

음식물류폐기물의 호기성 퇴비화에 있어서 목재세편의 투입비에 따른 곰팡이의 균락형성단위의 변화에 관한 연구

박석환[†]

서원대학교 환경건설정보학과
(2007. 5. 8. 접수/2007. 9. 21. 채택)

A Study on Variation of Colony Forming Units of Fungi by Input Ratios of Wood Chips in Aerobic Composting of Food Wastes

Seok Hwan Park[†]

Department of Environmental, Civil Engineering and Information Systems, Seowon University
(Received May 8, 2007/Accepted September 21, 2007)

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the effects of input ratios of bulking material in aerobic composting of food wastes on variation of colony forming units(CFU) of fungi. Wood chips were used as a bulking material. Volume ratios of food wastes to wood chips in reactor of Control, WC-1 and WC-2 were 10/0, 10/5 and 10/10, respectively. Reactors were operated for 24 days with 1 hour stirring by 1rpm and 2 hours of the forced aeration rate of 80 L/min·m³ per day. WC-2 reached high temperature range faster than WC-1, and the maximum temperature of WC-2 was higher than that of WC-1. WC-2 reached high pH range faster than WC-1, and the maximum pH of WC-2 was higher than that of WC-1. WC-2 reached high Log(CFU/gram) range faster than WC-1, and the maximum Log(CFU/gram) of WC-2 was higher than that of WC-1. These all mean that the reaction velocity of composting of WC-2 was faster than that of WC-1. The profile of fungi changes in Log(CFU/gram) was similar to that of temperature changes ($r=0.8861$) not pH changes ($r=0.1631$).

Keywords: colony forming units, fungi, temperature, pH, aerobic composting, food wastes

I. 서 론

2005년도 기준 우리나라의 생활폐기물발생량은 48,398톤/일로서 이 중에서 음식물류폐기물은 26.8% (12,977톤/일)로 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 음식물류폐기물의 처리상의 문제점으로는 매립지 주변 주민의 악취로 인한 민원의 심각함과 침출수의 다량 발생 및 파리, 까마귀 등 해충과 해금의 번식 등을 들 수 있다. 이러한 음식물류폐기물의 감량화 및 자원화 촉진 내력을 간단히 살펴보면 1996년 11월 수도권 매립지의 음식물류 폐기물의 반입이 금지되는 사건이 발생했고,

그의 여파로 1996년 12월 음식물류폐기물 줄이기 종합 대책이 발표되었다. 2001년 3월 음식물류폐기물로 사료나 퇴비를 제조하여 유통, 보급하기 위해 사료관리법, 비료관리법이 개정됨에 이어, 2005년 1월부터 시지역의 자체단체에서 음식물류폐기물 직매입이 금지되기에 이르렀다.¹⁻³⁾

음식물류폐기물을 활용하여 호기성 퇴비화를 진행시킨 연구는 그동안 활발히 진행되어왔다. 그 주된 갈래는 음식물류폐기물 수분함량의 조절, 염분도의 조절, 공기공급량의 조절, 팽화재의 종류변경, 최종생성퇴비에 농작물에 대한 영향에 관한 연구 등이었으나, 이러한 음식물류폐기물에 대한 호기성 퇴비화를 진행시키는 데 있어서 주 역할을 담당하는 곰팡이와 타가영양세균의 양적 크기에 대한 연구 자료는 매우 부족한 실정이다.^{4,6)}

[†]Corresponding author : Department of Environmental, Civil Engineering and Information Systems, Seowon University
Tel: 82-43-299-8723, Fax: 82-43-299-8720
E-mail: shp@seowon.ac.kr

이러한 음식물류폐기물에 대한 미생물학적 접근으로 김 등⁷⁾은 음식물류폐기물의 침출수로부터 발생하는 악취를 저감시키기 위하여 여러 종의 미생물을 이용하고 그중에서 저감능력이 뛰어난 균주를 선별해내는 실험을 진행시켜, 관능평가를 통한 악취시험을 실시한 결과 광합성 미세조류인 *Chlorella vulgaris*가 발효 종료일인 10일째 거의 취기를 느낄 수 없는 악취도 1을 나타내어 악취제어에 효과가 있는 것을 밝혀내었다. 정 등⁸⁾은 음식물류폐기물, 톱밥, 숙성된 퇴비, 상업적으로 개발된 중균제의 배합 비율을 조절하여 퇴비화 기간 동안 온도변화, 산소 소비량, CO₂ 생산량 및 온도변화에 따라 퇴비화에 관여하는 활성 미생물의 변화 등을 조사하여 각 퇴비화 조건별 특성을 파악하였다. 미생물상의 변화는 혼합물 성상에 관계없이 모든 반응조에서 비슷한 양상을 보였고, 반응초기에는 세균의 밀도가 상대적으로 높고 방선균, 곰팡이, 효모는 비슷하였으며, 후반부로 갈수록 세균과 방선균의 밀도가 비슷해지는 경향을 보였다. 곰팡이와 효모는 퇴비화 초반에 밀도가 급격히 감소한 다음 곰팡이는 중온성 상태인 후반에 증가하였으나 효모의 변화는 없었으며, 퇴비화 전반에 걸쳐서 세균과 방선균의 밀도가 곰팡이와 효모보다 상대적으로 높았다고 보고하였다. 남궁 등⁹⁾은 음식물쓰레기와 하수슬러지를 혼합한 퇴비화의 경우, 음식물류폐기물만을 퇴비화하는 단독퇴비화에 비하여 생산되는 퇴비의 염분농도를 낮출 수 있었고, 음식물류폐기물을 퇴비화하는 경우에 상대적으로 염분농도가 낮은 하수슬러지와 혼합하여 퇴비화하는 것이 염분문제를 해결할 수 있는 대안이 될 수 있다고 주장하였다. 장 등¹⁰⁾은 미생물 첨가에 의한 소규모 정체식 퇴비화에서 소규모의 축사에서 발생하는 축분을 합리적으로 처리하기 위해 소규모 정체식 퇴비화의 적용 가능성을 검토하기 위해 미생물을 첨가하여 퇴비화에 미치는 영향을 조사하였다. 그 결과 소규모 축사농가에서 발생하는 축분의 처리는 적절한 뒤집기와 수분함량을 갖춘 소규모 정체식 퇴비화에 의해 가능하며, 미생물의 첨가는 초기 온도상승과 식물독성물질의 감소에 긍정적이었으나, 부숙도에 큰 영향을 미치지 않는다고 보고하였다.

본 실험에서는 이미 박¹¹⁾의 연구에서 살펴본 음식물쓰레기에 대한 호기성 퇴비화의 경시적 변화에서 타가 영양세균의 군락형성단위(Colony Forming Units; CFU)의 변화에 관한 연구 이후, 1년여의 시차를 두고 후속연구로서 생물학적 전환에 있어서 타가영양세균과 함께 크게 영향을 미치는 곰팡이의 수적 변화가 퇴비화 지표인 온도 및 pH와 어떻게 관련되는지를 파악하고자 하였다.

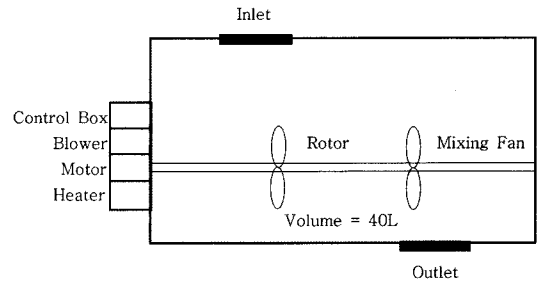


Fig. 1. Schematic diagram of laboratory-scale composting reactor system.

II. 실험방법

1. 장치 및 재료

본 실험에 사용된 퇴비화 장치는 Fig. 1과 같으며, 내부치수는 W500×H600×D350 mm로, 유효용적 40L 크기의 스테인레스 재질의 반응기로서, 바다 부분은 교반 시에 사각지대를 없애기 위해 교반날개의 회전반경에 맞추어 원형으로 제작되었다. 부가장치로 송풍기, 온도조절장치, 교반기, 투입구 및 배출구와 이를 제어하기 위한 제어함이 부착되어 있다.

2. 실험조건

본 실험에 사용된 음식물류폐기물은 각각 1회 300명과 200명 이상의 급식능력을 갖춘 2개의 집단급식소로부터 3회에 걸쳐 채취하여, 이물질 제거, 혼합, 절단, 균질화한 후, 3시간 동안 음지에서 건조시켰다. 이러한 음식물류폐기물 10L를 준비하여 대조군(Control)으로 하였고, 다시 음식물류폐기물 10L를 준비하여 여기에 목재세편 5L를 혼합하여 시료 WC-1으로 하였으며, 또 다른 음식물류폐기물 10L를 준비하여 목재세편 10L를 혼합하여 시료 WC-2로 하였다. 이들 대조군(Control), WC-1 및 WC-2를 각각의 반응조에 투입한 후, 1 rpm의 속도로 하루 1시간 교반, 공기주입률 80 L/min·m³로 2시간 송풍하여 24일 동안 운전하면서 온도, pH, 곰팡이의 CFU 등의 항목들의 경시적 변화를 측정, 비교, 분석, 고찰하였다.

3. 분석방법

본 실험에서 실내온도와 시료의 온도, pH 및 곰팡이의 CFU를 경시적으로 측정하였고, 실험재료인 음식물류폐기물과 목재세편의 전도도를 측정하였다. 수분함량 및 고형물 함량은 폐기물공정시험방법에 따라 105°C에서 4시간 건조하여 측정하였고, 회분함량은 600°C에서 30분간 강열한 후 측정하였다. NaCl 함량은 Mohr 법

에 따라 시료에 지시약으로서 7.5% K_2CrO_4 를 넣은 다음 0.02 N $AgNO_3$ 용액으로 적정하여 측정하였고, 곰팡이의 CFU는 도말평판법(Spread Plate Technique)에 따라 Streptomycin-terramycin-malt extract agar를 사용하여 측정하였다.¹²⁻¹⁴⁾

III. 결과 및 고찰

본 실험은 이미 박¹¹⁾이 진행한 음식물류폐기물에 대한 호기성퇴비화에 있어서 타가영양세균의 균락형성단위의 변화에 대한 연구에 이은 후속연구로서, 유기물의 생물전환에 큰 영향을 미치는 곰팡이의 수적 변화가 온도, pH 등 퇴비화지표와 어떤 연관성을 보이는지를 파악하기 위한 실험이다. 먼저 음식물류폐기물과 목재세편의 물리화학적 특성이 Table 1에 제시되어 있다.

음식물류폐기물의 pH 3.73은 목재세편의 pH 5.14보다는 낮게 나타났으며, 목재세편의 겉보기 밀도와 수분함량은 음식물류폐기물에 비해 월등히 낮고, 또한 공극률은 음식물류폐기물에 비해 매우 높아, 목재세편의 팽화제로서의 역할을 기대할 수 있었다. 염분도와 전도도에 있어서는 음식물류폐기물이 목재세편에 비해 매우 높은 것으로 나타났는데, 실제로 박¹⁵⁾의 왕겨와 톱밥을 이용한 연구에서도 왕겨와 톱밥 첨가량이 많을수

Table 1. Physico-chemical properties of food wastes and wood chips

Items	Units	Food wastes	Wood chips
pH	-	3.73	5.14
Apparent density	kg/L	0.94	0.39
Porosity	%	57.6	86.7
Moisture content	%	63.2	7.9
Total solid	%	33.7	90.6
Ash content	%	3.1	1.5
Salinity	%	0.41	0.06
Conductivity	mS/m	64.8	8.2

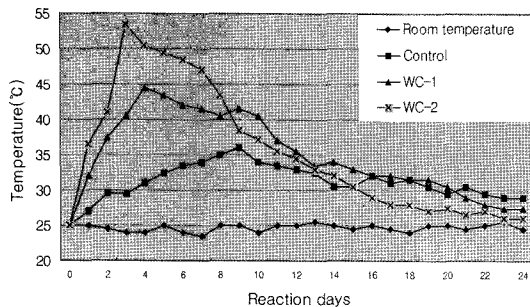


Fig. 2. Temperature changes of each composting mixtures by reaction days.

록 더욱 짧은 시간내에 최고온도에 도달하였으며, 최종 부피 및 무게 감소율도 더 커지는 것으로 나타나 결국, 목재세편의 첨가가 공극률을 확대해주고, 염분도도 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

실내온도와 각 반응물의 온도의 변화는 Fig. 2에 제시되어 있는데, 먼저 최고온도를 살펴보면, 대조군의 경우는 반응기간 내내 비교적 낮은 온도분포를 보여주었으며, 반응 9일째 최고온도 36.0°C를 나타내었다. 전체적으로 매우 미약한 온도상승을 나타내어 팽화제로서 목재세편이 투입되지 않은 대조군의 경우는 퇴비화가 아주 더디게 진행되고 있음을 알 수 있었다.

톱밥 등 혼합물의 특성이 음식물쓰레기 퇴비화에 미치는 영향을 파악한 정 등⁸⁾의 연구에서 볼 수 있듯이 팽화제가 투입된 경우, 퇴비화가 진행됨에 따라 급격한 온도 상승을 보이고 각 반응기의 최고온도에 도달한 후 감소하는 전형적인 퇴비화 온도변화곡선을 나타내었는데, 특히 초기 단계에서 분해되기 쉬운 물질의 빠른 분해에 의해 온도 상승이 이뤄지는 것으로 판단된다.

WC-1의 경우, 반응 4일 후 최고온도 44.5°C를 나타내었으며, 이어서 약 6일 동안 40°C 이상의 고온을 지속하였다. WC-2의 경우, 반응 3일 후 최고온도 53.5°C를 기록하였으며, 이어서 약 5일 동안 40°C 이상의 고온을 지속하였다.

각 반응조 내 pH의 변화가 Fig. 3에 제시되어 있다. 대조군의 경우는 최초 pH 3.73에서 반응일 수가 증가할수록 아주 서서히 증가하여 반응 13일 후 비료소 pH 6.00을 넘어선 pH 6.17을 나타내었는데, 이 시점은 최고온도 36.0°C를 나타내었던 반응 9일 후로부터 4일 후였다. 반응 종료 후의 대조군의 pH는 6.57을 나타내었다.

음식물쓰레기 단독 퇴비화 및 하수슬러지 혼합 퇴비화시설의 운전특성을 파악한 남궁 등⁹⁾의 연구에서 혼합 퇴비화의 경우, 초기 분해가 활발한 구간을 거치면

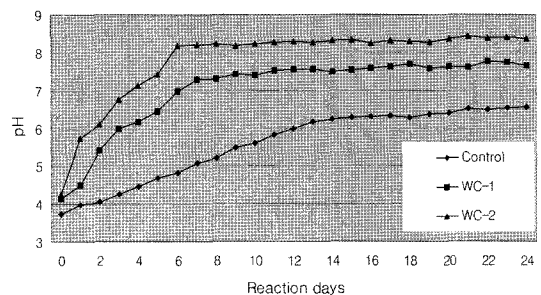


Fig. 3. Changes in pH of each composting mixtures by reaction days.

서 pH가 7 이상으로 급격히 상승할 뿐만 아니라 최종 pH는 8.5 내외의 약알칼리성을 띠는 것으로 주장하였는데, 그러한 경향은 본 연구에서도 유사하게 나타났다.

WC-1의 경우 최초 pH 4.13에서 반응일수가 경과할수록 지속적으로 증가하는 것으로 나타났는데, pH 7.00을 최초로 돌파한 pH 7.29의 반응 7일 후의 시점은 앞의 Fig. 2에서 최고온도 44.5°C를 나타내었던 반응 4일 후로부터 3일 후였다. WC-2의 경우 최초 pH 4.25에서 반응일수가 경과할수록 pH가 급격하게 상승하여 반응 6일 후에 이르러 pH 8.00을 돌파한 pH 8.18을 나타내었으며, 그 시점은 최고온도 53.5°C를 나타내었던 반응 3일 후로부터 3일 후였다. 반응 종료 후의 WC-1과 WC-2의 pH는 각각 7.65와 8.36이었다. 이로부터 음식물류폐기물의 퇴비화 과정 중 최고 온도에 도달된 이후 약 3일 후에 급격한 pH 증가가 수반됨을 파악할 수 있었다.

전체적으로 볼 때, 대조군의 경우 뒤늦게 퇴비화가 서서히 진행됨을 알 수 있었고, WC-1과 WC-2는 서로 유사한 경향을 보이거나, 최고 pH 및 그 도달시점,

그리고 반응 종료 후 pH 등을 비교해 보건대 WC-2에서 더 빠르고 효율적인 퇴비화가 진행된 것으로 판단된다.

반응일수의 경과에 따른 각 반응조내 곰팡이의 CFU에 대한 상용로그치가 Fig. 4에 제시되어 있다. 음식물 쓰레기 퇴비화과정 중 미생물상의 변화를 파악한 정 등⁸⁾의 연구에서, 온도가 60°C 전후로 상승된 초기 상태에서는 고온성 세균이 주로 유기물의 분해를 하기 시작하고, 유기물의 농도가 낮아지게 되는 퇴비화 후기단계에서는 높은 온도에 대한 내성이 세균보다 큰 고온성 방선균의 밀도가 증가하면서 유기물을 분해한다고 주장하였으며, 음식물 쓰레기의 퇴비화에 있어서 염분 농도의 영향을 조사한 박 등¹⁶⁾의 연구에서는 반응시간이 증가할수록 *Bacillus acidicaldarius*의 농도는 증가하다가 감소하는 경향을 나타내었으며, 염분도가 증가할수록 그 숫자는 감소하는 것으로 나타났다 하였고, 정 등¹⁷⁾은 음식물류 폐수처리에 있어서 *Bacillus* 속의 미생물이 그 처리효율이 뛰어나 미생물 제형화에 유리한 균주라고 주장하였다.

본 연구에서는 대조군의 경우, 전반기에 완만한 상승세를 보이다가, 반응 11일 후 곰팡이의 CFU에 대한 상용로그치가 10.94로 최고치를 기록했는데, 이 시점은 최고온도 36.0°C를 기록한 후 2일 후였으며, 이후에는 완만한 하강세를 나타내었다. WC-1의 경우 최초 7.76으로 시작하여 급격히 증가하여 반응 5일 후 12.78로 최고치를 나타냈는데, 이 시점은 최고온도 44.5°C를 기록한 후 1일 후였으며, 그 이후 3일 동안 12.00 이상을 나타내었다. WC-2의 경우 최초 7.22로 시작하여 WC-1보다 더 급격하게 증가하여 반응 4일 후 13.90으로 최고치를 나타냈는데, 이 시점은 최고온도 53.5°C를 기록한 후 1일 후였으며, 그 이후 4일 동안 13.00 이

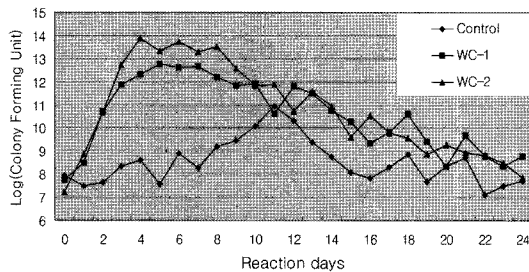


Fig. 4. Changes of fungi in Log(Colony Forming Units/gram) of each composting mixtures by reaction days.

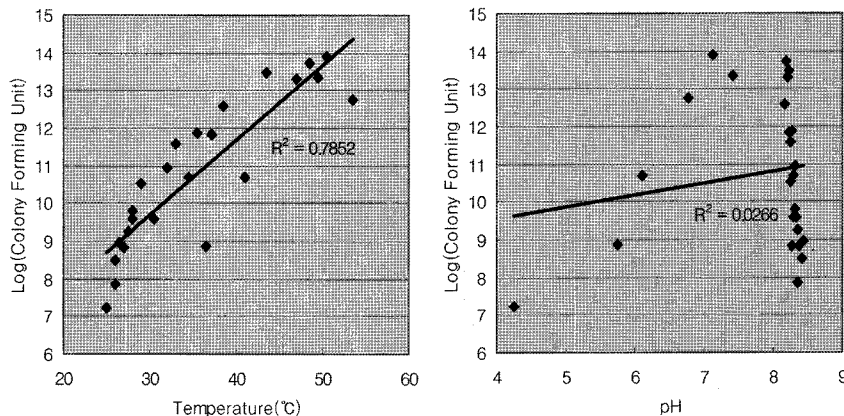


Fig. 5. Regression curves between Log(Colony Forming Units/gram) of fungi, temperature and pH.

상을 나타내었다.

WC-1과 WC-2의 변화양상이 서로 유사하나, WC-2의 최고치가 WC-1의 최고치보다 높을 뿐만 아니라, 높은 수치의 지속기간도 더 긴 것으로 보건대, WC-2의 퇴비화 속도가 WC-1의 그것보다 빠른 것으로 판단된다.

한편 박¹¹⁾의 연구에서 타가영양세균의 CFU에 대한 상용로그치의 변화양상은 온도 변화양상보다는 pH 변화양상에 더 밀접한 관련성을 나타낸데 반하여, 이 번 연구에서는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 퇴비화가 빠른 WC-2의 경우에 있어서, 곰팡이의 CFU에 대한 상용로그치와 온도와의 상관계수 r 값은 0.8861($r^2=0.7852$)로서, pH 값에 대한 상관계수 r 값 0.1631($r^2=0.0266$)보다 더 큰 것으로 나타나, 곰팡이의 CFU에 대한 상용로그치의 변화양상은 pH 변화양상보다는 온도 변화양상과 더 밀접한 관련성을 나타내어, 곰팡이의 활상과 증식이 반응물의 온도변화를 주도하는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 이미 박¹¹⁾이 진행한 음식물류폐기물에 대한 호기성퇴비화에 있어서 타가영양세균의 균락형성단위의 변화에 대한 연구에 이은 후속연구로서, 유기물의 생물전환에 큰 영향을 미치는 곰팡이의 수적 변화가 온도, pH 등 퇴비화지표와 어떤 연관성을 보이는 지를 파악하기 위한 실험으로서, 음식물류폐기물 10L를 준비하여 대조군(Control, 10 L/0 L)으로 하였고, 다시 음식물류폐기물 10L를 준비하여 여기에 목재세편 5L를 혼합하여 시료 WC-1(10L/5 L)으로 하였으며, 또 다른 음식물류폐기물 10L를 준비하여 목재세편 10L를 혼합하여 시료 WC-2(10L/10L)로 하였다. 이들 대조군(Control), WC-1 및 WC-2를 각각의 반응조에 투입한 후, 1 rpm의 속도로 하루 1시간 교반, 공기주입률 80 L/min·m³로 2시간 송풍하여 24일 동안 운전하면서 온도, pH, 곰팡이의 CFU 등의 항목들의 경시적 변화를 측정, 비교, 분석, 고찰한 결과는 다음과 같다.

1) WC-2(음식물류폐기물/목재세편, 10 L/10 L)가 WC-1(음식물류폐기물/목재세편, 10 L/5 L)보다 더 빨리 고온부에 도달하고, 최고온도 또한 더 높은 것으로 보아, 퇴비화 속도에 있어서 WC-2가 WC-1보다 더 빠른 것으로 나타났다.

2) pH의 변화로부터, WC-2의 경우가 WC-1의 경우보다 더 빨리, 더 높게 pH의 급격한 상승이 일어나는 것으로 보아, 퇴비화 속도에 있어서 WC-2가 WC-1보다 더 빠른 것으로 나타났다.

3) 곰팡이의 CFU에 대한 상용로그치의 변화로부터, WC-2의 경우가 WC-1의 경우보다 더 빨리, 더 높게 나타나는 것으로 보아, 퇴비화 속도에 있어서 WC-2가 WC-1보다 더 빠른 것으로 나타났다.

4) 곰팡이의 CFU에 대한 상용로그치의 변화양상은 pH 변화양상($r=0.1631$) 보다는 온도 변화양상($r=0.8861$)과 매우 유사한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 환경부, 국립환경과학원 : 2005 전국폐기물발생 및 처리현황, 5-15, 2006.
2. 오길종 : 음식물류폐기물 자원화정책의 추진과정과 효과. 유기물자원화, **15**(2), 13-22, 2007.
3. 신총식 : 음식물류폐기물 관리정책 및 향후 개선과제. 유기물자원화, **14**(1), 13-18, 2006.
4. 박석환 : 음식물쓰레기의 호기성 퇴비화에 있어서 빛과 하수슬러지케이크가 미치는 영향에 관한 비교 연구. 한국환경위생학회지, **29**(1), 43-50, 2003.
5. 강창민, 김병만, 정일현 : 음식물쓰레기의 퇴비화공정의 적정운전조건 검토. 폐기물자원화, **11**(2), 117-124, 2003.
6. 배재근, 주요섭, 박정수 : 음식물쓰레기 염분(NaCl) 농도가 퇴비화 및 식물성장에 미치는 영향. 폐기물자원화, **10**(4), 103-111, 2002.
7. 김동원, 정혜원, 이경석, 박형용, 이기영 : 각종 미생물에 의한 음식물쓰레기 침출수의 악취저감 연구. 유기물자원화, **13**(2), 91-97, 2005.
8. 정준호, 권혁구, 이상훈 : 음식물쓰레기 퇴비화에서 혼합물 특성이 퇴비화에 미치는 영향. 한국환경위생학회지, **28**(5), 22-27, 2002.
9. 남궁 완, 이노섭, 박준석, 안병훈, 허준무, 박종안 : 음식물쓰레기 단독퇴비화 및 음식물쓰레기와 하수슬러지의 혼합퇴비화에 따른 퇴비화시설의 운전특성. 한국환경위생학회지, **28**(5), 86-92, 2002.
10. 장기운, 유영석 : 미생물첨가에 의한 소규모 정체식 퇴비화. 폐기물 자원화, **11**(1), 149-153, 2003.
11. 박석환 : 음식물류폐기물의 호기성 퇴비화에 있어서 팽화재 투입비에 따른 타가영양세균의 균락형성단위의 변화에 관한 연구. 한국환경보건학회지, **32**(4), 353-358, 2006.
12. 환경부 고시 제 91-73호 : 수질오염공정시험방법. 122-124, 1996.
13. 환경부 고시 제 96-32호 : 폐기물공정시험방법. 83-87, 1996.
14. APHA, AWWA and WEF : Standard Methods. 20th ed., 9-131-137, 1998.
15. 박석환 : 음식물쓰레기의 호기성퇴비화에 있어서 왕겨와 톱밥의 영향에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **29**(3), 28-34, 2003.
16. 박승조, 김정섭, 우성훈, 김희수 : 음식물쓰레기 처리에 있어 염분농도의 영향. 한국폐기물학회지, **23**(4), 273-277, 2006.
17. 정두영, 송인근, 김영준 : 음식물류 폐수처리를 위한 유기물분해미생물의 분리 및 동정. 유기물자원화, **15**(2), 128-135, 2007.