

음식물쓰레기의 호기성 퇴비화 전과 후의 세척에 따른 염분도와 퇴비화효율 비교

박석환[†]

서원대학교 환경건설정보학과

Comparison of Salinity and Composting Efficiency by Washing before and after Aerobic Composting of Food Wastes

Seok Hwan Park[†]

Department of Environmental, Civil Engineering and Information Systems, Seowon University

(Received March 9, 2005; Accepted April 8, 2005)

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the effects of washing food wastes before aerobic composting on temperature, pH and salinity, and the effects of washing after composting on salinity of sample mixtures. Weight ratios of food wastes to water in washing were 1:0(Control), 1:1(W-1), 1:2(W-2), 1:3(W-3) and 1:0(N-4), respectively. Ratios of food wastes to wood chips in reactor of Control, W-1, W-2, W-3 and N-1 were 5 kg:0 l, 5 kg:5 l, 5 kg:5 l, 5 kg:5 l and 5 kg:5 l, respectively. Reactors were operated for 24 days with 1 hour stirring by 1 rpm and 2 hours of forced aeration per day. The increase in the ratio of water to food wastes resulted in the increase of the maximum reaction temperature and the shortening of the high temperature reaction period. The increase in the ratio of water to food wastes also resulted in faster reaching to the lowest pH and then to the steady state of pH 9.0. The final salinities of Control, N-1, W-1, W-2 and W-3 were 1.04%, 0.92%, 0.78%, 0.64% and 0.53%, respectively. The salinities of the N-1 samples which were washed by the weight ratios (water:N-1) of 1:1, 2:1 and 3:1 after composting were 0.72%, 0.61% and 0.51%, respectively. Therefore, washing food wastes before aerobic composting is more efficient method than that after aerobic composting.

Keywords: washing before composting, washing after composting, salinity, food wastes

I. 서 론

우리나라 음식물쓰레기 발생량은 그동안 감량화 정책의 지속적인 추진으로 줄어드는 추세를 보이고 있다. 그동안 음식물류 폐기물이 줄어든 것은 쓰레기 종량제 실시, 음식물쓰레기 분리, 배출지역의 확대, 감량의무대상 사업장 확대, 식생활 습관의 개선 등 여러 가지 요인으로 복합적으로 작용한 것으로 보이나, 아직도 우리나라의 1일 생활쓰레기 발생량 중 음식물쓰레기가 차지하는 비중이 가장 커서, 2002년도 우리나라 생활쓰레기

의 발생량 1일 49,902톤 중 음식물쓰레기가 23%인 11,397톤을 차지하였다. 또한 음식물쓰레기는 종이, 병류, 캔류 등 재활용품을 빼면 50~60%에 이르고 있다.¹⁾

일반적으로 음식물쓰레기는 80~85% 전후의 높은 수분함량을 보인다. 이로 인하여 음식물쓰레기는 부패하기가 쉽고, 부폐하면서 오수와 악취를 발생시켜 재활용품과 섞이게 되면, 재활용품의 품질을 떨어뜨리며, 또한 한 저장, 운반, 처리, 처분, 처분 후 과정에서도 많은 문제점들을 야기한다. 따라서 음식물쓰레기를 감량화하고 재활용한다면 생활쓰레기 문제의 가장 큰 부분을 해결하는 것으로 볼 수 있다.^{2,4)}

또한 좁은 국토, 침출수 발생과 지하수 오염, 주민의 반대 등으로 인하여 폐기물에 대한 매립지 확보가 어려워진 상황 하에서, 특별시, 광역시 또는 시 지역에서

[†]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

발생하는 음식물쓰레기의 경우 2005년 1월 1일부터 적 매립이 금지되었다.⁵⁾

이와 같은 상황에 대비하는데 있어서, 각 국가마다 발생되는 음식물쓰레기의 형태와 특성 등이 다르기 때문에, 우리나라 음식물쓰레기의 특성에 맞는 처리 및 처분 방안을 마련할 필요가 있다. 특히 우리나라의 음식물쓰레기로부터 만들어진 퇴비의 경우, 높은 염분도가 작물의 성장에 영향을 미쳐 그의 보급에 중대한 걸림돌이 되어왔다. 현재 우리나라 음식물쓰레기 퇴비화 시설의 공통된 문제점은 생산단계에서의 악취문제와 시비단계에서의 염분도문제이다. 따라서 염분도 저감을 위한 연구는 음식물쓰레기의 재활용 촉진을 위해 반드시 필요한 분야라고 할 수 있다.

이와 관련된 연구로서, 박⁶⁾의 연구에서 최초의 음식물쓰레기의 염분도가 낮을수록 퇴비화과정 중 부피 및 무게감소율이 더 커지고, 총질소 및 총인의 농축정도가 증가하는 것으로 나타났으며, 강⁷⁾의 연구에서는 음식물쓰레기와 톱밥을 부피비로 6:4로 혼합해서 호기성 퇴비화를 진행시켰을 때, 최종염분도가 0.43~0.46%로 되었다고 주장하였다. 그러나 박^{8,9)}의 연구에서는 일반적으로 퇴비화가 진행될수록 염분도가 농축, 증가하는 것으로 나타났다. 또한 배¹⁰⁾의 연구에서는 염분도가 1%까지는 식물에 대한 영향이 적었으나 2~3%에서 영향을 나타내기 시작하여 6%에서는 매우 크게 영향을 미친다고 주장하였고, 박¹¹⁾의 연구에서는 염분도 1%에서 배추의 발아율이 97%이었으나, 염분도 1.5%에서는 8.0%로 급격히 감소한다고 주장한 바 있다.

이에 본 연구에서는 음식물쓰레기에 대한 호기성 퇴비화 처리에 있어서, 효율적이고 경제적인 처리를 달성하고, 그 산물인 퇴비의 활용을 극대화하고자, 음식물쓰레기를 물로 세척한 후에 퇴비화를 진전시켜보고, 음식물쓰레기를 퇴비화 시킨 후에 세척을 해봄으로써 어느 경우가 최종적으로 염분도를 더 크게 저하시키는 가를 규명해내고자 하였다.

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, 바닥 부분은 교반 시에 사각지대를 없애기 위해 교반날개의 회전반경에 맞추어 원형으로 제작되었다. 부가장치로 송풍기, 온도조절장치, 교반기, 투입구 및 배출구와 이를 제어하기 위한 제어함이 부착되어 있다.

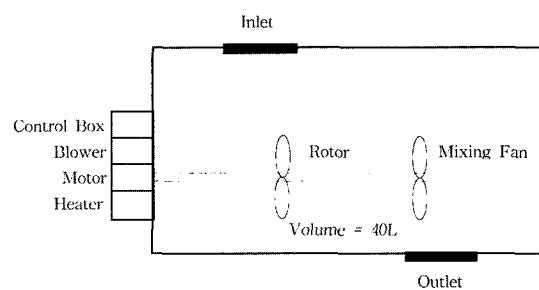


Fig. 1. Schematic diagram of laboratory-scale composting reactor system.

2. 실험조건

본 실험에 사용된 음식물쓰레기는 각각 1회 300명과 200명 이상의 급식능력을 갖춘 2개의 집단급식소로부터 3회에 걸쳐 채취하여, 이물질 제거, 혼합, 절단, 균질화한 후, 초기 수분함량이 너무 많아서 3시간 동안 음지에서 건조시켰다. 이러한 음식물쓰레기 5 kg을 준비하여 대조군(Control)으로 하였고, 다시 5 kg을 준비하여 여기에 목재세편 5 l를 혼합하여 시료 N-1로 하였으며, 다시 음식물쓰레기 10 kg씩 3개의 시료에 대하여 종류수를 각각 10 kg, 20 kg, 30 kg 가하여 5분간 혼합한 후, 그물망 구조의 플라스틱 용기에 옮겨 30분간 중력에 의해 물을 빼낸 후, 음지에서 3시간 건조한 다음, 각각 5 kg씩 취한 후, 목재세편을 각각 5 l씩 순서대로 혼합하여, 각각 시료 W-1, W-2, W-3로 한 다음, 위의 5가지 시료 즉, 대조군(Control), W-1, W-2, W-3, N-1을 각각의 반응조에 투입한 후, 1 rpm의 속도로 하루 1시간 교반, 2시간 송풍으로 24일 동안 운전하면서 온도, pH, 염분도 등의 항목들의 경시적 변화를 측정, 비교, 분석, 고찰하였으며, 최종적으로 생산된 퇴비 중 N-1에 대해 중량기준 1:1(종류수:퇴비), 2:1, 3:1의 비로 세척한 후에 30분간 중력에 의한 탈수, 3시간 건조 후, 염분도를 측정, 비교, 분석, 고찰하였다.

3. 분석방법

본 실험에서 실내온도와 시료의 온도, pH 및 염분도를 경시적으로 측정하였고, 실험재료로서의 음식물쓰레기와 목재세편의 전도도를 측정하였다. 수분함량 및 고형물 함량은 폐기물공정시험방법에 따라 105°C에서 4시간 건조하여 측정하였고, 회분함량은 600°C에서 30분간 강열한 후 측정하였다. NaCl 함량은 Mohr 법에 따라 시료에 지시약으로서 7.5% K₂CrO₄를 넣은 다음 0.02N AgNO₃ 용액으로 침전하여 측정하였고, TKN (Total Kjeldahl Nitrogen)은 H₂SO₄와 H₂O₂를 사용하여 전처리한 시료를 Semi-micro-Kjeldahl Method에 따

라 측정하였고,¹²⁻¹⁴⁾ TOC(Total Organic Carbon) 함량은 아래의 식 (1)로부터 구하였다.¹⁵⁾

$$\text{TOC}(\%) = \frac{100 - \% \text{Ash}}{1.8} \quad (1)$$

III. 결과 및 고찰

음식물쓰레기와 목재세편의 물리화학적 특성이 Table 1에 제시되어 있는데, 음식물쓰레기의 pH 4.4는 목재세편의 pH 5.3보다는 낮게 나타났으며, 목재세편의 겉보기 밀도와 습도는 음식물쓰레기에 비해 월등히 낮고, 또한 공극률은 음식물쓰레기에 비해 매우 높아서, 목재세편의 팽화제로서의 역할을 기대할 수 있었다. C/N비는 음식물쓰레기가 22.8, 목재세편이 29.3을 나타내었다. 염분도와 전도도에 있어서는 음식물쓰레기가 목재세편에 비해 매우 높은 것으로 나타났는데, 이는 세계보건기구(WHO)의 소금에 대한 섭취 권장량 6 g/인·일 보다 훨씬 많은 우리나라의 소금 섭취량 20 g/인·일 때문인 것으로 판단된다. 결국, 목재세편의 첨가가 음식물쓰레기의 퇴비화에 있어서 공극률을 확대해주고, 염분도를 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.¹⁶⁻¹⁸⁾

실내온도와 각 반응물의 온도의 변화는 Fig. 2에 제시되어 있는데, 먼저 최고온도를 살펴보면, 대조군의 경우는 2일 후에 34.0°C, N-1의 경우는 2일 후에 35.5°C, W-1의 경우는 2일 후에 39.0°C, W-2의 경우는 3일 후에 42.5°C, W-3의 경우는 3일 후에 40.5°C를 나타내어, 대조군이나 N-1과 같이 세척을 하지 않은 경우보다는 세척을 한 경우의 최고온도가 더 높은 것으로 나타났다. 또한 대조군의 경우 30.0°C 이상을 기록한 날짜 수가 12일이었으며, N-1의 경우는 10일, W-1의 경우는 7일, W-2의 경우는 5일, W-3의 경우는

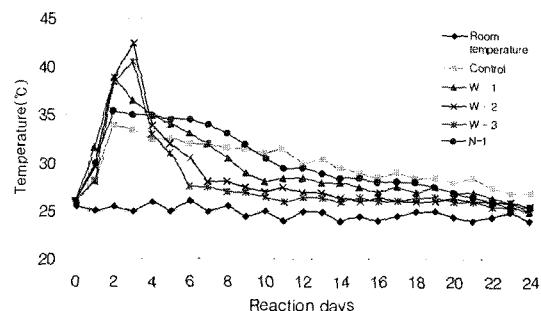


Fig. 2. Temperature changes of each composting mixtures by reaction days.

4일로 나타나, 팽화재가 존재하고 세척의 정도가 클수록 30°C 이상의 고온 유지 기간이 짧은 것으로 나타났다. 즉, 팽화재가 존재하고 세척의 정도가 클수록 호기성 퇴비화가 빨리 진행되었음을 의미하는데, 이는 세척에 의해 퇴비화의 대상물질로서 유기물이 상당량 빠져나갔고, 이와 더불어 염분도가 감소되어 미생물의 활성이 증대되었기 때문인 것으로 판단된다. 역으로 세척의 정도가 작거나 팽화재가 투입되지 않을수록 퇴비화가 더디게 진행됨을 알 수 있었는데, 특히 팽화재가 투입되지 않았고 세척도 이뤄지지 않은 대조군의 경우와, 팽화재가 투입되었지만 세척은 이뤄지지 않은 N-1을 비교했을 때, 후자의 경우가 좀 더 나은 퇴비화 경향을 나타내었으며, 전자의 경우에는 퇴비화 과정 중 서로 떻어리지는 괴상화 현상이 일어나 부분적으로 혐기성 조건이 조성되어 역겨운 악취가 많이 발생하였으며, 초파리와 파리 및 구더기도 발생하였다.

각 반응조내 pH의 변화가 Fig. 3에 제시되어 있다. 대조군의 경우는 최초 pH 4.42에서 반응일 수가 증가 할수록 감소되어, 반응일수 6일 경과 후 pH 4.17로 최저치를 나타낸 후, 점차로 증가되어 반응일수 24일 후에야 비로소 pH 9.00을 넘어섰다. N-1의 경우는 최초

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

Items	Units	Food wastes	Wood chips
pH	-	4.4	5.3
Apparent density	kg/L	0.97	0.34
Porosity	%	51.3	85.1
Moisture content	%	62.3	8.4
Total solid	%	37.7	91.6
Ash content	%	4.18	1.88
TOC	%	53.2	54.5
TKN	%	2.38	1.89
C/N ratio	-	22.8	29.3
Salinity	%	0.38	0.09
Conductivity	mS/m	50.3	8.5

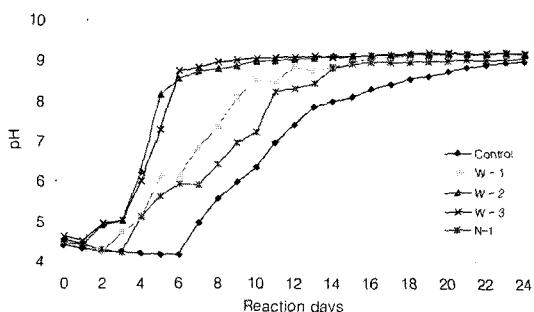


Fig. 3. Changes in pH of each composting mixtures by reaction days.

pH 4.47에서 반응일수가 증가할수록 감소되어, 반응일 수 3일 경과 후 pH 4.21로 최저치를 나타낸 후, 점차로 증가되어 반응일수 20일 후에야 pH 9.00을 나타내었다. W-1의 경우는 반응일수 2일 후 pH 4.25로 최저치를 나타낸 후, 점차로 증가되어 반응일수 16일 후 pH 9.00을 넘어섰으며, W-2의 경우는 반응일수 1일 후 pH 4.42로 최저치를 나타낸 후, 점차로 증가되어 반응일수 11일 후 pH 9.00을 넘어섰으며, W-3의 경우는 반응일 수 1일 후 pH 4.51로 최저치를 나타낸 후, 점차로 증가되어 반응일수 9일 후 pH 9.00을 넘어섰다. 즉, 세척의 정도가 약하고 또한 팽화재가 투입되지 아니한 경우에는, 반응 초기에 유기산 생성이 상당한 기간 동안 지속되어 pH가 오랫동안 감소하다가 이어 증가하기 시작하여 pH 9.00에 도달하는 기간도 더 오래 걸리는 것으로 판단된다. 역으로, 세척의 정도가 클수록 최저 pH에 도달하는 시점이 빠르고, 또한 pH 9.00에 도달하는 시점도 빨라서 퇴비화가 그만큼 빨리 진행되는 것으로 판단된다.

이의 사실을 앞에서 살펴본 온도변화와 연결시켜보면, 팽화재를 투입하지 아니하거나 세척의 정도가 약할수록, 최고 온도는 낮으며, 30°C 이상의 고온 지속 기간은 길어지고, 최저 pH에 도달하는 기간은 길어지며, pH 9.00에 도달하는 기간은 길어져 퇴비화가 효율적으로 진행되지 못함을 알 수 있었다.

반응조 내 시료의 염분도의 변화가 Fig. 4에 제시되어 있으며, 퇴비화 전과 후의 염분도 및 농축배수, 그리고 퇴비화가 끝난 시료 N-1에 대해 중량기준 1:1(증류수:퇴비), 2:1, 3:1의 비로 세척한 후에 30분간 중력에 의한 탈수, 3시간 건조 후, 측정한 염분도가 Table 2에 제시되어 있다. 먼저 Fig. 4에서 보는 바와 같이 세척의 정도가 강할수록 염분도가 반응일수 중간 이후 일정성을 나타내어 퇴비화가 중간이후에 거의 종료되었음을 나타내고 있으나, 역으로 팽화재를 투입하지 아니하거나 세척의 정도가 약할수록, 반응일수 끝까지 염분도가 지속적으로 증가하여, 퇴비화반응이 늦게까지

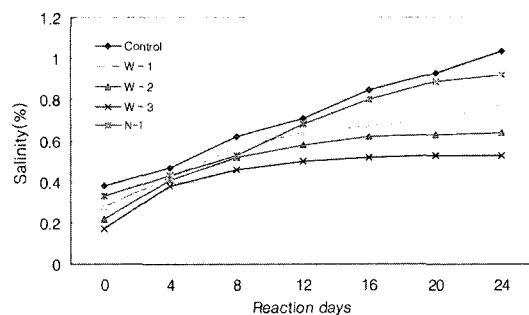


Fig. 4. Salinity changes of each composting mixtures by reaction days.

진행되고 있음을 보여주었다. 이와 같이 반응일수가 경과함에 따라 염분도가 증가하는 이유는 호기성 퇴비화가 진행되면서 유기물함량은 줄어드는데 비하여 염분의 총량은 불변하기 때문에 진량기준 염분도는 상대적으로 증가하는 것으로 판단된다. Table 2에서 보는 바와 같이 대조군과 N-1의 최종 염분도는 각각 1.04와 0.92를 나타내어 직접 퇴비로서의 사용은 불합리한 것으로 보이며, 이의 재활용에는 또 다른 후처리 공정이 필요한 것으로 판단된다. 왜냐하면 '유기성 오니 등을 토지개량제 및 매립시설 복토 용도로의 재활용 방법에 관한 고시(환경부고시 제 2000-78호)¹⁹⁾에 따르면, 부숙토의 제품기준으로서 염분도는 1% 이하이어야 하므로, 원료로서 음식물쓰레기의 원래의 염분도가 조금만 높다면 결국 대조군 또는 N-1의 최종산물의 염분도는 1%를 넘을 수 있기 때문에, 이를 퇴비로서 사용하기 위해서는 염분도가 낮은 다른 원료와의 혼합,²⁰⁻²²⁾ 퇴비화 전 세척 또는 퇴비화 후 세척 등의 추가적 공정이 요구된다고 할 수 있다. 또한 전체적으로 퇴비화가 진행되는 동안에 염분도는 2.7~3.1배 농축되는 것으로 나타났다. 최종염분도로 봤을 때, W-1, W-2 및 W-3의 최종염분도 0.78%, 0.64 및 0.53%는 음식물쓰레기에 대한 세척을 시행하지 않고 팽화재로 벗침을 사용한 경우의 2.44~3.04%나 하수슬러지를 사용한 경우의 1.61~

Table 2. Comparison of salinity by washing before and after composting

Samples	Salinity (%) before composting	Salinity (%) after composting	Concentration times	Salinity (%) by washing ratio after composting		
				1/1*	2/1	3/1
Control	0.38	1.04	2.7	-	-	-
W-1	0.28	0.78	2.8	-	-	-
W-2	0.22	0.64	2.9	-	-	-
W-3	0.17	0.53	3.1	-	-	-
N-1	0.33	0.92	2.8	0.72	0.61	0.51

*Washing ratio of water to sample (kg/kg).

2.28% 보다는⁸⁾ 월등히 낮았다.

한편, 퇴비화가 끝난 시료 N-1에 대해 중량기준 1:1(증류수:퇴비), 2:1, 3:1의 비로 세척한 후에 30분간 중력에 의한 탈수, 3시간 건조 후, 측정한 염분도는 각각 0.72%, 0.61%, 0.51%를 나타냈는데, 이는 퇴비화 전에 같은 비로 세척한 후 퇴비화를 진행시킨 시료 W-1, W-2 및 W-3의 최종 염분도 0.78%, 0.64% 및 0.53% 보다는 약간 낮으나 그 차이가 크지 않으며, 앞에서 온도 및 pH 변화에서 살펴본 바와 같이 N-1의 퇴비화 과정이 W-1, W-2 및 W-3의 퇴비화 과정에 비하여 현저히 더디게 진행되는 것으로 볼 때, 호기성 퇴비화의 최종산물의 염분도를 줄이기 위해 음식물 쓰레기를 세척하고자하는 경우, 퇴비화 후 세척을 하는 것보다는 퇴비화 전에 세척을 하는 것이 효율적인 것으로 판단되었다.

IV. 결 론

본 연구는 음식물쓰레기를 물로 세척한 후에 퇴비화를 전진시켜보고, 음식물쓰레기를 퇴비화 시킨 후에 세척을 해봄으로써 어느 경우가 최종적으로 염분도를 더 크게 저하시키는 가를 규명해내고자 하였다. 음식물쓰레기 5 kg을 준비하여 대조군(Control)으로 하였고, 다시 5 kg을 준비하여 여기에 목재세편 5 l를 혼합하여 시료 N-1로 하였다. 다시 음식물쓰레기 10 kg씩 3개의 시료에 대하여 증류수를 각각 10 kg, 20 kg, 30 kg 가하여 세척, 탈수, 건조 후, 각각 5 kg씩 취한 후, 목재세편을 각각 5 l씩 순서대로 혼합하여, 각각 시료 W-1, W-2, W-3로 하였다. 위의 5가지 시료 즉, 대조군(Control), W-1, W-2, W-3, N-1을 각각의 반응조에 투입한 후, 1 rpm의 속도로 하루 1시간 교반, 2시간 송풍으로 24일 동안 운전하면서 온도, pH, 염분도 등의 항목들의 경시적 변화를 측정하였다. 최종적으로 생산된 퇴비 중 N-1에 대해 중량기준 1:1(증류수:퇴비), 2:1, 3:1의 비로 세척, 탈수, 건조 후, 염분도를 측정, 비교, 분석, 고찰한 결과는 다음과 같다.

1) 세척의 정도가 클수록 최고온도는 높았으며, 30°C 이상의 고온지속기간은 짧아서, 퇴비화가 빠르게 진행됨을 알 수 있었다.

2) 세척의 정도가 클수록 최저 pH에 빨리 도달하고, pH 9.0에 도달하는 데 소요되는 기간도 짧은 것으로 나타났다.

3) 대조군, N-1, W-1, W-2 및 W-3의 최종 염분도는 각각 1.04%, 0.92%, 0.78%, 0.64% 및 0.53%이었고, N-1의 최종산물을 중량기준 1:1(증류수:퇴비), 2:1,

3:1의 비로 세척, 탈수, 건조한 후에 측정한 염분도는 0.72%, 0.61% 및 0.51%를 나타내었다.

참고문헌

- 환경부 : 환경통계연감. **12**, 134-148, 2003.
- 김남천 : 발효된 음식폐기물의 사료화 잠재력에 관한 연구. 유기성폐기물자원화협의회지, **3**(1), 13-20, 1995.
- 박석환 : 왕겨가 음식물쓰레기의 호기성 퇴비화에 미치는 영향. 한국환경위생학회지, **29**(2), 56-61, 2003.
- 신한식, 황용주, 김구용 : 소멸식 퇴비화 장치의 운전 성능 평가. 한국유기성폐자원학회 가을 학술대회 발표논문집, 11-19, 1997.
- 환경부 : 폐기물관리법 시행규칙 별표-4. 6-12, 2000.
- 박석환 : 염분도와 수분함량이 음식폐기물의 호기성 퇴비화에 미치는 영향. 한국환경위생학회지, **24**(1), 120-131, 1998.
- 강창민, 김병만, 정일현 : 음식쓰레기의 퇴비화공정의 적정운전조건 검토. 폐기물자원화, **11**(2), 117-124, 2003.
- 박석환 : 음식물쓰레기의 호기성 퇴비화에 있어서 벗짚과 하수슬러지케이크가 미치는 영향에 관한 비교 연구. 한국환경위생학회지, **29**(1), 43-50, 2003.
- 박석환 : 왕겨가 음식물쓰레기의 호기성 퇴비화에 미치는 영향. 한국환경위생학회지, **29**(2), 56-61, 2003.
- 배재근, 주요섭, 박정수 : 음식물쓰레기 염분(NaCl) 농도가 퇴비화 및 식물성장에 미치는 영향. 폐기물자원화, **10**(4), 103-111, 2002.
- 박석환 : 음식폐기물로부터 유도된 퇴비가 채소류의 발아 및 생육에 미치는 영향. 한국환경위생학회지, **27**(3), 21-26, 2001.
- 환경부 고시 제 91-73호 : 수질오염공정시험방법. 122-124, 1996.
- 환경부 고시 제 96-32호 : 폐기물공정시험방법. 83-87, 1996.
- APHA, AWWA and WEF : Standard Methods. 19th ed., 4 · 90-4 · 95, 1995.
- 노재성 : 무기계 고형폐기물을 수분조절제와 탄소공급원으로 한 축분의 퇴비화에 관한 연구. 한국폐기물학회지, **11**(3), 389-397, 1994.
- 이기열 : 식이요법. 수학사, 서울, 205-215, 2001.
- 홍순명, 최석영, 송재철, 유리나 : 건강과 영향. 울산대학교 출판부, 125-127, 2000.
- 이상은 : 염류가 집적된 시설재배 토양에서 질소와 가리의 시비 효과 및 양분수지. 한국토양비료학회지, **27**(2), 78-84, 1994.
- 환경부 고시 제 2000-78호 : 유기성오니 등을 토지개량제 및 매립시설 복토 용도로의 재활용 방법에 관한 고시. 46-49, 2000.
- 장기윤, 이인복, 임재신, 임현택 : 부숙과정 중 음식물찌꺼기의 식물독성평가. 한국토양비료학회지, **29**(3), 312-320, 1996.
- 유영석, 장기윤, 이지환 : 낮은 음식물 퇴비에 따른 토양의 이화학성 변화와 고추생육에 미치는 영향. 폐기물자원화, **9**(4), 81-88, 2001.
- 박석환 : 음식물쓰레기의 호기성 퇴비화에 있어서 왕겨와 둠밥의 영향에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **29**(3), 28-34, 2003.