

유효미생물(Effective Microorganisms; EM)에 의한 음식물 쓰레기의 효율적 처리 및 자원화

고성철, 송영채, 김인수
한국해양대학교 해양환경공학과

Efficient Treatment of Food Wastes by EM(Effective Microorganisms) and Their Recycling

Sung-Cheol Koh, Young-Chae Song, In-Soo Kim

Department of Marine Environmental Engineering, Korea Maritime University

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the efficacy of treatment of food wastes by EM(Effective Microorganisms) in terms of the EM fermentation process and plant nutrition effect of the EM-fermented products (and their composted materials). The fermentation of kitchen food wastes(5-8kg) was performed using EM at 3%(w/w) in plastic buckets (10 L) with a leachate removal system. The fermentation process was monitored for microbial population dynamics, moisture, pH, salinity, leachate generation, smell, and acidity. Test for plant nutrition effect included germination and young plant growth tests for the leachate, and soil fertility test for the compost of the fermented products. A significant reduction of offensive odor(NH_3 and H_2S) was observed in 4 days during the 11 EM-fermentation period while ester and alcohol smells specific to the fermentation were obvious in 2 days. Lactic acid bacteria were observed and their population increased regardless of EM treatment during the fermentation. The population dynamics of a better lactic acid-producing bacteria and the total acidity of the leachate, however, could be used as parameters for the EM fermentation. The salt in food wastes could be removed up to 34% through the leachate generated during the fermentation. The leachate was observed to stimulate the germination of Chinese cabbage and garland chrysanthemum up to 10% while the leachate treatment did not affect the growth increase of young plants of these crops. The compost of the fermented food wastes contributed to the significant enhancement of soil pH, organic content, soluble phosphorus, and calcium when it was applied to a soil with no cultivation history. The results suggest that EM fermentation can be monitored using a few parameters and use of EM for the collection, disposal and recycling of food wastes to the environment could be considerably recommended.

I. 서론

우리나라의 폐기물 발생량은 1991년까지는 연평균 8%의 증가를 보였으나 그 다음 해부터는 감소하는 추세를 보이고 있다. 그러나 최근에도 음식물쓰레기가 차지하는 비중은 31.6%로서 여전히 높은 편이며 2005년에는 전체 생활쓰레기의 약 41%를 차지하는 것으로 추정된다^{2,5,7)}. 따라서 쓰레기 처리에 소요되는 막대한 비용과 매립지 확보가 더욱 어려워지고 있는 상황을 고려하면 음식물쓰레기의 적정처리를 통한 감량화 및 자원화는 효율적인 쓰레기정책의 실용화를 위해서 매우 중요하다 하겠다. 특히 음식물쓰레기는 시각적인 불쾌감을 유발하고 쥐급과 보관이 어려워 많은 민원의 대상이 되고 있을 뿐만 아니라 또한 매립지 침출수의 주요 발생원이며 쉽게 분해되어 각종 부패가스와 악취를 유발하고 매립지의 지반침하를 일으킬 수 있다. 그럼에도 불구하고 음식물쓰레기의 하루 재활용은 매우 낮으며(2.1%) 대부분(95.4%)이 매립되고 있는 실정이다¹⁰⁾. 이와 같은 처리상의 난점을 해결하기 위해 퇴비화나 발효를 통한 사료화방법을 통하여 재활용이 시도되고 있다.

그러나 현재 국내에 보급되고 있는 음식물쓰레기의 퇴비화 방법은 90년대 초 폐기물 문제가 사회적인 관심사로 대두되면서 발생원에서의 감량화와 매립지 문제점을 보완하기 위한 응급책으로 제시된 것이다. 따라서 현재 우리의 실정에 맞는 효율적 음식물쓰레기의 수거체계 및 퇴비생산 기술의 개발을 통해 현재 문제가 되고 있는 수거상의 문제점(악취발생, 위생적 문제 등)과 양질퇴비생산의 과제를 해결해야 할 시점에 있다. 이에 부응하여 수 년전부터 부산광역시를 비롯하여 기타 지방자치 지역에서는 미생물계 유용미생물(Effective Microorganisms; EM)을 이용하여 일부 쓰레기를 퇴비화를 실시하고 있으나 수거 및 퇴비화과정에서의 EM의 역할은 과학적 및 기술적 측면에서 다각적으로 검토되지 못한 실정이다. EM은 원래 1982년 류큐대(Okinawa, Japan)의 히가 데루오 교수가 개발한 것으로 광합성세균, 유산균, 사상균, 효모, 방선균 등 10속 80여종의 미생물을 포함한다고 알려져 있으며 그 후 일본의 구세교(救世教)가 상품등록을 EM으로 한 것에서 유래된다. 이들 미생물 군들은 여러 환경에서 유익한 기능을 수행하며 서로 공존, 공생하면서 상승효과를 일으켜 토양의 항산화(antioxidation) 능력을 증대시켜 유기영양이 가능한 것으로 보고되고 있으며 또한 부패악취를 억제, 방지하고 오수처리에도 정화효과가 있는 것으로 보고되고 있다^{3,9)}. EM을 이용하는 음식물쓰레기의 발효, 퇴비화는 기존의 호기성 퇴비화와는 근본적으로 다르다. 준혐기성상태(산화환원전위, -300 ~ -200mV)에서 발효가 이루어지므로 유기산, 아미노산, 당류 및 항산화물질(비타민 C 및 E) 등의 생성이 가능하고 항산화물질은 유기물의 부패를 방지한다. 생성된 아미노산이나 유기산은 식물에 바로 흡수되어 각각 단백질 및 당으로 신속히 전환되므로 무기영양성분(무기질소, 이산화탄소)이 식물에 흡수, 합성될 때 요구되는 추가에너지가 필요 없게 되므로 식물영양 합성 및 이용의 효율성을 크게 향상한다고 한다⁹⁾. EM제제의 유산균은 유산을 생성하여 발효초기에 pH를 급격히 강하시킴으로서 부패균의 생장을 억제하고 불용성 무기성분(인산 등)을 가용화하며, 효모균은 생리활성물질을 합성하여(비타민, 호르몬 등) 다른 EM군의 생장을 촉진하며, 사상균은 고분자물질을 저분자화시켜 이용 가능케 하며, 방선균은 항균물질을 생성하여 토양병원균의 증식억제 효과를 나타내고, 광합성세균은 부패발효시 발생하는 이산화탄소 및 황화수소를 흡수 이용하며 유기물을 고정태로 이용하여 오염 및 악취의 방지효과를 나타낸다고 한다⁹⁾. 현재 EM은 여러 제품형태(EM Bokashi, EM세라믹, EM-X 등)로 개발되어 우리나라를 비롯하여 미국, 일본, 동남아 각국 등 여러 국가의 농업(작물생산, 축산업) 및 폐수처리분야를 중심으로 보급이 되고 있다. 최근 태국은 정부 및 학계가 주도가 되어 EM의 농업 및 환경오염 방지에의 응용연구에 관한 심포지움을 개최하여 EM의 효능을 검토한 바가 있다. 여기서 EM 배양액 자체는 작물의 병해충 방지효과나 비료로서의 효과가 거의 인정되지 않았으나¹⁰⁾ 이를 유기물에 처리하여 퇴비화를 시켜 그 퇴비를 토양에 처리한 경우는 화학비료와 동일한 수준의 작물의 수확을 보고하였다¹³⁾. 그리고 EM 배양액을 생활폐수처리에 적용시킨 결과 자연의 활성오니에 비

유효미생물(Effective Microorganisms ; EM)에 의한 음식물 쓰레기의 효율적 처리 및 자원화

해 처리효과가 별차이가 나타나지 않았으나¹⁹⁾ Peptone Iron agar에 *Proteus vulgaris*를 배양한 경우 악취인 황화수소의 발생을 억제하였다²⁰⁾. 그러나 이들 연구에서는 EM의 응용 측면만 강조되었을 뿐 발생현상의 작용기작에 대한 설명은 이루어지지 않고 있다. 음식물 쓰레기의 호기성 퇴비화 연구는 국내에서 시도되고 있으나^{1,12)} EM의 처리에 의한 음식물쓰레기의 퇴비화연구는 국내외를 통틀어 거의 보고가 없는 실정이다.

본 연구의 목적은 부산광역시에 현재 보급 사용되고 있는 EM 제제의 분석을 실시하고, EM 제제에 의한 음식물쓰레기의 발효과정을 물리적, 생물학적으로 분석하며, 또한 그 발효성분의 비효(肥效)를 검토한다. 그리고 발효쓰레기의 토양처리효과 및 그의 식축생육에의 영향을 검토하므로써 EM을 이용한 음식물쓰레기의 효율적 처리 및 성공적인 자원화의 방향설정에 중요한 기초자료를 얻고자 하는데 있다.

II. 실험재료 및 방법

1. 발효제로부터의 미생물 분리 및 확인

EM 제제 및 기타 제제 그리고 발효시료에 포함된 미생물의 확인 및 밀도분석은 일반 및 분자세균학 실험방법⁴⁾과 EM Research Organization(Okinawa, Japan)이 제시한 방법에 준하여 실시하였다. 분석대상 EM 미생물은 유산균, 효모균, 사상균, 방선균 및 기타 비(非) EM 미생물이었으며 본 실험에서는 광합성세균의 분리는 시도하지 않았다. 모든 분석은 시료(미생물제제 및 음식물 쓰레기 발효산물)를 인산염용액(pH 7.0)으로 적정한 수준(10^{-10})으로 희석하여 각종한천 배지에 도말하여 25-30°C에서 적어도 일주일간 항은 배양한 후 콜로니의 형태적 및 생리적 특성을 관찰하면서 수행하였다. 유산균은 우선 Bacto-trypticase soy 한천배지(Difco)를 사용하여 비 EM 세균과 함께 분리한 다음 MRS 한천배지(지시약으로서 미량의 bromophenol blue 함유)에 배양하여 유산의 생성유무를 확인하여 동정하였다. 효모균은 효모 YM한천배지를, 사상균은 Rose Bengal 한천배지를, 그리고 방선균은 glucose-asparagine 한천배지를 각각 사용하여 분리, 동정 그리고 그 밀도조사를 실시하였다.

2. 음식물쓰레기의 발효방법

발효조는 부산광역시공급 10L의 EM 발효통(발효침출액 제거장치 포함)을 사용하였으며 발효시험 쓰레기의 양은 발효조당 5.9Kg(수분함량, 80%)을 시료채취시 그 대Table성을 위해 3-5mm 정도로 마쇄후 부여하였다. 사용 EM Bokashi는 부산적십자사(Pusan Red Cross; "PRC"로 명명) 및 부산진구청(Pusanjin; "PJ"로 명명) 공급 제품이었고 이들을 각각 음식물쓰레기의 3%(w/w)로 자리한 후 통상의 실온 및 빛 조건에서 10일 정도 보관하였다. 대조구로서 같은 양의 쓰레기를 EM 제제를 첨가하지 않고 동일한 조건에서 보관하였다. 음식물쓰레기는 한국해양대 승선생활관 및 학생식당 주방에서 신선한 상태로 채취하였고 그 조성은 곡류(20-50%), 과채류(32-67%) 및 어육류(14-17%)이었다.

3. 음식물쓰레기의 발효과정 분석

발효과정분석을 위해 발효쓰레기의 고형분(40-50g) 및 침출수(50ml)를 2 일 간격으로 10일 정도 채취하였다. 쓰레기의 발효시 물리, 화학적 변화지표로서 함수율, pH, 염분함량(salinity), 침출액(leachate)발생량, 음식물조직의 색깔 및 형태적 변화등을 측정또는 관찰하였다. 그리고 생물적,

생화학적 변화지Table로서 냄새, 미생물의 밀도, 산도(acidity) 등을 측정하였다. 고형분으로 부터는 함수율, 염분함량, 식물조직의 색깔 및 형태적 변화, 냄새 그리고 미생물의 밀도변화 등을 측정하였으며 침출액으로 부터는 pH, 염분함량, 침출액(leachate)발생량 및 산도 등을 측정하였다.

(1) 함수율 측정

시료(10-20g)를 알루미늄 호일에 달아서 103-105°C로 미리 조정된 건조기에 넣은 다음 3-4 시간 건조하였다. 증발로 인한 무게감량을 측정하여 함수율을 계산하였다.

(2) pH 및 염분함량 측정

pH는 고형분의 경우 시료(10-20g)를 100-200ml의 살균증류수에 넣어 교반항온기(25°C; 200rpm)에서 1 시간 동안 용출시킨 다음 Orion PerpHect Meter(Model 350; Analytical Technology, Inc., Boston, MA)을 이용하여 측정하였다. 침출액의 경우는 희석하지 않고 직접 측정하였다. 염분함량은 위의 용출시료나 침출액을 적절히 희석한 다음 Salinometer(Model LC 84; TRS Pty. Limited, Brisbane, Australia)을 이용하여 실온에서 측정하였다.

(3) 냄새의 측정

발효과정 중에 나타나는 냄새는 발효취(non-offensive smell; esters, alcohol 등) 와 악취(offensive smell; 암모니아, 황화수소 등)로 구분하여 관능법¹⁶⁾으로 측정하였다. 여기서 취기도는 0, 1, 2, 3, 4, 및 5 등급으로 나누어지는데 각각 순서대로 무취, 감지취기, 보통취기, 강한 취기, 극심한 취기 및 참기어려운 취기를 나타낸다.

(4) 산도(acidity)의 측정

EM 발효의 한 지표로서 침출액의 유산생성 정도를 총산도(total acidity)로 나타내었다. 침출액을 증류수를 사용하여 100 배로 희석한 다음(50ml) phenolphthalein을 지시약으로 하여 0.05N-NaOH로 중화 적정한 후 소비된 알칼리의 양으로서 산도를 계산하였다¹⁷⁾.

4. EM 발효음식물의 퇴비화시험

13일 경과한 EM발효 식물쓰레기를 pot(직경 20cm, 높이 20cm; 약 6L)에서 토양과 혼합하여 퇴비화를 실시하였으며 그 혼합처리방법은 Table 1에 제시하였다. 퇴비화 과정중 발효제 EM Bokashi(PRC) 및 질석(zeolite)의 처리효과를 검토하기 위해 이들의 첨가도 실시하였다.

Table 1. Composting schemes of EM-treated food wastes in soil.

Treatment ¹	EM-treated Food Waste		EM Bokashi (PRC)		Bulking agent		
	g	%	g	%	Sandy Soil	Zeolite	Yellow clay
					(Kg)	(Kg)	(kg)
EM-1	85	1.7	0	0	5	0	0.5
EM-2	85	1.7	13	0.25	5	0	0.5
EM-3	85	1.7	0	0	4.75	0.25	0.5

¹ 3 replications

실험에 사용된 발효음식물은 EM(PRC) and EM(PJ) 처리 혼합물이었으며 실온(약 25°C)에서 1개월 동안 미호기성 상태에서 후숙하였다(수분 60-70% 유지하되 혼합물을 교반하지 않음). EM발효 식물쓰레기 퇴비성분이 토양의 식물영양화학적 특성에 미치는 영향을 토양화학분석법¹⁴⁾에 준하여 실시하였다. 주요분석항목은 pH, 유기물, 질소, 유효인산(가용성), 가리, 치환성 칼슘 및 마그네

유효미생물(Effective Microorganisms ; EM)에 의한 음식물 쓰레기의 효율적 처리 및 자원화

습함량 등이었다.

5. 작물종자 발아시험 및 유식물 검정법

EM 발효과정중 발생하는 침출액의 작물생육에의 영향으로서 배추(서울배추, 서울종묘, 서울), 부(장평열무, 경신종묘, 의성) 및 쪽갓(서울종묘, 서울)의 발아율을 조사하였다. 발아율은 농업과학원¹⁴⁾의 간이퇴비 분석방법에 준하여 실시하였다. 우선 살균된 여과지(3MM, Whatman) 2매를 살균 Petri dish에 간 다음 침출액 4ml(1000 배 희석액)를 살균피펫으로 넣어 여과지를 포화시키고 종자 25립을 여지상에 파종하였다. 그리고 25°C의 항온에서 3 일간 정치한 후 종자의 발아율 조사하였다.

한편 침출수내의 비효성분의 존재를 확인하고 발효음식물의 퇴비화시 퇴비의 부숙도를 확인하기 위해 농업과학원¹⁴⁾의 간이퇴비 분석방법을 기준으로 위에서 언급된 무 및 배추의 유식물 재배 시험을 실시하였다. 액비의 경우 무 및(또는) 배추를 각각 사경재배(砂耕栽培) 및 수경재배(水耕栽培) 통하여 검정하였고 퇴비의 부숙도의 경우 퇴비화가 1 개월 가량 진행된 사질토양에 직접 배추종자를 파종하여 그 생육상태를 관찰하면서 실시하였다. 사경재배 및 수경재배는 그 기본양액으로서 Hoagland solution 1(H-1 solution)¹¹⁾을 사용하고 침출수를 이 양액에 500-1000 배로 희석하여 사용 또는 침지하였다. 사경재배는 미세모래(1mm 이하 직경)를 3 차례 물로 씻고 마지막으로 증류수로 행군다음 습윤살균한 후, 소형 pot(직경 10cm, 높이 10cm)에 채운 다음 무 및 배추종자를 3 반복으로 파종하였다. 5 일간 증류수로 관수하여 초기유식물로 키운 다음 양액 및 침출수 혼합액을 매일 1 회 10 ml 씩을 관수하여 3 주간 재배하였다. 그리고 수경재배는 직사각형(10x12cm)의 여과지(3MM)를 원형으로 2-3 겹으로 말아 배추종자(6립)를 그 틈새로 넣어 윗 부분에서 2-3cm 부근에 고정시킨 후 이를 양액 및 침출수 혼합액 20ml 이 든 시험관(직경 2.5cm, 높이 14cm)에 침지하여 2 주일간 재배하였다. 매주 작물의 초장을 재고 실험의 마지막 때는 작물의 건물중(乾物重)을 측정하였다.

6. 작물생육 시험

퇴비화가 잘 진행이 되어서 작물의 생육에 피해가 없는 경우(EM 발효쓰레기를 1850kg/10a의 수준으로 토양에 처리)는 배추 유식물을 pot(직경 20cm, 높이 20cm; 약 6L)에 3 본씩 이식(移植)하여(3 반복) 수 주일간 성체(成體)식물로 재배하면서 생육상태(잎길이, 잎폭, 잎색 등)를 조사하였다. 이 때 대조구로서 화학복합비료(관행처리 수준: 요소, 용과린 및 염화가리를 각각 27, 20, 27 kg/10a로 처리) 및 상용유기질비료(한농파이토: 기준 제시량으로서 410kg/10a)처리구 및 무처리구를 포함하였다.

III. 결과 및 고찰

1. EM 제제 및 기타 시판 발효제제의 분석

각 유식물쓰레기용 미생물제제의 효능이 미생물의 작용에 의한 것인지를 구명하기 위해 우선 세균별로 호기성(aerobic) 및 미호기성(microaerophilic)의 세균, 방선균 및 사상균 중심으로 분석을 시도하였다. 집중관찰 대상 균종은 유산균, 효모균, 사상균 및 방선균이었다. 수종의 시중제제에서 분리된 균종 및 그 밀도는 Table 2 에 제시하였다. 여기서 보는 바와 같이 EM 제제는 유산균, 효모균 및 사상균을 적어도 10^4 (cells/g or ml)을 지니고 있었으나 기타 제제에서는 이들을

찾아볼 수 없었다(10-10000 배의 희석배수에서). 그리고 방선균은 모든 제제에서 분리되지 않았다. 따라서 기타 제제들은 미생물제제로서 작용하기 어려울 것으로 판단된다. 제품 A ("K"사 제조)의 경우 실제 음식쓰레기에 투여하여 그 효능을 검토한 결과 탈취효과는 어느 정도 인정되었으나, 그 침출수는 강산성이었으며(pH 3-4) 검은 색으로 변하였다. 이는 제품내에 포함된 탈취성분인 일종의 점토광물 (제오라이트)에 기인하는 것으로 생각된다.

EM제제(Bokashi PRC)의 제조원액내에 존재하는 혼합균종의 온도에 따른 성장정도 및 pH 변화를 관찰한 결과는 Fig. 1 에 제시하였다. 이 결과로 볼 때 이들 혼합균은 상온(25°C 부근)에서 자라는 데 큰 어려움이 없을 것으로 판단되며 pH가 2-3 일 경과 후 4 부근까지 강하하였다.

Table 2. Microbial groups and their population density in the commercially available microbial agents used in the fermentation of food wastes.

Microbial groups ¹	Population Density (c.f.u./g or c.f.u./ml) ²			
	EM Bokashi (Pusan Red Cross)	EM Bokashi (Pusanjin)	Product A ("K" Co.) ³	Product B ("S" Co.)
Lactic acid bacteria	5×10^4	5×10^5	0 (10)	0 (10 ⁴)
Filamentous fungi	4.1×10^6	0 (10 ³)	0 (10)	0 (10 ⁴)
Yeasts	4.5×10^6	5.1×10^6	0 (10)	0 (10 ⁴)
Streptomycetes	0 (10 ³)	0 (10 ³)	0 (10)	0 (10 ⁴)
Others	0 (10 ³)	0 (10 ³)	5.1×10^3	4×10^5

¹ Photosynthetic bacteria were not measured; "Others" indicates non-EM bacteria;

² The number in the parenthesis indicates dilution rate; ³ Formulated as liquid.

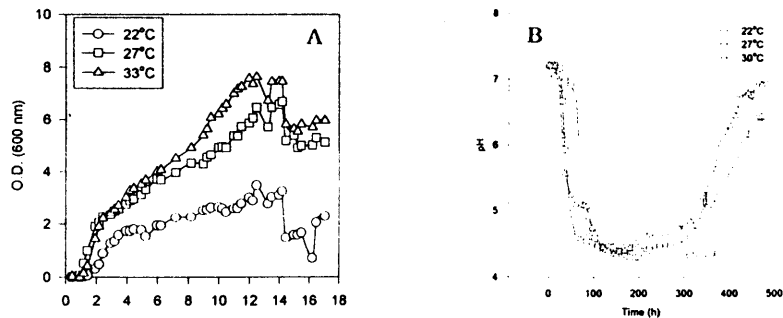


Fig. 1. Temperature effect on the growth of EM (effective microorganisms) stock (Pusan Red Cross: PRC) in trypticase glucose soy broth (A) and pH change during the growth (B).

유효미생물(Effective Microorganisms ; EM)에 의한 음식물 쓰레기의 효율적 처리 및 자원화

2. 음식물쓰레기의 EM 발효과정 및 처리 효과의 검토

궁극적으로 EM처리 음식물쓰레기의 퇴비화를 수행하고 이의 토양에의 영향을 검토하고자 통상조건(실제 가정의 경우와 근접한 실내 조건)에서 EM발효를 수행하였다.

(1) 냄새(악취)저감 효과

발효중의 냄새를 관능법으로 조사한 결과 EM(PRC) Bokashi를 처리하지 않은 경우는 발효취(non-offensive smell; esters, alcohol 등)가 발효 전기간 동안 거의 없었으며 악취(offensive smell; 암모니아, 황화수소 등)는 중등도의 냄새가 비교적 지속적으로 발생하였다. 이것은 신선한 상태로 채취된 음식물의 부패가 발효조 상부에서 완만히 진행되고 고유유산균(indigenous lactic acid bacteria)의 활동으로 해서 악취의 발생이 본 실험기간 동안 다소 억제된 데에 기인하는 것으로 생각된다. 그러나 2주 이상 경과시 아주 강한 악취가 발생하였다. 한편 EM(PRC) Bokashi를 처리한 경우는 발효취가 발효가 진행되는 동안 계속증가 되었으며 이와 반비례하여 악취(부패취)가 거의 발생하지 않았다. 이와 같은 발효상태는 3주 이후에도 지속이 되었다. 이는 EM 미생물의 작용으로 인한 것으로 추측이 되었으므로 유산균을 중심으로 그 발효과정에 중요하게 관여하는 요인을 검토하였다.

(2) 유산균밀도변화

Higa 교수의 이론⁴⁾에 의하면 유기물의 발효시 유산균은 부패균의 성장을 억제하여 악취를 제거한다고 하였다. 따라서 우선 유산균 및 부패균의 절대적 밀도변화를 관찰하였고 그 결과를 Fig. 2 제시하였다. 여기서 총유산균(무처리 및 처리구 공히 2 가지 종류의 유산균이 발견됨)의 밀도는 처리의 유무에 관계없이 대체로 발효후기로 갈수록 증가하였다. 특히 무처리구의 경우도 그 증가가 현저하여 처리구에 비해 밀도가 4-5배 높았다(Fig. 2A). 그러나 그 밀도의 증가는 유산생성능이 현저히 떨어지는 균주가 우점을 한데 원인이 있는 것으로 밝혀졌다(Fig. 4B참조). 부패균의 밀도는 발효후기로 갈수록 유산균과는 반대로 그 밀도가 감소하는 추세를 보였다(Fig. 2B).

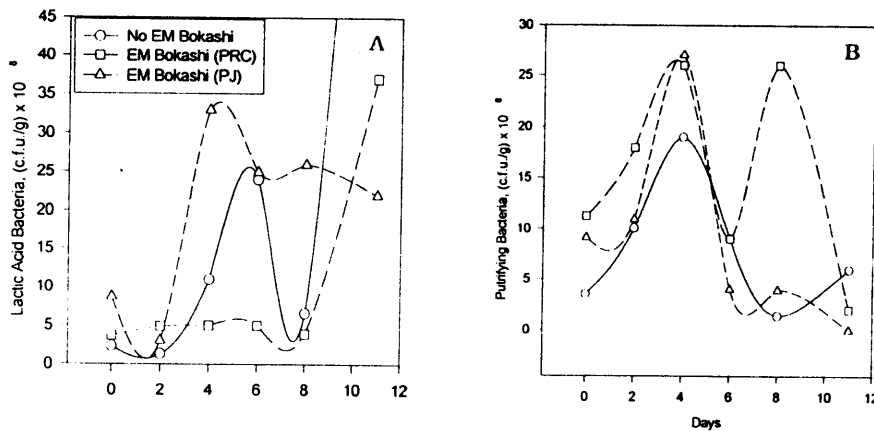


Fig. 2. Population dynamics of lactic acid bacteria and putrefying bacteria during the EM fermentation in bucket carrying food waste (5.9kg) treated with EM Bokashi, PRC and Pusanjin (PJ) (3%, w/w).

유산균의 상대적 밀도변화(Fig. 3)를 보면 발효 1주일내에서 무처리구에 비해 처리구 유산균 밀도의 상대우위도가 인정되었으나 8 일 이후로는 별 차이가 없었다. 무처리구에서 상당한 밀도의 유산균을 관찰할 수 있었으나 이 균주는 유산생성도가 낮았고 음식물 자체내에서 기인된 것으로 판단된다. 무처리구에서는 처리구와 같은 EM 특유의 향긋한 발효가 진행되지 않았고 침출액의 발생도 현저히 낮았다.

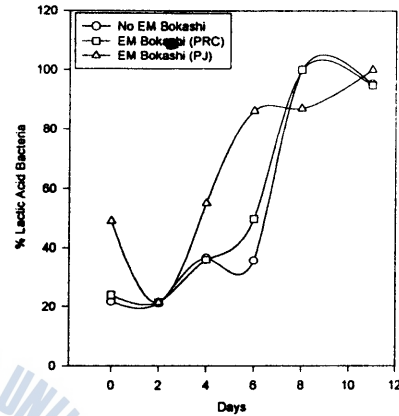


Fig. 3. Percent distribution of lactic acid bacteria in the total bacterial population during EM fermentation in bucket carrying food waste (5.9kg) treated with EM Bokashi, PRC and PJ (3%, w/w).

(3) 유산생성 능력비교

위의 현상을 좀더 구명하고자 발효시 유산생성의 지표로서 NaOH 적정에 의한 총산도¹⁷⁾를 측정하여 비교분석하였다. 발효시 발생하는 침출액의 총산도변화의 경시변화를 Fig. 4A에 제시하였다. 발효 1주일내에 EM 처리구는 무처리구에 비해 최소한 50%이상 높은 산도를 나타내었다. 이 결과를 종합해볼 때 결국 무처리구에서의 유산생성의 지연은 미생물의 산생성능력의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 각처리구에서 분리된 유산균을 순수배양하여 산생성능력을 평가하였다(Fig. 4B).

여기서 보는 바와 같이 Bokashi(PRC)처리구에서 분리된 균주들(LAB2-PRC 및 PP2-PRC)의 유산생성능이 발효후기로 갈수록 무처리구의 우점종유산균(PP1-None; 97% 차지; 11일째)에 비해 우수하였다. 그리고 무처리구의 비우점종유산균(LAB1-None; 3% 차지)은 유산생성 능력이 현저히 높았으나 실제 음식쓰레기의 발효에서는 그 상대적 밀도가 현저히 낮게 나타났다. 따라서 성공적인 EM 발효를 위해서는 발효초기에 유산생성능이 우수한 균종이 우점종을 차지하면서 부패균의 생장을 억제하고 여기에 잘 적용하여 공존할 수 있는 기타 EM 균종(효모균, 사상균, 광합성세균 등)의 성장이 필요할 것으로 생각된다.

(4) 수분함량변화

발효과정 중 수분함량의 변화(Fig. 5)를 보면 무처리구에 비해 처리구가 5-8% 정도로 낮게 나타났다. 무처리구의 경우 발효 전기간 동안 수분함량의 변화가 거의 없는 것은 부패발효가 매우 서서히 진행되어 수분이 침출수로 빠져나가지 못한데 기인한 것으로 사료된다(발효 11일째 총조기증량의 3.4%의 침출수 발생). 반면에 처리구는 발효후 7일 이내에 대부분의 침출수가 발생하였으며 최종발효일(11 일)에는 약 25%의 침출수가 발생하였다. 이것은 EM 발효시 EM균의 왕성한 작용으로 음식물조직의 와해로 말미암아 조직중에 존재하던 수분이 다량으로 빠져나온데 주요 원인이 있는 것으로 관찰되었다(미발표 자료). 그리고 발효개시 때 무처리구에 비해 처리구에서 수분함량이 약간 낮은 것은 Bokashi(3%)가 첨가되었기 때문이며, 4 일 이후 처리구의 수분함량이 약간 증가를 보이는 것은 실험자의 실수로 침출수를 다시 발효조의 쓰레기에 살포한데 있다. 따라서 실제로 수분함량의 차이는 더욱 클 것으로 생각된다. 수분제거는 나중의 발효 쓰레기의 퇴비화 진행시 쓰레기의 취급이 용이하고 수분조절계의 양을 줄일 수 있는 잇점이 있을 것으로 사료된다.

유효미생물(Effective Microorganisms ; EM)에 의한 음식물 쓰레기의 효율적 처리 및 자원화

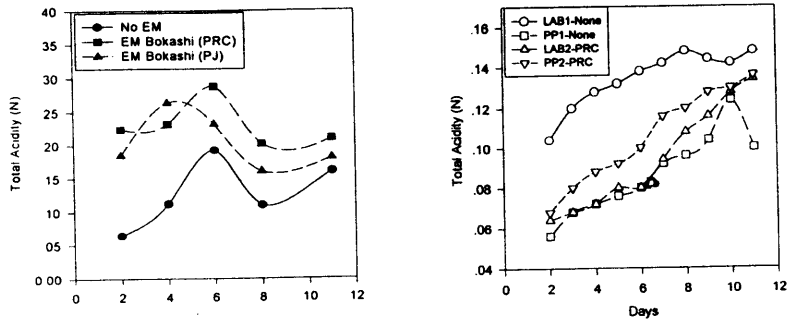
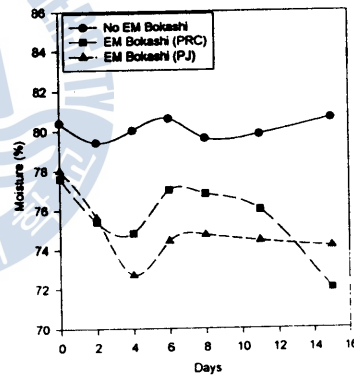


Fig. 4. Dynamics of total acidity in the leachate during EM fermentation in bucket carrying food waste (5.9kg) treated with EM Bokashi, PRC and PJ (3%, w/w) (A), and ability of total acid production by pure culture of lactic acid bacteria isolated from each EM-fermented food waste (B). Each culture was grown in trypticase glucose soy broth and the total acid was titrated with 0.05 N NaOH.

Fig. 5. Change of moisture content in the food waste during EM fermentation in bucket carrying the waste (5.9kg) treated with EM Bokashi, PRC and PJ (3%, w/w).



(5) 침출수내의 염분도변화 및 염분함량

처리구의 침출수내의 염분도(Fig. 6)의 증가효과(30-60%)는 EM Bokashi(PRC 및 PJ)의 처리에 기인하는 것으로 판단된다. 발효완료후(11 일째) 쓰레기의 상상을 관찰한 결과 무처리구는 자체의 유산균의 존재로 부패발효가 매우 느리게 진행되어 음식물조직이 거의 그대로 존재한 반면, 처리구에서는 조직의 와해와 색깔의 변화가 있었다. 조직의 와해가 현식한 것은 음식물 주원 성상이 곡류 및 과채류이어서 EM균중 특히 사상균 및 효모균의 작용이 주효했기 때문으로 판단된다.

한편 EM 처리시 침출수발생으로 인한 염분의 제거 정도를 Table 3 에 나타내었다. 염분제거율은 무처리구에 비해 7-8배가 높은 것으로 나타났다. 이러한 발효과정중의 염분제거효과는 음식물쓰레기를 퇴비화한 후 토양에 시용할 경우 염분유입을 사전에 차단하는 효과가 있을 것으로 사료된다.

Fig. 6. Change of salinity in the leachate during EM fermentation in bucket carrying food waste (5.9kg) treated with EM Bokashi, PRC and PJ (3%, w/w).

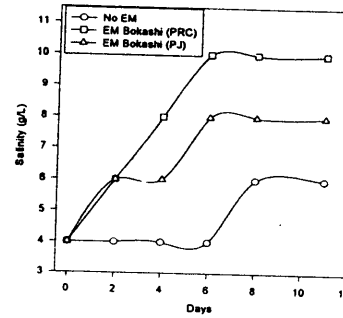


Table 3. Effect of EM fermentation on the removal of salts through the leachate generated from the food waste.

Leachate measurements	Fermentation condition ¹		
	No EM	EM Bokashi (Pusan Red Cross)	EM Bokashi (Pusanjin)
Volume (mL)	201	1491	1486
Salinity (g/L)	6	10	8
Total salts amount (g)	1.21	14.9	11.9
Salt removal rate(%) through leaching ²	4.1	34.1	30.4

¹ The fermentation of food waste (5.9 kg) using 3% (w/w) EM Bokashi was carried out in each bucket (10 L) at room temperature for 11 days.

² The rate was based on the initial salt content of the food waste.

3. 발효 침출수가 식물생육에 미치는 영향

침출수의 비효성분을 확인하고 음식물쓰레기의 퇴비화시 퇴비화정도 및 유효성분의 존재를 확인하기 위해 몇 가지 작물의 발아율 조사 및 유식물 성장시험을 실시하였다.

(1) 발아율에의 영향

Fig. 7 에 제시된 마와 같이 침출수를 종자에 처리시 배추 및 썩갓의 경우 각각 약 5%, 10%의 발아 촉진효과가 있는 것으로 드러났다. 그러나 무의 경우 별차이를 보이지 않았는데 이는 무종자가 비교적 크고 그 고유평균 발아율이 양호한데 기인한 것으로 사료된다.

(2) 유식물 성장에의 영향

수경 및 수경재배를 통하여 침출액의 작물에서의 비효(肥效)효과의 유무를 검증하였다. Hoagland solution-1용액을 기본양액으로 하여 침출수의 처리에 따른 배추의 성장 촉진효과를 수경재배를 통하여 관찰하였는데(Fig. 8) 무처리구에 비해 그 통계적 유의성은 인정되지 않았다.

Fig. 7. Effect of EM leachate on the germination of crop. EM leachate (PRC and PJ; 8 days old) was diluted up to 1000 times and applied to the seeds of the following crops: crop 1, Chinese cabbage; crop 2, Garland crysanthemum; crop 3, raddish.

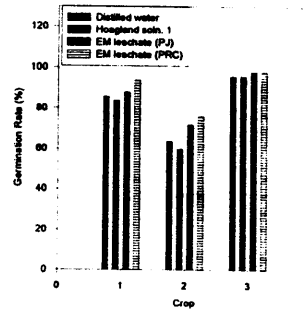
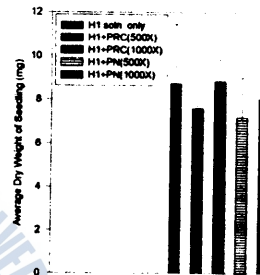


Fig. 8. Effect of EM PRC and PN (an improved PRC) leachate on the growth of Chinese cabbage seedling grown in the water culture system for 2 weeks. The treatments were H-1 (Hoagland solution 1) that contained 500X or 1000X diluents of each EM leachate (11 days' old).

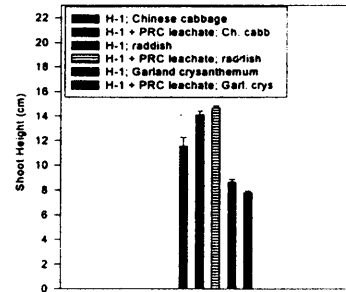


그리고 사경제배에서의 침출액의 비효를 검정하고자 살균된 모래에 배추, 무 및 쑥갓을 과중하여 재배중 침출액(500-1000X 희석액)을 매일 사용한 후 초장을 조사한 결과를 Fig. 9 에 제시하였다. 처리 3 주 경과 시 무의 경우는 약간의 생육 촉진효과가 인정되었고 쑥갓의 경우는 오히려 생육억제효과를 보였으며 배추는 아무런 차이를 보이지 않았다. 그러나 무를 수확하여 지상 및 지하부의 건물중을 조사한 경우 그 처리효과 유의성은 인정되지 않았다(미발표 자료). 여기서 쑥갓의 생육이 억제된 것은 침출수내의 성분(특히 유산)에 의한 식물대사활동의 억제에 기인하는 것으로 사료되었다. 순수유산(수백 ppm)에 의한 종자의 발아억제 효과는 본 실험실에서 관찰이 되었다(미발표 자료). 따라서 본 실험에서는 발효침출액의 작물생육 촉진효과는 인정하기 어려웠다. 하지만 본 실험에서 EM 발효침출액에 의한 작물(쑥갓 및 배추)의 발아 촉진효과가 인정이 되었고 또한 최근 동경대 Nishizawa 교수는 저분자 및 고분자 유기물질(예: 아미노산류, 단백질)이 식물에 의해 직접흡수가 가능하며, 무기태(예: 암모니아, 질산 등)에 비해 양호한 생육 촉진효과가 있음을 보고하고 있으므로¹⁶⁾ 음식물쓰레기 침출액의 비효검토는 보다 체계적으로 접근할 필요가 있다.

4. EM 발효 음식물쓰레기의 퇴비화가 토양 화학성 및 작물 생육에 미치는 영향

EM으로 발효시키고 토양에서 1 개월간 부숙퇴비화 시킨 음식물 쓰레기가 토양 화학성(주요 식물 영양성 요인)에 미치는 영향을 검토하였다. EM 발효된 음식물쓰레기를 사전에 경작한 적이 없는 매우 척박한 토양에 처리, 퇴비화 시킨 후 토양화학적 변화를 화학비료(복합비료)처리구와 시판 유기질비료(한농파이트)처리구와 비교고찰한 결과를 Table 4 에 제시하였다. 음식물퇴비처리구(EM-1, EM-2 및 EM-3) 거의 대부분이 토양의 pH, 토양유기물, 가용성인 및 칼슘(Ca) 등의 함량을 현저히 향상시키는 것으로 드러났다. 특히 미경작 토양 pH의 향상 및 토양유기물의 함량제고는 음식물퇴비의 토양개량제로서의 중요성을 나타내는 것이라 하겠다.

Fig. 9. Effect of EM (PRC) leachate on the growth of crop grown in the sand culture system after 3 weeks' application. The treatments were H-1 (Hoagland solution 1) that contained 500X and 1000X diluents of the EM leachate (8-11 days' old).



본 보고에서는 구체적자료를 제시하지 않았으나 이 EM 발효 음식물쓰레기의 퇴비가 처리된 토양에 작물 (배추)를 심어 그 생육정도를 초장(草長), 엽폭(葉幅) 및 엽색(葉色)으로 비교고찰한 결과 모든 음식물퇴비 처리구가 상용유기질비료 처리구에 비해 현저한 생육촉진 효과를 나타내었으며, 화학비료처리구에 비해서는 초장은 대등한 성장을 그리고 엽폭 및 엽색은 보다 양호한 성장을 나타내었다. 이는 최근의 보고¹³⁾와 유사한 경향을 보여 주는 것이라 하겠다.

Table 4. Effect of the composted EM-treated food waste on soil chemical parameters including the major plant nutritional parameters.

Soil Chemical Parameters	Soil Treatment Conditions ¹				
	Chemical Fertilizer	Commercial Organic Fertilizer	EM-FW (EM-1)	EM-FW with EM Bokashi (EM-2)	EM-FW with Zeolite (EM-3)
pH	5.55 ± 0.00	5.99 ± 0.13	6.86 ± 0.35	6.63 ± 0.00	6.52 ± 0.10
Organic Matter(%)	0.43 ± 0.04	0.68 ± 0.01	0.70 ± 0.11	0.81 ± 0.07	0.82 ± 0.04
N(%)	0.023 ± 0.004	0.017 ± 0.001	0.032 ± 0.004	0.031 ± 0.006	0.020 ± 0.000
P ₂ O ₅ (ppm)	18.75 ± 7.02	14.90 ± 0.45	31.32 ± 1.02	54.95 ± 3.17	45.18 ± 18.35
K(cmol/Kg)	0.21 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.007	0.17 ± 0.00	0.21 ± 0.02
Ca(cmol/Kg)	7.69 ± 0.55	8.48 ± 0.21	9.18 ± 0.14	8.21 ± 1.44	8.56 ± 0.04
Mg(cmol/Kg)	2.82 ± 0.23	2.98 ± 0.03	2.83 ± 0.06	2.87 ± 0.13	3.04 ± 0.13

¹ Refer to Materials and Methods for detail; EM-treated food waste(EM-FW; 1.5%, w/w) was added to the soil for composting for 1 month.

현재 본 연구팀은 다량 발생하는 음식물쓰레기의 궁극적 자원화를 위해 EM 처리 음식물쓰레기의 효율적 퇴비화 공정과 이 퇴비의 토양처리시 토양에 미치는 영향을 다각적으로 검토하고 있다. 특히 토양의 영향과 관련해서는 토양물리적, 화학적 및 생물학적 성질의 변화를 다년간 지속적으로 검토할 예정이며 또한 음식물쓰레기의 염분이 토양 및 작물생육에 미치는 영향을 집중적으로 검토할 예정이다.

유효미생물(Effective Microorganisms ; EM)에 의한 음식물 쓰레기의 효율적 처리 및 자원화

IV. 결론

본 연구는 EM제제를 음식물쓰레기에 처리시 그 작용 및 효능을 발효과정 측면과 발효산물의 비효(肥效)적인 측면에서 분석하므로서 EM을 이용한 음식물쓰레기의 효율적인 처리 및 자원화의 방향에 필요한 기본 자료를 얻고자 실시한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. EM 제제(부산적십지사 및 부산광역시 공급품)내에는 EM균(유산균, 사상균, 효모균)이 적어도 10^4 (cells/g)이 존재하였다.
2. 음식물쓰레기를 EM Bokashi로 처리할 경우 EM 발효가 진행되면서 부패취(암모니아 및 황화수소 가스 등)의 발생이 현저히 억제되었다.
3. EM 발효의 생물적 지표의 하나로서 총유산균의 상대적 밀도 및 우점종 유산균의 유산생성능력이 고려될 수 있다.
4. 음식물쓰레기에 EM제제 처리시 발효초기 침출수로 인한 수분제거효과가 현저하여 염분제거 효과도 있었다.
5. EM 발효의 침출수는 일부 작물(배추, 썩갯)의 발아 촉진효과를 보였으나 음식물에 사용시 배추, 무의 경우는 처리효과가 없었고 썩갯의 경우는 오히려 생육억제 효과가 보였다.
6. 음식물퇴비를 미경작토양에 처리한 결과 토양의 pH, 토양유기물, 가용성인 및 칼슘(Ca) 등의 함량을 현저히 향상시키는 효과가 있었다.

따라서 EM제제를 음식물 쓰레기에 적절히 처리, 발효시키면 수거상의 냄새제거 및 염분제거 효과, 그리고 그 발효쓰레기를 토양에서 퇴비화 시킬 경우 토양개량효과가 인정되었다.

감사의 글

본 연구는 부산광역시의 연구용역과제의 일부로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 장기운, 이인복, 임재신: 음식물찌꺼기를 이용한 퇴비의 부숙과정중 이화학 특성의 변화, 한국유기성자원화협회학회지, 제3권, 제1호, pp.3-11(1995)
2. 강세춘: 폐기물처리, 신광문화사, 서울, pp.19-45(1996)
3. EM Research Organization: EM Application Manual for APNAN Countries, 1st ed., pp.1-7(1995)
4. Gerhardt, P., Murray, R.G.E., Wood, W.A. and Krieg, N.R.: Methods for General and Molecular Bacteriology, American Society for Microbiology, Washington, D.C.(1994)
5. 환경부: 환경백서, pp.275-283(1996)
6. 환경부: 환경오염공정시험법, 동화기술, 서울, 1995.
7. 환경일보: 음식물쓰레기의 자원화 심포지움, pp.34-38(1996)
8. 히가데루오: 미생물의 농업이용과 환경보전, (민경휘역), 형설출판사, 서울(1991)
9. Higa, T.: An Earth Saving Revolution, Sunmark Publishing Inc., Tokyo, Japan(1996).
10. Khambunruang, W., Saenwong, W., Siriphanichcharoen, S. and Phromnat, P.: Efficiency of EM in increasing rice yield, In Seminar on the Project for Researches into EM and the Effects of Its Use on Agriculture and Environment, Bangkok, Thailand, pp.98-102(1995)
11. 박병화, 임형빈, 손응용, 김용욱: 식물생리학, 3판, 향문사, p.73(1972)

12. 김필주, 장기운, 민경훈: 음식물찌꺼기를 고속발효기에 의해 처리된 퇴비의 안정성 검토, 한국 유기성자원화합의학회지 제3권, 제1호, pp.35-42(1995)
13. Likkhananon, P. and Wangnai, S.: Test of the effectiveness of compost produced by using EM(Bokashi), In Seminar on the Project for Researches into EM and the Effects of Its Use on Agriculture and Environment, Bangkok, Thailand, pp.86-88(1995)
14. 농업과학원: 퇴비의 간이분석방법(1993)
15. 농촌진흥청 농업기술연구소: 토양화학 분석법(1988)
16. Nishizawa, N., Study on the nutritional stress and the ultrastructure of plant roots, J. Jap. Soil and Plant Nutrition Soc., Vol.63, No.3, pp.263-266(1992)
17. 심선택, 김경제, 경규향: 배추의 가용성 고형물함량이 김치의 발효에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 제 22권, 제3호, 278-284(1990)
18. Song, Y.C.: High-rate Methane Fermentation of the Organic Solid Wastes, Ph.D. Thesis, KAIST, pp.275-283(1995)
19. Wangkorkkiat, A., Chauyaphinan, A. and Sunthomphithak, S.: Reduction of nitritious substance in wastewater by EM, In Seminar on the Project for Researches into EM and the Effects of Its Use on Agriculture and Environment, Bangkok, Thailand, pp.157-162(1995)
20. Wangkorkkiat, A., Kanthiya, A. and Chathanao, A.: Effect of EM on resisting production of hydrogen sulfide, In Seminar on the Project for Researches into EM and the Effects of Its Use on Agriculture and Environment, Bangkok, Thailand, pp.170-174(1995)

