

공기청정용 멸균 기술

김 용 진
한국기계연구원
열유체시스템연구부/선임연구원

1. 서론

최근의 분자 미생물학 등의 발달로 체계화되고 있는 이른바 바이오테크놀로지(Biotechnology) 분야의 연구개발이 눈부시게 진행되고 있다. 의약, 식품, 화학, 농업 등의 기초기술을 공업단계로 연결시키는데는 여러가지의 바이오엔지니어링 기술에 의하여 구성되는 생산설비를 필요로 하는데, 그 가운데에서도 필수불가결한 것이 바이오로지칼클린룸(Biological Clean Room : BCR)이며, 이러한 BCR의 대상 오염물질이 미생물이다. 제거해야 할 미생물의 목표치는 각각의 적용에 따라서 다른데(표 1 참조), 일반적으로 현재 세계적으로 사용되어지는 미국항공우주국의 규격(NASA, NHB-5340-1 및 5340-2)인 표 2에서와 같이 따르고 있다. 이러한 BCR을 달성하기 위하여는 실내 공기중의 오염 미생물인 세균의 제균(除菌) 및 멸균(滅菌) 기술이 필수적이며, 여기서는 이러한 장치 및 기법 등에 대하여 기술하고자 한다.

2. 미생물의 종류 및 크기

일반적으로 미생물의 그룹으로는, 바이러스, 리케차, 박테리아, 균(菌)류, 원생충류 및 조(藻)류 등으로 분류(표 3)되며, 이러한 미생물의 크기는 매우 다르다. 먼저, 바이러스는 모든 생물가운데서도 가장 작은 것으로, 그의 크기는 일반적으로 약 $0.005\mu\text{m}$ 로부터 $0.5\mu\text{m}$ 의 범위로 알려져 있다. 모든 바이러스는 생명이 있는 세포내에 종속되어 생존한다. 리케차는 여러가지 점에서 박테리아와 유사하며, 크기는 최소의 박테리아 크기와 같다. 리케차도 바이러스와 마찬가지로 다른 생명체내에서 기생하여 생육된다. 박테리아는 단일의 집단균으로 나타나는 것으로, 이러한 집단은 대부분의 경우, 고리형, 체인형, 선형, 구형 또는 와선형이며, 이들의 크기는 대개 $1\mu\text{m}$ 이하의 것에서부터 $100\mu\text{m}$ 정도의 길이를 가지는 것도 있다. 박테리아는 세포분열에 의하여 번식하는데, 최적조건하에서는 6~7시간 동안 100만개로 되는 것도 있다.

표 1. BCR 분야와 요구 청정도

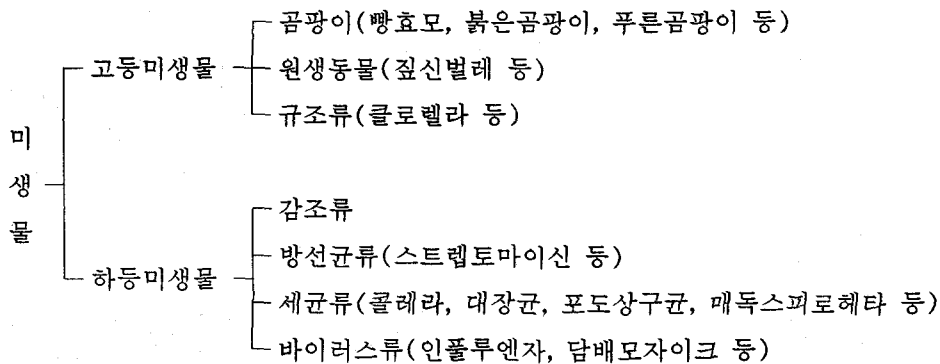
구분		대상	내용	청정도
적용	수술실	일반수술, 암, 심장이식 등	감염방지	클래스 100~1,000
	특수병실	급성백혈병, 강약치료, 알레르기성 호흡기	감염방지, 회복단축, 알레르기 호흡기에는 특별청정요구	클래스 100~10,000
	신생아실	미숙아	저항력의 약화로 균에 의한 감염방지	클래스 100
	입상검사	균, 곰팡이 조직배양	잡균의 혼입을 방지	클래스 10,000
	무균동물	SPF, RI 동물	사육, 번식 및 연구실의 무균화	클래스 100~10,000
	혈액센타	조합, 충전	체내에 직접주입되므로 균오염방지	클래스 10,000
분류	주사약제조	배양, 충전, 검사	배양공정에서의 균, 곰팡이 오염방지	클래스 100~10,000
	정제제조	혼합, 타정	균, 곰팡이에 의한 품질저하	클래스 10,000
	점안액제조	조합, 충전	잡균, 곰팡이에 의한 오염방지	
	의료기구제조	주사바늘, 가아제 등	제조, 검사, 포장공정에서의 오염방지	클래스 100~10,000
야	육류가공	어묵, 소세지, 햄 등	균, 곰팡이에 의한 부패방지	클래스 10,000
	양조	술, 맥주 등	"	
	인스턴트식품	떡 제품 등	"	클래스 10,000~100,000
	유제품	우유, 요구르트, 치즈	"	
농림축산	식물		균, 곰팡이에 의한 오염방지	클래스 10,000 ~ 100,000
	농약	바이러스성 농약	배양중 잡균에 의한 사고방지	
	양식	고기 등	균에 의한 사멸방지	클래스 10,000
기타	항공우주산업	항공기부품, 인공위성	균, 곰팡이에 의한 지구우주 상호 오염방지, 사고방지	클래스 100~100,000
	전자공업	전자부품	곰팡이에 의한 소부품의 신뢰성 저하 방지	

표 2. 항공우주국규격개요

바이오 클린룸 등급	입 자			미생물 입자			압 력 mmAq	온 도 ℃	습 도 %	기 류 / 환기횟수	조 도 Lux
	입 경 μ	누적입자수		부 유 량		침강량 개/m ² 주					
		개/ft ³	개/liter	개/ft ³	개/liter						
100	≥ 0.5	≤ 100	≤ 3.5	0.1	0.0035	12,900	1.3 이상	지정치	45~40	층류방식 0.45m/s ±0.1m/s	1,080 ~ 1,620
10,000	≥ 0.5 ≥ 5.0	≤ 10,000 ≤ 65	≤ 350 ≤ 2.3	0.5	0.0176	64,600					
100,000	≥ 0.5 ≥ 5.0	≤ 10,000 ≤ 700	≤ 3,500 ≤ 2.5								

- ※ 1) 미생물입자수는 공기중에 부유량임
- 2) 측정방법 : 슬릿(slit) 샘플링법
- 3) 배양조건 : 32℃ × 48시간

표 3. 미생물의 분류



3. 제균, 멸균 기술

공기중에 부유하는 미생물의 최대의 발생

원은 작업원 및 작업원이 외부로부터 반입하는 오염인데, 분진발생량과 매우 밀접한 관계가 있다고 알려져 있다. 따라서, 의복의 처리

또는 의자 등의 기름처리를 함으로써, 분진발생량을 방지하는 것은 공기중의 부유 세균수를 현저히 감소시키는 것이다. 실내공기의 청

정도와 제균, 멸균 시스템의 선정은 매우 중요하며 (표 4) 일반적으로 여과법과 약품, 냉수 및 오존수 이용법 등이 있다.

표 4. 제균, 멸균 방식 비교표

시스템 항 목		HEPA		전기집진기		멤브레인+ 전 기 장+ 초 음 파		LiCl 세정	냉수고압 세 정	오 존 수 전기분무	
		100	~	1,000	~	10	~	10,000	10,000	100	~
기류형태 의 분류	수직 또는 수평 층류 방식	○		○		○			○	○	
	재래형 난류방식		○		○		○	○			○
비 고		일반적으로 가장 많이 사용되고 있음		실용화 되고 있음		초정밀용(실 기적용단계)		식품, 제약 및 병원	식품, 수직 층류 시스템	실기적용 단 계	

1) HEPA 필터 여과법

여과멸균은 사용대상이 기체, 액체의 2가지에 한정되는데, 방사선, 초음파 등의 물리적 방법 또는 화학약제에 의하여 충분한 효과를 얻지 못하는 아포(芽胞)형성균 또는 곰팡이균에 대하여도 효과적이며, 높은 청정도를 요구하는 일반적인 경우에 필수적이다. (표 5)는 여러가지 공기필터 및 전기집진장치에 대하여 세균의 여과 멸균특성을 나타내고 있다. 그림 1에서 보는바와 같이, HEPA (High Efficiency Particulate Air) 시스템은 전형적인 순환처리 시스템이므로, 이러한 설비의 본래의 성능을 충분히 발휘하기 위하여

는 시설내부 전체를 클린화 할 필요가 있으며 이 경우, 코스트의 부담이 크다. 따라서, 국소적인 청정도로써 충분한 경우에는 클린부스 또는 클린스포트(Spot) 등의 시스템을 이용하여 유지비를 절감시킬 수 있다.

그리고 기공의 크기가 8 μ m~0.01 μ m 정도의 멤브레인 필터 등이 기체 및 액체를 대상으로 초청정과 동시에 제균/멸균용으로 사용되는 연구가 활발하게 진행되고 있는데, 최근에는 이러한 멤브레인 필터에서 정전기와 초음파를 첨가시켜 여과 효율을 대폭향상시키는 연구가 보고되고 있으며 그림 2는 한 예를 보여주고 있다.

표 5. 각종 에어필터의 제균, 멸균효과

에어필터의 종류	실험회수	세균여과효율(%) Mean ± S.E.	공기통과속도 m/sec.
(A) DOP-99.97필터 (Flanders)	20	99.9999 ± 0.0000	0.025
(B) DOP-99.97필터 (Cambridge)	19	99.9994 ± 0.0007	0.025
(C) DOP-99.97필터 (Oshitari)	20	99.9964 ± 0.0024	0.025
(D) DOP-95 필터 (Oshitari)	17	99.989 ± 0.0024	0.025
(E) DOP-75 필터 (Oshitari)	20	99.88 ± 0.0179	0.05
(F) NBS-95 필터 (Flanders)	20	99.85 ± 0.0157	0.09

※ 시험균 : *Serratia marcescens* K₁, 1.1×10^7 개/ml

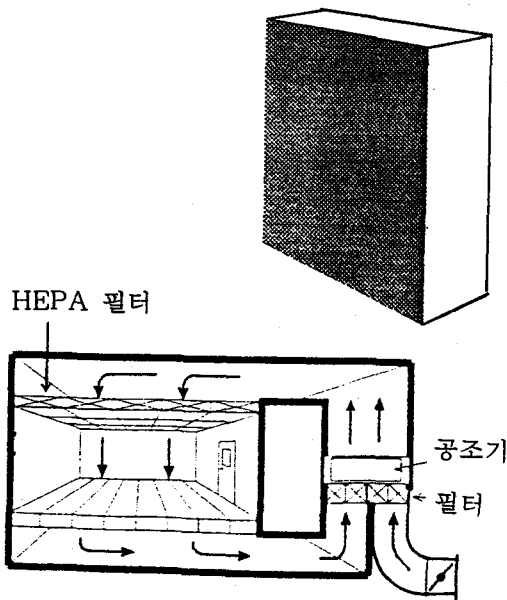


그림 1 HEPA 필터와 설치예

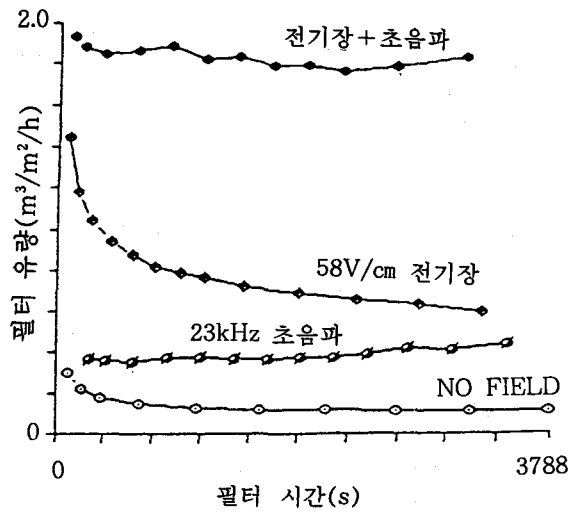
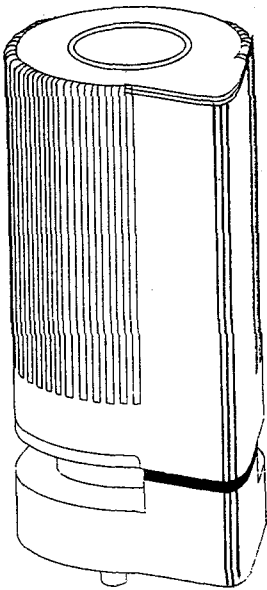


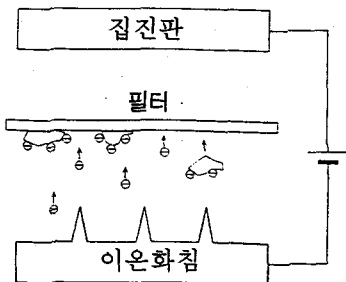
그림 2 전기초음파필터의 효과예

2) 전기 집진기

전기집진기는 장치내를 통과하는 공기중의 분진을 전기력에 의하여 포집하는 기기의 통칭으로써, 여러가지 방식이 있지만, 최근 매우 고효율의 장치가 출현되어, 공기세정기의 이름으로 주로 가정용으로 시판되고 있다. 그림 3에서와 같이, 음극(그의 형태로부터 일



(a) 전기집진기의 예



(b) 전기집진기 구조

그림 3 전기집진기 및 개념도

반적으로 이온화침으로 부른다)과 양극에 고압의 직류전류를 흐르게하여 발생되는 코로나 방전에 의하여 얻어지는 쿨롱력으로 박테리아등을 제거하는 것이다.

3) 약품 및 냉수 이용법

i) 염화리튬법

청정 공기를 염화리튬으로 세정(세정시에 살균, 냉각, 제습됨)하여 실내로 살균공기로서 공급, 순환하여 사용하는 것으로 그림 4에서 개념도를 보여주고 있다. 살균과 동시에 온습도 조절을 할 수 있으며, 병원의 수술실 또는 제약공장의 제약공정에 주로 사용된다.

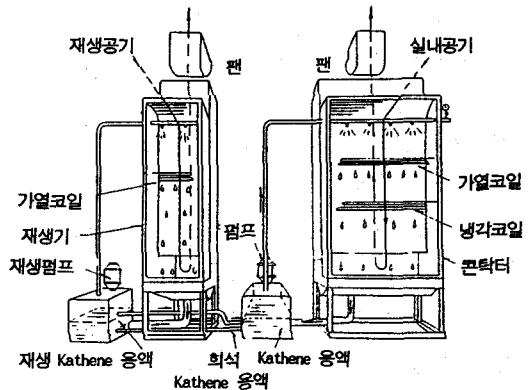


그림 4 염화리튬 세정/멸균방식의 개념도

ii) 냉수법

그림 5의 A, B 2개의 세정탑에서 실내공기를 냉수세정(세정시 살균, 냉각, 제습)하여, C의 기수분리기에서 수분을 제거한 후, D의 탑에서 공기를 가열(온수가열기)하여 실내로 공급, 순환시키는 방식으로, 육류의 가공, 보관등에 사용되어 진다.

CR 무균실 D 온도조절기
 F 팬 CW 냉수탱크
 A 제1공기청정기 HW 온수탱크
 B 제2공기청정기 CH 필터
 C 가수분리기 P 펌프

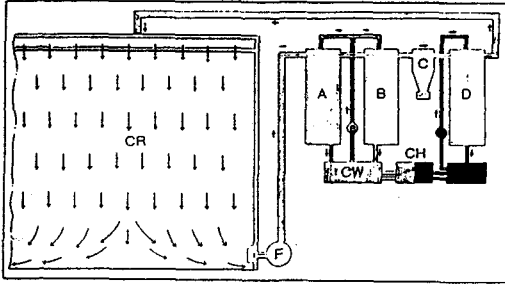


그림 5 냉수세정법 개념도

iii) 오존수 전기분무법

오존에 의한 살균작용은 1980년 이후 지속적으로 실험데이터가 나오고 있는데, (표 6은) 대표적인 세균에 대하여 1ppm의 오존상태하에서 10분간 노출시켰을 때의 살균효과를 나타내고 있다. 그리고 공기청정 측면에서, 생물학적인 클린룸에서의 오존수의 분무에 의한 멸균 장치는 그림 6의 개념도에서 보는바와 같이, 오존수를 ④의 하전부에 분무하고, 그 가운데로 실내공기를 통과 시킴에 의하여 살균하는 방법이다. 이 방법은 새롭게 개발된 방법으로 실적은 많지 않지만, 공기청정도를 HEPA 필터급으로 높일 수 있다.

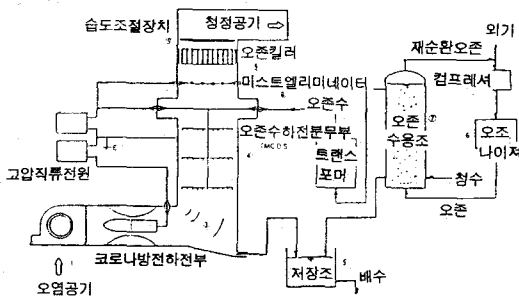


그림 6 오존수 전기분무법 개념도

표 6. 1ppm 기체오존의 살균효과

세균의 종류	처리후 세균집단의 출현율(%)
<i>Escherichia coil</i>	0
<i>Shigella sonnei</i>	0
<i>Salmonella typhi</i>	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0
<i>Staphylococcus aureus</i>	0
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	0
<i>Bacillus subtilis*</i>	60
<i>Bacillus cereus*</i>	60
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	70
<i>Aspergillus niger</i>	90
<i>Penicillium citrinum</i>	45
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	100
<i>Aureobasidium pullulans</i>	65
<i>Fusarium oxysporum</i>	40

* 아포형성균

4. 결론

이상에서 BCR의 공기청정을 위한 제균, 멸균법에 관하여 고찰, 기술하였다. 이밖에도 생물학적 클린화를 달성하기 위하여는 공기기류 뿐만 아니라, 작업하는 사람과 물건 등에 관한 주의와 살균, 멸균 및 소독 기술들에 관한 여러가지 방법들이 있다. 앞으로 바이오테크놀로지 분야는 지속적으로 발전하게 될 것이며, 이에 따른 각종 미생물 오염의 제어에 관한 기반 기술이 전반적인 범위에서 확립되어야 할 것이다. 아울러, 이러한 미생물들의 신뢰성 있는 멸균장치의 개발 및 성능측정, 평가 기법 등에 관한 개선방안에 관하여 향후, 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.