

## 음식물 쓰레기 소멸화에 관한 연구

서명교<sup>†</sup> · 이상봉\* · 이국의\*\* · 이상훈\*\*\*

동의공업대학 환경시스템공학과  
\*(주)크린 코리아  
\*\*화학공학과  
\*\*\*연세대학교 환경공학과

## A Study on Reduction of Food Waste

Myung Gyo Suh<sup>†</sup>, Sang Bong Lee\*, Kook Eui Lee\*\* and Sang Hoon Lee\*\*\*

Dept. of Environ. Systems Eng., Dongeui Institute of Technology  
\*Clean Korea Co., Ltd.

\*\*Dept. of Chem. Ind., Dongeui Institute of Technology

\*\*\*Dept. of Environmental Eng., Yonsei University

(Received 26 December 2000 ; Accepted 30 January 2001)

### ABSTRACT

The physical and chemical transformation and reduction degree of food waste were investigated in a food waste reduction machine using thermophilic bacteria. The first operation of the reduction machine for grain, vegetables, fishes and flesh wastes proceeded during three weeks. The second operation of the reduction machine for the wastes added fruits proceeded during three weeks. The first and second reduction percentages of the wastes were 98.3% and 93.2%, respectively. The residue of food waste was composed of fruits, fishes and flesh, and vegetables. The temperature distribution of the reduction machine ranged between 30 and 60°C appropriate for growth of thermophilic bacteria. At initial stage the pH in the reduction machine decreased with organic acids produced, but increased as the organic acids decomposed by different thermophilic bacteria. In the reduction machine, the moisture content of the food waste was reduced from 80-90% to 10-20% after 24 hours, and the salinity of residue was 0.29% after the second operation. The degree of odor was most high between 2 and 4 hours.

**Keywords :** Food waste, Reduction, Thermophilic bacteria, Physical and chemical transformation

### I. 서 론

'98년도 전국에서 하루에 발생하는 생활 쓰레기는 44,583톤으로서 '97년도 배출량 47,895톤/일과 비교하면 6.9% 감소된 것으로 나타났다.<sup>1)</sup> 금년에도 이와 같은 추세가 이어져 생활 쓰레기 배출량은 줄어들 전망이다. 이 중 그러나, 생활 쓰레기의 약 26%를 차지하고 있는 음식물 쓰레기는 우리의 문화 특성상 줄이기가 힘들고, 재활용이 어려울 뿐 아니라 수집·운반·처리과정에서 다량의 침출수와 부패로 인한 악취발생 등으로 이의 처리 문제가 중요과제로 대두되어 왔다.<sup>2)</sup>

환경부에서는 음식물 쓰레기의 다량 배출이 예상되는

대규모 개발 사업 추진이나 대규모 도시개발 사업, 광단지 개발 사업 등의 환경영향평가 협의시 음식물 쓰레기 감량화 시설 설치를 의무화하도록 하였으며, 음식물 쓰레기 감량화 대상을 확대하고 사업장에 대한 감량기준 설정 및 감량방법을 다양화하기로 했다. 또한, 환경부는 음식물 쓰레기 자원화 사업을 지원하는 등 음식물 쓰레기 처리시설에 대한 투자를 확대해 나가고 있으며, 음식물 쓰레기 줄이기 운동을 범국민적으로 전개해 나가고 있다. 그 결과, 음식물 쓰레기 발생량은 96년 14,532톤/일에서 97년에 13,063톤/일, 98년에 11,798톤/일로 각각 10.1% 및 9.7%의 감소를 보였으며, 생활 쓰레기 발생량 중 차지하는 비중도 '96년 29%, '97년 27%, '98년 26%로 줄어드는 등 점차 감소 추세를 보이고 있는 것으로 나타났다.<sup>1,3)</sup>

음식물 쓰레기 처리 현황을 보면, '97년도 음식물 쓰레기 발생량 13,063톤 중 84%인 10,974톤이 매립으

<sup>†</sup>Corresponding author : Department of Environmental Systems Engineering, Dongeui Institute of Technology  
Tel: 051-860-3256, Fax: 051-860-3335  
E-mail: mongo@center.dit.ac.kr

로, 6%인 815톤이 소각 처리되었으며, 재활용은 10% 정도인 1,275톤에 그쳤다. 98년도에는 발생량 11,798톤 가운데 70%인 8,309톤이 매립으로, 8%인 923톤이 소각 처리되었으며, 22%인 2,566톤이 재활용되어 재활용율이 증가하는 추세이나, 아직 대부분을 매립처리에 의존하고 있는 실정이다.<sup>1,3)</sup> 따라서, 보다 효과적인 음식물 쓰레기의 처리 장치 및 방법 등이 절실히 요구되고 있다.

음식물쓰레기의 감량화 장치에는 건조, 건조발효, 발효, 소멸화 장치 등 여러 가지 방법이 소개되어 있다.<sup>4,6)</sup> 이들 음식물 쓰레기 감량화 기술을 여러 분야에서 비교해 보면 발효방식은 미생물 발효과정에서 나타나는 온도, pH, CO<sub>2</sub> 발생 등이 미미하여 발효형식의 요건을 갖추고는 있으나 퇴비로 사용하기에는 미흡하여 처리 후 후속단계를 거쳐야 하며 건조방식은 수분제거와 감량은 우수하나, 운전비가 많이 소모되어 소규모로 이용하기에는 많은 문제점이 있다. 이에 비해 소멸화 방식은 운전비가 저렴하고, 감량도 우수하여 많은 장점이 있다. 소멸화 방식은 발효분해와 거의 같은 원리로 반응기 내에 분해매체(media)를 투입한 뒤, 고온성 미생물(thermophilic bacteria)를 성장시켜 고형음식물을 완전분해를 유도하는 방식으로 배출량이 거의 없는 것이 특징이다. 현재 국내의 음식물 쓰레기 처리기기 제작업체는 약 100여개 업체로 대부분 발효 및 건조방식의 처리기기를 제작하고 있으며, 소멸화 장치는 약 10여개사에서 시판준비를 하고 있으나, 대부분 외국 기술제휴에 의존하는 등 국내 기술수준은 초보적인 단계에 머물러 있는 실정이다. 따라서, 본 연구는 이 부분의 기술 보유를 위하여 음식물쓰레기 감량기 중 고온성 미생물을 이용하는 소멸화 장치에서의 음식물 쓰레기의 물리, 화학적 변화를 분석하고 이에 대한 최적 조건 도출을 그 목적으로 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험장치

소멸기에 대한 음식물 소멸정도와 소멸시 물리화학적 변화를 연구하고자 국내 시판 중인 장치(EH4381AH-KS, Song-Ha Electric Ind.)를 구입하여 사용하였다. 사

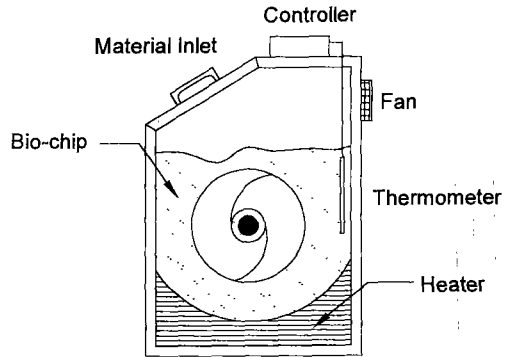


Fig. 1. Schematic diagram of experimental reduction machine.

용한 소멸장치의 사양은 Table 1과 같다.

상기 소멸기는 음식물 투입후 6분동안 2rpm으로 정, 역회전으로 혼합한 뒤 1시간 간격으로 1분간 2rpm으로 회전하도록 설계되어 있으며 분해매체(media)로 bio-chip 30를 사용하였다.

### 2. 실험방법

실험은 1차와 2차로 나누어 진행하였고 가동 초기 약 17일은 미생물 활성화 기간으로 두어 분해가 잘되는 물질(곡류, 어육류 등)을 1일 0.5~0.6kg 투입하였다.

1차 실험 기간은 3주간 진행하였고 곡류, 어육류, 야채류 등을 일평균 0.76kg씩 총 11.495kg을 투입하였으며, 휴일에는 음식물을 투입하지 않았다. 2차 실험도 3주간동안 진행하였으며, 투입음식물 쓰레기는 곡류 2.385kg, 어육류 1.986kg, 야채류 1.1kg 외에 과일류를 1.554kg 투입하여 총 7.025kg, 일평균 0.67kg을 투입하였다. 또한 각 종류별 소멸정도를 파악하기 위하여 하루에 2차례씩으로 sample 채취를 하였으며 분류 후 재투입하였다.

### 3. 분석항목

소멸기의 성능을 측정하기 위하여 반응조내 온도, 색 변화, media상태, pH, 염분량, 수분함량, Bio-chip의 pore distribution 등을 측정하였다. 분석항목 중 pH는 일정량의 시료와 증류수를 1:10의 비율로 혼합한 후 1시간 동안 교반시킨 후 상등수를 pH meter로 측정하였

Table 1. Specification of experimental reduction machine

Name	Food waste eater	Capacity	max. 1.5 kg/day, ave. 0.75 kg/day
Manufacturer	Song-Ha Electric Ind.	Body size	700H×500W×380L
Distributor	Clinic Land Co.	Weight	21 kg
Model No.	EH4381AH-KS	Temp.	30°C~60°C



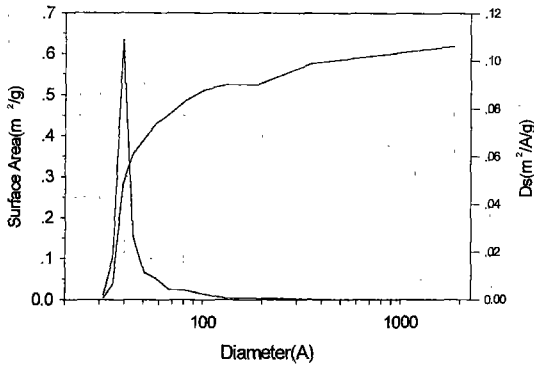


Fig. 2. Specific surface area of bio-chip.

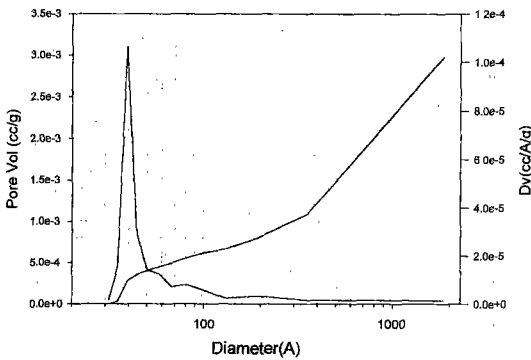


Fig. 3. Pore volume of bio-chip.

12,000 m<sup>2</sup>으로 나타나 매우 넓은 표면적을 가지고 있다. Fig. 2와 3은 bio-chip의 비표면적과 세공부피를 나타낸 그림이다.

### 3. 음식물별 소멸상태

투입한 음식물 중 곡류는 반응기에 투입 후 약 15시간 이내에 소멸이 되었고, 어육류와 기타 야채류는 약 24시간 이내에 소멸되었다. 야채류 중 파, 호박, 무우 등은 소멸이 늦어 약 30시간 정도 지나 소멸이 되었다. 3주 후 반응조 내의 잔류물을 수거하여 분류한 결과, 잔류물들은 건조되어 딱딱한 상태로 있었다. 3주 동안 투입한 음식물쓰레기는 11.5 kg이며, 3주 후 수거한 잔류물은 0.2 kg으로 약 98.3%의 감량율(무게비)을 보였다. 잔류물을 분류하여 보면 야채류(섬유질)가 97% 이상으로 잔류하였고, 뼈, 어류가 각 1% 가량이었다.

1차 실험 후 3주간의 2차 실험에서도 음식물 쓰레기의 소멸시간은 1차 실험과 거의 비슷하였다. 그러나 과일류의 경우 알맹이는 24시간 이내에 소멸되었으나, 껍질은 거의 소멸되지 않았다. 1차 및 2차 실험 후

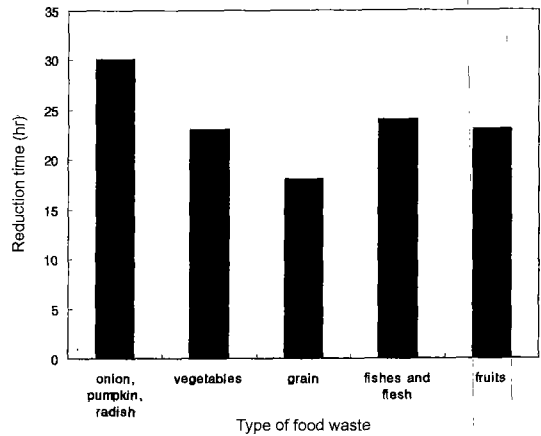


Fig. 4. Reduction time of food waste.

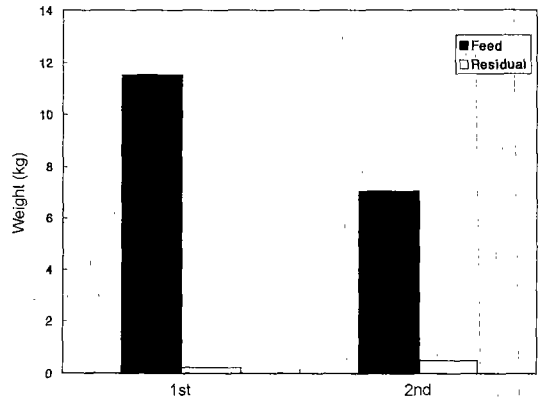


Fig. 5. Reduction degree of food waste.

음식물별 소멸시간을 보면 Fig. 4와 같다. 2차 실험 후 잔류물을 조사한 결과, 7.025 kg 투입하여 잔류물이 약 0.48 kg 남아, 약 93.2%의 감량율을 보였다. 잔류물의 조성별 분포를 보면 과일류가 59.2%, 어육류 26.3%, 야채류가 14.5%로 과일류와 야채류의 섬유질 성분의 소멸이 잘 되지 않는 것을 알 수 있었다. 어육류의 잔류물은 대부분 뼈였다. 감량율이 1차에 비해 낮아진 것은 ① 잘 분해가 되지 않는 섬유질의 과일 껍질류를 투입하였고, ② 1차에 비해 평균투입량이 적어 함수량이 떨어져 미생물의 활동이 저조한 것이 그 원인으로 볼 수 있다. 그러나 비록 감량율이 낮아졌다고는 하지만 잘 분해가 되지 않는 섬유질을 투입하고도 약 93%의 감량화를 보이므로 본 시스템은 음식물 쓰레기 처리기로 매우 우수함을 보이고 있다. Fig. 5는 1차 및 2차 실험에서의 음식물의 소멸정도를 나타낸 것이다.

**4. 온도 및 pH 변화**

미생물의 성장조건 중 온도는 매우 중요한 인자이다. 처리기의 온도 분포를 측정하기 위해 bio-chip 내부의 온도 변화를 측정하여 Fig. 5에 나타내었다. 1 cycle(1 day)을 기준으로 하여 온도 변화를 살펴보면, 반응시간이 지남에 따라 약간의 변화는 있지만 음식물을 투여한 초기에는 약 35~40°C로 유지하다가 말기에는 약 50~60°C를 유지하고 있다. 이는 초기에 투여한 음식물의 낮은 온도로 인해 일시적으로 떨어지나 점차 회복함을 보여주고 있다. 전체적으로 조내 온도는 고온성 미생물들이 잘 성장할 수 있는 온도분포를 나타내고 있다. 반응조 깊이별 온도 분포를 보면 bio-chip 표면이 20°C 정도이고, 중간부분이 30~40°C, 속부분이 50~60°C를 나타내었다.

미생물에 의해 분해되는 음식물의 분해정도를 판단하는 인자 중 가장 중요한 인자가 pH이다. 음식물 쓰레기의 발효과정을 살펴보면, 음식물이 투여되면 조내의 유기산 균이 음식물을 분해하여 다양한 유기산을 생성시킨다. 이 과정에서 조내 pH는 약산성을 나타낸다. 생성된 유기산은 다른 종의 미생물에 의해 분해되고 이를 반복한다. 최종적으로는 주로 방선균(Actinomyces)이 분포하게 되며 pH는 다시 회복하여 약알칼리성을 나타낸다. 따라서, 발효에 의한 퇴비화 과정에서 완전 숙성의 정도로 조내 pH 변화를 살펴보면, 만약 pH 변화가 회복되지 못한 경우에는 완전히 숙성되지 않았다고 말하며 대부분의 고속발효기가 여기에 해당되는 실정이다.

본 처리기의 음식물 투여 후 pH의 변화를 도시한 Fig. 6을 살펴보면, 상기과정이 잘 나타나 있다. 음식물이 투여되기 전에는 pH가 약 7.06에서 7.09를 유지하다가 음식물이 투여되면 pH가 떨어지다가 말기에는 중성을 유지하고 있다. 따라서 본 처리기에서 처리된 음

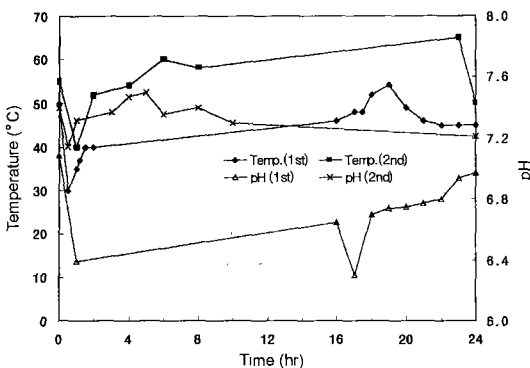


Fig. 6. Variation of temperature and pH with time.

식물은 보다 완전한 발효가 진행되었음을 짐작할 수 있다. 2차 실험에서는 1차에 비해 pH의 변화가 크지 않았지만, 같은 경향을 나타내었다. 다만 연구대상으로 선정된 처리기가 가정용으로 음식물량이 극히 소량을 투여한 관계로 pH의 변화 폭이 크지 않았다.

또한 시간에 따른 온도 및 pH의 변화에 대한 표준편차(SD)를 보면 투입 직후의 SD값이 각각 10.3, 0.24였으나 시간이 지날수록 줄어들어 말기에는 SD값이 5.5, 0.2로 계산되었다. 따라서 조내 온도 및 pH의 변화는 초기보다는 말기로 갈수록 안정됨을 알 수 있다.

**5. 함수율의 변화 및 염분량**

반응기내의 함수율을 조사하기 전에 우선 virgin bio-chip을 분석하였다. virgin bio-chip 1g에는 수분은 39%, 유기물이 589 mg, 무기물이 19 mg을 포함하고 있으며, 잔존하는 유기물은 주로 목재의 Lignin, 헤미셀룰로오스, 셀룰로오스 등일 것이다.

시간에 따른 함수율의 변화를 나타낸 Fig. 7을 보면, 80%-85%의 함수율을 가진 음식물을 투입한 후 24시간 동안의 함수율은 투입 후 약 30분 후부터 1cycle이 끝날 때까지 10-20%의 함수율을 보이며, 거의 일정하게 유지되었다. 또한, 반응기의 깊이별로 측정된 결과, 반응기의 표면과 중간부분 그리고 바닥부분의 함수율은 각각 14.1%, 15.1%, 15%로 거의 일정하였다.

본 실험을 끝내는 시점에서 염분농도를 측정하였다. 측정결과 염분이 0.29%로 나타났다. 따라서, 음식물쓰레기 총 투입량이 18.52 kg이므로 투입 종류의 구별없이 음식물 1kg당 156 mg/l의 염분이 축적됨을 알 수 있다.

**6. 악취 변화**

반응기에서 발생하는 악취는 초기에 매우 심하게 발

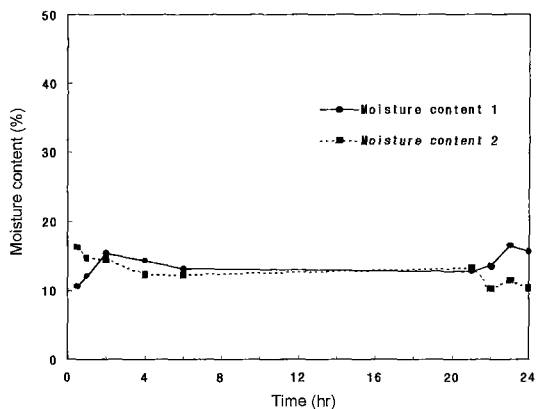


Fig. 7. Variation of moisture content with time.

생되었다가 시간이 갈수록 점차 줄어들었다. 1차 실험에서는 반응조내에서 발생하는 악취는 음식물이 투입된 초기에는 약 4~5도를 유지하다가 말기에는 약 2~3도로 줄었다. 2차 실험에서는 1차에 비해서는 악취가 많이 줄어들어 초기에는 3도를 유지하다가 후에 2~1도로 줄어들었다. 따라서 음식물을 투입한 후 2~4시간까지 악취가 가장 심하였다.

#### IV. 결 론

1차 실험의 전체 음식물 쓰레기 감량율은 98.3%이고, 2차 실험의 감량율은 93.2%였다. 잔류물을 성상별로 분류하면 과일류가 59.2%로 가장 많고, 어육류 26.3%, 야채류 14.5% 순이었으며, 잔류물은 모두 건조된 상태로 남아있었다. 반응조 내의 온도는 고온 미생물들이 잘 성장할 수 있는 30~60°C의 분포를 나타내었다. pH는 대체로 음식물 투입 후 낮아졌다가 높아지는 경향을 나타내었는데, 그것은 음식물 투입 직후 미생물에 의해 유기물이 분해되면서 유기산이 발생하여 pH가 낮아지다가 생성된 유기산이 다시 분해되면서 pH는 다시 높아지기 때문이다. 음식물 자체의 함수율은 80~90%이고, 24시간 후의 함수율은 10~20%로 낮아졌으며, 염분량은 0.29%로 측정되어 음식물 1kg당 156mg/l의 염분이 축적됨을 알 수 있었다. 반응조 내의 초기 악취강도는 거의 3~4도이고, 음식물 투입 후 2~4시간까지가 악취가 가장 심하며, 그 이후는 2도로 낮아졌다.

#### 감사의 글

본 논문은 2000년 동의공업대 교내 학술연구조성비에 의하여 지원된 연구결과의 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 1) 환경부 : '98 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 1999.
- 2) 환경부 : 음식물감량 및 자원화 추진현황, 폐기물과 자료, 1997.
- 3) 환경부 : 음식물 쓰레기 처리기술 동향보고, 폐기물과 자료, 1996.
- 4) 한국자원재생공사 : 쓰레기 퇴비화 시설의 설계, 운영 지침 및 모델 개발, 1996.
- 5) 福田清春 : 森林總合研究所 研究資料, 東京農工大學 農學部, 東京, 1996.
- 6) 전국경제인연합회 : 대기환경보전법, 1993.
- 7) 김창원, 전흥기, 오광중 : 음식물쓰레기의 감량화 및 자원화를 위한 발효균주와 고속발효장치의 개발, 부산대학교, 1996.
- 8) 맹원재, 윤광로, 신형태, 김대진 : 사료분석실험, 선진문화사, 1994.
- 9) Gasser. J.K.R.: Composting of Agricultural and other waste, Agricultural and food research council, London, UK, 1984
- 10) 김창원, 윤태일 : 환경미생물학, 동화기술, 1990.