

식종물질이 음식물쓰레기 퇴비화정도 및 미생물활성에 미치는 영향

남 공 완, 김 미 자, 김 정 대

건국대학교 환경공학과

Effect of Inoculating Materials on Food Waste Composting

Wan Namkoong, Mi-Ja Kim, Joung-Dae Kim

Department of Environmental Engineering, College of Engineering,
Kon-kuk University, Seoul 143-701, Korea

ABSTRACT

Commercial inocula and mature compost were added separately to food wastes in order to compare the inoculating effect on garbage decomposition. Among commercial inocula available in the market, GM (Green Microorganisms) and EM (Effective Microorganisms) were selected as test inocula. Garbage decomposition were evaluated in Volatile Solid (VS) reduction and FDA (Fluorescein DiAcetate) hydrolysis activity. VS reduction with mature compost experiment was higher than that with GM-added one. VS reduction rates were about 32% with mature compost and 27% with GM. When food wastes were treated with GM and EM based on the manufacturer's specifications, GM-added and EM-added food wastes showed only 8% and 9% of VS reduction respectively, which are much lower than those with the mature compost. FDA hydrolysis activity increased during the first 10 days of active composting periods for the composting experiments, while it decreased continuously for the experiments based on manufacturer's specifications.

Key words : Inocula, Food waste, Composting, FDA hydrolysis activity

초 록

본 연구는 음식쓰레기 분해촉진용으로 시판되고 있는 식중물질을 음식쓰레기에 첨가하여 처리했을 때의 음식쓰레기 분해정도를 숙성퇴비를 사용한 경우와 비교한 것이다. 시판 중인 식중물질로는 GM (Green Microorganisms)과 EM (Effective Microorganisms) 두가지를 실험대상으로 하였다. 음식쓰레기 분해효과를 비교하기 위하여 일반적인 퇴비화실험과 식중물질제품의 시방내용을 준수한 간이처리실험을 병행하였다. 음식쓰레기 분해효과는 온도와 VS 감소율, 그리고 FDA (Fluorescein DiAcetate) 가수분해활성의 변화를 통하여 비교하였다. 온도변화 및 도달한 최고온도를 비교할 때 일반 퇴비화실험에서는 55~57°C까지 상승하였으나 간이처리실험에서는 거의 온도상승이 관찰되지 않았다. 퇴비화실험에서는 숙성퇴비를 첨가한 음식쓰레기의 최고온도가 GM을 첨가한 경우보다 2°C 높았다. VS 함량의 변화를 볼 때 일반 퇴비화실험에서는 VS가 27~32% 감소하였으나 간이처리실험에서는 불과 6~7%만이 감소하였다. 퇴비화실험에서 숙성퇴비를 첨가한 음식쓰레기의 VS 감소율은 GM을 첨가한 음식쓰레기의 경우보다 약 5% 높았다. FDA 가수분해활성도를 이용하여 측정된 미생물활성은 퇴비화실험에서는 초기 10일까지 증가한 후 감소하기 시작하였으나 간이처리한 음식쓰레기에서는 초반부터 줄곧 감소하였다. 수직상으로 대소를 비교하여 보면 초반에는 간이처리실험의 미생물활성이 일반 퇴비화실험의 경우보다 높게 나타났으나 반응기간이 경과하여도 활성이 계속 감소하여 결국 일반 퇴비화실험보다 미생물활성이 전반적으로 낮았다. 퇴비화실험에서는 숙성퇴비를 첨가한 음식쓰레기의 미생물활성이 GM을 첨가한 경우보다 높았다.

핵심용어 : 식중물질, 음식물쓰레기, 퇴비화, FDA 가수분해활성

1. 서 론

퇴비화를 통한 음식쓰레기의 안전한 분해는 후숙기간을 포함하면 1~2달 정도의 기간이 소요된다. 근래에는 이 기간을 단축시키고자 하는 의도로 혐기발효, 고숙퇴비화 등의 처리방법들이 등장하였는데 이러한 처리방법들에서는 일반적으로 음식쓰레기 분해에 효과적이라고 알려진 미생물군을 제품화하여 식중물질로 첨가한다. 그러나 이러한 식중물질제품들은 지금까지 그 구성미생물에 대한 정확한 자료가 제시되어 있지 않은 실정이어서 제품사용을 일반화하거나 권장하기에는 과학적 근거가 부족하다. 일반적으로 퇴비화에서는 기존의 퇴비화시설에서 생산된 최종 숙성퇴비를 식중물질로 첨가하며, 미생

물이 왕성하게 활동할 수 있도록 생물학적 조건을 유지시키는 것이 보다 중요하게 여겨진다. 일반적으로는 쓰레기 자체에 퇴비화에 필요한 초기 미생물량이 존재하고 있다고 알려져 있다 (Finstein 등, 1975). 퇴비화시의 식중물질 첨가에 대해서는 부정적 연구결과들이 많이 발표되어 있는데 (Golueke 등, 1954; Nakasaki 등, 1988) 근래에는 시판 식중물질을 이용한 음식쓰레기 처리에서 긍정적 사례들도 상당수 발표되고 있다 (김 등, 1994; 정 등, 1995; 최 등, 1996). 그러나 이상의 긍정적 사례발표에서는 일반적으로 사용되고 있는 숙성퇴비 사용 효과와는 비교가 되어있지 않다. 인위적으로 개발된 식중물질들이 유기물분해에 효과가 있는지에 대한 평가는 기존의 숙성퇴비를 사용했을 때의 효과와 비교할 때 가능하다.

시판 중인 식중물질제품을 첨가한 음식쓰레기의 처리에서 우려되는 것은 음식쓰레기가 급속히 분해된다고 생각하여 단기간의 처리 후 충분히 안정화되지 않은 퇴비를 사용할 때 나타날 수 있는 문제들이다. 음식쓰레기를 혐기적으로 분해시키면 호기성으로 분해시키는 것보다 심한 악취가 발생하며 분해속도 또한 느리기 때문에 안정화되는 데 더 오랜 기간이 소요된다. 따라서 혐기성 공정을 이용한 혐기발효나 고속퇴비화에서는 충분히 숙성되지 않은 퇴비가 생산될 가능성이 높으며 이러한 퇴비를 토양이나 식물에 살포하면 덜 분해된 유기물의 분해로 인하여 식물에 독성을 미칠 가능성이 높을 것으로 생각된다.

본 연구는 숙성퇴비와 시판 식중물질제품이 음식쓰레기 분해에 미치는 식중효과를 비교함으로써 시판 식중물질제품의 사용타당성을 평가한 것이다. 시판 식중물질제품은 일반 퇴비화실험 외에 제품의 시방을 준수한 간이처리실험을 행함으로써 시판 식중물질제품의 일반적인 식중효과를 평가하였다. 간이처리방법은 가정용으로 보급되는 유통용기를 이용하고 별도의 조건조성 없이 음식쓰레기와 식중물질제품만을 혼합하여 자연분해되도록 한 방법이다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 음식쓰레기 및 식중물질

본 연구에 사용한 음식쓰레기는 우리나라에서 배출되는 음식쓰레기의 물리적 조성 (박, 1996)을 고려하였다. 식중물질로는 숙성퇴비와 시판 중인 식중물질제품 중 GM (Green Microorganisms)과 EM (Effective Microorganisms)을 사용하였다. GM은 호기성 미생물군을 제품화한 것이고 EM은 통성혐기성 미생물군을 제품화한 것으로서 두 제품 모두 음식쓰레기 저장용

기를 밀폐하여 혐기성상태를 유지하도록 권장하고 있다. 첨가량은 숙성퇴비의 경우에는 5%, 시판 중인 식중물질제품은 제품의 시방대로 2% 첨가하였다. 퇴비화 실험에서는 톱밥을 30% (습윤질량기준) 첨가하여 초기의 수분함량을 약 60%로 조정하였으며 식중물질로는 호기성 식중물질제품인 GM과 건국대학교 폐기물처리실험실의 퇴비화실험에서 생산된 숙성퇴비를 사용하였다. 제품의 시방대로 음식쓰레기를 처리한 간이처리실험에서는 톱밥을 첨가하지 않았으며 음식쓰레기를 하루동안 자연탈수한 후 GM과 EM을 식중물질로 첨가하였다. 표 1은 각 실험조건에 맞추어 첨가물을 혼합한 음식쓰레기의 초기 화학적·생물학적 성상을 나타낸 것이다. 각 실험명은 첨가한 식중물질의 이름을 붙여 나타내었다. 즉, Compost와 GM은 숙성퇴비와 GM을 첨가하여 퇴비화한 실험이며 GM-S, EM-S는 GM과 EM을 첨가하되 퇴비화용기 사용설명서 (specification)를 따른 간이처리실험을 뜻한다.

Table 1. Initial chemical-biological properties of food waste mixtures for each experiments.

	Compost ^{a)}	GM ^{b)}	GM-S ^{c)}	EM-S ^{d)}
moisture (%)	60.6	61.2	77.5	76.6
pH	7.5	5.0	3.9	4.1
VS (%)	82.4	86.7	77.7	76.8
FDA hydrolysed(ug/g. min dw. ^{e)})	0.589	0.498	3.180	3.617

a) Compost = experiment using mature compost as inocula

b) GM = experiment using GM as inocula

c) GM-S = experiment using mature compost as inocula, and followed by manufacturer's specification

d) EM-S = experiment using EM as inocula, and followed by manufacturer's specification

e) dw. = dry weight of mixture

2.2 퇴비화반응기 및 시중 유통퇴비화용기

퇴비화 실험은 유효용량 6.5 L의 아크릴 반응

기를 이용하였고 35±2°C로 온도를 유지시킨 항온실에 위치시켰다. 어항용버블러를 통하여 600 mL/min의 속도로 공기를 주입하되 시료의 감소에 따라 공기주입량을 줄여 나갔으며 수분 함량은 60±5%로 유지시켰다. 또한 원활한 공기전달 및 균질한 퇴비화를 위하여 1일 1회 수동으로 음식쓰레기를 교반하였다. 간이처리실험은 가정용으로 보급되는 유통퇴비화용기를 이용하였고 공기공급과 온도조절, 수분함량조절, 공극개량제 첨가, 교반 등을 생략하였다. 이 경우에는 용기의 내부가 혐기상태를 유지하도록 용기의 뚜껑을 닫아 실험실 실온에서 운전하였다. 용기의 측면에 구멍을 만들어 온도계를 꽂아 두었고 ORP 측정시에만 온도계를 뽑고 ORP 전극을 꽂는 방법을 택함으로써 용기의 내부가 밀폐되도록 하여 혐기상태가 유지되도록 하였다. 그림 1은 유통용기내 음식쓰레기의 ORP 변화를 나타낸 것이다. 유통용기 내부의 음식쓰레기는 실험 중 대체로 한계환원전위인 -50 mv 이하의 전위를 유지하였다. 이것은 제품시방에 맞게 실험이 진행되었음을 뜻한다.

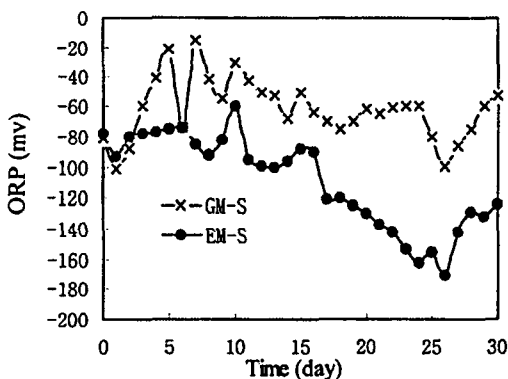


Fig. 1. ORP variation for the experiments GM-S and EM-S (see Table 1 for abbreviations).

2.3 분석방법

간이처리실험에서 음식쓰레기의 산화환원상태

를 파악하기 위한 ORP 측정은 토양화학분석법 (농업기술연구소, 1988)을 이용하였고 VS 및 pH는 폐기물공정시험법 (환경처, 1991)에 준하였다. FDA 가수분해활성은 Gagnon 등(1993)이 사용한 방법을 이용하여 측정하였으며 HACH사의 spectrophotometer (모델명 DR/2000)를 사용하였다.

FDA 가수분해활성 측정법은 이미 여러 연구자들에 의해 미생물활성 측정법의 하나로 인정되었다 (Swisher and Carrol, 1980; Schürer and Rosswall, 1982; Inbar 등, 1991). 이 방법은 FDA (Fluorescein DiAcetate; 3', 6'-diacetylfluorescein)가 미생물이 분비한 효소에 의해 가수분해되어 Fluorescein으로 전환되는 성질을 이용한 것이다. 즉, FDA의 가수분해산물인 Fluorescein의 흡광도를 측정하고 standard curve와 비교하여 가수분해된 FDA량을 구함으로써 미생물활성을 측정하는 것이다. 가수분해된 FDA량은 건조질량으로 환산한 음식쓰레기 단위질량 당 단위시간 동안 가수분해된 FDA량 (ug/g.min dw.)으로 나타내었다. 분석은 다음과 같이 실행하였다. FDA (Sigma Chemical Co., St. Luis, MO.)는 아세톤에 녹여 2 mg/mL의 보관액을 만든 후 -20°C에서 보관하였다. 0.06 M 인산나트륨 완충액 (pH 7.6) 20 mL가 들어있는 비이커에 시료 1 g (습시료)을 첨가하고 FDA 보관액을 0.02 mL 첨가한 다음 (바탕 실험용 시료에는 첨가하지 않는다) 90 rpm으로 20분 동안 진탕하였다. 그 후 즉시 아세톤을 20 mL 첨가하여 최종농도가 50% (V/V)가 되게 하였는데 아세톤 첨가 후에도 지속될 수 있는 FDA 가수분해량을 보정하기 위한 대조시료 (control)에는 FDA 첨가 후 즉시 아세톤을 첨가하였다. 혼합액은 Whatmann No. 1 여지로 여과하고 여액은 spectrophotometer를 이용하여 490 nm에서 흡광

도를 측정하였다. 이와 동일한 절차로 검광선 작성을 위한 실험을 행하고 가수분해된 FDA량과 흡광도와와의 관계를 구하였다. 검광선 작성을 위한 실험은 다음과 같았다. 마개가 달린 20 mL 용량의 바이오편에 완충액을 5 mL 넣은 다음 FDA 보관액을 0, 0.01, 0.02 mL 단계별로 첨가하고 마개를 닫아 끓는 물에서 1시간 동안 가수분해하였다. 바이오편을 꺼내어 식힌 후 습시료 1g이 들어있는 비이커에 완충액 15 mL를 이용하여 정량적으로 옮기고 20분간 90 rpm으로 진탕하였다. 아세톤 20 mL를 첨가한 후 Whatmann No. 1 여지로 여과하고 여액의 흡광도를 측정하였다. 흡광도는 0.2~0.8 범위에 들도록 하며 0.8을 초과하면 희석하였다. 예비실험을 통하여 FDA 보관액 첨가량은 0.02 mL, 시료량은 0.2g으로 할 때 흡광도가 적정범위에 나타남을 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 물리화학적 변화 비교

그림 2는 퇴비화실험 및 간이처리실험시의 온도변화를 나타낸 것이다. 퇴비화실험에서는 3~4일이 경과하자 최고온도에 도달하였다. 최고온도는 숙성퇴비를 첨가한 경우에는 57°C, GM을 첨가한 경우에는 55°C로서 2°C 차이로 숙성퇴비를 첨가한 음식쓰레기의 최고온도가 높았다. 이후 온도는 하강하기 시작하여 1주일이 지나자 항온실 온도와 비슷한 수준이 되었다. 이것은 퇴비화한 음식쓰레기가 초기 10일간 활발히 분해되어 분해되기 용이한 유기물은 상당히 소모되었음을 의미한다(McGregor 등, 1981). 간이처리실험의 경우에는 GM을 첨가한 음식쓰레기나 EM을 첨가한 음식쓰레기의 어느 쪽에서도 온도가 상승하지 않았고 실험실 실온을 나타내었다. 이것은 플라스틱으로 만들어진 유통용기

가 열손실을 막지 못하여 온도가 상승하지 못하였거나 열이 생성될 만큼 활발히 음식쓰레기가 분해되지 못하였다는 것을 의미한다. 간이처리 실험에서는 실험기간 내내 수분함량이 75~80%의 수준이었고 혐기성 환경이 조성되었다. 유기물이 혐기적으로 분해되면 호기적으로 분해되는 것 보다 열생성이 저조한 것으로 알려져 있다. 온도상승은 미생물이 유기물을 분해하는 과정에서 발생된 열이 축적되기 때문에 나타나는 현상이므로 온도가 높게 유지되고 최고온도가 상대적으로 높다는 것은 미생물 활동과 유기물 분해가 상대적으로 활발하다는 것을 뜻한다. 따라서 간이처리실험의 경우 미생물에 의한 유기물분해가 퇴비화실험에 비하여 매우 저조하였으며 퇴비화실험 중에서는 숙성퇴비를 첨가한 경우가 GM을 첨가한 경우보다 유기물분해가 활발하였다고 볼 수 있다.

그림 3은 pH의 변화를 나타낸 것이다. 퇴비화실험의 경우 숙성퇴비를 첨가한 실험에서는 2일 째에, GM을 첨가한 실험에서는 6일째에 8.5 내외로 상승한 후 일정하였다. 간이처리실험의 경우에는 pH는 계속 낮아져 5 이하로 유지되었다. 이것은 악취발산 억제와 시판 식종물

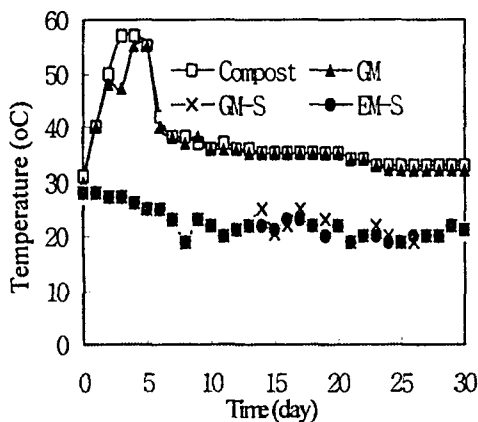


Fig. 2. Temperature variation during experiments (see Table 1 for abbreviations).

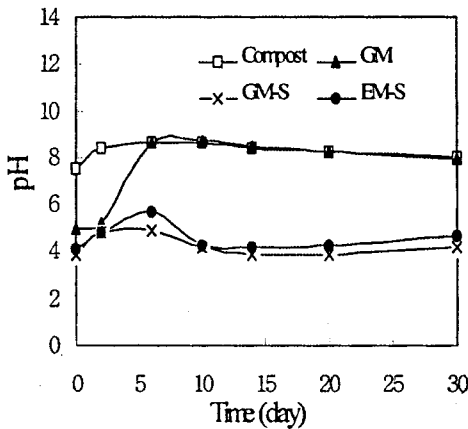


Fig. 3. pH variation during experiments (see Table 1 for abbreviations).

질의 제품특성을 고려하여 유통용기를 밀폐상태로 유지함으로써 혐기화가 일어났기 때문인 것으로 생각된다. 음식쓰레기는 자체의 특성상 초기의 pH는 낮으나 음식쓰레기의 단백질 성분이 가수분해 되고 아미노산으로부터 암모니아가 방출되면서 pH가 상승하고 중성범위를 유지하는 것이 일반적이다. 음식쓰레기 분해에 관여하는 대부분의 미생물은 pH 5 이하에서는 활동에 저

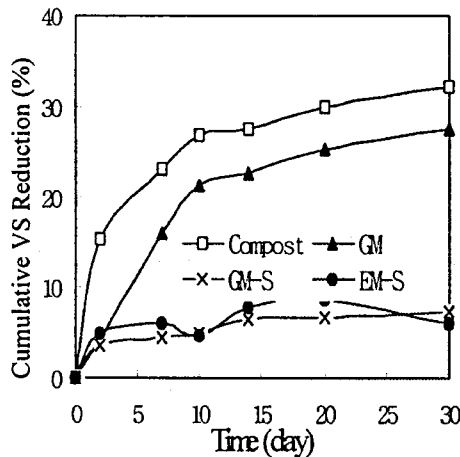


Fig. 4. Variation of cumulative VS reduction for each experiments (see Table 1 for abbreviations).

해를 받는다(Lowe 등, 1993). 따라서 GM을 첨가하여 퇴비화 한 음식쓰레기가 1주일간 산성 pH를 유지하는 동안 미생물의 활동은 숙성퇴비를 첨가하여 퇴비화한 음식쓰레기에서 보다 저조하였을 것이며, 간이처리한 음식쓰레기의 경우에는 더욱 미생물활동이 억제되었을 것으로 추정할 수 있다.

그림 4는 VS 감소율의 변화를 나타낸 것이다. 퇴비화실험의 경우 숙성퇴비를 첨가한 음식쓰레기의 VS 함량은 82%에서 76%로 감소하였고 GM을 첨가한 음식쓰레기의 VS 함량은 87%에서 83%로 감소하였다. Maurice 등(1987)이 제시한 VS 감소식을 이용하여 VS 감소율을 구했을 때 감소율은 숙성퇴비를 첨가한 경우와 GM을 첨가한 경우에 각각 약 32%와 약 27%였다. VS 감소가 빠르게 나타난 초기 10일간의 VS 감소율 역시 숙성퇴비를 첨가한 경우에는 27% 감소하였으나 GM을 첨가한 경우에는 23% 감소함으로써 분해과정 초기 뿐 아니라 후반에도 GM을 첨가한 음식쓰레기는 숙성퇴비를 첨가한 음식쓰레기에 비하여 유기물 분해도가 낮았다. 간이처리실험의 경우는 퇴비화실험의 경우에 비하여 VS 감소율이 매우 저조하였다. EM을 첨가한 경우에는 약 7%, GM을 첨가한 경우에는 약 6%의 감소율을 나타내었다. 동일한 제품인 GM을 첨가하되 퇴비화한 경우에는 VS 감소율이 약 27%인 반면 간이처리한 경우에는 약 6%로서 상당히 큰 차이를 나타내었다. 이것은 간이처리가 퇴비화에 비하여 음식쓰레기 분해에 효과적이지 못한 처리방법임을 뜻한다.

3.2 미생물활성 비교

그림 5는 FDA 가수분해활성의 변화를 나타낸 것이다. 퇴비화실험의 경우에는 10일까지 활성이 증가한 후 감소하기 시작한 반면 간이처리실험의 경우에는 초기 부터 계속 감소하였다.

퇴비화실험에서는 숙성퇴비를 첨가한 음식쓰레기의 FDA 가수분해활성이 GM을 첨가한 음식쓰레기의 경우보다 빠르게 증가하였으며 높게 나타났다. 간이처리 실험에서는 GM을 첨가한 음식쓰레기는 EM을 첨가한 음식쓰레기보다 낮은 가수분해활성을 나타내었으며 더 급격히 감소하였다. VS 감소율 비교결과에서와 마찬가지로 동일한 GM을 첨가하되 퇴비화한 경우에는 FDA 가수분해활성이 증가하였으나 간이처리한 경우에는 줄곧 감소하는 경향을 나타내었다. 즉, 음식쓰레기 분해효과를 유기물량(VS) 감소와 미생물활성 측면에서 비교할 때 간이처리 는 퇴비화보다 효과적이지 못한 처리방법인 것으로 나타났다.

미생물활성이 증가한 후 감소하는 것은 유기물 분해에 따른 기질고갈이 한 원인이다. 퇴비화실험에서 FDA 가수분해활성이 증가하는 10 일 동안 VS 감소율은 급격히 증가하였고 이후 FDA 가수분해활성이 감소하기 시작하자 VS 감소율의 증가경향 역시 둔화되었다. 그림 6은 퇴비화한 음식쓰레기의 FDA 가수분해활성이

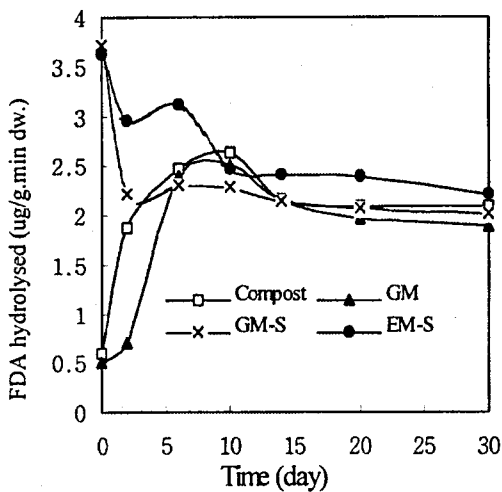


Fig. 5. Variation of FDA hydrolysis activity for each experiments(see Table 1 for abbreviations).

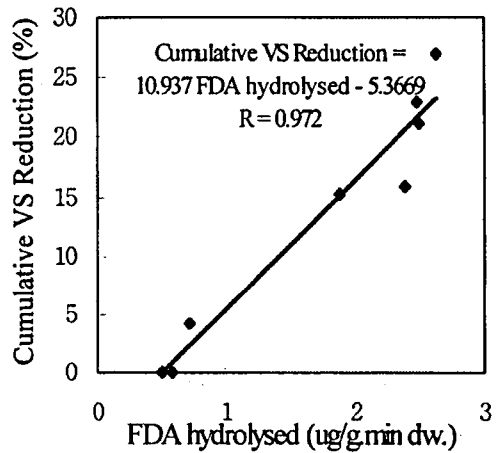


Fig. 6. Correlation between FDA hydrolysis activity and cumulative VS reduction (see Table 1 for abbreviations).

증가하는 초기 10일 동안의 미생물활성과 VS 감소율 사이의 상관성을 나타낸 것이다. 음식쓰레기의 VS 감소율과 FDA 가수분해활성 사이의 높은 상관계수(0.972)는 미생물활성과 유기물분해 사이에 밀접한 연관성이 있음을 나타내는 것이다.

한편 간이처리한 음식쓰레기는 초기에는 퇴비화한 음식쓰레기보다 높은 가수분해활성을 나타내었으나 계속적으로 감소하였고 10일 이후에는 비슷한 수준이 되었다. 식중한 미생물군이 본래 미생물(indigenous microorganisms)에 대하여 적응하고 번식하기 위해서는 비생물적 환경인자가 식중미생물군의 내성범위에 알맞아야 하고 번식처에 본래 미생물이 없거나 보다 약한 종이어야 한다고 알려져 있다(Alexander, 1971). 음식쓰레기에는 이미 충분한 양의 미생물이 존재하고 있으며 인위적으로 조합된 시판 제품 중의 미생물에 비하여 기질조건에 보다 잘 적응되어 있으므로 내성이 더 강하고 더 빨리 증식할 수 있다. 퇴비화는 특정 미생물종에 좌우되기 보다는 환경인자에 더욱 큰 영향을 받는 것으로

알려져 있다. 따라서 실험 초기에 미생물활성이 퇴비화한 음식쓰레기에 비하여 높았음에도 불구하고 계속 감소하였으며 간이처리한 음식쓰레기의 VS 감소율이 상대적으로 매우 저조하였다는 것은 GM과 EM 등의 시판 식종물질은 음식쓰레기의 환경에 적응하지 못하였음을 의미한다.

5. 결 론

본 연구의 목적은 퇴비화에서 식종물질로 흔히 첨가되는 숙성퇴비에 비하여 시판 식종물질은 과연 퇴비화반응을 촉진하여 급속한 퇴비화가 이루어지게 하는가를 비교평가하는 것이었으며 또한 시판식종물질을 첨가한 음식쓰레기의 간이처리의 타당성을 평가하는 것이었다. 각 실험결과는 온도와 pH, 휘발성고형물질 함량(VS) 감소율 그리고 FDA 가수분해활성으로 측정된 미생물활성을 비교함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 음식쓰레기의 퇴비화에서 숙성퇴비를 첨가하는 처리가 시판 식종물질을 첨가하는 처리 보다 유기물분해정도 및 미생물활성이 높아 음식쓰레기 분해에 효과적이다.
2. 시판 중인 식종물질인 GM과 EM은 음식쓰레기를 제품시방에 따라 처리하여도 일반 호기성 퇴비화처리보다 유기물 분해효과가 낮다.
3. 시판 식종물질제품 사용시 음식쓰레기를 혐기성 상태 하에서 처리하면 호기성 상태 하에서 처리하는 것보다 음식쓰레기의 분해효과가 낮다.

감사의 글

이 연구는 1996년도 건국대학교 지원에 의하여 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김광주(1994), "EM 발효체를 이용한 음식쓰레기 재처리와 그 이용방법", 한국유기성폐기물자원화협의회 1994년도 정기총회 및 봄 학술대회, pp.83-89.

농업기술연구소(1988), "토양화학분석법".

박상후(1966), "C/N비가 다른 음식쓰레기의 퇴비화시 숙성도변화 연구", 건국대학교 석사 학위논문.

정진오(1955), "음식물쓰레기 EM 퇴비화사업 추진상황", 한국유기성폐기물자원화협의회 학회지 제3권 1호, pp.97-105.

최민호, 정윤진, 박연희(1996), "중균첨가가 음식물쓰레기 퇴비화미생물에 미치는 영향", 한국유기성폐기물자원화협의회 학회지 제4권 1호, pp.1-11.

환경처(1991), "폐기물 공정 시험법".

Alexander, M.(1987), "Introduction to Soil Microbiology", John Wiley, New York.

Finstein, M.S., and Morris, M.L.(1975), "Microbiology of Municipal Solid Waste Composting", *Advances in Applied Microbiology*, Vol. 19, pp.113-151.

Gagnon, B., Chantal, R., and Chagnon, J.(1993), "Evolution of Chemical Composition and Microbial Activity during Storage of Compost-Based Mixes", *Compost Science and Utilization*, Vol. 1, No. 3, pp.15-21.

Inbar, Y., Boehem, M.J., and Hoitink, H.A.J.(1991), "Hydrolysis of Fluorescein Diacetate in Sphagnum Peat Container Media for Predicting Suppressiveness to Damping-off caused by *pythium*

- ultimum*", Soil Biol. Biochem. Vol. 23, pp. 479-483.
- Lowe, S.E., Jain, M.K., and Zeikus, J. G. (1993), "Biology, Ecology, and Biotechnological Applications of Anaerobic Bacteria Adapted to Environmental Stresses in Temperature, pH, Salinity, or Substrates", Microbiological Reviews, Vol. 37, No. 2, pp. 451-509.
- McGregor, S.T., Miller, F.C., Psarianos, K.M., Finstein, M.S. (1981), "Composting Process based on Interaction between Microbial Heat Output and Temperature", Applied and Environmental Microbiology, Vol. 41, No. 6, pp. 1321-1330.
- Maurice, V., Daniel S. and Louis, A. (1987), "Optimization of Agricultural Industrial Waste Management through In-Vessel Composting", Compost: Production, Quality and Use, Elsevier Applied Science, pp. 230-237.
- Nakasaki, K. and Akiyama, T. (1988), "Effects of Seeding on Thermophilic Composting of Household Organic Wastes", Jr. Ferment. Technol., Vol. 66, No. 1, pp. 37-42.
- Poincelot, R.P. (1972), "The Biochemistry and Methodology of Composting", Conn. Agric. Expt. State Bull. Vol. 727, pp. 38-48
- Schnürer, J., and Rosswall, T. (1982), "Fluorescein Diacetate as a Measure of Total Microbial Activity in Soil and Litter", Applied and Environmental Microbiology, Vol. 43, pp. 1256-1261.
- Swisher, R., and Carroll, G.C. (1980), "Fluorescein Diacetate Hydrolysis as an Estimator of Microbial Biomass on Coniferous Needle Surfaces", Microb. Ecol., Vol. 6, pp. 217-226.