방법이다. 따라서 표의 측정시간(fractional time)에서 측정계수값이 표의 값보다 큰가 작은가에 따라 청정실의 청정등급을 만족시킬 수 있느냐를 결정할 수 있다. 이 방법은 최대 21 개의 입자측정 값을 비교함으로써 결정할 수 있다.

F.3 샘플링에 대한 절차

실험을 진행함에 따라 결과를 판단하기 위한 2가지 방법이 있다. 실험데이터 분석을 위한 컴퓨터화된 방법을 사용하는 것을 추천한다.

F.3.1

그림 F. 1 은 F. 2의 식에 의한 경계를 도

식화한 것이다. 여기서 완전한 샘플링을 하는데 필요한 시간을 나타내는 $E=20$ 을 x -축의 경계로 하였고, 측정가능한 최대 입자개수 $C=20$ 을 경계로 정하였다.

측정값과 측정대상 청정실의 청정도 등급에서 예측되는 입자의 개수를 그래프에 작성한다. 샘플링 시간이 경과함에 따라 예상 측정값 $E=20$ 에 상응하게 된다.

그림 F.1을 사용한 축차 샘플링에 대한 절차

샘플링이 진행됨에 따라 시간의 함수로서 카운트되는 입자들의 수를 기록하고 카운트와 그림 F.1의 상한과 하한 한계선과 비교한다. 만약 누적 측정 카운트가 상한 한계선을 가로지르면 그 위치에서의 샘플링은 중지하고 공기는 서술된 클래스 한계에 대한 신뢰도를 갖지 않는 것으로 보고한다. 만약 누적 측정 카운트가 하한 한계선을 가로지르면 샘플링을 중지하고 공기는 서술된 클래스 한계를 통과한 것이다. 만약 누적 측정 카운트가 상한과 하한 한계선 사이에 남아 있으면 샘플링은 계속해야만 한다.

만약 지정된 샘플링 시간동안에 총 카운트가 20 보다 작거나 같고 상한 한계선을 통과하지 않았다면 청정실의 공기는 그 등급내에 있는 것으로 간주할 수 있다.

F.3.2

표 F.1은 연속적인 샘플링으로 사용을 위

한 등가 방법을 제공하며 또한 F.2의 방정식에 기초를 둔다. 표에서 시간 t 는 완전한 (complete) 단일 샘플에 필요한 시간을 "1.0000"로 한다. 이 샘플의 체적은 시험하고자 하는 청정실의 등급에서 20개의 입자를 포함할 수 있는 양이다. 표에 표시된 시간 값은 완전한 단일 샘플을 하기 위해 필요로 하는 총 시간의 부분율(fractional portions)이다.

표 F.1을 이용한 연속적인 샘플링 절차는

샘플링이 진행됨에 따라 시간의 함수로서 카운트되는 입자들의 수를 기록하고 표의 두 칼럼 상에 나타난 시간과 각각의 카운트가 관측되어지는 시간을 비교한다. 만약 주어진 관측 누적카운트가 왼쪽 칼럼과 비교해서 기대된 것보다 일찍 발생한다면, 샘플링은 중단하고 공기는 서술된 클래스 한계와 신뢰도를 갖지 못하는 것으로 보고한다. 만약 누적 관측 카운트가 오른쪽 칼럼과 비교하여 기대된 것보다 나중에 발생한다면, 샘플링은 중단하고 공기는 서술된 한계를 통과한다. 만약 누적 관측 카운트가 연속적으로 두 개의 칼럼에서 보여진 시간 사이에 있다면, 샘플링은 계속해야만 한다. 만약 계수값이 왼쪽 칼럼과 21번 계속 비교하여지고 예측 시간 값보다 일찍 도착하는 카운트가 없다면, 공기는 완전(full) 단일 샘플에 대해 서술된 한계를 통과한 것으로 한다.

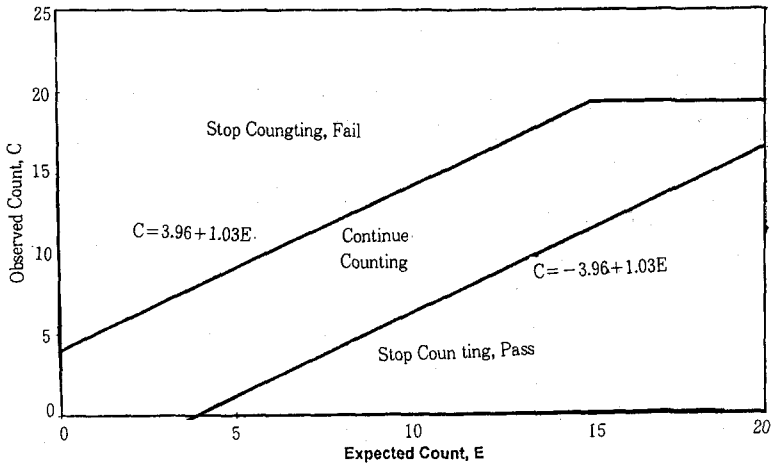


그림 F. 1 Boundaries for pass or fail by the sequential sampling procedure

표 F.1 - 관측 카운트 C가 설정되어야 하는 시간에 대한 상한 및 하한 한계

주의 : Fractional times are given as the fraction of total times ($t = 1.0000$ at the class limit).

기대했던 것보다 일찍 카운트, C가 나온다면 Fail		기대했던 것보다 늦게 카운트, C가 나온다면 Pass	
Fractional time, t	Observed Count	Fractional time, t	Observed Count
0.0019	4	0.1922	0
0.0505	5	0.2407	1
0.0992	6	0.2893	2
0.1476	7	0.3378	3
0.1961	8	0.3864	4
0.2447	9	0.4349	5
0.2932	10	0.4834	6
0.3417	11	0.5320	7
0.3902	12	0.5805	8
0.4388	13	0.6291	9
0.4873	14	0.6676	10
0.5359	15	0.7262	11
0.5844	16	0.7747	12
0.6330	17	0.8233	13
0.6815	18	0.8718	14
0.7300	19	0.9203	15
0.7786	20	0.9689	16
1.0000	21	1.0000	17