

수용성 금속가공유 취급사업장에서 세균농도와 환경인자의 관계에 대한 연구

A Study of the Relations between the Bacterial Concentration and the Environmental Factors in the Factories using Water Soluble Metal Working Fluids

박해동 · 박현희 · 김정현¹ · 장재길*

Hae Dong Park · Hyunhee Park · Jung Hyun Kim¹ · Jae-Kil Jang*

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 · ¹서울대학교 보건대학원

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA · ¹School of public Health, Seoul National University

ABSTRACT

Objectives: The objective of this study was to investigate the relations between the bacterial concentration and the environmental factors in the water soluble metal working fluids at factories.

Methods: The bacterial concentrations for airborne and fluid samples of 7 factories were quantified during the summer season. And we statistically analysed the relations between the bacterial concentrations and the factors such as temperature, relative humidity, usage quantity, mixing ratio and exchange interval.

Results: The geometric mean levels of the airborne bacterial concentrations were 79.1(range : N.D.~686) CFU/m³ and 68.1(range: N.D.~919) CFU/m³ in the process and outdoor. The airborne bacterial concentrations showed no statistical difference by process, usage quantity, mixing ratio and exchange interval. The airborne bacterial concentrations had negatively weak correlations with air temperature and relative air humidity($p<0.05$). The bacterial concentrations and pH showed significantly negative correlations in the fluids($p<0.05$). And the airborne bacterial concentrations in factories and those in metal working fluids showed no statistical relationship.

Conclusions: In the water soluble metal working fluids using factories, the airborne bacterial concentrations of the process were related to those of the outdoor and environmental factors, rather than the onsite contaminated metal working fluids.

Key words : Biological agent, Airborne bacteria, Metal working fluids(MWF), Environmental factor

I. 서 론

생물학적 인자는 그 자체가 감염을 일으킬 수 있는 살아있는 미생물뿐 아니라 미생물의 사체나 이러한 미생물들이 내놓을 수 있는 독소와 세포벽 성분, 단백질 분해효소 등과 같은 생물활성물질도 해당되어 매우 광범위하게 존재하게 된다(김윤신과 김기영, 2007). 이러한 생물학적 인자는 감염성 질환, 천식, 기침, 만성기관지염, 호흡곤란, 비염, 알레르기성 폐렴, 곡물열 등 다양한 질환을 일으키며(고광표, 2007), 직업적 노출군은

보건의료종사자뿐 아니라 농·축산업, 임업 종사자, 금속가공유 취급 작업자, 배관공, 토목공 등으로 노출범위도 다양하다(김기연 등, 2007; Park, 2010).

공기 중 부유세균 등 생물학적 인자에 대한 연구는 실내공기질 평가에서 많이 수행되었고, 이들 대부분은 정량적 평가를 기반으로 하고 있으며, 우점하는 개별 미생물의 유해성을 파악하고 보고하였다(홍준배 등, 2003; 조준호와 백남원, 2009; 이대행 등, 2010; 김지영 등, 2011). 또한, 작업환경과 관련하여 주로 양돈장, 사료제조공장, 폐기물처리업 및 금속가공유 취급과정 등

*Corresponding author: Jae-Kil Jang, 인천광역시 부평구 무네미로 478 산업안전보건연구원, Tel: 032-510-0801, Fax: 032-518-0864, E-mail: cihjj@kosha.net, Received: 20120628, Revised: 2012.11.13., Accepted: 2012.11.15.

에서 정량평가를 중심으로 연구되고 있다(김기연 등, 2007; 김영환 등, 2008; Haldal et al, 2003; Perkins et al, 2010).

금속가공유는 목적에 따라서 여러 가지로 분류할 수 있으나, 일반적으로 비수용성, 유화성, 준합성과 합성으로 분류하며, 사용목적에 따라서 기유(base oil) 외에 방부제, 윤활제, 방청제, 부식방지제, 세정제, 극압첨가제 등 약 20종 이상의 다양한 화학물질이 사용된다(김강운 등, 2002). 이러한 첨가제의 성분 및 사용공정에서 추가로 발생하는 오염성분 등이 근로자의 건강에 영향을 미치며, 각종 암, 피부질환 및 호흡기질환을 초래할 수 있다(박동욱, 2007).

금속가공유로부터 발생한 에어로졸의 흡입은 건강에 여러 가지 악영향을 미칠 수 있고 오염된 금속가공유의 세균은 직업성 질환과 관련이 있다고 보고되었으며(Liu et al., 2010), 특히 수용성 금속가공유는 세균과 진균의 효과적인 서식처가 될 수 있고 미생물 독소의 원천으로 작용할 수 있다(오세욱 등, 2004). 또한, 그동안 보고된 역학연구와 각종 사례를 고찰하여 발표한 논문에서 과민성폐렴은 미생물로 오염된 수용성 금속가공유의 사용과 관련이 있으며, 천식의 위험은 주로 비수용성보다 수용성 금속가공유의 노출에서 더 높았다고 보고되었다(박동욱, 2007).

이와 같이 금속가공유는 단일물질이 아닌 복합적인 물질로서 건강영향과 관련되어 있으며, 생물학적 인자는 사용 중 오염에 의하여 발생하여 건강영향을 미치는 한가지 요소로 판단할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 수용성 금속가공유 취급사업장을 대상으로 생물학적 인자 중 세균의 오염 정도와 환경인자를 평가하여 상호간의 관계를 분석하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 시기

2009년 실시한 작업환경실태조사 결과에서 금속가공유 취급사업장의 정보를 확보하여 1일 작업 6시간 이상, 취급작업자 5명 이상인 사업장 중 연간사용량이 1톤 이상인 사업장을 선별하였다. 선별된 사업장 중 유선으로 협의하여 수용성 금속가공유 취급 사업장 7곳을 최종대상으로 하였으며, 2011년 8월 말에서 9월 초 사이에 평가를 실시하였다. 또한, 각 사업장의 특징과 금속가공유의 종류, 사용 시의 온도, 월 평균사용량, 교환 방법 및 희석배수와 측정당시의 사업장 특징, 환기시설에 대한 조사를 실시하였다.

2. 공기 중 부유세균 및 작업환경 조사

공기 중 시료는 사업장 특성에 따라 외기를 포함하여 2~4 곳에서 포집하였고, 각 측정지점에서 4회 반복하여 측정하였다. 1단 앤더슨 샘플러(400 Hole, Single-stage viable particulate impactor, Model Quick take 30, SKC Inc., Pennsylvania, USA)를 이용하여 측정하였으며, 유량은 28.3 L/min으로 측정 전에 실험실에서 보정하였다. TSA(Trypticase soy agar, Seongnam, Korea) 배지를 사용하고 사업장 내에서는 수용성 금속가공유 사용설비의 작업위치 부근에서 2분 또는 5분간, 외기는 5분간 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 냉장상태에서 실험실로 운반한 후, 37°C에서 48시간 동안 배양하고 계수하였다. 공시료로서 사업장별로 3개씩의 TSA 배지를 동일하게 취급하되 현장에서 시료채취를 하지 않고 배양하여 계수하였다. 계수된 콜로니의 수는 Macher(1989)의 Positive hole correction법에 따라 보정하여 최종농도로 하였다.

3. 수용성 금속가공유 벌크 중 세균 및 환경인자 조사

벌크시료는 가동 중인 가공기계의 금속가공유 트레이에서 멸균된 20 mL 갈색병에 채취하였으며, 채취 전 수온온도계를 이용하여 액의 온도를 측정하고, 채취된 시료는 냉장상태에서 실험실로 운반하였다. pH 측정기(ORION 3 STAR pH Bench top, Thermo Scientific, Texas, USA)를 이용하여 pH를 측정 후, 생리식염수(0.9% NaCl 용액)를 이용하여 10배수로 단계적으로 희석하여 10^{-1} ~ 10^{-4} 까지 희석하였고, 희석배수별로 2개의 TSA 배지에 각각 100 μ L를 분주하여 도말하였다. 도말한 배지는 37°C에서 48시간 동안 배양하였으며, 계수가 가능한 희석배수별 배지의 콜로니 수를 모두 합산하고 희석배수 및 분주량을 계산하여 농도를 환산하였다. 또한, 사용 전 금속가공유도 채취하여 동일한 방법으로 평가하였다.

4. 통계분석

통계분석에는 PASW version 18.0(SPSS Inc., Quarry bay, Hong Kong) 통계프로그램을 이용하였다. 공기 중 부유세균의 사업장별 및 공정별 평균농도를 일원배치 분산분석으로 비교하였으며, 사후분석방법은 Duncan 방법을 적용하였다. 공기 중 부유세균의 농도와 환경인자간의 관계를 상관분석하였으며, 작업장내 공기 중 부유세균과 환경변수(온도, 습도, 월사용량, 배합비

을, 교환횟수)에는 단계별선택방법에 의한 다중회귀분석을 실시하였으며, 단계선택의 기준으로는 입력할 F의 확률은 0.05 미만, 제거할 F의 확률은 0.10 으로 하였다. 또한, 가공유 교환시 세척여부 및 환기형태에 따른 공기 중 부유세균의 평균농도는 독립표본 T-검정 및 이원배치분산분석 방법으로 비교하였다. 별크시료 내의 세균 농도와 환경인자와의 Pearson 상관분석을 실시하였고, 상관관계를 보이는 pH 농도를 독립변수로 하고 미생물 농도를 종속변수로 하여 단순 회귀분석을 실시하였다. 또한, 공기 중 부유세균 농도와 별크시료내의 세균농도의 관계를 상관분석하였다.

III. 연구결과

1. 사업장의 일반적 특성

사업장별 수용성 금속가공유를 사용하는 주요설비와 사용 및 관리, 환기상태 등은 Table 1과 같았다. 7개 사업장은 선반, 밀링, 머시닝센터 등의 장비를 주로 사용하고 있었으며, 대부분의 사업장은 수용성 금속가공유 외에 비수용성 금속가공유를 사용하는 가공설비들도 같은 공간에 배치하고 있었다. 월 사용량과 희석비율은 사업장별로 달랐으며, 가공유의 교환주기에 있어서는 2개 사업장은 보충만 하고 있어서 전체적인 교환은 없는 것으로 조사되었으며, 교환주기가 가장 빈번한 사업장은 월1회 교체를 하고 있었다. 5개 사업장 중 3개 사업장은 가공유 교환시 물을 사용하여 세척과정을 거치는 반면, 2개 사업장은 별도의 세척과정이 없었다. 특히 C 사업장은 교환시 소독을 실시하는 것으로 조

사되었다. 모든 사업장에서 가공기계에 직접 연결된 국소배기장치는 없었고, 벽 또는 지붕에 배기팬이 설치된 곳은 3개소였으며, 모든 사업장에서는 선풍기를 가동하고 있었고 A와 E 사업장을 제외하고는 창문을 개방하여 작업하고 있었다.

2. 공기 중 부유세균의 농도수준

사업장 내와 외기에서 측정한 온도, 습도 및 세균의 농도는 Table 2와 같았다.

대부분의 실내온도(28.2~34.4°C)는 실외(28.7~33.8°C)와 비슷하거나 약간 낮은 수준이었으나, E사업장의 경우는 실내 냉방기 가동 및 외기와 차단된 작업장 구조로 인해 외기에 비해 낮은 실내온도(23.0~24.3°C)를 보였다. 실내습도(40.8~67.1%)는 외기(37.3~64.1%)에 비하여 같거나 약간 높은 수준이었으며, E사업장은 실내보다 실외 습도에 낮았다.

공기 중 부유세균의 농도는 사업장내의 경우 기하평균 79.1(기하표준편차: 4.042, 범위: N.D.~686)CFU/m³로 측정되었고, 외기의 경우 기하평균 68.1(기하표준편차: 2.646, 범위: N.D.~919) CFU/m³로 측정이 되었다. 각 사업장의 작업장내와 외기의 세균농도 비교시, A 사업장은 작업장내 농도(기하평균 74.6 CFU/m³)가 외기의 농도(기하평균 6.4 CFU/m³)에 비해 높았고, 공기 중 부유 세균농도의 작업장 내/외 비율(I/O ratio)이 11.65로 가장 크게 나타났다. I/O ratio는 B, C, G 사업장에서 1보다 높았으나, D, E, F 사업장에서는 1보다 낮았으며, 특히, E 사업장은 외기의 농도가 662.7 CFU/m³로 작업장내 농도에 비하여 약 3배 높았다. G 사업장의 디

Table 1. General characteristics of factories using metal working fluids(MWFs)

ID*	Machine	n† (ea)	Usage Q‡ (L/month)	Mixing Ratio (Oil:Water)	Exchange cycle (number/year)	Washing Process	Ventilation type
A	Drilling machine	2	40~60	1:3~1:4	-	No	Wall exhaust fan
B	Machining center	11	600~800	1:4	1~2	No	Roof nonpowered fan Opened window
C	Machining center	2	20	1:20	4	Yes	Opened window and door
D	Lathe machine	4	80	1:10	-	No	Opened window
E	Milling machine Grinder	5 5	80	1:10	2	Yes	Wall exhaust fan
F	Lathe machine Grinder	4 6	80	1:10~1:30	4~6	Yes	Opened window
G	Deburring machine Grinder	4 7	400	1:20	12	No	Opened window

ID*: Factory, n†: Number of machine, Q‡: Quantity

Table 2. Environmental factors and airborne bacterial concentrations by factory

ID*	Site	n [†]	Temp. [‡] (°C)	Humid. [§] (%)	Bacterial concentration(CFU/m ³)			I/O** ratio
					G.M.	G.S.D. [¶]	Range	
A	Drilling	4	28.5	67.1	74.6	1.55	53~137	11.65
	Outdoor	4	31.8	64.1	6.4	2.81	N.D. ⁺⁺ ~21	
B	Machining	8	29.2	62.8	63.2	1.38	35~88	1.21
	Outdoor	4	33.6	61.3	52.1	1.29	42~71	
C	Machining	8	32.5	57.5	181.3	1.67	93~468	1.10
	Outdoor	4	34.4	46.9	164.6	1.86	71~322	
D	Lathe	8	33.9	50.3	15.7	3.02	N.D.~50	0.53
	Outdoor	4	33.8	45.3	29.5	2.01	14~71	
E	Milling	4	23.0	50.9	211.3	2.38	93~686	0.32
	Lathe	4	24.3	56.2	212.1	1.34	161~322	
	Outdoor	4	32.8	37.3	662.7	1.26	535~919	
F	Lathe	8	28.2	46.0	65.2	2.07	28~178	0.65
	Outdoor	4	28.7	43.8	99.8	1.51	64~160	
G	Deburring	8	29.7	40.9	78.5	1.49	42~143	1.67
	Lathe	8	29.1	41.3	103.9	1.56	50~167	
	Outdoor	4	30.0	40.2	47.0	1.74	21~71	

ID* : Factory, n[†] : Number of Samples, Temp.[‡] : Mean air temperature, Humid.[§] : Mean air humidity, G.M.^{||} : Geometric mean, G.S.D.[¶] : Geometric standard deviation, I/O** ratio : Indoor/Outdoor ratio, N.D.⁺⁺ : Not detected

버링 공정은 외기의 1.54배 이었으나, 선반공정은 2.13~2.38배로 높게 평가되었다.

사업장별 작업장내 세균농도는 일원배치분산분석 결과 서로 달랐으며($p<0.01$), 사후분석결과 95% 유의 수준에서 저농도 1개소(D), 중농도 4개소(A, B, F, G) 및 고농도 2개소(C, E)로 구분되었다.

평가결과를 공정별로 분류하면 5개의 주요공정과외기로 나누어 졌으며, 세균농도의 기하평균은 밀링공정에서 211.3 CFU/m³로 가장 높고, 선반공정에서 58.7

CFU/m³로 가장 낮았으나, 외기를 포함하여 일원배치 분산분석한 결과 p 값이 0.253으로 유의한 차이가 없었으며, 외기를 제외한 5개 공정간에도 p 값이 0.076으로 유의한 차이가 없었다(Table 3).

외기를 포함한 공기 중 부유세균의 농도와 환경인자간의 상관관계를 살펴보면, 온도와 습도는 음의 약한 상관관계가 있는 것으로 나타났으나($p<0.05$), 월사용량, 물과 오일의 배합비율 및 가공유의 교환주기와는 유의한 상관관계가 없었다($p>0.05$)(Table 4). 작업장내 공기 중 부유세균과 위의 다섯 가지 환경인자간의 다중회귀분석을 실시한 결과, 월사용량과 교환주기는 유의한 관계가 없었으나 작업장내 온도, 배합비율, 습도는 유의한 관계가 있었다. 이때 작업장내 공기 중 부유세균농도의 설명비율은 단일변수(온도)에 의해서는 20.3% 이었으나, 아래의 식에 의해서는 40.2%(수정된 결정계수)로 높아졌다($p<0.01$).

$$y = 4.972 - 0.179 x_1 + 0.107 x_2 + 0.061 x_3$$

$$y : \ln(\text{bacterial concentration(CFU/m}^3\text{)})$$

$$x_1 : \text{Temperature(}^{\circ}\text{C)}$$

$$x_2 : \text{Mixing ratio}$$

$$x_3 : \text{Humidity(\%)}$$

Table 3. Environmental factors and airborne bacterial concentrations by process.

Process	n [*]	Temp. [†] (°C)	Humid. [‡] (%)	Bacterial concentration(CFU/m ³)		
				G.M. [§]	G.S.D.	Range
Drilling	4	28.5	67.1	71.9	1.549	53~137
Machining	16	30.8	60.1	107.1	1.982	35~468
Lathe	28	29.5	47.3	58.7	3.227	N.D.**~322
Milling	4	23.0	50.9	211.3	2.376	93~686
Deburring	8	29.7	40.9	78.5	1.489	42~143
Outdoor	28	32.1	48.4	68.1	4.042	N.D.~919

n^{*} : number of samples, Temp.[†] : Mean air temperature, Humid.[‡] : Mean air humidity, G.M.[§] : Geometric mean, G.S.D.^{||} : Geometric standard deviation, N.D.^{**} : Not detected

Table 4. Correlations between airborne bacterial concentrations and environmental factors

	Temp. [†]	Humid. [‡]	Usage Q	Oil Mixing Ratio	Oil Exchange cycle
Pearson correlation coefficient	-0.268*	-0.228*	-0.083	0.223	0.217
p-value	0.012	0.033	0.531	0.087	0.095
n [§]	88	88	60	60	60

n[§] : number of samples, Temp.[†] : Mean air temperature, Humid.[‡] : Mean air humidity, Q^{||} : Quantity, * : p<0.05

가공유의 교체시 세척과정을 거치는 사업장의 공기 중 부유세균의 기하평균 농도는 135.8 CFU/m³로 세척 없이 보충만 하는 사업장보다 유의하게 높게 나타났다(p<0.01). 또한, 창문을 열어놓아 수동적인 환기에 의존하는 사업장(개방형)에 비해서 창문을 닫고 벽면에 부착된 환기팬을 사용하는 사업장(폐쇄형)에서 유의하게 더 높은 공기 중 부유세균농도를 나타내었다(p<0.05) (Table 5). 그러나, 세척방법과 환기에 대한 두 요인을 대상으로 이원배치 분산분석한 결과, 두 요인의 상호작용 효과는 나타나지 않았으며(p=0.535) 환기방법에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나(p=0.108) 세척 방법에서는 유의한 차이가 있었다(p=0.004).

3. 사업장별 벌크시료내 세균의 정량평가 결과

각 설비에서 사용 중인 금속가공유 트레이에서 온도

를 측정된 결과, 모두 실내온도와 비슷한 수준이었으며, B, F 사업장 시료는 24~25°C 수준이었고 나머지 사업장 시료는 28~34°C 수준이었다. 공정별로 보면 일원 배치분산분석에서 pH는 유의한 차이가 없었으나, 온도는 밀링공정이 들릴링, 선반 및 디버링 공정에 비해 유의하게 낮았고(p<0.05), pH의 전체범위는 8.09~10.12 였다.

각 사업장에서 사용하고 있는 수용성 금속가공유 내에 포함되어 있는 세균의 수는 Table 6과 같았다. 각 사업장 별로 2~4종류의 금속가공유를 사용하고 있었으며, A 사업장을 제외한 나머지 사업장에서 같은 종류의 사용 전 수용성금속가공유 원액을 채취해서 동일한 실험을 실시하였으나 모든 시료에서 세균이 검출되지 않았다(검출한계 50 CFU/mL).

총 18개의 사용 중인 벌크시료 중에서 9개 시료는 세균이 검출되지 않았으며, 9개 시료에서는 $4.5 \times 10^2 \sim 2.2 \times 10^6$ CFU/mL 수준의 세균농도로 평가되었다. E 사업장의 3개 시료 중 교체한지 1년이 지나고 pH 수준도 다른 시료에 비해서 낮은 한 시료에서만 9.55×10^5 CFU/mL 수준의 고농도로 검출되었다. 공정별 벌크시료내의 세균농도는 드릴링 공정이 2.9×10^4 CFU/mL 수준으로 가장 높았고, 밀링공정(4.9×10^3 CFU/mL), 머시닝공정(4.3×10^2 CFU/mL)순으로 높았으나 통계적으로 유의하지는 않았다(p>0.05).

벌크시료 내에서 세균 농도와 환경인자와의 상관분

Table 5. Comparisons of airborne bacterial concentrations by washing process or ventilation.

Factor	Classification	Ventilation			
		Opened	Wall exhaust fan	Total	
Washing process	No	n [†]	32	4	36
		G.M. [§]	53.4	71.9	55.2
		G.S.D.	0.963	0.438	2.508
		Range	N.D.~167	53~137	N.D.~167
	Yes	n [†]	16	8	24
		G.M. [§]	108.7	211.8	135.8
		G.S.D.	0.805	0.598	2.219
		Range	28~468	93~686	28~686
	Total	n [†]	48	12	
		G.M. [§]	67.7	147.7	
		G.S.D.	2.626	2.117	-
		Range	N.D.~468	53~686	

n[†] : number of samples, G.M.[§] : Geometric mean, G.S.D.^{||} : Geometric standard deviation, Opened^{||} : opened windows, Closed^{||} : Closed windows and wall exhaust fan

Table 6. Bacterial concentrations of metal working fluid bulk samples.

Process	n*	Temp.† (°C)	pH†	Bacterial concentration(CFU/m ³)		
				G.M.§	G.S.D.¶	Range
Drilling	2	29.5	8.89	28,743	1.1	26,650~31,000
Machining	4	26.3	8.84	428	44.7	N.D.**~77,000
Lathe	8	30.4	9.04	292	61.4	N.D.~2,200,000
Milling	2	24.0	8.26	4886	1737.1	N.D.~955,000
Deburring	2	29.5	9.05	285	31.2	N.D.~3,250

n* : number of samples, Temp.† : Mean temperature, pH† : Mean pH, G.M.§ : Geometric mean, G.S.D.¶ : Geometric standard deviation, N.D.** : Not detected(Limit of detection : 50 CFU/mL)

석을 해 본 결과, 온도와 세균의 농도와는 유의한 상관관계가 없는 것으로 나타났으나, pH와 세균의 농도는 미검출 시료를 포함하는 경우에는 상관관계수가 -0.489로 유의한 음의 상관성이 있는 것으로 평가되었으며($p<0.05$), 미검출 시료를 제외하는 경우에는 상관관계수가 -0.878로 매우 강한 음의 상관성이 있는 것으로 평가되었다($p<0.01$).

수용성 금속가공유 Bulk 시료의 pH와 세균농도의 분포를 비교하여 보면 Figure 1과 같았다. 미검출 시료의 세균 농도값을 검출한계의 1/2 값으로 대체하여(Glass and Gray, 2001) 포함한 경우와 미검출 시료를 제외한 경우의 그래프이다. 미검출 시료를 포함한 경우, 미검출 시료가 pH 8.24에서 pH 10.12 까지 넓은 범위에 분포하고 있었으나, 95% 신뢰수준에서 유의한 회귀식이 도출되었으며($p=0.039$), pH의 변화가 세균의 농도를 설명할 수 있는 비율(결정계수)은 약 24%였다. 반면, 미검출 시료를 제외하면 99% 신뢰수준에서 유의한 회귀식이 도출되었으며($p=0.002$), 이때 pH의 변화가 세균의 농도를 설명할 수 있는 비율은 77%로 높아졌다.

4. 공기 중 부유세균 농도와 벌크시료 중 세균농도의 관계

각 벌크시료 채취설비의 부근에서 포집된 공기 중

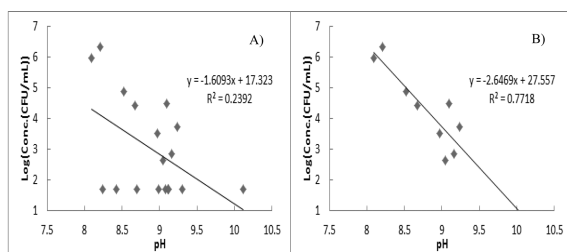


Figure 1. Linear regressions of bacterial concentration and pH in Metal working fluids. A) With not detected samples, B) Without not detected samples.

부유세균의 농도와 벌크시료의 세균농도를 비교해 보았다(Table 7). 이때 공기 중 부유세균의 농도는 동일 벌크시료에 대하여 기하평균값을 구하여 사용하였다. 세균이 검출되지 않은 벌크시료를 포함하는 경우와 포함하지 않는 경우 두가지를 모두 비교하였으나, 공기 중 부유세균 농도와 벌크시료의 세균농도 사이에는 유의한 상관관계가 없는 것으로 나타났다($p>0.05$).

Table 7. Correlations of bacterial concentrations between airborne and fluid samples.

	With N.D.† samples	Without N.D. samples
Pearson correlation coefficient	0.164	0.450
p-value	0.516	0.224
n§	18	9

n§ : number of samples, N.D.† : Not detected at bulk sample

IV. 고 찰

본 연구에서 조사한 사업장 중 A와 E 사업장을 제외한 나머지 사업장은 외기의 농도와 작업장의 농도가 비슷한 수준으로 측정이 되었는데, 측정 당시 대부분의 사업장이 창문을 열어 놓고 작업을 실시하고 있어 외기의 영향을 받은 것으로 생각된다. A 사업장은 공장 내의 세균농도가 외기에 비해 높았는데, 이 사업장은 아파트형공장에 위치하고 있었고, 사업장의 옥상에서 외기를 측정함으로써 인하여 외기와 작업장내의 미생물농도에 차이가 있었던 것으로 생각된다. E 사업장은 외기의 세균농도가 676.7 CFU/m³으로 가장 높게 측정이 되었는데 사업장 앞에 비포장 토지 및 대로 근처에 위치한 지리적 요인 때문에 높게 측정되었을 것이라 생각된다. 그러나, 외기가 거의 차단되어 있는 작업장 내부는 에어컨 등 냉난방을 하고 있고 외기도입이 상당히 제한되어 있어 외기의 영향을 적게 받은 사업장

이었다.

금속가공유 취급 작업장에서 공기 중 부유세균의 농도에 대한 이전 연구결과, 국내의 수용성 및 비수용성 금속가공유 취급사업장 9개소에서 충돌법으로 평가한 일반세균의 기하평균농도를 $2,057 \text{ CFU/m}^3$ (범위 : $38 \sim 42,500 \text{ CFU/m}^3$) 수준으로 보고하였다(오세욱 등, 2004). 또한, 타이완에서는 충돌법으로 평가한 공기 중 부유세균의 농도를 나사절삭기에서 평균 232 CFU/m^3 , 연마기에서 평균 180 CFU/m^3 로 보고한 바 있으며(Liu et al., 2010), 미국의 금속가공유 사용 작업장 1개소에서 임핀저법으로 평가한 공기 중 부유세균의 평균농도를 겨울에는 $5.58 \times 10^3 (\pm 8.06 \times 10^3) \text{ CFU/m}^3$, 여름에는 $2.59 \times 10^3 (\pm 3.94 \times 10^3) \text{ CFU/m}^3$ 수준으로 보고하였다(Perkins, 2010). 이에 비해서 본 연구에서는 기하평균농도가 79.1 CFU/m^3 (범위 : N.D.~ 686 CFU/m^3)로 평가되어 국내 및 미국의 평가결과에 비해 현저히 낮았으나, 타이완에서 평가한 결과와는 비슷한 수준으로 평가되었는데, 대부분의 작업장이 여름철 더운 날씨에 창문을 개방하고 선풍기를 가동함으로써 상대적으로 낮은 세균농도(기하평균 68.1 CFU/m^3)인 외부공기의 영향을 받은 것으로 생각되었다.

여러 국가 및 기관에서 바이오에어로졸에 대한 권고 기준 및 지침을 제시하고 있으나, 명확하게 노출기준으로 설정되어 있지는 않다. 미국의 산업안전보건청(OSHA)은 세균의 오염에 대한 권고기준으로 $1,000 \text{ CFU/m}^3$ 를 권고하고 있으며, 미국 산업위생전문가협회(ACGIH) 및 국제보건기구(WHO)에서는 500 CFU/m^3 를 권고하고 있다(하진실 등, 2011). $1,000 \text{ CFU/m}^3$ 를 기준으로 보면, 본 연구에서는 모두 미만으로 평가되었으며, 500 CFU/m^3 를 기준으로 보면 작업장 내 1개소(2%)에서 높게 나타났다.

I/O ratio가 1 이상인 경우에는 실내에 오염원이 있음을 의심할 수 있는데(김기연 등, 2007), 4개 사업장은 세균의 평균농도 비율이 1 이상으로 나타났으나 측정농도의 범위 등을 고려했을 때 명확한 실내 오염으로 보기에는 어려울 것으로 판단된다.

공정별 평가에서 드릴공정 시료가 다른 공정시료에 비해 특히 높은 농도를 나타내었음에도 불구하고, 공정간 평균농도에는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않은 것은 시료별로 농도의 차가 크고, 각 공정별 시료수에 차이가 많았으며, 일부 공정은 시료수가 4개로 비교적 적었던 것에 기인하는 것으로 판단된다.

일반적으로 온도와 습도가 높을수록 미생물의 번식이 왕성할 것으로 생각되나, 본 연구에서 세균의 농도와 환경인자간의 상관분석에서는 온도와 습도에 약한 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 여름철 평가로 인하여 일부 사업장을 제외하고 대부분의 온도는 30°C 내외로 비슷하여 상관관계를 명확히 보기는 어려운 것으로 생각된다. 이후 계절별 평가가 이루어진다면 온도 및 습도에 대한 상관관계에 대해서는 좀 더 명확한 관계를 도출할 수 있을 것으로 생각된다.

사용 중인 금속가공유 벌크시료의 세균 농도에 대한 이전 연구결과는 다음과 같았다. 백남원 등(1998)은 사용 중인 기계의 금속가공유 탱크에서 SANI-CHECK(Biosan, SANI-CHECK BF)로 측정한 세균의 농도가 $10^3 \sim 10^7 \text{ CFU/mL}$ 범위에 있다고 보고하였으며, Liu 등(2010)에 의하면, 나사절삭기에서 평균 $3.9 \times 10^5 (\pm 0.6 \times 10^5) \text{ CFU/mL}$, 연마기에서 평균 $3.2 \times 10^5 (\pm 0.7 \times 10^5) \text{ CFU/mL}$ 이었으며, Perkins 등(2010)은 벌크시료에서 세균의 평균농도가 겨울에는 $1.16 \times 10^8 (\pm 1.79 \times 10^8) \text{ CFU/mL}$, 여름에는 $2.87 \times 10^8 (\pm 2.00 \times 10^8) \text{ CFU/mL}$ 수준으로 보고하였다. 또한, Dilger 등(2005)은 100개의 금속가공유를 대상으로 세균의 농도를 평가한 결과, 4개의 보존재 미첨가(non-preserved) 시료는 10^7 CFU/mL 이상이었으며, 보존재 첨가 시료 중에서는 검출한계(20 CFU/mL) 미만인 37.5%, $10^2 \sim 10^5 \text{ CFU/mL}$ 이 47.5%, 10^5 CFU/mL 이상이 44.8%, 10^7 CFU/mL 이상이 8.5%였다. 본 연구에서는 18개 벌크시료 중 9개 시료에서 세균이 검출되지 않았으며(검출한계 : 50 CFU/mL), 나머지 9개 시료의 기하평균 농도는 $2.1 \times 10^4 \text{ CFU/mL}$ 수준으로 이전 연구에 비하여 낮은 수준이었다. 일반적으로 세균의 농도가 10^5 CFU/mL 이상이면 오염의 가능성이 있어 적절한 관리가 필요한데(박동욱 등, 2008), 본 연구에서는 2개 벌크시료가 이를 초과하는 것으로 평가되어 관리방안에 대한 자체적인 보완이 필요한 것으로 생각되었다.

벌크시료 중 미검출 시료를 제외한 시료의 세균농도는 수소이온농도(pH)와 매우 높은 음의 상관관계를 보였다($p < 0.01$). 이것은 세균이 성장하는 경우 유기산의 생성으로 인하여 pH가 낮아지는 경향이 있음을 보고한 기존 연구와 같은 결과로 해석된다(김귀숙 등, 1998; Simpson et al., 2003).

금속가공유 벌크시료내의 세균농도와 공기 중 부유세균 농도간의 관계분석에서 모두 유의한 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 또한, 금속가공유 교체시 세척

과정 여부에 따른 세균의 평균농도 분석시, 세척과정을 가지는 사업장에서 더 높은 세균농도를 보였으며, 금속가공유의 사용량, 배합비율, 교체주기 등과도 상관성이 없는 것으로 나타났다. 이와 함께 작업장 내와 외기의 농도가 비슷한 점과 조사당시 창문 등이 개방되어 많은 양의 외기가 도입되고 있었던 점 등을 종합적으로 고려해 보면, 조사된 작업장내의 세균농도는 외기의 영향으로 인한 것이 크고 금속가공유 취급작업에 의한 영향은 적을 것으로 판단되었다. 이 부분에 대해서는 충분한 수의 시료를 확보하여 다변량분석이나 다중상관분석 등을 통해 추가적으로 파악하는 것이 필요할 것으로 보인다.

본 연구의 제한점은 다음과 같았다. 세균의 번식이 왕성한 것으로 예상되는 여름철에 평가가 이루어졌으나, 더운 날씨로 인하여 작업장이 개방되어 외기의 영향을 많이 받음으로써 금속가공유의 오염으로 인한 영향을 평가하기에는 미흡하였으며, 배양법에 근거한 평가방법을 이용하였으므로 극히 작은 종류의 미생물만이 배지에서 자랄 수 있으며, 주요 미생물은 배제되었을 수도 있다. 또한, 전체적으로 대상사업장, 공정 및 시료의 수가 제한적이어서 다차원분석이나 다중상관성 등을 파악하는데 한계가 있었으며, 수용성금속가공유에 사용되어지는 방부제의 존재여부 및 종류, 가공유의 사용기간 등에 대한 조사가 미흡하여 본 결과에 반영되지 않았다.

V. 결 론

수용성 금속가공유 취급사업장에서 공기 중 부유세균과 벌크시료 내의 세균농도 및 환경인자에 대하여 평가하였으며, 상호간의 관계를 통계적으로 분석하였다. 공기 중 세균의 농도는 사업장간에는 유의한 차이가 있었으나, 공정간에는 유의한 차이가 없었다. 또한, 온도 및 습도와 유의한 약한 음의 상관관계를 보였고, 다른 작업인자와는 상관성이 없었으나, 개방형보다 폐쇄형의 작업장에서 유의하게 높은 세균농도를 보였다. 작업장 내·외의 세균농도 수준 및 작업환경 등을 종합적으로 보았을 때 공기 중 세균의 농도는 금속가공유 취급작업보다 외기의 영향을 받은 것으로 판단되었다. 작업장 내·외기 및 벌크시료내의 주요 우점종에 대한 동정을 하여 결과를 비교한다면 실내 오염의 원인 파악 및 관리방안 마련의 방향을 설정할 수 있을 것으로 생각되며, 향후 계절별 평가를 수행하고 충분한 시료수를 확보한

다면 여러 환경인자의 영향을 명확하게 밝힐 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 고광표. 바이오에어로졸의 노출 및 인체 위해성 평가. 공기청정기술 2007; 20 (1): 50~56.
- 김강윤, 정춘화, 박소연, 김형욱. 금속가공유의 산업위생학적 고찰. 한국산업위생학회지 2002; 12 (3): 162~177.
- 김귀숙, 백남원. 금속가공 공정에 사용하는 수용성 금속가공유에 존재하는 미생물의 특성. J. Institute Hlth. Environ. Sci. 1998; 8 (1): 47~57.
- 김기연, 정연일, 김치년, 원종욱, 노재훈. 사료제조공장 내 공기 중 세균과 진균 분포에 관한 연구. 한국산업위생학회지 2007; 17 (4): 335~342.
- 김영환, 서형주, 김진만, 정연훈, 문경환. 일부지역 양돈장 및 양계장 공기중 박테리아 진균 내독소 농도. 한국축산식품학회지 2008; 28 (5): 623~628.
- 김윤신, 김기영. 바이오에어로졸의 특성 및 측정방법. 공기청정기술 2007; 20 (1): 1~39.
- 김지영, 정세영, 김수정, 김진아, 시지연, 조연우, 조정덕, 고광표. 국내 일부 초등학교 바닥먼지 내 화학적 및 생물학적 유해인자의 분석. 한국환경보건학회지 2011; 37 (4): 279~288.
- 박동욱. 금속가공유 노출과 호흡기질환 위험 critical review. 한국산업위생학회지 2007; 17 (1): 1~12.
- 박동욱, 류경남, 윤충식, 하권철, 최상준, 이광용. 금속가공유 관리 표준지침2; 관리-수용성 금속가공유를 중심으로. 한국산업위생학회지 2008; 18 (1): T1~T7.
- 백남원, 박동욱, 윤충식, 김승원, 김신범, 김귀숙. 우리나라에서 사용하는 광물유(금속가공유)의 유해특성과 관리대책에 관한 연구-수용성 금속가공유의 유해특성과 관리대책. 한국산업위생학회지 1998; 8 (1): 67~75.
- 오세욱, 김중혁, 이용기, 이용식, 정호철, 조일형, 김영환, 변상훈. 금속가공유 취급 공정에 있어서의 오일 미스트농도 내독소와 미생물의 평가에 관한 연구. 한국산업위생학회지 2004; 14 (1): 41~47.
- 이대행, 이세행, 배석진, 김난희, 박강수, 김도술, 백계진, 문용운. 광주지역 다중이용시설에서 실내공기질 농도와 상관성 분석. 대한환경공학회지 2010; 32 (11): 1001~1010.
- 조준호, 백남원. 서울시 일부 지하철 역사 내 공기 중 진균 농도에 관한 연구. 한국환경보건학회지 2009; 35 (6): 487~494.
- 하진실, 정혜정, 변혜정, 윤충식, 김양호, 오인보, 이지호, 하권철. 초등학교 가정용 대상으로 한 바이오에어로졸 노출과 아토피와의 연관성 평가. 한국

- 환경보건학회지 2011; 37 (6): 406~417.
- 홍준배, 정윤희, 장윤희. 서울시내 종합 병원 공기중의 미생물 분포. 한국환경위생학회지 2003; 29 (1): 1~7.
- Dilger S, Fluri A, Sonntag HG. Bacterial contamination of preserved and non-preserved metal working fluids. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2005; 208 (6): 467~476.
- Heldal KK, Salstensen AS, Thorn j, Djupesland P, Wouters I, Eduard W, Halstensen TS. Upper airway inflammation in waste handlers exposed to bioaerosols. *Occup Environ Med* 2003; 60: 444~450.
- Liu, HM, Lin, YH, Tsai, MY, Lin, WH. Occurrence and characterization of culturable bacteria and fungi in metalworking environments. *Aerobiologia* 2010; 26: 339~350.
- Macher JM. Positive-hole correction of multiple-jet impactors for collecting viable microorganisms. *AIHA Journal* 1989; 50 (11): 561~568.
- Park, HH Park, HD Lee IS. Microbial exposure assessment in sawmill, livestock feed industry, and metal working fluids handling industry. *Safety and Health at Work* 2010; 1 (2): 183~191.
- Perkins, SD, Angenent, LT. Potential pathogenic bacteria in metalworking fluids and aerosols from a machining facility. *PEMS Microbial Ecol*, 2010; 74: 643~654.
- Simpson AT, Stear M, Groves JA, et al. Occupational Exposure to Metalworking Fluid Mist and Sump Fluid Contaminants. *Ann. occup. Hyg.*, 2003; 47 (1): 17~30.