

국내 폐기물 취급업의 생물학적 인자 노출실태 A Study on the Biological Hazards Exposure for Waste Handling Industries in Korea

박현희* · 박해동 · 이인섭

Hyunhee Park* · Hae Dong Park · Inseop Lee

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency

ABSTRACT

Objectives: The aim of this study was to investigate the distribution patterns and exposure concentrations of biological hazards in waste handling industries.

Methods: We selected 3 recyclable waste sorting plants(RWS), 2 food recycling plants(FR), 1 landfill area(LA) and 1 waste incineration plant(WI). Total airborne bacteria and fungi were measured with single stage impactor and gelatin filters. Endotoxin and glucan were measured with polycarbonate filters in total and respirable dust.

Results: The geometric mean of airborne bacterial concentration was the highest in FR(3,273 CFU/m³), followed by LA, RWS, and WI as 1,334, 934, and 860 CFU/m³. The fungal concentrations were 6,031, 5,052, 3,307, and 713 CFU/m³ in RWS, WI, FR, and LA, respectively. By process, WI pit showed the highest concentrations of bacteria, fungi, and endotoxin, followed by inside of bulldozer in LA. The indoor to outdoor ratios of bacteria, fungi, endotoxin and glucan were 2.3, 4.0, 2.3, and 5.0 in RWS, 29.5, 4.9, 7.6, and 5.0 in FR, 5.3, 8.7, 26.8, and 9.5 in WI, respectively.

Conclusions: We found that biological hazards, specifically bacteria in FR, fungi in RWS and endotoxin in WI pit and bulldozer at LA, should be controlled to prevent worker's respiratory diseases.

Key words : Bioaerosols, Biological hazards, Waste handling industry, Endotoxin, Glucan

I. 서 론

생물학적 인자는 그 자체가 감염을 일으킬 수 있는 살아있는 미생물뿐만 아니라 이들이 내놓을 수 있는 독소와 세포벽 성분, 단백질 분해효소 등 생물활성물질도 해당되어 매우 광범위하게 존재한다. 이러한 생물학적 인자에 노출된 근로자들의 감염성 질환, 천식, 기침, 만성기관지염, 호흡곤란, 비염, 알레르기성 폐렴 및 곡물 열 등이 꾸준히 보고되면서 이에 대한 관심이 증가되고 있다. 또한, 생물학적 인자에 노출되는 근로자는 보건 의료 종사자뿐 아니라 농·축산업 및 임업 종사자, 금

속가공유 취급 작업자, 배관공 및 토목공 등으로 다양하다(Douwes et al., 2003). 이러한 업종 중에서 특히 폐기물 취급업에 대한 생물학적 인자 연구는 북유럽 국가 등을 중심으로 활발하게 이루어지고 있다. 폐기물 취급업은 매립지의 부족과 자원을 재순환하고자 하는 환경정책의 영향으로 최근 종사 근로자 수가 증가하고 있으며, 폐기물 분류의 다양화 및 처리과정의 복잡성 증가가 폐기물 취급 종사자들의 건강을 위협할 것으로 보고되고 있다(Jonsson, 1997; 김신범 등, 2010).

국내 폐기물은 크게 생활폐기물, 사업장폐기물, 건설폐기물로 구분되어 매립(16.4%), 소각(5.9%), 재활용

*Corresponding author: Hyunhee Park, 인천광역시 부평구 기능대학길 25 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원,
TEL: 032-510-0807 FAX: 032-518-0864, E-mail: phh2000@kosha.net, Received: 2012.2.29., Revised: 2012.11.14., Accepted: 2012.11.15.

(59.8%) 등으로 처리되며, 재활용 비율은 꾸준히 증가하는 추세이다(환경부, 2009). 이 자료에 따르면 국내 폐기물 처리업체는 약 5,548개이며 이중 생활폐기물 관련 인력은 35,521명으로 발표하였는데 이는 지방자치단체에 소속된 근로자이며, 고용정보원에 청소원으로 등록된 민간단체 근로자를 포함하면 10만 명에 이르는 것으로 알려져 있다(하권철 등, 2010).

생물학적 인자 노출로 인한 폐기물 취급 종사자의 대표적인 직업적 건강 문제는 피부, 기도 및 눈의 자극, 호흡기 및 소화기계 영향 등이 보고된 바 있다(Midtgard and Poulsen, 1997). 또한, 폐기물을 소각하거나 매립하는 근로자들은 설사, 구토, 피로감, 두통 등의 증상을 호소하고(Malmros, 1997), 폐기물 수거업자들은 대조군과 비교하여 설사, 코막힘, 피곤함 등이 더 높은 것으로 보고되었다(Thorn et al., 1998).

그러나, 이러한 위험성에도 불구하고 국내 폐기물 취급 근로자에 대한 작업환경관리 및 건강영향에 대한 연구나 대책마련은 부족한 실정이다. 국내의 경우 환경미화원의 미생물 노출에 관한 일부 연구(하권철 등, 2010; 김신범 등, 2010)와 근골격계 증상에 관한 연구(구정완 등, 2007)가 이루어졌을 뿐, 다양한 폐기물 처리업에 대한 노출평가연구는 수행되지 못하였다.

한편, 생물학적 인자의 측정은 주로 다중이용시설의 실내공기질에서 부유세균과 부유진균에 대하여 배양법을 이용한 측정이 많이 이루어졌다(김기연 등, 2006b; 이대행 등, 2010). 그러나, 배양법은 단기시료채취로 인하여 대표성 있는 노출평가를 위해서 반복적으로 시료를 채취해야 하고, 사용된 배지에서 배양된 세균 또는 진균만 분석되며, 건강영향과 일관성 있는 연관성을 발견하기가 어려운 점 등의 단점이 있다. 최근, 세균이나 진균의 세포벽 구성성분인 생체량 측정은 살아있거나 죽은 미생물을 모두 평가할 수 있고, 장시간 시료포집이 가능하며 건강영향과 상관성이 높아서 생물학적 인자의 평가대상으로 연구되고 있다(박주형, 2009). 특히, 엔도톡신(Endotoxin)은 네덜란드 등 유럽국가에서 90 EU/m³을 관리기준으로 설정하고 있으며(Dutch Expert Committee on Occupational Safety, 2011), 글루칸(Glucan)은 현재 관리기준이 설정되어 있지 않지만 많은 연구에서 호흡기 질환과의 연관관계가 보고되어 작업환경 및 건강영향을 평가할 수 있는 유용한 지표로 활용되고 있다(Eduard et al., 2012).

따라서, 이번 연구는 아직 국내에서 생물학적 인자

노출평가가 실시되지 않은 다양한 폐기물 취급업을 대상으로 세균, 진균, 엔도톡신 및 글루칸에 대한 노출실태를 파악하여 향후 관리기준 마련을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

폐기물 취급 작업장 중 재활용품선별장, 음식물 자원화 시설, 매립지, 소각장을 대상으로 하였으며, 재활용품선별장의 경우, 경기, 강원 지역의 3개 사업장에서 반입, 선별, 스티로폼 재생 공정에 대하여 계절별 농도분포를 파악하였다. 음식물 자원화 시설은 서울, 경기지역의 2개 사업장에서 투입, 전처리, 사료화 및 출고 공정을 측정하였으며, 매립지와 소각장은 수도권 각 1개 사업장을 선정하였고, 매립지는 하단(일반폐기물 매립), 상단(건축폐기물 매립), 로더 및 불도저 운전자석을, 소각장은 반입, 쓰레기피트, 소각슬러지 공정을 대상으로 하였다.

2. 측정방법

생물학적 인자의 측정은 충돌법, 필터법 및 엔도톡신, 글루칸 분석방법을 이용하였으며, 분진농도, 온도 및 습도를 함께 측정하였다. 사업장별로 작업장의 대표공정 3개 지점과 옥외 1개 지점을 1일 3회, 2일 연속 측정하였으며, 모든 시료는 지역시료 채취방법을 사용하였다.

1) 충돌법에 의한 공기 중 총 부유세균 및 부유진균 측정

미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 0800 방법(Bioaerosol sampling)과 국제표준기구(International Organization for Standardization, ISO)의 방법(Indoor air-Part 18: Detection and enumeration of moulds-Sampling by impaction, 2008)에 따라 1단 앤더슨 샘플러(400 Hole, Model Quick take 30, SKC Inc, USA)를 사용하였다. 측정 전 유량보정기(SKI Inc, USA)를 사용하여 시료채취기를 보정하였고, 바닥으로부터 약 1 m 높이에서 28.3 Lpm으로 2~5분씩 세균은 Cycloheximide 500 mg이 첨가된 Trypticase Soy Agar(TSA; Komed, Korea)배지에, 진균은 Chloramphenicol 100 mg이 첨가된 Sabouraud Dextrose Agar(SDAc; Komed, Korea) 배지에 채취하였

다. 사업장별로 2개씩의 배지를 시료와 동일하게 취급하여 공시료로 사용하였다.

채취된 시료는 4°C에서 운반하여, 세균은 37°C에서 24~48시간, 진균은 25°C에서 72시간 배양시킨 후 집락을 계수하고, 앤더슨 샘플러로 유입된 생물학적 인자가 이미 채취된 구멍으로 유입되어 과소평가되는 것을 보정하기 위한 Positive hole correction(Macher, 1989)을 적용한 후, 채취유량으로 나누어 농도를 환산하였다.

2) 필터법에 의한 공기 중 총 부유세균 및 부유진균 측정

젤라틴 필터(25 mm, SKC, USA)를 장착한 버튼에어 샘플러(Button air sampler, SKC, USA)를 개인시료 채취기(Gillian, Inc, USA)에 연결하여 3 Lpm의 유속으로 약 6시간 동안 채취하였다. 젤라틴 필터의 특성을 고려하여 폴리카보네이트(Polycarbonate, PC) 필터를 후면지지대로 사용하였고, 바닥에서 약 1 m 높이에서 채취하였으며, 채취된 시료는 4°C에서 운반하여 24시간 이내에 분석하였다. 젤라틴 필터를 10 mL의 식염수(Saline solution, 0.9% NaCl 용액)에 추출한 후 1:10, 1:100, 1:1,000 배로 희석하여 각각의 희석액 100 µL를 TSA, SDAC 배지에 도말하여 배양된 집락을 계수하였다.

3) 공기 중 엔도톡신 및 글루칸 측정

Thorn et al.(1998), Rylander et al.(1999), Gladding et al.(2003) 및 Seo et al.(2009)의 연구에서 사용한 방법을 참고하였으며, PC 필터(37 mm, 0.8 µm, SKC, USA)에 플라스틱 재질의 지지대를 사용하였고 플라스틱 집계를 사용하여 3단 카세트에 장착하여 사용하였다. 바닥으로부터 약 1 m 높이에서 2 Lpm의 유속으로 약 6시간 동안 채취하고, 냉장상태로 실험실로 운반하여 -20°C에 보관하였다. 채취된 시료를 Conical Tube(15 mL)에 넣고 5 mL의 LAL(Limulus Amebocyte Lysate) water를 넣어 필터가 잠기게 한 후 1시간 동안 초음파 처리하여 추출하였다. 글루칸 분석을 위하여 추출된 시료 중 1 mL에 0.6 M 수산화나트륨 1 mL를 첨가하고, 추가로 1시간 동안 초음파 처리하여 3중, 2중 나선의 글루칸이 분리되게 하였다.

엔도톡신과 글루칸 분석은 LAL Chromogenic 분석 방법을 사용하였으며, 엔도톡신은 Lonza사의 시약을 사용하여 Kinetic LAL 방법(405 nm, Onset Time법, Optical Density(OD) : 0.2)으로 분석하였고, 글루칸은 Asso-

ciated of Cape Code 사의 Glucatell Reagent 시약을 이용하여 405 nm에서 Onset Time법(OD : 0.03)으로 분석하였다.

4) 환경인자

생물학적 인자의 농도에 영향을 줄 수 있는 온도와 습도를 측정하였으며(TSI model 8762, IAQ-CALC, USA), 분진농도는 엔도톡신 채취용 필터의 시료채취 전과 시료채취 후의 무게를 측정하여 계산하였다(해독도:10⁻⁶ g, UMT2, Mettler toledo, USA).

3. 자료 분석

시료수가 50개를 초과하는 경우 Kolmogorov-Smirnov법을, 시료수가 50개 미만인 경우 Shapiro-Wilks법을 통한 정규성 검정을 실시한 결과, 세균은 재활용선별장(여름)을 제외한 업종과 진균은 음식물 자원화 시설 및 매립지, 엔도톡신은 재활용선별장(봄) 및 소각장, 글루칸은 재활용선별장(봄) 자료에서 대수정규분포하는 특성을 나타내었으나, 물질별 모든 업종에서 정규분포나 대수정규분포를 따르는 경우는 없었다. 따라서, 업종별, 공정별 평균의 차이는 비모수적 방법인 Kruskal-Wallis 분석을 사용하였고, 환경변수와의 상관관계는 Spearman 분석을 실시하였으며, 통계처리는 PASW version 18.0을 이용하였다.

III. 연구결과

1. 업종별 생물학적 인자의 농도

Table 1에 재활용선별장, 음식물 자원화 시설, 매립지 및 소각장에서의 세균, 진균, 엔도톡신 및 글루칸 농도를 제시하였으며, 업종별 특성을 확인하기 위하여 옥외 농도는 제외하고 비교하였다.

세균은 음식물 자원화 시설에서 기하평균 3,273 CFU/m³로 가장 높은 농도를 나타내었고, 그 다음으로 매립지(1,334 CFU/m³), 재활용품선별장(여름)(934 CFU/m³), 소각장(860 CFU/m³), 재활용품선별장(봄)(488 CFU/m³)의 순으로 나타났다. 반면, 진균은 재활용품선별장(여름)에서 기하평균 6,031 CFU/m³로 가장 높았고, 소각장(5,052 CFU/m³), 재활용품선별장(봄)(3,513 CFU/m³), 음식물 자원화 시설(3,307 CFU/m³), 매립지(713 CFU/m³)의 순으로 나타났으며, 업종간에 유의한 차이가 있었다(p<0.001).

Table 1. The levels of biological hazards' concentrations by industry(excepting outdoor samples)

Industry	Impaction Method									
	Bacteria(CFU [†] /m ³)					Fungi(CFU/m ³)				
	n	AM [‡]	GM [§]	GSD	Range	n	AM	GM	GSD	Range
Recyclable Waste Sorting(Spring)	60	809	488	2.881	18~7,318	60	5,438	3,513	2.845	382~17,852
Recyclable Waste Sorting(Summer)	60	1,399	934	2.941	47~3,788	60	9,564	6,032	3.186	393~26,076
Food Recycling	36	7,631	3,273	3.647	316~49,904	24	8,234	3,307	3.716	523~67,829
Landfill	24	2,446	1,334	3.380	59~14,357	21	1,224	712	3.044	95~6,510
Incineration Plant	17	4,321	860	8.919	35~21,795	17	54,202	5,052	10.148	355~371,449
Chi-Square	44.4853					35.4077				
p-value [*]	<0.001					<0.001				

Industry	Gelatine Filtration Method									
	Bacteria(CFU/m ³)					Fungi(CFU/m ³)				
	n	AM	GM	GSD	Range	n	AM	GM	GSD	Range
Recyclable Waste Sorting(Spring)	48	1,334	656	4.042	22~5,370	49	29,250	10,119	4.081	436~577,370
Recyclable Waste Sorting(Summer)	45	17,150	933	3.751	69~721,672	45	46,529	30,790	2.827	1735~132,230
Food Recycling	36	42,990	4,672	14.141	65~221,681	35	21,911	3,494	11.140	93~124,788
Landfill	23	19,223	7,008	5.551	276~77,492	23	41,130	13,984	6.917	51~184,309
Incineration Plant	18	3,759	848	6.258	77~38,301	18	123,006	10,808	12.569	277~613,495
Chi-Square	30.0106					22.8912				
p-value	<0.001					<0.001				

Industry	n	Total Dust											
		Endotoxin(EU [†] /m ³)				Glucan(ng/m ³)				Dust(mg/m ³)			
		AM	GM	GSD	Range	AM	GM	GSD	Range	AM	GM	GSD	Range
Recyclable Waste Sorting(Spring)	53	16.5	10.4	2.494	3.0~100.1	4.1	2.8	2.553	0.3~16.2	0.24	0.16	3.149	0.01~1.25
Recyclable Waste Sorting(Summer)	53	11.2	8.9	1.950	3.4~39.0	14.1	6.6	3.583	0.6~151.9	0.21	0.11	1.990	0.04~5.43
Food Recycling	33	99.8	39.7	4.225	3.4~485.7	10.8	6.6	2.824	1.8~32.9	0.38	0.23	2.722	0.06~1.24
Landfill	22	33.3	22.4	2.766	3.6~97.4	1.1	0.9	1.798	0.5~6.7	0.48	0.38	2.029	0.15~1.25
Incineration Plant	18	213.1	45.6	7.361	3.7~989.2	43.9	5.3	6.852	1.1~247.4	0.47	0.29	2.705	0.10~1.72
Chi-Square		37.3820				57.1152				45.5968			
p-value		<0.001				<0.001				<0.001			

CFU[†]: Colony forming unit, AM[‡]: Arithmetic mean, GM[§]: Geometric Mean, GSD^{||}: Geometric standard deviation,
 EU[†]: Endotoxin unit
 p-value^{*}: p-value by Non Parametric tests (Kruskal Wallis Test)

엔도톡신은 소각장에서 45.6 EU/m³로 가장 높았고 음식물 자원화 시설(39.7 EU/m³), 매립지(22.4 EU/m³), 재활용품선별장(봄)(10.4 EU/m³), 재활용품선별장(여름)(8.9 EU/m³)의 순이었다. 글루칸은 재활용품선별장(여름)과 음식물 자원화 시설에서 각 6.6 ng/m³으로 높았고, 소각장(5.3 ng/m³), 재활용품선별장(봄)(2.8 ng/m³), 매립지(0.9 ng/m³)의 순이었다. 매립지의 경우, 충돌법은 옥외에서 측정되었으나, 필터법, 엔도톡신 및 글루칸은 불도저 및 로더의 운전자석에서 측정하였는데, 엔도톡신은 50 EU/m³ 이상인 시료가 20%이었으며 세균 및 진균의 필터법 측정결과는 충돌법 측정결과에 비해서 5배 또는 20배 높았다.

세균과 진균의 측정방법간 농도차이는 측정 장소가 상이한 매립지를 제외하고 기하평균을 기준으로 하였을 때, 필터법이 세균은 재활용품선별장(봄)에서 1.1배, (여름)에서 0.96배, 음식물 자원화 시설 1.4배, 소각장 1.0배였으며, 진균은 재활용품선별장(봄)에서 3.2배, (여름) 4.6배, 음식물 자원화 시설 1.3배, 소각장 2.0배 높은 농도를 나타내었다.

2. 공정별 생물학적 인자의 농도

Table 2는 생물학적 인자의 농도가 높은 상위 7개 공정을 나타내었다. 세균농도의 경우 소각장 피트 내부가 10,479 CFU/m³로 가장 높았고, 음식물 자원화 시설의 전처리공정(5,689 CFU/m³)과 반입공정(2,943 CFU/m³), 출고공정(2,094 CFU/m³), 재활용품선별장(여름)의 파봉공정(1,723 CFU/m³), 매립지의 하단(1,539 CFU/m³)과 상단(1,157 CFU/m³)순이었다. 진균농도는 소각장 피트 내부가 78,413 CFU/m³로 가장 높았고, 재활용품선별장(여름)의 파봉공정(14,259 CFU/m³)과 선별공정(6,719 CFU/m³), 재활용품선별장(봄)의 선별공정(5,955 CFU/m³), 음식물 자원화 시설의 반입공정(5,800 CFU/m³), 재활용품선별장(봄)의 파봉공정(3,616 CFU/m³)등의 순이었다.

엔도톡신 농도는 소각장 피트에서 473.2 EU/m³로 가장 높았고, 음식물 자원화 시설 전처리공정(73.7 EU/m³), 음식물 자원화 시설 반입공정(69.9 EU/m³), 재활용품선별장(봄) 스티로폼 재생공정(45.1 EU/m³), 소각장 반입공정(40.7 EU/m³) 등의 순으로 농도가 높았다.

글루칸 농도는 소각장 피트 내부(52.9 ng/m³), 재활용품선별장(여름) 선별공정(11.0 ng/m³), 음식물 자원화 시설 전처리 공정(8.9 ng/m³), 반입공정(8.7 ng/m³), 재활용품선별장(봄) 스티로폼 재생공정(7.1 ng/m³) 순으

로 높은 농도를 나타내었다.

3. 업종별 관리기준 초과 수준 및 옥외농도 비교

업종별 생물학적 인자의 농도를 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)의 기술지침(OSHA, 1999)에서 제시하는 공기 중 미생물 오염 지표 농도(Contaminations Indicators)인 1,000 CFU/m³와 비교하여 보면, 세균 시료에서 기준을 초과한 비

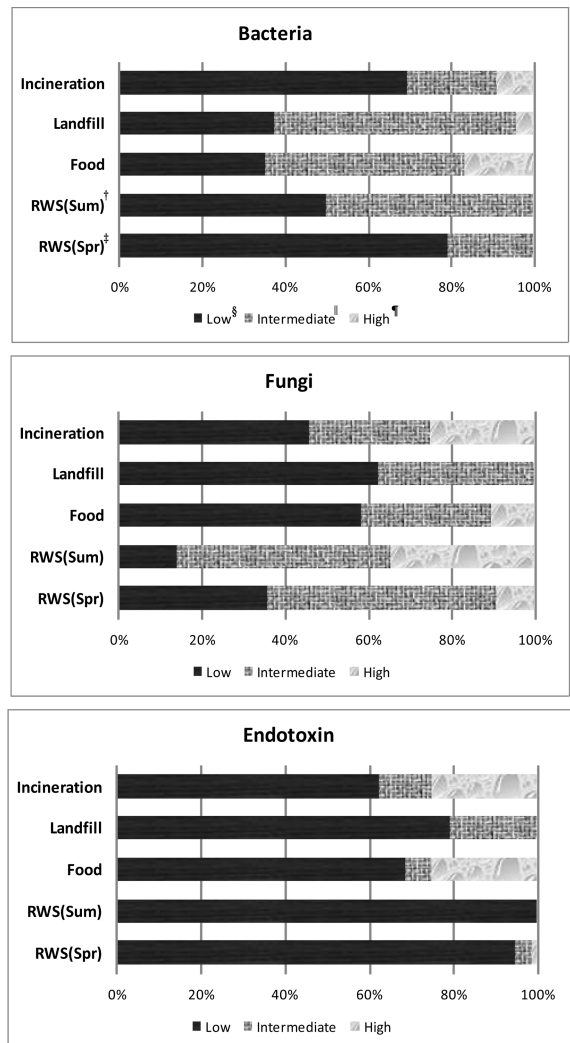


Figure 1. The compositions of biological hazards levels by industry. RWS(Sum)[†]: Recyclable waste sorting(Summer), RWS(Spr)[‡]: Recyclable waste sorting(Spring), Low[§]: Less than 1,000 CFU/m³ of bacteria and fungi or 50 EU/m³ of endotoxin, Intermediate^{||}: 1,000~10,000 CFU/m³ of bacteria and fungi or 50~100 EU/m³ of endotoxin, High[¶]: More than 10,000 CFU/m³ of bacteria and fungi or 100 EU/m³ of endotoxin

Table 2. The ranks of biological hazards' concentrations by process

Rank	Bacteria		Fungi	
	Process	GM [†] (range)(CFU/m ³)	Process	GM(range)(CFU/m ³)
1	Incineration-Waste Pit	10,479(6,675~21,795)	Incineration-Waste Pit	78,413(13,256~371,449)
2	Food Recycling-Pretreat	5,689(1,731~31,124)	Recyclable Waste Sort (Summer)-Input	14,259(5,259~23,694)
3	Food Recycling-Input	2,943(316~49,904)	Recyclable Waste Sort (Summer)-Sort	6,716(1,106~26,076)
4	Food Recycling-Compost	2,094(563~26,370)	Recyclable Waste Sort (Spring)-Sort	5,955(870~17,852)
5	Recyclable Waste Sort (Summer)-Input	1,723(445~3,557)	Recyclable Waste Sort (Summer)-Input	5,800(523~67,829)
6	Landfill-Lower	1,539(241~14,357)	Recyclable Waste Sort (Spring)-Sort	3,616(697~13,406)
7	Landfill-Upper	1,157(59~6,438)	Food Recycling-Pretreat	2,919(907~15,582)

Rank	Endotoxin		Glucan	
	Process	GM(range)(EU [‡] /m ³)	Process	GM(range)(ng/m ³)
1	Incineration-Waste Pit	473.2(200.9~989.2)	Incineration-Waste Pit	52.9(9.1~247.4)
2	Food Recycling-Pretreat	73.7(16.1~485.7)	Recyclable Waste Sort (Summer)-Sort	11.0(1.4~152.0)
3	Food Recycling-Input	69.9(9.1~238.8)	Food Recycling-Pretreat	8.9(1.76~29.4)
4	Recyclable Waste Sort (Spring)-Plastic	45.1(20.6~100.1)	Food Recycling-Input	8.7(1.9~32.9)
5	Incineration-Input	40.7(22.1~77.0)	Recyclable Waste Sort (Spring)-Plastic	7.1(4.1~12.9)
6	Landfill-Upper	28.8(4.0~76.8)	Recyclable Waste Sort (Summer)-Input	4.3(0.6~26.4)
7	Recyclable Waste Sort (Summer)-Plastic	18.3(10.3~39.0)	Food Recycling-Compost	3.4(1.8~7.1)

GM[†]: Geometric Mean, EU[‡]: Endotoxin unit

울은 음식물 자원화 시설 64.5%(31/48), 매립지 62.5%(15/24), 재활용품선별장(여름) 50.0%(39/78), 소각장 30.4%(7/23), 재활용품선별장(봄) 20.8%(16/77) 이었다 (Figure 1).

진균 시료에서 1,000 CFU/m³를 초과하는 비율은 재활용품선별장(여름) 85.9%(67/78), 재활용품선별장(봄) 64.9%(50/78), 소각장 56.5%(13/23), 음식물 자원화 시설 55.6%(20/36), 매립지 42.9%(9/24) 이었다.

엔도톡신 시료에서 50 EU/m³를 초과 하는 비율은 음식물 자원화 시설 31.3%(15/48), 소각장 37.5%(9/24), 매립지(20.8% 5/24), 재활용품선별장(봄) 5.2%(4/77)이었으며, 재활용품선별장(여름)에서는 초과하는 시료가 없었다.

작업장 내부농도를 옥외 농도와 비교해보면, 재활용품선별장(봄)은 세균 2.1배, 진균 8.2배, 엔도톡신 3.6배 및 글루칸이 2.3배 높았으며, 재활용품선별장(여름)은 세균 2.3배, 진균 4배, 엔도톡신 2.3배 및 글루칸이 5배 높았다. 음식물 자원화 시설의 경우 세균 29.5배, 진균 4.9배, 엔도톡신 7.6배 및 글루칸이 5배 높았고, 소각장은 세균 5.3배, 진균 8.7배, 엔도톡신 26.8배 및 글루칸이 9.5배 높았다(Table 3).

4. 온·습도 및 생물학적 인자 농도간의 상관관계

생물학적 인자 농도와 온도 및 습도의 상관관계를 확인하기 위하여 재활용품선별장에서 봄과 여름에 측

Table 3. Indoor and outdoor concentrations of biological hazards by industry

Industry		Bacteria(Impaction)		Fungi(Impaction)		Endotoxin(Total)		Glucan(Total)	
		n	GM [†] (CFU/m ³)	n	GM(CFU/m ³)	n	GM(EU/m ³)	n	GM(ng/m ³)
Recyclable Waste Sort (Spring)	Indoor	60	488	60	3,513	53	10.4	53	2.8
	Outdoor	17	230	17	431	16	2.9	16	1.2
	I/O [‡]		2.1		8.2		3.6		2.3
Recyclable Waste Sort (Summer)	Indoor	60	934	60	6,032	53	8.9	53	6.6
	Outdoor	16	405	17	1,509	15	3.8	15	1.3
	I/O		2.3		4.0		2.3		5.0
Food Recycling	Indoor	36	3,273	24	3,307	33	39.7	33	6.6
	Outdoor	12	111	12	674	7	5.2	7	1.3
	I/O		29.5		4.9		7.6		5.05
Incineration Plant	Indoor	17	860	17	5,052	18	45.6	18	5.3
	Outdoor	6	160	6	579	5	1.7	5	0.56
	I/O		5.3		8.7		26.8		9.5

GM[†]: Geometric mean, I/O[‡]: Indoor/outdoor ratio**Table 4.** Correlation coefficients of biological hazards and environmental factors in recyclable waste sorting industry

Factors	Temperature	Humidity	Bacteria Impaction	Bacteria Filtration	Fungi Impaction	Fungi Filtration	Endotoxin in Total dust	Total Dust
Temperature(n=154)	1.000	.342**	.315**	.125	.229**	.186*	.055	-.230**
Humidity(n=154)		1.000	-.018	-.107	.216**	.338**	-.092	-.308**
Bacteria Impaction(n=153)			1.000	.444**	.535**	.238**	.387**	.214*
Bacteria Filtration(n=123)				1.000	.117	.323**	.522**	.465**
Fungi Impaction(n=154)					1.000	.475**	.067	-.048
Fungi Filtration(n=126)						1.000	.171	.076
Endotoxin(n=137)							1.000	.386**
Total Dust(n=137)								1.000

*: p<0.05, **: p<0.01

정한 자료를 바탕으로 상관관계를 분석한 결과, 세균은 온도($r=0.315$, $p<0.01$), 진균은 온도 및 습도가($r=0.229$, $p<0.01$, $r=0.216$, $p<0.01$) 농도와 통계적으로 유의한 상관성을 보였다. 반면, 총분진의 경우 온도 및 습도와 음의 상관관계를 보였다($r=-0.230$, $p<0.01$, $r=-0.308$, $p<0.01$). 한편, 엔도톡신과 글루칸의 경우 온도 및 습도와 상관관계가 없는 것으로 평가되었다(Table 4).

5. 총분진 및 호흡성 분진의 농도 분포

총분진과 호흡성 분진의 농도수준을 비교한 결과 재활용품 선별장(봄)의 경우 호흡성 분진 중 엔도톡신은

총분진 중 엔도톡신의 26.8%, 글루칸은 15.6%, 분진은 42.8% 수준이었으며, 재활용품선별장(여름)의 경우 엔도톡신은 26.3%, 글루칸 22.7%, 분진 40% 수준이었다. 음식물 자원화 시설의 경우 엔도톡신은 40.9%, 글루칸 37.8%, 분진 53.7%이었으며, 매립지는 엔도톡신 22.9%, 글루칸 48.3%, 분진 44.7%이었다. 소각장은 엔도톡신 20.8%, 글루칸 56.7%, 분진 41.1%이었다(Table 5).

IV. 고 찰

다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에 의하여 관

Table 5. Comparison of biological hazards' concentrations between total and respirable fraction size by industry(including outdoor air samples)

Industry	Geometric mean (Range)							
	Total Dust				Respirable Dust			
	n	Endotoxin (EU [†] /m ³)	Glucan (ng/m ³)	Dust (mg/m ³)	n	Endotoxin (EU/m ³)	Glucan (ng/m ³)	Dust (mg/m ³)
Recyclable Waste Sort (Spring)	69	8.2 (1.1~100.1)	2.8 (0.25~16.15)	0.14 (0.01~1.25)	68	2.2 (0.3~10.4)	0.44 (0.02~1.68)	0.06 (0.01~0.27)
Recyclable Waste Sort (Summer)	68	7.2 (1.0~39.0)	4.4 (0.1~152.0)	0.1 (0.0~5.4)	72	1.9 (0.4~394.1)	1.0 (0.1~15.3)	0.04 (0.01~3.8)
Food Recycling	40	34.0 (2.14~485.7)	6.6 (1.76~32.9)	0.17 (0.04~1.24)	40	13.92 (0.55~439.2)	2.5 (0.3~20.9)	0.089 (0.02~0.52)
Landfill	22	22.5 (3.61~97.44)	0.9 (0.52~6.8)	0.4 (0.15~1.25)	24	5.15 (0.56~126.5)	0.43 (0.05~19.8)	0.17 (0.10~0.77)
Incineration Plant	23	20.1 (0.32~989.2)	4.2 (0.11~247.4)	0.17 (0.01~1.72)	18	4.19 (0.40~43.4)	2.39 (0.15~50.8)	0.07 (0.01~0.33)

EU[†]: Endotoxin unit,

련 업종에서는 주기적으로 부유세균을 측정하도록 하고 있으며(환경부, 2011), 국내 생물학적 인자에 대한 노출평가는 병원(이창래 등, 2005), 유치원(박동욱 등, 2004), 지하철(김기연 등, 2006a) 등을 대상으로 연구된 바 있다. 이에 비해서, 작업환경에서 생물학적 인자에 대한 평가는 유기성 폐기물 처리장, 돈사, 사료공장 등에서 일부 수행되었으나(최병순, 2003; 김기연 등 2004; 김기연 등, 2007), 아직도 다양한 노출가능 업종에 대한 연구가 지속적으로 필요한 실정이다. 이러한 관점에서 이 연구는 국외에서 활발히 연구되고 있는 폐기물 취급업종을 대상으로 주요 생물학적 인자의 노출수준을 파악하고자 하였다.

업종별 결과를 살펴보면 세균은 음식물 자원화 시설, 진균은 재활용품선별장, 엔도톡신은 음식물 자원화 시설과 소각장, 글루칸은 재활용품선별장과 음식물 자원화 시설에서 농도가 높게 나타났고, 세균 또는 진균이 높게 측정된 업종이 서로 차이가 있었다. 음식물 자원화 시설과 매립지의 경우 세균농도는 가장 높았지만 진균 농도는 가장 낮은 특성을 보였는데 이는 두 폐기물 취급장소의 경우 보관기간이 짧은 것이 특징이며, 재활용품선별장은 보관기간이 상대적으로 길어 진균의 농도가 높게 측정된 것으로 생각된다.

국내 사무실 실내공기에서는 세균에 대한 관리기준을 800 CFU/m³로 규정하고 있으나, 제조업의 공기 중 생물학적 인자의 관리기준은 현재 설정되어 있지 않다. 미국의 경우 산업안전보건청에서 세균과 진균에 대해

서 1,000 CFU/m³를 권고하고 있고, 독일은 제조업에서 세균의 임시기준을 10,000 CFU/m³로 권고하고 있으며(오세욱 등, 2004), 세계보건기구(World Health Organization, WHO)에서는 진균에 대한 기준을 150 CFU/m³로 권고하고 있다(김기연 등, 2007).

이번 연구결과를 미국 산업안전보건청의 관리기준과 비교하여 보면, 세균의 경우 음식물 자원화 시설, 매립지, 재활용품선별장(여름)에서 50% 이상이 초과되었고, 진균은 재활용품선별장(여름), 재활용품선별장(봄), 소각장, 음식물 자원화 시설에서 50%이상이 초과되었다. 또한, 공정내부 농도를 옥외와 비교한 결과, 음식물 자원화 시설의 세균농도가 옥외보다 약 30배 높았고, 소각장에서도 엔도톡신이 옥외보다 26.8배 높게 나타나 작업장 내부의 오염정도는 심각한 수준으로 판단된다. 이러한 결과는 폐기물 취급작업자들이 생물학적 인자로 인한 감염성 질환 및 호흡기 질환 발생의 위험이 매우 높을 것으로 추정할 수 있다.

핀란드의 폐기물 수거작업, 매립지, 재활용품선별장에서 생물학적 인자의 노출평가를 실시한 결과, 폐기물 수거작업에서 생물학적 인자 농도가 매립지 및 재활용품선별장의 농도에 비해 상대적으로 낮았지만 폐기물 용기를 여는 순간의 농도는 매우 높을 것으로 추정하였다. 또한, 매립지에서 진균 및 세균 농도는 10³~10⁴ CFU/m³이었으며, 재활용품 선별작업에서는 104~105 CFU/m³로 작업장 기준으로 제시된 104 CFU/m³를 초과하는 것으로 나타났으며, 폐기물 취급업에 대한 안전보건

관리방안이 필요함을 주장하였다(Kiviranta et al., 1999). 위 연구는 이번 연구결과와 비교하여 매우 높은 농도 수준을 나타내었는데 이러한 이유는 측정환경에 대한 상세한 설명이 없어 직접적인 비교는 할 수 없지만, Kiviranta et al.(1999)의 연구에서는 6단 앤더슨 샘플러를 사용하였고 이번 연구에서는 1단 앤더슨 샘플러를 사용한 차이로 추측된다.

Wouters et al.(2006)은 폐기물 취급업의 엔도톡신 노출에 대한 연구결과, 폐기물 수거업자에게서 폐기물의 종류에 따라 $20\sim49$ EU/m³ 수준이었고, 재활용품선별장에서 520 EU/m³($195\sim3,536$ EU/m³), 비료제조업의 공정 운전자에서 $1,038$ EU/m³($129\sim37,043$ EU/m³), 불도저 운전자에서도 206 EU/m³($7\sim8,669$ EU/m³)로 보고하였다. Wouters et al.(2006)의 연구에서 재활용품선별장의 엔도톡신 농도는 이번 연구와 비교하여 매우 높은 수준으로 보고하였으며 또한, 분진농출량도 약 8.3 mg/m³로 매우 높았다. 엔도톡신의 농도는 시료채취 방법 중 유리섬유 필터와 PC필터를 사용하는 방법, 시료추출시 LAL 위터를 사용하는 방법과 Tween 20 또는 Tween 80 등 계면활성제를 첨가하는 방법 등에 따라 농도차이가 각 7배 및 2배 이상 발생하는 것으로 알려져 있어 측정 농도를 비교할 때 시료채취 방법 또한 함께 비교할 필요가 있다(Spaan et al., 2007). 이번 연구는 PC 필터를 사용하고 LAL 위터를 사용하여 측정·분석하였기 때문에 분석농도가 가장 낮은 방법으로 측정된 결과이며, Wouters et al.(2006)의 연구에서는 유리섬유 여과지를 사용하고 0.05 % Tween 20을 사용하여 시료를 추출하여 차이가 발생한 것으로 생각된다.

한편, 스웨덴의 폐기물 수거작업 근로자를 대상으로 실시한 연구결과 글루칸 노출농도는 $10.8\sim36.4$ ng/m³ 이었고, 분류되지 않은 폐기물을 수거하는 경우 $2.0\sim13.7$ ng/m³이었다(Thorn et al., 1998). 또한 23명의 폐기물 수거작업 근로자를 대상으로 실시한 연구에서는 글루칸 농도가 $5\sim220$ ng/m³ 수준으로 측정되어(Wouters et al., 2006), 이번 연구 결과인 재활용품선별장에서 여름(기하평균 6.6 ng/m³, 범위 $0.56\sim151.9$ ng/m³)과, 봄(기하평균 2.8 ng/m³, 범위 $0.25\sim16.15$ ng/m³)의 글루칸 농도와 유사한 수준이었다.

47명의 폐기물 취급업자를 대상으로 한 연구에서는 분진 0.58 mg/m³, 엔도톡신 39 EU/m³, 글루칸 1.3 µg/m³의 농도였으나, 유기성 분진의 노출이 염증반응을 유발하는 호중구(Neutrophils)를 증가시켜 호흡기 증상을

초래하는 것으로 보고하였다(Wouter et al., 2002). 최근에 보고되는 많은 논문에서 폐기물 취급 종사자의 생물학적 인자 노출과 호흡기 질환과의 연관성을 보고하고 있는데(Wouters et al., 2002 ; Heddal et al., 2003 ; Gladding et al., 2003), 생물학적 인자의 노출량은 폐기물의 종류와 폐기물 보관함 종류, 폐기물 수거빈도 등과 상관성이 있다고 하였고(Midtgard & Poulsen, 1997), 여름에 생물학적 인자의 성장이 활발하여 증상이 더욱 높은 것으로 보고하였다(Malmros, 1997). 이번 연구는 재활용 선별장에 대해서 봄과 여름에 각각 측정을 실시하였는데, 봄의 경우, 온도가 평균 11.4°C 이었고, 여름에는 29.1°C 이었다. 측정결과, 세균은 봄에 488 CFU/m³에서 여름에 934 CFU/m³로 증가하였고, 진균은 봄에 $3,513$ CFU/m³에서 여름에 $6,031$ CFU/m³로 증가하였다. 반면, 엔도톡신은 봄에 10.4 EU/m³에서 여름에 8.9 EU/m³로 감소하였고 분진농도도 0.16 mg/m³에서 0.11 mg/m³으로 감소하는 경향을 보였다. 분진농도는 온도 및 습도와 음의 상관관계($r = -0.230$, $p < 0.05$, $r = -0.308$, $p < 0.001$)를 보였고, 엔도톡신 농도는 온·습도와 상관관계는 없었지만 분진과는 양의 상관관계($r = 0.386$, $p < 0.01$)가 있었다.

재활용품 선별작업장에서의 생물학적 인자 노출 농도를 감소하기 위해서는 재활용품을 버릴 때 용기 등의 내부를 세척하여 부패가 발생되지 않도록 하고 종류별로 정확한 분류가 이루어지도록 할 필요가 있다. 또한 작업장 내의 오염물질 발생원에 대해서는 국소배기를 통해 오염물질이 작업장으로 확산되지 않도록 하고, 출입구 및 창문을 넓게 설치하여 원활한 자연환기를 이용하거나, 작업장 내부에 쌓여있는 먼지 등의 부패를 막기위하여 작업 전·후에 청소 등이 필요하다. 또한 작업자들의 건강보호를 위해 작업 후 샤워를 실시할 수 있는 세척시설의 설치와 보호구 착용에 관한 안전 교육 및 홍보가 필요하다고 판단된다. 무엇보다 이러한 생물학적 인자 노출 작업장의 작업환경 개선을 위해서는 생물학적 인자 노출농도에 대한 관리기준의 설정이 필요하다.

음식물 자원화 시설에서는 투입과 전처리 공정에서 농도가 높았는데 특히, 세균농도는 작업장 외부와 비교하여 30배 이상 높았고 엔도톡신도 7배 이상 높고 농도의 생물학적 인자 노출에 따른 작업환경관리가 필요하였다. 음식물 자원화 시설의 경우 작업장 내부에 탈취를 위한 미생물 효소를 분사하고 있었는데, 이러

한 미생물 효소는 엔도톡신 등 호흡기유발 물질의 발생원이 되어 생물학적 인자 노출농도를 상승시키는 작용을 하므로 사용 시 신중을 기할 필요가 있다.

매립지의 경우, 상단과 하단 두 작업장소에 대한 평가결과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 매립지의 불도저 및 로더 내부는 생물학적 인자를 함유한 오염물질의 발생이 매우 높아 차량 필터관리 및 차량내부의 청소를 주기적으로 실시하는 것이 필요하다.

소각장의 경우, 반입공정과 쓰레기 피트, 소각 슬러지 처리 공정의 측정결과, 쓰레기 피트는 다른 공정과 비교하여 세균은 10배, 진균은 70배 이상 높은 농도수준이었다. 쓰레기 피트의 경우 상시작업은 없었지만 정기 및 수시 유지보수작업 시 간헐적인 작업을 실시하는 경우 고농도의 생물학적 인자에 노출되므로 작업시 보호구 착용이 필요하다.

미생물의 성장은 온도 및 습도 등의 환경인자와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있으나(이창래 등, 2005), 이번 연구에서는 재활용선별장을 제외하고는 모두 봄에만 평가가 이루어져서 계절별 농도변이 등은 파악하지 못하였다.

V. 결 론

이번 연구에서는 국내 폐기물 취급업 중 재활용품선별장, 음식물 자원화 시설, 매립지, 소각장을 중심으로 세균, 진균 등 생물학적 인자에 대한 근로자 노출수준을 평가하고 환경변수에 대한 조사를 실시하였다.

1) 세균의 기하평균 농도는 음식물 자원화 시설($3,273 \text{ CFU/m}^3$) > 매립지($1,334 \text{ CFU/m}^3$) > 재활용품선별장(여름)(934 CFU/m^3) > 소각장(860 CFU/m^3)의 순이었다. 반면, 진균은 재활용품선별장(여름)($6,031 \text{ CFU/m}^3$) > 소각장($5,052 \text{ CFU/m}^3$) > 재활용품선별장(봄)($3,513 \text{ CFU/m}^3$) > 음식물 자원화 시설($3,307 \text{ CFU/m}^3$) > 매립지(713 CFU/m^3)의 순으로 높았다.

2) 엔도톡신 농도는 소각장에서 45.6 EU/m^3 로 가장 높았고 음식물 자원화 시설이 39.7 EU/m^3 , 매립지가 22.4 EU/m^3 , 재활용품선별장(봄)이 10.4 EU/m^3 , 재활용품선별장(여름)이 8.9 EU/m^3 이었다. 엔도톡신은 세균 및 진균과 달리 여름에 농도가 높지 않았고, 엔도톡신은 분진농도와 양의 상관관계가 있었고, 분진은 온도 및 습도와 음의 상관관계를 보였다.

3) 폐기물 처리 작업장 내부농도는 옥외농도와 비교

시 세균은 최소 2배, 진균은 최소 4배 이상 높았고, 특히, 음식물 자원화 시설에서 세균농도는 옥외보다 30배나 높아 고농도로 노출되고 있었으며 소각장에서도 엔도톡신이 옥외보다 26.4배가 높아 작업장 내부의 오염정도가 심각하였다.

4) 매립지는 불도저 및 로더의 운전자석 내부에서 엔도톡신이 50 EU/m^3 이상인 시료가 20%이었으며 필터법으로 측정한 세균 및 진균의 농도가 7,008 및 13,984 CFU/m^3 으로 평가되어 필터 등 차량 내부의 오염물질 관리가 필요하였다.

5) 총분진 농도에 비례하는 호흡성분진 중의 엔도톡신 농도는 20.8~40.9%, 글루칸 농도는 15.6~53.7%, 분진량은 40~53.7% 수준이었다.

이상의 결과 폐기물 취급 작업장의 내부는 생물학적 인자 오염정도가 심각하였으며, 폐기물 취급 작업자들의 생물학적 인자에 의한 감염성 질환 및 호흡기 질환 발생의 위험성이 매우 높은 수준으로 나타났다. 이러한 문제의 개선을 위해서 생물학적 인자 노출 작업장에 대한 환기, 보호구 착용 등 작업환경관리가 필요하며, 더불어 생물학적 인자 노출농도에 대한 관리기준의 설정이 필요하다.

참고문헌

- 구정완, 정은희, 명준표, 이향기, 정혜선. 거리환경미화원의 근골격계 증상의 특징 및 인간공학적 평가. 대한직업환경의학회 학술대회 논문집 2007: 115~115.
- 김기연, 이경중, 박재범, 김치년. 돈사 작업장 유형에 따른 생물학상 오염물질들의 실내농도 및 발생량에 관한 현장 조사. 한국산업위생학회지 2004: 14 (3): 283~289.
- 김기연, 박재범, 김치년, 이경중. 서울시 일부 지하철역 내 분포하는 부유 세균 및 입자상 오염물질 평가. 한국환경보건학회지 2006a: 32 (4): 254~261.
- 김기연, 이창래, 김치년, 원종욱, 노재훈. 종합병원의 실내공기에 분포하는 부유 세균과 진균의 입경별 종류와 특성. 한국산업위생학회지 2006b: 16 (2): 101~109.
- 김기연, 정연일, 김치년, 원종욱, 노재훈. 사료제조공장 내 공기 중 세균과 진균 분포에 관한 연구. 한국산업위생학회지 2007: 17 (4): 335~342.
- 김신범, 류승훈, 박동욱, 이윤근. 환경미화원의 건강과 안전 보호를 위한 제안. 한국환경보건학회지 2010: 36 (3): 247~253.

- 박동욱, 조경아, 윤충식, 한인영, 박두용. 유치원 교실에서 공기 중 박테리아와 곰팡이 발생에 영향을 미치는 요인. *한국환경보건학회지* 2004; 30 (5): 440~448.
- 박주형. 실내환경에서 생물학적 인자에 대한 노출평가. *한국환경보건학회지* 2009; 35 (4): 239~248.
- 오세욱, 김중혁, 이용기, 이용식, 정호철, 조일형, 김영환, 변상훈. 금속가공유 취급 공정에 있어서의 오일 미스트 농도, 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.
- 이창래, 김기연, 김치년, 박동욱, 노재훈. 종합병원내 부유 미생물 농도 및 환경 요인과의 상관성 조사. *한국산업위생학회지* 2005; 15 (1): 45~51.
- 최병순. 생활폐기물 취급 근로자에서 생물학적 요인의 호흡기 영향에 관한 연구. *산업안전보건연구원 연구보고서*, 2003.
- 하권철, 박동욱, 김신범, 권선주, 정홍준, 정지수. 작업장 세척시설 설치 타당성에 관한 연구. *산업안전보건연구원*, 2010.
- 환경부. 2008 전국 폐기물 발생 및 처리현황. *한국자원재생공사*, 2009.
- 환경부. 법률 제10789호. 다중이용시설 등의 실내공기질관리법. 2011.
- Douwes J, Thorne P, Pearce N, Heederik D. Bioaerosol health effects and exposure assessment: Progress and prospects. *Ann Occup Hyg* 2003; 47: 187~200.
- Dutch Expert Committee on Occupational Safety(DECOS). The Nordic Expert Group for Criteria Documentation 144. Endotoxins. NR 2011: 45 (4).
- Eduard W, Heederik D, Duchaine C, Green BJ. Bioaerosol exposure assessment in the workplace: the past, present and recent advances. *J Environ Monit*. 2012; 14 (2): 334~9.
- Gladding T, Thorn J, Stott D. Organic dust exposure and work-related effects among recycling workers. *Am. J. Indus. Med*. 2003; 43: 584~591.
- Heldal KK, Halstensen 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 (6): 444~450.
- Jonsson PO. : Trends in waste management in relation to increased recycling. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 1997; 4: 3~6.
- Kiviranta H, Thimainen A, Reiman M, Laitinen S, Nevalainen A, Liesivuori J. Exposure to Airborne Microorganisms and Volatile Organic Compounds in Different Types Waste Handlings. *Ann Agric Environ Med*. 1999; 6: 39~44.
- Macher JM. Positive Hole Correction of Multi-Jet Impactors for Collecting Viable Microorganisms. *Am. Ind. Hyg. Assoc J*. 1989; 50 (11): 561~568.
- Malmros P. Occupational Health Problems Associated with Increased Recycling of Household Waste. *Ann. Agric Environ Med*. 1997; 4: 7~9.
- Midtgard U, Poulsen OM. Occupational safety and health in waste collection and recycling: The CORE research program. *Ann Agric Environ Med*. 1997; 4: 21~26.
- OSHA Technical Manual, Indoor Air Quality Investigation, USA, http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_2.html 1999
- Rylander R, Thorn J, Attefors R. Airways inflammation among workers in a paper industry. *Eur Respir J* 1999; 13: 1151~1157
- Seo SC, Reponen T, Levin L, Sergey A. Grinshpun SA. Size-fractionated (1-3)-beta-D-glucan concentrations aerosolized from different moldy building materials. *Sci Total Environ* 2009; 806~814
- Spaan S, Heederik D, Thorne P, Wouters IM. Optimization of Airborne Endotoxin Exposure Assessment: Effects of Filter Type, Transport Conditions, Extraction Solutions, and Storage of Samples and Extracts. *Appl Environ Microbio* 2007; 73 (19): 6134~6143.
- Thorn J, Beijer L, Rylander R. Airway Inflammation and Glucan Exposure among Household Waste Collection. *Am J Indus Med*. 1998; 33: 463~470.
- Wouters IM, Hilhorst SK, Kleppe P, Doekes G, Douwes J, Peretz C, Heederik D. Upper airway inflammation and respiratory symptoms in domestic waste collectors. *Occup Environ Med* 2002; 59 (2): 106~112.
- Wouters IM, Spaan S, Douwes J, Doekes G, Heederik D. Overview of Personal Occupational Exposure Levels to Inhalable dust, Endotoxin, beta (1-3)-Glucan and Fungal Extracellular Polysaccharides in the Waste Management Chain. *Ann Occup Hyg* 2006; 50 (1): 39~53.