

유효미생물을 활용한 음식물쓰레기의 악취저감 효과 Effect of Reducing the Odor of Food Wastes Using Effective Microorganism (EM)

김하나 · 임봉빈 · 김선태[†]
Ha-Na Kim · Bongbeen Yim · Sun-Tae Kim[†]

대전대학교 환경공학과
Department of Environmental Engineering, Daejeon University

(Received January 25, 2016; Revised February 23, 2016; Accepted March 9, 2016)

Abstract : The aim was to investigate the effect of reducing the odorous and complex odor released during the decomposition of food wastes using effective microorganism (EM) as a function of time at 20°C and 35°C. The variation of total microbial counts and dominant species counts in EM and leachate produced during food wastes decomposition was also observed. In general, the cumulative concentration of sulfur compounds (H₂S, CH₃SH) and complex odor released during food wastes decomposition increased with increasing elapsed time. The nitrogen compounds (NH₃, trimethyl amine), however, was not observed in all samples. The addition of EM in food wastes resulted in the reduction of concentration of sulfur compounds and complex odor, in spite of the increase of CH₃CHO concentration. The dominant microbial species detected in EM were *Lactobacillus* species (*Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus casei*). In the leachate produced during food wastes decomposition, however, the various microbial community alternative to that detected in EM was observed. The EM could be potentially useful as a tools for reducing odor induced from the food waste decomposition process.

Key Words : Effective Microorganism, Food Wastes, Odorous Substance, Detector Tube, Air Dilution Olfactory Method

요약 : 음식물쓰레기 부패과정에서 발생하는 대표적인 S계(황화수소(H₂S), 메틸메르캡탄(CH₃SH)), N계(암모니아(NH₃), trimethyl amine) 악취물질과 복합악취를 경과시간에 따라 측정하고, 유효미생물(effective microorganism, EM) 사용에 따른 악취 저감효과의 평가 및 EM제의 미생물상 및 세균수의 변화와 악취물질 농도 저감과의 관계를 조사하였다. 음식물쓰레기에서 발생하는 악취는 N 계열에 비하여 S계 악취물질의 영향이 더 큰 것으로 나타났다. S계 악취물질과 복합악취의 경우 대조군에 비하여 EM제를 사용한 실험군에서 발생농도가 낮게 나타나 EM제의 도포에 의한 악취 저감효과를 확인할 수 있었다. 그러나 아세트알데히드(CH₃CHO)의 경우 EM제 도포 후 경과시간이 증가할수록 발생농도는 감소되지 않았다. EM제와 음식물쓰레기 부패시 발생하는 침출수의 미생물을 분석한 결과, 대부분 유산균 군집으로 확인되었으며, EM제 원액과 실험군에서 발생한 침출수의 미생물 군집이 다르게 나타났다.

주제어 : 유효미생물, 음식물쓰레기, 악취물질, 검지관, 공기희석관법

1. 서론

음식물쓰레기란 식품의 생산, 유통, 가공, 조리과정에서 발생하는 농산, 수산, 축산물 쓰레기와 먹고 남은 음식찌꺼기를 의미한다. 푸짐한 상차림과 국물 음식인 우리나라의 음식문화와 인구증가, 생활여건 향상, 식생활의 고급화 등 음식물 낭비요인의 증가로 인해 무분별하게 버려지는 음식물쓰레기가 새로운 환경문제로 인식되고 있다.^{1,2)} 또한 음식물쓰레기의 수거, 저장, 처리과정에서 발생하는 악취로 인하여 악취민원이 발생하고, 이러한 악취와 관련된 민원은 시민들의 생활수준 향상, 건강한 삶에 대한 관심도가 높아지는 등의 이유로 주거지 주변의 생활악취 민원이 증가하고 있다. 각 가정에서도 음식물쓰레기 보관시 발생하는 악취 때문에 음식물쓰레기 보관에 어려움을 겪고 있다. 이에 각 시도의 자치단체 및 가정에서는 생활악취 및 음식물쓰레기의 악취 저감을 위한 대응방안의 수립이 시급한 상황이다.³⁾

음식물쓰레기에서 발생하는 대표적인 악취물질은 알데하이드계 6종(포름알데하이드, 아세트알데하이드, 이소발레릭알데하이드, 이소부틸알데하이드, 부틸알데하이드, 프로피온알데하이드), 환원계 황화합물 5종(황화수소, 메틸메르캡탄, 프로필메르캡탄, 다이메틸설파이드, 다이메틸다이설파이드), 암모니아 등이며, 이러한 물질의 발생농도는 최소감지농도의 수십배에서 수천배 이상으로 확인되고 있다.⁴⁻⁹⁾

유효미생물(Effective Microorganisms, EM)은 광합성세균, 유산균, 효모, 방선균 등 10속 80여종의 다양한 미생물로 구성된 EM제를 말하며,^{2,10)} 아시아권 38개국, 아프리카 24개국, 아메리카 23개국, 유럽 25개국, 오세아니아에서 6개국 등 총 116개국이 EM을 다양한 분야에서 사용하고 있으며, 우리나라에서도 농업, 임업, 축산, 수산, 환경, 의학 분야에서 활발히 사용되고 있다. 환경분야에서는 수질정화, 악취제거, 유류분해, 음식물쓰레기의 유기퇴비화, 새집증후군의 예방 등에 활용되고 있다.¹⁰⁾ 특히, 매립지, 축산시설, 음

[†] Corresponding author E-mail: envsys@dju.ac.kr Tel: 042-280-2534 Fax: 042-283-8283

식물쓰레기 처리시설, 하수처리시설 등 현장에서 악취농도를 낮추기 위해 유용미생물 제제의 활용사례가 늘고 있는 추세이다.¹¹⁻¹⁴⁾ Lee¹⁵⁾는 EM을 이용하여 오수정화조의 수질 분석, 악취제거 실험을 실시한 결과 높은 악취 물질 제거율을 확인하였으며,¹⁵⁾ Park¹⁶⁾ 등은 미생물 탈취제 주입 후 황화수소 농도가 1시간 경과시 67~78%, 3시간 경과시 85~90% 제거율을 나타냄을 확인하였다.¹⁶⁾ 이와 같이 유용미생물은 저비용으로 높은 생산성 구현이 가능하고, 누구든 쉽게 기존 방식과 조건에서 적용이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 EM제의 악취 저감효과에 대한 정량적인 평가가 이루어진 연구는 부족한 실정이다.^{4,17)}

이에 본 연구에서는 음식물쓰레기 보관(부패)과정에서 발생하는 대표적인 S계, N계 악취물질과 복합악취를 경과시간에 따라 측정하고, EM제 사용에 따른 악취 저감효과를 평가하여 EM제의 미생물상 및 세균수와의 관련성을 파악하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 음식물쓰레기 및 EM제 제조

본 실험에 사용된 음식물쓰레기의 조성은 ‘제 4차 전국폐기물통계조사’의 내용 중 도시규모별 음식물류 폐기물의 물리적 조성(특별시의 조성비율)을 참고하였으며, Table 1

Table 1. Physical composition of food wastes

Foodwaste composition	Physical composition		
	Ratio (%)	Weight (g)	
		20°C	35°C
Garden stuff	28.6	64.5	96.7
Fruits	26.9	60.7	91.0
Grain	15.7	35.4	53.1
Meat and fish	10.5	23.6	35.6
Leachate	7.0	15.8	23.7
Etc.	11.4	-	-
Total	100.0	200.0	300.0

에 나타내었다. 구성항목 중 채소류, 과일류, 곡류, 어육류는 그 비율을 그대로 따랐으며, 기타는 배제하고, 침출수는 국류로 대체하였다. 본 연구에 이용한 음식물쓰레기는 채소류, 과일류, 곡류, 어육류, 국류를 각각 구입하여 Table 1의 조성 비율에 따라 실험에 사용할 분취량을 계산하여 챔버에 넣고 잘 혼합하였다.

실험장치는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 유리로 구성된 1 L 용량의 챔버에 악취물질의 농도 측정을 위한 가스 포집용 포트를 설치하였다. 포트가 설치된 챔버 안에 음식물쓰레기를 200 g (20°C) 및 300 g (35°C)을 넣은 후, 일정온도로 설정된 건조기(LDO-250F, Lab Tech, Korea) 내에서 보관하였다.

EM제의 배양은 쌀뜨물을 이용하는 방법을 이용하였다. 즉, 쌀뜨물 1.4 L에 당밀(sugar-cane molasses, emgreen, Korea) 20 g, EM원액(EM activity solution, Ever Miracle, Korea) 20 mL를 섞은 후 직사광선을 피하여 따뜻한 곳에서 7~10일간 보관하여 시큼하고 향긋한 냄새가 날 때까지 배양하였다. 배양한 EM제의 사용량은 실험에 사용한 음식물쓰레기의 양에 따라 20°C에서는 30 mL, 35°C에서는 45 mL이며, 도포 후 음식물쓰레기와 골고루 섞어주었다. 실험기간은 20°C는 최대 14일, 35°C는 최대 7일이다. EM제를 첨가하지 않은 음식물쓰레기만 가지고 실험한 시료를 대조군으로 하였다.

2.2. EM제의 악취저감 효율평가

EM제의 악취저감 효율평가를 위하여 Table 2와 같이 가스검지관(Gastech, Japan)을 이용하여 암모니아, 황화수소, 트라이메틸아민, 메틸메르캅탄, 아세트알데하이드 등 단일 물질 측정과 공기희석관능법을 활용한 복합악취 측정을 실시하였다. 가스검지관법은 대기 중의 가스성분 검출 및 정량분석에 쓰이는 방법으로 유리관 속에 특정가스와 선택적으로 반응하여 색을 발현하는 물질을 충전시킨 검지관을 이용하여 물질농도를 측정하는 방법이다. 공기희석관능법은 시료를 약 3배수씩 단계별로 증가시키면서 희석하며, 측정시의 악취정도 등 시료 특성을 파악하여 최종 희석배수

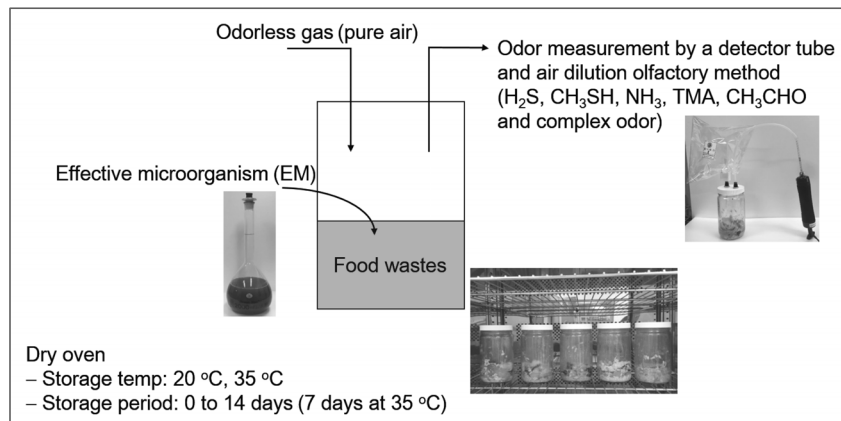


Fig. 1. Schematic diagram of the reactor for decomposition of food wastes and odor measurement.

Table 2. Detector tube for sensing the presence of the odorous substances

Detector tube		Model	Detection limit (ppm)
Sulfur compounds	Hydrogen sulfide (H ₂ S)	4 LT	0.01 (n=2)
		4 LL	0.1 (n=10)
	Methyl mercaptan (CH ₃ SH)	70 L	0.05 (n=4)
		71	0.1 (n=10)
Nitrogen compounds	Ammonia (NH ₃)	3 L	0.2 (n=2)
	Trimethylamine ((CH ₃) ₃ N)	180 L	0.1 (n=1)
Aldehydes	Acetaldehyde (CH ₃ CHO)	92 M	0.25 (n=2)

를 선택하여 실시한 후 희석배수(냄새감지한계 희석배수)를 구하는 방법이다.¹⁸⁾ 채취된 시료를 환기장치가 설치되어 있는 방 또는 통풍이 원활한 방에서 수동으로 희석하여 각 희석배수별로 희석된 시료희석주머니를 관능시험에 사용하였다.

2.3. EM제의 특성 분석

EM제의 특성을 분석하기 위하여 미생물의 균집수 확인, 세균의 분리 및 동정을 실시하였다. 미생물의 균집수 확인은 종균 및 침출수를 각각 1 mL 취하여 멸균된 증류수로 연속 희석한 후 카제인 대두 소화 한천배지(Casein soybean digest agar, tryptic soy broth, TSB)와 MRS 배지에 0.1 mL 씩 도말하였다. 희석 단계마다 최소 3개의 평판을 준비하고 35°C에서 5일간 배양하여 평판당 300개 이상의 세균 집락이 나타나는 평판을 택해 집락을 세어 총 세균수를 측정하였다.

세균의 분리 및 동정을 위해 각 세균 균집을 선택하여 희석 평판도말법을 사용하여 순수 분리한 후 그람염색을 통해 세균의 형태적 특징과 그람반응을 관찰하고, 동시에 PCR법을 사용하여 유전자를 증폭한 후 염기서열을 분석하여 최종 동정을 진행하였다.

16S rDNA 유전자 증폭은 진정세균 영역(Eubacteria domain)에 속하는 세균 16S rDNA의 공통적인 서열을 인지하는 프라이머인 27F (5'-AGA GTT TGA TCM TGG CTC AG-3')와 1492R (5'-GGY TAC CTT GTT ACG ACT T-3')을 사용하여 PCR 방법으로 실시하였다. 반응용액은 3차 증류수 33.5 μL, 10X PCR 완충용액 5 μL, dNTP (2.5 mM) 4 μL, 각 프라이머 2 μL (10 pM), Taq DNA polymerase (5 unit/μL) 0.5 μL 및 주형 DNA 3 μL 순으로 최종 부피가 50 μL가 되도록 제조하였다. 반응조건은 94°C에서 10분간 pre-heating한 후 94°C에서 1분 30초, 45°C에서 1분 및 72°C에서 2분의 조건으로 30 cycle 증폭한 후 72°C에서 8분간 최종 extension하였다. 반응액을 1.0% agarose gel에서 전기영동하여 1.5 kb의 크기에 해당하는 DNA band 유무를 확인하였다.

PCR 산물의 정제 및 염기서열 분석을 위해 PCR 산물을 1.0% agarose gel에서 전기영동하여 16S rDNA의 증폭 여부를 확인하였다. DNA purification kit를 사용하여 정제한 후, 마크로젠사에 의뢰하여 염기서열을 결정하였다. 16S rDNA의 염기서열을 BLAST (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST>)를 이용하여 GenBank에 있는 염기서열과 상동성을 비교 분석하였다.

EM제 원액과 20°C의 4, 7일차 실험균, 35°C의 2일차 실험균에서 발생한 침출수의 미생물 분석을 실시하였으며, 20°C 실험균의 침출수는 총 세균수와 우점종 균집수를, 35°C 실험균의 침출수는 미생물상 및 분포도, 총 세균수, 우점종의 균집수를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 경과시간에 따른 악취물질 농도의 변화

Table 3에 경과시간에 따른 악취물질 농도의 변화를 나타내었다. H₂S와 CH₃SH의 발생농도를 보면 20°C의 경우 대

Table 3. Temporal change of odorous substances released during the decomposition of food wastes

Temp.	Elapsed time (day)	H ₂ S (ppm)		CH ₃ SH (ppm)		NH ₃ (ppm)		TMA (ppm)		CH ₃ CHO (ppm)		Complex odor (OU)	
		Control ^{a)}	Exp. ^{b)}	Control	Exp.	Control	Exp.	Control	Exp.	Control	Exp.	Control	Exp.
20°C	0	1.3	1.5	1.5	1.4	0	0	0	0	0	0	30,000	10,000
	2	1.6	0	1.6	0	0	0	0	0	3.2	18.0	4,481	1,000
	4	1.9	0	1.7	0	0	0	0	0	8.4	12.0	3,000	2,080
	7	2.4	0	1.9	0	0	0	0	0	10.0	10.0	4,481	1,442
	10	2.6	0.3	2.0	0.2	0	0	0	0	12.5	10.0	2,080	966
	14	2.8	0.5	2.0	0.4	0	0	0	0	17.5	15.0	1,393	10,000
35°C	0	1.9	0.2	2.4	0.3	0	0	0	0	8.0	20.0	4,481	3,000
	2	3.2	4	3.4	7.0	0	0	0	0	3.3	35.0	1,442	3,000
	4	0	1.2	0	1.8	0	0	0	0	70.0	23.0	1,000	4,481
	7	0	20.0	0	8.0	0	0	0	0	65.0	25.0	669	3,000

^{a)} Control group, ^{b)} Experimental group

조군은 모두 경과시간이 증가할수록 그 농도가 꾸준히 증가하였다. 그에 비해 EM제를 도포한 실험군은 실험 당일에는 대조군과 비슷한 농도 수준으로 나타났으나, 2일차에 발생 농도가 0 ppm으로 감소하였다. 그리고 그 이후에도 대조군에 비하여 낮은 농도를 유지하는 것으로 보아 EM제의 영향으로 S 계열 악취물질의 발생농도가 저감된 것으로 예상된다. 35°C의 경우 대조군은 실험당일에 H₂S와 CH₃SH의 농도가 각각 1.9 ppm, 2.4 ppm으로 나타났으며, 2일차에 농도가 증가한 후, 4일 및 7일차에는 0 ppm으로 나타났다. 실험군의 경우는 실험 당일에 농도가 가장 낮게 나타났으며 시간의 흐름에 따라 S 계열의 악취물질의 발생농도가 증가하였다. 실험군의 농도가 실험 당일 가장 낮게 나타난 것은 EM제의 도포량 증가로 인한 EM제의 악취물질의 흡수로 생각된다.

N 계열의 악취물질 발생농도를 보면 20°C의 경우 NH₃와 TMA 모두 0 ppm으로 확인되었으며, 35°C의 경우도 20°C에서의 실험 결과와 마찬가지로 N 계열 악취물질 농도가 모두 0 ppm으로 나타났다. 이러한 결과로부터 가정에서 발생하는 음식물쓰레기에서 발생하는 악취물질 중 N 계열의 발생농도는 수 ppb 수준일 것으로 예상되며, N 계열에 비하여 S 계열 및 본 실험에서는 측정하지 않은 타 항목들의 영향이 더 큰 것으로 생각된다.

CH₃CHO의 발생농도를 보면 20°C의 경우 실험 당일 대조군과 실험군 모두 CH₃CHO의 발생 농도가 0 ppm으로 나타났으나, 대조군은 2일차부터 발생 농도가 꾸준히 증가하였으며, 실험군은 2일차에 0 ppm에서 18 ppm으로 크게 증가한 후, 그 농도의 수준을 유지하였다. 또한 10일 이후 경과된 실험군은 대조군에 비교하여 높은 농도수준을 나타내었다. 35°C의 경우 실험 당일부터 CH₃CHO가 높은 농도로 나타났으며, 2일차까지 실험군이 대조군과 비교하여 약 10배 가량 높은 농도로 나타났다. 대조군은 4일차에 농도가 2일차에 비하여 약 20배 가량 급격히 증가한 것으로 보아 음식물의 부패로 인한 CH₃CHO의 발생이 4일차부터 급격히 증가하는 것으로 보인다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 CH₃CHO는 음식물쓰레기의 부패에 의해 발생하는 양은 서서히 증가하며, 음식물쓰레기의 부패에 의한 발생량보다는 EM제의 도포에 의한 발생량이 더 큰 것으로 예상된다.

EM제의 도포에 따른 CH₃CHO 발생 영향을 확인해 보기 위하여 35°C에서 경과시간별 악취물질 발생농도를 확인하였다. 반응 챔버에 EM제를 45 mL 넣은 후, 분사 직후, 2일차, 4일차, 7일차에 악취물질 농도를 측정하였다. 그 결과 S 계열(H₂S, CH₃SH)과 N 계열(NH₃, TMA)은 검출되지 않았으나, CH₃CHO의 경우는 분사 직후 1.7 ppm 검출되었으며, 2일차에 25.0 ppm으로 발생농도가 크게 증가하여 고농도로 검출되었다. 4일차, 7일차에는 각각 6.7 ppm으로 확인되었다. 이러한 결과로 미루어볼 때, 본 실험에서 발생하는 고농도의 CH₃CHO는 EM제의 사용에 의해 발생하는 것으로 예상된다. 따라서 EM제 분사로 인한 CH₃CHO의 발생 억

제가 가능하다면 EM제의 악취제거 효과는 향상될 것으로 생각된다.

복합악취의 발생농도는 20°C에서의 대조군은 실험 당일 30,000 OU (Odor Unit)로 높은 희석배수를 나타내었으며, 2일차부터는 그 농도가 감소하였다. 실험군 역시 실험 당일에 10,000 OU로 가장 높은 희석배수를 나타냈으며 2일차부터는 농도가 감소하였다. 또한 2일차부터 실험군의 농도가 1,000~2,000 OU로 안정적인 수준을 유지하였다. 대조군의 농도와 실험군의 농도를 상대적으로 비교해보면 대조군에 비하여 실험군의 농도가 약 22.3~69.3% 정도로 낮게 유지되고 있어 EM제의 도포에 의한 영향으로 복합악취 유발물질의 발생이 저감된 것으로 확인되었다. 35°C에서의 대조군은 실험 당일 4,481 OU로 나타났으나 방치기간이 경과할수록 발생농도가 1,393 OU까지 감소함을 확인할 수 있었다. 실험군은 실험 당일 3,000 OU로 나타나 대조군 농도에 비하여 약 66.9% 정도로 확인되었으며, 2일차, 4일차, 7일차에도 3,000~4,000 OU 수준을 유지하였다. 실험 당일에는 대조군에 비하여 실험군의 농도가 낮게 나타났으나, 2일차부터는 대조군의 농도가 감소하여 대조군의 농도가 실험군에 비하여 낮게 나타남을 확인하였다.

3.2. EM제의 악취 제거효과

경과시간에 따른 측정항목별 누적농도의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)와 (b)를 보면, 20°C에서 S 계열의 두 항목 모두 대조군에 비하여 실험군에서 낮은 농도를 유지하고 있어 EM제의 S 계열 저감 능력이 우수함을 확인할 수 있었다. H₂S는 대조군에 비하여 실험군이 18~51% 수준이며, CH₃SH는 18~45% 수준을 유지하였다. 그러나 35°C에서는 S 계열의 누적농도가 실험 당일을 제외하고 2일차부터 실험군의 농도가 대조군의 농도보다 높게 나타났으며, 그 수준은 105~498%로 나타났다.

Fig. 2(c)를 보면, 20°C에서 CH₃CHO의 경우 대조군에 비하여 실험군의 농도가 126~563% 정도로 높게 유지되어 CH₃CHO는 음식물쓰레기의 부패에 의해 발생하는 농도보다 EM제에서 발생하는 농도가 높음을 확인할 수 있었다. 35°C에서는 대조군에 비하여 실험군의 농도가 250~487%로 높게 나타났다가 7일차부터는 대조군에서 발생하는 농도가 급격히 증가하는 경향을 보이고 있어 누적농도도 7일차부터 대조군이 실험군에 비하여 높게 나타났다.

Fig. 2(d)를 보면, 복합악취의 경우 20°C에서는 방치기간 내내 실험군의 누적농도가 대조군에 비하여 낮은 수준을 나타내고 있었으며, 그 수준은 34~56%이다. 35°C에서는 실험 당일에 실험군의 농도가 대조군에 비하여 낮게 나타났으나, 2일차부터는 실험군의 농도가 크게 증가하여 실험군의 누적 농도가 대조군의 101~178% 수준으로 높게 유지되었다. 이러한 결과로 볼 때, EM제의 분사는 35°C 보다는 20°C에서 복합악취 농도 저감에 우수한 효과가 있는 것으로 보인다.

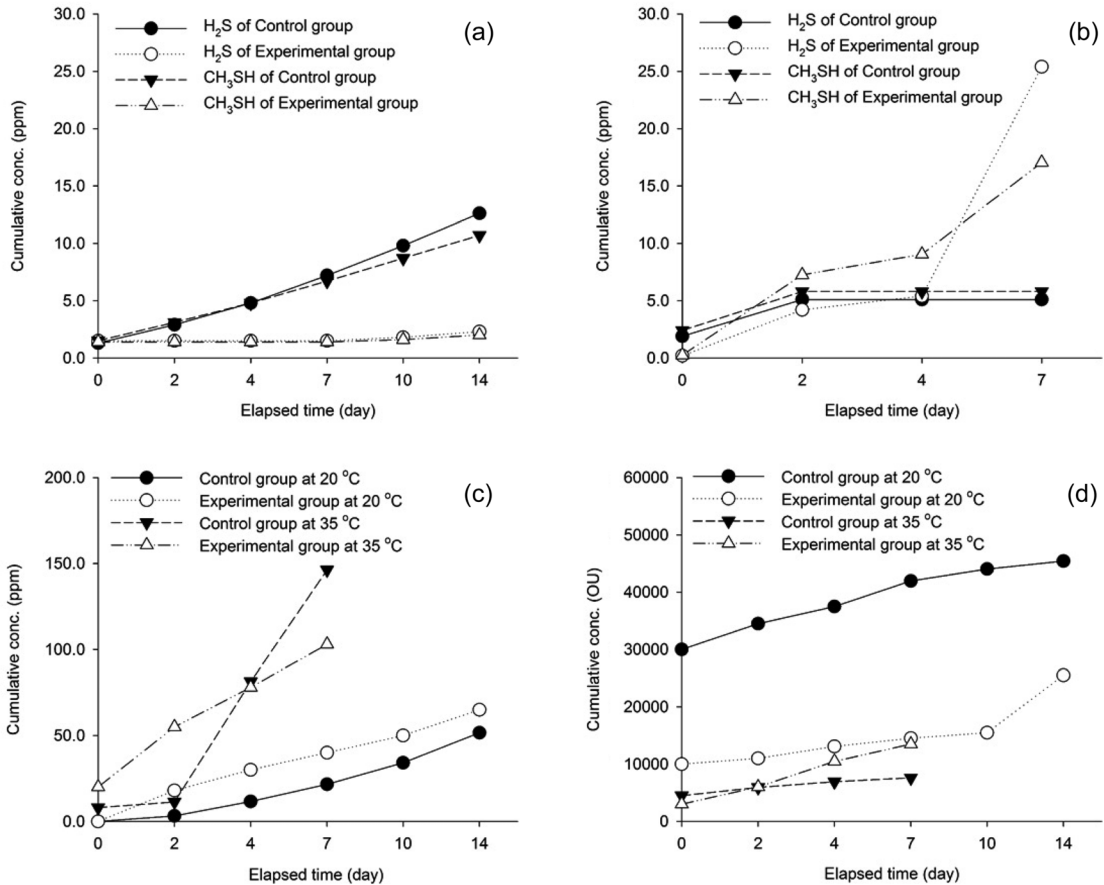


Fig. 2. Temporal change of the cumulative concentration of odorous substances released during the decomposition of food wastes.

3.3. EM제의 우점종 및 총 세균수의 변화

EM제의 특성을 확인하기 위하여 EM제 원액의 미생물상 및 분포도를 확인한 결과, Fig. 3(a)에 나타난 것과 같이 본 실험에 사용한 EM제에서는 *Lactobacillus rhamnosus*가 87.0%, *Lactobacillus casei*가 13.0%로 주로 유산균 군집이 확인되었으며, 그 이외의 광합성균이나 효모균 등은 확인되지 않았다. 총 세균수는 0.91×10^7 CFU/mL이다. 한편, Fig. 3(b)에 나타난 것과 같이 35°C에서 2일 경과된 음식물쓰레기에서 생성된 침출수의 미생물을 동정한 결과, EM제 원액과 비교하여 미생물 종이 다양하게 나타났으며, EM제 원액에 존재하던 두 종의 유산균은 그 수가 감소하여 우점종으로 검출

되지 않았다. 그러나 그와 유사한 유산균 종인 *Latobacillus paracasei subsp. Paracasei*가 27%, *Bacillus subtilis. Inaquosorum*이 12% 존재하는 것으로 확인되었다. 이와 같이 EM제 원액과 실험군에서 발생한 침출수의 미생물 군집이 달리 나타나는 것으로 보아 음식물쓰레기의 분해에는 유산균이 아닌 다른 세균이 관여하고 있는 것으로 예상된다.

총 세균수를 보면, Fig. 4에 나타난 것과 같이 20°C의 경우, 4일차에 그 수가 약 10배 증가하였으며 7일차에는 약 0.3배 수준으로 감소하였고, 35°C의 경우는 2일차에 약 2.4배 증가하였다. 우점종 군집수의 경우도 총 세균수와 같은 경향을 보이는 것으로 나타났다. 20°C에서의 4일차, 7일차

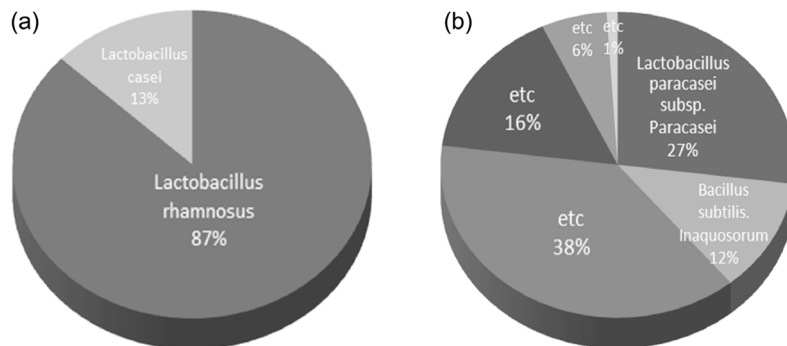


Fig. 3. Comparison of microflora between EM(a) and leachate produced during food wastes decomposition at 35°C(b).

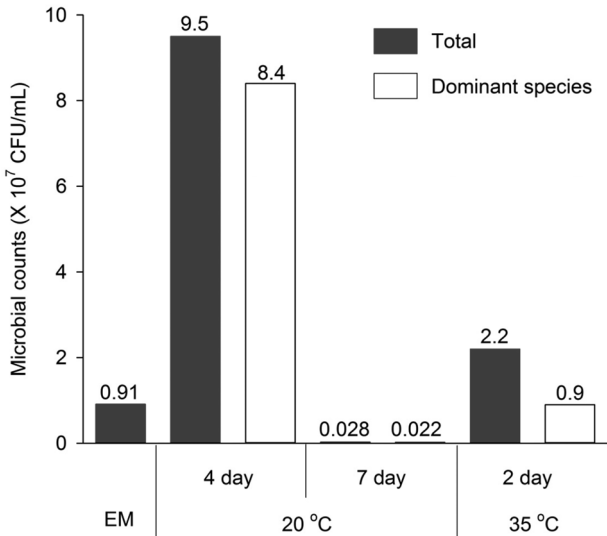


Fig. 4. Variation of total microbial counts and dominant species counts in EM and leachate produced during food wastes decomposition at 20°C and 35°C.

총 세균수와 악취물질 발생농도를 비교한 결과, S 계열의 농도가 2일차에 비하여 4일차에 크게 감소한 것은 총 세균수의 증가로 다양한 미생물이 S 계열의 악취물질 분해에 기여한 것으로 예상되며, 7일차 이후에는 세균의 수가 줄어들면서 S 계열의 악취물질 분해능이 감소한 것으로 예상된다. 그러나 복합악취의 경우는 2일차부터 10일차까지 1,000~2,000 OU 수준을 유지하고 있었다. 35°C에서의 2일차 총 세균수와 악취물질의 발생농도를 비교한 결과, EM 원액에 비하여 총 세균수는 증가하였으나, S 계열의 악취물질농도는 실험 당일에 비하여 높아졌으며, 복합악취 농도는 동일하게 나타났다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, EM제의 악취물질 분해가 35°C보다 20°C에서 활발한 것으로 예상된다.

4. 결론

본 연구에서 음식물쓰레기 보관(부패)과정에서 발생하는 대표적인 S계, N계 악취물질과 복합악취를 경과시간에 따라 측정하고, EM제 사용에 따른 악취 저감효과 평가 및 EM제의 미생물상 및 세균수의 변화를 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) S 계열 악취물질(H₂S, CH₃SH)의 경우 대조군에 비하여 실험군에서 발생농도가 낮게 나타나 EM제의 도포에 의한 악취 저감효과를 확인할 수 있었으며, N 계열 악취물질(NH₃, TMA)의 발생농도 0 ppm으로 나타나 가정에서의 음식물쓰레기에서 발생하는 악취는 N 계열에 비하여 S 계열 악취물질의 영향이 더 큰 것으로 해석되며, 악취 저감효과를 높이기 위해서는 N 계열보다는 S 계열 및 본 실험에서는 측정하지 않은 다른 악취물질의 영향이 더 클 것으로 예상되어 S 계열과 다른 악취물질의 발생 억제가 필요할 것으로

보인다.

2) CH₃CHO의 경우 EM제 도포 후 경과시간이 증가할수록 발생농도가 지속적으로 증가하거나 어느 시점에서 농도가 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 EM제의 도포에 따른 CH₃CHO 발생 영향을 확인해 본 결과, 고농도의 CH₃CHO는 EM제에서 발생하는 것으로 예상되며, EM제 분사로 인한 CH₃CHO의 발생 억제가 가능하다면 EM제의 악취 제거효과는 향상될 것으로 생각된다.

3) 복합악취의 경우 S 계열 악취물질과 마찬가지로 대조군에 비하여 실험군에서 배출 농도가 낮게 나타나 EM제 도포에 의한 악취 저감 효과를 확인할 수 있었다.

4) EM제와 음식물쓰레기 부패시 발생하는 침출수의 미생물을 분석한 결과, 대부분 유산균 군집으로 확인되었으며, EM제 원액과 실험군에서 발생한 침출수의 미생물 군집이 달리 나타나는 것으로 보아 음식물쓰레기의 분해에는 유산균이 아닌 다른 세균이 관여하고 있는 것으로 예상된다.

따라서 EM제 사용에 따른 악취 저감효과를 평가 및 EM제의 미생물상 및 세균수의 변화를 연구한 결과 S 계열 악취물질의 발생농도와 복합악취의 발생농도를 기준으로 EM제의 악취 저감효과는 확인되었다. 그러나, N 계열 악취물질의 발생 농도 확인, EM제 도포로 인한 CH₃CHO의 발생 영향 확인 및 EM제에 포함된 미생물 종과 악취 저감과의 관련성 등의 확인을 위한 다양한 조건에서의 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다. 또한 본 논문은 EM제의 악취 저감효과에 대한 정량적인 평가가 부족한 실정에 정량적 평가의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 보인다.

Acknowledgement

이 논문은 2015년도 서울특별시의 지원을 받아 수행되었음.

KSEE

References

- Kim, D. W., "A study on the odor reduction of food waste and by microorganisms," Master's Thesis, Hoseo University, Chungnam(2005).
- Kwon, B., Na, S., Lim, H., Lim, C. and Chung, S., "Slurry phase decomposition of food waste by using various microorganisms," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **36**(5), 303~310 (2014).
- Hong, K. H., Cha, J. D., Ko, Y. H., Lee, J. H., Lim, E. J. and Kim, K. S., "Evaluation of odor concentration for food waste compost facility," *Korean J. Odor Res. Eng.*, **5**(3), 151~155(2006).
- Choi, H. J., "The malodor deodorizing effect of EM (effective microorganism) in food garbage," Master's Thesis, Daegu University, Gyeongbuk(2011).

5. Kim, J. G., Song, H. I., Kim, B. R. and Kwon, G. A., "A study on emission characteristics of odor in food waste treatment facilities," In proceeding of the 49th meeting of Korean Society for Atmospheric Environment, Kunsan University, Kunsan, pp. 495~496(2009).
6. Jo, S. H., Kim, K. H., Jo, H. J., Lee, M. H., and Kim, Y. H., "Changes in odorant emission patterns of boiled egg samples between fresh and decayed stages," *Korean J. Odor Res. Eng.*, **11**(2), 151~155(2012).
7. Jung, J. E., Song, B. J., and Jung, S. R., "Removal of malodorous compounds from foodwaste treatment processing(II)," *Rep. Busan Inst. Health & Environ.*, **13**, 17~47(2003).
8. Kim, K. H., Kim, Y. H., Im, M. S., Park, S. Y., Hong, Y. J. and Choi, B. S., "Characterization of malodor release from decaying foods and tactics for odor control through microbial treatment," *J. Korean Soc. Environ. Anal.*, **9**(2), 74~83(2006).
9. Hong, O. F. and Kim, K. H., "The emission characteristics of reduced sulfur compounds in relation to food decay," *Korean J. Odor Res. Eng.*, **8**(1), 12~19(2009).
10. Moon, Y. H., Lee, K. B., Kim, Y. J. and Koo, Y. M., "Current status of EM (effective microorganisms) utilization," *Korean Soc. Biotech. Bioeng. J.*, **26**(5), 365~373(2011).
11. Kang, K. H., Kam, S. K., Hu, C. G. and Lee, M. G., "Comparison of reduction effect of contaminants and odor according to DO change and EM addition in maturation process of piggery slurry," *J. Environ. Sci.*, **15**(6), 563~569(2006).
12. Lee, J. H., Joeng, J. O. and Park, S. H., "A study on the composting process of food waste by seeding the isolated effective microorganism," *J. Environ. Hith. Soc.*, **26**(3), 1~10(2000).
13. Ko, S. C., Song, Y. C. and Kim, I. S., "Efficient treatment of food wastes by EM (effective microorganisms) and their recycling," *J. Korean Solid Wastes. Eng. Soc.*, **14**(7), 729~740 (1997).
14. Roh, S. H. and Kim, S. I., "The effect of effective microorganisms on biological nutrient removal in SBR process," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **10**(1), 369~372(2006).
15. Lee, Y. H., "Environmental purification using effective microorganisms," Master's Thesis, Kyungsoong University, Busan (2004).
16. Park, S. J., Kim, H. K., Lee, M. Y., Kil, K. B. and Hwang, J. B., "Experimental on the odor removal emitted from sewer using microbial deodorants," *Proc. Korean J. Odor Res. Eng.*, pp. 35~37(2010).
17. Chen, S. J., Hsieh, L. T., Hwang, W. I., Xu, H. C. and Kao, J. H., "Abatement of odor emissions from landfills using natural effective microorganism enzyme," *Aerosol Air Qual. Res.*, **3**, 87~99(2003).
18. Ministry of Environment, "Odor analysis method in South Korea," pp. 29~45(2014).