

음식물쓰레기 단독 퇴비화 및 음식물쓰레기와 하수 슬러지의 혼합 퇴비화에 따른 퇴비화시설의 운전특성

남궁완 · 이노섭[†] · 박준석* · 인병훈 · 허준무** · 박종안***

건국대학교 공과대학 환경공학과, *(재)자연환경연구소
(주)그린기술산업, *순천향대학교 환경보건학과

Operating Characteristics of Composting Facility during Composting of Food Waste and Co-composting of Food Waste and Sewage Sludge

Wan Namkoong · Noh Sup Lee[†] · Joon Seok Park* · Byung Hoon In ·
Joon Moo Hur** · Jong An Park***

Department of Environmental Engineering, Konkuk University

*Natural Environment Research Institute

**Green engineering & construction Co., LTD

***Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University

(Received September 15, 2002; Accepted November 25, 2002)

ABSTRACT

This study was performed to assess the operating characteristics of food waste composting and co-composting (food waste + sewage sludge) at a composting facility. The facility was being operated successfully without being affected by kind of composting feed materials. Partial anaerobic condition was detected during food waste composting and co-composting, but these two composting systems were proven to be operated successfully under aerobic condition from the monitoring results of O₂, volatile solids reduction rate, temperature, and other parameters. The conductivity and chloride concentrations of compost were gradually increased during two composting periods, but the conductivity and chloride concentrations of co-composting indicated lower values than those of food waste composting at final point(40 m). As a result, co-composting was turned out to be more desirable than food waste composting, considering salt problem. High correlations ($R^2=0.9265$ for food waste composting and $R^2=0.9685$ for co-composting) between CEC and volatile organic matter were found. Quality of composts produced from two composting process satisfied Korean heavy metal standard.

Keywords : Co-composting, Volatile solids reduction rate, Chloride ion concentration, CEC, Conductivity

I. 서 론

우리 나라의 경우 음식물쓰레기와 하수 슬러지 등 재
활용이 가능한 유기성 폐기물들의 발생량은 매년 증가
되고 있으나 대부분이 매립이나 소각 등에 의해 처분
되고 있으며 재활용되는 양은 매우 적은 것이 현실이

다.^{1,2)} 그러나 분해가 용이한 음식물쓰레기 등의 유기성
폐기물들이 매립지로 반입되는 경우 분해되는 과정에
서 다량의 악취유발물질들과 침출수가 발생되며, 발생
되는 악취·매립가스 및 침출수를 처리하기 위한 관리
및 처리시설들의 설치에 많은 비용이 들게 된다. 뿐만
아니라 유기성 폐기물을 무기성 폐기물과 함께 매립하
는 경우 매립지의 수명이 단축된다는 단점이 있다. 따
라서 우리나라의 경우, 폐기물관리법시행규칙 제6조에
의해 하수 슬러지는 2001년부터, 음식물쓰레기는 2005
년부터 직매립이 금지된다.³⁾ 그러므로 매립되는 유기성

[†]Corresponding author : Department of Environmental
Engineering, Konkuk University, Seoul
Tel: 02-2201-5409
E-mail : electro@konkuk.ac.kr

폐기물의 양을 최소화하고 가능하면 재활용율을 높이기 위한 다양한 대안의 제시가 필요하다.

본 연구에 사용된 퇴비화시설은 이러한 목적을 달성하기 위하여 연구·개발된 시설로 유기성 폐기물에 대한 전처리에서부터 생산된 퇴비의 숙성까지 모든 공정을 수행할 수 있도록 되어 있다. 연구 초기에는 퇴비원료물질로서 음식물쓰레기만을 고려하였으나 하수 슬러지 등 다양한 유기성 폐기물에 대한 처리의 필요성 등이 대두되면서 현재는 음식물쓰레기와 하수 슬러지의 혼합물질이 퇴비원료물질로 이용되고 있다. 퇴비화시설로 반입되는 퇴비원료물질들은 그 특성이 모두 다르기 때문에 각 원료물질에 따른 퇴비화시설의 적용 가능성을 평가할 필요성이 있다. 따라서 본 연구는 퇴비화시설로 반입되는 퇴비원료물질에 따른 적용 가능성을 평가하기 위한 목적으로 수행되었다.

II. 실험방법

1. 퇴비화시설

본 연구에서 사용된 퇴비화시설은 전처리시설, 주발효시설, 후처리시설, 생물탈취상, 그리고 숙성장 등으로 구성되어 있다.⁴⁾ 퇴비원료물질은 폐목재 및 반송퇴비와 함께 혼합된 후 2기의 혼합드럼(직경 : 3 m, 길이 : 15 m), 트롬멜스크린(구멍의 직경 : 5 cm) 그리고 자력선별기로 구성된 전처리시설로 반입된다. 전처리시설을 거친 퇴비원료물질은 폭 2 m, 높이 1.2 m, 길이 45 m의 열 3개로 구성된 퇴비단, 교반기 그리고 송풍기(5대)가 설치되어 있는 주발효시설로 반입된다. 퇴비단의 길이는 45 m지만 교반기 설치 등으로 실제 사용된 퇴비단의 길이는 약 40 m이다. 퇴비화가 진행되는 과정에서 발생하는 악취는 퇴비단 상부에 설치되어 있는 악취포집시설에서 포집된 후 생물탈취상을 이용하여 처리되도록 설계되었다. 퇴비화반응이 끝난 후 트롬멜스크린(구멍의 직경 : 4.75 mm)을 이용하여 퇴비와 팽화제를 분리시킨 후 팽화제와 일부의 퇴비는 퇴비원료물질과의 혼합을 위하여 반송되며 나머지 퇴비는 숙성장

으로 이동시켜 숙성시킨다.

2. 운전조건

혼합드럼으로 반입되기 전에 퇴비원료물질, 팽화제 그리고 반송퇴비는 음식물쓰레기만을 퇴비원료물질로 이용하는 경우에는 음식물쓰레기 : 팽화제(폐목재 + 반송 폐목재) + 반송퇴비를 1 : 1.2(부피비)의 비율로 혼합하였으며 음식물쓰레기와 하수 슬러지를 혼합하여 퇴비화하는 경우에는 음식물쓰레기 : 하수 슬러지를 7 : 3(부피비)으로 혼합한 혼합퇴비원료물질 : 팽화제(폐목재 + 반송폐목재) + 반송퇴비를 1 : 1.2(부피비)의 비율로 혼합하여 퇴비화에 이용하였다.

공기공급은 음식물쓰레기를 퇴비원료물질로 사용하는 경우(단독퇴비화)에는 퇴비단의 전반부(20 m 지점까지)에만 24시간 연속공급하였으며 음식물쓰레기와 하수 슬러지의 혼합물질을 퇴비원료물질로 사용하는 경우(혼합 퇴비화)에는 퇴비단의 입구에서부터 순서대로 첫 번째 송풍기는 24시간 연속, 두 번째 송풍기는 17분 공급에 20분 정지, 세 번째 송풍기는 6분 공급에 20분 정지, 그리고 네 번째와 다섯 번째 송풍기는 3분 공급에 20분 정지 방식으로 공기를 공급하였다. 이때 각 송풍기의 공급유량은 약 44 m³/min.(0.15 m³/m³ · min.)이었다.

퇴비단의 수분은 음식물쓰레기를 저장하는 과정에서 발생된 침출수는 퇴비단 후반부(약 20 m 지점 이후)의 퇴비단내 수분함량이 부족할 경우 상부에서 살포하여 교반한 후 수분조절제로 이용하였다. 퇴비단의 교반은 교반기(extractoveyor)를 이용하여 1회/일 실시하였다.

3. 퇴비원료물질

본 연구에서 사용된 퇴비원료물질은 음식물쓰레기와 음식물쓰레기와 하수 슬러지의 혼합물질이다. 음식물쓰레기는 서울시의 특정 아파트단지에서 분리수거된 것이며, 하수 슬러지는 난지도 하수처리장에서 발생된 것이다. 그리고 팽화제는 폐가구를 직경 5~6 cm로 파쇄하여 준비하였다. 퇴비원료물질들의 물리화학적 특성은 Table 1에 나타내었다. 겉보기밀도는 퇴비원료물질 사

Table 1. Physicochemical properties of composting materials(wet weight basis)

Materials	pH	Organic Matter (%) [*]	Moisture Content (%)	Bulk Density (kg/m ³)	C/N ratio [*]	Conductivity (mmhos/cm)	Cl ⁻ (%) [*]
Food waste	4.12	73.3	76.1	835	19.6	2.57	1.84
Sludge	8.05	25.4	66.4	802	14.2	0.62	0.06
Mixture ^{**}	5.21	58.0	59.2	895	15.7	2.26	1.05
Bulking agent	6.70	88.4	11.2	242	30.2	1.00	0.01

* : Dry weight basis, ** : Mixture = food waste + sludge + recycled compost.

이에 큰 차이가 없었으나 유기물함량은 음식물쓰레기(73.3%)에 비하여 혼합물질(58.0%)이 상대적으로 낮은 값을 나타내었다. 함수율 역시 음식물쓰레기(76.1%)가 혼합물질(59.2%)보다 높은 값을 나타내었다. pH의 경우 음식물쓰레기(4.12)와 혼합물질(5.21) 모두 산성상태를 나타내었다. 음식물쓰레기의 전기전도도(2.65 mmhos/cm) 및 염소이온농도(1.84%)는 혼합물질의 전기전도도(2.26 mmhos/cm) 및 염소이온농도(1.05%)에 비하여 상대적으로 높은 값을 나타내었다.

4. 분석방법

분석에 필요한 시료는 단독퇴비화 및 혼합퇴비화 각각 2-3주 간격으로 3-4회씩 열별로 퇴비단 표면으로부터 30 cm 아래에서 채취하였다. 열별로 채취된 시료는 PE재질의 기밀봉투에 담아 연구실로 운반하여 열별로 물리화학적 특성을 분석하였으며 그 결과들을 평균하여 단독퇴비화 및 혼합퇴비화의 특성평가에 사용하였다. pH와 전기전도도는 고형물:증류수를 1:10(w/v)으로 하여 30분 교반한 후 각각 pH meter(Model 920A, ORION)와 전기전도도계(Model 2052, AMBER SCIENCE INC.)를 이용하여 분석하였다. 함수율 및 유기물함량은 Standard method에 따라 분석하였으며 중금속함량은 시료를 폐기물공정시험법에 따라 전처리한 후 원자흡광광도계(AA-6501F, Shimadzu)를 이용하여 분석하였다.^{5,6)} C/N비는 $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 시료를 건조시킨 후 분쇄하여 원소분석기(Vario, EL)를 이용하여 분석하였다. 염소이온은 토양화학분석법에 따라 전처리한 후⁷⁾ spectrophotometer(DR-2000, HACH)를 이용하여 분석하였다.

온도 및 발생가스는 퇴비단 표면으로부터 75 cm 아래 지점에서 직접 측정하였다. 온도는 온도계를 이용하였으며 이산화탄소, 산소, 메탄은 휴대용 가스분석장비(GA-94, Geotechnical Instrument)를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 온도변화

퇴비화가 진행되는 동안 퇴비단의 온도변화는 유기물의 분해, 즉 퇴비화의 진행상황을 설명하는 중요한 지표 중의 하나이다. Fig. 1은 연구기간 동안 퇴비원료물질에 따른 퇴비단의 온도변화 과정을 나타낸 것이다. 초기 5 m 지점까지는 단독퇴비화가 혼합퇴비화에 비하여 상대적으로 높은 온도를, 5~15 m 구간에서는 반대로 혼합퇴비화의 경우가 높은 온도를 나타내었다. 분해되기 쉬운 탄수화물(곡류) 등이 상대적으로 많이 포함

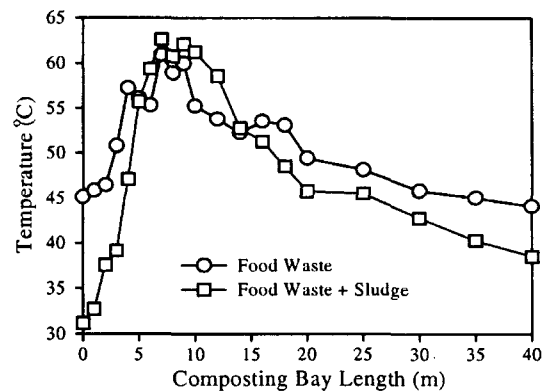


Fig. 1. Variation of temperature at composting bay.

된 단독퇴비화의 경우 혼합드럼에서 분해되면서 온도가 어느 정도 상승한 상태에서 퇴비단으로 유입되었기 때문이다. 그러나 혼합퇴비화는 분해되기 쉬운 탄수화물 등이 상대적으로 적었기 때문에 혼합드럼에서 온도가 단독퇴비화의 경우처럼 높은 상승을 보이지 못하고 퇴비단으로 유입된 이후에 온도가 올라가기 시작한 것으로 보인다. 그리고 15 m 이후부터 혼합퇴비화가 단독퇴비화에 비하여 유기물감소율이 높았음에도 불구하고 낮은 온도를 나타낸 이유는 공기공급방식의 차이 때문이다. 즉 단독퇴비화의 경우 후반부에서는 공기를 공급하지 않았기 때문에 퇴비단 내부의 온도가 유입공기에 의해 냉각되지 않은 반면 혼합퇴비화의 경우에는 간헐적으로나마 공기를 공급해주었기 때문에 퇴비단내부가 냉각되면서 온도가 낮아진 것이다.

퇴비원료물질은 1일 1회 교반시 약 1.5 m 이동하므로 55°C 이상의 고온영역이 유지된 구간을 날짜로 환산하면 단독퇴비화가 4일, 혼합퇴비화가 6.6일로 두 경우 모두 미국의 PFRP(Processes to Further Reduce Pathogens)를 만족시키는 것으로 나타났다.⁸⁾ 따라서 본 연구시설은 퇴비원료물질이 달라지더라도 병원균에 의한 문제는 없는 것으로 판단된다.

2. pH변화

Fig. 2는 퇴비화기간 동안의 pH변화를 나타낸 것이다. 단독퇴비화의 경우가 혼합퇴비화보다 높은 초기 pH를 보이고 있다. 음식물쓰레기의 pH가 4.12로 산성상태였음에도 불구하고 이처럼 단독퇴비화의 초기 pH가 혼합퇴비화에 비하여 높은 이유는 혼합드럼으로 반입된 후 혼합드럼을 통과하는 과정에서 분해용이한 성분들이 분해되면서 pH 상승이 이미 이루어졌기 때문으로 사료된다. 혼합퇴비화의 경우에는 혼합드럼 내에서 유

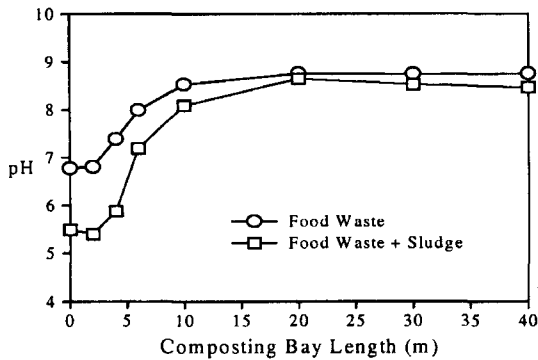


Fig. 2. Variation of pH at composting bay.

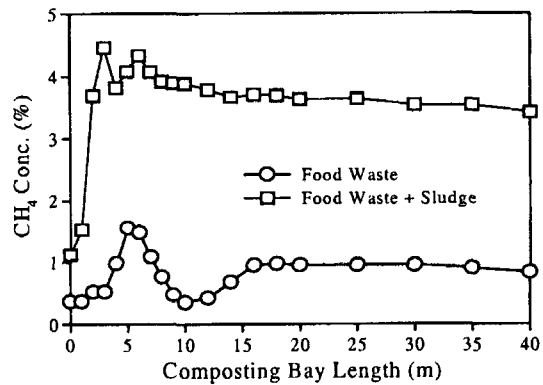


Fig. 4. Variation of CH₄ concentration at composting bay.

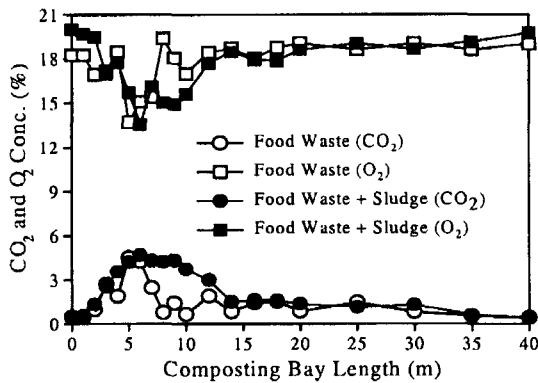


Fig. 3. Variation of O₂ and CO₂ concentrations at composting bay.

기물들이 충분히 분해되지 않아 pH가 완전히 상승되지 못한 상태에서 퇴비단으로 유입되었기 때문에 상대적으로 낮은 pH에서 시작된 것으로 판단된다. 그러나 혼합퇴비화의 경우에도 초기 분해가 활발한 구간(0-6 m)을 거치면서 pH가 7이상으로 급격히 상승하고 있다. 뿐만 아니라 최종 pH는 단독퇴비화와 마찬가지로 8.5 내외의 약알칼리성을 나타내고 있어 퇴비원료물질에 따른 pH 영향은 없는 것으로 판단된다.

3. 이산화탄소, 산소, 메탄 농도

Fig. 3은 유기물이 분해되는 과정에서 소모되고 남은 산소와 유기물이 분해되는 과정에서 발생한 이산화탄소의 농도변화를 나타낸 것이다. 유기물 분해가 활발했던 구간에서 이산화탄소의 발생농도가 최대 5%까지 발생되기도 했으나 유기물 분해율이 낮아지는 15 m 이후부터는 이산화탄소의 농도가 2% 이하로 낮아지고 있다. 산소농도는 이산화탄소와는 반대로 분해가 가장 활발했던 구간에서 가장 낮은 농도를 나타내었으나 전구

간에 걸쳐 최소 13% 이상을 나타내어 공기공급 측면에서는 전반부에만 연속공급(단독퇴비화)하거나 전구간에 걸쳐 연속 또는 간헐적으로 공급(혼합퇴비화)하더라도 두 경우 모두 특별한 문제는 없는 것으로 판단된다.

퇴비화가 진행되는 동안 메탄가스의 발생유무는 퇴비단이 호기성 상태에서 정상적으로 운전되고 있는지 여부를 판단할 수 있는 지표로서 이용될 수 있다. Fig. 4에서 보는 것처럼 본 연구에서는 단독퇴비화 및 혼합퇴비화 모두 퇴비단 전체에 걸쳐 메탄가스가 발생되고 있는 것으로 나타났다. 특히 혼합퇴비화의 경우 퇴비단 전구간에 걸쳐 약 4% 내외의 메탄가스가 발생되어 단독퇴비화(약 1%)에 비하여 상대적으로 메탄가스가 많이 발생하는 것으로 나타났다. He 등의 경우에도 음식물쓰레기를 이용하여 퇴비화하는 경우에 메탄이 발생되고 있음을 보고하고 있다. 그러나 메탄의 발생농도는 최대 0.05~0.06% 정도로 본 연구결과에 비하여 상대적으로 낮은 결과를 보여주고 있다.⁹⁾ 이처럼 본 연구결과가 He 등의 경우보다 발생하는 메탄의 농도가 높은 것은 실내실험과 현장실험의 차이 때문으로 판단된다. 즉, 최적운전조건 및 외부환경의 변화 등에 적절하게 대응하기 어려운 현장실험에서 상대적으로 높은 메탄가스 발생농도를 보인 것이다. 그리고 단독퇴비화에 비하여 혼합퇴비화에서 더 높은 농도로 메탄이 발생된 이유는 음식물쓰레기에 비하여 덩어리 상태가 많았던 슬러지가 완전히 파쇄되지 않은 상태에서 퇴비화가 진행되어 일부 큰 덩어리 내부로는 산소가 충분히 공급되지 못하여 국부적인 혐기성 상태가 단독퇴비화에 비하여 상대적으로 확대된 것으로 판단된다.

그러나 퇴비단에서 소모된 후 배출되는 산소 농도의 측정결과와 퇴비단의 온도 등에 따르면 이러한 국부적인 혐기성 반응에도 불구하고 퇴비단 전체는 호기성 상태에서 정상적으로 운전되고 있는 것으로 판단된다.

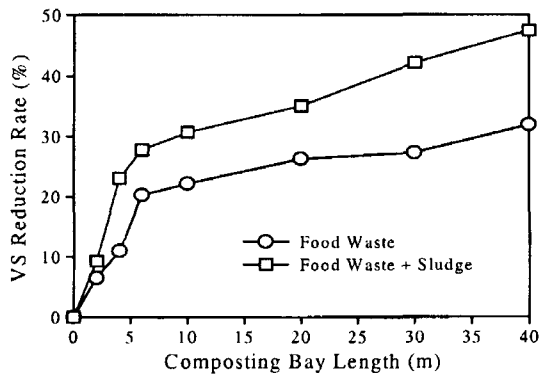


Fig. 5. Variation of volatile solids reduction rate at composting bay.

4. 유기물함량

Fig. 5는 유기물 감소율을 나타낸 것으로 단독퇴비화 및 혼합퇴비화 모두 약 6 m 지점까지 급격한 감소율을 보인 후 퇴비화가 종결될 때까지 상대적으로 완만한 감소율을 보이고 있다. Maurice 등이 제시한 식을 이용하여 계산된 총유기물감소율의 경우 단독퇴비화는 약 32%, 혼합퇴비화는 약 48%로 혼합퇴비화가 단독퇴비화에 비하여 높은 유기물감소율을 나타내었다.¹⁰⁾ 이처럼 유기물 감소율이 차이가 나는 이유는 공기공급방식의 차이 즉, 단독퇴비화에서는 퇴비단의 전반부(20 m 지점)에만 공기를 공급하였으나 혼합퇴비화에서는 후반부에도 간헐적으로 공기를 공급하였다. 따라서 혼합퇴비화의 경우 후반부에서도 지속적인 분해가 일어나 전체 유기물감소율이 높아진 것이다. 단독퇴비화와 혼합퇴비화의 두 경우 모두 유기물 분해가 급격히 일어난 0~5 m 구간에서 총유기물감소량의 약 55%가 감소되어 차이가 없었다. 그러나 퇴비단 후반부(20~40 m)에서, 단독퇴비화는 총유기물감소량의 17%만 감소되었으나 혼합퇴비화는 25%가 감소된 것으로 나타났다. 즉, 후반부에 공기공급을 실시하지 않았던 단독퇴비화와는 달리 공기를 공급하였던 혼합퇴비화의 경우가 높은 제거율을 나타낸 것이다. 따라서 퇴비단의 후반부에도 공기를 공급해주는 것이 유기물 감소에 더 효과적인 것으로 판단된다.

5. 염소이온농도, 전기전도도

퇴비화가 진행됨에 따라 이온성 물질들이 축적되어 전기전도도는 증가되는 것으로 알려져 있으며¹¹⁾ 본 연구에서도 단독퇴비화의 경우 초기 6.0 mmhos/cm에서 최종 8.7 mmhos/cm로, 혼합퇴비화의 경우 초기 5.3 mmhos/cm에서 최종 6.7 mmhos/cm로 모두 증가되는

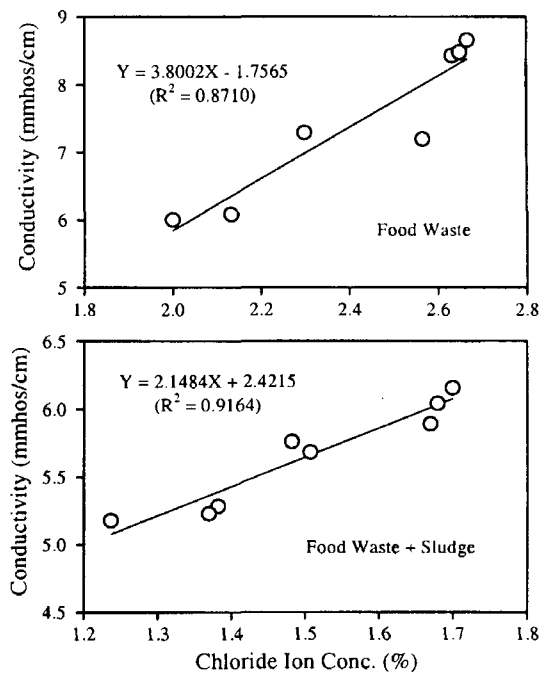


Fig. 6. Relationship between conductivity and chloride ion concentration.

경향을 나타내었다. 염분함유량 역시 퇴비화가 진행됨에 따라 증가되는데 본 연구에서도 염소이온(Cl⁻)으로 측정된 값의 경우에도 증가되는 경향을 나타내었다. 즉, 단독퇴비화의 경우 초기 약 2.0%에서 최종 약 2.7%로, 혼합퇴비화의 경우 초기 1.2%에서 최종 1.7%로 증가되었다. 전기전도도 및 염소이온농도가 상대적으로 낮은 하수 슬러지(Table 1 참조)를 혼합하여 퇴비화를 실시한 혼합퇴비화의 경우가 단독퇴비화에 비하여 최종 전기전도도와 염소이온농도 모두 낮은 값을 나타내었다. 따라서 염분농도가 높은 음식물쓰레기를 퇴비화하는 경우, 최종 생산되는 퇴비의 염분농도를 낮추기 위한 대안으로써 하수 슬러지 등과 같이 염분농도가 낮은 퇴비원료물질과 혼합하여 퇴비화하는 것이 효과적인 대안이 될 수 있다. Fig. 6은 전기전도도와 염소이온농도 사이의 상관관계를 나타낸 것으로 단독퇴비화의 상관계수는 $R^2=0.8710$, 혼합퇴비화의 상관계수 $R^2=0.8995$ 로 퇴비원료물질의 종류에 상관없이 높은 상관관계를 보여주고 있다.

6. 양이온 교환능력

퇴비화 과정에서 유기물이 감소되면서 축적된 음전하 물질과 휴믹 물질 등에 의해 양이온 교환능력(CEC)은

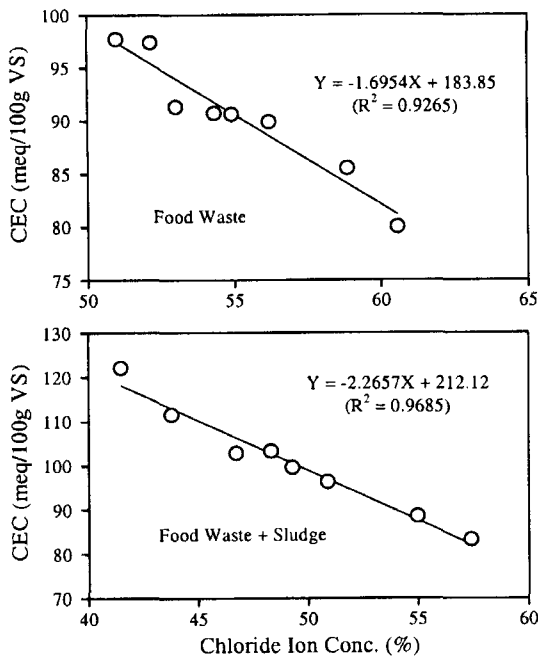


Fig. 7. Relationship between CEC (ash-free basis) and volatile solids.

퇴비화가 진행됨에 따라 증가되는 것으로 알려져 있다.^{12,13)} 따라서 유기물을 기준으로 측정된 양이온 교환능력(CEC)은 숙성도 지표로서 적합한 항목 중의 하나로 보고되고 있으며¹⁴⁾ 본 연구에서도 단독퇴비화의 경우 초기 약 80 meq/100 g VS에서 최종 약 98 meq/100 g VS로 증가되었으며, 혼합퇴비화의 경우에도 초기 약 80 meq/100 g VS에서 최종적으로 약 120 meq/100 g VS로 증가되는 결과를 나타내었다.

Fig. 7은 CEC와 유기물 함량 사이의 상관관계를 나타낸 것으로 양이온 교환능력과 유기물감소 사이에서 단독퇴비화의 경우 상관계수 $R^2 = 0.9265$, 혼합퇴비화는 $R^2 = 0.9685$ 로 두 경우 모두 매우 높은 상관관계를 나타내었다. 따라서 양이온 교환능력의 변화는 유기물함량의 감소와 관련해서 퇴비화 과정을 설명할 수 있는 지표로서 충분히 사용이 가능한 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 본 연구결과에서 보는 것처럼 퇴비원료물질의

종류에 상관없이 적용이 가능한 것으로 나타났다.

7. 최종 퇴비의 중금속함량

퇴비단 마지막 지점(40 m)에서 측정된 중금속함량은 Table 2에 나타낸 것처럼 원료물질에 따라 약간의 차이를 보이고 있으나 단독퇴비화의 경우가 혼합퇴비화에 비하여 낮은 값을 나타내고 있다. 최종 지점에서의 중금속함량은 단독퇴비화 및 혼합퇴비화 모두 우리나라 부속도의 중금속 기준치를 만족시키고 있는 것으로 나타났다.¹⁵⁾ 다만 카드뮴의 경우만 일부 시료에서 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 음식물쓰레기만을 단독으로 퇴비화하거나 음식물쓰레기와 하수 슬러지를 혼합하여 퇴비화하여도 생산되는 퇴비의 중금속함량에 의한 문제는 없는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 음식물쓰레기만의 단독퇴비화와 음식물쓰레기와 하수 슬러지를 혼합한 퇴비원료물질의 혼합퇴비화에 대한 난지도 퇴비화시험시설의 운전특성을 살펴보기 위한 것으로 결론은 다음과 같다.

1. 연구대상 퇴비화시설은 약간의 차이는 있으나 퇴비원료물질이 달라지더라도 특별한 문제 없이 정상적인 운전이 가능하였다.
2. 단독퇴비화나 혼합퇴비화 모두 국부적인 혐기성 상태를 보이고 있으나 산소농도, 온도, 유기물 감소율, pH 등의 분석결과에 따르면 퇴비단은 전체적으로 호기성 상태에서 정상적으로 운전되었다.
3. 혼합퇴비화의 경우 음식물쓰레기만을 퇴비화하는 단독퇴비화에 비하여 생산되는 퇴비의 염분농도를 낮출 수 있었다. 따라서 음식물쓰레기를 퇴비화하는 경우에 상대적으로 염분농도가 낮은 하수 슬러지 등과 혼합하여 퇴비화하는 것이 염분문제를 해결할 수 있는 대안이 될 수 있다.
4. 전기전도도와 염소이온 농도로 표현된 염분농도는 퇴비화가 진행됨에 따라 증가되는 경향을 나타내었으며 전기전도도와 염소이온 사이의 상관관계(단독퇴비화 : $R^2 = 0.8995$, 혼합퇴비화 : $R^2 = 0.8995$)는 퇴비원료물질

Table 2. Heavy metal concentration of compost(Unit : mg/kg, dry weight basis)

Compost	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Cd
Food waste	19-90	39-300	13-72	5.3-103	ND*-38	ND-6.9
Mixture	29-116	47-322	34-298	16-113	ND-48	ND-7.6
Korea Standard ¹⁵⁾	150	-	500	-	300	5

*Not-detected.

의 종류에 상관없이 비교적 높게 나타났다.

5. 양이온 교환능력은 퇴비원료물질의 특성에 상관없이 유기물 함량과 높은 상관관계(단독퇴비화 : $R^2 = 0.9265$, 혼합퇴비화 : $R^2 = 0.9685$)를 나타내어 실규모의 퇴비화에서도 숙성도 지표로서 충분히 사용이 가능하였다.

6. 퇴비원료물질에 상관없이 생산되는 퇴비의 중금속 농도는 모두 우리 나라 부숙도의 중금속 기준치를 만족시키는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 환경부 : 전국 폐기물발생 및 처리현황('98). 1999.
2. 환경부 : '98 하수도 통계. 1999.
3. 환경부 : 폐기물관리법 시행규칙.
4. 남궁완, 이노섭, 인병훈, 박준석 : 난지도 퇴비화시험시설에서의 음식쓰레기퇴비화 운전특성. 한국폐기물학회지, **16**(4), 403-411, 1999.
5. APHA, AWWA, WPCF : Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed. 1992.
6. 환경부 : 폐기물공정시험법. 1997.
7. 농업기술연구소 : 토양화학분석법. 1988.
8. 남궁완, 이동훈 역 : 폐기물처리공학, 동화기술, pp740-752, 1999.
9. He, Y., Inamori, Y., Mizuochi, M., Kong, H., Iwami, N. and Sun, T. : Measurements of N_2O and CH_4 from the aerated composting of food waste. *The Science of the Total Environment*, **254**, 65-74, 2000.
10. Maurice, V., Daniel, S. and Louis, A. : Optimization of agricultural industrial waste management through in-vessel composting. *Compost : Production, Quality and Use*, Elsevier Applied Science, 230-237, 1987.
11. Inbar, Y., Hardar, Y. and Chen, Y. : Recycling of cattle manure : the composting process and characterization of maturity. *J. Environ. Quality*, **22**, October-December, 857-863, 1993.
12. Harada, Y. and Inoko, A. : Relationship between cation exchange capacity and degree of maturity of city refuse composts. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **26**(3), 353-362, 1980.
13. Kakezawa, M., Mimura, A. and Takahara, Y. : A two-step composting process for woody resources. *J. Ferment. and Bioeng.*, **70**(3), 173-176, 1990.
14. 남궁완, 정준교, 황의영 : 음식쓰레기 퇴비의 숙성도평가를 위한 물리화학적 지표의 적합성 연구. 한국폐기물학회지, **13**(6), 793-799, 1996.
15. 환경부 : 음식물류 폐기물, 유기성 오니의 재활용 용도 및 방법에 관한 고시 제정안. 폐기물 자원화, **8**(1), 127-129, 2000.