

음식쓰레기 1차 부숙퇴비의 숙성과정중 상태변화

서정윤

창원대학교 공과대학 환경공학과

Physico-Chemical Changes of Curing Compost from Food Wastes

Jeoung-Yoon Seo (Dep. of Environmental Engineering, College of Engineering, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea)

Abstract : The fresh food waste compost, which was composted in a small bin for average one month, was cured in a pile in the field for seven months. The pile was turned once a month. The various components of the compost were investigated for the curing period. The maximum temperature rised to 65°C after curing of four months. The moisture content of the compost dropped to 61.7% after twelve months. After that, the rainfall affected very much the moisture content of the compost. pH of the compost increased gradually to 8.92 for curing. Ash content rised continually to 60.5% for curing. However, it did not exceed 25% ash content, which is the by-product limit value. The accumulation of the inorganic components occured and most of the heavy matals except for Cd generally were accumulated as curing proceeded.

서 론

최근 다른 폐기물 처리방법과 비교하여 2차오염 및 처리비용을 줄일 수 있고 또한 동시에 토지개량제인 퇴비를 유기성 폐기물로부터 생산하여 토양에 사용하려는 것에 많은 관심이 집중되고 있다. 그러나 유기성 폐기물에서 생산된 퇴비가 충분히 안정화되지 못하였을 때 토양에 사용하게 되면 작물에 막대한 영향을 미칠 수 있기 때문에 퇴비의 숙성도는 퇴비를 생산할 때뿐만이 아니라 실제 토양에 사용할 때 대단히 중요한 문제가 된다.¹⁾ 이러한 이유로 폐기물에서 만들어진 퇴비의 숙성도에 대한 것을 알아야 함은 당연하다.

일반적으로 퇴비화할 때 퇴비원료물질을 인위적으로 최적조건에서 퇴비화가 진행될 수 있도록 조절하지만 각 가정에서 실시되는 분산식 퇴비화방법에서는 주부들에게 부담을 가급적 줄여주어야 퇴비화에 참여를 유도할 수 있기 때문에 최적조건을 유지할 수 있도록 조절하는 것이 불가능하다. 마찬가지로 가정에서 생산된 생퇴비도 농업적으로 이용되기 전 상당 기간동안 숙성시켜야 한다. 이러한 숙성기간은 퇴비화 여건을 인위적인 최적조건을 통하여 단축이 가능하다. 그러나 현재의 우리 농촌에서는 인력부족으로 인하여 인위적인 조절이 불가능하기 때문에 각 가정에서 생산된 생퇴비는 수집, 사용장소까지 운반된 후 단순히 일정 장소에 야적하였다가 사용해야 할 실정이다.

또한 퇴비화과정은 근본적으로 토양에서 유기물이 분해되는 것과 유사한 안정화과정이며 두 단계로 구분된다. 초기단계는 미생물과 왕성한 대사작용으로 유기물질의 활발한

분해와 함께 온도가 상승하는 단계이다. 두 번째 단계는 미생물의 대사작용이 대단히 완만한 숙성단계이며 일반적으로 이 단계에서는 부식물질이 생성되는 것으로 특징 지워질 수 있다. 숙성단계에서 부식물질이 생성되는 주 반응은 리그닌의 분해 또는 미생물에 의하여 합성된 페놀화합물이 단백질이나 단백질 분해생성물과 고분자중합체로 축합에 의하여 생성된다고 알려져 있다²⁾. 따라서 분산식 퇴비화에서 생산된 생퇴비도 숙성단계에서 생물학적 작용에 의하여 각종 생성 및 분해물질함량에 변화가 예상되지만 원료물질 자체가 퇴비화의 최적조건을 가지고 있지 않으며 우리의 농촌여건이 최적조건으로 조절하여 숙성시킬 수 없는 형편이기 때문에 일반적인 최적조건에서의 숙성과정과는 상당한 차이가 있을 것이 기대된다. 그러므로 현재 본 연구실에서 연구되고 있는 소형 퇴비화용기에서 생산된 생퇴비를 인위적인 조건 변경 없이 일정 더미로 야적하여 시간의 경과에 따른 각종 유기, 무기성분의 함량변화 및 미생물상의 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

퇴비화원료물질 및 숙성방법

아파트에서 발생된 생활쓰레기 중 종이성분을 제외한 퇴비화 가능한 성분(주로 주방쓰레기)을 분리하여 실험실로 옮긴 후 야외에 가정용 소형 퇴비화용기를 설치하여 매주 일정량의 쓰레기를 투입하면서 2개월 동안 발효시킨 퇴비(평균 발효기간 : 1개월)를 야외에 지름 1m, 높이 80cm 정도 원추형 더미를 쌓아 한 달에 한번 옮겨 쌓기만 하면서 약 7개월 동안 숙성시켰다. 실험기간은 1993년 2월 16일부터

9월3일까지 실시하였다.

시료채취 및 조제

시료는 매달 옮겨 쌓기를 하기 위하여 잘 혼합한 것으로부터 채취하였다. 채취된 시료는 건조 시에 변하는 성분은 건조하지 않고 젖은 상태로 채취 후 가위로 잘라서 분석하였으며 그 외의 성분은 시료를 105°C에서 건조시킨 후 1mm 이하의 크기로 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다.

측정 및 분석방법

측정 및 분석방법은 본 학회지 제13권 제3호⁹⁾와 같았다.

결과 및 고찰

Fig. 1은 숙성기간중 따른 퇴비더미 내부와 외기의 온도 변화를 나타낸 것이다. 그림에서는 퇴비더미의 초기 온도가 낮았고 시간이 경과함에 따라 점점 높았다가 110일경 후부터 다시 낮아진 것을 볼 수 있었다. 초기 약 4주동안 온도가 낮았던 것은 수분함량이 높아 산소공급이 원활하지 못하였던 반면에 그 이후부터는 수분함량이 감소하여 산소의 공급이 보다 좋아졌기 때문으로 생각된다. 또한 주기적으로 온도가 급격히 상승한 것은 퇴비더미의 옮겨 쌓기를 한 직후였으며 이것 역시 원활한 산소공급에 기인된 것이다^{4,5)}. 그러나 이러한 현상과는 달리 약 110일부터 180일 사이에는 전반적으로 온도가 약 30°C 전후로 높지 않았는데 이것은 수분의 증발로 인하여 수분함량이 많이 감소하였고 쉽게 분해될 수 있는 물질들의 분해가 완료되었기 때문으로 추측되었다. 분해가 쉬운 물질들의 분해가 많이 진척되었다는 사실은 약 180일경 내린 비로 인하여 수분의 함량이 다시 증가하고

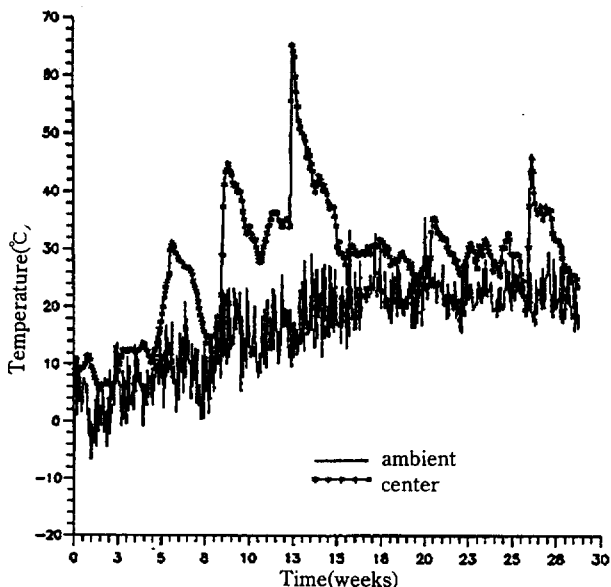


Fig. 1. Temperature Evolution of the compost during the experimental period.

옮겨 쌓기를 해주어도 최고온도가 그렇게 높지 않았고 또한 최고 온도에 도달한 직후에 온도가 다시 외기 온도와 비슷할 정도로 낮게 떨어지는 것으로 확인할 수 있었다.

Table 1에는 퇴비화 기간의 경과에 따른 퇴비 중의 수분함량 변화를 나타내었다. 수분함량은 초기 76.8%에서 계속적으로 감소하였다. 8주째에 수분함량이 64.4%로 퇴비화에 적정 수분에 도달하였다. 이것은 이 시기에 Table 3의 회분함량이 4주와 8주 사이에 크게 증가하여 유기물 분해가 상당히 활발하게 이루어진 것으로부터 알 수 있었다. 12주에 옮겨 쌓기를 한 후 최고온도가 65°C까지 도달하였다. 그 이후 20주까지 수분함량은 계속 감소와 함께 퇴비더미내의 온도도 급속하게 감소하였다. 15주부터는 퇴비 중의 수분함량이 적정 수분함량이하로 떨어져 퇴비더미내의 온도범위가 약 30°C 부근에서 크게 변화하지 않았다. 그러나 25주째에 온도가 다시 급격하게 증가하였는데 이러한 원인은 이때 비가 와서 퇴비 중의 수분함량이 61.5%까지 다시 증가하였기 때문이었다. 그 이후 퇴비더미내의 온도가 다시 실온 가까이 까지 하강한 것으로 보아 퇴비의 숙성이 거의 끝난 것으로 생각되었다.

Table 1. Water content evolution of the compost during the experimental period.

Time(weeks)	0	4	8	12	20	24	28
Water(%)	76.8	76.6	64.4	61.7	30.8	35.5	61.5

Table 2의 퇴비의 pH 변화를 보면 초기 5.58에서 28주 후 8.92까지 계속적으로 증가하였다. 짧은 시간내의 미시적인 pH 변화는 본 실험에서 4주마다 조사를 실시하여 볼 수가 없었다. 그러나 퇴비화 시간의 경과와 함께 유기물이 분해되었고(Table 4 참조) 따라서 회분의 증가(Table 3 참조)와 함께 pH가 지속적으로 증가한 것으로 생각되었다.

Table 2. pH value evolution of the compost during the experimental period.

Time(weeks)	0	4	8	12	20	24	28
pH	5.58	6.22	7.24	8.36	8.55	8.54	8.92

Table 3. Ash content evolution of the compost during the experimental period. (unit : %, dry base)

Time(weeks)	0	4	8	12	20	24	28
Ash	20.1	19.9	23.4	33.7	38.2	39.0	60.5

Table 4에는 퇴비화과정 중 퇴비의 각종 유기물함량 변화를 나타내었다. Hemicellulose는 초기에 2.4% 함유되어 있었으나 이미 4주 후에는 모두 분해되었다. Cellulose도 시간의 경과에 따라 계속 감소하였다. 그러나 lignin 함량은 12주까지 증가하였다가 그 이후에 감소하였다. 이들 성분들의 함량변화에서 뚜렷하게 볼 수 있는 것은 hemicellu-

lose가 퇴비화과정에서 가장 쉽게, 먼저 분해됨을 알 수 있었다. 다음으로 cellulose 그리고 lignin이 가장 늦게 분해되었다. 전체 유기물 함량은 초기 79.9%에서 28주 후 39.5%까지 지속적으로 감소하였다.

Table 4. Organic content evolution of the compost during the experimental period. (unit : %, dry base)

Time(weeks)	0	4	8	12	20	24	28
Organic matter	79.9	80.1	76.6	66.3	61.8	61.0	39.5
Hemicellulose	2.4	0	0	0	0	0	0
Cellulose	13.8	14.7	13.7	11.5	9.1	7.9	14.3
Lignin	7.3	12.5	17.3	15.9	15.2	5.4	3.0

Table 5에는 퇴비화과정 중 퇴비의 각종 유기산의 함량 변화를 나타내었다. 저급 유기산의 함량은 8주에 41,438.8 mg/kg까지 증가하였다가 그 이후 24주까지 감소하였다. 고급 유기산은 저급 유기산의 변화와는 달리 일정한 경향을 보이지 않았다. 이들의 합인 총 유기산 함량은 4주에 66,107.9 mg/kg까지 증가하였다가 그 이후 24주까지 감소하였다. 그러나 28주째에 다시 모든 유기산의 함량이 증가한 것은 이때 내린 비로 인하여 다시 퇴비 중의 수분함량이 증가하여 분해가 활발하였기 때문이었다.

Table 5. Fatty acid content evolution of the compost during the experimental period. (unit : mg/kg, dry base)

Time(weeks) fatty acid	0	4	8	12	20	24	28
Volatile	31,195.2	33,442.7	41,438.8	41,209.6	2,491.0	1,457.1	3,580.7
Higher	17,330.8	32,665.2	23,102.0	4,190.7	34,394.3	346.6	539.4
Total	48,526.0	66,107.9	64,540.8	45,400.3	36,885.3	1,803.7	4,120.1

Table 6에는 각종 질소함량의 변화를 나타내었다. 총 질소함량은 전 퇴비화 기간 동안 큰 변화 없이 3.70~4.32%를 유지하였다. 암모니아태 질소는 12주에 4,875.90 mg/kg까지 증가하였다가 24주까지 감소하였다. 아질산태 및 질산성 질소함량은 일정한 경향을 볼 수 없었다. 아질산성 질소의 함량은 1.72~12.65mg/kg 그리고 질산태 질소 함량은 9.12~22.75mg/kg이었다.

Table 6. Nitrogen content evolution of the compost during the experimental period. (unit : mg/kg dry, base)

Time(weeks) Nitrogen	0	4	8	12	20	24	28
T-N(%)	3.70	4.27	4.21	4.11	4.32	3.94	3.75
NH ₄ -N	309.50	1,688.60	3,265.10	4,875.90	2,223.40	2,840.70	3,891.80
NO ₂ -N	1.72	3.14	0.83	4.11	5.13	12.65	5.39
NO ₃ -N	14.24	14.62	9.12	12.18	22.75	10.64	11.09

Table 7의 퇴비화과정 중 퇴비의 C/N율의 변화에서는 초기 8에서 28주 후 5로 감소하였다. 초기 퇴비 중의 C/N율이 낮았던 것은 이미 평균 1개월 정도 퇴비화가 진행된 것을 초기원료물질로 사용하였기 때문이었다.

Table 7. C/N-ratio evolution of the compost during the experimental period.

Time(weeks)	0	4	8	12	20	24	28
C/N ratio	8	7	7	6	6	6	5

Table 8에는 퇴비화 과정 중 각종 무기성분 함량을 나타내었다. 퇴비화가 진행되면서 유기물이 분해되기 때문에 각 성분함량은 증가하였다. 각 성분들의 함량 범위를 보면 P₂O₅ 1.53~3.46%, K₂O 1.93~2.86%, CaO 2.22~3.86% 그리고 MgO 0.34~3.65%이었다.

Table 8. Inorganic compound content evolution of the compost during the experimental period. (unit : %, dry base)

Time(weeks) Inorganic compound	0	4	8	12	20	24	28
P ₂ O ₅	1.45	1.53	2.12	2.53	3.46	2.96	3.06
K ₂ O	1.93	2.43	1.94	2.16	2.86	2.23	2.19
CaO	2.66	2.96	2.77	3.18	2.22	3.83	3.86
MgO	0.34	0.36	0.41	0.48	0.55	0.61	3.65

Table 9의 퇴비 중 퇴비화 기간에 따른 CN의 함량을 보면 전반적으로 보아 함량이 증가하는 경향을 나타내었다.

Table 9. CN content evolution of the compost during the experimental period. (unit : mg/kg dry matter)

Time(weeks) CN ⁻ (mg/kg)	0	4	8	12	20	24	28
	0.32	0.24	1.86	0.78	0.66	2.31	2.01

Table 10. Heavy metal content evolution of the compost during the experimental period.

Time(weeks) Heavy metals	0	4	8	12	20	24	28
Zn(mg/kg)	58.5	97.5	56.5	106.5	101.5	95.0	103.6
Cu(%)	20.5	20.0	23.0	48.5	92.0	98.5	97.3
Cd(%)	8.2	6.5	3.5	5.7	3.1	3.6	3.8
Pb(%)	18.0	15.0	14.0	14.5	28.0	25.0	27.0
Cr(%)	12.5	10.3	13.1	12.8	14.5	17.7	13.0
Hg(μg/kg)	23.2	34.5	3.7	76.2	11.2	8.0	165.4

Table 10에는 중금속 함량의 변화를 나타내었다. 중금속 역시 퇴비화기간 동안에 내린 비에 의하여 유실될 수 있었기 때문에 명확한 경향을 보이지는 않았다. 중금속의 함량은 퇴비를 작물에 사용하였을 때 수확된 농산물에 의하여 사

람에게 영향을 줄 수 있기 때문에 엄격하게 규제를 하고 있다. Cd을 제외한 다른 중금속들의 함량은 부산물 비료 중 퇴비의 기준치⁶⁾를 초과하지 않았다. Cd은 초기, 4주 및 12주에 기준치 5mg/kg을 초과하였다. 각종 중금속들의 함량은 Zn 56.5~106.5mg/kg, Cu 20.0~98.5mg/kg, Cd 3.1~8.3mg/kg, Pb 14.0~28.0 mg/kg, Cr 10.3~17.7 mg/kg 그리고 Hg 3.7~165.4 μ g/kg이었다.

요 약

소형 퇴비화 용기에서 평균 1개월 동안 퇴비화된 생퇴비를 야외에 원추형으로 쌓아 7개월 동안 숙성시키면서 각종 성분함량의 변화를 조사하였다. 이 기간 동안 한 달에 한번씩 옮겨 쌓기를 실시하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 퇴비화 기간 4주 후에 최고온도인 65 $^{\circ}$ C에 도달하였다.
- 2) 12주 후에 수분함량이 61.7%까지 낮아졌으며 그 이후에는 강우에 의하여 수분의 변화가 심하였다.
- 3) pH는 지속적으로 증가하여 28주째에 8.92까지 상승하였다.
- 4) 회분함량은 28주째에 60.5%까지 계속 증가하였으나 부산물 비료 중 퇴비의 기준인 유기물 함량 25% 이상을 유지하였다.
- 5) 퇴비화 과정 중 무기성분이나 대부분의 중금속의 함량은 증가하였다. 그러나 카드뮴만은 축적현상을 보이지

지 않았다.

참고문헌

- 1) A. Saviozzi, R. Riffaldi and Levi-Mini(1986). Compost maturity by water extract analyses, in Compost : Production, Quality and use II, M. De Bertoldi, M.P. Ferranti, P.L. hermite and F. Zucconi, Elsevier applied science, London and New York : 359~367
- 2) E. Witter and J.M. Lopez-Real(1986). Monitoring the composting Process using parameters of compost, in Compost : Production, Quality and use II, M. De Bertoldi, M.P. Ferranti, P. L'hermite and F. Zucconi, Elsevier applied science, London and New York : 351~358.
- 3) 서정윤, 주우홍(1994). 가정용 소형 퇴비화용기에 의한 부엌쓰레기의 분산식 퇴비화, I. 실험실 조건에서 퇴비화 연구, 한국환경농학회지, 제13권, 제3호 : 321~337.
- 4) Ralf Gottschall(1985). Kompostierung, Verlag C.F. Mueller karlsruhe.
- 5) 서정윤(1993). 소형 퇴비화용기에 의한 부엌쓰레기의 겨울철 퇴비화 실험, 창원대학교 환경연구논문집 제2집 : 129~136.
- 6) 농림수산부(1994). 비료공정규격.