

소규모 퇴비화 장치에서 초기 함수율의 영향 및 분리 균주의 활성도 평가

제세홍, 공선형, 최광수, 전홍기*, 김창원

부산대학교 환경공학과

*부산대학교 미생물학과

Evaluation of Initial Moisture Content Effect and Microorganisms Activity in Small-scale Composting Equipment

Se-Hong Juea, Sun-Hyung Kong, Kwang-Soo Choi

Hong-gea Jeun*, Chang-Won Kim

Department of Environmental Engineering

*Department of Microorganism, Pusan National University

ABSTRACT

Because food waste have high moisture content, landfill or incineration is not most suitable. The reuse of food waste by composting contribute to solve resource, environmental, agricultural problems. The purpose of this research is to optimise operating conditions and to develop new microorganisms for recycling of food waste by utilizing small-scale composting equipment.

The reduction rate of food waste was 75~85% by weight, and it was coincided with moisture reduction. When initial moisture was 25%, 45% and 60%, C/N ratio on based net weight was 9.8, 10.7 and 11.8, respectively. And it was suitable for composting. But, The developed microorganism, PNU2, was better than existing commercial seed in the activity based on CO₂ concentration.

Key words : initial moisture, microorganisms activity, composting

초 록

높은 수분으로 인해 매립 또는 소각에 의한 처분이 부적절한 음식물 쓰레기를 퇴비화하여 자원 재순환형으로 사용할 경우, 자원, 환경, 농업문제에 이르기까지 다각적으로 많은 이점을 가져다 준다. 본 연구의 목적은 소규모 퇴비화 장치를 이용하여 초기 함수율을 달리하였을 때 음식물 쓰레기의 퇴비화 과정을 평가하고 미생물 첨가제를 개발하여 활성도를 평가함으로써 소규모 퇴비화 장치의 최적 운전 조건을 도출하는 것이다.

음식물 쓰레기의 무게 감량은 75~85%로써 대부분 수분의 증발에 기인하는 것으로 나타났으며, 초기 함수율을 25%, 45%, 60%로 달리하였을 때 건조상의 C/N비는 15.4, 14, 12.9로 퇴비 판정 기준에 부합하였다. 기존에 사용되던 상업용 균주에 대체할 수 있는 균주를 개발하여 활성도를 평가한 경우, 개발 균주인 PNU2가 CO₂농도 기준으로 우수한 것으로 나타났다. 그러나 화학적 분석에 의한 최종 완숙 단계를 결정하기에는 다소 미흡하였다.

핵심용어 : 초기함수율, 미생물활성도, 퇴비화

1. 서 론

1994년도 우리나라 생활 폐기물중 음식물 쓰레기는 18,055 ton/day로 전체 생활 폐기물중 무게로 환산하여 31.1%를 차지하였다(정국현, 1995). 1995년을 시점으로 쓰레기 종량제가 실시되면서 자원의 재활용에 대한 시도가 활성화 되면 음식물 쓰레기가 차지하는 비중은 더욱 높아질 것으로 예상된다.

특히 1996년에 이르러 매립장에서 젖은 쓰레기의 반입을 규제하면서 음식물 쓰레기의 처리에 대한 사회적인 관심은 고조되고 있으나, 탈수장치를 통해 음식물 쓰레기 자체가 지니는 수분만을 제거하는 방법이 많이 이용되고 있다.

음식물 쓰레기는 양질의 유기물이므로 퇴비 및 사료로서 재활용하면, 폐기되는 양을 식품의 원료 단가 가격으로 환산하였을 때 연간 약 8조 원을 넘고 있어 자원회수 측면에서도 재활용에 대한 필요성이 매우 크다(신명균 등, 1984).

그러나 음식물 쓰레기는 수거·운반·매립시

악취, 침출수 발생 및 토양, 지하수 오염 등을 유발하여 매립지 사용기간 단축의 주요 요인이 되고, 소각시에는 수분 함량이 높고 발열량이 낮아 소각처리에 부적합할 뿐더러 유해가스 발생으로 인한 2차 대기오염을 유발하여 소각시설의 효율을 현저히 저하시킬 것으로 예상된다.

음식물 쓰레기를 사료화할 경우 각종 이물질에 의해 가축 사료로 사용하기에는 사전 분리라는 전처리 작업이 요구된다. 소규모 퇴비화 장치에 의한 퇴비화 기술에 관한 연구가 효율적으로 추진될 경우, 생활쓰레기의 30%를 감량하는 효과가 있어서 매립 및 소각시의 문제점을 해결하고 매립장 사용 기간을 연장시킬 수 있다. 더우기 퇴비 사용의 증대로 심각한 농업 문제중의 하나인 토양 산성화를 방지할 뿐만 아니라 자원 재순환형 사회 구조의 구축에 긍정적인 영향을 끼칠 것으로 기대된다.

따라서 본 연구는 한국형 음식물 쓰레기의 퇴비화에 적절한 미생물 첨가제를 개발하여 음식물 쓰레기를 감량화하고 자원화할 수 있는 퇴비화 장치의 최적 운전 조건을 도출하고 제어 시

시스템을 개발하고자 하는 궁극적인 목표 아래에서, 대학 식당에서 배출되는 음식물 쓰레기의 성상을 조사하고, 초기 함수율의 변화에 따른 퇴비화 정도를 평가하였으며, 자연 상태에서 균주를 분리하여 퇴비화 균주로서 사용 가능성을 살펴보았다.

2. 재료 및 방법

2.1 장치 및 운전 방법

본 연구에 사용한 소규모 퇴비화 장치는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 반응기 부피가 50 L이며 연속 혼합 및 온도 조절이 가능하며 회분식으로 운전되는 시판 제품이다. 시료인 음식물 쓰레기는 부산대학교 구내 식당에서 수거하였으며, 자연 탈수 외에는 전처리를 하지 않으며, 입자의 크기 및 C/N비도 조절하지 않았다. 소규모 퇴비화 장치 운전의 주요 변수인 온도는 50~60 °C를 유지하면서 fan에 의해 공기를 주입하여 호기성 조건하에서 운전하였다. 음식물 쓰레기는 매일 일정량 투입한 후 균주는 15일마다 60 g씩 투입하였고, 일주일 후에는 퇴비제품의 1/3 정도만 남기고 인출하였으며, 이러한 과정의 실험을 일정기간 동안 반복하였다. 분석을 위한 시료는 매일 일정량 채취하였고, 수분함량, pH, 유기물량은 환경오염 공정시험법의 폐기물 분석법 의해, TOC와 TKN은 농업기술연구소에서 발행한 토양화학분석법에 준하여, Salt는 사료 표준 분석방법에 준하여 분석하였으며, 수용성 추출물은 퇴비 1.33 g에 증류수 100 ml를 가하여 교반한 후 추출하여 분석하였다.

무게감량율은 다음의 공식에 의해 산출하였다.

$$\text{무게 감량율} = \frac{\text{음식물 투입량} - (\text{초기혼합량} - 1\text{일후 퇴비량})}{\text{음식물 투입량}} * 100$$

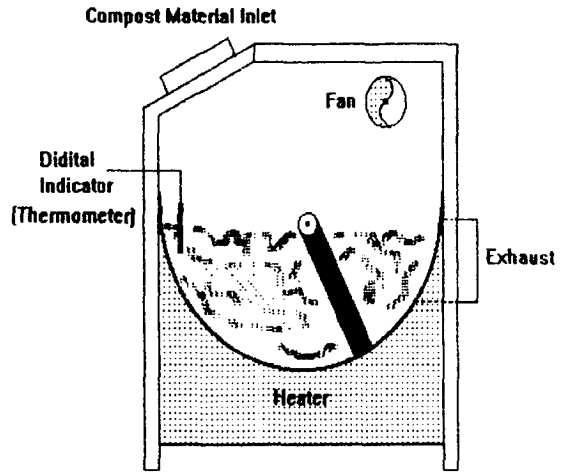


Fig. 1. Small-scale composting equipment.

소규모 퇴비화 장치의 운전 조건 중 평가 대상 항목은 음식물 쓰레기와 기존의 퇴비 제품을 혼합한 물질의 초기 함수율이었으며, 25%, 45%, 60%가 되도록 조절하여 비교 운전하였다. 그리고 자체적으로 분리한 개발 균주와 기존의 상업용 균주의 퇴비화 성능을 비교하였다.

2.2 운전 조건

본 연구에 사용된 운전 조건은 Table 1에 나타낸 바와 같이 set 1~3에서는 음식물 쓰레기 16 kg 또는 20 kg에 기존의 퇴비 제품 27 kg을 투입하여 초기 함수율이 25%, 45%, 60%가 되도록 하여 상업용으로 시판되고 있는 균주를 첨

Table 1. Operating conditions of commercial composting equipment

Set No.	Period days	Initial Operating Conditions			Seed
		Food waste (kg)	Compost (kg)	Moisture (%)	
1	7	16	27	25	CS*
2	7	20	27	45	CS*
3	7	16	27	60	CS*
4	30	20	27	45	PNU2

*CS : Commercial Seed

가하였다. 그리고 Set 4에서는 음식물 쓰레기와 퇴비 제품을 혼합하여 초기 함수율을 45%로 유지하면서 개발 균주 PNU2를 사용하였다.

2.3 균주 분리 조건 및 방법

2.3.1 균주 분리 조건

각종 유기물 즉 protein, lipid, starch, cellulose, lignin, chitin 등의 분해능을 판별하기 위해 균주를 Table 2에 나타낸 바와 같이 호기성의 고온성 (50~60°C) 조건하에서 배양하였다.

Table 2. The conditions of seed inoculation

Medium	Constitution
Nutrient agar	Nutrient broth : 8 g, Agar : 15 g
Malt agar	2% Malt extract : 20 g Agar : 15 g (gellite : 10 g)

2.3.2 균주 분리 방법

Method 1: 부산시내 각 가정과 음식점으로부터 분리 수거한 음식물 쓰레기를 대상으로 고온성 미생물을 분리하였다. 수거한 각종 음식물 쓰레기를 적당한 용기에 넣고 3~7일간 방치한 후 10 mL를 취하여 1% sodium pyrophosphate 멸균수 90 mL에 첨가한 다음 37°C에서 30분간 진탕 배양하였다. 고온성 미생물을 분리하기 위해 시료를 10³~10⁵배로 희석한 다음 각 희석 배수로 희석된 시료를 각각 10 µL씩 취하여 Nutrient agar 및 Malt agar 평판배지에 적당량 도달하여 55°C, incubator에서 약 10시간 배양하였다.

Method 2: 부산대학교 구내 식당으로부터 음식물 쓰레기를 수거하여 고온성 미생물을 분리

하였다. 토양과 음식물 쓰레기를 각각 삼각 플라스크에 넣고 골고루 섞은 후 55°C에서 23일간 방치하였다. 다시 토양과 음식물 쓰레기를 채취한 후 상기의 토양과 음식물 쓰레기 혼합 시료를 1:1 비율로 섞은 다음 55°C, incubator에서 2~3일간 방치하였다. 이와 같은 방법으로 3회 반복하여 시료를 준비한 다음 각각 1g씩을 취하여 고온성 미생물을 분리하기 위해, 본 시료를 1% sodium pyrophosphate 9 mL의 멸균수에 10³~10⁵배로 희석한 다음 Nutrient agar 및 Malt agar 평판배지에 적당량 도달하여 55°C에서 약 10시간 배양하였다.

평판 배지위에 형성된 colony들의 형태 및 성상을 고려하여 각기 특성이 다른 colony들을 선별하여 NA와 Beef agar배지에 toothpicking 하였다.

Method 3: 음식물 쓰레기는 부산대학교 부근의 음식점으로부터 수거하였고 수분 제거를 위한 토양은 발효과 부식토를 사용하였고, 시료는 method 2와 동일한 방법으로 배양하였다.

Method 4: 이미 제품화된 시료 1g에 멸균수를 4 mL 첨가하여 섞은 후 10³~10⁵배로 희석하여 100 µL를 취하여 Nutrient agar 및 Malt agar 평판배지에 적당량 도달하여 37°C와 55°C에서 배양하였다. 이 후 세 개의 colony를 한 백금이에 취하여 Beef extraction agar배지에 3분 도달한 후 다시 37°C와 55°C에서 배양하였다.

Method 5: 일본에서 가지고 온 시료로부터 미생물을 분리하였다. 방법은 method 4와 같이 세균용 효모용, 곰팡이용 배지를 이용하여 37°C, 55°C에서 각각 배양하였다.

Method 5: 지금까지 분리된 균주들을 보존용 사면배지에 접종하여 4°C에 보관하였다. 보존용 사면배지의 균주들을 새로운 사면배지에 이식하여 충분히 생육시킨 다음 멸균수에 현탁한 후 밀기울, 미강 등의 천연배지에 분무하여 상온에서 2~3일간 방치하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 분리 균주

Method 1: NA배지에서 10³배로 희석 평판 도말한 결과 2균주의 colony (고온성 미생물)을 분리할 수 있었다. colony (N, N)의 직경은 모두 약 1 cm였고 배지상에서 퍼져 나가는 형태를 나타내었다. 이 후 삼분 도말한 결과 N, N 모두 아주 빠른 속도로 colony를 형성하였고, 배양 배지 주위로 colony에서 퍼져 나가거나 점질성의 분비물을 형성하였다.

Method 2: NA배지에서 14개, Beef 배지에서 9개로 모두 23균주의 고온성 미생물을 분리할 수 있었다. 배지 전체에 균이 섞여 자라는 평판 배지 위에 그 colony들을 취하여 tooth-picking 한 후 55°C, incubator한 결과 NA배지 전체에 균이 퍼져서 섞여 있었고, Beef agar에서는 toothpicking 배양이 양호하여 냉장 보관하였다. NA 배지 제조시 충분히 습기를 제거한 후 여기에 다시 그 colony들을 tooth-picking한 결과 NA 배지상 toothpicking한 균들의 배양상태가 양호하였고, 3분 도말 한 후 55°C, incubator에서 배양하였다.

Method 3: NA배지에서 10개, Beef 배지에서 7개로 모두 17균주를 분리하였는데, 특히 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 J4와 J9가 퍼지지 못하였는데 이는 J7이 J4, J9의 성장을 억제하

는 물질을 분비하는 것으로 볼 수 있었다.

Fig. 3에 나타낸 바와 같이 J11의 경우 뚜렷한 선이 보였고, J12는 넓게 퍼져 나갔으며, J16의 경우 넓게 퍼진 부분의 가장 자리에는 짙고 중앙에는 투명한 형태를 나타내었다.

Fig. 4에 나타낸 바와 같이 NA의 J4, J9는 다른 배지에 옮겨서 J1~J10을 다시 toothpicking하였을 때, J3는 조금 퍼져 나가면서 자랐고 J4, J9는 넓게 퍼졌다.

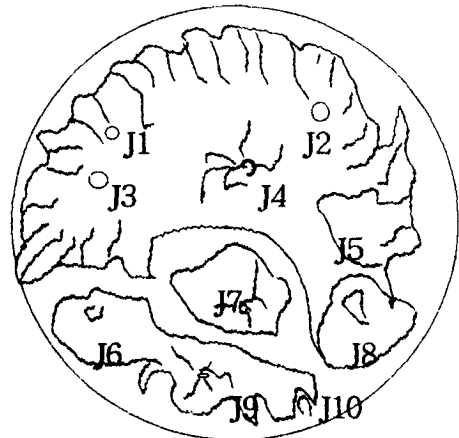


Fig. 2. The results of microbe in nutrient agar.

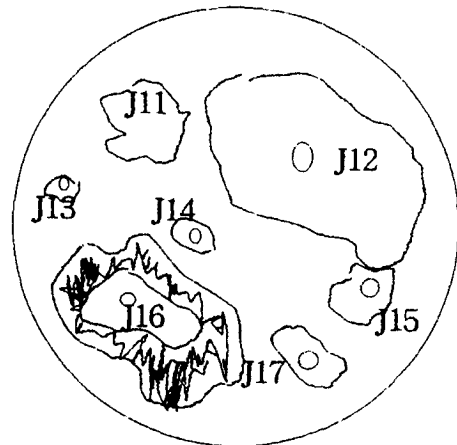


Fig. 3. The results of microbe in beef agar.

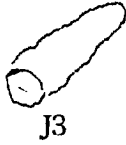


Fig. 4. The results of microbe in another agar.

Method 4: 약 36시간 평판 배양한 결과 Beef agar에서 55°C, 103회석 배양시 1개, 37°C, 10³회석 배양시 3개의 colony를 형성하였다.

제품화된 시료를 세균용, 효모용, 방선균용, 곰팡이용 배지를 이용하여 미생물을 분리한 결과 37°C에서 배양한 경우 집락을 전혀 관찰할 수 없었으나, 55°C에서 배양한 경우 세균용 배지에서 2균주, 효모용 배지에서 1균주, 방선균용 배지에서 1균주, 곰팡이용배지에서 1균주의 미생물을 분리할 수 있었다.

Method 5: 형태학적으로 유사한 집락을 제외하고 서로 다른 형태의 집락들만을 취한 결과 37°C에서 배양한 경우 세균용 배지에서 2균주, 효모용 배지에서 1균주, 방선균용 배지에서 4균주, 곰팡이용배지에서 2균주의 미생물을 분리할 수 있었다. 55°C에서 배양한 경우 효모용 배지에서 2균주, 방선균용 배지에서 2균주, 곰팡이용 배지에서 2균주의 미생물을 분리할 수 있었다. 그러나 곰팡이용 배지에서는 곰팡이로 보이는 집락을 전혀 관찰할 수 없었다.

Method 6: 미생물이 생육함에 따라 향긋한

냄새가 날 때 생육이 가장 왕성한 때라고 생각되어 이를 균주로 퇴비화 장치에 적용하였다.

3. 2 음식물 쓰레기의 성상

실험에 사용된 음식물 쓰레기의 성상을 Table 3에 나타내었다. 결과치들은 다른 문헌의 자료들과 유사하나 염분의 함량이 일반적으로 보고된 값의 평균치(0.9~3.3%)보다 높게 나타났다.

Table 3. Characteristics of food waste (단위 : %)

Solid	Moisture	VS	pH	Salt	TKN	TOC	C/N ratio
19.7	80.3	90.1	5.5	4.4	2.4	41.3	17.3

3. 3 퇴비 제품의 성상

Table 4에서 기존의 상업용 균주를 사용한 3가지의 운영 조건에 따른 퇴비 제품을 관능에 의한 방법으로 살펴보면 혼합물의 초기 함수율이 25%, 45%내외인 경우에는 갈색을, 60%내외인 경우에는 검은색을 나타내었고, 개발 균주 PNU2를 사용한 경우 갈색의 분말형태를 띠면서 전 과정에 걸쳐 악취는 계속 발생하였다.

Table 4. Evaluation of products after rapid composting by visual method

Set No.	Seed	Initial moisture(%)	Compost		
			Color	Odor	Visual
1	CS	25	brown	offensive	powder
2	CS	45	brown	offensive	powder
3	CS	60	black	offensive	paste
4	PNU2	45	dark brown	offensive	powder

3. 4 퇴비화에 의한 음식물 쓰레기 감량

Fig. 5에서 1일 동안 음식물 쓰레기의 무게 감소량은 75~85%에 이르는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 음식물 쓰레기의 함수율이 75~85%를 이루는 것과 밀접한 관계를 나타내는 것으로서 무게 감소의 대부분은 수분 증발에 기인하는 것으로 보여진다.

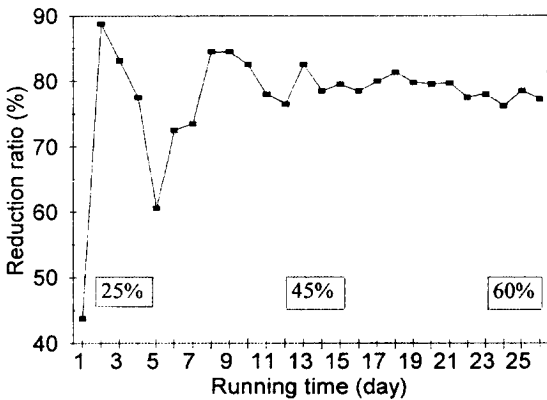


Fig. 5. Weight reduction ratio by compost.

3. 4 함수율이 퇴비 성상에 미치는 영향

Fig. 6에서 초기 함수율을 25%, 45%, 60%로 달리한 경우 C/N비는 평균 15.4, 14.0, 12.9로서 음식물 쓰레기의 17.2에 비해 감소하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 건조상 퇴비의 C/N비가 20 이하일 때 완속에 이른 것으로 볼 때 음식물 쓰레기의 성상에 관계없이 3가지 경우 모두 퇴비의 완속도 판별 범위에 부합하였

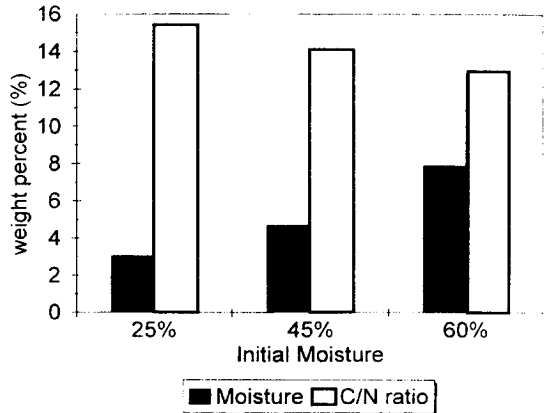


Fig. 6. Comparison of moisture with C/N ratio in the composting products according to seeding.

다.

Fig. 7에서 수용성 추출물의 C/N비는 각각 9.8, 10.7, 11.8을 나타내어 건조상의 C/N비의 값에 비해 퇴비 판별 기준(<5-6)에는 미흡하였다.

Fig. 8에서 pH가 4~5내외를 나타내는 것은 음식물 쓰레기의 분해에 의해 유기산이 형성되어 부속 과정에 있는 것으로 판단되며, 염분은 다소 높은 4.1~5.1%를 나타내어 음식물 쓰레기 자체의 성상에 비해 큰 변화가 나타나지 않았다.

3. 5 분리 균주의 활성화 평가

Table 5에 개발한 균주를 앞에서 사용한 소규모 퇴비화 장치에 투입하여 수행한 화학적 분석 결과치를 나타내었다. 퇴비 제품의 함수율은 기존의 상업용 균주를 사용하여 초기 함수율을 45%로 유지한 경우(5 내외)보다 낮은 값(평균 2.5)을 나타내었다. 휘발성 고형물은 음식물 쓰레기의 평균치 90.1%보다 5% 정도 감소하였다. 건조상의 C/N비는 초기에 투입된 음식물 쓰레기와 유사한 값을 나타내었고, 습식 기준의 C/

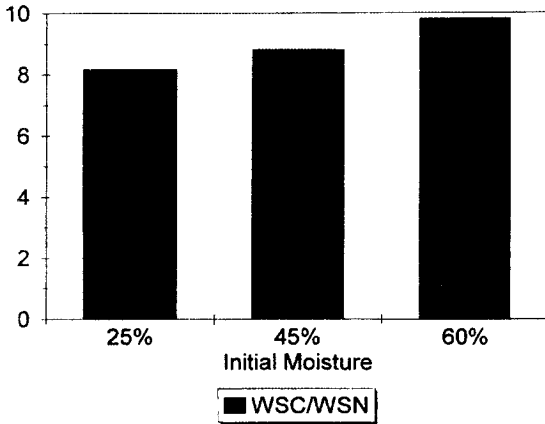


Fig. 7. Comparison of C/N ratio (wet basis) in the composting products according to seeding materials.

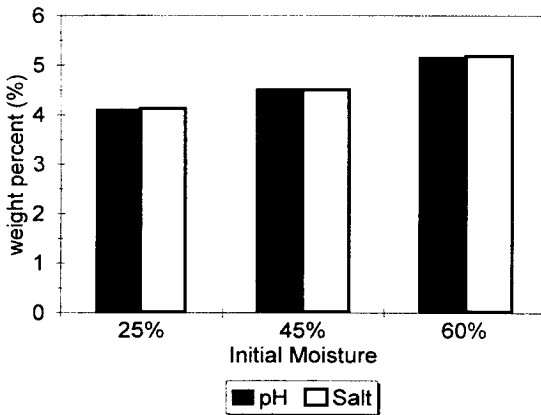


Fig. 8. Comparison of pH with salt in the composting products according to seeding materials.

N비는 퇴비 판정 기준에 다소 미흡하였다.

Fig. 9에 기존의 상업용 균주와 개발 균주 PNU2의 활성도를 평가한 결과를 나타내었다. 수분 조절제로서 흡습율이 뛰어난 톱밥(10.5

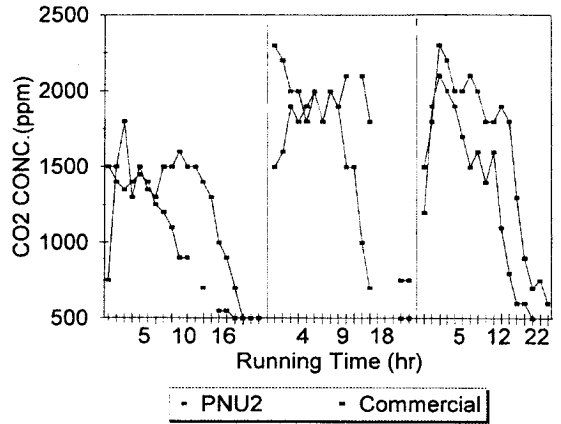


Fig. 9. Temporal variation of CO₂ concentration.

kg)과 음식물 쓰레기(7.5 kg)을 혼합하여 초기 흡습율을 45% 내외로 유지하여 각각의 미생물을 60g씩 동일하게 투입하였다. 퇴비화 장치를 밀폐한 후 fan을 가동하여 호기성 상태로 유지한 상태에서, CO₂의 농도를 초기 10시간 동안에는 1시간 간격으로, 이후에는 2시간 간격으로 1일간의 농도 분포를 측정하였다. 2일째 음식물 쓰레기를 7.5 kg 투입하여 반복 실험을 수행하여 3일간의 농도 분포를 조사하였다.

2일째 두 균주 모두 활성도가 가장 왕성한 것으로 나타났고, 15시간 전후로 퇴비화 장치의 내부 온도가 55°C내외로 일정하게 유지되는 시점에서 CO₂의 발생량은 500 ppm내외의 일정한 값을 나타내었다.

특히 CO₂의 농도가 500 ppm내외로 일정하게 유지되는 시점까지의 CO₂의 발생 기간과 농도로 보아 개발 균주인 PNU2의 활성도가 상업용 균주에 비해 우수한 것으로 나타났다.

Table 5. Characteristics of the compost using development seed PNU 2

(단위 : %)

Moisture	VS	pH	Salt	TKN	TOC	C/N	WSC/WSN
2.7	85.7	6.7	2.4	5.2	52.4	10.4	12.6

4. 결 론

- 1) 소규모 퇴비화 장치에 의한 음식물 쓰레기의 분해는 상업용 균주와 수분 조절제로 퇴비제품을 그대로 사용한 경우 1일 후 퇴비 제품의 함수율이 5% 수준으로 감소하였다.
- 2) 개발 균주와 톱밥을 사용한 경우 퇴비 제품의 함수율은 2.7%내외로 수분 증발이 우수한 것으로 나타났다.
- 3) 전체적인 무게 감소는 수분 증발에 의한 것이 대부분을 차지하고, 동시에 휘발성 고형물이 5% 정도 감소하고, 유기물 성분의 분해는 큰 차이를 나타내고 있지 않았다.
- 4) 개발 균주(PNU2)의 활성도는 CO₂농도 분포를 기준으로 비교한 결과 기존의 상업용 균주보다 우수하였다.
- 5) 수용성 추출물에 의한 퇴비제품의 C/N비는 퇴비 판정기준(<5-6)에는 다소 미흡하였으나 건조상의 C/N비는 퇴비 제품의 판별 기준에 부합하였다.
- 6) 염분은 1일간의 퇴비화 과정후에도 큰 변화를 보이지 않았다.

사 사

본 연구는 부산대학교 산학연 지역 컨소시엄의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 농림수산부(1987), "사료분석법".
 농업기술연구소(1988), "토양화학분석법".
 신명교, 김홍균(1994), "음식물 쓰레기 감량화 규제에 대한 연구", 한국환경기술개발원.
 유명진, 김갑수, 박후원, 유기영, 윤하연(1993), "음식물쓰레기의 퇴비화에 관한 실험적 연구", 대한환경공학회 '93 추계 환경종합 학술대회.
 이은경, 정재춘(1994), "첨가제를 달리한 음식물 쓰레기의 퇴비화에 관한 연구", 대한 환경공학회지, Vol. 18, No. 8, pp.953-962.
 장기운, 이인복, 임재신(1995), "음식물 찌꺼기를 이용한 퇴비의 부숙과정중 이화학적 특성 및 유기물 생장에 의한 부숙도 평가", 한국유기성폐기물자원화협의회.
 정국현(1995), "음식물쓰레기 관리정책, 유기성폐기물 자원화에 관한 대토론회; 음식물찌꺼기의 퇴비화방향".
 환경처(1992), "환경오염공정시험법 폐기물편".
 Peter F. Strom(1985), "Effect of Temperature on Bacterial Species Diversity in Thermophilic Solid-Waste Composting", Vol. 50, No. 4, Appl. and Environ. Microbiology.
 井ノ子 昭夫, 原田 生, 菅原和夫(1982), "都市廢棄物 コンホスト 製品の農業利用", 日本農技研報, 33B: 165-213.