한국산업위생학회지 제20권 제4호(2010년 12월)
J Korean Soc Occup Environ Hyg 2010;20(4):274~281
한국산업안전보건공단 연구

제재업의 생물학적인자 노출실태 평가

박해동† · 박현희 · 이인섭

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Exposure Assessment for Airborne Biological Agents in Sawmills

Hae Dong Park† · Hyun Hee Park · In Seop Lee

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

The objectives of this study are (a) to investigate the distribution patterns and exposure concentrations of biological agents in sawmill industries and (b) to compare sampling methods of biological agents.

The representative processes of 5 sawmills were selected to measure total airborne bacteria, fungi, endotoxin as well as dust. Airborne bacteria and fungi were measured with one stage impactor, six stage impactor and gelatin filteration methods. Endotoxin was collected with polycarbonate filters and analysed by kinetic chromogenic Limulus Amebocyte Lysate method.

Geometric mean levels of airborne bacteria, fungi, endotoxin and dust were 1,864 CFU/㎥, 2,252 CFU/㎥, 31.5 EU/㎥ and 2.4 ㎎/㎥. The ratios of indoor/outdoor concentrations were 3.7 for bacteria, 4.1 for fungi, 3.3 for endotoxin and 9.7 for dust. The respiratory fractions of bacteria were 68.0, 50.9, 49.2 and 45.1% in band-saw, table-saw, rip-saw process and outdoor air. The respiratory fractions of fungi were 78.7, 90.8, 87.5 and 84.8% in band-saw, table-saw, rip-saw process and outdoor air, respectively. There was no significant differences in bacterial concentrations among single stage, six stage impaction and filteration methods. But, fungal concentrations measured with filtration methods were significantly higher than those with impaction methods.

Geometric mean levels of airborne bacteria and fungi were higher than the OSHA guideline values of 1,000 CFU/㎥. The respiratory fractions of fungi were above 75%. The concentrations of biological agents were significantly different among culture-based sampling methods. In the exposure assessments of biological agents, further studies are needed for the comparisons of diverse sampling methods and the investigations of environmental factors.

Key Words : Biological agent, bacteria, fungi, sawmill, endotoxin, bioaerosol

접수일 : 2010년 6월 23일, 채택일 : 2010년 11월 5일
† 교신저자 : 박해동(인천광역시 부평구 구산동 34-4 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원,
Tel : 032-510-0808 , Fax : 032-518-0864, E-mail : pssphd1@kosha.net)

Ⅰ. 서 론

목재가공시 발생하는 목분진이나 목재칩 등은 셀룰로즈 주변의 리그닌 보호장벽이 파괴됨으로써 미생물이 쉽게 번식할 수 있게 되며(Rosell et al., 1973), 목재에 서식하는 그람음성세균의 엔도톡신과 알레르기성 곰팡이가 목재가공 작업장의 주요 유해요소라고 보고된 바 있다(Dukiewicz et al., 1988). 스위스의 목재취급 작업에서 생물학적인자와 관련하여 건강영향을 평가한 결과, 12개 제재소에서 111명의 작업자 중 56 %가 기관지 증상을 호소했으며, 공기 중 진균의 농도가 기관지 증상에 유의하게 영향을 주는 것으로 평가하였고, 또한 작업자의 67 %가 자극 증상을 호소하였으며 작업경력이 짧은 층에서 자극 증상자가 더욱 많았으나, 폐기능검사 결과는 바이오에어로졸 또는 분진농도와는 관계가 없는 것으로 보고된 바 있다(Rusca et al., 2008). 노르웨이에서는곰팡이포자 10^6 spores/㎥ 이상 농도가 잦은 호흡기 증상과 관련이 있는 것으로 보고되었으며(Eduard et al, 1994), 스웨덴의 목재 절단작업자에서 진균 4,200 CFU/㎥ 가 감기, 호흡곤란, FEV1 감소에 영향을 주는 것으로 보고되었다(Dahlqvist et al., 1992). 이와 같이 작업자의 건강에 영향을 미칠 수 있는 목재취급업의 생물학적인자에 대해서 선진국에서는 많은 관심과 활발한 연구가 진행되고 있으나 국내에서는 아직까지 노출수준 및 건강영향에 대해서 조사된 바가 없다.

노동부의 사무실 공기관리 지침(노동부고시 제2006-64호) 및 환경부의 다중이용시설등의 실내공기질관리법(법률 제10312호)에서는 총부유세균의 시료채취방법으로 충돌법, 여과법, 세정법을 제시하고 있으며, 사무실 부유미생물 평가(김기연 등, 2008) 및 다중이용시설의 총부유세균 평가(김윤신 등, 2002; 박동욱 등, 2004; 김기연 등, 2006)등 실내공기질 연구에서는 주로 충돌법에 의한 시료채취방법을 사용하고 있다. 충돌법은 분석이 간단하고 비용이 적게 소요되는 등 장점이 있으나, 포집된 배지에서 미생물의 적정한 계수를 위해 시료채취시간이 10분 내외로 제한을 받으며, 미생물의 농도가 높은 경우에는 시료채취시간을 더욱 짧게 하여야 한다. 그러나, 실내에서 미생물 입자가 언제 어느 정도로 발생되는지를 예측하기는 매우 어려우므로 적은 시료수의 단기시료 포집이 대표성을 가지기는 힘들다(박주형, 2009). 또한, 설비가동에 따른 기류형성, 외부기류의 유입 등으로 기류흐름이 일정하지 않은 작업환경에서는 단기간에도 농도변화가 있을 가능성이 크다. 또한, 죽은 미생물이나 세포조각 등도 건강영향을 일으킬 수 있는 것으로 알려져 있으나(Douwes et al, 2003; 2005), 충돌법, 여과법, 세정법과 같은 배양에 근거한 평가방법은 사용한 배지에서 배양이 가능한 살아있는 미생물만을 평가하는 단점이 있다. 최근에는 세포벽 구성성분과 같은 미생물의 생체량을 평가하는 방법이 많이 연구되고 있으며, 배양법과 생체량 평가방법간의 비교 연구가 일부 진행되고 있다(박주형, 2009).

따라서, 본 연구는 국내의 제재업을 대상으로 부유 미생물, 엔도톡신 등 생물학적인자에 대한 노출실태를 파악하고 다양한 측정방법을 비교하여, 향후 근로자 건강보호를 위한 관리기준 설정 및 측정방법 선정의 기초자료로 제공하고자 하였다.

Ⅱ. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

연구대상은 제재소가 집중적으로 분포하고 있는 인천지역에서 임의로 5개 원목 제재소를 선정하였고, 주요공정인 대차(Band Saw), 테이블(Table Saw) 및 갱립(Rip Saw)공정을 대상으로 하였으며, 옥외를 측정하여 비교하였고, 공정 및 평가대상 인자별로 각각 2~3개 지점에서 시료를 포집하였다. 원목의 종류에 따라 침엽수 제재소 3개소, 활엽수 제재소 2개소이며, 사업장별 보유기기 및 월평균 제재량은 <Table 1.>과 같다. 각 공장은 공정별로 격벽 등의 물리적인 구분이 없고, 컨베이어로 공정이 연결되어 있으며 외벽 중에서 1면은 완전히 개방되어 마당과 연결되어 있는 구조이며, 여기에

Table 1. Characteristics of investigated factory

Factory	Type of wood	Conutry of Origin	Machine(set)	Capacity (㎥/month)
A	Hard	South-East Asia	Band Saw(1), Table Saw(1), Rip Saw(1)	1,000
B	Soft	New Zealand	Band Saw(1), Table Saw(1), Rip Saw(1)	2,000
C	Hard	Indonesia	Band Saw(1), Table Saw(1), Rip Saw(1), Molder(1)	2,000
D	Soft	New Zealand	Band Saw(3), Table Saw(3), Rip Saw(3)	10,000
E	Soft	Canada	Band Saw(1), Table Saw(1), Rip Saw(1)	2,000

서 원목을 투입하거나 운반하기 위하여 지게차를 사용하고 있었다.

2. 연구방법

세균, 진균, 엔도톡신, 분진 및 온 · 습도를 주요 공정 및 외기에서 평가하였으며, 평가항목별 평가방법의 주요내용은 아래와 같다.

1) 충돌법에 의한 공기 중 총 부유세균 및 부유진균 평가

공기 중 총 부유세균과 총 부유진균은 ISO Method(ISO/DIS 16000-17, 18)에 따랐으며, 1단 앤더슨 샘플러(400 hole, Quicktake 30, SKC Inc., USA)를 이용하여 미생물 농도를 평가하고, 6단 앤더슨 샘플러(400 hole, Model 10-800, Anderson Inc., USA)를 이용하여 미생물의 입경별 분포를 조사하였다. 6단 앤더슨 샘플러의 각 단계별 공기역학적 직경범위는 stage 1(>7.0 ㎛), stage 2(4.7-7.0 ㎛), stage 3(3.3-4.7 ㎛), stage 4(2.1-3.3 ㎛), stage 5(1.1-2.1 ㎛), stage 6(0.65-1.1 ㎛)이며, 1~2 stage에 포집된 것을 비호흡성으로 3~6 stage에 포집된 것을 호흡성으로 구분하여 입경분포를 평가하였다(김기연 등, 2006). 충돌법은 각 측정장소에서 28.3 ℓ pm로 2~5분 동안 세균과 진균을 작업시간 (10:00 ~ 16:00)중 바닥으로부터 약 1 m 떨어진 지점에서 지역시료 형태로 채취하였다. 세균은 Trypticase Soy Agar (TSA, Komed, Korea)배지를 이용하였고, 진균(곰팡이)은 세균의 성장을 억제하기 위해 Chloramphenicol 100㎎이 첨가된 Sabouraund Dextrose Agar (SDAc, Komed, Korea)를 사용하였다. 미생물이 포집된 배지는 세균의 경우 37 ℃에서 24~48시간, 진균의 경우 25 ℃에서 48~72시간 배양시킨 후 배양된 집락수를 계수하였다. 배양된 집락수를 계수한 후, 하나 이상의 미생물이 하나의 hole을 통해 포집되어 하나의 군집을 이루는 경우를 확률론적으로 고려하여 보정하는 방법인 Positive hole correction 방법 (Janet M,1989)에 따라 보정을 실시한 후 채취유량으로 나누어 농도를 환산하였다. 현장공시료는 공장별로 3종의 배지를 각 2개씩 사용하여 시료와 동일하게 배양하였고 모두 미검출되었다.

2) 필터법에 의한 공기 중 총 부유세균 및 부유진균 평가

필터법은 ISO Method (ISO/DIS 16000-16, 17)에 따랐으며, 젤라틴 필터 (25mm, SKC, USA)를 장착한 버튼에어 샘플러 (Button air sampler, SKC, USA)를 고유량 시료 채취기에 연결하여 3 ℓ pm의 유속으로 약 6시간 동안 채취하였다. 젤라틴 필터의 특성을 고려하여 PC(Polycarbonate, 25 mm, 0.8 ㎛, SKC, USA)) 필터를 후면지지대 (Backing pad)로 사용하였으며 시료채취는 바닥으로부터 약 1m 떨어진 지점에서 지역시료 형태로 채취하였다. 채취된 시료는 4 ℃에서 냉장 보관하고, 실험실로 운송하여 24시간 내에 분석을 실시하였다. 젤라틴 필터를 5 ㎖의 식염수 (Saline solution, 0.85 % NaCl 용액)에 추출한 후 희석하여 각각의 희석액 100 ㎕를 TSA, SDAc 배지에 도말하여 배양시킨 후 배양된 집락수를 계수하였다. 공장별로 2개의 현장공시료를 시료와 동일하게 추출 · 배양하였으며 모두 미검출되었다.

3) 공기 중 엔도톡신 평가

엔도톡신 시료포집은 PC필터 (37 mm, 0.8 ㎛, SKC, USA)를 사용하여 2 ℓ pm의 유속으로 약 6시간 동안 시료 채취하였다. 플라스틱 재질의 지지대를 사용하였으며 필터 조립은 플라스틱 집게(Forcep)를 사용하여 3단 카세트에 조립하였고, 시료채취는 바닥으로부터 약 1 m 떨어진 지점에서 지역시료 형태로 채취하였다. 포집 후 4 ℃에 보관, 실험실로 운송된 시료는 -20 ℃에서 보관하였다가 5 ㎖의 LAL water에 잠기게 한 후 1시간 동안 초음파처리(Sonication)하여 시료를 추출하였다. 추출액은 Lonza사의 Kinetic Chromogenic Limulus Amebocyte Lysate를 이용하여 Onset O.D.(Optical Density)법으로 분석 · 평가하였다. 현장공시료는 공장별로 2개씩 사용하였으며, 모두 검출한계(0.025 EU/sample) 미만이었다.

4) 분진

분진의 시료채취 및 분석은 NIOSH의 manual of analytical methods (NMAM) #500 Particulate otherwise regulated, total (일반분진)에 따라 지역시료로 채취하였으며, 고유량 샘플러를 사용하여 2 ℓ pm의 유속으로 작업시간 중 약 6시간 동안 포집하였다. 시료채취는 PVC(Polyvinylchloride, 25 mm, 5.0 ㎛, SKC, USA)필터를 IOM 시료채취기(IOM sampler, SKC, USA)에 조립하여 사용하였으며, 측정결과의 정확도를 높이고 오차를 최소화하기 위해 측정 전 · 후 적절한 보정을 실시하고 현장 공시료를 공장별로 3개씩 사용하여 시료의 무게측정결과에 보정을 하였다. 시료는 측정 전, 후에 해독도 10^{-6} g의 전자저울(UMT2, Mettler Toledo Ltd., Australia)을 이용하여 무게를 측정하였다. 무게 칭량은 전자저울이 설치된 중량 분석실에서 필터를 최소한 1시간 정도 방치하여 중량 분석실의 온 · 습도 조건에 필터의 온 · 습도 조건을 평형화시킨 후 정전기를 제거하고 무게를 측정하였다.

5) 통계분석

사업장별 각 측정공정에 대해 기하평균 (Geometric mean: GM), 기하표준편차 (Geometric Standard Deviation: GSD), 범위 등을 산출하고, 정규성 검정을 실시하였다. 공정별 평균 간의 차이를 보기 위하여 분산분석(ANOVA)을 사용하였고, 사후분석으로 Dunnett의 다중비교 분석방법을 사용하였다. 또한 다양한 측정방법간의 상관관계를 확인하기 위하여 피어슨 상관관계 분석 (Pearson correlation) 방법을 이용하였으며, 자료분석을 위한 통계처리는 SPSS version 17.0을 이용하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 공정별 농도

공정별 1단 충돌법에 의한 부유미생물 및 엔도톡신, 분진 등의 평가결과는 <Table 2.>와 같다.

노출평가 결과에서 실내공기질 관리기준 총 부유세균 800 CFU/㎥를 초과하는 농도가 총 34개 시료로, 공정별 초과율은 대차공정 92 %, 테이블공정 100 %, 갱립공정 50 %였다. 특히, 대차공정에서는 독일에서 긴급(임시적으로) 제안된 작업환경 공기 중 일반세균농도의 가이드라인인 10,000 CFU/㎥(오세욱 등, 2004)를 초과한 경우가 17 %였다. 총 부유진균의 경우, OSHA의 직업 노출 가이드라인인 1,000 CFU/㎥를 초과하는 농도가 총 30개 시료로 공정별 초과율은 대차공정 75 %, 테이블공정 58 %, 갱립공정 75 %였으며, 10,000 CFU/㎥를 초과하는 시료도 6개가 있었는데 대차공정 3개 시료, 테이블 공정 2개 시료, 갱립 공정 1개 시료였다. 엔도톡신의 경우 50 EU/㎥를 기준으로 공정별 초과율은 대차공정 33 %, 테이블 공정이 17 %였으며, 갱립 8 %였으며, 외기는 모두 초과하지 않았다.

작업장 내 측정결과를 옥외 농도와 비교 시, 작업장 내 농도가 옥외보다 세균 3.7배, 진균 4.1배, 엔도톡신 3.3배, 분진 9.7배 더 높게 평가되었다.

공정별 농도의 분산분석결과 진균, 온도 및 습도의 경우 공

Table 2. Characteristics of investigated factory

Process	n	GM (Range)					
		Bacteria (CFU/㎥)	Fungi (CFU/㎥)	Endotoxin (EU/㎥)	Dust (㎎/㎥)	Temperature (℃)	Humidity (R.H.%)
Band Saw	12	3,326 (706~21,173)	2,750 (289~30,954)	43.1 (12.0~144.5)	2.14 (0.24~40.62)	24.0 (20.3~27.1)	37.8 (23.1~67.3)
Table Saw	12	2,336 (904~9,100)	1,637 (108~30,954)	30.7 (9.6~65.5)	1.25 (0.42~3.50)	23.4 (20.3~26.7)	39.9 (23.1~71.5)
Rip Saw	12	834 (106~3,922)	2,537 (289~30,954)	23.1 (4.6~65.4)	5.38 (1.82~19.50)	24.1 (20.3~26.7)	38.3 (23.1~70.1)
Outdoor air	12	503 (53~7,123)	547 (42~5,261)	9.5 (4.0~28.7)	0.25 (0.07~1.07)	24.8 (21.6~28.9)	36.6 (20.9~63.4)
p-value		<0.001	0.066	<0.001	0.020	0.433	0.937

※GM(geometric mean), CFU(colony forming unit), EU(endotoxin unit, 1 EU = 1/15 ng), R.H.(relative humidity), p-value for analysis of variance(ANOVA)

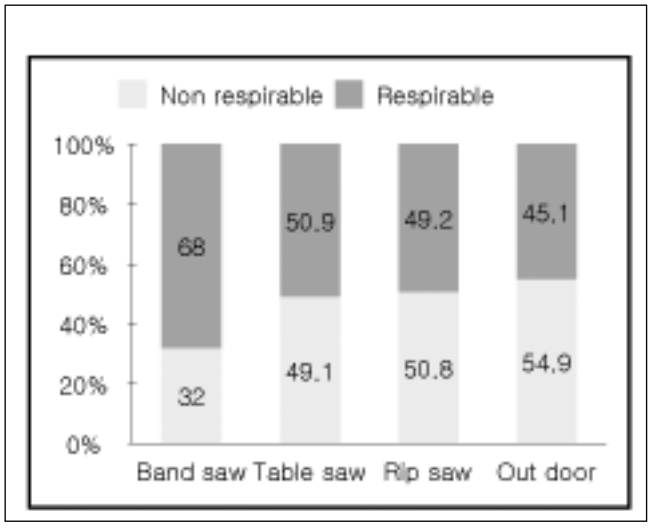

Figure 1. Size distributions of bacteria

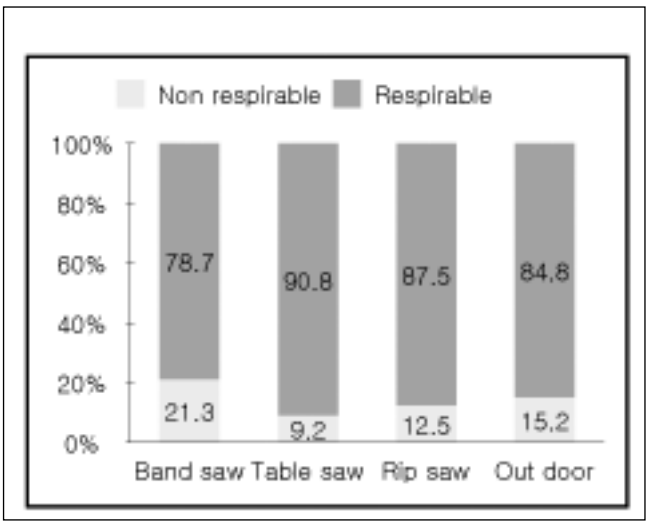

Figure 2. Size distributions of fungi

Table 3. Statistics of bacteria and fungi between evaluation methods

Method	n	Bacteria			Fungi		
		GM (CFU/㎥)	GSD	p-value	GM (CFU/㎥)	GSD	p-value
1 stage Impactor	48	1,379	3.58	0.353	1,595	5.12	0.025
6 stage Impactor	36	1,858	3.58		3,067	5.32	
Filter	24	1,143	4.43		4,337	3.11	
Sum	108	1,461	3.77		2,472	4.91	

※ GM(geometric mean), CFU(colony forming unit), GSD(geometric standard deviation) p-value for analysis of variance(ANOVA)

Table 4. Corelation of biological agents and working environments

		Temp.	Temp.	Bacteria			Fungi			Endotoxin	Dust
				1Stage	6Stage	Filter	1Stage	6Stage	Filter		
Temp.		1	.136	.109	-.064	-.470*	-.464**	-.520**	.013	-.288	-.215
Humidity			1	.065	.026	-.419*	-.456**	-.350*	.141	-.157	-.484*
Bacteria	1Stage			1	.896**	-.095	.093	.080	.328	.072	-.101
	6Stage				1	.545	.131	.121	.262	.290	-.452
	Filter					1	.066	-.051	.157	.565**	.435*
Fungi	1Stage						1	.835**	.078	.135	.102
	6Stage							1	.071	.456**	.484
	Filter								1	.199	.157
Endotoxin										1	.890**
Dust											1

*. p<0.05, **. p<0.01

정별 유의한 차이가 없었으나, 세균, 엔도톡신, 분진 농도는 통계적으로 유의하게 차이가 있었다(p<0.05). 사후분석 결과, 세균농도는 대차공정이 갱립과 외기에 비하여 유의하게 높았고(p=0.015, 0.004), 테이블공정은 옥외에 비하여 유의하게 높았다(p=0.016). 엔도톡신은 대차공정과 테이블공정이 외기에 비하여 유의하게 높았으며(p=0.001, 0.002), 분진은 갱립공정이 외기에 비하여 유의하게 높았다(p=0.008).

2. 입경분포

공정별 세균의 호흡성 입경의 비율은 대차공정(68.0 %) > 테이블공정(50.9 %) > 갱립공정(49.2 %) 순이었으며, 옥외는 45.1 %였다.

공정별 진균의 호흡성 입경 비율은 테이블공정(90.8 %) > 갱립공정(87.5 %) > 대차공정(78.7 %) 순이었으며, 옥외는 84.8 %였다. 진균의 호흡성입경 비율이 78.7~90.8 %로 세균의 호흡성입경비율 49.2~68.0 %에 비해서 높았다.

3. 측정방법간 비교

1) 배양법간 비교

세균의 경우 95% 신뢰수준에서 1단 충돌법, 6단 충돌법 및 필터법간의 평균값은 서로 다르지 않았다(p=0.353).

진균의 측정방법간 비교에서는 95 % 신뢰수준에서 각 측정방법간의 평균값은 서로 달랐으며(p=0.025), 각각의 측정방법간 다중비교를 실시하였을 때 진균 1단과 6단 및 진균 6단과 필터법과는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나 진균 1단과 필터법에서는 필터법이 통계적으로 유의하게 높았다(p<0.05).

2) 측정방법 및 환경변수간 상관분석

온도는 세균 필터법과 음의 상관관계가 있었고(p<0.01), 진

균 1단 충돌법 및 6단 충돌법과 음의 상관관계가 있었다 ($p<0.05$). 습도는 진균 1단 충돌법과 음의 상관관계($p<0.01$), 세균 필터법 및 진균 6단 충돌법과 음의 상관관계를 나타내었다($p<0.05$).

세균 1단 충돌법은 세균 6단 충돌법과 매우 강한 상관관계($r=0.896$)가 있었고, 진균 1단 충돌법과 진균 6단 충돌법도 매우 높은 상관관계($r=0.835$)가 있었다($p<0.01$). 반면, 세균 필터법은 세균 1단 충돌법 및 세균 6단 충돌법과, 진균 필터법은 진균 1단 충돌법 및 진균 6단 충돌법과 상관성이 없거나 유의하지 않은 것으로 평가되었다.

엔도톡신은 세균 1단 및 세균 6단과 상관관계가 없거나 ($r=0.072$) 약한($r=0.290$) 것으로 평가되었으나, 세균 필터법 ($r=0.565$) 및 진균 6단 측정법(0.456)과는 상관관계가 있는 것으로 평가되었고, 분진농도와는 매우 강한 상관관계($r=0.890$)가 있었다($p<0.01$).

3) 측정방법에 따른 변이계수(Coefficient Variance)

동일지점에서의 3개 측정값에 대한 변이계수를 측정방법에 따라 살펴보면 세균 1단의 경우 50.2 %, 세균 6단의 경우 50.5 %, 세균 필터법의 경우 45.9 %, 진균 1단의 경우 51.1 %, 진균 6단 43.8 % 진균 필터법 41.9 %, 엔도톡신 30.1 %, 분진 30.7 %로 나타나, 생물학적인자 측정방법은 엔도톡신 < 필터법 < 충돌법의 순으로 변이가 적었다.

Ⅳ. 고 찰

목재가공업을 대상으로 생물학적인자를 평가한 사례는 국내에는 현재까지 없으며, 국외의 경우 제재소를 대상으로 평가한 경우가 일부 있으며 측정방법이 일부 차이가 있으나 본 연구결과와 비교하면 아래와 같다.

본 연구에서 충돌법으로 평가한 작업장내 세균농도(기하평균 : 1,864 CFU/㎥, 산술평균 : 3,235 CFU/㎥, 범위 : 106 ~ 21,173CFU/㎥)는 TSA 배지 충돌법(MAS-100)을 이용한 Oppliger et al.(2005)의 산술평균농도 3,650 CFU/㎥ (범위 : 429 ~ 19,375 CFU/㎥)와 비슷한 수준이었으며, 충돌법에 사용된 장비는 다르나 측정공정은 유사하였다. 본 연구의 필터법으로 평가한 세균농도(기하평균 1,749 CFU/㎥, 산술평균 3,440 CFU/㎥)는 MCE 필터에 포집하고 추출액(0.1% peptone, 0.05% Tween20, 2% Inositol)을 이용하여 Nutrient agar에 배양한 Alwis et al.(1999)의 사업장별 산술평균농도 5,190~21,430 CFU/㎥에 비해서는 낮은 수준이었으며, 필터종류, 추출액, 배지종류가 동 연구와 차이가 있었다. 본 연구에서는 사용하지 않았지만 임핀저법을 이용한 Duchaine et al.(2000)의 껍질제거공정에서 평가한 세균농도의 중앙값은 21,620 CFU/㎥로 본 연구의 충돌법 및 필터법보다 높은 수준으로 보고되었으며, 이는 측정방법의 차이 이외에도 측정공정이 주로 미생물이 많이 서식하고 있는 껍질제거공정을 평가한 때문으로 생각된다.

진균의 경우, 충돌법으로 평가한 농도(기하평균 : 2,252 CFU/㎥, 산술평균 : 6,480CFU/㎥, 범위 : 108 ~ 30,954 CFU/㎥)는 충돌법으로 평가한 Oppliger et al.(2005)의 연구결과(산술평균농도 : 14,776 CFU/㎥, 범위 : 4,318 ~ 35,130 CFU/㎥)에 비해 산술평균이 낮은 수준이었으며, 사용한 측정장비와 배지가 달랐다. 본 연구의 필터법을 이용한 평가결과(기하평균 : 5,931 CFU/㎥, 산술평균 : 7,470 CFU/㎥)는 Alwis et al.(1999)의 사업장별 평균농도(산술평균농도 : 3,340 ~ 50,160 CFU/㎥)와 비슷한 수준으로 생각되며, 필터종류, 배지종류는 차이가 있었다.

엔도톡신은 각 연구자들의 평가방법이 조금씩 다른 경우가 많아서 직접적인 비교는 어려우나, 참고적으로 비교하면, 본 연구의 기하평균농도(31.5 EU/㎥)는 Dutkiewicz et al.(2001a)의 3,600 및 60,000 EU/㎥(PVC 필터, AS-50 sampler, LAL gel clot분석), Duchaine et al.(2000)의 중앙값 1,081 EU/㎥와 Duchaine et al.(2001)의 기하평균농도 188 EU/㎥(PVC필터, IOM sampler) 및 740 EU/㎥(임핀저 포집) 에 비해서 매우 낮은 수준이었다. Rongo et al.(2004)의 기하평균 91 EU/㎥(PAS-6 sampler, 5 mL Tween 20 extraction, chromogenic kinetic LAL 분석)와 Alwis et al.(1999)의 흡입성분진에서 64.5 EU/㎥(Casella-seven-hole sampler, PC 필터), 호흡성분진에서 9.75 EU/㎥ (Casella-Higgins- cyclone sampler, PC 필터)와는 비슷한 수준이며, Oppliger et al.(2005)의 산술평균 5.8 EU/㎥ (PC 필터, 10 mL pyrogen-free water extraction) 및 12.7 EU/㎥(임핀저법)에 비해서는 높게 평가되었다.

현재까지 생물학적인자에 대한 측정방법은 연구마다 조금씩 다른 점이 있어 농도수준을 명확하게 해석하기는 어려우며, 측정방법의 차이(사용배지, 채취유량, 채취기구 등), 제재설비의 차이 및 환기의 차이 등의 복합적인 요소에 의한 것으로 생각된다.

분진의 평균농도(2.44 ㎎/㎥)는 Rongo et al.(2004)의 흡입성분진 기하평균 3.3 ㎎/㎥ (범위 : 0.45 ~ 67.0 ㎎/㎥)과 Oppliger et al.(2005)의 평균 1.7 ㎎/㎥ (0.2 ~ 8.5㎎/㎥)과 유사하였다.

공정별 농도에서는 최초공정인 대차공정이 다른 공정에 비해서 세균과 엔도톡신이 높게 평가되었는데, 이것은 Dutkiewicz et al.(2001a)의 전체공정 평균(20,200 CFU/㎥)보다 껍질제거 및 첫 제재작업에서 42,100 CFU/㎥ 와 39,800 CFU/㎥ 로 높은 점 및 Dutkiewicz et al.(2001b)의 초기공정(Chipping)이 후기공정(Forming 등)보다 농도가 높은 점과 비슷하였다. 목재가공의 초기공정이 후기공정보다 농도가 높은 것은 주로 미생물이 목재의 껍질 등 표면에 서식하고 있기 때문인

것으로 생각된다.

작업장내부 및 외부의 기하평균 농도를 비교하면 작업장 내부가 외부보다 세균 3.7배, 진균 4.1배, 엔도톡신 3.3배, 분진 9.7배 더 높았다. Nevalainen et al.(1994) 및 김기연 등(2008)에 따르면 실내공기질에서 내부미생물 농도가 외기의 1배 이상일 경우 실내공기의 오염을 의심할 수 있다고 하였는데, 본 연구에서는 미생물의 농도가 3.7배 이상으로 매우 높아 작업환경의 미생물 오염이 높은 수준임을 알 수 있다.

비교대상인 외기 농도는 주로 제재소의 정문 앞의 인도에서 측정하였는데, 일부 높은 수준(세균 7,123CFU/㎥, 진균 5,261CFU/㎥)으로 평가된 것이 있으며, 이것은 수송차량의 이동에 의한 퇴적분진의 재비산 및 개방된 작업장 내의 농도가 기류에 의해서 일부 영향을 주었을 것으로 생각된다.

Dutkiewicz et al.(2001b)은 총 미생물 중에서 호흡성의 비율은 20.5~91.1 %로 넓은 분포를 보인 것으로 보고한 바 있으며, 본 연구에서 호흡성 입경 분포는 세균의 경우 평균 57.7 %, 진균의 경우 평균 83.7 %로 비교적 높았다. 이는 용접 및 그라인딩 작업에서 호흡성분진의 비율이 최고 63.25 %(김영식, 1992), 석탄광산에서 호흡성분진의 비율이 최고 66.25%인(윤영노 등, 1991) 것과 비교하여 진균의 경우 매우 높았다. 생물학적인자에서 5 ㎛ 미만의 호흡성분진 일반분진과 같이 폐포까지 노출될 수 있어 작업자들의 건강에 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각되며, 관리기준 제정 등에 이러한 특성이 고려되어야 할 것이다.

엔도톡신은 필터법에 의한 세균농도와 상관관계(r=0.565)가 있고 분진농도와는 매우 강한 상관관계(r=0.890)를 나타내었다. Oppliger et al.(2005)이 바이오에어로졸 사이의 상관분석에서 엔도톡신과 분진은 강한 상관성(r=0.83)을 보였고, 총세균과 분진이 상관성이 있었으나, 다른 바이오에어로졸 사이에서 또는 바이오에어로졸과 온도 및 습도사이에는 상관성이 없었던 결과와 유사하였다. 엔도톡신 분석방법은 최근의 연구에서 호흡기 질환 등 건강영향과 유의한 상관관계가 증명되면서 널리 활용되고 있으며, 본 연구에서 변이계수가 약 30 %로 상대적으로 낮아 향후 건강영향 등의 역학조사 연구에서 활용 가능한 측정방법으로 판단된다.

온도 및 습도가 일부 부유미생물 및 분진과 음의 상관관계가 있었는데, 주요인은 습도가 높은 경우 분진발생이 억제될 수 있기 때문으로 생각된다. 일반적으로 온도가 높을수록 미생물의 성장이 활발하므로, 부유미생물도 온도가 높을수록 많아질 수 있는 것으로 생각되나, 동 연구는 제한된 수의 시료에서 온 · 습도가 같이 높은 경우가 있어 습도가 지배적인 영향을 미쳤을 가능성이 있으며, 이와 관련해서는 앞으로 연구되어야 할 부분이라 생각된다. 본 연구는 3~5월에 측정이 이루어졌으나, 계절에 따라 온 · 습도의 분포가 달라지고 미생물의 성장 및 공기 중 발산에 영향을 미치는 점을 고려한다면, 계절별로 좀 더 세부적인 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 생물학적인자에 영향을 미치는 요소인 국소배기 등 환기조건, 청소방법 및 청소상태, 외부기류 등의 환경변수에 대한 정밀한 조사가 이루어지지 않아 환경변수에 따른 농도 변화 해석이 부족하며, 지역시료로 채취하여 개인시료 채취방법에 따른 결과와는 차이가 있을 수 있다. 또한, 충돌법은 2~5분의 짧은 시간에 측정한 결과이고 필터법은 6시간 동안 측정한 결과로 측정시간의 차이가 있으며, 벽면 1면이 개방되어 외부기류의 유입이 쉬운 작업장에서 짧은 시간사이에 기류변화가 평가결과에 영향을 미칠 수 있었다는 점이 있었다.

Ⅴ. 결 론

이번 연구는 국내 제재업에서 생물학적인자에 대한 노출수준을 평가하고 다양한 평가방법에 대하여 비교해 보았다. 노출평가결과 작업장 내부가 외기에 비하여 생물학적인자가 3.7배 이상의 높은 농도로 평가되었으며, 작업환경내 세균의 농도가 OSHA 가이드라인인 1,000 CFU/㎥를 초과한 경우가 69 % 였다. 호흡성입경인 5 ㎛ 미만의 살아있는 부유미생물이 50 % 이상으로 호흡기를 통해서 폐포까지 침착될 수 있는 것으로 나타나, 호흡기계통의 질환 등 건강영향에 대한 연구가 필요한 것으로 생각된다. 현재까지 생물학적인자의 명확한 건강영향은 밝혀지지 않았지만, 농도와 호흡성입경 비율이 높은 점 등을 종합적으로 고려할 때 작업자의 건강관리를 위하여 생물학적인자의 농도를 낮출 수 있는 작업환경 관리가 필요할 것으로 생각된다.

배양법간 측정방법의 비교에서 일부 유의한 농도차이를 보였으며, 비배양법인 엔도톡신 분석방법은 세균필터법과는 상관관계가 있는 것으로 나타났으나, 충돌법과는 상관관계가 없는 것으로 평가되었다. 업종 및 작업특성이 다양한 작업환경에서 생물학적인자의 대표성있는 정량값을 얻기 위한 적합한 측정방법에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 더불어, 생물학적인자의 농도에 영향을 미치는 기후, 국소배기, 외부기류 등 환경변수에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

김기연, 이창래, 김치년, 원종욱, 노재훈 : 종합병원의 실내공기에 분포하는 부유세균과 진균의 입경별 종류와 특성. 한국산업위생학회지, Vol 16(2), 101-109, 2006

김기연, 노영만, 김윤신, 이철민, 심인숙 : 일반 사무실 실내공기 내 부유미생물의 분포 양상, 한국산업위생학회지, Vol 18(1), 11-19, 2008

김영식 : 일부 분진 작업장에서의 폭로분진의 입경분포와 호흡성 분진 비율, 한국환경과학회지 Vol 1(2), 25-31, 1992

김윤신, 이은규, 엽무종, 김기영 : 다중이용시설에서의 실내공기중 미생물 분포에 관한 연구. 한국환경위생학회지, Vol 28(1), 85-92, 2002

김윤신, 김기영 : 바이오에어로졸의 특성 및 측정방법, Air Cleaning Technology, Vol 20(1), 1-39, 2007

박동욱, 조경아, 윤충식, 한인영, 박두용 : 유치원 교실에서 공기 중 박테리아와 곰팡이 발생에 영향을 미치는 요인. 한국환경보건학회지, Vol 30(5), 440-448, 2004

박주형 : 실내환경에서 생물학적인자에 대한 노출평가, 한국환경보건학회지, Vol 35(4), 239-248, 2009

오세욱, 김종혁, 이웅기, 이용식, 정호철 등 : 금속가공유 취급 공정에 있어서의 오일미스트농도, 내독소와 미생물의 평가에 관한 연구. 한국산업위생학회지, Vol14(1), 41-47, 2004

윤영노, 김영식 : 일부 석탄광산 기중 부유분진의 입경 분포와 호흡성 분진 비율, 한국산업위생학회지 Vol 1(1), 1991

ACGIH, Bioaerosols assessment and control, 1999

Alwis, K.U., Mandryk, J., Hocking, A.D. : Exposure to biohazards in wood dust - bacteria, fungi, endotoxins, and (1→3)-β-D-glucans, Applied occupational and environmental hygiene. Vol 14(9), 598-608, 1999

Dahlqvist M, Johard U, Alexandersson R, et al. : Lung function and precipitating antibodies in low exposed wood trimmers in Sweden. Am J Ind Med 21:549?-559, 1992

Dowuwes, J., Thorne, P., Pearce, N., Heederik, D. : Bioaerosol health effects and exposure assessment - progress and prospects, The Annals of Occupational Hygine, Vol 47, 187-200, 2003

Dowuwes, J. : (1→3)-β-D-glucans and respiratory health - a review of the scientific evidence, Indoor Air, Vol 15, 160-169, 2005

Duchaine, C., Meriaux, A, Thorne, P.S., : Assessment of particulates and bioaerosols in eastern canadian sawmills, AIHAJ, Vol 61(5), 727-732, 2000

Duchaine, C., Thorne, P.S., Meriaux, A, et al : Comparison of endotoxin exposure assessment by bioaerosol impinger and filter sampling methods, Appl Envi Microbio, Vol 67(6), 2775-2780, 2001

Dutkiewicz, J., Jabionski, L., Olenchock, S.A. : Occupational biohazards - a review, Am J Ind Med Vol 14, 605-623, 1988

Dutkiewicz, J., Traxzyk, E.K., Prazmo, Z., : Exposure to airborne microorganisms in folish sawmills, Ann Agric Environ Med, Vol(8), 71-80, 2001a

Dutkiewicz, J., Olenchock, S.A., Traxzyk, E.K. : Exposure to airborne microorganisms in fiberbord and chipboard factories, Ann Agric Environ Med, Vol(8), 191-199, 2001b

Eduard W., Sandven .P, Levy F. : Exposure and IgG antibodies to mold spores in wood trimmers: exposure?response relationships with respiratory symptoms, Appl Occup Environ Hyg Vol 9, 44-48, 1994

Macher, J.M. : Positive-hole correction of multiple-jet impactors for collecting viable microorganisms, AIHA Journal, 50(11), 561-568, 1989

Mandrik, J., Alwis, K.U., Hocking, A.D. : Work-related symptoms and dose response relationships for personal exposures and pulmonary function among woodworkers, Am. J. I. Me., Vol 35, 481-490, 1999

Mandrik, J., Alwis, K.U., Hocking, A.D. : Effects of personal exposures on pulmonary function and work-related symptoms among sawmill workers, Am Occup Hyg, Vol 44(4), 281-289, 2000

Oppliger, A., Rusca, S., Charriere, N., et al : Assessment of bioaerosols and inhalable dust exposure in swiss sawmills, Am Occup Hyg, Vol 49(5), 385-391, 2005

Rongo, L.M., Msamanga, G.I., Burstyn, I., et al : Exposure to wood dust and endotoxin in small-scale wood industries in tanzania, J Expo Ana Envi Epid, Vol 14, 544-550, 2004

Rosell, S.E., Abbot, E.G.M., Levy, J.F. : Bacteria and wood - a review of literature relating to the presence, action and interaction of bacteria in wood, J Inst Wood Sci, Vol 6, 28-35, 1973

Rusca, S., Charriere, P., et al : Effects of bioaerosol exposure on work-related symptoms among Swiss sawmill workers, Int Arch Occup Environ Health, Vol 81, 415-421, 2008

Suzanne, S., Dick, J.J.H., Peter, S.T., Inge, M.W. : Optimization of Airborne endotoxin exposure assessment : effects of filter type, transport conditions, extraction solutions, and storage of samples and extracts, AEM, Vol 73, No 19, 6134-6143, 2007