

실내환경에서 바이오에어로졸 관리 방안

(Control of Bioaerosol in Indoor Environment)

1. 개요

(1) 바이오에어로졸(Bioaerosol)의 정의

생물학적유해인자(Biological Agents)는 보통 생물학적 근원, 즉 식물, 동물, 미생물에서 유래하는 유해인자로, 살아 있거나 또는 죽은 유기체 그 자체이거나 혹은 여기에서 파생되는 단편(fragments), 입자, 독성물질(toxin), 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs) 등이라고 정의할 수 있다. 생물학적유해인자를 구체적으로 예를 들면 유기체 자체인 것은 바이러스(Viruses), 세균(Bacteria), 곰팡이(Fungi), 진드기(Mites), 원형동물(Protozoa), 바퀴벌레(Cockroach) 등이다. 유기체에서 유래하는 유해인자로는 애완용 동물의 가축, 털, 피부, 침액(saliva), 꽃가루 등이며, 유기체로부터 나오는 내독소(endotoxin), 아플라톡신(aflatoxin)과 각종 VOCs 등이 있다. 이러한 생물학적 유해인자 중에서 공기 중에 퍼져있는 생물체와 관련한 입자(각종 미생물, 동물 단편, 독성물질 등 거대 분자 등) 및 액체상 물질을 바이오에어로졸(bioaerosol)이라고 정의할 수 있다.

곰팡이, 세균과 같은 미생물은 환경에 정상적으로 존재하는 생물로 우리가 걷는 땅이나 호흡하는 공기, 우리가 마시는 물, 심지어 우리가 먹는 음식에도 존재한다. 최적의 온도, pH, 충분한 습도, 영양분의 이용성 등의 적절한 조건에서 부패유기영양성 곰팡이, 세균 등이 번식하게 되며, 보통 이들이 우점종이 된다. 공기 중에서는 분화된 입자(곰팡이 포자, 세균, 집합체 등) 상태로 존재할 수 있으며, 서로 모이거나 다른 입자에 붙어 에어로졸을 형성하여 표면이나 성장 기질에 붙을 수 있다. 또한 많은 미생물들이 상상할 수도 없는 극한의 환경에서도 생존할 수 있다.

에어로졸은 매우 미세한($0.1\mu\text{m}$ 이하) 크기에서부터 큰 것은 직경이 $100\mu\text{m}$ 에 달한다. 대부분의 바이오에어로졸은 그 크기와 구성분의 성질이 매우 복잡하다. 예를 들어 피부 과편에는 세균이 포함되어 있고, 기침에서 발생하는 에어로졸에는 다양한 바이러스와 세균들이, 오염된 가습기의 경우에는 몇 가지 다른 세균 세포가 있고 이와 관련한 내독소, 곰팡이 포자, 항원물질, mycotoxin 등이 포함되어 있다. $1\sim 5\mu\text{m}$ 직경 범위의 입자들은 효과적으로 폐까지 이동할 수 있다. 에어로졸로 발생하는 입자의 핵은 보통 $2\mu\text{m}$ 이하의 직경이며, 흡입에 의해 본래보다 훨씬 큰 건강상의 위험을 일으킨다. 이에 대한 대책으로써 첫 번째는 미생물과 독성물질을 포함하고 있는 에어로졸이 발생되어 배출되는 것을 막아야 하며, 두 번째는 PPE를 사용하여 공기전염과 중독의 심각한 결과를 초래할 수 있는 수준의 유해물질 양의 호흡기계로 접근과 공기의 이동을 막을 수 있다.

(2) 생물학적 유해인자의 중요성

실내공기질과 관련해서 생물학적 유해인자의 중요성이 강조되고 있다. 실내에 거주하는 사람들이 건물과 관련하여 감염(infection), 독성물질에 대한 질병 반응(toxic syndrome), 과민질환(hypersensitivity diseases) 등의 질병을 호소하며, 실내공기질과 관련하여 알려진 Sick Building Syndrome(SBS)은 그 발생원과 원인에 대한 많은 가설들이 있으나, 그 중 한 가지로 미생물의 오염으로 인한 생물학적 유해인자가 제시되고 있다. OSHA에서는 실내공기질 문제를 조사하여 그 원인에 대한 통계를 제시하였는데, 환기량의 부족(50 %), 실내공기오염물질(30 %), 외부 발생원(10%) 등이며, 오염물질의 경우는 VOCs(즉, formaldehyde), 환경성담배연기(ETS), 바이오에어로졸 등 3가지를 제시하였다.

또한 지난 10~15년 사이에 발생한 몇 건의 사건들로 인해 생물학적 유해인자의 잠재적 위험성에 대한 인식이 증가하고 있다. Legionnaire 질병을 일으킨 원인으로 생물학적 유해인자를 확인하였으며, AIDS(후천성면역결핍증)의 유행(epidemic), 생명산업과 상품과 서비스의 수단이 되는 재조합 DNA 기술의 출현은 생물학적 유해인자들에 관한 일반 대중들의 흥미와 관심을 증가시키는데 기여하였으며, 결과적으로 산업보건전문가의 활동 영역에도 영향을 주었다.

생물 안전은 1900년대 중반 군, 질병관리, 농업연구 프로그램에서 시작되었지만, 새로운 분야라고 할 수 있으며, 이에 대한 산업보건전문가의 책임은 점점 더 중요하게 되었다. OSHA의 혈중 병원균 표준이 제정되는 것을 계기로 모든 안전 및 보건업 종사자들이 생물학적 유해물질에 대해 관심을 갖게 되었다.

생물학적 유해인자는 농업, 보건의료, 생명공학, 연구와 임상실험실 등의 분야에 일상적으로 존재한다. 생물학적 유해인자는 본질적으로 화학적 독성물질, 발암물질 및 물리적 유해인자와 구별되는데 평가 및 대책 전략들을 선택하고 적용하는 것뿐만 아니라 그 위험성을 평가하는데 있어서 차이점이 있다. 그럼에도 불구하고 산업보건 모델인 예측, 인식, 평가, 개선을 적용할 수 있다.

위험성 평가와 생물학적 유해요인의 노출 평가는 화학적 및 물리학적 유해인자의 평가와 유사하지만 평가에 사용되는 방법에 있어서는 차이점이 있다. 생물학적 유해인자의 시료에 대한 공기 시료 포집이나 스크린 방법은 생물학적 유해인자의 잠재적 노출을 평가하기 위한 전형적인 방법은 아니다. 오히려 작업자로부터 채취한 임상 시료가 잠재적인 노출의 원인 인자를 파악하기 위해 채취되고 있다. 이러한 결과를 특정 유기체에 대한 bulk 혹은 wipe시료와 비교 평가한다.

비록 생물학적 유해인자에 대한 노출을 제어하는 기법은 유사하지만, 생물학적 유해인자에 대한 개인보호구(PPE)의 사용은 다른 유해인자의 대책과는 달리 가장 낮은 단계가 아닌 가장 기본적인 보호 수단이다. 흡입, 직접적인 접촉과 피부 조직 파괴에 의한 생물학적 유해인자에의 노출은 중요한 전과 경로이며, PPE는 생물학적 유해인자에 직접적으로 노출되는 것으로부터 중요한 첫 번째 방어를 위한 보호막을 제공한다.

숙련된 생물학적 안전 전문가가 있지만, 그 수가 많지 않고 많은 기관에서 그러한 전문가를 전임으로 필요하지 않기 때문에 결과적으로 산업보건전문가가 생물학적 유해인자와 관련한 불만들에 대해 답을 제시하고, 관련 문제들을 조

사하는 건수가 많아지고 있다. 이 글에서는 생물학적 유해요인에 대한 성질과 생물학적 안전 개념들을 살펴보고 효과적인 생물학적 안전 프로그램의 구성 요소들을 기술하고 이 개념들을 어떻게 산업에 적용하는지와 바이오에어로졸에 대한 실내공기질 평가와 환경모니터링에 있어서 생물학적 유해인자의 역할에 대해 살펴보도록 하겠다.

2. 생물학적 유해인자의 종류

생물학적 유해인자를 바이러스(Viruses), 세균(Bacteria), 곰팡이(Fungi), 진드기(Mites), 원형동물(Protozoa), 바퀴벌레(Cockroach), 식물, 동물 등으로 나눌 수 있다. 미생물의 형태는 Fig. 1에서 보는 것처럼 다양한 모습이다. 보건학적으로 중요한 각각의 특징과 인체영향, 생활사, 실내공기 오염원 등을 정리하면 다음의 표 1과 같다.

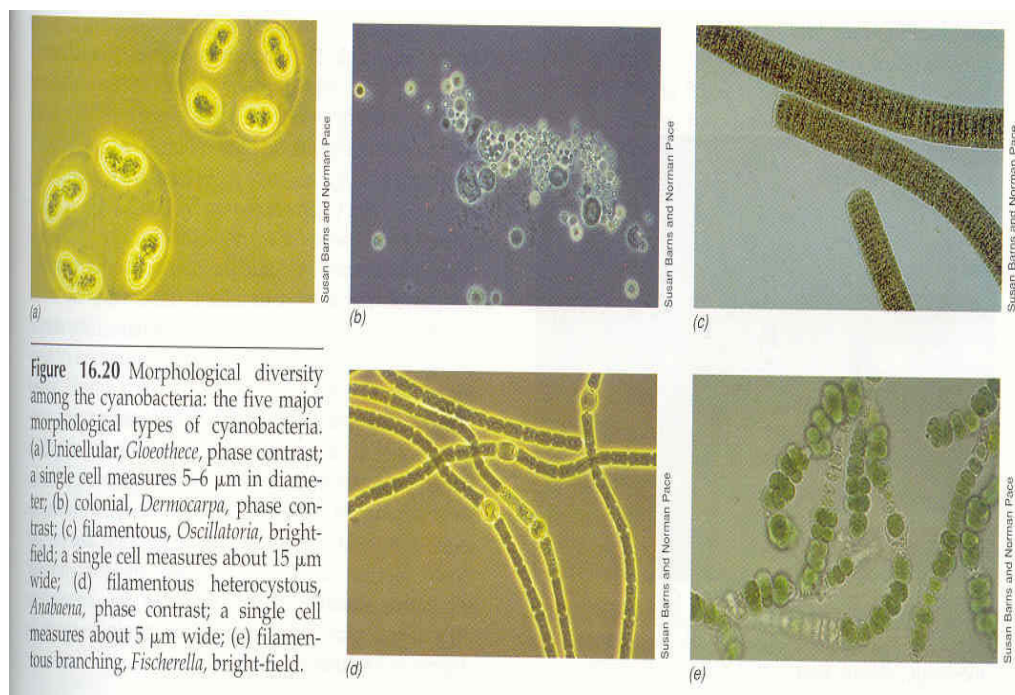


Figure 1. Diversity of the forms of Microorganism.

Table I . Characteristic and Sources of Common Bioaerosol Components

Living Source	Airborne Unit	Examples or Sources	Primary Human Effects	Lifestyle	Principle Indoor Sources
Viruses	Organisms	Influenza	Respiratory infection	Obligate parasites	Human hosts
Bacteria	Organisms	Legionella	Pneumonia	Facultative parasites	Cooling tower, Hot water sources, hot damp surfaces
	Spores	Thermoactinomyces	Hypersensitivity pneumonitis(HP)	Saprophytes	Stagnant water reservoirs
	Products	Endotoxin Proteases	Fever, chills Asthma	— —	Industrial processes
Fungi	Organisms	Sporobolomyces	Hypersensitivity pneumonitis(HP)	Saprophytes	Damp environmental surfaces
	Spores	Altemaria	Asthma, rhinitis Systemic infection	Saprophytes	Outdoor air, damp surfaces
	Spores	Histoplasma	Asthma, rhinitis Cancer	Facultative parasites	Bird droppings
	Antigens	Glycoproteins	Headaches,	—	Outdoor air
	Toxins	Aflatoxins	mucous	—	Damp surfaces
	Volatiles	Aldehydes	membrane irritants	—	Damp surfaces
Protozoa	Organisms	Naegleria	Infection	Facultative parasites	Contaminated water reservoirs
	Antigens	Acanthamoeba	Hypersensitivity pneumonitis(HP)	—	Contaminated water reservoirs
Algae	Organisms	Chlorococus	Asthma, rhinitis	Autotrophic ^A	Outdoor air
Green plants	Pollen	Ambrosia (ragweed)	Asthma, rhinitis	Autotrophic ^A	Outdoor air
Arthro-pods	Faces	Dermatophagoides (mites)	Asthma, rhinitis	Phagotrophic ^B	House dust
Mammals	Skin scales	Horses	Asthma, rhinitis	Phagotrophic ^B	Horses
	Saliva	Cats	Asthma, rhinitis	Phagotrophic ^B	Cats

^A Autotrophic = synthesizes carbohydrates^B Phagotrophic = ingests food

1) 바이러스(Virus)

바이러스는 DNA(Deoxyribonucleic Acid)나 RNA(Ribonucleic Acid)가 단백질 외투에 싸여있는 간단한 유기체이다. 바이러스는 다양한 형태(그림 2)로 존재하며, 생식에 대한 내부 기작이 없어서 숙주세포에 유전물질을 주입하여 정보전달을 통해서 바이러스 입자를 만들어 낸다. 즉 바이러스는 항상 절대적인 세포내부 기생유기체이며 세포 외부에서는 자유롭게 자라지 못하며 공기를 포함하여 환경 감염원에서 짧은 기간 생존할 수 있다.

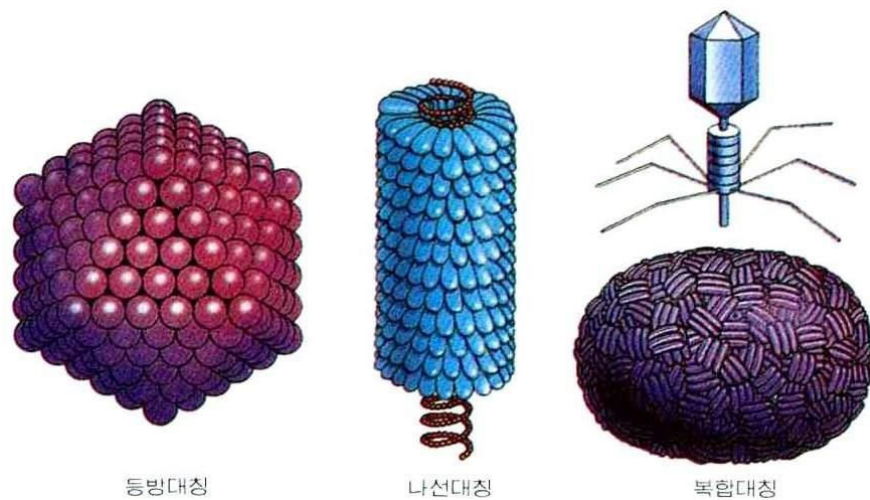


Figure 2. Typical Forms of Virus.

2) 세균(Bacteria)

세균은 상대적으로 단순한 세포성 유기체로 핵이 존재하지 않아서 원핵세포라고 한다. 유전정보물질인 DNA가 막으로 둘러싸이지 않고, 분자 상태로 세포질 내에 존재하며, 미토콘드리아 등의 세포소기관이 없다. 세균 세포는 세포벽으로 둘러싸여 있으며, 이들 특징에 따라 그람음성균(그람 염색 시 쉽게 탈색이 됨, lipopolysaccharide 성분)과 그람 양성균(peptidoglycan) 및 Mycolic acid가 많은 acid-fast 세균으로 크게 분류할 수 있다. 세균 중 thermophile은 고온(56℃)에서 성장할 수 있으며 저항성이 강한 포자도 생성한다. 숙주 외에

서는 재생할 수 없는 약간의 병원성 세균도 있지만 대부분의 세균은 세포상태로 자유롭게 생활한다. 세균은 일반적으로 $1\mu\text{m}$ 이하로 매우 작으며 세포 자체로 공기 중에 비산할 수 있으며 물방울에도 존재할 수 있다. 대부분의 세균은 매우 조그마한 공(sphere) 모양의 둥근 것, 막대형, 구부러진 막대형, 나선형, 가지친 사상형 등이 있다(그림 3).

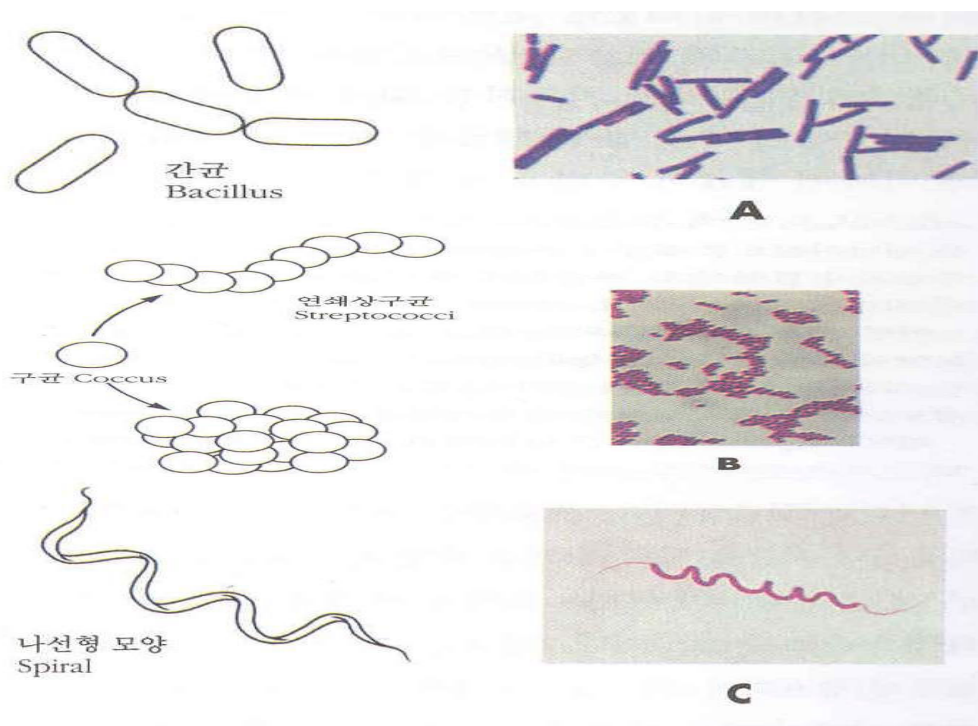


Figure 3. Typical forms of Bacteria

○ 생활형태와 대사(Lifestyle and Metabolism)

대부분의 세균은 자유롭게 생존하고 필요한 유전정보나 에너지생산 그리고 성장을 위한 생합성체계를 가지고 있다. 영양원은 무기물에서부터 복잡한 유기 화합물까지 다양하다. 세균은 대부분 기생해서 살지만(saprobic), 살아있지 않은 복잡한 유기물을 영양원으로 이용하기도 한다. 리케차 등은 기생

세균으로서 병원성을 일으키기 위해서 살아있는 숙주에 기생한다. 일부 세균은 독립영양(autotrophic)으로서 무기물로부터 유기물을 합성하지만 식물처럼 활발하지 않다. 세균이 자라기 위해서는 영양원과 함께 알맞은 온도와 습도 및 산소가 필요하다. 산소를 필요로 하는 세균을 호기성 세균, 산소 없이도 살 수 있는 세균을 혐기성 세균이라 한다. 세균은 온도조건에 따라 3개 그룹으로 분류된다. 10℃ 이하에서 잘 자라는 것을 저온성세균(Psychophilic), 50 ~ 55℃에서 잘 자라는 것을 고온성세균(Thermophilic)이라고 하며, 그 중간 온도에서 자라는 것을 중온성세균(Mesophilic)이라고 한다.

○ 생태(Ecology)

현재까지 2,000여 종이 알려져 있다. 세균은 땅속, 물속, 공기 속, 동물의 표면이나 몸 속, 식물의 표면 등 실내외 어느 곳이나 영양원이 있으면 기생한다. 엽록소가 없기 때문에 광합성을 할 수 없다. 실외환경에 존재하는 대부분의 세균은 살아있는 식물의 표면으로부터 떨어져 나온다. 레지오넬라질환(Legionnaires' disease)을 일으키는 레지오넬라 세균은 자연계에 있는 물이나 토양에서 발견된다. 냉방장치의 냉각수, 공조시설의 가습기 등에서 오염되어 배기구를 통해서 실내나 실외로 배출되기도 한다.

일반 환경에서도 세균은 사람의 피부, 호흡기계로부터 (떨어져) 나온다. 말하거나 기침하거나 재채기할 때 침이나 호흡기 입자(droplet, 방울)들을 배출할 때 나온다. 이들이 감염되어 질환을 일으키기도 한다. 실내에 설치된 오염된 가습기(Humidifiers)에서도 나온다. 가습기의 오염된 물에서 번식된 세균이 공기 중으로 발생된다. 가습기와 같이 정체된 곳에 보관된 물이나 순환수를 사용하는 곳에서는 필연적으로 세균이 번식할 수 있다. 레지오넬라 종(*Legionella* spp.)은 미지근하고 뜨거운 물에서 번식하며 물과 접촉된 고체표면에 형성된 생물막(biofilm)에서 산다. 생물막은 일종의 세균 군락(community)이다. 특별히 세균과 원생동물, 곰팡이 등이 우점종으로 번식된 것이다.

인체에 유해한 미생물 중에는 세균, 바이러스, 리케차 등이 있는데, 감염증의

대부분은 세균으로 인한 것으로 모든 장기가 감염될 수 있다. 원래 인체에 병원성 세균이 침입하면 기본적인 면역계에서 방어하지만, 효과적으로 병원성 세균을 제거하지 못할 경우에 인체에 질환이 나타난다. 감염된 장기에서는 열이 나고, 염증 반응이 생기며, 세균의 수가 증가한다. 세균 중에는 질환을 일으키지 않는 것도 있다. 예를 들면 대장·피부·구강·질 등에는 정상 균총이 있는데, 병을 일으키지 않을 뿐 아니라 인체 내에서 이로운 작용을 한다.

3) 곰팡이(Fungi)

진핵생물(eukaryote)은 세포의 유전자가 핵막으로 둘러싸인 동그란 핵이 있는 즉, 진정한 핵을 가진 생물이라고 할 수 있다. 단세포, 동물, 남조류를 제외한 식물, 곰팡이가 여기에 해당된다. 곰팡이는 엄밀한 의미에서는 생물학상의 호칭은 아니고 유기질이나 그것을 함유한 것의 표면에서 돌아난 미생물이나 그 군집을 말한다. 대부분의 곰팡이류의 기본구조는 기다란 실 모양을 하고 있어 균사라고 한다. 곰팡이는 균사가 서로 섞여 엉클어진 것이다.

곰팡이는 혼자서 새로운 개체를 만들기도 하고(무성생식), 다른 곰팡이와 만나서 자식을 생산하기도 한다(유성생식). 일반적으로 무성생식은 씨(포자)가 다른 것과 합체하지 않고 단독으로 발아하고 물이나 바람을 통하여 수많은 자손을 번식시킨다. 포자가 실내로 들어와서 축축한 곳에 떨어지면 그곳에서 쉽게 자라고 번식한다. 실외에서 포자는 쉽게 실내로 유입될 수 있다. 실내는 곰팡이의 영양원이 되는 각종 물질(나무, 종이, 카펫, 음식 등)이 매우 풍부하다. 따라서 실내에서 지나친 습기 등이 제거되지 않고 남아 있을 때 곰팡이가 쉽게 자라게 된다. 실내에 번식된 모든 곰팡이나 곰팡이포자를 제거할 간단한 방법은 없다. 성장을 억제하는 가장 효과적인 방법은 습기를 적정하게 관리하는 것이다. 이에 비해 버섯은 유성생식을 통해서만 번식한다. 다른 포자와 만나 합쳐져 새로운 개체로 성장한다.

곰팡이는 주로 acetyl-glucosamine polymers와 $\beta(1-3)$ d-glucan으로 구성된 복잡한 세포벽을 갖는다. 곰팡이는 대부분 필라멘트 형태이며 생활사 중 저항성이 뛰어난 포자를 형성하며 그 크기는 보통 $3 \sim 200 \mu\text{m}$ 이지만 대부분 $10 \sim 20$

μm 정도이다. 상기도에 영향을 미칠 수 있는 크기이며 공기 중에 오래 떠 있기도 한다. 면역체계에서 상기도에서 과민성알러지를 유발하는 것도 대부분 포자이다. 곰팡이는 폐렴, 비염, 천식 등을 유발하는 것으로 알려져 있다.

곰팡이에 대한 가장 일반적인 분류(classification)는 눈에 보이는 상태에 따른 것이다. Fungi는 균류로서 분류학상의 명칭이다. 보통 아래의 것들도 곰팡이로 번역된다.

- Mold : 잡초처럼 원하지 않는 곳에 자라는 모든 곰팡이를 말한다. 이것은 분류학상의 이름은 아니고 일반적인 의미로서만 쓰인다.
- Mildew : 모직물(fabrics), 창턱, 문지방, 목욕탕 타일 등에서 자라는 곰팡이다. 또는 식물에서 질병을 초래하는 것으로 언급하기도 한다.
- Yeast(효모) : 단세포를 가지고 있는 것으로 군사체를 형성하지 않는 것이다. 맥주를 발효시키는 미생물이 효모이다.

○ 생활형태와 대사

곰팡이는 종속영양생물(heterotroph)이다. 식물과 같이 이산화탄소와 물로부터 그들 자신의 탄수화물을 만드는 독립영양생물이 아니다. 곰팡이는 클로로필(엽록체)도 없고 세포벽의 성분도 셀룰로스가 아니고 키틴질이다. 따라서 곰팡이는 식물이 아니다. 유기물이 영양원이다. 외부 탄소원은 당분이나 탄소를 함유한 물질 등이다. 실내환경에서 일반적으로 발견되는 곰팡이 영양원(먹이)은 벽지와 종이의 셀룰로스 그리고 식물류 등(다당류), 동물의 피부에서 캐라틴(단백질), 나무의 목질소인 리그닌(복잡한 방향족 중합체)들이다. 곰팡이는 복잡한 유기화합물을 글루코스로 분해하여 흡수한다. 이 과정에서 각종 VOC를 발생하고 이들이 냄새를 유발한다. 또한 곰팡이는 인, 황, 망간과 함께 복합체 형태의 질소를 필요로 하기도 한다.

곰팡이는 영양원의 특성에 따라 부생성(Saprobies, 죽은 생물에서 영양분을 얻는 종류)과 기생성(Parasitic, 살아있는 생물에서 영양분을 얻는 종류)으로 구분된다. 대부분의 곰팡이는 부생곰팡이이다. 생물의 사체, 배출물 등을 영양원으로 한다. 부생성 곰팡이는 대부분의 자연계의 호기성분해와 영양물질의 재

순환(recycle)을 담당한다. 이러한 곰팡이는 죽어있는 식물체의 표면이나 토양의 표면에 풍부하다. 실내에서 자라는 대부분의 곰팡이는 *Aspergillus*(누룩곰팡이)와 *Penicillium* spp.이다

기생곰팡이는 성장하고 증식하기 위해서 특정 살아있는 숙주를 필요로 한다. 이러한 곰팡이는 인공배지에서 자라지 않을 뿐만 아니라 그들의 살아있는 특정 숙주가 있어야만 자란다.

○ 생태

지구상에서 곰팡이로부터 자유로운 환경은 거의 없다. 곰팡이 생존과 성장에 영향을 미치는 주요 요인은 물, 온도, 빛, 영양분이다. 환경적인 요인에 대하여 살펴보기로 한다. 곰팡이는 환경적인 요인에 절대적 혹은 상대적으로 반응한다. 예를 들면 모든 곰팡이는 성장할 수 없는 최소와 최대의 온도조건이 있다. 극단의 온도근처에서의 성장은 매우 느리고 최적조건에서는 최대가 된다. 물의 이용 가능성, 영양원의 농도수준, 형태 그리고 빛과 대기에서도 마찬가지다. 이러한 환경적인 요인은 서로 상호작용하기 때문에 어떤 단일 요인의 최적조건이 성장에 절대적으로 영향을 미치지 않는다는 의미이다. 따라서 요인들의 물리적, 생물학적인 연관성이 모두 고려되어야 한다. 따라서 어떤 곰팡이에도 환경요인에서 단일 최적조건은 없다는 의미이다. 그러나 사람들이 생활하는 환경은 대부분 곰팡이가 성장하는 적절한 조건이 된다. 영양분도 충분하고 환경(온도, 빛, 습기 등)도 적절하다고 할 수 있다. 다만 지나치게 번식할 수 있는 조건을 관리하는 것이 중요하다.

- 습기(moisture)

물의 이용가능성은 실내환경에서 미생물의 성장에 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. 물의 이용가능성은 물활성도(water activity, A_w)로 표현하는데 이것은 유기체가 성장하기 위해서 사용할 수 있는 기질(substrate)내에 들어있는 물 측정치이다. 대부분의 곰팡이는 0.9이상이다. 어떤 곰팡이의 A_w 는 온도와 이용 가능한 영양원의 형태와 양에 따라 달라진다. 즉 동일한 종이라 해도 서로 다른 환경에서 성장과 번식은 크게 달라진다. 예를 들면 따뜻한 벽과 환기

장치의 냉각장치에서 곰팡이 번식은 서로 크게 차이가 난다.

- 온도(Temperature) : 유기체는 성장을 위한 최적(optimum), 최소, 최대의 온도조건이 있다. 곰팡이도 온도조건에 따라 3개의 그룹으로 분류할 수 있다. mesophilic(중온성, 15-30℃, 대부분의 곰팡이가 자라는 적정 조건), thermophilic(고온성, 35-50℃) 등이며, 채취한 곰팡이를 배양하는 온도조건(35℃)에 활용한다.

- 빛(light) : 빛은 주로 곰팡이의 포자형성에 영향을 미친다. 많은 곰팡이가 포자생성을 촉진하기 위해서는 빛에 노출되어야 한다.

4) 원생동물(Protozoa)

단일 세포로 된 동물로 땅이나 물속에서 흔히 관찰된다. 많은 원생동물이 절대 기생성이지만 공기중으로 전파되어 질병을 일으키지는 않는다. 원생동물은 상대적으로 커서 에어로졸을 형성하지는 못하지만 큰 방울 형태로 공기중에서 전달된다. 또한 수용성의 물질을 생산하여 공기중으로 작은 입자를 생성할 수도 있다. 그림 4는 아프리카 수면병을 야기하는 기생생물인 Trypanosoma의 구조를 보여준다.



Figure 4. Example of Parasite - Trypanosoma

5) 절지동물(Anthropoids)

바퀴벌레와 먼지 진드기가 여기에 속하며, 공기질 측면에서 중요하다고 할 수 있다. 바퀴벌레는 곤충으로 지구상에서 가장 성공적인 유기체라고 할 수 있으며 지구 어느 곳이나 분포하고 있으며 사람의 거주지에 집락을 이루며 놀라운 속도로 번식한다. 집락을 이룰 때는 물과 영양분이 중요한 요소이다.

먼지 진드기는 거미와 관련이 있으며 사막에서는 찾기 힘들지만 도처에 분포하고 있다. 습도가 60% 이상일 때 집의 먼지에서 집락을 이룰 수 있다.

바퀴벌레와 진드기는 그 자체가 커서 공기중으로 부양하지는 못하지만 단백질이나 단백질이 포함된 배설물을 공기중에 부양시켜 영향을 줄 수 있다.

6) 새와 포유동물

척추동물은 비듬과 같은 형태의 단백질, 소변, 침, 혈액 성분을 환경 중으로 에어로졸 형태로 배출시킨다. 드물게는 감염성 유기체도 배출하여 고농도일 경우 사람의 질병을 야기시킬 수 있다.

7) 식물(Plant)

식물은 다중 세포 유기체로 CO₂로부터 탄수화물을 만들고 세포벽을 가지고 있다. 식물은 15~25 μ m 크기의 화분과 같은 많은 앨러젠을 생성하며 긴 시간동안 저항성을 가질 수 있다. 고무나무의 수액인 Latex의 경우 상업적으로 이용되지만 마찬가지로 중요한 앨러젠을 함유하고 있다.

3. 바이오에어로졸의 건강 영향

생물학적인자의 노출로 인해 초래되는 건강상의 장애는 감염성질환, 과민성질환, 호흡성열병(Inhalation fever) 등으로 나눌 수 있다. 한편 미생물이 유기물을 분해하는 과정에서 발생하는 MVOC(microbial VOC)에 의한 장애도 있다. 감염에 따른 질병의 형태와 감염인자 및 감염원은 다음 표 2와 같이 정리할 수 있다.

Table 2. Disease Types, Agents of Infections, and Reservoirs

type of Disease	Agent	Disease	Reservoir(s)
Contagious disease	influenza virus	influenza	infected people
	measles virus	measles	infected people
	Mycobacterium tuberculosis	tuberculosis	infected people
Virulent environmental infection	<i>Histoplasma capsulatum</i>	histoplasmosis	wet soil enriched with bird droppings
	<i>Coccidioides immitis</i>	coccidioidomycosis	dry soil (deserts)
	<i>Legionella pneumophila</i>	pontiac fever	hot water systems, cooling towers, etc.
Opportunistic environmental infections	<i>Legionella pneumophila</i>	Legionnaires' disease	hot water systems, cooling towers, etc.
	<i>Mycobacterium avium</i>	atypical tuberculosis	natural water reservoirs
	<i>Cryptococcus neoformans</i>	cryptococcosis	dry bird droppings
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	aspergillosis	self-heating plant-based organic matter

(1) 세균

1) 감염성 질환

세균은 감염성질환의 인자로서 가장 잘 알려져 있다. 세균은 음식물이나 물의 소화, 호흡분비물이나 대변의 직접적인 접촉, 이 물체나 동물을 매개로 한 접촉 등 다양하게 이루어진다. 이 중에서도 호흡기를 통한 감염이 일반적이다. 감염성 에어로졸은 사람(TB), 환경(*Legionella* spp.), 또는 다른 동물(탄저병 등)로부터 방출된다.

○ 탄저병 : 급성감염성 질환으로 포자를 형성하는 *Bacillus anthracis*라는 세균에 의해서 초래된다. 이 세균에 감염되거나 오염된 동물에 접촉하면서 발생된다. 뉴욕 9.11테러이후 생물학적 전쟁 인자로 알려졌다. 탄저병감염의 형태는

피부, 호흡, 소화기를 통한 것이다. 증상은 노출경로에 따라 다르다. 피부노출과 관련된 가장 일반적인 증상은 가려움증이나 열이 나고 검은 딱지가 생기는 것이다. 호흡기노출로 인해 생기는 증상은 열, 가슴통증, 호흡곤란이고 소화기계를 통한 노출 후 나타나는 증상은 메스꺼움, 구토 그리고 설사이다.

○ Legionnaire's disease : *Legionella* 세균의 감염으로 인한 폐질환이다. 이 세균은 자연이나 인공으로 만든 수질계통에서 상대적으로 흔하게 존재한다. 유원지수영장, 증발응축기, 냉각탑 등이 Legionnaire's disease의 주요 발생근원이다. 가장 일반적인 공기중에서 세균에 감염된 질환이다. 감염된 사람들 중의 1-5 %정도가 질병을 발생시키고 치명율은 15%를 초과한다. 오염된 물에 노출로 인해 생기는 이 질환은 노출의 형태와 정도, 사람의 건강상태 등에 영향을 받는다. 이 질환은 1976년에 미국 필라델피아에 있는 Bellevue Stratford 호텔에서 회의에 참석한 외인부대의 대원(Legionnaire) 182명에게서 발생되었다(이 중 2명은 치명적). 이러한 세균은 주로 빌딩에서 공조시설의 오염된 냉각탑이나 증발응축기, 샤워꼭지, 슈퍼마켓 야채 미스터 등에서 발견된다.

2) 과민성 질환(Hypersensitivity diseases)

Endotoxin과 관련이 있으며 천식, 건초열병(hay fever) 등이 나타난다.

3) Toxic effects

Exotoxin은 세균이 내부적(내재적)으로 생산하여 환경으로 방출하는 것이다. 그러나 공기중에서는 아직 보고되지 않았다.

(2) 곰팡이

1) 감염성 질환

감염이란 것은 생물학적인자가 숙주인 인체에 들어와 번식하여 질병을 초래하는 것이다. 또한 감염성인자를 다른 사람에게 전파하는 것도 포함된다.

2) 과민성 질환

과민성 질환은 특정 면역반응을 자극하는 항원(antigens)에 노출되어 발생된

다. 예로서 비염(rhinitis)과 부비동염(sinusitis), 천식, 과민성폐렴 등이다.

○ Allergic reactions

약 60종 이상의 곰팡이 종이 Allergy성 비염(rhinitis)과 천식을 초래하는 allergen을 생산하는 것으로 알려져 있다. Allergy성 비염은 Hay fever(건초열병)이라고도 한다.

○ Hypersensitivity Pneumonitis

Hypersensitivity Pneumonitis(HP, 과민성폐렴)는 항원특정 면역글로브린인 IgG와 관련이 있다

3) Toxic effects

○ Glucans : 대부분 곰팡이의 세포벽이다. 건강상의 영향은 엔도톡신과 같은 자극성 영향을 가지고 있지만 엔도톡신 보다는 영향이 적다. 먼지 중에 들어있는 Glucan에 노출되면 BRS와 연관성을 나타낸다.

○ Mycotoxins : Mycotoxins는 소화기계, 호흡기계, 피부접촉 등을 통해서 여러 가지의 건강상의 영향을 나타낸다. 건강상의 영향은 점막자극, 피부발진, 어지러움, 졸림, 면역억제, 기형출산 그리고 암 등이다. Mycotoxin과 관련된 거의 모든 문헌은 소화기계흡수로 인한 장해를 언급하고 있다.

4) Volatile Organic Compounds(VOC)

곰팡이는 자라면서 그리고 기질을 분해하면서 VOC를 생성한다. VOC 화합물의 일부는 특징적인 냄새를 내기도 한다. 이러한 냄새는 불쾌한 것이다. VOC 노출이 BRS와 연관이 있다. 그러나 임상적인 질환에서 VOC의 역할은 아직 연구되지 않았다. 그러나 MVOC는 2가지 측면에서 중요하다.

첫째, 발생하는 VOC가 건강에 장해를 줄 수 있을 정도의 특정한 독성작용을 나타내는 양인지 알아보아야 한다. 높은 농도로 발생할 경우 점막자극을 초래한다. 그러나 실내환경에서의 농도는 이러한 영향은 거의 없다. 주로 두통, 주의 산만, 집중력부족, 어지러움 등 중추신경계에 영향을 미친다. 둘째, 어떤 미생물이 자라고 있는가를 알려주는 지표(marker, fingerprint)로서 기여할 수 있는지를 판단하는데 유용하게 이용되기도 한다.

4. 생물학적 유해인자의 위험성 평가

위험성 평가는 성공적인 생물학적 안전 프로그램을 실행하는 초석이 된다. 작업장 위험성 평가는 이용 가능한 정보의 질적인 평가와 정량적 자료와 과거 반복된 노출량으로부터 얻어낸 추정치를 근거로 어떤 결과의 가능성을 예측하는 노력이라고 할 수 있다. 위험성 평가의 목적은 위험성을 제거하거나 질병, 무증상 감염, 동·식물 및 환경에 유해를 끼치는 해로운 영향을 감소시킬 수 있는 제어전략을 확인하고 제시하는 것이다. 효과적인 위험성 커뮤니케이션의 목표는 관련 당사자들(사업주, 근로자, 정부)에게 예방조치를 취함으로써 위험성 수준(해로운 결과의 가능성과 정도)이 받아들여질 수 있도록 낮다는 것을 신뢰를 주는 것이다. 위험성 평가의 결과인 개선조치에 대한 제안은 조직마다, 상황마다, 평가자들마다 다를 수 있으나 각 관련 요인들을 고려하는 전체성과 시스템적 절차를 근거로 하여야 한다.

초기에는 생물학적 유해인자에 대한 위험성 평가를 화학물질과 방사선 물질과 같은 방법으로 하였다. 이후 미국 환경보호청(EPA)과 국제방사선보호위원회(International Commission on Radiological Protection), 국가방사선보호위원회(National Commission on Radiation Protection) 등에 의해 복잡하고 많은 모델들이 개발되고 이용되었다. 그러나 전염성 또는 알레르기성 생물학적 물질들은 본질적으로 화학제품 및 방사능 물질과 달라서 그 위험성을 어떻게 평가할 것인가에 영향을 주었다.

생물학적 물질들은 일반적으로 :

○ 노출에 있어 역치수준이 존재하지 않는다.

단일의 병원성 유기체는 복제가 가능하고, 어떤 경우 적절한 조건 하에서 숙주를 감염시켜 병을 유발할 수 있다.

○ 환경의 도처에 존재한다.

보통의 환경에서 병원체가 일반적으로 발견되고, 농도 자체만으로는 해롭다고 할 수 없으므로 노출 기준 개념이 적당하지 않다. 다음에서 보는 것처럼 복잡한 다양한 요소들이 있다.

○ 생물학적 경쟁에 의해 영향을 받는다.

일반적으로 2종 이상의 화학물질에 노출되었을 때 증상을 악화시키는 것(예를 들어, methylene chloride 노출은 일산화탄소 노출을 잠재 작용할 수 있음)과 같은 상승작용을 생물학적 유해인자는 나타내지 않는다. 생물학적 유해인자들은 환경에서 우점종이 되기 위해 서로 경쟁을 하고, 숙주의 몸에 침입한 후에는 면역체계나 일상적인 또는 본능적인 물질대사에 의해서 불활성화 될 수 있다. 건강한 사람에게는 비병원성 유해인자이지만 면역력이 약해진 사람의 경우는 방어기전이 덜 효과적이어서 감염되어 질병을 야기하고 심지어는 죽음을 일으킬 수도 있으며 이를 기회병원균(opportunistic pathogens)이라고 부른다.

위험성을 평가하기 위해서는 유기체와 그 산물, 숙주의 성질(즉, 면역반응이 포함되는 인체생리학), 환경조건 등을 이해하고 고려하여야 한다. 이들의 상호작용은 각각에 영향을 미치고 있는 외부 힘의 관계 속에서 고려되어야 한다. 다음 그림 5는 생물학적 유해성에 대한 위험성 평가의 주된 구성 요소들의 상호작용하는 특성을 나타내고 있다.

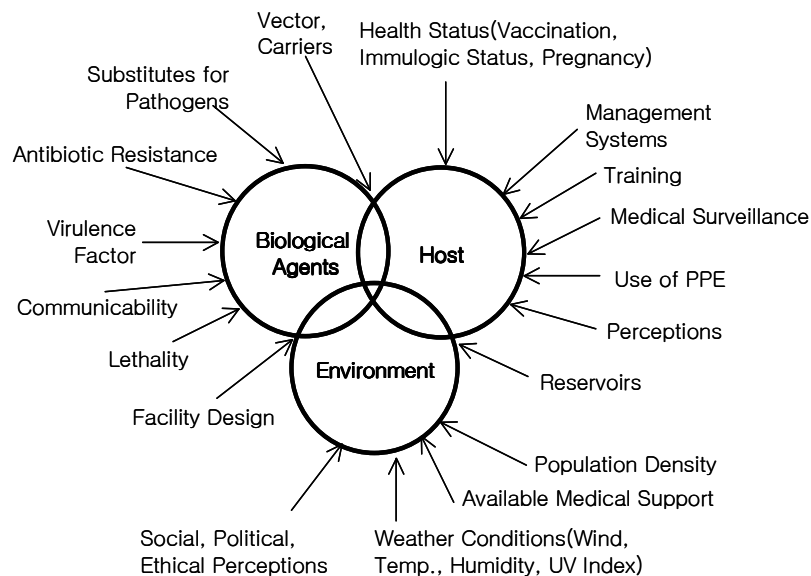


Figure5. Risk assessment involving biological agents: factors to consider.

(1) 유해인자, 숙주, 환경

생물학적 유해인자, 환경, 숙주 간의 상호작용이 질병과 손상이 일어나기 위한 필수조건은 아니다. 새로운 숙주에 감염과 질병이 일어나기 위해서는 다음과 같은 여섯 가지의 필요충분조건이 있어야 한다.

- 반드시 유해인자가 병원체여야 한다.
- 유기체의 생존과 생식을 위해서 충분한 수의 숙주가 감염원(reservoir)에 존재하여야 한다.
- 유해인자는 숙주로부터 감염원에서 이탈될 수 있어야 한다.
- 유기체는 환경을 통해 이동이 가능하여야 한다(예를 들어, 공기중, 접촉, 모기나 진드기와 같은 매개체)
- 새로운 숙주로 침입할 수 있는 입구가 존재해야 한다(예를 들어, 손상된 피부조직, 점막, 호흡, 혈액 이동)
- 새로운 숙주는 유해인자에 민감하여 쉽게 감염될 수 있어야 한다.

만약 이 조건들 중 하나라도 충족되지 않으면, 질병은 일어나지 않는다. 생물안전(Biosafety) 제어 전략은 이러한 사슬의 하나 이상의 연결고리를 파괴함으로써 질병을 예방할 수 있다. 그러므로 생물안전이란 감염 고리를 파괴된 상태로 유지시키는 예술이자 과학으로 정의될 수 있으며 이 감염의 고리는 다음 그림 6과 같다.

생물안전의 가장 중요한 측면은 감염과 질병에 대한 위험성 평가이다. 위험성을 평가할 때 고려하여야 할 첫 번째 인자는 “생물학적 인자가 어떻게 병원성이 되는 것인가?” 라는 것이다. 만일 작업 시 높은 독성, 높은 치사율, 알려진 백신이나 치료법이 없는 인자를 사용한다면, 이러한 요소들을 고려하여야 한다. 몇 가지 문헌에 따르면 병원성, 독력(Virulence) 등에 따라 생물학적 유해인자를 분류하고 있다. 최소위험인자(least hazardous agent)는 건강한 어른에게서 질병을 일으키지 않는 것이며, 중간위험인자(medium hazardous agent)는 인간의 질병과 관련이 있으나 치명적이지 않으며 대개 치료가 가능하다. 최고위험인자(higher hazardous agent)는 공기중으로의 전달 잠재성을 가진 토착성 또는 외래성 유해인자로 중증이나 죽음을 야기할 수 있는 질병을 유발할 수

있다. 가장 위험한 외래성 유해인자는 생명을 위협하는 질병을 고위험성으로 나타내고, 백신이나 치료법이 알려지지 않는 것일 것이다.

Rabies 바이러스는 감염원(감염된 침)에서 스스로를 전파시키는 유해인자의 예가 될 수 있다. 이것이 한번 방출되면 에어로졸이나 피부 조직을 경로로 숙주에 전달된다. 만약 감염원이 만들어지지 않거나 공기나 피부를 통해 전달되지 않았을 때는 숙주와의 상호작용이 일어나지 않아 감염이나 질병은 일어나지 않는다.

감염에 필요한 두 가지 남은 조건은 숙주가 특정 침입구를 통해 감염량에 해당하는 인자를 받아들이는 것과 새로운 숙주가 감염에 민감해야하는 것이다. 감염량은 콜레라와 같은 장내 병원균은 $10^6 \sim 10^9$ 개의 유기체가 필요한 반면 폐결핵을 유발하는 호흡성 유기체인 *Mycobacterium tuberculosis*(TB)의 매우 적은 1~10마리의 유기체가 필요로 한다. 감염에 필요한 넓은 범위의 숫자는 생물안전 전문가가 경험이 있어야 하며, 의미 있는 위험성 평가를 위해서 질적 요소의 이해가 필요하다는 것을 설명할 수 있는 이유가 된다.

감염 경로는 점막이나 손상된 피부에 직접 접촉하는 것과, 흡입이나 섭취피하 주사를 통한 것 등을 들 수 있다. 피부를 침입할 수 있는 *Leptospira*를 제외하면 피부는 직접적 접촉을 통한 거의 모든 생물학적 유해인자의 감염에 대해 효과적인 방어막이 된다. 피부의 보호 성질은 건조하며 약간의 산성(pH 5)을 띠는 경계막의 특성과 정상균총의 성장을 지지하여 침입하는 인자와의 경쟁 환경을 유지할 수 있도록 함으로써 가능하다. 혈중 병원균의 질병을 예방하고, TB의 흡입을 막기 위한 호흡보호구의 사용은 침입구를 제거하는 한 예가 될 수 있다.

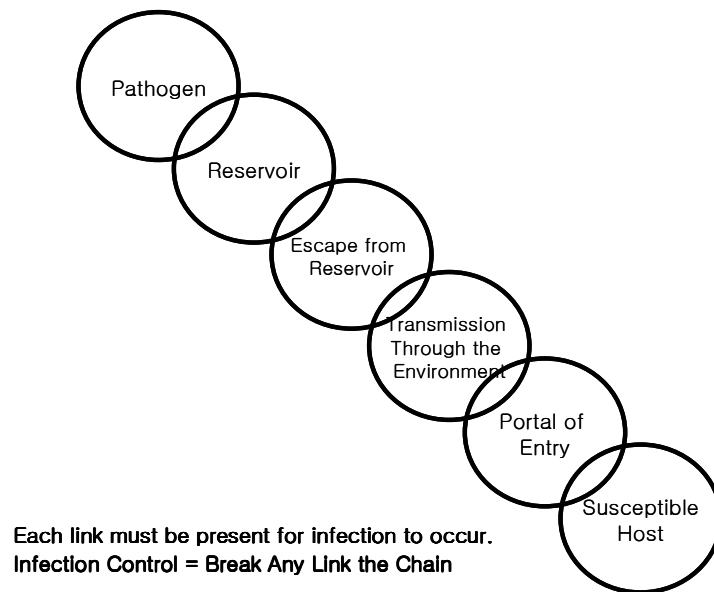


Figure 62. The chain of infection.

점액과 다른 유체(눈물, 소변, 정액, 질의 분비물, 타액)는 비뇨기 관, 비강, 인후와 호흡기, 눈에 차있는 용액이 되어 침입자의 투과를 막고 다른 곳으로 기계적으로 이동시키는 역할을 한다. 점액 역시 침입하는 유기체의 집락화를 막는 정상균총의 유지를 위한 매개물로 작용한다. 이를 투과하지 못하면 숙주의 수용체나 결합물과 상호작용하는 감염 또는 독성 작용을 나타낼 수 없게 된다.

마지막으로 만약 생물학적 유해인자가 충분한 수로 숙주에 들어가고 숙주가 민감하고, 생물학적 경쟁을 극복할 수 있다면 감염이 일어난다. 예를 들어 섭식의 경우 생물학적 유해인자 혹은 미생물은 담즙염, 펩티다아제, 트립신, 많은 효소, 침액과 위산, 소장내의 다양한 정상적 균총들과 맞닥트리게 된다. 침입하는 미생물에 대항하는 방어기전에 있어 이들의 역할은 세포의 수용체와 영양분을 두고 경쟁하는 것이다. 병원체가 침입하면 살균제인 단백질을 분비한다. 호흡기를 통해 들어간 병원체는 기관지의 섬모와 만나게 되며 구강 쪽으로 물결치는 이 섬모는 폐와 같은 잠재적인 목표 조직에 도달치 못하도록 한다.

임상 감염은 증상을 발현과 면역반응의 실체로 알 수 있다. 병원에 있는 장기 이식자, 신생아, AIDS와 관련이 있는 사람과 같이 면역력이 떨어진 사람들은 건강한 사람보다 더 민감하여 많이 감염될 수 있다. 병원의 건축과 관련된 먼지에는 *Aspergillus niger* 포자가 포함될 수 있으며, 이는 정상인의 경우 별문제가 없으나 면역력이 떨어진 사람에게는 치명상을 줄 수 있다. 위험성 평가에서는 이러한 프로젝트를 억제하여야 하며 환기시스템을 보호하고, 환자의 건강을 유지시키는 것도 고려한다.

“감염”은 명백히 징후가 나타나는 질병을 의미하는 것은 아니다. 질병은 감염된 환자에 의해 나타나는 명백한 일련의 징후에 의해 특징지어 진다. 집락화(Colonization)는 유기체가 숙주 내에서 감염하여 정착한 상태라고 할 수 있으며 임상적 증상이나 질병이 나타나지 않을 수도 있다. 예를 살펴보면 마우스에 집락을 이루는 *Staphylococcus salivarius*와 *Bacteriodaceae spp*, 피부에 집락을 이루는 *S. epidermidis*, 대장에 존재하는 *Escherichia coli*와 *Peptococcus spp.* 등이 있다. 불현성 감염에 있어 유기체는 숙주에 어떤 증상이나 증후도 나타내지 않지만 면역반응(항체의 증가 등)이 일어난다. 이에 대한 예가 TB나 CMV(Cytomegalo Virus)의 노출을 들 수 있다.

(2) 위험성 평가에 대한 외부 영향

외부영향은 위험요소로 간주 할 수 있다. 위험요소는 자연적인 조화 혹은 활동적인 위험 인자를 긍정적 혹은 부정적으로 대체한다. 긍정적 영향의 한 예로 병원체를 만나기 이전에 숙주에게 자연적 면역력을 제공하는 백신을 들 수 있으며 부정적 영향은 감염의 위험이 높은 물질을 취급하는 근로자들에 대한 면역억제제로서의 영향이다.

여기에 유해인자, 숙주, 환경의 상호작용도 외부 위험 요인이다. 그림 1은 몇 가지 외부 위험요소를 명시해 놓았다. 생물학적 유해인자는 반대의 환경에 더욱 경쟁적으로 그들 스스로를 적응시킨다. TB는 다양한 항생물질 저항성을 키우고, HIV(Human Immunodeficiency virus)는 계속되는 항원의 변화로 과학자

들의 백신과 치료제에 대한 연구를 어렵게 하고 있다. 생물학적 유해인자는 일반적으로 유해한 유전자의 제거와 함께 환경에 따라 자극받고 변화하게 된다. 예를 들어 E.Coli K12 종은 비병원성이다. 곤충 혹은 동물 매개체의 이용은 질병 위험을 증가시키거나 감소시킬 수 있다(예를 들어 모기는 황열을 매개하고, 사슴 진드기는 Lyme disease, 박쥐는 rabies를 야기한다).

위험에 대한 사회 및 정치적 인식은 순수한 과학적 관심과 역학적 증거에 우선할 수 있다. 좋은 예는 의약품 폐기물의 처리에 대한 현 상황이다. 과학적 자료에서는 가정주부와 쓰레기 매립장 근로자를 비교하여 사고나 질병의 위험이 높지 않다는 것을 보여 주지만, 위험(휴양지 해변 바닷가에서 주사기와 바늘이 발견되는 몇 건의 사고)에 대한 대중들의 인식 때문에 보건 시설로부터 감염성 쓰레기를 정치적으로 강력하게 통제하였다.

숙주의 관점(잠재적 노출 근로자)에서 훈련의 정도, 위험에 대한 인식 정도, 주의사항에 따르는 행동, 보호구 사용, 지속적인 위험에 대한 인식 등의 외부 영향은 위험성 평가 총체적인 측면에서 중요하다. 관리체계(모니터링, 피드백, 우수개선사례에 대한 보상, 결점 보완 등)에서도 위험성이 가능한 낮추어 진다는 것을 명시해야 한다.

모든 내부와 외부의 요인들을 평가하고 평가자는 위험의 수준이 받아들일 수 있는 지를 결정(완벽한 위험성 커뮤니케이션이 되도록)하도록 노력해야 한다. 이 질문은 개인적, 사회적, 경제적, 과학적 가치와 정보를 포함해야 한다. 효과적인 위험성 커뮤니케이션은 관련자(경영자, 근로자, 지역사회)들이 위험성의 수준이 예방조치를 취했을 때와 비교하여 받아들일 수 있다는 것을 확신시켜야 한다.

최종적으로 위험성 평가는 검토되어야 하고 정기적으로 최신의 것으로 바뀌어야 한다. 새로운 정보, 기술, 보호 조치들은 계속적으로 나오고 있으며, 사회적 가치는 지속적으로 진짜 위험이 바뀌지 않을지도 모른다는 것에 대해서 발전시켜 나가야 한다. 사회적 가치에 있어서 실제적인 위험성은 변하지 않았으

나 그 위험을 수용할 수 있는 사회적 수준은 바뀔 수도 있다. 이에 대한 좋은 예는 유년시절의 질병에 대한 예방 주사를 접종하고자 하는 사회적 의도를 들 수 있다. 1950년대까지 아이들을 죽음으로 몰고 간 백일해(질병 감염체는 *Bordetella pertussis* 임)라는 질병이 존재하였다. 이 감염체를 죽인 백신인 DPT(디프테리아 독소, 죽은 백일해 세포, 파상풍 독소)의 투여는 이 질병으로부터 보호할 수 있게 되었다. 약한 부작용이 드물지 않게 발견되었고 소수의 인구(0.1%)는 강한 부작용에 시름해야 했으며 드물게는 비가역적 뇌 손상이 일어나기도 하였다. 그 때는 백일해가 매우 중증이고 치명적이어서 부모들은 질병에 대한 백신 투여로 나타나는 부작용의 가능성을 더 낮게 평가하였다. 그 후 꾸준한 예방 접종으로 질병은 거의 박멸되었고, 부모들은 상대적 위험성(부작용 Vs 감염의 최소 위험)에 대해 재평가하게 되었다. 백신과 관련된 위험 수준은 같지만 사회적인 시각이 바뀌게 되었다. 소수의 사람들만이 백신을 투여 받고 있으며 백일해 같은 질병은 다시 증가하고 있다.

(1) 생물안전프로그램

생물안전프로그램의 두 가지 중요한 목적은 유해한 유기체를 효과적으로 억제하는 것과 감염을 막을 수 있도록 하는 것이다. 생물안전프로그램은 생물학적 유해인자의 분류, 이용, 농도, 특별한 작업환경에 사용되는 물질을 잘 다룰 수 있도록 지도하는 위험성 평가에 의존한다. NIH 등에서 효과적인 생물안전 프로그램을 정형화된 모델로 제시하고 있다. 일반 실험실의 생물학적 유해인자 제어 프로그램에 대한 지침서는 Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories(BMBL)와 보건의료기구 산하의 Joint Commission의 감염 제어 표준을 들 수 있다.

모든 생물안전프로그램이 효과적으로 작용하기 위해서 세 가지 요소가 요구되며, 산업보건전문가는 이 세 가지 전부 혹은 일부에서 그 역할을 수행하여야 한다. 첫째, 효과성은 최고 경영자에서 시작되며, 경영층의 위임이 필수적이다. 경영과 행정은 권한과 자원(돈, 지원, 시간, 직원, 공장 및 기구)을 제공함으로써 프로그램 운영을 가능케 하고, 프로그램의 실행을 위한 책임과 역할을 명시할 수 있다. 둘째, 프로그램의 과학적 지식 기반을 제시할 수 있는 특별한 기

술 전문가가 필요하다. 지식은 프로그램을 위해 과학적 지식토대를 제공할 수 있도록 요구된다. PIs(Principal Investigators), 생물안전위원회(BSO), 생물안전 담당자, 산업보건의, 컨설턴트 등을 통해 위험성 평가를 할 수 있고, 교육/훈련, 비상상황에 대한 계획을 세울 수 있고 사고나 재해를 조사할 수 있다. 셋째, 법칙과 절차의 실행은 의무감과 책임감이 있어야 한다. NIH에서는 BSO가 그 역할을 수행하도록 하였으나 많은 회사에서는 생산라인의 조장들이 근로자들에 대한 책임감을 가지고 표준기술을 통해 규칙을 이행하며 직접적으로 감독하고 자발적 수행토록 한다.

조직이 구성되고 경영층의 위임과 지원이 있다면 생물안전프로그램을 이행하여야 한다.

- 위험성에 기초한 프로그램의 범위를 정의하고
- 정책과 절차를 개발하고
- 업무의 기능에 기초하여 근로자를 주기적으로 교육시키고 그 작업을 모니터링하고
- 필수적이고 적절한 설비와 기구를 제공하고
- 안전하게 작업을 수행하여야 한다.

근로자는 자신의 업무나 행동에 적용되는 생물안전프로그램에 따라 수행하도록 책임감을 가져야 하며, 생물안전프로그램의 향상을 위하여 적극적으로 참여해야 하고 정책과 절차에 따르는 목표와 목적을 가지고 있어야 한다.

5. 생물안전수준과 생물안전 캐비닛

(1) 생물안전수준(Biosafety Level, BSL)

생물학적 유해인자를 분류하는 방법에는 CDC/NIH의 생물안전수준과 EEC의 Risk Group이 있다. CDC/NIH의 생물안전수준이 생물학적 유해인자를 크게 4가지로 분류한 방법이 가장 일반적으로 통용되고 있다. 다음 표 3에 생물안전수준에 따른 작업지침을 나타낸다.

1) 생물안전수준 1(Biosafety Level 1, BSL1)

BSL1은 가장 낮은 단계의 유해인자로 위험성이 낮고 건강한 어른에게서 질병을 일으키지 못한다. 예를 들어 비포자성 *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis*, *E. coli* K12가 이에 속한다. BSL1에 대한 대책은 단지 표준미생물학적 절차(Standard Microbiological Practices)가 요구되며, 특별한 기구를 필요하지는 않는다. 작업은 개방된 작업대에서 진행하며 2차적 보호를 위해서 싱크대가 존재한다. 유리창은 스크린으로 개방할 수 있으며, 책상과 작업대는 항상 청결이 유지되어야 한다.

2) 생물안전수준 2(Biosafety Level 2, BSL2)

BSL2 인자는 인체에 질병을 유발할 수 있으며, 이 질병은 중간 정도의 심각성을 갖으며 예방적 또는 치료가 가능하다. 여기에는 세균(*Salmonella*, *Shigella*, *Legionella*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus*), 곰팡이(*Cladosporium*, *Cryptococcus neoformans*), 기생인자(*Coccidia*, *Cryptosporidium*, *Giardia spp.*, *Trichinella spiralis*), 바이러스(hepatitis A, B, C, D, E, 대부분의 Poxviruses, rabies virus)가 해당된다.

Table 3. Large Scale Guidelines Summary

Criteria	Containment Level ^a			
	GLSP	BL1-LS	BL2-LS	BL3-LS
Formulate and implement institutional codes of practice for safety of personnel and adequate control of hygiene and safety measures.	x	x	x	x
Provide adequate written instructions and training of personnel to keep the workplace clean and tidy and to keep exposure to biological agents at a level that does not adversely affect health and safety of employees.	x	x	x	x
Provide changing and hand-washing facilities as well as protective clothing, appropriate to risk, to be worn during work.	x	x	x	x
Prohibit eating, drinking, smoking, mouth pipetting, and applying cosmetics in the workplace.	x	x	x	x
Release of aerosols during sampling, addition of materials, transfer of cultivated cells, and removal of material, products, and effluents from the system is				
minimized by work practices and procedures	x			
minimized by engineering controls		x		
prevented by engineering controls			x	x
Internal accident reporting	x	x	x	x
Emergency plans required for handling large losses of cultures	x	x	x	x
Limited access to the workplace		x	x	x
Viable organisms should be handled in a system that physically separate the process from the external environment(closed system or other primary containment)		x	x	x
Culture fluids are not removed from the closed system until organisms are inactivated.		x	x	x
Minimized the release of untreated, viable exhaust gases.		x		
Prevent the release of untreated, viable exhaust gases.			x	x
Closed system is not to be opened until sterilized by a validated procedure.		x	x	x
Inactivate waste solutions and materials with respect to their biohazard potential.	x	x	x	x
Medical surveillance			x	x
Prevent leakage from rotating seals and other penetrations into the closed system.			x	x
Validate the integrity of the closed containment system.			x	x
Closed system shall be permanently identified for record-keeping purposes.			x	x
Universal Biosafety sign to be posted on each closed system.			x	x
Access to workplace is restricted.		x	x	x
Access to the controlled area is restricted.				x
Closed system to be kept at as low pressure as possible to maintain integrity of containment features.				x

^a GLSP = good large-scale practice; BSL1-LS = large-scale Biosafety Level 1; BSL2-LS = large-scale Biosafety Level 2; BSL3-LS = large-scale Biosafety Level 3

유입될 수 있는 경로는 피하주사, 섭취, 점막과의 집적적인 접촉 등이다. Aerosol에 노출되는 것은 자연에서는 극히 드물지만 실험실 조건에서는 가능하다. 만약 작업 시 이 요인들을 튀게 하거나 입자상물질로 된다면, Class I이나 II의 생물안전 캐비닛(Biological Safety Cabinet)이 필요하다.

BSL1 기준에 추가적으로 행정적 대책(출입 제한, 생물안전지침서, 의학적 감시, Biohazard 게시 그림)이 요구되며(그림 7), 또한 개인보호구(Personal Protective Equipment, PPE)가 사용되어야 하며, 폐기물에 의한 재 오염에 대해서는 멸균기를 사용하여야 한다.



Biohazard Labeling

Warning labels must be affixed to containers of regulated waste, refrigerators and freezers containing blood or other potentially infectious material. The labels must include the biohazard symbol, and the word "BIOHAZARD."



Biohazard Symbol

The biological hazard warning shall be used to signify the actual or potential presence of a biohazard and to identify equipment, containers, rooms, materials, experimental animals, or combinations thereof, which contain, or are contaminated with viable hazardous agents



No Food or Drink

Food and drink may not be kept in refrigerators, freezers, shelves, cabinets or on countertops or benchtops where blood or other potentially infectious materials are present.

Figure 7. Biohazard Warning Sign

3) 생물안전수준 3(Biosafety Level 3, BSL3)

BSL3 인자는 에어로졸의 전달에 의해 감염될 가능성이 있는 토착 혹은 외래 인자이다. 예방 또는 치료가 가능하며 심각하고 치사에 이르게 할 수 있는 질병과 관련된 인자들이다. 이 요인은 개개인에는 높은 위험도를 보이나 집단에 대해서는 그 위험도가 낮다. TB, yellow fever virus, HIV(type 1, 2), Human T-lymphotropic virus(type 1, 2), *Coxiella burnetii*, *Venezuelan equine encephalomyelitis virus* 등이 예가 될 수 있다.

BSL3에 대한 대책은 특수하게 설계한 시설과 상대적으로 옆으로 넓게 배열한 containment와 BSL2에서 요구되는 조건 이상의 절차가 필요하다(모든 폐기물 및 실험복의 살균, 싱크대/멸균기/자동문/이중문 설치, 배기된 공기의 재순환 금지, 음압 유지 등). Class I이나 II의 생물안전 캐비닛과 보다 엄격하게 PPE를 착용하여야 한다.

4) 생물안전수준 4(Biosafety Level 4, BSL4)

BSL4 유기체는 위험하고 신종(exotic)의 인자로 예방 및 치료가 보통 불가능한 생명을 위협하는 질병을 야기할 수 있는 높은 위험성을 가졌다. 중증급성호흡기증(Severe Acute Respiratory Syndrome, SARS), Lassa fever virus, Ebola virus, Marburg virus, tickborne encephalitis virus complex 등이 여기에 속한다. BSL4 실험실은 아주 드물며, 대부분 정부나 국방부에서 지원하는 곳과 관련되어 있다. 이 곳의 가장 큰 특징은 봉쇄된 방안의 방, 글러브 박스, 공기가 공급되는 보호의 등이다. 만약 이러한 시설에서 장기간 작업경험 없다면 산업위생 전문가나 생물안전전문가가 BSL4 시설을 다루는 것은 적합하지 않다.

5) 혼합 생물안전수준 2+ (BSL2+)

BSL2+ 는 HIV에 대한 공포를 경감시키기 위한 특정 장소로, BSL2+ 는 BSL2와 같은 수준의 시설과 장비를 참조하고 BSL3와 같이 작업을 수행하고 조사

원에 의해 보다 많은 PPE가 사용된다.

(2) 생물안전캐비닛(Biosafety Cabinet, BSC)

미국과 유럽에서는 유해인자의 종류와 농도 수준 및 보호대상(작업자, 생산품, 환경)에 따라 각각 다른 방식의 환기시설을 적용할 수 있도록 규정하고 있으며, 특히 생물학적 유해요인의 제어를 위한 1차 수단으로 생물안전 캐비닛에 대한 설계원리, 운용방법, 성능평가 기준 등을 제시하고 있다.

BSC는 생명공학 연구에 필수적인 환기장치이며, 일반적인 화학실험실 후드와 다른 것은 생물학적 유해요인의 수준과 보호대상에 따라 크게 3등급(I, II, III)으로 분류하며 I등급에 1개, II등급에 4개, III등급에 2개 총 7종류가 있다. 생물안전수준에 다른 생물안전 캐비닛의 선정은 다음의 표 4를 참조한다.

상대적으로 낮은 유해성 잠재력(BSL1, BSL2)의 유기체에 대한 하나의 접근법이 입자상 물질 또는 동물실험이 행해질 때 일반적으로 할당된 생물안전수준이 단순히 증가할 수도 있다. 과학자들의 방법론, 시설안전과 운영체계, 물류, 실제영역, PPE를 사용함으로써 나타나는 문제점을 확인하기 위해 건조한 상태에서 수행하면 도움이 될 수 있다.

의도적으로 입자가 된 독성물질 또는 병원성 미생물과 관련된 작업은 강화된 BSL3 상황 하에서 행해져야 한다. 시설과 주된 방어벽 설계가 이어져야 하며 이것은 ClassIII 생물안전 캐비닛을 본떠서 만든 쉽게 사용할 수 있는 챔버이다. 챔버에 대한 고려사항은 살균 부위, 정화조, 수조, 장갑포트의 위치, 인간공학, 안전유리포트, 챔버를 건물배기가스에 연결시킬 때 HEPA 필터 등이다. 챔버는 서로 관련되고 음압(0.05 inches)으로 유지되어야 한다. 챔버에 대한 시험은 인식이 가능한 가스(프레온 충전제, 할로젠물질, 질소 등)를 수압력계로 2 inches로 시행하여야 하며, 시험은 시스템이 완전히 밀폐될 때까지 반복되어야 한다. BSL3을 본떠서 만들었으나 건물 배기구에는 HEPA 필터가 있어야 한다.

Table 4. Selection and Classification Biological Safety Cabinets

NSF Class	Min. Intake (ft/min)	Origin of HEPA Downflow Air	Exhaust Treatment	Contamination Dusts/ Plenums	Application
Class I	75	None. Similar to lab fume hood with filtered exhaust.	HEPA to outside.	+ or – pressure	BSL1, BSL2, or BSL3 containment.
Class II Type A	75	From common plenum.	70% recirculation within the cabinet, 30% exhausted to lab through HEPA.	+ or – pressure	Low to moderate risk biological agents. BSL1,BSL2,BSL3.
Class II Type B1	100	From separate plenum of uncontaminated recirculated inflow air.	50–70% exhausted to outside through HEPA filter and dedicated dust.	– pressure	Low to moderate risk biological agents. BSL1,BSL2,BSL3. Minute or trace amounts of toxic chemicals and radionuclides.
Class II Type B2	100	From lab air or outside air.	100% exhaust to outside through HEPA ; no recirculation within cabinet.	– pressure	Low to moderate risk biological agents. BSL1,BSL2,BSL3; toxic chemicals and radionuclides.
Class II Type B3 (similar to type A)	100	From common plenum.	70% recirculated air is exhausted to outside through HEPA Filters.	– pressure	Low to moderate risk biological agents, Minute or trace amounts of toxic chemicals and radionuclides. BSL1,BSL2,BSL3.
Class III	n/a	Hermetically sealed glovebox enclosure for confining extremely hazardous materials. Used only in maximum containment laboratories.			High risk agents. BL4.

1) BSC Class I

작업자, 외부 환경을 보호할 수 있으나 제품은 보호할 수는 없다. 일반적인 화학 흡 후드의 기류 형태와 유사하지만, HEPA 필터를 통해 배기시킴으로써 환경을 보호할 수 있다. 그림 8과 같이 필터를 거치지 않은 실내 공기가 개구면에 0.37m/s 속도로 작업영역으로 유입됨으로써 작업자를 보호할 수 있다. 건물의 공기조화시스템의 배기라인에 연결시킬 수 있으며, 필요한 경우에는 HEPA 필터를 1개 더 설치할 수도 있다(그림 8).

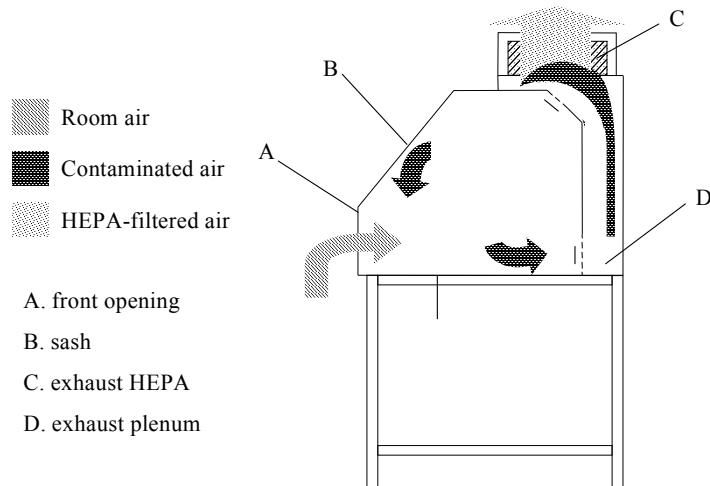


Figure 8. Class I biological cabinet construction and airflow diagram.

2) BSC Class II

무균 동물 조직, 세포 증식, 바이러스 증식과 같은 연구가 시작되면서, 제품 보호를 위한 캐비닛이 필요하게 되었으며 Class II를 통해 작업자, 환경, 제품 모두를 보호할 수 있게 되었다. 캐비닛 앞 하부 그릴을 통해 작업자 주위로 기류가 유입됨으로써 작업자를 보호할 수 있고, HEPA 필터를 거친 공기가 아래 쪽으로 Laminar flow를 형성하면서 공급됨으로써 캐비닛 작업영역을 따라 교차 오염(cross-contamination)되는 위험을 최소화함으로써 생산품을 보호할 수

있다(그림 9). HEPA 필터를 거친 후 외부로 배기되기 때문에 환경을 보호할 수 있으며, 종류에는 A, B1, B2, B3 type이 있다.

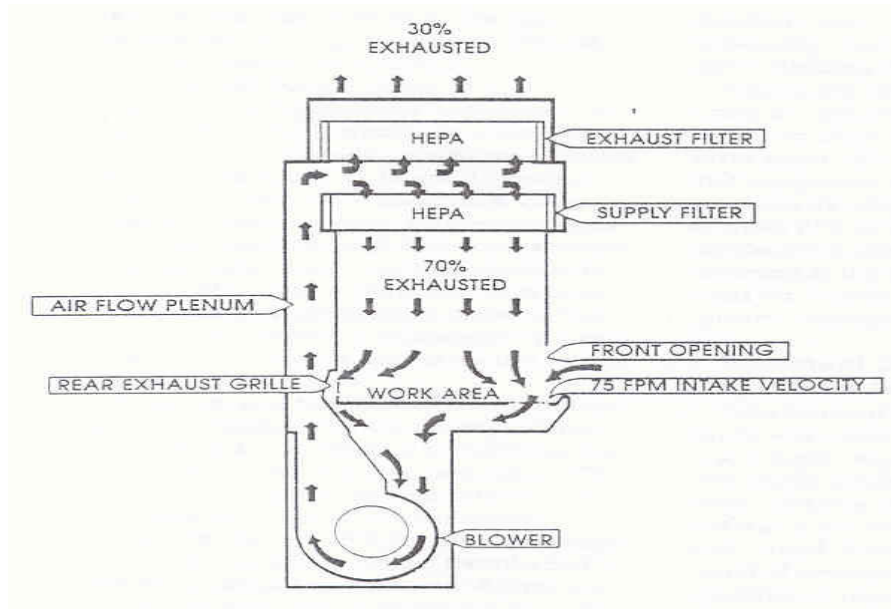


Figure 9. Class II – Type A biological cabinet construction and airflow diagram.

3) BSC Class III

Biosafety Level 4 작업에 사용할 수 있으며 환경과 작업자를 최대한으로 보호할 수 있다. 열 수 없는 점검창이 부착된 기체로 충만된 구조로 되어있어 유해인자가 유출될 위험이 없으며, 생산품이나 실험용품을 넣고 뺄 때에는 옆쪽의 이중문을 이용하거나 하부의 “dunk tank”를 이용하면 작업장을 오염시키지 않을 수 있다(그림 10). HEPA 필터를 거친 배기공기는 소각로에서 소각시킨 후 외부로 방출된다. 캐비닛 내부가 음압이 걸릴 수 있도록 독립된 배기시스템에 연결되어야 한다.

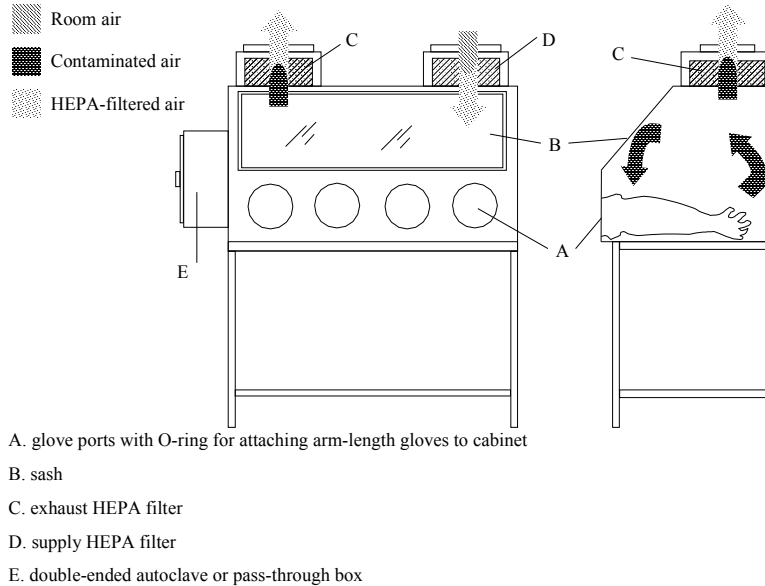


Figure 10. Class III biological cabinet construction and airflow diagram.

4) 크린벤치(Clean Bench)

제품만을 보호하기 위해 HEPA 필터를 통과한 공기를 벤치 내부로 유입시킨다. 수평, 수직 층류 크린벤치(Horizontal / Vertical Laminar Flow Clean Bench)는 엄밀하게는 생물안전 캐비닛이 아니며(그림 11), 조금이라도 작업자의 건강을 해칠 수 있는 제품을 다룰 경우에는 사용해서는 안 된다.

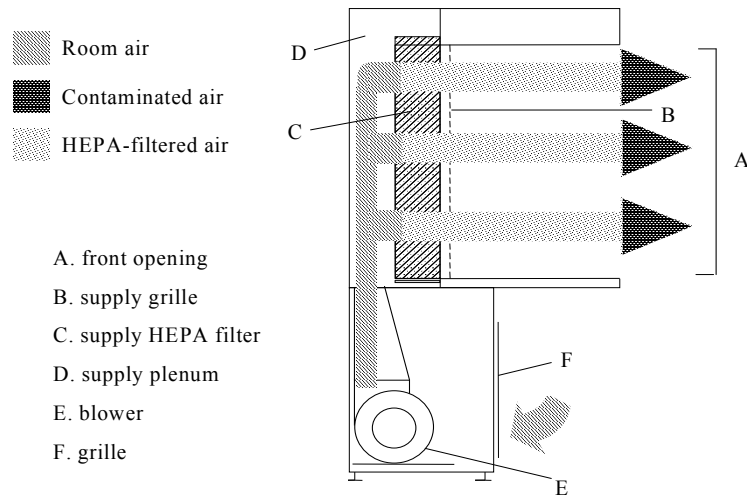


Figure 11. Horizontal Laminar Flow Clean Bench construction and airflow diagram.

5) BSC의 안전한 가동

BSC를 안전하고 효과적으로 운영하기 위해서는 다음의 사항을 숙지해야 한다.

- 압력계나 전기적 제어장치를 주기적으로 점검하고
- BSC의 원리 및 구조를 이해해야 하며
- BSC 개구면의 공기흐름을 방해하는 요소를 줄여야 함(캐비닛에 빠르게 손을 넣었다 뺏다하는 동작, 캐비닛 근처로 빠르게 걸어가는 사람, 출입문 등에 의한 방해기류가 BSC 공기흐름을 쉽게 파괴할 수 있음).
- BSC 내부에 불필요한 실험용 시약 및 기기를 방치하여, 공기흐름에 방해되지 않도록 해야 함(특히 BSC 바닥에 있는 전후방 그릴을 막지 않도록 주의).
- BSC 주변에도 공기흐름을 방해할 만한 것을 쌓아두지 말 것.
- BSC는 작업여부와 관계없이 항상 가동시킬 것.
- 오염된 것과 깨끗한 것을 분리시켜 교차 오염을 최소화시킬 것.
- 만약 누출(spill)되었을 때는 즉시 닦은 후 최소 10분 동안 기다렸다

가 작업 할 것.

6) BSC 성능검사

BSC 성능에 대한 최초의 표준은 미국 국립보건원(NIH)에 의해서 개발되었으나, 1976년 NSF에 의해 포괄적인 standard가 규정되었다(<http://www.nsf.org/>). BSC에 대한 성능검사 항목을 요약하였다.

- 하향류 검사 : Class I과 II에 대해 실시하며 상부에서 하부로 흐르는 기류의 속도 측정
- 흡인기류 검사 : 개구부에서 내부로 들어가는 기류의 속도를 측정하여 기준과 비교
- 발연관 검사 : 발연관을 통해 개구부 전체 면적에서 기류가 내부로 들어가는 지를 육안 검사
- HEPA 필터 기밀도 검사 : DOP(dioctylphthalate)를 이용하여 HEPA 필터 전후의 분진농도를 측정함으로써, 제어 효율을 측정하고, 연결부 위에 새고 있는 부분이 없는 지를 검사
- 캐비닛 기밀도 검사 : 캐비닛의 외피에서 새는 부분이 없는 지를 검사 (압력유지검사법(Pressure holding test) 이용)

6. 생물학적 유해인자의 측정 및 평가

바이오에어로졸의 측정은 오염원을 파악하여 그 정도를 평가하여 효과적인 제어대책을 수립하거나 어떤 건강장애의 인과관계를 밝히는데 목적이 있다. 포집된 시료의 동정은 오염원을 결정하는데 필요할 수도 있다. 바이오에어로졸을 측정 평가하기 위한 시료채취기는 다음 표 과 같이 7가지 정도로 분류할 수 있다.

일반적으로 부패한 유기물을 영양원으로 사용하는 미생물의 경우 50 CFU 미만이면 오염문제를 야기하지 않는다. 문헌에서 제시된 최소한의 CFU 검출한계를 참고하여 필요한 시료채취 유량을 결정한다. 시료채취 시간은 시료가 과포집 되지 않도록(특히 시료를 배양하는 경우) 시료채취 시간 또는 유량을 조

절하여 채취하여야 한다. 또한 공기중의 바이오에어로졸은 시간 또는 공간대별로 그 변이가 크기 때문에 산술평균값은 큰 의미가 없다. 따라서 가능하면 동일 시료채취지점에서 두 개 또는 세 개 이상 시료를 채취하여 중간값 또는 기하평균 값을 사용하도록 하고, 반드시 대조군에서 시료를 채취하여 그 수준을 상호 비교 평가하도록 해야 한다.

Table 5. Samplers Commonly Used for Collection of Indoor Bioaerosols

Sampler Type	Principle of Operation	Sampling Rate(lpm*)	Recommended Sample Time
Silt impactor	Impaction on rotating or stationary Plate	30-700 continuos	1-60 or 7-day
Sieve impactor - single-stage portable - single-stage impactor - two-stage impactor	Impaction on agar; - "rodac"plate - 100mm plates - 2-100mm plates	90 or 185 28 28	0.5 or 0.3min 1min 1 ~ 5min
Filter cassettes	Filtration	1-2	15-60min or 8hr
High-volume filtration	Filtration	140-1400	5min-24hr
High-volume electrostatic	Electrostatic collection into liquid	up to 1000	variable
All-glass impingers	Impingement into liquid	12.5	30min
Centrifugal impactor	Impaction on agar; plastic strips	4077	0.5min

* lpm : liters per minute

(1) 세균 시료 채취

1) 시료포집

○ 전략 : 사람들의 활동, 환기시설의 성능 등 고려

○ 발생원시료채취(Source sampling) : 환경에서 세균의 집락은 좀처럼 눈에 보이지 않으나 점액, 생물막(biofilm), 거품(foam) 등이 있을 경우와 과일냄새 등 역겨운 냄새가 나는 경우 세균의 존재를 나타내는 것이다. 발생원은 가습기(humidifier), 냉각탑(cooling tower), 배출구(drained drip), 응축팬(condensate pan) 등이다.

○ 공기시료채취(Air sampling)

- Agar impactor
- Multiple hole impactor
- Filters
- Impingers

○ 시료처리 : 냉장보관 및 운반

2) 시료분석

○ Culture(배양) : 배지(media)를 통한 배양으로 세균 집락(colony)을 계수함. 살아 있는 세균만 계수하는 단점

○ Fluorescence Microscopy : 필터에 채취된 세균을 염색한 후에 이들을 계수하므로 죽은 세균을 포함한 모든 세균을 다 계수

3) 평가

세균에 관한 자료를 해석할 수 있는 지침이나 기준은 없다. 다음과 같은 질문을 통하여 접근하여야 한다.

- 건물에서 세균이 증식하고 있는가?
- 그렇다면 그 근원은 무엇인가?
- 사람의 활동으로 인한 세균이 문제점을 해결해야 할 정도의 높은 농도로 존재하는가?
- 존재하는 세균의 농도나 종이 건강에 위험을 줄 정도인가?
 - 외부에서 유입된 세균
 - 사람의 활동으로 생긴 세균(Human-source bacteria) : 부적정한 환기, 과도한 거주인원 등
 - 그람음성세균

- 건강에 위험을 주는 중요하고 실질적인 세균
- 건강에 심각한 위험을 주는 것을 파악하는 것은 힘들다
- 질병발생과 관련되는 감염성세균의 농도에 대한 정보는 가능하다
- 감염성 : 결핵, *Legionella* spp.

(2) 곰팡이 시료 채취

1) 시료포집

- 전략 : 곰팡이 번식은 눈에 쉽게 인식되며 곰팡이가 번식된 상태는 신속한 제거작업이 필요하며 추가로 벌크나 공기 중 시료 채취는 불필요하다.
- 발생원에서 시료포집
 - Tape sampling with microscopic analysis : 균사나 포자 등의 확인
 - Culture of surface or bulk samples : 곰팡이의 종을 알기 위해
- Air sampling
 - Agar impactor
 - Multiple hole impactor
- sample handling : 냉장보관 및 운반

2) 시료분석

- 배양(Culture)
 - Malt Extract Agar(MEA)
 - 농도가 높은 (10^5 CFU/m³) 산업인 농업, 금속가공유 취급산업, 폐수처리장 등에서는 세균의 성장을 억제할 수 있는 성분(chloramphenicol, penicillin, streptomycin 등)을 배지에 첨가하여야 함
- 현미경(Microscopy)
 - 현미경으로 일반적인 곰팡이는 “속”과 “종”까지 알아낼 수 있다.
 - 자세한 동정을 위해서는 염색에 의한 동정
- 화학물질 분석(Chemical analysis)

3) 평가

아직까지 곰팡이에 대한 측정결과를 비교하고 평가할 수 있는 지침이나 기준은 없다. 공기나 벌크에서 곰팡이자료에 대한 해석은 동정된 곰팡이 “속”이나 “종”에 근거하거나 서로 다른 환경에서의 측정 자료를 비교하거나 여러 곰팡이인자에 노출된 그룹에서의 노출에 따른 잠재적인 감수성 등에 초점을 맞추어 설명한다.

- 새나 박쥐의 분변에서 검출되는 병원성곰팡이 등

○ AIHA의 지침

- 실외환경에서 검출되지 않았던 곰팡이종이 실내환경에서 많이 검출되었다면 이러한 곰팡이가 실내에서 자라고 있고 공기질이 악화되고 있다는 것을 나타내는 것임

- 실내환경에서 어떤 병원성의 종(*Fumigatus*, *A. flavus* 등)이 발견되면 대단히 문제 : 신속한 위험관리프로그램 필요함

○ International Society of Indoor Air Quality and Climate(ISIAQ)

- 필터에 의한 공조시설을 운영하고 별 다른 문제가 없는 실내에서의 곰팡이 농도는 자연환기를 운영하는 실내에서의 농도보다 낮다

- 문제가 없는 건물의 실내환경에서 여러 종류의 다양한 곰팡이가 자라는데, 만일 습기문제가 계속되는 실내환경에서는 곰팡이 우점종이 1-2개로 나타난다.

○ ACGIH의 권고

실내환경에서 곰팡이의 번식이 눈에 보이는 상황은 노출이 일어나고 있다는 증거이다. 이러한 곰팡이 번식을 초래하는 조건은 적절한 방법에 의해 제거해야 한다. 실내환경에서 물(습기)이 계속해서 존재하면 곰팡이 번식을 초래할 수 있으므로 이러한 조건은 개선되어야 한다. 유기잔재물, 특별히 새나 동물의 분변물이 축적되면 곰팡이 오염 가능성이 매우 높아진다. 이러한 상황을 초래하는 조건은 적절한 방법에 의해 개선되고 제거해야 한다. 위에서 설명한 조건이나 상황에 대한 언급 없이 공기나 벌크시료의 결과를 설명하려면 충분한 시료수가 있어야 하며 이러한 조건이 갖추어지면 다음 내용에 따라 측정결과에

대한 해석을 할 수 있다.

- 실내/외 관련성(Indoor/outdoor relationships)

일반적으로 문제가 없는 환경일 경우 실내에서의 곰팡이 농도는 실외와 비슷하거나 낮다(외부의 온도가 0℃이하인 겨울은 제외). 반대인 경우에는 실내에서 곰팡이 성장을 초래하는 조건이 있다고 볼 수 있다. 그러나 실내에서 곰팡이 농도가 낮은 경우에도 곰팡이가 성장할 수 있는 조건은 있을 수 있다.

- 지표종(Indicator Species)

어떤 지표 곰팡이의 존재여부에 따라 “지나친 습기가 있다” 혹은 “건강상의 위험이 있다” 등으로 나타낼 수 있다. 이러한 평가를 이용하려면 곰팡이 “종”을 동정하고 실내와 실외에서 어떤 종이 우점종인가를 규명하는 것이 가능해야 한다.

- 잠재적 병원성 곰팡이(Potentially Pathogenic Fungi)

병원성 곰팡이가 자랄 수 있는 물질이나 조건(새나 박쥐의 분변에서 *H. capsulatum*, *C. neoformans*)이 발견되었을 때는 병원성 곰팡이가 존재한다고 가정해야 한다. 따라서 병원성 곰팡이가 자랄 수 있는 물질이나 조건은 제거해야 한다. 병원성 곰팡이를 함유하는 토양이나 다른 물질들을 취급할 때도 세밀한 주의를 기울여야 한다.

(3) 공기중 시료 채취

1) 필터에 의한 채취 및 추출

○ 시료채취

시료채취를 위하여 필요한 기기는 공기 중 화학적인자의 채취와 동일하게 펌프, 타이콘 튜브, 필터 카세트 등이다.

- 0.4 μ m의 pore size, 직경 37mm의 Nuclepore 여과지(Millipore Corp., Pleasanton California, USA)와 지지대(support pad)를 멸균된 플라스틱 필터 카세트(Millipore)에 장착하여 공기 중 세균과 곰팡이 채취용 여재로 사용한다. 이 여재를 근로자의 호흡기주변에 장착하고 채취유량 2 ℓ /min으로 보정된 펌

프로 근무시간동안 채취한다. 채취 후 여재를 포함한 카세트를 냉장상태에서 운반한다.

○ 시료에서 미생물 추출

0.01 % (V/V) Tween80(Aldrich 시약) 100 μ l를 증류수 1l에 혼합한다. 이 용액(0.01% Tween 80)으로 Peptone 0.1 % 농도를 만들어 추출액으로 사용한다. 즉, Peptone 1g을 1l에 녹인 다음 0.22 μ m Millex-GS filter(Millipore Corp.)로 여과한 후 멸균한다. 121 $^{\circ}$ C, 15파운드 압력에서 15분간 멸균하여야 한다.

- 공기중에서 채취한 필터카세트에서 미생물 추출과정은 아래와 같다. 추출액 1.5 ml를 카세트의 출구(outlet)를 통해 지지대에 주입한 후 플러그를 막고 다시 5 ml를 카세트의 유입구(inlet)로 주입한 후 플러그를 막고 추출액이 누출되지 않도록 조치한 카세트를 교반대에서 15분간 흔들어 세균과 곰팡이가 용액에 추출되도록 한다. 카세트에 들어 있는 추출액의 일정 양을 마이크로피펫으로 배지에 옮긴다. 조심스럽게 혼합하여 배양기에 넣는다. 그리고 충돌기에 서 채취된 배지는 곧바로 배양기에 넣으면 된다. 세균용 배지는 35 $^{\circ}$ C에서 2일간 그리고 곰팡이용 배지는 4일간 배양한 후 계수기로 계수한다. 계수하기 어려울 정도로 미생물 집락(Colony)이 많으면 희석하여 다시 접종하여야 한다. 세균과 곰팡이가 자란 패트리디쉬를 직접계수하고, 너무 많을 시에는 균등하게 4분할하여 1면에 자란 세균과 곰팡이의 집락을 계수하고 분할한 면을 곱하여 총 집락수로 한다. 집락수의 단위는 시료 1 ml당 colony forming units(CFU)이다. 여기에 추출액을 고려하여 여과지에 채취된 총 미생물수(CFU)를 채취된 공기용량으로 나누어 공기 중 미생물 농도(CFU/m³)로 한다.

2) Agar impaction sampler

제조된 배지를 이용한다. 배지를 충돌기(impactor)에 장착하고 28.3 L/분으로 공기가 배지에 충돌하여 미생물이 채취되도록 한다. 공기중 예상되는 농도에 따라 다르지만 일반 거주환경에서는 보통 5-10분 정도 채취한다. 세균, 그람음성세균, 곰팡이를 동시에 채취하고자 할 경우 배지를 번갈아 장착하고 채취하

면 된다. 배지를 교환할 때는 충돌기를 알코올로 멸균하여 오염을 예방하였다.

- 세균용 배지 : TSA(Tryptic Soy Agar)
- 곰팡이용 배지 : SDA(Sadourand Dextrose Agar)
- 그람음성 세균용 배지 : MAC(MacConkey Agar)

(4) 평가

1) OSHA

OSHA에서는 정제된 물 1ml에서 곰팡이가 10^3 이상 있을 때, 또한 먼지나 유기물 g당 10^6 있을 때를 오염여부의 기준으로 제시하고 있다. 특별한 오염요인이 없고 적정하게 환기가 이루어지는 경우 보통 실내에서의 미생물농도는 실외보다 낮다. 만약 실내의 세균이나 곰팡이의 농도가 실외보다 높을 경우 미생물 번식과 분산의 요인이 있는 것으로 볼 수 있다.

2) ACGIH

○ 배양이나 계수가 가능한 총 세균이나 곰팡이(Total Culturable or countable bioaerosols)

배양이 가능한 바이오에어로졸은 실험실에서 일정한 배지와 배양조건에서 성장할 수 있는 세균과 곰팡이들을 말한다. 이 실험에서 배양된 미생물은 집락수(CFU)로 나타낸다. 또 계수가 가능한 바이오에어로졸은 현미경으로 꽃가루, 곰팡이 포자, 세균 세포 등을 인식하여 그 수들을 세는 것이다. 바이오에어로졸은 보통 공기중에서 $10 \sim 1000 \text{ CFU/m}^3$ 정도에 이르며 대수정규분포(log-normal distribution)를 하고 있어 환경에서의 대표치는 중위수(median)나 기하평균(GM) 값이 된다.

배양이나 계수가 가능한 총 세균이나 곰팡이 수들에 대한 노출기준은 ACGIH에서는 제시하지 않고 있다. 그 이유는 아래와 같은 과학적으로 입증되지 못하는 이유들 때문이다.

· 배양이나 계수가 가능한 총 세균이나 곰팡이는 단일 개체가 아니다. 환경에서 노출되는 바이오에어로졸은 일반적으로 많은 서로 다른 미생물, 동물, 식물입자가 혼합된 복합체(complex mixture)이다. 복합체이므로 지표균이 없고,

이들 중에서 배양가능하고 계수가 가능한 것들로만 노출기준을 설정하는 것은 불합리하기 때문이다.

- 바이오에어로졸에 대한 사람의 반응은 노출조건이나 개인의 감수성에 따라 무해한 경우에서부터 매우 치명적이고 또는 질병이 걸리는 상황까지 다양하다(wide range of human response). 그러므로 어떤 한 바이오에어로졸에 대한 적절한 노출기준도 다른 인자에는 적정하지 않을 수도 있다.

- 한 가지 방법을 사용해서 모든 바이오에어로졸을 채취하고 평가하는 것은 불가능하다. 바이오에어로졸을 채취하고 분석하는 믿을 만한 분석방법은 많이 있지만 서로 다른 경우가 대부분이다(구성분이나 농도가 다양한 즉, high fluctuation으로 나타남). 따라서 서로 다른 채취와 분석방법은 배양이나 계수가 가능한 총 세균이나 곰팡이에 대한 서로 다른 추정치가 나오게 되어 비교가 어렵다.

- 따라서 배양이나 계수가 가능한 총 세균이나 곰팡이의 결과를 건강상의 영향에 대한 정보로 나타내기 위한 양-반응관계를 설명하는 데는 부족한 점이 있다.

○ 배양이나 계수가 가능한 특정 바이오에어로졸

배양이나 계수가 가능한 특정 바이오에어로졸에 대한 노출기준은 아직 없다. 현재, 배양이나 계수가 가능한 바이오에어로졸과 건강상의 영향과의 관계에 대한 정보는 사례연구나 정성적인 노출 평가 자료들뿐이다. 양과 반응관계를 정량적으로 설명하기 위한 역학적인 근거자료가 충분하지 못한 이유는 다음과 같다

- 특정 바이오에어로졸에 대한 측정 자료는 지표가 되는 인자 측정(indicator measurement)이며 실제 영향을 나타내는 인자에 대한 측정(actual effector agents)이 아니기 때문이다. 예를 들면 공기 중 곰팡이 항원에 대한 노출을 나타내기 위한 것으로 공기 중 배양 가능한 곰팡이(지표측정)를 측정할 뿐이다.

- 대부분의 측정이 실제 호흡기노출을 추정하는 개인시료 채취가 아니고 지역이나 벌크시료에 의한 측정결과이다.

- 바이오에어로졸의 구성성분이나 농도는 노출환경에 따라 크게 다르다. 그리고 반복적으로 측정된 정보도 많지 않다. 더구나 일반적으로 사용하는 공기채취기구는 짧은 시간 동안 측정한 순간채취(grab sample) 기구들이다. 이렇게 측정된 결과들은 오랜 시간 동안 측정한 결과보다 일정하게 높거나 낮아 노출 정도를 정확하게 추정하지 못한다. 따라서 어떤 유기체나 오염원은 순간적으로 오염성분(concentration bursts)을 방출하는데 이들이 심각한 건강상의 영향을 초래할 수 있다. 따라서 짧은 시간동안 측정하는 제한된 순간채취로는 이들을 적정하게 검출하거나 평가할 수가 없다.

- 생물학적 유해인자의 오염이 제한적으로 일어났다면 노출로 인한 영향을 받은 사람은 많지 않을 수 있다. 즉 어떤 건물이나 환경에서 일하고 있는 소수만이 영향을 받을 수 있다는 말이다. 따라서 어떤 연구로부터 나온 자료나 정보는 유의한 조사대상 숫자가 되지 못한 경우가 많다. 이것은 바이오에어로졸과 관련된 질병을 일으키는 특정 생물학적 유해인자의 형태가 다양하고 연구들마다 서로 다른 결과를 보이기 때문이다. 이러한 요인들로 인해서 특정 생물학적인자의 노출과 질병(혹은 불만, 건강호소 등)간의 양-반응관계를 유의하게 설명할 수 있는 통계적인 강도는 당연히 약해지게 된다.

○ 감염성 생물학적 인자(Infectious agents)

일부 몇 개의 감염성 바이오에어로졸에서 양-반응관계는 유의하지만 현재 공기 중 감염성 바이오에어로졸에 대한 측정방법은 거의 없다. 공기 중 감염성질환의 전염 위험이 높은 시설들은 공학적인 대책을 철저히 하여 공기 중 감염성인자의 농도를 최소화하는 수밖에 없다. 또한 이러한 시설들은 감염성 바이오에어로졸에 대한 근로자노출을 예방하기 위한 행정적 대책과 보호구대책을 강구하여야 한다.

○ 분석 가능한 생물학적인 인자들(Assayable biological contaminants)

분석 가능한 생물학적유해인자들은 매우 적다. 엔도톡신, 마이코톡신, 항원, 미생물이 내놓은 휘발성유기물(microbial VOC) 정도이다. 이러한 물질들은 화학, 면역학적, 또는 생물학적 분석방법에 의해서 분석될 수 있다. 이러한 유해인자들에 대한 노출기준도 아직 설정되어 있지 않다. 그러나 이중에서 엔도톡신이나 일부 항원들에 대한 분석방법은 점차적으로 개선되고 있고 정확도를 달성하기 위한 노력이 계속되고 있다. 또한 이러한 인자들에 대한 양-반응관계는 실험실연구나 가끔 역학조사에서 관찰되고 있다. 그러므로 노출기준의 설정도 미래에 가능할 것이다

7. 실내환경에서의 생물학적 인자의 관리 방안

생물학적 유해인자에 대한 관리 방안은 일반적으로 다음과 같은 세 가지 접근법으로 생각해 볼 수 있다. 첫 번째는 실내오염이 일어나지 않도록 건물을 설계하여야 한다. 둘째는 실내환경 조건을 오염이 발생하지 않도록 유지시켜야 한다. 셋째는 현재 존재하고 있는 오염물질을 청소하는 것이다.

(1) 바이오에어로졸이 문제가 되는 조건

건물 내에서 바이오에어로졸이 문제가 되는 것은 사람에 의한 에어로졸을 희석시키기 위한 신선한 공기가 불충분한 경우, 잠재적 바이오에어로졸 발생원의 유지 시 부적절한 조치, 오물과 습기를 머물게 하는 기질이 존재하거나, 실내에서 습도를 조절하지 못할 때이다.

바이오에어로졸을 관리하기 위한 4가지 주요 조건 및 환경은 다음과 같이 들 수 있다

- 미생물이 성장하기 위한 적절한 장소(reservoir) : 폐수, 냉각수, 가습기 물, 토양 등
- 미생물의 성장에 필요한 영양분 제공 : 먼지, 나무, 종이, 다른 유기물 등
- 미생물의 증식 조건 : 성장을 위한 온도와 습기
- 미생물로 오염된 물이나 매체가 공기중으로 분산(aerosolization 또는

dissemination) : 냉각수, 가습기, 다른 오염된 물(절삭유 등)에서 성장한 미생물이 배기구를 통해서 공기중으로 분산

미생물로 인한 건강상의 장애를 관리하기 위해서는 위에서 설명한 4가지 조건이나 환경을 억제하여야 한다.

1) 미생물이 성장하고 이들이 사람에게 노출되기 위한 요건

미생물 성장에 필수적인 2가지 요건은 영양분과 습기이며 이는 우리가 생활하는 모든 환경에서 갖추어져 있다. 즉 사람이 사는 곳에는 생물학적유해인자가 존재한다고 보면 된다. 미생물이 건강에 장애를 초래할 수 있는 문제점으로 되기 위해서는 아래와 같이 미생물이 성장할 수 있는 조건이 마련되어야 하고 이들이 공기중으로 분산되어 사람에게 노출되어야 한다.

○ 회석: 거주자 한 사람당 최소 $0.425\text{m}^3/\text{min}$ 의 속도로 제공되어야 한다. 동물을 기르는 실내의 경우는 미생물 에어로졸을 제거하기 위해서 많은 양의 외기를 공급하여야 한다. 신선한 공기는 거주자의 호흡기 주위로 공급되어야 한다.

○ 유지 : 공기 처리장치는 청소가 가능하도록 설치하여야 하며, 쿨링 코일보다 낮은 배수 팬은 물이 정체되지 않도록 배수 쪽으로 기울어 져야 한다.

○ 기질 : 공조기의 방음 및 절연시설은 외부 표면을 부드럽게 처리하여 미생물 오염을 방지토록 하여야 한다. 덕트에 설치된 유리섬유의 경우 습기와 물이 이 남아 미생물 발생원이 될 수 있으며 깨끗하게 하는 것은 거의 불가능하다. 이렇게 덕트에 상대적으로 높은 습도가 유지 된다면 라이닝을 안 하는 것이 더 좋다. 습기가 찰 수 있는 콘크리트에는 카펫을 사용하지 않아야 한다. 특히 카펫은 미생물성장의 기질을 제공하고나 먼지진드기가 살아가는 장소가 될 수도 있다.

○ 습도조절 : 재순환도는 물을 사용한 가습기는 미생물 성장의 장소가 되므

로 바람직하지 않다. 건물의 가습기는 “clean steam”을 사용토록 하여야 한다. 중앙난방의 경우 스팀에 morpholine과 같은 독성의 부식제는 제거되어야 한다. 냉각 가습기는 음용수를 사용하여야 하며 가습기를 통해 배출되는 쪽으로 가동토록 하여야 한다. 작업장에 캐비닛 형의 가습기나 증기발생기 사용은 바람직하지 않다. 거주지에서는 매일 한 번씩 비어야 하며, 3일마다 한 번씩 5% chlorine bleach나 과산화수소로 살균을 하고 스케일이나 점액은 제거하여야 한다.

실내 건물의 HVAC system의 구성분으로 air washer나 스프레이형의 가습기는 미생물이 성장할 수 있고 가습기열이나 과민성 폐렴 등을 일으키는 것으로 밝혀져 바람직하지 않다. 원천적으로 이러한 시설에는 멸균수나 소독된 물을 사용토록 하여야 한다. 그러나 이 때 처리한 화학물질의 독성 가능성과 냄새가 실내에서 사용할 수 있을 지는 의문이다.

○ 탈습(Dehumidification): 실내 거주지에서 상대습도는 일 년 내내 60% 이하로 유지 하여야 한다. 이를 위해 대부분의 실내 건물에서는 HVAC 시스템으로 충분한 크기의 냉각 코일을 사용하여 공기의 잠열이나 습기를 제거한다. 습도를 조절하는 또 다른 방법은 열교환기 하류 쪽에 탈습제나 재가열 코일을 사용하는 것이다. 현재 설치된 시설에는 이러한 조치는 어려우며 비용도 많이 든다. 상대습도가 70% 이상이 되면 습기에 유기기질(나무, 종이, 오물, 카펫의 파편 등) 함유량이 증가하여 곰팡이 포자가 생성되고 번식하는데 도움을 줄 수 있다. 습기 손상으로부터 여과지를 보호하고 여과지 교체 주기 계획이 적절한 여과지 정비에 포함된다고 할 수 있다.

○ 여과(Filtration) : HVAC 시스템에서 필터의 위치는 기기에서 생성될 수 있는 바이오에어로졸로부터 거주자를 보호하는데 매우 중요하다. 대부분의 공조기에서는 필터는 열교환기 부분의 상류 쪽에 위치하여 하류 쪽의 냉각코일이나 가습기, 스프레이시스템 등 미생물 증폭기에 의해서 생성되는 바이오에어로졸로부터 실내거주자를 보호할 수 없게 된다. 병원과 같은 섬세한 보호 구역에서는 적절한 보호를 하기 위해서 하류 여과장치가 필요하다.

2) 실내환경에서 미생물로 오염되기 쉬운 장소들

실내환경에서 미생물로 오염되기 쉬운 공조시설, 기구, 재료 등은 다음과 같다.

- 냉각코일, 가습기, 공기청소기
- 습기가 있는 냉각코일을 통과하는 공기
- 접근이 곤란한 공기조화장치 : 덕트 등
- 설계가 잘못된 공기조화장치
- 공기조화장치나 팬코일 환기장치 내에 설치된 공극이(구멍이) 있는 방음용 섬유
- 통에 정체된 물(냉각코일 등)
- 지나친 습도(보통 70 %, 미생물억제를 위해 적절한 습도는 30-50 %)
- 인간 활동으로 인해 생긴 세균이나 바이러스의 축적과 재순환
- 사람의 기침, 재채기 등에 의한 세균과 바이러스의 전파
- 물로 오염된 각종 가구나 울(wool), 면(cotton) 등과 같은 유기섬유
- 냉각탑, 쓰레기 더미 등 외부의 미생물오염원 근처에 설치된 공기 유입구

3) HVAC 시스템과 바이오에어로졸의 발생원

○ 실외(Outdoor)

- 실외공기(Outdoor air)
- 건물 외부(Building exterior)

○ HVAC system(그림 12 참조)

- 외기 유입구(outdoor air intakes, OAIs)
- Filters(A)
- 열교환기(Heat exchangers, B, C)
- Supply air plenums and ductwork(F)
- Supply air diffusers(G)

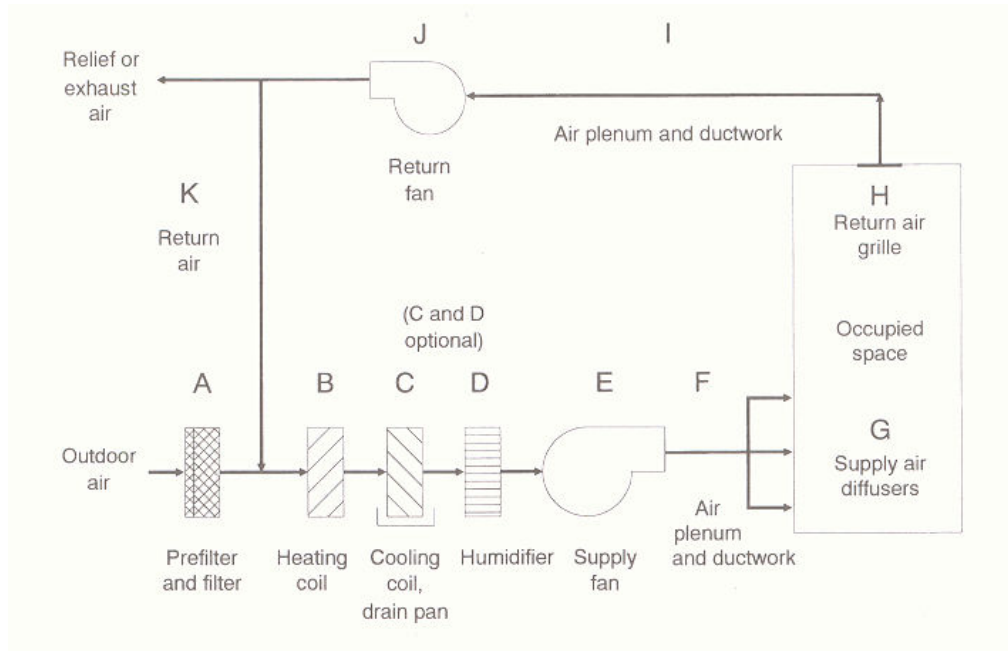


Figure 12. Typical Air Handling Unit(Heating, Ventilating, Air-conditioning, HVAC) in Building.

○ 실내거주공간(Occupied space)

- Water-damage
- Chronic condensation
- Potted plants
- Carpet
- Fabric office partitioners, wall covering, drapes
- 이동식 가습기(Portable humidifiers)
- Return air plenums(I)

4) 소독, 살균, 멸균

○ 소독(Decontamination) : 물리적 또는 화학적인 방법으로 물질을 수용할 수 있는 수준으로 유기체 수를 줄여서 다룰 수 있도록 하는 것이다. 수용할 수 있는 수준은 그 상황에 달렸다. 소독은 사람과 환경을 보호할 뿐 아니라 작업

영역(작업실, clean room)도 보호한다. 소독은 살균과 멸균에도 적용할 수 있는 포괄적인 용어이다.

○ 멸균(Sterilization) : 모든 유기물을 완벽하게 죽이는 것이다(세균 포자까지도).

○ 살균(Disinfection) : 감염 유기체(세균 포자는 제외)를 전염에 필요한 농도 수준 이하로 죽이는 것이다. 살균제(sanitizer)는 무생물의 표면에 사용하고 소독제(antiseptics)는 피부에 사용된다.

소독은 열, 증기, 방사선과 같은 물리적 방법 혹은 화학물질에 의해서 이루어진다. 정의에 따르면 살균제와 멸균제는 살아있는 세포에 독성을 나타내므로, 선택한 물질의 위험성을 잘 숙지하고 노출을 예방, 관찰하기 위해 필수적인 예방조치를 취하는 것이 중요하다. 이온화 방사선(X와 r-선)은 규제에 의한 면허자만 사용하여야 한다. 화학물질(ethylene oxide, formaldehyde, glutaraldehyde, 강산, 강염기) 사용은 특별한 취급 기술이 요구되며 화학물질에 따라 환경 모니터링과 의학적 감시가 요구된다.

○ 물리적 요인

- 습열(Wet Heat) : 높은 온도는 효소의 변성을 야기시켜 유기체를 죽인다. 끓임(100℃에서 30분 이하)이나 저온 살균(72℃에서 5초 혹은 62℃에서 30분)은 성장 세포를 죽이나 포자는 죽일 수 없다.

- 건열(Dry Heat) : 임상 실험실에서 자유불꽃과 Bacti-Cinevators(871℃에서 건조열을 발생시키는 전기적 장치)는 접종루프를 멸균시킬 때 사용한다. Hot air ovens(160~180℃에서 2시간)는 그리스나 powder 같은 무수성 물질에 사용된다. 소각로는 전염성 폐기물을 파괴시킨다.

- 증기(Stream) : 멸균기안에서 일정한 압력(고도에 따라 15~18psi)아래서 121℃에서 사용한다. 증기(Stream)는 멸균 방법 중 가장 널리 쓰이고 편한 방법이다. 효과적인 증기 멸균은 노출시간 조절, 물질의 형태와 크기, 용기의 투과성과 크기 등 여러 가지 요인에 의해 결정된다. 생물학적 지표종이 멸균을

증명하기 위해 종종 사용되며 autoclave의 적합한 기능성을 증명하기 위해 주 또는 월 단위로 사용되어야 한다.

- 이온화 방사선(Ionizing Radiation) : 도뇨관(catheter)과 주사기와 같은 수술실 장비를 포함하는 의학 용품의 포장을 위한 멸균에 사용된다.

- 자외선(UV) : 과거에 자외선 사용은 virus, mycoplasma, bacteria, 균류를 불활성화 시키는 유용한 방법이었다. 공기 중 미생물과 생물안전캐비닛의 노출 표면에 오염도를 낮은 수준으로 유지하는데 상대적으로 효과적이다. 그러나 그 유용성은 낮은 침투성에 의해 제한되며, 램프의 그림자와 먼지도 역시 효율성을 감소시켰다. UV는 액체의 살균에는 적용되지 못한다.

- 여과(Filtration) : 막 여과지는 생물 및 약물 용액으로부터 세균, 효모, 곰팡이를 제거할 수 있다. 일반적인 구멍 크기는 0.22 μ m, 0.45 μ m, 0.8 μ m이다.

○ 화학적 소독

화학적 소독제는 화학 반응에 의해 미생물들을 불활성화 시킨다. 감염인자에 대한 살균의 효과성은 화학물질의 특성, 농도, 접촉기간, 온도, 습도, pH와 유기물질의 존재에 따라 다양하다. 화학 소독제를 사용하기 전에 물과 비누를 사용하여 큰 유기물질을 제거하여야 한다.

Sodium hypochlorite(가정용 표백제)는 다양한 세균, 바이러스, 균류, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*를 포함한 TB에 일반적인 소독제로 널리 사용되고 있다. 가정용 소독약을 물에 1:100로 희석시키면 생장 세균과 대부분의 바이러스에 효과적인 500ppm 이상의 자유염소기 용액을 만든다. 효능은 생물학적 물질과 자유염소기의 농도를 바탕으로 시간 의존적 기능을 한다. 1:10 희석(5000ppm이상의 자유염소)은 일반적으로 더 많이 적용된다. 소독약으로서 표백제의 가장 큰 결함은 세균 포자에 효과를 나타내려면 대략 2500ppm의 농도가 필요하다는 점과 부식성이 강하고 오랜 시간 동안 안정적이지 못하며 매일 새로운 용액을 만들어야 한다.

Iodophors(iodine-carrier)는 넓은 범위의 항 미생물, 항바이러스 활성을 가진

다. 이것은 다른 농도에서 살균과 소독의 목적으로 사용된다. 일반적으로 포자를 죽이지 않지만 providone-iodine은 포자를 죽일 수 있으며 상처의 전염성 예방에 중요하다. 알코올 용액에 탄 Betadine은 손과 작업장의 소독에 널리 사용된다. Iodophor는 계면 활성제로 이동시키며, 상대적으로 사람에게 피해가 적으며 사용 시 갈색으로 변하여 그 효과를 확인할 수 있다. Iodophor는 유기 물질에 의해 비활성 되므로 표면을 미리 깨끗하게 해야 한다.

알코올은 빠른 세균 반응을 나타내지만 포자를 죽일 수 없고 많은 바이러스에 대해 낮은 활성을 나타낸다. 에탄올은 그 효율성을 높이기 위해 물이 필요하며 가장 효율적인 농도는 60~70%정도이다. 이소프로판올과 n-propyl alcohol은 에탄올보다 더 세균을 죽이는데 효과적이나 포자를 죽이지는 못한다. 70% 알코올은 생물안전캐비닛의 표면을 살균하는데 사용하며, iodine 또는 chloro hexidinedyddor와 알코올의 70% 용액은 수술 전에 표면 소독에 이용된다. 모든 알코올은 가연성 용액이고 플라스틱과 고무와는 사용할 수 없다.

4차 암모니아 화합물은 그 이름이 암시하듯 암모니아 화합물이 치환된 것이다. 이 물질은 생장 세균과 용액이 아닌 것에 함유되어 있는 바이러스들을 조절하기 위한 소독제로 널리 받아들여지고 있다. 그러나 특정 농도(1:750)에서 세균 포자에 대해서는 활성이 없다. 병원의 식품위생, 온전한 피부의 수술 전 소독, 수영장에서 조류 오염 방지, 콘택트렌즈의 보습액 등으로 다양하게 사용되고 있다.

페놀성분의 화합물(0.5~2%)은 TB를 포함한 생장 세균, 균류, 액체속의 바이러스를 제거하는데 추천된다. 포자와 용액이 아닌 것에 있는 바이러스에 대해서는 효과가 적으며 보통 장비나 바닥을 청소할 때 쓰인다. 페놀은 석탄의 불 완전한 증류의 부산물로 얻어지는 tar에서 유래된다. 탈색과 관계가 있으며 보호되지 않은 피부에 접촉 시 심각한 손상을 야기한다. Lysol은 아마씨 오일과 potassium hydroxide로 만든 비누에 cresol을 용해시킨 것이다. 이것은 페놀의 부식시키는 특징을 갖게 된다.

Glutaraldehyde와 Formaldehyde의 두 종류의 알데히드가 현재 소독제로서 중

요하게 여겨지고 있다. Glutaraldehyde는 사용 전에 알칼리로 2% 용액으로 만들어진 후 사용된다. 높은 반응성을 갖고 세균과 그 포자, 균사체와 포자. 포자 형태의 균류와 여러 가지 형태의 바이러스에 잘 작용되며 항균 세균 물질로 간주된다. 건조된 포자는 소독제에 더욱 큰 내성을 가진다. 병원에서 기기의 살균에 널리 쓰이며 수의학 영역에서도 소독제로 쓰인다. 이것은 자극적이며, 돌연변이와 발암 효과의 가능성을 가졌다. Formaldehyde는 70% 알코올에 8%의 포르말린을 넣은 용액으로 사용되며, 생성 세균, 포자 그리고 바이러스에 효과적이다. 포자를 죽이는 능력은 Glutaraldehyde 보다 느리며 단백질성 물질이 존재 시 그 효과는 줄어든다. Formaldehyde 증기의 흡입은 인간에게 발암 위험성이 있다. Paraformaldehyde flask는 전형적인 정화 과정에 따라 생물안전 캐비닛 안에서 가열되어 증기화 된다. 증기화 된 Paraformaldehyde는 장 전체를 소독할 때 사용되지만 이 과정은 아주 위험한데 그 방의 공기는 밀폐해야 하며 가스를 내보내기 전에 충분히 중화시켜야 한다. 이런 형태의 작업을 수행하는 사람은 고도의 훈련이 필요하며 2인 1조로 진행되어야 하고 자급식 공기 공급 장치가 달린 보호장구를 착용해야 한다. 이 기술은 BSL4 시설의 소독에 1차적으로 사용된다.

Ethylene oxide(EtO)는 세균의 endospore와 바이러스를 포함한 모든 형태의 미생물을 불활성화 시킨다. 활성도는 EtO의 농도, 온도, 노출기간, 미생물의 수분 함량에 의해 영향을 받는다. 병원에서 의료 용품의 살균에 사용된다. 순수한 EtO는 공기 중 3-100% 사이에서 폭발성과 발화성을 가진다. 또한 돌연변이와 발암 가능성이 잠재적으로 있어 OSHA에 의해 미국에서는 강력하게 규제되고 있다.

(2) 건물 설계

건물은 실외 에어로졸이 들어오는 것을 예방하고 건물 내의 조건을 미생물 성장이 이루어지지 않게 유지되도록 설계하여야 한다.

1) 실외 에어로졸의 유입을 예방하는 방법

적절한 위치에서 공기를 여과하여 유입시킨다. 실외 공기는 바이오에어로졸의

외부 발생원에서 최소 7.6미터 이상 떨어져야 하며 맞바람이 부는 쪽에서 유입시켜야 한다. 또한 냉각탑이나 수증기 응축 장치 부근이어서는 안 되며, 옥외 흡입구가 주변과 비슷하거나 낮으면 인접한 식물이나 토양에서 자라는 미생물에 의해 오염되기 쉬우므로 이를 피해야 한다. 문과 창은 닫혀있어야 하며, 금이 간 곳을 막음으로써 에어로졸이 실내로 유입되는 것을 효과적으로 막을 수 있다. 그러나 밀폐된 가정의 경우 희석 공기가 부족하게 되므로 적절하게 여과된 외기가 유입될 수 있도록 하여야 한다.

대부분의 미생물은 직경 1~2 μ m 보다 크므로 중간정도의 먼지에 대한 점효율이 50~70%인 여과지는 공기 흐름으로부터 이러한 입자를 적절하게 제거하여야 한다. 여과지의 수명을 연장시키고 비용 효과를 향상시키기 위해서 낮은 효율과 높은 저지율의 prefilter를 사용하여 중급 효율의 여과지에 영향을 줄 수 있는 입자가 큰 먼지를 제거하면 된다. 공기 흐름에서 VOCs를 제거하기 위해서는 특별한 여과지가 필요하다. 격리된 오물이나 파편 등은 미생물 성장의 영양분을 제공할 수 있으므로 여과지의 효율을 증가시킴으로써 이들 오염원의 강도를 줄일 수 있다.

2) 유지(maintenance)

예방적 유지는 현존 건물에서의 바이오에어로졸을 관리할 수 있는 하나의 가장 중요한 요인이다. 유지란 오물이나 물을 제거하여 환경을 깨끗하게 하고, 미생물의 성장조건이 되지 않도록 기기를 유지하는 것이다.

○ 청소 : 오물과 습기의 축적을 예방하고 바이오에어로졸 문제를 일으킬 수 있는 비상상황에 대한 조치가 가능하다.

· 주기적 청소: 가열 부위, 팬-코일부위, 공조부위의 내부 구조물로부터 미생물의 성장에 필요한 습도와 영양분이 될 수 있는 오물이나 찌꺼기를 제거하는 정기적인 계획이 있어야 한다. 카펫의 경우는 오물을 제거하고 건조하게 유지시켜야 하며, 주기적인 전기청소기 사용은 표면의 오물을 제거할 수 있다. 물론 전기 청소기가 축축해지거나 깊숙이 존재하는 먼지 진드기를 제거할 수

는 없다. 카펫은 가열하고 팬을 이용하여 24시간 동안 건조시키야 하며, 천식 환자의 경우는 카펫 사용을 지양하여야 한다. 닥트 표면이 잘 안보이도록 먼지가 쌓였을 때 닥트 청소가 되어야 하며, 큰 건물에서는 적절하게 여과하면 깨끗하게 유지할 수 있다. 특히 에어컨이 설치된 큰 건물에서 공조기를 청소하고 필터를 정비할 때 닥트 청소가 필요하게 된다.

- 비상상황 : 실내환경에서 천정 타일이나 벽 마감재, 카펫, 절연제 등에 다공성 가구나 건축 재료의 사용이 증가함에 따라 건조상태로 유지하기가 어려워졌다. 누수가 될 수 있는 곳을 예방하고 수리하는 일은 중요하다. 다공성이며, 물에 의해 손상된 가구나 건축물은 미생물의 확산을 막기 위해서 되도록 빨리(24시간 이내) 건조시키는 것이 좋다. 오물로 오염된 물에 젖게 되는 부드러운 물질은 즉시 제거되고 버려져야 한다. 기기 정비는 적절한 작동을 확인할 뿐만 아니라 미생물 기질의 축적을 예방할 수 있다.

- 열교환시스템: 정체된물이 배수 팬이나 공조 및 팬 코일 부분에 축적되도록 해서는 안 된다. 여름철에는 냉각코일을 코일에 영향을 줄 수 있는 포자나 기질이 냉각수에 의해 씻겨 나가도록 하여야 한다.

- 가습기: 냉수가습기는 기기의 정기적 점검과 정체수와 점액을 제거하는 정기적인 예방 정비 프로그램이 필요하다. 가습기 발생수에 살생물제(Biocide)를 첨가하면 효과가 있을 수도 없을 수도 있다. 가습기 가동 시 실내거주자가 이에 노출되어 잠재적 독성물질로 작용할 수 있기 때문이다.

3) 현재 오염된 부분의 청소

현장 평가 과정이나 정밀한 조사 중 잠재적 바이오에어로졸 발생원을 발견하면 제거하고 청소되어야 한다. 오염된 냉각탑은 깨끗하게 청소하고 산화물질을 재집락을 방해하기 위해 사용한다. 공기 유입구나 냉각탑은 사람이 노출되지 않도록 재위치 시키도록 한다. 기기 혹은 세정제 청소는 살생물제나 살균제를 사용하기 전에 미생물 오염을 제거하기 위해 필요하다. 청소용 스팀을 사용할 수 있으나 열교환기가 손상되면 안 된다. 살균을 위해서 염소 발생물질, 과산

화수소, 살생물제 등을 사용할 수 있다. 세정 화학물질이나 살균제는 재활성 전에 HVAC 시스템에서 제거되어야 한다. 향미생물 화학물질의 실내 공기로의 에어로졸화는 피해야 한다.

미생물에 의한 표면 오염을 제거하는 것은 HEPA 필터가 내장된 진공청소기로 청소가 이루어져야 한다. 건물에서 다공성 물질이 오염되었다면 버려야 하며, 청소는 충분한 환기를 제공하면서 이루어 져야 한다.

더 많은 자료를 찾아보려면

AIHA Biosafety Committee, Fairfax, Va.(www.aiha.org)

American Biological Safety Association, Mundelein, Ill.(www.orcbs.msu.edu/absa)

American Conference of governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio (www.acgih.org)

- Infectious Agents Committee
- Agricultural Health and Safety Committee
- Bioaerosols and Air Sampling Committee

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Ga. (www.ashrae.org)

American Society of Microbiology, Washington, D.C. (www.asmta.org)

- Public and Scientific Affairs Board
- Laboratory Practices Committee
- Laboratory Safety Subcommittee

Association of Professionals in Infection Control and Epidemiology, Washington, D.D.(www.apic.org)

CDC, Atlanta, Ga. (www.cdc.org)

Society for Healthcare Epidemiologists of America, Woodbury, N.J.

Society for Industrial Microbiology, Fairfax, Va. (www.simhq.org)

참고문헌

하권철, 백남원, 미생물을 이용한 병원, 가정집, 일반대기의 실내공기질 평가, 산업위생학회지 1991.

박동욱, 생물학적 유해인자에 대한 측정, 분석, 평가(바이오에어로솔 (Bioaerosol)과 엔도톡신을 중심으로), 작업환경측정 정도관리 교육 교재, 2000.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH): 2004 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents, Biological Exposure Indices. Cincinnati, OH: ACGIH pp.10-12, 34 2004.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH), Guidelines for the Assessment of Bioaerosols in the Indoor Environment, ACGIH, 1989

"Biological Defense Safety Program(Technical Safety Requirements)," Code of Federal Regulations Title 32, Part 627. 1993. pp. 9424-9449.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC): Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories, 3rd ed. J.Y.Richmond and R.W.McKinney, eds. (HHS pub. no. CDC 93-8395) Washington, DC: U.S.

Government Printing Office, 1993.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC): Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories, 3rd ed. J.Y.Richmond and R.W.McKinney, eds. (DHHS pub. no. CDC93-8395) Washington DC: U.S. Government Printing Office, 1993. Agent summaries.

"Classification of Human Etiologic Agents on the Basis of Hazard," Federal Register 61:10004 (1 March 1996). NIH Guidelines Appendix B.

Department of Health and Human Services: Primary Containment for Biohazards: Selection, Installation and Use of Biological Safety Cabinets. Atlanta, GA: Center for Disease Control and Prevention, 1995.

Griffith J., T.Aldrich, and W.Drane: Risk assessment. In Environmental Epidemiology and Risk Assessment. New York: Van Nostrand, 1993.pp.212-239.

International Air Transport Association (IATA): Dangerous Goods Regulations, 36th ed. Montreal: IATA, 1995. IATA Resolution 618, Attachment A.

Johnson, B. and I.G. Resnick: Safety and containment of microbial bioaerosols. In Atmospheric Microbial Aerosols: Theory and Application, New York: Chapman and Hall, 1994.pp.365-384.

Nardell, E.A., J.Keegan, S.A Cheney, et al.: Theoretical levels of protection achievable by building ventilation. Am. Rev. Respir. Dis. 144:302-306(1991).

National Research Council: Biosafety in the Laboratory, Evaluation of

Hazard. Washington, DC: National Academy Press, 1989.p.53.

"Occupational Exposure to Bloodborne Pathogens; Final Rule" Code of Federal Regulations Title 29, Part 1910.1030(g)(1).

Perkins J. L., Modern Industrial Hygiene(Vol. 2), ACGIH, 2003
J. M. Macher, Evaluation of bioaerosol sampler performance, Appl. Occup. Environ. Hyg., 1997;12(11):730-736.