

폐기물 취급 업종에서 우점하는 미생물에 대한 평가

박해동* · 박현희

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

A Study of Dominant Microorganisms in Waste Handling Industries

Hae Dong Park* · Hyunhee Park

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

ABSTRACT

Objectives: The objective of this study is to identify the composition of dominant microorganisms in waste handling industries.

Methods: We collected airborne bacteria and fungi by agar plate impaction method in recyclable waste sorting industry, food recycling industry, landfill and incineration. Isolated dominant microorganisms were identified by VITEK system or morphological analysis.

Results: We isolated totally 330 microorganisms in the process and outdoor. *Bacillus* was the most dominant genus in the all industries, and *Sphingomonas*, *Acinetobacter*, *Staphylococcus*, and *Proteus* was dominant bacterial genus. The dominant genus of fungi was *Penicillium*, *Aspergillus*, and *Cladosporium* in each industries. *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, and *Proteus* was identified as the dominant gram negative bacteria. The ratio of bacteria being biosafety levels(class 1 or 2) was 58.3~77.8%.

Conclusions: This study has investigated the dominant microorganisms in the waste handling industries. The genus of dominant microorganisms was similar among the industries but the composition was different. We used biosafety levels as qualitative method, but further studies are needed about specific process of qualitative evaluation methods.

Key words : Biological agent, bacteria, microbial identification, waste handling industry, biosafety level

I. 서 론

인류의 일상생활에 의해 필연적으로 부산물이 생성되며 부산물 중에서 못 쓰게 되어 버리는 물건을 폐기물이라 할 수 있다. 지속적으로 발생하는 이러한 폐기물의 처리는 매우 중요한 환경문제의 한 요인이다. 폐기물관리법에 의하면 폐기물은 크게 가정생활폐기물과 사업장폐기물로 분류되며, 사업장폐기물은 다시 사업장일반폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물로 세분화 된다. 지정폐기물을 제외한 생활 및 사업장폐기물은 2004년 이후 꾸준히 증가하고 있으며, 2011년을 기준으로 일 발생량은 373,312 톤으로 집계되었으며, 매립(9.1%), 소각(5.6%), 재활용(83.7%) 및 해역배출(1.6%)에 의해

서 처리된 것으로 보고되었고(MoE, 2012), 매립과 해역 배출의 비율은 감소하는 반면 소각과 재활용의 비율은 증가하는 경향이 있었다.

폐기물의 증가와 더불어 폐기물 처리 관련 종사자는 증가하여 2008년 국내의 환경미화원 및 재활용품 수거원은 10만 명에 이르고, 환경미화원에게서 주로 발생하는 직업성질환은 근골격계질환, 피부질환, 호흡기질환 및 소화기질환으로 보고되었다(Ha et al., 2010). 이러한 질환 중 세균과 바이러스에 의한 감염성질환은 영국의 보건환경청에서도 감염경로와 작업환경 관리 방안 등을 제시하고 있다(HSE, 2007).

폐기물 처리업종에서 노출될 수 있는 다양한 유해인자 중에서 생물학적 인자는 북유럽의 선진국에서 활

*Corresponding author: Hae Dong Park, Tel: 032-510-0808, E-mail: pssphd1@kosha.net, Center for Occupational Health Research, Occupational Safety and Health Research Institute, 478 Munemi-ro, Bupyeong-gu, Incheon 403-711

Received: June 12, 2013, Revised: June 17, 2013, Accepted: June 18, 2013

발하게 연구되었다(Park et al., 2012). 네덜란드 등 유럽에서 1993년부터 2002년 사이에 폐기물처리와 관련된 다양한 업종에서 연구한 결과를 종합하여 발표한 논문 에 따르면, 외부의 작업공간에서 취급할 때보다 작업장 내에서 취급시 직업적 바이오에어로졸 노출이 많았으며, 유기분진과 엔도톡신의 농도는 직업적 노출기준을 자주 초과하였으므로 건강에 악영향을 초래할 위험성이 있다고 하였다(Wouters et al. 2006). 여러 연구에서 폐기물처리와 관련된 생물학적 인자의 노출 및 건강영향에 대하여 평가하였으나 대부분 세균과 진균 등의 인자에 대한 정량적인 평가방법을 사용하였다(Reinthal et al., 1998; Lavoie et al., 2006; Vilavert et al., 2009).

생물학적 인자는 그 종류에 따라 여러 가지 다른 건강장해가 발생할 수 있고, 또한 인자별로 건강장해를 일으킬 수 있는 농도도 모두 다르다(Park, 2009). 한국산업규격에서는 인체, 축산 및 수산 동물에 유해한 것으로 알려진 바이러스, 세균 및 진균 중에서 생물 산업 분야에서 활용되거나 안전하게 작업하기 위해 고려해야 할 미생물의 목록을 4개의 안전성등급으로 분류하여 제공하고 있다(KATS, 2010).

따라서, 본 연구에서는 폐기물처리업종에서 노출될 수 있는 다양한 유해요인 중에서 세균과 진균을 대상으로 미생물 동정을 통하여 정성적으로 평가하고, 업종별 우점종을 분석하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 시기

폐기물처리업 중 재활용품선별장 3개소, 음식물처리업 2개소, 소각장 1개소 및 매립지 1개소를 대상으로 2010년에 평가를 실시하였다. 각 사업장별로 대표적인 공정 3개소와 외기를 측정지점으로 하였으며, 각 지점별로 1일 3회 반복 및 2일 연속으로 시료를 포집하였다. 또한, 재활용품선별장의 경우에는 4월과 8월에, 나머지 업종은 7~8월에 시료를 채취하였다.

2. 시료채취방법

각 시료채취시 실내공기질 측정장비(TSI 8762, IAQ-CALC, USA)를 이용하여 온도와 습도를 함께 측정하였다.

공기 중 부유세균과 부유진균을 NIOSH Method 0800 (Bioaerosol sampling) 및 ISO Method(Indoor air-Part

18: Detection and enumeration of moulds-Sampling by impaction, 2008)에 따라 충돌법을 이용하여 포집하였으며, 1단 앤더슨 샘플러(400 Hole ; single-stage-viable particulate impactor, Model Quick take 30, SKC Inc, USA)를 사용하였다. 동일 측정지점에서 작업시간 중 3회, 바닥으로부터 약 1미터 떨어진 지점에서 28.3 LPM의 유속으로 5분간 지역시료 형태로 포집하였다. 세균의 채취는 Trypticase Soy Agar(TSA; Komed, Korea), 진균의 채취는 세균의 성장을 억제하기 위해 Chloramphenicol 100 mg이 첨가된 진균용 배지 Sabouraud Dextrose Agar (SDAc; Komed, Korea)를 사용하였고, 그람음성세균의 채취는 MacConkey Agar(MCA, Komed, Korea) 배지를 이용하였다. 세균과 그람음성세균은 37℃에서 24~48시간, 진균의 경우 25℃에서 72시간 배양하였다.

3. 우점종의 순수분리 및 동정

TSA 또는 MCA 배지에 포집한 세균 및 그람음성세균은 콜로니의 색깔, 모양, 광택성, 표면특성, 크기, 배지 뒤쪽의 색깔 등을 육안으로 확인하여 측정지점별로 우점하는 3개의 균을 순수분리 하였다. 순수분리에는 TSA 또는 MCA 배지를 사용하였고, 3차 streaking 한 후, 단일 콜로니의 유무를 확인하여 동일한 콜로니를 얻을 때까지 반복하여 시행하였다. SDAc 배지에 포집한 진균은 균의 형태, 포자색깔, 포자크기, 균사색깔, 균사생장방향, 배지아래 생장특성 등을 육안으로 관찰하여 지점별로 우점하는 3개의 균을 순수분리 하였다. 포자 또는 균사를 취하여 SDAc 배지에 옮기고 단일 균주를 얻을 때까지 반복하여 시행하였다.

순수분리된 미생물은 외부 전문분석기관(Commercial Lab)에 의뢰하였는데, 세균 및 그람음성세균은 Bergey's manual 분류법에 따라 균종을 1차 동정하고, 그람염색 후 자동화 시스템인 VITEK(Model VITEK 32 system, bioMerieux Inc, France)을 통해 2차 동정하였다. 진균은 육안 및 광학현미경 관찰을 통해 균 집락의 모양과 색깔, 영양균사, 유성 및 무성 생식기관 및 포자의 색깔과 형태를 관찰하여 Ainworth, Baron 등의 분류 검색법에 따라 균속을 동정하였다.

4. 안전성등급평가

분리 동정된 세균은 “생물 산업-병원체의 목록 및 안전성 등급 분류”를 통해서 안전성 등급을 확인하고 그 유해성을 파악하였다(KATS, 2010). 한국산업표준

에서 생물 산업에서 사용되거나 오염될 우려가 있는 병원체의 위해 정도를 파악해 작업자의 안전 사용 및 위해 예방 대책 마련에 활용할 수 있도록 하기 위해 바이러스, 세균, 진균의 안전성 등급을 아래와 같이 구분하여 분류하고 있다.

- 1등급(class 1) : 비병원성으로 알려져 있고 오랜 기간 동안 사용해 온 미생물로 기회감염의 우려가 있거나 과량 또는 장기간 접촉할 경우 주의를 요하는 미생물

- 2등급(class 2) : 감염 가능성은 있으나 감염을 예방할 수 있으며 감염되었을 때 치료 대책이 있는 미생물 또는 기생충

- 3등급(class 3) : 병원 미생물 또는 기생충으로서, 직접 취급시 상당한 주의를 필요로 하나 감염을 예방할 수 있으며 감염되었을 때 치료 대책이 있는 미생물 또는 기생충

- 4등급(class 4) : 병원 미생물 또는 기생충으로서, 감염을 예방할 수 없으며 감염되었을 때 치료대책이 없는 미생물 또는 기생충

III. 연구결과

1. 업종별 평가시기의 환경조건 및 시료수

각 업종별 평가시기의 공정내 및 외기 측정지점에서 온습도는 Table 1과 같았다.

공정내와 외기는 비슷한 수준의 온습도 분포를 보였고, 재활용품선별장에서는 여름이 봄보다 온도는 약 18도 습도는 약 20% 높았으며, 봄에는 비가 내리는 날이 있어서 습도의 편차가 18~21%로 나타났다. 음식물처리업은 공정에서 발생하는 열에 의해서 온도가 높은 지점과 외기에 개방되어 있어 온도가 낮은 지점이 있었고, 맑은 날과 흐린 날이 있어 습도에서도 편차가 있었다. 소각장은 온도와 습도가 가장 높았다. 매립지는 작업 자체가 옥외에서 이루어져 별도의 외기조건은 측정하지 않았다.

공정내에서 총 258개, 외기에서 총 72개의 우점종을 분리하여 동정하였으며, 업종별 순수 분리한 미생물의 종류와 수는 Table 2와 같다. 측정지점별 3개의 우점 미생물을 분리하여 평가하고자 하였으며, 평가 사업장 수 및 반복평가일의 차이에 따라 업종별 및 미생물별 동정된 미생물의 숫자에 차이가 발생하였다.

2. 업종별 우점세균의 비교

공정내에서 채취된 시료 중 세균의 우점종 분포는 Figure 1과 같았다. 총 96종이 순수 분리되어 동정하

Table 1. Levels of environmental factors in each industries

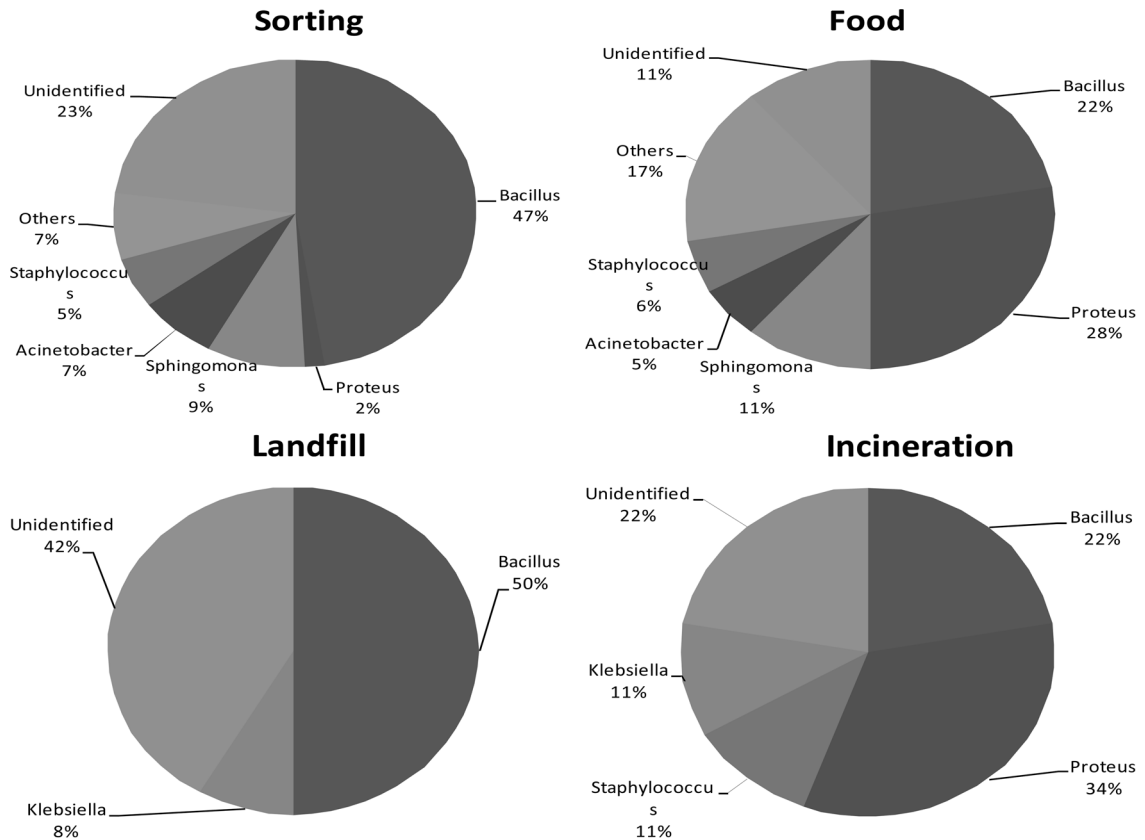
Industry	In process			Outdoor		
	n	Temperature(℃)	Humidity(%)	n	Temperature(℃)	Humidity(%)
Sorting(Spring)	60	11.4 ± 2.2*	51.9 ± 17.9	18	11.3 ± 2.8	49.3 ± 20.9
Sorting(Summer)	59	29.1 ± 1.5	73.0 ± 6.2	18	29.6 ± 1.6	71.2 ± 6.8
Food	36	17.6 ± 6.2	58.2 ± 22.4	12	16.5 ± 5.3	51.7 ± 21.2
Incineration	18	28.3 ± 1.3	78.1 ± 5.9	6	28.8 ± 0.5	78.5 ± 7.8
Landfill	24	31.0 ± 2.1	61.4 ± 9.2			

*Mean ± Standard deviation, Sorting : Recyclable waste sorting industry, Food : Food recycling industry

Table 2. Numbers of isolated biological agents in each industries.

	In process				Outdoor			
	Bacteria	Fungi	G-*	Total	Bacteria	Fungi	G-	Total
Sorting	57	56	35	148	18	18	15	51
Food	18	18	17	53	6	6		12
Incineration	9	9	9	27	3	3	3	9
Landfill	12	12	6	30				
Total	96	83	61	228	27	27	18	72

*G- : Gram negative bacteria, Sorting : Recyclable waste sorting industry, Food : Food recycling industry



Sorting : Recyclable waste sorting industry, Food : Food recycling industry

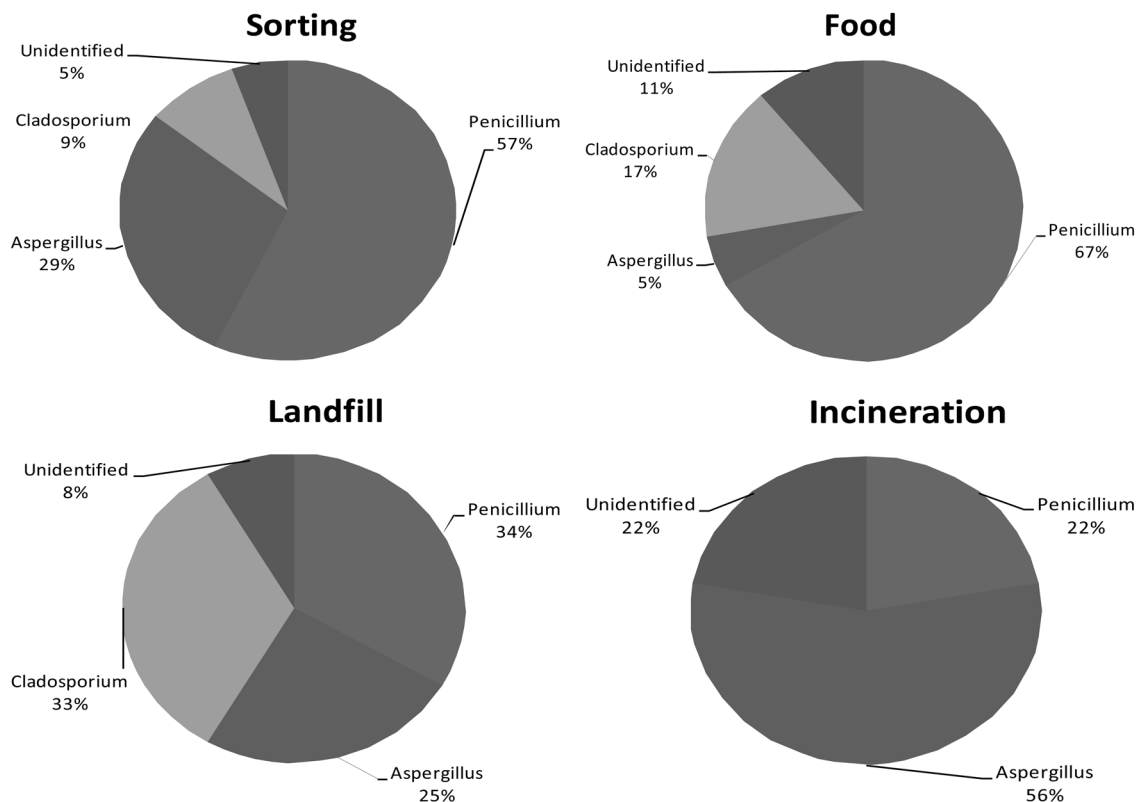
Figure 1. Dominant genus of bacteria in each industries.

였으며, 22종(23%)은 동정이 되지 않는 균종이었다. 74종은 종(species)수준까지 동정이 이루어졌으며 *Bacillus* (39종, 40%) 속(genus)에 해당하는 균이 가장 많았고, *Proteus*(9종, 9%), *Sphingomonas*(7종, 7%), *Acinetobacter*(5종, 5%), *Staphylococcus*(5종, 5%) 속의 순으로 많았다. 재활용품선별장에서는 전체 57종중에서 *Bacillus* (27종, 47%, 종명 : *subtilis*, *cereus*, *amyloliquefaciens*, *megaterium*, *pantothenicus*) 속이 가장 많았으며, *Sphingomonas*(5종, 9%, 종명 : *paucimobilis*), *Acinetobacter* (4종, 7%, 종명 : *lwoffii*), *Staphylococcus*(3종, 5%, 종명 : *xylosus*, *lentus*, *vitulinus*) 속의 순으로 많았으며, 기타 우점종으로 *Proteus mirabilis*, *Enterobacter amnigenus*, *Enterococcus faecium*, *Pseudomonas putida*, *Serratia ficaria* 가 각 1회씩 있었으며, 13종(23%)은 동정이 되지 않았다. 음식물처리업종에서는 *Proteus*(5종, 28%, 종명 : *mirabilis*, *vulgaris*) 속이 가장 많았으며, *Bacillus*

(4종, 22%, 종명 : *subtilis*, *cereus*, *amyloliquefaciens*), *Sphingomonas*(2종, 11%, 종명 : *paucimobilis*)속의 순으로 우점횟수가 많았으며, *Acinetobacter lwoffii*, *Staphylococcus xylosus*, *Brevibacterium borstelensis*, *Micrococcus luteus*, *Morganella morganii* 의 세균도 각 1회씩 동정되었다. 매립지에서는 5종(42%)이 동정이 되지 않았으며, 동정된 7종 중에서 *Bacillus* 속의 균이 6종(50%, 종명 : *subtilis*, *cereus*, *pumilus*) 으로 나타났으며 *Klebsiella pneumoniae* 도 1회 우점하였다. 소각장에서는 *Proteus*(3종, 33%, 종명 : *mirabilis*), *Bacillus*(2종, 22%, 종명 : *cereus*) 속의 균이 우점종으로 동정되었으며, *Klebsiella oxytoca*, *Staphylococcus xylosus* 도 각각 1회씩 우점하였다.

3. 업종별 우점진균의 비교

4개 업종에서 총 95종의 진균이 순수분리 되었고,



Sorting : Recyclable waste sorting industry, Food : Food recycling industry

Figure 2. Dominant genus of fungi in each industries.

속(genus) 수준에서 동정을 하였으나 8종(8%)은 동정이 되지 않았다. 동정결과 *Penicillium*(50종, 53%) 속의 균이 가장 많았으며, *Aspergillus*(25종, 26%), *Cladosporium*(12종, 13%) 속의 순으로 많이 나타났다.

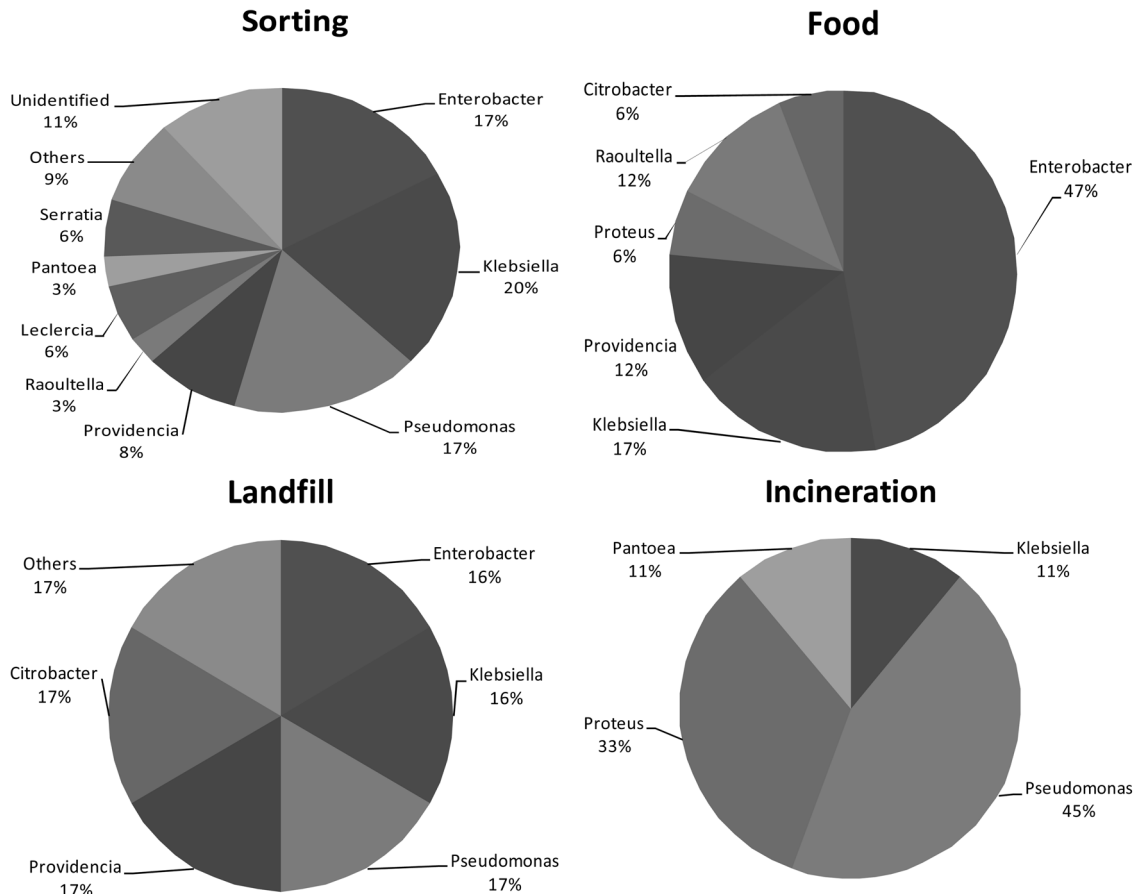
업종별로 보면, 재활용품선별장에서는 *Penicillium*(57%), *Aspergillus*(29%), *Cladosporium*(9%), 음식물처리장에서는 *Penicillium*(67%), *Cladosporium*(17%), *Aspergillus*(6%), 매립지에서는 *Penicillium*(34%), *Cladosporium*(33%), *Aspergillus*(25%), 소각장에서는 *Aspergillus*(56%), *Penicillium*(22%)의 순으로 우점비율이 높았다. 특히, 음식물처리장은 다른 업종에 비해서 *Penicillium*의 비율이 높고 *Aspergillus*의 비율이 낮았으며, 매립지에서는 3개 속이 비슷한 수준이었고, 소각장은 *Aspergillus*의 비율이 높았다.

4. 그람음성세균

그람음성세균은 일부 검출되지 않거나 낮은 농도

인 지점이 있어 순수분리된 균은 총 67종이었으며, 동정결과 *Enterobacter* (15종, 22%), *Klebsiella* (12종, 18%), *Pseudomonas* (11종, 16%)의 순으로 많았다.

업종별로 살펴보면, 재활용품선별장에서는 *Klebsiella* (7종, 20%, 종명 : *pneumoniae*, *oxytoca*), *Enterobacter* (6종, 17%, 종명 : *cloacae*, *aerogenes*, *amnigenus*), *Pseudomonas* (6종, 17%, 종명 : *putida*, *aeruginosa*, *fluorescens*) 속의 균이 많았으며 *Providencia stuartii*, *P. rettgeri*, *Leclercia adecarboxylata*, *Serratia liquefaciens*, *Acinetobacter baumannii*, *Alcaligenes faecalis*, *Pantoea* sp., *Rahnella aquatilis*, *Raoultella ornithinolytica* 도 1~1회 우점종으로 동정되었다. 음식물처리장에서는 *Enterobacter* (8종, 47%, 종명 : *cloacae*, *aerogenes*), *Klebsiella* (3종, 18%, 종명 : *pneumoniae*, *oxytoca*, *ozaenae*)속이 많았으며, *Providencia rettgeri*, *Raoultella ornithinolytica*, *R. planticola*, *Citrobacter freundii*, *Proteus mirabilis* 도 우점종으로 동정되었으나, *Pseudomonas* 속



Sorting : Recyclable waste sorting industry, Food : Food recycling industry
Figure 3. Dominant genus of Gram negative bacteria in each industries

의 균은 나타나지 않았다. 매립지에서는 6종의 균이 *Citrobacter freundii*, *Enterobacter cloacae*, *Klebsiella pneumoniae*, *Ochrobactrum anthropi*, *Providencia rettgeri*, *Pseudomonas stutzeri* 로 서로 다른 종으로 나타났다. 소각장에서는 *Pseudomonas* (4종, 44%, 종명 : *aeruginosa*, *putida*), *Proteus* (3종, 33%, 종명 : *mirabilis*) 속의 우점비율이 높았으며, *Klebsiella pneumoniae*, *Pantoea* sp. 도 우점종으로 동정되었다.

5. 우점미생물의 안전성등급

동정된 세균 중에서 감염가능성이 있는 안전성 2등급인 세균은 총 20종(5 species, 21%) 동정되었으며, 안전성 1등급인 세균은 총 49종(14 species, 51%) 동정되었다. 소각장에서 2등급 세균의 비율이 55.6%로 가장 높았으며, 음식물처리업, 매립지, 재활용품선별업의

순으로 높았다. 안전성 1등급은 재활용품선별업에서 61.4%로 가장 높았고 음식물처리업, 매립지, 소각장의 순이었다(Figure 4).

진균은 속 수준에서 동정이 이루어졌으며, 종 수준에서는 동정이 이루어지지 못하였다. *Aspergillus* 속은 전체가 안전성 2등급에 해당하나, 나머지 속은 종명에 따라 해당등급이 정해져 있어서 진균의 동정결과를 이용한 안전성등급은 분석하지 않았다.

그람음성세균 중에서는 안전성 2등급인 13개 종이 동정되었으며, 1등급은 4개 종이 동정되었다. 전체 67개 동정결과에서 안전성 2등급이 43회 (64%)였으며, 1등급은 11회 (16%) 우점하여, 총세균을 기준으로 한 동정결과에 비하여 안전성 2등급의 비율이 높았다 (Figure 5).

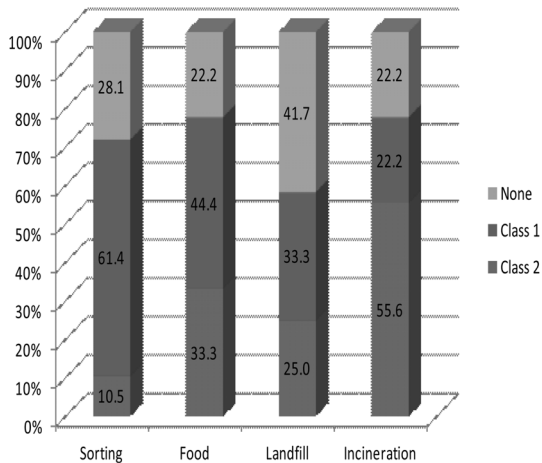


Figure 4. The composition of safety levels to bacteria in each industries.

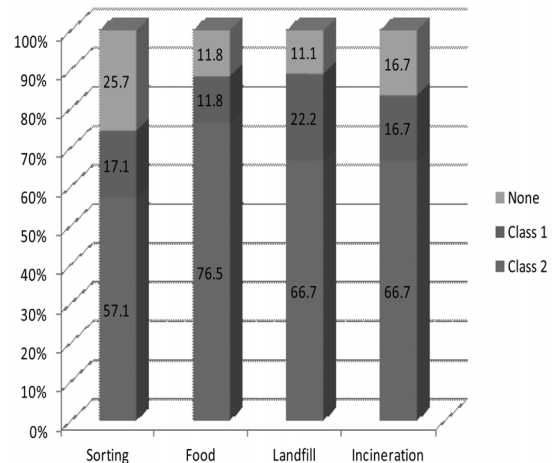


Figure 5. The composition of safety levels to Gram negative bacteria in each industries.

Table 3. Number of Dominant microorganisms at outdoor air in each industries

	Binomial name	Sorting	Food	Incineration	Total
Bacteria	<i>Acinetobacter lwoffii</i>	1			1
	<i>Bacillus cereus</i>		1		1
	<i>Bacillus licheniformis</i>	1			1
	<i>Bacillus megaterium</i>	3			3
	<i>Bacillus subtilis</i>	2			2
	<i>Bacillus sp.</i>	1			1
	<i>Pantoea agglomerans</i>			1	1
	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	3	1		4
	Unidentified	7	4	2	13
Fungi	<i>Cladosporium sp.</i>	6	3	1	10
	<i>Penicillium sp.</i>	7	1		8
	<i>Aspergillus sp.</i>	1		1	2
	<i>Fusarium sp.</i>	1		1	2
	<i>Pseudallescheria sp.</i>	1			1
	Unidentified	2	2		4
Gram negative bacteria	<i>Alcaligenes xylosoxidans</i>	1		1	2
	<i>Enterobacter cloacae</i>	1			1
	<i>Ewingella americana</i>			1	1
	<i>Flavimonas oryzae</i>	1			1
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1			1
	<i>Pantoea sp.</i>	1			1
	<i>Pseudomonas luteola</i>	1			1
	<i>Pseudomonas putida</i>	1			1
	<i>Pseudomonas stutzeri</i>	1			1
	<i>Serratia marcescens</i>			1	1
	Unidentified	7			7

Sorting : Recyclable waste sorting industry, Food : Food recycling industry

6. 옥외 우점미생물

매립지의 경우 작업공간 자체가 옥외여서 외기를 별도로 측정하지 않았다.

옥외 우점 세균은 27종 중에서 *Bacillus*(8종)와 *Sphingomonas*(4종)가 우점하는 것으로 나타났으며 13종은 동정되지 않았다. 재활용품선별장은 봄과 여름의 외기에서 우점종은 유사하였으며, 공정내의 우점종과 일치하였다. 음식물처리업과 소각장의 외기에서도 공정내의 우점종으로 분리된 균종이 우점하고 있는 것으로 나타났다.

옥외의 우점 진균은 *Cladosporium* 과 *Penicillium* 속의 우점비율이 각각 37%와 26%였으며, *Aspergillus*, *Fusarium* 및 *Pseudallescheria* 도 우점종으로 동정되었다. 업종별로는 재활용품선별장과 음식물처리업의 옥외에서 *Penicillium*과 *Cladosporium* 의 우점비율이 높았으며, 공정내에서 가장 우점한 종류와는 서로 차이가 있었다.

그람음성세균은 음식물처리장의 옥외 층돌법에 의한 측정에서 관찰되지 않아 우점종을 분석할 수 없었으며, 재활용품선별장과 소각장에서는 다양한 우점종이 동정되었으며, 재활용품선별장에서는 7종이 동정이 이루어지지 않았다.

IV. 고 찰

층돌법으로 포집한 생물학적 인자 중 우점종을 순수분리하고 동정하여 폐기물 처리업종에서 우점하는 미생물을 살펴보았다. 폐기물 수거, 선별작업, 퇴비화 및 소각장에서 세균 및 진균을 평가한 연구는 많았으나(Neumann et al., 2002; Lavoie et al., 2006; Poulsen et al., 1995a; Poulsen et al., 1995b; Domingo & Nadal, 2009; Wouters et al., 2006; Vilavert et al., 2009), 각 미생물을 동정하여 보고한 연구는 거의 없었다.

그러나 다양한 분야에서 미생물 동정 및 종 다양성에 대한 분석을 수행하고 있으며 다음과 같은 연구들이 있었다. 낙농농가에서 채취된 공기 중 시료에서 *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Sphingomonas*, *Staphylococcus*, *Cellulomonas* 등의 균종을 보고하였고(Dungan, 2012), 하수처리장의 공기 중 시료에서 *Proteus*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Providencia*, *Morganella*, *Clostridium*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Staphylococcus* 등이 검출되었으며(Han et al., 2013; Korzeniewska et al., 2009), 매립지의 매립된 폐기물에서 *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Rals-*

tonia 등이 우점하는 것으로 보고하였고(Gomez et al., 2011), 캐나다 양계농가에서 생물학적 인자의 정량 및 정성적 평가를 수행한 연구에서는 *Methylobacterium*, *Cupriavidus*, *Staphylococcus*, *Brachybacterium*, *Mycobacterium*, *Brevibacterium*, *Megamonas*, *Sphingomonas*, *Methyloversatilis*, *Nesterenkonia* 등의 미생물을 동정하여 보고하였다(Just et al., 2011).

본 연구에서는 *Acinetobacter*, *Sphingomonas*, *Staphylococcus*, *Proteus* 등의 우점종은 위의 일부논문에서도 검출되어 일치하였으나, 우점비율이 가장 높았던 *Bacillus*는 다른 논문에서 거의 나타나지 않았다.

진균에 대한 연구로는, 하수처리장에서 *Chyresosporium*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Penicillium*을 보고 한 연구(Korzeniewska et al., 2009), 아일랜드에서 외기의 진균포자를 포집하고 분석한 연구(O'Gorman & Fuller, 2007)와 국내 병원 공기 중 진균의 분포에 대한 연구(Kim et al., 2006b)에서는 *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* 및 *Alternaria* 를 보고하였다.

본 연구의 우점 진균은 *Penicillium*, *Aspergillus* 및 *Cladosporium*으로 다른 연구결과와 비슷하였으나, *Alternaria*와 *Mucor* 등은 우점종으로 검출되지 않았다.

음식물처리업의 1개 사업장은 생물학적 제재를 살포하고 있어 일부 영향을 받은 것으로 생각된다. 반입 및 전처리과정에서는 안전성 2등급의 *Proteus* 속의 균이 우점하였는데 이 균은 소각장을 제외한 다른 업종에서는 우점종으로 거의 나타나지 않은 종이였다. 진균은 한 사업장에서는 3개 속이 우점종으로 나타났으나, 다른 사업장에서는 *Penicillium* 만이 우점종으로 나타났다. 이것은 사업장에서 살포하는 생물학적 제재에 의한 영향이 있을 것으로 생각되며, 생물학적 제재에 사용하고 있다는 효모 2종도 우점종으로써 분리·동정 하였으나, 본 연구에서 학명을 기재하지는 않았다. 생물학적 제재의 경우 악취제거 및 퇴비화를 촉진하기 위해서 개발된 제재로 생균을 포함하고 있었으며, 병원성 균은 아닌 것으로 동정되었으나 호흡기를 통한 인체노출에 대한 영향은 고려되지 않은 것으로 생각된다. 일반적으로 생물학적 제재의 경우 화학제품에 비해서 친환경적인 이미지로 인해 선호되고 있지만, 작업자의 건강보호를 위해서는 좀 더 세밀한 안전성 평가가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

소각장에서는 세균 중에서 *Proteus* 속이 피트와 반입공정에서 우점하였으며, 슬러지 공정의 우점종과

는 달랐다. 진균은 *Aspergillus* 속이 3개 공정에서 모두 우점하였으며 총 5회 우점하여 56%의 우점비율을 보였다. 그람음성세균의 경우 피트에서 포집한 배지는 포화수준으로 포집되어 서로 다른 균주를 분리하기가 어려웠으며 *Proteus* 속만이 우점종으로 분리되었다.

옥외에서 우점하는 생물학적 인자는 *Bacillus*와 *Sphingomonas* 속의 세균과 *Cladosporium* 과 *Penicillium*, *Aspergillus* 속의 진균이었으며 모든 업종에서 우점하고 있는 것으로 나타났다. 그람음성세균은 옥외에서 검출되지 않은 경우가 많았다. 국내에서는 본 연구와 유사한 업종에서 동정하여 보고한 경우는 찾을 수 없었으나, 병원 등 다중이용시설의 외기에서 공기 중 세균의 분포는 *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Bacillus* 등의 순으로 높은 것으로 보고 되어(Kim et al., 2006a) 본 연구에서의 우점세균과는 차이가 있는 것으로 판단되었다. 반면, 대학 캠퍼스 및 도로변 등의 외기에서 포집한 진균포자를 분석한 아일랜드에서는 *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* 및 *Alternaria*의 순으로 높은 농도를 보였으며(O'Gorman & Fuller, 2007) 이러한 진균의 분포는 본 연구의 외기에서의 우점종 및 우점비율과 유사하였다.

음식물처리업과 소각장은 *Proteus* 속이 많아 안전성 2등급이 각각 33%와 56%로 높았으며, 4개 업종에서 1등급의 평균 비율은 51%였다. 진균은 *Penicillium* 속이 50종으로 가장 많았으나, 안전성등급이 규정되어 있지 않았고, *Aspergillus* 속은 안전성 2등급으로 소각장에서는 56%, 전 업종에서 26%의 우점비율을 보였으며, 세균과는 달리 음식물처리업에서 비율이 낮았다. 그러나, *Penicillium* 속과 *Cladosporium* 속의 진균 중에서 종명에 따라 일부는 안전성 2등급에 해당할 수 있으며, 여기에서는 이를 반영하지 못하였다. 그람음성세균에서는 안전성 2등급인 균이 우점한 경우가 많았으며, 전체 우점종의 64%에 달하였고, 1등급에 속하는 균은 16%였다.

진균은 종명까지 동정하여야 안전성등급에 따른 평가가 가능한 경우가 많아 더 정밀한 동정이 필요하였다. 일반적으로 세균의 동정은 시스템화 되어있고, 정확성이 높은 반면 진균의 동정은 세균에 비해서 시스템화 되어있지 못하고, 육안 및 현미경관찰을 병행하여야 하므로 경험 많은 전문가의 숙련도를 필요로 한다. 세균에서는 그람음성세균이 총세균에 비해서 안전성등급이 높은 종이 많았으나, 실제 충돌법으로 포집

하여 계수한 그람음성세균의 콜로니 수는 매우 적었다.

본 연구의 생물학적 인자 동정을 통한 평가와 관련하여 아래와 같은 제한점이 있다.

생물학적 인자의 포집 후 우점종의 순수분리까지 직접 실시하였으며, 우점종의 선정은 육안관찰에 의한 것으로 지극히 주관적이었다. 특히, 세균의 경우에는 다양한 균 중에서 육안관찰만으로 구분하기에는 많은 한계가 있으며, 주관적으로 판단한 우점종이 실제 우점종과는 차이가 있을 수 있다. 하지만, 포집된 모든 생물학적 인자를 동정한다는 것 또한 시간적, 경제적 관점에서 합리적이지 못하다고 생각되며, 세심한 관찰을 통하여 오류를 줄이고자 하였다. 또한 환경 중에 분포하는 미생물은 의학분야나 식품분야에서 다루는 특정 균과는 달리 그 범위가 상당히 넓고 다양하여 전문기관에 의뢰하여 동정하였다.

우점종의 선정과정에서 포집된 전체 생물학적 인자의 수와 관계없이 측정지점별로 3종을 선정하였다. 즉, 충돌법으로 포집된 배지에 자란 세균이 30 CFU/plate 이거나 300 CUF/plate 이거나 관계없이 3종만 선정한 것이므로, 동정된 우점종은 해당 생물학적 인자의 수를 직접적으로 표현하지는 않는다. 또한, 동정된 우점종 외에도 다양한 생물학적 인자가 있으나 우점종만을 기준으로 비교하였으므로, 포집된 생물학적 인자가 많은 배지에서 선정되지는 않았지만 다수 존재하는 생물학적 인자 종은 하향평가 될 수 있으며, 적은 수의 생물학적 인자가 포집된 배지에서도 3종을 선정하였으므로 비교적 숫자가 적은 경우에도 우점종으로 선정되어 상향평가 될 수 있었다.

이러한 제한점에도 불구하고 다양한 폐기물처리업에서 개략적인 우점종을 파악할 수 있었고, 안전성등급에 따른 평가를 하여 향후 연구에서 업종별 우점종에 대한 참고자료로서 의미가 있다고 생각된다.

V. 결 론

다양한 폐기물 처리업종에서 우점하는 세균 및 진균을 조사한 결과 총세균에서는 *Bacillus*, *Sphingomonas*, *Acinetobacter*, *Staphylococcus*, *Proteus* 등이 우점하였으며, 진균에서는 *Penicillium*, *Aspergillus* 및 *Cladosporium*이 우점종으로 동정되었다. 그람음성세균 중에서는 *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Proteus*

등이 우점하였으며, 안전성등급 분류에 따르면 2등급 또는 1등급에 해당하는 우점 세균의 비율은 매립지(58%)를 제외한 업종에서 70% 이상으로 나타났다. 기존의 정량적 평가에 더하여 향후에는 정성적 평가를 병행한다면 작업환경에서 생물학적 인자에 대한 이해와 건강영향을 좀 더 포괄적으로 예측하고 관리해 나갈 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구와 함께 수행된 정량평가 결과는 한국산업위생학회지(2012;22(4):265-275)에 게재되었음.

참고문헌

- Domingo JL, Nadal M. Domestic waste composting facilities: A review of human health risks. *Environment International* 2009;35:382 - 389
- Dungan RS. Use of a culture-independent approach to characterize aerosolized bacteria near an open-freestall dairy operation. *Environment International* 2012;41: 8-14
- Gomez AM, Yannarell AC, Sims GK, Cadavid-Restrepo G, Moreno Herrera CX. Characterization of bacterial diversity at different depths in the Moravia Hill landfill site at Medellín Colombia. *Soil Biology & Biochemistry* 2011;43:1275-1284
- Ha KC, Park DW, Kim SB, Kwon SJ, Jeong HJ, et al. Study on the validity of installation of washing facilities in the workplace(focus on sanitation work). KOSHA OSHRI 2010
- Han Y, Li L, Liu J. Characterization of the airborne bacteria community at different distances from the rotating brushes in a wastewater treatment plant by 16S rRNA gene clone libraries. *Journal of Environmental Sciences* 2013;25(1):5-15
- Health and Safety Executive. Health hazards in the waste and recycling industry. 2007.
- Just N, Kirychuk S, Gilbert Y, Le'tourneau V, Veillette M, et al. Bacterial diversity characterization of bioaerosols from cage-housed and floor-housed poultry operations. *Environmental Research* 2011;111:492-498
- Korean Agency for Technology and Standards. Bioindustry-pathogen list and its biosafety class-part2 bacteria(KS J 0050-2). 2010
- Kim KY, Jang GY, Park JB, Kim CN, Lee KJ. Field study of characteristics of airborne bacteria distributed in the regulated public facilities. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2006a;16(1):1-10
- Kim KY, Lee CR, Kim CN, Won JU, Roh JH. Size-based characteristics of airborne bacteria and fungi distributed in the general hospital. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2006b;16(2):101-109
- Korzeniewska E, Filipkowska Z, Gotkowska-Plachta A, Janczukowicz W, Dixon B, et al. Determination of emitted airborne microorganisms from a BIO-PAK wastewater treatment plant. *Water research* 2009;43: 2841-2851
- Lavoie J, Dunkerley CJ, Kosatsky T, Dufresne A. Exposure to aerosolized bacteria and fungi among collectors of commercial, mixed residential, recyclable and compostable waste. *Science of the Total Environment* 2006;370:23-28
- Ministry of Environment. Amount and disposal of national wastes. 2012
- Neumann HD, Balfanz J, Becker G, Lohmeyer M, Mathys W, et al. Bioaerosol exposure during refuse collection: results of field studies in the real-life situation. *The Science of the Total Environment* 2002;293:219-231
- O'Gorman CM, Fuller HT. Prevalence of culturable airborne spores of selected allergenic and pathogenic fungi in outdoor air. *Atmospheric Environment* 2008; 42:4355-4368
- Park HH, Park HD, Lee IS. A Study on the biological hazards exposure for waste handling industries in Korea. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*. 2012;22 (4):265-275
- Park JH. Exposure assessment of biological agents in indoor environments. *J. Env. Hlth. Sci.* 2009;35(4): 239-248
- Poulsen OT, Breum NO, Ebbehoj N, Hansen AM, Ivens UI, et al. Sorting and recycling of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. *The Science of the Total Environment* 1995a;168:33-56
- Paulsen OT, Breum NO, Ebbehoj N, Hansen AM, Ivens UI, et al. Collection of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. *The Science of the Total Environment* 1995b;170: 1-19
- Reinthal FF, Haas D, Feierl G, Schlacher R, Pichler-Semmelrock FP, et al. Comparative investigations of airborne culturable microorganisms in selected waste treatment facilities and in neighbouring residential areas. *Zbl. Hyg. Umweltmed* 1998;202:1-17
- Vilavert L, Nadal M, Inza I, Figueras MJ, Domingo JL. Baseline levels of bioaerosols and volatile organic compounds around a municipal waste incinerator prior to the construction of a mechanical-biological treatment plant. *Waste Management* 2009;29:2454-2461

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 ma-
nagement chain. *Ann Occup Hyg* 2006;50(1):39-53