

## 유용미생물(EM)을 활용한 음식물쓰레기의 악취저감 효율 평가

대기화학팀 · 먹는물분석팀\*

김영두 · 김창모 · 김은숙 · 최인석 · 문병진 · 남경래 · 김상수  
전병모 · 최현숙\* · 박진아<sup>B\*</sup> · 김현정\* · 윤중섭 · 어수미

## A Study on the Odor Removal Efficiency of Food Wastes using Effective Microorganisms(EM)

*Atmospheric Chemistry Team · Drinking Water Analysis Team\**

**Young-doo Kim, Chang-mo Kim, Eun-sook Kim, In-suk Choi,  
Byeong-jin Moon, Kyung-rae Nam, Sang-soo Kim,  
Byung-mo Jeon, Hyun-suk Choi\*, Jin-a Park<sup>B\*</sup>,  
Hyun-jung Kim\*, Joong-seop Yun and Soo-mi Eo**

### Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of reducing the odors during decomposition of food wastes using effective microorganisms(EM) at varying temperatures. The variation of total microbial counts and dominant species counts of EM and leachate produced during food wastes decomposition were also observed. The major odorous substances compounds released from food wastes were sulfur compounds. Odor occurrence rates were in the order of methyl mercaptan > hydrogen sulfide > dimethyl sulfide. In the summer, EM were found to be effective at reducing common odorous compounds such as ammonia, while the removal efficiency for sulfur compounds was low. Acetaldehyde concentrations were observed to be increased high at all temperature conditions, and were found to be generated by the activated EM themselves. However, the nitrogen compounds(ammonia, trimethylamine) were not observed in all samples. In the summer, the effect of reducing the odor by the EM was not effective in removing odors at the high temperatures, while it was high effective in removing odors at the low temperatures. Therefore, the effect of EM's reducing efficacy was observed to be most affected by the temperature dependent. The Microbial analysis after injection of EM into food wastes showed that the lactic acid bacteria were dominant in the leachate. At laboratory temperatures from 19°C to 24°C, the distribution

rate of microbes in the experimental group was 60% of lactic acid bacteria, 34% of yeast, and 6% of decaying bacteria, while the control group consisted of 57% of lactic acid bacteria, 32% of yeast, and 11% of decaying bacteria in control group. Thus, EM are considered effective for odor reduction at low temperatures.

**Key words :** EM(effective microorganisms), food wastes, microbial, distribution rate

## 서론

도시 규모의 확대와 생활수준의 향상으로 인하여 음식물쓰레기는 점차 대량으로 배출되고 있으며, 이로 인해 주거지 주변의 악취 민원은 생활악취 배출원을 대상으로 증가 추세에 있다. 악취는 황화수소, 메르캅탄류, 아민류 그 밖의 자극성이 있는 기체상태의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 정의한다(1). 악취강도는 개인적 성향에 따라 악취 정도가 판단되기 때문에 정량적 측정이 어려우며, 인간의 후각 능력에 따라 악취물질의 냄새를 식별하는데 개개인의 특성이나 계절적 변화에 따라 피해정도가 다르게 나타난다(2). 또한 악취 발생의 특성은 산업 시설과 일상 생활의 모든 분야에서 다양하게 발생하며 순간적으로 소멸되기 때문에 다른 대기오염 물질과 달리 악취저감 방법에는 한계가 있다. 특히 대도시에서 가장 크게 문제가 되고 있는 음식물쓰레기처리시설은 처리장소의 부족으로 음식물쓰레기 처리문제가 날로 심각해지고 있다. 우리나라의 음식물쓰레기는 국과 찌개류가 주류를 이루고 80% 이상의 높은 수분 함량과 부패되기 쉬운 유기물질을 함유하고 있어 처리가 곤란하고 악취 및 침출수가 발생하여 환경오염을 유발하고 있다(3). 각 가정에서도 여름철 음식물쓰레기 보관 시에 발생하는 악취 때문에 음식물쓰레기 보관에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 이러한 문제점과 더불어 환경부에서는 1995년 생활폐기물을 대상으로 쓰레기종량제가 도입된 이후 음식물쓰레기도 지속적인 감량화 정책의 대상이 되어 왔다(3). 2013년에는 음식물쓰레기 해양투기가 전면 금지되면서 음식물쓰레기의 발생량 저감을 위한 노력과 함께 음식물쓰레기종량제 도입을 전국적으로

확대 시행하게 되었다. 이에 각 지자체에서는 음식물쓰레기의 악취 저감과 감량화를 위한 대응방안으로 공동주택의 음식물쓰레기를 신속하게 처리하고 아울러 자원화 및 음식물쓰레기 종량제 도입 등 다양한 정책을 추진하고 있다.

환경부 자료(3)에 의하면 음식물쓰레기의 주요 발생원은 단독주택, 공동주택, 집단급식소, 대형음식점, 유통과정 등에서 주로 발생하며 가정과 소형음식점에서 전체 음식물쓰레기의 70%가 발생하고 있다(4). 2014년 기준으로 전체 생활폐기물 발생량은 하루 49,915톤이며, 그 중에서 음식물쓰레기는 13,698톤인 27.4%를 차지하고 있다. 서울지역의 경우에도 하루 평균 음식물쓰레기 발생량은 2014년 3,181.1톤, 2015년 3,165.8톤, 2016년 3,075.0톤으로 약간 감소 추세에 있으나 전국 하루 1인당 0.26 kg과 비교하여 최고의 수준으로 하루 0.31 kg의 음식물쓰레기를 배출하고 있다(5). 이에 서울시에서는 2018년까지 음식물쓰레기 발생량을 20% 감축을 목표로 무선인식(RFID) 대형감량기를 보급하는 등 음식물쓰레기 감축을 위한 다각적인 정책을 시행하고 있다.

일반적으로 악취물질을 제거하는 방법에는 활성탄을 이용한 흡착기술을 가장 많이 활용하고 있으며, 이 외에도 약액세정법, 토양탈취법 및 악취처리 미생물을 고정화시킨 바이오필터 등이 이용되고 있다(6, 7). 최근에는 친환경 음식물쓰레기를 처리하는 방법으로 미생물제제를 이용한 연구가 다각도로 시도되고 있으며, 이 중 유용미생물(EM)을 이용한 음식물쓰레기 처리방법이 주목을 받고 있다. 각 지자체에서도 지역 주민들에게 EM 활성액을 무료로 보급하고 시민홍보를 통한 실생활에서의 다양한 방면에 활용을 적극 권장하고 있다.

유효미생물(Effective Microorganisms, EM)

은 광합성세균, 유산균, 효모, 방선균 등 10속 80여종의 다양한 미생물로 구성된 EM제를 말하며, 그 활용 범위가 점차 확산되고 효과가 입증됨에 따라 일본을 비롯한 아시아 국가와 전 세계 143개국에서 EM을 다양한 분야에서 사용하고 있다(8~11). 우리나라에서도 환경 분야에서 수질정화, 악취제거, 유류분해, 음식물쓰레기의 유기퇴비화, 새집증후군의 예방 등 다양한 방면에 활용되고 있다. 최근에는 구제역과 조류인플루엔자(AI) 매립지역, 축산시설, 음식물쓰레기처리시설, 하수처리시설 등 현장에서 악취물질을 저감하기 위한 유용미생물제제의 활용사례가 증가 추세에 있다(8). 윤(9)의 연구에서는 EM을 이용한 발효폐액의 악취저감 실험에서 황화수소의 경우 10배 이상이 저감되었고, 메틸머캅탄의 경우 3배 이상 저감되었으며, 암모니아는 완전히 제거되었음을 확인하였다. 최(11)는 EM을 이용한 계절별 악취저감 효과 실험에서 기온이 높은 여름철에는 악취 저감 효과가 미미한 것을 확인하였으며, 박 등(12)은 미생물 탈취제 주입 후 황화수소 농도가 1시간 경과 시 67~78%, 3시간 경과 시 85~90% 제거율을 나타내었다. 이와 같이 유용미생물의 활용분야가 점차 확대되고 여러 분야에서 유용미생물(EM)의 유용한 효과는 일부 입증되고 있으나, EM제의 유용 미생물에 대한 실험적인 분석은 미흡한 실정므로 지속적인 연구가 진행되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 가정용 음식물쓰레기 수거통을

이용하여 음식물쓰레기의 부패과정에서 미생물 분석 및 악취발생 특성에 대한 EM의 효과를 연구하였다. 또한 유용미생물(EM)의 사용에 따른 악취저감 효과와 EM의 세균수 변화 등 상호 관련성을 규명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 음식물쓰레기 조성 및 EM 활성화

실험에 사용된 음식물쓰레기는 서울시보건환경연구원 구내식당에서 남은 잔반을 수거하여 사용하였으며, 음식물쓰레기를 대상으로 온도 영향 및 EM 활성화 주입에 따른 악취저감 효과를 총 2회에 걸쳐 실시하였다. 실험기간은 기온이 높은 하절기인 2017년 8월과 9월로 5주 동안 실험실 내부의 평상시 온도 환경 조건에서 음식물을 일부 부패시키고 이들 부패 음식물로부터 악취의 발생 특성을 조사하였다. 각 실험에 사용된 음식물쓰레기의 조성은 표 1과 같다. 침출수로는 찌개국물을 소량 사용하였다. 1차 실험은 실험실 온도가 19~24℃의 환경조건에서 수행하였으며, 이때 사용된 음식물쓰레기의 조성은 곡류 34.5%, 어육류 24.9%, 채소류 16.7% 및 과일류 15.3%의 비율이었다. 또한 2차 실험은 26~32℃에서 수행하였으며, 곡류 32.5%, 어육류 27.0%, 과일류 17.4% 및 채소류 16.3%의 조성으로 구성하였다. 분석대

**Table 1.** Physical composition of food waste samples

Food waste composition	Physical composition			
	1 <sup>st</sup> sample(19~24℃)		2 <sup>nd</sup> sample(26~32℃)	
	Ratio(%)	Weight(g)	Ratio(%)	Weight(g)
Garden stuff	16.7	58.6	16.3	55.3
Fruits	15.3	53.5	17.4	59.2
Grain	34.5	120.6	32.5	110.4
Meat and fish	24.9	87.0	27.0	91.8
Leachate	2.7	9.3	2.8	9.6
Etc.	6.0	21.0	4.0	13.7
Total	100	350	100	340

상 악취물질은 지정악취물질인 황화수소( $H_2S$ ), 메틸머캅탄( $CH_3SH$ ), 디메틸설파이드( $(CH_3)_2S$ ) 등 황화합물 3종, 아세트알데하이드( $CH_3CHO$ ) 그리고 질소산화물인 암모니아( $NH_3$ )와 트리메틸아민( $(CH_3)_3N$ )등 이다.

실험 장치는 그림 1에서와 같이 4.8 L 용량 2개의 가정용 음식물쓰레기 수거통에 동일한 양의 음식물쓰레기를 넣고 실험군으로 EM 활성액과 대조군으로 증류수 분사에 따른 악취 발생 특성을 파악하였다. 음식물쓰레기에 주입된 증류수 및 EM 활성액은 동일한 양인 40 mL를 첨가하였으며 분사 후 음식물쓰레기와 충분히 혼합하였다. 실험 중 경과 시간(day)에 따른 악취가스 포집은 뚜껑 상단에 설치된 포트를 통하여 2~3일 간격으로 Polyester Aluminum bag(Top-trading, Korea)에 포집하고 가스검지관(Gastec, GV-110S, Japan)을 이용하여 악취분석을 실시하였다.

유용미생물(EM)은 국내 A사로부터 EM 활성액을 구입하여 실험에 사용하였으며, 구매한 EM 활성액 제품에 함유된 미생물의 종 구성에 관한 정확한 정보는 확인이 불가능하였다. 이에 미생물 종별 개체수 분석을 위하여 세균 배양실험은 각 항목에 해당하는 선택배지를 사용하여 표 2에서와 같이 세균별 배양조건에 따라 실험을 수행하였다. 총 세균수를 포함한 5종 항목에 대해 배양 후 최종 집락수가 30~300개의 범위 내에 포함되도록 희석배수를 사전 실험을 통해 결정하고 최종 배양 후의 집락수를 계수하여 CFU/mL로 나타내었다.

## 2. EM 활성액의 악취저감 평가

EM 활성액의 악취저감 효율을 평가를 위하여 표 3과 같이 가스검지관을 이용하여 황화수소, 메틸머캅탄, 디메틸설파이드, 아세트알데하이드, 암모니아, 트리메틸아민 등 지정악취물질을 측정하였다. 일반적으로 가스검지관은 대기 중의 가스성분의 검출 및 정량분석에 쓰이는 방법으로 특정가스와 선택적으로 반응하여 색을 발현하는 물질을 충전시킨 검지관을 이용하여 각 물질별로 농도를 측정하는 방법이다. 본 실험에 사용된 EM 활성액 제품에 함유된 주요 미생물 군을 파악하기 위하여 제품의 보존 경과에 따른 총 세균수, 유산균, 효모, 부패균 등의 종 구성과 개체수를 비교하였다. 이번 실험에서는 EM 활성액의 주요 미생물인 광합성세균에 대한 미생물 분석은 준비과정의 미흡과 난해한 실험으로써 제외하였다. 또한 음식물쓰레기의 악취물질 저감과 미생물의 활동 변화를 평가하기 위하여 실험실 온도변화 19~24°C의 환경 조건에서 수행한 14일 경과 후의 음식물쓰레기의 침출수를 일부 채취하여 미생물 종과 개체수를 확인하였다.

## 3. EM 활성액을 이용한 악취가스 저감 실험

EM을 이용한 음식물쓰레기에서 주로 발생하는 악취물질의 제거 효율을 고찰하기 위해 추가 실험을 하였다. 즉 2종의 혼합 황화합물 표준가스(황화수소, 메틸머캅탄)와 음식물쓰레기처리장의 침출수에서 발생하는 고농도의 암모니아 악취가스를

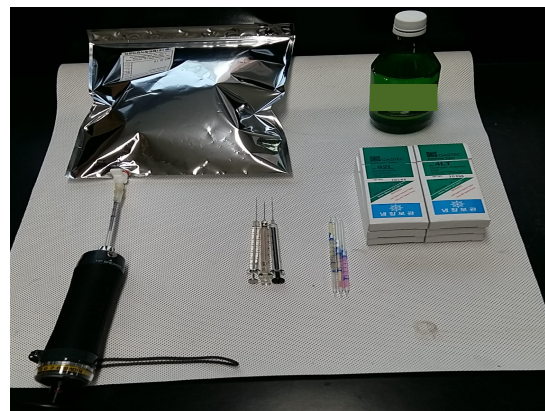


Fig. 1. Photographs of the reactor for decomposition of food wastes and odor measurement.

**Table 2.** Culture method of major microorganism

Microbe	Medium	Culture condition	pH
Total viable bacteria	Plate count agar	Aerobic incubation at 37°C for 72h	
Lactic acid bacteria	Bromo cresol-purple agar	Anaerobic incubation at 37°C for 48h	
Yeast	Yeast peptone dextrose agar	Aerobic incubation at 37°C for 48h	3.8
<i>Clostridium spp.</i>	Tryptose sulfite cycloserine agar	Anaerobic incubation at 37°C for 48h	
Coliforms	Desoxycholate agar	Aerobic incubation at 37°C for 24h	

**Table 3.** Detector tube for sensing the presence of the odorous substances

Odor compounds	Detector tube	Model	Detection limit(ppm)
Sulfur compounds	Hydrogen sulfide(H <sub>2</sub> S)	4 LT	0.05
	Methyl mercaptan(CH <sub>3</sub> SH)	70 L	0.1
	Dimethyl sulfide(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	53	0.15
Nitrogen compounds	Ammonia(NH <sub>3</sub> )	3 L	0.2
	Trimethylamine((CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N)	180 L	0.5
Aldehydes	Acetaldehyde(CH <sub>3</sub> CHO)	92 L	1.0

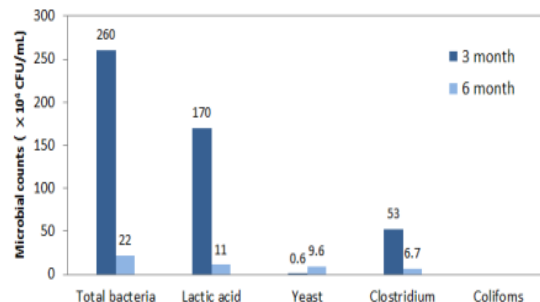
3 L Polyester Aluminum bag에 포집한 다음 증류수 및 EM 활성액을 미량 주사기로 분사하고 반응시킨 후 시간 경과에 따른 각 악취물질의 농도 감소율을 평가하였다. 표준가스는 황화합물 중 혼합 표준물질(황화수소, 메틸머캅탄)인 2 ppm을 Polyester Aluminum bag에 2 L를 넣고 EM 활성액 및 증류수 2 mL씩을 분사한 후 경과시간(time)에 따른 농도변화를 평가하였다. 또한 현장 악취시료를 이용한 암모니아 악취 가스는 5 ppm을 Polyester Aluminum bag에 1 L를 넣고 EM 활성액 및 증류수를 0.2 mL씩을 주입 한 후 시간 대별로 암모니아 농도변화를 평가하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. EM 활성액 보존 경과시간에 따른 미생물 종 조성 변화

통상적으로 시중에서 판매되고 있는 EM 활성액의 권장 사용기간은 제조일로부터 약 1년으로 예

상보다 유효기간이 매우 짧은 것으로 확인되었다. 그림 2에서와 같이 EM 미생물의 종 조성 분석결과, 보존기간 3개월 경과 시에는 유산균이 총 세균수의 65.4%인  $170 \times 10^4$  CFU/mL을 차지하였고, 효모는 전체 미생물수의 0.2%인  $0.6 \times 10^4$  CFU/mL로 계수되었다. 이에 반해 6개월 경과 시에는 유산균이  $11 \times 10^4$  CFU/mL로 총 세균수의 50.0%로 계수되었으며, 효모는  $9.6 \times 10^4$  CFU/mL로 43.6%를 차지하였다. 이와 같이 보존 경과시

**Fig. 2.** Change of microbial counts according to the retention period.

간에 따라 EM 활성액의 미생물 중 유산균의 개체수가 급격하게 감소하였음을 확인하였다. 이는 EM의 발효과정에서는 미생물의 증식이 가능하지만 EM 활성액 제품에서는 유용미생물의 생존기간과 보관상태 등의 영향으로 미생물 개체수가 감소된 것으로 사료된다. 유용미생물(EM) 중 유산균은 유기물을 빠르게 분해하여 lactic acid, acetic acid 등의 유기산을 생산하며 유해한 균의 증식을 막는 것으로 알려져 있다(9). EM 활성액의 미생물 비교 분석을 좀 더 구체적으로 설명하면, 보존기간 3개월 및 6개월 경과 시에 총 세균수는 각각  $260 \times 10^4$  CFU/mL,  $22 \times 10^4$  CFU/mL로 나타나 약 12배가 감소하였다. 유산균은  $170 \times 10^4$  CFU/mL,  $11 \times 10^4$  CFU/mL로 약 15배가 감소하여 보존경과에 따라 미생물 개체수에 많은 차이를 보이고 있다. 이때의 EM 활성액 중 우점종은 유산균으로 3개월 경과 시에는 총 세균수의 65.4%를 차지하였으나, 6개월 경과 시에는 50%로 감소하였으며, 효모는 오히려 0.2%에서 43.6%로 높게 증가하는 것으로 나타났다. 반면, 악취발생에 직접적으로 관여하는 부패균도 3개월 및 6개월 경과 시에 각각  $53 \times 10^4$  CFU/mL,  $6.7 \times 10^4$  CFU/mL로 나타나 일부 존재하는 것으로 파악되었으며, 대장균인 병원성 균은 불검출을 보였다. 일반적으로 EM 활성액의 보존기간은 약 1년으로 온도 및 보관 장소 등의 환경 조건과 EM 활성액 제품의 개봉에 의한 잡균의 접촉에 의해 제품의 품질이 저하될 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 개봉 후에는 가능한 권장 보존기간을 준수하고 보관 및 사용방법 등을 정확하게 숙지하여 실생활에 활용하는 것이 EM

활성액의 효과를 지속적으로 유지할 수 있을 것으로 생각된다.

## 2. 악취가스 시료(Polyester Aluminum bag)에 대한 악취저감 효과

악취 성분 중 대표적인 악취물질인 음식물쓰레기처리장에서 직접 시료를 채취한 암모니아 가스와 표준물질 중 황화합물의 황화수소, 메틸머캅탄 등 2종의 혼합 표준가스를 선정하여 증류수 및 EM 활성액을 주입한 후 악취저감 실험 결과를 그림 3, 4에 나타내었다.

실험에 사용된 EM 활성액은 pH가 3.8로 매우 강한 산성을 나타내었다(표 2). 그림 3은 음식물쓰레기처리장에서 발생하는 침출수의 악취가스를 Polyester Aluminum bag 3L에 1L를 넣고 증류수 및 EM 활성액을 각각 0.2mL씩 분사 주입한 후 시간 경과에 따른 암모니아 농도 변화를 나타낸 것이다. 현장 악취물질의 최초 암모니아 농도는 5 ppm이며, 증류수를 분사한 다음 20분 경과

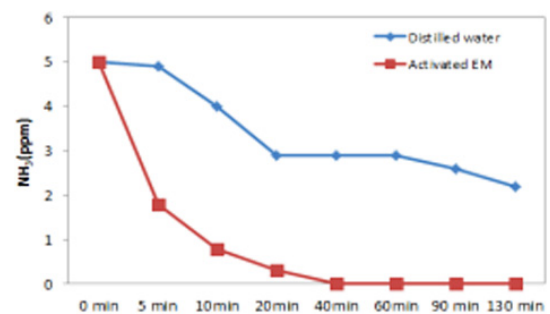


Fig. 3. Concentration change of ammonia after the injection of Water and EM.

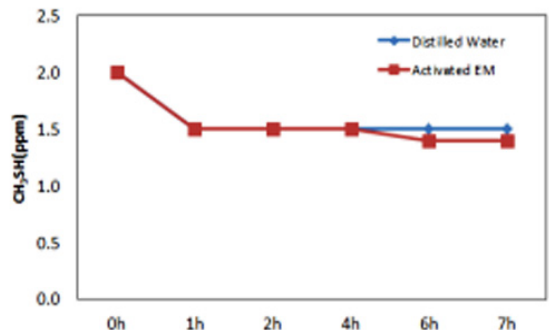
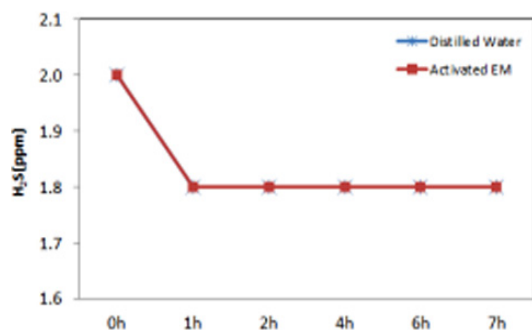


Fig. 4. Concentration change of sulfur compounds after the injection of Water and EM.

후의 농도는 2.9 ppm이었고, 최종 130분 후에는 2.2 ppm으로 56%의 감소율을 보였다. EM 활성액의 경우에는 20분 경과 후에 최초 농도 5 ppm에서 0.3 ppm으로 94%의 감소율을 나타냈으며 40분 후에는 제거 효율이 100%로 불검출을 보였다. 이는 pH 3.8의 강산성인 EM 활성액을 암모니아 가스에 분사할 경우 중화반응에 의해 대부분 암모니아 가스와 상호 접촉하여 물리적으로 암모니아 가스를 흡수 중화시킴으로써 제거된 것으로 판단된다.

반면 그림 4는 황화합물인 황화수소와 메틸머캅탄은 표준물질 2 ppm을 3 L Polyester Aluminum bag에 2 L을 포집하여 EM 활성액 및 증류수를 2 mL 분사한 후 시간 경과에 따른 농도변화를 확인하였다. 황화수소의 경우 초기농도 2 ppm에 증류수와 EM 활성액을 주입하고 1시간 경과 후 1.8 ppm으로 동일한 농도 수준을 유지하였으며, 메틸머캅탄 역시 1시간 경과 후에 1.5 ppm으로 유사한 농도 수준으로 실험 종료시간까지 유지하였다.

이때의 황화수소와 메틸머캅탄의 각 악취물질 제거효율은 10%와 25%를 나타내어 암모니아와 비교하였을 경우 제거효율이 매우 미미한 수준으로 나타났다. 이상의 Polyester Aluminum bag을 이용한 악취 가스물질에 대한 실험결과로 볼 때, EM 활성액을 이용한 악취 제거효율은 악취 가스 물질인 산성 및 염기성 악취물질의 성분에 따라 많은 차이를 보였다. EM 활성액은 인체와 자연환경에 무해한 것으로써 고농도의 악취발생 현장에서 사용한다면 악취가스상 물질에 대한 중화반응 및 유용미생물을 활용한 악취물질을 저감하는데 유용할 것으로 사료된다. 암모니아 악취 가스물질에 대한 EM 활성액의 처리효율 실험에서는 중화반응을 확인한 것으로 염기성 악취물질인 암모니아에는 악취 저감 효과가 뛰어난 것으로 나타났으나 산성물질인 황화수소 및 메틸머캅탄의 황화합물에는 상대적으로 효과가 미미한 것으로 확인되었다. 일반적으로 황화수소와 암모니아의 경우에는 물에 용해되기 때문에 물에 의해서도 일부 악취물질이 제거되며, 기체 용해도는 압력과 온도의 변화에 의해 저감되는 것으로 알려져 있다. 기존의 연구문헌(13, 14)에 의하면 온도 10~40°C

에서 암모니아의 경우 물에 의한 용해도는 24.0~40.6(wt%)이고, 황화수소의 경우에도 암모니아와 동일하게 물에 쉽게 용해되는 물질로써 2.92~6.12(g/L)의 용해율을 보였다고 하였다. 따라서 악취가스상 물질을 대상으로 한 Polyester Aluminum bag 실험에서는 EM의 미생물에 의한 효과보다는 악취물질의 산도(pH)에 따른 중화반응에 더 큰 영향을 받는 것으로 해석된다.

### 3. EM을 이용한 음식물쓰레기 악취물질 저감

현행 악취방지법에서는 2010년부터 총 22개 악취물질을 지정악취물질로 정하여 관리하고 있으며, 그 중 음식물쓰레기에서 발생하는 대표적인 악취 원인물질로 알려진 황화합물 중 황화수소, 메틸머캅탄, 디메틸설파이드, 질소산화물인 암모니아, 트리메틸아민 그리고 아세트알데하이드 등 총 6종의 악취물질을 분석하였다. 실험실 온도 조건에 따른 악취물질 측정은 음식물쓰레기통 반응기 내의 악취물질을 포집하여 가스검지관을 이용하여 측정한 결과를 표 4에 나타내었다. 실험실 온도 19~24°C의 환경 조건에서는 아세트알데하이드를 제외하고는 황화합물에서 실험군이 대조군과 비교하여 악취저감 효과가 매우 뛰어난 것으로 확인되었다.

황화수소의 경우, 실험 당일의 증류수 분사의 대조군과 EM 활성액 분사의 실험군에서 4시간 경과 후 측정농도는 각각 3.0 ppm과 1.4 ppm으로 나타났으며, 음식물쓰레기 부패 경과 기간이 지날수록 대조군에서 점차 농도가 증가하여 실험 종료일인 14일차에는 각각 7.1 ppm과 1.3 ppm으로 나타났다. EM 활성액을 분사한 실험군의 경우에는 대조군과는 달리 4일차까지 1.9 ppm으로 최고 농도를 보였으며, 그 이후에는 점차 감소하며 1.3 ppm 정도로 실험 종료일까지 일정한 농도 수준을 유지하였다.

메틸머캅탄의 경우, 황화수소와 동일한 농도 변화 추세를 보였으며, 대조군에서 실험 당일 3.5 ppm으로 측정되었으며 시간이 경과할수록 악취농도가 점차 증가하여 4일차에는 8.1 ppm의 최고치를 나타내었다. 그 이후에는 실험 종료일인 14일차까지 6.8~7.7 ppm으로 높은 농도 수준을 유지

하였다. EM 활성액을 분사한 실험군에서는 대조군과는 달리 상대적으로 낮은 농도 수준을 유지하며 실험 당일에는 1.2 ppm을 나타내었다. 실험 종료일인 14일차에는 0.9 ppm으로 악취발생 농도가 가장 낮은 농도를 보이며 악취물질이 저감되었음을 확인하였다.

반면, 아세트알데하이드의 경우 실험 당일에는 대조군과 실험군 그리고 저온(19~24°C) 및 고온(26~32°C)의 환경 조건에서 모두 불검출을 나타냈으나, 2일차 이후부터는 아세트알데하이드 물질이 고농도로 검출되기 시작하였다. 대조군의 경우 2일차에 1.8 ppm으로 측정되었으며 9일차까지 2.6 ppm으로 꾸준히 증가하였다. 실험군에서는 2일

차에 3.2 ppm으로 높은 농도를 보이며 대조군과 비교하여 높은 농도로 발생되었다. 또한 실험기간 중 아세트알데하이드의 평균농도는 저온(19~24°C)인 경우, 대조군과 실험군에서 각각 1.8 ppm 및 2.9 ppm을 나타냈으며, 고온(26~32°C)의 환경조건에서도 각각 5.0 ppm 및 8.1 ppm으로 실험군에서 오히려 높은 농도를 보였다. 이는 음식물쓰레기의 부패에서 발생하는 아세트알데하이드 농도와 EM 활성액 자체의 제품에서 발생하는 것으로 판단되며, 이는 김 등(8)의 연구와도 유사한 결과로 확인되었다. 이와는 달리 실험실 온도가 높은 26~32°C의 환경 조건에서는 황화합물과 아세트알데하이드 등 모든 악취물질의 검사 항목이 실험군

**Table 4.** Concentration change of odorous substances released during the decomposition of food wastes (unit : ppm)

Temp. °C	Elapsed day	H <sub>2</sub> S		CH <sub>3</sub> SH		DMS <sup>c)</sup>		CH <sub>3</sub> CHO		NH <sub>3</sub>		TMA <sup>d)</sup>	
		Control <sup>a)</sup>	Exp. <sup>b)</sup>	Control	Exp.	Control	Exp.	Control	Exp.	Control	Exp.	Control	Exp.
19~24	0	3.0	1.4	3.5	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	5.1	1.7	5.9	2.3	1.8	0.9	1.8	3.2	0	0	0	0
	4	7.6	1.9	8.1	2.7	2.4	1.8	2.0	3.4	0	0	0	0
	7	6.3	1.4	7.4	2.6	0.6	0.6	2.2	3.9	0	0	0	0
	9	6.5	0.9	6.8	1.4	0.5	0.5	2.6	3.1	0	0	0	0
	12	6.7	1.3	7.4	1.7	0	0	1.9	3.7	0	0	0	0
	14	7.1	1.3	7.7	0.9	1.0	1.0	2.3	2.9	0	0	0	0
26~32	0	1.2	3.2	2.5	6.6	1.8	1.1	0	0	0	0	0	0
	2	1.4	3.8	2.8	8.0	2.1	2.1	1.0	4.0	0	0	0	0
	4	3.2	4.0	6.2	8.0	2.3	2.3	4.3	10.1	0	0	0	0
	7	3.7	4.5	6.0	8.4	2.5	1.3	8.2	14.9	0	0	0	0
	9	3.6	4.0	6.4	6.4	0.9	0.9	8.3	12.3	0	0	0	0
	11	3.3	4.0	3.6	6.6	0.8	0.7	4.2	8.1	0	0	0	0
	13	3.2	3.2	4.0	5.2	0.6	0.6	13.2	15.2	0	0	0	0
	15	3.2	3.4	3.3	5.1	0.5	0.3	4.2	6.9	0	0	0	0
17	2.0	2.0	2.3	3.0	1.0	1.0	2.0	1.0	0	0	0	0	

<sup>a)</sup>Control group, <sup>b)</sup>Experimental group, <sup>c)</sup>Dimethylsulfide, <sup>d)</sup>Trimethylamine



에서 오히려 대조군과 비교하여 높게 발생하였다.

김 등(8)의 연구에서도 온도변화(20℃, 35℃)에 따라 총세균수에서 많은 차이를 보였는데, 이는 유용미생물의 경우에는 높은 온도 조건에서는 유용미생물의 활동이 저하되고 오히려 부패균의 활동이 활발해지면서 악취물질이 높게 나타나는 것으로 사료된다.

황화수소의 경우, 실험 당일의 대조군과 실험군에서 4시간 경과 후 각각 1.2 ppm과 3.2 ppm으로 나타났으며, 음식물쓰레기 부패 경과 기간이 지날수록 점차 농도가 증가하여 실험 경과 7일차에는 각각 3.7 ppm과 4.5 ppm으로 최고 농도를 보이며, 실험군에서 더 높은 농도로 악취물질이 발생되었다. 그 이후에는 점차 감소하며 실험 종료일인 17일차에는 2.0 ppm으로 유사한 농도수준을 유지하였다.

메틸머캅탄의 경우에도 황화수소와 유사한 악취 발생 추이를 나타내며, 대조군에서의 악취발생 농도 범위는 2.3~6.4 ppm의 농도를 나타냈으며, 실험군에서는 3.0~8.4 ppm의 농도 범위로 측정되어 EM 활성액을 분사한 실험군에서 역시 높은 농도를 보였다. 또한 아세트알데하이드에서는 다른 황화합물과 비교하여 훨씬 높은 농도 범위로 악취물질이 발생되었으며, 대조군에서는 최고 농도가 13.2 ppm, 실험군에서는 15.2 ppm으로 상당기간 높은 농도를 유지하였다. 반면 질소산화물인 암모니아와 트리메틸아민은 높은 온도 조건에서도 전혀 측정되지 않았다. 위의 결과와 같이, 가정용 음식물쓰레기에서는 황화수소, 메틸머캅탄, 디메틸설파이드 등의 황화합물이 고농도로 검출되었으며, 암모니아와 아민류 등의 질소산화물은 모든 환경조건에서 불검출을 보였다. 따라서 EM 활성액을 음식물쓰레기에 주입한 결과 온도 변화에 따라 악취저감 효과에 뚜렷한 차이를 보였는데, 이는 EM 활성액이 여름철의 높은 온도 조건에서는 유용미생물의 활성도가 약하고 악취를 유발하는 부패균의 활성이 촉진되면서 유용미생물에 의한 악취 저감 효과는 오히려 저하되는 것으로 사료된다. 반면, 낮은 온도에서는 악취유발 물질인 부패균의 활성이 약해지면서 악취 저감에 높은 효과를 보인 것으로 해석된다(그림 6). 향후 본 실험

에서 확인되지 않은 암모니아, 아민류 등 질소산화물의 악취물질에 대한 추가적인 실험을 통하여 악취저감 효과에 대한 명확한 규명이 필요할 것으로 사료된다.

#### 4. 악취물질 저감 및 미생물 개체수의 변화

음식물쓰레기의 악취물질 저감과 미생물의 활동 변화를 관찰하고자 음식물쓰레기 수거통 내의 미생물 개체수 변화를 조사하였다. 미생물 분석은 실험실 온도 변화가 19~24℃에서 진행한 것으로 EM 활성액 및 증류수를 분사 한 다음 14일이 경과한 후 음식물쓰레기의 침출수를 일부 채취하였다. 미생물 실험을 위해 5 mL의 침출수를 채취하여 증류수로 50 mL로 채운 다음 미생물 분석을 실시하였다. 그림 5는 음식물쓰레기 수거통 내의 증류수 및 EM 활성액 분사 후의 미생물의 종과 개체수를 나타낸 것이다.

유용미생물의 실험군과 대조군의 총 세균수는 각각  $1.4 \times 10^8$  CFU/mL,  $4.3 \times 10^8$  CFU/mL으로 비슷한 개체수를 나타내었다. 유산균은  $1.8 \times 10^8$  CFU/mL,  $6.8 \times 10^8$  CFU/mL이며, 효모는  $1.0 \times 10^8$  CFU/mL,  $3.8 \times 10^8$  CFU/mL이었다. 미생물 종 조성을 분석한 결과, 모든 유용미생물의 개체수가 증류수를 주입한 대조군에서 약간 높게 검출되었다. 이는 실험군에 주입된 EM 활성액의 pH가 3.8로 강산성을 나타내어 유용미생물의 서식환경에 악영향을 준 것으로 사료된다. 윤(9)의 연구에 의하면, 유산균이 우점화한 상황에서는 유산균이 생성하는 lactic acid 및 acetic acid 등의 유기산

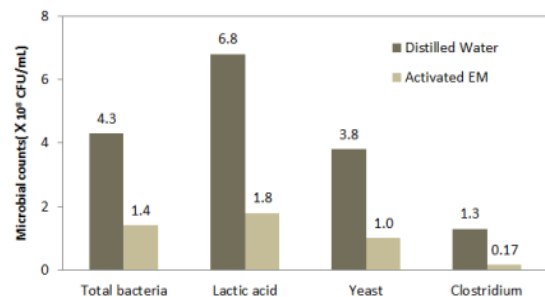


Fig. 5. Comparison of microbial counts of water and activated EM during food wastes decomposition at 19~24℃.

에 의해 배양액의 산도가 증가하여 유용미생물의 핵심 균주인 광합성세균의 성장과 생존조건에 적합하지 않게 된다고 하였다. 또한 pH를 5.0 이상으로 유지시켜 주었을 때에 비로소 유산균과 효모, 광합성세균의 공생이 가능하였으며, 그 때의 항산화 효과는 두 배의 수치를 보였다고 하였다.

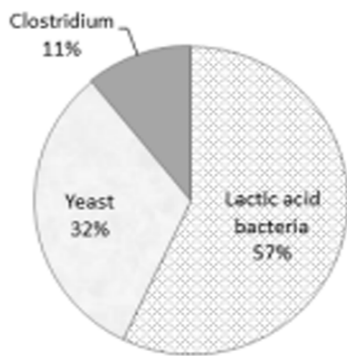
반면 악취물질의 발생에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 부패균은 EM 활성액을 분사한 실험군에서는  $1.7 \times 10^7$  CFU/mL로 대조군의  $1.3 \times 10^8$  CFU/mL과 비교하여 약 8배 차이의 낮은 검출을 보였는데, 이는 부패균이 악취발생에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 해석되었다. 그림 6은 각 미생물 분포율을 나타낸 것으로 EM 활성액을 분사한 경우에는 유산균 60% > 효모 34% > 부패균 6% 순으로 나타난 반면, 증류수를 분사한 경

우에는 유산균 57% > 효모 32% > 부패균 11%로 나타나 EM 활성액을 분사한 실험군에서 유용미생물의 분포도가 더 높은 것으로 나타났다. 따라서 유용미생물의 최적의 환경조건을 유지하기 위해서는 EM 활성액의 pH의 조정과 미생물 성장에 적합한 온도 조건 등이 필요한 것으로 사료된다.

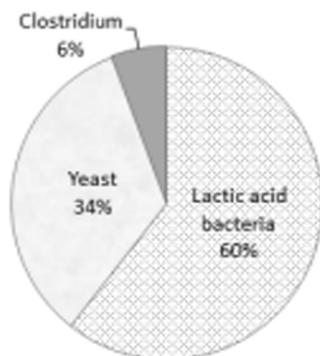
## 결론

본 연구에서는 가정용 음식물쓰레기를 대상으로 악취발생 특성을 파악하고, 유용미생물(EM) 활성액을 음식물쓰레기에 주입한 후 온도 변화 및 시간 경과에 따른 악취물질의 악취 저감 효과와 미생물 개체수와의 상호 관련성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 가정용 음식물쓰레기의 주요 악취물질은 황화합물로서 19~24℃의 환경조건에서 실험군의 악취평균농도는 메틸머캅탄(1.8 ppm), 황화수소(1.4 ppm), 디메틸설파이드(0.7 ppm)이었고, 26~32℃의 환경조건에서는 각각 6.4 ppm, 3.6 ppm, 1.1 ppm를 나타내었다.
2. Polyester Aluminum bag을 이용한 가스상 악취물질에 대한 EM 활성액에 대한 악취 저감 효과는 암모니아와 같은 염기성 악취물질에는 중화반응에 의해 높은 악취 저감 효과를 보였으나, 산성물질인 황화수소 및 메틸머캅탄에 대해서는 제거효율이 낮은 것으로 나타났다.
3. 각 실험의 모든 환경조건에서 아세트알데하이드의 경우에는 EM 활성액 분사 후에 오히려 악취 농도가 증가하였는데, 이는 EM 활성액 자체에서도 발생하는 것으로 사료되었다.
4. 기온이 높은 환경조건에서는 EM 활성액에 의한 악취저감 효과는 매우 낮은 것으로 나타났으며, 반면에 낮은 온도에서는 매우 높은 악취저감 효과를 보였다. 이는 EM에 의한 악취저감 효과는 기온의 영향이 가장 크게 작용하는 것으로 사료된다. 따라서 실생활에서의 효과적인 악취 저감을 위해서는 적절한 온도에서 사용하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.



(a) Distilled Water



(b) Activated EM

**Fig. 6.** Distribution of microbial species composition of water and activated EM at 19~24℃.

5. EM 활성액 주입 후의 음식물쓰레기 침출수에 대한 미생물 분석결과, 유용미생물 중 유산균이 우점종인 것으로 확인되었다. 또한 유용미생물의 분포도는 EM 활성액을 주입한 실험군에서 유산균 60% > 효모 34% > 부패균 6%을, 대조군에서는 유산균 57% > 효모 32% > 부패균 11%로 나타났다.
6. EM 활성액의 효율적인 활용을 위해서는 가능한 권장 보존기간을 준수하고 올바른 보관 및 사용방법을 숙지하여 사용하는 것이 EM 효과를 높이는 것으로 생각된다.
7. 본 연구는 유용미생물을 이용한 악취 저감에 대한 효과를 분석한 결과로써 음식물쓰레기 처리장에서의 악취 저감을 위한 현장 적용뿐만 아니라 악취 민원 발생지역에 대한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 환경부 : 악취방지법. 2017.
2. Cho, BY and Jo, YM : Characterization of odorous elements from emission sources in Chungju. Journal of Korean Society of Environmental Engineers, 30(4):415~422, 2008.
3. 환경부 : 자원순환국. 음식물쓰레기 저감과 자원화 그 성과와 미래, 2017.
4. 김성립, 김주인, 김영태 : 음식물쓰레기처리설비로부터 발생하는 악취저감 방안 연구(I). 부산광역시 보건환경연구원보, 14(II):41~59, 2004.
5. 서울시 통계정보시스템 : Available from : <http://stat.seoul.go.kr>
6. 김종국 : 점토광물을 이용한 악취제거에 관한 연구. 대기환경공학회지, 25(10):1311~1317, 2003.
7. 문복희, 박영권, 유경선 : 솔잎 정유를 이용한 암모니아 악취제거. 한국실내환경학회지, 5(3):215~221, 2008.
8. 김하나, 임봉빈, 김선태 : 유용미생물을 활용한 음식물쓰레기의 악취저감 효과. 대한환경공학회지, 38(4):162~168, 2016.
9. 윤기석 : 유용미생물의 공배양조건 최적화와 활용에 대한 연구. 인하대학교 석사논문, 2010.
10. 문윤희, 이광배, 김영준, 구윤모 : 유용미생물의 활용 현황. 한국생물공학회지, 26(5):365~373, 2011.
11. 최홍재 : EM을 이용한 음식물쓰레기의 악취저감 효과. 대구대학교 석사논문, 2011.
12. 박상진, 김홍기, 이민용, 길기범, 황종빈 : 미생물탈취제를 이용한 하수관거 하수악취 제거 실험 연구. 한국냄새환경학회지 추계학술대회, p.35~37, 2010.
13. 박상진, 김홍기, 이민용, 길기범, 황종빈 : 미생물탈취제를 이용한 하수관거 하수악취 제거 실험 연구. 한국냄새환경학회지 추계학술대회, p.35~37, 2010.
14. 권우택, 이준철, 강형석, 권이승, 김희곤, 갈원모 : 복합공정의 악취물질 제거효과. 실내환경 및 냄새학회지, 14(2):85~92, 2015.