

음식폐기물 퇴비화에서 유효 미생물 분리 및 첨가에 관한 연구

이장훈[†] · 정준오 · 박승호
호서대학교 환경공학과

A Study on the Composting Process of Food Waste by Seeding the Isolated Effective Microorganism

Jang Hoon Lee[†], Joon Oh Joeng and Seung Ho Park

Department of Environmental Engineering, Hoseo University
(Received 18 June 2000 ; Accepted 23 August 2000)

ABSTRACT

Although microorganisms play an important role in composting process, researches on the effective microorganism (EM) in composting process are rarely reported. In this study, three stages of work were performed 1) investigation of composting facility 2) sample collection and isolation of the EM 3) lab-scale composting by seeding the isolated EM. For this purpose, physical, chemical, and biological characteristics, such as temperature, moisture content, organic matter, pH, population of microorganism, etc., were investigated during the process and the results were compared with those of a control(non-seeded). In the composting facility, the most active degradation of food waste was supposed to occur in 10-11th day of composting by observing the temperature and CO₂ emission. The population of bacteria and fungi was highest in thermophilic stage. Meanwhile that of actinomycetes and yeast was relatively uniform during the process. In the lab-scale test, the thermophilic stage was maintained longer (more than 9 days in 17 days of experiment) in the seeded which was favored for the high reduction of organic matter and moisture. Reduction rates of lipids and salinity were also increased in the seeded. It confirmed these results that the population of microorganisms in the seeded was observed higher in several orders than the control. However, pH of the seeded was maintained as low as about 4.5 throughout the experiment except the final period of the process. Meanwhile, pH of the control rose in the early stage of the experiment. This was probably due that the seeded microorganisms collected from the composting facility was adapted to the low pH environment.

Keywords : Composting microorganism, Thermophilic, Bacteria, Fungi, Actinomycetes, Yeast

I. 서 론

우리나라 폐기물 발생량은 1991년까지는 연평균 8%의 증가를 보였으나 그 다음해부터는 감소하는 추세를 보이고 있다. 이중 전국 음식물 쓰레기 발생량은 11,798톤/일이며 이는 생활 쓰레기 발생량의 26%를 차지한다.^{1,2)}

음식물 쓰레기는 80~85%의 높은 수분함량과 쉽게 부패하는 특성 때문에 수거·운반시에 오수 및 악취 등으로 작업에 지장을 초래하고, 소각시에도 소각 효율의 저하와 소각로의 온도 감소를 유발하여 대기오염 물질을 발생시킬 우려가 있다. 또한 매립할 경우에도 매

립지 확보의 어려움과 침출수의 유출로 주변지역에 대한 지하수와 토양오염 등의 문제점을 가지고 있으며 각종 부패가스와 악취를 유발시키기도 한다. 그럼에도 불구하고 음식물 쓰레기의 일일 재활용율은 22%로 매우 낮은 편이며 약 70% 이상이 매립되고 있는 실정이다.^{2,3)}

이와 같이 처리 전·후의 문제점을 해결하기 위해 퇴비화나 발효를 통한 사료화 방법을 이용하는 재활용이 시도되고 있다. 그러나 현재 국내에서 이용되고 있는 음식물 쓰레기의 퇴비화 방법은 1990년대 초반에 폐기물 문제가 사회적인 관심사로 대두되면서 발생원에서의 감량화와 매립시 문제점을 보완하기 위한 응급책으로 제시된 것이다. 따라서 우리나라의 실정에 맞는 퇴비 생산기술의 개발을 통해 현재 문제가 되고 있는 악취, 위생, 양질의 퇴비 생산의 과제를 해결해야 할 시점에 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위한 일환으로 개발되고

[†]Corresponding author : Department of Environmental Engineering, Hoseo University
Tel: 041-540-5461, Fax: 041-540-5460
E-mail: jhlee@office.hoseo.ac.kr

있는 기계식교반 호기법은 적절한 수분조절제(bulking agent)에 음식물 쓰레기를 섞어준 후 음식물을 호기성 미생물들에 의해 분해시키는 방법으로 호기성 미생물들이 음식물 쓰레기를 난분해성 산물과 무기염으로 전환시키고 또한 분해 과정에서 발생하는 열이 수분을 증발시켜 처리수 발생이 없는 장점이 있다. 호기성 분해에 의해 처리되는 물질들은 하수농축 잉여슬러지, 돼지 분뇨, 동·식물성 잔사, 식품가공 폐기물, 음식물 쓰레기 등의 다양한 유기성 폐기물 처리에 널리 이용되고 있다.^{4,6)} 또 유효 미생물을 첨가해서 방법을 병행하고 있으며, 이미 외국에서도 유효 미생물 첨가가 각종 쓰레기의 분해 및 퇴비화를 촉진시킨다는 연구결과가 보고되었다.^{7,8)}

그러나 사용목적에 적합한 균주선발을 위한 체계적인 분리방법과 균주의 특성에 대한 연구보고는 미비한 실정이며 기계식 교반 호기법의 처리 특성에 있어서 음식물 쓰레기 특성과 이에 관여하는 미생물 연구보고는 더욱 부족한 실정이다.⁹⁾ 따라서 기계식 교반 호기법에서 유기물질의 분해과정을 이해하고 처리효율을 높이기 위해서는 미생물학적 연구가 수반되어야 할 것이다.

본 연구에서는 음식물 쓰레기를 퇴비화하여 지렁이를 사육하고 양질의 분변토를 생산하고 있는 경기도 Y군의 음식물 쓰레기 퇴비화 시설에서 시료를 채취하여 분석하고, 퇴비화에 관여하는 우점종의 미생물과 유효균주를 분리하여 실험실 규모의 퇴비화 장치에 우점종의 미생물과 유효균주를 첨가하므로써 균주 첨가에 따른 물리·화학적 변화와 미생물상의 변화¹⁰⁻¹³⁾를 검토하고 또한 실규모의 퇴비화와 반응조에서의 퇴비화의 반응 특성을 비교·분석하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 시료 및 장치

시료는 용적이 가로 5 m, 길이 70 m, 퇴비층의 높이가 1.1 m로 Fig. 1과 같은 공정과정을 거치는 음식물 퇴비화 시설에서 톤당 0.15 m³로 강제 공기송풍에 의한

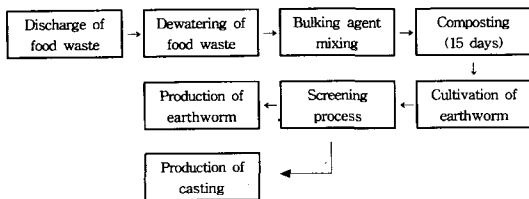


Fig. 1. Flow diagram of composting process.

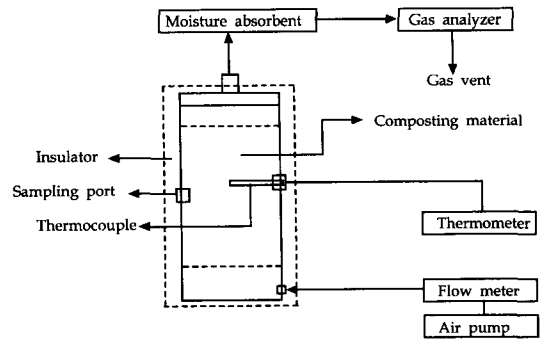


Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus.

공기공급과 1일 3회 교반에 의해 4.7 m 후진이동되는 퇴비단에서 퇴비속성도에 따라 채취하였다.

2. 실험실 규모의 퇴비화

(1) 반응조 제작

반응조는 Fig. 2와 같이 아크릴을 재질로 하여 지름 30 cm, 높이 90 cm의 원통형으로 제작하였고, 보온을 위해 단열재를 이용하였다. 공기의 공급은 air pump를 이용하였으며, 공기량을 유량계로 조절하며 반응조의 하단에서 강제주입시켰다. 온도측정은 thermocouple을 이용하여 자동온도 측정기로 측정하였으며, CO₂의 측정은 반응조 상부의 gas 배출구에 CaSO₄로 충전된 수분 흡수장치를 설치하여 수분을 제거한 상태에서 측정기와 연결하여 측정하였다. 시료채취는 반응조의 옆면에서 이루어지도록 하였다.

(2) 실험실 규모의 음식물 쓰레기 퇴비화의 실험조건

시료는 호서대학교 구내식당에서 발생하는 음식물 찌꺼기를 탈수와 분쇄 후 톱밥과 섞어 수분함량을 65%로 조절하였다. 공기주입량은 0.8 l/min, 초기 pH가 4.2인 시료에 석회를 섞어 pH 7로 조절하였다. 반응조에는 경기도 Y군의 음식물 쓰레기 처리장에서 채취한 시료에서 분리한 탄수화물, 단백질, 지방, 셀룰로오스 분해능이 있고 중온성 미생물과 고온성 미생물을 분리하여 반응 초기상태에서 접종하여 운전하면서 미생물군이 투입되지 않은 반응조와 비교하였다.

3. 물리·화학적 분석항목 및 방법

본 실험에서는 음식물 쓰레기의 퇴비화 과정 중 물리·화학적 특성을 파악하기 위해 퇴비화 반응의 효율을 나타내는 지표로서 사용되는 유기물 함량, 지방, 단백질, 염분과 반응에 따른 환경조건의 변화를 나타내는 지표인 pH와 온도를 측정하였다. pH, 수분함량, 유기물 함량은 폐기물 공정시험법¹⁴⁾에 의해 측정되었으며 조단백

질 및 염분은 토양화학 분석법¹⁵⁾에 의해 측정되었다. 그리고 조지방은 AOAC 분석법¹⁶⁾에 의하여 측정되었으며, CO₂는 흡수탑을 설치하여 수분을 제거한 상태에서 가스 분석기(Anagas CD 95, Geotechnical Instrument)를 이용하여 측정하였다.

4. 총 미생물 밀도조사

조사대상 미생물은 호기성 증속영양세균, 방선균, 곰팡이, 효모등의 4군으로 하였다. 밀도 조사를 위한 배지의 조성으로 호기성 증속 영양 세균은 증류수 1000 ml에 peptone 1.0 g, NaCl 5.0 g, yeast extract 2.0 g, beef extract 1.0 g, agar 18.0 g, cyclohexamide 50 mg으로 방선균은 malt extract 8.0 g, yeast extract 4.0 g, glucose 4.0 g, agar 15.0 g, 증류수 1000 ml으로 곰팡이는 sabouraud's dextrose agar 45.0 g, chloranphenicol 100 mg, dichloran sol. 1 ml, 증류수 1000 ml으로 효모는 malt-yeast extract medium chloranphenicol 100 mg, 증류수 1000 ml에 각각의 배지를 조제하였다. 시료는 실온에서 풍건 후 1g을 각각 멸균 생리수로 10¹²배까지 희석한 후 각각의 배지에 100 µl씩 도말하였다.^{17,18)}

5. 특정물질 분해세균 밀도조사

음식물의 주성분인 탄수화물, 단백질, 셀룰로오스, 지방을 분해하는 분해세균의 밀도를 조사하였다. 밀도 조사를 위한 배지의 조성으로 탄수화물 분해세균은 증류수 1000 ml에 peptone 5.0 g, beef extract 3.0 g, soluble starch 2.0 g, agar 15.0 g으로, 단백질 분해세균은 skim milk powder 100 g, peptone 5.0 g, agar 15 g, 증류수 1000 ml, 셀룰로오스 분해세균은 peptone 5.0 g, beef extract 3.0 g, agar 15.0 g, carboxymethyl cellulose 5.0 g, 증류수 1000 ml, 지방 분해세균은 peptone 5.0 g, beef extract 3.0 g, agar 15 g, tributyrin 10 g, 증류수 1000 ml에 각각의 배지를 조제하였다.¹⁹⁾ 탄수화물 분해균은 Gram's iodine 용액을 뿌려 colony 주위가 투명해지는 분해균을 조사하였고, 단백질과 지방의 분해균은 colony 주위가 투명해지는 분해균을 조사하였고, 셀룰로오스 분해균은 0.1% congo red 용액을 이용하여 NaCl 용액으로 세척한 다음 colony 주위에 붉은색이 탈색된 분해균을 조사하였다. 그리고 배양은 2일로 하였다.

6. 특정물질 분해진균 밀도조사

음식물의 주성분인 탄수화물, 단백질, 셀룰로오스, 지방을 분해하는 분해진균의 밀도 조사방법은 특정물질 분해세균과 동일하였다. 단, 세균류의 성장을 억제하기

위하여 배지에 chloramphenicol 100 µg/ml과 dichloran sol. 1 µg/ml를 첨가하였다.²⁰⁾

7. 유효 미생물의 접종

실규모로서 운전되고 있는 음식물 쓰레기 처리장에서 분리된 탄수화물, 단백질, 지방, 셀룰로오스분해능이 있는 중온성 세균과 고온성 세균을 각각 Nutrient Broth에 접종하여, 36°C와 50°C에서 2일간 배양한 후 시료에 접종하였다.²¹⁾

III. 결과 및 고찰

1. 실규모의 음식물 쓰레기 퇴비화

(1) 온도변화에 따른 퇴비화의 지표변화

퇴비단의 온도는 초기상태로부터 서서히 증가하여 50 m 지점에서 최고의 온도를 나타냈고, CO₂의 발생량도 공정의 최고온도 지점인 50 m 지점에서 가장 많은 것을 보아 총 15일의 퇴비화 과정 중 10~11일째 가장 활발한 분해가 이루어졌다(Table 1).

(2) 지방, 단백질 및 염분의 변화

Table 1. Change of physico-chemical characteristics on composting plant

Distance(m)	Temp(°C)	CO ₂ (%)	pH	MC(%)*
0 m	29	1.2	3.7	69.2
10 m	38.5	2.7	3.8	69.3
20 m	40	3.1	4.6	68.5
30 m	42	3.3	4.6	67.7
40 m	46	4.2	4.9	69.9
50 m	60	6.6	4.8	69.9
60 m	40	2.3	4.8	69.1
70 m	37	2.7	5.0	68.8

* : Moisture content(dry solid base).

Table 2. Change of lipids, protein and salinity on composting plant

Distance(m)	Lipids(%)*	Protein(%)*	Salinity(%)
0 m	1.48	1.52	1.88
10 m	1.41	1.47	1.84
20 m	1.33	1.46	1.79
30 m	1.32	1.45	1.78
40 m	1.25	1.38	1.77
50 m	1.27	1.36	1.77
60 m	1.24	1.33	1.74
70 m	1.24	1.31	1.72

* : dry solid base.

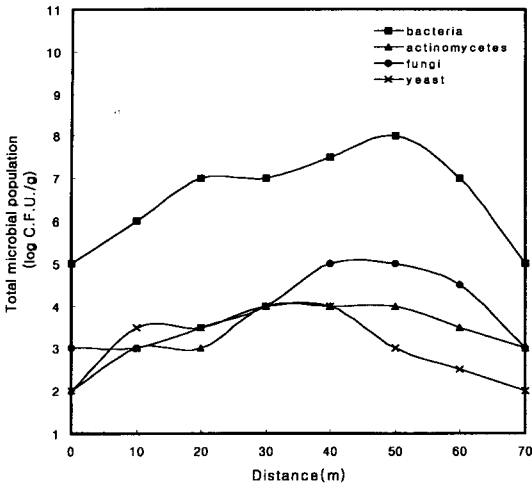


Fig. 3. Variation of total microbial population on composting plant.

지방과 염분은 총 70 m의 처리과정중 0~20 m(약 4 일)까지 상대적으로 분해정도가 높았고 단백질은 초기 함량이 1.52%이었으나 30~40 m 지점에서 가장 높은 분해효율을 나타낸 후 반응종료 후에는 1.31%로 약 14%의 분해율을 보였다(Table 2). 공정의 반응온도를 고려하여 볼 때 40m와 50m부근을 제외하고는 모든 지점에서 중온성 미생물에 의해 퇴비화가 진행되었으리라 사료된다.

(3) 총 미생물 밀도조사

음식물 쓰레기 퇴비화 공정에서 중요한 역할을 하는 bacteria, actinomycetes, fungi, yeast의 총균수를 조사하였다. Fig. 3을 보면 bacteria는 초기의 음식물 원료중에 g당 10^5 cfu 수준으로 존재하였으나, 20 m(약 4 일) 이후에는 g당 10^7 cfu 수준으로 증가하였고, 공정에서 최고의 온도를 보이는 50 m(약 11일)부근에는 g당 10^9 cfu로 밀도가 가장 높게 조사되었다.

actinomycetes와 yeast의 밀도는 초기의 음식물 원료중에 g당 10^2 cfu로 존재하다가 퇴비의 온도상승과 함께 최고의 온도까지 $10^3 \sim 10^4$ cfu 수준으로 완만하게 증가하였으나 점차 감소하였다. 또한 fungi는 초기의 음식물 원료중에 g당 10^3 cfu로 존재하다가 반응온도가 상승함에 따라 점차 증가하여 40 m와 50 m에서 10^5 cfu 수준까지 증가하였으나 이후부터는 점차적으로 감소하였다. 총 15일의 부숙기간중에 퇴비층의 반응온도를 고려하여 볼 때 40~50 m(약 11일) 부근에서는 고온성 미생물이 반응에 주요하게 관여를 하였고, 이 지점을 제외한 모든 공정에서는 중온성 미생물이 퇴비화에 직접 관여한 것으로 추측된다.

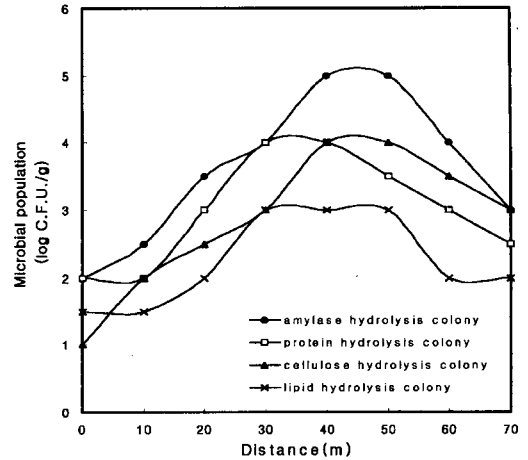


Fig. 4. Variation of population of hydrolytic bacteria on composting plant.

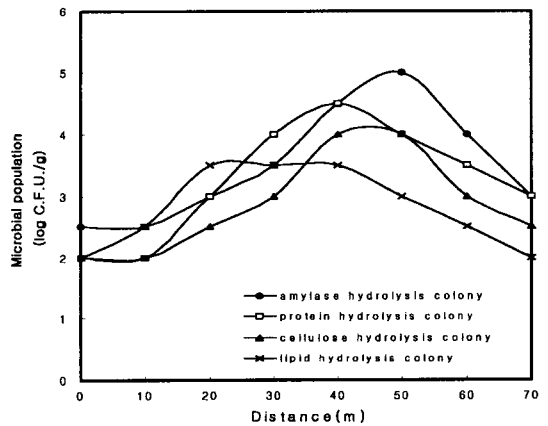


Fig. 5. Variation of population of hydrolytic fungi on composting plant.

(4) 특정물질 분해세균 및 진균의 밀도조사

음식물의 주성분인 탄수화물, 단백질, 셀룰로오스, 지방을 분해하는 특정물질 분해균을 세균과 진균으로 나누어 그 밀도를 조사하여 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. 탄수화물 분해 세균류 및 진균류는 퇴비화에 관여하는 조사대상의 특정물질 분해균 중에서 가장 높은 밀도를 보이고 있는데, 반응초기 단계에서부터 밀도가 서서히 증가하여 최고의 온도(60°C)를 보이는 50 m(약 11일)부근에서 음식물 원료중에 g당 10^5 cfu로 급증하는 것으로 나타났다. 이는 초기 음식물 중 먼저 분해되는 쉬운 당이나 전분을 분해기질로 이용하면서 증식하였을 것이라고 판단된다.

단백질 분해 세균류 및 진균류는 가장높은 단백질 분

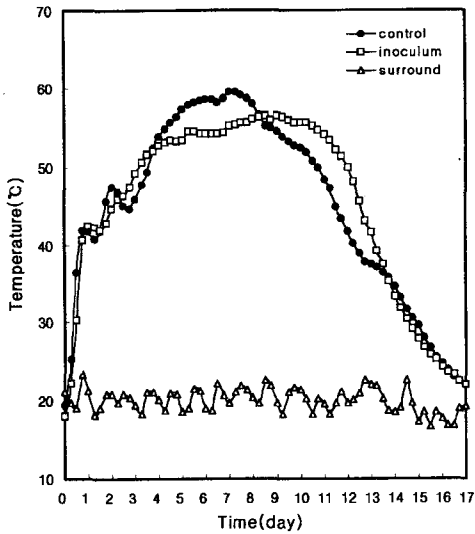


Fig. 6. Variation of temperature during composting.

해율을 보인(Table 2) 30~40 m(약 6~9일)부근에서 g 당 10^4 cfu로 조사되었으며, 셀룰로오스 분해균의 밀도는 세균류와 진균류 모두 비슷하게 조사되었고, 지방 분해 세균류 및 진균류는 조사대상의 특정물질 분해균 중에서 가장 낮은 밀도를 보였다. 지방 분해 세균은 최고의 온도를 보이는 50 m(약 11일)부근에서 최대 증식 밀도를 보였으나, 지방 분해 진균류는 40 m(약 9일)부근에서 최대 증식 밀도이었고 최고의 온도를 보이는 50 m(약 11일)부근 이후부터는 점차적으로 감소하여 초기상태의 밀도와 같았다.

2. 실험실 규모의 음식물 쓰레기 퇴비화

(1) 온도변화

Fig. 6은 유효균주를 첨가한 반응조와 첨가하지 않은 반응조의 음식물 퇴비화 기간동안의 온도변화를 보여 주고 있다. 실험실내의 실내온도는 퇴비화 종료시까지 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 로 계속 유지해 주었다. 일반적인 퇴비화 반응에서는 초기에 한동안 중온성 범위의 온도가 관찰되는 반면에 이 실험에서는 그 기간이 2일 정도로 매우 짧았고 반응온도는 급속히 고온성 범위에 도달하였다. 퇴비화 기간 17일 중 균주를 첨가하지 않은 반응조에서는 약 7일 동안 50°C 이상의 고온성 범위에서 머물렀지만, 유효균주를 첨가한 반응조에서는 약 9일 동안 고온성 범위의 온도를 유지시켰다. 그리고 균주를 첨가하지 않은 반응조에서는 7일 이후부터 반응온도가 점차 떨어졌으나, 유효균주를 첨가한 반응조에서는 10일 이후부터 온도가 점차 떨어지는 것을 보아 실험규모의 퇴비

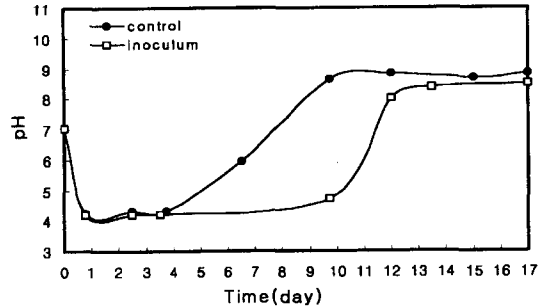


Fig. 7. Variation of pH during composting.

에서 분리되어 첨가된 고온성 미생물이 반응에 관여하여 고온성 범위의 온도대를 더 길게 유지시켜 주었다고 사료된다.

퇴비화 공정에 있어서 중온성 미생물군은 40°C 이상의 온도에서 활동이 억제되고 60°C 이상이 되면 각종 고온성 미생물군의 활동 적정온도를 초과하게 되므로 50°C 후반이 퇴비화의 분해에 있어서 가장 적합하다는 이론^{22,23}과 일치하였다고 보았을 때 유효균주를 첨가하므로써 고온성 미생물이 퇴비화 반응에 관여하여 고온성 범위의 기간을 더 길게 유지시켜 유기물의 분해를 촉진 시킨다면 퇴비화에 있어서 효율을 높이는 하나의 방법이라 할 수 있겠다.

(2) pH의 변화

본 실험에서는 초기 시료의 pH를 석회를 이용하여 약 7로 조절한 후 운전하였다. Fig. 7에서 보듯이 균주를 첨가하지 않은 반응조에서는 반응시작 후 1일만에 pH 4~4.5 범위로 떨어진 상태로 반응시작 후 4일까지 지속되었고 유효균주를 첨가한 반응조에서는 1일만에 pH 4~4.5 부근으로 떨어진 후 반응 10일까지 지속되었다. 이는 초기의 급격한 유기물의 분해로 인해 발생되는 CO_2 의 양이 증가되고 이것이 물에 용해되어 H_2CO_3 로 변했거나 국부적으로 혐기성 부분이 발생되어 CH_3COOH 과 같은 저급 지방산이 생성된 것으로 추측된다. 또한 유효균주를 첨가한 반응조에서 pH 4~4.5 범위의 기간이 길었던 것은 첨가된 균주가 pH 4~5 범위의 퇴비화 시설에서 분리된 미생물이 유산성 세균이기 때문에 이들에 의한 산생성에 기인된 것이라고 사료된다.

(3) 수분함량의 변화

본 실험에서는 음식물 쓰레기에 수분조절제로 톱밥을 혼합하여 약 65%가 되도록 조절하였다. 퇴비화 기간동안 수분함량의 변화를 Fig. 8에 나타내어 본 결과 균주를 첨가하지 않은 반응조에서의 초기 수분함량은 64.5%로 반응을 시작하여 반응 종료시에는 69%로 증

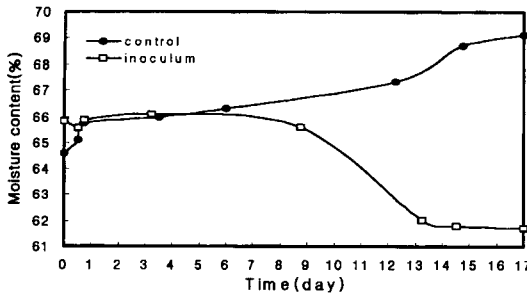


Fig. 8. Variation of moisture content during composting.

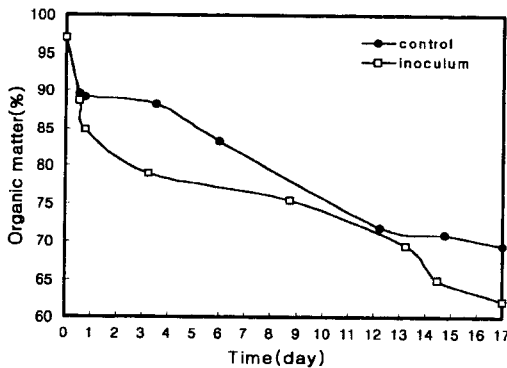


Fig. 9. Variation of organic matter during composting.

가되었다. 반면에 유효균주를 첨가한 반응조에서의 초기 수분함량은 64.5%이었지만 반응 종료시에는 61%로 감소되었는데 이는 고²⁴⁾등의 연구내용과 일치하였다. 유효균주를 첨가한 반응조에서 고온성 미생물이 퇴비화 반응에 관여하여 고온성 범위의 기간을 균주를 첨가하지 않은 반응조보다 더 길게 유지시킴으로 인해 미소하나마 수분증발을 촉진시킨 결과로 판단된다.

(4) 유기물 함량의 변화

Roger T. Hong이 제안한 식에서와 같이 초기물질의 회분함량은 반응후에도 일정하므로 실험에 의해 측정된 유기물 함량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{실제 유기물 함량(\%)} = \frac{\text{회발성고형분(\%)}}{\text{초기 혼합물질의 고형분(\%)}} \times 100$$

Fig. 9에서는 퇴비화 기간 동안 균주를 첨가하지 않은 반응조와 유효균주를 첨가한 반응조에서의 유기물 함량의 변화를 나타내었다. 균주를 첨가하지 않은 반응조에서의 유기물 함량은 반응 전기간에 걸쳐 28.4%의 분해되었으며, 유효균주를 첨가한 반응조에서의 유기물 함량은 반응 전기간에 걸쳐 36%가 분해되었다. 이는

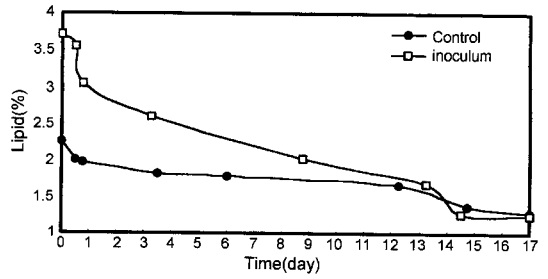


Fig. 10. Variation of lipids during composting.

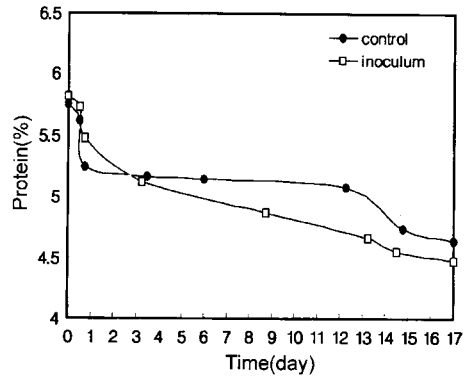


Fig. 11. Variation of protein during composting.

퇴비화에 관여하였던 미생물의 밀도를 볼 때 유효균주를 첨가한 반응조에서의 총균수의 밀도가 균주를 첨가하지 않은 반응조보다 퇴비화 전기간에 걸쳐 보다 높게 조사된 것과 일치한다고 볼 수 있는데 결국 퇴비화에 관여하는 미생물의 개체수가 많을수록 분해의 효율이 높을것이라고 사료된다.

(5) 지방 및 단백질의 변화

지방과 단백질의 변화를 Fig. 10과 Fig. 11에 차례로 나타내었다. 균주를 첨가하지 않은 반응조에서의 초기 지방함량은 2.26%이었으나 반응종료 후에는 1.29%로 43%의 분해율을 보였고, 유효균주를 첨가한 반응조에서의 초기 지방함량은 3.71%이었으나 반응종료 후에는 1.25%로 66.3%의 분해율을 보였는데 이것은 음식물 쓰레기 퇴비화 시설에서 분리되어 첨가된 지방분해균에 의해 보다 높은 제거율을 보인 것이라 할 수 있겠다.

단백질의 함량변화는 균주를 첨가하지 않은 반응조는 반응 전기간에 걸쳐 19%가 분해되었는데 반응시작후 1일 이내에 약 9%가 분해되었고, 유효균주를 첨가한 반응조에서는 전 기간에 걸쳐서 23%가 분해되었는데 이 중 13%는 반응시작후 3일 이내에 분해되었다. 단백질의 분해에 있어서 주요하게 관여되어지는 균주는 반응온도를 고려하여 볼 때 중온성 미생물이라 판단된

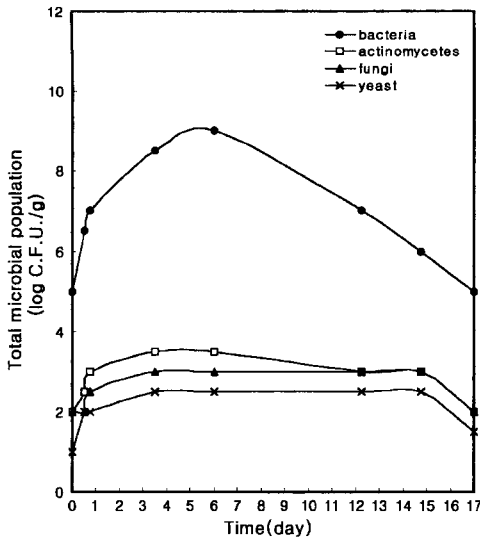


Fig. 12. Variation of total microbial population during composting(control).

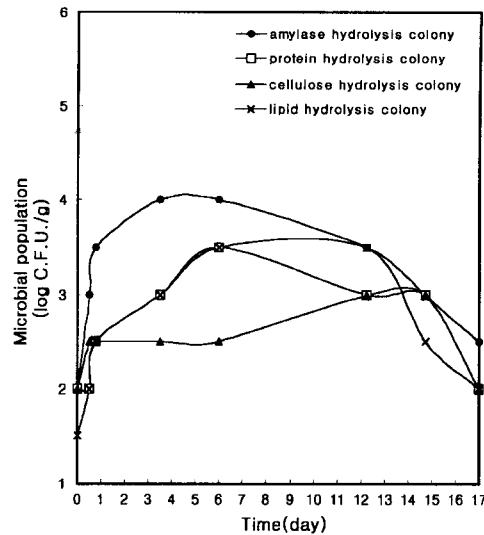


Fig. 14. Variation of population of hydrolytic bacteria during composting(control).

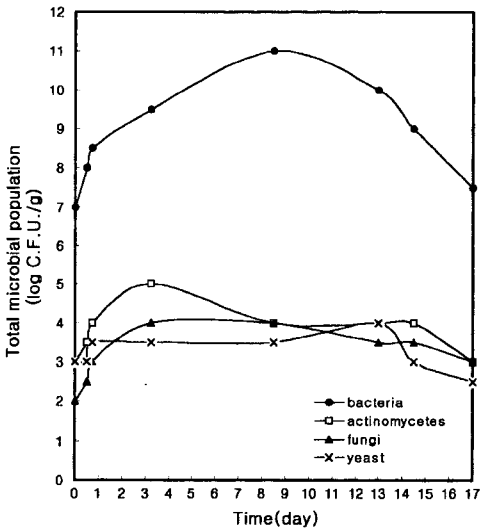


Fig. 13. Variation of total microbial population during composting(inoculum).

다. 또한 지방의 분해도 고온성 범위에서 보다 중온성 범위에서 보다 활발한 분해율을 보였다.

(6) 총 미생물 밀도조사

호기성 퇴비화에 있어서 반응온도와 이용가능한 기질의 공급수준에 따라 퇴비화에 관여하는 미생물의 군집이 변화된다. 따라서 총 17일 동안의 음식물 쓰레기 퇴비화 공정에서 bacteria, actinomycetes, fungi, yeast의 군집변화를 조사하여 Fig. 13와 Fig. 14에 나타내었다.

균주를 첨가하지 않은 반응조에서의 bacteria는 초기 음식물중에 g당 10^5 cfu 수준으로 존재하였으나 반응온도가 상승하면서 그 밀도는 서서히 증가하여 반응의 최고온도를 보이던 6일째는 10^9 cfu로 조사되었다. 반면에 유효균주를 첨가한 반응조에서의 bacteria는 초기 음식물중에 g당 10^7 cfu 수준이었으나, 반응 8일째부터 12일째까지는 반응온도가 50°C를 상회하는 기간동안의 밀도는 10^{10} cfu 이상의 밀도를 보이다가 반응종료시에는 초기상태의 밀도와 비슷해졌다. 균주를 첨가하지 않은 반응조보다 유효균주를 첨가한 반응조에서의 bacteria 밀도가 전 공정에 걸쳐서 10^2 cfu 정도로 많이 존재함을 볼 수 있었는데, 이는 초기의 유효균주를 접종한 것에 기인된다고 생각된다. bacteria는 퇴비화에 있어서 가장 중요하게 관여되는 미생물이기 때문에 퇴비원료 물질중에 보다 더 많은 개체수가 있다는 것은 보다 더 높은 분해율을 가지게 될 것이며, 결국 양호한 퇴비화가 이루어져 양질의 퇴비를 생산할 수 있다고 판단된다.

Fungi와 yeast의 밀도는 균주를 첨가하지 않은 반응조에서 거의 반응이 끝나갈때까지 $10^2 \sim 10^3$ cfu 수준으로 유지되었으며, 유효균주를 첨가한 반응조에서는 반응종료시까지 $10^3 \sim 10^4$ cfu 수준의 밀도를 보였다. 총 17일의 음식물 쓰레기 퇴비화 동안 fungi와 yeast의 밀도는 큰 차이를 나타내지 않아 열에 약한 fungi와 yeast는 퇴비더미의 온도가 고온성 범위에 도달하면 더 이상의 증식을 못하는 것으로 나타났다.

유효균주를 첨가한 반응조에서의 actinomycetes는 반응이 거의 종료되기 직전까지 $10^4 \sim 10^5$ cfu 수준의 밀도를 유지하는 것으로 보아 퇴비화 반응의 중·후반기에 접어들면서부터 퇴비화 반응의 종료시까지 우점하는 것으로 나타났다.

음식물 쓰레기 퇴비화 공정에서 가장 많은 개체수를 보이는 bacteria가 가장 높은 분해율을 보일 것이라고 판단하였으나 그러나 음식물 쓰레기 퇴비화 공정에서

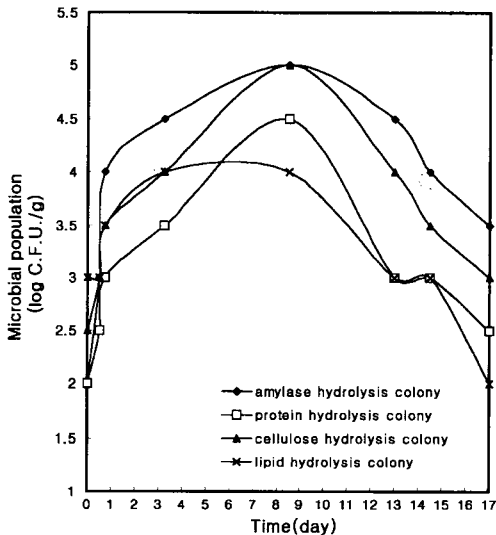


Fig. 15. Variation of population of hydrolytic bacteria during composting(inoculum).

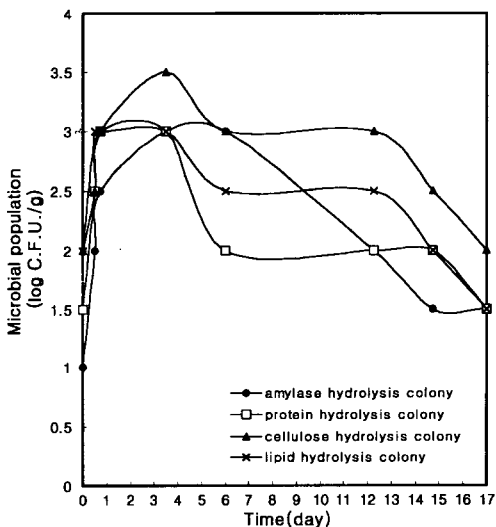


Fig. 16. Variation of population of hydrolytic fungi during composting(control).

반응이 중·후반부에 이르면 bacteria의 밀도는 점차적으로 감소하였고 actinomycetes, fungi, yeast는 대체적으로 반응종료 직전까지 그 개체수를 유지하였다. 결국 음식물 쓰레기 퇴비화는 어느 특정미생물 군집에 의한 것이 아니라 관여하는 모든 미생물 군집의 총체적인 혼합작용에 의하여 이루어 졌다.

(7) 특정물질 분해세균 밀도조사

음식물 쓰레기 퇴비화 기간동안 탄수화물, 단백질, 셀룰로오스, 지방을 분해하는 세균의 밀도를 조사하여 Fig. 15과 Fig. 16에 나타내었다. 균주를 첨가하지 않은 반응조에서 탄수화물 분해세균의 초기밀도는 10^2 cfu 수준에서 반응을 시작하여 6일째에서는 10^4 cfu로 밀도가 증가하다가 후반부로 접어들면서부터 감소하였다. 유효균주를 첨가한 반응조에서의 탄수화물 분해세균의 초기밀도는 10^2 cfu이었으나 9일째에서는 10^5 cfu의 밀도를 보였다.

단백질 분해세균의 밀도는 균주를 첨가한 반응조와 균주를 첨가하지 않은 반응조에서 변화양상이 비슷하였으나 유효균주를 첨가한 반응조에서의 셀룰로오스 분해세균 밀도의 변화는 반응온도가 고온성 범위일 때 10^5 cfu 수준까지 관찰되었으나, 균주를 첨가하지 않은 반응조에서는 조사대상 특정물질 분해세균 중에서 가장 낮은 밀도를 보였다.

지방분해 세균은 균주를 첨가하지 않은 반응조에서 반응최고의 온도를 보이는 6일째 부근에만 최대 증식 밀도를 보인 반면에 유효균주를 첨가한 반응조에서는 반응시작후 3일째부터 8일째까지 즉, 고온성 범위의 기

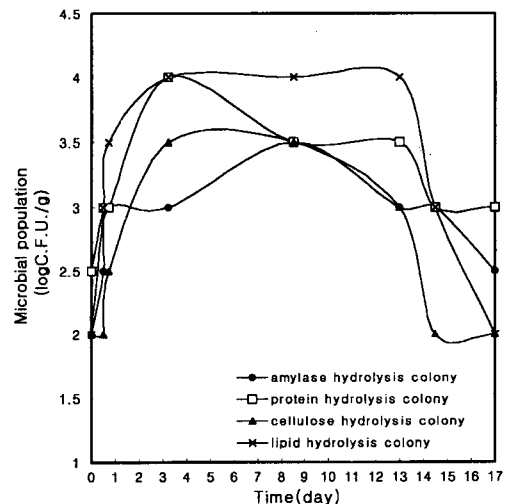


Fig. 17. Variation of population of hydrolytic fungi during composting(inoculum).

간에서 최대 증식밀도를 보였다.

(8) 특정물질 분해진균 밀도조사

음식물 쓰레기 퇴비화에 관여하는 특정물질 분해진균류의 변화는 Fig. 17과 Fig. 18과 같이 균주를 첨가하지 않은 반응조에서의 탄수화물, 단백질, 지방분해 진균류는 반응시작후 3일째까지는 10^3 cfu 수준으로 증가하였으나 그 이후부터는 점차 감소하였고 셀룰로오스 분해진균은 12일째까지 10^3 cfu 수준을 유지하였다. 유효균주를 첨가한 반응조에서의 지방분해 진균류는 초기에 10^2 cfu 수준을 보였으나 점차 증가하여 고온성 범위의 온도에서도 10^4 cfu의 밀도로 조사되어 조사대상 특정물질 분해진균류 중 가장 장기간 동안 그 밀도를 유지함은 물론 가장 높은 밀도로 관찰되었고 단백질 분해진균류는 3일째 10^4 cfu로 최고의 밀도를 보이다가 시간이 지남에 따라 점차 감소하였으며, 셀룰로오스 분해진균은 반응초기부터 중반까지 10^3 cfu 수준을 유지하다가 반응 후반부에 이르러 감소하였으며 탄수화물 분해진균은 조사대상 특정물질 분해진균중 전공정에 걸쳐 가장 낮은 밀도를 보였다.

결과적으로 조사대상 특정물질 분해균은 균주를 첨가하지 않은 반응조보다 유효균주를 첨가한 반응조에서 그 밀도가 높았다. 또한 유효균주를 첨가한 반응조에서 조사된 미생물은 고온성 범위에서도 적응하며 그 개체수를 꾸준히 유지하였는데, 고온에서도 사멸하지 않고 활성을 한 것으로 보아 이는 퇴비화 시설에서 분리된 고온성 미생물로 사료된다.

IV. 결 론

실규모의 음식물 쓰레기 퇴비화와 실험실 규모의 음식물 쓰레기 퇴비화의 반응특성을 관찰하고 음식물 쓰레기 퇴비화 시설에서 퇴비화에 관여하는 유효균주를 분리하여 실험실 규모의 음식물 쓰레기에 접종한 후 퇴비의 물리·화학적 변화에 따른 총균수와 특정물질 분해균의 밀도를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 실규모의 음식물 쓰레기 퇴비화

(1) 음식물 쓰레기 퇴비화에서 반응의 지표가 되는 CO₂ 발생량을 볼 때 총 15일의 부숙기간 중 10~11일째가 가장 활발한 분해가 일어났다.

(2) 총 미생물 군집중 bacteria와 fungi가 고온성 범위에서 최대 증식밀도를 보였으며 actinomycetes와 yeast는 반응과정에 비교적 균일한 밀도를 나타냈다.

(3) 탄수화물 분해세균류 및 진균류는 60°C 부근의 퇴비더미에서 10^5 cfu/g의 수준으로 조사대상 특정물질

분해균 중에서 가장 높은 밀도를 보였고 단백질 분해 세균류 및 진균류는 중온성 상태에서 최고의 밀도를 보였으며, 지방 분해 세균류 및 진균류는 조사대상 특정물질 분해균 중에서 가장 낮은 밀도를 보였다.

2. 유효균주를 첨가한 실험실 규모의 퇴비화

(1) 퇴비화 기간 17일중 50°C를 상회하는 기간이 균주를 첨가하지 않은 반응조에서는 7일이고, 유효균주를 첨가한 반응조에서는 9일로 나타내어 유효균주를 첨가하므로써 퇴비 분해에 적절한 범위의 온도를 더 길게 유지시켜 퇴비물질의 분해를 더욱 촉진시켰다.

(2) 반응 종료후의 염분 제거율은 균주를 첨가하지 않은 반응조에서 12%가 제거되었고, 유효균주를 첨가한 반응조에서 16%의 제거율을 보였다.

(3) 퇴비화에 관여하였던 고온성 bacteria의 최대증식 밀도는 균주를 첨가하지 않은 반응조에서 10^9 cfu/g으로 이었으나, 유효균주를 첨가한 반응조에서는 10^{11} cfu/g 수준으로 조사되었다.

(4) 탄수화물, 단백질, 지방, 셀룰로오스 분해 세균류 및 진균류의 밀도는 유효균주를 첨가한 반응조에서 $10^1 \sim 10^2$ cfu/g 수준으로 더 많이 존재하였다.

참고문헌

- 1) 환경일보 : 음식물 쓰레기의 자원화 심포지움, 34-38, 1996.
- 2) 환경부 : 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 1999.
- 3) Song, Y. C.: High-rate methane fermentation of the organic solid wastes, Ph. D. Thesis, KAIST, 275-283, 1995.
- 4) 환경관리연구소 : 고온 호기법에 의한 농농도 유기성 폐수처리, 첨단환경기술, 5(3), 25-29, 1997.
- 5) 양재경, 최경민, 박응로, 이성택 : 모리타다히로, 고히형물 가용화 촉진제로 아황산염을 이용한 2상 혐기성 소화조에서 폐식용유가 소화효율에 미치는 영향, 대한 환경공학회지, 19(22), 233-244, 1997.
- 6) Yang, J. K., Park, E. R., Choi, K. M., Lee, S. T., and Tadahiro Mori.: Effects of mixing organic wastes on the treatment of anaerobic digested sludge by using thermophilic oxidic process, 한국폐기물학회지, 13(6), 259-267, 1996.
- 7) Nakasaki, K., Sasaki, M., Shoda, M. and Kubota, H.: Effect of seeding during thermophilic composting of sewage sludge, Applied and Environmental Microbiology, Mar, 724-726, 1985.
- 8) Nakasaki, K., Shoda, M., Shoda, M. and Kubota, H.: Effect of temperature on composting of sewage sludge, Applied and Environmental Microbiology, Dec, 1526-1530, 1985.
- 9) Cho, K. S.: Microbial Characteristics in thermophilic oxidic process for the treatment of high strength of

- organic waste water, *대한환경공학회지*, **17**(12), 1199-1209, 1995.
- 10) 한국자원재생공사 : 쓰레기 퇴비화시설의 설계, 운영지침 및 모델개발, 1996.
 - 11) 신항식, 황응주, 박봉선, T. Sakai.: 균주첨가에 의한 퇴비화 효율 검토 및 속도론적 해석, *한국폐기물학회지*, **15**(6), 627-634, 1998.
 - 12) Yusaku Fujio, Shigeru Kume.: Isolation and identification of thermophilic bacteria from sewage sludge compost, *J. Fermentation and Bioengineering*, **72**(5), 334-337, 1991.
 - 13) Kiyohiko Nakasaki, Masayuki Sasaki, Makoto Shoda and Hiroshi Kubota: Characteristics of mesophilic sewage sludge, *Applied and Environmental Microbiology*, Jan, 42-45, 1985.
 - 14) 환경부 : 수질오염, 폐기물, 토양오염 공정시험법, 환경부 고시 제96-32호, 1994.
 - 15) 농업기술연구소 : 토양화학 분석법, 농촌진흥청, 1988.
 - 16) AOAC :Official Method of Analysis, animal feed, Ch. 4, 17, 1995.
 - 17) Ronald M. Atlas: Handbook of Microbiological Media, CRC, 1993.
 - 18) 이장훈 : 실험 환경미생물, 동화기술, 53-56, 1998.
 - 19) 서용기, 양재경, 황 기, 이성택 : 고온 호기법에 의한 음식물 쓰레기 처리용 최적 균주의 탐색, *대한 환경공학회지*, **20**(8), 1061-1072, 1998.
 - 20) 서울특별시 보건환경연구원 : 위생 미생물 시험법 (Laboratory manual of sanitary microbiology), 145-149, 1991.
 - 21) Bergey's manual, 1998.
 - 22) 김병태, 김정옥 : 효율적 퇴비화를 위한 온도제어 공기 공급방식의 적용에 관한 연구, *한국유기성폐기물자원화학회지*, **2**(1), 3-18, 1994.
 - 23) Strom, P. F.: Identification of thermophilic bacteria in solid waste composting, *Applied and Environmental Microbiology*, **50**(4), 906-913, 1985.
 - 24) 고성철, 송영채, 김인수 : 유효미생물에 의한 음식물 쓰레기의 효율적 처리 및 자원화, *한국폐기물학회지*, **14**(7), 729-740, 1997.