

바이오에어로졸로서의 곰팡이 특성 및 측정 평가

○ 김성환 | 단국대학교 미생물학과 전공주임교수
piceae@naver.com

I. 서론

시대의 발전과 더불어 인간의 생활양식과 활동 공간이 과거와 달리 많이 바뀌었고 이러한 현대 사회의 변화는 자연의 변화를 또한 많이 가져왔다. 문명 발달과 더불어 삶에 대한 지표도 높아져서 환경과 보건에 대한 관심과 염려가 보편화 되고 있는 실정이다. 여러 가지 많은 환경 관련 요소 가운데 최근 대기권에서부터 실내공간에 이르기 까지 계속적으로 정치 사회적으로 이슈가 되고 있는 것이 바로 우리 생활에서 한시도 벗어 날 수 없는 공기와 관련된 문제이다. 맑고 상쾌한 공기를 누구나 원하고 있지만 산업화와 도시화 그리고 생태적으로 인구가 밀집되다 보니 공기는 우리의 건강과 일상적 활동을 저해하거나 불편하게 만들고 있다. 이에 따라 공기에 대한 성상을 분석하고 평가하여 공기의 질을 향상시키는 노력이 요구되고 있다.

공기 중에는 여러 가지 위해요소가 존재하는데 이중 생물학적 요소인 바이오에어로졸은 문제가 되는 생물체가 무엇이나에 따라 다른 요소와 달리 전염성을 가질 수 있고 만성적으로 지속될 가능성도 있는 요소이다. 또한 사람에 따라 면역성이 다르기 때문에 개인에 따라 달리 나타나는 반응을 보편화 시키기에 어려운 점을 지니고 있는 요소이기도 하다. 이에 따라 바이오에어로졸에 대한 정확한 이해

를 통해 그 존재와 위해 가능성을 평가하는 방법을 설정하는 것이 선행되어야 한다.

이번 글에서는 아직 우리나라에 환경 기준이 설정되어 있지 않으나 실제 많은 문제점을 보이고 있는 바이오에어로졸인 곰팡이에 대한 이해를 돕고 선진국에서 제안되고 있는 측정 방법에 대한 소개를 하고자 한다. 이는 향후 우리나라 곰팡이 관련 바이오에어로졸의 측정 평가 및 제품 개발에 도움이 되는 기본적인 사항으로 활용될 수 있을 것이다.

II. 본론

1. 곰팡이의 특성

1.1. 바이오에어로졸인 곰팡이 기초이해

가) 곰팡이의 정의 :

곰팡이란 세포에 핵을 가지고 있고 유기물을 분해 흡수하여 영양원으로 이용하여 자라는 고등한 미생물이라 할 수 있다.

지금 까지 약 7만종이 보고 되었고 발견되는 추세를 감안하여 볼 때 지구상에 백 만종 까지 존재하는 것으로 내다보고 있다. 보고 된 종중에서 공기 중의 대기를 통해 이동 할 수 있는 곰팡이 종은 약 2만종에 이르는 것으로 추정되고 있으며 이중에 우

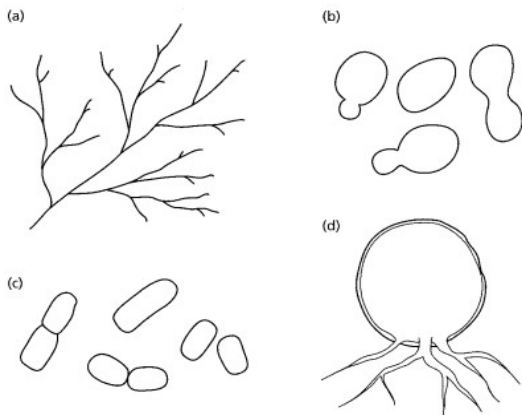


그림 1. 곰팡이의 자라는 형태모습. 사상형(a), 효모형(b,c), 병꽃형(d). 출처[Deacon J. 2006].

리 인체와 관련하여 위해성이 있을 수 있는 종의 수는 약 200종에 달한다. 물론 연구가 되지 않았을 뿐 위해성이 있는 종의 수는 연구가 더 진행되면 늘어날 수 있음을 알아야 한다.

곰팡이의 성장 모습에는 실모양으로 자라는 사상 형태, 이분 분열하는 형태, 나뭇가지 모습으로 자라는 병꽃형태 등이 있다. 이러한 자라는 형태에 따라 곰팡이를 사상균 또는 효모라고 부르기도 한다.

한 마디로 이러한 종의 수는 곰팡이가 다양하다는 것을 말하며, 여기 다양하다는 의미 속에는 곰팡이 유래 바이오에어로졸의 측정 및 평가시에 고려되어야 할 요소들이 단순하지 않음을 시사한다. 바로 여기에 세균이나 진드기 같은 소재에서 유래하는 바이오에어로졸의 측정 평가와 구별해서 다루어야 할 사항이 있음을 주지해야 한다.

나) 곰팡이의 크기

곰팡이 크기를 일반적으로 말하기는 어렵다. 왜냐하면 실모양으로 자라는 것이 끊임없이 자랄 경우 입방 몇 킬로미터 까지 서식지를 확보 하는 것이 있기 때문에 바이오에어로졸로 작용 할 수 있는 곰팡이 몸체에 국한하여 이야기를 하여야 할 것이다.

이 경우 공기 중에 전반 될 수 있는 주요한 몸체는 포자와 조각난 균체이다. 포자가 일반적이기 때문에 곰팡이 포자를 대상으로 그 크기를 설정하는 것이 바람직하다. 곰팡이의 포자는 보통 1 μ m - 100 μ m 정도이다. 이러한 크기는 공기채집기의 선별 및 입자 크기에 따른 인체의 호흡기에 들어오는 정도를 판정하는 기준이 된다.

곰팡이 포자의 크기는 또한 기류를 통해 이동하는 거리에도 영향을 준다. 무겁고 커다란 포자는 작고 가벼운 포자에 비하여 멀리 비산되지 않는다. 비산되는 정도는 멀리는 대륙과 대륙을 가까이는 몇 미터를 이동한다. 한국의 경우 황사와 함께 중국에서 곰팡이 포자가 같이 날아오는 것으로 알려졌다.

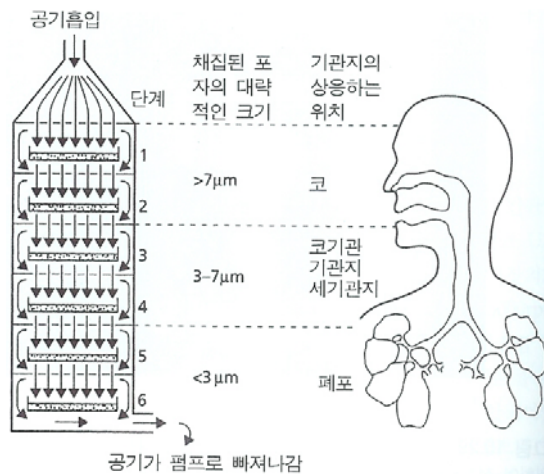


그림 2. 곰팡이 입자(주로 포자) 크기에 따른 인체의 호흡기 접근 정도. 출처[Deacon J. 2006].

다) 곰팡이의 번식과 성장

곰팡이의 번식은 실과 같은 구조인 균사와 포자로 이루어진다. 성장에 필요한 유기물이 존재하는 한 계속해서 번식할 수 있다. 성장에 필요한 주요 요소로는 적절한 수분, 온도, 영양분을 들 수 있다.

곰팡이 종에 따라 성장을 위한 온도 범위는 차이

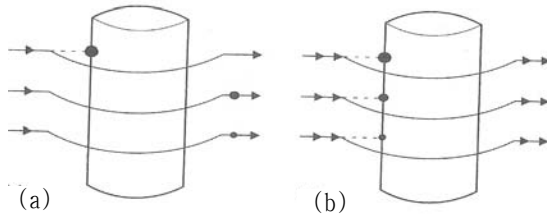


그림 3. 원통에 충돌하는 포자의 모식도 (a) 풍속이 느리면 가장 큰(무거운) 포자만 원통에 충돌이 가해진다. (b) 풍속이 빠르면 작은 포자도 원통에 충돌이 일어난다. 서로 다른 크기의 검은 점은 곰팡이 포자를 의미함. 화살표는 바람의 방향임.
출처[Deacon J. 2006].

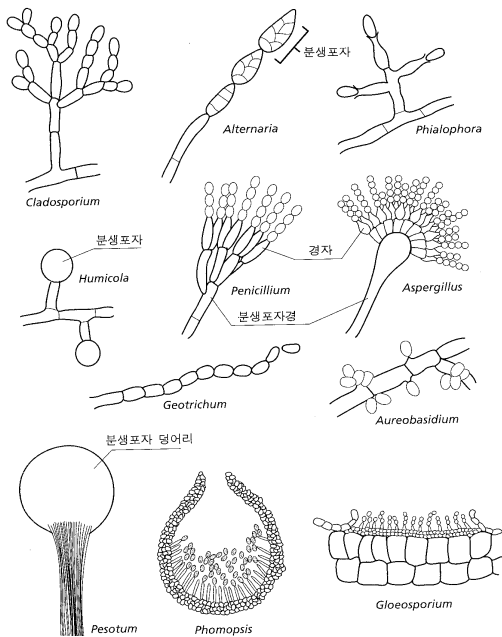


그림 4. 곰팡이 종에 따른 포자 형성 모습 및 포자수, 모양, 크기가 다른 모습. 출처[Deacon J. 2006].

가 있으며 크게 저온균, 중온균, 고온균으로 나누어 볼 수 있다. 고온균은 보통 35도씨 이상에서 자라는 균이며 중온균은 10도와 35도 사이에서 그리고 저온균은 10도 이하에서 잘 자라는 균이다. 인체에 유

해를 주는 병원성 곰팡이의 경우 대체로 35도 이상에서 자라는 균이 많다. 일부 인체 유해 병원성 곰팡이의 경우에 온도에 따라 사상형에서 효모형으로 모양을 변형하여 자라는 종이 있으므로 바이오에어로졸 공기 포집 시 온도에 따라 변형을 주는 곰팡이에 대한 정보도 필요하다. 곰팡이 종에 따라 포자 형성이 많은 종과 적은 종이 있으므로 이를 주지해야 한다.

라) 곰팡이의 서식

곰팡이가 번식 할 수 있는 곳이 바로 곰팡이의 서식지로 볼 수 있다. 우선 수분과 영양분이 있어야 한다. 즉 축축한 곳, 습기 찬 곳이 곰팡이가 좋아하는 곳이 된다. 마르고 햇볕이 잘 드는 곳은 곰팡이 서식이 사실상 거의 이루어지지 않는다. 꼭 기억해야 할 사항은 공기 중에 곰팡이가 먹고 사는 유기물이 떠다닌다는 사실이다. 따라서 먼지가 쌓이면 그곳에 곰팡이가 먹고 살 유기물이 있다는 것이고 먼지 쌓인 곳에 습기가 생기면 곰팡이가 서식 할 수 있게 되는 것이다.

우리가 생활하는 공간을 가정에서 살펴보면 주거 형태는 다르지만 거실, 부엌, 화장실, 침실, 창고, 베란다, 다락방, 지하실을 들 수 있는데 이 중에 습기가 많이 찰 수 있는 공간은 물론 화장실, 창고, 지하실이다. 통기가 잘 안 되는 곳은 습할 가능성이 높기 때문이다. 화장실 환기구, 세면대 밑, 변기의 물탱크 하단, 창고 계단밑, 지하실 천정, 벽 등에 주로 많이 존재한다.

거주 공간에서 곰팡이 포자는 나무, 종이, 플라스틱, 철재, 고무, 액체 표면 등 재료에 상관 상관없이 어느 곳에서든지 물체 표면에 정착 할 수 있으며 습기가 주어지고 온도가 적합해 지면 발아하여 포자를 계속 형성하며 번식 할 수 있다. 따라서 곰팡이 바이오에어로졸의 발생은 공간 내 어느 곳에서든지 가능하다.

표 1. 가정의 공간에 따른 곰팡이 분포 조사의 한 예

곰팡이종류	침실	거실	욕실	부엌	지하실
<i>Alternaria</i>	2.1%	17%	1.7%	-	2.9%
<i>Agrocybe</i>	6.3%	3.1%	13.1%	-	7.5%
<i>Aspergillus/ Penicillium</i>	21.4%	8.5%	10.1%	88%	44.1%
<i>Basidiospores</i>	3.1%	5.4%	3.4%	-	2.4%
<i>Cladosporium</i>	45%	35%	49.2%	9.4%	28.3%
<i>Coprinus</i>	5.1%	19.1%	7.6%	-	3%
<i>Epicoccum</i>	-	1.3%	-	-	-
<i>Humicola</i>	-	19.1%	-	-	12%
<i>Ganoderma</i>	21.2%	20.5%	15%	-	5.8%
<i>Leptosphaeria</i>	-	2.6%	-	-	-
<i>Ulocladium</i>	-	7.8%	-	-	-

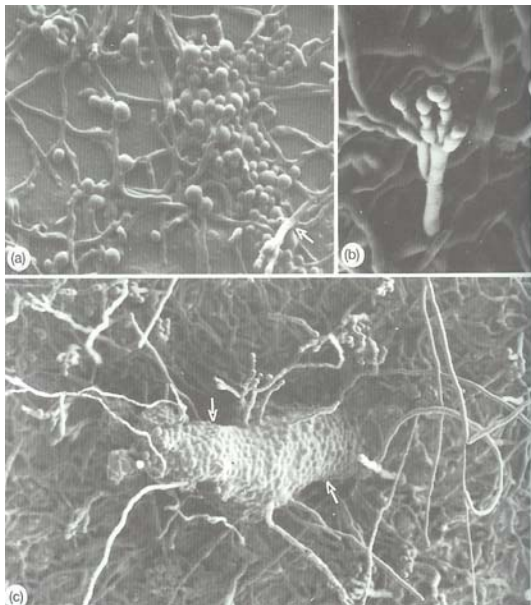


그림 5. 곰팡이가 아크릴벽 표면에 정착하여 번식하며 포자를 내는 모습.

특히 무엇보다도 요즈음 공동 주택 등에서 습기가 많이 생기는 곳이 있다. 바로 가습기, 에어컨, 세탁기, 식물을 키우는 베란다, 벽, 창틀 등이다. 온도

차가 생기면서 공기 중의 수분이 벽면에 응축되어 물기가 생기는 이유로 창틀, 벽지, 장롱의 뒷면 등에 곰팡이 발생이 자주 일어난다.

마) 곰팡이의 환경 저항 능력

공기 중에서 곰팡이의 포자가 어느 정도 생존할 수 있는지에 대한 자료는 극히 적은 실정이다. 일반적으로 공기 중에 많이 존재하고 있는 페니실리움(*Penicillium*)의 포자는 야외에서 최소 2주 정도 견딜 수 있다. 후자리움(*Fusarium*)균의 포자는 토양에서 10년 정도 생존할 수 있다고 한다. 곰팡이 종에 따라 자연에서의 생존 정도가 다르기 때문에 공기가 문제가 되는 곳에 존재하는 곰팡이의 종을 분석하여 그 생존력을 평가하는 것도 중요한 문제이다. 보통 푸른곰팡이, 검은곰팡이, 붉은곰팡이 하면서 색을 띄는 모습에 따라 이름을 붙인 것에서 볼 수 있듯이 곰팡이의 색소는 자외선, 건조, 저온 등에 견딜 수 있는 보호역할을 한다. 대개 색소를 지

표 2. 북미의 가정에서 자연환기와 비교해 에어컨 또는 가습기 등을 사용 할 때 공기모니터링을 통한 곰팡이의 존재 분석. 실내 환경 조건에 따른 곰팡이 종과 밀도가 달라짐을 알 수 있다.

곰팡이 종류	자연통풍	에어컨	가습기
<i>Aspergillus</i>	35.4 cfu	54.3 cfu (75%)	~10-30 cfu
<i>Cephalosporium</i>	0.9 cfu	0.1 cfu (13%)	
<i>Chrysosporium</i>	4.5 cfu	0.5 cfu	
<i>Cladosporium</i>	62.3 cfu	18.2 cfu	~10-970 cfu
<i>Curvularia</i>		0.2 cfu	
<i>Fusarium</i>	0.4 cfu	0.1 cfu	~10-590 cfu
<i>Monilia</i>	0.1 cfu	0.2 cfu	
<i>Mucor</i>	3.0 cfu	1.2 cfu	
<i>Penicillium</i>	1.1 cfu	0.6 cfu (113%)	~10-20 cfu
<i>Rhizopus</i>	3.4 cfu	0.8 cfu	
<i>Alternaria</i>		4.3 cfu (38%)	~10 cfu
<i>Aureobasidium</i>			~10 cfu
<i>Epicoccum</i>			~10 cfu
<i>Gliocladium</i>			~20-260 cfu
<i>Phialophora</i>			~30-1260cfu

니고 있는 곰팡이 포자의 생존력이 높다. 특히 멜라닌, 카로티노이드 등의 화합물이 이러한 보호 기능을 한다.

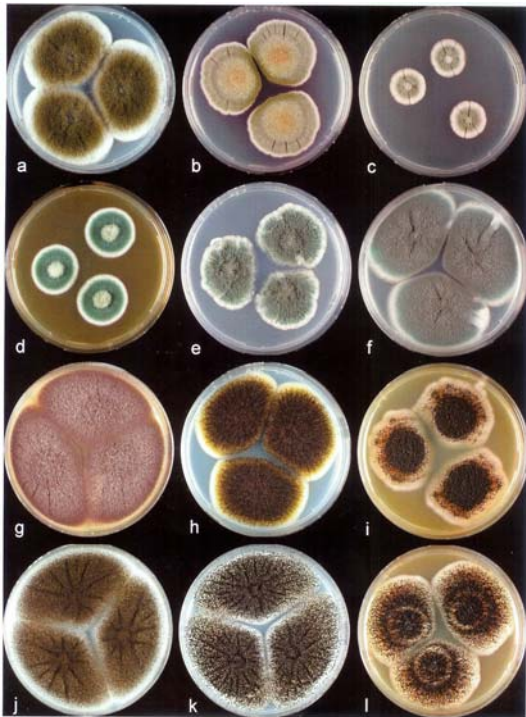


그림 6. 공기 중에 존재 빈도가 높은 곰팡이인 아스페르길루스(*Aspergillus*)균의 다양한 색깔 모습. 서로 다른 종(species)이 배지의 종류에 따라 포자의 색에 다른 색상을 보임. 출처 [Klich, M. A. 2002].

바) 곰팡이의 피해

- 병원균으로서 인체, 동물, 식물에 병을 일으킨다.
- 알러지원으로서 피부나 호흡기에 알러지를 유발한다.
- 곰팡이가 내는 미세한 휘발성 화합물(mVOC)은 불쾌감, 두통, 무력감 등을 가져온다.
- 식품부패균으로서 공기 중에 존재하다 식품의 변질을 일으킨다.

- 건축물, 전자제품, 콤팩트디스크 등에 부식을 일으킨다.
- 건물 및 조경에 미관을 해치는 피해를 일으킨다.
- 독소를 형성하여 패혈증, 중독증 등을 유발시킨다.

1.2 바이오에어로졸 곰팡이 모니터링

가) 고려해야 할 기본 원칙

- 살아 있는 균(viable)만 대상으로 할 것인지 죽은 균(nonviable)도 포함해서 할 것인지 결정한다. 일반적으로 죽은 균이 살아 있는균의 모니터링에서 나오면 살아있는 곰팡이 균을 대상으로 한다. 살아 있는균은 배지에 키울 수 있어서 어떤 균인지 알 수 있고, 또한 균수를 셀 수 있어 바이오에어로졸의 종류와 농도를 이해하는데 도움이 된다. 죽은 균은 배지에 키울 수 없어서 끈적한 표면에 공기를 노출시켜 달라붙은 곰팡이 포자를 관찰하여 무슨 종인지 여러 가지 방법을 이용하여 분석한다. 따라서 대상균에 따라 방법을 달리 써야한다.

- 실내만 할 것인지 실내와 실외 모두 할 것인지 결정한다. 실내오염균이 주변 환경에서 유래될 가능성이 높으면 실내와 실외 모두에서 한다. 일반적으로 건전한 환경에서 실내오염 곰팡이 균의 밀도는 실외 보다 낮다. 만일 곰팡이 한 두 종의 밀도가 실외 보다 실내에서 높다하면 반듯이 오염원을 찾아서 제거해야 한다. 기상 상태에 따라 포자의 비산이 다르므로 바람의 영향이 적은 곳 그리고 적은 날을 선택해서 채집을 해야 한다.

- 시료 채취 장소로는 직업장소(산업체, 사무실)와 비직업장소(공동주택, 교육시설)에서 바이오에어로졸 모니터링이 빈번히 수행된다. 이들 두 가지 장소 모두에서 시료 채집 시에 기억해야 할 점은 사람들이 공간에 있기 전, 있을 때, 공간을 비웠을 때로 나누어 해야 한다는 것이다. 시료채집시 난방, 환기, 에어컨 등의 가동 여부 또한 체크 기록해야

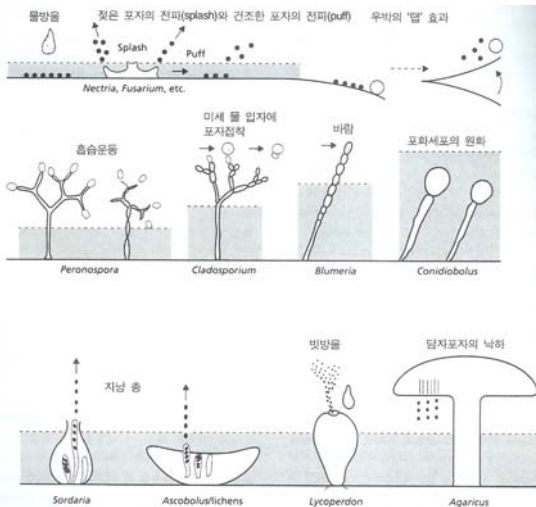


그림 7. 서로 다른 곰팡이의 포자 비산 기작 및 포자를 공기 중으로 방출하는 모습.

출처 [Deacon J. 2006].

한다. 상대습도 온도의 체크는 꼭 필요하다. 습도와 온도에 따라 포자의 형성 정도 및 균의 형태가 달라 나타나기 때문이다.

- 채취하고자 하는 시료의 종류를 뚜렷이 결정해야 한다. 즉 곰팡이 포자(spores), 알러젠(allergens), 균독소(mycotoxin), 휘발성 대사물질(volatile metabolites), 내생독소(endotoxins) 등에 대해 어느 바이오에어로졸 형태를 측정 분석 할지 정해야 한다. 이는 측정 대상지의 건강관련 문제가 무엇인지에 따라 선택될 수 있다.

나) 측정 장비

기본적으로 공기속의 바이오에어로졸을 입자로 취급하여 기류로부터 입자를 직접 노출시키거나 분리하고 채집한 후 배지에 노출시키는 방법이 이용되는데 충돌법(impaction), 여과법(filtration), 세정법(impingement)등이 쓰일 수 있다. 이중 곰팡이 포자의 경우 충돌법이 바이오에어로졸 측정에 일반적으로 사용된다. 이에 따라서 충돌법을 이용

하여 공기를 채집하는데 실질적으로 많이 쓰이는 3가지 포자채집기에 대하여 알아보겠다.

-로토로드포자채집기(rotorodsampler)

매우 간단한 장치로 U형 금속관을 회전자에 연결시켜 2000rpm 정도로 회전하도록 되어 있다. 금속관에 포자를 포집하기 위한 점착테이프가 붙여져서 공기 중의 충돌되는 포자입자들이 부착되도록 되어 있다. 포자채집 후 테이프를 떼어서 현미경으로 포자 모양과 수를 조사하도록 한다. 10-30 μm 정도의 비교적 큰 입자들을 포집하는데 용이하나 작은 입자를 포집하는 데에는 효율이 떨어진다. 좁은 지역 내에서 연속적인 채취를 통하여 특정한 대상의 곰팡이 포자 발생 근원을 추적하는데 사용할 수 있다.

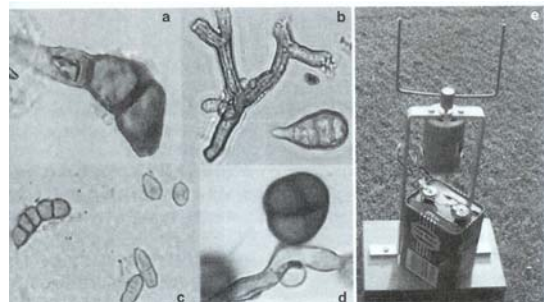


그림 8. 로토로드 포자채집기(e)와 포집된 포자들(a-d). 출처[Deacon J. 2006].

-버카드포자채집기(Burkardsporesampler)

작동 원리는 로토로드 포자채집기와 같이 연속형 채집 장치이다. 대규모 곰팡이 포자 비산 정도를 감시하거나 공기 중에 있는 포자수의 정도를 측정할 수 있다. 원통형의 드럼안에 가느다란 점착테이프가 설치되어 있는데 모터의 힘에 의해 공기가 드럼의 작은 구멍을 통과해 테이프와 충돌하도록 되어 있다. 이 또한 드럼 안에서 작은 속도로 공기가 통과하기 때문에 무거운(커다란) 포자들만 테이프에 접착하도록 되어 있다.

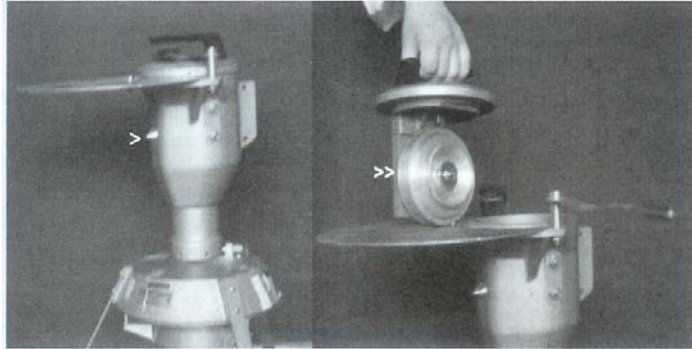


그림 9. 버카드 포자채집기 모습. 화살표 방향으로 공기가 들어간 후(좌) 내부의 회전 원판에 접착테이프가 장착되어 있다(우). 출처[Deacon J. 2006].



그림10. 앤더슨 포자채집기 모습(상단 좌측). 여러 단의 입자 크기가 다른 원판(상단 우측)과 원판을 통해 채집된 곰팡이 모습. 출처[Deacon J. 2006].

-앤더슨포자채집기(Andersonsporesampler)

사람의 호흡기를 본 따서 만든 채집기로서(그림 2 참조) 구멍이 뚫린 여러 개의 금속판을 층지게 연결시켜 쌓은 장치로 금속판 마다 곰팡이 배지를 장착시키도록 되어 있다. 공기는 모터 펌프를 이용하여 흡입시켜 상부에서 하부로 내려가도록 되어 있고 금속판 구멍은 상부에서 하부로 갈수록 좁아지

게 되어 있어서 포자 크기가 큰 것부터 작은 것에 이르게 채집되도록 되어 있다. 이는 바이오에어로졸 입자들이 관성에 따라 분류되도록 되어 있어서 앞서 서술한 로토로드 및 버카드 포자 채집기와 다르다. 일정시간 포자를 채집 후 채집기를 분해하여 배지를 빼낸 후 배양시켜 자라난 곰팡이의 수와 종을 판별한다.

-휴대용포자채집기(potablesporesampler)

앤더슨 샘플러와 유사한 원리이나 소음이 적고 가볍고 전기를 사용하지 않아 이동하면서 측정 할 수 있는 장점이 있다. 이 또한 1-2개의 페트리디쉬에 담은 배지를 장착하도록 되어 있고 배지에 포집된 곰팡이 균의 수와 종을 판별함으로써 평가한다. 가격이 비싸며 크기에 따른 포집 효과는 기대 할 수 없다.

다) 곰팡이 배지의 선정 시 고려사항

살아 있는 곰팡이 균을 측정 하는 것은 곧 배지를 이용하는 방법이기 때문에 배지의 선정이 중요하다. 곰팡이 마다 생장을 위해 좋아하는 영양원이 다르므로 사전에 채집 대상균의 특성을 미리 파악하여 어떤 배지를 쓸지 결정 하는 것이 필요하다.

- 일반적으로 많이 사용되는 배지는 맥아추출 한천 배지(malt extract agar), 감자 한천배지(potato dextrose agar), DG18 배지(dichloran-18% glycerol agar) 등이다.

- 세균 또한 일반적으로 곰팡이 배지에서 자라는 종이 많아 공기채집시 곰팡이 배지에 항생제를 첨가해야 한다. 그람양성균 및 그람음성균 모두의 생장을 억제하는 항생제를 첨가해야 한다.

라) 곰팡이 시료 채집

-포자채집

기본적으로 실내공기질 공정시험법에서 총부유세균에 설정한 대로 따르며 사람의 왕래가 빈번한 곳, 1-1.5m 높이에서 시행하고, 바람이 불지 않는 곳, 바람이 불지 않은 날(야외 시료 채집시)에 실시한다. 한 장소 당 3개 사이트를 선정하여 채집한다. 공간에 사람이 있기 전, 있을 때, 떠난 후 3개 시점으로 공기 시료를 채집한다. 사전 지식이 없으면 매번 채집 때마다 5개의 배지를 사용한다. 배지의 수와 종류는 측정 대상 장소에 대한 예비 측정을 통해 조정하도록 한다. 채집된 시료는 페트리디쉬 뚜껑

을 파라핀필름(parafilm)으로 밀봉하여 공기의 흐름으로 인해 따라 오염이 일어나지 않도록 한 후 분석실로 가져와 배양시킨다. 곰팡이의 밀도는 계절에 따라 큰 차이가 있기 때문에 특히 야외에서 시료를 채집 할 때에는 계절별로 또는 월별로 모니터링 하는 것이 필요하다. 특히 포자형성을 많이 하는 종이 우점하고 있는 지역에서 공기시료를 채취 시에는 포자 형성을 적게 하는 종의 존재를 파악하는데 어려움이 있을 수 있기 때문에 시료를 채취 할 때 오염이 일어나지 않도록 세심한 주의를 기울여야 한다.

마) 곰팡이 배양

곰팡이 포자가 채집된 배지는 일반적으로 상온(22-25도)에 배양시키지만 대상균의 특성에 따라 30도 35도 37도 등으로 달리 할 수 있다. 만일 대상균에 대한 사전 지식이 없다면 여러 온도에서 각각 배양을 시도해야 한다. 배양기간은 균종인 콜로니수(cfu)를 세는 경우 3-7일이 보통이나 곰팡이 균에 따라 성장이 느린 종이 있으니 20일 까지 지켜보아야 한다. 온도와 배양 시간 또한 대상 곰팡이 종에 따라 달리해야 하므로 측정 대상공간에 있어서 사전의 곰팡이 정보가 필요하다. 이는 예비측정을 여러 차례 함으로서 가능하다.

-배양균의 동정

곰팡이 종의 동정은 매우 어렵기 때문에 훈련된 인력이 없으면 전문가에 의뢰하여야 한다. 중요성 여하에 따라 동정의 수준을 속(genus) 수준으로 할 것인지 종(species) 수준으로 할 것인지 정한다. 병원균의 동정은 반듯이 종 수준 까지 동정 하도록 한다.

동정 하는 방법의 기본은 광학현미경(light microscope), 위상차현미경(phase-contrast microscope), 형광현미경(fluorescence microscope)을 이용하여 곰팡이 균사 및 포자의 모양, 색, 굵기, 크기 등등 여

러 가지 형태를 관찰하여 알려진 곰팡이에 대한 특성과 비교하여 동정한다. 포자가 작고 유사한 종들은 배율이 높은 주사전자현미경(scanning electron microscope, 1000-10000배) 및 투과전자현미경(transmission electron microscope, 10000-100000배)을 이용한다.

그 밖의 방법으로는 항체기술을 이용하는 방법, 유전자표지를 이용하는 방법, 생화학적 특성을 이용하는 방법, 지방산 및 다당체를 분석하여 동정하는 방법 등이 있다.

바) 기타 곰팡이유래 바이오에어로졸의 채집 및 분석

- 알러젠 (곰팡이 효소나 세포벽 물질 특히 [1→3]β-D-glucans)

일반적으로 여과법이 사용된다. 여러 가지 타입이 있는데 Litton-type large volume electrostatic 공기채집기가 가장 효율이 좋은 것으로 보고 된 바 있다. 공기 중에 존재하는 알러젠을 일정 속도로 걸러서 액체에 모은 후 알러젠에 대한 항체를 반응시켜 검출한다. enzyme-linked immunosorbent assay(ELISA) 방법이 최근 널리 사용된다.

- 균독소

유리섬유 필터를 장착한 고용량 채집기가 면화 필터나 테프론(teflon) 디스크를 장착한 앤더슨 공기채집기 보다 효율이 좋은 것으로 알려졌다. 채집된 시료는 acetonitril:water(9:1)로 추출 후 여과한 다음 클로로포름으로 다시 추출하고 농축시킨다. 농축된 시료는 클로로포름과 헥산으로 녹인 후 일반적인 독소 분석방법에 따라 HPLC 또는 항체 기술을 이용하여 균독소의 종류 및 농도를 검출 한다.

- 휘발성대사물질

실내공기질 측정방법의 일종인 VOC 방법과 유사하다. Tenax GC support (60/80 mesh)가 충전

된 스텐레스 카트리지를 이용하여 여과된 공기를 포집한 후 일반적 VOC 분석에 따라 GC-MS로 분석한다.

- 내생독소

내생독소는 일반적으로 vertical elutriator를 이용하여 공기를 cellulose acetate 또는 polyvinyl chloride를 통해 여과하여 모으거나 유리섬유 필터를 장착한 앤더슨 공기채집기로 모은 후 분석한다. Limulus amoebocyte lysate(LAL) 분석을 통해 독소의 양을 정량한다.

사) 자료의 해석

곰팡이 포자의 수는 CFU/m³ 로 표시하여 나타낸다. 지금 까지 조사된 여러 나라의 경우 지역마다 장소 마다 달리 나타나고 있어서 정해진 규정은 없는 실정이다. 그러나 여러 가지 가이드라인이 가정, 사무실, 작업장 등에 제시되고 있다. CFU/m³의 수준도 곰팡이 종을 지정하여 농도를 설정하기도 하고 여러 종에 대한 전체적인 수준을 따라 설정하기도 한다. 또한 알러지 문제를 포함 시키는지 여부, 면역이 약한 사람이 있는지 여부, 곰팡이 종이 몇 가지 존재하는지 등의 여부에 따라 기준은 변동이 있을 수 있다. 물론 시내와 실외 그리고 계절(온도)에 다른 기준도 고려돼야 한다. 독소의 경우나 알러젠은 농도 (μg)로 표시하여 나타낸다. 우리나라는 아직 제시된 자료 및 가이드라인이 없는 실정이다. 곰팡이의 종과 분포, 농도 등에 대한 기초 자료의 축적이 시급하다고 하겠다.

III. 결 론

이상과 같이 바이오에어로졸의 일종인 곰팡이를 중심으로 그 특성을 살펴보고 측정을 위해서 고려되어야 하는 사항 등을 살펴보았다. 전반적으로 곰팡이에 대한 요소를 이해하는데 도움이 되리라고

본다. 우리가 숨쉬는 공기 중에 항상 존재하면서 어떠한 영향을 개인들에게 혹은 집단에 미치는지 분석된 사례가 우리나라에서는 많지 않다. 이는 분석상의 어려움과 더불어 바이오에어로졸 인자인 곰팡이에 대한 정보가 부재한데 그 연유가 있다고 본다. 앞으로 바이오에어로졸의 측정 평가를 위해서 곰팡이종과 분포에 대한 정보의 축적과 더불어 이들을 분석하는 측정하는 방법의 표준화를 이루는 작업이 이루어져야 할 것이다.

– 참고문헌 –

1. Klich, M. A. 2002. Identification of common *Aspergillus* species. CBS, Utrecht, The Netherlands.
2. Mandrioli, P., P. Comtois, and V. Levizzani. 1998. Method in aerobiology. Pitagora Editrice S.r.l. (edition), Via del Lagatore 3, 40138, Italy.
3. Jensen, P. A. and M. P. Schafer. 1994. Chapter J. Sampling and characterization of bioaerosol. In NIOSH Manual of analytical methods. pp.82-112.
4. Deacon J. 2006. Fungal Biology. 4th Edition. Blackwell Publishing. MA. USA.
5. 정동효. 2002. 생활 속의 곰팡이. 유한문화사.