

## 무균 돈사 환경 모니터링을 위한 대기 중 미생물 탐지기법 확립

이덕용 · 서연수 · 강상균 · 유한상\*

서울대학교 수의과대학, 인수공통질병연구소 및 수의과학인력 양성사업단  
(게재승인: 2006년 9월 14일)

## Optimization of monitoring methods for air-borne bacteria in the environmental conditions of pig facilities

Deog -Yong Lee, Yeon-Soo Seo, Sang-Gyun Kang, Han Sang Yoo\*

College of Veterinary Medicine, KRF Zoonotic Priority Research Institute and BK21 for Veterinary Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

(Accepted: Sep 14, 2006)

**Abstract :** Experimental animals have been used to biological and medical purposes and the animals must be, for these purposes, healthy and clean to microbial infection. However, the animals can be easily exposed to pathogenic microorganism via several routes. Of the routes, environmental conditions are the most important factors to keep the animals healthy and clean, especially air condition. Monitoring of air-condition has been required to keep the animal healthy and clean. However, any guideline is not available for experimental conditions with pigs. Therefore, the sampling times and points were compared in different conditions to establish an optimal protocol for monitoring of air borne bacteria. Tryptic soy agar (TSA), blood agar containing 5% defibrinated sheep blood and Sabraud dextrose agar (SDA) were used as media to capture total bacteria, pathogenic bacteria and fungi, respectively. Two methods, compulsive capture using an air-sampler and capturing fall-down bacteria were used to capture the microorganisms in the air. The points and time of capturing were different at each experiment. Air borne microorganisms were captured at three and five points in the open and closed equipments, respectively. Air was collected using an air-sampler for 1 min and 5 min and the agar plates as open status were left from 30 min to 2 hr. At first, we monitored an experimental laboratory which dealt with several pathogenic bacteria and then, a protocol obtained from the investigation was applied to open or close experimental conditions with pigs. Number of bacteria was high from 10:00 to 15:00, especially on 13:30-15:30 but sharply decreased after 17:00. The tendency of the number of bacteria was similar between two methods even though the absolute number was higher with air sampler. Critical difference in the number of cells was observed at 5 min with air sampler and 2 hr with fall-down capturing method. However, 1 min with air sampler and 1 hr with fall-down capturing were the best condition to identify bacterial species collected from the air. Number of bacteria were different depending on the sampling points in closed condition but not in opened condition. Based on our results, a guide-line was suggested for screening air-borne microorganism in the experimental conditions with pigs.

**Key words :** monitoring method, air-borne bacteria, environmental condition.

### 서 론

실험동물은 생물학 및 의학 연구에 있어서 매우 중요

한 역할을 차지하고 있다. 실험동물을 이용한 연구에 있어서 실험동물의 건강 및 위생적인 사육 관리는 실험을 수행함에 있어 가장 중요한 일이다. 동물을 건강하고 위

\*Corresponding author: Han Sang Yoo  
College of Veterinary Medicine, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea  
[Tel: +82-2-880-1263, Fax: +82-2-874-2738, E-mail: yoohs@snu.ac.kr]

생적인 상태로 사육하기 위해서는 동물 자체뿐 만 아니라 주위 환경에서 미생물의 오염 탐지와 감염 예방은 다른 요인들 못지않게 중요한 인자이다. 이런 미생물 오염 탐지는 여러 가지 방법으로 이루어 질 수 있으나 환경에서의 노출이 가장 중요한 오염원이라고 할 수 있다.

그런 이유로 실험동물 사육시설은 정기적인 점검으로 미생물의 오염을 사전에 예방하여야 한다. 실험동물 사육시설의 오염방지에 대한 연구는 많이 진행이 되었으나 [3, 11, 14, 16], 대기를 통한 미생물 오염이 무엇보다 중요하나 이에 대한 기존의 연구는 미비한 상태였다 [2, 4]. 지금까지의 대부분의 대기 오염 연구는 수술실 [5, 10, 12], 대도시의 공기 [8]나 특수한 시설에서의 유해 가스 또는 진균류 [13, 15, 17, 19] 에 대한 연구가 주를 이루었다. 또한 공기를 포집하기 위한 공기 포집기(air-sampler)의 성능을 비교 분석하기 위한 연구 또는 실험동물 시설이나 축산 농가에서의 미생물에 대한 연구에 기초 자료 제공 수준의 연구가 진행되었었다 [1, 2, 4, 7, 18].

최근 돼지를 이용한 바이오 이중장기에 대한 관심이 높아짐에 따라 중동물 수준의 실험동물 시설에 대한 효율적인 미생물학적 모니터링을 위한 기법 확립이 요구되나, 이에 대한 연구는 전무한 상태이다. 이에 본 연구에서는 대기를 통한 사육 또는 제반 시설의 미생물 오염도 측정을 위한 실질적인 방법 및 가이드라인을 구축하기 위하여, 돈사 내에서의 공기 포집 장소, 시간 및 포집 방법 등에 따른 차이를 비교 분석하고 이를 바탕으로 포집방법에 대한 기준을 설정 하고자 하였다.

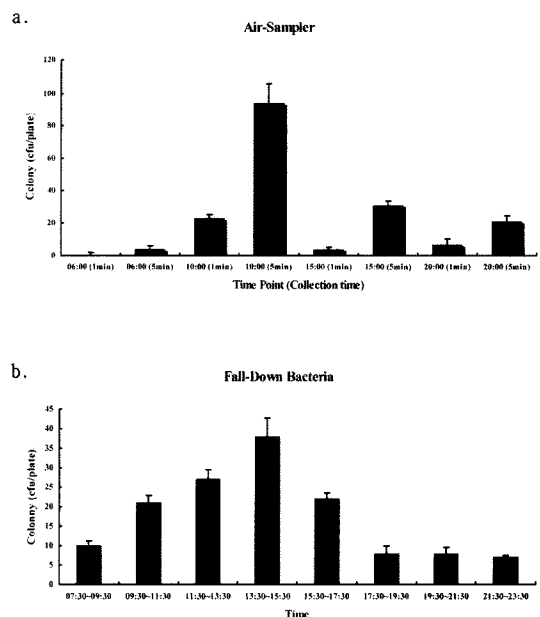
## 재료 및 방법

### 공시 배지 및 공기 포집 방법

공기 중에서 포집된 미생물들의 배양을 위해서는, 총균수 측정을 위하여 Tryptic soy agar(TSA, Difco, USA.)를 기본 배지로 사용하여 실험을 수행하였다. 장내 세균총 검사를 위해서는 MacConkey agar를 사용하였고, 포집균의 용혈성 등 병원성 관련 인자를 조사하기 위해서는 5%의 탈섬유된 면양 적혈구를 포함한 Blood agar를 사용하였으며, 진균류 검사를 위해서는 Sabraud dextrose Agar(SDA, Difco, USA)를 사용하였다. 대기 중의 미생물 포집은 자연낙하법과 강제 포집법을 사용하였다. 대기의 강제포집을 위해서는 공기 포집기(air sampler, GAST Manufacturing Inc., USA.)를 이용하여 1분에 20 l의 공기를 포집할 수 있도록 하였다. 자연 낙하법은 배지의 면을 위쪽으로 하여 일정시간 공기 중에 노출시켜서 자연적으로 낙하하는 균을 포집하는 방법을 실시하였으며, 이들 두 방법 모두 시간을 달리하여 측정 한 후 비교 분석 하였다.

### 실험 수행 시설 및 시료 채취

본 연구에서 목적하는 가이드라인 작성을 공기 포집 장소는 미생물을 다루는 실험실, 개방적인 돼지 돈사 및 폐쇄시설인 돈사의 3개소를 택하여 실시하였다. 일차적으로 공기의 흐름 및 사람의 이동에 따른 미생물 분포상의 차이를 조사하기 위하여 돼지의 병원성 미생물을 다루는 실험실에서 실험을 실시하였다. 포집장소를 출입구 주변, 연구원들의 움직임이 가장 많은 실험실 중앙 및 연구원들의 접근이 없는 실험실 구석의 세 곳을 선택하여 시간대별로 공기 포집기(air-sampler)를 이용한 강제 포집법과 자연 낙하법을 이용하여 시간대별로 측정 분석 하였다. 이곳의 결과를 바탕으로 장소와 측정 시간대 포집 시간을 결정한 후 개방형의 시설을 갖추고 있으나, 비교적 위생적으로 운영이 되고 있고, 돼지의 영양 및 면역실험을 전문적으로 수행하는 농장의 돈사를 선택하여 실험 돈사와 복도에서 균을 포집하였다. 마지막으로 폐쇄 시설로는 축산 연구소의 무균 시설 등을 선정하여 실시하였으며, 강제 공기 순환식의 밀폐형인 무균 동에 소독 전후를 복도와 돈방 내에서 측정한 후 비교 분석하였다. 각각의 실험에서 시료채취는 강제 포집의 경우는 공기 포집기(air-sampler)를 1분에 20 l의 공기를 포집할 수 있도록 하여 1분과 5분 동안 대기 중의 공



**Fig. 1.** Comparison of number of bacteria in the open condition by two capturing methods. a. Air was collected compulsively with an air-sampler for 1 min and 5min, respectively. b. The media was left open to capture fall-down bacteria naturally through the time schedule for 2 hours.

기를 20 l와 100 l의 공기를 시간 계획에 의해 포집하였다. 자연낙하 포집에서는 자연 낙하균을 선정한 포집 장소에 공기 배지들을 30분에서 2시간동안 방치 한 후 시간 계획에 의해 수거하여 배양 후 균수 측정 및 동정하여 결과를 분석에 사용하였다. 각 실험은 3회 반복 실시하였다.

**포집균의 균수 측정 및 동정**

포집한 배지는 4°C에 보관하면서 가능한 빠른 시간 내 실험실로 운반하여 배양을 하였다. TSA와 Blood agar 는 37°C에서 24시간 배양한 후 각 집락의 숫자를 측정 한 후 집락의 모양을 관찰하였고, 특징적인 집락들을 선별 배양하여 균을 동정을 하였다. 균 동정은 그람염색, Catalase test, Oxidase test 등 기본적인 생화학적 검사 결과를 바탕으로 자동 미생물 동정 장치인 Vitek system(bioMerieX, USA)을 이용하여 동정 하였다. 곰팡

이와 효모의 검사를 위한 SDA 배지는 30°C에서 48시간 배양 후 집락의 수를 측정 하였고, 효모는 그람 염색 후 Vitek system을 이용하여 동정하였으며, 곰팡이는 집락의 모양 등을 관찰하여 동정 하였다.

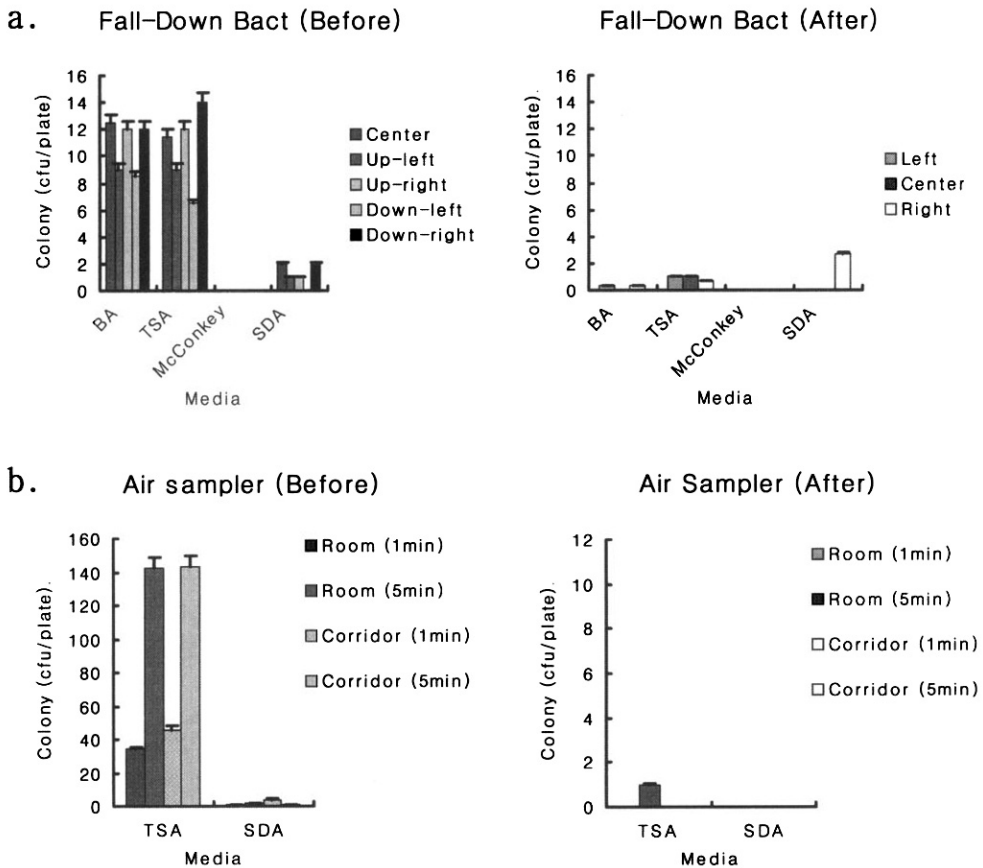
**통계적 분석**

각 실험은 3회 반복 실시하였으며, Microsoft사의 EXEL program(MS OFFICE XP, Professional)을 이용하여 자료를 정리하였고, student *t*-test를 이용하여 통계적 분석을 하였다.

**결 과**

**공기 중 미생물 포집 기준 설정**

개방시설에서 시간대별로 공기 중 포집균수를 분석한 결과 포집된 균수는 10시부터 15시 사이에 가장 많이



**Fig. 2.** Comparison of number of bacteria in the closed condition by two capturing methods. a. Bacteria was captured at the corridor and room of pig experiment farm with an air-sampler for 1 min and 5 min on TSA, MacConkey agar and SDA. b. The media was left open for 30min from 13:00 to 15:00 at five points.

포집되었다. 특히, 13:30부터 15:30 사이에 가장 많은 균이 포집되었으며, 17시 이후에는 급격히 포집균수가 감소하였다(Fig. 1).

공기 포집기를 이용한 강제 포집방법과 자연 낙하에 의한 자연낙하 포집방법에서 시간대별 균수 분포 양상은 유사 하였으나, 공기 포집기를 이용한 강제 포집 방법에서 더 많은 수의 균이 포집 되었다. 공기 포집기를 이용한 경우엔 13시 30분경에 가장 많은 균이 포집되었고, 자연 낙하에 의해 포집한 경우는 10시에 가장 많은 균이 포집되었다(Fig. 1).

자연 낙하법을 이용하여 밤새 낙하하는 균을 포집한 경우 균이 집락을 형성하지 않거나 소수의 균만 집락을 형성하여 실험 자료로 가치가 없어 분석에 이용하지 않았으며 본문에 자료를 제공하지 않았다.

### 폐쇄 공간에서 공기 중 균수 측정

폐쇄 시설에서 Blood agar, TSA, MacConkey agar 및 SDA를 사용하여 공기 중 균을 포집하였고, 소독 효과를 측정하기 위하여 소독 전후에 강제 포집법과 낙하 포집법을 이용하여 실시하였다. 공간 내에서 위의 실험결과를 바탕으로 다섯 지점을 선정하여 자연 낙하법을 이용하여 대기 미생물의 상태를 조사한 결과 Blood agar와 TSA에서 평균 10 cfu/plate의 균이 포집되었고 MacConkey 배지에는 균이 자라지 않았으며, SDA상에선 평균 1.5 cfu/plate의 효모가 포집되었다. 그러나 위의 다섯 지점 간에 포집된 균의 수는 Blood agar와 TSA에서 모두 일부 지점에 편향되게 포집되는 경향을 보였다. 돈방 입구에 실험자가 위치하고 돈방 안을 바라 보았을 때, 실험자의 왼쪽 시선에 위치한 “상좌(Up-left)”와 “하좌(Down-left)”라 명명된 지점에서는 평균 9 cfu/plate의 균이 자랐지만, 나머지 세 지점에서는 12 cfu/plate의 균이 자라 포집 지점 간 차이를 보였다(Fig. 2). 공기 포집기를 이용하여 지상 1 m 지점에서 20 l와 100 l의 공기를 포집하여 공기 미생물을 알아본 결과 소독전 돈방의 경우 1.4 cfu/l의 세균이 포집되었고, 효모는 극히 소량이 포집되었다. 소독 후 두 방법에 의해 공기중 미생물을 포집하여 본 결과 수치가 급격히 감소하여 거의 검출이 되지 않았다(Fig. 2).

### 미생물 동정

개방 시설과 폐쇄 시설에서 포집한 균 및 효모 곰팡이에 대하여 동정 한 결과 *Staphylococcus* spp.와 *Streptococcus* spp과 같은 그람 양성균이었다. 효모로는 *Saccharomyces cerevisiae*와 *Rhodotorula mucilaginosa*가 진균류는 *Trichophyton* spp.와 *Aspergillus* spp.이 검출되었다(Table 1).

**Table 1.** Identification of microorganism isolated from different rearing system

Equipment	Microorganism	Identification
Open	Bacteria	<i>Staphylococcus aureus</i>
		<i>Staphylococcus saprophyticus</i>
		<i>Staphylococcus xylosum</i>
		<i>Staphylococcus sciuri</i>
		<i>Streptococcus agalactiae</i> (G-B)
		<i>Vibrio alginolyticus</i>
		Unknown $\beta$ -hemolytic organisms
Closed	Bacteria	<i>Staphylococcus auricularis</i>
		<i>Staphylococcus xylosum</i>
		<i>Staphylococcus epidermidis</i>
		<i>Streptococcus constellatus</i>
		<i>Sphingomonas paucimobilis</i>
Yeast	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	
	<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	
Fungi	<i>Trichophyton</i> spp.	
	<i>Aspergillus</i> spp.	

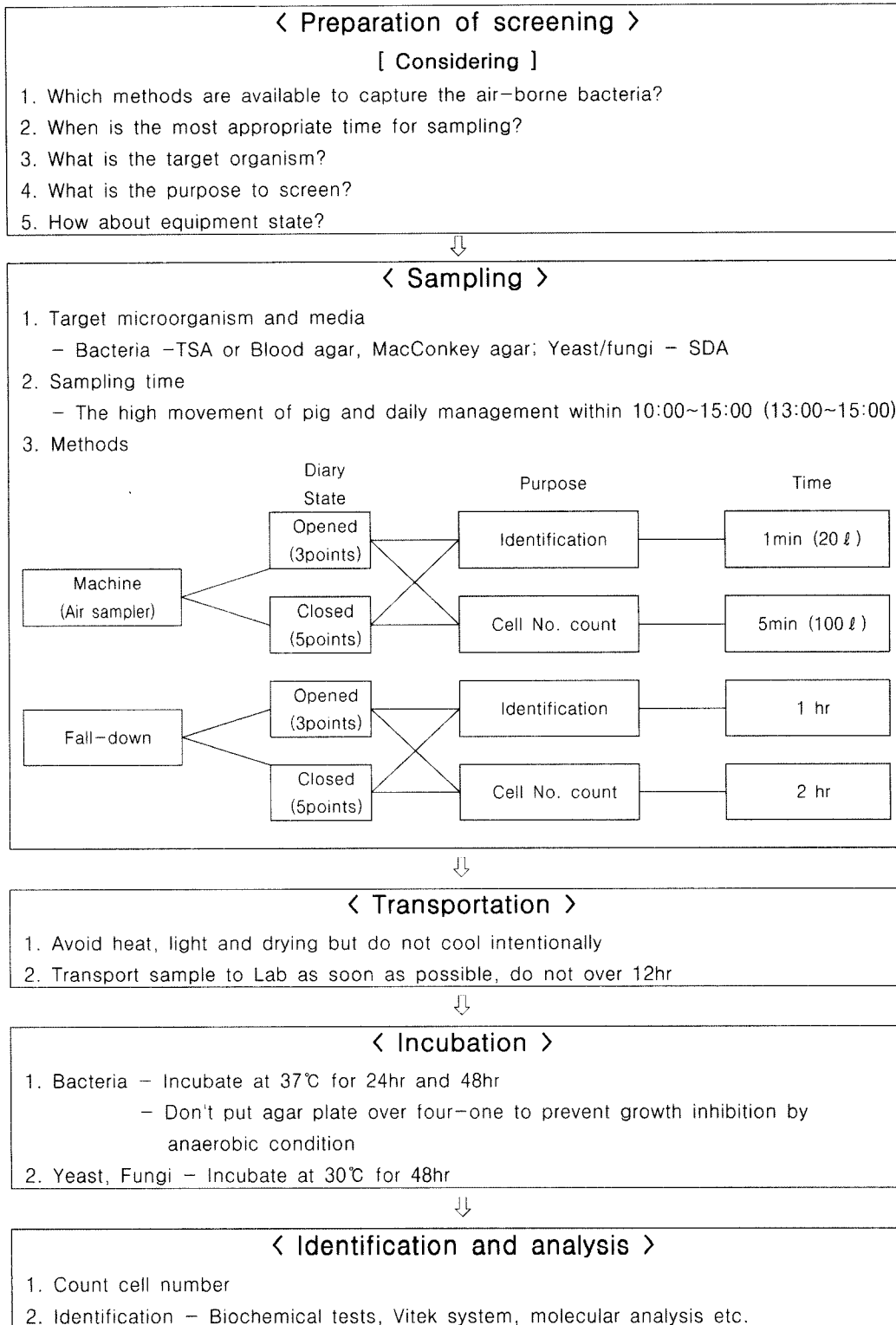
### 가이드라인 작성

실험실내에서 수행한 예비 실험 결과를 바탕으로 작성한 가이드라인을 바탕으로 하여 개방형과 폐쇄형 돈사시설에 직접 적용 한 후 각 시설 상태, 가용한 장비, 샘플 채취 시간, 검사 미생물의 종류 및 검사 목적에 맞도록 수정 보완하였고, 또한 시료 채취, 운반, 배양 및 동정에 관한 내용을 추가 하였다(Fig. 3).

### 고 찰

실험실내에서 공기 포집기를 이용한 강제 포집법과 자연 낙하에 의한 자연낙하 포집법으로 대기 중의 미생물을 포집하여 분석 결과 가장 많은 미생물이 포집되는 시간이 오전 10:00부터 오후 15:00 사이로 나타났다. 자연낙하에 의해 밤 기간 동안 낙하균을 포집 하였을 때는 균이 자라지 않았거나 극히 소수만이 자라 분석이 불가능하였다. 이는 공기 온도에 따른 대기 흐름에 의해 대기중의 미생물의 부유 상태와 포집양도 영향을 받는 것으로 보인다. 이러한 이유로 미생물의 오염이나 감염 여부를 확인하기 위해서 공기의 흐름이 많은 시간대를 측정 시간대로 정하는 것이 필수적이라고 사료된다. 이러한 결과는 다른 대중 공공시설에서 미생물을 측정할 결과와 유사하였다 [1, 2, 7].

자연 낙하에 의해 대기 중의 미생물을 포집할 경우 30분간 방치한 것은 개방 시설에서는 효과적이지 못했으나 폐쇄 시설에서는 충분한 시간으로 생각되는데 이는 개방시설에서는 지속적인 대기의 흐름으로 인하여



**Fig. 3.** The guide-line of monitoring methods for air-borne bacteria. A suggested guide-line of monitoring methods for air-borne bacteria.

대기중의 미생물들이 계속 부양되어 있는 상태이기 때문에 자연낙하 포집법 보다는 강제 포집법을 이용하는 것이 대기중 오염 미생물을 측정하는데 효율일 것으로 생각된다. 그러나 폐쇄 공간에서도 30분간 방치로는 분석을 위한 충분한 균수를 확보하기엔 부족한 면이 있었으며 실험 시간과 효과적인 분석을 위해서는 실험시설, 채취시기, 분석 미생물의 종류 등을 고려하여 1시간 이상을 포집하는 것이 만족한 결과를 낼 수 있을 것으로 사료된다. 특히, 시설 내에 분포하는 미생물 종류를 분석하고자 할 경우는 1시간 포집을 하여야 각 특성을 가진 균의 집락들을 확인하여, 분리 동정 할 수 있었으나 2시간 하였을 경우 과다한수의 집락 형성으로 분석에 문제점이 있었다. 또한 미생물의 수의 변화를 통해 청정도의 변화를 조사하고자 할 경우는 2시간 정도의 포집으로 확인이 가능하였다. 공기 포집기를 사용한 경우에는 미생물 동정의 경우 1분간(20%의 공기), 미생물 수의 변화를 알고자 할 경우는 5분(100%의 공기)을 포집하였을 경우 자연 낙하와 유사한 집락 균 수 및 집락 균의 모양을 보여 주었다. 또한 2시간 이상 균을 포집한 경우 더 많은 수의 균이 포집되나 2시간 이후는 생존하는 균수가 급격히 감소하므로 실험의 유의성을 위해 2시간 이상 공기 포집은 지양하는 것이 좋을 것 같다 [7].

자연 낙하법으로 공기를 포집한 배지에서 자란 집락의 수를 비교한 결과 개방 시설에서 포집한 시료는 각 지점에 따른 균수의 차이가 나타나지 않았으나, 폐쇄 시설에서 포집한 시료에서는 각 지점간 자란 집락의 수에 다양한 변이를 나타내었다. 이는 공기의 흐름이 많은 개방 시설의 경우 전반적인 대기 순환으로 각 지점에 따른 미생물 분포의 차이가 나타나지 않으나, 공기의 흐름이 차단된 폐쇄 시설에서는 대기의 순환이 적어 미생물의 분포가 차이가 난 것으로 사료된다. 그러므로 자연 낙하법으로 대기중 미생물을 포집하는 경우 개방 시설에서 3곳, 폐쇄 시설에는 5곳 이상의 지점에서 포집하여야 지점간 오차를 줄일 수 있을 것으로 보인다 [5].

대기 중의 공기를 포집하여 온 배지를 호기 배양기에서 24시간 배양하여 각 균들을 조사하였다. 그러나 실험중 배지를 너 장 이상 포개어 배양한 배지상의 균들은 배양 상태가 불량하였고, 48이상 배양 시에만 배양이 충분히 이루어 지는 경향이 있었다. 이는 배양 용기 내 공기 분포의 차이에 의한 약한 미혐기성 상태가 대기 중의 호기성균들의 성장을 지연 시킨 것으로 생각된다. 따라서, 대기 중의 미생물 동정 및 조사를 위해서는 대기의 조건과 유사한 상황을 만들어 주어야 할 것으로 보이며, 이를 위해 배지를 세장 이상 포개어 배양하는 것은 지양하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 또한 동정된 대부분의 균들이 그람 양성인 *Staphylococcus* spp

와 *Streptococcus* spp.였으며 일반적으로는 통성 혐기성 또는 호기의 특성을 가지고 있는 균종이나 분리되는 균주는 한정되어 있다. 이에 환경 특히 대기를 통해 유래할 수 미생물 종류에 대한 동정 및 분석을 위해 DNA 분석등 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다 [18, 20].

개방 시설과 폐쇄 시설의 대기 중에서 포집한 미생물을 분석하여 본 결과 그람 양성균의 균들이 주로 동정되었고, 효모와 진균류 일부가 포집되었다. MacConkey 배지 상에서는 어느 균도 자라지 못했다. 병원성을 보이는 그람 음성균의 균들은 포집이 되질 않았는데, 이는 그람 양성균의 세포벽에 있는 peptidoglycan 층과 같은 그람 양성균의 세포벽의 특성 때문에 그람 음성균에 비해 상대적으로 건조에 대한 저항성이 높아 대기 중에 오래 생존이 가능한 것으로 보인다 [6, 9]. 또한 대기와 같이 좋지 않은 환경에서 생존 할 수 있는 효모와 진균류가 포집이 된 것으로 보인다. 이에 대기 환경을 통한 미생물 오염에서는 일반적으로 질병을 일으키는 것으로 알려진 그람 음성균의 병원성 미생물외에 열악한 환경에서도 생존이 가능하며 질병을 유발할 수 있는 균주에 대한 고려가 있어야 할 것으로 보인다.

본 연구결과들을 바탕으로 작성한 모니터링의 가이드라인은 추후 무균사육시설 뿐만 아니라, 일반 동물 사육 시설, 실험실 환경 조사, 대중 공공시설에서의 미생물 오염도 조사를 위한 방법 설정 등에서 기준으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 농림부 바이오장기 생산 연구 사업의 연구비(번호 200503010402) 및 두뇌한국 21 지원을 받아 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. An HR, Mainelis G, Tao M. Evaluation of a high-volume portable bioaerosol sampler in laboratory and field environments. *Indoor Air*. 2004, **14**, 385-393.
2. Buttner MP, Stetzenbach LD. Monitoring airborne fungal spores in an experimental indoor environment to evaluate sampling methods and the effects of human activity on air sampling. *Appl Environ Microbiol*. 1993, **59**, 219-226.
3. Collins GR, Goodheart CR. Methods for testing the ability of cage filtering materias to exclude air-borne microorganism. *Lab Anim Care*. 1968, **18**, 469-474.
4. Fields ND, Oxborrow GS, Puleo JR, Herring CM.

- Evaluation of membrane filter field monitors for microbiological air sampling. *Appl Microbiol.* 1974, **27**, 517-520.
5. **Friberg B, Friberg S, Osternsson R, Burman LG.** Surgical area contamination-comparable bacterial counts using disposable head and mask and helmet aspirator system, but dramatic increase upon omission of head-gear: an experimental study in horizontal laminar air-flow. *J Hosp Inf.* 2001, **47**, 110-115.
  6. **Hong JB, Chung YH, Chang YH.** Distribution of Hospital Air borne Microorganisms in Seoul, Korea. *Kor J Env Hlth.* 2003, **29**, 1-7.
  7. **Kenny LC, Bowry A, Crook B, Stancliffe JD.** Field testing of a personal size-selective bioaerosol sampler. *Am Occup Hyg.* 1999, **43**, 393-404.
  8. **Kock M, Schlacher R, Pichle-Semmelrock FP, reinthaler FF, Eibel U, Marth E, Friedl H.** Air-borne microorganisms in the metropolitan area Graz, Austria. *Cent Eur J Public Health.* 1998, **6**, 25-28.
  9. **Krysinska-Traczyk E, Skorska C, Prazmo Z, Sitkowska J, Cholewa G, Dutkiewicz J.** Exposure to airborne microorganisms, dust and endotoxin during flax scutching on farms. *Ann Agric Environ.* 2004, **11**, 309-317.
  10. **Landrin A, Bissery A, Kac G.** Monitoring air sampling in operating theatres: can particle counting replace microbiological sampling? *J Hosp Infect.* 2005, **61**, 27-29.
  11. **Obara T, Masuyama M, Fujita S, Yamauchi C.** Observation on the air-borne and ammonia (NS3) gas in laboratory animals facility with rotary heat exchanger Jikken Dobutsu. 1979, **28**, 79-83.
  12. **Pasquarella C, Masia MD, Nnanga N, Sansebastiano GE, Savino A, Signorelli C, Veronesi L.** Microbial air monitoring in operating theatre: active and passive samplings *Ann Ig.* 2004, **16**, 375-86.
  13. **Portnoy JM, Barnes CS, Kennedy K** Current reviews of allergy and clinical immunology *J Allergy Clin Immunol.* 2004, 189-198.
  14. **Radmore K, Holzapfel WH, Luck H.** proposed guidelines for maximum acceptable air-borne microorganism levels in dairy processing and packaging plants. *Int J Food Microbiol.* 1988, **6**, 91-95.
  15. **Richardson MD, Rennie S, Marshall I, Morgan MG, Murphy JA, Shankland GS, Watson WH, Soutar RL.** Fungal surveillance of an open haematology ward *J Hosp Infect.* 2000, **45**, 288-292.
  16. **Rule AM, Chapin AR, McCarthy SA, Gibson KE, Schwab KJ, Buckley TJ.** Assessment of an aerosol treatment to improve air quality in a swine concentration animal feeding operation (CAFO). *Environ Sci Technol.* 2005, **39**, 9649-9655.
  17. **Sivasubramani SK, Niemeier RT, Reponen T, Grinshpun SA.** Assessment of the aerosolization potential for fungal spores in moldy homes *Indoor Air.* 2004, **14**, 405-412.
  18. **Stetzenbach LD, Buttner MP, Cruz P.** Detection and enumeration of airborne biocontaminants. *Curr Opin Biotechnol.* 2004, **15**, 170-174.
  19. **Tavora LGE, Gambale W, Heins-Vaccari EM, Arragada CLH, Lacaz CS, Santos CR, Levin AS.** Comparative performance of two air samples for monitoring airborne fungal propagules. *Braz J Med Biol Res.* 2003, **36**, 613-616.
  20. **Williams RH, Ward E, McCartney HA.** Methods for integrated air sampling and DNA analysis for detection of airborne fungal spores. *Appl Environ Microbiol.* 2001, **67**, 2453-2459.