

사료제조공장 내 공기 중 세균과 진균 분포에 관한 연구

김기연¹⁾ · 정연일²⁾ · 김치년²⁾ · 원종욱^{2)†} · 노재훈²⁾

¹⁾한양대학교 환경 및 산업의학연구소, ²⁾연세대학교 의과대학 예방의학교실 및 산업보건연구소

Distribution of airborne microorganism in the feedstuff manufacture factory

Ki-Youn Kim¹⁾ · Youn-Il Jeong²⁾ · Chi-Nyon Kim²⁾ · Jong-Uk Won²⁾ · Jaehoon Roh^{2)†}

¹⁾*Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University*

²⁾*Department of Preventive Medicine Yonsei University College of Medicine and Institute for Occupational Health*

The objective of the study is to investigate the distribution patterns of airborne bacteria and fungi in the feedstuff manufacture factory. The mean levels of airborne bacteria and fungi in the feedstuff manufacture factory were 113(±18) cfu/m³ and 89(±5) cfu/m³ for pelleting process and 198(±5) cfu/m³ and 124(±12) cfu/m³ for powdering process, respectively. The percentage of respirable and total concentration of airborne bacteria and fungi in the feedstuff manufacture factory ranged from 60% to 90% and were higher in pelleting process than powdering process. The ratio of indoor and outdoor airborne

microorganism exceeded 1.0 regardless of types of feedstuff manufacture process. Based on the result of the study, there would be an association between environmental factors such as relative humidity and carbon dioxide and airborne microorganism's bioactivity.

Key Words : feedstuff, airborne bacteria, airborne fungi, environmental factor

접수일 : 2007년 7월 3일, 채택일 : 2007년 12월 28일

† 교신저자 : 원종욱 (서울 서대문구 신촌동 134번지 연세대학교 의과대학 예방의학교실)

Tel : 02-2228-1872, E-mail : juwon@yumc.yonsei.ac.kr

I. 서론

곡물분진은 곡물(밀, 보리, 귀리 등)의 경작, 양곡, 제분, 저장, 운반, 제분된 곡분의 취급 등 곡물의 경작에서부터 2차 가공 작업과정에서 발생될 수 있다. 곡물분진은 천식, 기침, 만성기관지염, 호흡곤란, 천식, 농부폐, 진균중독증, 알레르기성 폐염, 비염, 결막염, 곡물열, 피부염 등을 유발할 수 있으며, 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서 발행한 자료에 의하면 밀가루 제분소에서 근무하던 근로자들에게서 기관지 천식이 발생되었고, 영국에서 수행된 호흡성 질환 연구 결과에 의하면 제빵사의 천식 발생건수는 백 만 명당 290~409명에 달하는 것으로 보고하고 있으며, 일부 국가에서는 제빵사의 천식은 가장 일반적인 형태의 직업성 천식인 것으로 보고하고 있다(ACGIH, 2001).

국내 사료제조공장 현황은 2006년도 기준으로 전국적으로 96개가 운영되고 있고, 약 2,500여명의 근로자가 종사하고 있었으며, 10~20인 규모의 사업장이 전체 80% 이상을 차지하는 것으로 조사되었다(노동부, 2006). 국내 학회지에 보고된 자료에 의하면 곡물을 이용한 사료제조 사업장에서 근로자 6명에게 직업성 천식이 발생한 바 있다(김규상 등, 1997). 그러므로 사료제조공장에서 발생하는 곡류분진에 노출되면 호흡기질환이 유발될 가능성을 내포하고 있으며, 이는 곧 분진입자에 바이러스, 세균, 곰팡이 등의 생물학적 오염물질이 흡착되어 공기 중에서 이동하는 것을 의미한다. 또한 사료재료로 쓰이는 곡분원료 저장기간 중 온도·습도에 의해 세균이나 곰팡이가 서식할 가능성을 배제할 수 없다.

공기 중 바이오에어로졸은 입자의 공기역학적 직경에 따라 호흡기에 침착되는 부위가 다르며, 그것의 건강상 영향은 물리적 특성뿐만 아니라 그 크기와 상당한 관련성을 가지고 있다(Reponen 등, 1992). 공기역학적 직경이 10 μm 보다 큰 바이오에어로졸은 호흡기로 들어올 확률이 적으며, 5-10 μm 인 바이오에어로졸은 상기도부분에 침착하여 비염과 같은 질병을 유발한다. 5 μm 보다 작은 것은 호흡성크기로 폐포를 통과하여 알러지성질환과 심각한 질병을 야기 한다(Pastuszka 등, 2000). 이는 Reponen 등과 Pastuszka의 연구에서도 5 μm 의 공기역학적 직경을 가지는 바이오에어로졸이 그 이상 크기에서 폐포에 영향을 미치는 것보다 크다고 나타낸 연구에서도 알 수 있다(Reponen 등, 1994).

우리나라에서는 다중이용시설의 공기오염에 대한 심각성이 인식됨에 따라 환경부에서 1996년에 개정된 지하생활공간공기질 관리법을 수정 개편하여 2004년 5월 30일부터 다중이용시설등의 실내공기질관리법을 입법화하여 시행하고 있다(환경부, 2004). 국내에서는 다중이용시설들의 실내공

기질관리법에서 공기중 총세균 규제항목으로 적용되고 있는 병원(이창래 등, 2005), 유치원(조경아, 2005), 노인복지시설(박재범 등, 2006), 산후조리원과 대중교통 수단 중 하나인 지하철 실내 공기 중 바이오에어로졸 농도를 현장 평가한 연구(김기연 등, 2006)는 보고되고 있지만, 사료제조공장 내 공기 중 미생물의 분포 특성에 관해 연구된 것은 없다. 외국의 경우 사료제조공장을 대상으로 작업자들의 공기중 미생물 노출 수준을 평가한 연구는 없으나, 사료와 같이 유기성분 물질을 취급하여 바이오에어로졸의 농도가 상대적으로 높을 것이라 예상되는 축사 작업장(Duchaine 등, 2000; Rautiala 등, 2003), 유기성폐기물 처리장(Sanchez-Monedero 등, 2005; Lavoie 등, 2006), 톱밥제조공장(Rusca 등, 2007)내 공기중 미생물 분포 현황을 연구한 경우들은 많이 보고되고 있다. 따라서 본 연구는 사료제조공장 내 분포하고 있는 공기중 세균과 곰팡이를 공정별로 입경에 따라 농도 분포를 조사하였으며, 더불어 실내공기질 오염지표 중 하나인 이산화탄소와 온습도를 측정하여 그것들과의 상관성 여부를 검토하기 위한 목적으로 수행하였다. 또한 본 연구를 통해 곡물을 취급하는 사료제조공장 종사자들의 생물학적 유해인자 중 하나인 공기 중 세균과 진균의 노출양상을 파악하는 기초자료로 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

II. 실험대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 2006년 8월 20일부터 9월 20일까지 인천에 소재한 사료제조공장 3곳을 임의로 선정하여, 사료 제조의 주요 공정인 펠렛공정(Pelleting process)과 곡분공정(Powdering process)을 대상으로 조사하였으며, 비교지점으로 사료제조공장 외부에서 내부로 실외 공기가 유입되는 지점을 선정하였다.

2. 분석 방법

가. 공기중 미생물의 포집 및 분석

시료 채취는 바닥으로부터 1m 떨어진 지점에서 지역시료 형태로 수행하였다. 입경별 크기 분포를 알아보기 위하여 six-stage viable particulate cascade impactor (Model 10-800 Andersen Inc, USA)를 사용하였으며, 각 단계별 공기역학적 직경 범위는 stage 1(>7.0 μm), stage 2(4.7-7.0 μm), stage 3(3.3-4.7 μm), stage 4(2.1-3.3 μm), stage 5(1.1-2.1 μm), stage 6(0.65-1.1 μm)이다(Andersen, 1958). 지상 약 1m높이에서 분당 28.3 l의 유량으

로 10분씩(± 3분) 공기를 포집하였다. 이 six-stage viable particulate cascade impactor를 이용해 표본 포집 시 멸균 확인된 배지를 사용기기에 장착하고 채취하고자 하는 미생물의 종류에 따라 배지를 교체할 때와 포집 전 기기 외부를 70% 알콜로 소독처리 하여 오염을 예방하였다. 포집된 배지는 오염방지를 위하여 곧바로 실험실용 필름을 이용하여 봉한 후 보관하여 미생물실로 즉시 운반하여 곰팡이의 성장을 억제하기 위해 cycloheximide 500mg이 첨가된 세균용 배지 Trypticase Soy Agar (TSA) (Lot 3087230, Becton Dickinson and Company, USA)는 37℃에서 24-48시간, 세균의 성장을 억제하기 위해 chloramphenicol 100mg이 첨가된 곰팡이용 배지 Malt Extract Agar (MEA) (Lot 5111476, Becton Dickinson and Company, USA)는 실온인 25℃에서 72시간 이상 배양시킨 후 관찰하였다.

농도는 총세균과 총곰팡이의 경우 6개 stage에서 배양된 집락수를 합한 값을, 입경별 세균과 곰팡이의 경우 각 stage에서 개별적으로 배양된 집락수를 포집 공기량(m³)으로 나눈 CFU/m³의 값으로 표시하였다. 분석된 총 시료 표본수는 216개로 아래와 같은 절차에 의해 이루어졌다.

- 사료제조공장: 3
- × 측정지점 : 3 (펠렛공정, 곡분공정, 실외)
- × 배지 : 12 (세균 - 6, 곰팡이 - 6)
- × 반복수 : 2
- = 216

나. 환경요인의 측정

환경요인도 함께 측정하여 사료제조공장 내 공기 중 바이오에어로졸 농도와 상관성을 분석하였다. 온도와 이산화탄소는 실내공기질 직독식 측정장비 (SensorLynk, IST inc, USA)로 사용하고, 상대습도는 아스만통풍건습계(SATO R-704, SATO Inc, Japan)를 사용하였다.

다. 통계분석

측정 결과에 대한 통계 분석은 SAS package (SAS/Stat 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 적용하였다. Shapiro-Wilk test를 통해 각 요인들이 기하정규분포를 나타내 대표치로 기하평균 (GM)과 기하표준편차 (GSD)를 산출하였다. 공기중 세균과 곰팡이 농도와 환경 인자간의 상관관계는 Correlation analysis test를 적용하여 통계적 유의성을 검정하였다. 사료제조공장내 두 개의 실내 공정과 실외에서 측정된 수치 차이에 대한 통계적 유의성을 검정하기 위해 ANOVA 및 Duncan의 다중비교 분석방법을 적용하였다.

III. 실험결과

1. 사료제조공장 공정별 공기 중 미생물 농도와 환경인자 측정 결과

<표 1>은 조사 선정된 3곳의 사료제조공장내 주요 공정인 펠렛공정, 곡분공정과 비교지점인 실외지점에서의 공기중 총미생물 농도와 CO₂, 온도, 습도의 환경인자의 측정 결과를 보여주고 있다. 공기중 총미생물의 경우, 펠렛공정내 공기중 세균 농도는 113(±18) cfu/m³, 공기중 곰팡이 농도는 89(±5) cfu/m³이었다. 곡분공정에서의 공기중 세균 농도는 198(±5) cfu/m³이었고, 공기중 곰팡이의 농도는 124(±12) cfu/m³이었다. 현장 조사 결과 공기중 세균과 곰팡이 모두 펠렛공정보다 곡분공정에서 상대적으로 높게 분포하고 있음을 통계적으로 입증되었다 (p<0.05). 고열로 원재료를 가공하는 펠렛공정이 곡분공정보다 상대적으로 온도는 높고 상대습도는 낮은 것으로 조사되었다 (p<0.05). 이산화탄소의 경우 펠렛공정이 475(±26) ppm으로 곡분공정 495(±22) ppm보다 낮은 것으로 나타났는데 (p<0.05), 사료제조공장 공정 특성상 실제 현장에서 작업하는 근로자는 5인 이하의 소수였지만, 시료 채취 시 펠렛공정에 비해 곡분공정에서 일하는 근로자가 상대적으로 많아서 이산화탄소 농도가 더 높은 것으로 판단된다.

국내 실내공기질관리법의 공기중 총세균에 대한 실내공기질 유지기준은 의료기관, 보육시설, 노인복지시설, 산후조리원을 대상으로 800 cfu/m³ 이하로 설정되어 있고, 공기중 곰팡이와 관련한 항목은 현재까지 설정되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서 선정된 사료제조공장 내 공기중 세균의 농도는 기준치를 초과하지 않는 것으로 조사되었다. 비교지점인 실외의 경우 공기중 세균 농도는 34(±6) cfu/m³, 공기중 곰팡이의 농도는 19(±3)cfu/m³으로 나타나 사료제조공장 내부의 공기중 미생물 농도 대비 약 30-50% 정도인 것으로 조사되었다. 실내외 농도비 (I/O ratio) 측면에서는 공정과 공기중 미생물 종류에 관계없이 모두 1 이상으로 나타났고, 37 범위 수준인 것으로 분석되었다.

Table 1. Indoor and outdoor concentrations of airborne microorganism and environmental factors in the feedstuff manufacture factory

Site		Bacteria (cfu/m ³)	Fungi (cfu/m ³)	Temperature (°C)	R.H. (%)	CO ₂ (ppm)
Pelleting process	GM	† 113 ^a	89 ^a	33.1 ^a	46.0 ^a	475 ^a
	GSD	18	9	2.8	8.3	26
	*Ratio	3.3	4.9	-	-	-
Powdering process	GM	198 ^b	124 ^b	27.6 ^b	65.0 ^b	495 ^b
	GSD	5	12	2.1	10.6	22
	*Ratio	5.8	6.5	-	-	-
Outdoors	GM	34 ^c	19 ^c	29.2 ^b	47.0 ^a	470 ^a
	GSD	6	3	1.3	7.4	31

* The ratio of indoor and outdoor airborne microorganism
 † Result of Duncan test
 † a, b, c mean that averaged values within the row by the same letter are not significantly different

2. 공기중 미생물 농도와 환경 인자와의 상관성

<표 2>는 사료제조공장내에서 측정된 공기중 미생물과 환경인자간의 통계적 상관성을 보여주고 있다. 공정에 구분없이 조사된 데이터를 통계 처리한 결과, 공기중 세균의 경우 상관계수가 온도와의 0.18, 상대습도와의 0.36, 이산화탄소와의 0.13으로 나타났고, 공기중 곰팡이의 경우 온도와의 0.09, 상대습도와의 0.36, 이산화탄소와의 0.16으로 분석되었다. 공기중 미생물과 통계적 유의성을 보인 환경인자는 상대습도 (p<0.05)로 나

타났는데, 일반적으로 공기중 미생물 성장에 가장 중요한 환경조건은 습기로, 특히 상대습도가 70% 이상일 때 공기중 곰팡이의 성장이 극대화되는 것으로 보고되고 있다 (ACGIH, 1999). 따라서 사료제조공장 내 공기중 미생물 농도는 환경인자 중 상대습도에 의해 영향을 받을 수 있음을 알 수 있었다.

Table 2. Correlation coefficient between airborne microorganism and environmental factors in the feedstuff manufacture factory

	Temperature	R.H.	CO ₂
Bacteria	0.18	0.36 [*]	0.13
Fungi	0.09	0.47 [*]	0.16

*: p<0.05

3. 입경별 공기중 미생물 분포 현황

가. 공기중 세균

<그림 1>은 사료제조공장내 공정별 입경크기에 따른 공기중 세균의 분포도를 나타내주고 있다. 펠렛공정의 경우 입경 범위가 0.65~1.1µm에 해당되는 6단계에서 가장 높은 수치 (50 cfu/m³)를, 3.3~4.7µm에 해당되는 3단계에서 가장 낮은 분포 (4 cfu/m³)를 보였다. 곡분공정은 5단계 (1.1~2.1µm)에서 가장 높은 농도 (84 cfu/m³)를, 6단계에서 가장 낮은 수치 (8 cfu/m³)를 나타냈다. 반면, 실외의 경우 6단계 (0.65~1.1µm)에서 가장 높은 농도 (14 cfu/m³)를 보이긴 했으나, 다른 입경 범위에 해당하는 분포

량과 비교시 서로 큰 차이가 없었다. 총 농도 대비 호흡성 농도가 차지하는 비율은 펠렛공정이 0.84, 곡분공정이 0.74, 실외가 0.78로 조사되어 곡분공정보다는 펠렛공정에서 발생하는 호흡성 크기의 공기중 세균 분포 비율이 높은 것을 알 수 있었으며, 사료제조공장 실내의 모두 공기중 총세균 중 호흡성 공기중 세균이 차지하는 비율이 70% 이상인 것으로 분석되었다.

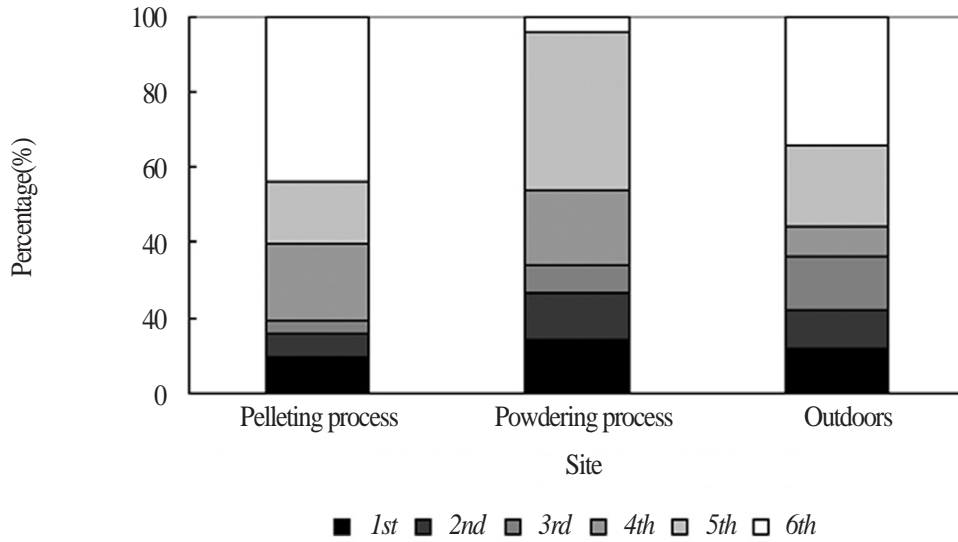


Figure 1. Size distribution of airborne viable bacteria by stage of cascade impactor

나. 공기중 곰팡이

<그림 2>는 사료제조공장내 공정별 입경크기에 따른 공기 중 곰팡이의 분포를 제시해 주고 있다. 공기중 곰팡이를 입자 크기별로 조사한 결과 공정 구분과 상관없이 4단계 (2.1~3.3 μ m)에서 가장 높은 농도를 보였고, 공기중 총곰팡이의 약 30% 정도를 차지하는 것으로 조사되었다. 가장 낮은 농도를 보인 입경 범위는 6단계 (0.65~1.1 μ m)로 공기중 총곰팡이의 약 5% 내외인 것으로 분석되었다. 실외의 경우 입경 범위별

로 공기중 곰팡이의 분포 양상에 큰 차이를 보이지 않았다. 그림에서는 제시되지 않았지만, 총 농도 대비 호흡성 농도가 차지하는 비율은 펠릿공정이 0.86, 곡분공정이 0.64, 실외가 0.72로 조사되어 공기중 세균의 경우와 마찬가지로 곡분공정보다는 펠릿공정에서 발생하는 호흡성 크기의 공기중 세균 분포 비율이 높은 것을 알 수 있었다. 공기중 총곰팡이 중 호흡성 공기중 곰팡이가 차지하는 비율은 약 60% 이상인 것으로 분석되었다.

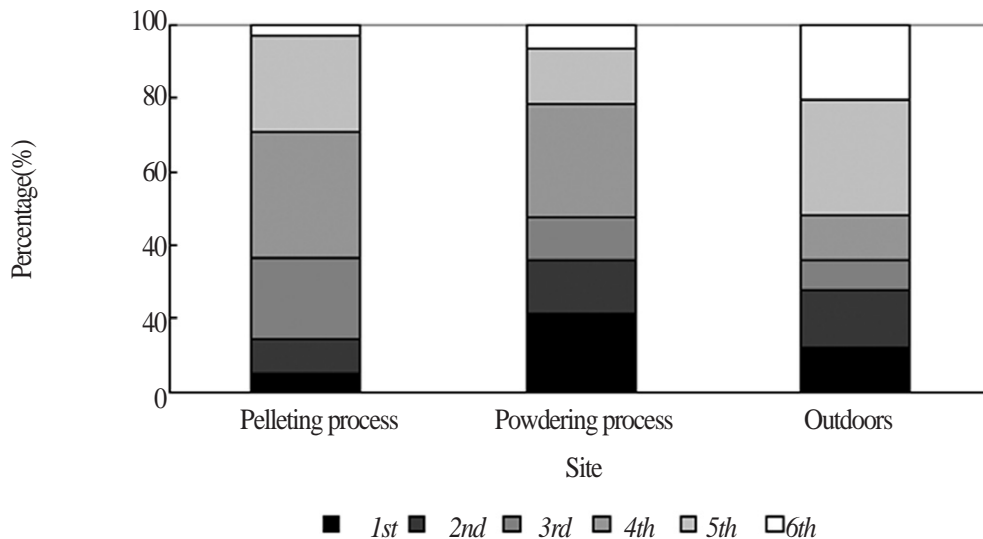


Figure 2. Size distribution of airborne viable fungi by stage of cascade impactor

IV. 고찰

사료제조공장 작업환경에 대한 공기 중 미생물 농도를 현장 평가한 연구 결과는 국내외적으로 보고된 바 없어 본 연구 결과를 통해 나타난 공기 중 미생물에 의한 오염 정도를 객관적으로 검증하기에는 어려움이 있다. 대신 사료와 같은 유기성 재료를 취급하는 유사사업장의 공기 중 미생물 농도 분포를 살펴보면 톱밥 공장의 경우 세균이 1.0×10^4 cfu/m³, 곰팡이가 1.5×10^4 cfu/m³였고 (Rusca 등, 2007), 폐기물 처리 공장의 경우 세균이 5.0×10^4 cfu/m³, 곰팡이가 1.0×10^5 cfu/m³였으며 (Lavoie 등, 2006), 축사 작업장의 경우 세균이 1.0×10^5 cfu/m³, 곰팡이가 $1.0 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^4$ cfu/m³으로 나타났다 (Duchaine 등, 2000). 따라서 기존 보고된 연구 결과들과 비교 시 본 연구에서 조사된 사료제조공장 내 공기 중 미생물에 의한 오염 정도는 상대적으로 낮은 수준임을 알 수 있었다.

일반적으로 실내 공기중 미생물을 측정하는데 있어 선행 연구자들에 의해 적용된 방법은 흡수법, 필터법, 관성충돌법 등으로 분류할 수 있다 (김기연 등, 2004). Six-stage viable particulate cascade impactor는 배지를 장비 내부에 곧바로 장착하고 분당 28.3 l의 유량으로 공기 중의 세균과 곰팡이를 배지에 충돌시켜 직접 공기중 미생물을 포집하기 때문에 채취 효율이 상대적으로 높고 측정과정이 상대적으로 간편하다는 이유로 최근에 폭넓게 이용되고 있으며, 우리나라에서도 병원 등에서의 실내 공기중 미생물 오염도 측정 시 가장 많이 활용되고 있다 (정선희와 백남원, 1998; 조현종 등, 2000; 김윤신 등, 2002). 하지만, 분석 장비의 가격이 고가이며 장시간 시료채취 시 배지에 과포집 되어 미생물의 군락을 계수할 수 없는 경우도 발생하는 단점을 가지고 있다 (Thorne 등, 1992).

본 연구를 통해 사료제조공장 내 분포하고 있는 호흡성 크기에 해당되는 공기중 미생물의 비율이 60% 이상의 높은 수치인 것으로 분석되었다. 이는 6곳의 아파트의 거실, 침실, 주방에서 측정된 호흡성곰팡이의 농도가 실외의 70%~85%를 차지한다고 보고한 Li와 Kuo (1992)의 연구 결과와 Pastuszka 등 (2000)이 가정과 사무실을 대상으로 측정된 호흡성 세균과 호흡성 곰팡이의 농도가 총 농도 대비 약 70%와 80%를 차지한다고 보고한 연구 결과와 비슷한 수준이다. 국내의 다중이용시설을 대상으로 한 선행 연구에서도 총 공기중 세균 농도에 대한 호흡성 세균의 평균 비율은 55~70%, 총 공기중 곰팡이 농도에 대한 호흡성 곰팡이의 평균 비율이 50~60%로 각각 보고되어 (Kim과 Kim, 2006) 본 연구 결과와 유사하였다.

사료제조공장 공정 내부와 실외의 공기중 세균과 곰팡이의 농도비는 모두 1 이상으로 나타나 실내외 농도비가 1 이

상이면 공기중 미생물에 의한 실내공기의 오염을 의심할 수 있다는 Gallup 등(1987)의 선행 연구 결과에 근거하면 본 연구에서 조사된 사료제조공장 내부는 공기중 미생물 노출에 의한 작업자의 잠재적 건강 위해성이 안전하다고 단정내릴 수는 없다. 그러나 단순히 정량 수치만으로 공기중 미생물 오염의 정도를 평가하는 것은 문제가 있으며 구체적으로 공기중 미생물에 대한 유해인자의 특성이나 종간의 유해성, 특성 등을 고려하여 실내와 실외의 농도를 비교하는 것이 바람직하다 할 수 있다 (박동욱, 2004). 따라서 향후에는 사료제조공장 실내외에 분포하고 있는 공기중 미생물의 동정 연구를 통한 정성 평가가 수행되어야 할 것이다.

실내공기 오염지표인 상대습도와 CO₂는 곡분공정에서 모두 높았고, 동시에 공기중 세균과 곰팡이의 농도 또한 높게 분포하는 것으로 조사되어, 공기 중 미생물은 온도·습도와 같은 물리적 환경요인과 환기상태 및 인간활동에 의해 실내 농도가 결정되는 이산화탄소와 같은 화학적 환경요인에 영향을 받는다 (Mancinelli와 Shulls, 1978; 강경희, 1996)는 선행 연구 결과와 일치하는 것으로 나타났다. 사료제조공장 내부 공정이 대부분 자동화가 구축된 관계로 상시 근로자가 적으나, 시료채취 시 펠렛공정에 비해 곡분공정에서 일하는 근로자가 상대적으로 많아서 CO₂ 농도가 더 높게 나온 것으로 판단된다. 한편 각 공정별 CO₂의 농도는 환경부에서 제시한 실내 공기질법 관리기준인 1,000 ppm을 초과하지 않았다.

현재까지는 실내공기 중 미생물에 대한 공인된 노출기준은 없다. 다만 미국산업위생학회 (AIHA), 미국산업안전보건청 (OSHA), 미국산업위생전문가협회 (ACGIH)에서는 실내의 오염정도를 실외와 비교하여 판단하도록 실내외 공기 중 미생물의 농도를 비교하도록 권하고 있다. ACGIH에서는 실내공기 중 세균, 곰팡이 농도의 권고치로 1,000 cfu/m³ 이하를 (ACGIH, 1999), 세계보건기구 (WHO)에서는 공기중 곰팡이 농도의 권고치로 150 cfu/m³ 이하를 제시하고 있다 (Heyder 등, 1986). 국내는 실내공기질관리법의 공기중 총세균에 대한 실내 공기질 유지기준은 환경부 고시 '다중이용시설등에 관한 법률'에 의해 의료기관, 보육시설, 학교, 극장, 백화점 등에서 800 cfu/m³ 이하로 설정되어 있으며, 실내 공기질 관리법의 유지기준과 시험방법에서 공기 중 곰팡이와 관련한 항목은 언급이 없다. 본 실험 사료제조공장에 대한 현재 국내 법적기준이 없는 바 '다중이용시설에 관한 법률'의 공기중 세균 800 cfu/m³ 이하에 견주어 볼 때, 본 실험 결과는 세균은 350 cfu/m³, 곰팡이는 231 cfu/m³ 균주로 나와 세균은 기준 이하이고, 곰팡이는 법적기준도 없는 터라 제도 마련이 시급한 실정이다.

바이오에어로졸은 특히, 공기중 세균과 곰팡이와 같이 살아있는 작은 미생물이기 때문에 생물학적 특성의 접근방법

이 필요하다고 사료되며, 또한 세균과 곰팡이는 채취, 배양, 분석(계수)이 가능한 생물학적 유해인자만을 근거로 노출기준을 설정하는 것은 문제가 있고 배양성이 까다롭거나 불가능한 인자(혐기성 미생물, 바이러스 등)에 의한 건강상의 영향이 고려되지 않는 점이 문제라고 할 수 있다. 다시 말해, 환경시료에 존재하는 미생물 군집의 모든 개체군을 배양할 수 없다는 방법상의 한계를 가지고 있다고 볼 때 본 연구의 결과가 살아있는 공기 중 미생물을 과소평가하거나 미생물 군집의 주요 개체군을 반영하지 못했을 가능성이 여전히 있다고 할 수 있다. 따라서 공기중 미생물의 분자적 검출 및 정량을 위한 미생물 포집방법의 개발도 필요하다고 사료된다.

V. 결론

본 연구는 인천에 소재한 사료제조공장 3곳을 대상으로 온도, 상대습도, CO₂ 등의 환경인자와 공기중 미생물간의 상호 연관성을 살펴보고, 입경 범위에 따른 농도 분포 현황을 조사한 것으로 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 펠렛공정의 공기중 세균 농도는 113(±18) cfu/m³, 공기중 곰팡이의 농도는 89(±5) cfu/m³이었고, 곡분공정에서의 공기중 세균 농도는 198(±5) cfu/m³, 공기중 곰팡이 농도는 124(±12) cfu/m³이었다.
2. 사료제조공장 내 총 농도 대비 호흡성 농도가 차지하는 비율이 공기중 세균은 70%, 공기중 곰팡이는 60% 이상인 것으로 조사되었으며, 곡분공정보다는 펠렛공정에서 발생하는 호흡성 크기의 공기중 미생물 분포 비율이 상대적으로 높았다.
3. 실내외 농도비 (I/O ratio) 측면에서는 사료제조공장 내 공정과 공기중 미생물 종류에 관계없이 모두 1 이상으로 나타났고, 37 범위 수준이었다.
4. 실내공기 오염지표인 상대습도와 CO₂는 곡분공정에서 모두 높았고, 공기중 세균과 공기중 곰팡이의 농도도 동시에 높게 나와 이들은 공기중 미생물 활성화에 영향을 주는 것으로 판단된다.

REFERENCES

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Bioaerosols assessment and control. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 1999

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 2001

Andersen AA. New sampler for collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. *J Bacteriol* 1958;471-484.

Duchaine C, Grimard Y, Cormier Y. Influence of building maintenance, environmental factors, and seasons on airborne contaminants of swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc J* 2000;61(1):56-63.

Gallup J, Kozak P, Cummins L, Gilman S. Indoor mold spore exposure: characteristics of 127 homes in Southern California with endogenous mold problems. *Adv Aerobiol* 1987;51:139-147.

Heyder JJ, Gebhart G, Rudolf CF, Schiller W. Deposition of particles in the human respiratory tract in the size range 0.005-15 μm. *Journal of Aerosol Science* 1986;17:811-825

Kim KY, Kim CN. Airborne microbiological characteristics in public buildings of Korea. *Building and Environment* 2006;42:2188-2196

Lavoie J, Dunkerley CJ, Kosatsky T, Dufresne A. Exposure to aerosolized bacteria and fungi among collectors of commercial, mixed residential, recyclable and compostable waste. *Sci Total Environ* 2006;370(1):23-28.

Li CS, Kuo YM. Airborne characterization of fungi indoors and outdoors. *Journal of Aerosol Science* 1992;23S:667-670

Mancinelli RL, Shulls WA. Airborne bacteria in an urban environments. *Appl Environ Microbiol* 1978;35:1095-1113

Pastuszka JU, Lis A, Wlazlo K. Bacterial and fungal Aerosol in indoor environment in upper Silesia, Poland. *Atmospheric Environment* 2000;34:3833-384

Rautiala S, Kangas J, Louhelainen K, Reiman M. Farmers' exposure to airborne microorganisms in composting swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc J* 2003;64(5):673-677.

Reponen TA, Hyvarinen J, Ruuskane T, Raunemaa A, Nevalainen A. Comparison of concentrations and size distributions of fungal spores in buildings with and without mould problems. *Journal of Aerosol Science* 1994;25: 1595-1603

Reponen TM, Lehtonen T, Raunemaa T. Effect of indoor sources on fungal spore concentrations and size distributions. *Journal of Aerosol Science* 1992;23:S663-S666

Rusca S, Charriere N, Droz PO, Oppliger A. Effects of bioaerosol exposure on work-related symptoms among Swiss sawmill workers. *Int Arch Occup Environ Health* 2007(1):12-17.

Sancez-Monedero MA, Stentiford EI, Urpilainen ST. Bioaerosol generation at large-scale green waste composting plants. *J Air Waste Manag Assoc* 2005;55(5):612-618.

Thorne PS, Niekhaefer MS, Whitten P, Donham KJ. Comparison of bioaerosol sampling methods in barns housing swine. *Appl Environ*

Microbiol 1992;58(8):2543-2551

강경희. 산업체 작업환경에서 실내공기의 세균오염도에 관한 연구. 고신대학교 보건대학원 석사학위 논문, 1996

김규상, 김은아, 이세휘, 박해심. 곡물사료 취급근로자의 곡물유발천식 위험요인에 관한 연구. 대한산업의학회지 1997;9(4):628-640

김기연, 고한중, 이경중. 임핀저 흡수액 조성에 따른 돈사 작업장내 바이오에어로졸 포집 효율 평가. 한국산업위생학회지 2004;14(2):111-116.

김기연, 박재범, 김치년, 이경중. 서울시 일부 지하철역 내 분포하는 부유세균 및 입자상 오염물질 평가. 한국환경보건학회지 2006;32(4):254-261

김윤신, 이은규, 엽무중, 김기영. 다중이용시설에서의 실내 공기 중 미생물 분포에 관한 연구, 한국환경위생학회지 2002;28(1):85-92

노동부. 노동통계자료. 2006.

박동욱. 생물학적 유해인자에 의한 건강장해와 노출평가 방법. 산업보건학 2004;2:4-10

박재범, 김기연, 장규엽, 김치년, 이경중. 다중이용시설 내부에 분포하는 부유진균의 입경별 농도 특성. 한국환경보건학회지 2006;32(1):36-45

이창래, 김기연, 김치년, 박동욱, 노재훈. 종합병원 내 부유 미생물 농도 및 환경 요인과의 상관성 조사. 한국산업위생학회지 2005;15(1):45-51

정선희, 백남원. 일부 병원 실내에서의 공기 중 미생물 오염에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1998;8(2):231-41

조경아. 유아교육시설 내 실내 공기 중 호흡성 미생물에 관한 연구. 서울대학교 석사 학위논문, 2005

조현중, 홍경심, 김지훈, 김현욱. 일부 종합병원 내 영역별 공기 중 미생물 평가. 한국산업위생학회지 2000;10(1):15-125