

## 가정용 소형 퇴비화 용기에 의한 부엌 쓰레기의 분산식 퇴비화

### II. 실험실 조건에 있어서 미생물상의 변동

이 연\* · 주우홍\* · 서정윤\*\*

## Decentralized Composting of Garbage in a Small Composter for Dwelling House

### II. Changes in Microbial Flora in laboratory Composting of the Household Garbage in a small Bin

Yon Lee\*, Woo-Hong Joo\*, Jeoung-Yoon Seo\*\*

#### Abstract

In the course of developing a small composter for dwelling house, we designed two different small bins; one is insulated (type 1) and the other uninsulated (type 2). Several interesting results were obtained from the study using these bins for garbage composting in winter, spring and summer. Changes in microbial number were very similar to those observed in the general composting process. However, microbial flora was relatively simple. The genera *Streptomyces* and *Nocardia* of actinomycetes and the genera *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Absidia*, *Rhizopus* of hypomycetes were observed from the composted materials. Thermophiles secreted most of the  $\alpha$ -amylase secreted in winter but mesophilic actinomycetes did in summer. The amount of secreted protease was much lower in winter than in summer. Lipases were secreted more by mesophiles than thermophiles. Only *Aspergillus* of hypomycetes was observed to degrade cellulose. Generally, the appearance of enzyme producing microorganisms increased in summer than in the other seasons. In the point of seasonal increase of temperature and changes in microbial flora, the number of microorganisms was higher in summer or spring than in winter.

\* 창원대학교 자연과학대학 (College of Engineering, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea)

\*\* 창원대학교 공과대학 (College of Natural Science, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea)

— 이 논문은 한국과학재단의 1992년도 특정 기초과제 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 서 론

환경오염이 날로 심각해지고 있는 오늘날 이미 오염된 환경의 복원이 중요한 과제로 국민적인 관심을 받고 있다. 또한 자연보호 및 환경오염방지를 위하여 환경 오염원의 과학적 처리와 근원적인 차단도 적극적인 의미에서 병행하여 시행할 필요성이 인식되고 있다. 특히 도시화에 수반하여 생활 쓰레기도 주요 환경오염원으로 대두되어 그 처리방안이 강구되고 있다. 생활 쓰레기 중 분리 수거되어 재활용 가능한 것은 재활용하여야 하며 하루 평균 1만 9,764톤이 발생하여 전체 쓰레기의 31%, 생활 쓰레기의 40%를 점하는 음식 쓰레기는 매립, 소각, 퇴비화의 방법으로 처리될 수 있다. 현재 발생량의 95.2%가 매립되나 매립법은 매립시의 문제점인 악취 발생, 침출수에 의한 지하수 및 하천오염, 병원균의 전파 등과 지방 자치에 따른 지역주민의 반발 등으로 인한 매립 장소의 확보난의 이유로, 소각법은 음식 쓰레기의 높은 수분함량으로 인한 소각사의 과대한 열량 소모 및 매연 발생 등으로 적합하지 않으므로 퇴비화 방법이 가장 이상적이다.

퇴비화(Composting)는 폐기물 biomass 이용 기술로 토양으로의 환원에 앞서 미생물의 호기적 분해 작용으로 고온과정을 거쳐 취급 및 저장등이 용이하며 환경에 악영향이 없는 안정화 된 상태로 만들어 biomass가 가지는 비료적 효과, 토양개량제적 효과를 충분히 발휘할 수 있도록 하는 기술이다.<sup>1)</sup> 퇴비화 방법에는 집중식 및 분산식이 있으며, 집중식은 퇴비장 건설에 막대한 경비가 소모되고 퇴비 중 중금속 및 불순물 함량 증가를 초래하여 생산된 퇴비 사용에 문제점이 발생하나, 분산식 퇴비화는 퇴비화 할 수 있는 폐기물을 발생장소에서 분리하여 퇴비화 하기 때문에 퇴비중 오염물질 함량을 줄일 수 있고 또한 수거하여야 할 양을 퇴비화 과정을 통해 사전에 약 50% 정도 줄일 수 있기 때문에 집중식 퇴비화보다 이점이 크다. 한편 퇴비의 원재료 인 부엌 쓰레기도 지역, 식생활 패턴 및 계절에

따라 그 조성이 상이하므로 퇴비에서 활동하는 미생물상도 변화한다. 그러므로 본 논문은 분산식 퇴비화 방법을 가정 부엌 쓰레기의 퇴비화에 적용하고자 부엌 쓰레기의 퇴비화 과정에 따른 미생물상의 변화를 검토하고 그 과정에 출현하는 각종 물질 분해 효소 생산균을 탐색하여 보고한다.

## 실험 방법

### 1. 평판배지에서 미생물수의 계수

퇴비화 용기에 투입하기 위하여 채집된 부엌 음식 쓰레기를 전보<sup>2)</sup>에서와 같이 설계된 퇴비화 용기에서 일정기간 퇴비화한 후 채취된 것은 분석용 시료(수분 함량 전보<sup>2)</sup> 참조) 50g을 450ml 0.18% sodium pyrophosphate 함유 멸균수에 현탁후 30 분간 진탕하여 토양미생물 실험법<sup>3)</sup>에 따라 현탁액을 1:10으로 연속 희석, 배지에 혼합하여 평판을 만들었다. 중온균은 25°C, 고온균은 50°C에서 중온균은 7 일간, 고온균은 3-4 일간 배양후 colony수를 계산하여 시료 1g당 미생물수를 산정하였다. Colony수를 계산시 각 배지에서의 배양학적 특성, colony의 형태·색깔 등으로 세균, 방선균, 진균류로 판정하였으며 의심이 되는 것은 현미경으로 직접 형태를 관

Table 1. Composition of isolation media.

Microbial Group	Composition of Media (g/L)
Bacteria	Nutrient Agar Medium Nutrient broth : 8, Agar : 15 (Gelrite : 15)
Actinomycetes	Sucrose Nitrate Medium Sucrose : 30, NaNO <sub>3</sub> : 2, K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> : 1, MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O : 0.5, KCl : 0.5, FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O : 0.01, Agar : 15 (Gelrite : 10)
Fungi	2% Malt Agar Medium Malt extract : 20, Agar : 15, (Gelrite : 10)

찰하여 결정하였다. 특히 Fungi의 경우에는 매일 colony를 관찰하여 증복되지 않도록 유의하여 계수하였다. 미생물의 종류별로 사용한 배지의 조성은 Table 1과 같으며, 고온균의 평판은 agar 대신 gel-rite를 사용하였다.

**2. 물질분해 효소분비 미생물의 확인**

주요물질( 전분, 단백질, 지질, 셀룰로스)의 분해 효소 분비 미생물을 평판법으로 확인하였다.  $\alpha$ -amylase는 기본배지(0.8% nutrient broth, 1% soluble starch, 0.1%  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 2% agar)에 접종하여 배양후 1N 옥도용액으로 반응하여 clear zone의 형성을 관찰하고, protease는 skim milk배지(2% skim milk, 0.5% peptone, 0.1% yeast extract, 2% agar)에, lipase는 Lawrence 등의 방법<sup>4)</sup>에 준하여 평판배지(0.5% peptone, 0.3% beef extract, 1% tributyrin, 2% agar)에, cellulase는 cellulose배지 (2.5% cellulose, 0.3%  $NaNO_3$ , 0.1%  $K_2HPO_4$ , 0.05% KCl, 0.05%  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0.001%  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , 2% agar)

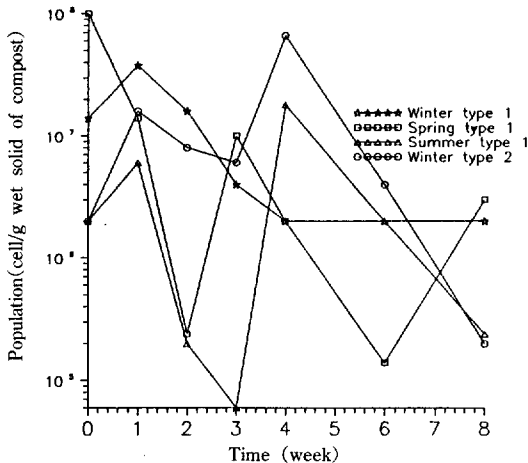


Fig. 1. Changes in mesophilic bacterial population during laboratory composting (estimated in the medium adjusted to pH 5).

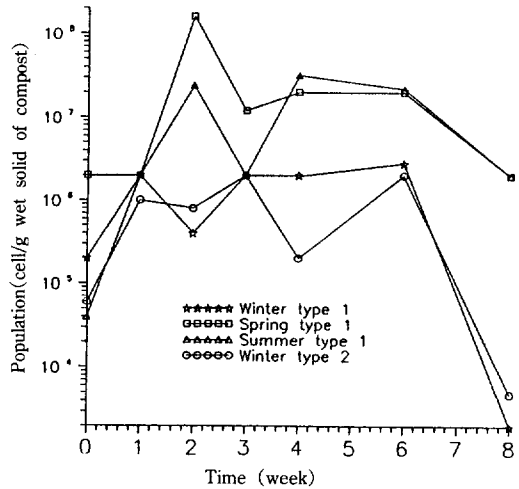


Fig. 2. Changes in thermophilic bacterial population during laboratory composting (estimated in the medium adjusted to pH 7).

에 접종하여 배양후 clear zone의 형성 유무를 관찰하여 각각의 물질 분해효소의 생성 정도를 판별하였다.

**결과 및 고찰**

겨울철부터 퇴비화 실험을 시작하여 평판 배지의 pH를 5와 7로 조정하여 미생물을 분리 계수하였다. Fig. 1과 Fig. 2에 각각 중온성 세균, 고온성 세균의 flora 변화를 나타내었다. 퇴비화 시료에는 호기성 중온세균이 시료 습중량 1g당 10<sup>6</sup>에서 10<sup>8</sup>개 존재하며, 퇴비화 2주째 용기온도의 상승과 함께 봄과 여름철 퇴비화 용기에서 급격한 감소를 보여 10<sup>5</sup>개 정도까지 저하되나 퇴비화 용기 type 1과 type 2에서 겨울철에 완전한 감소를 보이고 퇴비화 3주째도 감소하였다. 봄, 여름에는 각각 퇴비화 3주째와 4주째에 다시 증가하였으며, 8주 이상의 퇴비화 말기에는 중온성 세균은 퇴비화 전의 시료와 그 수가 유사하게 되었다. 고온성 세균은 시료투입시 10<sup>5</sup>-10<sup>6</sup>

개 정도로 퇴비화 1주째에 type 1과 type 2의 겨울철 퇴비화 과정에서  $10^5$ 개 정도에서  $10^6$ 개 정도로 증가하나 type 1의 봄철과 여름철 퇴비화에서는 2주째에 각각  $10^7-10^8$ 개 정도까지 증가하였다. 8주 이상의 퇴비화 말기에는 고온성 세균이 봄, 여름철  $10^6$ 개, 겨울철  $10^4$ 개 이하로 겨울철에 적게 나타났다. 전체적으로 고온성 세균의 출현은 여름철보다 봄철에 다소 많은 것이 특징이다. 중온성 세균은 pH 5, pH 7로 조정된 평판에서 유사하게 세균수가 계수되었지만 고온성 세균은 pH 5 평판보다 pH 7 평판 쪽에서  $10-10^2$ 개 정도 성장이 좋았다.

가축분뇨와 도시쓰레기의 경우 처음부터 세균수가 매우 많아 중온 세균수는 퇴비증량 1g당  $10^8-10^9$ , 고온성 세균수  $10^5-10^7$ 개가 존재한다고 보고 되었으나<sup>5)</sup> 본 실험에 사용한 시료는 고온성 세균수에서 유사하나 중온성 세균수에 있어서  $10^6$ 개에서  $10^8$ 개 전후로 다소 적게 존재하였다. 퇴비화 초기 고온기에 방선균보다 세균수가 상대적으로 많은 것으로 보아 퇴비 발효에 주로 호기성 고온성 세균이 기여한다는 견해<sup>5)</sup>와 본 실험결과는 일치하였다.

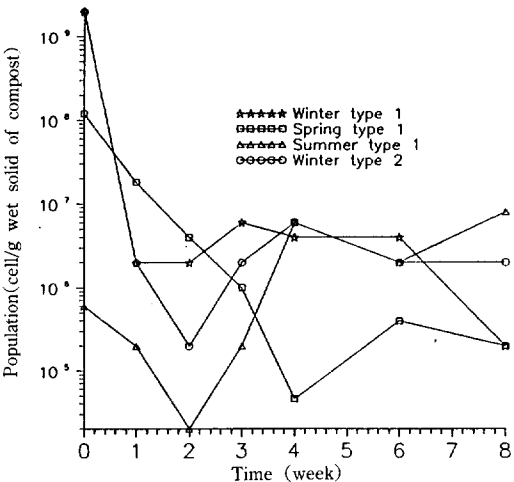


Fig. 3. Changes in mesophilic Actinomycetes population during laboratory composting (estimated in the medium adjusted to pH 7).

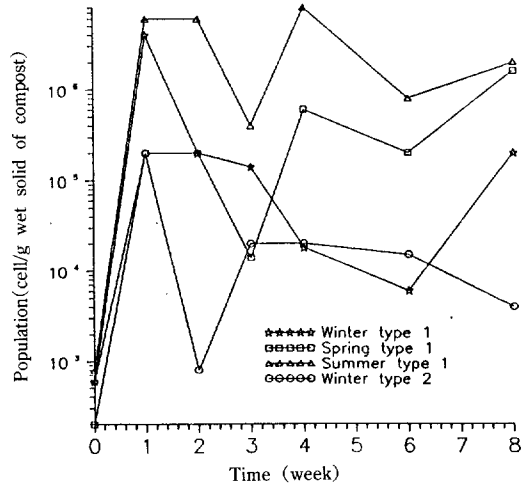


Fig. 4. Changes in thermophilic Actinomycetes population during laboratory composting (estimated in the medium adjusted to pH 5).

Fig.3 과 Fig.4에 방선균 flora의 퇴비화에 따른 경시적인 변화를 나타내었다. 중온성 방선균은 퇴비화 시료 투입시 시료 습중량 1g당 겨울  $10^9$ 개 전후, 봄  $10^8$ 개, 여름  $10^6$ 개 전후 존재하나 퇴비화 2주째 겨울에  $10^6$ 개 전후 봄  $10^7$ 개 전후로 감소하였으나 여름에는 급격히 감소하였다. 봄을 제외하고는 퇴비화 2주후에 증가하여 안정화하나 봄에는 4주까지 감소후 다소 증가 하였으며 퇴비화 말기에는 중온성 방선균이  $10^6$ 개 전후가 되었다.

고온성 방선균은 퇴비화 시료를 pH 5와 pH 7로 조정한 평판배지로 분리시 각각  $10^3$ 개 이하,  $10^3-10^6$ 개 정도가 계수되어 상이하였다. 퇴비화 1주째 계절에 관계없이 고온성 방선균 수가 증가하였으며 봄과 여름에는 1주일 정도 같은 수의 균수가 분리 되었으나 겨울철에는 곧 감소하였다.

방선균에서는 mycelium 분질의 유무, 기균사의 유무, conidia의 유무, 호기성 혹은 통성 호기성, mycolic acid의 유무를 바탕으로 *Nocardia*속으로 동정된 균들이 보이고, colony 크기, substrate myce-

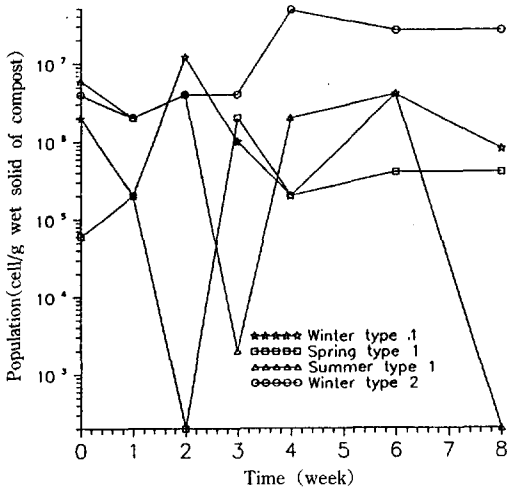


Fig. 5. Changes in mesophilic Fungal population during laboratory composting (estimated in the medium adjusted to pH 7).

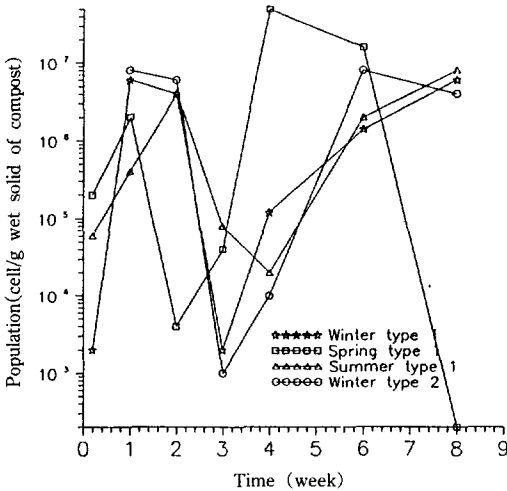


Fig. 6. Changes in thermophilic Fungal population during laboratory composting (estimated in the medium adjusted to pH 7).

lium의 형태, aerial mycelium 형태 등을 기초로 하여 *Streptomyces*속으로 동정된 균도 관찰되었다. 특

히 사상균 배지에서 spore chains의 형태, spore 표면의 형태, spore의 색깔, 멜라닌 색소의 유무의 비교를 바탕으로 *Streptomyces albus* 균으로 동정된 균주가 다량 출현함이 관찰되었다.

사상균 flora의 경시적인 변화는 Fig. 5 와 Fig. 6 에 표시하였다. 중온성 사상균은 퇴비화 용기 type 2에서 겨울철 퇴비화시에는 변화가 관찰되지 않았으나 type 1 용기에서는 겨울, 봄, 여름에는 변화가 다소 관찰되었다. Type 1 용기에서 중온성 사상균의 감소는 겨울 퇴비화 1주째 4주째, 봄 2주째, 여름 3주째에 많이 감소함을 알 수 있었다. 고온성 사상균은 겨울철에 퇴비화 1주-2주째에 증가하다가 3주째에 감소후 증가하였다. 봄철에는 1주째에 증가하였고 2주째 감소하였으며 이후 증가후 감소하였다. 여름철에는 2주째에 증가후 4주째까지 감소후 다시 증가하였다.

밀짚의 퇴비화 과정에서 사상균의 변천은 Chang 와 Hudson<sup>6)</sup>에 의해 보고되었다. 이 보고에 의하면 퇴비화 초기에는 중온 사상균과 고온성 사상균이 공존하며 중온성 사상균에는 *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, 고온성 사상균에는 *Mucor*, *Absidia*, *Aspergillus*가 보고되고 있으나 본 실험에서는 conidia, conidiophore 등의 형태를 기초하여 동정한 결과 *Aspergillus*와 *Penicillium* 속만이 관찰되었다. 퇴비화 고온기에서는 고온성 사상균으로 *Humicola*, *Chaetomium*, *Malbranchea*, *Talaromyces* 등이 보고되나 본 실험에서는 sporangiophores 형태, columella의 유무, rhizoid 유무와 착생 부위, stolon 형성을 비교 동정한 결과 *Mucor*속, *rhizopus*, *Absidia*, *Aspergillus*속이 관찰되었고, 퇴비화 말기에는 고온성 사상균으로 *Sporotrichum*, *Mycelia*, 중온균으로 *Fasarium*, *Stysanus*, *Coprinus*, *Clitopilus*가 보고되나 초기의 중온균 사상균과 포자의 색깔, conidiophore 형태, vesicle의 수를 기초로 하여 *Aspergillus fumigatus*와 rhizoid 유무, columella의 형태, sporangia의 색깔로 동정한 *Rhizopus*속이 분리되었다.

Table 2. Percentage of enzyme producing microorganisms isolated from type 1 composter.

		$\alpha$ -amylase	protease	lipase	cellulase
Bacteria	Mesophile	6/ 0/26	32/20/63	70/53/77	4/ 0/48
	Themophile	85/62/23	27/10/59	30/45/80	0/ 0/ 4
Actinomycetes	Mesophile	48/40/77	30/62/77	83/56/87	0/ 0/43
	Themophile	76/83/40	24/ 3/56	37/49/67	6/ 0/19
Fungi	Mesophile	35/17/47	11/ 8/35	55/60/70	7/ 0/14
	Themophile	66/50/35	30/36/59	10/54/50	7/ 0/18

\* The percent of enzyme producing Microorganisms per total isolated microorganism is presented.

\* The numbers are the percentage obtained in the order of winter, spring and summer.

Table 2는 분리된 균주중에서 각종 물질 분해효소 생성균주가 차지하는 비율을 나타내고 있다. 겨울에는 세균, 방선균, 균류에서 고온성 미생물이  $\alpha$ -amylase를 분비하는 균수가 많았으며, 여름에는 방선균에서는 중온성 방선균에서  $\alpha$ -amylase를 분비하는 균수가 많았다. 그 외 세균과 균류의 중온균도 거의 같은 균수가  $\alpha$ -amylase를 분비함을 알 수 있었다. Protease는 상대적으로 다른 물질 효소에 비해 생성비율이 미약하였으나 여름철 분리 균주에서는 다른 효소와 같은 정도의 균수에서 분비함을 보였다. Lipase는 중온성 미생물에서 분비 균수가 많았고  $\alpha$ -amylase나 protease에 비해 많은 균주에서 분비함이 확인 되었다. 방선균과 함께 고온성 사상균은 고온과정의 말기의 후숙과정에서 cellulose, hemicellulose등 식물질 원료의 난분해성 물질 분해에 관여한다고 보고<sup>5)</sup>되어 있으나 본 퇴비화 실험에서 cellulose 분해는 사상균에서는 *Aspergillus* 속에서만 관찰되었다.

퇴비화 과정에서 일반적으로 관찰되는 현상<sup>7)</sup>인 퇴비화 과정의 초기에는 중온성 사상균과 세균들이 주로 유기물을 분해하고 퇴비용기내 온도가 상승됨에 따라 고온성 미생물로 대체되기 시작하며 온도의 상승 단계가 지나면 대기 온도 가까이 하강하는 과

정에서 다시 중온성 미생물이 증가하고 고온성 미생물이 감소를 보이는 현상이 퇴비 습 중량 1g당의 미생물의 변상에서 관찰되었다. 고온상태의 퇴비화 과정에는 주로 *Bacillus*, *Thermoactinomyces*, cellulose 분해 미생물이 주요 역할을 한다고 밝혀져 있으나<sup>8,9)</sup> 본 퇴비화 실험에서는 고온성 세균외에 방선균 *Streptomyces*, *Nocardia*, 사상균 *Penicillium*, *Aspergillus* 등도 중요한 역할을 한다고 추정된다.

pH가 4까지 내려가면 미생물이 증식하지 않아 pH 관리의 중요성이 지적되고 있으나, 본 가정용 쓰레기의 퇴비화 용기에서는 pH 변동이 크지 않음으로 퇴비화 촉진을 위한 pH 조절의 필요성은 없었다. 용기내 공기공급이 잘 조절된다 하더라도 퇴비내에서는 일부 혐기적으로 되며 사상균 분리배지에서 계수시 평판아래에서 자라는 균주를 확인한 결과 혐기성 효모로 판정된 균수가  $10^7-10^8$ 으로 산정되어 위의 사실을 시사하였다. 다소 혐기적 배양 부분을 보완하여야 할 것이다.

유기성 폐기물에는 인체 또는 동물의 병원균, 식물의 토양 전염 병원균 등 유해한 미생물이 발견되기 때문에 퇴비화 시기에 이에 대한 고려가 있어야 한다. 퇴비화 과정중 온도상승과 함께 *Samonella*균이 사멸하는데 필요한 시간은 45-55°C에서 7일,

55-65°C에서 2일간, 65-80°C에서 1일 이내지만, 다른 미생물과의 길항작용이 없는 조건하에서 퇴비에 적용하였을 때 사멸에 필요한 시간은 45-55°C에서 17일 이상이 필요하다고 보고<sup>10)</sup>되고 있다. 본 실험에서는 병원균 조사는 직접적으로 하지는 않았지만 겨울철 최고 온도가 41°C 였으나 봄철과 여름철에는 최고 57°C-58°C까지 올라가 병원균의 문제는 해결 될 수 있을 것으로 생각된다. 겨울철 실험에서 보온을 하지 않은 용기 type 1은 22°C, 보온을 한 용기 type 2는 41°C로 최고온도를 보인 결과, 그에 따른 각 미생물의 성장조건이 type 2에서 활발함을 즉, 퇴비화가 신속하게 이루어짐을 관찰하여 우리나라 기후조건에서는 용기의 보온이 꼭 필요함을 시사하고 있다.

퇴비화 용기 type 2에서 최고온도 22°C, type 1의 용기에서 최고온도 겨울철 41°C, 봄철, 여름철 57°C-58°C 정도로 퇴비화 1주경에 도달하고 이후의 온도 변화는 미생물상의 변동과 같이 상승과 감소를 반복하다가 겨울철의 실온으로 안정화 되었다. 이는 퇴비를 수시로 뒤집어 준 퇴비화시의 온도 변화와 유사하여 기계적으로 뒤집어 줄 필요가 없다고 생각한다. 본 실험용으로 보온된 퇴비화 용기 type 1에서 온도가 퇴비화 최적 온도인 40-55°C로 상승되었는 점과 가정용 이란 면에서 별도의 가사노동을 추가하지 않고 사용하여도 무방하다고 생각된다.

## 요 약

가정부엌 쓰레기의 퇴비화를 위한 용기 개발을 위해 용기의 벽을 보온을 하지 않은 용기 (type 2)와 보온을 한 용기 (type 1)을 고안하여 계절별 가정용 음식 쓰레기의 퇴비화에 적용하였다. 일반적인 퇴비화 과정에서 볼수 있는 미생물상의 변동상이 본 퇴비화 실험에서도 관찰되었다. 그러나 형태학적, 배양학적 특성으로 동정한 결과 방선균 종류는 *Streptomyces*, *Nocardia* 사상균 종류는 *Mucor*, *Absidia*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* 속만이 관찰되어

미생물상이 비교적 단순하였다. 겨울에는 고온성 미생물이  $\alpha$ -amylase를 많이 분비하였으나 여름에는 중온성 방선균이 많이 분비 하였다. protease는 여름철에 다른 효소와 거의 같은 비율로 생성되고, lipase는 중온균이 보다 많이 분비하였다. cellulase는 사상균에서는 *Aspergillus*속 균주만이 분비함이 확인되었다. 전체적으로 여름철에 효소 분비능이 타 계절에 비해 크게 나타났다. 계절별 용기내의 온도 상승과 미생물의 변동양상에서 여름철, 봄철, 겨울철 순으로 성장률이 활발하였다.

## 참고문헌

1. 岡見吉郎 權田金治, 清水 潮, 都留信也, 堀越弘毅. (1986). 最新微生物ハンドブック, Science Forum, Tokyo. : 489-500.
2. 서정윤, 주우홍. (1994). 가정용 소형 퇴비화 용기에 의한 부엌 쓰레기의 분산식 퇴비화 1. 실험실에서의 소형 퇴비화 용기에 의한 부엌 쓰레기의 퇴비화에 관한 연구, 한국환경농학회지, 투고중.
3. v. Rheinbaben W. (1979). Abbau der organischen substanz von siedlungsabf llen bei verschiedenen temperaturen im laborversuch, M II und Abfall, 2 : 25-31.
4. Lawrence, R. C., Fryer, T. F. and Reiter, B. (1967). Rapid method for the quantitative estimation of microbial lipase, Nature. 213 : 1264-1265.
5. 山里一英, 宇田川俊一, 兒玉徹, 森地敏樹. (1986). 微生物の分離法, R & D フランニンク, 東京. : 193-198.
6. Chang, Y. and Hudson, H. J. (1967). The fungi of wheat straw compost. I. Ecological studies, Trans. Br. Mycol. Soc., 50 : 694-666.
7. Poincelot, R. P. (1974). A scientific examination of the principles and practice of compos-

- ting, *Compost Sci.*, **15**(1) : 24-31.
8. Amner, W., McCarthy, A. J. and Edwards, C. (1988). Quantitative assessment of factors affecting the recovery of indigenous and released thermophilic bacteria from compost, *Appl. Env. Microbiol.* **54**(12) : 3107-3112.
9. Godden, B. and Penninckx, M. J. (1984). Identification and evolution of the cellulolytic microflora present during composting of cattle manure : on the role of Actinomycetes sp. *Ann. Microbiol. (Inst. Pasteur)* **135B** : 69-78.
10. Golueke, C. G. (1975). *Composting, A study of the process and its principle*, Rodale Press, Inc., Emmaus.