

임핀저 흡수액 조성에 따른 돈사 작업장내 바이오에어로졸 포집 효율 평가

김기연 · 고한중¹⁾ · 이경중[‡]

아주대학교 의과대학 예방의학교실 · 한국방송통신대학교¹⁾

Effect of Composition of Collection Fluid in Impinger on Sampling Efficiency of Airborne Microorganisms in Pig Building

Ki Youn Kim · Han Jong Ko¹⁾ · Kyung Jong Lee[‡]

Department of Preventive Medicine & Public Health, School of medicine, Ajou University, Korea National Open University¹⁾

Effect of the collection fluids used in sampling bioaerosol was evaluated in a pig building with the parameters such as purified distilled water, 0.2% peptone water, 1.0% peptone water and phosphate-buffer solution water in impinger on initial sampling efficiency and colony recovery by storage time of airborne bacteria and fungi. In initialcfu concentrations of bacteria and fungi simultaneously collected in the AGI-30 impingers according to composition of collection fluid, the peptone water showed higher sampling efficiency than the purified distilled water and the phosphate-buffer solution water but there was no significant difference between them($p>0.05$). In evaluation of the bacterial colony recovery efficiency of collection fluids by storage time, initialcfu concentration in the purified distilled water and the peptone water continuously decreased and generally increased, respectively, with the passage of storage time.

On the other hand, initialcfu concentration in the phosphate-buffer solution water was preserved without considerable fluctuation by the maximum 36 hrs. Therefore, it is recommended that the peptone water should be applied to an environmental condition available to incubate airborne bacteria as soon as possible after collecting samples and the phosphate-buffer solution water to an environmental condition necessary to store bacterial samples for a long time. It was concluded, however, that the method of impaction or filtration should be utilized in collecting airborne fungal samples because the fungal spores are generally hydrophobic and difficult to collect in liquid media and therefore the impingement had a relatively lower sampling efficiency than the methods of impaction and filtration.

Key Words: Collection fluid, Bioaerosol, Pig building, Impinger

I. 서 론

축산업의 경영 형태가 대규모화되어 감에 따라 대단위 가축 사육으로 인해 발생

되는 환경오염 및 가축과 작업자의 보건 위생 문제가 초미의 관심 분야로 대두되고 있다. 특히 전 세계적으로 사회적 관심을 불러일으킨 구제역이나 조류독감과 같

은 가축 전염병의 발생은 관리 상태가 열악한 축사의 실내 환경이 주된 이유이며, 이는 축사내 작업자의 건강상 문제도 유발시키는 원인이기도 하다. 또한 부유 미생물의 모니터링은 비단 축산 환경 분야 뿐 아니라 인간들이 숨쉬고 살아가고 있는 실내 주거 공간에서도 매우 중요하게

접수일 : 2004년 6월 28일, 채택일 : 2004년 7월 22일

‡ 교신저자 : 이경중(경기 수원시 영통구 원천동 산 5번지, 아주대학교 예방의학교실

Tel : 031-219-5292, E-mail : leekj@ajou.ac.kr)

인식되고 있는데, 최근 들어 삶의 질에 대한 현대인들의 욕구가 증대됨에 따라 청결치 못한 실내 주거 공간으로 인해 두통, 현기증, 메스꺼움, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감소 등의 “새집증후군”이나 “빌딩증후군(Sick Building Symptoms, SBS)”을 호소하는 사람들이 증가하고 있다. 이상의 모든 환경 보건학적 문제들은 오염된 실내 환경에 의한 것으로 공기 중에 부유하고 있는 유해한 세균이나 곰팡이, 바이러스가 분진과 같은 고체상 입자에 흡착되어 운반되거나(Donham et al., 1986; Bruce and Sommer, 1987; Crook et al., 1991; Olson and Bark, 1996) 또는 직접 인간이나 가축의 호흡에 의해 체내에 침투되는 현상이 하나의 요인이라 할 수 있다. 그리고 이러한 생물학상 오염물질들이 인간의 호흡을 통해 체내에 흡입되면 호흡기 질환, 폐질환, 기관지 질환, 폐암을 비롯한 각종 질병을 유발시킬 수 있으며(정윤희 등, 2001), 기회감염균이 공기를 매체로 하여 폐 및 기타 기관에 전달되면 전염성 질환 및 알레르기 질환을 유발시키기도 하며 심한 경우 사망에 이르게 할 수도 있다(Macher and First, 1984). 따라서 축사 작업장을 포함한 여타 다른 실내 공간 내 부유하고 있는 미생물들이 작업자에게 미치는 영향을 규명하기 위해서는 이들의 정밀한 측정 기술 정립이 우선되어야 하나, 아직까지 국내외적으로 공인된 분석 방법이 제시되지 못하고 있다. 이러한 사실에 근거를 둔다면 2004년 6월 환경부에서 입법 제정한 “다중이용시설등의 실내공기질 관리법”의 내용 중 부유 미생물의 측정 방법 및 노출기준의 고시는 다시금 재고할 필요성이 있다.

일반적으로 실내 부유 미생물을 측정하는 데 있어 선행 연구자들에 의해 적용된 방법은 흡수법(Impingement), 필터법(Filtration), 관성충돌법(Impaction) 등으로 분류할 수 있다. 이 중 관성충돌법이 흡수법과 필터법과는 달리 선택배지나 혹은 한천배지를 관성충돌기에 넣어 직접 부유 미생물을 포집하기 때문에 채취 효율이 상대적으로 높고 측정 과정이 상대적으로 간편하다는 이유로 최근에 폭넓게 이용되

고 있으며, 우리나라에서도 병원 등에서 실내 부유 미생물 오염도 측정시 가장 많이 활용되고 있다(정선희와 백남원, 1998; 조현중 등, 2000; 김윤신 등, 2002). 하지만, 분석 장비의 가격이 고가이며 장시간 시료 채취시 배지에 과포집되어 미생물의 군락을 계수할 수 없는 경우도 발생한다(Thorne et al., 1992). 또한 시료 채취시 부유 미생물이 응집화될 수 있으며(Lembke et al., 1981) 플라스틱 한천 배지와와의 충돌 및 정전기적 인력 발생으로 인해 미생물의 세포 구조에 심각한 영향을 줄 수 있다는 단점을 가지고 있다(Andersen, 1958). 따라서 관성충돌법만이 부유 미생물을 측정하는 데 있어 최선의 분석 방법은 아니며, 실내 작업 환경 상태에 따라 흡수법과 필터법도 구분해서 적용해야 할 필요가 있다.

흡수법의 경우 임핀저에 일정량의 흡수액을 넣어 부유 미생물을 채취하는 방법으로 경제적이고 이용하기 수월하며 채취된 흡수액을 일정 비율로 희석한 후 평판배지에 도말할 수 있기 때문에 실내 공간의 유형에 따른 다양한 농도 범위의 부유 미생물을 측정할 수 있다는 측면에서 여러 연구자들에 의해 이용되어 왔다(Lembke et al., 1991; Terzieva et al., 1996; Duchaine et al., 2001). 하지만, 부유 미생물의 채취 효율 측면에서 과학적으로 검증되어 공인된 흡수액의 조성이 제시되어 있지 않아 연구자들의 임의적 판단에 의해 흡수액을 선택하여 이용한 문제점을 갖고 있다. 따라서 본 연구는 기존 연구자들에 의해 채택되어 이용된 각 흡수액의 부유 미생물 채취 효율성 평가를 통해 최적의 흡수액 조성을 제시하는 데 목적을 두고 있다.

II. 실험대상 및 방법

1. 실험대상

서울대학교 농업생명과학대학 부속 동물목장에 위치한 밀폐 형태의 육성/비육 돈사를 대상으로 2003년 4월에서 5월 사

이에 2~3일 간격으로 총 20일 동안 실험을 수행하였다. 본 연구에 이용된 돈사의 제원은 20m(W)×12m(L)로 중앙 복도를 중심으로 좌우에 5.4m(W)×2m(L)×1m(H)의 돈방이 각 10개씩 총 20개가 설치되었다. 각 돈방에는 평균체중 45kg인 삼원교잡종(Landrace×Yorkshire×Duroc) 육성돈 10두씩 총 200두를 완전임의 배치법으로 입식하였다. 급이사료는 육성돈 사료(S사)를 자동 급이기를 통해 급여하였고, 음용수는 니플(nipple)을 설치하여 자유롭게 음수토록 하였다. 분뇨는 슬러리 방식으로 처리하였고, 환기방식은 돈사측벽 입기구를 통해 들어온 외부공기가 배플(baffle)을 통해 내부로 유입되는 입기시스템과 반대편 측벽에 설치된 5개의 팬(0.6m×0.6m)이 덕트로 연결되어 내부 공기가 외부로 배출되는 음압방식의 배기시스템 형태로 구성되었다. 실험기간 동안 MWPS-8(1988)에서 제시한 돼지 사육단계별 환기율의 적정범위에 따라 내부 온도 및 습도가 센서에 의해 적정 수준으로 자동 제어되었다. 돈사에 대한 그 밖의 제원사항은 <Table 1>과 같다.

2. 분석 방법

1) 시료 채취

시료 포집은 돈사의 복도 중앙으로부터 작업자의 호흡구 위치에 해당되는 150cm 상부 지점에서 수행되었다. 시료 채취가 가능한 받침대를 자체 제작하여 그 위에 4개의 air sampler(Gilian Instrument Corp., Wayne, NJ)와 흡수액을 넣은 4개의 임핀저(AGI-30 impinger)를 moisture trap과 함께 각각 연결하여 설치하였으며, 동일한 조건을 최대한 조성하기 위해 철재로 만들어진 rack을 이용하여 4개의 임핀저를 한 곳에 모아 두어 시료를 채취하였다. 4가지 평가 대상 흡수액은 부유 미생물 채취시 기존 연구자들에 의해 주로 이용된 것들로(<Table 2> 참조), 각 흡수액 10ml를 넣은 임핀저들을 시료를 채취하기 전 autoclave를 통해 150℃, 2기압 조건하에서 30분 동안 멸균하였다. 4개의 air sampler의 유량은 모두 2 l/min으로 설정

Table 1. The composition material and specifications of the enclosed growing/finishing pig building

Location	Composition
Roof material	Side steel plate 0.8mm + Urethane 100mm
Outside wall	Side steel plate 0.8mm + Styrofoam 100mm
Inside wall(upper)	Side steel plate 0.8mm + Styrofoam 50mm
Inside wall(lower)	Concrete 200mm
Ceiling	Side steel plate 0.8mm + Styrofoam 50mm
Characteristics	Specification
Pit depth(cm)	45 ~ 60
Pit capacity(m ³)	80.4
Floor material	Concrete slat
Fan type	Sirocco fan
R value(m ² ·°C/W)	19.8/12.8
- Roof/Wall	

하였고, 단시간 노출 기준에 근거, 15분 동안 시료를 채취하였다. 동시에 온/습도 측정기(SK-110TRH, Sato, Japan)를 통해 시료 채취 기간 동안의 돈사 내부의 온도 및 상대습도를 실시간 모니터링 하였다.

2) 미생물 분석

포집된 시료는 돈사 옆에 위치한 실험실로 바로 운반한 다음 시료 채취시 임편저 표면에 묻은 먼지나 오염물질을 75% 에탄올로 제거한 후 clean bench내에서 분석하였다. 약 5초 동안 임편저를 shaking 한 후 micropipet으로 흡수액 100 μ l를 채취, 10단계 희석법으로 10⁵까지 진행하였으며 희석된 각각의 시료에 대해 3반복으로 평균 한천 배지에 도말하였다. 박테리아의 경우 NA(Nutrient Agar) 배지(Beef extract 3g; Peptone 8g; NaCl 5g; Agar 18g; + 증류수 1 l)를 이용하였는데, 곰팡이의 성

장을 억제하기 위한 목적으로 cycloheximide 500mg을 첨가하였다. 한편, 곰팡이의 경우 MEA(Malt Extract Agar) 배지(Malt extract 20.0g; Dextrose 20.0g; Peptone 1.0g; Agar 20.0g; + 증류수 1 l)를 이용하였는데, 박테리아의 성장을 억제하기 위해 chloramphenicol 100mg을 첨가하였다. 배양시간은 박테리아의 경우 37℃에서 1~2일, 곰팡이의 경우 25℃에서 3~5일로 설정하였다. 4℃ 냉장 조건하에서 시료를 저장하였으며, 시간에 따른 각 흡수액의 시료 보존 효율성을 평가하기 위해 채취 직후, 6hr, 12hr, 24hr, 36hr, 48hr에 미생물 분석을 수행하였다.

3) 통계 분석

본 실험에서 얻어진 분석 결과는 SAS (1996) package program을 이용하여 각 흡수액 간의 시료 채취 효율성 차이를

ANOVA 분석을 통해 통계적 유의성을 검정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 흡수액 조성에 따른 돈사 작업장내 부유 미생물 채취 효율 평가

흡수액 조성에 따른 시료 채취 직후 돈사내 부유 미생물을 배양하여 집락을 계수한 결과는 <Table 3>과 같다. 박테리아의 경우 증류수 252,068cfu/m³; 0.2% 펩톤 흡수액 264,285cfu/m³; 1.0% 펩톤 흡수액 272.264cfu/m³; 인산 완충 용액 258,460cfu/m³으로 분석되어 1.0% 펩톤 흡수액>0.2% 펩톤 흡수액>인산 완충 용액>증류수 순으로 채취 효율을 나타냈으나 통계적 유의성은 없었다(p>0.05). 한편, 곰팡이의 경우 증류수 2,879cfu/m³; 0.2% 펩톤 흡수액 2,915cfu/m³; 1.0% 펩톤 흡수액 3,052cfu/m³; 인산 완충 용액 2,734cfu/m³으로 측정되어 1.0% 펩톤 흡수액>0.2% 펩톤 흡수액>증류수>인산 완충 용액 순으로 채취 효율을 보였으나 박테리아의 경우와 마찬가지로 통계적 유의성은 없었다(p>0.05). 박테리아와 곰팡이 모두 증류수나 인산 완충 용액보다는 펩톤을 첨가한 흡수액에서 채취 직후의 부유 미생물 농도가 상대적으로 높았는데, 이는 흡수액내에서의 박테리아나 곰팡이가 적정 pH 유지보다는 미생물의 영양원인 단백질을 함유한 흡수액을 초기 생존 조건으로 더 선호하는 것으로 판단된다. 펩톤을 첨가하면 시

Table 2. The compositions of collection fluids evaluated in this study

Collection fluid	Remarks	References
Purified distilled water	-	- Terzieva et al., 1996; Lin et al., 1999; Li and Lin, 2001.
0.2% peptone water	with 0.01% Tween 80 and 0.005% antifoaming agent	- Chatigny et al., 1989; 하권철과 백남원, 1991.
1.0% peptone water	with 0.01% Tween 80 and 0.005% antifoaming agent	- Thorne et al., 1992.
Phosphate-buffer dilution water	0.3mM & pH 7.2	- Walter et al., 1990; Juozaitis et al., 1994; Jensen and Schafer, 1998.

Table 3. Sampling efficiency of collection fluids for analyzing airborne microorganisms in the pig building

		Distilled water	Peptone(0.2%)	Peptone(1.0%)	Phosphate buffer
Bacteria (cfu/m ³)	Mean	2.52×10^5	2.64×10^5	2.72×10^5	2.58×10^5
	S.D.	1.17×10^5	1.61×10^5	1.87×10^5	1.12×10^5
	Max.	4.22×10^5	6.10×10^5	6.78×10^5	4.11×10^5
	Min.	6.31×10^4	9.01×10^4	6.88×10^4	3.66×10^4
Fungi (cfu/m ³)	Mean	2.88×10^3	2.92×10^3	3.05×10^3	2.73×10^3
	S.D.	1.50×10^3	1.01×10^3	1.91×10^3	9.95×10^2
	Max.	5.18×10^3	4.54×10^3	7.21×10^3	4.77×10^3
	Min.	7.96×10^2	1.51×10^3	1.53×10^3	2.39×10^3

료 채취시 흡수액의 기포가 많이 생겨 임
편저의 공기 흡입구로 흡수액이 역류되는
현상이 발생하기 때문에 여러 연구자들이
거품 방지제와 같은 첨가제를 넣도록 권
고하고 있는데(Cox, 1966; Thorne et al.,
1992; Jensen and Schafer, 1998), 이 또한
흡수액의 증발이나 에어로졸화로 인한 미
생물의 세포 파괴 현상(Muilenberg, 1989;
Willeke et al., 1995; Grinshpun et al., 1996)
이 증류수나 인산 완충 용액보다 상대적
으로 적게 발생되어 위와 같은 분석 결과
를 나타내게 한 하나의 원인이라 사료된
다. 흡수액의 조성과의 관계없이 총 20회의
분석 결과 부유 박테리아는 $3.7 \times 10^4 \sim$
 6.8×10^5 cfu/m³, 곰팡이는 $8.0 \times 10^2 \sim 7.2 \times 10^3$
cfu/m³의 농도 범위를 보여 돈사 작업장내
에서 측정된 외국의 선행 연구결과들
(Elliot et al., 1976; Clark et al., 1983;
Cormier et al., 1990; Duchaine et al., 2000)
과 비교시 박테리아의 경우 큰 차이를 보

이지 않았으나, 곰팡이는 상대적으로 낮
게 검출된 것으로 나타났다. 따라서 흡수
액을 통한 부유 미생물의 측정 방법을 다
른 산업 현장에 적용시 박테리아의 경우
분석적 문제가 없을 것이라 판단되나, 곰
팡이는 다른 측정 방법의 적용을 검토해
야 할 것이다.

2. 저장 시간에 따른 각 흡수액의 부유 미생물 재현 효율성 평가

<Fig. 1>에서 제시하는 바와 같이 저장
시간에 따른 각 흡수액의 부유 박테리아
의 재현 효율성을 살펴보면 비교 대상 4
가지 흡수액 모두 냉장 저장 후 6시간까
지는 초기 농도의 5% 이내에서 오차 범위
를 보이는 것으로 분석되었으나, 그 이후
부터는 흡수액의 조성에 따라 초기 농도
의 재현 양상이 상이했다. 증류수의 경우
시간이 경과함에 따라 계속하여 집락 수

가 감소하여 48시간 후에는 초기 농도의
25% 이하를 나타내었다. 0.2% 펩톤 용액
은 저장 후 24시간까지 초기 농도 대비 약
50%까지 증가하는 경향을 보이다가 그
이후로는 감소하는 추세를 보였으며,
1.0% 펩톤 용액의 경우 저장 시간이 경과
할수록 상대적으로 높은 비율로 증가하다
가 36시간 후에는 초기 농도의 약 2배에
해당되는 집락 수가 관찰된 후 48시간에
서는 증가 비율이 정제하는 경향을 나타
내었다. 반면 인산 완충 용액의 경우 저장
후 6시간, 12시간, 24시간, 36시간의 집락
수가 초기 농도 수치와 비교해 보면 통계
적 유의성 범위($\pm 5\%$)내에서 차이가 없게
변동하는 것으로 관찰된 후 48시간에서는
약 30% 감소하는 것으로 분석되었다. Lin
과 Li(2001)는 흡수액으로 부유 박테리아
를 채취하는 경우 냉장(4℃) 저장 기간 동
안 박테리아는 증식을 하기 때문에 가능
한 빠른 시간내에 분석하는 것을 제안하

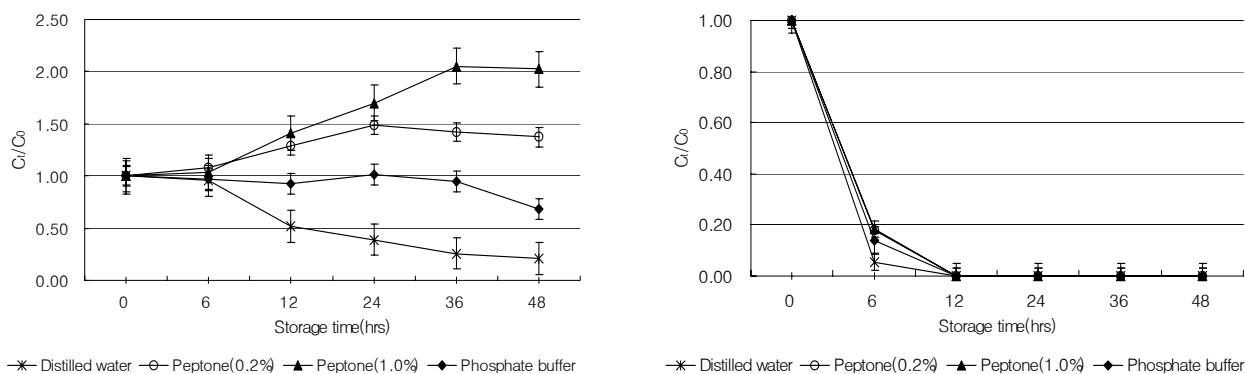


Fig 1. Effect of storage time on the cfu concentration of airborne bacteria(above) and fungi(below) by composition of collection fluid in the AGI-30 impinger. Ct and Co are the cfu concentrations of the collected samples stored at for t and 0h, respectively. Each error bar represents 1 S.D. on the mean of three replicates.

였으나, 이번 실험 결과 펄톤 용액을 제외한 증류수와 인산 완충 용액은 그들의 주장과 다른 경향을 나타내었다. Li와 Lin (2001)은 부유 박테리아의 채취 방법을 박테리아의 종류에 따라 적합하게 선택하면 저장 시간은 농도 재현성 저하에 부정적인 영향을 주지 않는다고 하였으나, 이 내용 또한 이번 실험 결과와 상반된 것으로 분석되었다. 종합적으로 고찰해 볼 때, 펄톤과 같은 단백질 물질이 첨가되면 흡수액내에 포집된 부유 박테리아의 성장 및 번식을 촉진시키는 영양원으로 작용하기 때문에 저장 시간이 경과함에 따라 그 수가 증가하는 것이고, 증류수는 영양원의 결핍으로 반대로 그 수가 감소하는 것이며, 인산 완충 용액의 경우 영양원은 제공되지는 않으나 생존에 필요한 적정 pH가 유지되기 때문에 저장 후 어느 일정 시간까지는 최소한의 활성 능력을 유지하는 것으로 판단된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 배지에 접촉할 때까지 시료를 냉동 보관할 것을 여러 연구자들이 제안하였으나(Eduard and Lacey, 1988; Crook et al., 1991; Morey, 1990), 대부분의 시료 채취가 현장에서 이루어진 후 분석을 위해 실험실로 운반되어야 하기 때문에 현실적으로 거의 불가능하다. 따라서 냉장(4℃) 저장 후에도 시료 채취 후 박테리아의 초기 농도를 큰 차이 없이 보존하기 위한 흡수액은 인산 완충 용액이며 초기 농도의 재현성을 최대 36시간까지 확보할 수 있기 때문에 이를 작업 현장 및 실내 주거 공간내 부유 박테리아 채취시 적용함이 적합하리라 판단된다.

부유 곰팡이의 경우 4가지 흡수액 모두 저장 후 6시간에 분석된 집락 수가 초기 농도의 약 10배까지 감소한 후 12시간 이후부터는 하나도 검출되지 않았다. 일반적으로 곰팡이는 소수성(hydrophobicity)을 가지고 있어 액상 조건에서 포자의 배양 및 증식 능력을 쉽게 상실하기 때문에(Cox, 1987; Li and Lin, 2001) 흡수액을 통한 부유 곰팡이의 채취 방법은 적절치 못하며, 설령 이용하더라도 채취 후 빠른 시간내에 실험실로 운반되어 배지에 도말하여 배양과정을 거쳐야 하기 때문에 현장

적용에는 현실적으로 불가능하리라 판단된다. 따라서 작업장 및 실내 주거 공간내에 서식하는 부유 곰팡이의 채취는 관성 충돌법이나 필터법으로 수행되어야 할 것이다.

IV. 결 론

임핀저 흡수액 조성에 따라 돈사 작업장내 부유 미생물을 포집하고 분석한 결과 초기 농도의 경우 박테리아와 곰팡이 모두 증류수나 인산 완충 용액보다는 펄톤이 첨가된 흡수액에서 높은 채취 효율을 보였으나 통계적 유의성은 없었다($p>0.05$). 저장 시간에 따른 각 흡수액의 부유 미생물 재현 효율성 평가에서는 박테리아의 경우 저장 시간이 경과함에 따라 집락 수가 증류수는 계속 감소하고 펄톤 용액은 증가하는 경향을 보인 반면, 상대적으로 인산 완충 용액은 최대 36시간까지 초기 농도와 유사한 수치를 나타내는 것으로 분석되었다. 따라서 실내 환경내 부유하고 있는 박테리아 분석시 시료 채취 후 빠른 시간 내에 배양 가능한 경우에는 펄톤 용액을, 장기간 저장할 경우에는 인산 완충 용액을 적용하는 것이 적합하리라 판단된다. 하지만, 곰팡이의 경우 일반적으로 소수성을 가지고 있기 때문에 흡수법의 채취 효율이 다른 분석 방법에 비해 상대적으로 낮고 장기간 저장 시 집락이 검출되지 않으므로 관성충돌법이나 필터법을 적용해야 할 것이다.

REFERENCES

김윤신, 이은규, 엽무중, 김기영. 2002. 다중이용시설에서의 실내공기중 미생물 분포에 관한 연구. 28(1):85-92.
정선희, 백남원. 1998. 일부 병원 실내에서의 공기중 미생물 오염에 관한 연구. 한국산업위생학회지. 8(2):231-41.
정윤희, 홍준배, 장윤희. 2001. 생활환경과 실내 공기의 미생물학적 오염에 관한 연구. 한국환경위생학회지. 27(2):1-9.

조현중, 홍경심, 김지훈, 김현옥. 2000. 일부 종합병원 내 영역별 공기 중 미생물 평가. 한국산업위생학회지. 10(1):15-125.
하권철, 백남원. 1991. 미생물을 이용한 일부 병원, 가정 및 일반 대기질의 평가. 한국산업위생학회지. 1(1):73-81.
Andersen, A. A. 1958. New sampler for the collection, sizing, and enumeration of viable airborne particles. Journal of Bacteriology. 76:471-484.
Bruce, J. M., and Sommer, M. 1987. Environmental aspects of respiratory disease in intensive pig and poultry houses, Including the implications for human health. Proceedings EC Meeting Aberdeen, 29-30 October 1986. EC Commission Publications, Brussels.
Chatigny, M. A., Macher, J. M., Burge, H. A., and Solomon, W. R. 1989. Sampling airborne microorganisms and aeroallergens in air sampling instruments for evaluation of atmospheric contaminants. edited by Hering, S. V., 7th edition, ACGIH, Inc., Cincinnati, O.H.
Cormier, Y., Tremblay, G., Meriaux, A., Brochu, G., and Lavoie, J. 1990. Airborne microbial contents in two types of swine confinement buildings in Quebec. American Industrial Hygiene Association Journal. 51(6):304-309.
Cox, C. S. 1966. The survival of Escherichia coli sprayed into air and into nitrogen from distilled water and from solutions of protecting agents as a function of relative humidity. Journal of Genetic Microbiology. 43:383-399.
Cox, C. S. 1987. The Aerobiological Pathway of Microorganisms, John Wiley & Sons, New York.
Crook, B., Robertson, J. F., Glass, S. A., Botheroyd, E. M., Lacey, J., and Topping M. D. 1991. Airborne dust, ammonia, microorganisms, and antigens in pig confinement houses and the respiratory health of exposed farm

- workers. American Industrial Hygiene Association Journal. 52(7):271-279.
- Donham, K., Scallon, L. J., and Pependorf, W. 1986. Characterization of dusts collected from swine confinement buildings. American Industrial Hygiene Association Journal. 47:404-410.
- Duchaine, C., Thorne, P. S., Meriaux, A., Grimard, Y., Whitten, P., and Cormier, Y. 2001. Comparison of endotoxin exposure assessment by bioaerosol impinger and filter-sampling methods.
- Eduard, W. and Lacey, J. 1998. Harmonization of sampling and analysis of mould spores, Nordic council of ministers. Nord 88.
- Elliott, L. F., McCalla, T. M., and Deshazer, J. A. 1976. Bacteria in the air of housed swine units. Applied and Environmental Microbiology. 32(2): 270-273.
- Grinshpun, S. A., Willeke, K., Ulevicius, V., Donnelly, J., Lin, X., and Mainelis, G. 1996. Collection of airborne microorganisms: advantages and disadvantages of different methods. Journal of Aerosol Science. 27:5247-5248.
- Jensen, P. A. and Schafer, M. P. 1998. Sampling and characterization of bioaerosols. NIOSH Manual of Analytical Methods.
- Juozaitis, A., Willeke, K., Grinshpun, S. A., and Donnelly, J. 1994. Impaction onto a glass slide or agar versus impingement into a liquid for the collection and recovery of airborne microorganisms. Applied and Environmental Microbiology. 60(3): 861-870.
- Lembke, L. L., Kniseley, R. N., van Nostrand, R. C., and Hale, M. D. 1991. Precision of the all-glass impinger and the Andersen microbial impactor for air sampling in solid-waste handling facilities. Applied and Environmental Microbiology. 42(2):222-225.
- Li, C. S. and Lin, Y. C. 2001. Storage effects on bacterial concentration: determination of impinger and filter samples. The Science of the Total Environment. 278:231-237.
- Lin, W. H. and Li, C. S. 2001. Influence of age on fungal concentration determination of impinger and filter les. American Industrial Hygiene Association Review.
- Lin, X., Reponen, T. A., Willeke, K., Grinshpun, S. A., Foarde, K. K., and Ensor, D. S. 1999. Long-term sampling of airborne bacteria and fungi into a non-evaporating liquid. Atmospheric Environment. 33:4291-4298.
- Macher, J. M. and First, M. W. 1984. Personal air sampler for measuring occupational exposures to biological hazards. American Industrial Hygiene Association Journal. 45:76-83.
- Morey, P. R. 1990. Practical aspects of sampling for organic dust and microorganisms. American Journal of Industrial Medicine. 18:273-278.
- Muilenberg, M. L. 1989. Aeroallergen assessment by microscopy and culture. Immunological Allergy Clinics North America. 9:245-268.
- Olson, D. K., and Bark, S. M. 1996. Health hazards affecting the animal confinement farm worker. American Association Occupational Health Nurse Journal. 44:198-204.
- SAS. 1996. User's Guide: Statistics, version 6.0 Editions, SAS Inst., Inc., Cary, NC. USA.
- Terzieva, S., Donnelly, J., Ulevicius, V., Grinshpun, S. A., Willeke, K., Stelma, G. N., and Brenner, K. P. 1996. Comparison of methods for detection and enumeration of airborne microorganisms collected by liquid impingement. Applied and Environmental Microbiology. 62(7):2264-2272.
- Thorne, P. S., Niekhafer, M. S., Whitten, P., and Donham, K. J. 1992. Comparison of bioaerosol sampling methods in barns housing swine. Applied and Environmental Microbiology. 58(8):2543-2551.
- Walter, M. V., Marthi, B., Fieland, V. P., and Ganio, L. M. 1990. Effect of aerosolization on subsequent bacterial survival. Applied and Environmental Microbiology. 56(11):3468-3472.
- Willeke, K., Grinshpun, S. A., Ulevicius, V., Terzieva, S., Donnelly, J., Stewart, S., and Juozaitis, A. 1995. Microbial stress, bounce and re-aerosolization in bioaerosol samplers. Journal of Aerosol Science. 26:5883-5884.